

Екатерина Валериевна Лисовая^{1✉}, Елена Павловна Викторова²,
Иван Александрович Шорсткий³, Мариет Руслановна Жане⁴,
Александр Сергеевич Бородихин⁵

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

³Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия

¹e.kabalina@mail.ru

²kornena@bk.ru

³thegector@mail.ru

⁴mariyet.zhane_87@bk.ru

⁵spambox2796@mail.ru

ВЫЯВЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ОБЕЗЖИРИВАНИЯ ЖИДКОГО ЛЕЦИТИНА

Цель исследования – изучение влияния импульсного электрического поля (ИЭП) на изменение структурного состояния молекул фосфолипидов (ФЛ), триацилглицеринов (ТАГ) и свободных жирных кислот, содержащихся в жидком лецитине, для обоснования эффективности применения ИЭП в процессе его обезжиривания. Задачи: сравнить структурное состояние молекул ФЛ, ТАГ и свободных жирных кислот, содержащихся в жидком лецитине, до и после его обработки ИЭП; выявить влияние обработки системы «жидкий лецитин – ацетон» ИЭП на степень извлечения нейтральных липидов (НЛ) из жидкого лецитина. Объект исследования – жидкий подсолнечный лецитин, в котором содержанием ФЛ соответствует 61,5 %, а НЛ – 37,9 %. Обработку лецитина ИЭП проводили на лабораторной установке, состоящей из камеры с плоскопараллельно расположенными электродами, генератора сигналов ИЭП, сверхвысокоскоростного высоковольтного усилителя, цифрового осциллографа и прецизионного LCR-метра. Изменение структурных состояний молекул ФЛ, ТАГ и свободных жирных кислот, содержащихся в жидком лецитине, до и после его обработки ИЭП осуществляли косвенным методом путем исследования его ядерно-магнитных релаксационных характеристик на ЯМР-анализаторе АМВ 1006М. Обработка жидкого подсолнечного лецитина, предварительно нагретого до 35 °С, ИЭП в течение 7 мин при напряженности ИЭП 6 кВ/см и количестве подаваемых единичных импульсов 72 000 обеспечивает максимальное содержание индивидуальных молекул ТАГ и свободных жирных кислот в жидком лецитине, что позволит получить обезжиренный лецитин с низким содержанием НЛ и высоким содержанием ФЛ. При проведении обработки системы «жидкий лецитин – ацетон» ИЭП в процессе обезжиривания жидкого лецитина установлено, что обработка ИЭП позволяет повысить степень извлечения НЛ из жидкого лецитина на 16,1 %, это подтверждает эффективность процесса обезжиривания жидкого подсолнечного лецитина с применением ИЭП.

Ключевые слова: жидкий подсолнечный лецитин, фосфолипиды, нейтральные липиды, обезжиривание жидкого подсолнечного лецитина, интенсификация, физические методы, импульсное электрическое поле

Для цитирования: Выявление влияния импульсного электрического поля на эффективность процесса обезжиривания жидкого лецитина / Е.В. Лисовая [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2024. № 9. С. 185–194. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-9-185-194.

Ekaterina Valerievna Lisovaya^{1✉}, Elena Pavlovna Viktorova², Ivan Alexandrovich Shorstky³, Mariet Ruslanovna Janet⁴, Alexander Sergeevich Borodikhin⁵

^{1,2,4,5}Krasnodar Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products – a branch of the North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, and Winemaking, Krasnodar, Russia

³Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

¹e.kabalina@mail.ru

²kornena@bk.ru

³thegector@mail.ru

⁴mariyet.zhane_87@bk.ru

⁵spambox2796@mail.ru

IDENTIFYING THE PULSE ELECTRIC FIELD INFLUENCE ON THE EFFICIENCY OF THE DEOILING PROCESS OF FLUID LECITHIN

The aim of the study is to investigate the effect of a pulsed electric field (PEF) on changes in the structural state of phospholipid (PL), triacylglycerol (TAG) and free fatty acid molecules contained in fluid lecithin, in order to substantiate the efficiency of PEF use in the process of its deoiling. Objectives: to compare the structural state of PL, TAG and free fatty acid molecules contained in fluid lecithin before and after its treatment with PEF; to identify the effect of treating the "fluid lecithin - acetone" system with PEF on the degree of extraction of neutral lipids (NL) from fluid lecithin. The object of the study is fluid sunflower lecithin, in which the content of PL is 61.5 %, and NL – 37.9 %. The treatment of lecithin with IEP was carried out on a laboratory setup consisting of a chamber with plane-parallel electrodes, an IEP signal generator, an ultra-high-speed high-voltage amplifier, a digital oscilloscope, and a precision LCR meter. The change in the structural states of the FL, TAG and free fatty acid molecules contained in fluid lecithin before and after its treatment with IEP was carried out by an indirect method by studying its nuclear magnetic relaxation characteristics on an AMV 1006M NMR analyzer. Treatment of fluid sunflower lecithin, preheated to 35 °C, with IEP for 7 min at an IEP intensity of 6 kV/cm and a number of supplied single pulses of 72,000 ensures the maximum content of individual TAG molecules and free fatty acids in fluid lecithin, which will allow obtaining deoiled lecithin with a low NL content and a high FL content. When processing the "fluid lecithin – acetone" system with IEP in the process of defatting fluid lecithin, it was found that IEP processing allows increasing the degree of NL extraction from fluid lecithin by 16.1 %, which confirms the efficiency of the process of defatting fluid sunflower lecithin using IEP.

Keywords: fluid sunflower lecithin, phospholipids, neutral lipids, deoiling of fluid sunflower lecithin, intensification, physical methods, pulsed electric field

For citation: Identifying the pulse electric field influence on the efficiency of the deoiling process of fluid lecithin / E.V. Lisovaya [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2024;(9): 185–194 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-9-185-194.

Введение. Известно, что в результате обезжиривания жидкого растительного лецитина получают пищевую добавку с высоким содержанием фосфолипидов (ФЛ) (не менее 95 %) – обезжиренный лецитин [1]. Следует отметить, что качество получаемого обезжиренного лецитина зависит от полноты экстракции органическим растворителем нейтральных липидов (НЛ) из жидкого лецитина в процессе его обезжиривания. Для проведения наиболее полной экстракции НЛ из жидкого лецитина необходим значительный расход органического раствори-

теля, как правило, ацетона [2]. В связи с этим является актуальным поиск эффективных методов интенсификации процесса обезжиривания жидкого лецитина, позволяющих обеспечить наиболее полную экстракцию НЛ при низком расходе растворителя, а, следовательно, получить обезжиренный лецитин с высоким содержанием ФЛ.

В этом аспекте представляют интерес физические методы интенсификации, а именно метод ультразвукового (УЗ) воздействия и метод воздействия импульсного электрического поля

(ИЭП) на систему «жидкий лецитин – ацетон» в процессе экстракции. Следует отметить, что метод УЗ воздействия достаточно широко используется для интенсификации твердожидкой экстракции целевых компонентов из растительного сырья с помощью различных растворителей, включая воду [3–5].

В статье [6] нами показана эффективность применения метода УЗ воздействия для интенсификации процесса обезжиривания жидкого соевого лецитина, позволившая значительно (на 3,3 %) повысить в получаемом продукте содержание ФЛ, а также снизить расход растворителя по сравнению с контролем.

Основным преимуществом метода воздействия ИЭП в процессе экстракции, по сравнению с другими физическими методами, в т. ч. и УЗ воздействия, является его нетермический характер [7, 8].

Следует отметить, что эффективность метода воздействия ИЭП в основном была показана для интенсификации процессов массопереноса в растительном сырье, имеющем волокнистую или твердую структуру. В результате нетермической электропорации клеточных мембран растительного сырья происходит повышение их проницаемости, что обеспечивает повышение скорости диффузии растворителя внутрь клеток [9, 10].

Однако в последнее время были проведены исследования по влиянию обработки сложных многокомпонентных пищевых систем ИЭП на эффективность протекания некоторых химических реакций, а именно реакций хелатообразования, этерификации спиртов, Майера и других без повышения температуры реакционной системы и ввода катализатора [11–13]. Кроме того, имеются сведения, что в результате обработки растворов органических кислот ИЭП возможен разрыв межмолекулярных водородных связей, что приводит к высвобождению индивидуальных молекул из их ассоциатов [11].

Учитывая, что в жидком лецитине НЛ, состоящие из триацилглицеринов (ТАГ) и свободных жирных кислот, находятся не только в виде индивидуальных молекул, но и в виде ассоциатов различных порядков, в т. ч. и с молекулами ФЛ [14], которые затрудняют процесс диффузии растворителя, а, следовательно, снижают скорость массообмена в системе «жидкий лецитин

– ацетон», то представляет интерес исследование влияния обработки жидкого лецитина ИЭП на степень повышения содержания в жидком лецитине индивидуальных молекул ТАГ и свободных жирных кислот.

