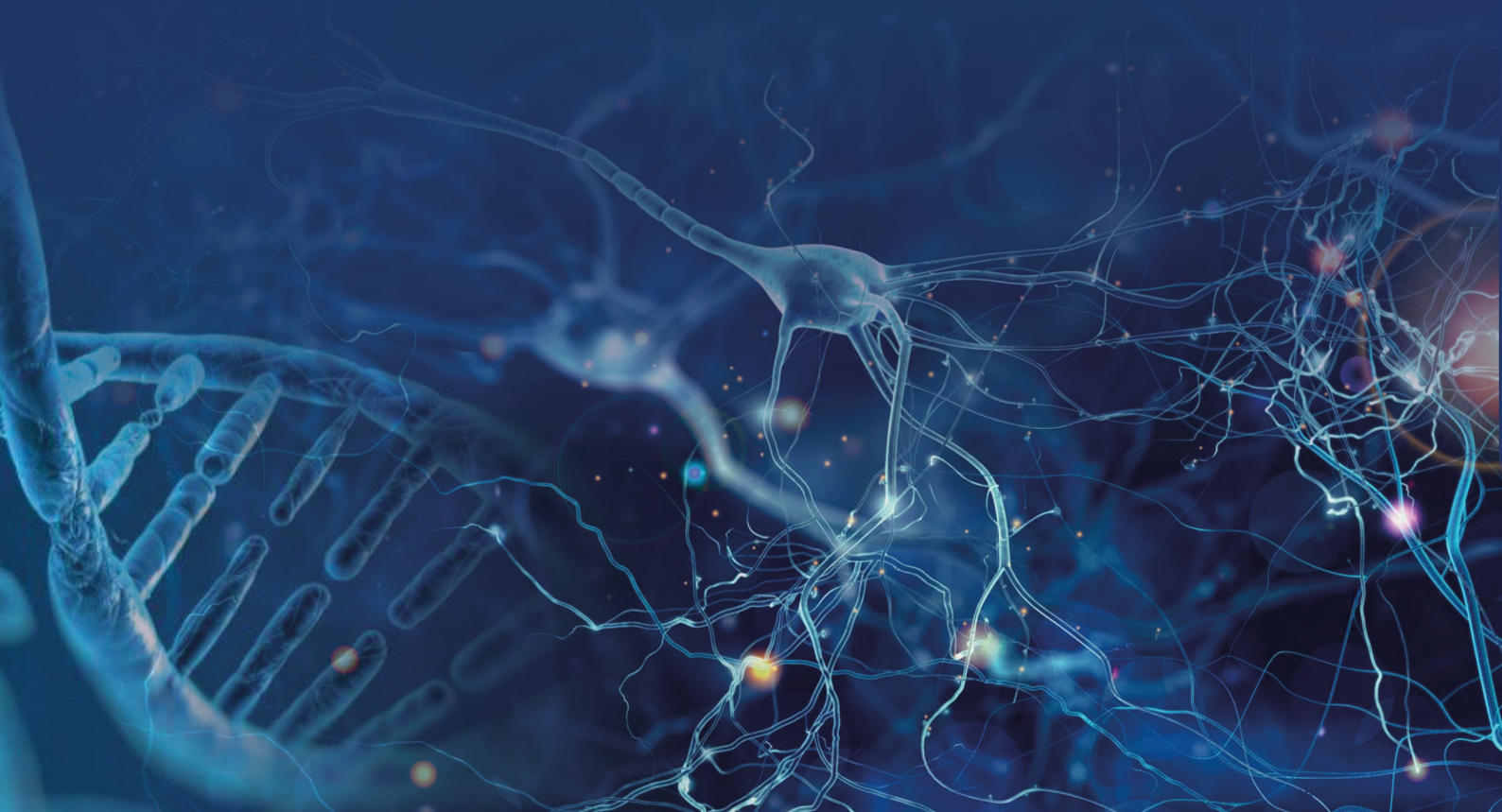


ISSN 2712-7648

HEALTH, FOOD, & BIOTECHNOLOGY

Volume 1, Issue 4
Year 2019



HFB

Health, Food and Biotechnology

№ 4 - 2019

Периодичность издания – 4 номера в год

No 4 - 2019

Periodicity of publication - 4 issues per year

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

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

Редакция

Заведующий редакцией - Косычева Марина Александровна
Выпускающий редактор - Косычева Марина Александровна
Ответственный секретарь - Шленская Наталья Марковна
Редактор по этике - Хорохорина Галина Анатольевна
Медийный редактор - Акопян Армен Игитович

Editorial Team

Head of Editorial Team - Marina A. Kosycheva
Editor of Issue - Marina A. Kosycheva
Executive Secretary - Nataliya M. Shlenskaya
Ethics Editor - Galina A. Khorokhorina
Social Media and Product Editor - Armen I. Hakobyan

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации средства массовой информации ЭЛ №ФС77-72959 от 25 мая 2018 г.

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 EL No FS77-72959 dated May 25, 2018.

Адрес:

125080, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11
Тел. +7 (499) 750-01-11*6585
E-mail: info@spfp-mgupp.ru

Address:

11, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 125080
Tel. +7 (499) 750-01-11*6585
E-mail: info@spfp-mgupp.ru

Официальный сайт учредителя: mgupp.ru

Официальный сайт редакции: hfb-mgupp.com

© ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», 2019.

Official web site of Founder: mgupp.ru

Official web site of the Editorial Office: hfb-mgupp.com

© FSBEI HE «Moscow State University of Food Production», 2019.

Редакционный совет

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

Члены редакционного совета:

Абаева Курманкуль Тулеутаевна	Казахский национальный аграрный университет, Республика Казахстан
Абдраманов Абзал Аскарбекович	Казахский национальный аграрный университет, Республика Казахстан
Асанова Дания Касимовна	Казахский национальный аграрный университет, Республика Казахстан
Бойд Сара	Дублинский технологический институт, Ирландия
Бурлибаев Малик Жолдасович	Казахское агентство прикладной экологии, Республика Казахстан
Джзозаф Моисей	Варшавский университет естественных наук, Польша
Есполов Тлектес Исабаевич	Казахский национальный аграрный университет, Республика Казахстан
Игнар Штефан	Варшавский университет естественных наук, Польша
Мусаева Айман Амангельдиевна	Атырауский государственный университет им. Халела Досмухамедова, Республика Казахстан
Пикосжевский Войцех	Ягеллонский университет, Польша
Подлацкий Славомир	Варшавский университет естественных наук, Польша
Сагян Ашот Серобович	Научно-производственный центр "Армбиотехнология" НАН РА, Республика Армения
Самбандам Ананадан	Национальный институт технологий, Индия
Сарсекова Дани Нургисаевна	Казахский агротехнический университет имени Сакена Сейфуллина, Республика Казахстан
Северин Константин Викторович	Институт молекулярной генетики РАН, Институт биологии гена РАН, Россия
Франкович Марек	Ягеллонский университет, Польша
Фриас Исус	Дублинский технологический институт, Ирландия
Хайтович Филипп Ефимович	Институт Вычислительной Биологии в Шанхае, Сколтех, Китай, Россия
Химмелбауер Маргарита	Венский университет природных ресурсов, Австрия
Цыганова Татьяна Борисовна	Московский государственный университет пищевых производств, Россия,
Шенбергер Игорь Викторович	Казахстанское Агентство Прикладной Экологии, Республика Казахстан
Щетинин Михаил Павлович	Московский государственный университет пищевых производств, Россия
Юнусова Гульнара Батырбековна	Костанайский государственный университет имени А.Байтурсынова, Республика Казахстан

Editorial Board

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

Members of the Editorial Board:

Kurmankul T. Abayeva	Kazakh National Agrarian University, Kazakhstan
Abzal A. Abdramanov	Kazakh National Agrarian University, Kazakhstan
Daniya K. Asanova	Kazakh National Agrarian University, Kazakhstan
Sara Boyd	Dublin Institute of Technology, Ireland
Malik Burlibayev	Kazakhstan Agency of Applied Ecology, Kazakhstan
Tlektes I. Espolov	Kazakh National Agrarian University, Kazakhstan
Marek Frankowicz	Jagiellonian University, Poland
Jesus Frias	Dublin Institute of Technology, Ireland
Margarita Himmelbauer	University of Natural Resources and Life Sciences, Austria
Mosiej Jozef	Warsaw University of Life Sciences, Poland
Philipp E. Khaitovich	Institute for Computational Biology by the Chinese Academy of Sciences; Skoltech, China, Russia
Aiman A. Mussayeva	Kh. Dosmukhamedov Atyrau State University, Kazakhstan
Wojciech Piekoszewski	Jagiellonian University, Poland
Slawomir Podlaski	Warsaw University of Life 1 Sciences, Poland
Ashot S. Saghyan	National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, Armenia
Anandan Sambandam	National Institute of Technology Tiruchirappalli, India
Dani N. Sarsekova	S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Kazakhstan
Mikhail P. Schetinin	Moscow State University of Food Production, Russia
Konstantin V. Severinov	Institute of Gene Biology Russian Academy of Sciences, Russia
Igor V. Shenberger	Kazakhstan Agency of Applied Ecology, Kazakhstan
Ignar Stefan	Warsaw University of Life 1 Sciences, Poland
Tatiana B. Tsyganova	Moscow State University of Food Production, Russia
Gulnara B. Yunussova	A.Baitursynov Kostanay State University, Kazakhstan

Содержание

Редакторская статья

Балыхин М.Г., Косычева М.А.

Верифицируемость данных в исследовании 7

Здоровье

Гламаздин И.Г., Сысоева Н.Ю., Крюковская Г.М., Ли Е.В.

Эффективность иммунодиагностических исследований при тканевых паразитозах свиней 11

Соколова Т.В., Малярчук А.П.

Чесотка у детей: Проблема, требующая решения 19

Питание

Абдуллаева А.М., Блинкова Л.П., Уша Б.В., Валитова Р.К., Пахомов Ю.Д., Митрофанова Д.Б.

Детекция жизнеспособных некультивируемых клеток микроорганизмов в курином фарше..... 26

Аль Б.И., Благовещенский И.Г., Благовещенская М.М., Сумерин В.А.

Изучение влияния использования технического зрения на показатели качества оманской халвы 39

Белявская И.Г., Алексеенко Е.В., Капустина К.Ф., Исабаев И.Б.

Разработка технологии хлебобулочных изделий с использованием продуктов переработки мяты перечной 53

Лабутина Н.В., Герасимова Э.О., Рогозкин Е.Н., Шаймерденова Д.А., Юрченко Т.И.

Исследование влияния процесса прогрева ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности на физико-химические показатели 70

Мурашов И.Д., Крюкова Е.В., Горячева Е.Д., Джабакова А.Э., Парамонов Г.В.

Обнаружение металлических и неметаллических включений в пищевых продуктах электрометрическим методом..... 81

Биотехнологии

Иванова Л.А., Фоменко И.А., Фоменко В.В., Чурмасова Л.А., Щенникова А.М.

Получение клеточной культуры имбиря 92

Краснова Ю.В., Бутова С.Н., Вольнова Е.Р., Николаева Ю.В.

Создание низколактозной молочной сыворотки с использованием бактериальной β -галактозидазы... 105

Content

Editorial

M. Balykhin, M. Kosycheva Research Data Verifiability	7
---	---

Health

I. Glamazdin, N. Sysoeva, G. Kryukovskaya, E. Li The Effectiveness of Immunodiagnostic Studies in Tissue Parasitoses of Pigs	11
--	----

Food

T. Sokolova, A. Malyarchuk Scabies of Children: Problem that We Need to Solve	19
A. Abdullaeva, L. Blinkova, B. Usha, R. Valitova, Y. Pakhomov, D. Mitrofanova Detection of Viable but Nonculturable Microbial Cells in Chicken Mince.....	26
I. Al Balushi, I. Blagoveshchensky, M. Blagoveshchenskaya, V. Soumerin Study of the Impact of the Use of Technical Vision on the Quality Indicators of Omani Halva	39
I. Belyavskaya, E. Alekseenko, K. Kapustina, I. Isabaev The Development of Bread Technology with Peppermint Products	53
N. Labutina, E. Gerasimova, E. Rogozkin, D. Shaimerdenova, T. Yurchenko Investigation of the Influence of the Process of Heating Rye-Wheat Bread from Frozen Semi-Finished Products of High Readiness on Physical and Chemical Indicators	70
I. Murashov, E. Kryukova, E. Goryacheva, A. Dzhabakova, G. Paramonov Detection of Metallic and Non-Metallic Inclusions in Food Products by Electrometric Method	81

Biotechnology

L. Ivanova, I. Fomenko, V. Fomenko, L. Churmasova, A. Shhennikova Obtaining a Cell Culture of Ginger	92
Y. Krasnova, S. Butova, E. Volnova, J. Nikolaeva Creation of Low-Lactose Milk Serum using Bacterial β -Galactosidase.....	105

Верифицируемость данных в исследовании

Балыхин Михаил Григорьевич

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: rektor@mgupp.ru

Косычева Марина Александровна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: kosychevama@mgupp.ru

Рассматривается принцип верифицируемости как основа построения научного исследования. Описываются возможности установления истинности научных утверждений в результате эмпирической проверки. Дается понятие публикационного искажения (publication bias). Приводятся примеры манипуляций с научными данными. Проанализировано создание научных репозиториях как средств длительного хранения, накопления и обеспечения открытого доступа к результатам научных исследований.

Ключевые слова: верифицируемость, публикационный искажение, эмпирическая проверка, проверка гипотез, манипуляции научных данных

Одним из ключевых принципов, на которых строится современная наука, является принцип верифицируемости научных исследований – то есть воспроизводимость исследования, представленного в статье с целью апробации выдвинутых гипотез. Иными словами, верифицируемость как феномен методологии науки делает возможным установление истинности научных исследований в результате их эмпирической проверки¹.

Гипотезы, связанные с данными наблюдения или эксперимента, могут быть проверены напрямую в случае непосредственной верифицируемости, или могут быть косвенно верифицируемы, если речь идет об установлении логических отношений между косвенно верифицируемыми и прямо верифицируемыми утверждениями. В современных научных концепциях верифицируемость является результатом многопланового взаимоотношения между соперничающими теориями и данными их экспериментальных проверок. Однако, не все научные теории могут быть верифицированы. В науке есть примеры того, что некоторые теории, например, теория относительности, не требуют проверки, люди полагаются на нее, потому что она является общепризнанной. В связи с этим, К. Поппер утверждал, что теория не может считаться истинной, если она не поддается фальсификации. То есть теория может быть принята не

потому, что она включает корректные данные, а потому, что она исключает неточности и не демонстрирует искусственности (Поппер, 1983). Таким образом, формулируемые гипотезы должны соответствовать двум принципам – фальсифицируемости (опровержению) и верифицируемости (подтверждению).

Для современного ученого формулирование разного рода предположений в форме гипотез должно сопровождаться доказательством их истинности путем проведения эмпирического исследования. Для этого требуется четкая формулировка гипотез и ясная и структурируемая методология проверки.

Проблема верифицируемости научных данных заключается в том, что практически любая гипотеза, может быть сформулирована таким образом, что она может быть подтверждена. Многие исследователи поддаются искушению привести те результаты исследования, которые ее подтверждают и опустить те, которые будут ее опровергать. В данном случае мы сталкиваемся с таким явлением как публикационное искажение (publication bias) или предвзятость исследователя, когда ученые намеренно выбирают для опубликования положительные или значимые результаты исследования, а отрицательные результаты намеренно умалчивают. Эта проблема особенно актуальна при написании

¹ Швырев. В.С. Верифицируемость // Электронная библиотека ИФ РАН «Новая философская энциклопедия». <https://iphlib.ru/libra-ry?el=&a=d&c=newphilenc&d=&rl=1&href=http:%2f%2f0592.html>

обзоров литературы, систематических обзоров и мета-анализов, так как эти виды исследований основываются на уже опубликованных работах и рассматриваются как изначально предвзятые. Следовательно, при описании исследования настоятельно рекомендуют указывать все полученные в его результате данные, независимо от их интерпретации.

Публикационное искажение имеет определенные предпосылки. Рецензируемые научные журналы стремятся представлять исключительно весомые результаты исследований, те, которые помогут журналу получить наибольшее количество цитат на опубликованные статьи, повышая его наукометрические показатели. Как следствие, исследования, результаты которых выглядят противоречиво, могут быть исключены из портфеля журнала. Отсюда и склонность ученых к однозначности представляемых ими данных, их стремление замалчивать «неудобные» результаты.

Наряду с публикационным искажением имеют место и другие виды искажения или предвзятости. Искажение цитирования, например, характеризуется тем, что при отборе литературы для анализа, авторы статьи пользуются лишь списком цитируемых работ из уже опубликованных статей, менее цитируемые работы исключаются из анализа. В этой связи также рассматривают предвзятость распространения результатов исследования: исследователи уделяют внимание преимущественно значимым положительным и легкодоступным результатам, игнорируя источники, которую сложнее найти (например, отчеты правительства или результаты клинических исследований) (Song et al., 2010). Подтасованное, фальсифицированное исследование может иметь высокую статистическую значимость, быть репрезентативным, без методологических недостатков, но, по своей сути, оно окажется бессмысленным мусором, засоряющим поле научного знания.

Последствия таких исследований могут быть разными, но для медицинских исследований они имеют самый негативный эффект, так как напрямую связаны со здоровьем человека. Худшим сценарием может быть случай, когда необоснованное медицинское вмешательство ложно считается эффективным из-за публикационного искажения, что может привести к назначению пациенту неэффективного или вредоносного курса лечения (Song et al., 2010).

Манипуляция научными данными остается актуальной проблемой, имеющей колоссальные

последствия. Широкое распространение получили манипуляции с графическим представлением информации. Визуализация информации упрощает её восприятие, вызывает к ней доверие, усиливая персуазивность ее воздействия на адресата. Например, неверное масштабирование, диаграммы с урезанными столбцами, объемные диаграммы, представление зависимостей между несравнимаемыми величинами могут привести к искажению восприятия даже при наличии верных данных (Шестов, 2017).

Некорректно представленные статистические данные или представление неполного набора данных также являются способом манипуляции данными. Например, когда выборка изначально необъективна, авторы намеренно выбирают среднюю величину, которая поможет представить результаты в выгодном свете или наоборот, скрыть нежелательные.

Верифицируемость данных, отсюда, получает особое звучание в контексте исследования. Рецензенты должны получить возможность убедиться в достоверности представления данных в тексте статьи. Возникает необходимость того, чтобы доступ рецензента и заинтересованных читателей к данным исследований был свободным, гарантировал неизменность их содержания. Исследователи, соответственно, должны получить инструменты оперативного размещения результатов своих научных исследований, их накопления, сохранения и распространения их в научном сообществе.

Цифровые технологии предоставили ученым такой инструментарий: появилась возможность размещения данных исследований в открытом доступе по ссылке на личных сайтах в сети Интернет, на сайтах учебных заведений и исследовательских институтов с целью обеспечения публичности и верифицируемости данных. Но наиболее популярным инструментом представления результатов исследования являются репозитории. Под последними принято понимать «публично доступные открытые архивы информации научных, исследовательских и образовательных организаций, в которых члены сообщества размещают свои опубликованные и подготовленные к печати статьи и другие материалы научно-исследовательской и научно-организационной деятельности» (Рождественская, 2015, с. 86). Основная задача репозитория – оперативно и широко представлять новые актуальные научные документы и данные.

Представляется, что глобальное распространение сети репозитория будет способствовать созданию

более стабильной системы для обмена результатами научных исследований. Репозитории создают возможность доступа к результатам исследований по всему миру, и более того, дают возможность учреждению или отдельному ученому участвовать в глобальном обмене данными, таким образом поддерживая функционирование системы научной коммуникации².

Репозиторий обеспечивает доступ к разнообразным ресурсам, среди которых опубликованные статьи, препринты, наборы данных, рабочие документы, изображения, программное обеспечение и т. д. Пользователи репозитория позволяют каждому ученому добавлять информацию к уже имеющимся. Как следствие, появляется возможность объединения данных из разных репозиториях, усиливая, тем самым, доказательную базу проведенных исследований.

Некоторые репозитории позволяют отслеживать статистику всех событий в режиме реального времени - это информация об изменениях, дополнениях, комментировании, аннотировании, рецензировании, доступе к ресурсу, количестве скачиваний и т. д., относительного любого объекта, размещенного в репозитории.

Ряд репозиториях (например, Mendeley Data), позволяет присваивать подгруженным данным doi. Таким образом, владелец данных получает на них зафиксированные цитирования, в случае их использования другими исследователями в своих статьях. Еще один репозиторий, который присваивает цифровой идентификатор объекта, Zenodo является открытым репозиторием, позволяющий исследователям всех дисциплин обмениваться и сохранять результаты своих исследований независимо от их размера и формата. Благодаря бесплатной загрузке и бесплатному доступу, результаты исследований, хранящиеся на Zenodo, будут доступными для обнаружения и использования в течение длительного времени. Репозиторий для результатов исследований figshare – это структурированный архив, в котором ученые могут делать доступными все результаты своих исследований – цитировать, делиться и находить новое. На бесплатном аккаунте можно хранить любое количество публичных данных. Репозитории помогают

оценить авторам свой собственный вклад в науку, накапливая метрические показатели, что является немаловажным фактом оценки доверия того или иного ресурса. COAR (Confederation of Open Access Repositories) - это международная ассоциация, в которую входят 157 членов и партнеров со всего мира, представляющих библиотеки, университеты, исследовательские институты, правительственные фонды и др. COAR объединяет отдельные репозитории и сети репозиториях для наращивания потенциала, согласования политик и практик и выступает в качестве флага для сообщества репозиториях.³ Для российских ученых Сибирское отделение РАН разработало веб-навигатор SciGuide, который помогает вести поиск качественных научных ресурсов⁴.

Таким образом, создание репозиториях, их доступность и рейтингование активностей исследователей в пространстве репозиториях повысят объективность исследований, позволят отслеживать попытки искажения данных. Открытый доступ к репозиториям поможет молодым ученым проводить более тщательный отбор цитируемого материала, а возможность открытой коммуникации в режиме реального времени сделает возможным комментировать результаты исследований, снижая вероятность фальсификации и манипулирования данными исследований.

Литература

- Поппер, К. Р. (1983). *Логика и рост научного знания*. Прогресс.
- Рождественская, М. Ю. (2015). Репозиторий как реализация идей открытого доступа к научным публикациям: подходы к классификации. *Библиосфера*, 2, 86-94.
- Шестов, Б. Н. (2017). Способы манипулятивного воздействия посредством визуализации данных в современных СМИ. *Медиаscope*, 4. Режим доступа: <http://www.mediascope.ru/2377>
- Song, F., Parekh, S., Hooper, L., Loke, Y. K., Ryder, J., Sutton, A. J., Hing, C., Kwok, C. S, Pang, C., & Harvey, I. (2010). Dissemination and publication of research findings: an updated review of related biases. *Health Technology Assessment*. <http://doi.org/10.3310/hta14080>

² Методические рекомендации по разработке репозиториях /под ред. М. Е. Шварцман, 2018. https://www.openrepository.ru/images/docs/Metod_Schwarzman.pdf

³ COAR (Ассоциация репозиториях открытого доступа) начала свою деятельность в 2009 году в рамках проекта по подключению европейских хранилищ, DRIVER. Этот проект выявил необходимость более глобального международного подхода, который бы поддерживал создание сетей для всех хранилищ со всего мира. Таким образом, COAR была основана в сентябре 2009 года с 28 членами. С тех пор COAR значительно расширила свою международную деятельность с членами и партнерами из более чем 50 стран на всех 5 континентах.

⁴ <http://prometeus.nsc.ru/sciguide/page02.ssi>

Research Data Verifiability

Mikhail G. Balykhin

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: rektor@mgupp.ru*

Marina A. Kosycheva

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: kosychevama@mgupp.ru*

The principle of verifiability as the basis for the construction of scientific research is considered. The possibilities of establishing the truth of scientific statements as a result of empirical verification are described. The concept of publication bias is presented. Examples of manipulations with scientific data are given. The creation of scientific repositories as a means of long-term storage, accumulation and ensuring open access to the results of scientific researches is analyzed.

Keywords: verifiability, publication bias, empirical verification, hypothesis testing, manipulation of scientific data

References

- Popper, K. R. (1983). *Logika i rost nauchnogo znaniya* [Logic and the growth of scientific knowledge]. Progress.
- Rozhdestvenskaya, M. Yu. (2015). Repository as an implementation of the ideas of open access to scientific publications: approaches to classification. *Bibliosfera* [Bibliosphere], 2, 86-94.
- Shestov, B. N. (2017). Methods of manipulative influence through data visualization in modern media. *Mediascope* [Mediascope], 4. Access mode: <http://www.mediascope.ru/2377>
- Song, F., Parekh, S., Hooper, L., Loke, Y. K., Ryder, J., Sutton, A. J., Hing, C., Kwok, C. S, Pang, C., & Harvey, I. (2010). Dissemination and publication of research findings: an updated review of related biases. *Health Technology Assessment*. <http://doi.org/10.3310/hta14080>

Эффективность иммунодиагностических исследований при тканевых паразитозах свиней

Гламаздин Игорь Геннадьевич

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11
E-mail: glamazdin@mgupp.ru

Сысоева Наталья Юрьевна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11
E-mail: 864365@mail.ru

Крюковская Галина Михайловна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11
E-mail: doctor.galya@gmail.com

Ли Елена Вадимовна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11
E-mail: elena.li@mail.ru

Хорошо известно, что свиноводство является одной из самых рентабельных отраслей животноводства и способна в короткие сроки увеличить производство мяса при низких затратах кормов на производство единицы продукции. Именно поэтому создаются и функционируют промышленные комплексы и мелкие товарные хозяйства по выращиванию свиней. Однако наличие тканевых гельминтозов в организме живых животных и свинине существенно влияет на эффективность откорма, качество мяса и биологическую безопасность продукции. Примерно от 2 до 5% туш свиней регистрируются, как пораженные тканевыми паразитами. В Российской Федерации содержится около 25 млн. свиней, потому можно предположить, что свыше 1 млн. свиней являются больными, т.е. они неэффективно откармливаются и являются источником возбудителей, опасных для здоровья человека. Вместе с тем существуют методы прижизненной диагностики паразитозов свиней и их применение могло бы существенно повысить экономическую эффективность свиноводческой отрасли улучшить эпидемическую ситуацию по гельминтозам во всех регионах страны. Целью исследования являлось разработка тест-системы на основе ELISA и оценка ее эффективности на убойных животных в некоторых регионах Центрального Федерального Округа. Параметры тест системы отработывали на 96 луночных планшетах, в качестве антигена использовали полные экстракты водно-солевых растворов паразитов – *E.granulosus*, *T.spiralis*, *C.cellulosae*, *Sarcocystis spp.* Сыворотки крови доставлялись с мясокомбинатов на которых производился убой свиней и сопровождалась протоколом ветеринарно-санитарной экспертизы. Из 550 проверенных сывороток крови 43 имели антитела т.е. дали положительный ответ в мультиантигенном тесте. По протоколу экспертизы были зарегистрированы 25 туш, пораженных тканевыми паразитами.

Ключевые слова: эхинококкоз, саркоцистоз, трихинеллез, цистицеркоз, иммуноферментный метод, мультиантигенная тест-система, серодиагностика

Введение

Хорошо известно, что свиноводство является одной из самых рентабельных отраслей животноводства и способна в короткие сроки увеличить производство мяса при низких затратах кормов на производство единицы продукции. Именно поэтому создаются и функционируют промышленные комплексы и мелкие товарные хозяйства по выращиванию свиней. Свиноводство является резервом обеспечения продовольственного рынка России качественной мясной продукцией и приобретает особую значимость для агропромышленного комплекса многих регионов страны. В настоящее время в России, отмечается устойчивый прирост производства свинины в хозяйствах всех форм собственности (Анищенко, 2017). Однако наличие тканевых¹ гельминтозов в организме живых животных и свинине существенно влияет на эффективность откорма, качество мяса и биологическую безопасность продукции (Успеский & Горохов, 2012; Гламаздин, 2017; Гламаздин, 2019). Примерно от 2 до 5% туш свиней регистрируются, как пораженные тканевыми паразитами. В Российской Федерации содержится около 25 млн. свиней, потому можно предположить, что свыше 1 млн. свиней являются больными, т.е. они неэффективно откармливаются и являются источником возбудителей, опасных для здоровья человека. К основным тканевым паразитам относятся одноклеточные простейшие *Toxoplasma gondii* и *Sarcocystis spp.*, и личинки гельминтов *Trichinella spp.* и *Taenia spp.* (Flisser, 2003; Klun, 2011). Вместе с тем существуют методы прижизненной диагностики паразитозов свиней и их применение могло бы существенно повысить экономическую эффективность свиноводческой отрасли улучшить эпидемическую ситуацию по гельминтозам в регионах страны (Зименков, 2016). Цистицеркоз (*Cysticercus cellulosae*) является одной из самых серьезных паразитарных инвазий у людей и свиней в регионах, где занимаются разведением свиней при наличии недостаточных санитарных условий содержания животных. Свиньи являются главными промежуточными хозяевами, участвующие в биоэкологии *Sarcocystis spp.*, *E.granulosus*, *C.cellulosae*, *T.spirallis*, причем, каждый из этих паразитов опасен для человека (Klun, 2011; Gamble, 1997). Кроме того, эти болезни свиней вызывают существенные экономические потери у индивидуальных фермеров и на крупных промышленных предприятиях из-за снижения качества свинины, дополнительных затрат на утили-

лизацию и обеззараживания мяса, необходимости содержания штата экспертов на мясокомбинатах (Ndao, 2009). Стоит отметить, что случаи выявления тканевых паразитов на официальных скотобойнях часто сильно занижают число истинной распространенности этих болезней в эндемичных регионах (Ndao, 2009).

Материалы и методы

Исследования были проведены на убойных пунктах и в лаборатории кафедры «Ветеринарная медицина». Был осуществлен сравнительный ветеринарно-санитарный анализ 550 туш свиней. Предварительно от свиней брали кровь для получения сывороток и поиска антител к антигенам возбудителей.

Паразиты были извлечены из мышечной ткани и паренхиматозных органов свиней: *Cysticercus cellulosae*, *Trichinella spiralis*, *Sarcocystis spp.*, *Echinococcus granulosus*. Соматические экстракты (антигены) готовили из разных морфологических структур личинок гельминтов. Пузырьки *C.cellulosae* использовали полностью вместе с внутрипузырной жидкостью, *E.granulosus* - герминативную оболочку и внутрипузырную жидкость, ткани с *T.spirallis* и *Sarcocystis spp.* предварительно переваривали в искусственном желудочном соке и выделенных паразитов разрушали механическими способами. Разрушение тканей гельминтов проводили в гомогенизаторе Поттера-Эвельгейма вручную в течение 3 минут и на автоматическом гомогенизаторе LHM-20 (5 минут со скоростью 4000 об/мин). После центрифугирования (20 минут при 1500 об/мин) в качестве антигена использовали надосадочную жидкость, которую хранили при -20°C.

С целью определения эффективности иммунодиагностических исследований применяли мультиантигенную тест-систему для обнаружения тканевых паразитозов свиней. В качестве антигена использовали соматические экстракты личинок паразитов в карбонатном буфере (pH=9,6) с концентрацией белка 1 мкг/мл, в лунки вносили по 150 мкл раствора. Исследуемые сыворотки крови разводили 1:100 в фосфатном буфере (pH=7,2), в лунки вносили по 100 мкл. В качестве конъюгата в лунки вносили антитела кролика к иммуноглобулинам IgG свиньи, меченные пероксидазой в разведении 1:10000 и объеме 100 мкл. Таким образом, каждую

¹ Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. Указ Президента Российской Федерации от 30 января 2010 № 120. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/30563>

сыворотку крови исследовали на наличие анти-тел 4 раза на каждый антиген *Cysticercus cellulosae*, *Trichinella spiralis*, *Sarcocystis spp.*, *Echinococcus granulosus*. Реакция останавливали 50% H_2SO_4 , результаты измеряли на фотометре при $\lambda=492$ нм. Результаты считали положительными в лунках с наиболее интенсивной окраской субстрата.

Результаты исследований

По протоколам рутинной ветеринарно-санитарной экспертизы из 550 проверенных туш свиней 25 были поражены возбудителями тканевых паразитозов. Что составляет 4,5% паразитарных туш из числа обследованных. Как видно из таблицы 1: *C. cellulosae* было обнаружено в поперечно-полосатой мускулатуре у 5 туш с интенсивностью ~ 7 – 10 цистицерков, *T. spiralis* у 2 туш с интенсивностью ~ 1 личинка на 05 кг мышц, *Sarcocystis spp.* у 4 туш с интенсивным поражением мышц языка и пищевода, *E. granulosus* у 3 туш, с поражением печени 2 туши и 1 туша с поражением легких интенсивность инвазии составила 3 – 4 пузыря в органе. Остальные 11 туш свиней были поражены: 2 – *Fasciola hepatica* с интенсивностью 4 – 5 экземпляров в печени и *Cysticercus tenuicollis* 9 туш с интенсивностью от 1 до 5 пузырей на серозных покровах печени и легких.

Таким образом, по данным ветеринарно-санитарной экспертизы в тушах свиней мы обнаружили: личинки трех видов тений, личинки одного вида нематод, имаго одного вида трематод, тканевые цисты одного вида простейших.

Для оценки диагностической эффективности ELISA при паразитозах свиней использовали коллекцию сывороток крови от 100 животных, среди которых 25 сывороток от свиней, пораженных паразитами и 75 сывороток свиней в тушах, которых по данным ветеринарно-санитарной экспертизы не было выявлено инвазии.

При этом в ELISA сыворотка считалась положительной, если при учете результатов реакции иммуноферментный фотометр показывал коэффициент оптической плотности (Е) 0,2 и выше, соответственно, если ниже – отрицательной. Определение специфичности ELISA проводили на основании сопоставления результатов реакции с разными антигенами и данных ветеринарной экспертизы. (таблица 2). Эффективность мульти-антигенного теста оказалась достаточно высокой и при сравнительном учете результатов реакции достигала 100%. Максимальное значение экстинкции получено при диагностике эхинококкоза, *E. granulosus* - $E = 1,42 \pm 0,20$. При принятой нами системы учета положительных ответов в ELISA были

Таблица 1
Распространение тканевых паразитозов свиней

№ п.п	возбудитель	количество пораженных туш	локализация	интенсивность	примечание
1	<i>C. cellulosae</i>	5	Поперечно-полосатая мускулатура	7 - 10	Соединительная ткань мышц языка, жевательные, лопаточно-плечевые
2	<i>T. spiralis</i>	2	Поперечно-полосатая мускулатура	1л/500гр мышц	Внутри мышечного волокна диафрагмы, языка, мышц конечностей
3	<i>Sarcocystis spp</i>	4	Поперечно-полосатая мускулатура	405 цист в 1 кг мышц	Внутри мышечного волокна языка, масетеров, пищевода
4	<i>E. granulosus</i>	2	Паренхима печени	3 – 4 пузыря в органе	Пузыри 5,0 см в диаметре, большая часть погружены в паренхиму
5	<i>E. granulosus</i>	1	Паренхима легких	2 пузыря в органе	Пузыри 2,0 см в диаметре, большая часть погружены в паренхиму
5	<i>F. hepatica</i>	2	Просвет желчных протоков	4 - 5 экземпляров в печени	В одном случае отмечены отложение солей в желчных протоках
6	<i>C. tenuicollis</i>	7	Серозные покровы печени	3 – 5 пузырей на тонкой ножке на серозных покровах печени	Пузыри от 2 до 5 см в диаметре
7	<i>C. tenuicollis</i>	2	Серозные покровы легких	1 - 2 пузыря на тонкой ножке на серозных покровах легких	Пузыри до 2 см в диаметре

получены ложноположительные реакции при диагностике цистицеркоза (антигеном *E. granulosus*), и саркоцистоза (с антигенами *T. spiralis*, *E. granulosus*).

$P \leq 0,05$ – разница достоверна между значениями экстинкции в реакциях сыворотки крови от зараженных животных с гомологичными и гетерологичными антигенами.

Однако, сравнивая коэффициенты экстинкции гомологичных и гетерологичных реакций, установили большую разницу в цифрах, например: при саркоцистозе $-1,25 \pm 0,07$ и $0,25 \pm 0,05$ (в 5 раз).

Обсуждение

Как видно из табл. 2 положительная реакция при диагностике спонтанного цистицеркоза свиней с гетерологичными антигенами (*E. granulosus*) легко исключалась при сравнительном анализе в мультиантигенном ELISA тесте. Подобный результат нами был получен и при диагностике саркоцистоза свиней. Таким образом в наших экспериментах мультиантигенный тест оказался эффективным для диагностики сразу четырех тканевых возбудителей паразитозов. Причем, не было отмечено ни одной ложноположительной реакции с сыворотками от животных страдающих фасциолезом и тонкошейным финнозом. Наши результаты согласуются с Svobodová Vlasta, которая использовала для диагностики саркоцистоза иммуноферментный метод. При диагностике саркоцистоза овец результаты ELISA в сравнении с результатами непрямой флуоресцентной реакции были идентичны в 94,7% случаев. Титры специфических антител были выше в 70,8% образцов при использовании ELISA (Popović-Dragonjić, 2018). Саркоцистоз широко распространен среди многих видов животных и даже у дефинитивных хозяев могут быть обнаружены личиночные стадии развития, например: мышечный саркоцистоз у собак. В классиче-

ском представлении паразитологической науки саркоцисты поражают у плотоядных животных кишечник. Однако учеными (Chapman, Mense, & Dubey, 2005) был диагностирован миозит, связанный с неопознанным видом возбудителя саркоцистоза у взрослой собаки из Канады. При изучении саркоцистоза у свиней нами было обнаружено 4 туши, пораженные цистами *Sarcocystis spp.* из 550 обследованных туш.

Трихинеллез является одним из наиболее распространенных паразитарных зоонозов в мире и может быть смертельным для человека. *Trichinella spp.* гельминты, которые имеют большое экономическое значение. По исследованиям Mikkonen T., J. Valkama, H. Wihlman, и A. Sukura было установлено, что крысы играют важную роль в передаче трихинеллеза свиньям и фермерским хозяйствам, при их обследовании на наличие *Trichinella spp.* в различных регионах распространенность оказалась до 49% *Trichinella spp.* (Mikkonen et al, 2005). В наших экспериментах при обследовании 550 туш свиней, мы обнаружили две положительные трихинеллезные туши, что свидетельствует о необходимости контроля над этой инвазией у сельскохозяйственных и диких, промысловых животных, а также у грызунов.

Хорошо известно, что основным источником заражения ларвальным эхинококкозом являются плотоядные животные. По данным исследований Kurtesh Sherifi и др. изоляты *E. granulosus* были выделены бродячей собаки, охотничьей собаки, и домашней собаки. Полуколичественный анализ показал низкое или умеренное количество яиц (2-10 на 1 г фекалий) у собак, положительных на *E. granulosus* («овечий штамм», G1), в то время как образцы с высоким (11-20) или очень высоким количеством (>20) яиц тениидозов было отрицательным в ПЦР на *E. granulosus*. Используя специфические праймеры для обнаружения *E. multilocularis*, все образцы, содержащие яйца те-

Таблица 2

Эффективность мультиантигенного теста на основе ELISA при паразитозах свиней

Сыворотка крови от свиней, инвазированных паразитами	Коэффициент экстинкции (E) в ELISA с разными антигенами			
	АГ в ELISA <i>C. cellulosae</i>	АГ в ELISA <i>T. spiralis</i>	АГ в ELISA <i>Sarcocystis spp</i>	АГ в ELISA <i>E. granulosus</i>
<i>C. cellulosae</i>	1,34±0,27	0,14±0,12	0,11±0,04	0,24±0,03
<i>T. spiralis</i>	0,10±0,02	1,35±0,24	0,12±0,02	0,14±0,04
<i>Sarcocystis spp</i>	0,15±0,02	0,25±0,05	1,25±0,07	0,22±0,05
<i>E. granulosus</i>	0,16±0,01	0,14±0,02	0,16±0,04	1,42±0,20
<i>F. hepatica</i>	0,08±0,01	0,09±0,01	0,10±0,01	0,12±0,01
<i>C. tenuicollis</i>	0,09±0,01	0,12±0,01	0,10±0,01	0,14±0,01

ниидозов оказались отрицательными. Таким образом было доказано распространение *E. granulosus* у собак из Косово, где кистозный эхинококкоз человека является значимой медицинской проблемой (Kurtesh, 20011). По нашим наблюдениям распространение эхинококкоза свиней в некоторых регионах страны достигает ~0,5%.

Для диагностики трихинеллезной инвазии свиней нами был использован мультиантигенный тест с соматическим экстрактом из возбудителя. В своих экспериментах мы получили 100% чувствительность теста. Наши данные согласуются с Márcia R.M. и др., которые в ELISA для поиска антител (Ab-ELISA) использовался рекомбинантный белок TS-14, а в поиске антигена (Ag-ELISA) - моноклональное антитело против этого белка. Поиск циркулирующих антигенов (Ag-ELISA) был положительным у двух свиней через 28-91 день после заражения. Все естественно инфицированные свиньи были положительны на Ag-ELISA и Ab-ELISA. Поиск антител и антигенов методом ИФА в сыворотке крови 30 свиней местной фермы и без цистицеркоза в анамнезе был отрицательным. Таким образом, был сделан вывод о возможности использование антигена TS-14 в тесте Ab-ELISA для выявления цистицеркоза у свиней с низкой инвазией (Márcia, 2012).

Серозпидемиология - это изучение антигенных свойств возбудителей и возникновение болезней, также выработки антител у особей популяции и появление устойчивости животных и человека к данному заболеванию. Основная задача - мониторинг болезней и мониторинг эффективности программ борьбы с болезнями.

Антигены паразитов распознаются иммунной системой и провоцируют развитие любой формы адаптивного ответа хозяина. Эти соединения принадлежат к различным классам: ими бывают чаще чужеродные клетки или молекулы белков, полисахаридов, иногда гаптены. Антигенность детерминанты может определить только иммунная система. Клетки и ткани иммунной системы воспринимают детерминанты аналогично рецепторам органов обоняния, улавливающим запахи любых химических соединений. Основное условие антигенности - наличие поверхностных структур, генетически отличных от тканей организма-хозяина (чужеродность). Особенностью паразитов является многоклеточность и высокая дифференциация тканей. Одной из существенных черт иммунитета при гельминтозах является наличие в ходе развития паразита стадий, различающихся по своей активности, что затрудняет выработку

иммунитета и формирует, как правило, нестерильный иммунитет (Бессонов, 1984; Бессонов, 2004; Ndao, 2009).

Таким образом, по результатам наших исследований при использовании в качестве антигенов полные экстракты водно-солевых растворов паразитов - *E. granulosus*, *T. spiralis*, *C. cellulosae*, *Sarcocystis spp.* в мультиантигенном тесте ELISA можно получить высокую диагностическую эффективность тканевых паразитозов свиней. Данный метод является недорогим и позволит проводить мониторинг болезней свиней, что в конечном итоге повысит экономическую эффективность свиноводства.

Литература

- Анищенко, А. Н. (2017). Актуальные проблемы и перспективы развития подотрасли свиноводства. *Проблемы развития территории*, 4(90), 146-158.
- Бессонов, А. С. (2004). Иммунитет и иммуносупрессия при паразитарных болезнях. *Труды ВИГИС*, 40, 44-51.
- Бессонов, А. С. (1984). Иммунодепрессивные свойства трихинелл и способы их подавления. Биохимия и физиология гельминтов и иммунитет при гельминтозах. *Наука*, 32, 15-20.
- Гламаздин, И. Г., & Сысоева Н. Ю. (2017). Ветеринарно-санитарная оценка продуктов убоя при тканевых паразитозах животных. В *Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука* (с.142-143).
- Гламаздин, И. Г., Сысоева Н. Ю., Сикоева П. К., Першина Т. А., & Крюковская Г. М. (2019). Поражение свинины тканевыми цистами, контроль сырья при саркоцистозе. *Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии*, 2 (30), 121-125.
- Зименков, В. А., Сивкова Т. Н., & Доронин-Доргелинский Е. А. (2016). Распространение трихинеллеза диких животных в Российской Федерации. *Пермский аграрный вестник*, 4(16), 98-101.
- Успенский, А. В., & Горохов, В. В. (2012). *Паразитарные зоонозы*. Россельхозакадемия.
- Bruzinskaite, R., Sarkunas, M., Torgerson, P. R., Mathis, A., & Deplazes, P. (2009): Echinococcosis in pigs and intestinal infection with Echinococcus spp. in dogs in south-western Lithuania. *Veterinary Parasitology*, 160, 237-241. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19111990/>
- Chapman, J., Mense M., & Dubey J. P. (2005). Clinical Muscular Sarcocystosis in a Dog. *Journal of*

- Parasitology* 91(1), 187–190. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15856899/>
- Flisser, A., Sarti E., Lightowlers M., & Schantz, P. (2003). Neurocysticercosis: regional status, epidemiology, impact and control measures in the Americas. *Acta Tropica*, 87, 43-51. <https://doi.org/10.1016/S0001-706X%2803%2900054-8>
- Gamble, H. R. (1997). Parasites associated with pork and pork products. *Scientific and Technical Review of the Office International des Epizooties*, 16(2), 496-506.
- Klun, I., Vujanić, M., Yera, H., Nikolić, A., Ivović, V., Bobić, B., Bradonjić, S., Dupouy-Camet, J., & Djurković-Djaković O. (2011). Toxoplasma gondii infection in slaughter pigs in Serbia: seroprevalence and demonstration of parasites in blood. *Veterinary Research*, 42, 17. <http://www.veterinaryresearch.org/content/42/1/17>
- Sherifi, K., Rexhepi, A., Hamidi, A., Behluli, B., Zessin, K. H., Mathis, A., & Deplazes, P. (2011). Detection of patent infections of Echinococcus granulosus ("sheep-strain", G1) in naturally infected dogs in Kosovo. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift*, 11/12, 518-521. <https://doi.org/10.5167/uzh-50941>
- Liu, G., Liang, P., Zhang, S., Guo, A., Wang, L., Zheng, Y., & Luo, X. (2017). TsPKA-r: a potential immunodiagnostic antigen for the detection of porcine cysticercosis. *Acta Tropica*, 171, 80-85. <https://doi.org/10.5167/uzh-50941>
- Mikkonen T., Valkama, J., Wihlman, H., & Sukura, A. (2005). Spatial Variation of Trichinella Prevalence in Rats in Finnish Waste Disposal Sites. *Journal of Parasitology*, 91(1), 210–213. <http://dx.doi.org/10.1645/GE-3230RN>
- Silva, M. R. M. D., Uyhara, C. N. S., Silva, F. H., Espindola, N. M., Poleti, M. D., Vaz, A. J., Meirelles, F. V., & Maia, A. A. M. (2012). Cysticercosis in experimentally and naturally infected pigs: Parasitological and immunological diagnosis. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 32(4), 297-302. <https://www.researchgate.net/publication/262619487>
- Ndao, M., (2009). Diagnosis of Parasitic Diseases: Old and New Approaches. *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases*, 15. <https://doi.org/10.1155/2009/278246>
- Pawlowski, Z., Allan, J., & Sarti, E. (2005). Control of Taenia solium taeniasis/cysticercosis; from research towards implementation. *International Journal for Parasitology*, 35, 1221-1232. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2005.07.015>
- Popović-Dragonjić L., & Kocić, I. (2018). An outbreak of human trichinellosis in the village of Subotinac near the Town of Aleksinac. *Acta facultatis medicae Naissensis*, 35(2), 140-148. <https://content.sciendo.com/downloadpdf/journals/afmnai/35/2/article-p140.pdf>
- Svobodová, V., (1991). Use of ELISA for the diagnostics of ovine sarcocystosis, *Folia parasitologica*, 38(4), 303-308.

The Effectiveness of Immunodiagnostic Studies in Tissue Parasitoses of Pigs

Igor G. Glamazdin

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

Natalya Yu. Sysoeva

Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: 864365@mail.ru

Galina M. Kryukovskaya

Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: doctor.galya@gmail.com

Elena V. Li

Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: elena.li@mail.ru

It is well known that pig farming is one of the most profitable branches of animal husbandry and is able to increase meat production in a short time with low feed costs per unit of production. That is why industrial complexes and small commodity farms for raising pigs are created and operate. However, the presence of tissue helminthiasis in the body of live animals and pork significantly affects the efficiency of fattening, the quality of meat and the biological safety of products. Approximately 2 to 5% of pig carcasses are registered as affected by tissue parasites. The Russian Federation contains about 25 million pigs, so we can assume that more than 1 million pigs are sick, i.e. they are ineffectively fattened and are a source of pathogens that are dangerous to human health. At the same time, there are methods of lifetime diagnostics of swine parasitosis and their application could significantly increase the economic efficiency of the pig industry and improve the epidemic situation for helminthiasis in all regions of the country. The purpose of the study was to develop a test system based on ELISA and evaluate its effectiveness on slaughtered animals in some regions of the Central Federal District. The parameters of the test system were tested on 96 well plates, and full extracts of water-salt solutions of parasites – *E. granulosus*, *T. spiralis*, *C. cellulosae*, *Sarcocystis spp.* were used as the antigen. Blood serums were delivered from meat processing plants where pigs were slaughtered and were accompanied by a Protocol of veterinary and sanitary examination. Of the 550 serums tested 43 had antibodies i.e. they gave a positive response in a multi-antigen test. According to the examination report, 25 carcasses infected with tissue parasites were registered.

