

**Екатерина Валериевна Лисовая¹✉, Мариет Руслановна Жане²,
Екатерина Романовна Данилейко³, Александр Сергеевич Бородихин⁴,
Елена Павловна Викторова⁵**

^{1,2,3,4,5}Краснодарский НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал Северо-Кавказского ФНЦ садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар, Россия

¹e.kabalina@mail.ru

²mariyet.zhane_87@bk.ru

³danileikoekaterina01@mail.ru

⁴SpamBox2796@mail.ru

⁵kornena@bk.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК – ОБЕЗЖИРЕННОГО И ГИДРОЛИЗОВАННОГО ОБЕЗЖИРЕННОГО ЛЕЦИТИНОВ

Цель исследования – изучение свойств обезжиренного и гидролизованного обезжиренного лецитинов. Объекты исследования – образцы обезжиренного и гидролизованного обезжиренного лецитинов, полученные в лабораторных условиях. В обезжиренном лецитине массовая доля фосфолипидов соответствует 76,4 %, а в гидролизованном обезжиренном лецитине массовая доля фосфолипидов – 43,1 % и лизофосфолипидов – 32,1 %. Седиментационную устойчивость модельных эмульсионных систем прямого типа, стабилизированных исследуемыми лецитинами, оценивали по значению индекса их расслоения, а агрегативную устойчивость – по размеру частиц дисперсной фазы в свежеприготовленных и хранившихся в течение 24 ч при температуре 23 °С эмульсионных системах. Биологически активные свойства лецитинов определяли в экспериментах на лабораторных крысах в течение 30 дней. Было сформировано 3 группы крыс по 10 голов: две экспериментальные и одна контрольная. Крысы первой экспериментальной группы получали дополнительно к основному рациону болюсы с 50 мг обезжиренного лецитина, а второй – болюсы с 50 мг гидролизованного обезжиренного лецитина. В свежеприготовленных и хранившихся в течение 24 ч эмульсионных системах, стабилизированных гидролизованным обезжиренным лецитином, содержание частиц дисперсной фазы размером 1 мкм и менее по сравнению с эмульсионными системами, стабилизированными обезжиренным лецитином, выше на 21,1 и 27,2 % соответственно, что обеспечивает более высокую их седиментационную агрегативную устойчивость. Показана эффективность проявления гиполипидемических, гипохолестеринемических, гипогликемических и гепатопротекторных свойств обезжиренным и гидролизованным обезжиренным лецитинами, при этом эффективность проявления указанных свойств (снижение содержания в сыворотке крови общего холестерина, триглицеридов, глюкозы и снижение активности гепатоиндикаторных ферментов) гидролизованным обезжиренным лецитином выше, чем обезжиренным лецитином. Полученные результаты позволяют обосновать выбор эффективных направлений применения пищевых добавок – обезжиренного и гидролизованного обезжиренного лецитинов в технологиях продуктов питания, в т. ч. функционального назначения.

Ключевые слова: обезжиренный лецитин, гидролизованный обезжиренный лецитин, пищевые добавки, эмульгирующие свойства, эмульсионные пищевые системы прямого типа, биологически активные свойства, лабораторные крысы

Для цитирования: Лисовая Е.В., Жане М.Р., Данилейко Е.Р., и др. Исследование свойств пищевых добавок – обезжиренного и гидролизованного обезжиренного лецитинов // Вестник КрасГАУ. 2025. № 12. С. 293–305. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-12-293-305.

Финансирование: исследование выполнено в рамках комплексной темы FGRE-2022-0008 Государственного задания Министерства образования и науки РФ.

Ekaterina Valerievna Lisovaya¹✉, Mariet Ruslanovna Zhane², Ekaterina Romanovna Danileiko³, Alexander Sergeevich Borodikhin⁴, Elena Pavlovna Viktorova⁵

^{1,2,3,4,5}Krasnodar Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products – branch of the North Caucasus FSC for Horticulture, Viticulture, and Winemaking, Krasnodar, Russia

¹e.kabalina@mail.ru

²mariyet.zhane_87@bk.ru

³danielykoekaterina01@mail.ru

⁴SpamBox2796@mail.ru

⁵kornena@bk.ru

STUDY OF FOOD ADDITIVES PROPERTIES – DEOILED AND HYDROLYZED DEOILED LECITHINS

The aim of the study is to investigate the properties of defatted and hydrolyzed deoiled lecithins. The objects of the study were samples of deoiled and hydrolyzed deoiled lecithins obtained in laboratory conditions. In deoiled lecithin, the mass fraction of phospholipids is 76.4 %, while in hydrolyzed deoiled lecithin, the mass fraction of phospholipids is 43.1 % and lysophospholipids is 32.1 %. The sedimentation stability of model direct emulsion systems stabilized by the studied lecithins was assessed by the value of their layering index, and aggregation stability was assessed by the particle size of the dispersed phase in freshly prepared emulsion systems stored for 24 hours at a temperature of 23 °C. The biologically active properties of lecithins were determined in experiments on laboratory rats over a period of 30 days. Three groups of rats, 10 heads each, were formed: two experimental and one control. Rats in the first experimental group received boluses containing 50 mg of deoiled lecithin in addition to their basal diet, while rats in the second group received boluses containing 50 mg of hydrolyzed deoiled lecithin. In freshly prepared emulsion systems stabilized with hydrolyzed deoiled lecithin and stored for 24 hours, the content of dispersed phase particles 1 μm or smaller in size was 21.1 and 27.2 % higher, respectively, compared to emulsion systems stabilized with defatted lecithin, ensuring their higher sedimentation and aggregation stability. The effectiveness of hypolipidemic, hypocholesterolemic, hypoglycemic and hepatoprotective properties of deoiled and hydrolyzed deoiled lecithins has been demonstrated, while the effectiveness of the manifestation of these properties (reduction in the content of total cholesterol, triglycerides, glucose in the blood serum and a decrease in the activity of hepatic indicator enzymes) by hydrolyzed deoiled lecithin is higher than by deoiled lecithin. The obtained results will allow us to substantiate the choice of effective applications for food additives – deoiled and hydrolyzed deoiled lecithin – in food technology, including those with functional purposes.

Keywords: deoiled lecithin, hydrolyzed deoiled lecithin, food additives, emulsifying properties, direct emulsion food systems, biologically active properties, laboratory rats

For citation: Lisovaya EV, Zhane MR, Danilejko ER, et al. Study of food additives properties – deoiled and hydrolyzed deoiled lecithins. *Bulletin of KSAU*. 2025;(12):293-305. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-12-293-305.

Funding: The study was conducted within the framework of the comprehensive topic FGRE-2022-0008 of the State Assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

Введение. Известно, что пищевые добавки – лецитины в технологиях продуктов питания используются преимущественно в качестве натуральных эмульгаторов [1, 2].

