

Научная статья

УДК 606.604.2

DOI: 10.17586/2310-1164-2023-16-1-29-36

Изменение липазной активности *Acinetobacter radioresistens* при культивировании на пшеничных отрубях

Н.Ю. Шарова*, А.В. Гаричева, О.П. Сverdlova, А.А. Принцева, П.Н. Сорокоумов, К.Е. Кулишова, В.В. Дзюбенко

ВНИИ пищевых добавок – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН
Россия, Санкт-Петербург, *natalya_sharova1@mail.ru

Аннотация. Исследовали липазную активность бактериальной культуры *Acinetobacter radioresistens*, входящей в состав микробиоты пшеничных отрубей – вторичного сырья производства по переработке пшеницы. Вторичное сырье пищевых и сельскохозяйственных производств представляет научный и практический интерес в качестве источников микроорганизмов – продуцентов гидролитических ферментов. Изучали влияние состава пшеничных отрубей пищевого и кормового назначения на липазную активность изолята *A. radioresistens*. Исследуемая бактериальная культура выделена сотрудниками ВНИИ пищевых добавок из партии диетических пшеничных отрубей. В результате ферментации отрубей глубинным способом в качалочных колбах в условиях шейкера-инкубатора Multitron изолята *A. radioresistens* установлено, что кормовые отруби более предпочтительны в качестве источника углеводных, белковых и липидных субстратов для жизнедеятельности бактериальной культуры и проявления липазной активности. Количество биомассы составило 17 ± 2 г/л, достигнутый уровень липазой активности – 45 ± 2 ед/мл. Установлена закономерность влияния длительности ферментации на изменение липазной активности и показано, что субстраты из кормовых отрубей в большей мере индуцируют синтез ферментов липолитического действия. Продуктивный биосинтез липазы с активностью в пределах 10–47 ед/мл в зависимости от времени культивирования изолята *A. radioresistens* на пшеничных отрубях как пищевого, так и кормового назначения возможен, причем при одностадийной (стерилизация гидромодуля пшеничных отрубей) подготовке сырья к биотехнологическому процессу. Достигнутые значения липазной активности находятся на уровне некоторых известных ферментных препаратов кормового назначения. При изучении жирнокислотного состава полученной культуральной жидкости методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием идентифицированы жирные кислоты с длиной алкильной цепи от C₁₂ до C₂₂ атомов углерода, в том числе кислоты омега-9, омега-6 и омега-3. Полученные результаты могут быть использованы для разработки технологий новых ингредиентов пищевого и кормового назначения, биологически активных добавок.

Ключевые слова: вторичное сырье пищевых производств; пшеничные отруби; изолят *Acinetobacter radioresistens*; гидролитическая активность; липаза; жирные кислоты

Финансирование: Исследования проведены по теме FGUS-2022-0003 в рамках государственного задания № 075-01190-22-00 ВНИИ пищевых добавок – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

Original article

Changes in lipase activity of *Acinetobacter radioresistens* during cultivation on wheat bran

Natalia Yu. Sharova*, Alyona V. Garicheva, Olga P. Sverdlova, Anastasia A. Printseva, Pavel N. Sorokoumov,
Ksenia E. Kulishova, Victoria V. DzyubenkoAll-Russia Research Institute for Food Additives – Branch of V.M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of RAS
St. Petersburg, Russia, *natalya_sharova1@mail.ru

Abstract. The aim of the work was to study the lipase activity of the bacterial culture *Acinetobacter radioresistens*, a part of the microbiota of wheat bran which is secondary raw materials of wheat processing. Secondary raw materials of food and agricultural production are of scientific and practical interest as sources of microorganisms – producers of hydrolytic enzymes. In this work, the effect of the composition of wheat bran for food and feed purposes on the lipase activity of the *A. radioresistens* isolate was studied. The studied bacterial culture was isolated by VNIIPD employees from a batch of dietary wheat bran. As a result of deep fermentation of bran in rocking flasks under conditions of a Multitron shaker incubator with *A. radioresistens* isolate, it was found that feed bran is more preferable as a source of carbohydrate, protein, and lipid substrates for the vital activity of bacterial culture and the manifestation of lipase activity. The amount of biomass was 17 ± 2 g/l, the achieved level of lipase activity was 45 ± 2 units/ml. The regularity of the effect of fermentation duration on the change in lipase activity has been established and it has been shown that substrates from feed bran induce the synthesis of lipolytic enzymes to a greater extent. Productive biosynthesis of lipase with an activity in the range of 10–47 units/ml, depending on the time of cultivation of *A. radioresistens* isolate on wheat bran for both food and feed purposes, is possible,

moreover, with one-stage (sterilization of wheat bran hydromodule) preparation of raw materials for the biotechnological process. The achieved values of lipase activity are at the level of some well-known enzyme preparations for feed purposes. When studying the fatty acid composition of the obtained culture liquid by gas chromatography with mass spectrometric detection, fatty acids with an alkyl chain length from C12 to C22 carbon atoms, including Omega-9, Omega-6, and Omega-3 acids, were identified. The results obtained can be used to develop technologies for new food and feed ingredients, biologically active additives.

