



УДК 581.5:579.222:622.271.882

ВИКОРИСТАННЯ БІОГЕННИХ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН ПІД ЧАС ВИРОЩУВАННЯ СОРГО НА СУБСТРАТАХ ВІДВАЛІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

В. І. Баранов¹, А. Р. Баня², О. Я. Карпенко³, М. В. Пристай², О. В. Карпенко²

¹Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Грушевського, 4, Львів 79005, Україна
e-mail: bio.lwiw@mail.ru

²Відділення фізико-хімії горючих копалин ІнФОВ ім. Л. М. Литвиненка НАН України
вул. Наукова, 3а, Львів 79053, Україна

³Національний університет „Львівська Політехніка”, пл. Св. Юра, 2, Львів 79013, Україна

Досліджено вплив біогенних поверхнево-активних речовин (біоПАР) на морфометричні й окисдативні показники сорго (*Sorghum bicolor* subsp. *drummondii*) під час вирощування на субстратах породних відвалів вугільних шахт. Встановлено, що передпосівна обробка насіння сорго розчинами біоПАР (рамноліпідного біо-комплексу (РБК) або трегалозоліпідних ПАР (ТЛ) сприяла покращенню ростових та окисдативних показників рослин, що свідчить про підвищення стійкості сорго до несприятливих умов вирощування. Кращі результати отримано під час вирощування сорго на червоному субстраті: маса пагона збільшилась у 2,2 разу (з РБК) і у 1,19 разу (з ТЛ); маса кореня – у 2,3 і 1,71 разу відповідно. Зміни окисдативних показників рослин свідчать про зниження негативної дії умов їхнього росту на субстратах породних відвалів вугільних шахт. Вміст маломовного діальдегіду у сорго на червоному субстраті знижувався – на 15 % з РБК і на 11 % з ТЛ та на чорному субстраті показники були у межах контролю. Вміст фенолів підвищувався на чорному субстраті у варіантах з РБК – на 141 % або ТЛ – на 184 % щодо контролю. Кількість утвореного H_2O_2 була меншою на червоному субстраті – на 11 % з РБК і 10 % з ТЛ; на чорному субстраті була у межах контролю. З'ясовано також зниження фітотоксичності субстратів відвалів вугільних шахт після вирощування сорго (з вищого до середнього рівня). Отримані результати свідчать про перспективність застосування сорго та біоПАР для фіторе mediaції техногенно змінених ґрунтів.

Ключові слова: субстрати породних відвалів, сорго, біогенні поверхнево-активні речовини, окисдативні показники, фіторе mediaція.

ВСТУП

Підприємства гірничовидобувного комплексу є одними з найбільш потужних джерел забруднення біосфери шкідливими інгредієнтами. Зокрема, з відходами вугільної промисловості у природне середовище потрапляють важкі метали (ВМ), які належать до найбільш небезпечних антропогенних забруднень [32].

Перспективним методом відновлення ґрунтів, забруднених ВМ, є фіторе mediaція, тобто використання стійких до надлишкової кількості токсичних речовин рослин [1, 16]. Фіторе mediaція застосовується під час очищення ґрунтів, зокрема промислових зон, сільськогосподарських угідь, військових полігонів, при цьому рослини здатні акумулювати і трансформувати у менш токсичні форми забруднювачі з ґрунту, тим самим покращуючи та відновлюючи його властивості. Наприклад, деякі рослини родини *Brassicaceae* є гіперакумулянтами важких металів. Зокрема, *Brassica juncea* здатна накопичувати у клітинах і міжклітинному просторі в розрахунку на суху масу рослини 1–1,7 % цинку [29].

Під час вирощування рослин у несприятливих умовах виникає оксидативний стрес, що пригнічує їхній розвиток. Для створення оптимальних умов росту і покращення стійкості рослин використовують різноманітні регулятори росту [37]. На нашу думку, заслуговують на увагу біогенні поверхнево-активні речовини (біоПАР), зокрема, продукти мікробного синтезу [31, 38]. БіоПАР мають стабільні фізико-хімічні властивості у широкому діапазоні рН і температури, легко розкладаються у ґрунті, малотоксичні [15, 26], що створює перспективи їх застосування в сучасних технологіях фіторе mediaції техногенно змінених ґрунтів. У наших роботах визначено ефективність застосування біоПАР (рамноліпідної і трегалозоліпідної природи) для фіторе mediaції нафтозабруднених ґрунтів [21].

