

НОВЫЕ ПОДХОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСТИТЕЛЬНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ ДЛЯ СПОРТИВНОГО ПИТАНИЯ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ COVID-19

Р.И. Фаткуллин¹, В.В. Ботвинникова², И.В. Калинина¹,
А.В. Ненашева¹, А.К. Васильев¹, Н.В. Науменко¹

¹Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия,

²ИЛ «Тест-Пушино», г. Пушино, Россия

Цель: оценка возможности использования технологий инкапсуляции для повышения биодоступности и биоактивности растительных антиоксидантов, а также перспектив использования полученных комплексов для регулирования окислительно-восстановительного гомеостаза в клетках организма спортсменов и возможности снижения негативных последствий, вызванных инфекцией SARS-CoV-2. **Материалы и методы.** В качестве растительных антиоксидантов использовали полифенолы: таксифолин и рутин в исходном и инкапсулированном виде с применением технологии комплексной коацервации в систему «желатин – пектин» и конъюгации в β-циклодекстрин. Для оценки эффективности выбранных подходов инкапсуляции были определены антиоксидантная активность (методом DPPH, %), эффективность инкапсуляции, индексы биодоступности и биоактивности в системе переваривания *in vitro*. **Полученные результаты.** Установлено, что инкапсулированные комплексы таксифолина и рутина характеризуются более высокими значениями индексов биодоступности и биоактивности, что дает возможность предположить более высокую эффективность их доставки в системы организма человека. **Заключение.** Полученные результаты позволяют дать высокую прогностическую оценку эффективности полученных комплексов полифенолов в регулировании окислительно-восстановительного гомеостаза в клетках организма спортсменов для минимизации риска окислительного стресса и снижения негативных последствий, вызванных инфекцией SARS-CoV-2.

Ключевые слова: окислительный стресс, пандемия COVID-19, растительные антиоксиданты, инкапсуляция, индексы биодоступности и биоактивности.

Введение. Тяжелый острый респираторный синдром – коронавирус-2 (SARS-CoV-2), возникший в конце декабря 2019 года на территории КНР и впоследствии распространившийся по всей планете, стал причиной пандемии COVID-19 с плохо изученным патогенозом [11].

Согласно недавним исследованиям, важным фактором, отягчающим негативные последствия, вызванные инфекцией SARS-CoV-2 (так называемый постковидный синдром) у некоторых пациентов, является окислительный стресс [7]. Патогенез заболевания может быть результатом каскада апоптоза, индуцированного окислительным стрессом, что, как следствие, приводит к увеличению активных форм кислорода (АФК) и / или снижению антиоксидантной активности. Нарушение внутриклеточного окислительно-восстановитель-

ного гомеостаза определяет необратимые окислительные модификации липидов, белков или ДНК [10]. В этой связи в особую группу риска попадают спортсмены и люди с высоким уровнем физической активности.

Интенсивные физические нагрузки провоцируют повышение потребления кислорода *in vivo*, что приводит к образованию АФК [13]. Свободные радикалы вырабатываются во время аэробного метаболизма клеток и играют ключевую роль в качестве регуляторных сигнальных посредников. Нарушение баланса между образованием АФК и адекватными триггерами антиоксидантной защиты обуславливает процесс окислительного стресса в организме человека [4–6]. Изменение окислительно-восстановительного гомеостаза в клетках является одним из ключевых событий, связанных с возможным инфицированием рес-

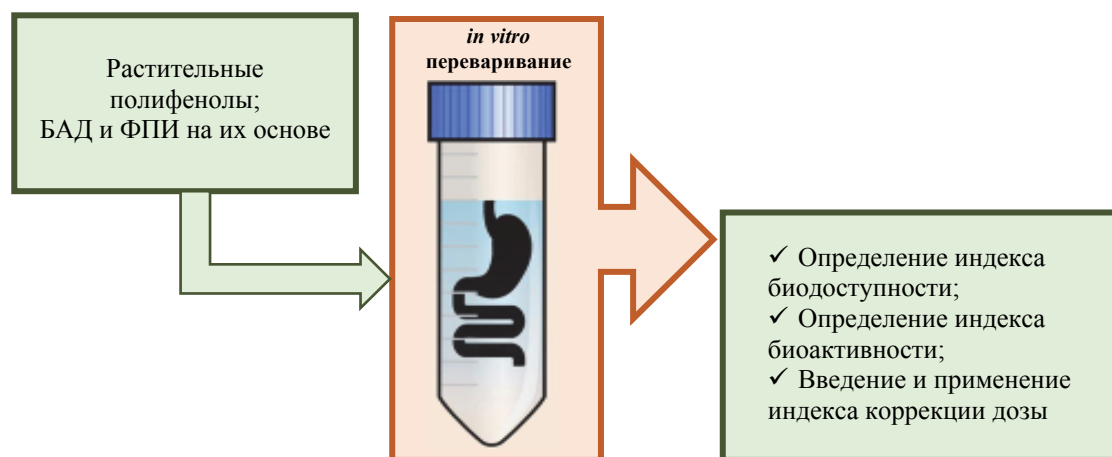


Рис.1. Оценка биодоступности и биоактивности БАВ, БАД и ФПИ с использованием метода переваривания *in vitro*
Fig.1. Bioavailability and bioactivity of BAS, BAA and FFI (*in vitro* digestion model)

пираторными вирусами различной этиологии, в том числе коронавирус-2 (SARS-CoV-2), обуславливающими воспалительные процессы и последующее повреждение тканей [15, 17].

