

Читать
онлайн
Read
online

Шур П.З., Редько С.В., Уланова Т.С., Стенно Е.В., Вейхман Г.А.

Особенности использования модельных сред, применяемых при тестировании пищевой алюминиевой фольги

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»
Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 614045, Пермь, Россия

Введение. Алюминиевая фольга является одним из наиболее широко применяемых видов пищевой упаковки, поскольку обладает набором высоких потребительских характеристик. Вместе с тем пищевая фольга может служить источником поступления алюминия в организм человека, однако специфическая методика тестирования фольги отсутствует. В связи с этим актуальным представляется изучение спектра и особенностей применения модельных сред для совершенствования различных этапов тестирования пищевой алюминиевой фольги.

Цель исследования — изучить особенности использования модельных сред и этапов тестирования, применяемых в целом для любой пищевой упаковки, при исследовании алюминиевой фольги.

Материалы и методы. С применением руководства по составлению отчётов о систематических обзорах PRISMA выполнен анализ научно-технической литературы в отношении особенностей применения модельных сред при тестировании пищевой алюминиевой фольги. Измерение содержания алюминия в модельных средах после контакта с алюминиевой фольгой проведено методами спектрометрии.

Результаты. При тестировании пищевой алюминиевой фольги нецелесообразно применение всего перечня модельных сред, рекомендованных TR TS 005/2011. Установлено, что целесообразно усовершенствование действующей инструктивно-методической базы, в частности преаналитического этапа пробподготовки. Разработан способ пробподготовки; с использованием спектральных методов измерений проведено сравнительное экспериментальное исследование реальных проб модельных сред после контакта с фольгой.

Ограничения исследования. Ограничением исследования послужило использование в эксперименте исключительно образцов алюминиевой фольги толщиной 0,009 мм из алюминиевого сплава 8011 и алюминиевой фольги толщиной 0,02 мм из алюминиевого сплава 1200.

Заключение. Перечень модельных сред для исследования любой пищевой упаковки не учитывает особенностей применения алюминиевой фольги в быту, поэтому методические подходы к этапам её тестирования нуждаются в совершенствовании. Разработанный способ пробподготовки позволяет применять унифицированные требования в процессе тестирования пищевой алюминиевой фольги с целью её безопасного применения в быту.

Ключевые слова: пищевая упаковка; алюминиевая фольга бытового назначения; модельные среды; пробподготовка

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Шур П.З., Редько С.В., Уланова Т.С., Стенно Е.В., Вейхман Г.А. Особенности использования модельных сред, применяемых при тестировании пищевой алюминиевой фольги. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(6): 688–693. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-6-688-693> <https://www.elibrary.ru/uaewew>

Для корреспонденции: Редько Светлана Валентиновна, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. лаб. методов анализа внешнесредовых рисков ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045, Пермь. E-mail: redkovs@fcrisk.ru

Участие авторов: Шур П.З., Уланова Т.С. — концепция и дизайн исследования, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; Редько С.В., Стенно Е.В., Вейхман Г.А. — сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Научно-исследовательская работа выполнена в рамках внебюджетного сотрудничества и при финансовой поддержке Акционерного общества «РУСАЛ САЯНАЛ».

Поступила: 11.04.2022 / Принята к печати: 08.06.2022 / Опубликована: 30.06.2022

Pavel Z. Shur, Svetlana V. Redko, Tatyana S. Ulanova, Elena V. Stenno, Galina A. Vejhmán

Features of the use of food simulators used when testing packaging for the study of food aluminum foil

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation

Introduction. Aluminum foil is one of the most widely used food packaging, since it has a set of high consumer characteristics. At the same time, the food foil can serve as a source of aluminum entering the human body, but there is no specific method of testing foil. In this regard, the study of the spectrum and features of the application of food simulators is relevant to improve various stages of food aluminum foil testing.

The purpose of the study is to investigate the features of the use of food simulators and testing stages used as a whole for any food packaging in the study of aluminum foil.

Materials and methods. With the application of the elements of the PRISMA systematic reporting reports on systematic reviews, the analysis of scientific and technical literature on the features of the use of food simulators when testing the food aluminum foil were performed. Measurement of aluminum content in food simulators after contact with aluminum foil was carried out by spectrometry methods.

Results. When testing the food aluminum foil, it is impractical to the use of the entire list of food simulators recommended by TR TS 005/2011. It was established to be advisable to improve the current instructive methodological base, in particular the pre-analytic stage of sample preparation. A method of sample preparation and spectral measurement methods was carried out by a comparative experimental measurement of real samples of food simulators after contact with the foil.

Limitations. The limitation of the study was the use in the experiment exclusively of samples of aluminum foil with a thickness of 0.009 mm from aluminum alloy 8011 and aluminum foil with a thickness of 0.02 mm from aluminum alloy 1200. Account the features of the use of aluminum foil into everyday life, therefore, the methodological approaches to the stages of its testing need to be improved. The developed method of sample preparation allows applying unified requirements in the process of testing food aluminum foil to safely use it in everyday life.