Цель исследования – изучение влияния ИЭП на изменение структурного состояния молекул ФЛ, ТАГ и свободных жирных кислот, содержащихся в жидком лецитине, для обоснования эффективности применения ИЭП в процессе обезжиривания жидкого лецитина.

Задачи: сравнить структурное состояние молекул ФЛ, ТАГ и свободных жирных кислот, содержащихся в жидком лецитине, до и после его обработки ИЭП; выявить влияние обработки системы «жидкий лецитин – ацетон» ИЭП на степень извлечения НЛ из жидкого лецитина в процессе его обезжиривания.

Объекты и методы. Объект исследования – жидкий подсолнечный лецитин, содержащий 61,5 % веществ, нерастворимых в ацетоне (ФЛ), и 37,9 % НЛ.

Обработку жидкого подсолнечного лецитина ИЭП осуществляли с применением лабораторной установки, состоящей из камеры с плоскопараллельно расположенными электродами, генератора сигналов ИЭП, сверхвысокоскоростного высоковольтного усилителя, прецизионного LCR-метра и цифрового осциллографа.

Образцы жидкого лецитина, предварительно нагретые до 35 °С, помещали в камеру с электродами, зазор между которыми составлял 3 см, и подвергали воздействию ИЭП при напряженности 6 кВ/см и количестве подаваемых единичных импульсов 72 000 в течение заданного времени.

Напряженность ИЭП и количество подаваемых единичных импульсов были определены в результате серии предварительных экспериментов.

Оценку эффективности влияния обработки жидкого лецитина ИЭП на переход содержащихся в жидком лецитине молекул ТАГ, свободных жирных кислот и ФЛ из одного структурного состояния в другое осуществляли путем измерения ядерно-магнитных релаксационных характеристик жидкого лецитина до и после его обработки ИЭП на ЯМР-анализаторе АМВ-1006 М (ВНИИМК, Россия).

Обработку системы «жидкий лецитин – растворитель» ИЭП в процессе обезжиривания проводили аналогично обработке жидкого лецитина.

В качестве растворителя использовали ацетон марки «ч.д.а.».

После обработки системы «жидкий лецитин – ацетон» ИЭП осуществляли отделение ацетонной мисцеллы, содержащей НЛ, путем фильтрования под вакуумом. Затем из ацетонной мисцеллы удаляли растворитель с помощью роторного испарителя под вакуумом и сушили под вакуумом при температуре 50 °С до постоянной массы для расчета степени извлечения НЛ из жидкого лецитина в процессе обезжиривания.

Степень извлечения НЛ рассчитывали в процентах, как отношение массы НЛ в ацетонной мисцелле после удаления ацетона к массе НЛ, содержащихся в жидком лецитине.

Полученные экспериментальные данные обрабатывали с помощью пакета программ MS Excel и Statistica 9.0.

Результаты и их обсуждение. На первом этапе исследовали влияние продолжительности обработки жидкого лецитина ИЭП на изменение его ядерно-магнитных релаксационных (ЯМР) характеристик, а именно амплитуд сигналов

ЯМР протонов первой (A_1), второй (A_2), третьей (A_3) и четвертой (A_4) компонент, а также их суммарных значений.

В статье [14] нами было показано, что значение A_1 является количественной характеристикой содержания в образце жидкого лецитина протонов индивидуальных молекул ТАГ и свободных жирных кислот; A_2 – протонов ассоциатов ТАГ и свободных жирных кислот; A_3 – протонов молекул ФЛ в виде мицелл низких порядков; A_4 – протонов молекул ФЛ в виде мицелл высоких порядков.

Учитывая это, сумма A_1 и A_2 характеризует содержание в образце жидкого лецитина НЛ, т. е. ТАГ и свободных жирных кислот, а сумма A_3 и A_4 – содержание собственно ФЛ.

Обработку жидкого подсолнечного лецитина ИЭП осуществляли в течение 5; 7 и 9 мин. Следует отметить, что предварительно было установлено отсутствие изменения ЯМР-характеристик жидкого лецитина при его обработке ИЭП менее 5 мин.

На рисунке 1 приведены данные по влиянию обработки жидкого подсолнечного лецитина ИЭП на значение A_1 и A_2 (а) и на их сумму (б), а на рисунке 2 – на значения A_3 и A_4 (а) и на их сумму (б) по сравнению с образцом жидкого лецитина без обработки ИЭП (К).

