

Биотехнологии

УДК 658.562.6

Курдина А.П., Озорнин Д.Ю., Тихонова Н.В.

Уральский государственный аграрный университет

Тихонов С.Л.

Уральский государственный аграрный университет,
Уральский государственный лесотехнический университет

(г. Екатеринбург, Российская Федерация)

**Контроль качества и безопасности пищевой продукции на этапах
переработки**

Аннотация. Качество и безопасность пищевых продуктов представляет собой центральную проблему для глобальной пищевой цепочки и повседневную заботу всех людей. Пищевые продукты, загрязненные физическими, биологическими или химическими веществами, могут нанести вред потребителям. Качество и безопасность получаемого пищевого продукта зависят от многих факторов, в том числе от согласованности действий на всех этапах производственного процесса. Высокий уровень контроля позволяет его обеспечить. В настоящее время доступны современные аналитические методы которые позволяют выявлять основные сбои в производстве продуктов питания, могут принести пользу пищевым компаниям, экономя время и затраты на качественный и быстрый контроль продуктов по всей пищевой цепочке. В статье рассмотрены ключевые методы оценки качества и безопасности продуктов питания, применяемые в

современном производстве. Особое внимание уделяется как традиционным подходам, таким как органолептический, физико-химический и микробиологический контроль, так и инновационным технологиям, позволяющим повысить точность и эффективность контроля. Современные технологии, обсуждаемые в статье, включают спектрометрию подвижности ионов и иммунохимические методы, которые позволяют детектировать специфические соединения с высокой чувствительностью. Иммуноферментный анализ и биосенсоры обеспечивают быструю и точную диагностику, что критично для оперативного контроля на производстве. Проточная цитометрия, этапы полимеразной цепной реакции, гель-электрофорез в импульсном поле, магнитная сепарация и ближняя инфракрасная спектроскопия представляют собой передовые методы, открывающие новые возможности в области контроля качества, что в конечном итоге способствует улучшению безопасности и надежности пищевых продуктов для потребителей.

Ключевые слова: контроль качества, пищевая продукция, методы контроля качества, анализ, спектрометрия, иммунохимические методы, микотоксины, биосенсоры, проточная цитометрия, полимеразная цепная реакция

Quality and safety control of food products at the stages of processing

Annotation. Food quality and safety is a central issue for the global food chain and a daily concern for all people. Food products contaminated with physical, biological or chemical substances may harm consumers. The quality and safety of the food product depends on many factors, including the consistency of actions at all stages of the production process. A high level of control allows you to ensure it. Modern analytical methods are currently available that can identify major failures in food production and can benefit food companies by saving time and costs for high-quality and rapid product control throughout the food chain. The article discusses the key methods of assessing the quality and safety of food used in modern

production. Special attention is paid to both traditional approaches such as organoleptic, physico-chemical and microbiological control, as well as innovative technologies that improve the accuracy and efficiency of control. Modern technologies discussed in the article include ion mobility spectrometry and immunochemical methods that allow the detection of specific compounds with high sensitivity. Enzyme immunoassay and biosensors provide fast and accurate diagnostics, which is critical for operational control in production. Flow cytometry, polymerase chain reaction steps, gel electrophoresis in a pulsed field, magnetic separation and near-infrared spectroscopy are advanced methods that open up new opportunities in the field of quality control, which ultimately contributes to improving the safety and reliability of food products for consumers.

Keywords: *quality control, food products, quality control methods, analysis, spectrometry, immunochemical methods, mycotoxins, biosensors, flow cytometry, polymerase chain reaction*

Введение

В настоящее время качество и безопасность пищевых продуктов имеет важнейшее общественное значение для производителей, регулирующих органов и потребителей. В связи с этим требуются быстрые, чувствительные, надежные, экономически эффективные и простые в использовании аналитические методы для оценки как безопасности, так и качества продуктов [1].

Обнаружение патогенных микроорганизмов в пищевых матрицах с высокой воспроизводимостью и чувствительностью имеет первостепенное значение для обеспечения качества пищевых продуктов.

Существуют различные методы, используемые для обнаружения и идентификации патогенных микроорганизмов пищевого происхождения [2].

