

УДК 581.557:577.175.1

DOI: 10.20535/1810-0546.2016.3.65576

І.В. Карпенко, Г.Г. Мідяна, О.В. Карпенко

Відділення фізико-хімії горючих копалин ІнФОВ ім. Л.М. Литвиненка НАН України, Львів, Україна

БІОГЕННІ РАМНОЛІПІДНІ ПАР У КОМПЛЕКСНИХ РЕГУЛЯТОРАХ РОСТУ РОСЛИН

Background. The topical problem of biotechnology is the creation of ecologically safe agents for the crop production. Considering the environmental threat of synthetic agents, biological products are priority ones for plants. Among them biogenic surfactants deserve attention due to their physico-chemical and biological properties.

Objective. Influence of surface-active products of microbial synthesis of the strain *Pseudomonas* sp. PS-17 (rhamnolipid biosurfactants) on the activity of phytohormones for the creation of complex plant growth regulators.

Methods. The effect of culture liquid supernatant (CLS) and rhamnolipid biocomplex (RBC) on phytohormone activity was determined in bioassays for auxin, cytokinins, gibberellins.

Results. It was shown that in the compositions with RBC the activity of phytohormones has increased: auxins – indolyl-3-acetic acid on 28 %, indolyl-3-butyric acid – 63 %; gibberellin – on 30 %, cytokinin – on 24–30 % compared to the options without biosurfactants. Such stimulating effect on phytohormones was also determined for CLS, in addition it manifested phytohormone-like action.

Conclusions. The obtained results prove the prospects of rhamnolipid surfactants for the creation of ecologically safe complex plant growth regulators.

Keywords: rhamnolipid surfactants; coleoptile; hypocotyl; cytokinin; gibberellic acid; auxin.

Вступ

Пошук ефективних екологічно безпечних засобів для підвищення врожайності рослин та якості продукції є одним із пріоритетних завдань сучасної біотехнології. Ефективним вирішенням цих питань є застосування продуктів мікробного синтезу, зокрема біогенних поверхнево-активних речовин (біоПАР). У технологіях рослинництва біоПАР можуть бути використані як для захисту рослин від фітопатогенів, так і для регулювання росту рослин. У попередніх дослідженнях було встановлено, що продукти метаболізму бактерій роду *Pseudomonas* мають значні перспективи для вирощування злакових, бобових та олійних рослин [1, 2]. На нашу думку, застосування біоПАР дасть змогу зменшити негативну дію існуючих синтетичних засобів, покращити якість продукції, а також підвищити родючість ґрунтів.

При промисловому вирощуванні рідкісних рослин фітогормони успішно застосовуються для підвищення коефіцієнта розмноження як прискоренням укорінення живців, так і методом культури тканин.

Фітогормони регулюють цілу низку процесів життєдіяльності рослин, зокрема поділ і розтягнення клітин, що лежать в основі всіх процесів росту і морфогенезу, контролюють ауксини, цитокініни та гібереліни. З дією ауксинів пов'язаний диференційний ріст, поділ і розтягнення клітин, утворення бічних коренів

у живців, вони стимулюють поглинання й пересування поживних речовин по рослині [3]. Цитокініни відіграють значну роль в індукції клітинних поділів, ініціації росту й утворенні коренів, перериванні періоду спокою насіння, уповільненні старіння листя і збільшення тривалості періоду цвітіння [4, 5]. Гібереліни регулюють видовження стебла рослин, збільшення кількості міжвузлів, індукцію цвітіння, стимулюють процеси проростання насіння та стійкості до абіотичних стресів [6]. Для багатьох рослин деякі фітогормони (гібереліни, цитокініни) можуть бути індукторами або стимуляторами цвітіння. Послідовна участь фітогормонів необхідна для нормального формування насіння і плодів.

