

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的分布状况 [J]. 环境科学学报, 28(5): 1014-1020  
Gao A G, Chen H W, Lin X Z. 2008. Sulphate reducing bacteria in core sediments from the Canada Basin and the Chukchi Sea [J]. Acta Scientiae Circumstantiae 28(5): 1014-1020

# 加拿大海盆与楚科奇海柱状沉积物中硫酸盐还原菌的分布状况

高爱国<sup>1,2\*</sup>, 陈皓文<sup>2</sup>, 林学政<sup>2</sup>

1 国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266061

2 厦门大学海洋与环境学院, 厦门 361005

收稿日期: 2007-03-26 修回日期: 2007-07-03 录用日期: 2008-01-24

**摘要:** 对取自北极楚科奇海及加拿大海盆的 10 个沉积物岩芯分别在 4℃、25℃ 培养温度下进行硫酸盐还原菌 (SRB) 分析, 结合首次北极科考海洋沉积物 SRB 的研究成果, 探讨了研究区 SRB 的分布特点. 研究表明, 4℃ 与 25℃ 温度培养的 SRB 含量均为  $0 \sim 2.4 \times 10^6$  个  $\cdot$   $g^{-1}$  (湿样); 4℃ 时 SRB 的检出率与平均含量分别为 45.3% 和  $2.06 \times 10^4$  个  $\cdot$   $g^{-1}$  (湿样), 25℃ 培养条件下分别为 73.7% 和  $4.70 \times 10^4$  个  $\cdot$   $g^{-1}$  (湿样); 柱状沉积物中 SRB 的检出率、含量范围、平均含量都明显高于表层沉积物中 SRB 的相关指标; 岩芯中 SRB 含量分布与采样点的纬度、深度有一定关系, 但这种关系不如表层沉积物中 SRB 分布表现的那么明显; 4℃ 培养时, 各层位 SRB 含量的平均值范围为  $51 \sim 1.2 \times 10^6$  个  $\cdot$   $g^{-1}$  (湿样), 25℃ 时为  $2.04 \times 10^2 \sim 2.47 \times 10^5$  个  $\cdot$   $g^{-1}$  (湿样); 在所研究的深度范围内, 4℃ 时培养 SRB 的垂直变化较为明显, 而 25℃ 时 SRB 的垂直变化相对缓和; 根据 4℃、25℃ 2 个不同培养温度时 SRB 的检出率、含量对比看, 似乎 25℃ 时更有利于某些 SRB 的繁衍.

**关键词:** 加拿大海盆; 楚科奇海; 柱状沉积物; 硫酸盐还原菌

文章编号: 0253-2468(2008)05-1014-07 中图分类号: X172 文献标识码: A

## Sulphate reducing bacteria in core sediments from the Canada Basin and the Chukchi Sea

GAO Aiguo<sup>1,2\*</sup>, CHEN Haowen<sup>2</sup>, LIN Xuezheng<sup>2</sup>

1 First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061

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

Received 26 March 2007, received in revised form 3 July 2007, accepted 24 January 2008

**Abstract** Ten sediment core samples (water depth from 50~3850 m) were collected in the Canada Basin and the Chukchi Sea during the Second Chinese National Arctic Research Expedition. Each core was sliced on board at 1 cm intervals from 0~10 cm and at 2 cm intervals below 10 cm as subsamples, the content of sulfate reducing bacteria (SRB) of these subsamples were analyzed by MPN (Most Probable Number) method. The contents of SRB cultivated at both 4℃ and 25℃ ranged from 0 to  $2.4 \times 10^6$  cell  $\cdot$   $g^{-1}$  wet sample and the average SRB cultivated at 4℃ and 25℃ were  $2.06 \times 10^4$  cell  $\cdot$   $g^{-1}$  wet sample, and  $4.70 \times 10^4$  cell  $\cdot$   $g^{-1}$  wet sample respectively. Unlike surface sediments in the study area, the latter shows a tendency to increase from low latitude to high latitude or from shallow water to deep basin. From surface to depths, the content of SRB in sediment changes irregularly, depending on the sedimentary environment. The average contents of SRB cultured at 4℃ and 25℃ in the same layer ranged from 51 to  $1.2 \times 10^6$  cell  $\cdot$   $g^{-1}$  wet samples and  $2.04 \times 10^2$  to  $2.47 \times 10^5$  cell  $\cdot$   $g^{-1}$  wet samples. Comparing the contents, content range, and occurrence rate of SRB cultivated at 4℃ and 25℃, it seems that 25℃ is more suitable than 4℃ for survival and propagation of some SRB.

