

**Т.П. Пирог^{1,2}, Н.О. Леонова², Т.А. Шевчук², Е.В. Панасюк¹,
К.А. Береговая¹, Г.А. Иутинская²**

¹ Национальный университет пищевых технологий,
ул. Владимирская, 68, Киев, 01601, Украина

² Институт микробиологии и вирусологии им. Д.К. Заболотного НАН Украины,
ул. Акад. Заболотного, 154, Киев 03143, Украина

СИНТЕЗ ФИТОГОРМОНОВ ПРОДУЦЕНТОМ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ *NOCARDIA VACCINII* IMB В-7405

Цель. Исследовать синтез фитогормонов при культивировании продуцента поверхностно-активных веществ (ПАВ) *Nocardia vaccinii* IMB В-7405 в средах с различными источниками углеродного питания. **Методы.** Фитогормоны экстрагировали из супернатанта культуральной жидкости (до и после выделения ПАВ) этилацетатом (ауксины, абсцизовая кислота) и н-бутанолом (цитоконины), очищали и концентрировали методом тонкослойной хроматографии, после чего осуществляли количественное определение с помощью сканирующего спектроденситометра Сорбфил. **Результаты.** При выращивании в среде с рафинированным подсолнечным маслом и глицерином штамм IMB В-7405 синтезировал 1,6–1,8 г/л внеклеточных ПАВ, а также максимальное количество ауксинов (140–770 мкг/л). Культивирование *N. vaccinii* IMB В-7405 на отработанном после жарки картофеля и мяса масле сопровождалось снижением количества фитогормонов до 23–84 мкг/л (ауксины) и 16–90 мкг/л (цитоконины) и повышением концентрации ПАВ до 2,3–2,6 г/л. Уровень синтеза абсцизовой кислоты (2–12 мкг/л) практически не зависел от природы ростового субстрата. **Выводы.** Полученные результаты показывают возможность использования маслосодержащих промышленных отходов для одновременного синтеза как поверхностно-активных веществ, так и фитогормонов, а также свидетельствуют о необходимости исследований влияния условий культивирования продуцентов на биологические свойства целевых продуктов микробного синтеза.

К л ю ч е в ы е с л о в а: *Nocardia vaccinii* IMB В-7405, поверхностно-активные вещества, фитогормоны, биосинтез, культивирование.

В предыдущих исследованиях [6, 7, 19] нами было установлено, что поверхностно-активные вещества (ПАВ), синтезированные *Acinetobacter calcoaceticus* IMB В-7241, *Rhodococcus erythropolis* IMB Ас-5017 и *Nocardia vaccinii* IMB В-7405, обладают антимикробными свойствами по отношению к ряду микроорганизмов (*Bacillus subtilis* БТ-2, *Escherichia coli* IEM-1, *Candida tropicalis* ПБТ-5, *Candida albicans* Д-6, *Candida utilis* БВС-65), в том числе и фитопатогенных бактерий родов *Pseudomonas* и *Xanthomonas*. В работе [7] мы обращали внимание на то, что в некоторых случаях обработка суспензии тест-культур супернатантом, содержащим ПАВ, сопровождалась увеличением количества живых клеток по сравнению с таковым до внесения поверхностно-активных веществ. Позже [19] было показано, что водная фаза, оставшаяся после экстракции ПАВ из супернатанта культуральной жидкости, активизировала рост клеток некоторых фитопатогенных бактерий. Такие неожиданные результаты позволили предположить, что исследуемые нами штаммы-продуценты ПАВ кроме

комплекса поверхностно-активных веществ синтезируют и другие биологически активные вещества, в частности фитогормоны.

Отметим, что на сегодняшний день в доступной литературе нам не удалось обнаружить сведений о способности продуцентов ПАВ синтезировать стимуляторы роста растений. Хотя в последние несколько лет стали появляться отдельные работы, в которых сообщается о том, что некоторые микроорганизмы в определенных условиях культивирования одновременно с поверхностно-активными веществами синтезируют и другие метаболиты (ферменты, бактериоцины, полисахариды, полигидроксиалканоаты) [12–16, 24]. Авторы этих работ отмечают, что способность штаммов к синтезу комплекса метаболитов с различными биологическими свойствами значительно расширяет сферу их практического использования.

