

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ ПЕРЕЭТЕРИФИКАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ В ПОЛУЧЕНИИ ДИЕТИЧЕСКИХ ЖИРОВЫХ ПРОДУКТОВ

Светлана Алексеевна Шеламова
Наталья Митрофановна Дерканосова
Ольга Александровна Василенко
Наталья Александровна Каширина

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Для диетического питания имеет значение, какие жирные кислоты располагаются в краевых положениях триацилглицеролов. Низкомолекулярные жирные кислоты быстрее вовлекаются в обмен, дают меньший энергетический выход. Цель настоящей работы состояла в исследовании ферментативной переэтерификации растительных масел и жирных кислот с низкой молекулярной массой. В качестве продуцента липазы использовали микроскопический гриб *Rhizopus oryzae* 1403 из Всероссийской коллекции микроорганизмов. Фермент был получен осаждением из культуральной жидкости ацетоном в концентрации 70% об. и иммобилизован адсорбцией на неионогенном сорбенте МЭР 100 (ЦГ) – стирсорбе. Для проведения реакции переэтерификации использовали растительные масла и кислоты – октановую и декановую. Определение включения жирных кислот в триацилглицеролы масел проводили методами тонкослойной и газожидкостной хроматографии. При дозировке препарата 10% к массе субстратов и соотношении кислот к подсолнечному маслу 2:1 моль/моль в среде с гексаном к 12 ч количество включенной кислоты C 10:0 составило 54,7%; C 8:0 – 41,5%. Эффективность процесса в среде без растворителя была несколько ниже – соответственно 45,7 и 37,6%. С помощью математических методов планирования проведена оптимизация процесса переэтерификации подсолнечного масла и декановой кислоты в среде без растворителя. В результате 60,6 мол. % декановой кислоты было включено в триацилглицеролы масла. Показано, что кислота располагается в 1-м и 3-м положениях глицеролов. Растительные масла оказались различными по эффективности процесса переэтерификации: для соевого, хлопкового масел получены результаты, близкие к подсолнечному, для касторового и горчичного – ниже соответственно на 26,8 и 37,4%.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: растительные масла, октановая кислота, декановая кислота, липаза, переэтерификация.

ENZYMATIC INTERESTERIFICATION OF VEGETABLE OILS IN THE PRODUCTION OF DIETETIC FAT PRODUCTS

Svetlana A. Shelamova
Natalia M. Derkanosova
Olga A. Vasilenko
Natalia A. Kashirina

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

For dietetic nutrition it is important which fatty acids are located in the marginal positions of triacylglycerols. Low-molecular fatty acids are more quickly involved in the metabolism and give a lower energy yield. The objective of this work was to study the enzymatic interesterification of vegetable oils and fatty acids with low molecular weight. For lipase production the *Rhizopus oryzae* 1403 microscopic fungus from the All-Russian Collection of Microorganisms was used. The enzyme was obtained by precipitation with 70% v/v acetone from the liquid culture medium and immobilized by adsorption on a non-ionogenic sorbent (Styrosorb). In order to perform the reaction of interesterification, vegetable oils and acids (octanoic and decanoic) were used. The inclusion of fatty acids in triacylglycerols of oils was determined by thin-layer and gas-liquid chromatography. If the dosage of the preparation was 10% of the weight of substrates and the ratio of acids to sunflower oil was 2:1 mol/mol in the medium with hexane, then after 12 hours the inclusion of acids amounted to 54.7% for the C10:0 acid and 41.5% for the C8:0 acid. The efficiency of the process in the solvent-free medium was somewhat lower (45.7 and 37.6%, respectively). The methods of mathematical modeling allowed optimizing the process of interesterification of sunflower oil and decanoic acid in the solvent-free medium. As a result, 60.6 mol.% decanoic acid was included in triacylglycerols of the oil. It is shown that the acid is located in the 1st and the 3rd positions of glycerols. Vegetable oils turned out to be different in the efficiency of the process of interesterification: the results for soybean and cotton oils were similar to those of sunflower oil, while for castor and mustard oils they were lower by 26.8 and 37.4%, respectively.

KEY WORDS: vegetable oils, octanoic acid, decanoic acid, lipase, interesterification.

Введение

Жиры играют неоднозначную роль в питании человека. Они представляют собой не только энергетический компонент пищи, но являются источником многих биологически активных веществ [5, 10]. В настоящее время развиваются технологии получения жировых продуктов с разнообразными физико-химическими параметрами, востребованными отраслями пищевой промышленности [1, 11, 16, 17]. Современные технологии смешения, фракционирования, переэтерификации решают проблему снижения количества транс-изомеров жирных кислот в модифицированных жирах [6, 7, 9]. В перспективе ставятся задачи замены химических процессов ферментативными, с использованием липолитических ферментов [2, 4, 8, 19, 21]. Для промышленных масштабов такие ферменты должны быть иммобилизованы, что связано с необходимостью длительной работы, органическими средами, повышенными температурами [12, 13, 15, 23].

