ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-270-280
УДК 543.636.32:637.1

Оригинальная статья
http://fptt.ru/

Использование ферментной переэтерификации в технологии производства заменителей молочного жира[i]

Л. В. Терещук, К. В. Старовойтова*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6

**e-mail: centol@mail.ru*

Дата поступления в редакцию: 26.03.2019
Дата принятия в печать: 21.06.2019

© Л. В. Терещук, К. В. Старовойтова, 2019

Аннотация. Главным преимуществом энзимной переэтерификации, по сравнению с химической, являются специфичность, присущая каталитическому действию липазы, и более высокая управляемость реакцией. При использовании липаз, обладающих позиционной специфичностью, перераспределение жирных кислот происходит только в крайних положениях триглицеридов. Кроме того, расходы на этот способ переработки при правильной организации процесса примерно в полтора раза ниже расходов на гидрирование жиров. Целью работы было исследование влияния жиров, полученных методом ферментной переэтерификации, на показатели качества заменителей молочного жира, изготовленных с их использованием. Объектами исследования явились: сырьевые компоненты, выбранные для включения в рецептуру переэтерифицированного жира и готовой смеси жиров для заменителей молочного жира (ЗМЖ), процесс энзиматической переэтерификации смеси масел и жиров, готовые переэтерифицированные жиры, а также заменители молочного жира, полученные с использованием энзиматически переэтерифицированных жиров. Для проведения процесса переэтерификации использовали последовательность реакторов, заполненных препаратом «Lipozyme TL IM», представляющим собой гранулированный препарат микробной 1,3-специфической липазы из *Thermomyces Lanuginosus*, иммобилизованной на силикагеле. Полученные в результате продукты соответствуют требованиям, предъявляемым к заменителям молочного жира и содержат от 16 до 21 % полиненасыщенных жирных кислот, лишены трансизомеров жирных кислот, содержат не более 38 % пальмитиной кислоты от суммы жирных кислот и не более 5 % твердых триглицеридов при температуре 35 °С, имеют температуру плавления ниже температуры человеческого тела. Полученные характеристики заменителей молочного жира позволяют включать их в состав масложировой и молокосодержащей продукции высокого качества.

Ключевые слова. Переэтерификация, липаза, транс-изомеры, плавление, триглицериды

Для цитирования: Терещук, Л. В. Использование ферментной переэтерификации в технологии производства заменителей молочного жира / Л. В. Терещук, К. В. Старовойтова // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 2. – С. 270–280. DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-270-280.

Original article

Available online at http://fptt.ru/eng

Enzymatic Reetherification in the Production of Butterfat Substitutes

L.V. Tereshchuk, K.V. Starovoytova*

Kemerovo State University,
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650056, Russia

**e-mail: centol@mail.ru*

Received: March 26, 2019
Accepted: June 21, 2019

© L.V. Tereshchuk, K.V. Starovoytova, 2019

Abstract. Enzymatic reetherification of fats has numerous technological and economic advantages, which makes its large-scale implementation highly efficient. Unlike chemical modification, enzymatic reetherification demonstrates a greater specificity, typical of the catalytic action of lipase, and a higher controllability. Lipases with positional specificity cause redistribution of fatty acids to occur only in extreme provisions of triglycerides. In addition, this method is 1.5 times lower than hydrogenation of fats. The authors used the facilities of an innovative laboratory provided by *JSC Eurasian Foods Corporation* to conduct practical research on reetherification of fatty mixes. The main objective was to study the effect of the fats obtained by fermental reetherification on the quality indicators of butterfat substitutes. The research featured the input products to be used in the formula of reetherified fat and prepared fat mixes for butterfat substitutes. The paper describes the process of enzymatic reetherification of mixes of oils and fats, prepared reesterified fats, and buttermilk substitutes obtained from reetherified fats. The process involved a sequence of reactors filled with *Lipozyme TL IM*, a granulated substance of a microbic 1.3-specific lipase. The lipase was obtained from *Thermomyces Lanuginosus*, which had been immobilized with silica gel. The obtained products conformed to the butterfat standards in that

[i] Материал опубликован в рамках II Международного симпозиума «Инновации в пищевой биотехнологии». 13–14 мая 2019 г., Кемерово, Кемеровский государственный университет.

they contained 16–2% of polynonsaturated fatty acids, no transisomers of fatty acids, ≤ 38% of palmitiny acid, and ≤ 5% of solid triglycerides at 35 of °C. The melting temperature was under body heat. The resulting characteristics of butterfat substitutes make them high-quality dairy products.

Keywords. Transesterification, lipase trans-isomers, melting, triglycerides

For citation: Tereshchuk LV, Starovoytova KV. Enzymatic Reetherification in the Production of Butterfat Substitutes. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(2):270–280. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-270-280.

Введение

На сегодняшний день необходимость широкого внедрения процесса переэтерификации жиров не вызывает сомнений. Развитие этой технологии стимулируется рыночными отношениями внутри страны и проникновением на отечественный рынок оборудований ведущих зарубежных фирм. Кроме того, внедрение переэтерификации жиров имеет и экономические преимущества: расходы на этот способ переработки при правильной организации процесса примерно в полтора раза ниже расходов на гидрирование жиров [1].

Широкое распространение данной технологии объясняется рядом причин. Во-первых, при переэтерификации жировых смесей, используемых в производстве эмульсионных масложировых продуктов, резко повышается пластичность жировой основы, что позволяет максимально приблизить консистенцию маргаринов и спредов к консистенции сливочного масла. Переэтерифицированные жиры легко дезодорируются и не обнаруживают реверсии вкуса и запаха исходных жиров даже при достаточно длительном хранении. Это позволяет полностью или частично заменить кокосовое и подобные ему тропические масла при производстве масложировой продукции высокого качества. Кроме того, продукция, содержащая переэтерифицированные жиры, устойчива к окислительной порче и длительное время не меняет свои структурно-механические характеристики при хранении. Все эти факторы позволяют, используя ограниченный ассортимент жирового сырья, организовать производство разнообразных жировых продуктов целевого назначения.

