



УДК 579.22:576.32/36;579.238.73

## ЗМІНИ ВМІСТУ ВНУТРІШНЬОКЛІТИННОЇ СІРКИ У ФОТОСИНТЕЗУВАЛЬНИХ ПУРПУРОВИХ СІРКОВИХ БАКТЕРІЙ *THIOCAPSA* SP. У ПРОЦЕСІ РОСТУ ЗА ВНЕСЕННЯ В СЕРЕДОВИЩЕ АЦЕТАТУ І ПІРУВАТУ

**С. В. Лаврик, С. О. Гнатуш**

Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Грушевського, 4, Львів 79005, Україна  
e-mail: [sofi\\_lavryk@email.ua](mailto:sofi_lavryk@email.ua)

Досліджено здатність культури пурпурових сіркових бактерій *Thiocapsa* sp. у процесі аноксигенного фотосинтезу використовувати деякі органічні сполуки, зокрема ацетат і піруват як додаткові чи основні джерела вуглецю, а також як донори електронів. Виявлено, що *Thiocapsa* sp. ростуть на всіх варіантах середовищ з цими органічними сполуками як за внесення, так і за відсутності екзогенного неорганічного донора електронів. Тому можна говорити про її здатність до фотоорганогетеротрофного росту.

Також простежено динаміку змін вмісту внутрішньоклітинної сірки. Виявлено, що кількість запасної сірки суттєво змінюється у процесі життєдіяльності бактерій *Thiocapsa* sp., а найбільше сірки вони нагромаджують за умов фотолітоавтотрофного та фотолітогетеротрофного росту.

**Ключові слова:** пурпурові сіркові бактерії, *Thiocapsa* sp., ацетат, піруват, внутрішньоклітинна сірка.

### ВСТУП

Пурпурові сіркові бактерії роду *Thiocapsa* – представники родини *Chromatiaceae* – використовують відновлені сполуки сірки як донори електронів у процесі аноксигенного фотосинтезу або хемоавтотрофного росту. Проміжною сполукою окиснення гідроген сульфідів та тіосульфатів є елементарна сірка, яка нагромаджується у клітинах. Глобули сірки відіграють роль енергетичного резерву і при вичерпанні донора електронів зі середовища окиснюються до сульфатів [4, 7, 8]. У різних видів родини *Chromatiaceae* глобули утворені довгими сірковими ланцюгами із термінальними органічними групами й оточені одношаровою білковою оболонкою [11, 13, 15].

Пурпурові сіркобактерії характеризуються обмеженими можливостями використання екзогенних органічних речовин унаслідок дефектів циклу трикарбонових кислот (ЦТК). Прості органічні сполуки найчастіше є додатковими джерелами вуглецю, рідше – донорами електронів. Так, у багатьох видів виявлена здатність до

фотоасиміляції ацетату і пірувату, проте лише деякі можуть існувати фотоорганогетеротрофно, використовуючи ці та інші сполуки як джерела вуглецю або як донори електронів. У таких мікроорганізмів відсутність деяких ферментів ЦТК компенсується функціонуванням інших метаболітичних шляхів, наприклад, гліюксилатного шунта за відсутності  $\alpha$ -кетоглутаратдегідрогенази у *Chromatium minutissium* [4].

До фотоорганогетеротрофних представників родини *Chromatiaceae* належать види *Thiocystis violaceae*, *Chromatium vinosum*, *C. violascens*, *C. gracilis*, *C. purpuratum*. Вони можуть рости на середовищах з органічними речовинами, використовуючи їх як донори електронів для аноксигеноого фотосинтезу і як джерела вуглецю. Необхідно зауважити, що представники роду *Chromatium* є досить гетерогенними щодо органічних сполук, оскільки деякі види є строгими автотрофами, наприклад, *C. buderi*, *C. minus*, *C. okenii*, *C. wessei*.

Пурпурові сіркобактерії роду *Thiocapsa* менш вивчені. Відомо що, *Thiocapsa pfenningii* і *T. roseopersicina* є облигатними автотрофами, а тому використовують органічні сполуки переважно як додаткові джерела вуглецю. Так, *T. roseopersicina* BBS здатні фотоасимілювати ацетат і піруват, але використовувати ці сполуки як донори електронів у аноксигеноому фотосинтезі не можуть [2–4].

Проте є повідомлення, що деякі штами *Thiocapsa marina*, виділені з осадових шарів Середземного моря, можуть рости фотоорганогетеротрофно за наявності фруктози, пропіонату, ацетату й деяких інших органічних сполук [9].

До росту на світлі за наявності деяких простих органічних сполук і відсутності відновлених сполук сірки здатні штами *Thiocapsa litoralis*, виділені з мікробних матів літоральної зони Білого моря. Ці бактерії також можуть фотоасимілювати деякі прості органічні кислоти і цукри за наявності в середовищі діоксиду карбону та сульфіді [14].

Оскільки представники роду *Thiocapsa* є гетерогенними щодо донорів електронів і вуглецю, які можуть залучатись у фотосинтетичний процес, доцільним є дослідження особливостей асиміляції органічних сполук у процесі фотосинтезу в культурі *Thiocapsa* sp., виділеної з водойм Язівського сіркового родовища. Також цікавим є дослідження і динаміки використання нею внутрішньоклітинної сірки як ендogenous донора електронів у процесі аноксигеноого фотосинтезу.

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У роботі використовували культуру пурпурових сіркових бактерій *Thiocapsa* sp., виділену з водойм Язівського сіркового родовища й ідентифіковану на кафедрі мікробіології ЛНУ імені Івана Франка [3].