Ферментативные преобразования триацилглицеролов (ТАГ) имеют неопределимые преимущества в технологиях получения диетических жировых продуктов [3, 14, 27, 28]. Известно, что переваривание и метаболизм жиров зависит от жирнокислотного состава и распределения жирных кислот в молекуле ТАГ. По определенной схеме, с использованием позиционно специфичных липаз можно получать так называемые симметричные ТАГ, в которых в 1-м и 3-м положениях располагаются одинаковые жирные кислоты [26]. Например, для синтеза 1,3-олеоил-2-пальмитина был предложен двухстадийный процесс с использованием липаз из *Rhizopus delemar* и *Rhizomucor miehei*. На первой стадии трипальмитин был подвергнут переэтерификации с глицерином и таким образом был получен 2-монопальмитин. Его отделяли кристаллизацией и затем этерифицировали олеиновой кислотой [20].

Для диетического питания имеет значение, какие жирные кислоты располагаются в крайних положениях триацилглицеролов. Низкомолекулярные жирные кислоты быстрее вовлекаются в обмен, дают меньший энергетический выход. Возможен синтез таких ТАГ на основе переэтерификации *sn*-2-моноацилглицеролов и этиловых эфиров жирных кислот C8:0 и C10:0. В этой технологии моноацилглицеролы получали из растительного масла или рыбьего жира, а этиловые эфиры жирных кислот изолировали из дистиллированных фракций масла кокосового; катализатором служила *sn*-1,3-специфичная липаза Lipozyme IM-20 [27]. Низкомолекулярные жирные кислоты можно включать в жировые продукты из ТАГ уксусной, пропионовой и масляной кислот; вторым компонентом переэтерификации выступают высокогидрированные растительные масла. В этой технологии также имеет большое значение определенное распределение стеариновой кислоты и низкомолекулярных жирных кислот в ТАГ [24].

Цель настоящей работы состояла в исследовании ферментативной переэтерификации растительных масел путем включения в триацилглицеролы жирных кислот с низкой молекулярной массой.

Методика эксперимента

Путем скрининга микроскопических грибов из Всероссийской коллекции микроорганизмов в качестве продуцента липазы был взят гриб *Rhizopus oryzae* 1403, отличающийся высокой активностью в реакциях гидролиза и синтеза эфирных связей в глицеролах [18]. Для биосинтеза фермента использовали глубинный способ культивирования. Выращивание проводили при температуре 30°C на лабораторной качалке при скорости вращения 1,7–1,8 с⁻¹ в колбах объемом 500 см³, содержащих 100 см³ питательной среды. Инокуляцию среды производили споровой суспензией гриба в количестве (2–3)×10⁶ спор. Фермент был получен осаждением из культуральной жидкости ацетоном в концентрации 70% об. [18].

Липаза была иммобилизована адсорбцией на неионогенном сорбенте МЭР 100 (ЦГ) – стирсорбе. Сорбент был получен в Институте элементоорганических соединений РАН шиванием полистирола в среде циклогексана. Носитель в количестве 10 г смешивали с 100 см³ раствора фермента в 0,05 М фосфатном буфере с рН 6,5. Количество белка в растворе фермента составляло 2,5–3,0 мг в 1 см³. Инкубацию проводили при перемешивании при 150 мин⁻¹ в течение 30 мин при температуре 30°C. Затем носитель отделяли от раствора фермента путем фильтрования под вакуумом и высушивали сублимацией. Содержание белка в иммобилизованном препарате составляло 80 мг/г сухого носителя [18].

Для проведения реакции переэтерификации растительное масло смешивали с жирными кислотами – С8:0 и С10:0 в молярном соотношении 1:2, количество фермента из расчета содержания белка составляло 10% к массе субстратов (до оптимизации). Количество воды в среде без растворителя составляло 2 %. Для проведения реакции в органической среде использовали гексан. Температура проведения реакций – оптимальная для фермента – 30°C.

Определение включения жирных кислот в ТАГ масел осуществляли следующим образом. Разделение продуктов переэтерификации проводили методом тонкослойной хроматографии. Для этого проводили экстракцию липидов диэтиловым эфиром. Для разделения фракций МАГ, ДАГ и ТАГ использовали пластинки с силикагелем 60 (Merck Co. Ltd). В качестве подвижной фазы служила смесь бензол/хлороформ/уксусная кислота (50:20:0,7 по объему). Проявление фракций проводили раствором фосфорномолибденовой кислоты с массовой долей 10% в этаноле. Количество МАГ, ДАГ и ТАГ определяли сканированием на денситометре «Carl Zeiss» (Германия) [18].