Многие авторы указывают на то, что укрепление иммунной системы путем включения природных антиоксидантов, витаминов и минеральных веществ в рацион питания играет важную роль в борьбе с COVID-19, так как позволяет уменьшить интенсивность воспалений и окислительный стресс [14, 17, 21].

Включение в рационы питания растительных полифенолов с целью усиления иммунного отклика в организме человека на агрессивные факторы внешней и внутренней среды привлекает все больший интерес для индустрии биологически активных добавок (БАД) и функциональных пищевых ингредиентов (ФПИ).

Вместе с тем для этих биологически активных веществ (БАВ) остро встает вопрос необходимости обеспечения высокого уровня их биодоступности и биоактивности, о чем свидетельствуют результаты исследований, опубликованных нами ранее [1–3, 18, 19].

Многочисленные исследования, проводимые учеными разных стран, при общей оценке эффективности БАД или ФПИ доказывают необходимость оценки уровня биодоступности и биоактивности этих веществ после процесса пищеварения [5, 8, 9, 18]. Термины биодоступность и биоактивность БАВ, согласно подходу, предложенному M.J. Rodríguez-Roque [22], характеризуются количеством БАВ, которое выдерживает процесс пищеварения, и, таким образом, биоак-

тивный компонент становится доступным для абсорбции, а также способен сохранять свои биоактивные свойства после процесса пищеварения (рис. 1).

Изучение биодоступности и биоактивности представляет большой интерес для предварительной оценки (на стадии доклинических исследований) функциональных свойств и эффективности как отдельных БАВ, так и ФПИ и БАД на их основе.

Целевая доставка биоактивных веществ в соответствующие отделы организма человека может быть обеспечена при использовании методов инкапсуляции. В этом случае биоактивное соединение представляет собой ядро, окруженное материалом стенки. При выборе материалов для инкапсуляции предпочтение отдается природным биополимерам, в том числе белкам и полисахаридам.

Целью настоящего исследования стало изучение возможности использования технологий инкапсуляции природных полифенолов для повышения их биодоступности и биоактивности с целью обеспечения эффективности в системах организма людей с высокими физическими нагрузками.

Материалы и методы. В рамках настоящего исследования в качестве БАВ были выбраны полифенолы рутин и таксифолин, как наиболее изученные растительные антиоксиданты, перспективные для использования в качестве функциональных пищевых ингредиентов при производстве специализированных пищевых продуктов для спортивного питания. Для данных соединений установлен обширный перечень фармакологических эффектов,

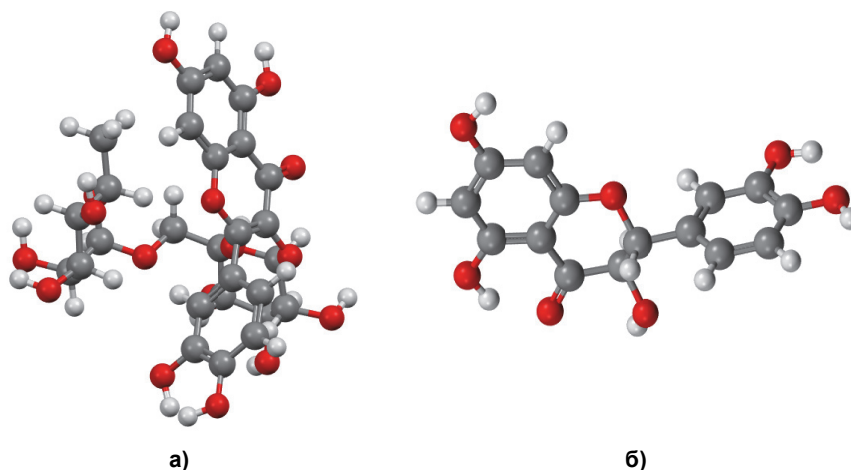


Рис. 2. Пространственная структура молекул рутина (а) и таксифолина (б) [12]
Fig. 2. The spatial structure of rutin (a) and taxifolin (b) molecules

определяющих возможность их использования в качестве БАД или функциональных пищевых ингредиентов для борьбы с оксидативным стрессом.

Молекулярная структура соединений представлена на рис. 2.

В качестве вспомогательных веществ для инкапсуляции использовали:

β-циклодекстрин (*β*CD) пищевой (E459) был приобретен в ООО «Кемикал Лайн»; желатин говяжий, изготовитель Dr.Oetker; пектин цитрусовый, изготовитель Valde.

