

高爱国, 陈皓文. 2008. 锰细菌在加拿大海盆、楚科奇海沉积物中的分布 [J]. 环境科学学报, 28(11): 2369–2374

Gao A G Chen H W. 2008. Distribution of manganese bacteria in the sediment cores from the Canada Basin and the Chukchi Sea [J]. Acta Scientiae Circumstantiae 28(11): 2369–2374

锰细菌在加拿大海盆、楚科奇海沉积物中的分布

高爱国^{1 2 3 *}, 陈皓文³

1 厦门大学海洋与环境学院海洋学系, 厦门 361005

2 近海海洋环境科学国家重点实验室, 厦门 361005

3 国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266061

收稿日期: 2007-11-30 修回日期: 2008-05-06 录用日期: 2008-08-18

摘要: 用平板法分别在 4°C 和 25°C 时对北极加拿大海盆和楚科奇海 10 个沉积物岩芯中的锰细菌进行培养, 并测定了检出率和含量。分析结果表明, 4°C 与 25°C 温度下培养的锰细菌含量范围均为 (—) ~ 3.3 × 10⁸ 个 g⁻¹, 锰细菌平均检出率分别为 77.78%、86.03%, 平均含量分别为 5.60 × 10⁶、7.91 × 10⁶ 个 g⁻¹; 该结果高于太平洋深海沉积物中的锰细菌含量, 比北极阿拉斯加淡水湖湖水中的锰细菌含量高 1 个数量级, 比印度洋海岭 Carlsberg Ridge 区热水区海水样品中的锰细菌含量高 3 个数量级, 证实寒冷北极海同样广布锰细菌。对锰细菌在不同水深、经纬度以及沉积物深度中的分布进行了讨论; 结果表明, 锰细菌检出率随沉积物深度的增加而增大, 含量变化呈现浅层少、下层多之势; 纬度分布范围较大, 并显示出扩大的趋势。水深对沉积物中锰细菌也有一定影响。尽管锰细菌对温度有较强的适应能力, 环境温度的升降对本研究区锰细菌具有双重作用。

关键词: 锰细菌; 北极; 加拿大海盆; 楚科奇海; 沉积物岩芯

文章编号: 0253-2468(2008)11-2369-06 中图分类号: X171.5 文献标识码: A

Distribution of manganese bacteria in the sediment cores from the Canada Basin and the Chukchi Sea

GAO Aiguo^{2 3 *}, CHEN Haowen³

1 College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005

2 State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005

3 First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061

Received 30 November 2007; received in revised form 6 May 2008; accepted 18 August 2008

Abstract: The distribution of Manganese bacteria (MnB) in 10 sediment cores from the Canada Basin and the Chukchi Sea were analyzed by the methods of MPN and plate culture. The cores were sliced in 1 cm intervals from 0 ~ 10 cm and at 2 cm intervals below 10 cm on board as subsamples. Retrieval ability of MnB cultivated in both 4°C and 25°C ranged from non-detectable levels (ND) to 3.3 × 10⁸ CFU g⁻¹ of wet sample. The occurrence percentages and average numbers of MnB cultivated at 4°C and 25°C were 77.78%, 5.60 × 10⁶ CFU g⁻¹ wet samples and 86.03%, 7.91 × 10⁶ CFU g⁻¹ wet samples respectively. The contents of MnB in sediment cores were higher than those in sediment from the deep Pacific Ocean or in water from Alaska Lake similar to the results reported in water from the Carlsberg Ridge in the Indian Ocean. The result showed that a tendency of the MnB content increasing from low latitude to high latitude or from the shallower continental shelf to deeper basin in the south of 78°N. From the surface to deeper sediment, the content of MnB in sediment changed irregularly depending on the sedimentary environment. It seems that the variability of MnB content was larger at 25°C than at 4°C.

