

ИЗУЧЕНИЕ ПУТЕЙ катаболизма незамещенного пиридина штаммом бактерий *Rhodococcus* *wratislaviensis* KM-P

Из почвенных образцов, подвергавшихся воздействию незамещенного пиридина, выделен штамм бактерий *Rhodococcus wratislaviensis* KM-P, который использует пиридин в качестве единственного источника углерода, азота и энергии. В концентрации до 2.8 г/л бактерии способны полностью утилизировать пиридин в течение 26 ч. Выделены промежуточные продукты деградации изучаемого соединения, для идентификации которых использовались методы масс- и хроматомасс-спектрометрии. Показано, что раскрытию кольца предшествует реакция его гидроксирования. Штамм бактерий может быть использован для очистки промышленных сточных вод от пиридина.



Введение

С момента возникновения цивилизованного общества перед ним все время стояла проблема охраны окружающей среды. Из-за промышленной, сельскохозяйственной и бытовой деятельности человека постоянно происходили изменения физических, химических и биологических свойств окружающей среды, причем многие из этих изменений весьма неблагоприятны. В биосфере стали появляться и накапливаться разнообразные органические вещества, возникшие путем синтеза, направленного человеком и поэтому чужеродные экосистеме – пластики, синтетические полимерные материалы, синтетические моющие средства, смазочные материалы и побочные продукты химической промышленности.

Пиридин и его производные – важный класс гетероциклических соединений, широко используемый в химической промышленности. Пиридиновое кольцо является структурным фрагментом многих жизненно-необходимых человеку метаболитов, например, витаминов никотинамида В₃ и пиридоксина

Ф.М. Хасаева*,
кандидат
биологических наук,
докторант
химического
факультета,
Московский
государственный
университет
им. М.В. Ломоносова

Н.В. Василюк,
аспирантка
химического
факультета,
Московский
государственный
университет
им. М.В. Ломоносова

В₆. Их дефицит (пеллагра, авитаминоз по В₆) несовместим с жизнью. Производными пиридина являются некоторые лекарства, в свое время совершившие революцию в лечении туберкулеза (фтивазид), заболеваний сердца (кордиамин – сильный стимулятор ЦНС, сосудо-двигательного и дыхательного центров), используются в качестве снотворных (ивадал). В чистом виде пиридин широко используется и как растворитель, и как исходный реагент при производстве химикатов для сельского хозяйства (гербициды паракват, дикват и пиклорам), красителей, поликарбонатных резин и т. д.

В организм пиридин может попасть при вдыхании паров и адсорбции их через кожу. Он также адсорбируется в желудочно-кишечном тракте при потреблении загрязненных продуктов и воды. При отравлении наблюдается покраснение глаз и кожи, сбой в работе печени, почек, желудочно-кишечного тракта, нарушение функций центральной нервной

* Адрес для корреспонденции: khasaeva@yandex.ru

системы [1]. Пиридин относится к метгемоглобинообразователям [2] и в отношении канцерогенности он отнесен к 3-й группе [3].

Хорошая растворимость пиридина в воде обеспечивает легкость его транспорта и распространения в окружающей среде. Поэтому особую опасность для экосистем представляют сточные воды коксохимических, нефтеперерабатывающих, фармацевтических и химических производств. В питьевой воде ПДК пиридина составляет 0,2 мг/л, класс опасности – второй (высокоопасные вещества) [4]. Следовательно, необходима очень глубокая очистка таких вод. На данный момент предложены различные физико-химические способы очистки сточных вод от пиридиновых загрязнений: адсорбция [5, 6], адсорбция с электросорбцией [7], озонирование, ионный обмен [5].

Воду можно рассматривать как возобновляемый ресурс. Однако, сравнивая стоимость необходимого для очистки оборудования со стоимостью водопроводной воды, очистку загрязненной органическими веществами воды обычно считают неэкономичной. Повторное использование промышленных сточных вод экономично только в тяжелой промышленности (энергетика, сталелитейное производство и угледобывающая промышленность), где можно применять не такую чистую воду, как питьевая, и поэтому свести к минимуму обработку сточных вод. Основные трудности здесь связаны с наличием соединений, которые изолируются с трудом или не поддаются переработке. Возможно, эту проблему удастся решить,