Conclusion. The list of model environments for the study of any food packaging does not take into account the specifics of the use of aluminum foil in everyday life, therefore, methodological approaches to the stages of its testing need to be improved. The developed method for sample preparation allows applying unified requirements in the process of testing food-grade aluminum foil for the purpose of its safe use in everyday life.

Keywords: food packaging; aluminum foil for domestic use; food simulators; sample preparation

Compliance with ethical standards. Research does not require the submission of a biomedical ethics committee opinion or other documents.

For citation: Shur P.Z., Redko S.V., Ulanova T.S., Stenno E.V., Vejhmán G.A. Features of the use of food simulators used when testing packaging for the study of food aluminum foil. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russ G.A.ian journal)*. 2022; 101(6): 688-693. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-6-688-693> <https://elibrary.ru/uanewc> (in Russian)

For correspondence: Svetlana V. Redko, MD, PhD, Senior Researcher, Laboratory of Environmental Risk Analysis Methods, Perm, 614045, Russian Federation. E-mail: redkosv@fcrisk.ru

Information about authors:

Shur P.Z., <https://orcid.org/0000-0001-5171-3105> Redko S.V., <https://orcid.org/0000-0002-2736-5013> Ulanova T.S., <https://orcid.org/0000-0002-9238-5598> Stenno E.V., <https://orcid.org/0000-0001-5772-2379> Veikhman G.A., <https://orcid.org/0000-0002-8490-7624>

Contribution: Shur P.Z., Ulanova T.S. – concept and design of the study, editing; Redko S.V., Stenno E.V., Vejhmán G.A. – collection and processing of material, statistical processing, writing text. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment. The research work was carried out as part of off-budget cooperation and with the financial support of Open Joint Stock Company JSC «RUSAL SAYANAL».

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Received: April 11, 2022 / Accepted: June 8, 2022 / Published: June 30, 2022

Введение

Алюминиевая фольга обладает набором своеобразных эксплуатационных и технологических характеристик, обеспечивающих её активное применение для упаковки пищевой продукции [1, 2]. Наряду с этим алюминиевая фольга является достаточно нестойким материалом по отношению к продуктам, содержащим органические кислоты и поваренную соль [3], а кулинарная обработка с использованием высокой температуры увеличивает уровень миграции алюминия [4]. Алюминиевая фольга обладает защитными свойствами и высокой теплостойкостью. Недостаток фольги заключается лишь в её низком сопротивлении механическому воздействию, что приводит к необходимости комбинирования с другими материалами [5]. Разнообразный ассортимент видов упаковочной фольги свидетельствует о её универсальных потребительских свойствах [5, 6]. В отличие от кухонной посуды из алюминия применяемая в быту алюминиевая фольга и изделия из неё (контейнеры, касалетки и др.) имеют ряд особенностей, например, более длительный контакт с пищевым продуктом при относительно низких температурах в условиях холодильных камер или воздействие высоких температур в процессе запекания. Особенностью пищевой тары, выполненной из алюминиевой фольги, является рабочий диапазон температур от минус 40 до плюс 280 °C [7]. Существующие в научной литературе данные о биологической доступности алюминия и возможном влиянии алюминия на организм человека подчёркивают важность изучения источников поступления этого металла, в том числе с пищей и из пищевой упаковки [8].

Пищевая алюминиевая фольга может служить источником поступления в организм человека алюминия, токсичность которого в последние десятилетия является предметом дискуссий и до сих пор до конца не установлена, однако отмечается потенциальная опасность для здоровья [8–10]. Известно, что у населения некоторых стран мира регистрируются повышенные уровни недельного потребления алюминия (PTWI – provisional tolerable weekly intake), установленные по данным JECFA. В странах Таможенного союза действует Технический регламент ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки» и Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) [11, 12], в которых регламентирован допустимый уровень количества миграции (ДКМ) алюминия, равный 0,5 мг/л, и зафиксирована потенциальная токсичность алюминия при поступлении из пищевой упаковки. Данный показатель применяется в качестве критерия безопасности при тестировании фольги и использовании модельных сред, имитирующих в эксперименте пищевые продукты. Однако в силу ряда особенностей применения в быту пищевой алюминиевой фольги требуется разработка специфической методики определения уровня поступления алюминия в организм.

Цель исследования – изучение особенностей использования модельных сред и этапов тестирования, применяемых для всей пищевой упаковки, при исследовании алюминиевой фольги на этапе до разработки максимально допустимого уровня потребления алюминия по критериям безопасности и с учётом разнообразия видов алюминиевой фольги и способов её применения в быту.

Материалы и методы

Выполнен анализ релевантной научной литературы в отношении применения модельных сред при тестировании пищевой алюминиевой фольги. Анализ выполнен с применением элементов руководства по составлению отчётов о системных обзорах PRISMA [13]. Для анализа использованы данные информационно-аналитических порталов и баз научной литературы Elibrary.ru, PubMed, а также базы данных U.S.EPA, ФАО/ВОЗ. Научный поиск включал статьи и нормативные документы на русском и английском языках.

