

УДК 573.6.086.33:582

ДЖАЯНТ ДОК<sup>1</sup>, В. КАЛЪЯН РАМАН<sup>2</sup>, В.С. ГОЛЕ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Пунский ун-т, Отд-ние наук об окружающей среде, 411007 г. Пун, Индия

<sup>2</sup> Термакс ЛТД<sup>2</sup>, Чинчвад, Научно-исслед. отд-л, 411019 г. Пун, Индия  
[vsghole@chem.unipune.ernet.in](mailto:vsghole@chem.unipune.ernet.in), [jayanidoke@rediffmail.com](mailto:jayanidoke@rediffmail.com)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ *SPIRULINA* SP. ДЛЯ ОЧИСТКИ АНАЭРОБНО СБРОЖЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Предложено культивирование спирулины в сточных водах для улучшения качества воды. Приведены результаты изучения возможности очистки анаэробно сброженных сточных вод (АСВ) с помощью *Spirulina* sp. для изъятия из стоков COD, BOD, тяжелых металлов и бактерий. Установлено, что в АСВ происходит незначительный рост спирулины, который можно стимулировать добавлением в качестве источника углерода  $\text{NaHCO}_3$  в концентрации до 4%. Максимальный рост продуктивности при этом составляет 1,4 мг/л. После культивирования спирулины в культуральной среде снижается содержание COD на 80%, BOD – на 95%, катионов: калий – на 98%, кальций – на 96%, магний – на 95%, натрий – на 90%. Наблюдается также снижение концентрации анионов: хлора – на 51%, нитратов – на 52%, фосфатов – на 76% и сульфатов – на 60%. Из культуральной жидкости были изъятые тяжелые металлы: Ni – до 57%, Pb – до 97%. Общее содержание бактерий за восемь дней культивирования уменьшилось на 75%.

**Ключевые слова:** *Spirulina*, синезеленые водоросли, анаэробно сброженные стоки, тяжелые металлы.

### Введение

Использование микроводорослей для очистки сточных вод описано во многих публикациях. Проведены исследования *Spirulina platensis* (Nordst.) Geitl., выращенной на аэробно сброженном свином навозе (Chiu et al., 1980). Некоторые авторы использовали для культивирования *S. platensis* в малых промышленных масштабах стоки от переработки бумаги и производства удобрений (Anaga et al., 1996). *Spirulina* также может расти за счет утилизации мочевины из морской воды, ее использовали в качестве среды культивирования для *S. maxima* (Faucher et al., 1979). Изучался потенциал роста *S. platensis* на сброженном жидком коровьем навозе с добавлением или без добавления бикарбоната натрия (Venkatraman, 1978). *Spirulina* sp. выращивали на морской воде с добавлением анаэробных сточных вод в условиях умеренного климата (Olguin & Galicia, 1997). Во многих случаях применялось выращивание водорослевой биомассы на стоках животноводства и высокоэффективное водорослевое окисление для очистки стоков кожевенного производства (Dodd, 1979; Rose et al., 1996). Интенсивное культивирование пресноводных микроводорослей на сжиженном свином навозе служило источником питательных веществ для роста *Spirulina* (Martin et al., 1985). Изучено также значение биопленок для качества воды и питания креветок в интенсивной культуре (Lopes Thompson et al., 2002). Сходные по химическому составу цианобактерии, выращенные на разведенных и аэрированных стоках свиноводства, накапливали большое количество питательных веществ (Conizares-

©Джаянт Док, В. Кальян Раман, В.С. Гале, 2005

Villanueva et al., 1995). В процессе биологической очистки *Spirulina* sp. использовали для зашлачивания, осаждения тяжелых металлов в кислых шахтных водах (Van Hille et al., 1999). *S. platensis* была использована для подтверждения возможности применения биомассы микроводорослей для снижения содержания нитратов, фосфатов и следов тяжелых металлов в сточных водах путем связывания альгинатов (Patnaik et al., 2001; Lodi et al., 2003; Chojnacka et al., 2004).

