ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ

Научная статья
УДК 544.723:663.961
EDN: HUTKRY
DOI: 10.21285/achb.993

Контроль сорбционного процесса декофеинизации напитка мате

В.И. Дейнека*, Е.Ю. Олейниц*✉, М.С. Фарафонова*, Л.А. Дейнека*, А.Н. Чулков**

**Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Российская Федерация*
***Белгородский филиал Центра оценки качества зерна и продуктов его переработки, Белгород, Российская Федерация*

Аннотация. *Цель проведенной работы заключалась в изучении способа декофеинизации напитка чая мате (настоя листьев Ilex paraguariensis) – одного из наиболее популярных напитков в Южной Америке, доступного на рынке России. Для определения качественного и количественного состава основных компонентов настоя использовали обращенно-фазовую высокоэффективную жидкостную хроматографию на фазе Kromasil 100-5C4. Замена традиционно используемой для этого фазы C18 была связана с необходимостью исключить модифицирование привитой фазы β-циклодекстрином при работе с настоями, в которых хлорогеновые кислоты образуют комплексы типа «гость – хозяин» с β-циклодекстрином для снижения степени сорбции кофеина на бентонитовой глине. Направленный подбор основных модификаторов подвижной фазы позволяет управлять положением кофеина среди монокофеоилхинных кислот, а градиентный режим элюирования дает возможность детектировать кофеин, монокофеоилхинные и дикофеоилхинные кислоты одновременно. При использовании бентонитовой глины в Na^+-форме удается удалить более 95% кофеина, но с потерей как монокофеоилхинных (порядка 25%), так и дикофеоилхинных (порядка 50%) кислот. Учитывая, что по литературным данным именно дикофеоилхинные кислоты образуют более устойчивые комплексы включения с β-циклодекстрином по сравнению с монокофеоилхинными кислотами, в напиток было предложено добавлять β-циклодекстрин. Отметим, что и подготовленные бентонитовые глины (как эффективные интеросорбенты) и β-циклодекстрин разрешены в использовании в пищевой и фармацевтической промышленности. В результате было установлено, что потери моно- и дикофеоилхинных кислот удается снизить более чем в 2 раза.*

Ключевые слова: *напиток мате, декофеинизация, сорбция на бентонитовой глине, комплексы включения в β-циклодекстрин, обращенно-фазовая высокоэффективная жидкостная хроматография, C4-фаза*

Для цитирования: Дейнека В.И., Олейниц Е.Ю., Фарафонова М.С., Дейнека Л.А., Чулков А.Н. Контроль сорбционного процесса декофеинизации напитка мате // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2025. Т. 15. N 3. DOI: 10.21285/achb.993. EDN: HUTKRY.

© Дейнека В.И., Олейниц Е.Ю., Фарафонова М.С., Дейнека Л.А., Чулков А.Н., 2025

PHYSICOCHEMICAL BIOLOGY

Original article

Sorption process for the decaffeination of mate beverage

Victor I. Deineka*, Elena Yu. Oleinits*✉, Maria S. Farafonova*, Lyudmila A. Deineka*, Andrey N. Chulkov**

**Belgorod State National Research University, Belgorod, Russian Federation*
***Belgorod branch of the Center for Grain and Processed Products Quality Assessment, Belgorod, Russian Federation*

Abstract. *This study examines a method for decaffeinating mate tea, an infusion made from Ilex paraguariensis leaves. A popular beverage in South America, mate is now available on the Russian market. Reversed-phase high-performance liquid chromatography on a Kromasil 100-5C4 phase was used to analyze the major components of the infusion. The conventional C18 phase was replaced to prevent modification by β-cyclodextrin, as chlorogenic acids in the infusion form host–guest complexes with it, thereby reducing caffeine adsorption on bentonite clay. The targeted adjustment of key mobile phase modifiers controlled the elution position of caffeine relative to monocaffeoylquinic acids. A gradient elution mode enabled the simultaneous detection of caffeine, mono-, and dicaffeoylquinic acids. The use of Na^+-form bentonite clay removed over 95% of the caffeine. However, this process incurred substantial losses of approximately 25% of monocaffeoylquinic and 50% of dicaffeoylquinic acids. Since dicaffeoylquinic acids form more stable inclusion complexes with β-cyclodextrin than their monocaffeoyl counterparts, the addition of β-cyclodextrin to the beverage was proposed. Both bentonite clay (an effective enterosorbent) and β-cyclodextrin are approved for food and pharmaceutical use. This approach reduced the losses of both mono- and dicaffeoylquinic acids by more than half.*

Keywords: *mate beverage, decaffeination, sorption on bentonite clay, inclusion complexes with β-cyclodextrin, reversed-phase high-performance liquid chromatography, C4 phase*

For citation: Deineka V.I., Oleinits E.Yu., Farafonova M.S., Deineka L.A., Chulkov A.N. Sorption process for the decaffeination of mate beverage. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology.* 2025;15(3). (In Russian). DOI: 10.21285/achb.993. EDN: HUTKRY.

