



Научная статья

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодовоовощной продукции и виноградарства (технические науки)
УДК 664

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.017



ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЭКСТРАКТАХ СЕМЯН БРОККОЛИ

Эльмира Рамазановна Эминова¹, Махмуд Ахмед Хашим²,
Ольга Фёдоровна Лунёва³, Анастасия Валерьевна Жернякова⁴,
Денис Александрович Бараненко⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

¹ eminovachemist@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9624-4429>

² makhashim@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5619-7162>

³ olya.lunyova.2@gmail.com

⁴ anastasia.zhernyakova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9260-3025>

⁵ denis.baranenko@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9284-4379>

Аннотация. Цель данной работы - исследование общего содержания фенольных соединений и флавоноидов в частности в экстрактах семян брокколи, полученных мацерацией с перемешиванием и ультразвуковой экстракцией. В качестве объекта исследования были использованы водно-этанольные экстракты семян брокколи, полученные мацерацией и экстракцией, дополненной ультразвуковым воздействием с частотой 35 КГц. Проанализировано влияние ультразвуковых волн на степень извлечения фенольных соединений при различных временных интервалах в сравнении с классическим методом экстракции — мацерацией. Установлено, что увеличение длительности ультразвукового воздействия с 10 до 40 минут оказывает деструктивное воздействие на флавоноиды, при этом общее содержание фенольных соединений в экстракте растёт. По достижении 30 мин времени экстракции отмечен такой пик насыщения, после которого эффективность экстракции фенольных соединений снижается (увеличение содержания фенольных соединений в экстракте с 20 до 30 мин составляет 15 %, с 30 до 40 минут — 4 %). Мацерация, как более мягкий метод экстракции, эффективна в отношении как фенольных соединений, так и флавоноидов. Степень извлечения последних была максимальной для всех опытов. Эффективность экстракции фенольных соединений при полуторачасовой мацерации была сопоставима с эффективностью ультразвуковой экстракции длительностью 30 минут (12,1 мг и 12,3 мг на 1 г семян брокколи соответственно).

Ключевые слова: биологически активные вещества, фенольные соединения, флавоноиды, ультразвуковая экстракция, мацерация, спектрофотометрия, Крестоцветные, брокколи.

Для цитирования: Исследование содержания фенольных соединений в экстрактах семян брокколи / Э.Р. Эминова [и др.]. // Ползуновский вестник. 2022. С. 123 – 129. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.017. EDN: <https://elibrary.ru/rjpbuif>.

Original article

STUDY OF THE PHENOLIC COMPOUNDS CONTENT IN BROCCOLI SEED EXTRACTS

Elmira R. Eminova¹, Mahmood A. Hashim², Olga F. Lunyova³,
Anastasiya V. Zhernyakova⁴, Denis A. Baranenko⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} ITMO University, Saint Petersburg, Russia

¹ eminovachemist@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9624-4429>

² makhashim@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5619-7162>

³ olya.lunyova.2@gmail.com

⁴ anastasia.zhernyakova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9260-3025>

⁵ denis.baranenko@itmo.ru город, <https://orcid.org/0000-0002-9284-4379>

Abstract. *The purpose of this work is to study the total content of phenolic compounds and flavonoids in particular in extracts of broccoli seeds obtained by maceration with stirring and by ultrasonic extraction. As an object of study, we used water-ethanol extracts of broccoli seeds obtained by maceration and extraction, supplemented by ultrasonic treatment with a frequency of 35 kHz. The influence of ultrasonic waves on the degree of extraction at different time intervals was analyzed in comparison with the classical method of extraction - maceration. It has been established that an increase in the duration of ultrasonic waves exposure has a destructive effect on flavonoids, while the total content of phenolic compounds in the extract increases. Upon reaching 30 min of the extraction time, such a peak of saturation was noted, after which the efficiency of extraction of phenolic compounds decreases (the increase in the content of phenolic compounds in the extract from 20 to 30 min is 15 %, from 30 to 40 min – 4 %). Maceration, as a milder extraction method, is effective for both phenolic compounds and flavonoids. The degree of extraction of the latter was the highest for all experiments. The efficiency of extraction of phenolic compounds during one-and-a-half-hour maceration was comparable to the efficiency of ultrasonic extraction for 30 min (12.1 mg and 12.3 mg per 1 g of broccoli seeds, respectively).*

Keywords: *biologically active substances, phenolic compounds, flavonoids, ultrasonic extraction, maceration, spectrophotometry, Cruciferous, broccoli.*

For citation: Eminova, E.R., Hashim, M.A., Lunyova, O.F., Zhernyakova A.V. & Baranenko, D.A. (2022). Study of the phenolic compounds content in broccoli seed extracts. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 123-129. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.017. (In Russ.).