используя микроорганизмы, которые приобрели способность разрушать такие соединения [8]. Действительно, наиболее приемлемым, эффективным и безальтернативным методом очистки сточных вод от пиридиновых соединений до настоящего времени остается биологический, в частности, микробиологический метод [9]. Нужно отметить, что биodeградация органических соединений, загрязняющих окружающую среду, оправдана только в том случае, если в результате происходит их полная минерализация, разрушение и детоксикация. Если же биохимическая модификация этих соединений приводит к повышению их токсичности или увеличивает время нахождения в среде, она становится не только нецелесообразной, но даже вредной. Несомненно, идеальным способом дезактивации отходов и сточных вод является метод микробной деградации. В 1914 г. была впервые опубликована информация о возможности разрушения пиридина микроорганизмами. Данный эффект был обнаружен при стерилизации почв раствором пиридина [10]. Впоследствии это направление интенсивно развивалось. Сейчас известно, что способность к деградации пиридинового кольца присуща ряду микроорганизмов, однако до сих пор четкого представления о протекающих процессах нет [11].

Ранее авторами данной статьи были выделены штаммы бактерий, способные к деградации пиридина и его производных. Один из них был идентифицирован как *Arthrobacter sp.* КМ-4 [12]. Показано, что первичной реакцией ферментной системы штамма является гидроксирование пиридинового кольца, которое приводит к его раскрытию [13]; также представлен путь катаболизма этого соединения [14]. Исследование другого штамма бактерий – *Rhodococcus erythropolis* КМ-Р показало, что он с высокой скоростью утилизирует 2,4-диметилпиридин [15]. Целью настоящей работы было изучение, выделение и идентификация интермедиатов процесса деградации пиридина штаммом бактерий *Rhodococcus wratislaviensis* КМ-Р и установление пути катаболизма данного соединения с применением методов хроматомасс-спектрометрии.

Материалы и методы исследования

Штамм бактерий *Rhodococcus wratislaviensis* КМ-Р был выделен из почвенных образцов, отобранных с территории предприятия, сточные воды которого содержали пиридин и производные пириди-

на. Выделенный штамм был идентифицирован как *Rhodococcus wratislaviensis* КМ-Р. [16]. Количественное определение потребления пиридина в культуральной жидкости (КЖ) проводили на спектрофотометре «Hitachi-200-20» (Япония) при 255 нм. Для этого КЖ подкисляли концентрированной HCl и освобождали от клеток центрифугированием. 1мл супернатанта КЖ переносили в колбу, доводили до объема 100 мл 0,1 Н раствором HCl и определяли величину оптической плотности. В качестве субстрата для деградации использовали коммерческий реактив – пиридин марки «ч», который непосредственно перед внесением в среду перегоняли. Контроль чистоты осуществляли методом ГЖХ.

Выделение продуктов деградации из КЖ проводили в динамике роста культуры в объеме 1-2 л. КЖ подкисляли до pH 2,0-3,0 концентрированной HCl и отделяли от клеток центрифугированием. Супернатант упаривали на роторном испарителе до 0,1 объема при 50 °С, затем раствор подщелачивали 40 %-ным NaOH до pH 8,0-9,0 и экстрагировали его горячим хлороформом в экстракторе для тяжелых жидкостей в течение 25-30 ч. Полученный хлороформный щелочной экстракт 1 упаривали досуха на роторном испарителе. Оставшийся водный раствор нейтрализовали концентрированной HCl до pH 6,5-7,0, экстрагировали горячим хлороформом и нейтральный экстракт 2 упаривали досуха. Оставшийся водный нейтральный остаток подкисляли до pH 3,0 концентрированной HCl, экстрагировали горячим хлороформом и кислый экстракт 3 снова упаривали досуха.

