

研究论文与报告

东太平洋铁锰结核区微生物 的丰度及其成矿作用研究*

史君贤 陈忠元 杨季芳 胡锡钢

(国家海洋局第二海洋研究所 杭州 310012)

提要 于 1994 年 4—11 月在东太平洋铁锰结核勘探区,随向阳红 09 号船,采集了 39 个表层沉积物、12 个上覆水和 7 个结核样。在现场用平板法测定了异养细菌和铁、锰细菌丰度,用稀释法(MPN 法)测定硫酸盐还原菌丰度。在实验室对船上带回的异养细菌和锰细菌进一步纯化分离,进行了 12 项生化试验,参照伯杰氏手册第八版鉴定至属。为了探讨微生物在大洋成矿过程的作用,使用分光光度法,测定锰细菌对锰、铁离子的转化作用和不同培养温度对转化作用的影响。结果表明,在微生物丰度方面,沉积物中异养细菌的丰度在 3—9 500cell/g; 锰、铁细菌的丰度在 1×10^0 — 10^3 cell/g; 硫酸盐还原细菌的丰度分布范围在 0—4 000cell/g。在上覆水和结核样中各类细菌的丰度均较低,比沉积物样低 1 个数量级。在细菌的菌属组成与近海区相比存在一定的差异,特别是在革兰氏阳性菌的组成上微球菌占了绝对优势。在成矿作用方面,锰细菌对锰、铁氧化还原的实验结果表明,在好氧的条件下,锰细菌使可溶性的 Mn^{2+} 氧化为 Mn^{4+} ,其氧化速度与环境温度存在密切关系; 锰细菌对铁的氧化速度比对锰的氧化速度来得快。在厌氧的培养条件下,锰细菌能将高价铁还原为低价铁,而且使培养液的 pH 明显降低。

关键词 东太平洋 成矿作用 异养细菌 锰细菌

学科分类号 Q938.1

在海洋中生存着大量的微生物,可促进海洋中许多化学变化与成岩作用。来自大陆径流中的可溶态和悬浮态的 Mn 进入海水后,被有孔虫、软体动物结合入体内,当这些有机体的残骸下沉时也将这些元素带到海底,经过生理生化各异的细菌的矿化作用,引起环境中 Eh, pH, Mn^{2+} / Mn^{4+} 和 Fe^{2+} / Fe^{3+} 等参数变化,对多金属结核形成起了重要的作用。海洋微生物学家(Ehrlich, 1966; Johnson *et al*, 1968)对深海细菌在铁锰结核形成过程中所起的作用进行了大量的工作,但这些实验大多是在实验室内针对某一种细菌对金属离子的转化作用。近十几年来国内在西北太平洋多金属结核分布区进行了海洋细菌的调查并分离到锰氧化细菌(史君贤等,1989); 在东太平洋多金属结核区进行了生物成

* 国家自然科学基金资助项目, 39170011号。史君贤,女,出生于1941年4月,研究员,E-mail: ning@zgb.com.cn

收稿日期: 1995-12-27,收修改稿日期:1997-12-06

因研究(闫葆瑞等, 1992)。尽管国内外对大洋细菌已做了不少工作,但存在一定的局限性,因此,较全面的了解海区各种细菌(特别是与金属离子转化关系密切的)丰度、菌群组成以及它们在金属元素转化中所起的作用,将有助于探讨洋底多金属结核成因的机理,为生物成因提供一定的科学依据。

1 材料和方法

1.1 样品来源

于 1994 年 4—11 月随“向阳红 09 号”船在 7—10°N, 141—155°W 的海域内,对 39 个站位的表层沉积物样、12 个上覆水样和 7 个结核样进行异养细菌、铁锰细菌及硫酸盐还原细菌的分离。站位布设见图 1。