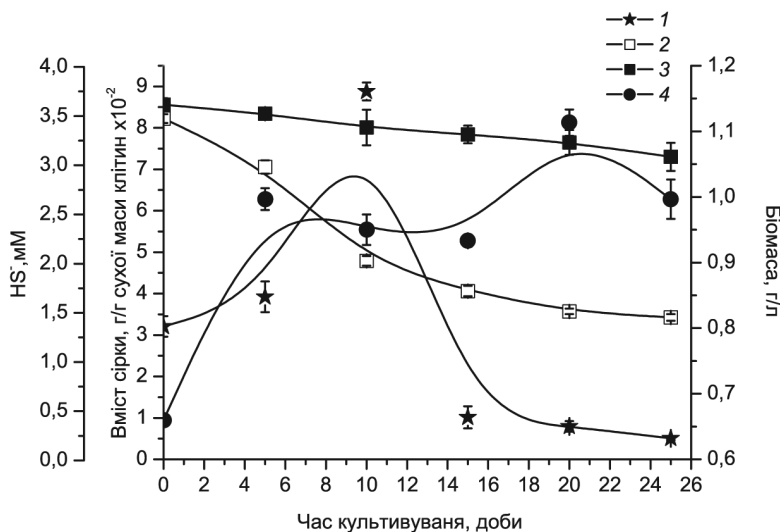
Бактерії вирощували анаеробно у пробірках, які закривали гумовими корками так, щоб не залишалося пухирців повітря. Мікроорганізми культивували на мінеральному середовищі Ван Ніля такого складу (г/л):  $\text{NH}_4\text{Cl}$  – 1;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 1;  $\text{MgCl}_2$  – 0,5;  $\text{NaCl}$  – 10; 0,5 мг/мл вітаміну  $\text{B}_{12}$  [1]. У середовище в різних комбінаціях вносили: 0,1% натрій сульфіді як донор електронів; 0,5% натрій гідрокарбонату як основне джерело вуглецю; 0,1% натрій ацетату чи 0,1% натрій пірувату як основні або додаткові джерела вуглецю та енергії. Вміст сірководню у середовищі уточнювали безпосередньо перед засівом. Культивування проводили при +27°C за умови постійного освітлення інтенсивністю 1500 люкс. Біомасу вимірювали турбідиметрично при 660 нм. Для подальшої екстракції сірки клітини осаджували на нітроцелюлозних фільтрах (діаметр пор – 0,8  $\mu\text{m}$ ). Внутрішньоклітинну сірку екстрагували за допомогою етанолу, а її кількість визначали спектрофотометрично при 260 нм за методикою

Ван Гемердена [12]. Концентрацію йона  $\text{HS}^-$  у середовищі визначали фотоколориметрично за зміною оптичної густини після додавання до культуральної рідини *p*-амінодиметил-аніліндігидрохлориду при 665 нм [10]. Кількісне визначення вмісту сульфатів проводили турбідиметричним методом після осадження сульфат-іону барій хлоридом з утворенням барій сульфату. Всі вимірювання здійснювали на фотоелектроколориметрі КФК-3 і спектрофотометрі СФ-46. Експеримент виконували у трьох повторностях.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ І ЇХНЄ ОБГОВОРЕННЯ

У даній роботі досліджували використання органічних сполук, зокрема ацетату і пірувату як донорів електронів і додаткових або основних джерел вуглецю культурою *Thiocapsa* sp., а також зміни вмісту сірки у клітинах при вирощуванні бактерій за внесення цих органічних сполук.

Як показано на рис. 1, ріст *Thiocapsa* sp. на середовищі Ван Ніля з гідроген сульфідом і гідрокарбонатом мав двофазний характер. Хоча приріст біомаси за таких умов був невисоким, бактерії утилізували гідроген сульфід і нагромаджували значну кількість сірки (до 0,089 г сірки на 1 г сухої маси клітин на десяту добу росту).



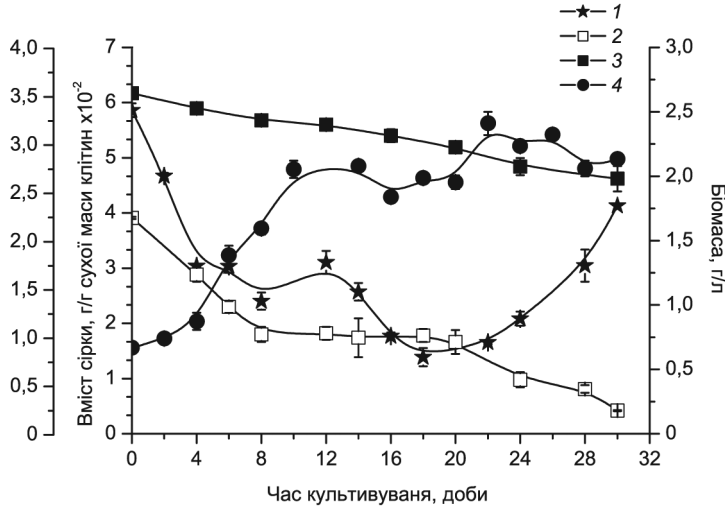
**Рис. 1.** Нагромадження сірки (1) й утилізація сірководню (2) *Thiocapsa* sp. у процесі росту культури (4) на середовищі Ван Ніля з  $\text{HS}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  без внесення органічних сполук. Концентрація гідроген сульфід у середовищі без клітин (3)

**Fig. 1.** The accumulation of the intracellular sulfur (1) and the hydrogen sulfide utilization (2) during growth (4) of the purple sulfur bacteria *Thiocapsa* sp. on the Van Niel medium with  $\text{HS}^-$  and  $\text{HCO}_3^-$ . The hydrogen sulfide concentration in the sterile cultural medium (3)

Залучення ендogenous донора електронів – сірки – відбувалося з десятої доби росту, хоча критичного зниження концентрації доступного гідроген сульфід не спостерігали: на 10-ту добу його вміст становив 2 мМ. Активне використання бактеріями сіркового резерву зумовило зниження кількості сірки до 0,005 г/г сухої маси клітин на 25-ту добу росту. Необхідно зауважити, що досліджувані мікроорганізми повільно асимілювали сірководень. Протягом усього періоду культивування його концентрація у середовищі знизилась у 2,4 рази.

