

ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ, МАРКЕРЫ ПОРЧИ И МЕТОДЫ ИХ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРИМЕНительно К СУХИМ МОЛОЧНЫМ КОНСЕРВАМ

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

Ирина Александровна Барковская, младший научный сотрудник

E-mail: i_barkovskaya@vnimi.org

Светлана Николаевна Туровская, старший научный сотрудник

E-mail: s_turovskaya@vnimi.org

Владимир Геннадьевич Блядзе, младший научный сотрудник

E-mail: v_bliadze@vnimi.org

Елена Евгеньевна Илларионова, научный сотрудник

E-mail: e_illarionova@vnimi.org

Екатерина Ивановна Большакова, младший научный сотрудник

E-mail: e_bolshakova@vnimi.org

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, г. Москва

Одним из ключевых аспектов обеспечения контроля качества и безопасности пищевой продукции, в т. ч. сухих молочных консервов, является изучение маркеров порчи, формирующихся в процессе производства и хранения. В связи с этим важной темой исследований становится выявление и оценка изменений, происходящих на разных этапах жизненного цикла сухого молока. Это особенно актуально, поскольку сухое молоко является основным видом сухих молочных консервов и широко используется в промышленности как сырьевой компонент. Целью исследования была систематизация современных научных знаний в формате литературного обзора, освещающего основные маркеры, образующиеся при различных видах порчи, механизмы возникновения и методики их обнаружения и идентификации. Результаты систематизации могут быть использованы в работе над созданием стратегии контроля качества продуктов с длительным сроком годности, сухого молока. Анализ эмпирических и обзорных статей на русском и английском языках был осуществлен за период 2015–2024 гг. с применением ресурсов электронных библиотек eLIBRARY.RU, Google Scholar, КиберЛенинка, PubMed и ScienceDirect.

В статье обобщены литературные данные о механизмах деградации углеводов, жиров и белков, а также методах обнаружения этих изменений. Рассмотрены основные процессы, влияющие на качество продукта: белково-углеводные взаимодействия (реакция Майяра), гидролитическая и окислительная порча. Выявлено, что, несмотря на значительный прогресс в области идентификации порчи сухого молока, остаются нерешенные вопросы, связанные с выявлением соединений-маркеров, образующихся в продукте на стадии технологических процессов и в процессе хранения. Полученные данные могут быть использованы для разработки новых стратегий контроля качества молочных консервов, повышения их стабильности и продления срока годности.

Ключевые слова: сухое молоко, маркеры порчи, реакция Майяра, окислительная порча жира и белка, протеолиз, липолиз

Для цитирования: Основные механизмы, маркеры порчи и методы их обнаружения применительно

к сухим молочным консервам / И. А. Барковская, С. Н. Туровская, В. Г. Блядзе [и др.] //

Молочная промышленность. 2025. № 3. С. 15–21. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2025-3-42>

ВВЕДЕНИЕ

Современная пищевая промышленность уделяет значительное внимание вопросам сохранения качества и безопасности, а также повышения хранимостепроизводимой продукции [1–3]. В этой связи множество исследований посвящено разработке технологий, позволяющих влиять на увеличение срока годности продовольственных товаров, начиная от мониторинга цепи поставок и заканчивая введением дополнительных компонентов для предотвращения порчи¹ [4–8]. В работе V. Tsoukas et al. [4] представили комплексный подход на основе технологий blockchain и TinyML, позволяющих отслеживать

полный жизненный цикл товара (от режимов обработки до условий хранения). В работах Н. Н. S. Abdel-Naeem et al., M. R. Kabir et al. исследователи представляют способы повышения сохранности пищевых продуктов путем введения в них компонентов, обладающих антиоксидантными и противомикробными свойствами [5, 6]. В работах Т. А. Fadji et al и U. Chadha et al. приводится спектр методов повышения противобактериального барьера упаковочных материалов (антимикробные саше, пленки и покрытия с наноматериалами и др.) [7, 8]. Следует обратить внимание на тот факт, что для контроля качества пищевых продуктов существует

¹Юрова, Е. А. Оценка качества и хранимостепроизводимости молочных продуктов функциональной направленности / Е. А. Юрова, С. А. Фильчакова // Переработка молока. 2019. № 10(240). С. 6–11. <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2019-10-6-10>; <https://elibrary.ru/ztvsvsz>



Источник изображения: unsplash.com

противоположный подход: обнаружение маркеров, являющихся индикаторами деградации компонентов пищевого продукта, и отслеживание их накопления и / или изменения в процессе хранения [9, 10].

