

## 贵州马岭河瀑布钙华藻类群落特征及生物岩溶作用

唐宇宏<sup>1</sup>, 潘 鸿<sup>2</sup>

(1. 遵义医学院公共管理学院, 贵州 遵义 563003; 2. 遵义医学院公共卫生学院, 贵州 遵义 563003)

**摘 要:**为探讨水流干扰和钙华藻类群落在瀑布钙华形成过程中的作用,于2007年8月对贵州马岭河峡谷天星画廊景区内3条瀑布钙华流水区、浸润区和潮湿区进行了采样,分析其种类组成、群落类型和形态、分布特征等。结果显示:(1)天星画廊景区的瀑布钙华藻类群落类型包括胶质颗粒状、胶质团块状、垫状、绒毡状和粉末状5种类型,钙华藻类以蓝藻占优势,在受水流中等程度干扰的生境中(浸润区)钙华藻类物种多样性和群落多样性较高;(2)钙华藻类群落对瀑布钙华的形成同时存在沉积和溶蚀作用,藻类群落可影响瀑布钙华沉积和溶蚀的方向性;(3)在中等程度水流干扰作用下,钙华藻类群落在瀑布钙华形成过程中以沉积作用为主,在强或弱水流干扰作用下,则以溶蚀作用为主。因此认为:水流干扰程度和藻类群落类型共同作用是控制瀑布钙华形态构造多样化的主要因素之一;水流的中度干扰有利于瀑布钙华的形成。

**关键词:**钙华藻类;群落类型;水流干扰;生物岩溶;瀑布

**中图分类号:**P931.5;Q949.2

**文献标识码:**A

## 0 引 言

钙华的成因早期认为主要是地球物理—化学形成过程。后来深入研究发现,植物在其中也起着重要作用,并提出“植物岩溶”的概念<sup>[1-2]</sup>,因此,钙华生物成因倍受人们关注。藻类属于低等植物,形态结构简单,对环境条件要求不高且适应能力强,在地球上分布广泛,是光能的最大利用者和地球生态系统中重要的组成部分<sup>[3-5]</sup>。化石研究表明,某些藻类沉淀CaCO<sub>3</sub>并以之为骨骼形成藻灰岩、藻白云岩等生物化学岩<sup>[6]</sup>,表明藻类在地球及地球生命演化过程中扮演着重要的角色<sup>[7]</sup>。

藻类可通过间接(如同化作用)或直接(如分泌作用)的生物作用形成碳酸盐颗粒,再以物理作用(如藻体外黏液黏结或丝状藻体交织拦截等构建作用)促使钙华沉积;也可通过直接产生的有机酸(分泌或分解

产生)和间接产生的无机酸作用(呼吸作用释放的CO<sub>2</sub>溶解于水中形成的碳酸)促使碳酸盐的溶蚀<sup>[2,8-12]</sup>。因此,藻类在微岩溶地貌的形成和发育过程中有着重要的作用。

贵州处于世界喀斯特集中分布的亚洲片区的中心,国内对钙华藻类的研究多集中于该区域,主要研究领域包括藻类多样性、群落形态特征、钙华生物成因等方面<sup>[13-18]</sup>。瀑布钙华是河流瀑布处形成的一种钙华形式,在贵州省马岭河峡谷分布极为广泛,是峡谷喀斯特风光的重要组成部分。目前对其钙华藻类的研究主要包括物种多样性<sup>[14]</sup>、钙华形成中的作用方式<sup>[19]</sup>和群落形态对钙华形态构造的影响<sup>[20]</sup>等方面。已有研究证实藻类在钙华生物成因中同时存在沉积和溶蚀两种截然相反的作用<sup>[2,8-12]</sup>,但瀑布钙华的形成过程中,钙华藻类的沉积和溶蚀作用强度可能因水流干扰作用不同而存在差异,目前鲜见相关的

第一作者简介:唐宇宏(1978—),女,硕士,讲师,研究方向:遗传学,藻类学。E-mail:16751975@qq.com。

通讯作者:潘鸿(1975—),男,讲师,研究方向:藻类学,生态学,环境生物学。E-mail:ph-tian999@163.com。

收稿日期:2013-05-23

报道。因此,本研究拟通过对马岭河峡谷的天星画廊景区瀑布钙华藻类组成、群落结构特征和分布、瀑布钙华微形态等的研究,探讨水流干扰与藻类群落共同作用下的瀑布钙华生物成因,以期对瀑布钙华的形成机制研究提供相关资料和数据。

