

УДК 604.2:61.185

DOI: 10.20535/1810-0546.2017.3.100513

Т.Я. Покинсьброда^{1*}, О.В. Карпенко¹, І.М. Зінь²¹Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України, Львів, Україна²Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів, Україна

НОВІ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНІ РЕЧОВИНИ КУЛЬТУРИ *PSEUDOMONAS AUREOFACIENS* NB-1

Background. Important problems of technologies of biosurfactants production are the search for active strain-producers, optimization of their biosynthesis, as well as elaboration of effective methods of biosurfactants isolation from cultural liquid after fermentation.

Objective. The influence of extractants to release surfactant lipids from the supernatant of cultural liquid of the strain *P. aureofaciens* NB-1 and investigation of their ability to use for protection of the steel against corrosion.

Methods. Surfactants were isolated by extraction of various solvents and their mixtures, their composition and weight were analyzed. The effectiveness of corrosion inhibition was analyzed by corrosion rate of steel plates.

Results. Microorganisms of strain *P. aureofaciens* NB-1 synthesize extracellular biosurfactants of rhamnolipid and lipopeptid nature. It was shown that at pH 11, biosurfactants yield using ethylacetate and isopropanol (2:1) was 3.71 g/L, exceeding their output at pH 3 to 54 %. The efficacy of using the supernatant of cultural liquid *P. aureofaciens* NB-1 (dilution 1:10) for corrosion protection of St3 steel in aggressive medium was shown.

Conclusions. The methods of optimal isolation of surfactant of *P. aureofaciens* NB-1 by the selection solvents and control of pH indicators were elaborated. As a result the synthesis parameters were significantly increased. It was shown that obtained product is perspective as inhibitor of metal corrosion.

Keywords: biosurfactants; extraction; rhamnolipid; lipopeptid; corrosion inhibition.

Вступ

На сьогодні поверхнево-активні речовини (ПАР) широко застосовують у промисловості, сільському господарстві, медицині, ветеринарії. Проте використовують синтетичні ПАР, які, незважаючи на їх унікальні властивості, є токсичними і важкодеградабельними. Серед екологічно безпечних ПАР найперспективнішими є продукти мікробного синтезу (біоПАР, біосурфактанти), перевагами яких є висока ефективність, стійкість у широкому діапазоні значень температури, рН, концентрацій солей, біологічна активність (вплив на метаболізм мікроорганізмів, проникність клітинних мембран, активність ферментів тощо) [1, 2]. При створенні технологій біоПАР актуальною проблемою є пошук активних штамів-продуцентів й оптимізація їх біосинтезу. Проте навіть за наявності оптимізованих живильних середовищ та умов культивування продуцентів ПАР без ефективних способів виділення біоПАР із постферментаційної культуральної рідини (КР) їх виробництво не буде досконалим [3]. Відомо, що екстракція з КР становить, як правило, до 60–80 % від загального обсягу витрат на виробництво біоПАР [4],

тому надзвичайно важливим завданням є розроблення раціональних шляхів їх виділення.

На практиці для виділення ліпідів найчастіше використовують класичні методи екстракції, що дають змогу кількісно вилучити ліпіди практично всіх класів. Найпоширенішими є два методи – Фолча, за яким екстракцію проводять сумішшю хлороформ–метанол (2:1), та Блайя і Дайєра, коли ліпіди екстрагують хлороформом з метанолом (1:1) [5]. Залежно від хімічної природи ліпідів використовують і модифіковані методи вилучення. Замінивши хлороформ з метанолом на суміш хлороформ–2 %-ний розчин оцтової кислоти у метанолі, можна підвищити вихід полярних ліпідів; також використовують суміш хлороформ–метанол–1 М соляна кислота (4:2:3) [6]. З огляду на складну структуру ПАР бактеріального походження, доцільно провести експерименти з пошуку оптимального екстрагента, однак його результат не можна заздалегідь спрогнозувати. Відомо, що немає однозначної залежності між екстрагуючою здатністю рідин та їх фізико-хімічними властивостями. Виходячи з принципу лінійності вільних енергій, дані по розчинності таких речовин, як фулерен, нітронафта-

