

# 碳酸盐岩微生物溶蚀作用特征及意义

王涛<sup>1</sup>, 李强<sup>2</sup>, 王增银<sup>1</sup>

(1 中国地质大学(武汉)环境学院, 武汉 430074; 2 华中科技大学生命科学与技术学院, 武汉 430074)

**摘要:** 为研究微生物对碳酸盐岩的溶蚀作用, 将灰岩在细菌、放线菌、真菌环境下进行溶蚀试验, 并利用扫描电子显微镜对试验前后的岩样进行扫描, 以研究其微观溶蚀形态及机理。结果表明: 加入微生物后, 岩样的溶蚀显著加强, 其中真菌的溶蚀能力最强、放线菌次之、而细菌的最弱; 不同微生物作用下的岩样其微观溶蚀形态不同, 细菌溶蚀后的样品表面呈蜂窝状溶蚀, 放线菌的呈线状溶蚀, 而真菌的呈絮状溶蚀, 这与微生物本身的形态有关。

**关键词:** 微观溶蚀; 微生物; 碳酸盐岩

**中图分类号:** P641.3; P641.134

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-3665(2007)02-0006-04

岩溶地区是一种同沙漠边缘一样的脆弱环境, 对岩溶脆弱生态环境的研究已经引起了国内外越来越多学者的关注<sup>[1]</sup>。随着研究的深入和发展, 生物在岩溶发育过程中的作用逐渐得到了重视。生物岩溶作用包括了直接作用——生物体直接对碳酸盐岩的作用, 并留下特征性的产物; 间接作用——生物通过新陈代谢改变周围环境的物理化学性质, 形成生物微环境, 以达到对碳酸盐岩作用的目的<sup>[2~4]</sup>。

已有的研究主要就藻类、地衣、苔藓对碳酸盐岩浅表层钻孔溶蚀形成的生物岩溶微形态及其持水性<sup>[5~9]</sup>、碳酸酐酶在岩溶作用过程中的作用<sup>[10~12]</sup>、岩溶区土壤中微生物的作用<sup>[13]</sup>等方面进行了初步研究。而在微生物对碳酸盐岩的溶蚀作用上, 虽有学者提出其研究内容和研究意义, 但由于微生物的个体较小, 大小以微米量度, 受技术手段的限制, 还未能从微观揭示其岩溶作用过程及机理<sup>[14~15]</sup>。

为研究微生物对碳酸盐岩的溶蚀作用, 本文将灰岩在细菌、放线菌、真菌环境下进行溶蚀试验, 并利用扫描电子显微镜对试验前后的岩样进行扫描, 以研究其微观溶蚀形态及机理。

## 1 试验方法

### 1.1 岩样

试验用岩样采自桂林丫吉村岩溶试验场, 岩性为上泥盆统融县组(D<sub>3</sub>r)浅灰色中厚层亮晶颗粒灰岩, 其

岩样化学成分如表1。岩样制成长1cm、宽1cm、厚2mm的方形试片共4块, 表面细磨后用分析天平称重, 并通过扫描电镜进行点扫描。扫描电镜为FEI公司Quanta 200扫描电子显微镜, 扫描电压15kV, 点扫描分辨率3.5nm。

表1 岩样化学成分表(W<sub>B</sub>)

Table 1 The chemical components of rock sample(W<sub>B</sub>)

岩性	CaO(%)	MgO(%)	CaO/MgO	酸不溶物(%)
融县组亮晶颗粒灰岩	54.69	0.98	56	0.74

### 1.2 微生物的培养

试验用微生物采自丫吉岩溶试验场洼地内土壤培养。参照《土壤微生物研究法》<sup>[16]</sup>, 细菌采用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基, 放线菌采用高氏1号琼脂培养基, 真菌采用马丁氏孟加拉红琼脂培养基, 使用氯霉素作抑制剂。

根据菌落形态和细胞形态, 将优势细菌从平板上挑到斜面上进行培养, 然后置于4℃冰箱保存备用。优势细菌的初步鉴定参照《伯杰氏细菌鉴定手册》<sup>[17]</sup>。