Keywords: manganese bacteria; The Arctic Sea; The Canada Basin; The Chukchi Sea; sediment core

1 引言 (Introduction)

锰是元素地球化学循环的一个活跃组分, 它通过氧化还原状态的改变, 可在溶液-固体界面发生迁移, 同时通过对环境物理化学条件的影响以及吸附-解吸作用而影响其它元素的地球化学循环, 是元素

地球化学中研究较多的一个元素。在海洋中, 锰的地球化学行为包括锰离子的氧化、还原、迁移、富集、沉淀, 乃至形成结核或结壳等成矿作用; 它不仅与物理、化学过程有关, 且与生物过程也有关, 包括一些微生物参与的过程 (Chapnick 1982, Emerson et al. 1982, Sunda et al., 1990, 阎葆瑞等, 1992

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 40576060, 40376017, 40176017)

Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 40576060, 40376017, 40176017)

作者简介: 高爱国 (1959—), 男, 研究员 (博士), E-mail: agao@xmu.edu.cn * 通讯作者 (责任作者)

Biography: GAO Aiguo (1959—), male, Professor Ph.D., E-mail: agao@xmu.edu.cn * Corresponding author

Moffett et al., 1996; Francis et al. 2001; 2002). 这些能够参与锰地球化学行为的细菌被统称为锰细菌, 其大多指能氧化 Mn^{2+} 为 Mn^{4+} 的细菌; 锰细菌并不是分类学上的概念, 而是具有能氧化锰这一属性的细菌, 隶属于不同的科、属 (翁酥颖等, 1985). 人们对大洋底部富含 Mn、Fe、C 等的多金属结核的不倦探索, 以及利用自大洋分离出来的锰细菌去开发富集锰矿资源和治理环境锰污染的愿望, 进一步激发着对这类细菌的研究 (Mandemack et al., 1995; 胡文宣等, 1999; Villalobos et al., 2003; Loy et al., 2005; Toner et al., 2005; 田美娟等, 2006). 目前, 人们已认识到锰细菌是环境中介导 $Mn(II)$ 氧化作用的最重要因子 (Johnston et al., 1988; Francis et al., 2001). 早在 1913 年 Beijerinck 就报道了对锰细菌的研究. 自 1966 年 Ehrlich 从海洋中分离出锰细菌以来, 相关研究不断出现, 包括对太平洋、大西洋、波罗的海、北极湖泊等环境中的锰细菌丰度、作用、与生态关系、环境等方面 (Rosson et al., 1982; 史君贤等, 1996; 1998). 对东地中海的研究表明, 气候变化对深海细菌及底栖群落已产生影响 (Danovaro et al., 2001). 深海生态系统对气候变化响应较敏感, 但北冰洋锰细菌的研究尚未见诸报道. 北冰洋虽处地球严寒区域, 但据现有微生物资料可知, 那里的微生物活动仍较为活跃, 甚至不亚于中低纬度海区. 在全球变暖过程中, 作为对全球变化敏感的北极地区, 它正发生着明显的环境变化. 因而对北极海洋沉积物中的锰细菌含量及分布状况进行估测、探讨锰细菌在元素地球化学循环及全球变化中的作用就具有一定意义. 本研究中就北极加拿大海盆与楚科奇海沉积物的锰细菌作初步

探索, 旨在促进相关研究的深入开展.

2 材料与方法 (Materials and methods)

2.1 样品的采集与保存

2003 年 7 月 ~9 月中国第 2 次北极科考期间在“雪龙号”船上完成样品采集, 共采集了 10 个岩芯的沉积物样品. 研究区概况、采样站位图、采样方法等请参见文献 (高爱国等, 2008).

2.2 实验室分析

2004 年 1 月对所采集沉积物中的微生物样品, 先按培养要求逐步稀释至 10^{-6} 液体培养基中, 以确保锰细菌的生长, 再选择合适的稀释度以 0.1 mL 涂布到锰细菌培养基平板上, 该培养基成分见史君贤等 (1998) 所述. 接种好的平板分别于 4°C 和 25°C 下培养 3 周以上, 期间定期观察菌落生成及其色泽情况, 最终以褐色菌落为锰细菌菌落, 计算其 CFU 并按稀释度换算为单位沉积物 (湿重) 的 CFU 即: 个 $\text{CFU} \cdot \text{g}^{-1}$ (湿重) (简写为个 $\cdot \text{g}^{-1}$, 下同); 并以此与所测沉积物的层位、水深、经纬度等地理位置资料进行分析.

3 结果 (Results)

3.1 各岩芯中锰细菌检出率和含量状况

对 180 个样品的分析结果表明, 4°C 与 25°C 温度时培养的锰细菌含量范围均为 $(-)$ ~ 3.3×10^8 个 $\cdot \text{g}^{-1}$. 平均含量分别为 5.61×10^6 个 $\cdot \text{g}^{-1}$ 和 7.91×10^6 个 $\cdot \text{g}^{-1}$, 样本总体的标准偏差分别为 2.93×10^7 、 3.24×10^7 , 检出率为 77.78% 和 86.03%.

