

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

# 初探藻类、地衣生物岩溶微形态 与内陆环境间相关性

曹建华 王福星

(中国地质科学院岩溶地质研究所, 桂林, 541004)

**内容提要** 藻类、地衣可以直接殖居在碳酸盐岩表面, 通过生物化学、生物物理过程对其基质产生钻孔溶蚀作用, 并产生相应特征性的微形态。文中初探了微形态与①岩面的水热条件; ②不同地貌部位的微环境; ③植被覆盖程度; ④不同气候带间存在的相关性。并讨论和展望了生物岩溶微形态研究的前景, 开拓生物岩溶研究新思路。

**关键词** 藻类 地衣 生物岩溶 溶蚀微形态 内陆环境

H. A. Viles<sup>[1]</sup>将生物岩溶(Biokarst)定义为“在较大程度上由生物直接侵蚀或沉积碳酸钙所形成的地貌形态”。从地球系统科学的岩溶观的内涵看, 这一定义欠完善。对生物岩溶微形态的深入研究引起许多思索: 生物是生物岩溶的主体, 而生物的生存与活动受到生态环境的制约, 进而影响生物岩溶微形态的发育。那么, 生物岩溶微形态与①岩面水热条件; ②不同地貌部位; ③植被覆盖的程度; ④不同气候带之间是否存在着某种对应性? 亦即陆地生物岩溶微形态是否具有环境指示意义? 这方面的研究国外已有几位研究者涉及到<sup>[2~4]</sup>, 但主要集中在海滨、海岸带。国内还未见报道<sup>[5~7]</sup>。本文以多年在我国南方岩溶山区观察研究所得的第一手资料, 对藻类、地衣生物岩溶微形态发育与环境间的相关性作一初步的探索。

## 1 藻类地衣生物岩溶微形态的主要类型

### 1.1 藻类、地衣生物钻孔溶蚀的单元及特征

石生的藻类、地衣殖居岩石表面, 通过生物化学、生物物理过程钻蚀岩石浅表层。在扫描镜(实体镀金样品)及高倍生物显微镜(岩石薄片)下, 首先观察到的是大量的微米级的球状、丝状钻孔。它们是由球状藻体、丝状藻体; 地衣真菌丝体、地衣藻体及地衣子实体所形成。

球状藻细胞, 多为色球藻科的分子, 以单细胞及多细胞集合体出现。单细胞藻体的直径多为5~15  $\mu\text{m}$ , 其钻孔作用在碳酸盐岩表面形成半球状、超半球状的穴状钻孔。多细胞集合体, 具有共同的胶质鞘, 其成分为多糖(Polysaccharides), 多糖在微生物作用下可转化为具有腐蚀性的有机酸, 对下伏岩石基质产生腐蚀作用, 产生球冠状、半球状, 直径10~200  $\mu\text{m}$ 的穴状钻孔。另外球状藻体对碳酸盐岩浅表层的钻孔溶蚀还可以形成棒槌状、管状钻孔。形成这类钻孔的原因可能是, 藻类的钻孔深度受到光线所能透射的岩石表层所制约, 而藻类分泌的各类酸性物质在钻孔底部富集的结果。

注: 本文为国家自然科学基金(编号 49272160 和 49632100)和地质矿产部岩溶动力学开发研究实验室资助。  
本文 1997 年 7 月收到, 1998 年 2 月改回, 萧品芳编辑。

丝状藻体对碳酸盐岩的钻孔溶蚀常形成直径 $5\sim 10\ \mu\text{m}$ 的丝状钻孔形态。在显微观察研究中,从其微形态的特征可以佐证钻孔作用系生物化学溶蚀过程,即随着丝状藻体向岩内延伸,其钻孔直径比丝状藻体略宽大,而边缘具溶蚀波纹。同时,在显微观察研究中也发现了丝状藻体钻孔溶蚀初期的生物物理过程:丝状藻体集合体的共同衣鞘在与岩表接触处变薄、破裂,单列的丝状藻体沿岩石矿物颗粒结合缝向岩内延伸过程中短柱状的丝状藻细胞变成细长的长杆状(图版 I-1,2)。在碳酸盐岩表面栖居的常见的丝状藻有林碧藻(*Lynbya* sp.)、伪枝藻(*Scytonema* sp.)和念珠藻(*Nostoc* sp.)等。

