

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭМУЛЬСИЙ ПИКЕРИНГА В ПИЩЕВЫХ СИСТЕМАХ

Ирина Юрьевна Потороко¹, potorokoiy@susu.ru
Анастасия Валерияновна Паймулина², aaaminaaa@mail.ru
Аммар Мохаммад Яхья Кади¹, ammarka89@gmail.com

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

Аннотация. В последние годы эмульсии Пикеринга привлекли широкое внимание исследователей всего мира благодаря своей повышенной физической и химической стабильности и множеству возможных применений по сравнению с традиционными эмульсиями. На сегодняшний день существует большое количество подходов для создания эмульсий Пикеринга, в которых чаще всего для стабилизации применяют неорганические и органические частицы. При этом частицы неорганической природы ограничены по свойствам, в частности они не способны к биоразложению и практически усваиваются в организме человека, а органические частицы имеют высокий молекулярный вес. В статье представлен обзор литературных данных по описанию отличительных особенностей эмульсий Пикеринга, а также основных факторов, влияющих на их свойства и качество (смачиваемость, форма и размер частиц). Рассмотрены виды частиц природного происхождения, используемых в качестве стабилизаторов пищевых эмульсий Пикеринга (частицы полисахаридов, частицы на основе белка, частицы флавоноидов, сложные частицы (комплексы) и твердые липидные наночастицы). Обозначены будущие тенденции по применению эмульсий Пикеринга в пищевых системах (молочных и мясных продуктов, майонезов). Важным является поиск стабилизатора, обладающего не только необходимыми физическими свойствами, но и повышенной биологической активностью, а также безопасного способа его модификации. Исследования в этой области позволят разработать новые ресурсосберегающие технологии, что является задачей, востребованной как в экономике, так и в социальной сфере. Поскольку это позволит обеспечить решение задач, связанных с расширением ассортимента биопродуктов, обладающих заданной технологической функциональностью и безопасных для потребителя.

Ключевые слова: эмульсии Пикеринга, стабилизаторы, твердые частицы, пищевые системы, биологически активные вещества

Благодарности. Статья выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научно-фонда (РНФ) в рамках проекта 22-26-00079.

Для цитирования: Потороко И.Ю., Паймулина А.В., Кади А.М.Я. Перспективы применения эмульсий Пикеринга в пищевых системах // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2022. Т. 10, № 1. С. 15–22. DOI: 10.14529/food220102

Original article
DOI: 10.14529/food220102

PROSPECTS FOR APPLICATION OF PICKERING EMULSIONS IN FOOD SYSTEMS

*Irina Yu. Potoroko*¹, *potorokoiy@susu.ru*
*Anastasia V. Paymulina*², *aaaminaaa@mail.ru*
*Ammar M.Y. Kadi*¹, *ammarka89@gmail.com*

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

² Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

Abstract. In recent years, Pickering emulsions have attracted widespread attention from researchers around the world due to their increased physical and chemical stability and many possible applications compared to conventional emulsions. To date, there are a large number of methods for creating Pickering emulsions, in which inorganic and organic particles are most often used for stabilization. At the same time, inorganic particles are limited by their non-biodegradability and indigestibility, while organic ones have a high molecular weight. The article presents a review of literature data on the description of the distinctive features of Pickering emulsions, as well as the main factors affecting their properties and quality (wettability, particle shape and size). The types of particles of natural origin used as stabilizers of Pickering food emulsions (polysaccharide particles, protein-based particles, flavonoid particles, complex particles (complexes) and solid lipid nanoparticles) are considered. Future trends in the use of Pickering's emulsions in food systems (dairy and meat products, mayonnaises) are outlined. It is important to find a stabilizer that has not only the necessary physical properties, but also increased biological activity, as well as a safe way to modify it. Research in this area will allow the development of new resource-saving technologies, which is a task in demand both in the economy and in the social sphere. Since this will provide a solution to the problems associated with expanding the range of bioproducts that have a given technological functionality and are safe for the consumer.

