

УДК 54.061
МРНТИ 31.17
<https://doi.org/10.55452/1998-6688-2022-19-3-23-32>

МАМЕДОВА М.Р.¹, ОРЫНБАСАР А.Б.*¹, АЛИМЖАНОВА М.Б.¹

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби,
050040, г. Алматы, Казахстан
E-mail*aisulu1997@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОМАРКЕРОВ ГРЕЧИШНОГО МЕДА МЕТОДОМ ТВЕРДОФАЗНОЙ МИКРОЭКСТРАКЦИИ С ЦЕЛЬЮ УСТАНОВЛЕНИЯ ПОДЛИННОСТИ

Аннотация. Производство меда в нашей стране увеличилось по сравнению с прошлым десятилетием. Восточно-Казахстанская, Южно-Казахстанская области и Алматы являются основными производителями меда. Цветочное разнообразие нашей страны позволяет получать много видов моноцветкового меда и несколько комбинаций полицветкового меда. Цветочное происхождение является одним из наиболее важных факторов, влияющих на рынок меда. Моноцветковый мед более популярен среди потребителей благодаря своему вкусу и более выгоден для производителей из-за высокой цены. Более темный мед (гречишный мед) обычно содержит большое количество антиоксидантов, что повышает его потенциал для здоровья. Контроль пищевых продуктов является главным фактором для потребителей, которые хотят знать, что их покупки имеют высокое качество. Для обеспечения соответствия фактического состава продуктам, указанным на этикетке, необходим анализ и разработка эффективных методов анализа. Поэтому целью этого исследования является идентификация биомаркеров гречишного меда методом вакуумной твердофазной микроэкстракции (вак-ТФМЭ) в сочетании с газовой хромато-масс-спектрометрией (ГХ-МС).

Ключевые слова: мед, фальсификация, твердофазная микроэкстракция, газовая хроматография, масс-спектрометрия.

МАМЕДОВА М.Р.¹, ОРЫНБАСАР А.Б.*¹, АЛИМЖАНОВА М.Б.¹

¹ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
050040, Алматы қ., Қазақстан
E-mail *aisulu1997@mail.ru

ТҮПНҰСҚАЛЫҒЫН АНЫҚТАУ МАҚСАТЫНДА ҚАТТЫ ФАЗАЛЫ МИКРОЭКСТРАКЦИЯ ӘДІСІМЕН ҚАРАҚҰМЫҚ БАЛЫНЫҢ БИОМАРКЕРЛЕРІН АНЫҚТАУ

Андатпа. Елімізде бал өндіру соңғы он жылдықпен салыстырғанда артқан. Шығыс Қазақстан, Алматы және Оңтүстік Қазақстан облыстары негізгі бал өндірушілер болып табылады. Елімізде гүлдің алуан түрлілігі монофлоралды балдың көптеген түрлерін және полифлоралды балдың бірнеше комбинациясын алуға мүмкіндік береді. Гүлдің шығу тегі - бал нарығына әсер ететін маңызды факторлардың бірі. Монофлоралды бал дәміне және тек оған тән қасиеттеріне байланысты тұтынушылар арасында көбірек сұранысқа ие. Сондықтан бағасы жоғары болғандықтан өндірушілерге тиімдірек. Қара қоңыр түсті бал (қарақұмық балы) әдетте денсаулық әлеуетін арттыратын антиоксиданттардың көп мөлшерін қамтиды. Азық-түлікті бақылау - тауардың жоғары сапалы екенін білгісі келетін тұтынушылар үшін басты фактор. Заттаңбада көрсетілген өнімдердің нақты құрамын қамтамасыз ету үшін талдау және талдаудың тиімді әдістерін әзірлеу қажет. Сондықтан, бұл зерттеудің мақсаты газ хроматографиясы-масс-спектрометриямен (ГХ-МС) біріктірілген вакуумдық қатты фазалық микроэкстракция (вак-ҚФМЭ) арқылы қарақұмық балының биомаркерлерін анықтау болып табылады.

Тірек сөздер: бал, фальсификация, қатты фазалы микроэкстракция, газ хроматографиясы, масс-спектрометрия.

