



УДК: 579.811.2/3+577.[12+151]

ДИСИМІЛЯЦІЙНА СУЛЬФАТРЕДУКЦІЯ У БАКТЕРІЙ *DESULFOVIBRIO DESULFURICANS* ЗА ВПЛИВУ ВИСОКИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ ЦИНК ХЛОРИДУ

О. П. Дуфанець, Г. І. Звір, О. М. Мороз

Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів 79005, Україна
e-mail: moroz_oksana@yahoo.com

Досліджено здатність сульфатвідновлювальних бактерій *Desulfovibrio desulfuricans* IMB K-6 рости за впливу високих концентрацій іонів цинку. Як відомо, важкі метали проявляють інгібуючий вплив на більшість мікроорганізмів за концентрації 0,5–2,5 мМ. Дослідження впливу цинк хлориду на ріст *D. desulfuricans* IMB K-6 показало, що низькі концентрації Zn^{2+} (0,5–2,5 мМ) не чинили суттєвої інгібуючої дії на ці бактерії. Тому концентрацію іонів цинку було збільшено до 16 мМ. Встановлено, що нагромадження біомаси змінювалося залежно від концентрації іонів цинку в середовищі. У разі зростання концентрації Zn^{2+} до 10–16 мМ відзначено зниження біомаси, що, імовірно, є наслідком впливу цього металу на процеси клітинного циклу.

Сульфатвідновлювальні бактерії *D. desulfuricans* IMB K-6 за наявності сульфатів і органічних сполук у середовищі здійснюють відновлення сульфатів до сірководню (дисиміляційна сульфатредукція). За концентрації важких металів 2–3 мМ спостерігається пригнічення цього процесу. Встановлено інгібуючий вплив високих концентрацій іонів цинку на процес дисиміляційної сульфатредукції у *D. desulfuricans* IMB K-6, що проявляється у зниженні здатності клітин до відновлення сульфатів і утворенні гідроген сульфід у середовищі з високими концентраціями Zn^{2+} .

Ключові слова: сульфатвідновлювальні бактерії, дисиміляційна сульфатредукція, *Desulfovibrio desulfuricans*, гідроген сульфід, сульфати, важкі метали.

ВСТУП

Останнім часом важкі метали стали пріоритетними речовинами-забруднювачами довкілля. До 90% їхньої кількості, що потрапляє у навколишнє середовище з викидами промислових підприємств і автотранспорту, акумулюється ґрунтом [1, 17].

Найбільш чутливими до зміни факторів навколишнього середовища, у тому числі й до дії важких металів, як відомо, є мікроорганізми. Вплив важких металів на бактеріальну клітину проявляється на двох рівнях: перший пов'язаний із нестачею металів у середовищі, що призводить до порушення функціональної діяльності

ферментів бактеріальних клітин; другий зумовлений токсичною дією надлишкової їх кількості, що інактивує ферменти, перш за все, мембранозв'язані. Причини інактивації ферментів можуть бути різними. Metали можуть зв'язуватися з активним центром, витіснити інші метали та змінювати конформацію білкової молекули ферменту. У багатьох випадках іони важких металів викликають порушення бар'єрної функції плазматичної мембрани бактеріальної клітини, що відображається на значенні трансмембранного потенціалу [4, 6, 11, 16]. Найбільший інтерес становлять насамперед ті метали, які найширше використовуються у виробничій діяльності й у результаті нагромадження в навколишньому середовищі становлять серйозну небезпеку з огляду на їх високу біологічну активність і токсичні властивості. До них належать залізо, свинець, ртуть, кадмій, цинк, нікель, мідь [1, 5, 6, 16].

Цинк потрапляє у природні води зі стічними водами гірничо-збагачувальних комбінатів та гальванічних цехів, виробництв пергаментного паперу, мінеральних фарб, віскозного волокна й ін. У воді перебуває в іонній формі або у формі мінеральних та органічних комплексів. Іноді зустрічається в нерозчинній формі: у вигляді гідроксиду, карбонату, сульфідів й ін. [1].