Keywords: Pickering emulsions, stabilizers, solid particles, food systems, biologically active substances

Acknowledgments. The article was financially supported by a grant from the Russian Science Foundation (RSF) within the framework of project 22-26-00079.

For citation: Potoroko I.Yu., Paymulina A.V., Kadi A.M.Y. Prospects for application of pickering emulsions in food systems. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2022, vol. 10, no. 1, pp. 15–22. (In Russ.) DOI: 10.14529/food220102

Одной из основных тенденций современной пищевой индустрии является создание экологически чистых и энергетически сбалансированных «натуральных» продуктов питания, обеспечивающих высокое качество пищи. Увеличивается также спрос потребителя на продукты функционального, лечебно-профилактического и диетического питания [1].

Многие пищевые продукты представляют собой высококонцентрированные эмульсии. Эмульсии можно встретить в молочных, мясных, кондитерских, масложировых продуктах, напитках. Эмульсия представляет собой дисперсную систему, состоящую из нескольких

несмешивающихся жидкостей. При этом необходимо отметить, что на сегодняшний день особый интерес для производителей представляют стабильные эмульсионные системы с высокой концентрацией дисперсной фазы. Такое пристальное внимание к ним связано с тем, что именно дисперсная фаза является носителем разнообразных полезных прикладных свойств, если рассматривать эмульсию с технологической точки зрения в качестве основы для производства различных пищевых продуктов [31, 34].

Обычные эмульсии, стабилизированные поверхностно-активными веществами (ПАВ)

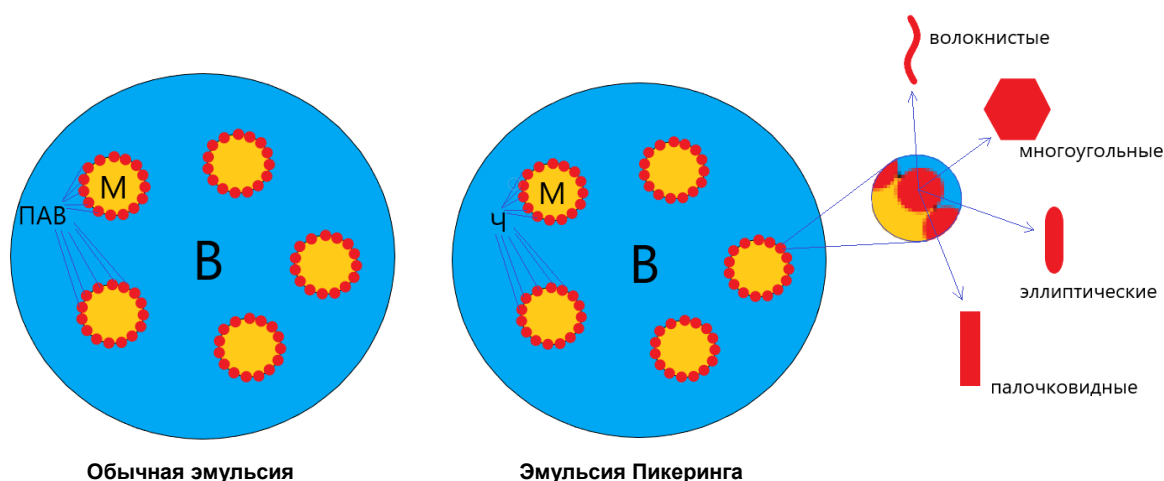
или амфифильными макромолекулами с хорошей растворимостью (например, белками и полисахаридами), обычно термодинамически нестабильны и имеют тенденцию разрушаться со временем из-за коалесценции, флокуляции и созревания по Оствальду [18]. Эта проблема потенциально может быть решена с помощью эмульсий Пикеринга, в которых молекулярные поверхностно-активные вещества заменены твердыми частицами. Эмульсии, стабилизированные твердыми частицами, были впервые изучены в начале XX века В. Рамсденом (1904 г.) и С. Пикерингом (1907 г.) [24, 26]. Они обладают многими преимуществами по сравнению с классическими эмульсиями, такими как более низкая токсичность, стабильность в течение долгого времени и экономичность. Поэтому они нашли широкое применение в фармацевтической [3], пищевой [34], косметической [30, 32], химической [5], нефтяной [14] и др. промышленности. Эмульсии Пикеринга используются при получении новых материалов и коллоидосом, а также часто при инкапсулировании и доставке биологически-активных веществ [2]. При этом стоит отметить, что эмульсии Пикеринга, стабилизированные неорганическими частицами, имеют ограниченное применение в пищевых целях.