ВВЕДЕНИЕ

Ilex paraguariensis St. Hil. (*Aquifoliaceae*) – это растение Южной Америки, высушенные, обжаренные и измельченные листья которого издавна использовались для приготовления чая мате [1]. В течение последних лет во многих странах популярность данного напитка выросла благодаря его антиоксидантным свойствам, действию, направленному против ожирения, а также антиревматоидному фармакологическому эффекту. Высокая биологическая активность напитка мате связана главным образом с высоким содержанием в них хлорогеновых кислот (монокофеоилхинных и дикофеоилхинных), обеспечивающих антигликирующий эффект [2].

Кроме хлорогеновых кислот напиток содержит также кофеин и теобромин [1]. Кофеин – алкалоид психостимулирующего и аналептического действия. Он повышает скорость метаболизма, снижает усталость, уменьшает риск развития сахарного диабета второго типа, ожирения и некоторых онкологических заболеваний [3], также известны работы по изучению кофеина как вещества для профилактики болезней Альцгеймера и Паркинсона [4]. Тем не менее чрезмерное суточное употребление кофеина (более 450 мг в день) способствует нарушениям неврологического типа, развитию остеопороза, увеличению риска сердечно-сосудистых заболеваний [5]. Кроме того, кофеин является предшественником мочевой кислоты, поэтому употребление продуктов, содержащих кофеин, следует ограничить для людей с различными формами артрита, особенно с подагрой. Хотя известные исследования о том, что употребление большого количества кофе не приводит к росту концентрации в крови мочевой кислоты [6], возможно, и корректны, но только в том, что кофе и чай не являются причиной заболевания. В связи с этим альтернативой для потребителя с артритом могут стать декофеинизированные напитки. На сегодняшний день на рынке Российской Федерации доступны декофеинизированные кофе и (китайский) чай.

При множестве различных технологий удаления кофеина из кофе или чая [7] к числу наиболее простых и безвредных можно отнести удаление кофеина из напитка благодаря сорбции кофеина на монтмориллонитовой глине [8].

Для декофеинизации растительного материала (измельченных листьев и стеблей мате до частиц размером не более 0,428 мм) успешно применяли сверхкритическую экстракцию диоксидом углерода без потери антиоксидантных свойств [9]. По европейскому патенту мате экстрагируют горячей водой, кофеин экстрагируют

хлорированными растворителями, а остаток упаривают досуха, избавляясь от следов растворителя [10]. При этом в Бразилии коммерчески доступны декофеинизированные образцы по крайней мере одиннадцати генотипов мате [11]. Обзор сорбционных методов удаления кофеина (включая использование монтмориллонитовых глин) представлен в работе [12], в которой указывается, что наиболее эффективным методом удаления этого вещества является использование активированного угля. К сожалению, этот сорбент, как и другие, эффективен и при сорбции хлорогеновых кислот [13], поэтому не применим для декофеинизации напитка мате. Идея использования циклодекстрина, по нашим данным, при решении проблемы работы не рассматривалась.

В связи с вышесказанным целью настоящей работы являлось определение условий для декофеинизации чая мате с использованием бентонитовой глины и супрамолекулярной технологии для снижения сорбции хлорогеновых кислот.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Растительный материал был приобретен на местном рынке или получен через Интернет. Напитки готовили настаиванием размолотого в кофемолке растительного материала с заданным количеством кипящей воды; смесь выдерживали в течение 10 мин и фильтровали через бумажный фильтр.

Разделение и количественное определение компонентов настоев проводили на хроматографе Agilent 1260 с диодно-матричным детектором (Agilent, США) Для определения хлорогеновых кислот хроматограмму записывали при 325 нм, а для определения кофеина – при 283 нм. Использовали хроматографическую колонку 150×4,6 мм Kromasil 100-5C4 (Kromasil, Швеция), температура термостата колонок составляла 30 °С. Для создания градиентного режима использовали следующие растворы: раствор А – 4% об. пропанола-2 и 1% об. этилацетата в воде с добавкой 0,4% об. ортофосфорной кислоты; раствор Б – 16% об. пропанола-2 и 2% об. этилацетата в воде с добавкой 0,4% об. ортофосфорной кислоты. Программа градиента: 0 мин – 0% Б; 22 мин – 100% Б; 23 мин – 0% Б; 30 мин – 0% Б. Скорость подачи подвижной фазы – 0,8 мл/мин.