Переэтерификация представляет собой сочетание гидролиза и синтеза триглицеридов. Причем замена жирнокислотных остатков может протекать как случайным образом (неспецифичная переэтерификация), так и затрагивать только определенные позиции (переэтерификация с позиционной специфичностью). При случайной переэтерификации жирнокислотные радикалы свободно перемещаются с одной позиции на другую в одном и том же глицериде или от одного глицерида к другому. После перегруппировки жирных кислот достигается равновесие, которое основано на составе исходного сырья и может быть предсказано на основе теории вероятности. Направленная перегруппировка препятствует усреднению жирнокислотного состава, сдвигая равновесие в смеси. Переэтерификация триглицеридов на химических катализаторах происходит только в жидкой жировой фазе и затрагивает все три сложноэфирных связи в молекулах триглицеридов [2]. Ферментативная переэтерификация протекает на границе раздела жировой и водной фаз. Ферменты, а именно липазы, являются природными биологическими катализаторами. В промышленности используют в основном липазы микробиологического происхождения, т. е. выделяемые микроорганизмами в питательную среду. Липазы преобразуют масла и жиры путем гидролиза триглицеридов и отщепления от них жирных кислот. Эта реакция противоположна синтезу триглицеридов и является обратимой.

Главным преимуществом энзимной переэтерификации, по сравнению с химической, являются специфичность, присущая каталитическому действию липазы, и более высокая управляемость реакцией [4]. При использовании липаз, обладающих позиционной специфичностью, перераспределение жирных кислот происходит только в крайних положениях триглицеридов. В этой технологии используется последовательность реакторов, заполненных иммобилизованной липазой от генетически модифицированных представителей рода *Aspergililus*, в которые был перенесен липазный ген *Thermomyces Lanuginosus* [3].

Точный механизм процесса переэтерификации с использованием липаз до сих пор не установлен. Одним из наиболее возможных вариантов является образование промежуточного комплекса липаза-кислота, который возникает, например, в результате высвобождения диглицерида из липазо-триглицеридного комплекса. Промышленное применение липазы в качестве химического катализатора для переэтерификации жиров было бы невозможным без учета специфичности ферментов. Данный внеклеточный фермент микробиологического происхождения обладает позиционной специфичностью относительно внешних позиций (*sn 1, 3*) на глицериновом каркасе. Таким образом, его можно было бы использовать для получения жиров с высокой симметричностью мононенасыщенных триглицеридов.

Переэтерификацию целесообразно применять также для получения различных заменителей молочного жира (ЗМЖ). Для получения молокосодержащей продукции, не уступающей по качеству (то есть по вкусу и стабильности, а также по физическим свойствам) продукту с молочным жиром, при создании заменителя молочного жира важно правильно подобрать ингредиентный состав. Главная задача – получить безопасный для здоровья и удобный в обращении продукт, позволяющий гибко подходить к созданию рецептур. Растительные жиры, применяемые в молочной промышленности, должны иметь светлый цвет, нейтральный вкус и аромат без каких-либо побочных запахов и быть стабильными. Обычно для обеспечения нужной консистенции от них требуется наличие определенного профиля плавления, особен-

но в смеси с молочным жиром. Это профиль должен быть близким к профилю плавления молочного жира, но немного отличаться от него вследствие различных технологических факторов и взаимодействия с молочным жиром [4].

Целью настоящей работы является исследование влияния жиров, полученных методом ферментной переэтерификации, на показатели качества заменителей молочного жира, изготовленных с их использованием.

Для реализации цели поставлены следующие задачи:
– подбор компонентного состава переэтерифицированных жиров для производства ЗМЖ с ограниченным содержанием транс-изомеров олеиновой кислоты (не более 1 %);
– разработка рецептуры и конструирование сбалансированного жирнокислотного состава заменителя молочного жира согласно требованиям нормативно-технической документации;
– подбор технологических режимов проведения процесса ферментной переэтерификации;
– получение переэтерифицированного жира в лабораторных условиях на базе инновационной технологической лаборатории АО «Eurasian Foods Corporation»;
– изучение жирнокислотного состава полученных переэтерифицированных жиров и многокомпонентных смесей для ЗМЖ;
– изучение характеристик ЗМЖ: определение содержания твердых триглицеридов при различных температурах, твердости по Каминскому, температуры плавления и оценка органолептических показателей.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования явились: сырьевые компоненты, выбранные для включения в рецептуру переэтерифицированного жира и готовой смеси жиров для заменителей молочного жира (ЗМЖ); процесс энзиматической переэтерификации смеси масел и жиров, готовые переэтерифицированные жиры; заменители молочного жира, полученные с использованием энзиматически переэтерифицированных жиров.

В качестве сырьевых компонентов для включения в рецептуры ЗМЖ были выбраны: образец пальмового стеарина рафинированного, отбеленного и дезодорированного (производство Малайзия); образец пальмоядрового масла рафинированного, отбеленного и дезодорированного (производство Малайзия); образец подсолнечного масла рафинированного, отбеленного и дезодорированного (производство Россия); образец рапсового масла рафинированного, отбеленного и дезодорированного (производство Россия).

Исследования свойств сырьевых компонентов и готовых заменителей молочного жира проводили используя стандартные методы. Для определения жирнокислотного состава масел и жиров применяли газожидкостную хроматографию по ГОСТ 30418-96. Использовали газожидкостной хроматограф «Agilent GC 7890» с пламенно-ионизационным детектором по методу программирования температуры от 40 °С до 250 °С. Использовали капиллярную колонку фирмы «Varian SipSill – 88». Полученные хроматограммы метиловых эфиров жирных кислот идентифицировали и рассчитывали количественное содержание жирных кислот по площадям пиков в процентах, используя стандартную методику.

Содержание твердых триглицеридов в жировом сырье определяли при помощи ЯМР-анализатора по ГОСТ Р 52179-2003. Визуальную оценку и органолептические показатели определяли по ГОСТ Р 52179-2003. Отбор и подготовку проб жирового сырья проводили согласно требованиям ГОСТ Р ИСО 5555-2010. «Масла и жиры животные и растительные. Отбор проб» и СТБ ISO 661-2008 «Масла и жиры животные и растительные. Подготовка испытуемой пробы».

При изучении физико-химических показателей растительных масел и жиров определяли:
– температуру плавления в капилляре, открытом с двух концов;
– кислотное число методом титрования по ГОСТ 31933-2012;
– перекисное число по ГОСТ ISO 3960-2013;
– йодное число по методу Гануса.

Исследования проводились в трех параллелях для сходимости результатов и обрабатывались статистически. В результатах исследования приведены средние значения показателей.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе было выбрано и исследовано сырье для получения смесей, направляемых на переэтерификацию. Поскольку Малайзия является ведущим производителем и главным экспортером обработанного пальмового, а также пальмоядрового масла, для включения в рецептуры были выбраны образцы масел, произведенные в этой стране. Пальмовое масло поставляется как в сыром виде, так и в рафинированном, дезодорированном, отбеленном, а также в виде олеиновой, средней и стеариновой фракций.

