



УДК 579.811.41:579.22/.24:[546.47/.48+546.56+546.815]

**ВПЛИВ СОЛЕЙ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА РІСТ
І ШВИДКІСТЬ ПОГЛИНАННЯ КИСНЮ КЛІТИНАМИ
ЗЕЛЕНИХ СІРКОБАКТЕРІЙ *CHLOROBIVM LIMICOLA* YA-2002**

I. В. Кушкевич, С. О. Гнатуш

Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, 79005 Львів, Україна
e-mail: Ivan_Kushkevych@ukr.net

Досліджено ріст фототрофних зелених сіркобактерій *Chlorobium limicola* Ya-2002 за впливу різних концентрацій солей важких металів. Показано, що внесення CdSO_4 , ZnSO_4 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ чи CuSO_4 у середовище пригнічує нагромадження біомаси бактерій. Визначено швидкість поглинання кисню клітинами *C. limicola* Ya-2002 за умов росту в середовищі зі солями металів. Встановлено, що найбільше на цей показник впливає внесення 2,5 мМ $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ у середовище культивування.

Ключові слова: фототрофи, зелені сіркобактерії, *Chlorobium limicola* Ya-2002, токсичність, поглинання кисню, важкі метали.

ВСТУП

У 2006 р. на місці Яворівського сірчаного кар'єру внаслідок затоплення утворилось озеро площею 1080 га. В окремих ділянках глибина озера сягає 100 м [7].

Роботами науковців кафедри мікробіології Львівського національного університету імені Івана Франка показано, що висока концентрація сульфатів і наявність органічних речовин, які надходять із водами річок, сприяють розвиткові сульфатвідновлювальних бактерій, продуктом життєдіяльності яких є сірководень. Останній є токсичною сполукою і екологічно небезпечним [3, 7]. Встановлено, що чисельність цих бактерій у нижніх ділянках водної товщі озера (глибина 40 м) становить $1,42\text{--}1,52 \times 10^6$ клітин/мл, а у мулі – $4,71 \times 10^6$ [15]. Це свідчить про їхнє широке розповсюдження в озері та характеризує інтенсивність дисиміляційного сульфатвідновлення [7, 15]. У збагаченій сульфатами воді озера Яворівське саме інтенсивність сульфатвідновлення визначає швидкість розвитку фотосинтезувальних зелених сіркобактерій і впливає на кругообіг речовин загалом [2, 9].

Мікроорганізми водойм є першою ланкою, яка поєднує організми з абіотичним середовищем. З діяльністю мікроорганізмів пов'язаний кисневий режим, трансформація біогенних елементів, утворення придонних відкладень, синтетичні процеси та, в першу чергу, нагромадження бактерійного білка й органічного вуглецю, які відіграють важливу роль у балансі речовин водойм і засвоюються організмами наступних трофічних рівнів [4, 9].

Результати аналізу вмісту у воді іонів важких металів, зокрема Cd^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} та Cu^{2+} , протягом кількох останніх років показали їхнє швидке нагромадження у придонних відкладах, що призводить до порушень функціонування мікробіоценозів [15].

Зелені фототрофні сіркобактерії родини *Chlorobiaceae* поширені в безкисневих ділянках водойм. На відміну від пурпурових сіркобактерій, зелені – накопичують молекулярну сірку ззовні клітин, яка в подальшому окиснюється до сульфатів [1, 10, 20, 21, 26]. Вплив солей важких металів на аноксигенні зелені фотосинтезувальні сіркобактерії не вивчено.

Метою нашої роботи було дослідити ріст і швидкість поглинання кисню клітинами виділених бактерій за впливу CdSO_4 , ZnSO_4 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ чи CuSO_4 .

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Фототрофні зелені сіркобактерії – *Chlorobium limicola* Ya-2002 – виділені й ідентифіковані на кафедрі мікробіології Львівського національного університету імені Івана Франка [3, 5].

