

Краткие сообщения Brief reports

Краткое сообщение
УДК 554.774
DOI: 10.14529/food220411

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДВОЙНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

И.В. Калинина¹, *kalininaiv@susu.ru*
Н.В. Науменко¹, *naumenkonv@susu.ru*
Удей Багале^{1,2}, *uday_bagale@yahoo.co.in*
А.М.Я. Кади¹, *ammarka89@gmail.com*
А.В. Малинин¹, *artemmalinin3@gmail.com*
А.В. Цатуров¹, *aram-chel@mail.ru*

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² Национальный технологический институт, Варангал, шт. Телангана, Индия

Аннотация. Применение эмульсий в пищевой промышленности набирает все большую актуальность. Данные системы позволяют получить продукты нового поколения с заданными свойствами и адресной доставкой биологически активных веществ в организм человека. Использование современных подходов в технологиях создания эмульсий и их реализация в получение двойных систем позволяет добиться обновления свойств получаемых продуктов (улучшения органолептических свойств, сохранения свежести и высокой пищевой ценности продукта на всех этапах его хранения), защиты лабильных ингредиентов во время технологического и пищеварительного процессов, контролируемого высвобождения биологически активных соединений и регулирования их стабильности и усвояемости. Использование двойных эмульсий – это экологически чистые технологии, которые могут быть применены в пищевой промышленности для разработки новых пищевых систем, обогащенных биологически активными веществами, полезными для человека. В настоящее время особое внимание отводится разработке и использованию полезных продуктов, полученных без применения химических ингредиентов, что обуславливает актуальность и перспективность данного подхода как в научном, так и в практическом выражении. В настоящее время наиболее распространенным методом приготовления двойных эмульсий является двухэтапная процедура эмульгирования. Данный метод получения достаточно прост в использовании, но при этом имеет основной недостаток – низкую стабильность полученной системы. Поэтому современные исследования направлены на разработку новых подходов для стабилизации системы двойных эмульсий, как, например, применение ультразвукового воздействия, методов фазовой инверсии микрофлюидных устройств со стеклянными капиллярами, проведение мембранного эмульгирования и др.

Ключевые слова: двойная эмульсия, эмульгатор, пищевая система, биологически активные вещества

Благодарности. Статья выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научно-фонда (РНФ) в рамках проекта 22-76-10049.

Для цитирования: Возможности применения двойных эмульсий в пищевой промышленности / И.В. Калинина, Н.В. Науменко, Удей Багале и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2022. Т. 10, № 4. С. 109–114. DOI: 10.14529/food220411

Brief report
DOI: 10.14529/food220411

POSSIBILITIES OF USE OF DOUBLE EMULSIONS IN THE FOOD INDUSTRY

I.V. Kalinina¹, *kalininaiv@susu.ru*
N.V. Naumenko¹, *naumenkonv@susu.ru*
Uday Bagale^{1,2}, *uday_bagale@yahoo.co.in*
A.M.Y. Kadi¹, *ammarka89@gmail.com*
A.V. Malinin¹, *artemmalinin3@gmail.com*
A.V. Tsaturov¹, *aram-chel@mail.ru*

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

² National Institute of Technology, Warangal, Telangana State, India

Abstract. The use of emulsions in the food industry is gaining more and more relevance. These systems make it possible to obtain new generation products with desired properties and targeted delivery of biologically active substances to the human body. The use of modern approaches in the technologies for creating emulsions and their implementation in the production of dual systems makes it possible to achieve renewal of the properties of the resulting products (improvement of organoleptic properties, preservation of freshness and high nutritional value of the product at all stages of its storage), protection of labile ingredients during the technological and digestive processes, controlled release of biologically active compounds and regulation of their stability and digestibility. The use of double emulsions is an environmentally friendly technology that can be applied in the food industry to develop new food systems enriched with biologically active substances useful to humans. Currently, special attention is paid to the development and use of useful products obtained without the use of chemical ingredients, which makes this approach relevant and promising both in scientific and practical terms. Currently, the most common method for preparing double emulsions is the two-stage emulsification procedure. This method of obtaining is quite simple to use, but it has the main drawback – the low stability of the resulting system. Therefore, modern research is aimed at developing new approaches to stabilize the system of double emulsions, for example, the use of ultrasonic treatment, methods of phase inversion of microfluidic devices with glass capillaries, membrane emulsification, etc.

