

Оригинальная статья / Original article

УДК 66.097.3-039.7

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-3-515-521>



Особенности поведения фермента панкреатической липазы при рециклизации в процессах синтеза бутилбутирата в неводных средах

© В.С. Гамаюрова, Г.А. Давлетшина

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Резюме: Душистые вещества находят сегодня широкое применение при создании различных отдушек для косметических и моющих средств, медицинских препаратов наружного применения, а также в пищевой промышленности. Ферменты, полученные с помощью методов «зеленой химии», особенно ценны ввиду своей экологичности. Поэтому ферментативный синтез сложных эфиров алифатических кислот и спиртов, многие из которых являются душистыми веществами, представляет большой практический интерес. Данный метод имеет существенные преимущества в сравнении с химическим: процесс ведется при низкой температуре, при проведении ферментативных трансформаций практически отсутствуют побочные продукты, вследствие чего не требуется применения специальных методов очистки. Однако стоимость ферментных препаратов достаточно высока, но иммобилизованные ферменты возможно использовать многократно. В настоящей работе была исследована возможность использования неиммобилизованной лиофильно высушенной липазы (*Lipase from porcine pancreas, Type 11*) для многократной этерификации бутилового спирта масляной кислотой. Процесс синтеза проводился в среде гексана. Полнота протекания процесса контролировалась путем титрования водно-спиртовой щелочью остаточной кислоты в реакционной среде. После завершения процесса синтеза эфира ферментный препарат отделялся от реакционной смеси и повторно использовался в реакции с новой порцией субстрата. Показано, что фермент может использоваться в более 10 циклах. Обнаружено, что начиная со второго цикла активность фермента возрастает в зависимости от его концентрации в среде. При этом конверсия масляной кислоты увеличивается на 6–180% и только после 10-го цикла сравнивается с исходной. Необычный эффект повышения ферментативной активности липазы в рециклах можно объяснить явлением автокатализа, а именно, активацией фермента водой, выделившейся в результате этерификации, и особенностями строения активного центра панкреатической липазы.

Ключевые слова: бутилбутират, панкреатическая липаза, конверсия, рециклизация, автокатализ

Информация о статье: Дата поступления 19 мая 2020 г.; дата принятия к печати 31 августа 2020 г.; дата онлайн-размещения 30 сентября 2020 г.

Для цитирования: Гамаюрова В.С., Давлетшина Г.А. Особенности поведения фермента панкреатической липазы при рециклизации в процессах синтеза бутилбутирата в неводных средах. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. Т. 10. N 3. С. 515–521. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-3-515-521>

Behaviour of pancreatic lipase enzyme during recyclization when synthesizing butyl butyrate in non-aqueous media

Valentina S. Gamaurova, Guzel A. Davletshina

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation

Abstract: Aromatic substances are widely applied in the creation of fragrances for cosmetic, detergent and food products, as well as medical preparations for external use. Environmentally friendly enzymes obtained using green chemistry methods are of particular value. Therefore, the enzymatic synthesis of esters of aromatic aliphatic acids and aromatic alcohols is of great practical interest. This approach has significant advantages over chemical methods, since it is carried out at low temperatures without the formation of by-products, thus requiring no special purification techniques. Although the cost of enzyme preparations is ra-

ther high, immobilized enzymes can be used repeatedly and continuously. In the present work, we investigate the possibility of using non-immobilized freeze-dried lipase (Lipase from porcine pancreas, Type 11) for repeated esterification of butyl alcohol with butyric acid. The synthesis was carried out in hexane. The completeness of the process was controlled by titration of the residual acid with aqueous alcoholic alkali in the reaction medium. The resulting enzyme preparation was separated from the reaction mixture and reused with a new portion of the substrate. It is shown that the obtained enzyme can be used for more than 10 cycles. It was found that, starting from the second cycle, the enzyme activity increases depending on its concentration in the medium. In addition, the butyric acid conversion increases by 6–180% reaching the initial level only after the 10th cycle. The unusual effect of increasing the enzymatic activity of lipase in recycles can be explained by both the phenomenon of autocatalysis, i.e. activation of the enzyme by water released as a result of esterification, and structural features of the active site of pancreatic lipase.

Keywords: butyl butyrate, pancreatic lipase, conversion, recycling, autocatalysis

Information about the article: Received May 19, 2020; accepted for publication August 31, 2020; available online September 30, 2020.

