

УДК 579.66:661.8

DOI: 10.17072/1994-9952-2019-4-434-440.

О. В. Ястребова^а, Е. Г. Плотникова^{а,б}

^а Институт экологии и генетики микроорганизмов – филиал ФГБУН ПФИЦ УрО РАН, Пермь, Россия

^б Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

ГРАМОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ ГАЛОФИЛЬНЫЕ БАКТЕРИИ – ДЕСТРУКТОРЫ *ОРТО*-ФТАЛЕВОЙ КИСЛОТЫ

Из рабочей коллекции микроорганизмов лаборатории молекулярной микробиологии и биотехнологии Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН было отобрано 5 штаммов граммотрицательных бактерий-деструкторов *орто*-фталата, выделенных из донных отложений водных объектов и поверхности шламохранилища, в районе добычи калийных солей (г. Березники, Пермский край). На основании филогенетического анализа (гены 16S рРНК), штаммы были отнесены к родам *Pseudomonas*, *Idiomarina*, *Alcanivorax*, *Martelevella*, *Breoghania*. Установлено, что они являются галотолерантными микроорганизмами и способны к росту на полноценной среде в присутствии до 100 г/л NaCl, а также к росту на *орто*-фталевой кислоте в качестве субстрата при содержании до 70 г/л соли в среде культивирования. При выращивании в среде с повышенным засолением (30 г/л NaCl) у большинства штаммов наблюдались более высокие значения ростовых характеристик (максимальное значение ОП₆₀₀, удельная скорость роста), чем в среде без добавления соли. У штамма *Idiomarina* sp. PSH17-1 выявлены повышенные параметры оптической плотности и удельной скорости роста в среде с 50 и 70 г/л соли. Полученные результаты исследования могут служить основой разработки эффективных биотехнологий для детоксикации и мониторинга фталатов в загрязненных/засоленных почвах.

Ключевые слова: аэробные бактерии; *орто*-фталевая кислота; деструкция; хлорид натрия.

O. V. Yastrebova^а, E. G. Plotnikova^{а,б}

^а Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms of the Ural Branch RAS, Perm, Russian Federation

^б Perm State University, Perm, Russian Federation

GRAM-NEGATIVE HALOPHILIC BACTERIA-DESTRUCTORS OF *ORTHO*-PHTHALATE

Five strains of gram-negative bacteria-destroyers of *ortho*-phthalate (*ortho*-PA), isolated from bottom sediments and potash production wastes of the region of potassium salt mining (Berezniki, Perm Region), were selected from the working collection of microorganisms (Laboratory of Molecular Microbiology and Biotechnology, Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms, UB RAS). Based on phylogenetic analysis (16S rRNA genes), the strains have been identified as members of the genera *Pseudomonas*, *Idiomarina*, *Alcanivorax*, *Martelevella*, *Breoghania*. It was established that the strains are halotolerant microorganisms and are capable of growth on a complete medium in the presence of up to 100 g/L NaCl, as well as growth on *ortho*-PA as a substrate with up to 70 g/L of salt in the culture medium. When grown in medium with increased salinity (30 g/l NaCl), most strains showed higher growth characteristics (maximum OD₆₀₀, exponential growth rate) than in medium without salt addition. The strain *Idiomarina* sp. PSH17-1 revealed increased parameters of optical density and exponential growth rate in a medium with 50 and 70 g/l of salt. The features of the *ortho*-PA destruction for strains of the genus *Martelevella* have not been previously described. The results of the study can serve as the basis for the development of effective biotechnologies for detoxification and monitoring of phthalates in contaminated saline soils.

Key words: aerobic bacteria; *ortho*-phthalic acid; destruction; sodium chloride.

В условиях возрастающей техногенной нагрузки на окружающую среду все большую актуальность приобретает проблема утилизации устойчивых химических веществ, обладающих токсичными свойствами и тенденцией к накоплению в экосистемах. Одними из наиболее широко используемых в промышленности синтетических химикатов являются фталаты – соли и эфиры фталевой кис-

лоты. Данные соединения используются для пластификации поливинилхлорида (ПВХ), при синтезе полиэфирных волокон и полиэтилена, изготовлении строительных материалов [Барштейн, Кирилович, Носовский, 1982; Liang, Zhang, Fang, 2008]. Высокие концентрации изомеров и эфиров фталатов обнаружены в районах интенсивной работы предприятий горнодобывающей промышленности,

в частности, в отходах и избыточных рассолах соледобывающих производств (г. Березники, Соликамск, Пермский край). Обогащение и переработка калийных руд сопровождается использованием ряда реагентов, продуктами трансформации которых являются фталаты [Бачурин, Одинцова, 2006].

