

Питание и здоровье Nutrition and health

Научная статья
УДК 661.124+664
DOI: 10.14529/food230109

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ПОЛИФЕНОЛОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ИНКАПСУЛЯЦИИ МЕТОДОМ КОМПЛЕКСНОЙ КОАЦЕРВАЦИИ

Р.И. Фаткуллин, 5792687@mail.ru
А.Д. Брызгалова, annabryz2002@gmail.com
Е.Е. Науменко, 9193122375@mail.ru

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Целью настоящего исследования стала оценка влияния дисперсного состава полифенолов на эффективность их инкапсуляции методом комплексной коацервации. В качестве полифенолов были выбраны рутин и куркумин, известные антиоксиданты, обладающие значительным перечнем полезных свойств для организма человека. Для повышения эффективности этих соединений, в том числе в составе пищевых систем, была использована процедура инкапсуляции. В качестве инкапсулирующего материала были выбраны биополимеры белковой природы (желатин говяжий) и углеводной природы (пектин цитрусовый). В рамках данных исследований изучалась возможность использования процедуры микронизации с применением ультразвукового воздействия, на эффективность инкапсуляции полифенолов. Кроме того, оценивалось влияние соотношения инкапсулируемого вещества с инкапсулирующими биополимерами (желатином и пектином). В работе апробировали соотношение полифенолы : (желатин + пектин), равное 1:2 и 1:20 (избыточное количество инкапсулирующих биополимеров). Полученные результаты показали, что ультразвуковое воздействие позволяет добиться микронизации полифенолов в водном растворе. Было достигнуто уменьшение среднего размера частиц более, чем в 2 раза для каждого из полифенолов. Установлено, что эффективность инкапсуляции повышается при использовании микронизированного вещества. В среднем эффективность инкапсуляции увеличилась в 1,2 раза при соотношении полифенолы : (желатин + пектин) 1:2. Для соотношения 1:20 рост эффективности инкапсуляции был еще выше. Результаты исследования показали, что несмотря на повышение эффективности инкапсуляции при избыточном количестве инкапсулирующих веществ, такой подход привел к получению капсул большего размера (1800–2300 нм). Применение соотношения 1:2 позволило получить частицы менее 1000 нм, что является предпочтительным. В целом, полученные результаты показали целесообразность предварительной микронизации полифенолов для их дальнейшей инкапсуляции. Поиск же оптимальных соотношений между инкапсулируемым веществом и инкапсулирующими биополимерами требует дальнейших исследований.

Ключевые слова: куркумин, рутин, микронизация, инкапсуляция, комплексная коацервация

Благодарности. Статья выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 22-76-00059.

Для цитирования: Фаткуллин Р.И., Брызгалова А.Д., Науменко Е.Е. Влияние дисперсного состава полифенолов на эффективность их инкапсуляции методом комплексной коацервации // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2023. Т. 11, № 1. С. 86–93. DOI: 10.14529/food230109