Сегодня внедрение надлежащей производственной практики (GMP) и надлежащей гигиенической практики (GHP) во многих странах значительно снизило риск порчи и появления патогенных микроорганизмов в современных пищевых продуктах. В дополнение к соблюдению национальных и

международных правил в области пищевых продуктов, производители продуктов питания обязаны соблюдать международные стандарты качества, такие как ISO, а также анализ рисков и критические контрольные точки (НАССР) [3].

Целью настоящего обзора является обобщение-систематизация информации о традиционных, а также более новых, усовершенствованных методах контроля качества пищевой продукции на этапах переработки.

Материалы и методы исследования

В качестве материала исследования были использованы публикации в научных журналах, в той или иной мере затрагивающие тему исследования. Поиск в базе данных был ограничен последними 7 годами (2017–2024), но при написании обзора была использована книга, изданная в 2010 году. Для достижения цели исследования были использованы общепринятые теоретические методы.

Результаты и обсуждение

Качество пищевых продуктов определяется органолептическими характеристиками, физическими свойствами, химическим составом и уровнем загрязняющих веществ (микробиологических и токсичных веществ).

Для получения данных характеристик используют органолептические, физико-химические и микробиологические методы [4].

Органолептический (сенсорный) метод используется для выявления, измерения, анализа и интерпретации реакций на продукты, воспринимаемых с помощью органов зрения, обоняния, осязания, вкуса и слуха.

Основным требованием к любой сенсорной системе контроля качества является определение стандартов или пределов допуска на сенсорной основе для продукта. Сенсорная оценка дает рекомендации по приготовлению и подаче образцов в контролируемых условиях, чтобы свести к минимуму искажающие факторы [5].

Физико-химический метод охватывает изучение физических свойств и химических взаимодействий веществ, обеспечивая научную основу для

анализа взаимодействий на молекулярном и атомном уровнях, влияющих на текстуру, вкус, стабильность и качество пищевых продуктов.

Термодинамика, кинетика реакций и фазовые равновесия позволяют получить ценную информацию о механизмах, которые управляют ключевыми преобразованиями в пищевых системах, включая кристаллизацию, ферментацию и реакцию Майяра. Контролируя температуру, pH, концентрацию растворенных веществ и наличие катализаторов или ингибиторов, можно улучшить характеристики продукта, обеспечить желаемые вкусовые ощущения, увеличить срок хранения и повысить питательные свойства [6].

Микробиологический анализ пищевых продуктов обеспечивает специфическое воздействие на патогены при сохранении полезных микроорганизмов. Его основными задачами являются оценка наличия или отсутствия различных видов микробов, рекомендованных для анализа, и определение их природы с точки зрения патогенности и токсичности [7].

Бактериофаги, пробиотики, микроорганизмы-антагонисты и ферментативные агенты демонстрируют различные механизмы подавления роста патогенов [8].

За последние несколько лет традиционные количественные тесты на основе культивирования, используемые для выявления микроорганизмов, устарели для применения в режиме реального времени, поскольку они требуют много времени и трудоемкости, в то время как иммунологические анализы известны своей скоростью, высокой пропускной способностью и возможностью точного количественного определения целевого организма [9].

К числу новых и эффективных методов контроля качества пищевых продуктов относятся:

Спектрометрия подвижности ионов

Использование IMS в качестве дополнительного элемента разделения повышает максимальную производительность и уменьшает матричный эффект при отборе сложных образцов пищевых продуктов. Прямая система

IMS в основном использует дактилоскопию для идентификации пищевых продуктов, что позволяет улучшить характеристики некоторых пищевых продуктов, таких как пищевые масла и мед, обеспечивая получение полного отпечатка пальца и позволяя идентифицировать биомаркеры [10].

IMS - это метод электрофоретического разделения, при котором ионизированные соединения разделяются в нейтральной газовой фазе при атмосферном или близком к атмосферному давлении [11].

