

Н.А. Ямборко, Н.О. Леонова, Г.А. Иутинская

Институт микробиологии и вирусологии имени Д.К. Заболотного НАН Украины,
ул. Заболотного, 154, Киев, 03143, тел.: +38 (044) 526 34 87,
e-mail: yamborkon@gmail.com

СИНТЕЗ ФИТОГОРМОНОВ ПОЧВЕННЫМИ МИКРООРГАНИЗМАМИ-ДЕСТРУКТОРАМИ ХЛОРООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

*Хлорорганические пестициды ингибируют рост растительности в местах загрязнения. Применение для биоремедиации микроорганизмов-деструкторов, синтезирующих фитогормоны является перспективным, однако практически не изученным. Цель. Исследовать способность эффективных штаммов-деструкторов гексахлорциклогексана (ГХЦГ) синтезировать фитогормональные соединения для стимулирования роста растений в зоне загрязнения. Методы. Микробиологические, хроматографические, статистические. Результаты. Почвенные микроорганизмы-деструкторы хлорорганических соединений *Pseudomonas putida* ИМВ В-7289, *P. putida* УКМ В-398, *Bacillus megaterium* ИМВ В-7287, *Stenotrophomonas maltophilia* ИМВ В-7288 синтезируют и продуцируют в среду культивирования широкий спектр фитогормонов: цитокининов, ауксинов, гибберелловой и абсцизовой кислот. Качественный и количественный состав синтезируемых микроорганизмами фитогормонов характеризуется штаммовыми отличиями. *P. putida* УКМ В-398 является наиболее активным продуцентом внеклеточной гибберелловой кислоты, ауксинов и цитокининов. Выводы. Штамм *P. putida* УКМ В-398 представляет интерес как перспективный компонент микробного препарата и может быть использован в комплексе с эффективными деструкторами ГХЦГ *B. megaterium* ИМВ В-7287 и *P. putida* ИМВ В-7289.*

Ключевые слова: микробная деструкция, ГХЦГ, фитогормоны, ремедиация.

В связи со всё увеличивающимся влиянием на окружающую среду и здоровье человека токсических химически синтезированных соединений, в последнее время возрастает интерес к экологически безопасным способам их биодетоксикации, направленным на улучшение общего состояния почвы. Основная цель этих мероприятий – биоремедиация загрязнённых территорий, а также создание благоприятных условий для роста растений. Биотехнологии ремедиации загрязнённых почв с использованием полифункциональных микробных препаратов признаны в настоящее время наиболее перспективными [1]. Важным преимуществом биологических препаратов является отсутствие отрицательного влияния на окружающую среду. Известно, что одним из положительных свойств почвенных микроорганизмов является их способность синтезировать



фитогормоны, стимулирующие рост и развитие растений. Использование биопрепаратов, содержащих фитогормоны микробного происхождения в растениеводстве перспективно ввиду простоты и сравнительной дешевизны получения, а также высокого сродства к растительной клетке и способности легко связываться и катаболизироваться [2]. Бактерии, относящиеся к группе PGPB (plant-growth-promoting bacteria), представители родов *Bacillus* и *Pseudomonas*, известны как продуценты фитогормонов [3]. Отмечено стабилизирующее действие PGP-бактерий на структуру и функционирование аборигенного микробного сообщества лесной почвы в ризосфере сосны посевной [4].

Несмотря на то, что способность микроорганизмов синтезировать фитогормоны изучается довольно давно, в доступной нам литературе мы не нашли сведений о синтезе этих соединений бактериями-деструкторами пестицидов. Ранее нами были селекционированы эффективные штаммы, относящиеся к родам *Bacillus*, *Stenotrophomonas* и *Pseudomonas* [5], способные разлагать хлорорганические соединения. Представляло интерес изучить синтез этими штаммами фитогормональных веществ, влияющих как на рост и развитие растений, так и на стабилизацию природных микробных сообществ почв на загрязнённых территориях.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования были штаммы эффективных микроорганизмов-деструкторов хлорорганических соединений, селекционированные в отделе общей и почвенной микробиологии Института микробиологии и вирусологии имени Д.К. Заболотного НАН Украины: *P. putida* ИМВ В-7289, *B. megaterium* ИМВ В-7289, *S. maltophilia* ИМВ В-7288, *P. putida* УКМ В-398. Согласно проведённым ранее исследованиям, активность деструкции комплекса изомеров гексахлорциклогексана (4,8 мг/л) составляла (% от исходного содержания) штаммом *S. maltophilia* ИМВ В-7288 – 30,7–73,2, *P. putida* УКМ В-398 – 31,1–76,6, *P. putida* ИМВ В-7289 – 47,3–78,9, *B. megaterium* ИМВ В-7168 – 63,4–86,7 [5].

