

Научная статья/Research Article

УДК 663.938.8

DOI: 10.36718/1819-4036-2024-10-192-199

Людмила Павловна Нилова^{1✉}, Светлана Михайловна Малютенкова²,
Василий Ростиславович Тверской³, Руслан Рамильевич Мухутдинов⁴

^{1,2,3,4}Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

¹nilov_l_p@mail.ru

²malutesha66@mail.ru

³vasilybasil@gmail.com

⁴deyredo@mail.ru

КОФЕ: СОДЕРЖАНИЕ КОФЕИНА И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ

Цель исследования – изучение динамики извлечения кофеина и антиоксидантной активности при экстрагировании кофе в условиях индустрии питания. Экстракцию кофе проводили водой в 4 этапа по 100 мл в капсульной кофемашине и на каждом этапе в экстрактах определяли растворимые сухие вещества (РСВ) рефрактометрически, содержание кофеина спектрофотометрически, антиоксидантную активность (АОА) на кулонометре «Эксперт-006-антиоксиданты». Для экстрагирования использовали по два наименования кофе – арабика и робуста. Экстракты, полученные из 7 г кофе разных видов и наименований, отличались содержанием РСВ, кофеина и АОА, но их динамика при экстрагировании носила аналогичный характер. Экстракты, полученные на I этапе, характеризовались максимальным количеством РСВ (0,84–1,64 %) и АОА (287,76–327,38 мг рутина/100 мл), которая составляла 67–70 % от суммарных значений за все этапы экстрагирования и количественно преобладала в кофе робуста. Дальнейшее экстрагирование снижало АОА экстрактов, но наибольшие изменения происходили на III этапе, уменьшив АОА кофейных экстрактов в 8–10 раз по сравнению с предыдущим этапом. Динамика содержания кофеина в экстрактах на разных этапах экстрагирования отличалась от АОА. Экстракты, полученные на I и II этапах, имели сопоставимое количество кофеина, статистически значимые различия установлены только в экстрактах кофе робуста. На III этапе экстрагирования содержание кофеина уменьшилось более чем в 2 раза. Экстракты, полученные на II этапе из уже использованного кофе (кофейная гуща), содержат кофеин и антиоксиданты, что позволит их использовать для производства пищевых продуктов с заданными свойствами.

Ключевые слова: кофе, арабика, робуста, растворимые сухие вещества, кофеин, антиоксидантная активность, экстрагирование

Для цитирования: Кофе: содержание кофеина и антиоксидантная активность на разных этапах экстрагирования / Л.П. Нилова [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2024. № 10. С. 192–199. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-10-192-199.

Lyudmila Pavlovna Nilova^{1✉}, Svetlana Mikhailovna Malyutenkova²,
Vasily Rostislavovich Tverskoy³, Ruslan Ramilievich Mukhutdinov⁴

^{1,2,3,4}Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

¹nilov_l_p@mail.ru

²malutesha66@mail.ru

³vasilybasil@gmail.com

⁴deyredo@mail.ru

**COFFEE: CAFFEINE CONTENT AND ANTIOXIDANT ACTIVITY
AT DIFFERENT STAGES OF EXTRACTION**

The aim of the study is to investigate the dynamics of caffeine extraction and antioxidant activity during coffee extraction in the food industry. Coffee extraction was performed with water in 4 stages of 100 ml in a capsule coffee machine, and at each stage, soluble dry substances (SDS) were determined in the extracts by refractometry, caffeine content by spectrophotometry, and antioxidant activity (AOA) on an Expert-006-antioxidants coulometer. Two types of coffee were used for extraction: Arabica and Robusta. Extracts obtained from 7 g of coffee of different types and names differed in the content of SDS, caffeine, and AOA, but their dynamics during extraction were similar. The extracts obtained at stage I were characterized by the maximum amount of RSV (0.84–1.64 %) and AOA (287.76–327.38 mg rutin/100 ml), which constituted 67–70 % of the total values for all stages of extraction and quantitatively predominated in robusta coffee. Further extraction reduced the AOA of the extracts, but the greatest changes occurred at stage III, decreasing the AOA of the coffee extracts by 8–10 times compared to the previous stage. The dynamics of caffeine content in extracts at different stages of extraction differed from AOA. Extracts obtained at stages I and II had comparable amounts of caffeine, statistically significant differences were found only in robusta coffee extracts. At stage III of extraction, the caffeine content decreased more than 2 times. Extracts obtained at stage II from already used coffee (coffee grounds) contain caffeine and antioxidants, which will allow them to be used for the production of food products with specified properties.

