

ОЦЕНКА БИОДОСТУПНОСТИ БАВ В СОСТАВЕ БИОАКТИВНЫХ ЭМУЛЬСИОННЫХ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ

О.В. Феофилактова¹, feofiov@usue.ru
Т.В. Мажаева^{1,2,3}, tvмагаева@yandex.ru
С.В. Бегичева¹, begichevas@mail.ru
Н.В. Заворохина¹, degustator@olympus.ru

¹ Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

² Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий Роспотребнадзора, Екатеринбург, Россия

³ Уральский государственный медицинский университет Минздрава России, Екатеринбург, Россия

Аннотация. Высокая эффективность доставки биологически активных веществ (БАВ) с помощью различных систем в алиментарной коррекции неинфекционных заболеваний населения подтверждена рядом исследований. Однако важным аспектом является подтверждение биодоступности после употребления каждого БАВ, содержащегося в пищевой матрице, в том числе с помощью доклинических исследований. Для доставки БАВ в данном исследовании использовали биоактивную эмульсионную пищевую систему. Целью исследования являлась сравнительная оценка биодоступности витамина В₁₂ в крови после введения биоактивной эмульсионной пищевой системы и прямой эмульсии, обогащенных данным витамином в опытах на лабораторных животных. Исследования проводились на белых лабораторных крысах-самцах линии Wistar массой 350 г ± 10 %, возраста 10–11 недель в 2 этапа: пилотный эксперимент, для определения оптимального периода биодоступности витамина В₁₂ (через 1, 2, 3 или 4 часа) и основной эксперимент с выбранным периодом биодоступности в 4 часа по результатам пилотного эксперимента. Количественное содержание витамина В₁₂ в крови лабораторных животных, получавших биоактивную эмульсионную пищевую систему (БЭПС), на 10,4 % превышает его содержание в крови лабораторных животных, получавших прямую эмульсию с данным витамином. Контрольная группа животных, получавшая эмульсию без витамина, характеризовалась содержанием витамина В₁₂ в крови в количестве меньшем на 33 % по сравнению с группой, получавшей БЭПС. Результаты исследования показали, что инкапсулирование витамина В₁₂ во внутреннюю водную фазу фортификации БЭПС обеспечивает большую его биодоступность. Результаты общего анализа крови указывают на протекание в организме животных процессов, в разной степени способствующих улучшению сопротивляемости организма к различным факторам и формированию новых клеток.

Ключевые слова: оценка биодоступности; доклинические исследования; биологически активные вещества; биоактивные эмульсионные пищевые системы; витамин В₁₂; показатели крови

Для цитирования: Оценка биодоступности БАВ в составе биоактивных эмульсионных пищевых систем / О.В. Феофилактова, Т.В. Мажаева, С.В. Бегичева, Н.В. Заворохина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2024. Т. 12, № 2. С. 48–57. DOI: 10.14529/food240206

Original article
DOI: 10.14529/food240206

ASSESSMENT OF BIOAVAILABILITY OF BAS IN THE COMPOSITION OF BIOACTIVE EMULSION FOOD SYSTEMS

O.V. Feofilaktova¹, feofiov@usue.ru
T.V. Mazhaeva^{1,2,3}, tvmagaeva@yandex.ru
S.V. Begicheva¹, begichevas@mail.ru
N.V. Zavorokhina¹, degustator@olympus.ru

¹ Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

² Ekaterinburg Health Science Center for Prevention and Health Protection of Industrial Enterprises Workers of Rospotrebnadzor, Ekaterinburg, Russia

³ Ural State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Ekaterinburg, Russia