表 1 为 4°C 和 25°C 下培养时各岩芯锰细菌检出

表 1 加拿大海盆与楚科奇海沉积物岩芯中锰细菌测定结果

Table 1 Occurrence percentages and contents of MnB from the sediment cores

站位	岩芯深 / cm	4°C				25°C			
		样品数	最大值 / (个 $\cdot \text{g}^{-1}$)	平均值 / (个 $\cdot \text{g}^{-1}$)	检出率	样品数	最大值 / (个 $\cdot \text{g}^{-1}$)	平均值 / (个 $\cdot \text{g}^{-1}$)	检出率
R6	12	10	1.00×10^6	1.06×10^6	50.00%	10	2.00×10^6	2.96×10^6	60.00%
C19	22	16	3.00×10^7	2.12×10^6	62.50%	16	1.60×10^8	1.09×10^7	75.00%
S11	28	19	1.00×10^6	7.47×10^4	73.68%	18	1.00×10^6	8.04×10^4	83.33%
S16	28	19	1.00×10^6	5.78×10^6	94.74%	19	1.30×10^8	8.11×10^6	100.0%
S26	26	18	1.50×10^7	1.57×10^6	88.89%	18	4.00×10^7	4.89×10^6	100.0%
P11	38	21	3.30×10^8	2.70×10^7	90.48%	21	3.30×10^8	2.70×10^7	90.48%
M1	36	20	1.15×10^7	1.40×10^6	90.00%	20	1.15×10^7	2.32×10^6	95.00%
P24	28	19	1.61×10^7	1.48×10^6	94.74%	19	1.61×10^7	1.52×10^6	89.47%
B77	22	14	1.71×10^6	3.01×10^4	35.71%	14	1.60×10^7	1.17×10^6	42.86%
B80	38	24	9.00×10^7	8.82×10^6	70.83%	24	9.20×10^7	1.41×10^7	95.83%
小计		180		4.83×10^6	75.16%	179		7.03×10^6	83.20%

注: 25°C 条件下缺 S1 站 3~4 cm 层样, 下同; 4°C 时最小值均为 $(-)$ (未检出, 下同); 25°C 时 S6、S26 最小值分别为 1.58×10^4 个 $\cdot \text{g}^{-1}$ 和

2.60×10^2 个 $\cdot \text{g}^{-1}$, 其余均为 $(-)$.

率和含量状况. 4°C培养条件下各岩芯锰细菌的检出率范围为 35.71%~94.74%, 各岩芯平均检出率为 75.16%; 平均含量范围为 $3.01 \times 10^4 \sim 2.70 \times 10^7$ 个 g^{-1} , 最低值出现在 B77 站 (9 层未检出), 次低为 B80 站 (7 层), 最高值见于 P11 站. 25°C 培养条件下各岩芯锰细菌的检出率范围为 42.86%~100%, 各岩芯平均检出率为 83.20%; 平均含量范围为 $8.04 \times 10^4 \sim 2.70 \times 10^7$ 个 g^{-1} , 最低值出现在 S11 站, 最高值出现于 P11 站, 与 4°C 培养时间同.

3.2 各层位中锰细菌检出结果

岩芯各层位中锰细菌检出率和含量状况见表 2. 各层位中锰细菌的出现几率和含量呈不均匀分布, 对温度的响应也不一致. 结果表明, 温度的适当提高可促使锰细菌含量提升, 但在部分测点上温度提高可减少锰细菌的检出率; 这也许意味着尽管从总体看 2 种温度培养时检出率基本一致, 但一些锰细菌, 尤其是嗜冷菌会因不适应温度的提高而死去.