Використання сірки у реакціях фотосинтезу зумовлює появу в середовищі сульфатів відновлених сполук сірки як кінцевих продуктів асиміляції [4]. Вони були виявлені у перші доби росту, і їхня концентрація на 25-ту добу становила 2,3 мМ (рис. 6).

За внесення ацетату як додаткового джерела вуглецю також спостерігали двофазний ріст культури і кількісні зміни сіркового резерву *Thiocapsa* sp. Згідно з даними, представленими на рис. 2, протягом першої експоненціальної фази росту, яка тривала



**Рис. 2.** Нагромадження сірки (1) й утилізація сірководню (2) *Thiocapsa* sp. у процесі росту культури (4) за внесення у середовище Ван Ніля  $\text{HS}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  і ацетату. Концентрація гідроген сульфід у середовищі без клітин (3)

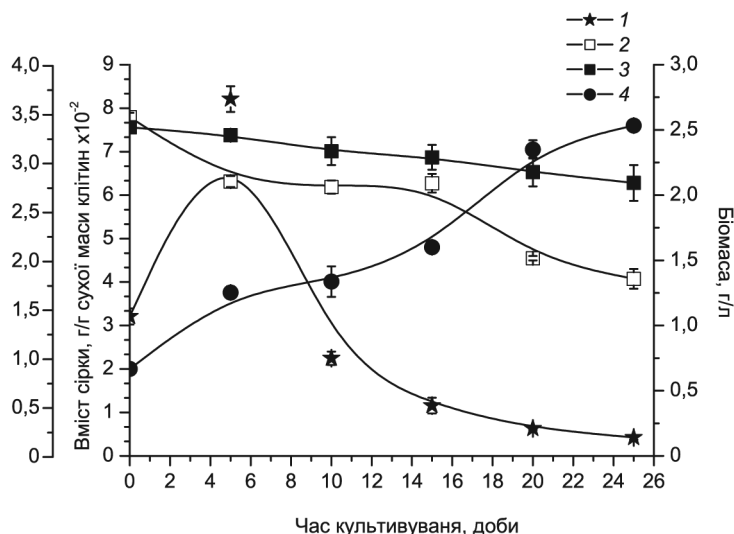
**Fig. 2.** The accumulation of the intracellular sulfur (1) and the hydrogen sulfide utilization (2) during growth (4) of the *Thiocapsa* sp. on the Van Niel medium with  $\text{HS}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  and acetate. The hydrogen sulfide concentration in the sterile cultural medium (3)

до 10-ї доби культивування, вміст сірки у клітинах і концентрація сірководню в середовищі знизилась удвічі: з 0,060 до 0,030 г/г с. м. клітин і з 2,24 мМ до 1,03 мМ відповідно. За цей час біомаса зростає з 0,67 до 2,1 г/л. З 8-ї до 13-ї доби спостерігали незначні коливання сіркового резерву клітин. Унаслідок використання бактеріями запасної сірки впродовж 14–22-ї доби, її вміст знизився до 0,014 г на 1 г сухої маси клітин. Було виявлено, що концентрація сірководню у середовищі впродовж 8–20-ї доби змінювалася незначно, тобто у стаціонарній фазі росту *Thiocapsa* sp. практично не асимілювали зовнішній донор електронів. Помітне зниження концентрації сірководню відбувалося після 20-ї доби росту і супроводжувалося підвищенням вмісту внутрішньоклітинної сірки до 0,041 г/г с. м. кл, а також зростанням біомаси.

За час культивування у середовищі нагромаджувалися сульфати, концентрація яких на 30-ту добу росту становила 6,7 мМ (рис. 6).

Як видно з результатів, представлених на рис. 3, внесення гідроген сульфід у як донора електронів і ацетату як джерела вуглецю забезпечувало ріст *Thiocapsa* sp. Тому можна говорити, що для цих мікроорганізмів ацетат може бути не лише додатковим, а й основним джерелом вуглецю у процесі аноксигенного фотосинтезу.

Протягом перших діб росту бактерії *Thiocapsa* sp. нагромаджували сірку. На п'яту добу її кількість зростає до 0,082 г/г с. м. клітин проти початкових 0,032 г/г с. м. клітин, концентрація сірководню знизилась до 2,8 мМ, а приріст біомаси становив 0,58 г/л (рис. 3).



**Рис. 3.** Нагромадження сірки (1) й утилізація сірководню (2) *Thiocapsa* sp. у процесі росту культури (4) за внесення у середовище Ван Ніля  $HS^-$  і ацетату. Концентрація гідроген сульфїду у середовищі без клітин (3)

**Fig. 3.** The accumulation of the intracellular sulfur (1) and the hydrogen sulfide utilization (2) during growth (4) of the *Thiocapsa* sp. on the Van Niel medium with  $HS^-$  and acetate. The hydrogen sulfide concentration in the sterile cultural medium (3)

Надалі вміст сірки знижувався протягом усього процесу культивування і на 25-ту добу бактерії містили лише 0,004 г сірки на 1 г с. м. клітин, а концентрація сірководню у середовищі становила 1,8 мМ. Протягом цього часу спостерігали постійне зростання біомаси. На 25-ту добу росту вона досягла 2,53 г/л.