Технологии и условия инкапсуляции

Инкапсуляцию полифенолов в *β*CD проводили при соотношении компонентов 3:1 по молярной массе. Навески соответствующих количеств таксифолина или рутина растворяли в установленном количестве растворителя (40%-ный водно-этанольный раствор), вносили соответствующее количество *β*CD и вымешивали при скорости 200 об/мин в течение 3 ч при температуре 40 °С.

Инкапсуляцию методом комплексной коацервации проводили путем внесения таксифолина или рутина в установленном количестве 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.

Методы исследования. Полученные в ходе инкапсуляции суспензии таксифолина и рутина оценивали в сопоставлении с исход-

ным видом по следующим показателям при использовании описанных методов:

Общая антиоксидантная (антирадикальная) активность определялась методом DPPH (%) по модификации [23]. Использовали метанольный раствор DPPH 60 мкМ, 1 мл которого смешивали с 1 мл исследуемого раствора, инкубировали в темноте в течение 30 мин. Поглощение измеряли спектрофотометрически при 515 нм.

АОА рассчитывали по формуле

$$AOA = \frac{1 - (D_i - D_j)}{D_c} \times 100, \quad (1)$$

где D_i – оптическая плотность исследуемого раствора; D_j – оптическая плотность контрольного раствора DPPH с метанолом; D_c – оптическая плотность раствора DPPH.

Эффективность инкапсуляции определяли как отношение БАВ, инкапсулированных к количеству БАВ, оставшемуся на поверхности капсул.

Эффективность инкапсуляции в % рассчитывали по формуле

$$ЭИ (\%) = \frac{X_1 - X_0}{X_2} \times 100, \quad (2)$$

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

Потенциальная биодоступность и биоактивность – на основе определения индекса биодоступности ($I_{БД}$) и биоактивности ($I_{БА}$) по методике [12, 16, 22].

Использование моделирования процесса

переваривания *in vitro* проходило последовательно в две фазы:

1-я фаза – фаза желудка (рН 2,5, фермент пепсин свиной, температура 37 °С, 2 ч);

2-я фаза – фаза тонкого кишечника (рН 6,5–7, ферменты панкреатин и липаза, температура 37 °С, 2 ч).

В полученном фильтрате определяется количество БАВ и АОА (DPPH, %).

Индекс биодоступности ($I_{БД}$, %) рассчитывали по формуле

$$I_{БД} = \frac{K_{кон}}{K_{исх}} \times 100, \quad (3)$$

где $K_{кон}$ – концентрация БАВ после процесса переваривания *in vitro*; $K_{исх}$ – концентрация БАВ в исследуемом растворе до процесса переваривания.

Индекс биоактивности ($I_{БА}$, %) рассчитывали по формуле

$$I_{БА} = \frac{AOA_{кон}}{AOA_{исх}} \times 100, \quad (4)$$

где $AOA_{кон}$ – АОА (DPPH, %) БАВ после процесса переваривания *in vitro*; $AOA_{исх}$ – АОА (DPPH, %) БАВ в исследуемом растворе до процесса переваривания.

Результаты исследования и их обсуждение. Оценка эффективности инкапсуляции полифенолов показала, что использование β CD наиболее целесообразно для инкапсуляции таксифолина, значение эффективности инкапсуляции составило 76,4 %. Для рутина такой подход к инкапсуляции показал эффективность лишь 54,6 %, что, вероятно, объясняется более крупными размерами молекулы

рутина и несоответствием ее размерам полости β CD. Инкапсуляция как таксифолина, так и рутина методом комплексной коацервации показала более высокие значения эффективности инкапсуляции: для таксифолина – 79,3 %, для рутина – 71,7 %.

Для определения эффективности выбранных технологий инкапсуляции проводили оценку их влияния на биологическую (антиоксидантную) активность таксифолина и рутина. Исследования показали, что процесс инкапсуляции снижает значения антиоксидантной активности БАВ, определяемые химическим методом (методом DPPH, %) (рис. 3). Значения показателя общей АОА (DPPH, %) таксифолина, инкапсулированного в β CD, снизились на 18,1 % по отношению к исходному образцу, для рутина – на 14,2 %. Это может быть объяснено экранировкой части ОН-групп полифенолов при формировании конъюгатов с β CD и коацерватов в системе «желатин – пектин». В результате экранирования функциональных ОН-групп полифенолов они не приняли участия в реализации антиоксидантного эффекта при использовании метода DPPH. Это подтверждают и исследования, проведенные нами ранее [3, 18, 19].