Выделение и идентификация индивидуальных продуктов деградации. Упаренные экстракты 1-3 растворяли в 0,5-1,0 мл этанола и хроматографировали на пластинках «Silufol UV-254» (DC-Alufolies Kieselgel 60 F₂₅₄, Merck) и пластинках с целлюлозой (TLC-Ready Plastic Sheets F₁₄₄₀). Использовали следующие системы растворителей: № 1 – хлороформ – ацетон – этанол (7:2:2); № 2 – этанол – аммиак – вода (20:1:4); № 3 – хлороформ, насыщенный аммиаком; № 4 – ацетонитрил – вода (1:1); № 5 – петролейный эфир – этилацетат – ацетон (5:1:1) Проявление хроматограмм осуществляли в УФ свете или парами йода. Фенольные соединения проявляли опрыскиванием хроматограмм 2 %-ным спиртовым раствором хлорного железа. Кетокислоты идентифицировали, опрыскивая хроматограммы 0,5 %-ным раствором 2,4-динитрофенилгидразина в 2 Н растворе HCl. Карбоновые



кислоты проявляли опрыскиванием хроматограмм 0,05 %-ным спиртовым раствором бромкрезолового зеленого (pH 7,0-8,0).

Для препаративного выделения индивидуальных продуктов использовали тонкослойную и колоночную хроматографию. В первом случае экстракты, растворенные в этаноле, хроматографировали на силикагеле (PSC-Fertigplatten Kieselgel 60 F₂₅₄, Merck), используя системы растворителей № 1, № 2 и № 5. После просмотра хроматограмм в УФ свете хроматографические зоны сорбента вырезали и элюировали: экстракт 1 – системами № 2 и № 5, экстракт 3 – метанолом. Полученные растворы фильтровали, фильтраты упаривали на роторном испарителе, осадок растворяли в этаноле. Структуру выделенных индивидуальных соединений определяли масс-спектрометрически.

Выделение карбоновых кислот осуществляли, используя колоночную хроматографию (30×1,7) на целлюлозе (целлюлоза микрокристаллическая ЛК, для колоночной хроматографии, Chemapol, CzSR) в системе № 2 и на силикагеле (10×1,5) (Silicagel L40/100, Chemapol, CzSR) в системе № 5, а также тонкослойную препаративную хроматографию в системах № 1, № 2, № 5.

Выделенные индивидуальные соединения анализировали с помощью масс- и хромато-масс-спектрометрии, УФ-, ИК-спектров, ВЭЖХ. Анализу подвергались непосредственно выделенные соединения, либо их триметилсилильные (ТМС) производные, либо 2,4-динитрофенилгидразоны.

Триметилсилилирование полученных образцов проводили по методу, описанному в [17]. К исследуемому образцу добавили 25 мкл ацетонитрила, 25 мкл дихлорэтана и 50 мкл бис-триметилсиллилтри-фторацетамида

(Regisil BSTFA), смесь выдерживали 30 мин при 150-160 °С.

2,4-динитрофенилгидразоны кетокислот получали путем обработки образцов раствором 2,4-динитрофенилгидразина в хлорной кислоте [18] с последующим разделением в тонком слое силикагеля.

ГХ-МС анализ проводили на приборе «Varian-MAT-311» со стеклянной капиллярной колонкой длиной 50 м × 0,2 мм с неподвижной фазой SE-30. Масс-спектры электронной ионизации получены при энергии 70 эВ. Масс-спектры триметилсилилированных свидетелей снимались на том же приборе в тех же условиях.

УФ-спектры снимали на спектрофотометре «Hitachi-200-20», ИК-спектры – на приборе «UR-20». ВЭЖХ выполняли на приборе Милихром в системе гексан-изопропанол (3:2) при длине волны 220 нм.

Результаты и их обсуждение

Большинство данных о путях метаболизма того или иного органического соединения получают при работе с бесклеточными экстрактами, определяя активности соответствующих ферментов. Однако бесклеточные экстракты не обладали пиридиноокисляющей активностью. Поэтому исследование путей метаболизма пиридина *Rhodococcus wratislaviensis* КМ-Р было основано на изучении строения промежуточных продуктов как в растущей культуре, так и в суспензии отмытых клеток.

При измерении спектров поглощения КЖ наблюдали поглощение только самого субстрата (λ_{\max} =255 нм), которое полностью исчезало к концу стационарной фазы роста. Выделение индивидуальных продуктов деградации из КЖ проводили при росте штамма *Rhodococcus wratislaviensis* КМ-Р на синтетической среде с пиридином. Выделенные продукты состояли, как правило, из смеси веществ, при этом, хотя и извлекались из больших объемов КЖ (1-2 л), были получены в крайне малых количествах (доли мг). Поэтому идентификацию многих из них удалось осуществить (чаще в виде триметилсилилированных производных) лишь при использовании хроматомасс-спектрометрии. При хроматографировании экстракта 1 (щелочного) КЖ родококка, растущего на пиридине, был выделен образец, который по данным ГХ-МС анализа содержал два вещества. Масс-спектральный распад одного из них с молекулярной массой 97 (табл. 1), позволяет интерпретировать его как продукт гидратации пиридина. В масс-спектре второ-