MAMEDOVA M.R.¹, ORYNBASSAR A.B.^{*1}, ALIMZHANOVA M.B.¹¹al-Farabi Kazakh National University, 050040, Almaty, Kazakhstan

E-mail *aisulu1997@mail.ru

**DETERMINATION OF BIOMARKERS OF BUCKWHEAT HONEY
BY SOLID-PHASE MICROEXTRACTION IN ORDER TO ESTABLISH
AUTHENTICITY**

Abstract. Honey production in our country has increased compared to the last decade. East Kazakhstan, Almaty and South Kazakhstan regions are the main producers of honey. The floral diversity of our country makes it possible to obtain many types of monofloral honey and several combinations of polyfloral honey. Floral origin is one of the most important factors influencing the honey market. Monofloral honey is more popular among consumers due to its taste, special characteristics and is more profitable for producers due to its high price. Darker honey (buckwheat honey) usually contains high amounts of antioxidants, which increase its health potential. Food control is a major factor for consumers who want to know that their purchases are of high quality. To ensure that the actual composition of the products indicated on the label, analysis and development of effective methods of analysis is necessary. Therefore, the aim of this study is to identify biomarkers of buckwheat honey by vacuum solid phase microextraction (vac-SPME) in combination with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS).

Key words: honey, falsification, solid phase microextraction, gas chromatography, mass spectrometry.

Введение

Мед – это натуральная пища, в основном состоящая из сахаров и других компонентов, таких как ферменты, аминокислоты, органические кислоты, каротиноиды, витамины, минералы и ароматические вещества. Он богат флавоноидами и фенольными кислотами, которые проявляют широкий спектр биологических эффектов и действуют как природные антиоксиданты [1].

Потребление меда во всем мире значительно увеличилось за последние несколько лет, но безопасность меда не подвергалась последовательной оценке и мониторингу. Поскольку в последние годы количество поддельных продуктов из меда увеличилось, доверие и интерес потребителей к этому ценному продукту снизились. Фальсификация медовой продукции может вызвать диабет и ожирение за счет повышения уровня сахара в крови у потребителя, повышенное артериальное давление за счет повышения уровня липидов в крови [2].

Мировое производство меда в 2018 г. достигло 1,85 млн т, что примерно на 20% больше, чем 10 лет назад. Крупнейшим производителем меда является Китай, доля которого в 2018 г. составила почти четверть всего производства. Второе место заняла Турция с долей 6,16 %, а Аргентина – третье место с долей 4,29% [3]. Доля импорта товарооборота Казахстана по меду со странами ЕАЭС в 8 раз превышает экспорт меда, который в 2019 г. составил 52 300 долларов, а в 2020 г. он был нулевым. Эксперты предполагают, что это связано с закрытием границ из-за пандемии коронавируса [4].

Лечебные свойства меда можно объяснить сочетанием физических и химических свойств. Цветочный источник меда оказывает значительное влияние на его биологические качества. Темный мед в целом содержит большее количество химических веществ с антибактериальными и антиоксидантными свойствами [1].

Состав меда варьируется в зависимости от его цветочного и географического происхождения, а также сезонных и климатических изменений. Помимо воды и углеводов мед содержит широкий спектр органических кислот, аминокислот, белков, летучих органических соединений, ферментов и фенольных соединений.

Гречишный мед имеет темно-коричневый, почти черный цвет и сильный запах с привкусом патоки. Его готовят из цветков гречихи. Гречишный мед при употреблении обеспечивает организм экзогенными антиоксидантами, помогающими укрепить естественную систему антиоксидантной

защиты организма. Кроме того, было доказано [2], что гречишный мед помогает снизить уровень холестерина в крови, что может улучшить здоровье сердца и даже снизить кровяное давление. Гречишный мед также более эффективен, чем другие безрецептурные средства от кашля при респираторных заболеваниях, таких как простуда. Несмотря на то что все сорта меда имеют одинаковую базовую структуру и питательный профиль, гречишный мед содержит большее количество макро- и микроэлементов и витаминов.

В настоящее время для определения подлинности меда используются различные методы. Пыльцевой анализ – один из старейших, он основан на микроскопическом качественном и количественном исследовании пыльцы меда. Также определяются органолептические и физико-химические особенности вещества. Однако этих процедур недостаточно для окончательного определения ботанического и географического происхождения меда. В результате, чтобы убедиться в том, что фактический состав продуктов указан на этикетке, необходим анализ и разработка эффективных методов анализа. Другими словами, для ботанической дифференциации меда необходимы исследования, направленные на определение биомаркеров [5].

На сегодняшний день в меде идентифицировано более 600 химических соединений. Такой богатый химический состав делает определение ботанического происхождения на основе биомаркеров трудным, хотя и возможным. Происхождение меда можно определить, установив долю общих для определенных групп меда соединений, хорошим примером которых являются летучие органические соединения (ЛОС) [6].

Авторы работы [7] определили шестнадцать биомаркерных веществ в гречишном меде. Из них альдегиды – фурфурал, 2-метилбутиральдегид и 3-метилбутиральдегид являются одними из наиболее распространенных органических соединений. Это вещества с отчетливым запахом, которые можно обнаружить в меде: фурфурол пахнет сладким миндалем, а метилбутиральдегиды характеризуются резким, сладковатым солодовым запахом или запахом жженного шоколада. Высокие концентрации в образце и особые органолептические свойства метилбутиральдегидов, бутановой и пентановой кислот способствуют выбору этих веществ в качестве идеальных биомаркеров гречишного меда.

