



УДК 543

ОДНОВРЕМЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕАРАЛЕНОНА И ОХРАТОКСИНА А В ПШЕНИЦЕ ИММУНОФИЛЬТРАЦИОННЫМ ТЕСТ-МЕТОДОМ

Н. А. Юрасов, Н. А. Бурмистрова, Т. Ю. Русанова

Саратовский государственный университет
E-mail: naburmistrova@mail.ru



Разработаны методики одновременного определения микотоксинов – охратоксина А (ОТА) и зеараленона (ЗЕА) – методом мембранного иммунофилтративного анализа. Принцип анализа основан на конкурентном связывании микотоксинов и их конъюгатов с ферментом со специфическими антителами, иммобилизованными на мембране. Оптимизирована процедура приготовления мембран и выбраны условия определения ОТА и ЗЕА в модельных смесях и экстракте пшеницы. Пробоподготовка заключалась в экстрагировании микотоксинов водно-ацетонитрильным (30 : 70 об.%) раствором с последующим разбавлением фосфатно-солевым буферным раствором. Контрольный уровень обнаружения ОТА и ЗЕА в пшенице составил 2.5 и 50 мкг/кг соответственно. Методика отличается экспрессностью (25 минут для 10 образцов), простотой процедуры пробоподготовки и выполнения анализа, возможностью внелабораторного использования.

Ключевые слова: иммуноанализ, тест-методы, микотоксины.

Immunofiltration Test-Method for Simultaneous Detection of Zearalenone and Ochratoxin A in Wheat

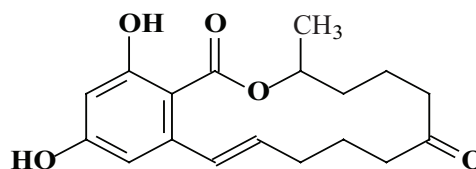
N. A. Yurasov, N. A. Burmistrova, T. Yu. Rusanova

The membrane immunofiltration assay for simultaneous detection of mycotoxins (ochratoxin A (OTA) and zearalenone (ZEA)) was developed. The assay is based on competition of mycotoxins and their conjugates with enzymes for specific sites of antibodies immobilized on membrane. The procedure for membrane preparation and condition for OTA and ZEA detection in buffer solutions and wheat extract were optimised. The simple sample preparation (extraction with aqueous-acetonitrile solution, 30:70 v/v and three-fold dilution with phosphate-buffered saline) was used. Cut-off levels for OTA and ZEA detection in wheat are 2.5 and 50 µg/kg, accordingly. The assay is express (10 samples for 25 min), simple and can be used in field conditions.

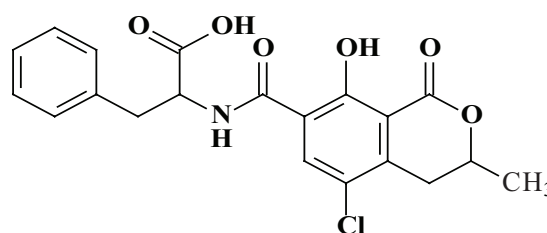
Key words: immunoassay, test-methods, mycotoxins.

Разработка простых и доступных широкому кругу потребителей методик, позволяющих осуществлять контроль качества продуктов питания и кормов является в настоящее время одной из важнейших задач аналитической химии [1]. Микотоксины – группа особо опасных и широко распространенных природных загрязнителей зерна и продуктов на его основе [2]. В связи с этим как в странах Евросоюза