Ключевые слова:

биodeградация,
пиридин,
гидроксипиридин,
штамм-деструктор

го вещества наблюдается пик молекулярного иона с массой 95, что соответствует моногидроксипиридину (α -пиридону). Такая структура полностью подтверждается масс-спектральным распадом моно-ТМС-производного этого соединения – фрагментация вещества 167 (табл. 1) идентична таковой для моно-ТМС-производного синтетического свидетеля 2-гидроксипиридина.

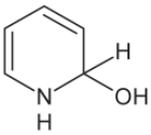
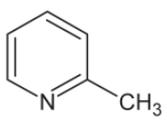
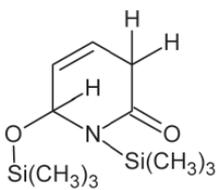
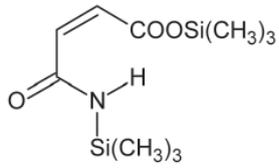
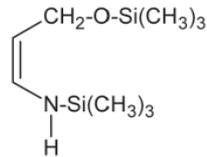
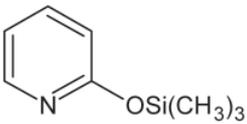
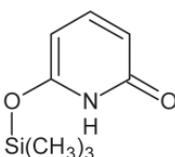
С помощью тонкослойной хроматографии из экстракта 3 (кислого) был получен образец, анализ которого методом ГХ-МС показал его неоднородность. На хроматограмме были получены два четких пика разной интенсивности. Один из пиков соответствовал ТМС-производному вещества, в его масс-спектре наблюдался молекулярный пик с массой 257, а также пики фрагментных ионов, представленные в табл. 1. Такая молекулярная масса и фрагментация может соответствовать продукту гидратации 2-гидроксипиридина в виде бис-ТМС-производного. Время удержания (R_t) этого вещества на хроматограмме составляло 5 мин 37 сек. Таким образом, по данной хроматографической характеристике, также как и по его масс-спектральному распаду, наиболее вероятной структурой для этого соединения является структура 2,6-дигидрокси-1,2-дигидропиридина. Другой пик на основании молекулярной массы, равной 233 и по масс-спектральному распаду (табл. 1) был идентифицирован как амид β -гидроксипропионовой кислоты в виде бис-ТМС-производного, который может образовываться в результате гидроксирования таутомерной формы этого же соединения по кратной связи с последующим ее разрывом (рис. 1).

Еще два вещества, обнаруженные в экстрактах КЖ *Rhodococcus wratislaviensis* КМ-Р, изучали в виде ТМС-производных. Одно из соединений, с молекулярной массой 183, временем удерживания 5 мин 5 сек, соответствовало моно-ТМС-производному 2,6-диметилпиридина (табл.1) Второе вещество с молекулярной массой 273 и временем выхода 11 мин 30 сек, по масс-спектру соответствовало бис-ТМС-производному 4-карбониламино-3-бутеновой кислоты. Эта кислота может образоваться из 2,6-дигидроксипиридина путем гидролитического расщепления по С-N связи.

Наконец, еще одно вещество, имеющее молекулярную массу 205, представляло собой бис-ТМС-производное карбаминовой кислоты. Дальнейший метаболизм 4-карбаминамино-3-бутеновой кислоты можно представить как окислительное расщепление по кратной связи с образованием малонового полуальдегида и амина гликолевой кислоты.