Фталаты и их метаболиты обладают гепатотоксичными, канцерогенными свойствами, способны накапливаться в организме и признаны опасными для здоровья человека и животных [Куценко, 2002].

Способность к деструкции данных веществ обнаружена у ряда бактерий различных родов, в том числе *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Sphingomonas*, *Arthrobacter*, *Rhodococcus* [Liang, Zhang, Fang, 2008; Jin et al., 2010; Stanislauskienė et al., 2011]. Описан метаболический путь деструкции орто-фталевой кислоты (орто-ФК) грамотрицательными штаммами (родов *Pseudomonas*, *Burkholderia*) через *цис*-4,5-дигидро-4,5-дигидроксифталат и 4,5-дигидроксифталат до протокатеховой кислоты [Chang, Zylstra, 1998; Vamsee-Krishna, Mohan, Phale, 2006]. В то же время, биodeградация фталатов в средах с экстремальными физическими или химическими параметрами, в частности, при повышенном засолении среды, изучена недостаточно. В ряде исследований показано, что значительную долю культивируемых микроорганизмов гиперсоленых местообитаний составляют грамотрицательные бактерии классов *Gammaproteobacteria* и *Alphaproteobacteria* [Ventosa, Nieto, Oren, 1998; Oren, 2008]. В литературе представлены немно-

численные данные о способности бактерий данных классов (в частности, родов *Alteromonas*, *Marinomonas*, *Marinovum*) к росту на орто-ФК в условиях осмотического стресса [Iwaki, Nishimura, Hasegawa, 2012]. Не исследованы физиологические и молекулярно-биологические особенности деструкции фталатов данными бактериями. Такие исследования представляют интерес как для получения новых данных о механизмах солеустойчивости, так и для разработки методов биоремедиации природных и техногенных экосистем с высоким засолением среды, загрязненных устойчивыми ксенобиотиками.

Цель работы – идентификация, физиологические и деградационные характеристики грамотрицательных бактерий-деструкторов орто-фталата, выделенных из района солеразработок (г. Березники, Пермский край).

Материалы и методы исследования

Объекты исследования. Для проведения исследований из рабочей коллекции микроорганизмов лаборатории молекулярной микробиологии и биотехнологии «Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН» было отобрано 5 штаммов грамотрицательных бактерий-деструкторов фталатов, выделенных из донных отложений водных объектов и поверхности шламохранилища, расположенных в районе добычи и переработки калийных солей (г. Березники, Пермский край) (табл. 1).

Таблица 1

Штаммы бактерий, выделенные из образцов шламов и донных отложений (г. Березники)

Образец	Штаммы	Типовой штамм ближайшего родственного вида и номер в базе данных GenBank	Сходство генов 16S рРНК, %
Донные отложения промышленных стоков, Промканал	PG2	<i>Pseudomonas xanthomarina</i> KMM 144 ^T (AB176954)	100
Поверхность шламохранилища, БКПРУ-3	PSH17-1	<i>Idiomarina fontislapidosi</i> F23 ^T (AY526861)	99.43
	PSH17-52	<i>Martellella radices</i> BM5-7 ^T (KF560339)	96.72
Донные отложения рассолоборника, БКПРУ-3	PP22-31	<i>Breoghania corrubedonensis</i> UBF-P1 ^T (CQ272328)	99.37
	B23	<i>Alcanivorax dieselolei</i> B5 ^T (DSM16502)	100

Среды и условия культивирования. Для роста микроорганизмов использовали минеральную среду Раймонда (MCP) [Raymond, 1961] без NaCl и с добавлением 30–100 г/л соли. В качестве субстрата использовали орто-ФК или одно из следующих соединений (1 г/л): дибугилфталат (ДБФ), диэтилфталат (ДЭФ), протокатеховую кислоту (ПКК), бензоат, салицилат, нафталин. Для приготовления богатой среды Раймонда (BCP) в минеральную среду Раймонда добавляли 5 г/л триптона и 2.5 г/л дрожжевого экстракта в качестве росто-

вых субстратов. Культивирование бактерий в жидких средах проводили при 28°C на термостатируемой качалке при 100 об/мин. Длительность культивирования – 2–7 сут.