Original article
DOI: 10.14529/food230109

INFLUENCE OF DISPERSE COMPOSITION OF POLYPHENOLS ON THE EFFICIENCY OF THEIR ENCAPSULATION BY COMPLEX COACERVATION

R.I. Fatkullin, 5792687@mail.ru

A.D. Bryzgalova, annabryz2002@gmail.com

E.E. Naumenko, 9193122375@mail.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. The aim of the present study was to evaluate the effect of the dispersed composition of polyphenols on the efficiency of their encapsulation by complex coacervation. The polyphenols chosen were rutin and curcumin, well-known antioxidants with a significant list of beneficial properties for the human body. An encapsulation procedure was used to enhance the effectiveness of these compounds, including as part of food systems. Biopolymers of protein nature (beef gelatin) and carbohydrate nature (citrus pectin) were chosen as encapsulating materials. These studies investigated the possibility of using a micronization procedure with ultrasound exposure, on the efficiency of encapsulation of polyphenols. In addition, the effect of the ratio of the encapsulated substance with the encapsulating biopolymers (gelatin and pectin) was evaluated. The work tested the ratio of polyphenols: (gelatin + pectin) equal to 1:2 and 1:20 (excessive amount of encapsulating biopolymers). The results showed that ultrasound exposure allows micronization of polyphenols in aqueous solution. The average particle size was reduced by more than 2 times for each of the polyphenols. It was found that the encapsulation efficiency increases when the micronized substance is used. On average, the encapsulation efficiency increased by a factor of 1.2 at a ratio of polyphenols:(gelatin + pectin) 1:2. For a ratio of 1:20, the increase in encapsulation efficiency was even higher. The results showed that despite the increase in encapsulation efficiency with excessive amounts of encapsulating agents, this approach resulted in larger capsules (1800-2300 nm) Using a 1:2 ratio resulted in particles less than 1000 nm, which is preferable. Overall, the results obtained showed the advisability of pre-micronization of polyphenols for their further encapsulation. The search for optimal ratios between the encapsulated substance and the encapsulating biopolymers requires further research.

Keywords: curcumin, rutin, micronization, encapsulation, complex coacervation.

Acknowledgments. This research was partially supported by the grant from Russian Science Foundation 22-76-00059.

For citation: Fatkullin R.I., Bryzgalova A.D., Naumenko E.E. Influence of disperse composition of polyphenols on the efficiency of their encapsulation by complex coacervation. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2023, vol. 11, no. 1, pp. 86–93. (In Russ.) DOI: 10.14529/food230109

Введение

Растительные полифенолы представляют собой огромный класс соединений, многие из которых проявляют выраженные биоактивные свойства, такие как антиоксидантные, противовоспалительные, иммуностимулирующие, противораковые и другие. Вместе с тем, реальное использование этих веществ ограничено в связи с их низким уровнем биодоступности, плохой растворимостью в воде, что в совокупности ограничивает проявление биологической активности в условиях доставки в организм человека.

Для решения этой проблемы учеными сегодня предпринимаются попытки минимизировать барьерные факторы в части использования полифенолов в составе биологически активных добавок и пищевых систем. Одним из таких подходов является микронизация полифенолов.

Термин «микронизация» был описан J.T. Joshi [9] и определяется как уменьшение размера частицы до менее десяти микрон, достигаемое с помощью различных механизмов. Методы микронизации могут включать использование гидродинамических и механи-

ческих типов воздействия для разрушения внутренних связей отдельных частиц.

Уменьшение размера частиц до микронного уровня сопровождается изменением структурных, физико-химических и функциональных свойств. Такие свойства, как растворимость, водопоглощение, намокаемость и набухаемость, реакционная способность улучшаются в микронном масштабе, в первую очередь, благодаря увеличению площади поверхности взаимодействия твердых частиц и растворителя [7].

Выделяют два принципиальных подхода к получению микрочастиц: метод «сверху вниз», когда более крупные частицы уменьшаются до меньшего размера и метод «снизу вверх», когда микрочастицы строятся из молекул в растворе [14]. Способы получения сверхтонких субмикронных суспензий биологически активных веществ методами «сверху вниз», как правило, основаны на использовании высоких сдвиговых усилий, кавитации и измельчения и предполагают использование такого оборудования, как гомогенизаторы, мельницы, микрофлюидизаторы, ультразвуковые генераторы [1, 9]. Каждый из этих методов характеризуется своими преимуществами и недостатками, определяющими возможности и ограничения реального использования этих методов.

Для технологии инкапсуляции дисперсный состав инкапсулируемых частиц может иметь огромное значение. Некоторые исследования показывают, что предварительная микронизация позволяет получить капсульные системы меньшего размера, что важно для дальнейшей эффективной доставки этих соединений в организм человека.

Целью настоящего исследования была оценка влияния микронизации с помощью низкочастотного ультразвука на дисперсный состав куркумина и рутина и установление эффективности инкапсуляции микронизированных веществ методом комплексной коацервации.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования использовали полифенолы рутин и куркумин (рис. 1).