表 2 加拿大海盆与楚科奇海沉积物层位间锰细菌检出率与含量

Table 2 Occurrence Percentages and contents of MnB from different depths in the sediment cores

层位 / m	样品数	4°C				25°C			
		最小值 / (个 g^{-1})	最大值 / (个 g^{-1})	平均值 / (个 g^{-1})	检出率	最小值 / (个 g^{-1})	最大值 / (个 g^{-1})	平均值 / (个 g^{-1})	检出率
0~1	8	3.00×10^2	2.00×10^6	2.84×10^5	100.00%	8.80×10^3	1.40×10^7	1.80×10^6	100.00%
1~2	10	(—)	1.00×10^6	1.45×10^5	80.00%	(—)	1.08×10^6	2.73×10^5	90.00%
2~3	10	(—)	3.00×10^6	4.46×10^5	60.00%	(—)	3.00×10^7	3.50×10^6	80.00%
3~4	10*	(—)	1.00×10^6	1.33×10^5	60.00%	(—)	8.00×10^6	1.14×10^6	66.67%
4~5	10	(—)	1.50×10^7	1.67×10^6	60.00%	(—)	3.40×10^7	4.58×10^6	70.00%
5~6	10	(—)	3.00×10^7	4.07×10^6	70.00%	(—)	1.60×10^8	2.01×10^7	80.00%
6~7	10	(—)	9.40×10^6	1.04×10^6	70.00%	(—)	9.40×10^6	1.23×10^6	80.00%
7~8	10	(—)	3.30×10^8	3.35×10^7	90.00%	(—)	3.30×10^8	3.68×10^7	90.00%
8~9	10	(—)	3.20×10^6	4.20×10^5	80.00%	(—)	3.20×10^6	4.33×10^5	90.00%
9~10	10	(—)	1.00×10^7	1.03×10^6	80.00%	(—)	1.00×10^7	1.06×10^6	90.00%
10~12	10	(—)	1.61×10^7	2.13×10^6	70.00%	(—)	3.00×10^7	5.13×10^6	90.00%
12~14	9	(—)	7.80×10^7	9.41×10^6	77.78%	(—)	7.80×10^7	9.43×10^6	77.78%
14~16	9	(—)	1.15×10^7	1.44×10^6	77.78%	(—)	1.60×10^7	3.30×10^6	88.89%
16~18	9	(—)	5.70×10^6	8.18×10^5	66.67%	(—)	5.70×10^6	9.65×10^5	77.78%
18~20	9	1.00×10^3	2.00×10^6	5.04×10^5	100.00%	4.00×10^3	2.00×10^6	5.43×10^5	100.00%
20~22	7	(—)	1.00×10^8	1.49×10^7	85.71%	(—)	1.30×10^8	2.03×10^7	85.71%
22~24	7	(—)	9.00×10^7	1.30×10^7	85.71%	4.60×10^3	9.20×10^7	1.47×10^7	100.00%
24~26	6	(—)	3.70×10^7	6.29×10^6	66.67%	(—)	3.20×10^7	5.62×10^6	66.67%
26~28	5	(—)	1.32×10^5	7.30×10^4	80.00%	2.90×10^4	9.10×10^6	1.90×10^6	100.00%
28~30	3	1.72×10^3	1.67×10^6	8.91×10^5	100.00%	1.72×10^3	7.00×10^6	2.89×10^6	100.00%
30~32	2	3.00×10^3	1.40×10^8	7.00×10^7	100.00%	8.30×10^4	1.40×10^8	7.00×10^7	100.00%
32~34	2	1.20×10^6	4.00×10^6	2.60×10^6	100.00%	1.20×10^6	2.40×10^7	1.26×10^7	100.00%
34~36	2	3.10×10^3	6.00×10^7	3.00×10^7	100.00%	6.60×10^3	6.00×10^7	3.00×10^7	100.00%
36~38	2	3.20×10^4	1.04×10^7	5.22×10^6	100.00%	5.80×10^4	1.04×10^7	5.23×10^6	100.00%
层平均				8.33×10^6	81.68%			1.08×10^7	88.48%

* 25°C 时样品数为 9 个.

3.3 沉积物不同层位间锰细菌的检出率与含量

从表 2 中可看出 2 种培养温度中得出的锰细菌含量的垂直分布趋势. 4°C 培养时未检出样品 40 个, 各层的检出率范围为 60.00%~100%, 各层平均为 81.68%; 未检出样均不出现于表层或底层, 表、底层检出率均为 100%, 有 7 个层位的检出率为 100%,

占有层位数的 29.2%. 锰细菌含量最高值 (3.30×10^8 个 g^{-1})、次高值 (1.40×10^8 个 g^{-1}) 分别出现于 P11 站 7~8 m 层和 30~33 m 层. 各层锰细菌平均含量范围为 $7.30 \times 10^4 \sim 7.00 \times 10^7$ 个 g^{-1} . 若将所有层位以 8 层为一段分为上、中、下 3 段, 可得出 0~8 m、8~22 m、22~38 m 3 段的锰细菌平均检出

