

УДК 581.1.

А.С. Кистаубаева, И.С. Савицкая*, А.Ш. Исабекова,
А.Б. Болекбаева, Н.В. Воронова.

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Республика Казахстан, г. Алматы

*E-mail: irasava_2006@mail.ru, aida_kaz@mail.ru

Сероокисляющие бактерии содово-засоленных почв и их биоокислительная активность

Выделены и исследованы накопительные культуры сероокисляющих бактерий из почв целевого региона. Элективные условия развития сероокисляющих микроорганизмов созданы посредством включения в состав питательной среды источника восстановленной серы (модельный субстрат – тиосульфат), а также установлением pH среды в диапазоне нейтральных и слабощелочных значений. Проведена качественная оценка биоокислительной активности исследуемых ассоциаций и анализ изменения pH питательной среды при развитии сероокисляющих микроорганизмов

Ключевые слова: сероокисляющие бактерии, почва, питательные среды.

А.С. Кистаубаева, И.С. Савицкая, А.Ш. Исабекова, А.Б. Болекбаева, Н.В. Воронова
**Содалы-тұзды топырақтың күкірт тотықтырғыш бактериялары және олардың
биототықтырғыш белсенділігі**

Мақсатты ауданның топырағынан күкірт тотықтырғыш бактериялардың жинақтық культуралары бөлініп, қосу арқылы және қоректік ортаның pH деңгейі нейтралды және әлсіз алынды және зерттелді. Күкірт тотықтырғыш микроорганизмдердің дамуына арналған элективті жағдайлар қоректік орта құрамына тотықсызданған күкірт көзін (модельдік субстрат – тиосульфат сілтілік диапазонға келтіру арқылы алынды. Зерттелетін ассоциациялардың биототықтырғыш белсенділігіне сапалық баға берілді және күкірт тотықтырғыш микроорганизмдердің дамуы барысында қоректік ортаның pH мәнінің өзгеруіне анализ жүргізілді.

Түйін сөздер: күкірт тотықтырғыш бактериялар, топырақ, қоректік орта.

A.S. Kistaubaeva, I.S. Savitskaya, A. Sh. Isabekova, A.B. Bolekbaeva, N.V. Voronova
Sulfo-oxidizing bacteria of soda-saline soils and their bio-oxidation activity

Isolated and examined enrichment cultures of bacteria from soil sulfur-oxidation target area. Elective terms of sulfur-oxidation microorganisms created by the inclusion of the nutrient source of reduced sulfur (model substrate - thiosulfate), and the establishment of pH in the range of neutral and slightly alkaline values. A qualitative assessment of the activity of the studied bio-oxidation associations and analysis of pH changes in the development of medium sulfur-oxidation microorganisms.

Keywords: sulfur-oxidizing bacteria, soil, nutrient media.

В последние десятилетия природный цикл серы подвергается усиливающемуся антропогенному воздействию, приводя к накоплению токсических соединений серы и нарушению баланса природного цикла серы. Поэтому использование

прокариот, участвующих в превращении соединений серы, детоксикации токсичных соединений серы, представляется весьма актуальным.

Сероокисляющие бактерии – это бактерии, способные к окислению модельного субстрата

тиосульфата в составе питательной среды до сульфата (S^{6+}) [1, 2].

Элективные условия развития сероокисляющих микроорганизмов были созданы посредством включения в состав питательной среды источника восстановленной серы, а также установлением рН среды в диапазоне нейтральных и слабощелочных значений. Культивирование проводили в колбах на перемешивающем устройстве при температуре 28°C. После нескольких пассажей на стерильных питательных средах сформировались устойчивые ассоциации, представляющие накопительные культуры бактерий, способных к окислению восстановленных соединений серы [3].

Полученные ассоциации сероокисляющих микроорганизмов НК1-НК 23 являются представителями биоценоза содово-засоленных почв.

Известно, что развитие сероокисляющих микроорганизмов связано с окислением восстановленных соединений серы до конечного продукта – сульфатов или до частично окисленных форм, например политионатов, что сопровождается изменением рН среды [4-6]. С целью определения биоокислительной активности микроорганизмов ассоциации были исследованы процессы биоокисления модельного субстрата (тиосульфата).

Для качественной оценки биоокислительной активности исследуемых ассоциаций был проведен анализ изменения рН питательной среды при развитии сероокисляющих микроорганизмов [7].

Судя по полученным данным, культуры, входящие в ассоциации НК-1; НК-4; НК-6; НК-7; НК-12; НК-18; НК-21, способны окислять тиосульфат только до политионатов, что сопровождается защелачиванием питательной среды.

