

HEALTH, FOOD, & BIOTECHNOLOGY

Volume 2, Issue 2
Year 2020



HFB

Health, Food and Biotechnology

№ 2 – 2020

Периодичность издания – 4 номера в год

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

Редакция

Заведующий редакцией – Косычева Марина Александровна
Выпускающий редактор – Косычева Марина Александровна
Редактор по этике – Хорохорина Галина Анатольевна
Медийный редактор – Вохминцева Елена Павловна

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.

Адрес:

125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11

Тел. +7 (499) 750-01-11*6585

E-mail: info@spfp-mgupp.ru

Официальный сайт учредителя: mgupp.ru

Официальный сайт редакции: hfb-mgupp.com

© ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», 2020.

No 2 – 2020

Periodicity of publication – 4 issues per year

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

Editorial Team

Head of Editorial Team – Marina A. Kosycheva
Editor of Issue – Marina A. Kosycheva
Ethics Editor – Galina A. Khorokhorina
Social Media and Product Editor – Elena P. Vokhmintseva

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.

Address:

11, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 125080

Tel. +7 (499) 750-01-11*6585

E-mail: info@spfp-mgupp.ru

Official web site of Founder: mgupp.ru

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

© FSBEI HE «Moscow State University of Food Production», 2020.

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
Северинов 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. Yunusova	A.Baitursynov Kostanay State University, Kazakhstan

Содержание

Редакторская статья

Косычева М.А., Хорохорина Г.А. Репозитории данных: теория и практика.....	7
---	---

Здоровье

Попов В.В., Овечкин В.С., Осокин Г.Ю., Аразов Р.С., Докшонов Г.Р., Толстых Е.О., Буланова Н.А., Явися А.М. Опыт применения тоцилизумаба для лечения цитокинового шторма у пациента с тяжелым течением вирусной пневмонии вызванной SARS-CoV-2 (Клиническое наблюдение)	12
Лощинин М.Н., Соколова Н.А., Абдуллаева А.М. Полирезистентность сероваров сальмонелл, выделенных от птицы и из продуктов птицеводства.....	22
Павловская Е.А., Лаптева Е.А. Микроархитектоника тканей плечевого сустава у собак	34

Питание

Кандрокров Р.Х., Панкратов Г.Н. Влияние гидротермической обработки на выход и качество пшенично-тритикалево-льняной муки.....	46
Самуйленко Т.Д., Акулич А.В. Исследование процесса осахаривания ржаных заварок в технологии заварного хлеба при дискретном режиме производства	60
Филатов В.В., Булавина Т.А. Социально-экономические аспекты применения инновационных технологий в производстве хлебобулочных, макаронных и кондитерских изделий	75

Биотехнологии

Кривова А.Ю., Соколова Е.Н., Горячева Е.Д., Тимофеева И.А., Серба Е.М. Исследование антиоксидантных свойств α -токоферола, кверцетина, β -ситостерина, ретинил пальмитата и разработка антиоксидантного комплекса на их основе.....	92
Литвинова Е.В., Артамонова М.П., Бухтеева Ю.М. Сравнительная оценка способов замораживания мясного сырья с различным характером автолиза.....	103

Content

Editorial

M. Kosycheva, G. Khorokhorina Data repositories: theory and practice	7
--	---

Health

E. Pavlovskaya, E. Lapteva The microarchitecture of the tissues of the shoulder joint in dogs	34
M. Loshchinin, N. Sokolova, A. Abdullaeva Polyresistance of salmonell serovov, isolated from Poultry and from poultry products.....	22
E. Pavlovskaya, E. Lapteva The microarchitecture of the tissues of the shoulder joint in dogs	34

Food

R. Kandrov, G. Pankratov Effect of hydrothermal treatment on the exit and quality of wheat-tritikal-linen flour.....	46
T. Samuilenko, A. Akulich Investigation of the process of rye brews saccharification	60
V. Filatov, T. Bulavina Socio-economic aspects of the use of innovative technologies in the production of bakery, pasta and confectionery products	75

Biotechnology

A. Krivova, Y. Sokolova, Y. Goryacheva, I. Timofeyeva, Y. Serba Research of antioxidant properties α -tocopherol, quercetin, β -sitosterol, retinyl palmitate and development of an antioxidant complex based on them.....	92
E. Litvinova, M. Artamonova, J. Bukhteeva Comparative evaluation of methods for freezing meat raw materials with a different nature of autolysis.....	103

Репозитории данных: теория и практика

Косычева Марина Александровна¹, Хорохорина Галина Анатольевна²

¹ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

² ГБОУ ВО Московской области «Академия социального управления»

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Косычевой М.А., ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, дом 11. E-mail: kosychevama@mgupr.ru

Рассматривается необходимость создания и использования репозитория данных для совместного и повторного использования данных исследователями, затрагиваются вопросы воспроизводимости исследований, увеличения вероятности цитирования. Приводятся критерии, которым должен соответствовать репозиторий. Анализируются аспекты, которые препятствуют распространению данных, среди них недоверие к данным, неправомерное использование данных другими исследователями.

Ключевые слова: репозитории данных, хранение данных, политика обмена исследовательскими данными, план управления данными

Глобальная цифровизация в современном мире не могла не затронуть область научных исследований. Скорость распространения и обмена информацией сегодня вынуждает научное сообщество внедрять политику обмена исследовательскими данными.

Под исследовательскими данными принято понимать количественную или качественную информацию, собранную ученым в ходе проведенного ими исследования. Исследовательские данные могут быть получены в результате экспериментов, наблюдений, моделирования, посредством опросов или интервью, или другими способами, или созданы на основе уже существующих данных. Данные исследований используются для подтверждения или обоснования результатов или выводов исследования. Их публикация и сохранение облегчают их повторное использование, их валидацию и способствуют воспроизводимости эксперимента (Wiley, 2018; Melero & Navarro-Molina, 2020). Говоря об исследовательских данных, подразумевают:

- первичные данные, которые были получены в результате исследования и отправлены авторами для последующей публикации;
- вторичные данные, которые были использованы авторами после анализа уже опубликованных данных;

- данные, которые были получены в результате эксперимента или наблюдений.

Политика открытого доступа к научным данным активно поддерживается Европейской комиссией и Европейским исследовательским советом (European Research Council (ERC))¹, основной принцип деятельности которых заключается в максимальной открытости исследовательских данных, за исключением тех данных, разглашение которых связано с этическими принципами.

Наиболее предпочтительным способом обмена исследовательскими данными на сегодняшний день считается загрузка наборов данных в онлайн репозитории данных и размещение ссылки на репозиторий в авторской статье (Зельдина, 2019).

Онлайн репозитории исследовательских данных – это крупные инфраструктуры баз данных, созданные для управления, совместного использования, доступа и архивирования наборов данных исследователей.² Репозитории могут быть специализированными и предназначенными для агрегирования дисциплинарных данных или более обобщенных данных в крупных областях знаний, таких как естественные или социальные науки. Онлайн-репозитории могут также объединять

¹ Европейский исследовательский совет поддерживает передовые, междисциплинарные исследования и новаторские идеи в новейших областях научного знания с применением нетрадиционных и инновационных подходов. Миссия ERC состоит в том, чтобы поощрять исследования высочайшего качества в Европе за счет конкурентного финансирования и поддерживать ориентированные на ученых передовые исследования во всех областях научных изысканий на основе передового научного опыта. <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/european-research-council>

² Brook, C. (December 5, 2018). What is a Data Repository? <https://digitalguardian.com/blog/what-data-repository>

данные экспертов на глобальном или местном уровне, взаимовыгодно собирая исследовательские данные университета или консорциума университетов. Идея их создания заключается в том, что совместное использование данных позволяет ученым углубить свои исследования, получить более обоснованные выводы, проводить сравнение собственных данных и данных из репозитория. Обмен данными и их совместное использование способствуют углублению исследовательских траекторий, появлению новых исследовательских трендов. Репозиторий позволяет исследовать, доказывать, проверять, способствовать прозрачности и подтверждать результаты исследователя другими экспертами за пределами опубликованной рецензируемой научной статьи. Размещение исследовательских данных в Интернете обеспечивает мгновенный доступ для группы исследователей, рассредоточенных по всему миру, для обмена, понимания и обобщения результатов их экспериментов. Кроме того, хранилища данных также предоставляют возможность ознакомиться с данными исследований, гипотезы которых не подтвердились. Тем самым, другие исследователи, ознакомившись с сутью «неудавшегося эксперимента», не тратят время на повторение ошибок, но получают возможность изначально строить исследование, избегая ложных посылов. Как следствие, позитивное отношение экспертов к открытому обмену данными посредством из размещения в репозиториях неуклонно растет.³

Репозитории данных делают возможным долгосрочное архивирование и сохранение данных путем приема / загрузки различных типов данных. Это могут быть как простые файлы Excel, SPSS, так и более специфические дисциплинарные форматы. В функционал репозитория как правило включена стратегия создания постоянных ссылок на данные для создания возможности их цитирования и мгновенного доступа. Иными словами, исследователи получают прямую ссылку на свои данные и вспомогательные файлы как для ее размещения в опубликованной статье. В случае использования этих данных другими исследователями, владелец данных получает цитирования. Обычно возможность цитирования обеспечивается с помощью идентификатора цифрового объек-

та (DOI) или универсального цифрового отпечатка (UNF), который позволяет впоследствии связывать данные и делает возможным взаимодействие и объединение архивов данных. В архивах данных также могут храниться пара-текстовые исследовательские материалы для последующего архивирования и обмена. Файлы данных могут включать электронные таблицы, полевые заметки, инструкции для лабораторий, мультимедийные материалы и специальные программы для анализа и работы с сопутствующими наборами данных.

Траектория инфраструктуры репозитория данных имеет свой жизненный цикл. Он начинается с эксперимента или исследовательского проекта и начального сбора данных, за которыми следуют загрузка, каталогизация, создание схемы дисциплинарных метаданных и присвоение DOI и / или UNF.⁴ Репозитории позволяют реализовать мгновенный поиск, извлечение, связывание и загрузку данных. По мере развития хранилищ данных они позволяют синтезировать наборы данных и поля данных, чтобы облегчить понимание, обнаружение и проверку.

Согласно политике обмена исследовательскими данными (Зельдина, 2019) авторы могут обращаться к двум ресурсам для поиска надежных репозиториях данных – это FAIRsharing.org и Repository Selector.⁵ В них размещены репозитории, соответствующие ряду критериев, в том числе предоставления открытого доступа к опубликованным данным и обеспечения их долговременного хранения. Как правило, редакции журналов и издательств могут самостоятельно отбирать репозитории и включать их в список рекомендуемых. Крупные издательства, например Taylor & Francis, предлагают своим авторам специальный сервис по руководству и размещению данных⁶. Springer Nature также рекомендует использовать проверенный список репозиториях в своем архиве⁷. В тех случаях, когда невозможно найти репозиторий для конкретного предмета, рекомендуется воспользоваться репозиториями общего назначения. Самыми распространенными считаются:

- 4TU.Datacentrum,
- ANDS contributing repositories,

³ Uzwyshyn, R. (April, 2016). Research Data Repositories: The What, When, Why, and How. <https://www.infotoday.com/cilmag/apr16/Uzwyshyn--Research-Data-Repositories.shtml>

⁴ Там же

⁵ Repository Finder, пилотный проект Enhanced FAIR Data Project, возглавляемый Американским геофизическим союзом (AGU) в партнерстве с DataCite и сообществом ученых о Земле, космосе и окружающей среде, оказывает помощь в поиске подходящего репозитория для хранения исследовательских данных. <https://repositoryfinder.datacite.org/>

⁶ Data Repositories. <https://authorservices.taylorandfrancis.com/data-sharing-policies/repositories/#>

⁷ Recommended Data Repositories. <https://www.nature.com/sdata/policies/repositories>

- Dryad Digital Repository,
- Figshare,
- Harvard Dataverse,
- Mendeley Data,
- Open Science Framework,
- Zenodo,
- Code Ocean.

Список критериев соответствия данных для их включения в репозитории данных должен быть прописан в политике журнала, равно как и механизм включения новых репозиторий в рекомендательный список.

Итак, с точки зрения соблюдения международных рекомендаций⁸, выделены следующие критерии, которым должен соответствовать репозиторий, используемый авторами для хранения наборов данных:

- возможность загрузки наборов данных должна быть открыта для всех ученых, чьи исследования соответствуют тематике и техническим условиям репозитория, без каких-либо ограничений;
- репозиторий обязан предоставлять стабильный персональный идентификатор для всех загружаемых наборов данных (например, DOI);
- репозиторий должен предоставлять возможность распространять наборы данных под лицензией CC0 или CC BY (либо под лицензиями с аналогичными условиями) без ограничений на создание производных произведений или коммерческое использование;
- репозиторий должен бесплатно и без регистрации предоставлять доступ к наборам данных;
- репозиторий должен иметь долгосрочный план развития (включая финансирование), что служит гарантией сохранения наборов данных в будущем;
- репозиторий должен быть зарегистрирован в FAIRsharing.org;

репозиторий должен быть востребован в научном сообществе, о чем свидетельствуют размещенные наборы данных для большого количества опубликованных статей⁹.

Как показывает международная практика государственных и частных исследовательские ор-

ганизации и исследовательские институты все чаще требуют от исследователей разработки планов управления данными (Data Management Plan). План управления данными предполагает описание жизненного цикла данных, собранных, обработанных и / или созданных во время проведения исследовательского проекта. Это документ, который идентифицирует и описывает такие вопросы, как процесс сбора данных, стандарты метаданных, используемые в их описании, и сохранение данных, а также отражает изменения или модификации, сделанные в ходе исследовательского проекта (Melero & Navarro-Molina, 2020). Таким образом, план управления данными предоставляет исчерпывающую информацию о данных и контексте, в котором они были созданы. Существует множество ресурсов для поддержки создания плана управления данными, например, для российских ученых Сибирское отделение РАН разработало веб-навигатор SciGuide, который помогает вести поиск качественных научных ресурсов^{10,11}.

Следует отметить, что существуют определенные факторы, которые могут препятствовать открытому обмену данными посредством репозиторий. К их числу относятся как технические факторы (Michener, 2015), так и человеческий фактор – сопротивление, конкуренция, привычки и т.д. (Fusi, Manzella, Louafi, & Welch, 2018). Проведенный в 2015 году опрос (Fecher, Friesike, Hebing, Linek, & Sauermann, 2015) выявил, что основным препятствием на пути к размещению данных в открытом доступе стала необходимость загрузить полученные в ходе исследования данные в репозиторий параллельно с направлением рукописи в редакцию журнала (то есть, до момента опубликования статьи). Авторы предпочитают сначала опубликовать статью, а потом делиться данными с научным сообществом. 80% респондентов выразили опасение, что другие исследователи могут опубликовать их данные в своих статьях раньше реальных авторов. Отсюда, очевидна необходимость разработки прозрачной процедуры совместного пользования данными. Исследователи считают, что, если бы у них была возможность решать, как и когда их данные будут повторно использоваться и кем, они предоставляли бы доступ к собственным данным значительно охотнее. Вторым препятствием выступает необходимость тратить усилия и время на размещение исследовательских данных в репозитории.

⁸ THE FAIR DATA PRINCIPLES. <https://www.force11.org/group/fairgroup/fairprinciples>

⁹ PLoS Repository Inclusion Criteria. <https://journals.plos.org/plosone/s/data-availability#loc-repository-inclusioncriteria>

¹⁰ SciGuide. Научные ресурсы в открытом доступе. <http://prometeus.nsc.ru/sciguide/page02.ssi>

¹¹ Научные данные (Research data. Репозитории. Навигаторы). <http://www.spsl.nsc.ru/resursy-gpntb-so-ran/big-data-repozitorii/>

Важным инструментом соблюдения этических норм и авторских прав, по-прежнему остается цитирование. Существуют два основных подхода к отражению ссылок на наборы данных в статье: в отдельном разделе для списка наборов данных или в основном списке литературы. Отдельный раздел, включающий ссылки на наборы данных, более нагляден, однако включение ссылок в основной список литературы помогает приравнять ссылки на наборы данных к обычным ссылкам и упростить процесс их обработки (Cousijn et al., 2018). Ссылка на набор данных должна содержать следующую минимальную информацию (автор, год, название, DOI (или другой постоянный идентификатор), название репозитория).

Таким образом, репозитории заняли одно из ведущих мест в современной системе научной коммуникации, позволяя ученым обмениваться, распространять и использовать данные друг друга.

Литература

- Зельдина, М.М. (2019). *Политика обмена исследовательскими данными (Data Sharing Policy)*. Некоммерческое партнерство «Национальный электронно-информационный консорциум». <https://dx.doi.org/10.24108/978-5-6040408-7-4>
- Cousijn, H., Kenall, A., Ganley, E., Harrison, M., Kernohan, D., Lemberger, T., Murphy, F., Polischuk, P., Taylor, S., Martone, M. & Clark, T. (2018). A data citation roadmap for scientific publishers. *Scientific Data*, 5, 180259. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.259>
- Fecher, B., Friesike, S., Hebing, M., Linek, S. & Sauermann, A. (2015). A reputation economy: results from an empirical survey on academic data sharing. *DIW Discussion Papers*, 1454. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2568693>
- Fusi, F., Manzella, D., Louafi, S. & Welch, E. (2018). Building global genomics initiatives and enabling data sharing: insights from multiple case studies. *OMICS*, 22(4), 237–247. <https://dx.doi.org/10.1089/omi.2017.0214>
- Melero, R. & Navarro-Molina, C. (2020). Researchers' attitudes and perceptions towards data sharing and data reuse in the field of Food Science and Technology. *Learned publishing*, 33(2), 163–179. <https://doi.org/10.1002/leap.1287>
- Michener, W. K. (2015). Ecological data sharing. *Ecological informatics*, 29, 33–44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.06.010>
- Wiley, C. (2018). Data sharing and engineering faculty: an analysis of selected publications. *Science & Technology Libraries*, 37(4), 409419. <https://dx.doi.org/10.108%194262X.2018.1516596>

Data repositories: theory and practice

Marina A. Kosycheva¹, Galina A. Khorokhorina²

¹ *Moscow State University of Food Production*

² *Academy of Public Administration*

Correspondence concerning this article should be addressed to Marina A. Kosycheva, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation.
E-mail: kosychevama@mgupp.ru

The need to create and use data repositories for sharing and reuse of data by researchers is considered, issues of reproducibility of research, increasing the likelihood of citation are discussed. Criteria the repository must meet are provided. The aspects that hinder the dissemination of data are analyzed, among them data mistrust and misuse of data by other researchers.

Keywords: data repositories, data storage, data sharing policy, data management plan

References

- Zeldina, M.M. (2019). *Politika obmena issledovatel'skimi dannymi* [Data Sharing Policy]. Non-profit partnership "National electronic information consortium". <https://dx.doi.org/10.24108/978-5-6040408-7-4>
- Cousijn, H., Kenall, A., Ganley, E., Harrison, M., Kernohan, D., Lemberger, T., Murphy, F., Polischuk, P., Taylor, S., Martone, M. & Clark, T. (2018). A data citation roadmap for scientific publishers. *Scientific Data*, 5, 180259. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.259>
- Fecher, B., Friesike, S., Hebing, M., Linek, S. & Sauermann, A. (2015). A reputation economy: results from an empirical survey on academic data sharing. *DIW Discussion Papers*, 1454. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2568693>
- Fusi, F., Manzella, D., Louafi, S. & Welch, E. (2018). Building global genomics initiatives and enabling data sharing: insights from multiple case studies. *OMICS*, 22(4), 237–247. <https://dx.doi.org/10.1089/omi.2017.0214>
- Melero, R. & Navarro-Molina, C. (2020). Researchers' attitudes and perceptions towards data sharing and data reuse in the field of Food Science and Technology. *Learned publishing*, 33(2), 163–179. <https://doi.org/10.1002/leap.1287>
- Michener, W. K. (2015). Ecological data sharing. *Ecological informatics*, 29, 33–44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.06.010>
- Wiley, C. (2018). Data sharing and engineering faculty: an analysis of selected publications. *Science & Technology Libraries*, 37(4), 409419. <https://dx.doi.org/10.1080/194262X.2018.1516596>

Опыт применения тоцилизумаба для лечения цитокинового шторма у пациента с тяжелым течением вирусной пневмонии вызванной SARS-CoV-2 (Клиническое наблюдение)

Попов Владимир Васильевич^{1,2}, Овечкин Вячеслав Сергеевич¹,
Осокин Геннадий Юрьевич¹, Аразов Рафаэль Сазатович¹,
Докшонов Герман Русланович¹, Толстых Елена Олеговна¹,
Буланова Наталия Александровна^{1,3}, Явися Андрей Михайлович¹

¹ ЧУЗ «Клиническая больница «РЖД-Медицина» имени Н.А. Семашко» г. Москва, Россия

² ФГБОУ ВО «МГУПП» Медицинский институт непрерывного образования» г. Москва, Россия

³ ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента РФ, г. Москва, Россия

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Попову В.В. ЧУЗ «Клиническая больница "РЖД-Медицина" имени Н.А. Семашко», адрес: ул. Ставропольская, вл. 23, корп. 1, Москва, РФ. E-mail: clinpharmcb6@mail.ru

Представлено клиническое наблюдение эффективного применения тоцилизумаба для лечения «цитокинового шторма» у пациента с тяжелым течением острого респираторного инфекционного заболевания вызванного SARS-CoV-2. Пациент К., 57-лет с быстрым прогрессированием пневмонии, вызванной SARS-CoV-2 поступил в клинику ЧУЗ «КБ "РЖД-Медицина" им. Н.А. Семашко» 8 мая 2020 г. с жалобами на лихорадку до 38,5°C в течение 5 дней, кашель и слабость. В течение 10 суток стационарного лечения состояние пациента оставалось стабильно тяжелым, усилилась одышка (SpO₂ 90%, на фоне терапии кислородом), беспокоил сухой кашель, лихорадка до 38,5°C. В связи с нарастанием воспалительных явлений, проявившихся повышением С-реактивного белка (СРБ) > 75 мг/л, лихорадкой > 38°C, снижением SpO₂ < 90%, лейкопенией < 1,0 × 10⁹/л, повышением уровня ферритина более 1000 нг/мл в сочетании с поражением легочной ткани – распространенностью 70% (КТ3) по данным компьютерной томографии пациенту однократно внутривенно введен блокатор рецепторов интелейкина – 6 тоцилизумаб в дозе 160 мг. В последующие 48 часов температура тела пациента нормализовалась, SpO₂ повысилась до 94%, существенно улучшились значения лабораторных показателей. Эффективность тоцилизумаба может быть объяснена блокированием интерлейкин-6-ассоциированного воспалительного ответа организма и требует дальнейшего изучения в рандомизированных клинических исследованиях.

Ключевые слова: COVID-19, SARS-CoV-2, цитокиновый шторм, тоцилизумаб, клинический случай

Введение

В декабре 2019 г. в городе Ухань, провинция Хубэй, Китайская Народная Республика, произошла вспышка острой респираторной вирусной инфекции (ОРВИ), вызванной неизвестным коронавирусом. Возбудителю инфекции – РНК-содержащему вирусу семейства Coronaviridae, присвое-

но название SARS-CoV-2. Заболевание определено ВОЗ как инфекция, вызванная SARS-CoV-2 или инфекция COVID-19 (COVID-19). В 2020 г. SARS-CoV-2 распространился за пределы континентального Китая вызывая вспышки ОРВИ в странах Западной Европы, США, Центральной, Восточной Европы и других странах. Учитывая масштабное и стремительное распространение SARS-CoV-2

11 марта 2020 г. ВОЗ объявила о начале пандемии COVID-19^{1,2}.

У человека COVID-19 протекает по разному – от носительства и легких симптомов ОРВИ до двусторонней пневмонии, тяжелой дыхательной недостаточности, развития острого респираторного дистресс синдрома (ОРДС), полиорганной недостаточности, сепсиса и шока³. В основе развития тяжелых осложнений COVID-19 лежит так называемый «цитокиновый шторм», при котором из-за дисрегуляции иммунной системы человека, вызванной вирусом SARS-CoV-2, происходит аберрантная активация Т лимфоцитов и макрофагов, иммунная система атакует собственные органы – преимущественно легкие, сердечно-сосудистую систему, почки (Coperchini et al., 2020; Ye et al. 2020; Porter et al. 2018). Развивается аутоиммунный воспалительный процесс, приводящий к полиорганной недостаточности. При неблагоприятном течении ОРВИ, вызванной SARS-CoV-2 клинические признаки «цитокинового шторма» появляются на 7–14 день болезни. К факторам риска его развития относят возраст старше 60 лет, мужской пол, избыточную массу тела, сопутствующие заболевания, в том числе артериальную гипертензию и сахарный диабет 2 типа. Отмечается негативная динамика лабораторных показателей: снижение уровня гемоглобина, тромбоцитов, лейкоцитов, нейтрофилов, на фоне прогрессирующего роста маркеров воспаления: С реактивного белка (СРБ), фибриногена, провоспалительных цитокинов – интерлейкина (ИЛ) –1 β, ИЛ-6, ИЛ-10, фактора некроза опухолей α (TNF –α)^{4,5}.

Учитывая патогенетические механизмы развития «цитокинового шторма», для антицитокиновой терапии этого состояния при COVID-19 были предприняты попытки применения моноклональных антител – селективных антагонистов цитокиновых рецепторов ИЛ-6. Эти препараты широко используются для лечения ряда системных заболеваний соединительной ткани, в частности ревматоидного артрита, гигантоклеточного артериита, полиартикулярного ювенильного идиопатического артрита, системного ювенильного идиопатического артрита. К возможным нежелательным эффектам терапии относят: развитие бактериальных инфекций, повы-

шение уровня печеночных трансаминаз, холестерина, лейкопении, нейтропении, перфорацию органов желудочно-кишечного тракта, повышение артериального давления. В РФ к клиническому применению одобрены два ингибитора рецепторов ИЛ-6: тоцилизумаб (Актепра®, Ф. Хоффманн-Ля Рош (гуманизированное моноклональное антитело) и сарилумаб (Кевзара®, SANOFI-AVENTIS GROUPE (человеческое моноклональное антитело)).

Для лечения пациентов с COVID-19 эти лекарственные средства используются вне инструкции по медицинскому применению. Как препарат упреждающей противовоспалительной терапии COVID-19 у взрослых, тоцилизумаб был включен в 7-й обновленный план диагностики и лечения COVID-19 Китайской Народной Республики и Временные методические рекомендации «Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19)» Версия 6, 2020 МЗ РФ^{6,7}. В настоящее время опубликованы противоречивые данные об эффективности тоцилизумаба для лечения пациентов при среднетяжелом и тяжелом течении COVID-19 с ОРДС и выраженными, жизнеугрожающими проявлениями «цитокинового шторма» (Zhou et al., 2020; Xu et al., 2020; Luo et al., 2020; Radbel et al., 2020).

Частное учреждение здравоохранения «Клиническая больница «РЖД-Медицина» им. Н.А. Семашко» (Клиника) было перепрофилировано для лечения больных COVID-19 в апреле 2020 г. С апреля по июль 2020 г. тоцилизумаб применялся у 6 пациентов с тяжелым течением COVID-19. Представленный клинический случай демонстрирует опыт эффективного применения тоцилизумаба для лечения «цитокинового шторма» у пациента с тяжелым течением ОРВИ, вызванной SARS-CoV-2.

Клинический случай

Пациент К., 57 лет, поступил в Клинику 8 мая 2020 года с жалобами на лихорадку до 38,5°C в течение пяти дней, кашель, слабость. Считает себя больным с 3 мая, лечился дома (триазавирин 750 мг/сут., 5 дней, парацетамол) под наблюдени-

¹ Временные методические рекомендации «Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19)» (2020). Версия 6.

² 7-й обновленный план диагностики и лечения COVID-19 (2020).

³ Временные методические рекомендации «Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19)» (2020). Версия 6.

⁴ Там же

⁵ 7-й обновленный план диагностики и лечения COVID-19 (2020).

⁶ Временные методические рекомендации «Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19)» (2020). Версия 6.

⁷ 7-й обновленный план диагностики и лечения COVID-19 (2020).

ем врача поликлиники. Состояние не улучшалось, лихорадка сохранялась, кашель усиливался. 08 мая в поликлинике была проведена мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) органов грудной полости, где определялась картина двусторонней, предположительно вирусной, пневмонии с поражением 25–50% паренхимы правого легкого и 25% левого легкого, соответствующая умеренной степени тяжести пневмонии – КТ 2.⁸

В тот же день пациент был госпитализирован в инфекционное отделение Клиники бригадой скорой медицинской помощи.

Пациент проживает вместе с супругой, ранее перенесшей ОРВИ, которая проявлялась лихорадкой до 38,5°C, сухим кашлем, чувством заложенности носа, слабостью. Методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) у нее был выявлен РНК вируса SARS-CoV-2. Заболевание протекало в легкой форме, одышка и рентгенологические признаки поражения легких отсутствовали, лечилась дома.

Из анамнеза пациента К.: перенес острый инфаркт миокарда передней стенки левого желудочка с подъемом сегмента ST 15 июня 2016 г., при коронароангиографии была выявлена острая окклюзия передней межжелудочковой артерии, проведена реканализация, баллонная ангиопластика и стентирование. На ЭКГ от 15 июня 2016 г. элевация ST V2-V5, QS V2-V3.

При поступлении состояние средней степени тяжести, частота дыхательных движений (ЧДД) 18 в минуту, уровень SpO₂ 94%. АД 110/70 мм рт.ст. ЭКГ от 08 мая: ритм синусовый, умеренная тахикардия – 90 уд. в мин. ЭКГ признаки рубцовых изменений миокарда передне-перегородочной области (QS в отв. V2). Гипертрофия левого желудочка.

По данным лабораторных исследований от 09 мая определено увеличение СРБ до 32,91 мг/л. (табл.).

Сделан забор мазка из носоглотки и 11 мая получен позитивный ПЦР тест на инфекцию SARS-CoV-2. Результат ПЦР теста на вирус пандемического гриппа A(H1N1) был отрицательный.

Назначено лечение: азитромицин – по 500 мг/день – 5 дней, плаквенил: 1 день – 800 мг., за-

тем 400 мг/сутки – 6 дней, парацетамол: 500 мг × 4 раза в течение дня, при повышении температуры выше 38°C, бифиформ – 6 капсул/сутки × 6 дней, флуимуцил – 600 мг 1 раз утром, омепразол – 40 мг в течение дня, клексан – 0,4 мл в/м 1 раз в день, кислородотерапия 5 л/мин. На десятые сутки стационарного лечения (17 мая, 15-й день заболевания) состояние пациента осталось стабильно тяжелым, нарастала одышка, SpO₂ на фоне терапии кислородом составляла 90%, сохранялись сухой кашель и лихорадка до 38,5°C. Отмечалась отрицательная динамика данных лабораторных исследований относительно результатов, полученных при поступлении: увеличение СРБ до 198,46 мг/л, СОЭ до 54 мм/ч, ферритина до 1247 нг/мл, абсолютное количество лимфоцитов составляло $0,98 \times 10^9 / л$, активность лактатдегидрогеназы увеличилась до 516 ЕД/л, концентрация Д-димера до 2161 нг/мл (табл.). Картина МСКТ органов грудной клетки от 15 мая (рис.) свидетельствовала о прогрессировании заболевания, распространении зон уплотнения легочной ткани по типу «матового стекла» и участков консолидации с преимущественным периферическим поражением легких, увеличении объема поражения легких до 70%. Таким образом, положительного ответа на проводимую консервативную терапию получено не было. Около 22 часов 17 мая у пациента появились жалобы на давящие боли и жжение за грудиной в покое, без иррадиации, длились до 20 мин. На ЭКГ: Элевация сегмента ST в отв. II, III, AVF. Тропонин Т – 189,6 нг/л. В 10 утра 18 мая – рецидив ангинозных болей давящего характера, длительностью более часа. Назначен нитроминт 0,4 мг – сублингвально по 2 дозы, с интервалом 5 мин. – без положительного эффекта. На ЭКГ – синусовый ритм, нарушение внутрижелудочковой проводимости, признаки рубцовых изменений миокарда в передне-перегородочной области. При сравнении с ЭКГ при поступлении регистрируется незначительный подъем сегмента ST в отв. II, III, AVF. Тропонин Т – 660,1 нг/л. На фоне стабильных гемодинамических показателей – АД 110/70 мм рт.ст., ЧСС – 100 уд. в мин. однократно назначено биспролол 5 мг, тикагрелор 180 мг, тромбоасс 500 мг, оксигенотерапия 5 л/мин. Болевой синдром купирован.

Результаты эхокардиографии от 18 мая – без динамики относительно последнего исследования от 16 июня 2016 года. Заключение: Аортосклероз.

⁸ Классификация по степени выявленных КТ изменений. Приказ Департамента здравоохранения г. Москвы от 8 апреля 2020 года N 373 «Об утверждении алгоритма действий врача при поступлении в стационар пациента с подозрением на внебольничную пневмонию, коронавирусную инфекцию (COVID-19), порядка выписки из стационара пациентов с внебольничной пневмонией, коронавирусной инфекцией (COVID-19), для продолжения лечения в амбулаторных условиях (на дому)», с изменениями на 30 апреля 2020 года. Приложение 3. «Оценка тяжести пневмонии по данным КТ»

Таблица

Динамика показателей лабораторных и инструментальных исследований

Показатель, ед. измерения	09 мая	15 мая	17 мая	21 мая	27 мая	Нормальные значения
	До тоцилизумаба			После тоцилизумаба		
День заболевания	7-й	13-й	15-й	19-й	25-й	
Лейкоциты, × 10 ⁹ /л	6,6	8,01	7,63	4,2	4,34	3,89–9,23
Тромбоциты, × 10 ⁹ /л	219	219	342	492	310	146–421
Нейтрофилы (абс*), × 10 ⁹ /л	–	6,31	5,71	2,44	1,73	1,78–6,04
Лимфоциты (абс),× 10 ⁹ /л	–	1,06	0,98	1,18	1,81	1,24–3,05
Тромбокрит,%	0,1	0,25	0,38	0,51	0,33	0,16–0,39
ЛДГ*, Ед/л	267	624	516	426	264	135–225
АСТ*, Ед/л	30,2	56,5	102,5	76,9	46	0–40
АЛТ*, Ед/л	28,9	25,9	70,8	73,2	70,6	0–41
Креатинин, мкмоль/л	115	77	68	76	76	62–106
СРБ*, мг/л	32,91	196,67	198,46	52,1	2,7	0–5
СОЭ*, мм/ч	10	19	54	50	30	2–20
Ферритин, нг/мл	416,4	1 215	1 247	1 381	433,5	30–400
Тропонин Т, нг/л	–		189,6	629,9	95,87	0–24,9
Д-димер, нг/мл	435	971	2161	5687	430	0–500
QTc*, мс	421	459	466	462	419	
SpO ₂ * при кислородной поддержке,%	95	98	90	94	97	

Примечание. * абс – абсолютное количество; АСТ – аспаратаминотрансфераза; АЛТ – аланинаминотрансфераза; ЛДГ – лактатдегидрогеназа; СРБ – С-реактивный белок; СОЭ – скорость оседания эритроцитов; QTc – интервал QT, скорректированный по формуле Базетта; SpO₂ – сатурация кислородом артериальной крови.

Гипокинез и рубцовые изменения миокарда левого желудочка в передне-перегородочной области. Гипертрофия миокарда левого желудочка. Фракция выброса – 43%. Дилатация и снижение глобальной сократительной способности миокарда левого желудочка.

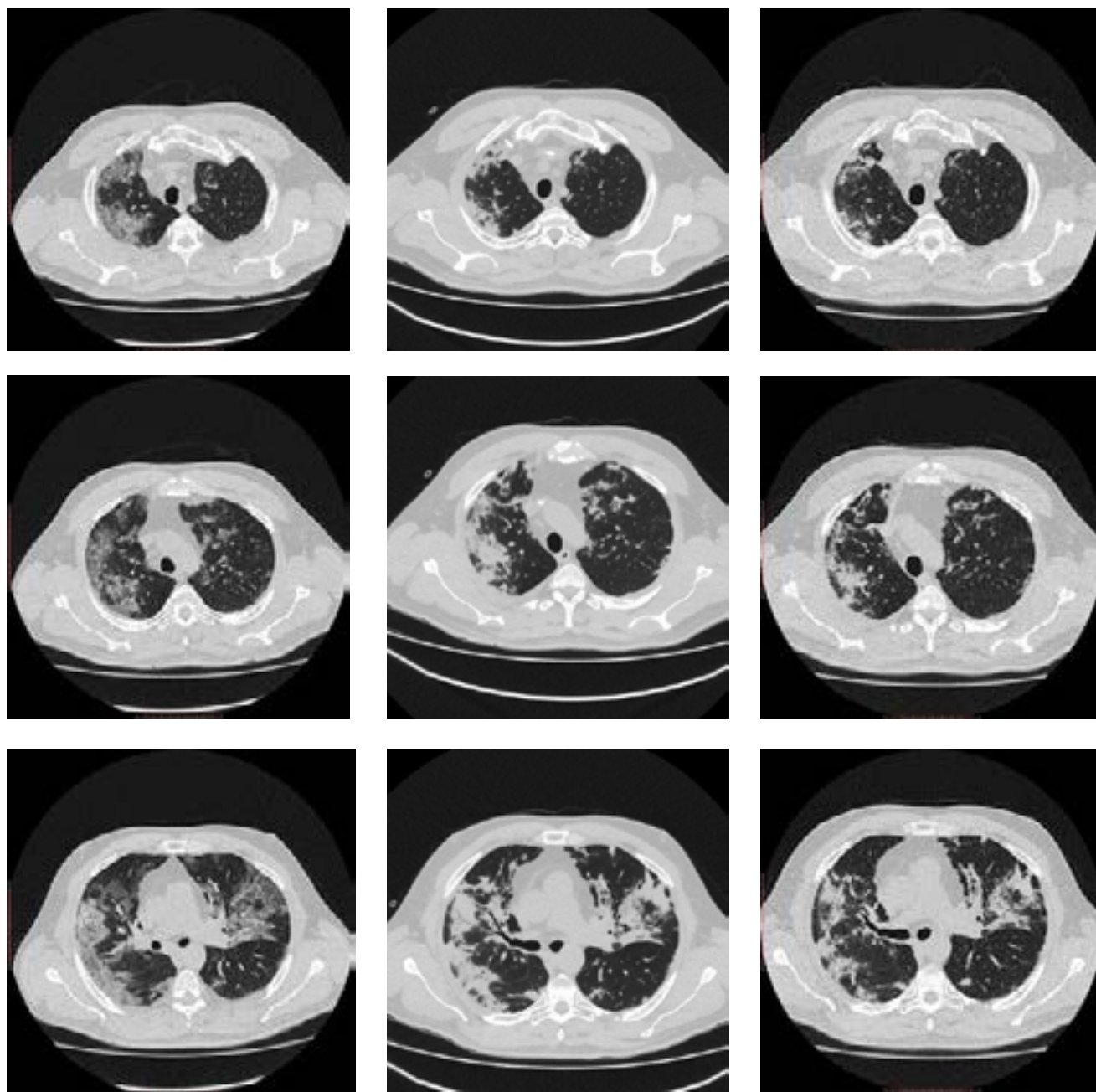
Учитывая жалобы пациента, клиническую картину, анамнез заболевания, признаки острого повреждения (нарастание уровня тропонина Т), изменения на ЭКГ состояние расценено как острый коронарный синдром с элевацией сегмента ST. В 11:45 пациенту проведена экстренная коронароангиография которая показала многососудистое, многоуровневое поражение коронарных артерий, окклюзию в среднем сегменте задней нисходящей артерии (артерия около 1,5 мм). Ствол левой коронарной артерии проходим, в терминальном отделе стеноз 80% (по Medina 1-1-1), передняя нисходящая артерия – типично расположена, проходима, устьевой стеноз 50–60%, ранее установленный стент проходим, в проксимальном сегменте стеноз 50%. Огибающая ветвь левой коронарной артерии –

типично расположена, проходима, устьевой стеноз 85%, в среднем сегменте стеноз 80%. Правая коронарная артерия типично расположена, в проксимальном и среднем сегментах диффузно изменена, с максимальным стенозированием 85%. Задняя нисходящая артерия малого диаметра в среднем сегменте окклюзирована.

Принимая во внимание малый диаметр окклюзированной артерии и отсутствие болевого синдрома, стабильность гемодинамических показателей пациента консилиумом в составе рентгенэндоваскулярного хирурга, реаниматолога, кардиолога принято решение о консервативной терапии с последующей консультацией сердечно-сосудистого хирурга. Продолжено ранее начатое лечение, назначен аторвастатин 40 мг/день, престариум 5 мг/день с клиническим улучшением, ангинозные боли не рецидивировали. ЭКГ от 19 мая при сравнении с 18 мая: ухудшение процессов реполяризации миокарда в нижней стенке, инверсия зубца Т в отв. II, III, AVF, сохраняется незначительный подъем сегмента ST.

Рисунок

Мультиспиральная компьютерная томография пациента в динамике, за исключением данных от 8 мая, не представленных пациентом



Примечание.* А- данные от 15 мая, определяется прогрессирование заболевания, распространение зон «матового стекла». Объем поражения 70%. Отрицательная динамика по сравнению с данными МСКТ от 8 мая (диск не представлен); Б — данные от 23 мая, четвертые сутки после лечения тоцилизумабом. Определяется регресс заболевания, положительная динамика, редукция значительного количества зон «матового стекла», формирование участков консолидации. Объем поражения 60%; В – данные от 28 мая, положительная динамика, частичная регрессия инфильтративных изменений, объем поражения 52%.

На 19 день болезни у пациента не отмечено улучшения в клиническом течении вирусной пневмонии, отмечено нарастание воспалительных явлений, сопровождающихся повышением СРБ > 75 мг/л, лихорадкой > 38°C, снижением SpO₂ <

< 90%, лейкопенией < 1,0 × 10⁹/л, повышением ферритина более 1000 нг/мл в сочетании с поражением легочной ткани – распространенностью 70% (КТЗ) по данным МСКТ. В связи с этим было принято решение об однократном назначе-

нии 160 мг. тоцилизумаба в качестве упреждающей противовоспалительной терапии. Препарат был введен внутривенно 19 мая. Лечение пациент перенес хорошо. Дополнительно назначено: цефтриаксон-акос 2000 мг в/в 1 раз в течение пяти дней, аскорбиновая к-та р-р 5% 2мл – по 10 мл в/в 1 раз в течение дня. В последующие 48 часов наблюдения у пациента отмечено исчезновение лихорадки, повышение SpO₂ до 94%, снижение концентрации СРБ до 52,1 мг/л; СОЭ до 50 мм/ч, лактатдегидрогеназы до 426 ЕД/л., число лейкоцитов составило $4,2 \times 10^9/\text{л}$, абсолютное количество лимфоцитов составляло $1,18 \times 10^9/\text{л}$. Самочувствие пациента значительно улучшилось, сохранялись жалобы на периодически возникающее слабо выраженное чувство нехватки воздуха и слабость. Значения тропонина, ферритина и Д-димера продолжали нарастать (табл.). Через 4 дня после лечения тоцилизумабом на МСКТ было отмечено разрешение значительного количества участков по типу «матового стекла», уменьшение объема поражения до 60% (рис.). На ЭКГ от 23 мая в сравнении с ЭКГ от 19 мая – без динамики.

Указанные выше изменения были расценены как положительная динамика течения заболевания, что подтвердилось в дальнейшем постепенным, в течение недели, улучшением состояния пациента и результатов лабораторных тестов, отсутствием лихорадки, увеличением SpO₂ до 97%, что позволило завершить кислородную терапию. При контрольной МСКТ органов грудной клетки от 28 мая отмечена положительная динамика, уменьшение распространенности и интенсивности зон консолидации легких справа и слева, снижение объема поражения до 52%.

Повторное определение ПНК SARS-CoV-2 показало отрицательный результат. 28 мая пациент выписан из стационара в удовлетворительном состоянии, при выписке – жалоб нет. Уровень SpO₂: 96%.

Обсуждение

В настоящей статье приведен клинический случай SARS-CoV-2 индуцированного «цитокинового шторма», который был успешно купирован однократным применением относительно небольшой дозы тоцилизумаба. В течение 48 часов после применения препарата произошло значительное улучшение состояния пациента, регресс симптомов заболевания, исчезновение лихорадки, повышение SpO₂ и практически трехкратное снижение концентрации СРБ. После лечения тоцилизумабом отмечено кратковременное увеличение уровней

тропонина Т, ферритина и Д-димера, с последующим постепенным снижением и нормализацией. На фоне полного разрешения клинических симптомов к 8-му дню после лечения тоцилизумабом отмечалась лишь частичная редукция инфильтративных изменений легких, соответственно, при применении этого препарата улучшение клинической картины и лабораторных маркеров опережало динамику данных МСКТ.

Повышение уровня Д-димера, тропонина, ферритина, СРБ, лактатдегидрогеназы и ИЛ-6 ассоциируется с неблагоприятным прогнозом у пациентов с тяжелым течением COVID-19 пневмонии (Zhou et al., 2020).

Вполне возможно, что снижение уровня этих показателей на фоне лечения может повышать вероятность благоприятного прогноза. Эффективность тоцилизумаба у пациентов с COVID-19 может быть объяснена блокированием ИЛ 6- ассоциированного воспалительного ответа организма и связанного с ним высвобождения цитокинов.

Приведенные в настоящей работе данные совпадают с результатами исследований Х. Ху и соавт., назначившим тоцилизумаб пациентам с тяжелой и критической формой COVID-19 в дополнение к основной терапии (Xu et al., 2020). В первые сутки после применения препарата температура тела всех пациентов нормализовалась и оставалась стабильной, снизилась потребность пациентов в кислороде. У большинства пациентов улучшение томографической картины легких как и в нашем случае происходило с некоторым запаздыванием относительно нормализации клинических данных после приема тоцилизумаба. Эти различия авторы связывают с тем, что для разрешения инфильтративных изменений паренхимы легких требуется более длительное время. Значительное увеличение уровня лимфоцитов и снижение СРБ наблюдались уже на 5 день после приема тоцилизумаба. Все больные были выписаны из стационара с улучшением в состоянии.

Похожие результаты получены в исследовании Р. Луо и соавт. (Luo et al., 2020). Авторы подтвердили эффективность препарата для профилактики и лечения «цитокинового шторма», индуцированного COVID-19. У большинства пациентов значительно снижались уровни острофазовых маркеров воспаления, стабилизировалось состояние.

Тем не менее, J. Radbel и соавторам не удалось остановить прогрессирование болезни при использовании тоцилизумаба для лечения «цитоки-

нового шторма» у пациентов с тяжелым течением COVID-19 и достичь у них клинического улучшения несмотря на положительную динамику лабораторных показателей – существенное снижение концентрации СРБ и ИЛ-6 (Radbel et al., 2020). Похожие результаты применения тоцилизумаба у ряда пациентов приводят в своей работе Р. Луо и соавторы (Luo et al., 2020). Эти противоречивые данные требуют дальнейших исследований для уточнения режима назначения и доз обсуждаемого препарата, а также категории пациентов, которым показано такое лечение.

Ограничением настоящего исследования является отсутствие данных о динамике уровней ИЛ-1 β , ИЛ 6, ИЛ10, TNF – α до и после антицитокиновой терапии.

Интересен факт развития острого коронарного синдрома у наблюдаемого пациента. Это подтверждает сообщения о более высокой вероятности тяжелого течения инфекции SARS-CoV-2 у людей с дополнительными факторами риска. Сердечно-сосудистые заболевания являются фактором, ухудшающим течение инфекции SARS-CoV-2 в том числе в связи с повышением риска атеротромбоза.¹

Наряду с выраженной системной воспалительной реакцией у пациентов с тяжелым течением инфекции COVID-19 наблюдается повреждение кардиомиоцитов, эндотелия коронарных сосудов (возможно связанное с развивающимся миокардитом и ишемией), что ведет к повышению уровня тропонина в сыворотке крови и является важным диагностическим критерием повреждения миокарда (Babapoor-Farrokhran et al., 2020; Madjid et al., 2020; Lippi et al., 2020; Wang et al., 2020; Driggin et al., 2020; Guo et al., 2020). У описываемого нами пациента наблюдалось увеличение уровня тропонина Т до 660,1 нг/л (при норме 0–24,9 нг/л).

По литературным данным, увеличение тропонина > 28 нг/л отмечается у 12% пациентов с COVID-19. Повреждение сердца при COVID 19 имеет диффузный, распространенный характер, как при миокардитах и перикардитах. Но насколько повышенный уровень тропонина при инфекции COVID 19 связан с атеротромбозом или это в большей мере проявление системной воспалительной реакции и перегрузки правых отделов сердца (неишемическое повышение тропонинов) пока не ясно (Huang et al., 2020).

Тахикардия, тромбоэмболические осложнения, дисфункция правого желудочка, легочная гипертензия при вирусной пневмонии ведут к существенной нагрузке на миокард и могут вызвать высвобождение тропонина. При этом более высокий уровень тропонина может говорить о большом объеме повреждения легких и неблагоприятном прогнозе. Так по данным М. Cotungo и соавт., повышенные уровни тропонина Т и NT-proBNP при тромбоэмболии легочной артерии связаны с дисфункцией правого желудочка и коррелируют с неблагоприятным исходом (Cotungo et al., 2017).

В связи этим необходимо обратить внимание на осторожность в интерпретации значения повышенного уровня тропонина при дифференциальной диагностике острого коронарного синдрома при инфекции COVID 19. Клиническая картина, динамика ЭКГ, коронароангиография должны быть обязательно использованы для постановки правильного диагноза.

Прогрессирование пневмонии, нарастание дыхательной недостаточности, персистирующая лихорадка, повышение температуры тела > 38,5°C, снижение SpO₂ < 93% при дыхании атмосферным воздухом, негативная динамика лабораторных параметров: Д-димера, ферритина, лимфоцитов, рост уровня СРБ в 3 раза на 7–14 день болезни свидетельствуют о развитии «цитокинового шторма» и требуют тщательного анализа клинической ситуации с незамедлительными мерами по лечению чрезмерного воспалительного ответа организма. Применение тоцилизумаба у пациентов с инфекцией COVID-19 может быть одним из таких терапевтических подходов. Данный подход должен быть подтвержден в рандомизированных клинических исследованиях, которые в настоящее время идут в США, Западной Европе, КНР^{9,10}.

Заключение

Эффективное лечение индуцированного SARS-CoV-2 «цитокинового шторма», является основой снижения смертности при инфекции COVID 19. Тоцилизумаб может рассматриваться как один из наиболее перспективных лекарственных препаратов, применяемых для этой цели. Для подтверждения роли тоцилизумаба в профилактике и лечении «цитокинового шторма», индуцированного

⁹ A Study to Evaluate the Safety and Efficacy of Tocilizumab in Patients With Severe COVID-19 Pneumonia (COVACTA). (May, 2020). <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT04320615>

¹⁰ U.S. National Library of Medicine (May, 2020) <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT04320615>; <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT04306705>; <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT04310228>; <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT04315480>

инфекцией COVID-19, необходимы дальнейшие исследования.

Заявление об отсутствии конфликта интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов или финансовой заинтересованности в публикации статьи. Никто из авторского коллектива не имеет доли участия в компании производителе и не получает финансовую поддержку.

