



Обзор

Пределы обнаружения микотоксинов с помощью ламинарных полосок: Обзор

Синь Чжао 1,2 , Хью Дж. Бирн² ID, 1 Кристин М. О'Коннор, Джеймс Кертин ³ ID и Фуронг Тянь 1,2,* 

¹ Школа пищевых наук, гигиены окружающей среды, Технологический университет Дублина, D07 ADY7 Дублин, Ирландия; d20127084@mytudublin.ie (XZ); christine.oconnor@tudublin.ie (директор по маркетингу)

² Научно-исследовательский институт FOCAS, Дублинский технологический университет, D08 CKP1 Дублин, Ирландия;

³ Hugh.byrne@tudublin.ie Колледж инженерии и искусственной среды, Технологический университет Дублина, D01 K822 Дублин, Ирландия;

james.curtin@tudublin.ie * Адрес для переписки: Furong.tian@tudublin.ie

Аннотация: Микотоксины являются вторичными продуктами метаболизма грибов. Они ядовиты, канцерогенны и мутагены по своей природе и представляют серьезную угрозу для здоровья как людей, так и животных, вызывая тяжелые заболевания и даже смерть. Быстрые, простые и недорогие методы обнаружения микотоксинов имеют огромное значение и пользуются большим спросом в пищевой промышленности и производстве напитков, а также в сельском хозяйстве и мониторинге окружающей среды, и для этой цели используются иммунохроматографические полоски с боковым потоком (ИКСТ). широко используется в области безопасности пищевых продуктов и экологического мониторинга. На сегодняшний день литература, описывающая разработку ИКСТ для обнаружения различных типов микотоксинов с использованием различных наноматериалов, размеров наночастиц и повторов, была рассмотрена в попытке определить наиболее важные факторы, определяющие предел обнаружения (LOD). Установлено, что размер частиц и тип материалов в значительной степени влияют на определение LOD. Размеры наночастиц, используемые в большинстве исследований, находились в диапазоне 15–45 нм, и было показано, что ICST на основе наночастиц золота демонстрируют самый низкий уровень детализации. Также обсуждаются перспективы потенциального будущего развития по снижению уровня детализации ИКСТ.

Ключевые слова: наночастица; размер частицы; микотоксины; афлатоксин; токсины фузариоза



Цитирование: Чжао, Х.; Бирн, НД; О'Коннор, СМ; Кертин, Дж.; Тиан, Ф.

Пределы обнаружения микотоксинов с помощью ламинарных полосок: обзор. Прил.

Нано 2022, 3, 91–101. <https://doi.org/10.3390/applnano3020006>

Академический редактор: Анджело

Мария Тальетти

Поступила: 20 марта 2022 г.

Принято: 6 апреля 2022 г.

Опубликовано: 11 апреля 2022 г.

Примечание издателя: MDPI сохраняет нейтралитет в отношении заявлений о юрисдикции в опубликованных картах и институциональной принадлежности.



Копирайт: © 2022 авторов.

Лицензиат MDPI, Базель, Швейцария.

Эта статья находится в открытом доступе. распространяется на условиях и условия Creative Commons

Лицензия с указанием авторства (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Введение

Микотоксины представляют собой токсичные природные вторичные метаболиты, продуцируемые грибами, например *Aspergillus* и *Fusarium*, которые обычно обнаруживаются на сельскохозяйственной продукции в поле или во время хранения. Эти токсины вызывают пищевую и кормовую интоксикацию, многие из них являются цитотоксичными, канцерогенными, мутагенными или иммунодепрессивными [1,2]. Афлатоксин продуцируется *Aspergillus* (*A.*) *flavus* и *A. parasiticus* и существует в трех основных типах: B1, B2, G1, и его опасное воздействие хорошо документировано [1]. Токсины фузариоза продуцируются *Fusarium* и подразделяются на три основные группы: зеараленон (ZEN), фумонизины и трихотецены [2]. ЗЕН — нестероидное эстрогенное соединение, обладающее токсическим эстрогенным действием, разрушающее репродуктивную систему животных, приводящее, например, к эстрогенному синдрому у свиней, несмотря на его низкую токсичность при пероральном введении [3]. Фумонизины имеют сильное структурное сходство со сфинганином и вызывают токсические эффекты эстрогена, которые могут привести к раку [4]. Фумонизины можно разделить на четыре основные подгруппы: А, В, С и Р, а подтип фумонизина В, фумонизин В1 (FB1), является наиболее токсичным и распространенным из всех фумонизинов [5]. Трихотецены представляют собой класс сесквитерпенов, которые также оказывают токсическое эстрогенное воздействие на репродуктивную функцию животных и человека. Трихотецены имеют четыре основные подгруппы: А, В, С и D, причем подтип трихотеценов А (Т-2) является наиболее распространенным и представляет потенциальную опасность для здоровья человека во всем мире [6].

Микотоксины обычно появляются в сельскохозяйственных культурах и пищевых продуктах, таких как кукуруза, сорго, пшеница, овес, рис, соя, подсолнечник, семена хлопка, перец чили, черный перец, кориандр, куркума,

имбирь, арахис, фисташки, миндаль, грецкий орех, кокос, бразильский орех, сухие плоды винограда, вино и виноградный сок, а также рисовый ликер, главным образом из-за высокого содержания влаги и температур, подходящих для роста грибов [7]. Сушка в полевых условиях была общепринятой практикой с момента возникновения коммерческого земледелия, но она зависит от солнца и ветра, и часто требуется механическая сушка, чтобы снизить содержание влаги в культуре до 12–14% и замедлить рост грибов [8]. Влажность и концентрация микотоксинов в зерне измеряются непрерывно, начиная с момента сбора зерна и заканчивая его продажей потребителям [9]. Наиболее распространенными количественными методами являются испытания в ручной печи и измерения влагомером [10]. Из-за рисков для здоровья людей и животных такие органы, как Европейская комиссия или Управление зерновой инспекции, упаковщиков и скотных дворов США (GIPSA), попытались решить проблему микотоксинов, приняв нормативные ограничения.

Действуют правила, например, в отношении афлатоксинов и токсинов фузариоза в отдельных пищевых продуктах (ЕС 1881/2006) [11], а также существуют рекомендации по максимальным уровням микотоксинов в кормах (ЕС (2006/576/EC)) [12]. Среди афлатоксинов афлатоксин В1 (AFB1) является наиболее токсичным как мощный канцероген, и во многих странах введены максимальные пределы остатков (MRL) AFB1 [13]. В Китае «Предел пищевого микотоксина GB 2761-2017» строго устанавливает MRL AFB1 в пшенице, пшеничной, кукурузной и кукурузной муке на уровне 20 нг/мл [13]. Среди всех токсинов фузариоза ЗЕНы наиболее тесно связаны с хроническими и смертельными токсическими эффектами у животных и человека [5,6]. В Италии МДУ ЗЕН в крупах и зерновых продуктах составляет 100 нг/мл [14], а в Австралии — 50 нг/мл [15].

