

по мере их развития, что обеспечивает возможность постоянной эволюции системы и подбора наиболее точных формулировок для сложных технических текстов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Асенчик, О. Д. Использование больших языковых моделей для создания учебных материалов по дисциплине «Базы данных» / О. Д. Асенчик // Цифровая трансформация. – 2025. – Т. 31, № 4. – С. 5–14.
2. Bender, E. M. On the Dangers of Stochastic Parrots: Can Language Models Be Too Big? / E. M. Bender, T. Gebru, A. McMillan-Major // Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency. – 2021. – P. 610–623.
3. Kasneci, E. ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education / E. Kasneci, K. Seßler, S. Küchemann // Learning and Individual Differences. – 2023. – Vol. 103. – P. 102274.
4. OpenRouter [Electronic resource]. – 2024. – Mode of access: <https://openrouter.ai/>. – Date of access: 05.12.2025.

УДК 543.544:664

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ФУРАНА В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ

Шимчук А. А.

аспирант

Введение. Фуран – это бесцветное гетероциклическое соединение с высокой летучестью (температура кипения: 31°C), состоящее из пятичленного ароматического кольца с четырьмя атомами углерода и одним атомом кислорода. Структурная формула фурана представлена на рисунке 1.

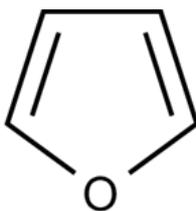


Рисунок 1 – Структурная формула фурана

Известно, что термическая обработка является основной причиной образования фурана. Существует множество механизмов, лежащих в основе его образования, к ним относятся термическая

деградация или перегруппировка углеводов отдельно или в присутствии аминокислот, термическая деградация некоторых аминокислот, окисление аскорбиновой кислоты при высоких температурах и окисление полиненасыщенных жирных кислот и каротиноидов.

Термическая обработка, такая как варка, обжаривание, выпечка, пастеризация и стерилизация [1, 2], используется во многих процессах приготовления пищи, от домашней кухни до промышленных предприятий пищевой промышленности, и обеспечивает микробиологическую безопасность продуктов питания для их сохранения и поддержания определенных органолептических свойств [3]. Одной из известных реакций во время термической обработки является реакция Майяра. Это неферментативная реакция потемнения, которая включает в себя взаимодействие аминокислот, пептидов и белков с восстанавливающими сахарами и витамином С [4]. Некоторые исследования показали, что образование фурана в значительной степени происходит во время реакции Майяра.

Присутствие фурана в коммерческих пищевых продуктах вызывает серьезную озабоченность у многих органов здравоохранения, таких как Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (FDA) и Европейское управление по безопасности пищевых продуктов (EFSA), что побудило многие международные организации, включая Национальную токсикологическую программу (NTP) и Международное агентство по исследованию рака (IARC), провести исследования и выявить риски, связанные с фураном. Токсичность фурана хорошо документирована в исследованиях на животных, а сводная информация о классифицированных рисках, связанных с фураном, представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация рисков, связанных с фураном

Организация	Класс	Заключение
IARC	2Б	Возможно, обладает канцерогенным действием на человека
NTP	P	Предполагается, что является канцерогеном для человека
Евросоюз	C2	Вещества, которые следует считать канцерогенными для человека

Международное агентство по изучению рака классифицировало фуран как «возможный канцероген для человека (Групп-

па 2В)», в связи с этим, разработка методов определения содержания фурана становится важной темой для исследований в области пищевой безопасности.

Основная часть. Фуран сам по себе в пищевой промышленности используется ограниченно, но его производные, например фуранол, применяются как ароматизаторы для придания фруктовых нот, а фурановые смолы (из фурфурола) – для связующих и покрытий в оборудовании. Сам фуран естественным образом образуется при термической обработке пищи, например, в жареном кофе, и может быть маркером процесса нагревания.