Цинк належить до числа активних мікроелементів, що впливають на ріст і нормальний розвиток організмів. Він є кофактором багатьох ферментів: алкогольдегідрогенази, гліцеральдегід-3-фосфатдегідрогенази, альдолази, фосфоліпази А, активатором металоферментних комплексів: аргінази, амінопептидази, гістидиндезамінази, енолази, карбоксилази та ін. Іони цинку утворюють комплекси з білками, нуклеїновими кислотами, амінокислотами, АТФ, цукрами, вітамінами, антибіотиками [4, 17]. Але в надмірно високих концентраціях цинк пригнічує ріст, дихання та спороутворення у грибів, кон'югацію у бактерій, процеси нітрифікації у ґрунті. Промислові викиди оксидів цинку гальмують розклад ґрунтової органіки, знижують інтенсивність процесів ґрунтового дихання та мінералізації фосфору, зменшують чисельність угруповань грибів, еубактерій і актиноміцетів [17].

Іони цинку в концентрації 1 мМ суттєво не впливають на ріст грибів, але у концентрації 10 мМ значно знижують швидкість росту міцелію *Fusarium solani*, *Cunninghamella echinulata*, *Aspergillus niger*, *Trichoderma viridae* і повністю зупиняють ріст *Rhizoctonia solani*. Слід зазначити, що за наявності в середовищі натрію хлориду цинк у концентрації 1 мМ інгібує ріст *Aspergillus niger*. Цей ефект пов'язаний з утворенням специфічного цинк-хлоридного комплексу, який є більш токсичним, ніж вільні катіони цинку [17].

Важливий вплив на біогеохімію осадових середовищ мають сульфат- і сірко-відновлювальні бактерії, оскільки вони беруть участь у відновному осадженні токсичних металів [3, 12]. Виявлено негативний вплив іонів Pb^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} у концентраціях 0,7–3 мМ на ріст сульфатвідновлювальних бактерій. Найбільш негативний вплив на ріст *D. desulfuricans* здійснювали іони Ni^{2+} , Pb^{2+} та Co^{2+} . Завдяки дослідженням, проведеним протягом останніх років, встановлено суттєве пригнічення росту *D. desulfuricans* іонами плюмбуму та кадмію у концентраціях, вищих 3 мМ. Встановлено, що плюмбум і кадмій негативно впливають на утворення гідроген сульфідів та відновлення сульфатів клітинами *D. desulfuricans* [5, 9]. Іони цинку в таких концентраціях виявилися менш токсичними для бактерій циклу сульфур порівняно з іншими досліджуваними металами.

Тому метою дослідження було вивчення впливу високих концентрацій іонів цинку на ріст і процес дисиміляційної сульфатредукції сульфатвідновлювальних бактерій *D. desulfuricans* IMB K-6.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У роботі використовували культуру сульфатвідновлювальних бактерій *D. desulfuricans* IMB K-6, виділену з водойм Яворівського сіркового родовища та ідентифіковану на кафедрі мікробіології ЛНУ імені Івана Франка [13].

Бактерії вирощували у середовищі Кравцова-Сорокіна такого складу (г/л): $\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}$ – 0,5; NaH_2PO_4 – 0,3; K_2HPO_4 – 0,5; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 0,2; $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,1; $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}$ – 2,0. Перед посівом у середовище вносили 0,05 мл стерильного розчину $\text{Na}_2\text{S} \times 9\text{H}_2\text{O}$ (1%), для доведення рН середовища до 7,2 використовували стерильний 10 н розчин NaOH . Клітини бактерій вирощували впродовж 10 діб у термостаті за температури 30°C в анаеробних умовах у пробірках об'ємом 25 мл, доверху заповнених середовищем. Густина засіву становила 0,05 г/л. Розчин цинк хлориду та натрій сульфід стерилізували окремо і вносили в середовище у відповідних концентраціях.

Із метою дослідження впливу іонів цинку на ріст бактерій *D. desulfuricans* IMB K-6 досліджувану культуру культивували протягом 10 діб у середовищі Кравцова-Сорокіна, в яке вносили цинк хлорид (безводна сіль, ЧДА) у концентрації 2,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0; 14,0; 16,0 мМ (у перерахунку на концентрацію іонів цинку). У контрольне середовище солі цинку не вносили.