Способность лецитинов стабилизировать эмульсии пищевых систем обусловлена присутствием в их составе фосфолипидов (ФЛ).

ФЛ, как известно, являются амфифильными молекулами, состоящими из гидрофильных полярных головных групп и гидрофобных – неполярных остатков жирных кислот [1, 3].

В зависимости от химического состава, строения и концентрации молекул ФЛ в лецитинах, значения их гидрофильно-липофильного баланса (ГЛБ), являющегося одной из характе-

ристик эмульгаторов, может значительно различаться.

Так, у нативных жидких лецитинов значение ГЛБ в среднем составляет 4–5, в результате обезжиривания жидких лецитинов получают обезжиренные лецитины, значение ГЛБ которых приблизительно равно 7, а в результате ферментативной модификации получают гидролизованные лецитины со значениями ГЛБ 8–9, в зависимости от содержания в их составе лизофосфолипидов (лизоФЛ) [4].

Учитывая, что чем выше значения ГЛБ эмульгатора, тем выше его гидрофильность (т. е. растворимость в воде) и наоборот, то лецитины могут стабилизировать как эмульсии прямого, так и обратного типа.

Следует отметить, что гидролизованные лецитины с учетом их значения ГЛБ более широко применяются для образования и стабилизации эмульсий прямого типа [4].

Несмотря на то, что классификация эмульгаторов по эмпирическим значениям ГЛБ является удобной, однако она не отражает поведение эмульгатора в различных условиях окружающей среды (температура, pH и др.), а также в эмульсионных системах с многокомпонентным составом, какими являются пищевые системы, что подтверждается многими исследованиями [5–7].

Так, в работе [6] показано, что гидролизованный соевый лецитин обеспечивает более высокую стабильность эмульсий прямого типа при варировании их значений pH в широком диапазоне по сравнению с обезжиренным соевым лецитином.

В работе [7] показано, что эмульсии, стабилизированные обезжиренным лецитином, более стабильны к процессам коалесценции при хранении в течение 3 месяцев по сравнению с эмульсиями, стабилизированными гидролизованным обезжиренным лецитином, что обусловлено присутствием ионов кальция в гидролизованном лецитине, который вводился в процесс его получения с применением кальцийзависимой фосфолипазы A2.

Следует отметить, что как обезжиренный, так и гидролизованный обезжиренный лецитины, характеризовались более высокими эмульгирующими свойствами по сравнению с жидким соевым лецитином, из которого они были получены [7].

Таким образом, можно сделать вывод, что не только содержание ФЛ и лизоФЛ в гидролизо-

ванном лецитине, но и технологические режимы его получения оказывают влияние на эффективность проявления им эмульгирующих свойств.

Известно, что ФЛ обусловливают и эффективность проявления биологически активных свойств лецитинами, т. е. их биоактивный потенциал.

Так, в работе [8] исследовано влияние соевого лецитина на содержание холестерина и триглицеридов в сыворотке крови, значения гликемического индекса и уровень повреждения ДНК у интактных и гиперхолестеринемических инфицированных крыс. Выявлено, что введение в рацион крыс соевого лецитина в количестве 150 мг в день обеспечивает снижение содержания общего холестерина и триглицеридов, значения гликемического индекса, а также уровня повреждения ДНК у инфицированных гиперхолестеринемией крыс.

В работах [9–11] показана эффективность применения обезжиренного соевого лецитина и гидролизованного обезжиренного соевого лецитина при включении их в рацион бройлеров для повышения продуктивности птиц, а также усвояемости кормов. Кроме того, было отмечено, что указанные лецитины способствуют снижению содержания общего холестерина, концентрации триглицеридов в сыворотке крови птиц, а также снижению показателей перекисного окисления липидов крови.

Следует отметить, что эффективность проявления биоактивного потенциала лецитинов, также как и технологического потенциала, будет зависеть от особенностей химического состава, обусловленного способом и режимами их получения (модификации).

В связи с этим, представляет интерес исследование эмульгирующих и биологически активных свойств обезжиренного и гидролизованного обезжиренного лецитинов, полученных по разработанным авторами режимам.

Цель исследования – исследование свойств обезжиренного и гидролизованного обезжиренного лецитинов, обусловливающих их технологический и биоактивный потенциал.

Задачи: выявить эффективность проявления обезжиренным и гидролизованным обезжиренным лецитинами эмульгирующих свойств в эмульсионных системах прямого типа, характеризующих их технологический потенциал и биологически активных свойств, а именно гиполи-

пидемических, гипохолестеринемических, гипогликемических и гепатопротекторных, характеризующих их биоактивный потенциал.

Объекты и методы. Объекты исследования – образцы обезжиренного и гидролизованного обезжиренного лецитинов, полученные в лабораторных условиях.

Обезжиренный лецитин получали из жидкого подсолнечного лецитина с содержанием веществ, нерастворимых в ацетоне 62,3 %, обезжириванием ацетоном в три стадии: на первой стадии жидкий лецитин смешивали с ацетоном при соотношении (масс/об.) жидкий лецитин : ацетон 1 : 7 и температуре 40 °C при интенсивном перемешивании в течение 7 мин. Полученную смесь разделяли на раствор веществ в ацетоне (нейтральные липиды) и осадок (вещества, нерастворимые в ацетоне, преимущественно ФЛ) фильтрованием. На второй стадии осадок смешивали с ацетоном при соотношении (масс/об.) осадок : ацетон, равном 1 : 5, при интенсивном перемешивании в течение 6 мин с последующей обработкой полученной смеси ультразвуковым (УЗ) воздействием с применением УЗ-аппарата серии «Волна» модель УЗТА-0,4/22-ОМ (ООО «Центр ультразвуковых технологий», Россия) с удельной мощностью 0,32 Вт/см³ в течение 5 мин. Полученную смесь разделяли на раствор веществ в ацетоне и осадок, который затем смешивали с ацетоном при соотношении (масс/об.) осадок : ацетон, равном 1 : 4, путем интенсивного перемешивания в течение 6 мин, с последующей обработкой смеси УЗ-воздействием с удельной мощностью 0,36 Вт/см³ в течение 4 мин. Смесь разделяли на раствор веществ в ацетоне и осадок. Затем осадок сушили под вакуумом при температуре 40 °C до полного исчезновения запаха ацетона с получением обезжиренного лецитина.

Гидролизованный обезжиренный лецитин получали из обезжиренного лецитина путем проведения процесса гидролиза с применением ферментного препарата ROHALASEPL-XTRA (ABEnzymes, Германия), содержащего фосфолипазу А2 (PLA2) с активностью 10000 ед/г, и последующего удаления ацетоном образовавшихся в результате ферментативной реакции свободных жирных кислот, т. е. обезжиривания.