Важливою інтегральною фізіолого-біохімічною тест-реакцією рослин на забруднення ґрунтів є показники оксидативної системи, що характеризують надлишкове утворення активних форм кисню (АФК) [13]. АФК розглядаються не тільки як деструктивні, але і як сигнальні молекули рослин [12, 14, 23]. Ступінь оксидативного стресу у рослин оцінюють, зокрема, за вмістом пероксиду водню, інтенсивністю пероксидного окиснення ліпідів (ПОЛ), що характеризує порушення плазматичних мембран клітин [19, 28]. Ще одним показником стійкості рослин є вміст фенольних сполук, які беруть участь у процесах дихання та формуванні толерантності рослин до умов середовища [9, 36]. Розглядається також активність поліфенолоксидази (ПФО), підвищення якої характеризує стабільний окиснювальний обмін, що призводить до адаптації рослин [25]. З літератури відомо, що ПФО є свого роду ферментом, який діє в окремих ланках дихального процесу при порушенні структури тканин [17]. Так, у дослідженнях С. Е. Синютиної по впливу солей важких металів на активність ПФО з тканин ячменю було встановлено збільшення активності ПФО порівняно з контролем [34].

Метою роботи було вивчити вплив біогенних поверхнево-активних речовин рамноліпідної і трегалозоліпідної природи на стійкість сорго під час вирощування на субстратах породних відвалів вугільних шахт для визначення можливості їх використання у фіторекультиватії відвалів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

У дрібноділянковому експерименті було використано субстрати породних відвалів вугільних шахт Центральної збагачувальної фабрики “Червоноградська” ПАТ “Львівська вугільна компанія” (ЦЗФ) (червоний – перегорілий та чорний – неперегорілий), в які висівали насіння сорго суданська трава (*Sorghum bicolor* subsp. *drummondii*), оброблені розчинами біоПАР: рамноліпідного біокомплексу (РБК) штаму *Pseudomonas* sp. PS-17, що містить рамноліпіди і полісахарид (4:1) і трегалозоліпідних ПАР штаму *Gordonia rubripertincta* УКМ Ac-122 (ТЛ) [20,22]. Для передпосівної

обробки насіння сорго замочували упродовж 3 год у розчинах РБК (0,01 г/л) або ТЛ (0,05 г/л), які позитивно впливали на ріст рослин у наших попередніх дослідженнях [21], у контрольному варіанті насіння замочували у воді [18]. Вирощували рослини впродовж 60 діб у 10 літрових ємностях з підготовленими субстратами, після чого визначали ростові параметри рослин (довжина кореня, висота пагона, їхня маса) та біохімічні показники.

Оксидативні показники рослин визначали фотометричними методами на спектрофотометрі UVmini-1240 ("Shimadzu", Japan). Вміст пероксиду водню визначали у рослинному гомогенаті (з надземної частини рослин) за реакцією з $Ti(SO_4)_2$ по інтенсивності забарвлення при 410 нм та обчислювали у мМ/г сирової маси [10]. Загальну концентрацію фенольних сполук (ФС) визначали з використанням реактиву Фоліна–Деніса при 730 нм і розраховували за кількістю хлорогенової кислоти як стандарту [41]. Інтенсивність ПОЛ визначали за кількістю малонового діальдегіду (МДА) у рослин при його взаємодії з 2-тіобарбітуровою кислотою, в результаті чого утворюється забарвлений продукт із максимумами поглинання 532 і 600 нм і обчислювали у моль/г сирової маси [2]. Активність поліфенолоксидази визначали спектрофотометрично при довжині хвилі 420 нм за методикою О.М. Бояркіна [39]. Фітотоксичність субстратів ЦЗФ досліджували з використанням *Raphanus sativus* і *Lepidium sativum* як тест-об'єктів, оцінювали за схожістю насіння та значенням фітотоксичного ефекту (ФЕ) [6,8].

ФЕ обчислювали за довжиною кореневої системи (у відсотках до контролю) [24]:

$$ФЕ = \frac{L_o - L_x}{L_o} \times 100,$$

де L_o – середня довжина кореня рослини на контрольному середовищі; L_x – середня довжина кореня рослини під впливом токсичного чинника. Фітотоксичність оцінювали за п'ятибальною шкалою [11].