Біомасу визначали за мутністю суспензії клітин фотометруванням на фотоелектроколориметрі КФК-3 при 340 нм у кюветі з оптичним шляхом 3 мм і розраховували за формулою:

$$C = \frac{E_{340} \times n}{K}, \text{ г/л,}$$

де E_{340} – екстинція при 340 нм; n – фактор розведення; K – коефіцієнт перерахунку, отриманий за калібрувальною кривою залежності екстинції від сухої маси клітин. Для *D. desulfuricans* IMB K-6 коефіцієнт перерахунку становив 0,19.

Концентрацію гідроген сульфід у культуральній рідині визначали фотометрично з використанням фотоелектроколориметра КФК-3 ($\lambda=665$ нм, оптичний шлях 30 мм). Метод ґрунтується на взаємодії гідроген сульфід з n -амінодиметиланіліном з утворенням метиленої сині. Реакційна суміш мала такий склад: 0,16 мМ розчин цинк нітрату – 10 мл; дистильованої води – 1,98 мл; 4 мл розчину n -амінодиметиланіліну (1,15 г/л у 4 н розчині сульфатної кислоти) та 20 мкл досліджуваного розчину. Через 5 хв додавали 1 мл ферум (III) хлориду і фотометрували [18].

Кількісне визначення сульфатів у середовищі проводили турбідиметричним методом з використанням фотоелектроколориметра КФК-3 ($\lambda=520$ нм, оптичний шлях 10 мм) після осадження сульфат-іона барій хлоридом з утворенням барій сульфату. Для стабілізації суспензії використовували гліцерин [15].

Статистичну обробку результатів проводили за допомогою програм Microsoft Excel 2003, Origin Pro 7,0. Вираховували основні статистичні показники за безпосередніми даними (середнє арифметичне – M ; стандартна похибка середнього арифметичного – m) [8].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ І ЇХНЕ ОБГОВОРЕННЯ

Численними дослідженнями встановлено, що більшість важких металів пригнічують ріст бактерій за концентрації 0,5–2,5 мМ [5–7, 9]. Завдяки роботам І. В. Кушкевича [5] уперше описано ряди токсичної дії важких металів на сірковідновлювальні

бактерії *Desulfuromonas* sp. Ya-2005: Cd>Cu>Pb>Zn; фототрофні сіркобактерії *Thiocapsa* sp. Ya-2003: Cu>Cd>Pb>Zn; *Lamprocystis* sp. Ya-2003 і *Chlorobium* sp. Ya-2002: Cu>Pb>Cd>Zn і консорцію *Pelochromatium roseo-viridae*: Cd>Pb>Cu>Zn; сульфатвідновлювальні бактерії *Desulfovibrio* sp. Ya-2002: Pb>Cd>Cu.

Щоб з'ясувати, як впливають іони цинку на ріст бактерії *D. desulfuricans* IMB K-6, досліджувану культуру вирощували у середовищі Кравцова-Сорокіна за різних концентрацій цинк хлориду у середовищі (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 мМ). Біомасу вимірювали на 2, 4, 6, 8, 10-ту доби культивування. Початкова біомаса культури становила $0,050 \pm 0,003$ г/л. Результати досліджень показано на рис. 1.

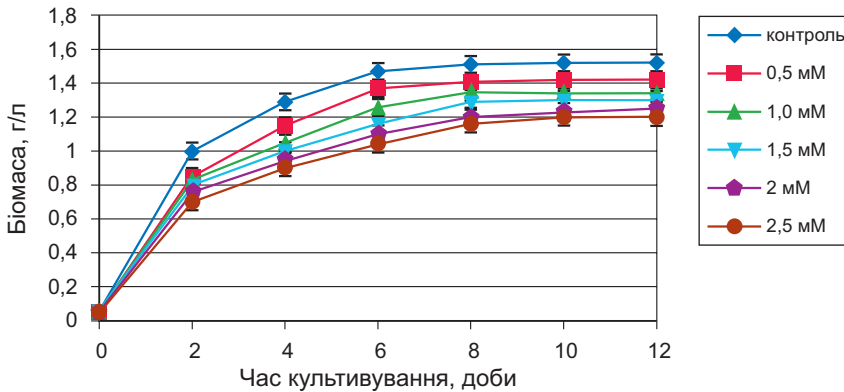


Рис. 1. Ріст *D. desulfuricans* IMB K-6 у середовищі Кравцова-Сорокіна за впливу Zn^{2+} у концентрації 0,5–2,5 мМ