Разделение зависит от скорости движения ионов в электрическом поле в присутствии так называемого дрейфующего газа (также называемого буферным газом), и эта скорость зависит от размера и формы иона и, если применимо, от различных конформаций ионов. Как правило, более тяжелые ионы крупнее и будут чаще сталкиваться с дрейфующим газом и, следовательно, медленнее двигаться в направлении электрического поля. Но также могут быть различия в скорости между ионами одинаковой массы, поскольку их конформации могут отличаться по компактности, так что изомеры, даже стереоизомеры и изотопологи, могут быть разделены с помощью прибора IMS с достаточно высоким разрешением [10].

Таким образом, ионная подвижность может быть ценным дополнением к текущему анализу качества пищевых продуктов с точки зрения разделения изомерных и изобарных соединений [11].

Иммунохимические методы

Благодаря ряду характеристик, включая простоту, скорость, чувствительность и портативность, методы, основанные на использовании антител в качестве биомолекулярных рецепторов, представляют собой хорошо зарекомендовавший себя набор технологий, которые находят применение в различных областях, включая обнаружение и количественную оценку различных типов загрязняющих веществ в пищевых продуктах. Антитела могут быть использованы для обнаружения белков и патогенных микроорганизмов, а также для анализа низкомолекулярных веществ, таких как антибиотики, гормоны, микотоксины и пестициды.

Иммунохимические методы включают в себя набор аналитических методов, при которых подлежащее обнаружению вещество (аналит) идентифицируется и определяется количественно посредством его молекулярного распознавания антителом, способным связываться с ним с высокой аффинностью и специфичностью.

О большой универсальности иммуноаналитических методов обнаружения ксенобиотиков и биотоксинов свидетельствует разнообразие форматов анализа, которые могут быть использованы для удовлетворения различных аналитических потребностей, таких как иммуноаффинная хроматография для очистки и концентрирования анализируемого вещества в образце перед его определением инструментальными методами, в основном хроматографическими; иммуноферментные анализы с боковым потоком или иммунореактивные полоски, когда необходим простой полуколичественный анализ, который может быть выполнен в любых условиях; биосенсоры, когда автоматизация является приоритетом; микрочипы и системы, основанные на детекции с помощью проточной цитометрии, такие как Luminex, в случаях, когда необходимо определить несколько анализируемых веществ одновременно; и иммуноферментный анализ или ELISA (иммуноферментный анализ с использованием сорбентов), несомненно, наиболее распространенная система из-за ее способности анализировать большое количество образцов в количественном отношении и по доступной цене за короткое время [12].

Иммуноферментный анализ

Практически все сельскохозяйственные продукты растительного происхождения, как сырье, так и обработанные пищевые продукты, подвержены загрязнению микотоксинами. Грибковые токсины (микотоксины) не выводятся с помощью термической обработки и других технологий, используемых при переработке пищевых продуктов [13].

Методы иммуноферментного анализа (ИФА) используют высокочувствительную и специфическую форму иммунологических реакций.

Универсальность методов ИФА делает их пригодными для выявления специфических компонентов в пищевых продуктах, включая натуральные компоненты, пестициды, полезные микроорганизмы и токсины, вызывающие порчу. Это удобный и надежный инструмент анализа для обнаружения и количественной оценки компонентов, связанных с производством и переработкой пищевых продуктов, а также с качеством пищевых продуктов [14].

Иммуноферментный анализ (ИФА) - это метод идентификации и количественной оценки, основанный на взаимодействии антиген-антитело. Антитела, выработанные против анализируемого вещества, сначала наносятся на твердую поверхность, которая затем связывается с молекулами в твердой фазе. После успешного закрепления на твердой фазе на нее наносится анализируемое вещество. Затем аналитические антигены присоединяются к антителам, присутствующим на твердой поверхности, образуя комплекс антиген-антитело. Ферменты, связанные с иммуногенами, активируются после взаимодействия антиген-антитело и преобразуют применяемые субстраты, что указывает на присутствие анализируемого вещества, вызывая изменение цвета. ИФА обладает большим потенциалом стать универсальным инструментом в выявлении и количественном определении пищевых токсинов [15].

Наиболее часто используемые методы ИФА в пищевой промышленности включают прямой, непрямой, конкурентный и "Сэндвич" ИФА, в которых при необходимости используются как поликлональные, так и моноклональные антитела. ИФА обеспечивает подходящий дополнительный подход к анализу пищевых продуктов и сводит к минимуму использование сложных, дорогостоящих и трудоемких методов, сохраняя чувствительность и надежность этого метода.