地衣丝状真菌钻孔形态,直径多为 $1\sim 2\ \mu\text{m}$ ,至 $3\sim 4\ \mu\text{m}$ ,壁多光滑。有时丝状钻孔的直径变化频繁,呈串珠状。由于真菌体为异养生物,沿着岩石导水裂隙丝状钻孔可向岩内有更大的延伸,可达 $1\sim 3\ \text{mm}$ 。

地衣藻细胞通常在岩石浅表层 $0\sim 400\ \mu\text{m}$ 范围内形成栅栏状或蠕虫状的钻孔。

地衣子实体有子囊壳、子囊盘之分,其整体下蚀形成地衣微溶孔,口面直径 $100\sim 300\ \mu\text{m}$ ,个别可达 $700\sim 1000\ \mu\text{m}$ ,其深度几十微米至几百微米。子囊壳形成的微溶孔呈球状、扁球状、壶状、瓶口状,密集时表面呈蜂窝状(图版 I-3);子囊盘则多形成半球状、盘状微溶孔。而文字衣属(*Graphid* sp.)中的某些分子的子实体则在岩表形成星射状、蠕虫状微溶孔(图版 I-4)。

## 1.2 藻类、地衣生物岩溶侵蚀微形态分类

藻类、地衣生物岩溶微形态从成因上可分为藻类生物岩溶溶蚀微形态系列、地衣生物岩溶溶蚀微形态系列;从形态上又可进一步分为正形态、负形态。其发育的个体大小大都位于 $10^{-2}\sim 10^{-6}\ \text{m}$ (表1)。

表1 藻类、地衣生物岩溶微形态分类及尺寸分布

Table 1 Classification and size of algae, lichen biokarst microforms

| 尺 寸(m)  |     | $10^{-2}\sim 10^{-3}$ | $10^{-3}\sim 10^{-4}$ | $10^{-4}\sim 10^{-5}$ | $10^{-5}\sim 10^{-6}$            |
|---------|-----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 藻类微形态序列 | 正形态 | 向 光 性 石 刺             |                       |                       | 藻类、地衣溶蚀单元形成的穴状、丝状、棒槌状、栅栏状、蠕虫状等钻孔 |
|         | 负形态 | 溶 孔                   |                       |                       |                                  |
| 地衣微形态序列 | 正形态 | 微 石 牙                 |                       |                       |                                  |
|         | 负形态 | 地 衣 微 溶 孔             |                       |                       |                                  |

从表1中可以看出藻类生物岩溶侵蚀微形态序列为:正形态,已发现的重要类型是发育于岩溶洞穴弱光带的向光性石刺(Light-oriented pinnales)。在岩石薄片,尖峰及凹洼处分布多种形状、大小和延伸深度的藻类、真菌钻孔。

藻类溶蚀负形态中,藻类溶孔在我国南方广泛发育。典型者为较规则的口小腹大的囊袋装。在溶孔周壁表面的有机质中,检出蓝绿藻中的色球藻属、鞘丝藻属、织线藻属种的分子。在岩石薄片,溶孔周壁浅表层发育厚 $100\sim 150\ \mu\text{m}$ ,直接 $15\sim 25\ \mu\text{m}$ 的棒槌状藻类钻孔;其下发育直径 $5\sim 6\ \mu\text{m}$ 的真菌丝状钻孔。