Для определения активности синтеза фитогормонов культивирование микроорганизмов проводили во флаконах объемом 500 мл в 100 мл жидкой питательной среды Менкиной [5] на качалке (220 об/мин) при температуре 26–28 °С в течение 48 ч. В качестве инокулянта использовали жидкие культуры *P. putida* ИМВ В-7289, *B. megaterium* ИМВ В-7289, *St. maltophilia* ИМВ В-7288, *P. putida* УКМ В-398 в экспоненциальной фазе роста (36 ч) в количестве 5% от объёма питательной среды. Культуральные жидкости указанных штаммов исследовали в начале стационарной фазы роста (48 ч). Биомассу клеток отделяли центрифугированием в течение 30 мин при 15000 g и +4 °С и дважды отмывали от питательной среды физиологическим раствором. Полученную биомассу и супернатант культуральной жидкости использовали для качественного и количественного определения фитогормонов. Из биомассы фитогормоны извлекали низкотемпературной этанольной экстракцией при -18 °С (для осаждения экзополисахаридов) с дальнейшим концентрированием. Из супернатанта



культуральной жидкости фитогормоны выделяли путем перераспределения в двух несмешивающихся между собой фазах. Экстракцию фитогормонов из культуральной жидкости бактерий проводили трижды в распределительных воронках этиловым эфиром уксусной кислоты (в соотношении 1:1). Перед экстракцией рН культуральной жидкости доводили до 2,8 с помощью 0,1 н HCl. Этилацетатную фракцию упаривали на роторном испарителе (HEIDOLPH Laborporta 4000 efficient, Германия) и перерастворяли в аликвоте 96 %-го этанола. В дальнейшем этанольный экстракт очищали последовательным хроматографированием на пластинках с оксидом кремния «Merck № 105554» (Германия) в разных системах растворителей: хлороформ ($R_f = 0$), аммиак 12,5 % ($R_f = 1$), а также этилацетат : уксусная кислота (19 : 1) ($R_f = 0,7...0,9$). После очистки зоны, совпадающие по R_f с нанесенными ранее стандартами ауксинов и абсцизовой кислоты (АБК), снимали с пластинок и элюировали в течение 24 ч этилацетатом. Элюат повторно хроматографировали на пластинках с оксидом кремния «Merck № 105554» (Германия) в системе растворителей хлороформ : этилацетат : уксусная кислота (100 : 100 : 1). Количественное определение фитогормонов осуществляли на сканирующем спектроденситометре «Camag TLC Scanner» (Швейцария). Дальнейшее концентрирование и очистку экстрактов проводили методом препаративно-накопительной тонкослойной хроматографии. Качественное и количественное определение ауксинов, цитокининов и АБК проводили методом спектроденситометрической тонкослойной хроматографии [6]. Количество внутриклеточных и внеклеточных фитогормонов выражали в мкг на 1 г абсолютно сухой биомассы (АСБ) продуцента.

Результаты и их обсуждение

В супернатантах культуральных жидкостей микроорганизмов-деструкторов были выявлены внеклеточные фитогормоны разных классов, качественный и количественный состав которых был индивидуальным у каждого штамма микроорганизмов. Все штаммы синтезировали преимущественно индолилуксусную кислоту (ИУК), некоторые – АБК, в то же время индол-3-карбоксихальдегид, индол-3-гидразид уксусной кислоты были выявлены в следовых количествах (табл. 1).

Среди исследуемых штаммов-деструкторов самым активным продуцентом ИУК и индол-3-карбоксихальдегида и АБК оказался *P. putida* УКМ В-398 – содержание этих фитогормонов в супернатанте соответственно составляло 9,9, –3,5 и 0,9 мкг/г АСБ. Штамм *S. maltophilia* ИМВ В-7288 был единственным, который продуцировал в среду культивирования индол-3-гидразид уксусной кислоты (2,6 мкг/г АСБ). Из исследованных фитогормонов *B. megaterium* ИМВ В-7287 продуцировал в культуральную жидкость только ИУК – 5,9 мкг/г АСБ, а другие ауксины и АБК были выявлены в следовых количествах (табл. 1).

