УДК 665.127.4/ 664.346
DOI 10.29141/2500-1922-2020-5-4-7

Системный подход к моделированию эмульсионных функциональных пищевых продуктов высокой биодоступности

О.В. Феофилактова^{1*}

¹Уральский государственный экономический университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация, *e-mail: feofiov@usue.ru

Ключевые слова:

системный подход;
пищевые эмульсии;
типы эмульсий;
полиненасыщенные
жирные кислоты;
эйкозапентаеновая
кислота;
докозогексаеновая
кислота;
функциональная
основа;
биодоступность
(ФПИ)

Реферат

Раскрывается системный подход к моделированию пищевых эмульсий с высокой биодоступностью липофильных функциональных компонентов, которые предполагается использовать как основу для производства пищевых продуктов функциональной направленности. В качестве функциональных пищевых ингредиентов (ФПИ) рассмотрены полиненасыщенные жирные кислоты. Составлена эвристическая модель, конкретизирующая исходные и результирующие параметры проектирования рецептуры функциональной жировой основы. Описаны варианты обогащения эмульсий функциональными пищевыми ингредиентами, предполагающие использование функциональной жировой основы и введение в жировую фазу высокоценных омега-3 жирных кислот – эйкозапентаеновой (ЭПК) и докозогексаеновой (ДГК). Представлены модели пищевых эмульсий функциональной направленности. По результатам сравнения свойств моделируемых эмульсий (термодинамической стабильности и физико-химических свойств) выявлены преимущества двойных эмульсий в возможности регулирования биодоступности функциональных пищевых ингредиентов.

Для цитирования: Феофилактова О.В. Системный подход к моделированию эмульсионных функциональных пищевых продуктов высокой биодоступности // Индустрия питания/Food Industry. 2020. Т. 5, № 4. С. 45–51. DOI: 10.29141/2500-1922-2020-5-4-7

Дата поступления статьи: 27 октября 2020 г.

Systematic Approach to Modeling Emulsion Functional Foods of High Bioavailability

Olga V. Feofilaktova^{1*}

¹Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russian Federation, *e-mail: feofiov@usue.ru

Keywords:

system approach;
food emulsions;
emulsion types;
polyunsaturated
fatty acids;
eicosapentaenoic acid;
docosohexaenoic acid;
functional basis;
bioavailability (FFI)

Abstract

The article concerns the systematic approach to modeling food emulsions with high bioavailability of lipophilic functional components used as a basis for the functional food production. The researchers considered polyunsaturated fatty acids as functional food ingredients (FFI). They developed heuristic model that specified the initial and resulting parameters for designing a functional fat base formulation; described options for enriching emulsions with functional food ingredients, which involve the functional fat base use and the introduction of high-value omega – 3 fatty eicosapentaenoic (EPA) and docosohexaenoic (DHA) acids into the fat phase. A man presented models of functional food emulsions and revealed double emulsions advantages to regulate the functional food ingredients bioavailability based on the properties comparing results of the simulated emulsions (thermodynamic stability and physicochemical properties).

For citation: Olga V. Feofilaktova. Systematic Approach to Modeling Emulsion Functional Foods of High Bioavailability. Индустрия питания/Food Industry. 2020. Т. 5, No. 4. Pp. 45–51. DOI: 10.29141/2500-1922-2020-5-4-7