Keywords: secondary raw materials of food production; wheat bran; *Acinetobacter radioresistens* isolate; hydrolytic activity; lipase; fatty acids

Financial Support: The research was conducted on the topic FGUS-2022-0003 within the framework of the state task no. 075-01190-22-00 of the All-Russia Research Institute for Food Additives – Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS

Введение

Пшеничные отруби в результате накопления экспериментальных данных по их химическому составу, физико-химическим и функциональным свойствам содержащихся в них веществ нашли применение в качестве компонентов кормовых добавок и ингредиентов в рецептурах пищевых изделий [1–3]. Являясь продуктом переработки зерновой культуры, пшеничные отруби известны как субстраты питательных сред для культивирования микроорганизмов различных таксономических групп [4–6]. При поверхностном культивировании пшеничные отруби составляют основу питательной среды и своеобразную «подложку» для роста и развития продуцентов [7–9]. При глубинном способе ферментации нативные пшеничные отруби трудно усваиваются микроорганизмами-продуцентами, что вызывает необходимость предварительной деструкции их полимерных структурных единиц, например путем механического измельчения, гидроудара, виброинерционной дезинтеграции с последующей обработкой ферментами или биодеструкторами – микробными препаратами [10–12]. Однако при изучении микробиоты пшеничных отрубей отмечено, что в ее составе встречаются почвенные микроорганизмы, которые «мигрируют» по структурным составляющим растения и попадают в продукты переработки зерна, например *Acinetobacter radioresistens*. Это – грамотрицательная строго аэробная неферментирующая каталазоположительная бактерия, прототроф семейства *Moraxellaceae* [13]. Она обладает высокой липазной активностью, что обуславливает ее использование в составе биопрепаратов по очистке почвы от нефти и нефтепродуктов, синтезирует полиуретаназу, расщепляющую полиуретан, и фенолгидроксилазу, благодаря которой в качестве единственного источника углерода и энергии бактерия *A. radioresistens* может использовать фенол [14]. Из перечисленных ферментов в пищевой отрасли очень востребована липаза, производство которой в России ограничено, а потребность в ее препаратах увеличивается, в частности для улучшения пластичности масла, получения аналогов масла какао, повышения пищевой ценности триглицеридов, получения сыров [15–17].

Проведенные ранее во ВНИИ пищевых добавок (ВНИИПД) исследования микробиоты диетических пшеничных отрубей пищевого назначения и идентификация ее представителей методом секвенирования по Сенглеру по гену 16S показали, что бактерия *A. radioresistens* сохраняет жизнедеятельность в различных условиях ферментации нативных (без инактивации аборигенной микробиоты) пшеничных отрубей, что свидетельствует о ее доминирующей роли в бактериальном консорциуме и, возможно, способностью продуктивно синтезировать липазу [18].

Цель настоящей работы – исследовать липазную активность изолята *A. radioresistens* из диетических пшеничных отрубей при культивировании на пшеничных отрубях пищевого и кормового назначения.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования являлся штамм *Acinetobacter radioresistens*, выделенный сотрудниками ВНИИПД (О.П. Свердлова, А.О. Причепя, Н.Ю. Шарова) из пшеничных отрубей, и пшеничные отруби кормового и пищевого назначения (Россия, АО «Петербургский мельничный комбинат») с влажностью от 8–10%.

Культивирование штамма *A. radioresistens* на пшеничных отрубях (гидромодуль 1:6, режим стерилизации: 121°C, в течение 30 мин; охлаждение до 28 ± 1°C) проводили глубинным способом

в шейкере-инкубаторе Multitron (INFORS, Швейцария) в качалочных колбах, вместимостью 750 см³, при температуре 28 ± 1°С и перемешивании со скоростью вращения платформы 240 об./мин, в течение 6 суток. По окончании ферментации растительно-микробную биомассу, состоящую из ферментированных пшеничных отрубей и клеток *A. radioresistens*, отделяли методом центрифугирования на морозильной лабораторной центрифуге MPW-351P (MPWMed. Instruments, Польша) при скорости вращения ротора 8000 об/мин в течение 20 мин.

В супернатанте определяли липазную активность титриметрическим методом [19], содержание биомассы с влажностью 10 ± 1% — высушиванием при температуре 105 ± 1°С в сушильном шкафу Memmert UF110plus (Германия) с принудительной конвекцией.

