

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА ФОЛИНА-ЧОКАЛЬТЕУ ДЛЯ ОЦЕНКИ АНТИОКСИДАНТНОЙ ЕМКОСТИ ЭМУЛЬСИОННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ НАПИТКОВ С ДОБАВЛЕНИЕМ КОФЕ

А.В. Тарасов, tarasovav@usue.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7642-6532>
Н.В. Заворохина[✉], zavornv@usue.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5458-8565>
Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

Аннотация. В последнее время на продовольственном рынке представлены эмульсионные растительные напитки, которые в коммерческих и маркетинговых целях были названы «растительным молоком», «альтернативным молоком», «заменителями молока» или даже «аналогами молока». В этой работе мы применили модифицированный метод Фолина-Чокальтеу в оценке антиоксидантной емкости (АОЕ) напитков, полученных смешением кофе с эмульсионными растительными напитками в соотношении 1:4 по объему. Определение АОЕ выполняли спектрофотометрическим методом Фолина-Чокальтеу с использованием оригинальной и модифицированной методик анализа. Приведены результаты АОЕ для напитков на овсяной основе с жирностью от 0,5 до 12 %. Модифицированный и оригинальный методы Фолина-Чокальтеу коррелировали между собой в анализе овсяных напитков с различной жирностью ($r = 0,92$). Добавление 20 % полуобезжиренного молока, овсяного, миндального и соевого напитков не влияло на АОЕ кофе. Добавление аналогичного количества рисового напитка в кофе привело к уменьшению АОЕ последнего на 11 %. Показано, что используемые в составе эмульсионных растительных напитков витамины В₂, В₁₂ и D₃ не окисляются реагентом Фолина-Чокальтеу и не вносят вклад в измеряемую величину АОЕ. Цианокобаламин в концентрации 500 мг/л не давал аналитического сигнала. Растворенный в подсолнечном масле холекальциферол (40 мг/л) и чистое рафинированное подсолнечное масло давали одинаковый аналитический сигнал. Это исследование продемонстрировало, что эмульсионные растительные напитки не оказывают существенного влияния на антиоксидантные свойства кофе. Однако необходимы дополнительные исследования с привлечением антиоксидантных методов на основе переноса атома водорода и хелатирования металла.

Ключевые слова: эмульсионные растительные напитки, анализ Фолина-Чокальтеу, модифицированный метод, антиоксидантная емкость, кофе

Для цитирования: Тарасов А.В., Заворохина Н.В. Применение модифицированного метода Фолина-Чокальтеу в оценке антиоксидантной емкости эмульсионных растительных напитков с добавлением кофе // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2023. Т. 11, № 4. С. 74–81. DOI: 10.14529/food230408

Original article

DOI: 10.14529/food230408

APPLICATION OF THE MODIFIED FOLIN-CHOCALTEU METHOD IN THE ASSESSING OF THE ANTIOXIDANT CAPACITY OF EMULSIFIED VEGETABLE BEVERAGES WITH THE ADDITION OF COFFEE

A.V. Tarasov, tarasovav@usue.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7642-6532>

N.V. Zavorokhina[✉], zavorovnv@usue.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5458-8565>

Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

Abstract. Recently, plant-based beverages have been introduced into the food market and have been labeled, for commercial and marketing purposes, as “plant milks”, “alternative milks”, «milk substitutes», or even «milk analogues». In this work, we applied the modified Folin-Chocalteu method in assessing the antioxidant capacity (AOE) of “beverages obtained by mixing coffee with vegetable milk substitutes or milk in a ratio of 4:1 by volume. Determination of AOE was performed by the Folin-Chocalteu spectrophotometric method using the original and modified methods of analysis. The results of AOE for oat-based beverages with a fat content from 0.5 to 12 % are presented. In this work, we applied the modified Folin-Chocalteu method in assessing the antioxidant capacity (AOC) of “plant milk” and its mixture with coffee. The modified and original Folin-Chocalteu methods correlated with each other in the analysis of oat drinks with different fat content ($r = 0,92$). Addition of 20 % semi-skimmed milk, oat, almond and soy drinks did not affect the AOE of coffee. Adding a similar amount of rice drink to coffee led to a decrease in the AOE of the latter by 11 %. It has been shown that vitamins B₂, B₁₂ and D₃ used in plant drinks are not oxidized by the Folin-Chocalteu reagent and do not contribute to the measured AOE value. Cyanocobalamin at a concentration of 500 mg/l did not give an analytical signal. Cholecalciferol dissolved in sunflower oil (40 mg/l) and pure refined sunflower oil gave the same analytical signal. This study demonstrated that plant-based milk substitutes had no significant effect on the antioxidant properties of coffee. However, additional research is needed using antioxidant methods based on hydrogen atom transfer and metal chelation.

