

Актуальные проблемы развития пищевых и биотехнологий

УДК 664

DOI: 10.14529/food190101

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ СОЗДАНИЯ ОБОГАЩЕННЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ С ДОКАЗАННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ

И.В. Калинина, И.Ю. Потороко

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Предложена методология получения продуктов для здорового питания с доказанной эффективностью. В последние годы производство пищевых продуктов, обогащенных биологически активными веществами, является одним из наиболее популярных направлений в различных отраслях пищевой промышленности. Вместе с тем, остро стоит вопрос необходимости подтверждения заявленных благоприятных эффектов в результате обогащения продукта. Организация клинических исследований, как правило, сопряжена со значительными финансовыми, временными и трудовыми затратами. В связи с чем возникает потребность в разработке адекватного алгоритма доклинических исследований эффективности пищевых продуктов, обогащенных биологически активными веществами. Особое место в обеспечении доказанной эффективности обогащенного продукта в последнее время отводится конструированию пищевой матрицы и разработке систем доставки биологически активных веществ, таких как микроэмульсии, липосомы, микрогели, наноэмульсии, конъюгаты, микрокластеры и т. д. Несмотря на имеющийся массив данных, связанных с изучением различных систем доставки, остаются нерешенными проблемы установления механизмов химических преобразований при встраивании инкапсулированных биологически активных веществ в пищевую матрицу, их трансляции в клеточные системы организма человека и участие в метаболических процессах, что должно учитываться при оценке эффективности обогащенного продукта. Не менее важно проводить анализ потребительского восприятия обогащенных продуктов, оценивать технологическую доступность их получения, достаточность ресурсного обеспечения. На основании анализа научной литературы нами была предпринята попытка сформировать методологию разработки продукта, обогащенного биологически активными веществами с доказанной эффективностью, которая базируется на комплексном, междисциплинарном подходе к организации доклинических исследований, включая методы *in vitro*, *in silico*, *in vivo*.

Ключевые слова: методология, БАВ, обогащенные продукты питания, доказанная эффективность.

Введение

Применение биологически активных веществ (БАВ) природного происхождения при производстве продуктов питания в последние годы приобретает все большую популярность. Одним из генеральных направлений является извлечение из природных источников БАВ, обладающих выраженным фармакологическим эффектом, и включение их в состав пищевой матрицы. Как правило, БАВ природного происхождения обладают доказанной низкой токсичностью и высокой биосовместимостью как с пищевыми продуктами, так и с организмом человека [1–3].

Вместе с тем, требуется доказательство эффективности обогащенного пищевого продукта, которое может быть получено в резуль-

тате клинических исследований. Однако учитывая, что организация клинических исследований, как правило, сопряжена со значительными финансовыми, временными и трудовыми затратами, возникает потребность в разработке адекватного алгоритма доклинических исследований эффективности пищевых продуктов, обогащенных БАВ. Важно учитывать, что при оценке потенциальной функциональности БАВ его биодоступность в пищевой системе гораздо важнее, чем количественное содержание этого соединения. Но вместе с тем исследований, касающихся биодоступности БАВ в составе пищевой матрицы, в настоящее время недостаточно, а изучение механизмов взаимодействия веществ представляет особый интерес. В некоторых исследованиях показано, что только со-

единения, высвобождаемые из пищевой матрицы и абсорбированные в тонком кишечнике, являются потенциально биодоступными и способными оказывать их благоприятные эффекты [13–15, 21].

Вместе с тем, существует ряд проблем использования БАВ, в том числе флавоноидного ряда, для обогащения продуктов питания, связанный с их низкой растворимостью в воде, высокой температурой плавления, плохой химической стабильностью и низкой биодоступностью. Для решения этой проблемы требуется разработка различных подходов, в том числе конструирование системы пищевого матрикса, позволяющего обеспечить повышение биодоступности БАВ. Уже сегодня активно используются такие системы, как микроэмульсии, липосомы, микрогели, наноэмульсии, конъюгаты, микрокластеры и т. д. [12, 15–19, 22].