Складність застосування фітогормонів зумовлена їх високою вартістю, а також низькою біодоступністю для рослин. Одним із можливих напрямів вирішення цієї проблеми є застосування біоПАР для створення нових агропрепаратів та модифікації й удосконалення існуючих. Зокрема, відомо, що рамноліпідні ПАР сприяють поліпшенню біодоступності поживних речовин для рослин, наприклад збільшують змочування ґрунту, забезпечують кращий розподіл добрив у ґрунті [7], захищають рослини від дії токсичних сполук (вуглеводнів, важких металів) [8]. ПАР також сприяють рухливості ґрунтових мікроорганізмів на поверхні кореневої системи рослин [9], адгезії та дисперсії біоплівки для утворення мікроколоній [10].

Постановка задачі

Мета роботи – дослідження впливу поверхнево-активних продуктів мікробного синтезу штаму *Pseudomonas* sp. PS-17 (рамноліпідних біоПАР) на активність фітогормонів для створення ефективних комплексних регуляторів росту рослин.

Матеріали і методи

Об'єктом досліджень були поверхнево-активні продукти біосинтезу культури *Pseudomonas* sp. PS-17 із колекції мікроорганізмів Відділення фізико-хімії ГК ІнФОВ ім. Л.М. Литвиненка НАН України (реєстраційний номер у Депозитарії ІМВ ім. Д.К. Заболотного *Pseudomonas* sp. ІМВ В-7434). Культивування мікроорганізмів проводили в колбах Ерленмейєра (750 мл) з робочим об'ємом 150 мл на ротаційній качалці (220 об/хв) за температури 30 °С на рідкому живильному середовищі такого складу (г/л): NaNO_3 – 4,0; $\text{K}_2\text{HPO}_4 \times 3\text{H}_2\text{O}$ – 2,0; KH_2PO_4 – 1,2; $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,5; цитрат Na – 5,0; гліцерин – 50 г/л. Тривалість культивування – 5 діб.

Супернатант культуральної рідини (СКР) отримували її центрифугуванням при 6000 об/хв протягом 20 хв. Поверхнево-активний рамноліпідний біокомплекс (РБК) виділяли із СКР осадженням 10 %-ним розчином HCl при рН 3 та нагріванням до 85 °С, подальшим витриманням осаду при 4 °С упродовж 12 год, відділенням при центрифугуванні (8000 об/хв, 20 хв) та висушуванням під вакуумом до постійної маси.

Вплив біоПАР на активність ауксинів визначали у 2-х біотестах. Вплив біоПАР на активність індоліл-3-оцтової кислоти (ІОК) вивчали у біотесті на ріст відрізків колеоптилів пшениці (5 мм) та оцінювали за величиною їх приросту за 24 год [11]. Вплив біоПАР досліджували також у біотесті на ризогенез 10-ти добових живців квасолі, які замочували впродовж 3-х год у розчинах біоПАР, індолмасляної кислоти та у їх сумішах. Живці пророщували у склянках з водою та визначали кількість, довжину й масу утворених корінців [12].

Дію біоПАР на активність гіберелінів визначали у біотестах на гіпокотиліях крес-салату (*Lactuca sativa*). Насіння салату, яке проростало протягом 28 год за кімнатної температури у темряві, було поміщене у чашки Петрі з досліджуваними розчинами. Довжини гіпокотиліа рослин вимірювали після інкубації протягом трьох днів [13].

Для оцінки дії біоПАР на цитокініни пшениці визначали концентрацію хлорофілів *a*, *b* та каротиноїдів спектрофотометричним методом на приладі Shimadzu UVmini-1240 (Shimadzu Corporation, Японія). Маса наважки листя – 0,1 г, екстрагент – ацетон, розрахунок проводили за рівнянням Венштейна у мг/г [14].

Результати і їх обговорення

Ауксини мають різноманітні фізіологічні функції, які є життєво важливими для розвитку рослин. Ауксини, зокрема індоліл-3-оцтова кислота (ІОК), необхідні для формування провідних коренів, для поділу і розтягування клітин, наприклад клітин колеоптилів або стебел. Цей ефект особливо виражений для рослин, що виростили в темряві (етиольованих), і слабкіше проявляється в зелених тканинах.