Paper submitted: October 27, 2020

Актуальность

Приоритетным направлением современной пищевой индустрии является обеспечение населения пищевыми продуктами, способствующими улучшению структуры питания, снижению риска возникновения заболеваний, связанных с питанием, предотвращению дефицита питательных веществ, опираясь на нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения. Однако подход, основанный на использовании питательных веществ с целью снижения их дефицита и сокращения связанных с ним заболеваний, привел к тому, что мир столкнулся с проблемой эпидемического роста избыточного веса населения и повышенным риском развития хронических заболеваний, вызванных ожирением [1]. Последние исследования показывают, что 22 % смертей во всем мире были связаны с алиментарными заболеваниями, и в первую очередь с сердечно-сосудистыми [2]. Это вызвало широкое обсуждение в научном сообществе таких тем, как аддитивные свойства питательных веществ, их взаимодействие, эффективность пищевых компонентов, отличных от классических питательных веществ, степень влияния состава отдельных продуктов и их комбинаций, употребляемых в пищу, на кинетику переваривания питательных веществ, последующий метаболизм и метаболические процессы [3]. Ряд исследователей предлагают изучать структуру питания, основываясь на концепции пищевой синергии – центральной позиции продуктов питания во взаимосвязи питания и здоровья, взамен исследования набора питательных веществ, которые его составляют, что, по их мнению, будет способствовать поддержанию здоровья и снижению риска развития хронических заболеваний [4].

В основе системного подхода – направления методологии научного познания – лежит рассмотрение объекта как целостного комплекса взаимосвязанных элементов. Имеется определенный опыт применения системного подхода в технологии пищевых продуктов. Ниже приведены направления использования системного подхода лишь некоторыми учеными.

Г.А. Гореликова в своих исследованиях использовала системный подход для решения проблем дефицита незаменимых микронутриентов в рационе питания и организме человека, сущность которых заключалась в определении наиболее значимых факторов актуальной среды и их анализе. Это дало возможность всесторонне рассмотреть существенные аспекты проблемы дефицита микронутриентов, оценить влияние каждого фактора на всех стадиях жизненного

цикла обогащенного продукта, сгруппировать их, выявить взаимосвязь между ними и создать модель коррекции дефицита микронутриентов в рационах питания населения [5].

А.В. Рыжакова применяла системный подход при решении проблемы повышения качества, пищевой ценности и сохранности пищевых продуктов за счет использования нетрадиционного сырья при их производстве [6].

Системный подход, сущность которого заключалась в анализе критических процессов, использовал В.В. Никитас при изучении формирования потребительских свойств пищевого продукта, отвечающих современным требованиям покупателя, а также при обосновании параметров стабильности этого продукта [7].

Возможности системного подхода при моделировании и продвижении на рынок инновационных продуктов с заданными функциональными свойствами на основе анализа удовлетворенности потребителей рассматриваются в работе Д.А. Карха, Н.В. Заворохиной и О.В. Чугуновой [8].

С целью разработки пищевых продуктов с улучшенными качественными характеристиками, сокращения временных и материальных затрат на разработку Е.И. Муратова и Е.В. Артамонова применяли системный подход к проектированию производства пищевых продуктов с помощью CASE-технологии [9].

При формировании качества хлебобулочных изделий в рамках системного подхода Г.А. Сидоренко с соавторами в качестве взаимосвязанных элементов используют оптимальные технологические режимы, химический состав, биологическую экспертизу, условия хранения [10].

Как видим, системный подход широко используется при создании пищевых продуктов, при этом чаще всего как взаимосвязанные элементы рассматриваются качественные характеристики, показатели безопасности, технологические параметры, потребительские предпочтения и сохранность.

Применение системного подхода, основанного на изучении связи между структурой пищевого продукта и его физиологическим воздействием на организм человека, не рассматривалось, что предполагает проведение дополнительных исследований.

Данные ряда клинических исследований подтверждают важность использования полиненасыщенных (незаменимых) жирных кислот (ПНЖК) для лечения и профилактики сердечно-сосудистых заболеваний [11]. К ПНЖК относятся жирные кислоты омега-групп. Высокоценными омега-3 жирными кислотами являются эйкозапентаеновая кислота (ЭПК) и докозагек-

саеновая кислота (ДГК), поскольку организм может их накапливать сразу, без предварительной перестройки. В растениях встречаются преимущественно альфа-линоленовая кислота (АЛК), которая не является такой высокоценной, так как в организме она должна сначала преобразоваться в ЭПК и ДГК. Однако эффективность преобразования АЛК в ЭПК и ДГК в организме относительно низка, что ограничивает ее биологическую функцию [12; 13].