**Keywords** The Canada Basin, The Chukchi Sea, sulphate reducing bacteria, sediment core

### 1 引言 (Introduction)

硫酸盐还原菌 (Sulphate-reducing bacteria, SRB)

是海洋沉积物中常见的微生物, 广泛分布于从低纬度到高纬度的各个海域. 作为一类既包含厌氧性、又包含兼性厌氧性的腐生微生物, SRB 以有机物为

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 agga@xmu.edu.cn; \* 通讯作者 (责任作者)

Biography: GAO Aiguo (1959-), male professor (Ph.D.), E-mail agga@xmu.edu.cn; \* Corresponding author

能源,以海水硫酸盐为硫酸供体,以硫酸盐作为有机物氧化时的最终电子受体,最终产物以富含  $H_2S$  和  $S^{2-}$  为特征.由于 SRB 独特的生命过程,在海洋沉积物早期成岩过程中起着独特的作用,从而驱动着有机质的矿化过程,促进了 S、C、N、P 等元素的迁移,并因其对环境氧化还原条件的影响驱使变价元素 Fe、Mn 的迁移,因此,SRB 成为早期成岩过程的积极参与者 (Guld 1998, Bruechert *et al.*, 2001; Knoblauch *et al.*, 1999).

沉积物中的 SRB 与环境中有机质含量,环境的温度、盐度、压力、氧气含量、埋藏深度以及氧化还原电位等有密切的关系.早在 1914 年 Issatchenk 就从北极海洋沉积物中检测到大量 SRB,而后西方学者在东北冰洋进行了一系列研究 (Guld 1998, Sagemann, 1998, Salm *et al.*, 1998, 1999, Ravenschlag *et al.*, 2000, 2001).但是,在西北冰洋对 SRB 研究较少,Steward 等 (1996) 在西北冰洋的楚科奇海等海区进行了水体中的细菌与病毒研究.1999 年中国首次北极科学考察对白令海和楚科奇海沉积物中 SRB 进行了初步研究,在楚科奇海分别采集了 9 份 0~5cm、8 份 5~10cm、8 份不分层的样品,并进行了 SRB 研究.结果表明,表层 SRB 含量少于次表层含量 (陈皓文等, 2000).高爱国等 (2003) 则进行了 SRB 与生物地球化学要素的相关分析,探讨了北极沉积物中 SRB 与环境的关系.结果表明,由于沉积后的环境变化,SRB 在垂向上变化受多种因素控制.为了对研究区沉积物中 SRB 的垂向分布增进了解,开展本项研究,进行 SRB 含量测定和更深入细致的研究,以便比较其水平和垂直分布差异.

## 2 研究区概况 (The study area)

研究区位于北冰洋靠亚美大陆一侧的加拿大海盆和楚科奇海.从白令海峡流入的北太平洋海水带来了大量的营养物质和有机质,使研究区具有较高的生产率 (陈敏等, 2002),为海区沉积物中的 SRB 生长提供了充足的养分.为了解不同环境下 SRB 的分布状况,在对中国首次北极科考沉积物样品中 SRB 研究的基础上,我们在中国第二次北极科考期间根据研究区的自然环境状况,又重新设计采样站位,从中选出 10 个代表性岩芯进行了 SRB 分析.10 个岩芯的采样区范围覆盖  $69^{\circ}29'43''N \sim 80^{\circ}13'25''N$ ,  $146^{\circ}44'16''W \sim 169^{\circ}59'37''W$ ,水深范围为 50~3850m,基本上可代表研究区各沉积单元和生

态环境状况 (见图 1).

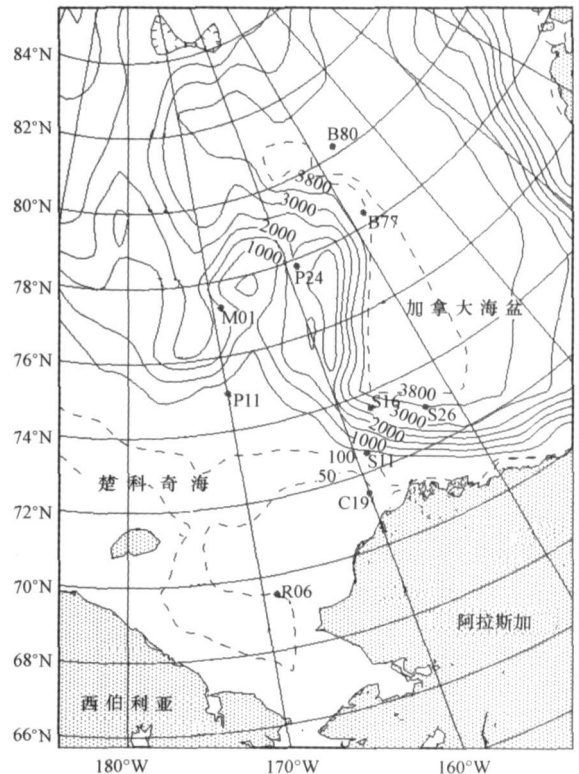


图 1 北极沉积物 SRB 分析岩芯采样站位图

Fig 1 Locations of sediment cores for SRB analysis

## 3 样品的采集和分析 (Sampling and Analysis)

### 3.1 采样

样品的采集是 2003 年 7 月~9 月中国第 2 次北极科考期间在“雪龙号”船上完成的.分别用小箱式取样器、多管取样器采集.样品采到甲板上后,先按微生物学采样要求,对采样工具进行消毒,去掉最上层的泥水,然后采集表层样,再采集柱状沉积物样.在现场按要求对柱状沉积物进行精细分层取样,即:0~10cm 以 1cm 间隔分样,10cm 以下以 2cm 间隔分样.采样过程尽可能干净、利索,减少污染和化学变化,样品存放于事先经高温灭菌的干净塑料瓶中,于 4℃ 环境中保存.