Также исследовали содержание цитокининов, продуцируемых в культуральную жидкость (внеклеточные), и в биомассе (внутриклеточные) микроорганизмов. Максимальное количество внеклеточных цитокининов (зеатина и зеатинрибозида) синтезировал *P. putida* УКМ В-398 – 133,9 и 189,5 мкг/г АСБ



соответственно, что превышало содержание фитогормонов в супернатанте культуральной жидкости других исследуемых штаммов в 8,3–166,7 раза.

Таблица 1

Содержание ауксинов и абсцизовой кислоты в супернатантах культуральных жидкостей микроорганизмов-деструкторов, мкг/г АСБ

Table 1

The content of auxin and abscisic acid in the supernatants of microorganisms- destructors, , µg/g ASB

Штамм	Индолилуксусная кислота	Индол-3-карбокс альдегид	Индол-3-гидразид уксусной кислоты	Абсцизовая кислота
<i>B. megaterium</i> ИМВ В-7287	5,9	сл.	сл.	сл.
<i>P. putida</i> ИМВ В-7289	3,7	0,2	сл.	сл.
<i>P. putida</i> УКМ В-398	9,9	3,5	сл.	0,9
<i>S.maltophilia</i> ИМВ В-7288	0,9	сл.	2,6	сл.

($p \leq 0.05$), $n=3$

Примечание: «сл.»- следы

Note: «сл.»- trace amounts

В то же время синтез у *P. putida* УКМ В-398 внутриклеточных зеатина и зеатинрибозида было в 1,2–19,4 и в 13,0–16,4 раза соответственно меньше по сравнению с другими штаммами (табл. 2). У *B. megaterium* ИМВ В-7287 содержание внеклеточного и внутриклеточного зеатинрибозида было одинаковым, а внутриклеточного зеатина (в биомассе) достигало 17,5 мкг/г АСБ и превышало его содержание в биомассе других исследуемых культур в 3,5–19,0 раз (табл. 2). Наибольшее количество зеатинрибозида было выявлено в биомассе *S. maltophilia* ИМВ В-7288 – 11,5 мкг/г АСБ, что превышало в 1,4 раза его содержание в биомассе других исследуемых штаммов в 1,2–16,4 раза. Содержание внутриклеточных зеатина и зеатинрибозида у микроорганизмов обусловлено их синтезом внутри клетки и рибозилированием – превращением в транспортную форму – зеатинрибозид. Именно в виде рибозилированной формы зеатин активно транспортируется за пределы клеток в культуральную жидкость и может использоваться растением [2]. Это подтверждается высоким содержанием внеклеточного зеатинрибозида у штаммов *P. putida* ИМВ В-7289, *P. putida* УКМ В-398 и *S. maltophilia* ИМВ В-7288 (табл. 2) и низким его содержанием в биомассе.



Синтез внеклеточных и внутриклеточных цитокининов
микроорганизмами-деструкторами, мкг/г АСБThe synthesis of the extracellular and intracellular cytokinins by
microorganisms-destructors, µg/g ASB

Штамм	Зеатин		Зеатинрибозид		Изопентенил аденозин рибо- зилирован.	Изопентенил аденин
	1	2	1	2	1	2
<i>B. megaterium</i> ИМВ В-7287	0.01	17.5	9.2	9.3	0,1	0,8
<i>P. putida</i> ИМВ В-7289	8.7	1.1	16.3	9.1	6,1	7,7
<i>P. putida</i> УКМ В-398	133.9	0.9	189.5	0.7	8,4	-
<i>S. maltophilia</i> ИМВВ-7288	0.8	5.1	22.8	11.5	-	-

Примечание: «-» – не выявлено; ($p \leq 0.05$), $n=3$

1-внеклеточный фитогормон (в супернатанте);

2- внутриклеточный фитогормон (в биомассе).

Note: «-» – not found; ($p \leq 0.05$), $n=3$

1-extracellular phytohormone (supernatant);

2- intracellular plant hormone (biomass).