Процесс гидролиза проводили следующим образом: обезжиренный лецитин и дистиллированную воду, предварительно нагретую до 50 °C, в соотношении (масс/об.), равном 1 : 4,

интенсивно перемешивали в течение 15 мин. Значение pH полученной смеси доводили до 4,0 с помощью буферного раствора, а затем в нее вносили ферментный препарат в дозировке 1,0 % к массе обезжиренного лецитина. Процесс гидролиза осуществляли при 50 °C и постоянном перемешивании в течение 100 мин. Затем полученную ферментированную массу нагревали до 100 °C в течение 15 мин для инактивации фермента и сушили при 60 °C под вакуумом до содержания влаги в высушенном продукте, представляющем собой гидролизованный жидкий лецитин, не более 1 %.

Обезжиривание гидролизованного жидкого лецитина проводили в одну стадию при соотношении (масс/об.) гидролизованный жидкий лецитин : ацетон, равном 1 : 7, температуре процесса 40 °C и интенсивном перемешивании в течение 10 мин. Затем смесь обрабатывали УЗ-воздействием при удельной мощности 0,36 Вт/см³ в течение 3 мин. Полученную смесь разделяли на раствор свободных жирных кислот в ацетоне и осадок, который затем сушили под вакуумом при 40 °C до исчезновения запаха ацетона с получением гидролизованного обезжиренного лецитина.

Полученные обезжиренный и гидролизованный обезжиренный лецитины представляют собой порошки светло-желтого цвета, при этом массовая доля веществ, нерастворимых в ацетоне, в обезжиренном лецитине соответствует 96,9 %, в т. ч. ФЛ – 76,4 %, а в гидролизованном обезжиренном лецитине – 95,2 %, в т. ч. ФЛ – 43,1 и лизоФЛ – 32,1 %.

Массовую долю веществ, нерастворимых в ацетоне, в лецитинах определяли по методике согласно ГОСТ 32052-2013, а массовую долю ФЛ и лизоФЛ – методом тонкослойной хроматографии в системе хлороформ : метанол : вода (65 : 25 : 4) с последующим применением денситометрического метода.

Эффективность проявления эмульгирующих свойств обезжиренным и гидролизованным обезжиренным лецитинами оценивали по способности указанных лецитинов повышать седиментационную и агрегативную устойчивости модельных эмульсионных систем прямого типа.

В качестве масляной фазы для приготовления модельных эмульсионных систем прямого типа использовали рафинированное дезодорированное подсолнечное масло и дистиллированную воду в качестве водной фазы. Соотно-

шение масло : вода соответствовало 30 : 70. Обезжиренный и гидролизованный обезжиренный лецитины вводили при перемешивании в водную фазу в количестве из расчета 0,1%; 0,5; 1,0 и 2,0 % к массе масляной фазы, затем масляную и водную фазы смешивали с применением диспергатора-гомогенизатора ULTRA-Turrax T-25 (IKA, Германия) при частоте вращения диспергирующего элемента 10 000 об/мин в течение 5 мин.

Седиментационную устойчивость модельных эмульсионных систем, т. е. их устойчивость к расслоению, оценивали по значению индекса расслоения (I_p), при этом чем ниже I_p , тем выше седиментационная устойчивость эмульсионной системы.

Для определения значений I_p модельные эмульсионные системы переносили в стеклянные градуированные пробирки одинакового объема, которые помещали в термостат при 60 °C и выдерживали в течение 72 ч. Через каждые 12 ч проводили измерение в модельных эмульсионных системах высоты образовавшегося нижнего слоя, представляющего собой слой, обедненный частицами дисперсной фазы (так называемая «сыворотка»), и рассчитывали I_p в % по формуле

$$I_p = \frac{H_c}{H_o} \cdot 100,$$

где H_c – высота слоя, обедненного частицами дисперсной фазы («сыворотка»), см; H_o – общая высота эмульсии, см.

Агрегативную устойчивость модельных эмульсионных систем, т. е. устойчивость частиц дисперсной фазы указанных систем к коалесценции, определяли по размеру частиц дисперсной фазы в свежеприготовленных и хранившихся в течение 24 ч при 23 °C эмульсионных системах путем их микроскопирования на поляризационном оптическом микроскопе AxioImager 2 (CarlZeiss) в проходящем свете с цифровой фотокамерой AxioCam MRc5 при увеличении $\times 40$ и обработкой полученных фотографий при помощи программного пакета ImageJ/Fiji.

Биологически активные свойства обезжиренного и гидролизованного обезжиренного лецитинов, включая гиполипидемические, гипохолес-

теринемические, гипогликемические и гепатопротекторные, определяли в экспериментах на лабораторных крысах. Для этого было сформировано 3 группы крыс, каждая по 10 голов: две группы экспериментальные и одна контрольная, при этом крысы этих групп получали сбалансированный базовый рацион. Кроме этого, крысам контрольной группы задавались болюсы из овсяно-ржаной муки, крысам первой экспериментальной группы – болюсы из овсяно-ржаной муки, содержащие 50 мг обезжиренного лецитина, а крысам второй экспериментальной группы – болюсы из овсяно-ржаной муки, содержащие 50 мг гидролизованного обезжиренного лецитина.

Кормление крыс осуществлялось 2 раза в день, при этом утреннее кормление животных проводили после приема болюсов для обеспечения 100 %-го поедания болюсов каждой крысой индивидуально. Эксперимент проводили в течение 30 дней, при этом биохимические исследования сыворотки крови крыс осуществляли на 15-й и 30-й день эксперимента.

Исследование биохимических показателей сыворотки крови крыс, а именно определение в сыворотке крови концентраций триглицеридов, общего холестерина и глюкозы, а также активности гепатопротекторных ферментов – аспартатаминотрансферазы (AcAT) и аланинаминотрансферазы (AlAT) проводили на автоматическом анализаторе VitalabSelectraJunior с версией программного обеспечения 1.0.

Экспериментальные данные обрабатывали с применением пакетов статистических программ MS Exsel и Statistica 9.0.

Результаты и их обсуждение. На первом этапе исследования изучали эффективность проявления эмульгирующих свойств обезжиренного и гидролизованного обезжиренного лецитинов, характеризующих их технологический потенциал.

На рисунке 1 приведены данные по изменению значений индекса расслоения (I_p) модельных эмульсионных систем, стабилизованных обезжиренным и гидролизованным обезжиренным лецитинами, характеризующие их седиментационную устойчивость в процессе хранения при 60 °C в течение 72 ч.