Бактерії вирощували 10 діб за анаеробних умов при температурі $+25\dots+28^\circ\text{C}$ у середовищі GSB (Green Sulfur Bacteria) [27] такого складу (г/л): калій дигідрофосфат – 0,30; амоній хлорид – 0,34; калій хлорид – 0,34; кальцій хлорид дигідрат – 0,15; магній сульфат гептагідрат – 0,50. Значення рН середовища становило 6,8. Освітлення при вирощуванні зелених сіркових бактерій було цілодобовим, забезпечувалося лампою розжарювання потужністю 60 Вт. Інтенсивність світла становила 40 лк. Крім того, використовували червоні світлофільтри, які пропускали світло оптимальної для даних бактерій довжини хвилі [6, 27].

З метою дослідження здатності фотосинтезувальних сіркобактерій до росту в присутності солей важких металів, до середовища вносили різні концентрації (0,5, 1,0, 1,5, 2,0 та 2,5 мМ) CdSO_4 , ZnSO_4 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ чи CuSO_4 .

Перед посівом у середовище стерильно вносили біотин (20 мкг/л), а також такі речовини з 10% розчинів (мл/л): натрій ацетат – 10; натрій гідрокарбонат – 15; натрій сульфід наногідрат – 2,5; натрій піруват – 10; мікроелементи – 1,0.

Біомасу визначали за мутністю розведеної суспензії клітин фотометруванням на фотоелектроколориметрі КФК-3 ($\lambda=450$ нм, кювета з оптичним шляхом – 3 мм) [8].

Швидкість поглинання кисню визначали полярографічним методом, використовуючи полярограф марки YSI MODEL 5300 Biological oxygen monitor і виражали у $\text{нг O}_2/\text{хв}\times\text{мг клітин}$ [17].

Вираховували основні статистичні показники за безпосередніми даними (середнє арифметичне – M ; стандартна похибка середнього арифметичного – m). Для оцінки достовірності різниці між статистичними характеристиками двох альтернативних сукупностей даних обчислювали коефіцієнт Стьюдента [13]. Достовірною вважалася різниця при показнику достовірності $P>0,95$. Статистичне опрацювання результатів проводили, використовуючи програми Excel та Origin.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ І ЇХНЄ ОБГОВОРЕННЯ

Електронномікроскопічні дослідження показали, що виділені з водойм Яворівського сіркового родовища клітини зелених сіркобактерій були паличкоподібні – від прямих до зігнутих, овальні або спіральні. Клітини містили хлоросоми. Розмноження відбувалося бінарним поділом (рис. 1). Клітини бактерій нерухомі, залишаються при-

кріпленими одна до одної, утворюючи нитки чи стрептококоподібні ланцюжки, покриті слизом. Як запасну речовину штам бактерій нагромаджував глікоген [3]. Колонії фототрофних зелених сіркобактерій забарвлені в темно-зелений колір.

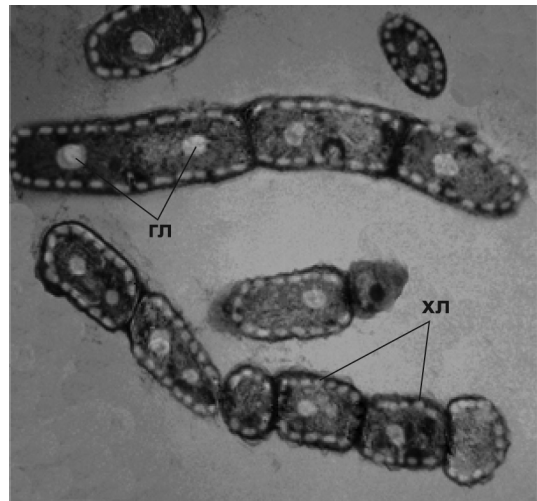


Рис. 1. Клітини *Chlorobium limicola* Ya-2002, вирощені у середовищі GSB (електронна мікроскопія $\times 8000$): ХЛ – хлоросоми; ГЛ – глікоген

Fig. 1. Cells of *Chlorobium limicola* Ya-2002, grown in the GSB medium (electron microscopy $\times 8000$): ХЛ – chlorosomes; ГЛ – glycogen

Здатність бактерій циклу сірки рости за впливу солей важких металів, а також резистентність мікроорганізмів до цих сполук є штамоспецифічними ознаками. Штати одного і того ж роду чи виду можуть мати різну стійкість до солей важких металів.