Куркумин ((1E,6E)-1,7-бис(4-гидрокси-3-метоксифенил)гепта-1,6-диен-3,5-дион) обладает низким уровнем токсичности и большим фармакологическим потенциалом, включая антиоксидантные свойства, противовоспалительные,

антибактериальные и противораковые свойства [2, 3, 6, 8, 10]. При этом куркумин практически нерастворим в холодной воде при кислом и нейтральном pH, но растворим в некоторых органических растворителях, например, в этаноле, ацетоне и хлороформе, а также в щелочи (pH > 12) или в чрезвычайно кислых растворителях, таких как ледяная уксусная кислота.

Рутин (кверцетин-3-рутинозид (3', 4', 5,7-тетрагидроксифлавоон-3β-d-рутинозид)) представляет собой фенольное соединение с хорошо изученным терапевтическим потенциалом и высокой безопасностью. Рутин обладает несколькими потенциально полезными эффектами на организм человека, включая антирадикальное, противовоспалительное, противоопухолевое действие и свойства укрепления кровеносных капилляров [11, 13, 16].

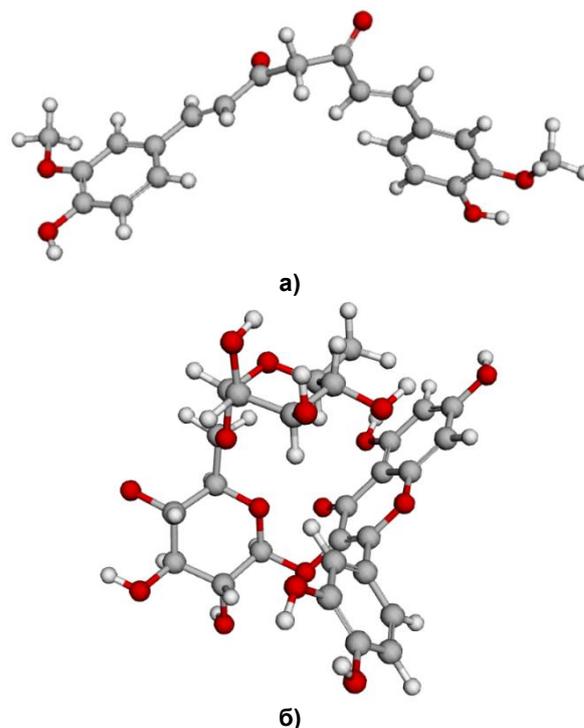


Рис. 1. Структурная формула молекул куркумина (а) и рутина (б)

Микронизацию проводили с использованием низкочастотного ультразвука, используя режим обработки 630 Вт и 7 мин, при контроле температуры не более 50 °С. Данный режим был определен в рамках ранее проведенных исследований [12]. Величину обработки 0,1 % водных растворов веществ.

Инкапсуляцию полифенолов проводили путем их внесения в установленном количестве

стве в предварительно подготовленный водный раствор желатина (2 мас. %/об.) в условиях механического перемешивания при скорости 500 об/мин в течение 15 мин. Затем в полученную суспензию был внесен водный раствор пектина (2 мас. %/об.) и созданы условия для коацервации путем изменения значения pH с применением 0,5н раствора HCl.

При этом отслеживалось влияние соотношения полифенолы : (желатин + пектин) на дисперсный размер полученных капсул. В исследовании использовались соотношения 1:2 и 1:20 (избыточное количество инкапсулирующего вещества) по массе.

Эффективность инкапсуляции (ЭИ) определяли как отношение БАВ, инкапсулированных, к количеству БАВ, оставшемуся на поверхности капсул. Коротко, к 0,2 г полученной суспензии добавляли 1 мл этанола и аккуратно перемешивали, затем определяли содержание БАВ в надосадочной жидкости.

Эффективность инкапсуляции в процентах рассчитывали по формуле:

$$\text{ЭИ (\%)} = \frac{X_1 - X_0}{X_2} \times 100, \quad (1)$$

где X_1 – общее содержание БАВ (после процедуры разрушения капсул), мг; X_0 – содержание неинкапсулированного БАВ, мг; X_2 – количество БАВ, добавленное при инкапсуляции, мг.

Дисперсный состав определяли методом лазерного динамического светорассеяния.