Для градуировки отклика детектора использовали 5-кофеоилхинной кислоты полугидрат (Sigma-Aldrich, США) и кофеин (Aldrich, Германия). Хранение, обработку хроматограмм осуществляли в программном макете Agilent ChemStation.

В работе использовали бентонитовую глину марки Бентакон (Россия), содержащую по паспорту более 80% монтмориллонита. Перед использованием глину отмывали от карбоната натрия водой. Сорбцию осуществляли добавлением к отфильтрованному настою заданной навески глины, а для уменьшения сорбции хлорогеновых кислот добавляли заданное количество β-циклодекстрина (Chemical Line). Смесь выдерживали в течение необходимого времени на механическом встряхивателе, твердый остаток отделяли центрифугированием.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для определения как хлорогеновых кислот [14], так и метилксантинов (включая кофеин) [15] подходит обращенно-фазовая высокоэффективная жидкостная хроматография на традиционных С18 фазах. Основная проблема при одновременном определении кофеина и хлорогеновых кислот может быть решена правильным подбором состава подвижной фазы [16]. В то же время в настоящей работе для определения состава основных компонентов напитка использовали обращенно-фазовую высокоэффективную жидкостную хроматографию с использованием колонки С4. Такая колонка была выбрана в связи с тем, что в работе предполагалось использование β-циклодекстрина. Дело в том, что модифицирование поверхности сорбента циклодекстрином минимально и обратимо именно в случае фазы С4 [17]. При разделении использовали градиентный режим, поскольку в исследуемом напитке относительно высоко содержание дикофеоилхинных кислот, имеющих существенно более высокую липофильность по сравнению с монокофеоилхинными кислотами, а в качестве элюентов использовали смеси пропанола-2 и этилацетата с водой, подкисленной ортофосфорной кислотой. Такие смеси позволяют целенаправленно изменить удерживание кофеина относительно монокофеоилхинных кислот и кофеина [16]; соэлюирование 4CQA и 5CQA для целей работы не принципиально (рис. 1).

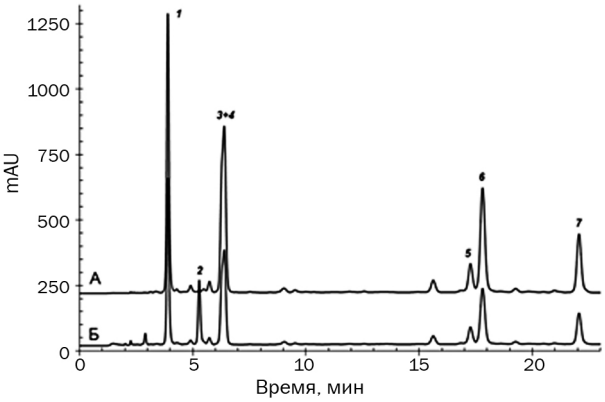

Рис. 1. Разделение компонентов водного экстракта *Ilex paraguariensis* (колонка 150×4,6 мм Kromasil 100-5C4; подвижная фаза: 3% об. изопропанола, 2% об. этилацетата и 0,2% об. ортофосфорной кислоты в воде, 0,8 мл/мин; детектирование А – при 325 нм, Б – при 283 нм; вещества: 1 – 3CQA, 2 – кофеин, 3 – 4CQA, 4 – 5CQA, 5 – 3,4-diCQA, 6 – 3,5diCQA, 7 – 4,5diCQA)

Fig. 1. Distribution of components of *Ilex paraguariensis* aqueous extract (column 150×4.6 mm Kromasil 100-5C4; movable phase 3 vol.% isopropanol, 2 vol.% ethyl acetate and 0.2 vol.% orthophosphoric acid in water, 0.8 ml/min; detection A – at 325 nm, Б – at 283 nm; substances: 1 – 3CQA, 2 – caffeine, 3 – 4CQA, 4 – 5CQA, 5 – 3,4-diCQA, 6 – 3,5 diCQA, 7 – 4,5 diCQA)

Напиток мате интересен тем, что в его состав входят те же основные компоненты, что и в напиток кофе (табл. 1):

– три изомерные монокофеоилхинные кислоты (МКХК): 3-кофеоилхинная, 4-кофеоилхинная и 5-кофеоилхинная кислоты (3CQA, 4CQA и 5CQA, соответственно) – в 100 мл настоя найдено в сумме от 40 до 100 мг этих соединений;