Пасини и др. [8] оценивали качество 10 сортов гречишного меда. Среди параметров, на которых фокусировались авторы, был скрининг летучих соединений. Наиболее распространенным химическим веществом, обнаруженным в образцах, была 3-метилбутановая кислота. Среди других биомаркерных соединений, идентифицированных авторами, были бутановая кислота, пентановая кислота, гексановая кислота и ее производные. Этот вывод согласуется с результатами более ранних исследований гречишного меда [2], в которых была обнаружена наибольшая концентрация 3-метилбутановой кислоты.

Авторы Вольски и др. [9] исследовали летучие соединения в образцах меда различного ботанического происхождения, среди которых присутствовал гречишный мед. В результате исследований было выявлено 15 биомаркеров гречишного меда, таких как 3-метилбутановая кислота, бутановая кислота, пентановая кислота и др.

Основные положения

В данном исследовании для определения биомаркеров гречишного меда впервые был использован метод вакуумной твердофазной микроэкстракции в комбинации с газовой хромато-масс-спектрометрией (рисунок 1, стр. 26). Для оптимизации параметров вак-ТФМЭ были выбраны биомаркеры гречишного меда, такие как фурфурал, пентановая и бутановая кислоты.

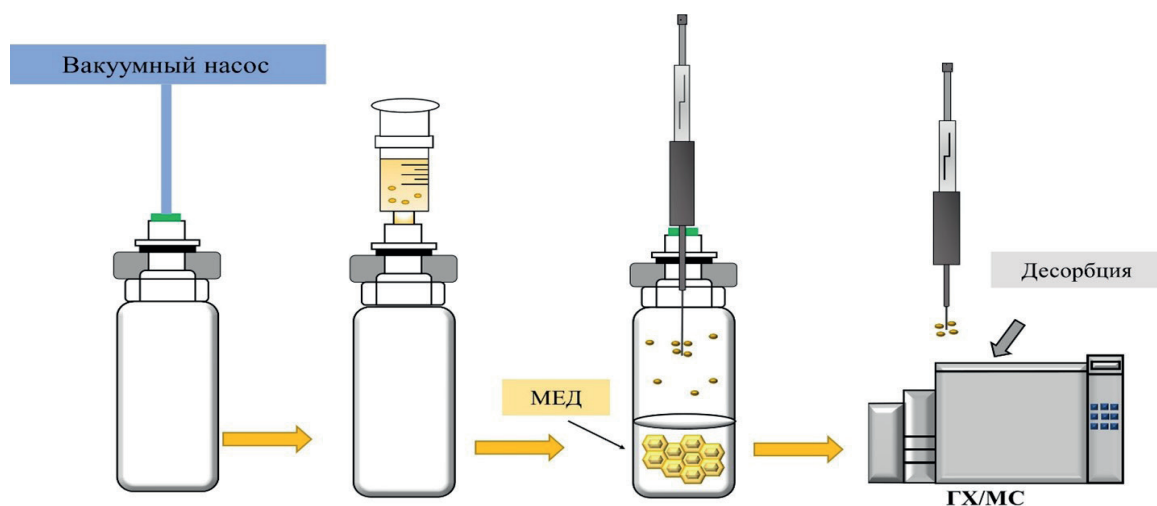


Рисунок 1 – Схема анализа методом вакуумной твердофазной микроэкстракции

Метод вакуумной ТФМЭ имеет ряд преимуществ по сравнению с методом классической парофазной ТФМЭ [10]. При парофазной ТФМЭ (ПФ ТФМЭ) экстракция полувolatile аналитов занимает длительное время, которое можно сократить путем перемешивания образца, максимального увеличения границы раздела (образец – свободное пространство), нагревания образца и реализации подхода ПФ ТФМЭ с холодным волокном, при котором происходит одновременный нагрев матрицы образца и охлаждение покрытия волокна. Время, необходимое для достижения равновесия, зависит от свойств образца, матрицы и покрытия волокна и может варьироваться от нескольких минут до нескольких часов. Альтернативным способом ускорения кинетики экстракции аналитов при ТФМЭ является применение вакуумной ТФМЭ [11]. Этот метод также можно комбинировать с несколькими аналитическими инструментами, такими как ГХ, ГХ-МС или ВЭЖХ [12, 13].

Материалы и методы

Образцы

Для определения биомаркеров было отобрано 3 образца гречишного меда, собранных в Восточном Казахстане и Алматинском регионе.