#### Материалы и методы

Штамм *Spirulina* sp. был получен на кафедре ботаники Модерн Колледж в Пуне, Индия. *Spirulina* sp. была выбрана в качестве тест-объекта для настоящего исследования благодаря ее специфическим свойствам: она хорошо растет в сильно щелочной среде и имеет значительную толерантность к органическим поллютантам, а также содержит много белков, витаминов, аминокислот и минеральных веществ. Для культивирования штамма *Spirulina* sp. использовали среду CFTRI (Venkatraman et al., 1982). Ее состав: 4,5 мг  $\text{NaHCO}_3$ , 0,5 мг  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , 1,5 мг  $\text{NaNO}_3$ , 1 мг  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , 0,2 мг  $\text{MgSO}_4$ , 0,04 мг  $\text{CaCl}_2$ , 0,01 мг  $\text{FeSO}_4$ , 1 мг  $\text{NaCl}$ , 1000 мл дистиллированной воды. pH среды  $10 \pm 2$ . Культуры выращивали в колбах объемом 500 мл при температуре 25-27 °C, освещенности 3000-5000 лк, в дневное время. Тесты с COD, BOD (5 дней) и MPN проводили по стандартной методике (APHA, 1985). Пробы анаэробно сброженных стоков (5 л) были получены на предприятии по очистке жидких стоков «Термакс ЛТД» в Пуне, Индия. Полученную жидкость с помощью фильтровальной бумаги освобождали от взвешенных частиц, затем устанавливали содержание в ней катионов, анионов, тяжелых металлов и общее содержание бактерий (эта процедура повторно проводилась после культивирования *Spirulina* sp. (см. таблицу).

Таблица. Типичный состав анаэробно сброженных сточных вод

Компонент	Концентрация, мг/л
COD	800
BOD	78
Натрий	63,6
Калий	532,8
Кальций	80
Магний	385,4
Хлор	66,9
Нитраты	23,1
Фосфаты	25,6
Сульфаты	40

Для изучения возможности использования *Spirulina* sp. при очистке анаэробно сброженных сточных вод (АСВ) была проведена серия экспериментов. Использовали семь колб, в пяти из них были АСВ. Объем среды в колбах составлял 250 мл при pH  $10 \pm 2$ . Культивирование продолжалось 8 дней. Колбы инкубировали при температуре окружающей среды 25-27 °C. В пять колб серийно

был внесен  $\text{NaHCO}_3$  в концентрации 1-4 и 5%, в остальных двух колбах находились сырые стоки и модифицированная чистая среда CFTRI в качестве контроля. Все эксперименты проводили в двух повторностях.

Была исследована сухая биомасса *Spirulina* sp. Культуральную среду без водорослей анализировали до и после культивирования спирулины, устанавливали количество катионов, анионов и тяжелых металлов, в частности никеля и свинца. Для определения катион-анионного состава использовали «790 Personal Ion Chromatograph», «Metroham Suppressor module» (Швейцария), а для определения содержания тяжелых металлов — спектрофотометр «Perkin Elmer Atomic Absorption Spectrophotometer» (США).

### Результаты и обсуждение

Изучен потенциал роста *Spirulina* sp. в АСВ с добавлением или без добавления бикарбоната натрия. В колбах, где содержалась среда без бикарбоната натрия, рост водоросли был слабым. Внесение бикарбоната натрия в концентрации до 4% усиливало рост штамма *Spirulina*. Максимальный прирост биомассы при этом составлял 1,4 мг/л. На искусственной среде (CFTRI) отмечен меньший прирост биомассы, чем в АСВ, обогащенных 4%  $\text{NaHCO}_3$  (рис. 1). При внесении бикарбоната натрия в концентрации выше 4% заметного прироста биомассы *Spirulina* не наблюдалось.

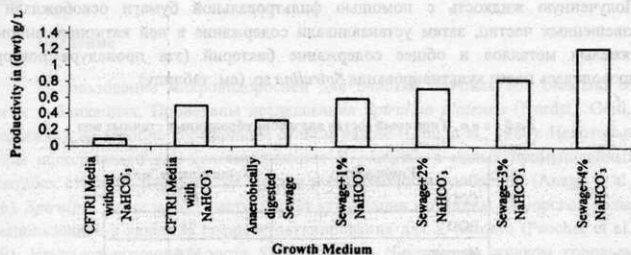


Рис. 1. Потенциал роста *Spirulina* sp. в анаэробно сброженных сточных водах без добавления и с добавлением бикарбоната натрия в разных концентрациях через 8 дней культивирования\*.