Литература

- Babapoor-Farrokhran, S., Gill, D., Walker, J., Tarighati Rasekhic, R., Bozorgnia, B., & Amanullah, A. (2020). Myocardial injury and COVID-19: Possible mechanisms. *Life Sciences*, 253, 117723. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2020.117723>
- Coperchini, F., Chiovato, L., Croce, L., Magri, F., & Rotondi, M. (2020). The cytokine storm in COVID-19: An overview of the involvement of the chemokine/chemokine-receptor system. *Cytokine and growth factor reviews*, (53), 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.cytogfr.2020.05.003>
- Cotugno, M., Orgaz-Molina, J., Rosa-Salazar, V., Guirado-Torrecillas, L., García-Pérez, B. (2017). Right ventricular dysfunction in acute pulmonary embolism: NT-proBNP vs. troponin T. *Medicina Clinica*, 48(8), 339–344. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2016.11.023>
- Driggin, E., Madhavan, M. V., Bikdeli, B., Chuich, T., Laracy, J., Biondi-Zoccai, G., Brown, T. S., Der Nigoghossian, C., Zidar, D. A., Haythe, J., Brodie, D., Beckman, J. A., Kirtane, A. J., Stone, G. W., Krumholz, H. M., & Parikh, S. A. (2020). Cardiovascular considerations for patients, health care workers, and health systems during the COVID-19 Pandemic. *Journal of the American College of Cardiology*, 75(18), 2352–2371. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.03.031>
- Guo, T., Fan, Y., Chen, M., Wu, X., Zhang, L., He, T., Wang, H., Wan, J., Wang, X., & Lu, Z. (2020). Cardiovascular implications of fatal outcomes of patients with coronavirus disease 2019 (COVID-19). *JAMA cardiology*, 5(7), 1–8. Advance online publication. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2020.1017>
- Huang, C., Wang, Y., Li, X., Ren, L., Zhao, J., Hu, Y., Zhang, L., Fan, G., Xu, J., Gu, X., Cheng, Z., Yu, T., Xia, J., Wei, Y., Wu, W., Xie, X., Yin, W., Li, H., Liu, M., Xiao, Y., Gao, H., Guo, L., Xie, J., Wang, G., Jiang, R., Gao, Zh., Jin, Q., Wang J., & Cao, B. (2020). Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet*, 395(10223), 497–506. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5)
- Lippi, G., Lavie, C. J., & Sanchis-Gomar, F. (2020). Cardiac troponin I in patients with coronavirus disease 2019 (COVID-19): Evidence from a meta-analysis. *Progress in cardiovascular diseases*, 63(3), 390–391. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2020.03.001>
- Luo, P., Liu, Y., Qiu, L., Liu, X., Liu, D., Li, J. (2020). Tocilizumab treatment in COVID-19: a single center experience. *Journal of Medical Virology*, 92, 814–818. <https://doi.org/10.1002/jmv.25801>
- Madjid, M., Safavi-Naeini, P., Solomon, S. D., & Vardeny, O. (2020). Potential effects of coronaviruses on the cardiovascular system: a review. *JAMA cardiology*, 5(7), 831–840. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2020.1286>
- Porter, D., Frey, N., Wood, P. A., Weng, Y., & Grupp, S. A. (2018). Grading of cytokine release syndrome associated with the CAR T cell therapy tisagenlecleucel. *Journal of hematology & oncology*, 11(1), 35. <https://doi.org/10.1186/s13045-018-0571-y>
- Radbel, J., Narayanan, N., & Bhatt, P. J. (2020). Use of Tocilizumab for COVID-19-Induced Cytokine release syndrome: a cautionary case report. *Chest*, S0012-3692(20)30764-9. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.04.024>
- Wang, D., Hu, B., Hu, C., Zhu, F., Liu, X., Zhang, J., Wang, B., Xiang, H., Cheng, Z., Xiong, Y., Zhao, Y., Li, Y., Wang, X., & Peng, Z. (2020). Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus-infected pneumonia in Wuhan, China. *JAMA*, 323(11), 1061–1069. Advance online publication. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.1585>
- Xu, X., Han, M., Li, T., Sun, W., Wang, D., Fu, B., Zhou, Y., Zheng, X., Yang, Y., Li, X., Zhang, X., Pan, A., & Wei, H. (2020). Effective treatment of severe COVID-19 patients with tocilizumab. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 117(20), 10970–10975. <https://doi.org/10.1073/pnas.2005615117>
- Ye, Q., Wang, B., & Mao, J. (2020). The pathogenesis and treatment of the 'Cytokine Storm' in COVID-19. *The Journal of infection*, 80(6), 607–613. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2020.03.037>
- Zhou, F., Yu, T., Du, R., Fan, G., Liu, Y., Liu, Zh., Xiang, J., Wang, Y., Song, B., Gu, X., Guan, L., Wei, Y., Li, H., Wu, X., Xu, J., Tu, Sh., Zhang, Y., Chen, H., & Cao, B. (2020). Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. *Lancet*, 395(20), 1054–1062. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30566-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30566-3)

Experience of tocilizumab use for treatment of cytokine storm in patient with severe course of virus pneumonia caused by SARS-CoV-2 (Case report)

Vladimir V. Popov^{1,2}, Vyacheslav S. Ovechkin¹, Gennady Y. Osokin¹, Rafael S. Arazov¹, German R. Dokshokov¹, Elena O. Tolstykh¹, Natalia A. Bulanova^{1,3}, Andrei M. Yavisya¹

¹ Private healthcare institution "Clinical hospital "RZD – Medicine" named after N.A. Semashko", Moscow, Russia

² Department of Pharmacy, Moscow State University of Food Production, Institute of Continuous Medical Education, Moscow, Russia.

³ Central State Medical Academy under the Administrative Department of the President of the Russian Federation, Moscow, Russia.

Correspondence concerning this article should be addressed to Vladimir V. Popov, ChUZ "Clinical Hospital" Russian Railways Medicine "named after N.A. Semashko", address: st. Stavropolskaya, ow. 23, bldg. 1, Moscow, 125080, Russian Federation. E-mail: clinpharmcb6@mail.ru

A clinical observation of tocilizumab efficacy for treatment of "cytokine storm" is presented in a patient with severe acute respiratory infection caused by SARS-CoV-2. Patient K., 57 years old with rapid progression of pneumonia caused by SARS-CoV-2 was admitted to hospital CHUZ "KB "RZD-Meditsina" named after N. A. Semashko" on May 8, 2020, with complaints of fever up to 38,5°C for 5 days, cough and weakness. During 10 days of inpatient treatment, the patient's condition did not improve, shortness of breath increased (SpO₂ 90%, with oxygen therapy), the patient suffered from dry cough and fever up to 38,5°C. Due to increase in inflammatory process, manifested by an increase in C-reactive protein (CRP) > 75 mg/l, fever > 38°C, decrease in SpO₂ < 90%, leukopenia < 1,0 × 10⁹/l, an increase in ferritin >1000 ng/ml in combination with a 70% (CT3) lesion of the lung tissue according to computed tomography, the patient was administered 160 mg of interleukin-6 receptor blocker tocilizumab intravenously. In the next 48 hours of observation, the patient noted the disappearance of fever, an increase in SpO₂ to 94%, and a significant improvement in laboratory parameters. The effectiveness of tocilizumab can be explained by blocking interleukin-6-associated inflammatory response and requires further study in randomized clinical trials.

Keywords: COVID-19, SARS-CoV-2, cytokine storm, tocilizumab, case study

References

- Babapoor-Farrokhran, S., Gill, D., Walker, J., Tarighati Rasekhic, R., Bozorgnia, B., & Amanullah, A. (2020). Myocardial injury and COVID-19: Possible mechanisms. *Life Sciences*, 253, 117723. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2020.117723>
- Coperchini, F., Chiovato, L., Croce, L., Magri, F., & Rotondi, M. (2020). The cytokine storm in COVID-19: An overview of the involvement of the chemokine/chemokine-receptor system. *Cytokine and growth factor reviews*, (53), 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.cytogfr.2020.05.003>
- Cotugno, M., Orgaz-Molina, J., Rosa-Salazar, V., Guirado-Torrecillas, L., García-Pérez, B. (2017). Right ventricular dysfunction in acute pulmonary embolism: NT-proBNP vs. troponin T. *Medicina Clinica*, 48(8), 339–344. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2016.11.023>
- Driggin, E., Madhavan, M. V., Bikdeli, B., Chuich, T., Laracy, J., Biondi-Zoccai, G., Brown, T. S., Der Nigoghossian, C., Zidar, D. A., Haythe, J., Brodie, D., Beckman, J. A., Kirtane, A. J., Stone, G. W., Krumholz, H. M., & Parikh, S. A. (2020). Cardiovascular considerations for patients, health care workers, and health systems during the COVID-19 Pandemic. *Journal of the American College of Cardiology*, 75(18), 2352–2371. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.03.031>
- Guo, T., Fan, Y., Chen, M., Wu, X., Zhang, L., He, T., Wang, H., Wan, J., Wang, X., & Lu, Z. (2020). Cardiovascular implications of fatal outcomes of patients with coronavirus disease 2019 (COVID-19). *JAMA cardiology*, 5(7), 1–8. Advance online publication. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2020.1017>
- Huang, C., Wang, Y., Li, X., Ren, L., Zhao, J., Hu, Y., Zhang, L., Fan, G., Xu, J., Gu, X., Cheng, Z., Yu,

- T., Xia, J., Wei, Y., Wu, W., Xie, X., Yin, W., Li, H., Liu, M., Xiao, Y., Gao, H., Guo, L., Xie, J., Wang, G., Jiang, R., Gao, Zh., Jin, Q., Wang J., & Cao, B. (2020). Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet*, 395(10223), 497–506. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5)
- Lippi, G., Lavie, C. J., & Sanchis-Gomar, F. (2020). Cardiac troponin I in patients with coronavirus disease 2019 (COVID-19): Evidence from a meta-analysis. *Progress in cardiovascular diseases*, 63(3), 390–391. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2020.03.001>
- Luo, P., Liu, Y., Qiu, L., Liu, X., Liu, D., Li, J. (2020). Tocilizumab treatment in COVID-19: a single center experience. *Journal of Medical Virology*, 92, 814–818. <https://doi.org/10.1002/jmv.25801>
- Madjid, M., Safavi-Naeini, P., Solomon, S. D., & Vardeny, O. (2020). Potential effects of coronaviruses on the cardiovascular system: a review. *JAMA cardiology*, 5(7), 831–840. <https://doi:10.1001/jamacardio.2020.1286>
- Porter, D., Frey, N., Wood, P. A., Weng, Y., & Grupp, S. A. (2018). Grading of cytokine release syndrome associated with the CAR T cell therapy tisagenlecleucel. *Journal of hematology & oncology*, 11(1), 35. <https://doi.org/10.1186/s13045-018-0571-y>
- Radbel, J., Narayanan, N., & Bhatt, P. J. (2020). Use of Tocilizumab for COVID-19-Induced Cytokine release syndrome: a cautionary case report. *Chest*, S0012-3692(20)30764-9. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.04.024>
- Wang, D., Hu, B., Hu, C., Zhu, F., Liu, X., Zhang, J., Wang, B., Xiang, H., Cheng, Z., Xiong, Y., Zhao, Y., Li, Y., Wang, X., & Peng, Z. (2020). Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus-infected pneumonia in Wuhan, China. *JAMA*, 323(11), 1061–1069. Advance online publication. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.1585>
- Xu, X., Han, M., Li, T., Sun, W., Wang, D., Fu, B., Zhou, Y., Zheng, X., Yang, Y., Li, X., Zhang, X., Pan, A., & Wei, H. (2020). Effective treatment of severe COVID-19 patients with tocilizumab. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(20), 10970–10975. <https://doi.org/10.1073/pnas.2005615117>
- Ye, Q., Wang, B., & Mao, J. (2020). The pathogenesis and treatment of the 'Cytokine Storm' in COVID-19. *The Journal of infection*, 80(6), 607–613. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2020.03.037>
- Zhou, F., Yu, T., Du, R., Fan, G., Liu, Y., Liu, Zh., Xiang, J., Wang, Y., Song, B., Gu, X., Guan, L., Wei, Y., Li, H., Wu, X., Xu, J., Tu, Sh., Zhang, Y., Chen, H., & Cao, B. (2020). Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. *Lancet*, 395(20), 1054–1062. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30566-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30566-3)

Полирезистентность сероваров сальмонелл, выделенных от птицы и из продуктов птицеводства

Лощинин Максим Николаевич¹,
Соколова Нина Аркадьевна¹, Абдуллаева Асият Мухтаровна²

¹ ФГБНУ «Федеральный научный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук»

² ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Лощинину М.Н. ФГБНУ «Федеральный научный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук», адрес: Рязанский пр. 24 к 1, Москва, РФ. E-mail: view.lmn@mail.ru

Сальмонеллёзы остаются важной проблемой не только в РФ, но и во всем мире как в ветеринарии, так и в медицине. Наибольший ущерб сальмонеллы наносят птицеводству. Чаще всего от сельскохозяйственной птицы и из продуктов птицеводства выделяют *S. Enteritidis*, *S. Typhimurium*, *S. Infantis*, *S. Gallinarum-pullorum*. Именно эти серовары сальмонелл вызывают у людей вспышки пищевых токсикоинфекций. Для профилактики и лечения сальмонеллезов применяют антибиотики различных групп: β -лактамы, фторхинолоны, цефалоспорины и др. К сожалению, в настоящее время большинство антибиотиков последнего поколения оказались неэффективными. При этом у многих изолятов сальмонелл обнаружена множественная лекарственная устойчивость (МЛУ). Штаммы с МЛУ стали активно вытеснять те, которые обладали устойчивостью только к одному или двум антибиотикам. Бактериальные штаммы, устойчивые к антибиотикам, передаются человеку при употреблении недостаточно термически обработанного мяса птицы, при контакте с сырыми продуктами птицеводства, а также через яйца и яйцопродукты. Было исследовано 45 штаммов сальмонелл, выделенных от больной птицы, а также из тушек и птичьих мясных продуктов. Культивирование, изучение биохимических, серологических свойств и вирулентности проводили по стандартным методам. Чувствительность к 35 антибиотикам определяли с помощью диско-диффузионного метода. При исследовании антибиотикорезистентности сальмонелл сероваров *S. Enteritidis*, *S. Typhimurium*, *S. Infantis*, установлено, что все они обладали множественной лекарственной устойчивостью, причем большинство штаммов было устойчиво к 11–18 препаратам из 35 используемых. Не было обнаружено ни одного штамма устойчивого только к 1–7 антибиотикам. Все штаммы были полирезистентны, при этом 100% сальмонелл были устойчивы к клиндамицину, тилозину, олеандомицину, рифампицину, ампициллину, пенициллину. Более 80% изученных штаммов были резистентны к эритромицину, доксициклину, тетрациклину. Аминогликозиды (канамицин, неомицин, стрептомицин, гентамицин, амикацин), амфениколы (хлорамфеникол) подавляли рост 60–90% штаммов сальмонелл. Наиболее эффективными оказались фторхинолоны 2-го и 3-го поколения, способные подавлять рост 80–100% изолятов, особенно цiproфлоксацин и энрофлоксацин. Эти препараты являются резервными антибиотиками. Однако были обнаружены изоляты, устойчивые к цiproфлоксацину и энрофлоксацину, что настораживает. Фторхинолоны 4-го поколения показали себя менее эффективными, особенно для *S. Infantis*. Возможно, это связано с использованием фторхинолонов среди птицы на крупных птицеводческих предприятиях для профилактики сальмонеллезов. К цефалоспорином первого поколения (цефазолин, цефалексин) были устойчивы только около 30% изолятов. Среди цефалоспоринов 3-го поколения наиболее эффективными оказались цефеперазон и особенно цефтриаксон, к которому не был устойчив ни один изолят сальмонелл. К цефепиму (цефалоспорины 4 поколения) отмечается устойчивость 47% *S. Typhimurium*, тогда как к другим серовариантам проявляется чувствительность до 67%.

Ключевые слова: сальмонеллы, штаммы, антибиотики, множественная лекарственная устойчивость, птица, продукты птицеводства, фторхинолоны, цефалоспорины

Введение

Сальмонеллез по-прежнему является важной проблемой в ветеринарии и медицине. Особенно остро эта проблема стоит в птицеводстве. Так, в 2017 г в РФ 49% случаев выявления сальмонелл приходилось на долю птицы. Наиболее часто у птицы выделяют *S. Enteritidis* (40,7%), *S. Typhimurium* (17,1%), *S. Infantis* (9,3%), *S. Gallinarum-pullorum* (18,2%), причем наибольшее количество изолятов из мяса птицы представлены сероваром *S. Infantis* (52%) (Субботин и др., 2013; Виткова, 2016). Эти серовары сальмонелл вызывают у людей пищевые токсикоинфекции, вспышки которых постоянно наблюдаются на территории РФ. В 2017 г были выявлены 62 вспышки с числом пострадавших 1331 человек (Соколова и др., 2015; Абдуллаева и др., 2017, 2019)¹.

По данным ветеринарной отчетности субъектов Российской Федерации в 2016 году было зарегистрировано 64 неблагополучных пункта (в 2015 году – 105) по сальмонеллезу, из них у птицы – 11 пунктов в 9 субъектах РФ. Инфицированность сальмонеллами пищевых продуктов, объектов окружающей среды проверялась как медицинскими лабораториями, в которых выделено 939 штаммов 66 сероваров, так и ветеринарными, в которых выделено 726 штаммов 39 сероваров (Виткова, 2016).

Для лечения птицы применяют антибиотики различных групп: аминогликозиды, амфениколы, тетрациклины, пенициллины, фторхинолоны, цефалоспорины и др. (Елиусизова и др., 2010; Пименова и др., 2017). Однако в настоящее время наблюдается неэффективность многих препаратов последних поколений (Ахметова и др., 2000; Елиусизова и др., 2010; Лощинин и др., 2015; Пименова и др., 2017; Shrestha et al., 2017; Nhung et al., 2017). При этом у большого количества изолятов энтеробактерий, в том числе сальмонелл, обнаружена множественная лекарственная устойчивость (МЛУ). Появились так называемые «панрезистентные бактерии», которые оказались устойчивыми ко всем видам современных антибиотиков. Причем штаммы с МЛУ практически полностью вытесняют штаммы, устойчивые к одному виду антибиотиков (Nikaido, 2009; Рожнова и др., 2011; Плискин и др., 2012; Gelband et al., 2015; Yu et al., 2016).

Установлено, что лекарственную устойчивость детерминируют различные мобильные генети-

ческие элементы – плазмиды, транспозоны, интегроны (Миндлин и др., 2017). Доказано, что одной из ведущих причин возникновения множественной лекарственной устойчивости является горизонтальный перенос генов. Бактерии, обитающие в окружающей среде, в том числе комменсалы, являются естественным резервуаром генов лекарственной устойчивости. Они способны передавать эти гены клинически значимым бактериям, в том числе сальмонеллам (D'Costa et al., 2006; Миндлин и др., 2017). Предполагают, что гены 1 класса (интегроны и транспозоны) в лекарственно-устойчивых изолятах сальмонелл способствуют распространению гена устойчивости к противомикробным препаратам в окружающей среде и на этапах предубойной обработки птицы (Zou et al., 2010). Формирование транспозонов, содержащих детерминанты устойчивости к антибиотикам, могло происходить в популяции природных бактерий задолго до начала их применения в медицине и ветеринарной практике. Интенсивное применение антибиотиков в этих сферах, в том числе в кормах, продуктах питания и т.д., способствовало быстрому отбору устойчивых штаммов и их быстрому распространению. Предполагают, что запасы потенциальных генов устойчивости в естественных источниках далеко не исчерпаны (Миндлин и др., 2017).

В настоящее время перспективными для лечения сальмонеллезов считают цефалоспорины и фторхинолоны. Цефалоспорины считаются наиболее устойчивыми к бактериальной β -лактамазе и обладают низкой аллергенностью по сравнению с пенициллинами, а также высокой бактерицидной активностью в крови и, в частности, фаголизосом. После парентерального введения современные цефалоспорины по-разному накапливаются в крови и спинномозговой жидкости, однако обладают рядом побочных действий. Для лечения сальмонеллезов наиболее эффективным считается цефоперазон, так как достигает наиболее эффективной концентрации в желчи и желчном пузыре, а также цефтриаксон, имеющий длительный период полувыведения (10 ч) по сравнению с другими цефалоспоридами (D'Aoust, 1991; Ахметова и др., 2000; Елиусизова и др., 2010).

Действие фторхинолонов основано на ингибировании бактериальной ДНК-гиразы в результате связывания фторхинолона с А и В субъединицами целевого фермента. Фторхинолоны легко

¹ Сальмонеллез (2017). Анализ эпизоотической ситуации на основании данных ветеринарной статистической отчетности. ФГБНУ «Центр ветеринарии» <http://центр-ветеринарии.рф> (дата обращения 01.02.2017).

проникают в фагоциты, содержащие сальмонеллы, находятся в высоких концентрациях в сыворотке крови и не ингибируют активность ДНК млекопитающих.

Целью нашей работы было изучение наличия множественной лекарственной устойчивости у изолятов сальмонелл, выделенных из организма живой птицы и из продуктов птицеводства.

Материалы и методы

Материалы

Научная работа выполнена в период 2011–2019 гг. в лаборатории микробиологии с музеем типовых культур Федерального Государственного Бюджетного Научного Учреждения «Федеральный научный центр ВИЭВ» (ФНЦ ВИЭВ РАН) и на кафедре ветеринарно-санитарной экспертизы и биологической безопасности ФГБОУ ВО «МГУПП».

В исследовании использовали 45 штаммов сальмонелл, в том числе по 15 штаммов *S. Enteritidis* и *S. Typhimurium*, выделенных от больных сальмонеллёзом кур при вспышках заболевания на птицефабриках в Липецкой, Курской, Белгородской, Воронежской, Тамбовской и Московской областях в период с 2011 по 2017 г, 5 штаммов *S. Infantis*, выделенных от кур, больных сальмонеллёзом, и 10 штаммов *S. Infantis*, выделенных из мяса птицы и полуфабрикатов в 2011 г. Все штаммы были лиофилизированы и содержались в условиях холодильного хранения.

В исследованиях использовали антибиотические диски Himedia (India). Чувствительность микроорганизмов к 35 антибиотикам: канамицину (K^{30}), неомицину (N^{30}), стрептомицину (S^{10}), гентамицину (G^{10}), амикацину (Am^{30}), хлорамфениколу (C^{30}), клиндамицину (Cl^{2}), тилозину (Tl^{15}), олеандомицину (Ol^{15}), эритромицину (E^{15}), амоксиклаву (Ac^{30}), амоксициллину (Am^{30}), ампициллину (A^{10}), пенициллину (P^{10}), доксициклину (Do^{30}), тетрациклину (T^{30}), ципрофлоксацину (Cf^5), норфлоксацину (Nx^{10}), пефлоксацину (Pf^5), энрофлоксацину (Ex^{10}), моксифлоксацину (Mo^5), гатифлоксацину (Gf^{10}), цефазолину (Cz^{30}), цефалексину (Cr^{30}), цефаклору (Cj^{30}), цефиксиму (Cfx^{15}), цефоперазону (Cs^{75}), цефтриаксону (Cl^{30}), цефтазидиму (Ga^{30}), цефотаксиму (Se^{10}), цефдиниру (Cdn^5), цефепиму (Crp^{30}), триметоприму (Tr^5), рифампицину (R^5), фосфомицину (Fo^{50}) определяли диско-диффузионным методом на агаре Мюллера-Хинтона в соответствии со стандартами CLSI.

Методика исследования

Оборудование

В работе использовали проверенное и аттестованное оборудование, проходящее проверки согласно графику технического обслуживания.

Посевы культур осуществляли в боксе микробиологической безопасности AirStream ESCO Class 2 BBC (год выпуска 2012, страна производства США). Для исследования мазков использовался микроскоп Zeiss Axio Vision (год выпуска 2010, страна производства Германия). Посевы инкубировали в суховоздушном термостате Sanyo incubator MIR 262 (год выпуска 2010, страна производства Япония). Для определения концентрации микробных клеток по методу McFarland использовали денситометр DEN-1B (год выпуска 2010, страна производства Латвия). После окончания исследовательской работы все оборудование обрабатывали 70% этиловым спиртом, воздух в помещении дезинфицировали ультрафиолетовым бактерицидным передвижным облучателем-рециркулятором ОРУБп-3-5-«КРОНТ» (Дезар-7) – (год выпуска 2014, страна производства РФ) в течение 60 мин.

Методы

Культивирование штаммов проводили по стандартным микробиологическим методам, включающим изучение морфологии колоний, биохимических свойств, окраску по Граму.

Ферментативную активность сальмонелл изучали с использованием теста для биохимической идентификации микроорганизмов «ENTERO-Test 24» («Lachema», Чехия).

Серологическую идентификацию выделенных изолированных культур сальмонелл осуществляли в РА на стекле при помощи сывороток «сальмонеллёзных О-комплексных и монорецепторных О- и Н-агглютинирующих» (ФГУП «Курская биофабрика – фирма «Биок»).

Вирулентные свойства изучали на беспородных белых мышах массой 14 г путем внутрибрюшинного введения 0,5 мл 500-миллионной суспензии сальмонелл.

Посевы с дисками антибактериальных препаратов инкубировали сутки при температуре 37°C. Категории чувствительности (чувствительный, промежуточный и резистентный) определяли путем сравнения зоны задержки роста каждого изо-

лята со стандартами (CLSI, 2014). Изоляты сальмонелл, устойчивые более чем к трем классам антимикробных препаратов, были определены как имеющие МЛУ. Контроль качества определения чувствительности проводили с использованием штаммов *Escherichia coli* ATCC 25922, *Salmonella Typhimurium* ATCC 14028. Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием общепринятых критериев статистики и использованием Microsoft Excel.

Результаты исследования

Все штаммы сальмонелл обладали типичными ферментативными свойствами, однако у *S. Infantis* отмечалась повышенная активность в отношении рафинозы, ацетина, сахарозы, целлобиозы, адонитолы, инозитола, малоната. Все штаммы были вирулентны для белых мышей.

В таблице 1 представлены данные по анализу распределения МЛУ среди изученных штаммов.

Определение резистентности диско-диффузионным методом представлены в табл. 2

Таблица 1

Число штаммов сальмонелл, обладающих устойчивостью к действию нескольких антибиотиков

Серовары сальмонелл	Штаммы, одновременно устойчивые к действию нескольких антибиотиков							
	8–10		11–15		16–18		19–22	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
<i>S. Infantis</i>	1	6,7	4	27	9	60	1	6,7
<i>S. Typhimurium</i>	–	–	6	40	8	53,3	1	6,7
<i>S. Enteritidis</i>	4	27	9	60	2	13,3	–	–

Таблица 2

Антибиотикочувствительность штаммов сальмонелл, выделенных от птицы, %

Группа	Антибиотик		S. Infantis, n=15			S. Typhimurium, n=15			S. Enteritidis, n=15		
			Ч	П	У	Ч	П	У	Ч	П	У
Аминогликозиды природные	Канамицин	K ³⁰	73,4	26,6	–	66,7	33,3	–	73,3	20,0	6,7
	Неомицин	N ³⁰	26,6	53,3	20,0	13,3	66,7	20,0	60,0	40,0	–
	Стрептомицин	S ¹⁰	26,6	33,3	40,0	26,6	26,6	46,6	73,3	6,7	20,0
	Гентамицин	G ¹⁰	73,3	20,0	6,7	46,6	40,0	13,3	80,0	20,0	–
Аминогликозиды 3 поколения	Амикацин	Ак ³⁰	93,3	6,7	–	86,7	–	13,3	66,7	20,0	13,3
Амфениколы	Хлорамфеникол	C ³⁰	60,0	6,7	33,3	80,0	6,7	13,3	60,0	33,3	6,7
Линкозамиды полусинтетические	Клиндамицин	Cd ²	–	–	100,0	–	–	100,0	–	–	100,0
Макролиды	Тилозин	Tl ¹⁵	–	–	100,0	–	–	100,0	–	–	100,0
Макролиды природные	Олеандомицин	Ol ¹⁵	–	–	100,0	–	–	100,0	–	–	100,0
	Эритромицин	E ¹⁵	–	–	100,0	–	13,3	86,6	–	–	100,0
	Амоксиклав	Ac ³⁰	33,3	33,3	33,3	33,3	13,3	53,3	77,3	20,0	6,7
Пенициллины полусинтетические	Амоксициллин	Am ³⁰	6,7	6,7	86,6	13,3	20,0	66,7	40,0	46,7	13,3
	Ампициллин	A ¹⁰	–	–	100	–	–	100,0	–	–	100,0
Пенициллины природные	Пенициллин	P ¹⁰	–	–	100	–	–	100,0	–	–	100,0
Тетрациклины	Доксициклин	Do ³⁰	–	13,4	86,6	–	–	100,0	–	33,3	66,6
	Тетрациклин	T ³⁰	–	13,4	86,6	–	–	100,0	–	20	80
	Норфлоксацин	Nx ¹⁰	73,3	20,1	6,7	86,6	6,7	6,7	93,3	–	6,7
Фторхинолоны 2 поколения	Пефлоксацин	Pf ⁵	86,6	13,4	–	93,3	6,7	–	86,6	6,7	6,7
	Ципрофлоксацин	Cf ⁵	80,0	13,4	6,7	100,0	–	–	87,0	–	13,4

Таблица 2 (окончание)

Группа	Антибиотик		S. Infantis, n=15			S. Typhimurium, n=15			S. Enteritidis, n=15		
			Ч	П	У	Ч	П	У	Ч	П	У
Фторхинолоны 3 поколения	Энрофлоксацин	Ex ¹⁰	86,6	13,4	-	100,0	-	-	93,3	-	6,7
Фторхинолоны 4 поколения	Моксифлоксацин	Mo ⁵	-	6,7	93,3	60,0	26,6	13,4	53,3	26,6	20,0
	Гатифлоксацин	Gf ¹⁰	40,0	60,0	-	93,3	6,7	-	86,6	6,7	6,7
Цефалоспорины 1 поколения	Цефазолин	Cz ³⁰	33,3	33,3	33,3	53,3	6,7	40,0	46,6	20,0	33,3
	Цефалексин	Cr ³⁰	53,3	13,4	33,3	26,6	46,6	26,6	46,6	46,6	6,6
Цефалоспорины 2 поколения	Цефаклор	Cj ⁸⁰	73,3	-	26,6	33,3	46,6	20,0	40,0	40,0	20,0
	Цефиксим	Cfx ¹⁵	-	-	100,0	6,6	33,3	60,0	6,7	53,3	40,0
	Цефоперазон	Cs ⁷⁵	6,7	53,3	40,0	13,4	26,6	60,0	40,0	40,0	20,0
Цефалоспорины 3 поколения	Цефтриаксон	Cr ³⁰	60	40	-	80	20	-	80,0	20,0	-
	Цефтазидим	Ca ³⁰	-	33,3	66,6	-	6,7	93,3	33,3	20,0	46,6
	Цефотаксим	Ce ⁵	6,7	86,6	6,7	6,6	80,0	13,3	60,0	33,3	6,7
	Цефдинир	Cdn ⁵	60,0	26,6	13,4	6,6	33,3	60,0	60,0	26,7	13,3
Цефалоспорины 4 поколения	Цефепим	Cpm ³⁰	66,6	26,6	6,7	20,0	33,3	46,7	60,0	40,0	-
Ингибиторы синтеза фолиевой кислоты	Триметоприм	Tr ⁵	73,3	6,7	20,1	86,6	-	13,4	86,6	-	13,3
Рифамицины	Рифампицин	R ⁵	-	-	100,0	-	-	100,0	-	-	100,0
Производные фосфоновой кислоты	Фосфомицин	Fo ⁵⁰	-	-	100,0	53,3	46,6	-	-	-	100,0

Примечание. * Ч- чувствительные, П- промежуточные и У- устойчивые штаммы

Таблица 3

Резистентность сальмонелл к действию фторхинолонов и цефалоспоринов различных поколений, абс. (%), n=15

Класс антибиотиков	Представители класса	Число устойчи- вых штаммов S. Infantis	Число устойчи- вых штаммов S. Typhimurium	Число устойчи- вых штаммов S. Enteritidis	% устойчивых штаммов, М
Цефалоспорины 1 поколения	Cz ³⁰	5 (33,3)	6 (40,0)	5 (33,3)	35,5
	Cr ³⁰	5 (33,3)	4 (26,6)	1 (6,7)	22,2
Цефалоспорины 2 поколения	Cj ⁸⁰	4 (26,6)	3 (20,0)	3 (20,0)	22,2
Цефалоспорины 3 поколения	Cfx ¹⁵	12 (100,0)	9 (60,0)	6 (40,0)	66,6
	Cs ⁷⁵	6 (40,0)	9 (60,0)	3 (20,0)	40,0
	Cr ³⁰	0	0	0	0
	Ca ³⁰	10 (66,6)	14 (93,3)	7 (46,7)	68,9
	Ce ⁵	1 (6,7)	2 (13,4)	1 (6,7)	8,9
	Cdn ⁵	2 (13,4)	9 (60,0)	2 (13,4)	28,9
Цефалоспорины 4 поколения	Cpm ³⁰	1 (6,7)	7 (46,7)	0	17,8
Фторхинолоны 2 поколения	Nx ¹⁰	1 (6,7)	1 (6,7)	1 (6,7)	6,7
	Pr ⁵	0	0	1 (6,7)	2,2
	Cf ⁵	1 (6,7)	0	2 (13,4)	6,7
Фторхинолоны 3 поколения	Ex ¹⁰	0	0	1 (6,7)	2,2
Фторхинолоны 4 поколения	Mo ⁵	14 (93,3)	2 (13,4)	3 (20,0)	42,0
	Gf ¹⁰	0	0	1 (6,7)	2,2

Обсуждение полученных результатов

В таблице 1 представлены данные по анализу распределения МЛУ среди изученных штаммов, из которой видно, что практически отсутствуют монорезистентные штаммы, а также устойчивые к 2–7 антибиотикам. Большинство изолятов сальмонелл резистентны одновременно к 11–18 антибиотикам различных классов, т.е. обладают фенотипом МЛУ.

В работе (Lee et al., 2019) установили, что выявленные изоляты сальмонелл в процессе убоя кур были резистентны к 5 и более антибиотикам, а другие исследователи (Goncuoglu et al., 2016) указывают, что 86,4% изолятов сальмонелл из тушек бройлеров были устойчивы к 5 антибиотикам, 72,9% – к 7 и 37,5% – к 9 антибиотикам.

Наибольшее количество штаммов с МЛУ отмечено у *S. Typhimurium*, а наименьшее у *S. Enteritidis*. Штаммы *S. Typhimurium* оказались устойчивыми к наибольшему количеству антибиотиков (к 17) по сравнению со штаммами *S. Infantis* и *S. Enteritidis* (к 13 и 10 соответственно). Эти данные согласуются с другими результатами исследований (Рожнова и др., 2011; Лощинин и др., 2015; Пименов и др., 2017). *S. Enteritidis* чувствительны к 17 антибиотикам, причем ко многим наблюдается промежуточная чувствительность (у 40–53% штаммов). По данным (Sánchez Salazar et al., 2020) 94,4% штаммов *S. Infantis* выделенных на птицефабрике имели фенотип МЛУ.

В таблице 2 представлены конкретные данные по антибиотикочувствительности трех сероваров сальмонелл к 35 антибиотикам из 19 классов. Определение резистентности диско-диффузионным методом продемонстрировало стопроцентную устойчивость всех штаммов сальмонелл к 6 антибактериальным препаратам: клиндамицину, тилозину, олеандомицину, ампициллину, пенициллину, рифампицину.

Из таблицы 2 видно, что от 80 до 100% штаммов сальмонелл устойчивы к эритромицину, доксициклину и тетрациклину. По данным (Adzitey et al., 2020) была выявлена высокая устойчивость к эритромицину у *S. Enterica*, однако они оказались чувствительны к ампициллину (79,5%), тетрациклину (84,0%), хлорамфениколу (93,18%), ципрофлоксацину (97,7%) и гентамицину (79,5%). Аналогичные результаты получены в Турции (Siriken et al., 2015) и Китае (Zhao et al., 2017; Yang, 2019), где выявлена высокая резистентность сальмонелл к тетрациклину и стрептомицину (65–80%). На птицефабриках в Греции (Zdragas et al., 2012) отмечали высокую ре-

зистентность к стрептомицину 64,5% и тетрациклину 56,2%.

Анализ устойчивости сальмонелл к β -лактамным антибиотикам (пенициллинам и цефалоспорином) показал, что исследованные штаммы обладают высоким уровнем резистентности к ним. Особенно к пенициллинам: ампициллину (100%), пенициллину (100%), к амоксициллину (86,6% *S. Infantis* и 66,7% *S. Typhimurium*). Исключение составил амоксиклав, к которому были резистентны 33,3% *S. Infantis*, 53,3% *S. Typhimurium* и 13% *S. Enteritidis*. По данным других авторов (Adzitey et al., 2020) сальмонеллы, выделенные от кур, чувствительны к ампициллину.

Такая же тенденция наблюдалась к цефалоспорином 1–4 поколения. Например, у *S. Infantis* отмечена 100%-я устойчивость к цефиксиму, *S. Typhimurium* – 60% и *S. Enteritidis* – 40%; к цефтазидиму у 66,6%, 93,3% и 46,6% штаммов соответственно. Самым эффективным препаратом оказался цефтриаксон, к которому не было обнаружено ни одного устойчивого штамма.

Низкий уровень устойчивости сальмонелл был установлен по отношению к аминогликозидам. Из аминогликозидов наиболее эффективным действием обладали канамицин (0–6,7% резистентных), гентамицин (0–13,3% резистентных), амикацин (0–13,3% резистентных). Наибольшее количество резистентных штаммов выявлено к стрептомицину (20–46%) при этом 20% у *S. Enteritidis*, 40% у *S. Infantis* и 46,6% у *S. Typhimurium*.

Наибольший интерес представляет чувствительность сальмонелл к фторхинолонам 2 и 3-го поколения, особенно к энрофлоксацину (86–100%), ципрофлоксацину, которые в настоящее время считают резервными антибиотиками. Наши данные подтверждают это положение, так как ципрофлоксацин и энрофлоксацин подавляли рост 80–100% изученных штаммов.

Из таблицы 2 видно, что почти все штаммы сальмонелл устойчивы к цефалоспорином 3-го поколения, а также к полусинтетическим пенициллинам.

Неплохую эффективность показывают фторхинолоны 2-го поколения (норфлоксацин, перфлоксацин, ципрофлоксацин, подавляющие рост 87%, 83% и 80% штаммов, изученных сероваров соответственно. Ципрофлоксацин был назван золотым стандартом фторхинолонов 2-го поколения (Елиусизова и др., 2010).

Тем не менее, мы видим (табл. 2), что появились отдельные штаммы (особенно среди *S. Enteritidis*), устойчивые к этим антибиотикам, а также изоляты с промежуточной устойчивостью, в зоне ингибирования которых обнаруживаются резистентные мутанты.

Фторхинолон 4-го поколения – моксифлоксацин показал себя менее эффективными, особенно в отношении *S. Infantis* (93,3% резистентных штаммов). К гатифлоксацину резистентными оказались только 6,7% штаммов, чувствительными от 40% у *S. Infantis* до 93,3% штаммов у *S. Typhimurium*. Однако в целом фторхинолоны были более эффективнее, чем цефалоспорины (табл. 3), к которым число резистентных штаммов сальмонелл может достигать 57,8–68,9%. Особенно высокая резистентность наблюдается у *S. Infantis* к цефиксиму (100%) и цефтазидиму (66,6%), а также у *S. Typhimurium* к цефиксиму (60%) и цефоперазону (60%). Настораживает высокая резистентность *S. Typhimurium* (60%) и *S. Infantis* (40%) к цефоперазону, так как эти серовары сальмонелл доминируют у больной птицы и в продуктах птицеводства. Резистентность к цефоперазону, одному из многообещающих цефалоспоринов третьего поколения, является наиболее тревожной.

Снижение чувствительности штаммов *S. Infantis* к фторхинолонам 4-го поколения возможно связано с массовым использованием антибиотиков на крупных птицеводческих предприятиях с целью профилактики сальмонеллёзов и лечения больной птицы (Лощинин и др., 2015).

Это лишний раз подтверждает мнение многих ученых о том, что назрела необходимость разработки мер по противодействию необоснованного применения антибиотиков в ветеринарии, медицине, кормопроизводстве, в пищевой промышленности (Миндлин и др., 2017). Иначе, по словам генерального директора ВОЗ Chan M., может наступить «постантибиотическая эпоха», когда любое воспаление может привести к смерти².

Выводы

При исследовании антибиотикочувствительности 45 штаммов *S. Infantis*, *S. Enteritidis*, *S. Typhimurium* нами установлено, что все они обладали множе-

ственной лекарственной устойчивостью, причем большинство из них были устойчивы одновременно к 11–18 препаратам. Среди исследованных штаммов отсутствуют монорезистентные.

Отмечалась стопроцентная устойчивость всех штаммов сальмонелл к 6 антибактериальным препаратам: клиндамицину, тилозину, олеандомицину, ампициллину, пенициллину, рифампицину.

Больше всего резистентных штаммов выявлено к стрептомицину (20–46%).

Из β-лактамов антибиотиков (пенициллины, цефалоспорины) эффективным действием обладали только амоксиклав (33% резистентных) и цефтриаксон (0% резистентных). Цефалоспорины 1 поколения оказались менее эффективными для изучения сальмонелл.

Проведенные нами исследования показывают, что штаммы, выделенные из тушек птиц и из продуктов птицеводства, были наиболее чувствительны к фторхинолонам 2 и 3 поколения: энрофлоксацину, ципрофлоксацину, пефлоксацину и норфлоксацину. Однако обнаруживались антибиотикорезистентные мутанты в зоне ингибирования роста.

Штаммы *S. Typhimurium* оказались наиболее чувствительными к фторхинолонам, при этом они превосходят другие серовары по числу устойчивых в других группах антибиотиков.

Сокращения: МЛУ – множественная лекарственная устойчивость, CLSI³ – Clinical Laboratory Standards Institute.

Литература

- Абдуллаева, А. М., Смирнова, И. Р., & Трохимец, Е. В. (2017). Микробиологический контроль полуфабрикатов из мяса индеек при холодильном хранении. *Ветеринария*, 8, 49–53.
- Абдуллаева, А. М., Блинкова, Л. П., & Першина, Т. А. (2019). Испытание бактериофагов как безопасных средств защиты от контаминации микроорганизмами куриного фарша. *Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии*, 3(31), 11–15. <http://dx.doi.org/10.25725/vet.san.hyg.ecol.201903004>

² Chan, M. (2012). Antimicrobial resistance in European Union and World: Keynote address at the conference on Combating antimicrobial resistance: time for action. Copenhagen, Denmark 14 March. www.who.int

³ Clinical Laboratory Standards Institute (CLSI). (2014). Performance standards for antimicrobial susceptibility testing; 24 th informational supplement (M100-S23)/ Wayne: CLSI.

- Ахметова, Л. И., & Розанова, С. М. (2000). Чувствительность к антимикробным препаратам штаммов шигелл и сальмонелл, выделенных в Екатеринбурге. *Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия*, 3(2), 58–62.
- Виткова, О. Н. (2016). Анализ эпизоотической ситуации по сальмонеллезу на основании данных ветеринарной статистической отчетности. В Актуальные ветеринарные и технологические решения в промышленном птицеводстве. <http://zhukov-vet.ru/doc/bird/Виткова.pdf> (дата обращения: 25.06.2019).
- Елиусизова, А. Б., Шубин, Ф. Н., Кузнецова, Н. А., & Бахолдина, С. И. (2010). Чувствительность к фторхинолонам сальмонелл в Сибири и на Дальнем Востоке. *Тихоокеанский медицинский журнал*, 4, 51–54.
- Лощинин, М. Н., & Соколова, Н. А. (2015). Чувствительность к антимикробным препаратам штаммов сальмонелл. *Труды ВИЭВ*, 78, 250–256.
- Миндлин, С. З., & Петрова, М. А. (2017). О происхождении и распространении устойчивости к антибиотикам: результаты изучения древних бактерий из многолетнемерзлых отложений. *Молекулярная генетика микробиология и вирусология*, 35(4), 123–131.
- Пименова, В. В., Лаишевцев, А. И., & Пименов, Н. В. (2017). Основные направления оздоровительных мероприятий при сальмонеллезе птиц: принципы и недостатки антибиотикообработки. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 11(71), 496–510. <http://dx.doi.org/10.18551/rjoas.2017-11.66>
- Пименов, Н. В., & Лаишевцев, А. И. (2017). Современные аспекты борьбы с сальмонеллезной инфекцией. *Издательство «Старая Басманная»*.
- Плиска, А. А., Самокрутова, О. Н., Середкина, И. Н., Аблов, А. М., Батомункуев, А. С., Барышников, П. И., & Анганова, Е. В. (2012). Чувствительность к антибиотикам микроорганизмов, выделенных при кишечных инфекциях собак в условиях Прибайкалья. *Вестник Омского государственного аграрного университета*, 4(8), 65–69.
- Рожнова, С. Ш., Христюнина, О. А., & Агафонова, Е. И. (2011). Роль фенотипических методов типирования сальмонелл в мониторинге за сальмонеллами. *Эпидемиология и инфекционные болезни, актуальные вопросы*, 3, 41–47.
- Соколова, Н. А., Абдуллаева, А. М., & Лощинин, М. Н. (2015). Возбудители зооантропонозов, пищевых отравлений, порчи сырья и продуктов животного происхождения. *ДеЛи плюс*.
- Субботин, В. В., Лощинин, М. Н., Соколова, Н. А., & Коломыцев, С. А. (2013). Сальмонеллезы – актуальная проблема ветеринарной медицины. *Ветеринария и кормление*, 4, 59–61.
- Adzitey, F., Teye, G. A., & Amoako, D. G. (2020). Prevalence, phylogenomic insights, and phenotypic characterization of *Salmonella enterica* isolated from meats in the Tamale metropolis of Ghana. *Food Science & Nutrition*, 8(7), 3647–3655. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1647>
- Chan, M. (2012). Antimicrobial resistance in European Union and World: Keynote address at the conference on Combating antimicrobial resistance: time for action. Copenhagen, Denmark 14 march Available at: www.who.int
- D'Aoust, J. Y. (1991). Pathogenicity of foodborne *Salmonella*. *The International Journal of Food Microbiology*, 12(1), 17–40. [http://dx.doi:10.1016/0168-1605\(91\)90045-q](http://dx.doi:10.1016/0168-1605(91)90045-q)
- D'Costa, V. M., McGrann, K. M., Hughes, D. W., & Wright, G. D. (2006). Sampling the antibiotic resistome. *Science*, 311(5759), 374–377. <http://dx.doi:10.1126/science.1120800>
- Gelband, H., Molly Miller, P., Pant, S., Gandra, S., Levinson, J., Barter, D., White, A., & Laxminarayan, R. (2015). The state of the world's antibiotics 2015. *Wound Healing Southern Africa*, 8, 30–34.
- Goncuoglu, M., Ormanci, F. S. B., Uludag, M. & Cil, G. I. (2016). Prevalence and Antibiotic Resistance of *Salmonella* SPP. and *Salmonella* Typhimurium in Broiler Carcasses Wings and Liver. *Journal of Food Safety*, 36(4), 524–531. <http://dx.doi:10.1111/jfs.12272>
- Lee, H. J., Youn, S. Y., Jeong, O. M., Kim, J. H., Kim, D. W., Jeong, J. Y., Kwon, Y. K. & Kang, M. S. (2019). Sequential Transmission of *Salmonella* in the Slaughtering Process of Chicken in Korea. *Journal of Food Science*, 84, 871–876. <http://dx.doi:10.1111/1750-3841.14493>
- Nikaido, H. (2009). Multidrug resistance in bacteria. *Annual Review of Biochemistry*, 78, 119–146. <http://dx.doi:10.1146/annurev.biochem.78.082907.145923>
- Nhung, N. T., Chansiripornchai, N., & Carrique-Mas, J. J. (2017). Antimicrobial Resistance in Bacterial Poultry Pathogens: A Review. *Frontiers in Veterinary Science*, 4, 126. <http://dx.doi:10.3389/fvets.2017.00126>
- Sánchez Salazar, E., Gudiño, M.E., Sevillano, G., Zurita, J., Guerrero López, R., Jaramillo, K. & Calero Cáceres, W. (2020). Antibiotic resistance of *Salmonella* strains from layer poultry farms in central Ecuador. *Journal of Applied Microbiology*, 128, 1347–1354. <http://dx.doi:10.1111/jam.14562>
- Siriken, B., Türk, H., Yildirim, T., Durupinar, B. & Erol, I. (2015). Prevalence and Characterization of *Salmonella* Isolated from Chicken Meat in Turkey. *Journal of Food Science*, 80, M1044–M1050. <http://dx.doi:10.1111/1750-3841.12829>

- Shrestha, A., Bajracharya, A. M., Subedi, H., Turha, R. S., Kafle, S., Sharma, S., Neupane, S., Chaudhary, D. K. (2017). Multi-drug resistance and extended spectrum beta lactamase producing Gram negative bacteria from chicken meat in Bharatpur Metropolitan, Nepal. *BMC Research Notes*, 10, 574. <https://doi.org/10.1186/s13104-017-2917-x>
- Yang, X., Wu, Q., Zhang, J., Huang, J., Chen, L., Wu, S., & Wei, X. (2019). Prevalence, bacterial load, and antimicrobial resistance of *Salmonella* serovars isolated from retail meat and meat products in China. *Frontiers in Microbiology*, 10, 2121. <http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2019.02121>
- Yu, H., Qu, F., Shan, B., Huang, B., Jia, W., Chen, C., Li, A., Miao, M., Zhang, X., Bao, C., Xu, Y., Chavda, K. D., Tang, Y.-W., Kreiswirth, B. N., Du, H., Chen, L. (2016). Detection of the mer-1 Colistin Resistance Gene in Carbapenem-Resistant Enterobacteriaceae from Different Hospitals in China. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 60(8), 5033-5. <http://dx.doi.org/10.1128/aac.00440-16>
- Zhao, X., Ye, C., Chang, W., & Sun, S. (2017). Serotype Distribution, Antimicrobial Resistance, and Class 1 Integrons Profiles of *Salmonella* from Animals in Slaughterhouses in Shandong Province, China. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1049. Published 2017 Jun 21. <http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2017.01049>
- Zou, W., Frye, J. G., Chang, C. W., Liu, J., Cerniglia, C. E., & Nayak, R. (2010). Microarray analysis of antimicrobial resistance genes in *Salmonella enterica* from preharvest poultry environment. *Journal of Applied Microbiology*, 107(3), 906–914. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04270.x>

Polyresistance of salmonell serovov, isolated from Poultry and from poultry products

Maxim N. Loshchinin¹, Nina A. Sokolova¹, Asiyat M. Abdullaeva²

¹ FSBSI «Federal Scientific Center – All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine named after K.I. Scriabin and Ya.R. Kovalenko of the Russian Academy of Sciences»

² FSBEI HE «Moscow State University of Food Production»

Correspondence concerning this article should be addressed to M.N. Loshchinin. FSBSI «Federal Scientific Center – All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine named after K.I. Scriabin and Ya.R. Kovalenko of the Russian Academy of Sciences», Ryazansky pr. 24 to 1, Moscow, RF. E-mail: viev.lmn@mail.ru

Salmonellosis remains an important problem not only in the Russian Federation, but throughout the world, both in veterinary medicine and in medicine. Poultry is the most affected by salmonella. Most often, *S. Enteritidis*, *S. Typhimurium*, *S. Infantis*, *S. Gallinarum-pullorum* are isolated from poultry and poultry products. It is these salmonella serovars that cause outbreaks of foodborne diseases in humans. For the prevention and treatment of salmonellosis, antibiotics of various groups are used: β -lactams, fluoroquinolones, cephalosporins, etc. Unfortunately, at present, most of the latest generation antibiotics are ineffective. However, many *Salmonella* isolates have been found to have multiple drug resistance (MDR). MDR strains began to actively displace those that were resistant to only one or two antibiotics. Antibiotic-resistant bacterial strains are transmitted to humans through the use of insufficiently heat-treated poultry meat, through contact with raw poultry products, as well as through eggs and egg products. 45 strains of *Salmonella* isolated from sick poultry, as well as carcasses and poultry meat products were studied. Cultivation, study of biochemical, serological properties and virulence were carried out according to standard methods. Sensitivity to 35 antibiotics was determined using the disk diffusion method. In the study of antibiotic resistance of *Salmonella* serovars *S. Enteritidis*, *S. Typhimurium*, *S. Infantis*, it was found that they all had multidrug resistance, and most of the strains were resistant to 11–18 drugs out of 35 used. Not a single strain was found that was resistant to only 1–7 antibiotics. All strains were multi-resistant, with 100% of *Salmonella* resistant to clindamycin, tylosin, oleandomycin, rifampicin, ampicillin, and penicillin. More than 80% of the studied strains were resistant to erythromycin, doxycycline, tetracycline. Aminoglycosides (kanamycin, neomycin, streptomycin, gentamicin, amikacin), amphenicols (chloramphenicol) suppressed the growth of 60–90% of *Salmonella* strains. The most effective were fluoroquinolones of the 2nd and 3rd generation, capable of inhibiting the growth of 80–100% of isolates, especially ciprofloxacin and enrofloxacin. These drugs are backup antibiotics. However, isolates resistant to ciprofloxacin and enrofloxacin have been found, which is alarming. 4th generation fluoroquinolones have been shown to be less effective, especially for *S. infantis*. Perhaps this is due to the use of fluoroquinolones among poultry at large poultry enterprises for the prevention of salmonellosis. Only about 30% of isolates were resistant to first-generation cephalosporins (cefazolin, cephalexin). Among the 3rd generation cephalosporins, the most effective were cephaperazone and especially ceftriaxone, to which no *Salmonella* isolate was resistant. 47% of *S. Typhimurium* is resistant to ceftazidime (4th generation cephalosporin), while sensitivity to other serovariants is up to 67%.