В ряде исследований отмечается, что на пищеварение, всасывание и метаболизм липидов влияет форма их доставки. В частности, имеются данные, подтверждающие эффективность именно эмульгированной формы поступления ПНЖК (значительное накопление ЭПК и ДГК в плазме и печени крыс, получавших эмульгированное масло). Механизм действия, в первую очередь, объясняется более эффективным превращением АЛК в ЭПК и ДГК из-за повышенной абсорбции масла в тонкой кишке и его более быстрого лимфатического транспортирования [14; 15].

Эмульсии широко представлены в продуктах питания (например, молочные продукты, супы, соусы, напитки). Эмульсионные пищевые продукты позволяют расширить направление разработки функциональных продуктов, в том числе обогащенных функциональными пищевыми ингредиентами (ФПП).

Как известно, эмульсии представляют собой дисперсные системы, состоящие из микроскопических капель жидкости (дисперсной фазы), распределенных в другой жидкости (дисперсионной среде), чаще всего вода-в-масле или масло-в-воде.

Компоненты эмульсии в пищевых продуктах имеют разное значение. Задачей жировой фазы является формирование пищевой ценности продукта, вкуса и аромата, а также консистенции, которые влияют на его восприятие пищи.

Эмульсионная форма пищевых продуктов используется для оптимизации их стабильности в различных условиях производства и хранения, включая термообработку, охлаждение и замораживание, механическую обработку, изменение pH и ионной силы, и, кроме того, для оптимизации функциональных свойств.

Эмульсии в зависимости от направленности должны способствовать либо быстрому и полному высвобождению ФПИ, либо обеспечивать их пролонгированное действие. Поскольку эмульсии – это многофазные дисперсные системы, в состав которых могут входить различные компоненты, то они позволяют регулировать высвобождение и всасывание ФПИ. Для этого необходимо учитывать липофильность функционального пищевого ингредиента, состояние

в котором он находится в эмульсии, место локализации (жировая либо водная фаза, жидкокристаллическая фаза ПАВ). По указанным критериям подбирается соответствующая технология, позволяющая влиять на биодоступность ФПИ.

Тип эмульсии и свойства дисперсионной среды также влияют на высвобождение ФПИ. При высвобождении ФПИ из внутренней фазы эмульсий дисперсная среда выступает энергетическим барьером, которой вещество плохо смачивается, либо в которой оно не растворяется. Проявляется эффект замедления скорости его высвобождения. Данный эффект неодинаков для различных типов эмульсий. При этом масляная среда является более существенным барьером для гидрофильных веществ, чем водная среда для липофильных. Объясняется это наличием в водной среде ПАВ, которые характеризуются смачивающими и солюбилизирующими свойствами и обеспечивают транспортирование липофильных веществ к биомембранам.

Таким образом, существует необходимость в разработке систем доставки БАВ (ПНЖК) на основе эмульсий, обладающих высокой физической и химической стабильностью, а также высокой биодоступностью и биологической активностью.

Цель исследования – моделирование пищевых эмульсий с высокой биодоступностью липофильных функциональных компонентов, таких как биологически активные липиды.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования выступали растительные масла, используемые для формирования жировой фазы эмульсий с оптимальным соотношением ПНЖК: оливковое, льняное, горчичное, масло виноградной косточки, конопляное; эйкозапентаеновая кислота (ЭПК) и докозагексаеновая кислота (ДГК); модели различных типов эмульсий.

Для решения поставленных задач в работе были использованы теоретические, расчетный, эвристический, органолептический и измерительные методы.

При разработке модели проектирования функциональной основы и составлении моделей эмульсий использовались эвристический метод, метод итераций, метод декомпозиций.

Оценка физико-химических свойств эмульсий производилась с помощью измерительных методов: размер частиц определяли микроскопическим методом; термодинамическую стабильность эмульсий – методом, основанным на разделении эмульсии на жировую и водную фазы при центрифугировании; оптические свойства устанавливали с помощью органолептических методов.