*corresponding author: pokynbroda@ukr.net

лін та інші, можуть бути кількісно пов'язані з властивостями розчинників за допомогою лінійних багатопараметричних рівнянь [7]. Таке узагальнення дає змогу провести підбір оптимального екстрагента, проте такі підходи вивчені лише для індивідуальних сполук [7]. У наших попередніх роботах такий підхід використовувався для екстракції біосурфактантів *Pseudomonas* sp. PS-17 з біокомплексу, отриманого кислотним осадженням із супернатанту культуральної рідини (СКР) [8] та безпосередньо із СКР [9]. Проте, ці теоретичні узагальнення не завжди можна практично застосувати.

Постановка задачі

Мета роботи – дослідження впливу екстрагентів на вихід ліпідів із супернатанту культуральної рідини штаму *P. aureofaciens* NB-1 та оцінка можливості їх застосування для інгібування корозії вуглецевої сталі.

Матеріали і методи

Об'єктом досліджень є ПАР – продукти синтезу бактеріального штаму *P. aureofaciens* NB-1 із колекції Відділення ФХГК ІнФОВ ім. Л.М. Литвиненка НАН України. Культивування бактерій проводили на живильному середовищі такого складу (г/л): NaNO_3 – 3,0; дріжджовий екстракт – 1,0; $\text{K}_2\text{HPO}_4 \times 3\text{H}_2\text{O}$ – 2,0; KH_2PO_4 – 2,0; $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,5; цитрат натрію – 3,0 (рН 6,8–7,0), джерело вуглецю – гліцерин (3 %). Кількість посівного матеріалу – 5 %. Культивування проводили в колбах Ерленмейера (750 мл) з робочим об'ємом 150 мл на ротаційній качалці (220 об/хв) за 28–30 °С упродовж 5 діб. Отриману культуральну рідину центрифугували при 6000 об/хв, 20 хв, а СКР використовували для екстракції ліпідів.

ПАР виділяли одноразовою екстракцією подвійними кількостями таких розчинників: гексан, октан, бензол, толуол, хлороформ, тетрахлорметан, ізобутанол, бутанол, пентанол, амілацетат, етилацетат, бутилацетат, діетиловий ефір. У наступних дослідженнях використовували суміш Фолча або суміш етилацетат–ізопропанол (2:1) та регулювали рН. Виділення ПАР проводили одноразовою екстракцією із 25 мл СКР (рН 3, 8, 11) відповідним екстрагентом у кількості 50 мл (при перемішуванні на магнітній мішалці) з подальшим відділенням органічної фази та відгонкою розчинника під вакуумом (3 мм. рт. ст.) до

постійної маси кінцевого продукту. Усі розчинники регенерували перегонкою та в подальшому використовували для екстракції. Кількість ліпідів визначали гравіметрично. Поверхневий натяг визначали методом Дю-Нуї з використанням платинового кільця [10] на тензіометрі KRÜSS K6 ("KRÜSS", Німеччина). Якісний аналіз ліпідів здійснювали методом тонкошарової хроматографії (ТШХ) на пластинках Alufolien Kieselgel 60 (Merck, Німеччина), рухома фаза хлороформ–метанол–вода (65:25:4). Візуалізацію хроматограм проводили 5%-ним спиртовим розчином фосфорно-молібденової кислоти (загальні ліпіди), орциновим реагентом (рамноліпіди) та нінгідрином [11]. Протикорозійну ефективність одержаних біоПАР як інгібіторів корозії вивчали гравіметрично за кімнатної температури за методикою [12]. Попередньо зважені на аналітичній вазі сталеві пластини розміром 50×50×5 мм витримували протягом 7 діб у водопровідній воді та 0,1 %-ному розчині хлориду натрію без та з додаванням СКР *P. aureofaciens* NB-1 (концентрація біоПАР 3,7 г/л). Після цього зразки очищували від продуктів корозії, зважували та розраховували швидкість корозії, глибинний показник швидкості корозії та ступінь захисту металу.