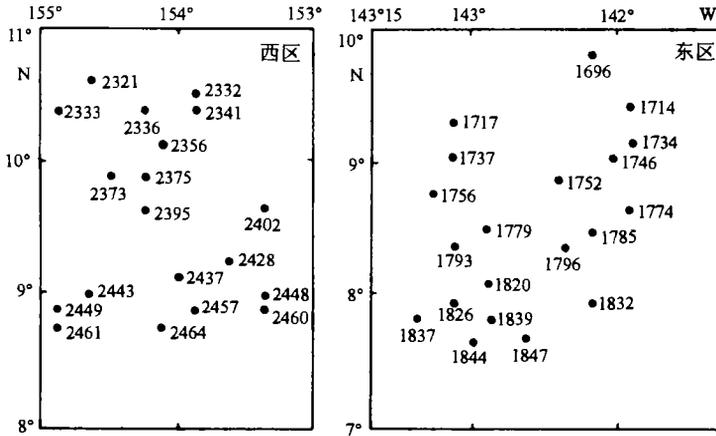


图1 东太平洋取样站位图

Fig.1 Sampling stations in the eastern Pacific Ocean

1.2 样品处理

1.2.1 沉积物样品的处理 样品采到船上后,30min 内用灭过菌的铲刀取 1—2g 未受搅动的样品加进定量的无菌海水中,在涡旋混合器上充分混合,制成悬液,静止片刻,取上清液在已制备好的平板上进行涂布(每个样品有三个平行样),在 27°C 左右培养,20d 后计数;计数后将菌落转移到半固体培养基中,在 4°C 保存,供室内分析鉴定及实验用。

1.2.2 结核样品的处理 预先将所需要使用的一切器皿严格消毒,在船上无菌室内用镊子取结核样置于平皿中,用无菌水冲洗表面,待干燥后放在臼中将结核研磨成粉末状,称取结核粉样约 1g,放入定量的无菌水中,在涡旋混合器上充分混合,以下步骤同沉积样的处理。

1.3 各类细菌的培养基成分及计数方法

异养细菌培养基 蛋白胨, 5g; 酵母膏, 1g; 柠檬酸铁, 0.1g; 琼脂, 20g; 陈海水, 1 000ml; pH = 7.2。以平板计数法计数。

锰细菌培养基 $MnSO_4 \cdot 4H_2O$, 0.2g; $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.001g; 蛋白胨, 2g; 酵母膏, 0.5g; 琼脂, 20g; 陈海水, 1 000ml; pH = 7.0—7.2。以平板计数法计数。

铁细菌培养基 柠檬酸铁铵, 10g; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.5g; $(NH_4)_2SO_4$, 0.5g; K_2HPO_4 , 0.5g; $CaCl_2$, 0.2g; $NaNO_3$, 0.5g; 陈海水, 1 000ml; pH = 7.0。以平板计数法计数。

硫酸盐还原菌培养基 乳酸钠, 5g; 天门冬素, 2g; $FeSO_4$, 0.01g; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$,

1g; K_2HPO_4 , 1g; 陈海水, 1 000ml。以 MPN 法计数。

高铁还原细菌培养基 蔗糖, 3g; K_2HPO_4 , 0.5g; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.2g; $(NH_4)_2SO_4$, 1g; $CaCO_3$, 5g; 酵母膏, 0.5g; $Fe(OH)_3$, 0.5g; 陈海水, 1 000ml。以 MPN 法计数。

1.4 室内分析鉴定

将船上带回的异养细菌和锰细菌进一步纯化分离, 进行氧化酶, 过氧化氢酶, 葡萄糖氧化发酵、乳糖发酵、甲基红试验、V.P 试验、淀粉水解, 产氨试验、硝酸盐还原、产吡啶、产硫化氢、琼脂液化, 共 12 项生化反应试验(中国科学院微生物研究所细菌分类组, 1978)。在显微镜下观察其形态, 参照伯杰氏手册第八版(Buchanan *et al*, 1974)鉴定菌株到属。