Keywords: double emulsion, emulsifier, food system, biologically active substances

Acknowledgments. The article was financially supported by a grant from the Russian Science Foundation (RSF) within the framework of project 22-76-10049.

For citation: Kalinina I.V., Naumenko N.V., Uday Bagale, Kadi A.M.Y., Malinin A.V., Tsaturov A.V. Possibilities of use of double emulsions in the food industry. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2022, vol. 10, no. 4, pp. 109–114. (In Russ.) DOI: 10.14529/food220411

Эмульсии являются неотъемлемой частью пищевой матрицы многих продуктов питания. Различные способы их получения, использование новых подходов в технологиях создания и размещения в системе дают возможность получения продуктов нового поколения с заданными свойствами и адресной доставкой биологически активных веществ в организм человека [14]. Прямые и обратные эмульсии, уже давно применяющиеся в пищевой промышленности, представляют собой сложную дисперсную систему, состоящую из

микроскопических капель жидкости (дисперсной фазы), распределенных в другой жидкости (дисперсионной среде). Такие системы имеют ряд ограничений для обогащения биологически активными веществами, обладающими разным отношением к фазе и среде дисперсии. Тогда как в двойные эмульсии за счет дополнительных уровней организации могут инкапсулировать как гидрофильные, так и гидрофобные соединения, поскольку они представляют собой многоуровневую систему [12, 13].

Двойные эмульсионные системы могут использоваться для модификации свойств получаемых продуктов (улучшения сенсорных характеристик и сохраняемости), защиты лабильных ингредиентов во время технологического и пищеварительного процессов, контролируемого высвобождения активных соединений. Для успешного применения двойных эмульсий в пищевой промышленности необходимо учитывать факторы, влияющие на термодинамическую нестабильность системы, такие как тип и концентрация эмульгатора, рН, температура и т. д. [3].

Двухэтапная процедура эмульгирования, представленная на рисунке, является наиболее распространенным методом получения двойных эмульсий [9]. Первый этап заключается в создании эмульсий вода-в-масле (W/O) или масло-в-воде (O/W) при использовании гидрофобных или гидрофильных эмульгаторов [13]. На втором этапе проводят комбинирование для получения системы двойных эмульсий (например, вода – масло – вода ($W_1/O/W_2$)). При этом процесс получения двойных эмульсий подразумевает использование двух разных компонентов в качестве эмульгаторов [8].

Хотя двойные эмульсии менее стабильны, чем традиционные, они имеют более широкий спектр и возможности применения в техноло-

гиях пищевых систем направленного действия, например, инкапсулирование биологически активных веществ и последующее обогащение, разработка низкокалорийных пищевых продуктов с улучшенными сенсорными характеристиками и текстурой и т. д.

Достаточно большое число научных работ (см. таблицу) посвящено исследованиям в данной области, что указывает на его привлекательность для реального сектора производства.

Представленные исследования показывают, что создание двойных эмульсий является эффективным процессом эмульгирования для получения широкой линейки натуральных пищевых продуктов.

Следует отметить, что использование двойных эмульсий – это «чистые» технологии, экологически безопасные, которые могут быть использованы в пищевой промышленности при получении новых пищевых систем, обогащённых биологически активными веществами. В настоящее время особое внимание отводится разработке и использованию полезных продуктов, полученных без применения химических ингредиентов, что обуславливает актуальность и перспективность данного подхода как в научном, так и в практическом выражении.