Результаты исследования и их обсуждение

В рамках поставленной цели было осуществлено проектирование состава жировой фазы на основе применения растительных пищевых масел для производства ряда эмульсионных продуктов, характеризующейся оптимальным соотношением омега-3 и омега-6 жирных кислот и рекомендуемых норм потребления моно- и полиненасыщенных жирных кислот. Результаты проектирования были опубликованы ранее [16].

В процессе разработки функциональной основы для пищевых эмульсий с применением комплекса масел была составлена эвристическая модель, конкретизирующая исходные и результирующие параметры проектирования (рис. 1).

Рис. 1. Модель проектирования функциональной основы для пищевых эмульсий

Fig. 1. Functional Basis Design Model for Food Emulsions

Первый этап – оперативный доступ к информационной базе данных, касающихся жирнокислотного состава различных видов пищевых масел, а также это возможность корректировки, дополнения и удаления сведений.

На втором этапе в автоматическом режиме, с учетом цели и установленных рамок проектирования производится проектирование рецептуры функциональной жировой основы.

На третьем этапе предполагается получение конкретного результата проектирования, а именно готовой рецептуры функциональной жировой основы, содержащей требуемое соотношение омега-3 и омега-6 жирных кислот, оптимизированной с учетом суточной потребности моно- и полиненасыщенных жирных кислот исходя из предполагаемого количества употребления в сутки, обладающей высокими органолептическими характеристиками.

На рисунке 2 схематически представлены типы эмульсий, которые были получены при моделировании:

- прямые – масло/вода (М/В);
- обратные – вода/масло (В/М), в том числе микроэмульсии;
- двойные (множественные) – вода/масло/вода (В/М/В) и масло/вода/масло (М/В/М).

Рис. 2. Схема типов эмульсий, применяемых в моделировании

Fig. 2. Diagram of Emulsion Types Used in Modeling

При моделировании использовались следующие варианты обогащения эмульсий функциональными пищевыми ингредиентами:

- 1-й вариант – жировая фаза представляет собой комплекс масел, сбалансированных по ПНЖК;
- 2-й вариант – введение в жировую фазу ЭПК и ДГК.

Модели 1 и 2 представляли собой прямую (масло-в-воде) и обратную (вода-в-масле) эмульсии, в которых жидкости различной полярности разделены единственной межфазной границей масло/вода.

Модели 3 и 4 – прямая и обратная микроэмульсии с размером частиц в диапазоне от 2 до 100 нм, полученные с помощью ультразвуковой гомогенизации. Микроэмульсии имеют ряд потенциальных преимуществ по сравнению с обычными эмульсиями, используемыми в пищевых продуктах: они более устойчивы к агрегации частиц и гравитационному разделению; содержат частицы, которые слабо рассеивают световые волны, и поэтому пригодны для включения в продукты,

которые должны быть оптически прозрачными либо слегка мутными. Пищевые микроэмульсии могут найти широкое применение в пищевой промышленности для инкапсуляции, защиты и доставки липофильных функциональных ингредиентов, таких как биологически активные липиды (например, ПНЖК, конъюгированная линолевая кислота).

Модели 5 и 6 – это двойные эмульсии (эмульсия в эмульсии), особенностью которых является то, что капли дисперсной фазы содержат внутри еще более мелкие капли жидкости другой полярности. Непрерывная фаза, в которой находятся крупные капли, представляет собой внешнюю дисперсионную среду двойной эмульсии. Самые мелкие капли (до 1 мкм) являются внутренней дисперсной фазой, а их поверхность – внутренней межфазной границей; более крупные капли (от 5 до 100 мкм) – внешними каплями, а их поверхность – внешней межфазной границей двойной эмульсии.

Процесс получения двойных эмульсий проходит две стадии:

1) сначала при интенсивных затратах энергии получали первичную тонкодисперсную эмульсию (прямую или обратную в зависимости от типа двойной эмульсии);

2) первичную эмульсию осторожно диспергировали во внешней дисперсионной среде.