Ряд исследований [11, 12] отражает возможность изучения характеристик качества и безопасности продуктов питания посредством детектирования в них определенных классов веществ, свойственных той или иной стадии порчи. Так, в работе J. Cheng et al. на примере изучения состава продуктов (хлеб, куриное яйцо, огурец) в течение 0–7 суток выявлены 13 соединений (в т. ч. аминокислоты, биогенные амины и органические кислоты), идентифицированные как дифференциальные метаболиты, позволяющие прогнозировать и устанавливать стадию порчи продукта в процессе хранения. В исследовании была отмечена корреляция формирования метаболитов с биохимическими процессами (цикл карбоновых кислот и др.), что дает возможность сделать вывод о их постоянстве в процессе деградации составных частей пищи [11]. В исследовании A. Kumar et al. ученые обращают внимание на внутренние и внешние причины порчи (активность воды, бактериальная обсемененность, температура и влажность окружающей среды и др.) и методы их обнаружения с применением биосенсоров (датчики, содержащие набор веществ, чувствительных к определенному виду микроорганизма или классу соединений), искусственного интеллекта и автоматизации [12].

Данная технология является высокочувствительной и эффективной в технологическом процессе, способствуя предотвращению порчи, а также ее индикации и прогнозированию в процессе хранения (внедрение датчиков в упаковку). Детектирование маркеров порчи пищевых продуктов (в т. ч. молочных) с развитием методологической и инструментальной базы продвинулось вперед, однако существует мало исследований, освещающих изменение составных частей продуктов во время технологического процесса, а также их мониторинга в процессе хранения с параллельным выявлением различных видов порчи [13]. Изучение описанных характеристик несомненно интересно для продуктов с длительным сроком годности, таких как сухое и сгущенное молоко, являющихся основными видами молочных консервов и широко используемых в пищевой промышленности как сырье².

Знания о процессах деградации составных частей продукта на разных стадиях жизненного цикла могут способствовать разработке новых стратегий контроля качества и безопасности молочных консервов, а также варьированию их сроков годности. В связи с этим **целью исследования** было проведение литературного обзора, освещающего основные маркеры, формирующиеся при различных видах порчи, механизмы их возникновения и методики обнаружения для дальнейшей работы над созданием стратегии контроля качества продуктов с длительным сроком годности, в т. ч. сухого молока.

²Обзор. Каким был 2024 год для переработчиков молока [Электронный ресурс].

URL: <https://milknews.ru/longridy/24-god-dlja-pererabotchikov-moloka.html> (дата обращения 15.01.2025).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения поставленной цели проведен литературный обзор основных маркеров порчи составных компонентов пищевых продуктов, а также современных методов их идентификации с применением ресурсов электронных библиотек eLIBRARY.RU, Google Scholar, КиберЛенинка, PubMed и ScienceDirect. Анализ включал эмпирические и обзорные статьи на русском и английском языках за период 2015–2024 гг. Поиск осуществлялся с использованием ключевых слов: «маркеры порчи пищевых продуктов», «food spoilage markers», «окислительная порча жира», «fat oxidation», «окислительная порча белка», «protein oxidation», «идентификация продуктов гидролиза белка», «determination of protein hydrolysis products», «идентификация продуктов гидролиза жира», «determination of fat hydrolysis products», «методы определения маркеров порчи пищевых продуктов», «methods for the determination of food spoilage markers», «производство сухого молока», «milk powder production», «реакция Майяра», «Maillard's reaction».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Несмотря на то что в 2024 г. наблюдалось некоторое снижение производства сухого молока (сухого обезжиренного молока на 14 % до 94 тыс. т и сухого цельного молока на 17 % до 67 тыс. т) в сравнении с достаточно высокими показателями 2023 г., когда фиксировался самый высокий за последние годы прирост сухого молока (общий суммарный объем достиг 205 тыс. т), среднегодовая динамика его про-

изводства сохранила общий растущий тренд, текущие объемы практически соответствуют уровням 2022 г. и существенно превосходят объемы 2021 г.