### 3.2 实验室分析

对所采集的 10 个柱状沉积物样进行微生物学分析.根据陈皓文等 (2000) 对该海域的 SRB 研究,此次选用 4℃ 和 25℃ 两个培养温度进行分析.将样品按 MPN 法进行系列稀释入 SRB 液体培养基中 (陈世阳等, 1987),分别于 4℃ 和 25℃ 中培养 3 周以上,其间按常规的微生物培养要求经常观察培养情况,以试管见黑色 (颗粒) 为 SRB 阳性,统计分析比

较 SRB 的检出率, 查 GB/T 4789 3-2003 中所附的 MPN 检验表, 确定 SRB 的含量状况。

#### 4 结果 (Result)

研究区柱状沉积物样品中不同培养温度下 SRB 分布的统计结果见表 1。将柱状沉积物样从表层到 38cm 深分为 24 个层次。培养温度为 4℃ 时, 分析了 189 份样品的 SRB, 检出 86 份, 检出率为 45.5%, 含量范围  $0 \sim 2.4 \times 10^6$  个  $\cdot g^{-1}$  (湿样), 平均  $2.07 \times 10^4$  个  $\cdot g^{-1}$  (湿样)。培养温度为 25℃ 时, 分析了 186 份样品的 SRB, 检出 137 份, 检出率为 73.7%, 含量范围为  $0 \sim 2.4 \times 10^6$  个  $\cdot g^{-1}$  (湿样), 平均值  $4.70 \times 10^4$  个  $\cdot g^{-1}$  (湿样)。这表明, 较高的培养温度可使样品中 SRB 的检出率和含量都有一定提高, 但仍比 Salm 等 (1999) 所报道的结果低, 这可能与研究海区、方法等方面的差异有关。

由表 1 可知, 虽然培养温度不同, 但 SRB 的含量范围基本一致, 均为  $0 \sim 2.4 \times 10^6$  个  $\cdot g^{-1}$  (湿样),

但在检出率与 SRB 平均含量上以 25℃ 培养条件时 为高。需要指出的是, 与同航次所采集的表层沉积物中 SRB 研究结果 (陈皓文等, 2007) 相比, 岩芯 SRB 的检出率、含量范围、平均含量都明显高于同航次表层沉积物中, 这与我们首次北极 SRB 研究结果一致 (陈皓文等, 2000), 也与东北冰洋沉积物中 SRB 研究结果一致 (Knoblauch *et al.*, 1999), 与陈世阳等 (1987) 及陈皓文等 (1999) 的 SRB 分析结果也具可比性。这充分表明, SRB 具厌气性或兼性厌气性细菌的特征。从岩芯中 SRB 含量范围看, 本结果比 Salm 等 (1999) 在东北冰洋用分子生物学手段测得的 SRB 含量低 2 个数量级, 比 Ravenschlag 等 (2001) 在东北冰洋用分子生物学手段测得的细菌数量低 3 个数量级。一般来说, 分子生物学方法测定结果均比培养法测定结果高 2~3 个数量级, 本研究结果与此一致, 表明用 MPN 法进行大量样品的 SRB 分析, 虽然较为粗放, 但仍不失为一种经典可靠的方法。

表 1 各柱状沉积物中硫酸盐还原菌的检出率与含量

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

站位	岩芯深度 / m	4℃				25℃			
		样品数	检出率	最大值 / (个 $\cdot g^{-1}$ )	平均值 / (个 $\cdot g^{-1}$ )	样品数	检出率	最大值 / (个 $\cdot g^{-1}$ )	平均值 / (个 $\cdot g^{-1}$ )
R06	12	11	72.7%	3000	736.4	10	100.0%	2400	957.0
C19	22	16	50.0%	430	80.9	15	80.0%	11000	1487.6
S11	28	19	68.4%	11000	882.1	19	89.5%	240000	18023.7
S16	28	19	10.5%	1500	80.5	19	78.9%	2400000	127828.4
S26	26	18	66.7%	460000	46220.0	18	94.4%	460000	76605.0
P11	38	24	79.2%	2400000	103309.2	24	66.7%	15000	1374.6
M1	36	23	8.7%	400	21.3	23	8.7%	400	21.3
P24	28	19	68.4%	240000	17857.4	19	94.7%	240000	33062.1
B77	22	16	43.8%	110000	10013.8	15	80.0%	2400000	215966.7
B80	38	24	8.3%	46000	2541.7	24	75.0%	240000	27120.1
小计		189	45.5%	2400000	20635.3	186	73.7%	2400000	46957