Keywords: emulsified vegetable drinks, Folin-Chocalteu analysis, modified method, antioxidant capacity, coffee

For citation: Tarasov A.V., Zavorokhina N.V. Application of the modified Folin-Chocalteu method in the assessing of the antioxidant capacity of emulsified vegetable beverages with the addition of coffee. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 74–81. (In Russ.) DOI: 10.14529/food230408

Введение

Многочисленные исследования продемонстрировали связь между употреблением в пищу растительных полифенолов и здоровьем человека [1–4]. Ярким примером является средиземноморская диета, в которой основными источниками полифенолов служат орехи, чай, кофе, фрукты, овощи, шоколад, красное вино и макароны [2], употребление которых имеет обратную связь с риском сердечно-сосудистых заболеваний [3] или общей смертностью [4]. Рынок продовольственных товаров на основе растительного сырья интенсивно развивается. В последнее время представлены эмульсионные растительные напитки, которые в коммерческих и маркетинговых целях были названы «растительным

молоком», «альтернативным молоком», «заменителями молока» или даже «аналогами молока» [5–8]. Эти напитки представляют собой суспензии злакового, зернобобового или орехового сырья в воде и по внешнему виду напоминают коровье молоко. Пищевые и функциональные свойства зависят от используемого растительного сырья, обработки и обогащения. Эмульсионные растительные напитки рекомендуются для вегетарианского питания, при непереносимости лактозы, аллергии на коровье молоко и гиперхолестеринемии. Сообщалось, что органолептическая приемлемость данных напитков может ограничивать их популярность [5, 6]. Данные по влиянию употребления эмульсионных растительных напитков в краткосрочной и долго-

срочной перспективе на здоровье человека отсутствуют [7]. С одной стороны, органолептические, питательные и функциональные свойства растительных «заменителей молока» могут быть улучшены в результате ферментации [8]. С другой стороны, взаимодействия полифенолов с белками, липидами и углеводами пищевых систем могут влиять на биоактивность и биодоступность первых [9].

Растительные полифенолы насчитывают более 9000 соединений, что затрудняет оценку их индивидуального содержания в продуктах питания [10]. Спектрофотометрический анализ Фолина-Чокальтеу является хорошо известным методом определения общего содержания полифенолов, который был предложен в 1965 году и с тех пор получил большое распространение [11]. Этот метод был одобрен Международной Ассоциацией официальных агрохимиков [12], а также был стандартизирован Международной организацией по стандартизации (ISO 14502-1:2005) и Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии России (ГОСТ Р ИСО 14502-1–2010) для определения общего содержания полифенолов в чае. Однако реагент Фолина-Чокальтеу неспецифичен для фенольных соединений и способен окислять аминокислоты, пептиды, белки, редуцирующие сахара, ароматические амины, тиолы, аскорбиновую, мочевую и олеиновую кислоты, а также некоторые пищевые добавки (сульфиты, нитриты, соли железа (II), марганца (II) и другие) [11, 13, 14]. Как следствие, метод Фолина-Чокальтеу требует предварительного удаления мешающих веществ из анализируемого образца или введения поправки на их присутствие. В противном случае анализ Фолина-Чокальтеу не может рассматриваться в качестве стандартного метода определения общего содержания полифенолов, но может быть использован для оценки антиоксидантной емкости (АОЕ). Обычный метод Фолина-Чокальтеу оказался неприменим для жирорастворимых антиоксидантов, что побудило исследователей разработать модифицированный анализ для одновременного измерения гидрофильных и липофильных антиоксидантов [15]. В этой работе мы применили модифицированный метод Фолина-Чокальтеу в определении АОЕ эмульсионных растительных напитков в том числе с добавлением кофе с целью оценки возможного влияния на функциональные свойства кофейного напитка.

