

Питание и здоровье Nutrition and health

Научная статья
УДК 658.788.462+547.458.1
DOI: 10.14529/food240207

ДВОЙНЫЕ ЭМУЛЬСИИ НА ОСНОВЕ РЫБЬЕГО ЖИРА В КОМПОЗИЦИИ С ФУКОИДАНОМ: ПРОФИЛЬ ПОЛЕЗНОСТИ

У. Багале, bagaleu@susu.ru

А.М.Я. Кади, kadia@susu.ru

И.Ю. Потороко, irina_potoroko@mail.ru

И.В. Калинина, kalininaiv@susu.ru

А.В. Малинин, malininaiv@susu.ru

А.В. Цатуров, aram-chel@mail.ru

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Создание пищевых систем нового формата позволяет осуществлять адресную доставку биологически активных веществ, влиять на сохранность органолептических свойств, повышать биодоступность и биоактивность. В качестве одной из систем нового формата являются двойные эмульсии. Цель данной работы заключается в использовании кавитационных эффектов ультразвука для инкапсулирования сульфатированного гетерополисахарида фукоидана в биоактивную эмульсию первого уровня W1(H₂O:БАВ)/O на основе рыбьего жира для размещения в систему двойных эмульсий. Для достижения поставленной цели были получены образцы эмульсии первого уровня с включением биоактивного вещества (БАВ) бурых водорослей – фукоидана в количестве 5, 10 мг и без добавления БАВ, стабилизированные растительным поверхностно-активным веществом. Была проведена оценка профиля полезности полученных эмульсий на основе комплекса экспериментальных исследований. Результаты исследования показали, что оптимальные сочетания БАВ и жировой фракции были выявлены у образца 2 при инкапсулировании фукоидана в количестве 10 мг в первый уровень двойной эмульсии на основе рыбьего жира, наблюдается повышение антиоксидантной активности. Результаты ИК-Фурье спектроскопии исследуемых образцов эмульсий первого уровня показали, что полоса при 1743 см⁻¹ представляет собой колебание при растяжении альдегидных или сложноэфирных карбонильных групп (C=O) и может отражать степень ненасыщенности. Наблюдается также пик при 3010 см⁻¹, который указывает на концентрацию ω3 ЖК-ПНЖК, в том числе докозагексаеновой кислоты (ДГК) и эйкозапентаеновой кислоты (ЭПК). Данные жирные кислоты играют ключевую роль в поддержании здоровья сердца, мозга и глаз человека. Поэтому можно с уверенностью сказать, что созданные на основе рыбьего жира в композиции с фукоиданом эмульсии первого уровня будут эффективны в составе двойных эмульсий для обогащения разных пищевых систем.

Ключевые слова: эмульсия первого уровня, стабильность эмульсии, пищевые системы, ультразвук, фукоидан, рыбий жир, полезность

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

Для цитирования: Двойные эмульсии на основе рыбьего жира в композиции с фукоиданом: профиль полезности / У. Багале, А.М.Я. Кади, И.Ю. Потороко и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2024. Т. 12, № 2. С. 58–65. DOI: 10.14529/food240207