Keywords: salmonella, strains, antibiotics, multidrug resistance, poultry, poultry products, fluoroquinolones, cephalosporins

References

- Abdullaeva, A. M., Smirnova, I. R., & Trokhimets, E. V. (2017). Microbiological control of semi-finished products from turkey meat during refrigerated storage. *Veterenaria* [Veterinary Science], 8, 49–53.
- Abdullaeva, A. M., Blinkova, L. P., & Pershina, T. A. (2019). Testing bacteriophages as safe means of protection against microbial contamination

How to Cite

M. Loshchinin, N. Sokolova, A. Abdullaeva (2020). Polyresistance of salmonell serovov, isolated from Poultry and from poultry products. *Health, Food & Biotechnology*, 2(2). https://doi.org/_____/hfb.2020.i1.s____

- of minced chicken. *Problemy veterinarnoj sanitarii, gigieny i ekologii* [Problems of veterinary sanitation, hygiene and ecology], 3(31), 11–15. <http://dx.doi.org/10.25725/vet.san.hyg.ecol.201903004>
- Akhmetova, L. I., & Rozanova, S. M. (2000). Antimicrobial sensitivity of Shigella and Salmonella strains isolated in Yekaterinburg. *Klinicheskaya mikrobiologiya i antimikrobnaya himioterapiya* [Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy], 3(2), 58–62.
- Vitkova, O. N. (2016). Analysis of the epizootic situation for salmonellosis based on the data of veterinary statistical reporting. In *Aktual'nye veterinarnye i tekhnologicheskie resheniya v promyshlennom pticevodstve*. [Actual veterinary and technological solutions in the poultry industry.] <http://zhukov-vet.ru/doc/bird/Виткова.pdf> (accessed on: 25.06.2019).
- Eliusizova, A. B., Shubin, F. N., Kuznetsova, N. A., & Bakholdina, S. I. (2010). Salmonella fluoroquinolone sensitivity in Siberia and the Far East. *Tihokeanskij medicinskij zhurnal* [Pacific Medical Journal], 4, 51–54.
- Loshchinin, M. N., & Sokolova, N. A. (2015). Antimicrobial sensitivity of Salmonella strains. *Trudy VIEV* [ARIEV Proceedings], 78, 250–256.
- Mindlin, S. Z., & Petrova, M. A. (2017). On the origin and spread of antibiotic resistance: results of studying ancient bacteria from permafrost sediments. *Molekulyarnaya genetika mikrobiologiya i virusologiya* [Molecular genetics, microbiology and virology], 35(4), 123–131.
- Pimenov, V. V., Laishevtsev, A. I., & Pimenov, N. V. (2017). The main directions of health-improving measures for salmonellosis of birds: principles and disadvantages of antibiotic treatments. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 11(71), 496–510. <http://dx.doi.org/10.18551/rjoas.2017-11.66>
- Pimenov, N.V., & Laishevtsev, A.I. (2017). *Sovremennyye aspekty bor'by s sal'monellyoznoj infekciej* [Modern aspects of the fight against salmonella infection]. Publishing house "Staraya Basmannaya".
- Pliska, A. A., Samokrutova, O. N., Seredkina, I. N., Ablov, A. M., Batomunkuev, A. S., Baryshnikov, P. I., & Anganova, E. V. (2012). Antibiotic sensitivity of microorganisms isolated during intestinal infections of dogs in the conditions of the Baikal region. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Omsk State Agrarian University], 4(8), 65–69.
- Rozhnova, S. Sh., Khristyunina, O. A., & Agafonova, E. I. (2011). The role of phenotypic typing methods for Salmonella in the monitoring of Salmonella. *Epidemiologiya i infekcionnye bolezni, aktual'nye voprosy* [Epidemiology and infectious diseases, current issues], 3, 41–47.
- Sokolova, N. A., Abdullaeva, A. M., & Loshchinin, M. N. (2015). *Vozbuditeli zooantroponozov, pishchevyh otravlenij, porchi syr'ya i produktov zhivotnogo proiskhozhdeniya* [Causative agents of zoonoses, food poisoning, spoilage of raw materials and animal products]. DeLi plyus.
- Subbotin, V. V., Loshchinin, M. N., Sokolova, N. A., & Kolomytsev, S. A. (2013). Salmonellosis is an urgent problem in veterinary medicine. *Veterinariya i kormlenie* [Veterinary and feeding], 4, 59–61.
- Adzitey, F., Teye, G. A., & Amoako, D. G. (2020). Prevalence, phylogenomic insights, and phenotypic characterization of Salmonella enterica isolated from meats in the Tamale metropolis of Ghana. *Food Science & Nutrition*, 8(7), 3647–3655. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1647>
- Chan, M. (2012). Antimicrobial resistance in European Union and World: Keynote address at the conference on Combating antimicrobial resistance: time for action. Copenhagen, Denmark 14 march Available at: www.who.int
- D'Aoust, J. Y. (1991). Pathogenicity of foodborne Salmonella. *The International Journal of Food Microbiology*, 12(1), 17–40. [http://dx.doi.org/10.1016/0168-1605\(91\)90045-q](http://dx.doi.org/10.1016/0168-1605(91)90045-q)
- D'Costa, V. M., McGrann, K. M., Hughes, D. W., & Wright, G. D. (2006). Sampling the antibiotic resistome. *Science*, 311(5759), 374–377. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1120800>
- Gelband, H., Molly Miller, P., Pant, S., Gandra, S., Levinson, J., Barter, D., White, A., & Laxminarayan, R. (2015). The state of the world's antibiotics 2015. *Wound Healing Southern Africa*, 8, 30–34.
- Goncuoglu, M., Ormanci, F. S. B., Uludag, M. & Cil, G. I. (2016). Prevalence and Antibiotic Resistance of Salmonella SPP. and Salmonella Typhimurium in Broiler Carcasses Wings and Liver. *Journal of Food Safety*, 36(4), 524–531. <http://dx.doi.org/10.1111/jfs.12272>
- Lee, H. J., Youn, S. Y., Jeong, O. M., Kim, J. H., Kim, D. W., Jeong, J. Y., Kwon, Y. K. & Kang, M. S. (2019). Sequential Transmission of Salmonella in the Slaughtering Process of Chicken in Korea. *Journal of Food Science*, 84, 871–876. <http://dx.doi.org/10.1111/1750-3841.14493>
- Nikaido, H. (2009). Multidrug resistance in bacteria. *Annual Review of Biochemistry*, 78, 119–146. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.biochem.78.082907.145923>
- Nhung, N. T., Chansiripornchai, N., & Carrique-Mas, J. J. (2017). Antimicrobial Resistance in Bacterial Poultry Pathogens: A Review. *Frontiers in Veterinary Science*, 4, 126. <http://dx.doi.org/10.3389/fvets.2017.00126>
- Sánchez Salazar, E., Gudiño, M.E., Sevillano, G., Zurita, J., Guerrero López, R., Jaramillo, K. & Calero Cáceres, W. (2020). Antibiotic resistance of Salmonella strains

- from layer poultry farms in central Ecuador. *Journal of Applied Microbiology*, 128, 1347-1354. <http://dx.doi:10.1111/jam.14562>
- Siriken, B., Türk, H., Yildirim, T., Durupinar, B. & Erol, I. (2015), Prevalence and Characterization of Salmonella Isolated from Chicken Meat in Turkey. *Journal of Food Science*, 80, M1044-M1050. <http://dx.doi:10.1111/1750-3841.12829>
- Shrestha, A., Bajracharya, A. M., Subedi, H., Turha, R. S., Kafle, S., Sharma, S., Neupane, S., Chaudhary, D. K. (2017). Multi-drug resistance and extended spectrum beta lactamase producing Gram negative bacteria from chicken meat in Bharatpur Metropolitan, Nepal. *BMC Research Notes*, 10, 574. <https://doi.org/10.1186/s13104-017-2917-x>
- Yang, X., Wu, Q., Zhang, J., Huang, J., Chen, L., Wu, S., & Wei, X. (2019). Prevalence, bacterial load, and antimicrobial resistance of *Salmonella* serovars isolated from retail meat and meat products in China. *Frontiers in Microbiology*, 10, 2121. <http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2019.02121>
- Yu, H., Qu, F., Shan, B., Huang, B., Jia, W., Chen, C., Li, A., Miao, M., Zhang, X., Bao, C., Xu, Y., Chavda, K. D., Tang, Y.-W., Kreiswirth, B. N., Du, H., Chen, L. (2016). Detection of the mer-1 Colistin Resistance Gene in Carbapenem-Resistant Enterobacteriaceae from Different Hospitals in China. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 60(8), 5033-5. <http://dx.doi:10.1128/aac.00440-16>
- Zhao, X., Ye, C., Chang, W., & Sun, S. (2017). Serotype Distribution, Antimicrobial Resistance, and Class 1 Integrons Profiles of *Salmonella* from Animals in Slaughterhouses in Shandong Province, China. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1049. Published 2017 Jun 21. <http://dx.doi:10.3389/fmicb.2017.01049>
- Zou, W., Frye, J. G., Chang, C. W., Liu, J., Cerniglia, C. E., & Nayak, R. (2010). Microarray analysis of antimicrobial resistance genes in *Salmonella enterica* from preharvest poultry environment. *Journal of Applied Microbiology*, 107(3), 906-914. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04270.x>

The microarchitecture of the tissues of the shoulder joint in dogs

Ekaterina A. Pavlovskaya¹, Elena A. Lapteva²

¹ *Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology by K.I. Skryabin*

² *Moscow State University of Food Production*

Correspondence concerning this article should be addressed to Ekaterina A. Pavlovskaya, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology by K.I. Skryabin, st. Ak. Skryabin, 23, p. 1, Moscow, 109472, Russian Federation. E-mail: vetgroomer@yandex.ru

Up to the present time practically not studied the peculiarities of formation of cartilage in the various compartments of the shoulder joint in dogs, as well as zones of least resistance joints in General. Available studies mainly use visual diagnostic methods, without applying morphological and morphometric. There is no information about age-related cytomorphological transformations occurring in the joint in normal and pathological conditions. In this regard, the aim of our study was to determine the zone of risk of damage to the shoulder joint in dogs. Studies were conducted on dogs and cadaver material, selected from giant, large and medium-sized breeds. Arthroscopic studies of dogs were performed, as well as light microscopy of histological sections of freshly treated samples of joint tissues. As a result of trauma to the joint is transformed physiological synovial folds in sklerozirovanie a pathological form that occurs in German shepherd dogs over 5 years of age in 60% of cases. The process of mineralization of the matrix and the appearance of multiple foci of ossification occurs asynchronously in the cartilage of the head of the humerus and the articular cavity of the scapula. Osteoplastic processes in the area of articulation occur unevenly. Cartilage coating of the articular surface of the shoulder blade is characterized by a more uniform distribution than the articular rotation of the humerus head. The zones of risk of damage to the structures of the shoulder joint in dogs were determined. These include: cranial and medial compartments of the joint, the caudal area of the cartilaginous coating of the humerus, the caudal area of the articular surface of the scapula cavity. The data obtained make up for the information about the diagnosis and risk factors in the development of shoulder joint pathologies in dogs of large and giant breeds. They should be used in clinical diagnosis and surgery of the musculoskeletal system in animals.

Keywords: shoulder joint, dog, tissue, cartilage, capsule, bone, arthroscopy, microscopy, shoulder bone, shoulder blade.

Introduction

The study of morphological equivalents and pathological transformation of skeletal system and tendons and ligamentous apparatus apparatus is one of the topical issues in clinical morphology and veterinary medicine. Nowadays the importance of its solution is becoming more and more urgent because of the spread of scapulohumeral periartthritis among large and giant dog breeds that causes limping of unknown etymology. The most common pathology is osteochondritis dissecans (Rudd et al., 1990; Shea et al., 2013; Slater et al., 1991; Uozumi et al., 2009). A great number of diagnostic studies have been done, but, in general, only clinical approach is used thus not considering the structure-functional features of a particular dog that have impact on its pathogeny and pathomorphism.

The structure of coverage of cartilaginous joint is known (Pavlova et al., 1988; Omeliyanenko et al., 1991, 1995) though the features of cartilage formation in different parts of joint and structure of capsule are still not explored nowadays.

A large number of studies are devoted to arthropathy of an elbow joint (Hefti et al., 1999; Nagura et al., 1969; Shea et al., 2013; Uozumi et al., 2009; McCoy et al., 2013; Ytrehus, Ekman et al., 2004; Ytrehus, Haga et al., 2004). However, the importance of the shoulder joint cannot be overestimated as it is the joint that provides mobility on a chest extremity. The lameness connected with pathologies of this joint will lead to the dysfunction of all extremity.

Thus, the present study is aimed to define the area of the least tissue stability in dogs' glenohumeral joint

coverage taking into consideration the features of postnatal ontogenesis.

The following research questions are central to the present study:

What are the morphological characteristics of scapulohumeral articulation in postnatal ontogenesis of dogs?

Where are the areas of the least tissue stability in the glenohumeral joint coverage located?

How are the joint components interconnected in the case of joint pathology?

Materials and methods

Materials

The objects of this research study were dogs and cadaver material from giant breeds (Great Dane, Central Asian Shepherd Dog, Caucasian Shepherd Dog) large breeds (Russian wolfhound (Borzoi), Hortaya borzaya, Doberman) medium breed (German Shepherd, Half-breed German Shepherd) and also wolves from hunting farms. Clinical, arthroscopic and histological examination (microscopic and morphometric) of these breeds have been done. Overall the sample included 49 specimens aged 0–15 (the average age was 38 months).

Procedure

The following were used to study the features of microarchitecture of glenohumeral joint tissue:

microdissection with binocular loupe and subsequent description and functional analysis of studied structures, arthroscopy, light microscopy of histological sections and statistical analysis of digital data.

Arthroscopy study

For arthroscopy study KARL STORZ instrument was used. The joint was filled up with isotonic solution of sodium chloride and the intraoperative joint irrigation was done continuously. The arthroscope was 2,4 mm in diameter with angulation 30°.

The arthroscopy evaluation was done by cells: cranial, mesial and caudal with anatomical structures (tendons, grooves, ligaments) and condition of joint fluid (Petitt et al., 2008; Seimering et al., 1986; Van

Bree et al., 1998; Van Gestel et al., 1985; Van Ryssen et al., 1993).

Different forceps, curettes and hook clips were used as additional instruments for arthroscopy operation and diagnostic studies.

At arthroscopy Zoletil 100 (10 mg/kg) and “Xyla” (3 mg/kg) were used for sedative effect of animals.

Histological examination

The samples of head of humerus joint cartilage and glenoid cavity of scapula, joint capsule, conjugate ligaments and muscles were studied with the help of light microscopy. Selected materials were fixed in 10% neutral formalin solution, its fixing properties are capable to form methylene bridges between polypeptide chains of tissue.

After that the samples were flushed with water-pipe for 24 hours, dehydrated in alcohol of various strength (60°–100°) and embedded in paraffin. After the studied fragments with bone tissue were fixed in paraffin they were decalcified in 5–7% nitric acid solution.

The serial paraffin sections (7–10 µm width) were made by universal automatic microtone HM-360 “Mikrom” (German) (Avtandilov, 1990; Semchenko, 2006).

The histologic section were hematoxylin and eosin stained by practical standard (Pavlova et al., 1988, Avtandilov, 1990) and then studied with light microscopy (Nikon).

Micromorphometry of structure was done using Nikon Eclipse E200 microscope with the help of certified program “Image Scope S”.

Results and discussion

Histologically the capsule consists of 2 layers. The outer layer is fibrotic and the inner layer is sinovial (Figure 1).

It is shown that the joint capsule is of uneven thickness and becomes thin in the cranial part, it consists of 2 layers, which is the common of structure among studied dogs.

The structure of collagen-elastic layer of synovial membrane normally contains blood and lymph capillaries with narrow lumina (Figure 2). Collagen

Figure 1
Microscope slide of a shoulder joint capsule

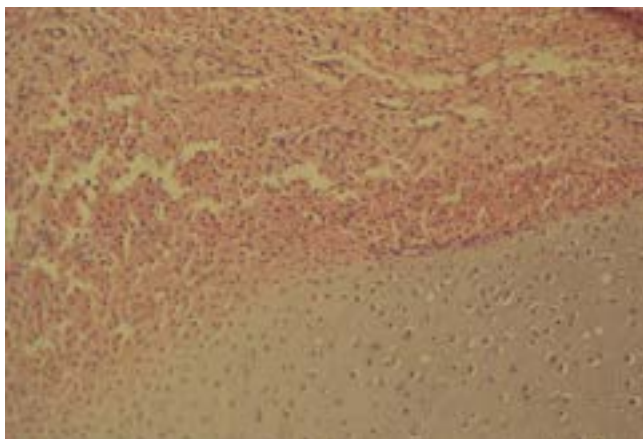


Figure 3
Pathological proliferation of a synovial villi due to joint traumatization. Arthroscopy



Figure 2
Microscope slide of a synovial membrane of a shoulder joint. A large number of capillaries is visible



Figure 4
Histotopography of the humeral bone head of a newborn puppy



fibers and fibroblasts are in mural space. Such microarchitecture is determined by the fact that synovial membrane is instrumental in the trophic provision of articular cartilage, besides it removes metabolism products of chondrocytes.

The oedema and hyperemia of synovial membrane were among 25% of German Shepherd and 20% of Caucasian Shepherd Dog over 1 year of age; while the occurrence among these breeds over 6 years of age was 65% and 40% respectively.

The lump of pathologic forms of synovial folds as well as the local thickness of synovial membrane in the places of maximal rubbing were detected among animals with excessive thinning of cartilaginous coverage (Figure 3).

As a result of joint trauma physiological synovial folds transform into sclerosal pathological forms (in the cases of tendon incarceration of biceps, tenosynovitis and osteochondritis dissecans). This pathology was found among 60% of German Shepherds over 5 years of age, which may serve as a adaptation-compensatory mechanism for keeping stability of a pin-joint.

One of the main characteristics of a cartilage is the change of thickness according to its condition (Pavlova et al., 1988; Hall, 2005). Another meaningful factor of metabolic activity process in cartilage is the condition of chondrocyte nucleus. These cells actively synthesizing collagen and proteoglycans have big circular or oval shaped nucleus with even edges. The cells with pyknosis or rhexis of a nucleus, which indicate the cell necrosis, lose their regular circular shape while their edges become uneven. The thickness of cartilage was measured by dropping a perpendicular from subchondral bone plate to articular surface.

The articular cartilage of the newborn animals did not have zonal differentiation because of the absence of tested mechanical loading, although even at this age there are numerous ossification centres (Figures 4–12). The surface layer of cartilaginous tissue is full of chondrocyte without strict ordering (Figure 6). The

Figure 5

Microscope slide of the humeral bone head of a newborn puppy. The multiple centers of an ossification are visible

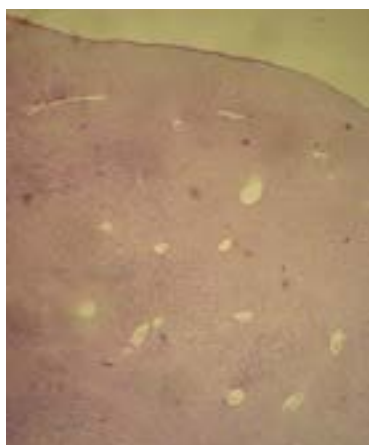


Figure 8

Microscope slide of the humeral bone head of a newborn puppy. The ossification center is visible

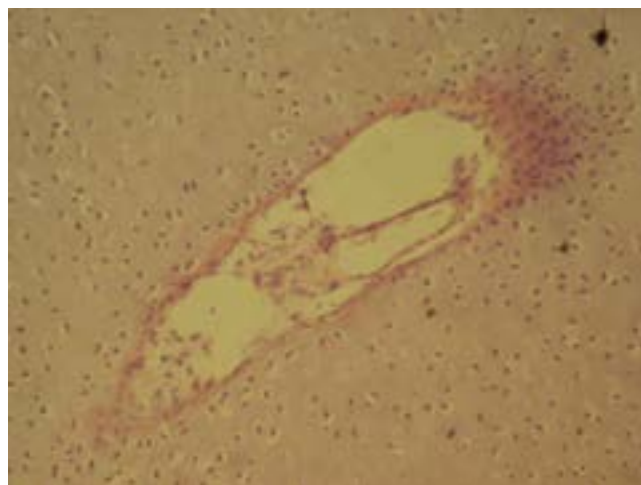


Figure 6

Microscope slide of a humeral bone head of a newborn puppy. Surface layer

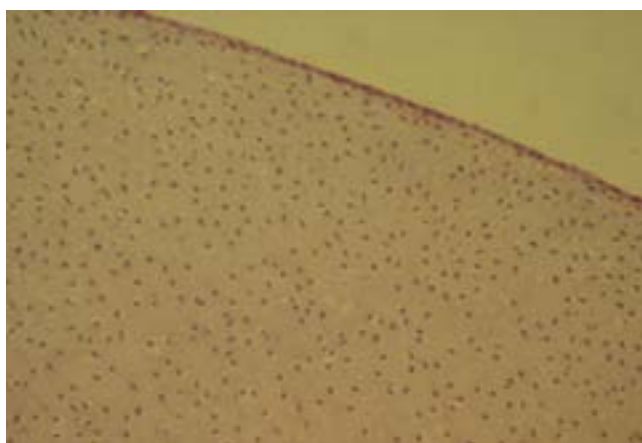


Figure 9

Microscope slide of the humeral bone head of a newborn puppy. Formation of bone beams

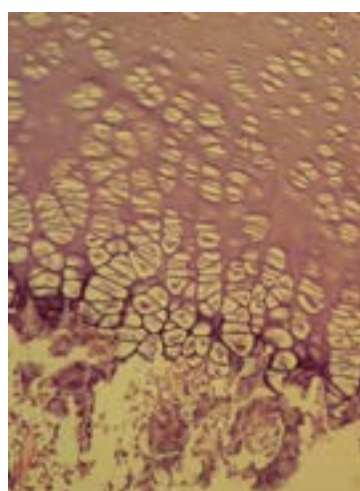


Figure 7

Microscope slide of a humeral bone head of a newborn puppy. Deep layer

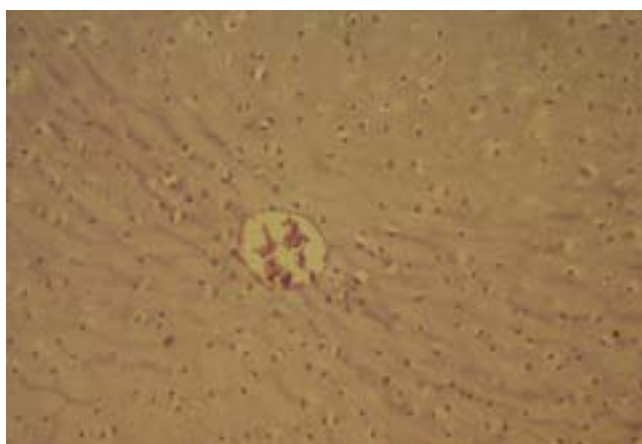


Figure 10

Histotopography of the shovel of a newborn puppy



Figure 11
Microscope slide of the articulate surface of the shovel (a newborn puppy)

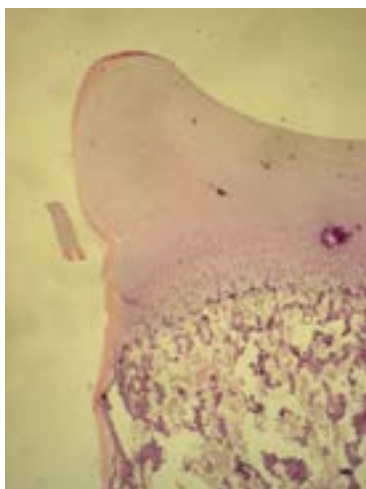
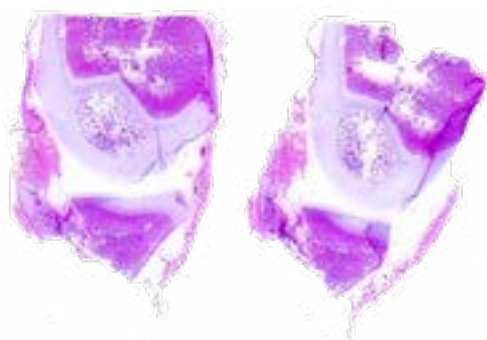


Figure 12
Microscope slide of the articulate surface of the shovel (a newborn puppy). Surface layer.



Figure 13
Histotopography of the central and caudal parts of the shoulder joint (a puppy of 1 month)



chondril balls were not found, although there were small groups of 2-3 cells (Figure 12). In deep layers the chondrocytes were hypertrophied with pyknotic nucleus (Figure 9). The fact that draws much attention is process of matrix mineralization and the appearance of numerous ossification centres. These processes are asynchronous in head of humerus cartilage and glenoid cavity of scapula: the differentiation of scapula articular cartilage outruns the differentiation of humerus (Figure 13). Moreover, the osteoplastic processes are not even. The trabecula of bone formation is strengthened in the central part of scapula articular surface (Figure 11), that reflects various intensity of metabolism in the same tissue cells having different location.

The cranial part of the humeral head cartilaginous covering is distinguished by the latest terms of structural formation. There are many (more than 10) centres of ossification in it (Figures 16–17). The central part occupies an intermediate position in the rate of formation between the cranial and caudal parts (Figures 18–19). It revealed an insignificant (1–2 in the field of view) number of ossification centres. In the caudal part, ossification centres are absent (Figure 22). The structural organization of the cartilage in the caudal part of the humeral head is approaching the definitive one. At the same time, the tidemark does not acquire pronounced tinctorial properties (Figures 20–21).

A slight thinning of the cartilaginous coating in the caudal zone of the humeral head is characteristic of all canines. However, in the case of the German Shepherd its thinning was detected starting from four months of age (Table). The hyaline cartilage of the

Figure 14
Cartilage of the head of a shoulder (central part). The ossification center is visible

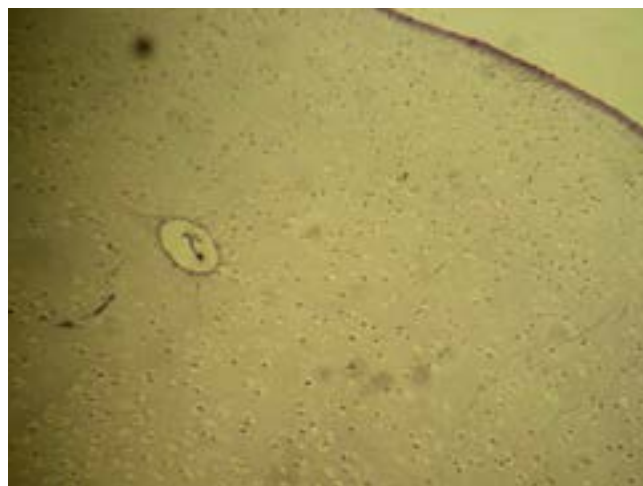


Figure 15
Formation of bone beams

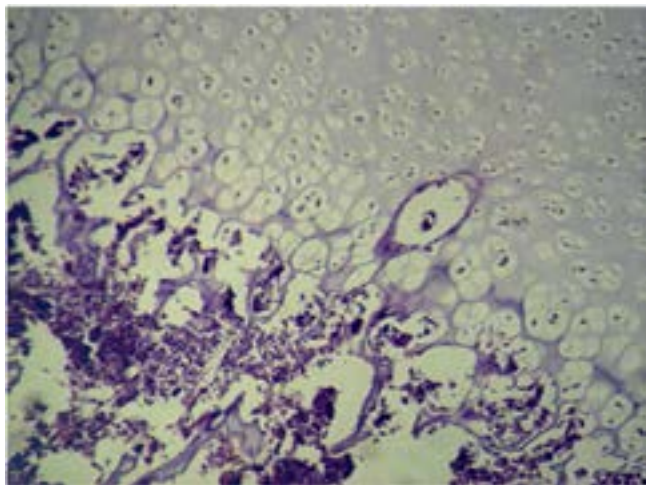


Figure 18
Histotopography of the central part of a humeral bone head (a four-months German shepherd)

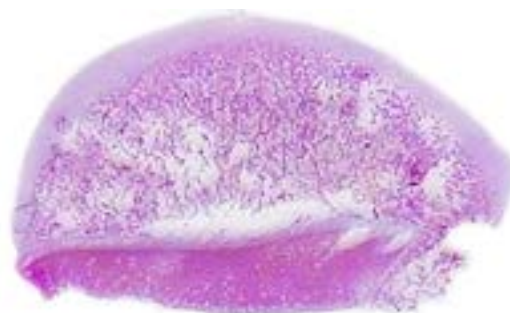


Figure 16
Histotopography of cranial part of a humeral bone head (a four-months German shepherd)

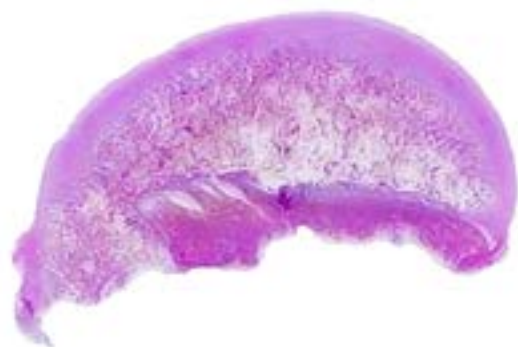


Figure 19
"Bubbly" chondrocytes of the central part of the humeral bone head

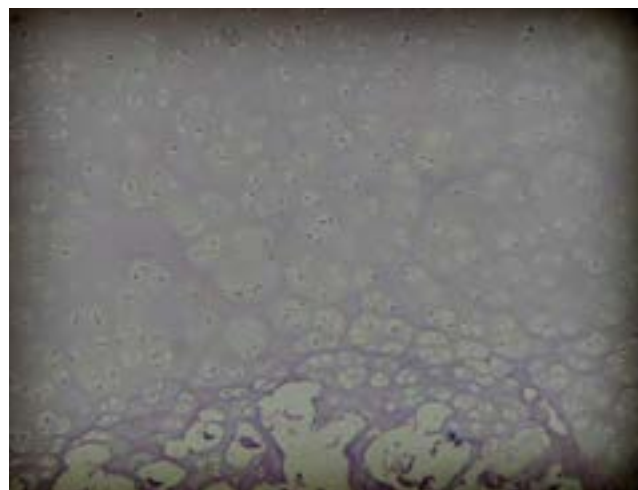


Figure 17
Deep layer of a cartilaginous covering of a cranial humeral bone head (a four-months German shepherd)

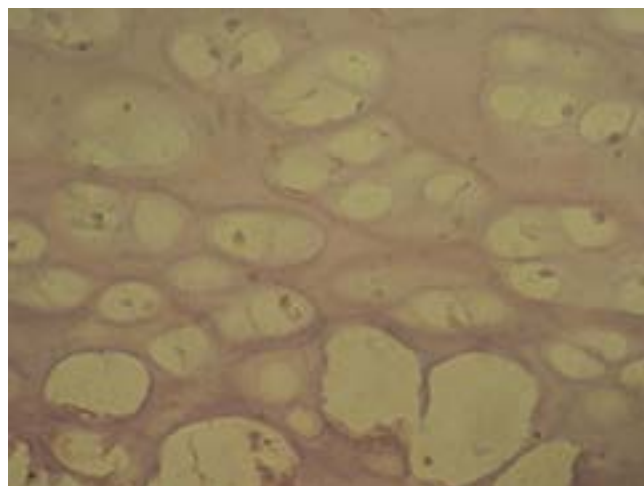


Figure 20
Histotopography of the caudal part of a humeral bone head (a four-months German shepherd)



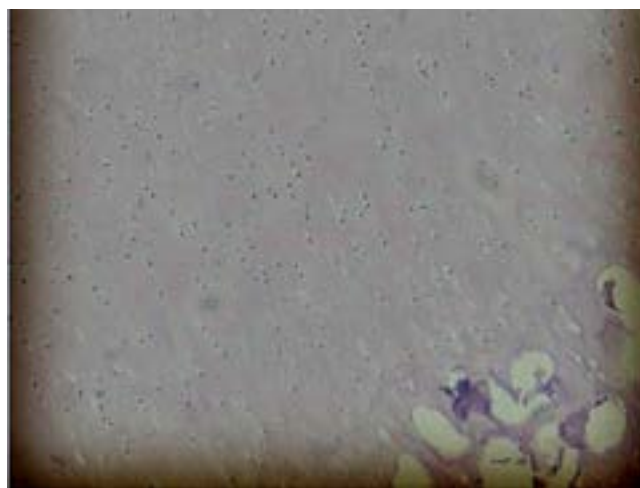
caudal area in the German Shepherd is thinner than in the central area by 22.5% while in the caudal area by 51.4%. In dogs of other breeds, the thickness of the cartilage covering in different compartments of the joint varies within 15%. The cartilaginous covering of the articular surface of the scapula is characterized by a more even distribution. Differences between the compared values are significant ($P \leq 0.05$).

On the basis of the conducted research, the most vulnerable areas of the cartilage coating were identified, these include the caudal areas of the articular surface in the root of the scapula and the head of the humerus. That is why dissecting osteochondritis of the humeral head is diagnosed only in the caudal region of the joint.

When studying the morphogenesis of the shoulder joint, we have identified the zones of the least resistance in its anatomical components. These are the cranial and medial compartments of the joint, the caudal area of the humerus cartilage covering, the caudal area of the cartilage covering of the scapula articular surface, the cartilage-humeral ligaments, the tendon of the

Figure 21

The caudal part is most closer to a definitive state. The division into three zones (superficial, medium and deep) is visible. Tidemark is formed



the cartilage covering of the scapula articular surface, the cartilage-humeral ligaments, the tendon of the subscapularis muscle.

Table

Micromorphological parameters of articular cartilage in dogs

Age	Articular cartilage of the scapula, mkn			Articular cartilage of the humerus, mkn.		
	Cranial.	Centre	Caud.	Cranial.	Centre	Caud.
Newborn	1316,00 ± 0,53	1280,00 ± 0,55	1267,00 ± 0,55	1724,00 ± 0,41	1710,00 ± 0,41	1681,00 ± 0,
1 month	1298,00 ± 0,83	1237,00 ± 0,87	1184,00 ± 0,97	1706,00 ± 0,66	1654,00 ± 0,68	1440,00 ± 0,70
4 month	1256,00 ± 0,64	1179,00 ± 0,68	1048,00 ± 0,76	1684,00 ± 0,47	1534,00 ± 0,52	1397,00 ± 0,57
4 months (German Shepherd)	1124,00 ± 0,62	1063,00 ± 0,66	968,00 ± 0,72	1820,00 ± 0,55	1140,00 ± 0,59	884,00 ± 1,13
Older than 1 year	1023,00 ± 0,78	985,00 ± 0,81	921,00 ± 0,87	1259,00 ± 0,63	1138,00 ± 0,70	984,00 ± 0,81
Older than 6 years	344,00 ± 2,32	592,00 ± 1,35	809,00 ± 9,89	736,00 ± 1,09	625,00 ± 1,23	534,00 ± 1,49

subscapularis muscle. Since the cartilage-humeral ligaments and the tendon of the subscapularis muscle grow together with the capsule, their damage leads to the thinning or damage of the capsule.

The research findings:

1. The areas of the shoulder joint under the risk of the structure damage have been identified. These cranial and medial compartments of the joint, the caudal area of the humerus cartilage covering, the caudal area of

2. The difference in the postnatal ontogenesis of the humeral head cartilage is clearly observed from the age of four months.

Conclusion

This study adds to the previous research on the occurrence of dissecting osteochondritis at the level of cartilage morphology and the characteristics of its formation in wolves, large and giant dog breeds.

Besides it addresses the gap in the knowledge on genetic predisposition of arthropathy (Coopman et al., 2008; Davidson et al., 2008; Emily et al., 2016; Ohlerth et al., 2016). It is obvious that considerable reduction of thickness of a cartilage at the age of 4 months leads to serious pathologies of a joint that manifest themselves at a young age (by 1.5–2). The present research confirmed the genetic determination of cutting osteochondritis of a humeral bone head; a set of studies are dedicated to the etiology of the latter.

References

- Avtandilov, G. G. (1990). *Medizinskaya morfometriya* [Medical Morphometry]. Pearson.
- Coopman, F., Verhoeven, G., Saunders, J., Duchateau, L., & Van Bree H. (2008). Prevalence of hyp dysplasia and humeral head osteochondrosis in dog breeds in Belgium. *Veterinary Record*, 29, 654–658.
- Davidson, P. T., Bullock-Saxton, J., & Lisle, A. (2008). Anthropometric measurements of the scapula, humerus, radius and ulna in labrador dogs with and without elbow dysplasia. *Australian Veterinary Journal*, 11, 425–428.
- Ekman S., & Carlson C. S. (1998). The pathophysiology of osteochondrosis. *Veterinary Clinics of North America Small Animal Practice*, 28, 17–32.
- Smith, E. J., Marcellin-Little, D. J., Harrysson, O. L., & Griffith, E. H. (2016). Influence of chondrodys trophy and brachycephaly on geometry of the humerus in dogs. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 3, 220–227.
- Hall, B. K., & Maintenance, A. (2005). Achondroplasia in: bones and cartilage: developmental skeletal biology. *Elsevier Academic Press*, 226–358.
- Hefti, F., Beguiristain, J., & Krauspe, R. (1999). Osteochondritis dissecans: a multicenter study of the European pediatric orthopedic society. *Journal of Pediatric Orthopaedics Part B*, 8, 231–245.
- Johnson, D. R. (1977). The growth of femur and tibia in three genetically distinct chondrodystrophic mutants of house mouse. *Journal of Anatomy*, 125, 267–275.
- Kippenes, H., Johnston, G. (1998). Diagnostic imaging of osteochondrosis. *Veterinary Clinics of North America Small Animal Practice*, 28, 137–160.
- Mahirogullari, M., Chloros, G. D., Wiesler, E. R., Ferguson, C., & Poehling, G. G. (2008). Osteochondritis dissecans of the humeral head. *Joint Bone Spine*, 75(2), 226–228.
- Markel, M. D., & Sielman, E. (1993). Radiographic study of homotypic variation of long bones in dogs. *American Journal of Veterinary Research*, 54, 2000–2003.
- Mason, D. R., Schulz, K. S., Fujita, Y., Kass, P. H., & Stover, S. M. (2008). Measurement of humeroradial and humeroulnar transarticular joint forces in the canine elbow joint after humeral wedge and humeral slide osteotomies. *Veterinary Surgery*, 37(1), 63–70. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1532-950x.2007.00349.x>
- McCoy, A. M., Toth, F., & Dolvik, N. I. (2013). Articular osteochondrosis: a comparison of naturally-occurring human and animal disease. *Osteoarthritis Cartilage*, 21, 1638–1647.
- Morgan, J. P., Wind A., & Davidson, A. P. (1999). Bone dysplasias in the labrador retriever: a radiographic study. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 35(4), 322–340. <http://dx.doi.org/10.5326/15473317-35-4-332>
- Nagura, S. (1969). Osteochondritis dissecans of the hip joint and its etiology [in German]. *Arch Orthop Unfallchir*, 65, 371–374. <http://dx.doi.org/10.1177/2325967115570019>
- Ohlerth, S., Senn, S., Geissbühler, U., Kircher, P., & Flückiger, M. (2016). Prevalence of humeral head osteochondrosis in the greater swiss mountain dog and the border collie in Switzerland. *Schweiz Arch Tierheilkd*, 158(11), 749–754. <http://dx.doi.org/10.17236/sat00091>
- Omeliyanenko, N. P. (1991). Quantitative analysis of the ultrastructural organization of extracellular components in human articular cartilage. *Clinic Orthopaedics*, 34, 266.
- Omeliyanenko, N. P., Neverkovich, L. N., Sokolov, V. N. (1995). Ultrastructural analysis of the joint cartilage surface layer. In *Proceedings of 5th Annual Meeting of the European Tissue Repair Society*. (pp.105).
- Pavlova, V. P., Kop'eva, T. P., Sluckii, L. I., & Pavlov, G. G. (1988). *Hryashch* [Cartilage]. Pearson.
- Petitt, R. A., Innes, J. F. (2008). Arthroscopic management of a lateral glenohumeral rupture in two dogs. In *Proceeding of the 14th ESVOT Congress* (pp.341).
- Prodromes, C. C., Ferry, J. A., & Schiller, A. L. (1990). Histological studies of the glenoid labrum from fetal life to old age. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 72(9), 1344–1348. <http://dx.doi.org/10.2106/JBJS.18.01160>
- Rudd, R. G., Whitehair, J. G., & Marsolais, J. H. (1990). Result of management of osteochondritis dissecans of the humeral head of dogs: 44 cases. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 26(2), 173–178.
- Seimering, G. B., & Eilert, R. E. (1986). Arthroscopic study of cranial cruciate ligament and medial meniscal lesions in the dog. *Veterinary Surgery*, 15(3), 265–269. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1532-950X.1986.tb00221.x>
- Semchenko, V. V. (2006). *Gistologicheskaya tehnika* [Histological Technique]. Pearson.

- Shea, K. G., Jacobs, J. C., Carey, J. L., Anderson, A. F., & Oxford, J. T. (2013). Osteochondritis dissecans knee histology studies have variable findings and theories of etiology. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 471(4), 1127–1136. <http://dx.doi.org/10.1007/s11999-012-2619-6>
- Shea, K. G., Jacobs, J. C., Grimm, N. L., & Pfeiffer, R. P. (2013). Osteochondritis dissecans development after bone contusion of the knee in the skeletally immature: a case series. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 21(2), 403–407. <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-012-1983-9>
- Slater, M. R., Scarlett, J. M., Karderly, R. E., & Bonnett, B. N. (1991). Breed, gender, and age as risk factors for canine osteochondritis dissecans. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 4(3), 100–106. <http://dx.doi.org/10.1055/s-0038-1633261>
- Sumner, D. R., Turner, T. M., & Galante, J. O. (1998). Symmetry of the canine femur: implications for experimental sample size requirements. *Journal of Orthopaedic Research*, 6(5), 758–765. <http://dx.doi.org/10.1002/jor.1100060519>
- Uozumi, H., Sugita, T., Aizawa, T., Takahashi, A., Ohnuma, M., & Itoi, E. (2009). Histologic findings and possible causes of osteochondritis dissecans of the knee. *American Journal of Sports Medicine*, 37(10), 2003–2008. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546509346542>
- Van Bree, H. J. (1993). Comparison of the diagnostic accuracy of positive-contrast arthrography and arthrotomy in evaluation of osteochondrosis lesions in the scapulohumeral joint in dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 203(1), 84–88. PMID: **8407466**
- Van Bree, H. J., & Van Ryssen, B. (1998). Diagnostic and surgical arthroscopy in osteochondrosis lesions. *The veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 28(1), 161–189. [http://dx.doi.org/10.1016/s0195-5616\(98\)50010-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0195-5616(98)50010-1)
- Van Gestel, M. A. (1985). Diagnostic accuracy of stifle arthroscopy in the dog. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 21(1), 757–763.
- Van Ryssen, B., Van Bree, H. J., & Missinne, S. (1993). Successful arthroscopic treatment of shoulder osteochondrosis in the dog. *Journal of Small Animal Practice*, 34(10), 521–528. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1748-5827.1993.tb03529.x>
- Wood, M. C., Fox, D. B., & Tomlinson, J. L. (2014). Determination of the mechanical axis and joint orientation lines in the canine humerus: a radiographic cadaveric study. *Veterinary Surgery Journal*, 43(4), 414–417. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1532-950X.2014.12134.x>
- Ytrehus, B., Carlson, C. S., & Ekman, S. (2007). Etiology and pathogenesis of osteochondrosis. *Veterinary Pathology*, 44(4), 429–448. <http://dx.doi.org/10.1354/vp.44-4-429>
- Ytrehus, B., Ekman, S., Carlson, C. S., Teige, J., & Reinholt, F. P. (2004). Focal changes of blood supply during normal epiphyseal growth are central in the pathogenesis of osteochondrosis in pigs. *Bone*, 35(6), 1294–1306. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bone.2004.08.016>
- Ytrehus, B., Haga, H. A., & Mellum, C. N. (2004). Experimental ischemia of porcine growth cartilage produces lesions of osteochondrosis. *Journal of Orthopaedic Research*, 22(6), 1201–1209. <http://dx.doi.org/10.1016/j.orthres.2004.03.006>
- Zhu, D., Carrig, C. B., Connors, R. W., & Swecker, W. S. (1992). Jr. Canine bone shape analysis by use of a radiographic image-classification system. *American Journal of Veterinary Research*, 53(7), 1090–1095. PMID: **1497175**

Микроархитектоника тканей плечевого сустава у собак

Павловская Екатерина Андреевна¹, Лаптева Елена Александровна²

¹ ФГБОУ ВО Московская академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА им. К.И. Скрябина

² ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Павловской Е. А., Московская академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина, адрес: ул. Ак. Скрябина, д. 23, с. 1, Москва, 109472, РФ. E-mail: vetgroomer@yandex.ru

До настоящего времени практически не изучены особенности формирования хряща в различных отсеках плечевого сустава у собак, а также зоны наименьшей устойчивости сочленения в целом. Имеющиеся исследования в основном используют визуальные методы диагностики, не применяя морфологических и морфометрических. Отсутствуют сведения о возрастных цитоморфологических преобразованиях, происходящих в суставе в норме и при патологии. В связи с этим целью нашего исследования явилось определить зоны риска возникновения повреждения плечевого сустава у собак. Исследования проводились на собаках и кадаверном материале, отобранном от гигантских, крупных и средних пород. Были произведены артроскопические исследования собак, а также световая микроскопия гистологических срезов свежееизвлеченных образцов тканей сустава. Вследствие травматизации сустава происходит трансформация физиологических синовиальных складок в склерозированные патологические формы, что встречается у немецких овчарок старше 5 лет в 60% случаев. Процесс минерализации матрикса и появление множественных очагов окостенения происходит асинхронно в хряще головки плечевой кости и суставной впадины лопатки. Остеопластические процессы по площади сочленения протекают неравномерно. Хрящевое покрытие суставной поверхности лопатки характеризуется более равномерным распределением, нежели суставная поверхность головки плечевой кости. Определены зоны риска возникновения повреждения структур плечевого сустава у собак. К ним относятся: краниальный и медиальный отсеки сустава, каудальная область хрящевого покрытия плечевой кости, каудальная область суставной поверхности впадины лопатки. Полученные данные восполняют сведения о диагностике и факторах риска в развитии патологий плечевого сустава у собак крупных и гигантских пород. Их целесообразно использовать при клинической диагностике и хирургии опорно-двигательного аппарата у животных.

Ключевые слова: плечевой сустав, собака, ткань, хрящ, капсула, кость, артроскопия, микроскопия, плечевая кость, лопатка

Литература

- Avtandilov, G. G. (1990). *Medizinskaya morfometriya* [Medical Morphometry]. Pearson.
- Coopman, F., Verhoeven, G., Saunders, J., Duchateau, L., & Van Bree H. (2008). Prevalence of hyp dysplasia and humeral head osteochondrosis in dog breeds in Belgium. *Veterinary Record*, 29, 654–658.
- Davidson, P. T., Bullock-Saxton, J., & Lisle, A. (2008). Anthropometric measurements of the scapula, humerus, radius and ulna in labrador dogs with and without elbow dysplasia. *Australian Veterinary Journal*, 11, 425–428.
- Ekman S., & Carlson C. S. (1998). The pathophysiology of osteochondrosis. *Veterinary Clinics of North America Small Animal Practice*, 28, 17–32.
- Smith, E. J., Marcellin-Little, D. J., Harrysson, O. L., & Griffith, E. H. (2016). Influence of chondrodysplasia and brachycephaly on geometry of the humerus in dogs. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 3, 220–227.
- Hall, B. K., & Maintenance, A. (2005). Achondroplasia in: bones and cartilage: developmental skeletal biology. *Elsevier Academic Press*, 226–358.
- Hefti, F., Beguiristain, J., & Krauspe, R. (1999). Osteochondritis dissecans: a multicenter study of

- the European pediatric orthopedic society. *Journal of Pediatric Orthopaedics Part B*, 8, 231–245.
- Johnson, D. R. (1977). The growth of femur and tibia in three genetically distinct chondrodystrophic mutants of house mouse. *Journal of Anatomy*, 125, 267–275.
- Kippenes, H., Johnston, G. (1998). Diagnostic imaging of osteochondrosis. *Veterinary Clinics of North America Small Animal Practice*, 28, 137–160.
- Mahirogullari, M., Chloros, G. D., Wiesler, E. R., Ferguson, C., & Poehling, G. G. (2008). Osteochondritis dissecans of the humeral head. *Joint Bone Spine*, 75(2), 226–228.
- Markel, M. D., & Sielman, E. (1993). Radiographic study of homotypic variation of long bones in dogs. *American Journal of Veterinary Research*, 54, 2000–2003.
- Mason, D. R., Schulz, K. S., Fujita, Y., Kass, P. H., & Stover, S. M. (2008). Measurement of humeroradial and humeroulnar transarticular joint forces in the canine elbow joint after humeral wedge and humeral slide osteotomies. *Veterinary Surgery*, 37(1), 63–70. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1532-950x.2007.00349.x>
- McCoy, A. M., Toth, F., & Dolvik, N. I. (2013). Articular osteochondrosis: a comparison of naturally-occurring human and animal disease. *Osteoarthritis Cartilage*, 21, 1638–1647.
- Morgan, J. P., Wind A., & Davidson, A. P. (1999). Bone dysplasias in the labrador retriever: a radiographic study. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 35(4), 322–340. <http://dx.doi.org/10.5326/15473317-35-4-332>
- Nagura, S. (1969). Osteochondritis dissecans of the hip joint and its etiology [in German]. *Arch Orthop Unfallchir*, 65, 371–374. <http://dx.doi.org/10.1177/2325967115570019>
- Ohlerth, S., Senn, S., Geissbühler, U., Kircher, P., & Flückiger, M. (2016). Prevalence of humeral head osteochondrosis in the greater swiss mountain dog and the border collie in Switzerland. *Schweiz Arch Tierheilkd*, 158(11), 749–754. <http://dx.doi.org/10.17236/sat00091>
- Omeliyanenko, N. P. (1991). Quantitative analysis of the ultrastructural organization of extracellular components in human articular cartilage. *Clinic Orthopaedics*, 34, 266.
- Omeliyanenko, N. P., Neverkovich, L. N., Sokolov, V. N. (1995). Ultrastructural analysis of the joint cartilage surface layer. In *Proceedings of 5th Annual Meeting of the European Tissue Repair Society*. (pp.105).
- Pavlova, V. P., Kop'eva, T. P., Sluckii, L. I., & Pavlov, G. G. (1988). *Hryashch* [Cartilage]. Pearson.
- Petitt, R. A., Innes, J. F. (2008). Arthroscopic management of a lateral glenohumeral rupture in two dogs. In *Proceeding of the 14th ESVOT Congress* (pp.341).
- Prodromes, C. C., Ferry, J. A., & Schiller, A. L. (1990). Histological studies of the glenoid labrum from fetal life to old age. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 72(9), 1344–1348. <http://dx.doi.org/10.2106/JBJS.18.01160>
- Rudd, R. G., Whitehair, J. G., & Marsolais, J. H. (1990). Result of management of osteochondritis dissecans of the humeral head of dogs: 44 cases. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 26(2), 173–178.
- Seimering, G. B., & Eilert, R. E. (1986). Arthroscopic study of cranial cruciate ligament and medial meniscal lesions in the dog. *Veterinary Surgery*, 15(3), 265–269. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1532-950X.1986.tb00221.x>
- Semchenko, V. V. (2006). *Gistologicheskaya tehnika* [Histological Technique]. Pearson.
- Shea, K. G., Jacobs, J. C., Carey, J. L., Anderson, A. F., & Oxford, J. T. (2013). Osteochondritis dissecans knee histology studies have variable findings and theories of etiology. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 471(4), 1127–1136. <http://dx.doi.org/10.1007/s11999-012-2619-6>
- Shea, K. G., Jacobs, J. C., Grimm, N. L., & Pfeiffer, R. P. (2013). Osteochondritis dissecans development after bone contusion of the knee in the skeletally immature: a case series. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 21(2), 403–407. <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-012-1983-9>
- Slater, M. R., Scarlett, J. M., Karderly, R. E., & Bonnett, B. N. (1991). Breed, gender, and age as risk factors for canine osteochondritis dissecans. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 4(3), 100–106. <http://dx.doi.org/10.1055/s-0038-1633261>
- Sumner, D. R., Turner, T. M., & Galante, J. O. (1998). Symmetry of the canine femur: implications for experimental sample size requirements. *Journal of Orthopaedic Research*, 6(5), 758–765. <http://dx.doi.org/10.1002/jor.1100060519>
- Uozumi, H., Sugita, T., Aizawa, T., Takahashi, A., Ohnuma, M., & Itoi, E. (2009). Histologic findings and possible causes of osteochondritis dissecans of the knee. *American Journal of Sports Medicine*, 37(10), 2003–2008. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546509346542>
- Van Bree, H. J. (1993). Comparison of the diagnostic accuracy of positive-contrast arthrography and arthrotomy in evaluation of osteochondrosis lesions in the scapulohumeral joint in dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 203(1), 84–88. PMID: **8407466**
- Van Bree, H. J., & Van Ryssen, B. (1998). Diagnostic and surgical arthroscopy in osteochondrosis lesions. *The veterinary Clinics of North America: Small*

- Animal Practice*, 28(1), 161–189. [http://dx.doi.org/10.1016/s0195-5616\(98\)50010-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0195-5616(98)50010-1)
- Van Gestel, M. A. (1985). Diagnostic accuracy of stifle arthroscopy in the dog. *Journal of the American Animall Hospital Association*, 21(1), 757–763.
- Van Ryssen, B., Van Bree, H. J., & Missinne, S. (1993). Successful arthroscopic treatment of shoulder osteochondrosis in the dog. *Journal of Small Animal Practice*, 34(10), 521–528. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1748-5827.1993.tb03529.x>
- Wood, M. C., Fox, D. B., & Tomlinson, J. L. (2014). Determination of the mechanical axis and joint orientation lines in the canine humerus: a radiographic cadaveric study. *Veterinary Surgery Journal*, 43(4), 414–417. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1532-950X.2014.12134.x>
- Ytrehus, B., Carlson, C. S., & Ekman, S. (2007). Etiology and pathogenesis of osteochondrosis. *Veterinary Pathology*, 44(4), 429–448. <http://dx.doi.org/10.1354/vp.44-4-429>
- Ytrehus, B., Ekman, S., Carlson, C. S., Teige, J., & Reinholt, F. P. (2004). Focal changes of blood supply during normal epiphyseal growth are central in the pathogenesis of osteochondrosis in pigs. *Bone*, 35(6), 1294–1306. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bone.2004.08.016>
- Ytrehus, B., Haga, H. A., & Mellum, C. N. (2004). Experimental ischemia of porcine growth cartilage produces lesions of osteochondrosis. *Journal of Orthopedic Research*, 22(6), 1201–1209. <http://dx.doi.org/10.1016/j.orthres.2004.03.006>
- Zhu, D., Carrig, C. B., Conners, R. W., & Swecker, W. S. (1992). Jr. Canine bone shape analysis by use of a radiographic image-classification system. *American Journal of Veterinary Research*, 53(7), 1090–1095. PMID: 1497175

Влияние гидротермической обработки на выход и качество пшенично-тритикалево-льняной муки

Кандроков Роман Хажсетович¹, Панкратов Георгий Несторович²

¹ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

² Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Кандрокору Р.Х., ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, дом 11. E-mail: nart132007@mail.ru

Представлены результаты исследования влияния гидротермической обработки (ГТО) пшенично-тритикалево-льняной зерновой помольной смеси на выход и качество хлебопекарной муки. Выявлены оптимальные параметры гидротермической обработки холодным кондиционированием исходной пшенично-тритикалевой зерновой смеси перед помолом с семенами льна. Проведено шесть помолов пшенично-тритикалево-льняной зерновой смеси при различных параметрах влажности и времени отволаживания и седьмой помол контрольной пшенично-тритикалевой зерновой смеси. Помолы исходных зерновых смесей проводили на лабораторной мельнице МЛУ-202 швейцарской фирмы «Бюлер», которая состоит из трех драных и трех размольных систем. Установлено, что оптимальным режимом подготовки исходной зерновой пшенично-тритикалевой смеси к помолу является увлажнение ее до технологической влажности 15,5–16,0%, отволаживание в течение 24 ч (помол №7). При этом добавление семян льна в исходную пшенично-тритикалево-льняную зерновую смесь, прошедшую ГТО, производится перед первой драной системой. Установлено, что измельчение семян льна в межвальцовом зазоре происходит начиная со второй драной системы. Выявлено, что добавление 7% льна в исходную пшенично-тритикалево-льняную зерновую смесь приводит к снижению выхода пшенично-тритикалево-льняной муки от 3,5% до 6,8% в зависимости от параметров гидротермической обработки. Установлено, что при переработке исходной зерновой смеси с применением оптимальных режимов ГТО выход пшенично-тритикалево-льняной муки, обогащенной незаменимыми полиненасыщенными жирными кислотами, составил 69,3% с белизной муки 59 единиц прибора РЗ-БПЛ-Ц, что соответствует муке высшего сорта. Хлеб из пшенично-тритикалево-льняной муки по сравнению с контрольным образцом из пшенично-тритикалевой муки отличался незначительно. Оба образца хлеба имеют правильную форму, выпуклую корку, золотисто-коричневый цвет корки. Мякиш хлеба, полученный как из контрольной пшенично-тритикалевой муки, так и из пшенично-тритикалево-льняной муки, эластичный, пористость равномерная, тонкостенная. Установлено, что по своим органолептическим показателям хлеб, полученный из пшенично-тритикалево-льняной муки, обогащенной полиненасыщенными жирными кислотами, не уступает хлебу из контрольной пшенично-тритикалевой муки, а по вкусовым показателям превосходит.