Keywords: echinococcosis, sarcocystosis, trichinellosis, cysticercosis, enzyme immunoassay, multiantigenic test system, serodiagnostics

References

- Anishchenko, A. N. (2017). Current problems and prospects of development of the pig farming sub-sector. *Problemy razvitiya territorii* [Problems of territory development], 4(90), 146-158.
- Bessonov, A. S. (2004). Immunity and immunosuppression in parasitic diseases. *Trudy VIGIS* [Scientific works of VIGIS], 40, 44-51.
- Bessonov, A. S. (1984). Immunodepressivnye svoystva trihinell i sposoby ih podavleniya. *Biohimiya i fiziologiya gel'mintov i immunitet pri gel'mintozah*. [Immunosuppressive properties of Trichinella and ways to suppress them. Biochemistry and

- physiology of helminths and immunity in helminthiasis], 32, 15-20.
- Glamazdin, I. G., & Sy'soeva, N. Yu. (2017). Veterinary and sanitary assessment of slaughter products in animal tissue parasitosis. In *Razvitie pishhevoj i pererabatyvayushhej promy'shlennosti Rossii: kadry' i nauka* [Development of the Russian food and processing industry: personnel and science] (p.142-143).
- Glamazdin, I. G., Sy'soeva, N. Yu., Sikoeva, P. K., Pershina, T. A., & Kryukovskaya, G. M. (2019). Defeat of pork tissue cysts, control of raw materials in sarcocystosis. *Rossijskij zhurnal Problemy veterinarnoj sanitarii, gigieny' i e'kologii* [Russian journal Of problems of veterinary sanitation, hygiene and ecology], 2(30), 121-125.
- Zimenkov, V. A., Sivkova, T. N., & Doronin-Dorgelinskij, E. A. (2016). Distribution of trichinellosis of wild animals in the Russian Federation. *Permskij agrarnyj vestnik* [Perm agricultural Bulletin], 4(16), 98-101.
- Uspenskiy, A. V., & Gorohov, V. V. (2012). *Parazitarnye zoonozy* [Parasitic zoonoses]. Rossel'hozakademiya.
- Bruzinskaite, R., Sarkunas, M., Torgerson, P. R., Mathis, A., & Deplazes, P. (2009): Echinococcosis in pigs and intestinal infection with Echinococcus spp. in dogs in south-western Lithuania. *Veterinary Parasitology*, 160, 237-241. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19111990/>
- Chapman, J., Mense M., & Dubey J. P. (2005). Clinical Muscular Sarcocystosis in a Dog. *Journal of Parasitology* 91(1), 187-190. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15856899/>
- Flisser, A., Sarti E., Lightowlers M., & Schantz, P. (2003). Neurocysticercosis: regional status, epidemiology, impact and control measures in the Americas. *Acta Tropica*, 87, 43-51. <https://doi.org/10.1016/S0001-706X%2803%2900054-8>
- Gamble, H. R. (1997). Parasites associated with pork and pork products. *Scientific and Technical Review of the Office International des Epizooties*, 16(2), 496-506.
- Klun, I., Vujanić, M., Yera, H., Nikolić, A., Ivović, V., Bobić, B., Bradonjić, S., Dupouy-Camet, J., & Djurković-Djaković O. (2011). Toxoplasma gondii infection in slaughter pigs in Serbia: seroprevalence and demonstration of parasites in blood. *Veterinary Research*, 42, 17. <http://www.veterinaryresearch.org/content/42/1/17>
- Sherifi, K., Rexhepi, A., Hamidi, A., Behluli, B., Zessin, K. H., Mathis, A., & Deplazes, P. (2011). Detection of patent infections of Echinococcus granulosus ("sheep-strain", G1) in naturally infected dogs in Kosovo. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift*, 11/12, 518-521. <https://doi.org/10.5167/uzh-50941>
- Liu, G., Liang, P., Zhang, S., Guo, A., Wang, L., Zheng, Y., & Luo, X. (2017). TsPKA-r: a potential immunodiagnostic antigen for the detection of porcine cysticercosis. *Acta Tropica*, 171, 80-85. <https://doi.org/10.5167/uzh-50941>
- Mikkonen T., Valkama, J., Wihlman, H., & Sukura, A. (2005). Spatial Variation of Trichinella Prevalence in Rats in Finnish Waste Disposal Sites. *Journal of Parasitology*, 91(1), 210-213. <http://dx.doi.org/10.1645/GE-3230RN>
- Silva, M. R. M. D., Uyehara, C. N. S., Silva, F. H., Espindola, N. M., Poleti, M. D., Vaz, A. J., Meirelles, F. V., & Maia, A. A. M. (2012). Cysticercosis in experimentally and naturally infected pigs: Parasitological and immunological diagnosis. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 32(4), 297-302. <https://www.researchgate.net/publication/262619487>
- Ndao, M., (2009). Diagnosis of Parasitic Diseases: Old and New Approaches. *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases*, 15. <https://doi.org/10.1155/2009/278246>
- Pawlowski, Z., Allan, J., & Sarti, E. (2005). Control of Taenia solium taeniasis/cysticercosis; from research towards implementation. *International Journal for Parasitology*, 35, 1221-1232. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2005.07.015>
- Popović-Dragonjić L., & Kocić, I. (2018). An outbreak of human trichinellosis in the village of Subotinac near the Town of Aleksinac. *Acta facultatis medicae Naissensis*, 35(2), 140-148. <https://content.sciendo.com/downloadpdf/journals/afmnai/35/2/article-p140.pdf>
- Svobodová, V., (1991). Use of ELISA for the diagnostics of ovine sarcocystosis, *Folia parasitologica*, 38(4), 303-308.

Чесотка у детей. Проблема, требующая решения

Соколова Татьяна Вениаминовна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: stv_morf2005@mail.ru

Малярчук Александр Петрович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: 2236779@mail.ru

В России с настоящее время отсутствуют препараты для лечения чесотки у детей грудного возраста. Создавшаяся в стране серьезная ситуация требует решения Министерством здравоохранения вопроса о возможности использования перметрина с этой целью. Единственный препарат, разрешенный ранее для лечения чесотки у детей до года (эсбиол + пиперонила бутоксид, спрегаль, Франция) не прошел повторную регистрацию в России, не вошел в Государственный реестр лекарственных средств и с 2014 года в страну не экспортируется. Анализ Кокрановских обзоров, зарубежных статей свидетельствует, что в Америке, Европе и Японии препаратом первой линии для лечения чесотки у детей является 5% крем перметрина. Отечественным препаратом на его основе является 0,4% водная эмульсия перметрина (медифокс). Авторами ранее доказана его высокая эффективность при лечении чесотки.

Ключевые слова: чесотка, лечение, перметрин, грудные дети

Введение

В настоящее время в Российской Федерации возникла серьезная проблема – отсутствует препарат для лечения чесотки у детей до года. В соответствии с Государственным реестром лекарственных средств (ГРЛС) в России для лечения чесотки разрешены бензилбензоат (20% эмульсия, 10% и 20% мазь), 5% концентрат перметрина в этаноле (медифокс) и 33% серная мазь. Используемый ранее препарат эсбиол + пиперонила бутоксид (спрегаль, Франция) не прошел перерегистрацию и с 2014 года в Россию не экспортируется. Именно этот скабицид был основным лекарственным средством для лечения детей грудного возраста и беременных.

В соответствии с инструкциями к бензилбензоату, 5% концентрату перметрина в этаноле и серной мази, выпускаемыми отечественными фирмами, имеются возрастные ограничения для лечения детей. (таб.№1).

Таким образом в России с настоящее время отсутствуют препараты для лечения чесотки у детей грудного возраста.

Целью исследования было провести анализ литературы, отражающей особенности лечения чесотки у грудных детей скабицидами различных фармакологических групп и обосновать целесообразность их использования в России.

Таблица 1

Противочесоточные препараты, зарегистрированные в ГРЛС и разрешенные для лечения чесотки у детей с учетом возраста

Название скабицида	Возрастные градации
Эмульсия перметрина в этаноле 5% концентрации. Для лечения детей готовят 0,4% эмульсию, разводя водой в соотношении 8 на 100.	С годовалого возраста
Эмульсия бензилбензоата 20% концентрации. Для лечения детей готовят 10% эмульсию, разводя водой в соотношении 1:1.	С 3-х летнего возраста
Мазь бензилбензоата 10% концентрации.	С 3-х летнего возраста
Серная мазь 5% концентрации (изготавливается в аптеке)	С 3-х летнего возраста

Как цитировать

Соколова, Т. В., & Малярчук, А. П. (2019). Чесотка у детей: Проблема, требующая решения. *Health, Food & Biotechnology*, 1(4). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i4.s252>

Материалы и методы исследования

Данные статьи базируются на анализе Кокрановских обзоров, включающих сетевой мета-анализ базы данных MEDLINE, EMBASE, LILACS и INDMED; клинических рекомендаций европейских, американских, японских специалистов и статей отечественных и зарубежных авторов по проблеме лечения чесотки у грудных детей.

Результаты исследования

В 2010 году Strong M. и Johnstone P. (Strong, M., Johnstone, P., 2010) провели целенаправленный поиск обзоров, посвященных оценке эффективности методов лечения чесотки различными противочесоточными препаратами. Авторы использовали специализированный регистр Кокрановской группы по инфекционным заболеваниям (Кокрановская библиотека 2010, выпуск 2), базы данных MEDLINE, EMBASE, LILACS и INDMED. В августе этого же года исследования были дополнены данными из источников, найденных в списках литературы с результатами клинических испытаний антипаразитарных средств. Это позволило авторам дать объективную оценку эффективности препаратов, используемых в разных странах для лечения чесотки. После тщательного анализа и систематизации данных, они были опубликованы в Кокрановском обзоре (Strong, & Johnstone, 2010). В него включено двадцать два исследования, в том числе два многоцентровых рандомизированных исследования, одно из которых плацебо-контролируемое. Число больных по данным публикациям составило 2676. В 18 работах специалисты сравнивали эффективность схем лечения двух и более скабицидов. Доказано, что 5% крем перметрина обладает более выраженной эффективностью, чем пероральный ивермектин, местный кротамитон и местный линдан. Он быстрее устраняет зуд, чем другие скабициды. Различий в эффективности перметрина и бензилбензоата не выявлено.

В 2019 г. Kazeminejad A. и соавт. (Kazeminejad, & Ghahari, 2019) провели обзор электронной базы данных, включающей Google Scholar, PubMed, Cochrane Database of Systematic Reviews и Scopus. Для поиска вводили слова: чесотка, педиатрия и дети. Обзор включал статьи, опубликованные с 2008 по 2018 гг. Авторы установили, что повсеместно в различных странах наиболее эффективным средством в педиатрической практике яв-

ляется перметрин, другие – менее эффективны и обладают рядом побочных эффектов.

Результаты лечения чесотки у детей различными скабицидами опубликованы и в других Кокрановских обзорах (Strong, M., Johnstone, P., 2007, 2011). Сетевой мета-анализ, базирующийся на данных 52 исследований, которые включают 9917 больных чесоткой, показал, что при использовании перметрина излечение наступало значительно быстрее, чем после применения серы, малатиона, линдана, кротамитона и бензилбензоата (Thadanipon, & Attia 2019). Отмечена эффективность и безопасность 5% крема перметрина для лечения детей в возрасте от 2 месяцев и старше. Рандомизированные исследования, целью которых было сравнение результатов лечения чесотки 5% кремом перметрина и пероральным ивермектином также свидетельствует о более высокой эффективности первого препарата (Usha, Gopalakrishnan Nair, 2000). Однократное использование 5% крема перметрина приводило к клиническому излечению 97,8% больных и превосходило однократное использование ивермектина (излечение 70%) (Wendei, & Rompalo, 2002). Превосходству перметрина над ивермектином посвящена и другая публикация (Strong, Johnstone, 2011). Отмечено, что перметрин практически не имеет побочных эффектов.

В США 5% крем перметрина для лечения детей в возрасте от 2-х месяцев и старше одобрен FDA (Food and Drug Administration) (Strong, & Johnstone, 2007), Американской академией педиатрии (Baker, 2013), Центром по контролю и профилактике заболеваний (ресурсы для медицинских работников)¹. В последнем документе также отмечено, что 5% крем перметрина можно применять у беременных и кормящих женщин.

Данные о появлении перметрина в грудном молоке отсутствуют. Имеются сведения, указывающие, что менее 2% препарата всасывается через кожу при однократном применении (Van der Rhee, & Vermeulen, 1989). Сведения о безопасности 5% крема во время беременности отражены в некоторых американских и европейских публикациях (Mytton et al., 2007, Currie, & McCarthy, 2010). В то же время японские специалисты считают, что при наличии чесотки у кормящих женщин грудное вскармливание на период втирания препарата лучше прекратить (Currie, & McCarthy, 2010).

¹ Centers for Disease Control and Prevention. Scabies. Resources for health professionals. http://www.cdc.gov/parasites/scabies/health_professionals/meds.html (accessed October 2, 2019).

В Европейском руководстве по лечению больных чесоткой (Salavastru, & Tiplica, 2017) указано, что препаратами первой линии для лечения чесотки являются 5% крем перметрина, пероральный ивермектин и 25% бензилбензоат. Альтернативные методы лечения включают 0,5% водный лосьон малатиона, 1% лосьон ивермектина и препараты 6-33% серы в виде крема, мази или лосьона. У детей 5% крем перметрина рекомендуется использовать, начиная с 2-х месячного возраста.

Данные Исполнительного комитета Японии в разделе «Руководство по диагностике и лечению чесотки» свидетельствуют, что перметрин лучше подходит для лечения чесотки как с точки зрения эффективности, так и безопасности. Его можно применять у детей в возрасте от 2 месяцев и старше, а также у беременных. Препарат не токсичен, быстро разлагается после воздействия, поэтому не оказывает влияния на окружающую среду (Executive Committee of Guideline, 2017).

Причины неэффективности 5% крема перметрина практически всегда связаны не с резистентностью возбудителя к скабициду, а с нарушением методики применения препарата. Этот вопрос детально изучен немецкими авторами (Sunderkötter & Feldmeier, 2019). Причины неэффективности лечения многообразны: недостаточное время экспозиции препарата на коже; сохранение живого возбудителя под ногтями; выраженный гиперкератоз на кистях и стопах, что затрудняет проникновение препарата в ходы; поражение кожи волосистой части головы у взрослых; однократная обработка кожного покрова при распространенном процессе; мытье рук после обработки скабицидом без его повторного нанесения; неадекватная терапия при сочетании чесотки другими дерматозами; реинвазия; непрямой путь повторного заражения от инвазированных предметов (одежда, постельные принадлежности и т.п.) при высоком паразитарном индексе очага.

Эффективность 0,4% водного раствора перметрина, приготовленного *ex tempore* из 5% концентрата, по воздействию на возбудителя чесотки впервые была оценена И.В. Рязанцевым (Рязанцев, 2004) и В.В. Олифер (Олифер, 2006). Специфическая активность рабочей концентрации изучена *in vitro* и *in vivo*. Это дало возможность предложить практикующим врачам этиологически обоснованную схему лечения. Доказано, что гибель активных самок и личинок в 100% случаев происходила после однократного втирания препарата в кожу. Часть сформированных личинок в яичевых оболочках сохраняла жизнеспособность. После извлечения из ходов таких яиц, помещения их в вводную

висячую каплю и инкубирования в термостате при температуре 36,5°C личинки вылуплялись и сохраняли активность. Гибель личинок наступала после двукратной обработки больного в 1 и 4 дни курса. Применение такого подхода в дальнейшем приводило к 100% выздоровлению больных. Медикаментозные осложнения отсутствовали.

Позднее А.П. Малярчук провел исследование, направленное на сравнение эффективности четырех скабицидов, разрешенных для применения в России (20% мазь бензилбензоата, 0,4% водный раствор перметрина, 33% серная мазь, спрегаль) (Малярчук, 2010). Исследование выполнялось в кожно-венерологическом отделении военного госпиталя, методика втирания скабицида контролировалась медицинскими сестрами, использовались качественные препараты. Диагноз заболевания у всех больных подтвержден лабораторно по обнаружению возбудителя. В целях исключения реинвазии больных изолировали. Критерии излеченности: разрешение клинических проявлений и отсутствие живого возбудителя. Обследовано и пролечено 104 больных. Эффективность лечения 33% серной мазью была 100%, но у 1/3 больных возник медикаментозный контактный дерматит. Эффективность 20% мази бензилбензоата составила 82,1%, но 10,7% больных жаловались на длительный постскабиозный зуд. После курса терапии 0,4% водным раствором медифокса эти показатели составили 80,7% и 11,5%, соответственно. При эффективности спрегаля 96,5% постскабиозный зуд наблюдали у 3,5% больных. Всего у 4 (3,8%) больных из 7 при сохранении постскабиозного зуда из ходов были извлечены откладывающие яйца самки. У этих пациентов на коже зарегистрированы свежие высыпания (папулы, везикулы, ходы) (Соколова, & Малярчук, 2009). Только эту ситуацию можно трактовать, как неэффективность терапии. Этиологический подход к оценке специфической активности 0,4% водного раствора перметрина свидетельствует о высокой эффективности данной концентрации скабицида. В республике Таджикистан проведена сравнительная оценка эффективности 0,8% и 0,4% водного раствора перметрина. В семейных очагах пролечено 217 больных *чесоткой*. Отмечена более высокая эффективность 0,8% концентрации (94,1% против 77,2%) (Малярчук, & Устобаева, 2014).

Выводы

1. Проведенный анализ данных литературы свидетельствует о высокой эффективности 5% крема перметрина при лечении чесотки. В Америке, Европе, Японии он разре-

шен для лечения детей, начиная с двухмесячного возраста. В России изучение специфической активности 0,4% водного раствора перметрина, полученного при разведении водой 5% концентрата перметрина в этаноле, по воздействию на возбудителя свидетельствует о высокой эффективности данной концентрации.

2. Отсутствие в ГРЛС препаратов, разрешенных для лечения чесотки у детей до года, указывает на целесообразность использования опыта зарубежных специалистов. Концентрация 0,4% раствора перметрина в 12,5 раз ниже, чем 5% крема перметрина. Вопрос об использовании этого препарата необходимо решать на уровне Минздрава РФ. В случае принятия положительного решения такой подход к лечению детей грудного возраста может найти отражение в новых «Клинических рекомендациях».
3. Принятие решения о лечении детей в возрасте до года водным 0,4% раствором перметрина в каждом конкретном случае необходимо коллегиально обсудить в лечебном учреждении. Родители или опекуны ребенка должны получить от врача подробную инструкцию по использованию препарата и подписать информированное согласие на проведение лечения, как в стационаре, так и в домашних условиях.

Литература

- Малярчук, А. П. (2006). *Оптимизация диагностики, лечения и профилактики чесотки*. [Малярчук, Александр Петрович. Автореф. дисс... канд. мед. наук. ГИУВ МО РФ]. Москва. Россия.
- Малярчук, А. П. (2014). Влияние различных концентраций медифокса на эффективность лечения чесотки. *Дерматология в России*, 3(1).
- Олифер, В. В. (2006). *Новые подходы к разработке скабицидных средств и совершенствование профилактических мероприятий в очагах чесотки*. [Олифер Вероника Валентиновна. Автореф. дисс...канд.биол.наук. ПМГМУ МЗ РФ]. Москва. Россия.
- Рязанцев, И. В. (2004). *Совершенствование лечебно-профилактических мероприятий при чесотке в ВС РФ*. [Рязанцев, Иван Валерьевич. Автореф. дисс...канд.мед.наук. ГИУВ МО РФ]. Москва. Россия.
- Соколова, Т. В., & Малярчук, А. П. (2009). Лечение чесотки. *Клиническая дерматология и венерология*, 6, 64-67.
- Baker, C. J. (2013). *Red Book atlas of pediatric infectious diseases*. American Academy of Pediatrics.
- Currie, B. J., & McCarthy, J. S. (2010). Permethrin and ivermectin for scabies. *New England Journal of Medicine*, 362(8), 717-725.
- Executive Committee of Guideline for the Diagnosis. (2017). Guideline for the diagnosis and treatment of scabies in Japan: Executive Committee of Guideline for the Diagnosis and Treatment of Scabies. *Journal of Dermatology*, 44(9), 991-1014.
- Kazeminejad, A., & Ghahari, M. J. (2019) Scabies Treatment in Children: A Narrative Review. *Journal Pediatrics Review*, 7(2), 105-112.
- Mytton, O., McGready, R., Lee, S., Roberts, C., Ashley, E., Carrara, V., Thwai, K. L., Jay, M. P., Wiangambun, T., Singhasivanon, P., & Nosten, F. (2007). Safety of benzyl benzoate lotion and permethrin in pregnancy: a retrospective matched cohort study. *BJOG an International Journal of Obstetrics & Gynaecology*. *BJOG An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*. <http://doi.org/10.1111/j.1471-0528.2007.01290.x>
- Rosumeck, S., Nast, A., & Dressler, C. (2018). Ivermectin and permethrin for treating scabies. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (4). <http://dx.doi.org/10.1002/14651858.CD012994>
- Salavastru, C. M., Chosidow, O., Boffa, M. J., Janier, M., & Tiplica, G. S. (2017). European guideline for the management of scabies. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 31(8), 1248-1253.
- Strong M., & Johnstone, P. (2011). Cochrane Review: Interventions for treating scabies. *Evidence-Based Child Health: A Cochrane Review Journal*, 6(6). <https://doi.org/10.1002/ebch.861>
- Strong, M., & Johnstone, P. (2007). Interventions for treating scabies. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (3).
- Strong, M., & Johnstone, P. (2010). Interventions for treating scabies (Review), *The Cochrane Collaboration*, 1-70.
- Sunderkötter, C., Aebischer, A., Neufeld, M., Löser, C., Kreuter, A., Bialek, R., Hamm, H., & Feldmeier, H. (2019). Increase of scabies in Germany and development of resistant mites? Evidence and consequences. *Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft [Journal of the German Society of Dermatology]*, 17(1), 15-23. <https://doi.org/10.1111/ddg.13706>
- Thadanipon, K., Anothaisintawee, T., Rattanasiri, S., Thakkinstian, A., & Attia, J. (2019). Efficacy and safety of antiscabietic agents: A systematic review and network meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 80(5), 1435-1444.

- Usha, V., & Nair, T. G. (2000). A comparative study of oral ivermectin and topical permethrin cream in the treatment of scabies. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 42(2), 236-240.
- Van der Rhee, H. J., Farquhar, J. A., & Vermeulen, N. P. (1989). Efficacy and transdermal absorption of permethrin in scabies patients. *Acta dermato-venereologica*, 69(2), 170-176.
- Wendel, K., & Rompalo, A. (2002). Scabies and pediculosis pubis: an update of treatment regimens and general review. *Clinical Infectious Diseases*, 35(Supplement_2), S146-S151.
- Workowski, K. A., Berman, S. (2010). Sexually Transmitted Diseases Treatment Guidelines, 2010. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 59(12), 89-90.

Children's Scabies. Problem to be Solved

Tatiana V. Sokolova

Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: stv_morf2005@mail.ru

Alexandr P. Malyarchuk

Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: 2236779@mail.ru

In Russia, there are currently no drugs for the treatment of infants' scabies. The serious situation in the country requires the Ministry of Health to decide on the possibility of using permethrin for this purpose. The only drug previously approved for the treatment of scabies in children under one year old (esbiol + piperonyl butoxide, Spregal, France) has not been re-registered in Russia, has not been included in the State Register of Medicines and has not been exported to the country since 2014. An analysis of Cochrane reviews and foreign articles shows that in America, Europe and Japan, the first-line drug for treating scabies in children is 5% permethrin cream. A domestic drug based on it is 0.4% aqueous permethrin emulsion (medifox). The authors previously proved its high effectiveness in the treatment of scabies.

Keywords: scabies, treatment, permethrin, infants

References

- Baker, C. J. (2013). *Red Book atlas of pediatric infectious diseases*. American Academy of Pediatrics.
- Currie, B. J., & McCarthy, J. S. (2010). Permethrin and ivermectin for scabies. *New England Journal of Medicine*, 362(8), 717-725.
- Executive Committee of Guideline for the Diagnosis. (2017). Guideline for the diagnosis and treatment of scabies in Japan: Executive Committee of Guideline for the Diagnosis and Treatment of Scabies. *Journal of Dermatology*, 44(9), 991-1014.
- Kazeminejad, A., & Ghahari, M. J. (2019). Scabies Treatment in Children: A Narrative Review. *Journal Pediatrics Review*, 7(2), 105-112.
- Mytton, O., Mcgready, R., Lee, S., Roberts, C., Ashley, E., Carrara, V., Thwai, K. L., Jay, M. P., Wiangambun, T., Singhasivanon, P., & Nosten, F. (2007). Safety of benzyl benzoate lotion and permethrin in pregnancy: a retrospective matched cohort study. *BJOG an International Journal of Obstetrics & Gynaecology*. *BJOG An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*. <http://doi.org/10.1111/j.1471-0528.2007.01290.x>
- Rosumeck, S., Nast, A., & Dressler, C. (2018). Ivermectin and permethrin for treating scabies. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (4). <http://dx.doi.org/10.1002/14651858.CD012994>
- Salavastru, C. M., Chosidow, O., Boffa, M. J., Janier, M., & Tiplica, G. S. (2017). European guideline for the management of scabies. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 31(8), 1248-1253.
- Strong M., & Johnstone, P. (2011). Cochrane Review: Interventions for treating scabies. *Evidence-Based Child Health: A Cochrane Review Journal*, 6(6). <https://doi.org/10.1002/ebch.861>
- Strong, M., & Johnstone, P. (2007). Interventions for treating scabies. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (3).
- Strong, M., & Johnstone, P. (2010). Interventions for treating scabies (Review), *The Cochrane Collaboration*, 1-70.
- Sunderkötter, C., Aebischer, A., Neufeld, M., Löser, C., Kreuter, A., Bialek, R., Hamm, H., & Feldmeier, H. (2019). Increase of scabies in Germany and development of resistant mites? Evidence and consequences. *Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft [Journal of the German Society of Dermatology]*, 17(1), 15-23. <https://doi.org/10.1111/ddg.13706>
- Thadanipon, K., Anothaisintawee, T., Rattanasiri, S., Thakkinstant, A., & Attia, J. (2019). Efficacy and safety of antiscabietic agents: A systematic review and network meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 80(5), 1435-1444.
- Usha, V., & Nair, T. G. (2000). A comparative study of oral ivermectin and topical permethrin cream in the treatment of scabies. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 42(2), 236-240.

How to Cite

Sokolova, T. V., & Malyarchuk, A. P. (2019). Scabies of Children: Problem that We Need to Solve. *Health, Food & Biotechnology*, 1(4). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i4.s252>

- Van der Rhee, H. J., Farquhar, J. A., & Vermeulen, N. P. (1989). Efficacy and transdermal absorption of permethrin in scabies patients. *Acta dermato-venereologica*, 69(2), 170-176.
- Wendel, K., & Rompalo, A. (2002). Scabies and pediculosis pubis: an update of treatment regimens and general review. *Clinical Infectious Diseases*, 35(Supplement_2), S146-S151.
- Workowski, K. A., Berman, S. (2010). Sexually Transmitted Diseases Treatment Guidelines, 2010. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 59(12), 89-90.
- Malyarchuk, A. P. (2006). *Optimizaciya diagnostiki, lecheniya i profilaktike chesotki* [Optimization of diagnosis, treatment and prevention of scabies] [Malyarchuk, Aleksandr Petrovich. Avtoref. diss... kand. med. nauk. GIUV MO RF]. Moskva. Rossiya.
- Malyarchuk, A. P. (2014). The effect of various concentrations of medifox on the effectiveness of scabies treatment. *Dermatologiya v Rossii* [Dermatology in Russia], 3(1). URL: <http://www.dermatology.ru/publications/derm.ross.2014.01/31424/>.
- Olifer, V. V. (2006). *Novye podhody k razrabotke skabitsidnyh sredstv i sovershenstvovanie profilakticheskikh meropriyatij v ochagah chesotki* [New approaches to the development of scabicide agents and the improvement of preventive measures in foci of scabies] [Olifer, Veronika Valentinovna. Avtoref. diss...kand.biol.nauk. PMGMU MZ RF]. Moskva. Rossiya.
- Ryazancev, I. V. (2004). *Sovershenstvovanie lecheno-profilakticheskikh meropriyatij pri chesotke v VS RF* [Improving treatment and preventive measures for scabies in the Armed Forces of the Russian Federation] [Ryazancev, Ivan Valer'evich. Avtoref. diss...kand.med.nauk. GIUV MO RF]. Moskva. Rossiya.
- Sokolova, T. V., & Malyarchuk, A. P. (2009). Therapy of scabies. *Klinicheskaya dermatologiya i venerologiya* [Clinical Dermatology and Venereology], 6, 64-67.

Детекция жизнеспособных некультивируемых клеток микроорганизмов в курином фарше

Абдуллаева Асият Мухтаровна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: abdullaevaam@mgupp.ru

Блинкова Лариса Петровна

ФГБНУ НИИ вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова

Адрес: 105064, город Москва, Малый Казенный переулок, дом 5а

E-mail: b.larus@mail.ru

Уша Борис Вениаминович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: vet-san-dekanat@yandex.ru

Валитова Румия Камилевна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

ФГБНУ НИИ вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова

Адрес: 105064, город Москва, Малый Казенный переулок, дом 5а

E-mail: rumiya.valitova@gmail.com

Пахомов Юрий Дмитриевич

ФГБНУ НИИ вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова

Адрес: 105064, город Москва, Малый Казенный переулок, дом 5а

E-mail: yury-pakhomov@yandex.ru

Митрофанова Дарья Борисовна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

ФГБНУ НИИ вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова

Адрес: 105064, город Москва, Малый Казенный переулок, дом 5а

E-mail: dar.gushina@yandex.ru

В связи с потенциальной возможностью существования в пищевых продуктах биоопасных жизнеспособных некультивируемых клеток (ЖНК) патогенных микроорганизмов, которые могут формироваться под действием различных факторов, актуальными для предотвращения заражения мясных продуктов являются детекция и определение условий образования в них ЖНК разных бактерий-контаминантов. В работе проведен поиск ЖНК в курином фарше в условиях реального времени и при экспериментальном заражении продукции *Staphylococcus aureus*. Для выявления ЖНК в курином фарше (производство региональной птицефабрики) в 1 г продукта определяли совокупное количество микробов, численность выросших бактериальных колоний (КОЕ), содержание живых (мертвых) клеток с помощью коммерческого набора флуоресцентных красителей. Повторное изучение проводили через 5 ч инкубации тестируемых образцов фарша при комнатной температуре. В пробах куриного фарша на 4-й день после его изготовления обнаружены

ЖНК в количестве более 99% от всех выявленных живых клеток. Через 5 часов инкубации фарша при комнатной температуре бактерии-контаминанты увеличили численность КОЕ/г в 22,5 раза, но количество ЖНК сохранялось на уровне более 99% от числа жизнеспособных бактерий. При искусственном заражении той же серии фарша бульонной культурой *S. aureus* 209 Р в стадии логарифмического роста количество ЖНК в образце 0 час составило 97,33%, а через 5 ч их численность повысилась до 99,99%. Вероятно, во внесенной культуре стафилококка в стадии активного размножения не происходило образования ЖНК, что снизило вначале их количество в пробе. После 5 ч инкубации переход бактерий в состояние ЖНК ускорился, возможно, из-за неблагоприятных для популяции клеток условий (изменение трофического субстрата, температуры, pH и т.д.). Полученные данные являются экспериментальным подтверждением наличия в продукции из куриного мяса малоизученных ЖНК бактерий, не вырастающих на традиционных питательных средах, и показывающих ложноотрицательный результат при традиционной микробиологической экспертизе. Ввиду биоопасности таких скрытых dormantных клеток целесообразно предусмотреть регламентированное тестирование пищевой продукции на наличие ЖНК.

Ключевые слова: жизнеспособные, но некультивируемые клетки, куриный фарш, детекция, биоопасность

Литература

- Абдуллаева, А. М., Блинкова, Л. П., & Пахомов, Ю. Д. (2019) Значение жизнеспособных некультивируемых бактерий для безопасности пищевых продуктов. Проблемы Ветеринарной Санитарии, Гигиены и Экологии, 2(30), с. 183-190.
- Al-Qadiri, H. M., Lu, X., Al-Alami, N. I., & Rasco, B. A. (2011). Survival of *Escherichia coli* O157: H7 and *Campylobacter jejuni* in bottled purified drinking water under different storage conditions. *Journal of Food Protection*, 74(2), 254–260. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-10-368>
- Asakura, H., Makino, S.-I., Takagi, T., Kuri, A., Kurazono, T., Watarai, M., & Shirahata, T. (2002). Passage in mice causes a change in the ability of *Salmonella enterica* serovar Oranienburg to survive NaCl osmotic stress: resuscitation from the viable but non-culturable state. *FEMS Microbiology Letters*, 212(1), 87-93. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2002.tb11249.x>
- Aurass, P., Prager, R., & Flieger, A. (2011). EHEC/EAEC O104: H4 strain linked with the 2011 German outbreak of haemolytic uremic syndrome enters into the viable but non-culturable state in response to various stresses and resuscitates upon stress relief. *Environmental Microbiology*, 13(12), 3139–3148. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2011.02604.x>
- Ayrapetyan, M., & Oliver, J. D. (2016). The viable but non-culturable state and its relevance in food safety. *Current Opinion in Food Science*, 8, 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.04.010>
- Barron, J. C., & Forsythe, S. J. (2007). Dry stress and survival time of *Enterobacter sakazakii* and other *Enterobacteriaceae* in dehydrated powdered infant formula. *Journal of Food Protection*, 70(9), 2111–2117. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-70.9.2111>
- Bates, T. C., & Oliver, J. D. (2004). The viable but nonculturable state of Kanagawa positive and negative strains of *Vibrio parahaemolyticus*. *Journal of Microbiology*, 42(2), 74–79.
- Blinkova, L., Martirosyan, D., Pakhomov, Yu., Dmitrieva, O., Vaughan, R., & Altshuler M. (2014). Nonculturable forms of bacteria in lyophilized probiotic preparations. *Functional Foods in Health and Disease*, 4(2), 66-76.
- Capozzi, V., Di Toro, M. R., Grieco, F., Michelotti, V., Salma, M., Lamontanara, A., Russo, P., Orru, L., Alexandre, H., & Spano, G. (2016). Viable But Not Culturable (VBNC) state of *Brettanomyces bruxellensis* in wine: new insights on molecular basis of VBNC behaviour using a transcriptomic approach. *Food Microbiology*, 59, 196–204. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.06.007>
- Chaisowwong, W., Kusumoto, A., Hashimoto, M., Harada, T., Maklon, K., & Kawamoto, K. (2012).

- Physiological characterization of *Campylobacter jejuni* under cold stresses conditions: its potential for public threat. *Journal of Veterinary Medical Science*, 74(1), 43–50. <https://doi.org/10.1292/jvms.11-0305>
- Cunningham, E., O’Byrne, C., & Oliver, J. D. (2009). Effect of weak acids on *Listeria monocytogenes* survival: evidence for a viable but nonculturable state in response to low pH. *Food Control*, 20(12), 1141–1144. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2009.03.005>
- Ding, T., Suo, Y., Xiang, Q., Zhao, X., Chen, S., Ye, X., & Liu, D. (2017). Significance of viable but nonculturable *Escherichia coli*: induction, detection, and control. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 27(3), 417–428 <https://doi.org/10.4014/jmb.1609.09063>.
- Dinu, L. D., & Bach, S. (2013). Detection of viable but non-culturable *Escherichia coli* O157: H7 from vegetable samples using quantitative PCR with propidium monoazide and immunological assays. *Food Control*, 31(2), 268–273.
- Divol B. & Lonvaud-Funel A. (2004). Evidence for viable but nonculturable yeasts in botrytis – affected wine. *Journal of Applied Microbiology*, 99(1), 85–93.
- Fakruddin, M., Mannan, K. S., & Andrews, S. (2013). Viable but nonculturable bacteria: food safety and public health perspective. *ISRN Microbiology*, 2013:703813. <https://doi.org/10.1155/2013/703813>
- Gunasekera, T. S., Sørensen, A., Attfield, P. V., Sørensen, S. J., & Veal, D. A. (2002). Inducible gene expression by nonculturable bacteria in milk after pasteurization. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(4), 1988–1993. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.4.1988-1993.2002>
- Hu, Y., & Coates, A. (2012). “Nonmultiplying bacteria are profoundly tolerant to antibiotics,” in *Antibiotic Resistance*, eds R. M. Anthony and A. Coates (Berlin: Springer Press), 99–119. https://doi.org/10.1007/978-3-642-28951-4_7
- Kramer, B., & Muranyi, P. (2014). Effect of pulsed light on structural and physiological properties of *Listeria innocua* and *Escherichia coli*. *Journal of Applied Microbiology*, 116(3), 596–611. <https://doi.org/10.1111/jam.12394>
- Li, L., Mendis, N., Trigui, H., Oliver, J. D., & Faucher, S. P. (2014). The importance of the viable but non-culturable state in human bacterial pathogens. *Frontiers in Microbiology*, 5, 258. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00258>
- Liu, J., Li, L., Li, B., Peters, B. M., Deng, Y., Xu, Z. & Shirliff, M. E. (2017). First study on the formation and resuscitation of viable but nonculturable state and beer spoilage capability of *Lactobacillus lindneri*. *Microbial Pathogenesis*, 107, 219–224. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.03.043>
- Makino, S.-I., Kii, T., Asakura, H., Shirahata, T., Ikeda, T., Takeshi, K., & Itoh, K. (2000). Does Enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157: H7 enter the viable but nonculturable state in salted salmon roe? *Applied and Environmental Microbiology*, 66(12), 5536–5539. <https://doi.org/10.1128/AEM.66.12.5536-5539.2000>
- Masmoudi, S., Denis, M., & Maalej, S. (2010). Inactivation of the gene *katA* or *sodA* affects the transient entry into the viable but non-culturable response of *Staphylococcus aureus* in natural seawater at low temperature. *Marine Pollution Bulletin*, 60(12), 2209–2214. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.08.017>
- Nicolò, M. S., Giofrè, A., Carnazza, S., Platania, G., Silvestro, I. D., & Guglielmino, S. P. (2010). Viable but nonculturable state of foodborne pathogens in grapefruit juice: a study of laboratory. *Foodborne Pathogens and Disease*, 8(1), 11–17. <https://doi.org/10.1089/fpd.2009.0491>
- Nicolò, M. S., & Guglielmino, S. P. P. (2012). “Viable but nonculturable bacteria in food,” in *Public Health–Methodology, Environmental and Systems Issues*, ed. J. Maddock (Rjeka: InTech), 189–216. <https://doi.org/10.5772/38118>
- Nyström, T. (2003). Nonculturable bacteria: programmed survival forms or cells at death’s door? *Bioessays*, 25(3), 204–211. <https://doi.org/10.1002/bies.10233>
- Oh, E., McMullen, L., & Jeon, B. (2015). Impact of oxidative stress defense on bacterial survival and morphological change in *Campylobacter jejuni* under aerobic conditions. *Frontiers in Microbiology*, 6, 295. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00295>
- Oliver, J. D. (2010). Recent findings on the viable but nonculturable state in pathogenic bacteria. *FEMS Microbiology Reviews*, 34(4), 415–425. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2009.00200.x>
- Peneau, S., Chassaing, D., & Carpentier, B. (2007). First evidence of division and accumulation of viable but nonculturable *Pseudomonas fluorescens* cells on surfaces subjected to conditions encountered at meat processing premises. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(9), 2839–2846. <https://doi.org/10.1128/AEM.02267-06>
- Pinto D., Santos M. A., & Chambel L. (2015). Thirty years of viable but nonculturable state research unsolved molecular mechanisms. *Critical Reviews in Microbiology*, 41(1), 61–76.
- Ramamurthy, T., Ghosh, A., Pazhani, G. P., & Shinoda, S. (2014). Current Perspectives on Viable but Non-Culturable (VBNC) Pathogenic Bacteria. *Frontiers in Public Health*, 2, 103. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2014.00103>

- Rao, N. V., Shashidhar, R., & Bandekar, J. R. (2014). Induction, resuscitation and quantitative real-time polymerase chain reaction analyses of viable but nonculturable *Vibrio vulnificus* in artificial sea water. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30, 2205–2212. <https://doi.org/10.1007/s11274-014-1640-1>
- Rowan, N. J. (2004). Viable but non-culturable forms of food and waterborne bacteria: quo vadis? *Trends in Food Science & Technology*, 15(9) 462–467. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.009>
- Rowan, N. J., Valdramidis, V. P., & Gomez-Lopez, V. M. (2015). A review of quantitative methods to describe efficacy of pulsed light generated inactivation data that embraces the occurrence of viable but non culturable state microorganisms. *Trends in Food Science & Technology*, 44(1), 79–92. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.03.006>
- Schottroff, F., Fröhling, A., Zunabovic-Pichler, M., Krottenthaler, A., Shlüter, O., & Jäger, H. (2018). Sublethal injury and viable but non-culturable (VBNC) state in microorganisms during preservation of food and biological materials by non-thermal processes. *Frontiers in Microbiology*, 9, article 2773, p. 1-19. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02773>
- Serpaggi, V., Remize, F., & Recorbet, G. (2012). Characterization of the “viable but nonculturable” (VBNC) state in the wine spoilage yeast *Brettanomyces*. *Food Microbiology*, 30(2), 440–447.
- Zhang, S., Ye, C., Lin, H., Lv, L., & Yu, X. (2015). UV disinfection induces a VBNC state in *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Environmental Science & Technology*, 49(3), 1721–1728. <https://doi.org/10.1021/es505211e>
- Zhao, X., Zhong, J., Wei, C. Lin C.-W., & Ding T. (2017). Current perspectives on viable but non-culturable state in foodborne pathogens. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1-32. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00580>
- Zhao, X., Wei, C., Zhong, J., & Jin, S. (2016). Research advance in rapid detection of foodborne *Staphylococcus aureus*. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 30(5), 1–7. <https://doi.org/10.1080/13102818.2016.1209433>
- Ziprin, R. L., Droleskey, R. E., Hume, M. E., & Harvey, R. B. (2003). Failure of viable nonculturable *Campylobacter jejuni* to colonize the cecum of newly hatched leghorn chicks. *Avian Diseases*, 47(3), 753–758. <https://doi.org/10.1637/7015>

Detection of Viable but Nonculturable Microbial Cells in Chicken Mince

Asiyat M. Abdullaeva

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: abdullaevaam@mgupp.ru*

Larisa P. Blinkova

*I.I. Mechnikov Research Institute of Vaccines and Sera
5a, Maliy Kazenniy pereulok, Moscow, 105064, Russian Federation
E-mail: b.larus@mail.ru*

Boris V. Usha

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: vet-san-dekanat@yandex.ru*

Rumiya K. Valitova

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
I.I. Mechnikov Research Institute of Vaccines and Sera
5a, Maliy Kazenniy pereulok, Moscow, 105064, Russian Federation
E-mail: rumiya.valitova@gmail.com*

Yuriy D. Pakhomov

*I.I. Mechnikov Research Institute of Vaccines and Sera
5a, Maliy Kazenniy pereulok, Moscow, 105064, Russian Federation
E-mail: yury-pakhomov@yandex.ru*

Daria B. Mitrofanova

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
I.I. Mechnikov Research Institute of Vaccines and Sera
5a, Maliy Kazenniy pereulok, Moscow, 105064, Russian Federation
E-mail: dar.gushina@yandex.ru*

There is a potential for existence of hazardous viable but nonculturable (VBNC) cells of pathogenic microorganisms in foodstuffs that can be formed under the influence of various factors. Their detection and determination of conditions for formation of VBNC cells of various bacteria are relevant for preventing contamination of meats. This was the aim of the present study. The search was conducted for VBNC cells in chicken mince in real time and during experimental infection of it by *Staphylococcus aureus* 209P. In order to detect VBNC cells in chicken mince, total number of microbes, number of bacterial colonies (CFU), and the portion of living (dead) cells were determined in 1g of the product using a commercial set of fluorescent dyes. A second study was carried out after 5 h of incubation of tested samples at room temperature. In samples of minced meat on the 4th day after production, more than 99% of all detected living cells were VBNC. After 5-hour incubation of the sample, the number of CFU/g increased by 22.5 times, but the portion of VBNC cells remained higher than 99% of viable bacteria. During artificial infection of the same batch of mince with *S. aureus* in broth culture at the stage of logarithmic growth, the amount of VBNC cells for 0 hours was 97.33%. After 5 hours their number increased to 99.99%. Probably, in the introduced culture

of *Staphylococcus* at the stage of active reproduction, formation of VBNC bacteria did not occur, which initially reduced their number in the sample. After 5-h incubation, transition of bacteria to VBNC state was accelerated, possibly due to unfavorable conditions for the cell population (changes in trophic substrate, temperature, pH, etc.). Experimental data confirm presence of VBNC bacteria in chicken products that don't grow on traditional nutrient media and showing a false negative result in traditional microbiological expertise. Because of the biohazard of such dormant cells, it is advisable to provide regulated testing of foodstuffs for presence of VBNC cells.

Keywords: viable but nonculturable cells, chicken mince, detection, biohazard

Introduction

The environment, in which many microorganisms exist, can stimulate their growth, or on the contrary, limit it or contribute to the cessation of cell reproduction. The latter process is most often associated with emerging stress due to non-optimal values of temperature (Chaisowwong et al., 2012) and pH (Cunningham et al., 2009), osmotic pressure (Asakura et al., 2002), oxygen concentration and other gases (Oh et al., 2015), UV and radiation (Zhang et al., 2015), pulsed light and pulsed energy fields (Kramer, B., & Muranyi, P., 2014), lyophilization (Blinkova et al., 2014), antibiotics (Hu, & Coates 2012), chemical preservatives, disinfectants, metal ions, nutrient deficiencies (Zhao et al., 2017), etc.

The consequence of the stressful effects of these factors on non-sporeforming microorganisms is their transition to a viable but nonculturable (VBNC) state (Abdullaeva, Blinkova & Pakhomov, 2019; Ayrapetyan & Oliver, 2016; Li, Mendis, Trigui, Oliver & Faucher 2014; Pinto, Santos & Chambel, 2015; Ramamurthy, Ghosh, Pazhani & Shinoda, 2014). This is considered the "cell strategy for their survival" (Nystrom, 2003; Oliver, 2010). When favorable conditions appear, cells can return to their normal physiological state, restoring metabolism and the ability to grow and multiply (Rao, Shashidhar & Bandekar, 2014).

Because of the formation of VBNC cells, dangerous contaminant bacteria that remain undetected in foods, when conventional methods of microbiological control are used, can multiply to dangerous levels and cause diseases (Abdullaeva, Blinkova & Pakhomov, 2019; Ayrapetyan & Oliver, 2016; Fakruddin, Mannan & Andrews, 2013).

Non-sporeforming microorganisms contaminating food products, water, that are found in of VBNC state, include *Salmonella* spp., *Shigella* spp., *E. coli*, *Staphylococcus* spp., *Streptococcus* spp., *Listeria monocytogenes*, *Yersinia* spp., *Aeromonas hydrophila*,

Vibrio spp., *Campylobacter jejuni*, *Pseudomonas aeruginosa* et al. By 2015, researchers reported 68 species of microorganisms that can be found in the state of VBNC state (Zhao, Zhong, Wei, Lin, & Ding, 2017; Bates, & Oliver, 2004; Ding, Suo, Xiang, Zhao, Chen, & Liu, 2016; Rao, Shashidhar, & Bandekar, 2014).

Infection of food products with VBNC cells is possible not only during the manufacture of food products on infected equipment, but also during storage, transportation and with contaminated raw materials (Abdullaeva, Blinkova & Pakhomov, 2019; Zhao, Zhong, Wei, Lin, & Ding, 2017).

Among the food sources of VBNC microorganisms, are meats of various animals and birds, fish and seafood, eggs, vegetables, fruits, juices, pickles and even kitchen utensils and dust is known (Bates & Oliver, 2004; Dinu & Bach, 2013; Nicolò et al., 2010; Zhao, Zhong, Wei, Lin, & Ding, 2017; Ziprin, Droleskey, Hume & Harvey, 2003).

