

ТЕХНОЛОГИЯ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

TECHNOLOGY OF STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTS

Научная статья

УДК 664.66.022.39

DOI 10.24888/2541-7835-2023-30-10-19

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРУПП В СОСТАВЕ ЭФИРНОГО МАСЛА ЧАБЕРА ДУШИСТОГО (*Satureja hortensis* L)

Бакин Игорь Алексеевич^{1✉}, Иванов Николай Викторович²

^{1,2} Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

¹bakin@rgau-msha.ru✉

²nikolay.ivanov.research@gmail.com

Аннотация. Эфирные масла лекарственных растений обладают широким спектром биологической активности, однако в последние годы на первый план выходит проблематика идентификации в составе масел компонентов и химически активных функциональных групп. Данная статья посвящена изучению возможностей применения спектроскопии комбинационного рассеяния света (рамановской спектроскопии) в качестве метода идентификации химически активных соединений лекарственных растений. Целью исследования является использование рамановских характеристик для оценки функциональных групп молекул образцов эфирных масел. Объектом проведенного исследования являлись эфирные масла чабера душистого (*Satureja hortensis* L), полученных CO₂ экстракцией. Использованы области спектроскопии ближнего и среднего инфракрасного диапазона, между областями 100–3000 см⁻¹ при длине волны возбуждения 785 нм. В лабораторных условиях нами установлено присутствие различных типов функциональных групп химических соединений, которые могут обладать биологической активностью. Наиболее часто встречаемыми функциональными группами стали алифатические цепи, ароматические кольца, углерод-фтористые связи, сульфоамидная и сульфоновая функциональные группы. Кроме того, отмечено присутствие устойчивых форм галогенидов, образованных с углеродом. Эти результаты позволяют разработать методологические подходы к идентификации биологически активных соединений в эфирных маслах лекарственных растений с использованием спектроскопии комбинационного рассеяния света и ее модификаций.

Ключевые слова: чабер душистый, эфирные масла, пищевая продукция, рамановская спектроскопия.

Финансирование: работа выполнена по гранту «Разработка технологических приемов и сверхкритических методов получения растительных экстрактов сельскохозяйственного сырья» по Программе стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» (соглашение № 075-15-2023-220 от 16 февраля 2023 года).

Для цитирования: Бакин И.А., Иванов Н.В. Идентификация химически активных функциональных групп в составе эфирного масла чабера душистого (*Satureja hortensis* L) // Агропромышленные технологии Центральной России. 2023. № 4(30). С. 10-19. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2023-30-10-19>.

Original article

IDENTIFICATION OF CHEMICALLY ACTIVE FUNCTIONAL GROUPS IN THE COMPOSITION OF ESSENTIAL OIL OF SAWSHOW (*Satureja hortensis* L)

Igor A. Bakin^{1✉}, Nikolay V. Ivanov²

^{1,2}Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

¹bakin@rgau-msha.ru✉

²nikolay.ivanov.research@gmail.com

Abstract. *Essential oils of medicinal plants have a wide range of biological activity, but in recent years the problem of identifying components and chemically active functional groups in the composition of oils has come to the fore. This article is devoted to studying the possibilities of using Raman spectroscopy (Raman spectroscopy) as a method for identifying chemically active compounds of medicinal plants. The purpose of the study is to use Raman characteristics to evaluate the functional groups of molecules of essential oil samples. The object of the study was the essential oils of savory (*Satureja hortensis* L), obtained by CO₂ extraction. The spectroscopic regions of the near and mid-infrared range were used, between the regions of 100–3000 cm⁻¹ at an excitation wavelength of 785 nm. In laboratory conditions, we have established the presence of various types of functional groups of chemical compounds that may have biological activity. The most frequently encountered functional groups were aliphatic chains, aromatic rings, carbon-fluorine bonds, sulfoamide and sulfonic functional groups. In addition, the presence of stable forms of halides formed with carbon was noted. These results allow us to develop methodological approaches to the identification of biologically active compounds in essential oils of medicinal plants using Raman spectroscopy and its modifications.*

Keywords: *savory, essential oils, food products, Raman spectroscopy.*

Funding: *the work was carried out under the grant «Development of technological techniques and supercritical methods for obtaining plant extracts of agricultural raw materials» under the Strategic Academic Leadership Program «Priority 2030» (Agreement No. 075-15-2023-220 dated February 16, 2023).*

For citation: *Bakin I.A., Ivanov N.V. Identification of chemically active functional groups in the composition of essential oil of sawshow (*Satureja hortensis* L) // Agro-industrial technologies of Central Russia, 2023, no. 4(30), pp. 10-19. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2023-30-10-19>.*