Keywords: coffee, arabica, robusta, soluble dry substances, caffeine, antioxidant activity, extraction

For citation: Coffee: caffeine content and antioxidant activity at different stages of extraction / L.P. Nilova [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2024;(10): 192–199 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-10-192-199.

Введение. Кофе является одним из самых популярных напитков, потребляемых во всем мире, благодаря вкусовым качествам, тонизирующему эффекту и антиоксидантным свойствам. Наряду с фенольными соединениями [1, 2], токоферолами и фитостеролами [3] антиоксидантные свойства кофе формируют алкалоиды пуринового ряда (кофеин, теофиллин, теобромин) [4].

В технологической цепочке от переработки плодов кофе до приготовления напитка образуется значительное количество отходов, количество которых ежегодно составляет 6–8 млн т. Из них около 65 % приходится на кофейную гущу SCG (spent coffee ground), образующуюся при производстве растворимого кофе (производственные отходы) и приготовлении напитка из жареного кофе SECG (spent espresso coffee ground) (потребительские отходы), что приводит к проблемам с ее хранением и утилизацией [5].

Кожура и мякоть плодов кофе, серебряная кожица, образующаяся при обжарке кофейного зерна, сопоставимы по химическому составу с зерном кофе, и высокое содержание в них алкалоидов не позволяет утилизировать их в комбикорма или компост. Поэтому их предлагают ис-

пользовать для производства биотоплива, биогаза, адсорбентов, а также получения химических веществ (пищевых волокон, протеинов, липидов и БАВ) [6–9]. Почти полное извлечение кофеина происходит при экстракции горячей водой при производстве растворимого кофе. В образующихся при этом промышленных отходах – кофейной гуще SCG – содержание кофеина не превышает 0,02 % [6, 10]. Более короткое время экстракции при приготовлении кофе в индустрии питания или домашних условиях позволяет экстрагировать только часть кофеина – 54–77 % [11], количество которого в SECG в большей степени подвержено зависимости от ботанического вида и места происхождения кофе [12]. В образующейся кофейной гуще SECG может содержаться кофеина 1,94–5,93 мг/г [12–15]. Существенны различия между SCG и SECG и в содержании фенольных соединений. В SCG их количество составляет не более 10–16 мг/г [16, 17], а в SECG – 17,1–35,5 мг/г, что повышает значения антиоксидантной активности последнего [11, 13–15, 18].

Кофейная гуща SCG считается недорогим источником природных антиоксидантов, для извлечения которых предлагают микроволновую и

ультразвуковую экстракцию [18–20] водой или растворами этанола, метанола, [19], ацетона [21], β -циклодекстрина [22], автогидролиз при температуре 200 °С [23, 24] и др. Осуществление таких технологий возможно только в промышленных условиях, для чего необходим централизованный сбор кофейной гущи SECG из ресторанов и кафе, что повысит затраты и риски микробиологической порчи. Более эффективно разработать способы использования кофейной гущи непосредственно в индустрии питания, исключая централизованный сбор отходов SECG, что будет способствовать развитию экономики замкнутого цикла.

Цель исследования – изучение динамики извлечения кофеина и антиоксидантной активности при экстрагировании кофе в условиях индустрии питания.

Задачи: провести поэтапную экстракцию кофе в кофемашине и определить на разных этапах экстрагирования содержание растворимых сухих веществ (PCB), кофеина и антиоксидантную активность (АОА) экстрактов.

Объекты и методы. Для получения экстрактов использовали Coffea Arabica: арабика-1 (A-1) – кофе в зернах «ROKKA», Бразилия; арабика-2 (A-2) – кофе молотый «Живой кофе», изготовитель ООО «ЖК ХОЛДИНГ», Россия; Coffea Canephora: Робуста-1 (P-1) – кофе в зернах «PIAZZA DEL CAFFE», Вьетнам; Робуста-2 (P-2) – кофе в зернах «Urban Platter», Индия.