Для установления жирнокислотного состава ТАГ соответствующие им полосы счищались с пластинок и далее проводилась экстракция ТАГ гексаном. Жирнокислотный состав ТАГ был определен методом газовой хроматографии на хроматографе SHIMADZU, модель GC-14BPTF. Метилирование жирных кислот проводили 2 М КОН в метаноле с последующим обезвоживанием сульфатом натрия. Для разделения эфиров жирных кислот была применена капиллярная стеклянная колонка СВР-20 длиной 50 м с внешним диаметром 0,25 мм, внутренним – 0,25 мкм. Газ-носитель – гелий. При анализе использовали пламенно-ионизационный детектор. Температура детектора составляла 275°C.

Пространственный анализ распределения жирных кислот в ТАГ проводился методом разложения Гриньяра с аллилбромистым магнием [23]. Затем 1,3-ДАГ были изолированы тонкослойной хроматографией. Количество жирных кислот во 2-м положении в триацилглицеролах ЖК(2) было рассчитано по формуле

$$\text{ЖК}(2) = \text{ЖК}(\text{общее}) - 2/3 \times \text{ЖК}(1,3), \quad (1)$$

где ЖК (общее) и ЖК(1,3) – количество жирных кислот (мол. %) соответственно исходных триацилглицеролов и 1,3-диацилглицеролов.

Опыты проводили в 3–7-кратной повторности.

Статистическую обработку полученных данных проводили с учетом принятого уровня доверительной вероятности 0,95 с использованием программного обеспечения MS Excel.

Для построения графиков использовали данные, обработанные с помощью программ линейной и параболической аппроксимации. При решении задачи оптимизации параметров переэтерификации был использован пакет прикладных программ «Opto».

Результаты и их обсуждение

При исследовании ферментативной переэтерификации подсолнечного масла с низкомолекулярными жирными кислотами, осуществляемой иммобилизованной липазой из *Rhizopus oryzae* 1403, было установлено, что исследуемые кислоты обнаруживаются в ТАГ масла в первые часы реакции (рис. 1).

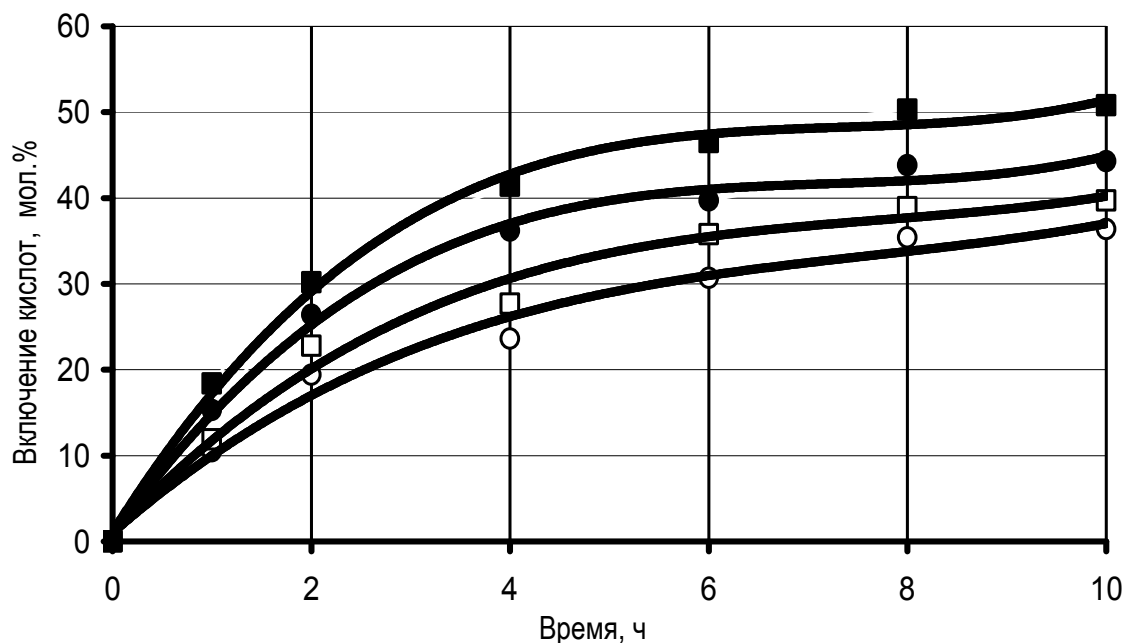


Рис.1. Включение жирных кислот в ТАГ подсолнечного масла:
 □ – декановая кислота; ○ – октановая кислота;
 светлые значки – без растворителя; темные значки – в органической среде

При дозировке препарата 10% к массе субстратов и соотношении кислот к маслу 2:1 моль/моль в среде с гексаном к 12 ч количество включенной кислоты С 10:0 составило 54,7 мол.%; С 8:0 – 41,5 мол.%. Эффективность процесса в среде без растворителя была несколько ниже – соответственно 45,7 и 37,6 мол.%. В промышленности процессам без растворителей отдается предпочтение ввиду упрощения технологии и технического оснащения, меньших экономических затрат, большего выхода продукта.