Введение

В последние годы приобретает определенную популярность использование функциональных ингредиентов, обладающих широким спектром действия, в рационе питания населения. Одними из возможных компонентов, которые в том числе обладают высокой биологической активностью и имеют доказанную пользу для здоровья человека, являются эфирные масла. Эфирные масла известны антиоксидантной [6, 10], антимикробной [8], антикоагулянтной активностью [9]. Так, экстракты корня атрактилодеса крупноголового (*Atractylodes macrocephala* Koidz.), полученные паровой дистилляцией, обладают способностью к интенсификации развития остеогенеза и ингибирования остеокластогенеза [29]. Сообщается об их антибактериальной [13, 19], противовирусной активностях [23], противоопухолевом, противогрибковых [20, 12], противовоспалительных свойствах [16]. Эфирные масла могут применяться как противодиабетическое средство [30] и использоваться в терапии нейрогенеративных заболеваний [22], а также обладают анксиолитической активностью [25].

В то же время применение эфирных масел в технологиях обогащенной пищевой продукции и в качестве пищевых добавок не полностью изучено. Связано это во многом с разнообразием ароматических соединений и других природных химических веществ, имеющих различные фармакологические эффекты. Тем не менее, нельзя не отметить, что давно известные эфирные масла, получаемые из растительного сырья, широко применяются в пищевой индустрии. В частности, известны случаи внесения эфирных масел в состав упаковки для пищевой продукции [17]. Установлено, что введение в пищевую систему камедей, таких как ксантан, арабийская камедь и пектин увеличивает концентрацию лимонена и цитраля в безалкогольных напитках [5]. Компоненты эфирного масла растений семейства Яснотковые показывают высокую биологическую активность [21].

Антимикробный потенциал эфирных масел является доминирующим фактором их внесения в пищевую систему в качестве натурального консерванта [7]. Сообщается об антимикробных свойствах эфирного масла орегано в отношении листерии (*L. monocytogenes*) [15]; показан антимикробный потенциал эфирных масел майорана, душицы, тимьяна, базилика в отношении бактерий кишечной палочки (*E. coli*) и синегнойной палочки (*P. aeruginosa*), однако в исследовании отмечается зависимость антимикробной активности от наличия ингредиентов в пищевых системах: крахмал может отвечать за снижение антимикробной активности эфирного масла [11]. Разработано антимикробное покрытие на основе альгината, содержащее эфирное масло орегано, которое отличается меньшей потерей влаги в образцах и обладает микробной активностью [26]. Эфирные масла гвоздики, корицы и тимьяна снижают активность листерии (*L. monocytogenes*) в составе мягкого сыра [24]. Введение в рецептуру йогурта экстракта гуараны сокращает время ферментации при производстве продукта [14]. Установлено ингибирующее воздействие эфирных масел орегано (*Origanum vulgare*), тимьяна (*Thymus vulgaris*), розмарина (*Rosmarinus officinalis*), шалфея (*Salvia officinalis*), тмина (*Cuminum cyminum*) и гвоздики (*Syzygium Aromaticum*) в отношении некоторых видов лактобацилл (*Lactobacillus curvatus*, *Lactobacillus sakei*), грамположительных стафилококков (*Staphylococcus carnosus*, *Staphylococcus xylosus*) [28-18].

Компоненты растений семейства Яснотковые обладают широким спектром биологической активности [27]. В частности, была показана антиоксидантная активность эфирных масел растений рода Чабера (*Satureja L.*) при их использовании в качестве пищевой добавки при хранении сливочного масла. Также эти масла используются в качестве консерванта в молочной продукции в отношении золотистого стафилококка (*Staphylococcus aureus*), в мясной продукции в отношении клостридии (*Clostridium perfringens*). Чабер улучшает органолептические и физико-химические характеристики фрикаделек. Использование антимикробных пленок на основе снижает активность грамположительных и граммотрицательных бактерий и пеницилла распротёртого (*Penicillium expansum*) на кожуре яблок и перцев. Обработка эфирным маслом чабера свиного фарша снижает концентрацию сальмонелл в готовом продукте. Отмечается частичная миграция природных соединений чабера в продукт при их использовании в качестве компонента упаковки чипсов. Показана высокая антиоксидантная и антимикробная активность сверхкритических экстрактов чабера зимнего (*Satureja montana L.*). Эфирное масло чабера, выделенное с помощью гидродистилляции, показывает токсичность в отношении особей красного мучного жука (*Tribolium castaneum*), личинок средиземноморской мучной моли (*Ephestia kuehniella*) (Zell.) и индийской мучной моли (*Plodia interpunctella*). Благодаря розмариновой кислоте, основному фенольному соединению чабера, это растение может быть перспективным для разработки функциональных продуктов питания.