В настоящее время портативные платформы быстрого тестирования для обнаружения и количественного определения потенциально опасных микотоксинов в производстве продуктов питания и напитков очень ограничены. Наиболее распространенными методами обнаружения АФЛ являются тонкослойная хроматография (ТСХ) и высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ). Однако эти методы требуют тщательной подготовки проб, дорогостоящих инструментов и профессиональной работы. В качестве альтернативы для выявления ОФЛ был успешно разработан твердофазный иммуноферментный анализ (например, ИФА) [16]. Однако ELISA также требует этапов инкубации и промывания, которые в основном проводятся в лабораториях [17]. Таким образом, существует потребность в быстрых, экономически эффективных и точных методах тестирования для окончательного обнаружения по отпечаткам пальцев маркеров болезней и окружающей среды в низких концентрациях.

Такие технологии, как считыватели микропланшетов, основаны на «неотслеживаемых» приближенных методологиях и требуют трудоемкой подготовки и очистки проб [18,19]. Существующие методы тестирования, такие как иммунные и молекулярные анализы, например, ELISA и полимеразная цепная реакция, обеспечивают точное и чувствительное обнаружение микотоксинов [19–21]. Однако эти методы трудоемки и трудоемки (обычно требуют участия десятков человек и нескольких часов) [20–23].

Альтернативные и более быстрые методы неточны и часто дают ложноположительные/отрицательные результаты [24]. Таким образом, существует потребность в быстрых, экономически эффективных и точных методах тестирования для обнаружения микотоксинов, чтобы гарантировать безопасность и качество пищевых продуктов. Микрофлюидика, «Лаборатория на чипе», «Умная наноспектроскопия», «Лаборатория в волокне», сенсорные технологии входят в число ключевых технологических интерфейсов, которые были оптимизированы от микро- до наномасштабов [24–26]. Микрофлюидные/оптофлюидные лабораторные технологии на чипе являются широко используемым решением для обнаружения микотоксинов, особенно при тестировании на месте оказания медицинской помощи; интеграция функциональных модулей, обычно используемых в лабораториях, на небольшой чип для тестирования биомаркеров [26,27]. Технология обеспечивает уникальную характеристику высокого соотношения площади поверхности обнаружения к объему за короткое время анализа, что позволяет проводить сложные диагностические анализы [27,28]. Однако «узкое место в соединении и считывании» и отвод тепла являются двумя широко признанными проблемами, ограничивающими производительность [29].

Иммунохроматографические полоски с боковым потоком (ICST) привлекают все большее внимание для качественного и количественного анализа в различных областях [17]. Например, полоски с дезоксиниваленолом от Neogen Corp широко используются при мониторинге безопасности пищевых продуктов и окружающей среды [30]. Сэндвич-структуры обычно используются для крупномасштабного обнаружения, тогда как чувствительные гигантские магниторезистивные иммуноанализы используются для мультиплексного обнаружения микотоксинов [31]. Различные наноматериалы были конъюгированы с антителами для повышения пределов обнаружения.

сequence evocе sgncan eor on nvesgang e eec o core-s нанокомпозиты на свойства ICST [32]. Однако эти методы обнаружения дают только качественные результаты (положительные или отрицательные) или полуколичественные концентрации аналита, а ИКСТ не могут удовлетворить требованиям применения [32]. Поэтому впоследствии было разработано множество устройств ICST, обеспечивающих количественное аналитическое тестирование, которые улучшили результаты определения микотоксинов. Делмюль и др. (2005) разработали ICST с наночастицами золота размером 40 нм. специфичность для обнаружения и количественного определения микотоксинов (обычно 1–20 нг/ для обнаружения афлатоксина В1 в кормах для свиней [7]. Liao and Li (2010) впоследствии посвятили Однако из-за громоздкости их систем считывания их применение требует значительных усилий для исследования влияния нанокомпозитов серебро-золото ядро-оболочка на Очевидно, что считыватель ICST, основанный на различных материалах для наночастиц, наночастицы разных размеров и замена мобильного устройства были бы выгодны, поскольку это удовлетворяло бы требованиям портативных устройств. Исследования рынка (LOD) микотоксинов в хранении был разработан с использованием многофункционального средства диагностики дают возможность повысить доступность медицинской помощи и снизить затраты [36]. В данной статье рассматриваются разработки технологий ИКСТ для различных типы микотоксинов, влияние разных материалов на наночастицы, разные размеры наночастиц и репликация на пределе обнаружения (LOD) микотоксинов и их адаптация к мобильным и/или портативным считывающим системам. Информация была собрана в Google Scholar и Science Direct с использованием k-котоксина, стрип-теста и LOD. Девять пять рецензируемых статей 2006–2020 годов были сопоставлены с целью определения наименьшего уровня обнаружения (LOD) для различных микотоксинов (афлатоксин В1, 0,1 нг/мл, фумонизин В1: 5; Трихотецен-А: 5) на рисунке 1. Обратите внимание, что некоторые р указывают на самый низкий уровень обнаружения для различных микотоксинов (афлатоксин В1: 10; зеараленон: 5; В1: 5; трихотецен-А: 5) на рисунке 1. Обратите внимание, что с низким содержанием фумонизина бумага обсуждается здесь. Данные были сопоставлены по типу микотоксина, типу материалов для наночастицы, размер частицы (нм), количество повторов и год (табл. 1).