В связи с этим в настоящей работе проведена оптимизация параметров переэтерификации подсолнечного масла с декановой кислотой в среде без растворителя. Основными факторами, определяющими конечный результат, являются время процесса, расход ферментного препарата – по экономическим соображениям они должны быть рациональными; соотношение субстратов, количество воды в реакционной системе – эти параметры оказывают влияние на активность фермента) [22].

Содержание воды является немаловажным параметром: она необходима для каталитической активности фермента, но повышение ее содержания в рамках малого ее количества в реакциях синтеза эфиров, по данным некоторых авторов [25], приводит к возрастанию побочных продуктов.

Исходные факторы имели следующие обозначения:

- X_1 – дозировка фермента, %;
- X_2 – количество воды в реакционной смеси, %;
- X_3 – соотношение декановой кислоты и масла;
- X_4 – продолжительность процесса, ч.

Эти факторы совместимы и некоррелированы между собой. Пределы изменения факторов приведены в таблице 1.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Таблица 1. Пределы изменения факторов при проведении перезертификации

Условия планирования	Пределы изменения факторов			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Центр эксперимента (C ₀)	7,0	2,5	4	7
Интервал варьирования (Δ)	2,5	0,8	1	2
Верхний уровень (+1)	9,5	3,3	5	9
Нижний уровень (-1)	4,5	1,7	3	5
Верхняя «звездная» точка (+2)	12,0	4,1	6	11
Нижняя «звездная» точка (-2)	2,0	0,9	2	3

Программа исследования была заложена в матрицу планирования эксперимента (табл. 2).

Таблица 2. Матрица планирования и результаты эксперимента

№ п/п	E, %	W, %	C _{10:0} :масло, моль:моль	t, ч	Включение C _{10:0} , моль. %
1	4,5	1,7	3	5	47,5
2	4,5	3,3	3	5	45,1
3	9,5	1,7	3	5	42,1
4	9,5	3,3	3	5	40,1
5	4,5	1,7	3	5	43,2
6	4,5	3,3	3	9	47,5
7	9,5	1,7	3	9	50,5
8	9,5	3,3	3	9	49,7
9	4,5	1,7	5	5	53,5
10	4,5	3,3	5	5	51,8
11	9,5	1,7	5	5	52,1
12	9,5	3,3	5	5	51,9
13	4,5	1,7	5	9	48,8
14	4,5	3,3	5	9	53,2
15	9,5	1,7	5	9	51,4
16	9,5	3,3	5	9	50,7
17	2,0	2,5	4	7	41,6
18	12,0	2,5	4	7	60,8
19	7,5	0,9	4	7	23,4
20	7,0	4,1	4	7	50,1
21	7,0	2,5	4	3	39,4
22	7,0	2,5	4	11	52,5
23	7,0	2,5	2	7	25,3
24	7,0	2,5	6	7	52,3
25	7,0	2,5	4	7	61,0
26	7,0	2,5	4	7	55,0
27	7,0	2,5	4	7	54,5
28	7,0	2,5	4	7	61,5
29	7,0	2,5	4	7	60,8
30	7,0	2,5	4	7	55,2
31	7,0	2,5	4	7	59,9

В результате обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии, описывающее влияние выбранных факторов на включение каприновой кислоты в ТАГ растительного масла:

$$\begin{aligned}
 Y = & 58,31 + 1,529X_1 + 1,015X_2 + 1,779X_3 + 2,021X_4 - 0,544X_1 \cdot X_2 + \\
 & 1,331X_1 \cdot X_3 - 0,044X_1 \cdot X_4 + 0,844X_2 \cdot X_3 + 0,144X_2 \cdot X_4 - 1,356X_3 \cdot X_4 - \\
 & 1,175X_1^2 - 4,163X_2^2 - 2,813X_3^2 - 2,650X_4^2.
 \end{aligned} \quad (2)$$

Проведенный эксперимент показал, что эффективность включения кислоты C 10:0 в ТАГ подсолнечного масла прежде всего определяется длительностью процесса; соотношение субстратов и дозировка ферментного препарата имеют практически равнозначное влияние; количество воды также имеет большое значение.

