DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-220-225>

Поступила 15.08.2021

Поступила после рецензирования 12.09.2021

Принята в печать 25.09.2021

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

ЭФФЕКТИВНАЯ ВЯЗКОСТЬ РАСТВОРОВ ЛЕЦИТИНА И ЭМУЛЬСИЙ ЖИРА ЛИЧИНОК ЧЕРНОЙ ЛЬВИНКИ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЛЕЦИТИНА

Рубан А. А.*, Новикова (Захарова) М. В., Костин А. А.

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок, Санкт-Петербург, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

эффективная вязкость, лецитин, личинки Черной львинки, жир насекомых, эмульсии

АННОТАЦИЯ

Жиры и масла, независимо от области применения, обычно используются в виде эмульсий — дисперсных систем, состоящих из двух несмешивающихся жидкостей, стабилизированных эмульгатором. Одним из основных показателей для эмульсий является эффективная вязкость, которая характеризует поведение жидкости при течении. Также этот показатель важен для оптимизации производственных процессов, применения и хранения эмульсий. Показано, что жир личинок Черной львинки (*Hermetia illucens*) близок по своему качественному и количественному составу к кокосовому и пальмовому маслу, что делает его одним из перспективных альтернативных источников жиров для промышленности. Исходя из этого, целью работы являлось определение эффективной вязкости растворов лецитина и эмульсий жира личинок Черной львинки в зависимости от содержания лецитина 0,5–2,5 масс.%. Установлено, что показатели консистенции растворов лецитина повышались при увеличении его концентрации с 0,5 до 2 масс.%. Растворы лецитина концентрацией 1,0–2,0 масс.% демонстрировали слабое псевдопластичное поведение, а при содержании лецитина 2,5 масс.% — дилатантное. Эмульсии с жиром личинок Черной львинки показали в 2 раза более низкую консистенцию по сравнению с растворами лецитина той же концентрации, а также слабое псевдопластичное поведение, выраженность которого не зависела от концентрации лецитина.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена в рамках проведения исследований по государственному заданию № 2585–2019–0044 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 15.08.2021

Accepted in revised 12.09.2021

Accepted for publication 25.09.2021

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

EFFECTIVE VISCOSITY OF LECITHIN SOLUTIONS AND FAT EMULSIONS OF BLACK SOLDIER FLY LARVAE WITH DIFFERENT LECITHIN CONTENT

Albina A. Ruban*, Mariia V. Novikova (Zakharova), Anton A. Kostin

All-Russian Research Institute for Food Additives, Russia

KEY WORDS:

effective viscosity, lecithin, Black Soldier Fly, BSFL, insect fat, emulsion

ABSTRACT

Fats and oils irrespective of their application field are usually used as emulsions — disperse systems consisting of two immiscible liquids stabilized by an emulsifier. One of the main indicators for emulsions is effective viscosity, which characterizes behavior of liquid in flow. This indicator is also important for optimization of production processes, application and storage of emulsions. It was found that fat of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae is close to coconut and palm oil by its qualitative and quantitative composition, which makes it one of the promising alternative sources of fats for the industry. Based on this fact, the aim of the study was to determine effective viscosity of lecithin solutions and fat emulsions of black soldier fly larvae depending on the lecithin content of 0.5–2.5 weight%. It was found that consistency of the lecithin solutions increased when its concentration increased from 0.5 to 2 weight%. The lecithin solutions with concentrations of 1.0–2.0 weight% demonstrated weak pseudoplastic behavior and those with the lecithin content of 2.5 weight% dilatant. Emulsions with fat of black soldier fly larvae showed twofold lower consistency compared to the lecithin solutions of the same concentration and weak pseudoplastic behavior, which manifestation did not depend on the lecithin concentration.

FUNDING: The article was published as part of the research topic foundation for scientific research No. 2585–2019–0044 of the state assignment of the V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

В России ежегодно образуется около 20 млн тонн органического мусора, состоящего из санкционного продовольствия, просроченных продуктов питания и других органических отходов [1]. В результате отсутствия условий для его переработки большая часть органических отходов утили-

зируется на мусорных полигонах, где отходы разлагаются с образованием свалочного газа и увеличивают площадь загрязненных земельных ресурсов [2]. Свалочный газ состоит преимущественно из метана и углекислого газа [3], которые оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Решением этой проблемы может быть переработка органи-

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Рубан, А.А., Новикова (Захарова), М.В., Костин, А.А. (2021). Эффективная вязкость растворов лецитина и эмульсий жира личинок черной львинки с различным содержанием лецитина. *Пищевые системы*, 4(3), 220–225. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-220-225>

FOR CITATION: Ruban, A.A., Novikova (Zakharova), M.V., Kostin, A.A. (2021). Effective viscosity of lecithin solutions and fat emulsions of black soldier fly larvae with different lecithin content. *Food systems*, 4(3), 220–225. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-220-225>

ческих отходов съедобными насекомыми, используемыми в качестве альтернативного источника сырья для производства белков, жиров, пигментов и полисахаридов [4]. Биомасса насекомых была успешно применена для переработки навоза, сельскохозяйственных и пищевых отходов [5], причем использование насекомых позволило в два раза снизить количество выбросов парниковых газов в атмосферу, по сравнению с компостированием.

