

Научная статья/Research article

УДК 665.372

DOI: 10.36718/1819-4036-2025-9-290-304

Екатерина Валериевна Лисовая<sup>1✉</sup>, Татьяна Игоревна Угрюмова<sup>2</sup>,  
Екатерина Романовна Данилейко<sup>3</sup>, Александр Сергеевич Бородихин<sup>4</sup>,  
Елена Павловна Викторова<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Краснодарский НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал Северо-Кавказского ФНЦ садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар, Россия

<sup>1</sup>e.kabalina@mail.ru

<sup>2</sup>bronnichka@bk.ru

<sup>3</sup>danileykoeekaterina01@mail.ru

<sup>4</sup>SpamBox2796@mail.ru

<sup>5</sup>kornena@bk.ru

### ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК – ГИДРОЛИЗОВАННЫХ ЛЕЦИТИНОВ

*Цель исследований – разработка технологии получения пищевых добавок – гидролизованных жидких лецитинов с заданным содержанием лизофосфолипидов. Объекты исследований – гидролизованные жидкие лецитины, полученные в результате частичного ферментативного гидролиза фосфолипидов, содержащихся в подсолнечном обезжиренном лецитине. Гидролиз осуществляли в лабораторных условиях с помощью ферментного препарата ROHALASE PL-XTRA, содержащего фосфолипазу А2 микробного происхождения. Реакционную среду для гидролиза готовили путем смешивания обезжиренного лецитина и дистиллированной воды, предварительно нагретой до 50 °С, в соотношении 1 : 4 (по массе), внесения буферного раствора для получения заданного значения рН среды и ферментного препарата в дозировке, рассчитанной с учетом содержания фосфолипидов в лецитине и активности фермента. Процесс гидролиза осуществляли при постоянном перемешивании и поддержании температуры на заданном уровне. Эффективность гидролиза оценивали по степени конверсии субстрата, т. е. фосфолипидов в лецитине, с учетом степени конверсии индивидуальных групп фосфолипидов, а также их суммарной конверсии. Установлена эффективность применения ROHALASE PL-XTRA для получения гидролизованных лецитинов с заданным содержанием лизофосфолипидов. Варьирование значений рН реакционной среды в диапазоне от 3,5 до 4,0 и внесение в реакционную среду хлорида кальция в виде 0,1 и 0,4 М водных растворов не оказывают значимого влияния на эффективность процесса гидролиза. Определены эффективные режимы процесса гидролиза обезжиренного лецитина с применением ферментного препарата ROHALASE PL-XTRA при его дозировке 1,0 % к массе лецитина. Получены гидролизованные жидкие лецитины с заданной степенью суммарной конверсии фосфолипидов 40 и 60 % и содержанием лизофосфолипидов (22,4 ± 1,0) и (32,9 ± 1,0) % соответственно. Дальнейшими перспективными направлениями являются исследования в области оценки эффективности и особенностей проявления свойств полученными пищевыми добавками для обоснования их применения в технологиях продуктов питания.*

**Ключевые слова:** обезжиренный лецитин, фосфолипиды, гидролиз, фосфолипаза А2, лизофосфолипиды, пищевые добавки, гидролизованные лецитины

**Для цитирования:** Лисовая Е.В., Угрюмова Т.И., Данилейко Е.Р., и др. Технология получения пищевых добавок – гидролизованных лецитинов // Вестник КрасГАУ. 2025. № 9. С. 290–304. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-9-290-304.

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

Ekaterina Valerievna Lisovaya<sup>1✉</sup>, Tatyana Igorevna Ugryumova<sup>2</sup>, Ekaterina Romanovna Danileiko<sup>3</sup>, Alexander Sergeevich Borodikhin<sup>4</sup>, Elena Pavlovna Viktorova<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Krasnodar Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products – branch of the North Caucasus FSC for Horticulture, Viticulture, Winemaking, Krasnodar, Russia

<sup>1</sup>e.kabalina@mail.ru

<sup>2</sup>bronnichka@bk.ru

<sup>3</sup>danileykoekaterina01@mail.ru

<sup>4</sup>SpamBox2796@mail.ru

<sup>5</sup>kornena@bk.ru

## TECHNOLOGY FOR PRODUCING FOOD ADDITIVES – HYDROLYZED LECITHINS

*The aim of research is to develop a technology for producing food additives – hydrolyzed liquid lecithins with a given content of lysophospholipids. The objects of the study are hydrolyzed liquid lecithins obtained as a result of partial enzymatic hydrolysis of phospholipids contained in sunflower defatted lecithin. Hydrolysis was carried out in laboratory conditions using the enzyme preparation ROHALASE PL-XTRA containing phospholipase A2 of microbial origin. The reaction medium for hydrolysis was prepared by mixing defatted lecithin and distilled water, preheated to 50 °C, in a ratio of 1 : 4 (by weight), adding a buffer solution to obtain a given pH value of the medium and the enzyme preparation in a dosage calculated taking into account the content of phospholipids in lecithin and enzyme activity. The hydrolysis process was carried out with constant stirring and maintaining the temperature at a given level. The efficiency of hydrolysis was estimated by the degree of substrate conversion, i.e. phospholipids in lecithin, taking into account the degree of conversion of individual phospholipid groups, as well as their total conversion. The efficiency of using ROHALASE PL-XTRA for obtaining hydrolyzed lecithins with a given content of lysophospholipids was established. Varying the pH values of the reaction medium in the range from 3.5 to 4.0 and adding calcium chloride to the reaction medium in the form of 0.1 M and 0.4 M aqueous solutions did not significantly affect the efficiency of the hydrolysis process. The efficient modes of the process of hydrolysis of defatted lecithin using the enzyme preparation ROHALASE PL-XTRA at a dosage of 1.0 % of the lecithin weight were determined. Hydrolyzed liquid lecithins with a given degree of total conversion of phospholipids of 40 and 60 % and a content of lysophospholipids ( $22.4 \pm 1.0$ ) and ( $32.9 \pm 1.0$ ) %, respectively, were obtained. Further promising studies are studies in the field of assessing the effectiveness and features of the manifestation of properties of the obtained food additives to justify their use in food technology.*

**Keywords:** defatted lecithin, phospholipids, hydrolysis, phospholipase A2, lysophospholipids, food additives, hydrolyzed lecithins

**For citation:** Lisovaya EV, Ugryumova TI, Danilejko ER, et al. Technology for producing food additives – hydrolyzed lecithins. *Bulletin of KSAU*. 2025;(9):290-304. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-9-290-304.

**Funding:** the study was carried out on the complex topic FGRE-2022-0008 of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

**Введение.** Пищевые добавки – гидролизованные лецитины E322 (ii), отличаются от стандартных лецитинов повышенным содержанием лизофосфолипидов (лизоФЛ).

Специфическое химическое строение молекул лизоФЛ обуславливает не только их уникальную биологическую активность – детергентное действие, способность изменять механические свойства липидных мембран, взаимодействовать с сопряженными G-белками и рецепторами [1, 2], но и технологические свойства, в первую очередь – эмульгирующие [3–5].

Более высокие эмульгирующие свойства гидролизованных лецитинов, по сравнению со стандартными лецитинами, обусловлены более сильным гидрофильным характером молекул лизоФЛ по сравнению с молекулами фосфолипидов (ФЛ) [4].

Известно, что чем выше содержание лизоФЛ в гидролизованных лецитинах, тем выше значение их гидрофильно-липофильного баланса (ГЛБ), а следовательно, и способность стабилизировать эмульсии «масло в воде». Это значительно расширяет область применения таких

лецитинов в пищевых системах, содержащих преимущественно водную фазу [5, 6].

Так, значение ГЛБ стандартного жидкого лецитина не превышает 4, а значение ГЛБ частично гидролизованных лецитинов может варьироваться от 5 до 8 в зависимости от содержания лизоФЛ [7, 8].