率分别为 73.08%、79.45%和 86.21%，平均含量分别为 5.28×10^6 、 3.42×10^6 和 1.20×10^7 个 g^{-1} 。这表明，尽管一些次表层的检出率很低，但总的趋势是锰细菌的检出率随沉积物深度增加呈增高之势，而锰细菌含量则显上段高、中段偏低，下段最高之势。

25℃培养时未检出样品 25个，各层位检出率范围为 66.67% ~ 100%，各层平均为 88.48%，在 24个层位中有 15个层位未检出。锰细菌检出率最低的层位是 3~4 m，全检出的层位出现于 0~1 m、18~20 m、22~24 m以及 26~38 m中。锰细菌含量最高值和次高值出现的站号、层位与 4℃时相同，平均含量范围为 2.73×10^5 ~ 7.00×10^7 个 g^{-1} ；以 30~32 m层为最高，最低值则出现于 1~2 m层，即次底层最高，次表层最低，两者相差 2个数量级。按上、中、下 3段（同上）统计，锰细菌检出率分别为 81.82%、87.67%和 93.10%，显出随深度增加而增大的趋势；而锰细菌平均含量分别为 8.95×10^6 、 4.61×10^6 和 1.35×10^7 个 g^{-1} ，与 4℃时一致，呈上段高、中段偏低，下段最高之势，这与深部二价锰较多、中层段的锰细菌含量最少相一致。

综上所述，锰细菌检出率随沉积物深度的增加而提高，而锰细菌含量在层位间的分布大体上呈现出下层高、上层次高、中层偏低之势。这可能受早期成岩过程中沉积物氧化还原体系的垂直分带制约，取决于体系中有机质及各种电子供体与受体的含量、氧化还原电位的变化等因素，其机理有待进一步的研究。培养温度的差异并未对其含量的层位分布趋势有明显作用，只是温度的提高，增加了锰细菌含量。

4 讨论 (Discussion)

4.1 与其它海区比较

史君贤等 (1998)在太平洋铁锰结核区海洋沉积物中进行的锰细菌调查结果表明，在远离大陆的

太平洋深海底部沉积物中锰细菌含量范围为未检出 ~ 3900个 g^{-1} ，比该处沉积物上覆水中的未检出 ~ 160个 mL^{-1} 高 25倍，但比本研究中所获得的结果明显要低。Johnston (1988)对北极阿拉斯加 Toolik湖，及 Chapnick等 (1982)对 Oneida湖水中的锰细菌调查结果表明，2个湖水中锰氧化菌在 10^4 ~ 10^5 CFU mL^{-1} ，而 Fernandes等 (2006)对印度洋海岭 Carlsberg Ridge区热水区附近采得的海水样品分析，结果表明，锰细菌含量范围为未检出 ~ 3.21×10^3 CFU mL^{-1} ，略低于 Johnston (1998)等的观察值；造成这种差异的原因可能主要与物质供给的影响和较大的静水压力有关。由史君贤等 (1998)的研究结果以及微生物生态研究经验可知，在沉积物中锰细菌的含量一般要比水体中的高。相比之下，考虑水深及物质供应条件等差异，本研究所获得的锰细菌范围为 (—) ~ 3.30×10^7 个 g^{-1} 应是较为客观的。以上结果也表明，研究区沉积物中锰细菌含量不低于中、低纬度海区。

4.2 沉积物所在纬度、经度对锰细菌检出率及含量的影响

将研究区按纬度划为 4个纬度区，即 $66^\circ \sim 70^\circ N$ 、 $70^\circ \sim 74^\circ N$ 、 $74^\circ \sim 78^\circ N$ 和 $> 78^\circ N$ 4个区，分别比较锰细菌 2指标状况 (表 3)。在 4℃和 25℃条件下培养时，锰细菌的检出率和含量基本上呈随纬度增高而增高，然后变化趋缓。纬度高于 $78^\circ N$ 后又降低，这可能与水深增加有关。显然纬度增高、温度降低这 2个因素由于受巨厚水体的缓冲，没有对锰细菌分布产生多少负面影响。在这里主要表现为生存环境的稳定性与物质供应的可利用性及巨大的静水压力的影响。这表明，锰细菌在纬度上的分布区间可能相当广泛，而温度的提高可能有助于它们中部分成员分布范围的缓慢扩大化，这暗示气温的变暖对当地原有遗传保护性强的物种的影响是一个渐进而深刻的过程。