Результати і їх обговорення

У Відділенні фізико-хімії горючих копалин ІнФОВ ім. Л.М. Литвиненка НАН України створена колекція мікроорганізмів – продуцентів біоПАР, найбільш активними з яких є представники роду *Pseudomonas*, що синтезують високоефективні рамноліпідні ПАР (*Pseudomonas* sp. PS-17, *P. fluorescens* 8573). Також на увагу заслуговує штам *P. aureofaciens* NB-1, супернатант культуральної рідини якого має низький поверхневий натяг. За літературними даними, такі культури можуть продукувати рамноліпідні ПАР, проте їх виходи є низькими [13, 14]. Така ж проблема виникла у наших дослідженнях – за низького поверхневого натягу (до 26 мН/м) та високого показника СМД (розведення СКР до збереження властивостей міцелоутворення) [15] СКР нам не вдавалось досягти значних виходів ліпідів стандартними способами екстракції [16].

Тому було проведено експерименти з пошуку оптимального екстрагента з використанням розчинників різної природи: гексану, октану, бензолу, толуолу, бутанолу, ізобутанолу, пентанолу, діетилового ефіру, етилацетату, бутилацетату, амілацетату, тетрахлорметану, хлороформу (рис. 1).

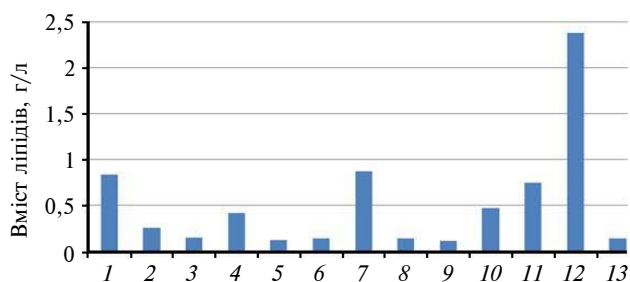


Рис. 1. Вилучення ліпідів із СКР *P. aureofaciens* NB-1 різними розчинниками при рН 3: 1 – пентанол, 2 – дітиловий ефір, 3 – октан, 4 – бутилацетат, 5 – бензол, 6 – толуол, 7 – бутанол, 8 – тетрачлорметан, 9 – гексан, 10 – амілацетат, 11 – ізобутанол, 12 – етилацетат, 13 – хлороформ

Показано, що при екстракції СКР етилацетатом вихід загальних ліпідів становить 2,38 г/л, при чому за екстракції гексаном, октаном, дітиловим ефіром, бензолом, толуолом, хлороформом, тетрачлоретаном екстрагуються переважно пігменти. Встановлено, що оптимальними екстрагентами є бутанол, ізобутанол та етилацетат, про що свідчать як тонкошарова хроматографія, так і гравіметричні дані.

Наступним етапом досліджень було визначення можливого впливу рН на екстракцію ПАР штаму СКР *P. aureofaciens* NB-1. Дослідження проводили при рН 3, 8 та 11 (табл. 1). Показано, що вихід загальних ліпідів найнижчий при рН 8, незалежно від використаного екстрагента, а за рН 11 кількість ПАР, виділені етилацетатом з ізопропанолом (2:1), сягає 3,71 г/л, що перевищує їх вихід за рН 3 на 54 %. Тобто для наступних досліджень доцільно використовувати екстрагенти на основі етилацетату при лужному рН.

Таблиця 1. Екстракція СКР *P. aureofaciens* NB-1 за різних рН

Розчинники	Загальні ліпіди, г/л		
	рН 3	рН 8	рН 11
Суміш Фолча	0,3	0,14	0,23
Етилацетат–ізопропанол (2:1)	2,4	1,05	3,71
Дітиловий ефір	0,21	0,1	0,22

Дані ТШХ (рис. 2) свідчать, що серед загальних ліпідів *P. aureofaciens* NB-1 поряд із рамноліпідами RL (варіанти 10, 11), які фарбуються орцином, синтезуються і ліпопептиди PL (варіанти 7, 8, 9), що візуалізуються нінгідриновим реагентом.