– три изомерные дикофеоилхинные кислоты (ДКХК): 3,4-дикофеоилхинная, 3,5-дикофеоилхинная и

Таблица 1. Содержание хлорогеновых кислот и кофеина в напитках мате различных марок

Table 1. Chlorogenic acids and caffeine content in mate drinks of various brands

Вещество	Марка материала или производитель				
	Мате зеленый	Pipore (Уругвай)	Спирит (Гринфилд)	Агуанте (Гринфилд)	Pojarito (Парагвай)
	Концентрация веществ в напитке, мг/мл (± 5%)				
3CQA	0,230	0,170	0,082	0,119	0,210
4CQA+5CQA	0,270	0,200	0,116	0,150	0,285
Сумма монокофеоилхинных кислот	0,500	0,370	0,198	0,269	0,495
3,4diCQA	0,038	0,030	0,013	0,021	0,039
3,5diCQA	0,123	0,105	0,049	0,067	0,107
4,5diCQA	0,064	0,055	0,029	0,035	0,072
Сумма дикофеоилхинных кислот	0,225	0,190	0,092	0,123	0,218
Кофеин	0,087	0,080	0,026	0,054	0,080

Таблица 2. Содержание хлорогеновых кислот и кофеина в исходном напитке и их изменение после добавления бентонитовой глины и *β*-циклодекстрина

Table 2. Chlorogenic acids and caffeine content in the initial drink and their change after the addition of bentonite clay and *β*-cyclodextrin

Показатель	Значение			
m(глины)*, г	0	1	1	1
m(*β*CD)*, г	0	0	0,5	1,0
Вещество	C_0, мг/мл, ±2.0%	Доля остатка после сорбции на глине, %		
3CQA	0,412	80,6–83,9	85,8–87,4	70,32–89,80
4CQA+5CQA	0,531	71,4–72,0	82,4–83,1	85,40–86,10
Сумма МКХ кислот	0,942	75,5–77,2	83,8–85,0	83,70–87,70
3,4diCQA	0,058	49,9–52,8	67,4–68,9	70,30–73,00
3,5diCQA	0,221	55,5–57,6	82,2–85,8	85,40–87,70
4,5diCQA	0,108	33,7–39,1	76,5–80,7	80,20–81,50
Сумма ДКХ кислот	0,388	48,6–51,7	78,3–81,8	81,60–83,70
Кофеин	0,177	1,7–1,8	1,5–1,9	1,60–1,80

Примечание. * – на 10 мл напитка; C_0 – исходная концентрация веществ в напитке.

4,5-дикофеоилхинная кислоты (3,4diCQA, 3,5diCQA и 4,5diCQA, соответственно) – в 100 мл настоя найдено в сумме от 25 до 60 мг этих соединений;

– кофеин – от 5 до 16 мг в 100 мл настоя.

Полученные в настоящей работе результаты качественно и количественно согласуются с результатами работы [18]. Они не противоречат также результатам работы [19], в которой почему-то определяли только МКХК, хотя известно, что биодоступность ДКХК выше, чем МКХК [20].

Результаты извлечения (сорбции) компонентов настоя при добавлении различных навесок глины к 100 мл настоя (чая мате) при исходных концентрациях МКХК 0,311 мг/мл, ДКХК 0,250 мг/мл и 0,071 мг/мл кофеина представлены на рис. 2.

Из представленных данных следует, что сорбция кофеина происходит существенно более интенсивно по сравнению с МКХК, но степень удаления ДКХК также велика. Так, для удаления 95% кофеина требуется 10 г глины на 100 мл чая мате, что может считаться приемлемым вследствие невысокой стоимости глины. Но потери примерно половины наиболее биодоступных ДКХК делают метод сорбционного удаления кофеина не очень обоснованным.

Тем не менее существует способ снижения потерь хлорогеновых кислот за счет их комплексообразования

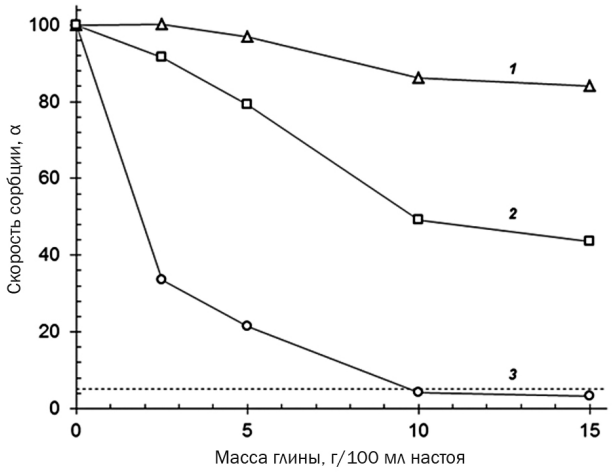

Рис. 2. Степень извлечение хлорогеновых кислот и кофеина как функция массы навески глины на 100 мл настоя (вещества: 1 – сумма монокофеоилхинных кислот, 2 – сумма дикофеоилхинных кислот, 3 – кофеина)