Наявність солей важких металів впливала на ріст бактерій неоднаково. Так, за внесення 0,5 мМ солі Кадмію в середовище на восьму добу росту біомаса зменшувалася на 43%, порівняно з контролем (рис. 2). При збільшенні концентрації солі від 1,0 до 2,0 мМ ріст бактерій інгібувався на 54–74%, порівняно з варіантом, у який не вносили CdSO_4 . За найвищої концентрації CdSO_4 (2,5 мМ) біомаса на восьму добу росту зменшилася на 81%, порівняно з контролем.

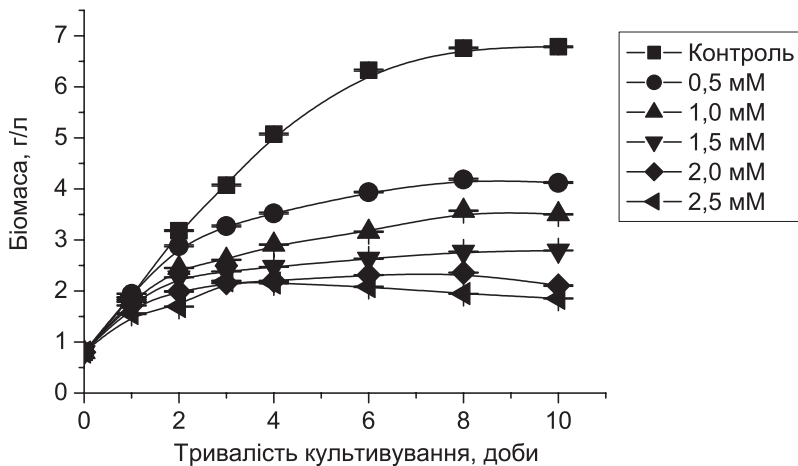


Рис. 2. Ріст культури *C. limicola* Ya-2002 за впливу CdSO_4
Fig. 2. Growth of *C. limicola* Ya-2002 culture under the influence of CdSO_4

Отже, кадмій сульфат виявляє негативний вплив на нагромадження біомаси *C. limicola* Ya-2002, подібно як і для бактерій *Alcaligenes eutrophus*, у яких він блокує синтез білків, впливає на поділ [19, 22].

Найменший вплив виявляв цинк сульфат за всіх досліджуваних концентрацій (рис. 3). Біомаса *C. limicola* Ya-2002 на восьму добу вирощування знижувалася від 24% – за внесення 0,5 мМ солі до 44% – за внесення 2,5 мМ $ZnSO_4$, порівняно з контролем.

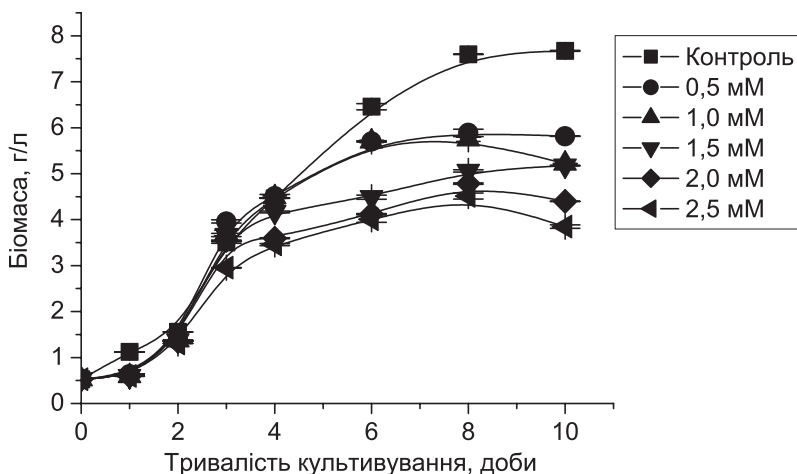


Рис. 3. Ріст культури *C. limicola* Ya-2002 за впливу $ZnSO_4$

Fig. 3. Growth of *C. limicola* Ya-2002 culture under the influence of $ZnSO_4$

При внесенні в середовище плумбум нітрату спостерігали залежність нагромадження біомаси від концентрації солі в середовищі (рис. 4). Наявність 0,5 мМ $Pb(NO_3)_2$ у середовищі призводила до зменшення нагромадження біомаси культури.