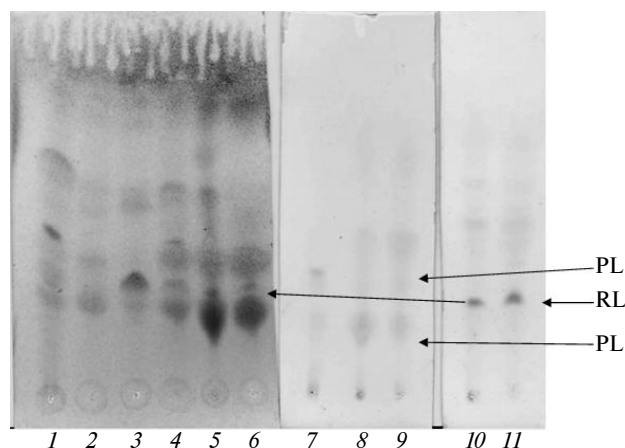


Рис. 2. ТШХ загальних ліпідів, екстрагованих: 1, 2, 3 – суміш Фолча, рН 3, 7, 11 відповідно; 4, 5, 6 – етилацетат з ізопропанолом, рН 3, 7, 11 відповідно; 7, 8, 9 – етилацетат з ізопропанолом, рН 3 (ФМК), 7, 11 відповідно (нінгідрин); 10, 11 – етилацетат з ізопропанолом, рН 7, 11 відповідно (орцин)

Отже, вперше доведено, що штам *P. aureofaciens* NB-1 здатний синтезувати одночасно ПАР двох типів – рамноліпіди та ліпопептиди.

У літературі є багато даних щодо використання культуральних рідин дослідженого штаму в сільському господарстві як біодобрих [17]. Проте застосування їх у інших галузях мало досліджене. Тому цікаво було дослідити вплив СКР штаму *P. aureofaciens* (PA) NB-1 на корозію пластин вуглецевої сталі Ст3, що широко використовується в народному господарстві для виготовлення металоконструкцій і технологічного обладнання (табл. 2).

Як видно з табл. 2, СКР PA інгібує корозію сталі у воді та в хлоридвмісному розчині. Однак за наявності в корозійному середовищі хлорид-іонів для досягнення того ж ефекту, що й у водопровідній воді, необхідна вища концентрація біоПАР. Якщо в експериментах без NaCl препарат СКР *P. aureofaciens* NB-1 інгібував корозію металу при розведенні 1:50, то при додаванні солі концентрацію діючої речовини потрібно збільшити у 5 разів (до 1:10) для досягнення співмірного протикорозійного ефекту. А для забезпечення ступеня захисту сталі 95 % до хлоридвмісного розчину необхідно додавати біоПАР за розведення 1:5. Виходячи з результатів гравіметричних досліджень, СКР *P. aureofaciens* NB-1 може бути використаний як самостійний інгібітор корозії сталі або компонент інгібувальних композицій у технологіях видобутку нафти і газу, для захисту обладнання хімічної промисловості, металовиробів при транспорту-

Таблиця 2. Вплив СКР штаму *P. aureofaciens* (РА) на корозію сталевих пластинок

Склад корозійного середовища	Швидкість корозії $K_m \times 10^6$, г/см ² ·год	Ступінь захисту, %	Глибинний показник швидкості корозії П, мм/рік
Водопровідна вода	5,24	–	0,067
Вода + СКР РА (1:50)	2,73	47	0,035
Вода + СКР РА (1:100)	3,68	29	0,047
0,1 %-ний р-н NaCl	9,50	–	0,12
0,1 %-ний р-н NaCl + СКР РА (1:5)	0,44	95	0,0056
0,1 %-ний р-н NaCl + СКР РА (1:10)	1,60	83	0,021
0,1 %-ний р-н NaCl + СКР РА (1:25)	8,05	17	0,102
0,1 %-ний р-н NaCl + СКР РА (1:50)	8,08	16	0,102
0,1 %-ний р-н NaCl + СКР РА (1:75)	7,84	19	0,099

ванні та зберіганні, в теплоенергетиці, у житлово-комунальному господарстві, в машинобудуванні.