地衣侵蚀微形态序列为:正形态,微石牙,微石牙大小一般为高 $0.2\sim 2\ \text{mm}$ ,底部直径 $0.4\sim 2.5\ \text{mm}$ ,分布密度为 $12\sim 55\ \text{个}/\text{cm}^2$ 。主要发育于山体的顶部。

地衣溶蚀负形态则为多种多样的地衣微溶孔,密集分布时,岩面呈蜂窝状。

## 2 藻类、地衣生物岩溶微形态发育与环境的相关性

### 2.1 藻类溶孔、地衣微溶孔与岩面水热条件

生物岩溶侵蚀微形态的发育程度与生物的活力密切相关,而生物活力受到生态环境制约。

在同一岩石露头上,尤其受到水分及光照的影响。如桂林靖江王墓石灰岩雕像群上,藻类溶孔在背阳面(NE40)发育得大而深,在向阳面(SW220)发育得小而浅。在取自广西弄岗岩溶森林保护区藻类溶孔样品 92 LGR013 的岩石剖面中,直径  $10 \pm \mu\text{m}$  的球状藻细胞在溶孔的左壁藻类钻孔呈单列棒槌状,向岩内延伸  $50 \sim 80 \mu\text{m}$ ,发育方向几乎垂直岩表;而在右壁藻类钻孔呈管状,局部弯曲交织成网状,发育方向向右偏斜,最大发育深度在溶孔最低点偏右上,延伸  $400 \sim 500 \mu\text{m}$ 。产生这一现象的原因可能有两个:一是水分多少的制约;二是光线入射角度的约束(右壁向光亮处?)。取自桂林市七星公园月牙山南坡的地衣生物岩溶微溶孔样品,显示出同一地衣体因殖居岩面水热条件的不同而导致地衣微溶孔发育的差异性,较干而热的一面,口面直径较大者,平均密度  $1 \text{ 个}/\text{mm}^2$ ,较小者  $2.6 \text{ 个}/\text{mm}^2$ ;相对阴而湿的一面,前者密度  $4.6 \text{ 个}/\text{mm}^2$ ,后者  $2.1 \text{ 个}/\text{mm}^2$ 。在贵州茂兰岩溶森林区发育于洼地中的同一岩石露头的地衣微溶孔显示出类似的特征(表 2)。

表 2 茂兰岩溶森林区洼地地衣生物岩溶微形态与岩面的向光性

Table 2 Relationship between lichen biokarst microforms and Light-oriented feature of rock outcrop

| 编 号      | 迎 光 面                                                                                                      | 背 光 面                                                                                                            |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 94MLR020 | 覆盖岩表的有机质厚 $100 \sim 200 \mu\text{m}$ ,丝状钻孔密度 $2 \sim 3 \text{ 个}/100 \mu\text{m}$ ,向岩内延伸 $600 \mu\text{m}$ | 覆盖岩面有机质厚 $10 \sim 15 \mu\text{m}$ ,丝状钻孔密度 $1 \sim 2 \text{ 个}/100 \mu\text{m}$ ,向岩内延伸 $200 \sim 300 \mu\text{m}$ |
| 94MLR026 | 覆盖岩表的有机质厚 $50 \sim 80 \mu\text{m}$ ,丝状钻孔密度 $5 \sim 6 \text{ 个}/100 \mu\text{m}$ ,向岩内延伸 $500 \mu\text{m}$   | 覆盖岩表有机质厚 $20 \sim 30 \mu\text{m}$ ,丝状钻孔密度 $4 \sim 5 \text{ 个}/100 \mu\text{m}$ ,向岩内延伸 $400 \mu\text{m}$          |

## 2.2 藻类、地衣生物岩溶微形态与地貌微环境

生物与生存环境之间是相互制约、相互协调的关系。前人在石灰岩海岸已经总结出生物岩溶微形态与环境间的相关性<sup>[3]</sup>。初步总结了贵州茂兰岩溶森林生物岩溶侵蚀微形态与地貌微环境间相关性,并与热带北缘的广西弄岗、亚热带桂林岩溶山区进行对比。探索峰丛洼地地貌单元中的生物岩溶微形态的发育特征。