Его применение может внести значительный вклад в обеспечение контроля качества и безопасности пищевых продуктов [14].

Биосенсоры

В пищевой промышленности биосенсоры используются в основном для определения различных загрязняющих веществ, а также для определения некоторых необходимых пищевых компонентов, таких как спирты, сахара, аминокислоты, молочная кислота, фенольные компоненты, яблочная кислота, уксусная кислота и витамин С.

Основной принцип, лежащий в основе этого метода, заключается в преобразовании биологически обусловленного процесса распознавания (такого как антитело, фермент) в конкретный измеряемый сигнал с помощью датчика, за которым следует процессор. Дисплей отображает концентрацию и присутствие целевого аналита.

Биорецептор - это биологическая молекула, обладающая способностью обнаруживать аналит-мишень. Биорецептором может быть микроорганизм, ткань, клетка, органелла, фермент, антитело, биомимик и нуклеиновая кислота. Датчики просто преобразуют событие распознавания в определенный обнаруживаемый сигнал.

Биосенсор, используемый для контроля качества пищевых продуктов, представляет собой устройство, которое реагирует на определенные характеристики пищевых продуктов и преобразует их в обнаруживаемый сигнал, в основном электрический сигнал, который дает информацию о факторах качества, подлежащих определению, или может иметь прямое отношение к факторам качества пищевых продуктов. Важные методы иммобилизации, в основном для ферментов, включают физическую адсорбцию, ковалентное связывание, захват матрицы (с использованием печатных красок, полимеров или гелей) или фотополимеризацию, а также электрохимическую полимеризацию. Метод физической адсорбции зависит от взаимодействия между датчиком и биоматериалом по Ван-дер-Ваальсу [15].

Электрохимические биосенсоры могут упростить процедуру и значительно сократить время, стоимость и расход реагентов на анализ по сравнению с традиционными и молекулярными методами.

В области анализа пищевых продуктов разработка биосенсоров изменила практику контроля качества и процедуры обнаружения загрязняющих веществ [16].

Проточная цитометрия

FCM позволяет проводить количественный подсчет микробных клеток, не зависящий от культуры. Кроме того, проточная цитометрия предоставляет информацию о физиологических и структурных характеристиках микробных клеток и их жизнеспособности и, следовательно, может использоваться в качестве дополнительного инструмента для определения характеристик. Быстрое и надежное обнаружение, количественная оценка и определение характеристик патогенных микроорганизмов пищевого происхождения представляют большой интерес для пищевой промышленности с целью сведения к минимуму заболеваний [17].

Проточная цитометрия может использоваться в изучении свойств заквасочных штаммов молочнокислых бактерий и их влияния на созревание сыра чеддер; мониторинга состояния микробиома при производстве сухих детских смесей; количественной оценки жизнеспособности соматических клеток, присутствующих в молоке, их устойчивости к физико-химическим воздействиям и их взаимосвязи, для здоровья молочных коров и качества молока. Данный метод также может быть использован для контроля качества и проверки пищевых продуктов на загрязнение (в том числе подвергшихся облучению), а также для выявления гиперчувствительных или аллергических реакций, опосредованных IgE [18].

Экспресс-методы, используемые для выявления патогенов пищевого происхождения, можно разделить на иммунологические, биосенсорные и основанные на нуклеиновых кислотах [17].

Проточный цитометр использует лазерный луч для обнаружения частиц, включая биологические клетки, в потоке жидкости. Типичный прибор состоит из трех основных компонентов: жидкостной системы, которая транспортирует ячейки с образцами мимо лазера к месту, называемому точкой опроса;