The existence of VBNC cells in *Campylobacter jejuni* under conditions of increased oxygenation (Oh, McMullen & Jeon, 2015), low-temperature exposure in *L. monocytogenes* (Chaisowwong et al., 2012), after UV irradiation in *P. aeruginosa* and enteritis causing, *E. coli* was reported (Ding et al., 2017; Dinu & Bach, 2013; Zhang, Ye, Lin, Lv & Yu, 2015). In the spore-forming *B. cereus* VBNC cells appear after treatment with a pulsating electric field in the presence of potassium sorbate at low pH (Cunningham, O'Byrne & Oliver, 2009; Rowan, 2004), in *Lactobacillus lindneri*, *L. harbinensis* in beer causing its spoilage (Liu et al., 2017). There are known cases of wine spoilage in barrels after their treatment with sodium metabisulfite, which are caused by the VBNC yeasts *Brettanomyces bruxellensis*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida albicans* var. *stellatoidea* (Capozzi et al., 2016; Divol & Lonvaud-Funel, 2004; Serpaggi, Remize & Recorbet, 2012). Unusual outbreaks of food poisoning have also been described. Thus, a recorded foodborne bacterial infection connected to the consumption

of salted salmon roe is associated with the VBNC cells of the enteropathogenic strain of *E. coli* O157: H7 (Makino et al., 2000). In another case (Asakura et al., 2002), infection was reported with evidence for *Salmonella enterica* serovar *Oranienburg*, isolated from dried salted squid after reversing the from VBNC cells to a vegetative form. However, there was no direct detection of the original VBNC bacteria in seafood.

The presence of VBNC microorganisms in the fresh bodies of water and seas (Masmoudi, Denis & Maalej, 2010; Rowan, 2004), in tap water treated with chlorinating disinfectants, can pose a threat to human health. This was reported, for example, by Al-Qadiri, Lu, Al-Alami & Rasco, (2011) who detected enterohemorrhagic *E. coli* O157: H7 and *C. jejuni* in tap water using molecular detection methods.

Under the influence of temperature pasteurization, microbes in the VBNC state were present in milk (Gunasekera, Sørensen, Attfield, Sørensen & Veal, 2002), and live nonculturable cells of *Cronobacter sakazakii* were found in dry dairy products (Barron & Forsythe, 2007). When potassium sorbate was used for antibacterial processing of food products at pH 4.0 after 24 hours, *L. monocytogenes* VBNC cells formed under the influence of this substance were detected (Cunningham, O'Byrne & Oliver, 2009). By simulating the processing conditions of production equipment at a meat processing plant with help of disinfectants (Peneau, Chassaing & Carpentier, 2007), VBNC *Pseudomonas fluorescens* was obtained. The question of the occurrence of VBNC cells after various methods of decontaminating exposure remains insufficiently studied (Schottroff, Fröhling, Zunabovic-Pichler, Krottenthaler, Shlüter & Jäger, 2019).

More than 250 diseases associated with food contaminated with microorganisms are known (Nicolò & Guglielmino, 2012). As follows from the literature sources cited in our article, the main direction of research was to establish stress factors for the transition of microorganisms to a nonculturable state. Studies on the conditions and features of the existence of VBNC bacteria in food products, as well as improving the microbiological expertise for the presence of VBNC bacteria-contaminants, were fragmentary. The use of food products imported with long-distance transportation from geographically remote countries with low hygienic standards may increase the likelihood of microbial contamination of products with transition of bacteria into VBNC forms.

The issue of accurately conducted microbiological expertise on the safety of both domestic and imported

food products and raw materials has a high level of relevance, especially in the conditions of a pandemic spread of infection. In this situation, food poisoning can be an aggravating factor. Therefore, the detection and the population characteristics of dangerous VBNC cell of contaminant pathogens, such as *S. aureus* (Zhao, Wei, Zhong, & Jin, 2016) in one of the types of meat products - widely consumed chicken mince, was the purpose of this research.

Methodology

Materials

The object of the study was minced chicken from one of the producers in the Moscow region, 4 days after the date of manufacture that was purchased in a retail network. For microbiological analysis of products - determination of the number of anaerobic and facultative anaerobic microorganisms (KMAFAnM) according to State Standard 10444.15-54; we used 1.5% nutrient agar and nutrient broth produced by the State Scientific Center for Applied Microbiology in Obolensk and Petrifilm plates manufactured by 3M USA, in accordance with P54354-2011 "Meat and meat products." Staining of minced meat samples for the purpose of detection of bacterial contaminant was performed using a commercial kit of DNA- tropic dyes Live/Dead (BacLight™, USA).

Equipment

The following equipment was used during the experiments: Goryaev chamber, Russia, for microscopy of minced meat suspensions; when detecting microorganisms in mince meat suspensions, a Mikmed-5 light microscope from LOMO, Russia (magnification × 400) was used; Opton fluorescence microscope, Germany (magnification × 320); centrifuge "Eppendorf", Germany; high-precision scales by A & D, Japan, refrigerator Atlant, Belarus; Vortex Biosan, Latvia; Petri dishes, test tubes and plastic sterile pipettes of various volumes of the company "Costar", USA, automatic "Eppendorf" pipettes, Germany.

Methods of research

When conducting experiments on the microbiological examination of minced chicken, the main provisions of SanPiN 2.3.21078-01 "Hygienic requirements for safety and nutritional value of food products" and TR TS 034/2013 "On the safety of meat and meat products" were used.

In the experiments, the methods of microbiological studies were used: growing broth cultures, incubation of a minced meat sample of with broth or broth culture *S. aureus* 209P at a temperature of $(21 \pm 1)^\circ\text{C}$ for 0h and 5h; 10-fold serial dilutions of chicken mince samples in saline; subsequent plating on nutrient agar and Petrifilm; counting colony forming units (CFU/ml) on nutrient media; determination of the total number of bacteria in suspensions in the Goryaev chamber in a light microscope; staining of bacterial cells in minced meat samples with Live/Dead dye (Baclight™); counting differentially stained living (green) and dead (red) cells in a fluorescent microscope; calculation of the percentage of VBNC cells in the studied samples.

Data analysis

For a statistical evaluation of the reliability of differences in experimental data, we used the calculation of the arithmetic mean of 6 determinations (M), its error (m), and the variation limit (I_{95}) at $p < 0.05$.

Procedures of microbiological study

For study, 5 g samples were taken from the package of minced meat, which were suspended in 5 ml of sterile nutrient broth, then the mixture was stirred on a vortex and a series of 10-fold dilutions was made in 0.9% saline solution, with subsequent inoculation of a nutrient medium. Artificially infected with staphylococci chicken mince samples were prepared by adding 5 g of minced chicken to test tubes with 5 ml of fresh broth culture *Staphylococcus aureus* 209P. Further procedures were performed as described previously.

Samples were taken from mixtures at the following points: 0h, 5h. In each of the mixtures (minced meat mixture with meat-peptone broth; minced meat mixture with *S. aureus* 209P broth culture), the total number of bacteria was determined using a Goryaev chamber, and inoculation was made from dilutions of these mixtures in saline on 1.5% meat-peptone agar and on the Petrifilm to determine CFU/ml. To detect the level of viable bacteria in 1 ml of tested minced meat suspensions the number of living and dead cells was determined by staining with Live/Dead which was counted using a luminescent microscope. Based on the total data, the amount of VBNC cells was calculated.

Then, a statistical analysis of the experimental results was carried out with an assessment of the reliability of the average concentrations of microorganisms and the calculation of the variation limit using the Student t-test.

Results and Discussion

The data obtained in the experiments were supposed to demonstrate whether the products we tested contained bacterial VBNC cells. The results are presented in table 1.

According to the results of the study of minced chicken, which was stored for 4 days in a retail network in refrigerator, after opening the package (0h), the amount of CFU/g of product on meat-peptone agar was $(4.0 \pm 0.44) \times 10^3$ in 1 ml of suspension. This value corresponded to the CFU/g parameter ($10^3 - 10^4$) that is regulated by the documentation i.e. $<10^5$ for KMAFAnM in food. This value characterizes a fresh high quality product.

Table 1

Results of microbiological examination of minced chicken from a retail network

Sample incubation time (h)	Parameters (n=6) ($M \pm m$)				
	Total number of bacteria $\times 10^8/\text{ml}$ (I_{95})	CFU/ml $\times 10^5$ (I_{95})	Portions of cells (%) (I_{95})		Mean portion of VBNC (%)
			viable	dead	
0	$10,76 \pm 1,1$ ($8,10 \div 13,42$)	$4 \pm 0,44$ ($2,94 \div 5,06$)	$86 \pm 5,0$ ($76,3 \div 95,7$)	$14 \pm 1,5$ ($10,37 \div 17,6$)	99,99
5	$9,2 \pm 1,09$ ($6,57 \div 11,83$)	$90 \pm 9,9$ ($66,1 \div 113,9$)	$99 \pm 0,41$ ($98,01 \div 99,99$)	$1 \pm 0,24$ ($0,76 \div 1,24$)	99,99
Reliability of the differences (p_{95})	$>0,05$	$<0,05$	$<0,05$	$<0,05$	

Inoculating Petrifilm showed values close to the obtained CFU/ml values on Petri dishes.

Microscopic examination of a sample from a mixture of tested minced chicken in a sterile meat-peptone broth (sample 0 hour) was performed to determine the total number of microorganisms (TNM). It revealed $(10.76 \pm 1.1) \times 10^8$ cells/ml. After 5 h, the TNM remained statistically not different from the initial level $(9.2 \pm 1.09) \times 10^8$ cells/ml ($p > 0.05$). Comparison of 2 values (CFU/g/ml and TNM/ml) for the initial sample of minced chicken at 0h, and also after 5h showed that the value difference for each period was 5 orders of magnitude.

In order to determine the presence of VBNC cells in minced meat, we studied the number of live and dead bacterial cells in the same samples of suspended minced meat after staining with the Live/Dead DNA tropic dye. As can be seen from the table. 1, the average number of viable cells in the field of view was $(86 \pm 4.0)\%$, and for dead bacteria - $(14 \pm 0.15)\%$. Consequently, there were 6.1 times fewer dead than living cells capable of forming colonies. Based on the calculations, the amount of VBNC cells we found in the studied minced meat permitted for consumption was 99.99% of the population. After 5 hours of incubation of the mixtures of minced meat with nutrient broth at room temperature, the determination of TNM/ml, CFU/ml and VBNC was again carried out.

As a result, the data show that after a 5-hour incubation, the total number of microbes in the minced meat remained at a statistically unambiguous level compared to the same parameter at 0h ($p > 0.05$). At the same time, the value of CFU/ml increased by 22.5 times ($p < 0.05$). The average number of stained living bacteria capable of forming colonies, $(86 \pm 4.0)\%$

and $(99 \pm 0.41)\%$, was statistically significant ($p < 0.05$), with significantly different limits of variation (I_{95}) for average values: $(76.3 \div 95.7)$ and $(98.01 \div 99.99)$, respectively. Besides, the number of bacterial VBNC cells remained at the same level - 99.99%.

Similar results were obtained by plating chicken samples on nutrient agar and on Petrifilm after 0 hours and 5 hours of incubation at room temperature (Figure 1 and Figure 2).

These quantitative values allow us to assume that during the 5 hours of incubation at a temperature more favorable for microorganisms $(21 \pm 1)^\circ \text{C}$, the physiologically active part of the resident population of microbes from minced chicken stored in the refrigerator apparently had several cycles of reproduction (generation), reducing the number of dead cells. In this case, there was no transition of cells to the nonculturable state or reversion of VBNC microbes into the vegetative stage.

In connection with the obtained results, it was interesting to study the behavior of bacterial cells by their ability to enter the state of VBNC in the conditions of fresh contamination of minced meat with the most common food pathogens.

For this purpose, minced meat was infected with a *S. aureus* 209P culture.

The results of the microbiological examination of chicken mince experimentally infected using broth culture of *S. aureus* 209P are presented in table 2.

The studied parameters of the microbial population at 0h indicate that the level of TNM in the *Staphylococcus* infected meat, was $(11.36 \pm 1.3) \times 10^8$ bacterial cells per

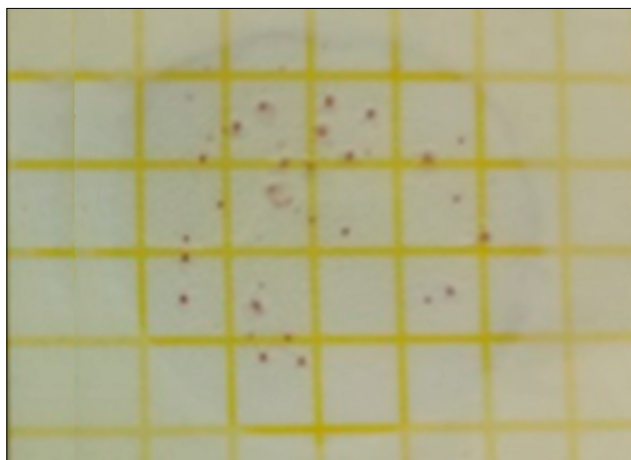


Figure 1. Inoculation of mince sample at 0h on Petrifilm, dilution 10^{-2}

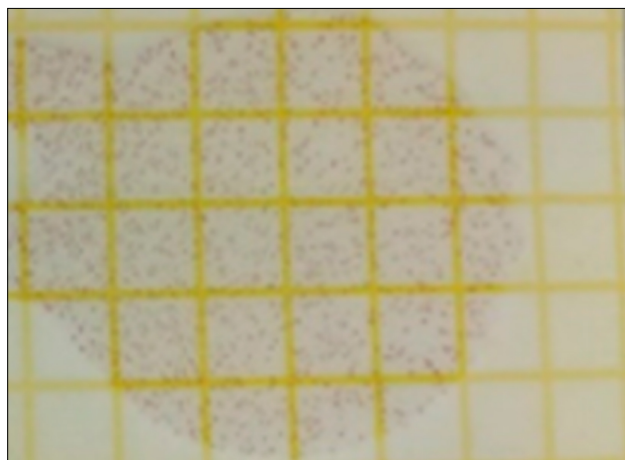


Figure 2. Inoculation of mince sample at 5h on Petrifilm, dilution 10^{-2}

Table 2

Results of microbiological examination of minced chicken experimentally contaminated with *S. aureus* 209P

Sample incubation time (h)	Parameters (n=6) (M ± m)				
	Total number of bacteria × 10 ⁸ /ml (I ₉₅)	CFU/ml × 10 ⁵ (I ₉₅)	Portions of cells (%) (I ₉₅)		Mean portion of VBNC (%)
			viable	dead	
0	11,36 ± 1,3 (8,21 ÷ 14,5)	300,0 ± 32,0 (222,6 ÷ 377,4)	99 ± 0,41 (98,01 ÷ 99,99)	1 ± 0,1 (0,76 ÷ 1,24)	97,33
5	9,56 ± 1,1 (6,90 ÷ 12,22)	8,0 ± 0,87 (5,89 ÷ 10,10)	99 ± 0,40 (98,03 ÷ 99,97)	1 ± 0,1 (0,76 ÷ 1,24)	99,99
Reliability of the differences (p ₉₅)	>0,05	<0,05	<0,05	>0,05	

ml. From this KMAFAnM population, $(300 \pm 32) \times 10^5$ CFU/ml was detected, i.e. only 0.0265 % of cells were cultured on a traditional medium. Testing this sample with cells of microorganisms stained with Live/Dead dye kit in a luminescent microscope revealed $(99 \pm 0.41)\%$ of live bacteria and $(1 \pm 0.1)\%$ of dead cells, ($p < 0.05$). The portion of the VBNC microbes in this population was 97.33 %.

The determination of a complex of parameters in *Staphylococcus* infected chicken mince after 5 hours of incubation at room temperature showed a 37.5-fold decrease in CFU/ml. Moreover, the total number of cells in suspension, as well as the number of live and dead bacteria, were statistically unambiguous ($p > 0.05$). Consequently, increasing the percentage of VBNC bacteria from 97.33 % to 99.99 % (an increase by 2.6 %) and the indicated decrease in the number of CFU/ml after 5 hours of incubation are associated with the loss of the ability of this part of the population to grow and form colonies on a normal nutrient medium and transition to a nonculturable state. Similar trends

in colony formation were found on Petrifilm (Figure 3 and Figure 4).

As it is known, this loss of culturability in bacteria, as a rule, is caused by stress in the environment. Apparently, for *S. aureus* 209P cells grown in the broth at 37 °C to the logarithmic phase and artificially contaminated minced chicken, changes in the nutrient substrate and temperature regime from 37 °C to $(21 \pm 1)^\circ\text{C}$ could become stressful factors. The result of this stressful effect was the transition of cells to the VBNC state. Similar data on VBNC bacteria grown in nutrient broth were obtained by Peneau, Cassaing & Carpentier (2007) when studying the effectiveness of antibacterial treatments in the food processing premises.

Thus, a comparison of the data we obtained with the results of other researchers showed that the original part of our experiments is the detection of VBNC contaminant bacteria in ready to eat products from chicken meat in the amount of up to 99.9 % of the total number of living and dead cells. In addition,

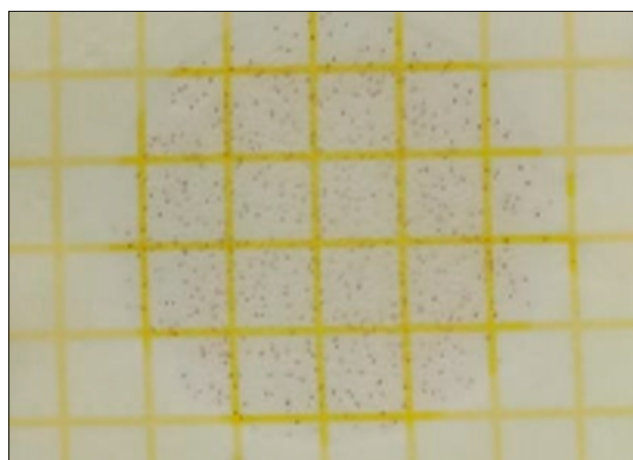


Figure 3. Inoculation of Petrifilm with a mince sample contaminated with *S. aureus* 209P, 0h, dilution 10^{-5}

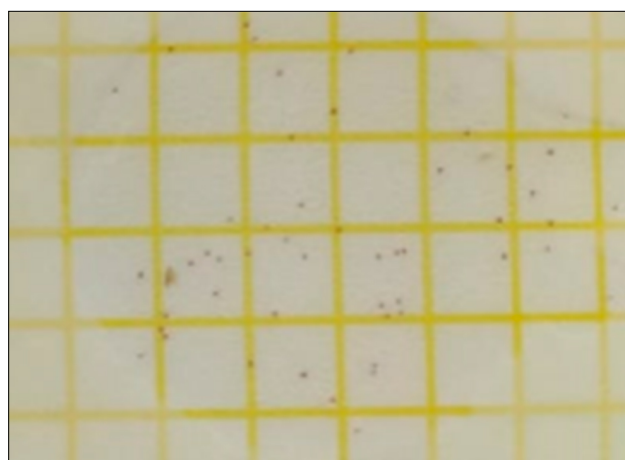


Figure 4. Inoculation of Petrifilm with a mince sample contaminated with *S. aureus* 209P, 5h, dilution 10^{-5}

new information is also the relatively rapid (during 5h) transition of vegetative cells of *S. aureus* to a nonculturable form after artificial contamination of minced chicken meat.

Conclusion

Thus, the experiments performed on minced chicken (intact, ready-to-eat, and experimentally infected with *S. aureus* 209P) allowed us to prove the presence of VBNC bacteria there (up to 99.9%). The introduction of *S. aureus* cells into the minced meat in the logarithmic growth phase led to a quantitative increase in bacterial VBNC cells after 5 hours of incubation of the samples under non-optimal conditions. Therefore, we have shown the possibility of the presence of nonculturable bacteria in fresh poultry products.

Since *S. aureus* is a dangerous pathogen, the realization of the potential of the viable nonculturable microbe cells that we discovered can be reverted to an active physiological state and can lead to severe toxicoinfection after eating minced chicken, in which *Staphylococcus* was present in a dormant state.

The biohazard of such food products associated with the detection of VBNC bacterial cells indicates the feasibility of introducing mandatory expertise for the presence of dormant forms of microorganisms-contaminants and subsequent antibacterial treatment of products with a high level of infection with viable nonculturable microbes.

References

- Abdullaeva, A. M., Blinkova, L. P., & Pakhomov, Yu. D. (2019). Significance of viable but nonculturable bacteria for safety of food products. *Problemy Veterinarnoy, Sanitarii, Gигieny i Ekologii* [Problems of Veterinary, Sanitation, Hygiene and Ecology] 2(30), 183–189. <http://dx.doi.org/10.25725/vet.san.hyг.ecol.201902012>
- Al-Qadiri, H. M., Lu, X., Al-Alami, N. I., & Rasco, B. A. (2011). Survival of *Escherichia coli* O157: H7 and *Campylobacter jejuni* in bottled purified drinking water under different storage conditions. *Journal of Food Protection*, 74(2), 254–260. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-10-368>
- Asakura, H., Makino, S.-I., Takagi, T., Kuri, A., Kurazono, T., Watarai, M., & Shirahata, T. (2002). Passage in mice causes a change in the ability of *Salmonella enterica* serovar Oranienburg to survive NaCl osmotic stress: resuscitation from the viable but non-culturable state. *FEMS Microbiology Letters*, 212(1), 87–93. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2002.tb11249.x>
- Aurass, P., Prager, R., & Flieger, A. (2011). EHEC/EAEC O104: H4 strain linked with the 2011 German outbreak of haemolytic uremic syndrome enters into the viable but non-culturable state in response to various stresses and resuscitates upon stress relief. *Environmental Microbiology*, 13(12), 3139–3148. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2011.02604.x>
- Ayrapetyan, M., & Oliver, J. D. (2016). The viable but non-culturable state and its relevance in food safety. *Current Opinion in Food Science*, 8, 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.04.010>
- Barron, J. C., & Forsythe, S. J. (2007). Dry stress and survival time of *Enterobacter sakazakii* and other *Enterobacteriaceae* in dehydrated powdered infant formula. *Journal of Food Protection*, 70(9), 2111–2117. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-70.9.2111>
- Bates, T. C., & Oliver, J. D. (2004). The viable but nonculturable state of Kanagawa positive and negative strains of *Vibrio parahaemolyticus*. *Journal of Microbiology*, 42(2), 74–79.
- Blinkova, L., Martirosyan, D., Pakhomov, Yu., Dmitrieva, O., Vaughan, R., & Altshuler M. (2014). Nonculturable forms of bacteria in lyophilized probiotic preparations. *Functional Foods in Health and Disease*, 4(2), 66–76.
- Capozzi, V., Di Toro, M. R., Grieco, F., Michelotti, V., Salma, M., Lamontanara, A., Russo, P., Orru, L., Alexandre, H., & Spano, G. (2016). Viable But Not Culturable (VBNC) state of *Brettanomyces bruxellensis* in wine: new insights on molecular basis of VBNC behaviour using a transcriptomic approach. *Food Microbiology*, 59, 196–204. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.06.007>
- Chaisowwong, W., Kusumoto, A., Hashimoto, M., Harada, T., Maklon, K., & Kawamoto, K. (2012). Physiological characterization of *Campylobacter jejuni* under cold stresses conditions: its potential for public threat. *Journal of Veterinary Medical Science*, 74(1), 43–50. <https://doi.org/10.1292/jvms.11-0305>
- Cunningham, E., O'Byrne, C., & Oliver, J. D. (2009). Effect of weak acids on *Listeria monocytogenes* survival: evidence for a viable but nonculturable state in response to low pH. *Food Control*, 20(12), 1141–1144. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2009.03.005>
- Ding, T., Suo, Y., Xiang, Q., Zhao, X., Chen, S., Ye, X., & Liu, D. (2017). Significance of viable but nonculturable *Escherichia coli*: induction, detection, and control. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 27(3), 417–428. <https://doi.org/10.4014/jmb.1609.09063>

- Dinu, L. D., & Bach, S. (2013). Detection of viable but non-culturable *Escherichia coli* O157: H7 from vegetable samples using quantitative PCR with propidium monoazide and immunological assays. *Food Control*, 31(2), 268–273.
- Divol B. & Lonvaud-Funel A. (2004). Evidence for viable but nonculturable yeasts in botrytis – affected wine. *Journal of Applied Microbiology*, 99(1), 85–93.
- Fakruddin, M., Mannan, K. S., & Andrews, S. (2013). Viable but nonculturable bacteria: food safety and public health perspective. *ISRN Microbiology*, 2013:703813. <https://doi.org/10.1155/2013/703813>
- Gunasekera, T. S., Sørensen, A., Attfield, P. V., Sørensen, S. J., & Veal, D. A. (2002). Inducible gene expression by nonculturable bacteria in milk after pasteurization. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(4), 1988–1993. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.4.1988-1993.2002>
- Hu, Y., & Coates, A. (2012). “Nonmultiplying bacteria are profoundly tolerant to antibiotics,” in *Antibiotic Resistance*, eds R. M. Anthony and A. Coates (Berlin: Springer Press), 99–119. https://doi.org/10.1007/978-3-642-28951-4_7
- Kramer, B., & Muranyi, P. (2014). Effect of pulsed light on structural and physiological properties of *Listeria innocua* and *Escherichia coli*. *Journal of Applied Microbiology*, 116(3), 596–611. <https://doi.org/10.1111/jam.12394>
- Li, L., Mendis, N., Trigui, H., Oliver, J. D., & Faucher, S. P. (2014). The importance of the viable but non-culturable state in human bacterial pathogens. *Frontiers in Microbiology*, 5, 258. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00258>
- Liu, J., Li, L., Li, B., Peters, B. M., Deng, Y., Xu, Z. & Shirtliff, M. E. (2017). First study on the formation and resuscitation of viable but nonculturable state and beer spoilage capability of *Lactobacillus lindneri*. *Microbial Pathogenesis*, 107, 219–224. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.03.043>
- Makino, S.-I., Kii, T., Asakura, H., Shirahata, T., Ikeda, T., Takeshi, K., & Itoh, K. (2000). Does Enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157: H7 enter the viable but nonculturable state in salted salmon roe? *Applied and Environmental Microbiology*, 66(12), 5536–5539. <https://doi.org/10.1128/AEM.66.12.5536-5539.2000>
- Masmoudi, S., Denis, M., & Maalej, S. (2010). Inactivation of the gene *katA* or *sodA* affects the transient entry into the viable but non-culturable response of *Staphylococcus aureus* in natural seawater at low temperature. *Marine Pollution Bulletin*, 60(12), 2209–2214. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.08.017>
- Nicolò, M. S., Giofrè, A., Carnazza, S., Platania, G., Silvestro, I. D., & Guglielmino, S. P. (2010). Viable but nonculturable state of foodborne pathogens in grapefruit juice: a study of laboratory. *Foodborne Pathogens and Disease*, 8(1), 11–17. <https://doi.org/10.1089/fpd.2009.0491>
- Nicolò, M. S., & Guglielmino, S. P. P. (2012). “Viable but nonculturable bacteria in food,” in *Public Health–Methodology, Environmental and Systems Issues*, ed. J. Maddock (Rjeka: InTech), 189–216. <https://doi.org/10.5772/38118>
- Nyström, T. (2003). Nonculturable bacteria: programmed survival forms or cells at death’s door? *Bioessays*, 25(3), 204–211. <https://doi.org/10.1002/bies.10233>
- Oh, E., McMullen, L., & Jeon, B. (2015). Impact of oxidative stress defense on bacterial survival and morphological change in *Campylobacter jejuni* under aerobic conditions. *Frontiers in Microbiology*, 6, 295. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00295>
- Oliver, J. D. (2010). Recent findings on the viable but nonculturable state in pathogenic bacteria. *FEMS Microbiology Reviews*, 34(4), 415–425. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2009.00200.x>
- Peneau, S., Chassaing, D., & Carpentier, B. (2007). First evidence of division and accumulation of viable but nonculturable *Pseudomonas fluorescens* cells on surfaces subjected to conditions encountered at meat processing premises. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(9), 2839–2846. <https://doi.org/10.1128/AEM.02267-06>
- Pinto D., Santos M. A., & Chambel L. (2015). Thirty years of viable but nonculturable state research unsolved molecular mechanisms. *Critical Reviews in Microbiology*, 41(1), 61–76.
- Ramamurthy, T., Ghosh, A., Pazhani, G. P., & Shinoda, S. (2014). Current Perspectives on Viable but Non-Culturable (VBNC) Pathogenic Bacteria. *Frontiers in Public Health*, 2, 103. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2014.00103>
- Rao, N. V., Shashidhar, R., & Bandekar, J. R. (2014). Induction, resuscitation and quantitative real-time polymerase chain reaction analyses of viable but nonculturable *Vibrio vulnificus* in artificial sea water. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30, 2205–2212. <https://doi.org/10.1007/s11274-014-1640-1>
- Rowan, N. J. (2004). Viable but non-culturable forms of food and waterborne bacteria: quo vadis? *Trends in Food Science & Technology*, 15(9) 462–467. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.009>
- Rowan, N. J., Valdramidis, V. P., & Gomez-Lopez, V. M. (2015). A review of quantitative methods to describe efficacy of pulsed light generated inactivation data that embraces the occurrence of viable but non culturable state microorganisms. *Trends in Food Science & Technology*, 44(1), 79–92. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.03.006>

- Schottroff, F., Fröhling, A., Zunabovic-Pichler, M., Krottenthaler, A., Shlüter, O., & Jäger, H. (2018). Sublethal injury and viable but non-culturable (VBNC) state in microorganisms during preservation of food and biological materials by non-thermal processes. *Frontiers in Microbiology*, 9, article 2773, p. 1-19. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02773>.
- Serpaggi, V., Remize, F., & Recorbet, G. (2012). Characterization of the “viable but nonculturable” (VBNC) state in the wine spoilage yeast *Brettanomyces*. *Food Microbiology*, 30(2), 440-447.
- Zhang, S., Ye, C., Lin, H., Lv, L., & Yu, X. (2015). UV disinfection induces a VBNC state in *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Environmental Science & Technology*, 49(3), 1721–1728. <https://doi.org/10.1021/es505211e>
- Zhao, X., Zhong, J., Wei, C. Lin C.-W., & Ding T. (2017). Current perspectives on viable but non-culturable state in foodborne pathogens. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1-32. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00580>
- Zhao, X., Wei, C., Zhong, J., & Jin, S. (2016). Research advance in rapid detection of foodborne *Staphylococcus aureus*. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 30(5), 1–7. <https://doi.org/10.1080/13102818.2016.1209433>
- Ziprin, R. L., Droleskey, R. E., Hume, M. E., & Harvey, R. B. (2003). Failure of viable nonculturable *Campylobacter jejuni* to colonize the cecum of newly hatched leghorn chicks. *Avian Diseases*, 47(3), 753–758. <https://doi.org/10.1637/7015>

Изучение влияния использования технического зрения на показатели качества оманской халвы

Аль Балуши Имад

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: imad8999@gmail.com

Благовещенский Иван Германович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: igblagov@mgupp.ru

Благовещенская Маргарита Михайловна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: mmb@mgupp.ru

Сумерин Вячеслав Андреевич

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: v_soumerin@mail.ru

Статья посвящена методам и способам повышения качества производства оманских десертов (халвы) за счет использования системы технического зрения для автоматизации контроля показателей качества с возможностью управления производством данного продукта. Показано, что в процессе производства оманской халвы возникают проблемы со стабильностью показателей качества используемого сырья, что влияет на качество готовой халвы. Поэтому проведен системный анализ объекта автоматизации - линии производства оманской халвы. Дан анализ особенностей всех этапов ее производства, а также протекающих в них информационных процессов. Представлена характеристика основных стадий производства оманской халвы. Сделан всесторонний анализ наиболее важных контролируемых в процессе производства органолептических показателей качества оманской халвы. Рассмотрены и проанализированы существующие методы и средства этих показателей. Представлены недостатки лабораторного органолептического контроля. Выбраны и обоснованы наиболее информативные органолептические показатели контроля качества сырья, используемого при производстве оманской халвы: размер (форма), цвет и состояние поверхности. Эти показатели необходимо контролировать в процессе производства оманской халвы. Показано, что существующие в настоящее время методы оценки этих показателей качества субъективны и определяются только экспертами путем лабораторных измерений. Рассмотрены и проанализированы существующие инструментальные методы и средства автоматического контроля в потоке этих показателей. Обзор и анализ полученных в проведенном исследовании данных показал невозможность использования имеющихся методов и средств для автоматизации контроля выбранных показателей в потоке при производстве оманской халвы. Проанализирована возможность использования систем технического зрения для автоматизации контроля выбранных органолептических показателей качества оманской халвы. Проведенные исследования позволили сделать вывод о перспективности использования для этих целей системы технического зрения. Представлен состав типовой системы технического зрения. Проанализированы решения по выбору различных типов объективов для решения самых разных задач и предложены наиболее перспективные объективы для решения намеченных задач. Исследован и проанализирован один из самых важных этапов СТЗ - обработка изображения. Выбран наиболее эффективный для решения поставленных задач алгоритм обработки полученного изображения. Представлены различные уровни изображения и рассмотрено их влияние на качество получаемого результата при контроле сыпучего

сырья в потоке. Используя выбранный алгоритм, были проведены экспериментальные исследования определения размеров орехов, яблок, апельсинов, клубники, фиников, т.е. сырья, используемого при производстве оманской халвы. Показана перспективность применения 3-мерного анализа изображений для получения высокоэффективной информации об органолептических показателях качества пищевого сыпучего сырья, используемого при производстве оманской халвы.

Ключевые слова: качество, оманская халва, автоматизация производства, система технического зрения, органолептические показатели

Введение

Одним из перспективных направлений развития пищевой промышленности любой страны является расширение ассортимента и повышение качества продуктов питания. При этом особое внимание уделяется безопасности и качеству сырья, применяемого для создания таких продуктов (Балыхин, Борзов, Благовещенский, 2017; Благовещенская, 2009).

Продукты питания XXI века должны удовлетворять потребности различных групп населения в рациональном питании, т.е. в содержании макро-, микронутриентов и незаменимых витаминов, с учетом их традиций, привычек, экономического положения и состояния здоровья (Савостин, Благовещенская, Благовещенский, 2016).

Одной из основных функций Государственного управления Омана, созданного в 1980 г. Указом Султана №62/1980, является поддержание постоянной доступности основных продуктов питания в оптимальном состоянии и в объеме, необходимом и достаточном для удовлетворения потребностей населения в случае чрезвычайных ситуаций или непредвиденных потрясений в стране.

Среди многих отраслей пищевой промышленности Омана важнейшее место принадлежит кондитерской, продукция которой пользуется неизменным и значительным спросом у населения страны. Кондитерские изделия представляют собой большую группу разнообразных высококалорийных продуктов питания, которые регулярно потребляются практически всеми группами населения различных возрастов Омана. Эта продукция составляет значительную долю рациона питания, ввиду своих вкусовых качеств, а также потому, что она отличается высокой питательностью, усвояемостью и обеспечивает человеческий организм набором физиологически ценных веществ, необходимых для его нормальной жизнедеятельности.

В Оманской кондитерской промышленности среди выпускаемых сладостей наибольшей популярностью не только у Оманского населения, но и в Персидском заливе, а также в арабском мире пользуется Оманский десерт (халва), поскольку в составе данного продукта находятся только натуральные ингредиенты без консервантов, такие как мед, финики, сахарный песок, местная розовая вода, орехи, инжир, изюм, сезонные фрукты. Срок хранения такой халвы составляет более 3 месяцев.

Производство Оманского десерта (халвы) началось в период 1911- 1912 годы. Оманская халва широко используется в официальных и общественных мероприятиях Омана, таких как: свадьбы, церемонии в Коране, различные праздники, приемы и другие мероприятия. Широко используется оманская халва в качестве местного сувенира для туристов. Спрос на оманскую халву с орехами объясняется высоким качеством этих кондитерских изделий, постоянно обновляемым ассортиментом и относительно невысокой стоимостью.

Следует отметить, что поскольку в мире повышается интерес к натуральному питанию и на рынке потребитель стал в большем объеме включать его в свой рацион, особое значение для производителей при производстве халвы приобретает такое сырье, как ядра орехов, которые являются доступными натуральными продуктами (Semenov, Krasnova, Suvorov, Shuvalova, Posokhov, 2015). Это позволяет пищевым предприятиям с каждым годом расширять ассортимент халвы с использованием этого сырья. В последние годы в оманской кондитерской промышленности многие ингредиенты, такие как крахмал, коричневый сахар, были заменены натуральным медом, финиками, изюмом, орехами, шафраном, розовой водой, кардамоном и другими ингредиентами, таким как инжир, местные фрукты, местная цветочная вода, производимая на территории зеленой горы Омана (Джебел-аль-Ахдар), что значительно расширило ассортимент и разнообразие оманских сладостей по качеству.

В свете современных требований и взглядов на рациональное (сбалансированное) питание оманской халве в арабском мире отводится значительная роль и место в удовлетворении повседневных потребностей человека в углеводах и частично в растительных жирах. В соответствии с решением министров № 104/2004 о едином стандарте Персидского залива разработан и утвержден Стандарт на Оманскую халву № 1635/2004, соответствующую стандарту 1873 GSO Омана. В соответствии с данным документом в состав халвы входят следующие ингредиенты: изюм, финики, арабское масло, натуральная розовая вода, кардамон, разные сорта орехов, молоко, шафран, яйца и вода и другие компоненты, представленные на рис. 1.

Однако, получаемая оманская халва необычайно сложна по своему составу и обладает комплексом различных свойств, которые составляют в совокупности качество продукции

(Tikhomirov, Matison, 2016). Трудность решения задач повышения качества производства этих кондитерских изделий обусловлена нестабильностью свойств поступающего на переработку сырья, многообразием перерабатываемых полуфабрикатов по физико-химическим, биохимическим и структурно-механическим свойствам. Все это вызывает частые колебания режимов работы оборудования, а также параметров процесса приготовления многокомпонентных неоднородных кондитерских масс и не позволяет получать стабильный по качеству готовый продукт (Благовещенская, 2009; Благовещенская, Злобин, 2005; Newton, 2007).

Существующие в настоящее время в Омане методы оценки качества кондитерской продукции субъективны и далеки от совершенства, поскольку эта оценка осуществляется органолептическим путем. Органолептический контроль длителен по

времени, обладает рядом недостатков (Semenov, Tikhomirov, Krasnova 2016). Поэтому появилась необходимость повышения объективности контроля качества готовой кондитерской продукции, за счет внедрения высокоэффективных интеллектуальных технологий в производственный процесс и создания на их базе автоматизированной системы контроля (Балыхин, Борзов, Благовещенский, 2017; Wilson, Threapleton 2003).

Успешное решение этой задачи возможно при внедрении в производственный процесс автоматизированной системы контроля в потоке показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой оманской халвы с использованием системы компьютерного зрения. При этом затраты на подготовку и проведение анализов будут минимальны (Савостин, Благовещенская, Благовещенский, 2016; Newton, 2007).

Исходя из этого, тема данной статьи является актуальным направлением развития кондитерской промышленности, в том числе и в Омане. Создание такой системы позволит: непрерывно, в потоке контролировать основные показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции в режиме реального времени; обеспечить стабильность производства оманской халвы; существенно уменьшить уровень брака, снизить потери рабочего времени, сырья и энергии, повысить качество готовой продукции. Решение этой проблемы позволит построить эффективную систему регулирования и управления технологическими процессами кондитерских производств (Благовещенский, Макаровская, Благовещенская, Чувахин, Митин, 2019; Gardner, Bartlett, 1998; Garcia, Arguesso, Diaz, 1995).

Изложенное позволяет сделать вывод об актуальности темы данной работы.



Рисунок 1. Ингредиенты производства оманской халвы

Целью данной работы является повышение качества производства оманской халвы за счет разработки автоматизированной системы контроля качества на основе использования системы технического зрения.

В качестве основных задач исследования выделены следующие задачи:

- проанализировать процесс производства оманской халвы как объекта управления;
- исследовать используемые при производстве показатели качества оманской халвы;
- изучить возможность использования системы технического зрения (СТЗ) для автоматического контроля показателей качества оманской халвы и разработать алгоритм управления процессом приготовления оманской халвы с использованием СТЗ.

Научная новизна данного исследования заключается в;

- системном анализе технологического процесса производства оманской халвы как объекта автоматизации;
- выборе и обосновании для эффективного ведения процесса производства оманской халвы наиболее информативных органолептических показателей контроля качества: размер (форма) и цвет, которые необходимо определять непрерывно в ходе процесса производства;
- проведении обзора и анализа существующих современных инструментальных методов и средств контроля основных показателей качества оманской халвы; рассмотрении и анализе возможности использования существующих инструментальных методов и средств контроля для автоматического определения в потоке в режиме онлайн этих показателей;
- анализе возможности использования систем технического зрения для автоматизации контроля органолептических показателей качества оманской халвы;
- разработке алгоритма управления процессом производства оманской халвы с использованием системы технического зрения.

Литературный обзор

На сегодняшний день накоплен достаточный практический и теоретический объем информации по совершенствованию технологии производства халвы. Эти вопросы в своих работах всесторонне рассматривали следующие ученые – Л.М. Аксенова, И.В. Герасимова, Г.Н. Горячева, А.В. Зубченко, Н.В. Карушева, Б.В. Кафка, Г.Р. Кокашинский,

И.С. Лурье, Г.О. Магомедов, Г.А. Маршалкин, Т.Н. Мирошникова, А.Я. Олейникова, А.П. Олефирова, З.Г. Скобельская, Л.П. Шаулина (Зубченко, 2001; Лурье, 1989; Благовещенская, 2009; Sun, 2008; Newton, 2007 и др.).

Большой вклад в создание и совершенствование техники и оборудования для производства халвы внесли С.Т. Антипов, В.А. Панфилов, А.И. Драгилев, Ю.А. Мачихин, С.А. Мачихин, С.М. Носенко, И.Т. Кретов, А.В. Маслов, А.П. Остриков, И.А. Рогов, А.Ф. Сорокопуд, В.Я. Черных и др. (Драгилев, Маршалкин, 2005; Антипов, Кретов, Остриков, 2009; Legin, Rudnitskaya, Vlasov, Di Natale, D'Amico, 1999 и др.).

За последние годы предложены новые и усовершенствованные технические средства для реализации традиционных технологических операций при производстве халвы. Работы по автоматизации технологических процессов пищевых производств с использованием современных информационных технологий проводили А.Н. Австриевских, С.И. Апанасенко, М.Г. Балыхин, В.К. Битюков, М.М.Благовещенская, Я.В. Иванов, А.Е. Краснов, Е.А. Назойкин, И.К. Петров, А.Н. Петряков, А.В. Татаринов, А.В. Шаверин, J. Gardner, P. Bartlett, L.A. Garcia, F. Arguesso, A.I. Garcia, M. Diaz, C.I.Wilson, L.Threapleton, A. Legin, A. Rudnitskaya, Yu. Vlasov, C. Di Natale, A. D'Amico. и др. (Балыхин, Борзов, Благовещенский, 2017; Благовещенская, Злобин, 2005; Благовещенская, Сантон Куннихан, 2017; Крылова, Благовещенский, Татаринов, 2017; Петряков, Благовещенская, Благовещенский, Крылова, 2018; Савостин, Благовещенская, Благовещенский, 2016; Gardner, Bartlett, 1998; Legin, Rudnitskaya, Vlasov, Di Natale, D'Amico, 1999; Garcia, Arguesso, Diaz, 1995; Wilson, Threapleton 2003; и др.).

В научной литературе известны работы, авторы которых ставили и решали задачи автоматизации, системного анализа и управления различными процессами пищевых производств с использованием систем компьютерного зрения. Это Благовещенская М.М., Битюков В.К., Петряков А.Н., Благовещенский И.Г., Петров А.Ю., Бунеев А.В., Иванов Я.В., Адилов Р. М., Хвостов А.А., Ребриков Д.И., Богуславский А.А., Визильтер, Ю.В., Шторх Л.В., C.I. Wilson, L. Threapleton, M.K. Agoston, S.M. Ali, R. Benosman, B.K. Sing, R. Fattal, R.A. Fisher, A. N. Gorban, V.L. Gorohov, S. Komarinskiy и др. (Петров, Благовещенская, Благовещенский, Ионов, 2019; Петряков, Благовещенская, Благовещенский, Митин, 2019; Благовещенский, Макаровская, Благовещенская, Чувахин 2019; Иванов; Битюков,

Хвостов, Ребриков, 2008; Шторх, 2013; Wilson, Threapleton, 2003; Agoston, 2004; Ali, 2013; Benosman, Sing, 2001; Fattal, 2007; Fisher, 2006; Gorban, 2007; Komarinskiy, 2008).

Однако проведенный нами обзор и анализ состояния теории и практики автоматизации процессов производства халвы показал, что многие актуальные вопросы процессов контроля качества производства оманских сладостей имеют свои особенности. В Омане используются нестандартные методы и средства определения показателей качества этих кондитерских изделий. Остается много нерешенных вопросов по автоматизации контроля в потоке технологических процессов производства этой продукции. Также, до настоящего времени не предложены современные инструментальные методы и средства контроля основных показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой оманской халвы. До сих пор не рассматривалась возможность использования существующих интеллектуальных технологий для автоматического контроля в потоке в режиме онлайн основных органолептических показателей качества оманской халвы.

В настоящей работе был учтен и проработан опыт предыдущих исследований, использованы рекомендации, приводимые авторами перечисленных трудов.

Методы

Поставленные в работе задачи решены с использованием методических и математических основ построения автоматических систем контроля, основных положений теории автоматического управления, общих принципов математического моделирования, элементов теории систем компьютерного зрения, методов структурной идентификации, теории принятия решений, методов системного анализа и методов математической статистики. Вычисления в процессе исследований, численная и графическая обработка результатов производились с применением математического аппарата прикладных программ. Постановка исследований и испытаний проводилась в соответствии с действующим ГОСТ (Межгосударственный стандарт ГОСТ 6502-2014 «Халвы. Общие технические условия»), методиками планирования и обработки эксперимента (Лурье, 1989). Для построения системы автоматического контроля использованы экспериментальные данные линии производства оманской халвы. Численная и графическая обра-

ботка результатов исследований производилась с применением MatLab, Labview, EDEM. Для разработки основных компонентов системы контроля использован объектно-ориентированный язык Delphi.

Исследование

Кондитерские изделия Омана представляют собой большую группу высококалорийных разнообразных кондитерских изделий, которые регулярно потребляются населением различных возрастов. Эта кондитерская продукция составляет значительную долю рациона питания, ввиду высокой питательности, усвояемости, а также благодаря своим вкусовым качествам. Кроме того, эти изделия обеспечивают человеческий организм набором физиологически ценных веществ, необходимых для его нормальной жизнедеятельности.

Поскольку в кондитерском производстве Омана группа халвы имеет наибольший удельный вес, нами для решения задачи автоматизации контроля показателей качества объектом управления был выбран именно технологический процесс производства оманской халвы. Спрос на оманскую халву с орехами объясняется высоким качеством этих кондитерских изделий, постоянно обновляемым ассортиментом и относительно невысокой стоимостью.

Нами проведено исследование и анализ процесса производства оманской халвы как объекта автоматизации. Технологический процесс производства оманской халвы, представленный на рис. 2, можно разделить на следующие основные стадии:

1. Подготовка сырья к производству: хранение шафрана, орехов, фиников, изюма и др. сырья; просеивание этих сыпучих продуктов и фильтрование жидких компонентов.
2. Приготовление сахарного сиропа: дозирование сахара-песка и воды, растворение сахара, уваривание рецептурной смеси.
3. Приготовление карамельного сиропа: дозирование сахарного сиропа, патоки, молока и других компонентов, смешивание и уваривание рецептурной смеси.
4. Вымешивание оманской халвы.
5. Фасовка и упаковка халвы: ориентирование оманских сладостей в продольные ряды, завертка халвы и упаковка в торговую тару.

Основные стадии технологического процесса производства халвы показаны на рис. 2.

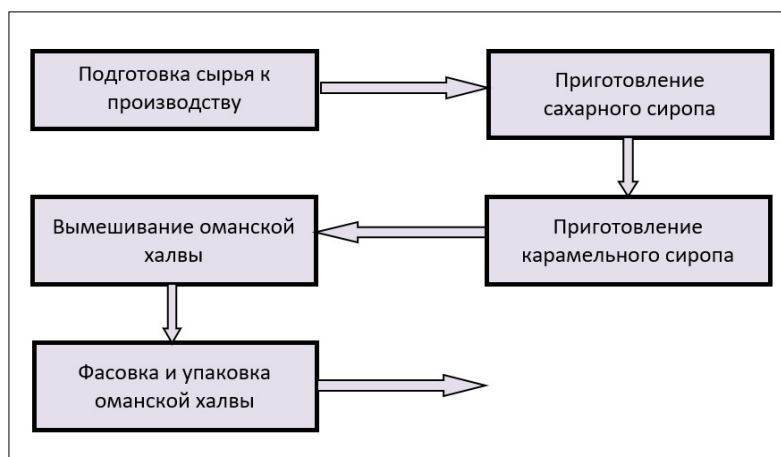


Рисунок 2. Стадии технологического процесса приготовления оманской халвы

Как было отмечено выше, процесс подготовки основного сырья (например, ядер орехов) занимает важнейшее место в производстве оманской халвы. Так, поступающие на пищевые производства ядра орехов неоднородны по размерам, форме, цвету и другим показателям качества. Обычно содержат пыль, песок, камешки, волокна мешковины, металлические частицы и т.д. Наличие трудноотделимых примесей в этом сырье значительно влияет на качество получаемого в процессе обработки полуфабриката и, в конечном счете, на качество готовой халвы (Крылова, Благовещенский, Татарин, 2017).