Рамановская спектроскопия является новым и перспективным методом анализа, в котором используется источник лазерного света для облучения образцов для наблюдения и идентификации колебательной структуры молекул. Сущность определения заключается в том, что излучаемые фотоны резонирует с функциональными группами молекулы образцов. Комбинируя известные диапазоны источника рассеяния света от лазера, можно идентифицировать интересующий компонент. Рамановская спектроскопия является недорогой системой обнаружения, которая намного дешевле известных аналитических методов анализа, таких как газовая хроматография в сочетании с масс-спектрометрией, высокоэффективная жидкостная хроматография и другие. Данный метод исследований нашел свое применение в анализе пищевых добавок [26], изучались природные полиацетиленовые соединения семейства Зонтичные [3], меда [4], безопасности пищевой [1] и мясной [2] продукции.

Таким образом, можно отметить актуальность исследований и высокий потенциал использования компонентов растений семейства Яснотковые в технологии обогащенной пищевой продукции. Для анализа состава активных компонентов перспективным методом становятся спектроскопические методы, основанные на молекулярном колебательном движении.

Их преимуществом являются минимальная подготовка проб, относительно короткое время анализа (обычно менее 10 с), отсутствие химических остатков анализа и простота обращения.

Целью исследования является использование рамановских характеристик для оценки функциональных групп молекул образцов эфирных масел.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2022-23 гг. Объектами исследований являлись эфирные масла чабера душистого (*Satureja hortensis* L.), полученные CO_2 экстракцией. Извлечение производилось при сверхкритических параметрах (SFE) CO_2 при давлении 450 бар, температуре 60°C и скорость потока 0,6 кг/час. В качестве образцов для проведения спектроскопических исследований использовались три пробы растворов эфирного масла. В первой пробе концентрация эфирного масла составила 15 % при концентрации этанола в растворе 85 % об.; во второй пробе концентрация эфирного масла составила 25 % при концентрации этанола в растворе 65 % об.; в третьей пробе концентрация эфирного масла составила 35 % при концентрации этанола в растворе 45 % об. Качественный химический состав эфирного масла в растворе пробы анализировали с помощью реакционного рамановского спектрометра (*React Raman 785, Mettler Toledo*). Спектры комбинационного рассеяния света снимались в диапазоне волновых чисел $100\text{--}3000\text{ см}^{-1}$ при длине волны возбуждения 785 нм. Визуальная обработка спектров осуществлялась с использованием программного обеспечения *iC Raman Software*, поставляемого производителем прибора. Математическая обработка данных проводилась с использованием методов дисперсионного анализа. Критерий достоверности принимался равным 0,05.

Результаты исследований и их обсуждение

В анализируемых трех пробах эфирного масла чабера душистого выявлено наличие различных химически активных функциональных групп, которые могут обладать разнообразными видами как химической, так и биологической активности. На рисунке 1 приведены спектры комбинационного рассеяния для пробы смеси эфирного масла чабера душистого и спирта 85 % об.

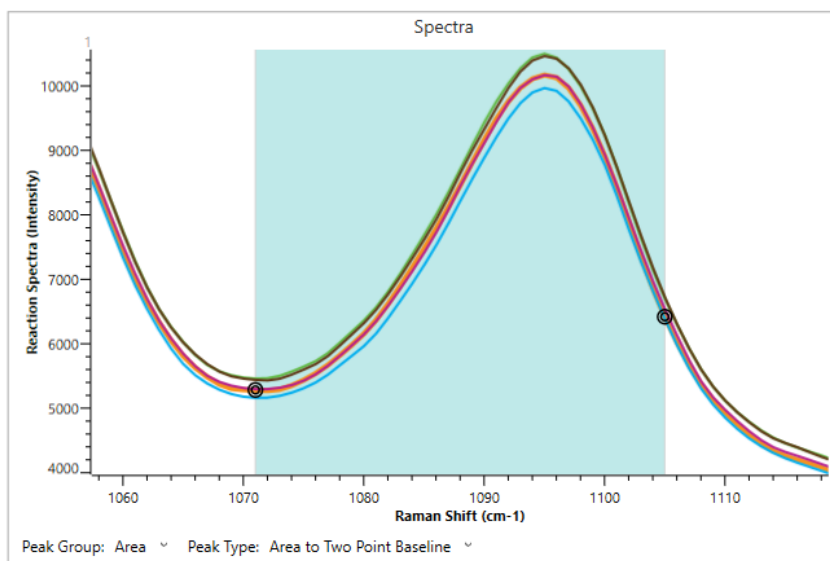


Рисунок 1. Рамановский спектр пробы смеси эфирного масла чабера душистого и спирта 85 % об.

