№3 2021

ISSN 2072-9669 eISSN 2658-767X
Хранение и переработка сельхозсырья
Storage and Processing of Farm Products

ХИПС

SPFP

Пищевые системы. Здоровьесберегающие и Биотехнологии.



ХиПС

Теоретический и научно-практический журнал

№ 3 – 2021
Периодичность издания – 4 номера в год
Основан в 1993 г.

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет пищевых производств» (ФГБОУ ВО М.У.П)

Редакция
Заведующий редакцией – Тихонова Елена Викторовна
Выпускающий редактор – Шленская Наталья Марковна
Медийный редактор – Вохминцева Елена Павловна

ISSN 2072–9669 **eISSN 2658–767X**

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

Индекс журнала по каталогу «Газеты. Журналы» АО Агентство «Роспечать» – ***71256/71370***.
Журнал включен в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук» по группам специальностей:
05.00.00 – Технические науки;
05.18.00 – Технология продовольственных продуктов;
05.20.00 – Процессы и машины агроинженерных систем;
06.00.00 – Сельскохозяйственные науки;
06.01.00 – Агрономия.

Журнал включен в международную базу данных публикаций на базе Web of Science – Russian Science Citation Index (***RSCI***).

Адрес:
125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11
Тел. +7 (499) 750–01–11*6585
E-mail: info@spfp-mgupp.ru
Официальный сайт учредителя: mgupp.ru
Официальный сайт редакции: spfp-mgupp.ru

Отпечатано в типографии:
ООО «Информационно-Технологический центр»
Адрес: Российская Федерация, 105203, г. Москва, ул. Нижняя Первомайская, д. 44
Формат 60×84 1/8. Печать офсетная. Бумага офсетная. Тираж 500 экз. Подписано в печать 20.09.2021. Свободная цена.

© Ф.Б.У ВО «Московский государственный университет пищевых производств», 2021

SPFP

Theoretical and Research & Practice Journal

№ 3 – 2021
Periodicity of publication – 4 issues per year
Published since 1993

Founder: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Moscow State University of Food Production» (FSBEI HE M.U.P)

Editorial Team
Head of Editorial Team – Elena V. Tikhonova
Editor of Issue – Natalia M. Shlenskaya
Social Media and Product Editor – Elena P. Vokhmintseva

ISSN 2072–9669 **eISSN 2658–767X**

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

Index of the Journal by catalogue «Newspapers. Journals» J.C.Agency «Rospechat» – ***71256/71370***.
The Journal is included in the «List of Russian peer-reviewed scientific journals in which the main scientific results of dissertations for the academic degrees of a doctor and candidate of sciences should be published» by groups of specialties:
05.00.00 – Technical sciences;
05.18.00 – Technology of food products;
05.20.00 – Processes and machines of agroengineering systems;
06.00.00 – Agricultural sciences;
06.01.00 – Agronomy.

Indexed by Web of Science – Russian Science Citation Index (***RSCI***).

Address:
11, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russain Federation, 125080
Tel. +7 (499) 750–01–11*6585
E-mail: info@spfp-mgupp.ru
Official web site of Founder: mgupp.ru
Official web site of the Editorial Office: spfp-mgupp.ru

Printed in the Publishing House:
«Information and Technology Center» Ltd.
Address: 44, Nizhnyaya Pervomayskaya, Moscow, Russian Federation, 105203
Format 60×84 1/8. Seal offset. Offset paper. 500 copies. Signed in print 20.09.2021. Free price.

© F.B.I HE «Moscow State University of Food Productoion», 2021

Редакционный совет

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

Члены редакционного совета:

Аксёнова Лариса Михайловна — академик РАН. ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, vniitek@vniitek.ru

Акулич Александр Васильевич — заслуженный изобретатель Республики Беларусь, доктор технических наук, профессор. Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, akulichav57@mail.ru

Андреев Николай Руфеевич — член-корреспондент РАН. ВНИИ крахмалопродуктов – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, vniik@arrisp.ru

Горлов Иван Федорович — академик РАН. Поволжский НИИ производства и переработки мясо-молочной продукции, niimmp@mail.ru

Гудковский Владимир Александрович — академик РАН. Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина, info@fnc-mich.ru

Добровольский Виктор Францевич — доктор технических наук. НИИ пищеконцентратной промышленности и специальной пищевой технологии – филиал ФИЦ питания и биотехнологии, gnuniippspt@gmail.com

Донник Ирина Михайловна — академик РАН, доктор ветеринарных наук, профессор. Российская академия наук, imdonnik@presidium.ras.ru

Косован Анатолий Павлович — академик РАН. НИИ хлебопекарной промышленности, info@gosniihp.ru

Коста Руи — доктор технических наук. Португальский технический институт, ruicosta@esac.pt

Лисицын Александр Николаевич — доктор технических наук. ВНИИ жиров, vniig@vniig.org

Лисицын Андрей Борисович — академик РАН. ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, info@vniimp.ru

Мелешкина Елена Павловна — доктор технических наук. ВНИИ зерна и продуктов его переработки — филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, mep5@mail.ru

Никитюк Дмитрий Борисович — член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор. ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», nikitjuk@ion.ru

Оганесянц Лев Арсенович — академик РАН. ВНИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, institute@vniinapitkov.ru

Панфилов Виктор Александрович — академик РАН. Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, vap@timacad.ru

Петров Андрей Николаевич — академик РАН. ВНИИ технологии консервирования – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, vniitekpetrov@vniitek.ru

Симоненко Сергей Владимирович — доктор технических наук. НИИ детского питания – филиал ФИЦ питания и биотехнологии, niidp@rambler.ru

Титов Евгений Иванович — академик РАН. ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», titov@mgupp.ru

Тужилкин Вячеслав Иванович — член-корреспондент РАН. ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», tvi@mgupp.ru

Тутельян Виктор Александрович — академик РАН, доктор медицинских наук, профессор. ФГБНУ «ФИЦ питания и биотехнологии», tutelyan@ion.ru

Уша Борис Вениаминович — академик РАН. ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», vet-san-dekanat@yandex.ru

Харитонов Владимир Дмитриевич — академик РАН. ВНИИ молочной промышленности, gnu-vnimi@yandex.ru

Храмцов Андрей Георгиевич — академик РАН. Северо-Кавказский федеральный университет, hramtsov@nsctu.ru

Щетинин Михаил Павлович — доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», shchetininmihail@mgupp.ru

Editorial Board

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

Members of the Editorial Board:

Larisa M. Aksyonova	Academican of RAS, Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbatova of RAS, vniitek@vniitek.ru
Alexander V. Akulich	Honoured Inventor of the Republic of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor. Mogilev State University of Food Technologies, mgup@mogilev.by
Nikolay R. Andreev	Corresponding Member of RAS, All-Russian Research insitute of Starch - branch of the Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbatova of RAS, vniik@arrisp.ru
Ivan F. Gorlov	Academican of RAS, Povolzhskiy Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products, niimmp@mail.ru
Vladimir A. Gudkovskiy	Academican of RAS, Federal Scientific Center named after I.V. Michurin, info@fnc-mich.ru
Viktor F. Dobrovoilskiy	Doctor of Technical Science, Research Insitute of Food Concentrates Industry and Special Food Technology - branch of the Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, gnuniippspt@gmail.com
Irina M. Donnik	Academican of RAS, Doctor of Veterinary Science, Professor. Russian Academy of Sciences, imdonnik@presidium.ras.ru
Anatoliy P. Kosovan	Academican of RAS, State Research Institute of Baking Industry, info@gosniihp.ru
Rui Costa	Doctor of Technical Science, Portuguese Technical Institute, ruicosta@esac.pt
Aleksandr N. Lisitsyn	Doctor of Technical Science, All-Russian Research Insitute of Fats, vniig@vniig.org
Andrey B. Lisitsyn	Academican of RAS, Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbatova of RAS, info@vniimp.ru
Elena P. Meleshkina	Doctor of Technical Science, All-Russian Research Institute of Grain and Products of Its Processing - branch of the Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbatova of RAS, mep5@mail.ru
Dmitry B. Nikityuk	Corresponding Member of RAS, Doctor of Medical Science, Professor. Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, nikitjuk@ion.ru
Lev A. Oganesyants	Academican 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. Gorbatova of RAS, institute@vniinapitkov.ru
Viktor A. Panfilov	Academican of RAS, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, vap@timacad.ru
Andrey N. Petrov	Academican of RAS, All-Russian Research Institute of Technology Canning - branch of the Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbatova of RAS, vniitekpetrov@vniitek.ru
Sergey V. Simonenko	Doctor of Technical Science, Research Institute of Baby Nutrition - branch of the Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, niidp@rambler.ru
Evgeny I. Titov	Academican of RAS, Moscow State University of Food Production, titov@mgupp.ru
Vyacheslav I. Tuzhilkin	Corresponding Member of RAS, Moscow State University of Food Production, tvi@mgupp.ru
Victor A. Tutelyan	Academican of RAS, Doctor of Medical Science, Professor. Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, tutelyan@ion.ru
Boris V. Usha	Academican of RAS, Moscow State University of Food Production, vet-san-dekanat@yandex.ru
Vladimir D. Kharitonov	Academican of RAS, All-Russian Research Institut of Dairy Industry, gnu-vnimi@yandex.ru
Andrey G. Khramtsov	Academican of RAS, North-Caucasus Federal Univerity, hramtsov@nsctu.ru
Mikhail P. Schetinin	Doctor of Technical Science, Professor, Moscow State University of Food Production, shchetininmihail@mgupp.ru

СОДЕРЖАНИЕ

О выдающемся ученом и человеке – Евгении Ивановиче Сизенко 8

РЕДАКТОРСКАЯ СТАТЬЯ

Тихонова Е.В., Шленская Н.М.
Обзор предметного поля как метод синтеза научных данных 11

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ

Зенькова М. Л., Акулич А.В.
Влияние процесса проращивания зерен злаковых культур на их пищевую ценность 26

Лисицын А.Н., Марков В.Н., Григорьева В.Н.,Тагиев Ш.К., Ефимов А.В.
Применение нового метода оценки качества семян в производственных условиях 54

Бабакина М.В., Михайлюта Л.В., Першакова Т.В., Купин Г.А., Самойленко М.В.
Натамицин и электромагнитные поля: влияние на качество капусты при хранении 69

Алябьев Б.А., Ростовская М.Ф.
Особенности получения пшеничного пива 81

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ И ПРОДУКЦИИ АПК

Асякина Л.К., Фотина Н.В., Степанова А.А., Позднякова А.В., Просеков А.Ю.
Разработка технологии извлечения комплекса биологически активных веществ из корневых культур in vitro лекарственных растений 95

Дремучева Г.Ф., Носова М.В.
Результаты исследований хлебопекарных свойств пшеничной муки с использованием реоферментометра 105

Фарзалиев Э.Б.О., Голубев В.Н., Цыганова Т.Б.
Исследование и идентификация пектиновых веществ дикорастущих плодов облепихи (*Hippophae rhamnoides L.*) 115

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Шмалько Н.А.
Моделирование состава композиции хлебопекарного улучшителя направленного действия 126

Клейменова Н.Л., Болгова И.Н., Копылов М.В., Пегина А.Н., Кашолкина Д.А.
Применение кластерного анализа для идентификации масличного сырья 149

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Новикова И.В., Рукавицын П.В., Муравьев А.С.
Оптимизация технологических параметров процесса сухого охмеления с разработкой методики интегральной оценки качества пива 163

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПРОДУКЦИИ АПК

Казахмедов Р.Э., Магомедова М.А., Воробьева Т.Н., Причко Т.Г.
Экологическая безопасность сырья для получения функциональных пищевых продуктов и ее гормональная регуляция 176

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ И НОВЫХ ВИДОВ СЫРЬЯ

Мельникова Е.И., Станиславская Е.Б., Фёдорова А.Р.
Белково-полисахаридный имитатор жира для ферментированного молочного продукта 188

СТАТЬЯ-МНЕНИЕ

Зайцева Л.В., Мазукабзова Э.В., Матюнина А.В., Осипов М.В.
Современные требования к растительным маслам и продуктам их переработки для производства пищевой продукции функционального и специализированного назначения 200

Агапкин А.М., Махотина И.А.
Переработка сельскохозяйственных отходов: рынок органических удобрений и производство органических пищевых продуктов 212

CONTENT

EDITORIAL

Elena V. Tikhonova, Nataliya M. Shlenskaya
Scoping review vs Systematic Review: General and Specific 24

THEORETICAL ASPECTS OF FARM PRODUCTS STORAGE AND PROCESSING

M. Zenkova, A. Akulich
The Influence of the Sprouting Process of Grain Crops on their Nutritional Value 45

A. Lisitsyn, V. Markov, V. Grigorieva, S. Tagiev, A. Efimov
Application of a New Method for Assessing Seed Quality in Production Conditions 66

M. Babakina, L. Mikhaylyuta, T. Pershakova, G. Kupin, M. Samoylenko
Natamycin and Electromagnetic Fields: Influence on the Quality of Cabbage during Storage 78

B. Alyabyev, M. Rostovskaya
Peculiarities of making wheat beer 92

RESEARCH ON TRAITS OF SUBSTANCES AND AGRIBUSINESS PRODUCTS

L. Asyakina, N. Fotina, A. Stepanova, A. Pozdnyakova, A. Prosekov
Development of a Technology for Extraction of a Complex of Biologically Active Substances from i*n vitro* Root Crops of Medicinal Plants 102

G. Dremucheva, M. Nosova
The results of studies of the baking properties of wheat flour using a rheofermentometer 113

DESIGNING AND MODELLING THE NEW GENERATION FOODS

N. Shmalko
Modeling the Composition of the Bakery Improvers with Directional Action 146

N. Kleymenova, I. Bolgova, M. Kopylov, A. Pegina, D. Koshelkina
Application of cluster analysis for oilseeds identification 160

TECHNOLOGICAL PROCESSES, MACHINES AND EQUIPMENT

I. Novikova, P. Rukavitsyn, Al. Muravyov
Optimization of Technological Parameters of the Dry Hopping Process With the Development of a Methodology for the Integral Assessment of the Quality of Beer 173

CONTROL OVER QUALITY AND SAFETY OF AGRIBUSINESS PRODUCTS

R. Kazakhmedov, M. Magomedova, T. Vorobieva, T. Prichko
Ecological Safety of Raw Materials for Obtaining Functional Food Products and Its Hormonal Regulation 184

USING SECONDARY RESOURCES AND NEW TYPES OF RAW MATERIALS

E. Melnikova, E. Stanislavskaya, A. Fedorova
Protein-Polysaccharide Fat Imitator for Fermented Dairy 197

OPINION ARTICLE

L. Zaitseva, E. Mazukabzova, A. Matunina, M. Osipov
Modern Requirements for Vegetable Oils and their Processed Products Used in Functional and Specialized Food Products 209

A. Agapkin, I. Makhotina
Agricultural Waste Processing: Organic Fertilizer Market and Organic Food Production 224

О выдающемся ученом и человеке – Евгении Ивановиче Сизенко



(25.09.1931–26.09.2016)

25 сентября исполнилось бы 90 лет видному ученому, крупному специалисту в области агропромышленного комплекса, заслуженному работнику пищевой индустрии России, Лауреату премии Правительства РФ в области науки и техники - Евгению Ивановичу Сизенко. Научные работы Е.И. Сизенко посвящены проблемам развития пищевой и перерабатывающей промышленности, комплексной безотходной переработке сельскохозяйственного сырья, создания биологически полноценных продуктов питания. Под его руководством разрабатывались направления эффективного функционирования отраслей пищевой и перерабатывающей промышленности в условиях рынка с учетом развития интеграционных связей с производителями сельхозпродукции. Е.И. Сизенко был членом редакционных советов «Вестник российской академии сельскохозяйственных наук», «Мясная индустрия», «Пищевая промышленность». Он возглавлял редакционный Совет созданного по его инициативе ежемесячного теоретического журнала «Хранение и переработка сельхозсырья».

Евгений Иванович родился в 1931 году в селе Лукьяново Новониколаевского района Волгоградской области. Он учился в средней школе в совхозе Хоперский, после окончания которой в 1949 году поступил на экономический факультет Тимирязевской сельскохозяйственной академии (ТСХА) (с 1994 года переименовано в Государственное образовательное учреждение «Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева»), которую закончил с отличием в 1954.

Евгений Иванович начал трудовую деятельность в Рыбновской МТС в колхозе им. Тельмана Рязанской области агрономом по испытанию новых сельскохозяйственных машин, одновременно учась в аспирантуре ТСХА. В 1958 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата экономических наук по теме «Организация и экономическая эффективность разных способов уборки зерновых культур». С 1957 по 1960 годы Евгений Иванович работал ассистентом кафедры «Организация сельскохозяйственных предприятий» ТСХА. В 1958 году он издал книгу «Материалы лабораторно-практи-

ческих занятий по анализу и планированию колхозного производства».

Учитывая его глубокие теоретические знания и большой практический опыт работы, руководство страны не могло не заметить выдающиеся способности Евгения Ивановича и его лидерские качества. Поэтому с 1960 по 1983 годы он был направлен на партийную и советскую работу.

Работая секретарем Московского областного комитета партии и заместителем Председателя Мособлисполкома, Евгений Иванович руководит АПК Московской области, а затем становится первым секретарем Брянского обкома КПСС. Е.И. Сизенко много внимания уделял проблемам ускорения научно-технического прогресса в сельском хозяйстве, разработке научных и осуществлению практических мер по специализации и концентрации сельскохозяйственного производства и созданию товарных зон вокруг промышленных центров по производству и переработке сельскохозяйственной продукции.

В сентябре 1978 года руководство страны направило Евгения Ивановича на работу в Брянскую область. Он был единогласно избран Первым секретарем Брянского Обкома КПСС на Пленуме Обкома КПСС. По его инициативе был организован Брянский сельскохозяйственный институт (в настоящее время - Брянская государственная сельскохозяйственная академия), на его время пришлось много позитивных преобразований. В то время Брянскую область называли всесоюзным картофельным полем. В эти годы на Брянщине был настоящий прорыв в развитии мясного скотоводства и картофелеводства. Ежегодно в Брянской области в оборот вводилось по два десятка тысяч гектаров заброшенных земель. Областное сельское хозяйство в те годы было одной из самых инвестиционно- привлекательных отраслей.

Евгений Иванович неоднократно подчёркивал, что питание является одним из важнейших факторов, определяющих здоровье населения. Правильное питание обеспечивает нормальный рост и развитие детей, способствует профилактике заболеваний, продлению жизни людей, повышению работоспособности. Есть продовольствие отечественное, качественное, полезное - есть сытая и здоровая нация. И это является признаком сильного государства, так как здоровье населения определяет интеллектуальный потенциал, экономические возможности и обороноспособность страны. Как неоднократно говорил Евгений Иванович, здоровье нации - это общественная ценность, и поэтому им должны заниматься государство и общественные организации. Главным постулатом Е.И. Сизенко был принцип: здоровье человека - важнейший приоритет государства.

Учитывая незаурядные лидерские качества и аналитический склад ума, бесценный производственный опыт и беззаветное служение Отечеству Евгений Иванович Сизенко в январе 1983 года назначается Министром мясной и молочной промышленности СССР. Под его руководством разрабатывается концепция развития этих отраслей народного хозяйства. В её основе лежит комплексная безотходная переработка животноводческого сырья, экологическая безопасность предприятий отрасли, эффективное вовлечение вторичных ресурсов для производства продуктов питания и кормов для животноводства.

С декабря 1985 по 1989 годы Е.И. Сизенко работает первым заместителем Председателя Госагропрома СССР и Министром СССР. В 1987 году по поручению Правительства СССР под руководством Е.И. Сизенко разработана программа «О мерах по ускорению развития перерабатывающих отраслей агропромышленного комплекса в 1988-1995 годах», утверждённая постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР. В данном документе были намечены кардинальные меры по обновлению и развитию материально-технической базы этой сферы экономики. К созданию машин и оборудования для пищевой промышленности были привлечены все промышленные и оборонные министерства СССР. Была намечена широкая программа реконструкции, технического перевооружения и создания новых мощностей в перерабатывающей промышленности. Отечественная промышленность начала выпускать современное оборудование для предприятий переработки, которое по качеству не уступало зарубежным образцам, а по цене было гораздо ниже импортных. К сожалению, наступившая перестройка и время непродуманных реформ, распад Советского Союза практически на нет свели эту крайне необходимую работу по развитию пищевых и перерабатывающих отраслей нашей страны. После кризиса 1998 г отечественная пищевая промышленность в жесткой конкуренции с зарубежными фирмами, используя достижения науки, в значительной мере вытеснила с нашего рынка импортные готовые продукты, прежде всего, хлебобулочные, кондитерские изделия, мясные и молочные продукты, растительные масла, пиво и безалкогольные напитки».

С 1989 года Е.И. Сизенко назначается первым заместителем Председателя Совета Министров РСФСР

и руководителем Агропромышленного комплекса России. Е.И. Сизенко внёс неоценимый вклад в создание Российской Академии Сельскохозяйственный наук. С 1991 по 2009 годы Е.И. Сизенко – вице-президент Россельхозакадемии, возглавляет впервые созданное в рамках академии Отделение хранения и переработки сельхозпродукции. В эти годы Е.И. Сизенко большое внимание уделяет укреплению научных кадров и материально-технической базы институтов Отделения. Под его руководством в 1999 году разрабатывается «Концепция основных фундаментальных исследований и научно-технического обеспечения перерабатывающих отраслей», одобренная Президиумом академии и Пищевой секцией Научно-технического Совета Минсельхоза России. Е.И. Сизенко принимает активное участие в подготовке «Концепции государственной политики в области здорового питания населения России на период до 2005 года», «Федеральной целевой программы стабилизации и развития агропромышленного производства в Российской Федерации на 1996-2000 годы» (раздел «Пищевая и перерабатывающая промышленность»). В сентябре 2009 года Е.И. Сизенко утверждён Советником Россельхозакадемии.

Широкий круг научных интересов Е.И. Сизенко нашёл отражение в книгах: «Пищевая промышленность России в условиях рыночной экономики», «Вторичные сырьевые ресурсы пищевой и перерабатывающей промышленности АПК России», «Пищевая промышленность СССР 1965-1990 гг.», «Пищевая промышленность России: состояние и перспективы развития», вышедших при активном участии и под редакцией Е.И. Сизенко. Им опубликовано свыше 250 научных работ.

В статье «Неотложные задачи пищевой и перерабатывающей промышленности», опубликованной в журнале «Хранение и переработка сельхозсырья» в 2009 году, Академик РАСХН Сизенко Е.И. отмечал, что пищевая и перерабатывающая промышленность – одно из важнейших звеньев АПК. «Важно не только вырастить, но и как можно полнее сохранить и эффективно переработать сельскохозяйственную продукцию. В числе приоритетных направлений: создание экологически безопасных технологий и методов контроля качества сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов; разработка биотехнологических процессов переработки сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов; разработка биотехнологических процессов переработки сельскохозяйственного сырья; создание белковых препаратов, композитов и биологически активных добавок с заданными свойствами; технологий продуктов функционального, профилактического , лечебного, детского и геродиетического питания; современных технологий хранения и транспортировки продовольственного сырья и пищевых продуктов».

Самоотверженный труд Евгения Ивановича Сизенко получил высокую оценку. Его заслуги перед Родиной отмечены государственными наградами: орденом Ленина, Октябрьской революции, двумя орденами Трудового Красного Знамени, многими медалями СССР, а также государственными наградами Болгарии, Чехословакии и Монголии.

Евгений Иванович Сизенко был не просто руководителем первой величины. Он был настоящим человеком - человеком заботливым, внимательным, с большим сердцем. И, как Настоящий человек, Е.И. Сизенко ничего не делал наполовину и делал своё настоящее только роди будущего. Заслуги Евгения Ивановича перед Родиной трудно переоценить. Память о Евгении Ивановиче Сизенко навсегда сохранится в наших сердцах, его наставления, советы и планы, реализация которых продолжается сегодня.

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

УДК 001.89:004.91 https://doi.org/10.36107/spfp.2021.257

Обзор предметного поля как метод синтеза научных данных

Тихонова Елена Викторовна
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
E-mail: etihonova@mgupp.ru

Шленская Наталия Марковна
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
E-mail: n.shlenskaya@mgupp.ru

Обзор предметного поля выступает в качестве значимого инструмента систематизации знания в изучаемой авторами предметной области посредством анализа первичных источников с позиций сравнения, анализа и обобщения данных. Его цель состоит в том, чтобы предоставить обзор имеющихся научных данных в рамках конкретной тематики. При этом исследователь не ставит перед собой цель ответить на конкретные исследовательские вопросы. Подобного рода обзор анализируют данные, независимо от дизайна и методологии исследований (для сравнения – систематический обзор в большинстве случаев основан на исследованиях, реализованных в рамках единой методологии и отвечающих заданным критериям, а его цель – ответить на конкретный исследовательский вопрос). Отсюда, акцент реализуется на диапазоне выявленных результатов, а количественные данные ограничиваются подсчетом источников, описывающих ту или иную проблематику с опорой на ту или иную методологию исследования. Количество научных публикаций такого типа увеличивается с каждым годом, в том числе, и в области пищевой и перерабатывающей промышленности. Создание обзора предметного поля зачастую обосновано сложностью и многогранностью проблематики, отсутствием ее всестороннего анализа и является первым шагом к проведению систематического обзора.

Ключевые слова: обзоры, обзор предметного поля, методология scoping review

В научной коммуникации принято различать первичные и вторичные жанры. Хотя признание индивидуального вклада ученого в развитие научного знание преимущественно базируется на первичных источниках, качественные обзоры литературы способствуют концептуализации трендов в исследовании той или иной проблемы, выявлению пробелов в их изучении. Потому цитируются они, зачастую, значительно чаще эмпирических исследований (Pautasso, 2013; Hampton & Parker, 2011). Количество обзорных исследований постоянно увеличивается, порождая и углубление их типологии (Tricco et al., 2016). Различают обзоры теоретические, нарративные, мета-анализ, систематический обзор, библиометрический, обзор предметного поля и другие (Раицкая & Тихонова, 2020).

Анализ источников для написания обзорной статьи требует умения выполнять несколько задач сразу: оценивать критически новый материал, синтезировать информацию из различных источников, использовать навыки перефразирования и цитирования (Moher, Stewart, & Shekelle, 2015), пользоваться инструментами для подбора и классификации источников и информации в них (VOSviewer[1], NVivo 10[2], PRIZMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)[3] и др.). Соответственно, написание обзоров требует целенаправленной и предварительной подготовки.

Обзор предметного поля (Scoping review или ScR) - это публикация по типу «синтеза доказательств», целью которого является выявление и регистрация требуемых доказательств, которые соответствуют заранее определенным критериям включения в отношении рассматриваемой темы, области, контекста, концепции или проблемы. В своей работе Манн и его коллеги (2018) комментируют различия между традиционным систематическим обзором и обзором предметного поля. Обзор нацелен на выявление пробела в знаниях, обобщение объ-

[1] VOSviewer. URL: https://www.vosviewer.com/ (дата обращения: 13.07.2021).
[2] NVivo. URL: https://portal.mynvivo.com (дата обращения: 13.07.2021).
[3] PRIZMA. URL: http://www.prisma-statement.org/ (дата обращения: 15.07.2021).

ема литературы по теме, уточнение концепции или изучение процедуры проведения исследования. Обзор предметного поля полезен и как «предшественник» систематического обзора. Его часто используют для подтверждения актуальности тематики для дальнейшего рассмотрения в рамках систематического обзора (Munn et al., 2018). Обзоры предметного поля, как правило, сосредоточены на широте охвата литературы, а не на глубине охвата (Pare, Trudel, Jaana, & Kitsiou, 2014). Иными словами, исследования, выполненные по ScR-методологии, используют преимущественно для целей «разведывания», получения общей информации о теме, ее концептуального понимания, без решения узконаправленных исследовательских вопросов (например, по сравнительной оценке эффективности медицинских вмешательств). В рамках ScR могут быть обобщены опубликованные результаты не только первичных научных, но и обзорных исследований, мнения экспертов, а также не опубликованные в рецензируемых журналах материалы (например, программы и проекты, нормативные документы и рекомендации), а также информация с интернет ресурсов (сайты, блоги).

Как следует из названия, обзоры предметного поля являются идеальным инструментом для определения объема литературы по данной теме и дают четкое указание на объем доступной литературы в рамках изучаемой проблематики. Обзоры предметного поля полезны для изучения новых доказательств, когда все еще неясно, какие еще, более конкретные вопросы могут быть поставлены и решены в рассматриваемой проблематике (Armstrong, Hall, Doyle, & Waters, 2011; Балыхин & Косычева, 2020).

Выделяют следующие цели создания обзора предметного поля:

- для определения типов доступных доказательств в данной области,
- для уточнения ключевых концепций / определений в литературе,
- для изучения методологии проведения исследования по определенной теме,
- для определения ключевых характеристик или факторов, связанных с концепцией,
- как первый этап систематического обзора,
- для выявления и анализа пробелов в знании на тему.

Стремясь предоставить руководство авторам, осуществляющим обзорные исследования, Аркси и О›Мэлли (Arksey & O'Malley, 2005) разработали пятиэтапную схему для написания обзора предметного поля, в дальнейшем дополненную Levac, Colquhoun & O'Brien (2010): (1) определение исследовательского вопроса, (2) поиск соответствующих исследований, (3) отбор исследований, (4) составление карт данных, (5) сопоставление, обобщение результатов, (6) консультирование с заинтересованными сторонами.

В дальнейшем предложенная ими структура была уточнена и другими исследователями (Levac, Colquhoun, & O'Brien, 2010). В 2015 году методологическая рабочая группа JBI (Институт Джоанны Бриггс (JBI) опубликовала документ о проведении обзоров предметного поля (Peters et al., 2015) на основе более ранних работ (Arksey & O'Malley, 2005; Levac et al., 2010) разработала официальное руководство по созданию обзоров предметного поля (Aromataris & Munn, 2020). Авторы руководства по работе с PRIZMA так же создали руководство по эффективной реализации обзоров предметного поля - PRISMA-ScR (Tricco et al., 2018).

Несмотря на то, что систематический обзор и обзор предметного поля отличаются друг от друга, они имеют и много общего (Peters et al., 2015; Кулакова, Настаушева, & Кондратьева, 2021). В то время как типичный систематический обзор направлен на то, чтобы ответить на конкретный вопрос или серию вопросов в соответствии с жестким набором разграничивающих факторов, обзор предметного поля предполагает более широкий подход, с целью обзора литературы и решения более широкого исследовательского вопроса (Peters et al., 2015). Очевидно, что и проблематика исследования при написании обзора предметного поля обычно шире, чем в систематическом обзоре. Обзор предметного поля может включать в себя анализ нескольких проблемных аспектов (например, различные исследовательские методологии, первичные исследования). Поскольку обзор предметного поля нацелен на выявление и обзор доказательств, а не количественный или качественный синтез данных, обычно нет необходимости проводить методологическую оценку / оценку риска систематической ошибки источников, включенных в обзор предметного поля (Peters et al., 2015; Peters et al., 2021).

В отличие от систематических обзоров, цель ScR - отображение ключевых концепций, лежащих в основе области исследований. Обзоры предметного поля могут быть особенно полезны для соотнесения литературы по дисциплинам с новыми фактическими данными. Наибольшая ценность ScR отмечается при изучении научных направлений,

которые являются неоднородными и комплексными, что не позволяет выполнить систематический обзор (Peters et al., 2015).

Еще одно различие между обзорами предметного поля и систематическими обзорами заключается в том, что в отличие от систематического обзора обзоры предметного поля нужны, чтобы выявить всю существующую доказательную базу по проблеме, независимо от качества этих доказательств (Pare et all., 2014; Кулакова и др., 2021). В ScR авторы обычно не оценивают качество включенных для анализа исследований (Levac et al., 2010). Исследователи зачастую проводят обзорное исследование для изучения масштабов, диапазона и характера исследований по анализируемой проблеме, определить ценность проведения полного систематического обзора. Иными словами, они используют ScR для прояснения сложной концепции и уточнения последующих исследований (Кулакова и др., 2021).

В рамках обзора предметного поля могут быть обобщены опубликованные результаты не только первичных научных, но и обзорных исследований, мнения экспертов, а также не опубликованные в рецензируемых журналах материалы (например, программы и проекты, нормативные документы и рекомендации), а также информация с интернет-ресурсов (Кулакова и др., 2021).

Активно заявив о себе в 2000-х годах, ScR исчисляются сегодня цифрой более 12 тысяч. И эта цифра постоянно растет. Особо популярны обзоры предметного поля в области медицины, но и ведущие журналы по пищевой и перерабатывающей промышленности уделяют значительное внимание этому типу публикаций. Довольно много ScR появляется в смежных областях вопросов здоровья и питания. Постепенно их популярность растет (см. Таблица 1).

Для того, чтобы обзоры предметного поля были полезными, они должны быть составлены профессиональным способом (Pautasso, 2013). Написание обзорных статей, также как и оригинальных, исследовательских, должно выполнять в полном соответствии с требованиями к их написанию, чтобы получить достоверный и воспроизводимый результат.

Названия опубликованных статей данного типа должно включать в название поясняющий термин «обзор предметного поля» (“scoping review”): обычно после двоеточия или тире в качестве заключительной части названия (конкретика, содержание, намерение). Фраза «обзор» служит четким определением типа опубликованного исследования в различных базах данных и спецификаций типа обзора литературы.

Например: Antioxidant Content Determination in Ripe Date Fruits (Phoenix dactylifera L.): a Scoping Review) [Определение содержания антиоксидантов в спелых финиках (Phoenix dactylifera L.): обзор предметного поля] (AlFaris et al., 2021); Herbal Teas and their Health Benefits: A Scoping Review [Травяные чаи и их польза для здоровья: обзор предметного поля] (Poswal et al., 2019).

Успешное создание обзорных статей требует формирования соответствующих навыков. Создание ScR помогает не только получить комплексную информацию по изучаемой теме, но и познакомиться со спецификой исследований, выполняемых в данной научной области исследований (их дизайн, методы, результаты и эффективность). Сформированная в результате ScR база публикаций может быть использована для обзорных статей другого типа.

Проанализируем структуру систематического обзора «Продовольственная безопасность в городах Ганы: Обзор предметного поля» (Akparibo et al., 2021) с тем, чтобы акцентировать его наиболее значимые компоненты.

Аннотация подобного обзора призвана (1) ввести читателя в тему и обосновать ее актуальность, (2) поясняется, какой конкретный пробел

Таблица 1
Сравнение число публикаций типа «Обзор предметного поля» в областях пищевой и перерабатывающей промышленности и в области общей медицины (Medicine General) за последние 8 лет

Области исследований	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Общее кол-во
Food Science Technology	1	2	0	3	3	6	11	30	56
Nutrition Dietetics	1	5	6	15	14	35	69	92	241
Medicine General	9	24	49	103	111	240	322	358	1229

в знании данный обзор призван заполнить, (3) представить цель обзора и его исследовательский вопрос, (4) описать методологию обзора и инструменты, на которые он опирается, (5) описать его результаты и их применимость в научной практике.

Аннотация

Урбанизация в Гане (Ghana) может отрицательно сказаться на состоянии продовольственной безопасности, особенно для экономически уязвимых групп. Все аспекты продовольственной безопасности могут оказаться под ударом - обеспечение продовольствием, его безопасность и качество. (2) Мы провели предварительный обзор литературы, чтобы понять характер и объем имеющихся данных о ситуации с продовольственной безопасностью в городах в Гане. (3) Был проведен поиск литературы в базах данных Medline, CINAHL, Embase, Global Health, Scopus, Web of Science, Africa Wide Information и Google Scholar для выявления релевантной рецензируемой и «серой» литературы. Критериям включения в обзор соответствовали 45 исследований. (4) В основном это исследования, реализованные с целью сбора данных / анализа образцов пищевых продуктов. Большинство проанализированных исследований было проведено в районе Большой Аккры (The Greater Accra) (n = = 24). Большая часть исследований посвящена безопасности и качеству пищевых продуктов (n = 31). Однако, крайне малое количество публикаций содержит предложения по достижению стабильности в формате рассматриваемой проблематики. Качественные методы исследования не использовались во включенных публикациях. Существующая литература по продовольственной безопасности сосредоточена на изучении двух регионах: Большая Аккра и Ашанти (The Greater Accra and Ashanti). (5) В будущих исследованиях по продовольственной безопасности в городах Ганы следует сосредоточить внимание на изучении жизненного опыта и представлений городских жителей о продовольственной безопасности и стабильности с использованием качественных методов. Доказательства того, что безопасность / качество продуктов питания, предлагаемых на рынках Ганы, является низким, должны вызывать беспокойство у потребителей и политиков.

Ключевые слова: *Качество питания; доступ к продуктам питания; использование продуктов питания; продовольственная безопасность; городская среда города Гана; обзор предметного поля; урбанизация; городское и сельское хозяйство*

Представленная аннотация затрагивает все необходимые структурные компоненты аннотации обзора, но не до конца раскрывает каждый из них. Всегда лучше предварять целеполагание комментированием того пробела в современном знании, которое призвано заполнить данное конкретное обзорное исследование. Конкретный исследовательский вопрос так же значительно обогатил бы исследование, придав ему более четкий фокус. Описание методологии и инструментария также нуждается в уточнении.

Введение обзорной статьи призвано сообщить читателям актуальность темы обзора, описать значимость анализируемой тематики с опорой на исследования других авторов. Крайне важным является представление степени изученности проблематики в разрезе мировых исследований: автор обзора должен зафиксировать сложившееся status quo в науке ровно до того временного промежутка, с которого он планирует инициировать собственный обзор. Принципиально важно, чтобы читатель понимал: Зачем ему знакомиться с данным обзором, что нового он привнесет в существующее знание по теме. Соответственно, целью обзора будет заполнить обоснованный автором пробел в знании. Корректной практикой является и обоснование конкретного исследовательского вопроса, который позволит автору придать более конкретный фокус всему обзору.

Ниже дан пример обоснования заполняемого автором пробела в существующем знании на тему. Проанализировав основные подходы к изучению анализируемой проблематики вплоть до хронологической рамки собственного обзора (см. эту часть Введения в анализируемом обзоре Akparibo et al., 2021), авторы: (1) суммируют основные выводы авторов исследований по теме, (2) акцентируют выявленные пробелы в знании, (3) показывают какой пробел в знании призвано заполнить их исследование через постановку целей исследования и его исследовательского вопроса.

(1) Ряд исследований на тему подчеркнули необходимость мультисекторального взаимодействия с целью решения сложных аспектов взаимодействия между продовольственными системами и того, как они влияют на питание жителей городских поселений (например, [18,20–22]). (2) Однако в настоящее время имеется ограниченное количество данных о масштабе ситуации с отсутствием продовольственной безопасности в городских районах Ганы. Недостаточно представ-

лены данных, касающиеся поставок продуктов питания, доступа к ним, безопасности / качества продуктов питания и использования продуктов питания городскими жителей Ганы. (3) Для выстраивания стратегий будущих исследований и получения данных для разработки конкретных мер вмешательства с целью улучшения ситуации с продовольственной безопасностью в городах Ганы необходимо глубинное понимание имеющихся данных. По этой причине авторами был реализован обзор предметного поля с целью выявить и проанализировать литературу по продовольственной безопасности городских домохозяйств в Гане, уделяя особое внимание каналам снабжения, доступа, использования, безопасности и качеству продуктов питания.

К сожалению, авторы не указали и не обосновали далее хронологические рамки собственного обзора и не описали кратко его методологию и инструменты, на которые они опирались. Необходимо понимать, что обзор составляется авторами для читателей и чем более подробно прокомментированы и разъяснены все его аспекты, тем более эффективно он выполнит свою задачу в контексте научной коммуникации. Несмотря на наличие последующей секции Материалы и методы, призванной подробно описать подход авторов к обзору, их краткое комментирование в конце секции Введение помогает читателям четче сориентироваться в специфике данного конкретного обзора.

Секция *Материалы и методы* по требованиям отдельных журналов должна быть максимально структурирована на подсекции *(Дизайн исследования (приводится в случае желания авторов подчеркнуть конкретный подход, продемонстрировать его преемственность), Библиографическая база и материалы (в том числе, и критерии включения и исключения источников), Инструменты, Методы, Процедура исследования, Анализ и валидация данных (если таковой проводился)*. Отдельные журналы допускают представление информации в секции неструктурированным блоком. Структурирование информации представляется более оправданным подходом, поскольку позволяет представить всю информацию максимально прозрачно. При таком подходя читателям не нужно ничего домысливать самостоятельно, поскольку вся информация доступна с позиции авторов исследования.

Приведем пример из анализируемого нами обзора предметного поля (Akparibo et al., 2021). Отметим, что логика изложения информации авторами данного обзора следует требованиям журнала, в котором опубликован обзор. Мы приведем изложение структуры Материала и методы, следуя логике более традиционных секций как более понятных для читателей, поскольку они привыкли к ней и проще «считывают» с неё информацию. Отсюда, мы переструктурируем информацию данной секции, но будем опираться исключительно на данные, приведенные авторами указанного обзора.

Материалы и методы исследования

Дизайн исследования

Для написания обзора использовалась структура, определенная Arksey and O'Malley (2015), обновленная Colquhoun et al. (2014), и более подробно описанная в Руководстве Института Джоанны Бриггс (2015): (1) определение вопроса исследования, (2) выявление исследований,(3) выбор исследований,(4) составление диаграмм данных и (5) обобщение и описание результатов.

Библиографическая база и материалы

С июня по июль 2020 года был проведен поиск релевантных в контексте обзора источников в семи базах данных MEDLINE, EMBASE, CINAHL, SCOPUS, Web of Science Core Collection, African-wide information, *Global Health. В июле 2021 года поиск был продублирован, с целью отследить новые исследования. Поиск релевантных источников проводился также в базе Google Scholar и веб-сайтах министерств здравоохранения, продовольствия и сельского хозяйства (поиск «серой» литературы). Таблица 1 включает дополнительные материалы – список литературы и список статей, цитирующих выбранные исследования. Эти дополнительные усилия помогли выявить потенциально подходящие опубликованные исследования, которые ранее не были отражены в академических базах данных или «серых» литературных источниках. Если полные тексты статей не были доступны, авторы данного обзора связывались с авторами указанных публикации.*

Подбор источников осуществлялся по заданным критериям включения и исключения (обычно эти критерии представляют в виде таблицы) (См. Таблица 1). Несоответствие источника критериям для включения в обзор являлось основанием для их исключения.

Таблица 1. Критерии включения.

Включать исследования / отчеты в обзор, если они:
Представляют результаты об опыте в области продовольственной безопасности в отношении:
– *поставки продуктов питания: информация о количестве произведенных продуктов питания, доступных в населенных пунктах у различных поставщиков в городских условиях;*
– *доступа к продуктам питания: информация о возможности беспрепятственно получать продукты питания в городских условиях, например, цены на продукты питания, способность домохозяйства позволить себе продукты питания;*
– *качества / безопасности пищевых продуктов: информация о качестве пищевых продуктов в отношении загрязнения тяжелыми металлами, микроорганизмами, выщелачивания пластика, полициклических ароматических углеводородов, визуального загрязнения, антисанитарной окружающей среды, включая предполагаемое несоблюдение гигиены;*
– *использовании продуктов питания: информация о потреблении продуктов питания, распределении продуктов питания на уровне домохозяйств, но все в городских условиях;*
– *продовольственной стабильности: информация о наличии продовольствия и доступе к нему в течение длительного времени, включая влияние сезонности на наличие и доступность продовольствия.*
– *вопросов продовольственной безопасности: информация о шкалах для оценки отсутствия продовольственной безопасности, включая шкалу доступа к продовольственной безопасности домохозяйств (HFIAS), шкалу опыта отсутствия продовольственной безопасности (FIES), другие показатели продовольственной безопасности, а также механизмы преодоления;*
– *использовании продовольствия: информация о потреблении продовольствия, распределении продовольствия в домохозяйствах, но все в городских условиях.*
При этом все источники должны:
– *описывать исследования, реализованные на материале Ганы и его пригородов;*
– *быть опубликовано на английском языке;*
– *представлять собой качественное или количественное исследование, или академический / технический отчет;*
– *быть доступны онлайн в полнотекстовой версии.*

Инструменты

EndNote

Система управления библиографической информацией Clarivate Analytics, применяемая для управления ссылками и библиографией, позволила отформатировать их согласно многочисленным стандартам цитирования.

Диаграммы данных

Данные, которые были извлечены из проанализированных источников, включали (1) справочные данные о исследовании (страна и год исследования); (2) место проведения исследования (городская среда); (3) целевую популяцию/ образцы пищевых продуктов (включая размер выборки); (4) схему исследования; (5) изученный аспект продовольственной безопасности, (6) результаты, которые были измерены, и (7) ключевые выводы по продовольственной безопасности. Данные были представлены в следующем формате (в данном разделе приводится либо пустая таблица, либо с одной заполненной строкой, либо вся таблица, а затем в тексте к ней дается отсылка) (см. Таблица 2).

Блок-схема PRIZMA

Руководство PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) flow diagram for the scoping review process -Предпочтительные элементы отчетности для систематических обзоров и метаанализов (PRISMA) для процесса обзора предметного поля), опубликованное в 2018 году (Tricco et al., 2018), содер-

Таблица 2. Характеристики включенных в анализ исследований

Study	Region	Design	Population/ Sample	Method (Data Collection)	Key Findings	Evidence Mapped with the Food Security Domains
King et al., 2000 [28]	Greater Accra	Cross sectional Survey	Chop bar operators (n=160)	Observation and interviews	Street food vendors not compliant to safety standards. About 66% of proprietors surveyed did not obtain their meat supply from an approved source suggestive of food safety issue	Food safety and quality
Kroll et. al., 2019 [57]	Ashanti	Cross sectional Survey	Urban households (n=309)	Interview	Widespread prevalence of low-protection diets, with a fairly even distribution of low risk and high risk diets	Food access
Abass et al., 2016 [51]	Ashanti	Cross sectional Survey	Vegetable farms (n=18)	Analysis of randomly selected vegetable samples, followed	Vegetable cultivated highly contaminated with fecal microorganisms (fecal coliforms, E coli). Level of fecal coliforms is function of distance to a river Influencers of accessing food from street were cost saving, convenience and eating on credit	Food access, safety and quality

жит контрольный перечень содержит 20 основных элементов отчетности и 2 дополнительных пункта, которые следует включить при завершении обзора предметного поля. Контрольный лист PRIZMA в переводе на русский язык доступно онлайн (PRISMA 2009 Контрольный лист[4]), также перевод выполнен в 2021 году (Кулакова и др., 2021). Блок-схема PRISMA представлена авторами (Moher, Liberati, Tetzlaff, & Altman, 2009) и доступна онлайн[5].

Процедура исследования

На первом этапе авторами был определён исследовательский вопрос. Цель обзора - понять масштабы исследований, посвященных продовольственной безопасности городов в Гане, чтобы определить ценность проведения полномасштабного систематического обзора в дальнейшем. Таким образом, в нашем обзоре были рассмотрены ключевые вопросы: «Какие исследования в настоящее время существуют в отношении продовольственной безопасности в городах в Гане?».

На втором этапе исследования были выявлены источники для анализа. Поисковые термины были сформулированы в сотрудничестве с IT специалистами и использовалась для каждой из баз данных.

На третьем этапе проводился отбор исследований для анализа. Все источники были импортированы в диспетчер ссылок EndNote и проверены на актуальность. Два уровня проверки, которые наилучшим образом соответствуют критериям включения в обзор, были проведены после удаления повторяющихся ссылок. Руководствуясь критериями включения и исключения источников, три рецензента независимо проверили все заголовки и выдержки из результатов поиска. Расхождения были устранены третьим рецензентом и экспертом по теме. Полные тексты потенциальных источников для анализа были загружены и изучены всеми рецензентами независимо друг от друга, чтобы валидировать выбор источников, которые максимально соответствуют проблематике обзора. Чтобы устранить предвзятость при выборе, было проведено собрание всех участников исследования для обсуждения полных текстов, которые были отмечены рецензентами как «не относящиеся к делу», чтобы достичь полный консенсус. Результаты были представлены в формате блок-схемы PRISMA (Preferred Reporting

[4] PRISMA. 2009. Контрольный лист. URL: http://www.prisma-statement.org/documents/PRISMARussian checklist.pdf (дата обращения: 10.07.2021).

[5] Блок-схема PRISMA. 2009. URL:http://www.prisma-statement.org/documents/PRISMA%20Russian%20flow%20diagram.pdf. (дата обращения: 10.07.2021).

Items for Systematic reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews).

На четвертом этапе исследование было реализовано построение диаграмм данных. Данные были внесены в формате таблицы Microsoft Excel, а затем проведен их анализ. Затем авторы сопоставили доказательства об аспектах продовольственной безопасности, представляющих интерес в каждой публикации, включенной в исследование. Выводы были представлены в соответствии с ключевыми темами продовольственной безопасности. В настоящем обзоре не рассматривается методологическое качество включенных исследований, поскольку это не являлось целью обзора.

Пятый этап исследования был связан с сопоставлением, обобщением результатов и их описанием.

Представляется более прозрачной практикой прямое представление поисковых терминов, а не просто указание, что они были едиными для всех баз и подбирались совместно с IT специалистами. В остальном, авторы достаточно прокомментировали каждый свой шаг м критерии его реализации. У читателя не должно оставаться «белых пятен» в понимании логики описываемого исследования. Если бы авторы использовали специализированные инструменты для анализа подобранных источников, их упоминание так же нужно было бы поместить в подсекцию *Инструменты*. Авторы комментировали подходы к валидации данных и обеспечению их релевантности и нескомпроментированности по ходу описания процедуры исследования. Секция с описанием материалов и методов только выиграла бы, если бы эта информация была более подробно представлена в формате отдельной подсекции.

Необходимо отметить, что информация о критериях включения источников в обзор усилилась бы, если бы авторы подробно обосновали период опубликования источников, в рамках которого они планируют анализировать источники на заданную тему.

Секция *Результаты* призвана представить краткое, но емкое описание полученных результатов в максимально систематизированном и визуализированном формате. Авторам анализируемого нами обзора это удалось в полной мере (см. Akparibo et al., 2021). Сначала они описывают результаты процессуального характера, а затем представляют непосредственные результаты контекстного анализа источников, ранжированные тематически. Приведем отдельные выдержки.

Результаты[6]

Отобранные источники

В целом, в результате поиска, проведенного во всех базах данных, было выявлено 3236 источника. В общей сложности было исключено 784 дублирующих источника, а 2452 статьи были отобраны для дальнейшего анализа. После проверки заголовков и аннотаций было удалено 2326 источника. Потенциально подходящие полные тексты (n = 126) были загружены в облачное хранилище и изучены всеми экспертами, чтобы убедиться в их актуальности. После данного этапа еще 81 публикация была исключена. В результате 45 максимально релевантных тематике статей были окончательно отобраны для включения в обзор. Краткое изложение процесса проверки показано на блок-схеме PRISMA (Рисунок 1).

Характеристики включенных в исследование источников

В Таблице 2 суммированы характеристики включенных исследований. Всего в обзор было включено 45 (все рецензируемые) исследований. Год публикации документов варьировался с 2000 по 2021 год. Все исследования проводились в городских или пригородных условиях в Гане.

Результаты нарративного анализа доказательств

В этой подсекции авторы подробно анализируют полученные ими результаты, ранжируя их по тематикам, которые они выделили из анализируемых источников:

Domains of Food Security Studied
Food Access
Food Supply
Food Safety and Quality
Food Utilisation
Perceived Food Insecurity

[6] Все результаты, схемы, рисунки и таблицы в анализа структуры обзора предметного поля приводятся по Akparibo, R., Aryeetey, R. N. O., Asamane, E.A., Osei-Kwasi, H. A., Ioannou, E., Infield Solar, G., Cormie, V., Pereko, K. K., Amagloh, F. K., Caton, S. J., Cecil, J. E. (2021). Food security in Ghanaian urban cities: A Scoping review of the literature. *Nutrients, 13*, Article 3615. https://doi.org/10.3390/nu13103615

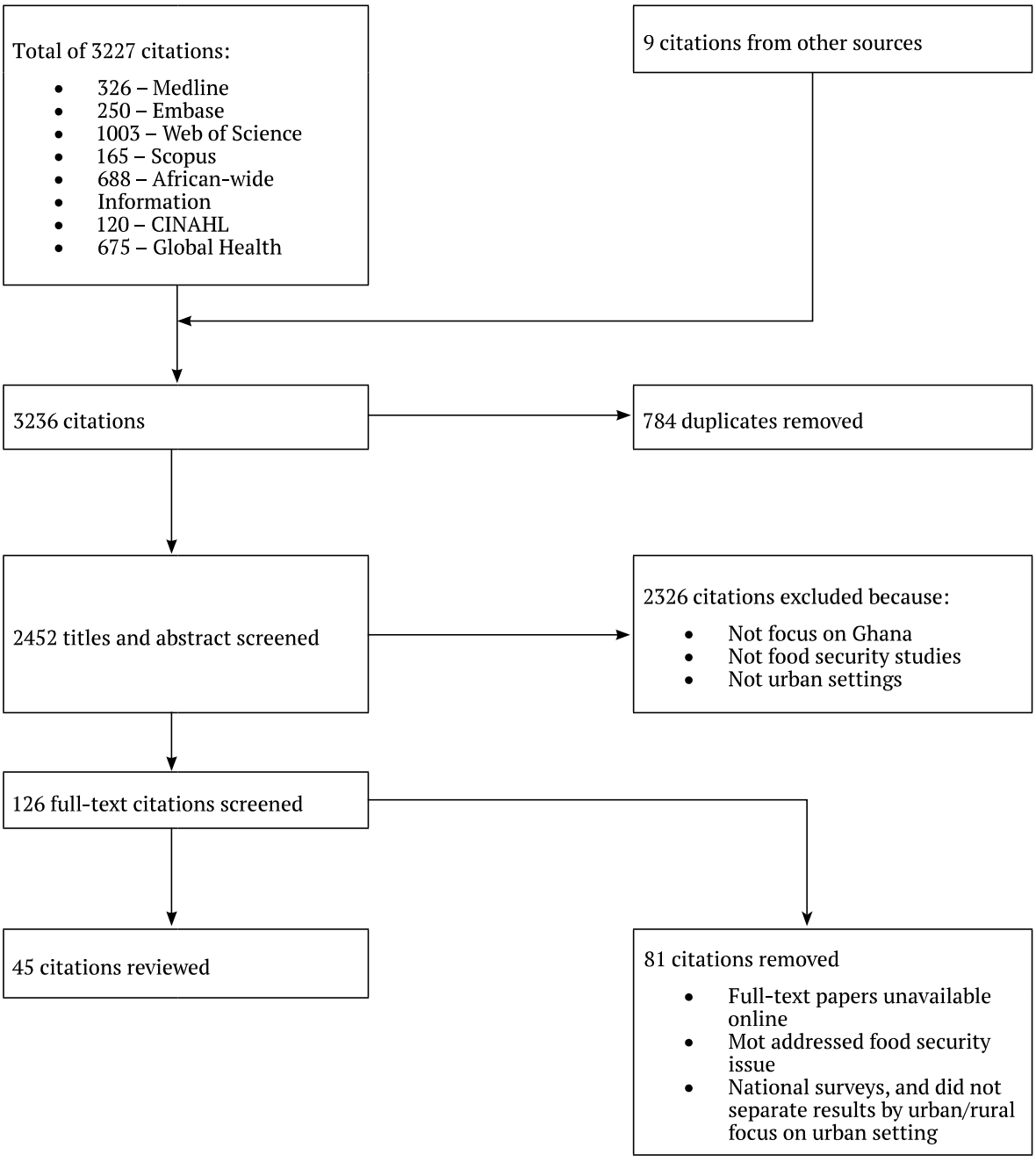


Figure 1. PRISMA flow chart describing the study selection process

В каждом из тематических блоков они подробно описывают все выделенные аспекты исследований. Так, например в блоке *Domains of Food Security Studied* комментируется количество выделенных тематических блоков, чтобы читателям было понятно, почему комментируют именно их.

Domains of Food Security Studied

Авторами были выделены и изучены на основании проанализированных источников пять областей продовольственной безопасности включают доступ к продовольствию, снабжение продовольствием, безопасность и качество пищевых продуктов, использование пищевых продуктов и продовольственная безопасность. В 45 включенных в обзор исследований наиболее частотно изучались безопасность и качество пищевых продуктов (n = 31 исследование), доступ к продуктам питания (n = 8 исследований) и пищевая язва (n = 7).

Было выявлено значительно меньшее количество исследований по снабжению продовольствием и предполагаемому отсутствию продовольственной

безопасности (Таблица 2). Не были выявлены исследования по стабильности пищевых продуктов. В следующих тематических разделах представлены основные результаты по изученным аспектам продовольственной безопасности, а также краткое изложены факты, которые потенциально могут быть полезны для политиков Ганы.

Food Access

Информация о доступе к продуктам питания была представлена в восьми исследованиях [21, 31, 32, 50, 51, 57, 61, 66]. Два из них проводились в регионе Ашанти (the Ashanti region) [51,57], по одному в Западном [21] и Центральном регионах [61], регионе Вольта (Volta region) [66] и три - в регионе Большой Аккры (the Greater Accra region) [31, 32, 50] . Эти исследования преимущественно изучают факторы, которые потребители считают решающими при принятии решений о доступе к еде из своего района. В Вольте (Volta region) и регионах Большой Аккры, например, в качестве таковых выступают степень загрязненности территорий, где продается еда, и гигиена персонала, работающего с пищевыми продуктами [50, 66]. Например, в исследовании, проведенном в районе Вольта (Volta region) в Хо (Но) [66], изучалось принятие решения посетителями о возможности питаться в традиционных заведениях общественного питания. Чистота помещения, санитария и гигиена, чистота персонала, качество еды и поведение обслуживающего персонала, были определены как факторы, влияющие на решения потребителей о доступе и покровительстве приготовленной пище, продаваемой в их районе [66]. Кроме того, в регионах Большой Аккры (the Greater Accra region) , Центральном и Западном регионах безопасное питание объяснялось удобством доступа к продуктам питания, наличием продуктов питания в данной местности, а также качеством или полезностью доступных продуктов [21, 50, 61]. Количество и стоимость продуктов питания оказались наименее «беспокоящими» потребителей факторами. Например, в центральной столице региона Кейп-Кост (Cape Coast) факторами, которые повлияли на выбор респондентами еды и места приема пищи, оказались непосредственная среда, в которой продавалась еда, и чистота работников, занимающихся обработкой пищевых продуктов. Стоимость еды вызывала наименьшее порицание, если среда хранения и потребления пищевых продуктов содержалось в чистоте [61]. Напротив, два исследования в Ашанти (the Ashanti region) [51] и Западном регионах [21] зафиксировали, что цены на продукты питания и готовность продавцов предлагать продукты в кредит влияют на принятие решений о доступности продуктов питания.

Мы привели пример описания первых двух подсекций секции Результаты. С остальными подсекциями моно подробно ознакомиться непосредственно в анализируемом обзоре. Описывая полученные результаты, авторы представляют их систематизировано и сгруппировано, сравнивают и противопоставляют результаты. Впервой подсекции секции Результаты авторы указывают, что *Год публикации документов варьировался с 2000 по 2021 год.* Для читателей было бы удобнее. Если эта секция была представлена в секции Библиографическая база в описании критериев включения и исключения источников вместе с обоснованием выбора именно этого хронотопа для анализа.

В секции *Обсуждение полученных результатов* авторы подводят общий итог полученным результатам, обосновывают их, исходя из сопутствующих и поясняющих факторов, и сравнивают их с уже имеющимися результатами в изучаемой ими предметной области. Это сравнение обязательно должно сопровождаться ссылками на уже опубликованные обзоры. Указанная секция предполагает диалог авторов данного исследования с авторами сходных исследований по тематике.

Обсуждение полученных результатов

В данном обзоре предметного поля авторами были выявлены исследования, в которых рассматриваются различные аспекты продовольственной безопасности домашних хозяйств в Гане. Были локализован 45 максимально релевантных тематике исследований, в которых изучались пять областей продовольственной безопасности: доступ к продовольствию, снабжение продовольствием, безопасность и качество пищевых продуктов, использование продовольствия и предполагаемая отсутствие продовольственной безопасности.

Большинство исследований проводилось в регионах Большая Аккра и Ашанти (the Greater Accra and Ashanti). Что не удивительно, так как большинство исследований, посвященных здоровью и питанию и проведенных за последние три десятилетия в Гане, были реализованы в крупных городах Ганы. Этому существуют два возможных объяснения. Во-первых, в этих регионах расположены наиболее известные академические и исследовательские учреждения (Университет Ганы; Мемориальный центр медицинских исследований Ногучи, расположенный в Аккре; Университет науки и технологий Кваме Нкрумы в Кумаси; Центр исследований тропической медицины Кумаси (KCCRTM) в Кумаси). Во-вторых, эти два региона являются наиболее

урбанизированными в Гане. Эта ситуация служит важным критерием приоритизации для понимания проблем миграции из сельских районов в города и ее потенциального воздействия на продовольственную безопасность [70].

Обсудив результаты именно в таком ключе (обосновывая результаты, сравнивая их с уже имеющимися в области, комментируя причины сходного и отличного) авторы вписывают собственные результаты в формат «большой картинки». Иными словами, они демонстрируют, как полученные ими результаты соотносятся с предыдущими исследованиями в области, дискутируют с другими исследователями.

Очень важно закончить секцию, посвященную обсуждению полученных результатов представлением ограничений, которые тем или иным образом не позволяют абсолютизировать полученные результаты. Наличие этой подсекции свидетельствует о вовлеченности авторов в логику научного взаимодействия, их стремлении представить максимально обоснованные выводы, основанные на достоверных результатах.

Ограничения исследования

Ограничения данного обзора предметного поля заключаются в том, что авторами не проводилась оценка качества методологии включенных исследований, а доказательная база ограничивалась только городским и пригородными контекстами. Таким образом, вывод сделанный по результатам обзора, основан на имеющихся исследованиях, а не на их внутреннем качестве или силе доказательств.

Подсекция *Ограничения исследования* позволяет максимально органично перейти к формулированию выводов по результатам проведенного обзора. Который строится исходя из акцентуации того, насколько авторам удалось решить поставленную цель, удалось ли им ответить на исследовательский вопрос и каковы основные направления исследования в сфере указанной проблематики.

Выводы

В этом обзоре предметного поля представлен обзор 45 релевантных исследований, посвященных ситуации в области продовольственной безопасности домашних хозяйств в городах в Гане. Обзор продемонстрировал, что в городских условиях в Гане безопасность и качество пищевых продуктов как ключевой компонент продовольственной безопасности изучается достаточно широко. Представленные данные свидетельствуют о том, что безопасность / качество продуктов питания, продаваемых на рынках Ганы, являются низкими и не соответствуют допустимым стандартам безопасности пищевых продуктов как по нормам Ганы, так и по международным установлениям. Полученные выводы полезны не только для изучения проблем продовольственной безопасности в исследуемом регионе, но и для разработки политики в сфере продовольственной безопасности Ганы.

Существующая литература по продовольственной безопасности, преимущественно описывает количественные исследования в двух регионах — регионе Большой Аккры и регионах Ашанти. Будущие исследования, изучающие вопросы продовольственной безопасности, должны быть сосредоточены на других регионах стран, где отсутствие продовольственной безопасности остается не менее острой проблемой, нежели в Гане. Кроме того, в будущих исследованиях было бы интересно изучить, как ганцы, живущие в городских условиях, воспринимают проблемы продовольственной стабильности и безопасности в своей стране.

Представленный анализ структуры обзора предметного поля позволяет получить общее представление о необходимых в рамках каждой секции обзора акцентах с тем, чтобы усилить его качественный потенциал в рамках научной традиции.

Литература

Балыхин, М. Г., & Косычева, М. А. (2020). Обзор предметного поля как жанр научной коммуникации. *Health, Food & Biotechnology, 2*(1), 7-10. https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i1.s284

Раицкая, Л. К., & Тихонова, Е. В. (2019). Обзор как перспективный вид научной публикации, его типы и характеристики. *Научный редактор и издатель*, *4*(3-4), 131-139. https://doi.org/10.24069/2542-0267-2019-3-4-131-139

Кулакова, Е. Н., Настаушева, Т. Л., & Кондратьева, И. В. (2021). Систематическое обзорное исследование литературы по методологии scoping review: История, теория и практика. *Вопросы современной педиатрии, 20*(3), 210-222. https://doi.org/10.15690/vsp.v20i3/2271

Akparibo, R., Aryeetey, R. N. O., Asamane, E. A., Osei-Kwasi, H. A., Ioannou, E., Infield Solar, G., Cormie, V., Pereko, K. K., Amagloh, F. K., Caton, S. J., & Cecil, J. E. (2021). Food security in Ghanaian urban cities: A Scoping review of the

literature. *Nutrients, 13*, Article 3615. https://doi.org/10.3390/nu13103615

AlFaris, N. A., AlTamimi, J. Z., AlMousa, L. A., AlGhamidi, F. A., Alzaheb, R. A. & Albaridi, N. A. (2021). Antioxidant content determination in ripe date fruits (*Phoenix dactylifera L.*): A scoping review). *Food Analytical Methods, 14*, 897-921. https://doi.org/10.1007/s12161-020-01923-z

Arksey, H, & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: Towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology, 8*(1), 19-32. https://doi.org/10.1080/1364557032000119616

Armstrong, R., Hall, B. J., Doyle, J., & Waters, E. (2011).'Scoping the scope' of a cochrane review. *Journal of Public Health, 33*(1), 147-150. https://doi.org/10.1093/pubmed/fdr015

Aromataris, E., & Munn, Z. (2020). *JBI Manual for evidence synthesis*. JBI. https://doi.org/10.46658/JBIMES-20-01

Colquhoun, H. L., Levac, D., O'Brien, K. K., Straus, S., Tricco, A. C., Perrier, L., Kastner, M., & Moher, D. (2014). Scoping Reviews: Time for clarity in definition, methods, and reporting. *Journal of Clinical Epidemiology. 67,* 1291-1294. https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2014.03.013

Hampton, S. E., & Parker, J. N. (2011). Collaboration and productivity in scientific synthesis. *BioScience, 61*(11), 900-910. https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.11.9

Levac, D., Colquhoun, H., & O'Brien, K. K. (2010). Scoping studies: Advancing the methodology. *Implementation Science, 5*, 1-9. https://doi.org/10.1186/1748-5908-5-69

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & PRISMA Group (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS medicine, 6*(7), e1000097. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097

Moher, D., Stewart, L., & Shekelle, P. (2015). All in the Family: systematic reviews, rapid reviews, scoping reviews, realist reviews, and more. *Systematic Reviews, 4*(1), 183. https://doi.org/10.1186/s13643-015-0163-7

Munn, Z., Peters, M., Stern, C., Tufanaru, C., McArthur, A., & Aromataris, E. (2018). Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach. *BMC Medical Research Methodology, 18*(1), 1-7. https://doi.org/10.1186/s12874-018-0611-x

Pautasso, M. (2013) Ten Simple Rules for Writing a Literature Review. *Plos Computational Biology, 9*(7), Article e1003149. https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1003149

Peters, M. D. J., Godfrey, C. M., Khalil, H., McInerney, P., Parker, D., & Soares, C. B. (2015). Guidance for conducting systematic scoping reviews. *International Journal of Evidence-Based Healthcare, 13*(3),141-146. https://doi.org/10.1097/XEB.0000000000000050

Peters, M. D. J., Marnie, C., Tricco, A.C., Pollock, D., Munn, Z., Alexander, L., McInerney, P., Godfrey, C. M., & Khalil, H. (2020). Updated methodological guidance for the conduct of scoping reviews. *JBI Evidence Synthesis, 18*(10), 2119-2126. https://doi.org/10.11124/JBIES-20-00167

Peters, M. D. J., Marnie, C., Colquhoun, H., Garritty, C. M., Hempel, S., Horsley, T., Langlois, E. V., Lillie, E., O'Brien, K. K., Tunçalp, Ö., Wilson, M. G., Zarin, W. & Tricco, A. C. (2021). Scoping reviews: Reinforcing and advancing the methodology and application. *Systematic Reviews, 1*0, 263. https://doi.org/10.1186/s13643-021-01821-3

Peters, M. D. J., Godfrey, C., McInerney, P., Munn, Z., Tricco, A. C., & Khalil, H. (2020). Scoping Reviews (2020 version). In: E. Aromataris, Z. Munn (Eds.) *JBI Manual for Evidence Synthesis*. https://doi.org/10.46658/JBIMES-20-12

Poswal, F. S., Russell, G., Mackonochie, M., MacLennan, E., Adukwu, E. C., & Rolfe, V. (2019). Herbal teas and their health benefits: A scoping review. *Plant Foods for Human Nutrition, 74*(3), 266-276. https://doi.org/10.1007/s11130-019-00750-w

Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K., Colquhoun. H., Kastner. M., Levac. D., Ng, C., Sharpe, J. P., Wilson, K., Kenny, M., Warren, R., Wilson, C., Stelfox, H. T., & Straus, S. E. (2016). A scoping review on the conduct and reporting of scoping reviews. *BMC Medical Research Methodology, 16*, 15. https://doi.org/10.1186/s12874-016-0116-4

Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., Moher, D., Peters, M., Horsley, T., Weeks, L., Hempel, S., Akl, E. A., Chang, C., McGowan, J., Stewart, L., Hartling, L., Aldcroft, A., Wilson, M. G., Garritty, C., Lewin, S., Stelfox, H. T., & Straus, S. E. (2018). PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation. *Annals of internal medicine, 169*(7), 467-473. https://doi.org/10.7326/M18-0850

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and MetaAnalyses: The PRISMA Statement. *PLOS Medicine: A Peer-Reviewed Open-Access Journal, 6*(6), Article e1000097. https://doi.org/10.1371/journal.pmed1000097

Poswal, F. S., Russell, G., Mackonochie, M., MacLennan, E., Adukwu, E. C., & Rolfe, V. (2019). Herbal teas and their health benefits: A scoping review. *Plant Foods for Human Nutrition, 74*(3), 266-276. https://doi.org/10.1007/s11130-019-00750-w

Peters, M. D. J., Marnie, C., & Tricco, A. C. (2020). Updated methodological guidance for the conduct of scoping reviews. *JBI Evidence Synthesis, 18*(10), 2119-2126. https://doi.org/10.11124/JBIES-20-00167

Peters, M. D. J., Godfrey, C., McInerney, P., Soares, C. B., Khalil, H., Parker, D. Aromataris, E., & Munn, Z. (2017). Chapter 11: Scoping reviews. In: E. Aromataris, Z. Munn (Eds.). *JBI Manual for Evidence Synthesis*. JBI.

Paré, G, Trudel, M.-C., Jaana, M., & Kitsiou, S. (2015). Synthesizing information systems knowledge: A typology of literature reviews. *Information & Management, 52*(2), 183-199. https://doi.org/10.1016/j.im.2014.08.008

Scoping Review as a Method for Synthesizing Scientific Data

Elena V. Tikhonova
Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: etihonova@mgupp.ru

Nataliya M. Shlenskaya
Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: n.shlenskaya@mgupp.ru

Scoping review acts as a significant tool for systematizing knowledge in the subject area studied by the authors through the analysis of primary sources from the standpoint of comparison, analysis and generalization of data. Its purpose is to provide an overview of the available scientific evidence within a specific topic. At the same time, the researcher does not set the goal of answering specific research questions. This kind of review analyzes data, regardless of the design and research methodology (for comparison, a systematic review in most cases is based on studies carried out within the framework of a single methodology and meeting specified criteria, and its purpose is to answer a specific research question). Hence, the emphasis is on the range of results identified, and quantitative data are limited to counting sources describing a particular issue based on a particular research methodology. The number of scientific publications of this type is increasing every year, including in the field of food and processing industries. The creation of scoping review is often justified by the complexity and versatility of the problem, the lack of its comprehensive analysis and is the first step towards a systematic review.

Keywords: reviews, scoping reviews, scoping review methodology

References

Balykhin, M. G., & Kosycheva, M. A. (2020). Obzor predmetnogo polya kak zhanr nauchnoi kommunikatsii [Scoping Review as a Genre of Scientific Communication]. *Health, Food & Biotechnology, 2*(1), 7-10. https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i1.s284

Raitskaya, L. K., & Tikhonova, E. V. (2019). Obzor kak perspektivnyi vid nauchnoi publikatsii, ego tipy i kharakteristiki [Reviews as a promising kind of scholarly publication, its types and characteristics]. *Nauchnyi redaktor i izdatel'* [*Science Editor and Publisher*], *4*(3-4), 131-139. https://doi.org/10.24069/2542-0267-2019-3-4-131-139

Kulakova, E. N., Nastausheva, T. L., & Kondrat'eva, I. V. (2021). Sistematicheskoe obzornoe issledovanie literatury po metodologii scoping review: Istoriya, teoriya i praktika [Scoping Review Methodology: History, Theory and Practice]. *Voprosy sovremennoi pediatrii* [*Questions of Modern Pediatrics*], *20*(3), 210-222. https://doi.org/10.15690/vsp.v20i3/2271

Akparibo, R., Aryeetey, R. N. O., Asamane, E. A., Osei-Kwasi, H. A., Ioannou, E., Infield Solar, G., Cormie, V., Pereko, K. K., Amagloh, F. K., Caton, S. J., & Cecil, J. E. (2021). Food security in Ghanaian urban cities: A Scoping review of the literature. *Nutrients, 13*, Article 3615. https://doi.org/10.3390/nu13103615

AlFaris, N. A., AlTamimi, J. Z., AlMousa, L. A., AlGhamidi, F. A., Alzaheb, R. A. & Albaridi, N. A. (2021). Antioxidant content determination in ripe date fruits (*Phoenix dactylifera L.*): A scoping review). *Food Analytical Methods, 14*, 897-921. https://doi.org/10.1007/s12161-020-01923-z

Arksey, H, & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: Towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology, 8*(1), 19-32. https://doi.org/10.1080/1364557032000119616

Armstrong, R., Hall, B. J., Doyle, J., & Waters, E. (2011).'Scoping the scope' of a cochrane review. *Journal of Public Health, 33*(1), 147-150. https://doi.org/10.1093/pubmed/fdr015

Aromataris, E., & Munn, Z. (2020). *JBI Manual for evidence synthesis*. JBI. https://doi.org/10.46658/JBIMES-20-01

Colquhoun, H. L., Levac, D., O'Brien, K. K., Straus, S., Tricco, A. C., Perrier, L., Kastner, M., & Moher, D. (2014). Scoping Reviews: Time for clarity in definition, methods, and reporting. *Journal of Clinical Epidemiology. 67,* 1291-12943. https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2014.03.013

Hampton, S. E., & Parker, J. N. (2011). Collaboration and productivity in scientific synthesis. *BioScience, 61*(11), 900-910. https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.11.9

Levac, D., Colquhoun, H., & O'Brien, K. K. (2010). Scoping studies: Advancing the methodology. *Implementation Science, 5*, 1-9. https://doi.org/10.1186/1748-5908-5-69

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & PRISMA Group (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS medicine, 6*(7), e1000097. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097

Moher, D., Stewart, L., & Shekelle, P. (2015). All in the Family: systematic reviews, rapid reviews, scoping reviews, realist reviews, and more. *Systematic Reviews, 4*(1), 183. https://doi.org/10.1186/s13643-015-0163-7

Munn, Z., Peters, M., Stern, C., Tufanaru, C., McArthur, A., & Aromataris, E. (2018). Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach. *BMC Medical Research Methodology, 18*(1), 1-7. https://doi.org/10.1186/s12874-018-0611-x

Pautasso, M. (2013) Ten Simple Rules for Writing a Literature Review. *Plos Computational Biology, 9*(7), Article e1003149. https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1003149

Peters, M. D. J., Godfrey, C. M., Khalil, H., McInerney, P., Parker, D., & Soares, C. B. (2015). Guidance for conducting systematic scoping reviews. *International Journal of Evidence-Based Healthcare, 13*(3),141-146. https://doi.org/10.1097/XEB.0000000000000050

Peters, M. D. J., Marnie, C., Tricco, A.C., Pollock, D., Munn, Z., Alexander, L., McInerney, P., Godfrey, C. M., & Khalil, H. (2020). Updated methodological guidance for the conduct of scoping reviews. *JBI Evidence Synthesis, 18*(10), 2119-2126. https://doi.org/10.11124/JBIES-20-00167

Peters, M. D. J., Marnie, C., Colquhoun, H., Garritty, C. M., Hempel, S., Horsley, T., Langlois, E. V., Lillie, E., O'Brien, K. K., Tunçalp, Ö., Wilson, M. G., Zarin, W. & Tricco, A. C. (2021). Scoping reviews: Reinforcing and advancing the methodology and application. *Systematic Reviews, 1*0, 263. https://doi.org/10.1186/s13643-021-01821-3

Peters, M. D. J., Godfrey, C., McInerney, P., Munn, Z., Tricco, A. C., & Khalil, H. (2020). Scoping Reviews (2020 version). In: E. Aromataris, Z. Munn (Eds.) *JBI Manual for Evidence Synthesis*. https://doi.org/10.46658/JBIMES-20-12

Poswal, F. S., Russell, G., Mackonochie, M., MacLennan, E., Adukwu, E. C., & Rolfe, V. (2019). Herbal teas and their health benefits: A scoping review. *Plant Foods for Human Nutrition, 74*(3), 266-276. https://doi.org/10.1007/s11130-019-00750-w

Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K., Colquhoun. H., Kastner. M., Levac. D., Ng, C., Sharpe, J. P., Wilson, K., Kenny, M., Warren, R., Wilson, C., Stelfox, H. T., & Straus, S. E. (2016). A scoping review on the conduct and reporting of scoping reviews. *BMC Medical Research Methodology, 16*, 15. https://doi.org/10.1186/s12874-016-0116-4

Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., Moher, D., Peters, M., Horsley, T., Weeks, L., Hempel, S., Akl, E. A., Chang, C., McGowan, J., Stewart, L., Hartling, L., Aldcroft, A., Wilson, M. G., Garritty, C., Lewin, S., Stelfox, H. T., & Straus, S. E. (2018). PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation. *Annals of internal medicine, 169*(7), 467-473. https://doi.org/10.7326/M18-0850

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and MetaAnalyses: The PRISMA Statement. *PLOS Medicine: A Peer-Reviewed Open-Access Journal, 6*(6), Article e1000097. https://doi.org/10.1371/journal.pmed1000097

Poswal, F. S., Russell, G., Mackonochie, M., MacLennan, E., Adukwu, E. C., & Rolfe, V. (2019). Herbal teas and their health benefits: A scoping review. *Plant Foods for Human Nutrition, 74*(3), 266-276. https://doi.org/10.1007/s11130-019-00750-w

Peters, M. D. J., Marnie, C., & Tricco, A. C. (2020). Updated methodological guidance for the conduct of scoping reviews. *JBI Evidence Synthesis, 18*(10), 2119-2126. https://doi.org/10.11124/JBIES-20-00167

Peters, M. D. J., Godfrey, C., McInerney, P., Soares, C. B., Khalil, H., Parker, D. Aromataris, E., & Munn, Z. (2017). Chapter 11: Scoping reviews. In: E. Aromataris, Z. Munn (Eds.). *JBI Manual for Evidence Synthesis*. JBI.

Paré, G, Trudel, M.-C., Jaana, M., & Kitsiou, S. (2015). Synthesizing information systems knowledge: A typology of literature reviews. *Information & Management, 52*(2), 183-199. https://doi.org/10.1016/j.im.2014.08.008.

УДК 633.1:664.769 https://doi.org/10.36107/spfp.2021.207

Влияние процесса проращивания зерен злаковых культур на их пищевую ценность

Зенькова Мария Леонидовна
Белорусский государственный экономический университет
Адрес: 220070, Беларусь, г. Минск, пр-т Партизанский, д. 26
E-mail: mariya_lz@mail.ru

Акулич Александр Васильевич
Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий
Адрес: 212027, Беларусь, г. Могилев, пр-т Шмидта, д. 3
E-mail: akulichav57@mail.ru

Процесс проращивания вызывает активацию и новосинтез гидролитических ферментов, которые делают питательные вещества доступными для роста и развития растений. Среди потребителей, которые придерживаются здорового питания, считается, что употребление пророщенных зерен полезно для здоровья человека. Позитивное восприятие потребителями пророщенных зерен злаковых культур стимулирует разработку новых продуктов питания. Однако из-за отсутствия базового определения «пророщенное зерно» неясно, когда зерно следует называть пророщенным. Более того, в настоящее время отсутствуют критерии качества пророщенного зерна. Соответственно, не существует нормативной базы для разработки соответствующей маркировки пищевых продуктов, содержащих пророщенные зерна. В обзоре представлены результаты исследований, опубликованные в научных журналах в период с 1983 по 2021 год. Поиск публикаций осуществлялся при помощи слов и словосочетаний «пророщенное зерно», «биоактивированное зерно», «ферментированное зерно» и «солодоращение». Источники информации группировались по условиям замачивания, проращивания и по описанию методов исследований. В обзоре рассматриваются изменения, происходящие с зерном в процессе контролируемого проращивания, а также влияние физиологических и биохимических изменений на пищевую ценность пророщенного зерна. Особое внимание уделяется факторам, вляющим на процесс замачивания и проращивания: вид зерна, температура, продолжительность, периоды аэрирования и орошения. Обзор углубляет знания о факторах, влияющих на химический состав и пищевую ценность пророщенного зерна. Установлено, что пророщенное зерно в зависимости от вида зерна и условий проращивания имеет более высокую пищевую ценность по сравнению с непророщенным. Результаты, представленные в статье, могут быть использованы для оптимизации процесса проращивания зерна. Также дается краткое изложение нормативного статуса термина «пророщенное зерно», что обеспечивает основу для разработки нормативной документации по пророщенному зерну.

Ключевые слова: зерно, пророщенное зерно, процесс проращивания, ростки, злаковые культуры, пищевая ценность

Введение

Рост популярности продуктов на основе пророщенного зерна потребители связывают с необходимостью профилактики сахарного диабета, сердечно-сосудистых, желудочно-кишечных и других заболеваний. Полезность растительного сырья объясняется гармоничным сочетанием всех составляющих его компонентов и их синергическим действием на организм человека. Также, по мнению ученых, эффективно улучшает пищевую ценность зерен процесс проращивания и даже после тепловой обработки они остаются более полезными, чем непророщенные зерна (Hung, Maeda, Yamamoto, & Morita, 2011). Пророщенное зерно можно использовать как самостоятельное блюдо на завтрак или как гарнир на обед, а также вводить в виде добавки в разные продукты широкого потребления, придавая продуктам новые органолептические характеристики и полезные свойства (Feng, Nemzer, & Devries, 2018). Использование пророщенного зерна для обогащения пищевых продуктов получило широкое распространение в мировой практике (Simahina, Bazhay-Zhezherun, Mykoliv, Bereza-Kindzerska, & Antoniuk, 2016; Mardar, Zhygunov, & Znachek, 2016; Самченко & Меркучева, 2015). С этой целью в ряде стран проводятся исследования по

изучению процессов, происходящих в зерне при проращивании, изменению химического состава зерна, разрабатываются способы подготовки и введения пророщенного зерна в продукты с минимальным изменением рецептуры и технологии производства (Feng, Nemzer, & Devries, 2018; Mridula, Sharma, & Gupta, 2015; Poutanen, Flander, & Katina, 2009).

Зерна злаковых культур представляют собой плоды, которые состоят из зародыша и эндосперма, окруженного нуцеллярной эпидермой и оболочкой. Химические компоненты зерен находятся в изолированных ячейках, что играет важную роль, поскольку обеспечивает стойкость зерна при хранении. Также в составе зерна содержатся ферменты и их субстраты, но до тех пор пока они изолированы друг от друга, состояние зерна остается стабильным (Хосни, 2006). При проращивании у зерна появляется зародышевый корешок (глазок), проникающий через плодовую, семенную оболочки и цветочные пленки в то место, где зерно было прикреплено к колосу. Одновременно с этим начинает развиваться зародышевый листок (проросток, или стебель), который прорывает семенную оболочку и, увеличиваясь, продвигается между семенной оболочкой и цветочными пленками (Булгаков, 1976).

Многие исследования ученых посвящены разработке продуктов из пророщенного зерна, а также продуктов с добавлением пророщенного зерна с целью повышения их пищевой ценности. Положительное отношение потребителей к таким продуктам связано с их ожиданиями относительно «натуральной», «более питательной» и «более здоровой» пищи (Шнейдер, 2010; Леонова, Нигматьянов, & Фазылов, 2010; Сафронова & Евтухова, 2014; Веретнова & Сафронова, 2015; Урбанчик & Шалюта, 2012). В основном пророщенные зерна используются в виде цельного зерна или в виде муки из пророщенного зерна для производства хлебобулочных изделий, но также используется пророщенное зерно при производсте молочных продуктов, мясных и рыбных продуктов. Наиболее часто используются для проращивания такие злаковые культуры, как пшеница, ячмень, реже рожь, тритикале, голозерный овес и просо. Также для проращивания используют гречиху, киноа, рис, семена бобовых растений.

При анализе публикаций (Алехина, 2021; Bouis, Hotz, McClafferty, Meenakshi, & Pfeiffer, 2011; Кузнецова, 2010) установлено, что под процессом проращивания понимают также биоактивацию, биодеструкцию, ферментацию и соложение зерна. При этом отсутствует нормативный документ, устанавливающий критерии оценки качества пророщенного зерна и базовый термин «пророщенное зерно». Один и тот же термин может относиться к разным продуктам. Так потребители к пророщенным зернам относят пророщенные зерна злаковых культур от появления зародышевого корешка до получения зеленого побега и микрозелень.

Целью исследования является анализ, систематизация и обобщение отечественного и международного опыта в области оценки пищевой ценности пророщенных зерен злаковых культур в зависимости от параметров процесса проращивания.

Задачи исследования:

1. Определить нормативный статус процесса проращивания и обозначить базовый термин «пророщенное зерно».
2. Проанализировать биохимические и физико-химические изменения, происходящие во время проращивания пшеницы, ячменя, ржи, тритикале, овса и проса с учетом различных условий подготовки и обработки зерна.

Материалы и методы исследования

В обзор были включены статьи и книги, опубликованные на русском и английском языках. Поиск статей был ограничен периодом с 1983 по 2021 год; дата начала соответствует времени, когда стали появляться исследования по изменению химического состава зерна при проращивании и описаны контролируемые условия замачивания и проращивания зерна. В центре внимания были статьи, опубликованные в научных журналах, прошедшие процедуру рецензирования, подтверждающую их качество.

Первичное сканирование баз данных Scopus, WoS и eLibrary.ru помогло выявить при помощи ключевых слов пророщенное зерно, биоактивированное зерно, ферментированное зерно и солодоращение ряд исследований с индексом цитирования 1 и более раз. Далее источники были ранжированы в рамках исследуемого временного промежутка по условиям замачивания, проращивания и по описанию методов исследований. Мы исключили исследования, в которых не были прописаны условия замачивания и проращивания и исследования, для которых не удалось получить полной текст. На следующем этапе нами были составлены таблицы по компонентам пророщен-

ного зерна, в которых отображалась следующая информация: вид зерновой культуры, условия замачивания и проращивания, результаты исследований, среднее значение, доверительный интервал, единицы измерений, применяемые термины, общие данные (название статьи, авторы, страна). Систематизация данных включала сопоставление, комбинацию и краткое изложение результатов отдельных исследований. Если данные сильно варьировались, и не было убедительного объяснения таким изменениям, то они исключались.

Результаты и их обсуждение

Определение и нормативный статус процесса проращивания

В технических нормативных правовых актах, действующих на территории стран Евразийского экономического союза, употребляется термин «проросшее зерно», которое является одним из показателей качества заготавляемого и поставляемого зерна (Таблица 1).

В 2008 году Американская Ассоциация Cereals & Grains, ранее известная как AACCI (American Association of Cereal Chemists International), которая занимается вопросами химических исследований зерновых культур разработала понятие «пророщенное зерно»: зерно, содержащее все исходные составляющие, такие как оболочки, зародыш и эндосперм, при этом длина проростка не превышает длину самого ядра, а пищевая ценность при этом не уменьшается[5]. В научных статьях описано (Benincasa, Falcinelli, Lutts, Stagnari, & Galieni, 2019; Lemmens et al., 2019), что цельное зерно рассматривается как пророщенное, если у него имеется росток, не превышающий длину зерновки, и предназначено такое зерно для употребления в пищу целиком. Также встречается термин «биоактивированное зерно», которое получают при контролируемом непродолжительном процессе проращивания, который протекает в присутствии воды, тепла, воздуха и является, по сути, началом прорастания зерна. Биоактивация

Таблица 1
Терминология проросших зерен и солода в документах различных государств

Страна	Определение	Документ
Россия и страны СНГ	проросшее зерно – это зерно с вышедшими за пределы покровов корешками или ростками	ГОСТ 27186-86 Зерно заготовляемое и поставляемое. Термины и определения[1]
Россия	солод – продукт, полученный из зерна злаковых культур в результате его замачивания, проращивания и сушки	ГОСТ Р 53358-2009 Продукты пивоварения. Термины и определения[2]
U.S.A.	солод является продуктом ячменя (*Hordeum vulgare L.*), выращенного в контролируемых условиях	Code of Federal Regulations Title 21 - Sec.184.1445: Malt syrup (malt extract)[3]
EU	п.37 ростки: продукт, полученный в результате прорастания семян и их развития в воде или другой среде, собранный до развития настоящих листьев и предназначенный для употребления в пищу целиком, включая семена	ESSA hygiene guideline for the production of sprouts and seeds for sprouting
EU	проросшие зерна – это только те зерна, зародыш которых претерпел четко видимые изменения, которые позволяют легко отличить проросшее зерно от нормального зерна	Commission regulation (EU) № 742/2010 of 17 August 2010 amending Regulation (EU) № 1272/2009 laying down common detailed rules for the implementation of Council Regulation (EU) № 1234/2007 as regards buying-in and selling of agricultural products under public intervention[4]

[1] ГОСТ 27186-86. (2010). Зерно заготовляемое и поставляемое. Термины и определения. М.: Стандартинформ.
[2] ГОСТ Р 53358-2009. (2010). Продукты пивоварения. Термины и определения. М.: Стандартинформ.
[3] Code of Federal Regulations. Title 21. Malt syrup (malt extract). URL: https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=184.1445 (дата обращения: 13.08.2021).
[4] Commission Regulation (EU). No 742/2010. URL: https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:217:0004:0011:EN:PDF (дата обращения: 13.08.2021).
[5] Whole Grains Council, 2008. Definition of Sprouted Grains. URL: https://wholegrainscoun-cil.org/whole-grains-101/whats-whole-grain/spro-uted-whole-grains/definitions-sprouted-grains (дата обращения: 13.08.2021).

зерна характеризуется двумя взаимно связанными между собой процессами: гидролизом веществ в эндосперме и синтезом новых веществ в зародыше, которые приводят к изменению химического состава зерновки (Алехина, 2020). При таком процессе росток только «наклевывается» и не превышает 2,5 мм. Процесс биоактивирования можно назвать первым этапом проращивания зерна. Предполагается, что биоактивированное зерно отличается от пророщенного зерна низкой активностью амилолитических и протеолитических ферментов (Алехина, 2020).

С физиологической точки зрения растений проращивание зерен начинается с поглощения воды и завершается появлением корешка (Кунце & Мит, 2001). Сложные физические и биохимические процессы во время проращивания можно разделить на 3 этапа, в основном связаные с поглощением воды зерном. На 1 этапе водопоглощение зерна очень высокое, а затем оно снижается на этапе 2, который состоит из активизации ферментативного комплекса зерна, гидролиза крахмала, белка и роста корешка. На 3 этапе зерно также потребляет воду, продолжается гидролиз запасных веществ и проросток начинает расти. На даном этапе запасные компоненты эндосперма используются для развития и роста растений (Булгаков, 1976). Однако, только для солода пивоваренного существует нормативный документ, который определеяет показатели качества для пророщенного зерна, используемого для производства продуков питания. Так солодоращение и проращивание используются как синонимы и нет разграничений к технологическим процессам и требованиям к пророщенному зерну как к самостоятельному продукту. Кроме того, понятие «пророщенное зерно» не содержит каких-либо критериев по пищевой ценности, таких, например, как содержание белков, жиров, углеводов, витаминов и других веществ.

Влияние проращивания на содержание крахмала в зернах злаковых культур

Во время замачивания в зерно поступает необходимое количество воды, что способствует развитию основных биологических процессов – обмену веществ с диссимиляцией и ассимиляцией. В зародыше и близлежащей к нему области зерна находится сравнительно небольшой запас веществ (сахаров, аминокислот и пептидов, а также минеральных соединений), которые растворяются в поступившей воде и обеспечивают на первое время питание зародыша. Но для протекания дальнейших процессов питания и роста зерна требуется постоянное пополнение этого запаса, т.е. подвод новых количеств низкомолекулярных соединений. Вода усиливает гидротацию, способствуя этим гидролизу высокомолекулярных соединений, осуществляемому ферментами. Материалом для образования ферментов служат те аминокислоты, которые выделяет эндогенно гиббереллловая кислота. В щитке злаков имеется небольшое количество гормоноподобных веществ, содержащих гиббереллловую кислоту, дальнейший синтез которых при проращивании зерна приводит к накоплению их в значительных количествах. Из щитка эти вещества во время проращивания зерна диффундируют в прилегающие клетки алейронового слоя и дают толчок к синтезу ряда гидролизующих ферментов (α-амилазы, протеолитических ферментов, эндо-β-глюконазы), которые разрушают стенки клеток эндосперма. Особое значение имеет действие протеаз, так как они проявляют гидролитическое действие на белковые вещества, которыми покрыты крахмальные зерна, и гемицеллюлозные структуры. Протеазы нужны также для высвобождения β-амилазы из связанного состояния (Булгаков, 1976; Кунце & Мит, 2001; Duke, Vinje, & Henson, 2013), которая частично связана дисульфидными связями с белком крахмалистого эндосперма зрелых зерен и высвобождается и, следовательно, активируется во время проращивания (Buttimer & Briggs, 2000). Одним из наиболее изученых процессов при проращивании является изменение углеводов зерна. В результате проращивания общее содержание крахмала снижается на 7-18 % в пшенице, пророщенной в течение 2-3 дней (Mandeep, Sibian, & Riar, 2016; Дубцов, Бережная, & Войно, 2015), в ячмене, пророщенном в течение 4 дней при 17 °C (Quek, Yu, Tao, Fox, & Gilbert, 2019), в овсе, пророщенном в течение 4 дней при 18 °C (Aparicio-García, Martínez-Villaluenga, Frias, & Peñas, 2021). Большее снижение общего содержания крахмала (от 35 % до 50 %) наблюдается при проращивании проса (Mbithi-Mwikya, van Camp, Yiru, & Huyghebaert, 2000). Действия ферментов приводят к частичному гидролизу крахмала до глюкозы, мальтозы и мальтотриозы и декстринов и, следовательно, к увеличению содержания сахара (Кунце & Мит, 2001). Сахара, образующиеся во время проращивания зерна, служат источником энергии для развивающегося зародыша.

Проращивание влияет не только на содержание крахмала, но и на его питательные свойства, которые нельзя оценить только по его содержанию. По усвояемости организмом человека крахмал можно разделить на быстроусвояемый, медленно усваиваемый и устойчивый к ферментам. Устойчивый

к ферментам крахмал не переваривается в тонком кишечнике и ферментируется бактериями толстой кишки, чтобы обеспечить энергией колоноциты (Perera, Meda, & Tyler, 2010). Исследования ученых показали, что усвояемость крахмала увеличивается в результате проращивания. Поврежденные гранулы крахмала более восприимчивы к ферментативной атаке во время пищеварения (Noda et al., 2004). Кроме того, усвояемость крахмала увеличивается с 17 % до 36 % у пророщенного в течение 3 дней при 25-35 °С и бланшированного проса (Archana, Sehgal, & Kawatra, 2001). Таким образом, пророщенные зерна лучше усваиваются из-за их ферментативно поврежденных гранул крахмала и более высокого содержания легко доступных сахаров, что делает их особенно подходящими для производства продуктов питания, в том числе для детского и геродиетического питания (Чижикова, *Нижельская*, & *Коршенко*, 2017; Урбанчик & Шалюта, 2012).

Влияние проращивания на содержание белка в зернах злаковых культур

Содержание белка в различных зерновых культурах составляет от 7,6 % до 19,8 % на фактическую влажность зерна (Шаршунов, Урбанчик, Касьянова, Иванов, & Агеенко, 2016; Кузнецова, *Гончаров,* & *Парамонов*, 2011; Казаков & Карпиленко, 2005; Donkor, Stojanovska, Ginn, Ashton, & Vasiljevic, 2012). Зерна злаковых культур имеют низкий уровень активности эндогенных пептидаз, который значительно увеличивается через 24 часа проращивания (Faltermaier, Zarnkow, Becker, Gastl, & Arendt, 2015). Увеличение активности пептидазы наблюдалось при проращивании в течение 3-7 дней при температуре 17 °С в ячмене (Osman et al., 2002), овсе при 15 °С (Mäkinen, Zannini, & Arendt, 2013) и пшенице при температуре от 15 °С (Faltermaier, Zarnkow, Becker, Gastl, & Arendt, 2015). Эндопептидазы активизируются и образуются из алейронового слоя и щитка во время проращивания. Они необходимы для развития корешка зародыша, поскольку превращают белковые вещества в аминокислоты и олигопептиды (Кунце & Мит, 2001). Эндопептидазы обладают оптимальной активностью при pH от 3,5 до 6,5 и при температуре от 40 до 50 °С (Osman et al., 2002; Schwalb, Wieser, & Koehler, 2012). Но, протеолиз в зерне более выражен при замачивании и проращивании в течение минимум 2 дней и при более высоких температурах (от 20 до 28 °С) (Agu & Palmer, 1997; Koehler, Hartmann, Wieser, & Rychlik, 2007). Хотя проращивание приводит к гидролизу белка, оно не вызывает соответствующих изменений в общем содержании белка в ячмене при температуре проращивания 22 °С в течение 5 дней (Chung, Jang, Cho, & Lim, 2009; Martínez-Villaluenga & Peñas Pozo, 2020), в пшенице в течение 2 дней (Chung, Jang, Cho, & Lim, 2009; Swieca & Dziki, 2015). Однако в некоторых исследованиях сообщается о снижении содержания белка в пшенице (Кузнецова, 2011). Напротив, в других исследованиях описано увеличение содержания белка на 5-10% в пророщенном ячмене, овсе, пшенице, ржи (Donkor, Stojanovska, Ginn, Ashton, & Vasiljevic, 2012) и просе (Mbithi-Mwikya, Van Camp, Yiru, & Huyghebaert, 2000). Уменьшение содержания белка связывают с переходом в воду для замачивания водорастворимых фракций (Кузнецова, 2010), тогда как увеличение, можно объяснить потерей углеводов при дыхании (Mbithi-Mwikya, Van Camp, Yiru, & Huyghebaert, 2000). Однако, относительные различия в содержании белка между пророщенными и непророщенными зернами составляют менее 10 %.

Проращивание пшеницы (Koehler, Hartmann, Wieser, & Rychlik, 2007) в течение 3-7 дней при температуре от 20 до 25 °С незначительно изменяет уровень альбуминов и глобулинов. Однако при проращивании овса наблюдается увеличение количества альбуминов, богатых незаменимыми аминокислотами (Klose & Arendt, 2012; Tian et al., 2010). Китайскими учеными установлено, что содержание водорастворимого белка при замачивании и проращивании пшеницы при температуре 16 °С в течение 6 суток увеличивается и такое увеличение наиболее значительное в первый и второй день (Xie, Jin, Du, & Zhang, 2014). При гидролизе белков содержание свободных аминокислот увеличивается в 5-10 раз при проращивании овса (Klose, Schehl, & Arendt, 2009), пшеницы и тритикале (Ohm, Lee, & Cho, 2016; Sibian, Saxena, & Riar, 2017), в течение 3-5 дней при температуре от 13 до 28 °С. В частности, повышается содержание незаменимых аминокислот изолейцина, лейцина, лизина, треонина, валина и фенилаланина (Klose, Schehl, & Arendt, 2009; Sibian, Saxena, & Riar, 2017; Чумикина, Арабова, & Топунов, 2009).

В результате проращивания повышается растворимость и усвояемость белков. Так отмечено повышение растворимости белка в 1,2-2,0 раза у ячменя при проращивании в течение 3-5 дней при температуре 17 °С (Osman et al., 2002). Усвояемость белка увеличивается с 34 % до 55 % у проса при проращивании в течение 4 дней при 30 °С (Mbithi-Mwikya, van Camp, Yiru, & Huyghebaert, 2000) и у ячменя при проращивании от 3 до 6 дней при температуре от 22 °С (Chung, Nwokolo, & Sim, 1989).

Влияние проращивания на содержание липидов в зернах злаковых культур

Во время проращивания гидролиз липидов обеспечивает энергией биохимические и физико-химические процессы, связанные с синтезом корешка и ростка (Chung, Nwokolo, & Sim, 1989; Kubicka, Grabska, Jędrychowski, & Czyż, 2011). Липаза катализирует разложение триглицеридов до глицерина и свободных жирных кислот. При окислении глицерина получаются простейшие моносахариды, которые участвуют в обмене веществ живой клетки и используются для появления ростков (Кретович, 1986). Дальнейшее расщепление жирных кислот осуществляется липоксигеназами, содержащимися главным образом в листке и корешке зарадыша. Образовавшиеся продукты расщепления жирных кислот, такие как нонадинал, отвечают за появление в пророщенном зерне огуречного запаха (Кунце & Мит, 2001). Во время проращивания зерна пшеницы и ячменя происходит повышение активности липазы и липоксигеназы в 1,2-2,3 раза (Kubicka, Grabska, Jędrychowski, & Czyż, 2011; Mäkinen & Arendt, 2012). В зернах овса активность липазы выше по сравнению с зернами пшеницы и ячменя (Казаков, 1973; Mäkinen & Arendt, 2012; Peterson, 1999). В результате активности липазы в ячмене снижается содержания липидов на 8-15 % при проращивании в течение 5 дней при 22 °C (Chung, Nwokolo, & Sim, 1989), у овса в течение 6 дней при 16 °C (Peterson, 1998). Повышение температуры проращивания приводит к большему распаду липидов. Уменьшение общего содержания липидов с 18 % до 55 % наблюдалось в просе, пророщенном в течение 2 дней при 32 °C (Inyang & Zakari, 2008), в пшенице, пророщенной в течение 2 дней при 18±2 °C (Zenkova & Babich, 2018).

Влияние проращивания на содержание и свойства пищевых волокон в зернах злаковых культур

Научные исследования (Ткаченко & Гриневич, 2020; Бабаян, 2011; Щелкунов & Дудкин, 1999; Шарафетдинов & *Плотникова*, 2020) доказали, что пищевые волокна очень полезны для организма человека. Употребление пищевых волокон предупреждает формирование нарушений обмена веществ, снижает риск сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, влияет на состояние микробиоты кишечника (Пырьева & Сафронова, 2019).

Некоторые углеводы относятся к пищевым волокнам и присутствуют в стенках растительных клеток зерна. У зерна злаковых культур стенки клеток алейронового слоя и эндосперма состоят из арабиноксиланов и (1,3;1,4)-β-D-глюканов. Например, клетки крахмалистого эндосперма в зерне ячменя окружены тонкими стенками, содержащими приблизительно 25 % арабиноксиланов, 70 % β-глюканов, 2 % целлюлозы и 2 % глюкоманнонов (Полонский & Сумина, 2013). Клеточные стенки пшеницы и ржи в основном состоят из арабиноксилана, а у ячменя, овса и проса – в основном из β-глюкана (Autio et al., 2001). В результате ферментативных превращений при проращивании эти полисахариды клеточной стенки гидролизуются до моносахаридов (Hübner, O'Neil, Cashman, & Arendt, 2010; Krahl, Zarnkow, Back, & Becker, 2010).

Процесс проращивания вызывает изменения в составе и содержании нерастворимых и растворимых пищевых волокон (Hübner, O'Neil, Cashman, & Arendt, 2010; Krahl, Zarnkow, Back, & Becker, 2010), что может быть использовано для изменения содержания пищевых волокон в пророщенных зернах в зависимости от условий замачивания, проращивания и сорта зерновых культур (Teixeira, Nyman, Andersson, & Alminger, 2016). В то время как согласно исследованиям Teixeira et al. (2016) проращивание не оказывает значительного влияния на общее содержание пищевых волокон в зерне ячменя, пророщенного в течение 3 дней при 15 °C, ученые немецкого научно-исследовательского института пищевой химии (Мюнхен) (Koehler, Hartmann, Wieser, & Rychlik, 2007) показали, что содержание пищевых волокон остается постоянным или снижается у пшеницы в течение первых 2 дней проращивание при 15 или 20 °C, и не изменяется при более высоких температурах (25 и 30 °C) (Koehler, Hartmann, Wieser, & Rychlik, 2007). Содержание растворимых пищевых волокон увеличивается в 3-4 раза в результате проращивания, а содержание нерастворимых пищевых волокон уменьшается, особенно при длительном проращивании (от 5 до 7 дней) (Koehler, Hartmann, Wieser, & Rychlik, 2007).

Арабиноксилан является одним из основных компонентов пищевых волокон злаковых культур. Под действием эндоксиланаз арабиноксилан изменяет свои функциональные свойства (Гильмуллина, Пономарева, Пономарев, & Маннапова, 2021; Autio et al., 2001; Corder & Henry, 1989; Hrmova et al., 1997). Низкая активность эндоксиланазы на ранних стадиях проращивания была обнаружена у пшеницы (De Backer, Gebruers, Van den Ende, Courtin, & Delcour, 2010), ржи (Autio et al., 2001) и ячменя (Autio et al., 2001; Li, Lu, Gu, Shi, & Mao,

2005; Sungurtas, Swanston, Davies, & McDougall, 2004), но резко увеличилась на 5-6 день проращивания (De Backer et al., 2010; Li, Lu, Gu, Shi, & Mao, 2005). Однако общее содержание арабиноксилана в процессе проращивания практически не меняется (De Backer, Gebruers, Van den Ende, Courtin, & Delcour, 2010; Krahl, Zarnkow, Back, & Becker, 2010; Teixeira, Nyman, Andersson, & Alminger, 2016). Незначительное снижение отмечено китайскими учеными (Li, Lu, Gu, Shi, & Mao, 2005).

β-глюканы злаков представляют собой некрахмальные полисахариды, которые распространены исключительно в растениях семейства Мятликовых и обнаружены в составе клеточных стенок ячменя, овса, пшеницы, ржи, кукурузы, риса и сорго (Burton & Fincher, 2014; Åman, Graham, & Tilly, 1989). Полисахариды β-глюканы формируют внутренний слой стенок эндосперма ячменя (Bamforth & Kanauchi, 2001; Woodward, Fincher, & Stone, 1983). По содержанию β-глюканов ячмень и овес считаются рекордсменами среди злаковых культур. Так содержание β-глюканов у пшеницы составляет 0,6 %, у ячменя 4,2 %, у овса 3,9 %, у ржи 2,5 % в расчете на сухое вещество (Henry, 1987). В результате проращивания β-глюканы расщепляются эндо-β-D-глюканазами до олигосахаридов (Autio et al., 2001; Bamforth & Martin, 1983; Rimsten et al., 2002). Активность эндо-β-D-глюканазы увеличивается в 5-8 раз при проращивании ячменя в течение 4 дней при 15 °C (Ellis et al., 1997; Rimsten et al., 2002; Wang, Zhang, Chen, & Wu, 2004), в результате чего содержание β-D-глюкана существенно снижается (Ahmad, Gani, Shah, Gani, & Masoodi, 2016; Autio et al., 2001; Bamforth & Martin, 1983; Marconi, Tomasi, Dionisio, Perretti, & Fantozzi, 2014; Peterson, 1998).

Ученые Швеции Haraldsson et al. (2004) и Teixeira et al. (2016) описывают, что содержание β-D-глюкана в ячмене существенно не меняется при замачивании в 0,4–0,8 % растворе молочной кислоты при температуре от 35 до 48 °C и последующем проращивании в течение 3-4 дней при 15 ° C. Более того, Rimsten et al. (2002) обнаружили, что содержание β-D-глюкана уменьшается на 11–14 %, когда ячмень замачивают при 48 °C, а затем проращивают при 15–18 °C в течение 4 дней. В то время как содержание β-D-глюкана уменьшается на 40 % в замоченных зернах при 15 °C и пророщенных при температуре от 15 до 18 °C в течение 4 дней. Это объясняется гораздо более медленной активностью β-D-глюканазы при замачивании при высокой температуре. Ученые Финляндии (Wilhelmson et al, 2001) обнаружили, что содержание β-D-глюкана уменьшается примерно на 10 %, если зерна овса проращивать в течение 6 дней при 5 °C. При проращивании голозерного зерна овса возможно получение концентрата с общим содержанием β-глюканов 22 % (Гематдинова, Канарский, Канарская, & Кручина-Богданов, 2019; Абагалиева & Савин, 2013). Пищевые продукты, полученные на основе злаков с низким содержанием крахмала и повышенным содержанием β-глюкана, могут иметь важное значение в низкокалорийной диете (Rudi, Uhlen, Harstad, & Munck, 2006).