Abstract. The high efficiency of delivery of biologically active substances (BAS) using various systems in the nutritional correction of non-infectious diseases of the population has been confirmed by a number of studies. However, an important aspect is to confirm the bioavailability after consumption of each biologically active substance contained in the food matrix, including through preclinical studies. To deliver biologically active substances in this study, a bioactive emulsion food system was used. A bioactive emulsion food system was used as a BAS delivery system in this study. The purpose of the study was a comparative assessment of the bioavailability of vitamin B₁₂ in the blood after the introduction of a bioactive emulsion food system and a direct emulsion enriched with this vitamin in experiments on laboratory animals. The studies were conducted on white laboratory male Wistar rats weighing 350 g ± 10 %, aged 10–11 weeks in 2 stages: a pilot experiment to determine the optimal period of bioavailability of vitamin B₁₂ (after 1, 2, 3 or 4 hours) and the main experiment with selected bioavailability period of 4 hours based on the results of a pilot experiment. The quantitative content of vitamin B₁₂ in the blood of laboratory animals that received a bioactive emulsion food system (BEPS) was 10.4 % higher than its content in the blood of laboratory animals that received a direct emulsion with this vitamin. The control group of animals that received an emulsion without vitamin was characterized by a content of vitamin B₁₂ in the blood that was 33 % lower than the group that received BEPS. The results of the study showed that the encapsulation of vitamin B₁₂ in the internal aqueous phase of BEPS fortificate ensures its greater bioavailability. The results of the study showed that the encapsulation of vitamin B₁₂ in the internal aqueous phase of BEPS fortificate ensures its greater bioavailability. The results of a general blood test indicate the occurrence of processes in the animal's body that, to varying degrees, contribute to improving the body's resistance to various factors and the formation of new cells.

Keywords: bioavailability assessment; preclinical studies; biologically active substances; bioactive emulsion food systems; vitamin B₁₂; blood counts

For citation: Feofilaktova O.V., Mazhaeva T.V., Begicheva S.V., Zavorokhina N.V. Assessment of bioavailability of bas in the composition of bioactive emulsion food systems. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 48–57. (In Russ.) DOI: 10.14529/food240206

Введение

На сегодняшний день большая часть научных исследований сосредоточена на разработке систем доставки биологически активных веществ (БАВ) в организм человека, их стабильности, защитных свойствах, органолептических характеристиках и пр. Не утрачивает своей актуальности и подтверждение

биодоступности БАВ в различных системах их доставки, в том числе в составе пищевых продуктов.

Биодоступность – это сложный процесс, включающий желудочно-кишечное пищеварение, абсорбцию, метаболизм, распределение и биологическую активность [1]. Она определяется удельным весом вводимой дозы

БАВ, который попадает в кровоток (систему кровообращения) в неизменном виде.

Функциональные свойства многих БАВ могут быть не реализованы в организме в связи с низкой или переменной биодоступностью после их употребления [2–4].

Поэтому биодоступность необходимо изучать для каждого конкретного БАВ в конкретной пищевой матрице, с целью выявления эффективного подхода к ее улучшению с учетом всех возможных факторов: системы доставки БАВ в организм человека, солюбилизации в желудочно-кишечном тракте, взаимодействия с другими компонентами, транспорта через клеточные мембраны и распределения через системное кровообращение в различные органы и ткани [5–8].

Пищевые матрицы эмульсионного типа являются одними из наиболее эффективных за счет возможности направленного контроля их состава, структуры и свойств [9–12]. Они расщепляются в желудочно-кишечном тракте с образованием коллоидных структур, что может способствовать увеличению биодоступности, абсорбции и/или трансформации БАВ.

Уровень витамина В₁₂ в сыворотке крови является чувствительным маркером его алиментарного поступления в организм. Витамин В₁₂ имеет сложный механизм всасывания в желудочно-кишечном тракте: в щелочной среде тонкой кишки под воздействием ферментов поджелудочной железы связывается с внутренним фактором – белком, образуя комплекс «внутренний фактор-белок», а рецепторы, расположенные на поверхности тонкой кишки, в свою очередь поглощают этот комплекс [13, 14]. В связи с этим он может выступать в качестве маркера для оценки эффективности различных систем доставки биологически активных веществ.

В связи с тем, что доклинические исследования биодоступности биологически активных веществ в пищевой матрице на лабораторных животных являются важным этапом в разработке технологии обогащенных пищевых продуктов, целью данной работы являлась сравнительная оценка биодоступности витамина В₁₂ в крови после введения биоактивной эмульсионной пищевой системы и прямой эмульсии, обогащенных данным витамином в сравнении с контролем – прямой эмульсией в опытах на лабораторных животных.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили в клинике экспериментальных животных ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора.

В качестве системы доставки БАВ в данном исследовании использовали биоактивные эмульсионные пищевые системы.

Биоактивная эмульсионная пищевая система (БЭПС) представляет собой эмульсионную пищевую систему, дополнительно обогащенную эмульсионным фортификатом – биоактивным дисперсным комплексом, содержащим в дисперсной фазе (среде) БАВ в количестве, превышающем его изначальное содержание в нем. В качестве БАВ в данном исследовании использовали витамин В₁₂, инкапсулированный во внутреннюю водную фазу эмульсионного фортификата. Биоактивный дисперсный комплекс был фортифицирован в пищевую систему на основе воды.