Результаты исследования

Результат определения дисперсного состава полифенолов в исходном виде показал, что выбранные для исследования образцы веществ в общей массе представляют смесь частиц разного размера, с преимущественным содержанием частиц 325 нм для рутина и 405 нм для куркумина (рис. 2). При этом в обеих системах было отмечено присутствие частиц более крупного размера, в диапазоне 2500–5500 нм, что, вероятно, обусловлено процессами полимеризации полифенолов.

Известно, что полифенолы – это вещества, стремящиеся к процессу полимеризации, в результате чего существенно снижается их биологическая активность, в том числе антиоксидантные свойства, поскольку часть функциональных групп не проявляет свой вклад в формирование антиоксидантной активности [2, 3].

Для выравнивания дисперсного состава частиц полифенолов и уменьшения размера

частиц в целом было использовано ультразвуковое воздействие.

При обработке ультразвуком жидких систем в кавитационном режиме могут возникать различные сопутствующие эффекты, которые связаны с возникновением избыточного давления при схлопывании кавитационных пузырьков. Ранее проведенные нами исследования показали, что ультразвуковая обработка дигидрохверцетина позволяет добиться преобладания мономерных и димерных форм вещества в системе. В свою очередь, процесс микронизации оказывает влияние и на антиоксидантные свойства биологически активных веществ, повышая их [1, 12].

Полученные результаты показали, что использование ультразвуковой обработки в режиме 630 Вт, 7 мин привело к снижению значения среднего размера частиц в водной системе рутина и куркумина. Для куркумина удалось добиться преобладания частиц (189 ± 5) нм, для рутина (158 ± 5) нм.

В дальнейших исследованиях использовали микронизированные образцы полифенолов.

Согласно имеющимся в литературе данным, эффективность инкапсуляции при использовании комплексной коацервации в значительной степени зависит от правильно подобранных условий проведения процесса инкапсуляции, в том числе от соотношения инкапсулируемого вещества и инкапсулирующих материалов [8, 15].

Полученные результаты определения эффективности представлены на рис. 3.

Результаты показали, что уменьшение размера частиц инкапсулируемых полифенолов оказало положительное влияние на рост значений эффективности их инкапсуляции методом комплексной коацервации. При соотношении полифенолов и инкапсулирующих веществ 1:2 эффективность инкапсуляции для микронизированного куркумина составила 43,0 % против 33,6 % – для исходного; для микронизированного рутина – 52,2 %, против 44,8 для исходного.

Увеличение доли инкапсулирующих веществ до соотношения 1:20 позволило значительно увеличить эффективность инкапсуляции для всех образцов полифенолов, примерно в 1,2–1,5 раза. Это вполне объяснимо, так как увеличивается площадь взаимодействия полифенолов с инкапсулирующим материалом.