1.5 锰细菌对 Fe, Mn 金属转化作用的测定

分别配制含有 $0.1mg$ 的 Mn^{2+} , Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 的营养液 60ml, 分装于 100ml 的三角烧瓶中, 进行高压灭菌, 各分三组进行实验: ①加锰细菌进行培养; ②加锰细菌培养两周后加入细菌生长抑制剂; ③不加细菌, 作为空白对照组。每个实验组均做平行双样。Mn 的氧化实验周期为 30d, 每间隔 3d 测定一次; Fe 氧化还原实验周期为 14d, 每间隔 2d 进行测定。测定时, 将每种样品取出 1ml 以 4 000r/min 转速离心 10min, 取上清液使用分光光度法测定 MnO , Fe^{2+} 浓度(地质矿产部水文地质工程研究所编, 1990)。测定 Fe^{3+} 还原能力的样品, 需放在充氮气的厌氧罐内进行培养。

1.5.1 温度实验 设三个温度组: $30^{\circ}C$, $20^{\circ}C$ 和 $4^{\circ}C$ 培养, 以测定温度对转化作用的影响。

1.5.2 pH 值测定 在 $30^{\circ}C$ 组测定 Mn^{2+} , Fe^{2+} 转化作用的同时, 用 pH 计测定其培养液的 pH 值的变化。

2 结果与讨论

2.1 表层沉积样中各类细菌的分布

研究区位于东太平洋海盆, 是多金属结核富集带, 分东西两区(见图 1)。调查结果表明, 两区的地层结构存在一定的差异, 西区地层年代较老, 以褐色硅质粘土为主, 有机碳的含量为 0.35%; 东区基底地层年代较新, 以黄褐色硅质粘土为主, 有机碳的含量为 0.55%。两区上覆水中 Fe^{3+} / Fe^{2+} 的差异较大, 东区为 13.90, 西区为 20.30; 西区的 Eh 值和氯度均稍高于东区。现场细菌丰度测定结果表明, 在每个测站的沉积物中均可分离到异养细菌, 而其它生理类型的细菌在两区可检出率不同, 铁细菌和锰细菌可检出率较低, 其丰度、分布见表 1。

2.1.1 异养细菌的丰度、分布 在所测各个站位的沉积样中异养细菌的丰度从 $3-9\ 523\text{cell/g}$, 87% 的站位其丰度在 $10-500\text{cell/g}$, 43% 的站位其丰度在 10^2-10^3cell/g 。从丰度分布来看, 要比近海沉积物 (10^3-10^5cell/g) 少 2-3 个数量级(郑国兴等, 1983)。这是由于异养细菌的丰度与沉积速率、有机物的含量等是正相关关系。由于本调查区有机质的含量较低(有机碳的含量在 0.1%—0.7%, 而近岸沉积物中含量为 2.5% 左右)、沉积速率也低, 加上海底温度低, 这些都是造成丰度较少的原因。

2.1.2 硫酸盐还原菌和铁还原菌的丰度、分布 硫酸盐还原菌的丰度从 $0-4\ 000\text{cell/g}$, 比长江口区低 1—2 个数量级(郑国兴等, 1983), 这是由于在河口区沉积物比远洋沉积物有更丰富的有机质所致。东区可检出站位率是 75.0%, 西区的是 57.8%, 此结果与化学环

表1 东太平洋沉积物中各种细菌丰度 (cell/g) 和分布

Tab.1 Abundance(cell/g) and distribution of bacteria in the sediment in the eastern Pacific Ocean

东区 站号	异养 细菌	硫酸盐 还原菌	铁还 原菌	锰 细菌	铁 细菌	西区 站号	异养 细菌	硫酸盐 还原菌	铁还 原菌	锰 细菌	铁 细菌
1844	454	未检出	1 867	未检出	227	2449	9 523	16	25	3 929	2 143
1847	357	10	96	未检出	未检出	2460	357	116	28	未检出	3
1839	937	2 800	420	未检出	未检出	2443	417	3 500	375	未检出	37
1826	347	15	580	未检出	未检出	2437	7	215	215	未检出	未检出
1796	61	16	37	未检出	未检出	2464	13	未检出	10	50	未检出
1793	17	40	920	11	未检出	2461	52	未检出	176	16	未检出
1779	59	6	24	未检出	未检出	2457	531	未检出	1 833	146	13
1785	13	38	3 500	12	5	2321	109	120	118	12	未检出
1774	10	170	36	未检出	未检出	2332	63	4 000	3 143	48	5
1837	3	14	18	未检出	未检出	2333	25	93	116	13	未检出
1756	10	未检出	1	1	未检出	2338	193	72	400	38	未检出
1820	4	未检出	525	未检出	1	2341	31	未检出	767	321	未检出
1832	71	436	16	5	12	2448	26	未检出	20	50	10
1696	12	未检出	未检出	5	58	2402	35	4	8	29	未检出
1714	23	未检出	未检出	347	2	2375	164	40	47	未检出	10
1717	234	255	255	2 864	未检出	2428	17	40	29	未检出	未检出
1734	5	33	33	未检出	10	2356	7	未检出	未检出	未检出	未检出
1737	319	169	169	未检出	未检出	2373	282	未检出	未检出	121	168
1746	323	30	30	未检出	86	2395	127	未检出	未检出	17	未检出
1752	168	56	56	未检出	20						