Экстрагирование проводили 4 раза по 100 мл из 7 г образцов кофе под давлением 15 бар в капсульной кофемашине Nescafe Krups Dolse Gusto KP1A3B10, Индонезия. В экстрактах после предварительного фильтрования через бумажный фильтр определяли количество PCB, кофеина и АОА.

PCB определяли рефрактометрически по ГОСТ ISO 2173-2013. Содержание кофеина определяли на спектрофотометре «UNICO-2800», США, при длине волны 276 нм (поглощение кофеина) и 310 нм (фон). Для извлечения кофеина из экстракта его подщелачивали до pH 12,5–12,7 и экстрагировали двумя порциями по 10 мл хлороформа. Для измерений использовали органический слой, доведенный до объема 25 мл хлороформом [25]. Содержание кофеина рассчитывали по калибровочной кривой для чистого кофеина как разницу между оптической плотностью кофеина и фоном.

АОА фильтрованных экстрактов кофе определяли на кулонометре «Эксперт-006-антиоксиданты». Титрантом служил электрогенерированный бром, при постоянном токе 50,0 мА из водного 0,2 М раствора бромиды калия в 0,1 М растворе серной кислоты с определением конца титрования по потенциометрической индикации. Время в секундах, затраченное на титрование объема аликвоты исследуемого экстракта, введенной в измерительную ячейку, пересчитывалось в количество электроэнергии в кулонах. Электролитическую ячейку кулонометра калибровали по рутину.

Экстрагирование кофе в кофемашине проводили в трехкратной повторности. Повторность опытов составляла 3–5 раз. Статистический анализ экспериментальных данных проводили с использованием MS Excel 2010.

Результаты и их обсуждение. Кофейные экстракты существенно отличались количеством PCB только на первом этапе экстрагирования (табл. 1), существенно преобладая в P-1. Похожие результаты количества PCB в диапазоне 1–2 % были получены при приготовлении кофе разными методами [26].

Таблица 1

Количество PCB в кофейных экстрактах, %

Этап экстрагирования	Арабика		Робуста	
	A-1	A-2	P-1	P-2
I	0,90 ± 0,02	0,84 ± 0,08	1,64 ± 0,08	1,04 ± 0,08
II	0,32 ± 0,10	0,28 ± 0,10	0,40 ± 0,14	0,24 ± 0,08
III	0,20 ± 0,00	0,16 ± 0,08	0,24 ± 0,08	0,20 ± 0,00
IV	0,16 ± 0,08	0,16 ± 0,08	0,20 ± 0,00	0,16 ± 0,08

Дальнейшее экстрагирование привело к резкому снижению РСВ в 3–4 раза на втором этапе, а на третьем и четвертом этапах их количество не превышало 0,24 и 0,2 % соответственно.

Содержание кофеина в экстрактах на разных этапах экстрагирования было неравномерным. Наибольшее количество кофеина содержалось в экстрактах, полученных на I и II этапах, незави-

симо от ботанического вида кофе (табл. 2). Причем на II этапе экстрагировалось кофеина больше, чем на I этапе: арабика – на 2,8 и 2,3 %, робуста – на 14 и 12 %. Первые 100 мл экстрактов (I этап) содержали от 36,1 до 37,4 % кофеина от общего экстрагированного количества, вторые 100 мл экстрактов (II этап) – 37,6–41,4 %.

Таблица 2

Содержание кофеина в кофейных экстрактах, мг/100 мл

Этап экстрагирования	Арабика		Робуста	
	A-1	A-2	P-1	P-2
I	24,47 ± 0,60	23,67 ± 0,50	23,54 ± 0,56	20,91 ± 0,46
II	25,16 ± 0,48	24,21 ± 0,58	26,85 ± 0,30	23,44 ± 0,40
III	11,32 ± 0,30	12,32 ± 0,22	10,2 ± 0,42	9,76 ± 0,40
IV	4,45 ± 0,10	4,16 ± 0,12	4,25 ± 0,20	3,82 ± 0,16

В экстрактах, полученных на III этапе, содержание кофеина уменьшилось более чем в 2 раза по сравнению с I и II этапами экстрагирования и составляло уже 15,7–19,1 % от общего экстрагированного количества кофеина. Последние 100 мл (IV этап) характеризовались остаточным количеством кофеина, которое не превышало 4,45 мг/100 мл.

