

УДК 544.351.3

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ТРИТЕРПЕНОВ ИЗ *INONOTUS OBLIQUUS* С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ФЛЮИДНОГО ЭКСТРАКЦИОННОГО ПРОЦЕССА

© В.Ф. Хайрутдинов*, Л.Ю. Сабирова, Л.Ю. Яруллин, С.А. Коваленко, Ф.Р. Габитов,
Т.Р. Ахметзянов

Казанский национальный исследовательский технологический
университет, ул. Карла Маркса 68, Казань, 420015, Россия,
kvener@yandex.ru

Метод сверхкритической флюидной экстракции является эффективным и экологичным по сравнению с традиционными методами получения экстрактов (перколяция, реперколяция и другие). В настоящей работе осуществлена экстракция сверхкритическим диоксидом углерода биоактивных соединений из мицелия трутовика скошенного (чага, *Inonotus obliquus* (Ach. ex Pers.) Pil., семейства Hymenochaetaceae) при различных параметрах давления, температуры и с добавлением в качестве соразтворителя этанола, а также реализован процесс экстракции на пилотной экстракционной установке. Выявлены зависимости выхода экстракта при различных параметрах экстракции от объема пропущенного диоксида углерода. Установлено, что с увеличением температуры проведения экстракции выход получаемого экстракта увеличивается, но повышение давления не увеличивает выход экстракта после 30 МПа. Показано, что на выход тритерпенов влияние оказывает как температура получения экстракта, так и давление. Присутствие этанола также приводит к улучшению извлечения фенольных соединений. Однако доля флавоноидов при этом остается неизменной, так как на нее не оказывает существенное влияние изменение параметров экстракции. Проведенные исследования показали, что данные, полученные на пилотной установке, соответствуют данным, полученным на лабораторной экспериментальной установке. Этот факт позволяет прогнозировать, что сверхкритический флюидный экстракционный процесс применительно к экстракции *I. obliquus* является хорошо масштабируемым процессом.

Ключевые слова: *Inonotus obliquus*, сверхкритическая флюидная экстракция, диоксид углерода, фенольные соединения, тритерпены.

Для цитирования: Хайрутдинов В.Ф., Сабирова Л.Ю., Яруллин Л.Ю., Коваленко С.А., Габитов Ф.Р., Ахметзянов Т.Р. Извлечение фенольных соединений и тритерпенов из *Inonotus obliquus* с использованием сверхкритического флюидного экстракционного процесса // Химия растительного сырья. 2024. №2. С. 394–400. DOI: 10.14258/jcprm.20240213416.

Введение

С использованием в качестве лечебных средств медикаментов, полученных с помощью химического синтеза, а в последние годы – биотехнологий и генной инженерии, интерес к фитотерапии не только не иссякает, а даже усиливается. В народной медицине широко применяется мицелий трутовика скошенного (чага, *Inonotus obliquus* (Ach. ex Pers.) Pil., семейство Hymenochaetaceae). В фитотерапии чага в основном используется в виде чая или настоя в различных странах (Россия, Китай, страны Балтии, Канада и т.д.) как средство для профилактики и лечения различных желудочно-кишечных, сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний [1]. Российские ученые Государственного научного центра (ГНЦ) вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора установили, что водный экстракт *I. obliquus* подавляет развитие коронавируса SARS-CoV-2, что свидетельствует о перспективности создания противовирусных препаратов [2].

В традиционных методах экстракции растительного сырья применяются органические растворители, однако они не всегда обеспечивают извлечение из сырья полного комплекса биологически активных соединений. Более того, при этом всегда возникает проблема отделения от экстракта остатков растворителя (с

* Автор, с которым следует вести переписку.