Постоянно прогрессирующий внутрироссийский спрос и широкий экспортный потенциал диктуют потребность в дополнительных объемах производства сухих молочных консервов в будущем [14]. Поскольку подавляющая часть сухого молока направляется на производство пищевых продуктов, важно контролировать его качество и безопасность в течение всего жизненного цикла, особенно вблизи к окончанию срока годности.

Порча сухих молочных консервов обусловлена деградацией их основных компонентов – углеводов, жиров и белков (см. табл.).

В первую очередь изменения претерпевает углеводная составляющая продукта: в процессе температурного воздействия индуцируются белково-углеводные взаимодействия (реакция Майяра или реакция меланоидинообразования), которые могут также прогрессировать при хранении. Стадии протекания реакции Майяра условно можно разделить на раннюю (маркером служит наличие фуросина); промежуточную (выявление соединений фурфурола, в т. ч. гидроксиметилфурфурола, 2-фурфурола, 2-фурилметилкетона и 5-метил-2-фурфурола); заключительную, в результате которой образуются конечные продукты гликирования (в настоящее время идентифицировано около 20 таких соединений).

Таблица. Основные механизмы, маркеры порчи и методы их обнаружения применительно к сухим молочным консервам

Наименование процесса деградации компонентов сухих молочных продуктов	Маркеры порчи	Методы обнаружения маркеров порчи
Углеводы		
Реакция Майяра	Фуросин (первичный продукт реакции) Гидроксиметилфурфурол Конечные продукты гликирования (более 20 соединений, одно из основных – карбоксиметиллизин); Лактулоза	Спектрофотометрия Хроматография
Жиры		
Липолиз	Свободные жирные кислоты (СЖК) Частичные глицериды	ИК-Фурье спектрометрия Хроматография
Окисление: индукционный период период распространения период терминации	Гидроксипероксиды (первичные продукты окисления) Малоновый диальдегид Оксилипин	Спектрофотометрия Хроматография
Белки		
Протеолиз	α-аминокислоты	Спектрофотометрия Хроматография
Окисление	Карбонильные группы Сульфгидрильные группы	Спектрофотометрия



Источник изображения: freepik.com

Также одним из основных изменений, происходящих с лактозой, является изомеризация и формирование лактулозы, которой нет в сыром молоке, но присутствует в молоке, подвергнутом тепловой обработке [15]. В исследованиях на модельных системах механизмы и условия протекания меланоидинообразования изучены достаточно хорошо. Однако в конкретных пищевых системах, таких как сухие молочные консервы, взаимосвязь между составными компонентами молока, технологическими воздействиями, внешними факторами и протеканием реакции Майяра требует дальнейшего изучения [13, 16].

На данный момент существует ряд современных методов определения продуктов реакции Майяра:

- различные виды хроматографии (жидкостная, газовая) с масс-спектрометрическим детектированием для определения фуросина, фурфуролов, лактулозы, конечных продуктов гликирования [17–19];
- спектрофотометрические методы (с флуоресценцией или без), основанные на детектировании окрашенных веществ и изомера лактозы, а также на снижении количества доступных аминокрупп в белке [20, 21].