Для эмульсии М/В/М на первой стадии процесса использовали гидрофильное ПАВ, а на второй стадии – липофильное. Для В/М/В эмульсии на первой стадии первичную обратную эмульсию стабилизировали липофильным ПАВ, на второй стадии применяли эмульгатор с высоким значением гидрофильно-липофильного баланса.

Сравнительная характеристика термодинамической стабильности и физико-химических свойств моделируемых эмульсий представлена ниже (см. таблицу).

Обычные эмульсии характеризуются через некоторое время тенденцией к разрушению. Они являются оптически мутными или непрозрачными, поскольку содержащиеся в них капли имеют размеры, аналогичные длине волны света, и поэтому сильно рассеивают свет.

Микроэмульсии представляют собой термодинамически стабильные системы с размером

частиц от 2 до 100 нм. В этом случае свободная энергия микроэмульсии ниже, чем у разделенных фаз компонентов, из которых она приготовлена, и поэтому образуется спонтанно. Микроэмульсии были прозрачными или только слегка мутными. Важно отметить, что микроэмульсия термодинамически стабильна лишь при определенном наборе условий окружающей среды. При изменении условий микроэмульсия может преобразоваться в другой тип системы. Тем не менее, если система будет приведена в исходное состояние, она должна вернуться в микроэмульсию со скоростью, которая зависит от любых барьеров кинетической энергии.

Двойные эмульсии менее стабильны, нежели обычные, вследствие содержания высокоразвитых межфазных поверхностей различной природы с избытком свободной энергии. Причинами их нестабильности являются большие размеры внешних капель, интенсивные процессы массопереноса компонентов между внутренней дисперсной фазой и внешней дисперсионной средой под действием градиентов осмотического давления, а также конкурирующим действием одновременно присутствующих липо- и гидрофильных поверхностно-активных веществ.

В отличие от обычных эмульсий двойные эмульсии известны как жидкие эмульсионные мембраны, устойчивость которых сформирована за счет наличия несмешивающейся промежуточной фазы, отделяющей мелкие капли от внешней дисперсионной среды. В эмульсиях М/В/М в качестве мембраны выступает водная прослойка, а в эмульсиях В/М/В – масляная [17].

Двойные эмульсии благодаря своему строению и свойствам имеют перспективы для использования в пищевой промышленности. Они способны иммобилизовать водо- и маслорастворимые компоненты в одну из своих несмешивающихся фаз с последующим их пролонгированным выделением, могут усиливать действие ФПИ, защищать включенные в них вещества от трансформации, использоваться для захвата токсичных веществ из разбавленной дисперсионной среды во внутреннюю дисперсную фазу.

Специфическая конструкция двойных эмульсий должна быть адаптирована для каждого конкретного пищевого продукта. К числу факторов,

Сравнение термодинамической стабильности и физико-химических свойств эмульсий
Comparison of Thermodynamic Stability, Physical and Chemical Emulsion Properties

Тип эмульсии	Размер частиц	Термодинамическая стабильность	Оптические свойства
Эмульсия	100 – 1×10 ⁴	Нестабильная	Непрозрачная
Микроэмульсия	2–100 нм	Стабильная	Прозрачная/мутная
Двойная эмульсия	1–100 мкм	Стабильная	Непрозрачная

требующих внимания, относятся: взаимосвязи ингредиентов в продуктах питания; технологические процессы, применяемые при их производстве; формирование биодоступности ФПИ: постепенное высвобождение или направленная доставка в определенные отделы желудочно-кишечного тракта.

Полученные модельные образцы позволяют определить наилучший подход к формированию стабильности физико-химических свойств и функциональных характеристик новых эмульсионных пищевых продуктов.

Выводы

В ходе исследования спроектированной функциональной основы, сбалансированной по составу ПНЖК, а также с применением в качестве функциональных пищевых ингредиентов ЭПК и ДГК путем введения их в жировую фазу состав-

лены шесть моделей пищевых эмульсий, которые могут быть использованы в качестве базового компонента при производстве пищевых продуктов функциональной направленности.