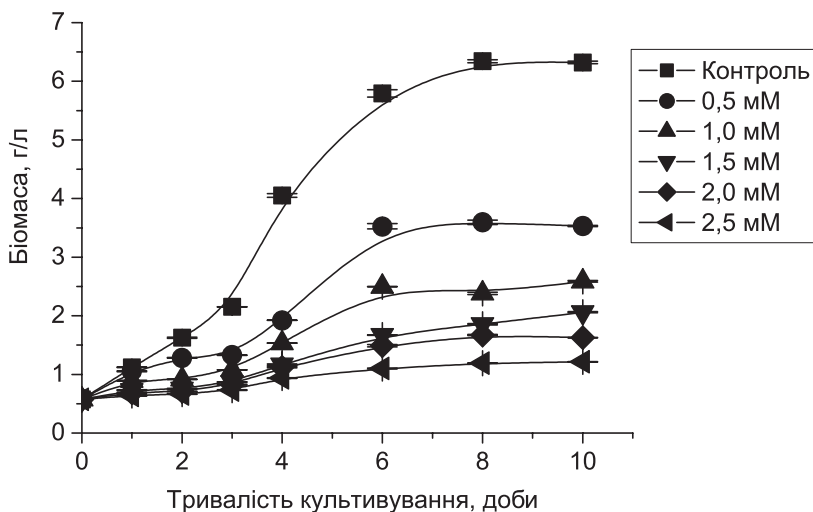


Рис. 4. Ріст культури *C. limicola* Ya-2002 за впливу $Pb(NO_3)_2$

Fig. 4. Growth of *C. limicola* Ya-2002 culture under the influence of $Pb(NO_3)_2$

рою на 54% на восьму добу росту, порівняно з контролем. Збільшення концентрації солі викликало уповільнення процесів нагромадження біомаси до третьої доби, після чого вона зростала за концентрації 0,5 мМ і 1,0 мМ солі. Однак у концентрації 1,5–2,0 мМ $Pb(NO_3)_2$ спричиняв інгібування росту на восьму добу 69–81%, порівняно з контролем. За найвищої концентрації (2,5 мМ) солі металу у середовищі біомаса культури була меншою на 89%, порівняно з контролем.

Отже, плюмбум нітрат спричиняв значне інгібування росту бактерій *C. limicola* Ya-2002. Для ґрунтових бактерій описана здатність Плюмбуму взаємодіяти із фосфоліпідами мембрани, викликаючи порушення її цілісності [24].

Найбільший негативний вплив на нагромадження біомаси спостерігали за наявності в середовищі різних концентрацій $CuSO_4$. Внесення 0,5 мМ солі пригнічувало нагромадження біомаси на 61%, а при збільшенні концентрації солі металу до 1,0 мМ – на 86%. При додаванні $CuSO_4$ у концентраціях 1,5–2,0 мМ не спостерігали суттєвого впливу на ріст бактерій. Збільшення концентрації купрум сульфату до 2,5 мМ знижувало нагромадження біомаси культури на восьму добу на 90%, порівняно з контролем (рис. 5).

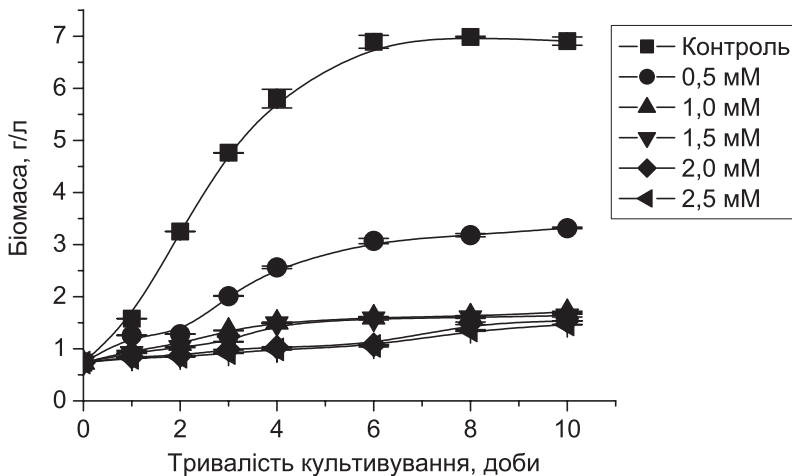


Рис. 5. Ріст культури *C. limicola* Ya-2002 за впливу $CuSO_4$
 Fig. 5. Growth of *C. limicola* Ya-2002 culture under the influence of $CuSO_4$