[3], так и в России [4] введены законодательно установленные уровни предельно допустимого содержания микотоксинов в продуктах питания. Классификация, основные свойства отдельных групп микотоксинов и методы, применяемые для их анализа, подробно обсуждаются в обзорах [5–6]. Высокой чувствительностью, селективностью и возможностью реализации вне лаборатории характеризуются иммунохимические методы, реализуемые в форматах твердофазного иммуноферментного анализа, иммунохроматографических и иммунофилтративных тестов [7]. К настоящему времени накоплен опыт создания иммунохимических тест-систем для индивидуального определения целого ряда микотоксинов [7]. В то же время интерес представляет разработка методик их одновременного определения, что связано с вероятным присутствием нескольких микотоксинов в природных матрицах. Широкие возможности, с этой точки зрения, представляют мембранные иммунофилтративные тесты, позволяющие иммобилизовать специфические антитела на отдельных зонах мембраны. В качестве объектов для исследования возможности одновременного определения нами выбраны одни из наиболее распространенных загрязнителей пшеницы – зеараленон (ЗЕА) и охратоксин А (ОТА):



Зеараленон



Охратоксин А



ОТА является наиболее токсичным представителем группы охратоксинов, продуцируемых грибами *Aspergillus ochraceus* и *Penicillium viridicatum*, и загрязняет зерновые и бобовые культуры, орехи, фрукты, перец и пр. Этот микотоксин обладает нефротоксичным, тератогенным и иммунодепрессивным действием, ингибирует синтез белка, нарушает обмен гликогена, приводит к возникновению нефропатии у свиней [8].

ЗЕА продуцируется грибом *Fusarium graminearum*, встречается в зерновых культурах, обладает канцерогенными, эстрогенными и тератогенными свойствами, часто является причиной нарушения репродуктивной функции у домашнего скота. Являясь аналогом эстрогенов, ЗЕА приводит к гиперэстрогенному синдрому и другим репродуктивным расстройствам у домашних животных, прежде всего свиней [9].

Согласно установленным Европейским союзом нормам [3], допустимый уровень содержания в пшенице для ОТА и ЗЕА составляет 5 мкг/кг и 100 мкг/кг соответственно. В Российской Федерации [4] предельно допустимое содержание ОТА и ЗЕА в продовольственном зерне составляет 5 и 1000 мкг/кг соответственно.

Для инструментального определения ЗЕА и ОТА в пшенице применяют ВЭЖХ с флуориметрическим [10] и масс-спектрометрическим детектированием [11], твердофазный иммуноферментный анализ [12,13] и иммуносенсоры [14]. Для внелабораторного скрининга ЗЕА и ОТА в зерне разработаны иммунохроматографические [15] и иммунофильтрационные тесты с антителами, иммобилизованными на мембранах [13,16] и сефарозном геле [13]. Методики одновременного тест-определения ЗЕА и ОТА в пшенице отсутствуют.

В связи с этим целью настоящей работы явилась разработка методики одновременного определения ЗЕА и ОТА в экстракте пшеницы в формате мембранного иммуноферментного анализа на уровне 2.5 и 50 мкг/кг соответственно.

Экспериментальная часть

Реагенты, материалы и растворы. В работе были использованы следующие реагенты и материалы: стандарты ЗЕА и ОТА («Sigma»), кроличьи антимышьи антитела (вторичные антитела, IgG) (2.5 г/л) (Dako, Belgium), моноклональные антитела, специфичные к ОТА (антиОТА) антитела и специфичные к ЗЕА (антиЗЕА) антитела (Diagnostic Laboratory, Agricultural Biotechnology Center, Gödöllő, Венгрия), субстрат BCIP/NBT Developer 1 Component AP Membrane Substrate (PURPLE), нитроцеллюлозные мембраны Immopodune ABC (размер пор 0.45 мкм, Pall France).

Конъюгаты ОТА и ЗЕА с щелочной фосфатазой (ОТА-ЩФ, ЗЕА-ЩФ) синтезированы в лаборатории университета г. Гент (Бельгия) под руководством проф. Де Саегер по известной методике [17]. Для разбавления иммунореагентов и в качестве промывочного буфера использовали 0.01 М фосфатно-солевой буферный раствор (ФСБ), pH 7.4. Исходные растворы ОТА и ЗЕА (1 и 0.1 мг/мл) готовили в метаноле и хранили при –20 °С, рабочие растворы готовили непосредственно перед работой разбавлением в ФСБ. Остальные вещества, использованные в работе, имели квалификации «хч» или «чда».