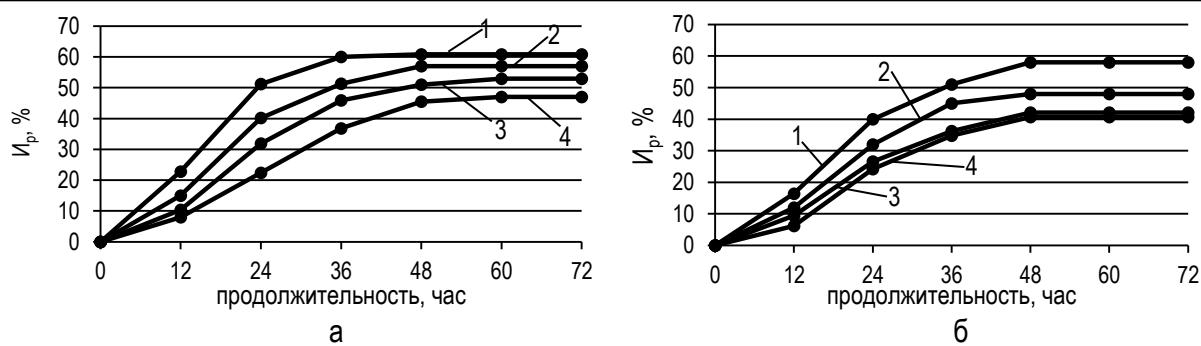


Рис. 1. Изменение значений I_p модельных эмульсионных систем, стабилизированных обезжиренным (а) и гидролизованным обезжиренным (б) лецитинами в течение 72 ч при дозировках лецитинов в % к массе масляной фазы: 1 – 0,1; 2 – 0,5; 3 – 1,0; 4 – 2,0

Change in the values of layering index of model emulsion systems stabilized with defatted (a) and hydrolyzed defatted (b) lecithins for 72 hours at lecithin dosages in % of the mass of the oil phase: 1 – 0.1; 2 – 0.5; 3 – 1.0; 4 – 2.0

Анализ рисунка 1 показал, что эмульсионные системы, стабилизированные гидролизованным обезжиренным лецитином, независимо от его дозировки в системе, характеризуются более низкими значениями индекса расслоения по сравнению со значениями индекса расслоения эмульсионных систем, стабилизированных обезжиренным лецитином.

Следует отметить, что с увеличением дозировки обезжиренного лецитина к массе масляной фазы с 0,1 до 2,0 % наблюдается снижение значений индекса расслоения эмульсионных систем, хранившихся в течение 72 ч, с 60,8 до 47,0 % (см. рис. 1, а).

В случае эмульсионных систем, стабилизированных гидролизованным обезжиренным лецитином и хранившихся в течение 72 ч, снижение значений индекса их расслоения с 58,0 до 42,1 %

наблюдается с увеличением дозировки гидролизованного обезжиренного лецитина с 0,1 до 1,0 %, а при дальнейшем повышении дозировки гидролизованного обезжиренного лецитина с 1,0 до 2,0 % значение индекса расслоения эмульсионной системы изменяется незначительно – с 42,1 до 40,7 % (см. рис. 1, б, кривые 3 и 4).

Для исследования агрегативной устойчивости были выбраны модельные эмульсионные системы, стабилизированные обезжиренным и гидролизованным обезжиренным лецитинами в дозировках 1,0 % к массе масляной фазы.

На рисунке 2 приведены микрофотографии свежеприготовленных и хранившихся в течение 24 ч при температуре 23 °C модельных эмульсионных систем, стабилизированных обезжиренным и гидролизованным обезжиренным лецитинами.

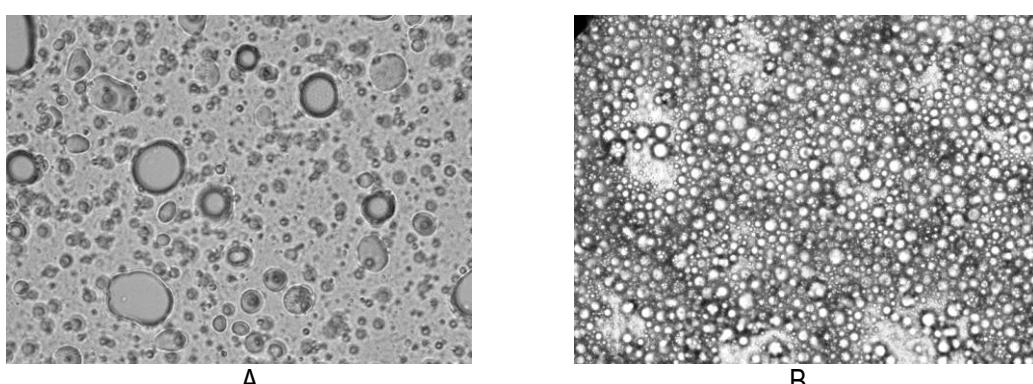
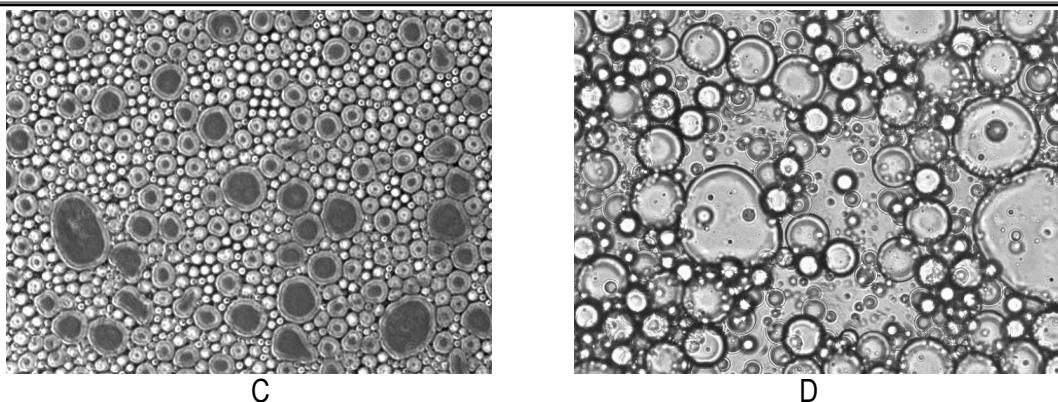


Рис. 2. Микрофотографии свежеприготовленных эмульсионных систем, стабилизированных обезжиренным (А) и гидролизованным обезжиренным (Б) лецитинами, и хранившихся в течение 24 ч при температуре 23 °C эмульсионных систем, стабилизированных обезжиренным (С) и гидролизованным обезжиренным (Д) лецитинами

Micrographs of freshly prepared emulsion systems stabilized with deoiled (A) and hydrolyzed deoiled (B) lecithins and stored for 24 hours at 23 °C emulsion systems stabilized with deoiled (C) and hydrolyzed deoiled (D) lecithins



Окончание рис. 2

Анализ рисунка 2 показал, что эмульсионные системы, стабилизированные гидролизованным обезжиренным лецитином, как свежеприготовленные, так и хранившиеся в течение 24 ч, характеризуются более мелкими частицами дисперской фазы по сравнению с эмульсионными системами, стабилизированными обезжиренным лецитином.