Влияние проращивания на содержание фитатов и биодоступность минеральных веществ в зернах злаковых культур

Мио-инозит, соединяясь с шестью молекулами фосфорной кислоты, образует ионозитфосфорную кислоту, которая в виде кальций-магниевой соли называется фитин. Инозитфосфорная кислота расщепляется на инозит и свободную ортофосфорную кислоту под действием фермента фитазы, который активизируется в пророщенном зерне (Кретович, 1986). Таким образом, контролируемое проращивание зерна увеличивает биодоступность минеральных веществ. Около 85% фосфора (P) в отрубях находится в виде фитиновой кислоты (D-мио-инозитол-1,2,3,4,5,6-гексакисдигидрофосфорной кислоты), которая обнаруженна в основном в алейроновом слое зерновки (Schlemmer, Frølich, Prieto, & Grases, 2009). Большая часть фитиновой кислоты хелатируется катионами, такими как катионы железа (Fe), цинка (Zn), кальция (Ca), марганца (Mn), магния (Mg) и меди (Cu), что приводит к образованию фитатов (Schlemmer, Frølich, Prieto, & Grases, 2009). Биодоступность этих фитатов для всасывания в желудочно-кишечном тракте человека, а также их распределение в органах и тканях человека через кровоток (Persson, Türk, Nyman, & Sandberg, 1998) составляет всего от 5% до 25% (Bouis, Hotz, McClafferty, Meenakshi, & Pfeiffer, 2011; Fredlund et al., 2003). Небольшой процент усвоения можно объяснить недостаточным количеством фитазы у человека и животных (Iqbal, Lewis, & Cooper, 1994; Крюков, Глебова, & Антипов, 2019).

В сухом состоянии зерна злаковых культур имеют относительно низкие уровни активности фитазы, но активность фитазы существенно повышается во время проращивания. Установлено, что уровни активности ферментов варьируются в зависимости от вида злаковой культуры и условий проращивания. Повышение активности фитазы в 3-10 раз было обнаружено в пшенице (Azeke, Egielewa, Eigbogbo, & Ihimire, 2011; Bartnik & Szafrańska, 1987; Lemmens et al., 2018), ржи, ячмене и овсе

(Bartnik & Szafrańska, 1987) при проращивании в течение 4-5 дней при температуре от 15 до 25 °C. Уровни активности фитазы в пророщенном зерне ржи в 2-12 раз выше, чем в пророщенном зерне пшеницы, ячменя и овса, при проращивании в течение 3 дней при 20 °C (Bartnik & Szafrańska, 1987). Максимальные уровни активности фитазы достигаются в ячмене при проращивании в течение 2-4 дней при температуре 20 и 25 °C и через 7 дней при 15 °C. Однако после достижения максимума активность фитазы снижается относительно быстро на 20-50 % (Sung et al., 2005). Повышение активности фитазы в результате проращивания зерна непосредственно приводит к гидролизу фитата (Таблица 2) и, таким образом, к высвобождению связанных минеральных веществ и улучшенной биодоступности их. Анализируя результаты исследований польских ученых Bartnik и Szafranska (1987) установлено, что гидролиз фитата при проращивании в течение 72 часов (3 дней) при 20 °C составляет в пшенице 19-23 %, в ячмене 12 %, в ржи 28-29 %, тогда как испанскими учеными представлены другие результаты и при такой же продолжительности проращивания при 22 °C получено высокое значение гидролиза фитата в ячмене 37 %, в ржи 68 %.

Данные в Таблице 2 указывают, что более высокие температуры проращивания приводят к более высокой степени гидролиза фитатов. Относительно длительное время проращивания (от 3 до 5 дней) необходимо для снижения концентрации фитата более чем на 30 % Azeke, Egielewa, Eigbogbo, & Ihimire, 2011; Badau, Nkama, & Jideani, 2005; Bartnik & Szafrańska, 1987). В исследованиях Hübner et al. (2010) указано о снижении содержания фитата в овсе только на 6 % в результате 48 часов (2 дней) проращивания при 10 °C и на 32 % при проращивании в течение 6 дней при этой же температуре.

Фитазы злаковых культур имеют оптимумы температуры от 37 до 55 ° C и pH от 4,5 до 6,0 (Konietzny & Greiner, 2002; Larsson & Sandberg, 1992). Таким образом, повышение температуры замачивания и / или проращивания до оптимальных для действия фитазы может усилить распад фитата. Hübner et al. (2010) показали, что повышение температуры проращивания с 12 до 18 ° C увеличивает распад фитата в овсе с 14 % до 26 % при проращивании в течение 4 дней (96 ч).

В других исследованиях указывается, что разложение фитата может быть достигнуто путем обработки зерна при температуре (от 38 до 45 ° C) и низком pH (от 2,0 до 6,0) во время замачивания. Так, Teixeira et al. (2016) получили снижение содержания фитатов на 8 % в ячмене при замачивании в 0,4 % растворе молочной кислоты в течение примерно 35 часов при 35 °C, а затем проращивании в течение 3 дней при 15 °C.

Однако, во время замачивания минеральные вещества могут быть потеряны из-за выщелачивания (Hübner, O'Neil, Cashman, & Arendt, 2010; Lintschinger et al., 1997). Потери относительно высоки (около 30 %), когда зерна злаковых культур перед проращиванием замачиваются при 30 °C (Lestienne, Icard-Vernière, Mouquet, Picq, & Trèche, 2005). Кроме того, минеральные вещества перемещаются в развивающийся росток, что приводит к потере минеральных веществ при удалении развивающихся корешков и ростков (Hübner, O'Neil, Cashman, & Arendt, 2010; Ozturk et al., 2006).

Проведено несколько исследований пищеварения *in vitro*, моделирующих желудочно-кишечный тракт человека, для оценки потенциального воздействия разложения фитатов на биодоступность минеральных веществ. Хотя результаты таких исследований очень разнообразны, можно сделать вывод, что уменьшение содержания фитатов приводит к значительному увеличению биодоступности минералов. Обнаружено, что снижение содержания фитата в пшенице на 15 % в результате проращивания приводит к увеличению биодоступности железа (Fe) и цинка (Zn) с 4,6 % до 14,1 % и с 2,5 % до 14,6 % соответственно (Lemmens et al., 2018). Также, (Platel, Eipeson, & Srinivasan, 2010; Luo et al, 2014) показали, что биодоступность железа и цинка составляет от 20 % до 30 % в пророщенных зернах пшеницы, проса и ячменя.

Таким образом, можно предположить, что контролируемое проращивание зерновых культур в условиях, оптимальных для действия фитазы, позволяет повысить биодоступность минеральных веществ. Кроме того, чтобы ограничить выщелачивание минеральных веществ, рекомендуется использовать температуры замачивания от 15 до 20 °C и сохранять ростки и корешки.

Влияние проращивания на содержание витаминов в зернах злаковых культур

Зерна злаковых культур содержат витамин Е (который состоит из токоферолов и токотриенолов) в количестве от 0,9 до 4,1 мг / 100 г (EFSA, 2015; Fardet, Rock, & Rémésy, 2008; Haraldsson et al., 2004; Plaza, de Ancos, & Cano, 2003). Потребление 100 г зерен в день составляет от 8 % до 34 %

Таблица 2

Влияние условий замачивания и проращивания зерна пшеницы, ячменя, ржи, овса и проса на гидролиз фитатов

Наименование зерна	Условия замачивания		Условия проращивания		Гидролиз фитата (%)	Источник информации
	температура (°C)	время (час) в воде/с аэрацией	температура (°C)	время (час)		
Пшеница	15	17/29	15	36	7	(Lemmens et al., 2018)
				72	14	
				120	15	
	не описано	не описано	20	26	17-19	(Bartnik & Szafranska, 1987)
				72	19-23	
Ячмень	КТ[1]	14/14	22	24	5	(Centeno et al., 2001)
				72	37	
				120	58	
	15	32-37 / 32-37	15	72	12-19	(Teixeira, Nyman, Andersson, & Alminger, 2016)
	15	до влажности зерна 38%	15	96	3-5	
	15	21/42	18	96	6-10	(Rimsten et al., 2002)
	не описано	не описано	10	48	21	(Hübner, O'Neil, Cashman, & Arendt, 2010)
			20	48	24	
			10	144	27	
			20	144	23	
	не описано		20	26	9	
				72	12	(Bartnik & Szafranska, 1987)
Рожь	КТ[1]	14/14	22	24	11	(Centeno et al., 2001)
				72	68	
				120	84	
	не описано	не описано	20	26	19-22	
				72	28-29	(Bartnik & Szafranska, 1987)
Овес	не описано	21/42	10	48	6	(Hübner, O'Neil, Cashman, & Arendt, 2010)
			20	48	18	
			10	144	32	
			20	144	24	
						(Bartnik & Szafranska, 1987)
	не описано	не описано	20	24	13	
			20	72	16	(Tian et al., 2010)
	16	24/24	16	24	20	
				72	31	
				144	69	
Просо	не описано	16/16	25	48	13	(Hemalatha, Platel, & Srinivasan, 2007)
	32	12/12	32	48	45	(Inyang & Zakari, 2008)
	не описано	11/12	32±3	24	57-72	(Badau, Nkama, & Jideani, 2005)
				96	87-91	

[1]КТ – комнатная температура

рекомендуемой суточной нормы этого витамина[6]. Кроме того, содержание тиамина (B_1) составляет в зависимости от вида злаков от 0,2 до 0,6 мг / 100 г (Hucker, Wakeling, & Vriesekoop, 2012; Lebiedzinska & Szefer, 2006; Malleshi & Klopfenstein, 1998; Зенькова, Акулич, Мельникова, & Тимофеева, 2020), рибофлавина (B_2) от 0,02 до 0,14 мг / 100 г (Hucker, Wakeling, & Vriesekoop, 2012; Lebiedzinska & Szefer, 2006; Malleshi & Klopfenstein, 1998; Plaza, de Ancos, & Cano, 2003) и пиридоксина (B_6) от 0,09 до 0,76 мг / 100 г (Зенькова, Акулич, Мельникова, & Тимофеева, 2020; Lebiedzinska & Szefer, 2006; Plaza, de Ancos, & Cano, 2003). Содержание фолиевой кислоты (B_9) от 0,016 до 0,143 мг / 100 г (Fardet, Rock, & Rémésy, 2008; Gujska & Kuncewicz, 2005; Kariluoto et al., 2006; Katina et al., 2007a; Koehler, Hartmann, Wieser, & Rychlik, 2007; Шаршунов, Урбанчик, Шалюта, & Галдова, 2008).

Содержание витаминов в зернах злаковых культур важно для развития всходов (Hucker, Wakeling, & Vriesekoop, 2012) и увеличивается во время проращивания в результате биосинтеза. Различия в содержании витаминов у пророщенного зерна (Таблица 3) зависят от сорта зерна и условий замачивания и проращивания. Однако, при замачивании необходимо соблюдать осторожность, чтобы избежать переход водорастворимых витаминов в воду и использовать минимальное количество воды для замачивания.

Витамин Е является антиоксидантом и в основном находится в зародышах зерна (Fardet, Rock, & Rémésy, 2008). Токоферолы синтезируются, находятся внутри зародыша и транспортируются к корням и росткам во время проращивания зерна (Fardet, Rock, & Rémésy, 2008; Hucker, Wakeling, & Vriesekoop, 2012; Lampi, Nurmi, & Piironen, 2010; Кретович, 1986). Haraldsson et al. (2004) не обнаружили изменений в содержании токоферолов в ячмене, пророщенном в течение 4 дней при 15 °C. Продолжительность проращивания является определяющим фактором содержания витамина Е.

Содержание витаминов группы В в злаках обычно увеличивается в результате проращивания и поддерживает развитие и рост ростков. Действительно, содержание витамина B_1 (тиамин) в пророщенной пшенице увеличилось в 2,6 раза (Plaza, de Ancos, & Cano, 2003) при проращивании в течение 4 дней при температуре 28 °C. Аналогичным образом, увеличилось вдвое и составило от 0,05 до 0,25 мг / 100 г содержание рибофлавина в ячмене (Hucker, Wakeling, & Vriesekoop, 2012), просе (Malleshi & Klopfenstein, 1998) и пшенице (Plaza, de Ancos, & Cano, 2003), пророщенных в течение 4 дней от 17 до 28 °C. Таким образом, авторы пришли к выводу, что синтез витаминов начинается только на более поздних стадиях проращивания. Витамины группы В содержатся в корешках и ростках, поэтому их удаление приводит к снижению содержания витаминов B_1 и B_2 в пророщенных зернах (Hucker, Wakeling, & Vriesekoop, 2012; Kariluoto et al., 2006; Malleshi & Klopfenstein, 1998).

Проращивание стимулирует синтез фолиевой кислоты по мере увеличения метаболической активности развивающихся ростков (Jabrin, Ravanel, Gambonnet, Douce, & Rébeillé, 2003; Jägerstad et al., 2005; Kariluoto et al., 2006; Николаева & Обручева, 1982). Различные исследователи показали, что в пшенице (Hefni & Witthöft, 2012; Koehler, Hartmann, Wieser, & Rychlik, 2007) и ржи (Hefni & Witthöft, 2012; Kariluoto et al., 2006; Katina et al., 2007a; Liukkonen et al., 2003) содержание фолатов составляет от 0,2 до 0,9 мг/100 г при проращивании от 4 до 6 дней при температуре от 15 до 25 °C, что в 4-6 раз выше по отношению к непроросшему зерну.

Содержание витамина С в зернах злаковых культур обычно неопределяется или очень низкое. Однако во время проращивания витамин С синтезируется (Lintschinger et al., 1997; Malleshi & Klopfenstein, 1998; Yang, Basu, & Ooraikul, 2001), и содержится в количестве 0,99-26,13 мг / 100 г в пророщенной пшенице (Lintschinger et al., 1997; Yang, Basu, & Ooraikul, 2001; Шаршунов, Урбанчик, Шалюта, & Галдова, 2008) и просе (Malleshi & Klopfenstein, 1998). Lintschinger et al. (1997) отметили, что ополаскивание пророщенной пшеницы горячей водой при 70 °C снижает содержание витамина С на 40–60 %. Соответственно, необходимо тщательно подбирать технологические параметры, чтобы сохранить этот витамин, поскольку он разрушается под действием высоких температур.

Очевидно, что пророщенные зерна являются источником фолатов (фолиевой кислоты) и витамина B_1, но в значительно меньших количествах содержатся витамин РР (ниацин), B_2 (рибофлавин), B_6 (пиридоксин) и витамин Е. В 100 г пророщенных зерен может содержаться в среднем от 12 % до 15 % суточной нормы ниацина, от 2 % до 30 % суточной нормы рибофлавина и пиридоксина и от 1 % до 29 % суточной нормы витамина Е. Про-

[6] Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации: Методические рекомендации. (2009). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора.

Таблица 3

Влияние условий замачивания и проращивания зерна пшеницы, ячменя, ржи, овса и проса на содержание витаминов

Наименование зерна	Условия замачивания		Условия проращивания		Наименование и содержание витаминов		Источник информации
	температура (°С)	время (час) в воде/с аэрацией	температура (°С)	время (час)	наименование	содержание на сухое вещество, мг/100г	
Пшеница	20±1	12/12	20±1	72	витамин С	7,90	(Lintschinger et al., 1997)
	16,5	24/24	16,5	72	витамин С	16,00	(Yang, Basu, & Ooraikul, 2001)
	23	24	23	72	витамин С	19,20	(Рогожина & Рогожин, 2010)
	13 и 20	9/48	20	96	B_9 (фолаты)	0,20	(Koehler, Hartmann, Wieser, & Rychlik, 2007)
	28	16/16	28	96	B_1 (тиамин)	0,08	(Plaza, de Ancos, & Cano, 2003)
					B_2 (рибофлавин)	0,07	
					B_6 (пиридоксин)	0,67	
					витамин Е	0,20	
					витамин С	1,80	
	не описано	не описано	не описано	до длины ростка не более 2 мм, влажность не более 45 %	B_2 (рибофлавин)	0,73	(Шаршунов и др., 2008)
					B_9 (фолаты)	0,29	
					витамин С	26,13	
	18±2	48/8	18±2	до длины ростка не более 2,5 мм	B_1 (тиамин)	0,59	(Зенькова, Акулич, Мельникова, & Тимофеева, 2020)
					B_2 (рибофлавин)	0,07	
					B_6 (пиридоксин)	0,09	
					витамин Е	0,41	
					витамин С	2,40	
Ячмень	15	23-28/23-28	15	96	витамин Е	4,1-4,4	(Haraldsson et al., 2004)
	17	12/24	17	96	B_1 (тиамин)	0,30	(Hucker, Wakeling, & Vriesekoop, 2012)
					B_2 (рибофлавин)	0,05	
	не описано	не описано	не описано	до длины ростка не более 2 мм, влажность не более 45 %	B_2 (рибофлавин)	0,30	(Шаршунов, Урбанчик, Шалюта, & Галдова, 2008)
					B_9 (фолаты)	0,28	
Рожь	15	14/30	15	96	B_9 (фолаты)	0,95	(Keriluoto et al., 2006)
	25	14/30	25	120	B_9 (фолаты)	0,25	
	18	12/28	18	120	B_9 (фолаты)	0,22	(Katina et al., 2007a)
	не описано	не описано	не описано	до длины ростка не более 2 мм, влажность не более 45 %	B_2 (рибофлавин)	0,53	(Шаршунов, Урбанчик, Шалюта, & Галдова, 2008)
					B_9 (фолаты)	0,31	
					витамин С	16,8	
Овес	не описано	не описано	не описано	не описано	B_1 (тиамин)	0,23	(Hucker, Wakeling, & Vriesekoop, 2012)
					B_2 (рибофлавин)	0,04	
Просо	25	16/16	25	24	B_1 (тиамин)	0,22	(Malleshi & Klopfenstein, 1998)
					B_2 (рибофлавин)	0,11	
					РР (ниацин)	2,30	
					витамин С	0,99	
				96	B_1 (тиамин)	0,19	(Malleshi & Klopfenstein, 1998)
					B_2 (рибофлавин)	0,25	
					РР (ниацин)	2,90	
					витамин С	3,20	

рощенные зерна вносят свой вклад в ежедневное потребление витамина С в ограниченной степени, поскольку употребление 100 г пророщенных зерен соответствует примерно от 1 % до 21 % его суточной нормы.

Таким образом, короткое время замачивания с использованием ограниченного количества воды с последующим длительным временем проращивания и сохранением корешков и ростков наиболее благоприятно для получения повышенного содержания витаминов в пророщенных зернах злаковых культур.

Влияние проращивания на антиоксидантные свойства злаковых культур

Высокая антиоксидантная активность пророщенных зерен в основном объясняется накоплением витамина Е и полифенольных веществ (Ahmad, Gani, Shah, Gani, & Masoodi, 2016; Kim et al., 2013). Различные исследователи показали увеличение антиоксидантной активности в 1,2-2,9 раза у пшеницы (Alvarez-Jubete et al., 2010; Žilić et al., 2014), ячменя (Ha, Jo, Mannam, Kwon, & Apostolidis, 2016) и овса (Xu et al., 2009) при проращивании в течение 2-5 дней при температуре от 15 до 28 °С. Полифенольные вещества являются вторичными метаболитами растений и играют роль в защите растений от стрессов окружающей среды (Кретович, 1986; Казаков & Карпиленко, 2005; Alvarez-Jubete et al., 2010; Ha, Jo, Mannam, Kwon, & Apostolidis, 2016). Антиоксидантная активность полифенольных веществ объясняется двумя обстоятельствами: 1) фенольные соединения связывают ионы тяжелых металлов в устойчивые комплексы, тем самым лишая последние каталитического действия; 2) они служат акцепторами образующихся при аутоксидации свободных радикалов (Кретович, 1986). Основными фенольными соединениями в зернах злаков являются катехины, флавононы, фенольные кислоты (феруловая, п-кумаровая кислоты) и другие, а в овсе также авенантрамиды (Казаков & Карпиленко, 2005; Fardet, Rock, & Rémésy, 2008; Kim et al., 2013; Lu et al., 2007; Skoglund, Peterson, Andersson, Nilsson, & Dimberg, 2008; Xu et al., 2009). Увеличение полифенольных веществ в 1,2-3,6 раза при проращивании в течение 2-6 дней при температуре от 15 до 28 °С наблюдается в пшенице (Alvarez-Jubete et al., 2010), ячмене (Ha et al., 2016; Lu. et al., 2007), ржи (Katina et al., 2007b; Liukkonen et al., 2003) и овсе (Tian et al., 2010; Xu et al., 2009). Однако взаимосвязь этого увеличения с возможной пользой для здоровья человека является спорным (Bast & Haenen, 2013; Pompella et al., 2014).

Влияние проращивания на содержание γ-аминомасляной кислоты

В свободном виде во всех растениях присутствует γ-аминомасляная кислота (Кретович, 1986), важная небелковая аминокислота, действует как тормозящий нейромедиатор центральной нервной системы человека и других млекопитающих и используется при лечении эпилепсии (Аниол & Степаничев, 2007). Она образуется в результате декарбоксилирования, переаминирования и других превращениях глютаминовой кислоты (Кретович, 1986). Концентрация γ-аминомасляной кислоты в ячмене и пшенице составляет менее 2 мг / 100 г, но присутствует в более высоких концентрациях в пророщенном зерне ячменя и пшеницы (от 7 до 25 мг / 100 г) (Ohm et al., 2016; Chung et al., 2009).

Выводы

Из обзора и анализа научно-технической информации следует отсутствие общепринятого определения «пророщенное зерно» и требований к цельнозерновым продуктам, которые должны рассматриваться как «пророщенные зерна» в контексте повышения их пищевой ценности. Предложено цельное зерно считать пророщенным, если оно имеет видимый корешок, а из качественных показателей контролировать, например, ферментативную активность, содержание фитата, крахмала и пищевых волокон. Пророщенные зерна могут быть получены только при контролируемом процессе и не должны считаться пророщенными зерна, которые случайно проросли в поле.

Установлено, что пророщенные зерна могут иметь более высокую пищевую ценность по сравнению с непророщенными, так как количество антипитательных факторов при проращивании снижается (например, содержание фитата), но в зависимости от условий проращивания и вида зерновой культуры. Так гидролиз и протеолиз в злаковых культурах заметен при замачивании и проращивании в течение не менее 2 дней при температурах от 20 до 35 °С. Во время проращивания минеральные вещества становятся доступными для всасывания в кишечнике, а витамины и γ-аминомасляная кислота синтезируются и накапливаются, увеличивается содержание растворимых пищевых волокон и уменьшается содержание нерастворимых пищевых волокон, увеличивается содержание полифенольных веществ.

Для того, чтобы максимально увеличить пищевую ценность пророщенных зерен, необходимо в

зависимости от вида зерновой культуры оптимизировать условия процесса проращивания. Несмотря на естественные изменения, происходящие в процессе проращивания, можно моделировать факторы (состав питательной среды, температура, продолжительность аэрации, освещенность), влияющие на проращивание зерновых культур с целью изменения содержания пищевых веществ. Поэтому необходимы дальнейшие исследования для оценки оптимизации процесса проращивания в зависимости от вида зерновой культуры, направленные на улучшение пищевой ценности пророщенного зерна и с учетом производственной перспективы.

Также установлено, что изменения, происходящие во время проращивания, часто экстраполируются на потенциальную пользу для здоровья человека. Однако результаты клинических исследований по конкретным заявлениям о пользе для здоровья очень ограничены. Следовательно, существует очевидная потребность в хорошо спланированных рандомизированных доклинических и клинических испытаниях для изучения влияния хорошо охарактеризованных пророщенных зерен и их количества на физиологические параметры и состояние здоровья человека.

Литература

Абагалиева, А. И., & Савин, Т. В. (2013). Содержание β-глюкана в зерне овса. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*, *4*, 76-83.

Алехина, Н. Н. (2020). *Зерновой хлеб для повышения пищевого статуса населения: биоактивация злаковых культур, ресурсосбережение сырья, разработка технологий и расширение ассортимента продукции* [Докторская диссертация, Воронежский государственный университет инженерных технологий]. Воронеж, Россия.

Аниол, В. А., & Степаничев, М. Ю. (2007). Оксид азота (II) и гамма-аминомаслянная кислота как регуляторы нейрогенеза в мозге взрослых млекопитающих при моделировании судорожной активности. *Нейрохимия, 24*(4), 279-289.

Бабаян, М. Л. (2011). Влияние полисахаридов на внутрикишечный метаболизм: Физиологические аспекты и возможности клинического применения. *Лечащий врач*, *6*, 92-94.

Булгаков, Н. И. (1976). *Биохимия солода и пива*. М.: Пищевая промышленность.

Веретнова, О. Ю., & Сафронова, Т. Н. (2015). Разработка рецептуры мясных комбинированных фаршей с использованием пророщенного зерна пшеницы. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, *10*, 112-115.

Гематдинова, В. М., Канарский, А. В., Канарская, З. А., & Кручина-Богданов, И. В. (2019). Получение концентрата β-глюкана проращиванием овса. *Химия растительного сырья, 2*, 231-237. https://doi.org/10.14258/jcprm.2019024251

Гильмуллина, Л. Ф., Пономарева, М. Л., Пономарев, С. Н., & Маннапова, Г. С. (2021). Методы качественного и количественного определения арабиноксиланов в зерне злаков (обзор). *Химия растительного сырья*, *1*, 27-43. https://doi.org/10.14258/jcprm.2021017713

Дубцов, Г. Г., Бережная, О. В., & Войно, Л. И. (2015). Проростки пшеницы – ингредиент для продуктов питания. *Пищевая промышленность*, *5*, 26-29.

Зенькова, М. Л., Акулич, А. В., Мельникова, Л. А., & Тимофеева, В. Н. (2020). Исследование нутриентного профиля пророщенного зерна мягкой пшеницы, выращенной в Беларуси. *Хранение и переработка сельхозсырья, 3*, 58-68. https://doi.org/10.36107/spfp.2020.339

Казаков, Е. Д. (1973). *Зерноведение с основами растениеводства*. М.: Колос.

Казаков, Е. Д. & Карпиленко, Г. П. (2005). *Биохимия зерна и хлебопродуктов* (3-е изд.). СПб.: ГИОРД.

Кретович, В. Л. (1986). *Биохимия растений*. М.: Высшая школа.

Крюков, В. С., Глебова, И. В., & Антипов, А. А. (2019). Оценка действия фитаз в пищеварительном тракте и использование препаратов фитазы в питании животных. *Проблемы биологии продуктивных животных*, *2*, 19-43. https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2019.2.19-43

Кузнецова, Е. А., Гончаров, Ю. В., & Парамонов, И. Н. (2011). Изменение некоторых показателей белкового комплекса зерна пшеницы при проращивании в процессе подготовки к производству хлебобулочных изделий. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов, 1*, 24-31.

Кузнецова, Е. А. (2010). Изменение биохимических свойств зерна пшеницы при подготовке к производству зернового хлеба с использованием ферментативного гидролиза. *Хранение и переработка сельхозсырья, 5*, 38-41.

Кунце, В., & Мит, Г. (2001). *Технология солода и пива*. СПб.: Профессия.

Леонова, С., Нигматьянов, А., & Фазылов М. (2010). Разработка технологии национального крупяного продукта из пророщенного зерна. *Хлебопродукты*, *9*, 48-49.

Николаева, М. Г., & Обручева, Н. В. (Ред.) (1982). *Физиология и биохимия покоя и прорастания семян*. М.: Колос.

Полонский, В. И., & Сумина, А. В. (2013). Содержание β-глюканов в зерне как перспективный признак при селекции ячменя на пищевое использование. *Сельскохозяйственная биология*, *5*, 30-43.

Пырьева, Е. А., & Сафронова, А. И. (2019). Роль и место пищевых волокон в структуре питания населения. *Вопросы питания*, *88*(6), 5-11. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10059

Рогожина, Т. В., & Рогожин, В. В. (2010). Роль компонентов антиоксидантной системы в механизмах прорастания зерен пшеницы. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, *11*, 31-38.

Самченко, О. Н., & Меркучева, М. А. (2015). Пророщенное зерно – перспективное сырье для разработки новых видов изделий. *Новый университет. Серия: технические науки*, *7-8*, 27-32.

Сафронова, Т. Н., & Евтухова, О. М. (2014). Технологии пищевых продуктов с использованием переработанного пророщенного зерна пшеницы. *Хранение и переработка сельхозсырья, 4*, 49-52.

Ткаченко, Е. И., & Гриневич, В. Б. (2020). Метаболические аспекты терапевтических проблем. *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*, *179*(7), 52-61. https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-179-7-52061

Урбанчик, Е. Н., & Шалюта, А. Е. (2012). Получение продуктов быстрого приготовления на основе пророщенного зерна пшеницы и тритикале. *Хранение и переработка сельхозсырья, 7*, 24-26.

Хосни, Р. К. (2006). *Зерно и зернопродукты: Научные основы и технологии.* СПб.: Профессия.

Чижикова, О., Нижельская, К., & Коршенко, Л. (2017). Использование продуктов переработки зерна пшеницы для мясных рубленых полуфабрикатов геродиетического назначения. *Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление, 4*, 123-131.

Чумикина, Л. В. Арабова, Л. И., & Топунов, А. Ф. (2009). Биохимические особенности изменения белкового и ферментного комплексов и клейковины зерна тритикале при прорастании. *Известия вузов. Пищевая технология*, *2-3*, 9-12.

Шарафетдинов, *Х. Х. &* Плотникова, О. А. (2020). Ожирение как глобальный вызов *XXI* века: лечебное питание, профилактика и терапия. *Вопросы питания, 89*(4), 161-171. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10050

Шаршунов, В. А., Урбанчик, Е. Н., Касьянова, Л. А., Иванов, П. Г., & Агеенко, О. В. (2008). Биотехнологические приемы повышения эффективности использования зерновых ресурсов Беларуси. *Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларуси. Серыя аграрных навук, 1*, 101-106.

Шаршунов, В. А., Урбанчик, Е .Н., Шалюта, А. Е., & Галдова, М. Н. (2016). Получение биологически активного зеонового продукта на основе смесей пророщенного зерна пшеницы и овса голозерного. *Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук, 4*, 118-125.

Шнейдер, Д. (2010). Макаронные изделия из цельносмолотого и пророщенного зерна пшеницы. *Хлебопродукты*, *8*, 46-47.

Щелкунов, Л. Ф., & Дудкин, М. С. (1999). Пищевые волокна – блокаторы и декорпоранты радионуклидов цезия и стронция. *Гигиена и санитария: научно-практический журнал*, *2*, 40-43.

Agu, R. C., & Palmer, G. H. (1997). The effect of temperature on the modification of sorghum and barley during malting. *Process Biochemistry, 32*(6), 501-507. https://doi.org/10.1016/s0032-9592(97)00002-2

Ahmad, M., Gani, A., Shah, A., Gani, A., & Masoodi, F. A. (2016). Germination and microwave processing of barley (*Hordeum vulgare L*) changes the structural and physicochemical properties of β-d -glucan end enhances its antioxidant potential. *Carbohydrate Polymers, 153*, 696-702. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.07.022

Alvarez-Jubete, L., Wijngaard, H., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food Chemistry, 119*(2), 770-778. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.032

Åman, P., Graham, H., & Tilly, A.-C. (1989). Content and solubility of mixed-linked (1→3), (1→4)-β-d-glucan in barley and oats during kernel development and storage. *Journal of Cereal Science, 10*(1), 45-50. https://doi.org/10.1016/s0733-5210(89)80033-5

Aparicio-García, N., Martínez-Villaluenga, C., Frias, J., & Peñas, E. (2021). Sprouted oat as a potential gluten-free ingredient with enhanced nutritional and bioactive properties. *Food Chemistry, 338*, 127972. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127972

Archana, Sehgal, S., & Kawatra, A. (2001). In vitro protein and starch digestibility of pearl millet (Pennisetum gluacum L.) as affected by processing techniques. *Nahrung/Food, 45*(1), 25-27. https://doi.org/10.1002/1521-3803(20010101)45:1<25::aid-food25>3.0.co;2-w

Autio, K., Simoinen, T., Suortti, T., Salmenkallio-Marttila, M., Lassila, K., & Wilhelmson, A. (2001). Structural and Enzymic Changes in Germinated Barley and Rye. *Journal of the Institute of Brewing, 107*(1), 19-25. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2001.tb00075.x

Azeke, M. A., Egielewa, S. J., Eigbogbo, M. U., & Ihimire, I. G. (2011). Effect of germination on the

phytase activity, phytate and total phosphorus contents of rice *(Oryza sativa)*, maize *(Zea mays)*, millet *(Panicum miliaceum)*, sorghum *(Sorghum bicolor)* and wheat *(Triticum aestivum)*. *Journal of Food Science and Technology, 48*(6), 724-729. https://doi.org/10.1007/s13197-010-0186-y

Badau, M. H., Nkama, I., & Jideani, I. A. (2005). Phytic acid content and hydrochloric acid extractability of minerals in pearl millet as affected by germination time and cultivar. *Food Chemistry, 92*(3), 425-435. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.006

Bamforth, C. W., & Kanauchi, M. (2001). A Simple Model for the Cell Wall of the Starchy Endosperm in Barley. *Journal of the Institute of Brewing, 107*(4), 235-240. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2001.tb00095.x

Bamforth, C. W., & Martin, H. L. (1983). The degradation of β-glucan during malting and mashing: the role of β-glucanase. *Journal of the Institute of Brewing, 89*(4), 303-307. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1983.tb04190.x

Bartnik, M., & Szafrańska, I. (1987). Changes in phytate content and phytase activity during the germination of some cereals. *Journal of Cereal Science, 5*(1), 23-28. https://doi.org/10.1016/s0733-5210(87)80005-x

Bast, A., & Haenen, G. R. M. M. (2013). Ten misconceptions about antioxidants. *Trends in Pharmacological Sciences, 34*(8), 430-436. https://doi.org/10.1016/j.tips.2013.05.010

Benincasa, P., Falcinelli, B., Lutts, S., Stagnari, F., & Galieni, A. (2019). Sprouted Grains: A Comprehensive Review. *Nutrients, 11*(2), 421. https://doi.org/10.3390/nu11020421

Bouis, H. E., Hotz, C., McClafferty, B., Meenakshi, J. V., & Pfeiffer, W. H. (2011). Biofortification: A New Tool to Reduce Micronutrient Malnutrition. *Food and Nutrition Bulletin, 32*(1), 31-40. https://doi.org/10.1177/15648265110321s105

Burton, R. A., & Fincher, G. B. (2014). Evolution and development of cell walls in cereal grains. *Frontiers in Plant Science, 5*, 456. https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00456

Buttimer, E. T., & Briggs, D. E. (2000). Mechanisms of the Release of Bound β-Amylase. *Journal of the Institute of Brewing, 106*(2), 83-94. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2000.tb00043.x

Corder, A. M., & Henry, R. J. (1989). Carbohydrate-degrading enzymes ingerminating wheat. *Cereal Chemistry, 66*, 435-439.

Chung, T. Y., Nwokolo, E. N., & Sim, J. S. (1989). Compositional and digestibility changes in sprouted barley and canola seeds. *Plant Foods for Human Nutrition, 39*(3), 267-278. https://doi.org/10.1007/bf01091937

De Backer, E., Gebruers, K., Van den Ende, W., Courtin, C. M., & Delcour, J. A. (2010). Post-translational processing of β-d-xylanases and changes in extractability of arabinoxylans during wheat germination. *Plant Physiology and Biochemistry, 48*(2-3), 90-97. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.10.008

Donkor, O. N., Stojanovska, L., Ginn, P., Ashton, J., & Vasiljevic, T. (2012). Germinated grains – Sources of bioactive compounds. *Food Chemistry, 135*(3), 950-959. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.058

Duke, S. H., Vinje, M. A., & Henson, C. A. (2013). Tracking Amylolytic Enzyme Activities During Congress Mashing with North American Barley Cultivars: Comparisons of Patterns of Activity and beta-Amylases with Differing Bmy1 Intron III Alleles and Correlations of Amylolytic Enzyme Activities. *Cerevisia, 38*(2), 51-52. https://doi.org/10.1016/j.cervis.2013.09.003

Centeno, C., Viveros, A., Brenes, A., Canales, R., Lozano, A. & De la Cuadra, C. (2001). Effect of Several Germination Conditions on Total P, Phytate P, Phytase, and Acid Phosphatase Activities and Inositol Phosphate Esters in Rye and Barley. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49*(7), 3208-3215. https://doi.org/10.1021/jf010023c

Chung, H.-J., Jang, S.-H., Cho, H. Y., & Lim, S. T. (2009). Effects of steeping and anaerobic treatment on GABA (γ-aminobutyric acid) content in germinated waxy hull-less barley. *LWT - Food Science and Technology, 42*(10), 1712-1716. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.04.007

EFSA (2015). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for vitamin E as α-tocopherol. EFSA Journal, *13*(7), 4149-4220. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4149

Ellis, R. P., Swanston, J. S., Rubio, A., Perez-Vendrell, A. M., Romagosa, I., & Molina-Cano, J. L. (1997). The Development of β-Glucanase and Degradation of β-Glucan in Barley Grown in Scotland and Spain. *Journal of Cereal Science, 26*(1), 75-82. https://doi.org/10.1006/jcrs.1996.0105

Faltermaier, A., Zarnkow, M., Becker, T., Gastl, M., & Arendt, E. K. (2015). Common wheat *(Triticum aestivum L.)*: Evaluating microstructural changes during the malting process by using confocal laser scanning microscopy and scanning electron microscopy. *European Food Research and Technology, 241*(2), 239-252. https://doi.org/10.1007/s00217-015-2450-x

Fardet, A., Rock, E., & Rémésy, C. (2008). Is the in vitro antioxidant potential of whole-grain cereals and cereal products well reflected in vivo? *Journal of Cereal Science, 48*(2), 258-276. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.01.002

Feng, H., Nemzer, B., & Devries, J. (2019). *Sprouted grains: nutritional value, production, and applications*. Woodhead Publishing and AACC International Press. https://doi.org/10.1016/C2016-0-01536-X

Fredlund, K., Bergman, E.-L., Rossander-Hulthén, L., Isaksson, M., Almgren, A., & Sandberg, A.-S. (2003). Hydrothermal treatment and malting of barley improved zinc absorption but not calcium absorption in humans. *European Journal of Clinical Nutrition, 57*(12), 1507-1513. https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601718

Gujska, E., & Kuncewicz, A. (2005). Determination of folate in some cereals and commercial cereal-grain products consumed in Poland using trienzyme extraction and high-performance liquid chromatography methods. *European Food Research and Technology, 221*(1-2), 208-213. https://doi.org/10.1007/s00217-004-1122-z

Ha, K.-S., Jo, S.-H., Mannam, V., Kwon, Y.-I., & Apostolidis, E. (2016). Stimulation of Phenolics, Antioxidant and α-Glucosidase Inhibitory Activities During Barley (Hordeum vulgare L.) Seed Germination. *Plant Foods for Human Nutrition, 71*(2), 211-217. https://doi.org/10.1007/s11130-016-0549-2

Haraldsson, A.-K., Rimsten, L., Alminger, M. L., Andersson, R., Andlid, T., Åman, P., & Sandberg, A.-S. (2004). Phytate content is reduced and β-glucanase activity suppressed in malted barley steeped with lactic acid at high temperature. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 84*(7), 653-662. https://doi.org/10.1002/jsfa.1724

Hefni, M., & Witthöft, C. M. (2012). Effect of germination and subsequent oven-drying on folate content in different wheat and rye cultivars. *Journal of Cereal Science, 56*(2), 374-378. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.03.009

Hemalatha, S., Platel, K., & Srinivasan, K. (2007). Influence of germination and fermentation on bioaccessibility of zinc and iron from food grains. *European Journal of Clinical Nutrition, 61*(3), 342-348. https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602524

Henry, R. J. (1987). Pentosan and (1–3),(1–4)-β-Glucan concentrations in endosperm and wholegrain of wheat, barley, oats and rye. *Journal of Cereal Science, 6*(3), 253-258. https://doi.org/10.1016/s0733-5210(87)80062-0

Hrmova, M., Banik, M., Harvey, A. J., Garrett, T. P., Varghese, J. N., Høj, P. B., & Fincher, G. B. (1997). Polysaccharide hydrolases in germinated barley and their role in the depolymerization of plant and fungal cell walls. *International Journal of Biological Macromolecules, 21*(1-2), 67-72. https://doi.org/10.1016/s0141-8130(97)00043-3

Hucker, B., Wakeling, L., & Vriesekoop, F. (2012). Investigations into the thiamine and riboflavin content of malt and the effects of malting and roasting on their final content. *Journal of Cereal Science, 56*(2), 300-306. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.03.008

Hung, P.V., Maeda, T., Yamamoto, S., & Morita, N. (2011). Effects of germination on nutritional composition of waxy wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 92*, 667-672. https://doi.org/10.1002/jsfa.4628

Hübner, F., O'Neil, T., Cashman, K. D., & Arendt, E. K. (2010). The influence of germination conditions on beta-glucan, dietary fibre and phytate during the germination of oats and barley. *European Food Research and Technology, 231*(1), 27-35. https://doi.org/10.1007/s00217-010-1247-1

Inyang, C. U., & Zakari, U. M. (2008). Effect of Germination and Fermentation of Pearl Millet on Proximate, Chemical and Sensory Properties of Instant «Fura» - A Nigerian Cereal Food. *Pakistan Journal of Nutrition, 7*(1), 9-12. https://doi.org/10.3923/pjn.2008.9.12

Iqbal, T. H., Lewis, K. O., & Cooper, B. T. (1994). Phytase activity in the human and rat small intestine. *Gut, 35*(9), 1233-1236. https://doi.org/10.1136/gut.35.9.1233

Jabrin, S., Ravanel, S., Gambonnet, B., Douce, R., & Rébeillé, F. (2003). One-Carbon Metabolism in Plants. Regulation of Tetrahydrofolate Synthesis during Germination and Seedling Development. *Plant physiology, 131*(3), 1431-1439. https://doi.org/10.1104/pp.016915

Jägerstad, M., Piironen, V., Walker, C., Ros, G., Carnovale, E., Holasova, M., & Nau, H. (2005). Increasing natural food folates through bioprocessing and biotechnology. *Trends in Food Science & Technology, 16*(6-7), 298-306. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.03.005

Kariluoto, S., Liukkonen, K.-H., Myllymäki, O., Vahteristo, L., Kaukovirta-Norja, A., & Piironen, V. (2006). Effect of Germination and Thermal Treatments on Folates in Rye. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54*(25), 9522-9528. https://doi.org/10.1021/jf061734j

Katina, K., Liukkonen, K.-H., Kaukovirta-Norja, A., Adlercreutz, H., Heinonen, S.-M., Lampi, A. M., Pihlava, J.-M., & Poutanen, K. (2007a). Fermentation-induced changes in the nutritional value of native or germinated rye. *Journal of Cereal Science,* 46(3), 348-355. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.07.006

Katina, K., Laitila, A., Juvonen, R., Liukkonen, K.-H., Kariluoto, S., Piironen, V., Landberg, N., Aman, P., & Poutanen, K. (2007b). Bran fermentation as a means to enhance technological properties and bioactivity of rye. *Food Microbiology, 24*(2), 175-186. https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.012

Kim, H. Y., Lee, S. H., Hwang, I. G., Woo, K. S., Kim, K. J., Lee, M. J., Kim, D. J., Kim, T. J., Lee, J., & Jeong, H. S. (2013). Antioxidant and antiproliferation activities of winter cereal crops before and after germination. *Food Science and Biotechnology, 22*(1), 181-186. https://doi.org/10.1007/s10068-013-0025-9

Klose, C., & Arendt, E. K. (2012). Proteins in Oats; their Synthesis and Changes during Germination: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 52*(7), 629-639. https://doi.org/10.1080/10408398.2010.504902

Klose, C., Schehl, B. D., & Arendt, E. K. (2009). Fundamental study on protein changes taking place during malting of oats. *Journal of Cereal Science, 49*(1), 83-91. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.07.014

Koehler, P., Hartmann, G., Wieser, H., & Rychlik, M. (2007). Changes of Folates, Dietary Fiber, and Proteins in Wheat As Affected by Germination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55*(12), 4678-4683. https://doi.org/10.1021/jf0633037

Konietzny, U., & Greiner, R. (2002). Molecular and catalytic properties of phytate-degrading enzymes (phytases). *International Journal of Food Science and Technology, 37*(7), 791-812. https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00617.x

Krahl, M., Zarnkow, M., Back, W., & Becker, T. (2010). Determination of the Influence of Malting Parameters on the Water-Extractable Arabinoxylan Content of Wheat *(Triticum Aestivum)*, Rye *(Secale cereale)*, and Spelt Wheat *(Triticum aestivum spp. spelta)*. *Journal of the American Society of Brewing Chemists, 68*(1), 34-40. https://doi.org/10.1094/asbcj-2009-1126-01

Kubicka, E. Grabska, J., Jędrychowski, L., & Czyż, B. (2000). Changes of specific activity of lipase and lipoxygenase during germination of wheat and barley. *International Journal of Food Sciences and Nutrition, 51*, 301-304. https://doi.org/10.1080/09637480050077194

Lampi, A.-M., Nurmi, T., & Piironen, V. (2010). Effects of the Environment and Genotype on Tocopherols and Tocotrienols in Wheat in the healthgrain Diversity Screen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58*(17), 9306-9313. https://doi.org/10.1021/jf100253u

Larsson, M., & Sandberg, A.-S. (1992). Phytate Reduction in Oats during Malting. *Journal of Food Science, 57*(4), 994-997. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb14340.x

Lebiedzińska, A., & Szefer, P. (2006). Vitamins B in grain and cereal–grain food, soy-products and seeds. *Food Chemistry, 95*(1), 116-122. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.024

Lemmens, E., De Brier, N., Spiers, K. M., Ryan, C., Garrevoet, J., Falkenberg, G., Goos, P., Smolders, E., & Delcour, J. A. (2018). The impact of steeping, germination and hydrothermal processing of wheat *(Triticum aestivum L.)* grains on phytate hydrolysis and the distribution, speciation and bio-accessibility of iron and zinc elements. *Food Chemistry, 264*, 367-376. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.125

Lemmens, E, Moroni, A. V., Pagand, J., Heirbaut, P., Ritala, A., Karlen, Y., Le, K.-A., Van der Broeck, H. C., Brouns, F. J. P. H., de Brier, N., & Delcour, J. A. (2019). Impact of Cereal Seed Sprouting on Its Nutritional and Technological Properties: A Critical Review. *Comprehensive Reviewsin Food Science and Food Safety, 18*, 305-328. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12414

Lestienne, I., Icard-Vernière, C., Mouquet, C., Picq, C., & Trèche, S. (2005). Effects of soaking whole cereal and legume seeds on iron, zinc and phytate contents. *Food Chemistry, 89*(3), 421-425. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.03.040

Li, Y., Lu, J., Gu, G., Shi, Z., & Mao, Z. (2005). Studies on water-extractable arabinoxylans during malting and brewing. *Food Chemistry, 93*(1), 33-38. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.040

Lintschinger, J., Fuchs, N., Moser, H., Jäger, R., Hlebeina, T., Markolin, G., & Gössler, W. (1997). Uptake of various trace elements during germination of wheat, buckwheat and quinoa. *Plant Foods for Human Nutrition, 50*(3), 223-237. https://doi.org/10.1007/bf02436059

Liukkonen, K.-H., Katina, K., Wilhelmsson, A., Myllymaki, O., Lampi, A.-M., Kariluoto, S., Piironen, V., Heinonen, S.-M., Nurmi, T., Adlercreutz, H., Peltoketo, A., Pihlava, J.-M., Hietaniemi, V., & Poutanen, K. (2003). Process-induced changes on bioactive compounds in whole grain rye. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62(1), 117-122. https://doi.org/10.1079/pns2002218

Lu, J., Zhao, H., Chen, J., Fan, W., Dong, J., Kong, W., Sun J., Cao, Y., & Cai, G. (2007). Evolution of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity during Malting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55*(26), 10994-11001. https://doi.org/10.1021/jf0722710

Luo, Y.-W., Xie, W.-H., Jin, X.-X., Wang, Q. & He, Y.-J. (2013). Effects of germination on iron, zinc, calcium, manganese, and copper availability from cereals and legumes. *CyTA - Journal of Food, 12*(1), 22-26. https://doi.org/10.1080/19476337.2013.782071

Mäkinen, O. E., & Arendt, E. K. (2012). Oat malt as a baking ingredient – A comparative study of the impact of oat, barley and wheat malts on bread and dough properties. *Journal of Cereal Science, 56*(3), 747-753. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.08.009

Mäkinen, O. E., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2013). Germination of Oat and Quinoa and Evaluation of

the Malts as Gluten Free Baking Ingredients. *Plant Foods for Human Nutrition, 68*(1), 90-95. https://doi.org/10.1007/s11130-013-0335-3

Mandeep, S. Sibian, D. C. S., & Riar, C. C. (2016). Nutritional and functional quality analysis and amino acid score evaluation of germinated wheat *(Triticum aestivum)* grain. *International Journal of Food Science and Nutrition, 1*(4), 16-22.

Malleshi, N. G., & Klopfenstein, C. F. (1998). Nutrient composition, amino acid and vitamin contents of malted sorghum, pearl millet, finger millet and their rootlets. *International Journal of Food Sciences and Nutrition, 49*(6), 415-422. https://doi.org/10.3109/09637489809086420

Mardar, M., Zhygunov, D., & Znachek, R. (2016). QFD methodology to develop a new health-conducive grain product. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2*, 42-48. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65725

Marconi, O., Tomasi, I., Dionisio, L., Perretti, G., & Fantozzi, P. (2014). Effects of malting on molecular weight distribution and content of water-extractable β-glucans in barley. *Food Research International, 64*, 677-682. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.07.035

Martínez-Villaluenga, C., & Peñas Pozo, E. (2020). *Production,Properties and Applications of Sprouted Seeds*. MDPI, Switzerland. https://doi.org/10.3390/books978-3-03943-317-9

Mbithi-Mwikya, S., Van Camp, J., Yiru, Y., & Huyghebaert, A. (2000). Nutrient and Antinutrient Changes in Finger Millet (Eleusine coracan) During Sprouting. *LWT - Food Science and Technology*, 33(1), 9-14. https://doi.org/10.1006/fstl.1999.0605

Mridula, D., Sharma, M. & Gupta, R. K. (2015). Development of quick cooking multi-grain dalia utilizing sprouted grains. *Journal of Food Science and Technology,* (52), 5826-5833. https://doi.org/10.1007/s13197-014-1634-x

Noda, T., Takigawa, S., Matsuuraendo, C., Saito, K., Takata, K., Tabiki, T., Wickramasinghe, H. A. M., & Yamauchi, H. (2004). The physicochemical properties of partially digested starch from sprouted wheat grain. *Carbohydrate Polymers, 56*(3), 271-277. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2003.10.015

Ohm, J.-B., Lee, C. W., & Cho, K. (2016). Germinated Wheat: Phytochemical Composition and Mixing Characteristics. *Cereal Chemistry Journal, 93*(6), 612-617. https://doi.org/10.1094/cchem-01-16-0006-r

Osman, A. M., Coverdale, S. M., Cole, N., Hamilton, S. E., Jersey, J. & Inkerman, P. A. (2002). Characterisation and Assessment of the Role of Barley Malt Endoproteases During Malting and Mashing. *Journal of the Institute of Brewing, 108*(1), 62-67. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2002.tb00125.x

Ozturk, L., Yazici, M. A., Yucel, C., Torun, A., Cekic, C., Bagci, A., Ozkan, H., Braun, H.-J., Sayers, Z., & Cakmak, I. (2006). Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. *Physiologia Plantarum, 128*(1), 144-152. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00737.x

Perera, A., Meda, V. & Tyler, R. T. (2010). Resistant starch: A review of analytical protocols for determining resistant starch and of factors affecting the resistant starch content of foods. *Food Research International, 43*(8), 1959-1974. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.06.003

Persson, H., Türk, M., Nyman, M., & Sandberg, A.-S. (1998). Binding of Cu^{2+}, Zn^{2+}, and Cd^{2+} to Inositol Tri-, Tetra-, Penta-, and Hexaphosphates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 46*(8), 3194-3200. https://doi.org/10.1021/jf971055w

Peterson, D. M. (1999). Lipase Activity and Lipid Metabolism During Oat Malting. *Cereal Chemistry Journal, 76*(1), 159-163. https://doi.org/10.1094/cchem.1999.76.1.159

Peterson, D. M. (1998). Malting Oats: Effects on Chemical Composition of Hull-less and Hulled Genotypes. *Cereal Chemistry Journal, 75*(2), 230-234. https://doi.org/10.1094/cchem.1998.75.2.230

Platel, K., Eipeson, S. W., & Srinivasan, K. (2010). Bioaccessible Mineral Content of Malted Finger Millet *(Eleusine coracana)*, Wheat *(Triticum aestivum)*, and Barley *(Hordeum vulgare)*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58*(13), 8100-8103. https://doi.org/10.1021/jf100846e

Plaza, L., de Ancos, B., & Cano, P. M. (2003). Nutritional and health-related compounds in sprouts and seeds of soybean *(Glycine max)*, wheat *(Triticum aestivum.L)* and alfalfa *(Medicago sativa)* treated by a new drying method. *European Food Research and Technology, 216*(2), 138-144. https://doi.org/10.1007/s00217-002-0640-9

Pompella, A., Sies, H., Wacker, R., Brouns, F., Grune, T., Biesalski, H. K., & Frank, J. (2014). The use of total antioxidant capacity as surrogate marker for food quality and its effect on health is to be discouraged. *Nutrition, 30*(7-8), 791-793. https://doi.org/10.1016/j.nut.2013.12.002

Poutanen, K., Flander, L., & Katina, K. (2009). Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective. *Food Microbiology, 26*, 693-699. https://doi.org/10.1016/j.fm.2009.07.011

Quek, W. P., Yu, W., Tao, K., Fox, G. P., & Gilbert, R. G. (2019). Starch structure-property relations as a function of barley germination times. *International Journal of Biological Macromolecules, 136*, 1125-1132. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.149

Rimsten, L., Haraldsson, A.-K., Andersson, R., Alminger, M., Sandberg, A.-S., & Åman, P. (2002). Effects of malting on β-glucanase and phytase

activity in barley grain. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 82*(8), 904-912. https://doi.org/10.1002/jsfa.1135

Rudi, H., Uhlen, A. K., Harstad, O. M., & Munck, L. (2006). Genetic variability in cereal carbohydrate compositions and potentials for improving nutritional value. *Animal Feed Science and Technology, 130*(1-2), 55-65. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.01.017

Schlemmer, U., Frølich, W., Prieto, R. M., & Grases, F. (2009). Phytate in foods and significance for humans: Food sources, intake, processing, bioavailability, protective role and analysis. *Molecular Nutrition & Food Research, 53*, 330-375. https://doi.org/10.1002/mnfr.200900099

Schwalb, T., Wieser, H., & Koehler, P. (2012). Studies on the gluten-specific peptidase activity of germinated grains from different cereal species and cultivars. *European Food Research and Technology, 235*(6), 1161-1170. https://doi.org/10.1007/s00217-012-1853-1

Sibian, M. S., Saxena, D. C., & Riar, C. S. (2017). Effect of germination on chemical, functional and nutritional characteristics of wheat, brown rice and triticale: a comparative study. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 97*(13), 4643-4651. https://doi.org/10.1002/jsfa.8336

Simahina, G., Bazhay-Zhezherun, S., Mykoliv, T., Bereza-Kindzerska, L.V., & Antoniuk, M. M. (2016). The use of the biologically activated grain is in technology of health products. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal), 9*(4), 147-153.

Skoglund, M., Peterson, D. M., Andersson, R., Nilsson, J., & Dimberg, L. H. (2008). Avenanthramide content and related enzyme activities in oats as affected by steeping and germination. *Journal of Cereal Science, 48*(2), 294-303. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.09.010

Sung, H. G., Shin, H. T., Ha, J. K., Lai, H.-L., Cheng, K.-J., & Lee, J. H. (2005). Effect of germination temperature on characteristics of phytase production from barley. *Bioresource Technology, 96*(11), 1297-1303. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.10.010

Sungurtas, J., Swanston, J. ., Davies, H., & McDougall, G. (2004). Xylan-degrading enzymes and arabinoxylan solubilisation in barley cultivars of differing malting quality. *Journal of Cereal Science, 39*(2), 273-281. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.11.001

Świeca, M., & Dziki, D. (2015). Improvement in sprouted wheat flour functionality: effect of time, temperature and elicitation. *International Journal of Food Science & Technology, 50*(9), 2135-2142. https://doi.org/10.1111/ijfs.12881

Teixeira, C., Nyman, M., Andersson, R., & Alminger, M. (2016). Effects of variety and steeping conditions on some barley components associated with colonic health. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 96*(14), 4821-4827. https://doi.org/10.1002/jsfa.7923

Tian, B., Xie, B., Shi, J., Wu, J., Cai, Y., Xu, T., Xue, S., & Deng, Q. (2010). Physicochemical changes of oat seeds during germination. *Food Chemistry, 119*(3), 1195-1200. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.035

Wang, J., Zhang, G., Chen, J., & Wu, F. (2004). The changes of β-glucan content and β-glucanase activity in barley before and after malting and their relationships to malt qualities. *Food Chemistry, 86*(2), 223-228. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.08.020

Wilhelmson, A., Oksman-Caldentey, K.-M., Laitila, A., Suortti, T., Kaukovirta-Norja, A., & Poutanen, K. (2001). Development of a Germination Process for Producing High β-Glucan, Whole Grain Food Ingredients from Oat. *Cereal Chemistry Journal, 78*(6), 715-720. https://doi.org/10.1094/cchem.2001.78.6.715

Woodward, J., Fincher, G., & Stone, B. (1983). Water-soluble (1–3), (1–4)-β-D-glucans from barley (Hordeum vulgare) endosperm. II. Fine structure. *Carbohydrate Polymers, 3*(3), 207-225. https://doi.org/10.1016/0144-8617(83)90019-x

Xie, L., Jin, Y., Du, J., & Zhang, K. (2014). Water-soluble protein molecular weight distribution and effects on wheat malt quality during malting. *Journal of the Institute of Brewing end Distilling, 120*(4), 399-403. https://doi.org/10.1002/jib.182

Xu, J. G., Tian, C. R., Hu, Q. P., Luo, J. Y., Wang, X. D., & Tian, X. D. (2009). Dynamic Changes in Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Oats *(Avena nudaL.)* during Steeping and Germination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57*(21), 10392-10398. https://doi.org/10.1021/jf902778j

Yang, T. K., Basu, B., & Ooraikul, F. (2001). Studies on germination conditions and antioxidant contents of wheat grain. *International Journal of Food Sciences and Nutrition, 52*(4), 319-330. https://doi.org/10.1080/09637480120057567

Zenkova, M. L., & Babich, D. A. (2018). Wheat grain preparing for production of conserved food “Second course for lunch”. *Food Processing: Techniques and Technology, 48*(2), 46-53. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-46-53

Žilić, S., Basić, Z., Hadži-Tašković Šukalović, V., Maksimović, V., Janković, M., & Filipović, M. (2014). Can the sprouting process applied to wheat improve the contents of vitamins and phenolic compounds and antioxidant capacity of the flour? *International Journal of Food Science & Technology, 49*(4), 1040-1047. https://doi.org/10.1111/ijfs.12397

The Influence of the Sprouting Process of Grain Crops on their Nutritional Value

Maria L. Zenkova
Belarusian State Economic University
26, Partizanskiy Av., Minsk, 220070, Republic of Belarus
E-mail: mariya_lz@mail.ru

Alexander V. Akulich
Belarusian State University of Food and Chemical Technologies
3, Shmidt Av., Mogilev, 212027, Republic of Belarus
E-mail: akulichav57@mail.ru

The sprouting process leads to the activation and synthesis of hydrolytic enzymes that make nutrients available for plant growth and development. Consumption of sprouted grains is considered beneficial for human health. The positive consumer perception of sprouted grains of grain crops is stimulating the development of new food products. However, because of the lack of a basic definition of «sprouted grain», it is not clear when grain should be called sprouted. In addition, there are currently no quality criteria for sprouted grains. Accordingly, there is no regulatory framework for the development of appropriate labeling of food products containing sprouted grains. The review examines the nutritional value of sprouted grains of grain crops depending on the conditions of sprouting and provides recommendations for the optimization of sprouting methods to maximize the nutritional value. Relatively long sprouting time (at least 2 days) at sufficiently high temperatures (20 to 35 °C) are necessary for the synthesis of bioactive plant compounds Changes in nutritional value as a result of sprouting are often related to health benefits. However, there are very few confirmatory clinical research, and no conclusions about the health benefits of sprouted grains can be reached at this time. Furthermore, sprouted grains are not a traditional raw material in the food industry and therefore it is difficult to use sprouted grains as a recipe ingredient in food production without losing their nutrients. This review provides a basis for a more precise definition of the «sprouting» process, and allows us to determine directions for further research and development in this area.

Keywords: grain, sprouted grain, sprouting process, sprouts, grain crops, nutritional value

References

Abagalieva, A. I., & Savin, T. V. (2013). Soderzhanie β-glyukana v zerne ovsa [The content of β-glucan in oat grain]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [*Siberian Bulletin of Agricultural Science*], *4*, 76-83.

Alekhina, N. N. (2020). *Zernovoi khleb dlya povysheniya pishchevogo statusa naseleniya: bioaktivatsiya zlakovykh kul'tur, resursosberezhenie syr'ya, razrabotka tekhnologii i rasshirenie assortimenta produktsii* [Grain bread to improve the nutritional status of the population: bioactivation of cereals, resource conservation of raw materials, development of technologies and expansion of the range of products] [Doctoral Dissertation, Voronezhskii gosudarstvennyi universitet inzhenernykh tekhnologii]. Voronezh, Russia.

Aniol, V. A., & Stepanichev, M. Yu. (2007). Oksid azota (II) i gamma-aminomaslyannaya kislota kak regulyatory neirogeneza v mozge vzroslykh mlekopitayushchikh pri modelirovanii sudorozhnoi aktivnosti [Nitric oxide (II) and gamma-aminobutyric acid as regulators of neurogenesis in the brain of adult mammals in modeling seizure activity]. *Neirokhimiya* [*Neurochemistry*], *24*(4), 279-289.

Babayan, M. L. (2011). Vliyanie polisakharidov na vnutrikishechnyi metabolizm: Fiziologicheskie aspekty i vozmozhnosti klinicheskogo primeneniya [The effect of polysaccharides on intraintestinal metabolism: Physiological aspects and potential clinical applications]. *Lechashchii vrach* [Therapist], *6*, 92-94.

Bulgakov, N. I. (1976). *Biokhimiya soloda i piva* [*Biochemistry of malt and beer*]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost'.

Veretnova, O. Yu., & Safronova, T. N. (2015). Razrabotka retseptury myasnykh kombinirovannykh farshei s ispol'zovaniem proroshchennogo zerna pshenitsy [Development of a recipe for combined minced meat using sprouted wheat grain]. Vestnik *Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrar-*

nogo universiteta [*Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*], *10*, 112-115.

Gematdinova, V. M., Kanarskii, A. V., Kanarskaya, Z. A., & Kruchina-Bogdanov, I. V. (2019). Poluchenie kontsentrata β-glyukana prorashchivaniem ovsa [Obtaining β-glucan concentrate by sprouting oats]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [*Chemistry of Plant Raw Materials*], *2*, 231-237. https://doi.org/10.14258/jcprm.2019024251

Gil'mullina, L. F., Ponomareva, M. L., Ponomarev, S. N., & Mannapova, G. S. (2021). Metody kachestvennogo i kolichestvennogo opredeleniya arabinoksilanov v zerne zlakov (obzor) [Methods for the qualitative and quantitative determination of arabinoxylans in cereal grains (review)]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [*Chemistry of Plant Raw Materials*], *1*, 27-43. https://doi.org/10.14258/jcprm.2021017713

Dubtsov, G. G., Berezhnaya, O. V., & Voino, L. I. (2015). Prorostki pshenitsy – ingredient dlya produktov pitaniya [Wheat sprouts - food ingredient]. *Pishchevaya promyshlennost'* [*Food industry*], *5*, 26-29.

Zen'kova, M. L., Akulich, A. V., Mel'nikova, L. A., & Timofeeva, V. N. (2020). Issledovanie nutrientnogo profilya proroshchennogo zerna myagkoi pshenitsy, vyrashchennoi v Belarusi [Study of the nutritional profile of sprouted grain of common wheat grown in Belarus]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya* [*Storage and processing of Farm Products*], *3*, 58-68. https://doi.org/10.36107/spfp.2020.339

Kazakov, E. D. (1973). *Zernovedenie s osnovami rastenievodstva* [*Grain science with the basics of crop production*]. Moscow: Kolos.

Kazakov, E. D. & Karpilenko, G. P. (2005). *Biokhimiya zerna i khleboproduktov* [*Biochemistry of grain and bakery products*] (3rd ed.). S-Petersburg: GIORD.

Kretovich, V. L. (1986). *Biokhimiya rastenii* [*Plant biochemistry*]. Moscow: Vysshaya shkola.

Kryukov, V. S., Glebova, I. V., & Antipov, A. A. (2019). Otsenka deistviya fitaz v pishchevaritel'nom trakte i ispol'zovanie preparatov fitazy v pitanii zhivotnykh [Assessment of the action of phytases in the digestive tract and the use of phytase preparations in animal nutrition]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh* [*Problems of the biology of productive animals*], *2*, 19-43. https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2019.2.19-43

Kuznetsova, E. A., Goncharov, Yu. V., & Paramonov, I. N. (2011). Izmenenie nekotorykh pokazatelei belkovogo kompleksa zerna pshenitsy pri prorashchivanii v protsesse podgotovki k proizvodstvu khlebobulochnykh izdelii [Changes in some indicators of the protein complex of wheat grain during germination in preparation for the production of bakery products]. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov* [*Technology and commodity science of innovative food products*], *1*, 24-31.

Kuznetsova, E. A. (2010). Izmenenie biokhimicheskikh svoistv zerna pshenitsy pri podgotovke k proizvodstvu zernovogo khleba s ispol'zovaniem fermentativnogo gidroliza [Changes in the biochemical properties of wheat grain in preparation for the production of grain bread using enzymatic hydrolysis]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya* [*Storage and processing of Farm Products*], *5*, 38-41.

Kuntse, V., & Mit, G. (2001). Tekhnologiya soloda i piva [Malt and beer technology]. S-Petersburg: Professiya.

Leonova, S., Nigmat'yanov, A., & Fazylov M. (2010). Razrabotka tekhnologii natsional'nogo krupyanogo produkta iz proroshchennogo zerna [Development of technology for a national cereal product from sprouted grain]. *Khleboprodukty* [*Bakery Products*], *9*, 48-49.

Nikolaeva, M. G., & Obrucheva, N. V. (Red.) (1982). *Fiziologiya i biokhimiya pokoya i prorastaniya semyan* [*Physiology and biochemistry of dormancy and germination of seeds*]. Moscow: Kolos.

Polonskii, V. I., & Sumina, A. V. (2013). Soderzhanie β-glyukanov v zerne kak perspektivnyi priznak pri selektsii yachmenya na pishchevoe ispol'zovanie [The content of β-glucans in grain as a promising trait in breeding barley for food use]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [*Agricultural Biology*], *5*, 30-43.

Pyr'eva, E. A., & Safronova, A. I. (2019). Rol' i mesto pishchevykh volokon v strukture pitaniya naseleniya [The role and place of dietary fiber in the structure of the population's nutrition]. *Voprosy pitaniya* [*Nutrition Issues*], *88*(6), 5-11. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10059

Rogozhina, T. V., & Rogozhin, V. V. (2010). Rol' komponentov antioksidantnoi sistemy v mekhanizmakh prorastaniya zeren pshenitsy [The role of the components of the antioxidant system in the mechanisms of germination of wheat grains]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [*Altai State Agrarian University Bulletin*], *11*, 31-38.

Samchenko, O. N., & Merkucheva, M. A. (2015). Proroshchennoe zerno – perspektivnoe syr'e dlya razrabotki novykh vidov izdelii [Sprouted grain is a promising raw material for the development of new types of products]. *Novyi universitet. Seriya: tekhnicheskie nauki* [*New University. Series: technical sciences*], *7-8*, 27-32.

Safronova, T. N., & Evtukhova, O. M. (2014). Tekhnologii pishchevykh produktov s ispol'zo-

vaniem pererabotannogo proroshchennogo zerna pshenitsy [Food Technology Using Processed Sprouted Wheat Grain]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya* [*Storage and processing of Farm Products*], *4*, 49-52.

Tkachenko, E. I., & Grinevich, V. B. (2020). Metabolicheskie aspekty terapevticheskikh problem [Metabolic Aspects of Therapeutic Problems]. *Eksperimental'naya i klinicheskaya gastroenterologiya* [*Experimental and Clinical Gastroenterology*], *179*(7), 52-61. https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-179-7-52061

Urbanchik, E. N., & Shalyuta, A. E. (2012). Poluchenie produktov bystrogo prigotovleniya na osnove proroshchennogo zerna pshenitsy i tritikale [Obtaining instant products based on wheat germ and triticale]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya* [*Storage and processing of Farm Products*], *7*, 24-26.

Khosni, R. K. (2006). *Zerno i zernoprodukty: Nauchnye osnovy i tekhnologii* [*Grain and grain products: Scientific foundations and technologies*]. S-Petersburg: Professiya.

Chizhikova, O., Nizhel'skaya, K., & Korshenko, L. (2017). Ispol'zovanie produktov pererabotki zerna pshenitsy dlya myasnykh rublenykh polufabrikatov gerodieticheskogo naznacheniya [The use of wheat grain processing products for minced meat semi-finished products for heroic purposes]. *Izvestiya Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta. Ekonomika i upravlenie* [*Bulletin of the Far Eastern Federal University. Economics and Management*], *4*, 123-131.

Chumikina, L. V. Arabova, L. I., & Topunov, A. F. (2009). Biokhimicheskie osobennosti izmeneniya belkovogo i fermentnogo kompleksov i kleikoviny zerna tritikale pri prorastanii [Biochemical features of changes in protein and enzyme complexes and gluten of triticale grain during germination]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [*Proceedings of Universities. Food Technology*], *2-3*, 9-12.

Sharafetdinov, Kh. Kh. & Plotnikova, O. A. (2020). Ozhirenie kak global'nyi vyzov XXI veka: lechebnoe pitanie, profilaktika i terapiya [Obesity as a Global Challenge of the 21st Century: Nutritional Care, Prevention and Therapy]. *Voprosy pitaniya* [*Nutrition Issues*], *89*(4), 161-171. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10050

Sharshunov, V. A., Urbanchik, E. N., Kas'yanova, L. A., Ivanov, P. G., & Ageenko, O. V. (2008). Biotekhnologicheskie priemy povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya zernovykh resursov Belarusi [Biotechnological methods of increasing the efficiency of the use of grain resources in Belarus]. *Vestsi natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk* [*To conduct the National Academy of Sciences of Belarus. A series of agricultural sciences*], *1*, 101-106.

Sharshunov, V. A., Urbanchik, E .N., Shalyuta, A. E., & Galdova, M. N. (2016). Poluchenie biologicheski aktivnogo zeonovogo produkta na osnove smesei proroshchennogo zerna pshenitsy i ovsa golozernogo [Obtaining a biologically active zeon product based on mixtures of germinated wheat grain and naked oats]. *Vestsi natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk* [*To conduct the National Academy of Sciences of Belarus. A series of agricultural sciences*], *4*, 118-125.

Shneider, D. (2010). Makaronnye izdeliya iz tsel'nosmolotogo i proroshchennogo zerna pshenitsy [Whole-ground and sprouted wheat pasta]. *Khleboprodukty* [*Bakery Products*], *8*, 46-47.

Shchelkunov, L. F., & Dudkin, M. S. (1999). Pishchevye volokna – blokatory i dekorporanty radionuklidov tseziya i strontsiya [Dietary fiber - blockers and decorators of cesium and strontium radionuclides]. *Gigiena i sanitariya: nauchno-prakticheskii zhurnal* [*Hygiene and Sanitation: Scientific and Practical Journal*], *2*, 40-43.

Agu, R. C., & Palmer, G. H. (1997). The effect of temperature on the modification of sorghum and barley during malting. *Process Biochemistry, 32*(6), 501-507. https://doi.org/10.1016/s0032-9592(97)00002-2

Ahmad, M., Gani, A., Shah, A., Gani, A., & Masoodi, F. A. (2016). Germination and microwave processing of barley (*Hordeum vulgare L*) changes the structural and physicochemical properties of β- d -glucan end enhances its antioxidant potential. *Carbohydrate Polymers, 153*, 696-702. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.07.022

Alvarez-Jubete, L., Wijngaard, H., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food Chemistry, 119*(2), 770-778. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.032

Åman, P., Graham, H., & Tilly, A.-C. (1989). Content and solubility of mixed-linked (1-3), (1-4)-β-d-glucan in barley and oats during kernel development and storage. *Journal of Cereal Science, 10*(1), 45-50. https://doi.org/10.1016/s0733-5210(89)80033-5

Aparicio-García, N., Martínez-Villaluenga, C., Frias, J., & Peñas, E. (2021). Sprouted oat as a potential gluten-free ingredient with enhanced nutritional and bioactive properties. *Food Chemistry, 338*, 127972. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127972

Archana, Sehgal, S., & Kawatra, A. (2001). In vitro protein and starch digestibility of pearl millet (Pennisetum gluacum L.) as affect-

ed by processing techniques. *Nahrung/Food, 45*(1), 25-27. https://doi.org/10.1002/1521-3803(20010101)45:1<25::aid-food25>3.0.co;2-w

Autio, K., Simoinen, T., Suortti, T., Salmenkallio-Marttila, M., Lassila, K., & Wilhelmson, A. (2001). Structural and Enzymic Changes in Germinated Barley and Rye. *Journal of the Institute of Brewing, 107*(1), 19-25. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2001.tb00075.x

Azeke, M. A., Egielewa, S. J., Eigbogbo, M. U., & Ihimire, I. G. (2011). Effect of germination on the phytase activity, phytate and total phosphorus contents of rice *(Oryza sativa)*, maize *(Zea mays)*, millet *(Panicum miliaceum)*, sorghum *(Sorghum bicolor)* and wheat *(Triticum aestivum)*. *Journal of Food Science and Technology, 48*(6), 724-729. https://doi.org/10.1007/s13197-010-0186-y

Badau, M. H., Nkama, I., & Jideani, I. A. (2005). Phytic acid content and hydrochloric acid extractability of minerals in pearl millet as affected by germination time and cultivar. *Food Chemistry, 92*(3), 425-435. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.006

Bamforth, C. W., & Kanauchi, M. (2001). A Simple Model for the Cell Wall of the Starchy Endosperm in Barley. *Journal of the Institute of Brewing, 107*(4), 235-240. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2001.tb00095.x

Bamforth, C. W., & Martin, H. L. (1983). The degradation of β-glucan during malting and mashing: the role of β-glucanase. *Journal of the Institute of Brewing, 89*(4), 303-307. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1983.tb04190.x

Bartnik, M., & Szafrańska, I. (1987). Changes in phytate content and phytase activity during the germination of some cereals. *Journal of Cereal Science, 5*(1), 23-28. https://doi.org/10.1016/s0733-5210(87)80005-x

Bast, A., & Haenen, G. R. M. M. (2013). Ten misconceptions about antioxidants. *Trends in Pharmacological Sciences, 34*(8), 430-436. https://doi.org/10.1016/j.tips.2013.05.010

Benincasa, P., Falcinelli, B., Lutts, S., Stagnari, F., & Galieni, A. (2019). Sprouted Grains: A Comprehensive Review. *Nutrients, 11*(2), 421. https://doi.org/10.3390/nu11020421

Bouis, H. E., Hotz, C., McClafferty, B., Meenakshi, J. V., & Pfeiffer, W. H. (2011). Biofortification: A New Tool to Reduce Micronutrient Malnutrition. *Food and Nutrition Bulletin, 32*(1), 31-40. https://doi.org/10.1177/15648265110321s105

Burton, R. A., & Fincher, G. B. (2014). Evolution and development of cell walls in cereal grains. *Frontiers in Plant Science, 5*, 456. https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00456

Buttimer, E. T., & Briggs, D. E. (2000). Mechanisms of the Release of Bound β-Amylase. *Journal of the Institute of Brewing, 106*(2), 83-94. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2000.tb00043.x

Corder, A. M., & Henry, R. J. (1989). Carbohydrate-degrading enzymes ingerminating wheat. *Cereal Chemistry, 66*, 435-439.

Chung, T. Y., Nwokolo, E. N., & Sim, J. S. (1989). Compositional and digestibility changes in sprouted barley and canola seeds. *Plant Foods for Human Nutrition, 39*(3), 267-278. https://doi.org/10.1007/bf01091937

De Backer, E., Gebruers, K., Van den Ende, W., Courtin, C. M., & Delcour, J. A. (2010). Post-translational processing of β-d-xylanases and changes in extractability of arabinoxylans during wheat germination. *Plant Physiology and Biochemistry, 48*(2-3), 90-97. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.10.008

Donkor, O. N., Stojanovska, L., Ginn, P., Ashton, J., & Vasiljevic, T. (2012). Germinated grains – Sources of bioactive compounds. *Food Chemistry, 135*(3), 950-959. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.058

Duke, S. H., Vinje, M. A., & Henson, C. A. (2013). Tracking Amylolytic Enzyme Activities During Congress Mashing with North American Barley Cultivars: Comparisons of Patterns of Activity and beta-Amylases with Differing Bmy1 Intron III Alleles and Correlations of Amylolytic Enzyme Activities. *Cerevisia, 38*(2), 51-52. https://doi.org/10.1016/j.cervis.2013.09.003

Centeno, C., Viveros, A., Brenes, A., Canales, R., Lozano, A. & De la Cuadra, C. (2001). Effect of Several Germination Conditions on Total P, Phytate P, Phytase, and Acid Phosphatase Activities and Inositol Phosphate Esters in Rye and Barley. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49*(7), 3208-3215. https://doi.org/10.1021/jf010023c

Chung, H.-J., Jang, S.-H., Cho, H. Y., & Lim, S.-T. (2009). Effects of steeping and anaerobic treatment on GABA (γ-aminobutyric acid) content in germinated waxy hull-less barley. *LWT - Food Science and Technology, 42*(10), 1712-1716. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.04.007

EFSA (2015). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for vitamin E as α-tocopherol. EFSA Journal, *13*(7), 4149-4220. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4149

Ellis, R. P., Swanston, J. S., Rubio, A., Perez-Vendrell, A. M., Romagosa, I., & Molina-Cano, J. L. (1997). The Development of β-Glucanase and Degradation of β-Glucan in Barley Grown in Scotland and Spain. *Journal of Cereal Science, 26*(1), 75-82. https://doi.org/10.1006/jcrs.1996.0105

Faltermaier, A., Zarnkow, M., Becker, T., Gastl, M., & Arendt, E. K. (2015). Common wheat *(Triticum aes-*

tivum L.): Evaluating microstructural changes during the malting process by using confocal laser scanning microscopy and scanning electron microscopy. *European Food Research and Technology, 241*(2), 239-252. https://doi.org/10.1007/s00217-015-2450-x

Fardet, A., Rock, E., & Rémésy, C. (2008). Is the in vitro antioxidant potential of whole-grain cereals and cereal products well reflected in vivo? *Journal of Cereal Science, 48*(2), 258-276. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.01.002

Feng, H., Nemzer, B., & Devries, J. (2019). *Sprouted grains: nutritional value, production, and applications*. Woodhead Publishing and AACC International Press. https://doi.org/10.1016/C2016-0-01536-X

Fredlund, K., Bergman, E.-L., Rossander-Hulthén, L., Isaksson, M., Almgren, A., & Sandberg, A.-S. (2003). Hydrothermal treatment and malting of barley improved zinc absorption but not calcium absorption in humans. *European Journal of Clinical Nutrition, 57*(12), 1507-1513. https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601718

Gujska, E., & Kuncewicz, A. (2005). Determination of folate in some cereals and commercial cereal-grain products consumed in Poland using trienzyme extraction and high-performance liquid chromatography methods. *European Food Research and Technology, 221*(1-2), 208-213. https://doi.org/10.1007/s00217-004-1122-z

Ha, K.-S., Jo, S.-H., Mannam, V., Kwon, Y.-I., & Apostolidis, E. (2016). Stimulation of Phenolics, Antioxidant and α-Glucosidase Inhibitory Activities During Barley (Hordeum vulgare L.) Seed Germination. *Plant Foods for Human Nutrition, 71*(2), 211-217. https://doi.org/10.1007/s11130-016-0549-2

Haraldsson, A.-K., Rimsten, L., Alminger, M. L., Andersson, R., Andlid, T., Åman, P., & Sandberg, A. S. (2004). Phytate content is reduced and β-glucanase activity suppressed in malted barley steeped with lactic acid at high temperature. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 84*(7), 653-662. https://doi.org/10.1002/jsfa.1724

Hefni, M., & Witthöft, C. M. (2012). Effect of germination and subsequent oven-drying on folate content in different wheat and rye cultivars. *Journal of Cereal Science, 56*(2), 374-378. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.03.009

Hemalatha, S., Platel, K., & Srinivasan, K. (2007). Influence of germination and fermentation on bioaccessibility of zinc and iron from food grains. *European Journal of Clinical Nutrition, 61*(3), 342-348. https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602524

Henry, R. J. (1987). Pentosan and (1–3),(1–4)-β-Glucan concentrations in endosperm and wholegrain of wheat, barley, oats and rye. *Journal of Cereal Science, 6*(3), 253-258. https://doi.org/10.1016/s0733-5210(87)80062-0

Hrmova, M., Banik, M., Harvey, A. J., Garrett, T. P., Varghese, J. N., Høj, P. B., & Fincher, G. B. (1997). Polysaccharide hydrolases in germinated barley and their role in the depolymerization of plant and fungal cell walls. *International Journal of Biological Macromolecules, 21*(1-2), 67-72. https://doi.org/10.1016/s0141-8130(97)00043-3

Hucker, B., Wakeling, L., & Vriesekoop, F. (2012). Investigations into the thiamine and riboflavin content of malt and the effects of malting and roasting on their final content. *Journal of Cereal Science, 56*(2), 300-306. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.03.008

Hung, P.V., Maeda, T., Yamamoto, S., & Morita, N. (2011). Effects of germination on nutritional composition of waxy wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 92*, 667-672. https://doi.org/10.1002/jsfa.4628

Hübner, F., O'Neil, T., Cashman, K. D., & Arendt, E. K. (2010). The influence of germination conditions on beta-glucan, dietary fibre and phytate during the germination of oats and barley. *European Food Research and Technology, 231*(1), 27-35. https://doi.org/10.1007/s00217-010-1247-1

Inyang, C. U., & Zakari, U. M. (2008). Effect of Germination and Fermentation of Pearl Millet on Proximate, Chemical and Sensory Properties of Instant «Fura» - A Nigerian Cereal Food. *Pakistan Journal of Nutrition, 7*(1), 9-12. https://doi.org/10.3923/pjn.2008.9.12

Iqbal, T. H., Lewis, K. O., & Cooper, B. T. (1994). Phytase activity in the human and rat small intestine. *Gut, 35*(9), 1233-1236. https://doi.org/10.1136/gut.35.9.1233

Jabrin, S., Ravanel, S., Gambonnet, B., Douce, R., & Rébeillé, F. (2003). One-Carbon Metabolism in Plants. Regulation of Tetrahydrofolate Synthesis during Germination and Seedling Development. *Plant physiology, 131*(3), 1431-1439. https://doi.org/10.1104/pp.016915

Jägerstad, M., Piironen, V., Walker, C., Ros, G., Carnovale, E., Holasova, M., & Nau, H. (2005). Increasing natural food folates through bioprocessing and biotechnology. *Trends in Food Science & Technology, 16*(6-7), 298-306. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.03.005

Kariluoto, S., Liukkonen, K.-H., Myllymäki, O., Vahteristo, L., Kaukovirta-Norja, A., & Piironen, V. (2006). Effect of Germination and Thermal Treatments on Folates in Rye. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54*(25), 9522-9528. https://doi.org/10.1021/jf061734j

Katina, K., Liukkonen, K.-H., Kaukovirta-Norja, A., Adlercreutz, H., Heinonen, S.-M., Lampi, A. M.,

Pihlava, J.-M., & Poutanen, K. (2007a). Fermentation-induced changes in the nutritional value of native or germinated rye. *Journal of Cereal Science,* 46(3), 348-355. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.07.006

Katina, K., Laitila, A., Juvonen, R., Liukkonen, K.-H., Kariluoto, S., Piironen, V., Landberg, N., Aman, P., & Poutanen, K. (2007b). Bran fermentation as a means to enhance technological properties and bioactivity of rye. *Food Microbiology, 24*(2), 175-186. https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.012

Kim, H. Y., Lee, S. H., Hwang, I. G., Woo, K. S., Kim, K. J., Lee, M. J., Kim, D. J., Kim, T. J., Lee, J., & Jeong, H. S. (2013). Antioxidant and antiproliferation activities of winter cereal crops before and after germination. *Food Science and Biotechnology, 22*(1), 181-186. https://doi.org/10.1007/s10068-013-0025-9

Klose, C., & Arendt, E. K. (2012). Proteins in Oats; their Synthesis and Changes during Germination: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 52*(7), 629-639. https://doi.org/10.1080/10408398.2010.504902

Klose, C., Schehl, B. D., & Arendt, E. K. (2009). Fundamental study on protein changes taking place during malting of oats. *Journal of Cereal Science, 49*(1), 83-91. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.07.014

Koehler, P., Hartmann, G., Wieser, H., & Rychlik, M. (2007). Changes of Folates, Dietary Fiber, and Proteins in Wheat As Affected by Germination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55*(12), 4678-4683. https://doi.org/10.1021/jf0633037

Konietzny, U., & Greiner, R. (2002). Molecular and catalytic properties of phytate-degrading enzymes (phytases). *International Journal of Food Science and Technology, 37*(7), 791-812. https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00617.x

Krahl, M., Zarnkow, M., Back, W., & Becker, T. (2010). Determination of the Influence of Malting Parameters on the Water-Extractable Arabinoxylan Content of Wheat *(Triticum Aestivum)*, Rye *(Secale cereale)*, and Spelt Wheat *(Triticum aestivum spp. spelta)*. *Journal of the American Society of Brewing Chemists, 68*(1), 34-40. https://doi.org/10.1094/asbcj-2009-1126-01

Kubicka, E. Grabska, J., Jędrychowski, L., & Czyż, B. (2000). Changes of specific activity of lipase and lipoxygenase during germination of wheat and barley. *International Journal of Food Sciences and Nutrition, 51*, 301-304. https://doi.org/10.1080/09637480050077194

Lampi, A.-M., Nurmi, T., & Piironen, V. (2010). Effects of the Environment and Genotype on Tocopherols and Tocotrienols in Wheat in the healthgrain Diversity Screen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58*(17), 9306-9313. https://doi.org/10.1021/jf100253u

Larsson, M., & Sandberg, A.-S. (1992). Phytate Reduction in Oats during Malting. *Journal of Food Science, 57*(4), 994-997. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb14340.x

Lebiedzińska, A., & Szefer, P. (2006). Vitamins B in grain and cereal–grain food, soy-products and seeds. *Food Chemistry, 95*(1), 116-122. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.024

Lemmens, E., De Brier, N., Spiers, K. M., Ryan, C., Garrevoet, J., Falkenberg, G., Goos, P., Smolders, E., & Delcour, J. A. (2018). The impact of steeping, germination and hydrothermal processing of wheat *(Triticum aestivum L.)* grains on phytate hydrolysis and the distribution, speciation and bio-accessibility of iron and zinc elements. *Food Chemistry, 264*, 367-376. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.125

Lemmens, E, Moroni, A. V., Pagand, J., Heirbaut, P., Ritala, A., Karlen, Y., Le, K.-A., Van der Broeck, H. C., Brouns, F. J. P. H., de Brier, N., & Delcour, J. A. (2019). Impact of Cereal Seed Sprouting on Its Nutritional and Technological Properties: A Critical Review. *Comprehensive Reviewsin Food Science and Food Safety, 18*, 305-328. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12414

Lestienne, I., Icard-Vernière, C., Mouquet, C., Picq, C., & Trèche, S. (2005). Effects of soaking whole cereal and legume seeds on iron, zinc and phytate contents. *Food Chemistry, 89*(3), 421-425. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.03.040

Li, Y., Lu, J., Gu, G., Shi, Z., & Mao, Z. (2005). Studies on water-extractable arabinoxylans during malting and brewing. *Food Chemistry, 93*(1), 33-38. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.040

Lintschinger, J., Fuchs, N., Moser, H., Jäger, R., Hlebeina, T., Markolin, G., & Gössler, W. (1997). Uptake of various trace elements during germination of wheat, buckwheat and quinoa. *Plant Foods for Human Nutrition, 50*(3), 223-237. https://doi.org/10.1007/bf02436059

Liukkonen, K.-H., Katina, K., Wilhelmsson, A., Myllymaki, O., Lampi, A.-M., Kariluoto, S., Piironen, V., Heinonen, S.-M., Nurmi, T., Adlercreutz, H., Peltoketo, A., Pihlava, J.-M., Hietaniemi, V., & Poutanen, K. (2003). Process-induced changes on bioactive compounds in whole grain rye. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62(1), 117-122. https://doi.org/10.1079/pns2002218

Lu, J., Zhao, H., Chen, J., Fan, W., Dong, J., Kong, W., Sun J., Cao, Y., & Cai, G. (2007). Evolution of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity during Malting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55*(26), 10994-11001. https://doi.org/10.1021/jf0722710

Luo, Y.-W., Xie, W.-H., Jin, X.-X., Wang, Q. & He, Y.-J. (2013). Effects of germination on iron, zinc, calcium, manganese, and copper availability from cereals and legumes. *CyTA - Journal of Food, 12*(1), 22-26. https://doi.org/10.1080/19476337.2013.782071

Mäkinen, O. E., & Arendt, E. K. (2012). Oat malt as a baking ingredient – A comparative study of the impact of oat, barley and wheat malts on bread and dough properties. *Journal of Cereal Science, 56*(3), 747-753. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.08.009

Mäkinen, O. E., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2013). Germination of Oat and Quinoa and Evaluation of the Malts as Gluten Free Baking Ingredients. *Plant Foods for Human Nutrition, 68*(1), 90-95. https://doi.org/10.1007/s11130-013-0335-3

Mandeep, S. Sibian, D. C. S., & Riar, C. C. (2016). Nutritional and functional quality analysis and amino acid score evaluation of germinated wheat *(Triticum aestivum)* grain. *International Journal of Food Science and Nutrition, 1*(4), 16-22.

Malleshi, N. G., & Klopfenstein, C. F. (1998). Nutrient composition, amino acid and vitamin contents of malted sorghum, pearl millet, finger millet and their rootlets. *International Journal of Food Sciences and Nutrition, 49*(6), 415-422. https://doi.org/10.3109/09637489809086420

Mardar, M., Zhygunov, D., & Znachek, R. (2016). QFD methodology to develop a new health-conducive grain product. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2*, 42-48. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65725

Marconi, O., Tomasi, I., Dionisio, L., Perretti, G., & Fantozzi, P. (2014). Effects of malting on molecular weight distribution and content of water-extractable β-glucans in barley. *Food Research International, 64*, 677-682. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.07.035

Martínez-Villaluenga, C., & Peñas Pozo, E. (2020). *Production,Properties and Applications of Sprouted Seeds*. MDPI, Switzerland. https://doi.org/10.3390/books978-3-03943-317-9

Mbithi-Mwikya, S., Van Camp, J., Yiru, Y., & Huyghebaert, A. (2000). Nutrient and Antinutrient Changes in Finger Millet (Eleusine coracan) During Sprouting. *LWT - Food Science and Technology*, 33(1), 9-14. https://doi.org/10.1006/fstl.1999.0605

Mridula, D., Sharma, M. & Gupta, R. K. (2015). Development of quick cooking multi-grain dalia utilizing sprouted grains. *Journal of Food Science and Technology,* (52), 5826-5833. https://doi.org/10.1007/s13197-014-1634-x

Noda, T., Takigawa, S., Matsuuraendo, C., Saito, K., Takata, K., Tabiki, T., Wickramasinghe, H. A. M., & Yamauchi, H. (2004). The physicochemical properties of partially digested starch from sprouted wheat grain. *Carbohydrate Polymers, 56*(3), 271-277. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2003.10.015

Ohm, J.-B., Lee, C. W., & Cho, K. (2016). Germinated Wheat: Phytochemical Composition and Mixing Characteristics. *Cereal Chemistry Journal, 93*(6), 612-617. https://doi.org/10.1094/cchem-01-16-0006-r

Osman, A. M., Coverdale, S. M., Cole, N., Hamilton, S. E., Jersey, J. & Inkerman, P. A. (2002). Characterisation and Assessment of the Role of Barley Malt Endoproteases During Malting and Mashing. *Journal of the Institute of Brewing, 108*(1), 62-67. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2002.tb00125.x

Ozturk, L., Yazici, M. A., Yucel, C., Torun, A., Cekic, C., Bagci, A., Ozkan, H., Braun, H.-J., Sayers, Z., & Cakmak, I. (2006). Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. *Physiologia Plantarum, 128*(1), 144-152. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00737.x

Perera, A., Meda, V. & Tyler, R. T. (2010). Resistant starch: A review of analytical protocols for determining resistant starch and of factors affecting the resistant starch content of foods. *Food Research International, 43*(8), 1959-1974. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.06.003

Persson, H., Türk, M., Nyman, M., & Sandberg, A.-S. (1998). Binding of Cu^{2+}, Zn^{2+}, and Cd^{2+} to Inositol Tri-, Tetra-, Penta-, and Hexaphosphates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 46*(8), 3194-3200. https://doi.org/10.1021/jf971055w

Peterson, D. M. (1999). Lipase Activity and Lipid Metabolism During Oat Malting. *Cereal Chemistry Journal, 76*(1), 159-163. https://doi.org/10.1094/cchem.1999.76.1.159

Peterson, D. M. (1998). Malting Oats: Effects on Chemical Composition of Hull-less and Hulled Genotypes. *Cereal Chemistry Journal, 75*(2), 230-234. https://doi.org/10.1094/cchem.1998.75.2.230

Platel, K., Eipeson, S. W., & Srinivasan, K. (2010). Bioaccessible Mineral Content of Malted Finger Millet *(Eleusine coracana)*, Wheat *(Triticum aestivum)*, and Barley *(Hordeum vulgare)*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58*(13), 8100-8103. https://doi.org/10.1021/jf100846e

Plaza, L., de Ancos, B., & Cano, P. M. (2003). Nutritional and health-related compounds in sprouts and seeds of soybean *(Glycine max)*, wheat *(Triticum aestivum.L)* and alfalfa *(Medicago sativa)* treated by a new drying method. *European Food Research and Technology, 216*(2), 138-144. https://doi.org/10.1007/s00217-002-0640-9

Pompella, A., Sies, H., Wacker, R., Brouns, F., Grune, T., Biesalski, H. K., & Frank, J. (2014). The use of total antioxidant capacity as surrogate marker for food quality and its effect on health

is to be discouraged. *Nutrition, 30*(7-8), 791-793. https://doi.org/10.1016/j.nut.2013.12.002

Poutanen, K., Flander, L., & Katina, K. (2009). Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective. *Food Microbiology, 26*, 693-699. https://doi.org/10.1016/j.fm.2009.07.011

Quek, W. P., Yu, W., Tao, K., Fox, G. P., & Gilbert, R. G. (2019). Starch structure-property relations as a function of barley germination times. *International Journal of Biological Macromolecules, 136*, 1125-1132. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.149

Rimsten, L., Haraldsson, A.-K., Andersson, R., Alminger, M., Sandberg, A.-S., & Åman, P. (2002). Effects of malting on β-glucanase and phytase activity in barley grain. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 82*(8), 904-912. https://doi.org/10.1002/jsfa.1135

Rudi, H., Uhlen, A. K., Harstad, O. M., & Munck, L. (2006). Genetic variability in cereal carbohydrate compositions and potentials for improving nutritional value. *Animal Feed Science and Technology, 130*(1-2), 55-65. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.01.017

Schlemmer, U., Frølich, W., Prieto, R. M., & Grases, F. (2009). Phytate in foods and significance for humans: Food sources, intake, processing, bioavailability, protective role and analysis. *Molecular Nutrition & Food Research, 53*, 330-375. https://doi.org/10.1002/mnfr.200900099

Schwalb, T., Wieser, H., & Koehler, P. (2012). Studies on the gluten-specific peptidase activity of germinated grains from different cereal species and cultivars. *European Food Research and Technology, 235*(6), 1161-1170. https://doi.org/10.1007/s00217-012-1853-1

Sibian, M. S., Saxena, D. C., & Riar, C. S. (2017). Effect of germination on chemical, functional and nutritional characteristics of wheat, brown rice and triticale: a comparative study. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 97*(13), 4643-4651. https://doi.org/10.1002/jsfa.8336

Simahina, G., Bazhay-Zhezherun, S., Mykoliv, T., Bereza-Kindzerska, L.V., & Antoniuk, M. M. (2016). The use of the biologically activated grain is in technology of health products. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal), 9*(4), 147-153.

Skoglund, M., Peterson, D. M., Andersson, R., Nilsson, J., & Dimberg, L. H. (2008). Avenanthramide content and related enzyme activities in oats as affected by steeping and germination. *Journal of Cereal Science, 48*(2), 294-303. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.09.010

Sung, H. G., Shin, H. T., Ha, J. K., Lai, H.-L., Cheng, K. J., & Lee, J. H. (2005). Effect of germination temperature on characteristics of phytase production from barley. *Bioresource Technology, 96*(11), 1297-1303. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.10.010

Sungurtas, J., Swanston, J. ., Davies, H., & McDougall, G. (2004). Xylan-degrading enzymes and arabinoxylan solubilisation in barley cultivars of differing malting quality. *Journal of Cereal Science, 39*(2), 273-281. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.11.001

Świeca, M., & Dziki, D. (2015). Improvement in sprouted wheat flour functionality: effect of time, temperature and elicitation. *International Journal of Food Science & Technology, 50*(9), 2135-2142. https://doi.org/10.1111/ijfs.12881

Teixeira, C., Nyman, M., Andersson, R., & Alminger, M. (2016). Effects of variety and steeping conditions on some barley components associated with colonic health. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 96*(14), 4821-4827. https://doi.org/10.1002/jsfa.7923

Tian, B., Xie, B., Shi, J., Wu, J., Cai, Y., Xu, T., Xue, S., & Deng, Q. (2010). Physicochemical changes of oat seeds during germination. *Food Chemistry, 119*(3), 1195-1200. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.035

Wang, J., Zhang, G., Chen, J., & Wu, F. (2004). The changes of β-glucan content and β-glucanase activity in barley before and after malting and their relationships to malt qualities. *Food Chemistry, 86*(2), 223-228. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.08.020

Wilhelmson, A., Oksman-Caldentey, K.-M., Laitila, A., Suortti, T., Kaukovirta-Norja, A., & Poutanen, K. (2001). Development of a Germination Process for Producing High β-Glucan, Whole Grain Food Ingredients from Oat. *Cereal Chemistry Journal, 78*(6), 715-720. https://doi.org/10.1094/cchem.2001.78.6.715

Woodward, J., Fincher, G., & Stone, B. (1983). Water-soluble (1-3), (1-4)-β-D-glucans from barley (Hordeum vulgare) endosperm. II. Fine structure. *Carbohydrate Polymers, 3*(3), 207-225. https://doi.org/10.1016/0144-8617(83)90019-x

Xie, L., Jin, Y., Du, J., & Zhang, K. (2014). Water-soluble protein molecular weight distribution and effects on wheat malt quality during malting. *Journal of the Institute of Brewing end Distilling, 120*(4), 399-403. https://doi.org/10.1002/jib.182

Xu, J. G., Tian, C. R., Hu, Q. P., Luo, J. Y., Wang, X. D., & Tian, X. D. (2009). Dynamic Changes in Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Oats *(Avena nudaL.)* during Steeping and Germination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57*(21), 10392-10398. https://doi.org/10.1021/jf902778j

Yang, T. K., Basu, B., & Ooraikul, F. (2001). Studies on germination conditions and antioxidant con-

tents of wheat grain. *International Journal of Food Sciences and Nutrition, 52*(4), 319-330. https://doi.org/10.1080/09637480120057567

Zenkova, M. L., & Babich, D. A. (2018). Wheat grain preparing for production of conserved food “Second course for lunch”. *Food Processing: Techniques and Technology, 48*(2), 46-53. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-46-53

Žilić, S., Basić, Z., Hadži-Tašković Šukalović, V., Maksimović, V., Janković, M., & Filipović, M. (2014). Can the sprouting process applied to wheat improve the contents of vitamins and phenolic compounds and antioxidant capacity of the flour? *International Journal of Food Science & Technology, 49*(4), 1040-1047. https://doi.org/10.1111/ijfs.12397

УДК 665.5:633.854.78 https://doi.org/10.36107/spfp.2021.218

Применение нового метода оценки качества семян в производственных условиях

Лисицын Александр Николаевич
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт жиров»
Адрес: 191119, г. Санкт-Петербург, ул. Черняховского, д. 10
E-mail: vniig@vniig.org

Марков Владимир Николаевич
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт жиров»
Адрес: 191119, г. Санкт-Петербург, ул. Черняховского, д. 10
E-mail: vegoils@vniig.org

Григорьева Валентина Николаевна
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт жиров»
Адрес: 191119, г. Санкт-Петербург, ул. Черняховского, д. 10
E-mail: grigorieva@vniig.org

Тагиев Шафи Камильевич
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт жиров»
Адрес: 191119, г. Санкт-Петербург, ул. Черняховского, д. 10
E-mail: labvt@vniig.org

Ефимов Андрей Владимирович
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт жиров» (ВНИИЖиров)
Адрес: 191119, г. Санкт-Петербург, ул. Черняховского, д. 10
E-mail: efimov@vniig.org

Настоящие исследования проведены для апробации метода оценки качества семян в производственных условиях с целью оценки возможности его использования для сохранности качества заготовленных семян подсолнечника. Ранее нами был предложен новый показатель качества семян как «доля масла, изменившего локализацию», что косвенно может отражать устойчивость масла в семенах к окислительной порче и может служить интегральным показателем качества семян при заготовках и хранении. Предполагалось, что его также можно будет использовать при выведении и испытании новых сортов семян, поскольку он косвенно характеризует прочность тканей ядра семян, связанной с их вызреванием. В данном исследовании произведена оценка качества заготовленных семян на одном из предприятий масложирового комплекса. Осуществлялся отбор проб в верхней и нижней части ячеек в течение пяти месяцев. В пробах определялись показатели окислительной порчи масла в семенах и показатель относительной массовой доли свободного масла. Установлена устойчивая тенденция изменения значений показателя относительной доли свободного масла для верха и низа слоя хранящихся семян. Вверху значения меньше, внизу – больше. Обнаружено явление синхронных колебаний показателей окислительной порчи масла и относительной массовой доли свободного масла в процессе хранения, что следует учитывать при принятии решения о первоочерёдности переработки семян. Желательно при хранении подсолнечных семян насыпью не применять высокие слои более 10м. Разработанный метод, основанный на определении массовой доли свободного масла и связанных с ним изменениях показателей окислительной порчи масла в семенах, может использоваться для контроля качества семян подсолнечника, также и семян других масличных культур.

Ключевые слова: семена; качество; хранение; высота насыпи; показатели окислительной порчи; метод оценки качества, производственные условия

Введение

Литературный обзор по данному направлению исследований выполнен в предыдущей работе, которая проводилась в лабораторных условиях (Лисицын, Марков, Григорьева, Тагиев, & Ефимов, 2020; Ефимов, Тагиев, & Марков, 2019).

Литературный обзор показал, что вопросами сохранности семян для производства пищевого продукта – растительного масла и жмыхов и шротов, служащих кормом для животных в составе комбикормов, занималось много исследователей. Исследования проводились по применяемым технологиям на различных стадиях общего технологического процесса «поле – перерабатывающий завод»: возделывание, послеуборочная обработка, хранение. Технологии возделывания: (Буклагин & Мишуров, 2020); технологии послеуборочной обработки[1]: (Припоров & Лазебник, 2015; Припоров & Шафоростов, 2014; Закиров & Галушина, 2020); технологии хранения: (Алиев, 2020; Мирзоев, 2015; Орлов & Степанова, 2019; Сидельникова, 2021; Хекилаев & Датиева, 2017).

Также работы многих исследователей направлены на получение качественных растительных масел с минимальным содержанием 3-МХПД и глицидиловых эфиров, наличие которых в маслах неразрывно связано с качеством сырья (Лисицын, Григорьева, & Кузнецова, 2019; Лисицын, Григорьева, & Кузнецова, 2014), различными технологическими стадиями переработки масел (Gibon, de Greyt, & Kellens, 2018).

Для получения качественных масел и продуктов из них изучался весь комплекс работ на пути «поле-завод» (Мхитарьянц, Мхитарьянц, & Рожков, 2020)[2].

Подобного подхода к решению поставленной задачи, как предлагается нами, в рассмотренных источниках информации не обнаружено. В настоящей статье приводятся данные, полученные в производственных условиях, которые во многом повторяют выводы, сделанные на основании проведённых лабораторных исследований.

Теоретическое обоснование

Полное теоретическое обоснование постановки данных исследований приведено в вышеупомянутой работе авторов статьи. Настоящие исследования проведены в производственных условиях с целью проверки разработанного метода оценки качества, также для установления каких-либо отличий в результатах и выводах, полученных в лабораторных и производственных условиях.

Лабораторными исследованиями установлено следующее: при хранении семян в слоях насыпи различной высоты происходит разрушение мембран клеток и сферосом, степень которого зависит от высоты слоя насыпи и доли делокализованного масла; показатель «массовой доли свободного масла» косвенно может отражать устойчивость масла в семенах к окислительной порче; вид найденных зависимостей изменения показателей окислительной порчи коррелирует с видом кривой изменения показателя; в процессе хранения семян происходит увеличение количества связанных липидов, за счёт сорбционной возможности протеина под воздействием внешних факторов, а количество прочно связанных липидов в процессе хранения по сравнению с исходными семенами уменьшается, что может объясняться их высвобождением при разрушении мембран клеточной и внутриклеточной структур; целесообразно применять хранение семенных масс подсолнечника высотой насыпи 10-20 метров.

В данной статье необходимо кратко пояснить, в чём суть проблемы и как она решается. Проблема состоит в сохранности убранного урожая семян в процессах, происходящих с семенами на пути поле – хранилище. Показателей качества семян, как сырья для получения пищевых и кормовых продуктов много, а показателей оперативного контроля их качества практически нет.

Основа метода состоит в следующем. Масло в созревших, неповреждённых, здоровых семенах защищено от порчи биологически. При повреждении семян по той или иной причине масло получает возможность вытекать в свободное поровое

[1] Старовойтова, К. (2021). Процессы, протекающие в масличных семенах после уборки. URL: https://pandia.ru/text/80/198/35119.php (дата обращения: 13.08.2021).

[2] Мустафаев, С. К., Мхитарьянц, Л. И., & Корнена, Е. П. (2012). Технология отрасли (приёмка, обработка и хранение масличных семян) : Учебник для вузов. СПб.: ГИОРД.

пространство ядра семян и легко подвергается гидролитическим и окислительным изменениям из-за свободного доступа к нему ферментов семян и кислорода воздуха.

В данной статье приведены результаты исследований по влиянию высоты слоя насыпи при хранении семян подсолнечника в хранилищах силосного типа на показатель относительной массовой доли свободного масла и связанных с ним показателями окислительной порчи масла. Подобные исследования позволят дать рекомендации по хранению семян в слое насыпи и установить взаимосвязь между указанными показателями. Установление взаимосвязи позволит не только упростить контроль за качеством хранящегося сырья, но и дать прогноз их сохранности.

Материалы и методы исследования

Материалы

Исследования проводили, в основном, на среднемасличных сортах семян подсолнечника современной селекции.

Оборудование и методы исследования

Для определения массовой доли масла и влаги использовалось оборудование в соответствии с методами определения, изложенными в руководстве Ржехина и Сергеева (1965)[3]. Для определения массовых долей масла в обезжиренном и необезжиренном образцах для расчета относительного массового содержания свободного масла использовался прибор «Инфраскан 105» 2013 года выпуска.