Приготовление экстракта пшеницы. В работе использованы образцы пшеницы, изначально не содержащие ОТА и ЗЕА (что подтверждено методом ЖХ-МС/МС) и затем искусственно загрязненные на уровне соответствующих концентраций. Образцы пшеницы измельчали в кофемолке до размера частиц 0.05–2 мм, вводили добавки ОТА и ЗЕА на уровнях 2.5–10 мкг/кг и 50–200 мкг/кг соответственно и выдерживали в течение 12 ч в темноте. К 5 г анализируемого образца добавляли 15 мл водно-ацетонитрильного раствора (30/70% об.). Смесь перемешивали в течение 10 мин, центрифугировали при 8000 об/мин 15 мин и фильтровали с использованием стеклянного фильтра (Glass microfibre filter, Whatman). Полученный экстракт разбавляли ФСБ в 3 раза.

Приготовление мембран. Процедура подготовки мембран и проведения анализа основана на методиках, предложенных в работах [16, 18, 19], с модификацией, позволяющей проводить одновременное определение нескольких аналитов. На рабочий участок мембраны размером 7 x 7 мм наносили 4 пятна вторичных антител (по 1.5 мкл). Мембраны сушили 30 мин при 37 °С, блокировали 30 мин в 2%-ном растворе казеина в ФСБ; сушили 45 мин при 37 °С. Специфические антитела (разведенные в ФСБ, 0.8 мкл) наносили в области иммобилизации IgG и сушили мембраны в течение 10 мин. Мембрану помещали в пластиковый картридж на адсорбент (ватный диск). Подготовленные картриджи могут храниться длительное время в герметичной упаковке.

Проведение анализа. Анализ включает последовательное пропускание через мембрану экстракта анализируемого образца (600 мкл), конъюгата аналита с ЩФ (60 мкл), промывочного раствора (3 раза по 60 мкл ФСБ), субстрата (120 мкл). Каждую последующую стадию осуществляли после полного впитывания раствора адсорбентом. Ферментативную реакцию останавливали добавлением бидистиллированной воды (200 мкл).

Обработка изображений. Мембраны сканировали с использованием офисного сканера



HP M1005MFP с разрешением 1200 dpi. Полученные изображения обрабатывали в программе «Adobe Photoshop CS3» (версия 10), усредненный цветовой параметр пятна G (меню «Фильтр» → «Размытие» → «Среднее») получали с помощью панели «Color Picker».

Результаты и их обсуждение

Традиционно в иммунофилтрационных тестах в качестве ферментной метки используют коммерчески доступную пероксидазу хрена (ПХ). Однако ее применение может приводить к значительному матричному эффекту при анализе пищевых продуктов [20] и увеличению неспецифической сорбции конъюгата на поверхности мембраны. Применение щелочной фосфатазы в качестве ферментной метки позволило увеличить чувствительность и стабильность тест-систем [20]. В связи с этим в данной работе использовали конъюгаты ОТА и ЗЕА с ЩФ.

Разработка методики филтрационного иммуноанализа включает следующие шаги: 1) оптимизацию условий приготовления мембраны (концентрации IgG и специфичных к аналиту антител); 2) выбор условий проведения иммуноанализа в модельных растворах (объемы и состав промывочных растворов, концентрация конъюгата аналита с ферментом, время детектирования окраски); 3) выбор способа пробоподготовки объекта анализа; 4) выбор условий проведения иммуноанализа в реальных объектах. В случае одновременного определения нескольких аналитов требуется дополнительная оптимизация условий иммуноанализа.