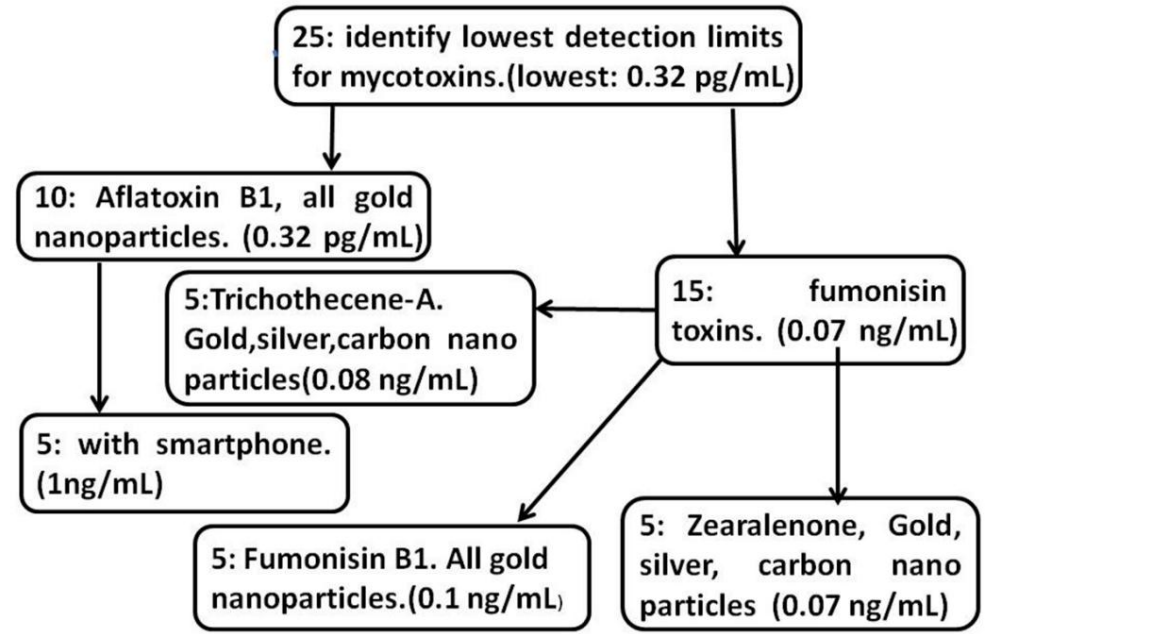


Рисунок 1. Иерархия анализа статей, посвященных пределам содержания различных микотоксинов.

Рисунок 2. Иерархический анализ статей, посвященный методам (ранг Крускала-Уоллиса), критерий суммы, критерий Данна (апостериорный) и полилинейная регрессия были использованы для анализа значимые определяющие параметры LOD.

Таблица 1. Бумаги с пределом обнаружения микотоксинов.

Тип	Частица	Размер (нм)	Год	Реплики	Стандартный Отклонения	Коэффициент Вариация (%)	ЛОД (нг/мл)	Ссылка
AFB1	Золото	нет	2013	нет	нет	нет	0,1	[10]
	Золото + телефон	14	2019 год	6	0,01	2,7	0,3	[36]
	Золото	45	2015 год	6	0,09	9,47	0,00032	[37]
	Золото	нет	2014 год	нет	нет	нет	0,03	[38]
	Золото + телефон	30	2019 год	6	нет	1,5	2	[39]
	Золото	25	2006 г.	11	0,44	10,4	2,5	[40]
	Золото	нет	2013	3	нет	нет	2	[41]
	Золото + телефон	нет	2019 год	9	нет	нет	2	[42]
	Золото + телефон	1,4	2017 год	5	нет	нет	3	[43]
ФБ1	Золото	нет	2013	5	нет	нет	5	[44]
	Золото	нет	2007	12	0,3	6,67	0,1	[45]
	Золото	на	2014	5	0,18	6,01	0,12	[46]
	Золото	30	2017	3	нет	нет	0,6	[47]
	Золото	20	2020	нет	нет	нет	2,5	[48]
ДЗЕН	Золото	40	2014	3	0,9	10,6	5	[49]
	Золото	25	2017 год	3	0,16	6,2	0,07	[50]
	Золото	17	2020 год	5	0,09	4,9	0,25	[51]
	Серебро	нет	2018 год	3	нет	нет	0,25	[52]
	Серебро	15	2018 год	10	0,22	4,85	0,58	[53]
Т-2	Углерод	190	2016 год	3	0,05	3,79	12	[54]
	Золото	нет	2019 год	2	нет	нет	0,08	[55]
	Золото	30	2017 год	3	нет	нет	0,1	[56]
	Серебро	нет	2015	нет	нет	нет	0,9	[57]
	Серебро	45	2017	нет	нет	нет	5	[58]
	Углерод	120	2017	нет	нет	нет	13	[59]

Примечание: на означает неприменимо/неизвестно.

3. Результаты

В таблице 1 представлен анализ выявленных 25 рецензируемых статей. в зависимости от вида микотоксина, используемых наночастиц и размера наночастиц, реплики и, если возможно, сообщенный уровень детализации.

Диапазоны пределов обнаружения показаны на рисунке 2 в зависимости от (а) различных микотоксины и (б) различные ИКСТ на основе наночастиц, в попытке выяснить, какие из них один из них вообще имеет низкий предел обнаружения. Рисунок 2а показывает, что 40% статей основное внимание уделялось афлатоксину В1, который является наиболее изученным микотоксином. Еще 20% статей основное внимание уделялось фумонизину В1, 20% статей было посвящено зеараленону и 20% статей статьи посвящены трихотецену – А. Рисунок 2б показывает, что наночастицы золота являются наиболее часто изучаемые наночастицы в обзорной литературе.

На рисунке 3 представлена временная шкала уровня обнаружения для (а) четырех микотоксинов и (б) типа наночастиц по 25 статьям с 2006 по 2021 год. Графики на рисунке 3 показывают положительную динамику. тенденция во времени с пиком в 2017 году для обоих параметров. Результаты показывают, что, хотя с 2006 по 2021 год наблюдался растущий интерес к обнаружению микотоксинов. LOD существенно не уменьшился за этот период времени. Наночастицы на основе золота с самого начала были самыми популярными. Примечательно, что возрос интерес к альтернативные материалы в последние годы, хотя они не дали значительного снижение ЛОД.

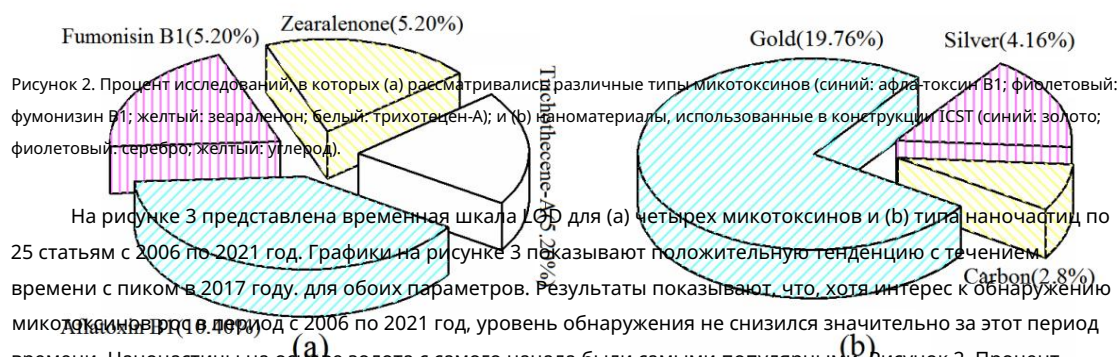


Рисунок 2. Процент исследований, в которых (а) рассматривались различные типы микотоксинов (синий: афлатоксин В1; фиолетовый: фумонизин В1; желтый: зеараленон; белый: трихотецен-А); и (б) наноматериалы, использованные в конструкции ICST (синий: золото; фиолетовый: серебро; желтый: углерод).