Таблица 1

Основные обнаруженные интермедиаты и их масс-спектры

Структура соединения	m/z	Интенсивность в % к максимальному иону	Процесс образования фрагмента
Гидрат пиридина 	97 95 80 79 59 52 43	19 13 70 64 100 41 76	M M-2H M-OH M-H ₂ O M-C ₃ H ₂ M-H ₂ O-HCN HO-CN
2-гидроксипиридин 	95 78 67 52 43	24 84 22 70 100	M M-OH M-CO M-HO-CN HO-CN
2,6-дигидрокси-1,2-дигидропиридин в виде бис-ТМС-производного 	257 215 185 145 129 103 73	37 100 83 94 15 36 62	M M-CH ₂ CO (M-(CH ₃) ₂ SiCH ₂ =A A-C ₃ H ₄ A-C ₂ H ₂ NO A-C ₃ H ₄ NCO Si(CH ₃) ₃
4-карбониламино-3-бутеновая к-та в виде бис-ТМС-производного 	273 258 230 202 156 147 73	2 16 12 4 100 10 32	M M-CH ₃ M-CH ₃ -CO M-CH ₃ -2CO M-COOSi(CH ₃) ₃ (CH ₃) ₃ SiOSi(CH ₃) ₂ Si(CH ₃) ₃
Бис-ТМС-производное амида β-гидроксипропионовой кислоты 	233 218 202 130 116 73	4 100 16 19 2 8	M M-CH ₃ M-OCH ₃ M-CH ₂ OSi(CH ₃) ₃ (CH ₃) ₃ SiNHCO (CH ₃) ₃ Si
Моно-ТМС-производное 2-гидроксипиридина 	176 166 152 136 122 78 73	18(56) 18(50) 100(100) 2(11) 8(19) 10(26) 3(7)	M M-H M-(CH ₃) ₃ M-H-2(CH ₃) ₃ M-CH ₃ -CH ₂ O M-OSi(CH ₃) ₃ Si(CH ₃) ₃
Моно-ТМС-производное 2,6-ди-гидроксипиридина 	183 168 155 150 139 212 100 95 81 73	25 24 6 2 9 4 3 3 4 100	M M-CH ₃ M-CO M-CH ₃ -H ₂ O M-CH ₃ -CHO M-CH ₃ -CHO-HCN (CH ₃) ₂ SiOCN M-OSi(CH ₃) ₂ CH ₂ M-CHOSi(CH ₃) ₃ Si(CH ₃) ₃

Окисление микроорганизмом последнего соединения приводит к появлению полуамида щавелевой кислоты, который в процессе ТМС-силилирования даст его моно ТМС-производное. При нагревании (в процессе силилирования) произойдет окислительное декарбоксилирование моно-ТМС-производного амида щавелевой кислоты с образованием моно-ТМС-производного карбамино-вой кислоты, последнее в условиях избытка силилирующего агента превращается бис-ТМС-производное, пик которого и был обнаружен на хроматомасс-спектрограмме.

При росте *Rhodococcus wratislaviensis* КМ-Р на синтетической среде с 2-гидроксипиридином потребление данного субстрата и накопление биомассы происходило только после добавления пиридина (0,3 г/л). ГХ-МС анализ ТМС-производных продуктов, выделенных из экстрактов КЖ, позволил идентифицировать вещества с молекулярными массами 183, 273 и 233, которые по своим характеристикам соответствовали моно-ТМС-производному 2,6-дигидроксипиридина, бис-ТМС-производным 4-карбониламино-3-бутеновой кислоты и амида β-гидроксипропионовой кислоты (табл. 1).

Итак, путь катаболизма пиридина штаммом бактерий *Rhodococcus wratislaviensis* КМ-Р можно изобразить следующей схемой (рис. 1).

