

# 阿哈湖和洱海沉积物硫酸盐还原菌研究

王明义<sup>1,2</sup>, 张 伟<sup>1</sup>, 梁小兵<sup>1</sup>, 郑娅萍<sup>2</sup>, 赵由之<sup>1</sup>

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 2. 贵阳医学院生物化学与分子生物学教研室, 贵州 贵阳 550002)

**摘要:**采用 MPN 法分析了贵州阿哈湖和云南洱海春秋两个季节沉积物硫酸盐还原菌含量, 结果表明淡水湖泊沉积物硫酸盐还原菌含量低于海洋沉积物; 洱海沉积物硫酸盐还原菌含量低于阿哈湖沉积物, 秋季沉积物硫酸盐还原菌含量高于春季, 且有该类微生物栖息的沉积物深度增加。分析造成硫酸盐还原菌含量发生改变的环境因素可能是沉积物中硫酸根浓度、温度以及有机质的变化。

**关键词:**沉积物; 硫酸盐还原菌; 阿哈湖; 洱海

中图分类号: O69 文献标识码: A 文章编号: 1004-6933(2007)03-0009-02

## Study on sulfate-reducing bacteria in sediments of Aha Lake and Erhai Lake

WANG Ming-yi<sup>1, 2</sup>, ZHANG Wei<sup>1</sup>, LIANG Xiao-bing<sup>1</sup>, ZHENG Ya-ping<sup>2</sup>, ZHAO You-zhi<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Department of Biochemistry and Molecular Biology, Guiyang Medical University, Guiyang 550002, China)

**Abstract:** The concentration of sulfate-reducing bacteria (SRB) in sediments of Aha Lake and Erhai Lake in spring and autumn was analyzed by using MPN technique. Results show that the content of SRB in sediments of fresh lake was lower than that of ocean sediments, and the content of SRB in sediments of Erhai Lake was lower than that of Aha Lake, and the content of SRB in autumn was higher than that in spring. Moreover, the depth of sediments with SRB increased. The environmental factors that cause the change of SRB quantity were probably sulfate concentration, temperature and organic matter.

**Key words:** sediment; sulfate-reducing bacteria; Aha Lake; Erhai Lake

硫酸盐还原菌 (Sulfate-reducing bacterium, SRB) 是一类在代谢过程中可以利用硫酸盐为电子受体并产生高浓度 H<sub>2</sub>S 的严格厌氧菌。该类微生物除了参与硫的生物地球化学循环和有机物厌氧降解等重要的生物地球化学过程<sup>[1-2]</sup>, 还在汞的甲基化、苯类的降解以及铀的转化等环境毒性污染物的生物迁移转化中起着重要的作用<sup>[3-5]</sup>。分析淡水湖泊沉积物中硫酸盐还原菌含量及其时空变化, 可以为局域环境硫循环、酸雨和重金属等环境污染物的迁移转化提供相关的生物学信息。

贵州阿哈湖是一季节性缺氧的中型人工湖, 其集水区域分布有大量的中小煤矿, 每年有大量的酸

性坑废水排入, 水体中 Fe、Mn 和硫酸盐异常富集<sup>[6]</sup>。洱海湖区人口稠密, 旅游业兴旺, 工农业生产发达, 因化石燃料使用量的增加, 洱海湖区大气和水质污染日趋严重<sup>[7]</sup>。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

阿哈湖是位于贵阳市西南的一个底层滞水带季节性缺氧的人工水库。湖水面积 3.4 km<sup>2</sup>, 汇水面积为 190 km<sup>2</sup>, 平均水深 13.2 m, 最大水深 24 m。汇水区域内分布有大小煤矿 200 余个, 大量酸性矿坑废水长期入湖, 且该处为各处水流交汇区域, 具有煤矿废

水与生活污水复合污染的综合特征。

洱海位于云南省大理市北郊,呈北北西-南南东方向狭长状展布,属澜沧江水系。湖水面积 249.8 km<sup>2</sup>,汇水面积 2656 km<sup>2</sup>。平均水深 10.5 m,最大水深 20.9 m。洱海周围岩石、土壤类型较多,大理苍山属变质岩,洱海东面、西面多为石灰岩,但表土以红壤、水稻土和冲积土为主。

### 1.2 样品采集

利用便携式不扰动湖泊沉积物采样器<sup>[8]</sup>分别于 2005 年 4 月和 8 月采集洱海和阿哈湖开阔深水区湖泊沉积物,所采集到的沉积物柱界面水清澈,沉积物保存完好明显未受到扰动。柱芯沉积物按 1 cm 距离分样,以厌氧装置分装,迅速带至实验室处理,整个过程中样品保持厌氧状态。

### 1.3 硫酸盐还原菌培养基<sup>[9]</sup>

乳酸 2.5 mL, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 为 1.0 g, NH<sub>4</sub>Cl 为 1.0 g, CaCl<sub>2</sub> 为 0.1 g, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 为 0.5 g, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 为 0.5 g, 酵母膏 1.0 g, L-半胱氨酸 0.6 g, 0.1% 刃天青 1 mL, FeSO<sub>4</sub> 为 2.5 g。