Для разработки способа пробоподготовки при тестировании пищевой алюминиевой фольги была использована действующая нормативно-техническая документация^{1,2,3,4,5,6,7}.

Хранение и подготовку проб алюминиевой фольги проводили в условиях, предотвращающих влияние агрессивных химических веществ. Продолжительность контакта и температурный режим устанавливали в соответствии с условиями эксплуатации фольги, указанными на этикетке и в соответствии с ТР ТС 005/2011.

Измерение содержания алюминия в воде и модельных средах после контакта с алюминиевой фольгой проводили методами атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией (ААС-ЭТА, GFAAS), атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-ОЭС, ICP-OES), масс-спектрометрии

¹ НСАМ № 480-Х «Определение элементного состава природных и питьевых вод методом ICP MS».

² ГОСТ Р 53150-2008 «Определение следовых элементов. Подготовка проб методом минерализации при повышенном давлении».

³ ГОСТ Р ИСО 6486-1-2007 «Посуда керамическая, стеклокерамическая и стеклянная столовая, используемая в контакте с пищей. Выделение свинца и кадмия».

⁴ МУК 4.1.3480-17 «Измерение массовых концентраций химических элементов (кадмий, свинец, мышьяк, ртуть) в молоке и молочных продуктах методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой».

⁵ FDA «Elemental Analysis Manual for Food and Related products Analytical Methods 4.7 ICP-MS Multi-element in Food (Ver.1.0; 2013)» [Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов «Руководство по элементному анализу пищевых продуктов и сопутствующих товаров Аналитические методы 4.7 ICP-MS Multi-element in Food (Версия 1.0; 2013)»].

⁶ Resolution CM/Res (2013) «Metals and alloys used in food contact materials and articles» [Резолюция CM/Res (2013) «Металлы и сплавы, используемые в материалах и изделиях, контактирующих с пищевыми продуктами»].

⁷ ГОСТ 31814-12. Общие правила отбора образцов для испытаний продукции при подтверждении соответствия.

с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС, ICP-MS), позволяющими определять алюминий на уровне допустимого коэффициента миграции, который составляет $\leq 0,5$ мг/дм³. Лабораторную посуду промывали в ультразвуковой мойке Elmasonic S 100H (Германия). Хранение осуществляли в закрытых пластиковых контейнерах. Контроль качества воды дистиллированной (степень чистоты 3) осуществляли в соответствии с ГОСТ 6709-72: рН = 5,4–6,6, содержание алюминия 0,05 мг/дм³, удельная электропроводимость 5×10^{-4} см/м. Для очистки воды водопроводной использовали аквадистиллятор электрический АЭ-10МО. Контроль рН осуществляли с использованием потенциометрического метода в соответствии с нормативно-технической документацией⁸. Для приготовления растворов стандартных образцов контроля (ОК) использовали раствор ионов алюминия массовой концентрации 1 г/дм³ (ГСО 7927-2001). Раствор с концентрацией 0,01 мг/дм³ использовали в качестве образца контроля (ОК), в котором массовая концентрация алюминия была близкой к пределу обнаружения, соответствующему выбранной методике измерения.

Для приготовления 2%-го раствора лимонной кислоты использовали х.ч. лимонную кислоту (ГОСТ 3652-69). Холодную пробу (ХП) готовили из дистиллированной воды, повторяя процедуру подготовки проб. Для приготовления холодной пробы использовали воду и посуду той же партии, что и для анализируемых проб. Концентрации алюминия в градуировочных растворах составляют 0; 1; 5; 10; 50; 100 мкг/л. Определение алюминия в модельных средах осуществляли на масс-спектрометре Agilent 7900 (Agilent Technologies, Япония/Сингапур) с октопольной реакционно-столкновительной ячейкой (ORS).

Для достижения максимальной чувствительности во всём диапазоне масс и получения наиболее высокого отношения «сигнал – фон» использовали раствор ⁷Li, ⁵⁹Co, ⁸⁹Y и ²⁰⁵Tl в 2% HNO₃ с концентрацией 1 мкг/л для каждого элемента (Tuning Solution, США). При анализе проб методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией^{9,10} использовали атомно-абсорбционный спектрометр МГА-1000 (Россия). Анализ проб методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой выполнен в соответствии с ГОСТ 31870-2012 «Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии». Градуировка спектрометра Thermo iCAP 6500Duo (США) производилась по растворам с концентрациями алюминия 0,01; 0,1; 0,5; 1 мг/л.