Fig. 2. Sorption degree of chlorogenic acids and caffeine as a function of the weight of the clay sample per 100 ml of infusion (substances: 1 – the sum of monocapheoylquinic acids, 2 – the sum of dicafeoylquinic acids, 3 – caffeine)

с β-циклодекстрином, добавляемым непосредственно в напиток. Важно, что степень связывания ДКХК в комплекс «гость – хозяин» превышает степень связывания МКХК при неспособности кофеина внедряться в полость этого макроцикла [21]. Результаты соответствующего эксперимента представлены в табл. 2.

Из представленных данных следует, что в выбранных условиях эксперимента степень сорбции кофеина превышает 98%, но потери МКХК превышают 20%, а ДКХК – 50%. В то же время добавка β-циклодекстрина позволяет снизить эти потери более чем на 10% в случае МКХК и более чем на 50% в случае ДКХК, никак не влияя на сорбцию кофеина.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, декофеинизацию напитка мате предложено осуществлять сорбционным методом на бентонитовой глине, добавленной к настою. Потери МКХК и ДКХК, также сорбирующихся на бентонитовой глине, предложено снизить за счет добавления непосредственно в настой β-циклодекстрина, способного образовывать комплексы включения с хлорогеновыми кислотами, при неактивности этого макроцикла по отношению к образованию комплексов «гость – хозяин» с кофеином, вследствие чего потери МКХК и ДКХК снизились в 2 раза.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Peres R.G., Tonin F.G., Tavares M.F.M., Rodriguez-Amaya D.B. HPLC-DAD-ESI/MS identification and quantification of phenolic compounds in *Ilex paraguariensis* beverages and on-line evaluation of individual antioxidant activity // Molecules. 2013. Vol. 18, no. 4. P. 3859–3871. DOI: 10.3390/molecules18043859.

2. Grujic N., Lepojevic Z., Srdjenovic B., Vladic J., Sudji J. Effects of different extraction methods and conditions on the phenolic composition of mate tea extracts // Molecules. 2012. Vol. 17, no. 3. P. 2518–2528. DOI: 10.3390/molecules17032518.

3. Калинин А.Я. Кофеин-друг или враг? // Компетентность. 2014. N 9–10. С. 43–51. EDN: TFNULV.

4. Сиволап Ю.П., Дамулин И.В. Кофеин и болезнь Альцгеймера // Неврологический вестник. 2017. Т. 49. N 4. С. 5–10. EDN: ZWTIJL.

5. Абдурахимов А.Х., Гофурова Х.З. Кофеин и здоровье // Life Sciences and Agriculture. 2023. N 1. С. 1–4.

6. Bae J., Park P.S., Chun B.-Y, Choi B.Y., Kim M.K., Shin M.-H., et al. The effect of coffee, tea, and caffeine consumption on serum uric acid and the risk of hyperuricemia in Korean Multi-Rural Communities Cohort // Rheumatology International. 2015. Vol. 35. P. 327–336. DOI: 10.1007/s00296-014-3061-8.

7. Pietsch A. Decaffeination – process and quality // The craft and science of coffee / ed. B. Folmer. Academic Press, 2017. P. 225–243. DOI: 10.1016/B978-0-12-803520-7.00010-4.

8. Shiono T., Yamamoto K., Yotsumoto Y., Kawai J., Imada N., Hioki J., et al. Selective decaffeination of tea extracts by montmorillonite // Journal of Food Engineering. 2017. Vol. 200. P. 13–21. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2016.12.015.

9. Do Espirito Santo A.T., Siqueira L.M., Almeida R.N., Vargas R.M.F., do N Franceschini G., Kunde M.A., et al. Decaffeination of yerba mate by supercritical fluid extraction: improvement, mathematical modelling and infusion analysis // The Journal of Supercritical Fluids. 2021. Vol. 168. P. 105096. DOI: 10.1016/j.supflu.2020.105096.