Fig. 1. Growth of *D. desulfuricans* IMB K-6 in Kravtsov-Sorokin medium under the influence of Zn^{2+} in 0.5–2.5 mM concentration

Як видно з рис. 1, при вирощуванні культури *D. desulfuricans* IMB K-6 у контрольному середовищі Кравцова-Сорокіна, в яке солі цинку не вносили, найінтенсивніший ріст було відзначено у перші 8 діб культивування, після чого культура переходила у стаціонарну фазу росту. Найвищою біомаса була на 8-му добу росту – $1,510 \pm 0,013$ г/л. Криві, що відображають ріст бактерій за концентрацій 0,5–1,0 мМ, схожі з контрольним варіантом, проте біомаса була меншою у кожній точці, в якій проводили вимірювання.

Збільшення концентрації іонів цинку до 1,5–2,5 мМ суттєво не змінювало динаміку росту, хоча нагромадження біомаси культурою дещо знижувалося. За найвищої концентрації (2,5 мМ) біомаса *D. desulfuricans* IMB K-6 була в 1,6 разу нижчою порівняно з контролем.

Таким чином, протягом перших 8 діб культивування біомаса культури *D. desulfuricans* IMB K-6 за всіх досліджуваних концентрацій іонів цинку зростає, хоча спостерігається незначний інгібуючий вплив порівняно з контролем. Отримані результати свідчать про те, що цинк є менш токсичним для сульфатвідновлювальних бактерій *D. desulfuricans* IMB K-6 порівняно з іншими важкими металами, дослідження впливу яких проводили раніше [5, 9], а діапазон використаних концентрацій недостатній для прояву інгібуючої дії.

З метою вивчення здатності сульфатвідновлювальних бактерій рости за високих концентрацій іонів цинку в середовище Кравцова-Сорокіна вносили цинк хлорид

у концентраціях 2–16 мМ. Особливості росту *D. desulfuricans* ІМВ К-6 за високих концентрацій цинк хлориду показано на рис. 2.

Як видно з рис. 2, при вирощуванні культури *D. desulfuricans* ІМВ К-6 у контрольному середовищі Кравцова-Сорокіна, яке не містило іонів цинку, найінтенсивніший ріст було відзначено у перші 8 діб культивування, найвищий показник біомаси становив $1,626 \pm 0,072$ г/л. При внесенні у середовище Кравцова-Сорокіна цинку в концентрації 2–4 мМ ріст досліджуваної культури спостерігали також у перші 8 діб культивування, про що свідчить крива росту. Біомаса на 8-му добу росту становила відповідно $1,435 \pm 0,032$ та $1,295 \pm 0,051$ г/л.

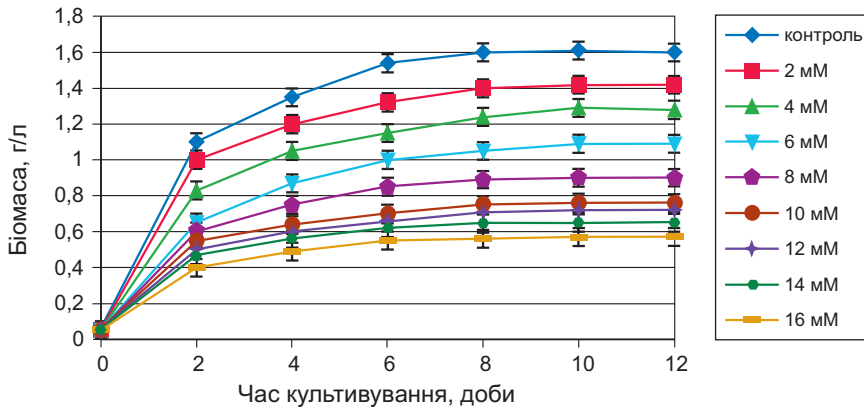


Рис. 2. Ріст *D. desulfuricans* ІМВ К-6 у середовищі Кравцова-Сорокіна за впливу високих концентрацій Zn^{2+}