возможной их принадлежностью в некоторых случаях к канцерогенным веществам), причем технологические параметры могут привести к частичному или полному разрушению некоторых компонентов экстракта, что, в свою очередь, обуславливает изменение состава и свойств выделенного экстракта [3]. Среди методов, использовавшихся за последнее десятилетие, метод сверхкритической флюидной экстракции (СКФЭ) зарекомендовал себя как эффективный метод для извлечения полярных и неполярных соединений из растительной матрицы. На долю диоксида углерода (CO_2) в качестве сверхкритического растворителя приходится более 90% случаев СКФЭ растительного сырья, так как он обладает низкими критическими параметрами, нетоксичен, невзрывоопасен, недорог, легко доступен и легко удаляется из полученного экстракта [4, 5].

Существующие на сегодняшний день традиционные методы экстракции фенольных соединений из *I. obliquus*, такие как мацерация, перколяция и реперколяция хорошо изучены [6, 7], чего нельзя сказать про метод СКФЭ с применением CO_2 . Использование СКФЭ для извлечения тритерпеноидов *I. obliquus* было эффективно для получения экстрактов с высокой концентрацией иноодиола, ланостерола и β -ситостерина [8]. Препараты *I. obliquus*, полученные с применением СКФЭ CO_2 , показали более высокие показатели стабильности и микробиологической чистоты в процессе хранения в сравнении с водными экстрактами [9]. Таким образом, СКФЭ является перспективным методом для извлечения ценных компонентов из *I. obliquus*.

Следует отметить, что данный процесс СКФЭ *I. obliquus* исследован недостаточно, так как неизученными остаются вопросы влияния термодинамических параметров (давление и температура) и сорастворителей на выход целевых соединений (фенолы, тритерпены). Целью данной работы является исследование процесса СКФЭ фенольных соединений, флавоноидов и тритерпенов из мицелия *I. obliquus* при различных давлениях и температурах, а также с использованием в качестве сорастворителя этанола.

Экспериментальная часть

Сырье и реактивы. Высушенный мицелий *I. obliquus* был предоставлен ОАО «Татхимфармпрепараты» (Казань, Россия; № партии 2022/11, дата производства 07.08.2022). В работе использованы следующие реактивы: диоксид углерода (Техгазсервис, Казань, Россия; 99.0%), этанол («База №1 Химических Реактивов», Москва, Россия; 99.8%). Измельчение сырья осуществляли на лабораторной мельнице до размера частиц 0.2–2 мм.

СКФ экстракция. Экспериментальная экстракционная установка состоит из насоса высокого давления, снабженного системой контроля давления и расходомером, насоса для сорастворителя, электронагревателя, экстракционного сосуда объемом 1 л, сепаратора, регулятора обратного давления и системы управления на основе ПК. Подробное описание установки и методики проведения процесса приведено в работе [10]. Для проведения исследований близких к промышленным масштабам спроектирована и изготовлена пилотная установка для СКФЭ, состоящая из двух экстракторов объемом 25 л (рис. 1), которая включает системы управления на основе ПК для создания и поддержания давления, температуры и расхода.

Химический анализ. Спектрофотометрический анализ экстрактов применяли для определения суммарного содержания фенольных соединений по Фолина-Чокальтеу в пересчете на галловую кислоту [11], флавоноидов по реакции комплексообразования с хлоридом алюминия в пересчете на кверцетин [12] и тритерпенов по реакции с ванилиновым реактивом в пересчете на ланостерол [13]. Статистическую обработку экспериментальных результатов проводили с использованием программы «Statistica 10.0».



Рис. 1. Блок экстракторов пилотной СКФ экстракционной установки

Результаты и их обсуждения

На рисунке 2 представлены зависимости выхода экстракта *I. obliquus* от массы пропущенного сверхкритического CO₂ при давлении 30 МПа и при различных температурах и установлено, что наибольший выход (3.08%) достигался при температуре 333 К. Этот результат объясняется тем, что с увеличением температуры растет растворяющая способность сверхкритического CO₂ по отношению компонентам *I. obliquus*.