Для получения агаризованных сред использовали агар («Helicon», Россия) до конечной концентрации 15 г/л. Культивирование микроорганизмов осуществляли в термостате при 28°C.

Рост бактерий на орто-фталате при разных концентрациях хлорида натрия. Ростовые характеристики бактерий изучали в периодической

культуре в жидкой МСР с орто-ФК (1 г/л) в качестве субстрата в присутствии NaCl (30, 50, 70 и 90 г/л) и без соли в среде.

Культуры бактерий выращивали в колбах Эрленмейера объемом 250 мл (объем среды – 100 мл) при 28°C, с аэрацией на термокачалке при 100 об/мин.

В качестве инокулята использовали культуры в экспоненциальной фазе роста, выращенные на среде Раймонда, содержащей 3% NaCl, с орто-ФК в качестве субстрата.

Оптическую плотность (ОП) культуральной жидкости определяли на спектрофотометре UV-Visible BioSpec-mini («Shimadzu», Япония) при длине волны 600 нм в кювете с длиной оптического пути 1 см.

Расчет удельной скорости роста (μ) и длительности lag-фазы (Т_l) проводили по стандартным формулам [Нетрусов и др., 2005].

Рост бактерий при разных рН среды определяли при концентрации 3%-ного NaCl в буферных системах, приготовленных на основе БСР. Штаммы культивировались на чашках Петри на агаризованной среде при рН 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0. Рост учитывали на седьмой день культивирования [Методы общей бактериологии, 1983].

Идентификацию бактерий проводили на основании анализа генов 16S рРНК. Амплификацию гена 16S рРНК осуществляли с использованием бактериальных праймеров 27F (5'-AGAGTTTGATC(A/C)TGGCTCAG-3') и 1492R (5'-ACGG(C/T)TACCTTGTACGACTT-3') на амплификаторе My Cycler «Bio-Rad Laboratories» (США) согласно описанию [Lane, Stackebrandt, Goodfellow, 1991]. Определение нуклеотидных последовательностей проводили с применением набора реактивов Big Dye Terminator Cycle Sequencing Kit v. 3.1 на автоматическом секвенаторе Genetic Analyser 3500XL «Applied Biosystems» (США) согласно рекомендациям производителя, в лаборатории молекулярной биологии и генетики при кафедре ботаники и генетики растений ПГНИУ. Филогенетический анализ полученных нуклеотидных последовательностей 16S рДНК осуществляли с использованием программ CLUSTAL W (<http://www.ebi.ac.uk/clustalw>), Sequence Scanner v 2.0. Поиск гомологичных последовательностей проводили при использовании баз данных GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>) и EzTaxon (<http://www.eztaxon.org>).

Статистическая обработка результатов. Эксперименты были выполнены в трехкратной повторности. Полученные данные обрабатывали с использованием стандартных пакетов компьютерной программы Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

Идентификация штаммов-деструкторов орто-ФК

Отобранные для исследований грамотрецательные бактерии были выделены из образцов донных отложений и шламов района солеразработок методом накопительного культивирования в минеральной среде с добавлением 3%-ного NaCl и орто-ФК в качестве субстрата. Было показано, что все пять штаммов, обозначенные как PSH17-1, PG2, B23, PSH17-52 и PP22-31, были способны к эффективному росту в жидкой минеральной среде на орто-ФК (1 г/л) в качестве единственного источника углерода и энергии.

На основании проведенного анализа гена 16S рРНК три штамма были отнесены к классу *Gammaproteobacteria* филума «*Proteobacteria*»: штамм PSH17-1 имеет наибольшее филогенетическое сходство (99.43%) со штаммом типового вида *Idiomarina fontislapidosi* F23^T, штамм PG2 – 100%-ное сходство с типовым штаммом *Pseudomonas xanthomarina* КММ 144^T, штамм B23 – 100%-ное сходство с типовым штаммом *Alcanivorax dieselelei* B5^T.