Объекты и методы исследований

Объекты исследования. Следующие эмульсионные растительные напитки российского производства служили объектами исследования: напитки Nemoloko овсяные жирностью 0,5, 1,5, 3,2 и 12 % (ОАО «Сады Придонья»); напитки «Здоровое меню» овсяный, рисовый и соевый жирностью 1 % (ООО «Объединение «Союзпищепром»); напиток Alpro миндальный жирностью 1,1 % (АО «Данон Россия»). Критерием включения напитков в исследование было наличие одной растительной основы. Молоко коровье ультрапастеризованное Parmalat жирностью 1 % (АО «Белгородский молочный комбинат», Россия) было проанализировано в сравнительных целях. Кофейный напиток был приготовлен путем добавления 100 мл горячей (100 °С) дистиллированной воды к 6 г молотого среднеобжаренного кофе «Жокей классический» (ООО «Орими», Россия) с последующей фильтрацией через бумажный фильтр «черная лента». Все напитки были приобретены в розничной торговой сети. Витамин В₁₂ (ОАО «Дальхимфарм», Россия) и витамин D₃ (ООО «Мирролла», Россия) были приобретены в розничной аптечной сети и проанализированы в качестве потенциально мешающих веществ.

Методы исследования. Определение АОЕ выполняли спектрофотометрическим методом Фолина-Чокальтеу с использованием оригинальной и модифицированной методик анализа. Измерение поглощения проводили на спектрофотометре Ecoview UV-1200 (Shanghai Mapada Instruments Co., Ltd., Китай) при использовании кварцевых кювет с длиной оптического пути 10 мм. Оригинальный анализ Фолина-Чокальтеу выполняли в соответствии с ГОСТ Р ИСО 14502-1–2010. Модифицированный анализ Фолина-Чокальтеу выполняли по методике [15]. В последнем случае реагент Фолина-Чокальтеу (2 н) разбавляли изобутиловым спиртом (99 %) в соотношении 1:2 по объему, т. е. один объем реагента Фолина-Чокальтеу смешивали с двумя объемами изобутанола. Исследуемые образцы разбавляли дистиллированной водой в соотношении 1:9 по объему. К 0,3 мл реагента Фолина-Чокальтеу (1:2) добавляли 0,2 мл образца (1:9) и 3,5 мл раствора гидроксида натрия (0,1 М), доводили объем в пробирке дистиллированной водой до 10 мл и перемешивали ее содержимое. Полученную реакционную смесь

инкубировали в течение 20 минут при комнатной температуре и затем измеряли оптическую плотность при 665 нм относительно холостой пробы, которая содержала ацетон (99 %) вместо образца. Линейная калибровочная кривая $y = 0,0018x - 0,0444$ ($R^2 = 0,9987$) была получена в аналогичных условиях для водных растворов галловой кислоты 50, 100, 200, 300 и 400 мг/л. АОЕ в миллиграмм-эквивалентах галловой кислоты в 1 л образца (мг-экв ГК/л) рассчитывали по калибровочной кривой с учетом 10-кратного разбавления пробы. Измерения проводили в трехкратной повторности ($n = 3$). Статистическую обработку результатов выполняли в программе PSPP (Free Software Foundation Inc., США).

Результаты и их обсуждение

Сравнение оригинального и модифицированного методов Фолина-Чокальтеу. Напитки Nemoloko овсяные различной жирности были проанализированы с использованием оригинального и модифицированного методов Фолина-Чокальтеу (табл. 1). Применение модифицированного метода привело к получению значимо больших величин АОЕ ($p < 0,01$), что в процентном отношении характеризовалось приращением величины АОЕ на (37 ± 12) %. Полученные результаты объясняются вкладом жирорастворимых антиоксидантов в измеряемую величину АОЕ. Разработчики модифицированного метода продемонстрировали это на примере анализа природных (α -токоферол, β -каротин) и синтетических (E312, E319, E320, E321) жирорастворимых антиоксидантов [15]. Между полученными результатами наблюдалась линейная положительная корреляция ($r = 0,92$, $p = 0,076$), что свидетельствует о весьма высокой связи между сравниваемыми методами. Далее в анализе напитков использовали модифицированный метод Фолина-Чокальтеу.