1 研究区域概况

马岭河发源于乌蒙山,流入贵州与广西交界的南盘江,贯穿贵州兴义市。马岭河峡谷为一国家级地质公园,区内总体属亚热带湿润季风气候,年均气温 16.1℃,极端高、低气温分别为 34.9℃和-3.1℃。年均无霜期 342 天,年均降雨量为 1 520.9 mm。区域内三叠系碳酸盐岩广泛分布,以峡谷、峰丛、峰林、石林以及发育期间的瀑布群、泉群等景观为主要特征。峡谷全长约 74.8 km,底宽 30~50 m,上游切割深度约为 300 m,下游可达 600 m 以上<sup>[21]</sup>。区域内的天星画廊景区为东经 104°56′,北纬 25°08′处,全长约 2 km 的一段峡谷地带,属国家级重点风景名胜区的主要组成部分,景区内常年性瀑布有 10 余条,瀑布钙华为主要的钙华景观,多呈垂幔状、肺叶状、鳞片状等形态。

2 材料与方法

2007 年 8 月,依据瀑布水流干扰程度的差异,在天星画廊景区 3 条瀑布距地面 1.5 m 处的流水区(A)、浸润区(B)和潮湿区(C)分别采样(图 1)。其中,A 区为瀑布水流直接冲刷的区域;B 区为瀑布水流跌落时溅水浸润区域,钙华表面可形成滴落的水滴;C 区仅受瀑布水流跌落产生的水雾的影响,钙华表面潮湿,但不形成可滴落的水滴。每个区域随机选择 2 个样方(10 cm×10 cm),记录藻类群落形态特征。每个样方用小刀沿对角线连基质等距离取 5 份样品(约 1 cm<sup>2</sup>),共 90 份。其中,对角线两端及中部(1、3、5 号)接近方形截取,另外 2 份样品(2、4 号)沿瀑布水流方向按倒梯形方式截取(图 1)。

体式显微镜(SZM-45)下将近方形样品分离为藻体和基质两部分,分别采用 5%的冰醋酸和 1%的盐酸反复浸泡至无气泡产生,沉淀 48 h 后去上清液混合,加入固定液(甘油:甲醛:水=10:10:80)保存。样品摇匀后制作 10 张装片,在光学显微镜(Olympus BX51)下观察钙华藻类形态特征,并依据文献资料描

述<sup>[4,22-23]</sup>尽量鉴定到种。在 10 张装片均检测出,且平均数量最多的物种或类群定为该样品的优势种或类群,以“+++”表示;检测频率在 50%~90%之间,且平均数量相对较少的物种或类群定为伴生种或类群,以“++”表示;检测频率<50%,且平均数量少的物种或类群定为偶见种或类群,以“+”表示。

体式显微镜(SZM-45)下,用双面刀片平行水流方向(梯形样品对称线)连同基质剖开梯形样品,观察钙华沉积微形态(藻类群落表面及内部的钙华结构)和溶蚀微形态(基质表面及内部形态)。将沉积微形态从藻类群落中分离后,滴加少量 1%的盐酸,并在光学显微镜(Olympus BX51)下观察溶蚀结果。

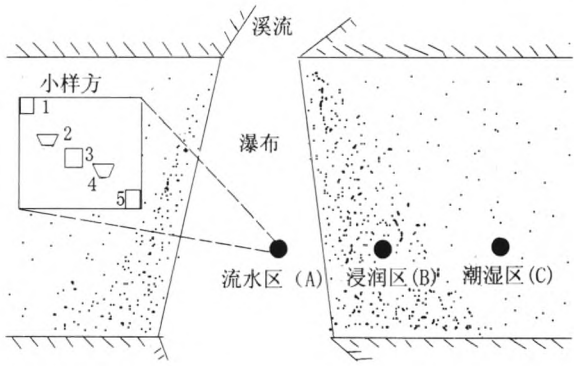


图 1 瀑布钙华采样示意图

Fig. 1 Schematic sketch of the sampling sites for waterfall tufa

3 研究结果

3.1 瀑布钙华藻类组成及群落特征

经初步鉴定,3 条瀑布的钙华藻类共计 146 种(含变型及变种),隶属 3 门 7 纲 14 目 18 科 33 属;种或属的数量均以蓝藻占优势(表 1),并以粘球藻属(*Gloeocapsa* Kütz.)、粘杆藻属(*Gloeotheca* Näg.)和隐球藻属(*Aphanocapsa* Näg.)的种类最多,分别为 17, 11 和 10 种;硅藻门以舟形藻属(*Navicula* Bory)和桥弯藻属(*Cymbella* Ag.)的种类最多,分别为 12 和 8 种;绿藻门以鼓藻属(*Cosmarium* Cord)种类最多,达 5 种。