Через восемь дней культивирования биомассу водорослей отбирали из колб, а оставшуюся культуральную жидкость подвергали анализу. Как показал химический анализ, из культуральной жидкости были изъяты катионы: калий - 98%, кальций - 96%, магний - 95% и натрий - 90%, а также анионы: хлор - 51%, нитраты - 52%, фосфаты - 76% и сульфаты - 60% (рис. 2). Значительно снизилось и содержание тяжелых металлов в среде: никеля - на 57% и свинца - до 97%.

\* Обозначения на рисунках и список литературы приведены по оригиналу.

Уменьшилось также общее содержание бактерий (рис. 3), возможно, благодаря высокощелочным условиям либо антибактериальным свойствам *Spirulina* sp. Можно предположить, что в процессе роста *Spirulina* sp. выделяет в культуральную среду некоторые соединения, угнетающие или убивающие бактерии. Причины этого явления мы продолжаем исследовать.

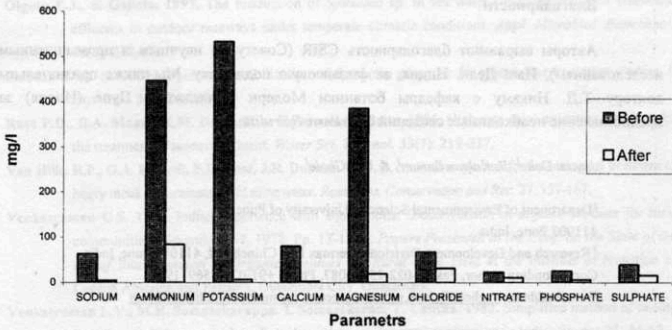


Рис. 2. Химический анализ культуральной жидкости на основе АСВ без добавления и с добавлением бикарбоната натрия в разных концентрациях до и через 8 дней культивирования *Spirulina*.

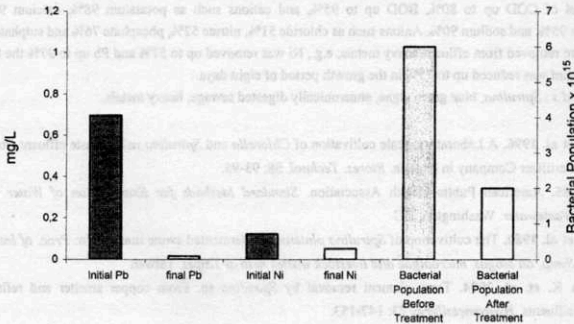


Рис. 3. Концентрация тяжелых металлов в культуральной жидкости на основе АСВ с добавлением бикарбоната натрия в разных концентрациях до и через 8 дней культивирования *Spirulina*.

Результаты нашего исследования свидетельствуют о позитивном влиянии культивирования спирулины на качество анаэробно сброженных сточных вод. Использование в качестве среды культивирования отходов производства и доступность растворимого CO<sub>2</sub> делает массовое культивирование спирулины в АСВ очень перспективным. Полученная таким образом биомасса может использоваться для очистки сточных вод, а также как источник белка в рационе животных и рыб.

#### Благодарности

Авторы выражают благодарность CSIR (Совету по научным и промышленным исследованиям), Нью Дели, Индия, за финансовую поддержку. Мы также признательны доктору Т.Д. Никаму с кафедры ботаники Модерн Колледжа в Пуне (Индия) за предоставление необходимых сведений о штамме *Spirulina*.

Jayant Doke<sup>1</sup>, V. Kalyan Raman<sup>2</sup> & V.S. Ghole<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Sciences, University of Pune,  
411007 Pune, India

<sup>2</sup>Research and Development Division, Thermax Ltd, Chinchwad, 411019 Pune, India  
Corresponding author, Fax 91-022-25690087, Phone +91-022-25691195