Оценка АОЕ кофе при добавлении эмульсионных растительных напитков. В литературе сообщалось об отрицательном, нейтральном и положительном влиянии коровьего молока на АОЕ кофе, что привело к дискуссии в научном сообществе. Противоречивые результаты были связаны с влиянием различных факторов, включая тип кофе, тип и количество добавленного молока, способ приготовления напитка, используемый метод анализа [16]. С помощью оригинального метода Фолина-Чокальтеу было показано, что добавление молока в кофе сопровождается увеличением АОЕ полученных напитков, причем увеличение АОЕ пропорционально жирности используемого молока [17]. Полученные результаты объясняются корреляцией между содержанием антиоксидантов и концентрацией липидов в молоке [18,19].

В этой работе мы проанализировали АОЕ напитков, полученных смешением кофе с эмульсионными растительными напитками или молоком в соотношении 4:1 по объему. Жирность молока (1 %) соответствовала жирности эмульсионных растительных напитков (1,0–1,1 %). Полученные результаты представлены в табл. 2. Молоко, напитки овсяный, миндальный и соевый не оказывали значительного влияния на АОЕ кофе. Добавление рисового напитка в кофе привело к уменьшению АОЕ последнего с 2246 до 1997 мг-экв ГК/л ($p < 0,05$), что в процентном отношении характеризовалось снижением величины АОЕ на 11 %.

Анализ витаминов. Некоторые эмульсионные растительные напитки, проанализированные в этом исследовании, содержали в составе витамины В₂, В₁₂ и D. О том, что витамин В₂ (рибофлавин) не окисляется реагентом Фолина-Чокальтеу, сообщалось ранее [13]. В этой работе водорастворимый витамин В₁₂ (циано-

Таблица 1

АОЕ напитков овсяных ($n = 3$)

Жирность, %	АОЕ, мг-экв ГК/л		Отклонение, %	p -значение
	Оригинальный метод	Модифицированный метод		
0,5	384 ± 18	597 ± 42	+35,7	0,004
1,5	831 ± 35	1441 ± 87	+42,3	0,003
3,2	589 ± 31	1147 ± 82	+48,6	0,003
12,0	1369 ± 65	1719 ± 105	+20,4	0,005

Таблица 2
АОЕ кофе с добавлением полуобезжиренного молока и напитков растительных (n = 3)

Образец	АОЕ, мг-экв ГК/л	Отклонение, %	p-значение
Кофе	2246 ± 55	–	–
Кофе + 20 % молока	2269 ± 101	+1,0	0,731
Кофе + 20 % напитка овсяного	2197 ± 90	–2,2	0,445
Кофе + 20 % напитка рисового	1997 ± 84	–11,1	0,036
Кофе + 20 % напитка соевого	2058 ± 89	–8,4	0,067
Кофе + 20 % напитка миндального	2147 ± 97	–4,4	0,219

кобаламин) и жирорастворимый витамин D₃ (холекальциферол) были проанализированы с помощью модифицированного метода Фолина-Чокальтеу на предмет возможной интерференции. Цианокобаламин в концентрации 500 мг/л не давал аналитического сигнала. Растворенный в подсолнечном масле холекальциферол (40 мг/л) и чистое рафинированное подсолнечное масло давали приблизительно одинаковый аналитический сигнал. Таким образом, содержащиеся в эмульсионных растительных напитках витамины не оказывали влияние на измеряемую величину АОЕ.

Заключение

Многочисленные исследования продемонстрировали связь между употреблением в пищу растительных полифенолов и здоровьем человека, однако надежные методы определения общего содержания полифенолов до сих

пор отсутствуют. В этой работе мы применили модифицированный метод Фолина-Чокальтеу в оценке антиоксидантной емкости (АОЕ) эмульсионных растительных напитков, в том числе в смеси с кофе. Высокая положительная корреляция модифицированного и оригинального методов Фолина-Чокальтеу была показана в анализе овсяных напитков различной жирности. Добавление 20 % овсяного, миндального и соевого напитков не влияло на АОЕ кофе, тогда как добавление аналогичного количества рисового напитка снижало АОЕ кофе на 11 %. Это исследование продемонстрировало, что эмульсионные растительные напитки не оказывают существенного влияния на антиоксидантные свойства кофе. Однако необходимы дополнительные исследования с привлечением антиоксидантных методов на основе переноса атома водорода и хелатирования металла.

