

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-4-523-534>



Поступила 27.06.2024

Поступила после рецензирования 20.10.2024

Принята в печать 24.10.2024

© Рождественская Л. Н., Романенко С. П., Ломовский И. О., Лачугин А. П., 2024

<https://www.fsjour.com/jour>

Обзорная статья

Open access

## ОБЗОР ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБЛАСТИ АНАЛИЗА ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

Рождественская Л. Н.<sup>1,2\*</sup>, Романенко С. П.<sup>1</sup>, Ломовский И. О.<sup>3</sup>, Лачугин А. П.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский научно-исследовательский институт гигиены Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup>Институт химии твердого тела и механохимии сибирского отделения Российской Академии Наук, Новосибирск, Россия

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

*пищевые продукты, состав пищи, методы анализа, средства испытания*

Появление новых технологий производства продуктов питания и современные тенденции в использовании альтернативных источников сырья требуют совершенствования подходов к анализу химического состава этих продуктов. В ходе планирования работ по проведению аналитических исследований возникает целый ряд вызовов: идентификация самих объектов исследования; выбор методов и инструментов исследований; обеспечение репрезентативности и валидности получаемых результатов. При выборе и обосновании методик исследования необходимо опираться на большое число факторов, к которым относится как подтверждение действительного состава продуктов питания, включающее в себя определение непреднамеренно присутствующих веществ, так и достоверность получаемых данных с учетом выбранных инструментальных методов. Цель работы — обобщение и систематизация сущности и характеристик основных методов анализа пищевых продуктов, а также оценка имеющихся подходов к обоснованию и применению инструментальных методов анализа в отношении новых видов пищевой продукции. В работе проведен обзор литературы по инструментальным методам исследования, использованному для получения значений из наиболее представительных международных баз данных о составе пищевых продуктов (FAO/INFOODS, USDA NDL, Fineli, Frida), а также из баз данных химического состава пищевых продуктов России, Японии и Австралии. Для поиска описания и особенностей применения аналитического оборудования и аналитических методов использовались электронные библиотечные системы Web of Science, Scopus, E-library, ResearchGate, Google Scholar, Microsoft Academic, Science Direct. Освещена роль различных методов исследования: фотометрических и электрофоретических, титриметрических, экстракционных, хроматографических, спектроскопических, иммуноферментных, а также основанных на полимеразной цепной реакции и на использовании магнитно-ядерного резонанса, бокового потока и электрофореза. В отношении указанных методов выделены базовые принципы, особенности и существенные условия применения, сложившиеся практики, а также проведена сравнительная оценка по таким критериям, как скорость получения результата, стоимость, воспроизводимость и чувствительность. Полученные в данной работе результаты призваны облегчить задачу исследователей по формированию стратегии измерения различных химических свойств новых разрабатываемых пищевых продуктов.

Received 27.06.2024

Accepted in revised 20.10.2024

Accepted for publication 24.10.2024

© Rozhdestvenskaya L. N., Romanenko S. P., Lomovsky O. I., Lachugin A. P., 2024

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Review article

Open access

## OVERVIEW OF INSTRUMENTAL METHODS USED IN THE FIELD OF FOOD ANALYSIS

Lada N. Rozhdestvenskaya<sup>1,2\*</sup>, Sergey P. Romanenko<sup>1</sup>, Oleg I. Lomovsky<sup>3</sup>, Alexey P. Lachugin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Novosibirsk Scientific Research Institute of Hygiene of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Novosibirsk, Russia;

<sup>2</sup>Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia;

<sup>3</sup>Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

**KEY WORDS:**  
*food products, food composition, methods of analysis, testing equipment*

### ABSTRACT

The emergence of new technologies for food production and current trends in the use of alternative sources of raw materials require improved approaches to the analysis of the chemical composition of food products. In the course of planning work to carry out analytical research, a number of challenges arise: identification of the research objects themselves; selection of research methods and tools; ensuring the representativeness and validity of the results obtained. When choosing and justifying research methods, it is necessary to rely on a large number of factors, which include both confirmation of the actual composition of food products, including the determination of unintentionally present substances, and the reliability of the data obtained, taking into account the selected instrumental methods. The purpose of this work is to generalize and systematize the essence and characteristics of the main methods of food analysis and evaluate existing approaches to the justification and application of instrumental methods of analysis in relation to new types of food products. This paper reviews the literature on instrumental research methods used to obtain values in the most representative international databases on the composition of food products (FAO/INFOODS Food Composition Databases, USDA NDL, Fineli, Frida), as well as databases of the chemical composition of food products in Russia, Japan and Australia. To search for descriptions and features of the use of analytical equipment and analytical methods, electronic library systems Web of Science, Scopus, E-library, ResearchGate, Google Scholar, Microsoft Academic, Science Direct were used. This review highlights the role of various research methods: photometric and electrophoretic, titrimetric, extraction, chromatographic, spectroscopic, immunoenzymatic, as well as those based on the polymerase chain reaction and the use of nuclear magnetic resonance, lateral flow and electrophoresis.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Рождественская, Л. Н., Романенко, С. П., Ломовский, И. О., Лачугин, А. П. (2024). Обзор инструментальных методов, используемых в области анализа пищевой продукции. *Пищевые системы*, 7(4), 523–534. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-4-523-534>

FOR CITATION: Rozhdestvenskaya, L. N., Romanenko, S. P., Lomovsky, O. I., Lachugin, A. P. (2024). Overview of instrumental methods used in the field of food analysis. *Food Systems*, 7(4), 523–534. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-4-523-534>

In relation to these methods, the basic principles, special features and essential conditions of use, established application practices are highlighted, and a comparative assessment is carried out in the context of criteria, such as speed of obtaining results, cost, reproducibility, and sensitivity. The results obtained in this work are intended to facilitate the task of researchers in developing strategies for measuring various chemical properties of new food products under development.

## 1. Введение

Актуальные задачи организации питания населения значительно трансформировались по сравнению с предыдущими десятилетиями, поскольку тренды в потреблении [1–4] и производстве продуктов питания [5–8] стремительно меняются. Расширились возможности для изучения нутрициологических и физиологических аспектов усвоения пищевых веществ [9,10]. Эти процессы сформировали новые вызовы, требующие пересмотра приоритетов в прикладных количественных исследованиях и аналитических инструментах, используемых для решения задач по разработке и обоснованию безопасности и эффективности рационов питания для различных целевых контингентов.

Появление новых технологий производства и, как следствие, новых пищевых продуктов привело к целому спектру проблем, связанных с выбором методов анализа химического состава пищевых продуктов, а также с оценкой их безопасности и качества. В качестве примера можно привести ситуацию, когда при анализе безопасности трех основных групп «новой пищи» в категории продуктов животного происхождения (культивируемого мяса, белка насекомых и мяса ГМ-животных) были выделены потенциальные опасности, такие как несоответствие традиционным аналогам биологической ценности белка, аллергические реакции иммунной системы человека, незаявленные и непреднамеренно присутствующие химические вещества, а также патогенные микроорганизмы [11]. При этом, например, изменение аминокислотного профиля мяса при генной модификации животных [12,13] (по сравнению с продуктами, полученными традиционно) обусловлено ускоренным ростом мышечной массы. Состав и биологическая ценность белка культивируемого мяса зависят от аминокислотного состава и от используемой для выращивания клеток питательной среды, которая может содержать от 13 аминокислот до полного их спектра [14–16]. Вопрос безопасности и ценности белков насекомых обусловлен как качеством используемых субстратов [17], так и особенностями изменения аминокислотного состава при термическом воздействии в процессе приготовления продуктов: денатурацией, агрегацией и сшиванием белков [18,19].

Еще одна острая проблема при обеспечении достоверности оценки безопасности пищевых продуктов связана с содержанием в пищевых продуктах незаявленных и непреднамеренно присутствующих химических веществ и биологических агентов, что изменяет ранее установленное их содержание и сбалансированность микро- и макронутриентов, а также провоцирует появление аллергических реакций [20–22]. На примере анализа 63 проб молока, реализуемого через торговые сети [23], было установлено, что фактическое содержание естественно присутствующих химических элементов в пробах молока может в 5–10 раз (бор, стронций, бром и йод) превышать их средние значения, указанные в справочных таблицах по технологии молочного производства. С одной стороны, это говорит о необходимости совершенствования и развития методических подходов к идентификации потенциально опасных непреднамеренно присутствующих химических веществ в пищевой продукции. С другой — акцентирует вопрос о достоверности и актуальности справочной информации, используемой при сравнении и анализе, даже в отношении максимально традиционных и, казалось бы, давно изученных продуктов.

При изучении качественных характеристик таких новых продуктов, как белоксодержащие растительные аналоги продукции животного происхождения, была выявлена не только специфика определения их биологической ценности, но и связь между аминокислотными последовательностями и молекулярной структурой. Основу этой связи составили исследования в области теории мягких веществ и теоретической физики полимеров [24,25]. Животные белки эмульгируют жиры и масла совершенно иначе, чем растительные белки [26]. Отличие молекулярных характеристик этих белков отражается и на органолептическом восприятии получаемых продуктов, и на особенностях их усвоения.

По мере развития новых технологий и наполнения пищевого рынка новыми продуктами возникают новые проблемы, связанные с качеством данных о составе пищевых продуктов и сырья. Основным источником такой информации являются авторитетные национальные базы данных (БД) о составе пищевых продуктов, которые

используются для научно-исследовательских и академических целей, при реализации государственных программ в сфере питания, для осуществления коммерческих проектов.

Исследования в области диетологии и гигиены питания сформировали необходимость не только использовать альтернативные БД, но также опираться на более детализированные БД, включая модифицированные или расширенные версии опубликованных наборов данных. Такие наборы данных обычно создаются и публикуются национальными государственными органами, научно-исследовательскими институтами, неправительственными учреждениями и пр. Зачастую такие данные являются неполными относительно включенных пищевых продуктов и питательных веществ. Возникают значительные сложности при осуществлении поиска информации о происхождении данных, а также в отношении методов, используемых при определении химического состава. Несмотря на то, что сбор точных и сопоставимых данных является необходимым условием для информированной оценки рисков, а управление и представление результатов в большинстве стран стандартизировано, все еще существуют значительные различия в том, как эти данные компилируются на национальном уровне. Это создает определенные сложности для дальнейшего использования и структурирования имеющихся баз данных [27–30].

Системы управления БД о составе пищевых продуктов (FCDMS) являются важным инструментом на всех этапах работы с данными от составления баз данных до их дальнейшей компиляции и целевого использования. При осуществлении этих процедур особенно важно предварительно оценить сопоставимость аналитических процедур, включая методики, методы и инструменты, использованные для получения этих данных.

В актуальных исследованиях для поиска данных, их сравнения и осуществления теоретических исследований важно обеспечить валидность используемых инструментов и методов исследований, сопоставимость информации, позволяющей идентифицировать сами объекты (сырье и пищевые продукты) и их географическое происхождение [31,32]. В этой связи возникает 3 вызова:

- 1 — классификация и идентификация объектов исследований;
- 2 — выбор методов и инструментов исследований;
- 3 — сопоставимость и валидность результатов исследований, полученных разными методами.

В отношении первого вопроса сложности связаны не только с развитием технологий и с появлением новых видов продукции (от молочнорастительных до полученных с помощью культивирования и 3D-печати), но и с необходимостью идентификации географического происхождения ряда сырья и пищевых продуктов ввиду наличия у них уникальных характеристик.