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия интерес к антиоксидантам в пищевых продуктах значительно возрос. Природные фенольные соединения способны подавлять процессы окисления, приводящие к развитию дегенеративных заболеваний, воспалительных процессов, рака [1-3]. Семена брокколи (*Brassica oleracea*) являются богатым источником фенольных соединений, в том числе флавоноидов, не уступающих по антиоксидантной активности витаминам С, Е и каротиноидам [4].

Еще одной группой биологически активных веществ, вызывающих все больший интерес и уникальных для растений семейства Крестоцветные, являются глюкозинолаты,

вторичные метаболиты которых обладают высокой биологической активностью. В частности, широко изучаются их антиканцерогенные, противовоспалительные, антиоксидантные свойства [5-7].

Количественная оценка фенольных соединений и глюкозинолатов на различных стадиях проращивания семян брокколи показала, что наибольшее содержание биологически активных веществ — в семенах [4], что обусловило выбор объекта исследования.

В соответствии с авторами [8], параметры экстракции фенольных соединений и глюкозинолатов сходны, что позволяет их совместное извлечение с высокой степенью выхода.

Фенольные соединения в растительных

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЭКСТРАКТАХ СЕМЯН БРОККОЛИ

объектах представлены широким спектром соединений, среди которых флавоноиды выделяют в особую группу. Такое химическое разнообразие затрудняет выбор метода их определения. Для оценки общего содержания фенолов и флавоноидов в частности используют различные хроматографические [9-10,12], электрохимические [12], электрофоретические методы анализа [12]. Наиболее простым и доступным методом оценки общего содержания является метод молекулярной абсорбционной спектрофотометрии [13-15]. Как правило, в качестве стандарта для определения общего содержания фенольных соединений используется галловая кислота, для определения флавоноидов — кверцетин или рутин.

Для извлечения фенольных соединений используется мацерация [16], ультразвуковая [16-17], сверхкритическая флюидная [18], микроволновая экстракция [19]. Мацерация относится к классическим методам экстракции, не требует специального оборудования, проста в исполнении, является «щадящим» методом, поэтому до сих пор довольно широко применяется. К недостаткам можно отнести длительность процесса и низкий выход экстрактивных веществ по сравнению с другими методами. Экстракция под действием ультразвука также привлекательна своей простотой, не требует дорогостоящего оборудования и позволяет достичь большего выхода экстрактивных веществ при меньших затратах растворителя и времени [20-23]. Сверхкритическая флюидная, или CO₂-экстракция, обладает высокой эффективностью, простотой разделения экстрактивных веществ и растворителя, но требует дорогостоящего оборудования. Еще одним недостатком можно выделить тот факт, что диоксид углерода является неполярным растворителем, что требует для многих групп биологически активных веществ введения дополнительного растворителя — соэкстрагента, в роли которых, как правило, выступают хлорсодержащие органические вещества. Микроволновая экстракция превосходит по эффективности ультразвуковую экстракцию. Современное оборудование для микроволновой экстракции предусматривает отделение растворителя (до 97 %). Микроволновое поле также может негативно сказываться на целостности молекул, что требует тщательной оптимизации параметров процесса.

Целью настоящего исследования являлась оценка общего содержания фенольных соединений и флавоноидов в экстрактах семян брокколи, полученных мацерацией с перемешиванием и ультразвуковой экстракцией.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в Университете ИТМО на базе лабораторий Мегафакультета наук о жизни, а также международного научного центра «Биотехнологии третьего тысячелетия».

Изучение научной информации по тематике проекта проводилось при помощи патентного поиска, а также поиска высокорейтинговых статей в международных базах данных Web Of Science, Scopus, PubMed и PubChem.

В качестве объектов исследования служили водно-этанольные (70%) экстракты семян брокколи сорта «Рапини» (Россия).

Мацерацию проводили при перемешивании на магнитной мешалке со скоростью вращения 100 об/мин при T=25 ± 2 °С. В коническую колбу помещали 1,0 г (точная навеска) измельченных семян брокколи диаметром до 0,2 см, заливали 50 мл экстрагента и устанавливали на магнитное перемешивающее устройство US-1550A ULAB (Китай). Время экстракции составляло 90 мин. Параметры были подобраны как наиболее часто применяемые при данном методе.