Стабильность и физико-химические свойства каждого типа эмульсии определяют направления их использования в производстве конкретных видов пищевых продуктов.

В части формирования биодоступности ФПИ преимуществами обладают двойные эмульсии, специфическая конструкция которых позволяет регулировать скорость их высвобождения и направленную доставку в определенные отделы желудочно-кишечного тракта.

Целью дальнейших исследований для реализации системного подхода будет изучение связи между типом эмульсии пищевого продукта и физиологическим воздействием ФПИ, включенных в их состав, на организм человека.

Библиографический список

1. GBD 2017 Diet Collaborators. Health Effects of Dietary Risks in 195 Countries, 1990–2017: a Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. The Lancet. 2019. Vol. 393, Iss. 10184. Pp. 1958–1972. DOI: 10.1016/S0140-6736(19)30041-8.
2. Mozaffarian, D.; Ludwig, D.S. Dietary Guidelines in the 21st Century – a Time for Food. JAMA. 2010. Vol. 304. Pp. 681–682 DOI: 10.1001/jama.2010.1116 20699461.
3. Moughan, P.J. Holistic Properties of Foods: a Changing Paradigm in Human Nutrition. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2018. Vol. 100. Pp. 5056–5063. DOI: 10.1002/jsfa.8997 29532937.
4. Jacobs, D.R.; Tapsell, L.C. Food, Not Nutrients, is the Fundamental Unit in Nutrition. Nutrition Reviews. 2007. Vol. 65, Iss. 10. Pp. 439–450. DOI: 10.1111/j.1753-4887.2007.tb00269.x.
5. Гореликова Г.А. Теоретические и практические аспекты разработки пищевых продуктов, обогащенных селеном: монография. Кемерово: КемТИПП, 2008, 234 с.
6. Рыжакова А.В., Медведева Е.П. Системный подход к сенсорной оценке качества конфет // Вестник Российской экономической академии им. Г.В. Плеханова. 2007. № 3. С. 102–108.
7. Никитас В.В. Разработка системного подхода к формированию качества пива, полученного методом высокоплотного пивоварения: дис. ... канд. техн. наук. Кемерово, 2009. 145 с.
8. Карх Д.А., Заворохина Н.В., Чугунова О.В. Применение системного подхода при разработке инновационных продуктов на основе анализа удовлетворенности потребителей // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–2. С. 96.
9. Муратова Е.И., Артамонова Е.В. Системный подход к проектированию производства новых продуктов на основе меда // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2012. № 1 (37). С. 342–352.

Bibliography

1. GBD 2017 Diet Collaborators. Health Effects of Dietary Risks in 195 Countries, 1990–2017: a Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. The Lancet. 2019. Vol. 393, Iss. 10184. Pp. 1958–1972. DOI: 10.1016/S0140-6736(19)30041-8.
2. Mozaffarian, D.; Ludwig, D.S. Dietary Guidelines in the 21st Century – a Time for Food. JAMA. 2010. Vol. 304. Pp. 681–682 DOI: 10.1001/jama.2010.1116 20699461.
3. Moughan, P.J. Holistic Properties of Foods: a Changing Paradigm in Human Nutrition. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2018. Vol. 100. Pp. 5056–5063. DOI: 10.1002/jsfa.8997 29532937.
4. Jacobs, D.R.; Tapsell, L.C. Food, Not Nutrients, is the Fundamental Unit in Nutrition. Nutrition Reviews. 2007. Vol. 65, Iss. 10. Pp. 439–450. DOI: 10.1111/j.1753-4887.2007.tb00269.x.
5. Gorelikova, G.A. Teoreticheskie i Prakticheskie Aspekty Razrabotki Pishchevyh Produktov, Obogashchennyh Selenom [Theoretical and Practical Development Aspects of Food Products Enriched with Selenium]: Monografiya. Kemerovo: KemTIPP, 2008. 234 p.
6. Ryzhakova, A.V.; Medvedeva, E.P. Sistemnyi Podhod k Sensornoi Ocenke Kachestva Konfet [System Approach to the Sensory Assessment of Candy Quality]. Vestnik Rossiiskoi Ekonomicheskoi Akademii im. G.V. Plekhanova. 2007. No. 3. Pp. 102–108.
7. Nikitas, V.V. Razrabotka Sistemnogo Podhoda k Formirovaniyu Kachestva Piva, Poluchennogo Metodom Vysokoplotnogo Pivovareniya [Systematic Approach Development of the Formation of Beer Quality Obtained by High-Density Brewing]: Dis. ... Kand. Tekhn. Nauk. Kemerovo, 2009. 145 p.
8. Karh, D.A.; Zavorokhina, N.V.; Chugunova, O.V. Primenenie Sistemnogo Podhoda pri Razrabotke Innovatsionnyh Produktov na Osnove Analiza Udovletvorennosti Potrebitelei [Application of the System Approach in the Innovative Products Development Based on the Customer Satisfaction Analysis]. Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovaniya. 2015. No. 1–2. P. 96.