### 1.4 硫酸盐还原菌含量分析

采用最大或然数 (Most probable number, MPN) 方法<sup>[10]</sup>分析悬浮层至 27 cm 深度沉积物样品中的硫酸盐还原菌含量,32℃ 厌氧条件下培养 21 d, 求出每克样品中所含的硫酸盐还原菌含量。

## 2 结果

春季阿哈湖沉积物从悬浮层至 25 cm 深度均有硫酸盐还原菌的检出,26 cm 和 27 cm 深度无检出。含量为 (0.002 ~ 13.42) 万个/g, 8 cm 深度处达到高峰;秋季阿哈湖沉积物从悬浮层至 26 cm 深度均有硫酸盐还原菌的检出,27 cm 深度无检出。含量为 (0.001 ~ 14.85) 万个/g, 高峰亦在 8 cm 深度处。

春季洱海沉积物从悬浮层至 15 cm 深度均有硫酸盐还原菌的检出,16 cm 至 27 cm 深度无检出。含量为 (0.001 ~ 0.10) 万个/g, 4 cm 深度处达到高峰;秋季洱海沉积物从悬浮层至 25 cm 深度均有硫酸盐还原菌的检出,26 cm 和 27 cm 深度无检出。含量为 (0.002 ~ 3.59) 万个/g, 高峰在 7 cm 深度处 (见图 1)。

原始数据经变量转换后为正态分布且满足方差齐性,采用随机区组设计的方差分析比较阿哈湖和洱海沉积物硫酸盐还原菌含量,结果表明阿哈湖和洱海春季沉积物硫酸盐还原菌之间,阿哈湖和洱海秋季沉积物硫酸盐还原菌含量之间均有统计学差异,可以认为阿哈湖沉积物硫酸盐还原菌含量高于洱海。同时比较春秋两个季节沉积物硫酸盐还原菌含量,春秋阿哈湖沉积物硫酸盐还原菌含量差别无

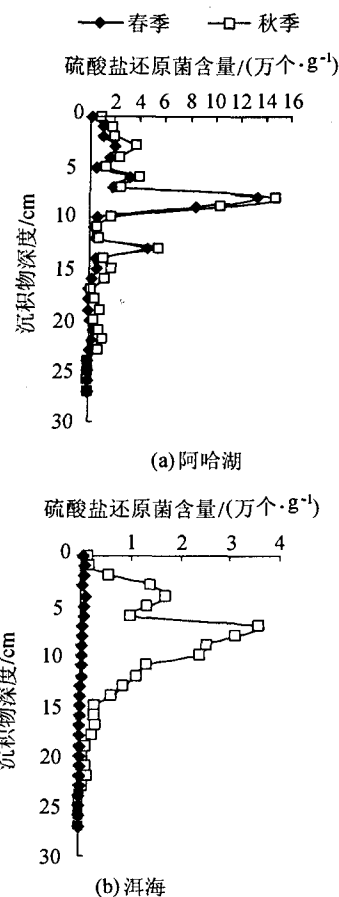


图 1 沉积物硫酸盐还原菌含量的季节变化

统计学意义,而春秋两个季节洱海沉积物硫酸盐还原菌含量不同,秋季显著高于春季,见表 1。阿哈湖与洱海春季沉积物硫酸盐还原菌含量比较  $F = 7.08, P < 0.01$ ;阿哈湖与洱海秋季沉积物硫酸盐还原菌含量比较  $F = 4.53, P < 0.001$ ;阿哈湖春季与秋季沉积物硫酸盐还原菌含量比较  $F = 1.15, P > 0.05$ ;洱海春季与秋季沉积物硫酸盐还原菌含量比较  $F = 18.86, P < 0.001$ 。

表 1 MPN 检测阿哈湖沉积物硫酸盐还原菌含量

含量	万个/g			
	阿哈湖		洱海	
	春季	秋季	春季	秋季
含量	1.50 ± 2.95	2.23 ± 3.27	0.02 ± 0.03	0.85 ± 1.0

## 3 讨论

利用 MPN 法分析,得阿哈湖沉积物硫酸盐还原菌含量为万个/g,洱海沉积物春季含量为 10<sup>2</sup> 个/g,秋季为 10<sup>3</sup> 个/g,文献<sup>[10]</sup>报道海洋沉积物中硫酸盐还原菌含量可达到 10<sup>7</sup> 个/g,淡水湖泊沉积物硫酸盐还原菌含量较海洋沉积物要低。通常认为海洋沉积物由于有较高浓度的硫酸盐,使之硫酸盐还原菌的含量高于湖泊沉积物。阿哈湖沉 (下转第 19 页)

需平衡, 缺水量主要表现在经济效益相对较低的农业用水方面, 通过优化调度, 水资源被充分利用, 生活和生态环境用水都能得到满足; 2008 年将出现缺水危机, 在地下水不允许超采的情况下, 总缺水量 4728 万  $m^3$ , 缺水量都表现在工业和农业方面, 这就要求要加强工农业特别是工业的节水工作, 通过节水和调整产业结构减少对水资源的需求。