Для проведения ультразвуковой экстракции проводили аналогичную пробоподготовку для четырех вариантов эксперимента и помещали в ультразвуковую ванну ГРАД 28-35 (Россия) на 10, 20, 30 и 40 мин.

В качестве стандартов использовались кверцетин (Sigma-Aldrich, США) и галловая кислота (Merck, ФРГ) с концентрацией 1 мг/мл, приготовленные по точной навеске. Рабочие растворы хранили не более одного дня.

Полученные экстракты фильтровали через бумажный фильтр «белая лента», довели объем до метки экстрагентом.

К аликвоте экстракта, отобранной для оценки суммы флавоноидов, добавляли пятикратный объем 2 %-ного спиртового раствора хлорида алюминия для комплексообразования. Через 15 минут анализировали на спектрометре SPECTROstar Nano BMG LABTECH (Германия) при длине волны 426 нм.

Для определения общего содержания фенольных соединений к аликвоте экстракта добавляли пятикратный объем реактива Фолина-Чокальтеу (1:10), такой же объем 7 %-ного карбоната натрия и убирали на 2 часа в темное место для комплексообразования. Образцы анализировали при длине волны 765 нм [24].

Концентрацию флавоноидов в пересчете на кверцетин и фенольных соединений в пересчете на галловую кислоту проводили по градуировочным графикам. Содержание биологически активных веществ пересчитывали в мг на 1 г семян брокколи.

Эксперименты проводили трехкратно, данные обрабатывали методом математической статистики с использованием MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве стандарта для определения суммы фенольных соединений использовался комплекс кверцетина с хлоридом алюминия, так как кверцетин – флавоноид, обнаруженный в семенах брокколи [25]. Максимум поглощения стандартного раствора комплекса кверцетина ($\lambda_{\max}=422$ нм) был близок к пику абсорбции комплекса флавоноидов экстракта с хлоридом алюминия ($\lambda_{\max}=426$ нм). Для определения максимума поглощения галловой кислоты с реактивом Фолина-Чокальтеу также был получен спектр ($\lambda_{\max}=765$ нм). Для органи-

ческих комплексов были построены градуировочные графики, по которым получены уравнения регрессии зависимости оптической плотности от концентрации реагента для флавоноидов (1) и фенольных соединений (2) в соответствующих диапазонах концентраций.

$$y = 50,977x + 0,0068 \quad (1)$$

$$y = 45,619x + 0,0043 \quad (2)$$

Мацерация в течение 90 мин привела к высокой степени извлечения как фенольных соединений в общем, так и отдельно флавоноидов. В пересчете на галловую кислоту выход полифенолов составил 12,1 мг на 1 г семян брокколи, а флавоноидов — 0,75 мг/г в пересчете на кверцетин.

Результаты экстракции биологически активных веществ под действием ультразвука (УЗ) представлены на рис. 1.