При использовании технологии комплексной коацервации значения антиоксидантной активности БАВ снизились более чем на 50 % по отношению к антиоксидантной активности исходных веществ: для таксифолина – на 55,3 %, для рутина – на 52,0 %. Такое снижение АОА для полифенолов, инкапсулиро-

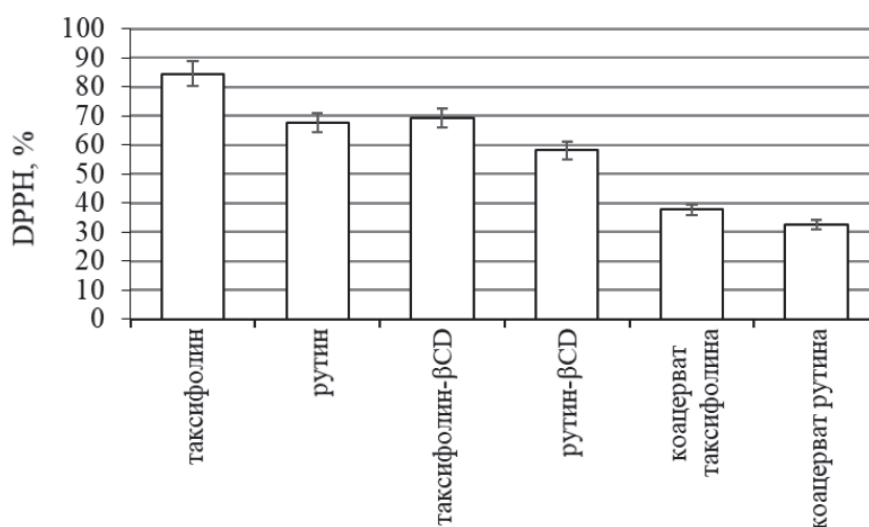


Рис. 3. АОА (DPPH, %) водных растворов (0,01 %) исходных и инкапсулированных полифенолов
 Fig. 3. The AOA (DPPH, %) of original and encapsulated polyphenols in water solution (0.01%)

ванных методом коацервации, могут быть обусловлены тем, что комплексная защитная оболочка из желатина и пектина при коацервации полностью покрывает биологически активное вещество, не позволяя ему вступать в реакцию с DPPH-реактивом. АОА полученных коацерватов, вероятно, сформирована за счет неинкапсулированных БАВ, оставшихся на поверхности комплексов.

На следующем этапе исследований была определена потенциальная биодоступность исходных полифенолов и их инкапсулированных комплексов с использованием модели

переваривания *in vitro*. Результаты определения индексов биодоступности и биоактивности представлены на рис. 4.

Рассматривая процессы инкапсуляции с точки зрения их влияния на биологические эффекты образующихся комплексов, большинство исследователей доказывают, что технологии инкапсуляции способствуют сохранности полифенолов в процессе пищеварения, обеспечивая более эффективную их доставку в организм человека [2, 20, 24, 25]. Согласно данным литературы снижение антиоксидантной активности в результате *in vitro*