В качестве маркера для определения биодоступности использовали витамин В₁₂ (цианкобаламин) в виде кристаллического порошка, который вводился в исследуемые образцы пищевых эмульсий в количестве 0,12 мкг на 1 мл.

В эксперименте использовались 3 образца пищевых эмульсий, приготовленных на основе купажа масел (подсолнечного рафинированного дезодорированного и масла МСТ (смеси среднепечочных триглицеридов) в соотношении 2:1)) и воды:

- образец № 1 – БЭПС с витамином В₁₂;
- образец № 2 – прямая эмульсия с витамином В₁₂;
- контроль – прямая эмульсия.

Исследуемые образцы были расфасованы в пластиковую тару по 100 мл и хранились в холодильнике, за 1 час до введения доводились до комнатной температуры естественным путем.

Условия содержания лабораторных животных соответствовали нормативным документам:

- ГОСТ 33215-2014. Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур;
- ГОСТ 33216-2014. Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами;
- РД-АПК 3.10.07.02-09. Рекомендательные документы. Методические рекомендации по содержанию лабораторных животных в

вивариях научно-исследовательских институтов и учебных заведений;

– Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях. Страсбург, 18 марта 1986 год [15].

В качестве тест-объекта использовались белые лабораторные крысы-самцы линии Wistar. Животные содержались в помещении с контролируемыми условиями микроклимата, средняя температура за день не выходила за пределы нормы (16–22 °С) при относительной влажности воздуха 40–70 %, поддерживался 12-часовой цикл освещения.

Исследования проводились на животных массой $350 \text{ г} \pm 10 \%$, возраста 10–11 недель. Проведены мероприятия по карантину животных в течение 14 дней с тщательным осмотром ветеринарного врача на наличие отклонений по нормальному физиологическому развитию животных и диагностикой заболеваний кожи при помощи лампы Вуду на наличие паразитов. После проведения карантинных мероприятий животные рассаживались в клетки по 3 крысы (период адаптации 5 дней). Каждой группе животных присваивалась групповая метка. Осуществлены ежедневные мероприятия по кормлению животных с соблюдением питьевого режима. Ежедневно проводился мониторинг динамики массы тела животных. Ежедневно проводилась уборка помещений с применением дезинфицирующих средств.

Крысы имели беспрепятственный доступ к корму и воде. Смена подстилки в клетках проводилась не реже 2 раз в неделю. Замена питьевой воды в бутылках осуществлялась ежедневно.

В день эксперимента у животных регистрировались показатели массы тела для определения точной дозировки эмульсии на животное. Всем животным натошак была введена эмульсия согласно групповой принадлежности из расчета 1 мл на каждые 100 грамм веса, при этом витамин B_{12} в соответствующих эмульсиях содержался в количестве 0,12 мкг в 1 мл. Введение эмульсий осуществлялось внутрижелудочным методом с помощью оральных зондов. Оценка биодоступности БАВ производилась по сыворотке крови лабораторных животных после введения БЭПС, содержащих во внутренней фазе БАВ в сравнении с контрольным образцом – прямой

эмульсией и прямой эмульсией с добавлением БАВ.

Сбор цельной крови осуществлялся путем декапитации в пробирки с крышкой для определения содержания витамина B_{12} .

Концентрацию витамина B_{12} в сыворотке измеряли с помощью автоматизированной системы электрохемилюминесцентного иммуноанализа.

Показатели общего анализа крови были получены на гематологическом анализаторе MicroCC-20Plus (Veterinary). Клетки ретикулоцитов в мазках крови были посчитаны на микроскопе Zeiss.

Статистическая обработка результатов исследований осуществлялась с использованием рангового критерия Манна-Уитни.

Результаты исследований

Исследования проводили в 2 этапа. На первом этапе (пилотный эксперимент) определяли оптимальный период биодоступности витамина B_{12} с помощью анализа крови через 1, 2, 3 и 4 часа после введения образцов эмульсий. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Исследования показали, что наибольшая концентрация витамина B_{12} определяется в сыворотке крови через 4 часа. В связи с этим оптимальным для определения биодоступности по результатам пилотного эксперимента был выбран период в 4 часа.