Подготовка пробы к анализу

1 г образца меда взвесили на аналитических весах и перенесли во флакон емкостью 20 мл. Затем добавили 1 мл дистиллированной воды. Волокно 50/30 мкм дивинилбензол/карбоксен/полидиметилсилоксан (50/30 мкм ДВБ/КАР/ПДМС) было выбрано в качестве волокна для вак-ТФМЭ.

Параметры ГХ/МС для анализа меда

Определение летучих соединений проводили на газовом хроматографе с масс-спектрометрическим детектором 7890В/5977А (Agilent, США). Гелий марки «А» был использован (>99,995%, Оренбург-Техгаз, Россия) со скоростью потока 1 мл/мин. Использовалась хроматографическая колонка DB-35MS (Agilent, США) 30 м × 250 м с толщиной пленки 0,25 мкм. Температуру программы печи поддерживали на уровне 40 °С в течение 10 мин., а затем повышали до 240 °С со скоростью 5 °С/мин. Четыре температуры экстракции: 25 °С, 40 °С, 60 °С и 80 °С были протестированы для оптимизации вак-ТФМЭ при разном времени экстракции (10 мин., 30 мин. и 50 мин.).

Оптимизация параметра вакуумной ТФМЭ для анализа меда методом ГХ/МС

Протокол [14] твердофазного метода микроэкстракции был взят за основу для определения оптимальной температуры и времени экстракции вак-ТФМЭ для скрининга гречишного меда. Повышение температуры образца может снизить константу распределения аналита между матрицей образца и покрытием волокна. В результате чувствительность метода и извлечение аналита при равновесии снижаются [14]. Поэтому исследованы следующие четыре температуры экстракции: 25 °С, 40 °С, 60 °С и 80 °С. Для оптимизации были выбраны три времени экстракции: 10 мин., 30 мин. и 50 мин. и три времени инкубации: 5 мин., 20 мин. и 30 мин.

Результаты и обсуждение

В связи с тем, что бутановая кислота, фурфурал и пентановая кислота являются основными биомаркерами гречишного меда, данные компоненты были выбраны для оптимизации параметров вак-ТФМЭ. Были оптимизированы важные параметры вак-ТФМЭ, такие как температура и время экстракции.

На рисунке 2 представлена гистограмма, демонстрирующая влияние температуры на извлечение биомаркеров. На рисунке 2 показано, что бутановая и пентановая кислоты имеют высокий сигнал при температуре 40 °С. Тогда как фурфурал показывает более высокий отклик при температуре 25 °С. Тем не менее для оптимальной температуры экстракции для всех биомаркеров была выбрана температура 40 °С.

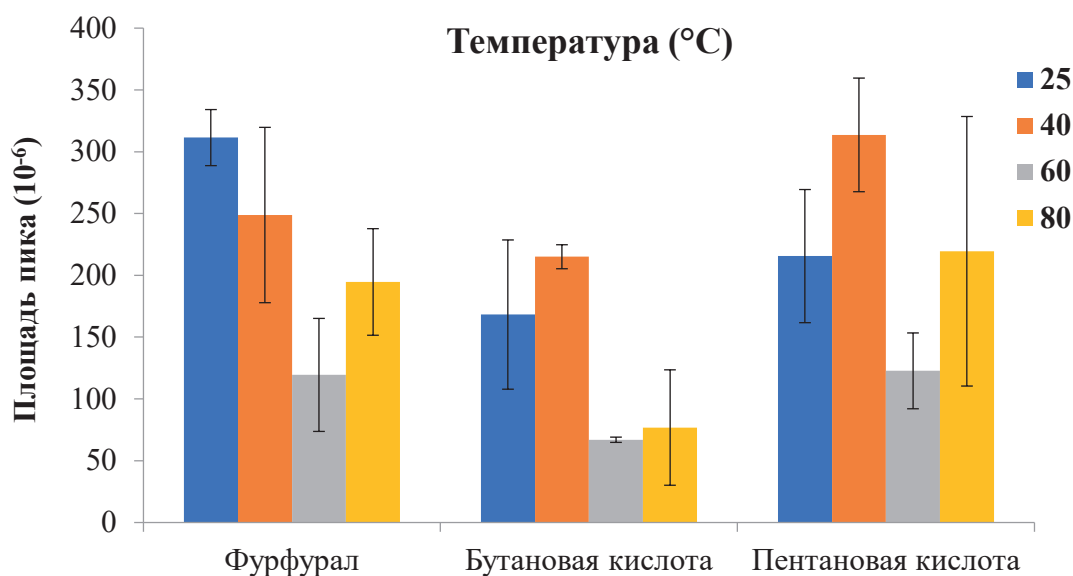


Рисунок 2 – Влияние температуры экстракции вак-ТФМЭ на отклик биомаркеров

Время экстракции является важным параметром ТФМЭ, влияющим как на чувствительность, так и на скорость методов ТФМЭ. На рисунке 3, (стр. 28) представлен график влияния времени экстракции на отклик биомаркеров. С увеличением времени экстракции вак-ТФМЭ было установлено, что при увеличении времени экстракции с 10 до 30 мин. отклик биомаркеров увеличивается в 3 раза. Однако увеличение времени экстракции до 50 мин. не показало значительной разницы, поэтому для экспрессности анализа было выбрано оптимальное время экстракции аналитов – 30 мин.