10. European patent no. W01998042209A1. Decaffeinated mate extracts and the use thereof / R. Maffei Facino, M. Carini, M. Mariani. Applic. 16.03.1998; publ. 01.10.1998.

11. Duarte M.M., de Cássia Tomasi J., Helm C.V., Amano E., Lazzarotto M., Bueno de Godoy R.C., et al. Caffeinated and decaffeinated mate tea: effect of toasting on bioactive compounds and consumer acceptance // Revista Brasileira de Ciências Agrárias. 2020. Vol. 15, no. 3. P. e8513. DOI: 10.5039/agraria.v15i3a8513.

12. Quintero-Jaramillo J.A., Carrero-Mantilla J.I., Sanabria-González N.R. A review of caffeine adsorption studies onto various types of adsorbents // The Scientific World Journal. 2021. P. 9998924. DOI: 10.1155/2021/9998924.

13. Suarez-Quiroz M.L., Campos A.A., Alfaro G.V., Gonzalez-Rios O., Villeneuve P., Figueroa-Espinoza M.C. Isolation of green coffee chlorogenic acids using activated carbon // Journal of Food Composition and Analysis. 2014. Vol. 33, no. 1. P. 55–58. DOI: 10.1016/j.jfca.2013.10.005.

14. Дейнека В.И., Олейниц Е.Ю., Дейнека Л.А. Хроматографическое поведение монокофеоилхинных и дикофеоилхинных кислот в условиях ОФ ВЭЖХ: зависимость от строения // Сорбционные и хроматографические процессы. 2021. Т. 21. N 4. С. 458–465. DOI: 10.17308/sorpchrom.2021.21/3628. EDN: BTSLDP.

15. Андреева Е.Ю., Тан Ц., Дмитриенко С.Г., Золотов Ю.А. Определение кофеина, теобромина и теофиллина в чае методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии // Сорбционные и хроматографические процессы. 2010. Т. 10. N 6. С. 805–812. EDN: NCVBLL.

16. Блинова И.П., Олейниц Е.Ю., Саласина Я.Ю., Дейнека В.И., Ань В.Т.Н., Ань Н.В. Одновременное определение хлорогеновых кислот и кофеина в кофе методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии // Известия высших учебных заведений. Серия Химия и химическая технология. 2023. Т. 66. N 2. С. 45–52. DOI: 10.6060/ivkkt.20236602.6711. EDN: JYRGMN.

17. Deineka V.I., Doronin A.G., Deineka L.A., Oleinits E.Yu. Retention of cyclodextrins under the conditions of reversed-phase chromatography and determining the stability constants of inclusion complexes of antocyanins with β-cyclodextrin // Russian Journal of Physical Chemistry A. 2018. Vol. 92. P. 2325–2329. DOI: 10.1134/S0036024418110079.

18. Gebara K.S., Gasparotto-Junior A., Santiago P.G., Cardoso C.A.L., de Souza L.M., Morand C., et al. Daily intake of chlorogenic acids from consumption of maté (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) traditional beverages // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2017. Vol. 65, no. 46. P. 10093–10100. DOI: 10.1021/acs.jafc.7b04093.

19. Butiuk A.P., Martos M.A., Adachic O., Hours R.A. Study of the chlorogenic acid content in yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.): effect of plant fraction, processing step andharvesting season // Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants. 2016. Vol. 3, no. 1. P. 27–33. DOI: 10.1016/j.jarmap.2015.12.003.

20. Monteiro M., Farah A., Perrone D., Trugo L.C., Donangelo C. Chlorogenic acid compounds from coffee are differentially absorbed and metabolized in humans // The Journal of Nutrition. 2007. Vol. 137, no. 10. P. 2196–2201. DOI: 10.1093/jn/137.10.2196.

21. Oleinits E.Yu., Deineka V.I., Blinova I.P., Deineka L.A. Selectivity control of dicaffeoylquinic acids separation in reversed-phase HPLC with *β*-cyclodextrine in a mobile phase // Известия высших учебных заведений. Серия Химия и химическая технология. 2022. Т. 65. N 7. С. 54-60. DOI: 10.6060/ivkkt.20226507.6599. EDN: YBXVOE.

REFERENCES

1. Peres R.G., Tonin F.G., Tavares M.F.M., Rodriguez-Amaya D.B. HPLC-DAD-ESI/MS identification and quantification of phenolic compounds in *Ilex paraguariensis* beverages and on-line evaluation of individual antioxidant activity. *Molecules.* 2013;18(4):3859-3871. DOI: 10.3390/molecules18043859.