除了 25℃ 时 R06 站 SRB 的最小值为 90 个  $\cdot g^{-1}$  外, 其余所有的情况下最小值都为 0 个  $\cdot g^{-1}$ 。

#### 5 讨论 (Discussion)

##### 5.1 SRB 在柱状沉积物中的垂直分布

SRB 在沉积物中垂直分布受多种因素控制。统计 4℃、25℃ 培养条件下各层位 SRB 的样品数、检出率、含量范围与平均值 (见表 2)。由表 2 可知, 4℃ 时各层位 SRB 的平均值范围为  $51 \sim 1.2 \times 10^6$  个  $\cdot g^{-1}$  (湿样), 但就大部分层位而言, 介于  $2.0 \times 10^2 \sim 4.6$

$\times 10^4$  个  $\cdot g^{-1}$  (湿样) 之间。25℃ 时各层位的平均值范围为  $2.04 \times 10^2 \sim 2.47 \times 10^5$  个  $\cdot g^{-1}$  (湿样), 大部分层位介于  $4.0 \times 10^3 \sim 6.0 \times 10^4$  个  $\cdot g^{-1}$  (湿样) 之间。与 4℃ 培养所获得的 SRB 相比, 25℃ 时层位间差异较小。而从各层位中 SRB 平均含量的变化看, 至少在该研究区域, 在所研究深度内 SRB 含量总体变化并不明显, 由此推测 SRB 的生存深度范围较大。

表 2 各采样层位沉积物中硫酸盐还原菌检出率与含量

Table 2 Occurrence percentages and contents of SRB from different depths in the sediment cores

层位 / cm	4℃				25℃			
	样品数	检出率	最大值 / (个·g <sup>-1</sup> )	平均值 / (个·g <sup>-1</sup> )	样品数	检出率	最大值 / (个·g <sup>-1</sup> )	平均值 / (个·g <sup>-1</sup> )
0~ 1	10	40.0%	11000	1273.4	7	71.4%	24000	4062.0
1~ 2	10	60.0%	1200	188.2	10	80.0%	11000	1295.2
2~ 3	10	30.0%	420	57.0	10	70.0%	35000	7086.0
3~ 4	10	60.0%	24000	3353.0	10	80.0%	24000	9445.0
4~ 5	10	50.0%	110000	11726.0	10	70.0%	240000	241903.0
5~ 6	10	50.0%	110000	11856.0	10	80.0%	240000	59806.0
6~ 7	10	60.0%	46000	4718.0	10	90.0%	240000	24841.0
7~ 8	10	50.0%	460000	46268.4	10	80.0%	460000	49064.4
8~ 9	10	60.0%	110000	11148.0	10	80.0%	240000	26188.0
9~ 10	10	30.0%	240	51.0	10	80.0%	290000	31538.3
10~ 12	10	60.0%	15000	3041.9	10	80.0%	240000	246642.0
12~ 14	9	44.4%	1100	203.5	9	88.9%	24000	3959.0
14~ 16	9	44.4%	29000	6236.7	9	88.9%	240000	31214.4
16~ 18	9	11.1%	24000	2666.7	9	55.6%	240000	30063.3
18~ 20	9	55.6%	110000	12580.2	9	55.6%	240000	29403.3
20~ 22	9	55.6%	240000	29470.0	9	55.6%	240000	31200.0
22~ 24	7	42.9%	4000	914.3	7	57.1%	210000	30301.4
24~ 26	7	28.6%	27000	3862.9	7	57.1%	240000	39352.9
26~ 28	6	33.3%	24000	4000.4	6	83.3%	24000	5318.4
28~ 30	3	33.3%	300	100.0	3	66.7%	35000	11800.0
30~ 32	3	33.3%	28000	9333.3	3	66.7%	3000	1140.0
32~ 34	3	33.3%	15000	5000.0	3	66.7%	19000	7000.0
34~ 36	3	33.3%	2100	700.0	3	66.7%	600	204.3
36~ 38	2	50.0%	2400000	1200000.0	2	50.0%	15000	7500.0

注: 所有层位的最小值都为 0 个·g<sup>-1</sup>。

4℃时 SRB 最高检出率出现在 1~ 2cm、3~ 4cm、6~ 7cm、8~ 9cm、10~ 12cm 5 个层位, 达到 60.0%; 最低则发生在 16~ 18cm 层, 仅为 11.1%。25℃下培养得出的最高 SRB 检出率出现于 6~ 7cm 层中, 高达 90%; 最低检出率 (50.0%) 则出现于 36~ 38cm 层。检出率大于 60.0% (4℃时的 SRB 最高检出率) 的层位有 18 层, 占总层位的 75.0%。2 种培养温度相比, 4℃时的最高、最低 SRB 检出率和检出率变幅均低于 25℃时的。