Так, например, в работе [12] авторы установили, что комплекс ПАВ и бактериоцина характеризовался более высокой антибактериальной и антифунгальной активностью по отношению к бактериям родов *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Listeria*, *Micrococcus* и грибов *Asperigillus terreus* Lab isolate, чем отдельные соединения [12]. Работа [12] является первой, в которой установлена способность бактерий рода *Bacillus* к одновременному синтезу бактериоцина и ПАВ. Совсем недавно появилось сообщение о синтезе ПАВ и бактериоцина молочнокислыми бактериями *Lactobacillus casei* MRTL3 [24].

В предыдущей работе [19] мы отмечали, что наши результаты могут быть использованы для разработки безотходной биотехнологии на основе *A. calcoaceticus* ИМВ В-7241, *R. erythropolis* ИМВ Ас-5017 и *N. vaccinii* ИМВ В-7405, позволяющей получать микробные препараты различного биологического действия.

В связи с изложенным выше цель данной работы – исследовать способность *N. vaccinii* ИМВ В-7405 к синтезу фитогормонов ауксинов, цитокининов и абсцизовой кислоты.

Материалы и методы. Основным объектом исследований являлся штамм *Nocardia vaccinii* К-8, зарегистрированный в Депозитарии микроорганизмов Института микробиологии и вирусологии им. Д.К. Заболотного Национальной академии наук Украины под номером ИМВ В-7405.

Штамм *N. vaccinii* ИМВ В-7405 выращивали в синтетической питательной среде (г/л): NaNO_3 – 0,5, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,1, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 0,1, KH_2PO_4 – 0,1, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,001, дрожжевой автолизат – 0,5 % (по объему). Источник углерода и энергии – глицерин в концентрации 1,5 % (по объему), а также рафинированное подсолнечное масло «Олейна» (Днепропетровский маслоэкстракционный завод), отработанное после жарки картофеля и мяса подсолнечное масло (сеть ресторанов быстрого питания McDonald's, Киев). Концентрация маслосодержащих субстратов в среде – 2 % (по объему).

В качестве инокулята использовали культуру в экспоненциальной фазе роста, выращенную на среде указанного выше состава, содержащей 0,5 % (по объему) глицерина и 2 % (по объему) рафинированного или отработанного подсолнечного масла. Количество посевного материала (10^4 – 10^5 кл/мл) составляло 5–10% от объема питательной среды. Культивирование бактерий осуществляли в колбах объемом 750 мл со 100 мл среды на качалке (320 об/мин) при 28–30°C в течение 7 сут.

Фитогормоны определяли в супернатанте культуральной жидкости *N. vaccinii* ИМВ В-7405, а также в водной фазе, оставшейся после экстракции из супер-

натанта внеклеточных поверхностно-активных веществ смесью хлороформа и метанола в соотношении 2:1 (смесь Фолча). Выделение ПАВ и определение их концентрации осуществляли, как описано нами ранее [19].

Для получения супернатанта осуществляли центрифугирование культуральной жидкости (5000 g) в течение 25 мин. Удаление остаточного подсолнечного масла из культуральной жидкости осуществляли путем трехкратной экстракции его петролейным эфиром или гексаном (соотношение 1:1), как описано в работе [23].

Внеклеточные фитогормоны ауксины, цитокинины и абсцизовую кислоту (АБК) выделяли из супернатанта культуральной жидкости *N. vaccinii* IMB В-7405 методом перераспределения фитогормонов в двух фазах растворителей, не смешивающихся между собой: этилацетате (для ауксинов и АБК), рН 3,0; н-бутаноле (для цитокининов), рН 8,0 [4]. Полученные экстракты упаривали под вакуумом при 40–45°C, сухой остаток растворяли в этаноле и использовали для физико-химического анализа фитогормонов.