Исследуемый образец пальмового стеарина – это твердая фракция, получаемая в процессе низкотемпературной обработки пальмового масла. Поскольку в странах, входящих в Единый таможенный союз, отсутствует нормативный документ, регламентирующий содержание отдельных жирных кислот в продуктах фракционирования пальмового масла, для контроля опирались на литературные данные действующего Малазийского стандарта MS 815:1991. В таблице 1 приведен жирнокислотный состав исследуемого образца пальмового стеарина.

Жирнокислотный состав исследуемого образца пальмового стеарина соответствует нормам, указанным в Малазийском стандарте, и отличается высоким содержанием насыщенных жирных кислот: пальмитиновой С 16:0 и стеариновой С 18:0. При фракционировании пальмитиновая кислота имеет тенденцию переходить в стеариновую фракцию. Однако содержание олеиновой кислоты близко к неразделенному пальмовому маслу.

В таблице 2 приведены физико-химические показатели образца пальмового стеарина.

Содержание твердых триглицеридов в исследуемом образце при низких температурах имеет зна-

Таблица 1. Жирнокислотный состав пальмового стеарина

Table 1. Fatty acid composition of palm stearin

Наименование жирных кислот	Содержание, %	
	Характеристика исследуемого образца пальмового стеарина	Характеристика пальмового стеарина по MS 815:1991
С 12:0 Лауриновая	0,2	0,1–0,3
С 14:0 Миристиновая	1,6	1,1–1,7
С 16:0 Пальмитиновая	59,5	49,8–68,1
С16:1 Пальмитолеиновая	0	0,05–0,1
С 18:0 Стеариновая	5,3	3,9–5,6
С 18:1 Олеиновая транс-форма	0	Отсутствует
С 18:1 Олеиновая цис-форма	26,6	20,4–34,4
С 18:2 Линолевая	5,4	5–8,9
С 18:3Линоленовая	0	0,1–0,5
С 20:0 Арахиновая	0,4	0,3–0,6

чение, которое близко к 100 %: образец отличается высокой твердостью и колющейся консистенцией. При высоких температурах в интервале 30–40 °С содержание твердых триглицеридов также достаточно высоко. Данные свидетельствуют, что это сырье можно использовать в ограниченном количестве в жировых композициях в качестве консистентного жира или в переэтерифицированном виде с жидкими растительными маслами.

Высокая температура плавления также не позволяет использовать стеарин в чистом виде, но при использовании его в смесях с жидкими растительными маслами, не имеющими твердых триглицеридов, можно получить сбалансированную жировую смесь с температурой плавления менее 36 °С.

Невысокое значение йодного числа свидетельствует о максимальном количестве в пальмовом стеарине насыщенных жирных кислот, а именно длинноцепочечных. Значение кислотного числа не выходит за рамки требований нормативно-технической документации и свидетельствует о том, что влага в данном образце отсутствует. Перекисное число в исследуемом образце имеет ожидаемо низкое значение из-за максимально низкого содержания ненасыщенных жирных кислот с двумя и более двойными связями, которые наиболее подвержены процессам окисления. Пальмовый стеарин наиболее устойчив к появлению вторичных продуктов окисления. Это еще раз доказывает, что использование данной фракции в рецептурном составе жировых композиций может положительно повлиять на устойчивость к окислительным процессам.

Образец пальмоядрового масла производства Малайзии имел полутвердую консистенцию и белый цвет с желтоватым оттенком. В таблице 3 приведен жирнокислотный состав исследуемого образца пальмоядрового масла. Жирнокислотный состав исследовался согласно ГОСТ 30623-98. «Масла растительные и маргариновая продукция. Метод обнаружения фальсификации» [9].

Таблица 2. Физико-химические показатели пальмового стеарина

Table 2. Physical and chemical indicators of palm stearin

Наименование показателя	Характеристика исследуемого образца пальмового стеарина
Температура плавления, °С	51
Содержание ТТГ, %:	
5 °С	82,48
10 °С	81,92
20 °С	67,92
30 °С	47,19
35 °С	37,27
40 °С	27,57
Кислотное число, мг КОН/г	0,03
Перекисное число, ммоль акт. кислорода/кг	1
Йодное число, г I_2/100 г	32,9

Данные таблицы свидетельствуют о том, что жирнокислотный состав исследуемого образца пальмоядрового масла соответствует нормам. Особой отличительной чертой данного растительного масла является большое количество лауриновой кислоты С 12:0, которая составляет почти 50 % от массовой доли жирных кислот. Так как эта кислота относится к разряду среднецепочечных жирных кислот, пальмоядровое масло при комнатной температуре находится в мазеобразном состоянии, подобно пальмовому, а при температурах выше комнатной моментально переходит в жидкое состояние. В таблице 4 приведены физико-химические показатели образца пальмоядрового масла.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что при низких температурах содержание твердых триглицеридов в пальмоядровом масле очень высоко, а при высоких температурах (в интервале 30–40 °С) не

Таблица 3. Жирнокислотный состав пальмоядрового масла

Table 3. Fatty acid composition of palm-kernel oil

Наименование жирных кислот	Массовая доля, %	Массовая доля, % по ГОСТ 30623-98
С 6:0 Капроновая	0,3	До 0,8
С 8:0 Каприловая	4	2,4–6,0
С 10:0 Каприновая	3,3	2,0–5,0
С 12:0 Лауриновая	45,2	41,0–55,0
С 14:0 Миристиновая	16	14,0–18,6
С 16:0 Пальмитиновая	9,6	6,5–10,0
С16:1 Пальмитолеиновая	0	До 1,0
С 18:0 Стеариновая	2,5	1,0–3,5
С 18:1 Олеиновая цис-форма	16,1	12,0–19,0
С 18:2 Линолевая	3	0,8–3,0
С 18:3 Линоленовая	0	До 1,0
С 20:0 Арахиновая	0	До 1,0
С 20:1 Гондоиновая	0	До 1,0
С 22:0 Бегеновая	0	До 1,0
С 22:1 Эруковая	0	До 1,0
С 22:2 Докозадиеновая	0	До 1,0

Таблица 4. Физико-химические показатели образца пальмоядрового масла

Table 4. Physical and chemical indicators of palm-kernel oil

Наименование показателя	Характеристика пальмоядрового масла производства Малайзия
Температура плавления, °С	27,4
Содержание твердых триглицеридов, %:	
5 °С	75,53
10 °С	70,33
20 °С	40,52
30 °С	0,58
35 °С	0
40 °С	0
Кислотное число, мг КОН/г	0,01
Перекисное число, ммоль акт. кислорода/кг	0
Йодное число, г I/100 г	19,42

превышает 1 %. Это свидетельствует о легкоплавкости пальмоядрового масла. Температура плавления составляет порядка 27 °С. Невысокое йодное число свидетельствует о максимальном количестве в пальмоядровом масле насыщенных жирных кислот, в частности низко- и среднецепочечных. Значения показателей окислительной и гидролитической порчи свидетельствуют о высокой устойчивости пальмоядрового масла в процессе хранения.