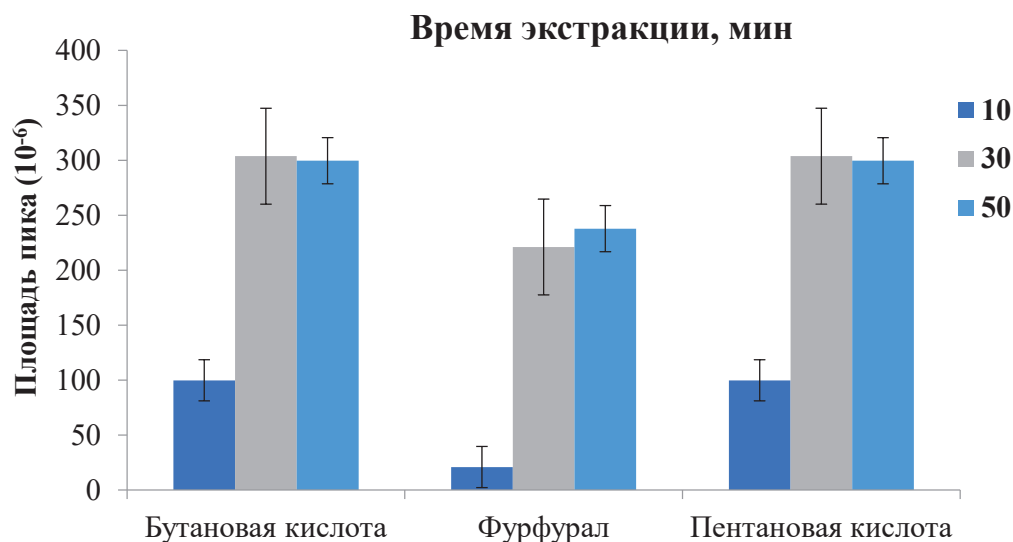


Рисунок 3 – Влияние времени экстракции вак-ТФМЭ на отклик биомаркеров

Из проанализированных трех образцов гречишного меда (рисунок 4) только в двух были идентифицированы биомаркеры, и эти два образца отличались наличием различных алифатических органических кислот, особенно изомера пентановой кислоты – 3-метилбутановой кислоты и 2+этилгексановой кислоты. Жирные кислоты, особенно 3-метилбутановая и 2-метилбутановая кислоты, а также бутановая и пентановая кислоты, следует рассматривать в дополнение к альдегидам.

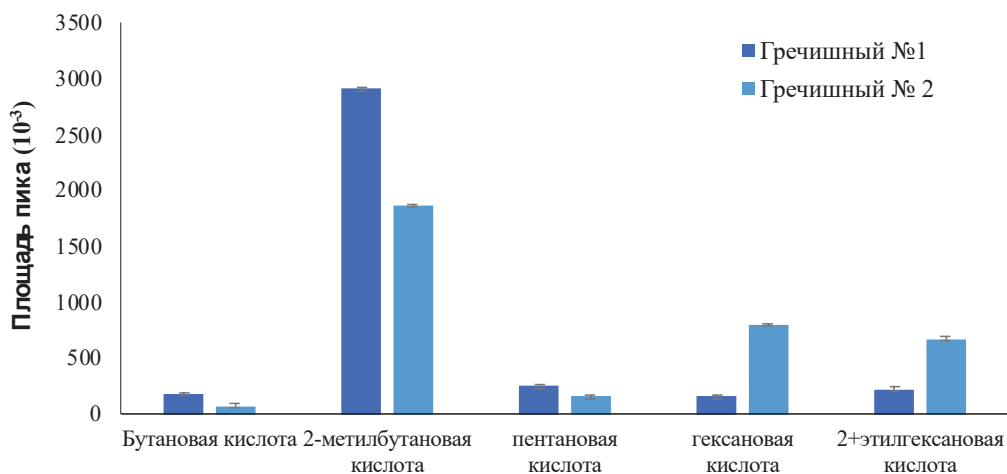


Рисунок 4 – Площади пиков биомаркеров в образцах гречишного меда

Наличие одного уникального для меда химического соединения может указывать на его ботаническое происхождение. Гречишный мед имеет наиболее ярко выраженные органолептические свойства, что отражается на его составе и концентрации летучих веществ, т.е. составе биомаркеров [6]. Присутствие или отсутствие известных биомаркеров меда в испытуемых образцах может свидетельствовать о ботаническом происхождении, а также о подлинности меда. В результате применения метода вак-ТФМЭ с оптимизированными параметрами было установлено, что в составе первого образца меда не были идентифицированы биомаркеры, характерные для гречишного меда. Данное исследование позволило предоставить метод выявления подлинности меда (рисунок 5, стр. 29).