На втором этапе проводили анализ содержания витамина B_{12} в крови лабораторных животных через 4 часа после введения БЭПС, прямой эмульсии и контрольной эмульсии.

Результаты исследования крови лабораторных животных на количественное содержание витамина B_{12} отражены в табл. 2.

Сравнительный анализ концентрации витамина B_{12} в крови лабораторных животных через 4 часа после введения прямой эмульсии с витамином B_{12} и БЭПС показал ее достоверное различие.

Далее были проведены исследования по выявлению различий в значениях параметров общего анализа крови лабораторных животных после введения БЭПС, прямой эмульсии и контрольной эмульсии (табл. 3 и 4).

С целью оценки биодоступности витамина B_{12} и включения его в метаболизм проведены исследования содержания основных гематологических параметров по общему анализу крови.

Таблица 1

Результаты определения оптимального периода концентрации витамина В₁₂ в сыворотке крови, после введения прямой эмульсии и БЭПС

Вид эмульсии	Концентрация витамина В ₁₂ в сыворотке крови, пг/л			
	через 1 час	через 2 часа	через 3 часа	через 4 часа
Контроль	600,67 ± 91,68	–	–	–
Прямая эмульсия с витамином В ₁₂	616,67 ± 8,50	622,00 ± 133,76	627,33 ± 153,70	705,00 ± 102,59
БЭПС с витамином В ₁₂	647,33 ± 32,72	671,33 ± 127,70	672,67 ± 111,96	749,00 ± 120,40

Таблица 2

Результаты исследования крови лабораторных животных на содержание витамина В₁₂ через 4 часа после введения прямой эмульсии с витамином В₁₂ и БЭПС

Показатель	Прямая эмульсия с витамином В ₁₂	БЭПС	Р-значение
Концентрация витамина В ₁₂ , пг/мл	625,33 ± 111,83	690,0 ± 150,91	0,0487*

* Отличия статистически значимы на уровне 0,05.

Таблица 3

Результаты общего анализа крови через 4 часа после введения контрольной эмульсии и БЭПС

№	Показатель	Прямая эмульсия	БЭПС	Р-значение
1	Ретикулоциты, *10 ⁹ /л	0,95 ± 0,35	1,13 ± 0,65	0,580
2	WBC Лейкоциты, *10 ⁹ /л	2,85 ± 0,55	1,71 ± 0,52	0,012*
3	LYM Процент лимфоцитов, *10 ⁹ /л	1,90 ± 0,70	1,25 ± 0,46	0,088
4	MID (смесь содержания моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток), *10 ⁹ /л	0,23 ± 0,03	0,14 ± 0,02	0,022*
5	GRA (гранулоциты), *10 ⁹ /л	0,73 ± 0,76	0,33 ± 0,23	0,480
6	LYM (лимфоциты), %	67,50 ± 7,63	71,85 ± 5,16	0,617
7	MID (смесь содержания моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток), %	8,15 ± 2,95	8,43 ± 2,70	0,841
8	GRA (гранулоциты), %	24,33 ± 19,45	19,72 ± 12,58	0,689
9	RBC (эритроциты), *10 ¹² /л	4,54 ± 0,12	4,64 ± 0,27	0,271
10	HGB (гемоглобин), г/л	83,00 ± 2,13	87,93 ± 2,34	0,030*
11	MCHC (средняя концентрация гемоглобина в эритроците), г/л	340,00 ± 5,89	346,07 ± 8,86	0,161
12	MCH (среднее содержание эритроцитов), пг	18,30 ± 0,97	18,96 ± 0,43	0,146
13	MCV (средний объем эритроцитов), 10 ⁻¹⁵ /л	53,80 ± 2,01	54,80 ± 1,26	0,484
14	RDW-CV (индекс распределение тромбоцитов), %	11,05 ± 0,34	11,10 ± 0,33	0,920
15	RDW-SD (индекс распределение тромбоцитов), 10 ⁻¹⁵ /л	27,95 ± 1,20	28,63 ± 0,89	0,249
16	HCT (гематокрит), %	24,40 ± 0,50	25,42 ± 0,36	0,040*
17	PLT (тромбоциты), *10 ⁹ /л	432,25 ± 24,76	444,33 ± 13,41	0,726
18	MPV (средний объем тромбоцитов), 10 ⁻¹⁵ /л	6,28 ± 0,53	6,07 ± 0,33	0,480
19	PDW (индекс распределения тромбоцитов), 10 ⁻¹⁵ /л	11,68 ± 0,35	11,71 ± 1,05	0,550
20	PCT (тромбокрит), %	0,26 ± 0,04	0,26 ± 0,02	0,617
21	P-LCR, %	3,80 ± 2,16	3,83 ± 3,46	0,341

* Отличия статистически значимы на уровне 0,05.