Всего за четыре этапа экстрагирования удалось извлечь от 57,93 до 65,4 мг/100 мл кофеина, что с учетом навески кофе, взятой для экстрагирования, составляло от 8,28 до 9,34 мг/г, или 0,83–0,93 %. Причем экстракт P-2 содержал кофеина на 12,9 % меньше, чем экстракты A-1 и A-2. На это могли повлиять способы обжарки, продолжительность хранения, метод определения [1, 6, 9, 15, 25].

АОА экстрактов отражает в них суммарное содержание антиоксидантов, что определяют разными методами [1, 2, 9, 27]. В отличие от

динамики извлечения кофеина максимальные значения АОА экстрактов были получены на I этапе, составляя 67–70 % от суммарных значений за все этапы экстрагирования (табл. 3). Причем кофе робуста демонстрировал более высокие значения АОА экстрактов. Многие авторы [20, 21] связывают АОА с фенольными соединениями, которые в своем большинстве экстрагируются в первые пять минут. Фактически первые 100 мл экстракта отражают АОА сваренной чашки кофе, которая составляет от 41,1 до 46,7 мг/г и близка к значениям, полученным амперометрическим методом [27].

На II этапе экстрагирования для всех образцов было характерно снижение АОА экстрактов в 2,3–2,8 раза. Аналогичная динамика была установлена [14, 17]. АОА кофейных экстрактов из SECG была в 2,5–3 раза меньше, чем в кофе эспрессо [14].

Таблица 3

Антиоксидантная активность кофейных экстрактов, мг/100 мл

Этап экстрагирования	Арабика		Робуста	
	A-1	A-2	P-1	P-2
I	293,75 ± 5,20	287,76 ± 4,50	327,38 ± 5,60	299,67 ± 4,80
II	104,88 ± 2,10	118,50 ± 2,00	139,82 ± 1,85	113,24 ± 1,00
III	13,37 ± 0,54	13,00 ± 0,25	14,61 ± 0,30	12,82 ± 0,40
IV	5,43 ± 0,16	2,24 ± 0,08	5,35 ± 0,05	4,25 ± 0,05

Экстракты, полученные на III и IV этапах, практически не содержали антиоксидантов, их АОА была минимальной, которая не превышала 3,2 и 1,3 % соответственно от ее суммарных значений, подтвердив результаты [17].

Заключение. Содержание кофеина и АОА экстрактов из кофе разных ботанических видов, полученных поэтапным экстрагированием водой с использованием капсульной кофемашины, имеют разную динамику. Максимальное извлечение кофеина происходит на первых двух этапах, а максимальной АОА обладают первые 100 мл экстрактов. Наибольшие изменения происходили на III этапе, уменьшив АОА кофейных экстрактов в 8–10 раз, содержание кофеина в 2–2,5 раза по сравнению с предыдущим этапом экстрагирования.

Экстракты, полученные на II этапе из уже использованного кофе (кофейная гуща SECG), содержат кофеин и антиоксиданты, что позволит их использовать для производства пищевых отходов с заданными свойствами, одновременно минимизируя воздействие на окружающую среду.