Из данных графика (рис. 1) видно наличие алифатических цепей (91 %), также 91 %-ую концентрацию составляет сильная двойная химическая связь между молекулой углерода и серы (1226 см^{-1}). Также обнаружена сильная дисульфидная связь с концентрацией 90 % (454 см^{-1}). Показано наличие сильных ароматических и гидроксильных связей (2925 см^{-1}). В пиках, равных 1091 см^{-1} , обнаружены карбон-дисульфидные связи, сульфоамиды, сульфоны, ароматические кольца и алифатические цепи. На пике 879 см^{-1} идентифицированы функциональные группы дикарбон монооксида и алифатическая цепь.

На рисунке 2 представлена суммированная диаграмма данных комбинационного рассеяния света для образцов эфирного масла чабера душистого и спирта 65 % об. Из данных рисунка 2 видно, что в спектре присутствуют различные функциональные группы. В частности, в пике 750 см^{-1} нами обнаружены сильная углерод-фтористая связь, функциональные группы тетрахлорметана и алифатическая цепь. Кроме того, в пике со значением 733 см^{-1} также отмечается наличие сильной углерод-фтористой связи, функциональные группы тетрахлорметана и алифатическая цепь. В пике со значением 741 см^{-1} нами отмечаются аналогичные функциональные группы. В пике 902 см^{-1} – наличие функциональной группы C-O-C и алифатической цепи.

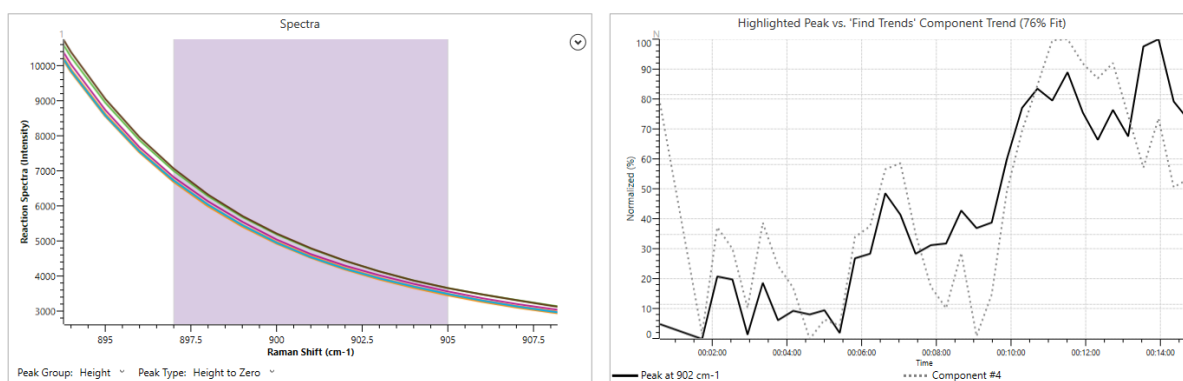


Рисунок 2. Рамановский спектр пробы смеси эфирного масла чабера душистого и спирта 65 % об. (суммированная диаграмма): а - спектры комбинационного рассеяния; б - составной график спектра комбинационного рассеяния света

Со значением волны 1108 см^{-1} нами идентифицированы сильная углерод-фтористая связь, сульфоамидная и сульфоновая функциональные группы, а также алифатическая цепь.

Составной график спектра комбинационного рассеяния света 3000 см^{-1} приведен на рисунке 3.

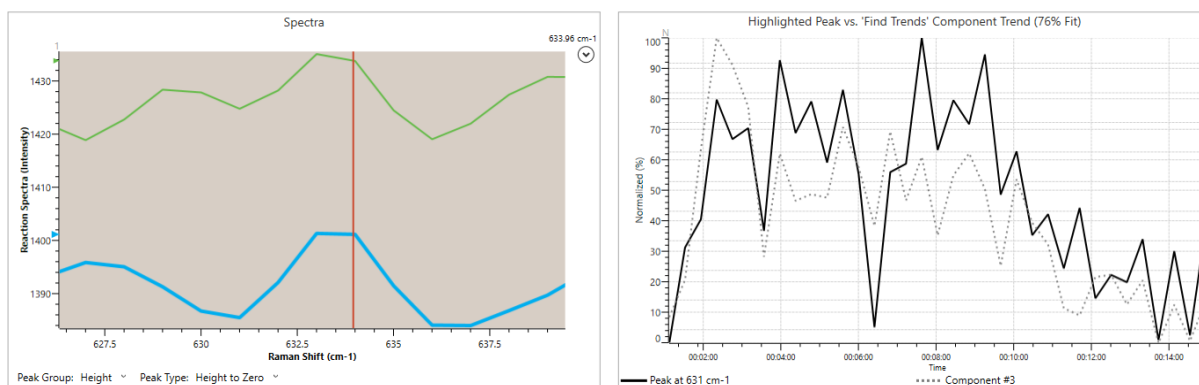


Рисунок 3. Рамановский спектр пробы смеси эфирного масла чабера душистого и спирта 65 % об. (составная диаграмма): а – спектры комбинационного рассеяния; б – составной график спектра комбинационного рассеяния света