4℃培养得出的 SRB 最高含量与平均含量最大值均发生在最底层中, 即 36~ 38cm 层; 最低 SRB 含量与平均含量最小值出现于 9~ 10cm 层。最高、最低 SRB 含量相差 4 个数量级。SRB 含量在所有柱状沉积物 24 个层次中的分布呈现出不规则、不均匀状态。25℃培养得出的 SRB 最高含量与平均含量最大值均发生在 10~ 12cm 层中, 最低 SRB 含量与平均含量最小值则出现于 34~ 36cm 层中, 最高、最低 SRB 含量相差 3~ 4 个数量级。

以上情况说明, SRB 的检出率和含量在所测柱状沉积物样中的垂直分布是相当随机的, 这意味着

SRB 的这 2 项指标受制于沉积环境的各种理化、地质、生物因子和样品的保存状况等。Sahn 等 (1998) 在研究斯瓦尔巴德附近海域沉积物中 SRB 分布时, 发现 SRB 呈表层富集趋势。Ravenschlag 等 (2000) 发现, 斯瓦尔巴德附近海域中 SRB 在表层 5mm 沉积物中最高, 然而后来的研究又发现在表层 19cm 深度内, 细胞总数并不显示随深度增加而减少的趋势, 似 SRB 受多种因素影响, 而且显示出某种随机性 (Ravenschlag *et al.*, 2001)。

图 2 为各岩芯在 4℃、25℃培养温度下所获得的 SRB 含量的垂直分布, 横坐标为指数坐标, 分别对应 0, 1, 10, 10<sup>2</sup>, 10<sup>3</sup>, ... 个·g<sup>-1</sup> (湿样)。比较各岩芯中 SRB 含量的垂直分布可知, 4℃时 SRB 含量的变化较为明显, 而 25℃时 SRB 的含量变化相对缓和。对于大部样品而言: 2 个温度下的培养结果在含量变化上均较为相似, 在 M1 岩芯中 2 种培养温度时 SRB 分布完全一致; 在 P11 岩芯中 SRB 的分布趋势很吻合, 但在 S16 与 B80 岩芯中 2 种培养温度时的 SRB 含量的垂直变化差异较大。