Широко используемые в производстве халвы орехи характеризуется следующими органолептическими показателями качества (ГОСТ 6502-2014. (2014). «Халва. Общие технические условия»: размер, форма, цвет, состояние поверхности, целостность; вкус и запах; влажность; содержание жира.

Лаборатории кондитерских предприятий Омана определяют следующие показатели качества сладостей: размер сыпучего сырья, цвет, целостность, влажность и содержание жира. Представленные в данном разделе органолептические показатели качества орехов определяются в лабораториях и оказывают значимое влияние на качество готовой оманской халвы. Недостатками органолептического контроля является то, что в основе используемых методов лежит восприятие органов чувств (осязание, обоняние, зрение и вкус), а также только лабораторные методы контроля, всех этих показателей. Также недостатками органолептического метода являются его субъективность и невозможность быстрой оценки качественных показателей сырья, полуфабрикатов и готовой продукции в потоке (Балыхин, Борзов, Благовещенский, 2017; Благовещенская, Сантон Куннихан, 2017; Крылова,

Благовещенский, Татарин, 2017; Петряков, Благовещенская, Благовещенский, Крылова, 2018; Савостин, Благовещенская, Благовещенский 2016).

Назрела необходимость повышения объективности контроля органолептических показателей качества оманской халвы за счет внедрения высокоэффективных интеллектуальных технологий и создания на их базе интеллектуальной системы автоматического контроля органолептических показателей качества производства оманской халвы в потоке. Использование такой системы уменьшит влияние человеческого фактора на объективность анализа, сократит производственный цикл выпуска готовых сладостей, исключив стадию органолептической оценки качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, а также даст возможность использовать такую систему для прогнозирования качества готовой продукции и для интегрирования ее в существующие на предприятиях автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) (Балыхин, Борзов, Благовещенский, 2017; Благовещенский, Макаровская, Благовещенская, Чувакин, Митин, 2019).

Поэтому для решения задачи автоматизации контроля качества халвы и исключения брака готовой продукции, был проведен обзор и анализ существующих различных методов и средств контроля органолептических показателей качества сырья и пищевых масс, который показал перспективность использования для этих целей систем компьютерного зрения (Петряков, Благовещенская, Благовещенский, Крылова, 2018; Савостин, Благовещенская, Благовещенский, 2016; Петров, Благовещенская, Благовещенский, Ионов, Благовещенский, 2019; Петряков, Благовещенская, Благовещенский, 2019).

Исходя из задач, которые решает системы технического зрения (СТЗ), можно выделить следующую важную для автоматического контроля качества оманской халвы область применения СТЗ: решение задачи автоматизации контроля органолептических качества в потоке. Это, прежде всего, визуальный контроль за ходом всех этапов процесса производства оманской халвы, контроль в потоке цвета и качества поверхности продукции, мониторинг внешнего вида и герметичности упаковки, правильностью наклеивания этикеток и т. д. Примерно 10% этих задач выполняются системами трехмерного зрения. Отдельная область использования СТЗ на производстве - проведение всевозможных визуальных измерений параметров технологических процессов и, в частности, определение размеров предметов, т.е. решение задач измерения и контроля (Балыхин, Борзов, Благовещенский, 2017; Битюков, Хвостов, Ребриков, 2008 ; Шторх, 2013; Балыхин, Благовещенская, Благовещенский, Макаровская, Назойкин, 2019).

На рис. 3 представлена компоновка типовой СТЗ (Благовещенский, Назойкин, Носенко, 2016), которая состоит из одной или нескольких цифровых или аналоговых камер (черно-белые или цветные) (Camera) с подходящим объективом (lens) для получения изображений, подсветки (Lighting) и объекта (Objekt), оборудования ввода/вывода или каналы связи для визуализации полученных результатов. Кроме того, важна и программная составляющая СТЗ, а именно, программное обеспечение для подготовки изображений к обработке (для аналоговых камер - это оцифровщик изображений), специфичные приложения программного обеспечения для обработки изображений и обнаружения соответствующих свойств

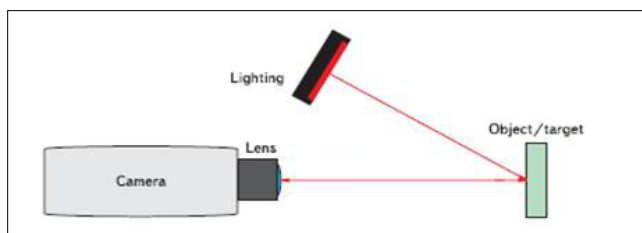


Рисунок 3. Состав типовой системы технического зрения

Матрица чувствительных элементов, входящая в состав видеокамеры, предназначена для получения цифрового изображения. В состав матрицы чувствительного элемента входит множество аналого-цифровых преобразователей, предназначенных для преобразования информации о световой интенсивности в цифровое значение. Объектив

позволяет камере фокусироваться на определенном расстоянии и получать четкое изображение объекта. В случае, когда объект находится вне фокусного расстояния, изображение получается нерезким (размытым, с нечеткими краями), что ухудшает возможность обработки видеоряда. В отличие от обычных цифровых фотоаппаратов с объективами, поддерживающими функции автофокусировки, в компьютерном зрении применяется оптика с фиксированным фокусным расстоянием или ручной настройкой фокуса. Существуют различные типы объективов для самых разных задач (стандартные, телескопические, с широким углом обзора, с увеличением и другие), и выбор правильного типа оптики - важный этап при проектировании СТЗ. Подсветка - еще один важный элемент в СТЗ. Благодаря использованию различных типов освещения можно расширить круг задач, решаемых компьютерным зрением. Существует различные типы подсветок, но наиболее популярным является светодиодная - в связи с ее высокой яркостью. При этом современный уровень развития светодиодной техники обеспечивает большой срок службы устройства и малое энергопотребление (Blagoveshchenskiy, Sulimov, Shkarov, Blagoveshchenskaya, 2018).

В настоящее время СТЗ востребованы и широко используются в области контроля и инспекции качества различных изделий машиностроения, а также в текстильной, горной и строительной отраслях промышленности. В пищевой промышленности СТЗ только начинают применяться. Наиболее важной задачей для пищевой промышленности является использование СТЗ для решения одной из основных задач любого пищевого производства: автоматический контроль в режиме онлайн основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых пищевых изделий, выявления брака в готовой продукции (Балыхин, Борзов, Благовещенский, 2017; Савостин, Благовещенская, Благовещенский, 2016).

При этом важным этапом является обработка изображения. Обработка изображений и их анализ (а также многочисленные алгоритмы и методы) являются основой компьютерного зрения, доступных для достижения требуемых измерений. Тем не менее, обработка изображений, их анализ включает в себя ряд шагов, которые могут быть разделены на три уровня: низкоуровневую (захват изображений и предварительная обработка), обработка промежуточного уровня (сегментация изображения и представление изображения и описание) и обработку высокого уровня (подтверждение и интерпретация) как указано на рис. 4.

Обработка изображений предназначена для удаления дефектов, таких как шум, размытость изображения и т.д. Для повышения и улучшения полученного изображения и для дальнейшего анализа, используются различные алгоритмы обработки. Предположим, полученное изображение становится нечетким из-за движения объекта. Эта размытость должна быть удалена средствами обработки изображений, перед извлечением любой информации об этом объекте. Различными методами обработки изображений, используемые для повышения качества изображения являются:

1. Расширение (для увеличения яркости каждого пикселя в окружении соседей, с большей интенсивностью).
2. Эрозия (для уменьшения яркости пикселей в окружении соседей, с меньшей интенсивностью).
3. Сканирование (для преобразования серых кусков изображения в бинарные).
4. Закрытие (для удаления темных пятен, выделенных в ярких областях и разглаживания границ).
5. Открытие (для удаления ярких пятен, выделенных в темных областях и сглаживания границ).

Инструменты, используемые для улучшения качества включают справочные таблицы:

- преобразуют значения уровня серого в исходном изображении в другие градации серого после преобразования;
- пространственных фильтров - улучшают качество изображения за счет удаления шума и сглаживания, резкости;
- морфологии для извлечения и изменения частиц в изображении;
- обработки в частотной области для удаления нежелательной частоты и т.д.

Алгоритмы обработки изображения могут быть разделены на пять основных групп:

1. Сегментация и алгоритм развития
2. Методы детектирования перепада
3. Цифровая морфология
4. Текстурирование
5. Алгоритмы сканирования и разведения.

В СТЗ большое значение имеет выбор текстуры. Текстурой называется повторение шаблона или шаблонов по исследуемой области. Текстура эффективно описывает свойства элементов, составляющих поверхность объекта. Таким образом, измерения текстуры содержат существенную информацию для распознавания образов объектов. Эта модель может быть повторена в точности или иметь небольшие вариации. Текстура дает воз-

можность с высокой точностью определять следующие показатели: размер, форму изделия, ее цвет и ориентацию элементов узора (textons) в изделии. Скелет изображения объекта является концепцией, которая может быть использована для анализа и описания форм в бинарных изображениях. Он играет центральную роль в предварительной обработке данных изображения. Основным методом скелетизации - это истончение. Дэвис (Петров, Благовещенская, Благовещенский, Ионов, 2019) вывел идеальную метод анализа формы скелета объекта.

Нами были проведены экспериментальные исследования определения размеров разных типов орехов, яблок, апельсинов, клубники, фиников, т.е. сырья, используемого при производстве оманских орехов. При этом были использован алгоритм обработки изображений, приведенный в работе А.Ю. Петрова и др. (Петров, Благовещенская, Благовещенский, Ионов, 2019). Алгоритмы обработки изображений являются основой для алгебры изображения, что образует прочную теоретическую основу для реализации компьютерного зрения и обработки изображений алгоритмы.

Использование СТЗ с получением цифровых данных исследуемого сырья, используемого при производстве оманской халвы, позволил получить качественные их изображения, которые затем математически обрабатывать и из имеющихся изображений выделялись различные характеристики, позволяющие оценивать качество исследуемых органолептических показателей. Для обработки полученных изображений и извлечения требуемой информации использовались типовые известные методы и программы: «Распознавание объектов»; «Выделение признаков», «Анализ положения», «Размер», «Ориентация» и т.д. Численная и графическая обработка результатов исследований производилась с применением MatLab, Labview, EDEM. Для разработки основных компонентов системы контроля использован объектно-ориентированный язык Delphi. Полученные статистические данные проведенных исследований, основанные на свойствах гистограммы уровней серого в изображении исследуемых объектов даны в таблице 1.

Таблица 1

Продукт	Параметр	Точность
Яблоко	Классификация	78 %
Апельсин	Качество	87 %
Клубника	Сортировка	98% - 100 %
Ядра орехов	Размер	73% - 90 %

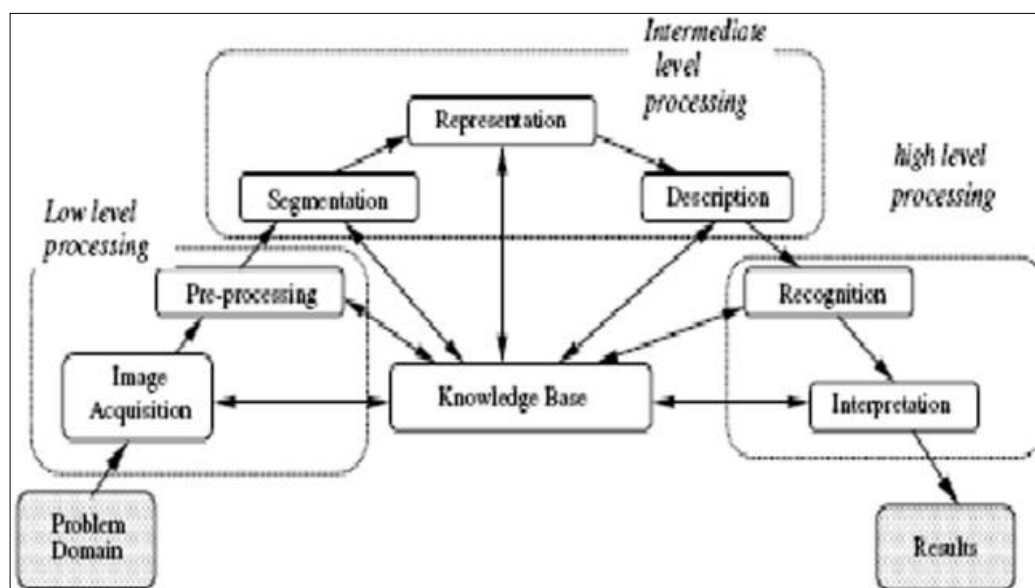


Рисунок 4. Различные уровни в процессе обработки изображений

Изюм	Размер	80% - 95 %
Финики	Размер	97 %

Таким образом, только 2-мерные данные (2D) необходимы для сортировки, классификации и анализа большинства изображений различного вида пищевого сырья. Тем не менее, во многих приложениях уже начал активно использоваться 3-мерный анализ изображений для предоставления информации о структуре или добавления требуемых деталей к полученному изображению. Основа техники получения 3D изображения основана на обработке нескольких 2D снимков. На практике этот метод может быть полезен для проверки качества пищевых продуктов. Например, при изучении особенностей формы хлебобулочных изделий, необходимо взять 2-D изображения по вертикали и горизонтали, чтобы получить его округлость и толщину соответственно.

Результаты и их обсуждение

В результате проведенного нами исследования определена актуальность темы, намечены задачи исследования. Проведен системный анализ объекта автоматизации - линии производства оманской халвы, представлен анализ особенностей всех этапов ее производства, а также протекающих в них информационных процессов. Дана характеристика основных стадий производства оманской халвы. Сделан всесторонний анализ наиболее важных контролируемых в процессе производства

органолептических показателей качества оманской халвы. Рассмотрены и проанализированы существующие методы и средства этих показателей. Представлены недостатки лабораторного органолептического контроля.

Выбраны и обоснованы наиболее информативные органолептические показатели контроля качества сырья, используемого при производстве оманской халвы. Это размер (форма), цвет и состояние поверхности. Эти органолептические показатели необходимо контролировать в процессе производства оманской халвы. Показано, что существующие в настоящее время методы оценки этих показателей качества субъективны и определяются только экспертами путем лабораторных измерений.

Рассмотрены и проанализированы существующие инструментальные методы и средства автоматического контроля в потоке этих показателей. Обзор и анализ полученных в данном исследовании результатов показал невозможность использования имеющихся методов и средств для автоматизации контроля выбранных показателей при производстве оманской халвы.

Проанализирована возможность использования систем технического зрения для автоматизации контроля выбранных органолептических показателей качества оманской халвы. Проведенные исследования позволили сделать вывод о перспективности использования для этих целей системы технического зрения.

Представлен состав типовой системы технического зрения. Проанализированы итоги по выбору различных типов объективов для решения намеченных задач контроля полученного изображения и предложены наиболее перспективные из них.

Исследован и проанализирован один из самых важных этапов СТЗ - обработка изображения.

Выбран наиболее эффективный для решения поставленных задач алгоритм обработки полученного изображения. Представлены различные уровни в процессе обработки изображений и рассмотрено их влияние на качество получаемого изображения при контроле сыпучего сырья в потоке.

Используя выбранный алгоритм, были проведены экспериментальные исследования определения размеров орехов, яблок, апельсинов, клубники, фиников, т.е. сырья, используемого при производстве оманской халвы. Показана перспективность использования 3-мерного анализа изображений для получения высокоэффективной информации об органолептических показателях качества пищевого сыпучего сырья, используемого при производстве оманской халвы.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности применения системы технического зрения с использованием разработанных алгоритмов обработки полученных изображений для автоматизации контроля органолептических показателей качества оманской халвы.

Заключение

Полученные результаты позволили:

- проанализировать процесс производства оманской халвы как объекта управления;
- исследовать используемые органолептические показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовой оманской халвы, разработать методы и способы автоматического контроля этих показателей с применением системы технического зрения СТЗ;
- выбрать наиболее эффективный для решения поставленных задач алгоритмы обработки изображения в СТЗ.
- провести экспериментальные исследования и на их основе разработать наиболее эффективную схему использования СТЗ для контроля органолептических показателей качества сыпучего сырья, используемого в производстве оманской халвы.

Литература

- Антипов, С. Т., Кретов, И. Т., & Остриков, А. Н. (2009). *Машины и аппараты пищевых производств*. КолосС.
- Балыхин, М. Г., Благовещенская, М. М., Благовещенский, И. Г., Макаровская, З. В., & Назойкин, Е. А. (2019). Автоматизация вакуумной сублимационной сушки продукции с использованием метода комбинированного управления. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2(380), 133-137.
- Балыхин, М. Г., Борзов, А. Б., & Благовещенский, И. Г. (2017). Архитектура и основная концепция создания интеллектуальной экспертной системы контроля качества пищевой продукции. *Пищевая промышленность*, 11, 60 - 63.
- Балыхин, М. Г., Борзов, А. Б., & Благовещенский, И. Г. (2017). *Методологические основы создания экспертных систем контроля и прогнозирования качества пищевой продукции с использованием интеллектуальных технологий*. Франтера.
- Битюков, В. К., Хвостов, А. А., & Ребриков, Д. И. (2008). Экспертная система определения цветовых характеристик хлебобулочных изделий. В *Системы управления и информационные технологии*, 4 (с. 138 – 141).
- Благовещенская, М. М. (2009). *Основы стабилизации процессов приготовления многокомпонентных пищевых масс*. Франтера.
- Благовещенская, М. М., & Злобин, Л. А. (2005). *Информационные технологии систем управления технологическими процессами*. Высшая школа.
- Благовещенская М. М., Сантон Куннихан М. П. (2017). Структура систем управления дозирования с использованием нейронных сетей. В *Общезаинтересная студенческая конференция студентов и молодых ученых «День науки»* (с. 263 – 267).
- Благовещенский, И. Г., Макаровская, З. В., Благовещенская, М. М., Чувахин, С. В., & Митин, В. В. (2019). Использование цифровой видеокамеры в качестве интеллектуального датчика системы автоматического регулирования процесса формирования гранулированных пищевых масс. В *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности* (с. 71 – 75).
- Драгилев, А. И., & Маршалкин, Г. А. (2005). *Основы кондитерского производства*. ДеЛи Принт.
- Зубченко, А. В. (2001). *Технология кондитерского производства*. ВГТА.
- Крылова, Л. А., Благовещенский, В. Г., & Татаринев, А. В. (2017). Разработка интеллектуальных аппаратно-программных комплексов мониторинга процессов сепарирования

- дисперсных пищевых масс на основе интеллектуальных технологий. В *Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука* (с.199 – 201). Издательский комплекс МГУПП.
- Лурье, И. С. (1989). *Технология и технологический контроль кондитерского производства*. Легкая и пищевая промышленность.
- Петров, А. Ю., Благовещенская, М. М., Благовещенский, В. Г., Ионов, А. В., & Благовещенский, И. Г. (2019). Главные принципы при построении системы компьютерного зрения в хлебопекарной промышленности. В *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности* (с. 121 – 126).
- Петряков, А. Н., Благовещенская, М. М., Благовещенский, В. Г., Митин, В. В., & Благовещенский, И. Г. (2019). Повышение качества идентификации и позиционирования объекта на цифровых стерео изображениях при помощи алгоритмов построения карты глубины. В *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности* (с. 133 – 138).
- Петряков, А. Н., Благовещенская, М. М., Благовещенский, В. Г., & Крылова, Л. А. (2018). Применение методов объектно-ориентированного программирования для контроля показателей качества кондитерской продукции. *Кондитерское и хлебопекарное производство*, 5-6(176), 21-23.
- Савостин, С. Д., Благовещенская, М. М., & Благовещенский, И. Г. (2016). *Автоматизация контроля показателей качества муки в процессе размола с использованием интеллектуальных технологий*. Франтера.
- Шторх, Л. В. (2013). *Совершенствование технологии хлеба для школьного питания с применением автоматизированной системы контроля цвета изделий*: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. ВГУИТ.
- Agoston, M. K. (2004). *Computer Graphics and Geometric Modeling*. Springer.
- Ali, S. M. (2013). Gap-Filling Restoration Methods for ETM+ Sensor Images. *Iraqi Journal of Science*, 54(1), 206-214.
- Benosman, R. (2001). *Panoramic vision : Sensors, theory*. New York. XXIV.
- Blagoveshchenskiy, I. G., Sulimov, V. D., Shkapov, P. M., & Blagoveshchenskay, M. M. (2018). Hybrid algorithms for optimization and diagnostics of hydro-mechanical systems used in food production biotechnology. In *Materials Science and Engineering «Fundamental and Applied Problems of Mechanics – 2017»*, 012039 - 012048.
- Fattal, R. (2007). Image upsampling via imposed edges statistics. *ACM Transaction on Graphics*, 26(3), Article 95. <http://doi.acm.org/10.1145/1239451.1239546>
- Fisher, R. A. (2006). *The Use of Multiple Measurements in Taxonomic Problems*. Annals of Eugenics.
- Garcia, L. A., Arguesso, F., Garcia, A. I., & Diaz, M. (1995). Application of neural networks for controlling and predicting quality parameters in beer fermentation. *Journal of industrial microbiology*, 5, 28 – 35.
- Gardner J., & Bartlett P. (1998). *Electronic Noses: Principles and Applications*. Oxford University Press.
- Gorban, A. N. (2007). *Principal Manifolds for Data Visualisation and Dimension Reduction*. Springer.
- Komarinskiy, S. (2008). The Cognitive Visualization System. In *Astronomical Data Analysis Software and Systems (ADASS) XVII* (pp. 252 – 386).
- Legin, A., Rudnitskaya, A., Vlasov, Yu., Di Natale, C., & D'Amico, A. (1999). *Sensors and Actuators*. West Publishing Company.
- Newton, D. E. (2007). *Food Chemistry*. Facts On File.
- Semenov, G. V., Krasnova, I. S., Suvorov, O. A., Shvalova, I. D., & Posokhov, N. D. (2015). Influence of freezing and drying on phytochemical properties of various fruit. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 12(2), 1311-1320.
- Semenov, G. V., Tikhomirov, A. A., & Krasnova, I. S. (2016). The choice of the parameters of vacuum freeze drying to Thermolabile materials with desired quality level. *International Journal of Applied Engineering Research*, 11(13), 8056-8061.
- Sun, D. W. (2008). *Modern Techniques for food authentication*. Academic Press.
- Tikhomirov, A. A., & Matison, V. A. (2016). A study on the problem of customer relation ship-oriented design food. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 7(4), 2680-2690.
- Tikhomirov, A. A., & Matison, V. A. (2016). On the application of consumer evaluation in developing new food products. *International Journal of Applied Business and Economic Research*, 14(14), 735-746.
- Wilson, C. I., & Threapleton L. (2003). Application Of Artificial Intelligence For Predicting Beer Flavours From Chemical Analysis. In *European Brewery Convention* (pp. 18 – 25).

Study of the Impact of the Use of Technical Vision on the Quality Indicators of Omani Halva

Imad Saleh Darwish Al Balushi

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: imad8999@gmail.com*

Ivan G. Blagoveshchensky

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: igblagov@mgupp.ru*

Margarita M. Blagoveshchenskaya

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: mmb@mgupp.ru*

Viatcheslav A. Soumerin

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: v_soumerin@mail.ru*

The article is devoted to methods and methods of improving the quality of production of Omani desserts (halva) by using a technical vision system to automate quality control with the ability to control the production of this product. It is shown that during the production of Omani halva, problems arise with the stability of the quality indicators of the raw materials used, which affects the quality of the finished halva. Therefore, a system analysis of the automation object - the production line of Omani halva was carried out. The analysis of features of all stages of its production, as well as information processes occurring in them, is given. The characteristic of the main stages of production of Omani halva is presented. A comprehensive analysis of the most important organoleptic quality indicators of Omani halva controlled in the production process is made. The existing methods and tools of these indicators are considered and analyzed. Disadvantages of laboratory organoleptic control are presented. The most informative organoleptic indicators of quality control of raw materials used in the production of Omani halva are selected and justified: size (shape), color and surface condition. These indicators must be monitored during the production of Omani halva. It is shown that currently existing methods for evaluating these quality indicators are subjective and are determined only by experts through laboratory measurements. The existing instrumental methods and means of automatic control in the flow of these indicators are considered and analyzed. The review and analysis of the data obtained in the conducted study showed that it is impossible to use existing methods and tools to automate the control of selected indicators in the flow during the production of Omani halva. The possibility of using technical vision systems to automate the control of selected organoleptic quality indicators of Omani halva is analyzed. The conducted research allowed us to conclude that the use of the technical vision system for these purposes is promising. The composition of a typical technical vision system is presented. The solutions for choosing different types of lenses for solving various tasks are analyzed and the most promising lenses for solving the planned tasks are proposed. One of the most important stages of the technical vision system - image processing - has been studied and analyzed. The most effective algorithm for processing the resulting image was selected. Various image levels are presented and their influence on the quality of the result obtained when controlling bulk raw materials in the flow is considered.

Using the chosen algorithm, experimental studies were conducted to determine the size of nuts, apples, oranges, strawberries, dates, i.e. raw materials used in the production of Omani halva. The prospects of using 3-dimensional image analysis to obtain highly effective information

How to Cite

Al Balushi, I. S. D., Blagoveshchensky, I. G., Blagoveshchenskaya, M. M., & Soumerin, V. A. (2019). Study of the Impact of the Use of Technical Vision on the Quality Indicators of Omani Halva. *Health, Food & Biotechnology*, 1(4). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i4.s277>

about organoleptic indicators of the quality of food bulk raw materials used in the production of Omani halva are shown.

Keywords: quality, Omani halva, production automation, technical vision system, organoleptic indicators

References

- Agoston, M. K. (2004). Computer Graphics and Geometric Modeling. Springer.
- Ali, S. M. (2013). Gap-Filling Restoration Methods for ETM+ Sensor Images. *Iraqi Journal of Science*, 54(1), 206-214.
- Antipov, S. T., Kretoy, I. T., Ostrikov, A. N. (2009). *Mashiny i apparaty pishchevyh proizvodstv* [Machines and equipment for food production]. KolosS.
- Balykhin, M. G., Blagoveshchenskaya, M. M., Blagoveshchenskiy, I. G., Makarovskaya, Z. V., & Nazoykin, E. A. (2019). Automation of vacuum freeze-drying products using the combined control method. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti* [News of higher educational institutions. Technology of the textile industry], 2(380), 133-137.
- Balykhin, M. G., Borzov, A. B., & Blagoveshchenskiy, I. G. (2017). The architecture and basic concept of creating an intelligent expert system of food quality control. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food industry], 11, 60 - 63.
- Balykhin, M. G., Borzov, A. B., & Blagoveshchenskiy, I. G. (2017). *Methodological foundations of creating expert systems for monitoring and forecasting the quality of food products using intelligent technologies*. Frantera.
- Benosman, R. (2001). *Panoramic vision : Sensors, theory*. New York. XXIV.
- Bitukov, V. K., Khvostov, A. A., & Rebrikov, D. I. (2008). Expert system for determining the color characteristics of bakery products. In *Sistemy upravleniya i informacionnye tekhnologii* [Management Systems and Information Technologies] (pp. 138 - 141).
- Blagoveshchenskaya, M. M. (2009). *Basics of stabilization of the preparation of multicomponent masses*. Frantera.
- Blagoveshchenskiy, I. G., Makarovskaya, Z. V., Blagoveshchenskaya, M. M., Chuvakhin, S. V., & Mitin, V. V. (2019). Using a digital video camera as an intelligent sensor of an automatic control system for the molding of granular food masses. In *Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyah pishchevoj promyshlennosti* [Intelligent systems and technologies in the food industry branches] (pp. 71 - 75).
- Blagoveshchenskaya, M. M., Santon Kunnikhan, M. P. (2017). The structure of dosing control systems using neural networks. In *Obshcheuniversitetskaya studencheskaya konferenciya studentov i molodyh uchenykh «Den' nauki»* [University Conference of Students and Young Scientists "Science Day"] (pp. 263 - 267).
- Fattal, R. (2007). Image upsampling via imposed edges statistics. *ACM Transaction on Graphics*, 26(3), Article 95. <http://doi.acm.org/10.1145/1239451.1239546>
- Fisher, R. A. (2006). *The Use of Multiple Measurements in Taxonomic Problems*. Annals of Eugenics.
- Garcia, L. A., Arguesso, F., Garcia, A. I., & Diaz, M. (1995). Application of neural networks for controlling and predicting quality parameters in beer fermentation. *Journal of industrial microbiology*, 5, 28 - 35.
- Gardner J., & Bartlett P. (1998). *Electronic Noses: Principles and Applications*. Oxford University Press.
- Gorban, A. N. (2007). *Principal Manifolds for Data Visualisation and Dimension Reduction*. Springer.
- Komarinskiy, S. (2008). The Cognitive Visualization System. In *Astronomical Data Analysis Software and Systems (ADASS) XVII* (pp. 252 - 386).
- Krylova, L. A., Blagoveshchenskiy, V. G., & Tatarinov, A. V. (2017). Development of intelligent hardware and software systems for monitoring the separation of dispersed food masses based on intelligent technologies. In *Razvitie pishchevoj i pererabatyvayushchej promyshlennosti Rossii: kadry i nauka* [The Development of the Food and Processing Industry of Russia: Personnel and Science] (pp. 199 - 201). Publishing complex MGUPP.
- Legin, A., Rudnitskaya, A., Vlasov, Yu., Di Natale, C., & D'Amico, A. (1999). *Sensors and Actuators*. West Publishing Company.
- Lurie I. S. (1989). *Tekhnologiya i tekhnologicheskij kontrol' konditerskogo proizvodstva* [Technology and technological control of confectionery production] (pp. 243 - 318). Legkaya i pishchevaya promyshlennost'.
- Newton, D. E. (2007). *Food Chemistry*. Facts On File.
- Petrov, A. Yu., Blagoveshchenskaya, M. M., Blagoveshchenskiy, V. G., Ionov, A. V., & Blagoveshchenskiy, I. G. (2019). The main principles in building a computer vision system in the baking industry. In *Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyah pishchevoj promyshlennosti* [Intelligent systems and technologies in the food industry industries] (pp. 121 - 126).
- Petryakov, A. N., Blagoveshchenskaya, M. M., Blagoveshchenskiy, V. G., & Krylova, L. A. (2018). The

- use of object-oriented programming methods to control the quality indicators of confectionery products. *Konditerskoye i khlebopekarnoye proizvodstvo* [Confectionery and bakery production], 5 – 6 (176), 21-23.
- Petryakov, A. N., Blagoveshchenskaya, M. M., Blagoveshchenskiy, V. G., Mitin, V. V., & Blagoveshchenskiy, I. G. (2019). Improving the quality of identification and positioning of an object in digital stereo images using depth mapping algorithms. In *Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyah pishchevoj promyshlennosti* [Intelligent systems and technologies in the food industry industries] (pp. 133 – 138).
- Savostin, S. D., Blagoveshchenskaya, M. M., & Blagoveshchenskiy, I. G. (2016). *Avtomatizatsiya kontrolya pokazatelej kachestva muki v processe razmola s ispol'zovaniem intellektual'nyh tekhnologij* [Automation of control of flour quality indicators during grinding using intelligent technologies]. Frantera.
- Semenov, G. V., Krasnova, I. S., Suvorov, O. A., Shuvalova, I. D., & Posokhov, N. D. (2015). Influence of freezing and drying on phytochemical properties of various fruit. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 12(2), 1311-1320.
- Semenov, G. V., Tikhomirov, A. A., & Krasnova, I. S. (2016). The choice of the parameters of vacuum freeze drying to Thermolabile materials with desired quality level. *International Journal of Applied Engineering Research*, 11(13), 8056-8061.
- Storch L.V. (2013). *Sovershenstvovanie tekhnologii hleba dlya shkol'nogo pitaniya s primeneniem avtomatizirovannoj sistemy kontrolya cveta izdelij* [Improving the technology of bread for school meals using an automated color control system for products] : Abstract. dis.... cand. tech. Sciences. VGUIT.
- Sun, D. W. (2008). *Modern Techniques for food authentication*. Academic Press.
- Tikhomirov, A. A., & Matison, V. A. (2016). A study on the problem of customer relation ship-oriented design food. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 7(4), 2680-2690.
- Tikhomirov, A. A., & Matison, V. A. (2016). On the application of consumer evaluation in developing new food products. *International Journal of Applied Business and Economic Research*, 14(14), 735-746.
- Wilson, C. I., & Threapleton L. (2003). Application Of Artificial Intelligence For Predicting Beer Flavours From Chemical Analysis. In *European Brewery Convention* (pp. 18 – 25).

Разработка технологии хлебобулочных изделий с использованием мяты перечной

Белявская Ирина Георгиевна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: belyavskaya@mgupp.ru

Алексеев Елена Викторовна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: alekseenko@mgupp.ru

Капустина Ксения Федоровна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: hleb@mgupp.ru

Исабаев Исмаил Бабаджанович

Бухарский инженерно-технологический институт

Адрес: 200117, город Бухара, ул. Каюма Муртазаева, 15, Узбекистан

E-mail: isabayev_63@mail.ru

Коррекция пищевой ценности хлебобулочных изделий включает использование в качестве дополнительных рецептурных компонентов фитокомпонентов – источников пищевых и биологически активных веществ, в том числе обладающих фармакологическими свойствами. Обзор литературных источников позволил обосновать в качестве фитокомпонента хлебопекарного производства мяту перечную, препараты которой обладают легким успокаивающим, умеренным антисептическим и болеутоляющим действием, а при регулярном употреблении общеукрепляющим эффектом. Целью исследования явилось сравнительное изучение влияния продуктов переработки мяты перечной на органолептические и физико-химические показатели качества во взаимосвязи с параметрами технологического процесса, реализованного с использованием различных способов приготовления, для разработки технологии хлебобулочных изделий здорового питания. В работе установлено влияние продуктов переработки мяты перечной в свежем измельченном, сушеном измельченном виде, в виде отвара и сиропа на технологические свойства полуфабрикатов хлебопекарного производства, определено влияние каждого рецептурного компонента на балльную оценку готовых изделий. С использованием пробных лабораторных выпечек установлены изменения свойств мякиша в процессе хранения изделий, позволившие определить преимущество безопасного способа приготовления теста, обеспечивающего более высокие показатели качества хлебобулочных изделий. В результате проведенных исследований разработана технология производства хлебобулочных изделий, обладающих высокими показателями качества. Расчет пищевой ценности разработанных изделий с использованием мяты перечной в сушеном измельченном виде показал, что при употреблении хлебобулочных изделий «Мятных» в количестве 100 г потребность в белках удовлетворяется на 10,9%, углеводах – 14%, пищевых волокнах – 11,7% от среднесуточной нормы потребления. Изделия могут быть позиционированы как изделия с низким содержанием жира, сбалансированные по содержанию натрия. Содержание тиамина составляет 14,3%, ниацина 10,8% среднесуточной потребности. Результаты проведенных исследований могут быть рекомендованы к использованию в промышленном производстве для расширения ассортимента хлебобулочных изделий, а также для формирования диет здорового питания лиц, включающих продукты переработки мяты перечной в свои рационы.

Ключевые слова: пищевая ценность хлебобулочных изделий, технологические факторы, показатели качества, продукты переработки растительного сырья

Как цитировать

Белявская, И. Г., Алексеев, Е. В., Капустина, К. Ф., & Исабаев, И. Б. (2019). Разработка технологии хлебобулочных изделий с использованием продуктов переработки мяты перечной. *Health, Food & Biotechnology*, 1(4). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i4.s276>

Введение

Одной из основных задач пищевой промышленности по реализации Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года является развитие производства обогащенных незаменимыми компонентами пищевых продуктов, в том числе хлебобулочных изделий. Коррекция пищевой ценности хлебобулочных изделий включает использование в качестве дополнительных рецептурных компонентов фитокомпонентов – источников пищевых и биологически активных веществ, в том числе обладающих фармакологическими свойствами.

Литературный обзор

Хлебобулочные изделия являются основным продуктом в рационе питания значительной части населения, что обусловлено их составом, обеспечивающим поступление необходимых веществ для жизнедеятельности человека. Хлебобулочные изделия обладают приятным вкусом, средней энергетической ценностью, находятся в доступной ценовой категории. Суточная норма потребления хлебобулочных изделий для мужчин составляет 200-300 г, для женщин 180-250 г, что определяется степенью удовлетворения физиологических потребностей в пищевых веществах¹.

Коррекция пищевой ценности хлебобулочных изделий включает использование в качестве дополнительных рецептурных компонентов фитокомпонентов – источников пищевых и биологически активных веществ, в том числе обладающих антиоксидантными и фармакологическими свойствами. Биологически активные вещества, которые в них находятся, защищают не только само растение, но и организм человека. Академик Покровский А.А. одним из первых в России предложил использовать растительные добавки функционального назначения для разработки продуктов с улучшенными характеристиками². На сегодняшний день известно около трех тысяч фитокомпонентов, к ним относят хмель, пастернак, клевер луговой, одуванчик, первоцвет, чабрец, мяту перечную, кресс-салат, пустырник, Melissa, шалфей, валериану, боярышник, расторопша пятнистая, первоцвет весенний, облепиху, микроводоросль спирулину, ромашку аптечную, пажитник, имбирь, куркуму, шиповник, тмин и многие другие.

Кубанским государственным технологическим университетом проведены исследования, направленные на изучение химического состава продуктов переработки хмеля, которые выявили преимущество гранулированного продукта по сравнению с другими продуктами его переработки. В ходе эксперимента установлено положительное влияние продуктов переработки хмеля на подъемную силу хлебопекарных дрожжей, выявлено положительное влияние на органолептические показатели качества хлебобулочных изделий, увеличение срока сохранности свежести, а также установлено угнетающее действие на развитие картофельной болезни (Клиндухова, 2010).

В целях получения высококачественных хлебобулочных изделий сотрудниками Воронежского государственного университета инженерных технологий разработана технология пшеничного хлеба с применением антибиотических фитодобавок с использованием смеси порошка пастернака и меда. Высокое содержание эфирных масел и органических кислот обуславливает использование пастернака с целью предотвращения микробиологической порчи изделий. В результате эксперимента было установлено улучшение технологических свойств пшеничного теста, повышение показателя пористости и удельного объема хлеба. Показано, что внесение 6% фитодобавки предупреждает плесневение хлеба (Коломникова, 2009).

Сотрудниками ныне Орловского государственного университета им. И.С.Тургенева изучено применение в качестве фитодобавки лугового клевера, который обладает богатым химическим составом и, благодаря наличию в нем биофлавоноидов, органических кислот, антоцианов, полифенольных соединений обладает бактерицидным действием. В работе проведен сравнительный анализ антимикробной активности фитосиропа и фитопорошка. Установлено, что фитосиропа из лекарственных дикорастущих растений обладают меньшей антимикробной активностью. Экспериментальные данные показали, что фитодобавки положительно влияют на клейковину муки, укрепляя ее. Применение исследованных фитокомпонентов повышало содержание пищевых волокон в пшеничных сортах в 2 раза, что обуславливало увеличение пищевой ценности (Ковалева, 2016).

Изучена возможность совместного применения порошков лекарственных растений: листьев одуванчика, первоцвета, чабреца, мяты перечной

¹ Боряев, В. Е., Белецкая, Н. М., Пехтерева, Н. Т. и др. (2005). Функциональные продукты питания. Кооперативное образование.

² Покровский, А. А. (1984) *Книга о вкусной и здоровой пище*. Легкая и пищевая промышленность. 388 с.

(Йоргачева, 2014). Полученные образцы отличались ароматом, вкусом и цветом при неизменных показателях влажности и кислотности изделий. Установлено, что добавление композиций фитокомпонентов увеличивало срок годности хлебобулочных изделий на 4 суток, повышало содержание клетчатки.

Профессором Дальневосточного федерального университета Чижикова О.Г. обоснован выбор сухой порошковой смеси кресс-салата и мяты для обогащения изделия физиологически функциональными веществами. Проведен анализ химического состава сухих листьев мяты перечной и кресс-салата. Установлено, что данные растительные компоненты отличались высоким содержанием белков (26,5–30,1%), минеральных веществ (13,8–14%), пищевых волокон-клетчатки (14,2–15,6%). Фитокомпонентный порошок использовали для увеличения пищевой ценности готового хлебобулочного изделия. По органолептическим показателям экспериментальные образцы отличались цветом мякиша с заметными вкраплениями растительных добавок. В результате исследования установлено, что полученный хлеб превосходил контрольный образец по содержанию дефицитных для хлеба веществ: белка на 5,5%, пищевых волокон-клетчатки на 9,2%, минеральных веществ на 19,3%, кальция и магния соответственно в 2,4–2,0 раза. Таким образом, данный эксперимент подтвердил актуальность использование смеси кресс-салата и мяты в хлебопекарной промышленности (Чижикова, 2017).

Изучение применения продуктов переработки облепихи в производстве хлебобулочных изделий позволило определить оптимальные рецептуры для получения продуктов, обладающих лучшими показателями и более длительным сроком хранения (Алексеев, 2013).

Определен оптимальный способ использования лекарственного технического сырья (пустырник, Melissa, шалфей, валериана, мята перечная и боярышник) в качестве источника антиоксидантов при производстве пряничных изделий. Растительное сырье использовали в виде порошка и настоя, приготовленного по требованиям фармакопейного производства. Установлено, что полная замена воды настоем приводила к увеличению удельного объема изделий, коэффициента набухаемости по сравнению с контролем. Экспериментальные образцы превосходи-

ли контроль по органолептическим свойствам (Мирошникова, 2001).

Разработана технология хлебобулочных изделий с добавлением продуктов переработки расторопши пятнистой. Экспериментально доказано, что использование расторопши способствует изменению реологических свойств хлебобулочных изделий. Добавление фитокомпонента приводило к изменению структуры мякиша хлеба. Экспериментальные изделия приобретали более выраженный сладкий, сдобный, пряный вкус. Установлено, что внесение продуктов переработки расторопши пятнистой способствовало продлению срока сохранения свежести хлеба. Микробиологическая чистота улучшалась, что характеризовало способность сдерживать развитие картофельной болезни. Хлебобулочные изделия, приготовленные с добавлением расторопши имели более высокую пищевую ценность, по содержанию белка, линолевой кислоты, силимарина, витамина Е и кальция. Полученные данные подтверждают целесообразность использования продуктов переработки расторопши пятнистой при производстве хлебобулочных изделий функционального назначения, которые предназначены для лиц, проживающих в регионах с неблагоприятными экологическими условиями³.

Изучено влияние добавления композиции первоцвета весеннего, одуванчика, мяты перечной, чабреца на качество булочных изделий. Химический состав дикорастущих лечебных растений имеет сложный комплекс биологически активных веществ: алкалоиды, полисахариды, гликозиды, органические кислоты, эфирные масла, антибиотики, аминокислоты, растительные гормоны, минеральные и дубильные вещества, смолы и др. Изделия приобретали приятные, характерные травмам вкус и аромат. Экспериментальные образцы с добавками имели больший срок сохранности свежести продукта, чем контроль. Добавление порошков дикорастущих растений оказывало влияние на энергетическую ценность, улучшало химический состав хлебобулочных изделий (Музадевская, 2012).

Изучено влияние спирулины на качество хлебобулочных изделий с целью повышения их биологической и пищевой ценности. Спирулина имеет в своем составе ряд ценных компонентов, в состав входят белок, микроэлементы, витамины, каротиноиды, аминокислоты. Установлено, что добавление порошка микроводоросли спирулины улуч-

³ Пономарева, Е. И., Магомедов, М. Г., Кустов, В. Ю., Межова, Т. Н., Застрогина, Н. М. Способ производства хлеба функционального назначения// Патент РФ № 2528690, 20.09.2014.

шало органолептические и физико-химические показатели готовых изделий, происходило увеличение содержания основных пищевых веществ, повышалась антиоксидантная емкость готовых изделий, которые приобретали характерный для спироулины вкус и аромат. (Белявская, 2012).

Разработана технология хлебобулочных изделий с добавлением выжимок винограда и ромашки аптечной. Пектин, содержащийся в виноградных выжимках, делает данное сырье ценным для пищевой промышленности. В ходе эксперимента было обнаружено, что пектина содержится в замороженных выжимках больше, чем в сухих, это объясняется отсутствием деградации пищевых веществ при заморозке. Установлено, что лучшими сортами для получения пектиновых экстрактов являлись Бианка и Цитронный Магарац, обеспечивающие более интенсивный процесс брожения и кислотонакопления полуфабрикатов. При этом, экстракт виноградного пектина можно использовать для улучшения слабой муки, так как он укрепляет клейковину. В результате проведенных исследований сделан вывод о том, что введенные в рецептуру добавки являются источником витаминов и минеральных веществ, которые повышают пищевую ценность готового продукта. Добавление данных фитокомпонентов является целесообразным для районов с неблагоприятной экологической обстановкой (Храпко, 2015).

Для расширения ассортимента хлебобулочных изделий диabetического назначения, предложена технология хлеба с применением экстракта коры березы. Береста богата бетулином, который проявляет антиоксидантные, антисептические, противоаллергические, иммуномодуляторные, детоксицирующие свойства. Преимуществом использования экстракта бересты является антимикробное действие, что характеризует увеличение срока годности готового изделия.

Бетулиносодержащий экстракт коры березы снижал уровень холестерина в крови, активизировал ферментные системы антиоксидантной защиты организма. Установлено, что, экстракт бересты является перспективным сырьем для расширения ассортимента продуктов питания диabetического назначения. Добавление экстракта в количестве 0,0052 % к массе муки укреплял структуру теста. Выявлено, что при добавлении растительного компонента увеличивалось газообразование на 18 % (Веселова, 2014).

Индийскими учеными исследована возможность использования муки из семян пажитника сеного для обогащения пшеничного хлеба белком, лизином, водорастворимыми и нерастворимыми пищевыми волокнами, кальцием, железом и β -каротином. Установлено, что при добавлении нетрадиционного сырья в количестве 15 % можно получать хлеб с хорошими органолептическими показателями, а также с высокой пищевой ценностью (Hooda, 2005).

Многие исследования доказывают полезное влияние фитокомпонентов на организм человека. Комплекс веществ, который находится в лекарственных растениях, имеет противовоспалительные, антимикробные, кровоочистительные свойства (Уранов, 2018; Казакова, 2018; Астафьева, 2018)⁴.

Анализ данных научно-технической литературы показал, что применение перечной мяты в хлебопекарном производстве изучали в виде композиций с другими фитокомпонентами. Однако, распространение аллергических реакций на определенные виды пищевых ингредиентов диктует необходимость разработки технологии хлебобулочных изделий с использованием монофитокомпонентов, обладающих установленными эффектами на их употребление организмом человека.

Теоретическое обоснование

Обзор литературных источников позволил обосновать в качестве фитокомпонента хлебопекарного производства мяту перечную, препараты которой обладают легким успокаивающим, умеренным антисептическим и болеутоляющим действием, а при регулярном употреблении общеукрепляющим эффектом. Мята перечная (*Mentha piperita*) – травянистое растения семейства яснотковых.

Культурное растение было получено путем гибридизации дикорастущих видов мяты – мяты водной (*Mentha aquatica*) и мяты колосистой (*Mentha spicata*) (Борисов, 1974). В России селекционные сорта мяты перечной в промышленных масштабах выращивают в Краснодарском крае, Воронежской и других областях.

Проведено множество сравнительных анализов морфологических и анатомических признаков мяты перечной, произрастающей на террито-

⁴ Шарова, Е.И. (2016). Антиоксиданты растений: учебное пособие. СПб. Издательство Санкт-Петербургского университета. 140 с.

рии России и других стран, установлено влияние экологических факторов на химический состав, в том числе качество эфирных масел (Нгуен, 2011; Жоглова, 2018; Казакова, 2018).

Основным компонентом перечной мяты является ментол. Мятное масло имеет желтоватый цвет, отличается ярким характерным ароматом и охлаждающим вкусом. В растениях мяты содержатся эфирное масло - (2,4–2,75 % в листьях, в соцветиях 4–6 %), дубильные и смолистые вещества, каротин (0,007–0,0075 %, в листьях 0,0105–0,012), гесперидин, аскорбиновая (0,0095 %), хлорогеновая (0,7 %), кофейная (0,5–2 %), урсоловая (0,3 %) и олеаноловая (0,12 %) кислоты, рутин (0,014 %), бетаин, аргинин, нейтральные сапонины, глюкоза, рамноза, фитостерин (Борисова, 1974; Fejer, 2014; Mahmoodi, 2016).

Учеными Санкт-Петербургского государственного аграрного университета установлено, что потеря аскорбиновой кислоты в свежих и замороженных листьях мяты и Melissa при высушивании составляла 5–10 %, содержание сахаров и хлорофилла не изменялось. Выделены образцы растений, которые позволяли получить продукт с более высоким содержанием сахаров и витаминов (Прокофьев, 2014).