10. Сидоренко Г.А., Попов В.П., Касперович В.Л. Исследование особенностей выпечки бескоркового хлеба на основе системного подхода // Вестник Оренбургского государственного университета. 1999. № 1. С. 81–86.
11. Psota, T.L.; Gebauer, S.K.; Kris-Etherton, P. Dietary Omega-3 Fatty Acid Intake and Cardiovascular Risk. The American Journal of Cardiology. 2006. Vol. 98, Iss. 4. Supp. 1. Pp. 3–18. DOI: 10.1016/j.amjcard.2005.12.022.
12. Yu, X.; Deng, Q.; Tang, Y.; Xiao, L.; Liu, L.; Yao, P.; Tang, H.; Dong, X. Flaxseed Oil Attenuates Hepatic Steatosis and Insulin Resistance in Mice by Rescuing the Adaption to ER Stress. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 2018. Vol. 66, Iss. 41. Pp. 10729–10740. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b03906.
13. Yu, X.; Tang, Y.; Liu, P.; Xiao, L.; Liu, L.; Shen, R.; Deng, Q.; Yao, P. Flaxseed Oil Alleviates Chronic HFD-Induced Insulin Resistance through Remodeling Lipid Homeostasis in Obese Adipose Tissue. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 2017. Vol. 65, Iss. 44. Pp. 9635–9646. DOI: 10.1021/acs.jafc.7b03325.
14. Salvia-Trujillo, L.; Soliva-Fortuny, R.; Rojas-Grau, M.A.; McClements, D.J.; Martin-Belloso, O. Edible Nanoemulsions as Carriers of Active Ingredients: A Review. Annual Review of Food Science and Technology. 2017. Vol. 8. Pp. 439–466. DOI: 10.1146/annurev-food-030216-025908.
15. Sugasini, D.; Lokesh, B.R. Uptake of Alpha-Linolenic Acid and Its Conversion to Long Chain Omega-3 Fatty Acids in Rats Fed Microemulsions of Linseed Oil. Lipids. 2012. Vol. 47, Iss. 12. Pp. 1155–1167. DOI: 10.1007/s11745-012-3731-9.
16. Feofilaktova, O.V.; Grashchenkov, D.V.; Karkh, D.A.; Lukinykh, M.I. Creating a Functional Basis for the Production of Food Emulsions: E3S Web of Conferences; International Scientific and Practical Conference «From Inertia to Develop: Research and Innovation Support to Agriculture» (IDSISA 2020). 2020. Vol. 176. Article Number: 01015. DOI: 10.1051/e3sconf/202017601015.
17. Задимова Н.М., Потешнова М.В., Куличихин В.Г. Свойства двойных эмульсий масло1/вода/масло2, содержащих липофильный акриловый полимер // Коллоидный журнал. 2012. Т. 74, № 5. С. 563–575.
9. Muratova, E.I.; Artamonova, E.V. Sistemnyi Podhod k Proektirovaniyu Proizvodstva Novykh Produktov na Osnove Meda [System Approach to the Production Design of New Products Based on Honey]. Voprosy Sovremennoi Nauki i Praktiki. Universitet Im. V.I. Vernadskogo. 2012. No. 1 (37). Pp. 342–352.
10. Sidorenko, G.A.; Popov, V.P.; Kasperovich, V.L. Issledovanie Osobennostei Vypechki Beskorkovogo Hleba na Osnove Sistemnogo Podhoda [Features Research of Baking Crust-Free Bread Based on a Systematic Approach]. Vestnik Orenburgskogo Gosudarstvennogo Universiteta. 1999. No. 1. Pp. 81–86.