Висновки

Показано, що культура *P. aureofaciens* NB-1 синтезує ефективні позаклітинні ПАР рамноліпідної та ліпопептидної природи. Здійснено оптимізацію виділення ПАР за допомогою підбору оптимального екстрагента та регулювання рН, що дало можливість отримати більшу кількість продукту. Встановлено ефективність практичного використання СКР *P. aureofaciens* NB-1

як інгібітора корозії вуглецевої сталі. За оптимальної концентрації біоПАР у корозійному середовищі ступінь захисту сталі досягає 95 %. Розроблені композиції на основі біоПАР мають перспективи застосування не тільки у нафтогазовій промисловості як інгібітори корозії, а й у сільському господарстві як біодобрива, для рекультивативії забруднених ґрунтів, для інтенсифікації нафтовидобутку тощо.

Таким чином, у подальших дослідженнях можливе детальніше вивчення та ідентифікація ПАР штаму *P. aureofaciens* NB-1 і пошук нових галузей застосування як біомаси цього штаму, так і СКР та ліпідів.

Список літератури

1. Пирог Т.П., Конон А.Д., Софілканіч А.П. Мікробні поверхнево-активні речовини. II. Ліпопептиди // *Biotechnologia Acta*. – 2014. – 7, № 2. – С. 9–25.
2. Пирог Т.П., Конон А.Д. Мікробні поверхнево-активні речовини. I. Гліколіпіди // *Biotechnologia Acta*. – 2014. – 7, № 1. – С. 9–30.
3. Singh A., van Hamme J.D., Ward O.P. Surfactants in microbiology and biotechnology: Part 2 Applications aspects // *Biotechnology Advances*. – 2007. – 25. – Р. 99–121.
4. Mukherjee S., Das P., Sen R. Towards commercial production of microbial surfactants // *Trends in Biotechnology*. – 2006. – 24, № 11. – Р. 90–97.
5. Folch J., Lees M., Sloane S.G.H. Simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues // *J. Biol. Chem.* – 1957. – 226, № 1. – Р. 497–509.
6. Синтез поверхностно-активных веществ *Acinetobacter calcoaceticus* k-4 на этаноле в присутствии органических кислот / Т.П. Пирог, Т.А. Шевчук, А.Д. Конон, Е.Ю. Долотенко // *Прикл. биохим. и микробиол.* – 2012. – 48, № 6. – С. 631–639.
7. Koppel I.A., Palm V.A. The influence of the solvent on organic reactivity // *Advances in Linear Free Energy Relationships* / N.V. Chapman, J. Shorter, eds. – London; New York: Plenum Press, 1973. – Р. 203–280.
8. Оптимальные методы выделения биогенных поверхностно-активных рамнолипидов / Е.В. Карпенко, Т.Я. Покинъ-брода, Р.Г. Макитра, Е.Я. Пальчикова // *Журнал общей химии*. – 2009. – 12. – С. 2011–2014.
9. Экстракционное выделение биогенных поверхностно-активных рамнолипидов / И.В. Карпенко, Г.Г. Мидяна, Е.В. Карпенко и др. // *Журнал общей химии*. – 2014. – 84. – С. 1172–1175.
10. Абрамзон А.А., Зайченко Л.П., Файнгольд С.И. Поверхностно-активные вещества. Синтез, анализ, свойства, применение. – Л.: Химия, 1988. – 200 с.

11. Ando S., Saito M. Chromatography lipid, biomedical research and chemical diagnostic. – Amsterdam: Elsevier, 1987. – P. 266–310.
12. Слободян З., Хабурський Я., Горак Ю. Екстракти дубової кори – “зелені” інгібітори корозії середньовуглецевих сталей у нейтральних та кислих середовищах // Вісник ТНТУ. – 2012. – № 4. – 73–80.
13. Production of rhamnolipids by *Pseudomonas chlororaphis*, a nonpathogenic bacterium / N.W. Gunther, A. Nucez, W. Fett, D. Solaiman // Appl. Environ. Microbiol. – 2005. – 71, № 5. – P. 2288–2293.
14. Dirhamnose-lipid production by recombinant nonpathogenic bacterium *Pseudomonas chlororaphis* / D. Solaiman, R. Ashby, N. Gunther, J. Zerkowski // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 2015. – 99, № 10. – P. 4333–4342.
15. Guerra-Santos L., Kappeli O., Fiechter A. *Pseudomonas aeruginosa* biosurfactant production in continuous culture with glucose as carbon source // Appl. Environ. Microbiol. – 1984. – 48. – P. 301–305.
16. Препаративная биохимия липидов / Л.Д. Бергельсон, Э.В. Дятловицкая, Ю.Г. Молотковский и др. – М.: Наука, 1981. – 259 с.
17. Стимулювання росту рослин мікроорганізмами роду *Pseudomonas* / І.В. Карпенко, Т.Я. Покинсьброда, О.В. Карпенко, В.І. Баранов // Стан і біорізноманіття екосистем Шацького національного парку: Матер. наук. конф., 10–13 вересня 2015 р., Шацьк. – С. 37–38.