Зелені сіркобактерії – це мікроорганізми, які є анаеробами, причому вони чутливіші до O_2 , ніж більшість пурпурових сіркобактерій. Відомо, що бактерії *C. limicola* Ya-2002 містять каталазу та супероксиддисмутази, однак клітини цих мікроорганізмів за аеробних умов втрачають життєздатність через певний час [10, 12]. Поглинання молекулярного кисню у темряві сіркобактеріями відбувається дуже слабо або взагалі не відбувається [11]. Встановлено, що клітини сіркобактерій та їх мембранні препарати використовують O_2 лише за наявності світла. Припускають, що цей процес обумовлений функціонуванням електронтранспортного ланцюга [14].

Досліджували вплив солей важких металів на швидкість поглинання кисню зеленими фототрофними сірковими бактеріями *C. limicola* Ya-2002. Проби відбирали на першу та другу доби культивування. Як видно з результатів наших досліджень,

солі важких металів впливають по-різному на швидкість поглинання кисню зеленими сіркобактеріями (рис. 6–7).

Внесення 0,5–1,0 мМ CdSO_4 у середовище не змінювало швидкості поглинання кисню на першу добу культивування, порівняно з контролем. Додавання 1,0 мМ ZnSO_4 чи $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ не спричиняло змін швидкості поглинання кисню на першу добу культивування. Однак збільшення концентрації цих солей у середовищі до 2,5 мМ стимулювало поглинання кисню культурою. За впливу купрум сульфату швидкість поглинання кисню дещо зменшувалась у всіх досліджуваних концентраціях і мало залежала від них (рис. 6).

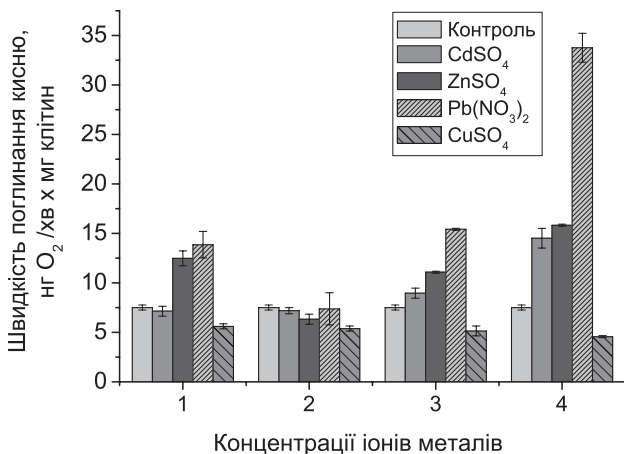


Рис. 6. Швидкість поглинання кисню клітинами *C. limicola* Ya-2002 на першу добу культивування за впливу різних концентрацій солей металів: 1 – 0,5 мМ; 2 – 1,0 мМ; 3 – 1,5 мМ; 4 – 2,5 мМ

Fig. 6. Velocity of oxygen uptake by the cells of *C. limicola* Ya-2002 culture after one day of cultivation under the influence of different concentrations of metals salts: 1 – 0,5 мМ; 2 – 1,0 мМ; 3 – 1,5 мМ; 4 – 2,5 мМ

На другу добу культивування внесення 0,5 мМ досліджуваних солей металів не впливало на швидкість поглинання кисню. Найбільший вплив на цей показник виявляв плумбум нітрат, який стимулював його у 4 рази, порівняно з контролем за концентрації 2,5 мМ (рис. 7). Цинк сульфат зі збільшенням концентрації призводив до зменшення швидкості поглинання кисню.