### 3 结 语

考虑生态与环境影响, 将生态效益和社会效益量化, 与经济效益一同构成水资源调度模型的目标, 与常规的将生态环境、社会等因素作为约束条件处理的模型相比, 更能体现水资源的可持续利用原则,

(上接第 10 页)

沉积物硫酸盐还原菌含量高于洱海, 这也与阿哈湖沉积物中高浓度的硫酸根离子有关。

阿哈湖和洱海沉积物中硫酸盐还原菌含量的高峰均出现于较浅的深度, 同时当沉积物达到一定深度后硫酸盐还原菌的含量趋于稳定。文献[11]表明硫酸盐还原菌是一类具形态多态性的厌氧菌, 可以利用硫酸盐作为电子受体, 并以有机酸、脂肪酸和乙醇作为电子供体, 沉积物硫酸盐还原菌含量空间分布可能与有机碳、有机氮和硫酸根浓度等因素的空间变化有关。

秋季沉积物中硫酸盐还原菌含量较春季高, 特别是秋季洱海沉积物硫酸盐还原菌含量显著高于春季洱海沉积物, 且阿哈湖和洱海秋季沉积物中硫酸盐还原垂直分布较春季广, 表明秋季洱海沉积物更适合硫酸盐还原菌的生长繁殖。这可能是由于大部分硫酸盐还原菌为中温性细菌<sup>[12]</sup>, 而秋季沉积物温度要高于春季, 同时夏季的大量降水给秋季沉积物带入大量可以供该类微生物利用的有机质。此外, 硫酸盐还原菌属于严格厌氧菌, 而且秋季湖底相对缺氧, 以上诸多因素使秋季更适合硫酸盐还原菌生长繁殖。阿哈湖春秋硫酸还原菌含量变化不明显, 这可能与该湖泊中高浓度的硫酸根离子等理化因素有关。

#### 参考文献:

[1] RUDD J W M, KELLY C A, SCHINDER D W A. Comparison of the acidification efficiencies of by two whole-lake addition experiments [J]. *Limnology and Oceanography*, 1990, 35(3): 663-679.

促进社会经济的可持续发展, 且可根据各地区具体特点, 分别给出各侧重目标的权重, 很方便地制订出指导城市供水调度的决策方案, 具有很强的可操作性。由于不同地区对生态效益、社会效益等的影响因子有差异, 在它们的量化问题上有待进一步探讨。

#### 参考文献:

[1] 齐学斌, 庞鸿宾, 赵辉, 等. 地表水地下水联合调度研究现状及其发展趋势[J]. *水科学进展*, 1999, 10(1): 89-94.  
[2] 胡永宏, 贺思辉. 综合评价方法[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 53-72.  
[3] 康慕谊. 城市生态学与城市环境[M]. 北京: 中国计量出版社, 1997: 142-146.

(收稿日期: 2005-10-24 编辑: 舒建)

[2] KUHL M, JSRGENSEN B B. Microsensor measurements of sulfate reduction and sulfide oxidation in compact microbial communities of aerobic biofilm [J]. *Appl Environ Microbiol*, 1992, 58: 1164-1174.  
[3] EDWARDS E A, WILLS L E, REINHARD M, et al. Anaerobic degradation of toluene and xylene by aquifer microorganisms under sulfate-reducing conditions [J]. *Appl Environ Microbiol*, 1992, 58: 794-800.  
[4] KING J K, KOSTKA J E, FRISCHER M E, et al. Sulfate-reducing bacteria methylate mercury at variable rates in pure culture and in marine sediments [J]. *Appl Environ Microbiol*, 2000, 66: 2430-2437.  
[5] LOVLEY D R, PHILLIPS E J P. Reduction of uranium by *Desulfovibrio desulfuricans* [J]. *Appl Environ Microbiol*, 1992, 58: 850-856.  
[6] 汪福顺, 刘丛强, 梁小兵, 等. 阿哈湖沉积物-水界面硫酸盐还原作用的微生物及其同位素研究 [J]. *第四纪研究*, 2003, 23(5): 20.  
[7] 陈敬安, 万国江, 黄荣贵. 洱海沉积物重金属地球化学相及其污染历史研究[J]. *地质地球化学*, 1998, 26(2): 1-8.  
[8] 王雨春, 黄荣贵, 万国江. SWB-1 型便携式湖泊沉积物-界面水取样器的研制[J]. *地质地球化学*, 1998(1): 94-96.  
[9] LI Fude, HARRIS B, URRUTIA M M, et al. Reduction of Cr (VI) by a consortium of sulfate-reducing bacteria (SRB III) [J]. *Appl Environ Microbiol*, 1994, 60: 375-378.  
[10] 陈皓文. 海洋硫酸盐还原菌及其活动的经济重要性[J]. *黄渤海海洋*, 1998, 16(4): 64-74.  
[11] 马迪根 M T, 马丁克 J M, 帕克 J. 微生物生物学[M]. 杨文博译. 北京: 科学出版社, 2001: 834-838.  
[12] 赵宇华, 叶央芳. 硫酸盐还原菌及其影响因子[J]. *环境污染与防治*, 1997, 19(5): 41-43.

(收稿日期: 2005-05-08 编辑: 舒建)