Обзор литературы показал, что изучению содержания фурана в пищевых продуктах посвящены многочисленные исследования зарубежных ученых. Мониторинг и оценка диетического воздействия фурана проводились различными национальными агентствами, такими как EFSA, FDA, FSA, а также в Корее, Тайване, Китае и Чили. Фуран неизбежно поглощается кишечником и легкими. Он может проходить через биологические мембраны и в конечном итоге достигать различных органов. Регулирующие органы, такие как FDA и Европейское агентство по безопасности пищевых продуктов (EFSA), контролируют уровни фурана в пищевых продуктах. Так, в консервированных сладком картофеле (детское питание), моркови, зеленой фасоли и кукурузе обнаружено от 6 до 108 ppb (частей на миллиард) фурана. Аналогичные исследования белорусских ученых не проводились. Иностранцами учеными ведутся исследования по поиску способов снижения образования фурана, направленных на корректировку параметров обработки, использование различных ингредиентов или изменение условий хранения.

На сегодняшний день для определения фурана могут использоваться различные методы, включая хроматографические методы (например, газовая хроматография), спектроскопические методы (спектроскопия ядерного магнитного резонанса и масс-спектрометрия) и химические методы (основанные на его реакционной способности, например, реакциях с диполярными реагентами). Выбор метода зависит от требуемой чувствительности, точности и матрицы образца. Газовая хроматография широко применяется для летучих соединений. В ходе анализа фуран разделяется на отдельные компоненты на хроматографической колонке, после чего детектор (например, пламенно-ионизационный) определяет его concentra-

цию. Этот метод характеризуется высокой чувствительностью и селективностью, он подходит для анализа сложных смесей.

Масс-спектрометрия часто используется в сочетании с газовой хроматографией для идентификации и количественного определения фурана. При этом фуран ионизируется, а затем анализируется по соотношению массы к заряду, что позволяет получить уникальный «отпечаток» для каждого соединения. Масс-спектрометрия позволяет не только определить наличие фурана, но и подтвердить его структуру.

Спектроскопия ядерного магнитного резонанса (ЯМР) позволяет получить информацию о структуре молекулы фурана. В ходе эксперимента анализируется взаимодействие ядер атомов фурана с магнитным полем. Преимуществом данного метода является то, что он неразрушающий и дает подробную структурную информацию.

К химическим методам относятся реакции электрофильного замещения и каталитические методы. Так как фуран является ароматическим соединением и вступает в реакции электрофильного замещения, это может быть использовано для его обнаружения. Например, реакция с реагентами, содержащими дипольные группы, может привести к образованию устойчивых продуктов, которые затем анализируются спектроскопически или хроматографически. Также могут быть использованы некоторые каталитические реакции по определению фурана в присутствии специальных катализаторов. На сегодняшний день в Беларуси исследования по определению содержания фурана в пищевых продуктах не проводились и стандартизированного метода нет. В литературных источниках из перечисленных выше методов была найдена информация о методе обнаружения и количественного определения фурана с помощью газовой хроматографии с масс-спектрометрией, который разработало FDA [5]. В результате анализа литературы были выделены следующие ключевые этапы определения фурана методом ГХ-МС:

– подготовка образца, которая включает в себя отбор пробы и ее подготовку в зависимости от матрицы (например, экстракция, концентрирование), если образец жидкий, может потребоваться его перевод в газовую фазу, при необходимости проводится дериватизация для улучшения хроматографических свойств фурана или его аналогов;

– газовая хроматография (ГХ) состоит из ввода подготовленного образца в инжектор газового хроматографа, в горячей инжекционной камере образец испаряется, далее газ-носитель (гелий или

азот) переносит пары образца через капиллярную колонку, которая покрыта неподвижной фазой (полимером или жидкостью), она разделяет компоненты смеси по их физико-химическим свойствам. Фуран и другие соединения выходят из колонки в разное время;

– масс-спектрометрия (МС) состоит из ионизации, в ходе которой выходящие из колонки компоненты поступают в масс-спектрометр, где подвергаются ионизации, как правило, электронным ударом, превращаясь в положительно заряженные ионы. Далее происходит разделение ионов: ионы разделяются по отношению массы к заряду (m/z) в масс-анализаторе. Затем происходит детектирование, в ходе которого отдельные ионы регистрируются детектором, который формирует сигнал.