Список источников

1. Babova O., Occhipinti A., Maffei M.E. Chemical partitioning and antioxidant capacity of green coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*) of different geographical origin // *Phytochemistry*. 2016. № 123. P. 33–39. DOI: 10.1016/j.phytochem.2016.01.016.
2. Игнатова Д.Ф., Макарова Н.В. Исследование антиоксидантных свойств различных видов кофе // *Индустрия питания*. 2020. Т. 5, № 4. С. 74–81. DOI: 10.29141/2500-1922-2020-5-4-11.
3. Comparison of the effect of extraction methods on the quality of green coffee oil from Arabica coffee beans: Lipid yield, fatty acid composition, bioactive components, and antioxidant activity / W. Dong [et al.] // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2021. № 74. 105578. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2021.105578
4. Comparing antioxidant capacity of purine alkaloids: A new, efficient trio for screening and discovering potential antioxidants in vitro and in vivo / B. Tsoi [et al.] // *Food Chemistry*. 2015. № 176. P. 411–419. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.12.087.
5. Bio-recycling of spent coffee grounds: Recent advances and potential applications / B. Yusufoglu [et al.] // *Current Opinion in Food Science*. 2024. № 55. P. 101–111. DOI: 10.1016/j.cofs.2023.101111.
6. Murthy P.S., Naidu M.M. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition – A review // *Resources, Conservation and Recycling* 2012. № 66. P. 45–58. DOI: 10.1016/j.resconrec.2012.06.005.
7. Effects of drying on physical properties, phenolic compounds and antioxidant capacity of Robusta wet coffee pulp (*Coffea canephora*) / T.M.K. Tran [et al.] // *Heliyon*. 2020. № 6. e04498. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04498.
8. Karmee S.K. A spent coffee grounds based biorefinery for the production of biofuels, biopolymers, antioxidants and biocomposites // *Waste Management*. 2018. № 72. P. 240–254. DOI: 10.1016/j.wasman.2017.10.042.
9. The impact of different drying methods on the physical properties, bioactive components, antioxidant capacity, volatile components and industrial application of coffee peel / D. Hu [et al.] // *Food Chemistry: X*. 2023. № 19. 100807. DOI: 10.1016/j.fochx.2023.100807.
10. Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products / N. Martinez-Saez [et al.] // *Food Chemistry*. 2017. № 216. P. 114–122. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.07.173.
11. Choi B., Koh E. Spent coffee as a rich source of antioxidative compounds // *Food Sci Biotechnol*. 2017. № 26 (4). P. 921–927. DOI: 10.1007/s10068-017-0144-9.
12. Andrade C., Perestrelo R., Câmara J.S. Bioactive compounds and antioxidant activity from spent coffee grounds as a powerful approach for its valorization // *Molecules*. 2022. № 27. 7504. DOI: 10.3390/molecules27217504.
13. Recovery of natural antioxidants from spent coffee grounds / A. Panusa [et al.] // *J. Agric. Food Chem*. 2013. № 61. P. 4162–4168. DOI: 10.1021/jf4005719.
14. Extraction, identification and quantification of polyphenols from spent coffee grounds by chromatographic methods and chemometric analyses / M. Ramón-Gonçalves [et al.] //

- Waste Management. 2019. № 96. P. 15–24. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.07.009.
15. Incorporation of spent coffee grounds in muffins: A promising industrial application / *D.B. Benincá* [et al.] // *Food Chemistry Advances*. 2023. № 3. 100329. DOI: 10.1016/j.focha.2023.
 16. Extraction of antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds // *S.I. Mussatto* [et al.] / *Sep. Purif. Technol.* 2011. № 83. P. 173–179. DOI: 10.1016/j.seppur.2011.09.036.
 17. Influence of extraction process on antioxidant capacity of spent coffee / *J. Bravo* [et al.] // *Food Research International*. 2013. № 50. P. 610–616. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.04.026.
 18. Improving the recovery of phenolic compounds from spent coffee grounds by using hydrothermal delignification coupled with ultrasound assisted extraction / *P.J. Arauzo* [et al.] // *Biomass and Bioenergy* 2020. № 139. 105616. DOI: 10.1016/j.biombioe.2020.105616.
 19. Optimization of microwave-assisted extraction of natural antioxidants from spent espresso coffee grounds by response surface methodology / *M. Ranic* [et al.] // *Journal of Cleaner Production*. 2014. № 80. P. 69–79. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.05.060.
 20. Comparing the efficiency of extracting antioxidant polyphenols from spent coffee grounds using an innovative ultrasound-assisted extraction equipment versus conventional method / *M. Beaudor* [et al.] // *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*. 2023. № 188. 109358. DOI: 10.1016/j.cep.2023.109358.
 21. Extraction of bioactive compounds from spent coffee grounds using ethanol and acetone aqueous solutions / *I. Bouhzam* [et al.] // *Foods*. 2023. № 12. 4400. DOI: 10.3390/foods12244400.
 22. Recovery of phenolic compounds from spent coffee grounds through optimized extraction processes / *N. Solomakou* [et al.] // *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. 2022. № 25. 100592. DOI: 10.1016/j.scp.2021.100592.
 23. Optimization of autohydrolysis conditions to extract antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds / *L.F. Ballesteros* [et al.] // *Journal of Food Engineering*. 2017. №199. P. 1–8. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2016.11.014.
 24. Optimization of the extraction from spent coffee grounds using the desirability approach / *M.R. Gigliobianco* [et al.] // *Antioxidants*. 2020. № 9. 370. DOI: 10.3390/antiox9050370.
 25. Caffeine content and antioxidant activity of various brews of specialty grade coffee / *M. Mitek* [et al.] // *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.* 2021. № 20 (2). P. 179–188. DOI: 10.17306/J.AFS.2021.0890.
 26. Влияние способов заваривания кофе на органолептические и физико-химические свойства / *Л.А. Лашманова* [и др.] // *Вестник КрасГАУ*. 2023. № 3. С. 181–187. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-3-181-187.
 27. Кофе: химический состав, антиоксидантная активность и влияние на здоровье человека / *А.Я. Яшин* [и др.] // *Лаборатория и производство*. 2020. № 2. С. 88–102. DOI: 10.32757/2619-0923.2020.2.12.88.102.