Original article
DOI: 10.14529/food240207

DOUBLE EMULSIONS BASED ON FISH OIL IN COMPOSITION WITH FUCOIDAN: USEFUL PROFILE

U. Bagale, *bagaleu@susu.ru*
A.M.Y. Kadi, *kadia@susu.ru*
I.Yu. Potoroko, *irina_potoroko@mail.ru*
I.V. Kalinina, *kalininaiv@susu.ru*
A.V. Malinin, *malininaiv@susu.ru*
A.V. Tsaturov, *aram-chel@mail.ru*
South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. The creation of food systems in a new format allows for targeted delivery of biologically active substances, influencing the preservation of organoleptic properties and increasing bioavailability and bioactivity. One of the new format systems is double emulsions. The purpose of this work is to use the cavitation effects of ultrasound to encapsulate sulfated fucoidan heteropolysaccharide into a first level W1 (H₂O:BAS)/O emulsion derived from fish oil for placement in a double emulsion system. To achieve this goal, samples of the first-level emulsion were obtained with the inclusion of a bioactive substance (BAS) of brown algae, fucoidan, in an amount of 5–10 mg and without the addition of BAS, stabilized by a plant surfactant. The utility profile of the resulting emulsions was assessed based on a set of experimental studies. The results of the study showed that optimal combinations of biologically active substances and fat fractions were identified in sample 2 when encapsulating fucoidan in an amount of 10 mg in the first level of a double emulsion based on fish oil. An increase in antioxidant activity was observed. The results of FT-IR spectroscopy of the studied samples of first-level emulsions showed that the band at 1743 cm⁻¹ represents a stretching vibration of aldehyde or ester carbonyl groups (C=O) and may reflect the degree of unsaturation. A peak is also observed at 3010 cm⁻¹, which indicates the concentration of ω3 FA-PUFAs, including docosahexaenoic acid (DHA) and eicosatetraenoic acid (EPA). These fatty acids play a key role in maintaining the health of the human heart, brain, and eyes. Therefore, we can say with confidence that first-level emulsions created on the basis of fish oil in composition with fucoidan will be effective as part of double emulsions for the enrichment of various food systems.

Keywords: first-level emulsion, emulsion stability, food systems, ultrasound, fucoidan, fish oil, usefulness

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: Bagale U., Kadi A.M.Y., Potoroko I.Yu., Kalinina I.V., Malinin A.V., Tsaturov A.V. Double emulsions based on fish oil in composition with fucoidan: useful profile. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 58–65. (In Russ.) DOI: 10.14529/food240207

Введение

Для пищевой промышленности важным аспектом устойчивости в сегменте «здоровых» продуктов питания является создание продукции нового формата, которая способна обеспечивать адресную доставку БАВ (биологически активных веществ), обладать добавленной полезностью при сохранении потребительских свойств. В текущий момент весьма перспективны технологические решения по использованию двойных эмульсий в каче-

стве системы доставки БАВ через пищевые матрицы [4].

Двойная эмульсия представляет собой коллоидную систему, в которой эмульсия первого уровня «W1/O», образованная с использованием растительных поверхностно-активных веществ, диспергируется в водной фазе второго уровня системы с использованием гидрофильного поверхностно-активного вещества [1, 10, 14]. В технологиях их получения особое внимание уделяется выявлению

оптимального сочетания компонентов БАВ водной фракции или жировой фракции при получении первого уровня эмульсии W1(H₂O:БАВ)/O. Эффективность получения второго уровня системы может быть достигнута за счет минимизации барьеров, препятствующих обеспечению биодоступности БАВ в пищевой матрице.

Перспективность полисахаридов бурых водорослей (в частности, сульфатированного гетерополисахарида фукоидана) в качестве БАВ обусловлена широким спектром клинически доказанных положительных эффектов: антиоксидантного, антикоагулянтного и противовоспалительного и др. действий. Использование фукоидана в составе эмульсии первого уровня позволит сформировать биологически активную пищевую систему, обеспечить высокий уровень профиля ее полезности.

Наибольший интерес для формирования полезности липидной фазы эмульсии представляет рыбий жир в силу уникального жирнокислотного состава. Так, жиры рыб прежде всего богаты полиненасыщенными жирными кислотами, такими как ЭПК и ДГК, которые считаются очень важными для здоровья человека. Они играют ключевую роль в поддержании здоровья сердца, мозга и глаз. Омега-3 жирные кислоты, такие как ЭПК и ДГК, обладают противовоспалительными свойствами, что особенно важно для борьбы с воспалительными процессами в организме [11].

В отличие от рыбьего жира, растительные масла, такие как подсолнечное или соевое масло, содержат в основном одно- и двухненасыщенные жирные кислоты, такие как олеиновая кислота (омега-9), которые также важны для здоровья, но содержат гораздо меньше ЭПК и ДГК [11].

Смесь глицеридов жира рыб содержит главным образом ЭПК (эйкозапентаеновая кислота): 15–30 %, ДГК (докозагексаеновая кислота): 20–30 %, олеиновая кислота: 20–35 %, пальмитиновая кислота: 10–20 %, арахидоновая кислота: 2–3 % и линолевая кислота на уровне: 1–3 % [9].