В связи с этим гидролизованные лецитины, по сравнению со стандартными лецитинами, имеют значительные перспективы для широкого применения в качестве ПАВ и натуральных эмульгаторов в технологиях продуктов питания, так как в зависимости от количественного содержания в их составе лизоФЛ, обуславливаю-

щих ГЛБ гидролизованных лецитинов, можно регулировать их растворимость в масляной и/или водной фазе пищевых систем [9].

Гидролизованные лецитины получают в промышленном масштабе с применением ферментов – фосфолипазы А1 (PLA1) и фосфолипазы А2 (PLA2), гидролизующих сложноэфирную связь в молекуле ФЛ в положении sn-1 или sn-2 соответственно, с образованием лизоФЛ и свободных жирных кислот (СЖК) [10].

Схематичное изображение реакции гидролиза с применением указанных фосфолипаз приведено на рисунке 1.

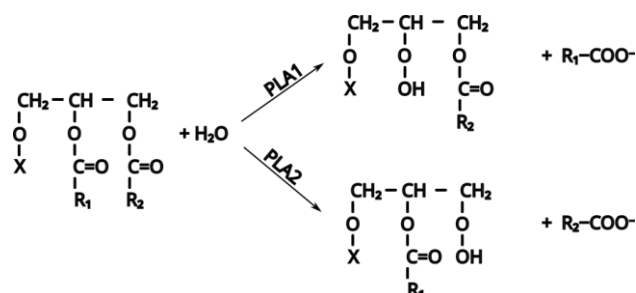


Рис. 1. Схематичное изображение реакции гидролиза ФЛ с применением фосфолипазы А1 (PLA1) и фосфолипазы А2 (PLA2): R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> – ацилы жирных кислот; X – фосфатная группа с остатком холина/этанолamina/инозитола/ и др.

*Schematic representation of the reaction of PL hydrolysis using phospholipase A1 (PLA1) and phospholipase A2 (PLA2): R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> - fatty acid acyls; X - phosphate group with a choline/ethanolamine/inositol residue, etc.*

Следует отметить, что в настоящее время на российском рынке присутствуют только импортные гидролизованные лецитины (в основном индийского и китайского производства), что связано с отсутствием отечественных, эффективно масштабируемых технологий их получения.

Это обусловлено многими факторами, в том числе и выбором экономически доступного фермента, выпускаемого в промышленных масштабах, а также достаточно трудно достижимой эффективностью процесса гидролиза ФЛ, который осуществляется на границе раздела фаз «ФЛ-вода», из-за низкой растворимости лецитина в воде.

Необходимо отметить, что в настоящее время широкий выпуск фосфолипаз для применения в промышленных целях преимущественно осуществляется за рубежом [11]. В нашей стране ГК «Эфко» сравнительно недавно налажен выпуск PLA2, которая обеспечивает внутренние потребности указанной компании в обработке яичного желтка при производстве майонеза.

Некоторые коммерчески доступные ферментные препараты с активностью PLA1 и PLA2 представлены в таблице 1.

Коммерческие ферментные препараты не только эффективны для проведения ферментативной гидратации растительных масел, обработки яичного желтка и т. д., но и могут быть использованы для получения гидролизованного лецитина.

В частности, в работе [12] показана эффективность применения ферментного препарата Lecitase Ultra с активностью PLA1 для гидролиза подсолнечного лецитина с получением гидролизованного лецитина.

Однако известно, что при гидролизе ФЛ с применением PLA1 возможна миграция ацила в молекуле лизоФЛ из положения sn-2 в положение sn-1 с последующим гидролизом и образованием нежелательных глицерилфосфорильных соединений [13].

Коммерчески доступные ферментные препараты фосфолипаз A1 и A2  
Commercially available enzyme preparations phospholipases A1 and A2

Коммерческое название	Тип фосфолипазы A	Источник (организм/штамм-продуцент)	Производитель (страна производства)	Применение в пищевой промышленности
Lecitase 10 L	PLA2	Поджелудочная железа свиньи	Novozymes A/S (США)	Ферментативная гидратация растительных масел
Lecitase Ultra	PLA1	<i>Aspergillus oryzae</i>	Novozymes A/S (США)	Ферментативная гидратация растительных масел
Rohalase PL-XTRA	PLA2	<i>Trichoderma reesei</i>	AB Enzymes GmbH (США)	Ферментативная гидратация растительных масел, модификация лецитинов
Purifine PLA1	PLA1	<i>Aspergillus niger</i>	DSM Food Specialties (США)	Ферментативная гидратация растительных масел
YieldMax	PLA1	<i>Aspergillus oryzae</i>	Novozymes A/S/Christian Hansen A/S (Дания)	Ферментативный гидролиз молочного жира в производстве сыра
Махапал A2	PLA2	<i>Aspergillus niger</i>	DSM Food Specialties (Нидерланды)	Ферментативная обработка яичного желтка в производстве майонеза
CAKEZYME SMART 5D	PLA2	<i>Aspergillus niger</i>	DSM Food Specialties-Firmenich (Германия)	Снижение вязкости теста в производстве хлебобулочных и мучных кондитерских изделий

Учитывая это, PLA1 преимущественно используются в комбинации с липазами для ферментативной переэтерификации ФЛ с определенными жирными кислотами (например, полиненасыщенными жирными кислотами) с целью получения гидролизованных лецитинов, предназначенных для фармацевтической промышленности.

Для получения пищевых добавок – гидролизованных лецитинов с улучшенными эмульгирующими свойствами наиболее широко приме-

няются ферментные препараты, содержащие PLA2.

PLA2 гидролизует ФЛ в водном растворе только на поверхности раздела фаз «ФЛ–вода». Наиболее простым представлением механизма гидролиза ФЛ с применением PLA2 является представление воздействия указанного фермента на липидный бислой, организованный молекулами ФЛ на границе раздела фаз «ФЛ–вода» (рис. 2) [14].

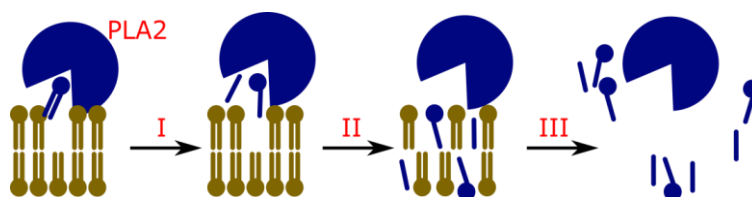


Рис. 2. Схематичное изображение механизма гидролиза ФЛ в бислое с применением PLA2: I – первая стадия: фермент связывается с липидным бислоем, захватывает и гидролизует ФЛ с высвобождением продуктов реакции – лизоФЛ и жирной кислоты; II – вторая стадия: продукты гидролиза распределяются в липидном бислое; III – третья стадия: разрушение бислоя в результате накопления продуктов гидролиза

Schematic representation of the mechanism of PL hydrolysis in the bilayer using PLA2: I – first stage: the enzyme binds to the lipid bilayer, captures and hydrolyzes PL with the release of reaction products – lysoPL and fatty acid; II – second stage: second stage: hydrolysis products are distributed in the lipid bilayer; III – third stage: destruction of the bilayer as a result of accumulation of hydrolysis products

Однако имеются исследования, показывающие, что на активность PLA2 влияет вид надмолекулярной организации, заряд и упорядоченность упаковки молекул ФЛ на границе раздела фаз «ФЛ – вода» [15]. Кроме того, скорость гидролиза для разных групп ФЛ может отличаться, что также является особенностью фосфолипаз, в том числе PLA2 (субстратная специфичность) [15].

Помимо этого, большинство PLA2 являются кальцийзависимыми ферментами, однако в настоящее время имеется обширная группа ферментов внутри семейства PLA2, на активность которых не оказывают влияние ионы кальция [10].