Fig. 2. Growth of *D. desulfuricans* IMB K-6 in Kravtsov-Sorokin medium under the influence of high concentrations of Zn^{2+}

Збільшення концентрації іонів цинку до 6–10 мМ суттєво не змінювало криву росту *D. desulfuricans* ІМВ К-6, хоча нагромадження біомаси культурою знижувалося. На восьму добу значення біомаси було таким: за концентрації 6 мМ – $1,094 \pm 0,021$; за концентрації 8 мМ – $0,971 \pm 0,013$; за концентрації 10 мМ – $0,761 \pm 0,011$ г/л. Тобто збільшення концентрації іонів цинку до 6–10 мМ інгібувало ріст *D. desulfuricans* ІМВ К-6 в 1,5, 1,7 та 2,1 разу.

Помітно слабший ріст культури спостерігали у середовищі Кравцова-Сорокіна, у яке вносили іони цинку в концентрації 12, 14 і 16 мМ. Особливо чітко це простежується за концентрації цинк хлориду 16 мМ: біомаса знизилася порівняно з контрольним зразком у 3,1 разу.

Таким чином, протягом перших 8 діб культивування бактерії *D. desulfuricans* ІМВ К-6 за всіх досліджуваних концентрацій Zn^{2+} ростуть і нагромаджують біомасу, яка знижується порівняно з контролем відповідно до концентрації іонів важкого металу в середовищі. Цинк, як уже згадувалося, необхідний для метаболічних процесів сульфатвідновлювальних бактерій. Можливо, іони цинку, надходячи із зовнішнього середовища, активно включаються в метаболізм клітини або ж зв'язуються з гідроген сульфідом, утворюючи цинк сульфід [6, 16]. Адже відомо, що утворення сульфідів металів – основний механізм, за рахунок якого сульфатвідновлювальні бактерії видаляють важкі метали з розчину.

Сульфатвідновлювальні бактерії здатні до дисиміляційної сульфатредукції. Вони переносять водень від субстрату на сульфат як кінцевий акцептор електронів і відновлюють сульфати до гідроген сульфіду, що є головним продуктом відновлення сульфатів [3, 10].

Результати впливу високих концентрацій іонів цинку на процес дисиміляційної сульфатредукції у сульфатвідновлювальних бактерій *D. desulfuricans* IMB K-6 представлено на рис. 3, 4.

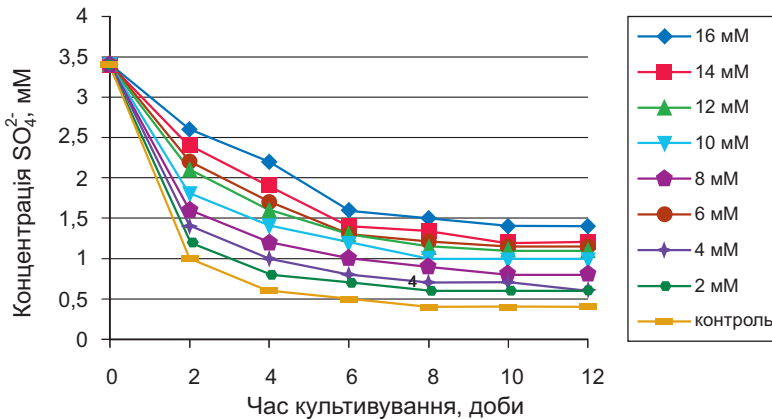


Рис. 3. Концентрація сульфат-іона у середовищі Кравцова-Сорокіна за умови вирощування *D. desulfuricans* IMB K-6 за впливу високих концентрацій Zn^{2+}

Fig. 3. The concentration of sulfates in the Kravtsov-Sorokin medium attached to growth of the *D. desulfuricans* IMB K-6 under the influence of high concentrations of Zn^{2+}

Як видно з рис. 3, за умови вирощування бактерій *D. desulfuricans* IMB K-6 у контрольному середовищі Кравцова-Сорокіна, яке не містило іонів цинку, було відзначено найнижчу кількість сульфатів. Це свідчить про відновлення їх до гідроген сульфіду у процесі росту культури.