Сульфати були присутні у культуральному середовищі у концентрації 1,36 мМ на останню добу росту (рис. 6).

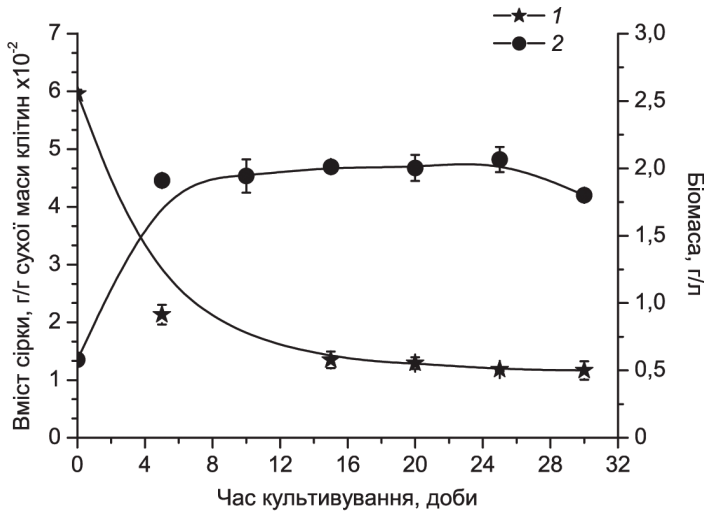
У культуральне середовище як донор електронів вносили ацетат, як джерело вуглецю – гідрокарбонат. Проте, оскільки *Thiocapsa* sp. може використовувати ацетат як донор електронів, не виключено, що у даному випадку ацетат може використовуватись і як джерело вуглецю.

За цих умов спостерігали швидкий перехід *Thiocapsa* sp. у тривалу стаціонарну фазу росту, а приріст біомаси за час культивування становив 1,5 г/л (рис. 4).

Як видно з рис. 4, бактерії використовували ендогенний донор електронів протягом експоненціальної та частини стаціонарної фаз росту. Зокрема, вміст сірки значно знизився протягом перших п'яти діб культивування – з 0,060 до 0,021 г/г с. м. клітин, а біомаса зросла до 2 г/л. На 10-ту добу росту сірковий резерв знизився до 0,012 г/г с. м. клітин і надалі суттєво не змінювався. Асиміляція сірки зумовила нагромадження сульфатів, на 30-ту добу росту їхня концентрація у середовищі була 1,3 мМ (рис. 6).

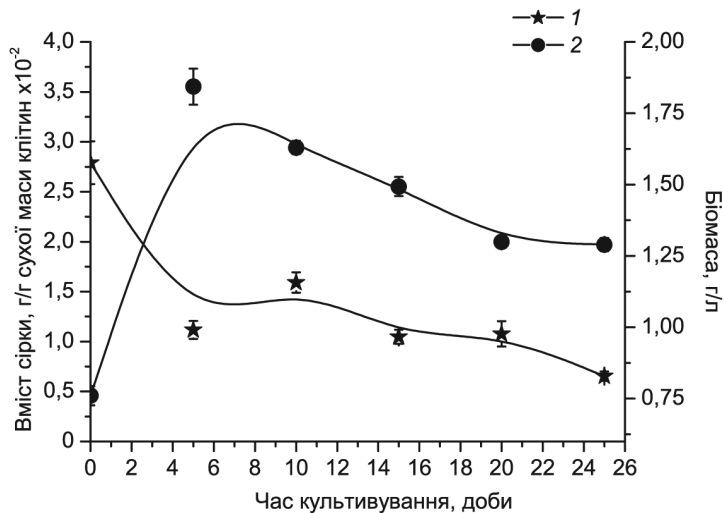
Як показано на рис. 5, за внесення ацетату як єдиного енергетичного і вуглецевого резерву експоненціальна фаза росту *Thiocapsa* sp. тривала протягом перших п'яти діб, стаціонарна фаза була нетривалою – зниження біомаси спостерігали з 10-ї доби росту. Бактерії асимілювали запасну сірку: протягом експоненціальної фази росту її вміст знизився втричі, а біомаса зросла на 1,1 г/л. Надалі зміни кількості

сірки у клітинах були незначними, а біомаса знижувалась і на 25-ту добу росту становила 1,3 г/л. Концентрація сульфатів у культуральному середовищі була низькою і досягла лише 0,6 мМ на 25-ту добу росту (рис. 6).



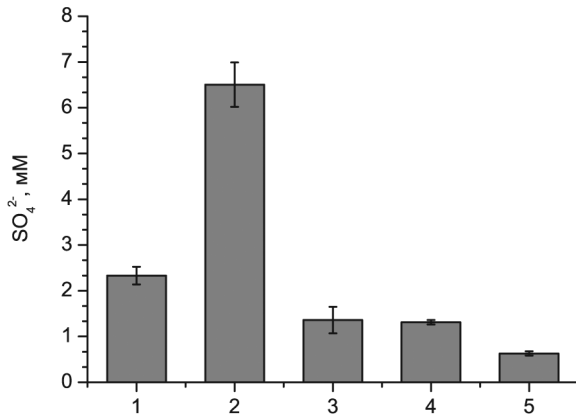
**Рис. 4.** Вміст сірки (1) у клітинах *Thiocapsa* sp. у процесі росту культури (2) за внесення у середовище Ван Ніля  $\text{HCO}_3^-$  і ацетату

**Fig. 4.** The intracellular sulfur content (1) in the cells during growth (2) of the *Thiocapsa* sp. on the Van Niel medium with  $\text{HCO}_3^-$  and acetate



**Рис. 5.** Вміст сірки (1) у клітинах *Thiocapsa* sp. у процесі росту культури (2) за внесення в середовище Ван Ніля ацетату