### 1.3 溶蚀试验

取1L烧杯4个, 分别加入岩样, 并加入1L蒸馏水。取细菌、放线菌、真菌各15g, 分别加入3个烧杯中, 并加入少量肉汤。另1烧杯不加微生物, 以作对比。将烧杯放入培养箱中静置。

试验于2005年5月—6月进行, 共计30天。在试验进行的第5、15、30天分别取出各岩样, 洗净风干后再用分析天平称重, 溶蚀试验过程中各岩样的重量如表2。

将溶蚀试验后的岩样试片, 再次用扫描电镜进行点扫描, 以分析溶蚀前后岩样微观形态的变化。

收稿日期: 2006-02-23; 修订日期: 2006-09-16

基金项目: 国家自然科学基金(90202006)资助

作者简介: 王涛(1978-), 男, 博士, 主要从事岩溶环境研究。

E-mail: twang21@126.com

表 2 溶蚀试验过程中岩样质量变化表

Table 2 The variations of rock samples in experiment (mg)

溶蚀时间(d)	未加微生物	加入细菌	加入放线菌	加入真菌
0	527	520	522	524
5	514	502	496	489
15	504	488	476	461
30	496	477	460	438

## 2 溶蚀特征与讨论

### 2.1 溶蚀前的岩样

由于试验前岩样经过打磨,样品表面细小岩屑颗粒较多,颗粒及方解石棱角分明,方解石晶体表面有细小裂缝,有轻微溶蚀现象,方解石晶体和亮晶胶结物较易区分。

### 2.2 未加微生物的溶蚀现象

未加微生物的溶蚀试样,其点扫描照片如图 1。

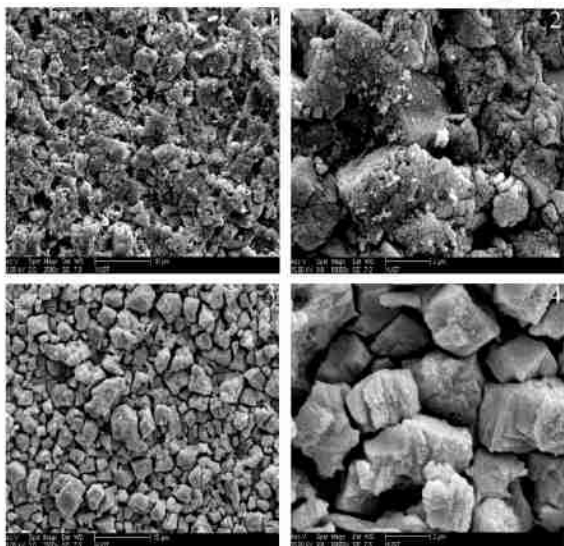


图 1 未加微生物的溶蚀试样

Fig. 1 Rock sample in water-rock system

1—试验前 2 500 倍;2—试验前 10 000 倍;3—试验后 2 500 倍;4—试验后 10 000 倍

试验后的样品细小颗粒绝大多被溶蚀;方解石晶体表面的裂缝加宽加深,并有部分溶蚀消失;晶体边缘溶蚀较强,溶蚀后晶体间隙增大,方解石晶体和亮晶胶结物区分极为显著,晶体突出。