Два штамма отнесены к классу *Alphaproteobacteria*: штамм PSH17-52 показал наибольший уровень филогенетического сходства (96.72%) со штаммом *Marteella radices* BM5-7^T; и штамм PP22-31, наиболее филогенетически близкий типовому штамму *Breoghania corrubedonensis* UBF-P1^T (99.37%) (см. табл. 1).

Физиологические характеристики и способность штаммов расти на ароматических субстратах

Поскольку штаммы были выделены из донных отложений и шлама района солеразработок, была исследована способность штаммов к росту в условиях повышенной минерализации среды. Установлено, что штаммы-деструкторы были способны к росту в богатой среде Раймонда как без добавления соли, так и при повышенном засолении среды (до 90–100 г/л NaCl) (табл. 2) и относятся к галотолерантным микроорганизмам [Кашнер 1981]. Штаммы *Idiomarina* sp. PSH17-1 и *Marteella* sp. PSH17-52 растут на БСР в присутствии до 120 г/л NaCl.

Установлено, что исследуемые штаммы способны к росту на БСР в диапазоне рН 6.0–8.0 с оптимальным значением рН 7.0. Штамм *Idiomarina* sp. PSH17-1 рос на БСР при рН 5.0.

Все исследуемые штаммы-деструкторы орто-ФК способны к росту на протокатеховой кислоте (ПКК) – основном метаболите разложения фталатов, который утилизируется с расщеплением ароматического кольца по мета- или орто-пути до

основных метаболитов клетки [Liang, Zhang, Fang, 2008]. Три штамма (PG2, PSH17-1 и PSH17-52) растут на сложном эфире фталевой кислоты – дибутилфталате (ДФФ), а штаммы PG2 и PSH17-52

растут на диэтилфталате (ДЭФ). Штамм *Breoghania* sp. PP22-31 способен также к росту на бифениле, нафталине и салицилате.

Таблица 2

Рост бактерий в присутствии различных концентраций соли

Штамм	Концентрация NaCl (г/л), БСР				
	Без NaCl	30	60	100	120
<i>Idiomarina</i> sp. PSH17-1	++	+++	++	++	+
<i>Pseudomonas</i> sp. PG2	++	++	+	+	–
<i>Alcanivorax</i> sp. B23	++	+++	++	+	–
<i>Martelella</i> sp. PSH17-52	++	+++	++	+	+
<i>Breoghania</i> sp. PP22-31	++	+++	++	+	–

Примечание. «–» – отсутствие роста бактерий; слабый рост «+» – колонии размером менее 1 мм; средний рост «++» – колонии размером 1–2 мм; хороший рост «+++» – колонии размером более 3 мм.

Рост бактерий на орто-ФК при разной солености среды

Установлено, что все штаммы способны к эффективному росту в жидкой минеральной среде на орто-ФК в присутствии до 70 г/л NaCl в среде культивирования. Для штамма PG2 наблюдался слабый рост при 90 г/л NaCl.

Для всех исследованных штаммов установлена прямая зависимость между повышением содержания соли в среде культивирования и увеличением длительности лаг-фазы роста. Наиболее продолжительная лаг-фаза роста наблюдалась при содержании 70 г/л NaCl в среде культивирования (от 30 ч.

для штамма *Martelella* sp. PSH17-52 до 118 ч. для штамма *Idiomarina* sp. PSH17-1) (рисунок).

При этом с повышением засоления среды величина максимальной оптической плотности культуры для исследуемых штаммов снижалась незначительно (табл. 3). Для большинства штаммов наиболее высокие значения максимальной ОП₆₀₀ зафиксированы при росте в среде с 30 г/л NaCl, а для штамма *Idiomarina* sp. PSH17-1 – в среде с 50 и 70 г/л соли. Максимальная оптическая плотность штамма *Alcanivorax* sp B23B зафиксирована в среде без добавления соли. Наиболее высокие значения максимальной оптической плотности наблюдались у штамма *Pseudomonas* sp PG-2 (ОП₆₀₀ = 1.06 при концентрации соли 30 г/л).