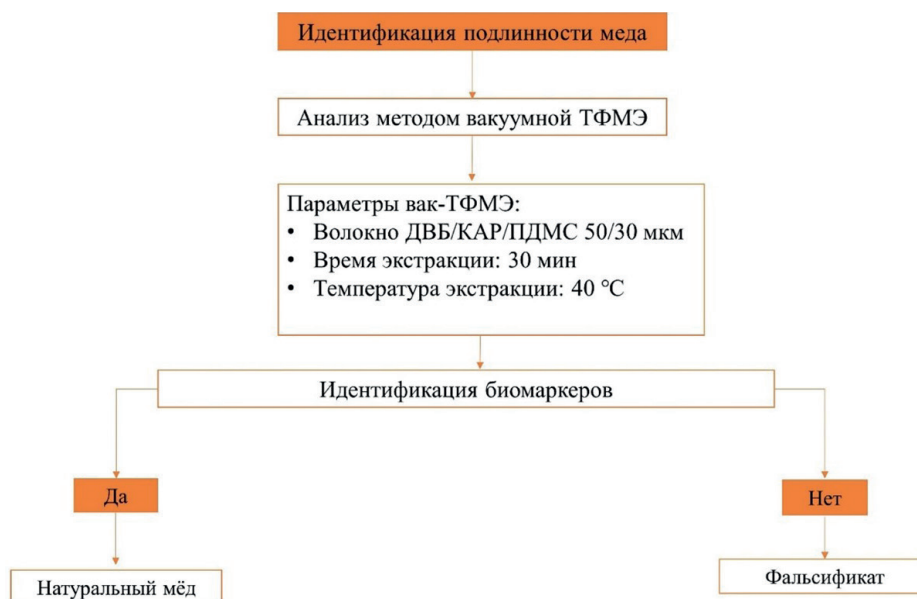


Рисунок 5 – Блок-схема идентификации подлинности меда

Заключение

Методом вакуумной ТФМЭ в сочетании с ГХ/МС был проведен анализ проб меда гречишного происхождения. Метод вакуумной ТФМЭ в сочетании с ГХ/МС позволил определить состав летучих и полунлетучих соединений в меде. Различные алифатические органические кислоты, такие как бутановая кислота, 2-метилбутановая и 3-метилбутановая кислоты, пентановая кислота, гексановая кислота и 2+этилгексановая кислота. Эти компоненты являются биомаркерами гречишного меда. В связи с этим образцы гречишного меда № 1 и 2 являются подлинными, однако в образце № 3 биомаркеры гречишного меда не были идентифицированы, что свидетельствует о фальсификате продукта.

Таким образом, исследования, представленные в этой работе, указывают на возможность использования биомаркеров в качестве индикатора для определения подлинности меда путем анализа методом вакуумной твердофазной микроэкстракции в сочетании с газовой хромато-масс-спектрометрией.

Финансирование

Данная работа проводилась в рамках проекта АР09058561 «Эффективная разработка высокочувствительных методик анализа продуктов питания на основе миниатюризированной твердофазной микроэкстракции», финансируемого Министерством образования и науки РК с 2021 по 2023 гг.

Соблюдение этических стандартов

Конфликт интересов:

Конфликта интересов к этой статье нет. М.Р. Мамедова заявляет об отсутствии конфликта интересов. А. Орынбасар заявляет об отсутствии конфликта интересов. М.Б. Алимжанова заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Этическое одобрение

Эта статья не содержит каких-либо исследований с участием людей или животных, проведенных кем-либо из авторов.