Одним из наиболее распространенных видов промышленно выращиваемых насекомых является Черная львинка (*Hermetia illucens*), что обусловлено легкостью ее разведения, быстрым ростом личинок и антибактериальной активностью против грамположительных, грамотрицательных бактерий и нитчатых грибов [5]. В России Черную львинку разводят для производства белка [6], а жир насекомых, который содержится в личинках в количестве 30–50 масс.%, является отходом производства. В связи с большим количеством отходов и низкой стоимостью производимого сырья снижается рентабельность разведения насекомых. Расширение областей применения жира личинок Черной львинки позволит повысить его востребованность, снизить издержки производства, а также приведет к развитию рынка съедобных насекомых в России.

Крупные промышленные компании предпочитают использовать нетоксичное биоразлагаемое сырье, полученное из возобновляемых источников, ввиду большей доступности и безопасности для окружающей среды. Например, растительные масла в форме эмульсий используются не только в пищевой промышленности, но и для получения смазок, чернил, красок, лаков и пестицидов [7]. Жир личинок Черной львинки по своему качественному и количественному составу близок к кокосовому и пальмовому маслу [8], что делает его альтернативным источником сырья в приготовлении эмульсий для использования во многих областях промышленности.

Тем не менее эмульсии являются термодинамически нестабильными системами, и для увеличения их стабильности применяются различные эмульгаторы. Например, поверхностно-активные вещества (ПАВ), гидроколлоиды растительного или животного происхождения [9]. Для выбора эмульгатора учитывают: значение гидрофильно-липофильного баланса (ГЛБ); природу эмульгатора и масла; область применения эмульсии. ГЛБ является мерой оценки растворимости эмульгатора в воде и масле, показывая соотношение гидрофильных функциональных групп по отношению к липофильным функциональным группам. ГЛБ находится в диапазоне от 0 до 20, при значениях от 7 до 10 эмульгаторы способны образовывать как прямые, так и обратные эмульсии [10]. Одним из таких «универсальных» эмульгаторов природного происхождения является лецитин, представляющий собой смесь фосфолипидов и триглицеридов. Лецитин, имеющий ГЛБ 8, широко используется в пищевой, химической и медицинской промышленности в качестве эмульгатора, диспергатора и смазывающего агента [11]. Фосфолипиды в составе лецитина снижают межфазное натяжение между фазами эмульсии, что приводит к образованию стабильных микроэмульсий в широком диапазоне pH и температур [12].

Реологические свойства эмульсий являются важной характеристикой. В частности, важным является определение эффективной вязкости, которая в большей степени влияет на текучесть и стабильность эмульсий, а также имеет большое значение для оптимизации производственного процесса [13]. Поведение эмульсий в зависимости от скорости сдвига может быть описано с помощью модели вязкого течения Освальда-де-Ваале путем аналитической обработки

экспериментальных данных, полученных с использованием ротационной вискозиметрии. Модель Освальда-де-Ваале позволяет определить показатель течения n , характеризующий степень отклонения от ньютоновского поведения, и показатель консистенции K , который является индикатором вязкости жидкостей и равен вязкости при скорости сдвига 1 с^{-1} . Если $n = 1$, раствор демонстрирует ньютоновское поведение, то есть его вязкость не зависит от скорости сдвига. Отклонение этого значения, когда $n < 1$, говорит о псевдопластичном характере течения с уменьшением вязкости при увеличении скорости сдвига. Для дилатантных жидкостей, когда $n > 1$, вязкость увеличивается при увеличении скорости сдвига. Большинство прямых эмульсий демонстрируют ньютоновское или псевдопластичное поведение в зависимости от концентрации масла и эмульгатора [14].