Предварительную очистку и концентрирование фитогормонов проводили на пластинках с силикагелем марки «Silufol UV254» (Chemapol, Чехия) в смеси растворителей, применяемых последовательно: хлороформ, 12,5 % водный аммиак, этилацетат: уксусная кислота (20:1). Очищенные таким образом экстракты цитокининов, АБК и индольных соединений разделяли на пластинках с оксидом алюминия и кремния (Merck, Германия), как описано в работе [10]. Количественное определение фитогормонов осуществляли с помощью сканирующего спектроденситометра Сорбфил (Россия), в качестве стандартов использовали синтетические фитогормоны фирм Sigma-Aldrich (Германия) и Acros Organics (Бельгия). Количество внеклеточных фитогормонов рассчитывали в мкг/л супернатанта.

Все опыты проводили в 3 повторностях, количество параллельных определений в экспериментах составляло от 3 до 5. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили, как описано ранее [14, 15]. Различия средних показателей считали достоверными при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Известно, что фитогормоны являются важными регуляторами роста и развития растений [22]. Однако синтез фитогормонов выявлен не только у растений, но и у многих микроорганизмов, ассоциированных с растениями [5, 11, 25]. Образование фитогормонов является неотъемлемой составляющей взаимодействия между растением-хозяином и микробиотой. Среди микроорганизмов способность к синтезу фитогормонов свойственна, прежде всего, почвенным ризосферным, эпифитным и бактериям-симбионтам родов: *Azospirillum*, *Agrobacterium*, *Azotobacter*, *Alcaligenes*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Acetobacter*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Herbaspirillum*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Xanthomonas* [1–3, 5, 11]. Образование ауксинов распространено у представителей свободноживущих и симбиотических цианобактерий [25]. Дрожжи рода *Saccharomyces* и микромицеты родов *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Rhizopus*, *Absidia*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Monilia*, *Phoma*, *Phytium*, *Trichoderma* и *Actinomicor* также способны синтезировать фитогормоны.

Кроме того, синтез микроорганизмами гормонов-стимуляторов и ингибиторов может рассматриваться как фактор патогенности, поскольку фитопатогены способны образовывать эти соединения в сверхвысоких количествах, что приводит к нарушению гормонального статуса растения и возникновению ряда заболеваний [3, 11]. Так, способность синтезировать ауксины и цитокинины выявлена

у различных родов фитопатогенных бактерий [3] и грибов [11]. Встречаются сведения и о синтезе фитогормонов цитокининовой природы метанотрофными и мителотрофными бактериями [11].

Микробные ПАВ являются вторичными метаболитами и, как правило, синтезируются в виде комплекса подобных соединений (амино-, глико-, фосфо- и нейтральных липидов) [17]. В различных условиях культивирования продуцентов соотношение компонентов комплекса вторичных метаболитов может изменяться, что сопровождается изменением их биологических свойств [9]. Отметим также, что в разных условиях выращивания продуцентов кроме изменений в составе комплекса образуемых ПАВ могут синтезироваться и другие биологически активные соединения.

Так, культивирование *Paenibacillus macerans* ТКУ029 при нейтральном значении рН среды сопровождалось одновременным синтезом ПАВ и экзополисахарида, а при повышении рН до 10 наблюдали преимущественное образование поверхностно-активных веществ [16]. В работе [15] авторы установили, что в зависимости от температуры культивирования *Pseudomonas aeruginosa* ИО3924 изменялось соотношение образуемых рамнолипидов и полигидроксиалканоатов: при температуре 25–28°C синтезировались преимущественно рамнолипиды, при 30–37°C – полигидроксиалканоаты. В работе [14] отмечается, что одновременный синтез липазы и ПАВ наблюдался при культивировании *Aspergillus* sp. (О-8 или О-4) в жидкой среде, содержащей пшеничные отруби и соевое масло, в то время как при твердофазном культивировании на среде с соевой мукой и рисовой шелухой поверхностно-активные вещества не синтезировались, а липазная активность достигала максимума.