Увеличение давления при температуре 333 К (рис. 3) приводило к повышению эффективности процесса экстракции, например при 48 МПа максимальный выход экстракта достигался при расходе 2200 г CO₂, а для 30 МПа – при 3700 г CO₂. Однако при давлении 30–48 МПа (кроме 15 МПа) при температуре 333 К процент общего выхода экстракта оставался близким. По всей вероятности, это связано с медленной диффузией растворяющего CO₂ через поверхность при давлении 30 МПа.

Поскольку наилучший результат выхода экстракта был установлен при 30 МПа и 333 К, эти показатели были выбраны для проведения экстракции на пилотной установке с объемом экстрактора 25 л. На рисунке 4 приведены значения выходов экстрактов при различных параметрах давления и температуры, демонстрирующие, что наибольший выход экстракта (3.08%) получен при параметрах 30 МПа и 333 К. Близкий результат (3.076%) был получен при тех же параметрах на пилотной установке. С увеличением давления до 40 и 48 МПа выход экстракта снижался и составил 2.969 и 2.841% соответственно, что так же наблюдалось при понижении температуры экстракции.

Данные о содержании фенольных соединений, флавоноидов и тритерпенов в полученных экстрактах представлены в таблице.

Установлено, что на содержание фенольных соединений в экстрактах *I. obliquus* оказывало влияние как температура экстракции, так и используемое давление. Использование этанола в качестве соразтворителя приводило к пятикратному повышению содержания фенольных соединений. Концентрация флавоноидов при этом изменялась незначительно, так как на их извлечение изменение параметров экстракции существенного влияния не оказывало.

Содержание тритерпенов в экстрактах повышалось при увеличении температуры экстракции с 313 до 333 К, хотя при 313 и 333 К изменение давления существенной роли не играло. При 333 К и повышении давления с 15 до 30 МПа содержание тритерпенов в экстракте увеличивалось в 1.5 раза – с 0.37 до 0.56%. Небольшое снижение концентрации тритерпенов наблюдалось при повышении температуры до 70 °С, что, вероятно, связано с соэкстракцией при высокой температуре других классов липидов, в частности углеводов.

Добавление при экстракции этанола в качестве соразтворителя приводило к резкому повышению содержания тритерпенов в экстракте даже при низких температурах. Известно, что этанол извлекает из *I. obliquus* комплекс биологически активных соединений, представленных липидами (терпеноиды, жирные кислоты, глицериды) и фенольными веществами (флавоноиды, стирилпироны, фенолкарбоновые кислоты) [14, 15]. Общий выход этанольного экстракта может достигать 10% и более, что существенно выше по сравнению с СКФЭ, однако содержание тритерпеноидов в СКФЭ экстракте может достигать 1.3%, а в этанольном экстракте *I. obliquus* (настойке) – 0.035% [16, 17].

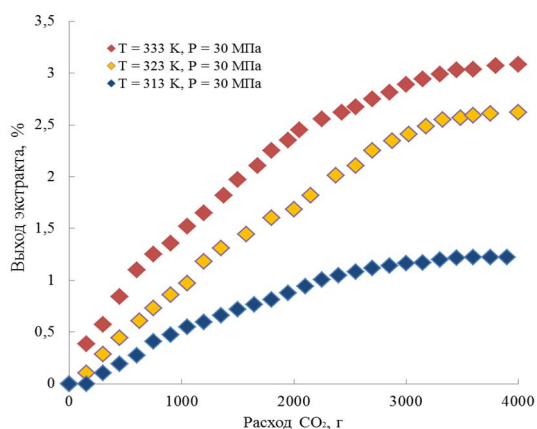


Рис. 2. Зависимость выхода экстракта (% от массы исходного сырья) от массы пропущенного сверхкритического CO₂ при давлении 30 МПа и различных температурах