Температура, дозировка фермента, pH реакционной среды, а также ее состав, например, введение в реакционную смесь органических растворителей для лучшего растворения ФЛ, и продолжительность ферментативной реакции являются определяющими факторами для получения гидролизованных лецитинов с различным содержанием лизоФЛ.

Следует отметить, что в пищевых технологиях наиболее широко применяются частично гидролизованные лецитины со степенью конверсии (гидролиза) ФЛ от 30 до 60 %, гидролиз ФЛ в лецитине менее 30 % не будет оказывать существенного влияния на изменение значения ГЛБ лецитина, а следовательно, является нецелесообразным [8].

Таким образом, учитывая, что в России промышленный выпуск гидролизованных лецитинов отсутствует, в связи с чем в технологиях продуктов питания используются только импортные гидролизованные лецитины, исследования в области разработки технологий получения пищевых добавок – гидролизованных лецитинов с заданной степенью конверсии ФЛ, а следовательно, и с различным содержанием лизоФЛ, являются перспективными и актуальными в настоящее время.

**Цель исследования** – разработка технологии получения пищевых добавок – гидролизованных жидких лецитинов с заданным содержанием лизофосфолипидов.

**Задачи:** выявить эффективность применения ферментного препарата ROHALASE PL-XTRA, содержащего PLA2, для получения гидролизованных лецитинов с различным содержанием лизоФЛ; изучить влияние основных факторов на эффективность гидролиза ФЛ, содержащихся в обезжиренном лецитине; разработать технологические режимы получения гидролизованных жидких лецитинов.

**Объекты и методы.** Объекты исследования: гидролизованные жидкие лецитины, полученные из обезжиренного лецитина.

Обезжиренный лецитин, полученный в лабораторных условиях из подсолнечного жидкого лецитина по разработанной нами технологии [16], представляет собой порошок светло-желтого цвета с массовой долей веществ, нерастворимых в ацетоне, – 96,9 %, в том числе ФЛ – 76,4, из них фосфатидилхолинов (ФХ) – 22,1; фосфатидилинозитолов (ФИ) – 16,2; фосфатидилэтанолламинов (ФЭА) – 9,7; фосфатидных кислот (ФК) – 7,5 %.

Ферментативный гидролиз ФЛ, содержащихся в обезжиренном лецитине, осуществляли с помощью выпускаемого в промышленных объемах и широко применяемого для ферментативной гидратации растительных масел пищевого ферментного препарата ROHALASE PL-XTRA (AB Enzymes, Германия), содержащего фосфолипазу A2 (PLA2) микробного происхождения с активностью 10 000 ед/г, представляющего собой жидкость светло-коричневого цвета. Отличительной особенностью данного ферментного препарата является проявление его активности при низких значениях pH (от 3,5 до 4,5).

Процесс гидролиза ФЛ, содержащихся в обезжиренном лецитине, проводили следующим образом: обезжиренный лецитин и дистиллированную воду, предварительно нагретую до 50 °С, в соотношении, равном 1 : 4 (по массе), интенсивно перемешивали с применением верхнеприводной мешалки Eurostar 200 Control P4 в течение 15 мин. В эту смесь вносили расчетное количество буферного раствора с получением реакционной среды с заданным значением pH. Затем в реакционную среду вносили ферментный препарат ROHALASE PL-XTRA, дозировку которого рассчитывали с учетом содержания ФЛ в лецитине (т. е. субстрата) и заявленной производителем активности фермента. Процесс гидролиза осуществляли при постоянном перемешивании и поддержании температуры на заданном уровне.

После проведения процесса гидролиза инактивацию фермента, содержащегося в ферментированной массе, проводили путем нагревания образцов до температуры 100 °С в течение 15 мин. Затем ферментированную массу сушили при температуре 60 °С под вакуумом до содержания влаги в высушенном продукте, представляющем собой гидролизованный жидкий лецитин, не более 1 %.

Эффективность процесса гидролиза оценивали по степени конверсии субстрата, т. е. ФЛ, содержащихся в обезжиренном лецитине, при этом учитывали степень конверсии индивиду-

альных групп ФЛ, а именно ФХ, ФЭА, ФИ и ФК, ( $K_{ФЛ_i}$ ), в %, по формуле (1), а также степень суммарной конверсии указанных индивидуальных групп ФЛ ( $K_{\Sigma ФЛ}$ ), в %, по формуле (2)

$$K_{ФЛ_i} = \frac{C_{ФЛ_{исхi}} - C_{ФЛ_{гидри}}}{C_{ФЛ_{исхi}}} \cdot 100, \quad (1)$$

где  $C_{ФЛ_{исхi}}$  – содержание i-й индивидуальной группы ФЛ в лецитине до гидролиза, %;  $C_{ФЛ_{гидри}}$  – содержание i-й индивидуальной группы ФЛ в лецитине после гидролиза, %.

$$K_{\Sigma ФЛ} = \frac{(C_{ФХ_{исх}} + C_{ФЭА_{исх}} + C_{ФИ_{исх}} + C_{ФК_{исх}}) - (C_{ФХ_{гидр}} + C_{ФЭА_{гидр}} + C_{ФИ_{гидр}} + C_{ФК_{гидр}})}{(C_{ФХ_{исх}} + C_{ФЭА_{исх}} + C_{ФИ_{исх}} + C_{ФК_{исх}})} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $C_{ФХ_{исх}}$ ,  $C_{ФЭА_{исх}}$ ,  $C_{ФИ_{исх}}$ ,  $C_{ФК_{исх}}$  – содержание ФХ, ФЭА, ФИ и ФК соответственно в лецитине до гидролиза, %;  $C_{ФХ_{гидр}}$ ,  $C_{ФЭА_{гидр}}$ ,  $C_{ФИ_{гидр}}$ ,  $C_{ФК_{гидр}}$  – содержание ФХ, ФЭА, ФИ и ФК соответственно в лецитине после гидролиза, %.

Определение содержания индивидуальных групп ФЛ в лецитинах до и после гидролиза осуществляли методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) с обработкой полученных хроматограмм с помощью денситометра SORBFIL (Россия) в программе Sorbfil TLC View, при этом в качестве неподвижной среды использовали пластинки «Sorbfil», а в качестве подвижной фазы – систему растворителей хлороформ : метанол : вода (65 : 25 : 4). Идентификацию индивидуальных групп ФЛ (ФХ, ФИ, ФЭА и ФК), а также лизоФЛ (лизоФХ, лизоФИ, лизоФЭА и лизоФК) на хроматограммах осуществляли по стандартам-метчикам (производитель Larodan).

Экспериментальные данные обрабатывали с применением пакета программ MS Excel и Statistica 9.0.

**Результаты и их обсуждение.** На первом этапе исследовали степень конверсии основных индивидуальных групп ФЛ, содержащихся в лецитине, а именно ФХ, ФЭА, ФИ и ФК, в результате гидролиза с применением ферментного препарата ROHALASE PL-XTRA. На рисунке 3 приведены полученные данные.

Следует отметить, что гидролиз проводили при температуре 50 °С, значении pH реакционной среды 4,0 и дозировке ферментного препарата 0,2 % к массе лецитина в течение 60 мин. Через каждые 15 мин осуществляли отбор ферментированной массы с последующим ее нагреванием для инактивации фермента и сушкой под вакуумом до содержания влаги не более 1,0 %.