оптической системы, состоящей из лазеров, линз и фильтров; и электронной системы, которая генерирует импульс напряжения, который преобразуется в цифровую форму для анализа. Образец помечается красителями (флуорофорами или флуорохромами), которые при возбуждении лазером испускают фотоны, а затем вводятся в прибор путем инъекции, накачки или вытягивания его в поток жидкости или физиологического раствора. Когда каждая клетка проходит через лазерный луч в точке опроса, свет от лазера возбуждает флуорофоры, которые излучают свет с различными длинами волн в прямом направлении (прямое рассеяние) и под различными углами (боковое рассеяние). Излучаемый свет улавливается фотоумножителями или лавинными фотодиодами и преобразуется в импульс напряжения. Сигнал прямого рассеяния пропорционален размеру ячейки, в то время как сигнал бокового рассеяния пропорционален внутренней сложности ячейки. Рассеянный в стороны свет фокусируется с помощью системы линз на трех или более детекторах, расположенных под углом 90 градусов к лазерному лучу. Полоса препятствий и полосовые фильтры, расположенные на одной линии с детектором прямого рассеяния, позволяют только небольшой части сигнала прямого рассеяния достигать детектора. Проточные цитометры способны измерять 10000 и более клеток в секунду. Проточный цитометр, называемый экспериментом по флуоресцентной клеточной пробиотической проточной цитометрии, просто включает в себя добавление необходимых красителей и обработку образца на проточном цитометре [18].

Этапы полимеразной цепной реакции

Полимеразная цепная реакция (ПЦР) - это метод, основанный на нуклеиновых кислотах, которые используются для выявления специфических последовательностей ДНК или РНК патогенных микроорганизмов.

Методы, основанные на ПЦР, являются более быстрыми, чувствительными, хорошо воспроизводимыми и универсальными по сравнению с большинством методов культурального и иммунологического анализа, что делает их предпочтительными для выявления патогенов

пищевого происхождения. Они применяются к нуклеиновым кислотам, выделенным из образцов пищевых продуктов, или микробным изолятам, выделенным из образцов пищевых продуктов [19].

Суть реакции ПЦР заключается в синтезе дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) *in vitro* в лабораторных условиях, что обычно происходит *in vivo*, в живых клетках. Для проведения реакции требуется наличие одно- или двухцепочечной ДНК, синтетических праймеров, специально разработанных для интересующего участка ДНК, дезоксирибонуклеозидтрифосфатов ($dNTPs$), соответствующей концентрации ионов магния (Mg^{2+}) и фермента ДНК-полимеразы.

ДНК-полимераза Taq – это термостабильный фермент, первоначально выделенный из эубактериального микроорганизма *Thermus aquaticus* и широко применяемый благодаря своей высокой термостойкости, высокой специфичности и чувствительности, высокой эффективности и воспроизводимости.

Аmplification осуществляется с помощью термоциклирования, процесса, при котором реакция многократно нагревается и охлаждается для получения множества копий участка ДНК-мишени. Весь процесс синтеза новой цепи ДНК, комплементарной ДНК-матрице, состоит из трех основных этапов. Процесс инициируется стадией денатурации, на которой высокая температура (приблизительно $95^{\circ}C$) разрушает водородные связи двухцепочечной ДНК ($dsDNA$) и разделяет ее на две отдельные нити. Это позволяет праймерам получать доступ к одноцепочечной ДНК ($ssDNA$), а затем выбирать и связывать (этап отжига) комплементарную последовательность в молекуле-матрице $ssDNA$. Этап отжига выполняется при более низкой температуре, примерно на $50^{\circ}C$, и его точная температура зависит от длины и последовательности нанесения грунтовок. Как правило, температура отжига должна быть примерно на $5^{\circ}C$ ниже температуры плавления (T_m) используемых грунтовок. Затем смесь $ssDNA$ /праймеров нагревают до $72^{\circ}C$, и начинается стадия удлинения в присутствии

термостабильной полимеразы, молекул $dNTP$ и Mg^{2+} . Таким образом, из каждой отдельной нити исходной ДНК-матрицы создается новая двухцепочечная молекула ДНК. Эти три этапа повторяются примерно 40 раз, и каждый раз количество копий ДНК увеличивается вдвое [2].

Гель-электрофорез в импульсном поле (PFGE)

PAGE - это широко распространенный метод сравнения генетической идентичности бактерий.

PFGE-типирование продемонстрировало высокий уровень воспроизводимости патогенов пищевого происхождения. Основным преимуществом этого метода является его универсальность, что делает его полезным для определения подтипов бактерий; однако его недостатком является то, что он требует много времени.