Каждая из этих систем имеет свои преимущества и недостатки, которые следует учитывать, поэтому их применимость в качестве системы доставки БАВ требует тщательного изучения с учетом следующих требований:

- система должна быть создана из ингредиентов и с использованием методов обработки, которые являются юридически приемлемым и экономически жизнеспособным;

- система доставки должна быть совместима с пищевой матрицей, т. е. она не должна отрицательно повлиять, внешний вид, реологические свойства, или вкус и срок хранения;

- система доставки должна оставаться стабильной и сохранять свою функциональность при воздействии изменений условий окружающей среды в пределах пищевой матрицы, например, изменения рН, ингредиент взаимодействия, охлаждение, нагрев, обезвоживание и механическое перемешивание;

- система доставки должна иметь функциональные характеристики, подходящие для конкретного продукта, которые могут изменяться, и включает в себя такие характеристики, как улучшение диспергируемости, защиту от химической деградации, вкусовой маскировки, увеличения биологической доступности, или управлений профилем высвобождения [14, 16, 19, 22].

Если система доставки нутриентов внедряется в широкое использование в пищевой промышленности, то важно, чтобы эти факторы тщательно рассматривались на каждом

этапе процесса проектирования и разработки. В связи с чем необходимо установить и изучить механизмы химических преобразований во всех структурных элементах модифицированной пищевой матрицы на этапах от производства продукта до его потребления, а затем транспорта БАВ через клеточные мембраны. Результат эффективности предложенных подходов должен быть доказан.

Несмотря на имеющийся массив данных, связанных с получением и изучением различных систем доставки, в большей части они ориентированы на исследование их применения для доставки БАВ в устойчивом состоянии биоактивности. Практически отсутствуют данные применения систем доставки с инкапсулированными БАВ в технологии обогащения пищи, не описаны механизмы химических преобразований при встраивании инкапсулированных БАВ в пищевую матрикс. Остаются нерешенными проблемы трансляции инкапсулированных в пищевую матрикс БАВ в клеточные системы организма человека, их участие в метаболических процессах.

Известно, что прежде чем оказать какое-либо физиологическое действие, БАВ должны сначала выдержать весь процесс желудочно-кишечного переваривания [13, 20]. Для лучшего понимания потенциальных положительных эффектов биологически активных веществ на здоровье человека, важно определить, как процесс пищеварения влияет на их стабильность и дальнейшее поглощение [12]. Для решения этих задач широко применяются модели пищеварения *in vitro*, которые удобно использовать для прогнозирования биодоступности и биоактивности БАВ, поскольку они отличаются простотой исполнения, экономической доступностью и этической составляющей в сравнении с методами *in vivo* [14, 16].

При проведении обогащения путем технологической модификации продукта, заменяя одни ингредиенты другими или вводя новые, нетипичные составляющие, следует особое внимание обращать на возможное изменение потребительских свойств продукта. В связи с этим проведение технологической модификации следует рассматривать как сложный многоплановый процесс конструирования продукта, который должен обладать заданными полезными свойствами, и в то же время сохранять традиционные потребительские характеристики или приобретать новые, соответствующие ожидаемым [4, 5, 7, 9, 10].

При разработке обогащенных пищевых продуктов не менее важно учитывать восприятие потребителями таких продуктов, технологическую доступность их получения, ресурсное обеспечение и т. д.

На основании анализа научной литературы нами была предпринята попытка сформировать методологию разработки продукта, обогащенного БАВ с доказанной эффективностью (см. рисунок) [17, 19, 22].

Стремясь оптимизировать рационы населения, используя те или иные инновационные подходы в технологиях производства продуктов питания, необходимо осуществлять жесткий контроль их биодоступности и биоактивности, отслеживать пути возможной потери функциональных свойств и минимизировать риски на начальном этапе.

Разработка обогащенных продуктов, получаемых путем использования технологической модификации, должна основываться на результатах моделирования их продвижения на рынке. При этом качество таких продуктов должно выступать решающим параметром, обеспечивающим их устойчивость на потребительском рынке. Использование предложенной методологии и инструментария к ее реализации, на наш взгляд, позволяет подтвердить получение продукта, который может быть позиционирован как продукт здорового питания, предназначенный для массового потребления. Эффективность использования БАВ в технологии пищевых продуктов для обогащения может быть достигнута только на основе комплексного подхода [1, 5, 6, 8, 11].

Таким образом, разработка пищевых продуктов, обогащенных БАВ, является задачей многофакторной и многомерной, требующей интегрированного и зачастую междисциплинарного подхода к ее решению.