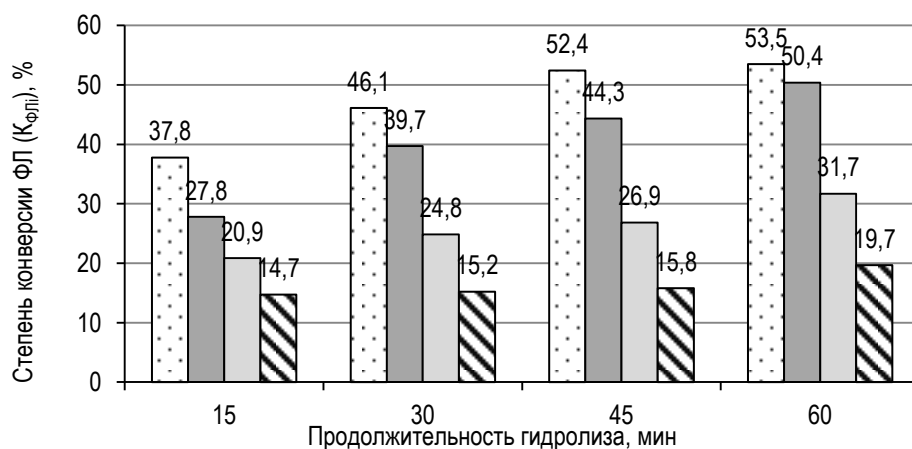


Рис. 3. Степень конверсии ФЭА (□), ФХ (■), ФК (▒) и ФИ (▨), содержащихся в лецитине, в результате гидролиза с применением ROHALASE PL-XTRA в течение 60 минут  
The degree of conversion of PE (□), PC (■), PA (▒) and PI (▨) contained in lecithin as a result of hydrolysis using ROHALASE PL-XTRA for 60 minutes

Из приведенных данных видно, что наибольшей конверсии в течение исследуемой продолжительности гидролиза подвергаются ФЭА. Степень конверсии ФХ в результате гидролиза в течение 60 мин несколько ниже по сравнению с ФЭА. Степень конверсии ФК практически в 2 раза ниже степени конверсии ФЭА на каждом временном участке процесса гидролиза.

Наиболее низкая степень конверсии по сравнению с ФЭА, ФХ и ФК наблюдается у ФИ. Полученные результаты согласуются с данными, приведенными в работе [17], в которой гидролиз подсолнечного лецитина осуществляли с применением ферментного препарата LysoMax Oil (Danisco), содержащего PLA2 микробного происхождения.

Различную степень конверсии основных индивидуальных групп ФЛ, содержащихся в лецитине, а именно ФХ, ФЭА, ФИ и ФК, в результате гидролиза с применением ферментных препаратов, содержащих PLA2, можно объяснить из-

бирательностью (специфичностью) PLA2 по отношению к полярной группе молекулы ФЛ.

Учитывая, что на степень конверсии ФЛ, содержащихся в лецитине, а следовательно, и на эффективность гидролиза лецитина будут оказывать влияние такие факторы, как pH реакционной среды, температура, продолжительность гидролиза, а также, в случае PLA2, наличие в реакционной среде кофактора – ионов кальция, то исследовали влияние указанных факторов.

На этапе исследования влияния значения pH реакционной среды на степень конверсии индивидуальных групп ФЛ, а именно на степень конверсии ФЭА, ФХ, ФК и ФИ, содержащихся в лецитине, а также на степень их суммарной конверсии, значения pH реакционной среды образцов обезжиренного лецитина с дистиллированной водой варьировали в диапазоне от 3,0 до 5,0, при этом процесс гидролиза проводили при дозировке ферментного препарата 0,2 % к массе лецитина и температуре 50 °С в течение 60 мин. Полученные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Влияние значения pH реакционной среды на степень конверсии индивидуальных групп ФЛ и на степень их суммарной конверсии в процессе гидролиза, %**

**The influence of the pH value of the reaction medium on the degree of conversion of individual PL groups and on the degree of their total conversion during hydrolysis**

Значение pH реакционной среды	Степень конверсии				Степень суммарной конверсии ФЛ (K <sub>ΣФЛ</sub> ), %
	ФЭА (K <sub>ФЭА</sub> )	ФХ (K <sub>ФХ</sub> )	ФК (K <sub>ФК</sub> )	ФИ (K <sub>ФИ</sub> )	
3,0	38,8±0,9	33,8±0,7	30,4±1,1	21,0±0,9	30,5±1,0
3,5	48,7±0,7	45,7±0,9	34,9±0,8	20,9±1,2	38,0±0,9
4,0	53,5±0,8	50,4±1,0	31,7±0,7	19,7±0,7	38,1±0,8
4,5	31,3±0,9	34,6±0,8	18,7±1,0	17,8±0,9	27,0±0,7
5,0	26,0±0,9	26,3±0,7	11,2±0,9	11,4±0,8	20,0±1,2

Из приведенных данных видно, что значения pH реакционной среды в диапазоне от 3,0 до 4,5 оказывают влияние на степень конверсии ФЭА, ФХ и ФК, а степень конверсии ФИ в указанном диапазоне значений pH практически не изменяется. Наибольшая степень суммарной конверсии ФЛ в лецитине в процессе гидролиза наблюдается в диапазоне значений pH реакционной среды от 3,5 до 4,0, при этом повышение значений pH реакционной среды до 4,5 и более приводит к снижению степени конверсии как индивидуальных групп ФЛ, так и степени их суммарной конверсии.

Таким образом, оптимальным диапазоном значений pH реакционной среды для проведе-

ния процесса гидролиза обезжиренного лецитина с применением исследуемого ферментного препарата является диапазон от 3,5 до 4,0. Дальнейшие исследования проводили при значении pH реакционной среды, равном 4,0.

На следующем этапе исследования изучали влияние внесения в реакционную среду хлорида кальция на степень суммарной конверсии ФЛ, содержащихся в лецитине.

Для этого было подготовлено два экспериментальных образца гидролизованного жидкого лецитина. Для подготовки 1-го образца гидролизованного жидкого лецитина обезжиренный лецитин и 0,1 М раствор хлорида кальция в дистиллированной воде, предварительно нагретый

до 50 °С, в соотношении, равном 1 : 4 (по массе), интенсивно перемешивали с последующим доведением значения рН полученной реакционной среды до 4,0 и проводили процесс гидролиза при дозировке ферментного препарата 0,2 % к массе обезжиренного лецитина и температуре 50 °С в течение 60 мин.

Подготовку 2-го образца гидролизованного жидкого лецитина осуществляли аналогичным образом, с единственным отличием в том, что для получения реакционной среды вместо 0,1 М раствора хлорида кальция в дистиллированной

воде брали 0,4 М раствора хлорида кальция в дистиллированной воде.

В качестве объекта сравнения служил контрольный образец гидролизованного жидкого лецитина, полученный без внесения в реакционную среду хлорида кальция.

На рисунке 4 приведены данные по влиянию хлорида кальция в реакционной среде на степень суммарной конверсии ФЛ, содержащихся в лецитине, по сравнению со степенью суммарной конверсии ФЛ в контрольном образце лецитина.

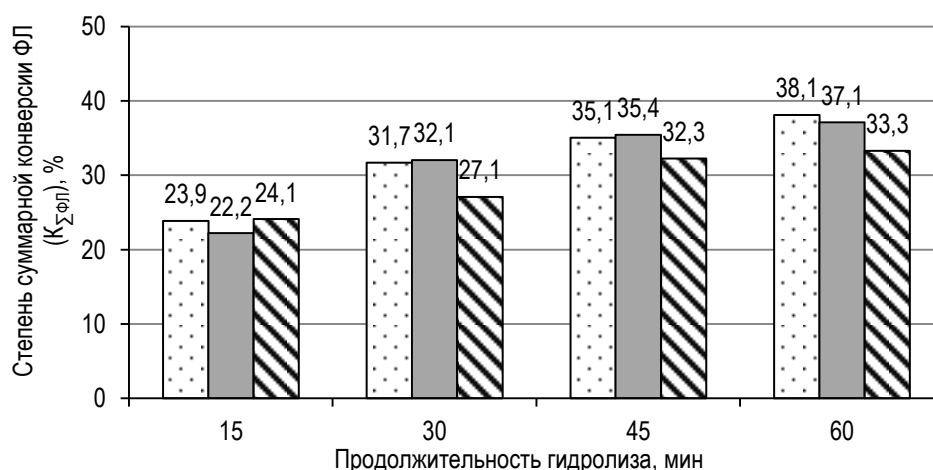


Рис. 4. Влияние хлорида кальция в реакционной среде на степень суммарной конверсии ФЛ, содержащихся в лецитине: □ – контрольный образец; ■ – 1-й образец; ▨ – 2-й образец  
The effect of calcium chloride in the reaction medium on the degree of total conversion of PL contained in lecithin: □ – control sample; ■ – 1st sample; ▨ – 2nd sample

Из приведенных данных видно, что внесение в реакционную среду хлорида кальция в виде его водного раствора различной концентрации не оказывает значимого влияния на эффективность гидролиза ФЛ с применением ферментного препарата ROHALASE PL-XTRA.