境参数所测结果是一致的;东、西两区表层沉积物的环境均属较弱的氧化环境,但是西区氧化程度明显比东区的高。铁还原细菌的丰度范围在 1—35 000cell/g;东区可检出的站位率为 90.0%,西区的为 84.0%。

2.1.3 锰细菌和铁细菌的丰度、分布 锰细菌,在 39 个站位中只有 20 个站位的沉积样分离到,丰度范围在 1—3 929cell/g; 83% 的站位样品中的丰度在 10—100cell/g 以上。东、西两区的可检出站位率相差较大,东区只有 30% 的站位可分离到锰细菌,而在西区有 68% 的站位可分离到锰细菌,这与西区比东区有较高的氧化环境有关。对 17 个站位进行了铁细菌的分离,其丰度要比锰细菌低得多,除 2 449 站、1 844 站和 2 373 站以外,82% 的站位丰度只有 1—86cell/g。东、西两区站位检出率相差不大,东区的检出率是 40.0%,西区的是 42.0%,但西区的丰度高于东区的。

2.2 上覆水和铁锰结核中的细菌分布

测定结果见表 2。在上覆水样品中异养细菌和锰细菌的丰度比较接近,它们的丰度范围分别是 6—210cell/ml, 3—160cell/ml,而绝大部分的站位是 10—80cell/ml。

在铁锰结核中同样存在着丰度较多的异养细菌、锰细菌和铁细菌,其丰度比较均匀,与沉积物中的丰度较为接近,大部分在 7—160cell /g(见表 2),这是由于铁锰结核除含有金属元素 Fe, Mn, Cu, Ni 等外,还有一大类所谓杂质组分即常见生物碎屑组分等,它们有利于细菌的生长。

表2 东太平洋上覆水和铁锰结核中的细菌丰度 (cell/ml)和分布

Tab.2 Abundance(cell/ml) and distribution of bacteria in overlaying water and iron-manganese nodule in the eastern Pacific Ocean

站号	上 覆 水			站号	铁 锰 结 核		
	异养细菌	锰细菌	铁细菌		异养细菌	锰细菌	铁细菌
1779	18	19	3	1796	60	57	20
1785	37	22	20	1713	53	54	19
1696	50	30	20	2448	95	29	9
1714	210	160	20	2437	20	50	50
1746	83	30	20	2321	10	7	7
1752	55	45	53	2395	163	158	138
2448	83	3	6	2402	15	12	8
2437	45	13	10				
2321	6	4	5				
2395	60	13	3				

2.3 异养细菌和锰细菌的菌属组成及生化特征

2.3.1 菌属组成 本航次共分离了 347 株细菌(其中包括 63 株锰细菌),共有 11 个属,其中革兰氏阴性菌有:产碱杆菌属 *Alcaligenes*,假单胞菌属 *Pseudomonas*,黄杆菌属 *Flavobacterium*,黄单胞菌属 *Xanthomonas*,不动细菌属 *Acinetobacterium*,肠细菌属 *Enterobacterium*,弧菌属 *Vibrio*。革兰氏阳性菌有:葡萄球菌属 *Staphylococcus*,微球菌属 *Micrococcus*,棒状杆菌属 *Corynebacterium*,芽孢杆菌属 *Bacillus*。