У біотесті на приріст відрізків колеоптилів пшениці, який використовується для оцінки активності ауксинів, встановлено здатність СКР та РБК штаму *Pseudomonas* sp. PS-17 впливати на дію ІОК. Показано, що вплив ІОК (1,75 мг/дм³) на відрізки колеоптилів пшениці в комбінації з рамноліпідними ПАР істотно посилювався: приріст відрізків був на 28 % більшим, ніж у варіанті без ПАР, і наближувався до дії ІОК за концентрації, у 10 разів більшої (17,5 мг/дм³) (рис. 1). Цей ефект біоПАР опосередковано вказує на збільшення проникності мембран рослинних клітин пшениці для надходження ІОК.

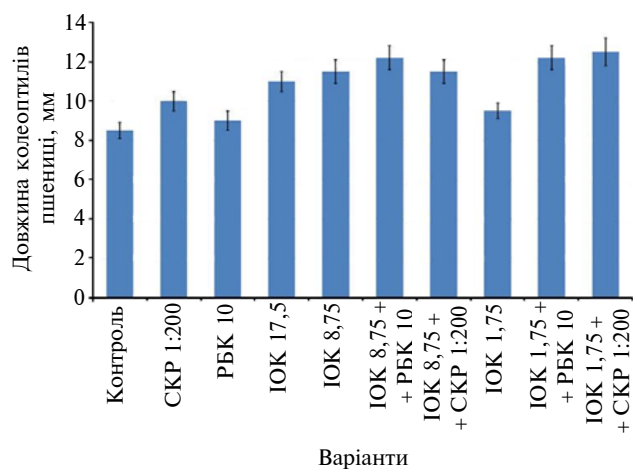


Рис. 1. Вплив рамноліпідних біоПАР на приріст відрізків колеоптилів пшениці за дії ІОК (концентрація РБК та ІОК – у мг/дм³, СКР – у розведеннях)

Відомо, що ефект розтягнення клітин пов'язаний зі збільшенням поглинання води

клітиною, а також з активуванням ферментів Н+АТФ-ази та кислих гідролаз, що містяться у плазматичній мембрані. Процес розтягнення клітинної стінки пов'язаний також з активацією синтезу целюлози і везикулярної секреції, яка постачає нові полісахариди для росту клітинної стінки. Отже, одним із механізмів стимулювальної дії біоПАР на розтягнення клітин і, відповідно, на ріст рослин може бути їх вплив на активність мембранозв'язаних ферментів. Це підтверджується даними літератури про здатність ПАР сприяти підвищенню активності таких ферментів [15, 16].

Подібний до ІОК вплив на рослини мають деякі синтетичні сполуки, які належать до її аналогів. Так, відома здатність індоліл-3-масляної кислоти (ІМК) – аналога ауксину – впливати на процеси ризогенезу, причому вона значно активніша, ніж природний фітогормон ІОК. Перевагою ІМК є більш висока стійкість у тканинах рослин, тому вона застосовується для прискорення коренеутворення. В зв'язку з цим було досліджено також вплив рамноліпідних ПАР на ІМК у біотесті на ризогенез живців квасолі (рис. 2). Встановлено, що при замочуванні живців у розчині СКР (розведення 1:200) спостерігалось збільшення загальної кількості корінців на 43,7 %, їх маси – на 58,7 % порівняно з контролем, проте у варіанті з РБК (10 мг/дм³) впливу на ризогенез не спостерігалось (табл. 1). Не виключено, що ефективність СКР пов'язана також з наявністю ауксинів, які, за літературними даними, можуть синтезувати бактерії роду *Pseudomonas* [17]. При сумісній дії ІМК з РБК або СКР загальна кількість коренів зросла в середньому на 62,5 %, їх маса – на 63,1 % порівняно з варіантом обробки розчином ІМК без ПАР (табл. 1).