Литературно-патентный анализ доступных ресурсов научной электронной библиотеки Elibrary.ru показал, что по ключевой фразе «эмульсии Пикеринга» идентифицируется всего 47 документов, причем имеющиеся публикации относятся преимущественно к

химической и фармацевтической промышленности. Также выявлено, что работы в данном направлении исследований проводятся сравнительно недавно (начиная с 2013 года).

В международных базах данных и системах цитирования Scopus и Web of Science выявлено 33 800 документов научных исследований в области «Pickering emulsions». Основными лидерами научных исследований по частоте упоминания являются Китай, США, Великобритания, Франция и Германия. В последние годы интерес к эмульсиям Пикеринга возрастает в связи с их специфическими свойствами, привлекательными для производителей.

Отличие обычных эмульсий от эмульсий Пикеринга заключается в различном механизме их стабилизации. Стабилизация обычных эмульсий в основном реализуется за счет сочетания следующих факторов: электростатической стабилизации, снижения межфазного натяжения и стерической стабилизации с помощью ПАВ или растворимых макромолекул. При этом адсорбция обычных эмульгаторов на границе раздела масло – вода в обычных эмульсиях обычно обратима. Для эмульсий Пикеринга частицы, адсорбированные на границе раздела масло-вода, образуют физический барьер (см. рисунок), который может блокировать межфазное взаимодействие и контакт капель за счет исключения объема, а адсорбция частиц на границе раздела масло – вода считается необратимой. Различные механизмы стабилизации придают эмульсиям различные межфазные свойства. Благодаря



Характерный вид эмульсий типа масло – в воде – обычной и Пикеринга,
а также различные формы частиц стабилизатора Пикеринга
(В – вода, М – масло, ПАВ – эмульгатор, Ч – твердые частицы)

адсорбции частиц, эмульсии Пикеринга имеют более высокую поверхностную нагрузку и толщину, чем обычные эмульсии [10].

По гидрофобности частиц простые эмульсии Пикеринга можно разделить на два типа: масло – в воде (М/В) и вода – в масле (В/М) [5]. На основе этого принципа ученые разработали более сложные двойные эмульсии Пикеринга: масло – в воде – в масле (М/В/М) и вода – в масле – в воде (В/М/В). Общие подходы к получению двойных эмульсий Пикеринга обычно основаны на двухстадийном эмульгировании [12].

Эмульсии Пикеринга стабилизируются нерастворимыми твердыми частицами. Смачиваемость и размер частиц являются основными факторами, влияющими на стабильность эмульсий. В качестве стабилизаторов эмульсий Пикеринга можно использовать только частицы с двойной смачиваемостью, которые должны оставаться стабильными как в масляной, так и в водной фазах [22].

Размер твердых стабилизирующих частиц также является важным фактором, определяющим стабильность эмульсий Пикеринга. Размер частиц должен быть значительно меньше размера капель фракций в эмульсии (минимум в 10 раз), иначе частицы не смогут

адсорбироваться на границе раздела масло-вода для стабилизации [36]. Благодаря подходящей смачиваемости и размеру, частицы необратимо адсорбируются на границе раздела масло-вода и образуют стерический барьер, препятствующий агрегации дисперсных фаз.