P. putida ИМВ В-7289 содержание зеатина в супернатанте культуральной жидкости превышало его содержание в клетках в 7,9, а у штамма *P. putida* УКМ В-398 – 148,8 раз. Таким образом, штаммы-деструкторы в большинстве своем выводят за пределы клеток синтезированные зеатин и зеатинрибозид.

Кроме зеатина и зеатинрибозида в культуральных жидкостях исследуемых микроорганизмов были выявлены и другие цитокинины, а именно, изопентениладенозин рибозилированный и изопентениладенин. Так, в супернатанте культуральной жидкости *P. putida* УКМ В-398 было выявлено наибольшее количество изопентениладенозина рибозилированного – 8,42 мкг/г АСБ, а штамм *P. putida* ИМВ В-7289 синтезировал максимальное количество внеклеточного изопентениладенина – 7,7 мкг/г АСБ. У штаммов *B. megaterium* ИМВ В-7287 и *S. maltophilia* ИМВ В-7288 указанные цитокинины определялись в незначительных или следовых количествах (табл. 2).

Биосинтетический потенциал исследуемых штаммов микроорганизмов характеризовался также способностью синтезировать гибберелловую кислоту и ИУК. Штамм *P. putida* УКМ В-398 синтезировал наибольшее количество внеклеточной ИУК – 9,9 мкг/г АСБ, *B. megaterium* ИМВ В-7287 продуцировал ИУК 5,5 мкг/г АСБ; у остальных штаммов наблюдали низкий уровень син-



теза данного фитогормона. Содержание гибберелловой кислоты в биомассе штаммов-деструкторов было различным: максимальное – 4,7 мкг/г у *P. putida* УКМ В-398, минимальное – 3,0 мкг/г АСБ у *S. maltophilia* ИМВ В-7288 (табл.3). Важно отметить, что содержание гибберелловой кислоты в культуральных жидкостях исследуемых штаммов (за исключением *B. megaterium* ИМВ В-7287) было выше по сравнению с её содержанием в биомассе, а именно, у *P. putida* ИМВ В-7289 – в 197,2 раза, у *S. maltophilia* ИМВ В-7288 – в 155 раз, у *P. putida* УКМ В-398 – в 206 раз.

Таблица 3

**Синтез гибберелловой кислоты
микроорганизмами-деструкторами, мкг/г АСБ**

Table 3

**The synthesis of gibberellic acid
by microorganism-destroyers, µg/g of ASB**

Штамм	Гибберелловая кислота	
	в биомассе	в супернатанте культуральной жидкости
<i>B. megaterium</i> ИМВ В-7287	4,6	не выявлено
<i>P. putida</i> ИМВ В-7289	3,6	709,9
<i>S. maltophilia</i> ИМВ В-7288	3,0	466,3
<i>P. putida</i> УКМ В-398	4,7	968,1

($p \leq 0.05$), n=3

Известно, что почвенные ризосферные микроорганизмы, относящиеся к RGP-бактериям, формируют растительно-микробные взаимоотношения по принципам мутуализма, обеспечивая растения комплексом биологически активных веществ, в том числе и фитогормонов. Продукция ростстимулирующих веществ выгодна микроорганизмам, поскольку при этом возрастает выделение корневых растительных экссудатов, обеспечивающих питание и самих микроорганизмов [7]. Для RGPB характерна способность оптимизировать гормональную систему растений, стимулируя также их рост, в отличие от патогенных микроорганизмов, синтезирующих избыточное количество фитогормонов и нарушающих рост и развитие растений, приводя к возникновению целого ряда заболеваний [8]. Симбиотические, ассоциированные с растениями клубеньковые бактерии, согласно “ауксиновой” гипотезе инфицирования, проникают в ткани корней благодаря синтезу ИУК. Общеизвестна также способность ауксинов стимулировать прорастание семян, ветвление и рост корней в длину за счёт растяжения клеток, а также повышать устойчивость к стрессовым факторам [7].