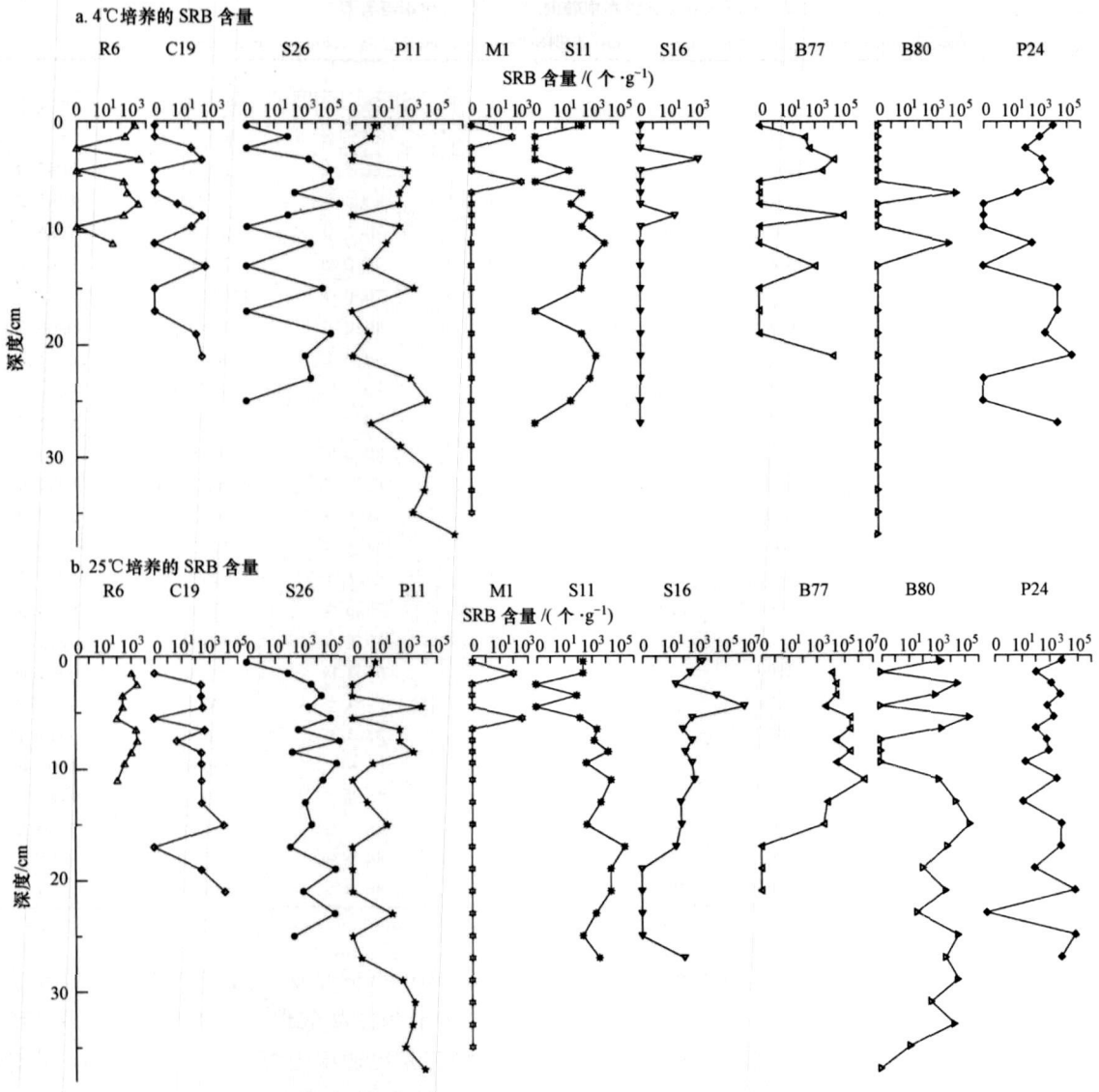


图 2 4°C、25°C 培养的 SRB 的垂直分布图

Fig 2 Depth profiles of SRB cultivated at 4°C and 25°C in sediment cores

5.2 沉积物 SRB 指标在海区内的比较分析

表 1 给出了 10 根柱状沉积物中 SRB 指标 (检出率与含量) 在海区内的分布状况: 4°C 时的 SRB 检出率大约呈现为西、东两侧较低, 中部偏高之势, 而含量呈高低起伏状. 最高检出率出现于中偏西的柱状沉积物中, 最低出现在东部的 B80 柱, 两者相差 9.5 倍. 最高含量出现于西部 P11 柱, 最低的则在 M1 柱, 尽管两者毗邻, 却相差 6000 倍. 25°C 时的检出率和含量均显出由西往东渐高之势. 总体来看, 25°C 的两指标高于 4°C 条件下的指标的. 最高检出率在白令海峡附近的 R6 柱, 含量最高的站点是 B77 站; 最低检出率与最低含量均出现在西部的 M1 站. 最高、最低检出率相差 11.5 倍, 最高、最低含量相差

10139 倍.

Kroencke 等 (2000) 在北冰洋欧亚海盆进行细菌学调查时发现, 随纬度升高, 细菌丰度呈减少趋势. 在研究区表层沉积物中这种趋势也很明显 (陈皓文等, 2007), 但从各柱状样中的 SRB 分布看, 虽然仍有随纬度升高, 检出率降低的趋势, 但已不象表层中那样明显; 而其平均含量变化则无这种变化规律. 这表明, 随着沉积物的埋藏深度增加, SRB 受沉积物-水界面过程各种物理化学条件影响逐渐变小, 而主要受控于沉积物中的有机质含量、 $O_2$ 、 $SO_4^{2-}$  供应量及环境的氧化还原状态. 4°C、25°C 培养温度下 SRB 各指标的纬度分布特征见表 3

表 3 不同纬度区间柱状沉积物中 SRB 含量指标

Table 3 Comparison of SRB contents along the latitudinal in the Chukchi Sea and the Canada Basin

纬度区间	4C					25C				
	样品数	检出率	最小值 /(个·g <sup>-1</sup> )	最大值 /(个·g <sup>-1</sup> )	平均值 /(个·g <sup>-1</sup> )	样品数	检出率	最小值 /(个·g <sup>-1</sup> )	最大值 /(个·g <sup>-1</sup> )	平均值 /(个·g <sup>-1</sup> )
66°N~70°N	11	72.7%	0	3000	736.4	10	100%	90	2400	957
70°N~74°N	72	48.6%	0	460000	1586.4	71	85.9%	0	2400000	10454
74°N~78°N	66	51.5%	0	2400000	8240	66	54.5%	0	240000	1168.6
>78°N	40	22.5%	0	110000	936.7	39	76.9%	0	2400000	17390.1

### 5.3 水深对柱状沉积物中 SRB 含量的影响

将测样按所在水深归成 4 类, 即 41~55、175~561、1456~2200 和 3000~3850m, 分析不同水深沉积物中 SRB 指标的结果列于表 4 之中。

由表 4 可见, 4°C 培养的结果, SRB 平均含量大小的水深排列为 175~561m > 3000~3850m > 1456~2200m > 41~55m; 25°C 培养时, 其排序为 3000~3850m > 1456~2200m, 41~55m > 175~561m。这表

明, 深水处的沉积物 SRB 含量不一定很低, 浅水处沉积物 SRB 含量不一定很高。

从 SRB 的检出率可知, 4°C 时沉积物中的 SRB 检出率小于 25°C 培养的 SRB, 4°C 时 SRB 检出率有随水深增加而变低之趋势; 而 25°C 时 SRB 含量检出率有随水深加大先降低后增高的趋势。从平均含量上看, 25°C 培养的 SRB 的变化较有规律, 从浅水向深海盆呈增加趋势。

表 4 不同水深环境中沉积物中 SRB 含量指标

Table 4 Comparison of SRB content at different water depths in the Chukchi Sea and the Canada Basin