Таблица 3

Удельная скорость роста μ (ч⁻¹) и максимальная оптическая плотность (ОП₆₀₀) бактерий в присутствии различных концентраций хлорида натрия

Штамм	Без NaCl		30 г/л		50 г/л		70 г/л		90 г/л	
	μ	ОП ₆₀₀	μ	ОП ₆₀₀	μ	ОП ₆₀₀	μ	ОП ₆₀₀	μ	ОП ₆₀₀
PP22-31	0,012	0,74	0,019	0,75	0,012	0,73	0,011	0,72	0,001	0,22
PSH17-52	0,011	0,79	0,032	0,95	0,005	0,56	0,002	0,32	0,001	0,15
PSH17-1	0,012	0,73	0,007	0,72	0,011	0,75	0,013	0,76	0,001	0,25
PG-2	0,026	1,04	0,024	1,06	0,018	0,96	0,012	0,94	0,004	0,45
B23	0,015	1,01	0,023	0,88	0,016	0,93	0,020	0,89	0,001	0,22

Скорость экспоненциального роста культуры (μ) также незначительно менялась с повышением концентрации соли в среде культивирования штаммов (табл. 3). Наиболее высокая удельная скорость роста зафиксирована для штамма *Martelella* sp. PSH17-52 (μ=0.032ч⁻¹) в присутствии 30 г/л NaCl в среде.

Как показано в ряде исследований для штаммов родов *Pseudomonas*, *Halomonas*, снижение параметров роста, а также степень утилизации ксенобиотиков в условиях повышенного засоления среды могут быть обусловлены адаптационными процессами, протекающими в клетках, а также снижением доступности ароматических субстратов при засолении среды [Xu, Li, Gu, 2007; Oie, Al-

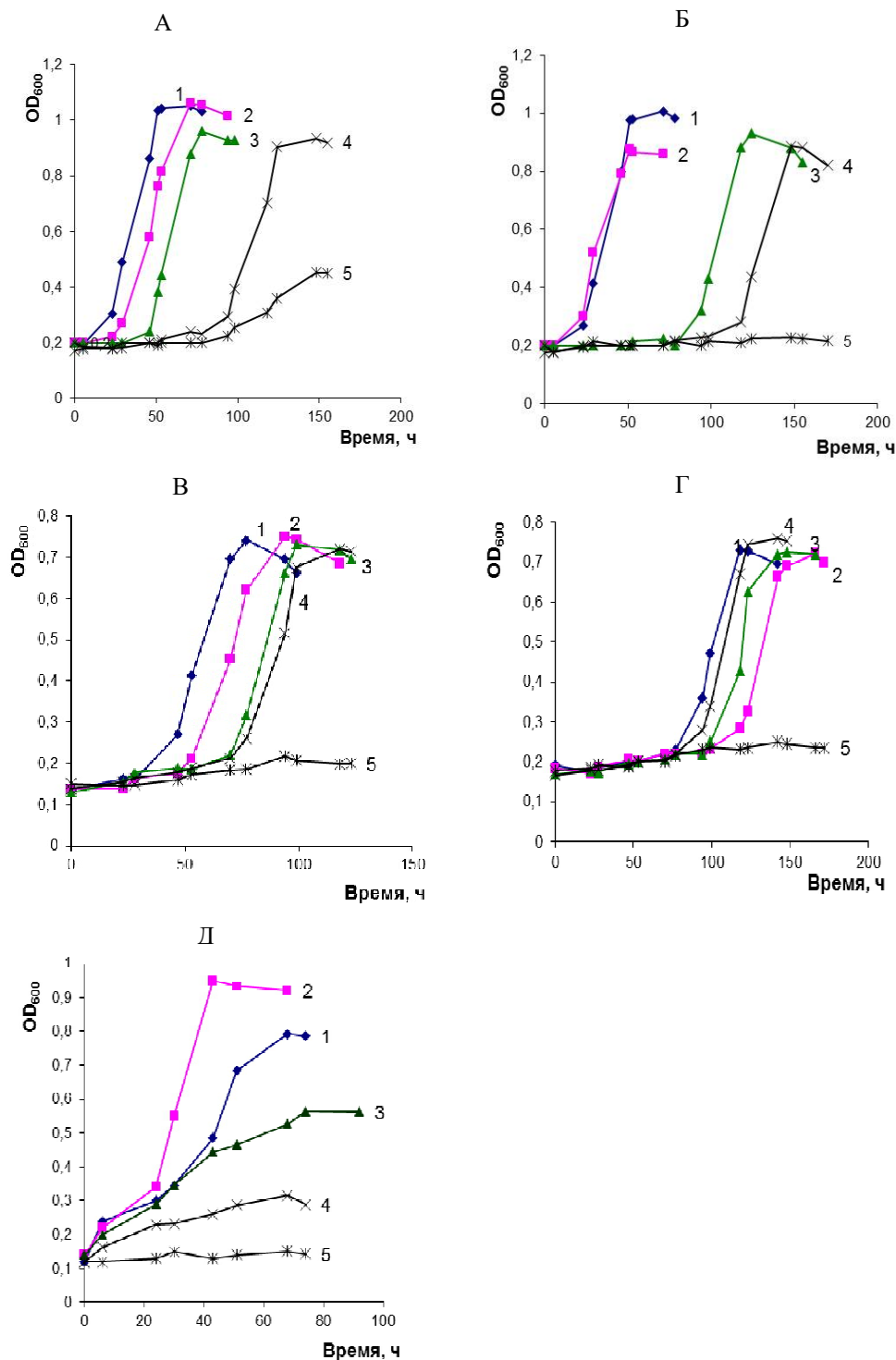
baugh, Peyton, 2007].