References

1. *Babova O., Occhipinti A., Maffei M.E.* Chemical partitioning and antioxidant capacity of green coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*) of different geographical origin // *Phytochemistry*. 2016. № 123. P. 33–39. DOI: 10.1016/j.phytochem.2016.01.016.
2. *Ignatova D.F., Makarova N.V.* Issledovanie antioksidantnyh svoystv razlichnyh vidov kofe // *Industriya pitaniya*. 2020. T. 5, № 4. S. 74–81. DOI: 10.29141/2500-1922-2020-5-4-11.
3. Comparison of the effect of extraction methods on the quality of green coffee oil from Arabica coffee beans: Lipid yield, fatty acid composition, bioactive components, and antioxidant activity / *W. Dong* [et al.] // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2021. № 74. 105578. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2021.105578
4. Comparing antioxidant capacity of purine alkaloids: A new, efficient trio for screening and discovering potential antioxidants in vitro and in vivo / *B. Tsoi* [et al.] // *Food Chemistry*. 2015. № 176. P. 411–419. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.12.087.

5. Bio-recycling of spent coffee grounds: Recent advances and potential applications / *B. Yusufoglu* [et al.] // *Current Opinion in Food Science*. 2024. № 55. P. 101-111. DOI: 10.1016/j.cofs.2023.101111.
6. *Murthy P.S., Naidu M.M.* Sustainable management of coffee industry by-products and value addition – A review // *Resources, Conservation and Recycling* 2012. № 66. P. 45–58. DOI: 10.1016/j.resconrec.2012.06.005.
7. Effects of drying on physical properties, phenolic compounds and antioxidant capacity of Robusta wet coffee pulp (*Coffea canephora*) / *T.M.K. Tran* [et al.] // *Heliyon*. 2020. № 6. e04498. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04498.
8. *Karmee S.K.* A spent coffee grounds based biorefinery for the production of biofuels, biopolymers, antioxidants and biocomposites // *Waste Management*. 2018. № 72. P. 240–254. DOI: 10.1016/j.wasman.2017.10.042.
9. The impact of different drying methods on the physical properties, bioactive components, antioxidant capacity, volatile components and industrial application of coffee peel / *D. Hu* [et al.] // *Food Chemistry: X*. 2023. № 19. 100807. DOI: 10.1016/j.fochx.2023.100807.
10. Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products / *N. Martinez-Saez* [et al.] // *Food Chemistry*. 2017. № 216. P. 114–122. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.07.173.
11. *Choi B., Koh E.* Spent coffee as a rich source of antioxidative compounds // *Food Sci Biotechnol*. 2017. № 26 (4). P. 921–927. DOI: 10.1007/s10068-017-0144-9.
12. *Andrade C., Perestrelo R., Câmara J.S.* Bioactive compounds and antioxidant activity from spent coffee grounds as a powerful approach for its valorization // *Molecules*. 2022. № 27. 7504. DOI: 10.3390/molecules27217504.
13. Recovery of natural antioxidants from spent coffee grounds / *A. Panusa* [et al.] // *J. Agric. Food Chem*. 2013. № 61. P. 4162–4168. DOI: 10.1021/jf4005719.
14. Extraction, identification and quantification of polyphenols from spent coffee grounds by chromatographic methods and chemometric analyses / *M. Ramón-Gonçalves* [et al.] // *Waste Management*. 2019. № 96. P. 15–24. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.07.009.
15. Incorporation of spent coffee grounds in muffins: A promising industrial application / *D.B. Benincá* [et al.] // *Food Chemistry Advances*. 2023. № 3. 100329. DOI: 10.1016/j.focha.2023.
16. Extraction of antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds // *S.I. Mussatto* [et al.] // *Sep. Purif. Technol*. 2011. № 83. P. 173–179. DOI: 10.1016/j.seppur.2011.09.036
17. Influence of extraction process on antioxidant capacity of spent coffee / *J. Bravo* [et al.] // *Food Research International*. 2013. № 50. P. 610-616. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.04.026.
18. Improving the recovery of phenolic compounds from spent coffee grounds by using hydrothermal delignification coupled with ultrasound assisted extraction / *P.J. Arauzo* [et al.] // *Biomass and Bioenergy* 2020. № 139. 105616. DOI: 10.1016/j.biombioe.2020.105616.
19. Optimization of microwave-assisted extraction of natural antioxidants from spent espresso coffee grounds by response surface methodology / *M. Ranic* [et al.] // *Journal of Cleaner Production*. 2014. № 80. P. 69–79. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.05.060.
20. Comparing the efficiency of extracting antioxidant polyphenols from spent coffee grounds using an innovative ultrasound-assisted extraction equipment versus conventional method / *M. Beaudor* [et al.] // *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*. 2023. № 188. 109358. DOI: 10.1016/j.cep.2023.109358.
21. Extraction of bioactive compounds from spent coffee grounds using ethanol and acetone aqueous solutions / *I. Bouhzam* [et al.] // *Foods*. 2023. № 12. 4400. DOI: 10.3390/foods12244400.
22. Recovery of phenolic compounds from spent coffee grounds through optimized extraction processes / *N. Solomakou* [et al.] // *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. 2022. № 25. 100592. DOI: 10.1016/j.scp.2021.100592.
23. Optimization of autohydrolysis conditions to extract antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds / *L.F. Ballesteros* [et al.] //