Кроме того, внесение в реакционную среду раствора хлорида кальция в избыточной концентрации (0,4 М водный раствор) приводит к некоторому расслоению реакционной среды, а также к увеличению времени сушки ферментированной массы после окончания процесса гидролиза.

Учитывая, что в спецификации ферментного препарата ROHALASE PL-XTRA конкретно не указана группа PLA2, можно сделать вывод о том, что входящая в ферментный препарат PLA2 является кальций-независимой.

На следующем этапе изучали влияние температуры на степень суммарной конверсии ФЛ в

процессе гидролиза обезжиренного лецитина при значении рН реакционной среды 4,0, дозировке ферментного препарата 0,2 % к массе лецитина в течение 60 мин. Полученные экспериментальные данные приведены на рисунке 5.

Из данных рисунка 5 видно, что температура играет важную роль в процессе ферментативного гидролиза. Так, повышение температуры с 40 до 50 °С способствует повышению степени суммарной конверсии ФЛ, что, по-видимому, обусловлено увеличением растворимости субстрата, т. е. ФЛ, и снижению вязкости среды, лучшему ее перемешиванию, а следовательно, и увеличению межмолекулярного контакта ФЛ с ферментом. Однако при повышении температуры до 60 °С фермент становится более восприимчивым к термической дезактивации, что приводит к снижению его каталитической активности.



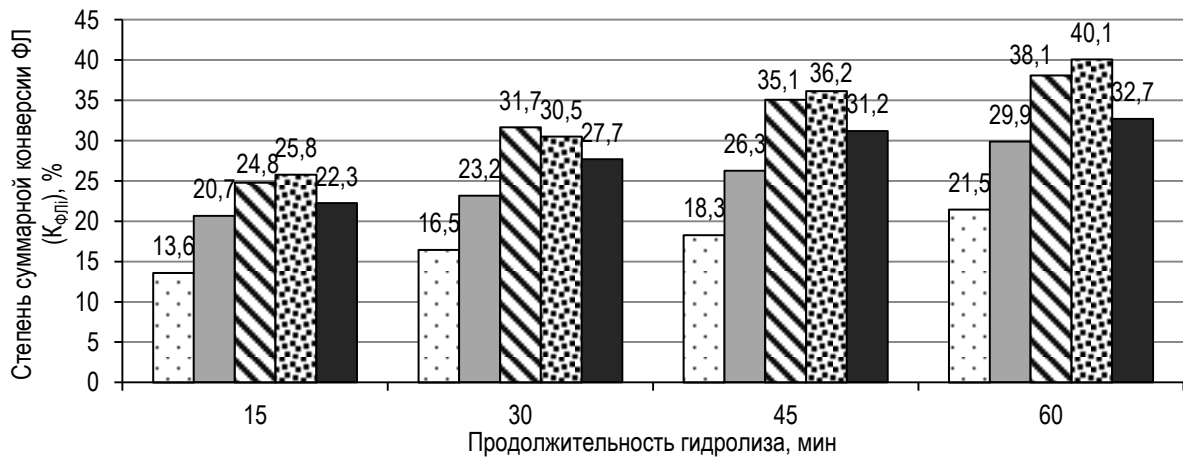


Рис. 5. Влияние температуры на степень суммарной конверсии ФЛ, содержащихся в лецитине: □ – 40 °C; ■ – 45 °C; ▨ – 50 °C; ▩ – 55 °C; ■ – 60 °C  
 Measuring the temperature by the degree of total conversion of PL contained in lecithin: □ – 40 °C; ■ – 45 °C; ▨ – 50 °C; ▩ – 55 °C; ■ – 60 °C

Для исследования влияния дозировки ферментного препарата ROHALASE PL-XTRA на степень суммарной конверсии ФЛ, содержащихся в обезжиренном лецитине, проводили процесс гидролиза образцов лецитина при следующих дозировках ферментного препарата: 0,2; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6 и 2,0 % к массе лецитина, при этом значение pH реакционной среды – 4,0,

температура – 50 °C и продолжительность гидролиза – 60 мин были одинаковыми для всех образцов лецитина.

На рисунке 6 приведены полученные данные по влиянию дозировки ферментного препарата на степень суммарной конверсии ФЛ, содержащихся в лецитине.

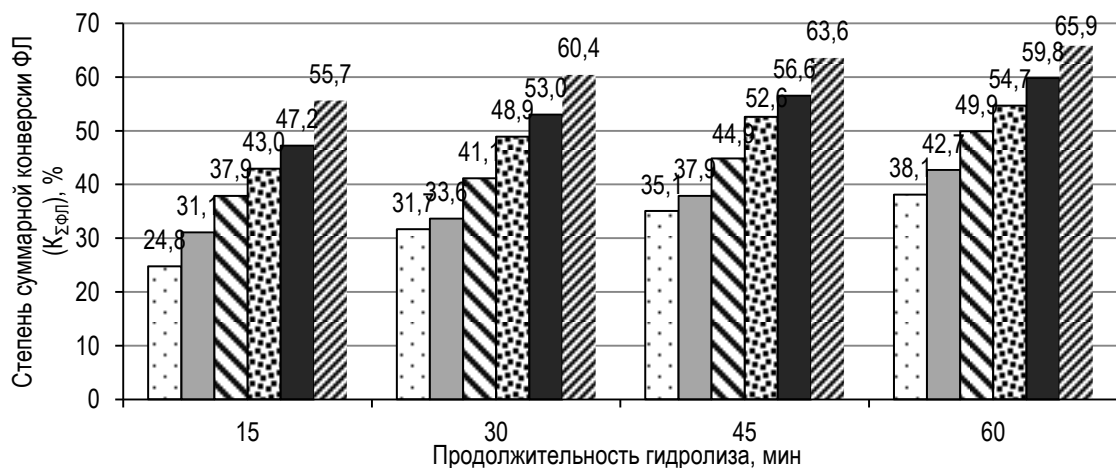


Рис. 6. Влияние дозировки ферментного препарата (% к массе лецитина) на степень суммарной конверсии ФЛ, содержащихся в лецитине: □ – 0,2; ■ – 0,4; ▨ – 0,8; ▩ – 1,2; ■ – 1,6; ▨ – 2,0

The effect of the dosage of the enzyme preparation in % of the mass of lecithin, on the degree of total conversion of PL contained in lecithin: □ – 0,2; ■ – 0,4; ▨ – 0,8; ▩ – 1,2; ■ – 1,6; ▨ – 2,0

Из данных рисунка 6 видно, что в течение 15 минут гидролиза увеличение дозировки ферментного препарата ROHALASE PL-XTRA с 0,2 до 2,0 % к массе лецитина обеспечивает повышение степени суммарной конверсии ФЛ, содержащихся в лецитине, в 2,2 раза. Дальней-

шее увеличение продолжительности процесса гидролиза образца лецитина (30 мин и более) при дозировке ферментного препарата 2,0 % к массе лецитина не приводит к значительному росту степени суммарной конверсии ФЛ, содержащихся в лецитине.