Морозовым А.И. исследована антиоксидантная активность различных сортов мяты перечной в нечерноземной зоне России и в различной фазе вегетации растений. Наиболее высокая антиокислительная способность обнаружена у сортов Янтарная, Краснодарская 2, Лекарственная 4 и Тунджа, максимальная величина этого признака отмечена в фазе массового цветения растений (Морозов, 2014). Так же изучена антимикробная активность паров и растворов мяты перечной (Райкова, 2011).

Проведена оценка качества листьев мяты перечной по водорастворимым веществам. Разработана методика количественного определения флавоноидов в листьях перечной мяты методом дифференциальной спектрофотометрии. Предложена норма содержания биологически активных веществ (БАВ) в мяте перечной (Евдокимова, 2013).

С помощью атомно-эмиссионной спектроскопии с фотографической регистрацией изучены качественное и количественное содержание макро- и микроэлементов в образцах мяты перечной. Все виды сырья обладали высоким содержанием ка-

лия (Андрианов, 2014).

Все вышеизложенное позволяет сделать заключение о целесообразности использования в качестве дополнительного рецептурного компонента хлебопекарного производства - источника пищевых и биологически активных веществ, в том числе обладающих фармакологическими свойствами – продуктов переработки мяты перечной.

Формирование высоких показателей качества хлебобулочных изделий с использованием дополнительных рецептурных компонентов основывается на изучении их влияния на реологические и биотехнологические свойства полуфабрикатов и выборе оптимальных параметров технологического процесса при различных способах приготовления.

В связи с этим целью данной работы является разработка технологии хлебобулочных изделий с использованием различных продуктов переработки мяты перечной. Для реализации поставленной цели решали следующие задачи:

- обосновать использование продуктов переработки мяты перечной в качестве дополнительного рецептурного компонента хлебопекарного производства, выбрать способ их внесения;
- изучить влияние внесения мяты перечной на качество хлебобулочных изделий в зависимости от способа внесения, рецептуры хлебобулочных изделий при различных способах тестоприготовления;
- определить динамику изменений свойств мякиша в процессе хранения хлебобулочных изделий, приготовленных с внесением мяты перечной;
- определить показатели пищевой ценности хлебобулочных изделий с использованием мяты перечной;
- разработать технологическую схему применения продуктов переработки мяты перечной при производстве хлебобулочных изделий.

Исследование

Исследования проводили на кафедрах «Биотехнология и технология продуктов биологического синтеза» и «Зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий» ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств».

Материалы и объекты исследований

Объектами исследования являлись продукты переработки мяты перечной: свежая измельченная мята, сушеная измельченная мята, мятный сироп и отвар мяты, а также хлебобулочные изделия, приготовленные в лабораторных условиях. В качестве контрольного образца использовали хлебобулочные изделия, приготовленные без внесения исследуемых рецептурных компонентов.

При проведении исследований использовали муку пшеничную первого сорта ГОСТ 26574-2017, соль пищевую сорта экстра ГОСТ Р 51574-2018, дрожжи прессованные хлебопекарные ГОСТ Р 54731-2011, мяту ГОСТ 32883-2014, сахар белый ГОСТ 33222-2015, воду питьевую по ГОСТ Р 51232 или СанПиН 2.1.4.1074.

Оборудование

При проведении исследований использовали следующее лабораторное оборудование: измельчитель лабораторный, шкаф сушильный лабораторный, тестомесильную машину марки «Diosna», термостат для брожения полуфабрикатов хлебопекарного производства, весы лабораторные, расстойный шкаф «Элемер», печь подовую ярусную «Miwe condo».

Методы исследования

Муку пшеничную анализировали в лабораторных условиях в соответствии со следующим показателям: влажность по ГОСТ 9404, кислотность по ГОСТ 27493, массовая доля и качество клейковины по ГОСТ 27839; соль пищевую сорта экстра анализировали по органолептическим показателям; дрожжи прессованные хлебопекарные по показателям: внешний вид, цвет, вкус, запах, массовая доля сухого вещества, кислотность, подъемная сила, стойкость в соответствии с ГОСТ Р 54731; мяту по показателям: внешний вид, запах, вкус, наличие посторонних примесей.

Готовые хлебобулочные изделия оценивали через 16-18 часов по органолептическим и физико-химическим показателям в соответствии со стандартными методами. Органолептические показатели определяли по методике балльной оценки качества хлеба, разработанной на кафедре «Зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий» МГУПП.

Из физико-химических показателей качества хлеба определяли: влажность, кислотность,

пористость, удельный объем, крошковатость, реологические свойства мякиша. Массу хлеба измеряли на лабораторных весах. Объем хлебобулочных изделий измеряли с помощью специального приспособления. Удельный объем хлеба определяли путём отношения объёма изделия к его массе, выражали в см³/г. Кислотность мякиша определяли методом титрования по ГОСТ 5670-96. Реологические свойства мякиша хлеба определяли на приборе «Структурометр СТ-2». Определяли общую ($H_{\text{общ}}$), пластическую ($H_{\text{пл}}$), упругую деформации ($H_{\text{упр}}$), а также относительную деформацию мякиша ($\Delta H_{\text{пл}}$), как отношение пластической деформации к общей. О гидрофильных свойствах мякиша судили по его набухаемости в воде, определяемой по уточненной методике Катца. Химический состав и энергетическую ценность хлебобулочных изделий определяли в соответствии с методикой ФГАНУ НИИХП.

Достоверность результатов проведенных исследований оценивали применением статистической обработки результатов 3-х повторностей, расчетом среднеквадратического отклонения и доверительного интервала.

В работе использовали муку пшеничную первого сорта, которую анализировали в лабораторных условиях в соответствии с ГОСТ 26574-2017 по следующим показателям: влажность по ГОСТ 9404, кислотность по ГОСТ 27493, массовую долю и качество клейковины по ГОСТ 27839. Соль поваренную пищевую «Экстра» анализировали органолептически в соответствии с ГОСТ Р 51574, дрожжи прессованные хлебопекарные - в соответствии с ГОСТ Р 54731.

Приготовление теста осуществляли безопасным способом. Рецептуры приготовления представлены в таблице 1. Контролем служили пробы хлебобулочных изделий, приготовленных без внесения фитокомпонента.

Процедура исследования

Для выбора способа внесения исследуемого фитокомпонента осуществляли приготовление свежей измельченной мяты (СИМ), сушеной измельченной мяты (СМ), сиропа из мяты (МС) и отвара мяты (ОМ). Для приготовления сухой мяты высушивали до влажности не более 14%. Измельчение проводили с использованием измельчителя лабораторного в течение 1-2 мин. Отвар мяты готовили при температуре не выше 95 °С при гидромодуле 1:50. Приготовление сиропа осуществляли с использованием сахара

белого при соотношении свежая измельченная мята :сахар:вода 1:2,5:5, увариванием и пропусканием через сито лабораторное С 20/38.

На первом этапе проводили пробные лабораторные выпечки безопасным однофазным способом. Рецепт приготовления теста представлена в таблице 1. При однофазном способе приготовления тесто замешивали на тестомесильной машине марки «Diosna» в течение 5 минут. В соответствии с рекомендациями ВОЗ, количество соли пищевой в рецептурах с продуктами переработки мяты перечной принимали на 0,5% меньше. Соль пищевую вносили в растворенном виде, дрожжи прессованные хлебопекарные в виде суспензии. Количество воды на замес теста рассчитывали исходя из влажности теста 44,5%. Брожение теста проводили при температуре 30–32°C, продолжительность которого составляла 90 мин, во время брожения теста проводили обминку через час. Тесто разделявали на куски массой 400 и 200 г, укладывали в формы и на под для выпечки, которые помещали в расстойный шкаф «Элемер», проводили расстойку при температуре 35–38°C и относительной влажности воздуха 75–80%. Готовность тестовых заготовок к выпечке определяли по органолептическим показателям. После расстойки тестовые заготовки выпекали в ярусной подовой печи «Miwe condo» при T = 220°C в течение 25 мин.

При опарном способе приготовления осуществляли приготовления опары из части муки, всего количества прессованных дрожжей и расчетного количества воды, исходя из влажности опары 45%. Замес опары осуществляли на тестомесильной машине марки «Diosna» в течение 4 минут.

Брожение опары осуществляли в термостате при температуре 30°C в течение 180 мин. Затем осуществляли замес теста. Количество воды на за-

мес теста рассчитывали исходя из влажности теста 44,5%. При приготовлении теста, прессованные дрожжи вносили в виде дрожжевой суспензии. Тесто замешивали на лабораторной тестомесильной машине фирмы «Diosna» в течение 4 минут. Брожение теста осуществляли в течение 40 мин. Дальнейшее приготовление хлебобулочных изделий осуществляли ранее описанным способом.

Готовые хлебобулочные изделия охлаждали при температуре 18-25 °C, оценивали по органолептическим и физико-химическим показателям в соответствии с общепринятыми методиками.

При органолептической оценке хлебобулочных изделий отмечали внешний вид, цвет корок, цвет и эластичность мякиша, его липкость, состояние пористости, вкус и аромат. При оценке внешнего вида хлеба оценивали симметричность и правильность формы. При оценке цвета корки отмечали равномерность окраски и цвет (бледный, золотистый, светло-коричневый и т.д.). При оценке мякиша оценивали цвет (белый, серый, темный) и оттенки. При характеристике пористости мякиша изделия оценивали размер пор (мелкие, средние, крупные); равномерность распределения пор (равномерная, достаточно равномерная, недостаточно равномерная); толщину стенок пор (тонкостенная, средней толщины, толстостенная). Проводили оценку эластичности мякиша (эластичный, упругий).

Аромат и вкус изделий определяли при его дегустации и оценивали как хлебный, кислый, пресный, горький; отмечали наличие выраженности мятного, а также постороннего привкуса и запаха.

Для объективной оценки качества хлебобулочных изделий использовали определение физико-химических показателей общепринятыми методами. Проводили определение показателя общей, упругой и пластической деформации мякиша изделий

Таблица 1

Рецептуры хлебобулочных изделий

Наименование сырья	Количество сырья в рецептуре (%) по вариантам				
	1(К)	2	3	4	5
Мука пшеничная хлебопекарная первого сорта	100	100	100	100	100
Дрожжи прессованные хлебопекарные	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Соль пищевая	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0
Свежая измельченная мята (СИМ)	-	2,5	-	-	-
Сушеная измельченная мята (СМ)	-	-	1,25	-	-
Сироп мятный (МС)	-	-	-	25	-
Отвар мяты	-	-	-	-	60

при продолжительности хранения в течение 120 часов.

При проведении балльной оценки показателей качества изделий стандартный протокол модифицировали путем уменьшения коэффициента весомости показателя объема изделий на 1,0 в связи с использованием при проведении эксперимента муки пшеничной хлебопекарной первого сорта, при одновременном увеличении на 0,5 коэффициентов весомости показателей аромата и вкуса, что позволило повысить объективность оценки качества хлебобулочных изделий.

Анализ пищевой ценности и степени удовлетворения суточной потребности в основных пищевых, минеральных веществах и витаминах при употре-

блении 100 г хлебобулочных изделий с использованием исследуемого фитокомпонента, проводили расчетным путем.

Результаты и их обсуждение

Разработка технологии хлебобулочных изделий и продуктами переработки мяты перечной проводилась на основе сравнительных исследований различных способов внесения фитокомпонента. Для изучения влияния способа внесения мяты перечной на показатели качества хлебобулочных изделий в зависимости от способа внесения и рецептуры проводили пробные лабораторные выпечки при безопасном способе приготовления теста из

Таблица 2

Значения показателей качества муки пшеничной хлебопекарной

Наименование показателя	Характеристика (значение) показателя
Сорт	Первый
Цвет	белый с желтоватым оттенком
Вкус	свойственный пшеничной муке
Запах	свойственный пшеничной муке
Влажность, %	13,8
Белизна, усл.ед. РЗ-БПЛ	45
Остаток на сите №36/40	1
Проход через сито №45/50	94
Количество сырой клейковины, %	30
ИДК, усл.ед.	70
Число падения, с	286

Таблица 3

Органолептические показатели хлебобулочных изделий при различных способах внесения мяты перечной

Наименование показателя	Органолептическая оценка хлебобулочных изделий, приготовленных по рецептуре				
	1(К)	2	3	4	5
Внешний вид	нормальный, соответствует форме	нормальный, соответствует форме	нормальный, соответствует форме	нормальный, соответствует форме	нормальный, соответствует форме
Цвет корки	золотисто-желтый	золотисто-желтый с вкраплениями мяты	золотисто-желтый с вкраплениями мяты	темно-золотистый	золотисто-желтый
Цвет мякиша	светлый	светло-серый с вкраплениями мяты	светло-серый с вкраплениями мяты	светло-желтый	светлый
Пористость	средняя, равномерная, тонкостенная	средняя, равномерная, тонкостенная	средняя, равномерная, тонкостенная	средняя, равномерная, тонкостенная	средняя, равномерная, тонкостенная
Состояние мякиша	эластичность хорошая	эластичность хорошая	эластичность хорошая	эластичность средняя	эластичность хорошая
Запах	хлебный	хлебный со слабым ароматом мяты	хлебный с ярко-выраженным ароматом мяты	хлебный с со слабым ароматом мяты	хлебный со слабым ароматом мяты
Вкус	хлебный, без посторонних привкусов	хлебный со слабым вкусом мяты	хлебный с ярко-выраженным вкусом мяты	хлебный с сильным вкусом мяты	хлебный сладковатый со слабым вкусом мяты

муки пшеничной хлебопекарной, характеристики которой представлены в таблице 2.

Данные, представленные в таблице 2, показали соответствие пробы муки пшеничной хлебопекарной первого сорта требованиям ГОСТ. Клейковина муки хлебопекарной относилась к первой группе и характеризовалась как хорошая; автолитическая активность муки нормальная. Таким образом, применяемая при проведении эксперимента проба пшеничной муки характеризовалась средними хлебопекарными свойствами.

Результаты влияния способа внесения мяты перечной на органолептические показатели хлебобулочных изделий представлены в таблице 3.

Анализ органолептических показателей качества хлебобулочных изделий, приготовленных безопасным способом, показал, что все пробы изделий обладали правильной формой, имели среднюю равномерную пористость, мякиш эластичный. Способ внесения мяты перечной оказывал влияние на цвет корки и мякиша готовых изделий, а также на такие показатели как запах и вкус. Наиболее выраженным вкусом и ароматом фитоконпонента обладали пробы изделий с использованием мяты перечной сушеной измельченной.

Разработка рациональных технологических параметров производства пищевых продуктов основывается на изучении показателей качества во взаимосвязи с технологическими затратами, обусловленными интенсивностью биотехнологических и реологических процессов, протекающих при формировании свойств полуфабрикатов и готовой продукции, что находит отражение в значении технологических затрат производства. Физико-химические показатели качества хлебобулочных изделий, приготовленных в лабораторных условиях безопасным способом при внесении мяты перечной в виде свежей измельченной, сушеной измельченной, сиропа и отвара, а также технологические затраты, представлены в таблице 4.

Анализ результатов показателей качества хлебобулочных изделий выявил следующий характер влияния исследуемого фитоконпонента: вне зависимости от способа внесения мяты перечной наблюдалось снижение характеристик удельного объема на 0,09 – 0,41 см³/г, пористости на 4 – 11 %, при повышении значения кислотности на 0,6 – 1,1 град, а также суммы технологических затрат на брожение, упек и усушку на 0,3 - 0,5 %. Изменения крошковатости и реологических свойств мякиша готовых изделий при проведении запланирован-

Таблица 4

Значения физико-химических показателей качества хлебобулочных изделий и технологических затрат при различных способах внесения мяты перечной

Наименование показателя	Значение показателя при приготовлении изделий по рецептуре				
	1(К)	2	3	4	5
Показателей качества хлебобулочных изделий					
Влажность, %	43,4	43,0	42,9	42,0	43,1
Кислотность, град	2,4	4,5	3,1	3,2	3,0
Удельный объем, см ³ /г	3,36	2,95	3,27	2,99	3,20
Пористость, %	79	67	75	68	72
Крошковатость, %	3,4	4,0	3,5	3,0	3,4
H _{общ} , мм	5,6	4,0	6,5	4,3	5,8
H _{пл} , мм	2,3	1,6	3,0	1,4	2,6
H _{упр} , мм	3,3	2,4	3,5	2,9	3,2
Технологические затраты					
Брожение, %	0,9	1,0	1,1	1,0	1,0
Упек, %	7,0	6,8	7,2	6,7	7,0
Усушка, %	3,5	3,9	3,6	4,0	3,7
$\sum_{\text{затрат}}^{\text{техн}}$, %	11,4	11,7	11,9	11,7	11,7

ной серии экспериментов имели неоднозначный характер.

Внесение мяты перечной в свежем измельченном виде приводило к наибольшему снижению показателя удельного объема на 0,41 см³/г при уменьшении пористости мякиша на 8%, кроме того наблюдалось наибольшее увеличение кислотности готовых изделий на 1,1 град и крошковатости на 0,6%. Снижение реологических характеристик свойства мякиша при этом было максимальным и составило 1,6мм для общей; 0,9мм – упругой и 0,7мм – пластической деформации. Суммарное значение технологических затрат увеличивалось по сравнению с контрольной пробой на 0,3%.

Внесение мяты перечной в сушеном измельченном виде обеспечивало наименьшее снижение величины удельного объема и пористости при увеличении кислотности мякиша 0,7 град. Полученные ранее зависимости изменения кислотности изделий (Йоргачева, 2014) отличаются от представленных в настоящем исследовании, обусловлены использованием композиций различных фитокомпонентов. При незначительном увеличении крошковатости мякиша, наблюдалось увеличение его общей деформации на 0,9мм и пластической на 0,7мм, что характеризует улучшение реологических свойств хлебобулочных изделий из муки пшеничной хлебопекарной.

Внесение мяты перечной в виде отвара и сиропа приводило к формированию физико-химических

показателей качества готовых изделий, имеющих промежуточные значения из всей серии проведенного эксперимента.

Исследование влияния способа внесения исследуемого фитокомпонента на балльную оценку хлебобулочных изделий проводили по модифицированной методике, сводные результаты оценки представлены в таблице 5.

Анализ результатов балльной оценки качества хлебобулочных изделий при реализации безопасной технологии приготовления полуфабрикатов выявил преимущество внесения мяты перечной в сушеном измельченном виде. Приготовленные таким способом хлебобулочные изделия отмечались дегустаторами как изделия, обладающие наиболее выраженным ароматом и вкусом мяты перечной. Изделия, приготовленные с внесением мяты перечной в виде сиропа, также были отмечены дегустаторами высокой оценкой (86,3 балла).

Таким образом, внесение мяты перечной в сушеном измельченном виде использовали в дальнейших сравнительных исследованиях по определению влияния способа тестоприготовления на показатели качества хлебобулочных изделий и реологические характеристики мякиша при хранении. Путем проведения пробных лабораторных выпечек установлены показатели качества хлебобулочных изделий. Органолептические показатели качества готовых изделий, приготовленных опарным и безопасным способами, различались

Таблица 5

Показатели балльной оценки хлебобулочных изделий при различных способах внесения мяты перечной

Наименование показателей	Коэффициент весомости	Балльная оценка хлебобулочных изделий, приготовленных по рецептуре				
		1(К)	2	3	4	5
Объем изделий	2,0	4,8	4,3	4,7	4,4	4,6
Правильность формы формовых изделий	1,0	4,2	4,0	4,8	4,8	4,8
Формоустойчивость	2,0	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Окраска корок	1,0	4,7	4,2	4,6	4,8	4,9
Состояние поверхности корки	1,0	4,0	3,6	4,0	4,2	4,6
Цвет мякиша	2,0	4,0	3,8	3,8	4,0	4,0
Структура пористости	1,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Реологические свойства мякиша	2,5	4,6	3,8	4,6	4,6	4,6
Аромат (запах)	3,0	4,0	3,5	4,8	4,0	3,0
Вкус	3,0	4,0	4,0	4,8	4,0	4,0
Разжевываемость мякиша	1,0	4,4	4,2	4,3	4,4	4,4
Суммарная балльная оценка	-	86,2	80,0	90,8	86,3	84,2

Таблица 6

Влияние способа приготовления теста на показатели качества хлебобулочных изделий с использованием мяты перечной в сушеном измельченном виде

Наименование показателя	Значение показателя при приготовлении изделий	
	опарным способом	безопарным способом
Влажность, %	43,0	42,8
Кислотность, град	3,2	3,1
Удельный объем, см ³ /г	3,20	3,26
Пористость, %	74	75
Формоустойчивость (H/D)	0,48	0,46
Крошковатость, %	3,0	3,5
H _{общ} , мм	5,6	6,5
H _{пл} , мм	2,1	3,0
H _{упр} , мм	3,5	3,5

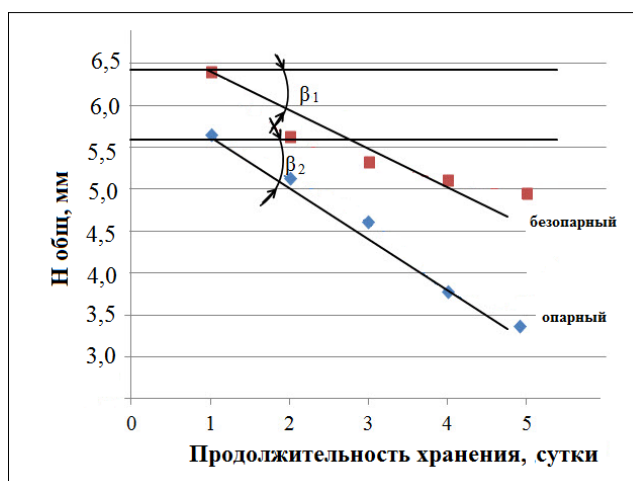


Рисунок 1. Влияние способа приготовления теста на изменение общей деформации мякиша хлебобулочных изделий при хранении

незначительно, физико-химические показатели представлены в таблице 6.

Проведенный анализ результатов пробных лабораторных выпечек показал, что безопарный способ приготовления теста имел незначительные преимущества, заключающиеся в более высоких значениях удельного объема и пористости, а также значении общей деформации мякиша хлебобулочных изделий, обусловленных использованием большего количества дрожжей пресованных хлебопекарных в рецептуре изделия.

Изменение показателей хлебобулочных изделий изучали в процессе хранения. График изменения общей деформации хлебобулочных изделий, приготовленных с внесением мяты перечной в сушеном измельченном виде, при опарном и безопарном способах тестоприготовления, представлены на рисунке 1.

Проведенный сравнительный анализ углов наклона β_1 и β_2 , значения которых характеризуют скорость изменения общей деформации исследуемых проб хлебобулочных изделий, приготовленных безопарным и опарным способами, показал практически одинаковую динамику изменения структурно-механических свойств мякиша при хранении в течение 120 часов. Таким образом, показано, что способ приготовления теста определяет формируемые показатели качества хлебобулочных изделий с использованием сушеной измельченной мяты перечной и не влияет на скорость изменения реологических характеристик мякиша при хранении в течение 5 суток.

Проведен расчет пищевой ценности разработанных хлебобулочных изделий и степень удовлетворения суточной потребности в пищевых веществах при их употреблении в количестве 100 г в сутки (таблица 7).

Таблица 7

Влияние мяты сушеной измельченной на пищевую ценность хлебобулочных изделий и степень удовлетворения суточной потребности в пищевых веществах

Наименование показателей	Содержание компонентов в 100 г хлебобулочных изделий				Средняя суточ- ная потребность ТР ТС 022/2011
	контроль		с сушеной измельчен- ной мятой перечной		
	значение	удовлетворение суточ- ной потребности, %	значение	удовлетворение суточ- ной потребности, %	
Белки, г	8,1	10,8	8,2	10,9	75
Жиры, г	1,0	1,2	1,1	1,3	83
Углеводы, г	51,4	14,1	51,2	14,0	365
МДС, г	1,5	2,3	1,48	2,3	65
Пищевые волокна, г	3,3	11,0	3,5	11,7	30
Минеральные вещества, мг					
Натрий	435	18,1	292	12,1	2400*
Калий	143	4,1	163	4,6	3500
Кальций	22	2,4	37	3,7	1000
Магний	34	8,5	40	10	400
Фосфор	93	9,3	95	9,5	1000
Железо	1,65	11,7	2,58	18,4	14
Марганец	-	-	0,12	6,0	2*
Витамины, мг					
Тиамин (B1)	0,2	14,3	0,2	14,3	1,4
Рибофлавин (B2)	0,07	4,3	0,09	5,6	1,6
Ниацин (PP)	1,84	10,2	1,95	10,8	18
Энергетическая ценность, ккал	247	10,1	247	10,1	2500

Примечание.* в соответствии с МР 2.3.1.2432-08

Анализ результатов, представленных в таблице 7, показал, что содержание основных пищевых веществ хлебобулочного изделия с сушеной измельченной мятой практически не отличается от контрольного образца, незначительно (на 0,7 % рекомендуемой потребности) увеличивается содержание пищевых волокон в 100 г изделия. При этом, стоит отметить низкое содержание жира в составе основных пищевых веществ, что может быть вынесено на этикетку разработанных изделий.

Содержание минеральных веществ в хлебобулочных изделиях, приготовленных по предложенной рецептуре, изменяется в большей степени. Положительным является факт снижения содержания натрия на 143 мг/100 г изделия, что соответствует 6 % среднесуточной нормы. Незначительно увеличивается содержание кальция на 1,3 %, магния на 1,5 % среднесуточной потребности. Содержание железа в разработанных изделиях достигает 18,4 %. Изделия содержат марганец – элемент, участвующий в образовании костной и соединительной ткани, входящий в

состав ферментов, включающихся в метаболизм аминокислот, углеводов, катехоламинов; необходимый для синтеза холестерина и нуклеотидов. Содержание марганца в 100 г изделий обеспечивает 6 % среднесуточной потребности организма в этом соединении. Напомним, что недостаточное потребление марганца сопровождается повышенной хрупкостью костной ткани, нарушениями углеводного и липидного обмена.

Заключение

В результате проведенных исследований дано обоснование рациональной технологии применения мяты перечной в качестве дополнительного рецептурного монофитокомпонента хлебобулочных изделий. Изучено влияние внесения мяты перечной на качество хлебобулочных изделий в зависимости от способа внесения, рецептуры

хлебобулочных изделий при различных способах тестоприготовления.

Установлены зависимости изменения органолептических и физико-химических показателей качества хлебобулочных изделий при использовании мяты перечной в виде свежей измельченной мяты, сушеной измельченной мяты, мятного сиропа и отвара мяты. Сравнительная оценка показателей качества позволила выявить преимущество использования мяты в сушеном измельченном виде. Результаты проведенных исследований подтверждены балльной оценкой проб хлебобулочных изделий, приготовленных с применением различных способов внесения фитокомпонента. С использованием пробных лабораторных выпечек установлены изменения свойств мякиша в процессе хранения изделий, приготовленных опарным и безопарным способами, позволившие определить преимущество безопарного способа приготовления теста, обеспечивающего более высокие показатели качества хлебобулочных изделий.

Расчет пищевой ценности разработанных изделий с использованием мяты перечной в сушеном измельченном виде показал, что при употреблении хлебобулочных изделий «Мятных» в количестве 100 г потребность в белках удовлетворяется на 10,9%, углеводах – 14%, пищевых волокнах – 11,7% от среднесуточной нормы потребления. Изделия могут быть позиционированы как изделия с низким содержанием жира. Минеральный состав хлебобулочных изделий сбалансирован по содержанию натрия, имеет высокое содержание железа (более 18% среднесуточной потребности), а также содержит марганец в количестве 0,12 мкг/100 г. Содержание тиамина составляет 14,3%, а ниацина 10,8% среднесуточной потребности при употреблении 100 г разработанных хлебобулочных изделий.

Результаты проведенных исследований могут быть рекомендованы к использованию в промышленном производстве для расширения ассортимента хлебобулочных изделий, а также для формирования диет здорового питания лиц, включающих продукты переработки мяты перечной в свои рационы.

Литература

- Алексеев, Е. В., Белявская, И. Г., Траубенберг, С. Е., & Дикарева, Ю. М. (2013). Применение жома ферментированных ягод облепихи в производстве хлебобулочных изделий. *Хлебопродукты*, 2, 46-49.
- Андрианов, К. В., Федченкова, Ю. А., & Хворост, О. П. (2014). Изучение элементного состава мяты перечной (*Mentha piperita*). *Актуальні питання фармацевтичної і медичної науки та практики*, 3(16), 49-51.
- Астафьева, О. В., & Журавлева, З. В. (2018). Исследования антибактериальной активности экстрактов некоторых растений Астраханской области. В *Материалы II научно-практической конференции студентов и молодых ученых*(с.10-11).
- Белявская, И. Г., & Черных, В. Я. (2012). Определение антиоксидантной емкости хлебобулочных изделий со спирулиной. *Хлебопродукты*, 5, 46-47.
- Благонравова, М. В., & Мищенко, О. В. (2015). Разработка технологии хлебобулочных изделий с добавлением бурых водорослей. *Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление*, 2, 90-103. <https://doi.org/10.5281/zenodo.46275>
- Борисов, М. И., Коршиков, Б. М., & Макарова, Г. В. (1974). *Лекарственные свойства сельскохозяйственных растений*. Урожай.
- Веселова, А. Ю. (2014). Использование бетулинсодержащего экстракта бересты в производстве хлебобулочных изделий диабетического назначения. *Вестник НГИЭИ*, 4(35), 44-49.
- Евдокимова, О. В. (2013). Оценка качества листьев мяты перечной по водорастворимым веществам. *Вопросы обеспечения качества лекарственных средств*, 2, 44-48.
- Жоглова, К. Н., Половецкая, О. С., Никишина, М. Б., & Иванова, Е. В. (2018). Морфолого-анатомический анализ сырья мяты перечной (*Mentha piperita* L) семейства яснотковые (Lamiaceae). *Вестник современных исследований*, 12.1(27), 339-341.
- Йоргачева, Е. Г., & Лебеденко, Т. Е. (2014). Потенциал лекарственных, пряно-ароматических растений в повышении качества пшеничного хлеба. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 2/12(68), 101-107.
- Казакова, В. В., Сазоненко, М. М., & Казакова, В. С. (2018). Анатомо-морфологическое сравнение сортов мяты перечной (*Mentha piperita*). *Политематический сетевой электронный научный журнал кубанского государственного аграрного университета*, 140, 24-33.
- Казакова, М. А., Минько, О. В., Миронова, С. С., Рыжов, В. М., Лямин, А. В., & Кондратенко, О. В. (2018). Изучение противомикробной активности флавоноидов листьев мяты перечной в отношении штаммов муковисцидоза. В

- Фенольные соединения: свойства, активность, инновации (с. 449-453).
- Клиндухова, Ю. А. (2012). Совершенствование технологий хлебобулочных изделий с использованием продуктов переработки хмеля. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 2-3, 33.
- Ковалева, А. В. (2016). Применение фитоэкстрактов, фитосиропов и пробиотиков в производстве хлебобулочных изделий. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, 1(36), 70-72.
- Коломникова, Я. П. (2009). Разработка технологий устойчивого к микробиологической порче пшеничного хлеба с применением антибиотических фитодобавок. [Диссертация кандидата технических наук, Воронежская государственная технологическая академия].
- Ларин, И. С., & Лабутина, Н. В. (2015). Влияние фитокомпонента на качество хлеба из пшеничной муки высшего сорта. В *Общегуниверситетская научная конференция молодых учёных и специалистов МГУПП* (с. 166-167).
- Лоретц, О. Г., Лопаева, Н. Л., & Неверова, О. П. (2016). Актуальность применения натуральных пищевых красителей в хлебопечении. *Аграрный вестник Урала*, 12(154), 52-56.
- Мирошникова, Т. Н. (2001). Разработка технологий кондитерских изделий функционального назначения увеличенного срока годности с применением полуфабрикатов лекарственных растений [Диссертация кандидата технических наук, Воронежская государственная технологическая академия].
- Морозов, А. И. (2013). Агробиологические основы сортовой технологии возделывания мяты перечной (*Mentha piperita* L.) в Нечерноземной зоне России. [Диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук. ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений Россельхозакадемии].
- Музалевская, Р. С., & Батурина, Н.А. (2012). Булочные изделия с добавками дикорастущих лекарственных растений. *Вестник ОрелГИЭТ*, 3(21), 23.
- Нгуен Тхи Ныи Куинь, Гравель, И. В., Филиппова, А. В. (2011). Сравнительный морфолого-анатомический анализ сырья мяты перечной и мяты полевой. *Известия Алтайского государственного университета*, 3-2 (71), 30-33.
- Прокофьев, П. А., & Степанова, Н. Ю. (2014). Пищевая ценность мяты и мелиссы в свежем и замороженном состоянии. *Научный журнал НИУ ИТМО*, 4, 189-194.
- Райкова, С. В., Голиков, А. Г., Шуб, Г. М., Дурнова, Н. А., Шаповал, О. Г., & Рахметова, А. Ю. (2011). Антимикробная активность эфирного масла мяты перечной (*Mentha piperita* L.). *Саратовский научно-медицинский журнал*, 4(7), 787-790.
- Слепокурова, Ю. И., Жаркова, И. М., & Густиневич, В. Г. (2019). Оценка планируемой экономической эффективности производства мучных кондитерских изделий с тонкодисперсными растительными порошками. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 1, 139-151.
- Уранов, И. О., Зайнутдинов, Д. Р. (2018). Изучение химического состава мяты перечной интродуцированной на территории астраханской области. В *Молодёжь и медицинская наука* (с.435-439).
- Храпко, О. П., & Сокол, Н. В. (2015). Разработка технологии и рецептуры хлебоблочного изделия функционального назначения с использованием нетрадиционного растительного сырья. *Молодой ученый*, 5, 106-111.
- Чижикова, О. Г. (2017). Кресс-салат и мята как перспективное сырье для хлебобулочных изделий. *Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление*, 1(81), 113-118. <https://doi.org/10.5281/zenodo.390406>
- Fejer, J, Grulova, D., & Salamon, I. (2014). International symposium on medicinal and aromatic plants. *Acta Horticulturae*, 1023, 173-178. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1023.25>
- Mahmoodi, M. (2016). Effect of harvest time on essential oil content and composition of *Mentha piperita* L. In *The First Iranian Congress of Essential Oil*. (p. 37-39). <https://doi.org/10.22084/PPT.2016.1774>
- Pitchiah, K. M., Kaliyamurthi V. (2019). Exploration of bio-active phytocomponents and evaluation of Anti-microbial potential of *strychnos potatorum*. *International research journal of pharmacy*, 10(9), 204-210. <https://doi.org/10.7897/2230-8407.1009283>.
- Pulok K. M. (2019). Bioactive Phytocomponents and Their Analysis. In *Quality Control and Evaluation of Herbal Drugs. Evaluating Natural Products and Traditional Medicine* (p. 237-328). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813374-3.00007>
- Hooda, S., & Jood, S. (2005). Effect of fenugreek flour blending on physical, organoleptic and chemical characteristics of wheat bread. *Nutrition and Food Science*, 3-4, 229-242. <https://doi.org/10.1108/00346650510605621>.

The Development of Bread Technology with Peppermint Products

Irina G. Belyavskaya

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

Elena V. Alekseenko

Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: elealekseenk@rambler.ru

Ksenia F. Kapustina

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

Ismail B. Isabaev

Bukhara Engineering and Technology Institute
15, Kayuma Murtazaev str., Bukhara, 200117, Uzbekistan
E-mail: isabayev_63@mail.ru

Correction of the nutritional value of bakery products includes the use of additional prescription components of phytocomponents containing food and biologically active substances with pharmacological properties. A review of literary sources made it possible to justify peppermint as a bakery production phytocomponent, the products of which have a mild soothing, moderate antiseptic and analgesic effect, and with regular use, a general strengthening effect. The aim of the study was a comparative study of the effect of peppermint processed products on organoleptic and physico-chemical quality indicators in conjunction with the process parameters for various cooking methods for developing technology for healthy bakery products. The study was made with the use of peppermint in dried powder form, in the form of a decoction and syrup, analysing the technological characteristics of semi-finished bakery products, and the effect of each recipe component on the score for finished products was determined. Using trial laboratory baking, changes in the properties of the crumb during storage of products were established. The advantage of a single-phase dough preparation method that provides higher quality indicators of bakery products was determined. As a result, a technology was developed for the production of bakery products with high quality indicators. The calculation of the nutritional value of bread with peppermint in dried powdered form showed that the need for proteins is satisfied by 10.9%, carbohydrates - 14%, dietary fiber - 11.7% of the average daily intake of 100g of «Mint bread». Products can be positioned as low-fat products, balanced in sodium. The results of the studies can be recommended for use in industrial production to expand the range of bakery products, for the formation of healthy diets for people who include peppermint products in their diets.

Keywords: nutritional value of bakery products, technological factors, quality indicators, processing products of vegetables raw materials

References

Alekseenko, E. V., Belyavskaya, I. G., Traubenber, S. E., & Dikareva, YU. M. (2013). Use of pulp fermented sea buckthorn berries in the production of bakery products. *Hleboprodukty* [Bakery products],

2, 46-49.

Andrianov, K. V., Fedchenkova, YU. A., & Hvorost, O. P. (2014). The study of elemental composition peppermint (*Mentha piperita*). *Aktual'ni pitannya farmaceutichnoi i medichnoi nauki ta praktiki* [Topical issues of pharmaceutical and medical science and practice], 3(16), 49-51.

How to Cite

Belyavskaya, I. G., Alekseenko, E. A., Kapustina, K. F., & Isabaev, I. B. (2019). The Development of Bread Technology with Peppermint Products. *Health, Food & Biotechnology*, 1(4). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i4.s276>

- Astaf'eva, O. V., & Zhuravleva, Z. V. (2018). Studies of antibacterial activity extracts of some plants of the Astrakhan region. In *Materialy II nauchno-prakticheskoy konferencii studentov i molodyh uchenykh* [Materials of the II scientific-practical conference of students and young scientists] (p.10-11).
- Belyavskaya, I. G., & Chernykh, V. YA. (2012). Determination of antioxidant capacity of bakery with spirulina products. *Hleboprodukty* [Bakery products], 5, 46-47.
- Blagonravova, M. V., & Mishchenko O. V. (2015). Development of technology of bakery products supplemented with kelp laminaria. *The bulletin of the Far Eastern Federal University. Economics and Management*, 2, 90-103. <https://doi.org/10.5281/zenodo.46275>
- Borisov, M. I., Korshikov, B. M., & Makarova, G. V. (1974). *Medicinal properties of agricultural plants*. Urozhaj.
- Veselova, A. YU. (2014). The use of betulin-containing birch bark extract in the production of diabetic bakery products. *Vestnik NGIEI* [Bulletin of the NGIEI], 4(35), 44-49.
- Evdokimova, O. V. (2013). Assessment of the quality of peppermint leaves by water-soluble substances. *Voprosy obespecheniya kachestva lekarstvennykh sredstv* [Quality assurance issue], 2, 44-48.
- Zhoglova, K. N., Poloveckaya, O. S., Nikishina, M. B., & Ivanova, E. V. (2018). Morphological and anatomical analysis of raw peppermint (*Mentha piperita* L.) of the family Lamiaceae (Lamiaceae). *Vestnik sovremennykh issledovaniy* [Bulletin of modern research], 12.1(27), 339-341.
- Jorgacheva, E. G., & Lebedenko, T. E. (2014). The potential of medicinal, aromatic plants in improving the quality of wheat bread. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovykh tekhnologij* [East European Journal of Advanced Technology], 2/12(68), 101-107.
- Kazakova, V. V., Sazonenko, M. M., Kazakova, V. S. (2018). Anatomical and morphological comparison of peppermint varieties (*Mentha piperita*). *Politematicheskij setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic Internet electronic scientific journal of the Kuban' State Agrarian University], 140, 24-33.
- Kazakova, M. A., Min'ko, O. V., Mironova, S. S., Ryzhov, V. M., Lyamin, A. V., & Kondratenko, O. V. (2018). Study of the antimicrobial activity of peppermint leaf flavonoids in relation to strains of cystic fibrosis. In *Fenol'nye soedineniya: svoystva, aktivnost', innovacii* [Phenolic compounds: properties, activity, innovations] (p. 449-453).
- Klinduhova, YU. A. (2010). Improving the technology of bakery products using hop products. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Pishchevaya tekhnologiya* [News of higher educational institutions. Food technology], 2-3, 33.
- Kovaleva, A. V. (2016). The use of phytoextracts, phytosyrups and probiotics in the production of bakery products. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevyykh produktov* [Technology and merchandising of innovative food products], 1(36), 70-72.
- Kolomnikova, YA.P. (2009). *Razrabotka tekhnologij us-tojchivogo k mikrobiologicheskoy porche pshenichnogo hleba s primeneniem antibioticheskikh fitodobavok* [Development of technologies for wheat bread resistant to microbiological spoilage using antibiotic herbal supplement] [The dissertation of the candidate of technical sciences, Voronezh State Technological Academy].
- Larin, I. S., & Labutina, N.V. (2015). The influence of the phytocomponent on the quality of premium-grade wheat flour bread. In *Obshcheuniversitetskaya nauchnaya konferenciya molodykh uchyonnykh i specialistov MGUPP* [University scientific conference of young scientists and specialists of MSUFP] (p.166-167).
- Loretz, O. G., Lopaeva, N. L., & Neverova, O. P. (2016). The relevance of the use of natural food colors in bakery. *Agrarnyj vestnik Urals* [Bulletin of the Urals], 12(154), 52-56.
- Miroshnikova, T. N. (2001). *Razrabotka tekhnologii konditerskikh izdelij funktsional'nogo naznacheniya uvelichennogo sroka godnosti s primeneniem pol-ufabrikatov lekarstvennykh rastenij* [Development of technology for functional confectionery products with an extended shelf life using semi-finished medicinal plants] [The dissertation of the candidate of technical sciences, Voronezh State Technological Academy].
- Morozov, A. I. (2013). *Agrobiologicheskie osnovy sortovoy tekhnologii vozdeleyvaniya myaty perechnoj (Mentha piperita L.) v Nechernozemnoj zone Rossii* [Agrobiological basis of varietal technology of cultivation of peppermint (*Mentha piperita* L.) in the non-chernozem zone of Russia] [Doctoral dissertation. GNU All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants of the Russian Agricultural Academy].
- Muzalevskaya, R. S., & Baturina, N.A. (2012). Bakery products with additives of wild medicinal plants. *Vestnik OrelGIET* [Bulletin OrelGIET], 3(21), 23.
- Nguyen Thi N'y Kuin', Gravel', I. V., & Filippova, A. V. (2011). Comparative morphological and anatomical analysis of raw peppermint and field mint. *Izvestiya Altajskogo gosudarstvennogo universiteta* [News of Altai State University], 3-2(71), 30-33.
- Prokof'ev, P. A., & Stepanova, N. YU. (2014). The nutritional value of peppermint and lemon balm in fresh

- and frozen condition. *Nauchnyj zhurnal NIU ITMO* [Scientific journal NRU ITMO], 4, 189-194.
- Rajkova, S. V., Golikov, A. G., Shub, G. M., Durnova, N. A., Shapoval, O. G., & Rahmetova, A. YU. (2011). Antimicrobial activity of peppermint essential oil (*Mentha piperita* L.). *Saratovskij nauchno-meditsinskij zhurnal* [Saratov Journal of Medical Scientific Research], 4(7), 787-790.
- Slepokurova, YU. I., ZHarkova, I. M., & Gustinovich, V. G. (2019). Evaluation of the planned economic efficiency of the production of flour confectionery products with fine vegetable powders. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], 1, 139-151.
- Uranov, I. O., Zajnutdinov, D. R. (2018). The study of the chemical composition of peppermint introduced in the territory of the Astrakhan region. In *Molodyozh' i medicinskaya nauka* [Youth and medical science] (p.435-439).
- Hrapko, O. P., Sokol, N. V. (2015). Development of technology and formulation of functional bakery products using non-traditional plant materials. *Molodoj uchenyj* [Young scientist], 5, 1, 106-111.
- Chizhikova, O.G. (2017). Watercress and mint as a promising raw material for bakery products. *Izvestiya Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta. Ekonomika i upravlenie* [News of the Far Eastern Federal University. Economics and Management], 1(81), 113-118. <https://doi.org/10.5281/zenodo.390406>
- Fejer, J, Grulova, D., & Salamon, I. (2014). International symposium on medicinal and aromatic plants. *Acta Horticulturae*, 1023, 173-178. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1023.25>
- Mahmoodi, M. (2016). Effect of harvest time on essential oil content and composition of *Mentha piperita* L. In *The First Iranian Congress of Essential Oil*. (p. 37-39). <https://doi.org/10.22084/PPT.2016.1774>
- Pitchiah, K. M., Kaliyamurthi V. (2019). Exploration of bio-active phytocomponents and evaluation of Anti-microbial potential of *strychnos potatorum*. *International research journal of pharmacy*, 10(9), 204-210. <https://doi.org/10.7897/2230-8407.1009283>.
- Pulok K. M. (2019). Bioactive Phytocomponents and Their Analysis. In *Quality Control and Evaluation of Herbal Drugs. Evaluating Natural Products and Traditional Medicine* (p. 237-328). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813374-3.00007>
- Hooda, S., & Jood, S. (2005). Effect of fenugreek flour blending on physical, organoleptic and chemical characteristics of wheat bread. *Nutrition and Food Science*, 3-4, 229-242. <https://doi.org/10.1108/00346650510605621>.

Исследование влияния процесса прогрева ржано-пшеничного формового хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности на физико-химические показатели

Лабутина Наталья Васильевна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: labutina@mgupp.ru

Герасимова Элла Олеговна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: gerasimovaeo@mgupp.ru

Рогозкин Евгений Николаевич

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: rogozkin47@yandex.ru

Шаймерденова Даригааш Арыновна

ТОО НТП «Инноватор»

Адрес: город Нур-Султан, Республика Казахстан

E-mail: darigash@mail.ru

Юрченко Татьяна Игоревна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: iurchenko.tatyana2012@yandex.ru

Научная статья посвящается исследованию процесса прогрева ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности. В статье изложены цели и задачи проводимого исследования, приведена методика измерений и представлены схемы исследования. Описаны полученные результаты исследования, даны выводы на основании проведенных исследований. Приведены графики зависимости температуры от продолжительности выпечки ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности. Объектом исследования являлся формовой ржано-пшеничный хлеб, при выпечке которого использовались добавки жировых продуктов растительного и животного происхождения, муки из семян чиа. В качестве методов исследования выпечки ржано-пшеничного хлеба использовали радиационно-конвективный способ, а для исследования процесса прогрева электроконтактный способ. При данных способах выпечки проводился контроль температуры всех слоев выпекаемой тестовой заготовки, анализ изменения высоты в процессе выпечки ржано-пшеничного хлеба, оценивался упек в процессе выпечки, также проводился контроль качества по физико-химическим показателям выпекаемых тестовых заготовок высокой степени готовности и готового ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности.

Ключевые слова: выпечка, полуфабрикаты высокой степени готовности, ржано-пшеничный хлеб

Выпечка хлеба - это процесс теплообмена, сопровождающийся изменением коллоидного и агрегатного состояния вещества. В процессе выпечки

хлеба происходят теплофизические, микробиологические, коллоидные и биохимические процессы, в результате которых происходит переход теста в

мякиш и образование корки. Продолжительность и интенсивность процессов, протекающих в любом слое выпекаемой тестовой заготовки, зависят от температуры и различных добавок. Изменяя температуру и рецептурный состав, можно управлять процессами, протекающими при выпечке, и, следовательно, придавать выпекаемой продукции различные потребительские качества (Маклюков, 2015).

Многие исследователи посвятили свои работы улучшению реологических свойств теста и качества хлеба из замороженных полуфабрикатов различной степени готовности, влиянию на качество готовых изделий различных добавок таких как Carbo Activatus (Белявская, 2019), семян чиа (Opinion of the Scientific Panel, 2005) и муки из семян чиа (Commission Decisio, 2009), жира энзимной переэтерификации (Юдина, 2017), но никто из этих исследователей не затронул влияние всех этих продуктов на физико-химические показатели качества ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности и их зависимость от различных сроков хранения. Глубоко затронута полезность этих добавок, а также описаны, входящие в состав этих продуктов витамины и микроэлементы (Зайцева, 2014).

Учеными разработаны классические методы приготовления теста и выпечки ржано-пшеничного хлеба, которые позволяют получить прекрасный готовый продукт (Ауэрман, 2002). Также разработаны различные рекомендации и режимы для приготовления как пшеничного, так и ржано-пшеничного хлеба (Брызун, 2005). В данных источниках затронуты и разработаны методики производства и хранения ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов (Лабутина, 2003), (Богатырева, 2013). Широко исследована тема криохранения полуфабрикатов (Герасимова, 2019), рассмотрены различные методики подготовки к хранению (Лабутина, 2003) и осуществления процесса замораживания (Краус, 2005). Производство хлеба из замороженных полуфабрикатов относится к инновационному способу производства и хранения пищевых продуктов (Косован, 2014). Ученые разработали специальные упаковки, увеличивающие срок хранения хлебобулочных замороженных полуфабрикатов (Грекова, 2013).