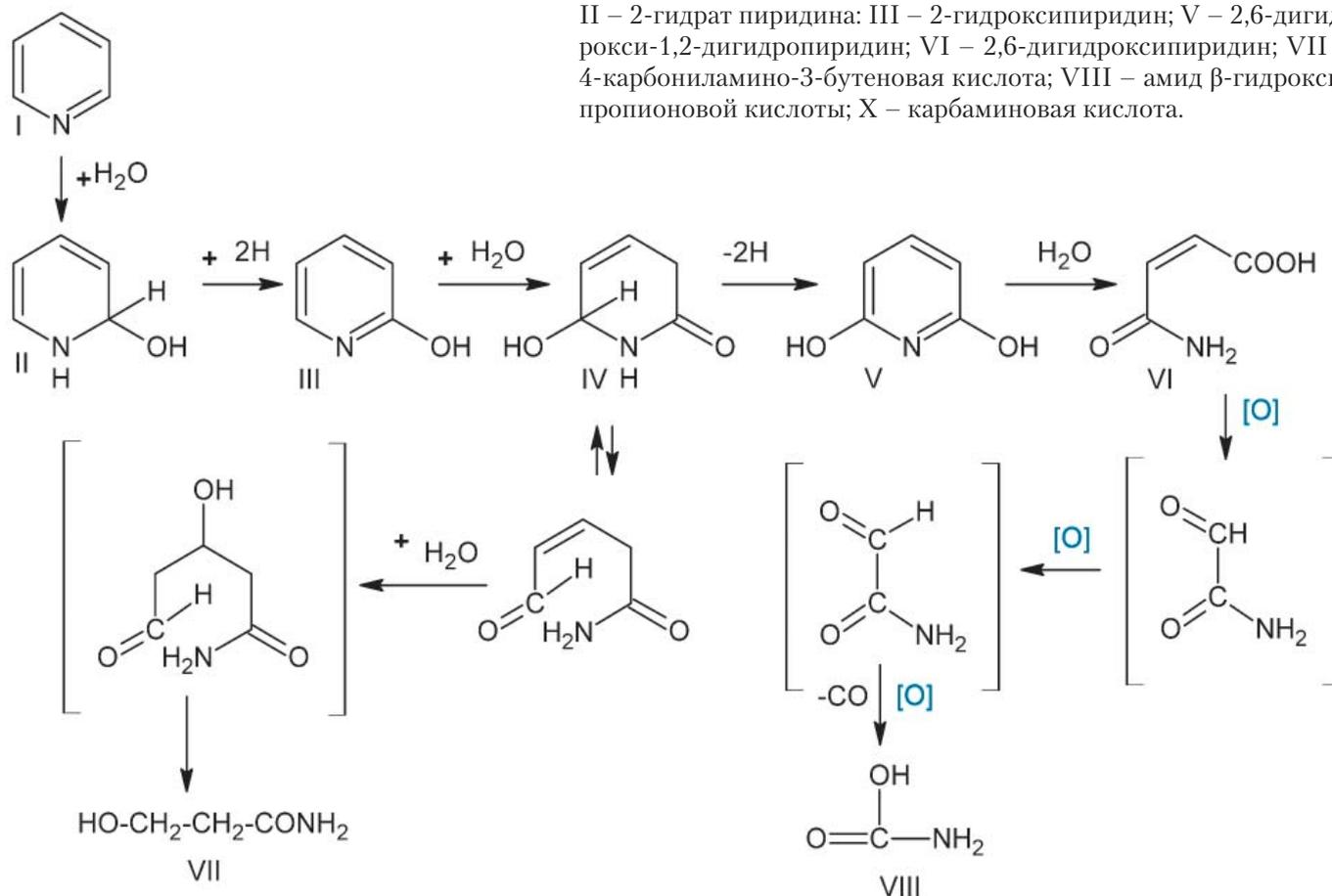


Заключение

В результате проведенных исследований было показано, что деградация пиридина штаммом бактерий *Rhodococcus wratislaviensis* КМ-Р идет по окислительному пути. Используя методы хроматомасс-спектрометрии, удалось установить структуры начальных продуктов метаболизма пиридина, которыми оказались 2- и 2,6-дигидроксипиридиноиды. На основании анализа продуктов раскрытия дигидроксипиридинов установлено, что пиридиновое кольцо подвергается гидролитическому разрыву по С-Н связи. Такие низкомолекулярные соединения раскрытия кольца как 4-карбониламино-3-бутеновая, амид β-гидроксипропионовой и карбаминовая кислоты легко включаются в основной обмен бактериальных клеток, что приводит к полной утилизации субстрата. Таким образом, штамм бактерий *Rhodococcus wratislaviensis* КМ-Р может быть рекомендован для очистки промышленных сточных вод от незамещенного пиридина.

Рис. 1. Катаболизм пиридина (I) штаммом бактерий *Rhodococcus wratislaviensis* КМ-Р

II – 2-гидрат пиридина; III – 2-гидроксипиридин; V – 2,6-дигидрокси-1,2-дигидропиридин; VI – 2,6-дигидроксипиридин; VII – 4-карбониламино-3-бутеновая кислота; VIII – амид β-гидроксипропионовой кислоты; X – карбаминовая кислота.