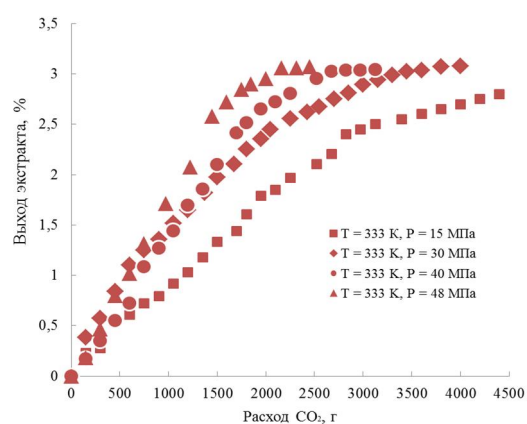


Рис. 3. Зависимость выхода экстракта (% от массы исходного сырья) от массы пропущенного сверхкритического CO₂ при температуре 333 К и различном давлении

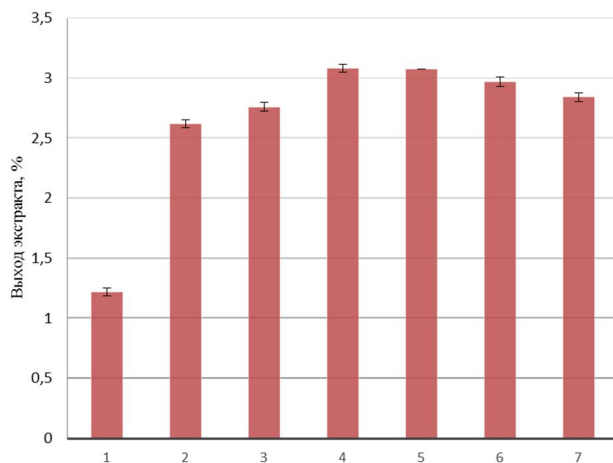


Рис. 4. Выход экстракта (% от массы исходного сырья) в зависимости от условий проведения СКФЭ. Числами обозначены различные условия экстракции: 1 – T=313 К, P=30 МПа; 2 – T=323 К, P=30 МПа; 3 – T=333 К, P=15 МПа; 4 – T=333 К, P=30 МПа; 5 – T=333 К, P=30 МПа (пилотная установка); 6 – T=333 К, P=40 МПа; 7 – T=333 К, P=48 МПа

Содержание фенольных соединений, флавоноидов и тритерпенов в экстрактах *I. obliquus*

Параметры экстракции	Содержание, % от массы экстракта		
	Фенольные соединения	Флавоноиды	Тритерпены
T=313К, P=15 МПа	0.80±0.02	0.23±0.01	0.11±0.01
T=313К, P=30 МПа	1.10±0.02	0.22±0.01	0.13±0.02
T=323К, P=15 МПа	1.50±0.03	0.27±0.04	0.20±0.02
T=323К, P=30 МПа	0.60±0.01	0.30±0.03	0.14±0.01
T=333К, P=15 МПа	1.30±0.01	0.19±0.02	0.37±0.03
T=333К, P=30 МПа	0.80±0.01	0.15±0.01	0.56±0.02
T=343К, P=30 МПа	2.50±0.02	0.20±0.02	0.47±0.02
T=313К, P=15 МПа + этанол 5%	3.90±0.01	0.24±0.01	0.87±0.01
T=313К, P=30 МПа + этанол 5%	4.20±0.03	0.25±0.02	0.90±0.01
T=333К, P=15 МПа + этанол 5%	4.00±0.02	0.26±0.02	1.10±0.03
T=333К, P=30 МПа + этанол 5%	5.50±0.04	0.30±0.02	1.30±0.01

Таким образом, полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что метод СКФЭ является перспективным для получения экстрактов из *I. obliquus*, обогащенных ценными компонентами, в частности фенольными соединениями, флавоноидами и тритерпенами. По сравнению с традиционными методами СКФЭ позволяет увеличить содержание тритерпеноидов в получаемом экстракте в 10 раз.