E-mail address: vsghole@chem.unipune.ernet.in, jayantdoke@rediffmail.com

#### TREATMENT OF ANAEROBICALLY DIGESTED WASTEWATER USING *SPIRULINA* SP.

*Spirulina* can be cultivated in wastewater to improve water quality. Batch studies were conducted for the treatment of anaerobically digested wastewater (ADW) by using *Spirulina* sp. This study examines the possibility of using *Spirulina* sp. to remove COD, BOD, heavy metals, and bacteria from wastewater. The results showed that the growth of *Spirulina* in ADW was poor, but can be enhanced by the addition of NaHCO<sub>3</sub> up to 4% to 5% as a carbon source, which gives maximum productivity at 1.4 mg/L. It also showed the removal of COD up to 80%, BOD up to 95%, and cations such as potassium 98%, calcium 96%, magnesium 95%, and sodium 90%. Anions such as chloride 51%, nitrate 52%, phosphate 76% and sulphate up to 60% were removed from effluent heavy metals, e.g., Ni was removed up to 57% and Pb up to 97% the total bacterial count was reduced up to 75% in the growth period of eight days.

**Keywords:** *Spirulina*, blue green algae, anaerobically digested sewage, heavy metals.

- Anaga A. et al. 1996. A Laboratory-scale cultivation of *Chlorella* and *Spirulina* using waste effluent from a Fertilizer Company in Nigeria. *Biores. Technol.* 58: 93-95.
- APHA. 1985. American Public Health Association. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. Washington, DC
- Chiu R.J. et al. 1980. The cultivation of *Spirulina platensis* on fermented swine manure. In: *Proc. of Intern. Symp. on biogas, microalgae and livestock wastes held at Taipei*. Taiwan.
- Chojnacka K. et al. 2004. Trace element removal by *Spirulina* sp. From copper smelter and refinery effluents. *Hydrometallurgy* 73: 147-153.
- Conzales-Villanueva R.O. et al. 1995. Chemical composition of cyanobacteria grown in diluted, aerated swine wastewater. *Biores. Technol.* 51: 111-116.
- Dodd J.C. 1979. Algal production and Harvesting from animal wastewaters. *Agricult. Waste. Appl. Sci. Publ. Ltd.* (England) 1.

- Faucher O. et al. 1979. Utilization of Sea water-Urea as a culture medium for *Spirulina maxima*. *Can. J. Microbiol.* 25(6): 752-9.
- Lodi A., L. Binaghi, C. Solisio, A. Converti, M. Del Borghi. 2003. Nitrate and Phosphate removal b *Spirulina platensis*. *J. Industr. Microbiol. Biotechnol.* 30(11): 656-660.
- Lopes Thompson F. et al. 2002. Importance of biofilm for water quality and nourishment in intensive shrimp culture. *Aquaculture* 203: 263-278.
- Martin C., J. Dela Nove, G. Picard. 1985. Intensive Cultivation of freshwater microalgae on Aerated pig manure. *Biomass* 7: 245-59.
- Olguin E.J., S. Galicia. 1997. The Production of *Spirulina* sp. In sea water supplemented with anaerobic effluents in outdoor raceways under temperate climatic conditions. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 48(2): 242-47.
- Patnaik S. et. al. 2001. Alginate Immobilization of *Spirulina platensis* for wastewater treatment. *Indian J. Exp. Biol.* 39: 824-826.
- Rose P.D., B.A. Maart, K.M. Dunn, R.A. Rowswell, P. Britz. 1996. High rate algal oxidation ponding for the treatment of tannery effluent. *Water Sci. Technol.* 33(7): 219-227.
- Van Hille, R.P., G.A. Boshoff, P.D. Rose, J.R. Duncan. 1999. A continuous process for the biological treatment of heavy metal contaminated acid mine water. *Resources, Conservation and Rec.* 27: 157-167.
- Venkatraman G.S. 1978. Indian experience with algal ponds. Bioconversion of organic residues for rural communities, November 1-7, 1978. Pp. 13-15 in: *Papers Presented at the Conf. on the State of the Art of Bioconversion of Organic Residues for Rural Com.* Held at the Institute of Nutrition of Central America and Panama, Guatemala City, Guatemala.
- Venkatraman L.V., M.R. Somasekarappa, I. Somasekeran, T. Lalitha. 1982. Simplified method of raising inoculums of blue green algae *Spirulina platensis* for rural application in India. *Phycos* 21: 56-62.

Поступила 15.09.04

Подписал в печать С.П. Вассер