Заключение

Исследованные грамотрицательные штаммы разных таксономических групп (родов *Pseudomonas*, *Idiomarina*, *Alcanivorax*, *Martelella*, *Breoghania*), выделенные из района солеразработок, являются галотолерантными микроорганизмами и способны к росту на полноценной среде в присутствии до 100 г/л NaCl, а также к росту на орто-ФК в качестве субстрата при содержании до 70 г/л соли в среде культивирования. Для большинства исследуемых штаммов зафиксированы более высокие ростовые показатели при выращивании в среде с по-

высоким засолением (30 г/л NaCl), чем в среде без добавления соли. Штамм *Idiomarina* sp. PSH17-1 имеет наиболее высокие ростовые характеристики в среде с 50 и 70 г/л соли. Ранее не были описаны особенности деградации орто-ФК для штаммов рода *Marteella*. Наши исследования по-

казали, что рост штамма *Marteella* sp. PSH17-52 на орто-ФК наблюдался практически без подготовительной фазы, при этом максимальная удельная скорость роста и максимальное значение ОП₆₀₀ зафиксированы в среде с 30 г/л NaCl.



Рост штаммов *Pseudomonas* sp. PG2 (А), *Alcanivorax* sp. B23 (Б), *Breoghania* sp. PP22-31 (В), *Idiomarina* sp. PSH17-1 (Г), *Marteella* sp. PSH17-52 (Д) в МСР на орто-ФК (1 г/л) при разных концентрациях хлорида натрия (г/л): 1 – без NaCl; 2 – 30; 3 – 50; 4 – 70; 5 – 90

Три исследуемых штамма способны к росту на сложных эфирах орто-ФК – дибutilфталате

(ДБФ) и диэтилфталате (ДЭФ). Наибольшей субстратной специфичностью обладает штамм *Breoghania* sp. PP22-31, способный к росту на орто-ФК, бифениле, нафталине и салицилате. Показано, что данные штаммы-деструкторы орто-ФК способны к росту на протокатеховой кислоте – основном метаболите разложения фталатов.

Приведенные результаты исследования галотолерантных штаммов-деструкторов фталатов могут быть использованы для разработки новых инновационных биотехнологических методов мониторинга и очистки объектов окружающей среды от устойчивых токсичных ароматических соединений (в том числе, фталатов) в условиях высокого засоления.

Работа выполнена в рамках государственного задания, номер госрегистрации темы: 01201353247.