Учитывая изложенное выше, мы исследовали способность к синтезу фитогормонов в различных условиях культивирования продуцента поверхностно-активных веществ *N. vaccinii* ИМВ В-7405.

Показатели синтеза ауксинов и цитокининов штамом ИМВ В-7405 представлены в табл. 1 и 2.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что штам ИМВ В-7405 синтезирует фитогормоны при выращивании на всех субстратах, однако их качественный и количественный состав зависит как от природы источника углерода в среде культивирования *N. vaccinii* ИМВ В-7405, так и от способа получения ауксинов и цитокининов (экстракция из супернатанта до или после выделения поверхностно-активных веществ). Отметим, что в большинстве случаев увеличился спектр синтезируемых соединений каждого класса фитогормонов после удаления ПАВ из супернатанта. Однако не всегда предварительная экстракция поверхностно-активных веществ сопровождалась повышением концентрации того или иного ауксина (или цитокинина) по сравнению с таковым до выделения ПАВ. Такие результаты могут свидетельствовать об образовании комплекса фитогормонов с поверхностно-активными веществами.

Похожее явление было обнаружено нами ранее [21] при изучении химического состава внеклеточных метаболитов *Rhodococcus erythropolis* ЭК-1. При культивировании в среде с этанолом этот штам синтезирует комплекс веществ, обладающих поверхностно-активными и эмульгирующими свойствами (условно «ПАВ» и «эмульгатор»). При извлечении ПАВ из культуральной жидкости смесью хлороформа и метанола в органический экстракт переходила также часть «эмульгатора», равно как и в эмульсионную фазу – часть «ПАВ». В этом случае определение количества ПАВ путем их экстракции органическими растворите-

лями являлось неточным и давало заниженные результаты. Заниженными являлись и данные содержания углеводов в супернатанте культуральной жидкости (поскольку как «ПАВ», так и «эмульгатор» содержали в своем составе лишь часть углеводов).

Таблица 1

**Влияние природы источника углерода в среде культивирования
N. vaccinii IMB В-7405 на качественный и количественный состав
внеклеточных ауксинов**

Ауксины	Концентрация (мкг/л) в супернатанте	
	до экстракции ПАВ	после экстракции ПАВ
Глицерин		
Индолил-3-уксусная кислота	–	17,8
Индол-3-карбоксилловая кислота	–	18,2
Индол-3-масляная кислота	139,9	226,3
Индол-3-уксусной кислоты гидразид	–	–
Индол-3-карбоксальдегид	–	–
Рафинированное масло		
Индолил-3-уксусная кислота	290,0	88,1
Индол-3-карбоксилловая кислота	297,3	89,7
Индол-3-масляная кислота	–	10,0
Индол-3-уксусной кислоты гидразид	20,6	–
Индол-3-карбоксальдегид	162,4	57,2
Отработанное после жарки картофеля масло		
Индолил-3-уксусная кислота	30,6	10,3
Индол-3-карбоксилловая кислота	31,1	10,5
Индол-3-масляная кислота	–	2,6
Индол-3-уксусной кислоты гидразид	–	–
Индол-3-карбоксальдегид	23,0	22,6
Отработанное после жарки мяса масло		
Индолил-3-уксусная кислота	–	9,7
Индол-3-карбоксилловая кислота	–	10,0
Индол-3-масляная кислота	–	–
Индол-3-уксусной кислоты гидразид	–	–
Индол-3-карбоксальдегид	23,3	14,8

Примечания: в табл. 1–3: «–» – не обнаружено; при определении содержания фитогормонов погрешность не превышала 5 %.