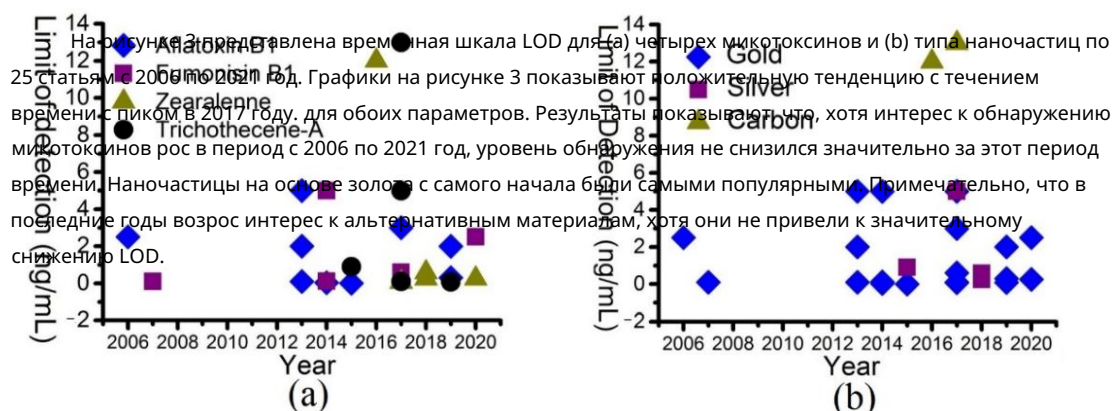
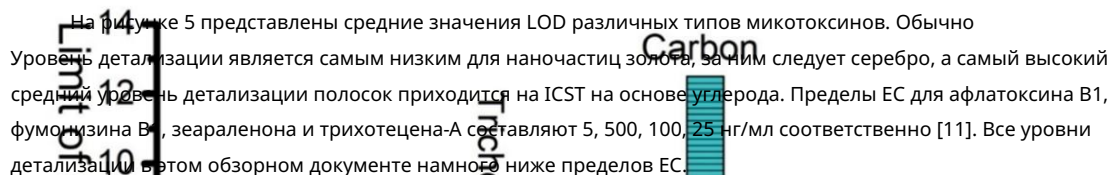


Рисунок 3. Хронология предела обнаружения микотоксинов и материалов наночастиц. (а) Различные микотоксины (синий ромб: афлатоксин В1; фиолетовый квадрат: фумонизин В1; зеленый треугольник: зеараленон; черный круг: трихотецен-А); (б) Различные материалы наночастиц (голубой бриллиант: золото; фиолетовый квадрат: серебро; Зеленый треугольник: углерод).

На рисунке 4а представлена зависимость LOD от размера наночастиц в 19 статьях. На рис. 4а представлена зависимость LOD от размера наночастиц при давлении 19 Па для четырех микотоксинов. На рисунке 4б представлена зависимость LOD от размеров дифферов для соответствующего типа в 19 статьях. Видно, что данные в 19 статьях относятся к разным типам наночастиц. Видно, что данные преимущественно кластеризуются в диапазоне размеров частиц от 15 до 45 нм, а LOD преимущественно кластеризуются в диапазоне размеров частиц от 15 до 45 нм и LOD от 0,1 до 5 нг/мл. Хотя на рисунке 4б указаны два отдаленных измерения для зеараленона и трихотецена-А, другие измерения попадают в кластер, а рисунок 4б показывает, что эти выбросы обусловлены относительно более низкими измерениями LOD. На рисунке 5 представлены средние значения LOD различных типов микотоксинов. Обычно LOD является самым низким для наночастиц золота, за ним следует серебро и самый высокий средний уровень детализации указан для ICST на основе углерода. На рис. 4а представлена зависимость LOD от размера наночастиц по 19 Па. Зеараленон и трихотецен-А составляют 5, 500, 100, 25 нг/мл соответственно [11]. Все чел на четыре микотоксина. На рисунке 4б представлена зависимость уровня детализации от размеров. уровни детализации в этом обзорном документе намного ниже пределов ЕС. На рисунке 5 представлены средние значения LOD различных типов микотоксинов. Обычно LOD является самым низким для наночастиц золота, за ним следует серебро и самый высокий средний уровень детализации указан для ICST на основе углерода. На рис. 4а представлена зависимость LOD от размера наночастиц по 19 Па. Зеараленон и трихотецен-А составляют 5, 500, 100, 25 нг/мл соответственно [11]. Все чел на четыре микотоксина. На рисунке 4б представлена зависимость уровня детализации от размеров. уровни детализации в этом обзорном документе намного ниже пределов ЕС.



Линейная регрессия имела $R^2 = 0,866$, размер частиц при прогнозировании LOD ($R^2 = 0,904$) и тип частиц при прогнозировании LOD ($R^2 = 0,901$).

4. Дискуссия

На рисунке 2а показано, какие афлатоксины В1 упоминались чаще всего. Это фумонизин В1, зеараленон и трихотецен-А в порядке убывания. Наночастицы золота являются наиболее изученным материалом по сравнению с серебром и углеродом (рис. 2).

Результаты показывают, что в период с 2006 по 2021 год интерес к обнаружению микотоксинов с помощью ИКСТ рос (рис. 3). Этот растущий интерес, возможно, связан с развитием нанотехнологий в мониторинге качества хранящихся продуктов питания [60].

В большинстве работ с низким уровнем детализации использовались наночастицы золота (табл. 1). Кроме того, средний уровень детализации золота намного меньше, чем у устройств на основе серебра и углеродных наночастиц. На рисунках 4а, б легко видеть, что размеры большинства наночастиц находятся в пределах 15–45 нм, а их уровень детализации относительно низок. Наиболее популярным диапазоном размеров наночастиц для обнаружения микотоксинов являются наночастицы золота в диапазоне от 15 до 45 нм (рис. 4). Статистический анализ показывает, что размер частиц является наивысшим определяющим фактором LOD ($R^2 = 0,904$), вторым является тип частиц. Размер наночастиц золота и соотношение антител к наночастицам золота можно точно контролировать. В то же время их низкая токсичность подтверждена на клетках человека и грибах [61–63]. Кроме того, было обнаружено, что ионы серебра токсичны для рыбок данио, бактерий и стволовых клеток мыши [62–67]. Таким образом, нанонаночастицы золота являются лучшим выбором для иммунохроматографических тест-полосок.

Также можно видеть, что LOD афлатоксина В1 значительно ниже значений, достигнутых для фумонизина В1, зеараленона и трихотецена-А. Однако на средние значения зеараленона и трихотецена-А существенное влияние оказывают измерения на основе углеродных наночастиц (рис. 4а). Тип микотоксина не является сильным определяющим фактором LOD ($p = 0,118$). Рекомендуемые максимальные уровни афлатоксина В1, фумонизина В1, зеараленона и трихотецена-А в кормах согласно нормам ЕС составляют 5, 500, 100 и 25 нг/мл соответственно, а зарегистрированные значения уровня обнаружения ICST попадают в эти пределы.