Форма частиц также является важным фактором, влияющим на стабильность эмульсий Пикеринга. Различные формы частиц включают сферическую, волокнистую, многоугольную, эллипсоидную и стержнеобразную форму (см. рисунок). Частицы с большей поверхностью соприкосновения подходят для стабилизации эмульсий Пикеринга, поскольку они способны смачивать обе фазы [10].

Отсутствие ПАВ делает возможным применение эмульсий Пикеринга в пищевой промышленности. В многочисленных исследованиях показано применение в качестве стабилизаторов большого количества разных твердых частиц природного происхождения, которые можно условно разделить на следующие группы: частицы полисахаридов, частицы на основе белка, частицы флавоноидов, сложные частицы (комплексы) и твердые липидные наночастицы. В таблице представлены данные по использованию таких частиц в качестве стабилизаторов эмульсий Пикеринга.

Таблица
Частицы, используемые в качестве стабилизаторов пищевых эмульсий Пикеринга

Вид частиц	Размер частиц	Форма частиц	Источник
Частицы полисахаридов			
Модифицированный крахмал маниоки	5–100 нм	сферическая	[6]
Гранулы модифицированного крахмала киноа	1–2 мкм	сферическая	[16]
Частицы кукурузного крахмала	500–700 нм	эллиптическая	[15]
Нанокристаллы крахмала	79–95 нм	многоугольная	[25]
Нанофибрилы целлюлозы	33–49 нм	волокнистая	[11]
Частицы хитозана	100–500 нм	палочковидная	[7]
Нанокристаллы хитина	20–250 нм	палочковидная	[33]
Супраколлоиды лигнина	90–600 нм	сферическая	[21]
Частицы на основе белка			
Частицы соевого белка	60–130 нм	многоугольная	[13]
Изолят соевого белка	0,2–160 мкм	сферическая	[17]
Микрогели сывороточного протеина	250–300 нм	сферическая	[27]
Казеиновые наногели	180 нм	сферическая	[4]
Наночастицы желатина	250 нм	сферическая	[31]
Частица белка арахиса	178–260 нм	сферическая	[20]

Окончание таблицы

Вид частиц	Размер частиц	Форма частиц	Источник
Частицы флавоноидов			
Частицы тилирозида/рутина/нарингина	500–1000 нм	неизвестно	[8]
Частицы флавоноидных гликозидов из экстракта <i>Ginkgo biloba</i>	0,8–1 мкм	неизвестно	[37]
Сложные частицы (комплексы)			
Частицы комплекса альгинат-хитозан	230–1100 нм	сферическая	[19]
Частицы комплекса β-циклодекстрин-глюкан	105 нм	сферическая	[9]
Частицы комплекса сывороточного белка и куркумина	0,2 мкм	палочковидная	[38]
Твердые липидные наночастицы			
β-циклодекстрин	не известно	неизвестно	[29]
Кристаллические наночастицы трипальмитина	130 нм	сферическая	[23]
Кристаллические наночастицы трипальмитина	100–350 нм	сферическая	[28]

В последнее время количество научных работ в области подбора твердых частиц – стабилизаторов пищевых эмульсий Пикеринга, исследовании их стабильности увеличилось в геометрической прогрессии, при этом данных о применении их в пищевых системах обнаружено не было. Благодаря высокой стабильности, физическим свойствам и полезности для здоровья эмульсии Пикеринга могут стать перспективной альтернативой обычным эмульсиям и выступать в качестве инновационного подхода к созданию новой линейки пищевых продуктов «для здоровья». По мнению Т. Хиа (2021) использование пищевых эмульсий

Пикеринга может заменить сливочное масло при производстве многокомпонентных кондитерских изделий и сливки при приготовлении йогурта и мороженого [35]. Однако перед промышленным применением пищевых эмульсий Пикеринга необходимо решить ряд задач, связанных с подбором стабилизатора, а также безопасного способа его модификации.