For citation: Gamaurova VS, Davletshina GA. Behaviour of pancreatic lipase enzyme during recyclization when synthesizing butyl butyrate in non-aqueous media. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2020;10(3):515–521. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-3-515-521>

ВВЕДЕНИЕ

Сложные эфиры алифатических кислот и спиртов находят широкое применение в качестве ароматизаторов в пищевой промышленности, при производстве синтетических моющих средств, а также в различных композициях они используются в парфюмерии и ароматерапии¹ [1, 2]. Кроме того, они используются в различных отраслях промышленности в качестве растворителей, пластификаторов, смазочных масел, гидравлических жидкостей. В последние годы сложные эфиры высших спиртов стали рассматриваться как перспективные добавки и присадки к дизельному топливу [3, 4]. Основу самого биодизельного топлива составляют сложные эфиры низших спиртов. В связи с этим резко возрос интерес к получению сложных эфиров из различных источников, в том числе и с использованием ферментативного катализа с применением липаз [5–10].

В случае применения ферментативного катализа важным моментом является выявление возможности повторного или даже многократного использования ферментного препарата для реализации синтеза, что, безусловно, позволяет снизить его расход и вклад в себестоимость готовой продукции. Многократное использование ферментов характерно для иммобилизованных препаратов, которые имеют более высокую термическую и механическую устойчивость [11–13]. Так, при ферментативном катализе душистых веществ алифатического ряда с использованием иммобилизованных коммерческих препаратов было показано, что биокатализатор Novozyme

435 сохранял до 80% ферментативной активности при использовании в 9 циклах, а биокатализатор Lipozyme RM-IM – до 5 циклов [14]. Иммобилизованная липаза *Candida antarctica* (CALB) сохраняла до 65% ферментативной активности после 10 циклов синтеза эфиров ацетона и жирных кислот [15]. Рекомбинантная липаза *rPicha/lip*, иммобилизованная на двуокиси кремния, сохраняет высокую активность и стабильность до 40 циклов при этерификации насыщенных жирных кислот (C4-18) со спиртами (C5-16) [16]. Однако неиммобилизованные ферменты имеют меньшую устойчивость, и возможность их использования в рециклах менее вероятна.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве фермента использовался коммерческий препарат Lipase from porcine pancreas (далее – панкреатическая липаза), Type 11, лиофильно высушенный. Активность – 25,0 ед./мг белка при использовании оливкового масла в качестве субстрата. Определение активности липазы проводилось стандартным модифицированным методом Ота и Ямада^{2,3}.

Ферментативный катализ проводился в безводной среде, в качестве растворителя применялся гексан, масляная кислота, бутанол и гексан – х.ч.

Контроль над процессом осуществлялся методом титрования по уменьшению количества кислоты в системе. Титрование проводили 0,1 N спиртовым раствором NaOH (в 80%-м этиловом спирте) при температуре 20 °С, в качестве инди-

¹Братус И.Н. Химия душистых веществ: учебник для учащихся техникумов; 2-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат. 1992. 240 с.

²Грачева И.М. Технология ферментативных препаратов. М.: Агропромиздат, 1987. 335 с.

³Гамаюрова В.С., Зиновьева М.Е. Ферменты. Лабораторный практикум. СПб.: Проспект науки, 2017. 256 с.

котора использовался 1%-й спиртовой раствор фенолфталеина, Контрольный образец не содержал ферментного препарата.

Конверсию кислоты, B , %, рассчитывали по формуле:

$$B = (K - O) / K \cdot 100,$$

где K – количество спиртового раствора NaOH, затраченное на титрование контроля, мл; O – количество спиртового раствора NaOH, затраченное на титрование пробы, мл.

Процесс осуществлялся следующим образом: в колбу помещали субстрат, представляющий собой смесь масляной кислоты и бутанола в мольном соотношении 1:1 (масляная кислота использовалась в виде 0,1 N раствора в гексане), и ферментный препарат панкреатической липазы. Синтез эфиров проводился при 35 °C и варьировании скорости перемешивания.