Процедура исследования

Проанализировано качество заготовляемых семян. Для этой цели случайной выборкой были отобраны пробы от партий семян, поступающих на производство. В период массовой уборки и заготовки семян подсолнечника их сортовую принадлежность установить не удалось, зачастую, судя по их внешнему виду, на производство поступала смесь различных сортов. Данная производственная смесь семян засыпалась в силосные ячейки хранилища.

Для проведения исследований в соответствии с поставленной целью проверки разработанного метода оценки качества, также для установления каких-либо отличий в результатах и выводах, полученных в лабораторных и производственных условиях, определили случайной выборкой три силосных ячейки с разной высотой насыпи семян.

Осуществлялся отбор проб в верхней и нижней части ячеек по истечении каждого месяца хранения. Пробы из нижней части силоса отбирались через нижнюю течку выгрузки семян, пробы из верхней части отбирались с помощью пожарного ведра на верёвке из разных зон поверхности насыпи, пробы из середины силоса отбирались при разгрузке силоса через нижнюю течку пересечением потока семян. Перемещение семян в исследуемых ячейках хранилища в период выполнения работы не производилось. Отобранные пробы усреднялись методом диагонального деления. В пробах определялись показатели окислительной порчи масла в семенах и показатель относительной массовой доли свободного масла. Наблюдение и отбор проб проводили с декабря 2020 года по май 2021 года включительно.

Все выбранные для исследования силосные ячейки находились в одних климатических условиях. Температурные изменения внешней среды в период хранения не фиксировались. При ранее проведённых лабораторных исследованиях температура была комнатной и колебалась в пределах (5-7)°С, то есть была практически постоянной.

История семян до поступления их на площадку хранения предприятия не известна, на предприятии семена не проходили сушку, т.к. их влажность соответствовала регламентируемым значениям при закладке на длительное хранение.

Для дополнительной проверки полученных результатов в конце срока наблюдения в одной случайно выбранной ячейке (отличной от выбранных трёх) определили все показатели для верха, середины и низа слоя насыпи при выработке семян в производство из этой ячейки.

По сравнению с предыдущими исследованиями метод усовершенствован. Совершенствование метода на основе определения показателя относительной доли свободного масла лежит в плоскости уменьшения затрат времени на определение данного показателя.

Ранее, для определения показателя мы пользовались стандартными методами определения мас-

[3] Ржехина, В. П., Сергеева, А. Г. (1965). Руководство по методам исследования, технохимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности (т. 2). Л.: ВНИИЖ.

совых долей масла в растворах, морфологических частях семян, собственно в семенах[4]. Определение массовых долей масла по методу с использованием аппарата Сокслетта занимает продолжительное время, хотя он точный и служит арбитражным методом определения массовых долей масла. Содержание масла в растворах проводились методом выпаривания, что также занимает достаточно продолжительное время. Возможно сокращение общего времени определения показателя относительной доли свободного масла за счёт определения массовых долей масла в ядре подсолнечных семян с использованием аналитических приборов, основанных на ИК-спектроскопии или ЯМР (Агафонов, Лисовая, Верещагин, & Руснак, 2015).

Определение показателя с использованием аналитических приборов проводится следующим образом.

1. На аналитических весах не ниже второго класса точности берутся две навески ядра подсолнечных семян и на приборе определяется массовая доля влаги B_1 и B_2 в соответствии с общепринятой методикой. Если последующее определение массовой доли масла в необезжиренном и обезжиренном образцах ядра семян делаются практически одновременно, то достаточно одного определения массовой доли влаги в ядре, то есть, $B = B_1 = B_2$
2. Берутся две навески ядра P_1 в количестве по 50 г на технических весах, измельчаются и по аналитическому прибору определяются $M_я$. Берётся среднее значение из двух параллельных определений и пересчитывается на сухое вещество

   $M_{яс} = M_я/(100-B)$.

3. Берутся две навески ядра P_2, в количестве по 50 г на технических весах, помещаются в коническую колбу ёмкостью не менее 200 мл с пришлифованной пробкой, обезжириваются растворителем в количестве 100 г путём перемешивания на перемешивающем устройстве, (например, «Лаб. ПУ-01» 2002 г. выпуска) втечение 30 минут при комнатной температуре.
4. Обезжиренная навеска из колбы переносится в керамическую чашку, подсушивается под тягой при перемешивании без нагревания до исчезновения явных признаков наличия свободного растворителя и запаха. Измельчается и по аналитическому прибору определяется массовая доля масла M_2. Берётся среднее значение из двух параллельных определений и пересчитывается на сухое вещество M_{2C}:

   $M_{2c} = M_2/(1-0{,}01B)$

5. «Относительная массовая доля свободного масла» $\delta_я$ рассчитывается по формуле:

   $M_я = ((M_{яс} - M_{2c}) \times 100)/ M_{яс}$

В соответствии с рекомендациями международного союза теоретической и прикладной химии ИЮПАК;(International Union of Pure and Applied Chemistry - IUPAC) в качестве меры относительной случайной погрешности результатов анализа принято использовать относительное стандартное отклонение, которое определено и рассчитано в соответствии с (Чарыков, 1984). Расчётные данные приведены в Таблице 1. Среднеквадратическое отклонение S (стандартное отклонение) позволяет оценить, насколько полученные значения из множества могут отличаться от среднего значения. Метод анализа оптимален в той области содержаний, в которой и абсолютное *(S)* и относительное *(S_r)* стандартные отклонения имеют минимальные значения.

Таблица 1
Данные к расчёту относительной случайной погрешности

n	$\delta_я$	$\delta_{яср}$	$(\delta_я-\delta_{яср})^2$
1	5,4	4,76	0,4096
2	4,46	4,76	0,090
3	4,24	4,76	0,1296
4	5,08	4,76	0,1024
5	4,62	4,76	0,0196
$\sum(\delta_я-\delta_{яср})^2$		0,7512	
S^2		0,1878	
S		0,433	
S_r		0,091	

Для расчета значений величин, входящих в таблицу, пользовались следующими расчетными формулами:

$\delta_я = ((M_{яс} - M_{2c}) \times 100)/M_{яс}$

$\delta_{яср} = 1/n\ (\Sigma\delta_я)$ - среднее значение относительной доли свободного масла по результатам измерений;

[4] Там же.

$S^2 = (\Sigma(\delta_я - \delta_{яср})^2)/(n-1)$ - дисперсия выборочной совокупности, состоящая из «n» значений случайной величины (относительной доли свободного масла);

$S = \left|\sqrt{S^2}\right|$ - среднеквадратичная погрешность (стандартное отклонение);

$S_r = S/\delta_{яср}$ – относительная случайная погрешность метода (относительное стандартное отклонение), откуда.

В Таблице 2 представлены принятые в работе условные обозначения физических величин и их понятия.

Таблица 2

Принятые в работе условные обозначения физических величин и их понятия. (Выражаются в долях единицы или %)

Обозначение	Понятие величины
M_0 / M_{0c}	Массовая доля масла в семенах при фактической влажности B_0 и на сухое вещество, соответственно
$M_я$ / $M_{яс}$	Массовая доля масла в ядре при фактической влажности $B_я$ и на сухое вещество ядра, соответственно
$M_л$ / $M_{лс}$	Массовая доля масла в лузге при фактической влажности и на сухое вещество лузги, соответственно
B_0	Массовая доля влаги в семенах. (Принимается по массовой доле влаги при определении массовой доли масла в семенах)
$B_я$	Массовая доля влаги в ядре семян. (Принимается по массовой доле влаги при определении массовой доли масла в ядре)
$\delta_я$;	Относительная массовая доля свободного масла в ядре

Результаты и их обсуждение

Как отмечено выше, заготовка подсолнечных семян осуществлялась предприятием в период массовой уборки и заготовки. Сортовую принадлежность семян установить не удалось. Судя по их внешнему виду, на производство поступала смесь различных сортов. История семян на пути поле-завод, то есть, каким технологическим воздействиям до поступления на предприятие они подвергались, не установлена.

Сортовая смесь подсолнечных семян, которую использовали в эксперименте, охарактеризована показателями, приведёнными в Таблице 3.

Как видно из данных, приведённых в Таблице 3, производственная смесь семян по размеру состоит, в основном, из крупных, средних семян и смеси крупных и мелких семян. Мелкие семена высокомасличные, с низким содержанием протеина и лузги. За счёт более тонкой лузги мелкие семена имеют и более высокое значение показателя относительной массовой доли свободного масла по сравнению со средними и крупными семенами в 2 – 3 раза. Такие семена будут сохранять свои качественные показатели при хранении хуже, чем остальные.

Содержание средних и крупных семян в смеси доминирующее и они в основном будут определять состояние семенной массы по определяемым показателям в ходе выполнения работы.

Сравнение значений показателя относительной массовой доли свободного масла показывает травмируемость семян при уборочных операциях. Высокомасличные семена в большей степени подвержены травматизму.

В Таблицах 4–6 приведены данные, полученные при хранении подсолнечных семян в ячейках хранилища силосного типа при разной высоте насыпи семян. При анализе данных, приведённых в Таблицах 4–6, следует обратить внимание на следующее. Семена, заложенные на хранение в хранилище силосного типа, хранились втечение полугода. За это время семена не перемещались из одного силоса хранилища в другой, хотя подобная технологическая операция предусматривается регламентом хранения. Эти условия приняты чисто для эксперимента, чтобы оценить влияние высоты насыпи хранящихся семян на их качественные показатели.

В Таблице 4 представлены данные по динамике изменения показателей окислительной порчи масла в хранящихся семенах при высоте насыпи 10,4 м. (Пробы из низа слоя).

В Таблице 5 представлена динамика изменения показателей окислительной порчи масла в хранящихся семенах при высоте насыпи 18,25 м. (Пробы из низа слоя).

В Таблице 6 представлена динамика изменения показателей окислительной порчи масла в хранящихся семенах при высоте насыпи 29,0 м. (Пробы из низа слоя).

Данные Таблицы 4 показывают, что высота слоя порядка 10м не оказывает существенного влияния

Таблица 3
Качество заготовленных семян

№ Образца[1)]	B_0, %	M_{0c}, %	Сод. протеина сухое в-во, %	Сод. лузги сухое в-во, %	$\delta_я$, %	Примечание
1	4,9	44,4	15,4	35,3	0,30	Крупные семена
2	4,9	44,3	17,2	33,6	0,50	Крупные семена
3	4,2	43,5	16,5	35,8	0,30	Средние семена
4	2,9	54,1	14,8	28,2	2,0	Мелкие семена
5	3,9	41,9	17,1	37,1	1,0	Смесь крупных и мелких семян
6[2)]	-	-	-	-	0,35	-

Примечания к Таблице 3:
1) – пробы семян отобраны случайной выборкой от заготовляемой партии. Мелкие семена составляют примерно 10% от массы всех заготовленных семян.
2) – проба семян отобрана с поля путём срезания корзинок растения вместе с семенами.

Таблица 4
Динамика изменения показателей окислительной порчи масла в хранящихся семенах при высоте насыпи 10,4м. (Пробы из низа слоя)

Высота насыпи, м	Месяц	Перекисное число, ммоль ½ О/кг	Кислотное число, мг КОН /г	$\delta_я$, %
10,4	Декабрь	2,8	1,3	0,30
	Январь	2,9	1,0	0,20
	Февраль	2,3	1,2	0,50
	Март	2,6	1,2	0,20
	Апрель	2,0	1,1	0,30
	Май	2,7	1,2	0,20

Таблица 5
Динамика изменения показателей окислительной порчи масла в хранящихся семенах при высоте насыпи 18,25 м. (Пробы из низа слоя)

Высота насыпи, м	Месяц	Перекисное число, ммоль ½ О/кг	Кислотное число, мг КОН /г	$\delta_я$, %
18,25	Декабрь	-	-	-
	Январь	-	-	-
	Февраль	2,1	1,0	0,20
	Март	1,4	1,0	0,40
	Апрель	2,7	1,2	0,60
	Май	2,0	0,6	0,30

Таблица 6
Динамика изменения показателей окислительной порчи масла в хранящихся семенах при высоте насыпи 29,0 м. (Пробы из низа слоя)

Высота насыпи, м	Месяц	Перекисное число, ммоль ½ О/кг	Кислотное число, мг КОН /г	$\delta_я$, %
29,0	Декабрь	1,5	0,9	0,40
	Январь	1,9	2,3	0,20
	Февраль	1,7	2,8	0,40
	Март	2,1	2,1	0,30
	Апрель	2,0	3,4	0,70
	Май	2,2	3,6	0,80

на показатели окислительной порчи масла семян за весь период хранения. Показатель относительной массовой доли свободного масла также практически не изменяется. Подобные данные были получены нами на модельной системе, имитирующей хранение семян в хранилищах силосного типа в 2019 году. Следует отметить, что заложенные на хранение семена в этом случае имеют изначально достаточно высокие показатели окислительной порчи. Показатель относительной массовой доли свободного масла низкий. Это говорит в пользу того, что семена мало повреждены технологическими воздействиями, предшествующими хранению (уборке, очистке, сушке, транспортировании). Скорее всего, такие показатели окислительной порчи масла семян являются следствием их незрелости, поздней уборки или сорбцией протеином продуктов окислительной порчи, что рассматривается ниже.

На основе анализа данных Таблицы 6 видно, что показатели окислительной порчи масла семян растут, затем уменьшаются, затем снова растут. Например, перекисное число масла в феврале уменьшилось с (1,9 до 1,7) ммоль ½ О/кг, а затем снова начало расти до 2,2 ммоль ½ О/кг в мае. Кислотное число масла семян уменьшилось (с 2,8 в феврале до 2,1 в марте) мг КОН/г, а затем снова выросло до 3,6 мг КОН/г в мае. В марте показатель относительной массовой доли свободного масла понизился с 0,4% в феврале до 0,3%, а затем к маю увеличился до 0,8%. Подобные колебания показателей синхронны и являются следствием двух разнонаправленных процессов: под давлением семенной массы в пустое поровое пространство ядра выделяется масло, где оно окисляется, и показатели растут. Затем, продукты окисления масла связываются протеином и показатели уменьшаются. Похожая динамика прослеживается и при анализе данных Таблицы 5.

Здесь следует отметить, что масло в окисленной форме, которое сорбировал протеин, при проведении процессов маслодобывания переходит в основной объём добытого продукта и способствует его окислительной порче.

Исходя из вышесказанного, следует заключить, что не следует для хранилищ любого типа, где используется хранение семян насыпью, она должна быть высотой не более 10 метров. Если имеется возможность, то лучше использовать склады напольного хранения или в БИГ-бэгах, а силоса использовать как промежуточные ёмкости краткосрочного хранения.

Значения показателей относительной доли свободного масла для семян из всех силосов, участвующих в эксперименте, высокие при искусственно созданных условиях хранения без осуществления их перемещения и они должны были быть переработаны в январе-феврале.

Отмеченные синхронные колебания показателей окислительной порчи масла и относительной массовой доли свободного масла за изученный период хранения наблюдались один раз. По всей видимости, таких колебаний больше, так как семена заготавливают и засыпают в хранилища в сентябре-ноябре месяцах, а наблюдение за семенами мы начали в декабре. Колебания зависят от температурных условий: окисление масла проходит быстрее при более высоких температурах, а при низких – замедляется. Сорбированные белком окисленные формы масла при охлаждении могут высвобождаться в свободное масло, увеличивая значения показателей окислительной порчи масла.

Чтобы охватить исследованиями большее количество силосов в хранилищах предприятия и проверить установленные тенденции взаимосвязи показателя относительной массовой доли свободного масла и показателями окислительной порчи масла, случайной выборкой были единовременно выбраны силоса и исследованы полученные пробы, взятые в верхней и нижней точке насыпи семян. Полученные данные приведены в Таблице 7.

Таблица 7

Качество хранящихся семян на основе анализа проб, отобранных в точках силосов верх слоя / низ слоя (или усреднённая проба верх, низ)

Условный № образца	Мл/Млс, %	Кислотное число масла в семенах, мгКОН/г	Относительная массовая доля свободного масла, %
1	0,90/1,30	1,3/2,2	0,5/0,8
2	1,10/1,60	0,9/1,9	0,4/0,7
3	0,90/1,30	0,9/1,0	0,6/0,7
4	1,0/1,50	1,0/1,10	0,8/1,0

Анализ данных Таблицы 7 показывает устойчивость тенденции изменения значений показателей. Вверху значения меньше, внизу – больше. Однозначно можно сделать вывод о том, что давление семенной массы, развиваемое внутри неё, негативно сказывается на локализации масла, что приводит к его выделению в свободное поровое пространство и подвергается окислению кислородом воздуха, что ухудшает качество и сроки годности продукции. Аналогичная тенденция подтверждается показателями массовой доли масла в лузге (внизу слоя он выше), кислотным числом масла в семенах (внизу слоя значения показателя также выше).

Настоящий вывод косвенно подтверждается работами: (Демченко, Ключкин, Лобанов, & Щербаков, 1982; Лисицын, Григорьева, & Кузнецова, 2014; Сироцука & Тогами, 1971; Щербаков & Лобанов, 1977; Шорсткий & Кошевой, 2015), - извлечение масла из неразрушенных клеток ядра семян неполярными растворителями практически невозможен; (Платонов & Иванов, 1968; Щербаков & Журавлев,1975; Щербаков, Ильин, & Журавлёв, 1978), - изменение локализации масла в семенах характеризует степень их разрушения в результате воздействия давления при хранении в слое насыпи.

Конечно, говорить о корреляции показателей окислительной порчи и показателя относительной массовой доли свободного масла на основании проведённых исследований нельзя. Окислительная порча масла в семенах слишком многофакторный процесс, поэтому уместно говорить только об устойчивой тенденции согласованного изменения этих показателей. То есть, чем выше значение показателя относительной массовой доли свободного масла, тем с большей вероятностью следует ожидать более плохих показателей окислительной порчи масла в семенах.

Найденные тенденции изменения показателей наглядно видны на графической интерпретации данных, полученных при разгрузке семян из силосных ячеек, когда имеется возможность определения показателей и для средних слоёв насыпи семян. Данные приведены на Рисунках 1–3.

Анализ рисунков подтверждает выше приведённые выводы. Наглядно прослеживается устойчивая тенденция согласованного изменения этих показателей независимо от высоты слоя насыпи хранящихся семян. Изменения значений показателей тем выше, чем больше высота насыпи и чем ниже точка отбора пробы из слоя. Имеет место разнокачественность хранящихся семян в хранилищах силосного типа по показателям окислительной порчи в зависимости от глубины слоя, хотя изначально в ячейки силосного хранилища помещали семена одного качества. Лучшие показатели для силоса с высотой слоя насыпи 30м предположительно

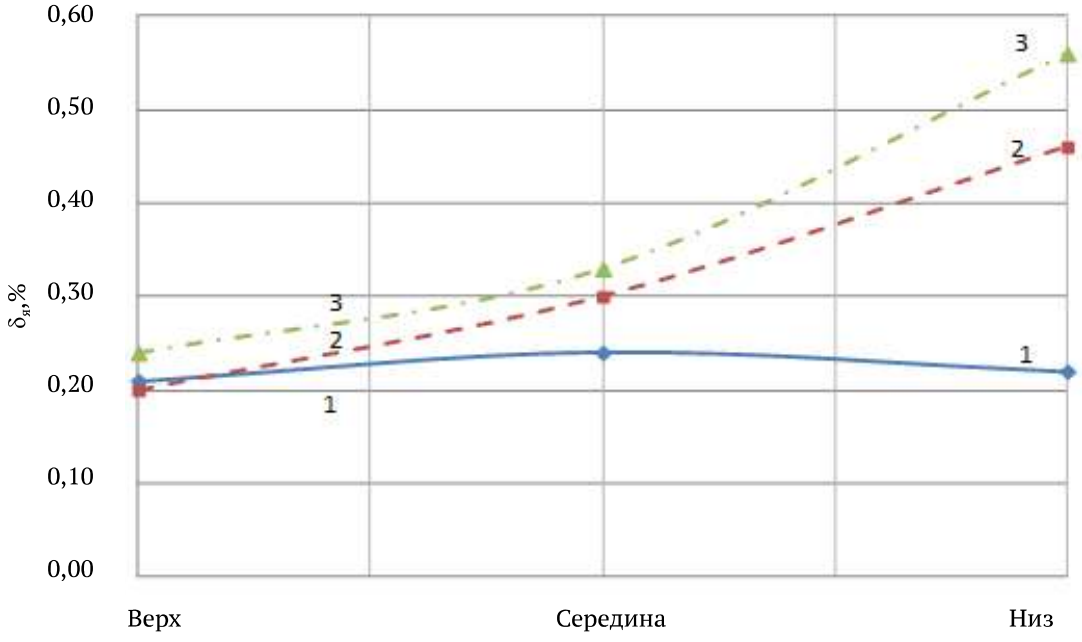


Рисунок 1. Влияние высоты слоя насыпи семян на показатель относительной массовой доли свободного масла в конце срока хранении (сентябрь –май). Высота насыпи: 1 – 20 м; 2 – 26 м; 3 – 30 м.

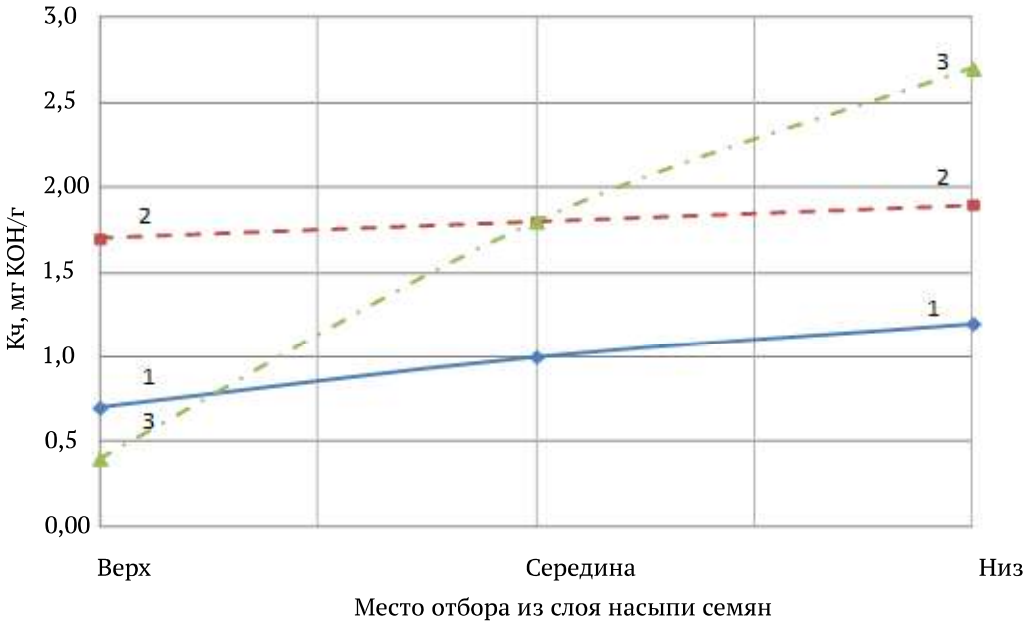


Рисунок 2. Влияние высоты слоя насыпи семян на кислотное число масла в семенах (Кч) в конце срока хранения (сентябрь - май). Высота насыпи: 1 – 20 м; 2 – 26 м; 3 – 30 м

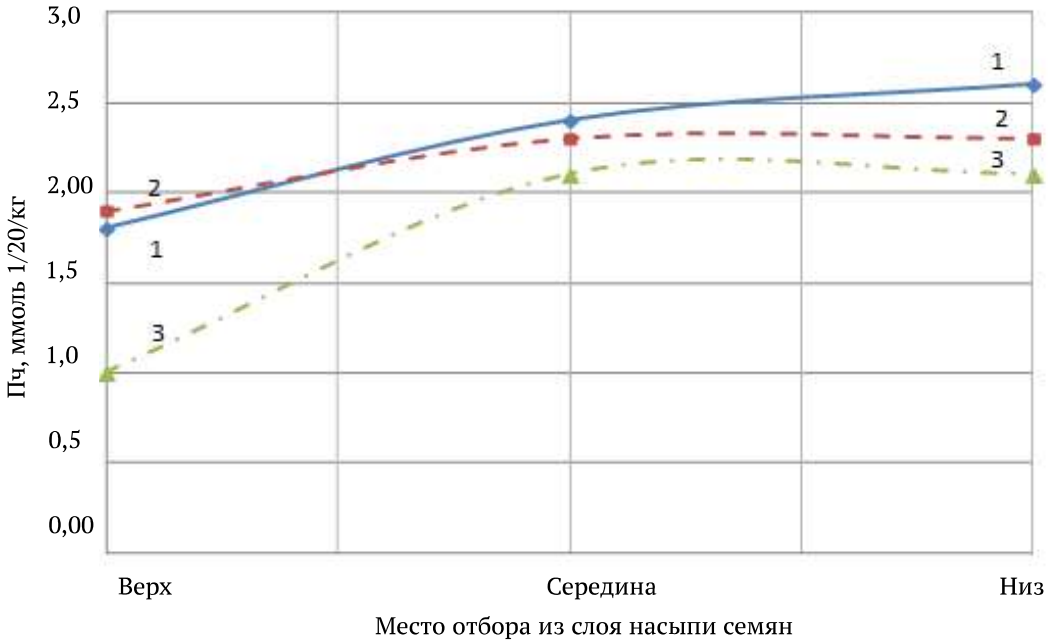


Рисунок 3. Влияние высоты слоя насыпи семян на перекисное число масла в семенах (Пч) в конце срока хранения (сентябрь - май). Высота насыпи: 1 – 20 м; 2 – 26 м; 3 – 30 м

можно объяснить усилением сорбционной способности продуктов окисления протеином с увеличением давления. Показатели улучшаются по номерам кривых в направлении 1 – 2 – 3.

О качестве семян, наряду с показателями окислительной порчи, можно судить по показателю относительной массовой доли свободного масла с учётом найденных колебаний значений показателей в ходе хранения. Технологам хранилищ можно определять значения показателя относительной массовой доли свободного масла для низа слоя хранящихся семян, где изменения более существенные по значению. При обнаружении перво-

го колебания следует производить перемещение низа слоя (условно ¼ часть насыпи) в другой силос, желательно в тот, который не полностью опорожнён, для исключения травмирования семян при падении с высоты. При перемещении семян следует применять тихоходные нории с пластмассовыми ковшами. Таким образом, имея наглядную графическую карту изменений по силосам значений показателя относительной массовой доли свободного масла, технолог получает возможность управлять качеством семян при хранении.

Выводы

На основании проведённой работы следует заключить, что разработан новый метод оценки качества хранящихся семян, заключающийся в определении показателя относительной массовой доли свободного масла, который синхронно изменяется с изменениями показателей окислительной порчи масла в семенах при их хранении насыпью.

Обнаружено явление синхронных колебаний показателей окислительной порчи масла и относительной массовой доли свободного масла в процессе хранения. Подобные колебания показателей являются следствием двух разнонаправленных процессов: под давлением семенной массы в пустое поровое пространство выделяется масло, где оно окисляется, и показатели растут. Одновременно, продукты окисления масла связываются протеином, и значения показателя имеют тенденцию к уменьшению. Колебания также зависят от температурных условий: окисление масла проходит быстрее при более высоких температурах, а при низких – замедляется. Сорбированные белком окисленные формы масла при охлаждении могут высвобождаться в свободное масло, увеличивая значения показателей окислительной порчи масла.

Установлена устойчивая тенденция изменения значений показателя относительной доли свободного масла для верха и низа слоя хранящихся семян. Вверху значения меньше, внизу – больше. Однозначно можно сделать вывод о том, что давление семенной массы, развиваемое внутри неё, негативно сказывается на локализации масла, что приводит к его выделению в свободное поровое пространство и подвергается окислению кислородом воздуха, что ухудшает качество и сроки годности продукции. Вывод подтверждается показателями массовой доли масла в лузге (внизу слоя он выше), кислотным числом масла в семенах (внизу слоя значения показателя также выше). Окислительная порча масла в семенах слишком многофакторный процесс, поэтому уместно говорить только об устойчивой тенденции согласованного изменения этих показателей, а не о корреляционной зависимости. То есть, чем выше значение показателя относительной массовой доли свободного масла, тем с большей вероятностью следует ожидать более плохих показателей окислительной порчи масла в семенах, следовательно, такие семена следует перерабатывать первоочерёдно.

О качестве семян, наряду с показателями окислительной порчи, можно судить по предложенному показателю относительной массовой доли свободного масла с учётом найденных колебаний значений показателей в ходе хранения. Технологам хранилищ можно определять значения показателя относительной массовой доли свободного масла для низа слоя хранящихся семян, где изменения более существенные по значению. При обнаружении первого колебания следует производить перемещение низа слоя (условно ¼ часть насыпи) в другой силос, желательно в тот, который не полностью опорожнён, для исключения травмирования семян при падении с высоты. Также рекомендуется при перемещении семян применять тихоходные нории с пластмассовыми ковшами. Таким образом, имея наглядную графическую карту изменений по силосам значений показателя относительной массовой доли свободного масла, технолог получает возможность управлять качеством семян при хранении.

Желательно при хранении семян насыпью не применять высокие слои более 10 м. При постоянном наблюдении за изменением показателей, и, в первую очередь, показателя относительной массовой доли свободного масла, высоту насыпи можно увеличить до 20 м.

Разработанный метод оценки качества заготавливаемых и хранящихся семян по показателю относительной массовой доли свободного масла может быть усовершенствован в части сокращения времени для его определения.

Многочисленными исследованиями предварительно установлено, что для получения подсолнечного масла, удовлетворяющего показателям стандарта, значение показателя относительной массовой доли свободного масла не должно превышать 2%, а значение показателя перекисное число масла - 2,2 ммоль ½ О/кг. Поскольку процесс окислительной порчи масла в семенах при: их вы-

ращивании, агрохимических воздействиях, уборке, послеуборочном дозревании, очистке, сушке, транспортировании, хранении, - многофакторный, точные значения указанных величин установить невозможно, да это и не совсем корректно. Кроме того, сама семянка представляет собой сложную биохимическую систему, что также определяет неоднозначность в определении каких-то реперных значений для контролирования параметров.

Благодарности

Авторы выражают благодарность научным сотрудникам, проводившим аналитические исследования образцов семян: Т.П. Аюковой, И.В. Довгалюк, И.А. Лисицыной, Л.Т. Прохоровой.

Литература

Агафонов, О. С., Лисовая, Е. В., Верещагин, А. П., & Руснак, Г. В. (2015). Совершенствование способа определения масличности и влажности семян подсолнечника на основе метода ЯМР. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – Продукты здорового питания*, *4*, 60-63.

Алиев, Э. (2020). Правильное хранение масличных семян. *Пропозиция*, *1*, 1-4.

Буклагин, Д. С., & Мишуров, Н. П. (2020). Технология возделывания, послеуборочного хранения и переработки подсолнечника. В *Аналитический обзор. Технология возделывания, послеуборочного хранения и переработки подсолнечника, сои и рапса* (с. 120). М.: Росинформагротех.

Демченко, П. П., Ключкин, В. В., Лобанов, В. Г., & Щербаков, В. Г. (1982). Влияние режимов влаготепловой обработки на локализацию масла в клетках семян подсолнечника. *Масложировая промышленность, 2*, 18-20.

Ефимов, А. В., Тагиев, Ш. К., & Марков, В. Н. (2019). Модельная система для изучения хранения семян. *Вестник всероссийского научно-исследовательского института жиров*, *1-2*, 23-26. https://doi.org/10.25812/VNIIG.2019.85.87.002

Закиров, В. В., & Галушина, П. С. (2020). Послеуборочные процессы в семенах масличных культур. *Молодёжь и наука*, *11*(39).

Лисицын, А. Н., Марков, В. Н., Григорьева, В. Н., Тагиев, Ш. К., & Ефимов, А. В. (2020). Изменение природной локализации масла в семенах как показатель их качества. *Хранение и переработка сельхозсырья, 4*, 8-21. https://doi.org/10.36107/spfp.2020.369

Лисицын, А. Н., Григорьева, В. Н., & Кузнецова, Н. В. (2019). Сложные эфиры 3-монохлорпропан-1,2-диола и 3 гидрокси 1,2-оксипропанола (глицидола) в жировых продуктах (МХПД). *Вестник ВНИИЖ*, *1-2*, 7-12. https://doi.org/10.25812/VNIIG.2019.84.11.002

Лисицын, А. Н., Григорьева, В. Н., & Кузнецова, Н. В. (2014). Хранение и переработка масличных семян. *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров*, *2*, 16-20.

Мирзоев, А. А. (2015). Ферментативные процессы при хранении и переработке масличных семян в производстве растительных масел. *Технико-технологические проблемы сервиса*, *2*, 31-35.

Мхитарьянц, Л. А., Мхитарьянц, Г. А., & Рожков, С. А. (2020). *Влияние различных факторов при подготовке семян подсолнечника к переработке на гидратируемость фосфолипидов в прессовых и экстракционных маслах: Монография*. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет.

Орлов, Б. Ю., & Степанова, Е. Г. (2019). Эффективные технологии переработки семян масличных культур. *Известия вузов. Пищевая технология*, *4*, 8-11. https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.4.2

Платонов, П. Н., & Иванов, Б. М. (1968). Давление зерна в силосах. В *Современные проблемы механики сыпучих материалов* (с. 58-64). М.

Припоров, И. Е., & Лазебник, Д. В. (2015). Рациональная технология послеуборочной обработки семян подсолнечника. *Научный журнал КубГАУ, 8*, 1-11.

Припоров, И. Е., & Шафоростов, Д. В. (2014). Технологии послеуборочной обработки семян масличных культур. *Инновации в сельском хозяйстве*, *5*, 10-14.

Сидельникова, Н. А. (2021). Особенности хранения семян подсолнечника. В *Роль науки в удвоении валового регионального продукта: Тезисы докладов XXV Международной научно-производственной конференции* (с. 48-49). Майский: Издательство Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина.

Сироцука, Т., & Тогами, Т. (1971). Современное состояние экстрагирования жидкостями различных компонентов из твёрдых частиц. *Кагаку Когаку Ронбуншу, 85*(6), 612-618.

Хекилаев, Ц. А., & Датиева, Б. А. (2017). Влияние сроков уборки, послеуборочной обработки, хранения на качество семян подсолнечника. В *Достижения науки – сельскому хозяйству: Материалы Всероссийской научно-практической конференции* (с. 212-215). Владикавказ: Издательство Горский государственный аграрный университет.

Чарыков, А. К. *Математическая обработка результатов химического анализа*. Л.: Химия, 1984.

Шорсткий, И. А., & Кошевой, Е. П. (2015). Экстракция с наложением импульсного электрического поля. *Известия вузов. Пищевая технология*, *4*, 40-42.

Щербаков, В. Г., & Журавлев, А. И. (1975). Об условиях хранения семян подсолнечника в элеваторах силосного типа. *Известия вузов. Пищевая технология*, *1*, 55-58.

Щербаков, В. Г., & Лобанов, В. Г. (1977). Электронномикроскопическое исследование продуктов переработки подсолнечника. *Масложировая промышленность*, *8*, 14-16.

Щербаков, В. Г., Ильин, П. П., & Журавлев, А. И. (1978). Изменение статистических нагрузок в семенной массе подсолнечника. *Известия вузов. Пищевая технология*, *5*, 173-174.

Gibon, V., de Greyt, W., & Kellens, M. (2018). Oil modification: solution or problem for 3-monochloro-1,2-propanediol (3-MCPD) and glycidyl esters (GE) mitigation. *Inform, 29*(3), 14-19. https://doi.org/10.21748/inform.03.2018.14

Application of a New Method for Assessing Seed Quality in Production Conditions

Alexander N. Lisitsyn
All–Russian Research Institute of Fats
10, Chernyakhovskij Street, St.Petersburg, 191119, Russian Federation
E-mail: vniig@vniig.org

Vladimir N. Markov
All–Russian Research Institute of Fats
10, Chernyakhovskij Street, St.Petersburg, 191119, Russian Federation
E-mail: vegoils@vniig.org

Valentina N. Grigorieva
All–Russian Research Institute of Fats
10, Chernyakhovskij Street, St.Petersburg, 191119, Russian Federation
E-mail: grigorieva@vniig.org

Shafi K. Tagiev
All–Russian Research Institute of Fats
10, Chernyakhovskij Street, St.Petersburg, 191119, Russian Federation
E-mail: labvt@vniig.org

Andrey V. Efimov
All–Russian Research Institute of Fats
10, Chernyakhovskij Street, St.Petersburg, 191119, Russian Federation
E-mail: efimov@vniig.org

These studies were carried out to test the method for assessing the quality of seeds in production conditions in order to assess the possibility of using it for the preservation of the quality of harvested sunflower seeds. Previously, we proposed a new indicator of seed quality as “the proportion of oil that changed localization”, which can indirectly reflect the resistance of oil in seeds to oxidative damage and can serve as an integral indicator of seed quality during harvesting and storage. It was assumed that it could also be used in the breeding and testing of new varieties of seeds, since it indirectly characterizes the strength of the tissues of the seed nucleus associated with their ripening. In this study, the quality of harvested seeds was assessed at one of the enterprises of the fat-and-oil complex. Samples were taken at the top and bottom of the cells for five months. In the samples, the indicators of oxidative deterioration of oil in the seeds and the indicator of the relative mass fraction of free oil were determined. A stable tendency was established for the change in the values of the indicator of the relative fraction of free oil for the top and bottom of the layer of stored seeds. The values are lower at the top, and higher at the bottom. The phenomenon of synchronous fluctuations in the indicators of oxidative deterioration of oil and the relative mass fraction of free oil during storage was discovered, which should be taken into account when deciding on the priority of seed processing. It is advisable not to use high layers of more than 10m when storing sunflower seeds in bulk. The developed method, based on the determination of the mass fraction of free oil and the associated changes in the indicators of oxidative deterioration of oil in seeds, can be used to control the quality of sunflower seeds, as well as seeds of other oilseeds.

Keywords: seeds, quality, storage, embankment height, indicators of oxidative deterioration, quality assessment method, production conditions

References

Agafonov, O. S., Lisovaya, E. V., Vereshchagin, A. P., & Rusnak, G. V. (2015). Sovershenstvovanie sposoba opredeleniya maslichnosti i vlazhnosti semyan podsolnechnika na osnove metoda YaMR [Improvement of the method for determining the oil content and moisture content of sunflow-

er seeds based on the NMR method]. *Tekhnologii pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti APK – Produkty zdorovogo pitaniya* [*Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex - Healthy Food Products*], *4*, 60-63.

Aliev, E. (2020). Pravil'noe khranenie maslichnykh semyan [Proper storage of oilseeds]. *Propozitsiya* [*The Proposition*], *1*, 1-4.

Buklagin, D. S., & Mishurov, N. P. (2020). Tekhnologiya vozdelyvaniya, posleuborochnogo khraneniya i pererabotki podsolnechnika [Technology of cultivation, post-harvest storage and processing of sunflower]. In *Analiticheskii obzor. Tekhnologiya vozdelyvaniya, posleuborochnogo khraneniya i pererabotki podsolnechnika, soi i rapsa* [*Analytical review. Technology of cultivation, post-harvest storage and processing of sunflower, soybeans and rapeseed*] (p. 120). Moscow: Rosinformagrotekh.

Charykov, A. K. *Matematicheskaya obrabotka rezul'tatov khimicheskogo analiza* [*Mathematical processing of the results of chemical analysis*]. Leningrad: Khimiya, 1984.

Demchenko, P. P., Klyuchkin, V. V., Lobanov, V. G., & Shcherbakov, V. G. (1982). Vliyanie rezhimov vlagoteplovoi obrabotki na lokalizatsiyu masla v kletkakh semyan podsolnechnika [Influence of Moisture-Heat Treatment Regimes on Oil Localization in Sunflower Seeds]. *Maslozhirovaya promyshlennost'* [*Oil and Fat Industry*], *2*, 18-20.

Efimov, A. V., Tagiev, Sh. K., & Markov, V. N. (2019). Model'naya sistema dlya izucheniya khraneniya semyan [Model System for Studying Seed Storage]. *Vestnik vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhirov* [*Bulletin of the All-Russian Research Institute of Fats*], *1-2*, 23-26. https://doi.org/10.25812/VNIIG.2019.85.87.002

Khekilaev, Ts. A., & Datieva, B. A. (2017). Vliyanie srokov uborki, po-sleuborochnoi obrabotki, khraneniya na kachestvo semyan podsolnechnika [The influence of the timing of harvesting, post-harvest processing, storage on the quality of sunflower seeds]. In *Dostizheniya nauki – sel'skomu khozyaistvu: Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [*Achievements of Science - to Agriculture: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference*] (pp. 212-215). Vladikavkaz: Izdatel'stvo Gorskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet.

Lisitsyn, A. N, Markov, V. N, Grigor'eva, V. N, Tagiev, Sh. K., & Efimov, A. V. (2020). Izmenenie prirodnoi lokalizatsii masla v semenakh kak pokazatel' ikh kachestva [Changes in the natural localization of oil in seeds as an indicator of their quality]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya* [*Storage and processing of Farm Products*], *4*, 8-21. https://doi.org/10.36107/spfp.2020.369

Lisitsyn, A. N., Grigor'eva, V. N., & Kuznetsova, N. V. (2019). Slozhnye efiry 3-monokhlorpropan-1,2-diola i 3 gidroksi 1,2-oksipropanola (glitsidola) v zhirovykh produktakh (MKhPD) [Esters of 3-monochloropropane-1,2-diol and 3 hydroxy 1,2-hydroxypropanol (glycidol) in fatty products (MCPD)]. *Vestnik VNIIZh* [*Bulletin of the All-Russian Research Institute of Fats*], *1-2*, 7-12. https://doi.org/10.25812/VNIIG.2019.84.11.002

Lisitsyn, A. N., Grigor'eva, V.N., & Kuznetsova, N. V. (2014). Khranenie i pererabotka maslichnykh semyan [Storage and processing of oilseeds]. *Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhirov* [*Bulletin of the All-Russian Research Institute of Fats*], *2*, 16-20.

Mirzoev, A. A. (2015). Fermentativnye protsessy pri khranenii i pererabotke maslichnykh semyan v proizvodstve rastitel'nykh masel [Enzymatic processes during storage and processing of oilseeds in the production of vegetable oils]. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa* [*Technical and Technological Problems of Service*], *2*, 31-35.

Mkhitar'yants, L. A., Mkhitar'yants, G. A., & Rozhkov, S. A. (2020). *Vliyanie razlichnykh faktorov pri podgotovke semyan podsolnechnika k pererabotke na gidratiruemost' fosfolipidov v pressovykh i ekstraktsionnykh maslakh: Monografiya* [*The influence of various factors in the preparation of sunflower seeds for processing on the hydratability of phospholipids in press and extraction oils: Monograph*]. Krasnodar: Kubanskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet.

Orlov, B. Yu., & Stepanova, E. G. (2019). Effektivnye tekhnologii pererabotki semyan maslichnykh kul'tur [Effective technologies for processing oilseeds]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [*Proceedings of universities. Food technology*], *4*, 8-11. https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.4.2

Platonov, P. N., & Ivanov, B. M. (1968). Davlenie zerna v silosakh [Grain pressure in silos]. In *Sovremennye problemy mekhaniki sypuchikh materialov* [*Modern problems of mechanics of bulk materials*] (pp. 58-64). Moscow.

Priporov, I. E., & Lazebnik, D. V. (2015). Ratsional'naya tekhnologiya posleuborochnoi obrabotki semyan podsolnechnika [Rational technology of post-harvest processing of sunflower seeds]. *Nauchnyi zhurnal KubGAU* [*Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University*], *8*, 1-11.

Priporov, I. E., & Shaforostov, D. V. (2014). Tekhnologii posleubo-rochnoi obrabotki semyan maslichnykh kul'tur [Post-harvest processing technologies for oilseeds]. *Innovatsii v sel'skom khozyaistve* [*Agricultural Innovation*], *5*, 10-14.

Shcherbakov, V. G., & Lobanov, V. G. (1977). Elektronnomikroskopicheskoe issledovanie produktov pererabotki podsolnechnika [Electron microscopic study of sunflower processing products]. *Maslozhirovaya promyshlennost'* [*Oil and Fat Industry*], *8*, 14-16.

Shcherbakov, V. G., & Zhuravlev, A. I. (1975). Ob usloviyakh khraneniya semyan podsolnechnika v elevatorakh silosnogo tipa [On the storage conditions of sunflower seeds in silo type elevators]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [*Proceedings of universities. Food technology*], *1*, 55-58.

Shcherbakov, V. G., Il'in, P. P., & Zhuravlev, A. I. (1978). Izmenenie statisticheskikh nagruzok v semennoi masse podsolnechnika [Change in statistical loads in sunflower seed mass]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [*Proceedings of universities. Food technology*], *5*, 173-174.

Shorstkii, I. A., & Koshevoi, E. P. (2015). Ekstraktsiya s nalozheniem impul'snogo elektricheskogo polya [Extraction with superimposed pulsed electric field]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [*Proceedings of universities. Food technology*], *4*, 40-42.

Sidel'nikova, N. A. (2021). Osobennosti khraneniya semyan podsolnech-nika [Features of storage of sunflower seeds]. In *Rol' nauki v udvoenii valovogo regional'nogo produkta: Tezisy dokladov XXV Mezhdunarodnoi nauchno-proizvodstvennoi konferentsii* [*The role of science in doubling the gross regional product: Abstracts of the XXV International Scientific and Industrial Conference*] (pp. 48-49). Maiskii: Izdatel'stvo Belgorodskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet imeni V. Ya. Gorina.

Sirotsuka, T., & Togami, T. (1971). Sovremennoe sostoyanie ekstragirovaniya zhidkostyami razlichnykh komponentov iz tverdykh chastits [The current state of the extraction of various components from solid particles by liquids]. *Kagaku Kogaku Ronbunshu* [*Science Treatise*], *85*(6), 612-618.

Zakirov, V. V., & Galushina, P. S. (2020). Posleuborochnye protsessy v semenakh maslichnykh kul'tur [Post-harvest processes in oilseeds]. *Molodezh' i nauka* [*Youth and Science*], *11*, Article 39.

Gibon, V., de Greyt, W., & Kellens, M. (2018). Oil modification: solution or problem for 3-monochloro-1,2-propanediol (3-MCPD) and glycidyl esters (GE) mitigation. *Inform, 29*(3), 14-19. https://doi.org/10.21748/inform.03.2018.14

УДК 635.3:635.33:635.071 https://doi.org/10.36107/spfp.2021.229

Натамицин и электромагнитные поля: влияние на качество капусты при хранении

Бабакина Мария Владимировна
«Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции» – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»
Адрес: 350072, г. Краснодар, ул. Тополиная аллея, д. 2
E-mail: wuhdz@mail.ru

Михайлюта Лариса Васильевна
«Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции» – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»
Адрес: 350072, г. Краснодар, ул. Тополиная аллея, д. 2
E-mail: kniihp@mail.ru

Першакова Татьяна Викторовна
«Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции» – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»
Адрес: 350072, г. Краснодар, ул. Тополиная аллея, д. 2
E-mail: 7999997@inbox.ru

Купин Григорий Анатольевич
«Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции» – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»
Адрес: 350072, г. Краснодар, ул. Тополиная аллея, д. 2
E-mail: griga_77@mail.ru

Самойленко Мария Владимировна
«Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции» – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»
Адрес: 350072, г. Краснодар, ул. Тополиная аллея, д. 2
E-mail: marimanro13@yandex.ru

Обеспечение населения свежими овощами в течение года возможно за счет решения комплекса научно-технических задач по обеспечению снижения потерь растительной продукции в процессе хранения. Несмотря на значительное количество исследований, посвященных стабилизации качества растительного сырья, в том числе, с применением физических и химических методов, в настоящее время отсутствуют исследования эффективности комплексного воздействия физических (электромагнитные поля крайне низких частот – ЭМП КНЧ) и биологических методов для снижения потерь капустных овощей. В связи с этим, целью исследования является изучение влияния обработки ЭМП КНЧ и препаратом биологического происхождения натамицин на качество и величину потерь цветной и белокочанной капусты при краткосрочном хранении, выявление оптимальных доз, параметров обработки ЭМП КНЧ в зависимости от вида и сорта капусты и температуры хранения. Исследуемые образцы обрабатывали натамицином и ЭМП КНЧ (частота 25 Гц, время обработки 30 мин магнитная индукция 10 мТл) раздельно и комплексно, хранили при температурах +2±1 °С и +10±1 °С. Минимальные потери обеспечивались при обработке натамицином концентрацией – 0,09 г/л; величина общих потерь и выход стандартной продукции обработанных образцов зависит от вида и сорта капусты. Обработка ЭМП КНЧ и натамицином раздельно и в комплексе позволяет увеличить выход стандартной продукции и сократить потери при хранении при температурах +2±1 °С и +10±1 °С на величину от 3,1 %, до 8,4 %. Полученные результаты представляют интерес для разработки технологий повышения устойчивости капустных овощей перед транспортированием; для подготовки к краткосрочному хранению в условиях организаций и предприятий оптовой и розничной торговли, общественного питания.

Ключевые слова: капустные овощи, белокочанная капуста, цветная капуста, технология хранения, обработка, электромагнитные поля крайне низких частот, натамицин, потери, качество

Введение

Для производителей сельскохозяйственной продукции актуальным является не только получение высоких результатов в выращивании плодоовощной продукции, но и умение сохранить ее потребительское качество и товарный вид в течение определенных сроков хранения.

Капуста – один из самых популярных овощей в рационе человека, что объясняется ее доступностью и питательными особенностями. Крупнейшими производителями капусты являются Китай (33 млн тонн), Индия (8,5 млн тонн) и Россия (3,5 млн тонн). Значительные объёмы этого овоща семейства крестоцветных выращиваются в Японии, Украине, США, Румынии и Польше[1]. Примерно 88% потребления капусты происходит в свежем виде, в то же время во многих странах, таких как Германия и Австрия, Канада, США и Россия более популярна квашеная капуста (Kusznierewicz, Smiechowska, Bartoszek, & Namiesnik, 2008). Задолго до того, как капуста стала пищевым продуктом, ее традиционно использовали в лечебных целях, для детоксикации организма (Higdon, Delage, Williams, & Dashwood, 2007). Исследователями отмечается тот факт, что польза для здоровья от капусты связана с такими соединениями как глюкозинолаты, флавоноиды, индолы, аскорбиновая кислота, фенольные соединения, каротины и токоферол (Martinez, Mackert, & McIntosh, 2017).

Благодаря наличию антиоксидантных фитохимических веществ, например витаминов С и Е, флавоноидов и каротиноидов, происходит снижение общего риска развития ряда хронических заболеваний, таких как рак, болезни сердца, диабет, болезнь Альцгеймера и т. д. Без достаточного потребления крестоцветных овощей, таких как капуста, может быть нарушен кислородный обмен, что приведет к окислительному стрессу, который сам по себе является фактором риска возникновения рака и других ранее упомянутых хронических заболеваний. Потребление капусты в конечном итоге увеличивает уровень антиоксидантов в крови, клетках и тканях (Podsedek, 2007; Yahia, 2010). Капуста – это некрахмалистый, богатый клетчаткой овощ, обеспечивающий в общей сложности 2,5 г пищевых волокон на 100 г порции, что включает как растворимые, так и нерастворимые части волокон. Это означает, что, хотя этот овощ низкокалорийный, он дает ощущение сытости.

Капустные овощи содержат высокое количество влаги, поэтому их хранение довольно проблематично за счет активного протекания биохимических процессов: быстро снижается качество, увеличиваются потери и требует соблюдения определенных параметров и технологий хранения. Наиболее значимыми при хранении капусты являются такие параметры как относительная влажность воздуха, температура, степень аэрации. Большое значение имеет сорт, степень зрелости сырья. Традиционные технологии хранения капусты достаточно затратны и энергоемки. К ним относятся такие способы как сохранение с помощью поддержания оптимальных физических параметров, химическая стабилизация, применения биотехнологий.

Физические параметры, обеспечивающие стабилизацию качества и продление сроков хранения – температура окружающей среды, влажность, давление и состав газовой среды. Обеспечение этих показателей за счет установки соответствующего оборудования, рентабельно только при длительном хранении, при краткосрочном хранении в условиях предприятий оптовой и розничной торговли, перерабатывающих предприятий актуален поиск других методов.

В связи с этим, для стабилизации качества овощей, предотвращения микробиологической порчи применяются натуральные или синтетические химические консерванты (Siddiq, Sogi, & Dolan, 2013). Использование синтетических препаратов требует дополнительной оценки их безопасности, проверки показателей канцерогенности, тератогенности, токсичности (Davidson, Critzer, & Taylor, 2013). В связи с этим, представляет интерес использование для совершенствования технологий хранения известных и разрешенных к применению пищевых антимикробных средств (Fratianni et al., 2013; Бабакина, Михайлюта, Горлов, & Олефир, 2020).

Для совершенствования традиционной технологии нами были рассмотрено применение препарата натамицин. Натамицин – это широко применяемое в пищевой промышленности противогрибковое вещество, которое производится методом ферментации с использованием Streptomyces natalensis (Davidson & Zivanovic, 2003). За счет высокого сродства к эр-

[1] Chepkemoi, J. (2009). *The World Leaders in Cabbage Production*. URL: https://www.worldatlas.com/articles/the-world-leaders-in-cabbage-production.html (дата обращения: 25.02.2021).

гостерину натамицин связывается с ним, при этом нарушается проницаемость мембраны клетки грибка, снижение количества незаменимых ионов и низкомолекулярных пептидов, что приводит к лизису клеток. Кроме того, известны рад зарубежных исследований об эффективности ионизирующего облучении (гамма-излучение, рентгеновские лучи, электронный пучок) ингибирования развития фитопатогенов на поверхности растительного[2] сырья (Гусев, 1989). В Корее и Китае запатентованы способы и устройства для стерилизации фруктов и овощей, способ инактивации возбудителей грибковых заболеваний при помощи ионизирующего излучения[3]. Китайскими учеными также запатентован способ стерилизации фруктов и овощей, основанный на облучении сырья электронным пучком, позволяющий увеличить сроки хранения продукции[4].

Ранее нами было установлено стабилизирующее действие обработки электромагнитными полями крайне низких ЭМП КНЧ в процессе хранения яблок и корнеплодов[5] (Pershakova et al., 2018). Обработка ЭМП КНЧ не оказывает влияния на цвет, вкус, обрабатываемого продукта, способствуя при этом инактивации микроорганизмов, за счет потери жизненных функций клетки, происходящих из-за денатурации ферментов и мембранных белков, нарушения структуры ДНК (Lung et al., 2015).

Несмотря на значительное количество публикаций, посвященных стабилизации качества растительного сырья с применением физических и химических методов, требует дальнейших исследований возможность совместного воздействия на растительные объекты для достижения большей эффективности, снижения экологической нагрузки при обработке перед хранением таких объектов, как капустные овощи.

В связи с этим, целью исследования является изучение влияния обработки натамицином и электромагнитными полями крайне низких частот на качество и величину потерь цветной и белокочанной капусты при краткосрочном хранении, выявление оптимальных доз, параметров обработки ЭМП КНЧ в зависимости от вида и сорта капусты и температуры хранения.

Материалы и методы исследования

Материалы

Для исследования использовался препарат натамицин фирмы Freda Biotechnology Co., Ltd.

Объекты

Объектами исследования являлись:

- капуста белокочанная сортов Ринда, Казачок, урожая 2020 года, выращенная в Краснодарском крае;
- капуста цветная сорта Гарантия, урожая 2020 года, выращенная в Краснодарском крае.

Качество капусты соответствовало ГОСТ Р 51809-2001[6] и ГОСТ 33952-2016[7].

Методы

Для определения товарного качества капусты, ее взвешивали, осматривали и рассортировывали на фракции: стандарт, не стандарт, абсолютный отход. Внешний вид, запах, наличие больных, поврежденных кочанов определяли органолептически. Каждую фракцию взвешивали и вычисляли ее содержание в процентах по отношению к массе объединенной пробы.

Для подсчета естественной убыли массы (величины общих потерь) при хранении производили подсчет массы кочанов капусты до и после хранения с исследуемыми вариантами обработок и условий хранения.

Процедура исследования

Кочаны белокочанной и соцветия цветной капусты, не пораженные болезнями и не имеющие механических повреждений, обрабатывали натамицином (дозировка 0,03, 0,06, 0,09, 0,12 г/л), ЭМП КНЧ (частота 25 Гц, время обработки 30 мин магнитная индукция 10 мТл) и комплексно ЭМП КНЧ + водный раствор натамицина 0,09 г/л. Кон-

[2] РМГ 78-2005 ГСИ. (2006). Излучения ионизирующие и их измерения. Термины и определения. М.: Стандартинформ. 53.
[3] Hirotoshi, S., & Toshiaki, N. Пат. KR 1020160016615, Корея. (2016). Способ и устройство для стерилизации фруктов и овощей. Shibuya Corporation.
[4] Пат. CN 102475121, Китай. (2012). Способ стерилизации и хранения фруктов и овощей.
[5] Першакова, Т. В., Купин, Г. А., Алёшин, В. Н., Горлов, С. М., Лисовой, В. В., Михайлюта, Л. В., Яцушко, Е. С., Панасенко, Е. Ю., Бабакина, М. В. (2018). Выявить закономерности влияния предварительной обработки корнеплодов овощей электромагнитными полями и биопрепаратами на эффективность снижения микробной контаминации, снижение потерь, стабилизацию качества и максимальное сохранение биологически активных веществ в процессе хранения. Отчет о НИР (Министерство науки и высшего образования РФ). Краснодар: КНИИХП-филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ.
[6] ГОСТ Р 51809-2001. (2013). Капуста белокочанная свежая, реализуемая в розничной торговой сети. М.: Стандартинформ.
[7] ГОСТ 33952-2016. (2016). Капуста цветная свежая. М.: Стандартинформ.

тролем служили не обработанные образцы. Хранили кочаны при +2±1 °С в течение 28 сут, а в другом варианте опыта – при +10±1 °С в течение 21 сут.

Обработку электромагнитными полями крайне низких частот (ЭМП КНЧ) проводили с использованием лабораторной экспериментальной установки, состоящей из универсального генератора сигналов RIGOL DG1022, усилителя MMF LV102, осциллографа LeCroy WA202 и соленоида. Исследуемый растительный материал помещался в соленоид, после чего подвергался воздействию электромагнитных колебаний с заданной частотой и индукцией.

В Таблице 1 представлены характеристики применяемых способов хранения кочанов белокочанной капусты и соцветий цветной капусты. В процессе хранения при указанных условиях развитие микробиологической порчи не выявлено. Единственным видом потерь была естественная убыль массы.

Таблица 1
Характеристика применяемых способов обработки и хранения белокочанной и цветной капусты

Номер образца	Способ подготовки к хранению	Параметры обработки	Параметры хранения
1	Контроль (без обработки)	-	t= +2±1 °С, W= 70 %, 28 суток
2			t=+10±1 °С, W=70%, 21 сутки
3	Обработка ЭМП КНЧ	Частота 25 Гц, время обработки 30 минут, магнитная индукция 10 мТл	t= +2±1 °С, W=70%, 28 суток
			t=+10±1 °С, W=70%, 21 сутки
4	Обработка водным раствором натамицина. Расход 0,5-1,0 мл/кг	0,03 г/л	t= +2±1 °С, W=70%, 28 суток
5			t=+10±1 °С, W=70%, 21 сутки
6		0,06 г/л	t= +2±1 °С, W=70%, 28 суток
7			t=+10±1 °С, W=70%, 21 сутки
8		0,09 г/л	t= +2±1 °С, W=70%, 28 суток
9			t=+10±1 °С, W=70%, 21 сутки
10		0,12 г/л	t= +2±1 °С, W=70%, 28 суток
11			t=+10±1 °С, W=70%, 21 сутки
12	Комплексная обработка ЭМП КНЧ и натамицином	Частота 25 Гц, время обработки 30 минут, магнитная индукция 10 мТл + натамицин, водный раствор 0,09 г/л, расход 0,5-1,0 мл/кг	t= +2±1 °С, W=70%, 28 суток
13			t=+10±1 °С, W=70%, 21 сутки

Результаты

На первом этапе исследовано влияние различных концентраций (0,03, 0,06, 0,09, 0,012 г/л) натамицина на устойчивость ранней белокочанной и цветной капусты в процессе хранения в течение 28 суток при температуре +(2±1) °С и относительной влажности 70%. Результаты исследования представлены в Таблице 2.

На следующем этапе исследовали товарное качество кочанов белокочанной и соцветий цветной капусты (процент выхода стандартной и нестандартной продукции, абсолютный отход) разных сортов при хранении при температурах +2±1 °С и +10±1 °С после комплексной обработки ЭМП КНЧ и натамицином (см. Таблицу 3).

На следующем этапе исследования представляло интерес изучить влияние способов обработки и температуры хранения на величину общих потерь белокочанной и цветной капусты.

На первом этапе исследований (см. Таблицу 2) установлено, что обработка водными растворами натамицина с концентрациями 0,03, 0,06, 0,09,

Таблица 2

Потери ранней белокочанной и цветной капусты при хранении в зависимости от концентрации натамицина

Вид обработки	Естественная убыль, %	Естественная убыль, %
	t= +2±1 °С, W=70%, 28 суток	t=+10±1 °С, W=70%, 21 сутки
белокочанная капуста сорт «Ринда»		
КОНТРОЛЬ	14	11
Натамицин 0,03	12	9
Натамицин 0,06	9	6
Натамицин 0,09	4	3
Натамицин 0,12	4	3
белокочанная капуста сорт «Казачок»		
КОНТРОЛЬ	18	12
Натамицин 0,03	13	10
Натамицин 0,06	10	9
Натамицин 0,09	5	4
Натамицин 0,12	5	4
цветная капуста сорт «Гарантия»		
КОНТРОЛЬ	28	18
Натамицин 0,03	17	13
Натамицин 0,06	14	11
Натамицин 0,09	10	6
Натамицин 0,12	10	6

Таблица 3

Товарное качество кочанов белокочанной и соцветий цветной капусты

Наименование образца		Товарное качество, %					
		стандарт		не стандарт		абсолютный отход	
		+2 °С	+10 °С	+2 °С	+10 °С	+2 °С	+10 °С
Белокочанная капуста							
Ринда	контроль	86,2±3,5	79,3±2,6	1,6±0,4	2,7±0,7	12,2±1,1	18,0±1,6
	комплексная обработка	90,5±3,9	87,1±3,5	1,0±0,4	1,9±0,5	8,5±0,5	11,0±1,1
Казачок	контроль	85,5±3,3	79,7±2,5	1,5±0,4	2,6±0,7	13,0±1,2	17,7±1,5
	комплексная обработка	90,3±3,7	87,3±3,4	1,1±0,3	2,0±0,5	8,6±0,5	10,7±1,1
Цветная капуста							
Гарантия	контроль	89,2±3,6	83,3±2,5	1,1±0,2	2,4±0,4	9,7±0,5	14,3±1,3
	комплексная обработка	93,9±4,1	90,7±3,1	0,8±0,1	1,8±0,5	5,3±0,5	7,5±0,4

0,12 г/л кочанов ранней белокочанной и соцветий цветной капусты перед закладкой на хранение снижает общие потери после 28 суток хранения при t= +2±1 °С по сравнению с контролем (без обработки) для сорта Ринда на 2-10 %, для сорта Казачок на 5-13 %, а для сорта цветной капусты Гарантия на 11-18 %.

При хранении в течение 21 суток при t=+10±1 °С обработка натамицином снижает общие потери по сравнению с контролем (без обработки) для сорта Ринда на 2-8 %, для сорта Казачок на 2-8 %, а для сорта цветной капусты Гарантия на 5-12 %.

Наиболее эффективной концентрацией раствора натамицина оказалась концентрация 0,09 г/л. Увеличение дозировки препарата не способствовало снижению величины потерь. В связи с этим дальнейшие исследования проводили с этой дозировкой.

На втором этапе исследований (см. Таблицу 3) установлено, что при хранении белокочанной капусты, предварительно обработанной ЭМП КНЧ и натамицином, при температуре +2±1 °С выход стандартной продукции выше на 4,3 – 5,2 %, а при температуре хранения +10±1 °С – выше на 7,6 – 7,8 % относительно контрольных образцов.

Для цветной капусты комплексная обработка ЭМП КНЧ и натамицином позволила увеличить выход стандартной продукции при температуре хранения +2±1 °С на 4,7 – 5,2 %, а при температуре хранения +10±1 °С – на 7,4 – 8,1 % относительно контрольных образцов.

Так как сортовые особенности кочанов не оказали значимого влияния на товарное качество при предварительной комплексной обработке, то дальнейшие исследования проводились с одним сортом белокочанной капусты Ринда и одним сортом цветной капусты Гарантия.

В Таблице 4 приведены данные по общим потерям кочанов белокочанной капусты сорта Ринда и соцветий цветной капусты сорта Гарантия в результате естественной убыли в зависимости от способа предварительной обработки при разных температурах хранения через 21 и 28 суток.

На последнем этапе исследования (см. Таблицу 4) установлено, что при хранении кочанов белокочанной капусты при температуре +2±1 °С количество общих потерь по сравнению с контролем ниже: для кочанов, обработанных натамицином, – на 5 %, ЭМП КНЧ – на 4,7 %, ЭМП КНЧ и натамицином в комплексе – на 5, 6 %.

При хранении кочанов белокочанной капусты при температуре +10±1 °С количество общих потерь по сравнению с контролем ниже: для кочанов, обработанных натамицином, – на 7,6 %, ЭМП КНЧ – на 7,3 %, ЭМП КНЧ и натамицином в комплексе – на 8,4 %.

Также установлено, что при хранении соцветий цветной капусты при температуре +2±1°С количество общих потерь по сравнению с контролем ниже: для соцветий, обработанных натамицином, – на 3,4 %, ЭМП КНЧ – на 3,1 %, ЭМП КНЧ и натамицином в комплексе – на 4,2 %.

При хранении соцветий цветной капусты при температуре +10±1°С количество общих потерь по сравнению с контролем ниже: для соцветий, обра-

Таблица 4

Общие потери белокочанной и цветной капусты в зависимости от способа предварительной обработки

Образец	Общие потери, %	
	белокочанная капуста сорта Ринда	цветная капуста сорта Гарантия
Контроль (t=+2±1 °С)	13,5±0,6	12,8±0,4
Контроль (t=+10±1 °С)	26,4±2,0	22,8±1,2
Натамицин (t=+2±1 °С)	8,5±0,4	9,4±0,3
Натамицин (t=+10±1 °С)	18,8±1,6	17,9±1,1
ЭМП КНЧ (t=+2±1 °С)	8,8±0,4	9,8±0,3
ЭМП КНЧ (t=+10±1 °С)	19,1±1,7	18,2±1,0
ЭМП КНЧ и натамицин (t=+2±1 °С)	7,9±0,3	8,6±0,2
ЭМП КНЧ и натамицин (t=+10±1 °С)	18,0±1,4	17,1±1,0

ботанных натамицином, – на 4,9 %, ЭМП КНЧ – на 4,6 %, ЭМП КНЧ и натамицином в комплексе – на 5,7 %.

При этом наблюдается отсутствие потерь от микробиологической порчи вне зависимости от температуры хранения, продолжительности хранения, выбора предварительной обработки и вида сырья.

Обсуждение полученных результатов

Полученные результаты согласуются с установленными ранее фактами влияния магнитных полей в диапазоне частот 3-30 Гц на различные молекулярные и клеточные модели (Кудряшов & Дмитриева, 2016; Першакова и др., 2019).

Результаты исследований подтверждают данные о влиянии электромагнитных излучений на биологические системы. При обработке ЭМП КНЧ воздействие на объект происходит на нескольких уровнях: на уровне молекулы, клетки, ткани, органа и организма. При этом для объяснения происходящих магнито-биологических эффектов используют теоретические положения теорий квантовой интерференции и спиновой конверсии (Бинги, 2005; Большаков, 2002; Гордеева, 2013). На молекулярном уровне на объект значительное влияние оказывают ионо-резонансные явления – воздействие электромагнитных полей на мембрану клетки, вызывающие в ней акустические колебания. При этом происходит преобразование потенциальной энергии электрического поля в кинетическую энергию акустоэлектрических волн обеспечивая движение ионов через мембрану (Архипов, 2004; Протопопов, 1999).

Исследователи Гапеев (Гапеев, 2006) и Перельмутер[8] предложили, что механизм возникновения колебаний в мембране происходит за счет поляризации в электрическом поле и перемещения молекул липидов по направлению вектора действия поля. В связи с этим происходит изменение диэлектрической проницаемости мембран и изменение энергии электростатического поля. Энергия поля циклично преобразуется в кинетическую энергию смещений липидных молекул. На уровне организма реализуются индукционные механизмы на основе системы электропроводящих контуров в растительном объекте, в которых образуется электродвижущая сила за счет генерации электрического поля и за счет изменений во времени магнитного поля[9]. Полученные, в результате исследований данные о различной степени влияния обработки электромагнитными полями крайне низких частот на величину потерь в зависимости от вида капустных овощей, согласуется с результатами исследователей о том, что на величину электродвижущей силы влияет электропроводность и диэлектрическая проницаемость, которые зависят от частоты приложенного поля и от биохимического состава ткани растительного объекта, который в свою очередь зависит от вида и степени зрелости растительного объекта. (Гончаров, Евдакова, & Яшкардин, 2020). Дополнительная обработка антимикробным оказывает ингибирующее действие на развитие фитопатогенов.

Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности продолжения исследований по разработке способов стабилизации качества капустных овощей в процессе хранения путем обработки электромагнитными полями крайне низких частот и антимикробными препаратами в зависимости от вида и сорта овощей и параметров хранения[10].

Выводы

Установлена эффективность комплексной обработки ЭМП КНЧ и натамицином для стабилизации качества и снижения потерь от естественной убыли белокочанной и цветной капусты в процессе краткосрочного хранения при различных температурных параметрах. Установлены эффективные концентрации раствора натамицина и параметры обработки ЭМП КНЧ.

Полученные результаты представляют интерес для разработки технологий повышения устойчивости капустных овощей перед транспортированием; для подготовки к краткосрочному хранению в условиях организаций и предприятий оптовой и розничной торговли, общественного питания.

Дальнейшие направлений исследований должны быть направлены на оценку влияния данных

[8] Перельмутер, В. М., Ча, В. А., Чуприкова, Е. М. (2009). Медико-биологические аспекты взаимодействия электромагнитных волн с организмом: Учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет.

[9] Медицинские аспекты действия ЭМП. URL: http://www.ecololife.ru/study-538-1.html (дата обращения: 05.04.2021).

[10] Электромагнитные поля и общественное здравоохранение. URL: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs322/ru/ (дата обращения: 05.04.2021).

способов обработки на биохимические, микробиологические показатели, оценку показателей безопасности и экономической эффективности.

Литература

Архипов, М. Е. (2004). *Биофизические эффекты воздействия на живой организм право- и левовращающихся электромагнитных полей* [Кандидатская диссертация, Тульский государственный университет]. Тула, Россия.

Бабакина, М. В., Михайлюта, Л. В., Горлов, С. М., & Олефир, Е. А. (2020). Современные технологии продления срока годности свежих фруктов и овощей. *Плодоводство и виноградарство Юга России*, *62*(2), 122-139. https://doi.org/10.30679/2219-5335-2020-2-62-122-139

Бинги, В. Н. (2005). *Физические механизмы магнитобиологических явлений* [Докторская диссертация, Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН]. М., Россия.

Большаков, М. А. (2002). *Физиологические механизмы действия радиочастотных электромагнитных излучений на биообъекты разных уровней организации* [Докторская диссертация, Томский государственный университет]. Томск, Россия.

Гапеев, А. Б. (2006). *Физико-химические механизмы действия электромагнитного излучения крайне высоких частот на клеточном и организменном уровнях* [Докторская диссертация, Институт биофизики клетки РАН]. Пущино, Россия.

Гончаров, В. Д., Евдакова, Е. Г., & Яшкардин, Р. В. (2020). Методика выбора параметров расчета импульсных электромагнитных полей. *Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*, *8-9*, 105-110.

Гордеева, М. А. (2013). *Влияние электромагнитных полей на растительные и животные организмы* [Кандидатская диссертация, Государственный аграрный университет Северного Зауралья]. Тюмень, Россия.

Гусев, Н. Г., Климанов, В. А., Машкович, В. П. & Суворов, А. П. (1989). *Защита от ионизирующих излучений*. М.: Энергоатомиздат.

Кудряшов, А. А., & Дмитриева, В. А. (2016). Информационный подход к проблеме воздействия сверхслабых излучений на биологические объекты. *Мир науки, культуры, образования*, *4*, 163-166.

Першакова, Т. В., Алёшин, В. Н., Михайлюта, Л. В., Бабакина, М. В., Панасенко, Е. Ю., & Тягущева, А. А. (2019). Закономерности влияния предварительной обработки корнеплодов моркови и свёклы столовой электромагнитными полями и биопрепаратами на устойчивость в процессе хранения. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*, *8*(2), 23-31. https://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-11483

Протопопов, А. А. (1999). *Управляющее воздействие электромагнитными излучениями нетепловой интенсивности на имманентных биоинформационному обмену частотах* [Докторская диссертация, Научно-исследовательский институт новых медицинских технологий]. Тула, Россия.

Davidson, P. M., & Zivanovic, S. (2003). *The use of natural antimicrobials. Food Preservation Techniques*. Woodhead Publishing Ltd.: Cambridge.

Davidson, P. M., Critzer, F. J., & Taylor, T. M. (2013). Naturally occurring antimicrobials for minimally processed foods. *Annual Review of Food Science and Technology, 4*, 163-190. https://doi.org/10.1146/annurev-food-030212-182535

Fratianni, F., Nazzaro, F., Marandino, A., del Rosario Fusco, M., Coppola, R., de Feo, V., & de Martino, L. (2013). Biochemical composition, antimicrobial activities, and anti-quorum-sensing activities of ethanol and ethyl acetate extracts from Hypericum connatum Lam. (Guttiferae). *Journal of Medicinal Food, 16*(5), 454-459. https://doi.org/10.1089/jmf.2012.0197

Higdon, J. V., Delage, B., Williams, D. E., & Dashwood, R. H. (2007). Cruciferous vegetables and human cancer risk: epidemiologic evidence and mechanistic basis. *Pharmacological Research, 55*(3), 224-236. https://doi.org/10.1016/j.phrs.2007.01.009

Kusznierewicz, B., Smiechowska, A., Bartoszek, A., & Namiesnik, J. (2008). The effect of heating and fermenting on antioxidant properties of white cabbage Barbara. *Food Chemistry, 108*(3), 853-861. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.049

Lung, H. M., Cheng, Y.-C., Chang, Y.-H., Huang, H.-W., Yang, B. B., & Wang, C.-Y. (2005). Microbial decontamination of food by electron beam irradiation. *Trends in Food Science & Technology, 44*(1), 66-78. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.03.005

Martinez, K. B., Mackert, J. D., & McIntosh, M. K. (2017). Polyphenols and intestinal health. In *Nutrition and Functional Foods for Healthy Aging* (pp. 191-210). NY: Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805376-8.00018-6

Pershakova, T. V., Kupin, G. A., Mihaylyuta, L. V., Babakina, M. V., Gorlov, S. M., & Lisovoy, V. V. (2018). Investigation of the influence of an extremely low-frequency electromagnetic field on carrot phytopathogens in-vivo and in-vitro. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 10*(8), 1897-1901. https://www.jpsr.pharmainfo.in/Documents/Volumes/vol10Issue08/jpsr10081806.pdf

Podsedek, A. (2007). Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: a

review. *LWT – Food Science and Technology, 40*(1), 1-11. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.07.023

Siddiq, M., Sogi, D. S., & Dolan, K. D. (2013). Antioxidant properties, total phenolics, and quality of fresh-cut «Tommy Atkins» mangoes as affected by different pre-treatments. *LWT-Food Science and Technology, 53*(1), 156-162. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.01.017

Yahia, E. (2010). The contribution of fruit and vegetable consumption to human health. In de la Rosa, L. A., Alvarez-Parrilla, E., Gonza´lez-Aguilar, G. A. (Eds.). *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry, Nutritional Value and Stability* (p. 353). Wiley Blackwell, Iowa. https://doi.org/10.1002/9780813809397

Natamycin and Electromagnetic Fields: Influence on the Quality of Cabbage during Storage

Maria V. Babakina
"Krasnodar Research Institute of Agricultural Products Storage and Processing" – branch of FSBSO "North-Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture & Viniculture"
2, Topolinaya alleya str., Krasnodar, 350072, Russian Federation
E-mail: wuhdz@mail.ru

Larisa V. Mikhaylyuta
"Krasnodar Research Institute of Agricultural Products Storage and Processing" – branch of FSBSO "North-Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture & Viniculture"
2, Topolinaya alleya str., Krasnodar, 350072, Russian Federation
E-mail: kniihp@mail.ru

Tatyana V. Pershakova
"Krasnodar Research Institute of Agricultural Products Storage and Processing" – branch of FSBSO "North-Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture & Viniculture"
2, Topolinaya alleya str., Krasnodar, 350072, Russian Federation
E-mail: 7999997@inbox.ru

Grigoriy A. Kupin
"Krasnodar Research Institute of Agricultural Products Storage and Processing" – branch of FSBSO "North-Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture & Viniculture"
2, Topolinaya alleya str., Krasnodar, 350072, Russian Federation
E-mail: griga_77@mail.ru

Maria V. Samoylenko
"Krasnodar Research Institute of Agricultural Products Storage and Processing" – branch of FSBSO "North-Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture & Viniculture"
2, Topolinaya alleya str., Krasnodar, 350072, Russian Federation
E-mail: marimanro13@yandex.ru

Providing the population with fresh vegetables throughout the year is possible due to the solution of a set of scientific and technical problems to ensure the reduction of losses of plant products during storage. Despite a significant number of studies devoted to stabilizing the quality of plant raw materials, including using physical and chemical methods, there are currently no studies of the effectiveness of the complex effects of physical (electromagnetic fields of extremely low frequencies – EMF ELF) and biological methods to reduce the loss of cabbage vegetables. In this regard, the aim of the study is to study the effect of ELF EMF treatment and natamycin, a preparation of biological origin, on the quality and amount of losses of cauliflower and white cabbage during short-term storage, to identify optimal doses, processing parameters of EMF ELF, depending on the type and variety of cabbage and storage temperature. The samples under study were treated with natamycin and EMF ELF (frequency 25 Hz, treatment time 30 min, magnetic induction 10 mT) separately and in a complex, stored at temperatures of +2±1 °C and +10±1 °C. The minimum losses were ensured when treated with natamycin with a concentration of 0.09 g/l; the amount of total losses and the yield of standard products of processed samples depends on the type and variety of cabbage. EMP treatment with ELF and natamycin

separately and in combination allows increasing the output of standard products and reducing losses during storage at temperatures of +2±1 °C and +10±1 °C by a value from 3.1 % to 8.4 %. The results obtained are of interest for the development of technologies for increasing the stability of cabbage vegetables before transportation; for preparation for short-term storage in the conditions of organizations and enterprises of wholesale and retail trade, public catering.

Keywords: cabbage vegetables, white cabbage, cauliflower, storage technology, processing, extremely low frequency electromagnetic fields, natamycin, losses, commercial quality

References

Arhipov, M. E. (2004). *Biofizicheskie jeffekty vozdejstvija na zhivoj organizm pravo- i levovrashhajushhihsja jelektromagnitnyh polej* [*Biophysical effects of exposure to a living organism of right- and left-handed electromagnetic fields*] [Candidate Dissertation, Tul'skij gosudarstvennyj universitet]. Tula, Russia.

Babakina, M. V., Mihajljuta, L. V., Gorlov, S. M., & Olefir, E. A. (2020). Sovremennye tehnologii prodlenija sroka godnosti svezhih fruktov i ovoshhej [Modern technologies for extending the shelf life of fresh fruits and vegetables]. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Juga Rossii* [*Fruit growing and viticulture of the South of Russia*]*, 62*(2), 122-139. https://doi.org/10.30679/2219-5335-2020-2-62-122-139

Bingi, V. N. (2005). *Fizicheskie mehanizmy magnitobiologicheskih javlenij* [*Physical mechanisms of magnetobiological phenomena*] [Doctoral Dissertation, Institut obshhej fiziki im. A. M. Prohorova RAN]. Moscow, Rossija.

Bol'shakov, M. A. (2002). *Fiziologicheskie mehanizmy dejstvija radiochastotnyh jelektromagnitnyh izluchenij na bioobekty raznyh urovnej organizacii* [*Physiological mechanisms of action of radio frequency electromagnetic radiation on biological objects of different levels of organization*] [Doctoral Dissertation, Tomskij gosudarstvennyj universitet]. Tomsk, Russia.

Gapeev, A. B. (2006). *Fiziko-himicheskie mehanizmy dejstvija jelektromagnitnogo izluchenija krajne vysokih chastot na kletochnom i organizmennom urovnjah* [*Physicochemical mechanisms of action of electromagnetic radiation of extremely high frequencies at the cellular and organismal level*] [Doctoral Dissertation, Institut biofiziki kletki RAN]. Pushhino, Russia.

Goncharov, V. D., Evdakova, E. G., & Jashkardin, R. V. (2020). Metodika vybora parametrov rascheta impul'snyh jelektromagnitnyh polej [Methods for choosing the parameters for calculating pulsed electromagnetic fields]. *Izvestija SPbGJeTU LJeTI* [*News ETU LETI*]*, 8-9*, 105-110.

Gordeeva M. A. (2013). *Vlijanie jelektromagnitnyh polej na rastitel'nye i zhivotnye organizmy* [*Influence of electromagnetic fields on plant and animal organisms*] [Candidate Dissertation, Gosudarstvennyj agrarnyj universitet Severnogo Zaural'ja]. Tjumen', Russia.

Gusev N.G., Klimanov V.A., Mashkovich V.P. & Suvorov A.P. (1989). *Zashhita ot ionizirujushhih izluchenij: v 2-h t.* [*Protection against ionizing radiation: in 2 volumes*] M.: Jenergoatomizdat. 864.

Gusev, N. G., Klimanov, V. A., Mashkovich, V. P. & Suvorov, A. P. (1989). *Zashchita ot ioniziruyushchikh izluchenii* [*Protection against ionizing radiation*]. Moscow: Energoatomizdat.

Kudrjashov, A. A., & Dmitrieva, V. A. (2016). Informacionnyj podhod k probleme vozdejstvija sverhslabyh izluchenij na biologicheskie obekty [Information approach to the problem of the influence of superweak radiation on biological objects]. *Mir nauki, kul'tury, obrazovanija* [*World of science, culture, education*]*, 4*, 163-166.

Pershakova, T. V., Aljoshin, V. N., Mihajljuta, L. V., Babakina, M. V., Panasenko, E. Ju., & Tjagushheva, A. A. (2019). Zakonomernosti vlijanija predvaritel'noj obrabotki korneplodov morkovi i svjokly stolovoj jelektromagnitnymi poljami i biopreparatami na ustojchivost' v processe hranenija [Regularities of the influence of pre-treatment of carrot and beetroot root crops with electromagnetic fields and biological products on stability during storage]. *Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnyh i estestvennyh nauk* [*International Journal of Humanities and Natural Sciences*]*, 8*(2), 23-31. https://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-11483

Protopopov, A. A. (1999). *Upravljajushhee vozdejstvie jelektromagnitnymi izluchenijami neteplovoj intensivnosti na immanentnyh bioinformacionnomu obmenu chastotah* [*Controlling influence of electromagnetic radiation of non-thermal intensity on frequencies immanent to bioinformation exchange*] [Doctoral Dissertation, Nauchno-issledovatel'skij institut novyh medicinskih tehnologij]. Tula, Russia.

Davidson, P. M., & Zivanovic, S. (2003). *The use of natural antimicrobials. Food Preservation Techniques*. Woodhead Publishing Ltd.: Cambridge.

Davidson, P. M., Critzer, F. J., & Taylor, T. M. (2013). Naturally occurring antimicrobials for minimally processed foods. *Annual Review of Food Science and Technology, 4*, 163-190. https://doi.org/10.1146/annurev-food-030212-182535

Fratianni, F., Nazzaro, F., Marandino, A., del Rosario Fusco, M., Coppola, R., de Feo, V., & de Martino, L. (2013). Biochemical composition, antimicrobial activities, and anti-quorum-sensing activi-

ties of ethanol and ethyl acetate extracts from Hypericum connatum Lam. (Guttiferae). *Journal of Medicinal Food, 16*(5), 454-459. https://doi.org/10.1089/jmf.2012.0197

Higdon, J. V., Delage, B., Williams, D. E., & Dashwood, R. H. (2007). Cruciferous vegetables and human cancer risk: epidemiologic evidence and mechanistic basis. *Pharmacological Research, 55*(3), 224-236. https://doi.org/10.1016/j.phrs.2007.01.009

Kusznierewicz, B., Smiechowska, A., Bartoszek, A., & Namiesnik, J. (2008). The effect of heating and fermenting on antioxidant properties of white cabbage Barbara. *Food Chemistry, 108*(3), 853-861. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.049

Lung, H. M., Cheng, Y.-C., Chang, Y.-H., Huang, H.-W., Yang, B. B., & Wang, C.-Y. (2005). Microbial decontamination of food by electron beam irradiation. *Trends in Food Science & Technology, 44*(1), 66-78. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.03.005

Martinez, K. B., Mackert, J. D., & McIntosh, M. K. (2017). Polyphenols and intestinal health. In *Nutrition and Functional Foods for Healthy Aging* (pp. 191-210). NY: Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805376-8.00018-6

Pershakova, T. V., Kupin, G. A., Mihaylyuta, L. V., Babakina, M. V., Gorlov, S. M., & Lisovoy, V. V. (2018). Investigation of the influence of an extremely low-frequency electromagnetic field on carrot phytopathogens in-vivo and in-vitro. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 10*(8), 1897-1901. https://www.jpsr.pharmainfo.in/Documents/Volumes/vol10Issue08/jpsr10081806.pdf

Podsedek, A. (2007). Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: a review. *LWT - Food Science and Technology, 40*(1), 1-11. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.07.023

Siddiq, M., Sogi, D. S., & Dolan, K. D. (2013). Antioxidant properties, total phenolics, and quality of fresh-cut «Tommy Atkins» mangoes as affected by different pre-treatments. *LWT-Food Science and Technology, 53*(1), 156-162. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.01.017

Yahia, E. (2010). The contribution of fruit and vegetable consumption to human health. In de la Rosa, L. A., Alvarez-Parrilla, E., Gonza´lez-Aguilar, G. A. (Eds.). *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry, Nutritional Value and Stability* (p. 353). Wiley Blackwell, Iowa. https://doi.org/10.1002/9780813809397

УДК 663.4 https://doi.org/10.36107/spfp.2021.208

Особенности получения пшеничного пива

Алябьев Борис Александрович
ООО«Пивзавод «ВИКБИР»
Адрес: 692756, г. Артем, ул. 1-я Западная, д. 26
E-mail: borisalyabev@yandex.ru

Ростовская Марина Феликсовна
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет»
Адрес: 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, корпус М
E-mail: rost-mf@mail.ru

На основании данных зарубежной литературы рассмотрены некоторые аспекты использования пшеницы для пивоваренных целей, а также особенности технологии пшеничного пива. В настоящее время пшеничное пиво увеличивает свою популярность по всему миру, в том числе и в России. В зарубежной литературе производству пшеничного солода и пшеничного пива посвящено значительное количество публикаций, в то время как в отечественных источниках подобные данные крайне ограничены. В представленном обзоре приведена оценка пшеничного солода в разных странах, сделан акцент на различиях между зерном пшеницы и ячменя, являющимся традиционным сырьем для пивоварения, показано, что разница в химическом составе зерна и различие в составе ферментов пшеницы и ячменя предопределяет различие в процессе пивоварения –как в режиме затирания, так и брожения. Озвучена проблема, обсуждаемая в зарубежной литературе, что в настоящее время для характеристики пшеничного солода используются аналитические оценки ячменного солода, хотя, они разработаны для сырья с иными свойствами, в первую очередь это касается состава некрахмалистых полисахаридов и различия в содержании α- и β-амилаз, что требует некоторой корректировки показателей пшеничного солода. Основным выводом представленного обзора является необходимость исследования пивоваренных аспектов пшеницы, так как пшеничный солод имеет свои особенности, и, несмотря на его долгое использование в качестве материала для пивоварения, изучен в гораздо меньшей степени, чем традиционный ячменный солод.

Ключевые слова: пшеница, пшеничный солод, пшеничное пиво, ферменты солода

Введение

Традиционным сырьем для производства пива является ячменный солод. Но в пивоварении также используют солод, полученный из пшеницы.

Пшеничное пиво пользуется популярностью во всем мире. Популярность пшеничного пива менялась на протяжении многих лет, но в последние несколько лет спрос на пшеничное пиво увеличивается (Mastanjević et al., 2018).

На рынке Германии представлено более 1000 сортов пшеничного пива[1]. Один из десяти сортов пива, проданных в Германии – это пшеничное пиво. В Северной Америке (США, Канада) с использованием пшеничного солода получают и эли, и лагеры[2]. Служба экономических исследований Министерства сельского хозяйства США, предполагает, что от 5 до 10 % всего солода, используемого пивоварами США, может составлять пшеница (Jin Z. et al., 2018). В Великобритании производят американское белое пиво, но без специфического фенольного аромата (Delvaux, Combes, & Delvaux, 2004). Пиво с использованием пшеничного солода, чья доля в засыпи превышает долю ячменного солода, выпускается в Японии (Muramatsu, Tagawa, Kasai, & Takeya, 2006).

Немецкое пшеничное пиво Weizen/Weissbier производят с добавлением 50-80% пшеничного солода

[1] Бак, В. (2008). *Практическое руководство по технологии пивоварения*. Гамбург.
[2] 2021 Brewers Association Beer Style Guidelines. URL: https://www.brewersassociation.org/edu/brewers-association-beer-style-guidelines/ (дата обращения: 12.05.2021).

(Бэмфорт, 2007). Также пшеничный солод используют для приготовления темного пшеничного пива Dunkel Weizen/Dunkel Weissbier, в этом случае доля пшеничного солода в засыпи также составляет не менее 50%, но при этом употребляется темный или карамельный ячменный солод. Еще более темное и более крепкое пшеничное пиво Weizenbock/ Weissbock готовят с применением жженного ячменного солода и не менее 50% пшеничного солода[3].

Пшеничный солод используют и для приготовления американского пшеничного пива American Wheat Ale и Wheat Lager. В этих сортах пива доля пшеничного солода в засыпи составляет 30%. Американское пшеничное пиво может быть светлым или темным, в зависимости от используемого вида ячменного солода.

Если производство пшеничного пива в Европе – это традиция, то в Китае объем производства пшеничного пива растет из экономических соображений. Пивоваренный ячмень в Китае зависит от импорта, а пшеница - традиционная культура Китая, дающая высокий урожай, и менее дорогая, по сравнению с ячменем (Jin, Zhang, & Du, 2008; Jin, Du, Zhang, K.-L., & Zhang, X.-C., 2011).

По мере увеличения производства пшеничного пива увеличивается спрос на подходящую пивоваренную пшеницу и солод из нее. При этом пивоваренной пшеницы, в том смысле, который вкладывается в термин «пивоваренный ячмень», не существует (ГОСТ Р 53358-2009[4]). Пшеница является злаком, который чаще всего используется в хлебопекарной промышленности, поэтому при селекции и исследованиях пшеницы основное внимание уделяется оптимизации для выпечки: высокое содержание белка, стабильное число падения (высокие числа указывают на низкий уровень активности α-амилазы), постоянное хлебопекарные качества. Требования же к зерну пшеницы, предназначенной для мукомольной промышленности и для получения солода, по некоторым показателям противоположны. Пшеница, подходящая для солодоращения, должна иметь низкое содержание белка и легко накапливать ферменты при проращивании. Высокое содержание белка может вызвать трудности фильтрации и проблемы брожения в процессе пивоварения, а также снижение стабильности вкуса готового пива (Faltermaier, 2014).

Цель данного обзора - показать различия между традиционным ячменем и пшеницей как сырьем для пивоварения и сделать акцент на необходимости изучения пшеницы с точки зрения ее пивоваренных качеств.

Материалы и методы исследования

В обзоре проанализировано 60 источников литературы, в том числе 17 источников на русском языке (из них 6 – переводы с иностранный языков) и 43 – на английском. Основная часть цитируемой литературы опубликована за последние 20 лет (48 источников), при этом за последние 10 лет – 19 источников. Также приведены ссылки на некоторые более ранние источники, которые представляют интерес и известные монографии по солодоращению и пивоварению: Главачек, Кунце, Нарцисс, Back, Briggs, Warner.

На первом этапе при работе с источниками использовали поисковые запросы в базе данных Scopus по ключевым словам: пшеница, пшеничный солод, пшеничное пиво, солодоращение пшеницы, амилолитические, цитолитические, протеолитические ферменты, белки.

На втором этапе путем анализа аннотаций были отсеяны работы посвященные выращиванию, селекции, генетике пшеницы, а также использовании пшеницы в хлебопечении.

В настоящее время, работая по данной тематике на протяжении 15 лет, определили круг авторов, работающих в данной области, а также ряд журналов, публикующих статьи по этому направлению: Journal of the Institute of Brewing, Journal of the American Society of Brewing Chemists, Food Chemistry, Yeast.

Результаты и их обсуждение

Особенности пшеничного солода

В мире существуют различные аналитические методы для оценки зерна и солода: методы, рекомендованные ASBC (American Society of Brewing Chemists) – Американским обществом химиков-пивоваров; методы EBC (European Brewery Convention) – Европейской пивоваренной конвенции; методы MEBAK (Methoden sammlung der Mitteleuropäisc Brautech-nische Analysenkommission) - Аналитической комиссии стран центральной Европы; методы I0B (Institute

[3] Там же.
[4] ГОСТ Р 53358-2009. (2011). Продукты пивоварения. Термины и определения. М.: Стандартинформ.

of Brewing) - Института пивоварения (Bendelow, 1977). Между методиками этих организаций существуют различия: методы I0B больше приспособлены к технологии, применяемой на Британских островах, методы EBC и MEBAK ближе к технологии предприятий на европейском континенте, методы ASBC связаны с технологиями, применяемыми в США и Канаде (Белокурова, 2008). В нашей стране анализ солода проводят методами, определяемыми ГОСТ 29294-2014[5].

Пшеничный солод по ряду параметров отличается от ячменного. Ниже приведены несколько таблиц (Таблицы 1-3), в которых использованы данные из литературных источников разных стран, сравнивающих показатели светлого пшеничного и ячменного солода (Faltermaier, Waters, Becker, Arendt, & Gastl, 2014; Briggs, 1998; Бак, 2008). Данные, приведенные в таблицах 1, 3 получены с использованием методов EBC, а таблице 2 – методов I0B.

Таблица 1

Рекомендуемые значения для светлого пшеничного и ячменного солода

Аналитические параметры	Рекомендуемые значения для пшеничного солода	Рекомендуемые значения для ячменного солода
Содержание влаги (%)	4,5–5,0	4,5–5,0
Белок (%, СВ*)	11,0–13,0	9,5–10,5
Экстрактивность (%, СВ)	>83	>81
Вязкость (мПа· с)	<1,800	<1,560
Конечная степень сбраживания (%)	>79	>80
Растворимый азот (г/100г солода, СВ)	650–780	600–700
Индекс Кольбаха (%)	37–40	38–42
Свободный аминный азот, (мг/100г солода, СВ)	90–120	120–160

СВ* – сухое вещество

При этом ряд авторов (Бак, 2008; Нарцисс, 2007; Faltermaier, Waters, Becker, Arendt, & Gastl, 2014) считает, что аналитические данные для пшеничного солода требуют дальнейшей исследовательской работы. В настоящее время для пшеничного солода используются качественные оценки ячменного солода, хотя они выведены для сырья с иными свойствами. Многие параметры цитолитического растворения рассчитаны по β-глюкану, в

Таблица 2

Сравнительные характеристики пшеничного и ячменного солода

Аналитические параметры	Пшеничный солод	Ячменный солод
Содержание влаги (%)	8,1	4,3
Содержание азота (%, СВ)	2,18	1,65
Экстрактивность (%, СВ)	85,7	81,0
Растворимый азот (%, СВ)	1,12	0,61
Индекс Кольбаха (%)	51	37
Свободный аминный азот (мг/100г, СВ)	143	84
Цветность ед. EBC	8,0	3,5
ДС (I0B)	106	66

то время как для пшеницы большее значение имеет пентозан. При рассмотрении амилолитических характеристик следует учитывать, что отсутствие оболочки у пшеницы обеспечивает более высокое содержание экстрактивных веществ, но при этом конечная степень сбраживания в целом ниже из-за более низкой активности α-амилазы (Бак, 2008).

Главная особенность пшеницы, подвергаемой солодоращению, по сравнению с ячменем, – отсутствие цветочной оболочки. Из-за этого зерно пшеницы быстрее поглощает и теряет воду. Отсутствие оболочки приводит к тому, что замачиваемое зерно легче повреждается.

Возможность пшеницы производить хороший солод зависит от ряда факторов, среди которых очень существенный – состав эндосперма (Jin, Du, Zhang, K., & Zhang, D., 2011). Химический состав зерна пшеницы отличается от состава зерна ячменя. Различия касаются таких важных для солодоращения веществ как содержание крахмала, белковых веществ и некрахмалистых полисахаридов.

Пшеница превосходит ячмень по содержанию крахмала. Содержание крахмала в ячмене от общего сухого веса зерна находится в диапазоне 50-65%, в то время, как у пшеницы 60-63% (Меледина, 2003). По данным зарубежных исследователей[6], содержание крахмала в пшенице может изменяться в более широких пределах от 53% до 70% (Jin, Du, Zhang, K., & Zhang, D., 2011). Содержание крахма-

[5] ГОСТ 29294-2014. (2014). Солод пивоваренный. Технические условия. М.: Стандартинформ.

[6] Нарцисс, Л. (2007). *Краткий курс пивоварения*. СПб.: Профессия.

Таблица 3
Сравнительные характеристики пшеничного и ячменного солода

Показатель	Ячменный солод		Пшеничный солод
	Затирание солода с изменяемыми параметрами	Экспресс-метод затирания солода	
Массовая доля экстракта в сухом веществе солода тонкого помола (%)	>81	>81	>83
α–амилаза (ед. ASBC)	>40	>40	>28
Конечная степень сбраживания (%)	>80	>80	-
Массовая доля белковых веществ в сухом веществе солода (%)	9,5-11	9,5-11	11-12,5
Растворимый азот (г/100г солода, СВ)	550-700	650-750	650-780
Число Кольбаха (%)	38-40	39-42	37-40
Свободный аминный азот (мг/100г солода, СВ)	120-150	130-160	-
Фриабильность (%)	>80	>85	-
Количество стекловидных зерен (%)	<2	<2	-
Вязкость (мПа· с) в пересчете на сусло с экстрактивностью 8,6%)	<1,58	<1,56	<1,8
Вязкость 65˚С (мПа· с) в пересчете на сусло с экстрактивностью 8,6%)	<1,65	<1,60	-
β-глюкан (мг/л)	<300	<200	-
β-глюкан 65˚С (мг/л)	<450	<350	-
Модификация (%)	>85	>90	-
Однородность (%)	>75	>75	-

ла влияет на экстрактивность солода и конечную степень сбраживания сусла. Бедное экстрактом сусло плохо сбраживается дрожжами, меньше образуется спирта и побочных продуктов. Вкус такого пива будет пустым. Экстрактивность ячменного солода обычно находится в диапазоне 73-82%, экстрактивность пшеничного солода выше ячменного и достигает 81,5-87% на СВ (Ермолаева, 2004; Нарцисс, 2007).

Соотношение между амилозой и амилопектином в крахмале пшеницы примерно такое же, как и в ячмене - на долю амилозы приходится около одной трети от общего количества крахмала, на долю амилопектина две трети, Было показано, что типичное содержание амилозы в пшенице составляет 25-28%, а амилопектина 72-75% (Colonna, 1992). Процесс клейстеризации крахмала очень важен во время затирания солода, так как в результате клейстеризации нарушается кристаллическая структура крахмала и образуется смесь фрагментов амилопектина, диспергированных молекул амилозы и амилопектина, которые гидролизуются во время затирания в декстрины и сбраживаемые сахара. Температура клейстеризации крахмала пшеницы по одним данным составляет 53-65˚С (Belitz, Grosch, & Schieberle, 2009), по другим, 58 – 64˚С (Vermeylen, Goderis, Reynaers, & Delcour, 2005), что близко по значению к температуре клейстеризации крахмала ячменя - 57-65˚С (Бэмфорт, 2007).

Содержание сырого протеина в пшенице обычно выше, чем в ячмене (Taylor, Humphrey, Boxall, & Smith, 2008). Согласно литературным данным, содержание белка в пшенице (СВ) может колебаться от 8,7% (Depraetere, Delvaux, Coghe, & Delvaux, 2004) до 25,8% (Скурихин, 1991). Для мукомольной промышленности необходимо высокое содержание клейковины, то есть высокий уровень белка в зерне (Казаков & Карпиленко, 2005), для солодоращения же больше подходят сорта с низким содержанием белка (Нарцисс, 2007; Кунце, 2009). При этом пшеница содержит больше высокомолекулярных белков (Кунце, 2009). Белки же с высокой молекулярной массой, особенно пшеничные гликопротеины, улучшают пенные характеристики пшеничного пива (Bamforth, 1985), но при этом способствуют образованию помутнений (Delvaux F., Combes, & Delvaux F. R., 2004).

Согласно требованиям, принятым за рубежом, содержание белковых веществ в солоде, предназна-

ченного для получения очень светлого пива, не должно превышать 10,5%, для получения светлого лагерного - 11,5%, темное пиво может изготавливаться из солода с содержанием белка до 12%[7]. В России, согласно ГОСТ, массовая доля белковых веществ в светлом пшеничном солоде не должна превышать 12,2%[8]. Но в ряде зарубежных работ отмечается, что для получения классического пшеничного пива можно использовать пшеничный солод с более высоким содержанием белка: до 12,5% (Warner, 1992); 13,5-14,0% (Главачек & Лхотский, 1977; Guo, Jin, Du, Zhang, & Zhao, 2014). По данным китайских исследователей, солод, полученный из высокобелковой пшеницы и имеющий показатель белка, превышающий 14%, также имел хорошее качество (Jin, Du, Zhang, Xie, & Li, 2012).

Также как и в ячмене, основными некрахмалистыми полисахараидами пшеницы, образующими стенки клеток эндосперма, являются β-глюканы и пентозаны. В последнее время некрахмалистым полисахаридам пшеницы, используемой для получения солода, уделяется самое пристальное внимание. Установлена их важная роль в увеличении вязкости сусла и образовании помутнений (Бак, 2008).

Для оценки цитолитического растворения ячменного и пшеничного солода определяют показатель вязкости и содержание β-глюканов. Но если в зерне ячменя преобладают β-глюканы - 6,5% в ячмене, и только 1,4% - в пшенице, то в зерне пшеницы основную долю гемицеллюлоз составляют пентозаны. Среди пентозанов в пшенице преобладают арабиноксиланы. Содержание арабиноксиланов в пшенице в среднем 5,8%, в ячмене несколько меньше - от 4 до 5,5% (Izydorczyk & Dexter, 2008). Из-за меньшего содержания β-глюканов, некоторые авторы, отмечают, что оценку цитолитического растворения пшеничного солода необходимо производить по содержанию пентозанов (Бак, 2008).

Затирание

Основной целью солодоращения является накопление ферментов в солоде. В непроросшем зерне содержится недостаточное количество ферментов, чтобы во время затирания солода произошел гидролиз крахмала, который приводит к образованию сбраживаемых сахаров (Таблица 4), а также гидролиз белковых веществ, чтобы обеспечить достаточное содержание аминного азота для роста и размножения дрожжей. Во время затирания происходит растворение сухих веществ солода, при этом в сусле идет ферментативный гидролиз полимеров в более простые соединения.

Состав амилолитических ферментов ячменного и пшеничного солода отличается, что сказывается на состоянии сусла. Так, пшеничный солод характеризуется более высоким выходом экстракта, но имеет пониженную конечную степень сбраживания, по сравнению с ячменным. Этот результат нельзя объяснить диастатической силой, достигающей в пшеничном солоде 250-350°WK, что является более высоким показателем, по сравнению с ячменным (Нарцисс, 2007). Китайскими учеными был получен высокобелковистый пшеничный солод с диастатической силой достигающей 500 ед. °WK (Jin, Zhang, & Du, 2008). Бак предположил, что, возможно, причиной является более низкая активность α-амилазы в пшеничном солоде (Бак, 2008; Филимонова & Борисенко, 2010) (Таблица 4). А величина диастатической силы коррелирует с β-амилазой[9].

Согласно ГОСТ 31711-2012[10] при производстве пшеничного пива необходимо использовать не менее 50% пшеничного солода. Для пшеничного сусла из-за высокого содержания арабиноксиланов характерна повышенная вязкость[11], содержание арабиноксиланов зависит от сорта и составляет 4-15% (Zhang & Li, 2009). Поэтому затруднительно получить пшеничное пиво из 100% пшеничного солода и нежелательно затирание с низким гидромодулем. Соотношение засыпь/вода (называемое, гидромодулем) обычно составляет 1:3…1:5 (концентрация 16-25%).

Ввиду отсутствия оболочек у пшеничного солода и высокой вязкости сусла, необходимо следить за фракционным составом помола. Качество помола влияет на выход экстракта и на продолжительность фильтрации затора (Кунце, 2009). Из литературных данных известно, что необходимо не менее 40% ячменного солода для обеспечения достаточного количества феруловой кислоты в составе сусла (Сандаков, 2006). Из-за небольшой доли ячменного солода в засыпи, желательно при-

[7] Нарцисс, Л. (2007). *Краткий курс пивоварения*. СПб.: Профессия.
[8] ГОСТ 29294-2014. (2014). Солод пивоваренный. Технические условия. М.: Стандартинформ.
[9] Brewing Handbook Final Spreads. URL: https://ru.scribd.com/document/225020153/2013-11705-01-Brewing-Handbook-Final-Spreads (дата обращения: 13.04.2021).
[10] ГОСТ 31711-2012. (2019). Пиво. Общие технические условия. М.: Стандартинформ.
[11] Нарцисс, Л. (2007). *Краткий курс пивоварения*. СПб.: Профессия.

Таблица 4
Состав ферментов в зерне и солоде ячменя и пшеницы.

	Диастатическая сила (°WK)	**α-амилаза (ед./г)**	**β-амилаза (ед./г)**
Ячмень	-	0,62[12]; 6-16 (Woonton, Jacobsen, Sherkat, & Stuart, 2005)	350[13]
Ячменный солод	220-290 (Нарцисс, 2007a); 318 (Evans, Surrel, Sheehy, Stewart, Robinson, 2008, p. 1-10)	30-60 (Нарцисс, 2007a; Woonton, Jacobsen, Sherkat, & Stuart, 2005); 92-276 (Evans, Collins, Eglinton, & Wilhelmson, 2005)	728 (Evans, Surrel, Sheehy, Stewart, & Robinson, 2008)
Пшеница	2 (Briggs, 1998)	0,42 (Brewing Handbook); 0,408 (Miedl, Cornfine, Leiper, Shepherd, & Stewart, 2007)	454 (Brewing Handbook)
Пшеничный солод	250-350 (Нарцисс, 2007a)	47-55 (Меледина, 2003) 30 (Narziss, 2009); 32-44 (Нарцисс, 2007a)	645-1156 (Jin, Du, Zhang, Xie, & Li, 2012)

- (данные отсутствуют)

менять кондиционированный (мокрый) помол к ячменному солоду, что позволит сохранить оболочку ячменя целой и значительно улучшит фильтрацию затора (Кунце, 2009).

Для солода необходимо правильно подобрать режим затирания: температуру, время, pH, концентрацию затора. Кроме расщепления крахмала при затирании происходит расщепление белков и расщепление геммицеллюлоз, составляющих клеточные стенки, поэтому при исследовании влияния режимов затирания на состав сусла, также как и при солодоращении, необходимо учитывать действие трех основных групп ферментов: амилолитических, протеолитических и цитолитических. Каждая группа ферментов имеет свой температурный оптимум. Значение температурных пауз при проведении затирания показано в Таблице 5.