Анализ литературы показывает, что в большинстве исследований рассматриваются реологические свойства 10,0–30,0 масс.% эмульсий, стабилизированных лецитином, часто с использованием соэмульгатора [15,16]. При этом используемые концентрации лецитина широко варьируются в зависимости от вида и содержания масла. Увеличение содержания лецитина до 1,0 масс.% привело к снижению скорости обратной седиментации прямой и обратной эмульсий подсолнечного масла 30,0–70,0 масс.%, по сравнению с эмульсиями с 0,1 масс.% лецитина [17]. Эмульсии жира личинок Черной львинки могут быть более подвержены обратной седиментации из-за высокого содержания насыщенных жирных кислот [5,18]. Поэтому для стабилизации может быть оправдано использование большего количества лецитина, чем 0,1 масс.%. С другой стороны, увеличение концентрации соевого лецитина $> 2,5$ масс.% привело к снижению стабильности эмульсии подсолнечного масла 10,0–20,0 масс.%, с добавкой ксантановой камеди в качестве загустителя, что может быть связано с наличием неадсорбированного лецитина в системе [15]. Было показано, что увеличение концентрации лецитина с 1,0 до 15,0 масс.% привело к увеличению вязкости 10,0 масс.% эмульсии масла острец [19]. При этом размер капель эмульсии уменьшался с увеличением концентрации лецитина в диапазоне 1,0–10,0 масс.%. При дальнейшем же увеличении концентрации (выше 10,0 масс.%) размер капель стал незначительно увеличиваться. Более того, сами растворы лецитина могут обладать псевдопластичным характером течения в зависимости от концентрации [20], что может оказывать влияние на технологический процесс приготовления эмульсий и их эффективную вязкость. В настоящее время данных о влиянии концентрации лецитина на эмульсии жира личинок Черной львинки недостаточно. В связи с этим целью данной работы было определение влияния содержания эмульгатора лецитина в количествах 0,5–2,5 масс.% с шагом 0,5 масс.% на эффективную вязкость растворов лецитина и 2,0 масс.% эмульсий жира личинок Черной львинки.

2. Материалы и методы

Для приготовления растворов лецитина и эмульсий использовали соевый лецитин производства ООО «Витапром», жир личинок Черной львинки производства ООО «ЭКО-БЕЛОК», в качестве дисперсионной среды использовалась дистиллированная вода. Серная кислота (ХЧ), ООО «Щекиноазот» (Россия); метанол (ОСЧ), ООО ТД «ХИММЕД»; хлороформ (ОСЧ), АО «ЭКОС-1» (Россия).

Профиль жирных кислот определяли с использованием газового хроматографа Varia 450-GC (США), оснащенного масс-спектрометрическим детектором Varian 240-MS, при скорости потока газа носителя 1 мл/мин и температуре инжектора 250 °С. Пробоподготовку проводили следующим

образом: жир личинок Черной львинки в количестве 10 мг смешивали с 10 мкл 1% каприловой кислоты, добавляли 0,6 мл 15%-го раствора серной кислоты в метаноле и 0,6 мл хлороформа. Образец нагревали до 65 °С в течение 1 часа с последующим охлаждением до комнатной температуры и смешивали с 0,2 мл дистиллированной воды. Для анализа отбирали органический слой в количестве 1 мкл.

Для приготовления растворов лецитина и эмульсий лецитин в количествах 0,5–2,5 масс.% растворяли в дистиллированной воде при перемешивании и температуре 60 °С. Жир насекомых предварительно растапливали на водяной бане при температуре 40 °С и фильтровали с помощью фильтровальной бумаги Filtrak 88 для отделения твердых частиц. Полученный жир в количестве 2 масс.% добавляли в раствор лецитина и диспергировали с помощью гомогенизатора DG-360, Stegler (Китай) со скоростью 20 000 об/мин в течение 10 минут при температуре 60 °С.

Динамическую вязкость растворов и эмульсий определяли с помощью вискозиметра DV-II+ PRO, Brookfield (Великобритания), оснащенного системой термостатирования CW-106, Lab Companion (Южная Корея), с использованием коаксиального шпинделя UL Adapter. Измерения проводились при температуре 40 °С в диапазоне скоростей сдвига 12–245 с⁻¹.

3. Результаты и обсуждение

Профиль жирных кислот жира личинок Черной львинки представлен в Таблице 1. В Таблице 2 показано содержание насыщенных и ненасыщенных кислот в жире личинок Черной львинки.