Из данных рисунка 3 видно присутствие нескольких репрезентативных полос, при этом некоторые из них частично перекрываются. Валентные колебания различных функциональных групп в изученном растворе эфирного масла на спектрах комбинационного рассеяния (Рисунок 3, б) выявлены при различной интенсивности рамановского сдвига. В частности, в пике 2929 см^{-1} нами обнаружены сильные функциональные группы ациклических непредельных углеводородов, ароматические и гидроксильные группы. На пике 2973 см^{-1} нами замечены ароматические и гидроксильные группы. На пике 2879 см^{-1} показаны функциональные группы тетрахлорметана, ароматические и гидроксильные группы. Кроме того, в пике со значением 631 см^{-1} отмечается наличие сильной углерод-фтористой связи, функциональных групп тетрабромметана, тетрахлорметана, монохлорида йода и алифатическая цепь. В пике со значением 576 см^{-1} нами наблюдаются аналогичные функциональные группы: тетрабромметана, тетрахлорметана, монохлорида йода.

Выводы

1. Эфирные масла чабера душистого (*Satureja hortensis L*) обладают широким спектром биологической активности и имеют потенциал использования в качестве пищевой добавки. В лабораторных условиях нами установлено присутствие различных типов функциональных групп ароматических соединений.

2. Основными функциональными группами, присутствие которых показано в изученных образцах эфирных масел, полученных CO_2 экстракцией, являются карбон-дисульфидные связи, алифатические цепи, углерод-фтористые связи, сильные химические связи, образующие галогениды с углеродом. При концентрации в экстрагенте спирта 85 % об. обнаружены двойная химическая связь между молекулой углерода и серы (1226 см^{-1}), сильная дисульфидная связь с концентрацией 90 % (454 см^{-1}). Показано наличие сильных ароматических и гидроксильных связей (2925 см^{-1}). При концентрации спирта 65 % об. в исследованиях при значении волны 1108 см^{-1} идентифицированы сильная углерод-фтористая связь, сульфоамидная и сульфоновая функциональные группы, а также алифатическая цепь. На пике 2879 см^{-1} показаны функциональные группы тетрахлорметана, ароматические и гидроксильные группы.

3. Представленные результаты могут иметь практический интерес для дальнейших углубленных исследований с целью разработки методологических подходов к идентификации биологически активных соединений в эфирных маслах лекарственных растений с использованием спектроскопии комбинационного рассеяния света и ее модификаций.

Список источников

1. Амелин В.Г., Лаврухина О. И. Обеспечение безопасности пищевых продуктов средствами химического анализа // Журнал аналитической химии. 2017. Т. 72. №. 1. С. 3-49.

2. Горбунова Н.А. Неразрушающие методы контроля качества мяса и мясных продуктов // Все о мясе. 2014. № 3. С. 44-47.

3. Кушнир А.А., Суханов П. Т., Сизо К. О. Определение ноотропов в лекарственных средствах, биологических объектах и пищевых добавках (обзор) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2021. №. 1. С. 5-19.

4. Пчелкина В.А. Изучение возможностей применения рамановской спектроскопии для анализа меда. Актуальные тенденции в пчеловодстве и апитерапии XXI века. Коллективная монография // Под редакцией А.З. Брандорф [и др.]. Рыбное: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр пчеловодства», 2022. С. 340-344.

5. Ahmed M.Y.S., Saad R., El-Aleem F.S.A., Lotfy S.N., Fadel H.H.M. Improving the Antioxidant Activity of a Carbonated Lemon Soft Drink // Asian Food Science Journal. 2023. No 22(10). Pp. 22-36.