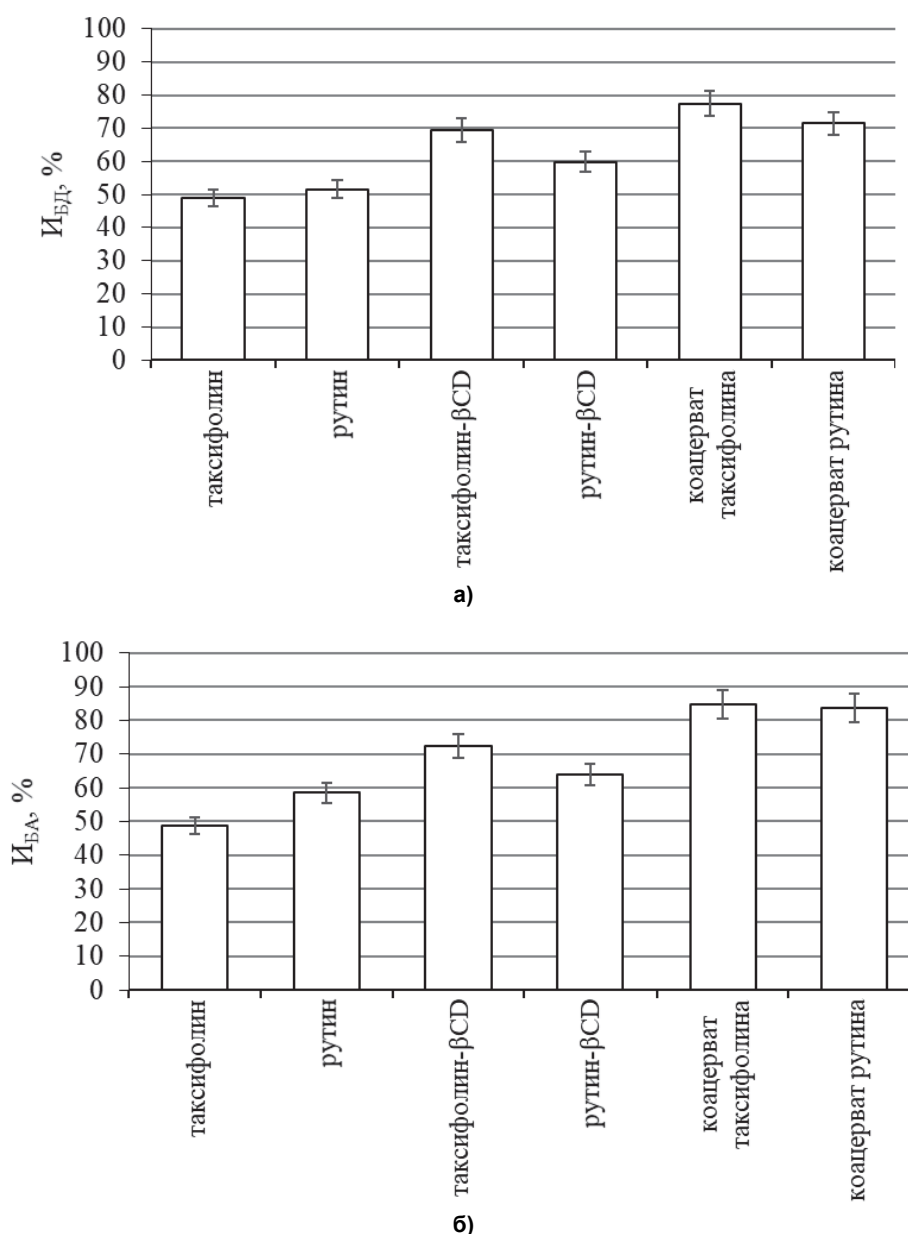


Рис. 4. Потенциальная биодоступность и биоактивность водных растворов (0,01%) исходных и инкапсулированных полифенолов (а – I_{БД}; б – I_{БА})

Fig. 4. Potential bioavailability and bioactivity of original and encapsulated polyphenols (a – I_{БД}; б – I_{БА}) in water solution (0.01%)

переваривания в первую очередь зависит от класса фенольного соединения, его устойчивости к воздействию pH, ферментов и склонности к структурным превращениям, которые приводят к образованию метаболитов с различными химическими свойствами и, как правило, с более низкой биоактивностью [2, 20, 25].

Проведенные исследования показали, что после процедуры переваривания *in vitro* потенциальная биодоступность и биоактивность (выраженные соответствующими индексами) исходных форм полифенолов снижаются значительно. Вместе с тем использование технологий инкапсуляции позволяет в значительной степени обеспечить как сохранность количества БАВ, так и их антиоксидантных свойств. Наибольшую же эффективность с точки зрения сохранения потенциальной биодоступности и биоактивности показала технология коацервации, которая позволила обеспечить значения $I_{БД}$ и $I_{БА}$ для полифенолов в диапазоне 70–83 %, а значит, предотвратить процессы окислительной деградации БАВ при пищеварении, снизить уровень их атакуемости ферментами.

Заключение. Таким образом, представленные материалы и исследования продемонстрировали эффективность и целесообразность использования технологий инкапсуляции полифенолов для увеличения их биодоступности, биоактивности и возможности более эффективной доставки БАВ в системы организма человека.

Это, в свою очередь, позволяет дать высокую прогностическую оценку эффективности полученных комплексов в регулировании окислительно-восстановительного гомеостаза в клетках организма спортсмена и снижении негативных последствий, вызванных инфекцией SARS-CoV-2.

Вместе с тем для полноценной оценки эффективности инкапсулированных комплексов полифенолов требуется проведение исследований по расширенной номенклатуре показателей, в том числе клинических испытаний.

Статья выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-3690.2021.5.

Литература

1. Головина, Е.Ю. Содержание антиоксидантов в листьях некоторых растений семейства бобовые г. Калининграда / Е.Ю. Головина, Т.А. Брахнова // Тез. докл. VIII Междунар. конф. «Биоантиоксидант». Москва, 4–6 окт. 2010 г. – М.: РУДН, 2010. – 558 с.

2. 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.

3. Клышев, Л.К. Флавоноиды растений (распространение, физико-химические свойства, методы исследования) / Л.К. Клышев, В.А. Бандюкова, Л.С. Алюкина. – Алма-Ата: Наука, 1978. – 220 с.

4. Микроструктурирование пищевых ингредиентов для обеспечения их биодоступности в составе пищевых систем / А.В. Паймулина, И.Ю. Потороко, Н.В. Науменко, Е.Е. Науменко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2021. – Т. 9, № 1. – С. 15–23. DOI: 10.14529/food210102

5. Фаткуллин, Р.И. Теоретические аспекты взаимодействия растительных полифенолов с макромолекулами в функциональных пищевых системах / Р.И. Фаткуллин, И.Ю. Потороко, И.В. Калинина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2021. – Т. 9, № 1. – С. 82–90. DOI: 10.14529/food210109

6. Шатилов, А.В. Роль антиоксидантов в организме в норме и при патологии / А.В. Шатилов, О.Г. Богданова, А.В. Коробов // Ветеринарная патология. – 2007. – № 2. – С. 207–211.

7. Beltrán-García, J. Oxidative stress and inflammation in COVID-19-associated sepsis: the potential role of anti-oxidant therapy in avoiding disease progression / J. Beltrán-García // Antioxidants. – 2020. – Vol. 9 (10). – P. 936.

8. Bouayed, J. Bioaccessible and dialysable polyphenols in selected apple varieties following *in vitro* digestion vs. their native patterns / J. Bouayed, H. Deußer, L. Hoffmann, T. Bohn // Food Chemistry. – 2012. – Vol. 131 (4). – P. 1466–1472.