При выборе методов и инструментов исследований пищевых продуктов долгое время определяющую роль играли подходы, основанные на их классификации в зависимости от соотношения в продукте белков, жиров и углеводов и позволяющие их отнести к той или иной продуктовой группе [33,34] (Рисунок 1).

Стандартные методы исследований зачастую разрабатывались для групп продукции и применялись ко всем входящим в них наименованиям. С появлением новых видов продукции часть методов оказываются либо неприменимыми, либо недостаточно чувствительными из-за изменения соотношения белков, жиров и углеводов в сравнении с традиционными продуктами. Кроме того, в новых продуктах используются другие источники пищевых веществ.

Так, например, общий анализ качества и безопасности пищевых продуктов в зависимости от применяемых средств измерений опирается на измерительные методы (химические [36,37], физические [38], физико-химические [39], биологические), регистрационные, расчетные, социологические, экспертные и органолептические [40,41]. Выбранный аналитический метод также должен иметь адекватные эксплуатационные характеристики, обобщенные как критерии надежности (специфичность, точность, прецизионность и чувствительность) и критерии осуществимости (скорость, затраты, требования к техническим навыкам, надежность и лабораторная безопасность) [42].

В настоящее время наибольшую сложность при разработке новых видов продукции представляет обоснование и выбор адекватных

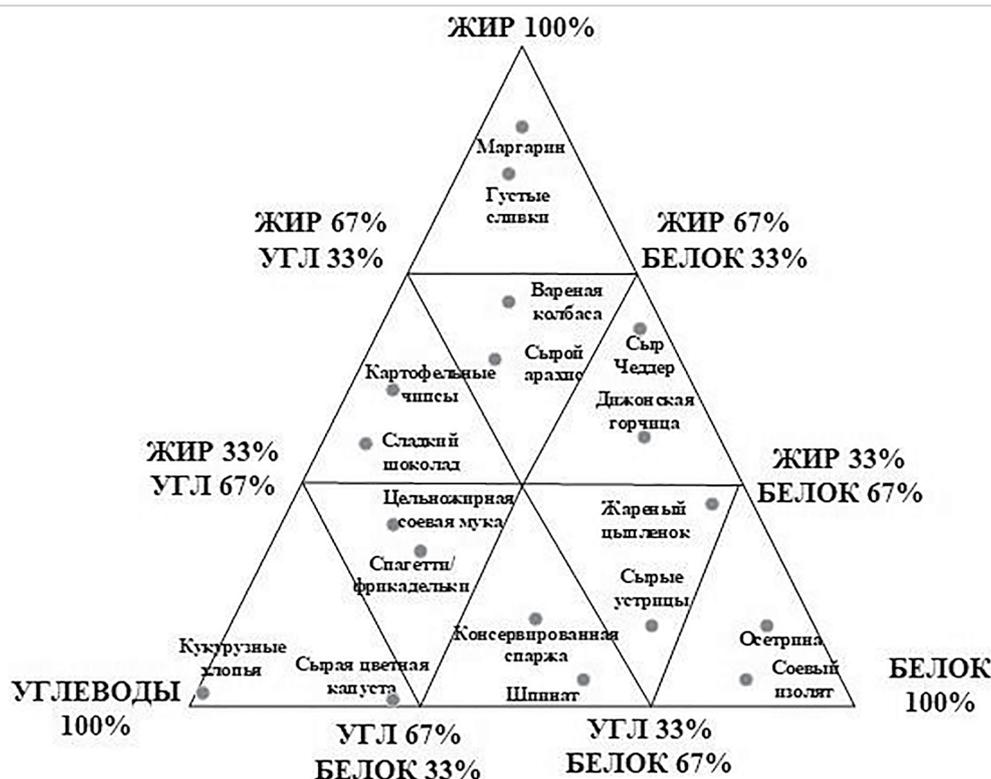


Рисунок 1. Схематическое расположение пищевых матриц по содержанию белков, жиров и углеводов, без учета влаги и золы [35]

Figure 1. Schematic arrangement of food matrices according to the content of proteins, fats and carbohydrates, without considering moisture and ash [35]

измерительных методов, особенно биологических. Это связано с тем, что биологические методы охватывают широкий спектр исследований: от физиологических, определяющих степень усвоения и переваривания питательных веществ, безвредность и биологическую ценность продукта, до микробиологических, используемых для определения степени обсемененности продукции различными микроорганизмами.

Изученность этих процессов применительно к новым видам продукции недостаточна, что не позволяет аргументированно обосновать выбор того или иного метода.

## 2. Объекты и методы

Для исследования современного аналитического инструментария, применяемого в фудомике [43], нутрициологии и гигиене питания, был проведен обзор основных инструментальных методов и аналитических процедур, используемых для анализа пищевых продуктов. Учитывалось их применение к конкретным компонентам (к жирам, аминокислотам, сахарам, витаминам, минералам и пр.), информация отбиралась из доступных литературных источников и баз данных. Для анализа были изучены следующие источники:

- глобальная БД о составе пищевых продуктов ФАО (FAO/INFOODS Food Composition Databases) [44–46];
- база лаборатории нутрициологических данных Департамента сельского хозяйства США (USDA NDL за 2017–2018 годы, 29 выпуск [47]);
- австралийская БД о составе пищевых продуктов [48];
- поддерживаемая Национальным институтом здравоохранения и социального обеспечения Финляндии национальная БД о составе продуктов питания — Fineli [49];
- база Frida [50] институт питания Дании;
- база химического состава российских пищевых продуктов [51];
- таблицы состава пищевых продуктов Японии [52].

Анализируя информацию, мы исходили из того, что для получения достоверных данных о составе пищевых продуктов отбирались точные аналитические методы, сопровождающиеся схемами обеспечения качества. При анализе методов, использованных для формирования пищевых БД, отмечено, что преимущественно встречаются методы, рекомендованные или принятые международными организациями (например, Ассоциацией официального аналитического сотрудничества (AOAC INTERNATIONAL) [37]. Также предпочтение отдается в основном методам, надежность которых была подтверждена совместными исследованиями с участием нескольких

лабораторий как на местном, так и на международном уровнях. В некоторых базах данных использованные методы указывались в стандартизированном виде. В других базах информация о методах и особенностях получения данных содержалась в описании методологии формирования самой базы. В то же время в части баз информация об использованных методах и аналитических процедурах отсутствует или указывается в виде ссылок на отдельные опубликованные научные работы. Таким образом, агрегированная для анализа информация позволила рассмотреть разные сложившиеся в этой сфере практики.

## 3. Актуальные практики применения инструментальных методов в анализе пищевых продуктов

### 3.1. Подходы к систематизации используемых методов и средств испытаний

Проанализированная информация была обобщена и систематизирована, что позволило выделить сущность и характеристики основных методов анализа пищевых продуктов. Определены сложившиеся подходы к их применимости и пробоподготовке для различных групп продуктов. Обозначены перспективы развития аналитических процедур не только для анализа состава, но и для аутентификации, оценки безопасности и качества продуктов. Это позволит точнее определять влияние самих продуктов на здоровье человека [53]. Инструментальное определение отдельных нутриентов в сложных дисперсных системах пищевых продуктов требует не только правильного выбора методов измерений и приборов, но и учета особенностей конкретной методики их реализации. В данной работе авторы исходят из понимания того, что в рамках одного метода может существовать практически бесконечное количество методик, поскольку метод определяет принципиальный научный базис, а методика исполняет роль формализованного описания реализации метода через конкретные приемы и способы осуществления исследований. Методика, в отличие от метода, представляет собой конкретные инструкции, касающиеся: проведения диагностики; отбора проб; алгоритмов выполнения операций, включая первоначальную пробоподготовку, разделение многокомпонентных систем; обработки данных и интерпретации результатов; форм представления данных и оценивания точности, достоверности результатов и пр. Ниже представлена сводная таблица основных методов анализа нутриентов в продуктах питания (Таблица 1). В случае с хроматографическими и электрофоретическими методами стоит отметить,

Таблица 1. Характеристики основных методов анализа продуктов питания  
Table 1. Characteristics of the main methods of food analysis

Краткое описание метода (правил применения, определенных принципов и средств испытания) (Description of the principle)	Практики применения (Application practices)	Скорость <sup>1</sup> (Testing time)	Стоимость <sup>2</sup> (Cost)	Воспроизводимость <sup>4</sup> (Reproducibility)	Чувствительность <sup>5</sup> (Sensitivity)
<b>Методы определения белка</b>					
Метод Кьельдаля [54–57]					
Метод Кьельдаля заключается в процедуре каталитически поддерживаемой минерализации органического материала в кипящей смеси серной кислоты и сульфатной соли при температурах разложения до 400 °С. Во время процесса органически связанный азот превращается в сульфат аммония. Подщелачивание озоленного раствора высвобождает аммиак, который подвергается количественной перегонке с водяным паром и определяется титрованием, спектрофотометрией, электрохимическими или хроматографическими методами.	Этот метод измеряет только азот, связанный с органическими компонентами (белками, аминокислотами, нуклеиновыми кислотами), и аммоний в образце. Этот метод не подходит для соединений, содержащих азот в азо- и нитрогруппах или в кольцах (хинолин, пирридин, нитрат, нитрит и др.). В этих соединениях азот нельзя превратить в сульфат аммония по методу Кьельдаля. С другой стороны, при высоком содержании в продукте азотсодержащей небелковой органики, например меланина, будет происходить завышение результатов.	***	****	***	***
Метод Дюма [58–60]					
Принцип метода Дюма заключается в преобразовании азота, присутствующего в образце, в газообразный NOx путем полного сгорания в печи, поддерживаемой при температуре 950–1100 °С. Конечный продукт (NOx) затем восстанавливается до N <sub>2</sub> . Далее происходит очистка смеси газов от воды и углекислого газа, количество газообразного азота измеряется с помощью детектора теплопроводности.	Главные преимущества метода Дюма — это простота использования, скорость, безопасность и высокий уровень автоматизации. Метод Дюма рекомендован для определения азота/белка в различных пищевых продуктах, таких как зерно, мука, молочные продукты, мясо, корма для животных, напитки и т. п. Недостаток — метод определяет общий азот, включая нитритный, нитратный и т. д., то есть дает завышенные значения.	****	** (* )	***	****
Фотометрические методы [61,62]					
Бюретовые методы — реакция хелатирования двухвалентной меди белками и фотометрическое определение концентрации полученного комплекса, включая методы анализа с применением бицининовой кислоты (BCA) и метода Лоури [63]. Метод анализа Bradford Coomassie Blue — связывание белка с красителем и прямое обнаружение изменения поглощения [64]. Методы с использованием флуоресцентных красителей основаны на связывании белка с красителем и на последующей деградации усиления флуоресценции. К таким методам относятся анализ Qubit и анализ EZQ TM [65].	Методы предназначены для жидких проб, учитывая, что белки могут иметь коллоидное строение, необходима подготовка образцов. При этом реакции с комплексами меди не проходят полностью для олигонуклеотидов. Необходимо для каждого вида белка экспериментально выявить время количественного протекания реакции. Диапазон измерений конечных окрашенных растворов ограничен линейностью закона Бутера-Ламберта-Бера и чувствительностью спектрофотометра, то есть изменение концентрации белка в конических растворах в образцах в одной партии не должно быть выше одного порядка.	***	*	—	***
<b>Титриметрические методы</b>					
Титриметрия — это метод количественного анализа, основанный на точном измерении объема раствора реагента с известной концентрацией, который израсходован на реакцию с аналитом. Аналитом называется вещество, концентрацию которого необходимо определить. Это достигается использованием титранта — тшательного контролируемого объема раствора, концентрация которого уже известна. Титрант добавляют к аналиту с помощью бюретки. К различным типам титрования относят: кислотно-основное титрование, окислительно-восстановительное титрование, осаждающее титрование и комплексометрическое титрование. Кислотно-основное титрование основано на нейтрализации аналита и титранта. Конечную точку обычно определяют с помощью индикатора pH.	Титрование широко применяется в пищевой промышленности для контроля качества продукции. Этот аналитический метод позволяет гарантировать соответствие содержания отдельных компонентов (таких как соли, витамины, минеральные вещества и др.) установленным нормам. В частности, титрование по Карлу Фишеру используется для определения содержания воды в продуктах [66].	****	****	—	**

<sup>1</sup> ГОСТ 16504-81 «Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения». Москва: Стандартинформ, 2011. — 25 с.