Список литературы

1. Бобрышева Т.Н., Анисимов Г.С., Золоторева М.С., Бобрышев Д.В., Будкевич Р.О., Москалев А.В. Полифенолы как перспективные биологически активные соединения // Вопросы питания. 2023. Т. 92, № 1(545). С. 92–107. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-1-92-107>
2. Godos J., Marventano S., Mistretta A., Galvano F., Grosso G. Dietary sources of polyphenols in the Mediterranean healthy Eating, Aging and Lifestyle (MEAL) study cohort // International Journal of Food Sciences and Nutrition. 2017. Vol. 68. No. 6. P. 750–756. <https://doi.org/10.1080/09637486.2017.1285870>
3. Tresserra-Rimbau A., Medina-Remón A., Pérez-Jiménez J., Martínez-González M.A., Covas M.I., Corella D., Salas-Salvadó J., Gómez-Gracia E., Lapetra J., Arós F., Fiol M., Ros E., Serra-Majem L., Pintó X., Muñoz M.A., Saez G.T., Ruiz-Gutiérrez V., Warnberg J., Estruch R., Lamuela-Raventós R.M. Dietary intake and major food sources of polyphenols in a Spanish population at high cardiovascular risk: The PREDIMED study // Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases. 2013. Vol. 23. No. 10. P. 953–959. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2012.10.008>

4. Tresserra-Rimbau A., Rimm E.B., Medina-Remón A., Martínez-González M.A., López-Sabater M.C., Covas M.I., Corella D., Salas-Salvadó J., Gómez-Gracia E., Lapetra J., Arós F., Fiol M., Ros E., Serra-Majem L., Pintó X., Muñoz M.A., Gea A., Ruiz-Gutiérrez V., Estruch R., Lamuela-Raventós R.M. Polyphenol intake and mortality risk: a re-analysis of the PREDIMED trial // *BMC Medicine*. 2014. Vol. 12. Art. 77. <https://doi.org/10.1186/1741-7015-12-77>
5. Mäkinen O.E., Wanhalinna V., Zannini E., Arendt E.K. Foods for special dietary needs: Non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2016. Vol. 56. No. 3. P. 339–349. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.761950>
6. Sethi S., Tyagi S.K., Anurag R.K. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review // *Journal of Food Science and Technology*. 2016. Vol. 53. P. 3408–3423. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2328-3>
7. Vanga S.K., Raghavan V. How well do plant based alternatives fare nutritionally compared to cow's milk? // *Journal of Food Science and Technology*. 2018. Vol. 55. P. 10–20. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2915-y>
8. Tangyu M., Muller J., Bolten C.J., Wittmann C. Fermentation of plant-based milk alternatives for improved flavour and nutritional value // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2019. Vol. 103. P. 9263–9275. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10175-9>
9. Фаткуллин Р.И., Потороко И.Ю., Калинина И.В. Теоретические аспекты взаимодействия растительных полифенолов с макромолекулами в функциональных пищевых системах // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии»*. 2021. Т. 9, № 1. С. 82–90. <https://doi.org/10.14529/food210109>
10. Tarasov A., Stozhko N., Bukharinova M., Khamzina E. Biosensors based on phenol oxidases (laccase, tyrosinase, and their mixture) for estimating the total phenolic index in food-related samples // *Life*. 2023. Vol. 13. No. 2. Art. 291. <https://doi.org/10.3390/life13020291>
11. Singleton V.L., Orthofer R., Lamuela-Raventós R.M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent // *Methods in Enzymology*. Volume 299. Oxidants and Antioxidants. Part A. New York: Academic Press, 1999. P. 152–178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
12. Kupina S., Fields C., Roman M.C., Brunelle S.L. Determination of total phenolic content using the Folin-C assay: Single-laboratory validation, first action 2017.13 // *Journal of AOAC International*. 2018. Vol. 101. No. 5. P. 1466–1472. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.18-0031>
13. Everette J.D., Bryant Q.M., Green A.M., Abbey Y.A., Wangila G.W., Walker R.B. Thorough study of reactivity of various compound classes toward the Folin–Ciocalteu reagent // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010. Vol. 58. No. 14. P. 8139–8144. <https://doi.org/10.1021/jf1005935>
14. Bastola K.P., Guragain Y.N., Bhadriraju V., Vadlan P.V. Evaluation of standards and interfering compounds in the determination of phenolics by Folin-Ciocalteu assay method for effective bioprocessing of biomass // *American Journal of Analytical Chemistry*. 2017. Vol. 8. No. 6. P. 416–431. <https://doi.org/10.4236/ajac.2017.86032>
15. Berker K.I., Ozdemir Olgun F.A., Ozyurt D., Demirata B., Apak R. Modified Folin–Ciocalteu antioxidant capacity assay for measuring lipophilic antioxidants // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2013. Vol. 61. No. 20. P. 4783–4791. <https://doi.org/10.1021/jf400249k5>
16. Rashidinejad A., Tarhan O., Rezaei A., Capanoglu E., Boostani S., Khoshnoudi-Nia S., Samborska K., Garavand F., Shaddel R., Akbari-Alavijeh S., Jafari S.M. Addition of milk to coffee beverages; the effect on functional, nutritional, and sensorial properties // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022. Vol. 62. No. 22. P. 6132–6152. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1897516>
17. Al-Ghafari A.B., Alharbi R.H., Al-Jehani M.M., Bujeir S.A., Al-Doghaiter H.A., Omar U.M. The effect of adding different concentrations of cows' milk on the antioxidant properties of coffee // *Biosciences Biotechnology Research Asia*. 2017. Vol. 14. No. 1. P. 177–184. <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/2433>