Будущие исследования будут направлены на разработку новых технологий получения стабильных физически и химически, устойчивых в хранении эмульсий Пикеринга для размещения в пищевую матрицу майонезов, молочных и мясных продуктов.

Список литературы/References

1. Лисицын А.Б., Чернуха И.М., Лунина О.И. Современные тенденции развития индустрии функциональных пищевых продуктов в России и за рубежом // Теория и практика переработки мяса. 2018. Т. 3, № 1. С. 29–45. [Lisitsyn A.B., Chernukha I.M., Lunina O.I. Modern trends in the development of the functional food industry in Russia and abroad. *Theory and Practice of Meat Processing*, 2018, vol. 3, no.1, pp. 29–45 (In Russ.)] DOI 10.21323/2414-438X-2018-3-1-29-45.
2. Нуштаева А.В. Пищевые стабилизаторы эмульсий Пикеринга // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2019. № 5 (24). С. 90–97. [Nushtaeva A.V. Food-grade stabilizers of Pickering emulsions Education and science in the modern world. *Innovation*, 2019, vol. 5, no. 24, pp. 90–97 (In Russ.)]
3. Albert C., Beladjine M., Tsapis N., Fattal E., Agnely F., Huang N. Pickering emulsions: Preparation processes, key parameters governing their properties and potential for pharmaceutical applications. *Journal of Controlled Release*, 2019, vol. 309, pp. 302–332.
4. Chen S., Zhang L.M. Casein nanogels as effective stabilizers for Pickering high internal phase emulsions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2019, vol. 579, p. 123662. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2019.123662.