表 3 北极加拿大海盆与楚科奇海沉积物锰细菌检出率和含量在纬度区间的比较*

Table 3 Comparison of MnB content along the latitudinal gradient in the Chukchi Sea and the Canada Basin

纬度 (N)	站号	样品数	4℃			25℃		
			最大值 / (个 · g ⁻¹)	平均值 / (个 · g ⁻¹)	检出率	最大值 / (个 · g ⁻¹)	平均值 / (个 · g ⁻¹)	检出率
66° ~ 70°	R06	10	1.00×10^6	1.06×10^5	50.00%	2.00×10^6	2.96×10^5	60.00%
70° ~ 74°	C19, S11, S16, S26	72**	1.00×10^8	2.41×10^6	80.56%	1.60×10^8	5.89×10^6	90.14%
74° ~ 78°	M1, P11, P24	60	3.30×10^8	1.04×10^7	91.67%	3.30×10^8	1.07×10^7	91.67%
> 78°	B77, B80	38	9.00×10^7	5.58×10^6	57.89%	9.20×10^7	9.31×10^6	76.32%

*最小值均为 (—)；** 25℃时样品数为 71个。

将研究区按经度划为 5 个区间, 各经度区间锰细菌的分布见表 4. 在 2 种培养温度时锰细菌的检

出率和含量基本上随经度呈不规则变化, 东西差异不明显.

表 4 不同经度区间柱状沉积物中锰细菌含量指标*

Table 4 Comparison of MnB content along the longitudinal gradient in the Chukchi Sea and the Canada Basin

经度 (W)	站号	样品数	4°C			25°C		
			最大值 / (个·g ⁻¹)	平均值 / (个·g ⁻¹)	检出率	最大值 / (个·g ⁻¹)	平均值 / (个·g ⁻¹)	检出率
145°~150°	B77, B80	38	9.00×10 ⁷	5.58×10 ⁶	57.89%	9.20×10 ⁷	9.31×10 ⁶	76.32%
150°~155°	S26	18	1.50×10 ⁷	1.57×10 ⁶	88.89%	4.00×10 ⁷	4.89×10 ⁶	100.00%
155°~160°	P24, S11, S16	57**	1.00×10 ⁸	2.45×10 ⁶	87.72%	1.30×10 ⁸	3.29×10 ⁶	89.29%
160°~165°	C19	16	3.00×10 ⁷	2.12×10 ⁶	62.50%	1.60×10 ⁸	1.09×10 ⁷	75.00%
165°~170°	M1, P11, R06	51	3.30×10 ⁸	1.17×10 ⁷	82.35%	3.30×10 ⁸	1.21×10 ⁷	86.27%

注: * 除 25°C 时 150°~155°W 最小值为 260 个·g⁻¹ 外, 其余均为 (-); ** 25°C 时样品数为 56 个.

4.3 水深对沉积物锰细菌检出率及含量的影响

按取样站位的不同水深范围比较锰细菌分布(表 5), 2 种培养温度下检出率均显示随着水深度的增加而呈低→高→更高→趋低的变化, 而含量则随水深加大呈跳跃式变化. 较深水环境下, 沉积物

中锰细菌能具有较高的检出率和数量. 这可能是由于较深的水下环境使沉积物中锰细菌有了一定的适应性, 但离陆距离的增加又会在物质供应上对其生存产生制约, 相关研究尚待深入.

表 5 北极加拿大海盆与楚科奇海沉积物锰细菌在不同水深区间的比较*

Table 5 Comparison of MnB content among different water depth in the Chukchi Sea and the Canada Basin

水深 /m	站号	样品数	4°C			25°C		
			最大值 / (个·g ⁻¹)	平均值 / (个·g ⁻¹)	检出率	最大值 / (个·g ⁻¹)	平均值 / (个·g ⁻¹)	检出率
41~55	C19, R06, S11	45**	3.00×10 ⁷	8.09×10 ⁵	64.44%	1.60×10 ⁸	4.07×10 ⁶	75.00%
175~561	P11	21	3.30×10 ⁸	2.70×10 ⁷	90.48%	3.30×10 ⁸	2.70×10 ⁷	90.48%
1456~2200	M1, P24	39	1.61×10 ⁷	1.44×10 ⁶	92.31%	1.61×10 ⁷	1.93×10 ⁶	92.31%
3000~3850	S16, S26, B77, B80	75	1.00×10 ⁸	4.67×10 ⁶	74.67%	1.30×10 ⁸	7.94×10 ⁶	86.67%

注: * 最小值均为 (-); ** 25°C 时样品数为 44 个.