Результаты

Перенос химических веществ из упаковки в пищевую продукт происходит преимущественно вследствие разницы их концентраций в пищевых продуктах и упаковочных материалах. Уровень миграции зависит от ряда параметров: площади контакта продуктов питания и упаковки, времени контакта, состава продукта, концентрации мигрирующих веществ и др. [14, 15]. Химико-аналитические исследования пищевой упаковки позволяют оценить характер и количество веществ, выделяемых из материала в продукт, однако в пищевых продуктах затруднительно определить отдельные химические соединения. В связи с этим для санитарно-химических исследований применяются имитаторы пищевых продуктов – модельные среды.

⁸ ПНД Ф.14.1.2:3:4.121-97 «Количественный химический анализ вод. Методика измерений проб вод потенциометрическим методом».

⁹ ГОСТ 31870-2012 «Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии».

¹⁰ ПНД Ф 14.1:2.253-09 (М 01-46-2013) «Методика измерений массовой концентрации алюминия, бария, бериллия, ванадия, железа, кадмия, кобальта, лития, марганца, меди, молибдена, мышьяка, никеля, свинца, селена, серебра, стронция, титана, хрома, цинка в пробах природных и сточных вод атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией».

В России оценка безопасности алюминиевой фольги проводится в соответствии с требованиями Технического регламента ТР ТС 005/2011 с использованием инструкции 2.3.3.10-15-64-2005 «Санитарно-химические исследования изделий, изготовленных из полимерных и других синтетических материалов, контактирующих с пищевыми продуктами» и Единых санитарно-эпидемиологических и гигиенических требований к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю), устанавливающих санитарно-эпидемиологические требования к материалам и изделиям, изготовленным из полимерных и других материалов, предназначенных для контакта с пищевыми продуктами.

Таким образом, при выборе модельных сред и условий экстракции при тестировании алюминиевой фольги исследователь вынужден придерживаться положений многочисленных методических документов по анализу пищевой упаковки. При этом использование алюминиевой фольги в быту предполагает ряд особенностей, которые не в полной мере отражены в отечественных инструктивно-методических документах по тестированию пищевой упаковки. Между тем количество алюминия, высвобождаемое из фольги при хранении и в процессе кулинарной обработки пищевых продуктов, зависит от целого ряда специфических особенностей, например, от уровня водородного показателя (рН) пищевого продукта, содержания в нём соли и жира [16, 17].

В эксперименте, проведённом нами ранее, доказано, что содержание алюминия в модельных средах с кислотами оказалось достоверно выше, чем в других модельных средах. По нашим данным, при исследовании пищевых продуктов в условиях, имитирующих процесс запекания в фольге, в 85,7% проб наблюдалось повышенное по сравнению с исходным (без контакта с фольгой) содержание алюминия. По результатам собственных экспериментальных исследований установлено, что для повышения адекватности применения модельных сред, рекомендованных ТР ТС 005/2011, в качестве оптимальной модельной среды при тестировании пищевой алюминиевой фольги следует использовать дистиллированную воду [18]. Установлено, что при тестировании пищевой алюминиевой фольги нецелесообразно применение всего перечня модельных сред, рекомендованных ТР ТС 005/2011. Для имитации процесса запекания и кулинарной обработки продуктов с повышенной кислотностью нами рекомендован перечень модельных сред с учётом температурно-временных характеристик, соответствующий типам пищевой продукции. Вместе с тем эксперимент по тестированию фольги предполагает применение совокупности методик, в которых не указана необходимость соблюдения ряда условий, достижение которых будет способствовать высокому качеству проведения опытной работы: условия «чистой комнаты», степень очистки дистиллированной воды, площадь аналитического образца и др. В связи с этим целесообразно усовершенствование действующей инструктивно-методической базы, в частности для преаналитического этапа пробоподготовки. Авторами разработан способ пробоподготовки, который позволяет применять унифицированные требования в процессе тестирования пищевой алюминиевой фольги с целью безопасного её применения в быту.

Для поиска оптимальных значений соотношения размера образца фольги и объёма модельной среды при различных температурных режимах определено содержание алюминия в разных вариантах таких соотношений (табл. 1).

По данным, представленным в табл. 1, установлено, что толщина фольги оказывает влияние на выделение алюминия в модельную среду при температуре плюс 20 °С и длительном времени воздействия – 72 ч, увеличивая концентрацию алюминия в дистиллированной воде для всех соотношений «площадь образца – объём модельной среды». Влияния толщины фольги при использовании 2%-й лимонной кислоты не установлено. Доказано влияние природы модельной среды: концентрация алюминия в 2%-й лимонной кислоте достоверно выше при контакте в течение 72 ч, температуре

Таблица 1 / Table 1

Содержание алюминия при различных соотношениях площади образца фольги и объёма модельной среды в различных температурных режимах, мг/дм³

Aluminum content with different ratios of the area of the foil sample and the volume of the food simulators in various temperature modes, mg/dm³