Непосредственно анализ включает последовательное пропускание пробы, раствора конъюгата, промывочного раствора и субстрата. Принцип анализа заключается в конкуренции за места связывания специфических антител между аналитом и его конъюгатом с ферментом. В отсутствие аналита в пробе со специфическими антителами связывается конъюгат, обеспечивая протекание ферментативной реакции после добавления субстрата, приводящее к возникновению окраски. Присутствие аналита в пробе выше определенной концентрации приводит к отсутствию окраски. Таким образом, разрабатываемые тест-системы позволяют обнаружить присутствие аналита выше заданного уровня концентрации (контрольного уровня). Помимо визуальной оценки результатов, которая может содержать большую субъективную погрешность, проводили цифровую обработку сканированного изображения мембран. В качестве оптимальной цветовой характеристики выбран параметр G (насыщенность зеленого), проявивший наибольший отклик на продукт ферментативной

реакции по отношению к фоновому сигналу мембраны при пропуске экстракта.

Выбор оптимальных условий определения ЗЕА и ОТА в модельных растворах

Предварительно оптимизировали условия индивидуального определения ОТА и ЗЕА.

Выбор концентрации антимышинных кроличьих иммуноглобулинов IgG. В иммунофилтрационном анализе поверхность мембран предварительно модифицируют вторичными IgG, что позволяет иммобилизовать первичные (специфичные к аналиту) антитела с определенной ориентацией за счет их связывания с IgG и таким образом повысить эффективность образования иммунокомплекса антиген – антитело. Ранее использовали неразбавленные коммерческие препараты IgG, при этом влияние их концентрации на аналитический сигнал не изучалось [18,20]. Нами оценена возможность уменьшения концентрации антимышинных кроличьих иммуноглобулинов с целью снижения себестоимости анализа. Исследования проводили на примере тест-системы для определения ЗЕА. Использовали неразбавленные IgG, а также их растворы с разведением 1 : 5, 1 : 10 и 1 : 50. Установлено, что концентрация IgG заметно не влияет на визуальное определение пятен при различных разведениях антиЗЕА-антител (1 : 75, 1 : 100, 1 : 150, 1 : 200) и фиксированной концентрации конъюгата (1 : 750). Значение параметра G незначительно возрастает при увеличении разведения IgG (~ на 10 ед. при уменьшении концентрации в 50 раз), более чувствительно к разведению специфических антител (возрастание ~ на 30 ед. при уменьшении концентрации в 2.5 раза) и в любом случае значительно ниже порога восприятия 245 ед. Аналогичные результаты получены для тест-системы для определения ОТА. В дальнейшей работе использовали разведение IgG 1 : 50.

Выбор концентрации иммунореагентов. Оптимальные разведения антител и конъюгатов выбирали таким образом, чтобы, с одной стороны, при пропуске растворов, не содержащих микотоксинов, наблюдались яркие визуально детектируемые пятна, а с другой стороны, в присутствии микотоксинов на уровнях 1 нг/мл для ОТА и 20 нг/мл для ЗЕА пятна не проявлялись. Влияние концентрации иммунореагентов на сигнал при определении ЗЕА представлено на рис. 1. При значении G более 245 ед. пятно визуально не детектируется. В качестве оптимальных выбраны разведения антиЗЕА антител 1:1500 и конъюгата ЗЕА-ЩФ 1:5000, которые удовлетворяют ранее приведенным требованиям и обеспечивают наибольшую чувствительность анализа за счет наименьшей концентрации специфических антител.

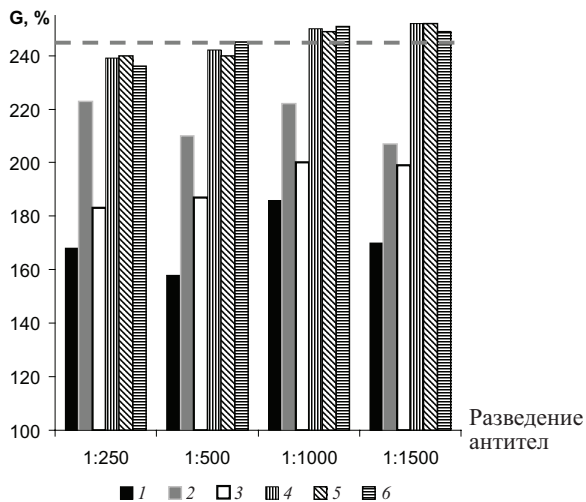


Рис. 1. Влияние разведения антиЗЕА-антител и конъюгата ЗЕА-ЩФ на величину параметра G в отсутствие (1–3) и присутствии (4–6) ЗЕА (20 нг/мл) в модельном растворе. Разведение конъюгата ЗЕА-ЩФ: 1 : 1000 (1,4), 1 : 2000 (2, 5), 1 : 5000 (3, 6). Время развития окраски 10 мин