Ключевые слова: пшеница, тритикале, лен, гидротермическая обработка, пшенично-тритикалево-льняная мука, качество

Введение

Химический состав продуктов питания из растительного сырья на зерновой основе, полученных на основе традиционных технологий, характеризуются недостаточной сбалансированностью по био-

логической ценности и биологической эффективности. В последние годы возникла потребность обогащения продуктов питания незаменимыми жирными кислотами, особенно линоленовой кислотой (ω -3) и линоленовой кислотой (ω -6), дефицит которых приводит к серьезным нарушениям в жиз-

недеятельности человеческого организма. В связи с этим, требуется разработка способов улучшения пищевой и питательной ценности продуктов питания из различных видов зерна с добавлением семян масличных культур (лен). Семена льна характеризуются высоким содержанием белка от 18,7 до 28% с хорошо сбалансированным аминокислотным составом, высоким содержанием жира от 35,3 до 52,4% с содержанием полиненасыщенных жирных кислот (семейства ω -3, ω -6) от 75 до 99%. Кроме того, к наиболее востребованным сырьевым ресурсам на рынке ингредиентов для производства функциональных продуктов питания являются продукты глубокой переработки из зернового сырья.

Целью исследований является определение оптимальных параметров гидротермической обработки пшенично-тритикалевой зерновой помольной смеси для производства композитной пшенично-тритикалево-льняной муки, обогащенной незаменимыми жирными кислотами, повышенной пищевой и питательной ценности.

Литературный обзор

Семена льна встречаются в виде двух основных цветов: коричневого или желтого. Большинство типов этих основных сортов имеют сходные питательные характеристики и равное количество жирных кислот ω -3 с короткой цепью. Исключением является тип желтого льна, называемый солином (торговое наименование «Лиола»), который имеет совершенно другой профиль масла и содержит очень мало омега-3, особенно альфа-линоленовой кислоты (Dribnenkil & Green, 1995).

Льняные семена являются источником производства растительного масла, известного как льняное масло и которое является одним из старейших коммерческих масел. Это пищевое масло, полученное прессованием, а иногда и экстракцией растворителем. Обработанное растворителем льняное масло использовалось в течение многих веков в качестве олифы для окраски и лакирования¹. Сорта коричневого льна начали употреблять значительно раньше желтого льна и использовались в течение тысячелетий, его наиболее известные применения – краски, волокна и корм для скота.

В 100-граммовой порции льняное семя содержит высокий уровень (> 19% от суточной нормы) белка,

пищевых волокон, нескольких витаминов группы В и пищевых минералов². Десять грамм льняного семени содержат 1 г водорастворимых волокон (что снижает уровень холестерина в крови) и 3 г нерастворимых волокон (что помогает предотвратить запор). Лен содержит в сотни раз больше лигнанов, чем другие растительные продукты. Семена льна особенно богаты тиамином, магнием, калием и фосфором.

В процентном отношении к общему количеству жира льняные семена содержат 54% ω -3 жирных кислот, 18% ω -9 жирных кислот (олеиновая кислота) и 6% ω -6 жирных кислот (линолевая кислота); семена содержат 9% насыщенных жиров, в том числе 5% пальмитиновой кислоты. Льняное масло содержит 53% ω -3 жирных кислот и 13% ω -6 жирных кислот³.

Американская Академия питания и диетологии считают, что диетические жиры для здорового взрослого населения должны обеспечивать от 20 до 35% энергии, с повышенным потреблением N3 полиненасыщенных жирных кислот и ограниченным потреблением насыщенных и трансжиров (Vannice & Rasmussen, 2015). Академия рекомендует подход, основанный на питании через диету, которая включает регулярное потребление жирной рыбы, орехов и семян, нежирного мяса и птицы, низкожирных молочных продуктов, овощей, фруктов, цельного зерна и бобовых. Эти рекомендации сделаны в контексте быстро развивающейся науки, определяющей влияние диетических жиров и специфических жирных кислот на здоровье человека. В дополнение к жиру как ценному и калорийно плотному макронутриенту, играющему центральную роль в обеспечении необходимого питания и поддержании здоровой массы тела, данные об отдельных жирных кислотах и группах жирных кислот становятся ключевым фактором в питании и здоровье. Небольшие изменения в структуре жирных кислот в рамках более широких категорий жирных кислот, таких как полиненасыщенные и насыщенные, по-видимому, вызывают различные физиологические функции (Vannice & Rasmussen, 2015).

Общее потребление жиров от 20 до 35% энергии рекомендуется Институтом медицины и Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций (ФАО) и поддерживается диетическими рекомендациями

¹ Pigments through the Ages – Renaissance and Baroque (1400-1600). <http://www.webexhibits.org/pigments/intro/renaissance.html>

² «Nutrition facts for 100 g of flaxseeds». Conde Nast for USDA National Nutrient Database, version SR-21. 201

³ «Full Report (All Nutrients): 12220, Seeds, flaxseed per 100 g». USDA National Nutrient Database version SR-27. 2015

2010 года для американцев (DGA). Американская ассоциация сердца (АНА) и Национальная образовательная программа холестерина рекомендуют от 25 до 35% ежедневных калорий из жиров.

Достижение потребления всего жира в пределах рекомендуемого диапазона (от 20 до 35%) является важной целью, но качество жира в рационе не менее важно. Изменение потребления жиров, например, баланса ненасыщенных и насыщенных жиров вместо уменьшения общего количества жира может быть более выгодным для здоровья и снижения риска хронических заболеваний. Влияние конкретных жирных кислот на заболеваемость трудно объяснить, поскольку хроническое заболевание развивается в течение многих лет и является кульминацией многих генетических и жизненных факторов.

Теоретическое обоснование

Производство семян льна в мире в 2016 году составило 2925282 т. Сегодня Российская Федерация является мировым лидером по производству льна, которое составило 672691 т⁴. С 1994 года по 2015 году мировым лидером по производству и экспорту льна являлась Канада. В 2014/15 году Канада произвела около 875 000 т семян льна и экспортировала из них около 80% по данным Статистического управления Канады. В 2015/16 году производство канадского льна составило 940 000 т. Основная канадская культура, лен путешествует сегодня в порты наряду с пшеницей, ячменем, овсом и рапсом. Канадский лен экспортируется в основном в Китай, США и Европу. В 2014/15 гг. Канада поставляла 50% своего экспорта льна в Китай, 23% в ЕС и 21% в Соединенные Штаты Америки.

В Турции были проведены исследования по получению пшеничных отрубей, обогащенных льняной мукой. Было изучено влияние содержания льняного семени (10–20%), температуры обжаривания (160–180°C) и времени обжаривания (40–60°C) на некоторые физико-химические, текстурные и сенсорные свойства и жирнокислотный состав пшеничных стружек. Для определения оптимальных уровней обработки переменных был проведен математический анализ. Построены прогностические регрессионные уравнения с адекватными коэффициентами детерминации для объяснения влияния обрабатываемых переменных. Добавление льняной муки увеличило содержание сухого вещества и белка в образцах, а повышение температуры об-

жаривания снизило значения твердости образцов пшеничной стружки. Увеличение уровня льняной муки обеспечило увеличение содержания ненасыщенных жирных кислот, а именно омега-3 жирных кислот образцов пшеничной стружки. Общая приемлемость чипсов повышается с увеличением температуры обжарки. Анализ показал, что максимальный вкусовой балл будет при добавлении льняного семени в количестве 10%, температурой обжарки 180°C и время обжарки 50 с.

Всемирная организация здравоохранения определила высокое кровяное давление как глобальный общественный кризис, поскольку оно является ведущим фактором риска, связанным со смертью во всем мире. Около 40% людей имеют артериальную гипертензию, и значительная часть людей не диагностирована, не лечится или имеет неконтролируемое высокое кровяное давление. Поэтому важно определить эффективные и желательные стратегии лечения для снижения распространенности и частоты гипертонической болезни в глобальном масштабе.

Потенциальная терапевтическая стратегия для высокого кровяного давления может быть через диетическое вмешательство. В последнее время у пациентов с заболеваниями периферических артерий (PAD; 75% с артериальной гипертензией), которые потребляли 30 г измельченного льняного семени ежедневно в течение 6 месяцев, наблюдалось значительное снижение систолического (-10 мм рт.ст.) и диастолического (-7 мм рт.ст.) артериального давления (The FlaxPAD Trial). Льняное семя содержит ω -3 жирную кислоту-линоленовую кислоту (ALA), лигнаны и клетчатку. У участников, потреблявших льняное семя, наблюдалось значительное повышение содержания АЛК и энтеролигнанов в плазме крови, которые были обратно связаны с артериальным давлением. Однако биологический механизм действия, ответственный за снижение артериального давления, был неясен.

Исследованы изменения химического состава и антиоксидантной активности оболочки семян льна в процессе созревания (Al Hjailli, Sakouhi, Sebei, Trabelsi, Kallel, Boukhchina, 2015). Сорт льна p129 изучали на четырех стадиях созревания. В процессе разработки наблюдалось значительное изменение непосредственного состава корпуса. Основными метиловыми эфирами были линоленовая кислота, олеиновая кислота и линолевая кислота. Установлено, что на первой стадии зрелости наиболее высокие уровни полиненасыщенных жирных

⁴ UN Food and Agriculture Organization, Statistics Division (FAOSTAT). 2017

кислот составляют 67,14%. Льняное масло было хорошего качества с большим содержанием незаменимых жирных кислот омега-3. Значение йода увеличилось, в то время как значение омыления масла уменьшилось во время развития семян. Снижение содержания аскорбиновой кислоты было устойчивым. Максимальный уровень общего содержания фенольной кислоты был достигнут при 7 DAF.

Разделение льняного семени на корпусную и семядольную фракции было предметом нескольких исследований. Когда содержание влаги в семенах было доведено до 20 г на кг перед измельчением, выход семядолей составил 718 г на кг с увеличением на 20 и 28 г на кг белка и масла соответственно. В то же время, если исходить из полножирной основы, то кожура составляла 41,4% от общего количества семян без масла и влаги; по существу, она составляла 60% от общего количества льняного шрота. Он имел значение азота приблизительно на одну треть больше, чем фракция семядолей, которая содержала 96,7% от общего количества азота. Оболочка, включая семенную оболочку и эндосперм, составляет 36% от общего веса рассеченного вручную льняного семени или 22% от массы семени, полученного механическим путем. Оболочка льняного семени трудно переваривается и поэтому затрудняет доступ к липидам. Содержание масла в оболочках семян льна колеблется от 26 до 30% в зависимости от условий обработки, что составляет приблизительно 18% от общего количества масла семян. Масло из лузги, полученное сухим абразивным шелушением, содержало значительно более высокий уровень пальмитиновой кислоты и самый низкий уровень стеариновой и олеиновой кислот по сравнению с целым семенем. Корпус льняного семени обогащен СДГ по сравнению с семядолями. Были изучены фитохимический профиль и антиоксидантная активность при разработке новых продуктов на основе омега-3 жирной кислоты.

Представлены изменения физико-химических характеристик льняных масел в процессе выращивания льна. По мере развития зрелости наблюдалось снижение величины омыления. Значения омыления льняного масла варьируются от 198 мг КОН на 1 г масла до 178 мг КОН на 1 г масла. Во всех исследованных образцах содержание свободных жирных кислот было менее 3 на всех этапах развития льняного семени. Высокое содержание FFA вызывает проблемы в процессе перезтерификации. Во время развития льняной оболочки значение йода находили в диапазоне от 160 до 170 мг. На ранних стадиях развития льняного семени общее содержание фенольных кислот в масле лузги льняного семени было выше (128,3 мг галловой кислоты на

100 г масла), а затем снижалось по мере созревания до достижения урожайных значений (62,40 мг галловой кислоты на 100 г масла).

Российские ученые провели исследования по разработке инновационной технологии получения композиционной пшенично-льняной муки (Кандрокров, Панкратов, Витол, 2018), особенностей продуктов переработки двухкомпонентных смесей пшеницы и льна, новых функциональных продуктов из двухкомпонентной зерновой смеси пшеницы и льна, полученные с использованием биотехнологических методов (Панкратов, Мелешкина, Витол, Кандрокров, 2018, 2019), по установлению биологических и физико-химических основ использования льняной муки для разработки хлебобулочных изделий (Зубцов & Миневич, 2011), разработке технологии хлебопечения с использованием льняного жмыха (Бегеулов, Сычева, 2017), по установлению особенностей использования продуктов переработки семян льна при производстве хлебобулочных изделий (Конева, 2016), по использованию цельного семени льна в производстве инновационного продукта с заданными свойствами и его товароведной характеристики (Кулешова, Позняковский, 2011), по выявлению функциональной значимости семян льна и практики их использования в пищевых технологиях (Миневич, 2019), по установлению баланса полиненасыщенных жирных кислот в питании (Зайцева, Нечаев, 2014).

Гипотезой настоящих исследований является то обстоятельство, что гидротермическая обработка зерна выполняет одну важнейшую задачу — оптимизирует технологические свойства зерна перед измельчением независимо от режимных параметров процесса, последовательности операций и используемого оборудования. При этом в различных технологиях она может иметь разную, в некоторых случаях противоположную направленность. Так, в технологии муки влаготепловая обработка предварительно разрушает внутреннюю структуру зерна, а в технологии крупы, наоборот, укрепляет ее. Есть специфические методы гидротермической обработки, такие как вакуумное кондиционирование пшеницы, микронизация или нагрев инфракрасными лучами, и т.п. Главное отличие всех применяемых методов гидротермической обработки состоит в интенсивности теплового воздействия на обрабатываемое зерно. По этому признаку методы гидротермической обработки можно классифицировать следующим образом:

- мягкие методы, исключаящие тепловое воздействие или обрабатывающие зерно теплой

водой с температурой не выше 30°C. К этим методам относят метод холодной гидротермической обработки (холодного кондиционирования) при подготовке зерна к помолу в технологии муки или при подготовке крупяных культур к переработке;

- методы гидротермической обработки со средней интенсивностью. К ним относится метод горячего кондиционирования при подготовке пшеницы к помолу, а также обработка крупяных культур горячей водой при температурах 45–50°C;
- интенсивные методы гидротермической обработки, предусматривающие пропаривание влажным насыщенным паром с последующим тепловым воздействием;
- жесткие методы гидротермической обработки, предусматривающие пропаривание паром с избыточным давлением с последующей сушкой при высоких (свыше 100°C) температурах. К ним также относят методы, предусматривающие контактный нагрев зерна, сочетание контактного и конвективного методов с высокими температурными параметрами.

К параметрам воздействия или режимным параметрам процесса гидротермической обработки относят: степень увлажнения, время отволаживания, кратность обработки одинаковыми средствами, например, увлажнением и отволаживанием, температурный режим воздействия.

Степень увлажнения $\Delta W, \%$ количественно определяется как разность между оптимальным значением влажности зерна для технологии $W_{\text{opt}}, \%$ и начальным значением влажности $w_{\eta}, \%$:

$$\Delta W = W_{\text{opt}} - w_{\eta}$$

Степень увлажнения зерна зависит от вида перерабатываемой культуры, типа технологии, качества зерна (типовой состав, стекловидность, начальная влажность и т. п.). Величина степени увлажнения колеблется в реальных условиях в пределах 3–7%.

Время отволаживания – необходимое время для преобразования свойств увлажненного зерна. Этот параметр зависит также от вида перерабатываемого зерна, его качества, типа технологии, а также от принятого способа гидротермической обработки. Кратность воздействия одноименными средствами зависит от реакции зерна на влаготепловую обработку и начальной влажности зерна. Например, при низкой начальной влажности зерна не удастся достичь оптимальной технологической влажности за однократное увлажнение, или однократное воз-

действие не дает оптимальных преобразований свойств зерна.

К ним относят все методы, исключаящие какой-либо тепловой нагрев зерна или обрабатывающие зерно теплой водой с невысокой температурой. Обработка теплой воды эффективна при соответствующих погодных условиях, например, в холодное время года. Холодные способы гидротермической обработки применяют при подготовке мягкой пшеницы и ржи к хлебопекарным сортам и обойным помолам, при подготовке твердой и высокостекловидной мягкой пшеницы к макаронным помолам, а также при подготовке к переработке пшеницы в крупу. Сюда можно отнести также холодный способ гидротермической обработки кукурузы при подготовке к переработке в крупу шлифованную пятиномерную и кукурузы в крупу для хлопьев и палочек, когда температура воды не превышает 35–40°C

Сущность технологии гидротермической обработки холодным способом, используемой в мукомольной промышленности, состоит в том, что зерно увлажняется водой комнатной температуры на заданную величину и отволаживается определенное время в соответствии с задачей технологии. По технологической схеме увлажнение может осуществляться при мойке зерна, при мокром шелушении или в аппарате для увлажнения любого принципа действия. При сортовых помолах пшеницы обязательной операцией является или мойка зерна, или мокрое шелушение, так что первое увлажнение осуществляется в этом оборудовании. При размолах ржи мойку зерна исключают, чтобы избежать нежелательного переувлажнения. При сортовых помолах высокостекловидной мягкой пшеницы в хлебопекарную и макаронную муку, а также при помолах твердой пшеницы в макаронную муку и при низкой влажности зерна технология должна включать три этапа увлажнения и отволаживания два основных и один — перед первой измельчающей системой. При помолах низкостекловидного зерна пшеницы и влажности, увеличение которой до технологической возможно за один этап, второе основное увлажнение и отволаживание исключают из технологии.

Время отволаживания также изменяется в зависимости от вида, типового состава, стекловидности зерна и от типа технологии. Больше время отволаживания предусматривается для сортовых помолов пшеницы, так как в этих технологиях требуется более радикальное изменение структуры зерна. Увеличение стекловидности зерна в пределах типа также требует увеличения време-

Таблица 1

Параметры отволаживания зерна пшеницы в зависимости от стекловидности при сортовых помолах (часов)

Тип зерна	Стекловидность, %		
	менее 40	40-60	более 60
I	4-8	6-12	10-16
III	4-6	6-10	8-12
IV	6-10	10-16	16-24

ни отволаживания. Прослеживается также влияние типового состава на время отволаживания. Большее время отволаживания в пределах одной группы стекловидности предусматривается для пшеницы IV-го типа, меньшее – для пшеницы III-го типа. Сокращают время отволаживания при сортовых помолах ржи и обойных помолах пшеницы и ржи.

Особые рекомендации необходимо выполнять при выборе времени отволаживания при переработке твердой и высокостекловидной мягкой пшеницы в макаронную муку. В технологическом плане увеличение времени отволаживания приводит к более интенсивному разрыхлению эндосперма на более мелкие структуры. Поэтому при измельчении такого зерна получают относительно больше мелких частиц с размерами менее 0,4 мм (мелких крупок, дунстов, муки). Последнее нежелательно для макаронных технологий в связи с особенностью помола. Считается, что высокого выхода макаронной муки (крупки и полу-

крупки) можно достигнуть при получении более 50% крупных крупок с размерами 1,15–0,56 мм в начальном драном (крупнообразующем процессе). Поэтому время отволаживания сокращают таким образом, чтобы избежать излишнего предварительного разрушения зерна в процессе гидротермической обработки. В таблице 1 приведено рекомендуемое время отволаживания для зерна пшеницы при сортовых помолах.

Исследование

Материалы и методы

Объектами исследования являлись пшенично-тритикалевая зерновая смесь в соотношении 60 : 40 и семена льна урожая 2017 года, выращенного в республике Мордовия. Физические и физико-химические свойства исходной пшенично-тритикалевой зерновой смеси и исходных семян льна представлены в таблице 2. Химический состав пшенично-тритикалевой зерновой смеси и семян льна представлены в таблице 3.

Таблица 2

Физико-химические свойства пшенично-тритикалевой зерновой смеси и семян льна

Показатели качества	Пшенично-тритикалевая смесь	Семена льна
Влажность, %	12,2	5,1
Масса 1000 зерен, г	44,7	8,4
Стекловидность, %	52	-
Натура, г/л	769	667
Крупность и выравненность, %	89,0	91,8
Зольность, %	2,18	3,61
Геометрические размеры (ширина/длина/толщина), мм	3,6/6,5/2,9	2,5/5,1/1,2

Таблица 3

Химический состав пшенично-тритикалевой зерновой смеси и семян льна

Исходный продукт	Химический состав				
	Крахмал, %	Белок, %	Жир, %	Клетчатка, %	Вода, %
Пшенично-тритикалевая зерновая смесь	72,8	12,3	1,8	2,2	10,9
Семена льна	5,1	24,4	37,3	15,1	5,7

Общее содержание белка определяли по ГОСТ 10846-91; жира – по (ГОСТ 29033-91); клетчатки – по Кюшнеру и Ганеку; крахмала – по Эверсу (ГОСТ 31675-2012); растворимого белка – по методу Лоури.

Для анализа основных показателей пшенично-тритикалевой зерновой смеси и продуктов их переработки использованы следующие стандартные методы: влажность – по ГОСТ 13586.5-93; белизна муки – по ГОСТ 26361-84; зольность – по ГОСТ 10847-74; число падения – по ГОСТ 27676-88; массовая доля и качество сырой клейковины – по ГОСТ 27839-88; пробные лабораторные выпечки и оценка качества хлеба из пшеничной муки – по ГОСТ 27669-88.

Результаты и обсуждение

На первом этапе исследований определяли оптимальные режимы подготовки контрольной пшенично-тритикалевой зерновой смеси на лабораторной мельнице МЛУ-202 швейцарской фирмы «Бюлер», которая состоит из трех драных и трех размольных систем. Предыдущие исследования показали, что оптимальным количеством семян льна, которые необходимо добавить в зерновую смесь, является 7% (Кандрок, Панкратов, Витол, 2018). В качестве гидротермической обработки применяли способ холодного кондиционирования, как наиболее дешевый и распространенный. Семена льна в количестве 7% добавляли в исходную пшенично-тритикаловую зерновую смесь, прошедшую гидротермическую обработку, перед первой драной системой. Величины межвальцового зазора на лабораторной мельнице при помоле пшенично-тритикалево-льняной зерновой смеси в сортовую хлебопекарную муку составили:

- на I драной системе – 0,5 мм;
- на II драной системе – 0,3 мм;

- на III драной системе – 0,1 мм;
- на 1 размольной системе – 0,07 мм;
- на 1 размольной системе – 0,05 мм;
- на 1 размольной системе – 0,03 мм.

Параметры холодного кондиционирования различных образцов пшенично-тритикалевой зерновой смеси после увлажнения и отволаживания перед помолем на лабораторной мельнице МЛУ-202 представлены в таблице 4. Расчетная влажность пшенично-тритикалевой зерновой смеси после увлажнения варьировала в диапазоне от 14,5 до 16,5%, а фактическая влажность составила 13,7–15,8%. Время отволаживания после кондиционирования составила 12, 18 и 24 ч.

Выход контрольной пшенично-тритикалевой и пшенично-тритикалево-льняной муки и отрубей, полученных по различным вариантам гидротермической обработки, представлены в таблице 5.

Из таблицы 5 видно, что общий выход пшенично-тритикалево-льняной муки составил от 66,0 до 69,3%. При этом добавление 7% семян льна в исходную пшенично-тритикаловую зерновую смесь приводит к снижению общего выхода муки от 3,5 до 6,8%.

Отрубей с драных систем больше всего (23,2%) получили при помоле №2, когда параметры ГТО составляли увлажнение до 15,5% и отволаживание 24 ч. С размольных систем отрубей больше всего (15,3%) получили при помоле №5, когда параметры ГТО составляли увлажнение до 14,5% и отволаживание 12 ч.

Показатели белизны полученных потоков пшенично-тритикалево-льняной муки по различным вариантам гидротермической обработки со всех технологических систем представлены в таблице 6.

Таблица 4

Параметры гидротермической обработки исходной пшенично-тритикалевой смеси

№ помола	Расчетная влажность, %	Фактическая влажность, %	Время отволаживания, ч.
1	16,0	14,7	24
2	15,5	14,9	24
3	14,5	13,7	24
4	16,5	15,2	12
5	14,5	13,6	12
6	15,5	14,4	18
7	16,5	15,8	24

Таблица 5

Баланс помолов пшенично-тритикалево-льняных зерновых смесей

Технологическая система	Выход пшенично-тритикалево-льняной муки и отрубей по системам, %						
	Помол №1	Помол №2	Помол №3	Помол №4	Помол №5	Помол №6	Помол №7
I драная система	10,0	8,4	11,9	8,3	8,3	9,5	8,1
II драная система	11,2	10,8	11,9	7,7	7,7	8,8	9,3
III драная система	2,2	3,6	3,3	4,3	4,0	3,8	3,5
Σ муки с драных систем	23,5	22,8	27,1	20,3	20,0	22,1	20,9
1 размольная система	41,9	35,6	35,4	31,4	30,7	32,1	34,4
2 размольная система	4,8	5,2	2,5	11,0	11,7	8,4	7,9
3 размольная система	2,7	2,4	2,9	5,0	6,0	3,8	6,1
Σ муки с размольных систем	49,3	43,2	40,8	47,4	48,4	44,3	48,4
Σ муки со всех систем	72,8	66,0	67,9	67,7	68,4	66,4	69,3
Отруби с драных систем	17,8	23,2	18,5	19,0	16,3	19,5	18,4
Отруби с размольных систем	9,4	10,8	13,6	13,3	15,3	14,1	12,3
Σ отрубей	27,2	34,0	32,1	32,3	31,6	33,6	30,7

Из таблицы 6 видно, что наилучшая мука с наибольшей белизной получается на I драной системе, вне зависимости от параметров гидро-термической обработки зерновой смеси. Это обстоятельство объясняется тем, что семена льна отличаются от зерна пшеницы и тритикале по своим геометрическим характеристикам и при попадании в межвальцовое пространство I драной системы исходной пшенично-тритикалево-льняной смеси происходит измельчение только зерна пшеницы и тритикале. Семена льна начинают измельчаться, начиная со II драной системы.

На втором этапе исследований определяли хлебо-пекарные свойства методом пробной лабораторной выпечки контрольной пшенично-тритикалевой муки и различных образцов пшенично-тритикалево-льняной муки, полученных с применением различных параметров холодного кондиционирования.

Как видно из рисунков, хлеб из пшенично-тритикалево-льняной муки по сравнению с контрольным образцом из пшенично-тритикалевой муки, отличался незначительно. Оба изделия имеют правильную форму, выпуклую корку, золотисто-

Таблица 6

Белизна полученных потоков пшенично-тритикалево-льняной муки

Технологическая система	Белизна, ед. приб. РЗ-БПЛ-Ц						
	Помол №1	Помол №2	Помол №3	Помол №4	Помол №5	Помол №6	Помол №7
I драная система	74	73	69	69	67	66	69
II драная система	68	56	52	53	51	51	59
III драная система	57	37	31	31	30	29	35
1 размольная система	68	55	51	50	50	50	59
2 размольная система	51	36	29	36	35	33	46
3 размольная система	45	28	23	24	21	23	40

Рисунок 1

Внешний вид хлеба из муки, полученной из исходной контрольной пшенично-тритикалевой зерновой смеси



Рисунок 2

Внешний вид хлеба из муки, выпеченной из контрольной пшенично-тритикалевой зерновой смеси



коричневый цвет корки. Мякиш хлеба, полученной как из контрольной пшенично-тритикалевой муки, так и из пшенично-тритикалево-льняной муки, эластичный, пористость равномерная, тонкостенная. По объемному выходу хлеба, формоустойчивостью и пористостью хлеб из контрольной пшенично-тритикалевой муки незначительно превосходит хлеб из пшенично-тритикалево-льняной муки. Хруст, комкуемость при разжевывании и крошковатость отсутствовала у обоих образцов хлеба.

Выводы

По результатам проведенных исследований определены оптимальные параметры гидротермической обработки (увлажнение ее до технологической влажности 15,5–16,0%, отволаживание в течение 24 ч) пшенично-тритикалевой зерновой смеси перед измельчением с семенами льна.

Установлено, что измельчение семян льна в межвальцовом зазоре происходит, начиная со второй

драной системы. Выявлено, что добавление 7% льна в исходную пшенично-тритикалевою зерновую смесь приводит к снижению выхода пшенично-тритикалево-льняной муки от 3,5% до 6,8% в зависимости от параметров гидротермической обработки.

Выявлено, что при переработке исходной зерновой смеси с применением оптимальных режимов ГТО выход пшенично-тритикалево-льняной муки, обогащенной незаменимыми полиненасыщенными жирными кислотами, составил 69,3% с белизной 59 ед. приб. РЗ-БПЛ-Ц, что соответствует хлебопекарной муке высшего сорта.

Хлеб из пшенично-тритикалево-льняной муки, обогащенной незаменимыми жирными кислотами повышенной пищевой и питательной ценности, по сравнению с контрольным образцом из пшенично-тритикалевой муки отличался незначительно. Оба хлеба имеют правильную форму, выпуклую корку, золотисто-коричневый цвет корки. Мякиш хлеба, полученный как из контрольной пшенично-тритикалевой муки, так и из пшенич-

но-тритикалево-льняной муки, эластичный, пористость равномерная, тонкостенная.

Установлено, что по своим органолептическим показателям хлеб, полученный из пшенично-тритикалево-льняной муки, обогащенной полиненасыщенными жирными кислотами, не уступает хлебу из контрольной пшенично-тритикалевой муки, а по вкусовым показателям превосходит за счет слабого специфического льняного вкуса.

Литература

- Береулов, М. Ш., & Сычева, Е. О. (2017). Технология хлебопечения с использованием льняного жмыха. *Известия ТСХА*, (3), 110–126.
- Зайцева, Л. В., & Нечаев А. П. (2014). Баланс полиненасыщенных жирных кислот в питании. *Пищевая промышленность*, (11), 56–59.
- Зубцов, В. А., & Миневич, И. Э. (2011). Биологические и физико-химические основы использования льняной муки для разработки хлебобулочных изделий. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 10–13.
- Кандроков, Р. Х., Панкратов, Г. Н., & Витол, И. С. (2018). Инновационная технология получения композиционной пшенично-льняной муки. *Современная наука и инновация*, 4(24), 127–133.
- Конева, С. И. (2016). Особенности использования продуктов переработки семян льна при производстве хлебобулочных изделий. *Ползуновский вестник*, (3), 35–37.
- Кулешова, Н. И., & Позняковский, В. М. (2011). Использование цельного семени льна в производстве инновационного продукта с заданными свойствами и его товароведная характеристика. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, (6), 57–60.
- Миневич, И. Э. (2019). Функциональная значимость семян льна и практика их использования в пищевых технологиях. *Health, Food & Biotechnology*, 1(2), 97–120. <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i2.s224>
- Панкратов, Г. Н., Мелешкина, Е. П., Витол, И. С., & Кандроков, Р. Х. (2018). Особенности продуктов переработки двухкомпонентных смесей пшеницы и льна. *Хлебопродукты*, (12), 42–46.
- Мелешкина, Е. П., Панкратов, Г. Н., Витол, И. С., & Кандроков, Р. Х. (2019). Новые функциональные продукты из двухкомпонентной зерновой смеси пшеницы и льна, полученные с использованием биотехнологических методов. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*, (2), 54–58. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/2/54-58>
- Al Hjaili, A. D., Sakouhi, F., Sebei, K., Trabelsi, H., Kallel, H., & Boukhchina, S. (2015). Influence of harvest year in the physicochemical properties and antioxidant activity of flaxseed hull oils from Tunisia. *Food Science and Technology*, 35, 175–182. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6688>
- Campos, J. R., Severino, P., Ferreira, C.S., Zielinska, A., Santini, A., Souto, S. B., & Souto, E. B. (2019). linseed essential oil – source of lipids as active ingredients for and nutraceuticals. *Current Medicinal Chemistry*, 26(24), 4537–455. <https://doi.org/10.2174/0929867325666181031105603>
- Cheng, C., Yu, X., McClements, D. J., Huang, Q., Tang, H., Yu, K., Xiang, X., Chen, P., Wang, X., & Deng, Q. (2019). Effect of flaxseed polyphenols on physical stability and oxidative stability of flaxseed oil-in-water nanoemulsions. *Food Chemistry*, 301, 125207. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125207>
- De Silva, S. F., & Alcorn, J. (2019). Flaxseed lignans as important dietary polyphenols for cancer prevention and treatment: chemistry, pharmacokinetics, and molecular targets. *Pharmaceuticals*, 12(2), 68. <https://doi.org/10.3390/ph12020068>
- Droźłowska, E., Łopusiewicz, Ł., Mężyńska, M., & Bartkowiak, A. (2020). Valorization of flaxseed oil cake residual from cold-press oil production as a material for preparation of spray-dried functional powders for food applications as emulsion stabilizers. *Biomolecules*, 10(1), 153. <https://doi.org/10.3390/biom10010153>
- Dzuvoor, C. K. O., Taylor, J. T., Acquah, C., Pan, S., & Agyei, D. (2018). Bioprocessing of functional ingredients from flaxseed. *Molecules*, 23(10), 2444. <https://doi.org/10.3390/molecules23102444>
- Garros, L., Drouet, S., Corbin, C., Decourtil, C., Fidel, T., Lebas de Lacour, J., Leclerc, E. A., Renouard, S., Tungmunthum, D., Doussot, J., Abassi, B. H., Maunit, B., Lainé, É., Fliniaux, O., Mesnard, F., & Hano, C. (2018). Insight into the influence of cultivar type, cultivation year, and site on the lignans and related phenolic profiles, and the health-promoting antioxidant potential of flax (*linum usitatissimum* L.) seeds. *Molecules*, 23(10), 2636. <https://doi.org/10.3390/molecules23102636>
- Dribnenkil, J. C. P., & Green, A. G. (1995). Linola '947' low linolenic acid flax. *Canadian Journal of Plant Science*, 75(1), 201–202. <https://doi.org/10.4141/cjps95-036>
- Li, X., Li, J., Dong, S., Li, Y., Wei, L., Zhao, C., Li, J., Liu, X., & Wang, Y. (2019). Effects of germination on tocopherol, secoisolariciresinol diglucoside, cyanogenic glycosides and antioxidant activities in flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). *International Journal of Food Science & Technology*, (54), 2346–2354. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14098>

- Łopusiewicz, Ł., Drożłowska, E., Siedlecka, P., Mężyńska, M., Bartkowiak, A., Sienkiewicz, M., Zielińska-Bliźniewska, H., & Kwiatkowski, P. (2019). Development, characterization, and bioactivity of non-dairy kefir-like fermented beverage based on flaxseed oil cake. *Foods*, 8(11), 544. <https://doi.org/10.3390/foods8110544>
- Kaur, R., Kaur, M., & Singh Gill, B. (2017). Phenolic acid composition of flaxseed cultivars by ultra-performance liquid chromatography (UPLC) and their antioxidant activities: Effect of sand roasting and microwave heating. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41, e13181. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13181>
- Mannucci, A., Castagna, A., Santin, M., Serra, A., Mele, M., & Ranieri, A. (2019). Quality of flaxseed oil cake under different storage conditions. *LWT*, 104, 84–90. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.035>
- Mattioli, S., Ruggeri, S., Sebastiani, B., Brecchia, G., Dal Bosco, A., Cartoni Mancinelli, A., & Castellini, C. (2017). Performance and egg quality of laying hens fed flaxseed: highlights on n-3 fatty acids, cholesterol, lignans and isoflavones. *Animal*, 11(4), 705–712. <https://doi.org/10.1017/S175173111600207X>
- Meleshkina, E. P., Pankratov, G. N., Vitol, I. S., Kandrov, R. H., & Tulyakov, D. G. (2017). Innovative trends in the development of advanced triticale grain processing technology. *Foods and Raw Materials*, 5, (2), 70–82. <https://doi.org/10.21179/2308-4057>
- Parikh, M., Maddaford, T. G., Austria, J. A., Aliani, M., Netticadan, T., & Pierce, G. N. (2019). Dietary flaxseed as a strategy for improving human health. *Nutrients*, 11(5), 1171. <https://doi.org/10.3390/nu11051171>
- Pilar, B., Güllich, A., Oliveira, P., Ströher, D., Piccoli, J., & Manfredini, V. J. (2017). Protective role of flaxseed oil and flaxseed lignan secoisolariciresinol diglucoside against oxidative stress in rats with metabolic syndrome. *Journal of Food Science*, 82(12), 3029–3036. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13964>
- Sanmartin, C., Taglieri, I., Venturi, F., Macaluso, M., Zinnai, A., Tavarini, S., Botto, A., Serra, A., Conte, G., Flamini, G., & Angelini, L. G. (2020). Flaxseed cake as a tool for the improvement of nutraceutical and sensorial features of sourdough bread. *Foods*, 9(2), 204. <https://doi.org/10.3390/foods9020204>
- Tavarini, S., Castagna, A., Conte, G., Foschi, L., Sanmartin, C., Incrocci, L., Ranieri, A., Serra, A., & Angelini, L. G. (2019). Evaluation of chemical composition of two linseed varieties as sources of health-beneficial substances. *Molecules*, 24(20):3729. <https://doi.org/10.3390/molecules24203729>
- Vannice, G. K., & Rasmussen, H. C. (2015). Position of the academy of nutrition and dietetics: dietary fatty acids for healthy adults. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 114(1), 136–53. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2013.11.001>
- Wang, H., Wang, J., Qiu, C., Ye, Y., Guo, X., Chen, G., Li, T., Wang, Y., Fu, X., & Liu, R. H. (2017). Comparison of phytochemical profiles and health benefits in fiber and oil flaxseeds (*Linum usitatissimum* L.). *Food Chemistry*, 214, 227–233. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.075>

Effect of hydrothermal treatment on the exit and quality of wheat-tritikal-linen flour

Roman K. Kandrov¹, Georgy N. Pankratov²

¹ FSBEI of HE "Moscow State University of Food Production"

² The All-Russian Research Institute of Grain and its

Processing Products is a branch of the Federal State Budget Scientific Institution
Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbatova "RAS"

Correspondence concerning this article should be addressed to Roman

K. Kandrov, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoe
highway, Moscow, 125080, Russian Federation. E-mail: nart132007@mail.ru

The results of the study are presented, the effect of hydrothermal treatment of wheat-triticale-flax grain grinding mixture on the yield and quality of baking flour. The optimal parameters of hydrothermal treatment by cold conditioning of the initial wheat-triticale grain mixture before grinding were revealed. Seven grindings of wheat-triticale-flax grain mixture were carried out with various parameters of moisture and time of milling. Grinding of the initial grain mixtures was carried out at the laboratory mill MLU-202 of the Swiss company Buhler, which consists of three torn and three grinding systems. It was established that the optimal mode of preparation of the initial grain wheat-triticale mixture for grinding is to moisten it to a process humidity of 15.5–16.0%, and cough for 24 hours (grinding №. 7). In this case, the addition of flax seeds to the initial wheat-triticale grain mixture, which passed the TRP, is carried out before the first torn system. It has been established that flax seeds are crushed in the inter-roll gap starting from the second torn system. It was revealed that the addition of 7% flax to the initial wheat-triticale grain mixture reduces the yield of wheat-triticale flax flour from 3.5% to 6.8%, depending on the parameters of the hydrothermal treatment. It was revealed that during the processing of the initial grain mixture using optimal TRP conditions, the yield of wheat-triticale-flax flour enriched with essential polyunsaturated fatty acids amounted to 69.3% with a whiteness of 59 units of the R3-BPL-C device. Bread from wheat-triticale-flax flour compared to the control sample from wheat flour did not differ significantly. Both breads are of regular shape, convex crust, golden brown color of the crust. The crumb of bread obtained from both the control wheat-triticale flour and wheat-triticale-flax flour is elastic, the porosity is uniform, thin-walled. It was found that in its organoleptic characteristics, bread obtained from wheat-triticale-flax flour is not inferior to bread from a control wheat-triticale flour, but in terms of taste it is superior.

Keywords: wheat, triticale, flax, hydrothermal treatment, wheat-triticale-flax flour, quality

References

- Begeulov, M. Sh., & Sycheva, E. O. (2017). Bakery technology using flaxseed cake. *Izvestiya TSKHA* [News of TSKHA], (3), 110–126.
- Zaitseva, L. V., & Nechaev A. P. (2014). The balance of polyunsaturated fatty acids in the diet. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry], (11), 56–59.
- Zubtsov, V.A., & Minevich, I. E. (2011). Biological and physicochemical bases of the use of flaxseed flour for the development of bakery products. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya* [Storage and processing of agricultural raw materials], (3), 10–13.
- Kandrov, R. Kh., Pankratov, G. N., & Vitol, I. S. (2018). An innovative technology for producing composite wheat-flax flour. *Sovremennaya nauka i innovatsiya* [Modern science and innovation], 4(24), 127–133.
- Koneva, S. I. (2016). Features of the use of flax seed processing products in the production of bakery products. *Polzunovskiy vestnik* [Polzunovsky Bulletin], (3), 35–37.
- Kuleshova, N. I., & Poznyakovskiy, V. M. (2011). The use of whole flax seed in the production of an innovative product with desired properties and its commodity characteristics. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov* [Technology and commodity science of innovative food products], (6), 57–60.
- Minevich, I. E. (2019). Functional Significance of Flax Seeds and Practice of Their Use in Food

- Technologies. Health, Food & Biotechnology, 1(2), 97–120. <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i2.s224>
- Pankratov, G. N., Meleshkina, E. P., Vitol, I. S., & Kandrov, R. Kh. (2018). Features of processed products of two-component mixtures of wheat and flax. *Hleboprodukty* [Bread Products], (12), 42–46.
- Meleshkina, E. P., Pankratov, G. N., Vitol, I. S., & Kandrov, R. Kh. (2019). New functional products from a two-component grain mixture of wheat and flax, obtained using biotechnological methods. *Vestnik Rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki* [Bulletin of Russian agricultural science], (2), 54–58. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/2/54-58>
- Al Hjailli, A. D., Sakouhi, F., Sebei, K., Trabelsi, H., Kallel, H., & Boukhchina, S. (2015). Influence of harvest year in the physicochemical properties and antioxidant activity of flaxseed hull oils from Tunisia. *Food Science and Technology*, 35, 175–182. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6688>
- Campos, J. R., Severino, P., Ferreira, C. S., Zielinska, A., Santini, A., Souto, S. B., & Souto, E. B. (2019). linseed essential oil – source of lipids as active ingredients for and nutraceuticals. *Current Medicinal Chemistry*, 26(24), 4537–455. <https://doi.org/10.2174/0929867325666181031105603>
- Cheng, C., Yu, X., McClements, D. J., Huang, Q., Tang, H., Yu, K., Xiang, X., Chen, P., Wang, X., & Deng, Q. (2019). Effect of flaxseed polyphenols on physical stability and oxidative stability of flaxseed oil-in-water nanoemulsions. *Food Chemistry*, 301, 125207. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125207>
- De Silva, S. F., & Alcorn, J. (2019). Flaxseed lignans as important dietary polyphenols for cancer prevention and treatment: chemistry, pharmacokinetics, and molecular targets. *Pharmaceuticals*, 12(2), 68. <https://doi.org/10.3390/ph12020068>
- Drożdowska, E., Łopusiewicz, Ł., Mężyńska, M., & Bartkowiak, A. (2020). Valorization of flaxseed oil cake residual from cold-press oil production as a material for preparation of spray-dried functional powders for food applications as emulsion stabilizers. *Biomolecules*, 10(1), 153. <https://doi.org/10.3390/biom10010153>
- Dzuvor, C. K. O., Taylor, J. T., Acquah, C., Pan, S., & Agyei, D. (2018). Bioprocessing of functional ingredients from flaxseed. *Molecules*, 23(10), 2444. <https://doi.org/10.3390/molecules23102444>
- Garros, L., Drouet, S., Corbin, C., Decourtil, C., Fidel, T., Lebas de Lacour, J., Leclerc, E. A., Renouard, S., Tungmunthum, D., Doussot, J., Abassi, B. H., Maunit, B., Lainé, É., Fliniaux, O., Mesnard, F., & Hano, C. (2018). Insight into the influence of cultivar type, cultivation year, and site on the lignans and related phenolic profiles, and the health-promoting antioxidant potential of flax (*linum usitatissimum* L.) seeds. *Molecules*, 23(10), 2636. <https://doi.org/10.3390/molecules23102636>
- Dribnenkil, J. C. P., & Green, A. G. (1995). Linola '947' low linolenic acid flax. *Canadian Journal of Plant Science*, 75(1), 201–202. <https://doi.org/10.4141/cjps95-036>
- Li, X., Li, J., Dong, S., Li, Y., Wei, L., Zhao, C., Li, J., Liu, X., & Wang, Y. (2019). Effects of germination on tocopherol, secoisolaricresinol diglucoside, cyanogenic glycosides and antioxidant activities in flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). *International Journal of Food Science & Technology*, (54), 2346–2354. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14098>
- Łopusiewicz, Ł., Drożdowska, E., Siedlecka, P., Mężyńska, M., Bartkowiak, A., Sienkiewicz, M., Zielińska-Bliźniewska, H., & Kwiatkowski, P. (2019). Development, characterization, and bioactivity of non-dairy kefir-like fermented beverage based on flaxseed oil cake. *Foods*, 8(11), 544. <https://doi.org/10.3390/foods8110544>
- Kaur, R., Kaur, M., & Singh Gill, B. (2017). Phenolic acid composition of flaxseed cultivars by ultra-performance liquid chromatography (UPLC) and their antioxidant activities: Effect of sand roasting and microwave heating. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41, e13181. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13181>
- Mannucci, A., Castagna, A., Santin, M., Serra, A., Mele, M., & Ranieri, A. (2019). Quality of flaxseed oil cake under different storage conditions. *LWT*, 104, 84–90. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.035>
- Mattioli, S., Ruggeri, S., Sebastiani, B., Brecchia, G., Dal Bosco, A., Cartoni Mancinelli, A., & Castellini, C. (2017). Performance and egg quality of laying hens fed flaxseed: highlights on n-3 fatty acids, cholesterol, lignans and isoflavones. *Animal*, 11(4), 705–712. <https://doi.org/10.1017/S175173111600207X>
- Meleshkina, E. P., Pankratov, G. N., Vitol, I. S., Kandrov, R. H., & Tulyakov, D. G. (2017). Innovative trends in the development of advanced triticale grain processing technology. *Foods and Raw Materials*, 5, (2), 70–82. <https://doi.org/10.21179/2308-4057>
- Parikh, M., Maddaford, T. G., Austria, J. A., Aliani, M., Netticadan, T., & Pierce, G. N. (2019). Dietary flaxseed as a strategy for improving human health. *Nutrients*, 11(5), 1171. <https://doi.org/10.3390/nu11051171>
- Pilar, B., Güllich, A., Oliveira, P., Ströher, D., Piccoli, J., & Manfredini, V. J. (2017). Protective role of flaxseed oil and flaxseed lignan secoisolaricresinol diglucoside against oxidative stress in rats with metabolic syndrome. *Journal of Food Science*, 82(12), 3029–3036. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13964>
- Sanmartin, C., Taglieri, I., Venturi, F., Macaluso, M., Zinnai, A., Tavarini, S., Botto, A., Serra, A.,

- Conte, G., Flamini, G., & Angelini, L. G. (2020). Flaxseed cake as a tool for the improvement of nutraceutical and sensorial features of sourdough bread. *Foods*, 9(2), 204. <https://doi.org/10.3390/foods9020204>
- Tavarini, S., Castagna, A., Conte, G., Foschi, L., Sanmartin, C., Incrocci, L., Ranieri, A., Serra, A., & Angelini, L. G. (2019). Evaluation of chemical composition of two linseed varieties as sources of health-beneficial substances. *Molecules*, 24(20):3729. <https://doi.org/10.3390/molecules24203729>
- Vannice, G. K., & Rasmussen, H. C. (2015). Position of the academy of nutrition and dietetics: dietary fatty acids for healthy adults. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 114(1), 136-53. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2013.11.001>
- Wang, H., Wang, J., Qiu, C., Ye, Y., Guo, X., Chen, G., Li, T., Wang, Y., Fu, X., & Liu, R. H. (2017). Comparison of phytochemical profiles and health benefits in fiber and oil flaxseeds (*Linum usitatissimum* L.). *Food Chemistry*, 214, 227–233. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.075>

Исследование процесса осахаривания ржаных заварок в технологии заварного хлеба при дискретном режиме производства

Самуilenко Татьяна Дмитриевна¹, Акулич Александр Васильевич¹

¹ Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия»

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Самуilenко Т. Д., Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия», адрес: пр-т Шмидта, д. 3, Могилев, 212027, РБ. E-mail: TataSam@tut.by

Наибольшим спросом в Республике Беларусь среди ассортимента хлеба из ржаной и смеси ржаной и пшеничной муки пользуются заварные его сорта, доля которых в общем объеме производимых хлебобулочных изделий доходит до 45,2%, а в объеме ассортимента хлеба – до 100,0%. Производство заварных сортов хлеба осуществляется преимущественно с использованием сброженной заварки, полученной на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки, которая является многостадийным непрерывно приготавливаемым полуфабрикатом. В дискретном режиме стадия приготовления осахаренной заварки как основы термофильной заквашенной и, в конечном итоге, сброженной заварки не реализуема вследствие невозможности обеспечить стабильный химический ее состав. Целью настоящей работы явилось установление зависимости между показателями осахаренной заварки, ее рецептурным составом и технологическими параметрами приготовления, позволяющими прогнозировать показатели данного полуфабриката в дискретном режиме, управлять ими и обосновано регулировать состав и технологические параметры. Исследования проведены на базе хлебопекарных предприятий Республики Беларусь, работающих в дискретном режиме. В качестве объекта исследований выбрана осахаренная заварка с массовой долей влаги 72,0%. В работе использованы специальные методы оценки показателей осахаренной заварки. Установлено, что для приготовления в производственном цикле осахаренной заварки используется мука ржаная сеяная в количестве от 10,0% до 24,0%, солод ржаной неферментированный в количестве от 2,0% до 8,0% от массы муки по унифицированной рецептуре для заварных сортов хлеба, продолжительность осахаривания заварки изменяется от 60 мин до 720 мин, а температура – от 45°C до 65°C. Разные комбинации состава осахаренных заварок и технологических параметров их приготовления влияют на динамику гидролитических процессов биополимеров муки, что приводит к нестабильности химического состава. Получены зависимости между показателями осахаренных заварок, их рецептурным составом и технологическими параметрами приготовления для регулирования химического состава при нестабильности заявок торговых организаций на ассортимент заварных сортов хлеба и дискретности в режиме работы хлебопекарных предприятий.

Ключевые слова: заварные сорта хлеба, дискретный режим производства, осахаренная заварка, сбраживаемые сахара, водорастворимые азотистые соединения, динамическая вязкость

Введение

Анализ деятельности хлебопекарной отрасли в современных условиях показывает, что наибольшим спросом в Республике Беларусь среди ассортимента хлеба из ржаной муки и смеси ржаной и пше-

ничной муки пользуются заварные его сорта, доля которых в общем объеме производимых хлебобулочных изделий доходит до 45,2%, а в объеме производства ассортимента хлеба – до 100,0% в зависимости от хлебопекарного предприятия¹ (Кушеш, 2006; Овсянникова, 2003; Овсянникова, 2004; Овсянни-

¹ Потребление основных продуктов питания в домашних хозяйствах. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. <http://www.belstat.gov.by>

кова, 2005; Овсянникова, 2006; Овсянникова, 2007; Овсянникова, 2008; Овсянникова, 2009; Овсянникова, 2010; Овсянникова, 2011; Овсянникова, 2012; Овсянникова, 2013; Овсянникова, 2014; Овсянникова, 2015; Овсянникова, 2016; Овсянникова, 2017; Овсянникова, 2018; Овсянникова, 2019; Овсянникова, 2020).

Существующие и используемые в хлебопекарной отрасли традиционные технологии приготовления теста для заварных сортов хлеба базируются на особенностях химического состава ржаной муки, в частности ее углеводно-амилазного и белково-протеиназного комплексов, который преимущественно обуславливает ее хлебопекарные свойства и реологические свойства получаемого теста и требует использования жидких ржаных заварок^{2,3,4} (Дерканосова, 2004; Кузнецова, 2008; Панкратов, 2007). Эффективность процессов, протекающих в этих промежуточных бродильных полуфабрикатах, в значительной степени зависит от количественного и качественного состава мучных питательных субстратов и целенаправленно культивируемых в них специфических микроорганизмов и их активности. В то же время приготовление жидких ржаных заварок представляет или дискретный процесс, в частности, при приготовлении осахаренной заварки, или непрерывный процесс, например, при приготовлении термофильной заквашенной заварки на основе осахаренной заварки и сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки. Следует отметить, что традиционная технология жидких ржаных заварок разработана и реализуема только при круглосуточном режиме работы хлебопекарных предприятий с постоянной производительностью ассортимента заварных сортов хлеба, что обеспечивает стабильность биотехнологических свойств жидких ржаных заварок, а соответственно и потребительских свойств этих сортов хлеба⁵ (Косован, 1999; Кузнецова, 2006; Кузнецова, 2007; Arendt, 2007; Campo, 2016; Van Kerrebroeck, 2018; Preedy, Watson, & Patel Vinood, 2011).