Исследуемый штамм-деструктор *P. putida* УКМ В-398 продуцировал ИУК в количестве 9,9 мкг/г АСБ, а *B. megaterium* ИМВ В-7287 – 5,9 мкг/г АСБ, что сопоставимо с синтезом ауксинов ризобиями, например, *Bradyrhizobium japonicum* УКМ-В 6018 – на уровне 8,9 мкг/г АСБ [9]. Бактериальные ауксины стимулируют процесс формирования корневых волосков так же эффективно, как и ауксины растительного происхождения [10]. Исследуемые нами почвенные микроорганизмы-деструкторы не являются ассоциативными, в связи с этим для формирования мутуалистического взаимодействия с растениями им необходим достаточный потенциал синтеза экзометаболитов фитогормональной природы и ауксинов в первую очередь [11]. Известно также позитивное влияние ауксинов, синтезируемых *B. megaterium*, на формирование корневых волосков и корневой системы в целом у *Arabidopsis thaliana* [3]. Интродукция ауксинсинтезирующих бактерий в ризосферу *Triticum aestivum* L. повышала содержание этих гормонов в растениях [12].

Способность продуцировать абсцизовую кислоту (АБК) также обнаружена у ряда представителей RGPB [13]. Большинство учёных до недавнего времени считали, что АБК не относится к фитогормонам стимулирующего действия. Хотя механизм прямого действия этого фитогормона на рост растений ещё не до конца выяснен и АБК известна, в основном, как фитогормон-ингибитор, в настоящее время однозначно доказана его роль в нормализации водного обмена растений. Так АБК индуцирует закрытие устьиц в условиях засухи, а также активирует работу водных каналов в клеточных мембранах, что облегчает приток воды из корней к надземной части растения [10]. Таким образом АБК, синтезируемая микроорганизмами в ризосфере растений, может выступать для них важным регулирующим фактором.

Согласно полученным данным только в культуральной жидкости *P. putida* УКМ В-398 была выявлена АБК в количестве 0,9 мкг/г АСБ, что значительно ниже количества синтезированных ауксинов. Подобная закономерность, по данным Драговоца И.В. с соавторами [9], характерна и для целого ряда штаммов ризобий – синтез внеклеточных фитогормонов стимулирующего действия (цитокенинов и ауксинов) был значительно выше (в 20–430 раз), чем синтез АБК.

Изучение внеклеточных цитокининов в составе культуральных жидкостей штаммов-деструкторов показало, что в большей или меньшей степени исследуемые микроорганизмы синтезировали зеатин и/или зеатинрибозид; их максимальное содержание выявляли в культуральной жидкости *P. putida* 9 – 133,9 и 189,5 мкг/г АСБ соответственно. Способность продуцировать цитокинины обнаружена у меньшего количества видов и штаммов RGPB по сравнению с продуцентами ауксинов [13]. Полученные нами результаты подтверждают эти сведения и объясняют факт сравнительно низкого содержания зеатина и следовых количеств изопентениладенозина рибозилированного и изопентениладенина в составе культуральных жидкостей *S. maltophilia* ИМВ В-7288 и *B. megaterium* ИМВ В-7287. В культуральной жидкости *P. putida* ИМВ В-7289 присутствовали все исследуемые цитокинины приблизительно в равных



количествах (табл. 2, 3). Известно, что рибозилирование цитокининов у растений обеспечивает инактивацию их фитогормональных свойств их активность снижается или полностью исчезает, при этом они приобретают возможность их транспорта через клеточные мембраны. Отщепление фрагмента рибозы от молекулы цитокинина означает конец транспортирования и включение активной фитогормональной функции цитокининов [2]. По данным Кудояровой Г.Р. с соавторами [8], присутствие в ризосфере цитокининов, синтезированных РГРВ *B. subtilis*, достоверно активировало накопление биомассы побегов и корней у растений латука.

Нами было исследовано также внутриклеточное содержание фитогормонов основных классов для оценки общего биосинтетического потенциала культур-деструкторов. Так, максимальное количество зеатина было выявлено в биомассе *B. megaterium* ИМВ В-7287, а максимальное содержание зеатинрибозида – в биомассе штаммов *P. putida* ИМВ В-7289 и *S. maltophilia* ИМВ В-7288.