Развитие микроорганизмов, входящих в накопительные культуры НК-2; НК-5; НК-8; НК-10; НК-13; НК-14; НК-17; НК-19; НК-23, сопряжено с начальным повышением рН до 7,0-8,0 единиц и дальнейшим его снижением до 6,2-5,8, что является последствием накопления сульфатов в качестве конечного продукта окисления.

В процессе биоокисления было отмечено накопление промежуточных продуктов – политионатов, которые образовались при окислении тиосульфатов и молекулярной серы, о чем в данном случае свидетельствует повышение рН питательной среды с 6,6 до 8,1 единиц на 5 сутки культивирования.

Накопление политионатов в среде связано, прежде всего, с микробиологическим окислением тиосульфата до тетраионата, что сопровождается подщелачиванием среды по реакции: $2S_2O_3^{2-} + \frac{1}{2} O_2 + H_2O \rightarrow S_4O_6^{2-} + 2OH^-$

Однако необходимо рассматривать и химические пути окисления тиосульфат-ионов, а также диспропорционирование политионатов при химическом взаимодействии с сульфитом и тиосульфатом. Первоначальное накопление политионатов по этой реакции сменяется уменьшением их концентрации в среде, что может быть связано с частичным микробным восстановлением серы с образованием тиосульфата, а также окислением до сульфита и сульфата. Попеременное возрастание и уменьшение концентраций промежуточных продуктов в процессе биоокисления характеризует равновесный характер превращений тиосульфатов и политионатов [8].

Для ассоциаций сероокисляющих бактерий, составляющих накопительные культуры НК-3; НК-9; НК-11; НК-15; НК-16; НК-20; НК-22, выделенных из содово-засоленной почвы, в процессе метаболизма тиосульфата, происходит непосредственное образование сульфата без накопления политионатов, о чем свидетельствует снижение рН среды с 6,4 до 4,3 без предварительного подщелачивания.

Необходимо отметить, что для ассоциаций НК-2; НК-5; НК-8; НК-10; НК-13; НК-14; НК-17; НК-19; НК-23 значение экономического коэффициента образования сульфата $Y_{p/s}$ равно 0,86, что является результатом накопления в среде продуктов неполного окисления восстановленных соединений серы (политионаты, молекулярная сера, сульфиты). Ассоциации НК-3; НК-9; НК-11; НК-15; НК-16; НК-20; НК-22 представляет собой комплекс сероокисляющих микроорганизмов, участвующих в полном окислении тиосульфата до сульфата, о чем свидетельствует высокое значение $Y_{p/s} = 1,47$.

Значение экономического коэффициента $Y_{x/s}$ для этих ассоциаций оказалось характерным также для бактерии *Thiobacillus ferrooxidans*, которые варьируют в диапазоне $2,2-6,6 \times 10^{-3}$ г или $3,5-5,3 \times 10^{-3}$ АСБ/ Fe^{2+} . Сравнение коэффициентов микробного роста и развития в данном случае весьма условно, так как значения для чистых культур не могут быть сопоставимы со значениями для ассоциации микроорганизмов.

Таким образом, конечным продуктом биокисления восстановленных соединений серы для ассоциаций НК-2; НК-5; НК-8; НК-10; НК-13; НК-14; НК-17; НК-19; НК-23, а также НК-3; НК-9; НК-11; НК-15; НК-16; НК-20; НК-22 являются сульфаты, о чем свидетельствует их

накопление в среде культивирования, приводящее к снижению pH до 5,6 единиц на 18 сутки культивирования. Однако необходимо отметить, что увеличение их концентрации началось на 10 сутки культивирования и затем продолжалось на протяжении всего эксперимента.

Литература

1 McCready, R. G. L. Bacterial oxidation of sulfur as a means of reclaiming solonchic soil / R. G. L. McCready // *Solonchic Soils in Alberta (A Progress Report Alberta solonchic soils working group)*. – Edmonton: Alberta, - 2002. – P. 13-31/перевод с англ: Р.Г. Л. Маккредди Бактериальное окисление серы в связи с мелиорацией солонцовых почв // *Солонцовые почвы Альберта (Промежуточный отчет Альберта группы по солонцовым почвам)*. – Эдмонтон: Альберта, 2002. – С. 13-31).

2 McCready and H.R. Krouse. Sulfur isotope fractionation during the oxidation of elemental sulfur by thiobacilli in a solonchic soil. *Canadian Journal of Soil Science*. 62:105-110 (Feb. 2002). (Перевод с англ: Маккредди и Н.Р. Крауз. Изотопное фракционирование серы в период окисления элементарной серы тионовыми бактериями в солонцовых почвах. Канадский журнал по почвоведению. 62:105-110 (Февраль. 2002)).