Из рисунка 2, С, D, видно, что в хранившейся в течение 24 ч эмульсионной системе, стабилизированной гидролизованным обезжиренным

лецитином, процессы коалесценции протекают менее интенсивно по сравнению с эмульсионной системой, стабилизированной обезжиренным лецитином.

На рисунке 3 приведены гистограммы, характеризующие размер частиц дисперской фазы свежеприготовленных и хранившихся в течение 24 ч при температуре 23 °С эмульсионных систем, стабилизированных обезжиренным и гидролизованным обезжиренным лецитинами.

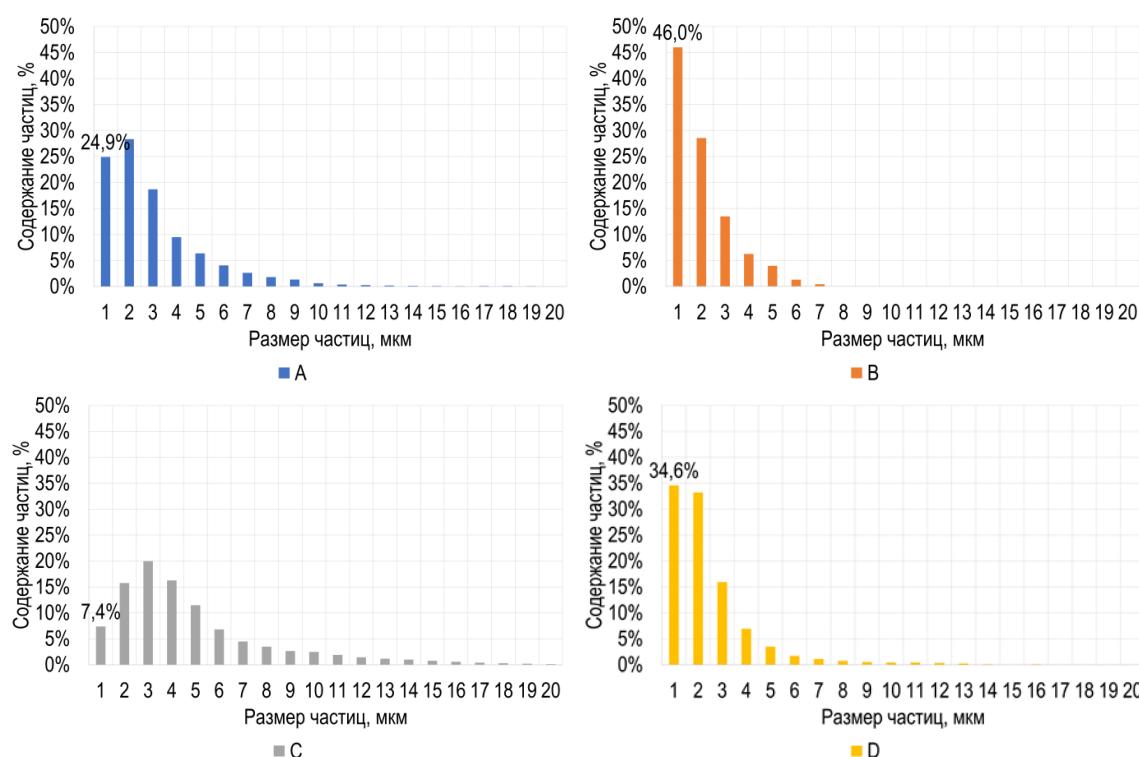


Рис. 3. Гистограммы свежеприготовленных эмульсионных систем, стабилизированных обезжиренным (А) и гидролизованным обезжиренным (В) лецитинами, и хранившихся в течение 24 ч при температуре 23 °С эмульсионных систем, стабилизированных обезжиренным (С) и гидролизованным обезжиренным (D) лецитинами

Histograms of freshly prepared emulsion systems stabilized with deoiled (A) and hydrolyzed deoiled (B) lecithins and stored for 24 hours at 23 °C emulsion systems stabilized with deoiled (C) and hydrolyzed deoiled (D) lecithins

Анализ рисунка 3 показал, что в свежеприготовленной и хранившейся в течение 24 ч эмульсионной системе, стабилизированной гидролизованным обезжиренным лецитином, по сравнению со свежеприготовленной и хранившейся в течение 24 ч эмульсионной системой, стабилизированной обезжиренным лецитином, содержание частиц дисперсной фазы диаметром 1 мкм и менее выше на 21,1 и 27,2 % соответственно.

Полученные данные, характеризующие агрегативную устойчивость эмульсионных систем, стабилизированных гидролизованным обезжиренным лецитином и обезжиренным лецитином, коррелируют с результатами, характеризующими их седиментационную устойчивость, так как высокая концентрация частиц дисперсной фазы меньшего размера (1 мкм и менее) обеспечивает более высокую седиментационную устойчивость эмульсионных систем [12].

Обеспечение гидролизованным обезжиренным лецитином более высокой агрегативной и седиментационной устойчивости эмульсионных систем прямого типа по сравнению с обезжиренным лецитином, по-видимому, обусловлено высоким содержанием гидроксильных групп в гидролизованном обезжиренном лецитине по сравнению с обезжиренным лецитином, за счет присутствия в составе гидролизованного обезжиренного лецитина лизоФЛ.

Следует отметить, что полученные данные по агрегативной устойчивости эмульсионных сис-

тем, стабилизированных гидролизованным обезжиренным лецитином, по сравнению с эмульсионными системами, стабилизированными обезжиренным лецитином, подтверждаются данными, полученными в работе [6]. Однако, в указанной работе в качестве исходного сырья для получения обезжиренного и гидролизованного лецитинов использовали соевый жидкий лецитин, это подтверждает тот факт, что вид исходного сырья, определяющий количественный состав индивидуальных групп ФЛ, содержащихся в лецитине, не оказывает значимого влияния на эффективность проявления эмульгирующих свойств лецитином, а влияние оказывает присутствие в составе лецитинов лизоФЛ.

На втором этапе исследования изучали эффективность проявления биологически активных свойств обезжиренного и гидролизованного обезжиренного лецитинов, а именно гиполипидемических, гипохолестеринемических, гипогликемических и гепатопротекторных, характеризующих их биоактивный потенциал.

Изучение гиполипидемических и гипохолестеринемических свойств обезжиренного и гидролизованного обезжиренного лецитинов осуществляли путем анализа динамики концентраций триглицеридов и общего холестерина в сыворотке крови экспериментальных крыс в сравнении с контрольными крысами в процессе эксперимента (табл. 1).