### 2.2.1 贵州茂兰岩溶森林区洞多剖面

茂兰岩溶森林区是典型的峰丛洼地分布区,由于地势高低差异,导致垂直方向上不同地貌部位光热水等环境条件分布的不均匀性。甘天箴、穆彪<sup>[8]</sup>的观察结果表明:在森林覆盖下的山峰顶部,光照强度大、时数长、温度高、日温差大,雨量多而相对湿度小;在洼地,尤其深漏斗,其光照时数短、强度弱,日温差小,降雨小而相对湿度大。

不同地貌部位山体微环境的差异不仅导致植被的生长发育和分布的差异,也影响了藻类地衣生物岩溶侵蚀微形态发育的差异。贵州省茂兰岩溶森林区洞多村地貌剖面的调查揭示在近山顶部位地衣属主要为茶渍衣属(*Lecanore* sp.)、近洼地部位主要为地图衣属(*Rhizo-carpon* sp.),从山顶、山坡至洼地也可以划分出 4 个特征性的生物岩溶侵蚀微形态组合带(图 1):

I 带 山顶及其附近:以藻类溶孔,地衣微石牙、微溶孔为特征。在岩石剖面中,最大钻孔深度可达  $1000 \sim 1500 \mu\text{m}$ 。

II 带 山坡上部、中部:随着森林覆盖率的提高,林下阴湿,耐阴苔藓植物增多,而地衣微溶孔、藻类溶孔渐减少。在岩石剖面中,最大钻孔深度可达  $400 \sim 800 \mu\text{m}$ 。

III 带 山坡下部向洼地过渡地段:地衣微溶孔发育,地衣在岩面殖居使岩面呈多种颜色,但钻孔深度并未增加。

IV 带 洼地中:由于洼地可直接受到阳光照射,地衣发育的颜色单调,且地衣微溶孔在岩

石露头的不同部位有不同的发育特征(表2)。

以上的分析结果表明不同的地貌部位、不同的微环境可产生不同的生物岩溶微形态的特征,反过来讲,在同一地区不同生物岩溶微形态组合特征代表着不同的微环境和不同的岩溶地貌部位。亦即生物岩溶微形态中蕴藏着岩溶环境、岩溶地貌等方面的信息。

### 2.2.2 茂兰森林区与弄岗森林区的对比

据野外观察结果,两个不同气候带:热带北缘广西弄岗岩溶森林区弄水村、亚热带茂兰岩溶森林区洞多村两地貌剖面生物岩溶微形态存在着如下差异:①文字衣属中的分子仅发现于热带森林区,故岩面呈

射状、蠕虫状地衣微溶孔为热带所特有。②热带地衣微溶孔种类明显多于亚热带,且演化成更多变异的融合形态,如花瓣状;地衣微溶孔的发育、分布密度在剖面中不同部位的表现多不相同。③藻类溶孔在茂兰洞多剖面中仅见于山顶,而在弄水剖面中则断续出现。

### 2.2.3 茂兰森林区与桂林丫吉岩溶山区的对比

当地球表面被森林覆盖后,太阳辐射的作用面抬升到树冠层,这样不仅构成了森林群落内环境,而且影响了一定范围内的小气候。因此桂林丫吉岩溶山区生物岩溶微形态与茂兰森林区相比有如下不同:①藻类溶孔,裸露岩溶山区显著多于森林区,且集中分布于山坡下部。②地衣微溶孔的种类、分布密度裸露岩溶山区少于森林区,一般占据岩石露头的0~30%,而森林区则可达30%~70%,或更多。③裸露岩溶山区常见流水岩溶小形态与生物岩溶微形态重叠,如藻类溶孔与溶沟、地衣微溶孔与梳状微溶痕重叠在一起。