革兰氏阴性菌所占百分比:在表层泥样中,占 45%;上覆水样中,占 72%;结核样中,占 52%。其种群比例也有所不同:在沉积样中,优势菌为不动细菌属;上覆水样中,优势菌是假单胞菌属;结核样中,优势菌为产碱杆菌属。在革兰氏阳性菌中以球形菌为主,微球菌属占绝对优势,在 60% 以上。

调查海区的菌属组成与近海海区的种群组成有很大的不同。在近海沉积物中一般革兰氏阳性菌比例较高,而且在阳性菌中以陆源性的芽孢杆菌占优势;而本海区的菌属组成体现了深海的特点。在分离到的 63 株锰细菌中以革兰氏阴性菌为主,占 70%;其优势菌为产碱杆菌(占总菌属的 52%),它是海洋物质分解和矿化作用的主要参与者。锰细菌的形态以短杆菌为主,有的具有外鞘(见图 2)。

2.3.2 生化特征 细菌的新陈代谢及其产物对海洋沉积环境有较大的影响,许多海洋沉积的化学过程是在细菌的参与下完成的。对分离到的 347 株菌所进行的生化实验结果表明,不同来源的菌株对各种有机物质的转化能力不同,结核样中的异养细菌和锰细菌中有 80% 的菌株其氧化酶为阳性,而且对硝酸盐还原能力和分解氨基酸产 H_2S 的能力都较强,分别为 78% 和 87%;沉积样和上覆水中的细菌对氨基酸分解能力分别是 50% 和 70%。在结核样中细菌对其它有机质的分解能力也比沉积样和水样中分



图 2 东太平洋锰细菌形态
($\times 30\ 000$ 倍)

Fig.2 Morphology of manganese bacteria in the eastern Pacific Ocean ($\times 30\ 000$)

离到的细菌的强。这更加说明,在结核中异养细菌和锰细菌具有较高的矿化作用能力。

2.4 锰细菌对 Mn、Fe 金属离子的转移作用

2.4.1 锰细菌对锰的氧化作用

在用含有 Mn^{2+} 琼脂培养基对锰细菌进行分离过程中,可以清楚地看到锰细菌菌落显色反应的演变过程。当菌落刚长出时,虽然没有明显的棕色,但滴加联苯胺试剂后,菌落即变为蓝色。这显色反应证明,在细菌的产物中有 Mn^{4+} 的存在,而且随着培养时间的延长,菌落的颜色发生由白→浅棕色→深棕色的演变。这说明细菌在不断地将培养基中的 Mn^{2+} 氧化成为 Mn^{4+} ,是锰氧化物逐渐积累的结果。

Mn^{2+} 氧化作用的测定结果表明,加细菌组和对照组对锰的氧化速率明显不同(见图3)。细菌组 3d 后才开始有氧化作用,随时间增加 Mn^{2+} 的氧化率(R_0)增加,30d 后 Mn^{2+} 的 R_0 在 75% 以上,而对照组前三周基本没有发生变化,三周后 Mn^{2+} 的 R_0 仅为 9%;加细菌组 10d 后加入抑制剂,溶液中的 Mn^{2+} 便停止了氧化。

这些结果表明,在含有 Mn^{2+} 的基质中,有锰细菌的正常生长繁殖,溶液中的 Mn^{2+} 就不断地减少,说明锰细菌的生长对二价锰的氧化起着很重要的作用,随着时间的推移,溶液中大部分的 Mn^{2+} 被氧化为 Mn^{4+} 。当在有锰细菌的溶液中加入细菌生长抑制剂时,由于细菌停止生长繁殖, Mn^{2+} 的氧化作用随即停止。Ghiorse 等(1978)在芽生细菌对锰的沉淀作用的实验中,用电镜观察到锰的氧化物沉淀是以细菌细胞上产生颗粒物开始的,这些母细胞上颗粒物大小和丰度是随细胞无性繁殖发育而增加的。本化学研究结果与其电镜观察结果是相符合的。