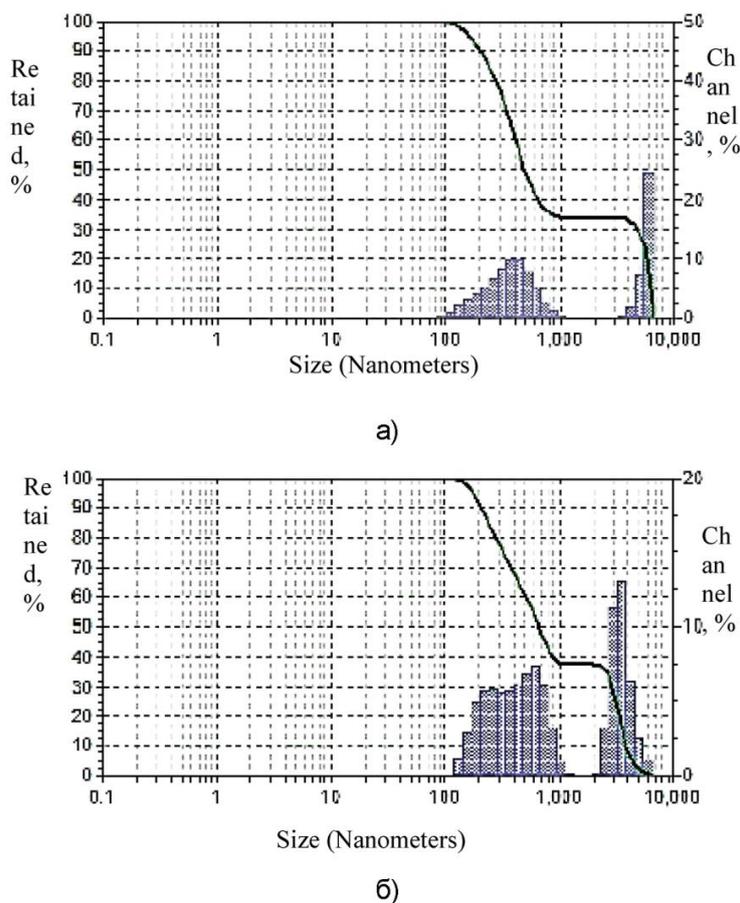


Рис. 2. Характерный вид кривых распределения дисперсного состава частиц полифенолов: а – рутин; б – куркумин

Вместе с тем, некоторые исследования показывают, что при использовании избыточного количества биополимеров, формируемых защитную капсулу для биологически активного вещества, размер получаемых капсул может достигать неприемлемо больших значений.

Нами были проведены исследования по установлению дисперсного состава полученных после инкапсуляции частиц (для микронизированных полифенолов). Результаты представлены на рис. 4.

Среднее значение гидродинамических диаметров частиц инкапсулированного куркумина при избыточном количестве желатина и пектина достигали значений более 2300 нм, для рутина более 1800 нм, тогда как использование соотношения 1:2 привело к формированию частиц менее 1000 нм.

Исследования, представленные в литературе, показывают влияние концентрации инкапсулирующих полимеров на размер получаемых капсул, размер частиц увеличивался с увеличением концентрации полимеров [15].

При этом считается, что 1000 нм – это верхний предел для наночастиц, подходящих для эффективной доставки биологически активных соединений в организм человека [4, 5, 15, 16].

Описанные в литературе подходы указывают на то, что снизить размер частиц при коацервации можно, используя сшивающие агенты. Показана возможность уменьшения размера частиц альгината, инкапсулированного куркумином, при использовании в качестве сшивающего агента CaCl_2 [4]. Доказано, что увеличение концентрации поверхностно-активного вещества, используемого при инкапсуляции, приводит к уменьшению размеров получаемых капсул [15].

Заключение

Таким образом, проведенные нами исследования показали целесообразность использования процедуры микронизации полифенолов перед их инкапсулированием. Микронизация с применением ультразвукового воздействия позволила обеспечить уменьшение среднего