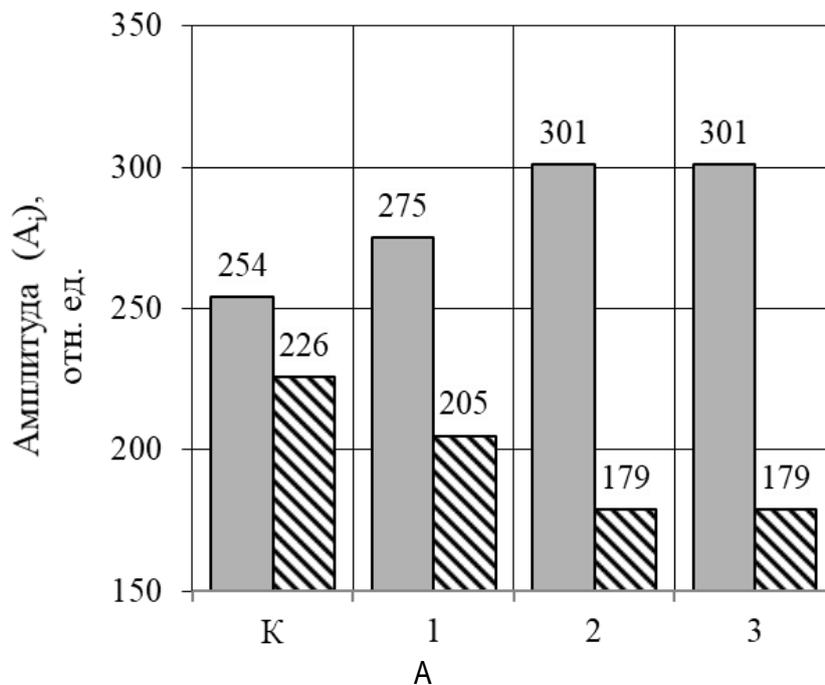
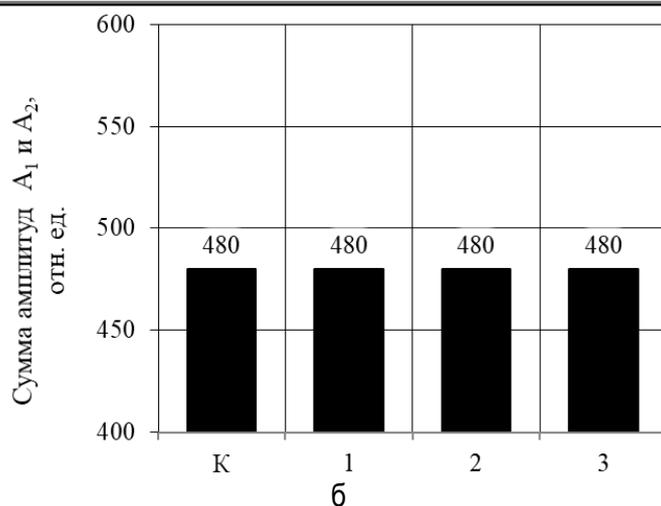


Рис. 1. Влияние обработки жидкого лецитина ИЭП на значения A_1 (■) и A_2 (▨) (а) и на их сумму (б) при продолжительности обработки: 1–5 мин; 2–7 мин; 3–9 мин



Окончание рис. 1

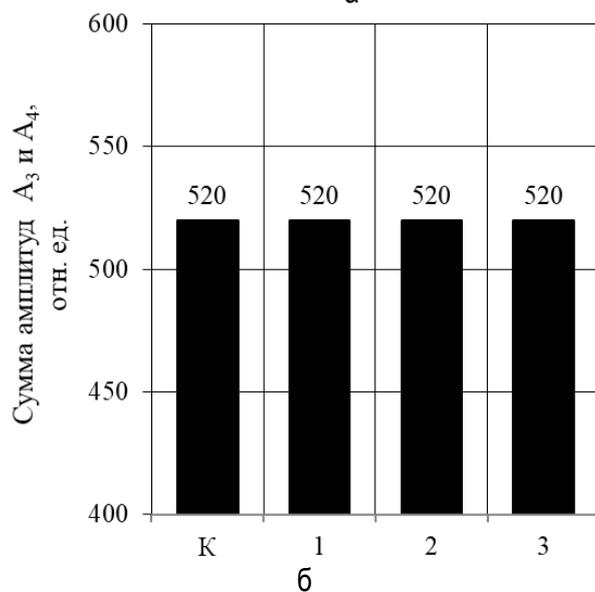
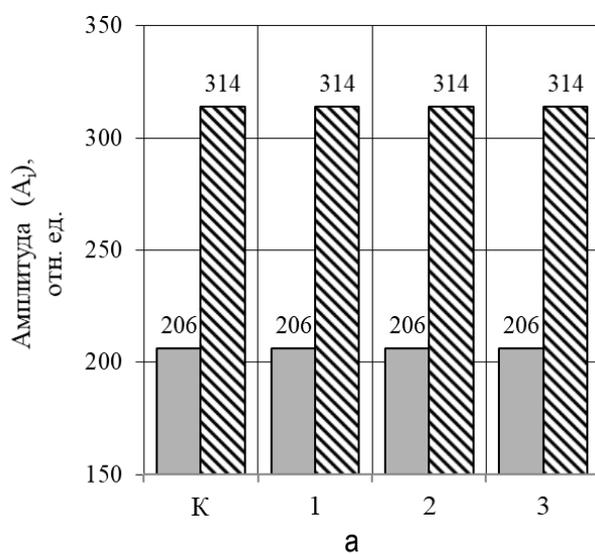