### 2.3 细菌作用下的溶蚀现象

细菌作用下的溶蚀试样,其点扫描照片如图 2。

试验后样品表面和前一样品大致相同,岩样表面的细小颗粒也多被溶蚀,晶体裂缝及边缘处溶蚀较强,但晶间隙较未加微生物的岩样略小。方解石晶体表面

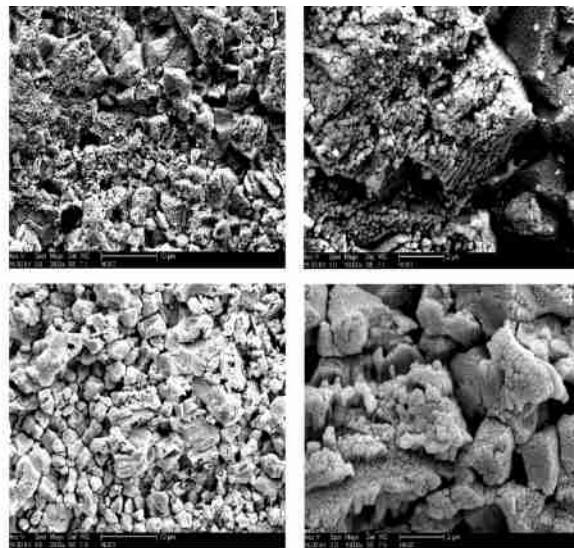


图 2 细菌作用下的溶蚀试样

Fig. 2 Rock sample in water-rock-bacteria system

1—试验前 2 500 倍;2—试验前 10 000 倍;3—试验后 2 500 倍;4—试验后 10 000 倍

出现蜂窝状溶孔。

### 2.4 放线菌作用下的溶蚀现象

放线菌作用下的溶蚀试样,其点扫描照片如图 3。

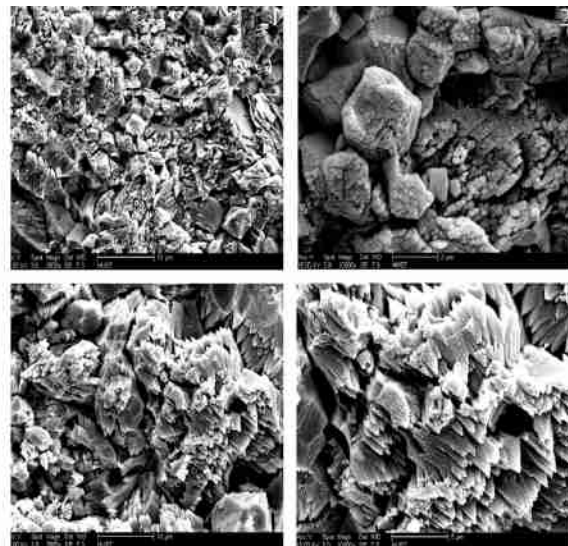


图 3 放线菌作用下的溶蚀试样

Fig. 3 Rock sample in water-rock-actinomycete system

1—试验前 2 500 倍;2—试验前 10 000 倍;3—试验后 2 500 倍;4—试验后 10 000 倍

试验后的样品微形态有较大的改变,方解石晶体破坏严重,部分胶结物也被溶蚀,形成线状分布的溶蚀槽,在线状交汇处形成锥状石刺。

### 2.5 真菌作用下的溶蚀现象

真菌作用下的溶蚀试样,其点扫描照片如图4。

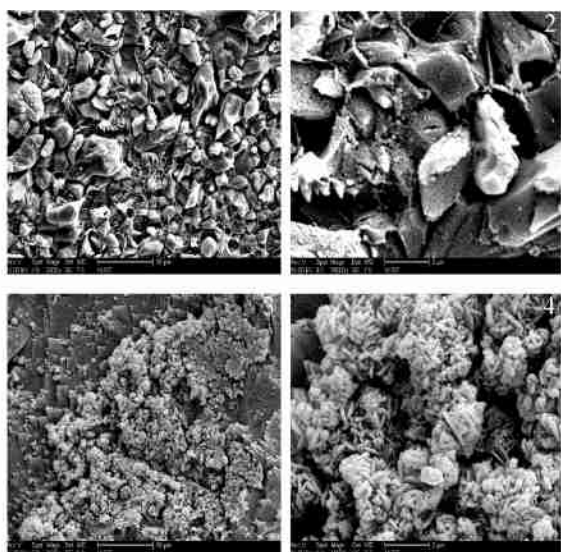


图4 真菌作用下的溶蚀试样

Fig.4 Rock sample in water-rock-epiphyte system

1—试验前 2 500 倍;2—试验前 10 000 倍;3—试验后 2 500 倍;4—试验后 10 000 倍

试验后的样品形态改变较大,表面方解石晶形完全破坏,形成絮状多孔层,部分表面还发生剥落,形成平面状。

## 2.6 有无微生物的溶蚀对比

未加微生物的溶蚀试样,即水-灰岩- $\text{CO}_2$ 系统下的灰岩溶蚀,主要由表面反应控制,溶蚀主要发生在晶体间隙、晶体中的裂缝、晶体边缘处。且由于胶结物颗粒细小,表面积大,较易溶蚀;而晶体仅在边角和裂缝处发生溶蚀,使得溶蚀后晶体较突出<sup>[18]</sup>。

加入微生物后的溶蚀样品,其微观溶蚀主要表现为受微生物的形态特征的影响。如试验细菌形态主要为球状<sup>[19]</sup>,细菌作用下的岩样表现为蜂窝状溶蚀;放线菌形态呈丝状,其溶蚀样品表面表现为线状溶槽;而真菌形态主要为菌丝状,菌落形态为絮状,其溶蚀后的样品表面也呈絮状。