В отличие от цитокининов активность синтеза ИУК оказалась низкой у исследуемых штаммов. Содержание гибберелловой кислоты в микробной биомассе было достаточно высоким: наибольшее – 4,7 мкг/г у *P. putida* 9, а наименьшее – 3,0 мкг/г АСБ у *S. maltophilia* ИМВ В-7288. Для РГРВ, а именно представителей родов *Pseudomonas* и *Stenotrophomonas* синтез гибберелловой кислоты является весьма характерным. Гиббереллины микробного происхождения также как и гиббереллины растений выступают посредниками взаимодействия между клеточными метаболитами и другими фитогормонами [14], потому их интерактивная роль чрезвычайно важна для сбалансированного функционирования всех систем растительной клетки. Но механизмы синтеза гиббереллинов чувствительны к присутствию ксенобиотиков; было установлено, что гербицид паклобутразол (монохлорсодержащий триазол, 0,025%-ный раствор) приводил к уменьшению содержания свободных гиббереллинов и абсцизовой кислоты в листьях растений сахарной свеклы, рапса посевного [15]. Применение PGR-бактерий, продуцирующих фитогормоны, перспективно для растений на загрязнённых пестицидами территориях, поскольку известно, что пестициды в большинстве случаев снижают способность растений синтезировать фитогормоны.

Проведённые исследования свидетельствуют о том, что синтез микроорганизмами фитогормонов является штаммовой характеристикой. Это чётко прослеживается на примере *P. putida* УКМ В-398 и *P. putida* ИМВ В-7289, принадлежащих к одному виду.

Из всех исследованных культур, *P. putida* УКМ В-398 был наиболее активным продуцентом экзогенных легкодоступных для растений ауксинов и цитокининов, он представляет интерес как перспективный компонент комплексного микробного препарата для ремедиации загрязнённых территорий. Штамм может использоваться в комплексе с такими эффективными деструкторами как *B. megaterium* ИМВ В-7287 и *P. putida* ИМВ В-7289, которые про-



явили більш низку здатність синтезувати досліджувані фітогормони. В комплексному препараті штамки будуть взаємно доповнювати одна одну для ефективного розкладання хлорорганічних забруднень і стимулювання росту і розвитку рослин на забруднених територіях.

Выражаем благодарность за сотрудничество д.б.н. Драговозу Игорю Владимировичу.

N.A. Yamborko, N.O. Leonova, G.O. Iutynska

Institute of Microbiology and Virology ASU, 154, Zabolotny str., Kyiv, 03143, Ukraine,
tel.: +38 (044) 526 34 87, e-mail: yamborkon@gmail.com

THE SYNTHESIS OF PHYTOHORMONES BY SOIL MICROORGANISMS-DESTRUCTORS OF ORGANOCHLORINES

Summary

Organochlorine pesticides inhibit the plant growth in the pollution soils. The application of microorganisms-destroyers synthesizing plant hormones is promising to bioremediation, but is little studied. Aim. To research the ability of effective strain-destroyers of hexachlorocyclohexane (HCH) for synthesizing phytohormonal compounds to stimulate the plant growth in the contaminated areas. **Methods.** Microbiological, chromatographic, statistical research methods. **Results.** Soil microorganisms-destroyers of organochlorines *Pseudomonas putida* IMV B-7289, *P. putida* UKM B-398, *Bacillus megaterium* IMV B-7287, *Stenotrophomonas maltophilia* IMV B-7288 have synthesized and have produced in the nutrient medium a wide spectrum of plant hormones: cytokinin, auxin, gibberellic and abscisic acid. The qualitative and quantitative composition of the plant hormones synthesized by microorganisms of strains is characterized by differences among the studied strains. *P. putida* UKM B-398 is the most active producer of extracellular gibberellic acid, auxin and cytokinin. **Conclusions.** The strain *P. putida* UCM B-398 is interesting as a promising microbial component of biopreparation and may be used in combination with effective destroyers of HCH *B. megaterium* IMV B-7287, and *P. putida* IMV B-7289.

Keywords: microbial degradation, HCH, plant hormones, remediation.

Н.А. Ямборко, Н.О. Леонова, Г.О. Іутинська

Інститут мікробіології і вірусології імені Д.К. Заболотного НАН України,
вул. Заболотного, 154, Київ, 03143, тел.: +38 (044) 526 34 87,
e-mail: yamborkon@gmail.com

СИНТЕЗ ФІТОГОРМОНІВ ҐРУНТОВИМИ МІКРООРГАНІЗМАМИ-ДЕСТРУКТОРАМИ ХЛОРООРГАНІЧНИХ СПОЛУК

Реферат

Хлороорганічні пестициди інгібують ріст рослинності в місцях забруднення. Застосування для біоремедіації мікроорганізмів-деструкторів, здатних син-