Другим видом порчи пищевого продукта является распад компонентов под действием ферментов. Гидролитической порче в сухом молоке подвержены белки и жиры (протеолиз и липолиз соответственно), поскольку липазы и протеазы, выделяемые бактериями, часто устойчивы к повышенным температурам, в результате чего сохраняются в готовом продукте [22]. Основным маркером изменения белковой составляющей при ее распаде (гидролизе) является увеличение показателя свободных аминокрупп. Данную характеристику можно определить спектрофотометрическими методами с использованием О-фталевого альдегида или тринитробензосульфоновой кислоты. Увеличение показателя абсорбции образца указывает на увеличение свободных α -аминокислот, высвобождаемых при ферментативном гидролизе белка [23]. Помимо этого, гидролитический распад протеинов можно детектировать при помощи реакции с флуоресцеином, а также обращено-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии [24]. Основным маркером процесса липолиза является наличие свободных жирных кислот, для определения увеличения количества которых в отрасли широко используются газовая хроматография с пламенно-ионизационным

детектированием с предварительной экстракцией растворителями (метанол, этанол, бутанол, хлороформ, гексан и др.) и твердыми адсорбентами [25–27]. Помимо этого, согласно работе Е. А. Юровой, для анализа свободных жирных кислот можно применять ИК-Фурье спектроскопию [28].

Жиры и белки в сухом молоке подвержены также и окислительной порче, которая чаще всего возникает по причине неправильных условий хранения продукта, например, повышенная влажность (φ , %) и температура (T , °C). Окислительное разложение липидов – одна из основных реакций, существенно влияющих на срок годности. Можно выделить три основных периода ее протекания: индукционный (появление первичных продуктов окисления – гидропероксидов, оксипинонов); период распространения (основной продукт – малоновый диальдегид); терминация [13].

Существующие методы определения первичных продуктов окисления жира (гидропероксидов) широко представлены спектрофотометрией, основанной на формировании окрашенных соединений в присутствии перекисей [29–31]. Для количественного определения малонового диальдегида (вторичный продукт окисления жира) применяют спектрофотометрические (с флуориметрией или без нее) и хроматографические (жидкостная, газовая) методы [32, 33]. Оксипинон в молочных продуктах определяется с применением метода жидкостной хроматографии с масс-спектрометрией при реакции выделенного из молока жира с бутиратом гидрокситолуола, этилендиаминтетрауксусной кислотой и трифенилфосфином [34]. По сравнению с окислением липидов окисление белков менее изучено.

Эти процессы в молочных системах в процессе производства и хранения взаимосвязаны и сопровождают друг друга: окисление липидов провоцирует и сопровождает окисление белков, индуцируясь свободнорадикальными цепными реакциями [13]. Основным маркером при этом может служить образование карбонильных и сульфгидрильных групп.

Процесс окислительной порчи белковых соединений в пищевых продуктах идентифицировать непросто, поскольку биохимия процесса является весьма сложной. Авторы исследований M. Hellwig и L. Zhang et al. обращают внимание на недостаточную точность существующих на данный момент методик определения продуктов окисления белковых компонентов пищи (карбонильных и сульфгидрильных групп), ввиду пересечения с анализом окислительной порчи липидов, низкой специфичности методов к отдельным продуктам окисления протеинов, высокой погрешности ввиду формирования детектируемых веществ непосредственно во время реакции и др. [35, 36]. Например, карбонильные группы, которые являются одним из маркеров окисления белков, могут формироваться без окисления белка: белково-углеводные взаимодействия и формирование соединений перекисного окисления липидов с белками [35]. Более релевантным методом определения уровня окисления белковых компонентов может быть определение тиоловых (сульфгидрильных) групп [37]. Тиоловая группа цистеина наиболее чувствительна и склонна к формированию продуктов окисления (сульфеновая или сульфоновая кислоты). Наиболее распространенным методом определения количества тиолов является спектрофотометрия с использованием реактива Элмана в качестве дериватизирующего агента для образования дисульфидной связи со свободной тиоловой группой.