Библиографический список

- Барштейн Р.С., Кирилович В.И., Носовский Ю.Е. Пластификаторы для полимеров. М.: Химия, 1982. 200 с.
- Бачурин Б.А., Одинцова Т.А. Стойкие органические загрязнители в отходах горного производства // Современные экологические проблемы Севера. Апатиты, 2006. Ч. 2. С. 7–9.
- Каинер Д. Жизнь микробов в экстремальных условиях. М.: Мир, 1981. 365 с.
- Куценко С.А. Основы токсикологии, СПб., 2002. Т. 4. 119 с.
- Нетрусов А.И. Практикум по микробиологии. М.: Академия, 2005. 608 с.
- Chang H.-K., Zylstra G. Novel Organization of the Genes for Phthalate Degradation from *Burkholderia cepacia* DBO1 // J. Bacteriology. 1998. Vol. 180, № 24. P. 6529–6537.
- Iwaki H., Nishimura A., Hasegawa Y. Isolation and characterization of marine bacteria capable of utilizing phthalate // World J. Microbiol. Biotechnol. 2012. Vol. 28. P. 1321–1325
- Jin D.-C. et al. Biodegradation of di-n-butyl phthalate by *Rhodococcus* sp. JDC-11 and molecular detection of 3,4-phthalate dioxygenase gene // J. Microbiol. Biotechnol. 2010. Vol. 20, № 10. P. 1440–1445.
- Lane D.J., Stackebrandt E., Goodfellow M. 16S/23S rRNA sequencing // Nucleic acid techniques in bacterial systematics / ed. D.J. Lane. New York: John Wiley and Sons, – 1991. P. 115–175.
- Liang D.W., Zhang T., Fang H. Phthalates biodegradation in the environment // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2008. Vol. 80. P. 183–198.
- Oie C.S.I., Albaugh C.E., Peyton B.M. Benzoate and salicylate degradation by *Halomonas campisalis*, an alkaliphilic and moderately halophilic microorganism // Water Res. 2007. Vol. 41, № 6. P. 1235–1242.
- Oren A. Microbial life at high salt concentrations: phylogenetic and metabolic diversity // Saline Systems. 2008. Vol. 4, № 2. doi:10.1186/1746-1448-4-2.
- Raymond R.L. Microbial oxidation of n-paraffinhydrocarbons // Develop. Ind. Microbiol. 1961. Vol. 2, № 1. P. 23–32.
- Stanislauskienė R. et al. Analysis of phthalate degradation operon from *Arthrobacter* sp. 68B // Biologija. 2011. Vol. 57, № 3. P. 45–54.
- Vamsee-Krishna C., Mohan Y., Phale P. Biodegradation of phthalate isomers by *Pseudomonas aeruginosa* PP4, *Pseudomonas* sp. PPD and *Acinetobacter lwoffii* ISP4 // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2006. Vol. 72. P. 1263–1269.
- Ventosa A., Nieto J.J., Oren A. Biology of moderately halophilic aerobic bacteria // Microbiol. Molec. Biol. Rev. 1998. Vol. 62, № 2. P. 504–544.
- Xu X.R., Li H.B., Gu J.D. Metabolism and biochemical pathway of N-Butyl Benzyl Phthalate by *Pseudomonas fluorescens* B-1 isolated from a mangrove sediment // Ecotoxicol. Environ. Safety. 2007. Vol. 68, № 3. P. 379–385.

References

- Barshtein R.S., Kirilovich V.I., Nosovsky Yu.E. *Plastifikatory dlja polimerov* [Plasticizers for polymers]. Moscow, Chimija Publ., 1982. 200 p. (In Russ.).
- Bachurin B.A., Odintsova T.A. [Persistent organic pollutants in mining waste]. *Sovremennye ekologičeskie problemy Severa* [Modern environmental problems of the North]. Apatity. 2006. Part 2, pp.7-9. (In Russ.).
- Kashner D. *Žizn' mikrobov v ěkstreml'nyh usloviach* [Life of microbes in extreme conditions]. Moscow, Mir Publ., 1981. 365 p. (In Russ.).
- Kutsenko S.A. *Osnovy toksikologii* [Fundamentals of Toxicology]. St-Peterburg, 2002, V. 4. 119 p. (In Russ.).
- Netrusov A.I. [Workshop on Microbiology]. Moscow, Academija Publ., 2005. 608 p. (In Russ.).
- Chang H.-K., Zylstra G. Novel Organization of the Genes for Phthalate Degradation from *Burkholderia cepacia* DBO1. *J. Bacteriology*. V. 180, N 24 (1998): pp. 6529–6537.
- Iwaki H., Nishimura A., Hasegawa Y. Isolation and characterization of marine bacteria capable of utilizing phthalate. *World J. Microbiol. Biotechnol*. V. 28 (2012): pp. 1321–1325.
- Jin D.-C., Liang R.X., Dai Q.-Y., Zhang R.Y. Biodegradation of di-n-butyl phthalate by *Rhodococcus* sp. JDC-11 and molecular detection of 3,4-phthalate dioxygenase gene. *J. Microbiol. Biotechnol*. V. 20, N 10 (2010): pp.1440–1445.