Отримані результати вказують на можливість зменшення ефективної концентрації ІМК (зі збереженням її активності) за допомогою

досліджених СКР і РБК. Це свідчить про перспективність використання рамноліпідних ПАР при створенні комплексних препаратів з фітогормонами ауксинової природи.



Контроль ІМК 5 мг/дм³ РБК 10 мг/дм³ ІМК 5 мг/дм³ + РБК 10 мг/дм³

Рис. 2. Ризогенез живців квасолі під впливом ІМК та суміші ІМК з РБК штаму *Pseudomonas* sp. PS-1

Виявлено також стимулювальну дію рамноліпідних ПАР і на фітогормони інших груп. Так, встановлено вплив РБК і СКР на активність гіберелінової кислоти (ГК) у біотесті на проростання насіння салату (рис. 3). Показано, що за обробки гіпокотилів салату розчином РБК (10 мг/дм³) їх довжина не змінювалася, тоді як препарат СКР (розведення 1:200) сприяв збільшенню їх довжини у 2 рази відносно контролю. На нашу думку, це можна пояснити наявністю гіберелінової кислоти у складі СКР, що узгоджується з літературними даними про синтез цих фітогормонів мікроорганізмами роду *Pseudomonas* [18]. За сумісної дії ГК (25 мг/дм³) з дослідженими біоПАР довжина гіпокотилів збільшилась у середньому в 1,3 рази порівняно з обробкою розчином ГК без ПАР.

Дію рамноліпідних ПАР на фітогормони іншої групи – цитокініни – оцінювали за зміною вмісту хлорофілів *a*, *b* та каротиноїдів у листках пшениці озимої під впливом 6-бензіламінопурину (БАП, 5 мг/дм³), а також біоПАР

Таблиця 1. Вплив рамноліпідних ПАР на ризогенез живців квасолі

Варіант, мг/дм ³	Кількість коренів, шт./рослину	Маса коренів, г/10 рослин	Довжина кореня, мм
Контроль	16 ± 0,8	0,177 ± 0,008	7,31 ± 0,39
ІМК 5	87 ± 4,3	0,582 ± 0,02	11,84 ± 0,71
ІМК 2,5	56 ± 2,8	0,375 ± 0,02	9,41 ± 0,47
ІМК 2,5 + РБК 10	91 ± 4,5	0,609 ± 0,03	18,63 ± 0,93
ІМК 2,5 + СКР 1:200	85 ± 4,2	0,594 ± 0,03	19,01 ± 1,14
СКР 1:200	23 ± 1,3	0,281 ± 0,02	15,33 ± 0,91
РБК 10	18 ± 1,0	0,216 ± 0,01	14,81 ± 0,88

Таблиця 2. Вплив 6-бензиламінопурину, рамноліпідних ПАР та їх сумішей на вміст хлорофілів *a*, *b* і каротиноїдів у листках пшениці озимої

Варіант, мг/дм ³	Вміст пігментів, мг/г сирової маси			
	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Сума каротиноїдів	Хл <i>a</i> /Хл <i>b</i>
Контроль	1,71 ± 0,08	0,67 ± 0,03	0,73 ± 0,03	2,55 ± 0,12
РБК 10	1,79 ± 0,08	0,63 ± 0,03	0,78 ± 0,04	2,84 ± 0,14
СКР 1:200	1,82 ± 0,09	0,71 ± 0,04	0,75 ± 0,04	2,56 ± 0,12
6-БАП 10	1,90 ± 0,09	0,79 ± 0,05	0,82 ± 0,04	2,40 ± 0,12
6-БАП 5	1,52 ± 0,08	0,69 ± 0,05	0,61 ± 0,03	2,20 ± 0,11
6-БАП 5 + РБК 10	2,13 ± 0,1	0,75 ± 0,04	1,22 ± 0,06	2,84 ± 0,14
6-БАП 5 + СКР 1:200	2,24 ± 0,11	0,69 ± 0,04	1,19 ± 0,07	3,24 ± 0,16

та їх сумішей з фітогормонами. Для досліджень використовували тканини верхнього листка рослини. Результати зведені в табл. 2.