Повторність дослідів – 4-разова. Кількісна вибірка рослин для кожного методу становила ($n = 40$). Для статистичної обробки даних використовували програми Statist і Exel.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ І ЇХНЕ ОБГОВОРЕННЯ

Під час рекультивациі породних відвалів вугільних шахт, беручи до уваги їхні екстремальні едафічні умови (висока кислотність, низький вміст органічної речовини, наявність важких металів), постало питання пошуку і використання стійких рослин [5]. За літературними даними і нашими попередніми результатами, заслуговує на увагу сорго суданська трава [7, 35], вибір якого обумовлений його посухостійкістю, витривалістю до високих температур, що пов'язано з низьким коефіцієнтом транспірації та розвинутою кореневою системою.

Відомо, що для покращення росту і зниження оксидативного стресу рослин на забруднених ґрунтах використовують різноманітні регулятори росту [30]. Нами були використані біоПАР трегалозоліпідної та рамноліпідної природи з рістрегулюючими властивостями, які є ефективними й легко розкладаються у ґрунті [3]. На першому етапі досліджень визначався вплив біоПАР на ростові показники сорго під час вирощування на субстратах відвалів ЦЗФ і було встановлено, що передпосівна обробка насіння сорго розчинами досліджених біоПАР сприяла підвищенню його ростових показників на субстратах ЦЗФ – як на чорному, так і на червоному, за винятком дії ТЛ (довжина кореня) на чорному субстраті (табл. 1).

Таблиця 1. Морфометричні показники сорго під час вирощування на субстратах породних відвалів вугільних шахт Центральної збагачувальної фабрики

Table 1. Morphometric parameters of sorghum during the growth on waste dump substrates of coal mines Central Enrichment Plant

Варіанти дослідження	Довжина пагона, см	Довжина кореня, см	Маса пагона, г	Маса кореня, г
Червона порода				
Контроль	46,96±1,50	12,16±0,25	1,06±0,011	0,137±0,008
РБК	55,34±1,86	12,84±0,37	2,34±0,172	0,316±0,020
ТЛ	58,02±1,36	13,18±0,38	1,27±0,054	0,234±0,013
Чорна порода				
Контроль	48,42±2,25	10,48±0,53	1,74±0,092	0,307±0,018
РБК	58,82±1,31	11,02±0,36	3,40±0,175	0,341±0,022
ТЛ	55,42±1,85	8,68±0,25	2,71±0,217	0,360±0,023

Примітки: РБК – рамноліпідний біокомплекс; ТЛ – трегалозоліпідний біоПАР

Comments: РБК – rhamnolipid biocomplex; ТЛ – trehalose lipid biosurfactant

Кращі результати отримано під час вирощування сорго на червоному субстраті: маса пагона збільшилась у 2,2 разу (з РБК) і в 1,19 разу (з ТЛ); маса кореня – у 2,3 і 1,71 разу відповідно.

Для оцінювання дії техногенно змінених субстратів ЦЗФ на адаптаційні властивості сорго досліджували окисдаційні показники рослин: загальний вміст ФС, вільнорадикальних продуктів (пероксиду водню і МДА), а також активність ПФО (рис.1, А, Б).

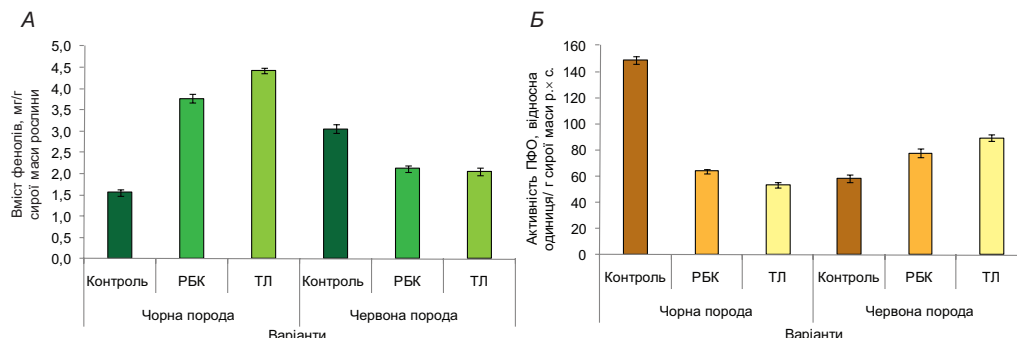


Рис. 1. Загальний вміст фенолів (А) і активність поліфенолоксидази (Б) у сорго за росту на породних субстратах вугільних шахт Центральної збагачувальної фабрики: РБК – рамноліпідний біокомплекс; ТЛ – трегалозоліпідний біоПАР

Fig. 1. The total content of phenols (A) and activity of polyphenoloxidase (B) in sorghum grown on waste dump substrates of coal mines Central Enrichment Plant: РБК – rhamnolipid biocomplex; ТЛ – trehalose lipid biosurfactant

Під час обробки насіння розчинами біоПАР було виявлено підвищення загального вмісту ФС у рослинах (щодо контролю), вирощуючи на породних субстратах шахт, зокрема, на чорному – на 141 % (з РБК) і 184 % (з ТЛ). Беручи до уваги анти-

окисидантні властивості ФС, а також їхню здатність до взаємодії з іонами важких металів, що наявні у субстратах відвалів шахт, збільшення вмісту фенолів може бути проявом підвищення стійкості рослин за стресових умов [4].