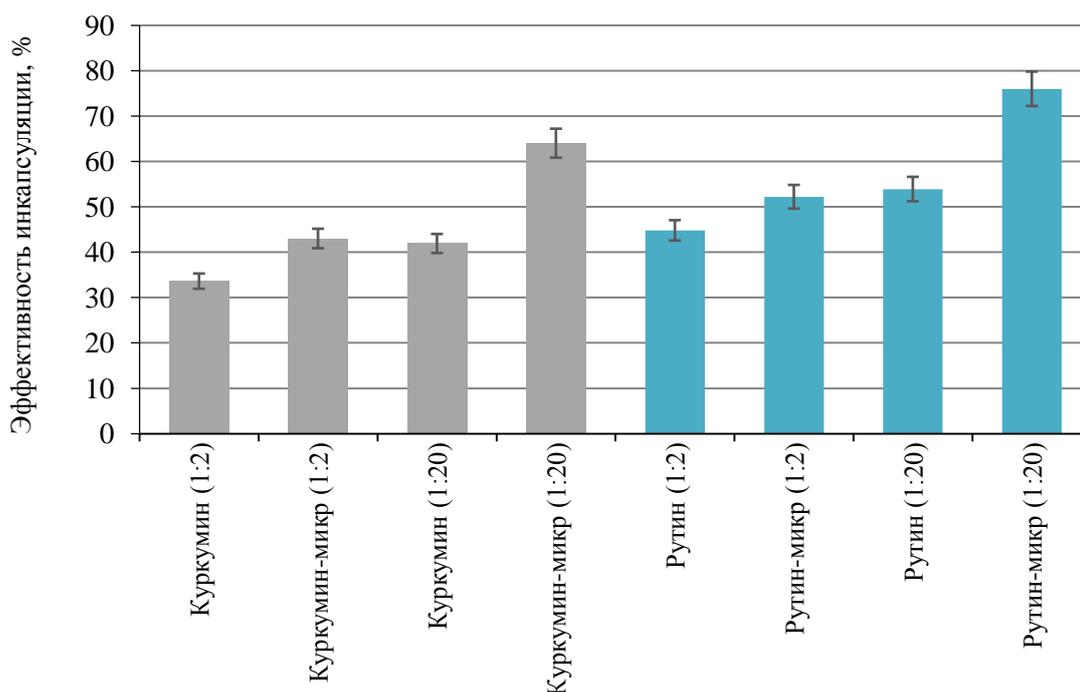


Рис. 3. Эффективность инкапсуляции полифенолов, %

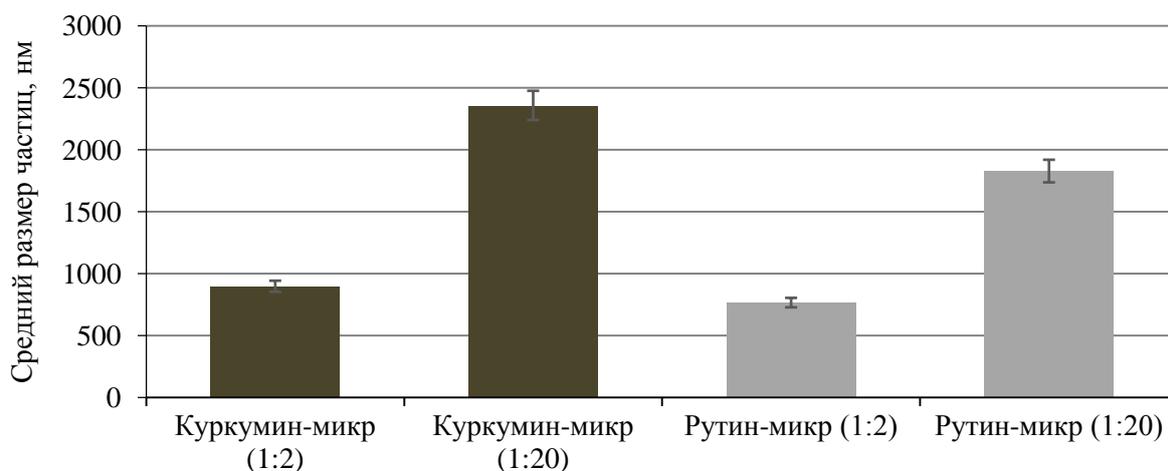


Рис. 4. Средний размер частиц инкапсулированных полифенолов

размера частиц более, чем в 2 раза для каждого из полифенолов. Эффективность инкапсуляции микронизированных полифенолов также повышается примерно в 1,2 раза.

Использование избыточного количества инкапсулирующих биополимеров позволило добиться повышения эффективности инкапсуляции в 1,4–1,6 раза. Однако использова-

ние такого подхода приводит к росту размера получаемых капсул, что является нежелательным процессом. Максимальные значения эффективности инкапсуляции, которых удалось добиться в рамках данного исследования, составили для микронизированного рутина 76 % и микронизированного куркумина – 64 %.