9. Chen, G.-L. Total phenolic, flavonoid

and antioxidant activity of 23 edible flowers subjected to *in vitro* digestion / G.-L. Chen, S.-G. Chen, Y.-Q. Xie et al. // *Journal of Functional Foods*. – 2015. – Vol. 17. – P. 243–259.

10. Circu, M.L. Reactive oxygen species, cellular redox systems, and apoptosis / M.L. Circu, T.Y. Aw // *Free Radic Biol Med*. – 2010. – Vol. 48 (6). – P. 749–762.

11. Dos, W.G. Santos Natural history of COVID-19 and current knowledge on treatment therapeutic options / W.G. Dos // *Biomed Pharmacother*. – 2020. – Vol. 129. – P. 110493.

12. FoodDB [Electronic resource]. – <http://foodb.ca>.

13. Hur, S.J. *In vitro* human digestion models for food applications / S.J. Hur, B.O. Lim, E.A. Decker, D.J. McClements // *Food Chemistry*. – 2011. – Vol. 125 (1). – P. 1–12.

14. Iddir, M. Strengthening the immune system and reducing inflammation and oxidative stress through diet and nutrition: considerations during the COVID-19 crisis / M. Iddir // *Nutrients*. – 2020. – Vol. 12 (6).

15. Khomich, O.A. Redox biology of respiratory viral infections / O.A. Khomich // *Viruses*. – 2018. – Vol. 10 (8). – P. 392.

16. Lorrain, B. Dietary iron-initiated lipid oxidation and its inhibition by polyphenols in gastric conditions / B. Lorrain, O. Dangles, M. Loonis et al. // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2012. – Vol. 60. – P. 9074–9081.

17. Ntyonga-Pono, M.P. COVID-19 infection and oxidative stress: an under-explored approach for prevention and treatment? / M.P. Ntyonga-Pono // *Pan Afr Med J*. – 2020. – Vol. 35 (Suppl. 2). – P. 12.

18. Potoroko, I.Yu. Sonochemical Micronization of Taxifolin Aimed at Improving Its Bioavailability in Drinks for Athletes / I.Yu. Potoroko, I.V. Kalinina, N.V. Naumenko et al. // *Human. Sport. Medicine*. – 2018. – Vol. 18, no. 3. – P. 90–100. DOI: 10.14529/hsm180309

19. Potoroko, I.U. Possibilities of Regulating Antioxidant Activity of Medicinal Plant Extracts / I.U. Potoroko, I.V. Kalinina, N.V. Naumenko et al. // *Human. Sport. Medicine*. – 2017. – Vol. 17, no. 4. – P. 77–90. DOI: 10.14529/hsm170409

20. Ravi, G.S. Mathias Nano-lipid complex of rutin: Development, characterisation and *in vivo* investigation of hepatoprotective, antioxidant activity and bioavailability study in rats / G.S. Ravi, R.N. Charyulu, A. Dubey et al. // *AAPS PharmSciTech*. – 2018. – Vol. 19. – P. 3631–3649.

21. Rahimi, B. Coronavirus and its effect on the respiratory system: is there any association between pneumonia and immune cells / B. Rahimi, A. Vesal, M. Edalatifard // *J Fam Med Prim Care*. – 2020. – Vol. 9 (9). – P. 4729–4735.

22. Rodríguez-Roque, M.J. Impact of food matrix and processing on the *in vitro* bioaccessibility of vitamin C, phenolic compounds, and hydrophilic antioxidant activity from fruit juice-based beverages / M.J. Rodríguez-Roque, B. de Ancos, C. Sánchez-Moreno et al. // *Journal of Functional Foods*. – 2015. – Vol. 14. – P. 33–43.

23. Sui, X. Changes in the color, chemical stability and antioxidant capacity of thermally treated anthocyanin aqueous solution over storage / X. Sui, S. Bary, W. Zhou // *Food Chemistry*. – 2016. – Vol. 192. – P. 516–524.

24. Yada, R.Y. Engineered nanoscale food ingredients: evaluation of current knowledge on material characteristics relevant to uptake from the gastrointestinal tract / R.Y. Yada, N. Buck, R. Canady et al. // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2014. – Vol. 13. – P. 730–744.

25. Yang, L.-J. Host-guest system of nimbin and β -cyclodextrin or its derivatives: Preparation, characterization, inclusion mode, and solubilization / L.-J. Yang, B. Yang, W. Chen et al. // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2010. – Vol. 58. – P. 8545–8552.

Фаткуллин Ринат Ильгидарович, кандидат технических наук, доцент кафедры пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76. E-mail: fatkullinri@susu.ru, ORCID: 0000-0002-1498-0703.

Ботвинникова Валентина Викторовна, кандидат технических наук, руководитель отдела качества ИЛ «Тест-Пушино». 142290, Московская область г. Пушкино, ул. Грузовая, 1г. E-mail: vasens_b@mail.ru, ORCID: 0000-0003-1085-5099.

Калинина Ирина Валерьевна, доктор технических наук, профессор кафедры пищевых и биотехнологий, доцент, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76. E-mail: kalininaiv@susu.ru, ORCID: 0000-0002-6246-9870.