Таблица 1. Продолжение / Table 1. Continued

Краткое описание метода (правил применения и определенных принципов и средств испытания <sup>1</sup> ) (Description of the principle)	Практики применения (Application practices)	Скорость <sup>1</sup> (Testing time)	Стоимость <sup>2</sup> (Cost)	Воспроизводимость <sup>4</sup> (Reproducibility)	Чувствительность <sup>5</sup> (Sensitivity)
<p>Изомермическая титрационная колориметрия (ТС) [67–70] используется для определения термодинамических свойств реакций, в том числе для тех, которые имеют отношение к качеству, питанию и безопасности пищевых продуктов. В основе метода лежит измерение теплового эффекта реакции при введении в исследуемую систему исследуемого реагента.</p>	<p>Изомермическая титрационная колориметрия — более совершенный метод титрования. Его используют в пищевой промышленности для изучения связывания малых и крупных молекул в продуктах питания. Его можно использовать для понимания фундаментальных свойств пищевых компонентов, которые лежат в основе качества продуктов питания. Ключевые применения ТС: исследование взаимодействия белков/липидов/нуклеиновых кислот с малыми молекулами (например, с поверхностно-активными веществами), кинетика ферментативных процессов, взаимодействие полимер-поверхностно-активное вещество, связывание с поверхностями твердых частиц.</p>	<p>*****</p>	<p>*</p>	<p>*****</p>	<p>—</p>
<b>Экстракционные методы [71–76]</b>					
<p>Метод Сокслета [77,78] основан на многократной исчерпывающей экстракции, например, жира органическим растворителем, из анализируемой пробы с последующим удалением растворителя и высушиванием выделенного жира до постоянной массы.</p>	<p>В основном используется для извлечения жира из широкого ассортимента продуктов питания: кондитерских изделий, мясных и рыбных полуфабрикатов, молочных продуктов и других образцов.</p>	<p>**</p>	<p>*****</p>	<p>*</p>	<p>—</p>
<p>Метод Фолча [79–81] — метод экстракции жирных кислот, самый надежный метод количественной экстракции липидов. В качестве растворителя для экстракции используют смесь хлороформа и метанола, после чего добавляют воду или раствор соли, чтобы вызвать разделение фаз. Нижняя фаза используется при анализе жирных кислот.</p>	<p>Метод Фолча используют для извлечения липидов из обычных продуктов, богатых жирами, таких как авокадо, яйца и майонез.</p>	<p>**</p>	<p>*****</p>	<p>*</p>	<p>*****</p>
<p>Метод Блая и Дайера [82–84] основан на применении для экстрагирования смеси хлороформа, метанола и воды в соотношении 2:2:1,8 для полного извлечения липидов из продукта с последующим удалением растворителей и определением содержания гравиметрическим методом</p>	<p>Метод Блая и Дайера чаще используется для экстракции липидов из тканей сосудистых растений и рыбы.</p>	<p>**</p>	<p>**</p>	<p>—</p>	<p>—</p>
<p>Экстракция с помощью микроволн (MAE) [85–87] — это экологичный метод экстракции, который предлагает множество преимуществ по сравнению с традиционными методами, таких как сокращение времени экстракции (обычно с секунд до нескольких минут), низкое потребление растворителя, возможность одновременной экстракции нескольких образцов (существенно улучшая пропускную способность образцов).</p>	<p>Экстракция с помощью микроволновой печи получила распространение в качестве метода экстракции для получения полезных соединений из биомассы растений. В случае проведения процессов экстракции из пищевого сырья микроволновое облучение используется в основном для быстрого нагрева образца.</p>	<p>*****</p>	<p>*</p>	<p>*****</p>	<p>—</p>
<p>Экстракция сверхкритической жидкостью (SFE) [88–91] основана на использовании углекислого газа в сверхкритическом состоянии (SC-CO<sub>2</sub>) для извлечения липидной фракции. При последующем понижении давления и температуры CO<sub>2</sub> переходит обратно в газообразное состояние, легко отделяясь от экстрагированной липидной фракции.</p>	<p>Каждое соединение обладает уникальной экстрагируемостью в различных условиях сверхкритической жидкости. В оптимизированных условиях SFE компоненты в образце экстрагируются упорядоченным образом, что позволяет фракционировать экстракт и получить разделение фракций гораздо быстрее и качественнее по сравнению с традиционной экстракцией растворителем. Метод используется для экстракции витаминов в образцах пищевых продуктов, для извлечения ароматических и вкусовых соединений, для экстракции и фракционирования пищевых масел, а также с целью удаления загрязняющих веществ. Подходит только для твердых образцов. По своей сути сверхкритический углекислый газ по полярности аналогичен органическим неполярным растворителям при нормальных условиях, что и обуславливает схожесть результатов.</p>	<p>*****</p>	<p>*</p>	<p>—</p>	<p>—</p>
<p>Экстракция с помощью ультразвука (UAE) [92–94] является экологически чистой и экономически обоснованной альтернативой традиционным методам для пищевых продуктов и органических препаратов. К основным преимуществам метода относятся сокращение времени экстракции и обработки, а также снижение энергопотребления и расхода растворителей.</p>	<p>Метод используется для экстракции антиоксидантов, витаминов, фенольных соединений, красящих веществ, вкусо-ароматических соединений обычных растительных и животных жиров/масел и жирных кислот, а также легучих загрязнителей из фруктов, ягод, бобовых и др. пищевых продуктов. Подходит для твердых образцов. Интенсивная ультразвуковая обработка может вызывать кавитацию жидкости, что может привести к значительной деградации исследуемых веществ. Также при ультразвуковой обработке может образовываться взвесь микро- и субмикронных частиц, вносящая ошибку при измерении массы экстрактивных веществ.</p>	<p>*****</p>	<p>*</p>	<p>—</p>	<p>*****</p>

Таблица 1. Продолжение / Table 1. Continued

Краткое описание метода (правил применения) определенных принципов и средств испытания <sup>1</sup> (Description of the principle)	Практики применения (Application practices)	Скорость <sup>1</sup> (Testing time)	Стоимость <sup>2</sup> (Cost)	Воспроизводимость <sup>4</sup> (Reproducibility)	Чувствительность <sup>5</sup> (Sensitivity)
УФ [95,96] и ИК-спектроскопия [97-100]	Поскольку спектры содержат химическую информацию о пищевых продуктах, они могут отражать различия между спектрами пищевых продуктов разных сортов и географического происхождения. Поэтому спектроскопические подходы, такие как спектроскопия в видимом/ближнем инфракрасном диапазоне (VIS/NIR), спектроскопия в ближнем инфракрасном диапазоне (NIR), спектроскопия в среднем инфракрасном диапазоне (MIR) и гиперспектральная визуализация (HS), широко используются при анализе сельскохозяйственной продукции. HSI может одновременно предоставлять спектральную и пространственную информацию, что может применяться для различения сортов и регионов производства продуктов питания. К настоящему времени изучены и систематизированы инфракрасные спектры более чем 20000 соединений, а спектроскопия используется для определения содержания в пищевых продуктах: витаминов А, К, В1, В2, В6, С, никотиновой кислоты, токоферолов и каротина, ароматических веществ, ряда органических соединений и пр.	-	*	-	-
	<b>Атомно-абсорбционная спектроскопия (ААС) [101-103]</b>				
	Атомно-абсорбционная спектроскопия (ААС) представляет собой метод определения элементного состава аналита, присутствующего в образцах, путем измерения поглощенного излучения интересующим химическим элементом. Этот метод широко используется для анализа основных элементов, таких как медь и цинк, в различных матрицах, включая пищевые продукты. Методы подготовки и проведения анализа могут требовать значительной корректуры, если необходимо измерять содержание микроэлементов в образцах с высоким содержанием других солей, например, хлорида натрия.	****	*	****	****
	<b>Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) [104,105]</b>			-	****
	Несмотря на высокую чувствительность метода, анализ масс-спектров смесей сложных веществ представляет собой нетривиальную задачу. В таких случаях часто прибегают к сравнению с масс-спектром стандартного образца смеси.	****	*	-	****
	<b>Методы, основанные на магнитно-ядерном резонансе (NMR) [106-112]</b>				
	Ядерные методы, в особенности методы стабильных изотопов, значительно расширяют возможности исследователей в области питания и здоровья человека. Данным методам присуща универсальность и высокая воспроизводимость, точность и прецизионность по сравнению с другими рутинными методами. Для оценки качества белка используют метод двойного меченых стабильных изотопов и индикаторный метод окисления аминокислот. Для оценки различных питательных микроэлементов применяют следующие методы: метод включения эритроцитарного железа, метод разбавления изотопов железа, методику радиоактивного изотопа железа для измерения потери и всасывания железа, двухизотопный метод абсорбции цинка, методику изотопного разведения ретинола.	****	*	****	****
	<b>Полимеразная цепная реакция (ПЦР) [113-115]</b>				
	Подтверждена целесообразность применения ПЦР-тестирования для обнаружения генетически модифицированных организмов, запрещенных биогенетических ингридиентов, аллергенов, мутаций, бактериальных патогенов пищевого происхождения и других патогенов в различных видах пищевых продуктов	**	*	-	****
УФ-спектроскопия основана на измерении поглощения электромагнитного излучения в ультрафиолетовой и видимой областях, что может предоставить ценную химическую информацию о наличии или отсутствии определенных структурных свойств или функциональных групп.	Видимая/инфракрасная спектроскопия и методы гиперспектральной визуализации в качестве быстрых и неразрушающих аналитических методов широко используются для отслеживания разновидностей пищевых продуктов и их географического происхождения. Для количественного анализа по инфракрасным спектрам, основанного на законе Бугера — Ламберта — Бера, чаще всего используют метод градуировочного графика.				
Раствор помещается в прибор, где он нагревается для испарения и атомизации веществ. Лучок излучения пропускается через распыленный образец, измеряется поглощение излучения на определенных длинах волн. Информация о типе и концентрации присутствующих элементов получается путем измерения длины волны и интенсивности пиков.	Исследуемый раствор подается в распылитель, в котором превращается в аэрозоль. Аэрозоль через центральный канал плазменной горелки попадает в плазму, где под воздействием высокой температуры вещества диссоциируют и ионизируются. Образовавшиеся положительно ионы проходят через систему ионной оптики в анализатор, где происходит детекция ионов по отношению массы к заряду и детектирование интенсивности ионного потока.				
ЯМР-спектроскопия использует магнитные свойства атомных ядер, таких как ядра водорода, углерода-13 и фосфора-31, для анализа структуры и свойств жидких и твердых образцов. Как неразрушающий метод он идеально подходит для анализа сложных образцов пищевых продуктов и дает возможность одновременного обнаружения и количественного определения нескольких соединений.	Метод анализирует определенные последовательности ДНК с целью идентификации видов животных в мясных продуктах. ПЦР-тестирование также используется для выявления вредных патогенов и других микроорганизмов, а также наличия генетически модифицированных организмов (ГМО).				