Затирание для получения пшеничного пива начинают с 35-40 °С, данная пауза наиболее благоприятна для высвобождения феруловой кислоты (Меледина, 2003), при температурах ниже 40 °С и выше 50 °С, гидролиз феруловой кислоты замедляется (Бак, 2008). Затирание же ячменного солода начинают с 50-52 °С (Кунце, 2009). Наличие феруловой кислоты - особенность при затирании пшеничного солода, это соединение декарбоксилируется дрожжами в 4-винилгваякол. Сам 4-винилгваякол не обнаруживается в конце затирания (McMurrough et al., 1996). Данные вещества относятся к фенолам, во время затирания содержание фенольных кислот увеличивается в 2-3 раза, уровень свободной феруловой кислоты может достигать 6,6 мг/дм^3 (McMurrough et al., 1996; Szwajgier, Pielecki, & Targoński, 2005). Связанная форма феруловой кислоты может превышать свободную в 1,5-5,5 раз (Szwajgier, Pielecki, & Targoński, 2005).

Брожение

Классическое пшеничное пиво обладает специфическим вкусовым профилем. Специфика заключается в том, что дрожжи декарбоксилируют гидробензойные кислоты в фенолы, которые дают сильный вкус и запах.

Известно, что для получения пшеничного пива используются дрожжи верхового брожения *Saccharomyces cerevisiae*. Дрожжи верхового брожения более гидрофобны и способны адсорбироваться с CO_2 и подниматься на поверхность пива. Но они также подвержены седиментации и флокулированию (Vidgren & Londesborough, 2011).

Для производства пшеничного пива, кроме *S. Cerevisie,* также используются другие виды микроорганизмов. В популярных бельгийских сортах пива с содержанием несоложенной пшеницы Gueuze и Lambic были обнаружены следующие микроорганизмы: *Enterobacteriaceae, Kloeckera apiculata, Saccharomyces cerevisiae, Saccharomyces bayanus, lactic bacteria* (*Pediococcus cerevisiae*), *Brettanomyces* (*B. bruxellensis, B. lambicus*) (Scholtes, Nizet, & Collin, 2012).

Тщательно подобранный штамм дрожжей и правильная технология обеспечивает специфический вкусовой профиль для различных видов пшеничного пива. Дрожжи верхового брожения оказыва-

[12] Там же.
[13] Там же.

ют более сильное влияние на характер пива, чем дрожжи низового брожения (Йентч, 2007), в пиве верхового брожения содержится больше продуктов обмена веществ, придающих пиву совершенно своеобразный характер (Кунце, 2009).

Между дрожжами *Saccharomyces pastorianus* и *Saccharomyces cerevisiae* существуют морфологические, физиологические и технологические различия (Tamai Y., Momma T., Yoshimoto H., & Kaneko, 1998; Nguyen & Gaillardin, 1997; Libkind, et al., 2011; Brückner & Mösch, 2012; Chen, et al., 2016; Crous, Gams, Stalpers, Robert, & Stegehuis, 2004; Evans, Collins, Eglinton, & Wilhelmson, 2005; Evans, Surrel, Sheehy, Stewart, & Robinson, 2008; Gibson & Liti; 2015; Krogerus, Magalhães, Vidgren, & Gibson, 2015; Mertens, et al., 2015; Miedl, et al., 2007; Narziss & Back, 2009; Stewart, Hill, & Russell, 2013; Walther, Hesselbart, & Wendland, 2014; Woonton, Jacobsen, Sherkat, & Stuart, 2005). Отличительные признаки верховых и низовых дрожжей показаны в Таблице 6.

Технология использования дрожжей верхового брожения в принципе не отличается от той, которая применяется для дрожжей низового брожения. Дрожжи для пшеничного пива после двух-трех генераций могут постепенно терять способность к образованию 4-винилгваякола, и поэтому необходимо своевременное обновление таких дрожжей. Многократное использование семенных дрожжей в ЦКТ дает нейтральное пиво с яблочным эфирным ароматом, такое пиво имеет вкус, напоминающий пиво низового брожения, а 4-винилгваякол здесь практически незаметен (Сандаков, 2006).

При брожении и разведении дрожжи верхового брожения образуют крупные разветвленные ко-

Таблица 6
Отличительные признаки верховых и низовых дрожжей

Характерные признаки	**Saccharomyces** *pastorianus*		**Saccharomyces** *cerevisiae*
Морфологические			
Вид клеток под микроскопом	Обособленные отдельные клетки или их пары		Связанные цепочки клеток. Материнские и дочерние клетки долго между собой связаны
Физиологические			
Сбраживание рафинозы	Полное		на 1/3
Спорообразования	Образуют споры реже		Образуют споры
(Филимонова, Борисенко, 2010, с. 6-8)	Снижена способность к половому размножению		через 48 ч
Образование побочных продуктов	Небольшое количество		Повышенное количество
Технологические			
Характерные признаки	Saccharomyces *pastorianus*		Saccharomyces *cerevisiae*
Локализация после сбраживания	По окончанию брожения оседают		Поднимаются на поверхность
Особенность хлопьеобразования	Пылевидные и хлопьевидные		Только пылевидные
Температура брожения	4-12 °C		14-25 °C
Предельная температура роста	37 °C		42 °C
Продолжительность брожения	7-10 дней		5-7 дней
Характерные признаки (Stewart, Hill, Russell, 2013, p. 202–220)	Saccharomyces *carlsbergensis*	Saccharomyces *pastorianus*	Saccharomyces *cerevisiae*
Группа (Stewart, Hill, & Russell, 2013)	Saaz	Frohberg	-
Температура брожения (Stewart, Hill, & Russell, 2013)	8-15 °C		18-22 °C
Максимальная температура (Stewart, Hill, & Russell, 2013)	34 °C		37 °C
Размер ДНК (МБ) (Chen et al., 2016; Walther, Hesselbart, & Wendland, 2014)	Фермент мелибиоза		
	CBS-1513 = 19.37	TT-21 = 22.43 W34/70 = 22.97 CCY48-91 = 24.21	S288c = 12.16

Таблица 6 (продолжение)

Характерные признаки (Stewart, Hill, & Russell, 2013)	**Saccharomyces *carlsbergensis***		**Saccharomyces *pastorianus***		**Saccharomyces *cerevisiae***	
Флокуляция (Bruckner & Mosch, 2012; Crous, Gams, Stalpers, & Robert, 2004) (Vidgren & Londesborough, 2011)	FLO1, FLO5, FLO9, FLO10, FLO11 (или MUC1), FIG2 и AGA1. Дополнительный ген Lg-FLO1 (чувствительный к глюкозе и манозе) + FLONS , FLONL				FLO1, FLO5, FLO9, FLO10, FLO11 (или MUC1), FIG2 и AGA1	
Побочные продукты брожения	CBS-1513 (1)	W34/70 (1)	(2)	(3)	(3)	(4)
Ацетальдегид	150%	100%	3 мг/дм^3	11 мг/дм^3	2,6-4,3 мг/дм^3	13 мг/дм^3
1-Пропанол	80%	100%	13 мг/дм^3	5 мг/дм^3	12,8-13,1 мг/дм^3	12 мг/дм^3
2-метилпропанол (Изобутанол)	165%	100%	28 мг/дм^3	8,5 мг/дм^3	10,7-16,2 мг/дм^3	32 мг/дм^3
2-метилбутанол	-	100%	17 мг/дм^3	-	-	28 мг/дм^3
3-метилбутанол (Изоамиловый спирт)	90%	100%	60-65 мг/дм^3	33,3 мг/дм^3	49,5-72,1 мг/дм^3	82 мг/л
3-метилбутилацетат (Изобутилацетат)	70%	100%	3 мг/дм^3	1,6 мг/дм^3	3,8-4,1 мг/дм^3	1,35 мг/дм^3
Этилацетат	50%	100%	38 мг/дм^3	16,2 мг/л	30,8-38,6 мг/дм^3	18 мг/дм^3
Этилгексаноат	120%	100%	-	-	-	0,08 мг/дм^3
Этилоктаноат	100%	100%	-	-	-	0,32 мг/дм^3
Фенилэтанол	-	-	-	25,7 мг/дм^3	12,5-36,3 мг/дм^3	-

(1) – Walther A., Hesselbart A., Wendland, 2014, p. 783-793;
(2) – Gibson, Liti, 2015, p. 17–27;
(3) – Mertens S., Steensels J., Saels V., Rouck G. D., Aerts G., Verstrepen, 2015, p. 8202-8214;
(4) – Krogerus, Magalhres, Vidgren, Gibson, 2015, p. 769-778;

лонии, распадающиеся лишь после окончания брожения, тогда как низовые дрожжи существуют исключительно в виде отдельных клеток или пар клеток (Прист, 2005).

Согласно литературным данным, для засева дрожжей низового брожения необходимая концентрация дрожжевых клеток составляет 15 млн. клеток/дм^3, для верхового брожения, ввиду быстрого брожения, рекомендуют меньший уровень засева: 7-15 млн. клеток/мл[14] и 2-4 млн клеток/дм^3 (Бак, 2008).

Верховые дрожжи образуют повышенное количество побочных продуктов брожения — высших спиртов и сложных эфиров. Среди высших спиртов (их нормальное содержание в пиве — около 150-160 мг/дм^3) выделяются, прежде всего, пропанол и метил-пропанол; если их соотношение к сложным эфирам составляет около 3…4 к 1, то достигается гармоничный вкус. Кроме того, дрожжи пшеничного пива обладают способностью образовывать: 4-винилгваякол (до 2,6 мг/дм^3) и 4-винилфенол (до 1 мг/дм^3) (Zhu & Cui, 2013), придающие пшеничному пиву типичный вкус и запах пряной гвоздики (McMurrough et al., 1996). Стоит отметить, что после брожения 75 % феруловой кислоты (источник 4-винилгваякола) остается в связанном состоянии (Szwajgier, Pielecki, & Targoński, 2005).

Фруктовые тона (банановый аромат) в пшеничном пиве обуславливаются высокой концентрацией эфиров (концентрации изоамилацетата около 4 мг/дм^3, при этом концентрация этилацетата должна составлять не более 45 мг/дм^3). Фенольный аромат характеризуется пряными нотами из-за наличия 4-винилгваякола, в среднем 1,5-2 мг/дм^3 (пороговое ощущение 0,2-3,2 мг/дм^3) (McMurrough et al., 1996).

Выводы

Как показывают приведенные данные, несмотря на долгую историю и обширные научные исследования, пшеница как материал для пивоварения менее изучена, по сравнению с традиционным ячменем, это же касается и пшеничного солода. В настоящее время появляется все больше зарубежных работ, исследующих не набор стандартных показателей пшеничного зерна, предназначенного для солодоращения пшеничного солода и пшеничного

[14] Нарцисс, Л. (2007). *Краткий курс пивоварения*. СПб.: Профессия.

пива, а анализирующих различия в составе белковых фракций, в составе некрахмалистых полисахаридов ячменя и пшеницы, в цитолитических, амилолитических, протеолитических и ферментативных изменениях, происходящих в процессе солодоращения пшеницы, по сравнению с ячменем, и влияние этих процессов на качество пшеничного солода и пшеничного пива. В нашей стране показатели качества для пшеничного солода введены только в 2016 году[15]. Используя зарубежный опыт, необходимо развивать исследования пшеницы, используемой в пивоварении, исходя из того, что Россия является одним из главных поставщиков этой культуры, но при этом, высококачественная пшеница с высоким содержанием белка выращивается только в нескольких южных округах. Во многих регионах выращиваемая пшеница имеет невысокое содержание белка, не обладает хорошими хлебопекарными свойствами, но может быть использована для пивоваренных целей.

Литература

Белокурова, Е. С. (2008). Новые методы определения качественных показателей сырья в пивоварении. *Пиво и напитки, 1*, 40-41.

Бэмфорт, Ч. (2007). *Новое в пивоварении.* СПб.: Профессия.

Главачек, Ф., & Лхотский, А. (1977). *Пивоварение.* Прага: Пищевая промышленность.

Йентч, М. (2007). Верховые сорта пива в центре внимания. *Мир пива, 3*, 8-11.

Кунце, В. (2009). *Технология солода и пива* (3-е изд.). СПб.: Профессия.

Меледина, Т. В. (2003). *Сырье и вспомогательные материалы в пивоварении.* СПб.: Профессия.

Нарцисс, Л. (2007). *Технология солодоращения*. СПб.: Профессия.

Прист, Ф. Д. (2005). *Микробиология пива*. СПб.: Профессия.

Сандаков, О. А. (2006). *Разработка технологии пшеничного пива верхового брожения с дображиванием в бутылках* [Кандидатская диссертация, Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий]. СПб., Россия.

Филимонова, Т. И., & Борисенко, О. А. (2010). Селекция пивных дрожжей. *Пиво и напитки, 1*, 6-8.

Bamforth, C. W. (1985). The foaming properties of beer. *Journal of the Institute of Brewing, 91*, 370-383. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1985.tb04359.x

Belitz, H.-D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry.* (4th ed.). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-69934-7

Bendelow, V. M. (1977). Malting Quality Selection Methods in Canadian Barley Breeding Programs. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 35(2), 81-85. https://doi.org/10.1094/ASBCJ-35-0081

Briggs, D. E. (1998). *Malt and Malting.* London: Blackie academic & Professional.

Brückner, S., & Mösch, H.-U. (2012). Choosing the right lifestyle: adhesion and development in Saccharomyces cerevisiae. *Federation of European Microbiological Societies (FEMS Microbiology), 36*(1), 25-58. https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2011.00275.x

Chen, P., Dong, J., Yin, H., Bao, X., Chen, L., He, Y., Chen, R., Wan, X., Zhao, Y., & Hou, X. (2016). Genome comparison and evolutionary analysis of different industrial lager yeasts (Saccharomyces pastorianus). *Journal of the Institute of Brewing, 122*(1), 42-47. https://doi.org/10.1002/jib.303

Colonna, P. (1992). New insights on starch structure and properties. In *Symposium on Cereal Chemistry and Technology: A Long Past and a Bright Future, Proceedings of the 9th International Cereal and Bread Congress* (pp. 25-42). Paris: INRA.

Crous, P. W., Gams, W., Stalpers, J. A., Robert, V., & Stegehuis, G. (2004). MycoBank: An online initiative to launch mycology into the 21st century. *Studies in mycology, 50*, 19-22.

Delvaux, F., Combes, F. J., & Delvaux, F. R. (2004). The effect of wheat malting on the colloidal haze of wheat beers. *Master Brewers Association of the Americas Technical Quarterly, 44*(1), 27-32.

Depraetere, S. A., Delvaux, F., Coghe, S., & Delvaux, F. R. (2004). Wheat variety and barley malt properties: influence on haze intensity and foam stability of wheat beer. *Journal of the Institute of Brewing, 110*(3), 200-206. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2004.tb00203.x

Evans, D. E., Collins, H., Eglinton, J., & Wilhelmson, A. (2005). Assessing the impact of the level of diastatic power enzymes and their thermostability on the hydrolysis of starch during wort production to predict malt fermentability. *Journal of the American Society of Brewing Chemists, 63*(4), 185-198. https://doi.org/10.1094/asbcj-63-0185

Evans, D. E., Surrel, A., Sheehy, M., Stewart, D. C., & Robinson, L. H. (2008). Comparison of Foam Quality and the Influence of Hop alpha-Acids and Proteins Using Five Foam Analysis Methods. *Journal of the American Society of Brewing*

[15] ГОСТ 29294-2014. (2014). Солод пивоваренный. Технические условия. М.: Стандартинформ.

Chemists, 66(1), 1-10. https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2007-1129-01

Faltermaier, A., Waters, D., Becker, T., Arendt, E., & Gastl, M. (2014). Common wheat (Triticum aestivum L.) and its use as a brewing cereal – a review. *Journal of the Institute of Brewing, 120*(1), 1-15. https://doi.org/10.1002/jib.107

Gibson, B., & Liti, G. (2015). Saccharomyces pastorianus: genomic insights inspiring innovation for industry. *Yeast, 32*(1), 17-27. https://doi.org/10.1002/yea.3033

Guo, M., Jin, Y., Du, J., Zhang, K., & Zhao, D. (2014). Effects of wheat protein compositions on malt quality. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods, 6*(1), 73-80. https://doi.org/10.3920/QAS2013.0247

Izydorczyk, M. S., & Dexter, J. E. (2008). Barley β-glucans and arabinoxylans: Molecular structure, physicochemical properties, and uses in food products – a review. *Food Research International, 41*(9), 850-868. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.04.001

Jin, Y., Du, J., Zhang, K., Xie, L., & Li, P. (2012). Relationship between Kolbach index and other quality parameters of wheat malt. *Journal of the Institute of Brewing, 118*(1), 57-62. https://doi.org/10.1002/jib.15

Jin, Y., Zhang, K., & Du, J. (2008). Effects of wheat protein content on endosperm composites and malt quality. *Journal of the Institute of Brewing, 114*(4), 289-293. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2008.tb00771.x

Jin, Y.-H., Du, J.-H., Zhang, K.-L., & Zhang, X.-C. (2011). Effects of wheat starch contents on malt qualities. *Journal of the Institute of Brewing, 117*(4), 534-540. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2011.tb00501.x

Jin, Z., Zhou, B., Gillespie, J., Gross, T., Barr, J., Simsek, S., Brueggeman, R., & Schwarz, P. (2018). Production of deoxynivalenol (DON) and DON-3-glucoside during the malting of Fusarium infected hard red spring wheat. *Food Control, 85*, 6-10. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.09.002

Krogerus, K., Magalhães, F., Vidgren, V., & Gibson, B. (2015). New lager yeast strains generated by interspecific hybridization. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 42*(5), 769-778. https://doi.org/10.1007/s10295-015-1597-6

Libkind, D., Hittinger, C., Valério, E., Gonçalves, C., Dover, J., Johnston, M., Gonçalves, P., & Sampaio, J. (2011). Microbe domestication and the identification of the wild genetic stock of lager-brewing yeast. *Journal Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 108*(35), 14539-14544. https://doi.org/10.1073/pnas.1105430108

Mastanjevi´c, K., Šarkanj, B., Krska, R., Sulyok, M., Warth, B., Šantek, B., & Krstanović, V. (2018). From malt to wheat beer: A comprehensive multi-toxin screening, transfer assessment and its influence on basic fermentation parameters. *Journal Food Chemistry, 254*, 115-121. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.005

McMurrough, I., Madigan, D., Donnelly, D., Hurley, J., Doyle, A.-M., Hennigan, G., McNukty, N., & Smyth, M. R. (1996). Control of Ferulic Acid and 4-Vinyl Guaiacol in Brewing. *Journal of the Institute of Brewing, 102*(5), 327-332. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1996.tb00918.x

Mertens, S., Steensels, J., Saels, V., Rouck, G. D., Aerts, G., & Verstrepen, K. J. (2015). A Large Set of Newly Created Interspecific Saccharomyces Hybrids Increases Aromatic Diversity in Lager Beers. *Applied and Environmental Microbiology, 81*(23), 8202-8214. https://doi.org/10.1128/AEM.02464-15

Miedl, M., Cornfine, S., Leiper, K. A., Shepherd, M., & Stewart, G. G. (2007). Low-Temperature Processing of Wheat for Bioethanol Production: Part II. Exploitation of Endogenous Wheat Enzymes. *Journal of the American Society of Brewing Chemists, 65*(4), 192-196. https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2007-0801-02

Muramatsu, Y., Tagawa, A., Kasai, T., & Takeya, K. (2006). Volume changes of wheat and barley soaking in water. *Journal of Food Engineering, 73*(4), 364-369. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.02.001

Narziss, L., & Back, W. (2009). *Die Bierbrauerei. Band 2: Die Technologie der Würzebereitung*. Wiley–VCH Verlag GmbH & Co.

Nguyen, H. V., & Gaillardin, C. (1997). Two subgroups within the Saccharomyces bayanus species evidenced by PCR amplification and restriction polymorphism of the non-transcribed spacer 2 in the ribosomal DNA unit. *Systematic and Applied Microbiology, 20*(2), 286-294. https://doi.org/10.1016/S0723-2020(97)80075-6

Scholtes, C., Nizet, S., & Collin, S. (2012). Occurrence of sotolon, abhexon and theaspirane-derived molecules in Gueuze beers. Chemical similarities with «yellow wines». *Journal of the Institute of Brewing, 118*(2), 223-229. https://doi.org/10.1002/jib.34

Stewart, G. G., Hill, A. E., & Russell, I. (2013). 125th Anniversary Review: Developments in brewing and distilling yeast strains. *Journal of the Institute of Brewing,119*(4), 202-220. https://doi.org/10.1002/jib.104

Szwajgier, D., Pielecki, J., & Targoński, Z. (2005). The release of ferulic acid and feruloylated oligosaccharides during wort and beer production. *Journal of the Institute of Brewing, 111*(4), 372-379. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2005.tb00222.x

Tamai, Y., Momma ,T., Yoshimoto, H., & Kaneko, Y. (1998). Co-existence of two types of chromosome in the bottom fermenting yeast, Saccharomyces

pastorianus. *Yeast, 14*(10), 923-933. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0061(199807)14:10<923::AID-YEA298>3.0.CO;2-I

Taylor, D. G., Humphrey, P. M., Boxall, J., & Smith, P. J. (1998). Brewing of English style ales with malted cereals, other than barley. *MBAA TechQuarterly, 35*(1), 20-23.

Vermeylen, R., Goderis, B., Reynaers, H., & Delcour, J. A. (2005). Gelatinisation related structural aspects of small and large wheat starch granules. *Carbohydrate Polymers, 62*(2), 170-181. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.07.021

Vidgren, V., & Londesborough, J. (2011). 125th Anniversary review: yeast flocculation and sedimentation in brewing. *Journal of the Institute of Brewing, 117*(4), 475-487. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2011.tb00495.x

Walther, A., Hesselbart, A., & Wendland, J. (2014). Genome sequence of Saccharomyces carlsbergensis, the World's First Pure Culture Lager Yeast. *G3 - Genes Genomes Genetics, 4*(5), 783-793. https://doi.org/10.1534/g3.113.010090

Warner, E. (1992). *German Wheat Beer*. Brewers Publications.

Woonton, B. W., Jacobsen, J. V., Sherkat F., & Stuart, I. M. (2005). Changes in germination and malting quality during storage of barley. *Journal of the Institute of Brewing, 111*(1), 33-41. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2005.tb00646.x

Zhang, G. P., & Li, C. D. (2010). *Genetics and Improvement of Barley Malt Quality*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01279-2

Zhu, M., & Cui, Y. (2013). Determination of 4-vinylgaiacol and 4-vinylphenol in top-fermented wheat beers by isocratic high performance liquid chromatography with ultraviolet detector. *Brazilian Archives of Biology and Technology, 56*(6), 1018-1023. https://doi.org/10.1590/S1516-89132013000600018

Peculiarities of Making Wheat Beer

Boris A. Alyabyev
LLC "Brewery "VIKBIR"
26, 1st Zapadnaya str., Artem, Primorsky region, 692756, Russian Federation
E-mail: borisalyabev@yandex.ru

Marina F. Rostovskaya
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Far Eastern Federal University"
26, 1st Zapadnaya str., Artem, Primorsky region, 692756, Russian Federation
E-mail: rost-mf@mail.ru

Some aspects of the use of wheat for brewing are considered, as well as the features of the technology for the production of wheat beer on the basis of data from foreign literature. Currently, wheat beer is growing in popularity all over the world, including in Russia. A significant number of publications are devoted to the production of wheat malt and wheat beer in foreign literature, while in domestic sources such data are extremely limited. The presented review provides an assessment of wheat malt in different countries, emphasizes the differences between wheat and barley grains, which are traditional raw materials for brewing, it is shown that the difference in the chemical composition of grain and the difference in the composition of wheat and barley enzymes predetermines the difference in the brewing process how in mashing and fermentation mode. The problem discussed in foreign literature is voiced that at present analytical evaluations of barley malt are used to characterize wheat malt, although they have been developed for raw materials with different properties, first of all, this concerns the composition of non-starchy polysaccharides and differences in the content of α- and β-amylases, which requires some adjustment of the wheat malt performance. The main conclusion of the presented review is the need to study the brewing aspects of wheat, since wheat malt has its own characteristics, and, despite its long use as a material for brewing, has been studied to a much lesser extent than traditional barley malt.

Keywords: wheat malt, malt qualities, amylase, amylopectin, protein, β-glucan, wheat beer

References

Belokurova, E. S. (2008). Novye metody opredeleniya kachestvennykh pokazatelei syr'ya v pivovarenii [New methods for determining the quality indicators of raw materials in brewing]. *Pivo i napitki* [*Beer and drinks*], *1*, 40-41.

Bemfort, Ch. (2007). *Novoe v pivovarenii* [*New in brewing*]. S-Petersburg: Professiya.

Filimonova, T. I., & Borisenko, O. A. (2010). Selektsiya pivnykh drozhzhei [Breeding brewer's yeast]. *Pivo i napitki* [*Beer and drinks*], *1*, 6-8.

Glavachek, F., & Lkhotskii, A. (1977). *Pivovarenie* [*Brewing*]. Praga: Pishchevaya promyshlennost'.

Ientch, M. (2007). Verkhovye sorta piva v tsentre vnimaniya [Horseback beers in the spotlight]. *Mir piva* [*World of beer*], *3*, 8-11.

Kuntse, V. (2009). *Tekhnologiya soloda i piva* [*Malt and beer technology*] (3rd ed.). S-Petersburg: Professiya.

Meledina, T. V. (2003). *Syr'e i vspomogatel'nye materialy v pivovarenii* [*Raw materials and auxiliary materials in brewing*]. S-Petersburg: Professiya.

Nartsiss, L. (2007). *Tekhnologiya solodorashcheniya* [*Malting technology*]. S-Petersburg: Professiya.

Prist, F. D. (2005). *Mikrobiologiya piva* [*Microbiology of beer*]. S-Petersburg: Professiya.

Sandakov, O. A. (2006). *Razrabotka tekhnologii pshenichnogo piva verkhovogo brozheniya s dobrazhivaniem v butylkakh* [*Development of technology for top-fermented wheat beer with after-fermentation in bottles*] [Candidate Dissertation, Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi universitet nizkotemperaturnykh i pishchevykh tekhnologii]. S-Petersburg, Rossiya.

Bamforth, C. W. (1985). The foaming properties of beer. *Journal of the Institute of Brewing, 91*, 370-383. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1985.tb04359.x

Belitz, H.-D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry.* (4th ed.). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-69934-7

Bendelow, V. M. (1977). Malting Quality Selection Methods in Canadian Barley Breeding Programs. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 35(2), 81-85. https://doi.org/10.1094/ASBCJ-35-0081

Briggs, D. E. (1998). *Malt and Malting.* London: Blackie academic & Professional.

Brückner, S., & Mösch, H.-U. (2012). Choosing the right lifestyle: adhesion and development in Saccharomyces cerevisiae. *Federation of European Microbiological Societies (FEMS Microbiology), 36*(1), 25-58. https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2011.00275.x

Chen, P., Dong, J., Yin, H., Bao, X., Chen, L., He, Y., Chen, R., Wan, X., Zhao, Y., & Hou, X. (2016). Genome comparison and evolutionary analysis of different industrial lager yeasts (Saccharomyces pastorianus). *Journal of the Institute of Brewing, 122*(1), 42-47. https://doi.org/10.1002/jib.303

Colonna, P. (1992). New insights on starch structure and properties. In *Symposium on Cereal Chemistry and Technology: A Long Past and a Bright Future, Proceedings of the 9th International Cereal and Bread Congress* (pp. 25-42). Paris: INRA.

Crous, P. W., Gams, W., Stalpers, J. A., Robert, V., & Stegehuis, G. (2004). MycoBank: An online initiative to launch mycology into the 21st century. *Studies in mycology, 50*, 19-22.

Delvaux, F., Combes, F. J., & Delvaux, F. R. (2004). The effect of wheat malting on the colloidal haze of wheat beers. *Master Brewers Association of the Americas Technical Quarterly, 44*(1), 27-32.

Depraetere, S. A., Delvaux, F., Coghe, S., & Delvaux, F. R. (2004). Wheat variety and barley malt properties: influence on haze intensity and foam stability of wheat beer. *Journal of the Institute of Brewing, 110*(3), 200-206. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2004.tb00203.x

Evans, D. E., Collins, H., Eglinton, J., & Wilhelmson, A. (2005). Assessing the impact of the level of diastatic power enzymes and their thermostability on the hydrolysis of starch during wort production to predict malt fermentability. *Journal of the American Society of Brewing Chemists, 63*(4), 185-198. https://doi.org/10.1094/asbcj-63-0185

Evans, D. E., Surrel, A., Sheehy, M., Stewart, D. C., & Robinson, L. H. (2008). Comparison of Foam Quality and the Influence of Hop alpha-Acids and Proteins Using Five Foam Analysis Methods. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 66(1), 1-10. https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2007-1129-01

Faltermaier, A., Waters, D., Becker, T., Arendt, E., & Gastl, M. (2014). Common wheat (Triticum aestivum L.) and its use as a brewing cereal – a review. *Journal of the Institute of Brewing, 120*(1), 1-15. https://doi.org/10.1002/jib.107

Gibson, B., & Liti, G. (2015). Saccharomyces pastorianus: genomic insights inspiring innovation for industry. *Yeast, 32*(1), 17-27. https://doi.org/10.1002/yea.3033

Guo, M., Jin, Y., Du, J., Zhang, K., & Zhao, D. (2014). Effects of wheat protein compositions on malt quality. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods, 6*(1), 73-80. https://doi.org/10.3920/QAS2013.0247

Izydorczyk, M. S., & Dexter, J. E. (2008). Barley β-glucans and arabinoxylans: Molecular structure, physicochemical properties, and uses in food products – a review. *Food Research International, 41*(9), 850-868. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.04.001

Jin, Y., Du, J., Zhang, K., Xie, L., & Li, P. (2012). Relationship between Kolbach index and other quality parameters of wheat malt. *Journal of the Institute of Brewing, 118*(1), 57-62. https://doi.org/10.1002/jib.15

Jin, Y., Zhang, K., & Du, J. (2008). Effects of wheat protein content on endosperm composites and malt quality. *Journal of the Institute of Brewing, 114*(4), 289-293. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2008.tb00771.x

Jin, Y.-H., Du, J.-H., Zhang, K.-L., & Zhang, X.-C. (2011). Effects of wheat starch contents on malt qualities. *Journal of the Institute of Brewing, 117*(4), 534-540. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2011.tb00501.x

Jin, Z., Zhou, B., Gillespie, J., Gross, T., Barr, J., Simsek, S., Brueggeman, R., & Schwarz, P. (2018). Production of deoxynivalenol (DON) and DON-3-glucoside during the malting of Fusarium infected hard red spring wheat. *Food Control, 85*, 6-10. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.09.002

Krogerus, K., Magalhães, F., Vidgren, V., & Gibson, B. (2015). New lager yeast strains generated by interspecific hybridization. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 42*(5), 769-778. https://doi.org/10.1007/s10295-015-1597-6

Libkind, D., Hittinger, C., Valério, E., Gonçalves, C., Dover, J., Johnston, M., Gonçalves, P., & Sampaio, J. (2011). Microbe domestication and the identification of the wild genetic stock of lager-brewing yeast. *Journal Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 108*(35), 14539-14544. https://doi.org/10.1073/pnas.1105430108

Mastanjevi´c, K., Šarkanj, B., Krska, R., Sulyok, M., Warth, B., Šantek, B., & Krstanović, V. (2018). From malt to wheat beer: A comprehensive multi-toxin screening, transfer assessment and its influence on basic fermentation parameters. *Journal Food Chemistry, 254*, 115-121. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.005

McMurrough, I., Madigan, D., Donnelly, D., Hurley, J., Doyle, A.-M., Hennigan, G., McNukty, N., & Smyth, M. R. (1996). Control of Ferulic Acid and 4-Vinyl Guaiacol in Brewing. *Journal of the Institute of Brewing, 102*(5), 327-332. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1996.tb00918.x

Mertens, S., Steensels, J., Saels, V., Rouck, G. D., Aerts, G., & Verstrepen, K. J. (2015). A Large Set of

Newly Created Interspecific Saccharomyces Hybrids Increases Aromatic Diversity in Lager Beers. *Applied and Environmental Microbiology, 81*(23), 8202-8214. https://doi.org/10.1128/AEM.02464-15

Miedl, M., Cornfine, S., Leiper, K. A., Shepherd, M., & Stewart, G. G. (2007). Low-Temperature Processing of Wheat for Bioethanol Production: Part II. Exploitation of Endogenous Wheat Enzymes. *Journal of the American Society of Brewing Chemists, 65*(4), 192-196. https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2007-0801-02

Muramatsu, Y., Tagawa, A., Kasai, T., & Takeya, K. (2006). Volume changes of wheat and barley soaking in water. *Journal of Food Engineering, 73*(4), 364-369. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.02.001

Narziss, L., & Back, W. (2009). *Die Bierbrauerei. Band 2: Die Technologie der Würzebereitung* [*The brewery. Volume 2: The technology of wort preparation*]. WileyVCH Verlag GmbH & Co.

Nguyen, H. V., & Gaillardin, C. (1997). Two subgroups within the Saccharomyces bayanus species evidenced by PCR amplification and restriction polymorphism of the non-transcribed spacer 2 in the ribosomal DNA unit. *Systematic and Applied Microbiology, 20*(2), 286-294. https://doi.org/10.1016/S0723-2020(97)80075-6

Scholtes, C., Nizet, S., & Collin, S. (2012). Occurrence of sotolon, abhexon and theaspirane-derived molecules in Gueuze beers. Chemical similarities with «yellow wines». *Journal of the Institute of Brewing, 118*(2), 223-229. https://doi.org/10.1002/jib.34

Stewart, G. G., Hill, A. E., & Russell, I. (2013). 125th Anniversary Review: Developments in brewing and distilling yeast strains. *Journal of the Institute of Brewing,119*(4), 202-220. https://doi.org/10.1002/jib.104

Szwajgier, D., Pielecki, J., & Targoński, Z. (2005). The release of ferulic acid and feruloylated oligosaccharides during wort and beer production. *Journal of the Institute of Brewing, 111*(4), 372-379. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2005.tb00222.x

Tamai, Y., Momma ,T., Yoshimoto, H., & Kaneko, Y. (1998). Co-existence of two types of chromosome in the bottom fermenting yeast, Saccharomyces pastorianus. *Yeast, 14*(10), 923-933. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0061(199807)14:10<923::AID-YEA298>3.0.CO;2-I

Taylor, D. G., Humphrey, P. M., Boxall, J., & Smith, P. J. (1998). Brewing of English style ales with malted cereals, other than barley. *MBAA TechQuarterly, 35*(1), 20-23.

Vermeylen, R., Goderis, B., Reynaers, H., & Delcour, J. A. (2005). Gelatinisation related structural aspects of small and large wheat starch granules. *Carbohydrate Polymers, 62*(2), 170-181. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.07.021

УДК 602.4:57.085.23 https://doi.org/10.36107/spfp.2021.228

Разработка технологии извлечения комплекса биологически активных веществ из корневых культур *in vitro* лекарственных растений

Асякина Людмила Константиновна
ФГБОУ ВО «Кемеровский Государственный университет»
Адрес: 650000, г. Кемерово, ул. Красная, д. 6
E-mail: alk_kem@mail.ru

Фотина Наталья Вячеславовна
ФГБОУ ВО «Кемеровский Государственный университет»
Адрес: 650000, г. Кемерово, ул. Красная, д. 6
E-mail: fotina.natashenka@mail.ru

Степанова Анна Александровна
ФГБОУ ВО «Кемеровский Государственный университет»
Адрес: 650000, г. Кемерово, ул. Красная, д. 6
E-mail: annstepanova.04@mail.ru

Позднякова Анна Владимировна
ФГБОУ ВО «Кемеровский Государственный университет»
Адрес: 650000, г. Кемерово, ул. Красная, д. 6
E-mail: avp_7979@bk.ru

Просеков Александр Юрьевич
ФГБОУ ВО «Кемеровский Государственный университет»
Адрес: 650000, г. Кемерово, ул. Красная, д. 6
E-mail: bionano_kem@mail.ru

В работе представлены результаты научных исследований по разработке технологии извлечения сухих экстрактов из биомассы корневых культур *in vitro* клеток лекарственных растений Сибирского Федерального округа кодонопсиса мелковолосистого *Codonopsis pilosula*, любки двулистной *Platanthera bifolia* и лимонника китайского *Schisandra chinensis*. В качестве метода извлечения биологически активных веществ (БАВ) из растительных образцов был применен метод экстракции по Сокслету. Оптимизация выделения экстрактов осуществлялась по трем параметрам: температуре, продолжительности процесса и соотношению объема органического растворителя к массе растительного образца (гидромодуль), т.е. данные параметры выступали в качестве изменяемых. В ходе эксперимента удалось подобрать оптимальные параметры для выделения сухих экстрактов из каждого лекарственного растения. Для кодонопсиса мелковолосистого оптимальными параметрами являются: температура экстракции 40 °С, продолжительность процесса 60 мин и соотношение объема растворителя к количеству высушенной биомассы корневых культур клеток растений 1:10. Наиболее эффективным экстрагентом в отношении *Codonopsis pilosula* является этилацетат. Для корневых культур любки двулистной применяли значения следующих параметров: температура 40 °С, продолжительность экстрагирования 60 мин, гидромодуль 1:10. Экстракцию проводили ацетоном. Процесс экстрагирования БАВ из лимонника китайского осуществляли ацетоном при температуре процесса 40 °С в течение 60 мин в соотношении экстрагента к образцу 1:10. Использование в эксперименте значений данных параметров позволит добиться максимального выхода экстрактов БАВ из лекарственных растений при минимально возможных затратах на ресурсы (затраты на время, реактивы и др.).

Ключевые слова: экстракция, лекарственные растения, БАВ, корневые культуры, параметры, органический растворитель

Введение

С давних времен лекарственные растения используются в медицине для лечения различных заболеваний. Предпочтение всегда отдается натуральным продуктам, как наиболее сбалансированным по биохимическому составу и оптимальным для организма. По данным авторов Babich, Sukhikh, Pungin, Ivanova, Asyakina, & Prosekov (Babich, et al., 2020) доля использования новых форм продуктов, полученных из растительного сырья, к началу XXI века не превышала 24 %. Использование растений сдерживается отсутствием технологий эффективного производства биологически активных веществ (БАВ) из растительного сырья, слабым развитием культивируемых ботанических видов лекарственных растений, а также отсутствием обученного персонала в этом направлении (Marchev & Georgiev, 2020). К тому же, техногенное и антропогенное воздействие на растительность приводит к гибели некоторых видов растений, что уменьшает их долю использования в промышленности. Поэтому одной из основных задач для бережного использования лекарственных растений является их культивирование в условиях *in vitro* и извлечение биологически активных веществ из выращенных в пробирке культур (Asyakina et al., 2020).

Согласно авторам Chupakhin, Babich, Prosekov, Asyakina, Gureev, & Krasavin (Chupakhin et al., 2020) в последнее время особый интерес вызывают лекарственные растения Сибирского Федерального округа как продуценты веществ вторичного синтеза, деятельность которых направлена на поддержание общего состояния здоровья, а также на лечение самых серьезных заболеваний, таких как заболевания сердечно-сосудистой системы, онкологические заболевания, диабет и др. Рассматриваемые в данной работе лекарственные растения с давних времен применяются в народной медицине. Так, авторы (Бабич, Ларина, Скрыпник, & Пунгин, 2021) в своей работе отмечают, что органы любки двулистной *Platanthera bifolia* применяются при боли в зубах, лихорадке, женских болезнях, гнойных заболеваниях и заболеваниях желудочно-кишечного тракта. Отвар из корней используется при воспалительных процессах мочевыделительной системы, отравлениях ядами, нервном перенапряжении и заживлении ран. Плоды и семя лимонника китайского *Schisandra chinensis* (Колесникова & Тагильцев, 2016) применяют в медицине. Лекарственное сырье лимонника китайского обладает адаптогенным, общетонизирующим и психостимулирующим свойствами. Содержащееся в плодах лимонника вещество схизандрин повышает возбудимость центральной нервной системы и стимулирует сердечную и дыхательную деятельность. Лекарственное растение способно повысить работоспособность организма и снизить утомляемость при физических и умственных нагрузках. Кодонопсис мелковолосистый *Codonopsis pilosula* используется в традиционной китайской и корейской медицине. В качестве целебного материала применяются корни растения (Самылина, Булаев, & Ших, 2012). Отвар из корней кодонопсиса мелковолосистого обладает тонизирующим и стимулирующим действием, способным помогать при нефрите, сахарном диабете, раке шейки матки, гипертоническом заболевании сердца, анемии и др. Кодонопсис отличается общеукрепляющим, кровоостанавливающим, противокашлевым, отхаркивающим и болеутоляющим свойствами.

По заявлению авторов (Georgiev, Slavov, Vasileva, & Pavlov, 2018) в целом состояние здоровья населения вызывает необходимость развития и выхода отечественной науки о растениях на более высокий и современный уровень, включая использование всех возможных резервов в разработке технологий экстракции природных компонентов из лекарственных растений и их целевое использование при лечении тяжелых заболеваний (Efferth, 2019; Bibi, Khan, Adil, & Mashwani, 2018).

Выбор метода экстракции является ключевым в извлечении БАВ из лекарственного сырья, поскольку от метода зависит количество затрачиваемых ресурсов и, как следствие, целесообразность использования того или иного способа. Поэтому цель настоящей работы – разработка технологии извлечения БАВ из высушенных корневых культур *in vitro* лекарственных растений СФО любки двулистной *Platanthera bifolia*, лимонника китайского *Schisandra chinensis* и кодонопсиса мелковлосистого *Codonopsis pilosula*, и оптимизация параметров процесса экстракции.

Осуществляемые ранее исследования были направлены на извлечение биологически ценных соединений из каллусных, суспензионных и корневых культур сибирских лекарственных растений.

Материалы и методы исследования

Объекты

Экспериментальная работа проводилась над объектами, в качестве которых были выбраны корневые культуры сибирских лекарственных растений,

выращенные в условиях *in vitro* – любка двулистная *Platanthera bifolia*, лимонник китайский *Schisandra chinensis* и кодонопсис мелковлосистый *Codonopsis pilosula*.

Материалы

- органические растворители – ацетон и этилацетат;
- высушенные навески лекарственных растений;
- фильтровальная бумага;
- вода дистиллированная.

Оборудование

- стаканчики на 25 мл;
- пробирки на 50 мл;
- весы лабораторные;
- шейкер лабораторный;
- центрифуга;
- конические колбы на 100 мл;
- фарфоровые ступки с пестиками.

Процедура исследования

Над объектами исследования была проведена экстракция биологических соединений и дальнейшая оптимизация параметров процесса. Была выбрана методика экстракции БАВ из опытных образцов, используемая авторами (Асякина, Дышлюк, & Степанова, 2020). Методика также затронута в патенте № 2724487[1], Просеков, Бабич, Дышлюк, Асякина, Милентьева, & Заушинцева (2020); патенте № 2714403[2], Бабич, Заушинцена, Милентьева, Просеков, & Лукин (2020); патенте № 2726067[3], Просеков, Бабич, Дышлюк, Асякина, Заушинцена, & Милентьева (2020). На начальном этапе требовалось получить высушенные навески образцов корневых культур *in vitro* любки двулистной, лимонника китайского и кодонопсиса мелковолосистого, массой в 1 г. После этого каждый образец помещали в пробирки на 50 мл и добавляли экстрагенты в количестве 35 мл. В качестве органического растворителя для любки двулистной и лимонника китайского использовался ацетон, кодонопсиса мелковолосистого – этилацетат. Полученные суспензии помещали в шейкер на 1 ч для перемешивания. Далее суспензии фильтровали и центрифугировали при 4000 об./мин для избавления от взвесей и получения чистого раствора. Затем полученный фугат подвергался упариванию при пониженном давлении в предварительно взвешанных колбах на 100 мл. Когда процесс был полностью завершен, определяли массу колб с остаточными образцами. Из полученного значения производили вычет значения массы пустых колб. Таким способ рассчитали выход экстрактов корневых культур лекарственных растений (Espinosa-Leal, Puente-Garza, & García-Lara, 2018; Wang et al., 2017; Hendrawati, Woerdenbag, Hille, & Kayser, 2012).

Предварительно были проведены экспериментальные исследования по определению оптимального органического растворителя к опытным образцам любки двулистной, лимонника китайского и кодонопсиса мелковолосистого. В результате проделанной работы выяснилось, что наибольший выход экстракта из корневых культур любки двулистной и лимонника китайского наблюдался при использовании ацетона, а кодонопсиса мелковолосистого – этилацетата (Zhang, Lin, & Ye, 2018; Bagheri et al. 2018).

После определения оптимальных растворителей для каждой из растительных культур приступали к подбору оптимальных параметров проведения процесса экстракции с обеспечением максимального выхода БАВ из корневых культур *in vitro* любки двулистной, лимонника китайского и кодонопсиса мелковолосистого. В качестве изменяемых параметров процесса экстрагирования являлись продолжительность экстракции, температура и соотношение объема органического растворителя к высушенной массе корневых культур лекарственных растений (Ligor, Ratiu, Kiełbasa, Al-Suod1, & Buszewski, 2018; Mulabagal, 2004; Alamgir, 2018).

Результаты и их обсуждение

Используемый метод экстракции биологически активных соединений из корневых культур лекарственных растений требовал доработки с це-

[1] Просеков, А. Ю., Бабич, О. О., Дышлюк, Л. С., Асякина, Л. К., Милентьева, И. С., & Заушинцева, А. В. (2020). Пат. № 2724487 РФ. Способ экстракции комплекса биологически активных веществ из биомассы корневой культуры in vitro лапчатки белой (potentilla alba l.); заявл. 26.10.2019.

[2] Бабич, О. О., Заушинцева, А. В., Милентьева, И. С., Просеков, А. Ю., & Лукин, А. А. (2020). Пат. № 2714403. Способ получения корневой культуры in vitro potentilla alba l. - продуцента флавоноидов; заявл. 22.03.2019.

[3] Просеков, А. Ю., Бабич, О. О., Дышлюк, Л. С., Асякина, Л. К., Милентьева, И. С., & Заушинцева, А. В. (2020). Пат. № 2726067. Способ получения биологически активных веществ - адаптогенов в клеточной культуре родиолы розовой (rhodiola rosea l.); заявл. 16.10.2019.

лью получения максимально возможного выхода сухого экстракта из опытных образцов. Поэтому следующим шагом в исследовательской работе является оптимизация процесса извлечения БАВ из любки двулистной, лимонника китайского и кодонопсиса мелководолосистого, результаты которого отражены в графиках и таблицах.

Рисунок 1 показывает зависимость выхода экстракта кодонопсиса мелководолосистого от продолжительности процесса и соотношения объема экстрагента к высушенной массе корневой культуры образца. Для проведения процесса была выбрана продолжительность 60 мин и гидромодуль 1:10. Однако при данных значениях параметров достигается не самый максимальный выход экстракта, но близкий к нему (16,46 % вместо 17,45 %). Выбор таких значений обусловлен целесообразностью проведения эксперимента, в противном случае продолжительность процесса возрастает в 2 раза. В качестве органического растворителя был подобран этилацетат (Sasidharan, Chen, Saravanan, Sundram, & Latha, 2011; Постраш, Соболева, & Андрущенко, 2020).

Зависимость выхода сухого экстракта БАВ кодонопсиса мелководолосистого от температуры процесса отражается на Рисунке 2. Оптимальным значением температуры, при котором достигается близкое к максимальному значение выхода экстракта кодонопсиса мелководолосистого (16,92 %), является 40 °С. Далее с увеличением продолжительности и температуры процесса выход экстракта БАВ остается примерно на одном уровне. Поэтому наиболее целесообразным решением становится выбор наиболее сокращенного по продолжительности отрезка эксперимента, т.е. 60 мин (Вайнштейн & Каухова, 2014; Белокуров, Флисюк, & Смехова, 2019; Белобородов, Брик, & Прокофьев, 1995).

Таким образом, оптимальными параметрами экстракции БАВ из корневых культур кодонопсиса мелководолосистого являются продолжительность процесса 60 мин, соотношение органического растворителя к массе высушенного сырья 1:10 и температура экстрагирования 40 °С. Максимальный выход экстракта составил 16,92 %.

На Рисунке 3 представлен график зависимости выхода сухого экстракта биологических соединений любки двулистной от продолжительности и гидромодуля процесса. Эксперимент проходил при параметрах гидромодуля 1:10 и продолжительности процесса 60 мин, органическим растворителем выступает ацетон. В данном случае максимальный выход экстракта достигает 17,46 %.

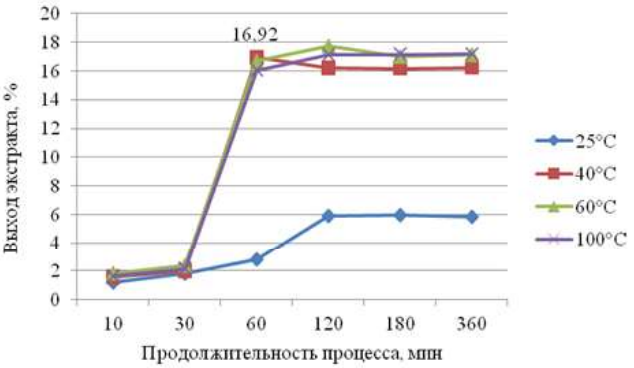


Рисунок 2. Зависимость выхода сухого экстракта БАВ корневой культуры кодонопсиса мелководолосистого от температуры процесса

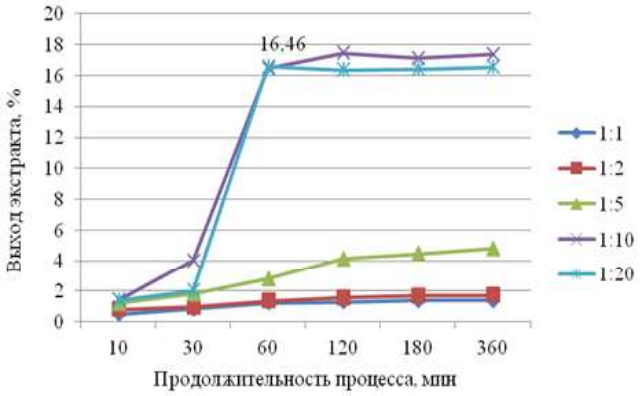


Рисунок 1. Зависимость выхода сухого экстракта БАВ корневой культуры кодонопсиса мелководолосистого от продолжительности процесса и соотношения объема экстрагента к высушенной массе корневой культуры образца

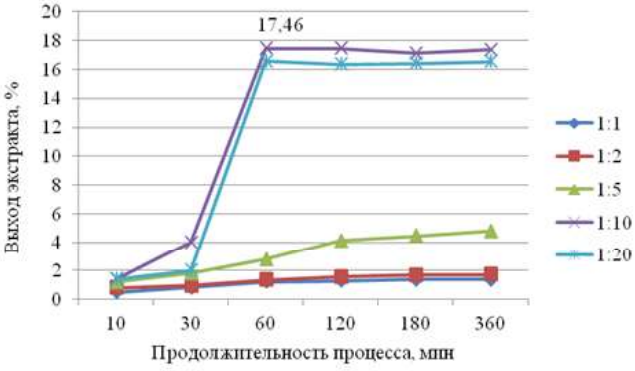


Рисунок 3. Зависимость выхода сухого экстракта БАВ корневой культуры любки двулистной от продолжительности процесса и соотношения объема экстрагента к высушенной массе корневой культуры образца

С повышением продолжительности экстракции происходило уменьшение количества выделяемых веществ, поэтому оптимальным параметром стало значение 60 мин.

Рисунок 4 отражает зависимость выхода сухого экстракта БАВ любки двулистной от температуры экстракции. Выход экстракта БАВ при всех значениях температур после преодоления отметки в 60 мин колеблется в районе 16–18 %. Поэтому был выбран наиболее короткий по продолжительности отрезок времени – 60 мин и температура, при которой достигается максимальное значение выхода экстракта в данной точке времени – 40 °С.

Таким образом, при осуществлении подбора параметров экстракции БАВ из корневых культур любки двулистной были применены: продолжительность процесса 60 мин, температура 40 °С и гидромодуль 1:10. Максимальный выход экстракта при таких параметрах достигал 17,46 %.

На Рисунке 5 показана зависимость выхода сухого экстракта корневой культуры лимонника китайского от соотношения объема растворителя к высушенной массе образца и продолжительности экстракции. Из графика видно, что наиболее выгодными параметрами проведения эксперимента является гидромодуль 1:10 при продолжительности процесса 60 мин, ацетон использовался в качестве экстрагента. При выборе данных параметров наблюдается выход сухого экстракта в 16,46 %, что не является максимальным значением, но самым оптимальным вариантом проведения процесса в целом.

Зависимость выхода сухого экстракта БАВ из корневой культуры лимонника китайского от температуры процесса отображено на Рисунке 6. Одним из ключевых параметров экстрагирования являет-

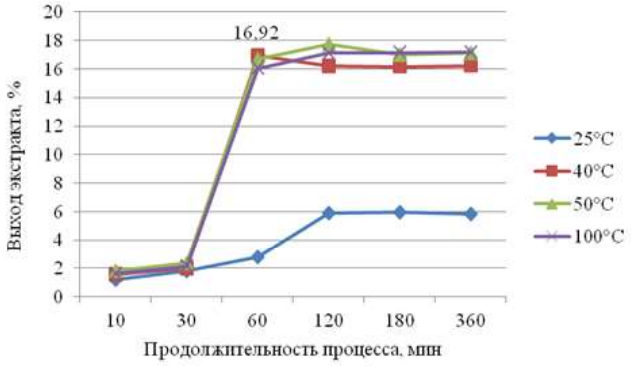


Рисунок 4. Зависимость выхода сухого экстракта БАВ корневой культуры любки двулистной от температуры процесса

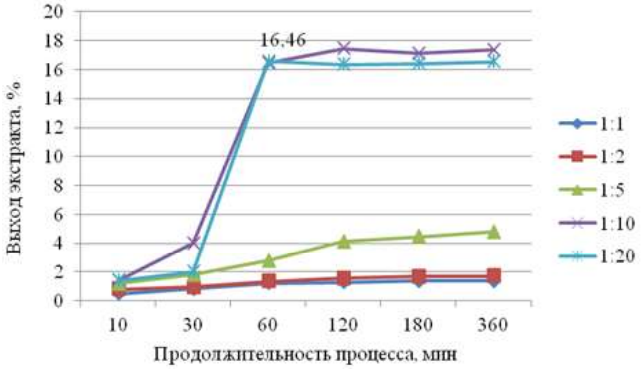


Рисунок 5. Зависимость выхода сухого экстракта БАВ корневой культуры лимонника китайского от продолжительности процесса и соотношения объема экстрагента к высушенной массе корневой культуры образца

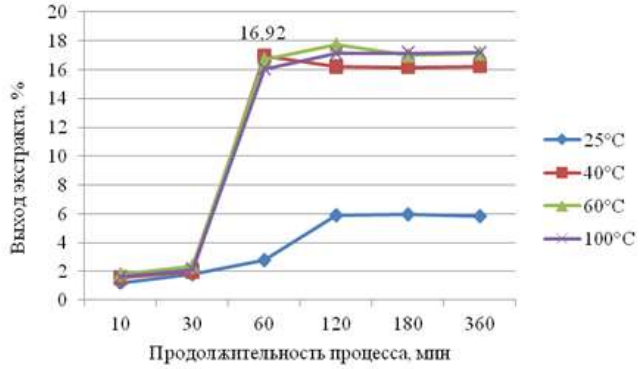


Рисунок 6. Зависимость выхода сухого экстракта БАВ корневой культуры лимонника китайского от температуры процесса

ся его продолжительность. От данного параметра зависит насколько долго будет длиться процесс в целом и соответственно рабочее время оператора. Как можно заметить из графика, диапазон выхода экстрактов при разных температурах приблизительно одинаков и держится в пределах продолжительности процесса 60–360 мин, поэтому, в первую очередь, отталкиваясь от продолжительности процесса происходит подбор оптимальной температуры, которая в конкретном случае составляет 40 °С.

Таким образом, экстракцию БАВ из корневых культур лимонника китайского следует проводить при параметрах температуры 40 °С, гидромодуле 1:10 и продолжительности процесса 60 мин. Максимальный выход экстракта при данных значениях будет составлять 16,92 %.

Полученные данные по экстракции БАВ корневых культур лекарственных растений лимонни-

ка китайского, любки двулистной и кодонопсиса мелковолосистого согласуются с результатами работ авторов Asyakina L.K., Babich O.O., Pungin A.V., Prosekov A.Yu., Popov A.D., Voblikova T.V. и Асякина Л.К., Дышлюк Л.С., Степанова А.А., использующих аналогичную методику по извлечению БАВ из лекарственного сырья, применяемую на каллусных культурах *in vitro*.

Выводы

Основные результаты научно-исследовательской работы по разработке технологии получения сухих экстрактов из биомассы корневых культур *in vitro* лекарственных растений кодонопсиса мелковолосистого, любки двулистной и лимонника китайского сформированы в Таблицу 1.

Таким образом, для максимального выхода экстрактов БАВ из корневых культур *in vitro* лекарственных растений были подобраны оптимальные параметры процесса экстрагирования. Во всех случаях были применены значения температуры 40 °С, продолжительности процесса 60 мин и соотношения объема растворителя к массе образца 1:10. Биотехнология в использовании корневых культур *in vitro* обладает перспективными методами, которые позволят в будущем глубоко исследовать проблемы накопления биологически активных веществ в тканях и органах интактных растений, что позволит вывести медицину на новый уровень (Sarvin, et al., 2018).

Таблица 1
Оптимальные параметры извлечения сухих экстрактов из корневых культур лекарственных растений

Растение	Растворитель	Гидромодуль	Продолжительность, мин	Температура, °С
Кодонопсис мелковолосистый	этилацетат	1:10	60	40
Любка двулистная	Ацетон	1:10	60	40
Лимонник китайский	Ацетон	1:10	60	40

*Работы выполняются в рамках государственного задания по теме «Скрининг биологически активных веществ растительного происхождения, обладающих геропротекторными свойствами, и разработка технологии получения нутрицевтиков, замедляющих старение» (номер темы FZSR-2020-0006).

Литература

Асякина, Л. К., Дышлюк, Л. С., & Степанова, А. А. (2020). Определение эффективности экстракции биологически активных веществ из биомассы каллусных культур лекарственных растений различными растворителями. В *Современная биотехнология: актуальные вопросы, инновации и достижения: Сборник тезисов Всероссийской с международным участием онлайн-конференции* (с. 19-21). Кемерово, Кемеровский государственный университет.

Бабич, О. О., Ларина, В. В., Скрыпник, Л. Н., & Пунгин, А. В. (2021). Биологически активные свойства лекарственных растений, произрастающих на территории калининградской области, пригодных для производства фитогеников. В *Биотехнология новых материалов – окружающая среда – качество жизни: Материалы IV Международной научной конференции* (с. 208-210). Красноярск, Сибирский федеральный университет.

Белобородов, В. В., Брик, В. Н., Прокофьев, А. В. (1995). Извлечение биологически активных веществ из пряно ароматического сырья в системе процессов экстрагирование-отжим. *Масложировая промышленность*, *3*, 24-27.

Белокуров, С. С., Флисюк, Е. В., & Смехова, И. Е. (2019). Выбор метода экстрагирования для получения извлечений из семян пажитника сенного с высоким содержанием биологически активных веществ. *Разработка и регистрация лекарственных средств*, *3*, 35-39. https://doi.org/10.33380/2305-2066-2019-8-3-35-39

Вайнштейн, В. А., & Каухова, И. Е. (2014). Экстрагирование лекарственного растительного сырья двухфазной системой экстрагентов. *Разработка и регистрация лекарственных средств*, *3*, 82-88.

Колесникова, Р. Д., & Тагильцев, Ю. Г. (2016). Эфирные масла лимонника китайского (Schisandra Chinensis (Turcz.) Baill.). В *Биологические особенности лекарственных и ароматических растений и их роль в медицине: Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию ВИЛАР* (с. 391-394). М.: Щербинская типография.

Постраш, И. Ю., Соболева, Ю. Г., & Андрущенко, В. С. (2020). Экстракция биологически ак-

тивных веществ из цветков ромашки аптечной. *Вестник АПК Верхневолжья, 1*, 22-26. https://doi.org/10.35694/YARCX.2020. 49.1.005

Самылина, И. А., Булаев, В. М., & Ших, Е. В. (2012). Лекарственные растения в лечении когнитивных расстройств. *Фармация, 8*, 47-50.

Alamgir, N. M. (2018). Biotechnology, in vitro production of natural bioactive compounds, herbal preparation, and disease management (Treatment and Prevention). In *Therapeutic Use of Medicinal Plants and their Extracts* (vol. 2, pp. 585-664). Luxemburg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92387-1_7

Asyakina, L. K., Babich, O. O., Pungin, A. V., Prosekov, A. Yu., Popov, A. D., & Voblikova, T. V. (2020). Optimization of extraction parameters of biologically active substances from dried biomass of callus, suspension cells and root cultures in vitro. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 613*, 1-5. https://doi.org/10.1088/1755-1315/613/1/012008

Babich, O., Sukhikh, S., Pungin, A., Ivanova, S., Asyakina, L., & Prosekov, A. (2020). Modern trends in the In Vitro production and use of callus, suspension cells and root cultures of medicinal plants. *Molecules, 25*, 1-18. https://doi.org/10.3390/molecules25245805

Bagheri, F., Tahvilian, R., Karimi, N., Chalabi, M., & Azami, M. (2018). Shikonin production by callus culture of onosma bulbotrichom as active pharmaceutical ingredient. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research, 17*, 495-504.

Bibi, A., Khan, M. A., Adil, M., & Mashwani, Z. R. (2018). Production of callus biomass and antioxidant secondary metabolites in black cumin. *Journal of Animal and Plant Sciences, 28*(5), 1321-1328

Chupakhin, E., Babich, O., Prosekov, A., Asyakina, L., Gureev, M., & Krasavin, M. (2020). Plants of the Russian Federation pharmacopeia: An unexhausted natural products research opportunity. *Natural Product Research, 35*(21), 1-3. https://doi.org/10.1080/14786419.2020.1727474

Efferth, T. (2019). Biotechnology applications of plant callus cultures. *Engineering, 5*(1), 50-59. https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.11.006

Espinosa-Leal, C. A., Puente-Garza, C. A., & García-Lara, S. (2018). In vitro plant tissue culture: Means for production of biological active compounds. *Planta, 248*, 1-18. https://doi.org/10.1007/s00425-018-2910-1

Georgiev, V., Slavov, A., Vasileva, I., & Pavlov, A. (2018). Plant cell culture as emerging technology for production of active cosmetic ingredients. *Engineering in Life Sciences, 18*, 779-798. https://doi.org/10.1002/elsc.201800066

Hendrawati, O., Woerdenbag, H. J., Hille, J., & Kayser, O. (2012). Metabolic engineering of medicinal plants and microorganisms for the production of natural products. In *Pharmaceutical Biotechnology: Drug Discovery and Clinical Applications* (2nd ed., pp. 491-526). Weinhein, John Wiley & Sons Limited. https://doi.org/10.1002/9783527632909.ch19

Ligor, M., Ratiu, I.-A., Kiełbasa, A., Al-Suod, H., & Buszewski, B. (2018). Extraction approaches used for thedetermination of biologically activecompounds (cyclitols, polyphenols andsaponins) isolated from plant material. *Electrophoresis*, 29603754. https://doi.org/10.1002/elps.201700431

Marchev, A. S., & Georgiev, M. I. (2020). Plant In Vitro systems as a sustainable source of active ingredients for cosmeceutical application. *Molecules, 25*, 1-19. https://doi.org/10.3390/molecules25092006

Mulabagal, V. (2004). Plant cell cultures: Production of biologically active secondary metabolites from medicinal plants of Taiwan. *International Journal of Applied Science and Engineering, 2*(1), 29-48.

Sarvin, B., Fedorova, E., Shpigun, O., Titova, M., Nikitin, M., Kochkin, D., Rodin, I., & Stavrianidi, A. (2018). LC-MS determination of steroidal glycosides from Dioscorea Deltoidea Wall cell suspension culture: Optimization of pre-LC-MS procedure parameters by Latin Square design. *Journal of chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences, 1080*, 64-70. https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2018.02.012

Sasidharan, S., Chen, Y., Saravanan, D., Sundram, K. M., & Latha, L. Y. (2011). Extraction, isolation and characterization of bioactive compounds from plants extracts. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines, 8*(1), 1-10.

Wang, J., Li, J.-L., Li, J., Li, J.-X., Liu, S., Huang, L., & Gao W. (2017). Production of active compounds in medicinal plants: From plant tissue culture to biosynthesis. *Chinese Herbal Medicines, 9*, 115-125. https://doi.org/10.1016/S1674-6384(17)60085-6

Zhang, Q. W., Lin, L.-G., & Ye, W.-C. (2018). Techniques for extraction and isolation of natural products: a comprehensive review. *Chinese Medicine, 13*, 1-20. https://doi.org/10.1186/s13020-018-0177-x

Development of a Technology for Extraction of a Complex of Biologically Active Substances from *in vitro* Root Crops of Medicinal Plants

Lyudmila K. Asyakina
Kemerovo State University
6, Krasnaya str., Kemerovo, 650000, Russian Federation
E-mail: alk_kem@mail.ru

Natalia V. Fotina
Kemerovo State University
6, Krasnaya str., Kemerovo, 650000, Russian Federation
E-mail: fotina.natashenka@mail.ru

Anna A. Stepanova
Kemerovo State University
6, Krasnaya str., Kemerovo, 650000, Russian Federation
E-mail: annstepanova.04@mail.ru

Anna V. Pozdnyakova
Kemerovo State University
6, Krasnaya str., Kemerovo, 650000, Russian Federation
E-mail: avp_7979@bk.ru

Alexander Yu. Prosekov
Kemerovo State University
6, Krasnaya str., Kemerovo, 650000, Russian Federation
E-mail: bionano_kem@mail.ru

The paper presents the results of scientific research on the development of technology for the extraction of dry extracts from the biomass of root cultures in vitro of cells of medicinal plants of the Siberian Federal District of *Codonopsis pilosula*, *Platanthera bifolia* and *Schisandra chinensis*. The Soxhlet extraction method was used as a method for extracting biologically active substances from plant samples. The extraction of extracts was optimized according to three parameters: temperature, duration of the process, and the ratio of the volume of the organic solvent to the mass of the plant sample (hydromodule), i.e. these parameters were modifiable. During the experiment, it was possible to select the optimal parameters for the isolation of dry extracts from each medicinal plant. Optimum parameters for *Codonopsis pilosula* are: the extraction temperature is 40 °C, the process duration is 60 min, and the ratio of the volume of the solvent to the amount of dried biomass of root cultures of plant cells is 1:10. The most effective extractant for *Codonopsis pilosula* is ethyl acetate. The following parameters were used for the root cultures of *Platanthera bifolia*: temperature 40 ° C, extraction time 60 min, hydromodule 1:10. Extraction was performed with acetone. The process of extracting biologically active substances from *Schisandra chinensis* was carried out with acetone at a process temperature of 40 ° C for 60 min in a ratio of the extractant to the sample of 1:10. The use of the values of these parameters in the experiment will make it possible to achieve the maximum yield of BAS extracts from medicinal plants at the lowest possible cost of resources (cost of time, reagents, etc.).

Keywords: extraction, medicinal plants, biologically active substances, root cultures, parameters, organic solvent

References

Asyakina, L. K., Dyshlyuk, L. S., & Stepanova, A. A. (2020). Opredelenie effektivnosti ekstraktsii biologicheski aktivnykh veshchestv iz biomassy kallusnykh kul'tur lekarstvennykh rastenii razlichnymi rastvoritelyami [Determination of the efficiency of extraction of biologically ac-

tive substances from the biomass of callus cultures of medicinal plants with various solvents]. In *Sovremennaya biotekhnologiya: aktual'nye voprosy, innovatsii i dostizheniya: Sbornik tezisov Vserossiiskoi s mezhdunarodnym uchastiem onlain-konferentsii* [*Modern biotechnology: topical issues, innovations and achievements: Collection of abstracts of the All-Russian with international participation online conference*] (pp. 19-21). Kemerovo, Kemerovskii gosudarstvennyi universitet.

Babich, O. O., Larina, V. V., Skrypnik, L. N., & Pungin, A. V. (2021). Biologicheski aktivnye svoistva lekarstvennykh rastenii, proizrastayushchikh na territorii kaliningradskoi oblasti, prigodnykh dlya proizvodstva fitogenikov [Biologically active medicinal plants growing on the territory of the Kaliningrad region, suitable for the production of phytogenics]. In Biotekhnologiya novykh materialov – okruzhayushchaya sreda – kachestvo zhizni: Materialy IV Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii [*Biotechnology of new materials - environment - quality of life: Proceedings of the 4th International Scientific Conference, electronic publication*] (pp. 208-210). Krasnoyarsk, Sibirskii federal'nyi universitet.

Beloborodov, V. V., Brik, V. N., & Prokof'ev, A. V. (1995). Izvlechenie biologicheski aktivnykh veshchestv iz pryano aromaticheskogo syr'ya v sisteme protsescov ekstragirovanie-otzhim [Extraction of biologically active substances from spicy aromatic raw materials in the system of extraction-pressing processes]. *Maslozhirovaya promyshlennost'* [*Oil and fat industry*]*, 3*, 24-27.

Belokurov, S. S., Flisyuk, E. V., & Smekhova, I. E. (2019). Vybor metoda ekstragirovaniya dlya polucheniya izvlechenii iz semyan pazhitnika sennogo s vysokim soderzhaniem biologicheski aktivnykh veshchestv [Selection of the extraction method for obtaining extracts from hay fenugreek seeds with a high content of biologically active substances]. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv* [*Development and registration of medicines*]*, 3*, 35-39. https://doi.org/10.33380/2305-2066-2019-8-3-35-39

Vainshtein, V. A., & Kaukhova, I. E. (2014). Ekstragirovanie lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya dvukhfaznoi sistemoi ekstragentov [Extraction of medicinal plant materials with a two-phase system of extractants]. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv* [*Development and registration of medicines*]*, 3*, 82-88.

Kolesnikova, R. D., & Tagil'tsev, Yu. G. (2016). Efirnye masla limonnika kitaiskogo (Schisandra Chinensis (Turcz.) Baill.) [Essential oils of Schisandra Chinensis (Turcz.) Baill.]. In Biologicheskie osobennosti lekarstvennykh i aromaticheskikh rastenii i ikh rol' v meditsine: Sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 85-letiyu VILAR [*Biological characteristics of medicinal and aromatic plants and their role in medicine: Collection of scientific papers of the scientific and practical conference dedicated to the 85th anniversary of VILAR*] (pp. 391-394). Moscow: Shcherbinskaya tipografiya.

Postrash, I. Yu., Soboleva, Yu. G., & Andrushchenko, V. S. (2020). Ekstraktsiya biologicheski aktivnykh veshchestv iz tsvetkov romashki aptechnoi [Extraction of biologically active substances from chamomile flowers]. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* [*Agroindustrial complex of the Upper Volga region*]*, 1*, 22-26. https://doi.org/10.35694/YARCX.2020.49.1.005

Samylina, I. A., Bulaev, V. M., & Shikh, E. V. (2012). Lekarstvennye rasteniya v lechenii kognitivnykh rasstroistv [Medicinal plants in the treatment of cognitive disorders]. *Farmatsiya* [*Pharmacy*]*, 8*, 47-50.

Alamgir, N. M. (2018). Biotechnology, in vitro production of natural bioactive compounds, herbal preparation, and disease management (Treatment and Prevention). In *Therapeutic Use of Medicinal Plants and their Extracts* (vol. 2, pp. 585-664). Luxemburg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92387-1_7

Asyakina, L. K., Babich, O. O., Pungin, A. V., Prosekov, A. Yu., Popov, A. D., & Voblikova, T. V. (2020). Optimization of extraction parameters of biologically active substances from dried biomass of callus, suspension cells and root cultures in vitro. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 613*, 1-5. https://doi.org/10.1088/1755-1315/613/1/012008

Babich, O., Sukhikh, S., Pungin, A., Ivanova, S., Asyakina, L., & Prosekov, A. (2020). Modern trends in the In Vitro production and use of callus, suspension cells and root cultures of medicinal plants. *Molecules, 25*, 1-18. https://doi.org/10.3390/molecules25245805

Bagheri, F., Tahvilian, R., Karimi, N., Chalabi, M., & Azami, M. (2018). Shikonin production by callus culture of onosma bulbotrichom as active pharmaceutical ingredient. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research, 17*, 495-504.

Bibi, A., Khan, M. A., Adil, M., & Mashwani, Z.-R. (2018). Production of callus biomass and antioxidant secondary metabolites in black cumin. *Journal of Animal and Plant Sciences, 28*(5), 1321-1328

Chupakhin, E., Babich, O., Prosekov, A., Asyakina, L., Gureev, M., & Krasavin, M. (2020). Plants of the Russian Federation pharmacopeia: An unexhausted natural products research opportunity. *Natural*

Product Research, 35(21), 1-3. https://doi.org/10.1080/14786419.2020.1727474

Efferth, T. (2019). Biotechnology applications of plant callus cultures. *Engineering, 5*(1), 50-59. https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.11.006

Espinosa-Leal, C. A., Puente-Garza, C. A., & García-Lara, S. (2018). In vitro plant tissue culture: Means for production of biological active compounds. *Planta, 248*, 1-18. https://doi.org/10.1007/s00425-018-2910-1

Georgiev, V., Slavov, A., Vasileva, I., & Pavlov, A. (2018). Plant cell culture as emerging technology for production of active cosmetic ingredients. *Engineering in Life Sciences, 18*, 779-798. https://doi.org/10.1002/elsc.201800066

Hendrawati, O., Woerdenbag, H. J., Hille, J., & Kayser, O. (2012). Metabolic engineering of medicinal plants and microorganisms for the production of natural products. In *Pharmaceutical Biotechnology: Drug Discovery and Clinical Applications* (2nd ed., pp. 491-526). Weinhein, John Wiley & Sons Limited. https://doi.org/10.1002/9783527632909.ch19

Ligor, M., Ratiu, I.-A., Kiełbasa, A., Al-Suod, H., & Buszewski, B. (2018). Extraction approaches used for thedetermination of biologically activecompounds (cyclitols, polyphenols andsaponins) isolated from plant material. *Electrophoresis*, 29603754. https://doi.org/10.1002/elps.201700431

Marchev, A. S., & Georgiev, M. I. (2020). Plant In Vitro systems as a sustainable source of active ingredients for cosmeceutical application. *Molecules, 25*, 1-19. https://doi.org/10.3390/molecules25092006

Mulabagal, V. (2004). Plant cell cultures: Production of biologically active secondary metabolites from medicinal plants of Taiwan. *International Journal of Applied Science and Engineering, 2*(1), 29-48.

Sarvin, B., Fedorova, E., Shpigun, O., Titova, M., Nikitin, M., Kochkin, D., Rodin, I., & Stavrianidi, A. (2018). LC-MS determination of steroidal glycosides from Dioscorea Deltoidea Wall cell suspension culture: Optimization of pre-LC-MS procedure parameters by Latin Square design. *Journal of chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences, 1080*, 64-70. https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2018.02.012

Sasidharan, S., Chen, Y., Saravanan, D., Sundram, K. M., & Latha, L. Y. (2011). Extraction, isolation and characterization of bioactive compounds from plants extracts. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines, 8*(1), 1-10.

Wang, J., Li, J.-L., Li, J., Li, J.-X., Liu, S., Huang, L., & Gao W. (2017). Production of active compounds in medicinal plants: From plant tissue culture to biosynthesis. *Chinese Herbal Medicines, 9*, 115-125. https://doi.org/10.1016/S1674-6384(17)60085-6

Zhang, Q. W., Lin, L.-G., & Ye, W.-C. (2018). Techniques for extraction and isolation of natural products: a comprehensive review. *Chinese Medicine, 13*, 1-20. https://doi.org/10.1186/s13020-018-0177-x

УДК 664.6 https://doi.org/10.36107/spfp.2021.238

Результаты исследований хлебопекарных свойств пшеничной муки с использованием реоферментометра

Дремучева Галина Федоровна
ФГАНУ «Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности»
Адрес: 107553, г. Москва, ул. Большая Черкизовская, д. 26А, стр. 1
E-mail: obishleb@yandex.ru

Носова Марина Владимировна
ФГАНУ «Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности»
Адрес: 107553, г. Москва, ул. Большая Черкизовская, д. 26А, стр. 1
E-mail: m.nosova@gosniihp.ru

Определяли газообразующую, газоудерживающую способности и реологические характеристики теста с использованием реоферментометра; водопоглощение и крупность помола 23 проб пшеничной хлебопекарной муки высшего сорта. Установили, что характеристики теста из исследуемых проб муки, определенные на реоферментометре, находятся в широком диапазоне величин, что свидетельствует о заметном отличии качества исследуемых проб муки. Примерно одна треть проб имеет повышенную или пониженную крупность помола. Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о неточной характеристике крупности муки, определенной по законодательно принятому, но весьма упрощенному методу, который не обеспечивает выявление массовой доли или соотношений частиц муки разной дисперсности. Рекомендована разработка нового более информативного метода определения крупности муки и, соответственно, норм этого показателя.

Ключевые слова: мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта, крупность помола, число падения, водопоглотительная способность муки, газообразующая и газоудерживающая способности теста, проницаемость теста

Введение

Приобретатели муки всегда желали получать муку с определенными и стабильными хлебопекарными свойствами, которые важны при выработке тех или иных хлебобулочных изделий (Аношин & Козлова, 2004). В связи с чем, главная цель при оценке качества муки – определить ее пригодность для производства хлебобулочных изделий с требуемыми органолептическими и физико-химическими показателями качества (Ильина, 2004; Бегеулов, 2003).

В настоящее время актуальность точного знания хлебопекарного достоинства муки возросла, так как заметный объем продукции вырабатывается на высокомеханизированных и автоматизированных линиях, и существенно расширился ассортимент новых видов хлебопекарной продукции (Мартьянова & Мелешкина, 2003).

Во многих странах мира, в том числе в РФ, все более широко реализуют технологии хлебобулочных изделий, предусматривающие управление процессами брожения полуфабрикатов хлебопекарного производства. К примеру, посредством использования пониженных температур. Перспективность данных технологий подтверждена на практике и продолжается дальнейший поиск других вариантов развития их.

Следует отметить, что в последние годы зарубежные и некоторые отечественные производители хлебобулочных изделий повышают требования к качеству приобретаемой хлебопекарной муки, конкретизируя показатели, важные при выработке определенного ассортимента продукции. К примеру, во многих странах мира прибор реоферментометр достаточно широко используют для определения газообразующей и газоудерживающей способности теста, а также в качестве ана-

лизатора реологических свойств теста в процессе брожения, динамики поднятия теста в процессе брожения, взаимосвязи между газообразующей способностью муки и свойствами клейковинного каркаса удерживать углекислый газ (Пучкова, Поландова, & Матвеева, 2005; Hosney, 1994; Cauvain, 2012).

При этом одним из необходимых условий для успешного осуществления данных технологий и выработки хлебобулочных изделий требуемого качества является применение муки с определенными показателями качества. К примеру, пшеничная мука, используемая в технологиях, предусматривающих продолжительное брожение при пониженных температурах должна иметь следующие показатели качества: количество сырой клейковины – 30-32 %, водопоглощение (по фаринографу) – 58-60 %, число падения – 290-330 с, сравнительный реологический показатель (показатель формы кривой альвеограммы P/L) – 2,5 – 3,5 (Кульп & Брюммер, 2005).

Другой пример: возросший спрос на сформованные упакованные тестовые заготовки, в частности свернутая в рулон основа для пиццы. Растущая востребованность такого полуфабриката обусловлена довольно продолжительным сроком хранения (до 50 сут при температуре + 4 °С) и отсутствием необходимости размораживания тестовой заготовки перед нанесением топинга. К особенностям производства данного продукта относятся обязательное использование пшеничной муки с пониженной автолитической активностью (ЧП – не менее 400 с), сухой пшеничной клейковины и аскорбиновой кислоты.

По законодательству РФ хлебопекарная пшеничная мука по органолептическим, физико-химическим показателям и пищевой ценности должна отвечать требованиям ГОСТ 26574-2017 «Мука пшеничная хлебопекарная. ТУ»[1].

Давно доказано, что использование хлебопекарной муки с показателями, не соответствующими требованиям указанного ГОСТ, дестабилизирует процесс изготовления изделий, вызывает необходимость корректировки технологических параметров производства и применения улучшителей (Косован & Дремучева, 2003; Козловский, 2004а; Матвеева & Белявская, 2000; Поландова, Дремучева, & Карчевская, 2009; Кондратьев, 2002). В результате чего возрастает себестоимость продукции, ухудшаются технико-экономические показатели производственного процесса.

В связи с чем, для хлебопекарных предприятий абсолютной ценностью является приобретение муки с необходимыми и стабильными показателями качества (Бегеулов, 2003; Козловский, 2004б). Особенно это актуально для производств, оснащенных автоматизированными поточными линиями.

Однако, по данным научно-технической литературы, результатам экспертиз, проводимых АНО Роскачество и Росконтролем в РФ, до настоящего времени сохраняется проблемная ситуация в хлебопекарной отрасли, а именно: поставка мукомольными предприятиями муки, не соответствующей требованиям действующей нормативной документации.

Мука с пониженными хлебопекарными свойствами и ранее поступала на хлебопекарные предприятия нашей страны (Дремучева, 2012; Дремучева, Карчевская, & Чубенко, 2012), однако объемы ее переработки в настоящее время возросли. Примерно 80 % муки характеризуется пониженными показателями качества: пониженным количеством и качеством клейковины, неудовлетворительной автолитической активностью и др. Такая ситуация, в определенной степени, является следствием использования несовершенных методов определения и норм показателей качества пшеничной муки, включенных в ГОСТ 26574-2017 «Мука пшеничная хлебопекарная. ТУ»[2], а также переработкой на мукомольных предприятиях зерна ухудшенных кондиций.

К примеру, достаточно давно установлено влияние количества и размера частиц на водопоглотительную способность муки. Известны различные методы определения дисперсного состава частиц муки, в т.ч. седиментационный метод определения распределения частиц муки по размерам и другие методы. Информация о количестве фракций частиц с различными размерами частиц муки позволит охарактеризовать интенсивность размола зерна и степень повреждения крахмальных зерен, и, следовательно, оценить газообразующую способность муки, реологические свойства теста и др.

Следует отметить мнение директора ФГБНУ «ВНИИЗ», д.т.н. Е.П. Мелешкиной (Мелешкина, 2006;

[1] ГОСТ 26574-2017. (2018). Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия. М.: Стандартинформ.
[2] Там же.

Мелешкина, 2016): «отсутствие установленных нормативов большинства показателей качества не позволяет объективно оценить свойства зерна, необходимые для производства конкретных мучных изделий. Разработать такие нормативы возможно только в рамках системного подхода, включающего мониторинг технологического потенциала зерна и муки по регионам страны, репродукции семян, сортам и типам зерна, муки и получить математическую модель управления качеством конечного продукта — хлебобулочного изделия».

В связи с чем, необходимо совершенствование методологической базы и технологических решений для повышения качества и безопасности муки и, соответственно, хлебобулочных изделий, экологичности и конкурентоспособности производства.

Для обоснования исследований в данном направлении необходим мониторинг качества хлебопекарной муки, поставляемой на хлебопекарные предприятия РФ, в т.ч. с целью обоснования разработки новых более доказательных методов оценки качества муки и уточнения норм (Дремучева & Носова, 2019).

Целью настоящей работы является анализ реологических характеристик свойств теста из исследуемых проб муки и показателей качества муки по ГОСТ 26574-2017[3], а также сравнение их в объективности оценки хлебопекарных свойств муки.

Исследования осуществляли в рамках проводимой в ФГАНУ НИИХП научно-исследовательской работы по теме № 0593-2019-0005 «Совершенствование методологической базы и технологических решений для повышения качества и безопасности хлебобулочных изделий, экологичности и конкурентоспособности производства».

Материалы и методы исследования

Объекты

В работе представлены результаты исследований хлебопекарных свойств 23 проб муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта.

Производители муки – 19 мукомольных предприятий из гг. Москвы, Рязани, Самары, С-Петербурга, Томска и гг. Истры, Подольска, Пушкина Московской области, Орловской области, г. Мичуринска Тамбовской области и г. Новомосковска Тульской области.

Методы

Исследования проводили с использованием приборных баз лабораторий ФГАНУ НИИХП. Свойства теста определяли с использованием прибора реоферментометр в соответствии с руководством к прибору, водопоглощение муки - с использованием фаринографа по ГОСТ ISO 5530-1-2013[4], крупность помола – по ГОСТ 27560-87.[5] Определяли показатели качества проб муки на соответствие требованиям ГОСТ 26574-2017 «Мука пшеничная хлебопекарная. ТУ»[6], а также проводили исследования реологических свойств теста с применением прибора альвеограф и пробную лабораторную выпечку хлеба по ГОСТ 27669-88[7].

Процедура исследования

Пробы были предоставлены с марта по сентябрь 2020 г. 19-ю хлебопекарными предприятиями гг. Москвы, Орла, Стерлитамака, Тольятти и гг. Волоколамска, Воскресенска, Дедовска, Калининграда и Серпухова Московской области (15 хлебозаводов предоставили по одной пробе, четыре – по две пробы). При этом четыре пробы муки выработаны одной мельницей, по две пробы - двумя, остальные 15 проб – другими разными мукомольными предприятиями.

Согласно предоставленным удостоверениям качества и безопасности, все предоставленные пробы по качеству соответствовали требованиям ГОСТ 26574-2017 «Мука пшеничная хлебопекарная. ТУ»[8].

Результаты исследования и их обсуждение

Ранее нами (Носова, Дремучева, & Костюченко, 2020; Костюченко, Дремучева, Носова, & Невская, 2020) был проведен анализ хлебопекарных

[3] ГОСТ 26574-2017. (2018). Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия. М.: Стандартинформ.
[4] ГОСТ ISO 5530-1-2013. (2014). Физические характеристики теста. Ч. 1. Определение водопоглощения и реологических свойств с применением фариографа. М.: Стандартинформ.
[5] ГОСТ 27560-87. (2007). Мука и отруби. Метод определения крупности. М.: Стандартинформ.
[6] Там же.
[7] ГОСТ 27669-88. (2007). Мука пшеничная хлебопекарная. Метод пробной лабораторной выпечки хлеба. М.: Стандартинформ.
[8] ГОСТ 26574-2017. (2018). Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия. М.: Стандартинформ.

свойств данных 23 проб муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта, который показал, что по органолептическим показателям, а также по влажности, белизне и числу падения все исследуемые пробы соответствуют требованиям ГОСТ 26574-2017[9]; по остальным показателям: четыре пробы характеризуются повышенной зольностью – от 0,57 % до 0,73 %, количество клейковины у 16 проб ниже нормы - 24,0 - 27,0 %, одна проба по качеству клейковины (40 ед. ИДК) не соответствовали нормам, предусмотренным ГОСТ 26574-2017[10]. Клейковина примерно у 50 % проб была короткорвущейся, 15 проб характеризовались пониженной (ЧП от 340 до 400 с) и две пробы – весьма низкой автолитической активностью (ЧП 437 и 485 с).

Общепринято считать газообразующую способность муки до 1300 см^3 низкой, средней - от 1300 см^3 до 1600 см^3 и повышенной – более 1600 см^3. Количественной мерой этих показателей является коэффициент газоудержания – R (отношение количества выделенного тестом газа к количеству образовавшегося в течение проведения анализа). Мука с хорошими хлебопекарными свойствами характеризуется показателем R близким к 100 %.

В связи с указанным, дополнительно к проведению указанных выше исследований изучали хлебопекарные свойства данных 23 проб муки с использованием реоферментометра.

В результате установили, что газообразующая способность исследуемых проб теста заметно различается - от 1003 до 1917 см^3. (Рисунок 1). Низкой газообразующей способностью характеризуются три пробы: 9 (1003 см^3), 14 (1121 см^3) и 23 (1144 см^3), девять проб – средней (от 1465 до 1598 см^3) – 2, 5, 11, 13, 15, 17, 19, 20 и 22, остальные одиннадцать проб имеют повышенную газообразующую способность – от 1608 до 1917 см^3. Объем потерянного газа из исследуемых проб составляет от 40 см^3 до 580 см^3, объем удержанного – от 895 см^3 до 1871 см^3.

Коэффициент газоудержания теста из исследуемых проб муки варьирует в достаточно широком диапазоне - от 68,0 % до 97,6 %.

Продолжительность периода, необходимая для образования пор в тесте (Тх), после которого тесто начинает выделять газ, коррелирует с проницаемостью теста: чем раньше начинается процесс выделения газа из теста, тем ниже величина Тх, тем проницаемость теста выше.

Высокой проницаемостью характеризуются восемь проб: самой высокой - пробы 6, 12, 17 и 18: Тх составляет 34,5; 39,0; 19,5 и 19,5 мин, затем пробы 3, 7, 16 и 19: Тх – 49,5; 46,5; 46,5 и 48,0 мин, несколько меньшей – пять проб: 1 – 57,0 мин, 2 – 69,0 мин, 4 – 69,0 мин, 8 – 63,0 мин и 13 - 64,5 мин. Самый продолжительный период, при котором начинается выделение CO_2 из теста, у пробы 9 – 151,5 мин, что, вероятно, обусловлено низкой интенсивностью образования CO_2 и реологическими свойствами теста. Остальные пробы характеризуются удовлетворительным показателем.



Рисунок 1. Газообразующая и газоудерживающая способности исследуемых проб муки

[9] Там же.
[10] Там же.

Максимальный подъем кривой газовыделения (H›m), свидетельствующий о степени поднятия теста при брожении, у исследуемых проб находится в пределах от 28,4 мм до 57,0 мм: наименьший у проб: 9 – 28,4 мм, 14 – 29,7 мм и 23 – 30,7 мм, наибольший – у пробы 8 – 57,0 мм; у остальных проб – от 36,3 мм до 53,5 мм.

Время, после которого снижается максимальная высота второго поднятия исследуемых проб теста – T›1, находится в весьма широком диапазоне: от 61,5 мин до 208,0 мин. У проб теста 9, 14 и 23 - наиболее продолжительное время - 196,0; 204,0 и 208,0 мин соответственно, и самый низкий показатель максимального подъема их кривых газовыделения -H›m - 28,4; 29,7 и 30,7 мм соответственно, что свидетельствует о пониженной автолитической активности данных проб муки.

Показатель кривой подъема теста (Hm-h)/Hm (Рисунок 2) – относительное снижение высоты поднятия теста в конце процедуры анализа от максимального значения, выраженное в процентах (высота в момент времени T2 - времени, после которого снижается максимальная высота поднятия теста, по отношению к высоте теста в момент времени T1 - времени, когда кривая поднятия теста достигает максимума), т.е. степень понижения высоты теста к концу испытаний. Данный показатель отражает наилучшее время для обработки теста. Очень низкое значение данного показателя – у проб 9 (1,1 %), 14 (1,8 %) и 23 (2,0 %), что, возможно, обусловлено пониженной газообразующей способностью этих проб – 1003, 1121 и 1144 см^3.

Очень высокий показатель (Hm-h)/Hm имеют пробы 1, 3 и 4 (99,7; 100 и 100 % соответственно), хотя газообразующая способность данных проб повышенная (1724, 1849 и 1779 см^3). Однако коэффициенты газоудержания относительно низкие - 68,0; 70,8 и 69,4 %. Форма кривых подъема теста из данных проб муки (после подъема теста - сразу опускание) свидетельствует о неудовлетворительных физических характеристиках теста - упругости и эластичности.

Крепкая, мало растяжимая клейковина муки может быть обусловлена погодными условиями (высокой температурой и отсутствием осадков) в период колошения пшеницы, а также следствием повышенной температуры при сушке зерна (Грабовец & Фоменко, 2007). Однако мука, смолотая из чрезмерно пересушенного зерна, будет также характеризоваться и пониженной автолитической активностью, которая не может обеспечить достоточную газообразующую способность. Можно предположить, что установленные характеристики проб муки 1, 3 и 4 обусловлены двумя факторами: использованием пересушенного зерна и чрезмерным его измельчением при производстве муки или внесением избыточного количества амилолитических ферментных препаратов.

Время T1 отражает интенсивность газообразования, T2 – характеризует прочность клейковинной сетки теста. Высота Hm связана с объемом и упруго-эластичными свойствами теста.

Время, в течение которого кривая газовыделения достигает максимума (T1), коррелирует с динамикой газообразования и с наилучшим временем обработки теста, составляет у исследуемых проб от 1ч 51 мин до 4 ч 58 мин (Рисунок 2).

Максимальная высота поднятия теста под нагрузкой (Hm, мм) характеризует свойства клейковины и реологические свойства теста, а также коррели-

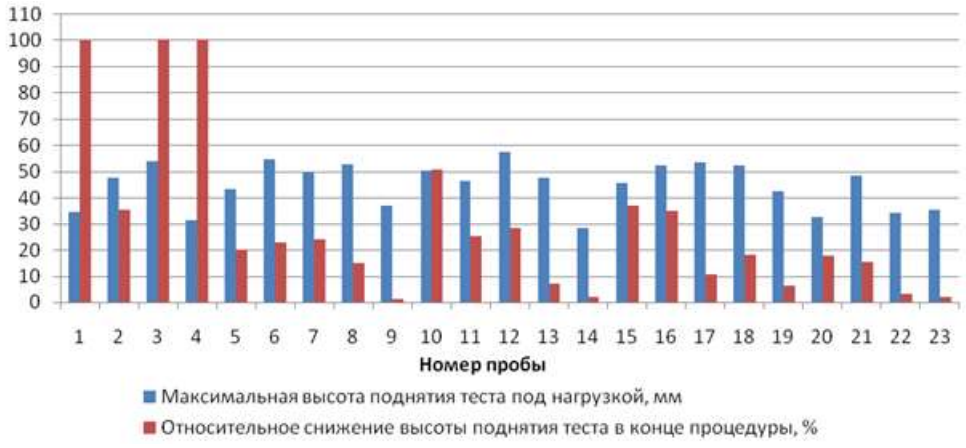


Рисунок 2. Максимальная высота поднятия теста под нагрузкой и относительное снижение высоты поднятия теста в конце процедуры исследуемых проб

руют с подъемом теста в печи и объемом хлеба. У исследуемых проб Hm составляет от 28,4 до 57,2 мм.

Самым высоким Hm (Рисунок 2) характеризуется проба муки 12 (57,2 мм) и весьма низким – проба 14 (28,4 мм). Достаточно широкий диапазон этого показателя свидетельствует о заметном различии реологических свойств теста из исследуемых проб муки.

На Рисунках 3, 4 и 5 представлены кривые газообразования и подъема теста из муки с различной газообразующей способностью: повышенной у пробы 8 (Рисунок 3), средней у пробы 20 (Рисунок 4) и низкой у пробы 23 (Рисунок 5).

Представленные данные показывают, что анализируемые пробы муки заметно разнятся по газообразующей способности, а также изменению реологических свойств теста в процессе брожения. Давно установлено, что газообразующая способность муки зависит от состояния углеводного комплекса муки, в том числе, от сахарообразующей способности. Сахарообразующая способность пшеничной муки определяется активностью соб-

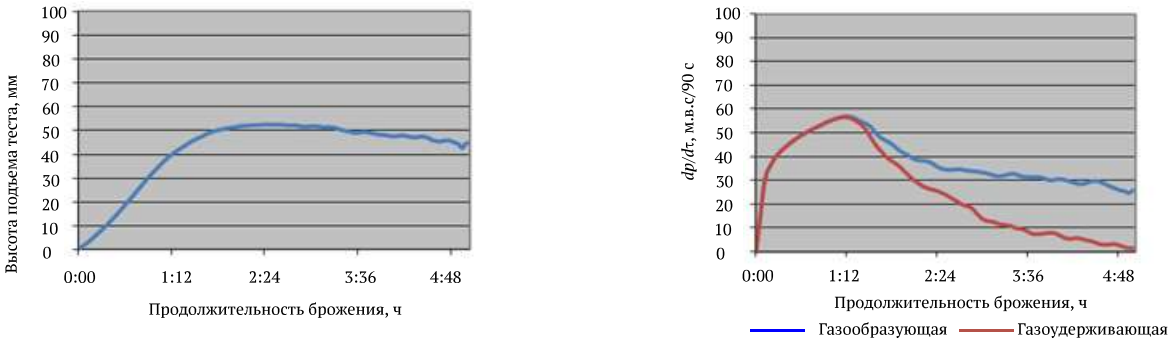


Рисунок 3. Кривые газообразования, газоудержания и подъема теста из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта пробы 8

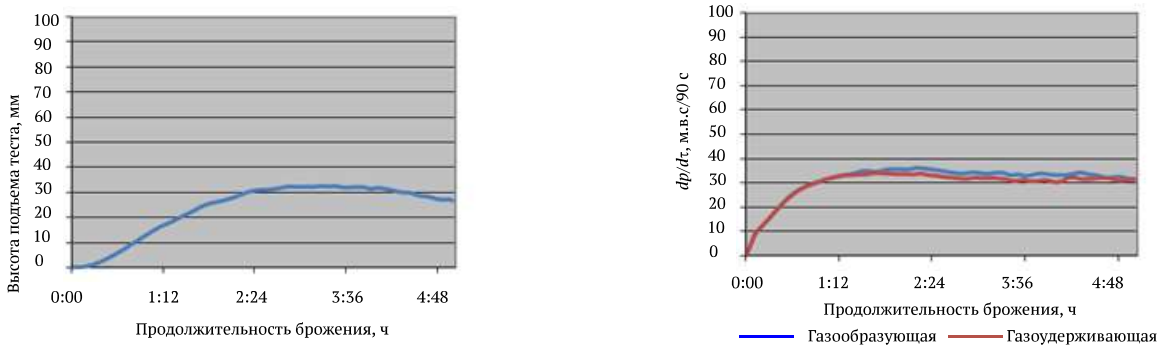


Рисунок 4. Кривые газообразования, газоудержания и подъема теста из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта пробы 20

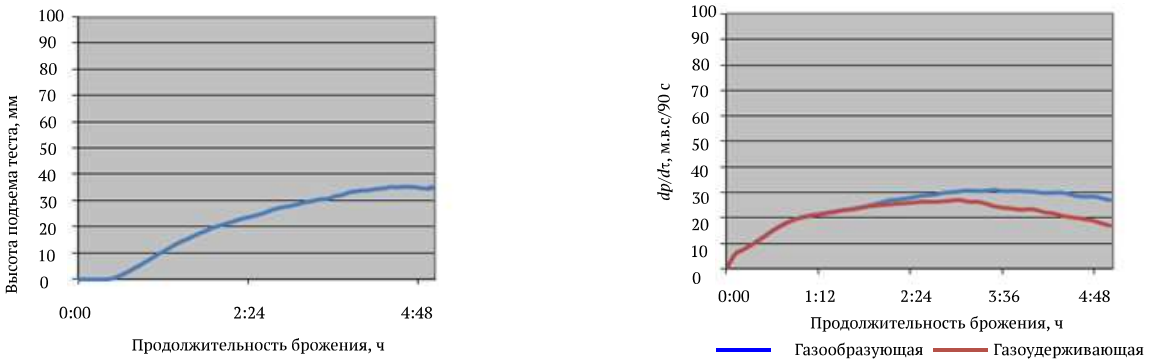


Рисунок 5. Кривые газообразования, газоудержания и подъема теста из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта пробы 23

ственной ®-амилазы, состоянием и соотношением крупных и мелких зерен крахмала (Пучкова, Поландова, & Матвеева, 2005).

При этом степень осахаривания крахмала β-амилазой лимитируется не её количеством, а наличием декстринов и механически поврежденных зерен крахмала, из которых растворимая амилоза переходит в водную фазу, и становится доступной действию β-амилазы. По данным Е.П. Мелешкиной, увеличение количества поврежденных зерен крахмала с 14,0 до 24,0 % повышает интенсивность газообразования на 50,0 %. Зная газообразующую способность муки, можно предвидеть интенсивность брожения, ход расстойки тестовых заготовок и, с учетом количества и качества клейковины, объем хлеба, свойства мякиша и другие показатели качества продукции (Мелешкина, 2006).

В таблице представлены газообразующая способность, а также показатели качества муки (водопоглощение и крупность помола), в определенной степени влияющие на газообразующую способность муки и реологические свойства теста (красным цветом выделены показатели, превышающие норму, синим – ниже нормы).

Из таблицы видно, что из пяти проб муки с повышенной крупностью частиц (4, 7, 8, 17 и 20) три пробы (4, 7 и 8) характеризуются повышенной газообразующей способностью - 1779, 1669 и 1778 см^3, две пробы 17 и 20 - средней газообразующей способностью – 1594 и 1465 см^3.

Водопоглотительная способность проб с повышенной крупностью 4, 7, 8, 17 и 20 варьирует от 56,2 до 61,4 л (58,7; 56,2; 58,4; 61,4 и 57,4 л); остальных проб с крупностью, соответствующей требованиям ГОСТ 26574[11] (от 1,0 до 5,0 %), то есть фактически находится в этом же интервале – от 55,7 до 60,7 л.

Полученные данные свидетельствуют об отсутствии каких-либо закономерностей между крупностью муки, установленной по методу ГОСТ 27560[12], и водопоглотительной способностью, а также между крупностью и газообразующей способностью муки.

Предусмотренный ГОСТ 27669[13] метод определения автолитической активности муки по ЧП, преимущественно свидетельствует об активности α-амилазы, которая проявляется в основном в период выпечки хлеба (Черных, 2019).

Таким образом, если по количеству и качеству клейковины можно в определенной степени предположить реологические свойства теста и качество хлеба, то по методу определения крупности (ГОСТ 27560) можно идентифицировать только то, что продукт является мукой.

Исходя из данных научно-технической литературы для производства хлебобулочных изделий желательна мука, однородная по размерам образующих ее частиц, так как большая доля крупных частиц снижает интенсивность поглощения воды, поскольку скорость проникновения влаги внутрь частиц муки определяется в первую очередь их размерами.

Так И.Б. Урлапова и Г.Н. Панкратов (Панкратов, 2015; Урлапова, 2004) установили, что наилучшими хлебопекарными свойствами обладает пшеничная хлебопекарная мука, дисперсный состав которой характеризуется фракцией 80-120 мкм в количестве не менее 60 %. Авторами также установлено, что ситовой метод оценки дисперсности муки не эффективен, особенно, при анализе пшеничной муки высшего сорта. Для объективной характеристики гранулометрического состава тонкодисперсных продуктов предложен микроскопический метод, который при достаточном объёме измерений обеспечивает достоверный результат в течение не более 10 мин.

Следовательно, очевиден вывод о том, что в ГОСТ 27669[14] отсутствует показатель, характеризующий состояние углеводно-амилазного комплекса муки в процессе брожения теста.

Выводы

Проведенные исследования ряда хлебопекарных свойств муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта свидетельствуют о следующем:

– характеристики теста из исследуемых проб муки, определенные на реоферментометре, находятся в широком диапазоне величин, что свидетельствует о заметно различных хлебопекарных свойствах муки, поставляемой на хлебопекарные предприятия;

[11] ГОСТ 26574-2017. (2018). Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия. М.: Стандартинформ.
[12] ГОСТ 27560-87. (2007). Мука и отруби. Метод определения крупности. М.: Стандартинформ.
[13] ГОСТ 27669. (2007). Мука пшеничная хлебопекарная. Метод пробной лабораторной выпечки хлеба. М.: Стандартинформ.
[14] Там же.

– нестабильные хлебопекарные свойства муки разных партий вызывают неизбежность применения технологических приемов при производстве хлебобулочных изделий с целью выработки продукции с заданными показателями качества;
– недостаточная информативность предусмотренного ГОСТ 27560[15] показателя крупности муки свидетельствует о необходимости разработки нового более информативного метода определения и норм этого показателя.

Литература

Аношин, А. Н., & Козлова, А. В. (2004). Функциональные свойства муки для хлеба и кондитерских изделий. *Хранение и переработка сельхозсырья, 1*, 54-56.

Бегеулов, М. Ш. (2003). Хлебопекарные свойства пшеничной муки. *Хлебопродукты, 4*, 22-23.

Грабовец, А. И., & Фоменко, М. А. (2007). *Озимая пшеница*. Ростов-на-Дону: Юг.

Дремучева, Г. Ф. (2012). Оценка качества пшеничной муки, проблемы и решения. В *Материалы докладов Пятого Международного Хлебопекарного Форума* (с. 34-35). М.: Пищепромиздат.

Дремучева, Г. Ф., & Носова, М. В. (2019). Технологическая эффективность комплексных хлебопекарных улучшителей, разработанных на базе отечественных ферментных препаратов, в производстве хлебобулочных изделий из пшеничной муки с различными хлебопекарными свойствами. *Хлебопечение России, 3*, 12-16.

Дремучева, Г. Ф., Карчевская, О. Е., & Чубенко, Н. Т. (2012). Реальная информативность методов оценки хлебопекарных свойств пшеничной муки. *Хлебопечение России, 5*, 18-21.

Мелешкина, Е. П. (2006). *Развитие системы оценки хлебопекарных свойств зерна пшеницы при его производстве и переработке* [Докторская диссертация, Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки Российской академии сельскохозяйственных наук]. М., Россия.

Мелешкина, Е. П. (2016). О новых подходах к качеству пшеничной муки. *Контроль качества продукции, 11*, 13-18.

Панкратов, Г. Н. (2015). Гранулометрический состав продуктов размола. *Хлебопродукты, 5*, 46-49.

Пучкова, Л. И., Поландова, Р. Д., & Матвеева, И. В. (2005). *Технология хлеба, кондитерских и макаронных изделий* (ч. 1, 2-е изд.). 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.

Ильина, О. А. (2004). Проблемы управления качеством хлеба, муки и зерна. *Пищевая промышленность, 12*, 46-48.

Козловский, А. А. (2004а). Улучшение муки: От мини-мельницы до холдинга. *Хлебопродукты, 4*, 28-29.

Козловский, А. А. (2004б). Повышение хлебопекарных свойств муки. *Хлебопродукты, 5*, 20-21.

Кондратьев, И. А. (2002). Использование ферментных препаратов на мукомольных заводах. *Хлебопродукты, 6*, 26-28.

Косован, А. П., & Дремучева, Г. Ф. (2003). Применение хлебопекарных улучшителей для регулирования качества муки. *Пищевая промышленность, 12*, 44-45.

Костюченко, М. Н., Дремучева, Г. Ф., Носова, М. В., & Невская, Е. В. (2020). Реологические свойства муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта, поставляемой на хлебопекарные предприятия РФ. *Хлебопечение России, 4*, 29-32. https://doi.org/10.37443/2073-3569-2020-1-4-29-32

Кульп, К., & Брюммер, Ю. (2005). *Производство изделий из замороженного теста*. СПб.: Профессия.

Мартьянова, А. И., & Мелешкина, Е. П. (2003). Проблема качества российского зерна и хлебопекарной муки. Пути их решения. *Хлебопродукты, 9*, 32-33.

Матвеева, И. В., & Белявская, И. Г. (2000). Пищевые добавки и хлебопекарные улучшители в производстве мучных изделий. М.: Издательский комплекс МГУПП.

Носова, М. В., Дремучева, Г. Ф., & Костюченко, М. Н. (2020). Мониторинг физико-химических показателей качества хлебопекарной пшеничной муки высшего сорта. *Все о мясе, 55*, 246-248. https://doi.org/10.21323/2071–2499–2020–5S-246-248

Поландова, Р. Д., Дремучева, Г. Ф. & Карчевская, О. Е. (2009). Хлебопекарные свойства пшеничной муки, состояние, методы регулирования качества в производстве хлебобулочных изделий. *Аграрный вестник Юго-Востока, 3*, 8-10.

Cauvain, S. P. (2012). *Breadmaking: Improving quality* (2nd ed.). Woodhead publishing.

Hosney, R. C. (2012). (1994). *Principles of cereal science and technology*. St. Paul Minnesota: American Association of Cereal Chemists.

[15] ГОСТ 27560-87. (2007). Мука и отруби. Метод определения крупности. М.: Стандартинформ.

The Results of Studies of the Baking Properties of Wheat Flour Using a Rheofermentometer

Galina F. Dremucheva
Federal State Autonomous Scientific Institution
" Scientific Research Institute of the Bakery Industry "
26A/1, Bolshaya Cherkizovskaya str., Moscow, 107553, Russian Federation
E-mail: obishleb@yandex.ru

Marina V. Nosova
Federal State Autonomous Scientific Institution
" Scientific Research Institute of the Bakery Industry "
26A/1, Bolshaya Cherkizovskaya str., Moscow, 107553, Russian Federation
E-mail: m.nosova@gosniihp.ru

The gas-forming, gas-retaining abilities and rheological characteristics of the dough were determined using a rheofermentometer; water absorption and grinding fineness of 23 samples of wheat baking flour of the highest grade. It was found that the characteristics of the dough from the flour samples under study, determined on the rheofermentometer, are in a wide range of values, which indicates a noticeable difference in the quality of the flour samples under study. Approximately one third of the samples have increased or decreased grinding fineness. The analysis of the data obtained allows us to conclude about the inaccurate characteristics of the grain size of flour, determined by the legislatively adopted, but very simplified method, which does not provide identification of the mass fraction or ratios of flour particles of different dispersion. It is recommended to develop a new more informative method for determining the grain size of flour and, accordingly, the norms of this indicator.