Это, по-видимому, связано с высоким содержанием в реакционной среде продуктов гидролиза, а именно – свободных жирных кислот и лизоФЛ, затрудняющих захват PLA2 молекул ФЛ (см. рис. 2), в отличие от образцов лецитина с

внесением ферментного препарата в меньших дозировках, в которых для увеличения содержания в реакционной среде продуктов гидролиза требуется большая продолжительность процесса гидролиза (рис. 7).

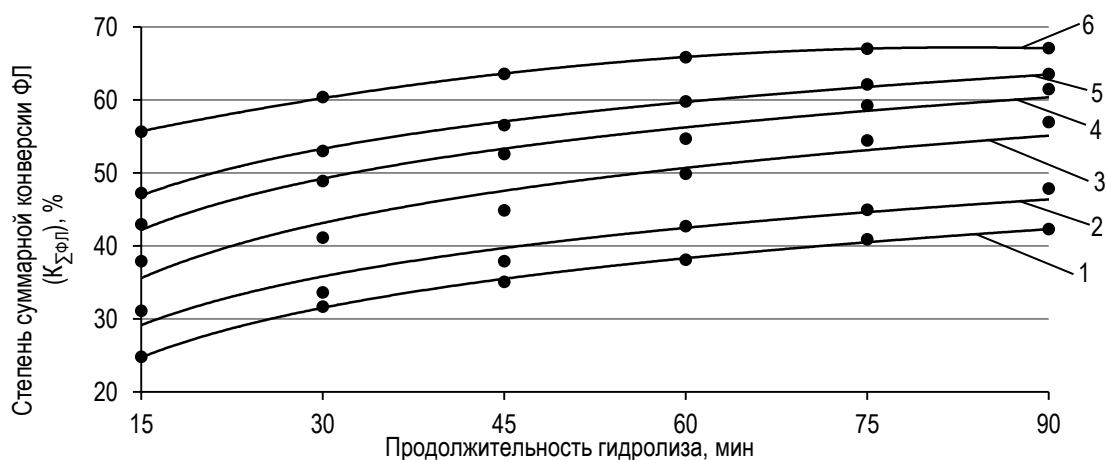


Рис. 7. Влияние продолжительности процесса гидролиза на степень суммарной конверсии ФЛ, содержащихся в лецитине, при дозировке ферментного препарата, % к массе лецитина:

1 – 0,2; 2 – 0,4; 3 – 0,8; 4 – 1,2; 5 – 1,6; 6 – 2,0

The influence of the duration of the hydrolysis process on the degree of total conversion of PL contained in lecithin at a dosage of the enzyme preparation in % of the lecithin mass:

1 – 0.2; 2 – 0.4; 3 – 0.8; 4 – 1.2; 5 – 1.6; 6 – 2.0

Таким образом, установлено, что наиболее значимыми факторами для проведения эффективного процесса гидролиза обезжиренного лецитина с применением ферментного препарата ROHALASE PL-XTRA являются дозировка ферментного препарата, температура и продолжительность процесса гидролиза. Варьирование значений pH реакционной среды в диапазоне от 3,5 до 4,0 и внесение в реакционную среду хлорида кальция в виде 0,1 и 0,4 М водных растворов не оказывают значимого влияния на сте-

пень суммарной конверсии ФЛ, содержащихся в лецитине, а следовательно, и на эффективность процесса гидролиза.

Для получения гидролизованного лецитина с различной степенью конверсии ФЛ, а следовательно, и с различным содержанием лизоФЛ, был проведен полный факторный эксперимент с варьированием основных факторов, а именно – дозировки ферментного препарата, температуры и продолжительности гидролиза – на трех уровнях (табл. 3).

Таблица 3

**Переменные факторы и уровни их варьирования**  
**Variable factors and their levels of variation**

Фактор и его код	Уровень варьирования факторов		
	нижний	средний	верхний
Дозировка ферментного препарата, % к массе лецитина ( $C_{ФЛ}$ )	0,8	1,0	1,2
Продолжительность гидролиза, мин ( $\tau$ )	15	60	90
Температура гидролиза, °C ( $t$ )	45	50	55

Функцией отклика в данном эксперименте являлась степень суммарной конверсии ФЛ, содержащихся в лецитине ( $K_{\Sigma ФЛ}$ ).

Экспериментальные данные по влиянию переменных факторов на функцию отклика представлены в таблице 4, а их графическая интерпретация – на рисунке 8.

Влияние переменных факторов на функцию отклика  
The influence of variable factors on the response function

Номер опыта	Переменный фактор			Функция отклика $K_{\Sigma\text{ФЛ}}, \%$
	$C_{\text{фп}}, \%$ к массе лецитина	$\tau$ , мин	$t$ , °C	
1	0,8	15	45	34,8±0,9
2	1,0	15	45	37,7±1,1
3	1,2	15	45	40,0±1,0
4	0,8	60	45	46,8±1,2
5	1,0	60	45	50,2±1,0
6	1,2	60	45	52,7±0,9
7	0,8	90	45	52,3±1,3
8	1,0	90	45	55,9±0,9
9	1,2	90	45	58,1±1,1
10	0,8	15	50	37,9±1,4
11	1,0	15	50	41,1±0,9
12	1,2	15	50	42,9±1,2
13	0,8	60	50	49,9±0,9
14	1,0	60	50	53,2±1,1
15	1,2	60	50	54,7±0,8
16	0,8	90	50	56,9±0,9
17	1,0	90	50	59,7±1,3
18	1,2	90	50	61,5±1,3
19	0,8	15	55	38,7±1,2
20	1,0	15	55	40,7±1,0
21	1,2	15	55	43,6±1,2
22	0,8	60	55	51,4±0,8
23	1,0	60	55	54,3±0,9
24	1,2	60	55	56,3±1,2
25	0,8	90	55	57,5±1,4
26	1,0	90	55	60,4±1,1
27	1,2	90	55	62,2±1,6

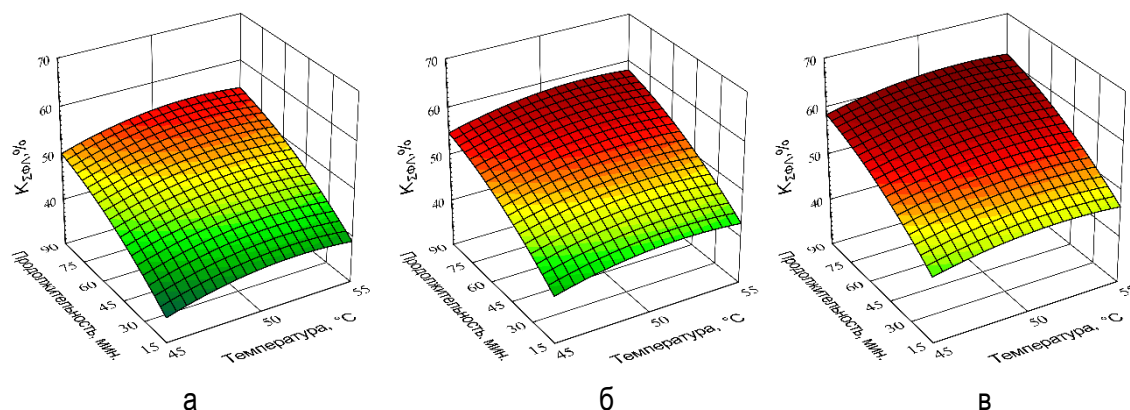


Рис. 8. Влияние температуры и продолжительности гидролиза на степень суммарной конверсии ФЛ, содержащихся в лецитине ( $K_{\Sigma\text{ФЛ}}$ ), при дозировке ферментного препарата 0,8 % (а), 1,0 % (б) и 1,2 % (в) к массе лецитина  
The effect of temperature and duration of hydrolysis on the degree of total conversion of PL contained in lecithin ( $K_{\Sigma\text{ФЛ}}$ ) at a dosage of enzyme preparation of 0.8 % (a), 1.0 % (b) and 1.2 % (c) to the mass of lecithin