Ненашева Анна Валерьевна, доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой теории и методики физической культуры и спорта, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76. E-mail: nenashevaav@susu.ru, ORCID: 0000-0001-7579-0463.

Васильев Андрей Константинович, магистрант кафедры пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76. E-mail: mbz2018vak72@susu.ru, ORCID: 0000-0001-8481-7656.

Науменко Наталья Владимировна, доктор технических наук, доцент кафедры пищевых и биотехнологий, доцент, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76. E-mail: naumenkonv@susu.ru, ORCID: 0000-0002-9520-3251.

Поступила в редакцию 24 сентября 2021 г.

DOI: 10.14529/hsm210420

NEW APPROACHES TO PLANT ANTIOXIDANTS FOR SPORTS NUTRITION IN THE COVID-19 PANDEMIC

R.I. Fatkullin¹, fatkullinri@susu.ru, ORCID: 0000-0002-1498-0703,
V.V. Botvinnikova², vasens_b@mail.ru, ORCID: 0000-0003-1085-5099,
I.V. Kalinina¹, kalininaiv@susu.ru, ORCID: 0000-0002-6246-9870,
A.V. Nenasheva¹, nenashevaav@susu.ru, ORCID: 0000-0001-7579-0463,
A.K. Vasilev¹, mbz2018vak72@susu.ru, ORCID: 0000-0001-8481-7656,
N.V. Naumenko¹, naumenkonv@susu.ru, ORCID: 0000-0002-9520-3251

¹South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,

²Test Pushchino LLC, Pushchino, Russian Federation

Aim. The paper aims to assess the prospects for the use of encapsulation technologies for improving bioavailability and bioactivity of plant antioxidants; to assess the prospects for the use of the materials obtained in the regulation of redox homeostasis in athletes and the reduction of SARS-CoV-2 complications. **Materials and methods.** Taxifolin and rutin in their original and encapsulated forms were used as plant antioxidants. Encapsulation was performed by gelatin-pectin complex coacervation and conjugation to β -cyclodextrin. The effectiveness of encapsulation technologies was assessed with the data of antioxidant activity (DPPH method, %) and bioavailability and bioactivity indices (*in vitro* digestion model). **Results.** It was found that encapsulated complexes of taxifolin and rutin were characterized by higher values of bioavailability and bioactivity. According to these findings it is possible to assume that encapsulated complexes have higher effectiveness in terms of antioxidant delivery. **Conclusion.** The results obtained confirm high effectiveness of the abovementioned polyphenol complexes in the regulation of redox homeostasis in athletes and the reduction of risk of oxidative stress and SARS-CoV-2 complications.

Keywords: oxidative stress, COVID-19 pandemic, plant antioxidants, encapsulation, bioavailability and bioactivity.

References

1. Golovina E.Yu., Brakhnova T.A. [The Content of Antioxidants in the Leaves of Some Plants of the Legume Family in Kaliningrad]. *Tezisy докладov VIII mezhdunarodnoy konferentsii "Bioantioksidant"* [Abstracts of the VIII International Conference Bioantioxidant], 2010, 558 p. (in Russ.)
2. Kalinina I.V., Potoroko I.Yu., Fatkullin R.I. et al. [Increase in the Bioactivity of Dihydroquercetin Based on Ultrasonic Micronization]. *Tekhnologiya i tovarovedeniye innovatsionnykh pishchevykh produktov* [Technology and Commodity Research of Innovative Food Products], 2019, no. 1 (54), pp. 27–33. (in Russ.)