Рис. 2. Влияние обработки жидкого лецитина ИЭП на значения A_3 (■) и A_4 (▨) (а) и на их сумму (б) при продолжительности обработки: 1–5 мин; 2–7 мин; 3–9 мин

Из приведенных на рисунке 1 данных видно, что при повышении продолжительности обработки жидкого подсолнечного лецитина ИЭП с 5 до 7 мин значение A_1 , характеризующее содержание в лецитине индивидуальных молекул ТАГ и свободных жирных кислот, увеличивается, а значение A_2 , характеризующее содержание молекул ТАГ и свободных жирных кислот в виде ассоциатов, снижается за счет высвобождения из ассоциатов индивидуальных молекул ТАГ и свободных жирных кислот.

При повышении продолжительности обработки жидкого подсолнечного лецитина ИЭП с 7 до 9 мин A_1 и A_2 не изменяются, что, по-видимому, можно объяснить недостаточной интенсивностью воздействия ИЭП для дальнейшего высвобождения из ассоциатов индивидуальных молекул ТАГ и свободных жирных кислот.

Из данных, приведенных на рисунках 1, б; 2, видно, что сумма амплитуд A_1 и A_2 , значения амплитуд A_3 и A_4 , а также их сумма, во время проведения экспериментов по обработке образцов жидкого подсолнечного лецитина ИЭП не изме-

нялись, что свидетельствует об отсутствии высвобождения индивидуальных молекул ФЛ из мицелл низких порядков и является положительным моментом, так как в процессе обезжиривания жидкого лецитина высвобождение молекул ФЛ из мицелл низких порядков может привести к их потере с раствором НЛ в растворителе, а, следовательно, к снижению содержания ФЛ в обезжиренном лецитине.

Следует отметить, что в результате предварительных экспериментов по повышению интенсивности (напряженность ИЭП выше 6 кВ/см) и увеличению продолжительности (более 9 мин) обработки образцов жидкого подсолнечного лецитина ИЭП нами установлен нежелательный рост перекисных чисел указанных образцов.

На рисунке 3 представлены данные по влиянию продолжительности обработки жидкого подсолнечного лецитина ИЭП на степень повышения содержания индивидуальных молекул ТАГ и свободных жирных кислот по сравнению с образцом жидкого подсолнечного лецитина без обработки ИЭП.