**Fig. 5.** The intracellular sulfur content (1) in the cells during growth (2) of the *Thiocapsa* sp. on the Van Niel medium with acetate

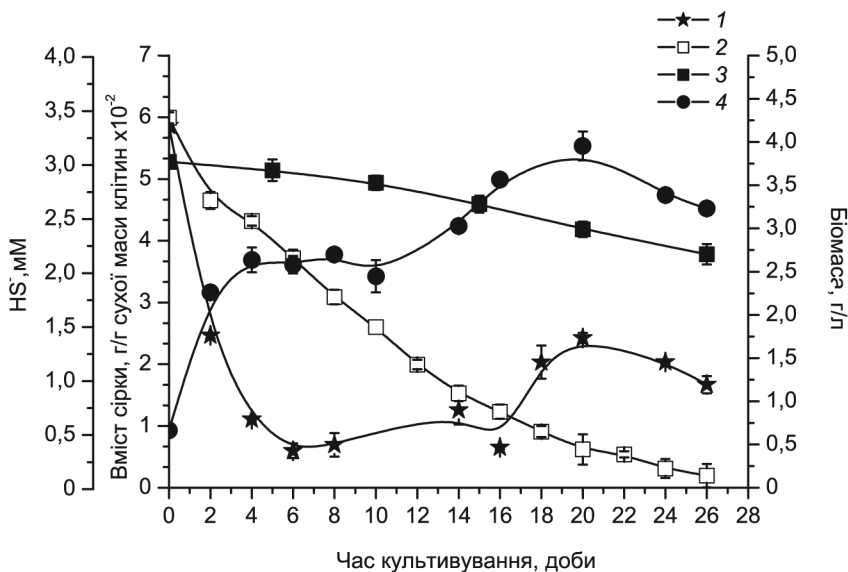


**Рис. 6.** Концентрація сульфат-іону у середовищі Ван Ніля при вирощуванні *Thiocapsa* sp. за внесення HS<sup>-</sup> і HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (1); HS<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> і ацетату (2); HS<sup>-</sup> і ацетату (3); HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> і ацетату (4); ацетату (5)

**Fig. 6.** The concentration of sulfates in the Van Niel medium used for growth of the *Thiocapsa* sp. and supplemented with HS<sup>-</sup> and HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (1); HS<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> and acetate (2); HS<sup>-</sup> and acetate (3); HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> and acetate (4); only acetate (5)

При внесенні у культуральне середовище гідроген сульфід, гідрокарбонату і пірватату як додаткового джерела вуглецю, як і у досліді з ацетатом, ріст *Thiocapsa* sp. мав двофазний характер (рис. 7).

В експоненціальній фазі росту досліджувані бактерії повільно утилізували гідроген сульфід, а також використовували ендогенний донор електронів. Зокрема, за перші шість діб росту вміст інтрацелюлярної сірки знизився у 10 разів, а концентрація сірководню в середовищі – лише в 1,4 разу. Приріст біомаси за цей проміжок часу становив 2 г/л. Поновлення сіркового резерву клітин відбувалося до 20-ї доби росту, культура нагромаджувала до 0,024 г сірки на 1 г с. м. клітин і активно використовувала сірководень, концентрація якого знижувалася до 0,52 мМ. Одночасно з подальшим



**Рис. 7.** Нагромадження сірки (1) й утилізація сірководню (2) *Thiocapsa* sp. у процесі росту культури (4) за внесення у середовище HS<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> і пірватату; концентрація гідроген сульфід у середовищі без клітин (3)

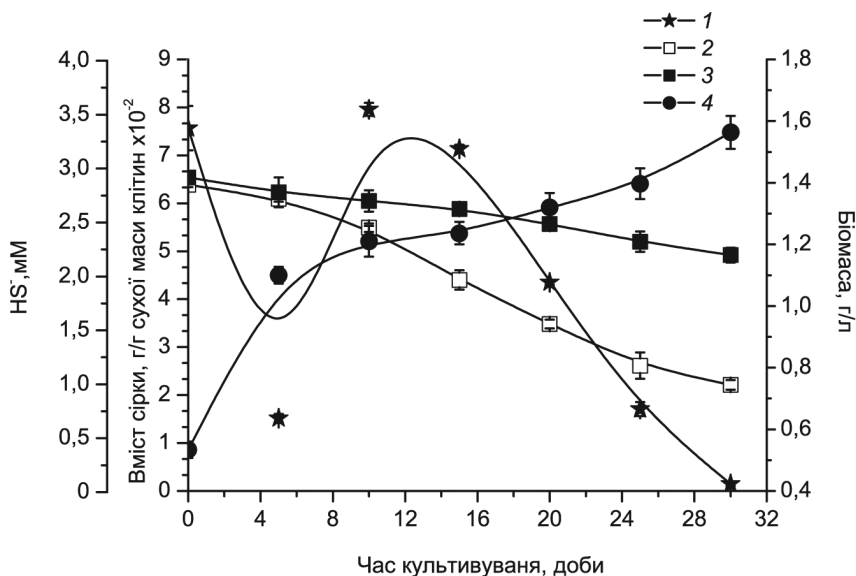
**Fig. 7.** The accumulation of the intracellular sulfur (1) and the hydrogen sulfide utilization (2) during growth (4) of the *Thiocapsa* sp. on the Van Niel medium with HS<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> and piruvate; the hydrogen sulfide concentration in the sterile cultural medium (3)



зниженням вмісту сірководню, спостерігали використання бактеріями сірки і зниження біомаси. На 26-ту добу росту вміст сірки у *Thiocapsa* sp. становив 0,017 г/г с. м. клітин, а біомаса – 3,2 г/л, кількість сульфатів у середовищі досягала 5,4 мМ (рис.11).