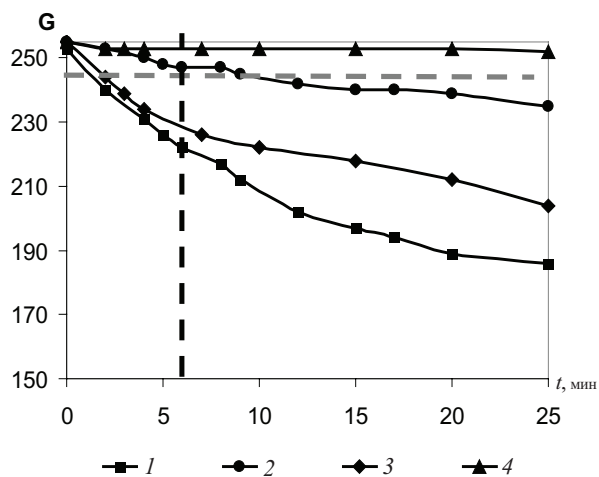


Рис. 2. Изменение параметра G во времени при определении ОТА в модельных растворах (1, 2) и экстракте пшеницы (3, 4) в отсутствие (1, 3) и присутствии (2, 4) анализата

Аналогично выбраны оптимальные концентрации иммунореагентов при определении ОТА: разведение антител 1:100, разведение конъюгата ОТА-ЩФ 1:500. Пределы обнаружения ОТА и ЗЕА в модельных растворах при выбранных условиях, определенные при варьировании концентрации анализатов, составляют 0.25 и 5 нг/мл соответственно.

Одним из критериев качества тест-методов является экспрессность определения (время детектирования не должно превышать 10 мин). В связи с этим изучено развитие окраски пятен во времени. Регистрировали параметр G в течение получаса каждые 2 мин. Как видно из рис. 2, при определении ОТА время детектирования, равное 6 мин, позволяет сделать вывод о его присутствии в анализируемом растворе. Аналогичные результаты получены и при определении ЗЕА.

Одновременное определение ЗЕА и ОТА в модельных растворах. Выбранные оптимальные условия индивидуального определения ОТА

и ЗЕА использованы для их одновременного определения. АнтиОТА- и антиЗЕА-антитела наносили в виде отдельных пятен в область иммобилизации IgG. Отличием методики анализа в этом случае является пропускание смеси конъюгатов ОТА-ЩФ и ЗЕА-ЩФ. Для контроля оптимальной концентрации антител анализ проводили при двух разведениях. Результаты определения ЗЕА и ОТА в модельных растворах представлены на рис. 3. Полученные результаты показывают принципиальную возможность одновременного определения ОТА и ЗЕА на уровнях 0.25 и 5 нг/мл соответственно.

Выбор оптимальных условий определения микотоксинов в пшенице

Пшеницу искусственно загрязняли ОТА и ЗЕА на уровнях 2.5–10 мкг/кг и 50–200 мкг/кг соответственно. Экстракцию микотоксинов из пшеницы проводили водно-ацетонитрильным раствором (30 : 70) с последующим разбавлением ФСБ в 3 раза. Тест-систему разрабатывали