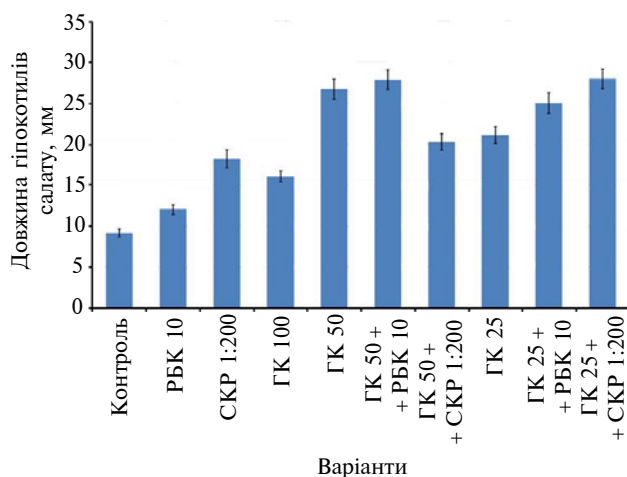


Рис. 3. Вплив рамноліпідних біоПАР на проростання насіння салату (концентрація РБК та ГК – у мг/дм³, СКР – у розведеннях)

Одержані дані свідчать, що під дією рамноліпідних ПАР вміст хлорофілу *a* незначно збільшувався відносно контролю, а при їх застосуванні сумісно з БАП (5 мг/дм³) зростав на 24–30 % (див. табл. 2). Обидві рамноліпідні ПАР у сумішах з БАП істотно впливали на вміст ка-

ротиноїдів, який зростав на 63–67 % відносно контролю, вміст хлорофілу *b* змінювався неістотно.

Отримані результати мають велике значення, оскільки відомо, що вміст основних пігментів фотосинтезу визначає фізіологічний стан рослин, їх здатність до формування врожаю [19], а також впливає на їх стійкість до несприятливих умов [20].

Висновки

Встановлено, що поверхнево-активні продукти штаму *Pseudomonas* sp. PS-17 – супернатант культуральної рідини і рамноліпідний біокомплекс при спільному використанні з фітогормонами (ауксинами, гіберелінами, цитокінінами) сприяють підвищенню їх активності. Завдяки впливу СКР та РБК діючі концентрації фітогормонів можуть бути зменшені у 2 рази і більше зі збереженням їх ефективності. Це вказує на доцільність подальших досліджень зі створення комплексних препаратів рамноліпідних ПАР з фітогормонами різних груп. Отже, застосування біоПАР для підвищення ефективності стимуляторів росту рослин має економічне й екологічне значення і є перспективним напрямом сучасного сільського господарства.

Список літератури

1. Вплив біогенних поверхнево-активних речовин на ріст олійних культур / І.В. Карпенко, Г.Г. Мідяна, О.Я. Карпенко та ін. // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка". Сер. Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2014. – № 787. – С. 254–257.
2. Стимулювання росту злакових рослин поверхнево-активними рамноліпідами / О.В. Карпенко, Н.І. Корецька, Н.С. Щеглова та ін. // *Biotechnologia Acta*. – 2013. – 6, № 6. – С. 94–99.
3. *A. Costacurta and J. Vanderleyden*, Synthesis of phytohormones by plant-associated bacteria", *Crit. Rev. Microbiol.*, vol. 21, pp. 1–18, 1995.
4. *Rivero R.M., Shulaev V., Blumwald E.* Cytokinin-dependent photorespiration and the protection of photosynthesis during water deficit // *Plant Physiol.* – 2009. – 150, № 3. – P. 1530–1540.