В настоящее время предприятия хлебопекарной отрасли Республики Беларусь работают в дискретном режиме, обусловленном ежесуточными колебаниями заявок торговых организаций на ас-

сортимент заварных сортов хлеба. Традиционное приготовление жидких ржаных заварок в таком режиме отрицательно влияют на стабильность их биотехнологических свойств и в сложившихся условиях практически не реализуема. При этом работа хлебопекарных предприятий должна обеспечивать сохранение стабильно высоких потребительских свойств заварных сортов хлеба в дискретном режиме, что может в полной мере достигаться только за счет стабильности биотехнологических свойств жидких ржаных заварок.

В связи с вышеизложенным современным и актуальным является проведение исследований производственного цикла и отдельных стадий приготовления жидких ржаных заварок в дискретном режиме работы хлебопекарных предприятий с целью установления взаимосвязи между показателями осахаренных заварок и комплексом влияющих на них факторов.

Литературный обзор

В зависимости от технологии приготовления жидкие ржаные заварки подразделяют на неосахаренные, самоосахаренные, осахаренные, заквашенные, сброженные^{6,7}. Они могут использоваться в различном сочетании и последовательности, а технология приготовления теста для заварных сортов хлеба может включать до 6 стадий за счет дополнительного использования других полуфабрикатов на основе муки ржаной и других рецептурных компонентов или за счет целенаправленного поддержания определенных технологических параметров, обусловленных преимущественно спецификой жизнедеятельности тех или иных культивируемых микроорганизмов.

На хлебопекарных предприятиях Республики Беларусь при приготовлении теста для заварных сортов хлеба главным образом используется технология сброженной заварки, полученной на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки⁸.

Первым этапом традиционного производственного цикла приготовления этого полуфабриката является получение заварки и ее последующее осахаривание. Заварку готовят в заварочной машине путем завари-

² Ауэрман, Л. Я. (2009). *Технология хлебопекарного производства*. Профессия.

³ Немцова, З. С. (1986). *Основы хлебопечения*. Агропромиздат.

⁴ Пашенко, Л. П. (2006). *Физико-химические основы технологии хлебобулочных изделий*. ВГТА.

⁵ Ройтер, И. М. (1972). *Влияние технологических факторов на качество и аромат ржано-пшеничного хлеба: обзор*. ЦНИИТЭИпищепром.

⁶ Колосовская, Л. С. (2011). *Сборник технологических инструкций по производству хлебобулочных изделий*. Бизнесофсет.

⁷ Хлебопекарная промышленность. Термины и определения. СТБ 1964 (2009).

⁸ Колосовская, Л. С. (2011). *Сборник технологических инструкций по производству хлебобулочных изделий*. Бизнесофсет.

вания рецептурных компонентов в стабильном количестве из рекомендуемого диапазона⁹. Количество муки ржаной сеяной рекомендуется использовать из диапазона 15,0% – 20,0%, солода ржаного сухого неферментированного – 3,0% – 8,0% от общей массы муки по унифицированной рецептуре для заварных сортов хлеба. В некоторых случаях, рекомендуется вносить измельченные пряности в количестве не более 1,0% от общей массы муки по унифицированной рецептуре. Заваривание рецептурной смеси осуществляется горячей водой с температурой 95 °С – 97°С или паром с образованием полуфабриката (заварки) с однородной консистенцией и массовой долей влаги 72,0% – 78,0%. Далее заварка подвергается осахариванию, в результате которого происходит гидролиз биополимеров муки ржаной сеяной под действием ферментов солода ржаного неферментированного. Целью процесса осахаривания является накопление продуктов гидролиза, преимущественно сбраживаемых сахаров и водорастворимых азотистых соединений, которые являются питательными веществами для микроорганизмов, культивируемых на следующих стадиях производственного цикла приготовления сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки. Традиционно в рассматриваемой технологии температура стадии осахаривания заварки составляет 63°С – 65 °С, продолжительность процесса – в течение стабильного промежутка времени из диапазона 90 мин – 180 мин. Приготовленная осахаренная заварка полностью расходуется в качестве мучного питательного субстрата на приготовление термофильной заквашенной заварки и/или сброженной заварки.

Такой рецептурный состав и технологические параметры приводят к образованию определенного количества продуктов гидролиза биополимеров муки, обуславливающих стабильность количественного и качественного состава культивируемых молочно-кислых бактерий и дрожжевых клеток, процессов кислотонакопления и газообразования, биотехнологических свойств полуфабрикатов и, как следствие, потребительских свойств заварных сортов хлеба.

В дискретном режиме производства рассматриваемого ассортимента традиционная реализация

стадии приготовления осахаренной заварки как основы термофильной заквашенной заварки и, в конечном итоге, сброженной заварки не представляется возможной.

Для регулирования производственного цикла приготовления сброженной заварки некоторые литературные источники приводят сведения о внесении изменений на первой стадии приготовления данного полуфабриката, то есть на стадии получения заварки и ее осахаривания. Существуют рекомендации о продолжительности стадии осахаривания в течение 60 мин с дополнительным внесением ферментных препаратов амилалитического действия в количестве до 0,002% от общей массы муки по унифицированной рецептуре для заварных сортов хлеба, мультиэнзимных композиций, содержащих амилалитические и протеолитические ферменты, в количестве 0,015% от общей массы муки¹⁰. Для увеличения количества сбраживаемых сахаров, водорастворимых азотистых соединений, биостимуляторов, способствующих интенсификации микробиологических процессов, используют дополнительные сырьевые компоненты (различные виды и сорта муки, неферментированный ячменный солод, концентрат квасного сусла, солодовые экстракты, пюре картофельное сухое, свеклосахарная меласса, кислотные гидролизаты, водная вытяжка из отходов сахарного производства, вишневый отстой и др.)^{11,12,13,14} (Кузнецова, 2003). В некоторых случаях предлагается смешивать уже частично или полностью осахаренную заварку с порцией заварки вновь приготовленной. При необходимости исключения стадии заваривания и осахаривания предлагается вместо традиционной муки ржаной сеяной использовать сухие композитные смеси, сухие ржаные заварки на основе набухающей (экструзионной) муки и воды без дополнительного ее подогрева. Для отдельных наименований заварных сортов хлеба встречаются сведения о продолжительности осахаривания до 300 мин – 480 мин. Существуют рекомендации о проведении стадии осахаривания в ночной период времени в течение 480 мин – 720 мин при естественном охлаждении осахаренной заварки в условиях заварочного отделения¹⁵ (Кузнецова, 2003; Гуринова, 2013, с. 109–115; Гуринова, 2013, с. 9–13).

⁹ Там же

¹⁰ Колосовская, Л. С. (2011). *Сборник технологических инструкций по производству хлебобулочных изделий*. Бизнесофсет.

¹¹ Колосовская, Л. С. (2011). *Сборник технологических инструкций по производству хлебобулочных изделий*. Бизнесофсет.

¹² Дерканосов, Н. И., Аверина, Н. М., & Дерканосов, И. Н. (1986). СССР. Авторское свидетельство №1206302. Москва: Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий.

¹³ Пашенко, Л. П., Аверина, Н. М., Шалимова, Н. В. (1984). СССР. Авторское свидетельство № 1159950. Москва: Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий.

¹⁴ Пашенко, Л. П., Головкова, И. Н., Черепнин, В. С., Аверина, Н. М. (1987). СССР. Авторское свидетельство № 1303613. Москва: Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий.

¹⁵ Колосовская, Л. С. (2011). *Сборник технологических инструкций по производству хлебобулочных изделий*. Бизнесофсет

Стоит отметить, что в литературных источниках встречаются только отдельные сведения о регулировании стадии осахаривания, которые рекомендовано использовать для массовых сортов хлеба из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки при круглосуточном режиме работы хлебопекарных предприятий, за исключением производства заварных сортов хлеба. Основным недостатком представленных способов является невозможность обеспечить стабильный качественный состав осахаренной заварки в технологии заварных сортов хлеба при дискретном режиме их производства в условиях использования имеющегося технического оснащения хлебопекарных предприятий.

Теоретическое обоснование

Стадия традиционного приготовления осахаренной заварки как основы термофильной заквашенной заварки и, как следствие, сброженной заварки, в производственном цикле в практической деятельности хлебопекарных предприятий является довольно сложной, трудозатратной и энергоемкой, требующей наличие острого пара, строгого соблюдения технологических параметров, дополнительных производственных площадей, специального оборудования, персонала узко направленной квалификации. Вместе с тем приготовление данного полуфабриката в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба в полной мере и с достаточно высокой эффективностью, обеспечивающей стабильный качественный и количественный состав, практически не реализуемо. В литературных источниках отсутствуют научно обоснованные конкретные сведения о дополнительных технологических приемах воздействия на полуфабрикат именно в дискретном режиме для стабилизации их химического состава, и, в конечном итоге, биотехнологических свойств сброженной заварки и соответственно потребительских свойств рассматриваемого ассортимента хлебобулочных изделий. Имеющиеся отдельные сведения об отличительных особенностях приготовления осахаренной заварки в основном затрагивают узкий перечень наименований заварных сортов хлеба. Их существенным недостатком является то, что они не основываются на зависимостях между химическим составом осахаренной заварки, ее рецептурным составом и технологическими параметрами, используемыми при осахаривании данного полуфабриката. Кроме того, предложенные рекомендации не учитывают специфику дискретного режима производства

заварных сортов хлеба. Способы оптимизации приготовления термофильной заквашенной и сброженной заварки, полученной на основе осахаренной заварки, в современных постоянно меняющихся условиях производства и вовсе отсутствуют¹⁶ (Кузнецова, 2003).

Цель работы – установить зависимости между показателями осахаренных заварок, их рецептурным составом и технологическими параметрами приготовления, позволяющие прогнозировать показатели данного полуфабриката в дискретном режиме и обосновано регулировать его состав и технологические параметры.

Для достижения поставленной цели решали следующие задачи:

- провести анализ производственной практики приготовления осахаренных заварок в технологии заварных сортов хлеба при дискретном режиме производства;
- выявить диапазоны варьирования состава рецептурных компонентов осахаренных заварок и технологических параметров их приготовления в дискретном режиме с учетом имеющейся производственной практики и влияние на их химический состав и динамическую вязкость;
- установить зависимости между показателями осахаренных заварок, их рецептурным составом и технологическими параметрами приготовления.

Гипотеза: прогнозирование показателей осахаренной заварки в технологии заварных сортов хлеба при дискретном режиме и обоснованное регулирование ее рецептурным составом и технологическими параметрами приготовления для обеспечения стабильного протекания последующих процессов заквашивания и сбраживания, в которых она используется.

Исследование

Материалы

В качестве материала исследований выбраны 100 рецептов заварных сортов хлеба из ржаной и смеси ржаной и пшеничной муки и технологические инструкции по их производству с использованием сброженной заварки, полученной на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки. Использована осахаренная заварка с массовой

¹⁶ Колосовская, Л. С. (2011). *Сборник технологических инструкций по производству хлебобулочных изделий*. Бизнесофсет.

долей влаги ($72,0 \pm 0,2$)%, приготовленная в производственном цикле на базе действующих хлебопекарных предприятий: ОАО «Гроднохлебпром» цех №2, КУП «Минскхлебпром» хлебозавод №4, ОАО «Булочно-кондитерская компания «Домочай» филиал «Горецкий хлебозавод», ОАО «Булочно-кондитерская компания «Домочай» хлебозавод №3, ОАО «Витебскхлебпром» хлебозавод №2, ОАО «Гомельхлебпром» филиал «Жлобинский хлебозавод», работающих в дискретном режиме.

Оборудование

В ходе исследования использованы: прибор Kjeltec® 2200, вискозиметр типа ВУ, титровальная установка, электрические плиты, программное приложение для персонального компьютера Statgraphics Plus 5.0 Manugistics company.

Методы

При проведении качественной оценки осахаренной заварки в дискретном режиме определялся рецептурный состав полуфабриката (количество муки ржаной сеяной, солода ржаного неферментированного), продолжительность и температура осахаривания.

Количество сбраживаемых сахаров устанавливалось перманганатометрическим методом^{17,18,19,20,21}.

Массовая доля водорастворимых азотистых соединений в фильтрате, полученном из полуфабриката, определена по методу Кьельдаля на приборе Kjeltec® 2200²².

Для установления динамической вязкости осахаренной заварки использованы экспериментальные данные (продолжительность истечения жидкости через капилляр вискозиметра при исследуемой температуре), полученные с использованием ви-

скозиметра типа ВУ^{23,24,25}. Динамическая вязкость μ , Па × с, при исследуемой температуре рассчитывается по формуле (1):

$$\mu = \mu_{\text{вода}} \times (\tau \times \rho) / (\tau_{\text{вода}} \times \rho_{\text{вода}}), \quad (1)$$

где $\mu_{\text{вода}}$ – динамическая вязкость воды при исследуемой температуре, Па × с (справочная величина); τ – продолжительность истечения полуфабриката через капилляр вискозиметра при исследуемой температуре, с; ρ – плотность полуфабриката при исследуемой температуре, определенная с использованием ареометров, кг/м³; $\tau_{\text{вода}}$ – продолжительность истечения воды через капилляр вискозиметра при исследуемой температуре, с; $\rho_{\text{вода}}$ – плотность воды при исследуемой температуре, определенная с использованием ареометров, кг/м³.

Для управления процессом осахаривания и возможностью прогнозирования характерных показателей осахаренной заварки использован план полного факторного эксперимента (3×2^3), состоящий из 24 опытов с использованием программного приложения Statgraphics Plus 5.0 Manugistics company^{26,27}.

Анализ данных

Экспериментальные исследования проведены с пятикратной повторностью опытов. Обработка экспериментальных результатов проведена с использованием программного обеспечения Statgraphics Plus 5.0 Manugistics company.

Результаты

Изучен производственный цикл приготовления осахаренной заварки, используемой в качестве основы для термофильной заквашенной и сброженной заварок, в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба. Установлено, что

¹⁷ Зверева, Л. Ф., Черняков, Б. И. (1974). *Технология и теххимический контроль хлебопекарного производства*. Пищевая промышленность.

¹⁸ Чижова, К. Н. (1978). *Справочник для работников лабораторий хлебопекарных предприятий*. Пищевая промышленность.

¹⁹ Старовойтова, А. И., Базан, А. И., Фидаров, Ф. М., Федоренчик, Л. А. (2002). *Методические указания по проведению санитарно-микробиологического контроля на хлебопекарных предприятиях*. Минск.

²⁰ Карнышова, Л. В., Севастей, Л. И. (2008). *Методические указания по проведению испытаний качества полуфабрикатов хлебопекарного производства*. Минск.

²¹ Пучкова, Л. И. (2004). *Лабораторный практикум по технологии хлебопекарного производства*. ГИОРД

²² Виноградова, А. А. (1991). *Лабораторный практикум*.

²³ Министерство приборостроения, средств автоматизации и систем управления (1987). Вискозиметр типа ВУ: паспорт, техническое описание и инструкция по эксплуатации 2Б2.842.024 ПС.

²⁴ Вискозиметры типа ВУ. Методы и средства поверки. ГОСТ 8.290 (1978)

²⁵ Вискозиметры для определения условной вязкости. Технические условия. ГОСТ 1532 (1981)

²⁶ Дюк, В. А. (1997). *Обработка данных на ПК в примерах*. ПИТЕР

²⁷ Грачев, Ю. П., Плаксина, Ю. М. (2005). *Математические методы планирования экспериментов*. ДеЛи принт

при приготовлении сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки происходит варьирование рецептурного состава осахаренной заварки и технологических параметров ее приготовления в индивидуальном порядке на каждом предприятии хлебопекарной отрасли.

Проведен анализ рецептур заварных сортов хлеба. Установлено, что основными сырьевыми компонентами при приготовлении осахаренной заварки является мука ржаная сеяная, количество которой варьируется от 10,0% до 24,0%, и солод ржаной неферментированный в количестве от 2,0% до 8,0% от массы муки по унифицированной рецептуре для заварных сортов хлеба.

Существенную роль в реализации производственного цикла приготовления осахаренной заварки играет не только ее состав, но и технологические параметры процесса осахаривания. На стадии осахаривания заварки в условиях предприятия ОАО «Гроднохлебпром» цех №2 температура изменяется от 47°C до 64°C. Аналогичные температурные параметры отмечены при приготовлении осахаренной заварки в условиях ОАО «Булочно-кондитерская компания «Домочай» хлебозавод №3 (от 47°C до 63°C), ОАО «Булочно-кондитерская компания «Домочай» филиал «Горецкий хлебозавод» (от 50°C до 63°C), ОАО «Гомельхлебпром» филиал «Жлобинский хлебозавод» (от 48°C до 63°C). Процесс осахаривания протекает при естественном охлаждении заварки в производственных емкостях без использования дополнительной системы охлаждения. На других предприятиях отмечается расширение или сужение диапазона варьирования температуры осахаривания. Самый широкий диапазон установлен при проведении процесса осахаривания в условиях КУП «Минскхлебпром» хлебозавод №4, который составляет от 45°C до 64°C. Самый узкий диапазон от 56°C до 63°C отмечен при проведении осахаривания заварки в условиях ОАО «Витебскхлебпром» хлебозавод №2. При использовании нескольких производственных емкостей для осахаривания (для предприятий ОАО «Гроднохлебпром» цех №2 и КУП «Минскхлебпром» хлебозавод №4) температура протекающего в них процесса отличается друг от друга. Продолжительность осахаривания заварки в условиях заварочного отделения предприятия ОАО «Гроднохлебпром» цех №2 изменяется от 60 мин до 540 мин, ОАО «Булочно-кондитерская компания «Домочай» хлебозавод №3 – от 60 мин до 180 мин, ОАО «Гомельхлебпром» филиал «Жлобинский хлебозавод» – от 120 мин до 240 мин. Самый широкий

диапазон изменения продолжительности осахаривания установлен в условиях предприятия КУП «Минскхлебпром» хлебозавод №4 и составляет от 60 мин до 720 мин. Кроме того, выявлены отличия в продолжительности приготовления осахаренной заварки при использовании нескольких производственных емкостей. Самый узкий диапазон изменения продолжительности осахаривания заварки (от 60 мин до 120 мин) осуществлен в условиях ОАО «Булочно-кондитерская компания «Домочай» филиал «Горецкий хлебозавод». Исследования показали, что на хлебопекарных предприятиях может наблюдаться и стабильность в продолжительности осахаривания заварки. Так на ОАО «Витебскхлебпром» хлебозавод №2 продолжительность приготовления осахаренной заварки на каждом этапе составляет 120 мин. Стоит отметить, что более широкий диапазон температур осахаривания заварки наблюдается преимущественно одновременно с увеличением продолжительности процесса ее приготовления.

Исследовано изменение химического состава осахаренной заварки по содержанию сбраживаемых сахаров, водорастворимых азотистых соединений и динамической вязкости этого полуфабриката в условиях рассматриваемых хлебопекарных предприятий для оценки степени влияния рецептурного состава и технологических параметров на гидролитические процессы биополимеров муки. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Полученные на основе представленных обобщенных теоретических данных и имеющегося практического опыта приготовления осахаренной заварки в дискретном режиме диапазоны влияющих факторов на процесс осахаривания использованы для поиска взаимосвязи между ними, химическим составом и ее динамической вязкостью. На основе математического планирования построен и реализован план полного факторного эксперимента, включающий 24 опыта, который представлен в таблице 2. Проведен комплекс экспериментальных исследований. При этом выходными функциями являются: Y_1 – содержание сбраживаемых сахаров в осахаренной заварке, %; Y_2 – содержание водорастворимых азотистых соединений в осахаренной заварке, %; Y_3 – динамическая вязкость осахаренной заварки, Па · с. По результатам проведенного эксперимента осуществлен перевод управляемых факторов в стандартизированный масштаб, а также проведена статистическая обработка экспериментальных данных и получены уравнения регрессии (1–3), адекватно описывающие зависимости химического состава осахаренной заварки, ее динами-

Таблица 1

Пределы характерных показателей осахаренной заварки, полученной в условиях заварочных отделений хлебопекарных предприятий Республики Беларусь

Предприятие	Содержание сбраживаемых сахаров, % в пересчете на сухие вещества		Содержание водорастворимых азотистых соединений, % в пересчете на сухие вещества		Динамическая вязкость, Па · с	
	минимальное	максимальное	минимальное	максимальное	минимальное	максимальное
ОАО «Гродно-хлебпром» цех №2	11,0	21,4	1,6	2,3	16,4	24,4
КУП «Минск-хлебпром» хлебозавод №4	10,8	20,2	1,5	2,3	16,7	24,2
ОАО «Булочно-кондитерская компания «Домочай» филиал «Горецкий хлебозавод»	11,0	12,0	1,8	1,9	19,8	21,4
ОАО «Булочно-кондитерская компания «Домочай» хлебозавод №3	11,7	17,5	1,6	2,0	17,9	23,8
ОАО «Витебск-хлебпром» хлебозавод №2	11,6	11,8	1,7	1,9	20,3	20,7
ОАО «Гомель-хлебпром» филиал «Жлобинский хлебозавод»	11,7	18,2	1,7	2,1	16,8	20,5

Таблица 2

План и результаты проведения эксперимента

№ опыта	Продолжительность осахаривания X_3 , мин	Содержание муки ржаной X_1 , %	Содержание солода ржаного неферментированного X_2 , %	Температура осахаривания X_4 , °C	Содержание сбраживаемых сахаров Y_1 , %	Содержание водорастворимых азотистых соединений Y_2 , %	Динамическая вязкость Y_3 , Па · с
1	390	24,0	2,0	65	16,1	1,9	17,7
2	60	24,0	8,0	45	12,5	2,6	22,9
3	390	24,0	8,0	65	33,7	4,1	15,2
4	720	10,0	2,0	65	18,3	2,1	17,5
5	720	10,0	2,0	45	17,5	1,9	18,3
6	390	24,0	2,0	45	15,2	1,7	18,9
7	390	10,0	8,0	45	18,8	2,2	17,2
8	720	24,0	2,0	45	18,1	2,1	16,7
9	60	24,0	2,0	45	8,6	1,3	26,1
10	720	24,0	2,0	65	18,8	2,4	15,3
11	60	24,0	8,0	65	13,8	3,0	21,3
12	60	10,0	2,0	45	8,4	1,2	26,5
13	390	10,0	2,0	45	12,6	1,7	19,1
14	720	10,0	8,0	45	24,1	2,6	15,9
15	390	10,0	2,0	65	13,5	1,9	18,5
16	60	10,0	2,0	65	8,9	1,5	25,1
17	720	24,0	8,0	45	34,1	3,9	10,7
18	60	10,0	8,0	45	10,8	1,5	25,5

Таблица 2. (окончание)

№ опыта	Продолжительность осахаривания X_3 , мин	Содержание муки ржаной сеяной X_1 , %	Содержание солода ржаного неферментированного X_2 , %	Температура осахаривания X_4 , °C	Содержание сбраживаемых сахаров Y_1 , %	Содержание водорастворимых азотистых соединений Y_2 , %	Динамическая вязкость Y_3 , Па · с
19	390	24,0	8,0	45	30,3	3,3	16,4
20	720	10,0	8,0	65	27,5	3,0	14,4
21	390	10,0	8,0	65	19,7	2,6	16,8
22	720	24,0	8,0	65	38,5	4,8	8,9
23	60	10,0	8,0	65	11,6	1,9	23,2
24	60	24,0	2,0	65	9,1	1,6	24,7

ческой вязкости от выбранных факторов влияния на процесс осахаривания:

$$Y_1 = 14,2 + 0,012 \cdot X_3 - 0,4 \cdot X_1 - 1,6 \cdot X_2 - 0,0000225 \cdot (X_3)^2 + 0,00239 \cdot X_3 \cdot X_2 + 0,0867 \cdot X_1 \cdot X_2, \quad (1)$$

$$Y_2 = 1,87 + 0,00045 \cdot X_3 - 0,066 \cdot X_1 - 0,24 \cdot X_2 - 0,0056 \cdot X_4 + 0,000033 \cdot X_3 \cdot X_1 + 0,00015 \cdot X_3 \cdot X_2 + 0,014 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,0025 \cdot X_2 \cdot X_4, \quad (2)$$

$$Y_3 = 28,67 - 0,024 \cdot X_3 + 0,13 \cdot X_1 + 0,264 \cdot X_2 - 0,0438 \cdot X_4 + 0,000019 \cdot (X_3)^2 - 0,000249 \cdot X_3 \cdot X_1 - 0,00053 \cdot X_3 \cdot X_2 - 0,0238 \cdot X_1 \cdot X_2, \quad (3)$$

где X_1 – содержание муки ржаной сеяной, используемой при приготовлении осахаренной заварки, % от массы муки по унифицированной рецептуре для заварных сортов хлеба; X_2 – содержание солода ржаного неферментированного, используемого при приготовлении осахаренной заварки, % от массы муки по унифицированной рецептуре для заварных сортов хлеба; X_3 – продолжительность осахаривания заварки, мин; X_4 – температура осахаривания заварки, °C.

Влияние каждого из названных факторов и их взаимодействие отражают карты Парето (рис. 1), при помощи которых установлены значимые коэффициенты в уравнениях (1–3).

Коэффициент детерминации R^2 для уравнения (1) составляет 0,96, для уравнения (2) – 0,99, для уравнения (3) – 0,98. Так как коэффициенты детерминации стремятся к единице, то полученные уравнения адекватны протекающим процессам.

Динамика функции отклика при влиянии наиболее значимых факторов в используемых диапазонах отражены на рисунках (2–4).

Дискуссия

Проведенный анализ обобщенных теоретических данных и имеющегося практического опыта показывает, что очевидны разные ежедневно повторяемые многочисленные особенности в работе хлебопекарных предприятий при реализации производственного цикла приготовления промежуточных полуфабрикатов, в частности осахаренных заварок. Преимущественно эти особенности базируются на изменении в широком диапазоне рецептурного состава и технологических параметров приготовления осахаренных заварок, носят субъективный характер и отличаются от рекомендуемых значений технологическими инструкциями^{28,29,30} (Гуринова, 2013, с. 9–13; Гуринова, 2013, с. 109–115; Кузнецова, 2003): содержание муки ржаной сеяной для приготовления составляет от 10,0% до 24,0%, содержание солода ржаного неферментированного изменяется от 2,0% до 8,0% от массы муки по уни-

²⁸ Колосовская, Л. С. (2011). Сборник технологических инструкций

²⁹ Самуйленко, Т. Д. (2018). Моделирование жизненного цикла дрожжей и молочнокислых бактерий в биотехнологических процессах хлебопекарного производства (№ государственной регистрации 20163247). Могилев: Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия».

³⁰ Самуйленко, Т. Д. (2019). Оптимизация технологического цикла сброженной заварки, полученной на основе осахаренной и заквашенной заварки, путем моделирования жизнедеятельности популяций симбиотически развивающихся в них микроорганизмов в дискретном режиме производства хлеба (№ государственной регистрации 20191859). Могилев: Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия».

Рисунок 1

Карта Парето для характерных показателей осахаренной заварки

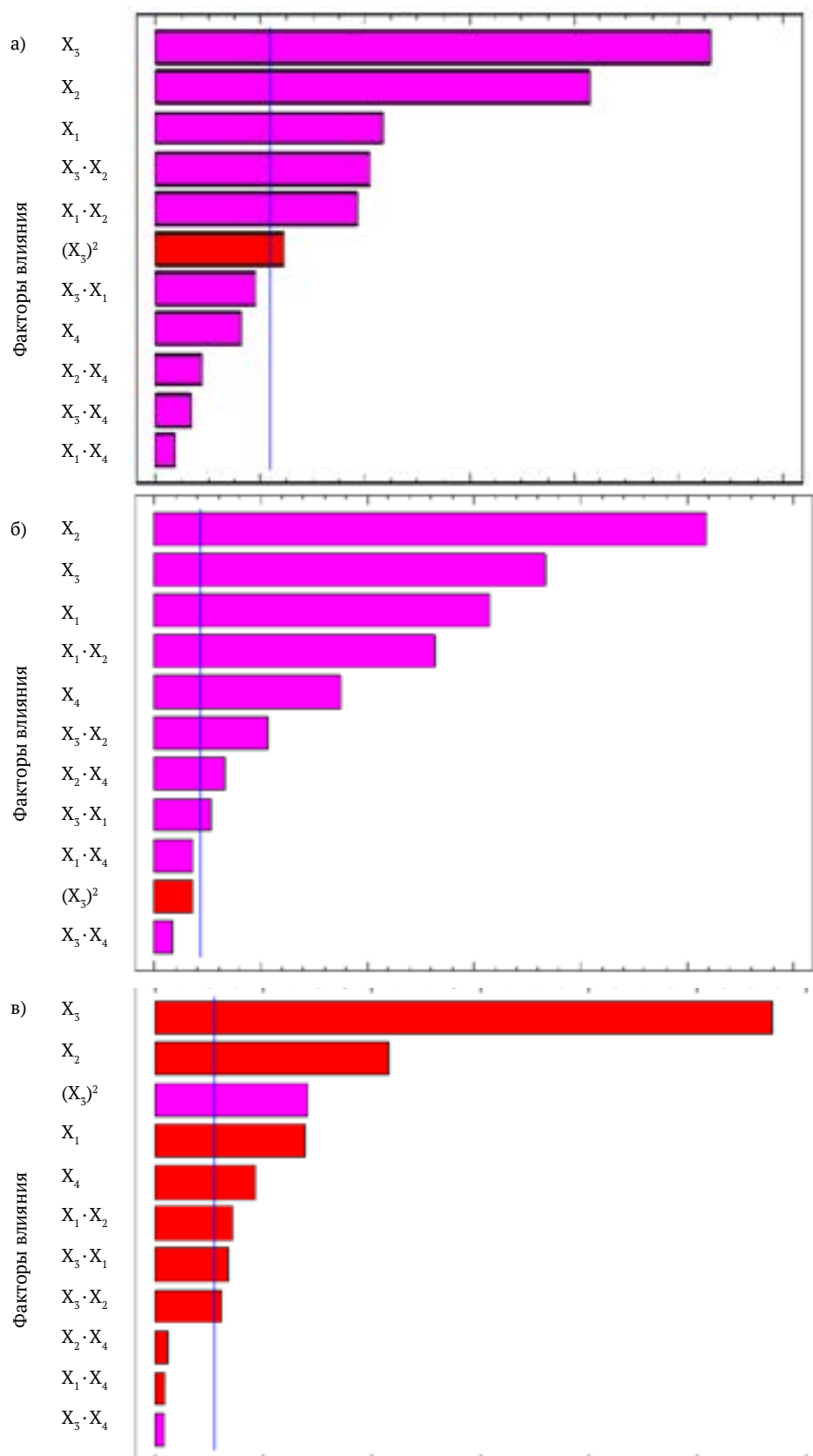
а) для параметра Y_1 ; б) для параметра Y_2 ; в) для параметра Y_3 

Рисунок 2

Динамика накопления сбраживаемых сахаров в процессе осахаривания заварки при варьировании содержания солода ржаного неферментированного и продолжительности осахаривания (температура осахаривания 65°C, содержании муки ржаной сеяной 17,0%)

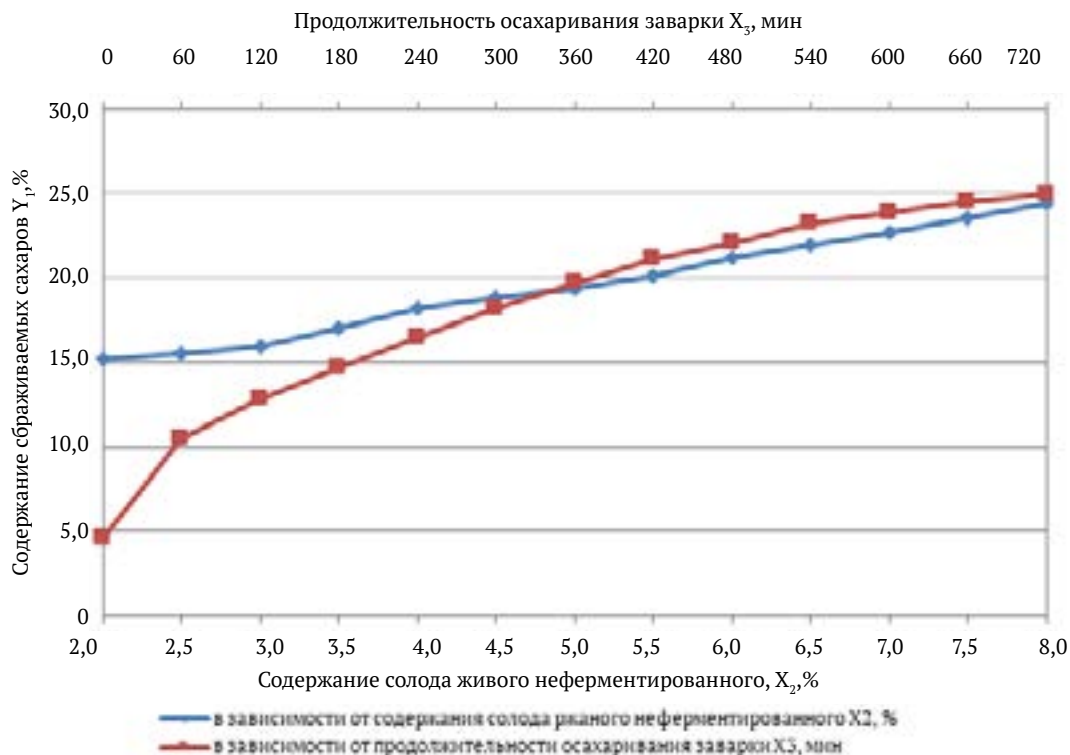


Рисунок 3

Динамика накопления водорастворимых азотистых оснований в процессе осахаривания заварки при варьировании содержания солода ржаного неферментированного и продолжительности осахаривания (температура осахаривания 65°C, содержании муки ржаной сеяной 17,0%)

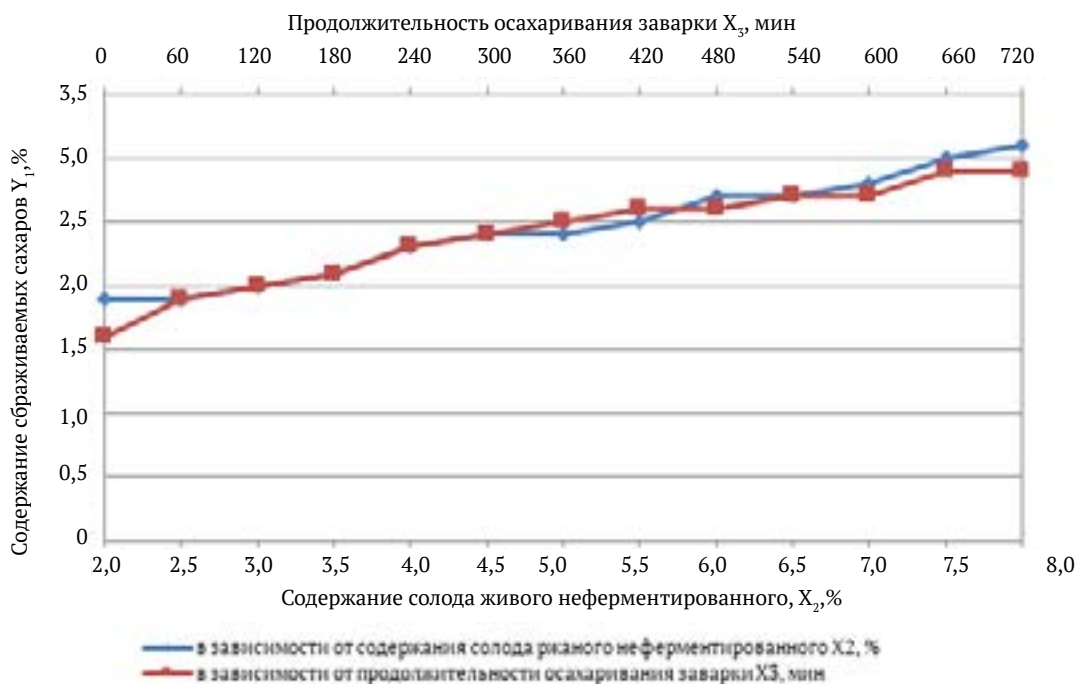


Рисунок 4

Динамика накопления сбраживаемых сахаров в процессе осахаривания заварки при комплексном варьировании содержания солода ржаного неферментированного и продолжительности осахаривания (температура осахаривания 65°C, содержании муки ржаной сеяной 17,0%)

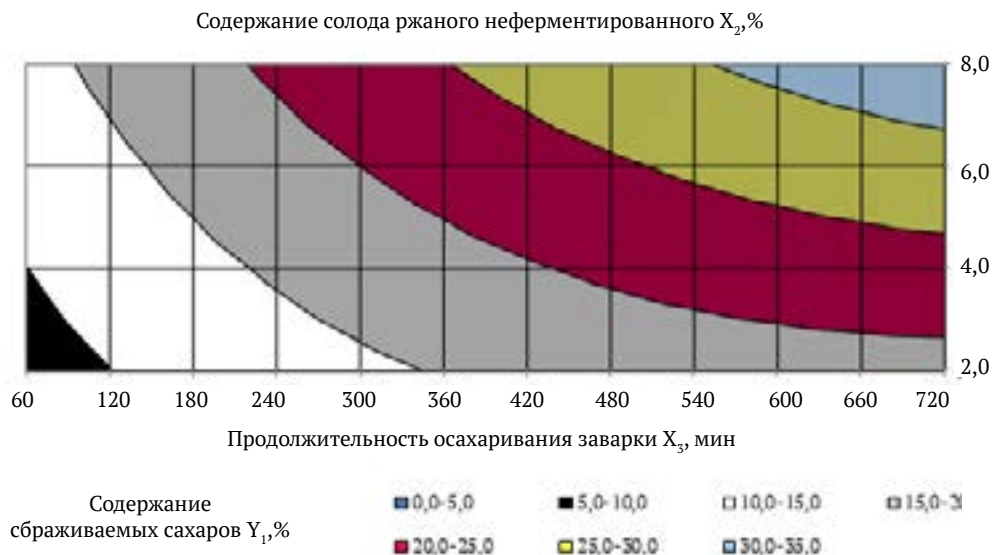
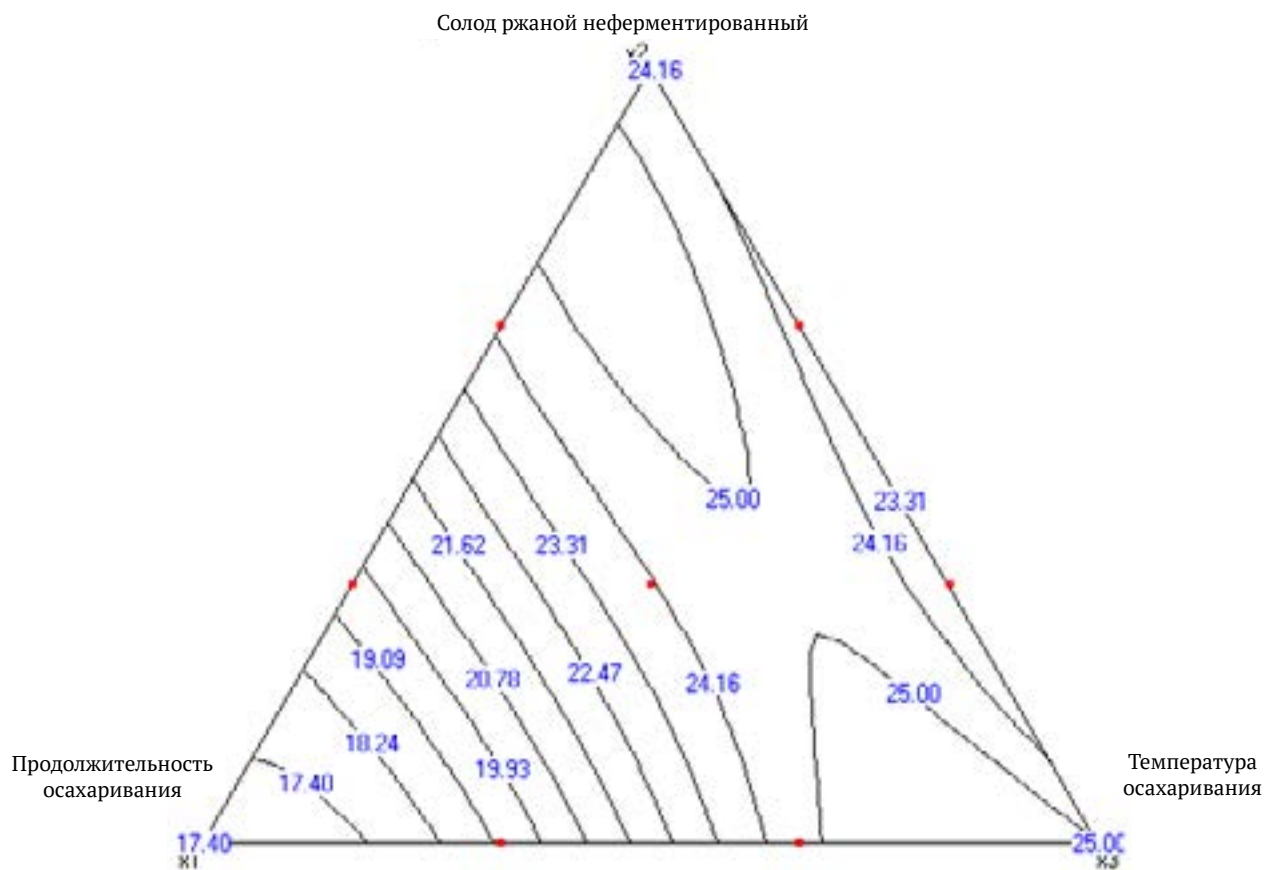


Рисунок 5

Изменение динамической вязкости заварок при варьировании продолжительности осахаривания, содержания солода ржаного неферментированного, температуры осахаривания



фицированной рецептуре для заварных сортов хлеба, продолжительность осахаривания заварки изменяется от 60 мин до 720 мин, температура – от 45°C до 65°C.

Разные комбинации состава осахаренных заварок и технологических параметров приготовления отдельных их порций влияет на динамику гидролитических процессов биополимеров муки, что подтверждается установленной нестабильностью их химического состава и, как следствие, динамической вязкости. В частности, увеличение содержания солода ржаного неферментированного и продолжительности осахаривания заварки приводит к увеличению содержания сбраживаемых сахаров и водорастворимых азотистых соединений. Накопление наибольшего количества этих химических веществ отмечается после 720 мин осахаривания заварки с внесением 8,0% солода ржаного неферментированного, наименьшее – после 60 мин осахаривания заварки с внесением 2,0% солода ржаного неферментированного на стадии заваривания (рис. 2–4). Такое изменение химического состава осахаренных заварок приводит к тому, что наиболее активное их разжижение (увеличение динамической вязкости) наблюдается при увеличении продолжительности осахаривания, содержания солода ржаного неферментированного, температуры осахаривания при прочих равных условиях и соответствует максимально-му протеолизу и амилолизу биополимеров муки (рис. 5). Представленная тенденция согласуется с некоторыми положениями Л. И. Кузнецовой, Н. Д. Синявской, О. В. Афанасьевой, Е. Г. Фленовой (Кузнецова, 2003).

В свою очередь, такая тенденция будет создавать разные условия жизнедеятельности для культивирования в заварках специфических микроорганизмов на следующих стадиях производственного цикла и обуславливать разную динамику развития дрожжевых клеток и молочнокислых бактерий, процессов кислотонакопления и газообразования, разные биотехнологические свойства порций полуфабрикатов, используемых для производства и, как следствие, нестабильность потребительских свойств заварных сортов хлеба.

Полученные в ходе исследований зависимости позволяют прогнозировать содержание сбраживаемых сахаров, водорастворимых азотистых соединений, динамическую вязкость осахаренной заварки, стабилизировать ее химический состав и научно обоснованно регулировать химический состав и технологические параметры при нестабильности заявок торговых организаций на ассорти-

мент заварных сортов хлеба и дискретности в режиме работы хлебопекарных предприятий.

Выводы

По итогам исследований выявлена проблема реализации производственного цикла осахаренной заварки, как основы для термофильной заквашенной и сброженной заварок, в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба. На основе теоретических данных и имеющегося практического опыта установлены диапазоны варьирования состава рецептурных компонентов осахаренных заварок и технологических параметров их приготовления в дискретном режиме. Выявлено их влияние на процесс гидролиза биополимеров муки и, как следствие, нестабильность химического состава осахаренных заварок по содержанию сбраживаемых сахаров и водорастворимых азотистых оснований как основных источников питания микроорганизмов, культивируемых в заварках, и нестабильность динамической вязкости. Установлено, что максимальное содержание сбраживаемых сахаров и водорастворимых азотистых оснований накапливается после 720 мин осахаривания заварки с внесением 8,0% солода ржаного неферментированного, минимальное – после 60 мин осахаривания заварки с внесением 2,0% солода ржаного неферментированного на стадии заваривания.

Получены уравнения регрессии, позволяющие устанавливать химический состав осахаренной заварки по содержанию сбраживаемых сахаров и водорастворимых азотистых оснований, динамическую вязкость полуфабриката в постоянно изменяющихся условиях производства заварных сортов хлеба.

Литература

- Гуринова, Т. А., Самуйленко, Т. Д., Диваков, А. В., & Дерканосова, Н. М. (2013). Производство заварных сортов хлеба в условиях дискретного режима работы хлебопекарных предприятий Республики Беларусь. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*, 3(38), 109–115.
- Гуринова, Т. А., Самуйленко, Т. Д., & Назаренко, Е. А. (2013). Исследование технологического процесса приготовления сброженных заварок в постоянно изменяющихся условиях работы хлебопекарных предприятий. *Вестник Могилевского государственного университета продовольствия*, 2(15), 9–13.

- Дерканосова, Н. М., Малютина, Т.Н., & Сотникова, В. В. (2004). Изучение особенностей углеводно-амилазного комплекса ржаной муки. *Хлебопек*, (5), 20–21.
- Косован, А. П. (1999). Ресурсосберегающие технологии в хлебопечении. *Хлебопечение России*, (5), 3–4.
- Кузнецова, Л. И., (2003). *Производство заварных сортов хлеба с использованием ржаной муки: монография*. ГосНИИХП.
- Кузнецова, Л. И. (2006). Технология ржаного хлеба в условиях дискретного производства. *Хлебопродукты*, (2), 46–47.
- Кузнецова, Л. И. (2007). Современные технологии ржаного заварного хлеба. *Хлебопечение России*, (3), 10–11.
- Кузнецова, Л. И. (2008). Влияние хлебопекарных свойств ржаной муки на биотехнологические свойства заквасок и качество хлеба. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (2), 35–38.
- Кулеш, П., & Пантелей, А. (2006). Мониторинг рынка хлебобулочных изделий. *Маркетинг, реклама и сбыт*, (6), 7–12.
- Овсянникова, Л. А. (2003). Хлебопечение в Беларуси. *Хлебопек*, (1), 6–8.
- Овсянникова, Л. А. (2004). Хлебопечение Беларуси – итоги 2003 года. *Хлебопек*, (2), 6–7.
- Овсянникова, Л. А. (2005). 2004 год – отраслевые итоги. *Хлебопек*, (2), 6–8.
- Овсянникова, Л. А. (2006). 2005 – итоги работы. *Хлебопек*, (1), 6–8.
- Овсянникова, Л. А. (2007). Хлебопечение Беларуси – 2006. *Хлебопек*, (2), 4–6.
- Овсянникова, Л. А. (2008). Хлебопечение Беларуси – 2007. *Хлебопек*, (2), 5–6.
- Овсянникова, Л. А. (2009). Хлебопечение Беларуси – итоги 2008 года. *Хлебопек*, (2), 8–11.
- Овсянникова, Л. А. (2010). Хлебные итоги – 2009. *Хлебопек*, (2), 4–9.
- Овсянникова, Л. А. (2011). Хлебные итоги – 2010. *Хлебопек*, (2), 4–8.
- Овсянникова, Л. А. (2012). Хлебопечение Беларуси – 2011. *Хлебопек*, (1), 4–8.
- Овсянникова, Л. А. (2013). Хлебопечение Беларуси – 2012. *Хлебопек*, (1), 4–10.
- Овсянникова, Л. А. (2014). Хлебопечение Беларуси – 2013. *Хлебопек*, (1), 16–22.
- Овсянникова, Л. А. (2015). Хлебопечение Беларуси – 2014. *Хлебопек*, (1), 6–11.
- Овсянникова, Л. А. (2016). Хлебные итоги – 2015. *Пекарь и кондитер*, (1), 12–16.
- Овсянникова, Л. А. (2017). Хлебные итоги – 2016. *Пекарь и кондитер*, (2), 9–12.
- Овсянникова, Л. А. (2018). Хлебный каравай – 2017. *Пекарь и кондитер*, (2), 9–13.
- Овсянникова, Л. А. (2019). Белорусский каравай – 2018. *Пекарь и кондитер*, (2), 14–17.
- Овсянникова, Л. А. (2020). Белорусский каравай – 2019. *Пекарь и кондитер*, (2), 11–16.
- Панкратов, Г. Н. (2007). Рожь и ржаная мука. *Кондитерское и хлебопекарное производство*, (11), 2–5.
- Arendt, E. K., Ryan, L. A. M., & Dal Bello, F. (2007). Impact of sourdough on the texture of bread. *Food Microbiology*, (24), 165–174. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.011>
- Campo, E., Del Arco, L., Urtasun, L., Oria, R., & Ferrer-Mairal, A. (2016). Impact of sourdough on sensory properties and consumers preference of gluten-free breads enriched with teff flour. *Journal of Cereal Science*, (67), 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.09.010>
- Preedy, Victor R., Watson, R. R., & Patel Vinood B. (2011). *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention*. TNQ Books and Journals.
- Van Kerrebroeck, S., Comasio, A., Harth, H., & De Vuyst, L. (2018). Impact of starter culture, ingredients, and flour type on sourdough bread volatiles as monitored by selected ion flow tube-mass spectrometry. *Food Research International*, (106), 254–262. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.068>. Investigation of the process of rye brews saccharification in malt bread technology at discrete production mode

Investigation of the process of rye brews saccharification

Tatyana D. Samuilenko¹, Alexander V. Akulich¹

¹ Educational institution Mogilev State University of Food

Correspondence concerning this article should be addressed to Tatyana D. Samuilenko, Educational establishment Mogilev State University of Food, Schmidta avenue, 3, Mogilev, 212027, Republic of Belarus. E-mail: TataSam@tut.by

Malt varieties of bread made from rye and a mixture of rye and wheat flour are enjoyed and of the greatest demand in the Republic of Belarus, the share of which in the total volume of bakery products reaches 45.2%, and in the volume of the bread assortment – up to 100.0%. The production of custard breads is carried out mainly with the use of fermented brews obtained on the basis of saccharified and thermophilic fermented brews, which is a multi-stage continuously prepared semi-finished product. At a discrete mode, the stage of preparing saccharified brews as the basis for thermophilic fermented and, ultimately, fermented brews are not realizable due to the impossibility of ensuring its stable chemical composition. The purpose of this work was to establish the relationship between the indicators of saccharified brews, its recipe composition and the technological parameters of preparation, which make it possible to predict the indicators of this semi-finished product at a discrete mode, control them and justifiably regulate the composition and technological parameters. The studies were carried out on the basis of bakery enterprises of the Republic of Belarus operating in a discrete mode. As an object of research, we selected saccharified tea leaves with a mass fraction of moisture 72.0%. The work uses special methods for assessing the indicators of saccharified brews. It has been established that for the preparation of saccharified brewing in the production cycle, seeded rye flour is used in an amount of 10.0% to 24.0%, unfermented rye malt in an amount of 2.0% to 8.0% of the flour mass according to a unified recipe for malt bread, the duration of the saccharification of the brews varies from 60 minutes to 720 minutes, and the temperature – from 45°C to 65°C. Different combinations of the composition of saccharified brews and the technological parameters of their preparation affect the dynamics of hydrolytic processes of flour biopolymers, which leads to instability of the chemical composition. Dependences have been obtained between the indices of saccharified brews, their recipe composition and technological parameters of preparation for regulating the chemical composition in the case of instability of applications of trade organizations for an assortment of malt varieties of bread and discreteness in the operating mode of baking enterprises.

Keywords: malt breads, discrete production mode, saccharified brewing, fermentable sugars, water-soluble nitrogen compounds, dynamic viscosity

References

- Gurina, T. A., Samuilenko, T. D., Divakov, A. V., & Derkanosova, N. M. (2013). Production of malt varieties of bread in a discrete mode of operation of the Republic of Belarus bakery enterprises. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Voronezh State Agrarian University Bulletin], 3(38), 109–115.
- Gurina, T. A., Samuilenko, T. D., & Nazarenko, E. A. (2013). Investigation of the technological process of preparing fermented brews in the constantly changing operating conditions of bakery enterprises. *Vestnik Mogilevskogo gosudarstvennogo universiteta prodovol'stviya* [Bulletin of the Mogilev State University of Food], 2(15), 9–13.
- Derkanosova, N. M., Malyutina, T. N., & Sotnikova, V. V. (2004). Study of the peculiarities of the carbohydrate-amylase complex of rye flour. *Hlebopek* [Baker], (5), 20–21.
- Kosovan, A. P. (1999). Resource-saving technologies in bakery. *Hlebopechenie Rossii* [Bakery of Russia], (5), 3–4.
- Kuznetsova, L. I., (2003). *Proizvodstvo zavarnykh sortov hleba s ispol'zovaniem rzhanoj muki: monografiya* [Production of custard varieties of bread using rye flour: monograph]. GosNIIHP.