Определение жирнокислотного состава культуральной жидкости проводили методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием на газовом хроматографе Varian 450-GC с масс-спектрометрическим детектором Varian 240-MS (Varian, США), использовали колонку капиллярную Varian WCOT fused silica 50M X 0.25MM ID Coating CP-WAX 58 (FFAP)-CB DF = 0.2 (Varian, США), нагреватель ДНК Технология «Термит», гелий марки 6.0, серную кислоту (ХЧ), метанол (ОСЧ), хлороформ (ОСЧ), воду деионизованную, стандарты метиловых эфиров жирных кислот. Условия анализа: скорость потока газа носителя 1 см³/мин, температура инжектора 250°С, сплит 1:15, начало регистрации хроматограммы с девятой минуты. Температурная программа — в таблице 1.

Пробоподготовка: полученные образцы в пробирках Эппендорф были упарены досуха, затем к ним добавляли 600 мкл 15%-го раствора серной кислоты в метаноле и 600 мкл хлороформа. Эппендорф тщательно герметизировали парафильмом и помещали в нагреватель на 1 ч при температуре 65°С. Далее пробу остужали до температуры 22 ± 1°С и добавили 200 мкл деионизованной воды, тщательно перемешивали. Органический слой отбирали для анализа и непосредственно вводили в хроматограф в количестве 1 мкл с помощью автосэмплера CPAL и хроматографического шприца Hamilton (10 мкл).

Таблица 1. Температурная программа анализа
Table 1. The program of temperature analysis

Температура, °С	Скорость нагрева, °С/мин	Время при заданной температуре, мин	Общее время, мин
50	–	4	4,00
190	6	15	42,33
250	4	10	67,33

Математическую обработку экспериментальных данных проводили в программах Microsoft Excel 2013 и Statistica 4. Все измерения проводили в трех повторностях.

Результаты и их обсуждение

Согласно литературным источникам, химический состав пшеничных отрубей как кормовых, так и пищевого назначения характеризуется высоким содержанием углеводов и протеина, и в меньшей степени жира (таблица 2).

Таблица 2. Химический состав пшеничных отрубей [20]
Table 2. Chemical composition of wheat bran [20]

Наименование сырья	Массовая доля, %							
	абсолютно сухое вещество	зола	сырой протеин	клетчатка	сырой жир	безазотистые экстрактивные вещества	сахара	крахмал
диетические отруби пищевого назначения	84–85	5–6	15–16	8–9	4–7	54–55	64–66	16–17
кормовые отруби	85–86	4–5	10–13	8–12	3–5	53–54	65–67	31–45

Сочетание веществ различной химической природы предполагает возможность использования пшеничных отрубей в качестве источника субстратов для жизнедеятельности микроорганизмов. В результате стерилизации пшеничных отрубей в водной среде доступность субстратов для микроорганизма увеличивается, и в фазе активного роста биомассы при культивировании продуцентов формируется ферментная система, включая биосинтез индуцибельных ферментов. Ферменты синтезируются для перевода трудногидролизуемых биополимеров в доступные формы. Как показали результаты исследований, по сравнению с ферментацией диетических отрубей, при использовании кормовых отрубей накопление биомассы исследуемого бактериального изолята *A. radioresistens* более продуктивное (количество на порядок выше), и ко вторым суткам биотехнологического процесса наблюдалось двукратное увеличение его липазной активности (рисунок 1 и 2). По-видимому, в кормовых отрубях содержится больше ростовых факторов и специфических субстратов для протекания взаимосвязанных биохимических процессов метаболизма углеводов, белков и жиров. На 3–4 сутки культивирования в стационарной фазе роста *A. radioresistens* как для кормовых, так и для диетических отрубей липазная активность находилась практически на одном уровне. Снижение липазной активности при культивировании на кормовых отрубях после двух суток процесса, возможно, обусловлено действием протеаз, синтезируемых изолятом *A. radioresistens* и гидролизующих белковые цепи фермента с частичной потерей функций активного центра его молекулы.

Увеличение липазной активности к шестым суткам ферментации, по-видимому, связано с лизисом клеток *A. radioresistens* и изменением жирнокислотного состава культуральной среды. При изучении жирно-кислотного состава культуральной жидкости, полученной в результате культивирования на пшеничных отрубях, наибольшее суммарное содержание жирных кислот зафиксировано на первые сутки ферментации. С увеличением времени биотехнологического процесса их содержание уменьшалось до трех суток, а к шестым суткам в основном увеличивалось, возможно, в результате лизиса клеток в стадии отмирания (таблица 3).