Обобщенная схема получения двойных эмульсий [9]

Характеристика разработок в области применения двойных эмульсий в пищевой промышленности

Наименование разработки	Способ производства	Полученные результаты	Источник
Инкапсуляция железа	Двухэтапный метод эмульгирования	Высокая биодоступность вещества и эффективность инкапсуляции; достаточная вязкость эмульсии, что обеспечивает возможность инкапсуляции железа в мороженое и взбитые сливки	Ilyasoglu Buyukkestelli и El [6]
Микроинкапсуляция кальция и витамина D ₃	Двухэтапный метод эмульгирования с помощью ультразвука	Повышенная биодоступность витамина D ₃ ; увеличение скорости высвобождения Ca ²⁺	Dima [5]
Нано-инкапсуляция фолиевой кислоты	Двухэтапный метод эмульгирования после распылительной сушки	Эффективность инкапсуляции – 88,3%, возможность инкапсуляции во все пищевые продукты	Assadpour [2]
Инкапсуляция витамина С	Двухэтапный метод эмульгирования	Стабильность инкапсуляции – 79,75 %; эффективность инкапсуляции – 95 %, которая снижается до 79 % при нагревании. Возможность использования для получения напитков	Kheynoor [7]
Инкапсуляция пробиотика <i>Lactobacillus reuteri</i>	Двухэтапный метод эмульгирования	Жизнеспособность бактерий – 98 %; выживаемость – от 7,59 до 7,23 КОЕ/мл. Стабильность хранения штаммов – до 30 суток	Marefati [11]
Инкапсуляция глицеризина в двойные наноэмульсии	Двухэтапный метод эмульгирования с помощью ультразвука	Эффективность инкапсуляции – 92 %, стабильность хранения эмульсии – до 7 суток	Maghamian [10]
Инкапсуляция рибофлавина	Двухэтапный метод эмульгирования	Эффективность инкапсуляции – 85,4% (в масле чиа), стабильность до 8 дней	Bou [4]
Инкапсуляция биологически активных веществ	Двухэтапный метод получения эмульсий Пикеринга с помощью ультразвука	Высокие значения антиоксидантной активности йогурта с эмульсией – 5,120 DPPH, %, стабильность консистенции в хранении	Потороко [1]

Современные исследования акцентируют внимание на разработке новых подходов для стабилизации системы двойных эмульсий, например, применение ультразвукового воздействия, методов фазовой инверсии микрофлюидных устройств со стеклянными капиллярами, проведение мембранного эмульгирования и др. Однако ряд исследователей [3, 8, 10, 11, 13] отмечают, что долговременная ста-

бильность двойных эмульсий по-прежнему является критическим фактором для конечного продукта, что несколько ограничивает их использование в промышленных масштабах.

Таким образом, интерес к разработкам в области двойных эмульсий весьма актуален, так как позволяет создать пищевую систему нового формата.