У процесі росту на середовищі з гідроген сульфідом і піруватом як основним джерелом вуглецю культура *Thiocapsa* sp. швидко переходила у тривалу фазу сповільненого росту, а сумарний приріст біомаси становив 1,1 г/л.

Як видно з результатів, представлених на рис. 8, у експоненціальній фазі росту відбулося суттєве зниження вмісту запасної сірки. Зокрема, протягом перших п'яти діб культивування її кількість зменшилася з 0,076 до 0,015 г/г с. м. клітин. Одночасно концентрація сірководню у середовищі змінювалася незначно, а біомаса зростає удвічі. Бактерії нагромаджували сірку на початку стаціонарної фази,



**Рис. 8.** Нагромадження сірки (1) й утилізація сірководню (2) *Thiocapsa* sp. у процесі росту культури (4) за внесення у середовище Ван Ніля HS<sup>-</sup> і пірувату. Концентрація гідроген сульфїду в середовищі без клітин (3)

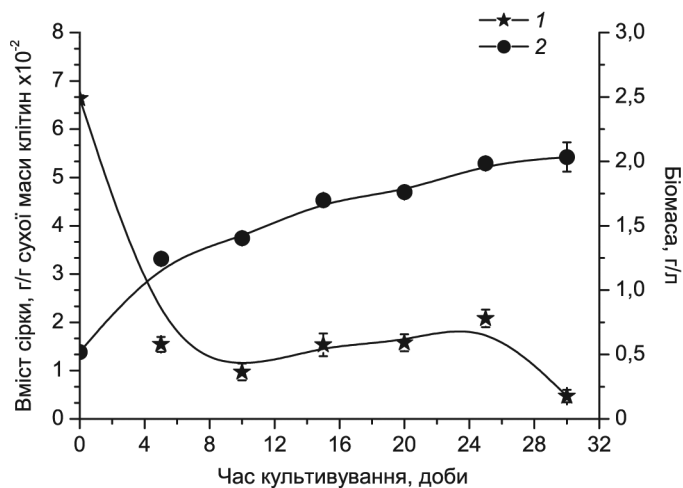
**Fig. 8.** The accumulation of the intracellular sulfur (1) and the hydrogen sulfide utilization (2) during growth (4) of the *Thiocapsa* sp. on the Van Niel medium supplemented with HS<sup>-</sup> and pyruvate. The hydrogen sulfide concentration in the sterile cultural medium (3)

її вміст у клітинах на 15-ту добу росту становив 0,080 г/г с. м. клітин, а вміст гідроген сульфїду у середовищі знизився із 2,7 до 1,95 мМ. Зниження вмісту сірководню у середовищі спостерігали і надалі, також було виявлено використання запасної сірки бактеріями та зниження її вмісту у клітинах до 0,015 г/г с. м. клітин на 30-ту добу росту. У цей час концентрація сульфатів становила 4,9 мМ (рис. 11).

При внесенні пірувату як донора електронів, як і у випадку з ацетатом, можна припустити, що ця сполука може бути використана бактеріями у присутності гідрокarbonату і як додатковий вуглецевий ресурс.

За таких умов запасна сірка використовувалася бактеріями *Thiocapsa* sp. на початку експоненціальної фази росту, її вміст у клітинах на п'яту добу зменшився у 4,5 рази (рис. 9). У подальшому зміни кількості внутрішньоклітинної сірки були



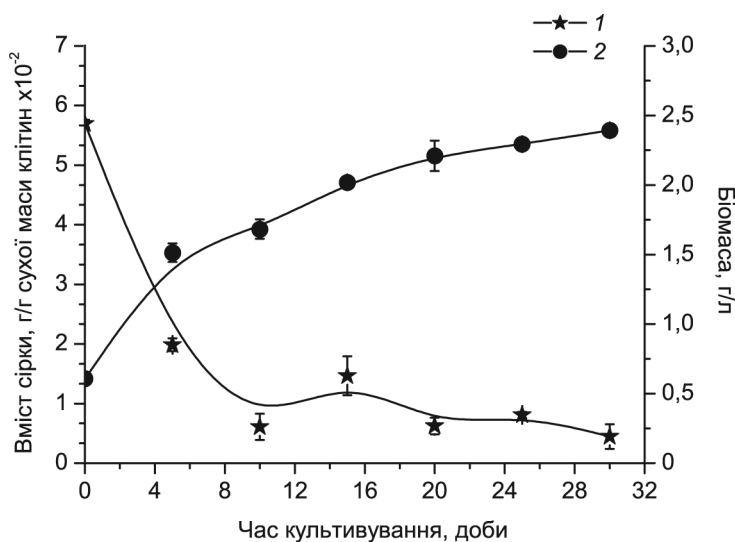


**Рис. 9.** Вміст сірки (1) у клітинах *Thiocapsa* sp. у процесі росту культури (2) за внесення у середовище Ван Ніля  $\text{HCO}_3^-$  і пірувату

**Fig. 9.** The intracellular sulfur content (1) in the cells during growth (2) of the *Thiocapsa* sp. on the Van Niel medium supplemented with  $\text{HCO}_3^-$  and pyruvate

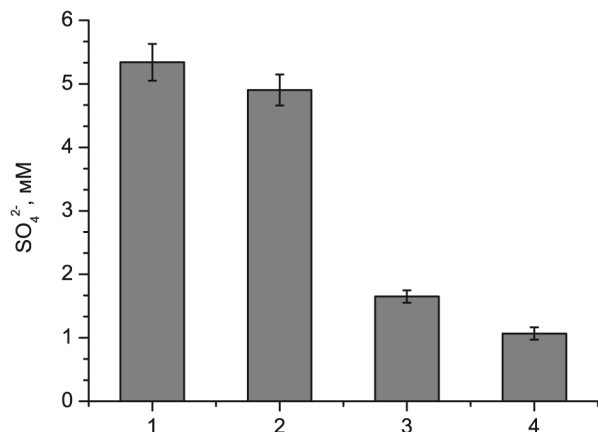
незначними і лише на 30-ту добу її вміст знизився до 0,005 г/г с. м. клітин. Протягом перших 25 діб біомаса зростає з 0,52 до 1,98 г/л, а впродовж наступних п'яти – практично не змінилася. Концентрація сульфатів у середовищі на 30-ту добу росту досягла 1,65 мМ (рис. 11).