Відомо, що у разі забруднення середовища збільшується активність поліфенолоксидази рослин, яка бере участь у регуляції їхнього метаболізму й адаптації до несприятливих умов навколишнього середовища [40].

З'ясовано, що під час передпосівної обробки насіння розчинами біоПАР активність ПФО на чорному субстраті трохи знижувалася порівняно з контролем, а це вказує на зниження стресового впливу середовища на рослини, проте за росту сорго на червоному субстраті спостерігалось збільшення показників ПФО за дії біоПАР. Відомо, що підвищення активності ПФО може проявлятися в утворенні хімічних бар'єрів, які запобігають подальшому поширенню АФК [34]. Натомість, збільшення активності ПФО за росту сорго на червоному субстраті можна пояснити тим, що основна кількість ВМ зв'язується з полігалактурановими кислотами клітинних стінок рослин і лігандами у вакуолях, завдяки чому вміст ВМ у цитоплазмі може зменшуватись. Імовірно, що стійкість рослин до ВМ значною мірою зумовлена ефективністю їх виведення з цитоплазми, а також прямим і опосередкованим їх впливом на процеси життєдіяльності рослин [40]. Така дія ВМ може залежати від рН субстратів, вмісту в них органічної речовини, а також концентрації іонів. Не виключено, що на активність ПФО можуть впливати не лише забруднення середовища ВМ, але й видові та вікові особливості рослин.

Оскільки початкові реакції рослин на дію стрес-чинників відбуваються на рівні мембран з утворенням вільних радикалів у клітинах, було визначено також вміст перексиду водню та МДА як показника пероксидного окиснення ліпідів (рис. 2, А, Б).

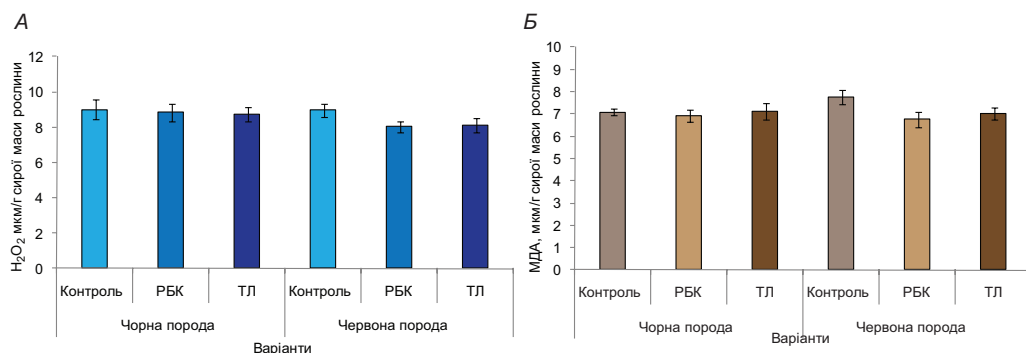


Рис. 2. Вміст перексиду водню (А) та малонового діальдегіду (Б) у рослин сорго, вирощеного на субстратах породних відвалів вугільних шахт (Центральна збагачувальна фабрика): РБК – рамноліпідний біокомплекс; ТЛ – трегалозоліпідний біоПАР

Fig. 2. The content of hydrogen peroxide (A) and malondialdehyde (B) in sorghum plants grown on waste dump substrates of coal mines (Central Enrichment Plant): РБК – rhamnolipid biocomplex; ТЛ – trehalose lipid biosurfactant

Встановлено, що вміст перексиду водню під час вирощування сорго на червоній породі знижувався на 11% (з РБК) і 10% (з ТЛ); на чорній породі був у межах контролю; вміст МДА зменшувався на червоній породі на 15% (з РБК) і на 11% (з ТЛ); на чорній породі МДА був у межах контролю. Ці результати можуть свідчити про позитивний вплив біоПАР на функціонування клітинних мембран рослини та