Таблица 1. Продолжение / Table 1. Continued

Краткое описание метода (правил применения определенных принципов и средств испытания) <sup>1</sup> (Description of the principle)	Практики применения (Application practices)	Скорость <sup>1</sup> (Testing time)	Стоимость <sup>2</sup> (Cost)	Воспроизводимость <sup>4</sup> (Reproducibility)	Чувствительность <sup>5</sup> (Sensitivity)
<p><b>Иммуноферментный анализ (ИФА) [116,117]</b></p> <p>Иммуноферментный анализ (ИФА) получил широкое распространение в пищевой промышленности. Его применяют на разных этапах производства: от контроля качества сырья до проверки готовой продукции на безопасность. Тесты используются для обнаружения скрытых аллергенов белков в пищевых продуктах, включая гормоны, антитела и пептиды. В качестве высокочувствительного метода ИФА также используется для обнаружения следов арахиса в сырах, обработанных и приоттовленных продуктах.</p> <p>В молочной промышленности ИФА применяется для выявления патогенов, таких как кишечная палочка, сальмонелла и листерия, в молочных и сырных продуктах. Метод тестирования также позволяет обнаруживать споры плесени до того, как они начнут расти.</p>	<p>Иммуноферментный анализ (ИФА) [116,117]</p> <p>Применены методы ELISA для идентификации видов мяса, рыбы и молока; аугментация маркировки фруктовых соков; обнаружения генетически модифицированных и облученных пищевых продуктов; идентификация ингредиентов-аллергенов. ИФА вместе с другими аналитическими методами, такими как методы на основе ДНК, помогают обеспечить точную реализацию прослеживаемости для успешного нормативного контроля пищевых продуктов.</p>	<p>**</p>	<p>**</p>	<p>—</p>	<p>—</p>
<p><b>Газовая хроматография (ГХ) [118–121]</b> реализуется за счет того, что инертный газ непрерывно течет по небольшой трубке, пропускающей через нее испаренный образец. В зависимости от их химических и физических характеристик и взаимодействия со стационарной фазой, различные компоненты пробы перемещаются через нее с разной скоростью.</p>	<p><b>Газовая и газожидкостная хроматография</b></p> <p>Газовые хроматографы применяются для: контроля жирнокислотного состава масложировой продукции; определения наличия растительных жиров в молоке, мясе, молочных и мясных продуктах; контроля наличия пестицидов в овощах, фруктах, токсичных микробиомов в ликеро-водочной продукции, в рыбе, мясе и продуктах их переработки; побочных продуктов брожения в пиве, сидре, медузах и пр.</p>	<p>*****</p>	<p>*</p>	<p>—</p>	<p>*****</p>
<p><b>Газожидкостная хроматография (ГЖХ) [122,123]</b> основана на том, что анализируемые вещества в парообразном состоянии с потоком газа-носителя проходят через колонку с неподвижной жидкой фазой, нанесенной на твердый носитель. Вещества перераспределяются между фазами и разделяются из-за разницы в коэффициентах распределения.</p>	<p><b>Высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) [124,125]</b></p> <p>Прямой анализ аминокислот с использованием гидролиза и колпачечного определения ВЭЖХ. Помимо этого, метод позволяет определять множество химических соединений: афлатоксинов [126], органических кислот [127,128], простых сахаров [129], пигментов [130–132] и консервантов [133,134].</p>	<p>*****</p>	<p>*</p>	<p>—</p>	<p>—</p>
<p>Раствор анализируемой смеси вводится в верхнюю часть хроматографической колонки. Анализируемая смесь прокачивается элюентом через хроматографическую колонку, в которой происходит разделение на отдельные вещества. Вытекающий из колонки элюат, содержащий отдельные компоненты анализируемой смеси, определяется детектором.</p>	<p><b>Капиллярный и гель-электрофорез</b></p> <p>Капиллярный электрофорез широко используется для анализа большого количества соединений, особенно в сложных смесях, не поддающихся тривиальному разделению, благодаря его высокой эффективности разделения, невысоких требований к образцам и реагентам и высокой скорости анализа.</p>	<p>*****</p>	<p>*</p>	<p>—</p>	<p>*</p>
<p><b>Капиллярный (зональный) электрофорез (CZE) [135–137]</b> используется для разделения ионов по заряду. В случае обычного электрофореза заряженные молекулы перемещаются в проводящей жидкости под действием электрического поля. Методика капиллярного электрофореза используется для разделения молекул по заряду и размеру в тонком капилляре, заполненном электролитом.</p>	<p>Гель — электрофорез используется при анализе пищевых продуктов для контроля сортов и видов сырья, для мониторинга технологических процессов при консервации пищевых продуктов, выявления непреднамеренно присутствующих в пищевых продуктах компонентов, пищевых красителей, ионов тяжелых металлов [140], для улучшения органолептических характеристик мясной продукции на основе контроля содержания в них высокомолекулярных белков [141].</p>	<p>—</p>	<p>*</p>	<p>—</p>	<p>*****</p>

Таблица 1. Продолжение / Table 1. End

Краткое описание метода (правил применения определенных принципов и средств испытания) <sup>1</sup> (Description of the principle)	Практики применения (Application practices)	Скорость <sup>1</sup> (Testing time)	Стоимость <sup>2</sup> (Cost)	Воспроизводимость <sup>4</sup> (Reproducibility)	Чувствительность <sup>5</sup> (Sensitivity)
<p><b>LFD (устройство бокового потока)</b> [142,143,144]</p> <p>Тестирование LFD пищевой промышленности как метод иммуно-логического анализа является быстрым и эффективным способом обнаружения глютена в продуктах с реакцией антиген-антитело, используемой для идентификации белка. Новейшие тестовые комплекты LFD компактны и просты в использовании, что делает их идеальными для тестирования на месте.</p> <p>Анализ бокового потока (LEA) представляет собой бумажную платформу для обнаружения и количественного определения аналитов в сложных смесях, где образец помещается на тестовое устройство, а результаты отображаются в течение 5–30 минут.</p>	<p>Объединение метода тонкослойной хроматографии и иммуноферментного анализа.</p> <p>Пищевые продукты с особенно высокой питательной и экономической ценностью часто фальсифицируют продуктами с более низкой ценностью. Товары с защитным географическим происхождением также входят в список наиболее подверженных мошенничеству товаров, оказывающих негативное влияние на национальную экономику. Это противоречит правам потребителей и производителей. Использование устройств бокового потока для идентификации алергенов активно развивается как передовой опыт использования этих устройств.</p>	<p>***</p>	<p>—</p>	<p>—</p>	<p>—</p>

**Примечание:** Скорость получения результата<sup>1</sup>: \*\*\*\* — получение результата в течение 1 часа; \*\*\* — от 1 часа до 6 часов; \*\* — от 6 часов до 24 часов; \* — более 24 часов; Testing time<sup>1</sup>: \*\*\*\* — getting the result within 1 hour; \*\*\* — from 1 hour to 6 hours; \*\* — from 6 hours to 1 day; \* — more than 1 day;

Стоимость метода<sup>2</sup>: \*\*\*\* — базовое лабораторное оборудование; \*\*\* — цена оборудования составит не более 250 тыс. руб.; \*\* — от 250 тыс. руб. до 1 млн руб.; \* — цена оборудования свыше 1 млн руб.; Cost of method<sup>2</sup>: \*\*\*\* — basic laboratory equipment; \*\*\* — the price of equipment will not exceed 250 thousand rubles; \*\* — from 250 thousand rubles to 1 million rubles; \* — the price of equipment over 1 million rubles;

Воспроизводимость метода<sup>4</sup>: \*\*\*\* — менее 1% отн.; \*\*\* — от 1 до 5% отн.; \*\* — от 5 до 10% отн.; \* — свыше 10% отн.;

Reproducibility<sup>4</sup>: \*\*\*\* — less than 1% rel.; \*\*\* — from 1 to 5% rel.; \*\* — from 5 to 10% rel.; \* — over 10% rel.;

Чувствительность метода<sup>5</sup>: \*\*\*\* — менее 10<sup>-6</sup> г.; \*\*\* — от 10<sup>-6</sup> до 10<sup>-3</sup> г.; \*\* — от 10<sup>-3</sup> до 1 г.;

Sensitivity<sup>5</sup>: \*\*\*\* — less than 10<sup>-6</sup> g.; \*\*\* — from 10<sup>-6</sup> to 10<sup>-3</sup> g.; \*\* — from 10<sup>-3</sup> to 1 g.;

что читателю необходимо точно разделять метод на две основные части: методика разделения смесей веществ (собственно, сама хроматография и электрофорез) и следующий за этим метод анализа разделенной смеси. Так, ВЭЖХ-хроматограф может быть оснащен фотометрическим, рефрактометрическим, электрохимическим, масс-селективным детектором. В зависимости от выбора метода анализа разделенной смеси, указанные в таблице стоимость, сложность и чувствительность могут различаться во много раз. Выбор оптимального метода разделения смеси и метода ее анализа заслуживает отдельного, всестороннего обзора. В данном случае авторы опирались на те конфигурации приборов, которые указаны в соответствующих литературных источниках.

Проведенный анализ показывает, что универсального метода исследования состава и качества продуктов пока не существует. Несмотря на постоянное развитие технологий и появление новых, более точных, быстрых и безопасных методов, ни один из них не является универсальным для всех типов продуктов. Так, например, при определении витамина С нельзя использовать классический титриметрический метод в яркоокрашенных продуктах из-за пигментов, которые будут мешать точности проводимого анализа, что вынуждает подбирать другой способ.

### 3.2. Особенности и ограничения при выборе аналитического инструментария

Представленный обзор методов анализа продуктов питания не претендует на исчерпывающую полноту. Охватить все многообразие методов анализа в рамках одной статьи невозможно. Только современный справочник Официальные методы анализа AOAC INTERNATIONAL (OMA) насчитывает уже более 3000 наименований [37]. Многие из методов OMA приняты в качестве гармонизированных международных эталонных методов Международной организацией по стандартизации (ISO), Международной федерацией молочной промышленности (IDF), Международным союзом теоретической и прикладной химии (IUPAC) и Комиссией Codex Alimentarius). Однако при работе с новыми матрицами пищевых продуктов возникает необходимость обсуждения методов извлечения и пробоподготовки для определения конкретного вещества — а именно, обсуждения особенностей проведения аналитических процедур, основанного на физических принципах проведения измерения и идентификации. При этом в конкретных случаях анализа новых, ранее не производимых продуктов приходится решать вопрос о применимости и особенностях адаптации и модификации уже известных методов к конкретным задачам. Так, например, если говорить о методах, в которых используется ГЖХ и ВЭЖХ, то это методы разделения веществ перед вводом в какой-либо из детекторов или в коллектор фракций (для препаративной ВЭЖХ). Кроме того, приведенные в таблице выше данные по вариантам экстракции не в полной мере учитывают все существующие варианты экстракционных взаимодействий. Например, варианты жидкость-жидкостной экстракции/переэкстракции при анализе полихлорированных бифенилов или экстракции глубокими эвтектическими растворителями и др.