3. Klyshev L.K., Bandyukova V.A., Alyukina L.S. *Flavonoidy rasteniy (rasprostraneniye, fiziko-khimicheskiye svoystva, metody issledovaniya)* [Plant Flavonoids (Distribution, Physicochemical Properties, Research Methods)]. Alma-Ata, Science Publ., 1978. 220 p.
4. Paymulina A.V., Potoroko I.Yu., Naumenko N.V., Naumenko E.E. Microstructuring of Food Ingredients to Ensure Their Bioavailability in Food Systems. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2021, vol. 9, no. 1, pp. 15–23. DOI: 10.14529/food210102
5. 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. DOI: 10.14529/food210109
6. Shatilov A.V., Bogdanova O.G., Korobov A.V. [The Role of Antioxidants in the Body in Health and Disease]. *Veterinarnaya patologiya* [Veterinary Pathology], 2007, no. 2, pp. 207–211. (in Russ.)
7. Beltrán-García J. Oxidative Stress and Inflammation in COVID-19-Associated Sepsis: the Potential Role of Anti-Oxidant Therapy in Avoiding Disease Progression. *Antioxidants*, 2020, vol. 9 (10), p. 936. DOI: 10.3390/antiox9100936
8. Bouayed J., Deußler H., Hoffmann L., Bohn T. Bioaccessible and Dialysable Polyphenols in Selected Apple Varieties Following in Vitro Digestion, Their Native Patterns. *Food Chemistry*, 2012, vol. 131 (4), pp. 1466–1472. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.10.030
9. Chen G.-L., Chen S.-G., Xie Y.-Q. Total Phenolic, Flavonoid and Antioxidant Activity of 23 Edible Flowers Subjected to in Vitro Digestion. *Journal of Functional Foods*, 2015, vol. 17, pp. 243–259. DOI: 10.1016/j.jff.2015.05.028
10. Circu M.L., Aw T.Y. Reactive Oxygen Species, Cellular Redox Systems, and Apoptosis. *Free Radic Biol Med*, 2010, vol. 48 (6), pp. 749–762. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2009.12.022
11. Dos W.G. Santos Natural History of COVID-19 and Current Knowledge on Treatment Therapeutic Options. *Biomed Pharmacother*, 2020, vol. 129, p. 110493. DOI: 10.1016/j.biopha.2020.110493
12. Foo D.B. Available at: <http://foodb.ca>.
13. Hur S.J., Lim B.O., Decker E.A., McClements D.J. In Vitro Human Digestion Models for Food Applications. *Food Chemistry*, 2011, vol. 125 (1), pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.08.036
14. Iddir M. Strengthening the Immune System and Reducing Inflammation and Oxidative Stress Through Diet and Nutrition: Considerations During the COVID-19 Crisis. *Nutrients*, 2020, vol. 12 (6). DOI: 10.3390/nu12061562
15. Khomich O.A. Redox Biology of Respiratory Viral Infections. *Viruses*, 2018, vol. 10 (8), p. 392. DOI: 10.3390/v10080392
16. Lorrain B., Dangles O., Loonis M. et al. Dietary Iron-Initiated Lipid Oxidation and Its Inhibition by Polyphenols in Gastric Conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, vol. 60, pp. 9074–9081. DOI: 10.1021/jf302348s
17. Ntyonga-Pono M.P. COVID-19 Infection and Oxidative Stress: an Under-Explored Approach for Prevention and Treatment? *Pan Afr Med J*, 2020, vol. 35, suppl. 2, 12 p. DOI: 10.11604/pamj.2020.35.2.22877
18. Potoroko I.Yu., Kalinina I.V., Naumenko N.V. et al. 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
19. Potoroko I.U., Kalinina I.V., Naumenko N.V. et al. Possibilities of Regulating Antioxidant Activity of Medicinal Plant Extracts. *Human. Sport. Medicine*, 2017, vol. 17, no. 4, pp. 77–90. DOI: 10.14529/hsm170409
20. Ravi G.S., Charyulu R.N., Dubey A. et al. Mathias Nano-Lipid Complex of Rutin: Development, Characterisation and in Vivo Investigation of Hepatoprotective, Antioxidant Activity and Bioavailability Study in Rats. *AAPS PharmSciTech*, 2018, vol. 19, pp. 3631–3649. DOI: 10.1208/s12249-018-1195-9
21. Rahimi B., Vesal A., Edalatfard M. Coronavirus and Its Effect on the Respiratory System: is there any Association Between Pneumonia and Immune Cells. *J Fam Med Prim Care*, 2020, vol. 9 (9), pp. 4729–4735. DOI: 10.4103/jfmprc.jfmprc_763_20

22. Rodríguez-Roque M.J., de Ancos B., Sánchez-Moreno C. et al. Impact of Food Matrix and Processing on the in Vitro Bioaccessibility of Vitamin C, Phenolic Compounds, and Hydrophilic Antioxidant Activity From Fruit Juice-Based Beverages. *Journal of Functional Foods*, 2015, vol. 14, pp. 33–43. DOI: 10.1016/j.jff.2015.01.020

23. Sui X., Bary S., Zhou W. Changes in the Color, Chemical Stability and Antioxidant Capacity of Thermally Treated Anthocyanin Aqueous Solution Over Storage. *Food Chemistry*, 2016, vol. 192, pp. 516–524. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.07.021

24. Yada R.Y., Buck N., Canady R. et al. Engineered Nanoscale Food Ingredients: Evaluation of Current Knowledge on Material Characteristics Relevant to Uptake From the Gastrointestinal Tract. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2014, vol. 13, pp. 730–744. DOI: 10.1111/1541-4337.12076

25. Yang L.-J., Yang B., Chen W. et al. Host-Guest System of Nimbin and β -Cyclodextrin or Its Derivatives: Preparation, Characterization, Inclusion Mode, and Solubilization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, vol. 58, pp. 8545–8552. DOI: 10.1021/jf101079e

Received 24 September 2021

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Новые подходы обеспечения эффективности растительных антиоксидантов для спортивного питания в условиях пандемии COVID-19 / Р.И. Фаткуллин, В.В. Ботвинникова, И.В. Калинина и др. // Человек. Спорт. Медицина. – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 175–184. DOI: 10.14529/hsm210420

FOR CITATION

Fatkullin R.I., Botvinnikova V.V., Kalinina I.V., Nenasheva A.V., Vasilev A.K., Naumenko N.V. New Approaches to Plant Antioxidants for Sports Nutrition in the Covid-19 Pandemic. *Human. Sport. Medicine*, 2021, vol. 21, no. 4, pp. 175–184. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm210420