Таблица 4
Результаты общего анализа крови лабораторных животных через 4 часа после введения
прямой эмульсии с витамином В₁₂ и БЭПС

№	Показатель	Прямая эмульсия с витамином В ₁₂	БЭПС	Р-значение
1	Ретикулоциты, *10 ⁹ /л	1,23 ± 0,53	1,13 ± 0,65	0,603
2	WBC Лейкоциты, *10 ⁹ /л	1,37 ± 0,11	1,71 ± 0,52	0,0327*
3	LYM Процент лимфоцитов, *10 ⁹ /л	1,03 ± 0,46	1,25 ± 0,46	0,088
4	MID (смесь содержания моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток), *10 ⁹ /л	0,17 ± 0,33	0,14 ± 0,02	0,414
5	GRA (гранулоциты), *10 ⁹ /л	0,47 ± 0,37	0,33 ± 0,23	0,336
6	LYM (лимфоциты), %	60,54 ± 6,38	71,85 ± 5,16	0,0178*
7	MID (смесь содержания моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток, %	9,27 ± 3,71	8,43 ± 2,70	0,3
8	GRA (гранулоциты), %	26,19 ± 13,08	19,72 ± 12,58	0,12
9	RBC (эритроциты), *10 ¹² /л	4,57 ± 0,25	4,64 ± 0,27	0,74
10	HGB (гемоглобин), г/л	86,60 ± 3,46	87,93 ± 2,34	0,369
11	MCHC (средняя концентрация гемоглобина в эритроците), г/л	348,47 ± 9,47	346,07 ± 8,86	0,52
12	MCH (среднее содержание эритроцитов), пг	19,04 ± 0,76	18,96 ± 0,43	0,818
13	MCV (средний объем эритроцитов), 10 ⁻¹⁵ /л	54,63 ± 1,68	54,80 ± 1,26	0,983
14	RDW-CV (индекс распределение тромбоцитов), %	11,07 ± 0,38	11,10 ± 0,33	0,437
15	RDW-SD (индекс распределение тромбоцитов), 10 ⁻¹⁵ /л	28,53 ± 1,02	28,63 ± 0,89	0,803
16	HCT (гематокрит), %	24,92 ± 1,32	25,42 ± 0,36	0,171
17	PLT (тромбоциты), *10 ⁹ /л	418,93 ± 10,65	444,33 ± 13,41	0,0387*
18	MPV (средний объем тромбоцитов), 10 ⁻¹⁵ /л	6,05 ± 0,22	6,07 ± 0,33	0,866
19	PDW (индекс распределения тромбоцитов), 10 ⁻¹⁵ /л	11,47 ± 0,63	11,71 ± 1,05	0,947
20	PCT (тромбоцитрит), %	0,26 ± 0,03	0,26 ± 0,02	0,678
21	P-LCR, %	4,55 ± 3,22	3,83 ± 3,46	0,299

* Отличия статистически значимы на уровне 0,05.

Как видно из табл. 3, по сравнению с прямой эмульсией после введения лабораторным животным БЭПС количество лейкоцитов, моноцитов, эозинофилов, базофилов, незрелых клеток, а также содержание гемоглобина и гематокрита стало достоверно больше.

Сравнительный анализ показателей общего анализа крови лабораторных животных через 4 часа после введения прямой эмульсии с витамином В₁₂ и БЭПС представлен в табл. 4.

Результаты сравнительного анализа также свидетельствуют о достоверном увеличении количества клеток белых кровяных телец

(лейкоцитов и лимфоцитов), а также тромбоцитов после введения БЭПС по сравнению с их количеством после введения прямой эмульсии с витамином В₁₂.