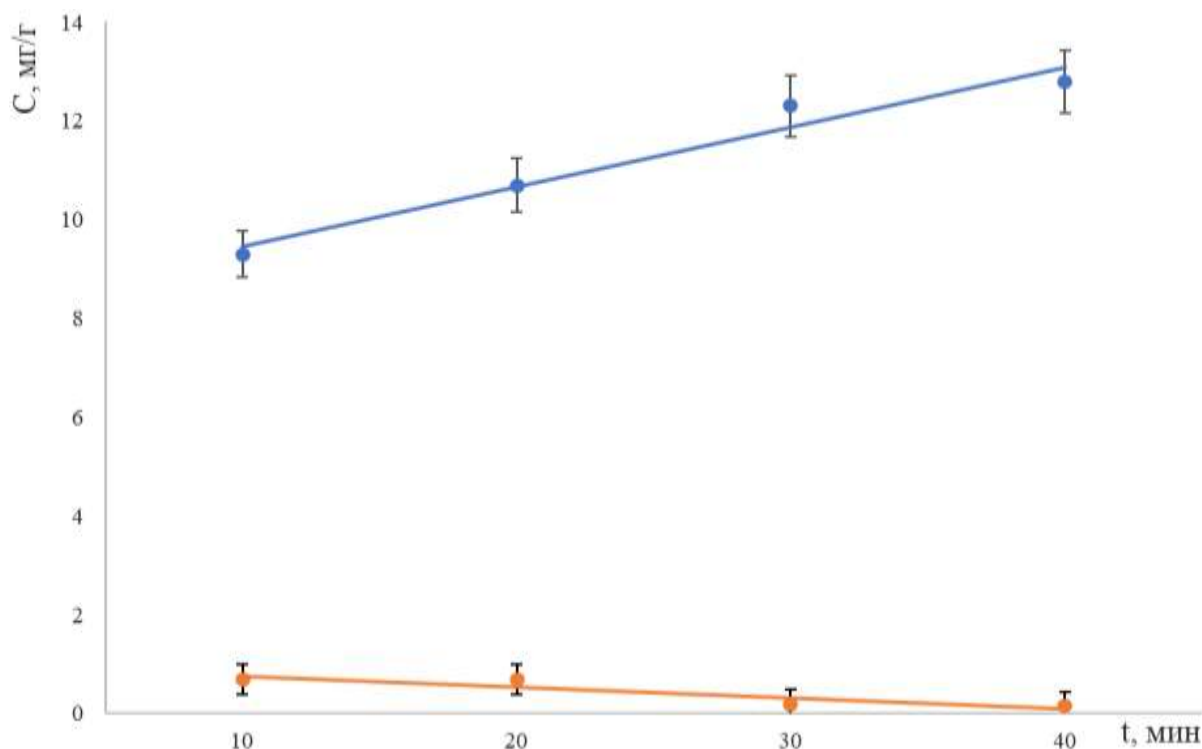


Рисунок 1 – Зависимость содержания (мг на 1 г семян брокколи) флавоноидов (1) и фенольных соединений (2) в УЗ экстрактах из семян брокколи от продолжительности экстракции (мин)

Figure 1 – Dependence of the content (mg/g) of flavonoids (1) and phenolic compounds (2) in ultrasonic extracts from broccoli seeds on the duration of extraction (min)

Как видно из представленных данных, степень извлечения фенольных соединений при полуторачасовой экстракции с перемешиванием сопоставима с количеством извлекаемых биологически активных веществ при УЗ экстракции в течение 30 мин. То есть, применение УЗ воздействия обеспечивает существенную интенсификацию извлечения данной группы соединений.

Максимальное содержание флавоноидов наблюдается в случае классической экстракции. При увеличении времени воздействия УЗ содержание флавоноидов в извлечении снижалось. Это может быть связано с окислением флавоноидов, их деструкцией под действием УЗ. Данные согласуются с результатами исследования влияния ультразвука на степень извлечения флавоноидов из зеленой массы

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЭКСТРАКТАХ СЕМЯН БРОККОЛИ

гречихи. Увеличение времени УЗ экстракции до 180 сек приводило к снижению содержания биологически активных веществ [26]. В связи с чем целесообразно провести анализ влияния УЗ на степень извлечения флавоноидов при меньших временных интервалах.

Ультразвуковая экстракция является эффективным методом для извлечения фенольных соединений за более короткий интервал времени (с 90 мин до 30 при выходе >12 мг/г). При этом воздействие УЗ волн может оказывать деструктивное воздействие на флавоноиды, в связи с чем для их целевого извлечения предпочтительны более «щадящие» методы, такие как мацерация.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ опубликованных научных данных о методах экстракции и проведенный эксперимент дают основание полагать, что мацерация и ультразвуковая экстракция являются эффективными методами для извлечения фенольных соединений из семян брокколи. Длительная ультразвуковая обработка может негативно сказываться на экстракции флавоноидов, в связи с чем необходимо дальнейшее исследование влияния УЗ на данную группу биологически активных веществ в более коротких временных интервалах.

В дальнейшем перспективными направлениями исследований являются оценка влияния микроволн на степень извлечения фенолов, а также анализ антиоксидантной активности получаемых различными способами экстрактов. Полученные данные могут быть использованы при разработке новых видов функциональной пищевой продукции, обогащенной биологически активными веществами брокколи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tatipamula V.B., Kukavica B. Phenolic compounds as antidiabetic, anti-inflammatory, and anticancer agents and improvement of their bioavailability by liposomes. *Cell Biochem Funct.* 2021 Dec;39(8):926-944. Doi:10.1002/cbf.3667.
2. Bonta R.K. Dietary Phenolic Acids and Flavonoids as Potential Anti-Cancer Agents: Current State of the Art and Future Perspectives. *Anticancer Agents Med Chem.* 2020;20(1):29-48. Doi:10.2174/1871520619666191019112712.
3. Leri M., Scuto M., Ontario M.L., Calabrese V., Calabrese E.J., Bucciantini M., Stefani M. Healthy Effects of Plant Polyphenols: Molecular Mechanisms. *Int J Mol Sci.* 2020 Feb 13;21(4):1250. Doi:10.3390/ijms21041250.
4. Baenas N., Moreno D.A., García-Viguera C. Selecting Sprouts of Brassicaceae for Optimum Phytochemical Composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 2012;60(45), 11409–11420. Doi:10.1021/jf302863c.