Источник изображения: unsplash.com



ВЫВОДЫ

Результативный и своевременный контроль деградации составных частей молочных консервов остается серьезной проблемой. Ухудшение их показателей качества вследствие реакций гидролиза, меланоидинообразования, окисления в процессе технологической (особенно высокоинтенсивной температурной) обработки молока и хранения готовой продукции оказывают существенное влияние на устанавливаемый срок годности и возможность целенаправленной переработки консервов на конкретные виды пищевой продукции, особенно на момент окончания срока годности. Изучению протекания индивидуальных реакций порчи на протяжении многих лет посвящено множество научных работ, в основном их механизмы выяснены. Определение взаимодействия между этими реакциями различного порядка порчи остается сложной задачей. Необходимы дальнейшие углубленные исследования с использованием современных методов с точки зрения выявления маркеров первоочередности возникновения ухудшения состояния продукции в процессе технологической обработки и хранения. ■

Поступила в редакцию: 07.02.2025

Принята в печать: 12.05.2025



Источник изображения: freepik.com

SPOILAGE OF MILK POWDER: MECHANISMS, MARKERS, AND DETECTION

Irina A. Barkovskaya, Svetlana N. Turovskaya, Vladimir G. Bliadze, Elena E. Illarionova, Ekaterina I. Bolshakova

All-Russian Dairy Research Institute, Moscow

ORIGINAL ARTICLE

Spoilage markers that appear during food processing and storage are important quality and safety indicators. Canned milk powder is a popular raw material used in the food industry. The identification and assessment of changes occurring at each stage of its shelf life are an important food safety issue. This review systematizes the current scientific knowledge on spoilage types, markers, mechanisms, and detection. The results may help to improve the current quality control strategy for long shelf-life dairy products. The review covered Russian and English-language publications registered in eLIBRARY.RU, Google Scholar, CyberLeninka, PubMed, and ScienceDirect in 2015-2024. The article describes the degradation of carbohydrates, fats, and proteins, as well as the most effective methods of its detection. The main processes affecting the quality of milk powder are protein-carbohydrate interactions, e.g., the Maillard reaction, as well as various forms of hydrolytic and oxidative spoilage. Despite the recent progress in the early detection of milk powder spoilage, this field of food science has some unresolved tasks, e.g., detection and monitoring of marker compounds that develop during technological processing. The data can be used to strategize the quality control, increase the stability, and extend the shelf life of canned milk powder.

Keywords: milk powder, spoilage markers, Maillard reaction, oxidative spoilage of fat and protein, proteolysis, lipolysis

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галстян, А. Г. Индустрия X.0. Пищевая промышленность / А. Г. Галстян // Пищевая метаинженерия. 2023. Т. 1, № 2. С. 7–10. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.2.33>; <https://elibrary.ru/jqenju>
2. Galstyan, A. G. Modern approaches to storage and effective processing of agricultural products for obtaining high quality food products / A. G. Galstyan [et al.] // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2019. Vol. 89(2). P. 211–213. <https://doi.org/10.1134/S1019331619020059>; <https://elibrary.ru/xdajyn>
3. Оганесянц, Л. А. Мониторинг качества пищевых продуктов – базовый элемент стратегии / Л. А. Оганесянц, С. А. Хуршудян, А. Г. Галстян // Контроль качества продукции. 2018. № 4. С. 56–59. <https://elibrary.ru/yuivrh>
4. Tsoukas, V. Enhancing Food Supply Chain Security through the Use of Blockchain and TinyML / V. Tsoukas [et al.] // Information. 2022. Vol. 13(5). 213. <https://doi.org/10.3390/info13050213>
5. Abdel-Naeem, H. H. S. Improvement of the microbial quality, antioxidant activity, phenolic and flavonoid contents, and shelf life of smoked herring (*Clupea harengus*) during frozen storage by using chitosan edible coating / H. H. S. Abdel-Naeem, K. I. Sallam, N. M. L. Malak // Food Control. 2021. Vol. 130. 108317. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108317>