Таблица 1

Профиль жирных кислот жира личинок Черной львинки

Жирные кислоты	Содержание, %
Каприновая	2,18
Лауриновая	31,38
Миристиновая	1,10
Миристолеиновая	0,44
Пентадекановая	0,19
Пальмитиновая	13,40
Пальмитолеиновая	6,38
Гексадекановая	0,36
Гептодекановая	0,27
Стеариновая	5,53
Олеиновая	18,27
Линолевая	18,47
Линоленовая	2,04

Таблица 2

Содержание насыщенных и ненасыщенных кислот в жире личинок Черной львинки

Классификация жирных кислот по степени насыщенности	Общее содержание, масс.%
Насыщенные	61,23
Ненасыщенные	38,77

Из Таблиц 1 и 2 видно, что жир личинок Черной львинки состоит преимущественно из насыщенных жирных кислот с высоким содержанием лауриновой (31,38%), пальмитиновой (13,4%) и пальмитолеиновой (6,38%) кислот. Было обнаружено, что лауриновая кислота обладает вируцидной, фунгицидной и антибактериальной активностями, а также способна подавлять развитие дрожжевых грибов, что обуславливает ее использование в качестве антисептической

добавки в косметологии и фармацевтической технологии [21]. Из ненасыщенных жирных кислот наибольшую долю имеют олеиновая (18,27%) и линолевая (18,47%), которые находят свое применение в пищевой, химической и других видах промышленности. Жирные кислоты могут оказывать различное влияние на эффективную вязкость, в зависимости от вида жирной кислоты, что может быть объяснено с точки зрения различия размеров, формы и распределения частиц эмульсии, а также взаимодействия между компонентами, которое может оказывать влияние на содержание свободного растворителя в системе [22]. Так, например, эмульсия стеариновой кислоты с казеинатом натрия в качестве эмульгатора показывает псевдопластичный характер течения, по сравнению с эмульсиями олеиновой и пальмитиновой кислот той же концентрации, демонстрирующих ньютоновское поведение. Более того, вязкость эмульсии олеиновой кислоты увеличивается, а пальмитиновой кислоты — снижается при одинаковых концентрациях кислот и эмульгатора, по сравнению с вязкостью раствора казеината натрия.

В работе были получены экспериментальные данные зависимости вязкости от скорости сдвига для растворов лецитина и эмульсий жира личинок Черной львинки с различным содержанием лецитина (ω). Экспериментальные данные были прологарифмированы и проанализированы с использованием степенного закона Освальда-де-Ваале.

На Рисунке 1 представлены зависимости динамической вязкости водных растворов с различным содержанием лецитина (ω) при температуре 40 °С.

Рисунок 1. Кривые вязкости растворов лецитина с различным содержанием лецитина (ω) при температуре 40 °С

Закон Освальда де-Ваале используется для определения поведения растворов при механическом сдвиге и позволяет определить степень отклонения от ньютоновского поведения:

$$\eta = K \times \gamma^{(n-1)}, \quad (1)$$

где η — вязкость, мПа·с;

γ — скорость сдвига, с⁻¹;

K — показатель консистенции;

n — показатель течения.

Для расчета показателей течения и консистенции прологарифмированные экспериментальные значения η и γ были

аппроксимированы согласно уравнению (1) в программном пакете OriginPro 2017 b9.4.2.380. Для оптимизации параметров был использован алгоритм Левенберга-Марквардта. Коэффициент детерминации R^2 линейной регрессии использовали для оценки качества подгонки. Значения показателей уравнения и коэффициента детерминации представлены в Таблице 3.

Таблица 3

Значение показателей течения и консистенции растворов лецитина с различным содержанием лецитина (ω)

ω , масс. %	K	n	R^2
0,5	-0,26	1,10	0,98
1,0	0,51	0,85	0,98
1,5	0,61	0,84	0,98
2,0	0,66	0,85	0,99
2,5	-0,84	1,58	0,96

Данные Рисунка 1 и Таблица 3 показывают, что с увеличением содержания лецитина в растворе происходит увеличение показателя консистенции и смена характера течения раствора с практически ньютоновского $n \approx 1,1$ ($\omega = 0,5$ масс.%) на псевдопластичный $n \approx 0,84-0,85$ ($\omega = 1-2$ масс.%). Значения коэффициентов детерминации $R^2 \approx 0,96-0,99$ (96–99%) говорят о высокой корреляции экспериментальных данных и рассчитанных показателей. В разбавленных растворах лецитина взаимодействие между частицами слабое, поэтому такие растворы имеют низкую вязкость и демонстрируют ньютоновский тип течения. В более концентрированных растворах частицы находятся ближе, что увеличивает их взаимодействие, приводя к увеличению вязкости и вязкопластическому поведению. Псевдопластичное поведение может быть связано с тем, что при увеличении концентрации лецитина увеличивается размер агрегатов его молекул, содержащих полярные фосфорилхолиновые группы, ориентированные наружу. Такие структуры легче разбить при сдвиге, поэтому вязкость растворов снижается с увеличением скорости перемешивания. Дальнейшее увеличение концентрации лецитина приводит к изменению типа течения раствора в сторону дилатантного ($n > 1$). Лецитин частично растворим в воде и находится в растворе в виде гидратированных молекул, разделенных слоем жидкости. При увеличении его концентрации увеличивается размер гидратированных агрегатов, которые разрушаются на агрегаты меньшего размера при увеличении скорости сдвига. В результате значительно возрастает площадь поверхности агрегатов, что приводит к увеличению межмолекулярного взаимодействия, а также к возникновению стесненных условий и явлению дилатансии. В работе [23] растворы яичного лецитина в воде в концентрации $\leq 1,8$ масс.% демонстрировали ньютоновский характер течения, а при увеличении концентрации $\geq 1,8$ — псевдопластичное и тиксотропное поведение. Концентрированные растворы соевого лецитина, обработанные ультразвуком, имели ньютоновский тип течения при содержании лецитина 6–12 масс.% [24]. При увеличении его концентрации до 18–24 масс.% тип течения изменялся на неньютоновский пластический. Водные дисперсии жидкого подсолнечного лецитина демонстрируют псевдопластичное поведение $n = 0,472-0,584$ в диапазоне концентраций 1–25 масс.% [20].