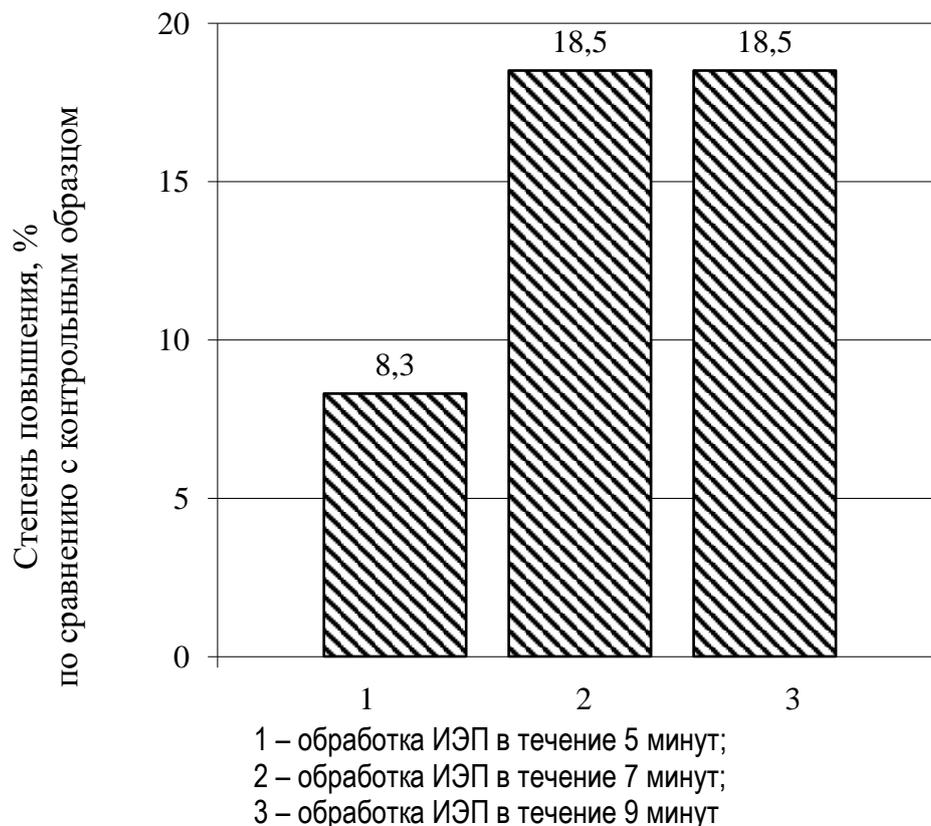


Рис. 3. Влияние продолжительности обработки жидкого лецитина ИЭП на степень повышения содержания индивидуальных молекул ТАГ и свободных жирных кислот в его составе

Анализ данных рисунка 3 показывает, что обработка жидкого лецитина ИЭП в течение 7 мин обеспечивает степень повышения индивидуальных молекул ТАГ и свободных жирных кислот в лецитине на 18,5 % по сравнению с образцом жидкого лецитина без обработки ИЭП.

Таким образом, обработка жидкого подсолнечного лецитина, предварительно нагретого до 35 °С, ИЭП в течение 7 мин при напряженности 6 кВ/см и количестве подаваемых единичных импульсов 72 000 обеспечивает максимальное содержание индивидуальных молекул ТАГ и свободных жирных кислот в жидком лецитине, что, в свою очередь, позволит получить обезжиренный лецитин с низким содержанием НЛ и высоким содержанием ФЛ.

Для подтверждения указанной гипотезы на следующем этапе проводили обработку системы «жидкий лецитин – ацетон» ИЭП в процессе обезжиривания жидкого подсолнечного лецитина.

На рисунке 4 приведены данные по влиянию обработки системы «жидкий лецитин-ацетон» ИЭП в процессе обезжиривания жидкого лецитина на степень извлечения из него НЛ по сравнению со степенью извлечения НЛ из жидкого лецитина, в процессе обезжиривания которого не проводили обработку системы «жидкий лецитин – ацетон» ИЭП.

Процесс обезжиривания жидкого лецитина ацетоном без обработки системы «жидкий лецитин-ацетон» ИЭП осуществляли при температуре 35 °С, соотношении (масс./масс.) лецитин : ацетон, равном 1 : 6, и перемешивании в течение 10 мин с частотой вращения мешалки 20 с⁻¹, а процесс обезжиривания жидкого лецитина с обработкой ИЭП – при температуре 35 °С, соотношении (масс./масс.) лецитин : ацетон – 1 : 6 путем смешивания жидкого лецитина и ацетона в течение 3 мин с частотой вращения мешалки 20 с⁻¹, с последующей обработкой системы «жидкий лецитин – ацетон» ИЭП в течение 7 мин.

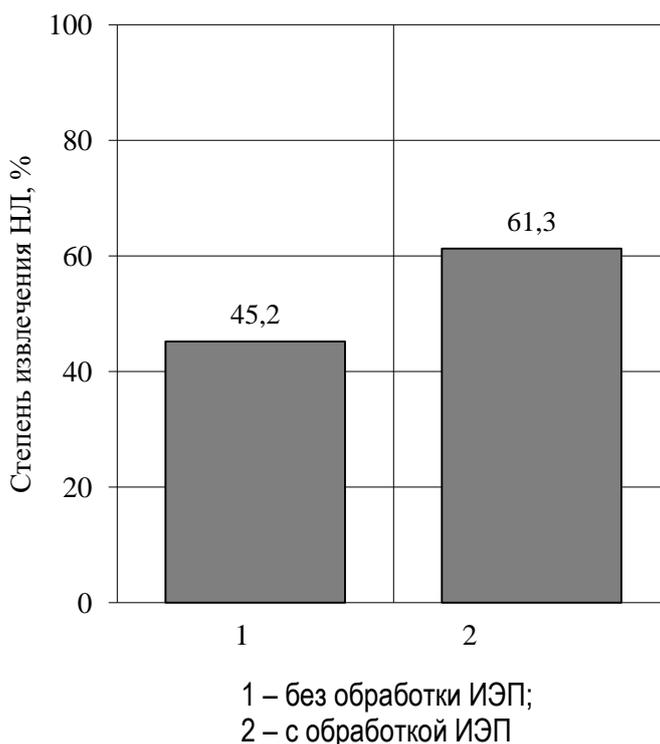


Рис. 4. Влияние обработки системы «жидкий лецитин – ацетон» ИЭП в процессе обезжиривания жидкого лецитина на степень извлечения из него НЛ