За внесення у середовище культивування іонів цинку в концентрації від 2 до 8 мМ відбувалося сповільнення процесу дисиміляційної сульфатредукції, про що свідчили вищі концентрації сульфатів порівняно з контролем. Зростання вмісту Zn^{2+} у середовищі культивування *D. desulfuricans* IMB K-6 до 10–16 мМ сприяло нагромадженню найвищої кількості сульфатів порівняно з контрольним та іншими зразками.

Отже, наші результати підтверджують існуючі на сьогодні дані про те, що іони важких металів проявляють інгібуючий вплив і на ріст культури, і на процес дисиміляційної сульфатредукції, здійснюваний *D. desulfuricans* IMB K-6.

У процесі дисиміляційної сульфатредукції сульфатвідновлювальні бактерії *D. desulfuricans* IMB K-6 відновлюють сульфати до гідроген сульфіду [10, 14]. Результати дослідження впливу високих концентрацій іонів цинку на утворення гідроген сульфіду показано на рис. 4.

Як видно з рис. 4, за умови вирощування культури *D. desulfuricans* IMB K-6 у контрольному середовищі Кравцова-Сорокіна, в яке не вносили іонів цинку, було відзначено найінтенсивніше нагромадження гідроген сульфіду з максимумом на десяту добу культивування.

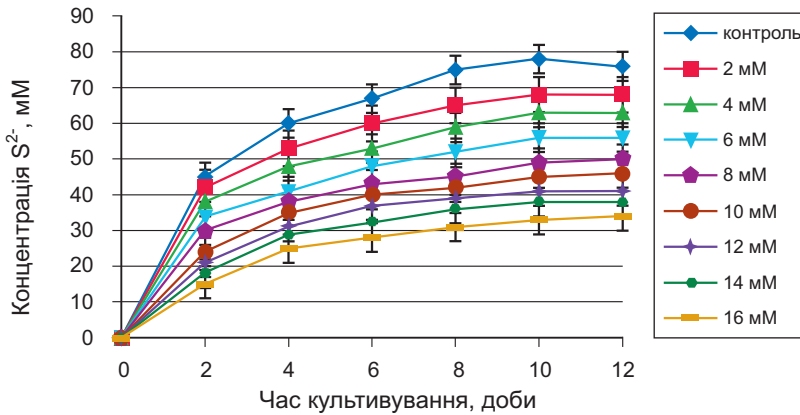


Рис. 4. Концентрація гідроген сульфід у середовищі Кравцова-Сорокіна за умови вирощування *D. desulfuricans* IMB K-6 за впливу високих концентрацій Zn^{2+}

Fig. 4. The concentration of hydrogen sulfide in the Kravtsov-Sorokin medium attached to growth of the *D. desulfuricans* IMB K-6 under the influence of high concentrations of Zn^{2+}

У разі внесення у середовище культивування іонів цинку в концентрації від 2 до 8 мМ відбувалося зменшення утворення гідроген сульфід з найвищою концентрацією на 8–10-ту доби культивування. Зростання вмісту Zn^{2+} у середовищі культивування *D. desulfuricans* IMB K-6 до 10–16 мМ зумовило зниження концентрації сірководню порівняно з контролем в 1,7–2,6 разу.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що порівняно з іншими важкими металами (плюмбумом, кадмієм, купрумом), інгібуючий вплив яких спостерігається за концентрації 2–3 мМ, іони цинку є менш токсичними, проте у високих концентраціях вони пригнічують ріст культури та інгібують процес відновлення сульфатів до сульфідів у бактерій *D. desulfuricans* IMB K-6.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень встановлено, що нагромадження біомаси сульфатвідновлювальними бактеріями залежало від вмісту цинк хлориду в культуральному середовищі. Іони цинку в низьких концентраціях (0,5–2,5 мМ) виявляли слабкий інгібуючий вплив на *D. desulfuricans* IMB K-6, що можна пояснити його фізіологічними властивостями, які полягають головно у функції активатора ферментів [6, 17]. Навіть за високих концентрацій (10–16 мМ) спостерігали ріст бактерій, який знижувався відповідно зі зростанням іонів важкого металу в середовищі культивування. Здатність досліджуваних бактерій рости за високих концентрацій цинк хлориду може бути пов'язана також з утворенням цинк сульфід у результаті взаємодії іонів цинку з гідроген сульфідом, що утворюється у процесі дисиміляційної сульфатредукції. Адже гідроген сульфід, утворений бактеріями у процесі дисиміляційної сульфатредукції, осаджує багато металів (Cu(II), Cd(II), Ni(II), Pb(II), Zn(II)) у формі сульфідів, також він є сильним відновлюючим агентом, який сприяє редукції металів до більш відновлених форм. Утворення сульфідів металів – основний механізм, за рахунок якого сульфатвідновлювальні бактерії видаляють важкі метали з розчину [12]. Здатність *D. desulfuricans* IMB K-6 рости і здійснювати дисиміляційну