Список литературы

1. Калинина И.В. Повышение биоактивности дигидрокверцетина на основе ультразвуковой микронизации / И.В. Калинина, И.Ю. Потороко, Р.И. Фаткуллин и др. // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. 2019. № 1(54). С. 27–33.
2. Клышев Л.К., Бандюкова В.А., Алюкина Л.С. Флавоноиды растений (распространение, физико-химические свойства, методы исследования). Алма-Ата: Наука, 1978. 220 с.
3. Шаззо Р.И., Касьянов Г.И. Функциональные продукты питания. М.: Колос, 2010. 248 с.
4. Anirudhan T.S., Anila M.M., Franklin S. Synthesis characterization and biological evaluation of alginate nanoparticle for the targeted delivery of curcumin // *Materials Science and Engineering: C*. 2017. V. 78. P. 1125–1134. DOI: 10.1016/j.msec.2017.04.116
5. Beneke C.E., Viljoen A.M., & Hamman J.H. Polymeric plant-derived excipients in drug delivery // *Molecules*. 2009. V. 14(7). P. 2602–2620. DOI: 10.3390/molecules14072602
6. Bong P.H. Spectral and photophysical behaviors of curcumin and curcuminoids // *Bulletin of the Korean Chemical Society*. 2000. V. 21(1). P. 81–86.
7. Chen T., Zhang M., Bhandari B., Yang Z. Micronization and nanosizing of particles for an enhanced quality of food: a review // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2018. V. 58 (6). P. 993–1001. DOI: 10.1080/10408398.2016.1236238
8. Jingyi Xue, Yangchao Luo. Protein-polysaccharide nanocomplexes as nanocarriers for delivery of curcumin: a comprehensive review on preparation methods and encapsulation mechanisms // *Journal of Future Foods*. 2023. V. 3(2). P. 99–114. DOI: 10.1016/j.jfutfo.2022.12.002
9. Joshi J.T. A review on micronization techniques // *J. Pharmaceut. Sci. Technol.* 2011. V. 3 (7). P. 651–681.
10. Mansouri, K., Rasoulpoor, S., Daneshkhah, A. et al. Clinical effects of curcumin in enhancing cancer therapy: a systematic review // *BMC Cancer*. 2020. V. 20. P. 1–11. DOI: 10.1186/s12885-020-07256-8
11. Muvhulawa, N., Dlodla, P., Ziqubu, K. et al. Rutin ameliorates inflammation and improves metabolic function: A comprehensive analysis of scientific literature // *Pharmacological Research*. 2022. V. 178. P. 106163. DOI: 10.1016/j.phrs.2022.106163
12. Potoroko I.Yu. et al. Sonochemical Micronization of Taxifolin Aimed at Improving Its Bioavailability in Drinks for Athletes / I.Yu. Potoroko, I.V. Kalinina, N.V. Naumenko et al. // *Человек. Спорт. Медицина*. 2018. V. 18, № 3. С. 90–100. DOI: 10.14529/hsm180309
13. Rotimi D.E., Elebiyo T.C., Ojo O.A. Therapeutic potential of rutin in male infertility: A mini review // *Journal of Integrative Medicine*. 2023. DOI: 10.1016/j.joim.2023.01.004
14. Rodri'guez-Meizoso I., Plaza M. Particle formation of food ingredients by supercritical fluid technology // T. Fornari, R.P. Stateva (Eds.). *High Pressure Fluid Technology for Green Food Processing*. 2015. P. 155–183. DOI: 10.1007/978-3-319-10611-3_5
15. Saharan P., Bhatt D., Saharan S.P., Bahmani K. The study the effect of polymer and surfactant concentration on characteristics of nanoparticle formulations // *Der Pharmacia Lettre*. 2015. V. 7 (12). P. 365–371.
16. Wong K.H., Lu A., Chen X., Yang Z. Natural ingredient-based polymeric nanoparticles for cancer treatment // *Molecules*. 2020. V. 25. P. 3620. DOI: 10.3390/molecules25163620

References

1. Kalinina I.V., Potoroko I.Y., Fatkullin R.I., Ivanova D., Kaneva-Kiselova Y., Sonawane S. Improvement in biological activity of dihydroquercetin by means of ultrasound micronization. *Technology and Merchandising of the Innovative Foodstuff*, 2019, no. 1 (54), pp. 27–33. (In Russ.)
2. Klyshev L.K., Bandyukova V.A., Alyukina L.S. *Flavonoidy rasteniy (rasprostraneniye, fiziko-khimicheskie svoystva, metody issledovaniya)* [Plant flavonoids (distribution, physical and chemical properties, research methods)]. Alma-Ata, 1978. 220 p.
3. Shazzo R.I., Kasyanov G.I. *Funktsional'nye produkty pitaniya* [Functional food products]. Moscow, 2010. 248 p.
4. Anirudhan T.S., Anila M.M., Franklin S. Synthesis characterization and biological evaluation of alginate nanoparticle for the targeted delivery of curcumin. *Materials Science and Engineering: C*, 2017, vol. 78, pp. 1125–1134. DOI: 10.1016/j.msec.2017.04.116