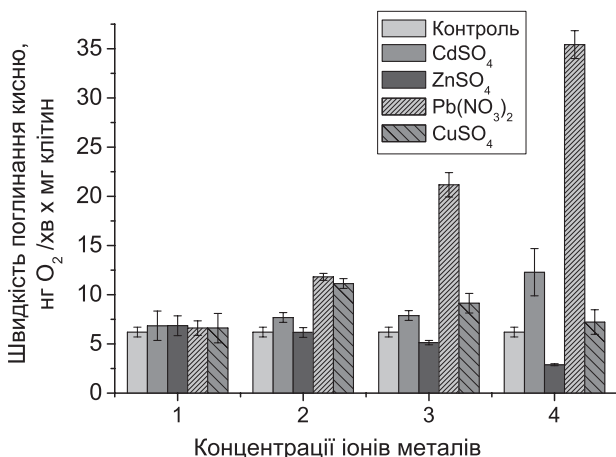


Рис. 7. Швидкість поглинання кисню клітинами *C. limicola* Ya-2002 на другу добу культивування за впливу різних концентрацій солей металів: 1 – 0,5 мМ; 2 – 1,0 мМ; 3 – 1,5 мМ; 4 – 2,5 мМ

Fig. 7. Velocity of oxygen uptake by the cells of *C. limicola* Ya-2002 culture after two days of cultivation under the influence of different concentrations of metals salts: 1 – 0,5 мМ; 2 – 1,0 мМ; 3 – 1,5 мМ; 4 – 2,5 мМ

Отже, за впливу кадмій сульфату швидкість поглинання кисню зростала зі збільшенням концентрації солі металу в середовищі культивування. За впливу

цинк сульфату швидкість поглинання кисню бактеріями *C. limicola* Ya-2002 збільшилася на першу добу. Найбільший вплив відмітили за внесення плюмбум нітрату. За впливу купрум сульфату швидкість поглинання кисню дещо зменшувалася на першу добу, порівняно з контролем.

Досліджувані нами штами сіркоокиснювальних фототрофних зелених бактерій *C. limicola* Ya-2002 заселяють озеро Яворівське. Саме вони відіграють надзвичайно важливу роль у біогеоциклі сірки у водоймах, які містять її сполуки. Таким чином, на підставі отриманих результатів побудували ряд токсичного впливу солей важких металів на зелені сіркобактерії *C. limicola* Ya-2002 (рис. 8).



Рис. 8. Ряд токсичної дії солей важких металів на бактерії *C. limicola* Ya-2002
 Fig. 8. Toxicity row of heavy metals salts influence on *C. limicola* Ya-2002

Як видно з рис. 8, найбільший вплив на сіркобактерії *C. limicola* Ya-2002, порівняно з іншими досліджуваними солями, мав купрум сульфат. Можливо, іони цього металу у високих концентраціях спричиняють інактивацію ферментів, утворюють міцні зв'язки з білковими молекулами, що призводить до їх інактивації, а також впливають на АТФ-ази, як це описано для бактерій *Escherichia coli* [23, 28]. Крім цього, іони Купруму зв'язуються в основному з клітинною поверхнею і викликають ушкодження [18]. Найменший негативний вплив на ріст досліджуваних мікроорганізмів виявляв цинк сульфат. Очевидно, незначне інгібування росту свідчить про те, що сіль Цинку не спричиняє істотних порушень. Можливо, за досліджуваних концентрацій він є необхідним клітині. Мікроорганізми, які живуть у збагаченому іонами Цинку середовищі, мають ефективні механізми стійкості до іонів цього металу [25]. У бактерій системи транспорту захищають клітину від надлишку Zn^{2+} . Відомо, що бактерії *Staphylococcus aureus* також здатні рости у середовищі зі солями Цинку [29].

ВИСНОВКИ

За внесення 0,5–2,5 мМ солей Купруму та Плюмбуму біомаса зелених сіркобактерій *C. limicola* Ya-2002 зменшилася на 61–90% та 54–89%, відповідно, на восьму добу росту культури. За цих умов кадмій- та цинк сульфат інгібували ріст бактерій, відповідно, на 43–81% і 24–44%, порівняно з контролем. Виходячи з одержаних результатів, для росту *C. limicola* Ya-2002 найбільш токсичними були іони Купруму. Іони Цинку найменше інгібували ростові процеси досліджуваної культури.

Полярнографічним методом уперше визначено швидкість поглинання кисню клітинами фототрофних зелених сіркобактерій *C. limicola* Ya-2002 за впливу різних концентрацій солей важких металів. Показано, що солі важких металів впливають на швидкість поглинання кисню.