Таким образом, при сравнении результатов анализа крови лабораторных животных после введения прямой эмульсии с витамином В₁₂ и БЭПС (см. табл. 4) альтернативная гипотеза о наличии различий между данными принимается по изучаемому признаку на уровне значимости $p = 0,05$ для следующих показателей: количество витамина В₁₂, количество белых кровяных телец – лейкоцитов

(WBC) и количество лимфоцитов (LYM %) и число тромбоцитов (PLT). При сравнении результатов анализа крови лабораторных животных после введения прямой эмульсии и БЭПС (см. табл. 3) нулевая гипотеза об отсутствии различий между данными принимается ($p = 0,05$) по всем исследуемым показателям, кроме количества белых кровяных телец – лейкоцитов (WBC), смеси содержания моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток (MID#), концентрации гемоглобина (HGB) и гематокрита (HCT). При сравнении значений WBC, MID#, HGB, HCT принимается альтернативная гипотеза о существовании различий по изучаемому признаку.

Количественное содержание витамина B_{12} в крови лабораторных животных, получавших БЭПС, на 10,4 % превышает его содержание в крови лабораторных животных, получавших прямую эмульсию с данным витамином. Контрольная группа животных, получавшая эмульсию без витамина, характеризовалась содержанием витамина B_{12} в крови в количестве, меньшем на 33 % по сравнению с группой, получавшей БЭПС. При этом у контрольной группы животных наблюдались более низкие значения гемоглобина и гематокрита. Это подтверждает эффективность при-

менения витамина B_{12} для процессов деления, роста и созревания клеток, в частности лейкоцитов, тромбоцитов, участвующих в клеточном и тканевом обмене [16, 17], что способствует улучшению сопротивляемости организма, а повышение уровня гемоглобина – насыщению организма кислородом и профилактике гипоксии тканей.

Заключение

На основе полученных результатов можно считать, что инкапсулирование витамина B_{12} во внутреннюю водную фазу фортификата БЭПС обеспечивает большую его биодоступность в сравнении с прямой эмульсией, обогащенной данным витамином. Данные анализа крови лабораторных животных подтверждают, что под воздействием витамина B_{12} происходят процессы, в разной степени способствующие улучшению сопротивляемости организма к различным факторам и формированию новых клеток. Научно-практическое значение доклинической оценки биодоступности БАВ заключается в подтверждении эффективности применения конкретного БАВ в конкретной пищевой матрице и является инновационным, современным и эффективным направлением профилактики алиментарных заболеваний.

Список литературы

1. 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 et al. // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2014. V. 13. P. 155–171. DOI: 10.1111/1541-4337.12049.
2. Fernández-García E. et al. Carotenoids bioavailability from foods: From plant pigments to efficient biological activities // *Food Research International.* 2012. V. 46, No. 2. P. 438–450. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.06.007
3. Rein M. J. et al. Bioavailability of bioactive food compounds: A challenging journey to bioefficacy // *British journal of clinical pharmacology.* 2013. T. 75. №. 3. С. 588–602. DOI: 10.1111/j.1365-2125.2012.04425.x
4. Zou L. et al. Designing excipient emulsions to increase nutraceutical bioavailability: emulsifier type influences curcumin stability and bioaccessibility by altering gastrointestinal fate // *Food & Function.* 2015. V. 6, No. 8. P. 2475–2486. DOI: 10.1039/c5fo00606f
5. Основные этапы оценки эффективности специализированных пищевых продуктов / И.В. Глазкова, В.А. Саркисян, Ю.С. Сидорова [и др.] // *Пищевая промышленность.* 2017. № 12. С. 8–11. EDN: YLSQSF.
6. McClements D.J., Xiao H. Excipient foods: designing food matrices that improve the oral bioavailability of pharmaceuticals and nutraceuticals // *Food & Function.* 2014. V. 5. No. 7. P. 1320–1333. DOI: 10.1039/c4fo00100a
7. Физиолого-биохимические исследования как необходимый компонент алгоритма оценки эффективности минорных биологически активных веществ пищи / В.К. Мазо, Ю.С. Сидорова, Н.А. Петров, Л.С. Василевская // *Вопросы питания.* 2020. Т. 89, № 4. С. 52–59. DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10041.