В целом, создание обогащенных, в том числе функциональных пищевых продуктов должно предусматривать решение следующих задач:

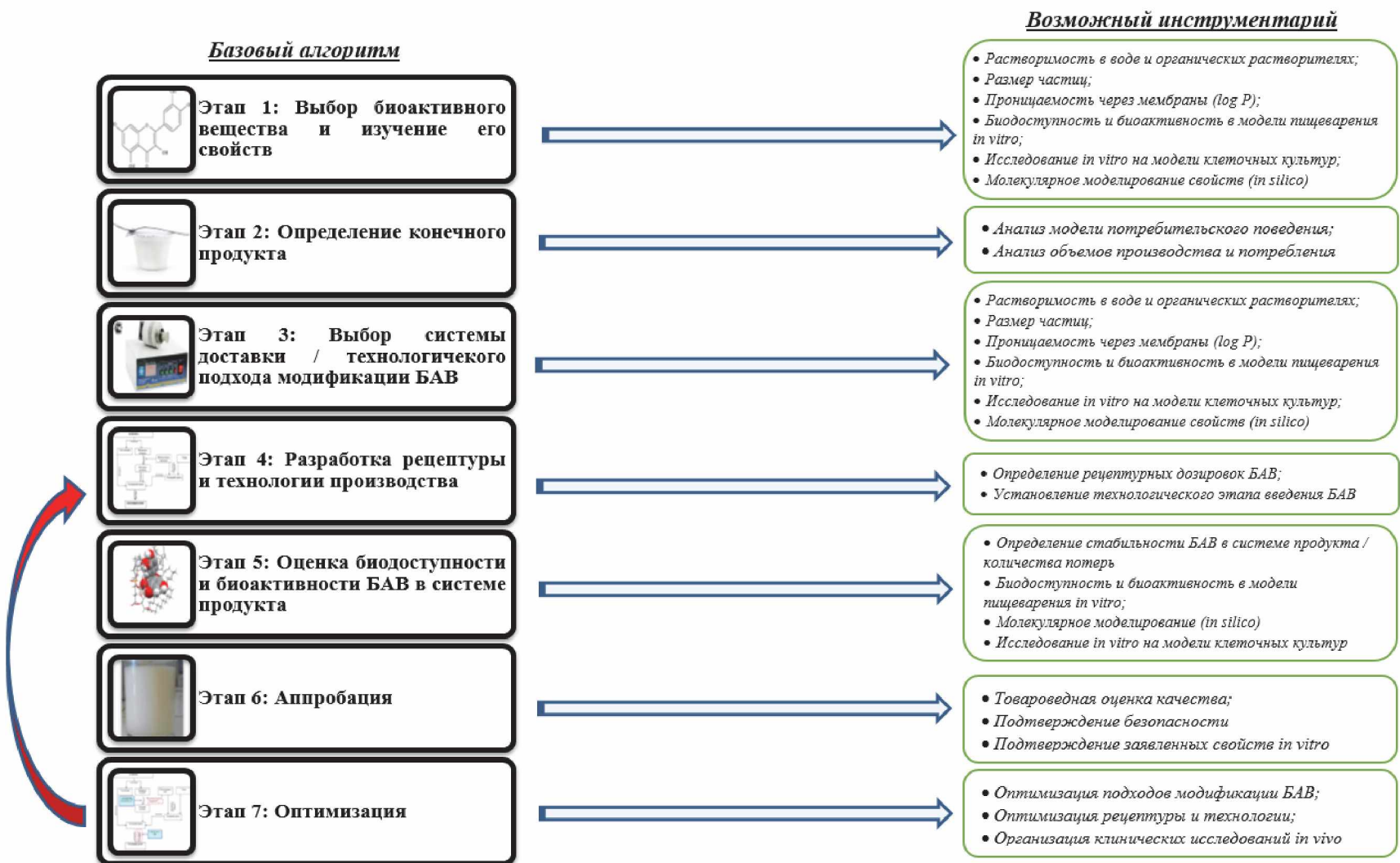
- обеспечение химической и физиологической совместимости всех ингредиентов композиции;
- обеспечение заданного количества функционального пищевого ингредиента в готовом продукте в течение всего срока годности;
- обеспечение проявления заданных физиологически активных свойств продукта в течение всего срока годности;

- обеспечение метаболизма и биотрансформации в организме;
- обеспечение ценовой доступности продукта для широких слоев населения.