Информированное согласие

Информированное согласие не применимо в этом исследовании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Missio da Silva P., Gauche C., Valdemiro Gonzaga L., Costa C.O.A., Fett R. Honey: chemical composition, stability and authenticity, *Food Chemistry* 196, 2016.
- 2 Plutowska B., Chmiel T., Dymerski T., Wardencki W. A Headspace Solid-Phase Microextraction Method Development and Its Application in the Determination of Volatiles in Honeys by Gas Chromatography, *Food Chemistry*, 126(3): 1288–98, 2011.
- 3 FAOSTAT. Food and agriculture organization of the United Nations, commodity balances- livestock and fish primary equivalent, 2018. <http://www.fao.org/faostat>.
- 4 Honey, Pollinators and Bees, Food and agriculture organization of the United Nation infographics collection, 2019. <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/en/c/1202954/>.
- 5 Li L., Lietz G., Seal C. Buckwheat and CVD Risk Markers: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*, 10(5):619, 2018.
- 6 Dżugan M., Tomczyk M., Sowa P., Grabek-Lejko D. Antioxidant Activity as Biomarker of Honey Variety. *Molecules*, 23(8):2069, 2018. doi:10.3390/molecules23082069.
- 7 Arroyo-Manzanares N., Garcia-Nicolas M., Castell A., Campillo N., Vinas P., Lopez-Garcia I., Hernandez-Cordoba M. Untargeted headspace gas chromatography – Ion mobility spectrometry analysis for detection of adulterated honey; *Talanta* 205, 2019, pp. 120–123. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.120123>
- 8 Pasini F., Gardini S., Marazzan G.L., Caboni M.F. Buckwheat Honeys: Screening of Composition and Properties. *Food Chemistry*, 2013, 141 (3): 2802–11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.102>.
- 9 Wolski T., Krzysztof T., Rybak-Chmielewska H., Kedzia B. Identification of honey volatile components by solid phase microextraction (SPME) and gas chromatography /mass spectrometry (GC/MS), 2006.
- 10 Psillakis E. Vacuum-assisted headspace solid-phase microextraction: A tutorial review. *Analytica Chimica Acta*, 986, 2017, pp. 12–24.
- 11 Psillakis E., Yiantzi E., Sanchez-Prado L., Kalogerakis N. Vacuum-assisted headspace solid phase microextraction: Improved extraction of semivolatiles by non-equilibrium headspace sampling under reduced pressure conditions. *Analytica Chimica Acta*, 742, 2012, pp. 30–36. doi:10.1016/j.aca.2012.01.019
- 12 Адильбеков Е.Н., Алимжанова М.Б. Экспрессная методика скрининга летучих органических загрязнителей в водных образцах с использованием метода ТФМЭ/ГХ/МС // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. – Серия химия и технология. – 2016. – № 420. – Т. 6. – С. 65–74.
- 13 Алимжанова М.Б., Қонарбай А.Қ., Сергазина М.М. Заманауи талдау әдістері арқылы балды аналитикалық сараптау: ШОЛУ // Вестник Казахстанско-Британского технического университета. – 2018. – Т. 15 (2). – С. 139–148.
- 14 Risticevic S., Lord H., Górecki T. et al. Protocol for solid-phase microextraction method development. *Nat Protoc* 5, 2010, pp.122–139. <https://doi.org/10.1038/nprot.2009.179>

REFERENCES

- 1 Missio da Silva P., Gauche C., Valdemiro Gonzaga L., Costa C.O.A., Fett R. Honey: chemical composition, stability and authenticity, *Food Chemistry* 196, 2016.
- 2 Plutowska B., Chmiel T., Dymerski T., Wardencki W. A Headspace Solid-Phase Microextraction Method Development and Its Application in the Determination of Volatiles in Honeys by Gas Chromatography, *Food Chemistry*, 126(3): 1288–98, 2011.
- 3 FAOSTAT. Food and agriculture organization of the United Nations, commodity balances- livestock and fish primary equivalent, 2018 <http://www.fao.org/faostat>.
- 4 Honey, Pollinators and Bees, Food and agriculture organization of the United Nation infographics collection, 2019. <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/en/c/1202954/>.
- 5 Li L., Lietz G., Seal C. Buckwheat and CVD Risk Markers: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*, 10(5):619, 2018.
- 6 Dżugan M., Tomczyk M., Sowa P., Grabek-Lejko D. Antioxidant Activity as Biomarker of Honey Variety. *Molecules*, 2018;23(8):2069, Published 2018 Aug 18. doi:10.3390/molecules23082069.
- 7 Arroyo-Manzanares N., Garcia-Nicolas M., Castell A., Campillo N., Vinas P., Lopez-Garcia I., Hernandez-Cordoba M. Untargeted headspace gas chromatography – Ion mobility spectrometry analysis for detection of adulterated honey; *Talanta* 205, 2019, pp. 120–123. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.120123>