3 Vidyalakshmi R, Paranthaman and Bhakyari R. Sulfur Oxidizing Bacteria and Pulse Nutrition – A Review. *World Journal of Agricultural Sciences*, 2009 - 5(3) - P. 270-278. (Перевод с англ: Видалакшми Р, Парантхаман и Бхакири Р. Сероокисляющие бактерии и питание растений – Обзор. Всемирный журнал сельскохозяйственных наук, 2009 - №5(3) - С. 270-278).

4 Бакалай Г.Т., Докучаева Л.М., Юркова Р.Е., Усанина Т.В., Андреева Т.П., Долина Е.В., Стратинская Э.Н., Шалашова О.Ю. Способы мелиорации орошаемых солонцовых почв // *Обзор*. – ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2011. - С.73.

5 Armando G., Sergio R. The effect of chemical oxidation on the biological sulfide oxidation by an alkaliphilic sulfoxidizing bacterial consortium // *Elsevier*, 2007. – № 40. – P. 292-298.

6 Barton, L. L. and Shrively, J. M. Thiosulfate utilization by *Thiobacillus thiooxidans* ATCC 8085. *J. Bacteriol.* 1968. № 95. - P.720.

7 Ghiorge E. W. C., Alexandr M. Effect of microorganisms on the sorption and fate of sulfur dioxide and nitrogen dioxide in soil. *J. Environ. Qual.* №5. - P. 227-230.

8 Каравайко Г.И., Росси Дж., Авакян А.А. Биоготехнология металлов. – М., 1989. - № 3. – С.12-38.

References

1 MsSready, R. G. L. Bacterial oxidation of sulfur as a means of reclaiming solonchic soil / R. G. L. MsSready // *Solonchic Soils in Alberta (A Progress Report Alberta solonchic soils working group)*. – Edmonton: Alberta, - 2002. – R. 13-31. (Perevod s angl: Makkrjedi R.G.L. Bakterial'noe okislenie sery v svyazi s melioraciej soloncovykh pochv // *Soloncovye pochvy Al'berta (Promezhutochnyj otchet Al'berta gruppy po soloncovym pochvam)*. – Jedmonton: Al'berta, -2002. – S. 13-31).

2 McCready and H.R. Krouse. Sulfur isotope fractionation during the oxidation of elemental sulfur by thiobacilli in a solonchic soil. *Canadian Journal of Soil Science*. 62:105-110 (Feb. 2002). (Perevod s angl: Makkrjedi i N.R. Krauz. Izotopnoe frakcionirovanie sery v period okisleniya jelementarnoj sery tionovymi bakterijami v soloncovykh pochvah. Kanadskij zhurnal po pochvovedeniju. 62:105-110 (Fevral'. 2002)).

3 Vidyalakshmi R, Paranthaman and Bhakyari R. Sulfur Oxidizing Bacteria and Pulse Nutrition – A Review. *World Journal of Agricultural Sciences*, 2009 - 5(3) - R. 270-278. (Perevod s angl: Vidalakshmi R, Paranthaman i Bhakiri R. Serookisljajushhie bakterij i pitanie rastenij – Obzor. Vsemirnyj zhurnal sel'skohozjajstvennyh nauk, 2009 - №5(3) - С. 270-278).

- 4 Bakalaj G.T., Dokuchaeva L.M., Jurkova R.E., Usanina T.V., Andreeva T.P., Dolina E.V., Stratinskaja Je.N., Shalashova O.Ju. Sposoby melioracii oroshaemyh soloncovyh pochv // Obzor. – FGNU «RosNIIPM». – Novocherkask, 2011. - S.73.
- 5 Armando G., Sergio R. The effect of chemical oxidation on the biological sulfide oxidation by an alkaliphilic sulfoxidizing bacterial consortium // Elsevier, 2007. – № 40. – P. 292-298.
- 6 Barton, L. L. and Shrively, J. M. Thiosulfate utilization by Thiobacillus thiooxidans ATCC 8085. J. Bacteriol. 1968. № 95. - P.720.
- 7 Ghiorge E. W. C., Alexandr M. Effect of microorganisms on the sorption and fate of sulfur dioxide and nitrogen dioxide in soil. J. Environ. Qual. №5. - R. 227-230.
- 8 Karavajko G.I., Rossi Dzh., Avakjan A.A. Biogeotekhnologija metallov. – M., 1989. - № 3. – S.12-38.