В связи с этим можно утверждать, что выбор методов исследования конкретных параметров в пищевом сырье или комплексном пищевом продукте во многом зависит и от сложности самих изучаемых биологических систем, и от целей измерения. Например, методы, используемые для быстрой обработки измерений в режиме онлайн, могут быть менее точными, чем официально принятые методы исследования, но наиболее полно соответствовать задачам отработки технологических параметров процессов производства при достижении определенных структурных и органолептических характеристик конечного продукта.

### 3.3. Ограничения при работе с базами данных (Food Composition Database (FCD))

При работе с растущим разнообразием пищевой продукции не всегда возможно использование исходных надежных и дорогостоящих аналитических данных. Зачастую приходится использовать информацию из БД пищевого состава ингредиентов (FCD) и расчеты по рецептуре. В то же время информация о содержании питательных веществ в сырье и продуктах питания из разных источников может значительно различаться, что обусловлено рядом факторов. Так, различия в получаемых данных при использовании одних и тех же аналитических инструментов применительно к условно одинаковым объектам исследований обусловлено: влиянием окружающей среды на корм, почву и климат; особенностями используемых сортов, видов, пород и условия их выращивания, сбора, хранения и обогащения; особенностями структуры потребления населения, включая как пищевое биоразнообразие, так и различия между продуктами

от разных производителей, различными рецептами, технологиями приготовления, торговыми марками и пр. [145,146].

#### 4. Заключение

Таким образом, на основании обзора наиболее употребительных методов анализа пищевых продуктов, представленных в международных базах данных, и с учетом распространенности аналитического оборудования, нами была сформирована группировочная таблица. В обобщенной табличной форме для выделенных по частоте применения методов представлены: базовый принцип реализации, особенности и существенные условия применения, сложившиеся практики. Также проведена сравнительная оценка методов по таким характеристикам, как скорость получения результата, стоимость, воспроизводимость и чувствительность.

На основе анализа информации, изученной в ходе исследования, следует отметить, что как предварительный отбор и подготовка проб, так и разработка аналитических методов — это обширная тема, которая требует постоянного совершенствования и изучения

различных подходов. Чтобы соответствовать современным требованиям, важно обеспечить постоянную разработку, систематизацию и стандартизацию аналитических процедур и методов исследования (особенно измерительных), которые бы позволяли обоснованно выбирать их при изучении состава и контроле пищевой безопасности и качества новых видов пищевой продукции. Также для обеспечения создания, компиляции, распространения и использования высококачественных данных о составе, безопасности и характеристиках пищевых продуктов и сырья, необходимо использовать международные и/или национальные стандарты, руководящие принципы и инструменты, которые позволяют формировать регулярно обновляемые национальные и/или региональные базы данных о составе пищевых продуктов. Результаты данной работы призваны облегчить задачу исследователей при формировании стратегии измерения различных химических свойств новых разрабатываемых пищевых продуктов с учетом как распространенности выбираемых измерительных методов и средств, так и ресурсного обеспечения исследований.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Derossi, A., Husain, A., Caporizzi, R., Severini, C. (2019). Manufacturing personalized food for people uniqueness. An overview from traditional to emerging technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(7), 1141–1159. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1559796>
- Anzani, C., Boukid, F., Drummond, L., Mullen, A. M., Álvarez, C. (2020). Optimising the use of proteins from rich meat co-products and non-meat alternatives: Nutritional, technological and allergenicity challenges. *Food Research International*, 137, Article 109575. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109575>
- Valoppi, F., Agustin, M., Abik, F., Morais de Carvalho, D., Sithole, J., Bhattarai, M. et al. (2021). Insight on current advances in food science and technology for feeding the world population. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, Article 626227. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.626227>
- Hassoun, A., Ait-Kaddour, A., Abu-Mahfouz, A. M., Rathod, N. B., Bader, F., Barba, F. J. et al. (2022). The fourth industrial revolution in the food industry — part I: Industry 4.0 technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(23), 6547–6563. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2034735>
- Liu, F., Li, M., Wang, Q., Yan, J., Han, S., Ma, C. et al. (2022). Future foods: Alternative proteins, food architecture, sustainable packaging, and precision nutrition. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(23), 6423–6444. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2033683>
- Onwezen, M. C., Bouwman, E. P., Reinders, M. J., Dagevos, H. (2021). A systematic review on consumer acceptance of alternative proteins: Pulses, algae, insects, plant-based meat alternatives, and cultured meat. *Appetite*, 159, Article 105058. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.105058>
- Sim, S. Y. J., SRV, A., Chiang, J. H., Henry, C. J. (2021). Plant proteins for future foods: A roadmap. *Foods*, 10(8), Article 1967. <https://doi.org/10.3390/foods10081967>
- Jiménez-Munoz, L. M., Tavares, G. M., Corredig, M. (2021). Design future foods using plant protein blends for best nutritional and technological functionality. *Trends in Food Science and Technology*, 113, 139–150. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.049>
- Kapsokefalou, M., Roe, M., Turrini, A., Costa, H. S., Martínez-Victoria, E., Marletta, L. et al. (2019). Food composition at present: New challenges. *Nutrients*, 11(8), Article 1714. <https://doi.org/10.3390/nu11081714>
- Villamiel, M., Méndez-Albiñana, P. (2022). Update of challenges for food quality and safety management. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, Article 100393. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100393>
- Шур, П. З., Суворов, Д. В., Зеленкин, С. Е., Лир, Д. Н. (2023). Идентификация потенциальной опасности потребления новых видов пищевых продуктов для здоровья населения (систематический обзор). *Гигиена и санитария*, 102(5), 495–501. [Shur, P. Z., Suvorov, D. V., Zelenkin, S. E., Lir, D. N. (2023). Identification of potential hazard of consumption of novel products to public health (systematic review). *Hygiene and Sanitation*, 102(5), 495–501. (In Russian)] <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-5-495-501>
- Boisen, S., Hvelplund, T., Weisbjerg, M. R. (2000). Ideal amino acid profiles as a basis for feed protein evaluation. *Livestock Production Science*, 64(2), 239–251. [https://doi.org/10.1016/s0301-6226\(99\)00146-3](https://doi.org/10.1016/s0301-6226(99)00146-3)
- Trott, J. F., Young, A. E., McNabb, B. R., Yang, X., Bishop, T. F., van Eenennaam, A. L. (2022). Animal health and food safety analyses of six offspring of a genome-edited hornless bull. *GEN Biotechnology*, 1(2), 192–206. <https://doi.org/10.1089/genbio.2022.0008>
- Torkashvand, F., Vaziri, B., Maleknia, S., Heydari, A., Vossoughi, M., Mahboudi, F. (2020). Designed amino acid feed in improvement of production and quality targets of a therapeutic monoclonal antibody. *PLoS ONE*, 15(10), Article e0140597. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140597>
- Salazar, A., Keusgen, M., von Hagen, J. (2016). Amino acids in the cultivation of mammalian cells. *Amino Acids*, 48(5), 1161–1171. <https://doi.org/10.1007/s00726-016-2181-8>
- D'Este, M., Alvarado-Morales, M., Angelidaki, I. (2018). Amino acids production focusing on fermentation technologies — A review. *Biotechnology Advances*, 36(1), 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2017.09.001>
- EFSA Scientific Committee. (2015). Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal*, 13(10), Article 4257. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4257>
- Pan, J., Xu, H., Cheng, Y., Mintah, B. K., Dabbour, M., Yang, F. et al. (2022). Recent insight on edible insect protein: Extraction, functional properties, allergenicity, bioactivity, and applications. *Foods*, 11(19), Article 2931. <https://doi.org/10.3390/foods11192931>
- David-Birman, T., Raftan, G., Lesmes, U. (2018). Effects of thermal treatments on the colloidal properties, antioxidant capacity and in-vitro proteolytic degradation of cricket flour. *Food Hydrocolloids*, 79, 48–54. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.11.044>
- Codex Alimentarius (2019). Guidelines for rapid risk analysis following instances of detection of contaminants in food where there is no regulatory level. CXG 92–2019. Retrieved from [https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%3A%2F%2Fworkspace.fao.org%2Fsites%2FCodex%2FStandards%2FCXG+92-2019%2FCXG\\_092e.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%3A%2F%2Fworkspace.fao.org%2Fsites%2FCodex%2FStandards%2FCXG+92-2019%2FCXG_092e.pdf) Accessed March 03, 2024
- Shur, P. Z., Zaitseva, N. V. (2018). Health risk assessment when giving grounds for hygienic criteria of food products safety. *Health Risk Analysis*, 4, 43–56. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.4.05.eng>
- Шур, П. З., Зайцева, Н. В., Хотимченко, С. А., Федоренко, Е. В., Сычик, С. И., Фокин, В. А. и др. (2019). К вопросу установления допустимых суточных доз химических веществ в пищевых продуктах по критериям риска здоровью. *Гигиена и санитария*, 98(2), 189–195. [Shur, P. Z., Zaitseva, N. V., Khotimchenko, S. A., Fedorenko, E. V., Sychik, S. I., Fokin, V. A. et al. (2019). On the issue of establishing acceptable daily intake of chemical substances in food products according to health risk criteria. *Hygiene and Sanitation*, 98(2), 189–195. (In Russian)] <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-2-189-195>
- Зайцева, Н. В., Хотимченко, С. А., Шур, П. З., Суворов, Д. В., Зеленкин, С. Е., Бессонов, В. В. (2023). Методические подходы к интегральной оценке и категорированию потенциально опасных химических веществ, непреднамеренно присутствующих в пищевых продуктах. *Вопросы питания*, 92(1), 26–35. [Zaitseva, N. V., Khotimchenko, S. A., Shur, P. Z., Suvorov, D. V., Zelenkin, S. E., Bessonov, V. V. (2023). The modification of methodological approaches for potential hazard identification of inadvertent chemicals in food. *Voprosy Pitaniia*, 92(1), 26–35. (In Russian)] <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-1-26-35>
- Giusti, A. M., Bignetti, E., Cannella, C. (2008). Exploring new frontiers in total food quality definition and assessment: From chemical to neurochemical properties. *Food and Bioprocess Technology*, 1(2), 130–142. <https://doi.org/10.1007/s11947-007-0043-9>
- Sabaté, J., Harwatt, H., Soret S. (2016). Environmental nutrition: A new frontier for public health. *American Journal of Public Health*, 106(5), 815–821. <https://doi.org/10.2105/ajph.2016.303046>
- Combs, G. F., Trumbo, P. R., McKinley, M. C., Milner, J., Studenski, S., Kimura, T. et al. (2013). Biomarkers in nutrition: New frontiers in research and application. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1278(1), 1–10. <https://doi.org/10.1111/nyas.12069>
- Langual™ — the International Framework for Food Description. Retrieved from <http://www.langual.org/> Accessed March 20, 2024
- Ispirova, G., Genik, G., Ogrinc, M., Valenčič, E., Stojanov, R., Korošec, P. et al. (2022). Cafeteria FCD Corpus: Food consumption data annotated with regard to different food semantic resources. *Foods*, 11(17), Article 2684. <https://doi.org/10.3390/foods11172684>
- European Food Safety Authority (2015). Food classification standardisation — The FoodEx2 system (Revision 2). Retrieved from <http://www.efsa.europa.eu/en/datex/datexfoodclass.htm> Accessed March 20, 2024
- Kapsokefalou, M., Roe, M., Turrini, A., Costa, H. S., Martínez-Victoria, E., Marletta, L. et al. (2019). Food composition at present: New challenges. *Nutrients*, 11(8), Article 1714. <https://doi.org/10.3390/nu11081714>
- Hinojosa-Nogueira, D., Pérez-Burillo, S., Navajas-Porras, B., Ortiz-Viso, B., de la Cueva, S. P., Lauria, F. et al. (2021). Development of an unified food composition database for the European project "Stance4Health". *Nutrients*, 13(12), Article 4206. <https://doi.org/10.3390/nu13124206>
- Murphy, S. P., Charrondiere, U. R., Burlingame, B. (2016). Thirty years of progress in harmonizing and compiling food data as a result of the establishment of INFOODS. *Food Chemistry*, 193, 2–5. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.097>