Keywords: wheat flour baking of the highest grade, the fineness of grinding, the number of drops, the water absorption capacity of flour, the gas-forming and gas-retaining ability of the dough, the permeability of the dough

References

Anoshin, A. N., & Kozlova, A. V. (2004). Funktsional'nye svoistva muki dlya khleba i konditerskikh izdelii [Functional properties of flour for bread and confectionery]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya* [*Storage and Processing of Farm Products*], *1*, 54-56.

Begeulov, M. Sh. (2003). Khlebopekarnye svoistva pshenichnoi muki [Baking properties of wheat flour]. *Khleboprodukty* [*Bread Products*], *4*, 22-23.

Chernykh, V. Ya. (2019). *Regulirovanie sakharoobrazuyushchei sposobnosti khlebopekarnoi muki* [*Regulation of the sugar-forming ability of bread flour*]. Moscow: Buki Vedi.

Dremucheva, G. F. (2012). Otsenka kachestva pshenichnoi muki, problemy i resheniya [Wheat flour quality assessment, problems and solutions]. In *Materialy dokladov Pyatogo Mezhdunarodnogo Khlebopekarnogo Foruma* [*Materials of reports of the Fifth International Bakery Forum*] (pp. 34-35). Moscow: Pishchepromizdat.

Dremucheva, G. F., & Nosova, M. V. (2019). Tekhnologicheskaya effektivnost' kompleksnykh khlebopekarnykh uluchshitelei, razrabotannykh na baze otechestvennykh fermentnykh preparatov, v proizvodstve khlebobulochnykh izdelii iz pshenichnoi muki s razlichnymi khlebopekarnymi svoistvami [Technological efficiency of complex bakery improvers, developed on the basis of domestic enzyme preparations, in the production of bakery products from wheat flour with various baking properties]. *Khlebopechenie Rossii* [*Bakery in Russia*], *3*, 12-16.

Dremucheva, G. F., Karchevskaya, O. E., & Chubenko, N. T. (2012). Real'naya informativnost' metodov otsenki khlebopekarnykh svoistv pshenichnoi muki [The real informativeness of methods for assessing the baking properties of wheat flour]. *Khlebopechenie Rossii* [*Bakery in Russia*], *5*, 18-21.

Grabovets, A. I., & Fomenko, M. A. (2007). *Ozimaya pshenitsa* [*Winter wheat*]. Rostov-na-Donu: Yug.

Il'ina, O. A. (2004). Problemy upravleniya kachestvom khleba, muki i zerna [Problems of quality management of bread, flour and grain]. *Pishchevaya promyshlennost'* [*Food Industry*], *12*, 46-48.

Kondrat'ev, I. A. (2002). Ispol'zovanie fermentnykh preparatov na mukomol'nykh zavodakh [The use of enzyme preparations in flour mills]. *Khleboprodukty* [*Bread Products*], *6*, 26-28.

Kosovan, A. P., & Dremucheva, G. F. (2003). Primenenie khlebopekarnykh uluchshitelei dlya regulirovaniya kachestva muki [The use of baking improvers to regulate the quality of flour]. *Pishchevaya promyshlennost'* [*Food Industry*], *12*, 44-45.

Kostyuchenko, M. N., Dremucheva, G. F., Nosova, M. V., & Nevskaya, E. V. (2020). Reologicheskie svoistva muki pshenichnoi khlebopekarnoi vysshego sorta, postavlyaemoi na khlebopekarnye predpriyatiya RF [Rheological properties of wheat baking flour of the highest grade supplied to baking enterprises of the Russian Federation]. *Khlebopechenie Rossii* [*Bakery of Russia*], *4*, 29-32. https://doi.org/10.37443/2073-3569-2020-1-4-29-32

Kozlovskii, A. A. (2004a). *Povyshenie khlebopekarnykh svoistv muki* [*Improving the baking properties of flour*]. *Khleboprodukty* [*Bread Products*], *5*, 20-21.

Kozlovskii, A. A. (2004b). Uluchshenie muki: Ot mini-mel'nitsy do kholdinga [Flour improvement: From mini-mill to holding]. *Khleboprodukty* [*Bread Products*], *4*, 28-29.

Kul'p, K., & Bryummer, Yu. (2005). *Proizvodstvo izdelii iz zamorozhennogo testa* [*Production of frozen dough products*]. S-Petersburg: Professiya.

Mart'yanova, A. I., & Meleshkina, E. P. (2003). Problema kachestva rossiiskogo zerna i khlebopekarnoi muki. Puti ikh resheniya [The problem of the quality of Russian grain and baking flour. Ways to solve them]. *Khleboprodukty* [*Bread Products*], *9*, 32-33.

Matveeva, I. V., & Belyavskaya, I. G. (2000). *Pishchevye dobavki i khlebopekarnye uluchshiteli v proizvodstve muchnykh izdelii* [*Food additives and baking improvers in the production of flour products*]. Moscow: Izdatel'skii kompleks MGUPP.

Meleshkina, E. P. (2006). *Razvitie sistemy otsenki khlebopekarnykh svoistv zerna pshenitsy pri ego proizvodstve i pererabotke* [*Development of a system for assessing the baking properties of wheat grain during its production and processing*] [Doctoral Dissertation, Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut zerna i produktov ego pererabotki Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk]. Moscow, Rossiya.

Meleshkina, E. P. (2016). O novykh podkhodakh k kachestvu pshenichnoi muki [On new approaches to the quality of wheat flour]. *Kontrol' kachestva produktsii* [*Product quality control*], *11*, 13-18.

Nosova, M. V., Dremucheva, G. F., & Kostyuchenko, M. N. (2020). Monitoring fiziko-khimicheskikh pokazatelei kachestva khlebopekarnoi pshenichnoi muki vysshego sorta [Monitoring of physical and chemical indicators of the quality of bakery wheat flour of the highest grade]. *Vse o myase* [*All about Meat*], *55*, 246-248. https://doi.org/10.21323/2071–2499–2020–5S-246-248

Nosova, M. V., Dremucheva, G. F., & Kostyuchenko, M. N. (2020). Monitoring fiziko-khimicheskikh pokazatelei kachestva khlebopekarnoi pshenichnoi muki vysshego sorta [Monitoring of physico-chemical quality indicators of baking wheat flour of the highest grade]. *Vse o myase* [*All about meat*], *55*, 246-248. https://doi.org/10.21323/2071–2499–2020–5S-246-248

Pankratov, G. N. (2015). Granulometricheskii sostav produktov razmola [Granulometric composition of grinding products]. *Khleboprodukty* [*Bakery products*], *5*, 46-49.

Polandova, R. D., Dremucheva, G. F. & Karchevskaya, O. E. (2009). Khlebopekarnye svoistva pshenichnoi muki, sostoyanie, metody regulirovaniya kachestva v proizvodstve khlebobulochnykh izdelii [Baking properties of wheat flour, condition, methods of quality control in the production of bakery products]. *Agrarnyi vestnik Yugo-Vostoka* [*Agrarian Bulletin of the South-East*], *3*, 8-10.

Puchkova, L. I., Polandova, R. D., & Matveeva, I. V. (2005). *Tekhnologiya khleba, konditerskikh i makaronnykh izdelii* [*Bread, pastry and pasta technology*] (vol. 1, 2nd ed.). S-Petersburg: GIORD.

Urlapova, I. B. (2004). *Vliyanie granulometricheskogo sostava na kachestvo pshenichnoi khlebopekarnoi muki* [*Influence of granulometric composition on the quality of wheat bakery flour*] [Candidate Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv]. Moscow, Rossiya.

Cauvain, S. P. (2012). *Breadmaking: Improving quality* (2nd ed.). Woodhead publishing.

Hosney, R. C. (2012). (1994). *Principles of cereal science and technology*. St. Paul Minnesota: American Association of Cereal Chemists.

УДК 577.114:581.192 https://doi.org/10.36107/spfp.2021.247

Исследование и идентификация пектиновых веществ дикорастущих плодов облепихи (*Hippophae rhamnoides L.*)

Фарзалиев Эльсевар Баба оглы
Азербайджанский государственный экономический университет
Адрес: 1065, Азербайджанская Республика, г. Баку, ул. Муртаза Мухтарова, д.194
E-mail: elsevar60@rambler.ru

Голубев Владимир Николаевич
Институт агропищевых технологий
Адрес: 17072 Жирона, Испания, Плаза Сант Доминос, д. 3
E-mail: vlgolubev@hotmail.com

Цыганова Татьяна Борисовна
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 120080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
E-mail: ztatianaz@yandex.ru

В данной статье рассматриваются вопросы использования дикорастущего растительного сырья, в частности, облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides L.)*, произрастающей в Азербайджанской Республике как перспективного источника пектиновых веществ. Представлены результаты исследования процессов экстракции и очистки полисахаридов из вторичных отходов переработки плодов облепихи и приведены сведения о идентификации пектиновых веществ физико-химическими методами. Проведенная идентификация выделенных пектиновых веществ с использованием физико-химических методов -элементарный анализ, ИК- и ЯМР-спектроскопия, позволила определить, что пектин из плодов дикорастущей облепихи, представляет собой смесь линейных и высокоразветвленных полимеров, преимущественно высоко-молекулярных, α-D-галактуронана и других полисахаридов, в макромолекулы которых входят остатки галактуроновой кислоты и нейтральные сахара. Установлено, что по степени этерификации облепиховый пектин относится к низкоэтерифицированному пектину, при этом имеет достаточно высокую молекулярную массу, а содержание свободных карбоксильных групп обеспечивает высокую комплексообразующую способность облепихового пектина к ионам свинца, что позволяет рекомендовать его для включения в рецептуры пищевых продуктов для здорового питания.

Ключевые слова: облепиха крушиновидная, пектиновые вещества, растительные полисахариды, строение и структура пектиновых веществ, идентификация

Введение

Растительные материалы являются ценным природным сырьем. используемым в повседневной жизни как пищевые продукты, пищевые добавки, ароматические компоненты, фармацевтические препараты и т.д. Большую и важную задачу представляют исследования местных дикорастущих растительных объектов с целью их рационального использования и вовлечения в производство органических пищевых ингредиентов при создании функциональных продуктов питания (Фарзалиев & Голубев, 2021; Бобренева, 2019; Апалькова & Попова, 2019; Лисицин, Чернуха, & Лунина, 2018). Среди многообразия дикорастущих растений\, произрастающих на территории Азербайджана выделяется облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides L.)*, дающая стабильно высокий урожай плодов (ежегодный потенциал заготовок плодов превышает 3 000 т), которая не только один из красивейших компонентов ландшафтов республики, имеющая обширный ареал произрастания, но и ценное пищевое, витаминное и лекарственное растение, экстракты и другие продукты переработки плодов которой обладают высокой антиоксидантной, антибактериальной, антиканцерогенной и противорадиационной активностью

(Асадов, 2011). Поэтому создание комплексной технологии переработки плодов дикорастущей облепихи с целью получения функциональных пищевых ингредиентов высокой технологической и пищевой ценностью является актуальным направлением. Плоды дикорастущей облепихи по количественному и качественному содержанию биологически активных веществ и их воздействию на физиологические функции организма человека являются уникальным сырьевым ресурсом (Гнусарева & Голубев, 2001; Трофимов, 1988).

В последние годы в мире возрос интерес к пищевым продуктам, обогащенным биологически активными компонентами, которые обеспечивают нормальное функционирование организма человека, повышают его устойчивость к вирусным заболеваниям, стрессам, негативным воздействиям окружающей среды и продлевают жизнь (Farzaliev & Golubev, 2020). Поэтому актуальным является создание новых технологий по производству функциональных пищевых ингредиентов природного происхождения, обладающих комплексом физиологических и технологических функций. Среди множества изученных природных химических компонентов растительного сырья наибольший интерес представляют растительные полисахариды, в частности, пектиновые вещества (Голубев & Шелухина,1995; Донченко & Фирсов, 2007). Пектиновые вещества (пектины) включают протопектин, пектиновые полисахариды и сопутствующие арабинаны, галактаны и арабиногалактаны, имеющие, как правило, сложную химическую структуру и строение[1]. Пектиновые вещества представляют собой многокомпонентное семейство сложных растительных полисахаридов, которые составляют функционально важную часть первичных клеточных стенок вместе с целлюлозой и гемицеллюлозой, обеспечивают прочность растительных клеток, устойчивость растений к засухе и низким температурам, обеспечивают водно-солевой обмен, характеризуются высокой гелеобразующей способностью и играют важную роль в питании человека как компоненты «пищевых волокон» (Оводов, 2009). Кроме того, пектины обладают широким спектром физиологической активности, в том числе иммуномодулирующим и гастропротективным действием, являются неотъемлемой частью пищи человека на всех этапах его эволюционного развития, что обусловило практически идеальную адаптацию к ним человеческого организма (Torkova, et al., 2018; Kertes, 1951; Visser & Voragen, 1996).

В дикорастущих формах облепихи в зависимости от климатических условий произрастания отмечается значительное различие в химическом составе плодов, в том числе и по содержанию пектиновых веществ (Асадов, 2011), поэтому для научного обоснования комплексной технологии переработки плодов облепихи необходимо проведение системных исследований по структуре и свойствам пектиновых веществ.

Цель работы. Исследование и идентификация пектиновых веществ, выделенных из вторичных отходов переработки плодов дикорастущей облепихи, произрастающей в Азербайджане.

Объектами исследования являлись свежие выжимки плодов облепихи, которые образуются после выделения сока и извлечения семян плодов. Ранее нами был изучен полный химический состав плодов облепихи, собранной в период сентябрь-ноябрь 2019 года в Бабекском административном районе Азербайджана, в том числе и углеводный профиль плодов (Farzaliev & Golubev, 2021a; Farzaliev & Golubev, 2021b), показывающий содержание 10.32 % (на абсолютно сухую массу) пектиновых веществ в виде водорастворимой формы (гидропектин) и протопектиновой фракции. Эти данные свидетельствуют о том, что вторичные отходы переработки плодов облепихи можно использовать для промышленной переработки с целью получения пектина и пектинопродуктов.

Методы и материалы исследований

Материалы

Для получения пектиновых веществ использовали свежеполученные выжимки плодов дикорастущей облепихи.

Процедура исследования

Выжимки плодов измельчали их до размеров 2-3 мм для проведения процессов экстрагирования в равных условиях для всей растительной массы и сам процесс экстрагирования проводили при следующих параметрах: гидромодуль 5:1 – (деионизированная вода : выжимки); индекс кавитации 0.6; температура -65 °С, продолжительность процесса -20 мин. На выходе получали порошок молочно-бело-бежевого цвета ахроматического вида

[1] Пектины из нетрадиционных источников: Технология, структура, свойства и биологическая ценность: Коллективная монография. (2011). Казань: Печать-Сервис XXI век.

без поглощений в диапазоне 400-700 nm с параметрами L*=90-92, a* = (-3.7) – (-1), b* = (+2)-(+15) бесцветного как в растворенном виде, так и в гелях и эмульсиях.

Методы и инструменты

Весь технологический процесс проводили согласно отработанной стандартной процедуры применения кавитационно-мембранной технологии извлечения пектиновых веществ (Голубев, 1995). Для идентификации выделенных пектиновых веществ использовали элементный микроанализ; ИК-спектры на ИК-Фурье спектрометре марки Impact 410 "Nicolet"(Щвейцария) в диапазоне волновых чисел 400-4000 $см^{-1}$ в таблетках KBr и в виде пленок со спектральным разрешением 2 $см^{-1}$; спектры ЯМР ^{1}H и ^{13}C на приборе Bruker Avantes (Германия). Оптическое вращение определяли на приборе Perkin-Elmer 141(USA) в воде при температуре 20 °С. Сорбционную способность пектиновых веществ по отношению к ионам свинца определяли методом комплексонометрического титрования (прием обратного титрования) (Компанцев, Кайшева, & Гокжаева, 1991).

Анализ данных

Оценку результатов экспериментальных исследований проводили с помощью пакетов прикладных программ Microsoft Office Excel 2013 (Microsoft) и компьютерных программ VinLab32 (Perkin Elmer).

Результаты и их обсуждение

Современные тенденции развития технологии пектиновых веществ предусматривают не только экономические аспекты, но и экологические, связанные как с уменьшением выброса в окружающую среду вредных химических веществ, так и с созданием благоприятных условий труда. Другим важным аспектом технологического усовершенствования процессов получения пектиновых веществ является интенсификация отдельных ресурсоопределяющих стадий. Одним из эффективных технологических решений является использование метода гидроакустической обработки пектинсодержащего сырья в роторно-кавитационных экстракторах (Golubev, 1996). Кавитационная обработка водного экстрагента изменяет его физико-химические свойства, увеличивает pH воды, способствуя ее активации, в результате такой обработки вода временно становится активным растворителем с кислотными свойствами без введения химических реагентов (Соснина и др., 1999). В экстракторе роторно-кавитационного типа в оптимальных условиях одновременно протекают процессы измельчения пектинсодержащего сырья (площадь твердой фазы увеличивается в 60-75 раз), гидролиза протопектиновой (водонерастворимой) фракции пектиновых веществ и собственно экстрагирование (диффундирование) пектиновых веществ в водную фазу. Другим важным технологическим приемом, позволяющим сохранять нативность пектиновых биомолекул, является использование мембранных процессов для очистки их от балластных веществ и концентрирования, поскольку эти процессы проходят при температуре окружающей среды и без фазовых переходов (Брок, 1987; Горячий & Свитцов, 2006).

Микроанализ выделенных пектиновых веществ из выжимок дикорастущей облепихи показал следующие химические параметры: С-28%, Н-42%, О- 24%, что отвечает брутто формуле $C_{14}H_{21}O_{12}$, т.е. это действительно чистый пектин (Изтелеу, Азимбаева, Кудайбергенова, & Бутин, 2016).

Полученный пектин из дикорастущей облепихи был протестирован по физико-химическим характеристикам, согласно ФС 9000-69-5[2] и полученные данные приведены в Таблице 1.

Таблица 1
Физико-химические характеристики облепихового пектина

Показатели	Величина, %
Свободные карбоксильные группы	21.80
Этерифицированные карбонильные группы	7.15
Степень этерификации	28.80
Уронидная составляющая	74.45
Ацетильные группы	1.12
Метоксильные группы	8.14
Молекулярная масса , Da	42 x10^3
pH 1%-ного раствора	3.25
Крепость желе, кПа	70.68

По степени этерификации полученный пектин относится к группе низкоэтерифицированных пектинов, а по достаточно высокому содержанию свободных карбоксильных групп (21.80%) он должен иметь высокую комплексообразующую способность. Подтверждением этого

[2] ФС 9000-69-5. (2009). Пектин. Фармакопея США. В Национальный формуляр *NF 24* (с. 1325-133). М.: ГЭОТАР-Медиа.

являются результаты, полученные в ходе исследований : комплексообразующая способность пектина облепихи по отношению к ионам Pb^{2+} составила 284.5 мг Pb/г , что может служить основой для создания функциональных продуктов с высоким антидотовым потенциалом по отношению к тяжелым металлам и радионуклеидам (Новосельская & Воропаева, 2000; Истомин & Пилат, 2009).

Для идентификации полученных пектиновых веществ были сняты ИК-Фурье спектры и ЯМР спектры ^{1}H и ^{13}C. Данные результаты приведены на Рисунках 2-1.

Красная линия для пектина в таблетках KBr, синяя линия - пектиновая пленка

При детальном рассмотрении ИК-спектров можно сделать вывод, что облепиховый пектин содержит большое количество галактуроновой кислоты (интенсивные полосы поглощения в области 1010-1150 $см^{-1}$). Полоса в районе 1374 $см^{-1}$ обусловлена деформационными колебаниями С-Н групп пиранозного кольца, а в области 1610-1740 $см^{-1}$ наблюдаются полосы поглощения, свидетельствующие о наличии свободных карбоксильных групп. Имеющиеся полосы колебаний CH_3 -групп указывают на частичную этерификацию карбоксилов. Отнесение полос в экспериментальных ИК-спектрах поглощения облепихового пектина представлены в Таблице 2 на основании сопоставления полос поглощения с данными базы спектральных данных NIST (ASTM) (Прудников, Витюк, & Агафонов, 2018).

Таблица 2

Отнесение полос в ИК-спектрах поглощения

Полоса, $см^{-1}$	Преимущественные типы колебаний
3245-3510	$\nu(OH)_C$, $\nu(H_2O)$
2919	$\nu(CH)$
1742	$\nu(C{=}O)_E$
1628	
1445	$\delta_{as}(CH_3)_E$
1374	$\delta_s(CH)_E$
1315	$\delta(CH)_E$
1268	
1146	$\nu(C{-}O{-}C)$
1099	$\nu,\delta\ (C{-}OH)_C$, $\nu(C{-}C, C{-}O)_K$
1021	$\nu(C{-}C, C{-}O)_K$
921	$\gamma(OH)_C$
835	$\rho(CH_3)_E$
510-795	Пульсационные колебания пиранозных колец

На Рисунке 2 приведена информация, полученная при ЯМР-исследовании образца облепихового пектина, подтверждающая высокую чистоту полученного пектина. Возможные предположения о структурных особенностях пектина, полученные математической обработкой данных ЯМР спектроскопии показаны на Рисунках 2-3.

В протонном спектре образца в области сильного поля (δ =0.97-1.47; δ = 1.47-1.73 м.д.) наб-

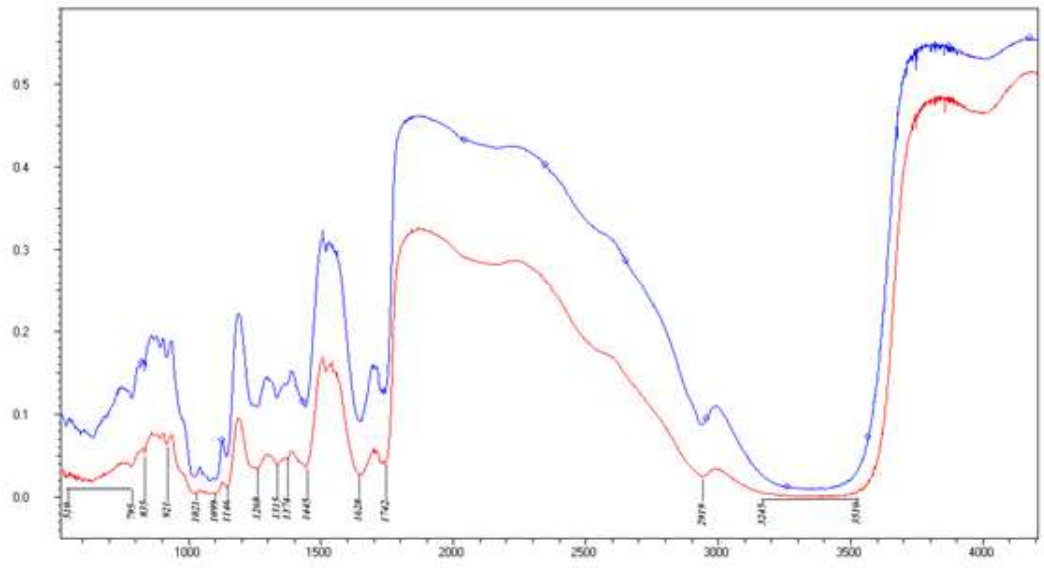
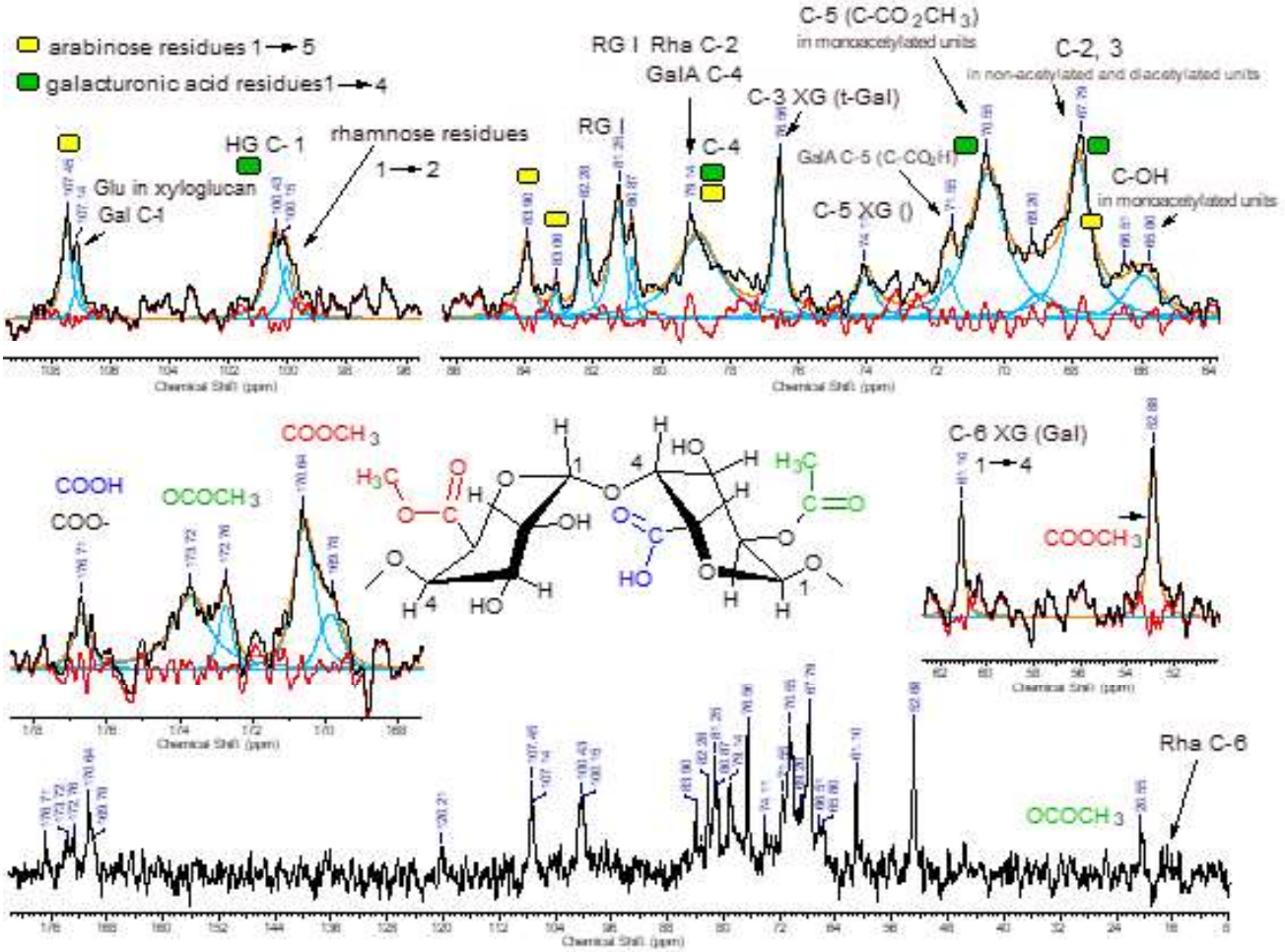
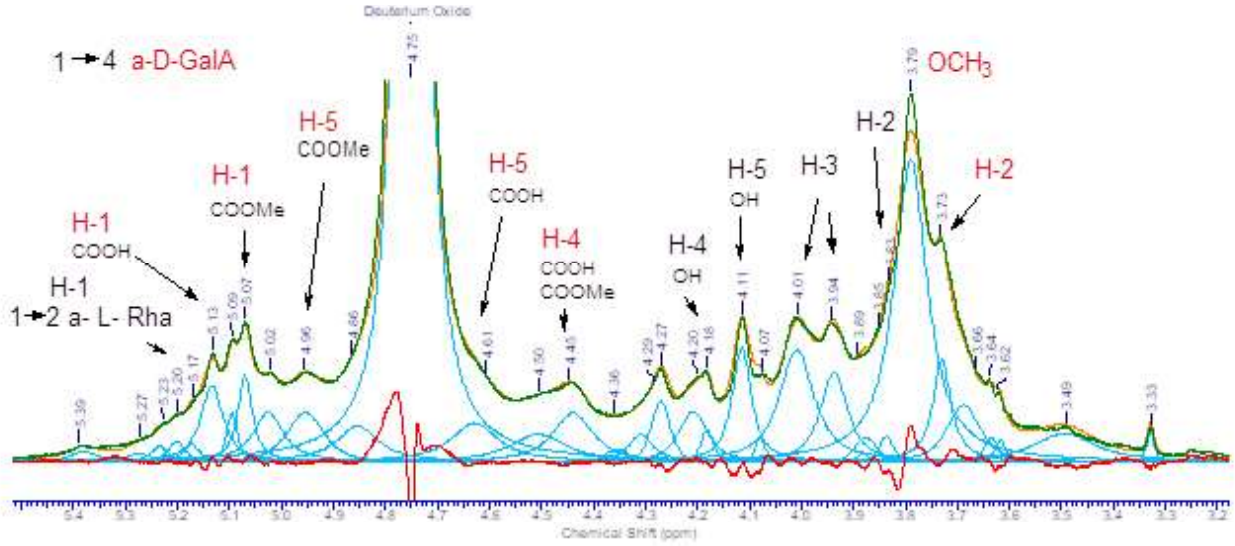


Рисунок 1. ИК-спектры образцов облепихового пектина

людается проявление сигналов СН-групп, находящихся в положении 4. Протоны атома углерода положения 1 пиранозного цикла резонируют при 3.94-3.38 м.д., а химические сдвиги 3.48-3.59 м.д. относятся к протонам углерода в положении 2 и 3 галактопиранозилуронового фрагмента. Для метоксильной и карбоксильной групп свойственно проявление сигналов при 3.67 и 3.91 м.д соответственно. Анализ спектра ЯМР на ядрах ^{13}C показал наличие в структуре



Czech J. Food Sci. Vol.21, No. 1: 00– 00
Plant Physiol. Vol. 168 , 2015



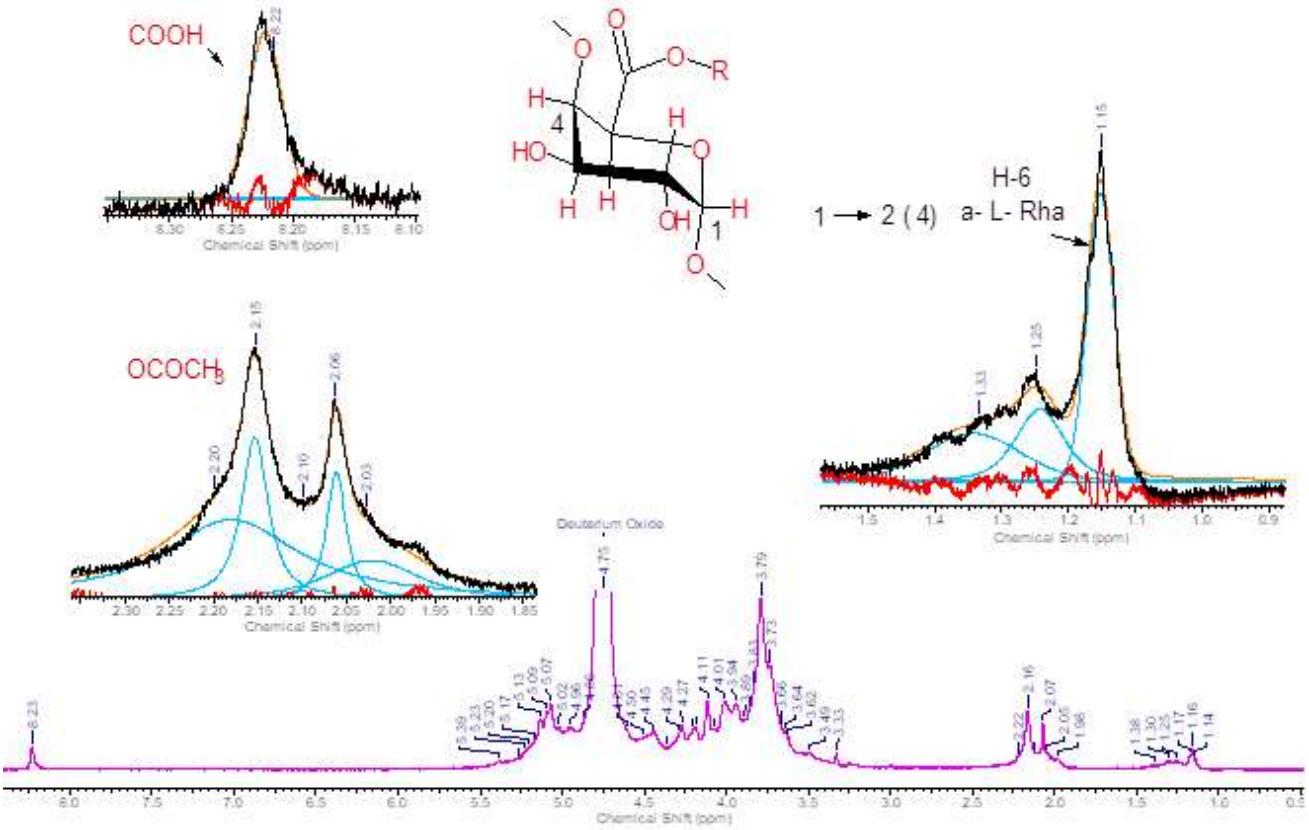


Рисунок 2. ЯМР-спектры облепихового пектина и их математическая обработка и интерпретация

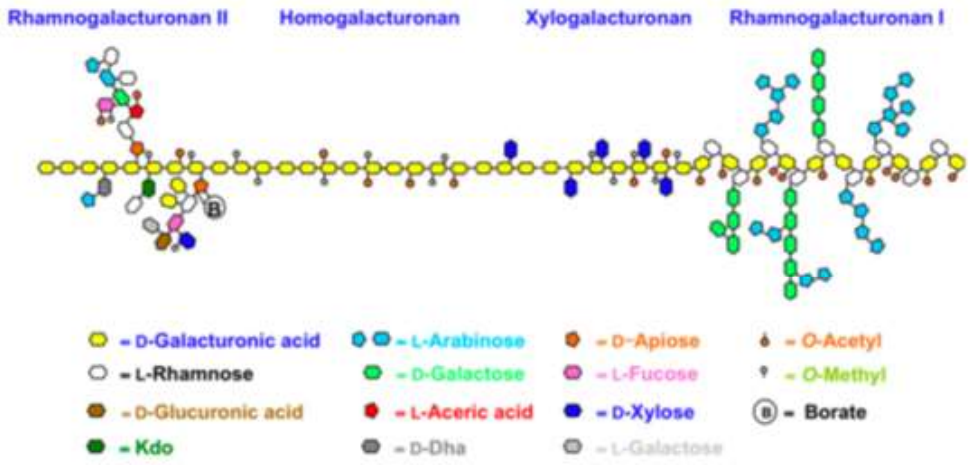


Рисунок 3. Предположительная структура облепихового пектина

карбоксильной (δ = 103.03 -103.64 м.д.), метоксильной (δ = 57.40 м.д.) и метиновой групп. Атомы углерода, находящиеся в положении 1 пиранозного фрагмента, дают сигнал в области сильного поля при 63.78, 72.50 и 77.65 м.д. Для 2 и 3 атомов углерода характерно проявление при 77.33, 81.01 и 76.92 м.д. Углерод положения 4, участвующий в соединении пиранозных фрагментов кислородным мостиком, резонирует при 44.05, 40.44 м.д.

Можно видеть, что в спектрах ЯМР отчетливо проявляется удвоение группы сигналов, что говорит в пользу преобладания двух разных участков полимерной молекулы пектина (Рисунок 3), а структура олигосахаридных фракций, исходя из

полученных данных, однозначно представляет собой α -1,4-D-глюканы (Perez, Mazeau, & Herve du Penhoat, 2000; Оводова, Головченко, & Попов, 2010).

Обилие сигналов карбонильной группы указывает на весьма сложную и неоднородную структуру пектина, который имеет достаточно разветвленное строение. Наличие большого числа сигналов в области ацетального углерода указывает также на присутствие значительного количества нейтральных сахаров, в основном, рамнозы и галактозы (Цепаева, 2000).

На основании полученных и литературных данных (Round, Rigby, MacDougal, & Morris, 2010; Kirby, MacDougal, & Morris, 2008; Farsaliev & Golubev, 2021b; Цыганова & Классина, 2016) можно заключить, что пектин из плодов дикорастущей облепихи является низкоэтерифицированным и представляет собой смесь линейных и высокоразветвленных полимеров, преимущественно высокомолекулярных, α-D-галактуронана и других полисахаридов, в макромолекулы которых входят остатки галактуроновой кислоты и нейтральные сахара и может быть использован в составе продуктов здорового питания. В пектиновых фракциях, полученных из клеточных стенок зеленых томатов и сахарной свеклы (Kirby, MacDougal, & Morris, 2008) также было подтверждено существование пектиновых веществ в виде мультиполимерного комплекса, в котором отдельные компоненты связаны межмолекулярными взаимодействиями. При этом структура RG-1 (Rhamnogalacturanan I) разветвленной области пектиновых полисахаридов достаточно консервативна для различных видов растений.

Выводы

В оптимальных технологических условиях получены образцы пектиновых веществ из выжимок плодов дикорастущей крушиновидной облепихи Азербайджана, исследованы их физико-химические характеристики.

Проведена идентификация выделенных пектиновых веществ с использованием физико-химических методов -элементарный анализ, ИК- и ЯМР-спектроскопия, позволяющая определить, что пектин из плодов дикорастущей облепихи Азербайджана является низкоэтерифицированным, представляет собой смесь линейных и высокоразветвленных полимеров, преимущественно высокомолекулярных, α-D-галактуронана и других полисахаридов, в макромолекулы которых входят остатки галактуроновой кислоты и нейтральные сахара.

Установлена высокая комплексообразующая способность полученного пектина по отношению к ионам свинца, что позволяет рекомендовать его использовать в качестве активного ингредиента при разработке обогащенной и специализированной продукции для здорового питания.

Литература

Апалькова, Г. Д., & Попова, Н. В. (2019). Актуальные направления национальной стандартизации в современных условиях индустрии инжиниринга новых продуктов питания функциональтного и специализированного назначения. *Вестник ЮУрГу. Актуальные проблемы развития пищевых и биотехнологий, 7*(3), 5-12. https://doi.org/10.14529/food190301

Асадов, К. С. оглы (2011). *Дикорастущие плодовые растения Азербайджана, их биоэкологические особенности и рациональное использование* [Докторская диссертация, Национальная академия наук Азербайджана]. Баку, Азербайджан.

Бобренева, И. В. (2019). *Функциональные продукты питания и их разработка*. М.: Лань.

Брок, Т. (1987). *Мембранная фильтрация*. М.: Мир.

Гнусарева, Р. С., & Голубев, В. Н. (2001). Технология производства продуктов функционального назначения на основе полуфабрикатов из плодов дикорастущей облепихи. В *Функциональные продукты питания: Материалы Международной конференции* (с. 71-73). Краснодар: ВИНИТИ.

Голубев, В. Н., & Шелухина, Н. П. (1995). *Пектин: Химия, технология, применение*. М.: Академия Пресс.

Горячий, Н. В., & Свитцов, А. А. (2006). Использование мембранной технологии в производстве пектина. *Критические технологии. Мембраны*, *1*, 34-37.

Донченко, Л. В., & Фирсов, Г. Г. (2007). *Пектин: Основные свойства, производство и применение.* М.: ДеЛи принт.

Изтелеу, Б. М., Азимбаева, Г. Н., Кудайбергенова, Г. Н., & Бутин, Б. М. (2016). Исследование и идентификация пектиновых веществ выделенных из клубней топинамбура. *Международный журнал экспериментального образования. Химические науки*, *3*, 269-274.

Истомин, А. В., & Пилат, Т. П. (2009). Г*игиенические аспекты использования пектинов и пектиновых веществ в лечебно-профилактическом питании.* М.: Научное издание.

Компанцев, В. А., Кайшева, Н. Ш., & Гокжаева, Л. П. (1991). Определение комплексообразующей способности пектинов и пектиносодержащих препаратов. *Охрана окружающей среды*, *3*, 25-29.

Лисицын, А. Б.,Чернуха, И. М., & Лунина, О. И. (2018). Современные тенденции развития индустрии функциональных пищевых продуктов в России и за рубежом. *Теория и практика переработки мяса*, *3*(1), 29-45. https://doi.org/10.21323/2414-438X-2018-3-1-29-45

Новосельская, И. Л., & Воропаева, Н. Л. (2000). Пектин. Тенденция научных и прикладных исследований. *Химия природных соединений*, *1*, 3-11.

Оводов, Ю. С. (2009). Современные представления о пектиновых веществах. *Биоорганическая химия*, *35*(3), 293-310.

Оводова, Р. Г., Головченко, В. В., & Попов, С. В. (2010). Новейшие сведения о пектиновых полисахаридах. *Известия Коми научного центра УРО РАН. Биологические науки*, *1*, 1-9.

Прудников, С. М., Витюк, Б. Я., & Агафонов, О. С. (2018). Разработка метрологического обеспечения для количественных ЯМР-анализаторов. *Стандартные образцы*, *14*(1-2), 39-48. https://doi.org/10.20915/2077-1177-2018-14-1-2-39-48

Соснина, И. А., Миронов, В. Ф., Коновалов, В. И., Михалкина, Г. С., Смоленцев, А. В., Лапин, А. А., Федоров, А. Д., & Харитонов, В. Д. (1999). Экстрагирование пектиновых веществ амаранта в суперкавитирующем аппарате роторно-пульсационного типа. *Хранение и переработка сельхозсырья, 6*, 32-35.

Трофимов, Т. Т. (1988). *Облепиха*. М.: Изд-во МГУ.

Фарзалиев, Э., & Голубев, В. Н. (2021). Дикороссы Азербайджана перспективное сырье для создания органических продуктов питания. *Аграрная наука Азербайджана*, *1*, 229-231.

Цепаева, О. В. (2000). *Выделение, структурная идентификация и химическая модификация пектиновых веществ растения амарант и некоторых модельных соединений* [Кандидатская диссертация, Институт органической и физической химии им. А. Е. Арбузова]. Казань, Россия.

Цыганова, Т. Б., & Классина, С. Я. (2016). Теория функциональных систем как методологическая основа концепции функционального питания человека. *Тюменский медицинский журнал*, *3*, 3-8.

Farzaliev, E., & Golubev, V. (2020). The role of biokibernetics in the human immunological system. In *Economic and Social Developtment: Proceeding 55th International Science Conference* (vol. 1, pp. 165-168). Baku.

Farzaliev, E., & Golubev, V. (2021). Innovative potential of pectin substances in the structure of functional food products. In *3rd International Conference on Food, Agriculture and Veterinary,* (pp. 864-873), Izmir, Turkey.

Farzaliev, E., & Golubev, V. (2021). Теория функциональных систем как методический подход к созданию биопродуктов на основе дикорастущего сырья. In *Theory and Practice of Science: Key Aspects: Proceeding 55th International Science Conference* (pp. 1009-1014). Roma, Italy.

Golubev, V. (1996). Acoustic cavitation in food engineering. In *Proceeding 7th International Conference* (pp.174-180). Ultrasound, Copenhagen.

Kertes, Z. I. (1951). *The pectic substances*. London: Acad. Press.

Kirby, A. R., MacDougal, A. J., & Morris, V. J. (2008). Atomic force microscopy of tomato and sugar beet pectin molecules. *Carbohydrate Polymers, 71*(4), 640-647. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.07.014

Perez, S., Mazeau, K., & Herve du Penhoat, C. (2000). The three-dimensional structures of the pectin polysaccharides. *Plant Physiology and Biochemistry, 38*(1), 37-55. https://doi.org/10.1016/S0981-9428(00)00169-8

Round, A. N., Rigby, N. M., MacDougal, A. J., & Morris, V. J. (2010). A new view of pectin structure revealed by scid hydrolysis and atomic force microscopy. *Carbohydrate Research, 345*(4), 487-497. https://doi.org/10.1016/j.carres.2009.12.019

Torkova, A. A., Lisitskaya, K. V., Glazunova, O. A., Kachalova, G. S., Fedorova, T. V., Filimonov, & Golubev, V. N. (2018). Physicochemical and functional properties of Cucurbita maxima pumpkin pectin and commercial citrus and apple pectins: A comparative evaluation. *PLOS ONE, 13*(9), 1-24. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204261

Visser, J., & Voragen, A. (1996). *Pectins and pectinases*. Amsterdam: Elsevier Science.

Research and Identification of Pectin Substances of Wild Fruits of Sea Buckthorn (*Hippophae Rhamnoides L.*)

Elsevar Baba oglu Farzaliyev
Azerbaijan State Economic University
194, Murtaza Mukhtarova str., Baku, 1065, Republic of Azerbaijan
E-mail: elsevar60@rambler.ru

Vladimir N. Golubev
L Institut de Tecnogologia Agroalimentaria UdG
3, Plasa Sant Domines, Girona, 17072, Spain
E-mail: vlgolubev@hotmail.com

Tatyana B. Tsyganova
Moscow State University of Food Production
11, Volokolamsk highway, Moscow, 120080, Russian Federation
E-mail: ztatianaz@yandex.ru

This article discusses the use of wild-growing plant materials, in particular, sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides L.*), which grows in the Republic of Azerbaijan as a promising source of pectin. The results of the study of the processes of extraction and purification of polysaccharides from the secondary waste of sea buckthorn fruits processing are presented and information is given on the identification of pectin substances by physicochemical methods. The identification of isolated pectin substances using physicochemical methods - elemental analysis, IR and NMR spectroscopy, made it possible to determine that pectin from wild sea buckthorn fruits is a mixture of linear and highly branched polymers, mainly high molecular weight, α-D-galacturonan and other polysaccharides whose macromolecules include galacturonic acid residues and neutral sugars. It has been established that, according to the degree of esterification, sea buckthorn pectin belongs to low esterified pectin, while it has a fairly high molecular weight, and the content of free carboxyl groups provides a high complexing ability of sea buckthorn pectin to lead ions, which makes it possible to recommend it for inclusion in food formulations for a healthy diet.

Keywords: sea buckthorn, pectin substances, plant polysaccharides, structure and structure of pectin substances, identification

References

Apal'kova, G. D., & Popova, N. V. (2019). Aktual'nye napravleniya natsional'noi standartizatsii v sovremennykh usloviyakh industrii inzhiniringa novykh produktov pitaniya funktsional'tnogo i spetsializirovannogo naznacheniya [Actual directions of national standardization in modern conditions of the engineering industry of new food products for functional and specialized purposes]. *Vestnik YuUrGu. Aktual'nye problemy razvitiya pishchevykh i biotekhnologii* [*Bulletin of the South Ural State University. Actual Problems of the Development of Food and Biotechnology*], *7*(3), 5-12. https://doi.org/10.14529/food190301

Asadov, K. S. ogly (2011). *Dikorastushchie plodovye rasteniya Azerbaidzhana, ikh bioekologicheskie osobennosti i ratsional'noe ispol'zovanie* [*Wild fruit plants of Azerbaijan, their bio-ecological characteristics and rational use*] [Doctoral Dissertation, Natsional'naya akademiya nauk Azerbaidzhana]. Baku, Azerbaidzhan.

Bobreneva, I. V. (2019). *Funktsional'nye produkty pitaniya i ikh razrabotka* [*Functional foods and their development*]. Moscow: Lan'.

Brok, T. (1987). *Membrannaya fil'tratsiya* [*Membrane filtration*]. Moscow: Mir.

Donchenko, L. V., & Firsov, G. G. (2007). *Pektin: Osnovnye svoistva, proizvodstvo i primenenie* [*Pectin: Main properties, production and application*]. Moscow: DeLi print.

Farzaliev, E., & Golubev, V. (2020). The role of biokibernetics in the human immunological system. In *Economic and Social Developtment: Proceeding 55th International Science Conference* (vol. 1, pp. 165-168). Baku.

Farzaliev, E., & Golubev, V. (2021). Innovative potential of pectin substances in the structure of functional food products. In *3rd International Conference on Food, Agriculture and Veterinary* (pp. 864-873). Izmir, Turkey.

Farzaliev, E., & Golubev, V. (2021). Теория функциональных систем как методический подход к созданию биопродуктов на основе дикорастущего сырья. In *Theory and Practice of Science: Key Aspects: Proceeding 55th International Science Conference* (pp. 1009-1014). Roma, Italy.

Farzaliev, E., & Golubev, V. N. (2021). Dikorossy Azerbaidzhana perspektivnoe syr'e dlya sozdaniya organicheskikh produktov pitaniya [Wildcats of Azerbaijan are promising raw materials for creating organic food]. *Agrarnaya nauka Azerbaidzhana* [*Agrarian Science of Azerbaijan*]*, 1*, 229-231.

Gnusareva, R. S., & Golubev, V. N. (2001). Tekhnologiya proizvodstva produktov funktsional'nogo naznacheniya na osnove polufabrikatov iz plodov dikorastushchei oblepikhi [Technology for the production of functional products based on semi-finished products from the fruits of wild-growing sea buckthorn]. In *Funktsional'nye produkty pitaniya: Materialy Mezhdunarodnoi konferentsii* [*Functional Foods: Proceedings of the International Conference*] (pp. 71-73). Krasnodar: VINITI.

Golubev, V. (1996). Acoustic cavitation in food engineering. In *Proceeding 7th International Conference* (pp.174-180). Ultrasound, Copenhagen.

Golubev, V. N., & Shelukhina, N. P. (1995). *Pektin: Khimiya, tekhnologiya, primenenie* [*Pectin: Chemistry, technology, application*]. Moscow: Akademiya Press.

Goryachii, N. V., & Svittsov, A. A. (2006). Ispol'zovanie membrannoi tekhnologii v proizvodstve pektina [Using membrane technology in the production of pectin]. *Kriticheskie tekhnologii. Membrany* [*Critical technologies. Membranes*]*, 1*, 34-37.

Istomin, A. V., & Pilat, T. P. (2009). *Gigienicheskie aspekty ispol'zovaniya pektinov i pektinovykh veshchestv v lechebno-profilakticheskom pitanii* [*Hygienic aspects of the use of pectins and pectin substances in therapeutic and prophylactic nutrition*]. Moscow: Nauchnoe izdanie.

Izteleu, B. M., Azimbaeva, G. N., Kudaibergenova, G. N., & Butin, B. M. (2016). Issledovanie i identifikatsiya pektinovykh veshchestv vydelennykh iz klubnei topinambura [Research and identification of pectin substances isolated from Jerusalem artichoke tubers]. *Mezhdunarodnyi zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya. Khimicheskie nauki* [*International Journal of Experimental Education. Chemical sciences*]*, 3*, 269-274.

Kompantsev, V. A., Kaisheva, N. Sh., & Gokzhaeva, L. P. (1991). Opredelenie kompleksoobrazuyushchei sposobnosti pektinov i pektinosoderzhashchikh preparatov [Determination of the complexing ability of pectins and pectin-containing preparations]. *Okhrana okruzhayushchei sredy* [*Environmental Protection*]*, 3*, 25-29.

Lisitsyn, A. B.,Chernukha, I. M., & Lunina, O. I. (2018). Sovremennye tendentsii razvitiya industrii funktsional'nykh pishchevykh produktov v Rossii i za rubezhom [Modern trends in the development of the functional food industry in Russia and abroad]. *Teoriya i praktika pererabotki myasa* [*Theory and Practice of Meat Processing*]*, 3*(1), 29-45. https://doi.org/10.21323/2414-438X-2018-3-1-29-45

Novosel'skaya, I. L., & Voropaeva, N. L. (2000). Pektin. Tendentsiya nauchnykh i prikladnykh issledovanii [Pectin. Scientific and applied research trend]. *Khimiya prirodnykh soedinenii* [*Chemistry of Natural Compounds*]*, 1*, 3-11.

Ovodov, Yu. S. (2009). Sovremennye predstavleniya o pektinovykh veshchestvakh [Modern ideas about pectin substances]. *Bioorganicheskaya khimiya* [*Bioorganic Chemistry*]*, 35*(3), 293-310.

Ovodova, R. G., Golovchenko, V. V., & Popov, S. V. (2010). Noveishie svedeniya o pektinovykh polisakharidakh [The latest information on pectin polysaccharides]. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra URO RAN. Biologicheskie nauki* [*Izvestia of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Biological sciences*]*, 1*, 1-9.

Prudnikov, S. M., Vityuk, B. Ya., & Agafonov, O. S. (2018). Razrabotka metrologicheskogo obespecheniya dlya kolichestvennykh YaMR-analizatorov [Development of metrological support for quantitative NMR analyzers]. *Standartnye obraztsy* [*Standard Samples*]*, 14*(1-2), 39-48. https://doi.org/10.20915/2077-1177-2018-14-1-2-39-48

Sosnina, I. A., Mironov, V. F., Konovalov, V. I., Mikhalkina, G. S., Smolentsev, A. V., Lapin, A. A., Fedorov, A. D., & Kharitonov, V. D. (1999). Ekstragirovanie pektinovykh veshchestv amaranta v superkavitiruyushchem apparate rotorno-pul'satsionnogo tipa [Extraction of amaranth pectin substances in a rotary-pulsation supercavitating apparatus]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya* [*Storage and processing of Farm Products*]*, 6*, 32-35.

Torkova, A. A., Lisitskaya, K. V., Glazunova, O. A., Kachalova, G. S., Fedorova, T. V., Filimonov, & Golubev, V. N. (2018). Physicochemical and functional properties of Cucurbita maxima pumpkin pectin and commercial citrus and apple pectins: A comparative evaluation. *PLOS ONE, 13*(9), 1-24. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204261

Trofimov, T. T. (1988). *Oblepikha* [*Sea buckthorn*]. Moscow: MGU.

Tsepaeva, O. V. (2000). *Vydelenie, strukturnaya identifikatsiya i khimicheskaya modifikatsiya pektinovykh veshchestv rasteniya amarant i nekotorykh model'nykh soedinenii* [*Isolation, structural identification and*

chemical modification of pectin substances of the amaranth plant and some model compounds] [Candidate Dissertation, Institut organicheskoi i fizicheskoi khimii im. A. E. Arbuzova]. Kazan', Rossiya.

Tsyganova, T. B., & Klassina, S. Ya. (2016). Teoriya funktsional'nykh sistem kak metodologicheskaya osnova kontseptsii funktsional'nogo pitaniya cheloveka [The theory of functional systems as a methodological basis for the concept of functional human nutrition]. *Tyumenskii meditsinskii zhurnal* [*Tyumen Medical Journal*], *3*, 3-8.

Kertes, Z. I. (1951). *The pectic substances*. London: Acad. Press.

Kirby, A. R., MacDougal, A. J., & Morris, V. J. (2008). Atomic force microscopy of tomato and sugar beet pectin molecules. *Carbohydrate Polymers, 71*(4), 640-647. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.07.014

Perez, S., Mazeau, & K., Herve du Penhoat, C. (2000). The three-dimensional structures of the pectin polysaccharides. *Plant Physiology and Biochemistry, 38*(1), 37-55. https://doi.org/10.1016/S0981-9428(00)00169-8

Round, A. N., Rigby, N. M., MacDougal, A. J., & Morris, V. J. (2010). A new view of pectin structure revealed by scid hydrolysis and atomic force microscopy. *Carbohydrate Research, 345*(4), 487-497. https://doi.org/10.1016/j.carres.2009.12.019

Visser, J., Voragen, A. (1996). *Pectins and pectinases*. Amsterdam: Elsevier Science.

УДК 664.644.2:664.644 https://doi.org/10.36107/spfp.2021.202

Моделирование состава композиции хлебопекарного улучшителя направленного действия

Шмалько Наталья Анатольевна
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»
Адрес: 350072, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2, корп. «Г»
E-mail: kafedra-tith@yandex.ru

Моделирование состава композиции хлебопекарного улучшителя направленного действия является практической задачей специалистов отрасли хлебопекарного производства с целью прогнозирования качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. В основе метода моделирования положен принцип решения задачи регрессии посредством составления и реализации полного факторного эксперимента при изучении всех возможных комбинаций факторов с меньшей ошибкой, чем при традиционных методах исследования. Отбор компонентов, оказывающих наилучшее воздействие на совокупность показателей качества хлеба, с последующим составлением плана эксперимента моделирования рекомендуется осуществлять по результатам дисперсионного анализа серии пробных выпечек с вводом отдельных улучшителей и микроингредиентов. Важным этапом выполнения плана эксперимента является расчет программы оптимизации по линейному уравнению с целью определения оптимального сочетания компонентов в составе композиции хлебопекарного улучшителя. Дополнением к анализу может служить построение нейронных сетей для проведения регрессионного анализа с целью уточнения состава композиции хлебопекарного улучшителя. Комплексное решение задачи моделирования на основе априорной экспериментальной информации позволяет разработать рекомендации по совместному применению хлебопекарных улучшителей различной направленности и принципа действия.

Ключевые слова: моделирование, композиция, хлебопекарный улучшитель, планирование эксперимента, факторы, функция отклика

Введение

В современных условиях применение хлебопекарных улучшителей различной направленности и принципа действия является неотъемлемой составной частью технологий производства хлебобулочных изделий как средство прогнозирования и гарантирования их качества. Под термином «хлебопекарный улучшитель» понимается микроингредиент или комплексная добавка, которые самостоятельно в качестве пищевых продуктов не используются, не входят в обязательном порядке в состав рецептур хлебобулочных изделий, а применяются как вспомогательные технологические средства (Нечаев, 2006).

ГОСТ 32677-2014 «Изделия хлебобулочные. Термины и определения» (введ. 2015-05-01)[1] определяет хлебопекарный улучшитель как пищевую добавку, или комплексную пищевую добавку, или технологическое вспомогательное средство, улучшающие свойства теста и качество хлебобулочных изделий. В связи с этим, хлебопекарные улучшители в состав рецептур хлебобулочных изделий вносят в случае их технологической необходимости и целесообразности, что обусловливается постановкой производственной задачи переработки сырья с различными хлебопекарными свойствами; проведением планирования и организации производства высококачественной продукции; разработкой ассортиментной политики выпускаемой продукции; внедрением новых способов тестоприготовления, включая интенсивные ускоренные технологии, технологии на замороженных и охлажденных полуфабрикатах, технологии хлебобулочных изделий с длительными сроками хранения и т.п. (Косован & Дремучева, 2003а; Косован & Дремучева, 2003б).

По принципу действия хлебопекарные улучшители подразделяют на отдельные хлебопекарные улучшители строго направленного действия, мультэнзимные композиции и комплексные хлебопекарные улучшители (Шлеленко, Поландова, & Дремучева, 2001). В состав хлебопекарных улучшителей вводят улучшители окислительно-восстановительного дей-

[1] ГОСТ 32677-2014. (2015). Изделия хлебобулочные. Термины и определения. М.: Стандартинформ.

ствия (Карчевская & Дремучева, 2002); ферментные препараты (альфа-амилаза, мальтогенная амилаза, ксиланаза, липаза, фосфолипаза, протеаза, глюкозооксидаза) (Матвеева, 2003; Patel, Ng, Hawkins, Pitts, & Chakrabarti-Bell, 2012; Бобышев & Матвеева, 2014; Дремучева и др., 2017; Дремучева, Невский, Стрельникова, & Цурикова, 2017; Melis, Morales, & Delcour, 2019); модифицированные крахмалы (Китаевская, 2016); пищевые эмульгаторы или поверхностно-активные вещества (Moayedallaie, Mirzaei, & Paterson, 2012); сухую пшеничную клейковину (Зюзько, Коростова, & Бондаренко, 2011); добавки консервирующего действия (Травкина & Егорова, 2016) и другие пищевые добавки, разрешенные к использованию в хлебопекарном производстве.

Для решения практических задач научной школой отечественных ученых и исследователей разработаны теоретические основы формирования композиционных составов и применения отдельных и комплексных хлебопекарных улучшителей, различающихся в зависимости от следующих технологических факторов: переработки муки с пониженными хлебопекарными свойствами (при пониженном содержании клейковины, слабой или чрезмерно крепкой клейковиной, пониженной автолитической активностью) (Дремучева & Карчевская, 2000; Мартьянова & Мелешкина, 2002а; Мартьянова & Мелешкина, 2002б; Носова и др., 2019); ассортимента массовых сортов хлебобулочных изделий (хлеба из сортовой пшеничной муки, булочных, сдобных и слоеных хлебобулочных изделий и др.); предотвращения заболевания хлеба «картофельной болезнью»; способов тестоприготовления (для непрерывных технологий, ускоренных способов, дискретных технологий замороженных и охлажденных полуфабрикатов) (Косован & Дремучева, 2003б; Дремучева и др., 2017; Дремучева & Носова, 2019); способов замедления черствения и сохранения свежести хлебобулочными изделиями (Носова & Дремучева, 2020).

В зарубежной литературе обсуждаются вопросы влияния добавления экзогенных ферментных препаратов на активность эндогенных ферментов муки, замены химических улучшителей ферментами микробного происхождения, их комбинаций и эффектов (Dahiyaa et al, 2020). Составы композиций улучшителей направленного действия разрабатываются с учетом синергизма компонентов и отсутствия инактивирующего действия, сохранности их активности и технологического эффекта при длительном хранении, уточнении дисперсного состава, при выборе технологичности при дозировании и др. (Barrera, Tadini, León, & Ribotta, 2016; Lončar, Filipović, V. S., & Filipović, J. S., 2016; Bilyk, Bondarenko, Kochubei-Lytvynenko, Khalikova, & Fain, 2019; Matsushita et al, 2020).

Добавки, вводимые в состав композиции хлебопекарного улучшителя, выбирают исходя из его назначения. Для компонентов улучшителей, которых специалисты называют «активной частью» (за исключением эмульгаторов, сухой пшеничной клейковины, ферментативно-активного сырья, к которому относятся, в частности солод и соевая мука), дозировка колеблется в широких пределах (от десятитысячных до сотых долей процента от массы муки), основная же часть в улучшителях приходится на наполнители (Zhygunov, Mardar, & Kovalyova, 2018).

Количество «активной части» определяется преимущественно технологической эффективностью улучшителя, когда вводимый компонент ниже или выше какого-то количества не оказывает эффекта или ухудшает параметры. Однако часто довольно трудно с достоверностью установить конкретные причины, которыми в каждом отдельном случае обусловливается качество получаемых полуфабрикатов и готовой продукции (Awan, Pasha, & Huma, 2003). В связи с этим, рекомендуется осуществлять планирование эксперимента путем проведения рациональной организации измерений, подверженных случайным влияниям и направленных на оптимизацию решений задач эксперимента (Грачев & Плаксин, 2005; Ghorbel, Kamoun, Neifar, & Chaabouni, 2010).

В практике математического моделирования линейное приближение поверхности отклика может быть адекватно эксперименту только при небольших интервалах варьирования (Shivapour, Yousefi, Mahdi, Ardabili, & Weisany, 2020), что соответствует поставленной в хлебопекарном производстве задаче получения составов композиции комплексного улучшителя с заданным содержанием отдельных улучшителей и микроингредиентов. Планирование эксперимента для оптимизации состава композиции хлебопекарного улучшителя позволяет варьировать все факторы и получать количественные оценки основных эффектов и эффектов взаимодействия при определении изучаемых эффектов с меньшей ошибкой (Matsushita, Terayama, Goshima, Myoda, & Yamauchi, 2019).

В хлебопекарной промышленности рациональная организация измерений осуществляется посредством проведения серии пробных выпечек при варьировании состава рецептур с целью выявления оптимальной рецептуры, при выпечке которой получается продукт наивысшего качества. Пробная выпечка для сопоставления качества хлеба, получаемого при использовании различных ре-

цептур и технологических схем, проводится на одной и той же пробе муки при последовательном варьировании изучаемых факторов.

Поставленной в данном исследовании задаче изучения комплексного влияния улучшителей на качество хлеба соответствует выбор компонентов композиции, проявляющих свойства технологических средств интенсификации производственного процесса, регулирования реологических и бродильных свойств полуфабриката и улучшения органолептических и физико-химических показателей качества хлебобулочных изделий при переработке хлебопекарной муки с различными свойствами (МГУПП «Пищепромпродукт»[2]; Прейскурантиздат[3]).

Предметом изучения данного исследования явилось определение совместного сочетания факторов (предикторов) – дозировок компонентов в композиции хлебопекарного улучшителя направленного действия с целью оптимизации отклика (объемного выхода хлеба) путем расчета программы оптимизации при помощи процедуры Бокса-Уилсона с последующим моделированием поверхности отклика методом построения искусственных нейронных сетей для решения задачи регрессии и их обучения в программе STATISTICA 7.0 Eng (Боровиков, 2008).

Целью данной работы явилось моделирование состава композиции хлебопекарного улучшителя направленного действия по схеме проведения двухуровневого полного факторного эксперимента ПФЭ 2n на основе полученной ранее априорной экспериментальной информации путем изучения влияния дозировок отдельных улучшителей и микроингредиентов на качество хлебобулочных изделий.

Программа описанного в статье эксперимента автором производилась в рамках выполнения инициативного исследования по теме гранта РФФИ 08-08-99093 «Теоретические основы и практическая реализация новых технологий хлебобулочных изделий диетического, лечебно-профилактического и функционального назначения на основе использования продуктов переработки семян амаранта» в 2008-2009 гг. (Шмалько & Росляков, 2011).

Материалы и методы исследования

Материалы

При проведении серии пробных выпечек в качестве отдельных улучшителей, наполнителей и микроингредиентов применялись мука пшеничная хлебопекарная по ГОСТ 26574-2017[4], мука амарантовая цельносмолотая полножирная по ТУ 9293-026-02067862-2001, аскорбиновая кислота по ФС 42-2668, ферментные препараты фирмы «Новозаймс» (Дания): Фунгамил Супер АХ, Фунгамил 2500 BG, Новамил 1500 MG, Пентопан моно BG, Новозим 677 BG, Глюзим 500 BG – по сертификату РФ.

Качество пробы используемой в исследовании пшеничной хлебопекарной муки соответствовала требованиям стандарта: влажность 13 %, зольность в пересчете на сухое вещество 0,75 %, число падения 230 с, содержание сырой клейковины 31,6 %, качество сырой клейковины на приборе ИДК 76 ед., титруемая кислотность 3,5 град. Характеристика ферментативной активности амарантовой цельносмолотой полножирной муки в сравнении с хлебопекарной мукой приведена в Таблице 1 (Шмалько & Росляков, 2011), дозировки ферментных препаратов и технологический эффект при изготовлении хлебобулочных изделий из пшеничной муки приведены в отраслевой инструкции (МГУПП «Пищепромпродукт»[5]).

Оборудование

Замес теста производился на лабораторной тестомесильной машине, его брожение в металлической емкости при температуре 32-34 °С в термостате в течение 150 мин, при проведении обминки через каждый час. По истечении брожения тесто взвешивалось и разделывалось на тестовые заготовки заданной массы: 400 г для образцов формового хлеба, 200 г для образцов подового хлеба. Расстойка тестовых заготовок проводилась в расстойном шкафу с пароувлажнением при температуре 35-37 °С до готовности. Выпечка хлеба осуществлялась в хлебопекарной лабораторной односекционной печи при температуре 200-220 °С в течение 35-30 мин для образцов формового хлеба, 25-20 мин для образцов подового хлеба с пароувлажнением при посадке тестовых заготовок в печь.

[2] Технологическая инструкция по применению ферментных препаратов фирмы «Ново Нордикс» (Дания) при производстве хлебобулочных изделий из ржаной, смеси ржаной и пшеничной, пшеничной муки (1999). М.: МГУПП. Пищепромпродукт.
[3] Сборник технологических инструкций для производства хлебобулочных изделий (1989). М.: Прейскурантиздат.
[4] ГОСТ 26574-2017. (2018). Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия. М.: Стандартинформ.
[5] Технологическая инструкция по применению ферментных препаратов фирмы «Ново Нордикс» (Дания) при производстве хлебобулочных изделий из ржаной, смеси ржаной и пшеничной, пшеничной муки (1999). М.: МГУПП. Пищепромпродукт.

Таблица 1
Характеристика ферментативной активности амарантовой полножирной муки в сравнении с хлебопекарной мукой

Характеристика ферментативной активности	Объекты исследования			
	мука пшеничная		мука ржаная обдирная	мука амарантовая цельносмолотая
	высшего сорта	первого сорта		
1	2	3	4	5
Суммарная активность протеолити-ческих изо-ферментов (по приросту азота в водно-муч-ной суспензии в ходе автолиза при 40 °С, мг):				
при pH 4,6	0,14	0,65	0,81	0,21
при pH 7,0	0,07	0,22	0,16	0,01
Активность липазы в мл спиртово-го раствора щелочи, пошедшего на ней-трализацию жирных кислот:				
кислой	1,6	1,2	0,5	2,4
щелочной	1,7	1,6	0,8	4,1
Активность липоксигеназы по оптиче-ской плотности субстрата за 20 мин реак-ции D × 10^{-3} (по Дубцову, Попову, 1970)	8,0	5,0	3,0	10,0
Автолитическая активность по количе-ству водорастворимых веществ в муке, % в пересчете на сухое вещество	15,79	23,70	53,86	31,45
Число падения, с	393	414	150	86
Активность амилолитических ферментов в мг ги-дролизованного крахмала за 60 мин выстойки:				
суммарная	28,39	32,09	44,76	21,07
альфа-амилазы	2,35	2,86	19,90	1,65
бета-амилазы	26,04	29,23	24,86	19,42

Методы

По результатам серии пробных выпечек с вводом отдельных улучшителей и микроингредиентов осуществлялся отбор компонентов, оказывающих наилучшее воздействие на совокупность показателей качества хлеба, с последующим составлением плана эксперимента моделирования состава композиции хлебопекарного улучшителя. Выбор сравниваемых компонентов композиции хлебопекарного улучшителя направленного действия проводился путем оценки основных эффектов и эффектов взаимодействия плана эксперимента при определении изучаемых эффектов с наименьшей ошибкой (Грачев & Плаксин, 2005).

Пробные лабораторные выпечки хлеба проводились при безопарном способе приготовления теста[6]. Добавки улучшителя и ферментативно-активного сырья (аскорбиновая кислота, мука амарантовая цельносмолотая полножирная) вносились при замесе теста в сухом виде в смеси с пшеничной мукой.

[6] Пучкова, Л. И. (2004). Лабораторный практикум по технологии хлебопекарного производства (4-е изд.). СПб.: ГИОРД.

Ферментные препараты вводились в виде водных растворов температурой 25-28 °С при соотношении 1 : 10 без смешивания в технологической жидкости (дрожжевой суспензии или солевом растворе).

В качестве факторов, влияющих на качество хлеба –его объемный выход *y* (см^3 на 100 г хлеба), были выбраны следующие параметры: x_1 – дозировка наполнителя (мука пшеничная хлебопекарная первого сорта), %; x_2 – дозировка ферментативно-активного сырья (мука амарантовая цельносмолотая полножирная), %; x_3 – дозировка активатора брожения (аммоний фосфорнокислый двузамещенный), %; x_4 – дозировка окислителя (аскорбиновая кислота), %; x_5 – дозировка ферментного препарата грибного происхождения (Фунгамил Супер АХ), %; x_6 – дозировка ферментного препарата бактериального происхождения (Новамил 1500 MG), %; x_7 – соотношение ферментных препаратов грибного и бактериального происхождения (Фунгамил Супер АХ и Новамил 1500 MG).

Для выпеченных образцов хлеба оценивались следующие показатели качества: удельный объем для образцов формового хлеба и формоустойчивость образцов подового хлеба по методике МТИПП, влажность – по ГОСТ 21094-75[7], кислотность – по ГОСТ 5670-96[8], пористость – по ГОСТ 5669-96[9], общая, упругая и пластическая деформация мякиша на пенетрометре АП-4/2, суммарная балльная оценка качества хлеба – по методике МТИПП.

В исходной матрице планирования эксперимента уровни планирования факторов (амарантовая мука, активатор брожения, ферментные препараты), представленные в натуральной величине в Таблице 2, взяты с учетом данных патентной литературы (Чижикова, 2002; Росляков и др., 2008), а переменные в матрице, указанные в Таблице 3, кодированы по формуле:

$$X_i = (2(x_i - \bar{x}))/(x_{iв} - x_{iн}). \quad (1)$$

Математическая модель по каждой функции отклика для плана ПФЭ 2^7 имела вид линейного уравнения регрессии

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4 + b_5 \cdot x_5 + b_6 \cdot x_6 + b_7 \cdot x_7. \quad (2)$$

В каждой строчке матрицы планирования определялось среднее значение измеряемой величины по *m* параллельным опытам

$$\bar{y}_i = \frac{\sum_{u=1}^{m} y_{iu}}{m}, i = 1, 2, \ldots, N \quad (3)$$

и величина дисперсии

$$S_i^2 = \frac{\sum_{u=1}^{m} (y_{iu} - \bar{y}_i)^2}{m - 1}), i = 1, 2, \cdots, N \quad (4)$$

Однородность выборочных дисперсий проверялась по критерию Кохрена, для чего составлялось отношение:

$$G = \frac{S_{max}^2}{\sum_{i=1}^{N} S_i^2}. \quad (5)$$

Полученные отношения сравнивались с табличным значением критерия Кохрена: G_{-1P} (f_1, f_2), где P = 0,05; $f_1 = m - 1$; $f_2 = N$ для установления однородности рассчитываемых дисперсий. Дисперсия воспроизводимости вычислялась как среднее арифметическое по формуле

$$S_{воспр}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} S_i^2}{N}. \quad (6)$$

Число степеней свободы дисперсии рассчитывалось по формуле

$$f_{воспр} = N \times (m - 1) \quad (7)$$

Коэффициенты уравнения регрессии определялись при использовании данных матрицы планирования эксперимента из Таблицы 2.

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_{ji} \bar{y}_{ji}}{N}. \quad (8)$$

Учитывая, что дисперсия $\bar{y}$, полученного по выборке объема *m*, в *m* раз меньше дисперсии единичного измерения, производились вычисления:

$$S_y^2 = \frac{S_{воспр}^2}{m}. \quad (9)$$

Дисперсия коэффициентов определялась следующим образом

$$S_{(b_j)}^2 = \frac{S_{воспр}^2}{N \times m}. \quad (10)$$

[7] ГОСТ 21094-75. (2013). Хлеб и хлебобулочные изделия. Метод определения влажности. М.: Стандартинформ.

[8] ГОСТ 5670-96. (1996). Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации.

[9] ГОСТ 5669-96. (1996). Хлебобулочные изделия. Метод определения пористости. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации.

Таблица 2

Пределы измерения факторов в натуральной величине (от суммарной массы всех компонентов улучшителя)

Уровни планирования	**Факторы, %**						
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
1	2	3	4	5	6	7	8
Основной уровень (x_i)	45,0	45,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7
Интервал варьирования (Δx)	5,0	5,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Верхний уровень ($x_{iв}$)	95,0	95,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,6
Нижний уровень ($x_{iн}$)	5,0	5,0	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2

Таблица 3

Исходная матрица планирования эксперимента

Номер опыта	Факторы кодированные (в безразмерной системе координат)								y_1	y_2		
	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	+	–	+	–	+	–	+	–	338	346	342	32
2	+	+	+	–	–	+	–	–	424	419	422	13
3	+	–	–	–	–	+	+	+	327	316	322	51
4	+	+	–	–	+	–	–	+	353	380	367	365
5	+	–	+	+	–	–	–	+	406	377	392	421
6	+	+	+	+	+	+	+	+	394	428	411	578
7	+	–	–	+	+	+	–	–	360	373	367	85
8	+	+	–	+	–	–	+	–	416	427	422	51

Значимость коэффициентов проверялась по критерию Стьюдента: в условиях нулевой гипотезы $H^o\beta_j = 0$ отношение абсолютной величины коэффициента уравнения регрессии к его ошибке имеет распределение Стьюдента, и для всех коэффициентов уравнений регрессии составлялось t-отношение

$$t_j = \frac{[b_j]}{s_{b_j}}, \quad (11)$$

которое сравнивалось с табличным $t_{\text{-1p}}$ (f) для уровня значимости p = 0,05 и числа степеней свободы $f = N \times (m - 1)$

Ошибка коэффициентов определялась по формуле

$$S_{b_j} = \sqrt{\frac{S^2_{воспр}}{N \times m}}. \quad (12)$$

После исключения незначимых коэффициентов уравнения регрессии проверялась адекватность уравнения регрессии эксперименту по критерию Фишера, для чего составлялось дисперсионное отношение

$$F = \frac{S^2_{ад}}{S^2_{воспр}}, \quad (13)$$

где $S^2_{ад}$ – дисперсия адекватности, определяемая по формуле

$$S^2_{ад} = \frac{m\sum_{i=1}^{N}(\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2}{N - l}, \quad (14)$$

где l – число значимых коэффициентов в уравнении регрессии.

Если полученное дисперсионное отношение оказывается меньше табличного, то полученное уравнение адекватно описывает эксперимент:

$$F < F_{1\text{-}p}\,(f_1, f_2) \quad (15)$$

где p – уровень значимости;

f_1 – число степеней свободы дисперсии адекватности: $f_1 = N - l$,

f_2 – число степеней свободы дисперсии воспроизводимости: $f_2 = N \times (m - 1)$, то уравнение адекватно эксперименту.

Для проверки работоспособности полученного линейного уравнения дополнительно к плану ставился опыт в центре эксперимента в нескольких повторностях с последующей оценкой суммарного квадратичного эффекта факторов по формуле

$$| \overline{y_0} - b_0 | = \sum_{i=1}^{n} b_{ii}. \quad (16)$$

При условии значимости указанной разности при заданной p необходимо осуществлять переход к решению плана второго порядка для получения квадратичного уравнения, отсюда значимость разности $\left|\widehat{y}_0 - b_0\right|$ устанавливалась при помощи доверительной ошибки этой разности и сравнения ее с величиной самой разности

$$\varepsilon(\overline{y}_0 - b_0) = t(p;f) \cdot S(\overline{y}_0 - b_0), \quad (17)$$

где $t(p; f)$ критерий Стьюдента.

Процедура данной проверки основывалась на дисперсионном анализе путем расчета среднеарифметической оценки дополнительного опыта в центре эксперимента, оценки дисперсии с числом степеней свободы $f_0 = m_0 - 1$, оценки дисперсии среднего результата, полученного в центре плана в соответствии с теоремой о дисперсии среднего, оценки дисперсии коэффициента b_0, средневзвешенной оценки дисперсии единичного результата (Грачев, Плаксин, 2005).

В случае, если наблюдают $\varepsilon(\overline{y}_0 - b_0) < (\overline{y}_0 - b_0)$ (18), то с заданной вероятностью p указанную разницу считают значимой, что равносильно доказательству необходимости включения в уравнение оценок квадратичных эффектов факторов и получения уравнения квадратичной функции. Напротив, если наблюдают $(\overline{y}_0 - b_0) < t(p;f) \cdot S(\overline{y}_0 - b_0)$ (19), то квадратичные эффекты в уравнение вносить не следует и при доказанной адекватности с помощью критерия Фишера полученную математическую модель можно считать работоспособной.

Процедура исследования

Первый этап исследований предусматривал проведение математического планирования полного факторного эксперимента ПФЭ 2^n при проверке результатов расчетов в прикладном пакете Statistica 7.0 Eng. Второй этап исследований включал расчет программы оптимизации по линейному уравнению с помощью процедуры Бокса-Уилсона с целью определения оптимального сочетания компонентов в составе композиции хлебопекарного улучшителя при приближении уравнения к околооптимальной области (Грачев, Плаксин, 2005).

Оценка линейных эффектов факторов производилась для линейного уравнения с учетом изменения *i*-той координаты последующего опыта по сравнению с координатой предыдущего

$$\Delta x_1 : \Delta x_2 : \Delta x_3 \ldots = b_1 : b_2 : b_3 : \ldots \quad (20)$$

Условия опытов программы оптимизации в безразмерном выражении и натуральной размерности факторов рассчитывались по формулам

$$x_{iu} = x_{i0} + u\Delta x_i; \quad (21)$$

$$C_{iu} = C_{i0} + u\lambda_i x_{iu}, \quad (22)$$

где $u = 0 : N$ – номер опыта программы оптимизации.

Для компьютерной реализации программы оптимизации плана эксперимента применялся нейросетевой подход. Решение задачи регрессии при построении нейронной сети в модуле *Neural Networks* в программе STATISTICA 7.0 Eng осуществлялось путем выбора начальной конфигурации сети посредством автоматического конструктора *Intelligent Problem Solver*, в котором алгоритм обучения многослойных персептронов (MLP) предусматривается производить методом спуска по сопряженным градиентам в варианте с ранней остановкой обучения. Способ обучения нейронной сети относится к алгоритму обратного распространения, вычисляющему вектор градиента поверхности ошибок, указывающий направление кратчайшего спуска по поверхности из заданной точки, при движении по которому ошибка обучения уменьшается пошагово.

На этапе эксперимента с различными конфигурациями сети посредством конструктора *Custom Network Designer*, целью которого явилось получение лучшего результата контрольной ошибки для тестируемой выборки входных данных (для исключения попадания в процессе обучения в локальный минимум), значение ошибки и градиента поверхности ошибок использовались для корректировки весов. Выбор конфигурации сети с наилучшими результатами обучения производился путем анализа результатов их пошагового обучения различными алгоритмами с целью достижения статистической достоверности результатов вычисления: обратного и быстрого распростра-

нения, спуска по сопряженным градиентам и др. (Боровиков, 2008).

Анализ данных

Статистическая обработка результатов исследований производилась с помощью прикладного пакета MS Excel 2007 при проведении дисперсионного анализа для оценки влияния различных дозировок отдельного улучшителя на показатели качества хлеба путем исследования количественного признака (зависимой переменной) от нескольких качественных признаков (факторов). Для проведения однофакторного дисперсионного анализа опытные данные результатов выпечек хлеба представлялись в виде таблиц, столбы и строки которых отражали различные уровни фактора, а в ячейках таблицы располагались значения анализируемого признака (зависимой переменной), задавая факторный план эксперимента. Проверка нулевой гипотезы сводилась к проверке существенности различия MS эффекта и MS ошибки, которые являются оценками дисперсии σ^2, при помощи *F*-критерия[10].

Результаты и их обсуждение

Оценка влияния отдельных улучшителей и микронутриентов на показатели качества хлеба при проведении серии пробных выпечек (Таблицы 4а-11а) показала, что среди изученных вариантов наилучшими характеристиками качества отличались образцы при введении в рецептуру изделий ферментных препаратов Фунгамил Супер АХ (89 баллов) и Новамил 1500 MG (89 баллов) для формового хлеба, амарантовой цельносмолотой полножирной муки (90,5 баллов), ферментного препарата Пентопан моно BG (88 баллов) и окислителя аскорбиновой кислоты (88,5 баллов) для подового хлеба.

Данные Таблицы 4а показывают, что ввод аскорбиновой кислоты в рецептуру хлеба в дозировках 0,003-0,011 % (т.е в рекомендуемом количестве окислителя при растяжимости клейковины муки в пределах 13-20 см) приводил к повышению удельного объема образцов формового хлеба, формоустойчивости образцов подового хлеба, пористости и упругости мякиша, что отразилось на увеличении суммарной балльной оценки качества.

Данные Таблицы 4б отражают значительное повышение изменчивости (вариации), наблюдаемое между группами (показателями качества в Таблице 4а) при повышении дозировки аскорбиновой кислоты, что доказывается проверкой нулевой гипотезы при выявлении существенности различия MS эффекта и MS ошибки с учетом оценки дисперсии σ^2 при помощи *F*-критерия (критерия Фишера).

Данные Таблицы 5а показывают, что ввод ферментного препарата Фунгамил Супер АХ в ре-

Таблица 4а
Влияние аскорбиновой кислоты на качество хлеба

Показатели качества	Контроль	Дозировка улучшителя к массе пшеничной муки, %				
		0,003	0,005	0,007	0,009	0,011
1	2	3	4	5	6	7
Удельный объем формового хлеба, $см^3$/ 100 г	247	306	307	314	327	328
Формоустойчивость (*H* : *D*)	0,44	0,54	0,60	0,63	0,64	0,65
Кислотность мякиша, град	2,6	2,6	2,6	2,7	2,8	2,8
Влажность мякиша, %	42,0	41,2	41,2	41,7	41,8	42,0
Пористость мякиша, %	71	73	73	73	74	74
Структурно-механические свойства мякиша, ед. пр. АП-4/2:						
$\Delta H_{общ}$	44	54	57	60	64	67
$\Delta H_{пл}$	26	36	37	38	40	42
$\Delta H_{упр}$	18	18	20	22	24	25
Балльная оценка, балл	78,0	86,0	86,0	87,0	88,0	88,5

[10] Халафян, А. А. (2017). *STATISTICA 6. Статистический анализ данных: Учебник* (3-е изд.). М.: Бином-Пресс.

Таблица 4б
Дисперсионный анализ влияния окислителя на качество хлеба

Источник вариации	*SS*	*df*	*MS*	*F*	**p-значение**	***F*крит**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Между группами	415242,38	8	51905,30	460,02	p < 0,01	2,15
Внутри групп	5077,46	45	112,83			
Итого	420319,84	53				

цептуру хлеба в дозировках 0,003-0,011 % (т.е. в рекомендуемом количестве ферментного препарата при переработке муки с клейковиной средней по силе) приводил к значительному повышению удельного объема образцов формового хлеба, улучшению пористости и упругости мякиша при одновременном снижении формоустойчивости образцов подового хлеба, что отразилось на величине суммарной балльной оценки качества.

Данные Таблицы 5б отражают заметное повышение изменчивости (вариации), наблюдаемое между группами (показателями качества в таблице 5а) при повышении дозировки ферментного препарата, что доказывается проверкой нулевой гипотезы при выявлении существенности различия MS эффекта и MS ошибки с учетом оценки дисперсии σ^2 при помощи критерия Фишера.

Таблица 5а
Влияние ферментного препарата Фунгамил Супер АХ на качество хлеба

Показатели качества	**Контроль**	**Дозировка улучшителя к массе пшеничной муки, %**				
		0,003	**0,005**	**0,007**	**0,009**	**0,011**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Удельный объем формового хлеба, см3/ 100 г	247	329	350	356	358	360
Формоустойчивость (H : D)	0,44	0,43	0,41	0,40	0,38	0,36
Кислотность мякиша, град	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8
Влажность мякиша, %	42,0	42,8	43,0	43,4	43,5	44,0
Пористость мякиша, %	71	74	74	76	77	78
Структурно-механические свойства мякиша, ед. пр. АП-4/2:						
ΔНобщ	44	54	69	76	82	80
ΔНпл	26	34	47	52	55	60
ΔНупр	18	20	22	24	27	28
Балльная оценка, балл	78,0	87,5	88,0	88,5	89,5	89,0

Таблица 5б
Дисперсионный анализ влияния ферментного препарата Фунгамил Супер АХ на качество хлеба

Источник вариации	*SS*	*df*	*MS*	*F*	**p-значение**	***F*крит**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Между группами	493270,78	8	61717,60	234,93	p < 0,01	2,15
Внутри групп	11821,78	45	262,71			
Итого	505092,56	53				

Таблица 6а
Влияние ферментного препарата Фунгамил 2500 BG на качество

Показатели качества	Контроль	Дозировка улучшителя к массе пшеничной муки, %				
		0,0001	0,00015	0,0002	0,00025	0,0003
1	2	3	4	5	6	7
Удельный объем формового хлеба, $см^3$/ 100 г	247	285	318	324	326	339
Формоустойчивость (*H* : *D*)	0,44	0,43	0,41	0,40	0,37	0,35
Кислотность мякиша, град	2,6	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8
Влажность мякиша, %	42,0	42,0	42,1	42,2	42,4	42,4
Пористость мякиша, %	71	72	73	74	74	75
Структурно-механические свойства мякиша, ед. пр. АП-4/2:						
$\Delta H_{общ}$	44	57	66	69	78	83
$\Delta H_{пл}$	26	39	46	47	50	54
$\Delta H_{упр}$	18	18	20	22	28	29
Балльная оценка, балл	78,0	85,0	86,6	85,8	85,4	85,3

Таблица 6б
Дисперсионный анализ влияния ферментного препарата Фунгамил 2500 BG на качество хлеба

Источник вариации	*SS*	*df*	*MS*	*F*	р-значение	*F*крит
1	2	3	4	5	6	7
Между группами	415427,47	8	51928,43	309,01	p < 0,01	2,15
Внутри групп	7562,12	45	168,05			
Итого	422989,59	53				

Данные Таблицы 6а показывают, что ввод ферментного препарата Фунгамил 2500 BG в рецептуру хлеба в дозировках 0,0001-0,0003 % (т.е. в рекомендуемом количестве ферментного препарата при переработке муки с клейковиной средней по силе, нормальной автолитической и газообразующей способностью) приводил к значительному повышению удельного объема образцов формового хлеба, улучшению пористости и упругости мякиша при наблюдаемом снижении формоустойчивости образцов подового хлеба, что отразилось на величине суммарной балльной оценки качества.

Данные Таблицы 6б показывают заметное повышение изменчивости (вариации), наблюдаемое между группами (показателями качества в Таблице 6а) при увеличении дозировки ферментного препарата, что доказывается проверкой нулевой гипотезы при выявлении существенности различия MS эффекта и MS ошибки с учетом оценки дисперсии σ^2 при помощи критерия Фишера.

Данные Таблицы 7а показывают, что ввод ферментного препарата Новамил 1500 MG в рецептуру хлеба в дозировках 0,01-0,02 % (т.е. в рекомендуемом количестве ферментного препарата при переработке муки с клейковиной любого качества) приводил к заметному повышению удельного объема образцов формового хлеба, улучшению пористости и упругости мякиша при наблюдаемом снижении формоустойчивости образцов подового хлеба, что отразилось на величине суммарной балльной оценки качества.

Данные Таблицы 7б показывают значительное повышение изменчивости (вариации), наблюдаемое между группами (показателями качества в Таблице 7а) при повышении дозировки ферментного препарата, что доказывается проверкой нулевой гипотезы при выявлении существенности

Таблица 7а
Влияние ферментного препарата Новамил 1500 MG на качество хлеба

Показатели качества	Контроль	Дозировка улучшителя к массе пшеничной муки, %				
		0,010	0,012	0,015	0,018	0,020
1	2	3	4	5	6	7
Удельный объем формового хлеба, см³/ 100 г	247	276	283	285	296	311
Формоустойчивость (*H* : *D*)	0,44	0,43	0,41	0,40	0,38	0,37
Кислотность мякиша, град	2,6	2,6	2,6	2,8	2,8	2,8
Влажность мякиша, %	42,0	42,2	42,3	42,6	42,6	42,8
Пористость мякиша, %	71	74	75	76	77	77
Структурно-механические свойства мякиша, ед. пр. АП-4/2:						
$\Delta H_{общ}$	44	68	72	76	79	81
$\Delta H_{пл}$	26	48	50	52	53	54
$\Delta H_{упр}$	18	20	22	24	26	27
Балльная оценка, балл	78,0	84,0	85,5	87,0	88,0	88,0

Таблица 7б
Дисперсионный анализ влияния ферментного препарата Новамил 1500 MG на качество хлеба

Источник вариации	*SS*	*df*	*MS*	*F*	р-значение	*F*крит
1	2	3	4	5	6	7
Между группами	351005,64	8	43875,71	500,56	$p < 0,01$	2,15
Внутри групп	3944,39	45	87,65			
Итого	354950,03	53				

Таблица 8а
Влияние ферментного препарата Пентопан моно BG на качество хлеба

Показатели качества	Контроль	Дозировка улучшителя к массе пшеничной муки, %				
		0,003	0,005	0,007	0,009	0,011
1	2	3	4	5	6	7
Удельный объем формового хлеба, см³/ 100 г	247	303	306	325	328	329
Формоустойчивость (*H* : *D*)	0,44	0,44	0,45	0,46	0,48	0,50
Кислотность мякиша, град	2,6	2,4	2,6	2,6	2,6	2,7
Влажность мякиша, %	42,0	43,0	43,4	43,7	43,9	44,0
Пористость мякиша, %	71	72	73	73	74	74
Структурно-механические свойства мякиша, ед. пр. АП-4/2:						
$\Delta H_{общ}$	44	47	49	52	56	59
$\Delta H_{пл}$	26	29	29	30	33	34
$\Delta H_{упр}$	18	18	20	22	23	25
Балльная оценка, балл	78,0	81,9	85,7	87,5	87,5	88,0

Таблица 8б
Дисперсионный анализ влияния ферментного препарата Пентопан моно BG на качество хлеба

Источник вариации	*SS*	*df*	*MS*	*F*	**p-значение**	***F*крит**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Между группами	422880,88	8	52860,11	457,89	p < 0,01	2,15
Внутри групп	5194,95	45	115,44			
Итого	428075,83	53				

различия MS эффекта и MS ошибки с учетом оценки дисперсии σ^2 при помощи критерия Фишера.

Данные Таблицы 8а показывают, что ввод ферментного препарата Пентопан моно BG в рецептуру хлеба в дозировках 0,003-0,011 % (т.е. в рекомендуемом количестве ферментного препарата при переработке муки с клейковиной любого качества) приводил к повышению удельного объема образцов формового хлеба и формоустойчивости образцов подового хлеба, улучшению пористости и упругости мякиша, что отразилось на величине суммарной балльной оценки качества.

Данные Таблицы 8б показывают значительное повышение изменчивости (вариации), наблюдаемое между группами (показателями качества в Таблице 8а) при повышении дозировки ферментного препарата, что доказывается проверкой нулевой гипотезы при выявлении существенности различия MS эффекта и MS ошибки с учетом оценки дисперсии σ^2 при помощи критерия Фишера.

Таблица 9а
Влияние ферментного препарата Новозим 677 BG на качество хлеба

Показатели качества	**Контроль**	**Дозировка улучшителя к массе пшеничной муки, %**				
		0,001	**0,0015**	**0,002**	**0,0025**	**0,003**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Удельный объем формового хлеба, см^3/ 100 г	247	269	275	280	285	286
Формоустойчивость (*H* : *D*)	0,44	0,46	0,50	0,54	0,56	0,59
Кислотность мякиша, град	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7	2,8
Влажность мякиша, %	42,0	42,0	42,1	42,2	42,4	42,8
Пористость мякиша, %	71	72	73	73	73	74
Структурно-механические свойства мякиша, ед. пр. АП-4/2:						
$\Delta H_{общ}$	44	60	62	68	70	79
$\Delta H_{пл}$	26	42	43	47	48	56
$\Delta H_{упр}$	18	18	19	21	22	23
Балльная оценка, балл	78,0	81,5	81,5	84,5	82,5	80,0

Таблица 9б
Дисперсионный анализ влияния ферментного препарата Новозим 677 BG на качество хлеба

Источник вариации	*SS*	*df*	*MS*	*F*	**p-значение**	***F*крит**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Между группами	329218,06	8	41152,26	804,27	p < 0,01	2,15
Внутри групп	2302,53	45	51,17			
Итого	331520,59	53				

Данные Таблицы 9а показывают, что ввод ферментного препарата Новозим 677 BG в рецептуру хлеба в дозировках 0,001-0,003 % (т.е. в рекомендуемом количестве ферментного препарата при выработке широкого ассортимента хлеба и булочных изделий) приводил к заметному повышению формоустойчивости образцов подового хлеба, улучшению пористости и упругости мякиша при незначительном росте удельного объема образцов формового хлеба, что отразилось на величине суммарной балльной оценки качества.

Данные Таблицы 9б показывают очень большое повышение изменчивости (вариации), наблюдаемое между группами (показателями качества в Таблице 9а) при повышении дозировки ферментного препарата, что доказывается проверкой нулевой гипотезы при выявлении существенности различия MS эффекта и MS ошибки с учетом оценки дисперсии σ^2 при помощи критерия Фишера.

Данные Таблицы 10а показывают, что ввод ферментного препарата Глюзим 500 BG в рецептуру хлеба в дозировках 0,003-0,014 % (т.е. в рекомендуемом количестве ферментного препарата при выработке ассортимента булочных и сдобных изделий) приводил к заметному повышению формоустойчивости образцов подового хлеба, улучшению пористости и упругости мякиша при незначительном росте удельного объема образцов формового хлеба, что отразился на величине суммарной балльной оценки качества.

Данные Таблицы 10б показывают большое повышение изменчивости (вариации), наблюдаемое между группами (показателями качества в Таблице 10а) при повышении дозировки ферментного препарата, что доказывается проверкой нулевой гипотезы при выявлении существенности различия MS эффекта и MS ошибки с учетом оценки дисперсии σ^2 при помощи критерия Фишера.

Таблица 10а

Влияние ферментного препарата Глюзим 500 BG на качество хлеба

Показатели качества	**Контроль**	**Дозировка улучшителя к массе пшеничной муки, %**				
		0,003	**0,005**	**0,007**	**0,0010**	**0,014**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Удельный объем формового хлеба, $см^3$/ 100 г	247	269	275	280	285	286
Формоустойчивость (*H* : *D*)	0,44	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54
Кислотность мякиша, град	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
Влажность мякиша, %	42,0	42,0	42,2	42,4	42,8	43,0
Пористость мякиша, %	71	71	72	72	73	73
Структурно-механические свойства мякиша, ед. пр. АП-4/2:						
$\Delta H_{общ}$	44	46	54	70	74	76
$\Delta H_{пл}$	26	27	34	47	49	50
$\Delta H_{упр}$	18	19	20	23	25	26
Балльная оценка, балл	78,0	81,5	83,0	84,0	82,5	82,5

Таблица 10б

Дисперсионный анализ влияния ферментного препарата Глюзим 500 BG на качество хлеба

Источник вариации	*SS*	*df*	*MS*	*F*	**p-значение**	***F*крит**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Между группами	329990,90	8	41248,86	663,66	$p < 0,01$	2,15
Внутри групп	2796,93	45	62,15			
Итого	332787,83	53				

Данные Таблицы 11а показывают, что ввод амарантовой цельносмолотой полножирной муки в рецептуру хлеба в дозировках 3-15 % взамен части муки (т.е. в рекомендуемом количестве добавки при выработке хлебобулочных изделий) приводил к заметному повышению формоустойчивости образцов подового хлеба, улучшению пористости и упругости мякиша при незначительном росте удельного объема образцов формового хлеба, что отразилось на величине суммарной балльной оценки качества.

Данные Таблицы 11б показывают большое повышение изменчивости (вариации), наблюдаемое между группами (показателями качества в Таблице 11а) при повышении дозировки ферментного препарата, что доказывается проверкой нулевой гипотезы при выявлении существенности различия MS эффекта и MS ошибки с учетом оценки дисперсии σ^2 при помощи критерия Фишера.

Сравнение результатов дисперсионного анализа изучения влияния дозировок добавок на изменчивость средних в группах показателей качества хлеба при проведении пробных лабораторных выпечек (Таблицы 4б–11б) позволило выделить отдельные улучшители и микроингредиенты, оказывающие наибольшее воздействие на изменение величины факторов: ферментный препарат Новозим 677 BG (F = 804,27), амарантовая цельносмолотая полножирная мука (F = 724,68) и ферментный препарат Глюзим 500 BG (F = 663,66).

По результатам пробных лабораторных выпечек и патентной литературы[11,12] в состав ком-

Таблица 11а

Влияние амарантовой цельносмолотой полножирной муки на качество хлеба

Показатели качества	Контроль	Дозировка улучшителя вместо пшеничной муки, %				
		3	5	7	10	15
1	2	3	4	5	6	7
Удельный объем формового хлеба, см^3/ 100 г	247	261	268	275	276	278
Формоустойчивость (H : D)	0,44	0,46	0,48	0,49	0,50	0,51
Кислотность мякиша, град	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7
Влажность мякиша, %	42,0	42,6	42,8	43,0	43,2	43,4
Пористость мякиша, %	71	73	73	74	74	75
Структурно-механические свойства мякиша, ед. пр. АП-4/2:						
$\Delta H_{общ}$	44	62	69	74	79	82
$\Delta H_{пл}$	26	43	49	52	54	53
$\Delta H_{упр}$	18	19	20	22	25	29
Балльная оценка, балл	78,0	86,6	89,0	90,5	89,0	87,0

Таблица 11б

Дисперсионный анализ влияния амарантовой цельносмолотой полножирной муки на качество хлеба

Источник вариации	*SS*	*df*	*MS*	*F*	р-значение	*F*крит
1	2	3	4	5	6	7
Между группами	313306,88	8	39163,36	724,68	p < 0,01	2,15
Внутри групп	2431,89	45	54,04			
Итого	315738,77	53				

[11] Чижикова, О. Г., Смертина, Е. С., & Коршенко, Л. О. (2002). Пат. 2185065 РФ. Композиция для приготовления улучшителя хлебопекарного.

[12] Росляков, Ю. Ф., Бочкова, Л. К., Кисилева, Н. В., & Шмалько, Н. А. (2008). Пат. 2340190 РФ. Комплексный хлебопекарный улучшитель. Краснодар: Кубанский государственный технологический университет.

позиции хлебопекарного улучшителя при моделировании были включены компоненты, оказывающее наибольшее влияние на изменчивость показателей качества хлеба: ферментные препараты – Фунгамил Супер АХ и Новамил 1500 MG, окислитель – аскорбиновая кислота, ферментативно-активное сырье – амарантовая цельносмолотая полножирная мука, активатор брожения – аммоний фосфорнокислый двузамещенный, интервалы варьирования которых для различных вариантов составов композиции представлены в Таблице 2.

Расчетным путем по результатам двухфакторного эксперимента составлено уравнение (2), в котором помимо линейных членов содержались члены, учитывающие эффект парного межфакторного взаимодействия. Статистический анализ значимости оценок коэффициентов уравнения показал с заданной вероятностью p, что полученные оценки коэффициентов уравнения по модулю либо больше (т.к. они значимо отличались от нуля), либо меньше ошибки в их определении (т.к. они незначимо отличались от нуля и исключались из уравнения).

При определении коэффициентов линейного уравнения регрессии по формуле (2) была использована 1/16 от ПФЭ 2^7 с генерирующими соотношениями $x_4 = x_1x_2x_3$, $x_5 = x_1x_2$, $x_6 = x_1x_3$, $x_7 = x_2x_3$. Средние значения объемного выхода формового хлеба получены по двум измерениям по формуле (3). Однородность дисперсий S_i^2 при условии i = = 1, 2, …, 8 в формуле (4) была определена по критерию Кохрена согласно формуле (5), где сумма дисперсий составила , $S_i^2 = 1596$, $G = 0{,}362$. Отсюда следует равенство $G_{0,95}$ (1,8) = 0,6798, и так как выполняется условие $G < G_{-1P}(f_1, f_2)$, дисперсии следует считать однородными.

Дисперсия воспроизводимости вычислялась как среднее арифметическое по формуле (6): $S^2_{воспр} = 199{,}5$ число степеней свободы дисперсии по формуле (7) $f_{воспр} = 8 \times (2 - 1) = 8$, коэффициенты уравнения регрессии по формуле (8):

$b_0 = +380{,}625$, $b_1 = +24{,}875$, $b_2 = +11{,}125$, $b_3 = +17{,}375$, $b_4 = -8{,}875$, $b_5 = -0{,}125$, $b_6 = -6{,}375$, $b_7 = -7{,}625$.

Значимость коэффициентов уравнения регрессии оценивалась по критерию Стьюдента, для чего вначале определялась дисперсия коэффициентов по формуле (10), затем составлялись t-отношения для всех коэффициентов уравнения регрессии по формуле (11) и производились вычисления ошибки коэффициентов по формуле (12):

$S_{b_i} = 3{,}53$, $t_0 = 107{,}83$, $t_1 = 7{,}05$, $t_2 = 3{,}15$, $t_3 = 4{,}92$, $t_4 = 2{,}51$, $t_5 = 0{,}04$, $t_6 = 1{,}81$, $t_7 = 2{,}16$.

Рассчитанное значение критерия Стъюдента получилось равным $t_{0,05}(8) = 2{,}31$, поэтому коэффициенты уравнения регрессии b_5, b_6, b_7 стали незначимыми. После исключения незначимых коэффициентов уравнение регрессии приняло следующий вид

$$\hat{y} = 380{,}625 + 24{,}875x_1 + 11{,}125x_2 + 17{,}375x_2 - 8{,}875x_4.$$

Полученное решение можно прокомментировать следующим образом, обращаясь к теории математического планирования эксперимента (Грачев & Плаксин, 2005). Как правило, при назначении величины интервалов варьирования в плане эксперимента по результатам изучения литературных данных с учетом разрешающей способности методик выполнения опыта исключению подлежит изучение слишком малого интервала варьирования фактора, поскольку он не сможет значимо влиять на процесс. В то же время, слишком широкий интервал варьирования активного фактора может вызвать такое большое изменение величины критерия оптимальности, что будет «маскировать» влияние других факторов, в связи с чем некоторые из них могут быть отнесены к неактивным (незначимым).

С целью проверки полученного уравнения на адекватность по критерию Фишера по формуле (13) вычислялась остаточная дисперсия по формуле (14), для чего вначале определялись значения изучаемого параметра по полученному уравнению регрессии при подстановке +1 или –1 вместо X_i в соответствии с номером y_i эксперимента из Таблицы 3.

$$\hat{y}_1 = 341, \hat{y}_2 = 408, \hat{y}_3 = 336, \hat{y}_4 = 368, \hat{y}_5 = 393,$$
$$\hat{y}_6 = 425, \hat{y}_7 = 353, \hat{y}_8 = 353, S^2_{ад} = 525{,}33.$$

Расчетное значение критерия Фишера составило:

$$F = \frac{S^2_{ад}}{S^2_{воспр}} = \frac{525{,}33}{199{,}5} = 2{,}63.$$

Табличное значение критерия Фишера для $p = 0{,}05$, $f_1 = 8$ получилось равным $F_{0,95}$ (4,8) = 3,8, т.е. при сравнении с расчетным значением выполнилось условие неравенства (15), отсюда следует, что уравнение регрессии на первом этапе исследования явилось адекватным эксперименту. Работоспособность математической модели была доказана путем проведения расчета программы оптимизации с применением процедуры Бокса-Уилсона для линейного уравнения (Таблица 12).

Таблица 12
Результаты процедуры Бокса-Уилсона для линейного уравнения

Параметры	Факторы				u	ΔC_{1u}, %	ΔC_{2u}, %	ΔC_{3u}, %	ΔC_{4u}, %	y_u, см^3 на 100 г хлеба
	I	II	III	IV						
b_i	24,875	11,125	17,375	−8,875	1	29,355	13,125	17,505	−8,925	421,260
λ_i	5,0 %	5,0 %	0,2 %	0,2 %	2	33,835	15,125	17,635	−8,975	461,873
$b_i \lambda_i$	124,375	55,625	3,475	−1,775	3	38,315	17,125	17,765	−9,025	500,134
k_i	1,0	0,45	0,03	−0,01	4	42,795	19,125	17,895	−9,075	539,970
ΔC_i	4,48 %	2,0 %	0,13 %	−0,05	5	47,275	21,125	18,025	−9,125	538,744

Использование процедуры Бокс-Уилсона для оптимизации состава композиции хлебопекарного улучшителя при изучении изменения всех четырех факторов показало получение результата отклика с постоянным повышением эффективности суммарного действия отдельных улучшителей в составе композиции, связанным с прогнозируемым увеличением их дозировок, что может противоречить рекомендациям по их применению[13]. В связи с этим, оптимальный состав композиции хлебопекарного улучшителя следует искать с учетом возможных ограничений на величину факторов, при этом за оптимальный состав принимают условия опыта, давшего самый высокий результат.

Результаты оценки коэффициентов и линейных эффектов факторов при парном взаимодействии, представленные в Таблице 13, показывают, что положительное влияние на величину отклика (объемный выход формового хлеба) оказало повышение дозировок наполнителя (пшеничной муки), активатора брожения (аммония фосфорнокислого двузамещенного) и ферментативно-активного сырья (амарантовой цельносмолотой полножирной муки). Противоположное действие на величину отклика оказало повышение дозировок окислителя (аскорбиновой кислоты), ферментных препаратов (Фунгамил Супер АХ, Новамил 1500 MG) и их смесей.