PFGE - это метод типирования на основе рестрикции, который многие считают “золотым стандартом” молекулярного типирования бактерий. При этом электрофоретическом подходе фрагменты ДНК разделяются в условиях, когда происходит постепенное изменение полярности электрического поля в работающем устройстве. Этот метод позволяет обрабатывать фрагменты ДНК размером до 800 кбайт. При рестрикции ДНК с помощью фермента-ограничителя PFGE создает “отпечаток” ДНК, который отражает последовательность ДНК всего бактериального генома [21].

Магнитная сепарация

Типичным применением магнитной сепарации является прямой сбор магнитных материалов и отделение их от немагнитных.

Большой интерес представляет удаление дрожжей в крупномасштабных процессах ферментации вина и пива. Удаление дрожжей магнитным способом представляет собой экономичный и простой процесс по сравнению с традиционными методами, при которых дрожжи замораживаются и взрываются.

Кроме того, интересной областью применения является удаление мути, белковых примесей и нежелательных ароматов в вине. Полимерные покрытия

на основе магнитных наночастиц могут быть использованы специально для удаления белков из вина, не влияя при этом на его вкусовые качества.

Помимо очистки алкогольных напитков, иммобилизация ферментов на магнитных наночастицах может быть использована в пищевой промышленности для осветления фруктовых соков.

Еще одной областью, представляющей большой интерес для процессов магнитной сепарации, является молочная промышленность. В лабораторных условиях существует несколько подходов к разделению и очистке сывороточных белков, таких как бычий сывороточный альбумин, лизоцим, лактоферрин, лактопероксидаза, α -лактоальбумин и β -лактоглобулин.

Таким образом, магнитная сепарация может помочь в преодолении основных трудностей, связанных с последующей переработкой: более устойчивая биообработка и использование экологически чистых элюирующих сред на этапах извлечения; уменьшение объемов воды для повышения коэффициента концентрации и снижения потребления воды. Магнитная сепарация может быть реализована как прямой этап улавливания и концентрирования неочищенных клеточных бульонов [3].

Ближняя инфракрасная спектроскопия

Ближняя инфракрасная спектроскопия - это вторичный аналитический метод, основанный на математических зависимостях между исходными данными и результатами спектрального анализа, полученными хемометрическими методами.

При анализе пищевых продуктов часто используются коллоидные образцы с сомнительной однородностью.

В хлебопекарной промышленности контроль состояния ферментации хлеба имеет решающее значение. Поточное применение технологии, основанной на оценке инфракрасных спектров методом PLS-DA, позволяет контролировать состояние ферментации в процессе производства, что позволяет отфильтровать потенциальные дефекты перед выпечкой.

Пищевые покрытия, например, с пробиотическими, антимикробными или антиоксидантными свойствами, могут быть использованы для продления срока годности продуктов. Сушка покрытия является критической фазой в этом процессе. Спектры, полученные в результате мониторинга процесса сушки, содержат подробное описание, позволяющее четко различать различные покрытия и продолжительность сушки.

Инфракрасная камера и электронный измеритель влажности являются идеальным решением для оценки летучести и текстуры теста, тем самым проверяя качество хлеба на закваске [21].

Инфракрасная (IR) спектроскопия использует спектральный диапазон от 800 до 500000 нм, который можно разделить на дальний инфракрасный диапазон (от 25000 до 500000 нм), средний инфракрасный диапазон (от 2500 до 25000 нм), ближний инфракрасный диапазон (от 800 до 2500 нм) и ультрафиолетово-видимый (от 200 до 780) [22].

Применение методов распознавания образов может быть весьма широким. Они используются для определения происхождения, что имеет решающее значение для пищевых продуктов и сырья, качество которых зависит от происхождения, например, для определения растительного происхождения меда, животного происхождения различных молочных продуктов или мяса или даже географического происхождения кофе или чая. Важным применением этих моделей могло бы стать качественное прогнозирование остатков пестицидов, определенных повреждений или потенциальных микробных загрязнений. Однако наиболее широкое применение методов распознавания образов связано с выявлением фальсификации продуктов питания [21].