Присутствие рыбьего жира в составе двойной эмульсии может улучшить биодоступность за счет купирования риска окисления и увеличения диспергируемости жирных кислот омега-3 в воде.

В промышленности двухфазные эмульсии, состоящие из двух типов: масло в воде в масле (O1/W/O2) и вода в масле в воде

(W1/O/W2) обеспечат эффективность доставки гидрофильных и гидрофобных биоактивных соединений и, как следствие, профиль полезности обогащенной пищевой матрицы [13].

Формирование устойчивой эмульсии с сохранением биоактивности возможно на основе использования нетепловых эффектов ультразвукового воздействия как действующего инструмента компенсации возможных проблем за счет тонкого диспергирования компонентов в системе эмульсии и изменения размерного ряда частиц БАВ. Ультразвуковая технология играет решающую роль в улучшении биодоступности биологически активных соединений в двойных эмульсиях. Создавая более мелкие и более стабильные капли эмульсии, ультразвук повышает растворимость, увеличивает площадь поверхности для взаимодействия и сводит к минимуму повторное слияние. Двойные эмульсии, полученные с помощью ультразвука, находят применение в доставке лекарств и функциональных продуктах питания, обеспечивая эффективную доставку биологически активных веществ [3, 7].

Цель данной работы заключается в обосновании использования кавитационных эффектов ультразвука для инкапсулирования сульфатированного гетерополисахарида фукоидана в биоактивную эмульсию первого уровня W1(H₂O:БАВ)/O на основе рыбьего жира для размещения в систему двойных эмульсий.

Объекты и методы исследования

Для достижения цели в качестве объектов были определены эмульсии первого уровня W1(H₂O:БАВ)/O:

контроль – эмульсии полученные на основе рыбьего жира без внесения БАВ;

образец 1 – эмульсии, полученные на основе рыбьего жира и обогащенные БАВ бурых водорослей (сульфатированный гетерополисахарид фукоидан) в количестве 5 мг/100 мл;

образец 2 – эмульсии, полученные на основе рыбьего жира и обогащенные БАВ (сульфатированный гетерополисахарид фукоидан) в количестве 10 мг/100 мл.

В качестве основного сырья для получения эмульсии использовали: фукоидан (Fucoid Power-U) компании Haewon Biotech Co., Ltd., Сеул, Корея, лецитин соевый жидкий компании Verolec FLS, рыбий жир производителя ООО «Тюльская фармацевтическая фабрика».

Методология исследования

Фукоидан инкапсулировали в водно-масляную фазу на основе рыбьего жира и стабилизировали жидким соевым лецитином при помощи гомогенизатора ультразвукового, Sonicator Q700, Qsonica (тех. хор. прибора: мощность 700 Вт, частота 20 кГц, амплитуда от 1–100 %). Амплитуда составляла 80 %. Длительность ультразвуковой обработки составила 15 минут при температуре в пределах от 40 до 50 °С. Далее образцы эмульсии первого уровня исследовали.

Для определения эффекта инкапсуляции фукоидана в водно-масляную фазу на основе рыбьего жира, стабилизированного при помощи соевого лецитина, был сформирован перечень показателей качества эмульсии первого уровня: вязкость (при помощи анализатора вязкости AND SV-10, вискозиметр), стойкость эмульсии (по ГОСТ 31762-2012), перекисное число (по ГОСТ ISO 3960-2013), кислотное число (по ГОСТ 31933-2012), антиоксидантная активность (метод DPPH), оценка безопасности и токсичности (по ГОСТ 31674-2012), ИК-Фурье спектроскопия (FTIR). Все исследования проводилось в трех измерениях [16, 17].

Антиоксидантную активность оценивали спектрофотометрически при 515 нм путем определения поглощающей способности свободного радикала 1,1-дифенил-2-пикрилгидразила.

Оценку безопасности и токсичности проводили с помощью автоматизированного аппаратно-программного комплекса «БиоЛат» на тест-организмах – инфузориях вида *Paramecium caudatum* путем подсчета количества выживших простейших в лунках с помощью программы Auto Ciliata сразу после подсаживания их в исследуемые растворы и через 2 ч после начала исследования. Оценка токсичности производится автоматически.