33. Nielsen, S. S. (2017). Food analysis laboratory manual. Springer International Publishing, 2017. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44127-6>
34. Nielsen, S. S. (2017). Food Analysis. Springer International Publishing, 2017. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5>
35. Nielsen, S. S. (2018). Food Analysis. Springer Cham, 2018.
36. Oliveri, P., Forina, M. (2012). Data analysis and chemometrics. Chapter in a book: Chemical Analysis of Food: Techniques and Applications. Academic Press, 2012. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384862-8.00002-9>
37. Latimer, G. W. J. (2023). Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL (22nd Edition). Oxford University Press, 2023. <https://doi.org/10.1093/9780197610145.001.0001>
38. Sarkar, T., Salauddin, M., Kirtonia, K., Pati, S., Rebezov, M., Khayrullin, M. et al. (2022). A review on the commonly used methods for analysis of physical properties of food materials. *Applied Science*, 12(4), Article 2004. <https://doi.org/10.3390/app12042004>
39. Igual, M., Martínez-Monzó, J. (2022). Physicochemical properties and structure changes of food products during processing. *Foods*, 11, Article 2365. <https://doi.org/10.3390/foods11152365>
40. Johnson, G. (2005). Encyclopedia of Analytical Science (2nd edition). Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2005. <http://doi.org/10.1108/09504120510632723>
41. Martínez, S., Carballo, J. (2021). Physicochemical, sensory and nutritional properties of foods affected by processing and storage. *Foods*, 10(12), Article 2970. <https://doi.org/10.3390/foods10122970>
42. Büttner, J., Borth, R., Boutwell, J., Broughton, P., Bowyer, R. (1975). Provisional recommendation on quality control in clinical chemistry. Part 1. General principles and terminology. *Journal of Clinical Chemistry and Clinical Biochemistry*, 13, 523–531.
43. Rodríguez-Carrasco, Y. (2022). Foodomics: Current and future perspectives in food analysis. *Foods*, 11(9), Article 1258. <https://doi.org/10.3390/foods11091258>
44. FAO/INFOODS. Food composition databases. Retrieved from <https://www.fao.org/infoods/infoods/tables-and-databases/faoinfoods-databases/en/> Accessed March 03, 2024
45. Scrimshaw, N.S. (1997). INFOODS: The international network of food data systems. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 65(4 Suppl), 1190S–1193S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/65.4.1190S>
46. Charrodiere, U.R., Rittenschober, D., Nowak, V., Stadlmayr, B., Wijesinha-Bettoni, R., Haytowitz D. (2016). Improving food composition data quality: Three new FAO/INFOODS guidelines on conversions, data evaluation and food matching. *Food Chemistry*, 193, 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.055>
47. USDA FoodData Central. Retrieved from <https://www.ars.usda.gov/northeast-area/beltsville-md-bhnrc/beltsville-human-nutrition-research-center/methods-and-application-of-food-composition-laboratory/mafcl-site-pages/database-resources/> Accessed March 03, 2024
48. FoodStandards Australian Food Composition Database — Release 2. Retrieved from <https://www.foodstandards.gov.au/science/monitoringnutrients/afcd/Pages/downloadableexcelfiles.aspx> Accessed March 05, 2024.
49. Fineli. Retrieved from <https://fineli.fi/fineli/en/tietoa-palvelusta> Accessed March 05, 2024
50. DTU. Frida. Retrieved from <https://frida.fooddata.dk> Accessed March 05, 2024.
51. Информационно-аналитическая система. База данных: Химический состав пищевых продуктов, используемых в Российской Федерации. Электронный ресурс: [http://web.ion.ru/food/FD\\_tree\\_grid.aspx](http://web.ion.ru/food/FD_tree_grid.aspx) Дата доступа: 05.03.2024 [Chemical composition of food products used in the Russian Federation. Retrieved from [http://web.ion.ru/food/FD\\_tree\\_grid.aspx](http://web.ion.ru/food/FD_tree_grid.aspx) Accessed March 05, 2024 (In Russian)]
52. MEXT Standard tables of food composition in Japan. Retrieved from [https://www.mext.go.jp/en/policy/science\\_technology/policy/title01/detail01/1374030.html](https://www.mext.go.jp/en/policy/science_technology/policy/title01/detail01/1374030.html) Accessed March 05, 2024.
53. Рождественская, Л. Н. (2022). Современные тренды и вызовы индустрии питания. Глава в книге: Социально-экономические процессы: новое видение, вызовы, тенденции. Петрозаводск: Новая Наука 2022. [Rozhdestvenskaya, L. N. (2022). Modern trends and challenges in the food industry. Chapter in a book: Socio-economic processes: new vision, challenges, trends. Petrozavodsk: New Science, 2022. (In Russian)] <https://doi.org/10.46916/04032022-2-978-5-00174-490-0>
54. Langan, S., Bhardwaj, R., Radhamani, J., Yadav, R., Gautam, R.K., Kalia, S., et al. (2022). A quick analysis method for protein quantification in oilseed crops: a comparison with standard protocol. *Frontiers in Nutrition*, 9, Article 892695. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.892695>
55. AOAC976.05–1977. (1996). Protein (Crude) in animal feed and pet food. Retrieved from [http://aoacofficialmethod.org/index.php?main\\_page=product\\_info&cPath=1&products\\_id=2265](http://aoacofficialmethod.org/index.php?main_page=product_info&cPath=1&products_id=2265) Accessed March 05, 2024
56. Sáez-Plaza, P., Navas, M. J., Wybraniec, S., Michałowski, T., Asuero, A. G. (2013). An overview of the Kjeldahl method of nitrogen determination. Part II. Sample preparation, working scale, instrumental finish and quality control. *Critical Review in Analytical Chemistry*, 43, 224–272. <https://doi.org/10.1080/10408547.2012.751787>
57. Miller, E. L., Bimbo, A. P., Barlow, S. M., Sheridan, B., Burks, L. B. W., Barrins, T. et al. (2007). Repeatability and reproducibility of determination of the nitrogen content of fishmeal by the combustion (Dumas) method and comparison with the Kjeldahl method: Interlaboratory study. *Journal of AOAC International*, 90(1), 6–20. <https://doi.org/10.1093/jaoac/90.1.6>
58. Mariotti, F., Tomé, D., Mirand, P. P. (2008). Converting nitrogen into protein—beyond 6.25 and Jones' factors. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(2), 177–184. <https://doi.org/10.1080/10408590701279749>
59. Determination of Crude Protein in Grain and Grain Products for Food and Feed by the Dumas Combustion Principle. Retrieved from <https://icc.or.at/store/167-determination-of-crude-protein-in-grain-and-grain-products-for-food-and-feed-by-the-dumas-combustion-principle-pdf> Accessed March 05, 2024
60. Shea, F., Watts, C. E. (1939). Dumas method for organic nitrogen. *Industrial and Engineering Chemistry Analytical Edition*, 11(6), 333–334. <https://doi.org/10.1021/ac50134a013>
61. Hayes, M. (2020). Measuring protein content in food: An overview of methods. *Foods*, 9(10), Article 1340. <https://doi.org/10.3390/foods9101340>
62. Moore, J.C., DeVries, J.W., Lipp, M., Griffiths, J.C., Abernethy, D.R. (2010). Total protein methods and their potential utility to reduce the risk of food protein adulteration. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(4), 350–357. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00114.x>
63. Zheng, K., Wu, L., He, Z., Yang, B., Yang, Y. (2017). Measurement of the total protein in serum by biuret method with uncertainty evaluation. *Measurement*, 112, 16–21. <http://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.08.013>
64. Kruger, N.J. (2009). The Bradford Method for Protein Quantitation. Chapter in a book: The Protein Protocols Handbook. Springer Protocols Handbooks. Humana Press, Totowa, NJ. [https://doi.org/10.1007/978-1-59745-198-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-59745-198-7_4)
65. Nakayama, Y., Yamaguchi, H., Einaga, N., Esumi, M. (2016). Pitfalls of DNA quantification using DNA-binding fluorescent dyes and suggested solutions. *PLoS ONE*, 11(3), Article e0150528. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150528>
66. Лакиза, Н. В., Неудачина, Л. К. (2015). Анализ пищевых продуктов. Екатеринбург: Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, 2015. [Lakiza, N. V., Neudachina, L. K. (2015). Analysis of food products. Yekaterinburg: Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, 2015. (In Russian)]
67. Arroyo-Maya, I. J., McClements, D. J. (2016). Application of ITC in foods: A powerful tool for understanding the gastrointestinal fate of lipophilic compounds. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — General Subjects*, 1860(5), 1026–1035. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2015.10.001>
68. Khalef, N., Campanella, O., Bakri, A. (2016). Isothermal calorimetry: Methods and applications in food and pharmaceutical fields. *Current Opinion in Food Science*, 9, 70–76. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.09.004>
69. Velázquez-Campoy, A., Ohtaka, H., Nezami, A., Muzammil, S., Freire, E. (2004). Isothermal Titration Calorimetry. *Current Protocols in Cell Biology*, 23(1), Chapter 17. Unit 17.8. <https://doi.org/10.1002/0471145030.cb1708s23>
70. Зайцева, Н. В., Хотимченко, С. А., Шур, П. З., Суворов, Д. В., Зеленкин, С. Е., Бессонов, В. В. (2023). Методические подходы к интегральной оценке и категорированию потенциально опасных химических веществ, непреднамеренно присутствующих в пищевых продуктах. *Вопросы питания*, 92(1), 26–35. [Zaitseva, N. V., Khotimchenko, S. A., Shur, P. Z., Suvorov, D. V., Zelenkin, S. E., Bessonov, V. V. (2023). The modification of methodological approaches for potential hazard identification of inadvertent chemicals in food. *Voprosy Pitaniia*, 92(1), 26–35. (In Russian)] <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-1-26-35>
71. Мишина К. А. (2023) Метрологическое обеспечение в области изотермической калориметрии титрования: перспективы разработки стандартных образцов. *Эталоны. Стандартные образцы*, 19(3), 31–43. [Mishina K. A. (2023). Metrological support in the field of isothermal titration calorimetry: Prospects for the development of reference materials. *Measurement Standards. Reference Materials*, 19(3), 31–43. (In Russian)] <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2023-19-3-31-43>
72. Hewavitharana, G. G., Perera, D. N., Navaratne, S. B., Wickramasinghe, I. (2020). Extraction methods of fat from food samples and preparation of fatty acid methyl esters for gas chromatography: a review. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(8), 6865–6875. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.06.039>
73. Señoráns, F. J., Luna, P. (2012). Sample preparation techniques for the determination of fats in food. *Comprehensive Sampling and Sample Preparation*, 4, 203–211. <https://doi.org/doi/10.1016/B978-0-12-381373-2.00134-4>
74. Zhou, X., Zhang, Z., Liu, X., Wu, D., Ding, Y., Li, G. et al. (2020). Typical reactive carbonyl compounds in food products: Formation, influence on food quality, and detection methods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(2), 503–529. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12535>
75. Wagner, K.-H., Plasser, E., Proell, C., Kanzler, S. (2008). Comprehensive studies on the trans fatty acid content of Austrian foods: Convenience products, fast food and fats. *Food Chemistry*, 108(3), 1054–1060. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.038>
76. Shin, J.-M., Hwang, Y.-O., Tu, O.-J., Jo, H.-B., Kim, J.-H., Chae, Y.-Z. et al. (2013). Comparison of different methods to quantify fat classes in bakery products. *Food Chemistry*, 136(2), 703–709. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.08.033>
77. Servaes, K., Maesen, M., Prandi, B., Sforza, S., Elst, K. (2015). Polar lipid profile of nanochloropsis oculata determined using a variety of lipid extraction procedures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(15), 3931–3941. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00241>
78. Fakirov, S. (2006). Modified Soxhlet apparatus for high-temperature extraction. *Journal of Applied Polymer Science*, 102(2), 2013–2014. <https://doi.org/10.1002/app.23597>
79. López-Bascón, M. A., Luque de Castro, M. D. (2020). Soxhlet extraction. Chapter in a book: Liquid-Phase Extraction. Elsevier, 2020. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816911-7.00011-6>
80. Cheng, H., Erichsen, H., Soerensen, J., Petersen, M. A., Skibsted, L. H. (2019). Optimizing water activity for storage of high lipid and high protein infant formula milk powder using multivariate analysis. *International Dairy Journal*, 93, 92–98. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.02.008>
81. Liu, Z., Ezeriacks, V., Rochfort, S., Cocks, B. (2018). Comparison of methylation methods for fatty acid analysis of milk fat. *Food Chemistry*, 261, 210–215. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.053>
82. Shinn, S. E., Proctor, A. (2013). Rapid lipid extraction from egg yolks. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 90(2), 315–316. <https://doi.org/10.1007/s11746-012-2155-2>
83. Kato, S., Iseki, T., Hanzawa, Y., Otoki, Y., Ito, J., Kimura, F. et al. (2017). Evaluation of the mechanisms of mayonnaise phospholipid oxidation. *Journal of Oleo Science*, 66(4), 369–374. <https://doi.org/10.5650/jos.ess16187>
84. Bligh, E. G., Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37(8), 911–917. <https://doi.org/10.1139/o59-099>
85. Iverson, S. J., Lang, S. L. C., Cooper, M. H. (2001). Comparison of the Bligh and Dyer and Folch methods for total lipid determination in a broad range of marine tissue. *Lipids*, 36(11), 1283–1287. <https://doi.org/10.1007/s11745-001-0845-0>