11. Psota, T.L.; Gebauer, S.K.; Kris-Etherton, P. Dietary Omega-3 Fatty Acid Intake and Cardiovascular Risk. The American Journal of Cardiology. 2006. Vol. 98, Iss. 4. Supp. 1. Pp. 3–18. DOI: 10.1016/j.amjcard.2005.12.022.
12. Yu, X.; Deng, Q.; Tang, Y.; Xiao, L.; Liu, L.; Yao, P.; Tang, H.; Dong, X. Flaxseed Oil Attenuates Hepatic Steatosis and Insulin Resistance in Mice by Rescuing the Adaption to ER Stress. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 2018. Vol. 66, Iss. 41. Pp. 10729–10740. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b03906.
13. Yu, X.; Tang, Y.; Liu, P.; Xiao, L.; Liu, L.; Shen, R.; Deng, Q.; Yao, P. Flaxseed Oil Alleviates Chronic HFD-Induced Insulin Resistance through Remodeling Lipid Homeostasis in Obese Adipose Tissue. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 2017. Vol. 65, Iss. 44. Pp. 9635–9646. DOI: 10.1021/acs.jafc.7b03325.
14. Salvia-Trujillo, L.; Soliva-Fortuny, R.; Rojas-Grau, M.A.; McClements, D.J.; Martin-Belloso, O. Edible Nanoemulsions as Carriers of Active Ingredients: A Review. Annual Review of Food Science and Technology. 2017. Vol. 8. Pp. 439–466. DOI: 10.1146/annurev-food-030216-025908.
15. Sugasini, D.; Lokesh, B.R. Uptake of Alpha-Linolenic Acid and Its Conversion to Long Chain Omega-3 Fatty Acids in Rats Fed Microemulsions of Linseed Oil. Lipids. 2012. Vol. 47, Iss. 12. Pp. 1155–1167. DOI: 10.1007/s11745-012-3731-9.
16. Feofilaktova, O.V.; Grashchenkov, D.V.; Karkh, D.A.; Lukinykh, M.I. Creating a Functional Basis for the Production of Food Emulsions: E3S Web of Conferences; International Scientific and Practical Conference «From Inertia to Develop: Research and Innovation Support to Agriculture» (IDSISA 2020). 2020. Vol. 176. Article Number: 01015. DOI: 10.1051/e3sconf/202017601015.
17. Zadymova, N.M.; Poteshnova, M.V.; Kulichihin, V.G. Svoistva Dvoynykh Emul'sii Maslo1/Voda/Maslo2, Soderzhashchih Lipofil'nykh Akrilovyy Polimer [Properties of Double Emulsions Oil1/Water/Oil2 Containing Lipophilic Acrylic Polymer]. Kolloidnyi Zhurnal. 2012. Vol. 74, No. 5. Pp. 563–575.

Информация об авторах / Information about Authors

**Феофилактова
Ольга Владимировна**

Feofilaktova,
Olga Vladimirovna

Тел./Phone: +7 (343) 283-11-70
E-mail: feofiov@usue.ru

*Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии питания
Уральский государственный экономический университет
620144, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45*

*Candidate of Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of the Food
Technology Department*

*Ural State University of Economics
620144, Russian Federation, Ekaterinburg, 8 March St. / Narodnoy Voli St., 62/45*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1210-0845>