6. **Kabir, M. R.** Formulation of yogurt with banana peel extracts to enhance storability and bioactive properties / M. R. Kabir [et al.] // *Journal of Food Processing and Preservation*. 2021. Vol. 45(3). e15191. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15191>
7. **Fadiji, T. A.** Review on antimicrobial packaging for extending the shelf life of food / T. Fadiji [et al.] // *Processes*. 2023. Vol. P. 590. <https://doi.org/10.3390/pr11020590>
8. **Chadha, U.** Current trends and future perspectives of nanomaterials in food packaging application / U. Chadha [et al.] // *Journal of Nanomaterials*. 2022. Vol. 2022(1). 2745416. <https://doi.org/10.1155/2022/2745416>
9. **Юрова, Е. А.** Контроль качества и безопасности продуктов функциональной направленности на молочной основе / Е. А. Юрова // *Молочная промышленность*. 2020. № 6. С. 12–15. <https://doi.org/0.31515/1019-8946-2020-06-12-15>; <https://elibrary.ru/rrqjfm>
10. **Ryabova, A. E.** Effects of storage conditions on milk powder properties / A. E. Ryabova, V. K. Semipyatnyi, A. G. Galstyan // *Journal of Dairy Science*. 2023. Vol. 106(10). P. 6741–6758. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-23094>; <https://elibrary.ru/asmzqy>
11. **Cheng, J.** Evaluating potential markers of spoilage foods using a metabolic profiling approach / J. Cheng [et al.] // *Food Analytical Methods*. 2015. Vol. 8. P. 1141–1149. <https://doi.org/10.1007/s12161-014-9999-z>
12. **Kumar, A.** Biosensors for food spoilage detection: a comprehensive review of current advances / A. Kumar [et al.] // *Journal of Food Chemistry & Nanotechnology*. 2024. Vol. 10(S1). P. S73–S82. <https://doi.org/10.17756/jfcn.2024-s1-010>
13. **Fan, X.** Markers and Mechanisms of Deterioration Reactions in Dairy Products / X. Fan [et al.] // *Food Engineering Reviews*. 2023. Vol. 15. P. 230–241. <https://doi.org/10.1007/s12393-023-09331-9>
14. **Кручинин, А. Г.** Роль технологических свойств сухого молока в формировании качества пищевых систем / А. Г. Кручинин [и др.] // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2020. № 8(161). С. 166–173. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-8-166-173>; <https://elibrary.ru/ogxczq>
15. **Martínez-Monteagudo, S. I.** Kinetics of lactulose formation in milk treated with pressure-assisted thermal processing / S. I. Martínez-Monteagudo, M. D. A. Saldaña // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2015. Vol. 28. P. 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.12.010>
16. **Алкадур, М. И.** Влияние термизации и пастеризации на качество сухого молока / М. И. Алкадур [и др.] // *Техника и технология пищевых производств*. 2024. Т. 54, № 2. С. 275–284. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2506>; <https://elibrary.ru/zmqcha>
17. **Ho, J.-H.** Discrimination of reconstituted milk from fresh skim milk by using lactulose and furosine as milk quality indicators / J.-H. Ho [et al.] // *Journal of Agriculture and Food Research*. 2024. V. 18. 101336. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101336>
18. **Li, M.** Quantitative assessment of furosine, furfurals, and advanced glycation end products in different types of commercially available cheeses / M. Li [et al.] // *Food Control*. 2022. Vol. 136. P. 108866. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108866>
19. **Shi, X.** Research of the determination method of furfurals and furosine in milk and the application in the quality evaluation of milk / X. Shi [et al.] // *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*. 2022. Vol. 14(1). P. 12–23. <https://doi.org/10.15586/qas.v14i1.929>
20. **Rufian-Henares, J. A.** Furosine content, loss of o-phthalaldehyde reactivity, fluorescence and colour in stored enteral formulas / J. A. Rufian-Henares, B. Garcia-Villanova, E. Guerra-Hernandez // *International Journal of Dairy Technology*. 2002. Vol. 55(3). P. 121–126. <https://doi.org/10.1046/j.1471-0307.2002.00039.x>
21. **Zhang, Z.** Determination of lactulose in foods: a review of recent research / Z. Zhang [et al.] // *International Journal of Food Science & Technology*. 2010. Vol. 45(6). P. 1081–1087. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02278.x>