Соотношение площади образца / объёма модельной среды Spring Square Ratio / Volume of Food simulators	72 ч при температуре плюс 20 °С 72 hours at 20 °C	24 ч при температуре плюс 80 °С 24 hours at 80 °C	2 ч при температуре плюс 100 °С 2 hours at 100 °C
<i>Образец – фольга гладкая мягкого состояния из сплава 8011, толщиной 0,009 мм / Sample – Foil Smooth Soft Status of Alloy 8011, 0.009 mm thick</i>			
<i>Модельная среда – дистиллированная вода / Food simulators – distilled water</i>			
1 : 1 (20 см ² : 20 см ³) / 1 : 1 (20 см ² : 20 см ³)	0.0169 ± 0.0028	0.0060 ± 0.0010	0.0239 ± 0.0038
2 : 1 (20 см ² : 10 см ³) / 2 : 1 (20 см ² : 10 см ³)	0.0189 ± 0.0031	0.0120 ± 0.0020	0.0232 ± 0.0037
4 : 1 (20 см ² : 5 см ³) / 4 : 1 (20 см ² : 5 см ³)	0.0220 ± 0.0033	0.0434 ± 0.0065	0.0335 ± 0.0050
<i>Модельная среда – 2%-й раствор лимонной кислоты / Food simulators – 2.0% citric acid solution</i>			
1 : 1 (20 см ² : 20 см ³) / 1 : 1 (20 см ² : 20 см ³)	0.0865 ± 0.0120	0.0313 ± 0.0041	–
2 : 1 (20 см ² : 10 см ³) / 2 : 1 (20 см ² : 10 см ³)	0.1768 ± 0.0198	0.0588 ± 0.0082	–
4 : 1 (20 см ² : 5 см ³) / 4 : 1 (20 см ² : 5 см ³)	0.3561 ± 0.0340	0.0967 ± 0.0132	–
<i>Образец – фольга гладкая мягкого состояния из сплава 1200, толщиной 0,02 мм / Sample – foil smooth soft state from alloy 1200, 0.020 mm thick</i>			
<i>Модельная среда – дистиллированная вода / Food simulators – distilled water</i>			
1 : 1 (20 см ² : 20 см ³) / 1 : 1 (20 см ² : 20 см ³)	0.0663 ± 0.0093	0.0103 ± 0.0018	0.0095 ± 0.0016
2 : 1 (20 см ² : 10 см ³) / 2 : 1 (20 см ² : 10 см ³)	0.1045 ± 0.0140	0.0236 ± 0.0038	0.0090 ± 0.0015
4 : 1 (20 см ² : 5 см ³) / 4 : 1 (20 см ² : 5 см ³)	0.1650 ± 0.0188	0.0535 ± 0.0077	0.0173 ± 0.0029
<i>Модельная среда – 2% раствор лимонной кислоты / Food simulators – 2.0% citric acid solution</i>			
1 : 1 (20 см ² : 20 см ³) / 1 : 1 (20 см ² : 20 см ³)	0.0876 ± 0.0121	0.0323 ± 0.0049	–
2 : 1 (20 см ² : 10 см ³) / 2 : 1 (20 см ² : 10 см ³)	0.1934 ± 0.0211	0.0609 ± 0.0086	–
4 : 1 (20 см ² : 5 см ³) / 4 : 1 (20 см ² : 5 см ³)	0.3836 ± 0.0364	0.1195 ± 0.0152	–

плюс 20 °С и соотношениях площади образца и объёма модельной среды 1 : 1; 2 : 1; 4 : 1 – в 5; 9,3 и 16 раз соответственно для фольги толщиной 0,009 мм. При нагреве модельных сред при температуре плюс 80 °С в течение 24 ч превышение составляет 5 раз для соотношений 1 : 1 и 2 : 1, а для соотношения 4 : 1 – 2 раза. Влияние температуры на концентрацию алюминия в дистиллированной воде при сравнении времени контакта в течение 72 ч при температуре плюс 20 °С и 24 ч при температуре плюс 80 °С обнаружено только для соотношения 4:1. Для 2%-й лимонной кислоты установлено снижение концентрации алюминия в 2,7; 3 и 3,6 раза для всех соотношений площади образца и объёма модельной среды соответственно. Изменение соотношения площади образца фольги к объёму дистиллированной воды 1 : 1; 2 : 1;

4 : 1 приводит к незначительному повышению концентрации алюминия при температуре плюс 20 °С при времени контакта 72 ч. С повышением температуры до плюс 80 °С при времени контакта в 24 ч превышение составляет от 2 до 7 раз для соотношения 2 : 1 и 4 : 1 соответственно. При использовании 2%-й лимонной кислоты превышение составило от 2 до 4 раз для соотношения 2 : 1 и 4 : 1 соответственно при двух температурных режимах.