сульфатредукцію навіть за високих концентрацій іонів цинку свідчить про значну стійкість цих бактерій до дії солей цинку і можливість використання їх для біоремедіації довкілля, забрудненого важкими металами.

1. Авакян З. А. Токсичность тяжелых металлов для микроорганизмов. **Микробиология**, 1973; 2: 5–46.
2. Бекасова О. Д., Орлеанский В. К., Никандров В. В. Образование кристаллитов сульфида кадмия и металлического кадмия на поверхности цианобактерии *Nostoc muscorum*. **Физиология растений**, 2000; 47: 263–271.
3. Галушка А., Перетятко Т., Гудзь С. Бактерії циклу сірки та їхня роль у природі. **Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол**, 2007; 43: 61–77.
4. Іутинська Г.О., Петруша З.В. Резистентність ґрунтових мікроорганізмів до забруднення ґрунту важкими металами. **Мікробіол. журнал**, 1999; 61(5): 110–133.
5. Кушкевич І.В. Вплив солей важких металів на фізіолого-біохімічні характеристики бактерій циклу сірки. Автореф. дис. ...канд. біол. наук. Київ, 2010. 20 с.
6. Кушкевич І., Гнатуш С., Гудзь С. Вплив важких металів на клітини мікроорганізмів. **Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол**, 2007; 45: 3–28.
7. Кушкевич І.В., Гнатуш С.О., Гудзь С. П. Вплив деяких важких металів на фотосинтезувальні сіркобактерії *Lamprocystis* sp. **Біологічні студії/Studia Biologica**, 2009; 3(2): 71–80.
8. Лакин Г.Ф. **Биометрия**. М.: Высш. школа, 1990. 352 с.
9. Мороз О.М., Гудзь С.П., Подопрігора О.І. та ін. Вплив важких металів на ріст та відновлення сульфатів *Desulfovibrio desulfuricans*. **Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Сер. біол**, 2009; 26: 193–202.
10. Мороз О.М., Грицишин Г. Р., Звір Г.І., Кулачковський О.Р. Дисиміляційна сульфатредукція у бактерій роду *Desulfovibrio* озера „Яворівське” за різних умов культивування. **Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Сер. біол**, 2011; 30: 152–157.
11. Никаноров А.М., Жулидов А.В., Покаржевский А.Д. **Биомониторинг тяжелых металлов в пресноводных экосистемах**. Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. С. 48–56.
12. Перетятко Т., Гудзь С., Галушка А. Використання металів як кінцевих акцепторів електронів сульфатвідновлювальними бактеріями. **Біологічні студії/Studia Biologica**, 2009; 3(3): 141–158.
13. Перетятко Т.Б., Гнатуш С.О., Гудзь С.П. Сульфатвідновлювальні бактерії водою Яворівського сіркового родовища. **Мікробіол. журнал**, 2006; 68(5): 87–93.
14. Перетятко Т.Б., Гнатуш С.О., Гудзь С.П. Утворення сульфиду *Desulfovibrio desulfuricans* Ya-11 за різних умов культивування. **Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол**, 2007; 43: 180–184.
15. Почвы. Метод определения ионов сульфата в водной вытяжке. **ГОСТ 26426-85**. М.: Изд-во стандартов, 1985.
16. Таширев А. Б. Взаимодействие микроорганизмов с металлами. **Мікробіол. журнал**, 1995; 2: 95–101.
17. Янева О.Д. Механизмы устойчивости бактерий к ионам тяжелых металлов. **Мікробиол. журнал**, 2009; 71(6): 13–17.
18. Sugiyama M. Reagent composition for measuring hydrogen sulfide and method for measuring hydrogen sulfide / **United States Patent № 6340596**, 2002.