表 1 瀑布钙华藻类种类组成

Table 1 The constituent of waterfall tufa algae

| 门                  | 纲 | 目  | 科  | 属  | 种   |
|--------------------|---|----|----|----|-----|
| 蓝藻/Cyanophyta      | 3 | 5  | 6  | 19 | 101 |
| 硅藻/Bacillariophyta | 2 | 5  | 8  | 10 | 37  |
| 绿藻/Chlorophyta     | 2 | 4  | 4  | 4  | 8   |
| 合计                 | 7 | 14 | 18 | 33 | 146 |

瀑布 A、B 和 C 区分别检测出 14、30 和 18 属钙华藻类(表 2),分别占总属数的 42.42 %,90.91 %和 54.55 %;表明钙华藻类物种多样性以 B 区最高,其次为 C 区,A 区最低。普生性的属(3 区均有分布)共 8 属,占总属数的 24.24 %;其中,仅舟形藻属(*Navicula* Bory)为硅藻,其余 7 属均为蓝藻。种类分布上,硅藻多数属分布于 B 区,眉藻属(*Calothrix* Ag)、单歧藻属(*Tolypothrix* Kütz.)和真枝藻属(*Stigonema* Ag.)等蓝藻仅分布于 C 区(表 2)。优势种的

分布上:A 区以蓝藻门的沉钙双须藻(*Dichothrix gypsophila*)和绿藻门的泉生根枝藻(*Rhizoclonium fontanum*)占优势;B 区以蓝藻门的卡氏隐杆藻(*Aphanothece castagnei*),灰绿隐杆藻(*Aphanothece pallida*)和小型念珠藻(*Nostoc minutum*)占优势;C 区无明显的优势种或类群,但以蓝藻门的粘球藻属、色球藻属(*Chroococcus* Näg.)、粘囊藻属(*Myxosarcina* Printa.)、星球藻属(*Asterocapsa* Chu)等的种类较常见。

表 2 瀑布钙华藻类属的分布  
Table 2 The distribution of genus at waterfall tufa algae

| 属    |                            | 分布特征 |     |    | 属    |                            | 分布特征 |    |    |
|------|----------------------------|------|-----|----|------|----------------------------|------|----|----|
|      |                            | A    | B   | C  |      |                            | A    | B  | C  |
| 隐球藻属 | <i>Aphanocapsa</i> Näg.    | +    | ++  | +  | 粘囊藻属 | <i>Myxosarcina</i> Printa. | —    | +  | ++ |
| 隐杆藻属 | <i>Aphanothece</i> Näg.    | +    | +++ | +  | 真枝藻属 | <i>Stigonema</i> Ag.       | —    | —  | +  |
| 色球藻属 | <i>Chroococcus</i> Näg.    | +    | +   | ++ | 直链藻属 | <i>Melosira</i> Agardh     | —    | +  | —  |
| 粘球藻属 | <i>Gloeocapsa</i> Kütz.    | +    | ++  | ++ | 等片藻属 | <i>Diatoma</i> De Cand.    | —    | +  | —  |
| 星球藻属 | <i>Asterocapsa</i> Chu     | —    | +   | ++ | 脆杆藻属 | <i>Fragilaria</i> Lyngby.  | +    | +  | —  |
| 粘杆藻属 | <i>Gloeothece</i> Näg.     | +    | ++  | +  | 短缝藻属 | <i>Eunotia</i> Ehr.        | —    | +  | —  |
| 石囊藻属 | <i>Entophysalis</i> Kütz.  | —    | +   | ++ | 舟形藻属 | <i>Navicula</i> Bory       | +    | +  | +  |
| 鞘丝藻属 | <i>Lyngbya</i> Ag.         | —    | +   | —  | 羽纹藻属 | <i>Pinnularia</i> Ehr.     | —    | +  | +  |
| 颤藻属  | <i>Oscillatoria</i> Vauch. | —    | +   | +  | 桥弯藻属 | <i>Cymbella</i> Ag.        | +    | +  | —  |
| 席藻属  | <i>Phormidium</i> Kütz.    | +    | ++  | +  | 异极藻属 | <i>Gomphonema</i> Ag.      | —    | +  | —  |
| 裂须藻属 | <i>Schizothrix</i> Kütz.   | +    | +   | —  | 菱形藻属 | <i>Nitzschia</i> Hass.     | —    | +  | —  |
| 念珠藻属 | <i>Nostoc</i> Vauch.       | ++   | +++ | +  | 双菱藻属 | <i>Surirella</i> Turp.     | —    | +  | —  |
| 眉藻属  | <i>Calothrix</i> Ag.       | —    | —   | +  | 绿球藻属 | <i>Chlorococcum</i> Fries  | —    | +  | +  |
| 双须藻属 | <i>Dichothrix</i> Zan.     | +++  | +   | —  | 丝藻属  | <i>Ulothrix</i> Kütz.      | —    | +  | —  |
| 伪枝藻属 | <i>Scytonema</i> Ag.       | —    | +   | ++ | 根枝藻属 | <i>Rhizoclonium</i> Kütz.  | +++  | +  | —  |
| 单歧藻属 | <i>Tolypothrix</i> Kütz.   | —    | —   | +  | 鼓藻属  | <i>Cosmarium</i> Cord.     | +    | ++ | —  |
| 翅线藻属 | <i>Petalonema</i> Berk.    | —    | ++  | —  |      |                            |      |    |    |