ИК-Фурье спектроскопию (FTIR) проводили с помощью ИК-Фурье спектрометра SHIMADZU IRTTracer-100 при длине волны 400–3900 см⁻¹ для идентификации основных (функциональных) групп.

Потенциальная биоактивность – на основе определения индекса биоактивности (ИБА) по методике. 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), затем смесь центрифугируется (8000 об/мин, 10 мин), фильтруется через мембранный ацетатцеллюлозный фильтр (0,45 мкм). В полученном фильтрате определяется количество АОА (DPPH, %) [15].

Индекс биоактивности (И_{БА}, %) рассчитывается по формуле:

$$I_{BA} = \frac{AOA_{конц}}{AOA_{исх}} \times 100, \quad (1)$$

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

Результаты и их обсуждение

На первом этапе исследования комплексно были оценены образцы эмульсии первого уровня W1(H₂O:БАВ)/O, где дисперсной средой является рыбий жир, а дисперсной фазой выступает водный раствор фукоидана вариации по содержанию от 0 до 10 мг (с шагом 5 мг) по сформированной номенклатуре показателей качества: вязкость, стойкость эмульсии, перекисное число, кислотное число, антиоксидантная активность. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Полученные результаты исследования позволяют говорить о том, что при внесении фукоидана в эмульсию значение показателя вязкости практически не изменилось, эмульсии устойчивы во времени. Вместе с тем контрольный образец имел значение 74,0 %, а при внесении фукоидана в количестве 10 мг стойкость эмульсии составила 86,0 %. Данные изменения могли быть обусловлены высокой антиоксидантной активностью фукоидана и молекулярной массой БАВ. Стоит также отметить, что растворимость фукоидана в значительной степени зависит от уровня разветвленности и количества сульфатных групп [2, 18].

Наибольшая антиоксидантная активность была выявлена у образца 2 при встраивании фукоидана в количестве 10 мг и составила 82,50 %. Полученные результаты оценки устойчивости липидной фракции к окислительным процессам доказали, что все исследуемые образцы эмульсий не превышают допустимый уровень не более 10 моль активного кислорода/кг для рыбьего жира в соответствии с ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

Далее проводилась оценка такого показателя качества, как кислотное число – показа-

Таблица 1

Результаты исследования образцов эмульсии первого уровня на основе рыбьего жира в композиции с фукоиданом

Показатели качества	Наименование исследуемого образца эмульсии первого уровня W1(H ₂ O:БАВ)/O		
	контроль (без БАВ)	образец 1 (5 мг БАВ)	образец 2 (10 мг БАВ)
Вязкость, Pas	1,17 ± 0,2	1,07 ± 0,1	1,09 ± 0,2
Стойкость эмульсии, %	74,0 ± 0,01	82,0 ± 0,02	86,0 ± 0,02
Перекисное число, моль активного кислорода/кг	9,8 ± 0,3	9,3 ± 0,2	8,5 ± 0,3
Кислотное число, мг КОН/100 г	2,2 ± 0,4	1,9 ± 0,2	1,6 ± 0,1
АОА, % (DPPH)	72,98 ± 0,1	81,23 ± 0,1	82,50 ± 0,3

тель, который характеризует глубину гидролитического распада за счет групп карбоновых кислот в химическом соединении [5, 6, 8].

Результаты исследования степени токсичности образцов эмульсии на простейших *Paramecium caudatum* представлены в табл. 2. По данным проведенных исследований было установлено, что все образцы эмульсии первого уровня W1(H₂O:БАВ)/O на основе рыбьего жира с инкапсулированным фукоиданом и без него не токсичны и могут использоваться в пищевых системах.

Таблица 2

Результаты исследования степени токсичности образцов эмульсии на основе рыбьего жира в композиции с фукоиданом на простейших *Paramecium caudatum*

Объект исследования	% выживших инфузорий	Заключение о токсичности, согласно ГОСТ 31674-2012
Контроль (без БАВ)	132 ± 0,1	Не токсичен
Образец 1 (5 мг БАВ)	109 ± 0,2	Не токсичен
Образец 2 (10 мг БАВ)	112 ± 0,1	Не токсичен

Для исследования профиля полезности полученных эмульсий на основе лецитина были идентифицированы и проанализированы с помощью метода ИК-Фурье спектроскопии основные функциональные группы.