- Journal of Food Engineering. 2017. №199. P. 1–8. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2016.11.014.
24. Optimization of the extraction from spent coffee grounds using the desirability approach / *M.R. Gigliobianco* [et al.] // *Antioxidants*. 2020. № 9. 370. DOI: 10.3390/antiox9050370.
25. Caffeine content and antioxidant activity of various brews of specialty grade coffee / *M. Milek* [et al.] // *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.* 2021. № 20 (2). P. 179–188. DOI: 10.17306/J.AFS.2021.0890.
26. Vliyanie sposobov zavarivaniya kofe na organolepticheskie i fiziko-himicheskie svojstva / *L.A. Lashmanova* [i dr.] // *Vestnik KrasGAU*. 2023. № 3. S. 181–187. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-3-181-187.
27. Kofe: himicheskij sostav, antioksidantnaya aktivnost' i vliyanie na zdorov'e cheloveka / *A.Ya. Yashin* [i dr.] // *Laboratoriya i proizvodstvo*. 2020. № 2. S. 88–102. DOI: 10.32757/2619-0923.2020.2.12.88.102.

Статья принята к публикации 13.05.2024 / The article accepted for publication 13.05.2024.

Информация об авторах:

Людмила Павловна Нилова¹, доцент Высшей школы сервиса и торговли, кандидат технических наук, доцент

Светлана Михайловна Малютенкова², доцент Высшей школы сервиса и торговли

Василий Ростиславович Тверской³, аспирант Высшей школы сервиса и торговли

Руслан Рамильевич Мухутдинов⁴, старший лаборант Высшей школы сервиса и торговли

Information about the authors:

Lyudmila Pavlovna Nilova¹, Associate Professor at the Higher School of Service and Trade, Candidate of Technical Sciences, Docent

Svetlana Mikhailovna Maluytenkova², Associate Professor at the Higher School of Service and Trade

Vasily Rostislavovich Tverskoy³, Postgraduate student at the Higher School of Service and Trade

Ruslan Ramilievich Mukhutdinov⁴, Senior Lab Assistant at the Higher School of Service and Trade