Статья выполнена при поддержке Правительства РФ (Постановление №211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.А03.21.0011, при финансовой поддержке государственного задания № 40.8095.2017/БЧ (2017123-ГЗ) и гранта РФФИ 18-53-45015.

Литература

1. Борисенко, А.А. Проектирование сбалансированных поликомпонентных пищевых продуктов на основе их нутриентного состава / А.А. Борисенко, Г.И. Касьянов, А.А. Борисенко (мл.), А.А. Запорожский // Известия вузов. Пищевая технология. – 2005. – № 2-3. – С. 106–107.
2. Липатов, Н.Н. Методологические подходы к проектированию рецептур многокомпонентных пищевых продуктов III поколения / Н.Н. Липатов // Разработка процессов получения комбинированных продуктов питания: материалы Всес. научно-техн. конф. – М., 1988. – С. 10–11.
3. Липатов, Н.Н. Методология проектирования продуктов питания с требуемым комплексом показателей пищевой ценности / Н.Н. Липатов, И.А. Рогов // Известия вузов. Пищевая технология. – 1987. – № 2. – С. 9–15.
4. Липатов, Н.Н. Принципы и методы проектирования рецептур пищевых продуктов балансирующих рационы питания / Н.Н. Липатов // Известия вузов. Пищевая технология. – 1990. – № 6. – С. 5–11.
5. Потороко, И.Ю. Антиоксидантные свойства функциональных пищевых ингредиентов, используемых при производстве хлебо-булочных и молочных продуктов, их влияние на качество и сохраняемость продукции / И.Ю. Потороко, А.В. Паймулина, Д.Г. Ускова и др. // Вестник ВГУИТ. – 2017. – Т. 79, № 4. – С. 143–151. DOI:10.20914/2310-1202-2017-4-143-151
6. Тутельян, В.А. Научные основы здорового питания / В.А. Тутельян и др. – М.: Издательский дом «Панорама», 2010. – 816 с.
7. Тутельян, В.А. Питание – это рычаг, который управляет миром / В.А. Тутельян. – <http://medbook.ru/news/5809>.
8. Тутельян, В.А. Приоритеты государственной политики здорового питания населения России на федеральном и региональном



Методология интегрированного подхода производства продуктов для здорового питания с доказанной эффективностью

уровнях / В.А. Тумельян. – http://pfcorp.opitani.ru/articles/state_feed_prioritets.shtml.

9. Чернуха, И.М. Продукты здорового питания: анализ классификационных признаков и методологические основы классификации / И.М. Чернуха // *Все о мясе*. – 2009. – № 1. – С. 24–28.

10. Шаззо, Р.И. Функциональные продукты питания / Р.И. Шаззо, Г.И. Касьянов. – М.: Колос, 2010. – 248 с.

11. Экспертиза специализированных пищевых продуктов. Качество и безопасность / Л.А. Маюрникова и др.; под общ. ред. В.М. Позняковского. – СПб.: ГИОРД, 2016. – 448 с.

12. Bermúdez-Soto, M.-J. Stability of polyphenols in chokeberry (*Aronia melanocarpa*) subjected to *in vitro* gastric and pancreatic digestion / M.-J. Bermúdez-Soto, F.-A. Tomás-Barberán, M.-T. García-Conesa // *Food Chemistry*. – 2007. – Vol. 102 (3). – P. 865–874.

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

14. Carbonell-Capella, J.M. Analytical methods for determining bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables: A review / J.M. Carbonell-Capella, M. Buniowska, F.J. Barba, M.J. Esteve, A. Frigola // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2014. – Vol. 13 (2). – P. 155–171.

15. David Julian, McClements. Enhancing nutraceutical bioavailability through food matrix design // *Current Opinion in Food Science*. – August 2015. – Vol. 4. – P. 1–6.

16. 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.

17. McClements, D.J. Recent developments in encapsulation and release of functional food ingredients: delivery by design / D.J. McClements // *Current Opinion in Food Science*. – 2018. – Vol. 23. – P. 80–84.

18. McClements, D.J. Advances in fabrication of emulsions with enhanced functionality using structural design principles / D.J. McClements // *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. – 2012. – Vol. 17. – P. 235–245.

19. McClements, D.J. Excipient foods: designing food matrices that improve the oral bioavailability of pharmaceuticals and nutraceuticals / D.J. McClements, H. Xiao // *Food Funct.* – 2014. – Vol. 5. – P. 1320–1333.