Проверка гипотезы о наличии взаимосвязей между изучаемыми факторами и откликом путем их линейного многомерного моделирования в регрессионном анализе показала целесообразность для статистической оценки полученных данных применения метода построения искусственных нейронных сетей. Результаты построения начальной конфигурации нейронной сети с авто-

Таблица 13
Оценка коэффициентов и линейных эффектов факторов при парном взаимодействии (Include in model 2-way interactions)

Effect Estimates; Var.:Var8; R – sqr = 1, (Spreadsheet1_Улучшитель) 7 factors at two levels DV: Var8		
	Effect	Coeff.
1	2	3
Mean/Interc.	380,6250	380,6250
(1)Var1	**49,7500**	**24,8750**
(2)Var2	**22,2500**	**11,1250**
(3)Var3	**34,7500**	**17,3750**
(4)Var4	−17,7500	−8,8750
(5)Var5	−0,2500	−0,1250
(6)Var6	−12,7500	−6,3750
(7)Var7	−15,2500	−7,6250

[13] Технологическая инструкция по применению ферментных препаратов фирмы «Ново Нордикс» (Дания) при производстве хлебобулочных изделий из ржаной, смеси ржаной и пшеничной, пшеничной муки (1999). М.: МГУПП. Пищепромпродукт.

матизированным и пользовательским выбором ее архитектуры и алгоритма обучения приведены в Таблице 14.

Результаты построения нейронной сети в автоматизированном режиме (варианты 1-10) для решения задачи регрессионного анализа показали недостаточную статистическую достоверность результатов вычислений. Коэффициент корреляции *r* составил менее 0,75, т.е. получена корреляция средняя, что свидетельствует об недообучении сетей при отборе начальной конфигурации сети конструктором случайным образом. В пользовательском режиме (вариант 11) была изменена конфигурация MLP путем включения в статистический анализ всех входных данных и удаления нейрона в промежуточном слое, в результате чего точность измерения повысилась (коэффициент корреляции *r* достиг 0,78, т.е. получена корреляция сильная). Предсказанные нейронной сетью величины поверхности отклика представлены в Таблице 15.

Для набора прогнозируемых величин отклика поверхности в Таблице 15 (колонки Var8.1, Var8.3, Var8.4) значение факторов в центре эксперимента может соответствовать вершине поверхности отклика при одинаковом увеличении или уменьшении величины фактора на одну и ту же величину при приближении к околооптимальной плоскости. Для набора прогнозируемых величин отклика поверхности в центре опыта (колонка Var8) и в околооптимальной плоскости (колонка Var8.2) характерно отсутствие значительных повторов, что обуславливает оптимальный выбор направления движения вектора градиента по поверхности отклика.

Выполнение условия (19) обеспечивает работоспособность полученных математических моделей прогноза величины поверхности отклика, не требуя включения в линейное уравнение квадратичных эффектов факторов. Доверительная ошибка разности между среднеарифметической оценкой результата дополнительного опыта в центре эксперимента и свободным членом полученного уравнения снижается на 3,06 % для участка околооптимальной плоскости поверхности отклика по сравнению с опытом, поставленным в центре эксперимента. Соответственно, величина отклика в области минимума составила 367 см^3 на 100 г хлеба, а в области максимума – 425 см^3 на 100 г хлеба, что обеспечило получение качества формового хлеба не ниже уровня классификационных норм,

Таблица 14

Результаты построения нейронной сети в автоматизированном и пользовательском режимах для решения задачи регрессии (с округлением значений до тысячных долей)*

	Profile	Train Perf.	Select Perf.	Test Perf.	Train Error	Select Error	Test Error	Training/ Members	Inputs	Hidden(1)	Hidden(2)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	MLP 1:1-1-1:1	0,606	1,863	1,760	0,254	0,414	0,470	BP100, CG20,CG0b	1	1	0
2	Linear 7:7-1:1	0,000	0,110	1,000	0,000	0,165	0,313	PI	7	0	0
3	MLP 1:1-3-1:1	0,678	0,055	1,000	0,300	0,067	0,256	BP100, CG20,CG0b	1	3	0
4	RBF 1:1-1-1:1	0,536	0,856	1,000	0,010	0,014	0,022	KM,KN,PI	1	1	0
5	RBF 1:1-1-1:1	1,000	1,000	1,000	0,018	0,010	0,013	KM,KN,PI	1	1	0
6	Linear 1:1-1:1	0,696	0,058	0,000	0,248	0,132	0,395	PI	1	0	0
7	MLP 6:6-11-9-1:1	0,009	0,068	0,000	0,004	0,053	0,404	BP100, CG20,CG0b	6	11	9
8	GRNN 7:7-4-2-1:1	0,001	1,000	0,000	0,000	0,017	0,010	SS	7	4	2
9	RBF 3:3-1-1:1	1,000	1,000	0,000	0,018	0,017	0,010	KM,KN,PI	1	1	0
10	RBF 1:1-1-1:1	1,000	1,000	0,000	0,018	0,017	0,010112	KM,KN,PI	1	2	0
11	**MLP 7:7-5-1:1**	**0,249**	**1,204**	**0,442**	**0,112**	**0,231**	**0,525**	**CG4b**	**7**	**5**	**0**

Таблица 15
Предсказанные величины поверхности отклика при вычислении нейронной сетью в режиме регрессионного анализа

Prediction (1-5) (Spreadsheet1_Улучшитель)					
Номер опыта в эксперименте	**Var8**	**Var8.1**	**Var8.2**	**Var8.3**	**Var8.4**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
1	342	403	386	362	322
2	422	403	422	403	404
3	322	365	322	362	322
4	367	365	367	403	404
5	392	365	386	362	322
6	411	365	425	403	404
7	367	403	386	362	322
8	422	403	422	403	404
Среднее арифметическое	381	384	390	383	363
Оценка суммарного квадратичного эффекта факторов	0	3,375	8,875	1,875	17,625
Доверительная ошибка	25,394	15,947	22,334	16,768	29,209

предъявляемых для хлебобулочных изделий, вырабатываемых из пшеничной муки первого сорта[14].

Полученные данные позволяют разработать рекомендации по совместному применению улучшителей различной направленности и принципа действия при изучении оптимального состава композиции хлебопекарного улучшителя посредством планирования и реализации полного факторного эксперимента.

Выводы

Таким образом, моделирование состава композиции хлебопекарного улучшителя направленного действия по схеме полного факторного эксперимента ПЭФ 2^n позволило оценить совместное влияние различных однокомпонентных улучшителей и микроингредиентов на качество хлеба. Применение дисперсионного анализа для изучения влияния дозировок добавок на изменчивость средних в группах показателей качества установило отдельные улучшители и микроингредиенты, оказывающие наибольшее воздействие на изменение величины факторов. Проведение полного факторного эксперимента ПЭФ 2^7 на основе априорной экспериментальной информации позволило определить оптимальное количество факторов, участвующих в построении модели состава композиции хлебопекарного улучшителя, полностью раскрывая характер взаимодействия между отдельными улучшителями и микронутриентами. Дополнением к анализу послужило построение нейронных сетей для осуществления регрессионного анализа с целью уточнения состава композиции хлебопекарного улучшителя.

Литература

Бобышев, К. А., & Матвеева, И. В. (2014). Влияние ферментного препарата глюкозооксидазы на свойства теста и качество хлеба из пшеничной муки. *Хлебопродукты*, *7,* 48-50.

Боровиков, В. П. (2008). Нейронные сети. STATISTICA Neural *Networks: Методология и технологии современного анализа данных* (2-е изд.). М.: Горячая линия-Телеком.

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

Дремучева, Г. Ф., & Карчевская, О. Е. (2000). Улучшение качества хлеба с пониженными хлебопекарными свойствами. *Хлебопродукты*, *4*, 26-27.

Дремучева, Г. Ф., & Носова, Г. Ф. (2019). Технологическая эффективность применения комп-

[14] Пучкова, Л. И. (2004). Лабораторный практикум по технологии хлебопекарного производства (4-е изд.). СПб.: ГИОРД.

лексных хлебопекарных улучшителей на основе отечественных ферментных препаратов. *Хлебопечение России*, *3*, 21-26.

Дремучева, Г. Ф., Невский, А. А., Бессонова, Н. Г., Цурикова, Н. В., Великорецкая, И. А., & Синицын, А. П. (2017). Влияние отечественного ферментного препарата с эндо-ксиланазной активностью на хлебопекарные свойства пшеничной муки и качество хлеба. *Хлебопечение в России*, *4*, 35-38.

Дремучева, Г. Ф., Невский, А. А., Стрельникова, М. В., & Цурикова, Н. В. (2017). Исследование технологических свойств ферментного препарата амилоризин в производстве хлеба из пшеничной муки. *Хлебопечение в России*, *3*, 10-13.

Зюзько, А. С., Коростова, Е. В., & Бондаренко, В. И. (2011). Разработка комплексного улучшителя для повышения качества хлеба из пшеничной муки. *Известия вузов. Пищевая технология*, *4*, 24-25.

Карчевская, О. Е., & Дремучева, Г. Ф. (2002). Влияние улучшителей окислительного действия и композиционных добавок на белковый комплекс пшеничной муки с пониженными хлебопекарными свойствами. Х*ранение и переработка сельхозсырья, 1*, 17-19.

Китаевская, С. В. (2016). Оценка устойчивости модифицированных крахмалов к низкотемпературной обработке. *Вестник технологического университета*, *19*(8), 127-129.

Косован, А. П., & Дремучева, Г. Ф. (2003а). Применение хлебопекарных улучшителей для регулирования качества муки. *Пищевая промышленность*, *12*, 44-45.

Косован, А. П., & Дремучева, Г. Ф. (2003б). Хлебопекарные улучшители: Тенденции развития и особенности применения. *Хлебопечение России*, *4*, 20-23.

Мартьянова, А. И., & Мелешкина, Е. П. (2002а). Новые улучшители пшеничной муки (начало). *Хлебопродукты*, *10*, 28-29.

Мартьянова, А. И., & Мелешкина, Е. П. (2002б). Новые улучшители пшеничной муки. *Хлебопродукты*, *11*, 24-25.

Матвеева, И. В. (2003). Ферментные препараты для хлебопекарной отрасли: Новые технологии и перспективы применения. *Хлебопечение России*, *4*, 24-27.

Нечаев, А. П. (2006). Хлебопекарные улучшители: Когда и зачем. *Хлебопродукты*, *9*, 2-3.

Носова, М. В., & Дремучева, Г. Ф. (2020). Влияние хлебопекарного улучшителя Амилокс-6-3 на качество и степень сохранения свежести хлебобулочных изделий из пшеничной хлебопекарной муки высшего сорта. *Научные труды КубГТУ, 2*, 68-80.

Носова, М. В., Дремучева, Г. Ф., Костюченко, М. Н., Зуева, А. Г., & Цурикова, Н. В. (2019). Технологические свойства мультэнзимной композиции на основе отечественных ферментных препаратов в технологии хлеба из пшеничной муки с различными хлебопекарными свойствами. *Пищевая промышленность*, *4*, 76-77. https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10038

Травкина, С. Г., & Егорова, З. Е. (2016). Влияние уксусной кислоты и ферментных препаратов на стойкость и свежесть заварного хлеба. *Вестник МАХ, 1*, 30-35.

Шлеленко, Л. А., Поландова, Р. Д., & Дремучева, Г. Ф. (2001). Влияние мультэнзимных композиций на свойства теста и качество пшеничного хлеба. *Хлебопечение России*, *1*, 22-24.

Шмалько, Н. А., & Росляков, Ю. Ф. (2011). *Амарант в пищевой промышленности.* Краснодар: Просвещение-Юг.

Awan, J. A., Pasha, I., & Huma, N. (2003). Preparation and application of bread improver using locally available ingredients Salim-ur-Rehman. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences (Pakistan), 39*(2), 154-158.

Barrera, G. N., Tadini, C. C., León, A. E., & Ribotta, P. D. (2016). Use of alpha-amylase and amyloglucosidase combinations to minimize the bread quality problems caused by high levels of damaged starch. *Journal of Food Science and Technology, 53*(10), 3675-3684. https://*doi.*org/*10.1007/s13197-016-2337-2*

Bilyk, O., Bondarenko, Yu., Kochubei-Lytvynenko, O., Khalikova, E., & Fain, A. (2019). Studying the effect of the integrated bread baking improver “Mineral Freshness Super” on consumer properties of wheat bread. *Technology and Equipment of Food Production, 2*(11), 65-72. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.162671

Dahiyaa, S., Bajajb, B. K., Kumar, A., Tiwari, S. K., & Singh, B. (2020). A review on biotechnological potential of multifarious enzymes in bread making. *Process Biochemistry, 99*, 290-306. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.09.002

Ghorbel, R. E., Kamoun, A., Neifar, M., & Chaabouni, S. E. (2010). Optimization of new flour improver mixing formula by surface response methodology. *Journal of Food Process Engineering, 33*(2), 234-256. https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2008.00270.x

Lončar, D. M., Filipović, V. S., & Filipović, J. S. (2016). Optimisation of amylase and xylanase addition depending on white flour amylase activity. *Hemijska Industrija, 70*(6), 673-683. https://doi.org/10.2298/HEMIND150814004L

Matsushita, K., Tamura, A., Goshima, D., Santiago, D. M., Myoda, T., Takata, K., Yamauchi, H.

(2020). Effect of combining additional bakery enzymes and high pressure treatment on bread making qualities. *Journal of Food Science and Technology-Mysore, 57*, 134-142. https://doi.org/10.1007/s13197-019-04038-4

Matsushita, K., Terayama, A., Goshima, D., Myoda, T., Yamauchi, H. (2019). Optimization of enzymes addition to improve whole wheat bread making quality by response surface methodology and optimization technique. *Journal of Food Science and Technology, 56*, 1454-1461. https://doi.org/10.1007/s13197-019-03629-5

Melis, S., Morales, W. R. M., & Delcour, J. A. (2019). Lipases in wheat flour bread making: Importance of an appropriate balance between wheat endogenous lipids and their enzymatically released hydrolysis products. *Food Chemistry, 298*, Article 125002. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125002

Moayedallaie, S., Mirzaei, M., & Paterson, J. (2010). Bread improvers: Comparison of a range of lipases with a traditional emulsifier. *Food Chemistry, 122*(3), 495-499. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.033

Patel, M. J., Ng, J. H. Y., Hawkins, W. E., Pitts, K. F., Chakrabarti-Bell, S. (2012). Effects of fungal α-amylase on chemically leavened wheat flour doughs. *Journal of Cereal Science, 56*(3), 644-651. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.08.002

Shivapour, M., Yousefi, S., Mahdi, S., Ardabili, S., & Weisany, W. (2020). Optimization and quality attributes of novel toast breads developed based on the antistaling watermelon rind powder. *Journal of Agriculture and Food Research, 2*, Article 100073. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100073

Zhygunov, D., Mardar, M., & Kovalyova, V. (2018). Use of enzyme preparations for improvement of the flour baking properties. *Food Science and Applied Biotechnology, 1*(1), 26-32. https://doi.org/10.30721/fsab2018.v1.i1.21

Modeling the Composition of the Bakery Improvers with Directional Action

Natalya A. Shmalko
Kuban State Technological University
2, bldg. "G", Moskovskaya str., Krasnodar, 350072, Russian Federation
E-mail: kafedra-tith@yandex.ru

Modeling the composition of a bakery improver with directional action is a practical task for specialists in the bakery industry in order to predict the quality of raw materials, semi-finished products and finished products. The modeling method is based on the principle of solving the regression problem by compiling and implementing a full factorial experiment when studying all possible combinations of factors with a smaller error than with traditional research methods. The selection of the components that have the best effect on the set of indicators of the quality of bread, with the subsequent drawing up of a simulation experiment plan, is recommended to be carried out according to the results of the analysis of variance of a series of test baked goods with the introduction of individual improvers and micro-ingredients. An important stage in the implementation of the experimental plan is the calculation of the optimization program according to the linear equation in order to determine the optimal combination of components in the composition of the bakery improver. The analysis can be supplemented by the construction of neural networks for conducting regression analysis in order to clarify the composition of the bakery improver composition. A comprehensive solution to the modeling problem based on a priori experimental information allows us to develop recommendations for the combined use of bakery improvers of various directions and principles of action.

Keywords: modeling, composition, bakery improver, experiment planning, factors, response function

References

Bobyshev, K. A., & Matveeva, I. V. (2014). Vliyanie fermentnogo preparata glyukozooksidazy na svoistva testa i kachestvo khleba iz pshenichnoi muki [Influence of the enzyme preparation glucose oxidase on the properties of the dough and the quality of bread made from wheat flour]. *Khleboprodukty* [*Bakery Products*]*, 7*, 48-50.

Borovikov, V. P. (2008). *Neironnye seti. STATISTICA Neural Networks: Metodologiya i tekhnologii sovremennogo analiza dannykh* [*Neural networks. STATISTICA Neural Networks: Methodology and Technologies of Modern Data Analysis*] (2nd ed.). Moscow: Goryachaya liniya-Telekom.

Dremucheva, G. F., & Karchevskaya, O. E. (2000). Uluchshenie kachestva khleba s ponizhennymi khlebopekarnymi svoistvami [Improving the quality of bread with reduced baking properties]. *Khleboprodukty* [*Bakery Products*]*, 4*, 26-27.

Dremucheva, G. F., & Nosova, G. F. (2019). Tekhnologicheskaya effektivnost' primeneniya kompleksnykh khlebopekarnykh uluchshitelei na osnove otechestvennykh fermentnykh preparatov [Technological efficiency of using complex bakery improvers based on domestic enzyme preparations]. *Khlebopechenie Rossii* [*Bakery in Russia*]*, 3*, 21-26.

Dremucheva, G. F., Nevskii, A. A., Bessonova, N. G., Tsurikova, N. V., Velikoretskaya, I. A., & Sinitsyn, A. P. (2017). Vliyanie otechestvennogo fermentnogo preparata s endo-ksilanaznoi aktivnost'yu na khlebopekarnye svoistva pshenichnoi muki i kachestvo khleba [The effect of a domestic enzyme preparation with endo-xylanase activity on the baking properties of wheat flour and the quality of bread]. *Khlebopechenie v Rossii* [*Bakery in Russia*]*, 4*, 35-38.

Dremucheva, G. F., Nevskii, A. A., Strel'nikova, M. V., & Tsurikova, N. V. (2017). Issledovanie tekhnologicheskikh svoistv fermentnogo preparata amilorizin v proizvodstve khleba iz pshenichnoi muki [Study of the technological properties of the enzyme preparation amilorizin in the production of bread from wheat flour]. *Khlebopechenie v Rossii* [*Bakery in Russia*]*, 3*, 10-13.

Grachev, Yu. P., & Plaksin, Yu. M. (2005). *Matematicheskie metody planirovaniya eksperimenta* [*Mathematical methods of experiment planning*]. Moscow: DeLi print.

Karchevskaya, O. E., & Dremucheva, G. F. (2002). Vliyanie uluchshitelei okislitel'nogo deistviya i kompozitsionnykh dobavok na belkovyi kompleks pshenichnoi muki s ponizhennymi khlebopekarnymi svoistvami [Influence of oxidative improvers and compositional additives on the protein complex of wheat flour with reduced baking properties]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya* [*Storage and processing of Farm Products*]*, 1*, 17-19.

Kitaevskaya, S. V. (2016). Otsenka ustoichivosti modifitsirovannykh krakhmalov k nizkotemperaturnoi obrabotke [Evaluation of the resistance of modified starches to low-temperature processing]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [*Technological University Bulletin*], *19*(8), 127-129.

Kosovan, A. P., & Dremucheva, G. F. (2003a). Khlebopekarnye uluchshiteli: Tendentsii razvitiya i osobennosti primeneniya [Bakery improvers: Development trends and application features]. *Khlebopechenie Rossii* [*Bakery in Russia*], *4*, 20-23.

Kosovan, A. P., & Dremucheva, G. F. (2003b). Primenenie khlebopekarnykh uluchshitelei dlya regulirovaniya kachestva muki [The use of baking improvers to control flour quality]. *Pishchevaya promyshlennost'* [*Food Industry*], *12*, 44-45.

Mart'yanova, A. I., & Meleshkina, E. P. (2002a). Novye uluchshiteli pshenichnoi muki (nachalo) [New Wheat Flour Improvers (Start)]. *Khleboprodukty* [*Bakery Products*], *10*, 28-29.

Mart'yanova, A. I., & Meleshkina, E. P. (2002b). Novye uluchshiteli pshenichnoi muki [New Wheat Flour Improvers]. *Khleboprodukty* [*Bakery Products*], *11*, 24-25.

Matveeva, I. V. (2003). Fermentnye preparaty dlya khlebopekarnoi otrasli: Novye tekhnologii i perspektivy primeneniya [Enzyme preparations for the bakery industry: New technologies and application prospects]. *Khlebopechenie Rossii* [*Bakery in Russia*], *4*, 24-27.

Nechaev, A. P. (2006). Khlebopekarnye uluchshiteli: Kogda i zachem [Bakery Improvers: When and Why]. *Khleboprodukty* [*Bakery Products*], *9*, 2-3.

Nosova, M. V., & Dremucheva, G. F. (2020). Vliyanie khlebopekarnogo uluchshitelya Amiloks-6-3 na kachestvo i stepen' sokhraneniya svezhesti khlebobulochnykh izdelii iz pshenichnoi khlebopekarnoi muki vysshego sorta [Influence of the bakery improver Amilox-6-3 on the quality and degree of preservation of freshness of bakery products made from wheat bakery flour of the highest grade]. *Nauchnye trudy KubGTU* [*Scientific works of the Kuban State Technological University*], *2*, 68-80.

Nosova, M. V., Dremucheva, G. F., Kostyuchenko, M. N., Zueva, A. G., & Tsurikova, N. V. (2019). Tekhnologicheskie svoistva mul'tenzimnoi kompozitsii na osnove otechestvennykh fermentnykh preparatov v tekhnologii khleba iz pshenichnoi muki s razlichnymi khlebopekarnymi svoistvami [Technological properties of a multi-enzyme composition based on domestic enzyme preparations in the technology of bread made from wheat flour with various baking properties]. *Pishchevaya promyshlennost'* [*Food Industry*], *4*, 76-77. https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10038

Shlelenko, L. A., Polandova, R. D., & Dremucheva, G. F. (2001). Vliyanie mul'tenzimnykh kompozitsii na svoistva testa i kachestvo pshenichnogo khleba [Influence of multi-enzyme compositions on the properties of the dough and the quality of wheat bread]. *Khlebopechenie Rossii* [*Bakery in Russia*], *1*, 22-24.

Shmal'ko, N. A., & Roslyakov, Yu. F. (2011). *Amarant v pishchevoi promyshlennosti* [*Amaranth in the Food Industry*]. Krasnodar: Prosveshchenie-Yug.

Travkina, S. G., & Egorova, Z. E. (2016). Vliyanie uksusnoi kisloty i fermentnykh preparatov na stoikost' i svezhest' zavarnogo khleba [Effect of acetic acid and enzyme preparations on the persistence and freshness of custard bread]. *Vestnik MAX* [*Bulletin of the International Academy of Refrigeration*], *1*, 30-35.

Zyuz'ko, A. S., Korostova, E. V., & Bondarenko, V. I. (2011). Razrabotka kompleksnogo uluchshitelya dlya povysheniya kachestva khleba iz pshenichnoi muki [Development of a complex improver to improve the quality of bread from wheat flour]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [*Proceedings of Universities. Food Technology*], *4*, 24-25.

Awan, J. A., Pasha, I., & Huma, N. (2003). Preparation and application of bread improver using locally available ingredients Salim-ur-Rehman. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences (Pakistan), 39*(2), 154-158.

Barrera, G. N., Tadini, C. C., León, A. E., & Ribotta, P. D. (2016). Use of alpha-amylase and amyloglucosidase combinations to minimize the bread quality problems caused by high levels of damaged starch. *Journal of Food Science and Technology, 53*(10), 3675-3684. https://doi.org/*10.1007/s13197-016-2337-2*

Bilyk, O., Bondarenko, Yu., Kochubei-Lytvynenko, O., Khalikova, E., & Fain, A. (2019). Studying the effect of the integrated bread baking improver "Mineral Freshness Super" on consumer properties of wheat bread. *Technology and Equipment of Food Production, 2*(11), 65-72. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.162671

Dahiyaa, S., Bajajb, B. K., Kumar, A., Tiwari, S. K., & Singh, B. (2020). A review on biotechnological potential of multifarious enzymes in bread making. *Process Biochemistry, 99*, 290-306. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.09.002

Ghorbel, R. E., Kamoun, A., Neifar, M., & Chaabouni,чS. E. (2010). Optimization of new flour improver mixing formula by surface response methodology. *Journal of Food Process Engineering, 33*(2), 234-256. https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2008.00270.x

Lončar, D. M., Filipović, V. S., & Filipović, J. S. (2016). Optimisation of amylase and xylanase addition depending on white flour amylase activity. *Hemijska Industrija, 70*(6), 673-683. https://doi.org/10.2298/HEMIND150814004L

Matsushita, K., Tamura, A., Goshima, D., Santiago, D. M., Myoda, T., Takata, K., Yamauchi, H. (2020). Effect of combining additional bakery enzymes and high pressure treatment on bread making qualities. *Journal of Food Science and Technology-Mysore, 57*, 134-142. https://doi.org/10.1007/s13197-019-04038-4

Matsushita, K., Terayama, A., Goshima, D., Myoda, T., Yamauchi, H. (2019). Optimization of enzymes addition to improve whole wheat bread making quality by response surface methodology and optimization technique. *Journal of Food Science and Technology, 56*, 1454-1461. https://doi.org/10.1007/s13197-019-03629-5

Melis, S., Morales, W. R. M., & Delcour, J. A. (2019). Lipases in wheat flour bread making: Importance of an appropriate balance between wheat endogenous lipids and their enzymatically released hydrolysis products. *Food Chemistry, 298*, Article 125002. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125002

Moayedallaie, S., Mirzaei, M., & Paterson, J. (2010). Bread improvers: Comparison of a range of lipases with a traditional emulsifier. *Food Chemistry, 122*(3), 495-499. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.033

Patel, M. J., Ng, J. H. Y., Hawkins, W. E., Pitts, K. F., Chakrabarti-Bell, S. (2012). Effects of fungal α-amylase on chemically leavened wheat flour doughs. *Journal of Cereal Science, 56*(3), 644-651. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.08.002

Shivapour, M., Yousefi, S., Mahdi, S., Ardabili, S., & Weisany, W. (2020). Optimization and quality attributes of novel toast breads developed based on the antistaling watermelon rind powder. *Journal of Agriculture and Food Research, 2*, Article 100073. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100073

Zhygunov, D., Mardar, M., & Kovalyova, V. (2018). Use of enzyme preparations for improvement of the flour baking properties. *Food Science and Applied Biotechnology, 1*(1), 26-32. https://doi.org/10.30721/fsab2018.v1.i1.21

УДК 633.85:631:526.32 https://doi.org/10.36107/spfp.2021.216

Применение кластерного анализа для идентификации масличного сырья

Клейменова Наталья Леонидовна
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»
Адрес: 394036, г. Воронеж, проспект Революции, д. 19
E-mail: klesha78@list.ru

Болгова Инэсса Николаевна
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»
Адрес: 394036, г. Воронеж, проспект Революции, д. 19
E-mail: bolgovainessa@yandex.ru

Копылов Максим Васильевич
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»
Адрес: 394036, г. Воронеж, проспект Революции, д. 19
E-mail: kopylov-maks@yandex.ru

Пегина Алла Николаевна
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»
Адрес: 394036, г. Воронеж, проспект Революции, д. 9
E-mail: toriss@yandex.ru

Кашолкина Дарья Андреевна
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»
Адрес: 394036, г. Воронеж, проспект Революции, д. 19
E-mail: toriss@yandex.ru

В данной статье осуществлен поиск математических методов для оценки уровня сбалансированности основных количественных признаков у масличных сортов. На основе экспериментальных данных применения кластерного анализа для оценки сортов различных масличных культур проанализированы основные количественные признаки и урожайность. С помощью кластерного анализа проведена идентификация различных сортов масличных культур, которые выращивают в разных регионах страны. Изучены основные посевные площади масличных культур за 2017-2019 годы. В результате проведенных исследований установлено сокращение площадей по культурам льна, горчицы и рыжика, что связано с урожайностью и малым экспортом. Проанализированы состояние роста и развития масличных культур, продолжительность их возделывания, зависящая от биологических особенностей сорта, а также технологии выращивания. Изучена специфика и особенности исследуемых масличных культур. С помощью метода выявлены единые меры, которые включают ряд исследуемых признаков. Данные признаки объединены с помощью метрики в один кластер сходства группирования исследуемых объектов. Сорта сгруппированы в три кластера по годам. Состав каждого кластера менялся в зависимости от природно-климатических условий. Осуществлен разведочный анализ с использованием точечной диаграммы. Построена дендограмма сравнительной характеристики сортов масличных культур по элементам структуры урожая. При помощи метода K-means clustering кластеризации определены евклидовы расстояния исследуемых параметров средних значений соответствующих 5 кластеров, которые имеют схожие сорта масличных культур. На основании проведенных исследований можно определять конкурентоспособность различных масличных культур, разрабатывать новые пищевые продукты.

Ключевые слова: кластер, кластерный анализ, масличные культуры, статистика, дендограмма, урожай

Введение

В настоящее время наблюдаются позитивные изменения развития агропромышленного комплекса, которые позволяют использовать передовые технологии для выращивания масличных культур в различных климатических условиях (El-haak, Atta, & Abd Rabo, 2015; Lobell & Gourdji, 2017).

Авторами (Тищенко, Панченко, & Чернышева, 2013) применялись выборки генотипов и их структурных элементов для пшеницы озимой и на основе Эвклидовой метрики получена классификация сорта и определена степень сбалансированности показателей для урожая. Кластерный анализ применялся для оценки сортов мягкой яровой пшеницы по элементам структуры урожая в статье (Шаманин, Петуховский, & Краснова, 2016).

Получены результаты кластерного анализа, в которых разделена совокупность сортов яровой мягкой пшеницы на 5 групп, имеющих разное сочетание параметров длины корней с мощностью их развития как в контроле, так и в присутствии алюминия (Лисицын & Амунова 2014). Авторы предполагают, что повышение алюмоустойчивости сортов яровой мягкой пшеницы происходит косвенным путем, параллельно с целенаправленной селекцией на повышение уровня устойчивости растений к абиотическим факторам среды выращивания.

Авторами (Gebeyehu, Hammenhag, Ortiz, Tesfaye, & Geleta, 2020) проведено исследование по выявлению наличия значительных фенотипических и генотипических различий в генофонде эфиопской нуги, отраженных как на качественных, так и на количественных признаках. Кластерный анализ на основе евклидовых расстояний показал, что схема кластеризации образцов плохо коррелирует с географическим расстоянием между местами сбора проб. Отсутствие четкой модели кластеризации присоединений с учетом их географической близости предполагает сильный поток генов между популяциями в широком географическом регионе - Эфиопии.

Исследования авторов (Румянцев & Глуховцев, 2011; Бушнев, Подлесный, & Хатит, 2019; Котлярова, & Титовская, 2018), позволили предложить научную концепцию селекции зерновых культур по устойчивости к стрессовым факторам, что способствовало получению высокого урожая и высокопластичных сортов, которые имеют свойство противостоять экстремальным условиям в период вегетации.

Однако в природе имеются масличные культуры, которые имеют сбалансированный состав признаков, что обеспечивает им выживание в постоянно изменяющихся климатических условиях (Hussain et al., 2017; Hassan et al., 2019). Выращивание гибридов не способствует идеальному составу в генотипе масличного сырья (Тищенко, Ищенко, & Дубенец, 2016; Creissen, Jorgensen, & Brown, 2016; Bhattarai, Thapa, Ojha, Kharel, & Sapkota, 2017).

Известно, что лен и горчица выращиваются для экспорта, а из рыжика в перспективе можно получать масло и шрот (Patial, Paul, Sharma, Sood, & Kumar, 2019; Jankowski, Załuski, & Sokólski, 2020; Krzyżaniak et al., 2019).

Для успешного выращивания богатого урожая необходимо знать состояние роста и развития масличных культур, продолжительность возделывания, зависящее от биологических особенностей сорта, а также технологии выращивания (Abdorreza, Hossein, & Morteza, 2015; Embaye et al., 2018; Cuesta-Marcos et al., 2016; Agahi, Ahmadi, Oghan, Fotokian, & Orang, 2020; Majerova & Nevima, 2017; Mustafa, Farooq, Hasan, Bibim, & Mahmood, 2015; Khalid & Hameed, 2021; Venujayakanth, Dudhat, Swaminathan, & Anurag, 2017). В данном контексте важным элементом является изучение специфики и особенностей масличных культур.

В современных условиях развития сельского хозяйства для качества продукции актуальной проблемой является совершенствование модернизации оборудования на основе развития инновационных процессов, при этом знания в области оценки технологических приёмов выращивания сельскохозяйственных культур необходимы для повышения конкурентоспособности. Анализ агроморфологических признаков в зависимости от урожайности семян важен для повышения продуктивности масличной культуры. Поэтому важным аспектом является получение высокого урожая при наименьших затратах. С этой целью создаются новые перспективные удобрения, применяют высокопроизводительные агрегаты для обработки почвы и т.п.

Исследование направлено на поиск математических методов, с помощью которых можно оценить уровень сбалансированности основных количественных признаков у масличных сортов.

Цель исследования – провести анализ на основе экспериментальных данных применения кластерного анализа для оценки сортов различных

масличных культур по сбалансированности основных количественных признаков и урожайности.

Задача исследования – применить кластерный анализ для идентификации различных сортов масличных культур, произрастающих в разных регионах и установить сбалансированность количественных признаков, с помощью которых определяют адаптивные свойства, способствующие увеличению урожайности.

Материалы и методы

Материалы

Масличные культуры, используемые в кластерном анализе - рапс (яровой), подсолнечник, рыжик (яровой и озимый), расторопша (пятнистая), лен (масличный), горчица (белая).

Методы

Цель кластерного анализа заключается в построении групп (или классов, или кластеров), обеспечивая при этом следующее свойство: внутри группы наблюдения должны быть как можно более похожими, в то время как наблюдения, принадлежащие к разным группам, должны быть как можно более разными.

Процедура исследования

В кластерном анализе в основу группировок было включено 5 признаков: урожайность зерна, продуктивная кустистость, число зерен в колосе, масса 1000 семян, масса зерна с колоса. На основе 5 признаков, которые характеризуют сорта исследуемых масличных культур, использовалась иерархическая кластеризация для поиска иерархии кластеров, которая представляет древовидную структуру - дендрограмма. На основании кластеризации k-средних необходимо вычислить расстояния, чтобы каждый кластер был связан с центроидом. Цель применения k-средних состоит в минимизации суммы расстояний между точками и их центроидом кластера.

Анализ данных

Анализ проводили, используя 54 сорта с помощью математического метода - кластерный анализ в программе Statistica.

Результаты и их обсуждение

Анализ литературных данных показал, что в России самой распространенной культурой является подсолнечник из всех исследуемых объектов. Урожайность масличных культур за 2017 2019 – года представлена на Рисунке 1.

Согласно Росстату[1], в России за 2019 год различные масличные культуры занимают 19 % основных посевных площадей. Из исследуемых масличных культур: пшеница – 15,3 %, подсолнечник – 10,7 %, ячмень – 10,2 %; рапс - 1,9 %, лен масличный – 1 %, горчица – 0,5%, рыжик – 0,1 %. Однако наблюдалось сокращение площадей по культурам льна, горчицы и рыжика, что связано с урожайностью и малым экспортом. Данные агрокультуры занимают малую долю для производства пищевых растительных масел.

При проведении исследования возникла проблема объединения по сходству объектов, которые характеризуются множеством признаков, выраженных в разных единицах измерения. Поэтому воспользовались математическим методом - кластерным анализом. С помощью метода выявлены единые меры, которые включают ряд исследуемых признаков. Данные признаки объединяются с помощью метрики в один кластер сходства группирования исследуемых объектов. Исследованию подверглись 54 сорта масличных культур, значения параметров взяты преимущественно с видов, высаженных в Центральной части России[2,3]. Формирование кластеров основываются на исследовании сортов и выявлении значений элементов структуры урожая в среднем за 2017-2019 годы[4]. Для данного исследования сгруппировали сорта в три кластера по годам. Состав каждого кластера меняется в зависимости от природно-климатических факторов. В программе Statistica сформировали данные с анализируемыми параметрами (Таблица 1).

[1] Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2019 году. URL: https://rosstat.gov.ru (дата обращения: 13.04.2021).

[2] Итоги сортоиспытания сельскохозяйственных культур. URL: https://agro.amurobl.ru (дата обращения: 20.05.2021).

[3] Сорта растений, включенные в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. URL: https://web.archive.org/web/20171101010903/http://reestr.gossort.com/reestr/l/15 (дата обращения: 10.04.2021).

[4] Результаты сортоиспытания сельскохозяйственных культур на госсортоучастках Кировской области за 2017-2019 годы и сортовое районирование на 2020 год. Рекомендации составлены в помощь специалистам сельскохозяйственного производства. URL: https://docviewer.yandex.ru (дата обращения: 10.04.2021).

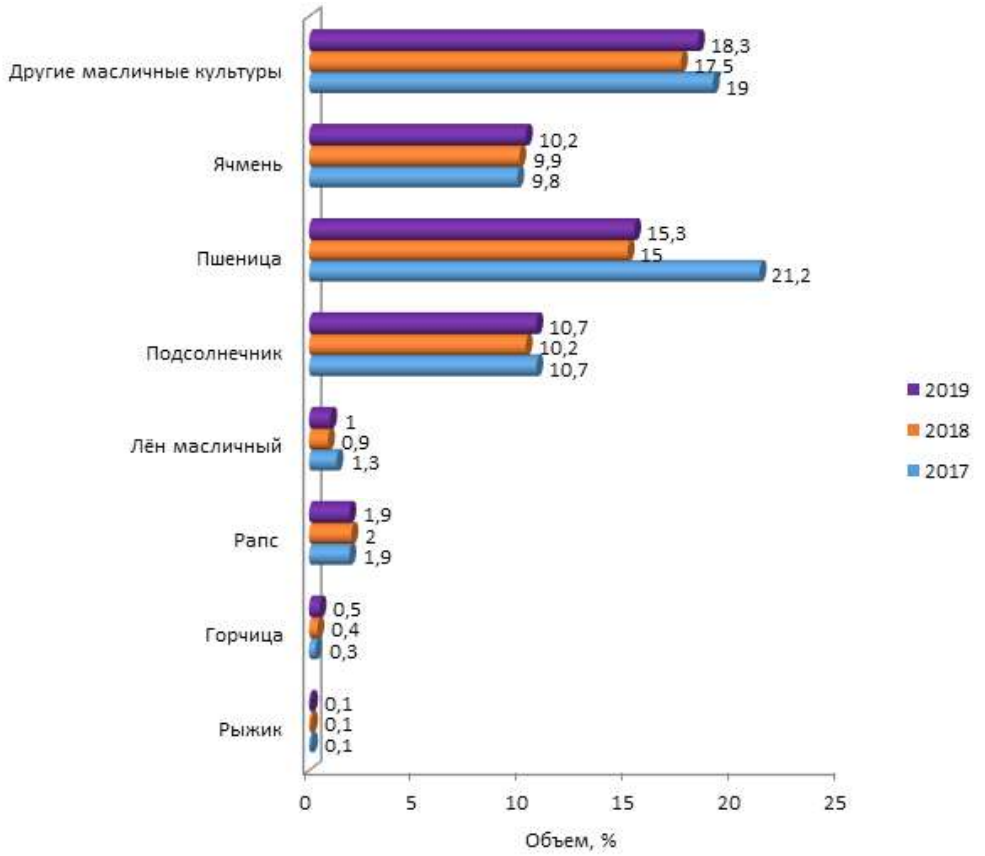


Рисунок 1. Посевные площади масличных культур за 2017-19 годы

Следующим этапом работы являлось проведение разведочного анализа с использованием точечной диаграммы (*Scatterplots)*.

Анализ точечной диаграммы (Рисунок 2) показал, что по четырем исследуемым признакам анализируемые масличные культуры разбиваются на 5 кластеров, выделение кластеров необходимо для дальнейшего исследования анализа. При построении дендограммы использовалась Эвклидова метрика и метод единичной связи (Мулянова & Косников, 2018). Сравнительная характеристика сортов масличных культур по элементам структуры урожая представлена на Рисунке 3.

Для того чтобы наглядно увидеть разбиение на кластеры используем изменение масштаба (Рисунок 4).

Анализ Рисунка 4 показал, что первый кластер представлен горчицей разных сортов, представителем второго кластера является подсолнечник, третьего – разные сорта льна и рыжика, четвертого – расторопша, пятого – рыжик «Омич» и все сорта рапса. Известно, что различные сорта рапса имеют невысокую зимостойкость и поэтому выращивают в регионах с мягким климатом. Рыжик «Омич» устойчив к климату Сибири, количество Омега 9 больше чем в других сортах рыжика.

Следующим этапом необходимо применить *K-means clustering* кластеризации (Venujayakanth et al., 2017). С помощью разведочного анализа построено 5 кластеров по результатам и графики средних значений для выбранных кластеров по элементам структуры урожая масличного сырья (Рисунок 5).

На Рисунке 5 получены средние переменные для пяти кластеров: урожайность, продуктивность куста, число зерен в колосе, масса 1000 зерен и масса зерна с колоса. Урожайность, масса 1000 зерен и с колоса незначительно влияют на классы, следовательно, можно игнорировать (исключить). Число зерен в колосе зависит от фаз развития, внесения питательных веществ, от погодных условий.

С помощью раздела описательной статистики для каждого класса определяется принадлежность исследуемых объектов к каждому классу (Рисунок 6).

Таблица 1
Формирование кластеров при исследовании различных масличных сортов

Номер кластера	Сорт	Урожайность, т/га	Продуктивность куста	Число зёрен в колосе, шт.	Масса 1000 зёрен, г	Масса зерна с колоса, г.
1 (2017)	Рапс Яровой “Амулет”	2,3	1,2	22	3,7	8,03
	Рапс Озимый “Лорис”	3,5	1,5	24	3,9	8,85
	Рапс “Галант”	2,1	1,1	26	3,1	8,1
	Подсолнечник “Бузулук”	3,1	1,3	417,6	55	33,3
	Подсолнечник “Джинн”	3,2	1,2	440	56	35,4
	Подсолнечник “Умник”	3,3	1,1	412,2	58	30,9
	Рыжик “Карат”	2,1	0,99	98,2	0,9	0,46
	Рыжик “Омич”	2	1,1	101,3	1,3	0,48
	Рыжик «Пензяк”	2,3	1,3	105,4	0,9	0,49
	Расторопша “Пятнистая”	1,6	0,93	35,2	0,9	6,5
	Расторопша “Амулет”	1	0,99	40,3	1,1	4,2
	Расторопша “Панацея”	0,5	1,01	39,4	1	7,1
	Лён «Нилин”	1,9	0,94	87	5,5	0,86
	Лён “Бирюза”	2,5	0,97	96	7,4	0,9
	Лён «Даник”	2,5	0,98	101	7,9	1,05
	Горчица Белая «Колла”	1,9	0,97	530,2	5,1	1,44
	Горчица “Люкс”	2,3	0,95	510,6	3,2	1,87
	Горчица “Ника”	2,8	0,94	537,2	3,4	1,6
2 (2018)	Рапс Яровой “Амулет”	2,6	1,3	25	3,9	7,9
	Рапс Озимый “Лорис”	3,3	1,4	24	4,1	8,02
	Рапс “Галант”	2,3	1,3	25	2,9	8,7
	Подсолнечник “Бузулук”	2,8	1,2	410,1	58	35,7
	Подсолнечник “Джинн”	3	1,1	432,3	69	38,3
	Подсолнечник “Умник”	3,1	1	405,9	60	34,9
	Рыжик “Карат”	2	1,1	100,3	0,93	0,47
	Рыжик “Омич”	1,9	1	104,2	1,2	0,49
	Рыжик «Пензяк”	2,2	1,3	99,9	1,2	0,46
	Расторопша “Пятнистая”	1,6	1,09	38,4	0,8	7,3
	Расторопша “Амулет”	1,2	0,98	38,7	1	4,2
	Рыжик “Омич”	1,9	1	104,2	1,2	0,49
	Рыжик «Пензяк”	2,2	1,3	99,9	1,2	0,46
	Расторопша “Пятнистая”	1,6	1,09	38,4	0,8	7,3
	Расторопша “Амулет”	1,2	0,98	38,7	1	4,2
	Расторопша “Панацея”	0,6	0,99	40,1	0,9	5,6
	Лён «Нилин”	2,1	1,01	90	5,3	1,02
	Лён “Бирюза”	2,4	0,96	99	7,5	0,99
	Лён «Даник”	2,6	0,98	96	7,8	0,97
	Горчица Белая «Колла”	2	0,96	540,3	5,2	1,93
	Горчица “Люкс”	2	0,98	533,4	3,5	1,77
	Горчица “Ника”	3,2	0,99	524,2	3,3	1,6
3 (2019)	Рапс Яровой “Амулет”	2,4	1,1	22	4,1	8,1
	Рапс Озимый “Лорис”	4,0	1,5	23	4,2	8
	Рапс “Галант”	2,5	1,2	25	3	8,3

Номер кластера	Сорт	Урожайность, т/га	Продуктивность куста	Число зёрен в колосе, шт.	Масса 1000 зёрен, г	Масса зерна с колоса, г.
	Подсолнечник “Бузулук”	3	1,3	407,2	62	36,3
	Подсолнечник “Джинн”	3,1	1,1	421,3	71	34,2
	Подсолнечник “Умник”	3,5	1,1	405,1	62	37,5
	Рыжик “Карат”	2,3	1,2	97,6	0,92	0,44
	Рыжик “Омич”	2,1	1	101,2	1,3	0,46
	Рыжик «Пензяк”	2	1,3	102,1	1,3	0,49
	Расторопша “Пятнистая”	1,5	0,97	41,2	1	6,7
3 (2019)	Расторопша “Амулет”	1,1	0,99	39,5	1,1	7,2
	Расторопша “Панацея”	0,6	1,01	40,3	1,2	7,9
	Лён «Нилин”	2	0,98	97	5,4	0,99
	Лён “Бирюза”	2,6	0,95	101	7,9	1,09
	Лён «Даник”	2,7	1,03	104	8	1,02
	Горчица Белая «Колла”	2,1	0,98	534,2	5,2	1,74
	Горчица “Люкс”	2,2	1,01	540,6	3,3	1,95
	Горчица “Ника”	3,1	0,97	538,9	3,7	1,87

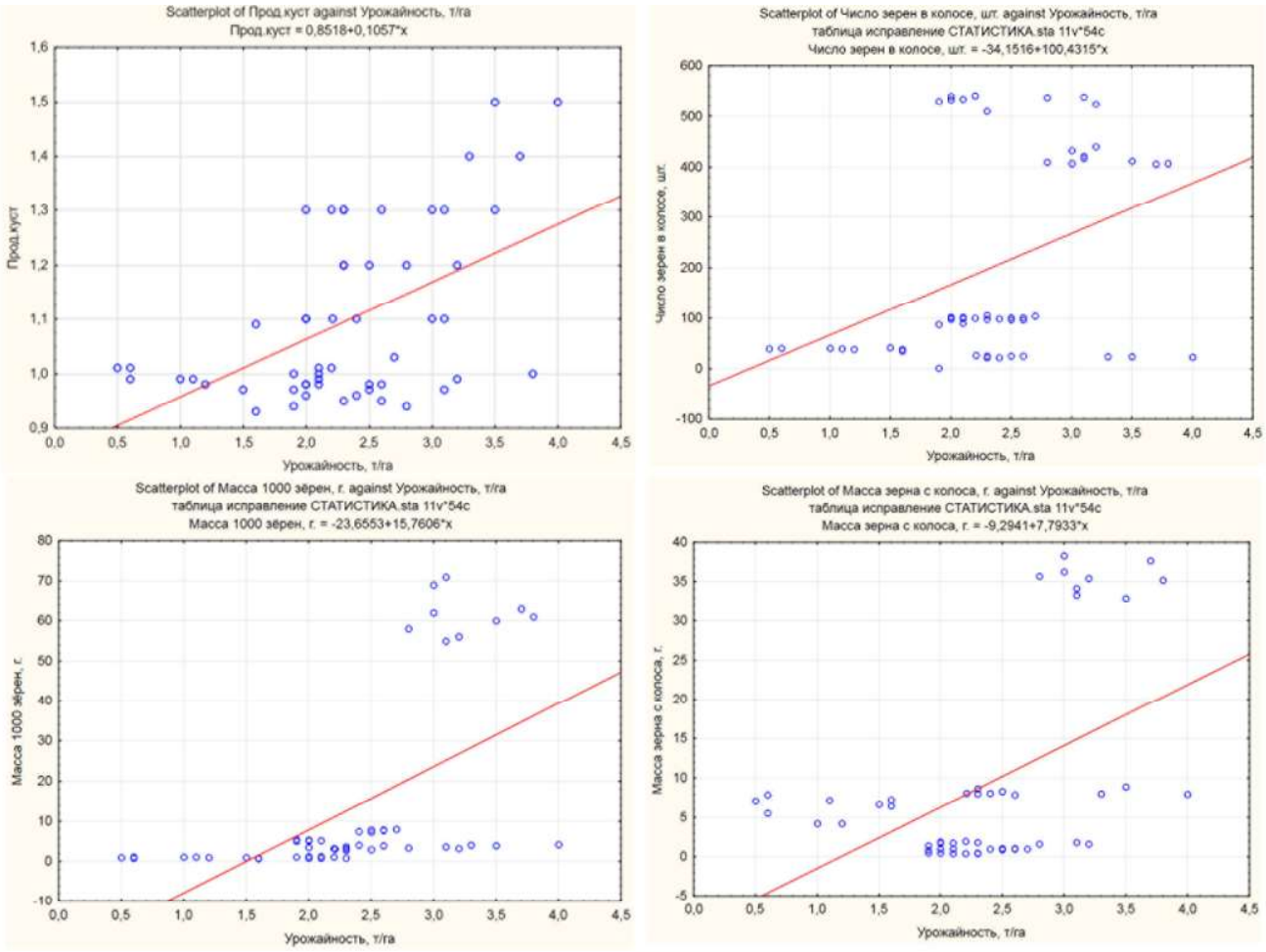


Рисунок 2. Точечная диаграмма из программы *Statistica*

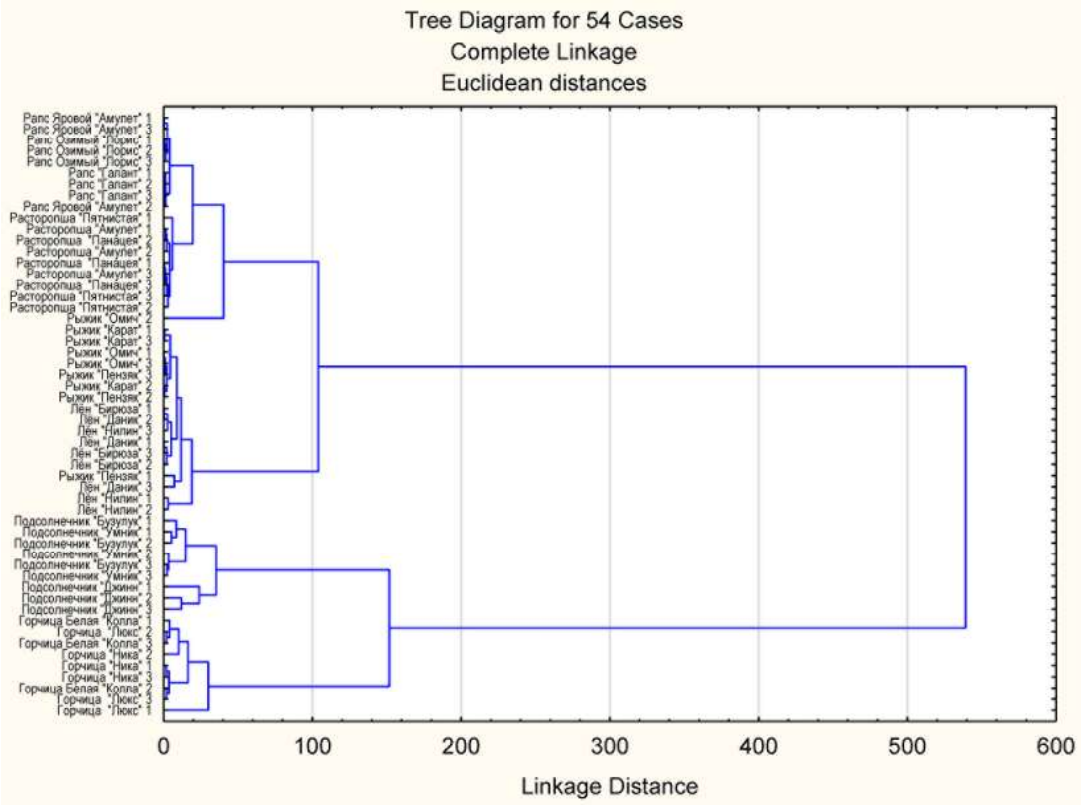


Рисунок 3. Сравнительная характеристика сортов масличных культур по элементам структуры урожая в среднем за 2017-2019 гг.

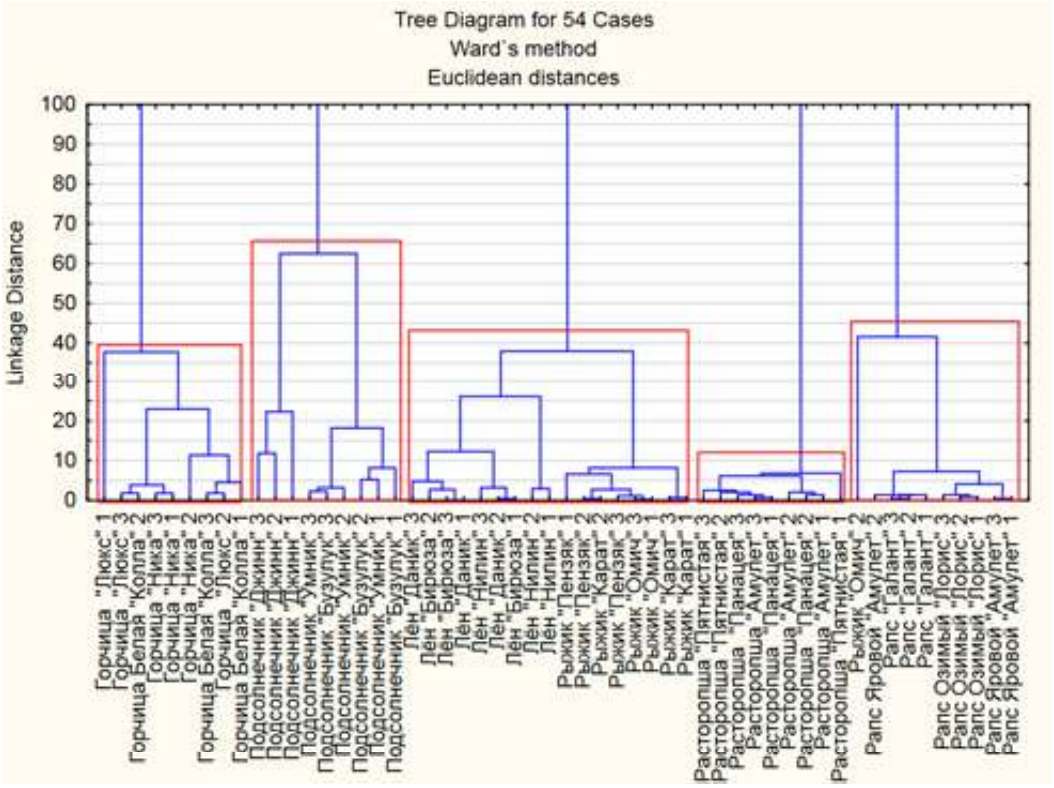


Рисунок 4. Объединенные кластеры на дендограмме

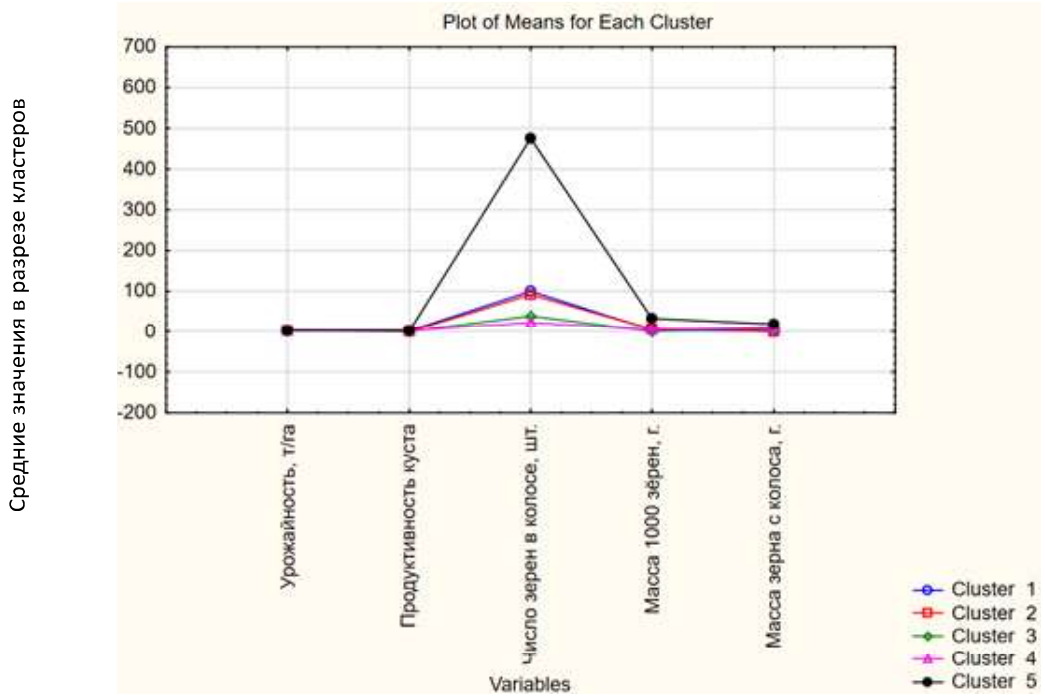
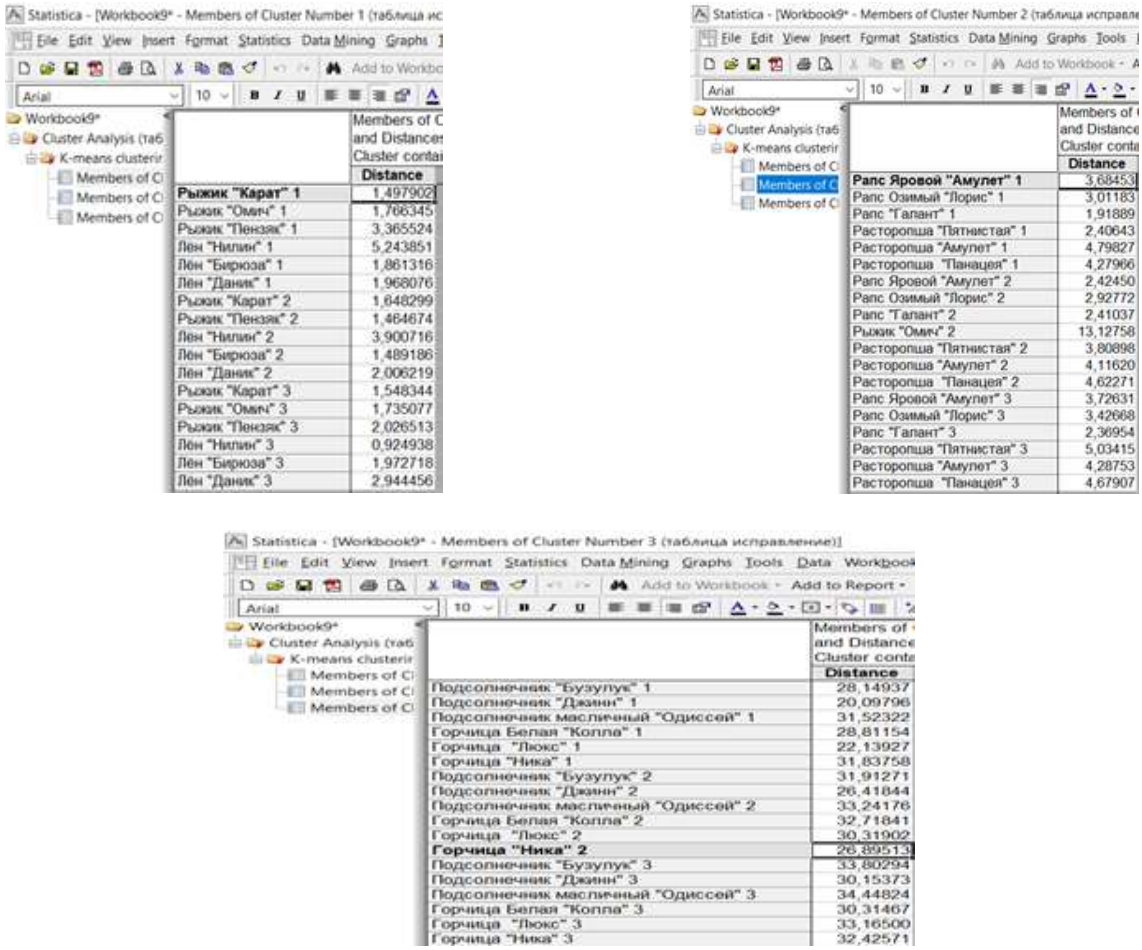


Рисунок 5. График средних расстояний для элементов структуры урожая масличного сырья 2017-2019 гг.



Statistica - [Workbook9* - Members of Cluster Number 1 (таблица ис

	Distance
Рыжик "Карат" 1	1,497902
Рыжик "Омич" 1	1,766345
Рыжик "Пензяк" 1	3,365524
Лён "Нилин" 1	5,243851
Лён "Бирюза" 1	1,861316
Лён "Даник" 1	1,968076
Рыжик "Карат" 2	1,648299
Рыжик "Пензяк" 2	1,464674
Лён "Нилин" 2	3,900716
Лён "Бирюза" 2	1,489186
Лён "Даник" 2	2,006219
Рыжик "Карат" 3	1,548344
Рыжик "Омич" 3	1,735077
Рыжик "Пензяк" 3	2,026513
Лён "Нилин" 3	0,924938
Лён "Бирюза" 3	1,972718
Лён "Даник" 3	2,944456

Statistica - [Workbook9* - Members of Cluster Number 2 (таблица исправле

	Distance
Рапс Яровой "Амулет" 1	3,68453
Рапс Озимый "Лорис" 1	3,01183
Рапс "Галант" 1	1,91889
Расторопша "Пятнистая" 1	2,40643
Расторопша "Амулет" 1	4,79827
Расторопша "Панацея" 1	4,27966
Рапс Яровой "Амулет" 2	2,42450
Рапс Озимый "Лорис" 2	2,92772
Рапс "Галант" 2	2,41037
Рыжик "Омич" 2	13,12758
Расторопша "Пятнистая" 2	3,80898
Расторопша "Амулет" 2	4,11620
Расторопша "Панацея" 2	4,62271
Рапс Яровой "Амулет" 3	3,72631
Рапс Озимый "Лорис" 3	3,42668
Рапс "Галант" 3	2,36954
Расторопша "Пятнистая" 3	5,03415
Расторопша "Амулет" 3	4,28753
Расторопша "Панацея" 3	4,67907

Statistica - [Workbook9* - Members of Cluster Number 3 (таблица исправление)]

	Distance
Подсолнечник "Бузулук" 1	28,14937
Подсолнечник "Джинн" 1	20,09796
Подсолнечник масличный "Одиссей" 1	31,52322
Горчица Белая "Колпа" 1	28,81154
Горчица "Люкс" 1	22,13927
Горчица "Ника" 1	31,83758
Подсолнечник "Бузулук" 2	31,91271
Подсолнечник "Джинн" 2	26,41844
Подсолнечник масличный "Одиссей" 2	33,24176
Горчица Белая "Колпа" 2	32,71841
Горчица "Люкс" 2	30,31902
Горчица "Ника" 2	26,89513
Подсолнечник "Бузулук" 3	33,80294
Подсолнечник "Джинн" 3	30,15373
Подсолнечник масличный "Одиссей" 3	34,44824
Горчица Белая "Колпа" 3	30,31467
Горчица "Люкс" 3	33,16500
Горчица "Ника" 3	32,42571

Рисунок 6. Результативные таблицы разбиения на кластеры

Анализ Рисунка 6 показал, что во втором столбце представлено евклидово расстояние от центра класса до исследуемой культуры, т.е. средние величины.

Полученные данные по средним значениям исследуемых показателей 5 кластеров необходимы для определения как они различаются.

С помощью дисперсионного анализа для кластеров получены значения $p<0,05$, что свидетельствует о значимом различии (Рисунок 7). Определены евклидовы расстояния исследуемых параметров средних значений соответствующих 5 кластеров (Рисунок 8).

Рассчитаны элементы кластеров масличного сырья, получены евклидовы расстояния объектов от центров (средних значений) соответствующих им кластеров (Рисунок 9)

Следует отметить, что полученные 5 кластеров имеют схожие сорта масличных культур.

	Analysis of Variance					
Variable	Between SS	df	Within SS	df	F	signif. p
Урожайность, т/га	20	4	12,76	49	19,1612	0,000000
Продуктивность куста	0	4	0,90	49	5,7155	0,000741
Число зерен в колосе, шт.	2082955	4	62111,29	49	410,8141	0,000000
Масса 1000 зёрен, г.	10635	4	15350,46	49	8,4871	0,000028
Масса зерна с колоса, г.	2906	4	5205,42	49	6,8388	0,000186

Рисунок 7. Дисперсионный анализ

	Cluster Means				
Variable	Cluster No. 1	Cluster No. 2	Cluster No. 3	Cluster No. 4	Cluster No. 5
Урожайность, т/га	2,2462	2,27500	1,07778	2,70100	2,8222
Продуктивность куста	1,0915	0,97500	0,99556	1,26000	1,0917
Число зерен в колосе, шт.	100,6154	92,25000	39,23333	21,74020	474,6444
Масса 1000 зёрен, г.	3,4962	6,50000	1,00000	3,41000	32,8278
Масса зерна с колоса, г.	0,6838	0,93750	6,30000	7,44900	18,5983

Рисунок 8. Кластерное расстояние

	Members of C and Distances Cluster contai
	Distance
Рыжик "Карат" 1	1,590967
Рыжик "Омич" 1	1,038654
Рыжик "Пензяк" 1	2,437888
Лён "Даник" 1	1,987598
Рыжик "Карат" 2	1,165419
Рыжик "Пензяк" 2	1,084416
Лён "Бирюза" 2	1,937780
Рыжик "Карат" 3	1,777821
Рыжик "Омич" 3	1,024179
Рыжик "Пензяк" 3	1,197397
Лён "Нилин" 3	1,836431
Лён "Бирюза" 3	1,992586
Лён "Даник" 3	2,532312

Кластер 1

	Members of and Distance Cluster conta
	Distance
Лён "Нилин" 1	2,396262
Лён "Бирюза" 1	1,727690
Лён "Нилин" 2	1,143779
Лён "Даник" 2	1,780966

Кластер 2

	Members of and Distanc Cluster cont
	Distance
Расторопша "Пятнистая" 1	1,821801
Расторопша "Амулет" 1	1,054880
Расторопша "Панацея" 1	0,447619
Расторопша "Пятнистая" 2	0,634993
Расторопша "Амулет" 2	0,970528
Расторопша "Панацея" 2	0,543951
Расторопша "Пятнистая" 3	0,917246
Расторопша "Амулет" 3	0,422288
Расторопша "Панацея" 3	0,890647

Кластер 3

	Members of and Distance Cluster conta
	Distance
Рапс Яровой "Амулет" 1	0,361541
Рапс Озимый "Лорис" 1	1,265354
Рапс "Галант" 1	1,945892
Рапс Яровой "Амулет" 2	1,488731
Рапс Озимый "Лорис" 2	1,121360
Рапс "Галант" 2	1,588320
Рыжик "Омич" 2	9,671229
Рапс Яровой "Амулет" 3	0,465532
Рапс Озимый "Лорис" 3	0,923017
Рапс "Галант" 3	1,520697

Кластер 4

	Members of and Distanc Cluster conta
	Distance
Подсолнечник "Бузулук" 1	28,14937
Подсолнечник "Джинн" 1	20,09796
Подсолнечник масличный "Одиссей" 1	31,52322
Горчица Белая "Колла" 1	28,81154
Горчица "Люкс" 1	22,13927
Горчица "Ника" 1	31,83758
Подсолнечник "Бузулук" 2	31,91271
Подсолнечник "Джинн" 2	26,41844
Подсолнечник масличный "Одиссей" 2	33,24176
Горчица Белая "Колла" 2	32,71841
Горчица "Люкс" 2	30,31902
Горчица "Ника" 2	26,89513
Подсолнечник "Бузулук" 3	33,80294
Подсолнечник "Джинн" 3	30,15373
Подсолнечник масличный "Одиссей" 3	34,44824
Горчица Белая "Колла" 3	30,31467
Горчица "Люкс" 3	33,16500
Горчица "Ника" 3	32,42571

Кластер 5

Рисунок 9. Элементы кластеров масличного сырья

Выводы

В результате идентификации масличного сырья установлено, что сорта, принадлежащие одному роду как правила входят в один кластер. Однако есть исключение - рыжик «Омич» 2 входит в кластер 5, в котором присутствуют только сорта рапса.

К одному кластеру принадлежат родственные сорта: кластер 1 – горчица, кластер 2 - подсолнечник, кластер 3 – лен и рыжик, кластер 4 - расторопша. В результате кластерного анализа было выяснено, что третий кластер представлен родственными сортами льна и рыжика, что возможно объясняется приспособлением к климатическим условиям – засухе.

Полученные результаты исследования позволили сгруппировать разные сорта масличных культур и выделить близкие. Таким образом, применяя Эвклидову метрику, объединили сорта масличных культур и сгруппировали их.

Следует отметить, используя огромные выборки генотипов и их структурных элементов, а также анализируя соотношение их уровня с помощью Эвклидовой метрики, классифицированы сорта масличных культур и выявлена степень сбалансированности основных составляющих урожая. Данные можно использовать для определения конкурентоспособности различных масличных культур при разработке новых пищевых продуктов, а также определения ниши, в которой лучше позиционировать выводимый на рынок продукт.

Литература

Бушнев, А. С., Подлесный, С. П., & Хатит, А. Б. (2019). Влияние нормы высева семян на некоторые элементы структуры урожая сортов и гибридов подсолнечника. Масличные культуры, 2, 69-74. https://doi.org/10.25230/2412–608X–2019–2–178–69–74.

Котлярова, Е. Г., & Титовская, Л. С. (2018). Изменчивость биометрических параметров гибридов подсолнечника в зависимости от способов основной обработки почвы и листовых подкормок. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета, *2*, 17–22.

Лисицын, Е. М., & Амунова, О. С. (2014). Генетическое разнообразие сортов яровой мягкой пшеницы по алюмоустойчивости. Вавиловский журнал генетики и селекции, *18*(3), 497-505.

Мулянова, Ю. Н., & Косников, С. Н. (2018). Кластерный анализ в сельском хозяйстве. *Economics, 5*, 43-57.

Румянцев, А. В., & Глуховцев, В. В. (2011). Роль селекции зерновых и кормовых культур в повышении урожайности и экономической стабильности сельскохозяйственного производства в условиях Среднего Поволжья. Инновация и модернизация сельскохозяйственного производства в условиях меняющегося климата: Материалы международной научно-практической конференции (с. 19-23). Оренбург.

Тищенко, В. Н., Ищенко, А. Г., & Дубенец, Н. В (2016). Идентификация сортов и селекционных линий озимой пшеницы в кластерном анализе по сбалансированности количественных признаков в адаптивной селекции. Вестник Курганской ГСХА, 1, 41-44.

Тищенко, В. Н., Панченко, П. М., Чернышева, О. П. (2013). Идентификация сортов и селекционных линий пшеницы озимой по сбалансированности количественных признаков с использованием кластерного анализа. *Вестник Полтавской государственной аграрной академии, 3*, 28–35.

Шаманин, В. П., Петуховский, С. Л., & Краснова, Ю. С. (2016). Кластерный анализ сортов мягкой яровой пшеницы по элементам структуры урожая в Южной лесостепи Западной Сибири. Вестник КрасГАУ, *4*, 147-152.

Abdorreza, J., Hossein, N., & Morteza, N. (2015). Relationship between agronomic and morphological traits in barley varieties under drought stress condition. *International Journal of Basic and Applied Sciences, 9*(9). 1507-1511.

Agahi, K., Ahmadi, J., Oghan, H. A., Fotokian, M. H., & Orang, S. F. (2020). Analysis of genotype× environment interaction for seed yield in spring oilseed rape using the AMMI model. *Crop Breeding and Applied Biotechnology, 20*(1). https://doi.org/10.1590/1984-70332020v20n1a2

Bhattarai, R. P., Thapa, D. B., Ojha, B. R., Kharel, R., & Sapkota, M. (2017). Cluster analysis of Elite spring wheat (Triticum aestivum L.) genotypes based on yield and yield attributing traits under irrigated condition. *International Journal of Experimental Research and Review, 10*, 9-14.

Creissen, H. E., Jorgensen, T. H., & Brown, J. K. M. (2016). Increased yield stability of fi eld-grown winter barley (Hordeum vulgare L.) varietal mixtures through ecological processes. *Crop Protection*, 85, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.03.001.

Cuesta-Marcos, A., Kling, J. G., Belcher, A. R., Filichkin, T., Fisk, S. P., Graebner, R., Helgerson, L., Herb, D., Meints, B., Ross, A. S., Hayes, P. M., & Ulrich, S. E. (2016). Barley: Genetics and Breeding. In: Wrigley, C., Corke, H., and Seetharaman, K., Faubion, J. (eds.) *Encyclopedia of Food Grains* (2nd ed., pp. 287-295). Oxford: Academic Press.

El-haak, M. A., Atta, B. M., & Abd Rabo, F. F. (2015). Seed yield and important seed constituents for naturally and cultivated milk thistle (silybum marianum) plants. *The Egyptian Journal of Experimental Biology, 11*(2), 141–146.

Embaye, W. T., Bergtold, J. S., Archer, D., Flora, C., Andrango, G. C., Odening, M., & Buysse J. (2018). Examining farmers' willingness to grow and allocate land for oilseed crops for biofuel production. *Energy Economics, 71*, 311-320.

Gebeyehu, A., Hammenhag, C., Ortiz, R., Tesfaye, K., & Geleta, M. (2021). Characterization of Oilseed Crop Noug (Guizotia abyssinica) Using Agro-Morphological Traits. *Agronomy*, *11*(8), 1479. https://doi.org/10.3390/agronomy11081479.

Amiri Oghan, H., N. Sabaghnia, V. Rameeh, H.R. Fanaee and E. Hezarjeribi. Univariatestability

Hassan, A. O., Hossein, Z. T., Reza, F. H., Khatoon, K. N., Gholamreza, G., Amirkhosro, D., & Bagher, V. M. (2019). Stability Study of Seed Yield in Promising Lines of Spring Oilseed Rape in Southern-Worm Regions of Iran. *Journal of crop breeding, 11*(31), 42-54.

Hussain, F., Rafiq, M., Ghias, M., Qamar, R., Razzaq, M. K., Hameed, A., Habib, S., Saad, H., & Mustafa, H. S. B. (2017). Genetic Diversity for Seed Yield and its Components Using Principal Component and Cluster Analysis in Sunflower. *Life Science Journal, 14*(5), 71-78. https://doi.org/10.7537/marslsj140517.10

Jankowski, K. J., Załuski, D., & Sokólski, M. (2020). Canola-quality white mustard: Agronomic management and seed yield. *Industrial Crops and Products, 145*, 112138. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112138

Khalid, A. & Hameed, A. (2021). Genetic divergence in wheat genotypes based on seed biochemical profiles through agglomerative hierarchical clustering and association analysis among traits. *Pakistan Journal of Botany*, 53(4). https://doi.org/10.30848/PJB2021-4(7)

Krzyżaniak, M., Stolarski, M. J., Tworkowski, J., Puttick, D., Eynck, C., Załuski, D., & Kwiatkowski, J. (2019). Yield and seed composition of 10 spring camelina genotypes cultivated in the temperate climate of Central Europe. *Industrial Crops and Products, 138*, 111443. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.06.006

Lobell, D. B., & Gourdji, S. M. (2012). The influence of climate change on global crop productivity. *Plant Physiology, 160*(4), 1686-1697. https://doi.org/10.1104/pp.112.208298

Majerova, I., & Nevima, J. (2017). The measurement of human development using the Ward method of cluster analysis. *Journal of International Studies, 10*(2), 239-257. https://doi.org/10.14254/2071-8330.2017/10-2/17

Mustafa, H. S. B., Farooq, J., Hasan, E. U., Bibim T., & Mahmood, T. (2015). Cluster and principle component analyses of maize accessions under normal and water stress conditions. *Journal of Agricultural Sciences Belgrade, 60*(1), 33-48. https://doi.org/10.2298/JAS1501033M

Patial, R., Paul, S., Sharma, D., Sood, V. K. & Kumar, N. (2019). Morphological characterization and genetic diversity of linseed (Linum usitatissimum L.). *Journal of Oilseeds Research, 36*(1), 8-16.

Venujayakanth, B., Dudhat, A. S., Swaminathan, B. & Anurag, M. L. (2017). Assessing Crop Genetic Diversity using Principle Component Analysis: A Review. *Trends in Biosciences, 10*(2), 523-528.

Application of Cluster Analysis for Oilseeds Identification

Natalia L. Kleymenova
Voronezh State University of Engineering Technologies
19, Revolutsii Prospect, Voronezh, 394036, Russian Federation
E-mail: klesha78@list.ru

Inessa N. Bolgova
Voronezh State University of Engineering Technologies
19, Revolutsii Prospect, Voronezh, 394036, Russian Federation
E-mail: bolgovainessa@yandex.ru

Maxim V. Kopylov
Voronezh State University of Engineering Technologies
19, Revolutsii Prospect, Voronezh, 394036, Russian Federation
E-mail: kopylov-maks@yandex.ru

Alla N. Pegina
Voronezh State University of Engineering Technologies
19, Revolutsii Prospect, Voronezh, 394036, Russian Federation
E-mail: toriss@yandex.ru

Daria A. Koshelkina
Voronezh State University of Engineering Technologies
19, Revolutsii Prospect, Voronezh, 394036, Russian Federation
E-mail: toriss@yandex.ru

A search for mathematical methods to assess the level of balance of the main quantitative traits in oilseed varieties is described in the article. The main quantitative traits and crop yield are analyzed on the basis of experimental data of cluster analysis application for assessment varieties of oilseeds. The identification of varieties of oilseeds, grown in different regions of the country was carried out with the help of cluster analysis. The main cultivation areas of oilseeds in 2017-2019 have been also studied. As a result of the research, it was established that the cultivation area of flax, mustard and camelina crops has reduced, which is connected with the crop yield and low exports. The state of growth and the development of oilseeds, the duration of their cultivation, which depends on the biological characteristics of the breed, as well as the cultivation technology, have been analyzed. The specific features of the oilseeds have been studied. Unified measures which include a number of investigated features are identified with the help of the method. These features are unified using the metric into one resemblance cluster of the grouping of the studied objects. The breeds are grouped into three clusters according to years. The composition of each cluster changes depending on the natural and climatic conditions. Exploratory analysis using a point diagram is performed. A dendogram of the comparative characteristics of oilseed varieties by the elements of the yield structure is given. Using the K-means clustering method, the Euclidean distances of the studied parameters of the average values of the corresponding 5 clusters that have similar varieties of oilseeds are determined. The research shows that it is possible to determine the competitiveness of various oilseeds and to develop new food products.

Keywords: cluster, cluster analysis, oilseeds, statistics, dendogram, harvest

References

Bushiev, A. S., Podlesnyi, S. P., & Khatit, A. B. (2019). Vliyanie normy vyseva semyan na nekotorye elementy struktury urozhaya sortov i gibridov podsolnechnika [Influence of the seeding rate on some elements of the structure of the yield of varieties and hybrids of sunflower]. *Maslichnye kul'tury* [Oilseeds], *2*, 69-74. https://doi.org/10.25230/2412–608Kh–2019–2–178–69–74.

Kotlyarova, E. G., Titovskaya, L. S. (2018). Izmenchivost' biometricheskih parametrov gibridov podsolnechnika v zavisimosti ot sposobov osnovnoj obrabotki pochvy i listovyh podkormok [Variability of biometric parameters of sunflower hybrids depending on the methods of basic tillage and leaf fertilizing]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Michurinsky State Agrarian University], 2, 17–22.

Lisicyn, E. M., Amunova, O. S. (2014). Geneticheskoe raznoobrazie sortov yarovoj myagkoj pshenicy po alyumoustojchivosti [Genetic diversity of spring soft wheat varieties by aluminum resistance]. *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii* [Vavilovsky Journal of Genetics and Breeding], *18*(3), 497-505.

Mulyanova, Yu. N., & Kosnikov, S. N. (2018). Klasternyi analiz v sel'skom khozyaistve [Cluster analysis in agriculture]. *Economics, 5*, 43-57.

Rumyantsev, A. V., & Glukhovtsev, V. V. (2011). Rol' selektsii zernovykh i kormovykh kul'tur v povyshenii urozhainosti i ekonomicheskoi stabil'nosti sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva v usloviyakh Srednego Povolzh'ya [The role of selection of grain and fodder crops in increasing the yield and economic stability of agricultural production in the conditions of the Middle Volga region]. In *Innovatsiya i modernizatsiya sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva v usloviyakh menyayushchegosya klimata: Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [*Innovation and modernization of agricultural production in a changing climate: Proceedings of the international scientific and practical conference*] (pp. 19-23). Orenburg.

Tishchenko, V. N., Ishchenko, A. G., & Dubenets, N. V (2016). Identifikatsiya sortov i selektsionnykh linii ozimoi pshenitsy v klasternom analize po sbalansirovannosti kolichestvennykh priznakov v adaptivnoi selektsii [Identification of varieties and breeding lines of winter wheat in cluster analysis for the balance of quantitative traits in adaptive breeding]. *Vestnik Kurganskoi GSKhA* [*Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*], *1*, 41-44.

Tishhenko, V. N., Panchenko, P. M., & Cherny`sheva, O. P. (2013). Identifikaciya sortov i selekcionny`x linij pshenicy ozimoj po sbalansirovannosti kolichestvenny`x priznakov s ispol`zovaniem klasternogo analiza [Identification of varieties and breeding lines of winter wheat by the balance of quantitative traits using cluster analysis]. *Vestnik Poltavskoj gosudarstvennoj agrarnoj akademii* [*Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*], 3, 28–35.

Shamanin, V. P., Petukhovskii, S. L., & Krasnova, Yu. S. (2016). Klasternyi analiz sortov myagkoi yarovoi pshenitsy po elementam struktury urozhaya v Yuzhnoi lesostepi Zapadnoi Sibiri [Cluster analysis of soft spring wheat varieties by elements of the yield structure in the southern forest-steppe of Western Siberia]. *Vestnik KrasGAU* [*Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*], *4*, 147-152.

Abdorreza, J., Hossein, N., & Morteza, N. (2015). Relationship between agronomic and morphological traits in barley varieties under drought stress condition. *International Journal of Basic and Applied Sciences, 9*(9). 1507-1511.

Agahi, K., Ahmadi, J., Oghan, H. A., Fotokian, M. H., & Orang, S. F. (2020). Analysis of genotype× environment interaction for seed yield in spring oilseed rape using the AMMI model. *Crop Breeding and Applied Biotechnology, 20*(1). https://doi.org/10.1590/1984-70332020v20n1a2.

Bhattarai, R. P., Thapa, D. B., Ojha, B. R., Kharel, R., & Sapkota, M. (2017). Cluster analysis of Elite spring wheat (Triticum aestivum L.) genotypes based on yield and yield attributing traits under irrigated condition. *International Journal of Experimental Research and Review, 10*, 9-14.

Creissen, H. E., Jorgensen, T. H., & Brown, J. K. M. (2016). Increased yield stability of fi eld-grown winter barley (Hordeum vulgare L.) varietal mixtures through ecological processes. *Crop Protection*, *85*, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.03.001.

Cuesta-Marcos, A., Kling, J. G., Belcher, A. R., Filichkin, T., Fisk, S. P., Graebner, R., Helgerson, L., Herb, D., Meints, B., Ross, A. S., Hayes, P. M., & Ulrich, S. E. (2016). Barley: Genetics and Breeding. In: Wrigley, C., Corke, H., and Seetharaman, K., Faubion, J. (eds.) *Encyclopedia of Food Grains* (2nd ed., pp. 287-295). Oxford: Academic Press.

El-haak, M. A., Atta, B. M., & Abd Rabo, F. F. (2015). Seed yield and important seed constituents for naturally and cultivated milk thistle (silybum marianum) plants. *The Egyptian Journal of Experimental Biology, 11*(2), 141–146.

Embaye, W. T., Bergtold, J. S., Archer, D., Flora, C., Andrango, G. C., Odening, M., & Buysse J. (2018). Examining farmers' willingness to grow and allocate land for oilseed crops for biofuel production. *Energy Economics, 71*, 311-320.

Gebeyehu, A., Hammenhag, C., Ortiz, R., Tesfaye, K., & Geleta, M. (2021). Characterization of Oilseed Crop Noug (Guizotia abyssinica) Using Agro-Morphological Traits. *Agronomy*, *11*(8), 1479. https://doi.org/10.3390/agronomy11081479.

Hassan, A. O., Hossein, Z. T., Reza, F. H., Khatoon, K. N., Gholamreza, G., Amirkhosro, D., & Bagher, V. M. (2019). Stability Study of Seed Yield in Promising Lines of Spring Oilseed Rape in Southern-Worm Regions of Iran. *Journal of crop breeding, 11*(31), 42-54.

Hussain, F., Rafiq, M., Ghias, M., Qamar, R., Razzaq, M. K., Hameed, A., Habib, S., Saad, H., &

Mustafa, H. S. B. (2017). Genetic Diversity for Seed Yield and its Components Using Principal Component and Cluster Analysis in Sunflower. *Life Science Journal, 14*(5), 71-78. https://doi.org/10.7537/marslsj140517.10.

Jankowski, K. J., Załuski, D., & Sokólski, M. (2020). Canola-quality white mustard: Agronomic management and seed yield. *Industrial Crops and Products, 145*, 112138. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112138.

Khalid, A. & Hameed, A. (2021). Genetic divergence in wheat genotypes based on seed biochemical profiles through agglomerative hierarchical clustering and association analysis among traits. *Pakistan Journal of Botany*, *53*(4). https://doi.org/10.30848/PJB2021-4(7).

Krzyżaniak, M., Stolarski, M. J., Tworkowski, J., Puttick, D., Eynck, C., Załuski, D., & Kwiatkowski, J. (2019). Yield and seed composition of 10 spring camelina genotypes cultivated in the temperate climate of Central Europe. *Industrial Crops and Products, 138*, 111443. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.06.006.

Lobell, D. B., & Gourdji, S. M. (2012). The influence of climate change on global crop productivity. *Plant Physiology, 160*(4), 1686-1697. https://doi.org/10.1104/pp.112.208298

Majerova, I., & Nevima, J. (2017). The measurement of human development using the Ward method of cluster analysis. *Journal of International Studies, 10*(2), 239-257. https://doi.org/10.14254/2071-8330.2017/10-2/17.

Mustafa, H. S. B., Farooq, J., Hasan, E. U., Bibim T., & Mahmood, T. (2015). Cluster and principle component analyses of maize accessions under normal and water stress conditions. *Journal of Agricultural Sciences Belgrade, 60*(1), 33-48. https://doi.org/10.2298/JAS1501033M.

Patial, R., Paul, S., Sharma, D., Sood, V. K. & Kumar, N. (2019). Morphological characterization and genetic diversity of linseed (Linum usitatissimum L.). *Journal of Oilseeds Research, 36*(1), 8-16.

Venujayakanth, B., Dudhat, A. S., Swaminathan, B. & Anurag, M. L. (2017). Assessing Crop Genetic Diversity using Principle Component Analysis: A Review. *Trends in Biosciences, 10*(2), 523-528.

УДК 633.791:663.4 https://doi.org/10.36107/spfp.2021.234

Оптимизация технологических параметров процесса сухого охмеления с разработкой методики интегральной оценки качества пива

Новикова Инна Владимировна
Воронежский государственный университет инженерных технологий
Адрес: 394036, Россия, г. Воронеж, пр-т Революции, д. 19
E-mail: noviv@list.ru

Рукавицын Павел Владимирович
Воронежский государственный университет инженерных технологий
Адрес: 394036, Россия, г. Воронеж, пр-т Революции, д. 19
E-mail: kafedra-tbisp@mail.ru

Муравьев Александр Сергеевич
Воронежский государственный университет инженерных технологий,
Адрес: 394036, Россия, г. Воронеж, пр-т Революции, д. 19
E-mail: hntrun@mail.ru

Развитие крафтовых сортов пива со сложными фруктовыми, цветочными и цитрусовыми тонами, поиск оригинального вкуса и возрождение старинных рецептур служат предпосылками для применения сухого охмеления предприятиями пивоваренной промышленности. Процесс сухого охмеления проводили динамическим способом на экспериментальной установке, включающей аппарат для охмеления, сетчатый фильтр, емкость брожения, насос. Использовали хмели Saphir и Chinook. Исследование включало определение физико-химических показатели пива: концентрация гумулинонов, изо-α-кислот и α-кислот; общее содержание полифенолов; *pH*; объемная плотность напитка. Показатели сенсорной оценки включали: интенсивность и качество аромата хмеля; полнота вкуса; качество горечи; общее предпочтение. Для аппроксимации результатов исследования использовали радиальные нейронные сети. Определены оптимальные технологические параметры процесса: хмель Saphire, длительность процесса 12 ч, температура 3,0 °С. При сухом охмелении хмелем Chinook оптимальная длительность процесса составляет 10,5 ч, оптимальная температура составляет 3,0 °С. При температурах процесса сухого охмеления ниже 3,0 °С критерий оптимизации получается незначительно ниже, чем для 3,0 °С. При температурах 1,5 и 2,0 °С оптимальная длительность процесса составляет 8,15 и 11,25 суток соответственно. Использование комбинации хмелей Saphire + Chinook не дает улучшение общего критерия оптимальности по сравнению с использованием только хмеля Saphire. При длительности процесса 4 ч удается достигнуть значений критерия оптимизации более 0,60, однако только при длительности порядка 12 ч удается достигнуть критерия оптимизации более 0,65.

Ключевые слова: хмель, нейронные сети, Saphire, Chinook, критерий оптимизации, сухое охмеление

Введение

Для распространенных сортов пива сейчас характерно высокое содержание ароматических компонентов, экстрагируемых из хмеля, наряду с нормируемым количеством горьких веществ (Leitao et al., 2011; Takoi et al., 2016; Walsh et al., 2018; Меледина, 2003). Развитие крафтовых сортов пива со сложными фруктовыми, цветочными и цитрусовыми тонами, поиск оригинального вкуса и возрождение старинных рецептур служат предпосылками для применения сухого охмеления различными предприятиями данного сегмента пищевой промышленности (Dresel et al., 2015; Schönberger & Kostelecky, 2011; Гернет, 2017; Коростелев и др., 2020; Матвеева & Титов, 2014; Федоренко & Трэнкл, 2017). Сухое охмеление может стать источником ул учшения сенсорных характеристик пива с вероятностью потенциального увеличения содержания в пивоваренной продукции соединений, оказывающих благоприятное воздействие на организм человека, позволя-

ет в большей степени раскрыть потенциал хмеля (Donaldson, Bamforth, & Heymann, 2012; Barry, Muggah, McSweeney, & Walker, 2018; Kippensberger, Hanke, Biendl, Stettner, & Lagemann, 2014; Zanoli & Zavatti, 2008).

Известны данные исследователей о специальных технологиях внесения хмеля и соответствующем оборудовании (Бородулин, Сафонова, Просин, & Миленький, 2017; Матвеева, & Титов, 2014; Матвеева, & Титов, 2015; van Opstaele, de Rouck, de Clippeleer, de Cooman, 2010). Однако недостаточно раскрыты вопросы по оптимизации условий и продолжительности динамического процесса охмеления с помощью математического аппарата.

Цель исследования – выявление закономерностей при комбинировании сортов хмеля, внесении хмеля на различных этапах производства пива, оптимизация условий и продолжительности процесса охмеления с последующей модификацией установки для динамического сухого охмеления.

Материалы и методы исследования

Материалы

Объектом исследования являлось светлое пиво верхового брожения, плотность начального сусла 11 %; содержание этанола 5,2 %; pH 3,82.

Применяли два сорта хмеля – Saphir и Chinook урожая 2020 года с содержанием компонентов: Saphir (α-кислота 3,5 %); Chinook (α-кислота 15,0 %).

Оборудование

Процесс сухого охмеления проводили динамическим способом на экспериментальной установке, включающей аппарат для охмеления, сетчатый фильтр, емкость брожения, насос.

Методы

Кислоты хмеля и их производные: гумулиноны (гумулоны), изо-α-кислоты, α-кислоты, β-кислоты и их относительные концентрации в хмеле и пиве определяли с помощью метода высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) (Hao, et al., 2018; Haseleu, Intelmann, Hofmann, 2009; Чеснокова, 2011). Соединения выделяли из пива следующим образом: образец пива в количестве 5 см^3 подкисляли ортофосфорной кислотой (100 см^3) и экстрагировали изооктаном (10 см^3) в течение 30 мин. Экстракт переносили в стеклянную пробирку и выпаривали. К остатку после выпаривания добавляли ацетонитрил (2 см^3) и анализировали методом ВЭЖХ в трех повторностях. Для кислот хмеля и их производных были получены градуировочные графики на основе стандартов в диапазоне 1, 5, 10, 20, 40, 60 мг/дм^3. Общее содержание полифенолов определяли спектрофотометрическим методом (Чеснокова, 2011).

Оценки состава и свойств исследуемых объектов осуществляли в соответствии с нормативной документацией: методы отбора проб – по ГОСТ 12786-80[1]; определение спирта – по ГОСТ 12787-81[2]; определение экстрактивности начального сусла – по ГОСТ 12787-81[3]; определение кислотности – по ГОСТ 12788-87[4]; определение pH – по ГОСТ 31764-2012[5]; определение цвета – по ГОСТ 12789-87[6]; определение органолептических показателей – по ГОСТ 30060-93[7].

Процедура исследований

В аппарат для сухого охмеления вносили гранулы хмеля (Saphir или Chinook, расход 100 г./гл), заполняли его пивом, после чего с помощью насоса проводили рециркуляцию суспензии. Продолжительность процесса до 8–10 часов. Во избежание вспенивания, температуру пива не поднимали выше 3 °C; а разность давления между аппаратом и емкостью не превышала 0,2 атм (Новикова, Рукавицын, Муравьев, 2019).

Анализ данных

Для статистической оценки исследований применяли специальное ПО – Design Expert, v. 11.1.0, Stat-Ease Inc. и функции MS Excel. Экспериментальные данные обрабатывали вероятностными методами математической ста-

[1] ГОСТ 12786-80. (2013). Пиво. Правила приемки и методы отбора проб. М.: Стандартинформ.
[2] ГОСТ 12787-80. (2013). Пиво. Методы определения спирта, действительного экстракта и расчет сухих веществ в начальном сусле. М.: Стандартинформ.
[3] Там же.
[4] ГОСТ 12788-87. (2015). Пиво. Методы определения кислотности. М.: Стандартинформ.
[5] ГОСТ 31764-2012. (2013). Пиво. Метод определения pH. М.: Стандартинформ.
[6] ГОСТ 12789-87. (2011). Пиво. Методы определения цвета. М.: Стандартинформ.
[7] ГОСТ 30060-93. (2013). Пиво. Методы определения органолептических показателей и объема продукции. М.: Стандартинформ.

тистики – дисперсионным и корреляционным анализом (Грачев & Плаксин, 2005).

Для аппроксимации зависимостей показателей от времени использовали радиальные нейронные сети (Bishop, 1995; Шелехова, Скворцова, Полтавская, 2021).

Результаты и их обсуждение

Полученные на этапе экспериментальных исследований результаты позволяют определить оптимальную длительность процесса охмеления, температуру и состав комбинации хмелей. Общий принцип оптимизации изображен схематично на Рисунке 1.

Факторами оптимизации являются: *t* – длительность процесса охмеления; *T* – температура процесса охмеления; с – концентрация хмеля Chinook в комбинации хмелей Saphir и Chinook (представляет собой вещественное число от 0 до 1).

Авторы данной статьи, в отличие от других исследователей, осуществили постановку задачи оптимизации технологических параметров процесса сухого охмеления с методикой прогнозирования, не используемой ранее, что позволяет для заданной комбинации хмелей Saphir и Chinook определить показатели сенсорной оценки в приближении линейной комбинации с учетом концентрации хмелей, физико-химические показатели пива, интегральную оценку качества пива. А также разработать математический аппарат – комбинацию линейной интерполяции и аппроксимации радиальной нейронной сетью, что позволит получить плавные функции при изменении времени, температуры или состава хмелей.

Разработанная и изложенная ниже методика прогноза позволяет определить следующие физико-химические показатели пива: $c_г$ – концентрация гумулинонов; $c_{иок}$ – концентрация изо-α-кислот; $c_{ак}$ – концентрация α-кислот; $c_{пф}$ – общее содержание полифенолов; *pH* – водородный показатель (показатель кислотности); ρ – объемная плотность напитка.

Для заданной комбинации хмелей Saphir и Chinook можно определить показатели сенсорной оценки в приближении линейной комбинации с учетом концентрации хмелей: $И_{ах}$ – интенсивность аромата хмеля; $К_{ах}$ – качество аромата хмеля; $П_в$ – полнота вкуса; $К_г$ – качество горечи; $П_{сз}$ – предпочтение (среднее значение).

На основе спрогнозированных для данного набора *t, T, c* физико-химических показателей и показателей сенсорной оценки определяются частные критерии оптимизации: $К_{фхп}$ – критерий оптимизации физико-химических показателей; $К_{со}$ – критерий оптимизации сенсорной оценки (Новикова и др., 2018).

На основе частных критериев оптимизации определяется общий критерий оптимизации $К_{оп}$, который представляет собой интегральную оценку качества пива. Таким образом общий критерий оптимизации является функцией трех технологических параметров: $К_{оп}(t, T, c)$.

Оптимизация заключается в определении значений или диапазонов (что лучше для практических

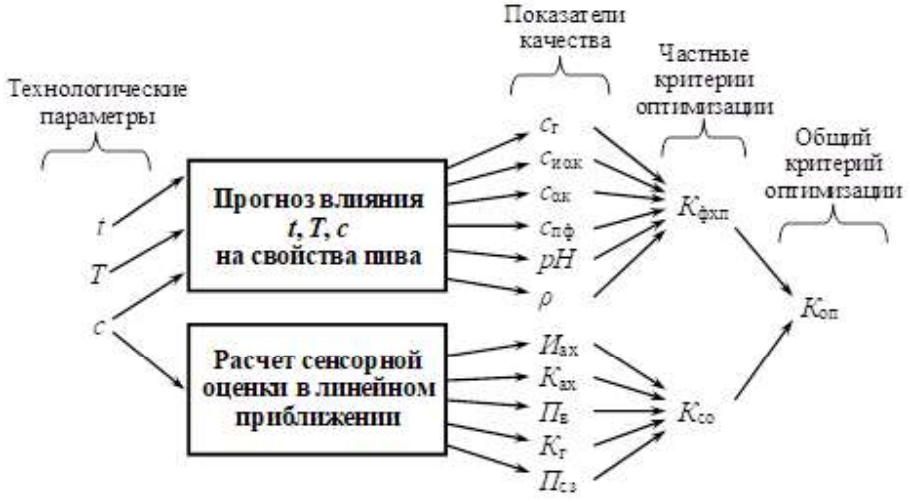


Рисунок 1. Постановка задачи оптимизации технологических параметров процесса сухого охмеления

целей) параметров *t, T, c*, при которых функция принимает максимальное значение $К_{оп}(t, T, c)$.

$$K_{on}(t,T,c) \to \max \Rightarrow t_{opt}, T_{opt}, c_{opt},$$

где t_{opt}, T_{opt}, c_{opt} – оптимальные значения технологических параметров.

Собранные в процессе экспериментального исследования данные позволяют получить функцию $К_{оп}(t, T, c)$ в аналитическом виде на основе линейной и нейросетевой аппроксимаций. По известной функции $К_{оп}(t, T, c)$ численным методом производится поиск максимума и определяются оптимальные параметры.

Составление общего критерия оптимизации из частных критериев

В соответствии с часто используемым подходом общий критерий оптимизации $К_{оп}$ представляет собой линейную комбинацию двух частных критериев оптимизации $К_{фхп}$ и $К_{со}$:

$$K_{on} = W_{фхп} \cdot K_{фхп} + W_{со} \cdot K_{со}$$

где $W_{фхп}$ и $W_{со}$ – весовые коэффициенты, которые могут принимать вещественные значения от 0 до 1.

Для использования такой комбинации частные критерии $К_{фхп}$ и $К_{со}$ должны быть сопоставимы, для чего ниже используются способы нормировки. Весовые коэффициенты отражают сравнительную важность физико-химической группы показателей и группы показателей сенсорной оценки в оценке качестве напитка. Весовые коэффициенты определены методом экспертных оценок и составляют $W_{фхп} = 0{,}5$, $W_{со} = 0{,}5$.

Частные критерии рассчитываются по шести ($К_{фхп}$) и по пяти ($К_{со}$) показателям путем линейной комбинации показателей с весовыми коэффициентами и нормировкой на характерные значения показателей:

$$K_{ч} = \sum_{i=1}^{N_P} w_i \frac{1}{P_{i2} - P_{i1}} \begin{cases} P_i - P_{i1}, & d_i = 1; \\ P_{i2} - P_i, & d_i = -1, \end{cases}$$

где $К_{ч}$ – частный критерий оптимизации ($К_{фхп}$ или $К_{со}$); *i* – номер показателя; N_P – количество показателей; w_i – весовой коэффициент *i*-го показателя; P_i – показатели, на основе которых рассчитывается частный критерий оптимизации ($с_г$, $с_{иαк}$, и т. д.). P_{i1} и P_{i2} – минимальное и максимальное значения показателя P_i в экспериментальном исследовании; d_i – коэффициент благоприятной тенденции (равен 1, если необходимо добиться максимума показателя и -1, если необходимо добиться минимума показателя).

Весовые коэффициенты w_i, определенные экспертным путем и отражающие относительную важность показателей, приведены в Таблицах 1 и 2 (Коростелев и др., 2020). Сумма весовых коэффициентов в каждой группе равна 1.

Аппроксимация экспериментальных данных

Для определения оптимальных технологических параметров используются функции $K_i(t, T, c)$ – зависимость физико-химических показателей K_i

Таблица 1
Весовые коэффициенты физико-химических показателей

Показатель	Обозначение	Весовой коэффициент w_i (относительная важность)	Оптимальные значения	Коэффициент благоприятной тенденции d_i
Концентрация гумулинонов	$с_г$	0,20	max	1
Концентрация изо-α-кислот	$с_{иαк}$	0,40	min	-1
Концентрация α-кислот	$с_{αк}$	0,15	2,5 ± 0,5	0
Общее содержание полифенолов	$с_{пф}$	0,15	max	1
Водородный показатель	pH	0,05	4,7 ± 0,1	0
Плотность	–	0,05	1,0045–1,0055	0

Таблица 2
Весовые коэффициенты показателей сенсорной оценки

Показатель	Обозначение	Весовой коэффициент w_i (относительная важность)	Оптимальные значения	Коэффициент благоприятной тенденции d_i
Интенсивность аромата хмеля	$И_{ах}$	0,10		1
Качество аромата хмеля	$К_{ах}$	0,25		1
Полнота вкуса	$П_в$	0,15	max	1
Качество горечи	$К_г$	0,25		1
Предпочтение (ср. знач.) Общая оценка	$П_{сз}$	0,25		1

(в частности, $с_г$, $с_{иак}$, $с_{ак}$, $с_{пф}$, *pH*, ρ) от длительности *t* процесса сухого охмеления, температуры *T*, концентрации *c* хмеля Chinook в комбинации хмелей Saphire + Chinook.

Ранее в работе (Новикова, Рукавицын, Муравьев, 2018) представлены экспериментальные данные по зависимостям $K_i(t, T, c)$. Для каждой функции получены 24 экспериментальные точки: для шести значений длительности процесса *t* (0…12 ч), двух значений температуры *T* (1,5 и 3,0 °С) и двух значений концентрации *c* (0 и 1, то есть только хмель Saphire и только Chinook).

Так как 24 экспериментальные точки расположены сравнительно редко в пространстве факторов оптимизации (*t, T, c*), было принято решение использовать аналитическую аппроксимацию для того, чтобы частные критерии оптимизации $K_i(t, T, c)$ были непрерывными функциями в пространстве (*t, T, c*).

Для построения аналитических функций $K_i(t, T, c)$ используется линейная интерполяция по переменным *T* и *c*, так как эти переменные в проведенном экспериментально исследовании принимали только два значения, а также аппроксимация радиальной нейронной сетью по переменной *t*, для которой экспериментально получено достаточно много (шесть) значений, позволяющих восстановить более детальную зависимость.

При расчете показателя $K_i(t, T, c)$ в первую очередь производили линейную интерполяцию по переменной *c*, то есть по составу комбинированного хмеля:

$$K_i(t,T) = K_i(t,T,0) + c\left[K_i(t,T,1)\ \text{Ц}\ K_i(t,T,0)\right],$$

где $K_i(t, T)$ – показатель *i* для заданной концентрации *c* в комбинации хмелей Saphir и Chinook; $K_i(t, T, 0)$ и $K_i(t, T, 1)$ – показатель *i* для хмелей Saphir и Chinook.

Далее производили линейную интерполяцию данных по температуре процесса *T*:

$$K_i(t) = K_i(t,1.5) + \frac{T\ \text{Ц}\ 1.5}{3.0\ \text{Ц}\ 1.5}\left[K_i(t,3.0)\ \text{Ц}\ K_i(t,1.5)\right],$$

где 1,5 и 3,0 – значения температуры, при которых проводили эксперименты по сухому охмелению.

Для дальнейшего получения аналитической зависимости для функции $K_i(t)$ (при заданном составе комбинации хмелей *c* и температуре *T*) использовали радиальную нейронную сеть.

Радиальные нейронные сети более естественны для решения задач оптимизации, чем сигмоидальные, так как радиальные базисные функции хорошо воспроизводят локальные минимумы и максимумы (Осовский, 2004).

В радиальных функциях отсутствует необходимость использования большого количества скрытых слоев. Важное достоинство радиальных нейронных сетей – значительно упрощенный алгоритм обучения. Процесс обучения радиальной нейронной сети сводится к подбору центров и параметров формы базисных функций, а также подбору весов нейронов выходного слоя. При малом количестве исходных данных для обучения (в данной работе для построения аппроксимирующего выражения используется по шесть точек) обучение сводится к подбору только одного параметра σ – параметра формы базисных функций (Осовский, 2004).

Для работы с радиальными нейронными сетями авторами разработана специальная компьютерная

программа «Программа для прогнозирования результатов процесса сухого охмеления» на языке Object Pascal в среде программирования Delphi 7.

Пример аппроксимации показателя $c_{иак}(t)$ для сухого охмеления хмелем Chinook (с = 1) при 1,5 °С (T = 1,5) показан на Рисунке 2. График аппроксимирующей функции практически проходит близко к шести экспериментальным точкам $c_{иакj}(t_j)$, при этом кривая является плавной, начало и конец кривой не стремятся к бесконечности (как обычно происходит при полиномиальной аппроксимации).

С использованием формул и получены аппроксимирующие функции не только для зависимости показателя от времени $K_i(t)$, но и от концентрации c в комбинации хмелей и температуры процесса T, то есть полноценные функции $K_i(t, T, c)$. Для примера на Рисунке 3 приведена серия графиков функций $c_г(t, T = 1{,}5$ °С, $c)$.

Таким образом, разработанный математический аппарат – комбинация линейной интерполяции и аппроксимации радиальной нейронной сетью – позволяют получить плавные функции при изменении времени, температуры или состава хмелей, что позволяет их использовать для дальнейшего решения общей задачи оптимизации.