5. *Delayed leaf senescence induces extreme drought tolerance in a flowering plant* / R.M. Rivero, M. Kojima, A. Gepstein et al. // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. – 2007. – **104**, № 49. – P. 19631–19636.
6. *Iqbal M., Ashraf M.* Gibberellic acid mediated induction of salt tolerance in wheat plants: Growth, ionic partitioning, photosynthesis, yield and hormonal homeostasis // *Environ. Exp. Bot.* – 2013. – **86**. – P. 76–85.
7. *Sachdev D.P., Cameotra S.S.* Biosurfactants in agriculture // *Appl. Microbiol. Biotech.* – 2013. – **97**. – P. 1005–1016.
8. *Rhamnolipid biosurfactants decrease the toxicity of chlorinated phenols to Pseudomonas putida DOT-T1E* / L. Chrzanowski, L.Y. Wick, R. Meulenkamp et al. // *Lett. Appl. Microbiol.* – 2009. – **48**. – P. 756–762.
9. *RhlA is required for the production of a novel biosurfactant promoting swarming motility in Pseudomonas aeruginosa: 3-(3-hydroxyalkanoyloxy)alkanoic acids (HAAs), the precursors of rhamnolipids* / E. Deziel, F. Lepine, S. Milot et al. // *Microbiology*. – 2003. – **149**. – P. 2005–2013.
10. *Davey M.E., Caiazza N.C., Tootle G.A.O.* Rhamnolipid surfactant production affects biofilms architecture in *Pseudomonas aeruginosa* PA-01 // *J. Bacteriology*. – 2003. – **185**. – P. 1027–1036.
11. *Кефели В.И., Турецкая Р.Х., Коф Е.М.* Методы определения фитогормонов, ингибиторов роста, дефолиантов и гербицидов. – М.: Колос, 1973. – 7 с.
12. *Хархота Л.В., Довбиш Н.Ф.* Ризогенез стеблових здерев'янілих живців декоративних малопоширених кушових рослин у Донбасі // *Промислова ботаніка*. – 2008. – Вип. 8. – С. 161–165.
13. *Evensen K.B., Blevins D.G.* Differences in endogenous levels of gibberellin-like substances in nodules of *Phaseolus lunatus* L. plants inoculated with two *Rhizobium* strains // *Plant Physiol.* – 1981. – **68**. – P. 195–198.
14. Шлык А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // *Биохимические методы в физиологии растений*. – М.: Наука, 1971. – С. 154–170.
15. *Sandstrom R.P., Cleland R.E.* Selective delipidation of the plasma membrane by surfactants enrichment of sterols and activation of ATPase // *Plant Physiol* – 1989. – **90**, № 4. – P. 1524–1531.
16. *Шумилина Е.В., Зоннова Н.Ю., Щипунов Ю.А.* Влияние поверхностно-активных веществ на активность фосфолипазы DII // *Биологические мембраны*. – 1998. – **15**, № 4. – С. 414–419.
17. *Joseph B., Patra R.R., Lawrence R.* Characterization of plant growth promoting rhizobacteria associated with chickpea (*Cicer arietinum* L.) // *Int. J. Plant Production*. – 2007. – **1**, № 2. – P. 141–152.
18. *Исаева К.Х.* Образование гиббереллина и гиббереллиноподобных веществ углеводородокисляющими бактериями // *Вестник Москов. гос. обл. ун-та. Сер. Естественные науки*. – 2009. – № 4. – С. 96–101.
19. *Тарчевский И.А., Андриянов Ю.Е.* Содержание пигментов как показатель мощности развития фотосинтетического аппарата у пшеницы // *Физиология растений*. – 1980. – № 27, вып. 2. – С. 341–348.
20. *Ouzounidou G., Ilias I.* Hormone-induced protection of sunflower photosynthetic apparatus against copper toxicity // *Biol. Plant*. – 2005. – **49**. – P. 223–228.