注:“+”,“++”,“+++”和“—”分别表示偶见属、伴生属、优势属和样品中未检测出。

依据群落中优势种或类群及其形态特征等,将马岭河峡谷瀑布钙华藻类群落划分为 5 种类型:(1)胶质颗粒状群落:主要分布于 B 和 A 区,以念珠藻属种类占优势,在群落中呈球形或近球形的胶质颗粒;群落中常见粘球藻属、色球藻属、舟形藻属、桥弯藻属和等片藻属(*Diatoma* De Cand.)的种类;(2)胶质团块状群落:主要分布于 B 和 A 区,以隐杆藻属(*Aphan-*

*othece* Näg.)的种类占优势,在群落中呈较厚的胶质团块;群落中常见种类与胶质颗粒状群落类似;(3)粉末状群落:主要分布于 C 区,群落中无明显优势种或类群,但以粘球藻属、色球藻属、星球藻属、石囊藻属(*Entophysalis* Kütz.)、舟形藻属等种类较为常见;(4)绒毡状群落:主要分布于 C 和 B 区,以伪枝藻属(*Scytonema* Ag.)、单歧藻属、真枝藻属等具胶质鞘

的丝状蓝藻占优势;藻丝多为不定向匍匐延伸生长,部分藻丝呈直立或近直立状;(5)垫状群落:主要分布于 A 和 B 区,以绿藻门的根枝藻属(*Rhizoclonium* Kütz.)、蓝藻门的颤藻属(*Oscillatoria* Vauch.)和席藻属(*Phormidium* Kütz.)等不具胶质鞘或胶质鞘薄而柔软的丝状藻类占优势;藻丝定向(与水流方向一致)匍匐延伸生长。

3.2 瀑布钙华微形态观察

本研究中,瀑布钙华同时具有两种相反作用下形成的微形态——沉积微形态和溶蚀微形态。其中,沉积微形态是指仅存在于藻类群落表面及内部的碳酸盐结构,主要为碳酸盐颗粒和碳酸盐管;而溶蚀微形态是指藻类群落下的钙华基质表面的溶蚀盘和基质内部的溶蚀道或溶蚀洞等(图 2)。

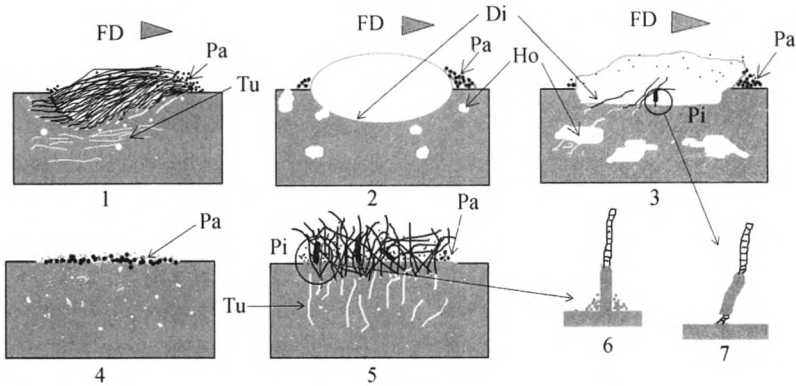


图 2 钙华微形态模式

Fig. 2 The pattern of tufa micro-morphology (FD, Pa, Pi, Di, Tu and Ho is flow direction, carbonate particle, carbonate pipe, dissolution dish, dissolution tunnel and dissolution hole, respectively.)