Заключение

Проведенные исследования по изучению экстракции *I. obliquus* в сверхкритическом CO₂ показывают, что с увеличением температуры проведения экстракции выход получаемого экстракта увеличивается, но повышение давления не увеличивает выход экстракта после 30 МПа. Экспериментальные данные, полученные на пилотной установке, соответствуют данным, полученным на лабораторной экспериментальной установке. Этот факт позволяет прогнозировать, что СКФЭ процесс применительно к экстракции *I. obliquus* является хорошо масштабируемым процессом. Впервые показано, что использование этанола в качестве соразтворителя приводит к улучшению извлечения фенольных соединений из *I. obliquus*, а на выход тритерпенов оказывает влияние как температура экстракции, так и давление.

Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания на оказание государственных услуг (выполнение работ) от 29.12.2022 г. № 075-01508-23-00 (Сверхкритические флюидные технологии в переработке полимеров (FZSG-2023-0007)) с использованием аналитического оборудования центра коллективного пользования «Наноматериалы и нанотехнологии» Казанского национального исследовательского технологического университета.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Park Y.-M., Won J.-H., Kim Y.-H., Choi J.-W., Park H.-J., Lee K.-T. In vivo and in vitro anti-inflammatory and antinociceptive effects of the methanol extract of *Inonotus obliquus* // J. Ethnopharmac. 2005. Vol. 101(1-3). Pp. 120–128. DOI: 10.1016/j.jep.2005.04.003.
2. Патент №2741714 (РФ). Ингибитор репликации коронавируса SARS-CoV-2 на основе водного экстракта гриба *Inonotus obliquus* / Т.В. Теплякова, О.В. Пьянков, М.О. Скарнович, Н.И. Бормотов, Т.А. Косогова, А.С. Овчинникова, А.В. Магеррамова, А.Л. Потешкина, А.С. Сафатов, Е.И. Филиппова. – 28.01.2021.
3. Гумеров Ф.М. Сверхкритические флюидные технологии. Экономическая целесообразность. Казань, 2019. 440 с.
4. Бекетова А.Б., Касенова Ж.М. Современное состояние развития сверхкритических флюидных технологий // Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. 2012. №4. С. 249–255.
5. Gupta A., Naraniwal M., Kothari V. Modern extraction methods for preparation of bioactive plant extracts // International Journal of Applied and Natural Sciences. 2012. Vol. 1, no. 1. Pp. 8–26.
6. Alhallaf W.A.A. Investigation of Anti-Inflammatory and Antioxidants Properties of Phenolic Compounds from *Inonotus obliquus* Using Different Extraction Methods: Electronic theses and dissertations. University of Maine, 2020.
7. Seo H.K., Lee S.C. Antioxidant activity of subcritical water extracts from chaga mushroom (*Inonotus obliquus*) // Separation Science and Technology. 2010. Vol. 45(2). Pp. 198–203. DOI: 10.1080/01496390903423899.
8. Huynh N., Beltrame G., Tarvainen M., Soumela J-P. Supercritical CO₂ extraction of triterpenoids from chaga sterile conk of *Inonotus obliquus* // Molecules. 2022. Vol. 27(6). 1880. DOI: 10.3390/molecules27061880.
9. Ли Н.Г., Каленик Т.К. Аспекты пищевой безопасности водного и сверхкритического CO₂-экстрактов гриба *Inonotus obliquus* // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51, №1. С. 125–133. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-1-125-133.
10. Яруллин Л.Ю., Каюмова В.А., Габитов Ф.Р. Сверхкритическая флюидная экстракция махорки с использованием этанола в качестве соразтворителя // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18, №14. С. 56–58.
11. Ainsworth A.E., Gillespie K.M. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent // Nature Protocols. 2007. Vol. 2. Pp. 875–877. DOI: 10.1038/nprot.2007.102.
12. Корулькин Д.Ю., Абилов Ж.А., Музычкина Р.А., Толстиков Г.А. Природные флавоноиды. Новосибирск, 2007. 232 с.
13. Патент №2566067 (РФ). Способ количественного определения тетрациклических тритерпенов в сырье чаги или препарате чаги / М.А. Сысоева, С.А. Никитина, В.Р. Хабибрахманова. – 2015.
14. Yusoo S., Yutaka T., Minoru T. Triterpenoids, steroids, and a new sesquiterpene from *Inonotus obliquus* (Pers.: Fr.) // Pilat. J. Med. Mushrooms. 2002. Vol. 4. Pp. 77–84.
15. Ma L., Chen H., Dong P., Lu X. Anti-inflammatory and anticancer activities of extracts and compounds from the mushroom *Inonotus obliquus* // Food Chem. 2013. Vol. 139(1-4). Pp. 503–508. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.01.030.
16. Zheng W., Zhang M., Zhao Y., Miao K., Pan S., Cao F., Dai Y. Analysis of Antioxidant Metabolites by Solvent Extraction from Sclerotia of *Inonotus obliquus* (Chaga) // Phytochem. Anal. 2011. Vol. 22. Pp. 95–102. DOI: 10.1002/pca.1225.
17. Жукович Е.Н., Семенова М.Ю., Шарикова Л.А., Прибыткова Т.Ф. Анализ сырья чаги // Фармация. 2010. №2. С. 15–17.