– обработка и интерпретация данных: полученный масс-спектр сравнивается с библиотечными спектрами для идентификации фурана; интенсивность сигнала пика фурана в хроматограмме используется для его количественного определения с использованием внешних стандартов или калибровочных кривых. Результаты оформляются в виде отчета, содержащего хроматограмму, масс-спектры и количественные данные.

Заключение. Таким образом, представленный краткий анализ источников литературы по определению фурана свидетельствует о том, что в настоящее время подходящим методом для определения фурана в пищевой продукции, является метод газовой хроматографии и масс-спектрометрии, при этом фуран, как летучее соединение, выделяется из образца, например жидкости, и затем анализируется. Так как канцерогенность фурана является важной проблемой для пищевой промышленности, необходимо тщательно изучить механизмы его образования, методы его определения и способы минимизации содержания фурана в пищевой продукции. Также, анализируя изученную литературу, можно сделать вывод о необходимости разработки новых методик определения фурана, которые будут более доступными.

Список использованных источников

1. Becalski A., Seaman S. Furan precursor in food: a model study and development of a simple headspace method for determination of determination furan / J. AOAC Int. – 2005. – Vol. 88. – P. 102–106.
2. Crews C., Castle L. A review of the occurrence, formation and analysis of furan in heat-processed foods / Trends Food Sci. Technol. – 2007. – Vol. 18. – P. 365–372.
3. Hasnip S., Crews C., Castle L. Some factors affecting the formation of furan in heated foods / Food Addit. Contam. – 2006. – Vol. 23. – P. 219–227.

4. Perez Locas C., Yaylayan V.A. Origin and mechanistic pathways of formation of the parent furan a food toxicant/ J. Agric. Food Chem. – 2004. – Vol. 52. – P. 6830–6836.

5. Exploratory data on furan in food: individual food products [Electronic resource] U.S. FDA (Food and Drug Administration). – 2008. – Mode of access: <http://www.fda.gov/Food/FoodborneIllnessContaminants/ChemicalContaminants/ucm078439.htm>. – Date of access: 24.11.2025.

УДК 664.8.035.76:547.722.1

ФУРАН В КОНСЕРВИРОВАННОЙ ОВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ

Шимчук А. А.
аспирант

Введение. Качество и безопасность консервированной овощной продукции зависят не только от свойств используемого сырья, но и в значительной степени от технологических приемов изготовления и режимов хранения конечных продуктов. Такие виды термической обработки, как жарка, выпечка, пастеризация и стерилизация [1, 2], применяются во многих процессах приготовления пищи в условиях домашней кухни и в промышленных пищевых производствах, обеспечивая микробиологическую безопасность продуктов при хранении и определенные сенсорные характеристики [3]. В процессе термической обработки происходят разнообразные биохимические превращения, в том числе и реакция Майяра, в ходе которой образуется фуран, его производные и другие химические соединения, опасность которых для человека установлена Международным агентством по изучению рака (МАИР). Например, фуран классифицируется как «возможно канцерогенный для человека» (Группа 2В), поэтому многие современные исследования сосредоточены на изучении механизмов фурана и его производных в пищевых продуктах.

Основная часть. Фуран – это химическое загрязняющее вещество, которое естественным образом образуется при нагревании продуктов питания в процессе консервирования и хранения в герметично закрытой потребительской упаковке. Прекурсорами образования фурана являются натуральные пищевые ингредиенты, такие как углеводы, аминокислоты, аскорбиновая кислота и полиненасыщенные жирные кислоты. Установлено множество путей образования фурана: термическое расщепление или перегруппировка углеводов, как отдельно, так и в присутствии аминокислот; термическое