5. Beneke C.E., Viljoen A.M., & Hamman J.H. Polymeric plant-derived excipients in drug delivery. *Molecules*, 2009, vol. 14(7), pp. 2602–2620. DOI: 10.3390/molecules14072602
6. Bong P.H. Spectral and photophysical behaviors of curcumin and curcuminoids. *Bulletin of the Korean Chemical Society*, 2000, vol. 21(1), pp. 81–86.
7. Chen T., Zhang M., Bhandari B., Yang Z. Micronization and nanosizing of particles for an enhanced quality of food: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 2018, vol. 58 (6), pp. 993–1001. DOI: 10.1080/10408398.2016.1236238
8. Jingyi Xue, Yangchao Luo. Protein-polysaccharide nanocomplexes as nanocarriers for delivery of curcumin: a comprehensive review on preparation methods and encapsulation mechanisms. *Journal of Future Foods*, 2023, vol. 3(2), pp. 99–114. DOI: 10.1016/j.jfutfo.2022.12.002
9. Joshi J.T. A review on micronization techniques. *J. Pharmaceut. Sci. Technol.*, 2011, vol. 3 (7), pp. 651–681.
10. Mansouri K., Rasoulpoor S., Daneshkhah A. et al. Clinical effects of curcumin in enhancing cancer therapy: a systematic review. *BMC Cancer*, 2020, vol. 20, pp. 1–11. DOI: 10.1186/s12885-020-07256-8
11. Muvhulawa N., Dlodla P., Ziqubu K. et al. Rutin ameliorates inflammation and improves metabolic function: A comprehensive analysis of scientific literature. *Pharmacological Research*, 2022, vol. 178, p. 106163. DOI: 10.1016/j.phrs.2022.106163
12. Potoroko I.Yu., Kalinina I.V., Naumenko N.V., Fatkullin R.I., Nenasheva A.V., Uskova D.G., Sonawane S.H., Ivanova D.G., Velyamov M.T. Sonochemical Micronization of Taxifolin Aimed at Improving Its Bioavailability in Drinks for Athletes. *Human. Sport. Medicine*, 2018, vol. 18, no. 3, pp. 90–100. DOI: 10.14529/hsm180309
13. Rotimi D.E., Elebiyo T.C., Ojo O.A. Therapeutic potential of rutin in male infertility: A mini review. *Journal of Integrative Medicine*, 2023. DOI: 10.1016/j.joim.2023.01.004
14. Rodri'guez-Meizoso I., Plaza M. Particle formation of food ingredients by supercritical fluid technology. *High Pressure Fluid Technology for Green Food Processing*, 2015, pp. 155–183. DOI: 10.1007/978-3-319-10611-3_5
15. Saharan P., Bhatt D., Saharan S.P., Bahmani K. The study the effect of polymer and surfactant concentration on characteristics of nanoparticle formulations. *Der Pharmacia Lettre*, 2015, vol. 7 (12), pp. 365–371.
16. Wong K.H., Lu A., Chen X., Yang Z. Natural ingredient-based polymeric nanoparticles for cancer treatment. *Molecules*, 2020, vol. 25, p. 3620. DOI: 10.3390/molecules25163620

Информация об авторах

Фаткуллин Ринат Ильгидарович, кандидат технических наук, доцент кафедры пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, 5792687@mail.ru

Брызгалова Анна Дмитриевна, лаборант-исследователь УНИД, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, annabryz2002@gmail.com

Науменко Екатерина Евгеньевна, лаборант-исследователь УНИД, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, 9193122375@mail.ru

Information about the authors

Rinat I. Fatkullin, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, 5792687@mail.ru

Anna D. Bryzgalova, laboratory researcher at UNID, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, annabryz2002@gmail.com

Ekaterina E. Naumenko, laboratory researcher UNID, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, 9193122375@mail.ru

Статья поступила в редакцию 20.11.2022

The article was submitted 20.11.2022