На Рисунке 2 представлены кривые вязкости, а в Таблице 4 — рассчитанные показатели течения и консистенции для эмульсий жира личинок Черной львинки с различным содержанием лецитина.

Рисунок 2. Кривые вязкости эмульсий жира личинки Черной львинки (б) с различным содержанием лецитина (ω) при температуре 40 °C

Таблица 3

Значение показателей течения и консистенции водной эмульсии жира Черной львинки в зависимости от содержания лецитина (ω)

ω , масс. %	K	n	R^2
0,5	0,03	0,97	0,08
1,0	0,37	0,80	0,92
1,5	0,32	0,84	0,89
2,0	0,32	0,85	0,89
2,5	0,39	0,84	0,79

Для эмульсий жира личинок Черной львинки показатель консистенции K практически в 2 раза ниже, чем для растворов чистого лецитина той же концентрации. Более того, характеры течения сохраняются, за исключением эмульсии с содержанием лецитина 1 и 2,5 масс.%, которая демонстрирует более выраженное псевдопластичное поведение при добавлении жира. Снижение консистенции эмульсий по сравнению с растворами чистого лецитина свидетельствует об образовании межмолекулярных связей гидрофобных групп лецитина с жирными кислотами в составе жира. Возникновение этих связей приводит к мицеллообразованию и уменьшению размера агрегатов лецитина, что оказывает влияние на вязкость системы. При увеличении скорости сдвига расстояние между соседними частицами увеличивается и наблюдается возникновение псевдопластичного течения. Коэффициент детерминации R^2 для эмульсии с содержанием лецитина 0,5 масс.% составляет $< 0,1$ (менее 10%), что показывает отсутствие какой-либо зависимости между рассчитанными показателями и экспериментальными данными, в связи с чем уравнение (1) отражено прерывистой линией.

4. Заключение

В работе были получены данные с использованием ротационной вискозиметрии, на основании которых были построены кривые вязкости для растворов лецитина и прямых эмульсий жира личинок Черной львинки с различным содержанием лецитина 0,5–2,5 масс.%. Построенные кривые

были проанализированы с помощью степенного закона Освальда-де-Ваеля. Установлено, что увеличение содержания лецитина приводит к увеличению показателя консистенции К и степени псевдопластичности растворов лецитина. Тем не менее раствор лецитина в концентрации 2,5 масс.% показывает тенденцию к дилатантному поведению ($n > 1$), что, возможно, указывает на повышение взаимодействия между гидратированными молекулами лецитина в растворе. Показано, что введение в раствор жира личинок Черной львинки с последующим механическим диспергированием (приго-