За внесення пірувату як джерела електронів і вуглецю, внутрішньоклітинна сірка асимілювалася протягом перших діб росту (рис. 10). Зокрема, значне зниження вмісту запасної сірки виявили на п'яту добу росту: *Thiocapsa* sp. містили лише



**Рис. 10.** Вміст сірки (1) у клітинах *Thiocapsa* sp. у процесі росту культури (2) за внесення в середовище пірувату

**Fig. 10.** The intracellular sulfur content (1) in the cells during growth (2) of the *Thiocapsa* sp. on the medium supplemented with pyruvate



**Рис. 11.** Концентрація сульфат-іону у середовищі при вирощуванні *Thiocapsa* sp. за внесення HS<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> і пірувату (1), HS<sup>-</sup> і пірувату (2), HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> і пірувату (3), лише пірувату (4)

**Fig. 11.** The concentration of sulfates in the Van Niel medium used for growth of the *Thiocapsa* sp. and supplemented with HS<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> and pyruvate (1); HS<sup>-</sup> and pyruvate (2); HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> and pyruvate (3); only pyruvate (4)

0,006 г сірки на 1 г с. м. клітин проти 0,057 г/г с. м. клітин на початку культивування. Надалі вміст сірки залишався низьким, оскільки відновлених сіркових сполук у середовище не вносили. Протягом культивування спостерігали постійне підвищення біомаси, загалом вона зросла у 4 рази. На 30-ту добу росту у середовищі містилось 1,2 мМ сульфатів.

## ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень встановлено, що ріст пурпурових сіркоокиснювальних бактерій *Thiocapsa* sp. на середовищі Ван Ніля з гідроген сульфідом і бікарбонатом є слабким. Відомо, що бактерії, які нагромаджують сірку всередині клітин, ростуть значно повільніше, ніж види, що виділяють її назовні, а окремі автори звертають увагу на те, що високий вміст інтрацелюлярної сірки значно сповільнює ріст бактерій [4, 5]. Тому можна припустити, що невисокий приріст біомаси за присутності сірководню і неорганічного чи органічного джерел вуглецю (як ацетату, так і пірувату) пов'язаний із нагромадженням значних кількостей сірки у клітинах *Thiocapsa* sp. Проте, порівняно зі строго автотрофними умовами, внесення органічних сполук стимулювало ріст бактерій, що узгоджується з даними літератури [4]. Виявлено двофазний ріст бактерій *Thiocapsa* sp. за внесення гідроген сульфід та бікарбонату, а також при внесенні у культуральне середовище ацетату і пірувату як додаткових джерел вуглецю.

Розвиток пурпурових сіркобактерій *Thiocapsa* sp. супроводжувався зниженням вмісту сірководню у культуральному середовищі. Виявлено, що для даної культури характерна повільна утилізація сірководню, а деяке підвищення її інтенсивності спостерігали за внесення ацетату і пірувату як додаткових джерел вуглецю.

Найвищий вміст сірки у клітинах *Thiocapsa* sp. було виявлено за умов фотоліто-автотрофного росту, а також при внесенні у культуральне середовище неорганічного донора електронів і органічного джерела вуглецю – як ацетату, так і пірувату. Вміст запасної сірки досягав 0,088 г/г с. м. клітин; 0,082 г/г с. м. клітин; 0,080 г/г с. м. клітин відповідно.

Оскільки метаболізм мікроорганізмів характеризується високою здатністю до адаптацій, кількісні зміни вмісту проміжних продуктів і запасних речовин, зокрема і сірки у бактерій *Thiocapsa* sp., є цілком закономірними. Будучи не просто проміжним продуктом, а резервним донором електронів, внутрішньоклітинна сірка залучалась

у процес аноксигенного фотосинтезу при зниженні концентрації сірководню в середовищі. Проте нами було виявлено, що при внесенні органічних сполук запасна сірка може використовуватись і на початкових етапах росту за відсутності дефіциту сірководню. Цікаво, що без внесення гідроген сульфїду вміст сірки у клітинах бактерій знижувався на початкових етапах росту. Можна припустити, що сірка використовується бактеріями як ендогенний донор електронів і у присутності достатньої кількості органічного донора електронів, який, можливо, стає основним лише після значного зниження сіркового резерву.

Важливо, що повного вичерпання сірки у клітинах не спостерігали, а її вміст знижувався до певного „критичного” рівня, який становив 0,004–0,006 г сірки на 1 г сухої маси клітин.

Сульфати як кінцеві продукти асиміляції сірки у процесі аноксигенного фотосинтезу були виявлені в перші доби росту і надалі нагромаджувались у культуральному середовищі. За внесення ацетату їхня концентрація коливалася в межах 0,6–6,5 мМ, пірватату – в межах 1,1–5,3 мМ.