відповідно на підвищення стійкості сорго. З літературних даних відомо, що деякі регулятори росту впливали на окисдаивні показники рослин у несприятливих умовах, проте цей вплив був неоднозначним. Так, препарат цитодеф за умови вирощування пшениці на середовищі з Pb^{2+} сприяв зниженню показників ПОЛ на 60 і 39 % (при концентраціях 1 мМ і 10 мкМ) порівняно з контролем. Під час вирощування пшениці на середовищах з Zn^{2+} цитодеф не впливав на вміст МДА, а з іонами Ni^{2+} і Cu^{2+} сприяв збільшенню ПОЛ [33]. У наших попередніх роботах також було встановлено зміну вмісту H_2O_2 та МДА у гороху польового за росту на нафтозабруднених ґрунтах під впливом біоПАР [21].

Для перевірки можливості використання рослин і біоПАР у фітореMediaційних технологіях для рекультивації породних відвалів ЦЗФ проведено оцінку фітотоксичності субстратів, на яких попередньо вирощували сорго (за схожістю насіння і фітотоксичним ефектом) (табл. 2).

Таблиця 2. Вплив сорго і біоПАР на фітотоксичність субстратів породних відвалів вугільних шахт Центральної збагачувальної фабрики

Table 2. Influence of sorghum and biosurfactants on the phytotoxicity of waste dump substrates of coal mines Central Enrichment Plant

Варіант дослідження	<i>Raphanus sativus</i>		<i>Lepidium sativum</i>	
	Схожість насіння, %	ФЕ, %	Схожість насіння, %	ФЕ, %
Ґрунт (садовий)	90	-	66	-
Чорна порода	75	45	53	62
Чорна порода після очищення рослинами	80	38	56	37
Чорна порода після очищення рослинами (РБК)	90	23	80	25
Чорна порода після очищення рослинами (ТЛ)	80	1	73	35
Червона порода	65	49	46	43
Червона порода після очищення рослинами	80	39	56	31
Червона порода після очищення рослинами (РБК)	80	35	63	31
Червона порода після очищення рослинами (ТЛ)	75	1	63	24

Примітки: РБК – рамноліпідний біокомплекс; ТЛ – трегалозоліпідний біоПАР

Comments: РБК – rhamnolipid biocomplex; ТЛ – trehalose lipid biosurfactant

За даними літератури, зміна фізіологічних процесів, спричинена дією стресу, впливає на проростання насіння та формування органів рослин [27]. У наших дослідках з біотестування субстратів відвалів ЦЗФ встановлено достовірні зміни у схожості насіння редису і крес-салату: зменшення схожості у редису на червоному та чорному субстратах становило 65 і 75 % відповідно, у крес-салату – на 46 і 53 %, що вказує на фітотоксичність субстратів ЦЗФ. Після вирощування сорго (з обробкою насіння розчинами біоПАР) на субстратах відвалів ЦЗФ спостерігали збільшення схожості щодо контролю: на червоному субстраті у *Raphanus sativus* – 80 % (з РБК) і 75 % (з ТЛ), на чорному субстраті – 90 і 80 %; на червоному у *Lepidium sativum* – до 63 %, на чорному – до 80 і 73 % відповідно. Знижувався й фітотоксичний ефект субстратів із вищого до середнього рівня. Кращі результати отримано після вирощування сорго за передпосівної обробки розчином ТЛ на чорному і червоному

субстратах (у варіантах з *Raphanus sativus*) та після вирощування сорго за обробки розчином РБК на чорному та ТЛ на червоному субстратах (з *Lepidium sativum*). На наш погляд, зменшення фітотоксичності субстратів шахтних відвалів може бути пов'язане зі створенням кореневою системою бар'єрів (з корневих ексудатів), які здатні утримувати надходження надлишкових кількостей важких металів у рослини, в результаті чого покращуються ростові процеси. Також можуть впливати рамноліпідні і трегалозоліпідні біоПАР, під дією яких покращується надходження у рослини поживних сполук, необхідних для росту, і підвищення адаптаційної здатності сорго до несприятливих умов [21, 22].

Отже, отримані результати свідчать, що ефективна дія біоПАР, спрямована на підвищення толерантності сорго суданської трави при вирощуванні у несприятливих умовах, може бути успішно використана у сучасних комплексних методах фіторе mediaції породних відвалів вугільних шахт.