2. Grujic N., Lepojevic Z., Srdjenovic B., Vladic J., Sudji J. Effects of different extraction methods and conditions on the phenolic composition of mate tea extracts. *Molecules.* 2012;17(3):2518-2528. DOI: 10.3390/molecules17032518.

3. Kalinin A.Ya. Caffeine: friend or foe? *Competency (Russia).* 2014;9-10:43-51. (In Russian). EDN: TFNULV.

4. Sivolap Yu.P., Damulin I.V. Caffeine and Alzheimer's disease. *Neurology Bulletin*. 2017;49(4):5-10. (In Russian). EDN: ZWTIJL.

5. Abdurakhimov A.Kh., Gofurova Kh.Z.. Caffeine and health. *Life Sciences and Agriculture*. 2023;1:1-4. (In Russian).

6. Bae J., Park P.S., Chun B.-Y, Choi B.Y., Kim M.K., Shin M.-H., et al. The effect of coffee, tea, and caffeine consumption on serum uric acid and the risk of hyperuricemia in Korean Multi-Rural Communities Cohort. *Rheumatology International*. 2015;35:327-336. DOI: 10.1007/s00296-014-3061-8.

7. Pietsch A. Decaffeination – process and quality. In: Folmer B. (ed.). *The craft and science of coffee*. Academic Press; 2017, p. 225-243. DOI: 10.1016/B978-0-12-803520-7.00010-4.

8. Shiono T., Yamamoto K., Yotsumoto Y., Kawai J., Imada N., Hioki J., et al. Selective decaffeination of tea extracts by montmorillonite. *Journal of Food Engineering*. 2017;200:13-21. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2016.12.015.

9. Do Espirito Santo A.T., Siqueira L.M., Almeida R.N., Vargas R.M.F., do N Franceschini G., Kunde M.A., et al. Decaffeination of yerba mate by supercritical fluid extraction: improvement, mathematical modelling and infusion analysis. *The Journal of Supercritical Fluids*. 2021;168:105096. DOI: 10.1016/j.supflu.2020.105096.

10. Maffei Facino R., Carini M., Mariani M. *Decaffeinated mate extracts and the use thereof.* European patent, no. WO1998042209A1; 1998.

11. Duarte M.M., de Cássia Tomasi J., Helm C.V., Amano E., Lazzarotto M., Bueno de Godoy R.C., et al. Caffeinated and decaffeinated mate tea: effect of toasting on bioactive compounds and consumer acceptance. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. 2020;15(3):e8513. DOI: 10.5039/agraria.v15i3a8513.

12. Quintero-Jaramillo J.A., Carrero-Mantilla J.I., Sanabria-González N.R. A review of caffeine adsorption studies onto various types of adsorbents. *The Scientific World Journal*. 2021:9998924. DOI: 10.1155/2021/9998924.

13. Suarez-Quiroz M.L., Campos A.A., Alfaro G.V., Gonzalez-Rios O., Villeneuve P., Figueroa-Espinoza M.C. Isolation of green coffee chlorogenic acids using activated carbon. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2014;33(1):55-58. DOI: 10.1016/j.jfca.2013.10.005.

14. Deineka V.I., Oleinits E.Yu., Deineka L.A. Chromatographic behavior of mono-caffeoylquinic and di-caffeoylquinic acids under the conditions of reversed-phase HPLC: structural dependences. *Sorption and Chromatographyprocesses*. 2021;21(4):458-465. (In Russian). DOI: 10.17308/sorpchrom.2021.21/3628. EDN: BTSLDP.

15. Andreeva E.Yu., Tang J., Dmitrienko S.G., Zolotov Yu.A. Determination of caffeine, theobromine and theophylline in tea by reversedphase high-performamce liquid chromatography method. *Sorption and Chromatographyprocesses*. 2010;10(6):805-812. (In Russian). EDN: NCVBLL.

16. Blinova I.P., Oleinits E.Yu., Salasina Ya.Yu., Deineka V.I., Anh V.T.N., Anh N.V. Simultaneous determination of chlorogenic acids and caffeine by reversed-phase HPLC. *ChemChemTech.* 2023;66(2):45-52. (In Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20236602.6711. EDN: JYRGMN.

17. Deineka V.I., Doronin A.G., Deineka L.A., Oleinits E.Yu. Retention of cyclodextrins under the conditions of reversed-phase chromatography and determining the stability constants of inclusion complexes of antocyanins with *β*-cyclodextrin. *Russian Journal of Physical Chemistry A*. 2018;92:2325-2329. DOI: 10.1134/S0036024418110079.