На основі отриманих результатів уперше одержано ряд токсичної дії солей важких металів на виділені штами фототрофних зелених сіркобактерій *C. limicola* Ya-2002: $CuSO_4 > Pb(NO_3)_2 > CdSO_4 > ZnSO_4$.

1. Баран І.М., Кушкевич І.В., Гнатуш С.О., Гудзь С.П. Систематичне положення, фізіолого-біохімічні властивості та екологія зелених фототрофних бактерій. **Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол.**, 2007; 43: 48–60.
2. Баран І.М., Подопрігора О.І., Грищук Г.В. та ін. Екологічний моніторинг водойм Яворівського сіркового родовища; мікробіологічний контроль. **Довкілля та здоров'я**, 2003; 4: 55–58.
3. Горішний М. Б. **Екологічне значення зелених сіркових бактерій в утилізації сірководню**. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук: 03.00.16. К., 2008. 140 с.
4. Горленко В.М., Дубинина Г.А., Кузнецов С.И. **Екологія водних мікроорганізмів**. М.: Наука, 1977. 287 с.
5. Гудзь С.П., Баран І.М., Гнатуш С.О., Кіт Л.Я. Зелені сіркобактерії водойм Яворівського сіркового родовища. **Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол.**, 2002; 28: 246–251.
6. Гудзь С., Гнатуш С., Білінська І. **Практикум з мікробіології**. Ч. 1. Навчальний посібник. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка. 2003. 80 с.
7. Гудзь С., Гнатуш С., Перетятко Т. та ін. Динаміка змін титру сульфатвідновлювальних бактерій та вмісту сульфатів і сірководню у водах кар'єру Яворівського сіркового родовища в процесі його затоплення. **Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол.**, 2004; 37: 185–189.
8. Егоров Н.С. Руководство к практическим занятиям по микробиологии. **Практ. пособие**. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. 215 с.
9. Кіт Л., Мороз О., Федорович А. та ін. Метаболізм сульфідів та вуглецевих сполук у фототрофних пурпурових сіркобактерій. **Вісн. Львів. ун-ту. Сер. Біол.**, 2004; 35: 199–204.
10. Кондратьева Е.Н. Систематическое положение и физиолого-биохимическое разнообразие фототрофных микроорганизмов. **Фототрофные микроорганизмы. Сб. науч. трудов**. М.: Научный центр биол. исслед. АН СССР, 1988: 3–9.
11. Кушкевич І. В., Кіт Л. Я. Вплив атмосферного кисню на аноксигенні фототрофні пурпурові сіркобактерії. **Матеріали наукової конференції студентів біологічного факультету ЛНУ імені Івана Франка** (21 квітня 2004 року, м. Львів). Львів, 2004: 47–51.
12. Кушкевич І.В., Кіт Л.Я., Гнатуш С.О. Активність каталази та супероксиддисмутази у фототрофних сіркобактерій залежно від умов культивування: **Збірник тез II Міжнародної наукової конференції студентів та аспірантів „Молодь і поступ біології”** (21 – 24 березня 2006 року). Львів, 2006: 301–302.
13. Лакин Г. Ф. **Биометрия**. М.: Высш. шк., 1990. 352 с.
14. Ленгелер Й., Древис Г., Шлегель Г. Современная микробиология. **Прокариоты: в 2 т.** М.: Мир, 2005. Т. 1. 656 с.
15. 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.
16. Мороз О.М., Колісник Я.І., Подопрігора О.І. та ін. Мікрофлора води озера “Яворівське”. **Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Сер. біол.**, 2008; 24: 131–138.
17. **Руководство по изучению биологического окисления полярографическим методом** / Под ред. Г.М. Франко. М.: Наука, 1973. 221 с.
18. Таширевіч О.Б. Взаємодія мікроорганізмів зі сполуками міді. **Агроекол. журн.**, 2004; 1: 42–46.
19. Babich H. Effects of cadmium on the biota: influence of environmental factors. **Adv. Appl. Microbiol.**, 1978; 23: 55–117.
20. Baran I., Kit L., Hnatuch S., Gudz S. Investigation of isolated photosynthetic sulfur bacteria in order to solve the ecological problem of H₂S containing reservoirs around Yavoriv sulfur deposit. **Abstract Book of 1st Congress of Federation of European Microbiological Societies**. Slovenia, July 27-29. Lubluane, 2003: 361–362.