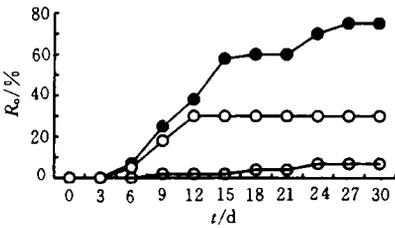


图3 锰细菌对 Mn^{2+} 的氧化速率

Fig.3 Oxidized rate of Mn^{2+} by manganese bacteria

—●—细菌组; —○—抑制剂组; —○—对照组

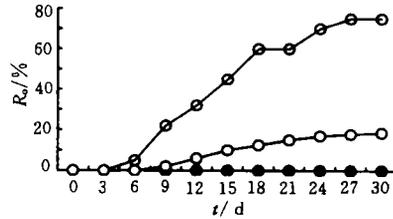


图4 不同培养温度下锰细菌对 Mn^{2+} 氧化速率的影响

Fig.4 Effects of temperatures on oxidized rate of Mn^{2+} by manganese bacteria

—●—4°C; —○—20°C; —○—30°C

2.4.1.1 温度对锰氧化作用的影响

结果表明(图4),经过一个月的培养,在 30°C 培养的细菌对 Mn^{2+} 的氧化速度比 20°C 培养的要高出 3 倍,这与 Vojaak (1985) 的实验结果相一致。而在 4°C 培养下的细菌,经过一个月的培养尚未发现 Mn^{2+} 被氧化。这种结果的产生显然同环境温度对细菌繁殖速率的影响有关,因为在培养液中对 Mn^{2+} 的氧化作用,是每个锰细菌都要参与的生化过程,在 30°C 的培养温度,细菌繁殖较快。在含有 Mn^{2+} 的琼脂平板培养基的培养过程中可以看到,在 30°C 条件下培养 4—7d 便出现锰氧化细菌的菌落,在 20°C 下培养需要 7—15d 才出现,而在 4°C 下培养需要 1 个月以上的时间方能出现很少的锰氧化细菌菌落。因而,温度决定了细菌生长的快慢,从而也决定了锰氧化速度的快

慢。

2.4.1.2 锰氧化过程中 pH 值的变化 锰细菌对 Mn^{2+} 氧化过程中所伴随的 pH 值变化结果表明,在 Mn^{2+} 不断被氧化的同时,其培养液的 pH 有所升高。开始 pH = 7.0,二周后为 7.3,培养 30d 后 pH 值达 8.8;而锰细菌对 Fe^{2+} 的还原过程中,则 pH 值呈降低趋势,即开始为 7.0,一周后为 5.1,二周时 pH 值仅为 4.8(表 3)。这说明了 Mn^{2+} 的氧化会提高环境中 pH 值,而 Fe^{3+} 还原则降低了环境中的 pH 值,pH 值的变化与生活在其中的微生物的生物化学作用过程有关。

表 3 Mn^{2+} 氧化和 Fe^{3+} 还原过程中培养液中 pH 值变化

Tab.3 Variations of medium pH in the precesses of Mn^{2+} oxidation and Fe^{3+} reduction

		t (d)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Mn^{2+}	细菌组	pH	7.0	7.0	7.0	7.0	7.2	7.3	7.4	7.6	8.0	8.6	8.8
		R_0 (%)	0	0	5	25	32	50	60	60	75	75	75
	对照组	pH	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
		R_0 (%)	0	0	2	2	2	2	2	2	5	4	4
		t (d)	0	2	4	6	8	10	12	14			
Fe^{3+}	细菌组	pH	7.0	7.0	5.1	5.1	5.1	4.6	4.8	4.8			
		R_0 (%)	0	6	18	16	18	26	34	38			
	对照组	pH	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0			
		R_r (%)	0	0	0	0	4	4	6	6			