Этот обзор также показывает, что уровень детализации для систем считывания на базе смартфонов аналогичен таковому для других средств ($p = 0,153$), хотя доступные на сегодняшний день данные скудны. Приложение для смартфона является многообещающим методом, используемым для определения количественной концентрации микотоксинов с помощью иммунохроматографической полоски с боковым потоком, и по мере его развития в литературе будет предоставлено достаточно данных для сравнения эффективности обнаружения.

Данные в этой статье относятся к 2006–2021 гг., но большинство из них относятся к 2013–2021 гг. На рисунках 3а,б показано, что уровень обнаружения микотоксина не снижался постоянно в течение последних нескольких лет. Таким образом, год не является определяющим фактором LOD ($p = 0,153$).

Кроме того, снижение уровня детализации может быть не единственной целью, поскольку все уровни детализации в этом обзорном документе соответствуют требованиям ЕС. Важно полностью охарактеризовать аналитические характеристики надежного обнаружения микотоксинов, чтобы понять его возможности и ограничения, а также убедиться, что он «пригоден для своей цели». Например, уровень обнаружения может находиться при некоторой концентрации ниже линейного диапазона анализа. Традиционный и типичный подход к оценке LOD состоит из повторных измерений, обычно $n = 20$, нулевого калибратора или холостого образца, определения среднего значения и стандартного отклонения и расчета LOD как среднего $+2\text{ SD}$ [68]. Чтобы установить эти параметры, производитель будет использовать наночастицы золота размером от 15 до 45 нм и протестировать 20 повторов образцов, чтобы повысить надежность и статистическую достоверность оценки.

Сложная матрица образца может сильно подавлять ответный сигнал ICST в ущерб аналитическим характеристикам [69]. Чтобы устранить такие ограничения и проблемы, обогатить образцы и улучшить анализы, микотоксины можно биоконъюгировать с мультимодальными наноструктурами для обработки образцов [70–72]. Аналиты в образце могут быть предварительно сконцентрированы и/или амплифицированы для повышения предела обнаружения [69]. В продажу поступили различные отдельные полоски, содержащие микотоксины. Часто наблюдают, что в одном образце сосуществуют разные микотоксины. Мультиплексное обнаружение добавляет новое измерение для повышения эффективности тестирования на микотоксины [73]. Активные материалы, такие как магнитные частицы, квантовые точки, флуорофоры и наночастицы, можно конъюгировать с антителами для усиления ответов ICST [64].

Aflatoxin B1
Fumonisin B1
Zearalenone
Trichothecene-A
Deoxynivalenol

Multiplex Enrichment

Magnetic, quantum dots, fluorescent

GOLD Nano particles

Multiplex ICSTs

four-parameter logistic model

T/C density percentage %

Concentration of mycotoxin

$Y=0.98\left(\frac{0.1-10}{X-10}\right)^{\frac{1}{5.1}}$

$R^2=0.9657$

Time stamp
17:47 18/3/2022

Density of C band

Density of T band

Mycotoxin= four-parameter logistic with T/C density

5. Выводы

Заявление Институционального наблюдательного совета: Неприменимо.

Заявление об информированном согласии: Не применимо.

Заявление о доступности данных: В этом исследовании не было представлено никаких данных.