товлением эмульсий) приводит к снижению консистенции К растворов в два раза, вне зависимости от концентрации лецитина. Растворы эмульсий с содержанием лецитина 1,0–2,5 масс.% показали тенденцию к псевдопластичному течению. Раствор лецитина 0,5 масс.% и эмульсия с содержанием лецитина 0,5 масс.% демонстрировали низкие значения консистенции и ньютоновский характер течения, что может быть связано с низкой концентрацией компонентов. Вследствие этого степень взаимодействия между компонентами является достаточно слабой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Первый в Петербурге пункт приема органики заработает 18 января. Электронный ресурс: https://www.gov.spb.ru/gov/terr/reg_viborg/news/180821/ Дата обращения 10.08.2021 г.
2. Эксперты: в России необходимо создать условия для переработки органического мусора. Электронный ресурс: <https://tass.ru/nacionalnye-proekty/6310152> Дата обращения 10.08.2021 г.
3. Малышева, А.Г., Козлова, Н.Ю., Растяйников, Е.Г., Ерманов, А.А., Шохин, В.А. (2017). Физико-химические исследования для оценки химической безопасности и эффективности применения новой системы очистки свалочного газа на полигоне твердых бытовых отходов. *Гигиена и санитария*, 96(11), 1103–1108. <http://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-11-1103-1108>
4. Kim, T. -K., Yong, H. I., Kim, Y. -B., Kim, H. -W., Choi, Y. -S. (2019). Edible insects as a protein source: A review of public perception, processing technology, and research trends. *Food Science of Animal Resources*, 39(4), 521–540. <http://doi.org/10.5851/kosfa.2019.e53>
5. Chou, T.-H., Nugroho, D. S., Cheng, Y.-S., Chang, J.-Y. (2020). Development and characterization of nano-emulsions based on oil extracted from black soldier fly larvae. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 191(1), 331–345. <https://doi.org/10.1007/s12010-019-03210-y>
6. Новые технологии АПК: корма и удобрения из Черной львинки. Электронный ресурс: <https://sfera.fm/articles/tkv/novye-tehnologii-apk-korma-i-udobreniya-iz-chnoi-lyvinki/> Дата обращения 5.08.2021 г.
7. Hsu, J.-P., Nacu, A. (2003). Behavior of soybean oil-in-water emulsion stabilized by nonionic surfactant. *Journal of Colloid and Interface Science*, 259(2), 374–381. [https://doi.org/10.1016/S0021-9797\(02\)00207-2](https://doi.org/10.1016/S0021-9797(02)00207-2)
8. Matthäus, B., Piofczyk, T., Katz, H., Pudiel, F. (2019). Renewable resources from insects: Exploitation, properties, and refining of fat obtained by cold-pressing from hermetia illucens (black soldier fly) larvae. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 121(7), Article 1800376. <http://doi.org/10.1002/ejlt.201800376>
9. Kale, S. N., Deore, S. L. (2016). Emulsion micro emulsion and nano emulsion: A review. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 8(1), 39–47. <https://doi.org/10.5530/srp.2017.1.8>
10. Premlal Ranjith, H. M., Wijewardene, U. (2006). Lipid emulsifiers and surfactants in dairy and bakery products. Chapter in a book: *Modifying Lipids for Use in Food*. Woodhead Publishing Limited, 393–428. <https://doi.org/10.1533/9781845691684.3.393>
11. Alhajj, M. J., Montero, N., Yarcce, C. J., Salamanca, C. H. (2020). Lecithins from vegetable, land, and marine animal sources and their potential applications for cosmetic, food, and pharmaceutical sectors. *Cosmetics*, 7(4), 1–19. <https://doi.org/10.3390/cosmetics7040087>
12. Derkach, S. R. (2009). Rheology of emulsions. *Advances in Colloid and Interface Science*, 151(1–2), 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2009.07.001>
13. Lim, J. S., Wong, S. F., Law, M. C., Samyudia, Y., Dol, S. S. (2015). A review on the effects of emulsions on flow behaviours and common factors affecting the stability of emulsions. *Journal of Applied Sciences*, 15(2), 167–172. <https://doi.org/10.3923/jas.2015.167.172>
14. Klongdee, S., Thongngam, M., Klinkesorn, U. (2012). Rheology and microstructure of lecithin-stabilized tuna oil emulsions containing chitosan of varying concentration and molecular size. *Food Biophysics*, 7(2), 155–162. <https://doi.org/10.1007/s11483-012-9253-4>
15. Quintana-Martinez, S., Morales-Cano, A., García-Zapateiro, L. (2018). Rheological behaviour in the interaction of lecithin and guar gum for oil-in-water emulsions. *Czech Journal of Food Sciences*, 36(1), 73–80. <https://doi.org/10.17221/315/2017-CJFS>
16. Pan, L. G., Tomás, M. C., Añón, M. C. (2002). Effect of sunflower lecithins on the stability of water-in-oil and oil-in-water emulsions. *Journal of Surfactants and Detergents*, 5(2), 135–143. <https://doi.org/10.1007/s11743-002-0213-1>
17. Traynor, M., Burke, R., Frias, J.M., Gaston, E., Barry-Ryan, C. (2013). Formation and stability of an oil in water emulsion containing lecithin, Xanthan gum and sunflower oil. *International Food Research Journal*, 20(5), 2173–2181.
18. Zhang, H., Lee, Y.-H., Shin, J.-A., Lee, K.-T., Hong, S.-T. (2013). Stability of oil-in-water emulsions with different saturation degrees from beef tallow alcoholysis products. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 42(6), 933–940. <http://doi.org/10.3746/jkfn.2013.42.6.933>
19. Ponphaiboon, J., Limmatvapirat, S., Limmatvapirat, C. (17–18 May, 2018). Influence of emulsifiers on physical properties of oil/water emulsions containing ostrich oil. 7th International Conference on Advanced Materials and Engineering Materials, ICAMEM, Bangkok. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.777.592>
20. Bhattacharya, S., Shylaja, M. H., Manjunath, M. S., Sankar, U. (1998). Rheology of lecithin dispersions. *JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 75(7), 871–874. <http://doi.org/10.1007/s11746-998-0239-9>
21. Dayrit, F. M. (2015). The Properties of Lauric Acid and Their Significance in Coconut Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2562-7>
22. Fabra, M. J., Jiménez, A., Atarés, L., Talens, P., Chiralt, A. (2009). Effect of fatty acids and beeswax addition on properties of sodium caseinate dispersions and films. *Biomacromolecules*, 10(6), 1500–1507. <https://doi.org/10.1021/bm900098p>
23. Perrin, J. H., Saunders, L. (1966). Viscosity of phosphatidylcholine (lecithin). *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 18(5), 271–277. <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.1966.tb07871.x>
24. Manconi, M., Aparicio, J., Vila, A. O., Pendás, J., Figueruelo, J., Molina, F. (2003). Viscoelastic properties of concentrated dispersions in water of soy lecithin. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 222(1–3), 141–145. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(03\)00249-8](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(03)00249-8)