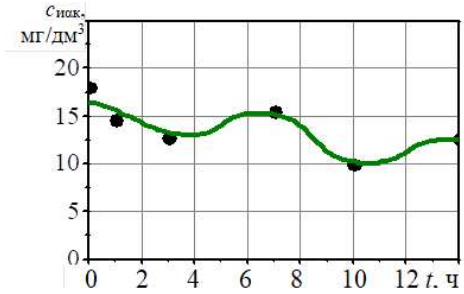


Рисунок 2. Пример аппроксимации экспериментальных данных радиальной нейронной сетью: зависимость концентрации изо-α-кислот в процессе сухого охмеления хмелем Chinook при 1,5 °С

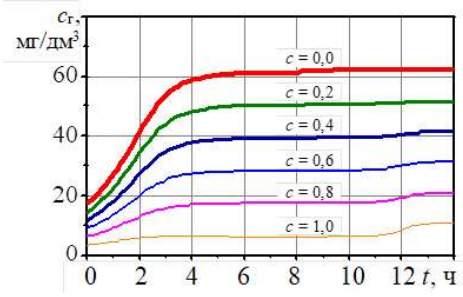


Рисунок 3. Зависимость концентрации гумулинонов $c_г$ от длительности процесса сухого охмеления при температуре 1,5 °С при использовании различных комбинаций хмелей 1-*c* Saphire + *c* Chinook

Решение общей задачи оптимизации

Разработанный выше математический аппарат позволяет определить общий критерий оптимизации $K_{оп}(t, T, c)$ для различных комбинаций параметров t, T, c. Основной задачей оптимизации является поиск такой комбинации параметров t, T, c, при которой критерий $K_{оп}$ принимает наибольшее значение. Для поиска максимума $K_{оп}$ в пространстве (t, T, c) разработана компьютерная программа на языке Object Pascal в среде программирования Delphi 7. В программе производится поиск максимума $K_{оп}$ численным методом – методом упорядоченного перебора с равным шагом по трем переменным. Время поиска составляет около 2 с машинного времени. По каждой переменной исследуемый диапазон разбили на 101 уровень (переменная цикла изменяется от 0 до 100). В ходе перебора переменная t изменяется от 0 до 12 часов с шагом 0,5 ч.; переменная T изменяется от 1,5 до 3,0 °С с шагом 0,15 °С; переменная c изменяется от 0,00 до 1,00 с шагом 0,01.

Оптимальная точка обычно может располагаться либо внутри исследуемой области факторного пространства, либо на границе. В данном случае точка с максимальным общим критерием $K_{оп}$ = = 0,679 расположена на границе исследуемой области: t = 12 ч; T = 3,0 °С; с = 0. Таким образом, наилучшие физико-химические показатели и показатели сенсорной оценки достигаются при сухом охмелении хмелем Saphire в течении 12 ч при температуре 3,0 °С.

Для более детального анализа поверхности отклика построены три серии картограмм (Рисунок 4). На картограммах отмечена точка оптимума обозначением «opt».

Использование комбинации хмелей Saphire + Chinook не дает улучшение общего критерия оптимизации по сравнению с использованием только хмеля Saphire (исчезает красная и оранжевая области на Рисунок 4, б). Однако, если необходимо использовать только хмель Chinook, оптимальная длительность процесса составляет 10,5 ч (точка лежит уже не на границе диапазона); оптимальная температура составляет 3,0 °С, однако при любых температурах критерий оптимизации практически одинаков и составляет 0,514 (Рисунок 4, в).

При температурах ниже 3,0 °С критерий оптимизации получается незначительно ниже, чем для

3,0 °C (Рисунок 5). Так, при температурах 1,5 и 2,0 °C удается достигнуть максимального критерия оптимизации 0,623 и 0,638 соответственно при длительности процесса 8,15 (Рисунок 5, а) и 11,25 (Рисунок 5, б) часов соответственно.

Аналогичные исследования других авторов показали важность контроля температуры пива при проведении сухого охмеления (Titus, et al., 2021; Матвеева & Титов, 2015).

Даже при небольшой длительности процесса 4 часов удается достигнуть значений критерия оптимизации более 0,60 (оранжевая область на Рисунке 6, а). Однако только при длительности процесса порядка 12 часов удается достигнуть критерия оптимизации более 0,65 (красная область на Рисунке 6, в).

С точки зрения экономической эффективности желательно, чтобы длительность процесса сухого охмеления была минимальной при высоких показателях качества (Cibaka, et al., 2018; Maye, Smith, Leker, 2016; Матвеева & Титов, 2015). Поэтому более подробно изучено изменение с течением времени t критерия оптимизации $K_{оп}$, а именно, максимального значения $K_{оп}^{м}(t)$ среди различных температур (T от 0 до 20 °C) и различных концентраций комбинации хмелей (c от 0 до 1).

На зависимости критерия оптимизации от времени можно выделить три характерные точки

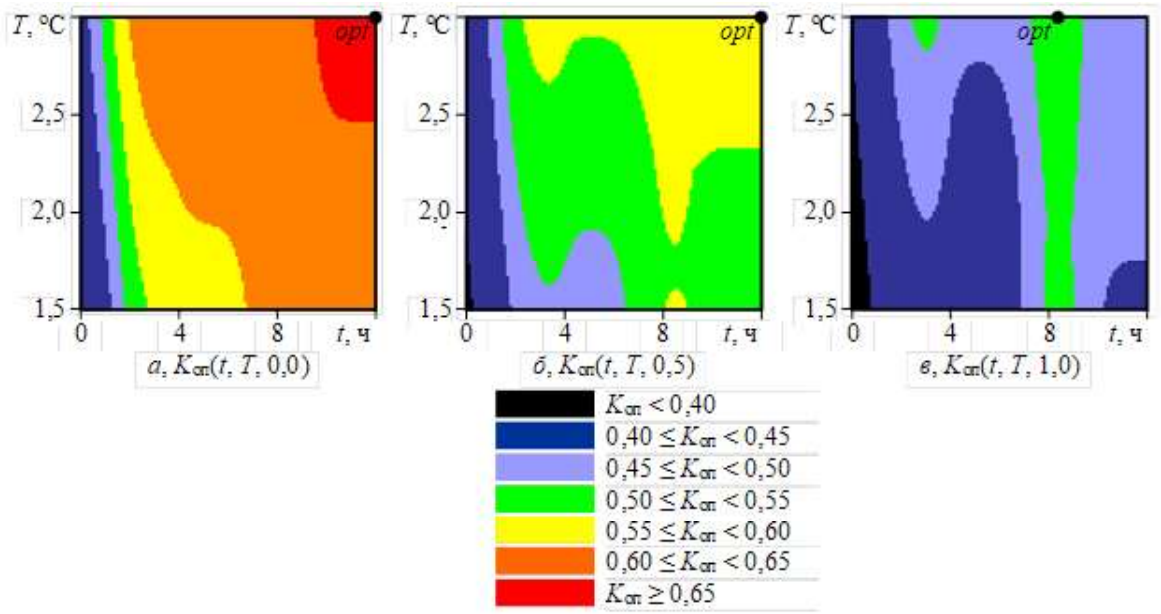


Рисунок 4. Картограммы оптимизации $K_{оп}(t,\ T)$ при разных концентрациях c хмеля Chinook в комбинации хмелей (-1c) Saphire + c Chinook

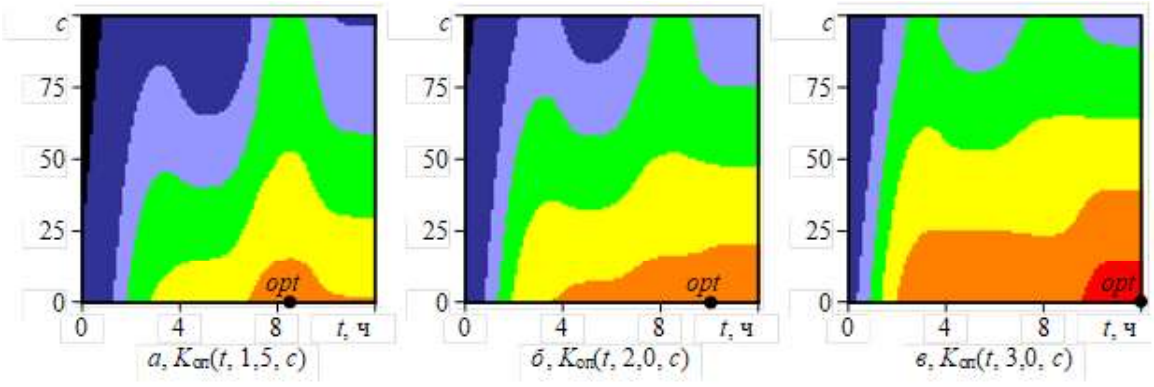


Рисунок 5. Картограммы оптимизации $K_{оп}(t,\ c)$ при разных температурах T процесса сухого охмеления

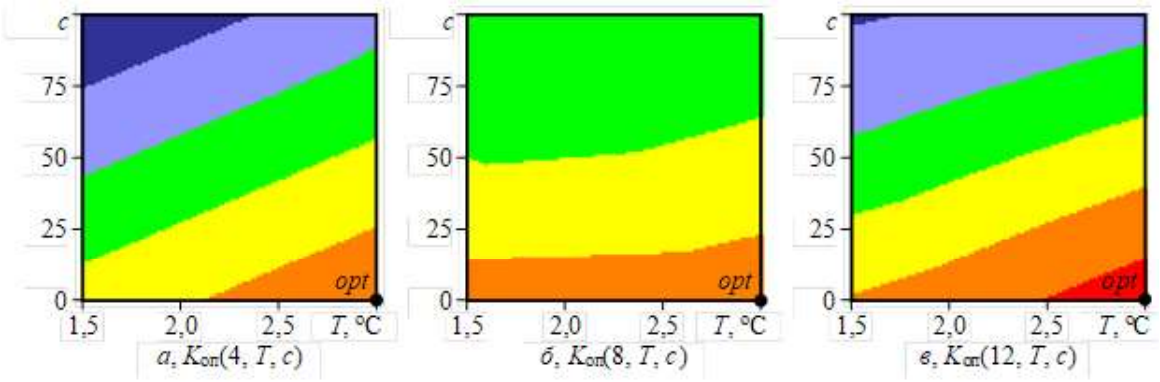


Рисунок 6. Картограммы оптимизации $K_{оп}(T, c)$ при разной длительности t процесса сухого охмеления

(Рисунок 7). Точка А – это точка наименьшей длительности процесса 3,8 ч, при которой достигается высокие показатели качества пива – критерий оптимизации равен 0,636. Благодаря такой малой длительности процесса может быть достигнут наибольший экономический эффект.

Вторая характерная точка *B* представляет собой локальную точку максимума и соответствует примерно вдвое большей длительности процесса 6,2 ч, при этом достигается больший критерий оптимизации 0,650. С точки зрения экономического эффекта в данном случае необходимо оценивать баланс между снижением производительности в 1,75 раза процесса и повышением качества на 2,2 %. Данный вариант не позволяет получить пиво заметно высокого качества, при высокой длительности, поэтому не рекомендуется для реального производства.

Третья характерная точка С соответствует глобальному максимуму $K_{оп}^{м} = 0{,}679$ и требует значительной длительности процесса 13,1 ч. В таком технологическом процессе получается наиболее качественное пиво (на 6,8 % качественнее, чем для

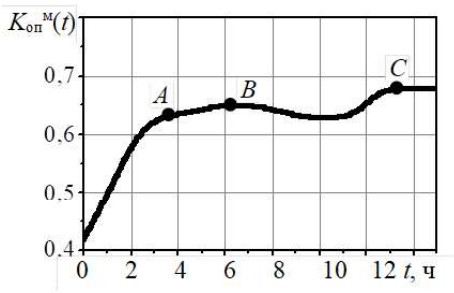


Рисунок 7. Зависимость от времени t критерия оптимизации $K_{оп}^{м}$, максимального в диапазонах температур T от 1,5 до 3,0 ° и концентраций c 0–1

быстрого варианта А), однако длительность процесса существенно выше (в 3,7 раза по сравнению с вариантом А). Поэтому с точки зрения экономической эффективности такой вариант приемлем для производства пива премиального класса.

Таким образом, разработана методика интегральной оценки качества пива, получаемого в процессе сухого охмеления, позволившая определить оптимальные технологические параметры процесса, исследовать влияние длительности процесса, температуры и комбинации хмелей на показатели качества, а также оценить экономическую эффективность трех вариантов длительности процесса.

Выводы

Разработан математический аппарат – комбинация линейной интерполяции и аппроксимации радиальной нейронной сетью – для получения аналитических непрерывных дифференцируемых функций показателей эффективности процесса охмеления от времени, температуры и состава хмелей, что позволяет их использовать для решения общей задачи оптимизации.

Определены оптимальные технологические параметры процесса сухого охмеления: хмель Saphire, длительность процесса 12 ч, температура 3,0 °С. Использование комбинации хмелей Saphire + Chinook не дает улучшение общего критерия оптимальности по сравнению с использованием только хмеля Saphire. При сухом охмелении хмелем Chinook оптимальная длительность процесса составляет 10,5 ч, оптимальная температура составляет 3,0 °С.

При температурах процесса сухого охмеления ниже 3,0 °С критерий оптимизации получает-

ся незначительно ниже, чем для 3,0 °С. При температурах 1,5 и 2,0 °С оптимальная длительность процесса составляет 8,15 и 11,25 суток соответственно. Уже при небольшой длительности процесса 4 ч удается достигнуть значений критерия оптимизации более 0,60, однако только при длительности порядка 12 ч удается достигнуть критерия оптимизации более 0,65.

С точки зрения экономической эффективности возможны два варианта процесса сухого охмеления. Для получения пива обычного класса с достаточно высоким показателем качества 0,636 длительность процесса должна составлять 3,8 ч. Для получения пива премиального класса с показателем качества 0,679 (на 6,8 % качественнее, чем обычного класса) длительность процесса должна составлять 13,1 ч.

Литература

Бородулин, Д. М., Сафонова, Е. А., Просин, М. В., & Миленький, И. О. (2017). Исследование процесса охмеления пивного сусла с применением современного оборудования. *Современные материалы, техника и технологии*, 3 (11), 16-21.

Гернет, М. В. (2017). Перспективы расширения ассортимента напитков брожения для пивоваренных заводов малой мощности. *Пиво и напитки, 3*, 14-17.

Грачев, Ю. П., & Плаксин, Ю. М. (2005). *Математические методы планирования экспериментов*. М.: ДеЛи Принт.

Коростелев, А. В., Рукавицын, П. В., Новикова, И. В., Кучменко, Т. А., Умарханов, Р. У., & Муравьев, А. С. (2020). Исследование ароматобразующих компонентов хмеля с применением химических сенсоров. *Известия Вузов. Прикладная Химия и Биотехнология*, *10*(3), 479-486. https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-3-479-486

Матвеева, Н. А., & Титов, А. А. (2014). Выбор сорта хмеля для технологии сухого охмеления. *Научный журнал НИУ ИТМО. Процессы и аппараты пищевых производств, 4*, 120-125.

Матвеева, Н. А., & Титов, А. А. (2015). Применение технологии сухого охмеления в пивоварении. *Научный журнал НИУ ИТМО. Процессы и аппараты пищевых производств, 1,* 111-118.

Меледина, Т. В. (2003). *Сырье и вспомогательные материалы в пивоварении*. СПб.: Профессия.

Новикова, И. В., Агафонов, Г. В., Коротких, Е. А., Коростелев, А. В., Рукавицын, П. В., & Новиков, С. В. (2018). Разработка методики проектирования безалкогольных напитков с учетом сбалансированности состава. *Пиво и напитки, 2*, 26-30.

Новикова, И. В., Рукавицын, П. В., & Муравьев, А. С. (2018). Влияние основных параметров процесса сухого охмеления на физико-химические показатели пива. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов, 6*, 9-17.

Новикова, И. В., Рукавицын, П. В., & Муравьев, А. С. (2019). К вопросу перехода ароматических соединений хмеля в пиво при реализации сухого охмеления. *Пищевая промышленность, 1*, 69-73.

Осовский, С. (2004). *Нейронные сети для обработки информации*. М.: Финансы и статистика.

Федоренко, Б. Н., & Трэнкл, Ф. (2017). Инновационное технологическое оборудование для крафтового пивоварения. *Пиво и напитки, 1*, 22-24.

Чеснокова, А. Н. (2011). *Фенольные соединения хмеля обыкновенного (Humulus Lupulus L.) и хмелепродуктов* [Кандидатская диссертация, Иркутский государственный технический университет]. Иркутск, Россия.

Шелехова, Н. В., Шелехова, Т. М., Скворцова, Л. И., & Полтавская, Н. В. (2021). Идентификация спиртных напитков с применением искусственных нейронных сетей. *Пищевая промышленность, 3*, 43-48. https://doi.org/10.24412/0235-2486-2021-3-0028

Barry, S., Muggah, E. M., McSweeney, M. B., & Walker, S. (2018). A preliminary investigation into differences in hops' aroma attributes. *International Journal of Food Science & Technology*, *53*(3), 804-811. https://doi.org/10.1111/ijfs.13656

Bishop, C. M. (1995). *Neural networks for pattern recognition*. Clarendon Press.

Cibaka, M.-L. K., Ferreira, C. S., Decourrière, L., Lorenzo-Alonso, C.-J., Bodart, E., & Collin, S. (2018). Dry hopping with the dual-purpose varieties amarillo, citra, hallertau blanc, mosaic, and sorachi ace: Minor contribution of hop terpenol glucosides to beer flavors. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, *75*(2), 122-129. https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2017-2257-01

Donaldson, B. R., Bamforth, C. W., & Heymann, H. (2012). Sensory descriptive analysis and free-choice profiling of thirteen hop varieties as whole cones and after dry hopping of beer. *Journal of the American Society of Brewing Chemists, 70*(3), 176-181. https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2012-0710-01

Dresel, M., Praet, T., van Opstaele, F., van Holle, A., Naudts, D., Keukeleire, D. de, Cooman, L. de, & Aerts, G. (2015). Comparison of the analytical profiles of volatiles in single-hopped worts and beers as a function of the hop variety. *BrewingScience*, *68*(1-2), 8-28.

Hao, J., Dong, J., Yin, H., Yan, P., Ting, P. L., Li, Q., Tao, X., Yu, J., Chen, H., & Li, M. (2018). Optimum method of analyzing hop derived aroma compounds in beer by headspace solid-phase microextraction (SPME) with GC/MS and their evolutions during chinese

lager brewing process. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, *72*(4), 261-270. https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2014-1021-01

Haseleu, G., Intelmann, D., & Hofmann, T. (2009). Identification and RP-HPLC-ESI-MS/MS quantitation of bitter-tasting beta-acid transformation products in beer. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *57*(16), 7480-7489. https://doi.org/10.1021/jf901759y

Kippensberger, M., Hanke, S., Biendl, M., Stettner, G., & Lagemann, A. (2014). Transfer of nitrate and various pesticides into beer during dry hopping. *BrewingScience*, *67*, 1-9.

Leitao, C., Marchioni, E., Bergaentzlé, M., Zhao, M., Didierjean, L., Taidi, B., & Ennahar, S. (2011). Effects of processing steps on the phenolic content and antioxidant activity of beer. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *59*(4), 1249-1255. https://doi.org/10.1021/jf104094c

Maye, J. P., Smith, R., & Leker, J. (2016). Humulinone formation in hops and hop pellets and its implications for dry hopped beers. *Technical Quarterly*, *53*(1), 23-27. https://doi.org/10.1094/TQ-53-1-0227-01

Schönberger, C., & Kostelecky, T. (2011). 125th Anniversary review. The role of hops in brewing. *Journal of the Institute of Brewing*, *117*(3), 259-267. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2011.tb00471.x

Takoi, K., Tokita, K., Sanekata, A., Usami, Y., Itoga, Y., Koie, K., Matsumoto, I., & Nakayama, Y. (2016). Varietal difference of hop-derived flavour compounds in late-hopped/dry-hopped beers. *BrewingScience*, *69*, 1-7.

Titus, B. M., Lerno, L. A., Beaver, J. W., Byrnes, N. K., Heymann, H., & Oberholster, A. (2021). Impact of dry hopping on beer flavor stability. *Foods*, *10*(6), 1264. https://doi.org/10.3390/foods10061264

Van Opstaele, F., de Rouck, G., de Clippeleer, J., de Cooman, L. (2010). Analytical and Sensory Assessment of Hoppy Aroma and Bitterness of Conventionally Hopped and Advanced Hopped Pilsner Beers. *Journal of the Institute of Brewing, 116*(4), 445-458. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2010.tb00796.x

Walsh, D. B., O'Neal, S. D., George, A. E., Groenendale, D. P., Henderson, R. E., Groenendale, G. M., & Hengel, M. J. (2018). Evaluation of pesticide residues from conventional, organic, and nontreated hops on conventionally hopped, late-hopped, and wet-hopped beers. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, *74*(1), 53-56. https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2016-1115-02

Zanoli, P., & Zavatti, M. (2008). Pharmacognostic and pharmacological profile of Humulus lupulus L. *Journal of Ethnopharmacology*, *116*(3), 383-396. https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.01.011

Optimization of Technological Parameters of the Dry Hopping Process With the Development of a Methodology for the Integral Assessment of the Quality of Beer

Inna V. Novikova
Voronezh State University of Engineer.ng Technologies
19, Revolution Avenue, Voronezh, 394036, Russian Federation
E-mail: noviv@list.ru

Pavel V. Rukavitsyn
Voronezh State University of Engineering Technologies
19, Revolution Avenue, Voronezh, 394036, Russian Federation
E-mail: kafedra-tbisp@mail.ru

Alexander S. Muravyov
Voronezh State University of Engineering Technologies,
19, Revolution Avenue, Voronezh, 394036, Russian Federation
E-mail: hntrun@mail.ru

The development of craft beers with complex fruit, floral and citrus tones, the search for an original taste and the revival of old recipes are the prerequisites for the use of dry-hoping in the brewing industry. The dry-hopping process was carried out dynamically in an experimental setup with a hop apparatus, screen filter, fermentation tank and pump. Saphir and Chinook hops were used. The study included determination of physical and chemical parameters of beer: concentration of humulinones, iso-α-acids and α-acids; total content of polyphenols; pH; volume density. Sensory evaluation indicators included: hop aroma intensity and quality; flavor fullness; bitterness quality; and overall preference. Radial neural networks were used to approximate the results of the study. Optimal process parameters were determined: Saphir hops, process duration 12 hours, temperature 3,0 °C. The optimum process duration is 10,5 h and the optimum temperature is 3,0 °C. Processing temperatures below 3.0 °C result in a slightly lower optimization criterion than the 3.0 °C processing temperature. At temperatures of 1.5 and 2.0 °C the optimum process duration is 8.15 and 11.25 days respectively. The use of the combination of Saphir & Chinook hops offers no improvement in the overall optimality criterion compared with the use of Saphir alone. The process duration of 4 hours achieves an optimization criterion of more than 0.60, but only with durations of around 12 hours does an optimization criterion of more than 0.65 become attainable.

Keywords: hops, neural networks, Saphire, Chinook, optimization criterion, dry hopping

References

Borodulin, D. M., Safonova, E. A., Prosin, M. V., & Milen'kii, I. O. (2017). Issledovanie protsessa okhmeleniya pivnogo susla s primeneniem sovremennogo oborudovaniya [Investigation of the process of hopping beer wort with the use of modern equipment]. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii* [*Modern Materials, Equipment and Technologies*], *3*, 16-21.

Chesnokova, A. N. (2011). *Fenol'nye soedineniya khmelya obyknovennogo (Humulus Lupulus L.) i khmeleproduktov* [Candidate Dissertation, Irkutskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet]. Irkutsk, Russia.

Fedorenko, B. N., & Trenkl, F. (2017). Innovatsionnoe tekhnologicheskoe oborudovanie dlya kraftovogo pivovareniya [Innovative process equipment for craft brewing]. *Pivo i napitki* [*Beer and drink*], *1*, 22-24.

Gernet, M. V. (2017). Perspektivy rasshireniya assortimenta napitkov brozheniya dlya pivovarennykh zavodov maloi moshchnosti [Prospects for expanding the range of fermentation drinks for small capacity breweries]. *Pivo i napitki* [*Beer and Beverages*], *3*, 14-17.

Grachev, Yu. P., & Plaksin, Yu. M. (2005). Matematicheskie metody planirovaniya eksperimentov

[Mathematical methods for planning experiments]. Moscow: DeLi print.

Korostelev, A. V., Rukavitsyn, P. V., Novikova, I. V., Kuchmenko, T. A., Umarkhanov, R. U., & Murav'ev, A. S. (2020). Issledovanie aromatobrazuyushchikh komponentov khmelya s primeneniem khimicheskikh sensorov [Study of aroma-forming components of hops using chemical sensors]. Izvestiya Vuzov. *Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya* [*Proceedings of Universities. Applied Chemistry & Biotechnology*], *10*(3), 479-486. https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-3-479-486

Matveeva, N. A., & Titov, A. A. (2014). Vybor sorta khmelya dlya tekhnologii sukhogo okhmeleniya [Selection of hop variety for dry hop technology]. Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv* [*Scientific journal of ITMO University. Processes and apparatus for food production*], *4*, 120-125.

Matveeva, N. A., & Titov, A. A. (2015). Primenenie tekhnologii sukhogo okhmeleniya v pivovarenii [Application of dry hops technology in brewing]. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv* [*Scientific journal of ITMO University. Processes and apparatus for food production*], *1*, 111-118.

Meledina, T. V. (2003). *Syr'e i vspomogatel'nye materialy v pivovarenii* [*Raw materials and auxiliary materials in brewing*]. S-Petersburg: Professiya.

Novikova, I. V., Agafonov, G. V., Korotkikh, E. A., Korostelev, A. V., Rukavitsyn, P. V., & Novikov, S. V. (2018). Razrabotka metodiki proektirovaniya bezalkogol'nykh napitkov s uchetom sbalansirovannosti sostava [Development of design methodology for non-alcoholic beverages taking into account the balance of composition]. *Pivo i napitki* [*Beer and Beverages*], *2*, 26-30.

Novikova, I. V., Rukavitsyn, P. V., & Murav'ev, A. S. (2018). Vliyanie osnovnykh parametrov protsessa sukhogo okhmeleniya na fiziko-khimicheskie pokazateli piva [Influence of the main parameters of the dry hops process on physico-chemical parameters of beer]. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov* [*Technology and Merchandising of Innovative Foods*], *6*, 9-17.

Novikova, I. V., Rukavitsyn, P. V., & Murav'ev, A. S. (2019). K voprosu perekhoda aromaticheskikh soedinenii khmelya v pivo pri realizatsii sukhogo okhmeleniya [On the transition of hop aromatic compounds into beer during the implementation of dry hops]. *Pishchevaya promyshlennost'* [*Food Industry*], *1*, 69-73.

Osovskii, S. (2004). *Neironnye seti dlya obrabotki informatsii* [*Neural networks for information processing*]. Moscow: Finansy i statistika.

Shelekhova, N. V., Shelekhova, T. M., Skvortsova, L. I., & Poltavskaya, N. V. (2021). Identifikatsiya spirtnykh napitkov s primeneniem iskusstvennykh neironnykh setei [Identification of alcoholic beverages using artificial neural networks]. *Pishchevaya promyshlennost'* [*Food Industry*], *3*, 43-48. https://doi.org/10.24412/0235-2486-2021-3-0028

Barry, S., Muggah, E. M., McSweeney, M. B., & Walker, S. (2018). A preliminary investigation into differences in hops' aroma attributes. *International Journal of Food Science & Technology*, *53*(3), 804-811. https://doi.org/10.1111/ijfs.13656

Bishop, C. M. (1995). *Neural networks for pattern recognition*. Clarendon Press.

Cibaka, M.-L. K., Ferreira, C. S., Decourrière, L., Lorenzo-Alonso, C.-J., Bodart, E., & Collin, S. (2018). Dry hopping with the dual-purpose varieties amarillo, citra, hallertau blanc, mosaic, and sorachi ace: Minor contribution of hop terpenol glucosides to beer flavors. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, *75*(2), 122-129. https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2017-2257-01

Donaldson, B. R., Bamforth, C. W., & Heymann, H. (2012). Sensory descriptive analysis and free-choice profiling of thirteen hop varieties as whole cones and after dry hopping of beer. *Journal of the American Society of Brewing Chemists, 70*(3), 176-181. https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2012-0710-01

Dresel, M., Praet, T., van Opstaele, F., van Holle, A., Naudts, D., Keukeleire, D. de, Cooman, L. de, & Aerts, G. (2015). Comparison of the analytical profiles of volatiles in single-hopped worts and beers as a function of the hop variety. *BrewingScience*, *68*(1-2), 8-28.

Hao, J., Dong, J., Yin, H., Yan, P., Ting, P. L., Li, Q., Tao, X., Yu, J., Chen, H., & Li, M. (2018). Optimum method of analyzing hop derived aroma compounds in beer by headspace solid-phase microextraction (SPME) with GC/MS and their evolutions during chinese lager brewing process. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, *72*(4), 261-270. https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2014-1021-01

Haseleu, G., Intelmann, D., & Hofmann, T. (2009). Identification and RP-HPLC-ESI-MS/MS quantitation of bitter-tasting beta-acid transformation products in beer. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *57*(16), 7480-7489. https://doi.org/10.1021/jf901759y

Kippensberger, M., Hanke, S., Biendl, M., Stettner, G., & Lagemann, A. (2014). Transfer of nitrate and various pesticides into beer during dry hopping. *BrewingScience*, *67*, 1-9.

Leitao, C., Marchioni, E., Bergaentzlé, M., Zhao, M., Didierjean, L., Taidi, B., & Ennahar, S. (2011). Effects of processing steps on the phenolic content and antioxidant activity of beer. *Journal of*

Agricultural and Food Chemistry, *59*(4), 1249-1255. https://doi.org/10.1021/jf104094c

Maye, J. P., Smith, R., & Leker, J. (2016). Humulinone formation in hops and hop pellets and its implications for dry hopped beers. *Technical Quarterly*, *53*(1), 23-27. https://doi.org/10.1094/TQ-53-1-0227-01

Schönberger, C., & Kostelecky, T. (2011). 125th Anniversary review. The role of hops in brewing. *Journal of the Institute of Brewing*, *117*(3), 259-267. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2011.tb00471.x

Takoi, K., Tokita, K., Sanekata, A., Usami, Y., Itoga, Y., Koie, K., Matsumoto, I., & Nakayama, Y. (2016). Varietal difference of hop-derived flavour compounds in late-hopped/dry-hopped beers. *BrewingScience*, *69*, 1-7.

Titus, B. M., Lerno, L. A., Beaver, J. W., Byrnes, N. K., Heymann, H., & Oberholster, A. (2021). Impact of dry hopping on beer flavor stability. *Foods*, *10*(6), 1264. https://doi.org/10.3390/foods10061264

Van Opstaele, F., de Rouck, G., de Clippeleer, J., de Cooman, L. (2010). Analytical and Sensory Assessment of Hoppy Aroma and Bitterness of Conventionally Hopped and Advanced Hopped Pilsner Beers. *Journal of the Institute of Brewing, 116*(4), 445-458. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2010.tb00796.x

Walsh, D. B., O'Neal, S. D., George, A. E., Groenendale, D. P., Henderson, R. E., Groenendale, G. M., & Hengel, M. J. (2018). Evaluation of pesticide residues from conventional, organic, and nontreated hops on conventionally hopped, late-hopped, and wet-hopped beers. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, *74*(1), 53-56. https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2016-1115-02

Zanoli, P., & Zavatti, M. (2008). Pharmacognostic and pharmacological profile of Humulus lupulus L. *Journal of Ethnopharmacology*, *116*(3), 383-396. https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.01.011

УДК 634.8:635.64:635.356:615.32:581.192.6 https://doi.org/10.36107/spfp.2021.233

Экологическая безопасность сырья для получения функциональных пищевых продуктов и ее гормональная регуляция

Казахмедов Рамидин Эфендиевич
Дагестанская селекционная опытная станция виноградарства и овощеводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»
Адрес: 368608, Дербент, ул. Вавилова, д. 9
E-mail: kre_05@mail.ru

Магомедова Марина Алиевна
Дагестанская селекционная опытная станция виноградарства и овощеводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»
Адрес: 368608, Дербент, ул. Вавилова, д. 9
E-mail: kre_05@mail.ru

Воробьева Татьяна Николаевна
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»
Адрес: 350901, г. Краснодар, ул. им. 40 - летия Победы, д. 39
E-mail: kubansad@kubannet.ru

Причко Татьяна Григорьевна
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»
Адрес: 350901, г. Краснодар, ул. им. 40 - летия Победы, д. 39
E-mail: kubansad@kubannet.ru

Многочисленные результаты исследований свидетельствуют о несоответствии структуры питания человека физиологическим нормам, рекомендованным Всемирной организацией здравоохранения. Исследователи всего мира едины во мнении о необходимости приема функциональных пищевых продуктов и биологически активных добавок профилактического действия. Целью данной работы является обобщение результатов первого этапа исследований по оценке экологической безопасности сырья, ориентированного на производство функциональных продуктов питания и биологически активных добавок. Экспериментальная работа проводилась методами лабораторных, вегетационных и полевых исследований. Анализ на содержание тяжелых металлов в почве и растительном сырье проводился на базе лаборатории по соответствующим методикам. В статье представлены результаты первого этапа исследований по изучению экологической безопасности сырья, перспективного для получения функциональных пищевых продуктов и биологически активных добавок. Обоснован выбор ключевых компонентов, который подтвержден многочисленными литературными данными различных исследователей. Предполагаем, что получение экологически безопасного сырья из растений брокколи, вторичных продуктов переработок винограда и томата не только возможно, но и рентабельно в условиях южного Дагестана. Проведена оценка медико-биологической ценности винограда, томата и брокколи. На данном этапе исследований изучены особенности накопления тяжелых металлов в элементах урожая винограда (семена), томата (выжимки) и растениях брокколи и показана возможность получения растительного сырья свободного от токсичных элементов путем применения физиологически активных соединений. Обработка листовой поверхности плодоносящих растений винограда смесью физиологически активных соединений с целью повышения устойчивости к корневой филлоксере уменьшает концентрации свинца, кадмия, мышьяка и меди в семенах винограда. Важным элементом в технологии получения экологически безопасного сырья для создания функциональных пищевых продуктов и биологически активных добавок из винограда, томата

и брокколи, по результатам данного этапа исследований является применение физиологически активных соединений гормональной природы в соответствующий период вегетации данных культур.

Ключевые слова: биологически активная добавка, функциональные пищевые продукты, социально-значимые заболевания, почва, пестициды, тяжелые металлы, виноград, томат, брокколи, физиологически активные соединения

Введение

Концепция обеспечения продовольственной безопасности и формирования системы здорового питания, как одно из приоритетных направлений Государственной политики в России получила признание в 2000 г. и направлена на введение в рацион функциональных пищевых продуктов (ФПП) и биологически активных добавок (БАД). Основная цель данной концепции - оптимизация структуры питания широких слоев населения (Ребезов, Наумова, Альхамова, Лукин, & Хайруллин, 2011). У большинства жителей РФ, вне зависимости от региона, выявлены нарушения их пищевого статуса.

Результаты исследований (эпидемиологических, социальных, гигиенических) также свидетельствуют о несоответствии структуры питания физиологическим нормам, рекомендованным ВОЗ - почти 80 % населения страны нуждаются в коррекции структуры питания.

Свою «злую роль» сыграла урбанизация и индустриализация общества, которая впоследствии косвенно привела функциональным нарушениям в организме человека. Например, таких как: нарушение обмена веществ, функциональные расстройства ЖКТ, снижение иммунитета и т.д.

На фоне несбалансированного питания и неблагоприятных экологических воздействий на человека, ученые во всех странах едины во мнении о необходимости приема ФПП и БАД направленного действия (Лукин, 2011).

БАД, содержащие различные природные биоактивные соединения, стали важнейшим элементом современной жизни. В настоящее время в развитых странах мира БАД и ФПП выпускаются и потребляются в огромных масштабах, что, в свою очередь, позволило в значительной степени повлиять на уровень здоровья целых наций (Садоян, 2006).

Социально значимые заболевания (СЗЗ) присущи населению всех стран мира, включая экономически развитые. Отличительными особенностями социально значимых заболеваний являются способность к широкому распространению и зависимость возникновения и распространения от социально-экономических условий[1] (Воропинова, Германова, & Малкина, 2014).

Согласно результатам многочисленных исследований, РФ занимает "лидирующее" положение в мире по смертности, вызванной ССЗ (Перова & Оганов, 2004; Харченко и др., 2005) В 2012 году число заболевших выросло до 3 млн. человек (т.е. на каждые 100 тыс. человек приходится около 2 тыс. онкобольных). Сочетание ИБС с онкопатологией легких является распространённым явлением (Давыдов и др., 2010). По данным ряда авторов, сочетание онкологических заболеваний и ИБС отмечается у 6,9% мужчин (Белов, Паршин, & Комаров, 2010).

Виноград – ценное сырье для получения целого ряда пищевых продуктов, что обусловлено высоким содержанием фенольных соединений. Установлено, антиоксидантные свойства фенольных соединений виноградных семян в 20 раз сильнее витамина С и в 50 раз – витамина Е (Огай и др., 2000; Вершинина, Асмаева, Корнен, & Бежко, 2001). Ресвератрол, кверцетин и катехины, содержащиеся в семенах винограда, являются мощными антиоксидантами. В ходе экспериментальных исследований выявлено, что они еще являются потенциальными раковыми химиопрофилактическими агентами. В последние годы, *комбинированная химиопрофилактика* получает все более широкое признание и исследована в качестве эффективной стратегии лечении. Ученые полагают, что действие ресвератрола усиливается в сочетании с другими онкопротекторами (Shan, Cuirong, & Yuanjiang, 2008; Singh, George, & Ahmad, 2013; *Барабой*, 2009; Азизов & Казахмедов, 2009; Казахмедов, Э. Р. & Казахмедов, Р. Э., 2013).

Томаты - одна из самых популярных овощных культур, обладающих высокой медико-биологической ценностью и богаты содержанием ликопина. Ликопин – один из самых мощных антиоксидантов среди диетических каротиноидов. Учеными обнаружена обратная коррелятивная связь между уровнем ликопина в тканях и развитием онко-

[1] Постановление Правительства РФ № 280. (2007). О федеральной целевой Программе «Предупреждение и борьба с социально значимыми заболеваниями (2007-2012 годы)». Собрание законодательства РФ, 21, 2506.

логии молочной железы и простаты. Также прием ликопина приводит к уменьшению содержания в крови простатспецифичного антигена (ПСА), маркера активности рака предстательной железы (Sanjiv & Akkinappally, 2000) .

Наряду с виноградом и томатом, брокколи является также ценным продуктом для получения экологически ценного и безопасного сырья для БАД и ФПП. Многочисленные исследования показали, что частое употребление в пищу брокколи уменьшает риск возникновения рака легких, толстой кишки, мочевого пузыря (Lam et al., 2009).

Сульфорафан – мощный антиоксидант брокколи, является одним из основных веществ, предотвращающим развитие рака (Zhang, Talalay, Cho, & Posner, 1992). Селен и сульфорафан при их совместном применении в 13 раз более мощно влияют на гены, которые контролируют развитие рака, чем, если они применяются в отдельности. (Трусов и др., 2010; Avato & Argentieri, 2015; Карпов, 2015). Установлено, что в проростках растений брокколи, в первые 2 недели (в частности, 8 дневные проростки), обнаружены глюкорафанина и сульфорафана и наибольшее содержание общих фенольных соединений, что проявляет наибольший антиоксидантный потенциал (Baenas, Moreno, & Garcia-Viguera, 2012; Gu et al., 2012).

Материалы и методы исследований

Объекты

При исследовании были использованы следующие объекты: физиологически активные соединения (ФАС), семена винограда сортов: Первенец Магарача, *Слава Дербента,* листья брокколи (возраст 80-120 дней, выжимки томата сортов: Ляна, Дар Заволжья, Волгоградский скороспелый 323).

- первенец Магарача (Ркацители Х гибридная форма Магарач 2-57-72 (Мцване кахетинский х Сочинский черный)). Относится к техническим сортам среднепозднего срока созревания. Характеризуется относительной устойчивостью к милдью, серой гнили (степень поражения 2-3 балла), толерантен к корневой филлоксере. Лишь в эпифитотийные годы требуется 2-3 профилактических опрыскивания от милдью и защиты от оидиума.
- слава Дербента (Гимра х Асыл кара) Относится к техническим сортам раннесреднего срока созревания. Урожайность высокая (146 ц/га). Зимостойкость высокая. Выход сока-80-82% Относительно устойчив к болезням и вредителям. Используется для приготовления десертного и столового вина высокого качества.
- семена брокколи сорт Фортуна (ООО «Сортсемовощ», г. Махачкала).
- семена томата сортов Ляна, Дар Заволжья, Волгоградский скороспелый 323 (ООО «Сортсемовощ», г. Махачкала).

Условия проведения

Целью данного исследования является обобщение результатов первого этапа исследований по оценке экологической безопасности сырья, ориентированного на производство ФПП и БАД

Методика

Экспериментальная работа проводилась на базе ДСОСВиО филиала ФГБНУ СКФНЦСВВ методами лабораторных, вегетационных и полевых исследований. Объект исследований – виноград, плодоносящие растения сортов Первенец Магарача, Слава Дербента; томат, опытные номерные сортообразцы селекции ФГБНУ ФНЦО, районированные сорта (Дар Заволжья, Волгоградский скороспелый 323), брокколи – сорта Фортуна. Обработки растворами ФАС проводились: винограда – перед началом цветения; томата- в период массового цветения. Анализ на содержание ТМ в почве и сырье проводился на базе лаборатории ФГБНУ СКФНЦСВВ по соответствующим методикам [2][3][4][5][6][7].

[2] Гигиенические нормативы. (2009). Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора.

[3] Гигиенические нормативы. ГН 2.1.7.2041-06 (2006). Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора.

[4] СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. URL: https://gosstandart.info/data/documents/sanpin2.3.2.1078-01.doc (дата обращения: 13.03.2021).

[5] ГОСТ 30178-96. (2013). Сырье и продукты пищевые. Атомно- абсорбционный метод определения токсичных элементов. М.: Стандартинформ.

[6] ГОСТ Р 51766-2001. (2013). Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения мышьяка. М.: Стандартинформ.

[7] Методические указания МУК 4.1.1472. Атомно-абсорбционное определение массовой концентрации ртути в биоматериалах животного и растительного происхождения (пищевых продуктах, кормах и др.). URL: https://docs.cntd.ru/document/1200034851 (дата обращения: 13.05.2021).

Дагестанская СОСВиО филиал СКФНЦСВВ проводит исследования по теме госзадания Минобрнауки РФ «Разработать технологии получения экологически безопасного и доступного сырья из растений брокколи и вторичных продуктов переработки винограда и томата с целью получения биологически активных добавок для профилактики социально значимых заболеваний» с 2014 года.

Многочисленные исследования ученых свидетельствуют о высокой антиоксидантной активности БАВ брокколи, винограда и томата, что позволяет использовать сырье в качестве онко- и кардиопротекторов. Однако, в связи с малоизученностью, получение экологически безопасного сырья для создания доступных широким слоям населения ФПП и БАД остается актуальной проблемой и требует решения (Казахмедов & Магомедова 2017а; Причко, Казахмедов, Дрофичева, & Магомедова, 2020).

Нами рассматривалась возможность получения экологически безопасного, доступного сырья для получения БАД и ФПП из вторичных продуктов переработки и семеноводства винограда и томата, культура которых имеет важное социально-экономическое значение для республики Дагестан, а также растений брокколи. Предполагаем, что себестоимость разрабатываемых БАД и ФПП будет значительно ниже, чем импортных аналогов (Казахмедов & Магомедова, 2018).

За 2014-2019 гг. в рамках данного направления работы проведены исследования по анализу содержания ТМ и пестицидов в семенах винограда, выжимках томата и растениях брокколи (Казахмедов, Рамазанов, Шихсефиев, & Магомедова, 2016) анализу почв на содержание ТМ и пестицидов (Казахмедов, Магомедова, & Воробьева, 2018), которые позволяют характеризовать почву не загрязненной валовыми и подвижными формами тяжелых металлов. Исключение - превышение содержания мышьяка в 6 раз и незначительное меди. Установлено, что элементы технологии возделывания винограда, томата и брокколи должны быть направлены на предупреждение накопления в сырье для производства ФПП и БАД мышьяка и меди выше критических допустимых значений (Магомедова & Казахмедов, 2017б).

Изучено влияние физиологически активных соединений на содержание ТМ в семенах винограда, ускорение сроков созревания и увеличения массы брокколи, томата и винограда, изучены биологические особенности растений брокколи (Магомедова & Казахмедов, 2017; Казахмедов, Казахмедов, & Магомедова, 2019). Получена развернутая оценка биохимического состава брокколи по различным элементам урожая. Проведен анализ по содержанию растворимых углеводов и органических кислот, минерального состава, витаминов и аминокислот (Причко, Казахмедов, Дрофичева, & Магомедова, 2020). Разработана концепция производства биологически активных добавок из растительного сырья в республике Дагестан, в которой представлены основные подходы для использования условий республики Дагестан в решении проблемы, а также ожидаемые результаты реализации задач в рамках программы, направленной на оздоровление населения республики Дагестан (Магомедова, Казахмедов, Э. Р., & Казахмедов, Р. Э., 2018).

Ранее нами на базе ЦКП «Аналитический» ФГБНУ СКФНЦСВВ было исследовано содержание ТМ в почве экспериментальных участков. Установлено, что валовое содержание мышьяка в почве превышает ПДК в 6-8 раз, по меди, свинцу и кадмию не превышают допустимые значения[8] (Казахмедов, Магомедова, & Воробьева, 2018).

Таким образом, актуальной задачей в зоне проведения исследований становится получение сырья для производства БАД и ФПП, свободного от наличия мышьяка или содержанием не выше ПДК.

Также анализ остатков пестицидов в семенах винограда сорта Слава Дербента и проб почвы, отобранной с участков показал, что загрязненность почвы токсичными элементами из числа «фоновых» загрязнителей (хлорорганические инсектициды) и применяемыми в последние годы в пределах нормы (Казахмедов, Магомедова, & Воробьева, 2018)

Целевой задачей исследований являлось выявление принципиальной возможности получения сырья из вторичных продуктов переработки винограда (семена) и томата (выжимки), а также растений брокколи в условиях Дагестана для производства ФПП без применения средств защиты от болезней и вредителей.

Результаты

Изучено влияние ФАС на агробиологию сортов винограда Слава Дербента и Первенец Магарача (на

[8] Гигиенические нормативы. (2009). Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора.

фоне заражения филлоксерой) и содержание ТМ в семенах винограда[9,10,11,12,13].

Задача данного фрагмента сопряженных исследований – выявить влияние перспективных ФАС, предназначенных для повышения устойчивости винограда к филлоксере, на качество продукции, ориентированной на получение сырья для производства ФПП и БАД. Семена были получены с гроздей растений после различных обработок (физиологически активными соединениями и стандартная химическая защита, применяемая на производственных виноградных насаждениях ДСОСВиО) с целью изучения влияния их на агробиологические показатели и содержание ТМ.

В аналогичных исследованиях было изучено влияние РР на аккумуляцию ТМ в овощной продукции (корнеплодах свеклы столовой и перца сладкого) было установлено, что использование регуляторов роста позволило получить урожай с меньшим содержанием ионов свинца и кадмия (Титов, Смыслов, Дмитриева, & Болотова, 2011).

В наших исследованиях, обработка растений раствором ФАС значительно снижает содержание свинца и кадмия в семенах винограда сорта Слава Дербента (Таблица 1).

Таблица 1
Содержание тяжелых металлов в семенах винограда сорта Слава Дербента, мг/кг сухого вещества (2018 г.)

Элемент	Хим. защита	Хим.защита +ФАС	ПДК
Pb	0,4000±0,0400	0,0100	0,1000
Cd	0,0700±0,0100	0,0060±0,0001	0,0300

Установлено также, что обработка растений смесью физиологически активных соединений ЦАС, НАС и ЭАС с целью повышения устойчивости винограда к филлоксере, способствует снижению содержания мышьяка и меди в семенах сорта Первенец Магарача (Таблица 2). Важно отметить, что при этом химическая защита от грибных болезней и вредителей не проводилась.

Таблица 2
Содержание тяжелых элементов в семенах сорта Первенец Магарача, мг/кг сухого вещества (2019-2020 гг.)

Вариант опыта	Мышьяк (вал)	Медь (подв)	Свинец (подв)	Кадмий (подв)
Контроль (без хим. защиты)	0,100±0,040	5,480±0,540	<0,010	0,026±0,003
ФАС	0,050±0,020	4,850±0,450	<0,010	0,027±0,003
ПДК	0,200	0,100	0,100-0,050	0,100

Анализ растений брокколи, возраст которых составлял 80, 125 дней, показал, что концентрация токсичных элементов (мг/кг сухого вещества) не превышает ПДК. Однако, с увеличением возраста (125 дней) содержание меди увеличивается почти в 6 раз (Таблица 3).

Таблица 3
Содержание тяжелых металлов в листьях брокколи сорта Фортуна, мг/кг сухого вещества (2017 г.)

Возраст, количество дней	Концентрация токсичных элементов, мг/кг				
	Свинец	Кадмий	Мышьяк	Ртуть	Медь
80	0,170	0,009	<0,010	<0,001	0,700
125	0,160	0,009	<0,010	<0,001	4,00
ПДК	0,100	0,030	0,200	0,020	5,00

Целевой задачей исследований на томатах, также как на винограде и брокколи, являлось выявление принципиальной возможности получения урожая томатов для производства ФПП без применения средств защиты от болезней и вредителей. В этой связи, актуально исследование ранних сортов.

Установлено что в выжимках томата сортообразцов селекции ФГБНУ ФНЦО очень раннего срока созревания содержание кадмия, мышьяка и рту-

[9] Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. (2006). Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора.
[10] СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. URL: https://gosstandart.info/data/documents/sanpin2.3.2.1078-01.doc (дата обращения: 13.03.2021).
[11] ГОСТ 30178-96. (2013). Сырье и продукты пищевые. Атомно- абсорбционный метод определения токсичных элементов. М.: Стандартинформ.
[12] ГОСТ Р 51766-2001. (2015). Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения мышьяка. М.: Стандартинформ.
[13] МУК 4.1.1472. Атомно-абсорбционное определение массовой концентрации ртути в биоматериалах животного и растительного происхождения (пищевых продуктах, кормах и др.). URL: https://docs.cntd.ru/document/1200034851 (дата обращения: 15.06.2021).

ти было в пределах нормы, свинца и меди – превышал допустимый уровень. Содержание меди превышал допустимый уровень (ДУ) в мякоти томатов гибридной формы №13 в 2,8 раз, в кожице томатов гибридной формы №2 – 1,4 раза. Накопление свинца в сортообразце №13, как в кожице, так и в мякоти превышает допустимый уровень (Казахмедов, Магомедова, & Мукаилов, 2018)

На следующем этапе было изучено влияние растворов физиологически активных соединений ЦАС 20 мг/л и брассинолид 6 мг/л на содержание ТМ в выжимках растений томата 3 сортов раннего срока созревания, рекомендованных для возделывания в республике Дагестан. (Ляна, Дар Заволжья, Волгоградский скороспелый 323). Установлено, что исследуемые препараты снижают содержание мышьяка в выжимках томата. Однако накопление меди у сорта Ранний волгоградский значительно повышается при обработке препаратом цитокининового действия ЦАС, что вероятно, вызвано усилением поглощающей способности корневой системы, аттракцией питательных веществ в органы плодоношения, учитывая значительное повышение урожая растений в предыдущих наших исследованиях в данном варианте (Таблица 4).

Таблица 4
Влияние ФАС на накопление ТМ в выжимках томата, мг/кг сухого вещества (2019-2020 гг.)

Вариант	Мышьяк (вал)	Медь (подв)	Свинец (подв)	Кадмий (подв)
почва	16,5±5,0	1,69±0,67	5,89±2,12	0,07±0,03
ДЗ Контроль	0,30±0,11	6,35±0,63	<0,01	0,023±0,002
ДЗ ЦАС	0,28±0,10	4,37±0,43	<0,01	0,0211±0,002
ДЗ БРД	0,11±0,04	1,19±0,12	<0,01	0,018±0,002
РВ Контроль	0,35±0,12	0,81±0,08	<0,01	<00,1
РВ ЦАС	0,11±0,04	17,12±1,70	<0,01	0,028±0,003
РВ ЦАС-2	0,13±0,05	16,58±1,65	<0,01	0,0211±0,002
РВ БРД	0,18±0,06	1,69±0,170	<0,01	0,019±0,002
Ляна Контроль	0,28±0,10	4,58±0,45	<0,01	0,027±0,003

Выводы

Выявлена принципиальная возможность получения сырья из вторичных продуктов переработки винограда (семена) и томата (выжимки), а также растений брокколи в условиях Дагестана для производства ФПП без применения средств защиты от болезней и вредителей.

Установлено, что возделывание сортов раннего и очень раннего срока созревания томата, а также использование растений брокколи возрастом не более 80 суток в условиях юга Дагестана, позволяет получать сырье без применения средств защиты от болезней и вредителей и предотвратить накопление остаточных количеств пестицидов в продукции.

Анализ почвенных образцов в зоне исследований и предполагаемой зоне получения сырья показал, что валовое содержание мышьяка в почве превышает ПДК в 6-8 раз, а по меди, свинцу и кадмию не превышают допустимые значения. Препарат цитокининового действия (ЦАС) и брассинолид при применении в фазу цветения снижают содержание мышьяка в выжимках томата на фоне повышения урожая.

Анализ растений брокколи (возраст 80 дней), показал, что концентрация токсичных элементов не превышает ПДК. Однако с увеличением возраста (125 дней) содержание меди увеличивается почти в 6 раз.

Обработка листовой поверхности плодоносящих растений винограда смесью физиологически активных соединений с целью повышения устойчивости к корневой филлоксере значительно снижает содержание свинца, кадмия, мышьяка и меди в семенах винограда.

Важным элементом в технологии получении экологически безопасного сырья для получения ФПП и БАД из винограда, томата и брокколи, по результатам данного этапа исследований является применение ФАС гормональной природы в соответствующий период вегетации данных культур.

Литература

Азизов, А. П., & Казахмедов, Р. Э. (2009). Применение порошка из семян винограда для лечения эректильной дисфункции. *Андрология и генитальная хирургия, 10*(2), 88-882.

Барабой, В. А. (2009). Фенольные соединения виноградной лозы: Структура, антиоксидантная активность, применение. *Биотехнология, 2*, 67-75.

Белов, Ю. В., Паршин, В. Д., & Комаров, Р. Н. (2010). Комбинированные сосудистые резек-

ции в хирургии местно-распространенного рака легкого. *Кардиология сердечно-сосудистая хирургия, 5*, 42.

Вершинина, О. Л, Асмаева, З. И., Корнен, Н. Н., & Бежко, А. П. (2001). О возможности использования порошка из семян винограда при предварительной активации прессованных дрожжей. *Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения, 2*(5), 65-67.

Воропинова, О. А., Германова, Ю. И., & Малкина, Л. В. (2014). Состояние и динамика социально значимых заболеваний в регионах Северо-Кавказского федерального округа. *Медицинский вестник Северного Кавказа, 9*(1), 63-66.

Давыдов, М. И., Акчурин, Р. С., Герасимов, С. С., Дземешкевич, С. Л., Бранд, Я. Б., Долгов, И. М., & Шестопалова, И. М. (2010). Сочетанное хирургическое лечение онкологических больных с конкурирующими сердечно-сосудистыми заболеваниями при опухолевых поражениях легких и средостения. *Хирургия. Журнал им. Н. И. Пирогова, 8*, 4-10.

Казахмедов, Р. Э., & Магомедова, М. А. (2017а). Агробиологические особенности брокколи как объекта для получения БАД в условиях южного Дагестана. В *Развитие научного наследия Н. И. Вавилова по генетическим ресурсам его последователями: Материалы докладов, сообщений в сборнике Всероссийской научно-практической конференции с международным участием посвященная 80-летию Куркиева Уллубия Киштилиевича* (с. 159-163). Дербент: ДагГАУ им. М. М. Джамбулатова.

Казахмедов, Р. Э., & Магомедова, М. А. (2017б). К вопросу о разработке БАД для профилактики социально значимых заболеваний. *Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы, 1*, 13-16.

Казахмедов, Р. Э., & Магомедова, М. А. (2018). Растения брокколи на ранних этапах развития как источник сырья для производства БАД. *Проблемы развития АПК региона, 3*, 35-40.

Казахмедов, Р. Э., Казахмедов, Э. Р., & Магомедова, М. А. (2019). Роль, место, особенности БАД в профилактике социально значимых заболеваний и перспективы получения экологически безопасного сырья для их производства в условиях южного Дагестана. *Известия Дагестанского ГАУ, 1*, 45-52.

Казахмедов, Р. Э., Магомедова, М. А., & Воробьева, Т. Н. (2018). Токсикологическая характеристика почв и оценка экологической безопасности растительного сырья для производства БАД в условиях Дагестана. *Научные труды Северо-Кавказского Федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия, 15*, 105-109. https://doi.org/10.30679/2587-9847-2018-15-105-109

Казахмедов, Р. Э., Магомедова, М. А., & Мукаилов, М. Д. (2018). Элементы возделывания овощных культур для производства биологически активных добавок. *Проблемы развития АПК региона, 2*, 58-60.

Казахмедов, Р. Э., Рамазанов, А. Ш., Шихсефиев, А. Т., & Магомедова, М. А. (2016). Содержание тяжелых металлов в выжимках винограда, томата и растениях брокколи для производства биологически активных добавок. В *Современные проблемы садоводства и виноградарства и инновационные подходы к их решению: Сборник научных трудов международной научно-практической конференции* (с. 150-157). Махачкала: Дагестанский государственный аграрный университет им. М. М. Джамбулатова.

Казахмедов, Э. Р., & Казахмедов, Р. Э. (2013). Фенольные вещества семян винограда в профилактике гипертонической болезни. *Виноделие и виноградарство, 3*, 43-45.

Карпов, Е. И. (2015). Профилактика рака предстательной железы: современное состояние проблемы. *Урология и нефрология, 3*, 35-36.

Лукин, А. А. (2011). Обеспечение населения продуктами животного происхождения функционального назначения. *Современные проблемы науки и образования, 5*, 52.

Магомедова, М. А., & Казахмедов, Р. Э. (2017). Перспективы получения экологически чистого и доступного сырья для производства БАД. В *Приоритетные направления отраслевого научного обеспечения, технологии производства, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции: Сборник материалов VII-й Международной дистанционной научно-практической конференции молодых ученых* (с. 12-18). Краснодар: Северо-Кавказский Федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия.

Магомедова, М. А., Казахмедов, Э. Р., & Казахмедов, Р. Э. (2018). Концепция производства биологически активных добавок из растительного сырья в республике Дагестан. *Проблемы развития АПК региона, 4*, 185-190.

Огай, Ю. А., Загоруйко, В. А., Богадельников, И. В., Богданов, Н. Н., Веремьева, Р. Е., & Мизин, В. И. (2000). Биологически активные свойства полифенолов винограда и вина. *Магарач. Виноградарство и виноделие, 4*, 25-26.

Перова, Н. В., & Оганов, Р. Г. (2004). Пути модификации пищевых жиров в антиатерогенной диете. *Терапевтический архив, 8*, 75-78.

Причко, Т. Г., Казахмедов, Р. Э., Дрофичева, Н. В., & Магомедова, М. А. (2020). Биохимическая ценность брокколи, как сырья для производ-

ства функциональных продуктов питания. *Проблемы развития АПК региона, 3*, 185-194.

Ребезов, М. Б., Наумова, Н. Л., Альхамова, Г. К., Лукин, А. А., & Хайруллин, М. Ф. (2011). Экология и питание. *Проблемы и пути решения. Фундаментальные исследования, 8-2*, 393-396.

Садоян, В. А. (2006). *Биологически активные добавки на фармацевтическом рынке*. М.: Литера.

Титов, В. Н., Смыслов, Д. Г., Дмитриева, Г. А., & Болотова, О. И. (2011). Регуляторы рота растений как биологический фактор снижения уровня тяжелых металлов в растении. *Вестник Орловского государственного аграрного университета, 4*, 4-5.

Трусов, Н. В., Гусева, Г. В., Аксенов, И. В., Авреньева, Л. И., Кравченко, Л. В., & Тутельян, В. А. (2010). Эффекты комбинированного действия ресвератрола и индол-3-карбинола. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины, 149*(2), 174-179.

Харченко, В. И., Какорина, Е. П., Корякин, М. В., Вирин М. М., Ундрицов, В. М., Онищенко, П. И., Потиевский, Б. Г., & Михайлова, Р. Ю. (2005). Смертность от болезней системы кровообращения в России и в экономически развитых странах. *Аналитический обзор официальных данных Госкомстата, МЗ и СР России, ВОЗ и экспертных оценок по проблеме. Российский кардиологический журнал, 2*, 1-4.

Avato, P., & Argentieri, M. P. (2015). Brassicaceae: A rich source of health improving phytochemicals. *Phytochemistry Reviews, 14*(6), 1019-1033. https://doi.org/10.1007/s11101-015-9414-4

Baenas, N., Moreno, D. A., & Garcia-Viguera, C. (2012). Selecting sprout of Brassicaceae for optimum phytochemical composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60*(45), 11409-11420. https://doi.org/10.1021/jf302863c

Gu, Y., Guo, Q., Zhang, L., Chen, Z., Han, Y., & Gu, Z. (2012). Physiological and biochemical metabolism of germinating broccoli seeds and sprouts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60*(1), 209-213. https://doi.org/10.1021/jf203599v

Lam, T. K., Gallicchio, L., Lindsley, K., Shiels, M., Hammond, E., Tao, X. G., Chen, L., Robinson, K. A., Caulfield, L. E., Herman, J. G., Guallar, E., & Alberg, A. J. (2009). Cruciferous vegetable consumption and lung cancer risk: A systematic review. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention, 18*(1), 184-195. https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-08-0710

Sanjiv, A., & Akkinappally, V. (2000). Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. *Canadian Medical Association Journal, . 163*(6), 739-744.

Shan, H., Cuirong, S., & Yuanjiang, P. (2008). Red wine polyphenols for cancer prevention. *International Journal of Molecular Sciences, 9*(5), 842-853. https://doi.org/10.3390/ijms9050842

Zhang, Y., Talalay, P., Cho, C. G., & Posner, G. H. (1992). A major inducer of anticarcinogenic protective enzymes from broccoli: Isolation and elucidation of structure. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 89*(6), 2399-2403. https://doi.org/10.1073/pnas.89.6.2399

Ecological Safety of Raw Materials for Obtaining Functional Food Products and Its Hormonal Regulation

Ramidin E. Kazakhmedov
Dagestan selection experimental station viticulture and vegetable growing - branch Federal State Budget scientific institution "North Caucasian Federal scientific center of horticulture, viticulture, winemaking "
9, Vavilova str., Derbent, 368608, Russian Federation
E-mail: kre_05@mail.ru

Marina A. Magomedova
Dagestan selection experimental station viticulture and vegetable growing - branch Federal State Budget scientific institution "North Caucasian Federal scientific center of horticulture, viticulture, winemaking "
9, Vavilova str., Derbent, 368608, Russian Federation
E-mail: kre_05@mail.ru

Tatiana N. Vorobieva
Federal State Budgetary scientific institution "North Caucasian Federal scientific center of horticulture, viticulture, winemaking",
39, 40th anniversary of Victory str., Krasnodar, 350901, Russian Federation
E-mail: kubansad@kubannet.ru

Tatiana G. Prichko
Federal State Budgetary scientific institution "North Caucasian Federal scientific center of horticulture, viticulture, winemaking",
39, 40th anniversary of Victory str., Krasnodar, 350901, Russian Federation
E-mail: kubansad@kubannet.ru

Numerous research results indicate that the structure of human nutrition does not correspond to the physiological norms recommended by the World Health Organization. Researchers around the world are unanimous in their opinion on the need to take functional food products and dietary supplements of preventive action.The aim of this work is to summarize the results of the first stage of studies to assess the environmental safety of raw materials focused on the production of functional food products and dietary supplements. The experimental work was carried out by methods of laboratory, vegetation and field research. Analysis for the content of heavy metals in soil and plant materials was carried out on the basis of the laboratory using the appropriate methods. The article presents the results of the first stage of research on the study of the environmental safety of raw materials, promising for the production of functional food products and biologically active additives. The choice of key components is substantiated, which is confirmed by numerous literature data of various researchers. We assume that obtaining ecologically safe raw materials from broccoli plants, by-products of grape and tomato processing is not only possible, but also profitable in the conditions of southern Dagestan. The assessment of the medico-biological value of grapes, tomatoes and broccoli has been carried out. At this stage of research, the features of the accumulation of heavy metals in the elements of the harvest of grapes (seeds), tomato (pomace) and broccoli plants have been studied, and the possibility of obtaining plant raw materials free from toxic elements by using physiologically active compounds has been shown. Treatment of the leaf surface of fruit-bearing grape plants with a mixture of physiologically active compounds in order to increase resistance to root phylloxera reduces the concentration of lead, cadmium, arsenic and copper in grape seeds. An important element in the technology of obtaining ecologically safe raw materials for the creation of functional food products and biologically active additives from grapes, tomato and broccoli, according to the results of this stage of research, is the use of physiologically active compounds of hormonal nature during the corresponding growing season of these crops.

Keywords: biologically active additive, functional food products, socially significant diseases, soil, pesticides, heavy metals, grapes, tomato, broccoli, physiologically active compounds.

References

Azizov, A. P., & Kazakhmedov, R. E. (2009). Primenenie poroshka iz semyan vinograda dlya lecheniya erektil'noi disfunktsii [Uses of grape seed powder to treat erectile dysfunction]. *Andrologia I genitalnaya hirurgia [Andrology and genital surgery*], 10(2), 88-882.

Baraboi, V. A. (2009). Fenol'nye soedineniya vinogradnoi lozy: Struktura, antioksidantnaya aktivnost', primenenie [Phenolic compounds of grapevine: Structure, antioxidant activity, application]. *Biotekhnologiya* [*Biotechnology*], *2*, 67-75.

Belik, V. F. (Ed.) (1992). *Metodika opytnogo dela v ovoshchevodstve i bakhchevodstve* [*Experimental methodology in vegetable growing and melon growing*]. Moscow: Agropromizdat.

Belov, Yu. V., Parshin, V. D., & Komarov, R. N. (2010). Kombinirovannye sosudistye rezektsii v khirurgii mestno-rasprostranennogo raka legkogo [Combined vascular resections in surgery for locally advanced lung cancer]. *Kardiologiya serdechno-sosudistaya khirurgiya* [*Cardiology Cardiovascular Surgery*], *5*, 42.

Davydov, M. I., Akchurin, R. S., Gerasimov, S. S., Dzemeshkevich, S. L., Brand, Ya. B., Dolgov, I. M., & Shestopalova, I. M. (2010). Sochetannoe khirurgicheskoe lechenie onkologicheskikh bol'nykh s konkuriruyushchimi serdechno-sosudistymi zabolevaniyami pri opukholevykh porazheniyakh legkikh i sredosteniya [Combined surgical treatment of cancer patients with competing cardiovascular diseases in tumor lesions of the lungs and mediastinum]. *Khirurgiya. Zhurnal im. N. I. Pirogova* [*Surgery. Journal named after N. I. Pirogova*], *8*, 4-10.

Karpov, E. I. (2015). Profilaktika raka predstatel'noi zhelezy: sovremennoe sostoyanie problem [Prostate cancer prevention: current state of the art]. *Urologiya i nefrologiya* [*Urology and Nephrology*], *3*, 35-36.

Kazakhmedov, E. R., & Kazakhmedov, R. E. (2013). Fenol'nye veshchestva semyan vinograda v profilaktike gipertonicheskoi bolezni [Phenolic substances of grape seeds in the prevention of hypertension]. *Vinodelie i vinogradarstvo* [*Winemaking and Viticulture*], *3*, 43-45.

Kazakhmedov, R. E., & Magomedova, M. A. (2017a). Agrobiologicheskie osobennosti brokkoli kak ob"ekta dlya polucheniya BAD v usloviyakh yuzhnogo Dagestana [Agrobiological features of broccoli as an object for obtaining dietary supplements in the conditions of southern Dagestan]. In *Razvitie nauchnogo naslediya N. I. Vavilova po geneticheskim resursam ego posledovatelyami: Materialy dokladov, soobshchenii v sbornike Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem posvyashchennaya 80-letiyu Kurkieva Ullubiya Kishtilievicha* [*Development of the scientific heritage of N.I. Vavilov on genetic resources by his followers: Materials of reports, messages in the collection of the All-Russian scientific and practical conference with international participation dedicated to the 80th anniversary of Kurkiev Ullubiy Kishtilievich*] (pp. 159-163). Derbent: DagGAU im. M. M. Dzhambulatova.

Kazakhmedov, R. E., & Magomedova, M. A. (2017b). K voprosu o razrabotke BAD dlya profilaktiki sotsial'no znachimykh zabolevanii [On the development of dietary supplements for the prevention of socially significant diseases]. *Ratsional'noe pitanie, pishchevye dobavki i biostimulyatory* [*Rational Nutrition, Nutritional Supplements and Biostimulants*], *1*, 13-16.

Kazakhmedov, R. E., & Magomedova, M. A. (2018). Rasteniya brokkoli na rannikh etapakh razvitiya kak istochnik syr'ya dlya proizvodstva BAD [Broccoli plants in the early stages of development as a source of raw materials for the production of dietary supplements]. *Problemy razvitiya APK regiona* [*Problems of the Development of The Agro-Industrial Complex of the Region*], *3*, 35-40.

Kazakhmedov, R. E., Kazakhmedov, E. R., & Magomedova, M. A. (2019). Rol', mesto, osobennosti BAD v profilaktike sotsial'no znachimykh zabolevanii i perspektivy polucheniya ekologicheski bezopasnogo syr'ya dlya ikh proizvodstva v usloviyakh yuzhnogo Dagestana [The role, place, features of dietary supplements in the prevention of socially significant diseases and the prospects for obtaining environmentally friendly raw materials for their production in the conditions of southern Dagestan]. *Izvestiya Dagestanskogo GAU* [*Bulletin of the Dagestan State Agrarian University*], *1*, 45-52.

Kazakhmedov, R. E., Magomedova, M. A., & Mukailov, M. D. (2018). Elementy vozdelyvaniya ovoshchnykh kul'tur dlya proizvodstva biologicheski aktivnykh dobavok [Elements of cultivation of vegetable crops for the production of biologically active additives]. *Problemy razvitiya APK regiona* [*Problems of the Development of the Agro-Industrial Complex of the Region*], *2*, 58-60.

Kazakhmedov, R. E., Magomedova, M. A., & Vorob'eva, T. N. (2018). Toksikologicheskaya kharakteristika pochv i otsenka ekologicheskoi bezopasnosti rastitel'nogo syr'ya dlya proizvodstva BAD v usloviyakh Dagestana [Toxicological characteristics of soils and an assessment of the ecological safety of plant raw materials for the production of dietary supplements in the conditions of Dagestan]. *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo*

Federal'nogo nauchnogo tsentra sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya [*Scientific works of the North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking*], *15*, 105-109. https://doi.org/10.30679/2587-9847-2018-15-105-109

Kazakhmedov, R. E., Ramazanov, A. Sh., Shikhsefiev, A. T., & Magomedova, M. A. (2016). Soderzhanie tyazhelykh metallov v vyzhimkakh vinograda, tomata i rasteniyakh brokkoli dlya proizvodstva biologicheski aktivnykh dobavok [The content of heavy metals in pomace of grapes, tomatoes and broccoli plants for the production of dietary supplements]. In *Sovremennye problemy sadovodstva i vinogradarstva i innovatsionnye podkhody k ikh resheniyu: Sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [*Modern problems of horticulture and viticulture and innovative approaches to their solution: Collection of scientific papers of the international scientific and practical conference*] (pp. 150-157). Makhachkala: Dagestanskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet im. M. M. Dzhambulatova.

Kharchenko, V. I., Kakorina, E. P., Koryakin, M. V., Virin M. M., Undritsov, V. M., Onishchenko, P. I., Potievskii, B. G., & Mikhailova, R. Yu. (2005). Smertnost' ot boleznei sistemy krovoobrashcheniya v Rossii i v ekonomicheski razvitykh stranakh [Mortality from diseases of the circulatory system in Russia and in economically developed countries]. *Analiticheskii obzor ofitsial'nykh dannykh Goskomstata, MZ i SR Rossii, VOZ i ekspertnykh otsenok po probleme. Rossiiskii kardiologicheskii zhurnal* [*An Analytical Review of the Official Data of the Goskomstat, the Ministry of Health and the Sr of Russia, Who and Expert Assessments on The Problem. Russian Journal of Cardiology*], *2*, 1-4.

Lukin, A. A. (2011). Obespechenie naseleniya produktami zhivotnogo proiskhozhdeniya funktsional'nogo naznacheniya [Providing the population with animal products for a functional purpose]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [*Modern Problems of Science and Education*], *5*, 52.

Magomedova, M. A., & Kazakhmedov, R. E. (2017). Perspektivy polucheniya ekologicheski chistogo i dostupnogo syr'ya dlya proizvodstva BAD [Prospects for obtaining environmentally friendly and affordable raw materials for the production of dietary supplements]. In *Prioritetnye napravleniya otraslevogo nauchnogo obespecheniya, tekhnologii proizvodstva, khraneniya i pererabotki sel'skokhozyaistvennoi produktsii: Sbornik materialov 7th Mezhdunarodnoi distantsionnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh* [*Priority areas of sectoral scientific support, production technology, storage and processing of agricultural products: Collection of materials of the 7th International Remote Scientific and Practical Conference of Young Scientists*] (pp. 12-18). Krasnodar: Severo-Kavkazskii Federal'nyi nauchnyi tsentr sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya.

Magomedova, M. A., Kazakhmedov, E. R., & Kazakhmedov, R. E. (2018). Kontseptsiya proizvodstva biologicheski aktivnykh dobavok iz rastitel'nogo syr'ya v respublike Dagestan [The concept of production of biologically active additives from plant materials in the Republic of Dagestan]. *Problemy razvitiya APK regiona* [*Problems of the Development of the Agro-Industrial Complex of the Region*], *4*, 185-190.

Ogai, Yu. A., Zagoruiko, V. A., Bogadel'nikov, I. V., Bogdanov, N. N., Verem'eva, R. E., & Mizin, V. I. (2000). Biologicheski aktivnye svoistva polifenolov vinograda i vina. [Biologically active properties of grape and wine polyphenols]. *Magarach. Vinogradarstvo i vinodelie* [*Magarach. Viticulture and Winemaking*], *4*, 25-26.

Perova, N. V., & Oganov, R. G. (2004). Puti modifikatsii pishchevykh zhirov v antiaterogennoi diete [Ways of Modifying Dietary Fats in an Anti-Atherogenic Diet]. *Terapevticheskii arkhiv* [*Therapeutic Archive*], *8*, 75-78.

Prichko, T. G., Kazakhmedov, R. E., Droficheva, N. V., & Magomedova, M. A. (2020). Biokhimicheskaya tsennost' brokkoli, kak syr'ya dlya proizvodstva funktsional'nykh produktov pitaniya [Biochemical value of broccoli as a raw material for the production of functional foods]. *Problemy razvitiya APK regiona* [*Problems of the Development of the Agro-Industrial Complex of the Region*], *3*, 185-194.

Rebezov, M. B., Naumova, N. L., Al'khamova, G. K., Lukin, A. A., & Khairullin, M. F. (2011). Ekologiya i pitanie [Ecology and nutrition]. *Problemy i puti resheniya. Fundamental'nye issledovaniya* [*Problems and solutions. Basic research*], *8-2*, 393-396.

Sadoyan, V. A. (2006). *Biologicheski aktivnye dobavki na farmatsevticheskom rynke* [*Dietary supplements in the pharmaceutical market*]. Moscow: Litera.

Titov, V. N., Smyslov, D. G., Dmitrieva, G. A., & Bolotova, O. I. (2011). Regulyatory rota rastenii kak biologicheskii faktor snizheniya urovnya tyazhelykh metallov v rastenii [Regulators of plant rota as a biological factor in reducing the level of heavy metals in plants]. *Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [*Bulletin of the Oryol State Agrarian University*], *4*, 4-5.

Trusov, N. V., Guseva, G. V., Aksenov, I. V., Avren'eva, L. I., Kravchenko, L. V., & Tutel'yan, V. A. (2010). Effekty kombinirovannogo deistviya resveratrola i indol-3-karbinola [Effects of the combined action of resveratrol and indole-3-carbinol]. *Byulleten' eksperimental'noi biologii i meditsiny* [*Bulletin of Experimental Biology and Medicine*], *149*(2), 174-179.

Vershinina, O. L, Asmaeva, Z. I., Kornen, N. N., & Bezhko, A. P. (2001). O vozmozhnosti ispol'zovaniya poroshka iz semyan vinograda pri predvaritel'noi aktivatsii pressovannykh drozhzhei [On the Possibility of Using Grape Seed Powder with Pre-Activation of Pressed Yeast]. *Khimiya i komp'yuternoe modelirovanie. Butlerovskie soobshcheniya* [*Chemistry and Computational Simulation. Butlerov Messages*], *2*(5), 65-67.

Voropinova, O. A., Germanova, Yu. I., & Malkina, L. V. (2014). Sostoyanie i dinamika sotsial'no znachimykh zabolevanii v regionakh Severo-Kavkazskogo federal'nogo okruga [State and dynamics of socially significant diseases in the regions of the North Caucasian Federal District]. *Meditsinskii vestnik Severnogo Kavkaza* [*Medical Bulletin of the North Caucasus*], *9*(1), 63-66.

Avato, P., & Argentieri, M. P. (2015). Brassicaceae: A rich source of health improving phytochemicals. *Phytochemistry Reviews, 14*(6), 1019-1033. https://doi.org/10.1007/s11101-015-9414-4

Baenas, N., Moreno, D. A., & Garcia-Viguera, C. (2012). Selecting sprout of Brassicaceae for optimum phytochemical composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60*(45), 11409-11420. https://doi.org/10.1021/jf302863c

Gu, Y., Guo, Q., Zhang, L., Chen, Z., Han, Y., & Gu, Z. (2012). Physiological and biochemical metabolism of germinating broccoli seeds and sprouts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60*(1), 209-213. https://doi.org/10.1021/jf203599v

Lam, T. K., Gallicchio, L., Lindsley, K., Shiels, M., Hammond, E., Tao, X. G., Chen, L., Robinson, K. A., Caulfield, L. E., Herman, J. G., Guallar, E., & Alberg, A. J. (2009). Cruciferous vegetable consumption and lung cancer risk: A systematic review. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention, 18*(1), 184-195. https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-08-0710

Sanjiv, A., & Akkinappally, V. (2000). Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. *Canadian Medical Association Journal, . 163*(6), 739-744.

Shan, H., Cuirong, S., & Yuanjiang, P. (2008). Red wine polyphenols for cancer prevention. *International Journal of Molecular Sciences, 9*(5), 842-853. https://doi.org/10.3390/ijms9050842

Zhang, Y., Talalay, P., Cho, C. G., & Posner, G. H. (1992). A major inducer of anticarcinogenic protective enzymes from broccoli: Isolation and elucidation of structure. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 89*(6), 2399-2403. https://doi.org/10.1073/pnas.89.6.2399

УДК 637.1:547.458.88 https://doi.org/10.36107/spfp.2021.220

Белково-полисахаридный имитатор жира для ферментированного молочного продукта

Мельникова Елена Ивановна
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»
Адрес: 394000, Воронеж, пр. Революции, д. 19
E-mail: melnikova@molvest.ru

Станиславская Екатерина Борисовна
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»
Адрес: 394000, Воронеж, пр. Революции, д. 19
E-mail: tereshkova-katia@yandex.ru

Фёдорова Арина Романовна
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»
Адрес: 394000, Воронеж, пр. Революции, д. 19
E-mail: arina.fi0dorova@yandex.ru

В данной работе описаны исследования, подтверждающие возможность использования белково-полисахаридного имитатора жира в составе ферментированного молочного продукта. Цель работы – исследование взаимодействия микропартикулятов сывороточных белков и пектинов в составе комплексного имитатора жира в условиях формирования структуры ферментированного молочного продукта. Показатели состава объектов исследования, их физико-химические свойства определяли в соответствии с Российскими стандартами. Добавление пектина увеличивало значение среднего диаметра частиц и вязкости белкового имитатора жира. При смешивании микропартикулята сывороточных белков и пектина наблюдали образование частиц правильной круглой формы с диаметром от 6,2 до 25,3 мкм. Совместная термомеханическая обработка концентрата сывороточных белков и раствора пектина способствовала формированию более крупных частиц неправильной формы. Применение белково-полисахаридных имитаторов жира не оказывало существенного влияния на скорость кислотообразования при сквашивании обезжиренного молока. При внесении в продукт комплексного имитатора, состоящего из смеси микропартикулята сывороточных белков и пектина, частицы белкового компонента выполняли роль неактивного наполнителя. Пектин участвовал в образовании инертных нитей, прочно интегрированных в структуру сгустка. Это повышало прочность и вязкость готового продукта, способствовало снижению синерезиса. Применение имитаторов, полученных при термомеханической обработке смеси концентрата сывороточных белков и раствора пектина, оказывало негативное влияние на характеристику кислотного сгустка. Крупные частицы белково-полисахаридных агрегатов «разрывали» сетчатую структуру, образованную казеиновыми мицеллами, обусловливая формирование слабого геля. Выполненные исследования послужили основой для разработки рецептурно-компонентного решения и технологии ферментированного продукта. Качественные показатели его отвечали требованиям нормативной документации. Энергетическая ценность нового продукта составила 32 ккал/100 г, что характеризует его как низкокалорийный.

Ключевые слова: микропартикуляция, пектин, ферментированный продукт, сывороточные белки, степень этерификации, микроструктура, кислотный сгусток.

Введение

К одной из важных задач в области обеспечения здорового питания населения Российской Федерации относится снижение калорийности пищевых рационов, в частности за счет уменьшения доли насыщенных жиров. Сохранению приемлемых органолептических характеристик низкокалорийных продуктов, обеспечивающих стабильный потребительский спрос, способствует применение

имитаторов жира. Эти пищевые компоненты позволяют сформировать густую, сливочную консистенцию низкожирных продуктов, приближая их качественные показатели к полножирным. В настоящее время известно несколько групп имитаторов жира. Ингредиенты углеводной природы, представленные низкомолекулярными крахмалами, декстринами, мальтодекстринами, а также синтетические вещества, применяемые для замены жира, при чрезмерном потреблении могут привести к нарушению деятельности желудочно-кишечного тракта. Наиболее приемлемыми являются имитаторы белковой природы, изготовленные на основе молока, яиц. Они не оказывают побочного воздействия на организм человека, повышают биологическую ценность продуктов и снижают их калорийность.

В последние годы большой интерес в качестве имитаторов жира белковой природы приобретает применение микропартикулятов сывороточных белков (Евдокимов и др., 2021; Phil, 2019). Источником их получения являются ультрафильтрационные концентраты молочной сыворотки, подвергнутые термомеханической обработке (Золотарева, Володин, Евдокимов, Харитонов, 2018). Технология микропартикуляции способствует формированию сферических частиц белка, по форме и размеру схожих с жировыми шариками (Мельникова & Станиславская, 2017). Применение их не только снижает энергетическую ценность традиционных продуктов питания, сохраняя приемлемые органолептические свойства, но и обогащает белками и аминокислотами, повышая биологическую ценность (Olivares, Shahrivar, & de Vicente, 2019; Ipsen, 2017). Высокую эффективность показало применение микропартикулятов сывороточных белков в производстве кисломолочных продуктов (йогуртов, кефира, сметаны, творога) и сыра, позволяющее модифицировать их вкусовые и реологические характеристики и увеличивать выход (Баранов, Евдокимов, Гордиенко, & Шрамко, 2020; Дымар, 2014; Di Cagno et al., 2014; Melnikova, Losev, & Stanislavskaia, 2017, Torres, Mutaf, Larsen, & Ipsen, 2016; Torres et al., 2018).

В настоящее время в молочной промышленности для формирования структуры и удлинения сроков годности продукции применяют стабилизаторы консистенции, в частности полисахаридной природы. Они используются в качестве компонентов при производстве йогуртов, молочных десертов, мороженого (Артемова, 2001). К одному из распространенных загустителей, применяемых для получения стабильных пищевых систем, относится пектин. Это гетерополисахарид, элементарным звеном которого являются в разной степени метоксилированные остатки D-галактуроновой кислоты. Различное содержание функциональных групп (метоксильных, карбоксильных, гидроксильных), степень деметоксилирования, присутствие примесей оказывает влияние на физико-химические и функциональные свойства пектинов. Гелеобразование в водных средах происходит в результате взаимодействия молекул пектина между собой. Основными факторами, определяющими характер этих взаимодействий в молочных продуктах, являются степень этерификации и диссоциации молекул, а также присутствие других компонентов (Нечаев, Траубенберг, Кочеткова, & Колпакова, 2015).

Вопросам взаимодействия белков и полисахаридов в составе продуктов питания посвящены многочисленные исследования (Куликова, Барыбина, Оботурова, & Дацко, 2014; Тешаев, Усманова, Шамсоро, & Мухидинов, 2012; Krzeminski, Prell, Busch-Stockfisch, Weiss, & Hinrichs, 2014; O'Chiu & Vardhanabhuti, 2017; Яценко, Ющенко, & Пасичный, 2017). Эти вещества представляют собой макромолекулярные соединения, которые при определенном значении активной кислотности характеризуются противоположными зарядами. Белки проявляют полиамфолитную природу, в то время, как пектин относится к поликислотам. Взаимодействие противоположно заряженных веществ приводит к образованию электростатических, водородных и гидрофобных связей и формированию растворимых или нерастворимых белково-полисахаридных комплексов (O'Chiu & Vardhanabhuti, 2017). Растворимость конъюгатов зависит от активной кислотности и соотношения белка и пектина (Толстогузов, 1987). Комплексы белок-полисахарид демонстрируют модифицированные функционально-технологические характеристики, проявляют стабилизирующие, эмульгирующие и другие свойства (Толстогузов, 1978). Исследования, посвященные взаимодействиям микропартикулированных белков и полисахаридов при получении и применении имитаторов жира, отсутствуют и представляют научный и практический интерес.

Цель работы – исследование взаимодействия микропартикулятов сывороточных белков и пектинов в составе комплексного имитатора жира в условиях формирования структуры ферментированного молочного продукта.

Для достижения поставленной цели были определены задачи исследования:

– обосновать состав белково-полисахаридного имитатора жира для применения в производстве ферментированного молочного продукта;
– исследовать влияние комплексного имитатора жира на интенсивность кислотообразования и качество кисломолочного сгустка;
– разработать рецептуру и оценить качество ферментированного продукта с использованием комплексного имитатора жира.

Исследования были проведены в лаборатории кафедры технологии продуктов животного происхождения и центре коллективного пользования ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», а также лаборатории ООО «Моллаб».

Материалы и методы исследований

Материалы

В качестве объектов исследования рассматривали концентрат сывороточных белков, полученный на филиале «Калачеевский сырзавод» ПАО МК «Воронежский»; пектины высоко- и низкоэтерифицированный, приобретенные в торговой сети; образцы имитаторов жира, полученные на их основе; а также ферментированный продукт с использованием полученных имитаторов. В качестве технологически вспомогательных средств применяли заквасочные культуры Profiline YO 22.50 LOW ООО «Зеленые Линии», РФ, представляющие собой смесь термофильного стрептококка и болгарской палочки (Рябцева, Ганина, & Панова, 2018).

Методы и инструменты

Пробы объектов исследования отбирали и подготавливали к анализам в соответствие со стандартом ISO 707-2013 «Молоко и молочные продукты. Руководство по отбору проб»[1], органолептические показатели оценивали по стандарту ISO 22935-2:2009 Milk and milk products. Sensory analysis. Part 2: Recommended methods for sensory evaluation[2]. Показатели состава объектов исследования, их физико-химические свойства определяли в соответствии с Российскими нормативными документами. Массовую долю сухого вещества оценивали по потере массы в процентах при высушивании пробы продукта при постоянной температуре. Определение массовой доли белка проводили методом Кьельдаля, жира – кислотным методом. Активную кислотность определяли потенциометрическим методом, титруемую кислотность – титриметрическим[3]. Определение динамической вязкости осуществляли методом камертонной вибрации на вибровискозиметре SV-10 (Мельникова, Станиславская, & Баранова, 2020). Микроструктуру объектов исследования оценивали с помощью бинокулярного микроскопа Альтами БИО 6. Для оценки размеров элементов микроструктуры объектов исследования применяли объект-микрометр.

Процедура исследования

Для получения белкового имитатора жира (микропартикулята) концентрат сывороточных белков растворяли в дистиллированной воде до массовой доли белка 8,6 %. Далее раствор подвергали термомеханической обработке. Нагрев осуществляли до температуры (87±2) °С с выдержкой 10 – 15 с. Механическое воздействие реализовали с помощью цифрового лабораторного гомогенизатора HG-15D-Set-A при скорости вращения ротора 15000 об/мин в течение 5 мин (Мельникова, 2020).

Отдельно готовили раствор пектина с массовой долей 5 %: пектин растворяли в воде, нагретой до 50 °С, диспергировали на лабораторном гомогенизаторе при скорости вращения ротора 18000 об/мин в течение 6 - 7 мин (Krzeminski, Prell, Busch-Stockfisch, Weiss, & Hinrichs, 2014).

Ферментированный десерт производили по технологии йогурта (Степанова, 2005). Обезжиренное молоко подвергали тепловой обработке при температуре 85 – 89 °С с выдержкой 10 – 15 мин, охлаждали до температуры 38 – 42 °С. В молоко добавляли имитатор жира. Сквашивание проводили до формирования плотного сгустка кислотностью 85 – 90 °Т. В качестве контрольного образца для сравнения скорости кислотообразования и качества йогурта с имитатором жира был выбран классический продукт с массовой долей жира 3,5 %.

[1] ГОСТ ISO 707-2013. (2013). Молоко и молочные продукты. М.: Стандартинформ.
[2] ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011. (2012). Молоко и молочные продукты. Органолептический аналич. Ч. 2. Рекомендуемые методы органолептической оценки. М.: Стандартинформ.
[3] Меркулова, Н. Г., Меркулов, М. Ю., & Меркулов, И. Ю. (2017). Производственный контроль в молочной промышленности: Практическое руководство. СПб.: ГИОРД.

В качестве имитатора жира рассматривали белковые и белково-полисахаридные системы, изготовленные в соответствии с Таблицей 1.

Таблица 1
Характеристика образцов имитатора жира

№ образца	Описание образца
1	Микропартикулят сывороточных белков
2	Смесь микропартикулята сывороточных белков и раствора низкоэтерифицированного пектина, взятых в соотношении 1:1
3	Смесь микропартикулята сывороточных белков и раствора высокоэтерифицированного пектина, взятых в соотношении 1:1
4	Смесь растворов концентрата сывороточных белков и низкоэтерифицированного пектина, взятых в соотношении 1:1, подвергнутая совместной термомеханической обработке (микропартикуляции)
5	Смесь растворов концентрата сывороточных белков и высокоэтерифицированного пектина, взятых в соотношении 1:1, подвергнутая совместной термомеханической обработке (микропартикуляции)

Анализ данных

Математическую обработку эксперимента проводили методами математической статистики по данным 5 – 10 опытов в трехкратной последовательности с помощью Statistica Base.

Результаты и их обсуждение

Полученные в соответствие с Таблицей 1 имитаторы жира характеризовались как однородная, в меру вязкая жидкость, от белого до светло-желтого цвета. Большое влияние на консистенцию имитаторов оказывала их вязкость и распределение частиц по размерам (Таблица 2).

Анализ микроструктуры имитаторов свидетельствовал о различии не только размеров частиц, но и их формы (Рисунок 1). Добавление пектина увеличивало значение их среднего диаметра. При этом меньший размер частиц у образцов № 2 и 3 в сравнении с образцами № 4 и 5 объяснялся низкой эффективностью взаимодействия частиц пектина и микропартикулята сывороточных белков. Стабильность компактной пространственной структуры частиц микропартикулята приводила к тому, что большая часть положительно заряженных групп белка взаимодействовали друг с другом еще на стадии денатурации и не могли впоследствии образовывать ионные пары с карбоксильными группами кислого полисахарида.

Таблица 2
Свойства образцов имитаторов жира

№ образца	Характеристика	
	Средний диаметр частиц, мкм	Вязкость, мПа·с, при температуре 20 °С
1	2,0 ± 0,1	78,4 ± 3,9
2	10,1 ± 0,5	325,0 ± 16,2
3	6,2 ± 0,3	175,0 ± 8,7
4	25,3 ± 1,2	524,0 ± 26,2
5	17,0 ± 0,8	461,0 ± 23,0

В ходе совместной тепловой обработки сывороточных концентратов и растворов полисахарида (образцы № 4 и 5) в результате денатурации белка увеличивалась «гибкость» полипептидной цепи, и возрастало число положительно заряженных групп, взаимодействующих с анионными группами пектина. Образующиеся связи способствовали формированию стерических пектиновых слоев вокруг белковых частиц, что способствовало формированию закрыто-упакованных молекул крупного размера. Образование гидрофобных белок-белковых взаимодействий внутри комплекса в ходе термической денатурации еще больше увеличивало размер частиц. Такие стабильные системы плохо разрушались последующей механической обработкой и характеризовались неправильной формой.

С целью исследования влияния имитаторов жира на динамику кислотообразования при сквашивании обезжиренного молока сначала рассматривали продукт с добавлением белкового имитатора (образец № 1). Его добавляли в количестве 5, 15, 25 и 35 % от массы обезжиренного молока. Органолептически все образцы готового продукта при внесении от 5 до 25 % имитатора характеризовались как однородные, в меру вязкие, с чистым кисломолочным вкусом и ароматом. Образец с массовой долей имитатора 35 % отличался альбуминным привкусом и запахом. Добавление такого количества имитатора оказывало негативное влияние и на кислотность кисломолочного сгустка (Рисунок 2).

Вязкость продукта при повышении доли имитатора увеличивалась (Таблица 3).

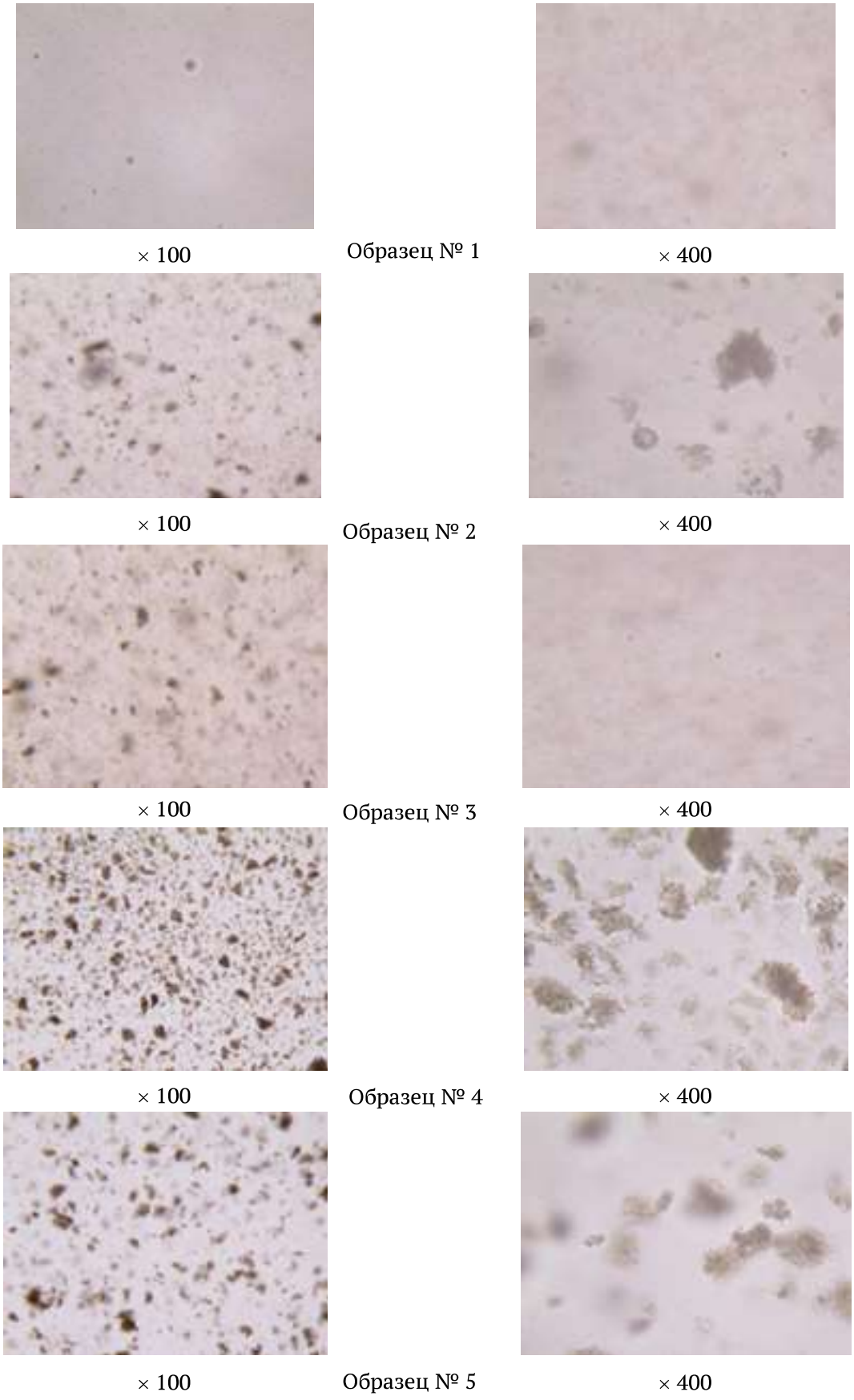
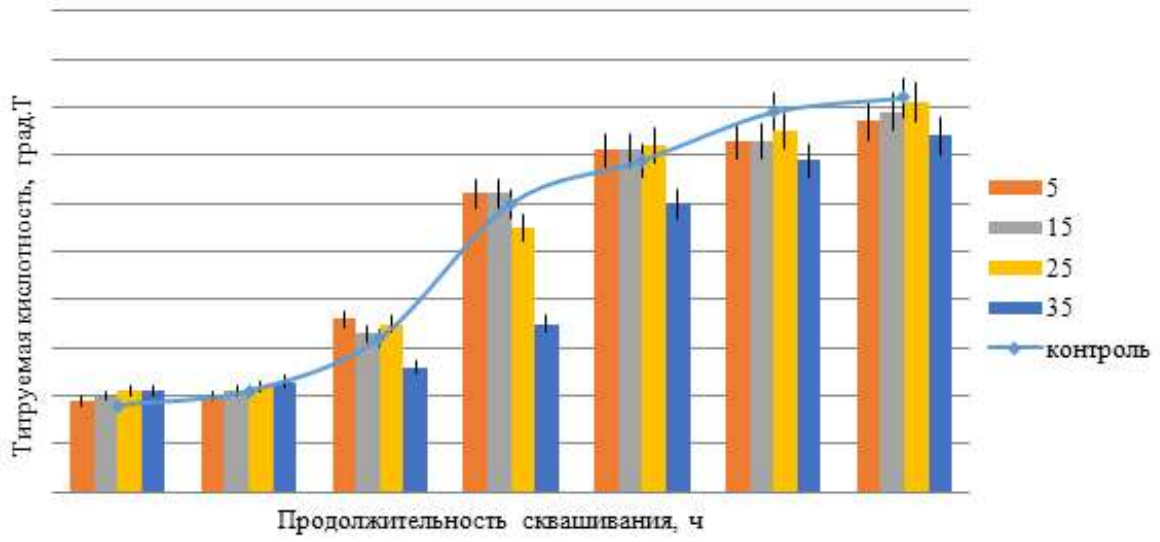
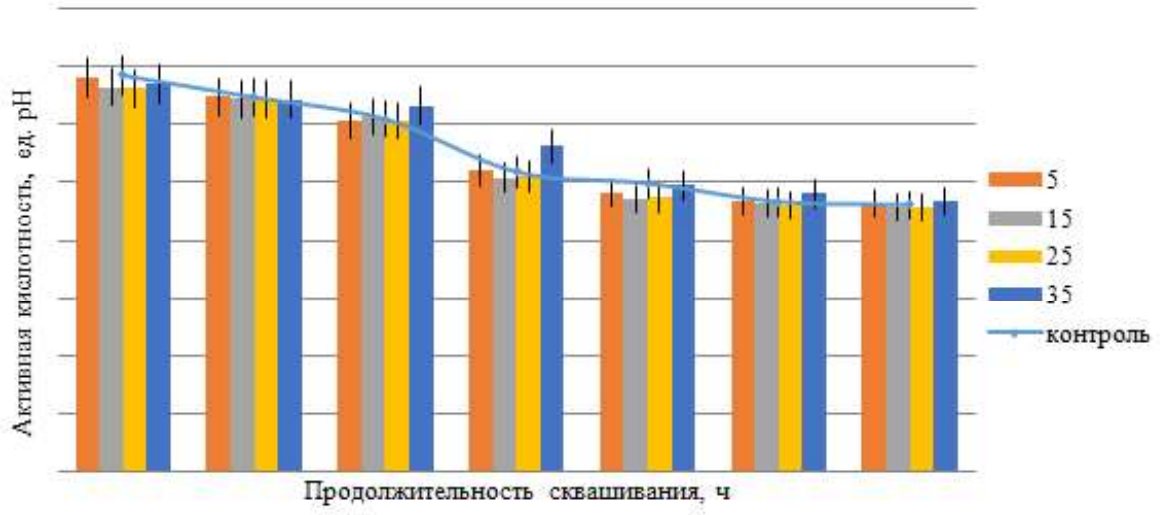


Рисунок 1. Микроструктура образцов имитаторов жира



а)



б)

Рисунок 2. Влияние доли белкового имитатора жира (образец № 1) на изменение титруемой (а) и активной (б) кислотности обезжиренного молока при сквашивании

В дальнейших исследованиях использовали 25 % белкового имитатора в смеси с пектином. Сквашивание продукта с внесением имитаторов показало, что добавление пектина не оказывало существенного влияния на изменение титруемой и активной кислотности смеси. Внешне готовый продукт отличался однородной гладкой консистенцией, отмечался чистый кисломолочный вкус и аромат.

Применение имитаторов жира оказывало существенное влияние на микроструктуру кислотного сгустка. В ходе гелеобразования происходила

Таблица 3
Вязкость образцов ферментированного продукта

Значение вязкости (мПа·с) для продукта с массовой долей белкового имитатора, %				
0 (контроль)	5	15	25	35
5,86 ± 0,2	6,17 ± 0,3	8,23 ± 0,4	9,63 ± 0,4	15,87 ± 0,7

ассоциация казеиновых мицелл под действием ван-дер-ваальсовых сил притяжения, гидрофобного взаимодействия и водородных связей; образование структурированных цепочек, заполняющих весь объем молока и захватывающих как полостную, так и капиллярную воду. Частицы белкового имитатора (образец № 1) выполняли роль инертного наполнителя, располагаясь в ячейках кисломолочного сгустка так же, как это описано для жировых шариков (Тёпел, 2012; Горбатова, 2015).

Применение имитаторов № 4, 5 оказывало негативное влияние на характеристику кислотного сгустка. Крупные частицы белково-полисахаридных агрегатов «разрывали» сетчатую структуру, образованную казеиновыми мицеллами, обусловливая формирование слабого, рыхлого геля.

При внесении в продукт имитаторов № 2, 3 между молекулами казеина и карбоксильными группами пектина происходили взаимодействия с образованием пектино-казеиновых комплексов. В реакцию образования белково-полисахаридных агрегатов вовлекались и частицы денатурированного β-лактоглобулина. При этом создавались дополнительные инертные нити, прочно интегрированные в структуру сгустка. Это повышало прочность и вязкость готового продукта (Таблица 4), способствовало снижению синерезиса.

Таблица 4
Значение вязкости для ферментированного продукта с различной массовой долей пектина в составе комплексного имитатора жира

Пектин	**Значение вязкости (мПа·с) для продукта с массовой долей пектина, %**					
	без пектина	**0,1**	**0,2**	**0,3**	**0,4**	**0,5**
Низкоэтерифицированный (образец № 2)	9,63 ± 0,4	9,75 ± 0,4	16,3 ± 0,8	20,9 ± 1,0	44,5 ± 2,2	59,0 ± 2,9
Высокоэтерифицированный (образец № 3)	9,63 ± 0,4	71,2 ± 3,5	86,1 ± 4,3	96,1 ± 4,8	85,9 ± 4,2	104,0 ± 5,2
Низкоэтерифицированный (образец № 4)	9,63 ± 0,4	9,63 ± 0,4	9,75 ± 0,4	10,20 ± 0,5	15,23 ± 0,7	18,22 ± 0,9
Высокоэтерифицированный (образец № 4)	9,63 ± 0,4	9,96 ± 0,4	11,35 ± 0,5	14,21 ± 0,7	19,02 ± 0,9	21,12 ± 0,8

Выполненные исследования послужили основой для разработки рецептурно-компонентного решения и технологии ферментированного продукта. Готовый продукт предусматривает использование белково-полисахаридного имитатора жира, представляющего собой смесь микропартикулята сывороточных белков и высокоэтерифицированного пектина (образец № 3). Качественные показатели его отвечали требованиям нормативной документации (Таблица 5).

Таблица 5
Качественные показатели ферментированного продукта

Наименование показателя	**Значение показателя**
Внешний вид, консистенция	Однородная масса с глянцевой поверхностью, хорошо удерживающая форму, консистенция сливочная
Вкус и запах	Чистые, кисломолочные, без посторонних привкусов и запахов
Цвет	Молочно-белый, равномерный по всей массе
Массовая доля жира, %	0,2
Массовая доля белка, %	4,0
Массовая доля СОМО, %	9,0
Титруемая кислотность, °Т	78,0
Содержание молочнокислых микроорганизмов, КОЕ/ г	10^7

Энергетическая ценность продукта составила 32 ккал/100 г, что характеризует его как низкокалорийный.

Выводы

Выполненные исследования позволили обосновать состав белково-полисахаридного имитатора жира как пищевую композицию, полученную при смешивании микропартикулята сывороточных белков и высокоэтерифицированного пектина, для применения в рецептуре ферментированного молочного продукта. При этом наибольшую роль в формировании структуры продукта играла технология получения комплексного имитатора. Применение предложенного белково-полисахаридного имитатора жира не оказывало существенного влияния на интенсивность кислотообразования при сквашивании обезжиренного молока и позволило сформировать стойкую, сливочную консистенцию ферментированного продукта.

Литература

Артемова, Е. Н. (2001). Формирование пенных структур пищевых продуктов, содержащих белки и пектины. *Известия ВУЗов. Пищевая технология, 4*, 20-23.

Баранов, С. А., Евдокимов, И. А., Гордиенко, Л. А., & Шрамко, М. И. (2020). Влияние микропартикулята сывороточных белков на показатели кисломолочных напитков. *Молочная промышленность, 9*, 59-62. https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-09-59-61

Горбатова, К. К. (2015). *Биохимия молока и молочных продуктов*. СПб.: ГИОРД.

Дымар, О. В. (2014). Технологические аспекты использования микропартикулятов сывороточных белков при производстве молочных продуктов. *Молочная промышленность, 6*, 19-21.

Евдокимов, И. А., Кравцов, В. А., Федорцов, Н. М., Богоровская, М. А., Бобрышева, Т. Н., Золотарева, М. С., & Баранов, С. А. (2021). Состав и свойства микропартикулятов сывороточных белков. *Молочная промышленность, 4*, 40-44. https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-04-40-44

Золотарева, М. С., Володин, Д. Н., Евдокимов, И. А., & Харитонов, В. Д. (2018). Мембранные технологии для обеспечения эффективности и безопасности молочного производства. *Молочная промышленность, 5*, 36-39.

Куликова, В. В., Барыбина, Л. И., Оботурова, Н. П., & Дацко, В. А. (2014). Комплексообразование концентрата сывороточных белков молока с анионными полисахаридами. *Пищевая промышленность, 3*, 62-64.

Мельникова, Е. И., & Станиславская, Е. Б. (2017). Новые технологические решения в переработке творожной сыворотки. Исследование процесса микропартикуляции творожной сыворотки. *Молочная промышленность, 1*, 56-57.

Мельникова, Е. И., Станиславская, Е. Б., & Баранова, К. Ю. (2020). Применение сывороточных белковых ингредиентов для получения имитаторов молочного жира. *Вестник ВГУИТ, 82*(3), 90-95.

Нечаев, А. П., Траубенберг, С. Е., Кочеткова, А. А., & Колпакова, В. В. (2015). *Пищевая химия*. СПб.: ГИОРД.

Рябцева, С. А., Ганина, В. И., & Панова, Н. М. (2018). *Микробиология молока и молочных продуктов*. СПб.: Лань.

Степанова, Л. И. (2005) *Справочник технолога молочного производства. Технология и рецептуры. Том 1. Цельномолочные продукты*. СПб.: ГИОРД.

Тёпел, А. (2012). *Химия и физика молока*. СПб.: Профессия.