**DISSIMILATORY SULFATE REDUCTION IN BACTERIA
DESULFOVIBRIO DESULFURICANS UNDER THE INFLUENCE
OF HIGH CONCENTRATIONS OF ZINC CHLORIDE****O. P. Dufanets, G. I. Zvir, O. M. Moroz***Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskiy St., Lviv 79005, Ukraine
e-mail: moroz_oksana@yahoo.com*

The capacity of sulfate reducing bacteria *Desulfovibrio desulfuricans* IMB K-6 to grow under the influence of zinc salts in high concentrations was investigated. As known, heavy metals have inhibitory influence on the most microorganisms in 0.5–2.5 mM concentration. The investigation of zinc chloride influence on the growth of *D. desulfuricans* IMB K-6 demonstrated that low concentrations Zn^{2+} (0.5–2.5 mM) have not essential inhibitory influence towards bacteria. That is why, high concentrations of zinc ions (up to 16 mM) were used. It was discovered that the level of biomass accumulation changed depending on the zinc ions concentration in the medium. At the increase of Zn^{2+} concentration to 10–16 mM, a decline in biomass is marked, that, probably, is a consequence of the effect of this metal on the processes of cellular cycle. Sulfate reducing bacteria *D. desulfuricans* IMB K-6 reduced sulfates to hydrogen sulfide in the presence of sulfates and organic compounds in the medium (dissimilatory sulfate reduction). Heavy metals in 2–3 mM concentration inhibited this process. The inhibitory effect of zinc ions on the dissimilatory sulfate reduction process of *D. desulfuricans* IMB K-6 was discovered. It suggests cell reduced capacity to sulfate reduction and hydrogen sulfide formation in the medium with high concentrations of Zn^{2+} .

Keywords: sulfate reducing bacteria, dissimilatory sulfate reduction, *Desulfovibrio desulfuricans*, hydrogen sulfide, sulfates, heavy metals.

**ДИССИМИЛЯЦИОННАЯ СУЛЬФАТРЕДУКЦІЯ У БАКТЕРІЙ
DESULFOVIBRIO DESULFURICANS ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ
ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ХЛОРИДА ЦИНКА****О. П. Дуфанец, Г. И. Звир, О. М. Мороз***Львовский национальный университет имени Ивана Франко
ул. Грушевского, 4, Львов 79005, Украина
e-mail: moroz_oksana@yahoo.com*

Исследована способность сульфатредуцирующих бактерий *Desulfovibrio desulfuricans* IMB K-6 к росту под воздействием высоких концентраций ионов цинка. Как известно, тяжелые металлы в концентрации 0,5–2,5 мМ проявляют ингибирующее воздействие на большинство микроорганизмов. Исследование влияния хлорида цинка на рост *D. desulfuricans* IMB K-6 показало, что низкие концентрации Zn^{2+} (0,5–2,5 мМ) не оказывали существенного ингибирующего влияния на эти бактерии. Поэтому концентрацию ионов цинка увеличили до 16 мМ. Установлено, что уровень биомассы изменялся в зависимости от концентрации ионов цинка в среде. При увеличении концентрации Zn^{2+} до 10–16 мМ отмечено снижение биомассы, что, вероятно, является следствием влияния этого металла на процессы клеточного цикла.

Сульфатредуцирующие бактерии *D. desulfuricans* IMB K-6 при наличии сульфатов и органических соединений в среде осуществляют восстановления сульфатов до сероводорода (диссимиляционная сульфатредукция). При концентрации тяжелых металлов 2–3 мМ наблюдается угнетение этого процесса. Установлено ингибирующее воздействие высоких концентраций ионов цинка на процесс диссимиляционной сульфатредукции у *D. desulfuricans* IMB K-6, что проявляется снижением способности клеток к восстановлению сульфатов и образованию сероводорода в среде с высокими концентрациями Zn^{2+} .

Ключевые слова: сульфатредуцирующие бактерии, диссимиляционная сульфатредукция, *Desulfovibrio desulfuricans*, сероводород, сульфаты, тяжелые металлы.

Одержано: 13.07.2012