Список литературы/References

1. Экотехнологии для эффективного использования продовольственных ресурсов в технологии пищевых систем. Часть 2: Технология бифункциональных пищевых систем на основе эмульсий Пикеринга / И.Ю. Потороко, Н.В. Науменко, А.М.Я. Кади, А.В. Паймулина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2022. Т. 10, № 3. С. 55–63. [Potoroko I.Yu., Naumenko N.V., Kadi A.M.Y., Paymulina A.V. Ecotechnologies for efficient use of food resources in food system technology. Part 2: Bifunctional food systems technology based on Pickering emulsions. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2022, vol. 10, no. 3, pp. 55–63. (In Russ.)] DOI: 10.14529/food220306
2. Assadpour E., Maghsoudlou Y., Jafari S.M., Ghorbani M., Aalami M. Evaluation of folic acid nano-encapsulation by double emulsions. *Food and Bioprocess Technology*, 9 (12) (2016), pp. 2024–2032. DOI: 10.1007/s11947-016-1786-y
3. Bhattacharjee A., Chakraborty A., Mukhopadhyay G. Double emulsions – a review with emphasis on updated stability enhancement perspective. *World journal of pharmacy and pharmaceutical sciences*, 7 (6): 475, (2018), pp. 475–493.
4. Bou R., Cofrades S., Jiménez-Colmenero F. Properties of W1/O/W2 emulsions as potential fat replacers in meat products. *Proceedings of 59th international congress of meat science and technology*, August, 18–23 (2013).
5. Dima C., Dima S. Water-in-oil-in-water double emulsions loaded with chlorogenic acid: Release mechanisms and oxidative stability. *Journal of Microencapsulation*, 35 (6) (2018), pp. 584–599. DOI: 10.1080/02652048.2018.1559246
6. Ilyasoglu Buyukkestelli H., El S.N. Development and characterization of double emulsion to encapsulate iron. *Journal of Food Engineering*, 263 (April) (2019), pp. 446–453. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2019.07.026
7. Kheynoor N., Hosseini S.M.H., Yousefi G.H., Hashemi Gahruie H., Mesbahi G.R. Encapsulation of vitamin C in a rebaudioside-sweetened model beverage using water in oil in water double emulsions. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 96 (2018), pp. 419–425. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.05.066
8. Koga K., Takarada N., Takada K. Nano-sized water-in-oil-in-water emulsion enhances intestinal absorption of calcein, a high solubility and low permeability compound. *Eur J Pharm Biopharm*, 74, (2010):223–232.
9. Kumar A., Kaur R., Kumar V., Kumar S., Gehlot R., Aggarwal P. New insights into water-in-oil-in-water (W/O/W) double emulsions: Properties, fabrication, instability mechanism, and food applications. *Trends in Food Science & Technology*, 2022, vol. 128, pp. 22–37. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.07.016.
10. Maghamian N., Goli M., Najarian A. Ultrasound-assisted preparation of double nano-emulsions loaded with glycyrrhizic acid in the internal aqueous phase and skim milk as the external aqueous phase. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 141 (November 2020) (2021), Article 110850. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.110850
11. Marefati A., Pitsiladis A., Oscarsson E., Ilestam N., Bergenståhl B. Encapsulation of *Lactobacillus reuteri* in W1/O/W2 double emulsions: Formulation, storage and in vitro gastro-intestinal digestion stability. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 146 (2021). DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111423
12. Micanquer A., Serna L., Ayala Aponte A. Double emulsion systems: application in food industry. *Food Biophysics*, 2017, pp. 1–22.
13. Tyowua A.T., Yiase S.G., Binks B.P. Double oil-in-oil-in-oil emulsions stabilised solely by particles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 488 (2017), pp. 127–134. DOI: 10.1016/j.jcis.2016.10.089
14. Zentner C.A., Anson F., Thayumanavan S., Swager T.M. Dynamic imine chemistry at complex double emulsion interfaces. *Journal of the American Chemical Society*, 141 (45) (2019), pp. 18048–18055. DOI: 10.1021/jacs.9b06852

Информация об авторах

Калинина Ирина Валерьевна, доктор технических наук, профессор кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, kalininaiv@susu.ru

Науменко Наталья Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, naumenkonv@susu.ru

Удей Багале, Ph.D, кафедра химической инженерии, Национальный технологический институт, Варангал, шт. Телангана, Индия; Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, uday_bagale@yahoo.co.in

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

Малинин Артем Владимирович, аспирант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, artemmalinin3@gmail.com

Цатуров Арам Валерикович, аспирант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, aram-chel@mail.ru

Information about the authors

Irina V. Kalinina, doctor of technical sciences, professor of the department of food technology and biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, kalininaiv@susu.ru

Natalia V. Naumenko, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, Naumenko_natalya@mail.ru

Uday Bagale, Doctor of Philosophy, Department of Chemical Engineering, National Institute of Technology (Warangal, Telangana State, India); South Ural State University, Chelyabinsk, uday_bagale@yahoo.co.in

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

Artem V. Malinin, Senior laboratory assistant at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, artemmalinin3@gmail.com

Aram V. Tsaturov, Post-graduate student at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, aram-chel@mail.ru

Статья поступила в редакцию 20.08.2022

The article was submitted 20.08.2022