21. Blankership R. E., Madigan M. T., Bauer C. E. Anoxygenic Photosynthetic Bacteria. **Advances in Photosynthesis**. USA. 1995. 1368 p.
22. Diels L., Dong Q., D. van der Lelie et al. The *czc* operon of *Alcaligenes eutrophus* CH34: from resistance mechanism to the removal of heavy metal. **Journ. Indust. Microbiol**, 1995; 14: 142–153.
23. Gupta S.D., Lee B., Camakaris J., Wu H.C. Identification of *cutC* and *cutF* (*nlpE*) genes involved in copper tolerance in *Escherichia coli*. **Journ. Bacteriol**, 1995; 177 (15): 4207–4215.
24. Konopka A., Zakharova T., Bischoff M. et al. Microbial Biomass and Activity in Lead-Contaminated Soil. **Applied and Environmental Microbiology**, 1999; 65 (5): 2256–2259.
25. **Microbial Transport Systems** / Ed. by G. Winkelmann. – New York: WILEY-VCH. 2002: 313–375.
26. Overman J., Garcia-Pichel F. The phototrophic way of life. **The Prokaryotes: Ecophysiology and Biochemistry**. 3rd ed. New York: Springer, 2007. 1107 p.
27. Overmann J. **Green sulfur bacteria**. New York: Springer-Verlag, 1999: 245–256.
28. Solioz M., Odermatt A., Krapf R. Copper pumping ATPases: common concepts in bacteria and man. **FEBS Lett**, 1994; 346: 44–47.
29. Xiong A., Jayaswal R.K. Molecular characterization of a chromosomal determinant conferring resistance to zinc and cobalt ions in *Staphylococcus aureus*. **Journ. Bacteriol**, 1998; 180: 4024–4029.

EFFECTS OF HEAVY METALS SALTS ON GROWTH AND VELOCITY OF OXYGEN UPTAKE BY THE CELLS OF GREEN SULFUR BACTERIA *CHLOROBIVM LIMICOLA* YA-2002

I. V. Kushkevych, S. O. Hnatush

*Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskiyi St., Lviv 79005, Ukraine
e-mail: Ivan_Kushkevych@ukr.net*

Growth of phototrophic green sulfur bacteria *Chlorobium limicola* Ya-2002 under the influence of heavy metals salts different concentrations is investigated. The addition of CdSO_4 , ZnSO_4 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ or CuSO_4 to the medium inhibits the bacterial biomass accumulation. The velocity of oxygen uptake by *C. limicola* Ya-2002 during the growth in the media with metals salts is determined. It is affected to the largest extent by the addition of 2.5 mM of $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ to the growth medium.

Key words: phototrophs, green sulfur bacteria, *Chlorobium limicola* Ya-2002, toxicity, oxygen uptake, heavy metals.

ВЛИЯНИЕ СОЛЕЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА РОСТ И СКОРОСТЬ ПОГЛОЩЕНИЯ КИСЛОРОДА КЛЕТКАМИ ЗЕЛЕННЫХ СЕРОБАКТЕРИЙ *CHLOROBIVM LIMICOLA* YA-2002

И. В. Кушкевич, С. А. Гнатуш

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко,
ул. Грушевского, 4, Львов 79005, Украина
e-mail: Ivan_Kushkevych@ukr.net*

Исследован рост фототрофных зеленых серобактерий *Chlorobium limicola* Ya-2002 под влиянием различных концентраций солей тяжелых металлов. Показано,

что внесение CdSO_4 , ZnSO_4 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ или CuSO_4 в среду подавляет накопление биомассы бактерий. Определена скорость поглощения кислорода клетками *C. limicola* Ya-2002 при росте в среде, которая содержит соли металлов. Установлено, что больше всего на этот показатель влияет внесение 2,5 мМ $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ в среду культивирования.

Ключевые слова: фототрофы, зеленые серобактерии, *Chlorobium limicola* Ya-2002, токсичность, поглощение кислорода, тяжелые металлы.

Одержано: 15.07.2010