Конфликты интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Рекомендации

1. Кумар, П.; Махато, ДК; Камле, М.; Моханта, ТК; Канг, С.Г. Афлатоксины: глобальная проблема безопасности пищевых продуктов, здоровья человека и их управление. *Передний. Микробиол.* 2017, 7, 2170. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
2. Борзекковский А.; Ангриаван, Р.; Аулияти, М.; Кунте, Х.-Ю.; Кох, М.; Рон, С.; Карловский П.; Мол, Р. Образование зеараленона. *Метаболиты при ферментации темпе. Молекулы* 2019, 24, 2697. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
3. Роговская А.; Помастовский, П.; Сагандыкова Г.; Бушевский, Б. Зеараленон и его метаболиты: Влияние на здоровье человека. *методы метаболизма и нейтрализации. Токсикон* 2019, 162, 46–56. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[PubMed\]](#)
4. Перинчерри, Л.; Лалак-Канчуговска, Ю.; Степъен, Л. Микотоксины, продуцируемые фузариозом, во взаимодействиях растений и патогенов. *Токсины* 2019, 11, 664. [\[CrossRef\]](#)
5. Ю, С.; Цзя, Б.; Лю, Н.; Ю, Д.; Ву, А. Оценка индивидуальной и комбинированной токсичности микотоксинов фумонизина в эпителиальных клетках желудка человека. *Межд. Дж. Мол. наук.* 2020, 21, 5917. [\[CrossRef\]](#)
6. Адхикари, М.; Неги, Б.; Кошик, Н.; Адхикари, А.; Аль-Хедхайри, А.А.; Кошик, Северная Каролина; Чой, Э.Х. Микотоксин Т-2: токсикологические эффекты и стратегии обеззараживания. *Онкотаргет* 2017, 8, 33933–33952. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
7. Дельмюль, Б.С.; Де Сегер, С.М.; Сибанда, Л.; Барна-Ветро, И.; Ван Петегем, СН Разработка щупа с боковым потоком на основе иммуноанализа для быстрого обнаружения афлатоксина В1 в кормах для свиней. *Дж. Агрик. Пищевая хим.* 2005, 53, 3364–3368. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
8. Сан, К.; Цзян, Ф.; Джаяс, Д.С.; Белый, NDG Изменения качества рапса с высоким и низким содержанием масла во время хранения: Часть I – Безопасное время хранения при постоянных температурах. *J. Сохраненный продукт. Рез.* 2014, 59, 320–327. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
9. Наварро, Дж.Л.; Бильоне, К.; Пазсани, К.; Мойраги, М.; Леон, АЕ; Стефолани, М.Э. Влияние процесса проращивания пшеницы на состав и пищевой профиль муки, а также ее хлебопекарные характеристики. *Межд. Дж. Пищевая наука.* 2022, 57, 249–257. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
10. Анфосси, Л.; Баггиани, К. Иммуноанализы в латеральном потоке на афлатоксины В и G и на афлатоксин М1. Афлатоксины: последние достижения и будущие перспективы; Раззаги-Абьяне, М., Ред.; InTech: Риека, Хорватия, 2013 г.; Том 15, стр. 315–340.
11. Европейская комиссия. Регламент Европейской Комиссии № 1881/2006, устанавливающий максимальные уровни для некоторых загрязняющих веществ в продовольственные товары. *Выключенный. Дж. Эур. Союз* 2006, 364, 5–24.
12. Европейская комиссия. Рекомендация Европейской комиссии 2006/576/ЕС о наличии дезоксиниваленола, зеараленона, охратоксина А, Т-2 и HT-2 и фумонизинов в продуктах, предназначенных для кормления животных. *Выключенный. Дж. Эур. Союз* 2006, 229, 7–9.
13. Лю, Дж.; Эпплгейт, Т. Зеараленон (ZEN) в животноводстве и птицеводстве: доза, токсикокинетика, токсичность и эстрогенность. *Токсины* 2020, 12, 377. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
14. Бертуцци, Т.; Камардо Леггьеры, М.; Баттирани, П.; Пьетри, А. Совместное появление трихотеценов типа А и В и зеараленона в пшенице, выращенной на севере Италии в 2009–2011 годах. *Пищевая добавка. Контам. Часть Б* 2014, 7, 273–281. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[PubMed\]](#)
15. Тан, округ Колумбия; Флематти, Греция; Гисалберти, Эль; Сиваситампарам, К.; Чакрабурти, С.; Обанор, Ф.; Барбетти, М.Дж. Микотоксины, продуцируемые видами *Fusarium*, связаны с одноклеточными пастбищами бобовых и «расстройствами отказа овец от корма» в Западной Австралии. *Микотоксин Рез.* 2011, 27, 123–135. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
16. Радой А.; Тарга, М.; Прието-Симон, Б.; Марти, Дж. Л. Иммуноферментный анализ (ИФА) на основе суперпарамагнитного наночастицы для обнаружения афлатоксина М1. *Таланта* 2008, 77, 138–143. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
17. Саджид, М.; Кауде, А.-Н.; Дауд, М. Дизайн, форматы и применение анализа латерального потока: обзор литературы. *J. Saudi Chem. Соц.* 2015, 19, 689–705. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
18. Чжан Дж.; Раму, В.; Чжоу, Х.-Q.; Фриас, К.; Руис-Молина, Д.; Бонне, С.; Росчини, К.; Новии, Ф. Фотоактивируемые наночастицы координационного полимера на основе рутения для фотоиндуцированной химиотерапии. *Наноматериалы* 2021, 11, 3089. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
19. Хуан Ю.; Ду, Э.; Чжэн, Т.; Цзин, В.; Лю, Х.; Лю, Х.; Мао, Дж.; Чжан, Х.; Кай, К.; Чен, Д.; и другие. Антибактериальные, проводящие и остеосовместимые полиорганосиликатные микрокапсулы для лечения инфекционных дефектов свода черепа. *Дж. Биомед. Матер. Рез. А.* 2021, 109, 2580–2596. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
20. Халед, MQ; Талидж, К.М. Влияние зараженной афлатоксином В1 кукурузы и продуктов ее переработки на некоторые физиологические параметры лабораторных крыс. В серии конференций IOP: Науки о Земле и окружающей среде, Материалы Четвертой Международной конференции по наукам о сельском хозяйстве и устойчивому развитию, Багдиль, Ирак, 4–5 октября 2021 г.; Издательство IOP: Бристоль, Великобритания, 2021 г.; Том 910.
21. Мэйо, МЛ; Эберли, Джо; Крокер, Ф.Х.; Индест, К.Дж. Моделирование синтетического биосенсора-рибопереключателя на основе аптамера, чувствительного к низким концентрациям гексагидро-1,3,5-тринитро-1,3,5-триамина (RDX). *PLoS ONE* 2020, 15, e0241664. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
22. Кордейру, МФ; Нуньес, TRS; Безерра, ФГ; Дамаско, ПКМ; Сильва, WAV; Феррейра, MRA; Магальяйнс, ОМС; Соарес, ЛАЛ; Кавальканти, МВФ; Питта, MGR; и другие. Фитохимическая характеристика и биологическая активность *Plectranthus barbatus* Andrews. *Браз. Ж. Биол.* 2021, 82, e236297. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
23. Хойер, К.; Банеманн, Дж.; Шепер, Т.; Сигал, Э. Прокладывая путь к преодолению устойчивости к противогрибковым препаратам: современные методы и новые разработки для быстрого и надежного тестирования чувствительности к противогрибковым препаратам. *Малые методы* 2021, 5, 2100713. [\[CrossRef\]](#)
24. Кнопперс, Т.; Бошан, Э.; Дьюар, К.; Кимминс, С.; Бурк, Г.; Жили, Ю.; Дюпрас, К. Омика нашей жизни: практика и политика компаний, занимающихся эпигенетическим и микробиомным тестированием напрямую потребителю. *Новый Генет. Соц.* 2021, 40, 541–569. [\[Перекрестная ссылка\]](#)