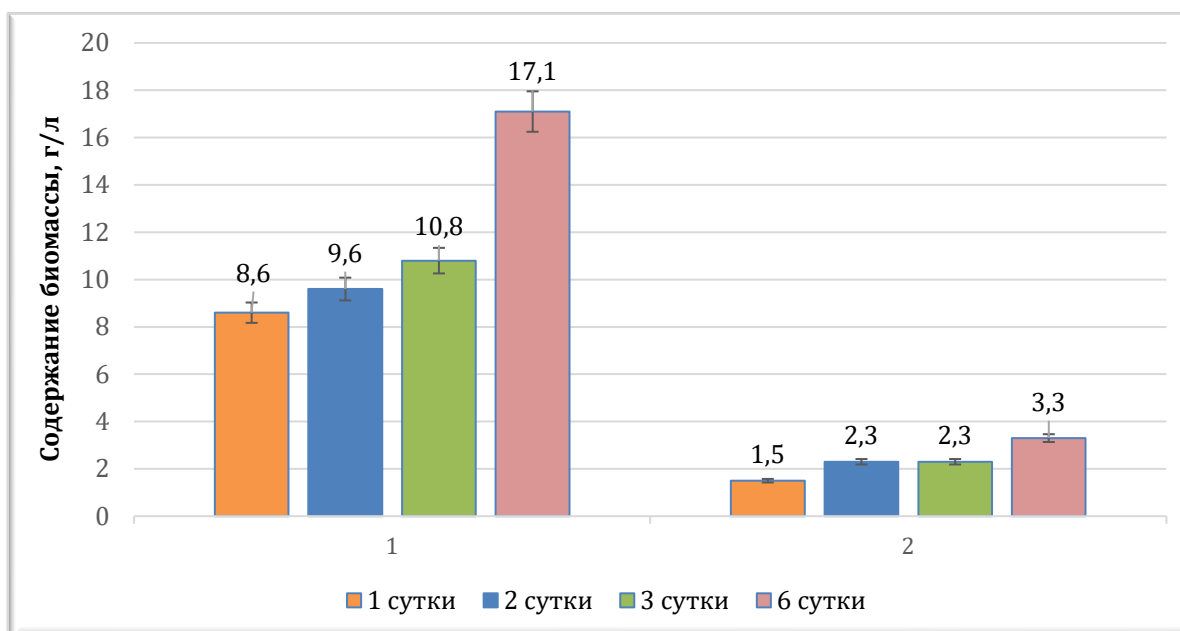


Рисунок 1. Зависимость содержания биомассы в культуральной жидкости от времени ферментации кормовых (1) и диетических (2) пшеничных отрубей
Figure 1. Dependence of the biomass content in the culture fluid on the fermentation time of feed (1) and dietary (2) wheat bran

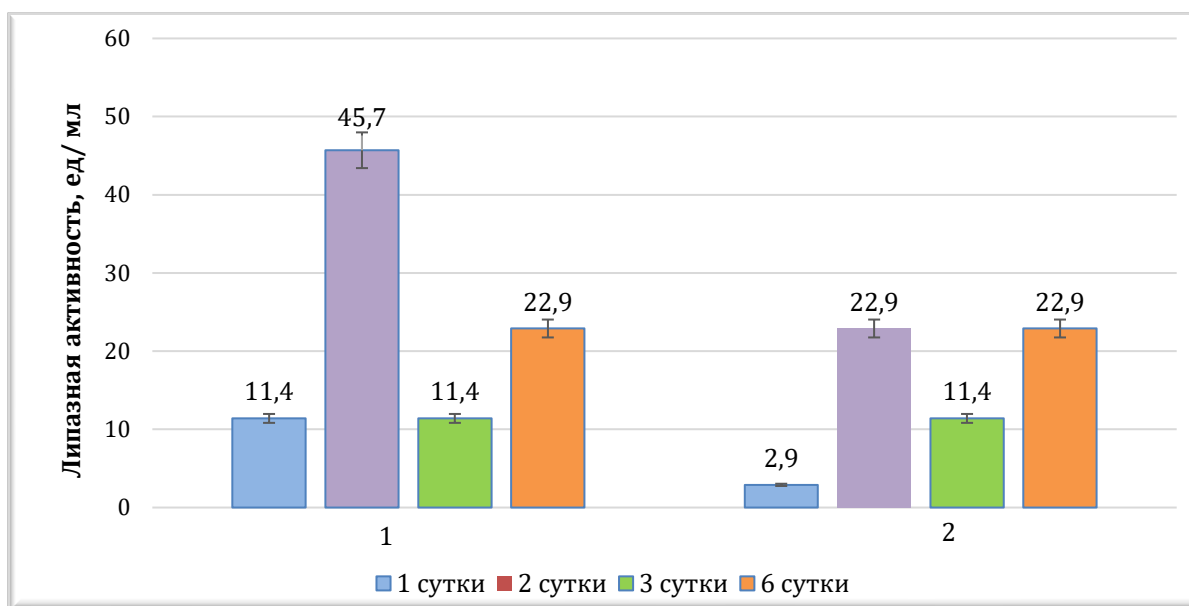


Рисунок 2. Зависимость липазной активности *A. radioresistens* в культуральной жидкости от времени ферментации кормовых (1) и диетических (2) пшеничных отрубей