How to Cite

Tatyana D. Samuilenko, Alexander V. Akulich (2020). Investigation of the process of rye brews saccharification. *Health, Food & Biotechnology*, 2(2). https://doi.org/_____/hfb.2020.i1.s____

- Kuznetsova, L. I. (2006). The technology of rye bread in a discrete production environment. *Hleboprodukty* [Bakery Products], (2), 46–47.
- Kuznetsova, L. I. (2007). Modern technologies of rye custard bread. *Hlebopechenie Rossii* [Bakery of Russia], (3), 10–11.
- Kuznetsova, L. I. (2008). The influence of the baking properties of rye flour on the biotechnological properties of brews and the quality of bread. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (2), 35–38.
- Kulesh, P., & Panteley, A. (2006). Monitoring of the bakery market. *Marketing, reklama i sbyt* [Marketing, advertising and sales], (6), 7–12.
- Ovsiyannikova, L. A. (2003). Bakery in Belarus. *Hlebopek* [Baker], (1), 6–8.
- Ovsiyannikova, L. A. (2004). Bakery in Belarus – results of 2003. *Hlebopek* [Baker], (2), 6–7.
- Ovsiyannikova, L. A. (2005). 2004 – sectoral results. *Hlebopek* [Baker], (2), 6–8.
- Ovsiyannikova, L. A. (2006). 2005 – results of work. *Hlebopek* [Baker], (1), 6–8.
- Ovsiyannikova, L. A. (2007). Bakery in Belarus – 2006. *Hlebopek* [Baker], (2), 4–6.
- Ovsiyannikova, L. A. (2008). Bakery in Belarus – 2007. *Hlebopek* [Baker], (2), 5–6.
- Ovsiyannikova, L. A. (2009). Bakery in Belarus – results of 2008. *Hlebopek* [Baker], (2), 8–11.
- Ovsiyannikova, L. A. (2010). Bread totals – 2009. *Hlebopek* [Baker], (2), 4–9.
- Ovsiyannikova, L. A. (2011). Bread totals – 2010. *Hlebopek* [Baker], (2), 4–8.
- Ovsiyannikova, L. A. (2012). Bakery in Belarus – 2011. *Hlebopek* [Baker], (1), 4–8.
- Ovsiyannikova, L. A. (2013). Bakery in Belarus – 2012. *Hlebopek* [Baker], (1), 4–10.
- Ovsiyannikova, L. A. (2014). Bakery in Belarus – 2013. *Hlebopek* [Baker], (1), 16–22.
- Ovsiyannikova, L. A. (2015). Bakery in Belarus – 2014. *Hlebopek* [Baker], (1), 6–11.
- Ovsiyannikova, L. A. (2016). Bread totals – 2015. *Pekar' i konditer* [Baker and pastry chef], (1), 12–16.
- Ovsiyannikova, L. A. (2017). Bread totals – 2016. *Pekar' i konditer* [Baker and pastry chef], (2), 9–12.
- Ovsiyannikova, L. A. (2018). Bread loaf – 2017. *Pekar' i konditer* [Baker and pastry chef], (2), 9–13.
- Ovsiyannikova, L. A. (2019). Belarusian loaf – 2018. *Pekar' i konditer* [Baker and pastry chef], (2), 14–17.
- Ovsiyannikova, L. A. (2020). Belarusian loaf – 2019. *Pekar' i konditer* [Baker and pastry chef], (2), 11–16.
- Pankratov, G. N. (2007). Rye and rye flour. *Konditerskoe i hlebopekarnoe proizvodstvo* [Confectionery and bakery production], (11), 2–5.
- Arendt, E. K., Ryan, L. A. M., & Dal Bello, F. (2007). Impact of sourdough on the texture of bread. *Food Microbiology*, (24), 165–174. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.011>.
- Campo, E., Del Arco, L., Urtasun, L., Oria, R., & Ferrer-Mairal, A. (2016). Impact of sourdough on sensory properties and consumers preference of gluten-free breads enriched with teff flour. *Journal of Cereal Science*, (67), 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.09.010>.
- Preedy, Victor R., Watson, R. R., & Patel Vinood B. (2011). *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention*. TNQ Books and Journals.
- Van Kerrebroeck, S., Comasio, A., Harth, H., & De Vuyst, L. (2018). Impact of starter culture, ingredients, and flour type on sourdough bread volatiles as monitored by selected ion flow tube-mass spectrometry. *Food Research International*, (106), 254–262. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.068>.

Социально-экономические аспекты применения инновационных технологий в производстве хлебобулочных, макаронных и кондитерских изделий

Филатов Владимир Владимирович¹, Булавина Таисия Артёмовна²

¹ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

² ФГБОУ ВО «Московский Государственный Университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского»

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Филатову В.В., ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, дом 11. E-mail: filatov_vl@mail.ru

В данной статье проведен обзор российского отраслевого опыта по разработке инновационных технологий в производстве хлебобулочных, макаронных, и кондитерских изделий. Проанализированы инновационные технологии, разработанные в российских институтах, университетах и предприятиях хлебобулочной, макаронной и кондитерской промышленности, в частности ФГБНУ ВНИИЗ Россельхозакадемии, Кубанским государственным технологическим университетом, Белгородском университетом потребительской кооперации, Московском государственном университете технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), Московском Государственном университете пищевых производств. Установлено, что система государственного заказа ориентирована на приобретение продукции по низким ценам и слабо стимулирует внедрение в производство инновационных технологий. Основными векторами инновационных трансформаций хлебопекарных предприятий Российской Федерации является использование печей, тестомесов, миксеров, нетрадиционного сырья при производстве хлебобулочных изделий с целью повышения содержания важнейших пищевых веществ, улучшения сбалансированности основных незаменимых нутриентов, повышения качества и увеличения срока хранения готовой продукции, а также предоставления продукции функциональной направленности, что в целом соответствует мировым тенденциям пятилетней давности. В настоящее время потребители хлебобулочных, макаронных и кондитерских изделий хотят видеть в этих продуктах нечто большее, чем сладость, вкус и аромат, им необходима уверенность, что изделия не нанесут вреда здоровью, поэтому одной из задач, поставленных перед технологами, является разработка инновационных хлебобулочных, макаронных и кондитерских изделий не только с целью расширения ассортимента, но и для улучшения их пищевой ценности.

Ключевые слова: инновационные технологии, производство, ферменты, производство, функциональные сорта хлеба, хлебобулочные изделия, макаронные изделия, кондитерские изделия

Введение

Разработка инновационных технологий производства функциональных сортов хлеба, мучных кондитерских, макаронных и кондитерских изделий, характеризующихся высокой пищевой ценностью, адаптированных к особенностям нарушения обмена веществ, благоприятно влияющих на функциональное состояние органов пищеварения и метаболические процессы в организме, является одним из перспективных направлений в решении проб-

лем улучшения здоровья населения и предупреждения развития многих заболеваний (Березина & Корякина, 2011).

Рост производства и расширение ассортимента зернового хлеба свидетельствует о перспективности развития этого направления. Главная особенность технологии хлеба из проросшего зерна пшеницы, в отличие от традиционных способов приготовления, заключается в подготовке зерна, являющейся наиболее продолжительным эта-

пом. При производстве хлеба из проросшего зерна пшеницы возникает проблема обеспечения его микробиологической и экологической безопасности. Активация ферментативного комплекса при проращивании является причиной получения изделий низкого качества по физико-химическим показателям. Поэтому большое значение имеет сокращение предварительной подготовки и повышение безопасности зерна, улучшение качества хлеба. Решению отдельных аспектов проблемы производства хлеба из проросшего зерна пшеницы, посвящены работы Антонова В.М., Казакова Е.Д., Козьминой Н.П., Короткова Ю.А., Новиковой А.Н., Проскурина В.М., Романова А.С., Рослякова Ю.Ф., Саниной Т.В., Хоперской О.А. и др. Однако, для дальнейшего научного обоснования инновационной технологии производства хлеба из проросшего зерна пшеницы, требуется серьёзная доработка (Гончаров, 2008). Проведено научно-практическое обоснование биоактивации злаковых культур для снижения содержания фитина, получение новых полуфабрикатов, разработка технологий с применением вторичных ресурсов мукомольной промышленности и расширение ассортимента зернового хлеба, отвечающего современным требованиям здорового питания (Алехина, 2020). Теоретически обоснована целесообразность использования растительных источников пищевых и биологически активных веществ, минерально-органических рецептурных компонентов для корректировки пищевой ценности хлебобулочных изделий для здорового питания, полученных с использованием инновационных технологий (Белявская, 2017), обоснованы и определены рациональные условия получения настоя семени льна требуемых характеристик для технологии производства ржано-пшеничного хлеба (Назарова, 2017).

Весомый вклад в развитие научных основ качества зерна, как гаранта пищевой полноценности хлеба, внесли работы ученых Н.И. Вавилова, П.Н. Шибяева, А.И. Марушева, А.Я. Пумпянского, А.А. Созинова, Н.Д. Тарасенко, Н.С. Беркутовой, А.Т. Казарцевой, А.Ю. Шаззо и др. Исследования, проводимые по повышению пищевой, биологической ценности хлеба, а также по созданию новых технологий производства хлеба и хлебобулочных изделий функционального назначения, связаны с работами Л.Я. Ауэрмана, В.И. Дробот, Е.Д. Казакова, Н.П. Козьминой, Н.В. Лабутиной, И.В. Матвеевой, Л.П. Пашенко, А.А. Покровского, Р.Д. Поландовой, Л.И. Пучковой, И.М. Ройтера, Т.Б. Цыгановой, Л.Н. Шатнюк и др. (Сокол, 2011). В то же время, несмотря на большое число выполненных теоретических и экспериментальных исследований в области формирования высококачественного зерна, проблема инновационного производ-

ства хлеба функционального назначения остается актуальной.

В решение вопросов расширения ассортимента макаронных изделий повышенной пищевой ценности, создания группы макаронной продукции с направленно измененным химическим составом существенный вклад внесли российские ученые (Аптрахимов, 2019) такие, как: В.В. Мартиросян, Г.М. Медведев, Г.А. Осипова, Т.И. Шнейдер, Н.А. Шмалько, А.Н. Волчков, А.А. Глазунов, Т.П. Евсеев, Н.К. Иванова, Н.К. Казеннова, Т.В. Киселева, В.Д. Малкина, У.Н. Диденко, Е.В. Жиркова и зарубежные ученые Fabiansson S.U. (Fabiansson, 2014), Kohajdova Z. (Kohajdova, 2017) и др.

Неоспоримый вклад в разработку рецептур и улучшение качества хлебобулочных и кондитерских изделий повышенной пищевой ценности внесли российские ученые (Левашов, 2019) такие, как: Цыганова Т.Б., Магомедов Г.О., Пашенко Л.П., Пучкова Л.И., Могильный М.П., Нечаев А.П., большое внимание использованию нетрадиционного сырья уделили Корячкина С.Я., Магомедов М.Г., Чайка О.В. (Чайка, 2006) и зарубежные ученые Benitez V. (Benitez, 2018), Esteban R.M. (Esteban, 2018), Moniza E. (Moniza, 2018), Casado N. (Casado, 2018), Aguilera Y. (Aguilera, 2018), Molla E. (Molla, 2018) и другие.

Значение и технологическая роль жировых продуктов как компонентов мучных кондитерских изделий изучалась в работах российских ученых (Солопенкова, 2011) таких, как: Вайншенкер Т.С., Васышной В.А., Дорожкиной Т.П., Дорохович А.Н., Дремучевой Г.Ф., Дубцовой Г.Н., Духу Т.П., Зубченко А.В., Нечаева А.П., Пучковой Л.И., Скобельской З.Г., Цыгановой Т.Б. и зарубежных ученые Pora C.N. (Pora, 2015), Lorenzo C. Peyer (Peyer, 2016) и др.

Вопросами создания научных основ разработки функциональных пищевых продуктов с проектируемым комплексом свойств, в т.ч. сложного сырьевого состава и ферментированных, занимались российские ученые, в том числе можно выделить: Балыхина М.Г., Гаврилову Н.Б., Гинзбурга А.С., Донскую Г.А., Доронина А.Ф., Дунченко Н.И., Ганину В.И., Зобкову З.С., Кирдяшкина В.В., Ларина В.А., Леончика Б.И., Мусину О.Н., Остроумова Л.А., Рогова И.А., Рожкову И.В., Соколову О.В., Харитонову В.Д., Щетинина М.П. и зарубежные ученые Coda Rossana (2017), Bourekoua H., Rozylo R. (2018), Tucakovic L., Colson N., Singh I. (2015), Zielinski H.,

Szawara – Nowak D. (2019) и других. Разработкой методологии и комплексного подхода к анализу рисков и внедрению ХАССП на предприятиях пищевой отрасли занимались российские ученые: Дунченко Н.И., Кантере В.М., Кузнецова О.А., Матисон В.А., Мун А.Л., Шепелева Е.В., и зарубежные ученые Soman, R. (2016) и другие.

В экономической литературе в работах отечественных исследователей таких как Воронин С.В. (Воронин, 2010), Денискин В.В., Денисова Н.А., Стекольщикова М.П., Тульская Н.С., Шеховцев А.В. освещены научно-методические подходы к оценке и управлению потенциалом кондитерских предприятий, выявлению факторов, воздействующих на повышение эффективности их работы, обоснованию направлений совершенствования сбытовой политики и др. (Щербина, 2008).

Вопросам социально-экономического развития посвящены работы П. Друкера, А. Маршалла, Дж. Кейнса, Б.Санто, П.Самуэльсона, Й. Шумпетера и других зарубежных ученых. Среди российских экономистов исследованием данной проблемы занимались Абалкин Л.И., Глазьев С.Ю., Завлин П.Н., Кокурин С.Д., Кондратьев Н.Д., Лапин Н.И., Молчанова О.П., Мединский В.Г., Яковец Ю.В., Фатхутдинов Р.А. и другие. Существенный вклад в теорию и практику социально-экономического развития предприятий пищевой и перерабатывающей промышленности внесли ученые Дасковский В.Б., Жигалов А.Н., Грузинов В.П., Косован А.П., Магомедов М.Д., Масленникова О.А., Печеная Л.Т., Рябова Т.Ф. и другие (Макаркин, 2018). Однако замедленные темпы технологического развития предприятий отрасли указывают на недостаточную проработанность проблемы социально-экономической устойчивости хозяйствующих субъектов по производству хлебобулочных, макаронных и кондитерских изделий на основе инновационных технологий.

За последние годы в 52 субъектах РФ были внедрены Президентские программы национальных проектов «Здоровое питание»¹ (интернет ресурс, 2020), «Здоровое питание – здоровье нации» (интернет ресурс, 2020)², «Здоровье нации – основа процветания России»³ (интернет ресурс, 2020) и др. В 2008 г. Федеральной службой в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека утвержде-

ны методические рекомендации МР 2.3.1.2432-08 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации»⁴ (интернет ресурс, 2020), которые являются государственным нормативным документом, определяющим величины физиологически обоснованных современной наукой о питании норм потребления независимых (эссенциальных) пищевых веществ и источников энергии, адекватные уровни потребления микронутриентов и биологически активных веществ с установленным физиологическим действием.

Мониторинг деятельности хлебопекарных предприятий показывает устойчивую тенденцию роста доли производственных затрат в стоимости продукции. Высокая материалоемкость производства, рост цен на рынках сырья указывают на необходимость повышения эффективности использования материальных ресурсов. Для этого требуется совершенствование технологических схем и режимов, обеспечивающих более качественную предварительную подготовку сырья, глубокую и комплексную его переработку, а также использование новых видов сырья и компонентов (Mizanbekova, Bogomolova, & Bogomolov, 2017).

Принятие инновационных стратегий развития по всем функциональным направлениям деятельности может служить практическим механизмом постепенной трансформации производственных звеньев, который способен обеспечивать полное удовлетворение потребностей, экономию всех видов ресурсов, высококвалифицированный и высокооплачиваемый труд, сохранение экологии окружающей среды (Черевичник, Семенкина, & Восканян, 2017).

Методика и методология. Основные методы: описание, тематическое обобщение, включенное наблюдение, отраслевой анализ, мониторинг деятельности предприятий по производству хлебобулочных, макаронных и кондитерских изделий.

Результаты исследования. Для осуществления инновационных преобразований хлебопекарной отрасли требуется преодоление комплекса факторов. Дефицит финансовых средств обусловлен недостаточностью прибыли (низкой рентабельностью продукции, высокими издержками) и не-

¹ Национальный проект «Здоровое питание». [Электронный ресурс]. URL: <https://xn----8sbehgcimb3cfabqj3b.xn--p1ai/about/>

² Российская программа «Здоровое питание – здоровье нации». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.zdoroviedetey.ru/node/114>.

³ Президентская программа «Здоровье нации». [Электронный ресурс]. URL: <http://nashepravo.ru/prezidentskaya-programma-zdorove-natsii/>

⁴ МР 2.3.1.2432–08. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. [Электронный ресурс]. URL: https://www.rosпотреbnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=4583

достаточным уровнем инвестиций. Размер прибыли и приток инвестиций зависят от объема выпуска продукции, который непосредственно связан с техническим уровнем производства, принятой технологией и организацией процессов. Сложное положение в части технического оснащения большинства хлебопекарных предприятий представляет главную угрозу их работе (Воронина & Филатов, 2013).

Развитие хлебопекарной промышленности должно опираться на инновации, дающие российским предприятиям конкурентные преимущества. Отрасль остро нуждается в развитии науки, внедрении научно-технических достижений, разработок пищевого машиностроения, современном менеджменте (Филатов & Симонова, 2016).

Если в СССР основой нарезного батона являлась мука пшеничная высшего сорта с уровнем клейковины не менее 28% (ГОСТ 27844-88)⁵, то, упразднив в 2004 г. Государственную хлебную инспекцию, осуществляющую контроль за качеством зерна, муки и хлебных продуктов, в настоящее время разрешено использовать в хлебе муку из зерна 4-го класса (фуражного). Более того, в 2016 г. производители инициировали запрос на разрешение к использованию муки, произведенной из зерна 5-го класса (фуражного, которое ранее применяли для приготовления корма скоту или в технических целях) (Кузьмин, Семенкина, Никитин, & Восканян, 2017). При этом, для корректировки свойств низкокачественной муки в тесто добавляют значительное количество ферментных препаратов и готовых хлебопекарных улучшителей. Однако эксперты сходятся во мнении, что это не позволяет сохранять требуемое количество белка в хлебе из пшеничной, ржаной муки и их смеси. Более того, мука общего назначения (фураж) должна быть минимум на треть дешевле (Агабекова & Колесников, 2017).

В настоящее время даже из небольшого ассортимента сортов муки, приведенных в ГОСТ Р 52189-2003⁶, мукомольные заводы выпускают в основном муку только высшего и первого сортов. Типы муки М23-55 и М23-45 – это по сути своей те же сорта муки, но с пониженным количеством клейковины – на этом ассортиментный ряд практически заканчивается. В то же время потребители продукции мукомольных заводов при получении муки занимаются тем, что начинают её приспособ-

лять под нужды своего производства, внося значительное количество различных улучшителей и добавок, в том числе разрушая клейковину, которую с таким трудом, учитывая сегодняшнее качество зерна, набирают в муке мукомолы. Эту ситуацию необходимо менять. В отличие от хлебопекарных, кондитерских, кулинарных и прочих предприятий мукомольный завод имеет больше возможностей и путей для управления и регулирования свойств муки – он может работать не только на уровне муки, но и на уровне зерна (Никитин, Никитина, Иванова, & Березина, 2019). На уровне зерна – это подсортировка и составление помольных партий из одной, двух и более сельскохозяйственных культур со свойствами, заказываемыми потребителем, на уровне муки – это корректировка и регулирование свойств муки с помощью ввода улучшителей и пищевых добавок (Воронина & Филатов, 2013).

Научно-техническим центром хлебопекарной промышленности является ФГАНУ НИИ хлебопекарной промышленности. Институт ведет НИОКР по основным направлениям инноваций в хлебопекарной отрасли, включая разработку новых современных технологий производства, новых видов продукции, оборудования, методов анализа и контроля сырья и готовой продукции. Однако инновационная восприимчивость предприятий отрасли является низкой, что препятствует внедрению разработок, табл. 1. Российская система государственного заказа в настоящее время ориентирована на приобретение продукции по низким ценам. Несмотря на то, что в отрасли разработан широкий ассортимент лечебных, профилактических и функциональных изделий (в т. ч. для детей, лиц пожилого возраста и т.п.), объемы таких сортов хлеба покрывают потребность не более, чем на 20% (Сорочинский, 2005).

Указанные разработки Института зерна дают российским предприятиям инструменты для соблюдения отечественных и международных требований по безопасности и качеству и обеспечения конкурентоспособности его на мировых рынках в условиях вступления в ВТО (Алексеев & Филатов, 2011).

В Кубанском государственном технологическом университете были разработаны инновационные технологии производства хлебобулочных изделий профи-

⁵ ГОСТ 27844-88 «Изделия булочные. Технические условия». Статус: действующий. [Электронный ресурс]. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/19584/>

⁶ ГОСТ Р 52189-2003 «Мука пшеничная. Общие технические условия». Статус: отменён. [Электронный ресурс]. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/3211/>

Таблица 1

Инновационные технологии, разработанные ФГБНУ ВНИИЗ Россельхозакадемии (Вершинина, Росляков, & Гончар, 2015).

№	Название инновационной технологии	Ее содержание
1.	Метод анализа «цифрового изображения зерна»	В его основе лежит сопоставление исследуемого зерна с компьютерным «эталонном». Внедрение метрологически обеспеченных инструментальных методов и средств надежного неразрушающего контроля зерна при его закладке и хранении является одним из эффективных способов сокращения потерь.
2.	Система дистанционного слежения за состоянием хранящегося зерна в любых типах хранилищ	Включает в себя три инновационные системы: дистанционного контроля состояния зерна при хранении; рециркуляционной фумигации зерна в неподвижном слое; консервирования зерна против насекомых жидкими инсектицидами. Система прошла приемочные испытания Воронежской МИС и принята к производству на заводе ОАО «Мельинвест».
3.	Инновационная технология снижения инсектицидной нагрузки при обеспечении в зерне нулевого уровня насекомых	На основе данной технологии создан и запатентован биинсектицид, снижающий инсектицидную нагрузку от 8-и до 23-х раз по сравнению с моноинсектицидами.
4.	Инновационная технология воздушного отопления с возвратом воздуха из аспирационных и пневмотранспортных установок, для применения которых совместно с заводом «Ивантеевский элеватормельмаш».	Расход тепла сокращается на 50%. Годовой экономический эффект для каждого мукомольного завода от одного до нескольких миллионов рублей в год в зависимости от производительности. Разработаны необходимые нормативные документы.
5.	Инновационная технология сокращения энергозатрат во внутрицеховых пневмотранспортных установках	Разработано новое приемное устройство повышенной надежности для ввода продукта в пневмотранспортную систему, которое обеспечит надежную работу пневмотранспортных установок с ожидаемым снижением расхода электроэнергии в пневмоустановках не менее 5%.
6.	Инновационные технологии переработки зерна	Комплексная переработка зерна с получением сухим способом различных по пищевой и биологической ценности продуктов моно-, би- и поликомпонентного состава. Создание технологий выделения из зерна отдельных анатомических частей (эндосперм, зародыш, алейроновый слой, оболочки) с дальнейшим получением из них компонентов с концентрированным содержанием различных веществ (белка, жира, крахмала, минеральных веществ и др.) является основой прогрессивной концепции отечественного мукомолья.
7.	Инновационные технологии новых пищевых продуктов функционального назначения на базе использования вторичных ресурсов.	Получение растворимых и нерастворимых пищевых волокон (ПВ) из натурального растительного сырья, например, овса, способствует расширению ассортимента продуктов, развитию импортозамещения препаратов ПВ, позволит в дальнейшем использовать их не только в хлебоуточных изделиях, но и в производстве колбасных и молочных продуктов.
8.	Инновационная технология производства крупы из зерна ржи, которая отличается от представленных сегодня на рынке и вырабатывается путём измельчения шлифованного зерна ржи с последующим сортированием крупы на три номера крупности в условиях крупозавода по технологии близкой к традиционной для ячменя и пшеницы.	При этом не проводят тепло-влажностную обработку зерна перед шелушением и дроблением, что существенно снижает энергозатраты, сокращает время получения крупы и её себестоимость. Не требует затрат на техническое дооборужение производства.
9.	Единая система оценки безопасности и качества зерна и крупы	Для этих целей ВНИИЗ разрабатывает систему целевых классификаций зерна и муки для кулинарных, мучных кондитерских, хлебопекарных, макаронных изделий.
10.	Метод быстрого и объективного контроля зараженности зерна, муки и хлеба возбудителями картофельной болезни хлеба, утверждены соответствующие стандарты организации.	Угрозу безопасности зерна и зернопродуктов составляет фузариоз. Показатель «содержание фузариозных зерен» включен в стандарты на основные зерновые культуры, СанПиН и Технические регламенты Таможенного союза о безопасности. Однако, для зерна ржи и ячменя отсутствуют современные утвержденные методы контроля этого показателя. Для решения данной проблемы ВНИИЗ разработал и утвердил стандарт предприятия.
11.	Разработка норм допустимого содержания микотоксинов в зерне и зернопродуктах с помощью дифференцированного подхода, принятого в ЕС.	На этой основе разработан уровень ПДК зеараленона в муке и крупе

лактического назначения с различными добавками, улучшающими их состав и качество, табл. 2.

В последнее время отечественные машиностроительные предприятия улучшили ассортимент и качество выпускаемой продукции, но они пока не могут полностью удовлетворить потребности отрасли в основном технологическом оборудовании по всем стадиям технологического процесса, в результате чего при реконструкции и техническом перевооружении хлебозаводов все еще используются довольно большой процент иностранных аппаратов и комплектующих. Проведенный ГНУ ГОСНИИХП Россельхозакадемии и Российским союзом пекарей анализ показал, что свыше 50% хлебопекарного оборудования в настоящее время приобретается по импорту (Филатов, 2017), вместе с тем постепенно наращивают обороты программы закупок на основе импортозамещения.

На сегодняшний день в хлебопекарных предприятиях актуально внедрение технологических и процессных инноваций, которые позволяют расширить ассортимент хлебобулочной продукции, обновление основных производственных фон-

дов, что является основной повышения конкурентоспособности хлебобулочной продукции (Давыденко, 2013).

В настоящее время основными векторами инновационных трансформаций хлебопекарных предприятий Российской Федерации является использование новых печей, тестомесов, миксеров, нетрадиционного сырья при производстве хлебобулочных изделий с целью повышения содержания важнейших пищевых веществ, улучшения сбалансированности основных незаменимых нутриентов, повышения качества и увеличения срока хранения готовой продукции, а также предоставления продукции функциональной направленности, что в целом соответствует мировым тенденциям пятилетней давности (Матвеева & Корячкина, 2011).

К основным направлениям инновационной деятельности в отрасли хлебопекарного производства необходимо отнести следующие: технологическое; ассортиментное (разработка и производство новых продуктов питания); маркетинговое; инновационной инфраструктуры (Filatov & Plaksin, 2003). Далее, рассмотрим, обо-

Таблица 2

Инновационные технологии производства хлебобулочных изделий профилактического назначения, разработанные Кубанским государственным технологическим университетом (Вершинина, Росляков, & Гончар, 2015)

№	Название инновационной технологии	Ее содержание
1.	Технология получения белковой арахисовой массы (БАМ) из семян масличных культур, подвергнутых инфракрасной (ИК)-обработке.	На основе использования арахисовой и тыквенной массы, получаемой из семян арахиса и тыквы, а также продуктов переработки соевой и амарантовой муки были разработаны и апробированы в производственных условиях новые сорта хлеба и хлебобулочных изделий, сбалансированных по содержанию лизина и треонина: хлеб «Амарантовый», «Михайловский», «Лабинский» и «Фантазия», булочки «Загадка» и «Наслаждение». Новые сорта хлебобулочных изделий имеют повышенную пищевую и биологическую ценность, а также обладают диетическими, лечебно-профилактическими и функциональными свойствами.
2.	Разработана и утверждена техническая документация на пшеничный хлеб «Майский» с использованием пектина.	Широкое применение при производстве хлебобулочных изделий находит пектин, который не только повышает профилактические свойства хлеба, но и улучшает реологические характеристики теста и качество готовых изделий. Хлеб «Майский» с пектином был удостоен Диплома II степени и награжден серебряной медалью на Российской агропромышленной выставке «Золотая осень».
3.	Использование пищевых волокон микрокристаллической целлюлозы (МКЦ) – при создании хлебобулочных изделий профилактического назначения.	С порошком, полученным из клубней топинамбура, разработаны рецептуры и способы приготовления новых сортов хлебобулочных изделий: булочка «Аппетитная новая» и батон «Студенческий диетический». С МКЦ разработаны рецептуры и технологии хлебобулочных изделий: батончик «Геркулесовый», булочка «Из четырех злаков» и булка «Колосок».
4.	Инновационная технология применения CO ₂ -шротов, получаемых после CO ₂ -экстракции жидкой пищевой двуокисью углерода традиционного пряно-ароматического сырья (семян укропа, петрушки, сельдерея, кориандра и других ароматических культур) при переработке пшеничной и тритикалевой муки.	На основе использования CO ₂ -шротов разработаны и апробированы в производственных условиях новые сорта хлеба «Десертное ассорти» и «Пикантное ассорти».

значенные проблемы современной хлебопекарной промышленности (Кузьмин, Семенкина, Никитин, & Восканян, 2017) и приведем некоторые инновационные разработки, используемые на российских предприятиях, при производстве хлебобулочных изделий, табл.3.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что современное хлебопекарное производство находится на высоком уровне развития благодаря тому, что рынок инновационных технологий в этой сфере производства активно развивается. Ведется активная разработка веществ (улучшителей), кото-

Таблица 3

Инновационные технологии, используемые на российских предприятиях при производстве хлебобулочных изделий (Nikitina, Nikitin, Semenkina, Zavalishin, & Goncharov, 2018)

№	Название инновационной технологии	Ее содержание
1.	Наиболее распространенной технологией является ускоренный способ тестоведения.	Данная технология позволяет в значительной степени сократить время брожения и технологические емкости для брожения теста, и как результат, уменьшаются производственные площади. Технологический процесс становится гибким и легко управляемым, что дает возможность быстро и оперативно менять ассортимент выпускаемой продукции в зависимости от спроса населения или текущих заказов.
2.	Инновациями в хлебобулочном производстве на рынке технологий считаются использование улучшителя «Стабилин».	«Стабилин» используется для производства хлебобулочных изделий из пшеничной муки со слабой клейковиной (ИДК 90-120). Данный улучшитель увеличивает водопоглощительную способность муки, предотвращает распыливание тестовых заготовок при расстойке, повышает эластичность мякиша, улучшает вкус и аромат готовых изделий, а также увеличивает их объем. Срок годности продукции с добавлением «Стабилина» значительно увеличивается.
3.	Инновациями в хлебобулочном производстве на рынке технологий считаются использование улучшителя «Фаворит Экстра».	В отличие от улучшителя «Стабилин» «Фаворит Экстра» предназначен для решения проблемы использования муки сильной коротко рвущейся клейковиной. Благодаря его добавлению, увеличивается пластичность теста, а полученные изделия обладают хорошими потребительскими свойствами.
4.	Еще одной технологической инновацией в производстве хлебобулочных изделий последних лет считается пищевая добавка «Яско Милл».	Позволяет предотвратить развитие в хлебе картофельной болезни – заболевания, вызванного обсемененностью муки бактериями вида <i>Bacillus subtilis</i> . Добавка используется как для устранения уже проявившейся болезни, так и в профилактических целях.
5.	Инновационную технологию витаминизации и обогащения хлебобулочных изделий из муки первого или высшего сортов на основе витаминно-минерального премикса «Флагман».	Процесс обогащения не требует капитальных затрат и изменений в рабочем цикле предприятия. Используемые технические решения были признаны изобретениями и защищены патентами Компании «НПО «Бифилайф», Компании «Мир биотехнологий (НПО)
6.	Технологии приготовления хлебобулочных изделий с использованием замораживания.	В зависимости от того, на каком этапе приготовления замораживают хлебобулочные изделия, выделяют несколько технологий: замораживание тестовых заготовок, замораживание полувыпеченных изделий, замораживание изделий высокой степени готовности. Каждый из вышеперечисленных направлений шоковой заморозки имеет свою особую специфику производства. Наиболее эффективными технологиями принято считать замораживания: изделий высокой степени готовности (80-90% готовности); полувыпеченных изделий, первая фаза выпечки – 50-75% общего времени выпечки. Технологическая особенность таких изделий – наличие двух фаз выпечки.
7.	Технологии производства диетического хлеба «тритикалевый»	Технология производства диетического хлеба, предусматривающая замес теста из пшеничной муки, воды, дрожжей и соли, брожение теста, расстойку тестовых заготовок и выпечку хлеба, отличающийся тем, что в состав рецептурных компонентов дополнительно вводят зерна тритикале, причем зерна очищают, увлажняют водой, температура которой составляет 45-48°C, затем их отлеживают в течение 48-50 ч для получения свежепропорощенного солода, часть которого направляют в экструдер, где зерно экструдировать в зерновую массу и используют для приготовления закваски, а другую часть свежепропорощенного солода направляют в обжарочный барабан с получением карамельного солода, который экструдировать в зерновую массу и добавляют при замешивании теста. ¹

¹ Васюкова А.Т., Славянский А.А., Мошкин А.В., Никитин И.А., Бобоев И.С., Охотников С.И., Кабанова Т.В. (2017). Способ производства диетического хлеба «Тритикалевый». Патент на изобретение RU 2690424 24.10.2017. https://patents.s3.yandex.net/RU2690424C2_20190603.pdf

рые продлевают сроки годности изделий, как на стадии приготовления, так и на стадии упаковки. Благодаря появлению потребности в лечебно-профилактических сортах хлеба создаются все более новые ингредиенты, содержащие полезные вещества. И наконец, уровень автоматизации и механизации технологических процессов на предприятиях производящих хлебобулочные, макаронные и кондитерские изделия возрастает

за счет внедрения инновационных технологий и оборудования.

В Российских институтах, университетах и предприятиях макаронной промышленности было разработано инновационные технологии производства макаронных изделий с различными добавками, улучшающими их состав и качество, табл. 4.

Таблица 4

Инновационные технологии производства макаронных изделий с различными добавками, разработанные в российских университетах (Аптрахимов, 2019)

№	Университет	Инновационные технологии производства макаронных изделий с различными добавками
1.	Белгородский университет потребительской кооперации	В качестве дополнительного сырья использовали добавку, включающую в себя хвощ, пророщенное зерно пшеницы и йодсодержащий мел. Благодаря этому компоненту продукт обогащен йодом, всеми незаменимыми аминокислотами, а также витаминами группы В, РР и Е.
2.	Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ)	В качестве дополнительного сырья использовали обогатительную добавку в виде измельченных семян амаранта и проса, что позволило повысить содержание в макаронных изделиях валина, лейцина, лизина, метионина и триптофана.
3.	Московский государственный университет пищевых производств	В качестве дополнительного сырья использовали целый комплекс обогатительных добавок в виде измельченного порошка и готовых мучных смесей, в том числе пигменты; антиокислители; консерванты; корректировщики кислотности; подкислители; эмульгирующие вещества; соли-эмульгаторы; катализаторы гидролиза и инверсии; уплотнители и др., что позволило значительно повысить потребительские и технологические свойства макаронных изделий.

Широкое применение в макаронном производстве получило использование безклейковинного (безглютенового) крахмалосодержащего сырья для производства макаронных изделий диетического назначения. К подобного рода сырью относят муку и крахмал из некоторых злаковых культур (гречка, рис, кукуруза, ячмень, сорго, овес и др.), муку тритикале, черствый деформированный хлеб. Применение этих добавок способствуют повышению биологической и пищевой ценности изделий, а также экономичному и эффективному использованию сырья.

Оптимальным содержанием безклейковинного сырья в смеси с пшеничной мукой является 10%. При увеличении этого показателя, качество готового продукта ухудшается – снижаются прочность и пластичность выпрессовываемого полуфабриката, увеличиваются слипание и потери сухих веществ при варке изделий. При этом необходимо отметить, что макаронные изделия, изготовленные только из безклейковинного сырья, имеют место при изготовлении их в целях расширения ассортимента. В процессе производства макаронных изделий из данного сырья для получения продукции традиционного качества необходимо использовать добавки. К примеру, для проведения

формования изделий, необходимо провести клейстеризацию макаронного теста, табл. 5.

В последние годы на российском рынке меняется структура потребления: постоянно падает спрос на традиционные изделия (около 40–50%), смещаясь в сторону более дорогих изделий; растет спрос на новые виды изделий, на кондитерские изделия с добавками злаков, диетические и диабетические. Однако, по другим данным, новинки в отрасли составляют менее 5% всей выпускаемой продукции, что обусловлено более высокими ценами (Никитин, 2019).

Инновационная активность кондитерской отрасли характеризуется количеством инновационно-активных предприятий, и объемом отгруженного инновационного продукта. Затраты на инновации составляют незначительную долю в общем объеме продукции кондитерских предприятий (Пименов, 2012). Внедрение инновационных проектов могут позволить себе только крупные предприятия, виоленты, для которых характерно силовое поведение на отраслевом рынке, и работающие рентабельно, т.к. результат внедрения новшеств не гарантирован и имеет долгосрочную отдачу. Среди типов инноваций, не требующие крупных вложений,

Таблица 5

Инновационные технологии, используемые на российских предприятиях при производстве готовых макаронных изделий (Березина & Корячкина, 2011)

№	Название инновационной технологии	Ее содержание
1.	Применение добавок фирмы Muhlenchemie улучшителя EMCEdur F	В состав добавки EMCEdur F входят пшеничная мука, соевая мука, лецитин, фосфолипиды, ферменты. Содержание протеина составляет 70±5%, фосфолипидов – 10±2%, влаги – 8±2%, золы – 2±1%. Применение улучшителя EMCEdur F положительно влияет на качество используемой муки, оптимальной его дозировкой является 0,5% улучшителя к массе муки. Обнаружено увеличение прочности макаронных изделий при повышении концентрации улучшителя EMCEdur F. Макароны, приготовленные из пшеничной хлебопекарной муки с использованием улучшителя EMCEdur F, обладают лучшими показателями качества, что свидетельствует о положительном эффекте его использования при производстве макаронных изделий из хлебопекарной муки.
2.	Применение добавок фирмы Muhlenchemie улучшителя Pastazym	Pastazym содержит в своем составе ксиланолитические, глюканолитические и липолитические ферменты, полученные из селективированных грибных штаммов рода Aspergillus. Укрепление клейковины муки при использовании улучшителя Pastazym объясняется действием липолитических ферментов, входящих в состав комплекса ферментов улучшителя. Также при увеличении дозировки улучшителя происходит снижение водопоглощательной способности муки. При внесении улучшителя Pastazym процесс потемнения макаронных изделий происходит значительно медленнее, чем у контрольного образца. Это объясняется тем, что в результате гидролиза жира под действием липолитических ферментов образуются жирные кислоты, которые под действием липоксигеназы муки превращаются в пероксидные соединения, обладающие окислительной активностью. Посветление макаронных изделий сопряжено с окислительным действием промежуточных пероксидов. Кроме того, образующиеся в процессе взаимодействия части липидов с протеинами муки комплексные соединения предохраняют в определенной степени белки от разрушения и аминокислоту тирозин от воздействия фермента полифенолоксидазы
3.	Использование аскорбиновой кислоты как улучшителя качества хлебопекарной муки для макаронного производства	Аскорбиновая кислота является восстановителем, в тесте в присутствии кислорода воздуха под действием фермента аскорбатоксидазы превращается в дегидро-L-аскорбиновую кислоту. Образовавшееся вещество и является тем окислителем, с которым связано улучшающее действие внесенной в тесто аскорбиновой кислоты. Аскорбиновая кислота и дегидро-L-аскорбиновая кислота образуют в тесте окислительно-восстановительную рециркулирующую систему продолжительного времени действия. Аскорбиновая кислота влияет на качественные показатели пшеничной муки и её основных компонентов – клейковины и крахмала, что вызывает изменение реологических характеристик макаронного теста и качественных показателей готовой макаронной продукции. Причем, чем выше дозировка аскорбиновой кислоты, тем существеннее её влияние на качество пшеничной муки.

лидируют продуктовые, а также организационно-процессные (Филатов, 2017).

Сегодня российский рынок кондитерских изделий близок к насыщению, рост объема производства в будущем будет осуществляться в основном за счет спроса на кондитерские изделия с более качественными характеристиками. Предстоящий период до 2025 г. будет характеризоваться насыщением различных видов производств высокоэффективным технологическим оборудованием, которое позволит выпускать продукцию высокого качества с меньшими затратами на производство. Объем производства кондитерских изделий в целом по России (по данным Стратегии развития) к 2025 г. составит более 3 175 тыс. т. (Тарасенко, Третьякова, & Ежова, 2016). Инновационные технологии, используемые на российских предприятиях при производстве готовых кондитерских изделий представлены в табл. 6.

Современным, прогрессивным направлением развития кондитерского производства является соз-

дание новых ресурсосберегающих технологий и разработка кондитерских изделий с пониженной энергетической ценностью на основе применения различных видов нового нетрадиционного сырья (Матвеева & Корячкина, 2011). В настоящее время потребители кондитерских изделий хотят видеть в этих продуктах нечто большее, чем сладость, вкус и аромат, им необходима уверенность, что им не нанесут вреда здоровью, поэтому одной из задач, поставленных перед технологами, является не только расширение ассортимента, но и улучшения пищевой ценности кондитерских изделий (Восканян, Никитин, Семенкина, & Гусева, 2018).

Можно заключить, что использование, в частности, пшеничных пищевых волокон Vitacel марки WF 600 и наполнителя для кондитерских изделий «Творог» в крекере с начинкой в экспериментально установленном количестве благоприятно сказывается на потребительских свойствах: улучшаются вкус, аромат, происходит снижение энергетической ценности, повышение биологической ценности.

Таблица 6

Инновационные технологии, используемые на российских предприятиях при производстве готовых кондитерских изделий (Куличенко, Мамченко, & Жукова, 2014).

№	Российские ученые разработчики	Инновационные технологии, при производстве готовых кондитерских изделий
1.	Т.Н. Сухих и М.Н. Зыбин	Использовали низкоэтерифицированные пектины в производстве термостабильных фруктовых начинок для кондитерских изделий.
2.	И.Н. Павлов и В.А. Куничан	Определены направления использования свежесловичных пищевых волокон в кондитерских изделиях, одним из которых является производство пралиновых конфет.
3.	Цыганова Т.Б.	Предложен способ внесения микрокристаллической целлюлозы в тесто вместе с молочной сывороткой, позволяющий получать изделия с высокими потребительскими свойствами и пониженной энергетической ценностью. Разработанные новые виды хрустящих хлебцев «Диабетический» и «Снежок» энергетической ценностью 228 и 239 ккал / 100 г, соответственно
4.	А.Е. Туманова	Разработаны способы производства мучных кондитерских изделий, содержащих пектин, микрокристаллическую целлюлозу, альгинат кальция, бурые водоросли и продукты их переработки. Разработанные рецептуры печенья «Вита», «Флирт», «Вита Люкс», обладают повышенной пищевой ценностью
5.	Козубаева Л.А., Шепелева О.Е.	Разработан состав рецептурной смеси и технология производства песочного печенья «Фимушка», содержащую тестообразную основу, в качестве которой использована пшеничная мука второго сорта. В результате достигается повышение диетических свойств песочного печенья, а также снижение его себестоимости. Применение пшеничной муки второго сорта в указанных количествах обеспечивает диетические свойства готового изделия.
6.	Л.Г. Ипатова, М.А. Левачева	Разработан состав рецептурной смеси и технология производства мучных кондитерских изделий функционального назначения
7.	Зубченко А.В., Магомедова П.О., Олейникова А.Я.	Разработан состав рецептурной смеси и технология производства сдобного печенья.
8.	Сафонов Г.Г., Павловская О.Е.	Разработан состав рецептурной смеси и технология производства сахарного печенья.
9.	Магомедов Г.О., Олейникова А.Я., Плотникова И.В.	Разработана технология производства «жевательной» карамели на основе порошкообразных многокомпонентных полуфабрикатов из ананасового, апельсинового, клюквенного и черносмородинового концентратов богатых минеральными, белковыми, пектиновыми веществами, органическими кислотами, клетчаткой, витаминами
10.	Духу Т.А.	Разработана технология сахарного печенья обогащенного пищевыми волокнами и пребиотиками, а также термостабильная начинка, содержащая дополнительный препарат нерастворимых пищевых волокон в количестве 1,5% к массе начинки
11.	Бакуменко О.Е.	Разработана технология производства крекера, обогащенного пищевыми волокнами, в качестве источника пищевых волокон взяты плодовые оболочки арахиса и фундука в количестве 20%
12.	Гильмиярова Ф.Н., Радомская В.М.	Разработан способ производства мучных кондитерских изделий с применением пищевой добавки, обладающей радиопротекторными свойствами за счет наличия в них меланинов.

Выводы. Таким образом, инновационное развитие отрасли – основополагающий фактор повышения качества производства хлебобулочных, макаронных и кондитерских изделий. При этом ее развитие возможно лишь при наличии полноценной отраслевой инновационной экономической системы, включающей в себя образование, науку, новые технологии, современные методы ведения бизнеса, а также высококвалифицированный кадровый состав, способный реализовать стоящие перед отраслью задачи.

Отсутствие у производителей полной информации о новейших разработках, как следствие неразвитости информационного обеспечения, сказывается на всех аспектах инновационного процесса в отрасли. В информационную базу отраслевой экономической системы должны входить отраслевой банк инноваций, а также бенчмаркинг – инновационный опыт предприятий ведущих отраслей и стран мирового сообщества. Устойчивой социально-экономическое развитие и окончательный технологический переход хлебобулочной, мака-

ронной и кондитерской промышленности на инновационный путь развития является условием выживания и успешного функционирования отечественного производства и повышением его конкурентоспособности на рынке хлебобулочных, макаронных и кондитерских изделий.

Литература

- Алёхина, Н. Н. (2020). *Зерновой хлеб для повышения пищевого статуса населения: биоактивация злаковых культур, ресурсосбережение сырья, разработка технологий и расширение ассортимента продукции* [Докторская диссертация, Воронежский государственный университет инженерных технологий]. Воронеж, Россия.
- Агабекова, В. Р. (2017). Анализ состояния хлебопекарной промышленности Российской Федерации. *Актуальные проблемы и перспективы развития экономики: российский и зарубежный опыт*, (9), 56–60.
- Алексеев, А. Н., & Филатов, В. В. (2011). Социально-экономическая сущность агропродовольственного рынка. *В мире научных открытий*, 3(15), 287–291.
- Андреева, Т. В. (2013). *Цепочка создания стоимости продукта: формирование и оценка эффективности*. ИЦ РИОР: НИЦ Инфра.
- Аптрахимов, Д. Р. (2019). *Разработка и оценка потребительских свойств макаронных изделий повышенной пищевой ценности* [Кандидатская диссертация, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева]. Орел, Россия.
- Бакаева, И. А. (2015). *Разработка технологии хлеба повышенной пищевой ценности на густой закваске из биоактивированного зерна пшеницы* [Кандидатская диссертация, Воронежский государственный университет инженерных технологий]. Воронеж, Россия.
- Березина, Н. А., Корячкина, С. Я., Кузнецова, Е. А., Лазарева, Т. Н., Матвеева, Т. В., Осипова, Г. А., Пригарина, О. М., Румянцева, В. В., Сапронова, Н., Хмельёва, Е. В., & Черепнина, Л. В. (2011). *Инновационные технологии хлебобулочных, макаронных и кондитерских изделий*. ФГОУ ВПО «Государственный университет УНПК».
- Белявская, И. Г. (2017). *Научно-практические основы технологии хлебобулочных изделий с направленной коррекцией пищевой ценности и антиоксидантных свойств* [Докторская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. Москва, Россия.
- Богомолова, И. П., & Белимова, Е. А. (2017). *Инновационные процессы в управлении ресурсами хлебопекарных предприятий*. *Экономика. Инновации. Управление качеством*, 1(18), 42^a–43.
- Вершинина, О. Л., Росляков, Ю. Ф., & Гончар, В. В. (2015). *Инновационные технологии в хлебопечении*. *Научные труды КубГТУ*, (2), 34–40.
- Воронин, С. В. (2010). *Совершенствование управления на предприятиях кондитерской промышленности РФ*. [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. Москва, Россия.
- Воронина, М. В., & Филатов, В. В. (2013). Анализ современных тенденций, способствующих реализации инновационной модели развития АПК. *Вестник университета*, (9), 190–197.
- Воронина, М. В., & Филатов, В. В. (2013). *Управление рынком инновационных технологий в АПК*. *Качество. Инновации. Образование*, 6(97), 71–76.
- Восканян, О. С., Никитин, И. А., Семенкина, Н. Г., & Гусева, Д. А. (2018). Влияние продуктов переработки топинамбура на свойства теста и качество хлеба. *Пищевая промышленность*, (2), 47–49.
- Восканян, О. С., Никитин, И. А., Семенкина, Н. Г., & Гусева, Д. А. (2018). Изучение влияния продуктов переработки топинамбура на гликемический индекс хлеба из пшеничной муки. *Пищевая промышленность*, (6), 44–46.
- Гончаров, Ю. В. (2008). *Инновационные аспекты разработки технологии хлеба из проросшего зерна пшеницы* [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. Москва, Россия.
- Давыденко, Н. И. (2013). *Развитие теории и практики товародвижения обогащенных хлебобулочных изделий в условиях инновационной деятельности* [Докторская диссертация, Кемеровский технологический институт пищевой промышленности]. Кемерово, Россия.
- Кузьмин, А. И., Семенкина, Н. Г., Никитин, И. А., & Восканян, О. С. (2017). Моделирование рецептурного состава функционального хлебобулочного изделия для южных регионов РФ. В *Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений*, (с. 586–593).
- Куличенко, А. И., Мамченко, Т. В., & Жукова, С. А. (2014). Современные технологии производства кондитерских изделий с применением пищевых волокон. *Молодой ученый*, (4), 203–206.
- Левашов, Р. Р. (2019). *Совершенствование технологий хлебобулочных и мучных кондитерских изделий с применением добавок растительного происхождения* [Кандидатская диссертация, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева]. Орел, Россия.

- Макаркин, Д. В. (2018) *Разработка технологии кисломолочного мультизлакового продукта* [Кандидатская диссертация, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН]. Москва, Россия.
- Макаров, А. О. (2009) *Методические аспекты устойчивого развития предприятий хлебопекарной промышленности на основе инновационных технологий* [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. Москва, Россия.
- Матвеева, Т. В., & Корячкина, С. Я. (2011). *Мучные кондитерские изделия функционального назначения. Научные основы, технологии, рецептуры*. ФГОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
- Назарова, О. М. (2017). *Совершенствование технологии и оценка потребительских свойств ржано-пшеничного хлеба на основе густой ржаной закваски и настоя из семени льна* [Кандидатская диссертация, Дальневосточный федеральный университет]. Владивосток, Россия.
- Никитин, И. А. (2019). Технологические аспекты проектирования персонализированных хлебобулочных и кондитерских изделий на основании генетических предрасположенностей потребителей. *Хлебопродукты*, (5), 42–46.
- Никитин, И. А., Никитина, М. А., Иванова, Н. Г., & Березина, Н. А. (2019). Разработка хлебобулочных изделий на основе мучных композитных смесей для геродиетического питания с учетом предрасположенности к нарушениям костного метаболизма. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, 1(54), 34–43.
- Пименов, С. В. (2012). *Инновационное обеспечение развития предприятий пищевой промышленности* [Докторская диссертация, Санкт-Петербургский государственный университет экономики и финансов]. Санкт-Петербург, Россия.
- Сокол, Н. В. (2011). *Теоретическое обоснование и разработка технологий хлеба функционального назначения* [Докторская диссертация, Кубанский государственный технологический университет]. Краснодар, Россия.
- Сорочинский, В. Ф. (2005). Научные разработки ВНИИЗ по оценке качества зерна и зернопродуктов. *Пищевая промышленность*, (1), 64–66.
- Солопенкова, О. В. (2011). *Совершенствование технологии высокорецептурных мучных кондитерских изделий на основе применения нового вида жирового продукта* [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. Москва, Россия.
- Тарасенко, Н. А., Третьякова, Н. Р., & Ежова, К. С. (2016). Аспекты инновационной деятельности в кондитерской промышленности в условиях ЮФО. *Фундаментальные исследования*, 10(1), 207–211
- Филатов, В. В. (2005). *Совершенствование процесса термообработки зерна при инфракрасном энергоподводе*. [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. Москва, Россия.
- Филатов, В. В., & Симонова, В. А. (2016) Предпосылки повышения инновационного потенциала участников основных продуктовых групп пищевой промышленности ЦФО. *Интернет-журнал Науковедение*, 8(5–36), 64.
- Филатов, В. В. (2017) *Развитие промышленного комплекса России на основе регулирования отраслевого рынка инноваций* [Докторская диссертация, Институт проблем рынка РАН]. Москва, Россия.
- Чайка, О. В. (2006) *Совершенствование технологии отделочного полуфабриката для мучных кондитерских изделий с повышенной пищевой ценностью* [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. Москва, Россия.
- Черевичник, Н.Е., Семенкина, Н. Г., & Восканян, О. С. (2017). Рекомендация для использования нетрадиционного растительного сырья – кипрея узколистного в хлебопекарной промышленности. В *Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений*, (679–683). Воронежский государственный университет инженерных технологий.
- Щербина, А. С. (2008) *Экономические приоритеты реорганизации внутренней среды кондитерских предприятий АПК*. [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет технологий и управления]. Москва, Россия.
- Benitez, V., Esteban, R. M., Moniza, E., Casado, N., Aguilera, Y., & Molla, E. (2018). Breads fortified with wholegrain cereals and seeds as source of antioxidant dietary fibre and other bioactive compounds. *Journal of cereal science*, (82), 113.
- Bourekoua, H., Rozylo, R., Dziki, U., Benatallah, L., Nasreddine, M., & Dariusz, Dziki Z. (2018). Pomegranate seed powder as a functional component of gluten-free bread (Physical, sensorial and antioxidant evaluation). *International journal of food science and technology*, 53(8), 1906 – 1913.
- Fabiansson, S. U. (2014) Safety of Food and Beverages: Safety Consideration in Developing Functional Foods. In Y. Motarjemi (Ed.) *Encyclopedia of Food Safety* (pp. 422–426). Academic Press.
- Filatov, V. V., & Plaksin, Yu. M. (2003). №n-traditional raw materials in breakfast cereals. *Хлебопродукты*, (5), 35.
- Kohajdova, Z. (2017) Fermented Cereal Products. In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Food and Beverages Industry*,

- (pp. 91–117). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63666-9.00004-2>
- Peyer, L. C., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2016) Lactic acid bacteria as sensory biomodulators for fermented cereal-based beverages. *Trends in Food Science & Technology*, (54), 17–25.
- Mizanbekova, S. K., Bogomolova, I. P., & Bogomolov, A. V. (2017). Innovation technologies as a factor for increasing the quality of baking industry goods. *Food Processing: Techniques and Technology*, 45(2), 142–148.
- Nikitina, M. A., Nikitin, I. A., Semenkina, N. G., Zavalishin, I. V., & Goncharov, A. V. (2018). Application of the hierarchy analysis method at the foodstuffs quality evaluation. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(5), 51–59.
- Popa, C. N., Tamba-Berehoiu, R. M., & Culea, R. E. (2015). The effect of added whole oat flour on some dough rheological parameters. *Scientific Papers: Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 15(1), 351–355.
- Soman, R., & Raman, M. (2016) HACCP system – hazard analysis and assessment, based on ISO 22000:2005 methodology. *Food control*, (69), 191–195.
- Coda, R., Montemurro, M., & Rizzello, C. 2017) Yogurt in Health and Disease Prevention. *Yogurt Like Beverages Made With Cereals*. (10), 183–201.
- Tucakovic, L., Colson, N., & Singh, I. (2015) Relationship between common dietary polyphenols and obesity – induced inflammation. *Food Public Health*, 5(3), 84–91.
- Zielinski, H., Szawara – N^owak, D., Bczek, N., & Wronkowska, M. (2019). Effect of liquid –state fermentation on the antioxidant and functional properties of raw and roasted buckwheat flours. *Food Chemistry*, 271(15), 291–297.