- 8 Pasini F., Gardini S., Marcazzan G.L., Caboni M.F. Buckwheat Honey: Screening of Composition and Properties. Food Chemistry, 2013, 141 (3): 2802–11. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.102>.
- 9 Wolski T., Krzysztof T., Rybak-Chmielewska H., Kedzia B. Identification of honey volatile components by solid phase microextraction (SPME) and gas chromatography /mass spectrometry (GC/MS), 2006.
- 10 Psillakis E. Vacuum-assisted headspace solid-phase microextraction: A tutorial review. Analytica Chimica Acta, 986, 2017, pp. 12–24.
- 11 Psillakis E., Yiantzi E., Sanchez-Prado L., Kalogerakis N. Vacuum-assisted headspace solid phase microextraction: Improved extraction of semivolatiles by non-equilibrium headspace sampling under reduced pressure conditions. Analytica Chimica Acta, 742, 2012, pp. 30–36. doi:10.1016/j.aca.2012.01.019/
- 12 Adil'bekov E.N., Alimzhanova M.B. (2016) Ekspressnaya metodika skringa letuchikh organicheskikh zagryaznitelei v vodnykh obraztsakh s ispol'zovaniem metoda TFME/GKh/MS, Izvestiya Natsional'noi akademii nauk Respubliki Kazakhstan. Khimiya i tekhnologiya, no. 420, vol. 6, pp. 65–74.
- 13 Alimjanova M.B., Qonarbai A.Q., Sergazina M.M. (2018) Zamanaui taldau ädisteri arqyly baldy analitikalyq saraptau: ShOLU // Vestnik Kazakhstansko-Britanskogo tekhnicheskogo universiteta, vol. 15 (2), pp. 139–148.
- 14 Risticvic S., Lord H., Górecki T. et al. Protocol for solid-phase microextraction method development. Nat Protoc 5, 2010, pp.122–139. <https://doi.org/10.1038/nprot.2009.179>

Сведения об авторах

Мамедова Мадина Русланқызы

Магистр технических наук, старший преподаватель кафедры теплофизики и технической физики, КазНУ им. аль-Фараби, пр. Аль-Фараби, 71, 050040, г. Алматы, Казахстан

ORCID ID: 0000-0001-6927-9896

E-mail: madina.mamedova@kaznu.kz

Алимжанова Мереке Бауржановна

Доктор философии, PhD, ассоциированный профессор кафедры теплофизики и технической физики, КазНУ им. аль-Фараби, пр. Аль-Фараби, 71, 050040, г. Алматы, Казахстан

ORCID ID: 0000-0003-2641-0828

E-mail: alimzhanova.mereke@gmail.com

Орынбасар Айсулу Бауржанқызы (автор для корреспонденции)

Магистрант КазНУ им. аль-Фараби, пр. Аль-Фараби, 71, 050040, г. Алматы, Казахстан

ORCID ID: 0000-0001-5481-9212

E-mail: aisulu1997@mail.ru

Авторлар туралы мәліметтер

Мамедова Мадина Русланқызы

Қазақ ұлттық аль-Фараби атындағы университетінің «Жылу физикасы және техникалық физика» кафедрасының, аға оқытушысы, техника ғылымдарының магистрі. әл-Фараби даңғылы, 71, 050040, Алматы қ., Қазақстан

ORCID ID: 0000-0001-6927-9896

E-mail: madina.mamedova@kaznu.kz

Әлімжанова Мереке Бауыржанқызы

Қазақ ұлттық аль-Фараби атындағы университетінің «Жылу физикасы және техникалық физика» кафедрасының философия ғылымдарының докторы, доценті. әл-Фараби даңғылы, 71, 050040, Алматы қ., Қазақстан

ORCIDID: 0000-0003-2641-0828

E-mail: alimzhanova.mereke@gmail.com

Орынбасар Айсұлу Бауржанқызы (корреспонденция авторы)

Қазақ ұлттық аль-Фараби атындағы университетінің магистранты, физика-техникалық факультет, Әл-Фараби даңғылы, 71, 050040, Алматы қ., Қазақстан

ORC ID: 0000-0001-5481-9212

E-mail: aisulu1997@mail.ru

Information about the authors

Mamedova Madina Ruslankyzy

Senior lecturer of the Department of "Thermal Physics and Technical Physics" of Al-Farabi Kazakh National University, Master of Technical Sciences. Al-Farabi Avenue, 71, 050040, Almaty, Kazakhstan

ORCID ID: 0000-0001-6927-9896

E-mail: madina.mamedova@kaznu.kz

Alimzhanova Mereke Bauyrzhanovna

Doctor of Philosophy, Associate Professor of the Department of "Thermal Physics and Technical Physics" of the Al-Farabi Kazakh National University. Al-Farabi Avenue, 71, 050040, Almaty, Kazakhstan

ORCID ID: 0000-0003-2641-0828

E-mail: alimzhanova.mereke@gmail.com

Orynbasar Aisulu Baurzhankyzy (corresponding author)

Master's student of Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Physics and Technology, 71 Al-Farabi Avenue, 050040, Almaty, Kazakhstan

ORC ID: 0000-0001-5481-9212

E-mail: aisulu1997@mail.ru