Из приведенных на рисунке 4 данных видно, что обработка системы «жидкий лецитин – ацетон» ИЭП позволяет повысить степень извлечения НЛ на 16,1 %, а это, в свою очередь, под-

тверждает эффективность применения метода воздействия ИЭП для интенсификации процесса обезжиривания жидкого подсолнечного лецитина.

Заключение. Таким образом, на основании комплекса проведенных исследований установлена эффективность применения метода не-термического физического воздействия, а именно метода воздействия ИЭП в течение 7 мин при напряженности 6 кВ/см и количестве подаваемых единичных импульсов 72 000 для интенсификации процесса обезжиривания жидкого подсолнечного лецитина.

Учитывая это, перспективными являются дальнейшие исследования по разработке технологии получения обезжиренных лецитинов с применением ИЭП.

Список источников

1. Лисовая Е.В., Викторова Е.П., Лисовой В.В. Анализ ассортимента лецитинов, представленных на российском рынке // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2019. № 2 (28). С. 51–55.
2. Фосфолипиды жидких растительных лецитинов и способы их модификации / Е.В. Лисовая [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. «Пищевые и биотехнологии». 2023. Т. 11, № 1. С. 5–18.
3. Елапов А.А., Кузнецов Н.Н., Марахова А.И. Применение ультразвука в экстракции биологически активных соединений из растительного сырья, применяемого или перспективного для применения в медицине // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2021. Т. 10, № 4. С. 96–116.
4. Потороко И.Ю., Калинина И.В. Перспективы использования ультразвукового воздействия в технологии экстракционных процессов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. «Пищевые и биотехнологии». 2014. Т. 2, № 1. С. 42–47.
5. A comprehensive review of ultrasonic assisted extraction (UAE) for bioactive components: Principles, advantages, equipment, and combined technologies / L. Shen [et al.] // Ultrasonics Sonochemistry. 2023. Vol. 101. P. 106646.
6. Влияние ультразвукового воздействия на эффективность процесса обезжиривания

- жидких лецитинов / Е.В. Лисовая [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53, № 3. С. 445–454.
7. Кошевой Е.П., Шорсткий И.А. Оценка эффективности использования импульсного электрического поля в процессах экстрагирования масличных материалов // Научные труды КубГТУ. 2019. № 1. С. 383–398.
 8. Recent advances on application of ultrasound and pulsed electric field technologies in the extraction of bioactives from agro-industrial by-products / B. Kumari [et al.] // Food and bioprocess technology. 2018. Vol. 11. P. 223–241.
 9. Review of the application of pulsed electric fields (PEF) technology for food processing in China / D. Niu [et al.] // Food Research International. 2020. Vol. 173. P. 109715.
 10. Pulsed electric field applications for the extraction of bioactive compounds from food waste and by-products: A Critical Review / T. Chaitzimitakos [et al.] // Biomass. 2023. Vol. 3, Iss. 4. P. 367–401.
 11. Enhancement of ethanol – acetic acid esterification under room temperature and non-catalytic condition via pulsed electric field application / Z.R. Lin [et al.] // Food and Bioprocess Technology. 2012. № 5 (7). P. 2637–2645.
 12. Study on the Maillard reaction enhanced by pulsed electric field in a glycine–glucose model system / J. Wang [et al.] // Food and Bioprocess Technology. 2011. № 4 (3). P. 469–474.
 13. The preparation of Fe-glycine complexes by a novel method (pulsed electric fields) / Z.H. Zhang [et al.] // Food Chemistry. 2017. № 219. P. 468–476.
 14. Исследование ядерно-магнитных релаксационных характеристик сложных липидных систем «триацилглицерины-фосфолипиды» / О.С. Агафонов [и др.] // Новые технологии. 2010. № 2. С. 11–14.