8. Школьникова М.Н., Воронова Е.В. Оценка биодоступности флавоноидов с помощью теста «Растворение» // Вестник КрасГАУ. 2022. № 6. С. 194–203. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-6-194-203.
9. Zou L. et al. Utilizing food matrix effects to enhance nutraceutical bioavailability: increase of curcumin bioaccessibility using excipient emulsions // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2015. V. 63, No. 7. P. 2052–2062. DOI: 10.1021/jf506149f
10. Zou L. et al. Enhancing nutraceutical bioavailability using excipient emulsions: Influence of lipid droplet size on solubility and bioaccessibility of powdered curcumin // *Journal of functional foods*. 2015. V. 15. P. 72–83. DOI: 10.1016/j.jff.2015.02.044
11. Zou L. et al. Designing excipient emulsions to increase nutraceutical bioavailability: emulsifier type influences curcumin stability and bioaccessibility by altering gastrointestinal fate // *Food & Function*. 2015. V. 6, No. 8. P. 2475–2486. DOI: 10.1039/c5fo00606f
12. Биодоступность куркумина, инкапсулированного в клетки дрожжей *saccharomyces cerevisiae* / И.В. Калинина, Р.И. Фаткуллин, Н.В. Науменко и др. // *Индустрия питания|Food Industry*. 2023. Т. 8, № 3. С. 97–104. DOI: 10.29141/2500-1922-2023-8-3-10. EDN: THXZRM.
13. Vitamin B12 Deficiency (2022). URL: <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/22831-vitamin-b12-deficiency> [13 April 2023].
14. Ших Е.В., Сизова Ж.М., Астаева М.О. Пероральное применение цианокобаламина при функциональном дефиците витамина В12: эффективность и безопасность // *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2021. Т. 13, № 4. С. 109–115. DOI: 10.14412/2074-2711-2021-4-109-115. EDN: MEXJCQ.
15. European Convention for the protection of Vertebrate animals used for experimental and other scientific purposes (ETS N 123)* (Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых в экспериментах и в других научных целях (ETS N 123)). URL: <https://www.coe.int/ru/web/conventions/home>
16. Аметов А.С., Косян А.А. Роль гомоцистеина в развитии диабетической полиневропатии и эндотелиальной дисфункции. *Эндокринология: новости, мнения, обучение*. 2019. Т. 8, № 1. С. 32–39. DOI: 10.24411/2304-9529-2019-11004.
17. Wickramasinghe S.N. Diagnosis of megaloblastic anaemias // *Blood Rev*. 2006. V. 20 (6). P. 299–318. DOI: 10.1016/j.blre.2006.02.002

References

1. Carbonell-Capella J.M., Buniowska M., Barba F.J., Esteve M.J., Frígola A. Analytical methods for determining bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables: a review *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 2014, vol. 13, pp. 155–171. DOI: 10.1111/1541-4337.12049.
2. Fernández-García E. et al. Carotenoids bioavailability from foods: From plant pigments to efficient biological activities. *Food Research International*, 2012, vol. 46, no. 2, pp. 438–450. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.06.007
3. Rein M.J. et al. Bioavailability of bioactive food compounds: A challenging journey to bioefficacy. *British journal of clinical pharmacology*, 2013, vol. 75, no. 3, pp. 588–602. DOI: 10.1111/j.1365-2125.2012.04425.x
4. Zou L. et al. Designing excipient emulsions to increase nutraceutical bioavailability: emulsifier type influences curcumin stability and bioaccessibility by altering gastrointestinal fate. *Food & Function*. 2015, vol. 6, no. 8, pp. 2475–2486. DOI: 10.1039/c5fo00606f
5. The main stages of assessing the effectiveness of specialized food products / I. V. Glazkova, V.A. Sarkisyan, Yu. S. Sidorova [etc.]. *Food industry*, 2017, no. 12, pp. 8–11. (In Russ.)
6. McClements D. J., Xiao H. Excipient foods: designing food matrices that improve the oral bioavailability of pharmaceuticals and nutraceuticals. *Food & Function*, 2014, vol. 5, no. 7, pp. 1320–1333. DOI: 10.1039/c4fo00100a