REFERENCES

1. The first organic collection point in St. Petersburg will start working on January 18. Retrieved from https://www.gov.spb.ru/gov/terr/reg_viborg/news/180821/ Accessed August 10, 2021. (In Russian)
2. Experts: in Russia it is necessary to create conditions for the processing of organic waste Retrieved from <https://tass.ru/nacionalnye-proekty/6310152> Accessed August 10, 2021. (In Russian)
3. Malysheva, A. G., Kozlova, N. Yu., Rastyannikov, E. G., Ermakov, A. A., Shokhin, V. A. (2017). Physico-chemical investigations for the assessment of the chemical safety and efficacy of application of a new system of landfill gas purification at the solid domestic garbage dump. *Gigiena i Sanitariya*, 96(11), 1103–1108. <http://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-11-1103-1108> (In Russian)
4. Kim, T. -K., Yong, H. I., Kim, Y. -B., Kim, H. -W., Choi, Y. -S. (2019). Edible insects as a protein source: A review of public perception, processing technology, and research trends. *Food Science of Animal Resources*, 39(4), 521–540. <http://doi.org/10.5851/kosfa.2019.e53>
5. Chou, T.-H., Nugroho, D. S., Cheng, Y.-S., Chang, J.-Y. (2020). Development and characterization of nano-emulsions based on oil extracted from black soldier fly larvae. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 191(1), 331–345. <https://doi.org/10.1007/s12010-019-03210-y>
6. New technologies of the agro-industrial complex: feed and fertilizers from the Black Lioness. Retrieved from <https://sfera.fm/articles/tkv/novye-tehnologii-apk-korma-i-udobreniya-iz-chnoi-lyvinki/> Accessed August 5, 2021. (In Russian)
7. Hsu, J.-P., Nacu, A. (2003). Behavior of soybean oil-in-water emulsion stabilized by nonionic surfactant. *Journal of Colloid and Interface Science*, 259(2), 374–381. [https://doi.org/10.1016/S0021-9797\(02\)00207-2](https://doi.org/10.1016/S0021-9797(02)00207-2)
8. Matthäus, B., Piofczyk, T., Katz, H., Pudiel, F. (2019). Renewable resources from insects: Exploitation, properties, and refining of fat obtained by cold-pressing from hermetia illucens (black soldier fly) larvae. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 121(7), Article 1800376. <http://doi.org/10.1002/ejlt.201800376>
9. Kale, S. N., Deore, S. L. (2016). Emulsion micro emulsion and nano emulsion: A review. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 8(1), 39–47. <https://doi.org/10.5530/srp.2017.1.8>
10. Premlal Ranjith, H. M., Wijewardene, U. (2006). Lipid emulsifiers and surfactants in dairy and bakery products. Chapter in a book: *Modifying Lipids for Use in Food*. Woodhead Publishing Limited, 393–428. <https://doi.org/10.1533/9781845691684.3.393>