水深范围 /m	4C					25C				
	样品数	检出率	最小值 /(个·g <sup>-1</sup> )	最大值 /(个·g <sup>-1</sup> )	平均值 /(个·g <sup>-1</sup> )	样品数	检出率	最小值 /(个·g <sup>-1</sup> )	最大值 /(个·g <sup>-1</sup> )	平均值 /(个·g <sup>-1</sup> )
41~55	46	63.0%	0	11000	80.7	44	88.6%	0	240000	1339
175~561	24	79.2%	0	2400000	103309	24	66.7%	0	15000	1374.6
1456~2200	42	35.7%	0	240000	1299.6	42	47.6%	0	240000	1753.3
3000~3850	77	29.9%	0	460000	1935.6	76	81.6%	0	2400000	17927.5

## 6 结论 (Conclusions)

1) 通过对研究区不同地理单元的沉积岩芯中 SRB 的研究表明, 4°C 与 25°C 温度下培养的 SRB 含量范围基本一致, 多为 0~2.4 × 10<sup>6</sup> 个·g<sup>-1</sup> (湿样), 但在 SRB 检出率与平均含量上以 25°C 培养条件时的为高。25°C 时检出率为 73.7%, 平均值 4.70 × 10<sup>4</sup> 个·g<sup>-1</sup> (湿样), 而 4°C 时的检出率 45.9%, 平均 2.06 × 10<sup>4</sup> 个·g<sup>-1</sup> (湿样)。研究区沉积物不低的 SRB 检出率和含量, 表明在北极海这种冷酷环境中 SRB 仍保留活性, 并在适宜时空中进行着微生物的生物地球化学活动。

2) 研究区柱状沉积物中 SRB 的检出率、含量范围、平均含量都明显高于表层沉积物中 SRB 含量, 这与首次北极科考获得的 SRB 研究结果一致, 也与东北冰洋沉积物中 SRB 研究结果一致。这是由 SRB 的厌气性特征、沉积物—水界面附近含氧量及氧化还原电位相对较高等特征决定的。虽然岩芯中

SRB 分布与采样点的纬度、深度有一定关系, 但这种关系并不如表层沉积物中 SRB 分布表现得那么明显。

3) 在垂直方向上, SRB 的分布受多种因素控制, 变化较为复杂, 似无明显的规律。环境温度应是其主导因子之一, 如: 4°C 时各层位的平均值范围为 51~1.2 × 10<sup>6</sup> 个·g<sup>-1</sup> (湿样), 25°C 时各层位的平均值范围为 2.04 × 10<sup>2</sup> ~ 2.47 × 10<sup>5</sup> 个·g<sup>-1</sup> (湿样)。在所研究的深度范围内, 研究区各层位 SRB 平均含量变化不明显, 表明 SRB 的生存深度范围较大。至于 4°C 时 SRB 的垂直变化较为明显, 而 25°C 时 SRB 的垂直变化相对缓和, 层位间差异较小, 这还需要从生物地球化学角度作进一步的研究。

4) 根据 4°C、25°C 2 个培养温度下 SRB 的检出率、含量状况看, 似乎 25°C 条件时更有利于研究区某些 SRB 的繁衍。这对高纬度寒冷的北极海域海底沉积物而言, 是个值得深思的问题。由此推测, 环境温度的提高将改变、加速或增强某些 SRB 的生理生

化活性和代谢能力,进而影响现场地球化学和地质环境状况.这启示我们随着全球气候变暖和环境因子的变化,北极微生物群落在经历一段时间后有可能产生结构性的变化,其深远影响值得人们关注.