На основании проведенного анализа качества образцов пальмового стеарина и пальмоядрового масла был сделан вывод об их пригодности для использования в составе композиций масел и жиров для переэтерификации.

На втором этапе, на основании анализа физико-химических показателей и жирнокислотного состава сырьевых компонентов, были подобраны соотношения твердых и жидких растительных масел в композициях, предназначенных для ферментной переэтерификации. При составлении смесей использовалось сырье, изначально не содержащее трансизомеров жирных кислот. В таблице 5 приведены рецептуры смесей для переэтерифицированных жиров.

После разработки рецептур жировых смесей для ЗМЖ, проводили их переэтерификацию в условиях инновационной технологической лаборатории АО «Eurasian Foods Corporation». Процесс переэтерификации позволяет максимально приблизить свойства заменителя к свойствам молочного жира. Это дает возможность достигать широчайшего диапазона совместимости данных продуктов. Предпочтение было отдано ферментной переэтерификации, т. к. специфические липазы, используемые в качестве катализатора в этом процессе, позволяют получать жиры определенного состава, что невозможно при применении традиционной химической переэтерификации. Этот способ представляет большой интерес, особенно при необходимости присоединения конкретной жирной кислоты в нужной позиции, что

Таблица 5. Рецептуры переэтерифицированных жиров для производства ЗМЖ

Table 5. Reetherified fat formulations for butterfat substitutes production

Наименование сырья	Содержание, %	
	Рецептура 1	Рецептура 2
Пальмовый стеарин	60	60
Пальмоядровое масло	20	16
Подсолнечное масло	–	12
Рапсовое масло	20	12
Итого	100	100

часто требуется для создания жиров специального назначения.

Технологический процесс ферментной переэтерификации состоит из следующих основных стадий:
– подготовка ферментного катализатора;
– приготовление исходной смеси масел и жиров;
– подогрев исходной смеси жиров до температуры переэтерификации;
– ферментативная переэтерификация;
– охлаждение переэтерифицированного жира до температуры хранения.

Для получения переэтерифицированных жиров в качестве катализатора был выбран ферментный препарат «Lipozyme TL IM», который представляет собой гранулированный препарат микробной 1,3-специфической липазы из *Thermomyces Lanuginosus*, иммобилизованной на силикагеле [5, 6, 21].

«Lipozyme TL IM» (рис. 1) представляет собой сухой гранулированный продукт светло-бежевого цвета, не растворимый в масле. Проявляет механическую стабильность в масле при температурах до 75 °С.

Катализатор «Lipozyme TL IM» имеет следующие характеристики, представленные в таблице 6.

В настоящее время катализатор «Lipozyme TL IM» поставляется в упаковке в виде канистр по 20 кг, которые плотно закрыты в пластмассовых канистрах по 75 кг для более безопасной обработки

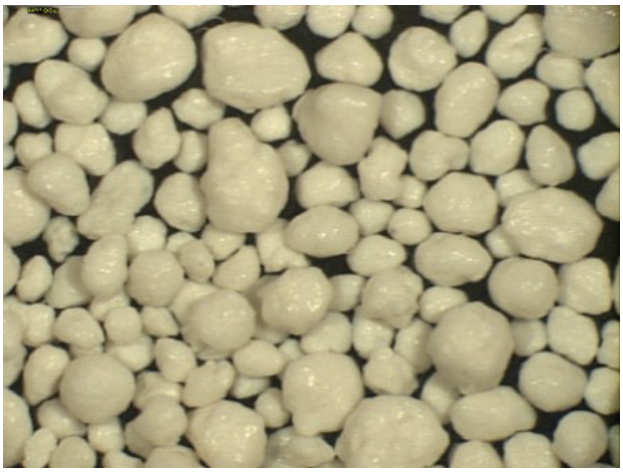

Рисунок 1. Катализатор «Lipozyme TL IM» (гранулы под микроскопом)

Figure 1. Catalyst *Lipozyme TL IM* (microscope image of the granules)

Таблица 6. Характеристика катализатора «Lipozyme TL IM» [23]

Table 6. Characteristics of *Lipozyme TL IM* [23]

Наименование показателя	Значение
Размер частиц, мкм	300–1000
Влажная насыпная плотность (в масле), г/мл	0,42
Истинная плотность, г/мл	1,8

и пониженной влажности. Использованный неактивный фермент можно утилизировать вместе с отбеливающей землей.

На рисунке 2 приведена технологическая схема энзимной переэтерификации [14–16].

Установка состоит из серии работающих в непрерывном режиме реакторов, наполненных препаратами фермента в качестве катализатора. Он имеет также ряд периферийных узлов, таких как специальная система смешения и подачи ферментов, вакуумная установка и другие.

Свежий иммобилизованный фермент содержит около 5 % воды. В связи с этим перед началом переэтерификации был проведен процесс обезвоживания фермента, в результате которого первые две порции масла имели повышенное кислотное число, т. к. каждые 0,1 % влаги в сырье или катализаторе приводят к образованию 1,5 % свободных жирных кислот [7–9, 17].

Для такой обработки фермента в один из реакторов подают партию ферментного препарата, создают давление 0,25–0,5 бар (абсолютное) и проводят деаэрацию препарата в течение нескольких минут. Затем в реактор подают масло с температурой 70 °С для пропитывания ферментного препарата.

Первоначальная скорость подачи масла (первые 20–30 мин) поддерживалась от 250 до 350 кг/ч для обеспечения достаточного пропитывания слоя ферментного препарата без нарушения носителя. Затем скорость подачи насосом постепенно увеличивали до 1200 кг/ч и после заполнения нижней секции реактора маслом (после полного пропитывания ферментного препарата) вакуумный насос отключили, а масло продолжили подавать в реактор для заполнения оставшегося пространства над слоем ферментного препарата.

Процесс обезвоживания ферментного препарата был завершен в момент, когда кислотное число масла достигло постоянной величины. Затем приступили непосредственно к процессу ферментативной переэтерификации.

Для этого смесь масел и жиров, в соответствии с разработанной рецептурой, подготавливали в питающем баке, который оборудован тензометрическими весами. Растительные масла и жиры поочередно подаются в бак, где путем перемешивания при помощи мешалки обеспечивается однородность смеси. Полученная смесь насосом направляется в буферную емкость.