5. Wang T.T., Schoene N.W., Milner J.A., Kim Y.S. Broccoli-derived phytochemicals indole-3-carbinol and 3,3'-diindolylmethane exerts concentration-dependent pleiotropic effects on prostate cancer cells: comparison with other cancer preventive phytochemicals. *Mol Carcinog.* 2012 Mar;51(3):244-56. Doi:10.1002/mc.20774.
6. Abbaoui B, Lucas C.R., Riedl K.M., Clinton S.K., Mortazavi A. Cruciferous Vegetables, Isothiocyanates, and Bladder Cancer Prevention. *Mol Nutr Food Res.* 2018 Sep;62(18). Doi:10.1002/mnfr.201800079.
7. Xu L., Nagata N., Ota T. Glucoraphanin: a broccoli sprout extract that ameliorates obesity-induced inflammation and insulin resistance. *Adipocyte.* 2018;7(3):218-225. Doi: 10.1080/21623945.2018.1474669.
8. Campos D., Chirinos R., Barreto O., Noratto G., Pedreschi R. Optimized methodology for the simultaneous extraction of glucosinolates, phenolic compounds and antioxidant capacity from maca (*Lepidium meyenii*). *Industrial Crops and Products, Vol. 49, August 2013, p. 747-754.* Doi:10.1016/j.indcrop.2013.06.021.
9. Melini V., Panfilì G., Fratianni A., Acquistucci R. Bioactive compounds in rice on Italian market: pigmented varieties as a source of carotenoids, total phenolic compounds and anthocyanins, before and after cooking. *Food chemistry.* March 2019, Vol.277, 119-127. Doi: 10.1016/j.foodchem.2018.10.053.
10. Темердашев З. А., Фролова Н. А., Кольчев И. А. Определение фенольных соединений в лекарственных растениях методом обращенно-фазовой ВЭЖХ // *Журн. аналит. химии.* 2011. Т. 66, No 4. С. 417–424.
11. Ahmad N.M., Abdullah J., Yusof N.A., Ab Rashid A.H., Abd Rahman S., Hasan M.R. Amperometric Biosensor Based on Zirconium Oxide/Polyethylene Glycol/Tyrosinase Composite Film for the Detection of Phenolic Compounds. *Biosensors (Basel).* 2016 Jun 29;6(3):31. Doi:10.3390/bios6030031.
12. Huang Y., Jansen O., Frédéric M., Mouithys-Mickalad A., Nys G., Servais A.C., Crommen J., Jiang Z., Fillet M. Capillary electrophoresis, high-performance liquid chromatography, and thin-layer chromatography analyses of phenolic compounds from rapeseed plants and evaluation of their antioxidant activity. *J Sep Sci.* 2019 Jan;42(2):609-618. Doi: 10.1002/jssc.201800712.
13. Saeed N., Khan M.R., Shabbir M. Antioxidant activity, total phenolic and total flavonoid contents of whole plant extracts *Torilis leptophylla* L. *BMC Complement Altern Med* 12, 221 (2012). Doi:10.1186/1472-6882-12-221.
14. Sembiring E.N., Elya B., Sauriasari R. Phytochemical Screening, Total Flavonoid and Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Different Parts of *Caesalpinia bonduc* (L.) Roxb. *Pharmacognosy Journal.* 2018;10(1):123-127. Doi: 10.5530/pj.2018.1.22.
15. Carvalho D.G., Ranzan L., Trierweiler L.F., Trierweiler J.O. Determination of the concentration of total phenolic compounds in aged cachaça using two-dimensional fluorescence and mid-infrared spectroscopy. *Food Chem.* 2020 Nov 1; 329:127142. Doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127142.
16. Deng J., Xu Z., Xiang C., Liu J., Zhou L., Li T., Yang Z., Ding C. Comparative evaluation of maceration and ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds from fresh olives. *Ultrason Sonochem.* 2017 Jul;37:328-334. Doi: 10.1016/j.ultsonch.2017.01.023.