86. Breil, C., Abert Vian, M., Zemb, T., Kunz, W., Chemat, F. (2017). “Bligh and Dyer” and Folch methods for solid–liquid–liquid extraction of lipids from microorganisms. Comprehension of solvation mechanisms and towards substitution with alternative solvents. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(4), Article 708. <https://doi.org/10.3390/ijms18040708>
87. Destandau, E., Michel, T., Elfakir, C. (2015). Microwave-assisted extraction. Chapter in a book: *Green Chemistry Series*. RSC Publishing, 2013. <https://doi.org/10.1039/9781849737579-00113>
88. Costa, D. dos S. V., Bragagnolo, N. (2016). Development and validation of a novel microwave assisted extraction method for fish lipids. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119(3), Article 1600108. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201600108>
89. Akanda, M. J. H., Sarker, M. Z. I., Ferdosh, S., Manap, M. Y. A., Ab Rahman, N. N. N., Ab Kadir, M. O. (2012). Applications of supercritical fluid extraction (SFE) of palm oil and oil from natural sources. *Molecules*, 17(2), 1764–1794. <https://doi.org/10.3390/molecules17021764>
90. Sahena, F., Zaidul, I. S. M., Jinap, S., Karim, A. A., Abbas, K. A., Norulaini, N. A. N. et al. (2009). Application of supercritical CO<sub>2</sub> in lipid extraction – a review. *Journal of Food Engineering*, 95(2), 240–253. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.06.026>
91. Brunner, G. (2005). Supercritical fluids: Technology and application to food processing. *Journal of Food Engineering*, 67(1–2), 21–33. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.060>
92. Berg, H., Turner, C., Dahlberg, L., Mathiasson, L. (2000). Determination of food constituents based on SFE: Applications to vitamins A and E in meat and milk. *Journal of Biochemical and Biophysical Methods*, 43(1–3), 391–401. [https://doi.org/10.1016/S0165-022X\(00\)0065-4](https://doi.org/10.1016/S0165-022X(00)0065-4)
93. Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A.-G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A.-S., Abert-Vian, M. (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 540–560. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasonch.2016.06.035>
94. Liu, L., Na, L., Niu, Y., Guo, F., Li, Y., Sun, C. (2013). An ultrasonic assisted extraction procedure to free fatty acids from the liver samples of mice. *Journal of Chromatographic Science*, 51(4), 376–382. <https://doi.org/10.1093/chromsci/bms151>
95. Pérez, R. A., Albero, B. (2023). Ultrasound-assisted extraction methods for the determination of organic contaminants in solid and liquid samples. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 166, Article 117204. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117204>
96. Power, A. C., Chapman, J., Chandra, S., Cozzolino, D. (2019). Ultraviolet-visible spectroscopy for food quality analysis. Chapter in a book: *Evaluation Technologies for Food Quality*. Woodhead Publishing, 2019. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814217-2.00006-8>
97. Cavdaroglu, C., Ozen, B. (2023). Applications of UV-Visible, fluorescence and mid-infrared spectroscopic methods combined with chemometrics for the authentication of apple vinegar. *Foods*, 12(6), Article 1139. <https://doi.org/10.3390/foods12061139>
98. Stoscheck, C. M. (1990). Quantitation of Protein. Chapter in a book: *Methods in Enzymology*. Academic Press, 1990. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(90\)82008-3](https://doi.org/10.1016/0076-6879(90)82008-3)
99. Nawrocka, A., Lamorski, J. (2013). Determination of food quality by using spectroscopic methods. Chapter in a book: *Advances in Agrophysical Research*. InTech, 2013. <https://doi.org/10.5772/52722>
100. Feng, L., Wu, B., Zhu, S., He, Y., Zhang, C. (2021). Application of visible/infrared spectroscopy and hyperspectral imaging with machine learning techniques for identifying food varieties and geographical origins. *Frontiers in Nutrition*, 8, Article 680357. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.680357>
101. Mendes, E., Duarte, N. (2021). Mid-infrared spectroscopy as a valuable tool to tackle food analysis: A literature review on coffee, dairies, honey, olive oil and wine. *Foods*, 10(2), Article 477. <https://doi.org/10.3390/foods10020477>
102. Mohd Fairulnizal, M. N., Vimala, B., Rathi, D. N., Mohd Naeem, M. N. (2019). Atomic absorption spectroscopy for food quality evaluation. Chapter in a book: *Technology and Nutrition, Evaluation Technologies for Food Quality*. Woodhead Publishing, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814217-2.00009-3>
103. El Youssefi, M., Sifou, A., Ben Aakame, R., Mahnine, N., Arsalane, S., Halim, M. et al. (2023). Trace elements in foodstuffs from the Mediterranean basin – occurrence, risk assessment, regulations, and prevention strategies: A review. *Biological Trace Element Research*, 201(5), 2597–2626. <https://doi.org/10.1007/s12011-022-03354-z>
104. Filatova, D. G., Es'kina, V. V., Baranovskaya, V. B., Karpov, Y. A. (2020). Present-day possibilities of high-resolution continuous-source electrothermal atomic absorption spectrometry. *Journal of Analytical Chemistry*. 75(5), 563–568. <https://doi.org/10.1134/S1061934820050044>
105. Пупышев, А. А., Суриков, В. Т. (2012). Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой. Образование ионов. LAP Lambert Academic Publishing, 2012. [Pupyshev, A. A., Surikov, V. T. (2012). Inductively coupled plasma mass spectrometry. The formation of ions. LAP Lambert Academic Publishing, 2012. (In Russian)]
106. Tetiana, M., Derkach, Olga P. Baula. (2017). Pharmacopoeia methods for elemental analysis of medicines: A comparative study. *Bulletin of Dnipropetrovsk University. Series Chemistry*, 25(2), 73–85. <https://doi.org/10.15421/081711>
107. Santos, A. D. C., Fonseca, F. A., Lião, L. M., Alcantara, G. B., Barison, A. (2015). High-resolution magic angle spinning nuclear magnetic resonance in food-stuff analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 75, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.05.003>
108. Kirtil, E., Cikrikci, S., McCarthy, M. J., Oztop, M. H. (2017). Recent advances in time domain NMR and MRI sensors and their food applications. *Current Opinion in Food Science*, 17, 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.07.005>
109. Sobolev, A. P., Ingallina, C., Spano, M., Di Matteo, G., Mannina, L. (2022). NMR-based approaches in the study of foods. *Molecules*, 27(22), Article 7906. <https://doi.org/10.3390/molecules27227906>
110. Moughan, P. J. (2023). Use of isotope-labeled body or dietary proteins to determine dietary amino acid digestibility. *The Journal of Nutrition*, 153(7), 1858–1865. <https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2023.05.018>
111. Capitani, D., Mannina, L., Proietti, N., Sobolev, A. P., Tomassini, A., Miccheli, A. et al. (2010). Monitoring of metabolic profiling and water status of Hayward kiwifruits by nuclear magnetic resonance. *Talanta*, 82(5), 1826–1838. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2010.07.080>
112. Capitani, D., Mannina, L., Proietti, N., Sobolev, A. P., Tomassini, A., Miccheli, A. et al. (2013). Metabolic profiling and outer pericarp water state in zespri, Cl. GI, and hayward kiwifruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 61(8), 1727–1740. <https://doi.org/10.1021/jf3028864>
113. Maestrello, V., Solovyev, P., Bontempo, L., Mannina, L., Camin, F. (2022). Nuclear magnetic resonance spectroscopy in extra virgin olive oil authentication. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(5), 4056–4075. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13005>
114. Candrian, U. (1995). Polymerase chain reaction in food microbiology. *Journal of Microbiological Methods*, 23(1), 89–103. [https://doi.org/10.1016/0167-7012\(95\)00019-H](https://doi.org/10.1016/0167-7012(95)00019-H)
115. Klančnik, A., Kovač, M., Toplak, N., Piskernik, S., Jeršek, B. (2012). PCR in food analysis. Chapter in a book: *Polymerase chain reaction*. InTech, 2012. <https://doi.org/10.5772/38551>
116. Salihah, N. T., Hossain, M. M., Lubis, H., Ahmed, M. U. (2016). Trends and advances in food analysis by real-time polymerase chain reaction. *Journal of Food Science and Technology*, 53(5), 2196–2209. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2205-0>
117. Asensio, L., González, I., García, T., Martín, R. (2008). Determination of food authenticity by enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). *Food Control*, 19(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.02.010>
118. Koestel, C., Simonin, C., Belcher, S., Rösti, J. (2016). Implementation of an enzyme linked immunosorbent assay for the quantification of allergenic egg residues in red wines using commercially available antibodies. *Journal of Food Science*, 81(8), T2099–T2106. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13378>
119. Salimon, J., Omar, T. A., Salih, N. (2014). Comparison of two derivatization methods for the analysis of fatty acids and trans fatty acids in bakery products using gas chromatography. *The Scientific World Journal*, 1, Article 906407. <https://doi.org/10.1155/2014/906407>
120. Shantha, N. C., Napolitano, G. E. (1992). Gas chromatography of fatty acid. *Journal of Chromatography A*, 624(1–2), 37–51. [https://doi.org/10.1016/0021-9673\(92\)85673-H](https://doi.org/10.1016/0021-9673(92)85673-H)
121. Salimon, J., Omar, T. A., Salih, N. (2017). An accurate and reliable method for identification and quantification of fatty acids and trans fatty acids in food fats samples using gas chromatography. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S1875–S1882. <https://doi.org/10.1016/j.arabjoc.2015.07.016>
122. Mondal, D. D., Chakraborty, U., Bera, M., Ghosh, S., Kar, D. (2023). An overview of nutritional profiling in foods: Bioanalytical techniques and useful protocols. *Frontiers in Nutrition*, 10, Article 1124409. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1124409>
123. Lehotay, S., Hajšlová, J. (2002). Application of gas chromatography in food analysis. *Trends in Analytical Chemistry*, 21(9–10), 686–697. [https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(02\)00805-1](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(02)00805-1)
124. Bradbury, A. G. W. (1990). Gas chromatography of carbohydrates in food. Chapter in a book: *Principles and Applications of Gas Chromatography in Food Analysis*. Springer, Boston, MA, 1990. [https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0681-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0681-8_4)
125. Rutherford, S. M. (2009). Accurate determination of the amino acid content of selected feedstuffs. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60 (suppl 7), 53–62. <https://doi.org/10.1080/0963748080269957>
126. Nie, Q., Nie, S. (2019). High-performance liquid chromatography for food quality evaluation. Chapter in a book: *Evaluation Technologies for Food Quality*. Woodhead Publishing, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814217-2.00013-5>
127. Sirhan, A. Y., Tan, G. H., Wong, R. C. S. (2011). Method validation in the determination of aflatoxins in noodle samples using the QuEChERS method (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe) and high performance liquid chromatography coupled to a fluorescence detector (HPLC–FLD). *Food Control*, 22(12), 1807–1815. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.04.007>
128. Ibáñez, A. B., Bauer, S. (2014). Analytical method for the determination of organic acids in dilute acid pretreated biomass hydrolysate by liquid chromatography–time-of-flight mass spectrometry. *Biotechnology for Biofuels*, 7(1), Article 145. <https://doi.org/10.1186/s13068-014-0145-3>
129. Zeppa, G., Conterno, L., Gerbi, V. (2001). Determination of organic acids, sugars, diacetyl, and acetoin in cheese by high-performance liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(6), 2722–2726. <https://doi.org/10.1021/jf0009403>
130. Захарова, А. М., Карцова, Л. А., Гринштейн, И. Л. (2013). Определение органических кислот, углеводов и подсластителей в пищевых продуктах и биологически активных добавках методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. *Аналитика и контроль*, 17(2), 204–210. [Zaharova, A. M., Kartsova, L. A., Greenstein, I. L. (2013). Determination of organic acids, carbohydrates and sweeteners in food products and biologically active additives by HPLC. *Analytics and Control*, 17(2), 204–210. (In Russian)]
131. Picazo, M., Rochera, C., Vicente, E., Miracle, M. R., Camacho, A. (2013). Spectrophotometric methods for the determination of photosynthetic pigments in stratified lakes: A critical analysis based on comparisons with HPLC determinations in a model lake. *Limnetica*, 32, 139–158. <https://doi.org/10.23818/limn.32.13>
132. Yuan, X., Kim, C. J., Lee, R., Kim, M., Shin, H. J., Kim, L. et al. (2022). Validation of a multi-residue analysis method for 287 pesticides in citrus fruits mandarin orange and grapefruit using liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Foods*, 11(21), Article 3522. <https://doi.org/10.3390/foods11213522>
133. Park, J., Kim, H., Hong, S., Suh, H.-J., Lee, C. (2019). High-performance liquid chromatography and gas chromatography to set the analysis method of stearoyl lactylate, a food emulsifier. *Food Science and Biotechnology*, 28(6), 1669–1677. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00629-1>
134. So, J. S., Lee, S. B., Lee, J. H., Nam, H. S., Lee, J. K. (2023). Simultaneous determination of dehydroacetic acid, benzoic acid, sorbic acid, methylparaben and ethyl-