References

1. I.V. Karpenko et al., "Influence of biogenic surfactants on the oil seeds growth", *Visnyk Natsionalnoho Universytetu "Lvivska politekhnika". Ser. Khimiia, Tekhnolohiia Rechoyvyn ta Yikh Zastosuvannia*, no. 787, pp. 254–257, 2014 (in Ukrainian).
2. O.V. Karpenko et al., "Stimulation of the growth of Gramineae plants by rhamnolipid surfactants", *Biotechnologia Acta*, no. 6, pp. 94–99, 2013 (in Ukrainian).
3. A. Costacurta et al., "Synthesis of phytohormones by plant-associated bacteria", *Crit. Rev. Microbiol.*, vol. 21, pp. 1–18, 1995.
4. R.M. Rivero et al., "Cytokinin-dependent photorespiration and the protection of photosynthesis during water deficit", *Plant Physiol.*, vol. 150, no. 3, pp. 1530–1540, 2009.
5. R.M. Rivero et al., "Delayed leaf senescence induces extreme drought tolerance in a flowering plant", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, vol. 104, no. 49, pp. 19631–19636, 2007.
6. M. Iqbal et al., "Gibberellic acid mediated induction of salt tolerance in wheat plants: Growth, ionic partitioning, photosynthesis, yield and hormonal homeostasis", *Environ. Exp. Bot.*, vol. 86, pp. 76–85, 2013.
7. D.P. Sachdev et al., "Biosurfactants in agriculture", *Appl. Microbiol. Biotech.*, vol. 97, pp. 1005–1016, 2013.
8. L. Chrzanowski et al., "Rhamnolipid biosurfactants decrease the toxicity of chlorinated phenols to *Pseudomonas putida* DOT-T1E", *Lett. Appl. Microbiol.*, vol. 48, pp. 756–762, 2009.
9. E. Deziel et al., "RhlA is required for the production of a novel biosurfactant promoting swarming motility in *Pseudomonas aeruginosa*: 3-(3-hydroxyalkanoyloxy)alkanoic acids (HAAs), the precursors of rhamnolipids", *Microbiology*, vol. 149, pp. 2005–2013, 2003.
10. M.E. Davey et al., "Rhamnolipid surfactant production affects biofilms architecture in *Pseudomonas aeruginosa* PA-01", *J. Bacteriology*, vol. 185, pp. 1027–1036, 2003.
11. V.I. Kefeli et al., *Methods for Determination of Plant Hormones, Growth Inhibitors, Defoliant and Herbicides*. Moscow, USSR: Kolos, 1973 (in Russian).

12. L.V. Kharkhota *et al.*, “Rhizogeny of woody stem cuttings of the ornamental less-common shrubs in Donbass”, *Promyslova Botanika*, iss. 8, pp. 161–165, 2008 (in Ukrainian).
13. K.B. Evensen *et al.*, “Differences in endogenous levels of gibberellin-like substances in nodules of *Phaseolus lunatus* L. plants inoculated with two *Rhizobium* strains”, *Plant Physiol.*, vol. 68, pp. 195–198, 1981.
14. A.A. Shlyk, “Determination of chlorophylls and carotenoids in extracts of green leaves”, in *Biochemical Methods in Plant Physiology*. Moscow, USSR: Nauka, 1971, pp. 154–170 (in Russian).
15. P.S. Richard *et al.*, “Selective delipidation of the plasma membrane by surfactants enrichment of sterols and activation of ATPase”, *Plant Physiol.*, vol. 90, no. 4, pp. 1524–1531, 1989.
16. E.V. Shumilina *et al.*, “The influence of surfactants on the activity of DII phospholipase”, *Biologicheskie Membrany*, vol. 15, no. 4, pp. 414–419, 1998 (in Russian).
17. B. Joseph *et al.*, “Characterization of plant growth promoting rhizobacteria associated with chickpea (*Cicer arietinum* L.)”, *Int. J. Plant Production*, vol. 1, no. 2, pp. 141–152, 2007.
18. K.H. Isayeva, “Formation of gibberellin and gibberellin-like substances by hydrocarbon-oxidizing bacteria”, *Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Oblastnogo Universiteta. Ser. Estestvennye Nauki*, no. 4, pp. 96–101, 2009 (in Russian).
19. I.A. Tarchevsky, “Pigment content as an indicator of the development power of the photosynthetic apparatus of wheat”, *Fiziologija Rastenij*, vol. 2, pp. 341–348, 1980 (in Russian).
20. G. Ouzounidou, “Hormone-induced protection of sunflower photosynthetic apparatus against copper toxicity”, *Biol. Plant.*, vol. 49, pp. 223–228, 2005.