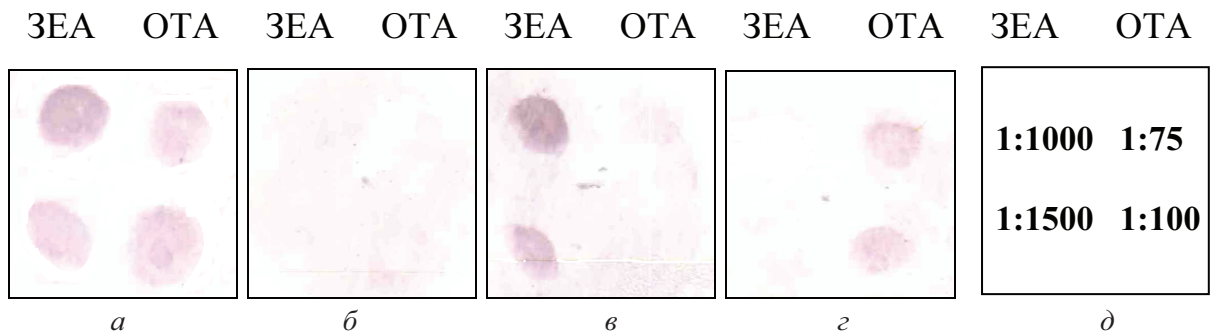


Рис. 3. Вид мембран при одновременном определении микотоксинов в модельных растворах. Концентрации ЗЕА и ОТА составляют 0 и 0 нг/мл (а), 5 и 0.25 нг/мл (б); 0 и 0.25 нг/мл (в); 5 и 0 нг/мл (г) соответственно; д – разведение антител

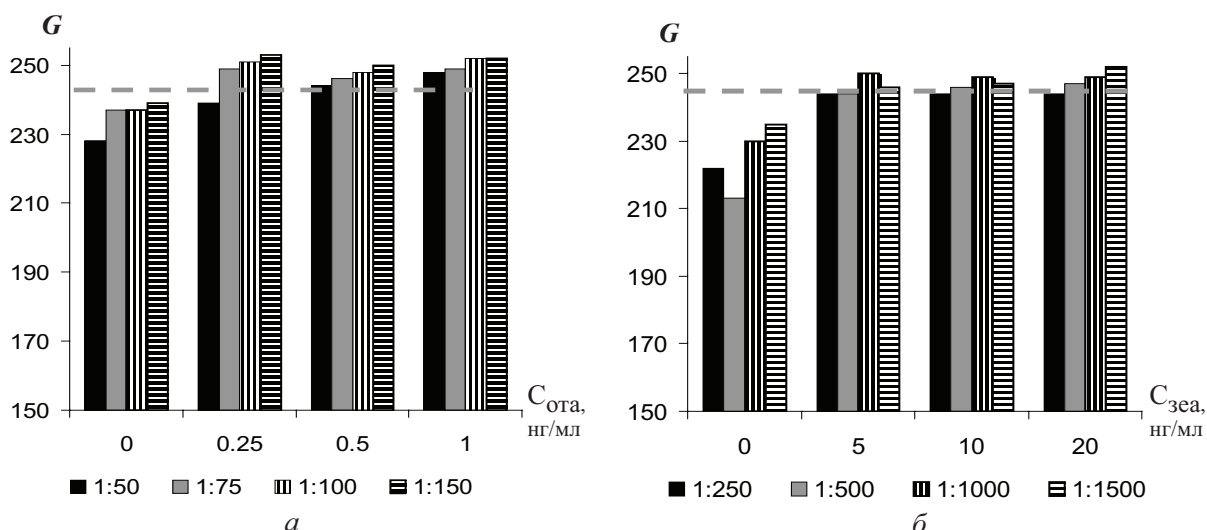


Рис. 4. Результаты одновременного определения ОТА (а) и ЗЕА (б) в экстракте пшеницы при различных разведениях антител

таким образом, чтобы она позволяла обнаружить микотоксины на контрольных уровнях, которые выбирали, согласно требованиям ИУРАС [21], как 50% от установленных ЕС ПДК в зерне. Контрольные уровни обнаружения ЗЕА и ОТА составили 5 нг/мл (50 мкг/кг) и 0.25 нг/мл (2.5 мкг/кг) соответственно.