Таблица 2

**Влияние природы источника углерода в среде культивирования
N. vaccinii IMB В-7405 на состав внеклеточных
цитокининов**

Цитокинины	Концентрация (мкг/л) в супернатанте	
	до экстракции ПАВ	после экстракции ПАВ
Глицерин		
Кинетин	–	–
Зеатин	–	2,8
Зеатин-рибозид	–	22,5
Изопентенил-аденин	–	–
Изопентенил-аденозин	–	4,5

Рафинированное масло		
Кинетин	–	–
Зеатин	8,2	9,7
Зеатин-рибозид	46,6	21,9
Изопентенил-аденин	–	1,6
Изопентенил-аденозин	293,2	100,8
Отработанное после жарки картофеля масло		
Кинетин	2,5	–
Зеатин	6,4	5,5
Зеатин-рибозид	5,6	18,8
Изопентенил-аденин	0,4	3,0
Изопентенил-аденозин	1,2	63,0
Отработанное после жарки мяса масло		
Кинетин	3,3	–
Зеатин	–	7,4
Зеатин-рибозид	11,7	0,3
Изопентенил-аденин	–	0,2
Изопентенил-аденозин	38,9	76,8

Данные, представленные в табл. 1 и 2, свидетельствуют о том, что при культивировании в среде с глицерином *N. vaccinii* IMB В-7405 синтезировал наиболее «бедный» спектр ауксинов и цитокининов, в то время как на маслосодержащих субстратах качественный состав образуемых фитогормонов расширялся. В то же время общая концентрация ауксинов, синтезируемых на глицерине, была выше, чем на отработанном масле (табл. 3). Отметим, однако, что при выращивании штамма IMB В-7405 в глицеринсодержащей среде общее количество цитокининов составляло всего 29,8 мкг/л и было минимальным по сравнению с синтезируемым на маслосодержащих средах.

В табл. 3 представлены данные по уровню синтеза ПАВ и фитогормонов штаммом IMB В-7405 на средах с различными источниками углерода. Эти данные свидетельствуют о том, что наиболее высокая концентрация фитогормонов (134–770 мкг/л) достигалась при культивировании *N. vaccinii* IMB В-7405 на рафинированном подсолнечном масле, а при замене рафинированного масла на отработанное их количество снижалось (в некоторых случаях на порядок). Такие результаты можно объяснить наличием в отработанном (многократно пережаренном) масле потенциальных ингибиторов биосинтеза фитогормонов. Отметим, что концентрация ПАВ, синтезируемых штаммом IMB В-7405 на отработанном масле, была выше, чем на рафинированном (2,3–2,6 и 1,8 г/л соответственно).

В отличие от ауксинов и цитокининов, уровень синтеза гормона с ингибирующим действием АБК был существенно ниже и практически не зависел от природы источника углерода в среде культивирования *N. vaccinii* IMB В-7405.

АБК является фитогормоном, который вызывает угнетение ростовых процессов, индуцированных фитогормонами стимулирующего действия. Большое значение АБК заключается в ответе растений на неблагоприятные внешние воздействия, в их выживании при недостатке воды (засухе), засолении и низких температурах [18, 22].

Для микроорганизмов роль синтеза АБК как внеклеточного фитогормона еще малоизучена, в основном в литературе представлены данные о роли этого соединения в растительно-микробных взаимодействиях [11, 18, 22].

Таблица 3

**Синтез внеклеточных ПАВ и фитогормонов при культивировании
N. vaccinii IMB B-7405 на различных углеродных субстратах**

Источник углерода	ПАВ, г/л	Ауксины, мкг/л		Цитокинины, мкг/л		Абсцизовая кислота, мкг/л	
		до экстракции ПАВ	после экстракции ПАВ	до экстракции ПАВ	после экстракции ПАВ	до экстракции ПАВ	после экстракции ПАВ
Глицерин	1,6±0,08	139,9	262,3	–	29,8	3,1	–
Рафинированное масло	1,8±0,09	770,3	245,0	348,0	134,0	12,6	2,1
Отработанное после жарки картофеля масло	2,3±0,11	84,7	46,0	16,1	90,3	–	5,7
Отработанное после жарки мяса масло	2,6±0,13	23,3	34,5	53,9	84,7	–	3,2