6. Brandt C.C., Lobo V.S., Fiametti K.G., Wancura J.H., Oro C.E., Oliveira J.V. Rosemary essential oil microemulsions as antimicrobial and antioxidant agent in tomato paste // *Food Chemistry Advances*. 2023. No 2. Pp. 100295.
7. Christian K.T.R., Carole D.F.M., Alain K.Y., Dahouenon-Ahoussi E., Avlessi F., Sohounhloue D., Simal-Gandara J. Essential oils as natural antioxidants for the control of food preservation // *Food Chemistry Advances*. 2023. Pp. 100312.
8. De Souza Pedrosa G.T., Pimentel T.C., Gavahian M., de Medeiros L.L., Pagán R., Magnani M. The combined effect of essential oils and emerging technologies on food safety and quality // *Lwt*. 2021. No 147. Pp. 111593.
9. Felici M., Tugnoli B., Ghiselli F., Baldo D., Ratti C., Piva A., Grilli E. Investigating the effects of essential oils and pure botanical compounds against *Eimeria tenella* in vitro // *Poultry Science*. 2023. No 102(10). Pp. 102898.
10. Gachkar L., Yadegari D., Rezaei M.B., Taghizadeh M., Astaneh S.A., Rasooli I. Chemical and biological characteristics of *Cuminum cyminum* and *Rosmarinus officinalis* essential oils // *Food chemistry*. 2007. No 102(3). Pp. 898-904.
11. Gutierrez J., Barry-Ryan C., Bourke P. The antimicrobial efficacy of plant essential oil combinations and interactions with food ingredients // *International journal of food microbiology*. 2008. No 124(1). Pp. 91-97.
12. Irshad G., Naz F., Hafiz A.A. Suppression of *Fusarium sporotrichioides* initiating peach fruit rot with microencapsulated antifungal sachet of clove essential oil tablets // *European Journal of Plant Pathology*. 2023. Pp. 1-15.
13. Jannat B., Mirza-Alizadeh A., Farshi P., Dadgarnejad M., Hosseini H., Hashempour-Baltork F., Jafari S.M. Anti-biofilm activity of essential oils in fruit and vegetable: A systematic review // *Food Control*. 2023. Pp. 109875.
14. Kourouniotou E., Karagianni N., Bari A., Diseri A., Hatzioannou M., Giannouli P. Effects of Guarana Aqua Extracts on Fermentation Kinetics and Quality Properties of Set-Type Yogurts. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2023.
15. Lastra-Vargas L., Hernandez-Nava R., Ruíz-Gonzalez N., Jimenez-Mungula M.T., Lopez-Malo A., Palou E. Oregano essential oil as an alternative antimicrobial for the control of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* in Turkey mortadella during refrigerated storage // *Food Chemistry Advances*. 2023. No 2. Pp. 100314.
16. Li X., Li C., Li C., Wu C., Bai Y., Zhao X. et. al. A novel perspective on the preventive treatment of hydrazine compound-induced liver injury: Isoniazid liver injury as an example // *Journal of Ethnopharmacology*. 2023. No 315. Pp. 116616.
17. Llana-Ruiz-Cabello M., Pichardo S., Maisanaba S., Puerto M., Prieto A.I., Gutierrez-Praena D. et. al. In vitro toxicological evaluation of essential oils and their main compounds used in active food packaging: A review // *Food and Chemical Toxicology*. 2015. No 81. Pp. 9-27.
18. Mira A., Yamashita S., Katakura Y., Shimizu K. In vitro neuroprotective activities of compounds from *Angelica shikokiana* Makino // *Molecules*. 2015. No 20(3). Pp. 4813-4832.
19. Mu M., Lin Y.T., DeFlorio W., Arcot Y., Liu S., Zhou W., Akbulut M. Multifunctional Antifouling Coatings Involving Mesoporous Nanosilica and Essential Oil with Superhydrophobic, Antibacterial, and Bacterial Antiadhesion Characteristics // *Applied Surface Science*. 2023. Pp. 157656.
20. Nazzaro F., Fratianni F., Coppola R., De Feo V. Essential oils and antifungal activity. *Pharmaceuticals*. 2017. No 10(4). Pp. 86.
21. Nieto G. Biological activities of three essential oils of the Lamiaceae family // *Medicines*. 2017. No 4(3). Pp. 63.
22. Qneibi M., Bdir S., Maayeh C., Bdair M., Sandouka D., Basit D., Hallak M.A Comprehensive Review of Essential Oils and Their Pharmacological Activities in Neurological Disorders: Exploring Neuroprotective Potential // *Neurochemical Research*. 2023. Pp. 1-32.