Далее были исследованы поверхности отклика, полученные по уравнению (2).

Для определения оптимальных параметров проведения переэтерификации был использован метод «ридж-анализа», который базируется на методе неопределенных множителей Лагранжа (λ). Результаты расчетов для λ от -10 до -4 представлены в таблице 3.

Таблица 3. Выбор оптимальных параметров процесса ферментативной переэтерификации

λ	X_1	X_2	X_3	X_4	У
-10	0,084	0,221	0,133	0,318	60,1
-8	0,104	0,317	0,227	0,423	60,5
-6	0,137	0,606	0,424	0,675	60,6
-4	-0,399	-2,898	1,711	1,675	0,026

Решение задачи оптимизации переэтерификации подсолнечного масла с декановой кислотой позволило получить рациональные параметры проведения процесса:

- дозировка фермента – 8,6%;
- количество воды в реакционной среде – 2,3%;
- соотношение кислоты и масла – 6,8 моль/моль;
- продолжительность процесса – 6 ч.

При этих условиях достигается высокий выход: 60,6 мол.% декановой кислоты включается в триацилглицеролы масла, что составляет 91,8% от максимально возможного.

Полученные результаты позволяют считать препарат иммобилизованной липазы из *Rh. oryzae* 1403 конкурентоспособным по сравнению с известными в настоящее время ферментными препаратами: длительность процессов переэтерификации составляет от 8 до 50 ч; при этом полнота обогащения ТАГ масел ниже. Так, при оптимизации с помощью математического планирования ацидолиза капроновой кислоты с рапсовым маслом, осуществляемого препаратом Lipozyme RM IM, было доведено включение кислоты до 55% за 17 ч. Процесс проводился без растворителя при 65°C, отношение кислоты к маслу составило 5:1, нагрузка фермента – 14% [25]. С помощью иммобилизованной липазы из *Rh. delemar* каприловая кислота была включена до 45–50 моль% в ТАГ сафлорового и льняного масел при избытке кислоты к маслу 12,3:1; полная продолжительность процесса составила 50 ч [23]. Для обогащения соевого фосфатидилхолина эйкозапентаеновой кислотой был использован препарат липазы Lipozyme IM-60; количество этой кислоты в фосфолипиде за 20 ч составило 45% [27].

Проведенный нами хроматографический анализ ТАГ подсолнечного масла после переэтерификации показал, что с увеличением включения декановой кислоты в них почти эквивалентно уменьшается количество других жирных кислот (рис. 2).

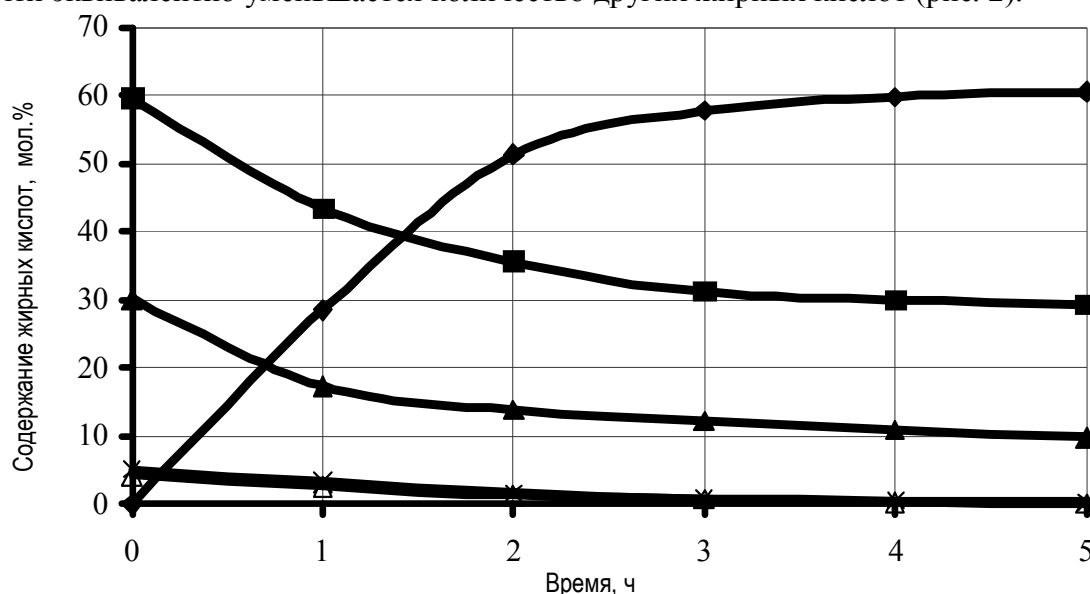


Рис. 2. Изменение жирнокислотного состава подсолнечного масла при переэтерификации с декановой кислотой: \blacklozenge – C10:0; \blacktriangle – C18:1; \blacksquare – C18:2; \times – C16:0; \triangle – C18:0

Для доказательства положения включенной декановой кислоты был исследован жирнокислотный состав ТАГ, подверженных разложению методом Гриньяра. Данные, приведенные в таблице 4, свидетельствуют, что во 2-м положении ТАГ декановой кислоты практически не обнаружено. Такой результат объясняется позиционной специфичностью иммобилизованной липазы из *Rh. oryzae* 1403. Незначительное ее количество во 2-м положении может быть связано со спонтанной миграцией ацильных групп.