Вся установка работает под вакуумом, который обеспечивается вакуумной системой [10].

Из буферной емкости через расходомер, обеспечивающий постоянно контролируемый поток масла (скорость составляет от 2,5 до 4,0 кг масла на 1 кг фермента), смесь масел поступает в теплообменник, который контролирует температуру масла и поддерживает ее на уровне, не превышающем 70 °С. В теплообменнике используется пар под давлением 0,3 Мпа.

Нагретая до 70 °С, исходная смесь масел и жиров поступает в реакторы, которые работают последовательно. Во время проведения процесса переэтерификации температуру в реакторах поддерживали на уровне не выше 70 °С во избежание инактивации ферментного препарата.

Цилиндрические реакторы снабжены рубашкой, где циркулирует вода за счет работы общего циркуляционного насоса. В реакторе установлен специальный фильтр в виде клиновидных колосников для удержания ферментного препарата. Масло проходит через слой фермента сверху вниз. Скорость подачи масла составляет от 2,5–4,0 кг масла на 1 кг фермента. Насосы обеспечивают подачу масла в следующий реактор.

Реакция переэтерификации заняла около часа. Процесс контролировали по температуре плавления

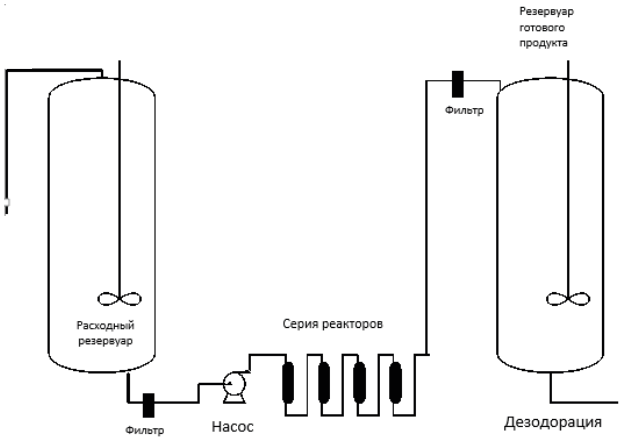

Рисунок 2. Технологическая схема энзимной переэтерификации

Figure 2. Technological scheme of enzyme reetherification

Таблица 7. Физико-химические показатели переэтерифицированных жиров, полученных с применением ферментного препарата «Lipozyme TL IM»

Table 7. Physico-chemical parameters of the reetherified fats obtained with the use of the enzyme preparation *Lipozyme TL IM*

Наименование показателей	Значения показателей	
	Рецептура 1	Рецептура 2
Температура плавления, °С	35,3	35
Содержание ТТГ, %		
5 °С	59,3	58,7
10 °С	56,2	53,3
20 °С	32,47	27,7
30 °С	18,6	10,8
35 °С	1,4	4,5
40 °С	0,5	1
Твердость по Каминскому при 15 °С, г/см	130	138

Таблица 8. Жирнокислотный состав переэтерифицированных жиров

Table 8. Fatty acid composition of the reetherified fats

Наименование жирных кислот	Содержание, %	
	Рецептура 1	Рецептура 2
C 6:0	0,1	0,1
C 8:0	0,9	0,7
C 10:0	0,8	0,6
C 12:0	9,8	7,9
C 14:0	4,4	3,7
C 16:0	36,8	37
C 16:1	0,3	0,2
C 18:0	3,9	4,2
C 18:1 trans	0	0
C 18:1 cis	31,4	28,4
C 18:2	8,9	15,3
C 18:3	2,2	1,4
C 20:0	0,4	0,3
C 22:0	0,1	0,2
Сумма жирных кислот	100	100

переэтерифицированного продукта и содержанию в нем твердых триглицеридов.

После того как ферментный препарат в реакторе утрачивает свою эффективность (т. е. физико-химические показатели исходного сырья не меняются после прохождения через реактор), масло сливают, а ферментный препарат из данного реактора удаляют. Удаление отработанного препарата из реактора осуществляют при помощи промышленного очистителя вакуумного действия, после чего реактор заполняют новой партией ферментного препарата.

Переэтерифицированный жир насосом подают на полировочные фильтры, а затем на окончательный охладитель. Охлажденный переэтерифицированный жир перекачивают в бак для накопления, затем направляют на дезодорацию [11].

Физико-химические показатели переэтерифицированных жиров, полученных с применением ферментного препарата «Lipozyme TL IM», приведены в таблице 7 [12].

Жирнокислотный состав полученных переэтерифицированных жиров приведен ниже в таблице 8.

Как видно из вышеизложенных данных, полученные переэтерифицированные жиры не содержат трансизомеров жирных кислот, их твердость по Каминскому не превышает заданных значений нормативно-технической документации. Следовательно, они могут быть использованы в составе заменителей молочного жира.

Нашей задачей было разработать продукт, полностью удовлетворяющий требованиям ГОСТ 31648-2012. Были учтены требования, предъявляемые к сырью. Ниже приведены рецептуры заменителей молочного жира с указанием массовых долей рецептурных компонентов.

Поскольку к заменителям молочного жира предъявляется ряд достаточно жестких требований по жирнокислотному составу, для достижения показателей,

Таблица 9. Рецептуры разрабатываемых ЗМЖ

Table 9. Formulations of the butterfat substitutes

Наименование сырья	Рецептуры ЗМЖ, %	
	1	2
Переэтерифицированный жир: Пальмовый стеарин 60 % Пальмоядровое масло16 % Подсолнечное масло 12 % Рапсовое масло 12 %	100	–
Переэтерифицированный жир: Пальмовый стеарин 60 % Пальмоядровое масло 20 % Рапсовое масло 20 %	–	70
Подсолнечное масло	–	15
Рапсовое масло	–	15

регламентируемых ГОСТ 31648-2012, в одном из вариантов полученный переэтерифицированный жир был смешан с жидкими растительными маслами. Согласно ТР ТС 024/2011 заменитель молочного жира – это продукт с массовой долей жира не менее 99,0 %, предназначенный для замещения молочного жира в пищевых продуктах, произведенный из немодифицированных и/или модифицированных растительных масел с добавлением или без добавления пищевых добавок. В таблице 10 приведены физико-химические показатели разработанных ЗМЖ.

По требованиям ГОСТ 31648-2012, температура плавления ЗМЖ должна составлять не более 36 °С, продукт должен содержать не более 5 % твердых триглицеридов при 35 °С, не более 65 % массовой доли насыщенных кислот от суммы жирных кислот, в том числе не более 38 % массовой доли пальмитиной кислоты от суммы жирных кислот. В таблице 11 приведен жирнокислотный состав разработанных ЗМЖ и требования по содержанию и соотношению некоторых жирных кислот.