References

1. Lisovaya E.V., Viktorova E.P., Lisovoj V.V. Analiz assortimenta lecitinov, predstavlenykh na rossijskom rynke // Tehnologii pischevoj i pererabatyvayushej promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya. 2019. № 2 (28). S. 51–55.

2. Fosfolipidy zhidkih rastitel'nyh lecitinov i sposoby ih modifikacii / E.V. Lisovaya [i dr.] // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. «Pischevye i biotehnologii». 2023. T. 11, № 1. S. 5–18.
3. Elapov A.A., Kuznecov N.N., Marahova A.I. Primenenie ul'trazvuka v `ekstracii biologicheski aktivnyh soedinenij iz rastitel'nogo syr'ya, primenyaemogo ili perspektivnogo dlya primeneniya v medicine // Razrabotka i registraciya lekarstvennyh sredstv. 2021. T. 10, № 4. S. 96–116.
4. Potoroko I.Yu., Kalinina I.V. Perspektivy ispol'zovaniya ul'trazvukovogo vozdejstviya v tehnologii `ekstrakcionnyh processov // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. «Pischevye i biotehnologii». 2014. T. 2, № 1. S. 42–47.
5. A comprehensive review of ultrasonic assisted extraction (UAE) for bioactive components: Principles, advantages, equipment, and combined technologies / L. Shen [et al.] // Ultrasonics Sonochemistry. 2023. Vol. 101. P. 106646.
6. Vliyanie ul'trazvukovogo vozdejstviya na `effektivnost' processa obezhirivaniya zhidkih lecitinov / E.V. Lisovaya [i dr.] // Tehnika i tehnologiya pischevyh proizvodstv. 2023. T. 53, № 3. S. 445–454.
7. Koshevoj E.P., Shorstkij I.A. Ocenka `effektivnosti ispol'zovaniya impul'snogo `elektricheskogo polya v processah `ekstragirovaniya maslichnyh materialov // Nauchnye trudy KubGTU. 2019. № 1. S. 383–398.
8. Recent advances on application of ultrasound and pulsed electric field technologies in the extraction of bioactives from agro-industrial by-products / B. Kumari [et al.] // Food and bioprocess technology. 2018. Vol. 11. P. 223–241.
9. Review of the application of pulsed electric fields (PEF) technology for food processing in China / D. Niu [et al.] // Food Research International. 2020. Vol. 173. P. 109715.
10. Pulsed electric field applications for the extraction of bioactive compounds from food waste and by-products: A Critical Review / T. Chatzimitakos [et al.] // Biomass. 2023. Vol. 3, Is. 4. P. 367–01.
11. Enhancement of ethanol – acetic acid esterification under room temperature and non-catalytic condition via pulsed electric field application / Z.R. Lin [et al.] // Food and Bioprocess Technology. 2012. № 5 (7). P. 2637–2645.
12. Study on the Maillard reaction enhanced by pulsed electric field in a glycin-glucose model system / J. Wang [et al.] // Food and Bioprocess Technology. 2011. № 4 (3). P. 469–474.
13. The preparation of Fe-glycine complexes by a novel method (pulsed electric fields) / Z.H. Zhang [et al.] // Food Chemistry. 2017. № 219. P. 468–476.
14. Issledovanie yaderno-magnitnyh relaksacionnyh harakteristik slozhnyh lipidnyh sistem «triacilgliceriny-fosfolipidy» / O.S. Agafonov [i dr.] // Novye tehnologii. 2010. № 2. S. 11-14.

Статья принята к публикации 10.09.2024 / The article accepted for publication 10.09.2024.

Информация об авторах:

Екатерина Валериевна Лисовая¹, старший научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации, кандидат технических наук

Елена Павловна Викторова², главный научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации, доктор технических наук, профессор

Иван Александрович Шорсткий³, доцент кафедры технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, кандидат технических наук

Мариет Руслановна Жане⁴, младший научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации

Александр Сергеевич Бородихин⁵, научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации

Information about the authors:

Ekaterina Valerievna Lisovaya¹, Senior Researcher, Department of Food Technology, Quality Control and Standardization, Candidate of Technical Sciences

Elena Pavlovna Viktorova², Chief Researcher at the Department of Food Technology, Quality Control and Standardization, Doctor of Technical Sciences, Professor

Ivan Alexandrovich Shorstky³, Associate Professor at the Department of Technological Equipment and Life Support Systems, Candidate of Technical Sciences

Mariet Ruslanovna Janet⁴, Junior Researcher, Department of Food Technology, Quality Control and Standardization

Alexander Sergeevich Borodikhin⁵, Researcher at the Department of Food Technology, Quality Control and Standardization