5. Chevalier Y., Bolzinger M.A. Emulsions stabilized with solid nanoparticles: Pickering emulsions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2013, vol. 439, pp. 23–34. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2013.02.054.
6. Cossu A., Wang M.S., Chaudhari A., Nitin N. Antifungal activity against *Candida albicans* of starch Pickering emulsion with thymol or amphotericin B in suspension and calcium alginate films. *International Journal of Pharmaceutics*, 2015, vol. 493, no. 1–2, pp. 233–242. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2015.07.065.
7. Costa A.L.R., Gomes A., Cunha R.L. One-step ultrasound producing O/W emulsions stabilized by chitosan particles. *Food Research International*, 2018, vol. 107, pp. 717–725. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.02.057.
8. Geng S., Jiang Z., Ma H., Pu P., Liu B., Liang G. Fabrication and characterization of novel edible Pickering emulsion gels stabilized by dihydromyricetin. *Food Chemistry*, 2021, vol. 343, p. 128486. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128486.
9. Hu Y., Qiu C., Jin Z., Qin Y., Zhan C., Xu X., Wang J. Pickering emulsions with enhanced storage stabilities by using hybrid β -cyclodextrin/short linear glucan nanoparticles as stabilizers. *Carbohydrate polymers*, 2020, vol. 229, p. 115418. DOI: 10.1016/j.carbpol.2019.115418.
10. Jafari S.M., Doost A.S., Nasrabadi M.N., Boostani S., Meeren P.V. Phytoparticles for the stabilization of Pickering emulsions in the formulation of novel food colloidal dispersions. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, vol. 98, pp. 117–128. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.02.008.
11. Li Q., Xie B., Wang Y., Wang Y., Peng L., Li Y., Li B., Liu S. Cellulose nanofibrils from *Miscanthus floridulus* straw as green particle emulsifier for O/W Pickering emulsion. *Food Hydrocolloids*, 2019, vol. 97, p. 105214. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2019.105214.
12. Li Y., Gong S., Guan X., Jiang H., Tao S., Yang C., Ngai T. One-Step Preparation of All-Natural Pickering Double Emulsions Stabilized by Oppositely Charged Biopolymer Particles. *Advanced Materials Interfaces*, 2021, vol. 8, no. 23, p. 2101568. DOI: 10.1002/admi.202101568.
13. Liu J., Guo J., Zhang H., Liao Y., Liu S., Cheng D., Zhang T., Xiao H., Du Z. Fabrication, characterization, and application of chitosan-NaOH modified casein nanoparticles and its stabilized long-term stable high internal phase Pickering emulsions. *Food & Function*, 2022, no. 13, pp. 1408–1420. DOI: 10.1039/D1FO02202D.
14. Liu J.X., Zhu H.J., Wang P., Pan J.M. Recent studies of Pickering emulsion system in petroleum treatment: The role of particles. *Petroleum Science*, 2021, vol. 18, no. 5, pp. 1551–1563. DOI: 10.1016/j.petsci.2021.10.001.
15. Lu X., Wang Y., Li Y., Huang Q. Assembly of Pickering emulsions using milled starch particles with different amylose/amylopectin ratios. *Food Hydrocolloids*, 2018, vol. 84, pp. 47–57. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.05.045.
16. Marku D., Wahlgren M., Rayner M., Sjöo M., Tingren A. Characterization of starch Pickering emulsions for potential applications in topical formulations. *International journal of pharmaceutics*, 2012, vol. 428, no. 1–2, pp. 1–7. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2012.01.031.
17. Matsumiya K., Murray B.S. Soybean protein isolate gel particles as foaming and emulsifying agents. *Food Hydrocolloids*, 2016, vol. 60, pp. 206–215. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2016.03.028.
18. McClements D.J. Advances in fabrication of emulsions with enhanced functionality using structural design principles. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 2012, vol. 17, no. 5, pp. 235–245. DOI: 10.1016/j.cocis.2012.06.002.
19. Nan F., Wu J., Qi F., Liu Y., Ngai T., Ma G. Uniform chitosan-coated alginate particles as emulsifiers for preparation of stable Pickering emulsions with stimulus dependence. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2014, vol. 456, pp. 246–252. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2014.05.017.
20. Ning F., Ge Z., Qiu L., Wang X., Luo L., Xiong H., Huang Q. Double-induced se-enriched peanut protein nanoparticles preparation, characterization and stabilized food-grade pickering emulsions. *Food Hydrocolloids*, 2020, vol. 99, p. 105308. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2019.105308.
21. Nypelö T.E., Carrillo C.A., Rojas O.J. Lignin supracolloids synthesized from (W/O) microemulsions: use in the interfacial stabilization of Pickering systems and organic carriers for silver metal. *Soft Matter*, 2015, vol. 11, no. 10, pp. 2046–2054. DOI: 10.1039/C4SM02851A.