В результате математической обработки экспериментальных данных нами получено уравнение, адекватно описывающее процесс гидролиза

обезжиренного лецитина с применением ферментного препарата ROHALASE PL-XTRA:

$$K_{\Sigma\PhiЛ} = 10,235C_{\PhiЛ}^3 - 0,11022C_{\PhiЛ}^2\tau + 0,083601C_{\PhiЛ}^2t - 38,746C_{\PhiЛ}^2 - 0,0010338C_{\PhiЛ}\tau^2 + 0,00084464C_{\PhiЛ}\tau t + 0,30108C_{\PhiЛ}\tau + 0,053275C_{\PhiЛ}t^2 - 5,797C_{\PhiЛ}t + 203,28C_{\PhiЛ} + 6,2054 \cdot 10^{-7}\tau^3 - 6,139 \cdot 10^{-5}\tau^2 t + 0,002568\tau^2 - 7,6516 \cdot 10^{-5}\tau t^2 + 0,013911\tau t - 0,33346\tau - 0,0027431t^3 + 0,28201t^2 - 6,9718t - 0,41701 \quad (3)$$

где  $t$  – температура гидролиза, °С;  $\tau$  – продолжительность гидролиза, мин;  $C_{\PhiЛ}$  – дозировка ферментного препарата, % к массе обезжиренного лецитина.

Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) уравнения (3) – 0,9957. С учетом уравнения (3) получено уравнение (4), характеризующее зависимость продолжительности процесса гидролиза от температуры и степени суммарной конверсии ФЛ, содержащихся в лецитине:

$$\tau = \ln(C_{\PhiЛ}^{0,116}(1,9 \cdot 10^{-10}t^{5,13} + 0,0141K_{\Sigma\PhiЛ}^{0,35} + 22) + 1,575C_{\PhiЛ}^{0,116})(C_{\PhiЛ}^{0,458}(5,2 \cdot 10^{-5}t^{4,184} - 1,787) - 223,478) + C_{\PhiЛ}^{0,458} (E^{C_{\PhiЛ}^{0,116}(1,9 \cdot 10^{-10}t^{5,13} + 0,0141K_{\Sigma\PhiЛ}^{0,35} + 22,081) + 1,57523C_{\PhiЛ}^{0,116}(-1,53976 \times 10^{-6}C_{\PhiЛ}^{0,036087} - 1,14474 \cdot 10^{-6}t^{0,04647} + 1,04 \cdot 10^{-10}K_{\Sigma\PhiЛ}^{1,2} + 2,692161 \cdot 10^{-6}) - 3,2787t^2 + 224,21t + 224,207)}C_{\PhiЛ}^{0,458} \quad (4)$$

Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) уравнения (4) – 0,9668.

тинов с заданной степенью суммарной конверсии ФЛ, а именно – 40 и 60 %.

На основании уравнения (4) была определена продолжительность процесса гидролиза обезжиренного лецитина с применением ферментного препарата ROHALASE PL-XTRA при его дозировке 1,0 % к массе обезжиренного лецитина и температуре процесса гидролиза 50 °С для получения гидролизированных жидких леци-

В результате реализации разработанных эффективных режимов гидролиза обезжиренного лецитина получены гидролизированные жидкие лецитины с заданной степенью суммарной конверсии ФЛ, соответствующей 40 и 60 %, и содержанием в готовых продуктах – гидролизированных жидких лецитинах лизоФЛ ( $22,4 \pm 1,0$ ) % и ( $32,9 \pm 1,0$ ) %, соответственно (табл. 5).

Таблица 5

**Эффективные технологические режимы гидролиза ФЛ, содержащихся в обезжиренном лецитине, с применением ферментного препарата ROHALASE PL-XTRA\***  
**Effective technological modes of hydrolysis of PL contained in deoiled lecithin using the enzyme preparation ROHALASE PL-XTRA\***

Заданное значение степени суммарной конверсии ФЛ ( $K_{\Sigma\PhiЛ}$ ), %	Дозировка Ферментного препарата, % к массе обезжиренного лецитина	Температура процесса гидролиза, °С	Продолжительность процесса гидролиза, мин	Фактическое содержание лизоФЛ в полученном гидролизованном жидком лецитине, %
40	1,0	50	14	22,4±1,0
60			100	32,9±1,0

(\*) – при значении pH реакционной среды, равном 4,0.

**Заключение.** В результате комплекса проведенных исследований показана эффективность применения ферментного препарата ROHALASE PL-XTRA, содержащего PLA2, для получения пищевых добавок – гидролизованных лецитинов с различным содержанием лизоФЛ. Установлено, что индивидуальные группы ФЛ, содержащиеся в обезжиренном лецитине, по степени конверсии в результате гидролиза с применением ROHALASE PL-XTRA можно расположить в ряд по убыванию: ФЭА→ФХ→ФК→ФИ.

Установлены наиболее значимые факторы, оказывающие влияние на степень суммарной конверсии ФЛ, содержащихся в обезжиренном лецитине, а именно: дозировка ферментного препарата, температура и продолжительность процесса гидролиза. Варьирование значений pH реакционной среды в диапазоне от 3,5 до 4,0 и внесение в реакционную среду хлорида кальция в виде 0,1 М и 0,4 М водных растворов не оказывают значимого влияния на степень суммарной конверсии ФЛ, содержащихся в обезжиренном лецитине, а следовательно, и на эффективность процесса гидролиза.

В результате трехфакторного эксперимента и математической обработки экспериментальных данных получены уравнения, позволяющие определить эффективные режимы процесса гидролиза обезжиренного лецитина с применением ферментного препарата ROHALASE PL-XTRA для получения гидролизованного жидкого лецитина с заданной степенью суммарной конверсии ФЛ.

При реализации разработанных эффективных режимов гидролиза обезжиренного лецитина получены гидролизованные жидкие лецитины со степенью суммарной конверсии ФЛ, соответствующей 40 и 60 %, и содержанием в готовых продуктах – гидролизованных жидких лецитинах лизоФЛ ( $22,4 \pm 1,0$ ) % и ( $32,9 \pm 1,0$ ) %, соответственно.

Дальнейшими перспективными исследованиями являются исследования в области оценки эффективности и особенностей проявления свойств полученными пищевыми добавками – гидролизованными лецитинами со степенью суммарной конверсии ФЛ, соответствующей 40 и 60 %, для обоснования их эффективного применения в технологиях продуктов питания.

#### Список источников

1. Omi J., Kano K., Aoki J. Current Knowledge on the Biology of Lysophosphatidylserine as an Emerging Bioactive Lipid // *Cell Biochemistry and Biophysics*. 2021. Vol. 79. P. 497–508. DOI: 10.1007/s12013-021-00988-9.
2. Kano K., Aoki J., Hla T. Lysophospholipid Mediators in Health and Disease // *Annual Review of Pathology: Mechanisms of Disease*. 2022. Vol. 17. P. 459–483. DOI: 10.1146/annurev-pathol-050420-025929.
3. Sun X., Zhang L., Tian S., et al. Phospholipid composition and emulsifying properties of rice bran lecithin from enzymatic degumming // *LWT*. 2020. Vol. 117. P. 108588. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.108588.
4. Gutiérrez-Méndez N., Chavez-Garay D.R., Leal-Ramos M.Y. Lecithins: A comprehensive review of their properties and their use in formulating microemulsions // *Journal of Food Biochemistry*. 2022. Vol. 46. P. e14157. DOI: 10.1111/jfbc.14157.
5. 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.
6. 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.
7. van Nieuwenhuyzen W. Production and Utilization of Natural Phospholipids. In: Ahmad M.U., Xu X., editors. *Polar Lipids*. Elsevier, 2015. P. 245–276. DOI: 10.1016/B978-1-63067-044-3.50013-3.
8. 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.
9. Teixé-Roig J., Oms-Oliu G., Odriozola-Serrano I., et al. Emulsion-Based Delivery Systems to Enhance the Functionality of Bioactive Compounds: Towards the Use of Ingredients from Natural, Sustainable Sources // *Foods*. 2023. Vol. 12. P. 1502. DOI: 10.3390/foods12071502.