Socio-economic aspects of the use of innovative technologies in the production of bakery, pasta and confectionery products

Vladimir V. Filatov¹, Taisiya A. Bulavina²

¹ *Moscow State University of Food Production*

² *K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management*

Correspondence concerning this article should be addressed to Vladimir V. Filatov, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation. E-mail: filatov_vl@mail.ru

This article reviews Russian industry experience in developing innovative technologies in the production of bakery, pasta, and confectionery products. The article analyzes innovative technologies developed in Russian institutes, universities, and enterprises of the bakery, pasta, and confectionery industries, in particular the state research Institute of Agriculture, Kuban State Technological University, Belgorod University of consumer cooperation, and Moscow state University of technology and management named after K. G. Razumovsky University (PKU), Moscow State University of food production. It is established that the state order system is focused on purchasing products at low prices and weakly encourages the introduction of innovative technologies into production. The main vectors of innovative transformations of bakery enterprises in the Russian Federation are the use of stoves, dough mixers, mixers, and non-traditional raw materials in the production of bakery products in order to increase the content of essential nutrients, improve the balance of essential essential nutrients, improve the quality and shelf life of finished products, and provide products with a functional orientation, which generally corresponds to global trends five years ago. Currently, consumers of bakery, pasta and confectionery products want to see in these products something more than sweetness, taste and aroma, they need confidence that the products will not cause harm to health, so one of the tasks set for technologists is to develop innovative products not only to expand the range, but also to improve the nutritional value of products.

Keywords: innovative technologies, production, enzymes, production, functional bread varieties, bakery products, pasta, confectionery

References

- Alyohina, N. N. (2020). *Zernovoj hleb dlya povysheniya pishchevogo statusa naseleniya: bioaktivaciya zlakovyh kul'tur, resursosberezhenie syr'ya, razrabotka tekhnologij i rasshirenie assortimenta produkci*. [Grain bread to improve the nutritional status of the population: bioactivation of cereals, resource conservation of raw materials, development of technologies and expansion of the product range] [Doctoral Dissertation, Voronezh State University of Engineering Technologies]. Voronezh, Russia.
- Agabekova, V.R. (2017). Analysis of the state of the baking industry in the Russian Federation. Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya ekonomiki: rossijskij i zarubezhnyj opyt [Actual problems and prospects of economic development: Russian and foreign experience], (9), 56–60.
- Alekseev, A. N., & Filatov, V. V. (2011). Socio-economic essence of the agri-food market. *V mire nauchnyh otkrytij* [In the world of scientific discovery], 3(15), 287–291.
- Andreeva, T. V. (2013). *Cepochka sozdaniya stoimosti produkta: formirovanie i ocenka effektivnosti* [The value chain of the product: the formation and evaluation of effectiveness]. IC RIOR: SIC Infra.
- Aprahimov, D. R. (2019). *Razrabotka i ocenka potrebitel'skih svojstv makaronnyh izdelij povyshennoj pishchevoj cennosti* [Development and evaluation of consumer properties of macaroni products of high nutritional value] [Candidate dissertation, Oryol state University named after I. S. Turgenev]. Oryol, Russia.
- Bakaeva, I. A. (2015). *Razrabotka tekhnologii hleba povyshennoj pishchevoj cennosti na gustoj zakvaske iz bioaktivirovannogo zerna pshenicy* [Development of technology for high-nutritional bread with a

How to Cite

Vladimir V. Filatov, Taisiya A. Bulavina (2020). Socio-economic aspects of the use of innovative technologies in the production of bakery, pasta and confectionery products. *Health, Food & Biotechnology*, 2(2). <https://doi.org/10.2478/hfb.2020.i1.s>

- thick sourdough from bioactivated wheat grain] [Candidate dissertation, Voronezh state University of Engineering Technologies]. Voronezh, Russia.
- Berezina, N. A., Koryachkina, S. Ya., Kuznecova, E. A., Lazareva, T. N., Matveeva, T. V., Osipova, G. A., Prigarina, O. M., Romyanceva, V. V., Sapronova, N., Hmelyova, E. V., & Cherepnina, L.V. (2011). *Innovacionnye tekhnologii hlebobulochnyh, makaronnyh i konditerskih izdelij* [Innovative technologies for bakery, pasta and confectionery products]. FGOU VPO "State University–UNPK".
- Belyavskaya, I. G. (2017). *Nauchno–prakticheskie osnovy tekhnologii hlebobulochnyh izdelij s napravlennoj korrekciej pishchevoj cennosti i antioksidantnyh svoystv* [Scientific and practical bases of bakery products technology with directed correction of nutritional value and antioxidant properties] [Doctoral dissertation, Moscow State University of Food Production]. Moscow, Russia.
- Bogomolova, I. P., & Belimova, E. A. (2017). Innovative processes in the management of bakery enterprises 'resources. *Ekonomika. Innovacii. Upravlenie kachestvom* [Economy. Innovations. Quality management], 1(18), 42^a–43.
- Vershinina, O. L., Roslyakov, YU. F., & Gonchar, V. V. (2015) Innovative technologies in baking. *Nauchnye trudy KubGTU* [Scientific works of Kuban State University], (2), 34–40.
- Voronin, S. V. (2010). *Sovershenstvovanie upravleniya na predpriyatiyah konditerskoj promyshlennosti RF* [Improvement of management at the enterprises of the confectionery industry of the Russian Federation] [Candidate dissertation, Moscow state University of Food Production]. Moscow, Russia.
- Voronina, M. V., & Filatov, V. V. (2013). Analysis of current trends that contribute to the implementation of an innovative model of agribusiness development. *Vestnik universiteta* [Bulletin of the University], (9), 190–197.
- Voronina, M. V., & Filatov, V. V. (2013). Market management of innovative technologies in the agro–industrial complex. *Kachestvo. Innovacii. Obrazovanie* [Quality. Innovations. Education], 6(97), 71–76.
- Voskanyan, O. S., Nikitin, I. A., Semenkina, N. G., & Guseva, D. A. (2018). Influence of Jerusalem artichoke processing products on dough properties and bread quality. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food industry], (2), 47–49.
- Voskanyan, O. S., Nikitin, I. A., Semenkina, N. G., & Guseva, D. A. (2018). Study of the effect of Jerusalem artichoke processing products on the glycemic index of wheat flour bread. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food industry], (6), 44–46.
- Goncharov, YU. V. (2008). *Innovacionnye aspekty razrabotki tekhnologii hleba iz prorosshego zerna pshenicy* [Innovative aspects of the development of bread technology from sprouted wheat grain] [Candidate dissertation, Moscow State University of Food Production]. Moscow, Russia.
- Davydenko, N. I. (2013). *Razvitie teorii i praktiki tovarodvizheniya obogashchennyh hlebobulochnyh izdelij v usloviyah innovacionnoj deyatel'nosti* [Development of the theory and practice of commodity distribution of enriched bakery products in the conditions of innovative activity] [Doctoral dissertation, Kemerovo technological Institute of food industry]. Kemerovo, Russia.
- Kuzmin, A. I., Semenkina, N. G., Nikitin, I. A., & Voskanyan, O. S. (2017). Modeling of the recipe composition of a functional bakery product for the southern regions of the Russian Federation. In *N^ovoe v tekhnologii i tekhnike funkcional'nyh produktov pitaniya na osnove mediko–biologicheskikh vozzrenij* [New technologies and techniques of functional food products based on medical and biological views] (pp. 586–593). Voronezh State University of Engineering Technologies.
- Kulichenko, A. I., Mamchenko, T. V., & Zhukova, S. A. (2014). Modern technologies for the production of confectionery products using dietary fiber. *Molodoj uchenyj* [Young scientist], (4), 203–206.
- Levashov, R. R. (2019). *Sovershenstvovanie tekhnologii hlebobulochnyh i muchnyh konditerskih izdelij s primeneniem dobavok rastitel'nogo proiskhozhdeniya* [Improvement of technologies for bakery and flour confectionery products with the use of additives of vegetable origin] [Candidate dissertation, Oryol state University named after I. S. Turgenev]. Oryol, Russia.
- Makarkin, D. V. (2018) *Razrabotka tekhnologii kislo-molochnogo mul'tizlakovogo produkta* [Development of technology for fermented milk multi–slag product] [Candidate dissertation, Federal Research Center for Food Systems named after V. M. Gorbатов, Russian Academy of Sciences]. Moscow, Russia.
- Makarov, A. O. (2009) *Metodicheskie aspekty ustojchivogo razvitiya predpriyatij hlebopekarnoj promyshlennosti na osnove innovacionnyh tekhnologij* [Methodological aspects of sustainable development of bakery industry enterprises based on innovative technologies] [Candidate dissertation, Moscow State University of Food Production]. Moscow, Russia.
- Matveeva, T. V., & Koryachkina, S. Ya. (2011). *Muchnye konditerskie izdeliya funkcional'nogo naznacheniya. Nauchnye osnovy, tekhnologii, receptury* [Flour confectionery products for functional purposes. Scientific bases, technologies, recipes]. FGOU VPO «State University – UNPK».
- Nazarova, O. M. (2017). *Sovershenstvovanie tekhnologii i ocenka potrebitel'skih svoystv rzhano–pshenichnogo hleba na osnove gustoj rzhanoj*

- zakvaski i nastoya iz semeni l'na [Improvement of technology and evaluation of consumer properties of rye-wheat bread based on thick rye sourdough and flax seed infusion] [Candidate dissertation, Far-Eastern Federal University] Vladivostok, Russia.
- Nikitin, I. A. (2019). Technological aspects of designing personalized bakery and confectionery products based on the genetic predispositions of consumers. *Hleboprodukty* [Bread products], (5), 42–46.
- Nikitin, I. A., Nikitina, M. A., Ivanova, N. G., & Berezina, N. A. (2019). Development of bakery products based on flour composite mixtures for herodietic nutrition, taking into account the predisposition to disorders of bone metabolism. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovacionnyh pishchevyh produktov* [Technology and commodity science of innovative food products], 1(54), 34–43.
- Pimenov, S. V. (2012). *Innovacionnoe obespechenie razvitiya predpriyatij pishchevoj promyshlennosti* [Innovative support for the development of food industry enterprises] [Doctoral dissertation, Saint Petersburg State University of Economics and Finance]. Saint Petersburg, Russia.
- Sokol, N. V. (2011). *Teoreticheskoe obosnovanie i razrabotka tekhnologij hleba funkcional'nogo naznacheniya* [Theoretical justification and development of bread technologies for functional purposes] [Kuban State Technological University]. Krasnodar, Russia.
- Sorochinsky, V. F. (2005). Scientific developments of All-Russian institute for grain and grain products quality assessment. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food industry], (1), 64–66.
- Solopenkova, O. V. (2011). *Sovershenstvovanie tekhnologii vysokorecepturnyh muchnyh konditerskih izdelij na osnove primeneniya novogo vida zhirovogo produkta* [Improving the technology of high-prescription flour confectionery products based on the use of a new type of fat product] [Candidate dissertation, Moscow State University of Food Production]. Moscow, Russia.
- Tarasenko, N. A. Tretyakova, N. R., & Ezhova, K. S. (2016). Aspects of innovation in the confectionery industry in the southern Federal district. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental study], 10(1), 207–211.
- Filatov, V. V. (2005). *Sovershenstvovanie processa termoobrabotki zerna pri infrakrasnom energopodvode* [Improving the process of grain heat treatment with infrared power supply] [Candidate dissertation, Moscow State University of Food Production]. Moscow, Russia.
- Filatov, V. V., & Simonova, V. A. (2016). Prerequisites for increasing the innovative potential of participants in the main food groups of the Central Federal district food industry. *Internet-zhurnal Naukovedenie* [Online Journal of Science], 8(5–36), 64.
- Filatov, V. V. (2017). *Razvitie promyshlennogo kompleksa Rossii na osnove regulirovaniya otraslevogo rynka innovacij*. Institut problem rynka RAN [Development of the Russian industrial complex based on regulation of the industry innovation market] [Doctoral dissertation, Institute of Market Problems of the Russian Academy of Sciences]. Moscow, Russia.
- Chaika, O. V. (2006). *Sovershenstvovanie tekhnologii otdelochnogo polufabrikata dlya muchnyh konditerskih izdelij s povyshennoj pishchevoj cennost'yu* [Improving the technology of finishing semi-finished products for flour confectionery products with high nutritional value] [Candidate dissertation, Moscow State University of Food Production]. Moscow, Russia.
- Cherevichnik, N. E., Semenkina, N. G., & Voskanyan, O. S. (2017). Recommendation for the use of non-traditional vegetable raw materials—narrow-leaved cypress in the baking industry. In *Nºvoe v tekhnologii i tekhnike funkcional'nyh produktov pitaniya na osnove mediko-biologicheskikh vozzrenij* [New technologies and techniques of functional food products based on medical and biological views] (pp. 679–683), Voronezh State University of Engineering Technologies.
- Shcherbina, A. S. (2008). *Ekonomicheskie priority reorganizacii vnutrennej sredy konditerskih predpriyatij APK*. [Economic priorities of reorganization of the internal environment of confectionery enterprises of the agro-industrial complex] [Candidate dissertation, Moscow State University of Technology and Management]. Moscow, Russia.
- Benitez, V., Esteban, R. M., Moniza, E., Casado, N., Aguilera, Y., & Molla, E. (2018). Breads fortified with wholegrain cereals and seeds as source of antioxidant dietary fibre and other bioactive compounds. *Journal of cereal science*, (82), 113.
- Bourekoua, H., Rozylo, R., Dziki, U., Benatallah, L., Nasreddine, M., & Dariusz, Dziki Z. (2018). Pomegranate seed powder as a functional component of gluten-free bread (Physical, sensorial and antioxidant evaluation). *International journal of food science and technology*, 53(8), 1906 – 1913.
- Fabiansson, S. U. (2014) Safety of Food and Beverages: Safety Consideration in Developing Functional Foods. In Y. Motarjemi (Ed.) *Encyclopedia of Food Safety* (pp. 422–426). Academic Press.
- Filatov, V. V., & Plaksin, Yu. M. (2003). №n-traditional raw materials in breakfast cereals. *Хлебопродукты*, (5), 35.
- Kohajdova, Z. (2017) Fermented Cereal Products. In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Food and Beverages Industry*,

- (pp. 91–117). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63666-9.00004-2>
- Peyer, L. C., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2016) Lactic acid bacteria as sensory biomodulators for fermented cereal-based beverages. *Trends in Food Science & Technology*, (54), 17–25.
- Mizanbekova, S. K., Bogomolova, I. P., & Bogomolov, A. V. (2017). Innovation technologies as a factor for increasing the quality of baking industry goods. *Food Processing: Techniques and Technology*, 45(2), 142–148.
- Nikitina, M. A., Nikitin, I. A., Semenkina, N. G., Zavalishin, I. V., & Goncharov, A. V. (2018). Application of the hierarchy analysis method at the food-stuffs quality evaluation. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(5), 51–59.
- Popa, C. N., Tamba-Berehoiu, R. M., & Culea, R. E. (2015). The effect of added whole oat flour on some dough rheological parameters. *Scientific Papers: Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 15(1), 351–355.
- Soman, R., & Raman, M. (2016) HACCP system – hazard analysis and assessment, based on ISO 22000:2005 methodology. *Food control*, (69), 191–195.
- Coda, R., Montemurro, M., & Rizzello, C. 2017) Yogurt in Health and Disease Prevention. *Yogurt Like Beverages Made With Cereals*. (10), 183–201.
- Tucakovic, L., Colson, N., & Singh, I. (2015) Relationship between common dietary polyphenols and obesity – induced inflammation. *Food Public Health*, 5(3), 84–91.
- Zielinski, H., Szawara – N^owak, D., Bczek, N., & Wronkowska, M. (2019). Effect of liquid –state fermentation on the antioxidant and functional properties of raw and roasted buckwheat flours. *Food Chemistry*, 271(15), 291–297.

Исследование антиоксидантных свойств α -токоферола, кверцетина, β -ситостерина, ретинил пальмитата и разработка антиоксидантного комплекса на их основе

Кривова Анна Юрьевна¹, Соколова Елена Николаевна¹,
Горячева Елена Давидовна², Тимофеева Ирина
Анатольевна¹, Серба Елена Михайловна²

¹ ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

² ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Кривова А. Ю., ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», адрес: Самокатная 4-б, Москва, 111033, РФ.
E-mail: 3321225@mail.ru

Исследованы антиоксидантные свойства индивидуальных веществ и их смесей, таких как α -токоферол, кверцетин, β -ситостерин, ретинил пальмитат для создания антиоксидантного комплекса, стабилизирующего эмульсионные системы. Для определения антиоксидантной активности оценивали способность индивидуальных соединений и их смесей тормозить реакции термического окисления метилового эфира олеиновой кислоты. Показано, что усиление антиоксидантных свойств бинарной смеси витаминов наблюдается при увеличении концентрации α -токоферола и уменьшении концентрации ретинил пальмитата. Установлен эффект взаимного подавления антиоксидантных свойств смеси ретинил пальмитата с β -ситостерином. Доказано, что значение антиоксидантной активности реакционной смеси, включающей кверцетин в сочетании с витаминами или β -ситостерином, обладает аддитивными свойствами. Для смеси, состоящей из 4-х компонентов: α -токоферол, кверцетин, β -ситостерин, ретинил пальмитат, характерно увеличение антиоксидантных свойств в 2,5 раза при минимальных концентрациях, а при максимальных концентрациях в 1,5 раза. Установлено, что все исследуемые природные соединения обладали антипероксидной активностью, при этом наиболее высокий уровень отмечен у кверцетина, далее у ретинил пальмитата, β -ситостерина и α -токоферола. Показано, что смесь природных антиоксидантов обладала антипероксидной активностью в 1,5 раза выше, чем у кверцетина. На основе полученного уравнения регрессии, адекватно описывающего процесс, реализована программа оптимизации, позволившая сформировать антиоксидантный комплекс, включающий ретинил пальмитат, α -токоферол, β -ситостерин и кверцетин в оптимальных соотношениях. Показано, что антиоксидантная активность комплекса в 1,7 раза превосходила результат этого показателя в смеси, состоящей из 4-х изучаемых компонентов. Разработанный антиоксидантный комплекс рекомендован для использования в составе продуктов с эмульсионной основой

Ключевые слова: природные антиоксиданты, антиоксидантная активность, метилолеатная модель, антиоксидантный комплекс

Введение

В состав ряда животных и растительных жиров входят природные антиоксиданты, но в процессе производства и очистки жиров последние часто удаляются или претерпевают химические превращения. Это приводит к резкому снижению

устойчивости жиров к окислению и вызывает необходимость введения экзогенных антиоксидантов (Repetto, 2012). Проблема сохранения качества эмульсионных продуктов масложировой промышленности, а именно входящих в состав липидных компонентов, от процессов окисления представляет важную практическую задачу (Харченко, 2016;

Шигабутдина, 2009.). Вторым аспектом является создание эмульсионных пищевых продуктов с оптимальной рецептурой, не только длительного хранения при сохранении качества самого продукта, но и повышение питательной ценности последнего (Полунина, 2006). При конструировании пищевых продуктов на основе эмульсионных систем, особенно типа масло-вода, наибольшую опасность представляет цепное окисление полиненасыщенных жирных кислот (ПОЛ). В реакциях ПОЛ образуется большое количество липидных гидроперекисей, которые обладают высокой реакционной способностью и оказывают мощное повреждающее действие не только на сам продукт, вызывая его прогоркание, но и на организм человека (Тарасова, 2009.). Доказано, что свободные радикалы и реакции с их участием являются причиной возникновения различных заболеваний, таких как раковые болезни, артрит, эмфиземы, атеросклероз, диабет и т.д. (Плавинский, 2013; Yao Li, 2016; Серба, 2018). Защита организма от этих нежелательных явлений, а также предотвращение перекисного окисления масел, содержащих полиненасыщенные жирные кислоты – основная задача антиоксидантной системы. В настоящее время большое внимание уделяется поиску новых ингибиторов ПОЛ, особенно из природного сырья, созданию пищевых добавок на их основе (Lee, 2012; Huang, 2005; Rimareva, 2017; Кривова, 2018). Сложность подбора антиоксидантных систем для пищевой промышленности заключается в том, что кроме способности стабилизировать субстрат и благоприятно воздействовать на процессы, происходящие в организме человека, выбранные антиоксидантные системы и продукты их превращения не должны изменять сенсорные показатели готового изделия. За последние двадцать лет накоплен значительный материал по механизму действия многокомпонентных систем при окислении различных субстратов, содержащих липидные компоненты. Получены экспериментальные данные и об усилении, и о снижении ингибирующей эффективности ряда смесей природных и синтетических антиоксидантов. Однако единого мнения о природе наблюдаемых эффектов априори отсутствует (Собакарь, 2010). Поэтому проблема поиска, создание композиций и сравнительное изучение антиоксидантных свойств синтетических и природных веществ животного и растительного происхождения в процессах автоокисления является задачей насущной и важной не только для пищевой промышленности, но и для здоровья нации.

Целью представленного исследования являлось изучение антиоксидантных свойств природных антиоксидантов и их смесей при различных концентрациях, для создания антиоксидантного комплекса.

Методика.

Исследования проводились в отделе биотехнологии ферментов, органических кислот, дрожжей и БАД, ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» совместно с сотрудниками кафедры Пищевая безопасность, ФГБОУ ВО Московский государственный университет пищевых производств.

Объектами исследования были природные антиоксиданты и их смеси, такие как α -токоферол, кверцетин, β -ситостерин, ретинил пальмитат. Для определения антиоксидантной активности оценивали способность компонентов тормозить реакции термического окисления метилового эфира олеиновой кислоты (МО) на оборудовании фирмы SINGLOU (Япония). Заданные количества растворенных в этиловом спирте веществ и их смесей вносили в известный объем МО (9,5 мл), предварительно очищенный перегонкой в вакууме. Окисление проводили в специальных окислительных ячейках со стеклянным пористым фильтром, при скорости инициирования $AO \omega_1 = 0,37$ моль O_2 /с., при температуре $60 \pm 0,1^\circ C$. Через ячейки продували воздух с такой скоростью, чтобы процесс окисления протекал в кинетической области, т.е. в условиях, когда скорость окисления не зависит от количества подаваемого кислорода. За ходом окисления следили по количеству образовавшихся пероксидов. За величину индукции принимали время окисления МО до накопления перекиси в количестве 0,03 ммоль/г. Антиоксидантную активность оценивали как отношение разности периода индукции окисления растворов исследуемых соединений в МО к периоду индукции окисления самого МО (Алавердиева, 2000). Антипероксидная активность оценивалась по разности перекисного числа исходной смеси, состоящей из МО и исследуемых композиций антиоксидантов, и смеси подвергнутой продуванию кислородом в течении 2 часов при температуре $60 \pm 0,1^\circ C$.¹ Использованы математические методы планирования эксперимента (Грачев, 2006). Статистическую обработку результатов проводили в программе «Microsoft Excel», на основе 3–5 повторностей единичного опыта.²

¹ ГОСТ Р 51487-99 (2001). Масла растительные и жиры животные. Метод определения перекисного числа.

² ГОСТ Р 50779.22-2005 (ИСО 2602:1980) (2005). Статистические методы. Статистическое представление данных. Точечная оценка и доверительный интервал для среднего.

Результаты

Исследованы антиоксидантные (АО) свойства индивидуальных веществ и их смесей, таких как α -токоферол, кверцетин, β -ситостерин, ретинил пальмитат. Для определения антиоксидантной активности оценивали способность индивидуальных соединений и их смесей тормозить реакции термического окисления метилового эфира олеиновой кислоты (МО). Выбор концентрации витаминов, кверцетина и β -ситостерина

и их смесей осуществлялся из учета доз, применяемых в профилактических и лечебных целях (Машковский, 2014.).

Анализ полученных результатов показал, что все исследуемые, природные антиоксиданты обладали высокой способностью тормозить реакции окисления (табл.1). Наиболее сильными АО свойствами обладал α -токоферол, в то время как β -ситостерин проявил свойства близкие к прооксидантным. Ретинил пальмитат в зависимости от concentra-

Таблица 1

Антиоксидантные свойства природных компонентов

Объекты исследованиямл	Концентрация, мг/мл	Период индукции окисления МО ($\Delta\tau/\Delta\tau_0$)	Доверительный интервал величины $\Delta\tau/\Delta\tau_0$ при $\theta=0,05$
ретинил пальмитат	$0,9 \cdot 10^{-5}$	0,53	0,08
	$4,5 \cdot 10^{-3}$	0,71	0,07
α -токоферол	$10,1 \cdot 10^{-4}$	0,94	0,08
	$1,5 \cdot 10^{-2}$	1,41	0,05
β -ситостерин	0,15	0,07	0,03
	0,25	0,11	0,03
кверцетин	0,2	0,75	0,05
ретинил пальмитат + α -токоферол	$0,9 \cdot 10^{-5} \times 10,1 \cdot 10^{-4}$	1,10	0,06
	$4,5 \cdot 10^{-3} \times 10,1 \cdot 10^{-4}$	0,26	0,02
	$0,9 \cdot 10^{-5} \times 1,5 \cdot 10^{-2}$	1,72	0,07
	$4,5 \cdot 10^{-3} \times 1,5 \cdot 10^{-2}$	0,80	0,08
ретинил пальмитат + β -ситостерин	$0,9 \cdot 10^{-5} \times 0,15$	0,0	0,0
	$4,5 \cdot 10^{-3} \times 0,15$	0,04	0,03
	$0,9 \cdot 10^{-5} \times 0,25$	0,08	0,03
	$4,5 \cdot 10^{-3} \times 0,25$	0,12	0,04
α -токоферол + β -ситостерин	$10,1 \cdot 10^{-4} \times 0,15$	0,84	0,06
	$10,1 \cdot 10^{-4} \times 0,25$	1,05	0,05
	$1,5 \cdot 10^{-2} \times 0,15$	1,54	0,07
	$1,5 \cdot 10^{-2} \times 0,25$	2,7	0,07
ретинил пальмитат + кверцетин	$0,9 \cdot 10^{-5} \times 0,2$	1,1	0,05
	$4,5 \cdot 10^{-3} \times 0,2$	0,97	0,06
α -токоферол + кверцетин	$10,1 \cdot 10^{-4} \times 0,2$	1,36	0,08
	$1,5 \cdot 10^{-2} \times 0,2$	1,68	0,08
β -ситостерин+ кверцетин	$0,15 \times 0,2$	0,82	0,04
	$0,25 \times 0,2$	0,92	0,04
ретинил пальмитат + α -токоферол + β -ситостерин + кверцетин	$0,9 \cdot 10^{-5} \times 10,1 \cdot 10^{-4} \times 0,15 \times 0,2$	3,37	0,07
	$4,5 \cdot 10^{-3} \times 1,5 \cdot 10^{-2} \times 0,25 \times 0,2$	2,87	0,07

ции и скорости инициирования проявляет различные АО – уменьшение концентрации и снижение скорости инициирования приводит к возрастанию АО. Анализ кинетических кривых при скорости инициирования АО $\omega_i = 0,37$ моль O_2 /л.с. позволяет сделать вывод, что в смесях природных антиоксидантных композиций протекают более сложные биохимические процессы.

Полученные результаты показали, что ретинил пальмитат и α -токоферол в исследованных пределах концентраций при совместном введении усиливают АО активность: сравнение относительных разностей периодов индукции окисления МО с добавлением в реакционную смесь ретинил пальмитата составила при минимальных концентрациях $0,53 \pm 0,08$, а при максимальных концентрациях $0,71 \pm 0,07$, для α -токоферола $0,94 \pm 0,08$ и $1,41 \pm 0,05$ соответственно, в то время как при совместном внесении этих витаминов, при минимальном вводе в реакционную смесь, этот показатель достигал значения $1,72 \pm 0,07$. Уменьшение дозы ретинил пальмитата в этой композиции приводит к увеличению $\Delta\tau/\Delta\tau_0$ более чем в 2,5 раз. Т.о. усиление АО свойств бинарной смеси витаминов наблюдается при увеличении концентрации α -токоферола и уменьшении концентрации ретинил пальмитата. Установлен эффект взаимного подавления антиоксидантных свойств смеси ретинил пальмитата с β -ситостерином значимо неотличимый от ин-

дивидуальных свойств β -ситостерина. Доказано, что значение антиоксидантной активности реакционной смеси, включающей кверцетин в сочетании с витаминами или β -ситостерином, обладает аддитивными свойствами. Для смеси состоящей из 4-х компонентов характерно увеличение АО свойств при минимальных концентрациях в 2,5 раза, а при максимальных концентрациях в 1,5 раза.

На рис.1 представлены результаты экспериментов по определению антипероксидной активности изучаемых природных соединений при минимальных концентрациях (табл.1) и их смеси давшей наибольший результат АО активности. Доверительный интервал среднего генеральной совокупности (5 повторностей единичного опыта) составил 0,07–0,10%. Как видно из представленных данных все исследуемые природные соединения обладали антипероксидной активностью (АПА). Установлен наиболее высокий уровень у кверцетина, далее у ретинил пальмитата, β -ситостерина и α -токоферола. Смесь природных компонентов показала АПА в 1,5 раза выше, чем у кверцетина.

Для достоверного описания процессов АО, происходящих *in vitro*, были использованы математические методы планирования экспериментов, включающие кодирование переменных, оценку значимости коэффициентов регрессии, проверку

Рисунок 1

Антипероксидная активность природных компонентов и их смесей

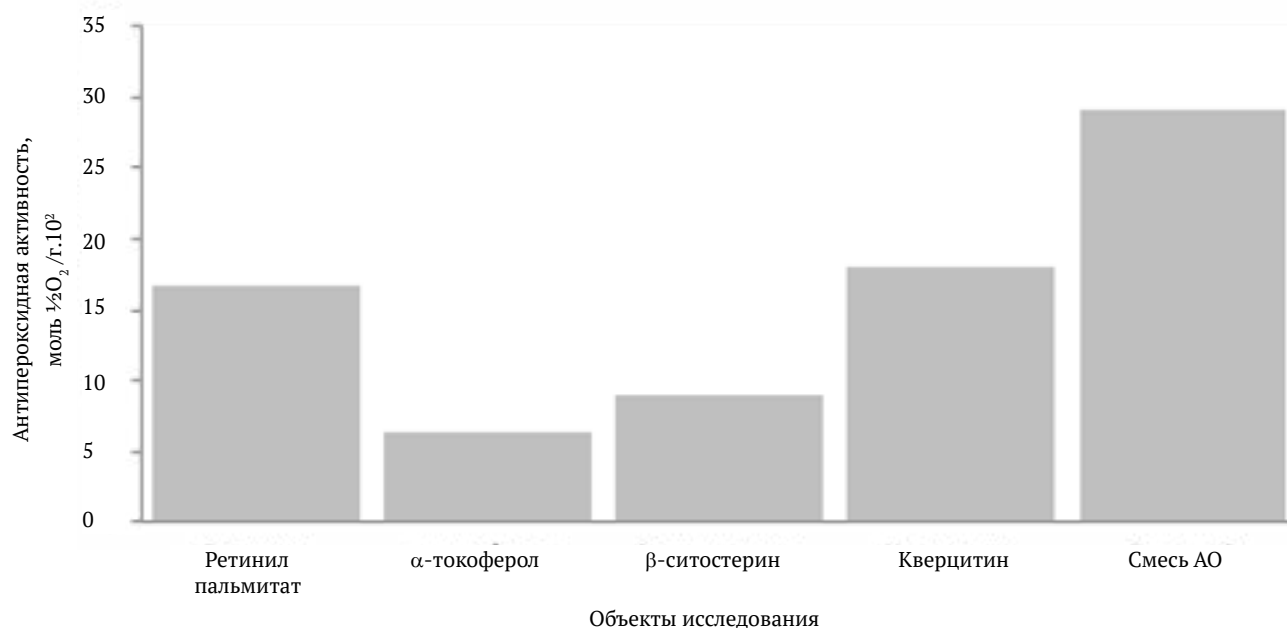
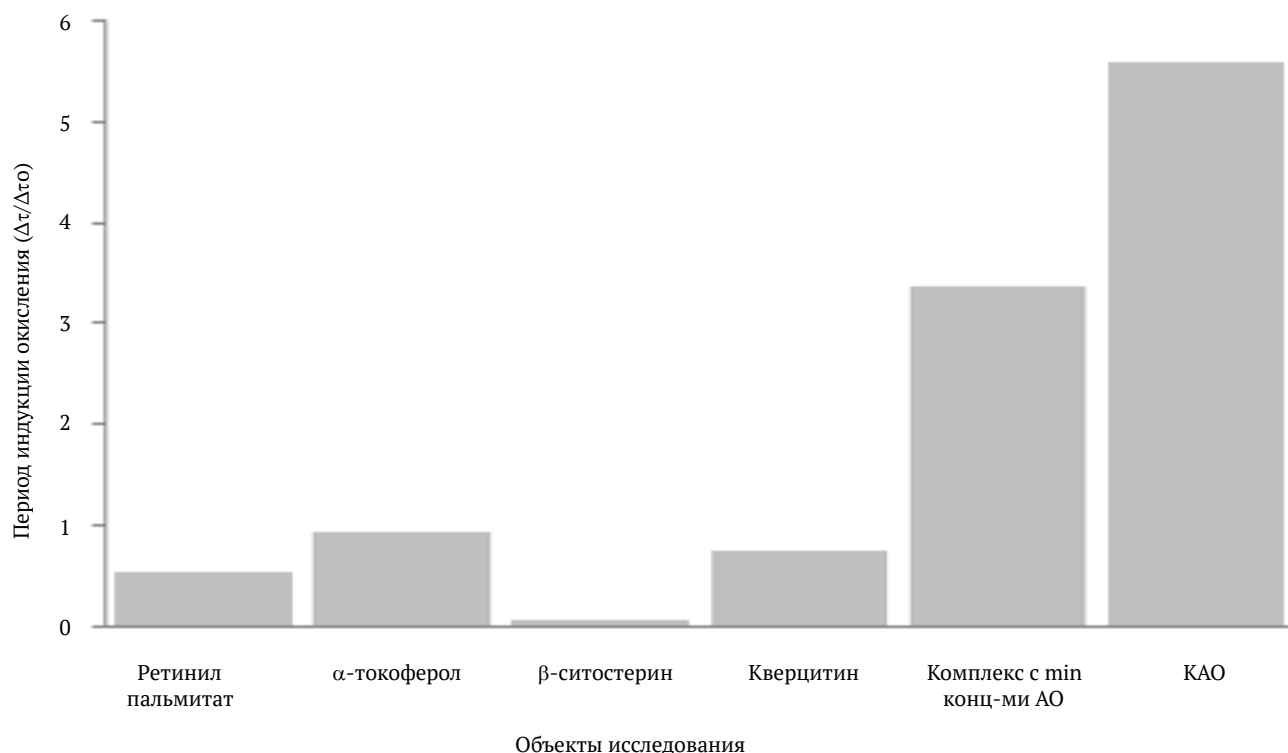


Рисунок 2

Антиоксидантная активность природных антиоксидантов при их минимальной концентрации в смеси и антиоксидантная активность КАО



адекватности полученного уравнения по критерию Фишера. В качестве критерия оценки АО процессов использовали показатели АО активности. Для определения АО свойств был поставлен ПФЭ 24, при X_1 - ретинил пальмитат; X_2 - α -токоферол; X_3 - β -ситостерин; X_4 - кверцетин и получено уравнение регрессии, адекватно описывающее процесс.

$$Y = 0,46 - 0,45x_1 + 0,37x_2 - 0,20x_3 + 0,21x_4 - 0,33x_1x_2 + 0,16x_3x_4 + 0,18x_2x_3x_4$$

Реализация программы оптимизации позволила сформировать АО комплекс (КАО) в следующем натуральном выражении (мг/мл.): $4,7 \cdot 10^{-3}$ - ретинил пальмитат; $3,6 \cdot 10^{-3}$ - α -токоферол; 0,05 - β -ситостерин; 0,1 - кверцетин.

На рис. 2 представлены значения АО активности индивидуальных природных антиоксидантов и их сочетания при их минимальной концентрации в реакционной смеси, а также КАО. Использование математических методов планирования позволило получить КАО, антиоксидантная активность которого в 1,7 раза превосходила результат этого показателя в смеси, состоящей из 4-х изучаемых компонентов при минимальных концентрациях, и составила 5,73 ($\Delta\tau/\Delta\tau_0$). Показатель АПА КАО равен

$0,47 \pm 0,015$ ммоль $\frac{1}{2} O_2$ /г., что превосходит 1,4 раза аналогичную активность в смеси, состоящей из 4-х изучаемых компонентов при минимальных концентрациях.

Таким образом АО свойства природных компонентов и их смесей зависят от химической природы соединений, окислительного процесса и соотношения компонентов.

Обсуждение результатов

Продукты питания с высоким содержанием жира, эмульсионные продукты занимают существенную долю в рационе сбалансированного питания (Гаврилова, 2015; Римарева, 2018). Эмульсионные системы сегодня играют ключевую роль в производстве продуктов питания (Берестова, 2014). Они обладают не только энергетической ценностью, но и имеют большое биологическое значение: в их состав входят высоконепредельные жирные кислоты, жирорастворимые витамины и другие биологически активные вещества, необходимые для нормального развития организма (Ипатова, 2009; Senica, 2016). Особенностью пищевых жиров, в частности в эмульсионных системах, является их

относительно низкая устойчивость к окислительным процессам, которая приводит к снижению их пищевой ценности, в частности, к снижению содержания незаменимых жирных кислот (Горбатова, 2013). А также к накоплению различных продуктов окисления, которые не только снижают вкусовые достоинства продукта, но и оказывают отрицательное воздействие на организм человека (Cotterchio, 2006; Viapiana, 2017; Sidor, 2015). В современной пищевой промышленности находят применение различные способы улучшения качества пищевых продуктов и предотвращения их порчи (Солдатова, 2017; Rajendran, 2014). Использование пищевых добавок является в настоящее время наиболее экономически выгодным и легко применимым способом (Колесникова, 2012; Наумова, 2015; Алексеева, 2018; Mikulic-Petkovsek, 2015). Однако, необходимо учитывать, что не все пищевые добавки, используемые в продуктах питания, являются безопасными для организма человека, основным нормативным документом права использования, в частности антиокислителей, является ГОСТ Р 55517-2017 «Антиокислители пищевых продуктов», в котором приведен список разрешенных к применению антиокислителей в РФ.³ На основании вышеизложенного, особое внимание уделяется созданию комплексных биологически активных добавок природного происхождения. За последние годы накоплен значительный материал по механизму действия антиоксидантных, многокомпонентных систем при окислении различных субстратов и методов исследования последних (Yashin, 2008; Boligon, 2014; Pokorna, 2015). Однако, сведений об антиоксидантных комплексах, эффективно предотвращающих ПОЛ в эмульсионных системах недостаточно. Потребность в антиоксидантах испытывают, прежде всего, те отрасли пищевой промышленности, продукция которых содержит различные виды жиров: производители масложировой продукции, мучной кондитерской продукции, молочной промышленности, мясных колбасных изделий, замороженных продуктов, рыбных продуктов, пищевых концентратов, сухих супов и бульонов, кукурузных хлопьев, картофельных чипсов, а также при производстве вин и пива – для предотвращения их окисления. при хранении овощей и фруктов и продуктов, изготовленных из овощей и фруктов – для предотвращения потемнения⁴ (Федченко, 2013; Vrhotová, 2017).

В работе проведены актуальные исследования антиоксидантных свойств индивидуальных веществ

и их смесей, таких как α -токоферол, кверцетин, β -ситостерин, ретинил пальмитат, полученных из природного сырья. Показано, что при составлении различных композиций исследуемых веществ, антиоксидантные свойства последних зависят от состава и концентрации индивидуальных веществ. Показано, что усиление антиоксидантных свойств бинарной смеси витаминов наблюдается при увеличении концентрации α -токоферола и уменьшении концентрации ретинил пальмитата. Установлен эффект взаимного подавления антиоксидантных свойств смеси ретинил пальмитата с β -ситостерином при окислении МО. Доказано, что значение антиоксидантной активности в реакционной смеси кверцетина в сочетании с витаминами или β -ситостерином обладает аддитивными свойствами. Все исследуемые природные соединения обладали антипероксидной активностью. Это позволяет предположить, что способность предотвращать образования перекисных соединений для природных компонентов является одной из характеристик их антиоксидантной активности. Наибольшей антипероксидной активностью обладал кверцетин, однако, смесь природных антиоксидантов обладала антипероксидной активностью в 1,5 раза выше, чем у кверцетина. В исследованиях использованы математические методы планирования экспериментов, получено уравнение регрессии, адекватно описывающее процесс, реализована программа оптимизации, позволившая сформировать антиоксидантный комплекс в следующем натуральном выражении (мг/мл): $4,7 \cdot 10^{-3}$ – ретинил пальмитат; $3,6 \cdot 10^{-3}$ – α -токоферол; 0,05 – β -ситостерин; 0,1 – кверцетин. Показано, что антиоксидантная активность комплекса в 1,7 раза, а антипероксидная активность в 1,4 превосходила результат этих показателей в смеси, состоящей из 4-х изучаемых компонентов при минимальных концентрациях, рекомендованных согласно данным литературы (Машковский, 2014).

Разработанный антиоксидантный комплекс может быть рекомендован для использования в составе продуктов с эмульсионной основой для различных отраслей пищевой промышленности.

Заключение.

1. На метилолеатной окислительной модели исследованы антиоксидантные и антипероксидные свойства индивидуальных веществ и их смесей, таких как α -токоферол, кверцетин, β -ситостерин, ре-

³ ГОСТ Р 55517-2017 (2014). Антиокислители пищевых продуктов.

⁴ Позняковский, В. М., Тихонов, В. С., & Трихина, В. В. (2018). Биологически активная добавка к пище антиоксидантной направленности и способ производства биологически активной добавки к пище, патент 0002660250, 05.07.2018

тинил пальмитат. Показано, что антиоксидантная и антипероксидная активности смесей природных компонентов в процессах окисления зависят от многих факторов: соотношения компонентов, химической природы соединений, окислительного процесса и соотношения компонентов.

2. Сформирован антиоксидантный комплекс (мг/мл): $4,7 \cdot 10^{-3}$ – ретинил пальмитат; $3,6 \cdot 10^{-3}$ – α -токоферол; 0,05 – β -ситостерин; 0,1 – кверцетин. Показано, что антиоксидантная активность комплекса в 1,7 раза, а антипероксидная активность в 1,4 превосходит максимальный результат этих показателей индивидуальных исследованных природных антиоксидантов.

Литература

- Алавердиева С.И. (2000). *Антиоксидантные свойства природных компонентов и их смесей в процессах окисления липидов в технологиях косметических изделий* [Кандидатская диссертация]. Москва, Россия.
- Алексеева, Т. В., Калгина, Ю. О., Евлакова, В. С., & Малакова, Л. А. (2018). Биологически активная добавка для питания женщин в период беременности из отечественного вторичного сельхозсырья. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 10–19. <https://doi.org/10.36107/spfp.2018.22>
- Берестова, А. В., Зинюхин, Г. Б., & Межуева, Л. В. (2014). Особенности технологии пищевых масложировых эмульсий функционального назначения. *Вестник ОГУ*, 1(162), 150–156.
- Гаврилова, Ю. А., Бессонова, О. В., & Смирнова, Н. А. (2015). Развитие концепции здорового питания в России: проблемы и перспективы. *Международный журнал экспериментального образования*, (2–3), 405–406.
- Горбатова, А. В. (2013). Исследование качественных показателей сливочно–растительных спредов функциональной направленности. *Аграрный вестник Урала*, 1(107), 37–39.
- Грачев, Ю. П., & Плаксин, Ю. М. (2006). *Математические методы планирования эксперимента*. ДеЛи.
- Ипатов, Л. Г., Кочеткова, А. А., Тутельян, В. А., & Нечаев, А. Н. (2009). *Жировые продукты для здорового питания. Современный взгляд*. ДеЛи.
- Кривова, А. Ю., Серба, Е. М., Римарева, Л. Б., Оверченко, М. Б., Серба, Е. В., & Калинина, А. Г. (2018). Перспективы создания биотехнологической продукции на основе гриба *Aspergillus oryzae*. *Вопросы питания*, 87(S5), 185–186. <http://dx.doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10293>
- Колесникова, С. В., & Алексеенко, А. В. (2012). Спреды с функциональными добавками – новый шаг в развитии продукта. *Молочная промышленность*, (3), 55–56.
- Машковский, М. Д. (2014). *Лекарственные средства*. Новая Волна.
- Наумова, Н. Л. (2015). Антиоксидантные свойства пищевой добавки Novasol rosemary на примере сливочного масла. *Вестник Алтайского Государственного аграрного университета*, 3(125), 152–155.
- Плавинский, С. Л. & Плавинская, С. И. (2013). Роль антиоксидантов в лечении и профилактике заболеваний человека. *Медицина*, (1), 41–54.
- Полунина, О. С., Кудряшева, И. А., Орман, Г. В., & Доновский, П. А. (2006). Свойства БАД к пище – антиоксиданта. *Успехи современного естествознания*, (2), 83–85.
- Римарева, Л. В., Фурсова, Н. А., Соколова, Е. Н., Волкова, Г. С., Борщева, Ю. А., Серба, Е. М., & Кривова, А. Ю. (2018). Биодеструкция белков зернового сырья для получения новых хлебобулочных изделий. *Вопросы питания*, 87(6), 67–75. <http://dx.doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10068>
- Серба, Е. М., Волкова, Г. С., Соколова, Е. Н., Фурсова, Н. А., & Юраскина, Т. В. (2018). Плоды брусники – перспективный источник биологически активных веществ. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 48–58. <https://doi.org/10.36107/spfp.2018.59>
- Собакар, М. С., & Ших, Е. В. (2010). Антиоксидантная теория и метаболические подходы к лечению заболеваний сердечно сосудистой системы. *Биомедицина*, (3), 10–21.
- Солдатова, А. В., Николаева, Ю. В., Пилипенко, О. В., & Дубрович, Г. А. (2017). Влияние растительных антиоксидантов на процессы окислительной порчи спреда. *Пищевая промышленность*, (10), 61–65.
- Тарасова, А. И., Тагиева, Т. Г., Завадская, И. М., Кузнецова, А. В., & Кравченко, А. В. (2009). Использование натуральных антиоксидантов в эмульсионных продуктах. *Масла и жиры*, (7), 10–12.
- Федченко, И. А., & Притыкина, Н.А. (2013). Природные и синтетические антиоксиданты, применение в пищевой промышленности. *Глобальная научная интеграция*, (6), 74–80.
- Харченко, Ю. А. & Дмитриев, В.Н. (2016). Перспективная БАД с антиоксидантами. *Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы*, 3, 61–65.
- Шигабутдина, Ф.Г. (2009). БАД к пище современные аспекты применения. *Практическая медицина*, 7(39), 81–86.
- Boligon, A. A., Machado, M. M., & Athayde, M. L. (2014). Technical evaluation of antioxidant activity.