Таблица 1

**Динамика концентраций триглицеридов и общего холестерина
в сыворотке крови экспериментальных крыс в сравнении с контрольными крысами
в процессе эксперимента ($M \pm m$; $n = 10$)**

Dynamics of triglyceride and total cholesterol concentrations in the blood serum of experimental rats in comparison with control rats during the experiment ($M \pm m$; $n = 10$)

Показатель	Группа		
	контрольная	первая экспериментальная	вторая экспериментальная
Концентрация триглицеридов, ммоль/л:			
на 15-й день эксперимента	2,21 \pm 0,011	1,98 \pm 0,013*	1,91 \pm 0,010*
в конце эксперимента	2,31 \pm 0,013	2,00 \pm 0,010*	1,94 \pm 0,011*
Концентрация общего холестерина, ммоль/л:			
на 15-й день эксперимента	2,25 \pm 0,10	2,01 \pm 0,07**	1,94 \pm 0,05**
в конце эксперимента	2,43 \pm 0,12	2,08 \pm 0,08**	2,02 \pm 0,09**

Примечание: степень достоверности по отношению к контролю – * $p \leq 0,001$, ** $p \leq 0,01$.

В результате анализа динамики концентраций триглицеридов и общего холестерина в процессе эксперимента установлен факт достоверного снижения указанных биохимических показателей в сыворотке крови крыс как первой, так и второй экспериментальных групп в сравнении с контрольными крысами.

Эффективность снижения биохимических показателей (концентраций триглицеридов и общего холестерина) в сыворотке крови крыс экспериментальных групп в сравнении с биохимическими показателями сыворотки крови крыс контрольной группы приведена на рисунке 4.

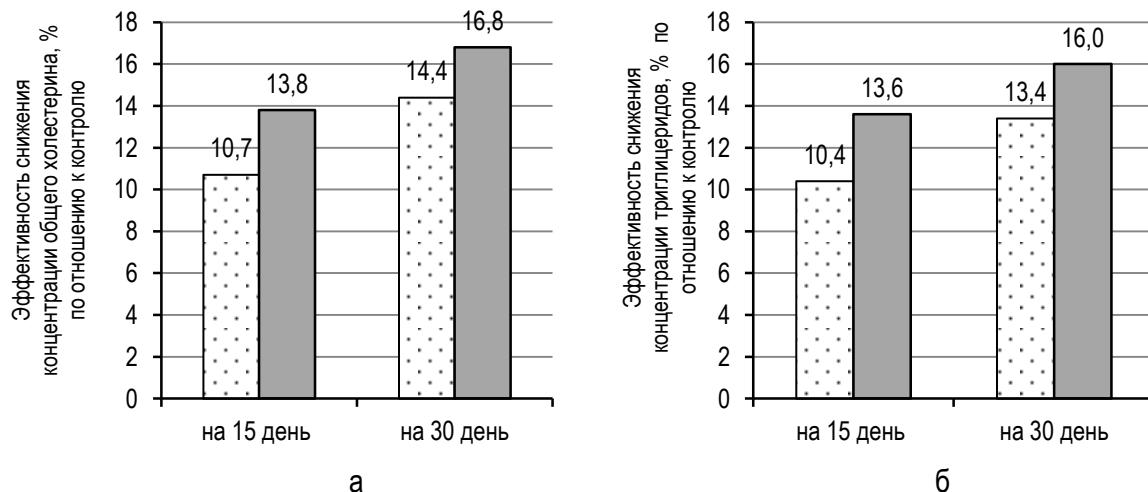


Рис. 4. Эффективность снижения концентраций триглицеридов (а) и общего холестерина (б) в сыворотке крови крыс экспериментальных групп: первой (•) и второй (█) в сравнении с контрольными крысами

Efficiency of reducing concentrations of triglycerides (a) and total cholesterol (b) in rats of experimental groups: first (•) and second (█) in comparison with control rats

Анализ рисунка 4, а, показал, что по сравнению с контрольными крысами эффективность снижения концентрации триглицеридов в сыворотке крови крыс первой экспериментальной группы составляла к середине эксперимента 10,4 % и к концу эксперимента 13,4 %, а у крыс второй экспериментальной группы к середине эксперимента – 13,6 % и к концу эксперимента – 16,0 %.

Кроме этого, при сравнении с контрольными крысами эффективность снижения концентрации общего холестерина в сыворотке крови крыс первой экспериментальной группы составляла к середине эксперимента 10,7 % и к концу эксперимента – 14,4 %, а в сыворотке крови крыс второй экспериментальной группы к середине эксперимента – 13,8 % и к концу эксперимента – 16,8 % (рис. 4, б).

Учитывая полученные результаты, сделан вывод, что обезжиренный гидролизованный обезжиренный лецитин проявляют гиполипидемические и гипохолестеринемические свойства, при этом эффективность проявления ука-

занных свойств гидролизованным обезжиренным лецитином выше, чем обезжиренным лецитином.

Изучение гипогликемических и гепатопротекторных свойств обезжиренного и гидролизованного обезжиренного лецитинов осуществляли путем анализа динамики концентрации глюкозы и активности ферментов АлАТ и АсАТ в сыворотке крови экспериментальных крыс в сравнении с контрольными крысами в процессе эксперимента (табл. 2).

В результате анализа динамики концентрации глюкозы и активности ферментов АлАТ и АсАТ установлен факт достоверного снижения указанных биохимических показателей в сыворотке крови крыс экспериментальных групп в сравнении с контрольными крысами.

Эффективность снижения концентрации глюкозы и активности ферментов АлАТ и АсАТ в сыворотке крови крыс экспериментальных групп в сравнении с контрольными крысами приведена на рисунке 5.

Таблица 2

Динамика концентрации глюкозы и активности ферментов АлАТ и АсАТ в сыворотке крови экспериментальных крыс в сравнении с контрольными крысами в процессе эксперимента (M±m; n=10)

Dynamics of glucose concentration and activity of enzymes ALT and AST in the blood serum of experimental rats in comparison with control rats during the experiment (M±m; n=10)

Группа крыс	Глюкоза, ммоль/л		Активность фермента, ед/л			
	на 15 день	на 30 день	на 15 день		на 30 день	
			АлАТ	АсАТ	АлАТ	АсАТ
Контрольная	9,89±0,10	10,91±0,09	43,33±1,15	111,33±3,05	45,91±1,43	113,10±2,81
Первая экспериментальная	8,65±0,08*	9,14±0,11*	39,36±1,20**	100,17±2,18**	38,11±1,70**	96,14±2,70**
Вторая экспериментальная	8,45±0,10*	8,86±0,07*	37,35±1,35**	96,15±1,33**	36,73±1,52**	92,40±2,51**

Примечание: степень достоверности по отношению к контролю – * p ≤ 0,001, ** p ≤ 0,01.