- paraben in foods by high-performance liquid chromatography. *Food Science and Biotechnology*, 32(9), 1173–1183. <https://doi.org/10.1007/s10068-023-01264-7>
135. Pylypiw, H. M., Grether, M. T. (2000). Rapid high-performance liquid chromatography method for the analysis of sodium benzoate and potassium sorbate in foods. *Journal of Chromatography A*, 883(1–2), 299–304. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)00404-0](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)00404-0)
136. Dong, Y. (1999). Capillary electrophoresis in food analysis. *Trends in Food Science and Technology*, 10(3), 87–93. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(99\)00031-X](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(99)00031-X)
137. Piñero, M., Bauza, R., Arce, L. (2011). Thirty years of capillary electrophoresis in food analysis laboratories: Potential applications. *Electrophoresis*, 32(11), 1379–1393. <https://doi.org/10.1002/elps.201000541>
138. Gao, Z., Zhong W. (2022). Recent (2018–2020) development in capillary electrophoresis. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 414(1), 115–130. <https://doi.org/10.1007/s00216-021-03290-y>
139. Rio, D. C., Ares, M., Hannon, G. J., Nilsen, T. W. (2010). Nondenaturing agarose gel electrophoresis of RNA. *Cold Spring Harbor Protocols*, 2010(6), Article pdb.prot5445. <https://doi.org/10.1101/pdb.prot5445>
140. Laemmli, U. K. (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 227(5259), 680–685. <https://doi.org/10.1038/227680a0>
141. Francisco da Silva Neto, G., Luíza de Andrade Rodrigues, M., Fonseca, A. (2021). A new quantitative gel electrophoresis method with image-based detection for the determination of food dyes and metallic ions. *Talanta*, 221, Article 121602. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121602>
142. Dario, G. (2012). Electrophoresis as a useful tool in studying the quality of meat products. Chapter in a book: *Electrophoresis*. InTech, 2012. <https://doi.org/10.5772/45761>
143. Kalogianni, D. P. (2021). Lateral flow assays for food authentication. Chapter in a book: *Biosensors in Agriculture: Recent Trends and Future Perspectives*. Springer, Cham, 2021. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-66165-6\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-66165-6_16)
144. Courtney, R. C., Taylor, S. L., Baumert, J. L. (2016). Evaluation of commercial milk-specific lateral flow devices. *Journal of Food Protection*, 79(10), 1767–1774. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-16-127>
145. Greenfield, H., Southgate, D. A. (2003). *Food Composition Data: Production, management, and use*. Elsevier Science Publishers, FAO, Rome, 2003. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3544-7>
146. Md Noh, M. F., Gunasegavan, R. D.-N., Mustafa Khalid, N., Balasubramaniam, V., Mustar, S., Abd Rashed, A. (2020). Recent techniques in nutrient analysis for food composition database. *Molecules*, 25(19), Article 4567. <https://doi.org/10.3390/molecules25194567>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<p><b>Рождественская Лада Николаевна</b> — кандидат экономических наук, заведующая кафедрой технологии и организации пищевых производств, Новосибирский государственный технический университет 630073, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20</p> <p>ведущий научный сотрудник, отдел гигиенических исследований с лабораторией физических факторов, Новосибирский научно-исследовательский институт гигиены Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. 630108, Новосибирск, ул. Пархоменко, 7</p> <p>Тел.: +7-913-907-36-62</p> <p>E-mail: lada2006job@mail.ru</p> <p>ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-7250-0288">https://orcid.org/0000-0002-7250-0288</a></p>	<p><b>Lada N. Rozhdestvenskaya</b>, Candidate of Economic Sciences, Head of the Department of Technology and Organization of Food Production, Novosibirsk State Technical University 20, Karl Marx Ave., Novosibirsk, 630073, Russia</p> <p>Leading Researcher, Department of Hygienic Research with a Laboratory of Physical Factors, Novosibirsk Research Institute of Hygiene of Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Well-Being 7, Parkhomenko str., Novosibirsk, 630108, Russia</p> <p>Tel.: +7-913-907-36-62</p> <p>E-mail: lada2006job@mail.ru</p> <p>ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-7250-0288">https://orcid.org/0000-0002-7250-0288</a></p>
<p><b>Романенко Сергей Павлович</b> — кандидат медицинских наук, заместитель директора по научной работе, Новосибирский научно-исследовательский институт гигиены Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 630108, Новосибирск, ул. Пархоменко, 7</p> <p>Тел.: +7-961-215-38-18</p> <p>E-mail: romanenko_sp@niig.su</p> <p>ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-1375-0647">https://orcid.org/0000-0003-1375-0647</a></p>	<p><b>Sergey P. Romanenko</b>, Candidate of Medical Sciences, Deputy Director for Science, Novosibirsk Research Institute of Hygiene of Rospotrebnadzor Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Well-Being 7, Parkhomenko str., Novosibirsk, 630108, Russia</p> <p>Tel.: +7-961-215-38-18</p> <p>E-mail: romanenko_sp@niig.su</p> <p>ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-1375-0647">https://orcid.org/0000-0003-1375-0647</a></p>
<p><b>Ломовский Игорь Олегович</b> — кандидат химических наук, старший научный сотрудник, лаборатория механохимии, Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения Российской академии наук. 630090, Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18</p> <p>Тел.: +7-923-249-61-31</p> <p>E-mail: lomovsky@solid.nsc.ru</p> <p>ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-8269-033X">https://orcid.org/0000-0001-8269-033X</a></p>	<p><b>Igor O. Lomovkiy</b>, Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher, laboratory of mechanochemistry, Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences 18, Kutateladze str., Novosibirsk, 630090, Russia</p> <p>Tel.: +7-923-249-61-31</p> <p>E-mail: lomovsky@solid.nsc.ru</p> <p>ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-8269-033X">https://orcid.org/0000-0001-8269-033X</a></p>
<p><b>Лачугин Алексей Павлович</b> — младший научный сотрудник, отдел гигиенических исследований с лабораторией физических факторов, Новосибирский научно-исследовательский институт гигиены Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 630108, Новосибирск, ул. Пархоменко, 7</p> <p>Тел.: +7-913-908-32-32</p> <p>E-mail: lachugin_ap@niig.su</p> <p>ORCID: <a href="https://orcid.org/0009-0002-4120-6980">https://orcid.org/0009-0002-4120-6980</a></p>	<p><b>Alexey P. Lachugin</b>, Junior Research Assistant, Department of Hygienic Research with a Laboratory of Physical Factors, Novosibirsk Research Institute of Hygiene of Rospotrebnadzor Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Well-Being 7, Parkhomenko str., Novosibirsk, 630108, Russia</p> <p>Tel.: +7-913-908-32-32</p> <p>E-mail: lachugin_ap@niig.su</p> <p>ORCID: <a href="https://orcid.org/0009-0002-4120-6980">https://orcid.org/0009-0002-4120-6980</a></p>
Критерии авторства	Contribution
<p>Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.</p>	<p>The author has the sole responsibility for writing the manuscript and is responsible for plagiarism.</p>
Конфликт интересов	Conflict of interest
<p>Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.</p>	<p>The authors declare no conflict of interest.</p>