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

## References

- Buechert V, Knoblauch C, Jørgensen B B. 2001 Controls on stable sulfur isotope fractionation during bacterial sulfate reduction in Arctic sediments [ J ]. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 65 ( 5 ): 763—776
- Chen H W, Gao A G. 2000. Preliminary study on sediment sulphate reducing bacteria in the survey areas of Bering sea and Chukchi sea [ J ]. *Chinese Journal of Polar Research* 12 ( 3 ): 211—218 ( in Chinese )
- Chen H W, Xu J S. 1999 Content of Sulphate-Reducing Bacteria in the Sediment on the East Side of Beibu Gulf and Its Significance [ J ]. *Journal of Guangxi Academy of Sciences* 15 ( 3 ): 103—107 ( in Chinese ).
- Chen H W, Gao A G, Lin X Z. 2007. Study on sulphate reducing bacteria of surface sediment in the Canada Basin and Chukchi Sea [ J ]. *Advances in Marine Science* 25 ( 3 ): 295—307
- Chen M, Huang Y P, Guo L D, *et al*. 2002. The Arctic Ocean: desert of Biological productivity? [ J ] *Chinese Science Bulletin*, 47 ( 9 ): 707—710 ( in Chinese )
- Chen S Y, Bao W Y, Li B F, *et al*. 1987. The investigation of sea pollution and heterotrophic bacterial flora in the Rushan Bay [ J ]. *Shandong College of Oceanology* 17 ( 4 ): 86—94 ( in Chinese )
- Gao A G, Chen H W, Sun H Q. 2003 Analysis on correlation between sulphate-reducing bacteria and biogeochemical factors of sediment in the Chukchi sea and Bering sea, Arctic [ J ]. *Acta Scientiarum Circumstantiae*, 23 ( 5 ): 619—624 ( in Chinese )
- Ghid R N, Holby O, Hoffmann F *et al*. 1998. Canfield Benthic mineralization and exchange in Arctic sediments ( Svalbard Norway ) [ J ]. *Marine Ecology Progress Series* 173: 237—251
- Knoblauch C, Jørgensen B H andler J. 1999. Community size and metabolic rates of psychrophilic sulfate reducing bacteria in Arctic marine sediments [ J ]. *Applied and Environmental Microbiology*, 65 ( 9 ): 4230—4233
- Kroencke J Vanreusel A, Vincx M *et al*. 2000. Different benthic size compartments and their relationship to sediment chemistry in the deep Eurasian Arctic Ocean [ J ]. *Marine Ecology Progress Series* 199: 31—41
- Liu H D, Ran L, Fu P, *et al*. 2003. National Standard of the People's Republic of China GB/T 4789. 3—2003 《Microbiological examination of food hygiene Detection of Coliform bacteria》[ S ]. Beijing: China Criteria Press ( in Chinese )
- Ravenschlag K, Salm K, Amann R. 2001. Quantitative molecular analysis of the microbial community in marine Arctic sediments ( Svalbard ) [ J ]. *Applied and Environmental Microbiology*, 67 ( 1 ): 387—395
- Ravenschlag K, Salm K, Knoblauch C *et al*. 2000. Community structure, cellular rRNA content and activity of sulfate-reducing bacteria in marine Arctic sediments [ J ]. *Applied and Environmental Microbiology*, 66 ( 8 ): 3592—3602
- Sagemann J, Jørgensen B R, Greff O. 1998. Temperature dependence and rates of sulfate reduction in cold sediments of Svalbard Arctic Ocean [ J ]. *Geomicrobiology Journal* 15: 85—100
- Salm K, Beminger U-G. 1998. Abundance, vertical distribution and community structure of benthic prokaryotes from permanently cold marine sediments ( Svalbard Arctic Ocean ) [ J ]. *Marine Ecology Progress Series* 165: 71—80
- Salm K, Macgregor B, Jørgensen B B *et al*. 1999. Sulfate reduction and vertical distribution of sulfate-reducing bacteria quantified by rRNA slot-blot hybridization in a coastal marine sediment [ J ]. *Environmental Microbiology*, 1 ( 1 ): 65—74
- Sohlvedel T, Mokrevsky V, Schewe I. 2000. Benthic activity and biomass on the Yermak Plateau and in adjacent deep-sea regions northwest of Svalbard [ J ]. *Deep Sea Research Part I, Oceanographic Research Papers* 47 ( 9 ): 1761—1785
- Sohlvedel T, Schewe I. 1998. Activity and biomass of the small benthic biota under permanent ice coverage in the Central Arctic Ocean [ J ]. *Polar Biology*, 19 ( 1 ): 52—62
- Steward G F, Smith D C, Azam F. 1996. Abundance and production of bacteria and viruses in the Bering and Chukchi Seas [ J ]. *Marine Ecology Progress Series* 131 ( 1-3 ): 287—300

## 中文参考文献

- 陈皓文, 高爱国. 2000. 白令海和楚科奇海测区沉积物硫酸盐还原菌初步研究 [ J ]. *极地研究*, 12 ( 3 ): 211—218
- 陈皓文, 徐家声. 1999. 北部湾东侧沉积物硫酸盐还原菌含量及其意义 [ J ]. *广西科学院学报*, 15 ( 3 ): 103—107
- 陈皓文, 高爱国, 林学政. 2007. 加拿大海盆与楚科奇海表层沉积物中硫酸盐还原菌分布状况 [ J ]. *海洋科学进展*, 25 ( 3 ): 295—307
- 陈敏, 黄奕普, 郭劳动, 等. 2002. 北冰洋: 生物生产力的“沙漠”? [ J ]. *科学通报*, 47 ( 9 ): 707—710
- 陈世阳, 包文雅, 李八方, 等. 1987. 乳山湾的污染与异养微生物的调查分析 [ J ]. *山东海洋学院学报*, 17 ( 4 ): 86—94
- 高爱国, 陈皓文, 孙海青. 2003. 北极沉积物中硫酸盐还原菌与生物地球化学要素的相关分析 [ J ]. *环境科学学报*, 23 ( 5 ): 619—624
- 刘宏道, 冉陆, 付萍, 等. 2003. 中华人民共和国国家标准 GB/T 4789. 3—2003 《食品卫生微生物学检验 大肠菌群测定》[ S ]. 北京: 中国标准出版社出版