Несмотря на то, что количество ауксинов и цитокининов, синтезируемых штаммом IMB B-7405 на отработанном масле, ниже, чем на рафинированном (см. табл. 3), полученные результаты свидетельствуют о возможности использования маслосодержащих промышленных отходов для одновременного синтеза как поверхностно-активных веществ, так и фитогормонов. Такие данные свидетельствуют в пользу наших предыдущих выводов о возможности реализации с использованием *N. vaccinii* IMB B-7405 безотходной технологии, позволяющей получать в одном процессе микробные препараты с различными биологическими свойствами. Так, при получении препаратов ПАВ, осажденные клетки могут быть использованы для очистки воды от нефти [8]; полученный супернатант культуральной жидкости – для дальнейшего выделения ПАВ с антиадгезивными и антимикробными (в том числе, и по отношению к фитопатогенным бактериям) свойствами [19, 20]. Учитывая, что в водной фазе, оставшейся после экстракции ПАВ, содержатся фитогормоны ауксиновой и цитокининовой природы, возможно её использование для стимулирования роста микроорганизмов и растений.

Кроме того, полученные результаты свидетельствуют о необходимости исследований влияния условий культивирования продуцентов на биологические свойства синтезированных целевых продуктов микробного синтеза.

**Т.П. Пироз^{1,2}, Н.О. Леонова², Т.А. Шевчук², К.В. Панасюк¹,
Х.А. Берегова¹, Г.О. Іутинська²**

¹ Національний університет харчових технологій,
вул. Володимирська, 68, Київ, 01601, Україна

² Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України,
вул. Заболотного, 154, Київ 03143, Україна

**СИНТЕЗ ФІТОГОРМОНІВ ПРОДУЦЕНТОМ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ
РЕЧОВИН *NOCARDIA VACCINII* IMB B-7405**

Р е з ю м е

Мета. Дослідити синтез фітогормонів у процесі культивування продуцента поверхнево-активних речовин (ПАВ) *Nocardia vaccinii* IMB B-7405 у середовищі з різними джерелами вуглецевого живлення. **Методи.** Фітогормони екстрагували з су-

пернатанту культуральної рідини (до і після виділення ПАР) етилацетатом (ауксини, абсцизова кислота) і н-бутанолом (цитокініни), очищали і концентрували методом тонкошарової хроматографії, після чого здійснювали кількісне визначення за допомогою скануючого спектроденситометра Сорбфіл. **Результати.** Під час вирощування у середовищі з рафінованою соняшниковою олією і гліцерином штам ІМВ В-7405 синтезував 1,6–1,8 г/л позаклітинних ПАР, а також максимальну кількість ауксинів (140–770 мкг/л). Культивування *N. vaccinii* ІМВ В-7405 на відпрацьованій після смаження картоплі та м'яса олії супроводжувалося зниженням кількості фітогормонів до 23–84 мкг/л (ауксини) і 16–90 мкг/л (цитокініни) та підвищенням концентрації ПАР до 2,3–2,6 г/л. Рівень синтезу абсцизової кислоти (2–12 мкг/л) практично не залежав від природи ростового субстрату. **Висновки.** Одержані результати показують можливість використання олієвмісних промислових відходів для одночасного синтезу як поверхнево-активних речовин, так і фітогормонів, а також засвідчують необхідність досліджень впливу умов культивування продуцентів на біологічні властивості цільових продуктів мікробного синтезу.

К л ю ч о в і с л о в а: *Nocardia vaccinii* ІМВ В-7405, поверхнево-активні речовини, фітогормони, біосинтез, культивування.

T.P. Pirog^{1,2}, *N.O. Leonova*², *T.A. Shevchuk*², *E.V. Panasuk*¹,
*K.A. Beregovaya*¹, *G.A. Iutynskaya*²

¹ National University of Food Technologies, Kyiv

² Zabolotny Institute of Microbiology and Virology, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