Заключение

Безопасность пищевых продуктов важна как никогда, и меры предосторожности, принятые для проверки и сокращения количества пестицидов, ветеринарных препаратов, токсинов, патогенов, запрещенных добавок и других вредных примесей в наших продуктах питания, помогли

улучшить здоровье людей и увеличить продолжительность и качество нашей жизни. Во многих странах и регионах был принят ряд законов и национальных стандартов в области безопасности пищевых продуктов, что привело к разработке методов быстрого обнаружения опасных веществ в пищевых продуктах. Благодаря таким преимуществам, как удобство, высокая эффективность, быстрое обнаружение на месте и т.д., иммунологические анализы получили широкое применение в области экспресс-контроля.

Несомненно, существует необходимость в постоянном совершенствовании методов экспресс-диагностики, аналитических приемов, а также интеллектуального и вычислительного оборудования, необходимого для контроля качества пищевых продуктов будущего.

Благодаря автоматизации экономится время и повышается производительность. В связи с этим в ближайшем будущем будут продолжать развиваться два основных традиционных и быстрых метода: проточная цитометрия для быстрого определения общего количества микроорганизмов и полимеразная цепная реакция (ПЦР) для быстрого и специфичного выявления микроорганизмов.

Масс-спектрометрия доказала свою полезность при выявлении неизвестных соединений, антибиотиков и пестицидов в сырье, а также при обнаружении следов металлов в пищевых продуктах.

Анализы, приборы и программное обеспечение на основе ДНК, разработанные для совместной работы, в том числе в развивающейся области биоинформатики; секвенирование, разработка методов анализа и химический анализ - все это способно в будущем разработать новые способы контроля качества пищевых продуктов.

Таким образом, можно с уверенностью сказать, что контроль качества пищевых продуктов является незаменимым инструментом в пищевой промышленности.

Список литературы

1. Visciano P., Schirone M. Rapid Methods for Assessing Food Safety and Quality // *Foods*. – 2020. – 9(4):533. – DOI:10.3390/foods9040533.
2. Gabło N. Polymerase chain reaction: a powerful analytical tool in the field of food safety // *Maso international*. – 2024. – 13(1):15-23. DOI:10.2478/mjfst-2023-0002.
3. Schwaminger S. P., García P. F., Eigenfeld M. Magnetic Separation in Bioprocessing Beyond the Analytical Scale: From Biotechnology to the Food Industry // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. – 2019. – V. 7. DOI:10.3389/fbioe.2019.00233.
4. Mihafu F. D., Issa J., Kamiyango M. W. Implication of Sensory Evaluation and Quality Assessment in Food Product Development: A Review // *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*. – 2020. – 8(3):690-702. – DOI:10.12944/CRNFSJ.8.3.03.
5. Lawless H. T., Heymann H. *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices*. – New York: Springer Science+Business Media, 2010. – 596 p. – DOI 10.1007/978-1-4419-6488-5.
6. Trần Tấn Nhật. The role of physical chemistry in food and beverage // *International Journal of Science and Research Archive*. – 2024. – 13(01), pp. 2959–2968. – DOI: 10.30574/ijusra.2024.13.1.1962.
7. Chauhan A., Jindal T. *Microbiological Methods for Environment, Food and Pharmaceutical Analysis*. – Cham: Springer, 2020. – 469 p. – https://doi.org/10.1007/978-3-030-52024-3_8.
8. Reddy A. B., Patel M. R., Patel J. S., Bl R. Biological Control for Food Safety A Review // *Ecofarming*. – 2023. – Vol. 03(04): 234-238.
9. Visciano P., Schirone M. Rapid Methods for Assessing Food Safety and Quality // *Foods*. – 2020. – 9(4):533. – DOI:10.3390/foods9040533.
10. E. te Brinke, Arrizabalaga-Larranaga A., Blokland M. H. Insights of ion mobility spectrometry and its application on food safety and authenticity: A review // *Analytica Chimica Acta*. – 2022.

11. Hernandez-Mesa M., Ropartz D., García-Campaña A. M., Rogniaux H. Ion Mobility Spectrometry in Food Analysis: Principles, Current Applications and Future Trends // 2019, DOI: 10.3390.