Сравнительное экспериментальное измерение проб модельных сред после контакта с фольгой проведено атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией, атомно-эмиссионным методом с индуктивно связанной плазмой и масс-спектрометрическим методом с индуктивно связанной плазмой (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Сравнение результатов измерения растворов проб методами ИСП-МС, ИСП-ОЭС, ААС-ЭТА (C ± δ, мг/дм³)

Comparison of the measurement results of sample solutions by methods ICP MS, ICP OES, GF AAS (C ± δ, mg/dm³)

Подготовленная проба Prepared test	Условия эксперимента Experimental conditions	Метод / Method		
		ИСП-МС ICP MS	ИСП-ОЭС ICP OES	ААС-ЭТА GF AAS
<i>Дистиллированная вода / Distilled water</i>				
Образец 1 – фольга 9 мкм Sample 1 – 9 microns foil	(24 ч при температуре плюс 80 °С, соотношение 1 : 1) (24 hours at 80 °C, 1 : 1 ratio)	0.0053 ± 0.0009	< 0.010	< 0.010
Образец 2 – фольга 20 мкм Sample 2 – 20 microns foil	(24 ч при температуре плюс 80 °С, соотношение 1 : 1) (24 hours at 80 °C, 1 : 1 ratio)	0.0103 ± 0.0018	0.011 ± 0.004	0.007 ± 0.003
Образец 3 – фольга 20 мкм Sample 3 – 20 microns foil	(24 ч при температуре плюс 80 °С, соотношение 4 : 1) (24 hours at 80 °C, 4 : 1 ratio)	0.054 ± 0.008	0.057 ± 0.014	0.049 ± 0.020
Образец 4 – фольга 20 мкм Sample 4 – 20 microns foil	(72 ч при температуре плюс 20 °С (соотношение 2 : 1) (72 hours at 20 °C, 2 : 1 ratio)	0.104 ± 0.014	0.094 ± 0.022	0.101 ± 0.040
<i>2%-й раствор лимонной кислоты / 2.0% citric acid solution</i>				
Образец 5 – фольга 9 мкм Sample 5 – 9 microns foil	(24 ч при температуре плюс 80 °С, соотношение 1 : 1) (24 hours at 80 °C, 1 : 1 ratio)	0.031 ± 0.004	0.032 ± 0.006	0.034 ± 0.014
Образец 6 – фольга 9 мкм Sample 6 – 9 microns foil	(24 ч при температуре плюс 80 °С, соотношение 4 : 1) (24 hours at 80 °C, 4 : 1 ratio)	0.097 ± 0.013	0.107 ± 0.025	0.101 ± 0.040

При сравнении образцов 1 и 5 установлено, что содержание алюминия в лимонной кислоте достоверно выше, чем в дистиллированной воде. Эксперимент проведен в одинаковых условиях при соотношении 1 : 1 и толщине фольги 0,009 мм. Для образца 6 при соотношении 4 : 1 содержание алюминия превышает в 3 раза содержание для образца 5 при всех спектральных методах. При сравнении образцов 2 и 3 фольги толщиной 0,020 мм при различных соотношениях «площадь фольги – объём модельной среды» концентрация алюминия выше в 5 раз для соотношения 4 : 1. Данная закономерность наблюдается и для других методов измерения. Контроль результатов определения осуществляли при измерении стандартных растворов с известным содержанием алюминия, приготовленных из раствора ионов алюминия массовой концентрации 1 г/дм³ (ГСО 7927-2001). Содержание алюминия, найденное при использовании различных спектральных методов, соответствует аттестованному.

Обсуждение

Как известно, фольга алюминиевая упоминается в перечне упаковки и укупорочных средств, на которые распространяется ТР ТС 005/2011, однако методика, предложенная в другом приложении того же технического регламента, не в полной мере пригодна для целей тестирования миграции химических веществ из алюминиевой фольги в пищевые продукты. Применение всего перечня модельных сред, регламентированных данными документами, ориентировано на тестирование любой пищевой упаковки без учёта особенностей пищевой фольги. При этом ряд исследований свидетельствуют, что имеется корреляционная связь между температурой, продолжительностью кулинарной обработки пищевых продуктов и концентрацией алюминия в экспериментальном образце [19, 20]. Кроме того, на основании лабораторных испытаний доказано, что концентрация выделяющегося алюминия также зависит от физических характеристик фольги (толщины). Так, например, использование более толстой и прочной фольги потенциально может привести к трансферу алюминия в пищевой продукт [9, 19]. В то же время применение приправ в процессе приготовления блюд способствует источению фольги, контактирующей с пищевым продуктом, расширяет микроотверстия и таким образом способствует миграции алюминия из фольги в пищевые продукты [9].

Важным этапом контроля качества упаковочных материалов для пищевых продуктов являются санитарно-гигиенические исследования. Поскольку алюминий – химический элемент, встречающийся в окружающей среде чаще всего с различного рода примесями, требуется строжайший контроль чистоты лабораторных исследований, связанных с этим металлом. В связи с этим особое внимание следует обращать на первый и потому важнейший этап лабораторных испытаний – этап прободготовки, включающий ряд специфических характеристик. Прободготовка – одна из основных лимитирующих стадий лабораторного анализа, основными задачами которой являются количественный перевод определяемых элементов в раствор, контроль отсутствия случайных загрязнений, контрольный опыт, устранение контакта аналитических образцов с агрессивными веществами и др. [21].