SYNTHESIS OF PHYTOHORMONES BY *NOCARDIA VACCINII* IMV B-7405 – PRODUCER OF SURFACTANTS

S u m m a r y

Aim. To study the synthesis of phytohormones (auxins, cytokinins, abscisic acid) under cultivation of *Nocardia vaccinii* IMV B-7405 (surfactants producer) in media containing different carbon sources (glycerol, refined sunflower oil, as well as waste oil after frying potatoes and meat). **Methods.** Phytohormones were extracted from supernatants of culture liquid (before or after surfactant separation) by ethylacetate (auxins, abscisic acid) and n-butanol (cytokinins), concentrated and purified by thin-layer chromatography, then quantitative determination was performed using a scanning Sorbfil spectrodensitometer. **Results.** While growing in medium with refined oil IMV B-7405 strain synthesized $1,8 \pm 0,09$ g/l extracellular surfactant, also maximum amount of auxins (245–770 μ l) and cytokinins (134–348 μ l). Cultivation of *N. vaccinii* IMV B-7405 on waste oil was accompanied by decreasing amount of phytohormones to 23–84 μ l (auxins) and 16–90 μ l (cytokinins) and increasing surfactant concentration to 2.3–2.6 g/l. The level of abscisic acid synthesis was practically not dependent on the nature of growth substrate, was substantially lower than that of auxins and cytokinins and ranged from 2 to 12 μ l. **Conclusions.** Obtained data demonstrate the possibility of using oil-containing industrial waste for the simultaneous synthesis of both surfactants and phytohormones, and indicate the need for studies of the effect of producer cultivation conditions on the biological properties of the target products of microbial synthesis

Key words: *Nocardia vaccinii* IMV B-7405, surfactants, phytohormones, biosynthesis, cultivation.

1. Драговоз И.В., Леонова Н.О., Иутинская Г.А. Синтез фитогормонов штаммами *Bradyrhizobium japonicum* различной симбиотической эффективности // Микробиол. журнал. – 2011. – **73**, № 4. – С. 29–35.
2. Драговоз И.В., Леонова Н.О., Лана С.В., Пискова О.В., Крючкова Л.О., Авдеева Л.В. Синтез позаклітинних фітогормонів штамами *Bacillus*, виділеними з різних природних джерел // Микробиол. журнал. – 2013. – **75**, № 3. – С. 41–46.
3. Леонова Н.О., Данкевич Л.А., Драговоз И.В., Патица В.П., Иутинська Г.О. Синтез позаклітинних фітогормонів-стимуляторів бульбочковими та фітопатогенними бактеріями сої // Доповіді НАН України. – 2013. – № 3. – С. 165–171.
4. Методические рекомендации по определению фитогормонов. – Киев: Ин-т ботаники АН УССР, 1988. – 78 с.
5. Моргунов В.В., Коць С.Я., Кириченко Е.В. Ростстимулирующие ризобактерии и их практическое применение // Физиология и биохимия культ. растений. – 2009. – **41**, № 3. – С. 187–207.
6. Пирог Т.П., Конон А.Д., Скочко А.Б. Використання мікробних поверхнево-активних речовин у біології та медицині // Біотехнологія. – 2011. – **4**, № 2. – С. 24–38.
7. Пирог Т.П., Конон А.Д., Софілканіч А.П., Скочко А.Б. Антимікробна дія поверхнево-активних речовин *Acinetobacter calcoaceticus* К-4 та *Rhodococcus erythropolis* ЕК-1 // Микробиол. журнал. – 2011. – **73**, № 3. – С. 14–20.
8. Пирог Т.П., Хом'як Д.І., Грищенко Н.А., Софілканіч А.П., Конон А.Д., Погора Х.А. Бактерії роду *Nocardia* як об'єкти біотехнології // Biotechnologia Acta. – 2013. – **6**, N 3. – P. 23–35.
9. Подгорский В.С., Иутинская Г.О., Пирог Т.П. Интенсификация технологий микробного синтеза. – К.: Наук. думка, 2010. – 327 с.
10. 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.
11. Цавкелова Е.А., Климова С.Ю., Чердынцева Т.А., Нетрусов А.И. Микроорганизмы – продуценты стимуляторов роста растений и их практическое применение // Прикл. биохим. микробиол. – 2006. – **42**, № 2. – С. 133–143.
12. Baidara P., Mandal S.M., Chawla N., Singh P.K., Pinnaka A.K., Korpole S. Characterization of two antimicrobial peptides produced by a halotolerant *Bacillus subtilis* strain SK.DU.4 isolated from a rhizosphere soil sample // AMB Express. – 2013. – 3:2. doi: 10.1186/2191-0855-3-2.
13. Choi M.H., Xu J., Gutierrez M., Yoo T., Cho Y.H., Yoon S.C. Metabolic relationship between polyhydroxyalkanoic acid and rhamnolipid synthesis in *Pseudomonas aeruginosa*: comparative ¹³C NMR analysis of the products in wild-type and mutants // J. Biotechnol. – 2011. – **151**, N 1. – P. 30–42. doi: 10.1016/j.jbiotec.2010.10.072.
14. Colla L.M., Rizzardi J., Pinto M.H., Reinehr C.O., Bertolin T.E., Costa J.A. Simultaneous production of lipases and biosurfactants by submerged and solid-state bioprocesses // Bioresour. Technol. – 2010. – **101**, N 21. – P. 8308–8314. doi: 10.1016/j.biortech.2010.05.086.
15. Hori K., Ichinohe R., Unno H., Marsudi S. Simultaneous syntheses of polyhydroxyalkanoates and rhamnolipids by *Pseudomonas aeruginosa* IFO3924 at