Поступила в редакцию 7 августа 2023 г.

После переработки 20 октября 2023 г.

Принята к публикации 7 ноября 2023 г.

Khairutdinov V.F.* , Sabirova L.Yu., Yarullin L.Yu., Kovalenko S.A., Gabitov F.R., Akhmetzyanov T.R. EXTRACTION OF PHENOLIC COMPOUNDS AND TRITERPENES FROM *INONOTUS OBLIQUUS* USING A SUPERCRITICAL FLUID EXTRACTION PROCESS

Kazan National Research Technological University, Karla Marxa st., 68, Kazan, 420015, Russia, kvener@yandex.ru

The supercritical fluid extraction method is effective and environmentally friendly compared to traditional methods for obtaining extracts (percolation, re-percolation and others). In this work, the extraction of bioactive compounds from the mycelium of the polypore fungus (chaga, *Inonotus obliquus* (Ach. ex Pers.) Pil., family Hymenochaetaceae) was carried out with supercritical carbon dioxide at various parameters of pressure, temperature and with the addition of ethanol as a co-solvent, and the process was implemented extraction in a pilot extraction plant. Dependences of the extract yield at various extraction parameters on the volume of carbon dioxide passed through were revealed. It was found that with increasing extraction temperature, the yield of the resulting extract increases, but increasing the pressure does not increase the yield of the extract after 30 MPa. It has been shown that the yield of triterpenes is influenced by both the temperature of the extract and pressure. The presence of ethanol also leads to improved recovery of phenolic compounds. However, the proportion of flavonoids remains unchanged, since it is not significantly affected by changes in extraction parameters. The conducted studies showed that the data obtained at the pilot installation correspond to the data obtained at the laboratory experimental installation. This fact allows us to predict that the SCFE process, as applied to the extraction of *I. obliquus*, is a highly scalable process.

Keywords: *Inonotus obliquus*, supercritical fluid extraction, carbon dioxide, phenolic compounds, triterpenes.

For citing: Khairutdinov V.F., Sabirova L.Yu., Yarullin L.Yu., Kovalenko S.A., Gabitov F.R., Akhmetzyanov T.R. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2024, no. 2, pp. 394–400. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20240213416.