25. Чераги-Шахи, С.; Дадмер, М.; Короужде, Б.; Тавассоли, А. Новый колориметрический биосенсор для чувствительного обнаружения афлатоксина, опосредованного бактериальной ферментативной реакцией в образцах шафрана. *Нанотехнологии* 2021, 32, 505503. [\[CrossRef\]](#)
26. Несакумар, Н.; Лакшманакумар, М.; Шринивасан, С.; Джаялатха, JBB; Балагуру-Раяппан, Принципы JBA и последние достижения в области биосенсоров для обнаружения патогенов. *ChemistrySelect* 2021, 6, 10063–10091. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
27. Хао, З.; Чен, Х.; Ши, Х.; Тан, В.; Чжу, Г. Изготовление бумажных микрофлюидных аналитических устройств и применение анализа слюны. *Микрожидкость. Наножидкость.* 2021, 25, 80. [\[CrossRef\]](#)
28. Чанг, К.-К.; Чен, К.-П.; Ву, Т.-Х.; Ян, Ч.-Х.; Лин, К.-В.; Чен, К.-Ю. Колориметрические стратегии на основе наночастиц золота для Приложения химического и биологического зондирования. *Наноматериалы* 2019, 9, 861. [\[CrossRef\]](#)
29. Кардосо, С.; Лейтао, округ Колумбия; Диас, ТМ; Валадейро, Дж.; Сильва, доктор медицины; Чичаро, А.; Сильверии, В.; Гаспар, Дж.; Фрейтас, П.П. Проблемы и тенденции интеграции магнитных датчиков с микрофлюидикой для биомедицинских приложений. *Дж. Физ. D Прил. Физ.* 2017, 50, 213001. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
30. Сарвер, RW; Алми, диджей; Бержерон, скорая помощь; Стронг, БФ; Штайнер, бакалавр искусств; Донофрио, Р.; Лупо, Эй Джей; Грей, РЛ; Сперри, А.К. Обзор портативных анализаторов для обнаружения микотоксинов, аллергенов и санитарного мониторинга. *J. AOAC Int.* 2021, 104, 39–48. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
31. Мак, А.С.; Остерфельд, С.Дж.; Ю, Х.; Ван, SX; Дэвис, RW; Ежелово, ОА; Пурманд, Н. Чувствительный гигантский магниторезистивный метод. иммуноанализ для мультиплексного обнаружения микотоксинов. *Биосенс. Биоэлектрон.* 2010, 25, 1635–1639. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
32. Ляо, Дж.; Ли, Х. Иммунодистиллятор с боковым потоком для визуального обнаружения афлатоксина В1 в пищевых продуктах с использованием иммунонаночастиц, состоящих из серебряного ядра и золотой оболочки. *Микрохим. Акта* 2010, 171, 289–295. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
33. Титлммер, С.А.; Крамер, Б.; Далл'Аста, К.; ДеРоса, МС; Латтанцио, ВМТ; Мэлоун, Р.; Марагос, К.; Странска, М.; Сумара, МВТ Развитие анализа микотоксинов: обновленная информация на 2020–2021 гг. *World Mycotoxin J.* 2022, 15, 3–25. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
34. Лу, В.; Ван, К.; Сяо, К.; Цинь, В.; Хоу, Ю.; Сюй, Х.; Ян, Х.; Чен, Ю.; Кюи, Д.; Он, Дж. Тест-полоска с боковым потоком на основе двойных иммуномагнитных наногранул для одновременного количественного обнаружения карциноэмбрионального антигена и нейрон-специфической енолазы. *наук. Отчет* 2017, 7, 42414. [\[CrossRef\]](#)
35. Нгом, Б.; Го, Ю.; Ван, Х.; Би, Д. Разработка и применение технологии тест-полосок с боковым потоком для выявления инфекционных заболеваний. агенты и химические загрязнители: обзор. *Анальный. Биоанал. хим.* 2010, 397, 1113–1135. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
36. Соджинрин, Т.; Лю, К.; Ван, К.; Кюи, Д.; Брин, НД; Кертин, Дж. Ф.; Тиан, Ф. Разработка афлатоксина В1, конъюгированного с наночастицами золота. Противогрибковые полоски. *Межд. Дж. Мол. наук.* 2019, 20, 6260. [\[CrossRef\]](#)
37. Джи, Ю.; Рен, М.; Ли, Ю.; Хуанг, З.; Шу, М.; Ян, Х.; Сюн, Ю.; Сюй, Ю. Обнаружение афлатоксина В1 с помощью иммунохроматографического теста. полоски: повышенная чувствительность сигнала с использованием золотых наноцветов. *Таланта* 2015, 142, 206–212. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
38. Урусов А.; Жердев А.В.; Дзантиев Б.Б. Использование вторичных антител, меченных наночастицами золота, для повышения чувствительности иммунохроматографический анализ на афлатоксин В1. *Микрохим. Акта* 2014, 181, 1939–1946. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
39. Ди-Нардо, Ф.; Алладжо, Э.; Баджиани, К.; Кавалера, С.; Джованноли, К.; Спано, Г.; Анфосси, Л. Иммуноанализ в латеральном потоке с цветовой кодировкой для одновременного обнаружения афлатоксина В1 и фумонизинов типа В в одной тестовой линии. *Таланта* 2019, 192, 288–294. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
40. Сюлянь, С.; Сяолянь, З.; Цзянь, Т.; Сяохун, З.; Чу, Ф.С. Разработка иммунохроматографического метода обнаружения афлатоксина В1 в пищевых продуктах. *Контроль пищевых продуктов* 2006, 17, 256–262. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
41. Лю, Б.-Х.; Сюй, Ю.-Т.; Лу, К.-К.; Ю, Ф.-Ю. Обнаружение афлатоксина В1 в пищевых продуктах и кормах с помощью чувствительного быстрого иммуноферментного анализа и иммунохроматографической полоски с наночастицами золота. *Контроль пищевых продуктов* 2013, 30, 184–189. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
42. Чжэн, К.; Ву, Х.; Цзянь, Х.; Ян, Дж.; Гао, Ю. Разработка флуоресцентного иммунохроматографического анализа на базе смартфона Стрип-ридер. *Датчики* 2020, 20, 4521. [\[CrossRef\]](#)
43. Ли, Х.; Ян, Ф.; Вонг, JXN; Ю, X.Z. Интегрированная система чипов-приложений для смартфонов для колориметрического количественного определения афлатоксинов на уровне частей на миллиард. *Анальный. хим.* 2017, 89, 8908–8916. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
44. Ли, С.; Ким, Г.; Мун, Дж. Улучшение эффективности одноточечного иммуноанализа в латеральном потоке на афлатоксин В1 с помощью Система чтения на базе смартфона. *Датчики* 2013, 13, 5109–5116. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
45. Кавасима, Л.М.; Виейра, АР; Соарес, LMV Фумонизин В1 и ократоксин А в пиве, произведенном в Бразилии. *Пищевая наука. Технол.* 2007, 27, 317–323. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
46. Ван З.; Ли, Х.; Ли, К.; Ю, К.; Шен, Дж.; Де-Сегер, С. Разработка и применение количественного флуоресцентного иммунохроматографического анализа фумонизина В1 в кукурузе. *Дж. Агрик. Пищевая хим.* 2014, 62, 6294–6298. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
47. Рен, В.; Сюй, Ю.; Хуанг, З.; Ли, Ю.; Ту, З.; Цзоу, Л.; Он, К.; Фу, Дж.; Лю, С.; Hamtack, BD Иммунохроматографическая полоска на основе антител с одноцепочечным варибельным фрагментом для быстрого обнаружения фумонизина В1 в образцах кукурузы. *Пищевая хим.* 2020, 319, 126546. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
48. Венкатарамана, М.; Навья, К.; Чандранияка, С.; Приянка, СР; Мурали, Х.С.; Батра, Х.В. Разработка и валидация иммунохроматографического анализа для быстрого обнаружения фумонизина В1 в образцах зерновых. *Дж. Пищевая наука. Технол.* 2014, 51, 1920–1928. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
49. Тан, Х.; Ли, П.; Чжан, К.; Чжан, З.; Чжан, В.; Цзянь, Дж. Флуоресцентный иммунохроматографический анализ с временным разрешением, разработанный с использованием двух идиотипических нанотел для быстрого, количественного и одновременного обнаружения афлатоксина и зеараленона в кукурузе и продуктах из нее. *Анальный. хим.* 2017, 89, 11520–11528. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
50. Хонг, Х.; Мао, Ю.; Ян, К.; Лю, З.; Ли, М.; Ду, Д. Загрязнение зеараленона из Китая в 2019 году визуальным и оцифрованным способом. *Иммунохроматографический анализ. Токсины* 2020, 12, 521. [\[CrossRef\]](#)