- various temperatures and from various fatty acids // *Biochem. Eng. J.* – 2011. – **53**, N 2. – P. 196–202.
16. Liang T.W., Wu C.C., Cheng W.T., Chen Y.C., Wang C.L., Wang I.L., Wang S.L. Exopolysaccharides and antimicrobial biosurfactants produced by *Paenibacillus macerans* TKU029 // *Appl. Biochem. Biotechnol.* – 2014. – **172**, N 2. – P. 933–950.
 17. Marchant R., Banat M.I. Biosurfactants: a sustainable replacement for chemical surfactants // *Biotechnol. Lett.* – 2012. – **34**, N 9. – P. 1597–1605.
 18. Nambara E., Marion-Poll A. Abscisic acid biosynthesis and catabolism // *Annu. Rev. Plant Biol.* – 2005. – **56**. – P. 165–185.
 19. Pirog T.P., Konon A.D., Sofilkanich A.P., Iutinskaya G.A. Effect of surface-active substances of *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241, *Rhodococcus erythropolis* IMV Ac-5017, and *Nocardia vaccinii* K-8 on phytopathogenic bacteria // *Appl. Biochem. Microbiol.* – 2013. – **49**, N. 4. – P. 360–367.
 20. Pirog T.P., Konon A.D., Beregovaya K.A., Shulyakova M.A. Antiadhesive properties of the surfactants of *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241, *Rhodococcus erythropolis* IMB Ac-5017, and *Nocardia vaccinii* IMB B-7405 // *Microbiology.* – 2014. – **83**, N 6. – P.732–739.
 21. Pirog T.P., Shevchuk T.A., Voloshina I.N., Karpenko E.V. Production of surfactants by *Rhodococcus erythropolis* strain EK-1, grown on hydrophilic and hydrophobic substrates // *Appl. Biochem. Microbiol.* – 2004. – **40**, N. 5. – P. 470–475.
 22. *Plant hormones: biosynthesis, signal transduction, action* / Ed. P.J. Davies. Dordrecht. Boston. London. – Kluwer Acad. Publishers. – 2004. – 750 p.
 23. Raza Z.A., Khan M.S., Khalid Z.M. Evaluation of distant carbon sources in biosurfactant production by a gamma ray-induced *Pseudomonas putida* mutant // *Process Biochem.* – 2007. – **42**, N 4. – P. 686–692.
 24. Sharma D., Singh Saharan B. Simultaneous production of biosurfactants and bacteriocins by probiotic *Lactobacillus casei* MRTL3 // *Int. J. Microbiol.* – 2014. – doi: 10.1155/2014/698713.
 25. *The rhizosphere: biochemistry and organic substances at the soil-plant interface.* – 2nd ed. // Ed. R. Pinton, Z. Varanini, P. Nannipieri. – Boca Raton, FL: CRC Press, 2007. – 472 p.

Отримано 11.02.2015