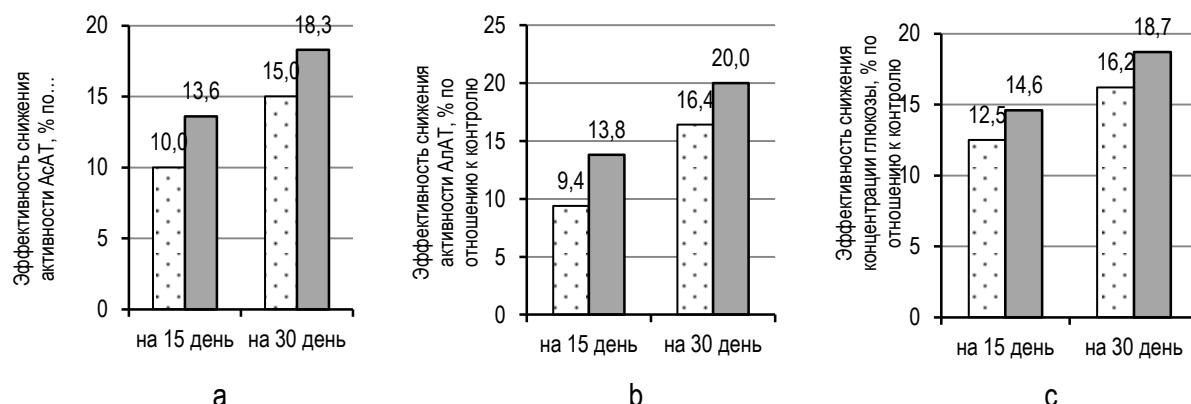


Рис. 5. Эффективность снижения концентрации глюкозы (а), активности АлАТ (б) и АсАТ (с) в сыворотке крови крыс экспериментальных групп: первой (□) и второй (■) в сравнении с контрольными крысами

The effectiveness of reducing glucose concentration (a), ALT (b) and AST (c) activity in rats of experimental groups: the first (□) and the second (■) in comparison with control rats

Анализ рисунка 5, а, показал, что в сравнении с контрольными крысами эффективность снижения концентрации глюкозы у крыс первой экспериментальной группы составляла к середине эксперимента 12,5 % и к концу эксперимента 16,2 %, а у крыс второй экспериментальной группы к середине эксперимента – 14,6 % и к концу эксперимента – 18,7 %.

Кроме этого, при сравнении с контрольными крысами эффективность снижения активности ферментов АлАТ и АсАТ у крыс первой экспериментальной группы составляла к середине эксперимента 9,4 и 10,0 % соответственно и к концу эксперимента – 16,4 и 15,0 % соответственно, а у крыс второй экспериментальной группы эффективность снижения активности указанных ферментов к середине эксперимен-

та – 13,8 и 13,6 % соответственно, и к концу эксперимента – 20,0 и 18,3 % соответственно (рис. 5, б, с).

Учитывая полученные результаты, установлено, что обезжиренный и гидролизованный обезжиренный лецитины проявляют гипогликемические и гепатопротекторные свойства, при этом эффективность проявления указанных свойств гидролизованным обезжиренным лецитином выше, чем обезжиренным лецитином.

Таким образом, результаты проведенного эксперимента на лабораторных животных свидетельствуют, что обезжиренный и гидролизованный обезжиренный лецитины проявляют такие биологически активные свойства, как гиполипидемические, гипохолестеринемические, гипогликемические и гепатопротекторные, при

этом эффективность проявления перечисленных свойств гидролизованным обезжиренным лецитином выше, чем обезжиренным лецитином.

Заключение. Проведенные исследования свидетельствуют, что пищевые добавки – обезжиренный и гидролизованный обезжиренный лецитины обладают технологическим потенциалом, обусловленным эффективностью проявления эмульгирующих свойств, при этом седиментационная стабильность эмульсионных систем, стабилизованных гидролизованным обезжиренным лецитином выше по сравнению с седиментационной стабильностью эмульсионных систем, стабилизованных обезжиренным лецитином.

Кроме этого, эмульсионные системы, стабилизированные гидролизованным обезжиренным лецитином, как свежеприготовленные, так и хранившиеся в течение 24 ч, имеют более высокое содержание частиц дисперсной фазы меньшего размера (1 мкм и менее) по сравнению с эмульсионными системами, стабилизованными обезжиренным лецитином, что свидетельствует о более высокой агрегативной устойчивости эмульсионных систем, стабилизованных гидролизованным обезжиренным лецитином.

Обеспечение гидролизованным обезжиренным лецитином более высокой агрегативной и седиментационной устойчивости эмульсионных систем прямого типа по сравнению с обезжиренным лецитином обусловлено более высоким содержанием гидроксильных групп в гидролизованном обезжиренном лецитине по сравнению с обезжиренным лецитином, за счет присутствия

в составе гидролизованного обезжиренного лецитина лизоФЛ.

В результате исследования биоактивного потенциала пищевых добавок – обезжиренного и гидролизованного обезжиренного лецитинов, а именно эффективности проявления гиполипидемических, гипохолестеринемических, гипогликемических и гепатопротекторных свойств, выявлено, что обезжиренный и гидролизованный обезжиренный лецитины проявляют указанные свойства, при этом эффективность их проявления гидролизованным обезжиренным лецитином выше, чем обезжиренным лецитином.

Новизна результатов исследований заключается в получении новых знаний об особенностях проявления пищевыми добавками – обезжиренным и гидролизованным обезжиренным лецитинами, полученными по разработанным технологическим режимам, технологического и биоактивного потенциала.

Полученные результаты позволят обосновать выбор эффективных направлений применения пищевых добавок – обезжиренного и гидролизованного обезжиренного лецитинов в технологиях продуктов питания, в т. ч. функционального назначения.

Благодарность: Авторы выражают признательность за помощь доктору ветеринарных наук, доценту М.П. Семененко и доктору ветеринарных наук, доценту Е.В. Кузьминовой, главным научным сотрудникам Краснодарского научно-исследовательского ветеринарного института – обособленного структурного подразделения ФГБНУ «Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии».

Список источников

1. Van Nieuwenhuyzen W. Production and utilization of natural phospholipids. In: Polar Lipids. Elsevier, 2015. P. 245–276. DOI: 10.1016/B978-1-63067-044-3.50013-3.
2. Alhajj M.J., Montero N., Yarce C.J., et al. Lecithins from vegetable, land, and marine animal sources and their potential applications for cosmetic, food, and pharmaceutical sectors // Cosmetics. 2020. Vol. 7, is. 4. P. 87. DOI: 10.3390/cosmetics7040087.
3. Chung C., Sher A., Rousset P., et al. Formulation of food emulsions using natural emulsifiers: Utilization of quillajasaponin and soy lecithin to fabricate liquid coffee whiteners // Journal of Food Engineering. 2017. Vol. 209. P. 1–11. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2017.04.011.
4. Bot F., Cossuta D., O'Mahony J.A. Inter-relationships between composition, physicochemical properties and functionality of lecithin ingredients // Trends in Food Science & Technology. 2021. Vol. 111. P. 261–270. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.02.028.
5. Cabezas D.M., Diehl B.W.K., Tomás M.C. Emulsifying properties of hydrolysed and low HLB sunflower lecithin mixtures // European Journal of Lipid Science and Technology. 2016. Vol. 118, is. 7. P. 975–983. DOI: 10.1002/ejlt.2015001.