22. **Sadiq, F. A.** Microbiota of milk powders and the heat resistance and spoilage potential of aerobic spore-forming bacteria / F. A. Sadiq, S. Flint, G. Q. He // *International Dairy Journal*. 2018. Vol. 85. P. 159–168. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.06.003>
23. **Church, F. C.** Spectrophotometric assay using o-phthalaldehyde for determination of proteolysis in milk and isolated milk proteins / F. C. Church [et al.] // *Journal of dairy science*. 1983. Vol. 66(6). P. 1219–1227. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(83\)81926-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(83)81926-2)
24. **Chove, L. M.** Comparison of methods for analysis of proteolysis by plasmin in milk / L. M. Chove, A. S. Grandison, M. J. Lewis // *Journal of Dairy Research*. 2011. Vol. 78(2). P. 184–190. <https://doi.org/10.1017/S0022029911000094>
25. **Mannion, D. T.** Comparison and validation of 2 analytical methods for the determination of free fatty acids in dairy products by gas chromatography with flame ionization detection / D. T. Mannion, A. Furey, K. N. Kilcawley // *Journal of Dairy Science*. 2016. Vol. 99(7), P. 5047–5063. <http://doi.org/10.3168/jds.2015-10795>
26. **Amores, G.** Total and free fatty acids analysis in milk and dairy fat / G. Amores, M. Virto // *Separations*. 2019. Vol. 6(1). 14. <https://doi.org/10.3390/separations6010014>
27. **Mannion, D. T.** Development and validation of a novel free fatty acid butyl ester gas chromatography method for the determination of free fatty acids in dairy products / D. T. Mannion, A. Furey, K. N. Kilcawley // *Journal of agricultural and food chemistry*. 2018. Vol. 67(1). P. 499–506. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b05462>
28. **Юрова, Е. А.** Контроль молочной продукции в условиях требований технических регламентов ТС. Применение высокоэффективных методов анализа / Е. А. Юрова // *Молочная промышленность*. 2015. № 6. С. 22–24. <https://elibrary.ru/twbeif>
29. **Mehta, B. M.** Comparison of five analytical methods for the determination of peroxide value in oxidized ghee / B. M. Mehta, V. B. Darji, K. D. Aparnathi // *Food chemistry*. 2015. Vol. 185. P. 449–453. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.023>
30. **Asakawa, T.** A colorimetric microdetermination of peroxide values utilizing aluminum chloride as the catalyst / T. Asakawa, S. Matsushita // *Lipids*. 1980. Vol. 15(11), P. 965–967. <https://doi.org/10.1007/bf02534423>
31. **Ribourg-Birault, L.** Quantification of Hydroperoxides in Oils and Fats, Oil-in-Water Emulsions, and Food Products by Ferrous Oxidation–Xylenol Orange Method / L. Ribourg-Birault, C. Genot // *Multidimensional Characterization of Dietary Lipids. Methods and Protocols in Food Science*. Ed. by C. Lopez [et al.]. – NY: Humana, 2024. – P. 161–184. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3758-6_13
32. **Cesa, S.** Malondialdehyde contents in infant milk formulas / S. Cesa // *Journal of agricultural and food chemistry*. 2004. Vol. 52(7). P. 2119–2122. <https://doi.org/10.1021/jf034446l>
33. **Fenaille, F.** Comparison of analytical techniques to quantify malondialdehyde in milk powders / F. Fenaille [et al.] // *Journal of Chromatography A*. 2001. Vol. 921(2), P. 237–245. [https://doi.org/10.1016/s0021-9673\(01\)00883-4](https://doi.org/10.1016/s0021-9673(01)00883-4)
34. **Samarra, I.** Analysis of oxylipins to differentiate between organic and conventional UHT milks / I. Samarra [et al.] // *Food Chemistry*. 2020. Vol. 343. 128477. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128477>
35. **Hellwig, M.** Analysis of protein oxidation in food and feed products / M. Hellwig // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020. Vol. 68(46). P. 12870–12885. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c00711>
36. **Zhang, L.** Recent advances on characterization of protein oxidation in aquatic products: A comprehensive review / L. Zhang [et al.] // *Critical reviews in food science and nutrition*. 2024. Vol. 64(6). P. 1572–1591. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2117788>
37. **Domínguez, R.** Protein oxidation in muscle foods: a comprehensive review / R. Domínguez [et al.] // *Antioxidants*. 2022. Vol. 11(1). 60. <https://doi.org/10.3390/antiox11010060>