Все эксперименты проводили в 12-ти повторностях. Результаты обрабатывали с помощью пакета статистических программ Statistica 6.0. Достоверность отличий контрольных и экспериментальных результатов оценивали при помощи t -критерия Стьюдента. Погрешность измерений не превышала 7%.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Липазы представляют большой интерес в практической реализации органического синтеза сложных эфиров. Они позволяют получать достаточно чистые целевые продукты, не загрязненные побочными веществами, ввиду высокой специфичности ферментов. Ферментативный синтез, как правило, проводится при низких температурах, что привлекательно, поскольку процесс малоэнергоемок. Экономическая эффективность таких процессов также связана с возможностью многократного использования иммобилизованных ферментных препаратов. В этой работе была проверена возможность рециклизации (многократного использования) *неиммобилизованного* ферментного препарата – панкреатической липазы, в синтезе бутилбутирата при проведении процесса в среде гексана. В эксперименте реакционная среда через 24 ч отделялась от ферментного препарата, к которому затем приливали новую порцию субстрата. Результаты повторных циклов синтеза с тем же количеством ферментного препарата при внесении свежей порции субстрата в начале каждого цикла приведены на рис. 1.

Как видно из диаграммы, приведенной на рис. 1, при повторном использовании панкреатической липазы конверсия масляной кислоты увеличилась с 72 до 87% и только на 10-й цикл она сравнялась с первоначальной. При повторении эксперимента с тем же количеством субстрата при меньшем количестве ферментного препара-

та в смеси (2,6 мг/мл) получены результаты, представленные на рис. 2. В этом случае конверсия масляной кислоты уже на 2-ой цикл увеличилась в 1,8 раза и до 8-го цикла держалась в 1,5 раза выше по сравнению с первоначальной.

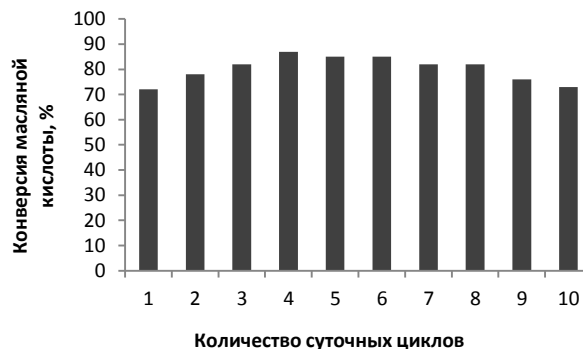


Рис. 1. Ферментативный синтез бутилбутирата панкреатической липазой: концентрация препарата – 5 мг/мл; температура процесса – 35 °C; скорость перемешивания – 70 об./мин

Fig. 1. Enzymatic synthesis of butyl butyrate by pancreatic lipase: drug concentration – 5 mg/ml; process temperature – 35 °C; stirring speed – 70 rpm

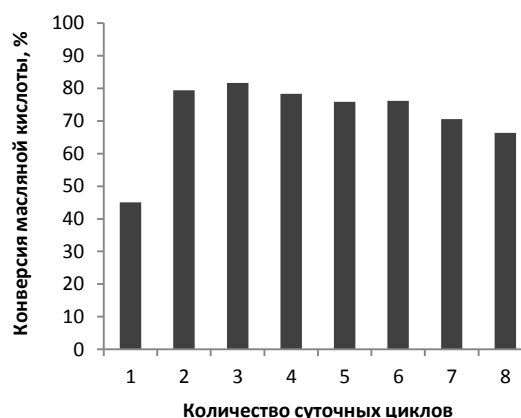


Рис. 2. Ферментативный синтез бутилбутирата панкреатической липазой: концентрация препарата – 2,6 мг/мл; температура процесса – 35 °C; скорость перемешивания – 70 об./мин

Fig. 2. Enzymatic synthesis of butyl butyrate by pancreatic lipase: drug concentration – 2.6 mg/ml; process temperature – 35 °C; stirring speed – 70 rpm

В другой серии опытов синтез бутилбутирата проведен при увеличении содержания фермента в реакционной смеси до 20 мг/мл и мольном соотношении кислота:спирт 1:2, без перемешивания, при температуре процесса 35 °C (рис. 3).