20. Sonochemical Micronization of Taxifolin Aimed at Improving Its Bioavailability in Drinks for Athletes / I.Yu. Potoroکو, I.V. Kalinina, N.V. Naumenko et al. // *Человек. Спорт. Медицина*. – 2018. – Т. 18, № 3. – С. 90–100. DOI: 10.14529/hsm180309

21. Tagliazucchi, D. *In vitro* bio-accessibility and antioxidant activity of grape polyphenols / D. Tagliazucchi, E. Verzelloni, D. Bertolini, A. Conte // *Food Chemistry*. – 2010. – Vol. 120 (2). – P. 599–606.

22. Yada, R.Y. et al. 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.

Калинина Ирина Валерьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), kalininaiv@susu.ru.

Потороко Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), irina_potoroko@mail.ru

Поступила в редакцию 7 января 2019 г.

METHODOLOGICAL APPROACHES TO CREATION OF ENRICHED FOOD PRODUCTS WITH PROVEN EFFICIENCY**I.V. Kalinina, I.Yu. Potoroko***South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation*

The work suggests a methodology for obtaining healthy diet food products with proven effectiveness. In recent years, the production of food products enriched with biologically active substances is one of the most popular areas in various fields of the food industry. At the same time, there is a necessity to confirm the declared beneficial effects of food product enrichment. The organization of clinical research, as a rule, is associated with significant financial, time and labour costs. In this connection, there appears a necessity to develop an adequate pre-clinical research algorithm for the effectiveness of food products enriched with biologically active substances. Development of a food matrix and development of systems for biologically active substances delivery, such as microemulsions, liposomes, microgels, nano-emulsions, conjugates, microclusters, and others, take a special place in the confirmation of an enriched food product effectiveness. In spite of the array of data related to the study of various delivery systems, the problems of determining the mechanisms of chemical transformations when embedding encapsulated biologically active substances in the food matrix, their translation into the cellular systems of the human body, and participation in metabolic processes remain unsolved. The abovementioned should be taken into account when assessing the enriched food product effectiveness. It is equally important to analyze the consumer perception of enriched food, assess the technological accessibility of their production, the sufficiency of resource provision. On the basis of scientific literature analysis, there is taken an attempt to formulate a methodology for the development of the product, enriched with biologically active substances, with proven effectiveness, which grounds on a comprehensive, interdisciplinary approach to the organization of pre-clinical studies, including *in vitro*, *in silico*, and *in vivo* methods.

Keywords: methodology, biologically active substances, enriched food products, proven efficiency.

References

1. Borisenko A.A., Kas'yanov G.I., Borisenko A.A. (ml.), Zaporozhskiy A.A. [Development of Balanced Multicomponent Food Products Based on Their Nutrient Composition]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [News of Institutes of Higher Education. Food Technology], 2005, no. 2-3, pp. 106–107. (in Russ.)
2. Lipatov N.N. [Methodological Approaches to the Development of Third-Generation Multicomponent Food Recipes]. *Razrabotka protsessov polucheniya kombinirovannykh produktov pitaniya: materialy Vses. nauchno-tekhn. konf.* [Development of Processes for the Production of Combined Food Products: Materials of All-Union Scientific and Engineering Conference]. Moscow, 1988, pp. 10–11.
3. Lipatov N.N., Rogov I.A. [Methodology of Development of Food Products with the Required Set of Nutritional Value Indicators]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [News of Institutes of Higher Education. Food Technology], 1987, no. 2, pp. 9–15. (in Russ.)
4. Lipatov N.N. [Principles and Methods for the Development of Recipes of Balancing Diet Food Products]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [News of Institutes of Higher Education. Food Technology], 1990, no. 6, pp. 5–11. (in Russ.)
5. Potoroko I.Y., Paimulina A.V., Uskova D.G., Kalinina I.V., Popova N.V., Shirish S. The antioxidant properties of functional food ingredients used in the production of bakery and dairy products, their impact on quality and storageability of the product. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 2017, vol. 79(4), pp. 143–151. (in Russ.) DOI: 10.20914/2310-1202-2017-4-143-151
6. Tutel'yan V.A. et al. *Nauchnye osnovy zdorovogo pitaniya* [Scientific Basis for Healthy Diet]. Moscow, 2010. 816 p.
7. Tutel'yan V.A. *Pitanie – eto rychag, kotoryy upravlyaet mirom* [Diet is the Lever that Drives the World]. Available at: <http://medbook.ru/news/5809>.
8. Tutel'yan V.A. *Prioritety gosudarstvennoy politiki zdorovogo pitaniya naseleniya Rossii na federal'nom i regional'nom urovnyakh* [Priorities of the State Policy of Healthy Diet of the Russian Population at the Federal and Regional Levels] Available at: http://pfcop.opitani.ru/articles/state_feed_prioritets.shtml.

