

из свекловичного жома / Е. В. Костюкович, О. И. Абдулкаримова // Химия и технология биологически активных веществ для медицины и фармации. IV Школа молодых ученых: тезисы докладов. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2024. – С. 121. ISBN 978-5-7237-2079-4.

2. Кожихова, К.В. Синтез новых носителей лекарственных веществ на основе полисахаридов и фосфолипидов: дисс. на соиск. уч. степени канд. хим. наук по спец. 02.00.03 Органическая химия. – Екатеринбург, ФГАОУ ВО «УФУ им. Б.Н. Ельцина», 2018. – 153 с.

3. Аверьянова, Е.В. Пектин: методы выделения и свойства: методические рекомендации к выполнению лабораторных работ для студентов и магистрантов / Е.В. Аверьянова, М.Н. Школьников. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, БТИ, 2015. – 42 с.

4. Глебова, Д.Е. Выбор ферментного препарата и режима обработки отходов пищевых производств перед культивированием пробиотических бактерий / Д.Е. Глебова // IV Республиканский форум молодых ученых учреждений высшего образования с международным участием : сборник материалов форума (Гомель, 18-20 мая 2025 года), М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2025. – С.234.

УДК 664.8.035.76:547.722.1

А. А. Шимчук, асп. (БГТУ, г. Минск)

## **ФУРАНОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В КОНСЕРВИРОВАННЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ**

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). Фуран классифицирован как «возможно канцерогенный для человека» (Группа 2В). Имеющиеся экспериментальные данные сви-

детельствуют о том, что фуран неизбежно поглощается кишечником и легкими, он может проходить через биологические мембраны и в конечном итоге достигать различных органов; длительное употребление фурана может привести к возможному повреждению печени; наивысшие уровни воздействия часто наблюдаются у младенцев и детей младшего возраста, в основном при употреблении консервированного детского питания и это вызывает обеспокоенность органов здравоохранения многих стран, в том числе FDA и EFSA. Поэтому многие современные исследования сосредоточены на изучении механизмов образования фурана и его производных в пищевых продуктах.

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. Он 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 расщепление некоторых аминокислот; окисление аскорбиновой кислоты при высоких температурах и окисление полиненасыщенных жирных кислот и каротиноидов [4].

Фуран был обнаружен в различных консервированных овощах: консервированный сладкий картофель (детское питание) – до 108 ppb (частей на миллиард); консервированная морковь (детское питание) – около 20–50 ppb; консервированная зелёная фасоль – около 6 ppb; консервированная кукуруза – около 39 ppb для сливочного вида.

На сегодняшний день для определения фурана могут использоваться различные методы, включая хроматографические методы, спектроскопические методы (ЯМР и МС) и химические методы (основанные на его реакционной способности, например, реакция с диполярными реагентами). Выбор метода зависит от требуемой чувствительности, точности и матрицы образца. Газовая хроматография (ГХ) широко применяется для летучих соединений. В ходе анализа фуран разделяется на отдельные компоненты на хроматографической колонке, после чего детектор определяет его концентрацию. Этот метод характеризуется высокой чувствительностью и селективностью, он подходит для анализа сложных смесей.

Масс-спектрометрия (МС) часто используется в сочетании с ГХ 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.

В литературных источниках из перечисленных выше методов была найдена информация о методе обнаружения и количественного определения фурана с помощью газовой хроматографии с масс-спектроскопией, который разработало FDA [7]. В результате анализа литературы были выделены следующие ключевые этапы определения фурана методом ГХ-МС:

- подготовка образца включает в себя отбор пробы и ее подготовку в зависимости от матрицы (например, экстракция, концентрирование);

- газовая хроматография состоит из ввода подготовленного образца в инжектор газового хроматографа, где образец испаряется, далее газ-носитель переносит пары образца через капиллярную колонку, которая покрыта неподвижной фазой, она разделяет компоненты смеси по их физико-химическим свойствам. Фуран и другие соединения выходят из колонки в разное время;

- масс-спектрометрия 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.

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. На сегодняшний день в Беларуси исследования по определению содержания фурана в пищевых продуктах не проводились и стандартизированного метода нет.

Ведутся исследования по поиску способов снижения образования фурана, таких как корректировка параметров обработки, использование различных ингредиентов или изменение условий хранения. Обычная стратегия снижения уровня токсинов в пищевых продуктах включает изменение условий нагревания или снижение уровня прекурсоров [5]. Для фурана это сложная задача, так как изменение параметров термической обработки, таких как температура и время, не может быть существенно уменьшено, учитывая микробиологическую безопасность пищевых продуктов. Кроме того, фуран образуется из различных предшественников и разными путями [6], поэтому контроль этого процесса становится более сложной задачей. Также, его высокая летучесть усложняет разработку стратегии снижения его уровня в пищевых продуктах.

Таким образом, представленный краткий обзор источников литературы фурана и его производных в различных пищевых продуктах свидетельствует об актуальности исследований, направленных на изучение факторов, влияющих на образование и накопление этих химических соединений в овощной продукции в процессе ее консервирования и хранения. Результаты этих исследований могут быть использованы для разработки мероприятий, предотвращающих или снижающих вероятность присутствия фурана и его производных в овощных консервах.

Представленный краткий анализ источников литературы по методам определения фурана в пищевых продуктах свидетельствует о том, что в настоящее время стандартизированным методом для измерения концентрации фурана, является метод газовой хроматографии и масс-спектрометрии. Кроме того, анализируя изученную литературу, можно сделать вывод, учитывая сложности, о необходимости разработки новых методик определения фурана, которые будут более доступными.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Becalski A., Seaman S. Furan precursor in food: a model study and development of a simple headspace method for determination of 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. Mariotti M.S., Toledo C., Hevia K., Gomez J.P., Fromberg A., Granby K., Rosowski J., Castillo O., Pedreschi F. Are Chileans exposed to dietary furan? / Food Addit. Contam. Part A.–2013.–Vol. 30.– P. 1715–1721.
5. Kim M.Y., Her J.Y., Kim M.K., Lee K.G. Formation and reduction of furan in a soy sauce model system / Food Chem. – 2015. – Vol. 189. – P. 114–119.
6. Shinoda Y., Komura H., Homma S., Murata M. Browning of model orange juice solution: factors affecting the formation of decomposition products/Biosci. Biotechnol. Biochem.–2005.–Vol. 69.–P. 2129–2137.
7. 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 663.91

С. С. Ветохин, проф., канд. физ.-мат. наук (БГТУ, Минск);  
В. И. Хиневич, д-р сельск.-хоз. наук (ООО «ВеллаПродукт», г. Минск)

### **КАКАОВЕЛЛА МИКРОНИЗИРОВАННАЯ – СВОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ**

Какаовелла представляет собой оболочку или шелуху какао-боба. Она отличается высокой твёрдостью, чтобы защитить от разрушения хрупкое ядро, состоящее из двух семядолей. В среднем, она составляет 12-17% от массы какао-боба. При мировом производстве какао-бобов около 1 200 000 т в год, на долю какаовеллы приходится до 140 000 т. Утилизация этих отходов увеличивает себестоимость основных продуктов переработки бобов: какао порошка и какао масла.

Ранее считалось, что какаовелла не представляет пищевой ценности, так как она почти не переваривается из-за высокого содержания целлюлозы. Однако при большом количестве рафинированной пищи клетчатка оказалась полезной для пищеварения. Кроме того, в ней выявили наличие значимых количеств других полезных веществ,