Ограничением исследования послужило использование в эксперименте исключительно образцов алюминиевой

фольги толщиной 0,009 мм из алюминиевого сплава 8011 и алюминиевой фольги толщиной 0,020 мм из алюминиевого сплава 1200. Однако это ограничение не является существенным, поскольку уровень миграции алюминия из пищевой упаковки в модельные среды зависит главным образом не от толщины фольги, а от площади исследуемого образца. Исследованные модельные среды отражают контакт с пищевыми продуктами, которые фактически имеют контакт с фольгой при её использовании в быту.

Заключение

Экспериментальные исследования подтвердили, что если по условиям эксплуатации фольги допустимо её использование для кислых продуктов, образцы контроля и холостые пробы следует готовить с применением 2%-го раствора лимонной кислоты, при необходимости дополнительное разбавление проб также проводить 2%-й лимонной кислотой. Использование 2%-го раствора лимонной кислоты считаем обоснованным, так как она предлагается в качестве модельной среды в приложении к ТР ТС 005/2011. Ранее это подтверждено авторскими экспериментальными данными при исследовании уровня содержания алюминия в модельных средах и пищевых продуктах.

В процессе экспериментальных исследований установлено, что прободготовка образцов фольги должна проводиться в помещении с отсутствием в воздухе аэрозолей кислот, щелочей и других активных химикатов при температуре не ниже плюс 5 °С и относительной влажности воздуха не выше 75%. Не допускается воздействие паров агрессивных сред на образец, то есть прободготовку проводят в условиях «чистой комнаты». Установлено, что для приготовления модельных растворов следует использовать дистиллированную воду или воду чистоты класса 3 как эквивалент искусственной водопроводной воды DIN 10531, применяемой в международной практике.

На основании проведённого эксперимента детально описан процесс подготовки холостых проб, рекомендовано выполнение испытания с двумя образцами фольги размером 4 × 5 см для каждого условия экспозиции. Доказано, что наряду с методами атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией и атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой, указанными в действующих методических документах, следует использовать метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Авторами предложено принимать во внимание температурные характеристики при исследовании образцов пищевой фольги с учётом возможной кулинарной обработки продукта при запекании.

В заключение отметим, что перечень модельных сред, приведённый в инструктивно-методических документах, не адаптирован для тестирования алюминиевой фольги. В связи с этим до разработки максимально допустимого уровня потребления алюминия по критериям безопасности целесообразно совершенствование использования модельных сред и этапов тестирования, применяемых в целом для всей пищевой упаковки, при анализе алюминиевой фольги. Разработанный авторами способ прободготовки позволяет применять унифицированные требования в процессе тестирования пищевой алюминиевой фольги с целью её безопасного применения в быту.

Литература

(п.п. 3, 4, 8, 9, 13, 16, 17, 19, 20 см. References)

1. Кузнецов И.А., Секачев М.В. Продовольственная безопасность и алюминиевая упаковка. *Молодежь и наука*. 2013; (1): 23–8.
2. Шакарлова С.Е., Абдрахманов Е.С. Исследование и анализ технологии производства фольги из алюминия. *Наука и техника Казахстана*. 2014; (1–2): 100–5.
3. Федотова О.Б., Мясленко Д.М., Сироткина А.С. Исследование жиростойкости кашированной фольги. *Пищевая промышленность*. 2009; (6): 19–21.
4. Шайбакова Ю.А. Кашированная фольга как современный упаковочный материал. *Молодой ученый*. 2015; (5): 201–4.
5. Фабрика упаковки. Алюминиевая фольга – безопасный и удобный материал для пищевых контейнеров. Доступно: <https://fabrikaupakovki.ru/stati/pishcheve-konteynery-iz-alyuminievoy-folgi-nadezhnaya-i-bezopasnaya-upakovka/>
6. Багрянцева О.В., Шатров Г.Н., Хотимченко С.А., Бессонов В.В., Арнаутов О.В. Алюминий: оценка риска для здоровья потребителей при поступлении с пищевыми продуктами. *Анализ риска здоровью*. 2016; (1): 59–68.
7. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности упаковки». Доступно: <http://docs.cntd.ru/document/902299529>

Original article

12. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю). Глава II, раздел 16. Доступно: <https://docs.cntd.ru/document/902249109>
14. Валентас К.Д., Ротштейн Э., Сингх Р.П. *Пищевая инженерия: справочник с примерами расчетов*. Пер. с англ. СПб.: Профессия; 2004.
15. Федотова О.Б. Роль миграции в процессах взаимодействия упаковки с продуктом. *Переработка молока*. 2016; (12): 14–7.
18. Зайцева Н.В., Шур П.З., Редько С.В., Уланова Т.С., Стенно Е.В., Вейхман Г.А. Выбор модельных сред для тестирования алюминиевой фольги в качестве упаковки пищевых продуктов. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(11): 1280–7. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-11-1280-1287>
21. Темердашев З.А., Цюпко Т.Г., Воронова О.Б., Николаенко С.А. Сравнительная оценка способов пробоподготовки пищевых продуктов и сельскохозяйственного сырья при их сертификации и токсикологическом анализе. *Пищевая технология*. 2000; (2–3): 69–73.