2.4.2 锰细菌对铁的氧化还原作用 在好氧条件下的测定结果表明,在含有 Fe^{2+} 的培养液中,加细菌的实验组 Fe^{2+} 较快地被氧化为高价铁,培养 2d 后, Fe^{2+} 的 R_0 为 10%, 比对 Mn^{2+} 的氧化速度快得多。随着培养时间的延长 Fe^{2+} 不断地被氧化,12d 后 Fe^{2+} 的 R_0 为 75%(见图 5a),对照组 10d 后才有少量的 Fe^{2+} 被氧化。这是因为在好氧培养条件下,细菌在生长过程中可以将 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} ,一方面, Fe^{2+} 参与到细菌的生长代谢过程中,它可以被细菌摄入体内合成细胞色素酶,进行代谢作用;另一方面,在细菌的作用下形成高价铁的化合物。

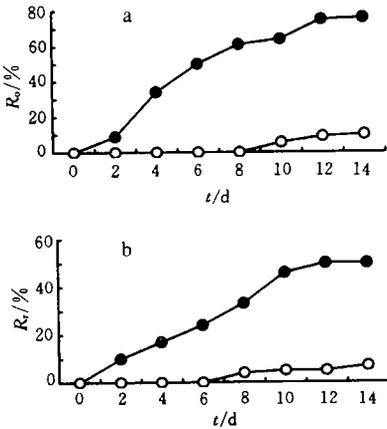


图 5 锰细菌对铁的氧化速率(a)和还原速率(b)

Fig.5 Oxidized rate(a) and reduced rate(b) of Fe by manganese bacteria
—●— 细菌组; —○— 对照组

在厌氧条件下,细菌可将溶液中 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+} (图 5b)。2d 时, Fe^{3+} 的还原率 (R_r) 为 6%; 12d, Fe^{3+} 的 R_r 为 34%; 14d 后, R_r 稍有增加,为 38%。与此同时,随着 Fe^{3+} 被还原,溶液中的 pH 值逐渐降低(见表 3),即趋向酸性溶液,pH 值从 7.0 下降到 4.8。在对照组中,6d 前未测出 Fe^{3+} 被还原,仅在 6d 后有少量 Fe^{3+} 被还原; 14d, 其 R_r 为 6%,同时 pH 也没有发生变化。以上结果由于细菌在厌氧

环境中可将有机质发酵,随着发酵物的积累,其环境 pH 值不断降低,而有助于 Fe^{3+} 还原。

由以上结果得知,在大洋好氧的环境中细菌可将 Fe, Mn 氧化形成沉淀,在厌氧的环境中细菌又将 Fe, Mn 还原为低价的,可溶性的化合物向间隙水和上覆水移动,遇氧化条件

细菌又将环境中的 Fe, Mn 沉淀形成再次富集, 在此作用下使大洋的物质不断集聚而逐渐成矿, 微生物在其中起了重要作用。

3 结论

3.1 在东太平洋铁锰结核区的表层沉积物、上覆水和结核中分离到丰度较大的不同生理类型的细菌如异养细菌、硫酸盐还原细菌、锰氧化细菌、铁氧化还原细菌, 它们丰度比近海低 2 个数量级, 其检出率在东西两区存在一定差异, 由于西区比东区有较高的氧化环境, 西区的铁细菌和锰细菌检出率较高, 而硫酸盐还原菌和铁还原菌在东区的检出率高于西区的。

3.2 异养细菌和锰细菌具有多种酶系统, 对各种有机质具有较强的分解作用, 在结核中细菌对硝酸盐的还原能力为 78%, 分解氨基酸产 H_2S 的能力为 87%, 80% 以上的菌株其氧化酶为阳性, 在它们的代谢过程中各种生化作用参与了大洋物质的转化, 促进洋底有机质的矿化作用。

3.3 在氧化环境下锰细菌可促使铁和锰的氧化, 而且率先使环境中铁向固相迁移, 随之 pH 值升高, 更加有利于铁的沉淀, 同时可以吸附可溶性的 Mn^{2+} 和氧化 Mn^{2+} 为 Mn^{4+} , 从而形成高价锰的化合物, 并不断富集。

在厌氧环境下, 细菌使高价铁还原为低价铁, 使环境中的 pH 值降低, 促使锰和铁从高价转到低价态的可溶性化合物, 向上覆水和间隙水中扩散, 因而导致铁、锰元素的沉积—扩散—沉积的复杂过程。