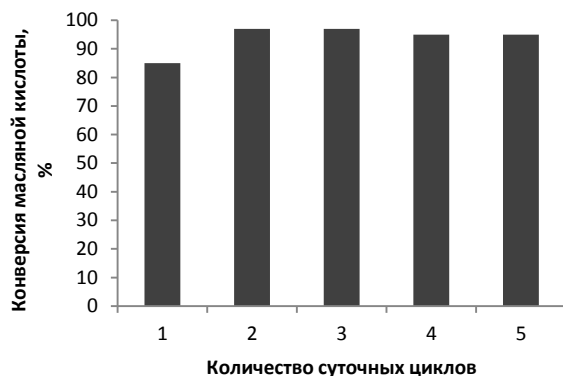


Рис. 3. Ферментативный синтез бутилбутирата панкреатической липазой:
 концентрация препарата 20 мг/мл;
 температура процесса – 35 °С;
 без перемешивания

Fig. 3. Enzymatic synthesis of butyl butyrate by pancreatic lipase:
 drug concentration 20 mg/ml;
 process temperature – 35 °C;
 without stirring

Следует отметить, что уже после первого цикла процесса уровень конверсии масляной кислоты превышал 80%, а последующее четырехкратное помещение отделенного из реакционной массы фермента в свежую порцию субстрата позволило повысить уровень конверсии до 96%.

Проведенные эксперименты показали, что панкреатическую липазу можно многократно использовать для синтеза эфира. Парадоксальность ситуации заключается в том, что при повторных использованиях ферментного препарата конверсия кислоты увеличивалась по сравнению с исходной. Во всех исследованных ситуациях уже на вторые сутки (второй рецикл) конверсия кислоты увеличивалась на 6–15%, а при малой концентрации препарата (2,6 мг/мл) – в 1,8 раза. Только после десятикратного рецикла ферментного препарата конверсия кислоты

начинала приближаться к первоцикличной. Таким образом, обозначены предпосылки уникального процесса – многократного использования неиммобилизованного фермента для синтеза сложных эфиров.

Обнаруженный факт нарастания ферментативной активности в рециклах свидетельствует об активации фермента уже после первых циклов этерификации. Этот факт может служить показателем наличия в системе автокатализа. Это явление может быть объяснено следующим образом. В процессе этерификации выделяется вода, которая может активировать высушенную сублимацией панкреатическую липазу. Формально это может быть названо автокатализом. Это подтверждает, что, несмотря на протекание синтеза в безводной среде, собственно катализ липазой реализуется в активном центре на границе раздела фаз липид (субстрат)/вода, следовательно, присутствие некоторого количества воды необходимо для реализации процесса синтеза. Такое необычное поведение панкреатической липазы также можно объяснить тем, что в трехмерной структуре некоторых липаз присутствует полипептидная цепь липофильного альфа-спирального домена, прикрывающего активный центр фермента, так называемая «крышка», регулирующая доступ молекул к активному центру [11, 17]. Открытие активного центра фермента может произойти под воздействием субстрата или других факторов среды. Косвенным подтверждением этого может служить тот факт, что при сравнении этерифицирующей способности некоторых липаз (панкреатическая липаза, Lipozyme CALB и Lipozyme TL IM) при синтезе бутилбутирата в равных условиях для ферментов (концентрация кислоты 0,1 N, мольное соотношение кислота:спирт = 1:2) нами обнаружено, что панкреатическая липаза, в отличие от других ферментов, показывает индукционный период около одного часа, когда процесс практически не идет (рис. 4) [18].