17. Savic Gajic I., Savic I., Boskov I., Žerajić S., Markovic I., Gajic D. Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Phenolic Compounds from Black Locust (*Robinia Pseudoacaciae*) Flowers and Comparison with Conventional Methods. *Antioxidants* (Basel). 2019 Jul 27;8(8):248. Doi:10.3390/antiox8080248.

18. Bodoira R., Velez A., Rovetto L., Ribotta P., Maestri D., Martinez M. Subcritical Fluid Extraction of Antioxidant Phenolic Compounds from Pistachio (*Pistacia vera* L.) Nuts: Experiments, Modeling, and Optimization. *J Food Sci.* 2019 May;84(5):963-970. Doi:10.1111/1750-3841.14507.

19. Zhao C.N., Zhang J.J., Li Y., Meng X., Li H.B. Microwave-Assisted Extraction of Phenolic Compounds from *Melastoma sanguineum*. Fruit: Optimization and Identification. *Molecules.* 2018 Sep 29;23(10):2498. Doi: 10.3390/molecules23102498.

20. Макарова Н.В., Валиулина Д.Ф., Еремеева Н.Б. Сравнительные исследования методов извлечения биологически активных веществ с антиоксидантными свойствами из косточек винограда (*Vitis vinifera* L.). *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология.* 2020. Т. 10. N 1. С. 140–148.

21. Макарова Н.В., Еремеева Н.Б. Влияние технологии экстракции на антиоксидантную активность экстрактов плодов клюквы, облепихи, ежевики, жимолости, калины, рябины и можжевельника // «Инновации и продовольственная безопасность» No 3 (25). 2019. С.91-99.

22. Еремеева Н.Б., Макарова Н.В. Получение плодово-ягодных экстрактов с высокой антиоксидантной активностью при использовании ультразвукового излучения // *Известие вузов. Пищевая технология,* № 4, 2018. С.47-50.

23. Еремеева Н.Б., Макарова Н.В. Влияние технологии экстракции на антиоксидантную активность экстрактов плодов черноплодной рябины // *Вестник МГТУ.* 2017. Т. 20, No 3. С. 600–608.

24. Li H., Wong C., Cheng K., Chen F. Antioxidant properties in vitro and total phenolic contents in methanol extracts from medicinal plants. *LWT — Food Science and Technology.* Vol.4, Issue 3, April 2008, p. 385-390. Doi:10.1016/j.lwt.2007.03.011.

25. Pajak P., Socha R., Galkowska D., Roznowski J., Fortuna T. Phenolic profile and antioxidant activity in selected seeds and sprouts. *Food Chemistry.* Vol. 143, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.064>.

26. Апаева А.В., Ямансарова Э.Т., Куковинец О.С., Зворыгина О.Б. Влияние ультразвукового облучения на извлечение флавоноидов из зеленой массы гречихи. *Вестник Башкирского университета.* 2016. Т. 21. №1.

Информация об авторах

Э. Р. Эминова — аспирант 2 года обучения факультета биотехнологий (ФБТ) Университета ИТМО; инженер ФБТ; сотрудник подразделения «Международный научный центр (МНЦ) «Биотехнологии третьего тысячелетия».

М. А. Хашим — аспирант 3 года обучения ФБТ Университета ИТМО.

О. Ф. Лунёва — магистрант 2 года обучения факультета биотехнологий (ФБТ) Университета ИТМО; инженер ФБТ; сотрудник подразделе-

ления МНЦ «Биотехнологии третьего тысячелетия».

А. В. Жернякова — аспирант 1 года обучения факультета биотехнологий (ФБТ) Университета ИТМО; инженер ФБТ; сотрудник подразделения МНЦ «Биотехнологии третьего тысячелетия».

Д. А. Бараненко — к.т.н., доцент ФБТ Университета ИТМО; директор МНЦ «Биотехнологии третьего тысячелетия».

REFERENCES

1. Tatipamula, V.B. & Kukavica, B. (2021). Phenolic compounds as antidiabetic, anti-inflammatory, and anti-cancer agents and improvement of their bioavailability by liposomes. *Cell Biochem Funct.* Dec;39(8):926-944. Doi:10.1002/cbf.3667.

2. Bonta R.K. (2020). Dietary Phenolic Acids and Flavonoids as Potential Anti-Cancer Agents: Current State of the Art and Future Perspectives. *Anticancer Agents Med Chem.* 20(1):29-48. Doi:10.2174/1871520619666191019112712

3. Leri, M., Scuto, M., Ontario, M.L., Calabrese, V., Calabrese, E.J., Bucciantini, M. & Stefani M. (2020). Healthy Effects of Plant Polyphenols: Molecular Mechanisms. *Int J Mol Sci.* Feb 13;21(4):1250. Doi:10.3390/ijms21041250.