Установлено, что оптимальные условия индивидуального определения ОТА и ЗЕА в экстракте пшеницы существенно не отличаются от ранее

выбранных для модельных смесей. Согласно данным, представленным на рис. 4, при разведениях антител 1:100 (антиОТА) и 1:1500 (антиЗЕА) и конъюгатов 1:500 (ОТА-ЩФ) и 1:5000 (ЗЕА-ЩФ) тест-система может быть использована для одновременного определения ЗЕА и ОТА в пшенице.

Аналитические параметры тест-определения микотоксинов в искусственно загрязненных образцах, рассчитанные согласно [22], представлены в таблице.

Результаты одновременного определения ОТА и ЗЕА методом мембранного иммуноанализа в образцах искусственно загрязненной пшеницы

Параметры	ОТА		ЗЕА	
	< 0.25	≥ 0.25	< 5	≥ 5
Введено микотоксина, нг/мл				
Число положительных результатов ($N_{\text{полож.}}$)	1	43	2	43
Число отрицательных результатов ($N_{\text{отриц.}}$)	39	2	38	2
Общее число образцов (N)	40	45	40	45
Процент ложно-положительных результатов	2.5		5	
Процент ложно-отрицательных результатов	4.4		4.4	
Правильность, %	96.5		95.3	
Специфичность, %	97.5		95.0	
Чувствительность, %	95.6		95.6	

Доля ложно-отрицательных результатов рассчитывалась как отношение числа ложно-отрицательных результатов к общему числу загрязненных образцов ($(N_{\text{ложно-отриц.}}/N_+) \times 100(\%)$), доля ложно-положительных результатов – как отношение числа ложно-положительных результатов к общему числу незагрязненных образцов ($(N_{\text{ложно-полож.}}/N_-) \times 100(\%)$). Правильность анализа оценивалась как $([(N_{\text{полож.}} + N_{\text{отриц.}})/N] \times 100(\%))$,

специфичность – как $(N_{\text{отриц.}}/N_-) \times 100(\%)$ и чувствительность – как $(N_{\text{полож.}}/N_+) \times 100(\%)$. Параметры разработанной методики отвечают требованиям ИЮПАК [21] для тест-систем.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 11-03-93963-ЮАР_а), Минобрнауки РФ и Германской службы академических обменов (грант № А/09/72770).