23. Souza A.G., Yudice E.D.C., de Campos I.B., Ferreira R.R., Ferreira G.S., Dal Col R., Rosa D.D.S. Comprehensive mapping of SARS-CoV-2 inhibition using essential or vegetable oils // *Journal of Molecular Liquids*. 2023. No 387. Pp. 122539.
24. Smith-Palmer A., Stewart J., Fyfe L. The potential application of plant essential oils as natural food preservatives in soft cheese // *Food microbiology*. 2001. No 18(4). Pp. 463-470.
25. Stojanovic N.M., Mladenovic M.Z., Randjelovic P.J., Radulovic N.S. The potential of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) essential oil as an anti-anxiety agent—is the citronellal the activity carrier? // *Journal of Ethnopharmacology*. 2023. No 314. Pp. 116661.
26. Tabassum N., Aftab R.A., Yousuf O., Ahmad S., Zaidi S. Application of nanoemulsion based edible coating on fresh-cut papaya // *Journal of Food Engineering*. 2023. No 355. Pp. 111579.
27. Tepe B., Cilkiz M. A pharmacological and phytochemical overview on *Satureja* // *Pharmaceutical biology*. 2016. Vol. 54. No. 3. Pp. 375-412.
28. Viuda-Martos M., Ruiz-Navajas Y., Fernandez-López J., Perez-Alvarez J. A. Antibacterial activity of different essential oils obtained from spices widely used in Mediterranean diet // *International journal of food science & technology*. 2008. No 43(3). Pp. 526-531.
29. Yu Y., Fu D., Zhou H., Su J., Chen S., Lv G. Potential application of *Atractylodes macrocephala* Koidz. as a natural drug for bone mass regulation: A review // *Journal of Ethnopharmacology*. 2023. Pp. 116718.
30. Zaidi A.H., Shaukat A., Anwar H., Kizilbash N. Mechanism of the antidiabetic action of *Nigella sativa* and thymoquinone: A review // *Frontiers in Nutrition*. 2023. No 10. Pp. 1126272.

References

1. Amelin V.G., Lavrukhina O.I. Ensuring the safety of food products using chemical analysis tools. *Journal of Analytical Chemistry*, 2017, vol. 72, no. 1, pp. 3-49.
2. Gorbunova N.A. Non-destructive methods for quality control of meat and meat products. *All about meat*, 2014, no. 3, pp. 44-47.
3. Kushnir A.A., Sukhanov P.T., Sizo K.O. Determination of nootropics in medicines, biological objects and food additives (review). *Bulletin of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, 2021, no. 1, pp. 5-19.
4. Pchelkina V.A. Study of the possibilities of using Raman spectroscopy for the analysis of honey. *Current trends in beekeeping and apitherapy of the 21st century: Collective monograph*. Edited by A.Z. Brandorf [and others]. Rybnoye: Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Center for Beekeeping» Publ., 2022. Pp. 340-344.
5. Ahmed M.Y.S., Saad R., El-Aleem F.S.A., Lotfy S.N., Fadel H.H.M. Improving the Antioxidant Activity of a Carbonated Lemon Soft Drink. *Asian Food Science Journal*, 2023, no 22(10), pp. 22-36.
6. Brandt C.C., Lobo V.S., Fiametti K.G., Wancura J.H., Oro C.E., Oliveira J.V. Rosemary essential oil microemulsions as antimicrobial and antioxidant agent in tomato paste. *Food Chemistry Advances*, 2023, no 2, pp. 100295.
7. Christian K.T.R., Carole D.F.M., Alain K.Y., Dahouenon-Ahoussi E., Avlessi F., Sohounhloue D., Simal-Gandara J. Essential oils as natural antioxidants for the control of food preservation. *Food Chemistry Advances*, 2023, pp. 100312.
8. de Souza Pedrosa G.T., Pimentel T.C., Gavahian M., de Medeiros L.L., Pagán R., Magnani M. The combined effect of essential oils and emerging technologies on food safety and quality. *Lwt*, 2021, no 147, pp. 111593.
9. Felici M., Tugnoli B., Ghiselli F., Baldo D., Ratti C., Piva A., Grilli E. Investigating the effects of essential oils and pure botanical compounds against *Eimeria tenella* in vitro. *Poultry Science*, 2023, no 102(10), pp. 102898.
10. Gachkar L., Yadegari D., Rezaei M.B., Taghizadeh M., Astaneh S.A., Rasooli I. Chemical and biological characteristics of *Cuminum cyminum* and *Rosmarinus officinalis* essential oils. *Food chemistry*, 2007, no 102(3), pp. 898-904.