22. Ortiz D.G., Pochat-Bohatier C., Cambedouzou J., Bechelany M., Miele P. Current trends in Pickering emulsions: particle morphology and applications. *Engineering*, 2020, vol. 6, no. 4, pp. 468–482. DOI: 10.1016/j.eng.2019.08.017.
23. Pawlik A., Kurukji D., Norton I., Spyropoulos F. Food-grade Pickering emulsions stabilised with solid lipid particles. *Food & function*, 2016, vol. 7, no. 6, pp. 2712–2721. DOI: 10.1039/C6FO00238B.
24. Pickering S.U. CXCVI.–Emulsions. *Journal of the Chemical Society, Transactions*, 1907, vol. 91, pp. 2001–2021.
25. Qian X., Lu Y., Xie W., Wu D. Viscoelasticity of olive oil/water Pickering emulsions stabilized with starch nanocrystals. *Carbohydrate polymers*, 2020, vol. 230, p. 115575. DOI: 10.1016/j.carbpol.2019.115575.
26. Ramsden W. Separation of solids in the surface-layers of solutions and “suspensions” (observations on surface-membranes, bubbles, emulsions, and mechanical coagulation). *Preliminary account. Proceedings of the royal Society of London*, 1904, vol. 72, no. 477–486, pp. 156–164. DOI: 10.1098/rspl.1903.0034.
27. Sarkar A., Murray B., Holmes M., Ettelaie R., Abdalla A., Yang X. In vitro digestion of Pickering emulsions stabilized by soft whey protein microgel particles: influence of thermal treatment. *Soft Matter*, 2016, vol. 12, no. 15, pp. 3558–3569. DOI: 10.1039/C5SM02998H.
28. Schröder A., Sprakel J., Schroën K., Spaen J.N., Berton-Carabin C.C. Coalescence stability of Pickering emulsions produced with lipid particles: A microfluidic study. *Journal of Food Engineering*, 2018, vol. 234, pp. 63–72. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2018.04.007.
29. Taguchi H., Tanaka H., Hashizaki K., Saito Y., Fujii M. Application of Pickering emulsion with cyclodextrin as an emulsifier to a transdermal drug delivery vehicle. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 2019, vol. 42, no. 1, pp. 116–122. DOI: 10.1248/bpb.b18-00711.
30. Tan C., McClements D.J. Application of advanced emulsion technology in the food industry: A review and critical evaluation. *Foods*, 2021, vol. 10, no. 4, p. 812. DOI: 10.3390/foods10040812.
31. Tan H., Zhao L., Tian S., Wen H., Gou X., Ngai T. Gelatin particle-stabilized high-internal phase emulsions for use in oral delivery systems: protection effect and in vitro digestion study. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2017, vol. 65, no. 4, pp. 900–907. DOI: 10.1021/acs.jafc.6b04705.
32. Tang J., Quinlan P.J., Tam K.C. Stimuli-responsive Pickering emulsions: recent advances and potential applications. *Soft Matter*, 2015, vol. 11, no. 18, pp. 3512–3529. DOI: 10.1039/C5SM00247H.
33. Tzoumaki M.V., Moschakis T., Kiosseoglou V., Biliaderis C.G. Oil-in-water emulsions stabilized by chitin nanocrystal particles. *Food hydrocolloids*, 2011, vol. 25, no. 6, pp. 1521–1529. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2011.02.008.
34. Weiss J., Weiss J., Ahmad T., Zhang C., Zhang H. A review of recent progress on high internal-phase Pickering emulsions in food science. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, vol. 106, pp. 91–103. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.10.016.
35. Xia T., Xue C., Wei Z. Physicochemical characteristics, applications and research trends of edible Pickering emulsions. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, vol. 107, pp. 1–15. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.11.019.
36. Xiao Z., Wang L., Lv C., Guo S., Lu X., Tao L., Duan Q., Yang Q., Luo Z. Preparation and characterization of pH-responsive Pickering emulsion stabilized by grafted carboxymethyl starch nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, vol. 143, pp. 401–412. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.10.261.
37. Yang D., Wang X.Y., Ji C.M., Lee K.T., Shin J.A., Lee E.S., Hong S.T. Influence of Ginkgo biloba extracts and of their flavonoid glycosides fraction on the in vitro digestibility of emulsion systems. *Food Hydrocolloids*, 2014, vol. 42, pp. 196–203. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2014.04.041.
38. Zembyla M., Lazidis A., Murray B.S., Sarkar A. Stability of water-in-oil emulsions co-stabilized by polyphenol crystal-protein complexes as a function of shear rate and temperature. *Journal of Food Engineering*, 2020, vol. 281, p. 109991. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2020.109991.

Информация об авторах

Потороко Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, potorokoiy@susu.ru

Паймулина Анастасия Валерияновна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия, aaaminaaa@mail.ru

Кадн Аммар Мохаммад Яхья, аспирант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, ammarka89@gmail.com

Information about the authors

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

Anastasia V. Paymulina, PhD (Engineering), Leading Researcher of the Federal Scientific Center of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia, aaaminaaa@mail.ru

Ammar M.Y. Kadi, Post-graduate student at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, ammarka89@gmail.com

Статья поступила в редакцию 02.11.2021

The article was submitted 02.11.2021