Как отечественными, так и зарубежными учеными изучено и объяснено влияние замораживания на качество и структуру хлебобулочных изделий (Bhattacharya, 2003), (Giannou, 2007). Есть исследования, посвященные процессам, протекающим при замораживании пищевых продуктов, влиянию

кристаллов льда на качество (Petzold, 2009), но исследователи мало внимания уделяют технологии ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов, а именно процессу прогрева и влиянию этого процесса на качество хлеба. Проведены исследования, подтверждающие влияние замораживания и хранения на свойства теста (Berglund, 1991), но не исследовано подробно влияние замораживания на качество хлебобулочных изделий с различными жировыми добавками, а также влияние этих добавок на сроки хранения.

Существуют неоспоримые доказательства, что тепловой процесс оказывает влияние на аромат хлеба, а, следовательно, и на вкусовые ощущения (Маклюков, 2019). Во многих источниках много говорится об использовании улучшителей теста и хлеба, как при выпечке, так и при криохранении (Selomulyo, 2007). Существуют различные подходы к улучшению качества и продлению срока хранения замороженного хлеба (Barcenas, 2006), но все исследователи используют дополнительные химические криопротекторы, что современный потребитель, стремящийся к полезной пище, не приемлет. И наша задача также состоит в получении качественного продукта, имеющего в своем составе только натуральные ингредиенты.

Актуальность данного исследования состоит в необходимости выявления температурных зависимостей от продолжительности выпечки в процессе прогрева ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности с фиксацией всех протекающих процессов.

Цель исследования состоит в разработке теоретического обоснования влияния процесса прогрева на формирование качественных показателей ржано-пшеничного формового хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности. Одними из основных показателей качества являются физико-химические показатели, а именно влажность, кислотность и пористость мякиша готового хлеба.

Задачи исследования состояли в следующем:

- исследование влияния продолжительности выпечки, температуры пекарной камеры, добавления жировых продуктов растительного и животного происхождения и муки чиа на процесс прогрева ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности и на изменение основных физико-химических показателей качества хлеба при различных сроках криохранения.

Методика исследования

Материалы

В ходе экспериментов, при исследовании процесса прогрева ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности, использовали следующее сырье: мука ржаная обдирная, ГОСТ 7045-2017; мука пшеничная хлебопекарная первого сорта, ГОСТ 26574-2017; масло подсолнечное, ГОСТ Р 1129-2013; кукурузное масло, ГОСТ 8808-2000; мука из семян чиа; маргарин, ГОСТ 32188-2013; жир энзимной переэтерификации, ГОСТ 19708-2019; густая ржаная закуска; дрожжи прессованные хлебопекарные, ГОСТ Р 54731-2011; соль пищевая поваренная, ГОСТ Р 51574-2018; вода питьевая, СанПиН 2.1.4.1074-01.

Объекты исследования

Объектами исследования служили ржано-пшеничные полуфабрикаты высокой степени готовности и ржано-пшеничный формовой хлеб с различными жировыми добавками растительного и животного происхождения и муки чиа, выпеченный из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности.

Ржаную густую закваску и тесто из смеси ржаной обдирной муки и пшеничной муки первого сорта в соотношении 60:40 с добавлением жировых продуктов готовили классическим способом с использованием сырья, указанного в материалах. В каждой рецептуре присутствовал один жировой продукт в следующем количестве: подсолнечное масло – 3 %; кукурузное масло – 3 %; маргарин – 3 %; жир энзимной переэтерификации – 3 %; мука из семян чиа – 5 %. Контрольными образцами служили полуфабрикат высокой степени готовности и ржано-пшеничный хлеб, выпеченный из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности, приготовленных из смеси ржаной обдирной муки и пшеничной муки первого сорта в соотношении 60:40 без жировых добавок.

Оборудование и методика исследования

При исследовании процесса выпечки ржано-пшеничных полуфабрикатов высокой степени готовности использовали информационно-измерительную установку, основанную на радиационно-конвективном способе прогрева и состоящую из пекарной камеры лабораторной печи фирмы Miwe condo, в которую помещали формы с выпекаемыми тестовыми заготовками

(далее ВТЗ). В одной форме размещали термопары на различную глубину для фиксации температуры в разных слоях ВТЗ. Термопары соединяли с устройством S-Recorder L, служащим для регистрации сигнала, передаваемого на компьютер. Использовали видеокамеру для съемки изменения высоты при выпечке, это было возможно, так как одна металлическая форма имела стеклянное прозрачное стекло. Полуфабрикаты высокой степени готовности допекали в пекарной камере лабораторной печи фирмы Miwe condo.

Для исследования процесса прогрева и регистрации момента перехода теста в мякиш использовали информационно-измерительную установку, основанную на электроконтактном способе прогрева. Установка состояла из формы для выпечки, к которой были подведены электроды, через которые проходил электрический ток для прогрева ВТЗ по всему объему. Для измерения температуры во время выпечки использовали термопары. Изменение высоты фиксировали с помощью видеокамеры, а изменение массы изделия в процессе прогрева замеряли по весам, на которых располагалась форма. Также фиксировали изменение силы тока при постоянном напряжении порядка 60 В.

Процедура исследования

При исследовании влияния процесса прогрева при выпечке ржано-пшеничного формового хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности фиксировали температуру центральных слоев для определения готовности изделия до 90 % (ГОСТ 33338-2015).

Данный процесс осуществлялся с помощью регистрирующего устройства S-Recorder L, который передавал сигнал на компьютер, что позволяло наблюдать и регистрировать температуру внутренних слоев. Температура пекарной камеры при одностадийной выпечке составляла $(240 \pm 5)^\circ\text{C}$. Полуфабрикат высокой степени готовности считался готовым, после того как температура центральных слоев уравнивалась, достигая при этом $(96-98)^\circ\text{C}$ и график выходил на горизонтальную изотерму. В этот момент процесс выпечки полуфабриката прекращался.

Далее, полуфабрикаты высокой степени готовности, охлажденные до комнатной температуры, упаковывали в полиэтиленовую пищевую пленку и помещали в морозильную камеру с температурой от -25°C до -27°C на различные сроки хранения: 1 неделя, 3 недели, 2 месяца.

Замороженные полуфабрикаты размораживали при комнатной температуре и в расстойном лабораторном шкафу при температуре (30-32) °С.

Допекание полуфабрикатов производили при температуре пекарной камеры (240±5) °С в течении порядка 10% от продолжительности выпечки. Это время зависит от вида жировых продуктов, добавляемых при изготовлении теста.

Электроконтактный способ выпечки более предпочтительнее для данного исследования, т.к. за счет наличия электрического сопротивления внутри теста прогрев происходит практически равномерно по всему объему ВТЗ и позволяет с меньшими погрешностями зафиксировать момент перехода теста в мякиш. ВТЗ, в результате данного способа прогрева, равномерно прогревается и не имеет на поверхности обезвоженной корки. Корка на поверхности представляет собой тонкую пленку.

Для анализа физико-химических показателей использовали стандартные: для определения влажности мякиша - ГОСТ 21094-75, для определения пористости хлеба - ГОСТ 5669-96, для определения кислотности хлеба - ГОСТ 5670-96.

Анализ данных

Обработка результатов измерений проводилась в программе Excel, где производился перевод данных, полученных с устройства S-Recorder L на компьютер из термоэлектродвижущей силы (термоэдс - ТЭДС) в милливольты (мВ), используя согласно ГОСТ Р 8.585-2001 полином, аппроксимирующий обратную зависимость номинальных статических характеристик преобразования температуры от ТЭДС для данного вида термопары в температуру в градусах Цельсия. Далее строились графики зависимости температуры при разных режимах от продолжительности выпечки и проводился корреляционный анализ физико-химических показателей качества.

Результаты

По обработанным результатам измерений при различных процедурах исследования строили графики зависимости измерений температуры прогрева различных слоев и изменения высоты ВТЗ от продолжительности выпечки и различных добавок. Графики этих зависимостей представлены на рисунках 1 и 2.

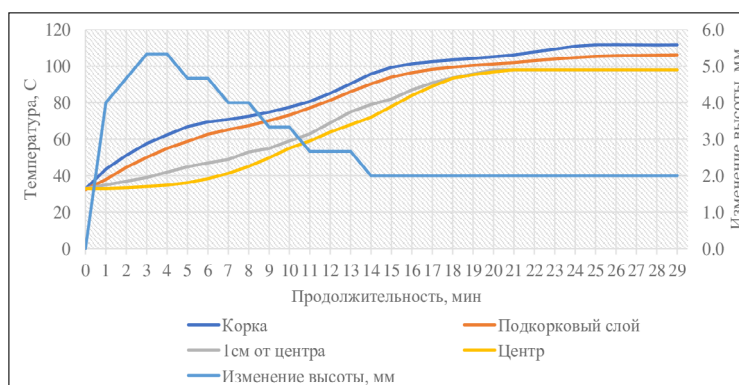


Рисунок 1. Зависимость температуры и изменения высоты тестовой заготовки от продолжительности выпечки при температуре пекарной камеры 240 °С

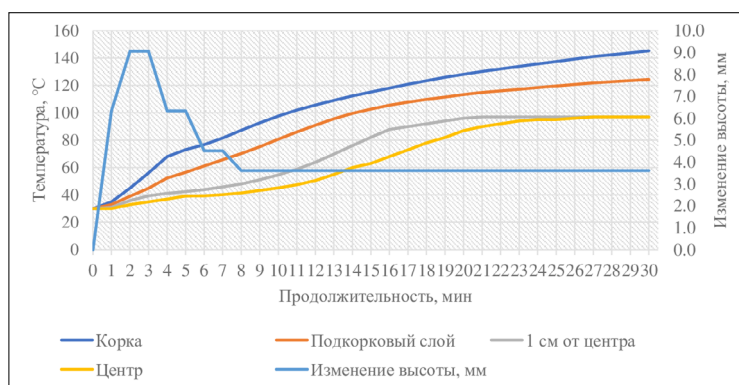


Рисунок 2. Зависимость температуры и изменения высоты тестовой заготовки от продолжительности выпечки с добавлением подсолнечного масла

Физико-химические показатели определяли для полуфабрикатов высокой степени готовности и готового ржано-пшеничного формового хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности с различными жировыми добав-

ками и сроками криохранения. Пробы полуфабрикатов высокой степени готовности и готового ржано-пшеничного хлеба анализировали через 4 ч после выпечки. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-химические показатели качества ржано-пшеничных полуфабрикатов и готовых изделий из них с различными жировыми добавками и сроками криохранения

Показатели качества	Образец					
	Контроль- ный	с подсолнеч- ным мас- лом 3%	с кукуруз- ным мас- лом 3%	с маргари- ном 3%	с жиром энзим- ной перестери- фикации 3 %	с мукой из семян чиа 5%
Влажность для полуфабриката, %	41,4	50	50	41,7	41,4	42,4
Влажность для хлеба по истечении 1 недели криохранения, %	45,1	51,8	51,9	45,4	45,1	44,2
Влажность для хлеба по истечении 3-х недель криохранения, %	44,8	51	51	45,5	45,0	44,0
Влажность для хлеба по истечении 2-х месяцев криохранения, %	44,6	50,6	50,5	45,4	42,3	44
Кислотность мякиша для полуфабриката, град	4	5,2	5,0	3,8	3,6	2,8
Кислотность мякиша для хлеба по истечении 1 недели криохранения, град	4	5,4	5,4	3,8	3,6	2,2
Кислотность мякиша для хлеба по истечении 3-х недель криохранения, град	3,9	5,2	5,2	5	4	2,1
Кислотность мякиша для хлеба по истечении 2-х месяцев криохранения, град	3,8	5,1	5,1	6	6	2
Пористость полуфабриката, %	66,7	69	68	69,8	65,5	56,2
Пористость хлеба по истечении 1 недели криохранения, %	64,8	65,9	63,5	67,0	67,9	57,7
Пористость хлеба по истечении 3-х недель криохранения, %	64	65	62,8	73,1	73,6	56
Пористость хлеба по истечении 2-х месяцев криохранения, %	63,6	64,8	62,4	67,0	66,8	54,9

Обсуждение полученных результатов

На рисунке 1 представлены кривые изменения температуры различных слоев и изменение высоты ВТЗ при выпечке, полученные при температуре пекарной камеры 240 °С для контрольного образца. Наибольшее изменение высоты наблюдалось на 3 минуте, температура верхней части ВТЗ при

этом достигает 59 °С. Далее, начиная с 4 минуты, происходит уменьшение высоты и кривая зависимости высоты от продолжительности выпечки начинает ступенчато снижаться. Затем наблюдается уменьшение высоты до 2-2,5 мм, температуре внутренних слоев порядка 67-68 °С, что соответствует переходу теста в мякиш. Температура внутренних слоев уравнивается на 20-21 минуте и достигает

температуры 97-98 °С. При достижении температуры верхней поверхности 100 °С начинает образовываться корка. Продолжая выпечку еще порядка 8-10% от продолжительности выпечки, мы получаем полуфабрикат высокой степени готовности.

На рисунке 2 представлены кривые изменения температуры различных слоев и изменение высоты ВТЗ при выпечке с добавлением подсолнечного масла в количестве 3% от массы муки, полученные также при температуре пекарной камеры 240 °С от продолжительности выпечки. На графике мы наблюдаем аналогичные результаты, что и для контрольного образца, только за счет добавления жирового продукта, все процессы протекают на 8-10% дольше по сравнению с контрольным образцом.

Представленные графики представляют собой элементарную теплофизическую модель и далее могут использовать при выпечке ржано-пшеничного хлеба (Маклюков, 2014).

Анализ данных в таблице 1 показывает, что:

- влажность всех образцов хлеба по сравнению с влажностью полуфабриката в среднем увеличивается по итогам первой недели криохранения и снижается при его дальнейшем хранении. Наибольшую влажность имеют образцы с добавлением подсолнечного и кукурузного масел, но этот показатель незначительно меняется при хранении и не выходит за границы 2% от первоначального значения. В то время как образцы с добавлением жировых продуктов животного происхождения и их аналогов показали увеличение влажности на 4% при хранении полуфабрикатов.
- Кислотность образцов хлеба с добавлением подсолнечного и кукурузного масел, выше чем в контрольном и других образцах. У данных образцов, по итогам первой недели криохранения, было отмечено незначительное увеличение кислотности, в то время как в образце с добавлением муки чиа наблюдалось снижение кислотности на протяжении всех сроков хранения. Что касается образцов, содержащих в своём составе маргарин и жир энзимной перезтерификации, то здесь отмечается значительный рост кислотности (с 3,6-3,8 до 6) при увеличении срока хранения. Таким образом можно отметить, что добавление жировых продуктов животного происхождения или их аналогов приводит

к росту кислотности при увеличении сроков криохранения, а, следовательно, к изменению вкусовых качеств.

- Наименьшую пористость имеет образец с содержанием муки чиа. Пористость этих образцов на 17-24% меньше по сравнению с другими. Сроки криохранения незначительно влияют на пористость данного образца, в то время как образцы с добавлением продуктов животного происхождения жиров при хранении до 3 недель имеют тенденцию к увеличению пористости на 5%. С увеличением сроков хранения у данных образцов наблюдается снижение пористости.

По итогам проведённых исследований были следующие выводы:

Вывод 1

Добавление в рецептуру ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности продуктов животного происхождения приводят к увеличению их влажности и кислотности. Отмечается также увеличение пористости данных образцов при криохранении до 3-х недель. Всё это несомненно будет оказывать влияние на вкусовые качества хлебобулочных изделий и на развитие болезнетворных бактерий и других микроорганизмов в случае нарушения условий их хранения и упаковки.

Вывод 2

Добавление в рецептуру ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности муки чиа позволяет получить изделия со стабильными физико-химическими показателями. Добавление муки чиа в рецептуру ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности можно рассматривать как натуральный криопротектор (Козловская, 2014).

Заключение

Таким образом, проведенные исследования подтвердили актуальность данной проблематики и необходимость дальнейшего изучения использования различных добавок и температурных режимов при ржано-пшеничного хлеба. Полученные результаты исследования во многом соответствуют и подтверждают ранее опубликованные ре-

зультаты других учёных со сходными объектами изучения (Лабутина, 2004), (Phimolsiripol, 2008), (Нищева, 2014).

Производители хлебобулочных изделий, использующие в своём производстве криогенные технологии и планирующие расширить ассортимент выпускаемой продукции за счёт использования различных добавок также могут ориентироваться на результаты данного исследования в вопросах температурных режимов и сроках хранения своей продукции исходя из применяемых добавок.

Проведя исследование влияния температуры пекарной камеры на процесс прогрева при выпечке ржано-пшеничного формового хлеба, полученного из полуфабрикатов высокой степени готовности, можно сделать вывод, что температура пекарной камеры влияет не только на продолжительность выпечки и следовательно на все процессы происходящие в выпекаемой тестовой заготовке, но и на качество изделия в целом.

Литература

- Ауэрман, Л. Я. (2002). *Технология хлебопекарного производства*. Профессия.
- Белявская, И. Г., Лабутина, Н. В., Балыхин, М. Г., Юркина, К. С., Никифорова, К. С., & Матвеева, И. В. (2019). Технологические аспекты криогенных технологий хлебобулочных изделий с использованием Carbo Activatus. *Пищевая промышленность*, 3, 40-44.
- Батюк, В.А. (1987). *Химия низких температур и криохимическая технология*. Издательство МГУ.
- Богатырева, Т. Г., & Лабутина, Н. В. (2013). *Технологии пищевых продуктов с длительными сроками хранения*. Профессия.
- Брызун, В. А., Бочарников, А. А., Маклюков, В. И., Аднодворцев, М. Ф., & Назолин, А. Л. (2005). *Теплотехнические аспекты эффективной выпечки ржано-пшеничного формового хлеба*. Пищепромиздат.
- Герасимова, Э. О., & Лабутина, Н. В. (2019). Криогенные технологии в хлебопечении. *Известия вузов. Пищевая технология*, 1(367), 6-9.
- Грекова, А. В., Грибкова, А. А., Лабутина, Н. В., Суворов, О. А., Подкопаев, Д. О., & Баландин, Г. В. (2013). Перспективы применения нанотехнологий в упаковке замороженных хлебобулочных полуфабрикатов. В *Экспертиза, оценка качества, подлинности и безопасности пищевых продуктов* (с.121-123). ПК МГУПП.
- Зайцева, Л. В., Юдина, Т. А., Лаврова, А. В., & Байков, В. Г. (2014). Влияние муки чиа с высоким содержанием ω -3 жирных кислот на показатели качества и пищевую ценность хлеба. *Хлебопродукты*, 3, 48-50.
- Козловская, А. Э., Лабутина, Н. В., Юдина, Т. А., & Карасева, Е. В. (2016). Использование муки чиа в технологии ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности. *Пищевая промышленность*, 8, 62- 66.
- Косован, А. П. (2014). *Инновационные развития хлебопечения России*. Буки Веди.
- Краус, С. (2005). Глубокая заморозка перспективная технология в хлебопечении. *Хлебопродукты*, 7, 38 - 39.
- Лабутина, Н. В. (2004). *Технология производства хлебобулочных изделий из замороженных полуфабрикатов*. Универсум.
- Лабутина, Н. В. (2003). Совершенствование криотехнологии ржано-пшеничного хлеба. *Известия вузов. Пищевая технология*, 5-6, 46-48.
- Лабутина, Н. В., & Китаевская, С.В. (2003). Оптимизация процесса замораживания-размораживания полуфабрикатов ржано-пшеничного хлеба. *Известия вузов. Пищевая технология*, 4, 34-37.
- Лабутина, Н. В., Китаевская, С. В., & Решетник, О. А. (2003). Оптимизация процесса «замораживание-дефростация» полуфабрикатов хлебопекарного производства. *Известия вузов. Пищевая технология*, 2-3, 60-62.
- Маклюков, В. И. (2019). Влияние теплофизического процесса на формирование ароматического комплекса пшеничного хлеба при выпечке. *Хлебопродукты*, 2, 59-65.
- Маклюков, В. И. (2015). Метод построения теплофизической модели процесса выпечки хлеба. *Хлебопечение России*, 4, 16-19.
- Маклюков, В. И. (2014). Моделирование процесса выпечки в лабораторных и промышленных печах. *Хлебопечение России*, 5, 12-13.
- Нищева, О. С., Маклюков, В. И., & Рогозкин, Е. Н. (2014). Исследование коллоидных процессов при выпечке пшеничного хлеба с добавлением жировых продуктов. *Хлебопродукты*, 2, 58-59.
- Юдина, Т. А., Рубан, Н. В., Лабутина, Н. А., & Валуева, К. Н. (2017). Использование жирового продукта животного происхождения для производства хлебобулочных изделий. *Пищевая промышленность*, 5, 32-34.
- Barcenas, M. E., & Rosell, C. M. (2006). Different approaches for improving the quality and extending the shelf life of the partially baked bread: low temperatures and HPMC addition. *Journal of Food Engineering*, 1, 92-99. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.11.027>
- Berglund, P. T., Shelton, D. R., & Freeman, T. P. (1991). Frozen bread dough ultrastructure as affected by

- duration of frozen storage and freeze-thaw cycles. *Cereal Chemistry*, 1, 105-107.
- Bhattacharya, M., Langstaff, T. M., Berzonsky, W. A. (2003). Effect of frozen storage and freeze-thaw cycles on the rheological and baking properties of frozen doughs. *Food Research International*, 4, 365-372. [http://dx.doi.org/10.1016/S0963-9969\(02\)00228-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00228-4)
- Commission Decision (2009). Authorizing the placing on the market of Chia seed (*Salvia hispanica*) as a novel food ingredient under Regulation of the European Parliament and of the Council. *The EFSA Journal*, 16-26.
- Giannou, V., & Tzia, C. (2007). Frozen dough bread: Quality and textural behavior during prolonged storage - Prediction of final product characteristics. *Journal of Food Engineering*, 3, 929-934. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.013>
- Opinion of the Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request (2005). The safety of chia (*Salvia hispanica* L.) seed and ground whole chia seed as a novel food ingredient intended for use in bread. *The EFSA Journal*, 278, 1-12.
- Petzold, G., Aguilera, J. M. (2009). Ice Morphology: Fundamentals and Technological Applications in Foods. *Food Biophysics*, 4, 378-396. <http://dx.doi.org/10.1007/s11483-00909136-5>
- Phimolsiripol, Y., Siripatrawan, U., Tulyathan, V., Cleland, D. J. (2008). Effects of freezing and temperature fluctuations during frozen storage on frozen dough and bread quality. *Journal of Food Engineering*, 84(1), 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.04.016>
- Selomulyo, V. O., & Zhou, W. (2007). Frozen bread dough: Effects of freezing storage and dough improvers. *Journal of Cereal Science*, 1, 1-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2006.10.003>

Investigation of the Influence of the Process of Heating Rye-Wheat Bread from Frozen Semi-Finished Products of High Readiness on Physical and Chemical Indicators

Natalya V. Labutina

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: labutina@mgupp.ru*

Ella O. Gerasimova

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: gerasimovaeo@mgupp.ru*

Eugeny N. Rogozkin

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: rogozkin47@yandex.ru*

Darigash A. Shaimerdenova

*“Innovator” JSC
Nur-Sultal, Kazakhstan
E-mail: darigash@mail.ru*

Tatiana I. Yurchenko

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: iurchenko.tatyana2012@yandex.ru*

The scientific article is devoted to the study of the process of heating rye-wheat bread from frozen semi-finished products of a high degree of readiness. The article sets out the goals and objectives of the research, provides a measurement method and presents research schemes. The results of the study are described and conclusions based on the research are given. Graphs of temperature dependence on the duration of baking rye-wheat bread from frozen semi-finished products of high readiness are given. The object of the study was a molded rye-wheat bread, which was baked using additives of fat products of vegetable and animal origin, flour from Chia seeds. The radiation-convective method was used as research methods for baking rye-wheat bread, and the electric contact method was used to study the heating process. In these methods, baking was carried out temperature control of all layers of baked dough pieces, analyzing elevation changes in the baking process of rye-wheat bread were evaluated threw him in the baking process is also carried out quality control by physico-chemical properties of baked dough pieces a high degree of readiness and prepared of rye-wheat bread from frozen semi-finished products of high degree of readiness.

Keywords: baking, semi-finished products of high readiness, rye-wheat bread

How to Cite

Labutina, N. V., Gerasimova, E. O., Rogozkin, E. N., Shaimerdenova, D. A., & Yurchenko, T. I. (2019). Investigation of the Influence of the Process of Heating Rye-Wheat Bread from Frozen Semi-Finished Products of High Readiness on Physical and Chemical Indicators. *Health, Food & Biotechnology*, 1(4). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i4.s278>

References

- Auerman, L. Ya. (2002). *Tekhnologiya hlebopekarnogo proizvodstva* [Technology of bakery production]. *Professiya*.
- Belyavskaya, I. G., Labutina, N. V., Balykhin, M. G., Yurkina, K. S., Nikiforova, K. S., & Matveeva, I. V. (2019). Technological aspects of cryogenic technologies of bakery products using Carbo Activatus. *Pitshchevaya promyshlennost'* [Food industry], 3, 40-44.
- Batyuk, V. A. (1987). *Himiya nizkih temperatur i kriohimicheskaya tekhnologiya* [Low temperature chemistry and cryochemical technology]. Izdatel'stvo MGU.
- Bogatyрева, T. G., & Labutina, N. V. (2013). *Tekhnologii pishchevyh produktov s dlitel'nyimi srokami hraneniya* [Technologies of food products with long shelf life]. *Professiya*.
- Brazen, V. A., Bocharnikov, A. A., Maklakov, V. I., Odnodvortsev, M. F., & Nasrin, A. L. (2005). *Teplotekhnicheskie aspekty effektivnoy vypechki rzhano-pshenichnogo formovogo hleba* [Heat engineering aspects of effective baking of rye-wheat shaped bread]. *Pishchepromizdat*.
- Gerasimova, E. O., & Labutina, N. V. (2019). Cryogenic technologies in baking. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [University news. Food technology], 1(367), 6-9.
- Grekoва, A. V., Gribkova, A. A., Labutina, N. V., Suvorov, O. A., Podkopaev, D. O., & Balandin, G. V. (2013). Prospects for the application of nanotechnologies in the packaging of frozen bakery semi-finished products. In *Ekspertiza, ocenka kachestva, podlinnosti i bezopasnosti pishchevyh produktov* [Expertise, assessment of quality, authenticity and food safety] (c. 121-123). *PC MGUPP*.
- Zaitseva, L. V., Yudina, T. A., Lavrova, A. V., & Baykov, V. G. (2014). Influence of Chia flour with a high content of ω -3 fatty acids on the quality indicators and nutritional value of bread. *Khleboprodukt* [Bread products], 3, 48-50.
- Kozlovskaya, A. E., Labutina, N. V., Yudina, T. A., & Karaseva, E. V. (2016). The use of Chia flour in the technology of rye-wheat bread from frozen semi-finished products of a high degree of readiness. *Pitshchevaya promyshlennost'* [Food industry], 8, 62-66.
- Kosovan, A. P. (2014). *Innovacionnye razvitiya hlebopecheniya Rossii*. [Innovative development of bread making in Russia]. Buki Vedi.
- Kraus, S. (2005). Deep freeze is a promising technology in baking. *Khleboprodukt* [Bread products], 7, 38-39.
- Labutina, N. V. (2004). *Tekhnologiya proizvodstva hlebobulochnykh izdelij iz zamorozhennykh polufabrikatov* [Technology of production of bakery products from frozen semi-finished products]. Universum.
- Labutina, N. V. (2003). Improving the cryotechnology of rye-wheat bread. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [University news. Food technology], 5-6, 46-48.
- Labutina, N. V., & Kitaevskaya, C. B. (2003). Optimization of the process of freezing and defrosting semi-finished rye-wheat bread. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [University news. Food technology], 4, 34-37.
- Labutina, N. V., Kitaevskaya, C. B., & Reshetnik, O. A. (2003). Optimization of the process of "freezing-defrosting" of semi-finished bakery products. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [University news. Food technology], 2-3, 60-62.
- Maklakov, V. I. (2019). Influence of the thermophysical process on the formation of the aromatic complex of wheat bread during baking. *Khleboprodukt* [Bread products], 2, 59-65.
- Maklakov, V. I. (2015). Method for constructing a thermophysical model of the bread baking process. *Hlebopechenie Rossii* [Bread Making of Russia], 4, 16-19.
- Maklakov, V. I. (2014). Modeling of the baking process in laboratory and industrial furnaces. *Hlebopechenie Rossii* [Bread Making of Russia], 5, 12-13.
- Nesheva, O. S., Maklakov, V. I., & Rogozkin E. N. (2014). Investigation of colloidal processes in the baking of wheat bread with the addition of fat products. *Khleboprodukt* [Bread products], 2, 58-59.
- Yudina, T. A., Ruban, N. V., Labutina, N. A., & Valueva, K. N. (2017). The use of animal fat products for the production of bakery products. *Pitshchevaya promyshlennost'* [Food industry], 5, 32-34.
- Barcenas, M. E., & Rosell, C. M. (2006). Different approaches for improving the quality and extending the shelf life of the partially baked bread: low temperatures and HPMC addition. *Journal of Food Engineering*, 1, 92-99. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.11.027>
- Berglund, P. T., Shelton, D. R., & Freeman, T. P. (1991). Frozen bread dough ultrastructure as affected by duration of frozen storage and freeze-thaw cycles. *Cereal Chemistry*, 1, 105-107.
- Bhattacharya, M., Langstaff, T. M., Berzonsky, W. A. (2003). Effect of frozen storage and freeze-thaw cycles on the rheological and baking properties of frozen doughs. *Food Research International*, 4, 365-372. [http://dx.doi.org/10.1016/S0963-9969\(02\)00228-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00228-4)
- Commission Decision (2009). Authorizing the placing on the market of Chia seed (*Salvia hispanica*) as a novel food ingredient under Regulation of the European Parliament and of the Council. *The EFSA*

- Journal*, 16-26.
- Giannou, V., & Tzia, C. (2007). Frozen dough bread: Quality and textural behavior during prolonged storage - Prediction of final product characteristics. *Journal of Food Engineering*, 3, 929-934. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.013>
- Opinion of the Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request (2005). The safety of chia (*Salvia hispanica* L.) seed and ground whole chia seed as a novel food ingredient intended for use in bread. *The EFSA Journal*, 278, 1-12.
- Petzold, G., Aguilera, J. M. (2009). Ice Morphology: Fundamentals and Technological Applications in Foods. *Food Biophysics*, 4, 378-396. <http://dx.doi.org/10.1007/s11483-00909136-5>
- Phimolsiripol, Y., Siripatrawan, U., Tulyathan, V., Cleland, D. J. (2008). Effects of freezing and temperature fluctuations during frozen storage on frozen dough and bread quality. *Journal of Food Engineering*, 84(1), 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.04.016>
- Selomulyo, V. O., & Zhou, W. (2007). Frozen bread dough: Effects of freezing storage and dough improvers. *Journal of Cereal Science*, 1, 1-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2006.10.003>

Обнаружение металлических и неметаллических включений в пищевых продуктах электрометрическим методом

Мурашов Игорь Дмитриевич

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11
E-mail: murashov_45@mail.ru

Крюкова Елизавета Вячеславовна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11
E-mail: kryukovaev@gmail.com

Горячева Елена Давидовна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11
E-mail: goryachevaed@mgupp.ru

Джабакова Анна Эдуардовна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11
E-mail: dzhabakovaee@mgupp.ru

Парамонов Григорий Викторович

ООО «СЕНСОРИЛАБ»

Адрес: 121205, город Москва, тер. Сколково инновационного центра, Большой б-р, дом 42, стр. 1

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11
E-mail: par@sensorylab.ru

Одним из важнейших показателей качества и безопасности пищевой продукции является отсутствие посторонних включений. Посторонние включения представляют собой объекты, не характерные для данного пищевого продукта и видимые невооруженным глазом. К ним относятся различные упаковочные материалы (пластик, дерево, керамика и стекло), а также инородные материалы, которые могут попасть в пищевой продукт из-за нарушений технологических процессов или из-за неправильной эксплуатации оборудования (осколки кости в мясе, листья и стебли во фруктах, насекомые и др.). Анализ литературных источников свидетельствует о том, что перспективными средствами по обнаружению посторонних включений в пищевых продуктах являются такие виды контроля, которые, не изменяя качества, параметров и характеристик этих продуктов, позволяют по косвенным, второстепенным признакам обнаруживать посторонние включения. Целью настоящей работы являлась разработка метода определения основных параметров для обнаружения посторонних металлических и неметаллических включений в пищевых продуктах (в мясном фарше, в частности) на основе применения электромагнитных методов, селекции сигналов и автоматического удаления частиц из продукта в условиях непрерывного производственного процесса. Для изучения возможности применения электроконтактного метода для обнаружения посторонних частиц был выполнен расчет датчика-обнаружителя. Расчет величины сигнала от посторонней частицы производился методом вторичного поля, который был реализован в устройстве (приборе) для обнаружения. На основании экспериментальных данных была построена круговая фазовая диаграмма вторичных полей локальных тел, которая показывает, что металлы и неметаллы имеют фазы сигналов, отличные как от контролируемых пищевых продуктов, так и между собой. Из этого следует, что возможно

применение метода фазовой избирательности для селекции сигналов от металлических и неметаллических частиц, находящихся в пищевых продуктах. Разработанный обнаружитель состоит из датчиков и анализатора посторонних включений. Датчик состоит из 22 чувствительных элементов. Каждый из датчиков включен в мостовую измерительную схему. Проведенные исследования позволили разработать автоматическое устройство для удаления обнаруженных частиц без остановки технологического процесса при производстве колбасного фарша, экспериментальный образец которого был опробован в производственных условиях мясокомбината.

Ключевые слова: электроконтактный метод, контаминанты, металлические и неметаллические включения, методы удаления инородных включений, мясная промышленность

Введение

Одним из важнейших показателей качества и безопасности пищевой продукции является отсутствие посторонних включений. В связи с этим возникает актуальная задача: выявление наиболее эффективных методов и приборов обнаружения металлических и неметаллических включений и автоматического удаления их из продукта без остановки технологического процесса.

Посторонние включения представляют собой объекты, не характерные для данного пищевого продукта и видимые невооруженным глазом. К ним, в первую очередь, можно отнести различные упаковочные материалы (пластик, дерево, керамика и стекло). Также под определение «посторонние включения» подпадают инородные материалы, которые могут попасть в пищевой продукт из-за нарушений технологических процессов или из-за неправильной эксплуатации оборудования (осколки кости в мясе, листья и стебли во фруктах, насекомые и др.) (Marsh et al., 2004).

Объем и содержание контроля инородных тел зависит от особенностей предприятия, а именно от его размера, финансового состояния. Малое или среднее предприятие будет использовать недорогую ручную систему, в то время как крупное предприятие установит у себя автоматизированную или даже автоматическую систему (Marsh et al., 2004). Применение надлежащей производственной практики (GMP), а также внедрение системы НАССР позволяют предприятию минимизировать свои потери как финансовые, так и репутационные.

Пищевые предприятия разрабатывают и верифицируют процедуры анализа рисков появления инородных тел в пищевых продуктах. Внедрение такой процедуры позволяет выявлять стадии производства с риском загрязнения. В трудах (Trafialek, 2016) были предложены методы управления рисками и коммуникации риска. Эта процедура мо-

жет стать удобным инструментом для обеспечения безопасности пищевых продуктов и может использоваться на многих предприятиях пищевой промышленности, где высока опасность появления посторонних включений в готовой продукции.

Сразу несколько этапов жизненного цикла пищевого продукта подразумевают наличие потенциального риска загрязнения его инородными телами. Производители пищевых продуктов вынуждены проводить различные мероприятия по обнаружению и удалению посторонних включений путем просеивания и сортировки сырья, обнаружения металлических частиц с помощью металлодетектора или, в некоторых случаях, рентгенографического контроля готового продукта для удаления металла, костей, стекла и др. (Marsh et al., 2004). Многие производители используют различные системы сепарации для поддержания надлежащей производственной практики. К сожалению, ни просеивание, ни фильтрация не могут удалить 100% загрязняющих веществ.

Анализ имеющихся литературных источников показал, что для обнаружения посторонних включений в продуктах могут быть применены различные физические методы. Предпочтение отдается неинвазивным методам, поскольку они не нарушают целостности пищевых продуктов с точки зрения их состава и структуры (Mohd Khairi, 2018). Внедрение неинвазивной техники в качестве инструмента мониторинга приветствуется производителями пищевой продукции. К неинвазивным методам в первую очередь относят: оптические, электрометрические, рентгенографический, тепловизионный, ультразвуковой, радиоактивный, магнитометрический, спектроскопический и др. Одним из наиболее распространенных посторонних включений являются металлы. Металлы, с одной стороны, имеют важное значение для нормального протекания физиологических процессов в организме человека, а с другой стороны, они могут выступать в качестве загрязнителей и представлять опреде-

ленный риск для здоровья человека. Они могут вызывать отравления (тяжелые металлы (Coelho et al., 2016)), а также наносить повреждения внутренним органам человека. Продукты могут вступать в контакт с металлами на разных этапах производственного процесса (промышленное оборудование, резервуары для хранения, инструменты и первичная упаковка) (Montanari, 2015).

Наиболее распространенным способом детекции металлических загрязнителей в различных отраслях промышленности, в т.ч. и в пищевой, является рентгенография (Toyofuku & Haff, 2012). Рентгеновские системы применяются при производстве и контроле качества мяса, фруктов, овощей, круп, молочных продуктов, кондитерских изделий, готовых блюд, полуфабрикатов и хлебобулочных изделий (Thomas et al., 1996).

Помимо металлов рентгеновские системы могут обнаруживать и другие загрязнения, такие как камни, стекло, пластик ПВХ, кости, бетон, керамику, тефлоновый пластик, сгустки сахара или ароматизаторов и др. Однако рентгеновские аппараты не могут обнаружить бумагу, картон, дерево, волосы, насекомых, тонкое стекло, пластмассы низкой плотности и пористые камни (Graves et al., 1994; Haff & Toyofuku, 2008; Nielsen et al., 2013).

Особый интерес представляет рентгенография для обнаружения загрязняющих веществ в упакованных пищевых продуктах, в том числе для автоматической проверки консервированной продукции (Penman et al., 1992).

Рентгеновский аппарат, специально спроектированный для использования в производстве пищевых продуктов, отличается от диагностического медицинского прибора. Он не способствует загрязнению продуктов питания радионуклидами, хотя иногда рентгеновское излучение вызывает ионизацию продукта, что приводит к изменению его вкуса (Ohtani et al., 2015).

Ультразвуковые методы детекции инородных тел в продуктах питания широко распространены, менее затратны, более безопасны и легче в эксплуатации по сравнению с рентгенографическими методами (Hæggström & Luukkala, 2001).

Особенностью ультразвуковой визуализации является сложный способ взаимодействия ультразвукового сигнала с материалом, например продуктами питания. Эти параметры включают затухание / поглощение, обратное рассеяние, скорость и нелинейность (Marsh et al., 2004).

С использованием ультразвука методом импульсного эха была установлена возможность обнаружения в жидкой пище инородных тел радиусом всего 0,1 мм (Patel, 2016).

Для обнаружения инородных тел в пищевых продуктах используются разнообразные оптические методы. Так, инородное тело шириной 1 мм в пищевом продукте было успешно идентифицировано с использованием системы формирования изображения субволновой длины (Ok et al., 2018). Для точного и быстрого обнаружения посторонних материалов в пищевых продуктах используют терагерцовую визуализацию – новую технологию неразрушающего обнаружения с преимуществами неионизации и спектроскопического снятия отпечатков пальцев (Wang et al., 2018). Этот метод позволяет обнаруживать металлические и неметаллические инородные тела (Jördens, C., 2008).

На предприятиях для определения качества пищи по цвету широко используются оптические системы сортировки. Оптические сортировочные машины могут обнаруживать различные типы загрязнений, такие как стекло, палки, камни, насекомые, гнилые вещества и т.д.

В ряде работ описано применение высокотемпературного сверхпроводящего квантового интерферометра-магнитометра (СКВИД-магнитометр), работающего по принципу закона электромагнитной индукции Фарадея, для обнаружения металлических загрязнителей (магнитных или немагнитных, таких как медь или алюминий) в пищевых продуктах и лекарственных препаратах (Tanaka et al., 2004; Tanaka et al., 2009; Tanaka et al., 2012; Tanaka et al., 2013; Tanaka et al., 2014; Ohtani et al., 2015; Yagi et al., 2016). Для проверки продукции фармацевтической и пищевой промышленности в конце производственной линии до упаковывания в металлизированную упаковку разработали систему контроля для обнаружения магнитного остатка загрязняющих веществ с использованием СКВИД-магнитометра (Krause, 2005).

Магнитные сепараторы часто применяются в пищевой промышленности. Они дешевы и легки в эксплуатации. Однако они могут обнаруживать только железные загрязнения. Для всех остальных металлов они не эффективны.

Микроволновый метод удаления инородных включений может охватывать широкий спектр загрязнителей пищевых продуктов в силу мощности установки и сложности ее конструкции. Данный метод охватывает очень маленькие части-

цы загрязняющих веществ, и в большинстве случаев их местоположение легко определить. Главное преимущество микроволновой системы обнаружения – ее способность обнаруживать широкий спектр загрязняющих веществ в различных средах и упаковке.

Системы обнаружения электрического импеданса представляют собой нечто среднее между обычными системами обнаружения металлических включений и системами на основе микроволн. Он работает лучше обычного металлодетектора, т.к. способен обнаружить неметаллические предметы, а именно дерево, пластик и стекло. Однако электрический импеданс редко используется при обнаружении инородных тел в пищевых продуктах.

В настоящее время в России для обнаружения в пищевых продуктах, в т.ч. в мясопродуктах, посторонних включений главным образом используются обнаружители, основанные на использовании индуктивного метода. Данный метод позволяет фиксировать только металлические частицы, в то время как в продукты возможно попадание неметаллических частиц: пластмассы, стекла, дерева, песка и других. Имеющиеся недостатки существующих устройств обнаружения посторонних включений снижают их эффективность и исключают возможность применения для сплошного контроля качества в условиях непрерывного производства.

Информация, полученная при контроле выпускаемой продукции, должна регистрировать не только наличие посторонних включений, но и устанавливать причинно-следственные связи возникновения их. Крайне важно на предприятиях пищевой промышленности обеспечить надежный контроль качества выпускаемой продукции современными методами, не нарушающими ее целостность.

Проведенный анализ литературных источников позволяет говорить о том, что перспективными средствами по обнаружению посторонних включений в пищевых продуктах являются такие виды контроля, которые, не изменяя качества, параметров и характеристик этих продуктов, позволяют по косвенным, второстепенным признакам обнаруживать посторонние включения.

Целью настоящей работы являлась разработка метода определения основных параметров для обнаружения посторонних металлических и неметаллических включений в мясном фарше на основе применения электромагнитных методов, селек-

ции сигналов и автоматического удаления частиц из продукта в условиях непрерывного производственного процесса.

Методика исследования

Для изучения возможности применения электроконтактного метода для обнаружения посторонних частиц был выполнен расчет электроконтактного датчика-обнаружителя.

Расчет величины сигнала от посторонней частицы производился методом вторичного поля, который был реализован в устройстве (приборе) для обнаружения.

В случае попадания частицы в поле датчика напряженность поля в датчике изменится, она будет равна:

$$\bar{E} = \bar{E}_0 + \bar{E}_p,$$

где $\bar{E}_0$ – напряжение поля датчика без частицы;

$\bar{E}_p$ – напряжение поля частицы.

Допустим, частица имеет сферическую форму, а внешнее поле однородно. Выбираем сферическую систему координат с осью Z, направленной по вектору внешнего поля $\bar{E}_0$ (рисунок 1).

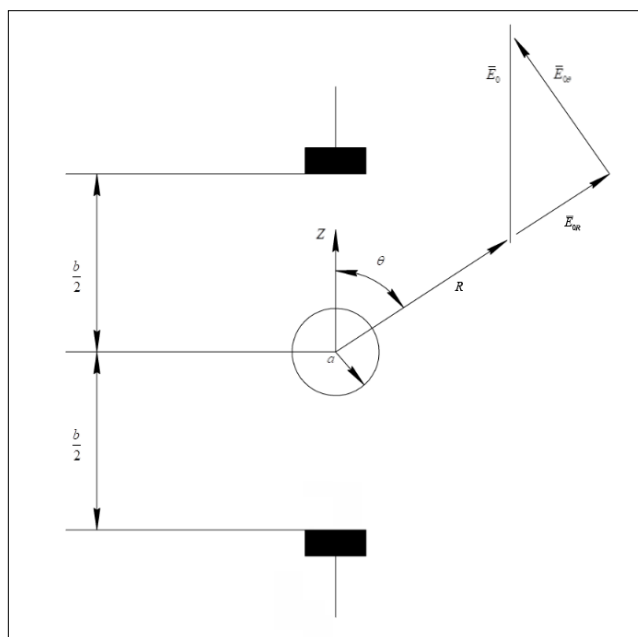


Рисунок 1. Сферическая система координат с осью Z, направленная по вектору внешнего поля $\bar{E}_0$

Решение уравнения Лапласа для данного случая дает следующие результаты для напряженности поля в точке «а»:

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_R &= \dot{E} \left[1 + 2\dot{\eta} \frac{a^3}{R^3} \right] \cos \theta \\ \dot{E}_\theta &= \dot{E}_0 \left[1 - \dot{\eta} \frac{a^3}{R^3} \right] \sin \theta \end{aligned} \right\},$$

где $\dot{\eta} = \frac{(\varepsilon_i - \varepsilon_e)}{(\varepsilon_i + 2\varepsilon_e)}$,

где, в свою очередь, $\dot{\varepsilon}_i$ – проницаемость частицы;

$\dot{\varepsilon}_e$ – проницаемость продукта.

Для случая металлической частицы можно полагать $\dot{\varepsilon}_i \rightarrow \infty$.

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_{0,R} &= \dot{E}_0 \left[1 + 2 \frac{a^3}{R^3} \right] \cos \theta \\ \dot{E}_{0,\theta} &= -\dot{E}_0 \left[1 - \frac{a^3}{R^3} \right] \sin \theta \end{aligned} \right\}$$

Слагающие частицы поля:

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_{p,R} &= \dot{E}_0 \cdot 2\dot{\eta} \frac{a^3}{R^3} \cos \theta \\ \dot{E}_{p,\theta} &= \dot{E}_0 \cdot \dot{\eta} \frac{a^3}{R^3} \sin \theta \end{aligned} \right\}$$

Для металлических частиц:

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_{p,R} &= \dot{E}_0 \cdot 2 \frac{a^3}{R^3} \cos \theta \\ \dot{E}_{p,\theta} &= \dot{E}_0 \cdot \frac{a^3}{R^3} \sin \theta \end{aligned} \right\}$$

Для вычисления величины сигнала от посторон-

ней частицы примем $\theta = 0$ и $R = \frac{b}{2}$, тогда формулы примут вид:

Для диэлектрических частиц:

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_{p,R} &= \dot{E}_0 \cdot 2\dot{\eta} \frac{a^3}{\left(\frac{b}{2}\right)^3} \\ \dot{E}_{p,\theta} &= 0 \\ \dot{E}_R &= \dot{E}_0 \left[1 + 2\dot{\eta} \frac{a^3}{\left(\frac{b}{2}\right)^3} \right] \\ \dot{E}_\theta &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Для металлических частиц:

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_{p,R} &= \dot{E}_0 \cdot 2 \frac{a^3}{\left(\frac{b}{2}\right)^3} \\ \dot{E}_{p,\theta} &= 0 \\ \dot{E}_R &= \dot{E}_0 \left[1 + 2\dot{\eta} \frac{a^3}{\left(\frac{b}{2}\right)^3} \right] \\ \dot{E}_\theta &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Поскольку датчик можно рассматривать как линейную электрическую систему, напряжение сигнала на его выходе будет прямо пропорционально величине напряжения поля частицы. Кроме того,

необходимо учесть, что $\dot{U}_c = \dot{E}_p \cdot b$, тогда окончательно получаем (для диэлектрических частиц) уравнение вида:

$$\left. \begin{aligned} U_c &= R\dot{E}_0 \cdot \dot{\eta} \frac{16a^3}{b^2} \\ \varphi_c &= \varphi_0 + \arctg \frac{\text{Im } \dot{\eta}}{\text{Re } \dot{\eta}} \end{aligned} \right\},$$

где $\text{Im } \dot{\eta}$ – мнимая часть;

$\text{Re } \dot{\eta}$ – действительная часть.

$$\left. \begin{aligned} U_c &= k \cdot E_0 \cdot \frac{16a^3}{b^2} \\ \varphi_c &= \varphi_0 \end{aligned} \right\},$$

где k – коэффициент пропорциональности, опре-

деляемой конкретной электрической схемой датчика.