Литература

1. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ASTDR). Atlanta, GA:U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Toxicological profile for pyridine. 1992.
2. Куценко С.А. Основы токсикологии. С.-П.: Фолиант. 2004. 720 с.
3. International Agency for Research on Cancer (IARC). Pyridine. //Summaries&Evaluations. 2000. V. 77.
4. ГН 2.1.5.2280-07. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. 2007.
5. Akita S. Sorption equilibria of pyridine derivatives in aqueous solution on porous resins and ion exchange resins / Akita S., Takeuchi H. //J. Chem. Eng. Jpn. 1993. V. 26. № 3. P. 237–241.
6. Sabah E. Interaction of pyridine derivatives with sepiolite / Sabah E., Celik M.S. //J. Colloid Interface Sci. 2002. V. 251. № 1. P. 33–38.
7. Niu J. Development of techniques for purification of wastewaters: removal of pyridine from aqueous solution by adsorption at high-area C-cloth electrodes using in situ optical spectrometry / Niu J., Conway B.E. //J. Electroanal. Chem. 2002. V. 521. № 1-2. P. 16-28.
8. Кузьмина Н.А. Биотехнология: введение, промышленные аспекты (учебное пособие). Омск: ОмГПУ, 1995. 88 с.
9. Алиева Р.М. Микробиологические аспекты очистки сточных вод. Дисс..... докт. биол. наук. МГУ им. М.В. Ломоносова. 1987.
10. Buddin W. Partial sterilization of soil by volatile and nonvolatile antiseptics. //J. Agric. Science.1914. V. 6. № 4. P. 417-455.
11. Коростелева Л.А., Кост А.Н., Воробьева Л.И., Модянова Л.В., Терентьев П.Б., Куликов Н.С. Микробиологическая деградация пиридина и 3-метилпиридина. // Микробиология, 1981. Т.17. С.380-388.
12. Хасаева Ф.М. Arthrobacter crystallopoietes KM-4 – штамм-деструктор метил- и диметилпиридинов / Ф.М. Хасаева, Л.В. Модянова, Л.И. Воробьева, П.Б. Терентьев //Биотехнология. 2007. № 3. С. 58-63.
13. Хасаева Ф.М.. Изучение начальных путей катаболизма пиридина штаммом Arthrobacter sp. KM-4 / Ф.М. Хасаева, П.Б. Терентьев //Вода: Химия и Экология. 2008. № 4. С. 35-40
14. Хасаева Ф.М. Изучение путей катаболизма пиридина штаммом Arthrobacter sp. KM-4 / Ф.М. Хасаева, П.Б. Терентьев //Вода: Химия и Экология. 2008. № 6. С. 35-41.
15. Хасаева Ф.М. Биodeградация 2,4-диметилпиридина штаммом Rhodococcus sp. / Ф.М. Хасаева, Л.И. Воробьева, Л.В. Модянова, П.Б. Терентьев // Биотехнология, 2008, № 1, С. 72-78.
16. Хасаева Ф.М. Штамм бактерий *Rhodococcus wratislaviensis* KM-P – деструктор незамещенного пиридина / Ф.М. Хасаева, Н.В. Василюк, А.Т. Лебедев, Т.В. Колганова, Т.П. Турова // Вода: Химия и экология. 2010. № 6. С. 33-39.
17. Gehrke C.W. Gas-liquid chromatography of purine and pyrimidine bases / Gehrke C.W., Laking D.B. // J. Chromatogr. 1971. V. 64. P. 45-63.
18. Кост А.Н. Общий практикум по органической химии. М.: Мир. 1965. 680 с.



F.M. Khasaeva, N.V. Vasilyuk

CATABOLISM ROUTES OF UNSUBSTITUTED PYRIDINE BY *Rhodococcus wratislaviensis* KM-P BACTERIA STRAIN

Soil samples were treated by unsubstituted pyridine, as a result *Rhodococcus wratislaviensis* KM-P bacteria strain has been isolated, the strain consumes pyridine as the only source of carbon, nitrogen and energy. With concentration being up to 2,8 g/l bacteria are capable to

complete pyridine utilization in the period of 26 hours. Biodegradation intermediates have been singled out, they were analyzed by mass- and combined gas chromatography mass-spectrometry. Hydroxylation reactions were shown to precede ring opening reactions. The bacteria strain may be

used for pyridine waste water purification.

Key words: biodegradation, pyridine, hydroxypyridines, strain – destructor