тезувати фітогормони є перспективним але практично не вивченим. **Мета.** Дослідити здатність ефективних штампів-деструкторів гексахлорциклогексану (ГХЦГ) синтезувати фітогормональні сполуки для стимулювання росту рослин в зоні забруднення. **Методи.** Мікробіологічні, хроматографічні, статистичні. **Результати.** Ґрунтові мікроорганізми-деструктори хлорорганічних сполук *Pseudomonas putida* ИМВ В-7289, *P. putida* УКМ В-398, *Bacillus megaterium* ИМВ В-7287, *Stenotrophomonas maltophilia* ИМВ В-7288 синтезують і продукують в середовище культивування широкий спектр фітогормонів: цитокинінів, ауксинів, гіберелової і абсцизової кислот. Якісний і кількісний склад синтезованих мікроорганізмами фітогормонів характеризується штамовими відмінностями. *P. putida* УКМ В-398 є найбільш активним продуцентом позаклітинної гіберелової кислоти, ауксинів і цитокинінів. **Висновки.** Штам *P. putida* УКМ В-398 має значення як перспективний компонент мікробного препарату і може бути використаний в комплексі з ефективними деструкторами ГХЦГ *B. megaterium* ИМВ В-7287 і *P. putida* ИМВ В-7289.

Ключові слова: мікробна деструкція, ГХЦГ, фітогормони, ремедіація.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Phillips Theresa M., Seech Alan G., Hung Lee, Trevors Jack T. Biodegradation of hexachlorocyclohexane (HCH) by microorganisms // Biodegradation. – 2005, V. 16, Issue 4, – P. 363–392.
2. Кулаева О.Н., Кузнецов В.В. Новейшие достижения и перспективы в области изучения цитокининов // Физиология растений. –2002. – Т. 49, № 4. – С. 626–640.
3. López-Bucio J., Campos-Cuevas J.C., Hernández-Calderon E., Velásquez-Becerra C., Farias-Rodríguez R., Macías-Rodríguez L.I., Valencia-Cantero E. *Bacillus megaterium* rhizobacteria promote growth and alter root-system architecture through an auxin- and ethylene-independent signaling mechanism in *Arabidopsis thaliana* // Molecular Plant-Microbe Interactions. – 2007. –V. 20, № 2. –P. 207–217.
4. Shishido M., Chanway C.P. Forest soil community responses to plant growth-promoting rhizobacteria and spruce seedlings // Biol Fertil Soils. – 1998. –V. 26. –P. 179–186.
5. Ямборко Н.А., Пиндрус А.А. Токсическое и мутагенное действие гексахлорциклогексана и продуктов его микробной деструкции на микробный ценоз почвы // Микробиол. журн. – 2011. –Т. 73, № 6. – С. 56–63.
6. Савинский С.В., Кофман И.Ш., Кофанов В.И., Стасевская И.Л. Методические подходы к определению фитогормонов с помощью спектроденситометрической тонкослойной хроматографии // Физиол. и биохим. культ. раст. – 1987. – 19, № 2. – С. 210–215.
7. Цавкелова Е.А., Климова С.Ю., Чердынцева Т.А., Нетрусов А.И. Микроорганизмы-продуценты стимуляторов роста растений и их практическое применение // Прикл. биохимия и микробиология. – 2006. – 42, № 2. – С. 133–143.



8. Кудоярова Г.Р., Курдиш И.К., Мелентьев И.К. Образование фитогормонов почвенными и ризосферными бактериями как фактор стимуляции роста растений // Известия Уфимского научного центра РАН. –2011. – №3–4. –С. 5–16.
9. Драгозов И.В., Леонова Н.О., Іутинская Г.А. Синтез фитогормонов штаммами *Bradyrhizobium japonicum* различной симбиотической эффективности // Микробиол. Журн. – 2011. – 73, № 4. – С. 29–35.
10. Wittenmayer L., Wolfgang Merbach W. Plant responses to drought and phosphorus deficiency: contribution of phytohormones in root-related processes // Plant Nutr. Soil Sci. –2005. –V. 168. –P. 531–540.
11. Spaepen S., Vanderleyden J., Remans R. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling // FEMS Microbiol. Rev. 2007. V. 31. – P. 425–448.
12. Ali B., Sabri A.N., Ljung K., Hasnain S. Auxin production by plant associated bacteria: impact on endogenous IAA content and growth of *Triticum aestivum* L. // Letters in Applied Microbiology. –2009.–V. 48. – P. 542–547.
13. Dodd I.C., Zinovkina N.Y., Safronova V.I., Belimov A.A. Rhizobacterial mediation of plant hormone status // Annual Applied Biology. – 2010. – V. 157. – P. 361–379.
14. Bottini R., Cassan F., Piccoli P. Gibberellin production by bacteria and its involvement in plant growth promotion and yield increase // Appl Microbiol Biotechnol. –2004. –V. 65. –P. 497–503.
15. Шевчук О.А., Кур'ята В.Г. Вплив паклобутразолу на активність гіберелінів і вміст різних форм абсцизової кислоти у листках цукрового буряка // Вісник Харківського національного аграрного університету. –Серія Біологія, 2007, – Вип. 1 (10), –С. 71–75.