На основании экспериментальных данных построена круговая фазовая диаграмма (рисунок 2) вторичных полей локальных тел. Как видно из приведенной диаграммы, металлы и неметаллы имеют фазы сигналов, отличные как от контролируемых пищевых продуктов, так и между собой. Из этого следует, что возможно применение метода фазовой избирательности для селекции сигналов от металлических и неметаллических частиц, находящихся в пищевых продуктах.

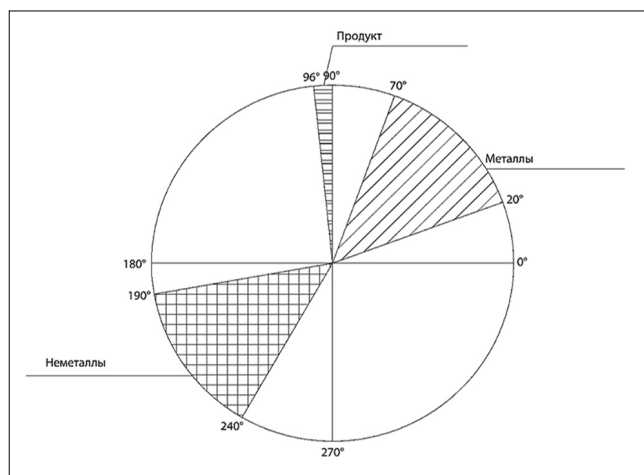


Рисунок 2. Круговая фазовая диаграмма вторичных полей локальных тел и продукта

Амплитуда напряжения сигнала изменяется линейно в зависимости от изменения размеров посторонних частиц, что может быть использовано для определения размеров обнаруженных частиц. Фазы напряжения сигнала от частиц металлического и неметаллического характера значительно отличаются друг от друга, что используется для определения типа посторонних частиц. Аналитически полученные выводы, основанные на теоретических предположениях, могут быть использованы для разработки обнаружителя посторонних включений как металлических, так и неметаллических.

Результаты и их обсуждение

Для создания электроконтактного датчика-обнаружителя был произведен расчет величины сигнала от посторонней частицы методом вторичного поля. Были получены зависимости величины сигнала для различных тел от расстояния между электродами и размеров частиц.

Было показано, что посторонние включения (как металлические, так и неметаллические) имеют фазы сигналов, отличные как от пищевых контролируемых объектов, так и между собой, что позволяет применять метод фазовой избирательности для селекции сигналов.

На основании результатов аналитических расчетов, основанных на теории электромагнитного поля, и экспериментальных исследований был разработан макет обнаружителя для контроля мясного фарша. Разработанный нами обнаружитель состоит из датчиков и анализатора посторонних включений. Датчик состоит из 22 чувствительных элементов. Каждый из датчиков с 1-го по 20-ый и 21-ый датчик включены в мостовую измерительную схему.

В любой момент времени работают один из датчиков с 1-ого по 20-ый и 21-ый датчик. С помощью коммутации осуществляется последовательное подключение датчиков (с 1-ого по 20-ый) к измерительной схеме. В ее состав входят схема управления коммутацией, усилитель сигналов, поступающих с мостовой измерительной схемы, а также сигнализатор наличия продукта в трубопроводе, который работает совместно с 22-ым датчиком. Кроме того, в состав «датчика» входит выталкиватель посторонних включений, установленный в корпусе датчика. В состав анализатора посторонних включений входят схема фазового детектора, селектор полярности и схема управления электромагнитных выталкивателя, счетчик металлических частиц, счетчик неметаллических включений, блок питания.

С макетом обнаружителя проводились испытания в лабораторных и производственных условиях на мясокомбинатах.

При испытаниях было установлено, что уверенно обнаруживаются посторонние включения из различных материалов, при этом анализатор четко различал металлические и неметаллические частицы, что регистрировалось сигналами соответствующих индикаторов.

Конструкция прибора позволяет с достаточной точностью обнаруживать и автоматически удалять посторонние металлические и неметаллические включения из продукта без остановки технологического процесса.

Разработанный прибор по обнаружению металлических и неметаллических включений с ав-

томатическим удалением без остановки технологического процесса является уникальным устройством, не производящимся нигде за границей и в Российской Федерации. На сегодняшний день производятся обнаружители только металлических включений. Т.к. в разработке используется уникальный метод по обнаружению и удалению посторонних включений – метод вторичного поля, было разработано «техническое задание» на разработку опытного образца для контроля мясного фарша на мясокомбинатах.

Заключение

Предлагаемая методика контроля посторонних включений в продукт, основанная на электроконтактном способе с селекцией сигналов, является в настоящее время наиболее перспективной и универсальной. Она позволяет по косвенным, второстепенным признакам обнаруживать посторонние включения, не изменяя при этом качества, параметров и характеристик этих продуктов.

Литература

- Coelho, L. M., Pessoa, D. R., Oliveira, K.M., de Sousa, P. A. R., da Silva, L. A., & Coelho, N. M. M. (2016). Potential Exposure and Risk Associated with Metal Contamination in Foods. *Significance, Prevention and Control of Food Related Diseases*, 99-123. <https://doi.org/10.5772/62683>
- Graves, M., Batchelor, B. G., & Palmer, S. C. (1994). Three-dimensional X-ray inspection of food products. Applications of digital image. In *Applications of Digital Image*, 2298, 248.
- Hægström, E., & Luukkala, M. (2001). Ultrasound detection and identification of foreign bodies in food products. *Food Control*, 12(1), 37–45. [https://doi.org/10.1016/s0956-7135\(00\)00007-4](https://doi.org/10.1016/s0956-7135(00)00007-4)
- Jördens, C. (2008). Detection of foreign bodies in chocolate with pulsed terahertz spectroscopy. *Optical Engineering*, 47(3), 037003. <https://doi.org/10.1117/1.2896597>
- Krause, H.-J., Panaitov, G. I., Wolters, N., Lomparski, D., Zander, W., Zhang, Y., Oberdoerffer, E., Wollersheim, D., & Wilke, W. (2005). Detection of Magnetic Contaminations in Industrial Products Using HTS SQUIDS. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 15(2), 729–732. <https://doi.org/10.1109/tasc.2005.850027>
- Marsh, R.A., & Angold R.E. (2004). Identifying potential sources of foreign bodies in the supply chain. In: M. Edwards (Ed.) *Detecting foreign bodies in food*. Woodhead Publishing Ltd.
- Mohd Khairi, M. T., Ibrahim, S., Md Yunus, M. A., & Faramarzi, M. (2018). Noninvasive techniques for detection of foreign bodies in food: A review. *Journal of Food Process Engineering*, e12808. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12808>
- Montanari, A. (2015). Inorganic Contaminants of Food as a Function of Packaging Features. *SpringerBriefs in Molecular Science*, 17–41. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14827-4_2
- Nielsen, M. S., Lauridsen, T., Christensen, L. B. & Feidenhans'l, R. (2013). X-ray dark-field imaging for detection of foreign bodies in food. *Food Control*, 30(2), 531–535. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.08.007>
- Ohtani, T., Narita, Y., Tanaka, S., Ariyoshi, S. & Suzuki, S. (2015). Development of three channel SQUIDS contaminant detector for food inspection. In *2015 IEEE Magnetics Conference (INTERMAG)*. <https://doi.org/10.1109/intmag.2015.7157575>
- Ok, G., Kim, H. J., Chun, H. S., & Choi, S.-W. (2014). Foreign-body detection in dry food using continuous sub-terahertz wave imaging. *Food Control*, 42, 284–289. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.02.021>
- Patel, D., Davies, E. R. & Hannah, I. (1995). Towards a breakthrough in the detection of contaminants in food products. *Sensor Review*, 15(2), 27–28. <https://doi.org/10.1108/02602289510085570>
- Penman, D. W., Olsson, O. J. & Beach, D. A. (1992). Automatic x-ray inspection of canned products for foreign material. In *Machine Vision Applications. Architectures, and Systems Integration*, 1823. <https://doi.org/10.1117/12.132090>
- Schatzki, T. F., Young, R., Haff, R. P., Eye, J., & Wright, G. (1996). Visual detection of particulates in x-ray images of processed meat products, *Optical Engineering*, 35(8). <https://doi.org/10.1117/1.601010>
- Tanaka, S., Akai, T., Hatsukade, Y., Ohtani, T., & Suzuki, S. (2009). High Tc SQUID System for Detection of Small Metallic Contaminant in Industrial Products. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 19(3), 882–885. <https://doi.org/10.1109/tasc.2009.2019655>
- Tanaka, S., Akai, T., Takemoto, M., Hatsukade, Y., Ohtani, T., Ikeda, Y., & Suzuki, S. (2010). Metallic Contaminant Detection using a High-Temperature Superconducting Quantum Interference Devices Gradiometer. *Chinese Physics Letters*, 27(8), 088503. <https://doi.org/10.1088/0256-307x/27/8/088503>
- Tanaka, S., Hatsukade, Y., Ohtani, T., & Suzuki, S. (2009). SQUID sensor application for small metallic particle detection. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 321(7), 880–883. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2008.11.060>
- Tanaka, S., Natsume, M., Uchida, M., Hotta, N.,

- Matsuda, T., Spanut, Z. A., & Hatsukade, Y. (2004). Measurement of metallic contaminants in food with a high-TcSQUID. *Superconductor Science and Technology*, 17(4), 620–623. <https://doi.org/10.1088/0953-2048/17/4/009>
- Tanaka, S., Ohtani, T., Uchida, Y., Hatsukade, Y., & Suzuki, S. (2014). Ultra-Sensitive Contaminant Detection System Using High-Tc SQUID. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 28(2), 667–670. <https://doi.org/10.1007/s10948-014-2668-z>
- Tanaka, S., Uchida, Y., Kitamura, Y., Hatsukade, Y., Ohtani, T., & Suzuki, S. (2012). Development of High-T c SQUID and Application to Ultra-Sensitive Contaminant Detection System. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 26(4), 845–849. <https://doi.org/10.1007/s10948-012-1944-z>
- Toyofuku, N., & Haff, R. P. (2012). Computer vision for foreign body detection and removal in the food industry. *Computer Vision Technology in the Food and Beverage Industries*, 181–205. <https://doi.org/10.1533/9780857095770.2.181>
- Traffialek, J., Kaczmarek, S., & Kolanowski, W. (2016). The Risk Analysis of Metallic Foreign Bodies in Food Products. *Journal of Food Quality*, 39(4), 398–407. <https://doi.org/10.1111/jfq.12193>
- Wang, C., Zhou, R., Huang, Y., Xie, L. & Ying, Y. (2018). Terahertz spectroscopic imaging with discriminant analysis for detecting foreign materials among sausages. *Food Control*, 97, 100-104. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.10.024>

Detection of Metallic and Non-Metallic Inclusions in Food Products by Electrometric Method

Igor D. Murashov

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: murashov_45@mail.ru*

Elizaveta V. Kryukova

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: kryukovaev@gmail.com*

Elena D. Goryacheva

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: goryachevaed@mgupp.ru*

Anna E. Dzhabakova

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: dzhabakovaae@mgupp.ru*

Grigory V. Paramonov

*SensoryLAB LLC
42/1 Bolshoy bulvar, Ter. Skolkovo Innovation Center,
Moscow, 121205, Russian Federation
Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: par@sensorylab.ru*

One of the most important indicators of the quality and safety of food products is the absence of extraneous inclusions. Extraneous inclusions are objects that are not typical for this food product and are invisible to the unaided eye. These include various packaging materials (plastic, wood, ceramics and glass), as well as foreign materials that can get into the food product due to violations of technological processes or due to improper operation of equipment (bone fragments in meat, leaves and stems in fruit, insects, etc.). Analysis of literature sources shows that promising means for detecting extraneous inclusions in food products are such types of control that, without changing the quality, parameters and characteristics of these products, allow to detect extraneous inclusions for indirect, secondary signs. The aim of the current study was to develop a method for determining the main parameters for detecting extraneous metallic and non-metallic inclusions in food products (in mincemeat, in particular) based on the use of electromagnetic methods, signal selection and automatic removal of particles from the product in a continuous production process. To study the possibility of using the electric contact method for detecting foreign particles, a detector sensor was estimated. The value of the signal from an extraneous particle was computed by the secondary field method, which was implemented in the device for detection. Based on experimental data, a circular phase diagram of secondary fields of local bodies was constructed, which shows that metals and non-metals have signal phases that differ both from controlled food products and between themselves. It follows that it is possible to use the phase selectivity method to select signals from metallic and non-metallic particles found in food products. The developed detector consists of sensors and an analyzer of extraneous inclusions. The sensor consists of 22 sensitive elements. Each of the sensors is included in the bridge measuring circuit. The research made it possible to develop an automatic device for removing detected particles without stopping the technological process

How to Cite

Murashov, I. D., Kryukova, E. V., Goryacheva, E. D., Dzhabakova, A. E., & Paramonov, G. V. (2019). Detection of Metallic and Non-Metallic Inclusions in Food Products by Electrometric Method. *Health, Food & Biotechnology*, 1(4). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i4.s279>

in the production of spam, an experimental sample of which was tested in the production conditions of a meat-processing plant.

Keywords: electric contact method, contaminants, metallic and non-metallic inclusions, methods for removing extraneous inclusions, meat industry

References

- Coelho, L. M., Pessoa, D. R., Oliveira, K.M., de Sousa, P. A. R., da Silva, L. A., & Coelho, N. M. M. (2016). Potential Exposure and Risk Associated with Metal Contamination in Foods. *Significance, Prevention and Control of Food Related Diseases*, 99-123. <https://doi.org/10.5772/62683>
- Graves, M., Batchelor, B. G., & Palmer, S. C. (1994). Three-dimensional X-ray inspection of food products. Applications of digital image. In *Applications of Digital Image*, 2298, 248.
- Hæggström, E., & Luukkala, M. (2001). Ultrasound detection and identification of foreign bodies in food products. *Food Control*, 12(1), 37-45. [https://doi.org/10.1016/s0956-7135\(00\)00007-4](https://doi.org/10.1016/s0956-7135(00)00007-4)
- Jördens, C. (2008). Detection of foreign bodies in chocolate with pulsed terahertz spectroscopy. *Optical Engineering*, 47(3), 037003. <https://doi.org/10.1117/1.2896597>
- Krause, H.-J., Panaitov, G. I., Wolters, N., Lomparski, D., Zander, W., Zhang, Y., Oberdoerffer, E., Wollersheim, D., & Wilke, W. (2005). Detection of Magnetic Contaminations in Industrial Products Using HTS SQUIDS. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 15(2), 729-732. <https://doi.org/10.1109/tasc.2005.850027>
- Marsh, R.A., & Angold R.E. (2004). Identifying potential sources of foreign bodies in the supply chain. In: M. Edwards (Ed.) *Detecting foreign bodies in food*. Woodhead Publishing Ltd.
- Mohd Khairi, M. T., Ibrahim, S., Md Yunus, M. A., & Faramarzi, M. (2018). Noninvasive techniques for detection of foreign bodies in food: A review. *Journal of Food Process Engineering*, e12808. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12808>
- Montanari, A. (2015). Inorganic Contaminants of Food as a Function of Packaging Features. *SpringerBriefs in Molecular Science*, 17-41. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14827-4_2
- Nielsen, M. S., Lauridsen, T., Christensen, L. B. & Feidenhans'l, R. (2013). X-ray dark-field imaging for detection of foreign bodies in food. *Food Control*, 30(2), 531-535. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.08.007>
- Ohtani, T., Narita, Y., Tanaka, S., Ariyoshi, S. & Suzuki, S. (2015). Development of three channel SQUIDS contaminant detector for food inspection. In 2015 *IEEE Magnetism Conference (INTERMAG)*. <https://doi.org/10.1109/intmag.2015.7157575>
- Ok, G., Kim, H. J., Chun, H. S., & Choi, S.-W. (2014). Foreign-body detection in dry food using continuous sub-terahertz wave imaging. *Food Control*, 42, 284-289. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.02.021>
- Patel, D., Davies, E. R. & Hannah, I. (1995). Towards a breakthrough in the detection of contaminants in food products. *Sensor Review*, 15(2), 27-28. <https://doi.org/10.1108/02602289510085570>
- Penman, D. W., Olsson, O. J. & Beach, D. A. (1992). Automatic x-ray inspection of canned products for foreign material. In *Machine Vision Applications. Architectures, and Systems Integration*, 1823. <https://doi.org/10.1117/12.132090>
- Schatzki, T. F., Young, R., Haff, R. P., Eye, J., & Wright, G. (1996). Visual detection of particulates in x-ray images of processed meat products, *Optical Engineering*, 35(8). <https://doi.org/10.1117/1.601010>
- Tanaka, S., Akai, T., Hatsukade, Y., Ohtani, T., & Suzuki, S. (2009). High Tc SQUID System for Detection of Small Metallic Contaminant in Industrial Products. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 19(3), 882-885. <https://doi.org/10.1109/tasc.2009.2019655>
- Tanaka, S., Akai, T., Takemoto, M., Hatsukade, Y., Ohtani, T., Ikeda, Y., & Suzuki, S. (2010). Metallic Contaminant Detection using a High-Temperature Superconducting Quantum Interference Devices Gradiometer. *Chinese Physics Letters*, 27(8), 088503. <https://doi.org/10.1088/0256-307x/27/8/088503>
- Tanaka, S., Hatsukade, Y., Ohtani, T., & Suzuki, S. (2009). SQUID sensor application for small metallic particle detection. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 321(7), 880-883. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2008.11.060>
- Tanaka, S., Natsume, M., Uchida, M., Hotta, N., Matsuda, T., Spanut, Z. A., & Hatsukade, Y. (2004). Measurement of metallic contaminants in food with a high-TcSQUID. *Superconductor Science and Technology*, 17(4), 620-623. <https://doi.org/10.1088/0953-2048/17/4/009>
- Tanaka, S., Ohtani, T., Uchida, Y., Hatsukade, Y., & Suzuki, S. (2014). Ultra-Sensitive Contaminant Detection System Using High-Tc SQUID. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 28(2), 667-670. <https://doi.org/10.1007/s10948-014-2668-z>

- Tanaka, S., Uchida, Y., Kitamura, Y., Hatsukade, Y., Ohtani, T., & Suzuki, S. (2012). Development of High-T_c SQUID and Application to Ultra-Sensitive Contaminant Detection System. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 26(4), 845–849. <https://doi.org/10.1007/s10948-012-1944-z>
- Toyofuku, N., & Haff, R. P. (2012). Computer vision for foreign body detection and removal in the food industry. *Computer Vision Technology in the Food and Beverage Industries*, 181–205. <https://doi.org/10.1533/9780857095770.2.181>
- Trafialek, J., Kaczmarek, S., & Kolanowski, W. (2016). The Risk Analysis of Metallic Foreign Bodies in Food Products. *Journal of Food Quality*, 39(4), 398–407. <https://doi.org/10.1111/jfq.12193>
- Wang, C., Zhou, R., Huang, Y., Xie, L. & Ying, Y. (2018). Terahertz spectroscopic imaging with discriminant analysis for detecting foreign materials among sausages. *Food Control*, 97, 100-104. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.10.024>

Получение клеточной культуры имбиря

Иванова Людмила Афанасьевна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11
E-mail: biotech@mgupp.ru

Фоменко Иван Андреевич

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11
Институт «Прикладной биохимии и машиностроения» (ОАО «Биохиммаш»)
Адрес: 127299, город Москва, ул. Клары Цеткин, дом 4
E-mail: iv.fomenko@mail.ru

Фоменко Виктория Валерьевна

Институт «Прикладной биохимии и машиностроения» (ОАО «Биохиммаш»)
Адрес: 127299, город Москва, ул. Клары Цеткин, дом 4
E-mail: victoria-96@bk.ru

Чурмасова Людмила Алексеевна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11
E-mail: ludmila-churmasova@yandex.ru

Щенникова Анастасия Михайловна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11
E-mail: nastya.shhennikova@inbox.ru

Имбирь, как пряность и лекарственное растение с древних времен и по настоящее время пользуется большим спросом в Индии и в Китае благодаря широкому спектру действия на организм человека. В дикой природе сам имбирь не вырастает, поэтому в промышленных масштабах его выращивают на специальных плантациях, которые охватывают большие территории. Немаловажны для активного роста растения и климатические условия. Стандартные программы разведения имбиря затруднительны из-за низкой продуктивности и недостатка естественного количества семян. Биотехнологический метод культивирования клеток растений дает возможность получить неограниченное количество идентичных клеток за 3 - 4 недели. Исходным материалом для проведения исследований и получения каллусных культур клеток служили корневища, стебли и листья *Zingiber sp.* Для получения первичных каллусов и их дальнейшего культивирования использовали различные модификации среды Мурасиге и Скуга, а также среды Гамборга. Экспланты культивировали при температуре 26 °C и влажности 60–70 %, в темноте. Цикл выращивания составлял 25–30 суток. По результатам анализа были получены новые данные о свойствах культур клеток растений рода *Zingiber*, предложены пути решения ряда глобальных экологических проблем, а также в результате использования классического метода получения каллусной культуры стерильного интактного растения был получен новый исходный штамм клеток *in vitro* имбиря со стабильными ростовыми характеристиками.

Ключевые слова: имбирь, *Zingiber sp.*, культура клеток, каллусогенез, вторичные метаболиты растений, гингеролы

Введение

Имбирь издавна применялся как пряность и лекарственное растение в Индии и в Китае. Это растение обладает широким спектром действия на организм человека и поэтому имбирь, в настоящее время, используется повсеместно в народной медицине, а также для лечения тошноты и рвоты, связанных с беременностью, для профилактики морской болезни и синдрома смены часовых поясов. Употребление имбиря позволяет избавиться от повышенной утомляемости, и положительно влияет на пищеварение, а также снимает боль в суставах. Тысячелетиями медики использовали корень имбиря для ускорения реабилитационного периода после операции, кроме того, имбирь был признан в качестве противовоспалительного средства, пригодного для лечения ревматоидного артрита и остеоартрита на одном уровне со многими стероидными препаратами. Широко применяется это растение и в кулинарии, его признали незаменим в китайской, японской и индийской кухнях, а также в кухнях многих стран Южной и Юго-Восточной Азии и Дальнего Востока.

Методы клеточной и тканевой культуры имеют огромную перспективу для садоводческих и зерновых культур высших растений, особенно тех, которые размножаются вегетативно. Имбирь не является исключением, тем более, что стандартные программы разведения затруднительны из-за низкой продуктивности и недостатка естественного количества семян. Основные заболевания, которым подвержены корневища имбиря (через них же и происходит распространение заражения всего растения), являются бактериальная инфекция фитопатогена *Ralstonia solanacearum* и гниль корневища, вызываемая *Pythium* spp.. Методы тканевых культур помогут в производстве свободного от патогенов посадочного материала высокоурожайных сортов. Так как ни один возбудитель не проникает в идиоплазму, соматоклональная изменчивость может быть важным источником развития высокоурожайных, высококачественных, устойчивых к болезням линий. Также методы тканевых культур могут быть использованы для опыления *in vitro* и сохранения эмбрионов имбиря. Однако применимость таких методов зависит от способности к эффективной регенерации растений в культурах *in vitro* (Быков и Компанцев, 2017; Jalil et al, 2015; Kacker et al, 1993; Malamug et al, 1992).

Английский ботаник Уильям Роско назвал растение *Zingiber officinale* в 1807 г. Название рода происходит от греческого слова «zingiberis», которое является производным от санскритского слова

«shringavera», дословно означающим «формой как рога оленя», в то время как *officinale* относится к лечебным свойствам корневищ (Elzebroek и Wind, 2008). Имбирь коммерчески культивируется по всему миру и является распространенной культурой в Африке, Латинской Америке и Юго-Восточной Азии. Корневища растения имеют резкий аромат и широко используются как пряность и как лекарство. Типовым видом является *Zingiber officinale* (имбирь лекарственный) (Безрукова и Фазилов, 2018; Габрук и Тхуан, 2010; Samsudeen, 1996).

Один из видов имбиря – *Zingiber zerumbet* Smith – содержит биологически активное соединение фитомедицинского назначения, зерумбон. В целях увеличения роста клеток и выработки этого полезного соединения, коллектив авторов из Малайзии исследовал условия роста клеточной суспензионной культуры. Эмбриогенный каллус, полученный из вегетативных почек растения, был использован для инициации клеточной суспензионной культуры. Самую высокую удельную скорость роста клеток регистрировали при культивировании в жидкой питательной среде MS, содержащей 3% сахарозы, с pH 5,7. Культуру инкубировали при непрерывном встряхивании 70 об/мин в течение 16 ч на свету и 8 ч темного цикла при 24 °C. Результаты также показали, что тип углеводного субстрата, световой режим, скорость перемешивания и температура инкубации может повлиять на производство метаболита (Ali et al, 2016; Ilahi et al, 1992).

Имбирь хорошо известен в качестве нутрицевтика за счет различных биологически активных соединений, в том числе гингеролов, зингиберенов и шогоолов (Уразбахтина, 2000; Yeoman, 1987), химические формулы которых представлены на рисунках 1 и 2.

Острый вкус свежего корневища имбиря объясняется наличием гингеролов (GNs), группы летучих фенольных соединений. Гингерол (6-GN) является основным соединением корневища, ответственным за остроту, в то время как другие гингеролы, такие как 4-, 8-, 10- и 12-GN, присутствуют в меньших концентрациях. Эти соединения являются термически лабильными и трансформируются при высоких температурах до шогоолов (SGs), придающих острый и пряно-сладкий аромат (Ahmad, 2015; Anasori и Asghari, 2008; Semwal, 2015). В процессе подготовки сушеного имбиря, гингеролы также быстро превращаются в соответствующие шогоолы, из которых 6-SG является наиболее распространенным дегидратированным продуктом (Равиндран и Нирмал, 2004). Как сообщается, во

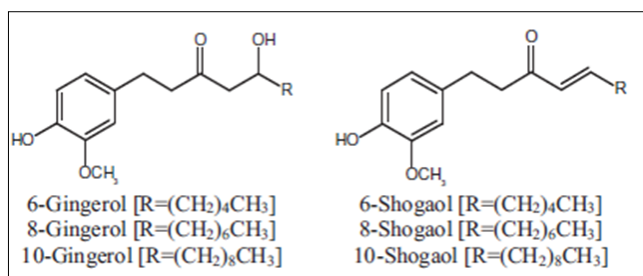


Рисунок 1. Химические структуры различных аналогов гингерола и шогоаола, выделенных из корневища имбиря

многих случаях 6-SG имеет лучшие показатели биологической активности, чем 6-GN.

В растении гингеролы сосуществуют с различными аналогами, в том числе гингердионами (Jamil et al, 2015; Pillai и Kumar, 1982; Sakamura и Suga, 1989). Было установлено, что концентрации 6-, 8- и 10-GN уменьшаются, когда свежий имбирь жарят, сушат и обугливают, в то время как концентрация 6-SG увеличилась при соответствующих обработках (Кароматов и Музаффарова, 2019; Ravindran и Nirmal Babu, 2004). Хотя некоторые доклады утверждали, что 6-SG встречается в корневище свежего имбиря (Kulkarni, Khuspe и Mascarenhas, 1984), это не было убедительно доказано.

Коммерческая ценность гингеролов побудила развитие большого числа эффективных и рентабельных технологий для их синтеза. О первой технологии сообщают Niraо и соавторы в 1973 г. Была разработана технология синтеза dl-изомера гингерола и d-изомера гингерола через dl-изомер бензилгингерола, который был произведен в результате процесса конденсации бензилзингерона с капроновым альдегидом. Denniff и Whiting в 1976 г и Denniff и соавторы в 1981 г синтезировали (±)-2-, 4-, 6-, 10- и 12-гингеролы депротонированием триметилсилил зингерона и триметилсилил ваниллацетона с диизопропиламидом лития при -78 °C. Полученные анионы затем были использованы для получения гингеролов в результате реакций конденсации с альдегидами и ацилимидазолами. Enders и соавторы в 1979 г смогли провести энантиоселективный (хиральный) синтез обоих (-)-(R) и (+)-(S)-6-гингеролов с помощью альдольной реакции аниона гидразона и н-гексаналь.

Помимо кулинарного использования, имбирь и его основные компоненты, как известно, обладают полезными лечебными свойствами. Многочисленные доклинические исследования подтвердили их ценность в лечении сахарного

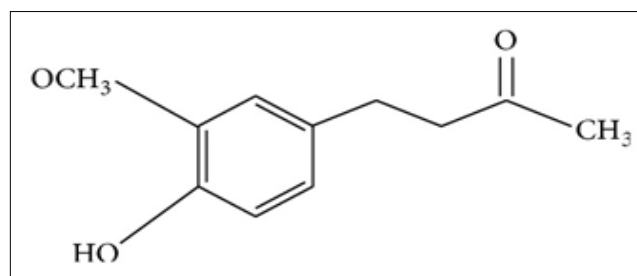


Рисунок 2. Химическая структура зингерона

диабета, ожирения, диареи, аллергии, боли, жара, ревматоидного артрита, воспаления и различных форм рака. Опухоли в кишечнике, груди, яичниках и поджелудочной железе были успешно вылечены с помощью гингеролов в различных животных моделях. Расстройства печени (Nirmal, Samsudeen и Ratnambal, 1992), ЦНС и сердечно-сосудистой системы эффективно лечатся гингеролами и шогоаолами на животных моделях (Nirmal, 1997). Имбирь и его метаболиты признаны мощными антиоксидантами из-за их способности ингибировать окисление различных свободных радикалов и окиси азота (Charlwood et al, 1988; El-Nabarawy, 2014).

Поддержание оптимальных для человека параметров здоровья – важная задача, с которой помогает справиться имбирь, чьи полезные свойства очень обширны. Имбирь за счет различных биологически активных соединений проявляет противораковую, антиоксидантную, антидиабетическую, антимикробную, антиаллергическую и иммуномодуляторную активности, обладает обезболивающими, жаропонижающими и противовоспалительными свойствами, его используют в качестве противорвотного средства, доказано и его влияние на сердечно-сосудистую и центральную нервную системы (Маханьков, 2001; Некора и Комов, 2001; Орловская, 2011; Choi, 1991).

Основной задачей, достижение которой описано в данной статье, является получение первичных каллусов растения рода *Zingiber*. Клеточные культуры высших растений имеют ряд преимуществ над интактными растениями. Имбирь не вырастает в дикой природе, поэтому для получения его в промышленных масштабах требуется выделять специальные плантации, которые охватывают большие территории, немаловажны для активного роста растения и климатические условия. Культивирование имбиря с использованием методов клеточной и тканевой инженерии, способно решить все эти проблемы.

Методика исследования

Материалы

Материалом для получения каллусных культур служили корневища, стебли и листья *Zingiber sp.* Побеги и листья были получены из корневища имбиря, привезенного из Индонезии.

Оборудование

Исследования по данной тематике требуют строгого соблюдения правил работы в микробиологической лаборатории. Для поддержания чистоты исследуемой культуры и проведения эксперимента в лаборатория оснащена оборудованием:

- Автоклав (стерилизатор паровой вертикальный) ВК-75 применяется для стерилизации стеклянной посуды, металлических инструментов (скальпели, пинцеты) и питательных сред;

- Аквадистилятор ДЭ-25 используется для получения дистиллированной воды;
- Термостат воздушный ТС-1/80 СПУ используется для инкубирования каллусных культур эксплантов на питательной среде;
- Шейкер-инкубатор напольный Excella E25 используется для культивирования суспензионных культур;
- Весы лабораторные ОHAUS PX-822/E

Методы

Стебли и листья промывали в проточной воде и сушили на фильтровальной бумаге. Отделяли листья от стеблей и помещали в стерилизующий раствор. Корневище промывали в проточной воде, скальпелем снимали тонкий поверхностный слой кожуры и помещали в стерилизующий раствор. В качестве стерилизующих растворов использовали 20% раствор медного купороса (CuSO_4), перенасыщенный

Таблица 1

Состав минеральных солей и микроэлементов в питательных средах для культивирования *Zingiber sp.*

Наименование компонента	Химическая формула	Концентрация в среде, мг/л		
		И-1–И-4, MS1, MS2, СБ	Р-10	В-5 Гамборга
Минеральные соли:				
Калий азотнокислый	KNO ₃	1900	2500	3000
Аммоний азотнокислый	NH ₄ NO ₃	400	–	–
Кальций хлористый	CaCl ₂	330	330	113
Магний сернокислый 7-водный	MgSO ₄ × 7H ₂ O	370	370	500
Калий фосфорнокислый однозамещенный	KH ₂ PO ₄	170	170	–
Аммоний сернокислый	(NH ₄) ₂ SO ₄	–	170	134
Натрий фосфорнокислый, однозамещенный	NaH ₂ PO ₄	–	150	150
Источники микроэлементов:				
Марганец сернокислый 5-водный	MnSO ₄ × 5H ₂ O	22,3	22,3	10
Цинк сернокислый 7-водный	ZnSO ₄ × 7H ₂ O	8,6	8,6	2
Борная кислота	H ₃ BO ₃	6,2	6,2	3
Калий йодистый	KJ	0,83	0,83	–
Натрий молибденовокислый 2-водный	NaMoO ₄ × 2H ₂ O	0,25	0,25	0,25
Медь сернокислая 5-водная	CuSO ₄ × 5H ₂ O	0,025	0,025	0,075
Кобальт хлористый 6-водный	CoCl ₂ × 6H ₂ O	0,025	0,025	–
Источник железа:				
Железо сернокислое 7-водное	FeSO ₄ × 7H ₂ O	27,8	27,8	27,8
Этилендиаминтетраацетат натрия 2-водный	Na ₂ C ₁₀ H ₁₄ N ₂ O ₈ × 2H ₂ O	37,3	37,3	37,3

раствор хлорной извести (CaCl_2), расвор хозяйственного мыла, этиловый спирт (70об.)

Для получения первичных каллусов и их дальнейшего культивирования использовали различные модификации среды Мурасиге и Скуга, а также среды Гамборга (таблицы 1–3). В таблице 1 представлены минеральные соли и микроэлементы и другие компоненты, которые присутствуют во всех модификациях данной среды в одинаковом количестве. В таблицах 2 и 3 приведены состав и количество фитогормонов и витаминов, которые соответствуют данной модификации среды.

Экспланты культивировали при температуре 26°C и влажности 60–70%, в темноте. Цикл выращивания составлял 25 – 30 суток.

Процедура исследования

Стерилизацию проводили по одной из схем, представленных в таблице 4. После стерилизации в растворе хозяйственного мыла материал промывали в проточной воде, после других реактивов – трехкратно в стерильной дистиллированной воде.

После последнего промывания материал помещали в стерильные чашки Петри. Стебли разрезали поперек на диски толщиной 0,2–0,3 см, листья – на сегменты площадью 0,5×0,5 см. Корневище разрезали, отделяя почку, основание почки, сердцевину и периферийную часть. Каждую из этих частей затем разрезали на фрагменты площадью 0,5×0,5–1×1 см и толщиной 0,2–0,4 см.

Экспланты помещали в чашки Петри с агаризованной средой. В каждом опыте число эксплантов составляло от 200 до 300 штук.

После инкубирования на чашках петри определяли количество инфицированных и погибших эксплантов. При обнаружении каллусогенеза первичный каллус пересаживали на свежую питательную среду. Внешний вид эксплантов из стебля имбиря на чашке Петри представлен на рисунке 3.

Результаты

На начальном этапе получения каллусных культур одним из решающих вопросов является подбор ус-

Таблица 2

Состав фитогормонов в питательных средах, используемых для культивирования *Zingiber sp.*

Наименование компонента	Химическая формула	Концентрация в среде, мг/л								
		И-1	И-2	И-3	И-4	MS1	MS2	СБ	Р-10	В-5
Гибберелловая кислота	C ₁₉ H ₂₂ O ₆	–	–	–	–	0,5	1	–	–	0,5
2,4-дихлор-феноксиуксусная кислота (2,4-Д)	C ₈ H ₆ Cl ₂ O ₃	2	2	2	–	–	–	–	–	2
α-нафтилуксусная кислота (НУК)	C ₁₂ H ₁₀ O ₂	1	1	1	1	2	4	2	–	–
β-индолил-3-уксусная кислота (ИУК)	C ₁₀ H ₉ NO ₂	1	1	1	1	–	–	–	–	–
β-ндолил-3-масляная кислота (ИМК)	C ₁₂ H ₁₃ NO ₂	–	–	–	–	–	–	–	2	–
Кинетин	C ₁₀ H ₉ N ₅ O	–	0,2	–	–	–	–	–	0,1	–
6-бензиламино-пури́н (6-БАП)	C ₁₂ H ₁₁ N ₅	–	–	0,5	–	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Таблица 3

Состав витаминов и добавок в питательных средах для культивирования *Zingiber sp.*

Наименование компонента	Химическая формула	Концентрация в среде, мг/л			
		И-1–И-4, MS1, MS2	СБ	Р-10	В-5 Гамборга
Тиамин хлорид	C ₁₂ H ₁₇ ClN ₄	0,4	0,2	0,2	10
Пиридоксин хлорид	C ₈ H ₁₁ NO ₃	1,0	0,5	0,5	1
Цистеин	C ₃ H ₇ NO ₂ S	–	5,0	5,0	–
Никотиновая кислота	C ₆ H ₅ NO ₂	1,0	0,5	0,5	1,0
Инозит	C ₆ H ₁₂ O ₆	100	100	100	100
Гидролизат казеина	–	100	100	50	500
Сахароза	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	25000	25000	25000	25000
Агар	–	8000	8000	8000	8000

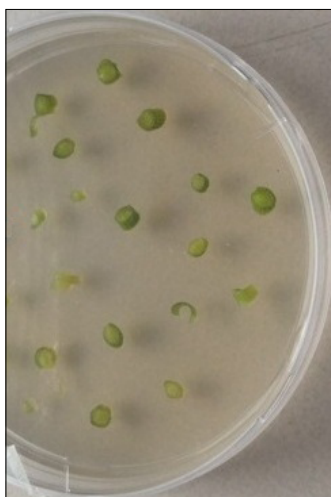


Рисунок 3. Внешний вид эксплантов из стебля имбиря на чашке Петри

Таблица 4
Способы стерилизации эксплантов

Вариант	Происхождение экспланта	Стерилизующий раствор	Время экспозиции
1-а	Листья и стебель	Мыльный раствор	30 мин
		Этиловый спирт (70об.)	30 сек
1-б		Хлорная известь	5 мин
1-в		Хлорная известь	15 мин
2-а	Корневище	Мыльный раствор	120 мин
		Хлорная известь	15 мин
2-б		Мыльный раствор	120 мин
		Хлорная известь	45 мин
3-а		Мыльный раствор	120 мин
		Этиловый спирт	1,5 мин
		Хлорная известь	20 мин
3-б		Мыльный раствор	120 мин
		Этиловый спирт	1,5 мин
		Хлорная известь	45 мин

ловий стерилизации исходного материала. Набор стерилизующих агентов, применяемых для растительных материалов, не слишком широк – как правило, это растворы веществ, содержащих активный хлор или ртуть.

Для поверхностной очистки используют мыльный раствор и 70%-ый этиловый спирт. Однако в каждом конкретном случае необходимо заново подбирать схемы для стерилизации, так как разные растения и различные части растения неодинаково реагируют на стерилизующие реагенты. Избыток стерилизующего фактора может привести к гибели материала, недостаток – к получению инфицированных эксплантов.

Схемы стерилизации были выбраны нами на основе данных литературы и собственного опыта, а также исходя из технических возможностей. Результаты по получению стерильных эксплантов представлены в таблице 5.

После отработки техники стерилизации эксплантов был проведен опыт по выбору оптимальной питательной среды для роста и развития каллусной культуры *Zingiber sp.*

Правильный выбор питательных сред – одно из важнейших условий при получении каллусных культур клеток растений. При этом необходимо учитывать, что среды, подходящие

для получения первичных каллусов, могут оказаться непригодными для дальнейшего их культивирования. Поэтому на первых этапах мы использовали достаточно широкий спектр питательных сред (таблицы 1–3). Среды И-1–И-4 составлены нами на основе данных литературы о получении и выращивании клеточных культур имбиря и представляют собой модификации среды Мурасиге и Скуга. Кроме того, мы использовали и другие среды на основе Мурасиге и Скуга (MS1, MS2, СБ и Р-10) и Гамборга (В-5), на которых были получены хорошие результаты для других клеточных культур растений. В основном эти среды различались составом и количеством гормонов (таблица 2), а также содержанием минеральных солей, микроэлементов, витаминов и др. (таблицы 1, 3).

Полученные результаты приведены в таблице 6.

Обсуждение полученных результатов

В опыте наряду с листьями и побегами для получения эксплантов использовали фрагменты корневища. Режимы стерилизации для корневища были более жесткими, чем для листьев и стеблей, однако степень инфицирования была очень высокой – от 54% до 92%, при этом увеличение экспозиции в хлорной извести от 5 до 15 мин положительного эффекта не давало. Заражение проявлялось в основном в первые 7 суток и состояло из плесневых грибов и бактерий. В дальнейшем проявились специфические медленно развивающиеся бактериальные инфекции, не вызывающие гибели эксплантов в течение долгого времени. Экспланты, сохранившиеся стерильными, выглядели жизнеспособными в течение I–II пассажей, но формирование новых разрастаний произошло только на двух из них. В конце первого пассажа на фрагмен-

Таблица 5

Результаты получения стерильных эксплантов

Вариант	Общее количество эксплантов	Количество инфицированных эксплантов	Количество эксплантов с каллусогенезом
1-а	200	16	1
1-б	250	10	0
1-в	340	11	1
2-а	180	78	12
2-б	180	92	11
3-а	120	33	17
3-б	93	19	22

Таблица 6

Визуальное сравнение интенсивности роста первичных каллусов на средах различного состава

Питательная среда	Интенсивность роста каллусов		
	Номер пассажа		
	II	III	IV
И-1	+++	+++	+++
И-2	++	++	++
И-3	+	+	-
И-4	+	+	-
СБ	++	+	+
MS1	+	-	-
MS2	+	-	-
Р-10	+	+	-
В-5	-	-	-

те стебля началось слабое формирование каллусной ткани, которая хорошо отделялась от экспланта и была перенесена в отдельную чашку Петри. Второе разрастание представляло собой корнеобразный вырост из фрагмента корневища и пересаживалось на свежую среду вместе с эксплантом.

Данные опыта показали, что схема, использованная в опыте для корневища, не обеспечивает достаточной эффективности стерилизации. Поэтому в следующем опыте были использованы более жесткие режимы стерилизации (таблица 4, вариант 3 а–б). Полученные данные показали, что при экспозиции в хлорной извести в течение 20–45 мин жизнеспособность эксплантов корневища сохраняется. Инфицированность значительно ниже, чем в эксплантах корневища в опыте 2.

В обоих вариантах опыта 3 были получены каллусы и корнеподобные разрастания на эксплантах, однако частота каллусогенеза была невысокой.

Данные, полученные иранскими исследователями (Anasori и Asghari, 2008) гласят о необходимости соблюдения цикла освещенности 16/8. Полученные нами первичные каллусы так же были помещены в условия сменного освещения. Для освещения использовались светодиодные ленты с цветовой температурой 4700 и 6000 К.

Через 2 пассажа у первичных каллусов при культивировании таким образом наблюдался интенсивный органогенез. Напротив, у клеток, культивируемых в полной темноте органогенез, не наблюдался. Из этого можно сделать вывод, что освещенность негативно влияет на процесс получения первичных каллусов, возможно освещенность в будущем будет способствовать усилению вторичных метаболитов суспензионных культур.

Таким образом, были подобраны схемы стерилизации, обеспечивающие достаточно высокий уровень жизнеспособности эксплантов при удовлетворительном уровне их инфицированности. Показано, что различные части растения по-разному переносят действия стерилизующих веществ, и для листьев и стеблей нужна более мягкая стерилизация. В то же время обнаружено, что в целом интенсивность каллусообразования у имбиря невысокая.

Анализируя данные таблицы 6, можно сделать вывод о том, что, поначалу количество каллусной ткани было очень мало, вся она использовалась только для дальнейшего посева и размножения. Поэтому оценку прироста каллуса

осуществляли визуально по трехбалльной системе. Каллусообразование было получено на 8 из 9 использованных сред. При этом нужно отметить, что процесс формирования первичного каллуса происходил очень медленно.

В большинстве случаев каллусные разрастания появлялись только во втором пассаже – через 40–50 суток после выделения экспланта из растения. К концу первого пассажа начало каллусогенеза зафиксировано только на нескольких эксплантах из почек. К концу II пассажа наилучшие результаты были получены на среде И-1, а затем – на И-2 и СБ (таблица 6). В третьем пассаже рост каллусов на среде СБ стал ухудшаться, а на средах MS1 и MS2 прекратился. Экспланты с этих сред переносили на среды И-1 и И-2, и у многих их способность к росту восстанавливалась.

В четвертом пассаже стало очевидно, что для роста каллусных культур пригодно только 2 среды: И-1 и И-2. На среде СБ с первого пассажа на эксплантах шло образования корней, а с третьего – стали формироваться растения-регенеранты. Данные, полученные в ходе этого опыта, подтверждают выводы, сделанные африканскими исследователями (Ali, AMA., El-Nour, M., El, A. M., & Yagi, S. M., 2016)), среды И-1 и И-2 содержат 2,4-дихлор-феноксиуксусную кислоту, являющуюся незаменимым фактором роста для роста каллусной культуры.

Заключение

Новизна научного исследования заключается в получении нового исходного штамма клеток *in vitro* имбиря со стабильными ростовыми характеристиками.

Результаты научного исследования, представленные в данной статье, заключаются в расширении теоретических знаний и получении новых научных данных о получении культур клеток растений рода *Zingiber*. Для достижения этой цели были подобраны условия стерилизации для получения жизнеспособных неинфицированных эксплантов; показана зависимость способности к каллусогенезу от происхождения экспланта из определенной части растения; подобраны питательные среды для получения и дальнейшего выращивания каллусных культур *Zingiber* sp.; показано влияние состава питательных сред на морфологические особенности культур; получена, характеризующаяся активным ростом в течение полугода. Таким образом, результаты исследования по получению активно растущей каллусной

культуры *Zingiber* sp. позволяют начать работы по изучению ее ростовой и биосинтетической активности, а также по получению суспензионной культуры клеток имбиря.

В ходе работы было решено 4 основные задачи:

1. Подобраны условия стерилизации, позволяющие получить удовлетворительное количество жизнеспособных неинфицированных эксплантов. Показано, что листья и стебли *Zingiber* sp. значительно чувствительнее к стерилизующим веществам, чем корневища.
2. Подобраны питательные среды для получения и дальнейшего выращивания каллусных культур *Zingiber* sp. Показана зависимость морфологических особенностей культур от состава питательных сред.
3. Получена каллусная культура *Zingiber* sp., характеризующаяся активным ростом в течение полугода. По морфологическим признакам культура может быть названа каллусной условно, так как наряду с неорганизованно растущими клетками содержит корнеподобные образования.
4. Ростовая активность каллусной культуры *Zingiber* sp. позволяет начать работы по изучению ее ростовой и биосинтетической активности.

Практическая значимость работы и основные направления дальнейшего использования предполагаемых результатов. Биомасса растения и биологически активные продукты из нее могут иметь ценность в качестве ингредиентов функциональных пищевых продуктов. Вторичные метаболиты имбиря обладают широким спектром фармакологических свойств, в том числе могут применяться в качестве дополнительного лечения различных онкологических заболеваний. Разработка биотехнологического способа с использованием культуры клеток имбиря *in vitro* позволит избежать сокращения генофонда промышленно ценного растения и увеличит доступность этого сырья и его метаболитов для российского потребителя.