7. Mazo V.K., Sidorova Yu.S., Petrov N.A., Vasilevskaya L.S. Physiological and biochemical studies as a necessary component of the algorithm for assessing the effectiveness of minor biologically active substances in food. *Questions of nutrition*, 2020, vol. 89, no. 4. pp. 52–59. (In Russ.) DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10041.
8. Shkolnikova M.N., Voronova E.V. Assessment of the bioavailability of flavonoids using the “Dissolution” test. *Bulletin of KrasGAU*, 2022, no. 6, pp. 194–203. (In Russ.) DOI: 10.36718/1819-4036-2022-6-194-203.
9. Zou L. et al. Utilizing food matrix effects to enhance nutraceutical bioavailability: increase of curcumin bioaccessibility using excipient emulsions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2015, vol. 63, no. 7, pp. 2052–2062. DOI: 10.1021/jf506149f
10. Zou L. et al. Enhancing nutraceutical bioavailability using excipient emulsions: Influence of lipid droplet size on solubility and bioaccessibility of powdered curcumin. *Journal of functional foods*, 2015, vol. 15, pp. 72–83. DOI: 10.1016/j.jff.2015.02.044
11. Zou L. et al. Designing excipient emulsions to increase nutraceutical bioavailability: emulsifier type influences curcumin stability and bioaccessibility by altering gastrointestinal fate. *Food & Function*, 2015, vol. 6, no. 8, pp. 2475–2486. DOI: 10.1039/c5fo00606f
12. Kalinina I.V., Fatkullin R.I., Naumenko N.V., Popova N.V., Naumenko E.E., Stepanova D.S. Bioavailability of curcumin encapsulated in yeast cells *saccharomyces cerevisiae*. *Food Industry*, 2023, vol. 8, no. 3, pp. 97–104. (In Russ.) DOI: 10.29141/2500-1922-2023-8-3-10. EDN: THXZRM.
13. *Vitamin B12 Deficiency* (2022). URL: <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/22831-vitamin-b12-deficiency> [13 April 2023].
14. Shikh E.V., Zh.M. Sizova, Astaeva M.O. Oral use of cyanocobalamin for functional deficiency of vitamin B12: effectiveness and safety. *Neurology, neuropsychiatry, psychosomatics*, 2021, vol. 13, no. 4, pp. 109–115. (In Russ.) DOI: 10.14412/2074-2711-2021-4-109-115. EDN: MEXJQC.
15. European Convention for the protection of Vertebrate animals used for experimental and other scientific purposes (ETS N 123)*. URL: <https://www.coe.int/ru/web/conventions/home>
16. Ametov A.S., Kosyan A.A. The role of homocysteine in the development of diabetic polyneuropathy and endothelial dysfunction. *Endocrinology: news, opinions, training*, 2019, vol. 8, no. 1, pp. 32–39. (In Russ.) DOI: 10.24411/2304-9529-2019-11004.
17. Wickramasinghe S. N. Diagnosis of megaloblastic anaemias. *Blood Rev.*, 2006, vol. 20 (6), pp. 299–318. DOI: 10.1016/j.blre.2006.02.002

Информация об авторах

Феофилактова Ольга Владимировна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии питания, Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия; feofiov@usue.ru

Мажаева Татьяна Васильевна, кандидат медицинских наук, заведующий отделом гигиены питания, качества и безопасности продукции, ведущий научный сотрудник, Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий Роспотребнадзора; доцент кафедры технологии питания, Уральский государственный экономический университет; доцент кафедры эпидемиологии, социальной гигиены и организации госсанэпидслужбы, Уральский государственный медицинский университет Минздрава России, Екатеринбург, Россия; tvмагаeva@yandex.ru

Бегичева Светлана Викторовна, кандидат экономических наук, доцент кафедры бизнес-информатики, Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия; begichevas@mail.ru

Заворохина Наталия Валерьевна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии питания, Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия; degustator@olympus.ru

Information about the authors

Olga V. Feofilaktova, Candidate of Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of the Food Technology Department, Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia; feofiov@usue.ru

Tatiana V. Mazhaeva, Candidate of Medical Sciences, Head of the Food Hygiene, Product Quality and Safety Department, Leading Researcher, Ekaterinburg Health Science Center for Prevention and Health Protection of Industrial Enterprises Workers of Rospotrebnadzor; Associate Professor of the Food Technology Department, Ural State University of Economics; Associate Professor of the Epidemiology, Social Hygiene and State Sanitary Organization of the and Epidemiological Service Department, Ural State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Ekaterinburg, Russia; tvmagaeva@yandex.ru

Svetlana V. Begicheva, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Business Informatics, Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia; begichevas@mail.ru

Natalia V. Zavorokhina, Doctor of Technical Science, Associate Professor, Professor of the Food Technology Department, Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia; degustator@olympus.ru

Статья поступила в редакцию 05.02.2024

The article was submitted 05.02.2024