4.4 环境温度对锰细菌检出率及含量的影响

初步的温度试验结果显示, 锰细菌对温度有一定的适应能力, 不管其出现机率或者是含量均如此. 本研究及其它研究结果显示, 在锰细菌的生长温度范围内, 温度的提高大多可提升锰细菌的检出率和含量, 这意味着环境温度是影响锰细菌在北冰洋沉积物中分布的重要因子. 温度的持续提高可能激发原本受压抑的部分中温锰细菌的复苏且增强其活力, 也可能提高部分嗜冷锰细菌对增温的逐步适应, 从而提高或加速锰的氧化迁移速率; 但是, 同时也会加速对仅适于低温的锰细菌的死亡.

本研究启示我们, 温度对北冰洋锰细菌的影响是正反两方面的, 暗示气候的全球变暖无疑已对土著的锰细菌产生了一定的影响, 尽管它们有较强的适应能力, 但温度变化产生的生态影响是长期的、严重的, 而且这种后果对环境及人类社会的影响也

是难以预料的, 十分令人担忧.

5 结论 (Conclusion)

1) 在北冰洋海底沉积物中不仅有锰细菌的存在而且还具有较高的丰度, 表明它们能生存于寒冷深水之下的沉积物中, 进一步证实了锰细菌较宽泛的适应性.

2) 在研究区所测定的沉积物样品中, 在 2 种培养温度下 锰细菌检出率为 81.91%, 含量范围为 (-)~3.30×10⁸ 个·g⁻¹, 平均含量在 6.76×10⁶ 个·g⁻¹ 左右.

3) 在锰细菌的生长温度范围内, 温度的提高大多可提升锰细菌的检出率和含量, 这意味着环境温度是影响锰细菌在北冰洋沉积物中分布的重要因子.