Литература

- Быков, И. И., & Компанцев, Д. В. (2017). Экстрагирование биологически активных веществ из *Zingiber Officinale* Roscoe в технологии фитопрепаратов (обзор). *Вестник Смоленской государственной медицинской академии*, 16(2), 170-179.
- Габрук, Н. Г., & Тхуан, Л. В. (2010). Инструментальные методы в исследовании компонентного состава биологически активных веществ имбиря (*Zingiber officinale*). *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*, 74(3), 77-81.
- Кароматов, И. Д., & Музаффарова, С.К. (2019). Имбирь - растение с антиоксидантными и противовоспалительными свойствами. *Биология и интегративная медицина*, 1(29), 78-85
- Маханьков, В. В. (2001). Сравнительное исследование качественного состава и количественного содержания тритерпеновых гликозидов, продуцируемых имбирем и клеточной культурой на его основе [Кандидатская диссертация]. Владивосток.
- Некора, С. В., & Комов, В. П. (2001). Способность к каллусогенезу у эксплантов хвои пяти видов рода *Taxus* L. *Вестник Поволжского государственного технологического университета*, 37(4), 100-107.
- Орловская, Т. В. (2011). Фармакогностическое исследование некоторых культивируемых растений с целью расширения их использования в фармации [Докторская диссертация]. Ставропольский край, Пятигорск.
- Равиндран, П. Н., & Нирмал Б. (2004). Род *Zingiber*. *Лекарственные и ароматические растения промышленного профиля*, 41, 573.
- Уразбахтинаб Н. А. (2000). Особенности культивирования клеток растений семейства тиссовых – продуцентов дитерпеноида таксола [Кандидатская диссертация]. Уфа.
- Ahmad, B., Rehman, M. U., Amin, I., Arif, A., Rasool, S., Bhat, S. A., Afzal, I., Hussain, I., Bilal, S., & Mir, M. U. (2015). A Review on Pharmacological Properties of Zingerone (4-(4-Hydroxy-3-methoxyphenyl)-2-butanone). *Scientific World Journal*, 816364. <https://doi.org/10.1155/2015/816364>
- Ali, AMA., El-Nour, M., El, A. M., & Yagi, S. M. (2016). Callus induction, direct and indirect organogenesis of ginger (*Zingiber officinale* Rosc). *African Journal of Biotechnology*, 15(38), 2106–2114. <https://doi.org/10.5897/AJB2016.15540>
- Anasori, P., & Asghari, G. (2008). Effects of light and differentiation on gingerol and zingiberene production in callus culture of *Zingiber officinale* Rosc. *Research in Pharmaceutical Sciences*, 3(1), 59–63.
- Bhattacharya S, Ghosh B, Choudhury M (2016). A Simple Reliable Protocol for Cytogenetically Stable Mass Propagation of *Ornithogalum virens* Lindl. *Plant Tissue Culture and Biotechnology*, 26(1-4) <https://doi.org/10.3329/ptcb.v26i1.29762>
- Charlwood, K. A., Brown S., & Charlwood, B. V. (1988). The accumulation of flavour compounds by cultivars of *Zingiber officinale*. *AFRC Institute of*

- Food Research*, 195–200.
- Choi, S. K. (1991). Studies on clonal multiplication of ginger through in vitro cuttings. *Research Reports of the Rural Development Administration, Biotechnology*, 33(1), 33–39.
- El-Nabarawy, M. A., El-Kafafi, S. H., Hamza, M. A., & Omar, M. A. (2014). The effect of some factors on stimulating the growth and production of active substances in *Zingiber officinale* callus cultures. *Annals of Agricultural Sciences*, 60, 1–9 <https://doi.org/10.1016/j.aos.2014.11.020>
- Guo, Y., & Zhang, Z. (2005). Establishment and plant regeneration of somatic embryogenic cell suspension cultures of the *Zingiber officinale* Rosc. *Scientia Horticulturae*, 107, 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.07.003>
- Ilahi, I., & Jabeen, M. (1992). Tissue culture studies for micropropagation and extraction of essential oils from *Zingiber officinale* Rosc. *Pakistan Journal of Botany*, 24(1), 54–59.
- Jalil, M., Annuar, M. S., Tan, B. C., & Khalid, N. (2015). Effects of selected physicochemical parameters on zerumbone production of *Zingiber zerumbet* Smith cell suspension culture. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 7. <https://doi.org/10.1155/2015/757514>
- Jamil, M., Kim, J. K., Akram, Z., Ajmal, S. U., & Rha E. S. (2007). Regeneration of Ginger Plant from Callus Culture Through Organogenesis and Effect of CO₂ Enrichment on the Differentiation of Regenerated Plant. *Biotechnology*, 6, 101–104. <https://doi.org/10.3923/biotech.2007.101.104>
- Kacker, A., Bhat, S. R., Chandel, K. P. S., & Malik, S. K. (1993). Plant regeneration via somatic embryogenesis in ginger. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 32(3), 289–292.
- Kulkarni, D. D., Khuspe, S. S., & Mascarenhas, A. F. (1984). Isolation of *Pythium* tolerant ginger by tissue culture. In *Placrosym VI* (p.3–13).
- Malamug, J. J. F., Inden, H., & Asahira, T. (1991). Plant regeneration and propagation from ginger callus. *Scientia Horticulturae*, 48(1–2), 89–99.
- Nirmal, B. K., Samsudeen, K., & Ratnambal, M. J. (1992). In vitro plant regeneration from leaf-derived callus in ginger (*Zingiber officinale* Rosc). *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 29, 71–74.
- Nirmal Babu, K. (1997). In vitro studies in ginger, *Zingiber officinale* Rosc. *Unpublished Ph.D. Thesis, University of Calicut, Kerala, India*, 3.
- Pillai, S. K., & Kumar, N. B. (1982). Clonal multiplication of ginger in vitro. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 52(6), 397–399.
- Sakamura F., & Suga T. (1989) *Zingiber officinale* Roscoe (Ginger): In Vitro Propagation and the Production of Volatile Constituents. In: Y.P.S. Bajaj (Ed.) *Medicinal and Aromatic Plants II. Biotechnology in Agriculture and Forestry*, 7. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-73617-9_29
- Samsudeen, K. (1996). *Studies on somaclonal variation produced by in vitro culture in Zingiber officinale* Rosc. [Unpublished Ph.D. Thesis University of Calicut] Kerala, India.
- Semwal, R. B., Semwal, D. K., Combrinck, S., & Viljoen, A. M. (2015). Gingerols and shogaols: Important nutraceutical principles from ginger. *Phytochemistry*, 117, 554–568. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.07.012>
- Ravindran, P. N., Nirmal Babu, K. (2004). Ginger: the genus *Zingiber*. *Medicinal and aromatic plants – industrial profiles*, 41, 573.
- Yeoman, M. M. (1987). Bypassing the plant. *Annals of Botany*, 60, 175–188.

Obtaining a Cell Culture of Ginger

Lyudmila A. Ivanova

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

Ivan A. Fomenko

Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
JSC "Biokhimmash"
4 Klara Cetkin str., Moscow, 127299, Russian Federation
E-mail: iv.fomenko@mail.ru

Viktoriya V. Fomenko

JSC "Biokhimmash"
4 Klara Cetkin str., Moscow, 127299, Russian Federation
E-mail: victoria-96@bk.ru

Lyudmila A. Churmasova

Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: ludmila-churmasova@yandex.ru

Anastasiya M. Shhennikova

Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: nastya.shhennikova@inbox.ru

Ginger, as a spice and medicinal plant from ancient times to the present, is in great demand in India and China due to the wide range of effects on the human body. In the wild, ginger does not grow by itself, therefore it is grown on special plantations covering large areas on an industrial scale. Climatic conditions are also important for active plant growth. Standard ginger breeding programs are difficult due to low productivity and lack of natural seed quantity. The biotechnological method of cultivating plant cells makes it possible to obtain an unlimited number of identical cells in 3 to 4 weeks. *Zingiber* sp. rhizomes, stems and leaves are served as the starting material for research and obtaining callus cell cultures. To obtain primary callus for their further cultivation, various modifications of the Murashige and Skoog medium, as well as the Hamburg medium, were used. Explants were cultured in the dark at 26 °C and a humidity of 60–70%. The growing cycle was 25–30 days. According to the results of the analysis, new data on the properties of *Zingiber* plant cell cultures was obtained, ways to solve a number of global environmental problems were proposed. As a result of using the classical method of obtaining a callus culture of a sterile intact plant was obtained a new initial ginger cell strain in vitro with stable growth characteristics.

Keywords: ginger, *Zingiber* sp., cell culture, callusogenesis, secondary plant metabolites, gingerols

References

- Bykov, I. I., & Kompantsev, D. V. (2017). Extraction of biologically active substances from *Zingiber Officinale* Roscoe in phytopreparation technology (review). *Vestnik Smolenskoj gosudarstvennoj medicinskoj akademii* [Bulletin of the Smolensk State Medical Academy], 16(2), 170–179.
- Gabruk, N. G., & Thuen, L. V. (2010). Instrumental methods in the study of the component composition of the biologically active substances

How to Cite

Ivanova, L. A., Fomenko, I. A., Fomenko, V. V., Churmasova, L. A., & Shhennikova, A. M. (2019). Obtaining a Cell Culture of Ginger. *Health, Food & Biotechnology*, 1(4). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i4.s280>

- of ginger (*Zingiber officinale*). *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki* [Scientific Reports of Belgorod State University. Series: Natural Sciences], 74(3), 77-81.
- Karomatov, I. D., & Muzaffarova, S. K. (2019). Ginger is a plant with antioxidant and anti-inflammatory properties. *Biologiya i integrativnaya medicina* [Biology and integrative medicine], 1(29), 78-85
- Makhankov, V.V. (2001). *Sravnitel'noe issledovanie kachestvennogo sostava i kolichestvennogo sodержaniya triterpenovykh glikozidov, produciруemykh imbirem i kletochnoj kul'turoj na ego osnove* [A comparative study of the qualitative composition and quantitative content of triterpene glycosides produced by ginger and cell culture based on it] [Candidate dissertation]. Vladivostok.
- Nekora, S. V., & Komov, V. P. (2001). The ability of callusogenesis in explants of the needles of five species of the genus *Taxus* L. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Volga State Technological University], 37(4), 100-107.
- Orlovskaya, T.V. (2011). *Farmakognosticheskoe issledovanie nekotorykh kul'tiviruemykh rastenij s cel'yu rasshireniya ih ispol'zovaniya v farmacii* [Pharmacognostic study of some cultivated plants in order to expand their use in pharmacy] [Doctoral dissertation]. Stavropol Territory, Pyatigorsk.
- Ravindran, P. N., & Nirmal B. (2004). Genus *Zingiber*. *Lekarstvennye i aromatische rastiya promyshlennogo profilya* [Medicinal and aromatic plants of industrial profile], 41, 573.
- Urazbakhtin N. A. (2000). *Osobennosti kul'tivirovaniya kletok rastenij semejstva tisovykh – producentov diterpenoida taksola* [Features of the cultivation of plant cells of the yew-tree plants - producers of taxol diterpenoid] [Candidate dissertation]. Ufa.
- Ahmad, B., Rehman, M. U., Amin, I., Arif, A., Rasool, S., Bhat, S. A., Afzal, I., Hussain, I., Bilal, S., & Mir, M. U. (2015). A Review on Pharmacological Properties of Zingerone (4-(4-Hydroxy-3-methoxyphenyl)-2-butanone). *Scientific World Journal*, 816364. <https://doi.org/10.1155/2015/816364>
- Ali, AMA., El-Nour, M., El, A. M., & Yagi, S. M. (2016). Callus induction, direct and indirect organogenesis of ginger (*Zingiber officinale* Rosc). *African Journal of Biotechnology*, 15(38), 2106–2114. <https://doi.org/10.5897/AJB2016.15540>
- Anasori, P., & Asghari, G. (2008). Effects of light and differentiation on gingerol and zingerene production in callus culture of *Zingiber officinale* Rosc. *Research in Pharmaceutical Sciences*, 3(1), 59–63.
- Bhattacharya S, Ghosh B, Choudhury M (2016). A Simple Reliable Protocol for Cytogenetically Stable Mass Propagation of *Ornithogalum virens* Lindl. *Plant Tissue Culture and Biotechnology*, 26(1-4) <https://doi.org/10.3329/ptcb.v26i1.29762>
- Charlwood, K. A., Brown S., & Charlwood, B. V. (1988). The accumulation of flavour compounds by cultivars of *Zingiber officinale*. *AFRC Institute of Food Research*, 195–200.
- Choi, S. K. (1991). Studies on clonal multiplication of ginger through in vitro cuttings. *Research Reports of the Rural Development Administration, Biotechnology*, 33(1), 33–39.
- El-Nabarawy, M. A., El-Kafafi, S. H., Hamza, M. A., & Omar, M. A. (2014). The effect of some factors on stimulating the growth and production of active substances in *Zingiber officinale* callus cultures. *Annals of Agricultural Sciences*, 60, 1-9 <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2014.11.020>
- Guo, Y., & Zhang, Z. (2005). Establishment and plant regeneration of somatic embryogenic cell suspension cultures of the *Zingiber officinale* Rosc. *Scientia Horticulturae*, 107, 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.07.003>
- Ilahi, I., & Jabeen, M. (1992). Tissue culture studies for micropropagation and extraction of essential oils from *Zingiber officinale* Rosc. *Pakistan Journal of Botany*, 24(1), 54-59.
- Jalil, M., Annuar, M. S., Tan, B. C., & Khalid, N. (2015). Effects of selected physicochemical parameters on zerumbone production of *Zingiber zerumbet* Smith cell suspension culture. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 7. <https://doi.org/10.1155/2015/757514>
- Jamil, M., Kim, J. K., Akram, Z., Ajmal, S. U., & Rha E. S. (2007). Regeneration of Ginger Plant from Callus Culture Through Organogenesis and Effect of CO₂ Enrichment on the Differentiation of Regenerated Plant. *Biotechnology*, 6, 101–104. <https://doi.org/10.3923/biotech.2007.101.104>
- Kacker, A., Bhat, S. R., Chandel, K. P. S., & Malik, S. K. (1993). Plant regeneration via somatic embryogenesis in ginger. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 32(3), 289–292.
- Kulkarni, D. D., Khuspe, S. S., & Mascarenhas, A. F. (1984). Isolation of Pythium tolerant ginger by tissue culture. In *Placrosym VI* (p.3–13).
- Malamug, J. J. F., Inden, H., & Asahira, T. (1991). Plant regeneration and propagation from ginger callus. *Scientia Horticulturae*, 48(1–2), 89–99.
- Nirmal, B. K., Samsudeen, K., & Ratnambal, M. J. (1992). In vitro plant regeneration from leaf-derived callus in ginger (*Zingiber officinale* Rosc). *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 29, 71–74.
- Nirmal Babu, K. (1997). In vitro studies in ginger, *Zingiber officinale* Rosc. *Unpublished Ph.D. Thesis, University of Calicut, Kerala, India*, 3.
- Pillai, S. K., & Kumar, N. B. (1982). Clonal

- multiplication of ginger in vitro. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 52(6), 397–399.
- Sakamura F., & Suga T. (1989) *Zingiber officinale* Roscoe (Ginger): In Vitro Propagation and the Production of Volatile Constituents. In: Y.P.S. Bajaj (Ed.) *Medicinal and Aromatic Plants II. Biotechnology in Agriculture and Forestry*, 7. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-73617-9_29
- Samsudeen, K. (1996). *Studies on somaclonal variation produced by in vitro culture in Zingiber officinale* Rosc. [Unpublished Ph.D. Thesis University of Calicut] Kerala, India.
- Semwal, R. B., Semwal, D. K., Combrinck, S., & Viljoen, A. M. (2015). Gingerols and shogaols: Important nutraceutical principles from ginger. *Phytochemistry*, 117, 554–568. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.07.012>
- Ravindran, P. N., Nirmal Babu, K. (2004). Ginger: the genus *Zingiber*. *Medicinal and aromatic plants – industrial profiles*, 41, 573.
- Yeoman, M. M. (1987). Bypassing the plant. *Annals of Botany*, 60, 175–188.

Создание низколактозной молочной сыворотки с использованием бактериальной β -галактозидазы

Краснова Юлия Валерьевна

Межрегиональное общественное учреждение «Институт инженерной физики»

Адрес: 142210, город Серпухов, Большой Ударный переулок, дом 1а

E-mail: krasnova@iifmail.ru

Бутова Светлана Николаевна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: zhirmgupp@mgupp.ru

Вольнова Екатерина Романовна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: volnovaer@mgupp.ru

Николаева Юлия Владимировна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: organikamgupp@mail.ru

На сегодняшний момент существует проблема переработки отходов молочной промышленности, в частности молочной сыворотки. Молочная сыворотка является ценным белоксодержащим продуктом, однако на переработку поступает не более 30 % от объёма её выработки в России. В настоящей статье представлены результаты исследования, посвящённые ферментативной переработке молочной сыворотки, направленной на получение низколактозного молочного полуфабриката. В работе использовался фермент бактериальной природы – β -галактозидаза со стандартной активностью 5500 BLU/г. Изучалось влияние pH в интервале от 5,5 до 6,5, температуры в диапазоне от 40 до 45 °С, количества вносимой β -галактозидазы (0,01-0,07 % от массы сыворотки), продолжительности процесса (от 3 до 24 часов) на эффективность гидролиза молочной сыворотки. Установлено, что при pH= 6,0; температуре 40 °С; продолжительности гидролиза 3 часа β -галактозидаза в дозировке 0,05 % обеспечивает оптимальное остаточное количество лактозы в сыворотке, равное 0,6 %. Максимального снижения лактозы в сыворотке (массовая доля лактозы составила 0,1 %) также удалось добиться при следующих параметрах: pH=6,0; температура 40 °С, продолжительность 24 часа, количество фермента 0,07 %. Но проведение гидролиза при указанных параметрах было признано нерациональным и экономически нецелесообразным. Таким образом, были получены оптимальные параметры переработки молочной сыворотки при помощи бактериальной β -галактозидазы. Был получен низколактозный молочный полуфабрикат, который является перспективной сырьевой основой функциональных и специализированных продуктов питания, предназначенных для людей, страдающих лактозной непереносимостью.

Ключевые слова: β -галактозидаза, молочная промышленность, сыворотка, ферментативный гидролиз, низколактозный полуфабрикат

Введение

На сегодняшний день до сих пор остаётся нерешённой проблема, касающаяся переработки отходов молочной промышленности, особенно это касается молочной сыворотки – ценного белоксо-

держашего продукта. Для решения указанной проблемы особое значение приобретают биотехнологические процессы, позволяющие перерабатывать молочную сыворотку в новые виды функциональных и специализированных продуктов питания (Гаврилова, 2019).

Литературный обзор

Стоит отметить, что молочную сыворотку можно использовать в очищенном, но не изменённом виде, при производстве на её основе различных видов сывороточных напитков¹.

Использование молочной сыворотки в непреработанном виде в различных секторах пищевой промышленности ограничено. Это связано, в первую очередь, с наличием в её составе природного углевода – лактозы. В настоящее время число людей, страдающих непереносимостью лактозы, неуклонно растёт. По статистическим данным в России около 35 % населения столкнулись с данной проблемой, в Германии – 16 %, Италии – 41 %, Китае – 99 %, Таиланд – 98 % (Кисель, 2019).

Непереносимость лактозы вызвана дефицитом лактазы, фермента пищеварительного тракта здорового человека, и приводит к симптомам мальабсорбции лактозы (Lapides, 2018; Szilagyi, 2018). Главной причиной лактазной недостаточности считается существенное снижение потребления молочных продуктов (Zheng, 2015). В связи с этим существует острая необходимость в создании продуктов с низким содержанием лактозы или абсолютно безлактозных.

На сегодняшний день уже предложены пути и способы изменения состава и свойств молочной сыворотки. В первую очередь стоит отметить создание пробиотических микроорганизмов, способных облегчать и минимизировать симптомы нарушения работы ЖКТ (Кушугулова, 2010; Arhold, 2018). Эти микроорганизмы принадлежат родам *Lactobacterium* и *Bifidobacterium* (Красникова, 2012; Чернышова, 2016). Также положительные результаты дали исследования следующих микроорганизмов: *Kluyveromyces lactis* и *Kluyveromyces marxianus* (Mano, 2019).

Вторым путём коррекции сыворотки является её биотрансформация – ферментация. Существует ряд исследований, направленных на поиск микроорганизмов-подуцентов, способных синтезировать β -галактозидазу – фермент, наиболее активно гидролизующий лактозу (Остроумов, 2013; Серба, 2018). Был изучен огромный перечень микроорганизмов, к нему можно отнести:

1. дрожжи: *Saccharomyces fragilis*, *Candida preutotropicalis*, *Toryloopsis versatilis* (Остроумов, 2013) *Cryptococcus flavescentis* (Сапунова, 2014);

2. бактерии: *Streptococcus lactis*, *Lactobacillus plantarum* (CY.6) (Kim, 2018), *Bacillus pumilus*, *B. methylophilus* (Adiguzel, 2018), *B. Coagulans* NL01 (Liu, 2019);
3. грибы: *Aspergillus oryzae* (Thum, 2019), *Penicillium terlikowskii*, *P. multicolor*, *P. Canescens* и др. (Остроумов, 2013).

Применение ферментных препаратов, обеспечивающих гидролитическое расщепление лактозы, считается менее затратным путём, с точки зрения технического оснащения, а также путём, обеспечивающим требуемое качество продукта (Козлов, 2008).

Теоретическое обоснование

На современном этапе развития пищевой индустрии уже разработаны и созданы продукты питания (функциональные и специализированные) для людей с непереносимостью молочного сахара (Беркетова, 2018). Наибольшую долю составляют продукты с пониженным содержанием лактозы для детей и взрослых (Бедных, 2015)²: молочные смеси для детей, мороженое, молочные и кисломолочные напитки, йогурты, молочные консервы и т.д. (Добриян, 2010; Тихомирова, 2016; Судакова, 2017; Голубев, 2019; Афанасьева, 2019).

Исходя из всего вышеперечисленного, направленная модификация молочной сыворотки при помощи биотехнологических процессов сегодня весьма актуальна. Ферментативный гидролиз позволяет создавать новые молочные продукты с заданными свойствами. Продукты имеют увеличенную сладость, сниженное содержание лактозы, которое обеспечит её лучшую сбраживаемость в ЖКТ, увеличит стабильность продукта при хранении, так как моносахариды, образующиеся в результате гидролиза лактозы, увеличивают осмотическое давление (Арсеньева, 2010; Поротова, 2015; Калинина, 2015).

Основное влияние на ход и эффективность ферментативного процесса оказывает вид ферментного препарата и его природа. Из представленных выше данных, наибольшим предпочтением пользуются β -галактозидазы дрожжевой и бактериальной природы. С этой точки зрения, несомненный интерес представляет *Bacillus licheniformis*. Возможность биосинтеза β -галактозидазы бактериями *B. licheniformis* доказана рядом исследований (Juajin, 2011; Костеневич, 2013).

¹ Ганина, А. Г. (2007). Значение функциональных продуктов в питании современного человека. Методические указания к практическому занятию. Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ. с. 27

² Там же, с 28.

Исходя из этого, β -галактозидаза, полученная методом глубоинной ферментации бактерий *B. licheniformis*, имеет перспективы при организации промышленной переработки молочной сыворотки. Данный факт обуславливает необходимость проведения исследования.

Целью настоящего исследования является создание низколактозной молочной сыворотки с использованием бактериальной β -галактозидазы. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. определение наиболее благоприятной температуры гидролиза сыворотки;
2. определение оптимальной продолжительности гидролиза;
3. установление наиболее соответствующей pH среды;
4. определение оптимального количества вносимого ферментного препарата.

Материалы и методы

Материалы

Молочная сыворотка, ферментный препарат Nola Fit®, содержащий β -галактозидазу (продуцент *Bacillus licheniformis*), стандартная активность 5500 BLU/г.

Методы

1. Определение содержания лактозы по методике, представленной в учебно-методическом пособии «Методы исследования молока и молочных продуктов» (Сучкова, 2015).
2. Определение водородного показателя при помощи анализатора жидкости.

Методика исследования

Оборудование

Весы AND DL-2000 WP; термометр жидкостной стеклянный TC-7-M1; влагомер MB-23 Ohaus, магнитная мешалка MS-500 Intllab; термостат суховоздушный TCO-1180 СПУ; фотоэлектроколориметр КФК-2УХЛ; холодильник Electolux ERN29850; электрическая плитка «Лазурь», водяная баня UT4308; автоклав лабораторный МПК-04; анализатор жидкости SevenCompact S220; встряхиватель лабораторный VM-2000; рефрактометр ИФР-454; лабораторная стеклянная посуда.

Процедура исследования

Осуществляли гидролиз молочной сыворотки при помощи ферментного препарата Nola Fit®. Исследовали влияние температуры (в диапазоне от 40 °C до 45 °C), продолжительности (3, 4 и 24 часа), количества ферментного препарата (от 0,01 % до 0,07 %) на эффективность гидролиза, которую контролировали по остаточному количеству лактозы в сыворотке. Для установления влияния pH среды на эффективность расщепления лактозы изучали действие ферментного препарата в количестве 0,01 %, 0,03 %, 0,05 % и 0,07 % при температуре 40 °C в течение 2 часов.

Анализ данных

Для обработки экспериментальных данных с целью снижения погрешности измерений рассчитывали среднее и стандартное отклонение, пользуясь пакетом прикладных программ STATISTICA.

Результаты

Изучили влияние температуры на содержание лактозы в сыворотке. Гидролиз проводили в течение 2 часов при pH=6,0, количество ферментного препарата составляла 0,01 %, 0,03 %, 0,05 % и 0,07 % к массе сыворотки. Указанная зависимость отражена на диаграмме 1.

Для оценки влияния параметров процесса на полноту расщепления лактозы гидролиз вели при температуре 40-45 °C, pH= 5,5-6,5 и количество препарата от 0,1 % до 0,07 %. Продолжительность варьировалась от 2 до 24 часов. Результаты в обобщённом виде демонстрирует таблица 1.

Результаты представлены в виде средних значений, величины доверительных интервалов средних арифметических значений составила 1,0-2,5 % при вероятности получения случайных отклонений 0,5.

В таблице 2 представлены оптимальные параметры гидролиза молочной сыворотки

Указанные в таблице 2 параметры обеспечили низкое содержание лактозы в сыворотке (0,61 %).

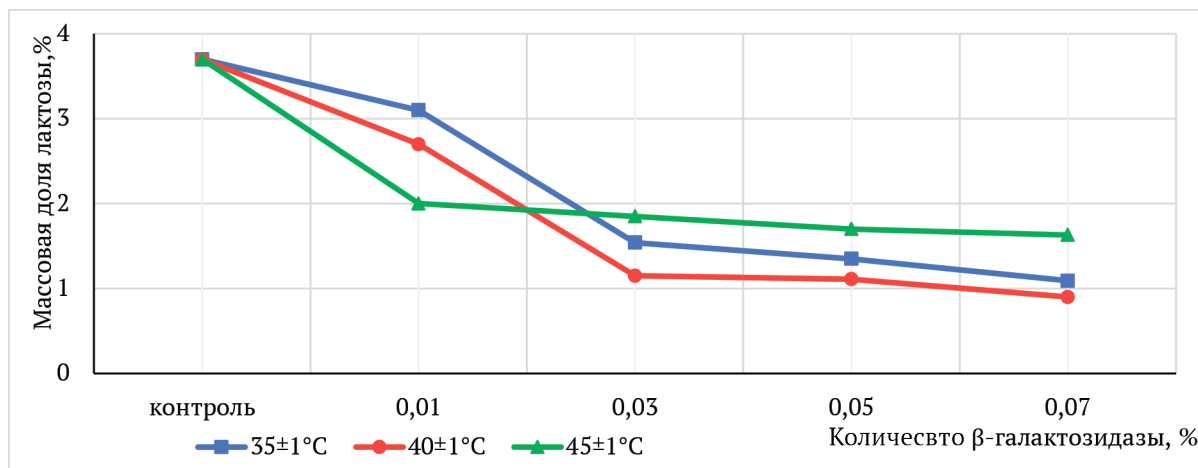


Диаграмма 1. Влияние температуры и количества фермента на остаточное количество лактозы в сыворотке

Таблица 1

Влияние параметров гидролиза на эффективность расщепления лактозы

№ п.п.	Количество β-галактозидазы, %	Массовая доля лактозы, %			
		2 часа	3 часа	4 часа	24 часа
1	контроль	3,70	3,70	3,70	3,70
2	0,01	2,70	2,50	2,50	0,60
3	0,03	1,15	1,00	0,61	0,60
4	0,05	1,11	0,61	0,60	0,45
5	0,07	0,90	0,45	0,45	0,10

Таблица 2

Оптимальные параметры гидролиза молочной сыворотки

№ п.п.	Количество β-галактозидазы, %	Параметры		
		pH	Температура, °C	Продолжительность, ч
1	0,05±0,005	6,0±0,1	40±1	3

Обсуждение полученных результатов

Из рисунка 1 видно, что существует прямая зависимость: при увеличении количества ферментного препарата содержание лактозы уменьшается. Существование данной зависимости подтверждается многими исследованиями (Остроумов, 2013; Калинина, 2015; Liu, 2019). Причём, резкое снижение наблюдается при использовании препарата в количестве 0,03%. Увеличение дозировки до 0,05% и 0,07% к существенным изменениям не приводили.

Что касается влияния температуры на эффективность гидролиза, было установлено, что при $t=45\pm 1^\circ\text{C}$ гидролиз протекал слабо, это обусловлено процессами тепловой денатурации β-галактозидазы, которые снижают ферментативную активность. Оптимальной является температура

$40\pm 1^\circ\text{C}$, так как при данном её значении наблюдали наименьшее содержание лактозы. Данные ранее проведённых исследований указывают другие значения температур, которые способствует максимальному расщеплению лактозы бактериальной β-галактозидазой (продуцент *Bacillus licheniformis*): 37°C (Juajun, 2011), 45°C (Костеневич, 2013). Данные расхождения можно объяснить, некоторыми различиями в геноме продуцента фермента.

Bacillus licheniformis DSM 13 (Juajun, 2011) был целенаправленно генетически изменён. Исходя из этого, можно утверждать, что термо-оптимум для каждого ферментного препарата – это индивидуальная характеристика, зависящая от многих факторов (вид и природа продуцента, особенности условий его культивирования, степень очистки ферментного препарата и пр.).

Следующим важным параметром гидролиза была величина pH. При pH=5,5 содержание лактозы уменьшалось незначительно. Даже увеличение количества фермента не приводило к существенным изменениям. При pH=6,5 и количестве фермента 0,01 % гидролиз практически не протекал. При увеличении дозировки препарата до 0,03% и 0,05 % интенсивность гидролиза увеличивалась, но, тем не менее, она оставалась ниже, чем при процессе, протекающем при pH= 6,0. Следовательно, оптимальным pH среды является значение 6,0. Однако ряд исследований указывает на то, что максимальную активность бактериальные β -галактозидазы имеют в диапазоне 6,5-7,5 (Костеневич, 2013; Juajin, 2011). Данное противоречие, еще раз доказывает тот факт, что оптимальные условия работы ферментов, полученных из разных микроорганизмов, существенно могут различаться, особенно в диапазонах pH.

Проведённое исследование, касающееся подбора оптимальной продолжительности гидролиза, позволило установить, что при длительности гидролиза 3 часа и количестве препарата 0,05%, 4 часа и количестве препарата 0,03% удалось добиться низкого содержания лактозы в сыворотке. При времени гидролиза 24 часа и количестве препарата 0,01%, 0,03%, 0,05 % и 0,07% массовая доля лактозы достигала значения 0,6%. Стоит отметить, что данная продолжительность нерациональна, хоть и обеспечивает самое низкое количество лактозы (0,10%) в сыворотке при дозировке препарата 0,07%. Увеличение продолжительности процесса и количества фермента не приводило к ощутимым изменениям, поэтому было признано нецелесообразным с технологической и экономической точки зрения. Установленный оптимум продолжительности гидролиза сыворотки согласуется с данными, ранее проведенных исследований (Калинина, 2015; Поротова, 2015).

Таким образом, были установлены оптимальные параметры гидролиза молочной сыворотки: $t=40\pm 1^\circ\text{C}$, продолжительность 3 часа, pH=6,0 и количество ферментного препарата 0,05% от массы сыворотки.

Заключение

Подобранные оптимальные параметры процесса гидролиза позволят проводить модификацию молочной сыворотки. Таким образом возможна организация безотходных и малоотходных молочных производств. Получен низколактозный молочный полуфабрикат с массовой долей лактозы 0,61%,

который может стать перспективной сырьевой основой функциональных и специализированных продуктов питания, предназначенных для людей, страдающих лактозной непереносимостью.

Литература

- Арсеньева, Т. П. (2010). К чему приводит лактазная недостаточность. *Молочная промышленность*, 7, 28-30.
- Афанасьева, М. М., & Широкова, Н. В. (2019). Низколактозный кисломолочный продукт с растительным наполнителем. В *Научные основы создания и реализации современных технологий здоровьесбережения* (с. 229-232).
- Бедных, Б. С., & Евдокимов, И. А. (2015). Моделирование углеводного состава в продуктах детского питания. Научные и практические аспекты. *Молочная промышленность*, 9, 50-52.
- Беркетова, Л. В. (2018). Разработка продуктов с пониженным содержанием лактозы В Ю.Н. Зубцов (ред.), *Здоровьесберегающие технологии в ВУЗе: состояние и перспективы* (с.91-95).
- Гаврилова, Н. Б., & Бортникова, О. А. (2019). Перспективы использования молочной сыворотки в технологии производства специализированных молочных продуктов. В *Состояние и перспективы развития наилучших доступных технологий специализированных продуктов питания* (с.148-150).
- Голубев, А. Е., Ионова, И. И., & Машков В. В. (2019). Актуальность расширения низколактозных кисломолочных напитков. *Вестник науки*, 4 (4), 137-141.
- Добрянян, Е. И., & Зоров И. Н. (2010). Основные направления применения β -галактозидазы в производстве молочных консервов. В *Перспективные биокатализаторы для перерабатывающих отраслей АПК* (с. 354-359).
- Калинина, Е. Д., Гаврилов, А. В., & Филонов, Р. А. (2015). Исследование влияния массовой доли β -галактозидазы и продолжительности процесса на гидролиз лактозы молока. *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*, 2 (165), 98-103.
- Кисель, А. А. (2019). Растительные альтернативы молоку - развивающийся сегмент функциональных напитков. В *Конкурентоспособность территорий* (с. 184-186).
- Козлов, С. Г. (2008). *Исследование и разработка технологии сывороточных гелеобразных продуктов с использованием растительного сырья* [Кандидатская диссертация, Кемеровский технологический институт пищевой промышленности]. Кемерово, Российская Федерация

- Костеневич, А. А., & Сапунова, Л. И. (2013). Бактериальные β -галактозидазы: биохимическое и генетическое разнообразие. *Труды БГУ* 2013, 8 (1), 52-63.
- Красникова, Л.В., Маркелова, В.В., Вербицкая, Н.Б., Добролеж, О.В. (2012). Функциональные продукты из молочной сыворотки с использованием антагонистически активных штаммов ацидофильных лактобактерий. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 1 (325), 41-43.
- Кушугулова, А. Р. (2010). Актуальные вопросы исследований и производства пробиотической продукции. *Биотехнология. Теория и практика*, 2, 25-31.
- Остроумов, Л. А., & Гаврилов, В. Г. (2013). Биотрансформация лактозы ферментными препаратами β -галактозидазы. *Техника и технология пищевых производств*, 1, 1-5.
- Поротова, Е. Ю., Храмицев, А. Г., & Лодыгин, А. Д. (2015). Исследование закономерностей ферментативного гидролиза лактозы во вторичном молочном сырье. *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*, 3(166), 36-40.
- Сапунова, Л. И., & Костеневич, А. А. (2014). Внеклеточные полисахариды дрожжевого гриба *Cryptococcus flavescens* - продуцента β -галактозидазы. *Успехи медицинской микологии*, 12, 264-266.
- Серба, Е. М., Оверченко, М. Б., Игнатова, Н. И., Медриш, М. Э., & Римарева, Л. В. (2018). Обоснование метода определения β -галактозидазной активности ферментных препаратов. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*, 6, 65-68. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2018/6/65-68>
- Судакова, О. А., Вийтив, И. М., & Лашеб, С. Л. (2017). Анализ рыночного предложения детских молочных смесей в Москве. *Тверской медицинский журнал*, 1, 51-52.
- Тихомирова, Н. А. (2016). Низколактозные и безлактозные продукты детского и лечебного питания. *Переработка молока*, 3 (197), 16-23.
- Чернышова, К. С., Андреева, А. А., & Кузнецова, Д. С. (2016). Вторичная лактазная недостаточность в аспекте симбионтного пищеварения. В *Молодежь, наука, медицина* (с. 536-537).
- Adiguzel, A., Nadaroglu, H., & Adiguzel, G. (2018). Purification and characterization of α -mannanase from *Bacillus pumilus* (M27) and its applications in some fruit juices. *Journal of Food Science and Technology-mysore*, 52(8), 5292-5298. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1609-y>
- Arnold, J. W., Simpson, J. B., Roach, J., Bruno-Barcena, J. M., & Azcarate-Peril, M. A. (2018). Prebiotics for Lactose Intolerance: Variability in Galacto-Oligosaccharide Utilization by Intestinal *Lactobacillus rhamnosus*. *Nutrients*, 10(157), <https://doi.org/10.3390/nu10101517>
- Bosso, A., Setti, A. C. I., Tomal, A. B., Guemra, S., Morioka, L. R. I., & Suguimoto, H. H. (2019). Substrate consumption and beta-galactosidase production by *Saccharomyces fragilis* IZ 275 grown in cheese whey as a function of cell growth rate. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 21, UNSP 101335. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101335>
- Juajin, O., Nguen, Thu-Ha, Maischberger, T., Iqbal, S., Haltrich, P., & Yamabhai, M. (2011). Cloning, purification, and characterization of β -galactosidase from *Bacillus licheniformis* DSM 13. *Biotechnologically Relevant Enzymes and Proteins*, 89, 645-654. <https://doi.org/10.1007/s00253-010-2862-2>
- Kim, S., Huang, E., Park, S., Holzapfel, W., & Lim, S. D. (2018). Physiological Characteristics and Anti-obesity Effect of *Lactobacillus plantarum* K10. *Korean Journal for Food Science of Animal resources*, 38(3), 554-569. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2018.38.3.554>
- Lapides, R. A., & Savaiano, D. A. (2018). Gender, Age, Race and Lactose Intolerance: Is There Evidence to Support a Differential Symptom Response? A Scoping Review. *Nutrients*, 10(12). 1956. <https://doi.org/10.3390/nu10121956>
- Liu, P., Xie, J. X., Liu, J. H., & Ouyang, J. (2019). A novel thermostable beta-galactosidase from *Bacillus coagulans* with excellent hydrolysis ability for lactose in whey. *Journal of Dairy Science*, 102(11), 9740-9748. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16654>
- Mano, M. C. R., Paulino, B. N., & Pastore, G. M. (2019). Whey permeate as the raw material in galacto-oligosaccharide synthesis using commercial enzymes. *Food Research International*, 124, 78-85. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.019>
- Szilagyi, A., & Ishayek, N. (2018). Lactose Intolerance, Dairy Avoidance, and Treatment Options. *Nutrients*, 10(12), 1994. <https://doi.org/10.3390/nu10121994>
- Thum, C., Weinborn, V., Barile, D., McNabb, W. C., Roy, N. C., & Bell, J. M. L. N. D. (2019). Understanding the Effects of Lactose Hydrolysis Modeling on the Main Oligosaccharides in Goat Milk Whey Permeate. *Molecules*, 24(18), 3294. <https://doi.org/10.3390/molecules24183294>
- Zheng, X., Chu, H., Cong, Y., Deng, Y., Long, Y., Zhu, Y., Pohl, D., Fried, M., Dai, N., & Fox, M. (2015). Self-reported lactose intolerance in clinic patients with functional gastrointestinal symptoms: prevalence, risk factors, and impact on food choices. *Neurogastroenterology and Motility*, 27(8), 1138-1146. <https://doi.org/10.1111/nmo.12602>

Creation of Low-Lactose Milk Serum using Bacterial β -Galactosidase

Yuliya V. Krasnova

*Interregional public organization «Institute of Engineering Physics»
1^a, Bolshoy Udamny pereulok, Serpukhov, 142210, Russian Federation
E-mail: krasnova@iifmail.ru*

Svetlana N. Butova

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: zhirmgupp@mgupp.ru*

Ekaterina R. Volnova

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: volnovaer@mgupp.ru*

Julia V. Nikolaeva

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: organikamgupp@mail.ru*

Today, there is a problem of processing waste of the dairy industry, in particular whey. Whey is a valuable protein-containing product, but no more than 30% of the volume of its generation in Russia goes into processing. This article presents the results of research on enzymatic processing of whey aimed at obtaining low-lactose dairy semi-finished product. The enzyme of bacterial nature - β -galactosidase with a standard activity of 5500 BLU/g was used in the research. The influence of pH in the range from 5.5 to 6.5, temperature in the range from 40 to 45 °C, amount of β -galactosidase introduced (0.01-0.07% of serum mass) and the duration of the process (from 3 to 24 hours) on the efficiency of whey hydrolysis was studied. It was found that at pH = 6.0; temperature of 40 °C and the duration of hydrolysis of 3 hours the dosage of β -galactosidase amounting to 0.05% provides optimal residual amount of lactose in serum equal to 0.6%. The maximum reduction of lactose in serum (the mass fraction of lactose was 0.1%) was also achieved at the following parameters: pH = 6.0; temperature 40 °C, duration 24 hours, the amount of enzyme 0.07%. But the hydrolysis at these parameters was considered irrational and economically inappropriate. Thus, optimal parameters for milk whey processing using bacterial β -galactosidase were determined. A low-lactose dairy semi-finished product was obtained, which is a promising raw material for functional and specialized food products intended for people suffering lactose intolerance.

Keywords: β -galactosidase, dairy industry, serum, enzymatic hydrolysis, low-lactose semi-finished product

References

- Arsen'eva, T. P. (2010). What lactase deficiency leads to. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry], 7, 28-30.
- Afanas'eva, M. M., & Shirokova, N. V. (2019). Low-lactic fermented milk product with vegetable filler. In *Nauchnye osnovy sozdaniya i realizacii sovremennyh tekhnologiy zdorov'esberezheniya* [Scientific foundations for the creation and implementation of modern technologies for health conservation] (p.229-232).
- Bednyh, B. S., & Evdokimov, I. A. (2015). Modeling of carbohydrate composition in baby food. Scientific and practical aspects. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry], 9, 50-52.
- Berketova, L. V. (2018). Development of low lactose products. In *Zdorov'esberegayushchie tekhnologii v VUZe: sostoyanie i perspektivy* [Healthy-saving technologies in university: state and prospects]

- (p.91-95).
- Gavrilova, N. B., & Bortnikova, O. A. (2019). Prospects for the use of whey in the production technology of specialized dairy products. In *Sostoyanie i perspektivy razvitiya nailuchshih dostupnyh tekhnologij specializirovannyh produktov pitaniya* [State and development prospects of the best available technologies for specialized food products] (p.148-150).
- Golubev, A. E., Ionova, I. I., & Mashkov V. V. (2019). The relevance of expanding low-lactic fermented milk drinks. *Vestnik nauki* [Herald of Science], 4(4), 137-141.
- Dobriyan, E. I., & Zorov I. N. (2010). The main areas of application of β -galactosidase in the production of canned milk. In *Perspektivnye biokatalizatory dlya pererabatyvayushchih otraslej APK* [Promising biocatalysts for the processing industries of the agro-industrial complex] (p.354-359).
- Kalinina, E. D., Gavrilov, A. V., & Filonov, R. A. (2015). Investigation of the influence of the mass fraction of β -galactosidase and the duration of the process on the hydrolysis of milk lactose. *Izvestiya sel'skohozyajstvennoj nauki Tavridy* [News of agricultural science of Tauris], 2 (165), 98-103.
- Kisel', A. A. (2019). Plant-based alternatives to milk – a growing segment of functional beverages. In *Konkurentosposobnost' territorij* [Competitiveness of territories] (p.184-486).
- Kozlov, S. G. (2008). *Issledovanie i razrabotka tekhnologii syvorotochnyh geleobraznyh produktov s ispol'zovaniem rastitel'nogo syr'ya* [Research and development of technology for whey gel products using plant materials] [Candidate dissertation] Kemerovo.
- Kostenevich, A. A., & Sapunova, L. I. (2013). Bacterial β -galactosidases: biochemical and genetic diversity. *Trudy BGU 2013* [Proceedings of BSU 2013], 8 (1), 52-63.
- Krasnikova, L. V., Markelova, V. V., Verbickaya, N. B., & Dobrolezh, O. V. (2012). Functional whey products using antagonistically active strains of acidophilic lactobacilli. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pishchevaya tekhnologiya* [News of higher educational institutions. Food technology], 1 (325), 41-43.
- Kushugulova, A. R. (2010). Current issues of research and production of probiotic products. *Biotehnologiya. Teoriya i praktika* [Biotechnology. Theory and practice], 2, 25-31.
- Ostroumov, L. A., & Gavrilov, V. G. (2013). Biotransformation of lactose with β -galactosidase enzyme preparations. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevyh proizvodstv* [Technique and technology of food production], 1, 1-5.
- Porotova, E. YU., Hramicev, A. G., & Lodygin, A. D. (2015). The study of the patterns of enzymatic hydrolysis of lactose in secondary milk raw materials. *Izvestiya sel'skohozyajstvennoj nauki Tavridy* [News of agricultural science of Tauris], 3(166), 36-40.
- Sapunova, L. I., & Kostenevich, A. A. (2014). Extracellular polysaccharides of the yeast fungus *Cryptococcus flavescens* - producer of β -galactosidase. *Uspekhi medicinskoj mikologii* [Advances in Medical Mycology], 12, 264-266.
- Serba, E. M., Overchenko, M. B., Ignatova, N. I., Medrish, M. E., & Rimareva, L. V. (2018). Justification of the method for determining β -galactosidase activity of enzyme preparations. *Vestnik Rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki* [Bulletin of the Russian agricultural science], 6, 65-68. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2018/6/65-68>
- Sudakova, O. A., Vijtjiv, I.M., & Lasheb, S. L. (2017). Analysis of the market supply of infant formula in Moscow. *Tverskoj medicinskij zhurnal* [Tver Medical Journal], 1, 51-52.
- Tihomirova, N. A. (2016). Low-lactose and lactose-free products for children and medical nutrition. *Pererabotka moloka* [Milk processing], 3(197), 16-23.
- Chernyshova, K. S., Andreeva, A. A., & Kuznecova, D. S. (2016). Secondary lactase deficiency in the aspect of symbiotic digestion. In *Molodezh', Nauka, Medicina* [Youth, Science, Medicine] 536-537.
- Adiguzel, A., Nadaroglu, H., & Adiguzel, G. (2018). Purification and characterization of α -mannanase from *Bacillus pumilus* (M27) and its applications in some fruit juices. *Journal of Food Science and Technology-mysore*, 52(8), 5292-5298. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1609-y>
- Arnold, J. W., Simpson, J. B., Roach, J., Bruno-Barcelona, J. M., & Azcarate-Peril, M. A. (2018). Prebiotics for Lactose Intolerance: Variability in Galacto-Oligosaccharide Utilization by Intestinal *Lactobacillus rhamnosus*. *Nutrients*, 10(157), <https://doi.org/10.3390/nu10101517>
- Bosso, A., Setti, A. C. I., Tomal, A. B., Guemra, S., Morioka, L. R. I., & Suguimoto, H. H. (2019). Substrate consumption and beta-galactosidase production by *Saccharomyces fragilis* IZ 275 grown in cheese whey as a function of cell growth rate. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 21, UNSP 101335. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101335>
- Juajin, O., Nguen, Thu-Ha, Maischberger, T., Iqbal, S., Haltrich, P., & Yamabhai, M. (2011). Cloning, purification, and characterization of β -galactosidase from *Bacillus licheniformis* DSM 13. *Biotechnologically Relevant Enzymes and Proteins*, 89, 645-654. <https://doi.org/10.1007/s00253-010-2862-2>
- Kim, S., Huang, E., Park, S., Holzapfel, W., & Lim, S. D. (2018). Physiological Characteristics and

- Anti-obesity Effect of *Lactobacillus plantarum* K10. *Korean Journal for Food Science of Animal resources*, 38(3), 554-569. [https://doi.org/10.5851 / kosfa.2018.38.3.554](https://doi.org/10.5851/kosfa.2018.38.3.554)
- Lapides, R. A., & Savaiano, D. A. (2018). Gender, Age, Race and Lactose Intolerance: Is There Evidence to Support a Differential Symptom Response? A Scoping Review. *Nutrients*, 10(12). 1956. <https://doi.org/10.3390/nu10121956>
- Liu, P., Xie, J. X., Liu, J. H., & Ouyang, J. (2019). A novel thermostable beta-galactosidase from *Bacillus coagulans* with excellent hydrolysis ability for lactose in whey. *Journal of Dairy Science*, 102(11), 9740-9748. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16654>
- Mano, M. C. R., Paulino, B. N., & Pastore, G. M. (2019). Whey permeate as the raw material in galacto-oligosaccharide synthesis using commercial enzymes. *Food Research International*, 124, 78-85. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.019>
- Szilagyi, A., & Ishayek, N. (2018). Lactose Intolerance, Dairy Avoidance, and Treatment Options. *Nutrients*, 10(12), 1994. <https://doi.org/10.3390/nu10121994>
- Thum, C., Weinborn, V., Barile, D., McNabb, W. C., Roy, N. C., & Bell, J. M. L. N. D. (2019). Understanding the Effects of Lactose Hydrolysis Modeling on the Main Oligosaccharides in Goat Milk Whey Permeate. *Molecules*, 24(18), 3294. <https://doi.org/10.3390/molecules24183294>
- Zheng, X., Chu, H., Cong, Y., Deng, Y., Long, Y., Zhu, Y., Pohl, D., Fried, M., Dai, N., & Fox, M. (2015). Self-reported lactose intolerance in clinic patients with functional gastrointestinal symptoms: prevalence, risk factors, and impact on food choices. *Neurogastroenterology and Motility*, 27(8), 1138-1146. <https://doi.org/10.1111/nmo.12602>