### 2.2.4 藻类侵蚀正形态与岩溶洞穴微环境

在我国南方许多大型洞穴洞口及天窗等有光线的部位,藻类可生长发育,其侵蚀作用形成向光性的石刺。石刺发育的部位、大小、形状都受到光强度的影响。即洞口进光面积越大,石刺分布的范围距洞口越远;而且同一洞穴洞口附近可发育多种形态的刺体,由外向里,一般按圆锥状—棒条状—尖刺状排列。

## 3 讨论及展望

(1)生物岩溶微形态因地貌部位微环境的差异而有所不同,这意味着生物岩溶作用强度存在着差异性。而生物岩溶作用存在着直接作用和间接作用。因此,深入研究生物岩溶微形态不

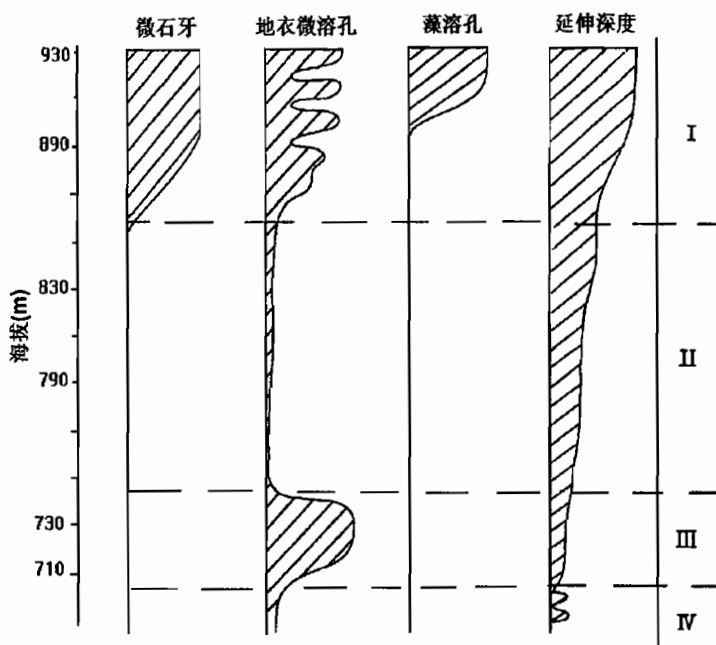


图1 不同地貌部位藻类、地衣生物岩溶微形态的分布特征

Fig.1 Distribution of algae,lichen biokarst microforms at varying geomorphological positions, Maolan, Guizhou

仅可以建立生物岩溶微形态组合特征与生态、气候间对应关系;还将阐明生物活性与岩溶化程度与地貌发育营力中生物作用间的相互关系。这不仅是生物岩溶研究的重要内容,也是揭示岩溶地貌发育生物机理的重要方面<sup>[9]</sup>。本文的研究结果也使我们认识到在微环境条件下形成的生物岩溶微形态中蕴藏着大环境的信息,是联系微环境与大环境间的桥梁。微环境形成于大环境之中,某种程度上是大环境的缩影,而生物岩溶微形态则可成为其标志。如文字衣(*Graphid* sp.)形成的星射状、蠕虫状微溶孔为热带森林区所特有;而亚热带岩溶森林区则以由茶渍衣属(*Lecanore* sp.)和地图衣属(*Rhizocarpon* sp.)形成的丰富的球状微溶孔及集中分布于山顶部位的藻类溶孔、微石牙为特征。

(2)生物岩溶微形态是生物与碳酸盐岩在一定的生态、气候下相互作用的结果。它反映了石生生物的生活习性。其研究不仅有助于对石生生物生理、生态的认识及其分类鉴定<sup>[10]</sup>;而且有助于研究石山植被的演化和恢复<sup>[11]</sup>。

(3)我国有较为广阔的石灰岩海岸,如江苏、山东、海南等,而我国对海岸带的生物喀斯特微形态研究甚少。据已有的国外文献,制约海岸带生物岩溶微形态的主要因子是海水深度。因此,开展海岸带生物岩溶微形态的研究,有可能为海平面的变化提供有益的信息。