Согласно ГОСТ 31648-2012. «Заменители молочного жира. Технические условия» и ТР ТС 024/2011 «Технический регламент на масложировую продукцию» ЗМЖ должен обладать чистыми обезличенными вкусом и запахом, иметь однородную пластичную

Таблица 10. Физико-химические показатели разработанных ЗМЖ

Table 10. Physical and chemical characteristics of the developed butterfat substitutes

Наименование показателей	Рецептуры ЗМЖ		Требования ГОСТ 31648-2012
	1	2	
Температура плавления, °С	35	32	27–36
Содержание ТТГ, %			
5 °С	58,7	37,51	–
10 °С	53,3	35,3	–
20 °С	27,7	18,72	–
30 °С	10,8	9,02	–
35 °С	4,6	1,5	Не более 5
40 °С	1	0	

Таблица 11. Жирнокислотный состав заменителей молочного жира

Table 11. Fatty acid composition of the butterfat substitutes

Наименование жирных кислот	Содержание, %		Требования ГОСТ 31648-2012
	Рецептура 1	Рецептура 2	
С 6:0	0,1	0,1	–
С 8:0	0,7	0,6	–
С 10:0	0,6	0,6	–
С 12:0	7,9	6,5	–
С 14:0	3,7	2,9	–
С 16:0	37	28,7	Не более 38
С 16:1	0,2	0,1	–
С 18:0	4,2	3,7	–
С 18:1 trans	0	0	Не более 5
С 18:1 cis	28,4	34,8	–
С 18:2	15,3	18,3	–
С 18:3	1,4	3,1	–
С 20:0	0,3	0,4	–
С 22:0	0,2	0,2	–
Сумма жирных кислот	100	100	–
Отношение полиненасыщенных жирных кислот к насыщенным, не менее	0,3	0,5	0,3
Массовая доля линолевой и линоленовой кислот, %	16,7	21	15,0–25,0
Отношение линолевой кислоты (омега-6) к линоленовой (омега-3)	10,9	5,9	от 5 до 15

Таблица 12. Органолептические показатели ЗМЖ

Table 12. Sensory properties of the butterfat substitutes

Наименование показателя	Характеристика ЗМЖ № 1	Характеристика ЗМЖ № 2
Вкус и запах	Чистый, свойственный обезличенному жиру	Чистый, свойственный обезличенному жиру
Консистенция при 12 ± 2 °С	Однородная, плотная, пластичная	Однородная, пластичная
Цвет	Белый, однородный по всей массе	Белый, однородный по всей массе
Прозрачность	Прозрачный в расплавленном состоянии	Прозрачный в расплавленном состоянии

консистенцию при температуре 12 °С. В таблице 12 приведены характеристики полученных заменителей молочного жира.

Полученные образцы заменителей молочного жира полностью соответствуют всем требованиям, предъявляемым к такого рода продукции.

Выводы

Анализ существующих технологий модификации жирового сырья показал, что для получения жиров специального назначения, в частности для производства заменителей молочного жира, наиболее целесообразным представляется проведение процесса переэтерификации, позволяющей получить продукты с регулируемым жирнокислотным и глицеридным составом, а также с прогнозируемыми физико-химическими и структурно-реологическими свойствами. Исследования по получению переэтерифицированных жиров на базе инновационной лаборатории АО «Eu-rasian Foods Corporation» при помощи ферментного катализатора «Lipozyme TL IM» дали положительные результаты. Они позволили получить жиры специального назначения, которые пригодны для использования в составе масложировых и молокосодержащих продуктов. Переэтерифицированные жиры полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к заменителям молочного жира по содержанию и соотношению отдельных жирных кислот и по характеристикам плавления, в частности к содержанию твердых триглицеридов. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности дальнейших исследований и разработок в области расширения ассортимента жировых продуктов с заданными свойствами.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам инновационной технологической лаборатории АО «Eurasian Foods Corporation», принимавшим участие в практических исследованиях.

Финансирование

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».

Список литературы

1. Enzymatic transesterification of Jatropha oil / A. Kumari, P. Mahapatra, V. K. Garlapati [et al.] // Biotechnology for Biofuels. – 2009. – Vol. 2. DOI: https://doi.org/10.1186/1754-6834-2-1.

2. Mathematical modeling of triglyceride transesterification through enzymatic catalysis in a continuous flow bioreactor / A. V. Borgolov, K. V. Gorin, V. M. Pozhidaev [et al.] // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9, № 47. DOI: https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i47/109081.

3. A thermo-alkaline lipase from a new thermophile *Geobacillus thermodenitrificans* AV-5 with potential application in biodiesel production / L. P. Christopher, V. P. Zambare, A. Zambare [et al.] // Journal of Chemical Technology and Biotechonology. – 2015. – Vol. 90, № 11. – P. 2007–2016. DOI: https://doi.org/10.1002/jctb.4678.

4. Enzymatic transesterification of palm stearin and olein blends to produce zero-trans margarine fat / M. Sellami, H. Ghamgui, F. Frikha [et al.] // BMC Biotechnology. – 2012. – Vol. 12. DOI: https://doi.org/10.1186/1472-6750-12-48.

5. The development of enzymatic enrichment and separation of **ω**-3pufas / X.-G. Tian, W. Du, L.-M. Dai [et al.] // Gao Xiao Hua Xue Gong Cheng Xue Bao/Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities. – 2015. – Vol. 29, № 6. – P. 1285–1292. DOI: https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-9015.2015.06.001.

6. Engineering and application of enzymes for lipid modification, an update / K. Zorn, I. Oroz-Guinea, H. Brundiek [et al.] // Progress in Lipid Research. – 2016. – Vol. 63. – P. 153–164. DOI: https://doi.org/10.1016/j.plipres.2016.06.001.

7. Meunier, S. M. Immobilized enzyme technology for biodiesel production / S. M. Meunier, H.-R. Kariminia, R. L. Legge // Advances in Biofeedstocks and Biofuels, Volume 2: Production Technologies for Biofuels / L. K. Singh, G. Chaudhary. – John Wiley & Sons, 2016. – P. 67–106. DOI: https://doi.org.10.1002/9781119117551.ch3.

8. Sankaran, R. Biodiesel production using immobilized lipase: feasibility and challenges / R. Sankaran, P. L. Show, J.-S. Chang // Biofuels, Bioproducts and Biorefining. – 2016. – Vol. 10, № 6. – P. 896–916. DOI: https://doi.org/10.1002/bbb.1719.