Результаты ИК-Фурье спектроскопии исследуемых образцов эмульсий первого уровня представлены на рис. 1.

На графике визуализируются следующие данные: полоса при 1743 см⁻¹ представляет собой колебание при растяжении альдегидных или сложноэфирных карбонильных групп (C=O) и может отражать степень ненасыщенности. Наблюдается также пик при 3010 см⁻¹, который указывает на концентрацию ω3 ЖК-ПНЖК, в том числе докозагексаеновой кислоты (ДГК) и эйкозапентаеновой кислоты (ЭПК). Пики при волновых числах 3010, 2922, 2852 см⁻¹ представляют собой растяжение по C-H цис-алкена, асимметричное растяжение метиловой группы и асимметричное или симметричное растяжение метиленовой группы, соответственно. Были зафиксированы характерные пики как для фукоидана нативного, так и для эмульсий с инкапсулированным фукоиданом, наблюдается широкая полоса поглощения в области 3445 см⁻¹, которая была связана с группами –ОН. Полосы поглощения при 827 см⁻¹ характерны для сульфатных групп [12].

На заключительном этапе исследований образцов эмульсии первого уровня на основе рыбьего жира с инкапсулированным фукоиданом и без него оценивался показатель потенциальной биоактивности (индекс биоактивности). Результаты исследования индекса биоактивности образцов представлены на рис. 2.

Оценка потенциальной биоактивности на модели *in vitro* показала целесообразность использования процесса размещения БАВ в конструкцию эмульсии для возможности обеспечения сохранности их антиоксидантных свойств, что обеспечивает профиль полезности.

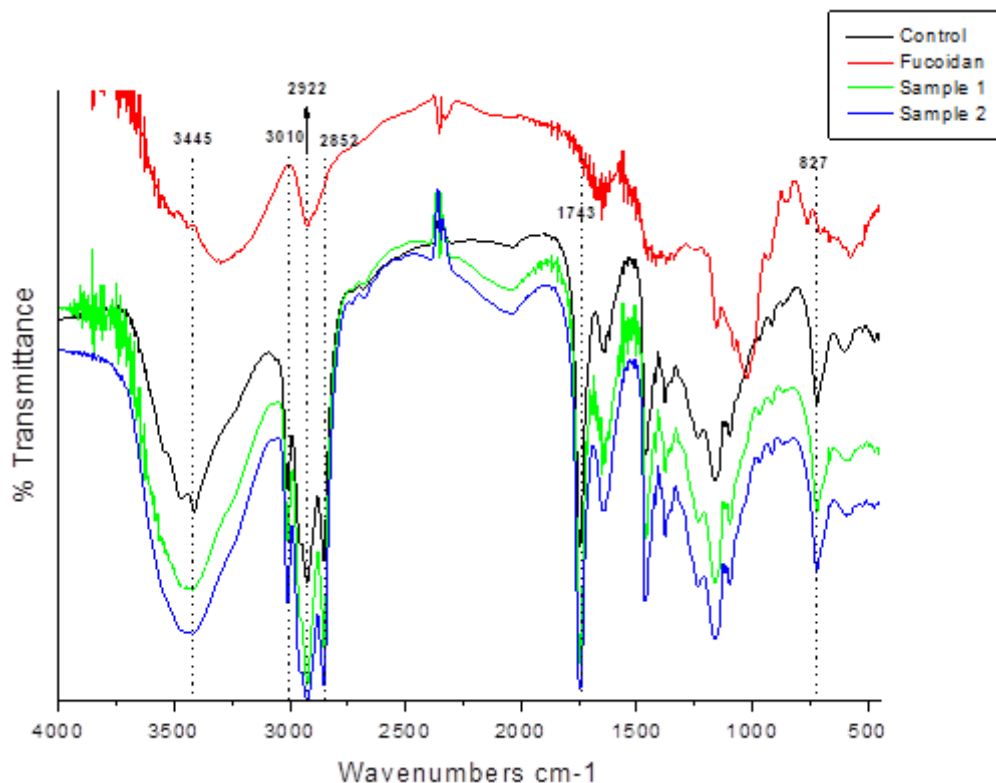


Рис. 1. Результаты ИК-Фурье спектроскопии исследуемых образцов эмульсии: Control – контроль (без БАВ), Fucoidan – фукоидан нативный, Sample 1 – образец 1 (количество БАВ фукоидан 5 мг), Sample 2 – образец 2 (количество БАВ фукоидан 10 мг)