18. Tsen S.Y., Siew J., Lau E.K.L., Afifah bte Roslee F., Chan H.M., Loke W.M. Cow's milk as a dietary source of equol and phenolic antioxidants: differential distribution in the milk aqueous and lipid fractions // *Dairy Science & Technology*. 2014. Vol. 94. P. 625–632. <https://doi.org/10.1007/s13594-014-0183-4>

19. Plant Antioxidants in the Oxidative Mayonnaise Spoilage Study / M.N. Shkolnikova, E.D. Rozhnov, Yu.V. Golubtsova [et al.] // *Food Industry*. – 2022. Vol. 7, No. 2. P. 26–36. <http://dx.doi.org/10.29141/2500-1922-2022-7-2-3>. EDN: HSDYUL.

References

1. Bobrysheva T.N., Anisimov G.S., Zolotoreva M.S., Bobryshev D.V., Budkevich R.O., Moskalev A.A. Polyphenols as promising bioactive compounds. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition], 2023, vol. 92, no. 1, pp. 92–107. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-1-92-107>. (In Russ.).

2. Godos J., Marventano S., Mistretta A., Galvano F., Grosso G. Dietary sources of polyphenols in the Mediterranean healthy Eating, Aging and Lifestyle (MEAL) study cohort. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2017, vol. 68, no. 6, pp. 750–756. <https://doi.org/10.1080/09637486.2017.1285870>

3. Tresserra-Rimbau A., Medina-Remón A., Pérez-Jiménez J., Martínez-González M.A., Covas M.I., Corella D., Salas-Salvadó J., Gómez-Gracia E., Lapetra J., Arós F., Fiol M., Ros E., Serra-Majem L., Pintó X., Muñoz M.A., Saez G.T., Ruiz-Gutiérrez V., Warnberg J., Estruch R., Lamuela-Raventós R.M. Dietary intake and major food sources of polyphenols in a Spanish population at high cardiovascular risk: The PREDIMED study. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 2013, vol. 23, no. 10, pp. 953–959. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2012.10.008>

4. Tresserra-Rimbau A., Rimm E.B., Medina-Remón A., Martínez-González M.A., López-Sabater M.C., Covas M.I., Corella D., Salas-Salvadó J., Gómez-Gracia E., Lapetra J., Arós F., Fiol M., Ros E., Serra-Majem L., Pintó X., Muñoz M.A., Gea A., Ruiz-Gutiérrez V., Estruch R., Lamuela-Raventós R.M. Polyphenol intake and mortality risk: a re-analysis of the PREDIMED trial // *BMC Medicine*. 2014. Vol. 12. Art. 77. <https://doi.org/10.1186/1741-7015-12-77>

5. Mäkinen O.E., Wanhalinna V., Zannini E., Arendt E.K. Foods for special dietary needs: Non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2016, vol. 56, no. 3, pp. 339–349. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.761950>

6. Sethi S., Tyagi S.K., Anurag R.K. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, vol. 53, pp. 3408–3423. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2328-3>

7. Vanga S.K., Raghavan V. How well do plant based alternatives fare nutritionally compared to cow's milk? *Journal of Food Science and Technology*, 2018, vol. 55, pp. 10–20. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2915-y>

8. Tangyu M., Muller J., Bolten C.J., Wittmann C. Fermentation of plant-based milk alternatives for improved flavour and nutritional value. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2019, vol. 103, pp. 9263–9275. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10175-9>

9. Fatkullin R.I., Potoroko I.Yu., Kalinina I.V. Theoretical aspects of the interaction of plant polyphenols with macromolecules in functional food systems. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2021, vol. 9, no. 1, pp. 82–90. (In Russ.) <https://doi.org/10.14529/food210109>.