4. Baenas, N., Moreno, D.A. & García-Viguera, C. (2012). Selecting Sprouts of Brassicaceae for Optimum Phytochemical Composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 60(45), 11409–11420. Doi:10.1021/jf302863c.

5. Wang, T.T., Schoene, N.W., Milner, J.A. & Kim Y.S. (2012). Broccoli-derived phytochemicals indole-3-carbinol and 3,3'-diindolylmethane exerts concentration-dependent pleiotropic effects on prostate cancer cells: comparison with other cancer preventive phytochemicals. *Mol Carcinog.* Mar; 51(3):244-56. Doi:10.1002/mc.20774.

6. Abbaoui, B, Lucas, C.R., Riedl, K.M., Clinton, S.K. & Mortazavi, A. (2018). Cruciferous Vegetables, Isothiocyanates, and Bladder Cancer Prevention. *Mol Nutr Food Res.* Sep;62(18). Doi:10.1002/mnfr.201800079.

7. Xu, L., Nagata, N. & Ota, T. (2018). Glucoraphanin: a broccoli sprout extract that ameliorates obesity-induced inflammation and insulin resistance. *Adipocyte.* 7(3):218-225. Doi: 10.1080/21623945. 2018.1474669.

8. Campos, D., Chirinos, R., Barreto, O., Noratto, G. & Pedreschi, R. (2013). Optimized methodology for the simultaneous extraction of glucosinolates, phenolic compounds and antioxidant capacity from maca (*Lepidium meyenii*). *Industrial Crops and Products,* (49), August, 747-754. Doi:10.1016/j.indcrop.2013. 06.021.

9. Melini, V., Panfilii, G. Fratianni, A. & Acquistucci, R. (2019). Bioactive compounds in rice on Italian market: pigmented varieties as a source of carotenoids, total phenolic compounds and anthocyanins, before and after cooking. *Food chemistry.* March, Vol.277, 119-127. Doi: 10.1016/j.foodchem.2018.10.053.

10. Temerdashev, Z. A., Frolova, N. A. & Kolyichev, I. A. (2011). Opredeleniye phenolnykh soyedinenii v lekarstvennykh rasteniyakh metodom obraschenno-fazovoy VEZhKh. *Zhurn. analit. khimii.* 66(4), 417–424.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЭКСТРАКТАХ СЕМЯН БРОККОЛИ