本文得到贵州茂兰国家级自然保护区管理处的大力支持,冉景丞同志参加了野外工作,并提出宝贵意见,在此一并表示感谢。

## 参 考 文 献

- 1 Viles H A. Biokarst: review and prospect. *Progress in Physical Geography*, 1984, 8:532~542.
- 2 Danin A, Garty J M. Distribution of Cyanobacteria and Lichens on hillsides of the Negev Highlands and their impact on biogenic weathering. *Z. Geomorph.*, 1983, N. F. 27:423~444.
- 3 Trudgill S T. Limestone Coastal Morphology. *Progress in Physical Geography*, 1988, 12: 66~100.
- 4 Guijarro J A. Bioclimatic aspects of Karst in Mallorca. In: *Karst And Caves in Mallorca, International Symposium on Karren Landforms*, 1995. 17~25.
- 5 张捷. 喀斯特侵蚀过程中藻类作用的微观形态研究. *地理学报*, 1993, 48(3):235~243.
- 6 张捷. 地衣喀斯特侵蚀作用的初步研究. *地理学报*, 1993, 48(5):437~446.
- 7 张捷. 生物喀斯特及其微形态研究. *地球科学进展*, 1995, 10(5):457~463.
- 8 甘天, 穆彪. 茂兰喀斯特森林气候考察报告. 见: *茂兰喀斯特森林科学考察集*. 贵州人民出版社, 1984. 98~109页.
- 9 曹建华, 王福星. 桂林地区生物喀斯特微观形态与喀斯特地貌宏观形态间分形特征. *南京大学学报(自然科学版)*, 1996, 32(1):145~155.
- 10 钱凯先, 朱浩然. 中国穿钙藻类研究: (一) 江苏连云港海区的穿钙藻类. *南京大学学报*, 1982, (藻类专辑): 82~93.
- 11 曹建华, 王福星, 何师意, 黄俊发. 广西弄岗自然保护区壳状内生地衣与岩石持水性及其喀斯特意义. *地球学报*, 1995, 4: 420~430.

## 图 版 说 明

- 1, 2. 丝状藻体在碳酸盐岩表面定居的生物物理过程, ×160, 样品 93GLR002, 采于桂林试验场。
3. 地图衣(*Rhizocarpon* sp.)形成的蜂窝状微溶孔, ×10, 样品 94LGR008, 采于广西弄岗岩溶森林区。
4. 文字衣(*Graphid* sp.)形成的星射状、蠕虫状微溶孔, ×7, 样品 93LGR160, 采于广西弄岗岩溶森林区。
- 5a, 5b. 球状藻类与岩面水热条件间的关系, ×280, 样品 93MLR043, 采于贵州省茂兰岩溶森林区。

## 作 者 简 介

曹建华,男,1963年生。1987年毕业于南京大学地球科学系,获理学学士学位。现任中国地质科学院岩溶地质研究所助理研究员。1990年以来一直从事生物岩溶和全球碳循环等方面的研究工作。通讯地址:541004,广西桂林七星路40号,电话:(0773)5812442。

## Relationships of Biokarst Microforms of Algae and Lichens and the Terrestrial Environment

Cao Jianhua and Wang Fuxing

(*Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin, Guangxi 541004*)

### Abstract

Algae and lichens may directly colonize and live on the surface of carbonate rocks. Through biochemical and physical processes, they bore and corrode the substrate, thus producing distinct biokarst microforms. The development of these microforms, moreover, has close relationship with the moisture and heat on the surface of carbonate rocks, microenvironments of different geomorphological positions, the cover-degree of vegetation and even different climate zones. In order to open new ideas about the study of biokarst, the prospects of the study of biokarst microforms are discussed and forecasted.

**Key words:** alga; lichen; biokarst; corrosional microform; terrestrial environment

---