References

- [1] T.P. Pirog *et al.*, “Microbial surfactants. II. Lipopeptides”, *Biotechnologia Acta*, vol. 7, no. 2, pp. 9–25, 2014 (in Ukrainian). doi: 10.15407/biotech7.02.009
- [2] T.P. Pirog and A.D. Konon, “Microbial surfactants. I. Glycolipids”, *Biotechnologia Acta*, vol. 7, no 1, pp. 9–30, 2014 (in Ukrainian). doi: 10.15407/biotech7.01.009
- [3] A. Singh *et al.*, “Ward Surfactants in microbiology and biotechnology: Part 2 Applications aspects”, *Biotechnology Advances*, vol. 25, pp. 99–121, 2007. doi: 10.1016/j.biotechadv.2006.10.004
- [4] S. Mukherjee *et al.*, “Towards commercial production of microbial surfactants”, *Trends in Biotechnology*, vol. 24, no. 11, pp. 90–97, 2006. doi: 10.1016/j.tibtech.2006.09.005
- [5] J. Folch *et al.*, “Simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues”, *J. Biol. Chem.*, vol. 226, no. 1, pp. 497–509, 1957.
- [6] T.P. Pirog *et al.*, “Production of surfactants by *Acinetobacter calcoaceticus* K-4 grown on ethanol with organic acids”, *Prikl. Biokhim. Mikrobiol.*, vol. 48, no. 6, pp. 631–639, 2012 (in Russian).
- [7] I.A. Koppel and V.A. Palm, *The Influence of the Solvent on Organic Reactivity*, in *Advances in Linear Free Energy Relationships*, N.B. Chapman, J. Shorter, eds. London–New York: Plenum Press, 1973, pp. 203–280.
- [8] E.V. Karpenko *et al.*, “Optimum methods for the release of biogenic surface-active rhamnolipids”, *Zhurnal Obshhej Himii*, vol. 12, pp. 2011–2014, 2009 (in Russian).
- [9] I.V. Karpenko *et al.*, “Extraction isolation of biogenic surface-active rhamnolipids”, *Zhurnal Obshhej Himii*, vol. 84, pp. 1172–1175, 2014 (in Russian).
- [10] A.A. Abramzon *et al.*, *Surface-Active Substances. Synthesis, Analysis, Properties, Application*. Leningrad, SU: Himija, 1988 (in Russian).
- [11] S. Ando and M. Saito, *Chromatography Lipid, Biomedical Research and Chemical Diagnostic*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 1987, pp. 266–310.
- [12] Z. Slobodjan *et al.*, “Extracts of oak measles – “green” corrosion inhibitor of medium-steel in neutral and acidic mediums”, *Visnyk TNTU*, vol. 68, 2012 (in Ukrainian).
- [13] N.W. Gunther *et al.*, “Production of rhamnolipids by *Pseudomonas chlororaphis*, a nonpathogenic bacterium”, *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 71, no. 5, pp. 2288–2293, 2005. doi: 10.1128/AEM.71.5.2288-2293.2005
- [14] D. Solaiman *et al.*, “Dirhamnose-lipid production by recombinant nonpathogenic bacterium *Pseudomonas chlororaphis*”, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 99, no. 10, pp. 4333–4342, 2015. doi: 10.1007/s00253-015-6433-4
- [15] L. Guerra-Santos *et al.*, “*Pseudomonas aeruginosa* biosurfactant production in continuous culture with glucose as carbon source”, *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 48, pp. 301–305, 1984.
- [16] L.D. Bergel’son *et al.*, *Preparative Biochemistry of Lipids*. Moscow, SU: Nauka, 1981 (in Russian).
- [17] I.V. Karpenko *et al.*, “Stimulation of plant growth by microorganisms of the genus *Pseudomonas*”, in *Proc. Conf. The State and Biodiversity of the Ecosystems of the Shatsk National Park*, Sept. 10–13, 2015, Shac’k, pp. 37–38 (in Ukrainian).