11. Ahmad, N.M., Abdullah, J., Yusof, N.A., Ab, Rashid, A.H., Abd, Rahman, S. & Hasan, M.R. (2016). Amperometric Biosensor Based on Zirconium Oxide/Polyethylene Glycol/Tyrosinase Composite Film for the Detection of Phenolic Compounds. *Biosensors (Basel)*, 6(3):31. Doi:10.3390/bios6030031.
12. Huang, Y., Jansen, O., Frédéric, M., Mouthys-Mickalad, A., Nys, G., Servais, A.C., Crommen, J., Jiang, Z. & Fillet, M. (2019). Capillary electrophoresis, high-performance liquid chromatography, and thin-layer chromatography analyses of phenolic compounds from rapeseed plants and evaluation of their antioxidant activity. *J Sep Sci*. 42(2):609-618. Doi: 10.1002/jssc.201800712.
13. Saeed, N., Khan, M.R. & Shabbir, M. (2012). Antioxidant activity, total phenolic and total flavonoid contents of whole plant extracts *Torilis leptophylla* L. BMC Complement Altern Med. 12, 221. Doi:10.1186/1472-6882-12-221.
14. Sembiring, E.N., Elya, B. & Sauriasari, R. (2018). Phytochemical Screening, Total Flavonoid and Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Different Parts of *Caesalpinia bonduc* (L.) Roxb. *Pharmacognosy Journal*. 10(1):123-127. Doi: 10.5530/pj. 2018.1.22.
15. Carvalho, D.G., Ranzan, L., Trierweiler, L.F. & Trierweiler, J.O. (2020). Determination of the concentration of total phenolic compounds in aged cachaça using two-dimensional fluorescence and mid-infrared spectroscopy. *Food Chem.* 1.(329), 127142. Doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127142.
16. Deng, J., Xu, Z., Xiang, C., Liu, J., Zhou, L., Li, T., Yang, Z. & Ding, C. (2017). Comparative evaluation of maceration and ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds from fresh olives. *Ultrason Sonochem.* (37), 328-334. Doi: 10.1016/j.ultsonch. 2017.01.023.
17. Savic, Gajic I., Savic, I., Boskov, I., Žerajić, S., Markovic, I. & Gajic, D. (2019). Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Phenolic Compounds from Black Locust (*Robinia Pseudoacaciae*) Flowers and Comparison with Conventional Methods. *Antioxidants (Basel)*. 27;8(8), 248. Doi:10.3390/antiox8080248.
18. Bodoira, R., Velez, A., Rovetto, L., Ribotta, P., Maestri, D., Martínez, M. (2019). Subcritical Fluid Extraction of Antioxidant Phenolic Compounds from Pistachio (*Pistacia vera* L.) Nuts: Experiments, Modeling, and Optimization. *J Food Sci.* 84(5):963-970. Doi:10.1111/1750-3841.14507.
19. Zhao, C.N., Zhang, J.J., Li, Y, Meng, X. & Li, H.B. (2018). Microwave-Assisted Extraction of Phenolic Compounds from *Melastoma sanguineum*. Fruit: Optimization and Identification. *Molecules.* 29;23(10):2498. Doi: 10.3390/molecules23102498.
20. Makarova, N.V., Valiulina, D.F. & Yeremeeva, N.B. (2020). Sravnitelnyie issledovaniya metodov izvlecheniya biologicheskii aktivnyikh veschestv s antioksidantnymi svoystvami iz kostochek vinograda (*Vitis vinifera* L.). *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya I biotekhnologiya.* 10(1). 140–148. (In Russ.).
21. Makarova, N.V. & Yeremeeva, N.B. (2019). Vliyanie tekhnologii ekstraksii na antioksidantnyuyu aktivnost ekstraktov plodov klyukvy, oblepikhi, yezheviki, zhimolosti, kaliny, ryabiny i mozhzhevelnika. *Innovatsii i prodovolstvennaya bezopasnost.* (25), 91-99. (In Russ.).
22. Yeremeeva, N.B. & Makarova, N.V. (2018). Polucheniye plodovo-yagodnykh ekstraktov s vyisokoy antioksidantnoy aktivnostyu pri ispolzovanii ultrazvukovogo izlucheniya. *Izvestiya vuzov. Pischevaya tekhnologiya,* (4), 47-50. (In Russ.).
23. Yeremeeva, N.B. & Makarova, N.V. (2017). Vliyanie tekhnologii ekstraksii na antioksidantnyuyu aktivnost ekstraktov plodov chernoplodnoy ryabiny. *Vestnik MGTU.* 20, 3. 600–608. (In Russ.).
24. Li, H., Wong, C., Cheng, K. & Chen, F. (2008). Antioxidant properties in vitro and total phenolic contents in methanol extracts from medicinal plants. *LWT — Food Science and Technology.* 4(3), 385-390. Doi:10.1016/j.lwt.2007.03.011.
25. Pajak, P., Socha, R., Galkowska, D., Roznowski, J. & Fortuna, T. (2014). Phenolic profile and antioxidant activity in selected seeds and sprouts. *Food Chemistry.* (143), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.064>.
26. Apayeva, A.V., Yamansarova, E.T., Kukovinets, O.S. & Zvorygina, O.B. (2016). Vliyanie ultrazvukovogo oblučeniya na izvlecheniye flavonoidov iz zelenoy massyi grechikhi. *Vestnik Bashkirskogo universiteta.* 21(1). (In Russ.).

Information about the authors

E. R. Eminova — the 2nd year PhD student at the Faculty of Biotechnology of ITMO University; engineer; researcher at the International Research Center «Biotechnologies of the Third Millennium».

M. A. Hashim — the 3rd year PhD student at the Faculty of Biotechnology of ITMO University; engineer.

O. F. Lunyova — the 2nd year Master student; engineer; researcher at the International Research Center «Biotechnologies of the Third Millennium».

A. V. Zhernyakova — the 1st year PhD student at the Faculty of Biotechnology of ITMO University; engineer; researcher at the International Research Center «Biotechnologies of the Third Millennium».

D. A. Baranenko — PhD, Associate Professor at the Faculty of Biotechnology of ITMO University. Head of the International Research Center «Biotechnologies of the Third Millennium».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.

The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.