1. Ali H., Khan E., Sajad M.A. Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications. **Chemosphere**, 2013; 91(7): 869–881.
2. Bagnyukova T.V., Lushchak O.V., Storey K.B. et al. Oxidative stress and antioxidant defense responses by goldfish tissues to acute change of temperature from 3 to 23 °C. **Journal of Thermal Biology**, 2007; 32: 227–234.
3. Banya A.R., Baranov V.I., Karpenko I.V. et al. Influence of biogenic surface-active substances and microbial preparation on the morphometric parameters of seedlings of *Raphanus sativus* L. and *Pisum arvense* L. **Studia Biologica**. 2013; 7(1): 115–122. (In Ukrainian).
4. Baraboi V.A. **Plant phenols and human health**. Moscow: Science Publishing House, 1984. 39–41p. (In Russian)
5. Baranov V. Ecological scope of rock dump coal mines ccm cj-sc „Ivvisistemenergo” as subject to plant trees and grass. **Visnyk of Iviv univ. Biology Series**. 2008; 46: 172–178. (In Ukrainian).
6. Berestetskiy O. Methods for determination of soil toxicity. Kyiv: Harvest, 1971. 139–243 c. (In Ukrainian).
7. Beshley Z.M., Beshley S.V., Baranov V.I. et al. Absorption of *Sorghum halepense* heavy metals from substrate of the rock dumps. **The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series Biology**. 2014; 2(32): 97–100. (In Ukrainian).
8. Beshley Z.M., Beshley S.V., Baranov V.I. et al. Use of plants test systems for assess the toxicity of polluted substrates. **The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series Biology**. 2014; 1(31): 97–102. (In Ukrainian).
9. Chechui H.F. The phenolic compounds content in germinating soybean seeds under oxidative stress caused by cobalt and cadmium ions. **Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants**, 2011; 43(4): 362–363. (In Russian).
10. Chen L.M., Kao C.H. Effect of excess copper on rice leaves: evidence for involvement of lipid peroxidation. **Bot. Bull. Acad. Sin**, 1999; 40: 283–287.
11. Dzhura N.M., Romanyuk O.I., Gonsyor J. et al. Using plants for restoration of the oil-cut soils. **Ecology and Noosferology**, 2006; 17(1–2): 55–60. (In Ukrainian).
12. Eremchenko O.Z., Chetina O.A., Shestakov I.E. et al. Increase of plants redox-potential as test-reaction to pollution of soils. **The Bulletin of Tambov State University. Natural and Technical Sciences**, 2014; 5: 1285–1288. (In Russian).
13. Eremchenko O.Z., Kusakina M.G., Goleva T.N. The influence of soil pollution by PbSO₄ and CdSO₄ on the antioxidant system of *Raphanus sativus* L. **The Bulletin of Perm State University. Biology**, 2014; 1: 24–29. (In Ukrainian).
14. Fujita M., Fujita Y., Noutoshi Y. et al. Crosstalk between abiotic and biotic stress responses: acurrent view from the points of convergence in the stress signalling networks. **Curr. Opin. Plant Biol**, 2006; 9: 436–442.