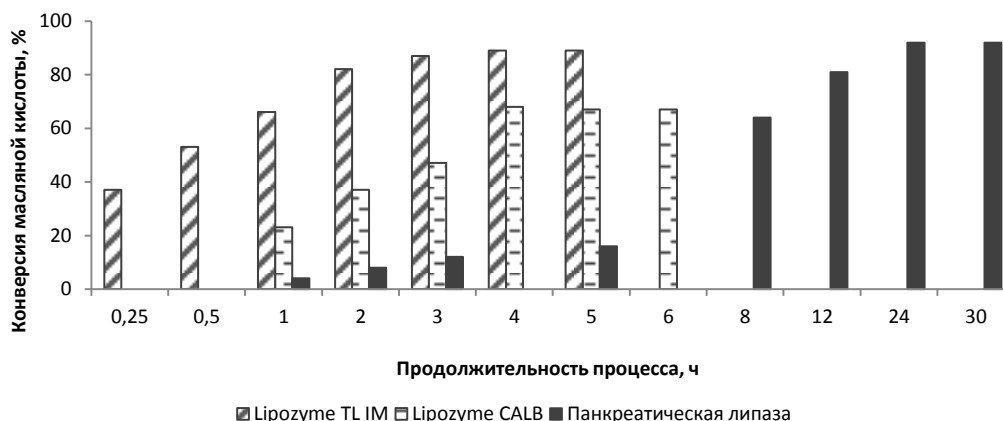


Рис. 4. Ферментативный синтез бутилбутирата различными липазами

Fig. 4. Enzymatic synthesis of butyl butyrate by various lipases

Как видно из представленных на рис. 4 данных, через 24 ч синтеза конверсия кислоты с помощью панкреатической липазы достигает 90% наравне с другими липазами, которые достигают такой конверсии кислоты за 4–5 ч. Имобилизованные липазы, имеющие стабильную и более жесткую структуру, не обнаруживают такого эффекта. Кроме того, нужно учесть, что сравниваемые нами липазы, синтезируемые микроорганизмами, так же, как и панкреатическая липаза, могут иметь множественные молекулярные формы и по свойствам могут быть неидентичны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, сублимированная неиммобилизованная панкреатическая липаза при ката-

лизе реакций этерификации в неводных средах на начальных этапах рециклизации показывает увеличение ферментативной активности. Это указывает на то, что при синтезе в безводной среде для реализации акта катализа необходимо присутствие в активном центре липазы некоторого количества воды, которое при недостатке восполняется выделением воды в процессе этерификации. Формально это можно назвать явлением автокатализа. Кроме того, нужно учесть особенность упаковки активного центра липазы, которая также может повысить активацию липазы за счет постепенного более полного раскрытия «крышки» и тем самым повысить доступность активного центра липазы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Войткевич С.А. 865 душистых веществ для парфюмерии и бытовой химии. М.: Пищевая промышленность, 1994. 594 с.
2. Хейфиц Л.А., Дашунин В.М. Душистые вещества и другие продукты для парфюмерии. М.: Химия, 1994. 226 с.
3. Гамаюрова В.С., Зиновьева М.Е., Шнайдер К.Л., Давлетшина Г.А. Липазы в реакциях этерификации: обзор // Катализ в промышленности. 2020. Т. 20. N 3. С. 216–233. <https://doi.org/10.18412/1816-0387-2020-3-216-233>
4. Кондрашева Н.К., Кондрашев Д.О., Еремеева А.М. Получение и исследование биодизельного топлива на основе кукурузного масла и бутилового спирта // Академический журнал Западной Сибири. 2014. Т. 10. N 2 (51). С. 24.
5. Гарабаджиу А.В., Голынкин В.А., Карсев М.М., Козлов Г.В., Лисицкая Т.Б. Основные аспекты использования липаз для получения биодизеля (обзор) // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2010. N 7 (33). С. 63–67.
6. Росс М.Ю., Стребков Д.С. Биодизельное топливо из водорослей: монография. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. 252 с.
7. Коваленко Г.А., Перминова Л.В., Беклемишев А.Б., Яковлева Е.Ю., Пыхтина М.Б. Биокаталитические гетерогенные процессы переэтерификации растительных масел в биодизель // Катализ в промышленности. 2014. N 6. С. 71–79.
8. Varfolomeev S.D., Krylova L.P., Efremenko E.N. Biofuels // Russian Chemical Reviews. 2010. Vol. 79. Issue 6. P. 544–564. <https://doi.org/10.1070/RC2010v079n06ABEH004138>
9. Firdaus M.Y., Brask J., Nielsen P.M., Guo Z., Fedorov S. Kinetic model of biodiesel production catalyzed by free liquid lipase from *Thermomyces* // Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic. 2016. Vol. 133. P. 55–64. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2016.07.011>
10. Самойлова Ю.В., Сорокина К.Н., Пилигев А.В., Пармон В.Н. Применение бактериальных термостабильных липолитических ферментов в современных биотехнологических процессах // Катализ в промышленности. 2018. Т. 18. N 6. С. 61–73. <https://doi.org/10.18412/1816-0387-2018-6-61-73>
11. Тырсин Ю.А., Шеламова С.А. Механизмы гидролиза, синтеза и переэтерификации в пищевой биотехнологии: монография. Воронеж: Научная книга, 2012. 212 с.
12. Matte C.R., Bordinho C., Poppe J.K., Rodrigues R.C., Hertz P.F., Ayub A.Z. Synthesis of butyl butyrate in batch and continuous enzymatic reactors using *Thermomyces lanuginosus* lipase immobilized in Immobead 150 // Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic. 2016. Vol. 127. P. 67–75. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2016.02.016>
13. Gubicza L., Kabriri-Badr A., Keoves E., Belafi-Bako K. Large-scale enzymatic production of natural flavor esters in organic solvent with continuous water removal // Journal of Biotechnology. 2001. Vol. 84. P. 193–196. [https://doi.org/10.1016/S0168-1656\(00\)00352-7](https://doi.org/10.1016/S0168-1656(00)00352-7)
14. Martins A.B., da Silva A.M., Schein M.F., Garcia-Galan C., Záchia Ayub M.A., Fernandez-Lafuente R., et al. Comparison of the performance of commercial immobilized lipases in the synthesis of different flavor esters // Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic. 2014. Vol. 105. P. 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2014.03.021>
15. Xiao Z., Hou X., Lyu X., Zhao J.-Y., Xi L., Li J., et al. Enzymatic synthesis of aroma acetoin fatty acid esters by immobilized *Candida antarctica* lipase B. // Biotechnology Letters. 2015. Vol. 37. Issue 8. P. 1671–1677. <https://doi.org/10.1007/s10529-015-1834-0>
16. Коваленко Г.А., Перминова Л.В., Беклемишев А.Б., Мамаев А.Л. Биокаталитические гетерогенные процессы этерификации насыщенных жирных кислот с алифатическими спиртами // Катализ в промышленности. 2017. Т. 17. N 5. С. 399–406. <https://doi.org/10.18412/1816-0387-2017-399-406>