11. Gutierrez J., Barry-Ryan C., Bourke P. The antimicrobial efficacy of plant essential oil combinations and interactions with food ingredients. *International journal of food microbiology*, 2008, no 124(1), pp. 91-97.
12. Irshad G., Naz F., Hafiz A.A. Suppression of *Fusarium sporotrichioides* initiating peach fruit rot with microencapsulated antifungal sachet of clove essential oil tablets. *European Journal of Plant Pathology*, 2023, pp. 1-15.
13. Jannat B., Mirza-Alizadeh A., Farshi P., Dadgarnejad M., Hosseini H., Hashempour-Baltork F., Jafari S.M. Anti-biofilm activity of essential oils in fruit and vegetable: A systematic review. *Food Control*, 2023, pp. 109875.
14. Kourouniotou E., Karagianni N., Bari A., Diseri A., Hatzioannou M., Giannouli P. Effects of Guarana Aqua Extracts on Fermentation Kinetics and Quality Properties of Set-Type Yogurts. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2023.
15. Lastra-Vargas L., Hernandez-Nava R., Ruíz-Gonzalez N., Jimenez-Mungula M.T., Lopez-Malo A., Palou E. Oregano essential oil as an alternative antimicrobial for the control of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* in Turkey mortadella during refrigerated storage. *Food Chemistry Advances*, 2023, no. 2, pp. 100314.
16. Li X., Li C., Li C., Wu C., Bai Y., Zhao X. et. al. A novel perspective on the preventive treatment of hydrazine compound-induced liver injury: Isoniazid liver injury as an example. *Journal of Ethnopharmacology*, 2023, no. 315, pp. 116616.
17. Llana-Ruiz-Cabello M., Pichardo S., Maisanaba S., Puerto M., Prieto A.I., Gutierrez-Praena D. et. al. In vitro toxicological evaluation of essential oils and their main compounds used in active food packaging: A review. *Food and Chemical Toxicology*, 2015, no. 81, pp. 9-27.
18. Mira A., Yamashita S., Katakura Y., Shimizu K. In vitro neuroprotective activities of compounds from *Angelica shikokiana* Makino. *Molecules*, 2015, no. 20(3), pp. 4813-4832.
19. Mu M., Lin Y.T., DeFlorio W., Arcot Y., Liu S., Zhou W., Akbulut M. Multifunctional Antifouling Coatings Involving Mesoporous Nanosilica and Essential Oil with Superhydrophobic, Antibacterial, and Bacterial Antiadhesion Characteristics. *Applied Surface Science*, 2023, pp. 157656.
20. Nazzaro F., Fratianni F., Coppola R., De Feo V. Essential oils and antifungal activity. *Pharmaceuticals*, 2017, no. 10(4), pp. 86.
21. Nieto G. Biological activities of three essential oils of the Lamiaceae family. *Medicines*, 2017, no. 4(3), pp. 63.
22. Qneibi M., Bdir S., Maayeh C., Bdir M., Sandouka D., Basit D., Hallak M.A Comprehensive Review of Essential Oils and Their Pharmacological Activities in Neurological Disorders: Exploring Neuroprotective Potential. *Neurochemical Research*, 2023, pp. 1-32.
23. Souza A.G., Yudice E.D.C., de Campos I.B., Ferreira R.R., Ferreira G.S., Dal Col R., Rosa D.D.S. Comprehensive mapping of SARS-CoV-2 inhibition using essential or vegetable oils. *Journal of Molecular Liquids*, 2023, no. 387, pp. 122539.
24. Smith-Palmer A., Stewart J., Fyfe L. The potential application of plant essential oils as natural food preservatives in soft cheese. *Food microbiology*, 2001, no. 18(4), pp. 463-470.
25. Stojanovic N.M., Mladenovic M.Z., Randjelovic P.J., Radulovic N.S. The potential of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) essential oil as an anti-anxiety agent—is the citronellal the activity carrier? *Journal of Ethnopharmacology*, 2023, no. 314, pp. 116661.
26. Tabassum N., Aftab R.A., Yousuf O., Ahmad S., Zaidi S. Application of nanoemulsion based edible coating on fresh-cut papaya. *Journal of Food Engineering*, 2023, no. 355, pp. 111579.
27. Tepe B., Cilkiz M. A pharmacological and phytochemical overview on *Satureja*. *Pharmaceutical biology*, 2016, vol. 54, no. 3, pp. 375-412.
28. Viuda-Martos M., Ruiz-Navajas Y., Fernandez-López J., Perez-Alvarez J. A. Antibacterial activity of different essential oils obtained from spices widely used in Mediterranean diet. *International journal of food science & technology*, 2008, no. 43(3), pp. 526-531.

29. Yu Y., Fu D., Zhou H., Su J., Chen S., Lv G. Potential application of *Atractylodes macrocephala* Koidz. as a natural drug for bone mass regulation: A review. *Journal of Ethnopharmacology*, 2023, pp. 116718.

30. Zaidi A.H., Shaukat A., Anwar H., Kizilbash N. Mechanism of the antidiabetic action of *Nigella sativa* and thymoquinone: A review. *Frontiers in Nutrition*, 2023, no. 10, pp. 1126272.

Информация об авторах

И.А. Бакин – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой процессов и аппаратов перерабатывающих производств;

Н.В. Иванов – заведующий учебной лабораторией кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств.

Information about the authors

I.A. Bakin – Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Processes and Equipment for Processing Industries;

N.V. Ivanov – Head of the Laboratory of the Department of Processes and Equipment for Processing Industries.