51. Ван, Д.; Чжан, З.; Чжан, К.; Ван, З.; Чжан, В.; Ю, Л.; Ли, Х.; Цзян, Дж.; Ли, П. Быстрый и чувствительный иммунохроматографический анализ на основе двойной метки для обнаружения зеараленона в зерновых. Электрофорез 2018, 39, 2125–2130. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
52. Чжан Х.; Он, К.; Фанг, Ю.; Цао, Т.; Паудьял, Н.; Чжан, ХФ; Песня, ХХ; Ли, ХЛ; Фанг, В.Х. Двухпоточный иммунохроматографический анализ для быстрого и одновременного количественного обнаружения охратоксина А и зеараленона в образцах кукурузы, пшеницы и кормов. Дж. Чжэцзянский университет. наук. Б 2018, 19, 871–883. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
53. Сунь, Ю.; Син, Г.; Ян, Дж.; Ван, Ф.; Дэн, Р.; Чжан, Г.; Ху, Х.; Чжан Ю. Разработка иммунохроматографической тест-полоски для одновременного качественного и количественного обнаружения охратоксина А и зеараленона в зерновых. Дж. Наук. Продовольственное сельское хозяйство. 2016, 96, 3673–3678. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
54. Це, З.; Ши, Дж.; Ян, В.; Гао, З.; Мэн, В.; Сяо, Р.; Ван, С. Иммунохроматографический анализ токсина Т-2 на основе люминесцентного анализа. бусины с квантовыми точками. РСК Адв. 2019, 9, 38697–38702. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
55. Урусов А.Е.; Петракова А.В.; Бартош А.В.; Губайдуллина, МК; Жердев А.В.; Дзантиев Б.Б. Иммунохроматографический анализ Токсин Т-2 с использованием меченых антивидовых антител. Прил. Биохим. 2017, 53, 594–599. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
56. Петракова А.В.; Урусов А.Е.; Возняк, М.В.; Жердев А.В.; Дзантиев, Б.Б. Иммунохроматографическая тест-система для обнаружения токсина Т–2. Прил. Биохим. 2015, 51, 688–694. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
57. Петракова А.В.; Урусов А.Е.; Губайдуллина, МК; Бартош А.В.; Жердев А.В.; Дзантиев Б.Б. «Внешние» антитела как простейший инструмент чувствительных иммунохроматографических тестов. Таланта 2017, 175, 77–81. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
58. Чжан Х.; Ю, Х.; Вэнь, К.; Ли, К.; Муджтаба-Мари, Г.; Цзян, Х.; Ши, В.; Шен, Дж.; Ван, З. Мультиплексный иммуноанализ в латеральном потоке на основе аморфных углеродных наночастиц для обнаружения трех микотоксинов фузариоза в кукурузе. Дж. Агрик. Пищевая хим. 2017, 65, 8063–8071. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
59. Ван, З.; Дуань, Н.; Хун, Х.; Ву, С. Электрохемилуминесцентный аптамерный биосенсор для определения охратоксина А на золотом электроде, модифицированном наночастицами золота, с использованием N-(аминобутил)-N-этилизолуминола в качестве люминесцентной метки. Анальный. Биоанал. хим. 2010, 398, 2125–2132. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
60. Нил, Швейцария; Баскар, В.; Сельварадж, Д.; Нил, А.; Сяо, Дж.; Кай, Г. Нанотехнологии в пищевой науке: применение, последние тенденции и перспективы на будущее. Нано-Микро Летт. 2020, 12, 45. [\[CrossRef\]](#)
61. Лю, К.; Он, З.; Бирн, НД; Кертин, Дж. Ф.; Тиан Ф. Исследование роли формы и размера наночастиц золота в их токсичности для Грибы. Межд. Дж. Энвайрон. Рез. Общественное здравоохранение 2018, 15, 998. [\[CrossRef\]](#)
62. Тиан, Ф.; Клифт, МД; Кейси, А.; Дель-Пино, П.; Пелаз, Б.; Конде, Дж.; Бирн, НД; Ротен-Рутисхаузер, Б.; Эстрада, Г.; Фуэнте, Дж. М.; и другие. Исследование роли формы на биологическом воздействии наночастиц золота in vitro. Наномедицина 2015, 10, 2643–2657. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
63. Шульц, Дж.; Колодзей, А.; Руман, Т. Серебро-109/Серебро/Золото. Поверхностная лазерная десорбция/ионизационная масс-спектрометрия с мишенью, усиленной наночастицами. Новые методы оценки концентрации микотоксинов в строительных материалах. Токсины 2021, 13, 45. [\[CrossRef\]](#)
64. Анфосси, Л.; Ди-Нардо, Ф.; Кавалера, С.; Джованноли, К.; Спано, Г.; Сперанская, Е.С.; Горячева И.Ю.; Баггиани, К. Иммуноанализ в латеральном потоке для прямого определения микотоксинов фумонизина, основанный на тушении флуоресценции квантовых точек CdSe/ZnS наночастицами золота и серебра. Микрохим. Акта 2018, 185, 94. [\[CrossRef\]](#)
65. Ашарани, П.В.; Лянву, Ю.; Гонг, З.; Валияветтил, С. Сравнение токсичности наночастиц серебра, золота и платины в развитие эмбрионов рыб данио. Нанотоксикология 2011, 5, 43–54. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
66. Сиддики, Канзас; Хусен, А.; Рао, РАК Обзор биосинтеза наночастиц серебра и их биоцидных свойств. Дж. Нанобиотехнологии. 2018, 16, 14. [\[CrossRef\]](#)
67. Ахамед, М.; Карнс, М.; Гудсон, М.; Роу, Дж.; Хусейн, С.М.; Шлагер, Джей Джей; Хонг, Ю. Реакция повреждения ДНК на различный химический состав поверхности наночастиц серебра в клетках млекопитающих. Токсикол. Прил. Фармакол. 2008, 233, 404–410. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
68. Армбрустер, Д.А.; Прай, Т. Предел бланка, предел обнаружения и предел количественного определения. Клини. Биохим. Ред. 2008 г., 29, S49–S52.
69. Лю, Ю.; Жан, Л.; Цинь, З.; Сакрисон, Дж.; Бишоф, Дж. К. Сверхчувствительные и высокоспецифичные анализы латерального потока для диагностики на месте. АСВ Нано 2021, 15, 3593–3611. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
70. Со, Дж. Х.; Чан, Х.-М.; Инь, Дж. Я. Стратегии разработки чувствительных и специфичных методов анализа латерального потока на основе наночастиц, диагностическое устройство на месте оказания медицинской помощи. Nano Today 2020, 30, 100831. [\[CrossRef\]](#)
71. Нгуен, В.-Т.; Песня, С.; Парк, С.; Джу, К. Последние достижения в области высокочувствительных методов обнаружения для анализа бокового потока на основе бумаги. Биосенс. Биоэлектрон. 2020, 152, 112015. [\[CrossRef\]](#)
72. Бишоп, JD; Се, Х.В.; Гасперино, диджей; Вейгль, Б.Х. Повышение чувствительности в анализах латерального потока: системная перспектива. Лабораторный чип 2019, 19, 2486–2499. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
73. Нардо, Ф.; Кьярелло, М.; Кавалера, С.; Баджиани, К.; Анфосси, Л. Десять лет применения метода иммуноанализа в латеральном потоке: Тенденции, вызовы и перспективы на будущее. Датчики 2021, 21, 5185. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)