Таким чином, інтенсивний ріст *Thiocapsa* sp. за внесення ацетату і пірватату дає змогу говорити про її здатність до фотоорганогетеротрофного росту. За результатами проведених досліджень можна стверджувати, що кількість запасної сірки у *Thiocapsa* sp. не є сталою, а, навпаки, суттєво змінюється у процесі життєдіяльності: клітини використовують і поновлюють сіркові резерви, що, очевидно, сприяє виживанню бактерій у змінних умовах зовнішнього середовища.

1. Жуков В.Г., Фирсов Н.Н. Фотоассимиляция органических соединений *Thiocapsa roseopersicina*. **Микробиология**, 1976; XLIV (6): 946–950.
2. Карзанов В.В., Ивановский Р.Н., Кондратьева Е.Н. Поглощение ацетата *Thiocapsa roseopersicina*. **Микробиология**, 1982; 51 (5):751–755.
3. Кім Л.Я., Гудзь С.П. Пурпурові сіркобактерії з водоем Яворівського родовища сірки. **Мікробіологічний журнал**, 2007; 69 (1): С. 12–19.
4. Кондратьева Е.Н. **Фотосинтезирующие бактерии**. М.: Изд-во Москов. ун-та, 1989. С. 34–59.
5. Кондратьева Е.Н., Петушкова Ю.П., Жуков В.Г. Рост и окисление соединений серы *Thiocapsa roseopersicina* в темноте. **Микробиология**, 1975; XLIV (3): 389–395.
6. Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. **Методы изучения водных микроорганизмов**. М.: Наука, 1959. 123 с.
7. Павлова Ю.О., Гудзь С.П. Бактерії родини *Chromatiaceae*, виділені з озера „Яворівське” Язівського сіркового родовища. **Вісн. Харків. нац. ун-ту імені В. Н. Каразіна**, 2008; 7 (814): 148–153.
8. Хоупт Д., Криг Н., Снит П. и др. **Определитель бактерий Берджи**. М.: Мир, 1997. 540 с.
9. Caumette P., Guyoneaud R., Imhoff J. et al. *Thiocapsa marina* sp. nov., a novel, okenone-containing, purple sulfur bacterium isolated from brackish coastal and marine environments. **Int. J. Syst. Evol. Microbiol**, 2004; 54: 1031–1036.
10. Dean G. A simple colorimetric method for the Jonson-Nishita micro-distillation of sulfur. **Analyst**, 1986; 91 (1135): 530–532.
11. Garth L. Nicolson, Gregory L. Schmidt. Structure of the *Chromatium* sulfur particle and its protein membrane. **Journal of Bacteriology**, 1971; 105 (3): 1142–1148.
12. Gernerden H. Growth measurements of *Chromatium* cultures. **Архив. Mikrobiol**, 1968; 64: 103–110.
13. Prange A., Arzberger I., Engemann C. In situ analysis of sulfur in the sulfur particles of phototrophic sulfur bacteria by X-ray absorption near edge spectroscopy. **Biochim. Biophys. Acta**, 1999; 1428: 446–454.

14. Puchkova N., Johannes F., Imhoff J., Gorlenko V. *Thiocapsa litoralis* sp. nov., a new purple sulphur bacterium from microbial mats from the White Sea. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2000; 50: 1441–1447.
15. Strohl W.R., Geffers I., Larkins J.M. Structure of the sulfur inclusion envelopes from four *Beggiatoas*. *Curr. Microbiol.* 1981; 6: 75–79.

## INTRACELLULAR SULFUR CONTENT CHANGES IN THE PHOTOSYNTHETIC PURPLE SULFUR BACTERIA *THIOCAPSA* SP. DURING THEIR GROWTH ON THE MEDIUM SUPPLEMENTED WITH ACETATE AND PYRUVATE

S. Lavryk, S. Hnatysh

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

The ability of the purple sulfur bacteria *Thiocapsa* sp. to use acetate and pyruvate in the anoxygenic photosynthetic process was studied. We assume that *Thiocapsa* sp. able to carry photoorganoheterotrophic way of life, because of investigated bacteria grew well on the medium with organic components in a presence of sulfide as electron donor and when it wasn't added. The dynamics of intracellular sulfur content changes was observed. A high removability of value of reserved sulfur in cells was revealed. The highest sulfur content *Thiocapsa* sp. was in cells when bacteria grew photolithoautotrophically and photolithoheterotrophically.

**Key words:** purple sulfur bacteria, *Thiocapsa* sp., acetate, pyruvate, intracellular sulfur.

## ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВНУТРИКЛЕТОЧНОЙ СЕРЫ У ФОТОСИНТЕЗИРУЮЩИХ ПУРПУРНЫХ СЕРОБАКТЕРИЙ *THIOCAPSA* SP. В ПРОЦЕССЕ РОСТА ПРИ ДОБАВЛЕНИИ В СРЕДУ АЦЕТАТА И ПИРУВАТА

С. В. Лаєрик, С. А. Гнатуш

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

Исследована возможность культуры пурпурных серобактерий *Thiocapsa* sp. в процессе анаэробного фотосинтеза использовать некоторые органические вещества, в частности ацетат и пируват в качестве дополнительных или основных источников углерода, а также в качестве источников электронов. Обнаружено, что *Thiocapsa* sp. растут во всех вариантах среды с этими органическими веществами, как при внесении, так и при отсутствии экзогенного неорганического донора электронов. Поэтому можно говорить о возможности фотоорганогетеротрофного роста.

Также исследовано динамику изменения содержания внутриклеточной серы. Установлено, что серные резервы очень лабильные, а больше всего серы бактерии накапливают при условии фотолитоавтотрофного и фотолитогетеротрофного роста.

**Ключевые слова:** пурпурные серобактерии, *Thiocapsa* sp., ацетат, пируват, внутриклеточная сера.

Одержано: 23.09.2009