Figure 2. Dependence of the lipase activity of *A. radioresistens* in the culture fluid on the fermentation time of feed (1) and dietary (2) wheat bran

Идентифицированы жирные кислоты с длиной алкильной цепи от C₁₂ до C₂₂ атомов углерода (таблица 3). Отмечены отличия и в усвоении липидосодержащих соединений и таких их производных, как длинноцепочечные жирные кислоты: пальмитиновая (C_{16:0}), стеариновая (C_{18:0}), элаидиновая (C_{18:1ω9t}), линолеаидовая (C_{18:1ω9, t}), линоленовая (C_{18:3ω3}). Согласно полученным данным, к третьим суткам ферментации пшеничных отрубей (и кормовых, и диетических) изолятом *A. radioresistens* увеличивается содержание пальмитиновой кислоты, являющейся первым самостоятельным продуктом биосинтеза жирных кислот. Далее, по-видимому, происходит ее включение в последующие реакции биосинтеза стеариновой, олеиновой, эйкозатриеновой, арахидоновой жирных кислот с удлинением цепи с C₆ до C₁₈ при участии синтазы. Стеариновая кислота – это насыщенная жирная кислота с 18-углеродной цепью, которая образуется из углеводов с помощью механизма синтеза жирных кислот. Линолеаидиновая кислота – это омега-6 трансжирная кислота и геометрический изомер линолевой кислоты (ω6), который содержится в частично гидрогенизированных растительных маслах. Содержание неконъюгированных жирных кислот, таких как элаидиновая (ω9) и линолеаидовая, увеличивается. Существенным моментом является снижение эруковой кислоты, которая является антипитательным фактором для сельскохозяйственных животных, причем в большей мере при ферментации кормовых отрубей.

Таблица 3. Жирно-кислотный состав ферментированных пшеничных отрубей

Table 3. Fatty acid composition of fermented wheat bran

Наименование жирной кислоты	Содержание жирной кислоты, %							
	диетические отруби				кормовые отруби			
	Время ферментации, сутки							
	1	2	3	6	1	2	3	6
пальмитиновая (C _{16:0})	8,8	9,1	12,2	10,3	10,0	10,7	17,2	10,2
стеариновая (C _{18:0})	6,4	7,7	2,5	4,8	7,6	9,7	3,3	5,9
элаидиновая (C _{18:1ω9t})	7,9	8,3	10,1	14,7	19,9	19,3	20,9	25,1
линолеаидовая (C _{18:1ω9t})	32,0	32,1	40,1	42,6	37,0	34,1	47,1	47,1
линоленовая (C _{18:3ω3})	5,7	5,0	5,5	5,9	4,7	4,0	4,5	3,5
эруковая (C _{22:1n9})	0,3	0,4	0,2	0,2	0,7	0,4	0,3	0,2

Достигнутые уровни липазной активности находятся на уровне некоторых известных ферментных препаратов кормового назначения (таблица 4).

Таблица 4. Сравнительная характеристика ферментативной активности препаратов липолитического действия

Table 4. Comparative characteristics of the enzymatic activity of drugs with lipolytic action

Наименование препарата	Бактериальная культура	Липазная активность, ед/мл
МКД-Л [19]	<i>Lactobacillus acidophilus</i>	1,4
МКД-В [19]	<i>Bifidobacter bifidum longum</i>	12,6
Lipozyme TL IM [21–23]	<i>Geobacillus lituanicus</i>	0,81
культуральная жидкость (собственные данные)	<i>Acinetobacter radioresistens</i>	47,0

Заключение

Таким образом, продуктивный биосинтез липазы с активностью в пределах от 10 до 47 ед/мл в зависимости от времени культивирования изолята *A. radioresistens* на пшеничных отрубях как пищевого, так и кормового назначения возможен, причем при одностадийной (стерилизация гидромодуля пшеничных отрубей) подготовке сырья к биотехнологическому процессу. Учитывая, что полученная культуральная жидкость характеризуется пониженным содержанием антипитательных веществ, в частности эруковой кислоты, то ее можно в перспективе использовать в качестве кормового препарата. Для повышения активности синтезируемой липазы представляет интерес изучить влияние степени гидролиза биополимеров углеводной, белковой и липидной природы биокаталитически деструктурированных пшеничных отрубей. Экспериментальные данные, полученные в результате исследования липазной активности *A. radioresistens*, выделенной из пшеничных отрубей, могут быть использованы для разработки новых инновационных ингредиентов кормового и пищевого назначения, биологически активных добавок. Также данные исследований будут полезны при разработке способов повышения эффективности биотехнологических процессов в перерабатывающих отраслях и для создания новых видов технологических вспомогательных средств, пищевой продукции, биопрепаратов, обладающих липазной активностью и содержащих мононенасыщенные омега-9 и полиненасыщенные жирные кислоты омега-6 и омега-3, являющиеся незаменимыми факторами питания.