4) 在沉积物中, 锰细菌检出率有随深度增加而

提高的趋势,这可能与早期成岩过程中沉积物氧化还原体系的垂直分带有关。

5)在一定水深范围内,随着水深的增大,锰细菌的检出率和含量均有相应的增加,表现出一定的适应力;但若上覆水体太深,又会影响到营养物质的供应及细菌耐高压特性。

6)锰细菌在纬度上的变化表明,其分布范围较大,而且有扩大的趋势。

责任作者简介:高爱国(1959—)男,博士,研究员,主要从事生物地球化学等研究。

References

- Chapnick S D, Moore W S, Nealson K H. 1982. Microbially mediated manganese oxidation in a freshwater lake [J]. *Limnology and Oceanography* 27: 1004—1014
- Danovaro R, Dell'Anno A, Fabiano M, et al. 2001. Deep-sea ecosystem response to climate changes: the eastern Mediterranean case study [J]. *Trends in Ecology & Evolution* 16(9): 505—510
- Ehrlich H L. 1966. Reactions with manganese by bacteria from marine ferromanganese nodules [J]. *Developments in Industrial Microbiology* 7: 279—286
- Emerson S, Kalliom S, Jacobs L, et al. 1982. Environmental oxidation rate of manganese (II): bacterial catalysis [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 46(6): 1073—1079
- Fernandes S Q, Krishnan K P, Khedekar V D, et al. 2006. Manganese oxidation by bacterial isolates from the Indian Ridge System [R]. Annual Report (2005—2006). Goa: National Institute of Oceanography, India: 38—39
- Francis C A, Tebo B M. 2002. Enzymatic Manganese(II) Oxidation by Metabolically Dominant Spores of Diverse Bacillus Species [J]. *Applied and Environmental Microbiology* 68(2): 874—880
- Francis C A, Co E M, Tebo B M. 2001. Enzymatic manganese (II) oxidation by a marine α -Proteo bacterium [J]. *Applied and Environmental Microbiology* 67(9): 4024—4029
- Gao A G, Chen H W, Lin X Z. 2008. Study on Sulfate Reducing Bacteria in core sediment from the Canada Basin and Chukchi Sea [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae* 28(5): 1014—1020 (in Chinese)
- Hu W X, Zhou H Y, Gu L X. 1999. New evidence of ferromanganese nodules forming by microbes in deep sea [J]. *Science in China (Series D)* 29(4): 362—367 (in Chinese)
- Johanson C G, Kipphut G W. 1988. Microbially mediated Mn(II) oxidation in an oligotrophic Arctic Lake [J]. *Applied and Environmental Microbiology* 54(6): 1440—1445
- Loy A, Beisker W, Meier H. 2005. Diversity of Bacteria Growing in Natural Mineral Water after Bottling [J]. *Applied and Environmental Microbiology* 71(7): 3624—3632
- Mandemack K W, Post J, Tebo B M. 1995. Manganese mineral formation by bacterial spores of the marine Bacillus strain SG-1: Evidence for the direct oxidation of Mn(II) to Mn(IV) [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59(21): 4393—4408
- Moffett J W, Ho J. 1996. Oxidation of cobalt and manganese in seawater via a common microbially catalyzed pathway [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60(18): 3415—3424
- Rosson R A, Nealson K H. 1982. Manganese binding and oxidation by spores of marine bacillus [J]. *Journal of Bacteriology* 151: 1027—1034
- Shi J X, Chen Z Y, Yang X F, et al. 1998. A study on bacterial abundance and its mineralization in iron-manganese nodule area of The Eastern Pacific Ocean [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica* 29(5): 458—466 (in Chinese)
- Shi J X, Chen Z Y. 1996. Transference of manganese bacteria to the metallic ions of iron-manganese [J]. *Acta Oceanologica Sinica* 18(4): 85—89 (in Chinese)
- Sunda W G, Huntsman S A. 1990. Diel cycles in microbial manganese oxidation and manganese redox speciation in coastal waters of the Bahama Islands [J]. *Limnology and Oceanography* 35(2): 325—338
- Tian M J, Shao Z Z. 2006. Isolation and Characterization of Manganese resistant bacteria from deep sea sediments [J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)* 45(S1): 272—276 (in Chinese)
- Toner B, Fakra S, Villalobos M, et al. 2005. Spatially resolved characterization of biogenic manganese oxide production within a bacterial biofilm [J]. *Applied and Environmental Microbiology* 71(3): 1300—1310
- Villalobos M, Toner B, Bargar J, et al. 2003. Characterization of the manganese oxide produced by pseudomonas putida strain MnB1 [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 67(14): 2649—2662
- Weng S Y, Qi B J, Shi J L, et al. 1985. Environmental Microbiology [M]. Beijing: Science Press: 69—81 (in Chinese)
- Yan B R, Zhang S, Hu D H. 1992. Genetic relation between microbial activity and the formation of polymetallic concretions in the central Pacific ocean [J]. *Acta Geologica Sinica* 66(2): 123—134 (in Chinese)

中文参考文献

- 高爱国, 陈皓文, 林学政. 2008. 加拿大海盆与楚科奇海柱状沉积物中硫酸盐还原菌分布状况 [J]. *环境科学学报*, 28(5): 1014—1020
- 胡文宣, 周怀阳, 顾连兴. 1999. 深海铁锰结核微生物成因新证据 [J]. *中国科学(D辑)*, 29(4): 362—367
- 史君贤, 陈忠元. 1996. 锰细菌对锰铁金属离子的转移作用 [J]. *海洋学报*, 18(4): 85—89
- 史君贤, 陈忠元, 杨秀芳. 1998. 东太平洋铁锰结核区微生物的丰度及其成矿作用研究 [J]. *海洋与湖泊*, 29(5): 458—466
- 田美娟, 邵宗泽. 2006. 深海抗锰细菌的分离鉴定 [J]. *厦门大学学报*, 45(S1): 272—276
- 翁毓颖, 戚静蓀, 史家樑, 等. 1985. 环境微生物学 [M]. 北京: 科学出版社, 69—81
- 阎葆瑞, 张胜, 胡大春. 1992. 太平洋中部微生物与多金属结合的生长关系 [J]. *地质学报*, 66(2): 123—134