9. Chernukha I.M. [Healthy Food Products: Analysis of Classification Criteria and Methodological Basis of Classification]. *Vse o myase* [All about the Meat], 2009, no. 1, pp. 24–28. (in Russ.)
10. Shazzo R.I., Kas'yanov G.I. *Funktsional'nye produkty pitaniya* [Functional Food Products]. Moscow, 2010. 248 p.
11. Mayurnikova L.A. et al. *Ekspertiza spetsializirovannykh pishchevykh produktov. Kachestvo i bezopasnost'* [Examination of Specialized Foods. Quality and Safety]. St. Petersburg, 2016. 448 p.
12. Bermúdez-Soto M.-J., Tomás-Barberán F.-A., García-Conesa M.-T. Stability of polyphenols in chokeberry (*Aronia melanocarpa*) subjected to in vitro gastric and pancreatic digestion. *Food Chemistry*, 2007, v. 102 (3), pp. 865–874. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.06.025
13. Bouayed J., Deußer H., Hoffmann L., Bohn T. Bioaccessible and dialysable polyphenols in selected apple varieties following in vitro digestion vs. their native patterns. *Food Chemistry*, 2012, v. 131 (4), pp. 1466–1472. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.10.030
14. Carbonell-Capella J.M., Buniowska M., Barba F.J., Esteve M.J., Frigola A. Analytical methods for determining bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2014, v. 13 (2), pp. 155–171. DOI: 10.1111/1541-4337.12049
15. David Julian, McClements. Enhancing nutraceutical bioavailability through food matrix design. *Current Opinion in Food Science*, August 2015, vo. 4, pp. 1–6. DOI: 10.1016/j.cofs.2014.12.008
16. Hur S.J., Lim B.O., Decker E.A., McClements D.J. In vitro human digestion models for food applications. *Food Chemistry*, 2011, v. 125 (1), pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.08.036
17. McClements D.J. Recent developments in encapsulation and release of functional food ingredients: delivery by design. *Current Opinion in Food Science*, 2018, v. 23, pp. 80–84. DOI: 10.1016/j.cofs.2018.06.008
18. McClements D.J. Advances in fabrication of emulsions with enhanced functionality using structural design principles. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 2012, v. 17, pp. 235–245. DOI: 10.1016/j.cocis.2012.06.002
19. McClements D.J., Xiao H. Excipient foods: designing food matrices that improve the oral bioavailability of pharmaceuticals and nutraceuticals. *Food Funct*, 2014, v. 5, pp. 1320–1333. DOI: 10.1039/C4FO00100A
20. Potoroکو 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
21. Tagliazucchi D., Verzelli E., Bertolini D., Conte A. In vitro bio-accessibility and antioxidant activity of grape polyphenols. *Food Chemistry*, 2010, v. 120 (2), pp. 599–606. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.10.030
22. Yada R.Y., Buck N., Canady R., DeMerlis C., Duncan T., Janer G., Juneja L., Lin M.S., McClements J., Noonan G. 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, v. 13, pp. 730–744. DOI: 10.1111/1541-4337.12076

Irina Yu. Kalinina, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, kalininaiv@susu.ru.

Irina Yu. Potoroکو, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Head of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, irina_potoroko@mail.ru

Received January 7, 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Калинина, И.В. Методологические подходы создания обогащенных продуктов питания с доказанной эффективностью / И.В. Калинина, И.Ю. Потороко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2019. – Т. 7, № 1. – С. 5–11. DOI: 10.14529/food190101

FOR CITATION

Kalinina I.V., Potoroکو I.Yu. Methodological Approaches to Creation of Enriched Food Products with Proven Efficiency. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2019, vol. 7, no. 1, pp. 5–11. (in Russ.) DOI: 10.14529/food190101