Литература

1. Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты // Материалы XI междунар. науч. конф. (Минск, 3–6 июня 2019 г.). Минск: Беларуская навука, 2019. 280 с.
2. Ермакович Ю.Ш., Литвинко Н.М., Герловский Д.О. Исследование фосфолиполитической активности культуральной жидкости микроорганизмов // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты: сб. тр. Минск: Беларуская навука, 2017. С. 49–51.
3. Okpara M.O. Microbial enzymes and their applications in food industry: A mini-review. *Advances in Enzyme Research*. 2022, V. 10, no. 1, pp. 23–47. DOI: 10.4236/aer.2022.101002
4. Raveendran S., Parameswaran B., Ummalyma S.B. Applications of microbial enzymes in food industry. *Food Technology Biotechnology*. 2018, V. 56, no. 1, pp. 16–30. DOI: 10.17113/ftb.56.01.18.5491
5. Flores-Gallegos A.C., Delgado-García M., Ascacio-Valdés J.A., Villareal-Morales S., Michel-Michel M.R., Aguilar-González C.N., Rodríguez-Herrera R. *Hydrolases of halophilic origin with importance for the food indus.* In Kuddus M. (Ed.) *Enzymes in food biotechnology*. Academic Press. 2019, pp. 197–219.
6. Patel A.K., Singhanian R.R., Pandey A. *Production, purification, and application of microbial enzymes.* In Brahmachari G. (Ed.) *Biotechnology of microbial enzymes. Production, biocatalysis and industrial applications.* Academic Press. 2017, Ch. 2, pp. 13–41. DOI: 10.1016/B978-0-12-803725-6.00002-9
7. Rempel B.P., Price E.W., Phenix C.P. Molecular imaging of hydrolytic enzymes using PET and SPECT. *Molecular Imaging*. 2017, V. 16. DOI: 10.1177/1536012117717852
8. Liu X., Kokare C. *Microbial enzymes of use in industry.* In Brahmachari G. (Ed.) *Biotechnology of microbial enzymes. Production, biocatalysis and industrial applications.* Academic Press. 2017, Ch. 11, pp. 267–298. DOI: 10.1016/B978-0-12-803725-6.00011-X
9. Yan F., Lei W., Ajab K., Rui Z., Siang W., Xiaoyuan J. Fermented wheat bran by xylanase-producing *Bacillus cereus* boosts the intestinal microflora of broiler chickens. *Poultry Science*. 2020, V. 99, Is. 1, pp. 263–271. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pez48>
10. Wuyts S., Beeck W.V., Allonsius C.N., van den Broek M.F., Lebeer S. Applications of plant-based fermented foods and their microbes. *Curr Opin Biotechnol*. 2020, V. 61, pp. 45–52. doi: 10.1016/j.copbio.2019.09.023