加入微生物后的溶蚀样品,其溶蚀程度较未加微生物的强(表3)。这主要是因为微生物在新陈代谢过程中产生 $\text{CO}_2$ 、有机酸和活性酶,这些物质溶于水,促进了岩样的溶解<sup>[3,9]</sup>。

## 2.7 微生物溶蚀之间的对比

扫描照片显示真菌作用下的试片上,方解石晶体晶形完全破坏,并有部分剥落;放线菌作用下的试片,方解石晶形虽也破坏严重,但其总体晶形还有保留;而细菌作用下的试片,其方解石晶形比较完整,仅在表面形成蜂窝状溶孔。

表3 岩样相对溶蚀率

Table 3 The relative erosion rate of rock samples(%)

溶蚀时间(d)	未加微生物	加入细菌	加入放线菌	加入真菌
5	2.47	3.46	4.98	6.68
15	1.95	2.79	4.03	5.73
30	1.59	2.25	3.36	4.99

注:相对溶蚀率=(溶蚀前岩样质量-溶蚀后岩样质量)/溶蚀后岩样质量

从相对溶蚀率看(表3),各个时间段,加入真菌的岩样相对溶蚀率最高,加入放线菌的次之,而加入细菌的最低。这与各岩样的微观溶蚀特点一致,说明这几种微生物中真菌的溶蚀能力最强;放线菌的溶蚀能力次之;而细菌的溶蚀能力在三者中最差。这种差异是由微生物的生理生态决定,具体机理还有待进一步研究。

## 3 结语

从试验结果来看,微生物在岩溶作用中有着重要的作用。加入微生物后,岩样的溶蚀显著加强。不同微生物的溶蚀作用主要与其形态有关,由于细菌形态主要为球状,细菌作用下的岩样表现为蜂窝状溶蚀;放线菌形态呈丝状,其溶蚀样品表面表现为线状溶槽;而真菌形态主要为菌丝状,菌落形态为絮状,其溶蚀后的样品表面也呈絮状。不同微生物对岩溶作用的强度不同,真菌的溶蚀能力最强、放线菌次之、而细菌的最弱。

微生物在岩溶过程中的这种作用,对岩溶区诸如土壤的形成与演化、土壤肥力的形成、植物的矿质营养、石质文物的保护等都有重要的影响。研究微生物溶蚀作用既有重要的理论价值,也与经济发展密切相关。因此,应重视微生物在岩溶过程中的作用,将岩溶作用纳入水-岩-气-生的大系统中进行研究,以便更好的揭示岩溶环境的形成与发展。

## 参考文献:

- [1] 袁道先,蒋忠诚. IGCP379“岩溶作用与碳循环”在中国的研究进展[J]. 水文地质工程地质, 2000, 27(1): 49-51.
- [2] Herman J. S. Karst geomicrobiology and geochemistry: state of the science[J]. Geomicrobiology Journal, 1994, 12:137-140.
- [3] 曹建华,袁道先,潘根兴,等. 岩溶动力系统中的生物作用机理初探[J]. 地质前缘, 2001, 8(1): 203-209.