12. Mercader J. V., Abad-Somovilla A., Agullo C., Abad-Fuentes A. Immunoanalytical approaches for the control of xenobiotics and biotoxins in foodstuffs // *Advances in Analytic Science*. – 2023. – V. 4, I. 2, DOI: 10.54517.

13. Rehagel C. Analysis of mycotoxins in the food chain by enzyme immunoassay: possibilities and limitations: дис. Dr. rer. nat. Agricultural sciences: Frankfurt am Main, 2022. – 77 p.

14. Sengupta, P., Wang, C.W., Ma, Z.F. (2021). Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA) Technique for Food Analysis. In: Khan, M.S., Shafiur Rahman, M. (eds) *Techniques to Measure Food Safety and Quality*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68636-9_5.

15. Enzyme-Linked Immunosorbent Assay. null (2022).: 215-244. DOI: 10.1201/9781003222194-17.

16. Francesco Rizzotto, Majd Khalife, Yanxia Hou, Carole Chaix, Florence Lagarde, et al.. Recent Advances in Electrochemical Biosensors for Food Control. *Micromachines*, 2023, 14 (7), pp. 1412.

17. Zand E., Froehling A., Schoenher C., Zunabovic-Pichler M., Schlueter O., Jaeger H. Potential of Flow Cytometric Approaches for Rapid Microbial Detection and Characterization in the Food Industry—A Review // *Foods* 2021. – 2021. – 10(12), 3112; <https://doi.org/10.3390/foods10123112>.

18. Mermelstein N. H. Applying Flow Cytometry to Food and Dietary Supplements // *Food safety & quality*. – 2019. – p. 64-66.

19. Aladhadh M. A. Review of Modern Methods for the Detection of Foodborne Pathogens // *Microorganisms*. – 2023. – 11 (5):1111. DOI:10.3390/microorganisms11051111.

20. Rajput H., Rehal J. Methods for Food Analysis and Quality Control // *State-of-the-Art Technologies in Food Science: Human Health, Emerging Issues and Specialty Topics*. – 2019. – p. 299-346.

21. Fodor M., Matkovits A., Benes E. L., Jokai Z. The Role of Near-Infrared Spectroscopy in Food Quality Assurance: A Review of the Past Two Decades // *Foods*. – 2024. – 13(21):3501. DOI:10.3390/foods13213501.

22. Sitorus A., Lapcharoensuk R. A comprehensive overview of near infrared and infrared spectroscopy for detecting the adulteration on food and agroproducts—a critical assessment // *INMATEH - Agricultural Engineering*. – 2022. – V. 67, I. 2, p. 465-486. DOI: <https://doi.org/10.35633/inmateh-67-47>.

Курдина Анна Павловна — магистрант, Уральский государственный аграрный университет. 620075, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42. E-mail: annakurdina2002@mail.ru

Тихонова Наталья Валерьевна — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой пищевой инженерии аграрного производства, Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург. E-mail: kaf.zooinf@urgau.ru.

Озорнин Д. Ю. — магистрант, Уральский государственный аграрный университет. 620075, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42.

Тихонов Сергей Леонидович — доктор технических наук, профессор кафедры, Уральский государственный аграрный университет, Уральский государственный лесотехнический университет. 620075, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42. E-mail: tihonov75@bk.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4863-9834>

Kurdina Anna Pavlovna — Master'sstudent, Ural State Agrarian University. 42 Karl Liebknecht str., Yekaterinburg, 620075, Russian Federation. E-mail: annakurdina2002@mail.ru.

Tikhonova Natalia Valeryevna — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Food Engineering of Agricultural Production, Ural State Agrarian University, Yekaterinburg. E-mail kaf.zooing@urgau.ru.

Ozornin D. YU. — Master's student, Ural State Agrarian University. 42 Karl Liebknecht str., Yekaterinburg, 620075, Russian Federation.

Tikhonov Sergey Leonidovich — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department, Ural State Agrarian University, Ural State Forestry University. 42 Karl Liebknecht str., Yekaterinburg, 620075, Russian Federation. Email: tihonov75@bk.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4863-9834>