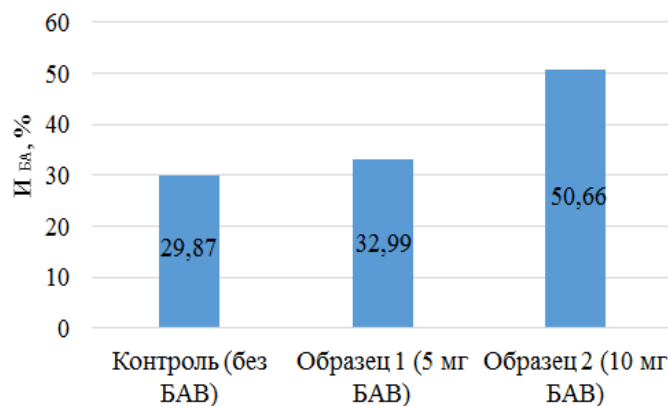


Рис. 2. Результаты оценки показателей потенциальной биоактивности образцов эмульсии

Экспериментально установлено, что наибольшая потенциальная биоактивность наблюдается у образца 2, вследствие встраивания фукоидана в эмульсию первого уровня в количестве 10 мг, и составляет 50,66 % [15–17].

Выводы по результатам работы

Таким образом, результаты исследования доказывают, что сочетание БАВ и жировой фракции эмульсии на основе рыбьего жира

обеспечивает положительный эффект на показатели пищевой полноценности системы. Установлены наиболее благоприятные соотношения компонентов эмульсионной системы, в частности инкапсулирование фукоидана в количестве 10 мг в первый уровень двойной эмульсии W1(H₂O:БАВ)/O на основе рыбьего жира с использованием эффектов ультразвука для эффективного размещения в системе двойных эмульсий. В целом добав-

ление рыбьего жира в двойную эмульсию может быть полезным с точки зрения формирования профиля полезности, но требует внимательного баланса для достижения стабильности и желаемых характеристик продукта. При получении двойных эмульсий важно ориентироваться не только на показа-

тели полезности, но и применимость липидной фракции в технологии пищевых матриц с учетом возможности купирования сопутствующей флейворности, характерной для рыбьего жира, а также экономической составляющей и возобновляемости данного сырья для всех территорий.