Список литературы

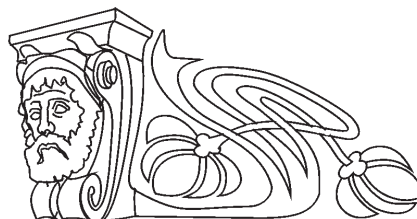
1. Золотов Ю. А., Иванов В. М., Амелин В. Г. Химические тест-методы анализа М., 2002. 304 с.
2. Weidenbömer M. Mycotoxins in Foodstuff. Springer, 2007. 900 p.
3. Commission Regulation (EC) No. 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs // Off. J. Eur. Union L364/5.
4. СанПиН 2.3.2.1078-01. Продовольственное сырье и пищевые продукты. «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов».
5. Горячева И. Ю., Русанова Т. Ю., Бурмистрова Н. А., Де Саегер С. Иммунохимические методы определения микотоксинов // Журн. анал. химии. 2009. Т. 64, № 8. С. 788–806.
6. Урусов А. Е., Жердев А. В., Дзантиев Б. Б. Иммунохимические методы анализа микотоксинов (обзор) // Прикл. биохим. микроб. 2010. Т. 46, № 3. С. 276–290.
7. Zheng M. Z., Richard J. L., Binder J. A review of rapid methods for the analysis of mycotoxins // Mycopathologia. 2006. Vol. 161. P. 261–273.
8. Pfohl-Leszkowicz A., Manderville R. A. Ochratoxin A: An overview on toxicity and carcinogenicity in animals and humans // Mol. Nutr. Food Res. 2007. Vol. 51, № 1. P. 61–99.
9. Zinedine A., Soriano J.M., Molto J. C., Manes J. Review on the toxicity, occurrence, metabolism, detoxification, regulations and intake of zearalenone: an oestrogenic mycotoxin // Food Chem. Toxicol. 2007. Vol. 45. P. 1–18.
10. Monaci L., Palmisano F., Matrella R., Tantillo G. Determination of ochratoxin A at part-per-trillion level in Italian salami by immunoaffinity clean-up and high-performance liquid chromatography with fluorescence detection // J. Chromatogr. A. 2005. Vol. 1090, № 1–2. P. 184–187.
11. Berthiller F., Sulyok M., Krška R., Schuhmacher R. Chromatographic methods for the simultaneous determination of mycotoxins and their conjugates in cereals // Intern. J. Food Microbiol. 2007. Vol. 119, № 1–2. P. 33–37.
12. Liu R., Yu Z., He Q., Xu Y. An immunoassay for ochratoxin A without the mycotoxin // Food Control. 2007. Vol. 18, № 7. P. 872–877.
13. Burmistrova N. A., Goryacheva I. Yu., Basova E. Yu., Franki A.-S., Elewaut D., Van Beneden K., Deforce D., Van Peteghem C., De Saeger S. Application of a new anti-zearalenone monoclonal antibody in different immunoassay formats // Anal. Bioanal. Chem. 2009. Vol. 395. P. 1301–1307.
14. Alarcon S. H., Palleschi G., Compagnone D., Pascale M., Visconti A., Barna-Vetro I. Monoclonal antibody based electrochemical immunosensor for the determination of ochratoxin A in wheat // Talanta. 2006. Vol. 69, № 4. P. 1031–1037.
15. Kolosova A. Y., De Saeger S., Sibanda L., Verheijen R., Van Peteghem C. Development of a colloidal gold-based lateral-flow immunoassay for the rapid simultaneous detection of zearalenone and deoxynivalenol // Anal. Bioanal. Chem. 2007. Vol. 389, № 7–8. P. 2103–2107.
16. De Saeger S., Van Peteghem C. Flow-through membrane-based enzyme immunoassay for rapid detection of ochratoxin A in wheat // J. Food Protect. 1999. Vol. 62, № 1. P. 65–69.
17. Hermanson G. T. Bioconjugate techniques. Academic Press. San Diego, 1996. 785 p.
18. De Saeger S., Sibanda L., Desmet A., Van Peteghem C. A collaborative study to validate novel field immunoassay kits for rapid mycotoxin detection // Intern. J. Food Microbiol. 2002. Vol. 75. P. 135.
19. De Saeger S., Van Peteghem C. Detection of mycotoxins by flow-through membrane-based enzyme immunoassay. European patent No. 0893690 (Bulletin 2004/29, 14.07.2004).
20. Kolosova A. Yu., De Saeger S., Eremin S. A., Van Peteghem C. Investigation of several parameters influencing signal generation in flow-through membrane-based enzyme immunoassay // Anal. Bioanal. Chem. 2007. Vol. 387. P. 1095–1104.
21. EC Commission Decision 657/2002 of 12 August 2002. Implementing Council Directive 96/23/EC Concerning the Performance of Analytical Methods and the Interpretation of Results // Off. J. of the European Communities L 221/8.
22. Trullols E., Ruisanchez I., Rius F.X. Validation of qualitative analytical methods // Trends Anal. Chem. 2004. Vol. 23, № 2. P. 137–145.

УДК 543.257.1:[546.817+661.185.1]

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТИТАНОВОГО ЭЛЕКТРОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИОНОВ ВАНАДИЯ (IV) В СУХИХ ОСТАТКАХ НЕФТЕЙ

С. С. Сатаева

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, г. Уральск
E-mail: sataeva_safura@mail.ru



В работе предложен индикаторный электрод на основе металлического титана. Исследованы его электроаналитические свойства (электродная функция, время отклика, предел чувствительности, pH-зависимость) в растворах ионов ванадия (IV). Показана возможность использования данного

электрода для определения ванадия (IV) в сухих остатках нефтей.

Ключевые слова: потенциометрия, потенциометрическое титрование, титановые электроды, ванадий (IV), сухой остаток нефти.