11. Alhajj, M. J., Montero, N., Yarcce, C. J., Salamanca, C. H. (2020). Lecithins from vegetable, land, and marine animal sources and their potential applications for cosmetic, food, and pharmaceutical sectors. *Cosmetics*, 7(4), 1–19. <https://doi.org/10.3390/cosmetics7040087>
12. Derkach, S. R. (2009). Rheology of emulsions. *Advances in Colloid and Interface Science*, 151(1–2), 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2009.07.001>
13. Lim, J. S., Wong, S. F., Law, M. C., Samyudia, Y., Dol, S. S. (2015). A review on the effects of emulsions on flow behaviours and common factors affecting the stability of emulsions. *Journal of Applied Sciences*, 15(2), 167–172. <https://doi.org/10.3923/jas.2015.167.172>
14. Klongdee, S., Thongngam, M., Klinsorn, U. (2012). Rheology and microstructure of lecithin-stabilized tuna oil emulsions containing chitosan of varying concentration and molecular size. *Food Biophysics*, 7(2), 155–162. <https://doi.org/10.1007/s11483-012-9253-4>
15. Quintana-Martinez, S., Morales-Cano, A., García-Zapateiro, L. (2018). Rheological behaviour in the interaction of lecithin and guar gum for oil-in-water emulsions. *Czech Journal of Food Sciences*, 36(1), 73–80 <https://doi.org/10.17221/315/2017-CJFS>
16. Pan, L. G., Tomás, M. C., Añón, M. C. (2002). Effect of sunflower lecithins on the stability of water-in-oil and oil-in-water emulsions. *Journal of Surfactants and Detergents*, 5(2), 135–143. <https://doi.org/10.1007/s11743-002-0213-1>
17. Traynor, M., Burke, R., Frias, J.M., Gaston, E., Barry-Ryan, C. (2013). Formation and stability of an oil in water emulsion containing lecithin, Xanthan gum and sunflower oil. *International Food Research Journal*, 20(5), 2173–2181.
18. Zhang, H., Lee, Y.-H., Shin, J.-A., Lee, K.-T., Hong, S.-T. (2013). Stability of oil-in-water emulsions with different saturation degrees from beef tallow alcoholysis products. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 42(6), 933–940. <http://doi.org/10.3746/jkfn.2013.42.6.933>
19. Ponphaiboon, J., Limmatvapirat, S., Limmatvapirat, C. (17–18 May, 2018). Influence of emulsifiers on physical properties of oil/water emulsions containing ostrich oil. 7th International Conference on Advanced Materials and Engineering Materials, ICAMEM, Bangkok. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.777.592>
20. Bhattacharya, S., Shylaja, M. H., Manjunath, M. S., Sankar, U. (1998). Rheology of lecithin dispersions. *JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 75(7), 871–874. <http://doi.org/10.1007/s11746-998-0239-9>
21. Dayrit, F. M. (2015). The Properties of Lauric Acid and Their Significance in Coconut Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2562-7>
22. Fabra, M. J., Jiménez, A., Atarés, L., Talens, P., Chiralt, A. (2009). Effect of fatty acids and beeswax addition on properties of sodium caseinate dispersions and films. *Biomacromolecules*, 10(6), 1500–1507. <https://doi.org/10.1021/bm900098p>
23. Perrin, J. H., Saunders, L. (1966). Viscosity of phosphatidylcholine (lecithin). *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 18(5), 271–277. <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.1966.tb07871.x>
24. Manconi, M., Aparicio, J., Vila, A. O., Pendás, J., Figueruelo, J., Molina, F. (2003). Viscoelastic properties of concentrated dispersions in water of soy lecithin. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 222(1–3), 141–145. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(03\)00249-8](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(03)00249-8)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Рубан Альбина Алексеевна — лаборант-исследователь, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., 55 Тел.: +7-931-252-83-55 E-mail: albinaruban98@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9289-4010 * автор для контактов	Albina A. Ruban — laboratory assistant-researcher, All-Russian Research Institute for Food Additives 55, Liteiny pr., 191014, St. Petersburg, Russia Tel.: +7-931-252-83-55 E-mail: albinaruban98@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9289-4010 * corresponding author
Новикова (Захарова) Мария Вячеславовна — кандидат технических наук, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., 55 Тел.: +7-812-273-41-08 E-mail: mariazakharova@bk.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4195-0649	Mariia V. Novikova (Zakharova) — Candidate of Technical Sciences, research fellow, All-Russian Research Institute for Food Additives 55, Liteiny pr., 191014, St. Petersburg, Russia Tel.: +7-812-273-41-08 E-mail: mariazakharova@bk.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4195-0649
Костин Антон Алексеевич — кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., 55 Тел.: +7-812-273-41-08 E-mail: egresso@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4978-514X	Anton A. Kostin — Candidate of Chemical Sciences, research senior, All-Russian Research Institute for Food Additives 55, Liteiny pr., 191014, St. Petersburg, Russia Tel.: +7-812-273-41-08 E-mail: egresso@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4978-514X
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	The authors declare no conflict of interest