Таблица 4. Изменение состава жирных кислот в 1(3)- и 2-положениях триацилглицеролов в подсолнечном масле при переэтерификации

Жирные кислоты	Содержание жирных кислот, мол. %			
	Исходное масло		Масло после переэтерификации	
	1(3)	2	1(3)	2
10:0	-	-	58,30 ± 2,75	0,61 ± 0,03
16:0	5,00 ± 0,20	0,12 ± 0,005	-	0,12 ± 0,005
18:0	3,90 ± 0,19	0,26 ± 0,012	-	0,26 ± 0,012
18:1	17,80 ± 0,78	12,30 ± 0,55	0,35 ± 0,013	12,30 ± 0,55
18:2	37,10 ± 1,72	22,10 ± 0,95	4,50 ± 0,21	22,40 ± 0,95
20:0	0,50 ± 0,18	0,27 ± 0,011	0,50 ± 0,18	0,27 ± 0,011
22:0	0,19 ± 0,009	0,15 ± 0,006	0,19 ± 0,008	0,15 ± 0,006

Исследования переэтерификации различных растительных масел с декановой кислотой показали, что соевое, хлопковое масла были близки по результату к подсолнечному при установленных оптимальных режимах (рис. 3). Для касторового и горчичного масел отмечена меньшая эффективность процесса – соответственно на 26,8 и 37,4 мол.%. Это связано с жирнокислотной специфичностью исследуемой липазы – обмен на рицинолевуую кислоту касторового масла и эруковую – горчичного происходит труднее.

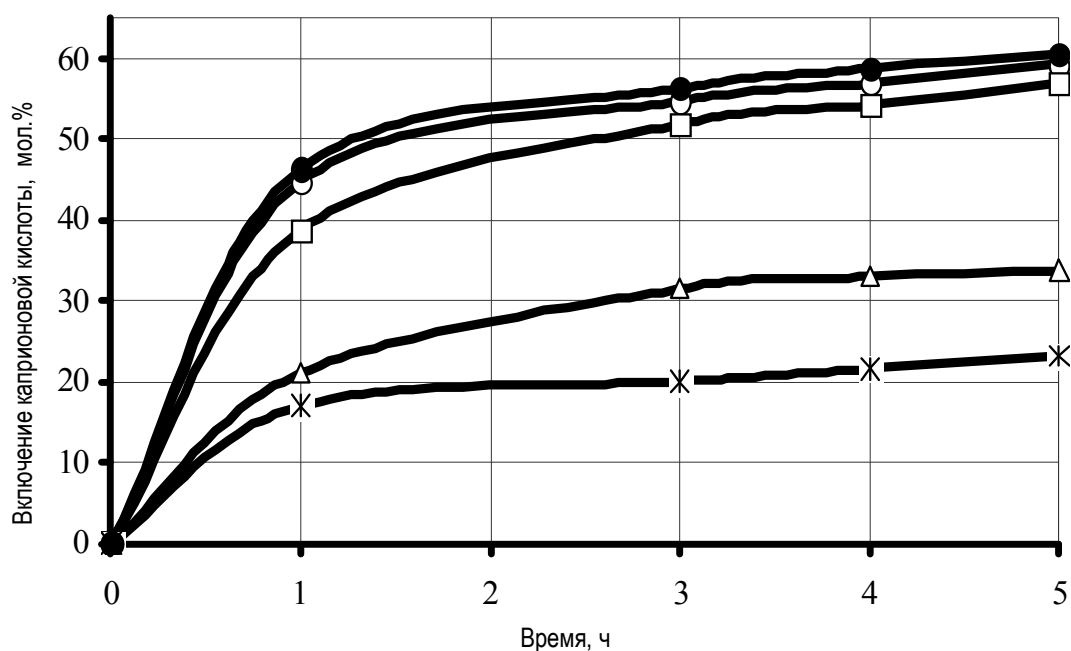


Рис. 3. Переэтерификация растительных масел с декановой кислотой:
 ● – подсолнечное; ○ – соевое; □ – хлопковое; Δ – касторовое; * – горчичное

Заключение

В работе показано, что препарат иммобилизованной липазы из *Rhizopus oryzae* 1403 может быть использован для получения диетических жировых продуктов в процессе переэтерификации растительных масел с октановой и декановой кислотами.