5-399-406

17. Bezborodov A.M., Zagustina N.A. Lipases in catalytic reactions of organic chemistry // *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2014. Vol. 50. Issue 4. P. 313–337. <https://doi.org/10.1134/S0003683814040024>

18. Gamayurova V.S., Jamai M.J., Zaripova S.K., Shnaider K.L., Bildanova N.I., Chernykh M.N. Comparison of esterifying ability of some lipases // *Journal of Advanced Chemical Sciences*. 2018. Vol. 4. Issue 11. P. 531–533. <https://doi.org/10.30799/jacs.179.18040102>

REFERENCES

1. Voitkevich SA. *865 fragrances for perfumery and household chemicals*. Moscow: Pishchevaya promyshlennost'; 1994. 594 p. (In Russian)

2. Heifits LA, Dashunin VM. *Fragrances and other products for perfumery*. Moscow: Khimiya; 1994. 226 p. (In Russian)

3. Gamayurova VS, Zinovieva ME, Shnaider KL, Davletshina GA. Lipases in esterification reactions: a review. *Kataliz v promyshlennosti = Catalysis in Industry*. 2020;20(3):216–233. (In Russian) <https://doi.org/10.18412/1816-0387-2020-3-216-233>

4. Kondrasheva NK, Kondrashev DO, Ereemeeva AM. Production and research of biodiesel fuel based on corn oil and butyl alcohol. *Akademicheskii zhurnal Zapadnoi Sibiri = Academic Journal of West Siberia*. 2014;10(2):24. (In Russian)

5. Garabadzhiu AV, Golyntkin VA, Karasev MM, Kozlov GV, Lisitskaya TB. The main aspects of the use of lipases for biodiesel production (review). *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta) = Bulletin of St. Petersburg Institute of Technology (Technical University)*. 2010;7:63–67. (In Russian)

6. Ross MYu, Strebkov DS. *Biodiesel from algae*. Moscow: Russian Scientific Research Institute of Electrification of Agriculture; 2008. 252 p. (In Russian)

7. Kovalenko GA, Perminova LV, Beklemishev AB, Yakovleva EYu, Pykhtina M B. Biocatalytic heterogeneous processes of interesterification of vegetable oils into biodiesel. *Kataliz v promyshlennosti = Catalysis in Industry*. 2014;6:71–79. (In Russian)

8. Varfolomeev SD, Krylova LP, Efremenko EN. Biofuels. *Russian Chemical Reviews*. 2010;79(6): 544–564. <https://doi.org/10.1070/RC2010v079n06ABEH004138>