References

1. Park Y.-M., Won J.-H., Kim Y.-H., Choi J.-W., Park H.-J., Lee K.-T. *J. Ethnopharmac.*, 2005, vol. 101(1-3), pp. 120–128. DOI: 10.1016/j.jep.2005.04.003.
2. Patent 2741714 (RU). 28.01.2021. (in Russ.).
3. Gumerov F.M. *Sverkhkriticheskiye flyuidnyye tekhnologii. Ekonomicheskaya tselesoobraznost'*. [Supercritical fluid technologies. Economic expediency]. Kazan, 2019, 440 p. (in Russ.).
4. Beketova A.B., Kasenova Zh.M. *Vestnik YeNU im. L.N. Gumileva*, 2012, no. 4, pp. 249–255. (in Russ.).
5. Gupta A., Naraniwal M., Kothari V. *International Journal of Applied and Natural Sciences*, 2012, vol. 1, no. 1, pp. 8–26.
6. Alhallaf W.A.A. *Investigation of Anti-Inflammatory and Antioxidants Properties of Phenolic Compounds from Inonotus obliquus Using Different Extraction Methods: Electronic theses and dissertations*. University of Maine, 2020.
7. Seo H.K., Lee S.C. *Separation Science and Technology*, 2010, vol. 45(2), pp. 198–203. DOI: 10.1080/01496390903423899.
8. Huynh N., Beltrame G., Tarvainen M., Soumela J-P. *Molecules*, 2022, vol. 27(6), 1880. DOI: 10.3390/molecules27061880.
9. Li N.G., Kalenik T.K. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*, 2021, vol. 51, no. 1, pp. 125–133. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-1-125-133. (in Russ.).
10. Yarullin L.Yu., Kayumova V.A., Gabitov F.R. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2015, vol. 18, no. 14, pp. 56–58. (in Russ.).
11. Ainsworth A.E., Gillespie K.M. *Nature Protocols*, 2007, vol. 2, pp. 875–877. DOI: 10.1038/nprot.2007.102.
12. Korul'kin D.Yu., Abilov Yu.A., Muzychkina R.A., Tolstikov G.A. *Prirodnyye flavonoidy*. [Natural flavonoids]. Novosibirsk, 2007, 232 p. (in Russ.).
13. Patent 2566067 (RU). 2015. (in Russ.).
14. Yusoo S., Yutaka T., Minoru T. *Pilat. J. Med. Mushrooms*, 2002, vol. 4, pp. 77–84.
15. Ma L., Chen H., Dong P., Lu X. *Food Chem.*, 2013, vol. 139(1-4), pp. 503–508. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.01.030.
16. Zheng W., Zhang M., Zhao Y., Miao K., Pan S., Cao F., Dai Y. *Phytochem. Anal.*, 2011, vol. 22, pp. 95–102. DOI: 10.1002/pca.1225.
17. Zhukovich Ye.N., Semenova M.Yu., Sharikova L.A., Pribytkova T.F. *Farmatsiya*, 2010, no. 2, pp. 15–17. (in Russ.).

Received August 7, 2023

Revised October 20, 2023

Accepted November 7, 2023

* Corresponding author.

Сведения об авторах

Хайрутдинов Венер Фаилевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры теоретических основ теплотехники, kvener@yandex.ru

Сабирова Людмила Юрьевна – аспирант, ludmila@tnhi.ru

Яруллин Ленар Юлдашевич – кандидат технических наук, ассистент кафедры теоретических основ теплотехники, yarul.lenar@gmail.com

Коваленко Светлана Александровна – кандидат химических наук, доцент кафедры пищевой биотехнологии, Svetlanakov25@gmail.com

Габитов Фаризан Ракибович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теоретических основ теплотехники, farizangabitov@yandex.ru

Ахметзянов Талгат Рафинатович – кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры теоретических основ теплотехники, ahmetzyanov1992@bk.ru

Information about authors

Khairutdinov Vener Failevich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Theoretical Fundamentals of Heat Engineering, kvener@yandex.ru

Sabirova Lyudmila Yurievna – graduate student, ludmila@tnhi.ru

Yarullin Lenar Yuldashevich – Candidate of Technical Sciences, Assistant at the Department of Theoretical Fundamentals of Heat Engineering, yarul.lenar@gmail.com

Kovalenko Svetlana Aleksandrovna – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Biotechnology, Svetlanakov25@gmail.com

Gabitov Farizan Rakibovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Theoretical Fundamentals of Heat Engineering, farizangabitov@yandex.ru

Akhmetzyanov Talgat Rafinatovich – Candidate of Technical Sciences, researcher at the Department of Theoretical Fundamentals of Heat Engineering, ahmetzyanov1992@bk.ru