Т.Я. Покинъброта, О.В. Карпенко, І.М. Зінь

НОВІ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНІ РЕЧОВИНИ КУЛЬТУРИ *PSEUDOMONAS AUREOFACIENS* NB-1

Проблематика. При створенні технологій біогенних поверхнево-активних речовин (ПАР) актуальними проблемами є як пошук активних штамів-продуцентів й оптимізація їх біосинтезу, так і розроблення ефективних способів виділення продуктів із постферментаційної культуральної рідини.

Мета досліджень. Дослідження впливу екстрагуючої речовини на вихід поверхнево-активних ліпідів із супернатанту культуральної рідини штаму *P. aureofaciens* NB-1 та їх використання для захисту сталі від корозії.

Методика реалізації. ПАР виділяли екстракцією розчинниками різної природи та їх сумішами, порівнювали маси екстрактів та їх склад. Ефективність дії ПАР як інгібіторів корозії аналізували за швидкістю корозії.

Результати дослідження. Мікроорганізми роду *P. aureofaciens* NB-1 синтезують позаклітинні ПАР рамноліпідної та ліпопептидної природи. При рН 11 кількість вилучених ПАР при використанні етилацетату з ізопропанолом (2:1) сягає 3,71 г/л, що перевищує їх вихід за рН 3 на 54 %. Показано ефективність використання супернатанту культуральної рідини *P. aureofaciens* NB-1 за розведення 1:10 для захисту від корозії сталі Ст3 в агресивних середовищах.

Висновки. Результати показують, що підбором оптимального екстрагенту та регулюванням рН можна істотно підвищити вихід ПАР штаму *P. aureofaciens* NB-1, а отриманий продукт є перспективним як екологічно безпечний інгібітор корозії металів.

Ключові слова: біогенні поверхнево-активні речовини; екстракція; рамноліпіди; ліпопептиди; інгібітори корозії.

Т.Я. Покинъброта, Е.В. Карпенко, И.Н. Зинь

НОВЫЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА КУЛЬТУРЫ *PSEUDOMONAS AUREOFACIENS* NB-1

Проблематика. При создании технологий биогенных поверхностно-активных веществ (ПАВ) актуальными проблемами являются как поиск активных штаммов-продуцентов и оптимизация их биосинтеза, так и разработка эффективных способов их выделения из постферментационной культуральной жидкости.

Цель исследования. Исследование влияния экстрагирующего вещества на выход поверхностно-активных липидов из супернатанта культуральной жидкости штамма *P. aureofaciens* NB-1 и их использование для защиты стали от коррозии.

Методика реализации. ПАВ выделяли путем экстракции растворителями различной природы и их смесями, сравнивали их массы, анализировали состав. Эффективность действия ПАВ как ингибиторов коррозии анализировали по скорости коррозии.

Результаты исследований. Микроорганизмы рода *P. aureofaciens* NB-1 синтезируют внеклеточные ПАВ рамнолипидной и липопептидной природы. При рН 11 количество извлеченных ПАВ при использовании этилацетата с изопропанолом (2:1) достигало 3,71 г/л, что превышало их выход при рН 3 на 54 %. Показана эффективность использования супернатанта культуральной жидкости *P. aureofaciens* NB-1 при разведении 1:10 для защиты от коррозии стали Ст3 в агрессивных средах.

Выводы. Результаты показывают, что путем подбора оптимального экстрагента и регулированием рН можно существенно повысить показатели синтеза ПАВ штамма *P. aureofaciens* NB-1, а полученный продукт перспективен как экологически безопасный ингибитор коррозии металлов.

Ключевые слова: биогенные поверхностно-активные вещества; экстракция; рамнолипиды; липопептиды; ингибиторы коррозии.

Рекомендована Радою факультету
біотехнології і біотехніки
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції
02 березня 2017 року