18. Gebara K.S., Gasparotto-Junior A., Santiago P.G., Cardoso C.A.L., de Souza L.M., Morand C., et al. Daily intake of chlorogenic acids from consumption of maté (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) traditional beverages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2017;65(46):10093-10100. DOI: 10.1021/acs.jafc.7b04093.

19. Butiuk A.P., Martos M.A., Adachic O., Hours R.A. Study of the chlorogenic acid content in yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.): effect of plant fraction, processing step andharvesting season. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*. 2016;3(1):27-33. DOI: 10.1016/j.jarmap.2015.12.003.

20. Monteiro M., Farah A., Perrone D., Trugo L.C., Donangelo C. Chlorogenic acid compounds from coffee are differentially absorbed and metabolized in humans. *The Journal of Nutrition*. 2007;137(10):2196-2201. DOI: 10.1093/jn/137.10.2196.

21. Oleinits E.Yu., Deineka V.I., Blinova I.P., Deineka L.A. Selectivity control of dicaffeoylquinic acids separation in reversed-phase HPLC with *β*-cyclodextrine in a mobile phase. *ChemChemTech*. 2022;65(7):54-60. DOI: 10.6060/ivkkt.20226507.6599. EDN: YBXVOE.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дейнека Виктор Иванович,
д.х.н., профессор, профессор,
Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
308015, г. Белгород, ул. Победы, 85,
Российская Федерация,
deineka@bsuedu.ru
https://orcid.org/0000-0002-3971-2246

Олейниц Елена Юрьевна,
к.х.н., доцент,
Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
308015, г. Белгород, ул. Победы, 85,
Российская Федерация,
✉ oleinits_e@bsuedu.ru
https://orcid.org/0000-0003-2065-6296

Фарафонова Мария Сергеевна,
аспирант,
Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
308015, г. Белгород, ул. Победы, 85,
Российская Федерация,
1126327@bsu.edu.ru
https://orcid.org/0000-0003-3859-9138

Дейнека Людмила Александровна,
к.х.н., доцент, доцент,
Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
308015, г. Белгород, ул. Победы, 85,
Российская Федерация,
deyneka@bsu.edu.ru
https://orcid.org/0000-0002-4101-2468

Чулков Андрей Николаевич,
к.х.н., главный специалист,
Белгородский филиал Центра оценки качества зерна и продуктов его переработки,
308027, г. Белгород, ул. Щорса, 8,
Российская Федерация,
ach87@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-7904-1424

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Victor I. Deineka,
Dr. Sci. (Chemistry), Professor, Professor,
Belgorod State National Research University,
85, Pobedy St., Belgorod, 308015,
Russian Federation,
deineka@bsuedu.ru
https://orcid.org/0000-0002-3971-2246

Elena Yu. Oleinits,
Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor,
Belgorod State National Research University,
85, Pobedy St., Belgorod, 308015,
Russian Federation,
✉ oleinits_e@bsuedu.ru
https://orcid.org/0000-0003-2065-6296

Maria S. Farafonova,
Postgraduate Student,
Belgorod State National Research University,
85, Pobedy St., Belgorod, 308015,
Russian Federation,
1126327@bsu.edu.ru
https://orcid.org/0000-0003-3859-9138

Lyudmila A. Deineka,
Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor,
Associate Professor,
Belgorod State National Research University,
85, Pobedy St., Belgorod, 308015,
Russian Federation,
deyneka@bsu.edu.ru
https://orcid.org/0000-0001-6692-4482

Andrey N. Chulkov,
Cand. Sci. (Chemistry), Chief Specialist,
Belgorod Branch of the Center for Grain and Processed Products Quality Assessment,
8, Shchors St., Belgorod, 308027,
Russian Federation,
ach87@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-7904-1424

Вклад авторов

В.И. Дейнека – научное руководство, разработка концепции, проведение исследования, написание черновика рукописи.
Е.Ю. Олейниц – проведение исследования, написание черновика рукописи.
М.С. Фарафонова – формальный анализ.
Л.А. Дейнека – курирование данных, редактирование рукописи.
А.Н. Чулков – формальный анализ.

Contribution of the authors

Victor I. Deineka – supervision, conceptualization, investigation, writing – original draft.
Elena Yu. Oleinits – investigation, writing – original draft.
Maria S. Farafonova – formal analysis.
Lyudmila A. Deineka – data curation, editing.
Andrey N. Chulkov – formal analysis.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Поступила в редакцию 04.10.2024.
Одобрена после рецензирования 07.02.2025.
Принята к публикации 08.09.2025.

Information about the article

The article was submitted 04.10.2024.
Approved after reviewing 07.02.2025.
Accepted for publication 08.09.2025.