- [ 4 ] Crowther J. Ecological observations in tropical karst terrain, West Malaysia, : Dynamics of the vegetation soil bedrock system[J]. Journal of Biogeography, 1987, 14: 157 - 164.
- [ 5 ] Danin A, Garty J. Distribution of cyanobacteria and lichens on hillsides of the Negev Highlands and their impacts on biogenic weathering [J]. Zeitschrift fur Geomorphologie, 1983, 27(4): 423 - 444.
- [ 6 ] 王福星, 曹建华, 黄俊发, 等. 初论藻类生物岩溶作用[J]. 桂林工学院学报, 1995, 15(2): 149 - 156.
- [ 7 ] Cao J H, Wang F X. Reform of carbonate rock subsurface by crustose lichens and its environmental significance[J]. Acta Geologica Sinica, 1998, 72(1): 94 - 99.
- [ 8 ] 曹建华, 袁道先. 石生藻类、地衣、苔藓与碳酸盐岩持水性及生态意义[J]. 地球化学, 1999, 28(3): 248 - 256.
- [ 9 ] 曹建华, 王福星, 黄俊发, 等. 桂林地区石灰岩表面生物岩溶溶蚀作用[J]. 中国岩溶, 1993, 12(1): 11 - 22.
- [ 10 ] 李为, 余龙江, 袁道先, 等. 不同岩溶生态系统土壤及其细菌碳酸酐酶的活性分析及生态意义[J]. 生态学报, 2004, 24(3): 438 - 443.
- [ 11 ] 余龙江, 吴云, 李为, 等. 微生物碳酸酐酶对石灰岩的溶蚀驱动作用研究[J]. 中国岩溶, 2004, 23(3): 225 - 228.
- [ 12 ] 刘再华. 碳酸酐酶对碳酸盐岩溶解的催化作用及其在大气 CO<sub>2</sub> 沉降中的意义[J]. 地球学报, 2001, 22(5): 477 - 480.
- [ 13 ] 李为, 余龙江, 袁道先, 等. 西南岩溶生态系统土壤微生物的初步研究[J]. 生态学杂志, 2004, 23(2): 136 - 140.
- [ 14 ] 张捷, 包浩生. 生物喀斯特及其微形态研究[J]. 地球科学进展, 1995, 10(5): 457 - 463.
- [ 15 ] 张捷, 李升峰, 周游游. 细菌、真菌对喀斯特作用的影响研究及其意义[J]. 中国岩溶, 1997, 16(4): 362 - 369.
- [ 16 ] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [ 17 ] Holt J. G. Bergey's manual of determinative bacteriology [M]. Baltimore: Williams and wilkins. 1994.
- [ 18 ] 韩宝平. 微观喀斯特作用机理研究[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [ 19 ] 胡家骏, 周群英. 环境工程微生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1988.

## Characteristics and significance of microorganism erosion on carbonate rocks

WANG Tao<sup>1</sup>, LI Qiang<sup>2</sup>, WANG Zengyin<sup>1</sup>

(1. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Hubei 430074, China;

2. School of Life Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Hubei 430074, China)

**Abstract:** Indoor experiments on the carbonate rock erosion are conducted under four different conditions: water-rock system, water-rock-bacteria system, water-rock-actinomycete system and water-rock-epiphyte system. The results show that the erosion of rock is enhanced by microorganism; the erosion ability of epiphyte is the strongest, the actinomycete's is weaker, and the bacteria's is the weakest. Rock samples have different microcosmic erosion forms under different conditions. The surface of rock samples appeared comby in water-rock-bacteria system, wirelike in water-rock-actinomycete system and flocculence in water-rock-epiphyte system. All of these characteristics are related to the form of the microorganism.

**Key words:** microcosmic erosion; microorganism; carbonate rock

编辑: 吴霞芬