Список литературы / References

1. Akhtar M., Murray B.S., Afeisume E.I., Khew S.H. Encapsulation of flavonoid in multiple emulsion using spinning disc reactor technology. *Food Hydrocolloids*, 2014, vol. 34, pp. 62–67. DOI: 10.1016/J.FOODHYD.2012.12.025.
2. Capron I., Costeux S., Djabourov M., Water in water emulsions: Phase separation and rheology of biopolymer solutions. *Rheol. Acta*, 2001, vol. 40, pp. 441–456. DOI: 10.1007/s003970100161.
3. Elaine E. et al. Recent Advances in the Formation, Stability, and Emerging Food Application of Water-in-Oil-in-Water Double Emulsion Carriers. *Food and Bioprocess Technology*, 2024, pp. 1–21. DOI: 10.1007/s11947-024-03350-y
4. Garti N., Aserin A. Double emulsions stabilized by macromolecular surfactants. In book: *Surfactants in Solution*, 2020, pp. 297–332. DOI: 10.1201/9781003067580-21
5. Horn A.F., Nielsen N.S., Andersen U., Søgaard L.H., et al. Oxidative stability of 70 % fish oil-in-water emulsions: Impact of emulsifiers and pH. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 2011, vol. 113, no. 10, pp. 1243–1257. DOI: 10.1002/ejlt.201100070
6. Horn A.F., Nielsen N.S., Jensen L.S., Horsewell A., Jacobsen C. The choice of homogenisation equipment affects lipid oxidation in emulsions. *Food Chem.*, 2012, vol. 134, pp. 803–810. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.02.184.
7. Iqbal M. et al. Preparation of biodegradable PCL particles via double emulsion evaporation method using ultrasound technique. *Colloid and Polymer Science*, 2015, vol. 293, pp. 861–873. DOI: 10.1007/s00396-014-3464-9
8. Lydia Fomuso, Milena Corredig, Casimir C. Akoh. Effect of Emulsifier on Oxidation Properties of Fish Oil-Based Structured Lipid Emulsions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, vol. 50(10), pp. 2957–2961. DOI: 10.1021/jf011229g
9. Li S. et al. Dietary-polysaccharide-modified fish-oil-based double emulsion as a functional colloidal formulation for oral drug delivery. *Pharmaceutics*, 2022, vol. 14, no. 12, pp. 2844. DOI: 10.3390/pharmaceutics14122844
10. Kumar Ankit, Kaur Ramandeep, Kumar Vikas, Kumar Satish, Gehlot Rakesh, Aggarwal Poonam. 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.
11. Karsli B. Comparative analysis of the fatty acid composition of commercially available fish oil supplements in Turkey: Public health risks and benefits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2021, vol. 103, pp. 104105. DOI: 10.1016/j.jfca.2021.104105
12. Karunathilaka S.R., Mossoba M.M., Chung J.K., Haile E.A., Srigley C.T. Rapid Prediction of Fatty Acid Content in Marine Oil Omega-3 Dietary Supplements Using a Portable Fourier Transform Infrared (FTIR) Device & Partial Least-Squares Regression (PLSR) Analysis. *J. Agric. Food Chem.*, 2017, vol. 65 (1), pp. 224–233. DOI: 10.1021/acs.jafc.6b04463
13. Mancera-Andrade E.I. et al. Microfluidics technology for drug delivery: A review. *Front. Biosci.(Elite Ed.)*, 2018, vol. 10, pp. 74–91.
14. Muschiolik G., Dickinson E. Double emulsions relevant to food systems: preparation, stability, and applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2017, vol. 16(3), pp. 532–555. DOI: 10.1111/1541-4337.12261

15. Rodríguez-Roque M.J., de Ancos B., Sánchez-Moreno C., Cano M.P., Elez P. -Martínez 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

16. Uday Bagale, Ammar Kadi, Artem Malinin, Varisha Anjum, Irina Potoroko. Ultrasound Assisted Comparative Study of Fucolamand Sodium Alginate and Impact on TheirPhysiochemical Properties UsingBox-Behnken Design. *Karbala International Journal of Modern Science*, 2023, vol. 9(3), pp. 495–513. DOI: 10.33640/2405-609X.3319

17. Uday Bagale, Ammar Kadi, Artem Malinin, Varisha Anjum, Irina Potoroko, Shirish H Sonawane. Impact of a Sonochemical Approach to the Structural and Antioxidant Activity of Brown Algae (Fucoidan) Using the Box-Behnken Design Method. *Processes*, 2023, vol. 11 (7), p. 1884. DOI: 10.3390/pr11071884.

18. Yesiltas B., García Moreno P.J., Sørensen A-D.M., & Jacobsen C. Physical and oxidative stability of high fat fish oil-in-water emulsions stabilized with combinations of sodium caseinate and sodium alginate. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2017, vol. 119(11), pp. 1–10. DOI: 10.1002/ejlt.201600484.

Информация об авторах

Багале Удей, Ph.D, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, bagaleu@susu.ru

Кади Аммар Мохаммад Яхья, ассистент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, kadia@susu.ru

Потороко Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, irina_potoroko@mail.ru

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

Малинин Артем Владимирович, ассистент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, malinnav@susu.ru

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

Information about the authors

Uday Bagale, Doctor of Philosophy, South Ural State University, Chelyabinsk, bagaleu@susu.ru

Ammar M.Y. Kadi, Assistant at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, kadia@susu.ru

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

Irina V. Kalinina, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, kalininaiv@susu.ru

Artem V. Malinin, Assistant at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, malinnav@susu.ru

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

Статья поступила в редакцию 15.02.2024

The article was submitted 15.02.2024