Процесс имеет достаточно высокую эффективность в органической среде и в микроводных условиях. Позиционная специфичность данного фермента обеспечивает необходимое 1,3-положение низкомолекулярных кислот в триацилглицеролах масла.

Библиографический список

1. Алексеенко А.В. Переэтерификация: мифы и реальность / А.В. Алексеенко, А.В. Предыбайло // Пищевая промышленность. – 2013. – № 3. – С. 64–65.
2. Гамаюрова В.С. Жирно-кислотная специфичность липазы из дрожжей *Candida rugosa* при модификации льняного и рапсового масел / В.С. Гамаюрова, К.Л. Шнайдер, М.Е. Зиновьева // Вестник Казанского технол. ун-та. – 2014. – Т. 17, № 24. – С. 175–177.
3. Гамаюрова В.С. Ферментативные методы модификации растительных масел / В.С. Гамаюрова, М.Е. Зиновьева, К.Л. Шнайдер // Вестник Казанского технол. ун-та. – 2012. – № 2. – С. 106–110.
4. Зайцев С.Ю. Перспективные биотехнологические применения липолитических нанопрепаратов / С.Ю. Зайцев, Н.Л. Еремеев // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. – 2015. – № 9. – С. 50–59.
5. Зайцева Л.В. Инновационный подход к повышению качества и безопасности масложировой продукции / Л.В. Зайцева // Масла и жиры. – 2010. – № 1–6. – С. 26–28.
6. Зайцева Л.В. Использование энзимной переэтерификации для модификации масел / Л.В. Зайцева // Масложировая промышленность. – 2011. – № 2. – С. 26–29.
7. Ивашина О.А. Переэтерификация как альтернативный способ модификации жиров, свободных от транс-изомеров / О.А. Ивашина, Л.В. Терещук, К.В. Старовойтова // Техника и технология пищевых производств. – 2005. – Т. 38, № 3. – С. 65–68.
8. Исследование физико-химических свойств биокатализаторов с активностью термостабильной липазы и конечных продуктов переэтерификации триглицеридов / Г.А. Коваленко [и др.] // Биотехнология. – 2013. – № 6. – С. 35–50.
9. Мельников В.В. Кондитерские жиры с низким содержанием транс-изомеров / В.В. Мельников // Кондитер. и хлебопек. пр-во. – 2012. – № 9. – С. 30–31.
10. Нечаев А.П. Продукция масложировой отрасли – важнейший сегмент продовольственного рынка / А.П. Нечаев // Мир мороженого и быстрозамороженных продуктов. – 2010. – № 3. – С. 28–29.
11. Павлова И.В. Проблемы модернизации в области производства специальных жиров / И.В. Павлова, М.Б. Коблицкая // Масла и жиры. – 2011. – № 6. – С. 11–13.
12. Пат. 2539101 Российская Федерация, МПК С12N 11/14, С12P 19/02, В82B 1/00 (2006.01). Биокатализатор, способ его приготовления и способ переэтерификации растительных масел с использованием этого биокатализатора / Коваленко Г.А. [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБУН «Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения РАН». – № 2013121453/10; заявл. 07.05.2013; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1. – 7 с.
13. Применение иммобилизованной рекомбинантной липазы бактерии *Geobacillus stearothermophilus* G3 в реакции переэтерификации подсолнечного и гидрированного соевого масла / Ю.В. Самойлова [и др.] // Катализ в промышленности. – 2016. – № 5. – С. 66–74.
14. Самойлова Ю.В. Перспективы применения ферментативной переэтерификации масел для получения модифицированных жиров / Ю.В. Самойлова, К.Н. Сорокина, В.Н. Пармон // Катализ в промышленности. – 2016. – Т. 16, № 3. – С. 57–63.
15. Сравнение биокатализаторов на основе ковалентно иммобилизованных липаз для ферментативной переэтерификации масложировых смесей / Д.С. Копицын [и др.] // Масложировая промышленность. – 2015. – № 1. – С. 31–35.
16. Султанович Ю.А. Современные тенденции развития технологии специальных жиров и маргаринов / Ю.А. Султанович, В.В. Мельников // Кондитерское и хлебопекарное производство. – 2011. – № 8. – С. 12–13.