Referenses

1. Phillips TM., Seech AG, Lee H., Trevors JT Biodegradation of hexachlorocyclohexane (HCH) by microorganisms. Biodegradation. 2005; 16 (4): 363–392.
2. Kulaeva ON, Kuznetsov VV Recent advances and perspectives in the study of cytokinins. Plant Physiology. 2002; 49 (4): 626-640.
3. López-Bucio J., Campos-Cuevas JC., Hernández-Calderon E., Velásquez-Becerra C., Farias-Rodriguez R., Macías-Rodriguez LI., Valencia-Cantero E. *Bacillus megaterium* rhizobacteria promote growth and alter root-system architecture through an auxin- and ethylene-independent signaling mechanism in *Arabidopsis thaliana*. Molecular Plant-Microbe Interactions. 2007;20(2): 207–217.
4. Shishido M., Chanway CP. Forest soil community responses to plant growth-promoting rhizobacteria and spruce seedlings. Biol Fertil Soils. 1998; (26):179–186.
5. Yamborko NA, Pindrus AA The toxic and mutagenic effects of hexachlorocyclohexane and its products of microbial degradation to the soil microbial cenosis. Microbiol. J. 2011; 73 (6):56-63.
6. Savinskiy SV, Kofman IS, Kofanov VI, Stasevskaya IL Methodological approaches to the determination of plant hormones using spektrodensitometric TLC // Physiology and biochem. of cultivated plants. 1987; 19 (2): 210-215.



7. *Tsavkelova EA, Klimova SY, Cherdyntseva TA, Netrusov AI* The microorganisms-producers of plant growth stimulants and their practical application. *J. Appl. Biochemistry and Microbiology*.2006; 42 (2): P. 133-143
8. *Kudoyarova GR, Kurdish IK, Melent'ev IK* Production of phytohormones by soil and rhizosphere bacteria as a factor stimulating the plants growth. *Proceedings of the Ufa Scientific Center of Russian Academy of Sciences*. 2011;(3-4):5-16.
9. *Dragovoz IV, Leonova NO, Iutynska GA*. The synthesis of phytohormones by strains *Bradyrhizobium japonicum* different symbiotic efficiency. *Microbiol. J*. 2011;73 (4):29-35.
10. *Wittenmayer L., Wolfgang Merbach W*. Plant responses to drought and phosphorus deficiency:contribution of phytohormones in root-related processes. *Plant Nutr. Soil Sci*. 2005; (168): 531–540.
11. *Spaepen S., Vanderleyden J., Remans R*. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganismplant signaling. *FEMS Microbiol. Rev*. 2007;(31): 425–448.
12. *Ali B., Sabri AN., Ljung K., Hasnain S*. Auxin production by plant associated bacteria: impact on endogenous IAA content and growth of *Triticum aestivum L*. *Letters in Applied Microbiology*.2009; (48): 542–547.
13. *Dodd IC., Zinovkina NY., Safronova VI., Belimov AA*. Rhizobacterial mediation of plant hormone status. *Annual Applied Biology*. 2010; (157): 361–379.
14. *Bottini R., Cassan F., Piccoli P*. Gibberellin production by bacteria and its involvement in plant growth promotion and yield increase. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2004; (65): 497–503.
15. *Shevchuk AA, Kur'yata VG* The impact of paklobutrazol on gibberellin activity and content of different forms of abscisic acid in the leaves of sugar beet // *Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Biology Series*. 2007; 1(10): 71-75.

Стаття надійшла до редакції 23.11.2016 р.