10. Филькин С.Ю., Липкин А.В., Федоров А.Н. Суперсемейство фосфолипаз: структура, функции и применение в биотехнологии // Успехи биологической химии. 2020. Т. 60. С. 369–410.
11. Cerminati S., Paoletti L., Aguirre A., et al. Industrial uses of phospholipases: current state and future applications // *Appl Microbiol Biotechnol.* 2019. Vol. 103. P. 2571–2582. DOI: 10.1007/s00253-019-09658-6.
12. Goñi M.L., Pacheco C., Constenla D.T., et al. Solvent-free enzymatic hydrolysis of non-polar lipids in crude sunflower lecithin using phospholipase A1 (Lecitase® Ultra) // *Biocatalysis and Biotransformation.* 2017. Vol. 36, is. 5. P. 341–351. DOI: 10.1080/10242422.2017.1376662.
13. Li Y., Dai L., Liu D., et al. Progress & Prospect of Enzyme-Mediated Structured Phospholipids Preparation // *Catalysts.* 2022. Vol. 12, is. 7. P. 795. DOI: 10.3390/catal12070795.
14. Alekseeva A.S., Boldyrev I.A. Phospholipase A2. Methods for Activity Monitoring // *Biochem. Moscow Suppl. Ser. A.* 2020. Vol. 14. P. 267–278. DOI: 10.1134/S1990747820040030.
15. Лисовая Е.В., Викторова Е.П., Свердличенко А.В., Жане М.Р., Великанова Е.В., Ачмиз А.Д. Способ получения пищевого фосфолипидного продукта. Патент РФ на изобретение № 2787387. 09.01.2023. Бюл. № 1. Доступно по: <https://patentimages.storage.googleapis.com/75/09/e1/c40b20d5caad7e/RU2787387C1.pdf>. Ссылка активна на 17 февраля 2024.
16. Литвинко Н.М. Гидролиз УФ-индуцированного перекисно-окисленного фосфатидилхолина фосфолипазами разной субстратной специфичности // *Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук.* 2021. Т. 57, № 2. С. 195–205. DOI: 10.29235/1561-8331-2021-57-2-195-205.
17. 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.

## References

1. Omi J, Kano K, Aoki J. Current Knowledge on the Biology of Lysophosphatidylserine as an Emerging Bioactive Lipid. *Cell Biochemistry and Biophysics.* 2021;79:497-508. DOI: 10.1007/s12013-021-00988-9.
2. Kano K, Aoki J, Hla T. Lysophospholipid Mediators in Health and Disease. *Annual Review of Pathology: Mechanisms of Disease.* 2022;17:459-483. DOI: 10.1146/annurev-pathol-050420-025929.
3. Sun X, Zhang L, Tian S, et al. Phospholipid composition and emulsifying properties of rice bran lecithin from enzymatic degumming. *LWT.* 2020;117:108588. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.108588.
4. Gutiérrez-Méndez N, Chavez-Garay DR, Leal-Ramos MY. Lecithins: A comprehensive review of their properties and their use in formulating microemulsions. *Journal of Food Biochemistry.* 2022;46:e14157. DOI: 10.1111/jfbc.14157.
5. 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.
6. 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.
7. van Nieuwenhuyzen W. Production and Utilization of Natural Phospholipids. In: Ahmad MU, Xu X, editors. *Polar Lipids.* Elsevier, 2015: 245-276. DOI: 10.1016/B978-1-63067-044-3.50013-3.
8. 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.
9. Teixé-Roig J, Oms-Oliu G, Odriozola-Serrano I, et al. Emulsion-Based Delivery Systems to Enhance the Functionality of Bioactive Compounds: Towards the Use of Ingredients from Natural, Sustainable Sources. *Foods.* 2023;12:1502. DOI: 10.3390/foods12071502.
10. Филькин С.Ю., Липкин А.В., Федоров А.Н. Суперсемейство фосфолипаз: структура, функции и применение в биотехнологии. *Успехи биологической химии.* 2020;60:369-410. (In Russ.).
11. Cerminati S, Paoletti L, Aguirre A, et al. Industrial uses of phospholipases: current state and future applications. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2019;103:2571-2582. DOI: 10.1007/s00253-019-09658-6.

12. Goñi ML, Pacheco C, Constenla DT, et al. Solvent-free enzymatic hydrolysis of non-polar lipids in crude sunflower lecithin using phospholipase A1 (Lecitase® Ultra). *Biocatalysis and Biotransformation*. 2017;36(5):341-351. DOI: 10.1080/10242422.2017.1376662.
13. Li Y, Dai L, Liu D, et al. Progress & Prospect of Enzyme-Mediated Structured Phospholipids Preparation. *Catalysts*. 2022;12(7):795. DOI: 10.3390/catal12070795.
14. Alekseeva AS, Boldyrev IA. Phospholipase A2. Methods for Activity Monitoring. *Biochem. Moscow Suppl. Ser. A*. 2020;14:267-278. DOI: 10.1134/S1990747820040030.
15. Lisovaya EV, Viktorova EP, Sverdlichenko AV, Zhane MR, Velikanova EV, Achmiz AD. Sposob polucheniya pishchevogo fosfolipidnogo produkta. Patent RUS № 2787387. 09.01.2023. Byul. № 1. Available at: <https://patentimages.storage.googleapis.com/75/09/e1/c40b20d5caad7e/RU2787387C1.pdf>. Accessed: 17 Feb 2024. (In Russ.).
16. Litvinko NM. Hydrolysis of UV-induced peroxidized phosphatidylcholine initiated by phospholipases of different substrate specificities. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk*. 2021;57(2):195-205. (In Russ.). DOI: 10.29235/1561-8331-2021-57-2-195-205.
17. 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.

Статья принята к публикации 19.08.2025 / The article accepted for publication 19.08.2025.

Информация об авторах:

**Екатерина Валериевна Лисовая**<sup>1</sup>, старший научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации, кандидат технических наук

**Татьяна Игоревна Угрюмова**<sup>2</sup>, младший научный сотрудник

**Екатерина Романовна Данилейко**<sup>3</sup>, младший научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации

**Александр Сергеевич Бородихин**<sup>4</sup>, научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации

**Елена Павловна Викторова**<sup>5</sup>, главный научный сотрудник отдела пищевых технологий, контроля качества и стандартизации, доктор технических наук, профессор

Information about the authors:

**Ekaterina Valerievna Lisovaya**<sup>1</sup>, Senior Researcher, Department of Food Technology, Quality Control and Standardization, Candidate of Technical Sciences

**Tatyana Igorevna Ugryumova**<sup>2</sup>, Junior Researcher

**Ekaterina Romanovna Danileiko**<sup>3</sup>, Junior Researcher, Department of Food Technology, Quality Control and Standardization

**Alexander Sergeevich Borodikhin**<sup>4</sup>, Researcher at the Department of Food Technology, Quality Control and Standardization

**Elena Pavlovna Viktorova**<sup>5</sup>, Chief Researcher, Department of Food Technology, Quality Control and Standardization, Doctor of Technical Sciences, Professor