9. Fast and economic immobilization methods described for non-commercial *Pseudomonas* lipases / S. Cesarini, B. Infanzón, F. I. J. Pastor [et al.] // BMC Biotechnology. – 2014. – Vol. 14. DOI: https://doi.org/10.1186/1472-6750-14-27.

10. Synthesis of nanostructured carbon on Ni catalysts supported on mesoporous silica, preparation of carbon-containing adsorbents, and preparation and study of lipase-active biocatalysts / G. A. Kovalenko, T. V. Chuenko, L. V. Perminova [et al.] // Kinetics and Catalysis. – 2016. – Vol. 57, № 3. – P. 394–403. DOI: https://doi.org/10.1134/S002315841603006X.

11. Influence of dlutaraldehyde cross-linking modes on the recyclability of immobilized lipase B from *Candida antarctica* for transesterification of soy bean oil / I. A. Modenez, D. E. Sastre, F. C. Moares [et al.] // Molecules. – 2018. – Vol. 23, № 9. DOI: https://doi.org/10.3390/molecules23092230.

12. An overview on vegetable oils and biocatalysis / R. R. de Melo, G. P. Borin, G. K. Zanini [et al.] // Vegetable Oil: Properties, Uses and Benefits / B. Holt. – Nova Science Publishers, 2016. – P. 1–24.

13. Mahadevan, G. D. Thermostable lipase from *Geobacillus* sp. Iso5: Bioseparation, characterization and native structural studies / G. D. Mahadevan, S. E. Neelagund // Journal of Basic Microbiology. – 2014. – Vol. 54, № 5. – P. 386–396. DOI: https://doi.org/10.1002/jobm.201200656.

14. Is there a future for enzymatic biodiesel industrial production in microreactors? / S. Budžaki, G. Miljić, M. Tišma [et al.] // Applied Energy. – 2017. – Vol. 201. – P. 124–134. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.062.

15. Lipase-catalyzed process for biodiesel production: enzyme immobilization, process simulation and optimization / X. Zhao, F. Qi, C. Yuan [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015. – Vol. 44. – P. 182–197. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.021.

16. Borrelli, G. M. Recombinant lipases and phospholipases and their use as biocatalysts for industrial applications / G. M. Borrelli, D. Trono // International Journal of Molecular Sciences. – 2015. – Vol. 16, № 9. – P. 20773–20840. DOI: https://doi.org/10.3390/ijms160920774.

17. Lipase catalysis in organic solvents: advantages and applications / A. Kumar, K. Dhar, S. S. Kanwar [et al.] // Biological Procedures Online. – 2016. – Vol. 18, № 1. DOI: https://doi.org/10.1186/s12575-016-0033-2.

18. An overview on the main microbial enzymes in the food industry / C. J. De Andrade, A. E. C. F. B. De Gusmão, A. P. R. Simiqueli [et al.] // Food Industry: Assessment, Trends and Current Issues / D. Cunningham. – Nova Science Publishers, 2016. – P. 1–44.

19. Heterogeneous base catalysts for edible palm and non-edible Jatropha-based biodiesel production / H. V. Lee, J. C. Juan, N. F. Binti Abdullah [et al.] // Chemistry Central Journal. – 2014. – Vol. 8, № 1. DOI: https://doi.org/10.1186/1752-153X-8-30.

20. Ayaz, B. Purification and characterization of organic solvent-tolerant lipase from *Streptomyces sp.* OC119-7 for biodiesel production / B. Ayaz, A. Ugur, R. Boran // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. – 2015. – Vol. 4, № 1. – P. 103–108. DOI: https://doi.org/10.1016/j.bcab.2014.11.007.

21. Highly efficient conversion of plant oil to bio-aviation fuel and valuable chemicals by combination of enzymatic transesterification, olefin cross-metathesis, and hydrotreating / M. Wang, M. Chen, Y. Fang [et al.] // Biotechnology for Biofuels. – 2018. – Vol. 11, № 1. DOI: https://doi.org/10.1186/s13068-018-1020-4.

22. Partial purification and characterization of lipase from *Geobacillus stearothermophilus* AH22 / A. P. Ekinci, B. Dinçer, N. Baltaş [et al.] // Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry. – 2016. – Vol. 31, № 2. – P. 325–331. DOI: https://doi.org/10.3109/14756366.2015.1024677.

23. Ramnath, L. Classification of lipolytic enzymes and their biotechnological applications in the pulping industry / L. Ramnath, B. Sithole, R. Govinden // Canadian Journal of Microbiology. – 2017. – Vol. 63, № 3. – P. 179–192. DOI: https://doi.org/10.1139/cjm-2016-0447.

24. Han, J. Y. Transesterification using the cross-linked enzyme aggregate of Photobacterium lipolyticum lipase M37 / J. Y. Han, H. Kim // Journal of Microbiology and Biotechnology. – 2011. – Vol. 21, № 11. – P. 1159–1165. DOI: https://doi.org/10.4014/jmb.1106.06048.

25. Kartal, F. Crosslinked aggregates of *Rhizopus oryzae* lipase as industrial biocatalysts: Preparation, optimization, characterization, and application for enantioselective resolution reactions / F. Kartal, A. Kilinc // Biotechnology Progress. – 2012. – Vol. 28, № 4. – P. 937–945. DOI: https://doi.org/10.1002/btpr.1571.

References

1. Kumari A, Mahapatra P, Garlapati VK, Banerjee R. Enzymatic transesterification of Jatropha oil. Biotechnology for Biofuels. 2009;2. DOI: https://doi.org/10.1186/1754-6834-2-1.

2. Borgolov AV, Gorin KV, Pozhidaev VM, Sergeeva YE, Gotovtsev PM, Vasilov RG. Mathematical modeling of triglyceride transesterification through enzymatic catalysis in a continuous flow bioreactor. Indian Journal of Science and Technology. 2016;9(47). DOI: https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i47/109081.

3. Christopher LP, Zambare VP, Zambare A, Kumar H, Malek L. A thermo-alkaline lipase from a new thermophile *Geobacillus thermodenitrificans* AV-5 with potential application in biodiesel production. Journal of Chemical Technology and Biotechonology. 2015;90(11):2007–2016. DOI: https://doi.org/10.1002/jctb.4678.

4. Sellami M, Ghamgui H, Frikha F, Gargouri Y, Miled N. Enzymatic transesterification of palm stearin and olein blends to produce zero-trans margarine fat. BMC Biotechnology. 2012;12. DOI: https://doi.org/10.1186/1472-6750-12-48.