15. Galabova D., Sotirova A., Karpenko E. et al. Role of Microbial Surface-Active Compounds in Environmental Protection. In: The Role of Colloidal Systems in Environmental Protection. Ed. M. Fanun. **Elsevier B.V.: Amsterdam**, 2014; 3: 41–84.
16. Gaur N., Flora G., Yadav M. et al. A review with recent advancements on bioremediation-based abolition of heavy metals **Environmental Science: Processes & Impacts**, 2014; 16(2): 180.
17. Havrys I.L. The activity of redox enzymes in tomato leaves by using growth regulators. **Innovative Views of Young Scientists**. 2015; Access mode: <http://www.sworld.education/index.php/ru/conference/the-content-of-conferences/archives-of-individual-conferences/apr-2015>. (In Ukrainian).
18. ISO 4138-2002. Seeds of agricultural crops. Methods for determining quality. Valid from - 2004-01-01. K.: **State Committee of Ukraine**, 2003. 173 p. (In Ukrainian).
19. Kao C.H. Role of hydrogen peroxide in rice plants. **Crop, Environment & Bioinformatics**, 2014; 11: 1–10.
20. Karpenko E.V., Pokinbroda T.Ya., Makitra R.G. et al. Optimal methods of allocation of surface-active rhamnolipids **Journal of General Chemistry**, 2009; 12: 2011. (In Russian)
21. Karpenko O., Banya A., Baranov V. et al. Influence of Biopreparations on Phytoremediation of Petroleum-Contaminated Soil. **Polish Journal of Environmental Studies**, 2015; 24(5): 2009–2015.
22. Karpenko O.V., Koretska N.I., Shcheglova N.S. et al. Gramineae plants growth stimulation by surface-active rhamnolipids. **Biotechnologia Acta**, 2013; 6(6): 94–99. (In Ukraine)
23. Kolupaev Yu.Ye. Reactive oxygen species in plants at stressors action: formation and possible functions. **The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series Biology**. 2007; 3(12): 6–26. (In Ukrainian).
24. Lozanovskaya I.N., Orlov D.S., Sadovnikov L.K. **Ecology and protection of the biosphere by chemical pollution**. Moscow: Higher School, 1998. 287 p. (In Russian).
25. Mozharov A.V., Sinyutina S.E., Zaichenko M.A. Investigation of effect of heavy metal compounds on formation of barley seedlings. **The Bulletin of Tambov State University. Natural and Technical Sciences**, 2013; 18(1): 255–257. (In Russian).
26. Mulligan C.N., Sharma S.K., Mudhoo A. Biosurfactants: Research Trends and Applications. **Boca Raton: CRC Press**, 2014. 352 p.
27. Nefedeva E.E., Hryanin V.N. Aftereffect pulse pressure on the content of phytohormones and some physiological characteristics of buckwheat plant. **Plant Physiology**, 1999; 46(2): 231–238. (In Russian).
28. Nwaogu L.A., Iwueke A.V., Igwe C.U. et al. Heavy metal pollution mediated oxidative stress in *Amaranthus hybridus* leaves. **International Journal of Biochemistry Research & Review**, 2012; 2(2): 78–86.
29. Olshanskaya L.N., Tarushkina Y.A., Stoyanov A.V. et al. **Phytoremediation technology in the protection of the hydrosphere**. State Technical University of Saratov. University Press, Saratov, 2011. 136 p. (In Russian).
30. Oliynyk O.O., Furman V.M., Solodka T.M. et al. Examine of the effectiveness of seed treatment pre-sowing plant growth stimulator. **The Bulletin of National University of Water and Environmental Engineering**, 2013; 4(64): 112–118. (In Ukrainian).
31. Pacwa-Płociniczak M., Plaza G.A., Piotrowska-Seget P.Z. et al. Environmental Applications of Biosurfactants: Recent Advances. **International Journal of Molecular Sciences**, 2011; 12: 633–654.
32. Pavlychenko A.V., Kovalenko A.A. Environmental hazard of waste dumps of abandoned coal mines. **Geo-Technical Mechanics**, 2013; 110: 114–120. (In Ukrainian).
33. Sazanova K.A., Bashmakov D.I., Lukatkin A.S. Effect of cytoDEF on oxidative status in wheat seedlings affected by heavy metals. **The Bulletin of the University of Nizhny Novgorod**, 2012; 2(1): 130–134. (In Russian).

34. Sinyutina S.E., Mozharov A.V., Zaichenko M.A. Influence of lead and nickel salts on enzymatic activity of barley. **The Bulletin of Tambov State University**, 2013; 18(1): 255–257. (In Russian).
35. Soudek P., Petrová Š., Vaněk T. Phytostabilization or Accumulation of Heavy Metals by Using of Energy Crop *Sorghum* sp. **3rd International Conference on Biology, Environment and Chemistry**, 2012. 46(6): 25–29.
36. Svidzinska N. B., Chepurko A. V. The influence of anthropogenic pressure on the synthesis of phenolic substances in the leaves of chestnut *Aesculus* L. **The problems of Environmental Biotechnology**, 2014; 1: Access mode: <http://ecobio.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/article/view/6749/7560> (In Ukrainian).
37. Titov V.N., Smyslov D.G., Dmitriev G.A. et al. Plant growth regulators as a biological factor in reducing the level of heavy metals in a plant. Scientific support crop development. **The Bulletin of Orel Agrarian University**, 2011; 31(4): 4–6. (In Russian)
38. Ullah A., Heng S., Munis MFH. et al. Phytoremediation of heavy metals assisted by plant growth promoting (PGP) bacteria: A review. **Environmental and Experimental Botany**, 2015; 117: 28–40.
39. Voytsevivska O.V., Kapustyan A.V., Kosik O.I. et al. **Plant physiology: practical**. Lutsk: Teren, 2010. 420 p. (In Ukrainian).
40. Weisany W., Sohrabi Y., Heidari G. et al. Changes in antioxidant enzymes activity and plant performance by salinity stress and zinc application in soybean (*Glycine max* L.). **Journal of Plant Molecular Biology & Omics**, 2012; 5(2): 60.
41. Zaprometov M.N. **Biochemical methods in plant physiology**. "Science" Publishing House. Moscow, 1971. 191p. (In Russian).