因而, 在大洋中有机质和金属元素转化不但受到无机和有机化学的作用, 同时更受到微生物的生物代谢所产生的生物化学作用的影响, 铁锰结核是在这一系统中经历了一系列的氧化还原生物化学反应和金属元素转化的反复过程而逐渐形成的, 微生物在大洋铁锰结核成矿过程中起着重要的催化作用。

参 考 文 献

- 中国科学院微生物研究所细菌分类组编, 1978. 一般细菌常用鉴定方法. 北京: 科学出版社. 178
- 史君贤 郑国兴 陈忠元, 1989. 西北太平洋沉积物和锰结核中微生物丰度和锰细菌. 海洋学报, 11(3): 385—391
- 闫葆瑞 张胜 胡大春, 1992. 太平洋中部微生物与多金属结核的生成关系. 地质学报, 66(2): 122—134
- 地质矿产部水文地质工程研究所编, 1990. 水的分析. 北京: 地质出版社. 39—46
- 郑国兴 史君贤 陈忠元等, 1983. 长江口区沉积物中硫化细菌和硫酸盐还原细菌数量分布. 东海海洋, 1(4): 30—33
- Buchanan R E, Gibbons N E, 1974. Bergey's Manual of Determinative Bacteriology, 8th ed. Baltimore, USA: The Williams and Wilkins Company. 1268
- Ehrlich H L, 1966. Reactions with manganese by bacteria from marine ferromanganese nodules. Develop Ind Microbiol, 7: 279—286
- Ghiorse W C, Hirsch P, 1978. Iron and manganese deposition by budding bacteria. Envir Biogeoche and Geomicro, 3: 897—909
- Johnson A H, Stokes J L, 1968. Manganese oxidation by *Sphaerotilus disceophorus*. J Bacterio, 91: 1 543—1 547
- Vojaak P W L, 1985. Evidence for microbiological mananese oxidation in the River Tamar Estuary, South

A STUDY ON BACTERIAL ABUNDANCE AND ITS MINERALIZATION IN IRON-MANGANESE NODULE AREA OF THE EASTERN PACIFIC OCEAN

SHI Jun-xian, CHEN Zhong-yuan, YANG Ji-fang, HU Xi-gang

(Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou, 310012)

Abstract A survey on bacterial abundance and its mineralization in iron-manganese nodule over the eastern Pacific Ocean was carried out on board R / V "Xiangyanghong 09" from April to November, 1994. During the cruise, 39 surficial sediment samples, 12 overlaying water samples and 7 iron-manganese nodule samples were collected. The abundance of heterotrophic bacteria and that of iron-manganese bacteria were determined on the basis of the plate-culture-counting method. The abundance of sulfate-reducing bacteria was measured on board using the MPN method. Taxonomy of the bacteria was determined through a series of biochemical tests following isolation and purification of the bacteria in the laboratory, according to "Borger's Manual of Determinative Bacteriology, 8th". In order to study the role of the bacteria on the mineralization iron and manganese and the effect of temperature, transformation of iron and manganese ions at different temperatures were measured using spectrophotometry; at the same time pH was monitored. The results show that the abundance of heterotrophic bacteria in the surficial sediments ranged from 3×10^0 to 9.5×10^3 cell / g; it is from 1×10^0 to 10^3 cell / g for iron and manganese bacteria and 0 to 4×10^3 cell / g for the sulfate reducing bacteria. The abundance of the various bacteria in the overlaying water was an order of magnitude lower than in iron-manganese. The bacterial composition in the study area was different from that in offshore; particularly, Micrococcus predominated among the Gram-positive bacteria. The results of oxidation-reduction of ironions and manganesions by bacteria show that under aerobic condition Mn^{2+} (dissolved state) was oxidized to Mn^{4+} (indissolved state) by manganese bacteria and the rate was closely correlated with the ambient temperature. The rate of ironions oxidation by manganese bacteria was higher than that of manganese oxidation; while in anaerobic culture the manganese bacteria reduced iron and caused the pH of the culture liquor to decrease.

Key words Eastern Pacific Ocean Mineralization Heterotrophic bacteria Manganese bacteria

Subject classification number Q938.1