17. Техничко-экономический анализ инноваций в производстве пищевых модифицированных жиров / Ю.А. Тырсин, В.В. Сухонос, О.К. Филатов, А.А. Корчемкин. – Москва : Пищепромиздат, 2004. – 80 с.
18. Шеламова С.А. Научно-практические аспекты технологии модификации растительных масел для жировых продуктов с функциональными свойствами : дис. ... д-ра техн. наук : 05.18. 06 / С.А. Шеламова. – Москва, 2012. – 336 с.
19. Adhikari P. Enzymatic and chemical interesterification of rice bran oil, palm olein, and palm stearin and comparative study of their physicochemical properties / P. Adhikari, P. Hu // *J. Food Sci.* – 2012. – Vol. 77, No. 12. – Pp. 1285–1292.
20. Highly selective synthesis of 1,3-oleoyl-2-palmitoylglycerol by lipase catalysis / U. Schmid, U.T. Bomscheuer, M.M. Soumanou et al. // *Biotechnol. Bioeng.* – 1999. – Vol. 64, No. 6. – Pp. 678–684.
21. Ilyasoglu H. Production of human fat milk analogue containing α -linolenic acid by solvent-free enzymatic interesterification / H. Ilyasoglu // *LWT – Food Sci. and Technol.* – 2013. – Vol. 54, No. 1. – Pp. 179–185.
22. Jennings B.H. Lipase-catalyzed modification of rice bran oil to incorporate capric acid / B.H. Jennings, C.C. Akoh // *J. Agric. Food Chem.* – 2000. – V. 48. – Pp. 4439–4443.
23. Production of structured lipids containing essential fatty acids by immobilized *Rhizopus delemar* lipase / Y. Shimada, A. Sugihara, H. Nakano et al. // *J. Amer. Oil Chem. Soc.* – 1996. – Vol. 73, No. 11. – Pp. 1415–1420.
24. Smith R.E. Overview of SALATRIM, a family of low-calorie fats / R.E. Smith, J.W. Finley, G.A. Leveille // *J. Agric. Food Chem.* – 1994. – Vol. 42. – Pp. 432–434.
25. Synthesis of structured triacylglycerols containing caproic acid by lipase-catalyzed acidolysis: optimization by response surface methodology / D. Zhou, X. Xu, X. Mu et al. // *J. Agric. Food Chem.* – 2001. – Vol. 49. – Pp. 5771–5777.
26. Synthesis of structured triglycerides from peanut oil with immobilized lipase / M.M. Soumanou, U.T. Bomscheuer, U. Menge, R.D. Schmid // *J. Am. Oil Chem. Soc.* – 1997. – Vol. 74. – Pp. 427–433.
27. Valenzuela A. Technological challenges to assess *n*-5 polyunsaturated fatty acids from marine oils for nutritional and pharmacological use / A. Valenzuela, S. Nieto, R. Uauy // *Grasas y Aceites.* – 1993. – Vol. 44. – Pp. 39–46.
28. Production tactic and physiochemical properties of low ω -6/ ω -3 ratio structured lipid synthesised from perilla and soybean oil / K. Mitra, J.H. Lee, K.T. Lee, S.A. Kim // *Int. J. Food Sci. and Technol.* – 2010. – Vol. 45, No. 7. – Pp. 1321–1329.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Светлана Алексеевна Шеламова – доктор технических наук, профессор кафедры товароведения и экспертизы товаров ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 253-87-97 (1168), e-mail: shelam@mail.ru.

Наталья Митрофановна Дерканосова – доктор технических наук, профессор, проректор по учебной работе, зав. кафедрой товароведения и экспертизы товаров ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 253-75-11, e-mail: kommerce05@list.ru.

Ольга Александровна Василенко – кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения и экспертизы товаров ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 253-87-97, e-mail: ewa007@yandex.ru.

Наталья Александровна Каширина – кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры товароведения и экспертизы товаров ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 253-87-97, e-mail: nat_kash17@mail.ru.

Дата поступления в редакцию 15.04.2018

Дата принятия к печати 05.05.2018

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Svetlana A. Shelamova – Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Merchandizing and Expert Examination of Goods, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel. 8(473) 253-87-97 (1168), e-mail: shelam@mail.ru.

Natalia M. Derkanosova – Doctor of Engineering Sciences, Pro-rector for Academic Affairs, Professor, Head of the Dept. of Merchandizing and Expert Examination of Goods, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel. 8(473) 253-75-11, e-mail: kommerce05@list.ru.

Olga A. Vasilenko – Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Merchandizing and Expert Examination of Goods, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel. 8(473) 253-87-97 (1168), e-mail: ewa007@yandex.ru.

Natalia A. Kashirina – Candidate of Veterinary Sciences, Docent, the Dept. of Merchandizing and Expert Examination of Goods, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel. 8(473) 253-87-97 (1168), e-mail: nat_kash17@mail.ru.

Received April 15, 2018

Accepted May 05, 2018