- Medicinal chemistry*, 4(7), 517–522. <http://dx.doi.org/10.4172/2161-0444.1000188>
- Cotterchio, M., Boucher, B. A., Manno, M., Gallinger, S., Okey, A., & Harper, P. (2006). Dietary phytoestrogen intake is associated with reduced colorectal cancer risk. *Journal of Nutrition*, 136, 3046–3053.
- Huang D., Ou B., & Prior R. L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(6), 1841–1856. <https://doi.org/10.1021/jf030723c>
- Lee, J. & Mitchell, A. E. (2012). Pharmacokinetics of quercetin absorption from apples and onions in healthy humans. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(15), 3874–3881. <https://doi.org/10.1021/jf3001857>
- Li, Y., Yao, J., Han, C., Yang, J., Chaudhry, M. T., Wang, S., Liu, H., & Yin, Y. (2016). Quercetin, Inflammation and Immunity. *Nutrients*, 8(3), 167. <http://dx.doi.org/10.3390/nu8030167>
- Mikulic-Petkovsek, M., Samoticha, J., Eler, K., Stampar, F., & Veberic, R. (2015). Traditional elderflower beverages: A rich source of phenolic compounds with high antioxidant activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(5), 1477–1487. <http://dx.doi.org/10.1021/jf506005b>
- Pokorna, J., Venskutonis, P. R., Kraujalyte, V., Kraujalis, P., Dvořák, P., Tremlova, B., Kopřiva, V., & Ošťádalová, M. (2015). Comparison of different methods of antioxidant activity evaluation of green and roast C. Arabica and C. Robusta coffee beans. *Acta alimentaria*, 44(3), 454–460. <https://doi.org/10.1556/066.2015.44.0017>
- Rajendran P., Nandakumar N., Rengarajan T., Palaniswami R., Gnanadhas E. N., Lakshminarasiah U., Gopas J., & Nishigaki I. (2014). Antioxidants and human diseases. *Clinica Chimica Acta*, 436, 332–347. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cca.2014.06.004>
- Rimareva, L. V., Sokolova, E. N., Serba, E. M., Borshcheva, Y. A., Kurbatova, E. I., & Krivova, A. Y. (2017). Reduced Allergenicity of Foods of Plant Nature by the Method of Enzymatic Hydrolysis. *Oriental Journal of Chemistry*, 33(4), 2009–2015. <https://doi.org/10.13005/ojc/330448>
- Repetto, M., Semprine, J. & Boveris, A. (2012). *Lipid Peroxidation: Chemical Mechanism, Biological Implications and Analytical Determination*. InTech <http://dx.doi.org/10.5772/45943>
- Senica, M., Stampar, F., Veberic, R. & Mikulic-Petkovsek, M. (2016). Processed elderberry (*Sambucus nigra* L.) products: A beneficial or harmful food alternative? *LWT – Food Science and Technology*, 72, 182–188. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.056>
- Sidor, A., & Gramza-Michałowska, A. (2015). Advanced research on the antioxidant and health benefit of elderberry (*Sambucus nigra*) in food—a review. *Journal of functional foods*, 18, 941–958. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2014.07.012>
- Viapiana, A., & Wesolowski, M. (2017). The Phenolic Contents and Antioxidant Activities of Infusions of *Sambucus nigra* L. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72(1), 82–87. <http://dx.doi.org/10.1007/s11130-016-0594-x>
- Vrchotová, N., Dadáková, E., Matějček, A., Tříška, J., & Kaplan, J. (2017). Effect of variety on content of bioactive phenolic compounds in common elder (*Sambucus nigra* L.). *Natural product research*, 31(6), 700–703. <http://dx.doi.org/10.1080/14786419.2016.1214826>
- Yashin, A. Y. (2008). A flow-injection system with amperometric detection for selective determination of antioxidants in food—stuffs and drinks. *Russian Journal of General Chemistry*, 78(12), 2566–2571. <http://dx.doi.org/10.1134/S1070363208120360>

Research of antioxidant properties α -tocopherol, quercetin, β -sitosterol, retinyl palmitate and development of an antioxidant complex based on them

Anna Y. Krivova², Yelena N. Sokolova², Yelena D. Goryacheva¹,
Irina A. Timofeyeva¹, Yelena M. Serba²

¹ VNIIPBT- filial FGBUN «FITS pitaniya i biotekhnologii»

² Moscow State University of Food Production

Correspondence concerning this article should be addressed to Anna Y. Krivova, VNIIPBT- filial FGBUN «FITS pitaniya i biotekhnologii», Samokatnaya 4-b, Moskva, 111033, Russian Federation. E-mail: 3321225@mail.ru

The antioxidant properties of individual substances and their mixtures, such as α -tocopherol, quercetin, β -sitosterol, retinyl palmitate, were studied to create a multi-antioxidant composition that stabilizes emulsion systems. To determine the antioxidant activity, the ability of individual compounds and their mixtures to inhibit the thermal oxidation of oleic acid methyl ester was evaluated. It is shown that an increase in the antioxidant properties of a binary mixture of vitamins is observed with an increase in the concentration of α -tocopherol and a decrease in the concentration of retinyl palmitate. The effect of mutual suppression of the antioxidant properties of a mixture of retinyl palmitate and β -sitosterol was established. It is proved that the value of the antioxidant activity of the reaction mixture, including quercetin in combination with vitamins or β -sitosterol, has additive properties. A mixture consisting of 4 components: α -tocopherol, quercetin, β -sitosterol, retinyl palmitate is characterized by an increase in antioxidant properties by 2.5 times at minimum concentrations, and by 1.5 times at maximum concentrations. It was found that all the studied natural compounds had antiperoxide activity, while the highest level was observed in quercetin, then in retinyl palmitate, β -sitosterol and α -tocopherol. It was shown that the mixture of natural antioxidants had an antiperoxide activity 1.5 times higher than that of quercetin. Based on the obtained regression equation that adequately describes the process, an optimization program was implemented that allowed the formation of an antioxidant complex including retinyl palmitate, α -tocopherol, β -sitosterol and quercetin in optimal ratios. It is shown that the antioxidant activity of the complex was 1.7 times higher than the result of this indicator in a mixture consisting of 4 studied components. The developed antioxidant complex is recommended for use in products with an emulsion base

Keywords: natural antioxidants, antioxidant activity, methyl oleate model, antioxidant complex

References

- Alaverdiyeva S. I. (2000). *Antioxidantnye svoystva prirodnih komponentov i ih smesey v processah okisljeniya lipidov v tekhnologiyah kosmeticheskikh izdelij* [Antioxidant properties of natural components and their mixtures in the processes of lipid oxidation in the technology of cosmetic products] [Candidate dissertation]. Moscow, Russia.
- Alekseeva, T. V., Kalgina, Y. O., Evlakova, V. S., & Malakova, L. A. (2018). Biologically Active Additive for Nutrition of Women During Pregnancy from Domestic Secondary Agricultural Raw Materials. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 10–19. <https://doi.org/10.36107/spfp.2018.22>
- Berestova, A. V., Zinyukhin, G. B., & Mezhueva, L. V. (2014). Features of the technology of edible fat and oil emulsions for functional purposes. *Vestnik OGU [OSU Bulletin]*, 1(162), 150–156.
- Gavrilova, Yu. A., Bessonova, O. V., & Smirnova, N. A. (2015). Development of the concept of healthy eating in Russia: problems and prospects. *Mezhdunarodnyj zhurnal eksperimental'nogo obra-*

- zovaniya [International Journal of Experimental Education], (2–3), 405–406.
- Gorbatova, A. V. (2013). Research of qualitative indicators of creamy vegetable spreads of functional orientation. *Agrarnyj vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 1(107), 37–39.
- Grachev, Yu. P., & Plaksin, Yu. M. (2006). *Matematicheskie metody planirovaniya eksperimenta* [Mathematical methods for planning an experiment]. DeLi.
- Ipatova, L. G., Kochetkova, A. A., Tutelyan, V. A., & Nechaev, A. N. (2009). *Zhirovyje produkty dlya zdorovogo pitaniya. Sovremennyy vzglyad* [Fatty foods for a healthy diet. A modern look]. DeLi.
- Krivova, A. Yu., Serba, E. M., Rimareva, L. B., Overchenko, M. B., Serba, E. V., & Kalinina, A. G. (2018). Prospects for the creation of biotechnological products based on the fungus *Aspergillus oryzae*. *Voprosy pitaniya* [Nutrition Issues], 87(S5), 185–186. <http://dx.doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10293>
- Kolesnikova, S. V., & Alekseenko, A. V. (2012). Spreads with functional additives are a new step in product development. *Molochnaya promyshlennost'* [Milk Industry], (3), 55–56.
- Mashkovsky, M. D. (2014). *Lekarstvennye sredstva* [Medicines]. *Novaya Volna*.
- Naumova, N. L. (2015). Antioxidant properties of the food additive Novasol rosemary on the example of butter. *Vestnik Altajskogo Gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai State Agrarian University], 3(125), 152–155.
- Plavinsky, S. L. & Plavinskaya, S. I. (2013). The role of antioxidants in the treatment and prevention of human diseases. *Medicina* [Medicine], (1), 41–54.
- Polunina, O. S., Kudryasheva, I. A., Orman, G. V., & Donovsky, P. A. (2006). Properties of dietary supplements to food – antioxidant. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [The successes of modern natural science], (2), 83–85.
- Rimareva, L. V., Fursova, N. A., Sokolova, E. N., Volkova, G.S., Borshcheva, Yu. A., Serba, E. M., & Krivova, A. Yu. (2018). Biodegradation of proteins of grain raw materials for obtaining new bakery products. *Voprosy pitaniya* [Nutrition Issues], 87(6), 67–75. <http://dx.doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10068>
- Serba, E. M., Volkova, G. S., Sokolova, E. N., Fursova, N. A., & Yuraskina, T. V. (2018). Fruit Cowberry – a Promising Source of Biologically Active Substances. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 48–58. <https://doi.org/10.36107/spfp.2018.59>
- Sobakar, M. S., & Shikh, E. V. (2010). Antioxidant theory and metabolic approaches to the treatment of diseases of the cardiovascular system. *Biomedicina* [Biomedicine] (3), 10–21.
- Soldatova, A. V., Nikolaeva, Yu. V., Pilipenko, O. V., & Dubrovich, G. A. (2017). The influence of plant antioxidants on the processes of oxidative deterioration of the spread. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry], (10), 61–65.
- Tarasova, A. I., Tagieva, T. G., Zavadskaya, I. M., Kuzetsova, A. V., & Kravchenko, A. V. (2009). The use of natural antioxidants in emulsion products. *Masla i zhiry* [Oils and fats], (7), 10–12.
- Fedchenko, I. A., & Pritykina, N. A. (2013). Natural and synthetic antioxidants, use in the food industry. *Global'naya nauchnaya integraciya* [Global Scientific Integration], (6), 74–80.
- Kharchenko, Yu. A. & Dmitriev, V. N. (2016). A promising dietary supplement with antioxidants. *Racional'noe pitanie, pishchevye dobavki i biostimulyatory* [Rational nutrition, nutritional supplements and biostimulants], 3, 61–65.
- Shigabutdin, F. G. (2009). BAA for food modern aspects of application. *Prakticheskaya medicina* [Practical Medicine], 7(39), 81–86.
- Boligon, A. A., Machado, M. M., & Athayde, M. L. (2014). Technical evaluation of antioxidant activity. *Medicinal chemistry*, 4(7), 517–522. <http://dx.doi.org/10.4172/2161-0444.1000188>
- Cotterchio, M., Boucher, B. A., Manno, M., Gallingier, S., Okey, A., & Harper, P. (2006). Dietary phytoestrogen intake is associated with reduced colorectal cancer risk. *Journal of Nutrition*, (136), 3046–3053.
- Huang D., Ou B., & Prior R. L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(6), 1841–1856. <https://doi.org/10.1021/jf030723c>
- Lee, J. & Mitchell, A. E. (2012). Pharmacokinetics of quercetin absorption from apples and onions in healthy humans. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(15), 3874–3881. <https://doi.org/10.1021/jf3001857>
- Li, Y., Yao, J., Han, C., Yang, J., Chaudhry, M. T., Wang, S., Liu, H., & Yin, Y. (2016). Quercetin, Inflammation and Immunity. *Nutrients*, 8(3), 167. <http://dx.doi.org/10.3390/nu8030167>
- Mikulic-Petkovsek, M., Samoticha, J., Eler, K., Stampar, F., & Veberic, R. (2015). Traditional elderflower beverages: A rich source of phenolic compounds with high antioxidant activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(5), 1477–1487. <http://dx.doi.org/10.1021/jf506005b>
- Pokorna, J., Venskutonis, P. R., Kraujalyte, V., Kraujalis, P., Dvořák, P., Tremlova, B., Kopřiva, V., & Ošťádalová, M. (2015). Comparison of different methods of antioxidant activity evaluation of green and roast C. Arabica and C. Robusta coffee beans. *Acta alimentaria*, 44(3), 454–460. <https://doi.org/10.1556/066.2015.44.0017>

- Rajendran P., Nandakumar N., Rengarajan T., Palaniswami R., Gnanadhas E. N., Lakshminarasaiiah U., Gopas J., & Nishigaki I. (2014). Antioxidants and human diseases. *Clinica Chimica Acta*, 436, 332–347. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cca.2014.06.004>
- Rimareva, L. V, Sokolova, E. N, Serba, E. M, Borshcheva, Y. A, Kurbatova, E. I, & Krivova, A. Y. (2017). Reduced Allergenicity of Foods of Plant Nature by the Method of Enzymatic Hydrolysis. *Oriental Journal of Chemistry*, 33(4), 2009–2015. <https://doi.org/10.13005/ojc/330448>
- Repetto, M., Semprine, J. & Boveris, A. (2012). *Lipid Peroxidation: Chemical Mechanism, Biological Implications and Analytical Determination*. InTech <http://dx.doi.org/10.5772/45943>
- Senica, M., Stampar, F., Veberic, R. & Mikulic–Petkovsek, M. (2016). Processed elderberry (*Sambucus nigra* L.) products: A beneficial or harmful food alternative? *LWT – Food Science and Technology*, 72, 182–188. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.056>
- Sidor, A., & Gramza–Michałowska, A. (2015). Advanced research on the antioxidant and health benefit of elderberry (*Sambucus nigra*) in food—a review. *Journal of functional foods*, 18, 941–958. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2014.07.012>
- Viapiana, A., & Wesolowski, M. (2017). The Phenolic Contents and Antioxidant Activities of Infusions of *Sambucus nigra* L. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72(1), 82–87. <http://dx.doi.org/10.1007/s11130-016-0594-x>
- Vrchotová, N., Dadáková, E., Matějček, A., Tříška, J., & Kaplan, J. (2017). Effect of variety on content of bioactive phenolic compounds in common elder (*Sambucus nigra* L.). *Natural product research*, 31(6), 700–703. <http://dx.doi.org/10.1080/14786419.2016.1214826>
- Yashin, A. Y. (2008). A flow–injection system with amperometric detection for selective determination of antioxidants in food– stuffs and drinks. *Russian Journal of General Chemistry*, 78(12), 2566–2571. <http://dx.doi.org/10.1134/S1070363208120360>

Сравнительная оценка способов замораживания мясного сырья с различным характером автолиза

Литвинова Елена Викторовна¹, Артамонова Марина
Петровна¹, Бухтеева Юлия Михайловна¹

¹ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Литвиновой Е.В., ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, дом 11. E-mail: illusionse@mail.ru

Изучение качественных показателей мяса в процессе криогенного метода замораживания с различным характером автолиза имеет особо актуальное значение в контексте повышения интереса к обеспечению эффективного здоровьесбережения нации и продвижения теории ресурсосберегающих отраслей в рамках соответствия и внедрения лучших доступных технологий. Целью оригинального исследования являлось проведение сравнительной оценки изменения показателей качества говядины и свинины с признаками NOR и DFD в зависимости от различных способов замораживания. В рамках выполнения работы руководствовались ТР ТС 021/2011, ТР ТС 034/2013, МУК 4.2.2747-10 и ГОСТ. В результате проведенных исследований выявлен характер изменения свойств мяса в зависимости от способов замораживания (воздушное, криогенное, акустическое) и характера автолиза (говядина DFD, свинина DFD, говядина NOR, свинина NOR). При хранении мяса в замороженном виде в течение 6 месяцев не происходит нарастающего вымораживания влаги из саркоплазмы мышечных волокон, перемещающейся в межволоконное и межпучковое пространство. Установлено, что наименьшие изменения претерпевает мясо, замороженное криогенным методом, а также с применением акустического воздействия. При всех исследуемых режимах замораживания наибольшую стабильность показателей качества продемонстрировала, как говядина, так и свинина с признаками DFD. Результаты исследования раскрывают дополнительные технологические свойства мяса с различным характером автолиза, что играет важную практическую роль для мясоперерабатывающих предприятий отрасли.

Ключевые слова: риозамораживание, DFD мясо, NOR мясо, сравнительный анализ, физико-химические показатели, гистология

Введение

На современном этапе развития пищевой промышленности возникает проблема производства качественных и безопасных пищевых продуктов для жизни и здоровья населения. Это самая главная задача производителей всех стран, заботящихся о здоровье нации и надлежащем уровне жизни граждан (Tarrant, 1989).

Качество замороженных продуктов определяется составом и свойствами объектов замораживания и теми изменениями, которые претерпевают компоненты продуктов на стадиях замораживания и последующего хранения (Tan, 2017).

Изменение свойств мяса и мясopодуKтов при замораживании, в первую очередь, связано с про-

цессом кристаллообразования влаги, сопровождающегося механическим повреждением морфологических элементов тканей, перераспределением влаги между структурными образованиями, повышением концентрации растворенных в жидкой фазе веществ, что, в свою очередь, сказывается на развитии физико-химических и биохимических процессов (Domez, 2008).

Указанные изменения зависят от уровня и характера автолиза мышечной ткани, компонентного состава мясного сырья, а также условий и режимов замораживания (Farouk, 2004).

Особенности развития автолитических процессов определяют специфику качественных характеристик мяса и изготовленных из них продуктов (Gordon, 1991).

Как цитировать

Литвинова, Е. В., Артамонова, М. П., Бухтеева Ю.М. (2020). Сравнительная оценка способов замораживания мясного сырья с различным характером автолиза. *Health, Food & Biotechnology*, 2(2). https://doi.org/_____/hfb.2020.i1.s____

Поскольку на отечественных предприятиях часто приходится иметь дело с мясным сырьем, получаемым от животных, у которых после убоя в мышечной ткани происходят биохимические процессы, существенно отличающиеся от нормального развития автолиза, то вопрос целенаправленного использования сырья с учетом характера автолиза приобрел особое значение, так как существенно возросло количество животных, которые попадают на переработку после откорма на промышленных комплексах (Sales, 2020). У этих животных после убоя в мышечной ткани обнаруживаются значительные отклонения от обычного развития автолитических процессов (Beltran, 2019).

Появление мяса с признаками DFD может быть вызвано низким содержанием жиров и белков в корме животных, наличием у них злокачественной гиперпирексии (вирулентная лихорадка), характеризующейся бесконтрольным повышением температуры и жесткостью скелетной мускулатуры (Agnelli, 2002).

Мясное сырье с признаками DFD (темное – dark, плотное – firm, сухое – dry) в отдельных регионах России составляет 28–35%, однако эти данные неоднозначны.

Особенностями послеубойных изменений в мясе с признаками DFD являются низкое содержание гликогена, высокая величина pH и водосвязывающей способности, незначительное накопление молочной кислоты, низкая скорость посола (Damez, 2013). Кроме того, большие проблемы возникают при хранении и переработке DFD мяса, так как оно подвергается микробиологической порче быстрее, чем с нормальным значением pH (Lepetit, 2002). Замораживание – процесс понижения температуры продукта ниже криоскопической на 10–30°C, сопровождаемый переходом в лед содержащейся в нем влаги (Egelandstal, 2019).

В мировой практике для быстрого замораживания продуктов имеется широкий ассортимент скороморозильных аппаратов (Gorlov, 2013). Можно выделить 5 групп способов замораживания по принципу отвода тепла, осуществляемых за счет контакта продукта:

- с хладоносителем (воздухом или раствором солей), который охлаждается хладагентом;
- с хладагентом через металлическую поверхность;
- с хладагентом напрямую;

- за счет испарения в вакууме содержащейся в продукте влаги;
- комбинированный.

Воздушный способ, при котором теплота от продукта воспринимается воздухом и передается поверхностью охлаждающих приборов, нашел наибольшее распространение во всех странах. Воздух – естественная и достаточно инертная среда (George, 1993). Широкое использование этого способа обусловлено его простотой и универсальностью, так как он дает возможность замораживать штучные продукты практически любой формы и размеров, неупакованных и упакованных в полимерную пленку или другую тару. При этом скорость процесса зависит от размера продукта, температуры среды и ее циркуляции (Cassius, 2017). Но так как поток воздуха подается с одной стороны, то не вся поверхность продукта участвует в активном теплообмене, что затрудняет равномерность замораживания (Hanenian, 2004). Еще одним недостатком является относительно низкая способность воздуха аккумулировать тепло и предрасположенность его к поглощению влаги (Birdseye, 1933).

На большинстве предприятий замораживание воздушным способом производят при температуре минус 20°C с естественной циркуляцией воздуха или при температуре минус 26–30°C – с принудительной циркуляцией.

Воздушный скороморозильный аппарат представляет собой устройство, имеющее теплоизоляционную ограждающую конструкцию, внутри которой располагаются испарители (воздухоохладители), системы подачи воздуха, транспортирования продукта, автоматического управления и регулирования.

Общий парк воздушных механических аппаратов для замораживания штучных пищевых продуктов содержит довольно много разновидностей (Hyun-Wook Kim, 2018). В зависимости от типа транспортирующихся средств воздушные аппараты делятся на тележечные, конвейерные и флюидизационные (Bertram, 2007). В тележечных и конвейерных продукты можно замораживать как в мелкой расфасовке, так и в виде блоков, во флюидизационных – в интенсивном и направленном вверх воздушном потоке, в результате чего они поддерживаются во взвешенном состоянии (флюидизированном) (Koohmaraie, 1992). Наибольшее распространение получили морозильные воздушные аппараты тележечного типа (Ma, 2020).

Для замораживания близких по форме и размерам пищевых продуктов используют конвейерные

аппараты, в которых продукт транспортируется конвейером различного типа: цепным, лотковым, пластинчатым, ленточным с электрическим или гидравлическим приводом, действующим непрерывно или циклически (Pearce, 2011).

Особую группу воздушных морозильных аппаратов составляют флюидизационные, замораживающие мелкоштучные продукты в плотном взвешенном воздушном слое, толщина которого регулируется в зависимости от размера и теплофизических свойств продукта (Mortensen, 2006). Флюидизация осуществляется на поддонах с перфорированным днищем или на сетчатых конвейерах, при этом обычно используется двухступенчатая схема организации процесса с передачей подмороженного продукта на ниже лежащий транспортер, где происходит замораживание (Poznyakovskiya, 2015).

Несмотря на то, что воздушные морозильные аппараты получили широкое распространение, у них есть множество недостатков:

- имеют высокую стоимость основных фондов: нуждаются в дорогостоящих производственных помещениях большой площади;
- требуют продолжительных сроков изготовления и введения в эксплуатацию, громоздкого и металлоемкого оборудования; высоких эксплуатационных затрат из-за низкой надежности и недолговечности оборудования, нуждающегося в частых ремонтах, а также высокой стоимости запасных частей и расходных материалов и необходимости содержания большого количества квалифицированного обслуживающего персонала; больших затрат электроэнергии;
- холодильные агенты (хладоны, аммиак) экологически опасны;
- происходят значительные потери массы продукта от усушки (Ryu, 2006).

Погружной способ в некипящей жидкости, при котором отвод тепла осуществляется за счет контакта продукта с хладоносителем – жидкостью, характеризуется более эффективным отводом теплоты по сравнению с воздушным способом (Tomović, 2008). Однако возникающие при этом трудности, связанные с нежелательным проникновением охлаждающего вещества (хладоносителя) в продукт, с соблюдением санитарно-гигиенических условий, с поддержанием концентрации хладоносителя и отсутствием доступных нетоксичных и инертных жидкостей, ограничивают применение такого способа (Pellissery, 2020).

Погружные (иммерсионные) морозильные аппараты подразделяются на две группы: с неподвижным (стационарным) положением продукта в жидком хладоносителе; с перемещением продукта в жидком хладоносителе транспортером (Youling L. Xiong, 2017).

Существенными недостатками таких аппаратов являются низкий уровень механизации, цикличность работы, что не позволяет включать их в общую поточную линию переработки штучных продуктов питания (Xu, 2019). Кроме того, применение специальных устройств, обеспечивающих механическое перемещение продукта, усложняет конструкцию аппарата (Gurinovich, 2013).

Так как в основном в качестве некипящей жидкости используют растворы солей хлорида натрия или хлорида кальция, то детали таких аппаратов подвержены коррозии, что сказывается на надежности их работы (Sebranek, 1979). Выполнение узлов аппарата из нержавеющей стали повышает его стоимость, а значительные размеры и наличие орошающих устройств способствуют дополнительным теплопритокам и деконцентрации раствора.

Контактный способ предусматривает замораживание продукта правильной прямоугольной формы за счет его контакта с хладагентом (реже – с хладоносителем) через поверхность морозильных плит, которые с помощью гидравлического или электрического привода плотно прижимаются к продукту, обеспечивая его формовку, подпрессовку.

Основной недостаток плиточных аппаратов – невозможность замораживания продуктов неправильной формы, а кроме того, к отрицательным моментам можно отнести и периодичность действия, в частности, вертикально- и горизонтально-плиточных аппаратов, что не дает возможности их включения в поточную линию производства пищевых продуктов широкого ассортимента.

Для замораживания пищевых продуктов криогенным способом применяют следующие криогенные агенты: жидкий азот, диоксид углерода и хладон.

Криогенные морозильные аппараты являются более эффективными по сравнению с механическими. Такие аппараты делятся на две группы: погружного и форсуночного типа. В первой используется принцип погружения пищевого продукта в криожидкость, во второй – принцип распыления криожидкости на продукт через форсунки.

Наиболее широко применяется жидкий азот. Экономичнее замораживать продукт в криогенном аппарате с двумя зонами: в первой 30–40% теплоты отводится от продукта потоком газообразного азота, а во второй продукт домораживается в жидком азоте.

Если рассматривать все системы азотного замораживания в общем, то, бесспорно, они имеют существенные преимущества, такие как высокая надежность эксплуатации; незначительные затраты на техническое обслуживание и ремонт; высокая холодопроизводительность азотной системы, что позволяет эффективно осуществлять ударную первичную холодильную обработку. Но есть и ряд недостатков, главный из которых – неэкономичный расход достаточно дорогого криовещества, а также высокая интенсивность теплоотдачи, что вызывает растрескивание продукта (он теряет товарный вид).

Основываясь на анализе вышеприведенного материала, можно полагать, что показатели качества мяса зависят, как от режимов холодильной обработки, так и от исходного состояния мясного сырья, определяемого характером и глубиной развития автолитических процессов. Направленное использование мясного сырья с учетом его характеристик, зависящих от особенностей развития биохимических процессов в послеубойный период, открывает возможность повышения качества продуктов и увеличения их выходов. Новая технология выращивания скота, условия содержания и кормления, организация предубойного содержания и транспортировки обусловили появление не только говядины, но и свинины с нетрадиционными качественными показателями (мяса с признаками DFD).

В этой связи очевидна высокая актуальность исследований и практических разработок, направленных на создание новых и совершенствование существующих технологий и технических средств холодильной обработки мясного сырья.

Целью работы являлось проведение сравнительной оценки изменения показателей качества говядины и свинины с признаками NOR и DFD в зависимости от различных способов замораживания.

Материалы и методы

Объектами исследования служили охлажденные свинина и говядина с признаками NOR (pH=5,6–6,0) и DFD (pH=6,2–6,8). Опытные образцы мяса подвергались криогенному и акустиче-

скому замораживанию. В качестве контрольных образцов использовали свинину и говядину NOR и DFD, замороженную воздушным способом при $t = -18^{\circ}\text{C}$.

При выполнении исследований по определению показателей пищевой ценности использовали следующие методики: массовую долю влаги – по ГОСТ Р 51479; массовую долю белка – на полуавтоматическом приборе Kjeltex System 1002 «Tecator»; массовую долю жира – по ГОСТ 23042.

Оксипролин в мясных образцах определяли, ориентируясь на ГОСТ 23041-2015, триптофан – на ГОСТ 34132-2017, КБП – расчетным методом (как отношение триптофана к оксипролину).

Структурно-механические свойства мясных продуктов, в частности, напряжение среза и работу резания, оценивали с помощью универсальной испытательной машины «Instron – 1140» с использованием приставки «Kramer Shear Press».

Руководствуясь ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции», ТР ТС 034/2013 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности мяса и мясной продукции», МУК 4.2.2747-10 Методы санитарно-паразитологической экспертизы мяса и мясной продукции, проводили микробиологические исследования и изучали показатели безопасности разработанных продуктов питания.

Органолептическим испытаниям подвергали образцы, ориентируясь на ГОСТ ISO 11037-2013.

Микроструктурные исследования, а также расчет порозности мясных образцов проводили в соответствии с ГОСТ 19496–2013 «Мясо и мясные продукты. Метод гистологического исследования» с применением светового микроскопа «AxioImager A1» (Carl Zeiss, Германия), видеокамеры «AxioCam MRc 5» и компьютерной системы анализа изображений «AxioVision 4.7.1.0».

Полученные результаты обрабатывали, используя общепринятые методы вариационной статистики. Различия показателей считали достоверными при значениях достоверного интервала $> 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Изменение свойств мяса и мясопродуктов при замораживании, в первую очередь, связано с процессом кристаллообразования влаги, сопровождающего

ся механическим повреждением морфологических элементов тканей, перераспределением влаги между структурными образованиями, повышением концентрации растворенных в жидкой фазе веществ, что, в свою очередь, сказывается на развитии физико-химических и биохимических процессов.

Указанные изменения зависят от уровня и характера автолиза мышечной ткани, компонентного состава мясного сырья и условий и режимов замораживания.

Особенности развития автолитических процессов определяют специфику качественных характеристик мяса и изготовленных из них продуктов.

Мясо DFD до замораживания имело темно-красный цвет, близкий к коричневому. Консистенция характеризовалась большей жесткостью и сухостью по сравнению с мясом, отнесенным к группе NOR, поверхность мяса DFD также отличалась повышенной липкостью. Мясо NOR в охлажденном состоянии имело красно-розовый цвет и имело упругую консистенцию.

Анализ полученных данных при изучении мясного сырья позволяет сделать вывод о том, что массовая доля влаги в сырье DFD выше, чем в мясе NOR

на 1%, содержание белка выше на 8%, содержание жира меньше на 12%. Результаты проведенных исследований представлены в таблице 1.

При определении качественного белкового показателя, установлено, что значение показателя триптофана 380,1 мг/100г для мяса DFD, 347 мг/100 г для мяса NOR. Значение показателя оксипролина составило 46,3 мг/100 г для NOR, 42,9 мг/100 г – для DFD.

Опираясь на представленные результаты, качественный показатель говядины DFD составил 8,86, для говядины NOR – 7,51.

Для оценки интенсивности ферментативного распада гликогена, а также интерпретации данных по изменению белковых веществ при низкотемпературном воздействии изучалось изменение величины pH и BCC мяса в процессе замораживания и последующего хранения.

Данные изучения концентрации ионов водорода и величины BCC в исследуемых образцах, представленные в таблице 3, позволяют с уверенностью утверждать о правильности выбранных образцов, что коррелирует с данными органолептических исследований.

Таблица 1

Нутриентный состав говядины (длиннейшей мышцы) и свинины нежирной (н/ж)

Показатели	Говядина NOR	Говядина DFD	Свинина NOR	Свинина DFD
Массовая доля влаги, %	75,30±3,28	76,10±3,81	69,50±3,25	71,30±3,18
Массовая доля белка, %	19,80±1,18	21,40±1,21	17,20±1,32	17,40±1,26
Массовая доля жира, %	4,50±0,23	3,00±0,26	14,10±0,28	12,00±0,25

Таблица 2

Отдельные показатели биологической ценности говядины (длиннейшей мышцы)

Показатели	Говядина NOR	Говядина DFD	Свинина NOR	Свинина DFD
Оксипролин, мг%	46,30±0,21	42,90±0,21	38,30±0,21	42,30±0,21
Триптофан, мг%	347,50±10,16	380,10±10,16	241,70±8,61	295,30±8,61
Качественный белковый показатель (КБП)	7,51	8,86	6,31	6,98

Таблица 3

pH и физико-химические характеристик мяса NOR и DFD

Показатели	Говядина NOR	Говядина DFD	Свинина NOR	Свинина DFD
pH	5,91±0,05	6,67±0,07	5,70±0,04	6,40±0,08
Содержание прочно-связанной влаги, % к общей влаге	75,24±0,21	88,26±0,23	72,28±0,23	82,31±0,23

Мясо с признаками DFD характеризуется более высокой, чем в мясе NOR, разницей между рН мяса и изоэлектрической точкой мышечных белков, а также неглубокими изменениями белков миофибрилл в процессе автолиза из-за отсутствия ярко выраженной стадии посмертного окоченения.

Вследствие этого изменение растворимости белков миофибрилл и гидрофильных свойств мяса в процессе последующего хранения выражено незначительно. В частности, во время хранения мяса с высоким рН наряду с увеличением общего содержания высокомолекулярных фракций не происходит значительных конформационных изменений актомиозиновой фракции, которая способствует поддержанию относительно высокого и стабильного уровня гидрофильности этого мяса в процессе последующего хранения. Это и определяет более высокое значение показателя влагосвязывающей способности мяса с признаками DFD по сравнению с мясом NOR.

Известно, что в мясе с признаками DFD, несмотря на прижизненные потери запасов АТФ, не происходит образование актомиозинового комплекса. Как следствие отсутствует фаза посмертного окоченения и не происходит сокращения мышечных волокон, что выражается в повышении механической прочности. Результаты проведенных исследований структурно-механических характеристик сырья NOR и DFD представлены в таблице 4.

Анализ современного состояния и развития технологий хранения замороженных продуктов животного происхождения, в частности, мяса, показывает, что приоритетным направлением решения проблемы сохранения качества и увеличения срока хранения замороженного мяса является применение дополнительных к холоду вспомогательных технических и технологических средств (физических, химических и биологических методов) (Youling L. Xiong, 2017).

Во время замораживания продукта происходит трансформация агрегатного состояния воды из жидкой стадии в твердую. Условно этот процесс можно разделить на три основные фазы.

Фаза предзамораживания: понижение температуры продукта до начала кристаллизации влаги (начальная точка).

Фаза замораживания: температура продукта не снижается, а находится в пределах от 1 до 4°C, потому что выделение теплоты кристаллизации внутри продукта (из-за перехода воды в лед) в течение некоторого времени компенсирует действие хладагента на продукт. Эта фаза также называется латентной.

Фаза понижения температуры продукта до заданного значения: температура продукта снижается до заданного уровня. Продолжительность латентной фазы оказывает наибольшее воздействие на конечные физико-химические и вкусовые свойства продукта. Чем выше скорость отвода тепла из продукта, тем лучше качество продукта. При недостаточной скорости отвода тепла первоначально происходит кристаллизация воды в межклеточных зонах, а затем внутри клетки, что и разрушает клеточную структуру продукта, и ухудшает его физико-химические и органолептические свойства (Tomovic, 2008).

Одним из путей сохранения качества, обеспечения безопасности и увеличения срока хранения мяса при минимальной технологической переработке сырья является применение технологий криогенного и акустического замораживания.

Сущность криогенного замораживания заключается в том, что вследствие высокой скорости прохождения фазы кристаллизации свободная вода замерзает одновременно внутри и снаружи клетки, не разрушая структуры тканей, позволяет сохранить межклеточную структуру продукта, обеспечить минимальную дегидратацию продукта (испарение из него влаги) и предотвратить вытекание влаги при размораживании.

Рядом научных исследований установлено (Tan, 2017), что криогенный способ замораживания способствует:

- улучшению санитарно-гигиенических условий производства;

Таблица 4

Структурно-механические характеристики мяса NOR и DFD

Показатели	Говядина NOR	Говядина DFD	Свинина NOR	Свинина DFD
Напряжение среза, кПа	57,70±0,14	68,50±0,16	55,40±0,18	56,70±0,15
Работа резания, Па*10-5	1,48±0,06	1,58±0,08	1,26±0,09	1,32±0,07

- увеличению производительности благодаря значительному сокращению времени замораживания продукции.
- низкому потреблению электрической энергии (криогенные системы от 2 до 10 кВт, механические системы от 50 до 200 кВт);
- сокращению рабочей площади криогенных морозильных аппаратов по сравнению с механическими системами на 50%.

В мясной отрасли криогенные фризеры применяются как для замораживания, так и для подморозивания продукции перед нарезкой, например, можно подвергнуть замораживанию только поверхностный слой мясного отруба толщиной около 5 мм и затем использовать слайсер для нарезки на ровные части. Такой способ замораживания не требует большого расхода азота (0,5 кг N₂ на 1 кг продукта), что приобретает особую актуальность для компаний, деятельность которых направлено на реализацию свежего мяса.

Акустическое замораживание Acoustic Extra Freezing (AEF) – это современная технология замораживания продуктов питания при совместном воздействии низких температур и акустических волн. Она разработана на основе исследований российских ученых в области нано-кристаллизации льда при хранении продуктов в замороженном состоянии. Суть технологии AEF заключается в действии акустических волн, которые создают внутри клеточной структуры и в межклеточном пространстве микроскопические ледяные кристаллы. Под воздействием волн и отрицательных температур кристаллы увеличиваются, замещая воду, но при этом не нарушают структуру продукта, так как они не соединяются между собой даже при длительном хранении.

Технология реализуется с использованием установки AEF, которая состоит из акустических блоков и охлаждающего процессора, управляемых встроенным программным обеспечением. Настройки программ зависят от вида замораживаемого продукта – полуфабрикаты, рыба, овощи, мясо и прочие.

AEF-система может быть встроена в имеющееся холодильное оборудование. В зависимости от типа холодильника способ установки системы может быть туннельного, стеллажного, порционного, контактного или спирального типа. Готовым оборудованием являются морозильные камеры с предустановленной AEF-системой. Так, например, под брендом APACH выпускаются шкафы шокового акустического замораживания APACH SH05 AEF и APACH SH20 AEF. Особенность процесса состоит в том, что продукт, предвари-

тельно охлажденный до 5°C, отправляют в камеру, где производится его замораживание до минус 18. После этого он помещается на последующее хранение при аналогичной температуре в любую морозильную камеру.

Процесс криогенного замораживания осуществляли следующим образом: куски мяса, массой не более 300 г помещали во фризер с диоксидом углерода. В состоянии сухого льда его температура достигала минус 79°C, в результате чего происходила практически мгновенная кристаллизация влаги в продукте.

Акустическое замораживание проводили в морозильной камере с AEF-системой. Отдельно хочется отметить, что потери влаги в опытных образцах составили всего 0,4 – 0,6%, что связано с сохранением влаги в мясном сырье за счет высокой скорости замораживания.

Выбранные способы замораживания не повлияли на показатели пищевой и биологической ценности мяса, а также нутриентного состава мясного сырья.

При хранении мяса четко обнаруживается специфика его микроструктуры, обусловленная режимами замораживания и характером автолиза. Результаты гистологических исследований приведены на рисунках 1–3.

Результаты гистологических исследований свидетельствуют о том, что высокая скорость замораживания (криогенное) и применение акустического воздействия обеспечивают наибольшую степень сохранения исходной структуры мяса.

Акустическое замораживание предотвращает диффузионное перераспределение влаги и растворенных веществ, что способствует образованию мелких, равномерно распределенных кристаллов. В этом случае характер распределения вымороженной влаги мало отличается от ее состояния в охлажденном мясе.

При принятых условиях замораживания микроструктура мяса DFD в меньшей степени зависит от температурных режимов.

Образцы говядины и свинины с признаками DFD имели монолитную структуру, при этом зафиксировано наличие сокращенных участков мышечных волокон. Мясо NOR характеризовалось менее плотной структурой. Среди пучков и обрывков мышечных волокон фиксируются пустоты от ранее залегавших кристаллов льда.

Рисунок 1

Микроструктура образцов говядины NOR в зависимости от способа замораживания



после воздушного
замораживания



после криогенного
замораживания



после акустического
замораживания

Рисунок 2

Микроструктура образцов говядины DFD в зависимости от способа замораживания



после воздушного
замораживания



после криогенного
замораживания



после акустического
замораживания

Рисунок 3

Микроструктура образцов свинины DFD в зависимости от способа замораживания



после воздушного
замораживания



после криогенного
замораживания



после акустического
замораживания

Результаты гистологического исследования подтверждают более высокие гидрофильные свойства говядины и свинины с признаками DFD.

Отдельно хочется отметить факт изменения порозности в процессе хранения мясного сырья. Установлено, что порозность нарастает, что объяс-

няется увеличением кристаллообразования в межволоконном пространстве и перемещением воды из мышечных волокон в межклеточное пространство для двукратно замороженной говядины при хранении в течение 6 месяцев. Полученные результаты для мяса NOR и DFD представлены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5

Сводная таблица порозности мышечной ткани при замораживании – размораживании мяса NOR после 6 месяцев хранения

Образец	Температурный режим	Среднее значение	Среднее общее значение	Стандартное отклонение	Стандартное общее отклонение
1	Однократное замораживание	24,3	24,6	6,2	6,2
2		24,5		6,4	
3		25,1		6,1	
1	Двукратное замораживание	28,6	28,5	8,7	8,0
2		29,1		8,3	
3		27,8		7,1	

Таблица 6

Сводная таблица порозности мышечной ткани при замораживании – размораживании мяса DFD после 6 месяцев хранения

Образец	Температурный режим	Среднее значение	Среднее общее значение	Стандартное отклонение	Стандартное общее отклонение
1	Однократное замораживание	24,6	24,9	6,1	6,2
2		24,8		6,4	
3		25,4		6,2	
1	Двукратное замораживание	28,5	28,7	8,8	8,2
2		29,8		8,4	
3		27,8		7,5	

Заключение

Опираясь на представленные результаты, можно сделать вывод о том, что при однократном и двукратном замораживании процесс порозности в говядине и в свинине NOR и DFD отличается незначительно.

При хранении мяса в замороженном виде в течение изучаемого срока не происходит нарастающего вымораживания влаги из саркоплазмы мышечных волокон, перемещающейся в межволоконное и межпучковое пространство. При постоянной

температуре хранения формирование кристаллов льда собственно внутри мышечного волокна отмечалось лишь изредка.

В результате проведенных исследований выявлен характер изменения свойств мяса в зависимости от способов замораживания и характера автолиза. Установлено, что наименьшие изменения претерпевает мясо, замороженное криогенным методом, а также с применением акустического воздействия. При всех исследуемых режимах замораживания наибольшую стабильность показателей качества имела, как говядина, так и свинина с признаками DFD.

Литература

- Agnelli, M. E., & Mascheroni, R. H. (2002). Quality evaluation of foodstuffs frozen in a cryomechanical freezer. *Journal of Food Engineering*, 52(3), 257–263. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00113-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00113-3)
- Beltrán, J. A., & Bellés, M. (2019). Effect of Freezing on the Quality of Meat. *Encyclopedia of Food Security and Sustainability* (vol. 2, pp. 493–497). Elsevier
- Bertram, H. C., Andersen, R. H., & Andersen, H. J. (2007). Development in myofibrillar water distribution of two pork qualities during 10-month freezer storage. *Meat Science*, 75(1), 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.06.020>
- Birdseye, C. (1933). Preservation of perishable foods by new quick-freezing methods. *Journal of the Franklin Institute*, 215(4), 411–424. [https://doi.org/10.1016/S0016-0032\(33\)90043-5](https://doi.org/10.1016/S0016-0032(33)90043-5)
- Cassius, E. O. (2017). Long-term red meat preservation using chilled and frozen storage combinations: A review. *Meat Science*, 125, 84–94. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.11.025>
- Damez, J. L., & Clerjon, S. (2008). Meat quality assessment using biophysical methods related to meat structure. *Meat Science*, 80(1), 132–149. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.039>
- Damez, J. L., & Clerjon, S. (2013). Quantifying and predicting meat and meat products quality attributes using electromagnetic waves: An overview. *Meat Science*, 95(4), 879–896. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.037>
- Egelandsdal, B., Bjarnadottir, S., Mebre Abie, S., Zhu, H., Kolstad, H., Bjerke, F., Martinsen, Ø. G., Mason, A., & Münch, D. (2019). Detectability of the degree of freeze damage in meat depends on analytic-tool selection. *Meat Science*, 152, 8–19. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.02.002>
- Farouk, M. M., Wieliczko, K. J., & Merts, I. (2004). Ultra-fast freezing and low storage temperatures are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing beef. *Meat Science*, 66(1), 171–179. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00081-0](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00081-0)
- George R.M. (1993). Freezing proceseses used in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 4, 134–138. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(93\)90032-6](https://doi.org/10.1016/0924-2244(93)90032-6)
- Gordon G.G., Murray A.C. (1991). Freezing Effects on Quality, Bacteriology and Retail Case Life of Pork. *Food Science*, 56(4), 891–894. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb14599.x>
- Gorlov, I. F., Pershina, E. I., & Tikhonov, S. L. (2013). Identification and prevention of the formation of meat with PSE and DFD properties and quality assurance for meat products from feedstocks exhibiting an anomalous autolysis behavior. *Foods and Raw Materials*, 1, 15–21.
- Gurinovich, G. V., & Patrakova, I. S. (2013). Effect of wheat germ on the functional properties and oxidation stability of ground meat systems. *Foods and Raw materials*, 1, 3–10.
- Hanenian, R., & Mittal, G. S. (2004). Effect of freezing and thawing on meat quality. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2, 74–80.
- Kim, H.-W., Kim, J.-H., Seo, J.-K., Setyabrata, D., & Brad Kim, Y. H. (2018). Effects of aging/freezing sequence and freezing rate on meat quality and oxidative stability of pork loins. *Meat Science*, 139, 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.01.024>
- Koohmaraie, M. (1992). Effect of pH, temperature, and inhibitors on autolysis and catalytic activity of bovine skeletal muscle μ -calpain. *Journal of Animal Science*, 70(10), 3071–3080. <https://doi.org/10.2527/1992.70103071x>
- Lepetit, J., Salé, P., & Dalle, R. (2002). Electrical impedance and tenderisation in bovine meat. *Meat Science*, 60(1), 51–62. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00104-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00104-8)
- Ma, J. (2020). Prediction of monounsaturated and polyunsaturated fatty acids of various processed pork meats using improved hyperspectral imaging technique. *Food Chemistry*, 321(15). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126695>
- Mortensen, M., Andersen, H. J., Engelsen, S. B., & Bertram, H. C. (2006). Effect of freezing temperature, thawing and cooking rate on water distribution in two pork qualities. *Meat Science*, 72(1), 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.05.027>
- Pearce, K. L., Rosenvold, K., Andersen, H. J., & Hopkins, D. L. (2011). Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes – A review. *Meat Science*, 89(2), 111–124. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.007>
- Pellissery, A. J., Vinayamohan, P. G., Amalaradjou, M. A. R., & Venkitanarayanan, K. (2020). Spoilage bacteria and meat quality. *Meat Quality Analysis*, 307–334. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819233-7.00017-3>
- Poznyakovskiya, V. M., Gorlov, I. F., Tikhonov, S. L., & Shelepov, V. G. (2015). About the quality of meat with PSE and DFD properties. *Foods and Raw Materials*, 3, 104–110.
- Ryu, Y. C., & Kim, B. C. (2006). Comparison of histochemical characteristics in various pork groups categorized by postmortem metabolic rate and pork quality. *Journal of Animal Science*, 84(4), 894–901. <https://doi.org/10.2527/2006.844894x>
- Sales L.A., Mendes Rodrigues, L., Guimarães Silva, D. R., Fontes, P. R., de Almeida Torres Filho, R., de Lemos Souza Ramos, A., & Ramos, E. M. (2020). Effect

- of freezing/irradiation/thawing processes and subsequent aging on tenderness, color, and oxidative properties of beef. *Meat Science*, 163. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108078>
- Sebranek, J. G., Sang, P. N., Topel, D. G., & Rust, R. E. (1979). Effects of Freezing Methods and Frozen Storage on Chemical Characteristics of Ground Beef Patties. *Journal of Animal Science*, 48(5), 1101–1108. <https://doi.org/10.2527/jas1979.4851101x>
- Tan, Y., N°okuea, W., Li, H., Thorin, E., & Yan, J. (2017). Cryogenic technology for biogas upgrading combined with carbon capture – a review of systems and property impacts. *Energy Procedia*, 142, 3741–3746. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.270>
- Tarrant, P. V. (1989). The Effects of Handling, Transport, Slaughter and Chilling on Meat Quality and Yield in Pigs: A Review. *Irish Journal of Food Science and Technology*, 13(2), 79–10. <https://www.jstor.org/stable/25619576>
- Tomovic, V. M. (2008). Effects of rapid chilling of carcasses and time of deboning on weight loss and technological quality of pork semimembranosus muscle. *Meat Science*, 80(4), 1188–1193. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.013>
- Xiong, Y. L. (2017). The Storage and Preservation of Meat: I–Thermal Technologies. *Lawrie's Meat Science*, 8, 205–230. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100694-8.00007-8>
- Xu, Z. (2019). The effect of freezing time on the quality of normal and pale, soft and exudative (PSE)-like pork. *Meat Science*, 152, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.02.003>

Comparative evaluation of methods for freezing meatraw materials with a different nature of autolysis

Elena V. Litvinova¹, Marina P. Artamonova¹, Julia M. Bukhteeva¹

¹ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Correspondence concerning this article should be addressed to Elena V. Litvinova, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation. E-mail: illusionse@mail.ru

Learning of quality indicators of meat in the process cryogenic freezing method with different nature of autolysis has a special relevant meaning in the context of increasing interest in ensure effective health saving of nation and promotion of the theory of resource saving industries as part of accordance and introduction of the best technologies. Realization of comparative assessment of changes in meat quality indicators of NOR and DFD beef and pork depending on various freezing ways was the goal of original research. As part of the work we have been using TR CU 021/2011, TR CU 034/2013, Guidelines 4.2.2747-10 and State Standard. As a result of research we have found nature of the change in the properties of meat depending on freezing ways (aerial, cryogenic, acoustic) and autolysis (DFD beef, DFD pork, NOR beef, pork NOR). During storage of freezing meat within 6 months moisture doesn't freeze from sarcoplasm of muscle fibers, which moves into interfiber space. We established that frozen meat by cryogenic method has smallest changes and also with using of the acoustic influence. In any modes of freezing both DFD beef and pork showed the greatest stability of indicators. Results of the research open additional technological properties of meat with different nature of autolysis, what plays important practical role for meat processing industries.

Keywords: cryogenic freezing, DFD meat, NOR meat, comparative analysis, physicochemical parameters, histology

References

- Agnelli, M. E., & Mascheroni, R. H. (2002). Quality evaluation of foodstuffs frozen in a cryomechanical freezer. *Journal of Food Engineering*, 52(3), 257–263. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00113-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00113-3)
- Beltrán, J. A., & Bellés, M. (2019). Effect of Freezing on the Quality of Meat. *Encyclopedia of Food Security and Sustainability* (vol. 2, pp. 493–497). Elsevier
- Bertram, H. C., Andersen, R. H., & Andersen, H. J. (2007). Development in myofibrillar water distribution of two pork qualities during 10-month freezer storage. *Meat Science*, 75(1), 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.06.020>
- Birdseye, C. (1933). Preservation of perishable foods by new quick-freezing methods. *Journal of the Franklin Institute*, 215(4), 411–424. [https://doi.org/10.1016/S0016-0032\(33\)90043-5](https://doi.org/10.1016/S0016-0032(33)90043-5)
- Cassius, E. O. (2017). Long-term red meat preservation using chilled and frozen storage combinations: A review. *Meat Science*, 125, 84–94. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.11.025>
- Damez, J. L., & Clerjon, S. (2008). Meat quality assessment using biophysical methods related to meat structure. *Meat Science*, 80(1), 132–149. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.039>
- Damez, J. L., & Clerjon, S. (2013). Quantifying and predicting meat and meat products quality attributes using electromagnetic waves: An overview. *Meat Science*, 95(4), 879–896. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.037>
- Egelandsdal, B., Bjarnadottir, S., Mebre Abie, S., Zhu, H., Kolstad, H., Bjerke, F., Martinsen, Ø. G., Mason, A., & Münch, D. (2019). Detectability of the degree of freeze damage in meat depends on analytic-tool selection. *Meat Science*, 152, 8–19. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.02.002>
- Farouk, M. M., Wieliczko, K. J., & Merts, I. (2004). Ultra-fast freezing and low storage temperatures are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing beef. *Meat Science*, 66(1), 171–179. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00081-0](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00081-0)
- George R.M. (1993). Freezing processes used in the food industry. *Trends in Food Science*

How to Cite

Elena V. Litvinova, Marina P. Artamonova, Julia M. Bukhteeva (2020). Comparative evaluation of methods for freezing meatraw materials with a different nature of autolysis. *Health, Food & Biotechnology*, 2(2). https://doi.org/_____/hfb.2020.i1.s____

- & *Technology*, 4, 134–138. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(93\)90032-6](https://doi.org/10.1016/0924-2244(93)90032-6)
- Gordon G.G., Murray A.C. (1991). Freezing Effects on Quality, Bacteriology and Retail Case Life of Pork. *Food Science*, 56(4), 891–894. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb14599.x>
- Gorlov, I. F., Pershina, E. I., & Tikhonov, S. L. (2013). Identification and prevention of the formation of meat with PSE and DFD properties and quality assurance for meat products from feedstocks exhibiting an anomalous autolysis behavior. *Foods and Raw Materials*, 1, 15–21.
- Gurinovich, G. V., & Patrakova, I. S. (2013). Effect of wheat germ on the functional properties and oxidation stability of ground meat systems. *Foods and Raw materials*, 1, 3–10.
- Hanenian, R., & Mittal, G. S. (2004). Effect of freezing and thawing on meat quality. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2, 74–80.
- Kim, H.-W., Kim, J.-H., Seo, J.-K., Setyabrata, D., & Brad Kim, Y. H. (2018). Effects of aging/freezing sequence and freezing rate on meat quality and oxidative stability of pork loins. *Meat Science*, 139, 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.01.024>
- Koohmaraie, M. (1992). Effect of pH, temperature, and inhibitors on autolysis and catalytic activity of bovine skeletal muscle μ -calpain. *Journal of Animal Science*, 70(10), 3071–3080. <https://doi.org/10.2527/1992.70103071x>
- Lepetit, J., Salé, P., & Dalle, R. (2002). Electrical impedance and tenderisation in bovine meat. *Meat Science*, 60(1), 51–62. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00104-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00104-8)
- Ma, J. (2020). Prediction of monounsaturated and polyunsaturated fatty acids of various processed pork meats using improved hyperspectral imaging technique. *Food Chemistry*, 321(15). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126695>
- Mortensen, M., Andersen, H. J., Engelsen, S. B., & Bertram, H. C. (2006). Effect of freezing temperature, thawing and cooking rate on water distribution in two pork qualities. *Meat Science*, 72(1), 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.05.027>
- Pearce, K. L., Rosenvold, K., Andersen, H. J., & Hopkins, D. L. (2011). Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes – A review. *Meat Science*, 89(2), 111–124. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.007>
- Pellissery, A. J., Vinayamohan, P. G., Amalaradjou, M. A. R., & Venkitanarayanan, K. (2020). Spoilage bacteria and meat quality. *Meat Quality Analysis*, 307–334. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819233-7.00017-3>
- Poznyakovskiya, V. M., Gorlovb, I. F., Tikhonovc, S. L., & Shelepov, V. G. (2015). About the quality of meat with PSE and DFD properties. *Foods and Raw Materials*, 3, 104–110.
- Ryu, Y. C., & Kim, B. C. (2006). Comparison of histochemical characteristics in various pork groups categorized by postmortem metabolic rate and pork quality. *Journal of Animal Science*, 84(4), 894–901. <https://doi.org/10.2527/2006.844894x>
- Sales L.A., Mendes Rodrigues, L., Guimarães Silva, D. R., Fontes, P. R., de Almeida Torres Filho, R., de Lemos Souza Ramos, A., & Ramos, E. M. (2020). Effect of freezing/irradiation/thawing processes and subsequent aging on tenderness, color, and oxidative properties of beef. *Meat Science*, 163. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108078>
- Sebranek, J. G., Sang, P. N., Topel, D. G., & Rust, R. E. (1979). Effects of Freezing Methods and Frozen Storage on Chemical Characteristics of Ground Beef Patties. *Journal of Animal Science*, 48(5), 1101–1108. <https://doi.org/10.2527/jas1979.4851101x>
- Tan, Y., N°okuea, W., Li, H., Thorin, E., & Yan, J. (2017). Cryogenic technology for biogas upgrading combined with carbon capture – a review of systems and property impacts. *Energy Procedia*, 142, 3741–3746. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.270>
- Tarrant, P. V. (1989). The Effects of Handling, Transport, Slaughter and Chilling on Meat Quality and Yield in Pigs: A Review. *Irish Journal of Food Science and Technology*, 13(2), 79–10. <https://www.jstor.org/stable/25619576>
- Tomovic, V. M. (2008). Effects of rapid chilling of carcasses and time of deboning on weight loss and technological quality of pork semimembranosus muscle. *Meat Science*, 80(4), 1188–1193. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.013>
- Xiong, Y. L. (2017). The Storage and Preservation of Meat: I-Thermal Technologies. *Lawrie's Meat Science*, 8, 205–230. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100694-8.00007-8>
- Xu, Z. (2019). The effect of freezing time on the quality of normal and pale, soft and exudative (PSE)-like pork. *Meat Science*, 152, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.02.003>