References

1. Kuznetsov I.A., Sekachev M.V. Food safety and aluminum packaging. *Molodezh' i nauka*. 2013; (1): 23–8. (in Russian)
2. Shakarova S.E., Abdrakhmanov E.S. Research and analysis of the aluminium foil production technology. *Nauka i tekhnika Kazakhstana*. 2014; (1–2): 100–5. (in Russian)
3. Quality of Medicines & Health Care of the Council of Europe (EDQM). *Metals and Alloys Used in Food Contact Materials and Articles: A Practical Guide for Manufacturers and Regulators*. Strasbourg; 2013.
4. Bassioni G., Mohammed F.S., Zubaidy E., Kobrsi I. Risk assessment of using aluminum foil in food preparation. *Int. J. Electrochem. Sci.* 2012; 7(5): 4498–509.
5. Fedotova O.B., Myalenko D.M., Sirotkina A.S. Study of the fat resistance of the collapsed foil. *Pishcheyaya promyshlennost'*. 2009; (6): 19–21. (in Russian)
6. Shaybakova Yu.A. Laminated foil as a modern packaging material. *Molodoy uchenyy*. 2015; (5): 201–4. (in Russian)
7. Fabrika upakovki. Aluminum foil – safe and convenient material for food containers. Available at: <https://fabrikaupakovki.ru/stati/pishchevye-konteynery-iz-alyuminievoy-folgi-nadezhnaya-i-bezopasnaya-upakovka/>
8. Willhite C.C., Karyakina N.A., Yokel R.A., Yenugadhathi N., Wisniewski T.M., Arnold I.M., et al. Systematic review of potential health risks posed by pharmaceutical, occupational and consumer exposures to metallic and nanoscale aluminum, aluminum oxides, aluminum hydroxide and its soluble salts. *Crit. Rev. Toxicol.* 2014; 44(Suppl. 4): 1–80. <https://doi.org/10.3109/10408444.2014.934439>
9. Fermo P., Soddu G., Miani A., Comite V. Quantification of the aluminum content leached into foods baked using aluminum foil. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020; 17(22): 8357–67. <https://doi.org/10.3390/ijerph17228357>
10. Bagryantseva O.V., Shatrov G.N., Khotimchenko S.A., Bessonov V.V., Arnautov O.V. Aluminium: food-related health risk assessment of the consumers. *Analiz riska zdorov'yu*. 2016; (1): 59–68. (in Russian)
11. Technical Regulations of the Customs Union «About the safety of packaging». Available at: <https://docs.cntd.ru/document/902299529>
12. Uniform sanitary and epidemiological and hygienic requirements for goods subject to sanitary and epidemiological surveillance (control). Chapter II, Section 16. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/902249109>
13. Page M.J., McKenzie J.E., Bossuyt P.M., Boutron I., Hoffmann T.C., Mulrow C.D., et al. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *J. Clin. Epidemiol.* 2021; 134: 178–89. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.03.001>
14. Valentas K.J., Rotstein E.C., Singh R.P.C. *Food Engineering Practice*. CRC Press; 1997.
15. Fedotova O.B. The role of migration in the interaction processes of packaging with the product. *Pererabotka moloka*. 2016; (12): 14–7. (in Russian)
16. Feliciani R., Milana M.R. Esposizione ad alluminio da materiali a contatto con alimenti: Studi, ricerche e valutazioni sperimentali. *La Rivista di Scienza dell'Alimentazione*. 2008; (2): 5–11.
17. Bassioni G., Mohammed F.S., Zubaidy E.A., Kobrsi I. Risk assessment of using aluminum foil in food preparation. *Int. J. Electrochem. Sci.* 2012; 7(5): 4498–509.
18. Zaytseva N.V., Shur P.Z., Red'ko S.V., Ulanova T.S., Stenno E.V., Veykhman G.A. Selection of food simulators for testing aluminum foil as a food packaging. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(11): 1280–7. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-11-1280-1287> (in Russian)
19. Turhan S. Aluminium contents in baked meats wrapped in aluminium foil. *Meat Sci.* 2006; 74(4): 644–7. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.03.031>
20. Gramiccioni L., Ingraio G., Milana M.R., Santaroni P., Tomassi G. Aluminium levels in Italian diets and in selected foods from aluminium utensils. *Food Addit. Contam.* 1996; 13(7): 767–74. <https://doi.org/10.1080/02652039609374464>
21. Temerdashev Z.A., Tsyupko T.G., Voronova O.B., Nikolaenko S.A. Comparative assessment of methods of sample preparation of food products and agricultural raw materials in their certification and toxicological analysis. *Pishcheyaya tekhnologiya*. 2000; (2–3): 69–73. (in Russian)