11. Gurung N., Ray S., Bose S., Rai V. A broader view: Microbial enzymes and their relevance in industries, medicine, and beyond. *BioMed Res. Int.* 2013, V. 2013, article 329121. DOI: 10.1155/2013/329121
12. Miguel Â.S.M., Martins-Meyer T.S., Figueiredo E.V.C., Lobo B.W.P., Dellamora-Ortiz G.M. *Enzymes in bakery: Current and future trends*. In Muzzalupo I. (Ed.) Food Industry. Rijeka, Croatia: InTech, 2013. Ch. 14. DOI: 10.5772/53168
13. Чеботарь И.В., Лазарева А.В., Масалов Я.К., Михайлович В.М., Маянский Н.А. *Acinetobacter*: микробиологические, патогенетические и резистентные свойства // Вестник Российской академии медицинских наук. 2014. Т. 69. № 9-10. С. 39–50. DOI: 10.15690/vtamn.v69i9-10.1130
14. Лобанова И.В. Способность бактерий рода *Acinetobacter* синтезировать наночастицы серебра и их антибактериальная активность // *Universum: химия и биология*. 2020. № 9. С. 5–7.
15. Patel N., Rai D., Shivam, Shahane S., Mishra U. Lipases: sources, production, purification, and applications. *Recent Pat. Biotechnol.* 2019, V. 13, no. 1, pp. 45–56. DOI: 10.2174/1872208312666181029093333.
16. Choudhury P., Bhunia B. Industrial application of lipase: A review. *Biopharm Journal*. 2015, V. 1, no. 2, pp. 41–47.
17. Nema A., Patnala S.H., Mandari V., Kota S., Devarai S.K. Production and optimization of lipase using *Aspergillus niger* MTCC 872 by solid-state fermentation. *Bulletin of the National Research Centre*. 2019, V. 43, article 82. DOI: 10.1186/s42269-019-0125-7
18. Свердлова О.П., Шарова Н.Ю., Причепина А.О., Лоскутов С.И., Принцева А.А. Идентификация аборигенной микрофлоры пшеничных отрубей: бактериальные изоляты-потенциальные промышленные продуценты // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2022. № 3. С. 78–92. <https://doi.org/10.36107/sfrp.2022.294>
19. Швыдков А.Н., Мартыщенко А.Е., Ланцева Н.Н., Чебаков В.П., Кобцева Л.А. Исследование ферментативных свойств кормовых добавок // *Успехи современного естествознания*. 2014. № 11-2. С. 49–53.
20. Ahmed A., Badar R., Khalique N. Screening and optimization of submerged fermentation of lipolytic *Aspergillus oryzae*. *BioResources*. 2019, V. 14, no. 4, pp. 7664–7674. DOI: 10.15376/biores.14.4.7664-7674
21. Новиков А.А., Котелев М.С., Семенов А.П., Гуцин П.А., Иванов Е.В., Сорокина К.Н., Розанов А.С., Винокуров В.А. Биокатализатор для переэтерификации жиров и способ его получения: пат. 2528778 С2 Российская Федерация. 2014. Бюл. № 26. 8 с.
22. Bezborodov A.M., Zagustina N.A. Lipases in catalytic reactions of organic chemistry. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2014, V. 50, no. 4, pp. 313–337. DOI: 10.1134/S0003683814040024
23. Толкачева А.А., Железняк Е.С., Черенков Д.А., Корнеева О.С. Сравнительная характеристика липаз и перспективы разработки новых липолитических ферментных препаратов для пищевой промышленности // *Актуальная биотехнология*. 2016. № 3. С. 177–178

References

1. Microbial biotechnologies: Fundamental and applied aspects. Proceedings of the XI International Scientific Conference (Minsk, June 3–6, 2019). Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2019, 280 p. (*In Russian*)
2. Ermakovich Yu.Sh., Litvinko N.M., Gerlovskii D.O. *Study of the phospholipolytic activity of the cultural liquid of microorganisms*. In Microbial Biotechnologies: Fundamental and Applied Aspects. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2017, pp. 49–51. (*In Russian*)
3. Okpara M.O. Microbial enzymes and their applications in food industry: A mini-review. *Advances in Enzyme Research*. 2022, V. 10, no. 1, pp. 23–47. DOI: 10.4236/aer.2022.101002
4. Raveendran S., Parameswaran B., Ummalyma S.B. Applications of microbial enzymes in food industry. *Food Technology Biotechnology*. 2018, V. 56, no. 1, pp. 16–30. DOI: 10.17113/ftb.56.01.18.5491
5. Flores-Gallegos A.C., Delgado-García M., Ascacio-Valdés J.A., Villareal-Morales S., Michel-Michel M.R., Aguilar-González C.N., Rodríguez-Herrera R. *Hydrolases of halophilic origin with importance for the food indus.* In Kuddus M. (Ed.) Enzymes in food biotechnology. Academic Press. 2019, pp. 197–219.
6. Patel A.K., Singhanian R.R., Pandey A. *Production, purification, and application of microbial enzymes*. In Brahmachari G. (Ed.) Biotechnology of microbial enzymes. Production, biocatalysis and industrial applications. Academic Press. 2017, Ch. 2, pp. 13–41. DOI: 10.1016/B978-0-12-803725-6.00002-9
7. Rempel B.P., Price E.W., Phenix C.P. Molecular imaging of hydrolytic enzymes using PET and SPECT. *Molecular Imaging*. 2017, V. 16. DOI: 10.1177/1536012117717852
8. Liu X., Kokare C. *Microbial enzymes of use in industry*. In Brahmachari G. (Ed.) Biotechnology of microbial enzymes. Production, biocatalysis and industrial applications. Academic Press. 2017, Ch. 11, pp. 267–298. DOI: 10.1016/B978-0-12-803725-6.00011-X
9. Yan F., Lei W., Ajab K., Rui Z., Siang W., Xiaoyuan J. Fermented wheat bran by xylanase-producing *Bacillus cereus* boosts the intestinal microflora of broiler chickens. *Poultry Science*. 2020, V. 99, Is. 1, pp. 263–271. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pez48>