5. Tian X-G, Du W, Dai L-M, Liu D-H. The development of enzymatic enrichment and separation of ω-3pufas. Gao Xiao Hua Xue Gong Cheng Xue Bao/Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities. 2015;29(6):1285–1292. DOI: https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-9015.2015.06.001.

6. Zorn K, Oroz-Guinea I, Brundiek H, Bornscheuer UT. Engineering and application of enzymes for lipid modification, an update. Progress in Lipid Research. 2016;63:153–164. DOI: https://doi.org/10.1016/j.plipres.2016.06.001.

7. Meunier SM, Kariminia H-R, Legge RL. Immobilized enzyme technology for biodiesel production. In: Singh LK, Chaudhary G, editors. Advances in Biofeedstocks and Biofuels, Volume 2: Production Technologies for Biofuels. John Wiley & Sons; 2016. pp. 67–106. DOI: https://doi.org.10.1002/9781119117551.ch3.

8. Sankaran R, Show PL, Chang J-S. Biodiesel production using immobilized lipase: feasibility and challenges. Biofuels, Bioproducts and Biorefining. 2016;10(6):896–916. DOI: https://doi.org/10.1002/bbb.1719.

9. Cesarini S, Infanzón B, Pastor FIJ, Diaz P. Fast and economic immobilization methods described for non-commercial Pseudomonas lipases. BMC Biotechnology. 2014;14. DOI: https://doi.org/10.1186/1472-6750- 14-27.

10. Kovalenko GA, Chuenko TV, Perminova LV, Rudina NA. Synthesis of nanostructured carbon on Ni catalysts supported on mesoporous silica, preparation of carbon-containing adsorbents, and preparation and study of lipase-active biocatalysts. Kinetics and Catalysis. 2016;57(3):394–403. DOI: https://doi.org/10.1134/S002315841603006X.

11. Modenez IA, Sastre DE, Moares FC, Marques Netto CGC. Influence of dlutaraldehyde cross-linking modes on the recyclability of immobilized lipase B from *Candida antarctica* for transesterification of soy bean oil. Molecules. 2018;23(9). DOI: https://doi.org/10.3390/molecules23092230.

12. de Melo RR, Borin GP, Zanini GK, Neto AAK, Fernandes BS, Contesini FJ. An overview on vegetable oils and biocatalysis. In: Holt B, editor. Vegetable Oil: Properties, Uses and Benefits. Nova Science Publishers; 2016. pp. 1–24.

13. Mahadevan GD, Neelagund SE. Thermostable lipase from *Geobacillus* sp. Iso5: Bioseparation, characterization and native structural studies. Journal of Basic Microbiology. 2014;54(5):386–396. DOI: https://doi.org/10.1002/jobm.201200656.

14. Budžaki S, Miljić G, Tišma M, Sundaram S, Hessel V. Is there a future for enzymatic biodiesel industrial production in microreactors? Applied Energy. 2017;201:124–134. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.062.

15. Zhao X, Qi F, Yuan C, Du W, Liu D. Lipase-catalyzed process for biodiesel production: enzyme immobilization, process simulation and optimization. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015;44:182–197. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.021.

16. Borrelli GM, Trono D. Recombinant lipases and phospholipases and their use as biocatalysts for industrial applications. International Journal of Molecular Sciences. 2015;16(9):20773–20840. DOI: https://doi.org/10.3390/ijms160920774.

17. Kumar A, Dhar K, Kanwar SS, Arora PK. Lipase catalysis in organic solvents: advantages and applications. Biological Procedures Online. 2016;18(1). DOI: https://doi.org/10.1186/s12575-016-0033-2.

18. De Andrade CJ, De Gusmão AECFB, Simiqueli APR, De Lima EA, Zanini GK, Contesini FJ, et al. An overview on the main microbial enzymes in the food industry. In: Cunningham D, editor. Food Industry: Assessment, Trends and Current Issues. Nova Science Publishers; 2016. pp. 1–44.

19. Lee HV, Juan JC, Binti Abdullah NF, Nizah MF R, Taufiq-Yap YH. Heterogeneous base catalysts for edible palm and non-edible Jatropha-based biodiesel production. Chemistry Central Journal. 2014;8(1). DOI: https://doi.org/10.1186/1752-153X-8-30.

20. Ayaz B, Ugur A, Boran R. Purification and characterization of organic solvent-tolerant lipase from *Streptomyces sp.* OC119-7 for biodiesel production. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2015;4(1):103–108. DOI: https://doi.org/10.1016/j.bcab.2014.11.007.

21. Wang M, Chen M, Fang Y, Tan T. Highly efficient conversion of plant oil to bio-aviation fuel and valuable chemicals by combination of enzymatic transesterification, olefin cross-metathesis, and hydrotreating. Biotechnology for Biofuels. 2018;11(1). DOI: https://doi.org/10.1186/s13068-018-1020-4.

22. Ekinci AP, Dinçer B, Baltaş N, Adigüzel A. Partial purification and characterization of lipase from *Geobacillus stearothermophilus* AH22. Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry. 2016;31(2):325–331. DOI: https://doi.org/10.3109/14756366.2015.1024677.

23. Ramnath L, Sithole B, Govinden R. Classification of lipolytic enzymes and their biotechnological applications in the pulping industry. Canadian Journal of Microbiology. 2017;63(3):179–192. DOI: https://doi.org/10.1139/cjm-2016-0447.

24. Han JY, Kim H. Transesterification using the cross-linked enzyme aggregate of Photobacterium lipolyticum lipase M37. Journal of Microbiology and Biotechnology. 2011;21(11):1159–1165. DOI: https://doi.org/10.4014/jmb.1106.06048.

25. Kartal F, Kilinc A. Crosslinked aggregates of *Rhizopus oryzae* lipase as industrial biocatalysts: Preparation, optimization, characterization, and application for enantioselective resolution reactions. Biotechnology Progress. 2012;28(4):937–945. DOI: https://doi.org/10.1002/btpr.1571.

Сведения об авторах

Терещук Любовь Васильевна

д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологии продуктов питания из растительного сырья, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-51, e-mail: terechuk_l@mail.ru

Старовойтова Ксения Викторовна

канд. техн. наук, доцент кафедры технологии продуктов питания из растительного сырья, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-51, e-mail: centol@mail.ru

https://orcid.org/0000-0002-4012-7570

Information about the authors

Ljubov V. Tereshchuk

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Professor of the Department of Technology of Food from Vegetable Raw Materials, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-51, e-mail: terechuk_l@mail.ru

Ksenia V. Starovoytova

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Technology of Food from Vegetable Raw Materials, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-51, e-mail: centol@mail.ru

https://orcid.org/0000-0002-4012-7570