- Lane D.J., Stackebrandt E., Goodfellow M. 16S/23S rRNA sequencing. In: Nucleic acid techniques in bacterial systematics. Ed. D.J. Lane. New York, John Wiley and Sons, 1991, pp. 115–175.
- Liang D.W., Zhang T., Fang H. Phthalates biodegradation in the environment. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* V. 80 (2008): pp. 183–198.
- Oie C.S.I., Albaugh C.E., Peyton B.M. Benzoate and salicylate degradation by *Halomonas campisalis*, an alkaliphilic and moderately halophilic microorganism. *Water Res.* V. 41, N 6 (2007): pp. 1235–1242.
- Oren A. Microbial life at high salt concentrations: phylogenetic and metabolic diversity. *Saline System.* V. 4, N 2 (2008): doi:10.1186/1746-1448-4-2.
- Raymond R.L. Microbial oxidation of n-paraffinhydrocarbons. *Develop. Ind. Microbiol.* V. 2, N 1 (1961): pp. 23–32.
- Stanislauskienė R., Rudenkov M., Karvelis L., Gasparavičiūtė R., Meškienė R., Časaitė V., Meškys R. Analysis of phthalate degradation operon from *Arthrobacter* sp. 68B. *Biologija.* V. 57, N 3 (2011): pp. 45–54.
- Vamsee-Krishna C., Mohan Y., Phale P. Biodegradation of phthalate isomers by *Pseudomonas aeruginosa* PP4, *Pseudomonas* sp. PPD and *Acinetobacter lwoffii* ISP4. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* V. 72 (2006): pp. 1263–1269.
- Ventosa A., Nieto J.J., Oren A. Biology of moderately halophilic aerobic bacteria. *Microbiol. Molec. Biol. Rev.* V. 62, N 2 (1998): pp. 504–544.
- Xu X.R., Li H.B., Gu J.D. Metabolism and biochemical pathway of N-Butyl Benzyl Phthalate by *Pseudomonas fluorescens* B-1 isolated from a mangrove sediment. *Ecotoxicol. Environ. Safety.* V. 68, N 3 (2007): pp. 379–385.

Поступила в редакцию 30.08.2019

Об авторах

Ястребова Ольга Викторовна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории молекулярной микробиологии и биотехнологии Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН
ORCID: 0000-0003-4997-6525
 614081, Пермь, ул. Голева, 13; olyastr@mail.ru; (342)2808431

Плотникова Елена Генриховна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярной микробиологии и биотехнологии Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН
ORCID: 0000-0002-0107-0719
 614081, Пермь, ул. Голева, 13; peg_el@mail.ru; (342)2808431

профессор кафедры ботаники и генетики растений ФГБОУВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
 614990, Пермь, ул. Букирева, 15

Информация для цитирования:

Ястребова О.В., Плотникова Е.Г. Грамотрицательные галофильные бактерии – деструкторы орто-фталевой кислоты // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2019. Вып. 4. С. 434–440. DOI: 10.17072/1994-9952-2019-4-434-440.

Yastrebova O.V., Plotnikova E.G. [Gram-negative halophilic bacteria-destroyers of ortho-phthalate]. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologija.* Iss. 4 (2019): pp. 434-440. (In Russ.). DOI: 10.17072/1994-9952-2019-4-434-440.

About the authors

Yastrebova Olga Victorovna, candidate of biology, researcher of laboratory of molecular microbiology and biotechnology Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms, UB RAS.
ORCID: 0000-0003-4997-6525
 13, Golev str., Perm, Russia, 614081; olyastr@mail.ru; (342)2808431

Plotnikova Elena Genrikhovna, doctor of biology, leading researcher of laboratory of molecular microbiology and biotechnology Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms UB RAS.
ORCID: 0000-0002-0107-0719
 13, Golev str., Perm, Russia, 614081; peg_el@mail.ru; (342)2808431

professor of the Department of botany and plant genetics Perm State University.
 15, Bukirev str., Perm, Russia, 614990