10. Tarasov A., Stozhko N., Bukharinova M., Khamzina E. Biosensors based on phenol oxidases (laccase, tyrosinase, and their mixture) for estimating the total phenolic index in food-related samples. *Life*, 2023, vol. 13, no. 2. Art. 291. <https://doi.org/10.3390/life13020291>

11. Singleton V.L., Orthofer R., Lamuela-Raventós R.M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology. Volume 299. Oxidants and Antioxidants. Part A*. New York: Academic Press, 1999, pp. 152–178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)

12. Kupina S., Fields C., Roman M.C., Brunelle S.L. Determination of total phenolic content using the Folin-C assay: Single-laboratory validation, first action 2017.13. *Journal of AOAC International*, 2018, vol. 101, no. 5, pp. 1466–1472. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.18-0031>

13. Everette J.D., Bryant Q.M., Green A.M., Abbey Y.A., Wangila G.W., Walker R.B. Thorough study of reactivity of various compound classes toward the Folin–Ciocalteu reagent. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, vol. 58, no. 14, pp. 8139–8144. <https://doi.org/10.1021/jf1005935>
14. Bastola K.P., Guragain Y.N., Bhadriraju V., Vadlan P.V. Evaluation of standards and interfering compounds in the determination of phenolics by Folin–Ciocalteu assay method for effective bio-processing of biomass. *American Journal of Analytical Chemistry*, 2017, vol. 8, no. 6, pp. 416–431. <https://doi.org/10.4236/ajac.2017.86032>
15. Berker K.I., Ozdemir Olgun F.A., Ozyurt D., Demirata B., Apak R. Modified Folin–Ciocalteu antioxidant capacity assay for measuring lipophilic antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, vol. 61, no. 20, pp. 4783–4791. <https://doi.org/10.1021/jf400249k5>
16. Rashidinejad A., Tarhan O., Rezaei A., Capanoglu E., Boostani S., Khoshnoudi-Nia S., Samborska K., Garavand F., Shaddel R., Akbari-Alavijeh S., Jafari S.M. Addition of milk to coffee beverages; the effect on functional, nutritional, and sensorial properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022, vol. 62, no. 22, pp. 6132–6152. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1897516>
17. Al-Ghafari A.B., Alharbi R.H., Al-Jehani M.M., Bujair S.A., Al-Doghaither H.A., Omar U.M. The effect of adding different concentrations of cows' milk on the antioxidant properties of coffee. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 2017, vol. 14, no. 1, pp. 177–184. <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/2433>
18. Tsen S.Y., Siew J., Lau E.K.L., Afiqah bte Roslee F., Chan H.M., Loke W.M. Cow's milk as a dietary source of equol and phenolic antioxidants: differential distribution in the milk aqueous and lipid fractions. *Dairy Science & Technology*, 2014, vol. 94, pp. 625–632. <https://doi.org/10.1007/s13594-014-0183-4>
19. Shkolnikova M.N., Rozhnov E.D., Golubtsova Yu.V. et al. Plant Antioxidants in the Oxidative Mayonnaise Spoilage Study. *Food Industry*, 2022, vol. 7, no. 2, pp. 26–36. <http://dx.doi.org/10.29141/2500-1922-2022-7-2-3>. EDN: HSDYUL.

Информация об авторах

Тарасов Алексей Валерьевич, младший научный сотрудник научно-инновационного центра сенсорных технологий, Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия, tarasovav@usue.ru

Заворохина Наталия Валерьевна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии питания, Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия, zavornv@usue.ru

Information about the authors

Aleksey V. Tarasov, Junior Researcher of the Scientific and Innovation Center of Sensor Technologies, Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia, tarasovav@usue.ru

Natalia V. Zavorokhina, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Food Technology Department, Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia, zavornv@usue.ru

Статья поступила в редакцию 30.10.2023

The article was submitted 30.10.2023