6. Reddy Jala R.C., Chen B., Li H., et al. Enzymatic preparation and characterization of soybean lecithin-based emulsifiers // *Grasas Aceites*. 2016. Vol.67, is. 4. P. e168. DOI: 10.3989/gya.0571161.
7. El-Abhar M.M., Mahmoud G.I., Hanafy E.A., et al. Comparative study of modified soy lecithins as oil in water (O/W) emulsifiers // *Egyptian Journal of Chemistry*. 2020. Vol. 63, N 8. P. 3015–3027. DOI: 10.21608/EJCHEM.2020.27536.2579.
8. Alshammary S.M., Khaleel L.W. Protective role of soybean lecithin in reducing hypercholesterolemia and DNA fragmentation inducing by high cholesterol in adult male rats // *Kufa Journal For Veterinary Medical Sciences*. 2018. Vol. 9, N 1. P. 35–45.
9. Liu X., Yoon S.B., Kim I.H. Growth Performance, Nutrient Digestibility, Blood Profiles, Excreta Microbial Counts, Meat Quality and Organ Weight on Broilers Fed with de-Oiled Lecithin Emulsifier // *Animals*. 2020. Vol. 10, is. 3. P. 478. DOI: 10.3390/ani10030478.
10. Boontiam W., Jung B., Kim Y. Effects of Lysophospholipid Supplementation to Lower Nutrient Diets on Growth Performance, Intestinal Morphology, and Blood Metabolites in Broiler Chickens // *Poultry Science*. 2017. Vol. 96, is. 3. P. 593–601. DOI: 10.3382/ps/pew269.
11. Park J.H., Nguyen D.H., Kim I.H. Effects of Exogenous Lysolecithin Emulsifier Supplementation on the Growth Performance, Nutrient Digestibility, and Blood Lipid Profiles of Broiler Chickens // *The Journal of Poultry Science*. 2017. Vol. 55, is. 3. P. 190–194. DOI: 10.2141/jpsa.0170100.
12. Hu Y.T., Ting Y., Hu J.Y., et al. Techniques and methods to study functional characteristics of emulsion systems // *Journal of Food and Drug Analysis*. 2017. Vol. 25, is. 1. P. 16–26. DOI: 10.1016/j.jfda.2016.10.021.

References

1. Van Nieuwenhuyzen W. Production and utilization of natural phospholipids. In: *Polar Lipids*. Elsevier, 2015: 245-276. DOI: 10.1016/B978-1-63067-044-3.50013-3.
2. Alhajj MJ, Montero N, Yarce CJ, et al. Lecithins from vegetable, land, and marine animal sources and their potential applications for cosmetic, food, and pharmaceutical sectors. *Cosmetics*. 2020;7(4):87. DOI: 10.3390/cosmetics7040087.
3. Chung C, Sher A, Rousset P, et al. Formulation of food emulsions using natural emulsifiers: Utilization of quillajasaponin and soy lecithin to fabricate liquid coffee whiteners. *Journal of Food Engineering*. 2017;209:1-11. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2017.04.011.
4. Bot F, Cossuta D, O'Mahony JA. Inter-relationships between composition, physicochemical properties and functionality of lecithin ingredients. *Trends in Food Science & Technology*. 2021;111:261-270. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.02.028.
5. Cabezas DM, Diehl BWK, Tomás MC. Emulsifying properties of hydrolysed and low HLB sunflower lecithin mixtures. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2016;118(7):975-983. DOI: 10.1002/ejlt.2015001.
6. Reddy Jala RC, Chen B, Li H, et al. Enzymatic preparation and characterization of soybean lecithin-based emulsifiers. *Grasas Aceites*. 2016;67(4):e168. DOI: 10.3989/gya.0571161.
7. El-Abhar MM, Mahmoud GI, Hanafy EA, et al. Comparative study of modified soy lecithins as oil in water (O/W) emulsifiers. *Egyptian Journal of Chemistry*. 2020;63(8):3015-3027. DOI: 10.21608/EJCHEM.2020.27536.2579.
8. Alshammary SM, Khaleel LW. Protective role of soybean lecithin in reducing hypercholesterolemia and DNA fragmentation inducing by high cholesterol in adult male rats. *Kufa Journal For Veterinary Medical Sciences*. 2018;9(1):35-45.
9. Liu X, Yoon SB, Kim IH. Growth Performance, Nutrient Digestibility, Blood Profiles, Excreta Microbial Counts, Meat Quality and Organ Weight on Broilers Fed with de-Oiled Lecithin Emulsifier. *Animals*. 2020;10(3):478. DOI: 10.3390/ani10030478.
10. Boontiam W, Jung B, Kim Y. Effects of Lysophospholipid Supplementation to Lower Nutrient Diets on Growth Performance, Intestinal Morphology, and Blood Metabolites in Broiler Chickens. *Poultry Science*. 2017;96(3):593-601. DOI: 10.3382/ps/pew269.

11. Park JH, Nguyen DH, Kim IH. Effects of Exogenous Lyssolecithin Emulsifier Supplementation on the Growth Performance, Nutrient Digestibility, and Blood Lipid Profiles of Broiler Chickens. *The Journal of Poultry Science*. 2017;55(3):190-194. DOI: 10.2141/jpsa.0170100.
12. Hu YT, Ting Y, Hu JY, et al. Techniques and methods to study functional characteristics of emulsion systems. *Journal of Food and Drug Analysis*. 2017;25(1):16-26. DOI: 10.1016/j.jfda.2016.10.021.

Статья принята к публикации 21.05.2025 / The article accepted for publication 21.05.2025.

Информация об авторах:

Екатерина Валериевна Лисовая, старший научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации, кандидат технических наук

Мариет Руслановна Жане, младший научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации

Екатерина Романовна Данилейко, младший научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации

Александр Сергеевич Бородихин, научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации

Елена Павловна Викторова, главный научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации, доктор технических наук, профессор

Information about the authors:

Ekaterina Valerievna Lisovaya, Senior Researcher, Department of Food Technology, Quality Control, and Standardization, Candidate of Technical Sciences

Mariet Ruslanovna Zhane, Junior Researcher, Department of Food Technology, Quality Control, and Standardization

Ekaterina Romanovna Danileiko, Junior Researcher, Department of Food Technology, Quality Control, and Standardization

Alexander Sergeevich Borodikhin, Researcher, Department of Food Technology, Quality Control, and Standardization

Elena Pavlovna Viktorova, Chief Researcher, Department of Food Technology, Quality Control, and Standardization, Doctor of Technical Sciences, Professor