9. Firdaus MY, Brask J, Nielsen PM, Guo Z, Fedorov S. Kinetic model of biodiesel production catalyzed by free liquid lipase from *Thermomyces*. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*. 2016;133:55–64. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2016.07.011>

10. Samoilova YuV, Sorokina KN, Piligaev AV, Parmon VN. Application of thermostable lipolytic bacterial enzymes for modern biotechnological processes: review. *Kataliz v promyshlennosti = Catalysis in Industry*. 2018;18(6):61–73. <https://doi.org/10.18412/1816-0387-2018-6-61-73>

18412/1816-0387-2018-6-61-73 (In Russian)

11. Tyrsin YuA, Shelamova SA. *Mechanisms of hydrolysis, synthesis and transesterification in food biotechnology*. Voronezh: Nauchnaya kniga; 2012. 212 p. (In Russian)

12. Matte CR, Bordinhao C, Poppe JK, Rodrigues RC, Hertz PF, Ayub AZ. Synthesis of butyl butyrate in batch and continuous enzymatic reactors using *Thermomyces lanuginosus* lipase immobilized in Immobead 150. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*. 2016;127:67–75. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2016.02.016>

13. Gubicza L, Kabriri-Badr A, Keoves E, Belafi-Bako K. Large-scale enzymatic production of natural flavor esters in organic solvent with continuous water removal. *Journal of Biotechnology*. 2001;84: 193–196. [https://doi.org/10.1016/s01681656\(00\)00352-7](https://doi.org/10.1016/s01681656(00)00352-7)

14. Martins AB, da Silva AM, Schein MF, Garcia-Galan C, Záchia Ayub MA, Fernandez-Lafuente R, et al. Comparison of the performance of commercial immobilized lipases in the synthesis of different flavor esters. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*. 2014;105:18–25. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2014.03.021>

15. Xiao Z, Hou X, Lyu X, Zhao J-Y, Xi L, Li J, et al. Enzymatic synthesis of aroma acetoin fatty acid esters by immobilized *Candida antarctica* lipase B. *Biotechnology Letters*. 2015;37(8):1671–1677. <https://doi.org/10.1007/s10529-015-1834-0>

16. Kovalenko GA, Perminova LV, Beklemishev AB, Mamamev AL, Patrushev YuV. Heterogeneous biocatalytic processes of esterification of saturated fatty acids with aliphatic alcohols. *Kataliz v promyshlennosti = Catalysis in Industry*. 2017;17(5):399–406. (In Russian) <https://doi.org/10.18412/1816-0387-2017-5-399-406>

17. Bezborodov AM, Zagustina NA. Lipases in catalytic reactions of organic chemistry. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2014;50(4):313–337. <https://doi.org/10.1134/S0003683814040024>

18. Gamayurova VS, Jamai MJ, Zaripova SK, Shnaider KL, Bildanova NI, Chernykh MN. Comparison of esterifying ability of some lipases. *Journal of Advanced Chemical Sciences*. 2018;4(11):531–533. <https://doi.org/10.30799/jacs.179.18040102>

Краткие авторства

Гамаюрова В.С., Давлетшина Г.А. выполнили экспериментальную работу. Авторы совместно

Contribution

Valentina S. Gamaurova, Guzel A. Davletshina carried out the experimental work. The authors on

обобщили результаты, написали рукопись, имеют на статью равные авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. All authors have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Гамаюрова Валентина Семеновна,
д.х.н., профессор кафедры пищевой биотехнологии,
Казанский национальный исследовательский технологический университет,
420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68,
Российская Федерация,
✉ e-mail: gamaur@kstu.ru

Давлетшина Гузель Адгамовна,
к.х.н., доцент кафедры пищевой биотехнологии,
Казанский национальный исследовательский технологический университет,
420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68,
Российская Федерация,
e-mail: guzeladgamovna@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Valentina S. Gamaurova,
Dr. Sci. (Chemistry), Professor,
Department of Food Biotechnology,
Kazan National Research Technological University,
68, K. Marx St., Kazan, 420015,
Russian Federation,
✉ e-mail: gamaur@kstu.ru

Guzel A. Davletshina,
Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor,
Department of Food Biotechnology,
Kazan National Research Technological University,
68, K. Marx St., Kazan, 420015,
Russian Federation,
e-mail: guzeladgamovna@gmail.com