USE OF BIOGENIC SURFACE-ACTIVE COMPOUNDS DURING SORGHUM GROWTH ON WASTE DUMP SUBSTRATES OF COAL MINES

V. Baranov¹, A. Banya², O. Karpenko³, M. Prysta², E. Karpenko²

¹Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskiyi St., Lviv 79005, Ukraine

²Department of Physico-Chemistry of Combustive Minerals, L. M. Lytvynenko InPOCC, NAS of Ukraine, 3a, Naukova St., Lviv 79053, Ukraine

³National University „Lviv Polytechnic”, 2, St. George Sq., Lviv 79013, Ukraine

The influence of biogenic surfactants on the morphometric and oxidative characteristics of sorghum (*Sorghum bicolor* subsp. *drummondii*) during its growth on waste dump substrates of coal mines was investigated. It was found that presowing seed treatment with biosurfactants solutions – rhamnolipid biocomplex (RBC) or trehalose lipid surfactants (TL) – improved growth and oxidative parameters of plants, indicating the increase of sorghum resistance to adverse growing conditions. The best results were achieved when sorghum was grown on red substrate: shoots mass was increased in 2.20 times with RBC and in 1.19 times with TL, the root mass – in 2.30 and 1.71 times. Changes in antioxidant indicators of plants suggested the reducing of negative impact of unfavorable environmental factors of waste dumps. The content of malonic dialdehyde in sorghum on the red substrate was reduced by 15 % with RBC and 11% with TL and on the black substrate indicators were within the control levels. Phenols content on the black substrate was increased in variants with RBC – by 141 % or with TL – by 184 % relatively to control. The content of H₂O₂ on the red substrate was reduced – by 11 % with RBC and by 10 % with TL, on the black substrate was within the control. The

reducing of phytotoxicity of waste dumps of coal mines after sorghum growth (from highest to middle level) was shown. Obtained results showed the perspectives of application of sorghum and biosurfactants for the phytoremediation of the technogenic affected soils.

Keywords: waste dump substrates, coal mines, sorghum, biosurfactants, oxidative characteristics, phytoremediation.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОГЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ СОРГО НА СУБСТРАТАХ ОТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

В. И. Баранов¹, А.Р. Баня², А. Я. Карпенко³, М. В. Пристай², Е. В. Карпенко²

¹Львовский национальный университет имени Ивана Франко
ул. Грушевского, 4, Львов 79005, Украина

²Отделение физико-химии горючих ископаемых ИнФОРУ им. Л. М. Литвиненко НАН
Украины, ул. Научная, 3а, Львов 79053, Украина

³Национальный университет „Львовская Политехника”, пл. Св. Юра, 2, Львов 79013, Украина

Исследовано влияние биогенных поверхностно-активных веществ (биоПАВ) на морфометрические и окислительные показатели сорго (*Sorghum bicolor* subsp. *drummondii*) при его выращивании на субстратах породных отвалов угольных шахт. Установлено, что предпосевная обработка семян сорго растворами биоПАВ – рамнолипидного биокомплекса (РБК) или трегалозолипидных ПАВ (ТЛ) способствовала увеличению ростовых и окислительных показателей растений, что свидетельствует о повышении устойчивости сорго к неблагоприятным условиям выращивания. Лучшие результаты получены при выращивании сорго на красном субстрате: масса побегов увеличивалась в 2,2 раза (с РБК) и в 1,19 раза (с ТЛ), масса корня – в 2,30 и 1,71 раза соответственно. Изменения окислительных показателей растений под влиянием биоПАВ свидетельствуют о снижении негативного действия условий их роста на субстратах породных отвалов угольных шахт. Содержание малонового диальдегида в сорго на красном субстрате снижалось на 15 % с РБК и на 11 % – с ТЛ, на черном субстрате показатели были в пределах контроля. Содержание фенолов повышалось на черном субстрате в вариантах с РБК – на 141 %, а с ТЛ – на 184 % относительно контроля. Количество образованного H_2O_2 было меньше на красном субстрате на 11 % с РБК и на 10 % с ТЛ, а на черном субстрате было в пределах контроля. Показано также снижение фитотоксичности субстратов отвалов угольных шахт после выращивания сорго (от высокого до среднего уровня). Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования сорго и биоПАВ для фиторемедиации техногенно измененных почв.

Ключевые слова: субстраты породных отвалов шахт, сорго, биогенные поверхностно-активные вещества, окислительные показатели, фиторемедиация.

Одержано: 15.06.2016