I.V. Карпенко, Г.Г. Мидяна, О.В. Карпенко

БИОГЕННИ РАМНОЛИПІДНІ ПАР У КОМПЛЕКСНИХ РЕГУЛЯТОРАХ РОСТУ РОСЛИН

Проблематика. Актуальною проблемою біотехнології є створення екологічно безпечних препаратів для рослинництва. З урахуванням екологічної загрози синтетичних засобів пріоритетними є біологічні продукти для рослин. Серед них заслуговують на увагу біогенні поверхнево-активні речовини (біоПАР), що пов'язано з їх фізико-хімічними і біологічними властивостями.

Мета дослідження. Вплив поверхнево-активних продуктів мікробного синтезу штаму *Pseudomonas* sp. PS-17 (рамноліпідних біоПАР) на активність фітогормонів для створення комплексних регуляторів росту рослин.

Методика реалізації. Вплив супернатанту культуральної рідини (СКР) і рамноліпідного біокомплексу (РБК) на активність фітогормонів визначали у біотестах на ауксини, цитокініни, гібереліни.

Результати дослідження. Показано, що у композиціях РБК із фітогормонами підвищується їх активність: ауксинів – на 28 % (індоліл-3-оцтова кислота) і 63 % (індоліл-3-масляна кислота), гіберелінів – на 30 %, цитокінінів – на 24–30 % (порівняно з варіантами без ПАР). Схожий стимулювальний вплив на фітогормони встановлено і для препарату СКР, крім того, він проявляв фітогормоноподібну дію.

Висновки. Результати доводять перспективність рамноліпідних ПАР для створення екологічно безпечних комплексних регуляторів росту рослин.

Ключові слова: рамноліпідні ПАР; колеоптиль; гіпокотиль; цитокінін; гіберелінова кислота; ауксин.

I.V. Карпенко, Г.Г. Мидяна, Е.В. Карпенко

БИОГЕННЫЕ РАМНОЛИПИДНЫЕ ПАВ В КОМПЛЕКСНЫХ РЕГУЛЯТОРАХ РОСТА РАСТЕНИЙ

Проблематика. Актуальной проблемой биотехнологии является создание экологически безопасных препаратов для растениеводства. С учетом экологической угрозы синтетических средств приоритетными являются биологические продукты для растений. Среди них заслуживают внимания биогенные поверхностно-активные вещества (биоПАВ), что связано с их физико-химическими и биологическими свойствами.

Цель исследования. Влияние поверхностно-активных продуктов микробного синтеза штамма *Pseudomonas* sp. PS-17 (рамнолипидных биоПАВ) на активность фитогормонов для создания комплексных регуляторов роста растений.

Методика реализации. Влияние супернатанта культуральной жидкости (СКР) и рамнолипидного биокомплекса (РБК) на активность фитогормонов определяли в биотестах на ауксины, цитокініни, гіберелліни.

Результаты исследования. Показано, что в композициях РБК с фитогормонами повышается их активность: ауксинов – на 28 % (индоліл-3-уксусная кислота) и 63 % (индоліл-3-масляная кислота); гібереллінов – на 30 %, цитокінінов – на 24–30 % (в сравнении с вариантами без ПАВ). Подобное стимулирующее влияние на фитогормоны установлено и для препарата СКР, кроме того, он проявлял фитогормоноподобное действие.

Выводы. Результаты доказывают перспективность рамнолипидных ПАВ для создания экологически безопасных комплексных регуляторов роста растений.

Ключевые слова: рамнолипидные ПАВ; колеоптиль; гипокотиль; цитокінін; гіберелліновая кислота; ауксин.

Рекомендована Радою
факультету біотехнології і біотехніки
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції
7 квітня 2016 року