Тешаев, Х. И., Усманова, С. Р., Шамсоро, О., & Мухидинов, З. К. (2012). Взаимодействие низкометилированных пектинов с концентратом белков молочной сыворотки. *Вестник ВГУИТ, 1*, 158-164.

Толстогузов, В. Б. (1978). *Искусственные продукты питания. Новый путь получения пищи и его перспективы. Научные основы производства*. М.: Наука.

Толстогузов, В. Б. (1987). *Новые формы белковой пищи: Технологические проблемы и перспективы производства*. М.: Агропромиздат.

Яценко, О. В., Ющенко, Н. М., & Пасичный, В. М. (2017). Исследование функционально-технологических свойств белково-полисахаридных комплексов и их использования в технологии масляных паст. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Ґжицького, 19*, 45-49.

Di Cagno, R., De Pasquale, I., De Angelis, M., Buchin, S., Rizzello, C. G., & Gobbetti, M. (2014). Use of microparticulated whey protein concentrate, exopolysaccharide-producing Streptococcus thermophilus, and adjunct cultures for making low-fat Italian Caciotta-type cheese. *Journal of Dairy Science, 97*(1), 72-84. https://doi.org/10.3168/jds.2013-7078

Ipsen, R. (2017). Microparticulated whey proteins for improving dairy product texture. *International Dairy Journal, 67*, 73-79. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.08.009

Krzeminski, A., Prell, K. A., Busch-Stockfisch, M., Weiss, J., & Hinrichs, J. (2014). Whey protein-pectin complexes as new texturising elements in fat-reduced yoghurt systems. *International Dairy Journal, 36*(2), 118-127. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.01.018

Melnikova, E. I., Losev, A. N., & Stanislavskaia, E. B. (2017). Microparticulation of caseic whey to use in fermented milk production. *Foods and Raw Materials, 5*(2), 83-93. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2017-2-83-93

O'Chiu, E., & Vardhanabhuti, B. (2017). Utilizing whey protein isolate and polysaccharide complexes to stabilize aerated dairy gels. *Journal of Dairy Science, 100*(5), 3404-3412. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2016-12053

Olivares, M. L., Shahrivar, K., & de Vicente, J. (2019). Soft lubrication characteristics of microparticulated whey proteins used as fat replacers in dairy systems. *Journal of Food Engineering, 245*, 157-165. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.10.015

Phil, K. (2019). Manufacture of whey protein products: Concentrates, isolate, whey protein fractions and microparticulated. In *Whey Proteins. From Milk to Medicine* (pp. 97-122). Academic Press. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812124-5.00003-5

Torres, I. C., Amigo, J. M., Knudsen, J. C., Tolkach, A., Mikkelsen, B. Ø., & Ipsen, R. (2018). Rheology and microstructure of low-fat yoghurt produced with whey protein microparticles as fat replacer. *International Dairy Journal, 81*, 62-71. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.01.004

Torres, I. C., Mutaf, G., Larsen, F. H., & Ipsen, R. (2016). Effect of hydration of microparticulated whey protein ingredients on their gelling behaviour in a non-fat milk system. *Journal of Food Engineering, 184*, 31-37. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.03.018

Protein-Polysaccharide Fat Imitator for Fermented Dairy

Elena I. Melnikova
Voronezh State University of Engineering Technology
19, Revolutsii Prospect, Voronezh, 394036, Russian Federation
E-mail: melnikova@molvest.ru

Ekaterina B. Stanislavskaya
Voronezh State University of Engineering Technology
19, Revolutsii Prospect, Voronezh, 394036, Russian Federation
E-mail: tereshkova-katia@yandex.ru

Arina R. Fedorova
Voronezh State University of Engineering Technology
19, Revolutsii Prospect, Voronezh, 394036, Russian Federation
E-mail: arina.fi0dorova@yandex.ru

This paper describes studies that confirm the possibility of using a protein-polysaccharide fat simulator in a fermented dairy product. The aim of this work is to study the interaction of microparticulates of whey proteins and pectins in the composition of a complex fat simulator under conditions of the formation of the structure of a fermented dairy product. The indicators of the composition of the objects of study, their physical and chemical properties were determined in accordance with Russian standards. The addition of pectin increased the mean particle diameter and viscosity of the protein simulant fat. When mixing microparticulate whey proteins and pectin, the formation of particles of regular round shape with a diameter of 6.2 to 25.3 μm was observed. Joint thermomechanical processing of whey protein concentrate and pectin solution contributed to the formation of larger particles of irregular shape. The use of protein-polysaccharide fat imitators did not have a significant effect on the rate of acid formation during fermentation of skim milk. When a complex simulator, consisting of a mixture of microparticulate whey proteins and pectin, was introduced into the product, the particles of the protein component played the role of an inactive filler. Pectin participated in the formation of inert filaments firmly integrated into the clot structure. This increased the strength and toughness of the finished product, and reduced syneresis. The use of imitators obtained by thermomechanical processing of a mixture of whey protein concentrate and pectin solution had a negative effect on the characteristics of the acid clot. Large particles of protein-polysaccharide aggregates "broke" the network structure formed by casein micelles, causing the formation of a weak gel. The performed studies served as the basis for the development of a recipe-component solution and technology for a fermented product. Its quality indicators met the requirements of regulatory documents. The energy value of the new product was 32 kcal / 100 g, which characterizes it as a low-calorie product.

Keywords: microparticulation, pectin, fermented product, whey proteins, degree of esterification, microstructure, acid clot.

References

Artemova, E. N. (2001). Formirovanie pennykh struktur pishchevykh produktov, soderzhashchikh belki i pektiny [Formation of foam structures of food products containing proteins and pectins]. *Izvestiya VUZov. Pishchevaya tekhnologiya* [*Proceedings of Universities. Food Technology*], *4*, 20-23.

Baranov, S. A., Evdokimov, I. A., Gordienko, L. A., & Shramko, M. I. (2020). Vliyanie mikropartikulyata syvorotochnykh belkov na pokazateli kislomolochnykh napitkov [Influence of whey protein microparticulate on indicators of fermented milk drinks]. *Molochnaya promyshlennost'* [*Dairy Industry*], *9*, 59-62. https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-09-59-61

Dymar, O. V. (2014). Tekhnologicheskie aspekty ispol'zovaniya mikropartikulyatov syvorotochnykh belkov pri proizvodstve molochnykh produktov [Technological aspects of the use of whey protein microparticulate in the production of dairy products]. *Molochnaya promyshlennost'* [*Dairy Industry*], *6*, 19-21.

Evdokimov, I. A., Kravtsov, V. A., Fedortsov, N. M., Bogorovskaya, M. A., Bobrysheva, T. N., Zolotoreva, M. S., & Baranov, S. A. (2021). Sostav i

svoistva mikropartikulyatov syvorotochnykh belkov [Composition and properties of whey protein microparticulates]. *Molochnaya promyshlennost'* [*Dairy Industry*], *4*, 40-44. https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-04-40-44

Gorbatova, K. K. (2015). *Biokhimiya moloka i molochnykh produktov* [*Biochemistry of Milk and Dairy Products*]. S-Petersburg: GIORD.

Kulikova, V. V., Barybina, L. I., Oboturova, N. P., & Datsko, V. A. (2014). Kompleksoobrazovanie kontsentrata syvorotochnykh belkov moloka s anionnymi polisakharidami [Complexation of milk whey protein concentrate with anionic polysaccharides]. *Pishchevaya promyshlennost'* [*Food Industry*], *3*, 62-64.

Mel'nikova, E. I., & Stanislavskaya, E. B. (2017). Novye tekhnologicheskie resheniya v pererabotke tvorozhnoi syvorotki. Issledovanie protsessa mikropartikulyatsii tvorozhnoi syvorotki [New technological solutions in the processing of curd whey. Part 1. Investigation of the process of microparticulation of curd whey]. *Molochnaya promyshlennost'* [*Dairy Industry*], *1*, 56-57.

Mel'nikova, E. I., Stanislavskaya, E. B., & Baranova, K. Yu. (2020). Primenenie syvorotochnykh belkovykh ingredientov dlya polucheniya imitatorov molochnogo zhira. *Vestnik VGUIT* [*Voronezh State University of Engineering Technologies Bulletin*], *82*(3), 90-95.

Nechaev, A. P., Traubenberg, S. E., Kochetkova, A. A., & Kolpakova, V. V. (2015). *Pishchevaya khimiya* [*Food Chemistry*]. S-Petersburg: GIORD.

Ryabtseva, S. A., Ganina, V. I., & Panova, N. M. (2018). *Mikrobiologiya moloka i molochnykh produktov* [*Microbiology of milk and dairy products*]. S-Petersburg: Lan'.

Stepanova, L. I. (2005) *Spravochnik tekhnologa molochnogo proizvodstva. Tekhnologiya i receptury. Tom 1. Cel'nomolochnye produkty [Dairy production technologist's guide. Technology and recipes. Volume 1. Whole milk products.].*S-Petersburg: GIORD.

Tepel, A. (2012). *Khimiya i fizika moloka* [*Chemistry and Physics of Milk*]. S-Petersburg: Professiya.

Teshaev, Kh. I., Usmanova, S. R., Shamsoro, O., & Mukhidinov, Z. K. (2012). Vzaimodeistvie nizkometilirovannykh pektinov s kontsentratom belkov molochnoi syvorotki [Interaction of low methylated pectins with whey protein concentrate]. *Vestnik VGUIT* [*Voronezh State University of Engineering Technologies Bulletin*], *1*, 158-164.

Tolstoguzov, V. B. (1978). *Iskusstvennye produkty pitaniya. Novyi put' polucheniya pishchi i ego perspektivy. Nauchnye osnovy proizvodstva* [*Artificial food. A new way of getting food and its perspective. Scientific basis of production*]. Moscow: Nauka.

Tolstoguzov, V. B. (1987). *Novye formy belkovoi pishchi: Tekhnologicheskie problemy i perspektivy proizvodstva* [*New forms of protein food: Technological problems and production prospects*]. Moscow: Agropromizdat.

Zolotareva, M. S., Volodin, D. N., Evdokimov, I. A., & Kharitonov, V. D. (2018). Membrannye tekhnologii dlya obespecheniya effektivnosti i bezopasnosti molochnogo proizvodstva [Membrane technologies for efficient and safe dairy production]. *Molochnaya promyshlennost'* [*Dairy Industry*], *5*, 36-39.

YAcenko, O. V., YUshchenko, N. M., & Pasichnyj, V. M. (2017). Issledovanie funkcional'no-tekhnologicheskih svojstv belkovo-polisaharidnyh kompleksov i ih ispol'zovaniya v tekhnologii maslyanyh past [Investigation of the functional and technological properties of protein-polysaccharide complexes and their use in the technology of oil pastes]. *Naukovij visnik L'vivs'kogo nacional'nogo universitetu veterinarnoï medicini ta biotekhnologij* imeni *S.Z.* Ґzhic›kogo [*Scientific Bulletin of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S.Z. Gzhytsky*], *19*, 45-49.

Di Cagno, R., De Pasquale, I., De Angelis, M., Buchin, S., Rizzello, C. G., & Gobbetti, M. (2014). Use of microparticulated whey protein concentrate, exopolysaccharide-producing Streptococcus thermophilus, and adjunct cultures for making low-fat Italian Caciotta-type cheese. *Journal of Dairy Science, 97*(1), 72-84. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2013-7078

Krzeminski, A., Prell, K. A., Busch-Stockfisch, M., Weiss, J., & Hinrichs, J. (2014). Whey protein-pectin complexes as new texturising elements in fat-reduced yoghurt systems. *International Dairy Journal, 36*(2), 118-127. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.01.018

Melnikova, E. I., Losev, A. N., & Stanislavskaia, E. B. (2017). Microparticulation of caseic whey to use in fermented milk production. *Foods and Raw Materials, 5*(2), 83-93. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2017-2-83-93

O'Chiu, E., & Vardhanabhuti, B. (2017). Utilizing whey protein isolate and polysaccharide complexes to stabilize aerated dairy gels. *Journal of Dairy Science, 100*(5), 3404-3412. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2016-12053

Olivares, M. L., Shahrivar, K., & de Vicente, J. (2019). Soft lubrication characteristics of microparticulated whey proteins used as fat replacers in dairy systems. *Journal of Food Engineering, 245,* 157-165. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.10.015

Phil, K. (2019). Manufacture of whey protein products: Concentrates, isolate, whey protein fractions and microparticulated. In *Whey Proteins. From Milk to Medicine* (pp. 97-122). Academic Press. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812124-5.00003-5

Ipsen, R. (2017). Microparticulated whey proteins for improving dairy product texture. *International Dairy Journal, 67*, 73-79. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.08.009

Torres, I. C., Mutaf, G., Larsen, F. H., & Ipsen, R. (2016). Effect of hydration of microparticulated whey protein ingredients on their gelling behaviour in a non-fat milk system. *Journal of Food Engineering, 184*, 31-37. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.03.018

Torres, I. C., Amigo, J. M., Knudsen, J. C., Tolkach, A., Mikkelsen, B. Ø., & Ipsen, R. (2018). Rheology and microstructure of low-fat yoghurt produced with whey protein microparticles as fat replacer. *International Dairy Journal, 81*, 62-71. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.01.004

УДК 005.6:664.3(045) https://doi.org/10.36107/spfp.2021.196

Современные требования к растительным маслам и продуктам их переработки для производства пищевой продукции функционального и специализированного назначения

Зайцева Лариса Валентиновна
Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности - филиал ФГБУН «ФНЦ пищевых систем им. В.М.Горбатова» РАН
Адрес: 107023, Москва, ул. Электрозаводская д. 20, стр. 3
E-mail: lvz2360@mail.ru

Мазукабзова Элла Витальевна
Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности - филиал ФГБУН «ФНЦ пищевых систем им. В.М.Горбатова» РАН
Адрес: 107023, Москва, ул. Электрозаводская д. 20, стр. 3
E-mail: conditerprom@mail.ru

Матюнина Александра Владимировна
Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности - филиал ФГБУН «ФНЦ пищевых систем им. В.М.Горбатова» РАН
Адрес: 107023, Москва, ул. Электрозаводская д. 20, стр. 3
E-mail: conditerprom@mail.ru

Осипов Максим Владимирович
Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности - филиал ФГБУН «ФНЦ пищевых систем им. В.М.Горбатова» РАН
Адрес: 107023, Москва, ул. Электрозаводская д. 20, стр. 3
E-mail: conditerprom@mail.ru

В статье рассмотрены различия в требованиях по безопасности, предъявляемых к растительным маслам и продуктам их переработки, используемым при производстве пищевой продукции, в странах Европейского союза и ЕврАзЭс, включая содержание транс-изомеров жирных кислот для заменителей масла какао нетемперируемых лауринового и лауринового типов, введение ограничений по содержанию канцерогенных и генотоксичных глицидиловых эфиров жирных кислот (в пересчете на глицидол), а также эфиров 3-монохлорпропандиола с жирными кислотами. Для производства пищевой продукции функционального и специализированного назначения рекомендовано использовать растительные масла и продукты их переработки, удовлетворяющие европейским нормативам по содержанию глицидиловых эфиров жирных кислот и эфиров жирных кислот с 3-монохлорпропандиолом. Отдельное внимание уделено повышению пищевой ценности указанной группы продукции за счет внесения жирорастворимых биологически активных веществ, таких как полиненасыщенные жирные кислоты, витамины, антиоксиданты, фитостерины и фосфолипиды. Рассмотрены требования, предъявляемые в странах ЕврАзЭс по обогащению пищевой продукции биологически активными веществами. На основании рекомендаций Всемирной Организации Здравоохранения и результатов исследований, проведенных «Федеральным исследовательским центром питания, биотехнологии и безопасности пищи», сделан вывод о необходимости обогащения пищевой продукции функционального и специализированного назначения, а также пищевой продукции массового потребления такими жирорастворимыми биологически активными

веществами, как омега-3 жирные кислоты, витамины D, E, A, каротиноиды. Отмечено, что потребность в этих биологически активных веществах возрастает в период пандемий, включая Covid-19.

Ключевые слова: растительные масла и продукты их переработки, транс-изомеры жирных кислот, глицидиловые эфиры жирных кислот, эфиры 3-монохлорпропандиола с жирными кислотами, жирорастворимые биологически активные вещества

Введение

В современном мире наблюдаются стремительные изменения в области разработки методов анализа для оценки качества и безопасности пищевой продукции и сырья для ее производства, а также по оценке влияния различных контаминантов на здоровье человека. Причем разрыв между определением вреда контаминанта и введением ограничения по его содержанию быстро сокращается. Изменения в законодательстве требуют быстрого реагирования и со стороны промышленности. В статье рассмотрены новые требования по безопасности к растительным маслам и продуктам их переработки, основанные на современных исследованиях, а также уделено внимание одному из наиболее важных показателей качества, а именно повышению пищевой ценности продукции за счет ее обогащения жирорастворимыми макро- и микронутриентами.

Масла и жиры наряду с белками и углеводами являются основой рациона питания человека и используются при производстве практически всех групп пищевой продукции. Однако, при выпуске пищевой продукции функционального и, тем более специализированного назначения, априори подразумевается, что к ней должны предъявляться повышенные требования по безопасности и пищевой ценности. В статье эти аспекты рассмотрены для растительных масел и продуктов их переработки, используемых при производстве перечисленных групп пищевой продукции.

В соответствие с определением, приведенным в ГОСТ Р 52349-2005[1]: «функциональный пищевой продукт: Специальный пищевой продукт, предназначенный для систематического употребления в составе пищевых рационов всеми возрастными группами здорового населения, обладающий научно обоснованными и подтвержденными свойствами, снижающий риск развития заболеваний, связанных с питанием, предотвращающий дефицит или восполняющий имеющийся в организме человека дефицит питательных веществ, сохраняющий и улучшающий здоровье за счет наличия в его составе функциональных пищевых ингредиентов».

В соответствие с Техническим регламентом ТР ТС 027/2011[2]: к специализированной пищевой продукции относится пищевая продукция диетического лечебного и диетического профилактического питания, в том числе для детского питания, а также пищевая продукция для питания спортсменов, беременных и кормящих женщин.

Безопасность

На основании крупномасштабных популяционных исследований, проведенных в конце XX - начале XXI веков, был признан атерогенный характер транс-изомеров жирных кислот, и доказано их вредное воздействие на здоровье человека, связанное в первую очередь с развитием сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, а также ожирения, сахарного диабета, атеросклероза и целого ряда других заболеваний (Бессонов & Зайцева, 2016; Зайцева & Нечаев, 2012). В 2003 году Всемирной Организацией Здравоохранения (ВОЗ) было рекомендовано снизить потребление транс-изомеров жирных кислот до 1% от суточной калорийности рациона[3], а в 2011 году для достижения поставленной цели было рекомендовано ограничить использование частично гидрированных растительных масел при производстве пищевой продукции[4]. Это привело к до-

[1] ГОСТ Р 52349-2005. (2006). Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения. М.: Стандартинформ.

[2] ТР ТС 027/2012. (2012). О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции, в том числе диетического лечебного и диетического профилактического питания. URL: https://docs.cntd.ru/document/902352823 (дата обращения: 05.03.2021).

[3] World Health Organization. (2003). *Diet, nutrition and the prevention of chronic disease. Report of Joint WHO/FAO Expert Consultation*. Geneva, Swizerland. URL: https://biotech.law.lsu.edu/obesity/who/trs_916.pdf (дата обращения: 11.03.2021).

[4] World Health Organization. (2012). *A comprehensive global monitoring framework including indicators and a set of voluntary global targets for prevention and control of noncommunicabale disease*. Geneva, Swizerland. URL: http://www.int/nmh/events/2012/discussion_peper2_20120322.pdf (дата обращения: 11.03.2021).

бровольному или законодательному ограничению содержания этих атерогенных веществ в пищевой продукции во многих странах мира (Бессонов & Зайцева, 2016).

В странах ЕврАзЭс с 1 января 2018 года также вступили в силу требования по ограничению содержания транс-изомеров жирных кислот до 2% от содержания жира в масложировой продукции (Технический регламент ТР ТС 024/2011[5]). Введение этого норматива не затронуло заменители масла какао нетемперируемые лауринового и нелауринового типов, при производстве последних допускается использование частично гидрированных масел с высоким содержанием транс-изомеров. Изменением 2 в Технический регламент на масложировую продукцию ТР ТС 024/2011 предусматривается введение ограничений по содержанию этих контаминантов не более 2% (от содержания жира в продукте) в заменителях масла какао лауриновго и нелауринового типов с 01.01.2026 г. С учетом вредного воздействия транс-изомеров на здоровье человека считаем, что в случае функциональной и специализированной продукции (например, при производстве глазированных батончиков, реализуемых через аптечную сеть) необходимо использовать заменители масла какао с содержанием этих контаминантов не более 2 г/100 г, начиная с настоящего времени.

3 марта 2016 года Европейским Агентством по пищевой безопасности (EFSA) было опубликовано научное мнение по исследованию рисков для здоровья человека, обусловленных присутствием в пищевой продукции 3- и 2-монохлорпропандиолов и их эфиров и глицидиловых эфиров жирных кислот (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, 2016). Оценка рисков производилась по общепринятому в мире протоколу по оценке контаминантов в пищевой цепи (CONTAM Panel). В отчете Объединенного комитета экспертов ФАО/ВОЗ по пищевым добавкам «Заключение по присутствию определенных примесей в продуктах питания» на основании доклада EFSA был сделан вывод о множественном канцерогенном действии указанных веществ – воздействию в первую очередь подвергались почки и репродуктивная система, кроме того отмечена нейротоксичность и иммунотоксичность. Для глицидиловых эфиров помимо этого установлена генотоксичность – мутации и разрыв нитей ДНК[6].

Перечисленные контаминанты отсутствуют в нерафинированных растительных маслах. Для образования глицидиловых эфиров жирных кислот необходимы следующие условия: содержание в нерафинированном масле свыше 4% диацилглицеринов (образуются в условиях длительного и неправильного хранения масличного сырья, их образованию также способствует использование кислых отбельных глин в процессах рафинации) и температура дезодорации свыше 240°С[7].

При высокотемпературной дезодорации (свыше 200 °С) также отмечается образование эфиров 3- и 2-монохлорпропандиолов с жирными кислотами. Этот процесс обусловлен взаимодействием диацилглицеринов масел с ионами хлора, присутствующими в используемой в технологическом процессе хлорированной воде. На современном этапе не существует методов эффективного удаления этих контаминантов из конечного продукта. Для ограничения их образования мировым экспертным сообществом разработаны подходы, включающие усовершенствование отдельных стадий очистки растительных масел, а также снижение содержания диацилглицеринов в нерафинированных маслах[8].

Отчеты Европейского агентства по пищевой безопасности и ВОЗ послужили основанием по законодательному ограничению содержания этих контаминантов в пищевой продукции. В Европейском Союзе Постановлением комиссии (ЕС) 2018/290[9] от 26 февраля 2018 года о внесении поправки в регламент (ЕС) № 1881/2006[10], наряду с установленными ранее нормативами по содержанию 3-монохлорпропандиола (3-MCPD) в соевом

[5] ТР ТС 024/2011. (2015). Технический регламент на масложировую продукцию. URL: https://docs.cntd.ru/document/902320571 (дата обращения: 15.04.2021).

[6] World Health Organization. (2017). *Evaluation of certain contaminants in food: eighty-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives*. (2017). Geneva: WHO Press.

[7] Там же.

[8] Там же.

[9] Commission regulation (EU). (2018). No 1881/2006 as regards maximum levels of glycidyl fatty acid esters in vegetable oils and fats, infant formula, follow-on formula and foods for special medical purposes intended for infants and young children. *Official Journal of the European Union, 55*, 27-29. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0290 (дата обращения: 10.03.2020).

[10] Commission regulation (EU). (2020). No 2020/1322 as regards maximum levels of 3-monochloropropanediol (3-MCPD), 3-MCPD fatty acid esters and glycidyl fatty acid esters in certain foods. *Official Journal of the European Union, 310*, 2-5. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R1322&from=EN (дата обращения: 10.03.2020).

соусе и гидролизатах растительных белков, были введены нормативы в отношении максимальных уровней содержания глицидиловых эфиров жирных кислот в молочных детских смесях, молочных смесях второго уровня и специализированных лечебных продуктах питания, предназначенных для грудных детей и детей младшего возраста, а также в растительных маслах, как для непосредственного использования в пищу, так и используемых при производстве пищевой продукции. Согласно этому документу содержание глицидиловых эфиров в растительных маслах не должно превышать 1 мг/кг, в случае же их использования при производстве пищевой продукции для грудных детей и детей младшего возраста содержание этих контаминантов не может превышать 0,5 мг/кг.

Для сохранения здоровья населения и гармонизации с международным законодательством 6 августа 2019 года ЕЭК было принято Решение №132 «О внесении изменений в перечень товаров, для которых установлены единые санитарные требования согласно кодам ТН ВЭД ЕАЭС), раздела 1 главы II Единых санитарно-эпидемиологических и гигиенических требований к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)». Согласно этому Решению все растительные масла, предназначенные как для непосредственного употребления человеком в пищу, так и в качестве продовольственного (пищевого) сырья, не должны содержать глицидиловых эфиров жирных кислот (в пересчете на глицидол) более 1 мг/кг. Для масел, используемых в производстве продуктов детского питания, этот порог должен быть снижен в 2 раза до 0,5 мг/кг.

Изменением 2 в Технический регламент ТР ТС 024/2011 рассматривается введение нового показателя безопасности для растительных масел. Производители масложировой продукции в настоящее время обсуждают сроки введения норматива по глицидиловым эфирам – для пальмового, пальмоядрового масел и их фракций и кокосового масла с 01.01.2023 года, для остальных масел с 01.01.2025 года.

Проведенные, как в нашей стране, так и за рубежом, исследования жидких растительных масел, включая подсолнечное, рапсовое, соевое, кукурузное, показали, что содержание в них глицидиловых эфиров, как правило, не превышает 1 мг/кг (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, 2016; Макаренко, Малинкин, Бессонов, & Боков, 2020). Наиболее критическая ситуация сложилась с пальмовым маслом рафинированным дезодорированным. Это связано с тем, что в пальмовом масле при длительном хранении плодов масличной пальмы в результате активного протекания липолитических процессов содержание диацилглицеринов может достигать 14%. Это приводит в условиях высокотемпературной дезодорации к экспоненциальному росту содержания глицидиловых эфиров жирных кислот, которое может в конечном рафинированном дезодорированном масле более чем в 10 раз превышать установленный норматив (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, 2016).

Другими контаминантами, образующимся в процессе дезодорации растительных масел, как уже сказано выше, являются эфиры 3-монохлорпропандиола с жирными кислотами. В 2020 году в Европейском Союзе Постановлением комиссии (ЕС) 2020/1322 от 23 сентября 2020 года о внесении поправки в регламент (ЕС) № 1881/2006 установлены нормативы содержания 3-монохлорпропандиола и его эфиров с жирными кислотами (в пересчете на 3-монохлорпропандиол) в растительных маслах, как для непосредственного использования в пищу, так и используемых при производстве пищевой продукции (Commission regulation (EU) 2020/1322 of 23 September 2020): для кокосового, кукурузного, рапсового, подсолнечного, соевого, пальмоядрового, оливкового (включая смесь рафинированного масла с маслом холодного отжима) масел и их смесей на уровне не более 1,25 мг/кг; для остальных масел и рыбьих жиров на уровне не более 2,5 мг/кг; для масел, используемых при производстве продуктов для детского питания, этот показатель не должен превышать 0,75 мг/кг. В странах ЕС норматив вступил в силу с 1 января 2021 года. В соответствие с приведенным выше документом продукция, не соответствующая этому нормативу, размещенная на рынке до 1 января 2021 года, может находиться в обороте ограниченное время. В странах ЕврАзЭс вопрос гармонизации с этими нормативами пока только начинает обсуждаться.

Однако для производства пищевой продукции функционального, а тем более специализированного назначения, считаем необходимым использовать растительные масла и продукты их переработки, удовлетворяющие европейским нормативам по содержанию глицидиловых эфиров жирных кислот и эфиров жирных кислот с 3-монохлорпропандиолом.

Повышение пищевой ценности продукции

Нередко при разработке инновационной пищевой продукции пристальное внимание уделяется

модификации белковой и/или углеводной составляющих и упускается из виду жировая составляющая, в лучшем случае рассматривается снижение содержания общего жира, а не его состав (Зверев, Карпов, & Никитина, 2021; Резниченко & Щеглов, 2020; Zelinkina et al., 2020). При этом жировая составляющая – это не только источник калорий пролонгированного действия, но и источник пластических материалов, необходимых для построения клеток нашего организма. Одним из аспектов качества пищевой продукции в соответствие с Федеральным законом РФ №29-ФЗ «О качестве и безопасности пищевых продуктов»[11] является ее пищевая ценность и возможность удовлетворения физиологических потребностей человека. В рамках этой статьи хотелось остановиться на повышении пищевой ценности продукции функционального и специализированного назначения за счет использования биологически активных жирорастворимых веществ, в том числе в составе растительных масел и продуктов их переработки.

Существуют определенные нормы по потреблению жиров и отдельных групп жирных кислот при общем снижении калорийности суточного рациона до 2000 ккал/сут (исключение составляют лица, деятельность которых связана с высокими энергозатратами). По результатам последних исследований, проведенных «Федеральным исследовательским центром питания, биотехнологии и безопасности пищи», в зависимости от образа жизни мужчинам рекомендовано потребление жиров 70-135 г/сут, а женщинам – 55-99 г/сут (Тутельян и др., 2020а; Тутельян и др., 2020б). ВОЗ рекомендуется увеличивать в рационе содержание незаменимых полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) и сокращать содержание насыщенных жирных кислот при строгом ограничении потребления транс-изомеров жирных кислот. Это нашло свое отражение в принятой ВОЗ «Глобальной стратегии по питанию, физической активности и здоровью»[12]. В Методических рекомендациях МР 2.3.1.2432-08[13] обращается дополнительное внимание на то, что ПНЖК являются не только структурными элементами клеточных мембран, но и обеспечивают нормальное развитие и адаптацию организма человека к неблагоприятным факторам окружающей среды, что очень важно в период пандемий.

При этом отдельно определено оптимальное соотношение в суточном рационе ω-6 к ω-3 жирным кислотам – 5-10:1[14]. Многими зарубежными исследователями доказано, что снижение этого соотношения до 1-5:1 при общем увеличении потребления полиненасыщенных жирных кислот способствует улучшению метаболизма липидов (Yang et al., 2016; Hammad, Pu, & Jones, 2016). В РФ имеет место дисбаланс в потреблении различных групп ПНЖК, а именно переизбыток в пищевом рационе омега-6 жирных кислот при дефиците омега-3 жирных кислот. Дефицит омега-3 жирных кислот отмечается и во многих странах мира, что приводит к возникновению основных неинфекционных заболеваний современности – сердечно-сосудистых и онкологических, ожирения и сахарного диабета, а также воспалительных процессов и многое другое (Зайцева & Нечаев, 2014). В связи с этим считаем необходимым обогащение омега-3 жирными кислотами не только пищевой продукции функционального и специализированного назначения, но и продукции массового потребления (молочной, хлебобулочной, масложировой, кондитерской продукции).

Наилучшим вариантом обогащения пищевой продукции этими незаменимыми веществами является использование в рецептуре жирового компонента, содержащего омега-3 жирные кислоты. В соответствие с Техническим регламентом ТР ТС 022/2011[15] среди отечественных растительных масел высокое содержание альфа-линоленовой кислоты отмечается в рапсовом, соевом, горчичном и, особенно, в льняном и рыжиковом маслах – более 2,4 г/100 г (мл) растительных масел[16]. Источником длинноцепочечных омега-3 жирных кислот (эйкозопентаеновой и докозогексаеновой) являются жиры рыб. Однако при обогащении пищевой продукции ПНЖК необходимо помнить о том, что они подвержены пероксидному окислению с образованием опасных

[11] ФЗ «О качестве и безопасности пищевых продуктов». (2000). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_25584/ (дата обращения: 13.04.2021).

[12] Global strategy on diet, physical activity and health. (2004). URL: www.who.int/dietphysicalactivity/strategy/eb11344/strategy_english_web.pdf (дата обращения: 11.04.2021).

[13] МР 2.3.1.2432-08. (2008). Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200076084 (дата обращения: 12.03.2021).

[14] Там же.

[15] ТР ТС 022/2011. (2018). Пищевая продукция в части ее маркировки. URL: https://docs.cntd.ru/document/902320347 (дата обращения: 10.03.2021).

[16] Codex Stan 210. (2003). Codex standard for named vegetable oils URL: http://www.justice.gov.md/file/Centrul%20de%20armonizare%20a%20legislatiei/Baza%20de%20date/Materiale%202008/Legislatie/Codex%20STAN%20210.PDF (дата обращения: 13.04.2021).

для здоровья первичных и вторичных продуктов окисления. Для сохранения ПНЖК в пищевой продукции помимо использования антиоксидантов рассматриваются также и другие стратегии, включающие оптимизацию параметров и условий внесения этих кислот в пищевой продукт, а также транспортных систем для их утилизации организмом (Jacobsen, 2015).

Масложировые ингредиенты также могут стать источником других биологически активных веществ: жирорастворимых витаминов A, D, E, каротиноидов, фитостеринов, фосфолипидов. Роль этих веществ в питании человека уже доказана и определены физиологические нормы их потребления (Тутельян и др., 2020а). В РФ в питании, как взрослого населения, так и детей, отмечается дефицит в потреблении целого рядов витаминов, включая жирорастворимые. Исследования, проведенные ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», свидетельствуют о наличии дефицита витамина D у всего населения РФ, у детей кроме этого отмечается дефицит жирорастворимых антиоксидантов, таких как токоферолы и β-каротин, девочки с ожирением также хуже обеспечены витамином А (Бекетова и др., 2019; Коденцова, Вржесинская, Никитюк, & Тутельян, 2018).

Роль витамина D в организме человека долгое время воспринималась очень узко – нормальное развитие костной ткани и предотвращение остеопорозов и переломов. Сейчас доказана его роль в предотвращении сердечных приступов и укреплении сосудов, в лечении многих форм рака (груди, почек, толстой кишки, поджелудочной железы), диабета 1 типа, гипертензии, воспалительных процессов, и многое другое (Коденцова и др., 2017; Кинаш & Боярчук, 2020). Обсуждается возможная взаимосвязь с тяжелым протеканием короновирусной инфекции и дефицитом в организме витамина D (Тутельян и др., 2020б). Норма потребления витамина D составляет 15 мкг/сутки (МР 2.3.1.2432-08). Биологическая активность витамина D_3 (холекальциферол) для человека несколько выше, чем D_2 (эргокальциферол), поэтому целесообразно использовать эту форму для обогащения пищевой продукции (Коденцова и др., 2017). Потребность в пищевой продукции, обогащенной витамином D, как отмечено выше, возрастает в период пандемий, включая Covid-19.

Немаловажным фактором, влияющим на иммунитет в период пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19, является обеспеченность также витаминами Е и А, играющими важную роль в повышении иммунитета организма (Тутельян и др., 2020а).

Витамин Е представляет собой смесь токоферолов и токотриенолов, обладающих помимо витаминной также антиоксидантной активностью. Эти вещества участвуют в предотвращении развития сердечно-сосудистых заболеваний, способствуют укреплению иммунной системы. У отдельных изомеров токотриенолов, содержащихся в пальмовом масле, выявлена антиканцерогенная активность (Abu-Fayyad & Nazzal, 2017). Ежедневное потребление токоферолов и токотриенолов снижает риск развития ишемической болезни сердца, инфаркта миокарда, инсульта, улучшает общее состояние и функции сердечно-сосудистой и центральной нервной систем, инсулинзависимого сахарного диабета (Медведев, Иванова, & Медведева, 2018; Кинаш & Боярчук, 2020). Рекомендуемая норма потребления витамина Е составляет 15 мг/сут (МР 2.3.1.2432-08). Токоферолы также препятствуют окислительной порче масложировых продуктов, приводящей к образованию токсичных соединений (Marmesat, Morales, Ruiz-Mendez, Marquez-Ruiz, & Velasco, 2016).

Витамин А играет важную роль в процессах роста и репродукции, дифференцировки эпителиальной и костной ткани, поддержании зрения (Кинаш & Боярчук, 2020). Он также участвует в поддержании иммунитета и повышении устойчивости к инфекциям, что усиливает его функции в организме в период пандемий. Достаточным является потребление витамина А в количествен не менее 900 мкг рет. экв./сутки (МР 2.3.1.2432-08).

Хорошо изучено противовоспалительное действие и влияние таких антиоксидантов, как каротиноиды, особенно бета-каротина и ликопина, на сердечно-сосудистую и иммунную системы (Кинаш & Боярчук, 2020). Суточная норма их потребления составляет 5 мг/сутки (МР 2.3.1.2432-08[17]; МР 2.3.1.1915-04[18]). Потребность в повышенном потреблении антиоксидантов возрастает в период пандемий.

Таким образом, в настоящее время возрастает потребность в обеспечении населения пищевой про-

[17] МР 2.3.1.2432-08. (2009). Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. URL: https://rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=4583 (дата обращения: 12.03.2021).

[18] МР 2.3.1.1915-04. (2004). Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200037560 (дата обращения: 12.03.2021).

дукцией, обогащенной этими жирорастворимыми биологически активными веществами (Коденцова & Вржесинская, 2016) , и особенно это относится к пищевой продукции функционального и специализированного назначения. При витаминизации пищевой продукции несколькими витаминами необходимо учитывать характер их взаимодействий не только с компонентами продукта, но и друг с другом (Коденцова, Жилинская, & Шпигель, 2020). В случае отсутствия необходимости в проведении клинических испытаний (для функциональной продукции) при обогащении изделия несколькими витаминами лучше не превышать их содержания на уровне «источник» (Технический регламент ТР ТС 022/2011[19]) или применять готовые мультивитаминные комлексы, разрешенные для использования при производстве пищевой продукции.

Представляет интерес также обогащение пищевой продукции фитостеринами. Они существенно снижают уровень свободного холестерина в липопротеидах низкой плотности, способны вытеснять холестерин из мембранных структур. Рекомендуемый уровень потребления растительных стеринов (фитостеринов) для взрослых составляет 300 мг/сутки (МР 2.3.1.2432-08). При обогащении пищевой продукции фитостеринами необходимо учитывать подвергается ли пищевая продукция термообработке в процессе ее производства или дальнейшего использования, это касается в частности маргаринов. При нагревании продукции, обогащенной фитостеринами, происходит образование окисленных форм фитостеринов, а целым рядом исследований показано, что их воздействие на организм человека сходно с воздействием окисленных форм холестерина (Lin & Trautwein, 2016).

Фосфолипиды обеспечивают необходимую текучесть и гибкость мембран и их барьерные свойства; растворяют неметаболизированный холестерин; служат профилактикой сердечно-сосудистых заболеваний (особенно атеросклероза); способствуют правильному сворачиванию крови и ее циркуляции; необходимы для нормального функционирования нервной системы, органов пищеварения, печени; повышают чувствительность к инсулину. Норма их потребления 5-7 г/сутки (МР 2.3.1.2432-08). Чаще всего для целей обогащения пищевой продукции используют соевый лецитин или лецитин яичного белка.

Для равномерного распределения жирорастворимых биологически активных веществ в конечной продукции лучше всего их вносить в составе жировой фазы. В соответствие с действующим законодательством определены два уровня обогащения пищевой продукции – «источник» и «высокое содержание» (Технический регламент ТР ТС 022/2011):

- источником омега-3 жирных кислот, если их сумма составляет не менее 0,2 г на 100 г для твердой пищевой продукции или для жидкостей на 100 мл, а для жиров и масел растительных или животных сумма омега-3 жирных кислот составляет не менее 1,2 г на 100 г для твердой пищевой продукции или для жидкостей на 100 мл;
- с высоким содержанием омега-3 жирных кислот, если их сумма составляет не менее 0,4 г на 100 г для твердой пищевой продукции или для жидкостей на 100 мл, а для жиров и масел растительных или животных сумма омега-3 жирных кислот составляет не менее 2,4 г на 100 г для твердой пищевой продукции или для жидкостей на 100 мл;
- источником витаминов, если их содержание составляет не менее 15 процентов средней суточной потребности взрослого человека в витаминах на 100 г твердой пищевой продукции или 7,5 процентов для жидкостей на 100 мл либо на одну порцию;
- с высоким содержанием витаминов, если их содержание составляет не менее 30 процентов средней суточной потребности взрослого человека в витаминах на 100 г для твердой пищевой продукции или для жидкостей на 100 мл либо на одну порцию.

Для обогащенной высококалорийной пищевой продукции (350 ккал/100 г и более) расчет витаминов в соответствие с СанПиН 2.3.2.2804-10[20] (п.8.3.1) необходимо вести на одну стандартную порцию или на 100 ккал.

Выводы

При выборе сырья для производства пищевой продукции функционального и специализированного назначения с содержанием жировой фазы более 3 г/ 100 г необходимо учитывать со-

[19] ТР ТС 022/2011. Пищевая продукция в части ее маркировки. URL: https://docs.cntd.ru/document/902320347 (дата обращения: 12.03.2021).

[20] СанПиН 2.3.2.2804-10. (2010). Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности продукции. URL: https://docs.cntd.ru/document/902256292 (дата обращения: 10.04.2021).

временные рекомендации по нормам безопасности к растительным маслам и жирам и продуктам их переработки с настоящего времени, основываясь на опыте и законодательной базе стран Европейского Союза:

- содержание транс-изомеров жирных кислот не должно превышать 2 % от содержания жира в продукте;
- содержание глицидиловых эфиров не должно превышать 1 мг/кг, а при производстве пищевой продукции для грудных детей и детей младшего возраста – не более 0,5 мг/кг;
- содержания 3-монохлорпропандиола и его эфиров с жирными кислотами для кокосового, кукурузного, рапсового, подсолнечного, соевого, пальмоядрового, оливкового (включая смесь рафинированного масла с маслом холодного отжима) масел и их смесей не должно превышать 1,25 мг/кг; для остальных масел и рыбьих жиров – не более 2,5 мг/кг; для масел, используемых при производстве продуктов для детского питания – не более 0,75 мг/кг.

Учитывая дефицит ПНЖК класса омега-3 и витамина D практически у всех групп населения РФ, а также возрастающую потребность в витаминах D, A, E и каротиноидах в период пандемий, считаем необходимым сосредоточить усилия производителей на обогащении продукции функционального и специализированного назначения этими жирорастворимыми биологически активными веществами, с последующим охватом продукции массового потребления.

Литература

Бекетова, Н. А., Павловская, Е. В., Коденцова, В. М., Вржесинская, О. А., Кошелева, О. В., Сокольников, А. А., & Строкова, Т. В. (2019). Обеспеченность витаминами детей школьного возраста с ожирением. *Вопросы питания, 88*(4), 66-74. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10043

Бессонов, В. В., & Зайцева, Л. В. (2016). Трансизомеры жирных кислот: риски для здоровья и пути снижения потребления. *Вопросы питания, 85*(3), 6-17.

Зайцева Л. В., & Нечаев А.П. (2012). Биохимические аспекты потребления транс-изомеров жирных кислот. *Вопросы диетологии, 4*(2), 17-23.

Зайцева, Л. В., & Нечаев, А. П. (2014). Полиненасыщенные жирные кислоты в питании: Современный взгляд. *Пищевая промышленность, 4*, 14-19.

Зверев, С. В., Карпов, В. И., & Никитина, М. А. (2021). Оптимизация пищевых композиций по профилю идеального белка. *Пищевые системы, 4*(1), 4-11. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-4-11

Кинаш, М. И., & Боярчук, О. Р. (2020). Жирорастворимые витамины и иммунодефицитные состояния: механизмы влияния и возможности использования. *Вопросы питания, 89*(3), 22-32. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10026

Коденцова, В. М., & Вржесинская, О. А. (2016). Анализ отечественного и международного опыта использования обогащенных витаминами пищевых продуктов. *Вопросы питания, 2*, 31-50.

Коденцова, В. М., Мендель, О. И., Хотимченко, С. А., Батурин, А. К., Никитюк, Д. Б., & Тутельян, В. А. (2017). Физиологическая потребность и эффективные дозы витамина D для коррекции его дефицита. Современное состояние проблемы. *Вопросы питания, 86*(2), 47-62. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00033

Коденцова, В. М., Вржесинская, О. А., Никитюк, Д. Б., & Тутельян, В. А. (2018). Витаминная обеспеченность взрослого населения Российской Федерации: 1987-2017 гг. *Вопросы питания, 87*(4), 62-68. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10043

Коденцова, В. М., Жилинская, Н. В., & Шпигель, Б. И. (2020). Витаминология: от молекулярных аспектов к технологиям витаминизации детского и взрослого населения. *Вопросы питания, 89*(4), 89-99. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10045

Макаренко, М. А., Малинкин, А. Д., Бессонов, В. В., & Боков, Д. О. (2020). Определение эфиров монохлорпропандиола и глицидиловых эфиров методом длительной щелочной переэтерификации с газовой хроматографией с тандемным масс-спектрометрическим детектированием в пищевых растительных маслах и масложировых продуктах. *Вопросы питания, 89*(6), 113-122. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10084

Медведев, О. С., Иванова, А. Ю., & Медведева, Н. А. (2018). Биологические свойства токотриенолов. *Вопросы питания, 87*(2), 5-16. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10013

Резниченко, И. Ю., & Щеглов, М. С. (2020). Сахарозаменители и подсластители в технологии кондитерских изделий. *Техника и технология пищевых производств, 4*, 576-587. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-576-587

Тутельян, В. А., Никитюк, Д. Б., Бурляева, Е. А., Хотимченко, С. А., Батурин, А. К., Стародубова, А. В., Камбаров, А. О., Шевелева, С. А., & Жилинская, Н. В. (2020а). COVID-19: Новые вызовы для медицинской науки и практического

здравоохранения. *Вопросы питания, 89*(3), 6-13. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10024

Тутельян, В. А., Никитюк, Д. Б., Батурин, А. К., Васильев, А. В., Гаппаров, М. М. Г., Жилинская, Н. В., Жминченко, В. М., Камбаров, А. О., Коденцова, В. М., Кравченко, Л. В., Кулакова, С. Н., Лашнева, Н. В., Мазо, В. К., Соколов, А. И., Суханов, Б. П., & Хотимченко, С. А. (2020б). Нутриом как направление «главного удара»: Определение физиологических потребностей в макро- и микронутриентах, минорных биологически активных веществах пищи. *Вопросы питания, 89*(4), 24-34. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10039

Abu-Fayyad, A., & Nazzal, S. (2017). Extraction of vitamin E isomers from palm oil: methodology, characterization, and in vitro anti-tumor activity. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 94*(9), 1209-1217. https://doi.org/10.1007/s11746-017-3025-8

Hammad, S., Pu, S., & Jones, P. J. (2016). Current evidence supporting the link between dietary fatty acids and cardiovascular disease. *Lipids, 51*(5), 507-517. https://doi.org/10.1007/s11745-015-4113-x

Jacobsen, C. (2015). Some strategies for the stabilization of long chain n-3 PUFA-enriched foods: A review. *European Journal of Lipid Science and Technology, 117*(11), 1853-1866. https://doi.org/10.1002/ejlt.201500137

Lin, Y., Knol, D., & Trautwein, E. A. (2016). Phytosterol oxidation products (POP) in foods with added phytosterols and estimation of their daily intake: A literature review. *European Journal of Lipid Science and Technology, 118*(10), 1423-1438. https://doi.org/10.1002/ejlt.201500368

Marmesat, S., Morales, A., Ruiz-Mendez, M. V., Marquez-Ruiz, G., & Velasco J. (2016). Inhibition of hydroperoxy-, keto- and hydroxy-FAME by alpha- and delta-tocopherol at rancimat conditions. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 93*(1), 93-103. https://doi.org/10.1007/s11746-015-2748-7

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). (2016). Scientific opinion Risks for human health related to the presence of 3- and 2-monochloropropanediol (MCPD), and their fatty acid esters, and glycidyl fatty acid esters in food. *EFSA Journal, 17*(5), 1-159. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4426

Yang, L. G., Song, Z. X., Yin, H., Wang, Y. Y., Shu, G. F., Lu, H. X., Wang, S. K., & Sun, G. J. (2016). Low n-6/n-3 PUFA ratio improves lipid metabolism, inflammation, oxidative stress and endothelial function in rats using plant oils as n-3 fatty acids source. *Lipids, 51*(1), 49-59. https://doi.org/10.1007/s11745-015-4091-z

Zelikina, D. V., Gureeva, M. D., Chebotarev, S. A., Samuseva, Yu. V., Antipova, A. S., Martirosova, E. I., & Semenova, M. G. (2020). Functional food compositions based on whey protein isolate, fish oil and soy phospholipids. *Пищевые системы, 3*(1), 16-20. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-3-1-16-20

Modern Requirements for Vegetable Oils and their Processed Products Used in Functional and Specialized Food Products

Larisa V. Zaitseva
All-Russia Research Institute of the Confectionery Industry – branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Science
building 3, 20, Elektrozavodskaya str., Moscow, 107023, Russian Federation
E-mail: lvz2360@mail.ru

Ella V. Mazukabzova
All-Russia Research Institute of the Confectionery Industry – branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Science
building 3, 20, Elektrozavodskaya str., Moscow, 107023, Russian Federation
E-mail: conditerprom@mail.ru

Alexandra V. Matunina
All-Russia Research Institute of the Confectionery Industry – branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Science
building 3, 20, Elektrozavodskaya str., Moscow, 107023, Russian Federation
E-mail: conditerprom@mail.ru

Maxim V. Osipov
All-Russia Research Institute of the Confectionery Industry – branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Science
building 3, 20, Elektrozavodskaya str., Moscow, 107023, Russian Federation
E-mail: conditerprom@mail.ru

The new safety standards for vegetable oils and their processing products used in the manufacture of food products in the countries of the European Union and EurAsEC have been discussed in this article, including changes in the permissible level of trans-isomers of fatty acids for cocoa butter substitutes of non-lauric and lauric types, the introduction of restrictions on the content of carcinogenic and genotoxic glycidyl esters of fatty acids (in terms of glycidol), as well as esters of 3-monochloropropanediol with fatty acids. For the production of functional and specialized food products, it is recommended to use vegetable oils and their processed products that meet the European standards for the content of glycidyl esters of fatty acids and fatty acid esters of 3-monochloropropanediol. Special attention is paid to increasing the nutritional value of this group of products due to fat-soluble biologically active substances, such as polyunsaturated fatty acids, vitamins, antioxidants, phytosterols and phospholipids.The requirements for the enrichment of food products with biologically active substances in the EurAsEC countries are considered. Based on the recommendations of the World Health Organization and the results of research conducted by the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, it is concluded that it is necessary to enrich functional and specialized food products, as well as food products of mass consumption with such fat-soluble biologically active substances as omega-3 fatty acids, vitamins D, E, A, carotenoids. It is noted that the need for these biologically active substances increases during pandemics, including Covid-19.

Keywords: vegetable oils and its processed products, trans-isomers of fatty acids, glycidyl fatty acid esters, fatty acid esters of 3-monochloropropanediol, fat-soluble biologically active substances

References

Beketova, N. A., Pavlovskaya, E. V., Kodentsova, V. M., Vrzhesinskaya, O. A., Kosheleva, O. V., Sokol'nikov, A. A., & Strokova, T. V. (2019). Obespechennost' vitaminami detei shkol'nogo vozrasta s ozhireniem [Biomarkers of vitamin status in obese school children]. *Voprosy pitaniya* [*Problems of Nutrition*], *88*(4), 66-74. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10043

Bessonov, V. V., & Zaitseva, L. V. (2016). Transizomery zhirnykh kislot: riski dlya zdorov'ya i puti snizheniya potrebleniya [Transisomers of fatty acids: health risks and ways to reduce consumption]. *Voprosy pitaniya* [*Problems of Nutrition*], *85*(3), 6-17.

Zaitseva L.V., Nechaev A.P. (2012). Biokhimicheskie aspekty potrebleniya trans-izomerov zhirnykh kislot [Biochemical aspects of consumption of trans-isomer fatty acids]. *Voprosy dietologii* [*Nutrinion*], *4*(2), 17-23.

Zaitseva, L. V., & Nechaev, A. P. (2014). Polinenasyshchennye zhirnye kisloty v pitanii: Sovremennyi vzglyad [Polyunsaturated Fatty Acids in the Nutrition: Modern View]. *Pishchevaya promyshlennost'* [*Food processing Industry*], *4*, 14-19.

Zverev, S. V., Karpov, V. I., & Nikitina, M. A. (2021). Optimizatsiya pishchevykh kompozitsii po profilyu ideal'nogo belka [Optimization of food compositions according to the ideal protein profile]. *Pishchevye sistemy* [*Food Systems*], *4*(1), 4-11. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-4-11

Kinash, M. I., & Boyarchuk, O. R. (2020). Zhirorastvorimye vitaminy i immunodefitsitnye sostoyaniya: mekhanizmy vliyaniya i vozmozhnosti ispol'zovaniya [Fat-soluble vitamins and immunodeficiency: mechanisms of influence and opportunities for use]. *Voprosy pitaniya* [*Problems of Nutrition*], *89*(3), 22-32. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10026

Kodentsova, V. M., & Vrzhesinskaya, O. A. (2016). Analiz otechestvennogo i mezhdunarodnogo opyta ispol'zovaniya obogashchennykh vitaminami pishchevykh produktov [Analysis of domestic and international experience in the use of vitamin-rich foods]. *Voprosy pitaniya* [*Problems of Nutrition*], *2*, 31-50.

Kodentsova, V. M., Mendel', O. I., Khotimchenko, S. A., Baturin, A. K., Nikityuk, D. B., & Tutel'yan, V. A. (2017). Fiziologicheskaya potrebnost' i effektivnye dozy vitamina D dlya korrektsii ego defitsita. Sovremennoe sostoyanie problem [Physiological needs and effective doses of vitamin D for deficiency correction. Current state of the problem]. *Voprosy pitaniya* [*Problems of Nutrition*], *86*(2), 47-62. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00033

Kodentsova, V. M., Vrzhesinskaya, O. A., Nikityuk, D. B., & Tutel'yan, V. A. (2018). Vitaminnaya obespechennost' vzroslogo naseleniya Rossiiskoi Federatsii: 1987-2017 gg [Vitamin status of adult population of the Russian Federation: 1987-2017]. *Voprosy pitaniya* [*Problems of Nutrition*], *87*(4), 62-68. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10043

Kodentsova, V. M., Zhilinskaya, N. V., & Shpigel', B. I. (2020). Vitaminologiya: ot molekulyarnykh aspektov k tekhnologiyam vitaminizatsii detskogo i vzroslogo naseleniya [Vitaminology: from molecular aspects to improving technology of vitamin status children and adults]. *Voprosy pitaniya* [*Problems of Nutrition*], *89*(4), 89-99. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10045

Makarenko, M. A., Malinkin, A. D., Bessonov, V. V., & Bokov, D. O. (2020). Opredelenie efirov monokhlorpropandiola i glitsidilovykh efirov metodom dlitel'noi shchelochnoi pereeterifikatsii s gazovoi khromatografiei s tandemnym mass-spektrometricheskim detektirovaniem v pishchevykh rastitel'nykh maslakh i maslozhirovykh produktakh [Alkaline transesterification CG-MS/MS method of monochlorpropanediol and glycidyl esters' determination in some edible fats, oils and fat blends on Russian market]. *Voprosy pitaniya* [*Problems of Nutrition*], *89*(6), 113-122. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10084

Medvedev, O. S., Ivanova, A. Yu., & Medvedeva, N. A. (2018). Biologicheskie svoistva tokotrienolov [Biological properties of tocotrienols]. *Voprosy pitaniya* [*Problems of Nutrition*], *87*(2), 5-16. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10013

Reznichenko, I. Yu., & Shcheglov, M. S. (2020). Sakharozameniteli i podslastiteli v tekhnologii konditerskikh izdelii [Sugar substitutes and sweeteners in confectionery technology]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [*Food Processing: Techniques and Technology*], *4*, 576-587. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-576-587

Tutel'yan, V. A., Nikityuk, D. B., Burlyaeva, E. A., Khotimchenko, S. A., Baturin, A. K., Starodubova, A. V., Kambarov, A. O., Sheveleva, S. A., & Zhilinskaya, N. V. (2020a). COVID-19: Novye vyzovy dlya meditsinskoi nauki i prakticheskogo zdravookhraneniya [COVID-19: New Challenges for Medical Science and Practical Health]. *Voprosy pitaniya* [*Problems of Nutrition*], *89*(3), 6-13. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10024

Tutel'yan, V. A., Nikityuk, D. B., Baturin, A. K., Vasil'ev, A. V., Gapparov, M. M. G., Zhilinskaya, N. V., Zhminchenko, V. M., Kambarov, A. O., Kodentsova, V. M., Kravchenko, L. V., Kulakova, S. N., Lashneva, N. V., Mazo, V. K., Sokolov, A. I., Sukhanov, B. P., & Khotimchenko, S. A. (2020b). Nutriom kak napravlenie «glavnogo udara»: Opredelenie fiziologicheskikh potrebnostei v makro- i mikronutrientakh, minornykh biologiches-

ki aktivnykh veshchestvakh pishchi [Nutriome as the direction of the "main blow": determination of physiological needs in macro- and micronutrients, minor biologically active substances]. *Voprosy pitaniya* [*Problems of Nutrition*], *89*(4), 24-34. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10039

Abu-Fayyad, A., & Nazzal, S. (2017). Extraction of vitamin E isomers from palm oil: methodology, characterization, and in vitro anti-tumor activity. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 94*(9), 1209-1217. https://doi.org/10.1007/s11746-017-3025-8

Hammad, S., Pu, S., & Jones, P. J. (2016). Current evidence supporting the link between dietary fatty acids and cardiovascular disease. *Lipids, 51*(5), 507-517. https://doi.org/10.1007/s11745-015-4113-x

Jacobsen, C. (2015). Some strategies for the stabilization of long chain n-3 PUFA-enriched foods: A review. *European Journal of Lipid Science and Technology, 117*(11), 1853-1866. https://doi.org/10.1002/ejlt.201500137

Lin, Y., Knol, D., & Trautwein, E. A. (2016). Phytosterol oxidation products (POP) in foods with added phytosterols and estimation of their daily intake: A literature review. *European Journal of Lipid Science and Technology, 118*(10), 1423-1438. https://doi.org/10.1002/ejlt.201500368

Marmesat, S., Morales, A., Ruiz-Mendez, M. V., Marquez-Ruiz, G., & Velasco J. (2016). Inhibition of hydroperoxy-, keto- and hydroxy-FAME by alpha- and delta-tocopherol at rancimat conditions. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 93*(1), 93-103. https://doi.org/10.1007/s11746-015-2748-7

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). (2016). Scientific opinion Risks for human health related to the presence of 3- and 2-monochloropropanediol (MCPD), and their fatty acid esters, and glycidyl fatty acid esters in food. *EFSA Journal, 17*(5), 1-159. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4426

Yang, L. G., Song, Z. X., Yin, H., Wang, Y. Y., Shu, G. F., Lu, H. X., Wang, S. K., & Sun, G. J. (2016). Low n-6/n-3 PUFA ratio improves lipid metabolism, inflammation, oxidative stress and endothelial function in rats using plant oils as n-3 fatty acids source. *Lipids, 51*(1), 49-59. https://doi.org/10.1007/s11745-015-4091-z

Zelikina, D. V., Gureeva, M. D., Chebotarev, S. A., Samuseva, Yu. V., Antipova, A. S., Martirosova, E. I., & Semenova, M. G. (2020). Functional food compositions based on whey protein isolate, fish oil and soy phospholipids.

СТАТЬЯ-МНЕНИЕ

УДК 606 https://doi.org/10.36107/spfp.2021.221

Переработка сельскохозяйственных отходов: рынок органических удобрений и производство органических пищевых продуктов

Агапкин Александр Матвеевич
ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова»
117997, Россия, г. Москва, Стремянный пер., д. 36
E-mail: alex_agapkin@mail.ru

Махотина Ирина Алексеевна
ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова»
117997, Россия, г. Москва, Стремянный пер., д. 36
E-mail: irina_mahotina@mail.ru

Ежегодно общее количество сельскохозяйственных отходов в России достигает 630-650 млн т. С одной стороны, это создает серьезные экологические и санитарные проблемы, т.к. практически половину из этих отходов составляет навоз и помет. С другой стороны эти отходы представляют собой незаменимый источник сырья для производства органических удобрений в обьемах, котоые позволяют говорить о формировании на этой ресурсной базе новой отрасли производства органических удобрений. Научной новизной подхода, изложенного в статье, является увязка предлагаемых путей организации крупномасштабной переработки сельскохозяйственных отходов и формирования рынка органических удобрений с развитием сопряженной быстрорастущей отрасли производства органической сельскохозяйственной продукции и рынка органической сельскохозяйственной продукции. Проблема рассмотрена в рамках междисциплинарного подхода во взаимосвязи регуляторной, экологической, климатической, экономической и технологической составляющих. Представлена информация о законодательном обеспечении сферы органического земледелия и производства органических удобрений. Предложены конкретные меры для стимулирования взаимосвязанного развития отрасли переработки отходов в органические удобрения и отрасли производства органической продукции. Рост российского рынка органических продуктов с 2010 г. составлял в среднем 10 % в год. При этом в период 2015 – 2016 гг. он снижался до 4 %, но в 2017-2019 годах ситуация с развитием органики восстановилась, и сейчас наблюдается устойчивый рост 8-10% в год. Особое внимание уделено приоритетным технологиям переработки отходов в органические удобрения, рассмотрены установки на основе турбовихревых измельчительно-сушильных машин для производства высоконцентрированных сухих мелкодисперсных органических удобрений и установки на основе аэрационных реакторов (биотраншей) для использования в масштабном производстве.

Ключевые слова: производство органической продукции, органические удобрения, сельскохозяйственные отходы, навоз, биоферментер, окружающая среда, экология

Введение

Навоз использовался как полезная почвенная добавка с самого начала цивилизации и был основной добавкой, используемой в сельском хозяйстве до появления химических удобрений в 1940-х годах. Сегодня навоз по-прежнему считается ценным сельскохозяйственным ресурсом, поскольку он является важным источником питательных веществ для растений и, как известно, улучшает физические и биологические свойства почвы за счет добавления органических веществ. Тем не менее, за последние сто лет произошли серьезные изменения в восприятии ценности сельскохозяйственных отходов. Навоз и помет перестают рассматриваться как ценное удобрение природного происхождения, а начинают восприниматься как проблемный избыточный отход. Вопросам переработки сельскохозяйственных отходов посвящено большое число исследований (Архипченко & Рулкенс, 2006; Архипченко, Бакина, Брюханов, Орлов, & Тарасов, 2020; Брюханов, 2017; Bot & Benites, 2005), и, несмотря на это, практического результата, выраженного в росте объемов переработки отходов и доли применения органических удобрений, все нет.

Вопрос должен рассматриваться в пределах межотраслевой производственно-хозяйственной цепочки от формирования отходов и их переработки в органическое удобрение до выращивания органической продукции и ее реализации конечным потребителям. Такая цепочка в каждом звене формирует требования к следующему ее звену – достичь целевых результатов, измеряемых в показателях: удовлетворенности потребителей качеством и ассортиментом сельскохозяйственной продукции; соответствующего повышения качества и урожайности сельскохозяйственной продукции за счет масштабного использования эффективных органических удобрений.

Органическое земледелие формирует спрос на производство органических удобрений, отсюда возникает потребность в соответствующих технологиях, оборудовании для экологической малозатратной переработки сельскохозяйственных отходов в удобрения.

Сельское хозяйство и связанные с ним другие отрасли агропромышленного комплекса (хранение продукции растениеводства, переработка сельскохозяйственной продукции, кормопроизводство, пищевая промышленность) ежегодно производят только в России сотни миллионов тонн органических отходов. Ежедневно в стране производится около полумиллиона тонн навоза, помета и стоков, при этом большая часть производимого объема никак не используется (Могилевцев и др., 2012). По данным объем сельскохозяйственных отходов достигает 630-650 млн т. Большая часть приходится на животноводство (56%) и растениеводство (35,6%). На птицеводство - 3,7%[1]. На долю перерабатывающих отраслей приходится 4,7% отходов.

В целом по миру (включая потери уже произведенного продовольствия) количество сельскохозяйственных отходов достигает миллиарды тонн (Nagendran, 2011; Kaza, Yao, Bhada-Tata,& Van, 2018).

Эти отходы создают серьезные экологические и санитарные проблемы, т.к. практически половину из этих отходов составляет навоз (в России, примерно, 300 млн тонн ежегодно). Навоз и помет при определенных условиях могут стать источником распространения инфекционных и инвазионных заболеваний животных и человека. Также в навозе в значительных количествах присутствуют семена сорных растений, что приводит к серьезным экономическим последствиям при производстве продукции растениеводства.

При этом данные сельскохозяйственные отходы являются ценным сырьем при производстве органических удобрений с последующим их применением в органическом земледелии. Курица-несушка производит в год около 0,8 кг азота и 0,2 кг фосфора[2,3].

Таким образом, с одной стороны, исходный навоз является ценным органическим удобрением, а с другой – непосредственное его использование без предварительной подготовки представляет серьезную экологическую опасность для окружающей среды, животных и людей.

Решение, которое позволит устранить экологический вред сельскохозяйственных отходов, и, одновременно, вовлечь эти отходы в коммерческий оборот в качестве ценного сырья, используемого для получения органических удобрений, может быть только комплексным, состоящим из следующих компонентов:

- государственная политика, направленная на развитие органического земледелия и бережного отношения к природной среде, подкрепленная законодательной базой (регулятивная компонента решения);
- экономическая составляющая - стимулирование полной переработки сельскохозяйственных отходов и экономически выгодное использование продуктов такой переработки (органических удобрений), формирование конкурентного рынка указанных продуктов (экономическая компонента решения);
- технологии и оборудование, которые обеспечат в промышленном масштабе эффективную переработку отходов в полезные продукты, конкурентоспособные по своим потребительским качествам и цене (технологическая компонента решения).

Ограничим рамки рассмотрения обозначенной выше проблемы и путей ее решения использованием отходов в качестве сырья только для про-

[1] Голубев, И. Г., Шванская, И. А., Коноваленко, Л. Ю., & Лопатников, М. В. (2011). Рециклинг отходов в АПК: Справочник. М.: Росинформагротех.

[2] Там же.

[3] РД-АПК 1.10.15.02-17. (2017). Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. М.: Росинформагротех.

изводства органических удобрений и оставим за рамками рассмотрения направление переработки отходов в биогаз для энергообеспечения сельскохозяйственных или иных производств, а также сжигания отходов для получения тепла или в целях их уничтожения. Органические отходы должны возвращаться в максимально полном объеме в систему растениеводства в виде органических удобрений для сохранения естественного природного цикла движения биомассы для поддержания плодородия почв. Органическое вещество нужно почве и растениям не только из-за его ценных питательных качеств, но и как среда обитания почвенных бактерий, активизирующих находящиеся в инертной, труднодоступной для растений форме минеральные компоненты почвы, а также как материал для образования в почве необходимых для питания растений и почвенных структур влаго- и воздухообмена и условий для развития почвенной микробиоты.

Регулятивная компонента

Проблема сельскохозяйственных отходов имеет государственную значимость. Согласно исследованию (Брюханов, 2017; Могилевцев и др., 2012) на территории Российской Федерации только птицеводством и животноводством ежегодно создается около 300 млн. т органических отходов, в том числе птицеводством – 85 млн. т. Структура распределения этого вида отходов по видам сельскохозяйственных животных выглядит следующим образом: крупный рогатый скот – 217 млн т, свиного навоза – 46 млн т, помета птицы – 17 млн т, навоза других видов животных – 6 млн т в год[4].

Безопасное использование сельскохозяйственных отходов предполагает реализацию следующих принципов:

- контроль за здоровьем домашнего скота: запрет на использование навоза от любого домашнего скота, имеющего проблемы со здоровьем (зоонозы, трансмиссивная губчатая энцефалопатия и т.д.);
- опасные виды отходов должны быть исключены из любого использования и направлены на уничтожение;
- предварительная обработка: перед утилизацией определенные категории отходов требуют контролируемой санитарной обработки путем термической обработки (например, пастеризация при 70 °C в течение 1 часа, стерилизация под давлением и т.д.);
- наблюдение и регулярный контроль эффективности снижения содержания патогенов (Seadi & Holm-Nielsen, 2004).

С 2015 года Федеральный закон № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» предусматривает гармонизацию отечественного экологического законодательства с международным путем применения наилучших доступных технологий (НДТ).

К областям применения НДТ отнесена деятельность по разведению свиней и сельскохозяйственной птицы, а также деятельность тех предприятий, на которых ежесуточно образуется более 50 тонн отходов (сюда относятся крупные фермы крупного рогатого скота)[5].

В России разработаны и введены в действие: ГОСТ Р 113.00.01-2019 «Наилучшие доступные технологии»[6], Методические рекомендации по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии, утвержденные приказом Минпромторга России № 3134 от 23.08.2019 г[7]; Информационно-технические справочники по наилучшим доступным технологиям[8,9].

На законодательном уровне разработан комплект поощрительных мер для компаний, применяющих НДТ. К таким мерам относится освобождение от платежей за негативное воздействие на окружающую среду, льготное налогообложение, субсидирование процентных платежей по кредитам.

На владельца сельскохозяйственных отходов возложена обязанность понизить класс опасности отходов до пятого при их утилизации. В том случае, если собственник таких отходов не планирует их

[4] Голубев, И. Г., Шванская, И. А., Коноваленко, Л. Ю., & Лопатников, М. В. (2011). Рециклинг отходов в АПК: Справочник. М.: Росинформагротех.

[5] Распоряжение Правительства РФ N 2674-р. Об утверждении Перечня областей применения наилучших доступных технологий. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_172794/ (дата обращения: 14.08.2021).

[6] ГОСТ Р 113.00.01-2019. (2019). Наилучшие доступные технологии. Система стандартов наилучших доступных технологий. Общие положения. М.: Стандартинформ.

[7] Приказ Минпромторга. (2019). Об утверждении методических рекомендаций по определению технологии в качестве наилучшей доступности технологии. URL: https://minpromtorg.gov.ru/docs/#!44624 (дата обращения: 15.06.2021).

[8] ИТС 41-2017. (2017). Интенсивное разведение свиней. М.: Бюро НДТ.

[9] ИТС 42-2017. (2017). Интенсивное разведение сельскохозяйственной птицы. М.: Бюро НДТ.

дальнейшее использование, то он осуществляет платеж за негативное воздействие, оказываемое такими отходами на окружающую среду. Суммы платежей определяются государством. Так, в 2021 году их размер составил около 1450 руб/т в год за отходы третьего класса опасности, более 700 руб/т в год за отходы четвертого класса и чуть более 30 руб/т за отходы пятого класса[10].

Распределение навоза и помета по классам опасности для окружающей среды осуществляется следующим образом: к пятому классу опасности отнесен перепревший навоз крупного рогатого скота, хранившийся не менее шести месяцев; к четвертому – свежий навоз крупного рогатого скота и перепревший свиной навоз, хранившийся не менее года; к третьему – свежий свиной навоз, а также птичий помет[11].

Исходя из выше обозначенного, можно утверждать, что политика на основе НДТ и новые требования экологического законодательства обязывают, а экономические инструменты (штрафы, льготы, субсидии, преференции) должны побуждать птицеводческие и животноводческие предприятия организовать полную и эффективную утилизацию отходов в соответствии с НТД.

Но, это одна половина требуемого решения в составе регуляторной компоненты. Вторая половина, остающаяся до последнего времени незатронутой, это политика в отношении регулирования и поддержки органического земледелия как основного потребителя продуктов переработки отходов (органического удобрения). Без этой второй части регуляторной компоненты переработчики отходов будут наталкиваться на трудно преодолимый барьер отсутствия спроса на органическое удобрение, который лишь частично можно решить повышением штрафов за невыполнение требований по утилизации отходов или их ненадлежащую (с нарушением правил) утилизацию.

В последние годы в сфере регулирования производства органической продукции также отмечаются положительные тенденции (Коршунов, Любоведская, Асатурова, Исмаилов, & Коноваленко, 2019). С 2020 года вступил в действие ФЗ №280 от 3 августа 2018 года «Об органической продукции»[12]. Параллельно с законом шла разработка национальных стандартов, посвященных производству и обороту органических продуктов, а также процедуре сертификации производителей. К таким документам относятся: Межгосударственный стандарт ГОСТ 33980-2016 «Продукция органического производства, правила производства, переработки, маркировки и реализации»[13], ГОСТ Р 57022–2016 «Продукция органического производства. Порядок проведения добровольной сертификации органического производства»[14]; ГОСТ Р 56104-2014 «Продукты пищевые органические. Термины и определения»[15]. Также в процессе подготовки находятся стандарты, посвященные органической продукции из дикорастущего сырья; оценке качества почв для производства органической продукции в растениеводстве, плодоводстве и выращивании кормов и стандарт на биопрепараты для защиты растений. Помимо этого, необходимо отредактировать уже существующие стандарты в соответствии с замечаниями IFOAM[16].

С прошлого года Минсельхоз России начал вести в электронном виде Единый реестр производителей органической продукции[17].

Помимо нормативно-правовой базы, также складывается институциональная основа формирования рынка органической продукции на государственном уровне, а также на уровне товаропроизводителей, профессиональных и общественных ассоциаций производителей ор-

[10] Постановление Правительства РФ N 913. О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_204671/24bedf438cb57123e864ba598a271912f8736b86/ (дата обращения: 14.08.2021).

[11] Приказ Росприроднадзора N 242. Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_218071/14e27bd2340877b6c93f67bb68c8546e6d987308/ (дата обращения: 14.08.2021).

[12] ФЗ № 280-ФЗ. Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации. URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/43456 (дата обращения: 14.08.2021).

[13] ГОСТ 33980-2016. (2016). Межгосударственный стандарт. Продукция органического производства. М.: Стандартинформ.

[14] ГОСТ Р 57022-2016. (2016). Продукция органического производства. Порядок проведения добровольной сертификации органического производства. М.: Стандартинформ.

[15] ГОСТ Р 56104-2014. (2014). Продукты пищевые органические. Термины и определения. М.: Стандартинформ.

[16] Приказ Росстандарта N 1732. О внесении изменений в Программу национальной стандартизации на 2020 год, утвержденную приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 ноября 2019 г. N 2612. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_366764/ (дата обращения: 14.08.2021).

[17] 35 российских производителей органической продукции получили сертификаты соответствия с начала года. URL: https://mcx.gov.ru/press-service/news/35-rossiyskikh-proizvoditeley-organicheskoy-produktsii-poluchili-sertifikaty-sootvetstviya-s-nachala/ (дата обращения: 15.08.2021).

ганической продукции. Важную роль в этой системе, в частности, играет Союз органического земледелия[18].

Экономическая компонента

Действующие и планируемые новые законодательные акты в сфере обращения с сельскохозяйственными отходами и в сфере регулирования производства и обращения органической продукции вместе с формированием институтов рынка органической продукции создают основу для преодоления барьеров на пути к полной переработке сельскохозяйственных отходов в высококачественные органические удобрения и обеспечения ими потребностей отрасли органического земледелия.

На текущий момент в России стоимость органической продукции достаточно высока, вызвано это замкнутостью товаропроизводителей в собственном производстве. В отрасли органической продукции почти нет кооперации между участниками рынка, такими как производители конечной продукции, ритейл, переработчики сельскохозяйственных отходов, научным сообществом и т.д. С целью снижения стоимости конечного продукта, а также преодоления ряда других негативных тенденций необходимо наращивать кооперацию и специализацию по направлениям деятельности. В дальнейшем это позволит заполнить ряд пустых ниш в данном секторе, как то производство биопрепаратов для защиты растений, производство органических удобрений и т.п. В результате кооперации и специализации производственные и логистические процессы, а также мероприятия по продвижению органических продуктов в масс-маркет перестанут замыкаться на производителях конечной продукции. Начнут активно внедряться новые технологии. Как следствие вышеобозначенной кооперации и специализации произойдет снижение цен на рынке органической продукции, что повысит ее доступность потребителю[19].

Не будет преувеличением сказать о формировании двух новых взаимозависимых высокотехнологичных отраслей сельского хозяйства: отрасли производства органических удобрений на основе переработки сельскохозяйственных отходов и отрасли производства органической продукции с применением высококачественных органических удобрений. Темп развития указанных отраслей будет зависеть от того, как быстро и эффективно будет складываться и расти рынок потребления органической продукции, а, соответственно, рынок потребления органических удобрений для производства органических продуктов и как будут действовать стимулы к полной переработке органических отходов в удобрения.

Одним из интенсивно развивающихся рынков в мире является рынок органических продуктов. За последние 20 лет он вырос более чем в пять раз (с 20 до 130 млрд евро). По данным аналитиков, данная тенденция роста продолжится в среднем по 10-12% в год и к концу 2025 года объем данного рынка достигнет 210-230 млрд долларов, что составит порядка 3-5% от общемирового объема рынка сельскохозяйственной продукции.

В 2019 году в мире было зарегистрировано 3,1 миллиона производителей органической продукции, а в органическом сельском хозяйстве находилось 72,3 млн гектаров. По сравнению с 2018 годом рост составил 1,6%, что приблизительно равняется 1,1 млн га.

Число потребителей, постоянно приобретающих органические продукты, во всем мире также выросло за последние 15 лет в пять раз, что составляет около 700 млн. чел.

Российский рынок органической продукции до кризисного 2014 года демонстрировал аналогичную мировому рынку тенденцию роста. В среднем рост составлял 10 %, но «обвал» рубля, а также ряд косвенных факторов привели к снижению темпов роста до 4% в 2015 – 2016 гг., хотя первоначально планировалось по темпу роста догнать европейские страны. В 2017-2019 годах ситуация с развитием органики восстановилась, и сейчас наблюдается устойчивый рост 8-10% в год[20].

По данным 2019 года товарное производство органических удобрений в России превысило один млн т. При этом, большая часть органических удобрений создается и потребляется самими фермерами и не поступает на рынок. 99 % органических удобрений в России реализуется на внутреннем

[18] Союз органического земледелия. О Союзе. 2020. URL: https://soz.bio/o-soyuze/ (дата обращения: 15.08.2021).

[19] Национальный органический союз РФ. Органический рынок России в 2020 г. URL: https://rosorganic.ru/files/Analiz%20organic%20RF%202020%20%D0%B3.pdf (дата обращения: 15.08.2021).

[20] Союз органического земледелия. Опубликована свежая мировая статистика органического сельского хозяйства – снова рост. URL: https://soz.bio/opublikovana-svezhaya-mirovaya-statist/ (дата обращения: 15.08.2021).

рынке и, лишь, 0,5 % поступает на экспорт. За последние пять лет цены на органические удобрения на внешнем рынке сильно варьировались в диапазоне от 503 до 1220 долларов за тонну. Такая изменчивость цен свидетельствует о том, что экспортные поставки носят разовый характер и ассортимент органических удобрений еще не сформирован[21].

Пока не сложился в полной мере и не окреп новый рынок, будет полезным формирование и временная поддержка со стороны региональных и федеральных государственных институтов сквозных цепочек по всей товаропроводящей сети от магазинов органической продукции к производителям такой органической продукции и далее к производителям органических удобрений на основе многолетних договоров о кооперации/сотрудничестве в производстве, продаже и реализации продукции. Указанные договоры позволят снизить риски сбыта и влияния сезонности в потреблении органических удобрений, гармонизировать экономические интересы и создать основу для планирования развития и инвестирования в проекты создания производственных мощностей в каждом звене цепочки.

Крупные многопрофильные агрохолдинги будут, скорее всего, идти по пути формирования своих вертикально-интегрированных производств от выпуска органических удобрений из сельскохозяйственных отходов до реализации продукции органического производства с применением таких удобрений. Важно, чтобы такие вертикально-интегрированные структуры не стали единственными, не оставляя возможности для сотрудничества независимым производителям органических удобрений с независимыми производителями органической продукции и независимыми розничными магазинами.

Другая важная тема в экономической компоненте – методология определения сравнительной эффективности химических и органических удобрений, а также смешанных удобрений. Данная методология влияет на ценообразование и определяет выбор производителем сельхозпродукции вида удобрения. Существующие подходы делают упор на сравнение питательных веществ в составе удобрения, которое, как известно, формально не в пользу органического удобрения по сравнению с концентрированными химическими удобрениями. По нашему мнению, надо сравнивать не по содержанию питательных веществ в удобрениях, а по усвоенному растением количеству таких питательных веществ. При этом необходимо в расчет включить не только поступающие с самим органическим удобрением питательные вещества, но и активизируемые благодаря микрофлоре органических удобрений находящиеся в инертной, труднодоступной для растений форме минеральные компоненты почвы. Помимо такого скорректированного сравнения по величине усваиваемых (потребленных) растениями питательных веществ, важно учесть дополнительные эффекты для растений и для плодородия почв от применения органических веществ и ущерб почве от химических удобрений. Так, органические удобрения, помимо активных микроорганизмов, повышающих их удобрительные свойства, также насыщены комплексом экзоферментов и прочих внеклеточных субстанций, активно стимулирующих рост растений и способствующих их здоровому развитию (снижению риска болезней и необходимости применения химических средств защиты).

Окончательное решение сельхозпроизводителя как покупателя удобрений будет зависеть от затрат на покупку удобрения и его применения в системе агротехники предприятия, фактически получаемых урожаев, качества производимой продукции, цен ее реализации (надбавки за органическое происхождение).

Пока, в сложившихся текущих условиях, существует лишь относительно узкий розничный и мелкооптовый рынок органических удобрений (приусадебные участки, индивидуальные хозяйства, теплицы, предприятия органического земледелия), ценовые условия которых обеспечивают приемлемую эффективность инвестиций в переработку органических отходов в удобрения. Но, для продукции переработки всего объема сельскохозяйственных отходов емкого рынка сбыта пока нет, и его создание является условием притока инвестиций в переработку отходов. На начальном этапе, требуются меры стимулирования спроса на органические удобрения, а по мере роста рынка конкурентоспособность таких удобрений сложится на уровне, не требующем арсенала первоначально примененных мер поддержки.

Государственная поддержка переработки сельскохозяйственных отходов в органическое удобрения, прежде всего в части формирования крупного оптового рынка и снижение влияния на экономику

[21] Рынок органических удобрений в России 2020: «Органика» превращается в товар. URL: https://marketing.rbc.ru/articles/11294/ (дата обращения: 15.08.2021).

переработчиков отходов сезонности потребления удобрений, позволит создать условия для решения проблемы.

Отечественные органические удобрения имеют экспортный потенциал, реализация которого также способна снизить влияние сезонности в сбыте производимых удобрений[22].

Направлениями роста экономической заинтересованности в переработки сельскохозяйственных отходов, и, как следствие, повышение ценовой доступности органических удобрений может стать: введение платы за переработку органических отходов (источник дохода переработчика для покрытия части затрат на переработку отходов); создание предприятий по агрономическому обслуживанию органического земледелия с Фондом поддержки производства органической сельскохозяйственной продукции, осуществляющим, прежде всего, закупки гарантированных объемов органических удобрений у переработчиков отходов на протяжении всего года. Данные закупки позволят без промежуточного хранения отходов вести их переработку, исключат экологический ущерб, снизят потребность переработчика в оборотном капитале; государственная поддержка аграрных предприятий, использующих органические удобрения для восстановления и поддержания плодородия почв, развития органического земледелия; использование механизмов «углеродных кредитов» в проектах сокращения поступлений в атмосферу метана и углекислого газа в результате гниения отходов в помето- и навозохранилищах, а также проектов предотвращения образования таких газов за счет незамедлительной переработки образующихся отходов без их накопления в хранилищах.

Технологическая составляющая

В мире и в России, в частности, разработано значительное количество технологий и оборудования для переработки органических отходов (Мишуров, 2018; Бондаренко & Качанова, 2015; Еськов & Рябков, 2013; Щеткин, 2000).

В РФ в основном применяются следующие технологии переработки навоза и помета[23]:

- активное компостирование и обеззараживание сроком 1,0-1,5 мес. в буртах с использованием специальной техники для аэрации путем периодического (через каждые 10-12 дней) ворошения бурта для насыщения компостной смеси кислородом воздуха с добавкой биологически активных препаратов;
- длительное (12 мес.) выдерживание в секционных помето- и навозохранилищах, а также кучах, буртах, биотраншеях с укрытием из слоя торфа или иного биологически не опасного материала (включая обеззараженный помет, навоз);
- биоферментация в установках камерного типа периодического (дискретного) действия с созданием в таких установках (биоферментерах, биореакторах) определенных условий для интенсивного развития аэробных бактерий и проведения процесса биологической трансформации исходной массы компостной смеси в органическое удобрение (компост) за 7-8 и менее суток;
- пассивное (естественное) компостирование и обеззараживание сроком до 2-3 месяцев предварительно подготовленной компостной смеси с соотношением углерода к азоту (C/N) не менее 15-20, влажностью до 75% и массой не менее 100 т в буртах шириной 2,5-6,0 м, высотой 2-3 м, размещенных на бетонированных или подготовленных для этих целей площадках в поле.

Также, применяются следующие, менее распространенные технологии:

- сжигание с получением тепловой энергии и использованием золы (минерального остатка) в качестве удобрения;
- термическая сушка помета с последующей грануляцией;
- анаэробное сбраживание в метантенках с получением биогаза для выработки электрической и производства тепловой энергии;
- активная биоферментация в течение трех-четырех суток в установках (ферментерах) барабанного типа непрерывного действия с получением микробного удобрения, обладающего более высокими удобрительными свойствами по сравнению с продуктами компостирования.

Если цель переработки сельскохозяйственных отходов только в ликвидации их экологического вреда, то вопрос требований к продуктам пере-

[22] Там же.

[23] РД-АПК 1.10.15.02-17. (2017). Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. М.: Росинформагротех.

работки сводится в основном к тому, чтобы такие продукты были экологически безопасны, а технологии утилизации дешевыми. Но, если стоит задача не только ликвидировать экологический вред, а прежде всего получить из отходов максимально полезные продукты с высокой добавленной стоимостью, то в этом случае требования становятся другими и на первый план выходят востребованность рынком и конкурентоспособность планируемых к производству продуктов.

В зависимости от применяемой технологии и сырья получается разный вид и качество органического удобрения (сушенный помет, компост, биокомпост) с разной удобрительной эффективностью[24].

В свою очередь, на основе указанных продуктов переработки в сочетании с органическими добавками (торф и др.) и природными минеральными добавками (мел, известь, глауконит и др.), а также в сочетании с биопрепаратами можно создать большой ассортимент товарных продуктов для разных культур, почв и условий применения. Также первичные продукты переработки сельскохозяйственных отходов используются при производстве почвогрунтов, почв с программируемыми характеристиками, смешанных удобрений.

В (Архипченко & Рулкенс, 2006) в качестве особого вида органического удобрения выделяются биоудобрения, именуемые микробными удобрениями, то есть совмещающие в своем составе органическое вещество и микробиологическую составляющую.

Биоудобрения отличает от биокомпостов и компостов применяемый процесс ферментации на основе специфической микробной ассоциации, сочетание органического вещества с микроорганизмами, повышенная рост-стимулирующая активность, концентрация элементов питания и другие параметры, позволяющие получать комплекс эффектов как в направлении роста урожайности, так и повышения плодородия почв (Архипченко, 2015; Архипченко & Рулкенс, 2006).

В зависимости от требований производителей сельскохозяйственной продукции могут быть спланированы ассортимент и объемы производства конечных товарных продуктов, а далее соответственно ассортимент и объем производства первичных продуктов переработки из сельскохозяйственных отходов.

Направления технологического решения проблемы переработки сельскохозяйственных отходов

Предприятия аграрного сектора, как было сказано выше, производят значительное количество сельскохозяйственных отходов, в первую очередь, навоза и помета. Так, на птицеводческое предприятие одна несушка в сутки производит в среднем 50–150 г помета. На каждые 8000 яиц или 100 кг в хранилище поступает 277 кг и 460 кг помета соответственно (Неверова, Зуева, Сарапулова, 2014). Для достижения переработки всего объема отходов необходимо использовать высокопроизводительные перерабатывающие комплексы. В противном случае возникает проблема промежуточного хранения навоза, и, как следствие, потеря полезных компонентов исходного сырья, также наносится существенный вред окружающей среде.

Для переработки такого значительного количества отходов возможно использовать технологию активного компостирования в буртах или конструкцию ВНИИМЗ[25], с применением камерных компостеров[26]. Но данные технологии и конструкции имеют ряд ограничений по использованию, например, сезонность и погодные особенности.

Биоферментер для производства органических удобрений высокого качества

К недостаткам барабанных биоферментеров относится их малая производительность, что не позволяет получить высококачественного органического удобрения в значительных объемах.

Наиболее производительные биоферментеры барабанного типа конструкции ИАЭП и ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии (Брюханов, 2017) обладают возможностью переработки не более 9 тонн сырья в сутки[27]. В мировой практике производительность биоферментеров также не выходит за пределы 10 тонн в сутки. Исходя из 330

[24] ГОСТ 34103-2017. (2020). Удобрения органические. Термины и определения. М.: Стандартинформ.

[25] Технология ускоренной переработки навоза и помета в высокоэффективные экологически чистые удобрения (КМН). URL: http://vniimz.ru/production/technology-and-development/#kmn (дата обращения: 19.08.2021).

[26] ИТС 42-2017. (2017). Интенсивное разведение сельскохозяйственной птицы. М.: Бюро НДТ.

[27] Микляев, Ю. М., & Рассохин, Г. Л. (2017). Патент RU2632690C1. Способ вихревого быстрого пиролиза углеродсодержащих материалов и установка для его осуществления. URL: https://patents.google.com/patent/RU2632690C1/ru (дата обращения: 19.08.2021).

рабочих дней в году, только 3,5 тысячи тонн сельскохозяйственных отходов способен переработать один биоферментер. Если учитывать, что одно птицеводческое предприятие имеет выход около 50 тыс. т отходов (помета) в год, то потребуется около пятнадцати ферментеров для переработки годового объема помета типового предприятии, что приведет к серьезным капиталовложениям, как в ферментеры, так и в необходимое для их работы технологическое оборудование, а также в площади под их размещение.

К принципам работы высокопроизводительного ферментера относятся следующие: непрерывность работы; скорость переработки заложенного объема сырья – 2-3 суток; способность переработать за один цикл работы не менее 100 тонн сырья.

Современные барабанные ферментеры не отвечают вышеобозначенным требованиям по объему перерабатываемого сырья. Способностью переработать за один цикл работы не менее 100 тонн сырья обладают камерные компостеры, но они не являются комплексами непрерывного действия, продолжительность процесса переработки занимает до восьми суток.

Отличием камерного компостера и барабанного ферментера также является производимый конечный продукт, в первом случае получается компост, а во втором - микробное удобрение (биологически активное органическое удобрение).

Необходимо преобразовать технологический процесс в камерных компостерах из периодического в непрерывный, а по всему рабочему объему создать и обеспечить неизменность заданных условий для максимальной производительности сообществ бактерий по превращению органических сельскохозяйственных отходов не в компост, а в микробное удобрение. Во всем объеме перерабатываемого сырья должен быть обеспечен непрерывный поток воздуха, содержащего кислород, с расходом 0,6 м³/кг перерабатываемой массы, для повышения эффективности процесса температура перерабатываемого сырья при загрузке в реактор должна быть не ниже 10°С, а влажность не более 60-65%, pH 6,0 - 8,0, отношение углерода к азоту в диапазоне 20:1 - 30:1[28]. Приведенные параметры не являются абсолютными, их значение должно быть откорректировано на основе микробиологических экспериментов с учетом особенностей перерабатываемого материала, а также с учетом требований к конечному продукту.

Для более точного подбора параметров необходимо применять метод моделирования с использованием современного программного обеспечения, например, вычислительного комплекса FlowVision[29]. Использование такого рода вычислительных комплексов позволит смоделировать процесс распределения в перерабатываемых отходах, с учетом неоднородности по проницаемости данного материала, кислорода, влажности, изменения температуры, с учетом влияния на данные условия дополнительных источников тепла и изменения газовой составляющей, возникающих в результате функционирования бактерий.

Использование метода моделирования условий переработки сельскохозяйственных отходов, дополненное данными микробиологических экспериментов, позволит предложить новую конструкцию биореактора, а также решит вопрос равномерного воздухообмена по всему объему перерабатываемого сырья и создания и поддержания необходимых условий для обеспечения полноценной «работы» бактерий, уменьшится проблема наличия застойных зон с «неработающими» или/и нежелательными бактериями, и, как следствие, проблема неполного обеззараживанию конечного продукта будет решена. Если удастся обеспечить соответствующий воздухообмен, температуру и влажность во всей толще перерабатываемого сырья, то в данном случае колонии бактерий смогут в более сжатые сроки, а именно, 2-3 суток создать биологически активное удобрение высокого качества.

Для того, чтобы из классического камерного компостера сделать биоферментер непрерывного действия с послойной ферментацией необходимо:

- усовершенствовать подачу воздуха в толщу перерабатываемых отходов, ввести в конструкцию дополнительные воздуховоды, для использования в том случае, когда основные воздуховоды не способны равномерно распределить воздух, что приводит к возникновению «застойных» участков;
- применять с учетом микробиологических экспериментов и моделирования специально по-

[28] РД-АПК 1.10.15.02-17. (2017). Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. М.: Росинформагротех.

[29] Инжиниринговая компания. Применения вычислительного комплекса Flowvision. URL: https://tesis.com.ru/own_design/flowvision/ (дата обращения: 19.08.2021).

добранные семейства бактерий (Архипченко, 2015);
- внутри камерного компостера разместить металлическую «вставку» в форме эллипса, с уменьшающейся к низу площадью сечения, для обеспечения возможной выгрузки готового материала через данную «вставку» без образования застойных зон;
- обеспечить наличие шнековых устройств под «вставкой», что позволит осуществлять выгрузку готового продукта;
- обеспечить отвод аммиака для получения аммиачной воды;
- процесс загрузки материала должен вестись сверху, а перерабатываемое сырье должно быть предварительно подготовлено, т.е. обеспечена необходимая крупность материала, его температура, влажность, состав. Для этих целей можно применять турбовихревую сушильно-измельчительную машину конструкции Г.Л. Рассохина[30].

Оптимальным конструктивным решением, основанным на обозначенных выше особенностях, может служить вертикальный цилиндрический биореактор[31].

Также альтернативным вариантом биореактора выступают биотраншеи, при этом необходимо обеспечить укрытие траншей, и предусмотреть в структуре траншеи системы отбора газовой фракции, подавать воздух из основания и боковых стенок траншеи, использовать шнековые устройства для выгрузки готового материала, изменить конструкцию боковых стенок траншеи таким образом, чтобы перерабатываемое сырье могло сползать под собственной тяжестью.

В любом случае, будь это биоферментер на основе камерного компостера или биотраншеи, процесс переработки является послойным, все сырье загружается сверху и по мере биотрансформации опускается вниз в течение 2-3 суток, в результате готовый продукт ввиде биоудобрения сразу после переработки выгружается снизу ферментера.

Применение турбовихревой сушильно-измельчительной машины для получения высококонцентрированного органического удобрения

Еще одним направлением решения проблемы переработки сельскохозяйственных отходов является использование технологии турбовихревого измельчения с последующей сушкой, что позволило бы получать органическое высококонцентрированное удобрение.

Конструкция данного аппарата состоит из вихревой сушильно-измельчительной установки с высоким уровнем автоматизации. Образцом такого аппарата может выступать установка, предложенная Г.Л. Рассохиным.

Технологический процесс состоит из следующих этапов:

- размещение перерабатываемого сырья в приемном бункере турбовихревого измельчителя (ТИ);
- удаление из сырья излишней влаги и измельчение его до порошкообразного состояния с влажностью не более 10 %;
- разделение, охлаждение и концентрирование продукта переработки (в порошкообразном состоянии) в бункере ТИ;
- упаковывание готового продукта (конечный продукт находится в порошкообразном состоянии, но при необходимости, может быть преобразован в гранулы);
- складирование готового органического удобрения.

Достоинством данной перерабатывающей установки является подавление способности семян сорных растений к прорастанию. Кроме того, происходит полное обеззараживание конечного продукта с точки зрения микробиологии и гельминтологии. Весь аммиак в процессе переработки сырья улавливается и конденсируется, в результате чего появляется дополнительный продукт – аммиачная вода, что позволяет говорить о данной технологии как о безотходной.

Получаемое органическое удобрение является высококачественным продуктом, т.к. в нем отсутствует неприятный запах и патогенные микроорганизмы, а содержащиеся семена сорных растений не способны к прорастанию, удобрение является устойчивым, как в порошкообразном, так и в гранулированном виде, не требует особых

[30] Микляев, Ю. М., & Рассохин, Г. Л. (2017). Патент RU2632690C1. Способ вихревого быстрого пиролиза углеродсодержащих материалов и установка для его осуществления. URL: https://patents.google.com/patent/RU2632690C1/ru (дата обращения: 19.08.2021).

[31] Хмыров, В. Д., Миронов, В. В., Никитин, П. С., & Колдин, М. С. Патент RU2310631. (2007). Аэрационный биореактор. URL: http://www.findpatent.ru/patent/231/2310631.html (дата обращения: 19.08.2021).

режимов хранения. По своим функционально-технологическим свойствам данный продукт также выделяется, он легко растворяется в воде и может быть внесен в почву, как в сухом виде, так и в жидкой форме, например, через устройства автономного полива растений.

Удобрительные свойства продукта можно повысить путем внесения в данное органическое удобрение определенных видов микроорганизмов.

Выводы

В прошедшем столетии произошли серьезные изменения в восприятии ценности сельскохозяйственных отходов. Навоз и помет перестают рассматриваться как ценное удобрение природного происхождения, а начинают восприниматься как проблемный избыточный отход. Только в России ежегодно производят сотни миллионов тонн органических отходов, в мире количество сельскохозяйственных отходов достигает миллиарды тонн.

Составляющими решения проблемы должны быть одновременно правовая компонента, экономическая и технологическая.

Решить вопрос можно только путем создания эффективно функционирующей цепочки: формирование отходов – переработка отходов в органическое удобрение - выращивание органической продукции - реализации органической продукции конечным потребителям.

Государственная поддержка переработки сельскохозяйственных отходов в органическое удобрения, прежде всего в части формирования крупного оптового рынка и снижения влияния на экономику переработчиков отходов сезонности потребления удобрений, позволит создать условия для решения проблемы.

Органические отходы должны возвращаться в максимально полном объеме в систему растениеводства в виде органических удобрений для сохранения естественного природного цикла движения биомассы для поддержания плодородия почв.

Возможно для получения органических удобрений высокого качества использовать биоферментеры на основе камерного компостера или биотраншеи непрерывного действия с послойной ферментацией или технологию турбовихревого измельчения с последующей сушкой.

Литература

Архипченко, И. А. (2005). *Научные основы и практические рекомендации по использованию биоудобрений из отходов животноводства для биологического земледелия*. СПб.: ГНУ ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии.

Архипченко, И. А. (2015). Микробиологические особенности переработки отходов животноводства в биоудобрения. В *Экологические проблемы использования органических удобрений в земледелии: Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием* (с. 123-132). Владимир: ФГБНУ ВНИИОУ.

Архипченко, И. А., & Рулкенс, В. (2006). Микробные удобрения для земледелия и улучшения окружающей среды. *Экология и промышленность России*, *3*, 4-7.

Архипченко, И., Бакина, Л., Брюханов, А., Орлова, О., & Тарасов, С. (2020). Трансформации микробного сообщества и органического субстрата при аэробной ферментации помета. *Экология и промышленность России*, *24*(8), 22-27. https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-8-22-27

Бондаренко, А. М., & Качанова, Л. С. (2015). Современные технологии переработки навоза животноводческих предприятий в высококачественные органические удобрения. *Техника и технологии в животноводстве*, *4*, 135-141.

Брюханов, А. Ю. (2017). *Методы проектирования и критерии оценки технологий утилизации навоза, помета, обеспечивающие экологическую безопасность* [Докторская диссертация, ФГБОУ ВО Санкт-петербургский государственный аграрный университет]. СПб., Россия.

Еськов, А. И., & Рябков, В. В. (2013). Техническое обеспечение использования органических удобрений. *Агрохимический вестник*, *4*, 13-15.

Коршунов, С. А., Любоведская, А. А., Асатурова, А. М., Исмаилов, В. Я., & Коноваленко, Л. Ю. (2019). *Органическое сельское хозяйство: Инновационные технологии, опыт, перспективы: Научно-аналитический обзор*. М.: Росинформагротех.

Мишуров, Н. П. (2018). Рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. *Техника и технологии в животноводстве*, *4*, 44-56.

Могилевцев, В. И., Брюханов, А. Ю., Максимов, Д. А., Васильев, Э. В., Субботин, И. А., Чернин, С. Я., Парубец, Ю. С., & Гарзанов, А. Л. (2012). *Утилизация навоза/помета на животноводческих фермах для обеспечения экологической безопасности территории, наземных и подзем-*

ных водных объектов в Ленинградской области. СПб.

Неверова, О. П., Зуева, Г. В., & Сарапулова, Т. В. (2014). Экосистемный подход к утилизации помета. *Аграрный вестник Урала*, *8*, 38-41.

Щеткин, Б. Н. (2000). *Птичий помет и технологии его переработки в высокоэффективные удобрения*. СПб.: СПбГАУ.

Bot, A., & Benites, J. (2005). *The importance of soil organic matter. Key to drought-resistant soil and sustained food and production*. Rome: Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations.

Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., & van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. Washington, DC: Urban Development.

Nagendran, R. (2011). An agricultural waste and pollution. In *Waste: A handbook for management* (pp. 341-355). Elsevier, Amsterdam. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381475-3.10024-5

Seadi, T., & Holm-Nielsen, J. B. (2004). Agricultural wastes. In I. Twardowska (Ed.). *Solid Waste: Assessment, monitoring and remediation* (pp. 207-215). Oxford, UK: Elsevier.

Agricultural Waste Processing: Organic Fertilizer Market and Organic Food Production

Aleksander M. Agapkin
Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyanny per., Moscow, 117997, Russian Federation
E-mail: alex_agapkin@mail.ru

Irina A. Makhotina
Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyanny per., Moscow, 117997, Russian Federation
E-mail: irina_mahotina@mail.ru

Annually, the total amount of agricultural waste in Russia reaches 630-650 million tons. On the one hand, this creates serious environmental and sanitary problems, since almost half of this waste is manure and dung. On the other hand, these wastes represent an irreplaceable source of raw materials for the production of organic fertilizers in volumes, which make it possible to speak of the formation of a new branch of organic fertilizers production on this resource base. The scientific novelty of the approach outlined in the article is the linking of the proposed ways of organizing large-scale processing of agricultural waste and the formation of an organic fertilizer market with the development of an associated rapidly growing industry of organic agricultural production and the market for organic agricultural products. The problem is considered within the framework of an interdisciplinary approach in the relationship of regulatory, environmental, climatic, economic and technological components. The information on the legislative support of the sphere of organic farming and the production of organic fertilizers is presented. Specific measures are proposed to stimulate the interrelated development of the industry of processing waste into organic fertilizers and the industry of producing organic products. Since 2010, the Russian organic market has grown by an average of 10% per year. Moreover, in the period 2015 - 2016. it decreased to 4%, but in 2017-2019 the situation with the development of organic matter recovered, and now there is a steady growth of 8-10% per year. Particular attention is paid to priority technologies for processing waste into organic fertilizers. The plants based on turbo-vortex grinding and drying machines for the production of highly concentrated dry finely dispersed organic fertilizers and plants based on aeration reactors for use in large-scale production are considered.

Keywords: organic production, organic fertilizers, agricultural waste, manure, bioreactor, environment, ecology

References

Arkhipchenko, I. A. (2005). *Nauchnye osnovy i prakticheskie rekomendatsii po ispol'zovaniyu bioudobrenii iz otkhodov zhivotnovodstva dlya biologicheskogo zemledeliya* [*Scientific foundations and practical recommendations for the use of biofertilizers from animal waste for biological farming*]. S-Petersburg: GNU VNII sel'skokhozyaistvennoi mikrobiologii.

Arkhipchenko, I. A. (2015). Mikrobiologicheskie osobennosti pererabotki otkhodov zhivotnovodstva v bioudobreniya [Microbiological features of processing animal waste into biofertilizers]. In *Ekologicheskie problemy ispol'zovaniya organicheskikh udobrenii v zemledelii: Sbornik nauchnykh trudov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [*Environmental problems of the use of organic fertilizers in agriculture: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific-practical conference with international participation*] (pp. 123-132). Vladimir: FGBNU VNIIOU.

Arkhipchenko, I. A., & Rulkens, V. (2006). Mikrobnye udobreniya dlya zemledeliya i uluchsheniya okruzhayushchei sredy [Microbial fertilizers for agriculture and environmental improvement]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [*Ecology and Industry of Russia*], *3*, 4-7.

Arkhipchenko, I., Bakina, L., Bryukhanov, A., Orlova, O., & Tarasov, S. (2020). Transformatsii mikrobnogo soobshchestva i organicheskogo substrata pri aerobnoi fermentatsii pometa [Transformations of the microbial community and organic substrate dur ing aerobic fermentation of manure]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [*Ecology and Industry of Russia*], *24*(8), 22-27. https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-8-22-27

Bondarenko, A. M., & Kachanova, L. S. (2015). Sovremennye tekhnologii pererabotki navoza zhi-

votnovodcheskikh predpriyatii v vysokokachestvennye organicheskie udobreniya [Modern technologies for processing manure from livestock enterprises into high-quality organic fertilizers]. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve* [*Equipment and Technologies in Animal Husbandry*], *4*, 135-141.

Bryukhanov, A. Yu. (2017). *Metody proektirovaniya i kriterii otsenki tekhnologii utilizatsii navoza, pometa, obespechivayushchie ekologicheskuyu bezopasnost'* [*Design methods and criteria for assessing technologies for the disposal of manure, droppings, ensuring environmental safety*] [Doctoral Dissertation, FGBOU VO Sankt-peterburgskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet]. S-Petersburg, Russia.

Es'kov, A. I., & Ryabkov, V. V. (2013). Tekhnicheskoe obespechenie ispol'zovaniya organicheskikh udobrenii [Technical support for the use of organic fertilizers]. *Agrokhimicheskii vestnik* [*Agrochemical Bulletin*], *4*, 13-15.

Korshunov, S. A., Lyubovedskaya, A. A., Asaturova, A. M., Ismailov, V. Ya., & Konovalenko, L. Yu. (2019). *Organicheskoe sel'skoe khozyaistvo: Innovatsionnye tekhnologii, opyt, perspektivy: Nauchno-analiticheskii obzor* [*Organic agriculture: innovative technologies, experience, prospects:S and analytical review*]. Moscow: Rosinformagrotekh.

Mishurov, N. P. (2018). Rekomendatsii po tekhnologicheskomu proektirovaniyu sistem udaleniya i podgotovki k ispol'zovaniyu navoza i pometa [Recommendations for the technological design of systems for the removal and preparation for use of manure and dung]. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve* [*Equipment and Technologies in Animal Husbandry*], *4*, 44-56.

Mogilevtsev, V. I., Bryukhanov, A. Yu., Maksimov, D. A., Vasil'ev, E. V., Subbotin, I. A., Chernin, S. Ya., Parubets, Yu. S., & Garzanov, A. L. (2012). *Utilizatsiya navoza/pometana zhivotnovodcheskikh fermakh dlya obespecheniya ekologicheskoi bezopasnosti territorii, nazemnykh i podzemnykh vodnykh ob"ektov v Leningradskoi oblasti* [*Utilization of manure / dung from livestock farms to ensure the ecological safety of the territory, ground and ground water bodies in the Leningrad region*]. S-Petersburg.

Neverova, O. P., Zueva, G. V., & Sarapulova, T. V. (2014). Ekosistemnyi podkhod k utilizatsii pometa [Ecosystem approach to litter disposal]. *Agrarnyi vestnik Urala* [*Agrarian Bulletin of the Urals*], *8*, 38-41.

Shchetkin, B. N. (2000). *Ptichiĭ pomet i tekhnologii ego pererabotki v vysokoeffektivnye udobreniya* [*Poultry manure and technologies for its processing into highly effective fertilizers*]. S-Petersburg: SPbGAU.

Bot, A., & Benites, J. (2005). *The importance of soil organic matter. Key to drought-resistant soil and sustained food and production*. Rome: Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations.

Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., & van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. Washington, DC: Urban Development.

Nagendran, R. (2011). An agricultural waste and pollution. In Waste: *A handbook for management* (pp. 341-355). Elsevier, Amsterdam. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381475-3.10024-5

Seadi, T., & Holm-Nielsen, J. B. (2004). Agricultural wastes. In I. Twardowska (Ed.). *Solid Waste: Assessment, monitoring and remediation* (pp. 207-215). Oxford, UK: Elsevier.