10. Wuyts S., Beeck W.V., Allonsius C.N., van den Broek M.F., Lebeer S. Applications of plant-based fermented foods and their microbes. *Curr Opin Biotechnol.* 2020, V. 61, pp. 45–52. doi: 10.1016/j.copbio.2019.09.023
11. Gurung N., Ray S., Bose S., Rai V. A broader view: Microbial enzymes and their relevance in industries, medicine, and beyond. *BioMed Res. Int.* 2013, V. 2013, article 329121. DOI: 10.1155/2013/329121
12. Miguel Â.S.M., Martins-Meyer T.S., Figueiredo E.V.C., Lobo B.W.P., Dellamora-Ortiz G.M. *Enzymes in bakery: Current and future trends.* In Muzzalupo I. (Ed.) Food Industry. Rijeka, Croatia: InTech, 2013. Ch. 14. DOI: 10.5772/53168
13. Chebotar I.V., Lazareva A.V., Masalov Ya.K., Mikhailovich V.M., Mayanskiy N.A. *Acinetobacter*: microbiological, pathogenetic and resistant properties. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences.* 2014, V. 69, no. 9-10, pp. 39–50. DOI: 10.15690/vramn.v69i9-10.1130 (In Russian)
14. Lobanova I.V. Ability of bacteria of the genus *Acinetobacter* to synthesize silver nanoparticles and their antibacterial activity. *Universum: khimiya i biologiya.* 2020, no. 9, pp. 5–7. (In Russian)
15. Patel N., Rai D., Shivam, Shahane S., Mishra U. Lipases: sources, production, purification, and applications. *Recent Pat. Biotechnol.* 2019, V. 13, no. 1, pp. 45–56. DOI: 10.2174/1872208312666181029093333.
16. Choudhury P., Bhunia B. Industrial application of lipase: A review. *Biopharm Journal.* 2015, V. 1, no. 2, pp. 41–47.
17. Nema A., Patnala S.H., Mandari V., Kota S., Devarai S.K. Production and optimization of lipase using *Aspergillus niger* MTCC 872 by solid-state fermentation. *Bulletin of the National Research Centre.* 2019, V. 43, article 82. DOI: 10.1186/s42269-019-0125-7
18. Sverdlova O.P., Sharova N.Yu., Prichepa A.O., Loskutov S.I., Printseva A.A. Identification of native microflora of wheat bran. *Storage and Processing of Farm Products.* 2022, no. 3. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.294> (In Russian)
19. Shvydkov A.N., Martyshchenko A.E., Lantseva N.N., Chebakov V.P., Kobtseva L.A. The study of the enzymatic properties of feed additives. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya.* 2014, no. 11-2, pp. 49–53. (In Russian)
20. Ahmed A., Badar R., Khalique N. Screening and optimization of submerged fermentation of lipolytic *Aspergillus oryzae*. *BioResources.* 2019, V. 14, no. 4, pp. 7664–7674. DOI: 10.15376/biores.14.4.7664-7674
21. Novikov A.A., Kotelev M.S., Semenov A.P., Gushchin P.A., Ivanov E.V., Sorokina K.N., Rozanov A.S., Vinokurov V.A. Biocatalyst for re-esterification of fats and method for production thereof. *Patent RF*, no. 2528778 C2. 2014.
22. Bezborodov A.M., Zagustina N.A. Lipases in catalytic reactions of organic chemistry. *Applied Biochemistry and Microbiology.* 2014, V. 50, no. 4, pp. 313–337. DOI: 10.1134/S0003683814040024
23. Tolkacheva A.A., Zheleznyak E.S., Cherenkov D.A., Korneeva O.S. Comparative characteristics of lipases and prospects of the development of new lipolytic enzyme preparations for food industry. *Aktual'naya Biotekhnologiya.* 2016, no. 3, pp. 177–178. (In Russian)

Информация об авторах

Наталья Юрьевна Шарова – д-р техн. наук, профессор РАН, заместитель директора по научной работе
Алена Валерьевна Гаричева – лаборант-исследователь
Ольга Петровна Сverdlova – младший научный сотрудник
Анастасия Андреевна Принцева – канд. техн. наук, заведующая лабораторией
Павел Николаевич Сорокоумов – научный сотрудник
Ксения Евгеньевна Кулишова – младший научный сотрудник
Виктория Валерьевна Дзюбенко – лаборант-исследователь

Information about the authors

Natalia Yu. Sharova, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Research
Alyona V. Garicheva, Laboratory Researcher
Olga P. Sverdlova, Junior Researcher
Anastasia A. Printseva, Ph.D., Head of Laboratory
Pavel N. Sorokoumov, Researcher
Ksenia E. Kulishova, Junior Researcher
Victoria V. Dzyubenko, Laboratory Researcher

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 01.02.2023
Одобрена после рецензирования 07.03.2023
Принята к публикации 22.03.2023

The article was submitted 01.02.2023
Approved after reviewing 07.03.2023
Accepted for publication 22.03.2023