FD—水流方向;Pa—碳酸盐颗粒;Pi—碳酸盐管;Di—溶蚀盘;Tu—溶蚀道;Ho—溶蚀洞

3.2.1 沉积微形态

3.2.1.1 碳酸盐颗粒

碳酸盐颗粒为粒径约 0.1 cm 的白色或淡黄色颗粒物,在本研究中最常见。其堆积形式在 A 和 B 区具有明显的方向性:在胶质颗粒状、胶质团块状和垫状群落逆水流方向一侧靠近基质处堆积明显(图 2—1、2、3),且 B 区比 A 区更典型;但在 B 区绒毡状群落和 C 区各类群落中无明显的方向性(图 2—4、5)。用 1 % 的盐酸处理,结果显示:A 区的碳酸盐颗粒完全溶蚀;C 区绒毡状和粉末状群落中以及 B 区各群落逆水流方向处分离的碳酸盐颗粒中有少量非完全溶蚀,内部为粘球藻属、色球藻属和因形态特征不典型而难以识别的非硅藻类生物。相对而言,B 区更为罕见。

3.2.1.2 碳酸盐管

碳酸盐管为套在丝状蓝藻(如双须藻属、伪枝藻属、单歧藻属的种类)藻丝上的一段白色的管状结构,长 0.2~0.8 cm,数量少,主要分布于 B、C 区的绒毡状群落中(碳酸盐管与基质相连,图 2—6)和 B 区胶质团块状群落的胶质内(碳酸盐管未与基质相连,图 2—7);用 1 % 的盐酸处理,结果显示:被碳酸盐管包裹的藻丝的原生质呈褐色,而管外藻丝原生质呈绿色

或黄绿色。

3.2.2 溶蚀微形态

3.2.2.1 溶蚀盘

溶蚀微形态中的溶蚀盘为群落下方凹陷的基质表面,主要存在于 A 和 B 区的胶质颗粒状、胶质团块状和垫状群落(优势种单一、数量多)的下方(图 2—1、2、3);但是 C 区的绒毡状和粉末状群落下方的基本表面凹陷不明显(图 2—4、5)。

3.2.2.2 溶蚀道

溶蚀道为基质内部的细长通道,在丝状藻类占优势的群落(A 和 B 区的垫状群落,C 区的绒毡状群落)下方最为常见(图 2—1、5);溶蚀道的延伸方向在 A 区几乎与水流方向一致,在 B 区多数一致,但在 C 区无明显的方向性;在靠近基质表面(约<0.5 cm),溶蚀道内多数存在藻丝,原生质呈黄褐色。

3.2.2.3 溶蚀洞

溶蚀洞为基质内大而宽的孔洞,在 A 和 B 区的胶质团块群落下方较为常见(图 2—2、3),少数近基质表面的溶蚀洞内可见念珠藻属、隐球藻属或隐杆藻属的种类,藻体原生质呈黄褐色,在远离基质表面的溶蚀洞内可见少量硅藻(藻体分解、仅保留硅藻外壳);但在 C 区各群落下方鲜见大而宽的溶蚀洞。

## 4 讨 论

### 4.1 瀑布钙华藻类及群落特征

马岭河峡谷的天星画廊景区瀑布钙华藻类以蓝藻占优势,其次为硅藻,绿藻最少,与刘红敏等<sup>[14]</sup>的研究结果基本一致。可能是马岭河峡谷瀑布钙华藻类种类组成具有较强的季节稳定性特点,因为两期研究采样均在相同的季节(8月)。刘红敏等<sup>[14]</sup>的研究中将马岭河瀑布钙华的群落划分为胶质(以念珠藻属、隐球藻属和隐杆藻属等具有较厚群体胶被的蓝藻占优势)、皮壳状(以色球藻属、粘球藻属和粘杆藻属等胶质相对较少,且相互联接的蓝藻占优势)、垫状(以席藻属、伪枝藻属等丝状蓝藻占优势)和粉末状(无明显优势种,以色球藻属、粘球藻属和粘囊藻属种类较为常见)4种类型。本研究根据群落优势种/类群的形态特征将胶质群落分为胶质颗粒状群落(以念珠藻属占优势,胶质坚固)和胶质团块状群落(以隐杆藻属占优势,胶质柔软)两种类型;将垫状群落中藻丝非定向延伸(藻丝延伸方向多样,包括直立、近直立生长和非定向匍匐生长)的类群划分为绒毡状群落,而藻丝定向延伸(沿水流方向匍匐生长)的类群划分为垫状群落;此次采样区域中未见以色球藻属、粘球藻属和粘杆藻属等占优势的皮壳状群落,因为该群落的主要生境为气生环境。

Connell<sup>[24]</sup>提出的中度干扰假说(intermediate disturbance hypothesis)认为:在中等程度干扰的生境中物种多样性最高。这种干扰通常是指能改变生态系统、群落和种群结构,并导致自然系统中形成时空异质性斑块的事件<sup>[25-26]</sup>;而干扰的程度通常包括频度、强度、规模等<sup>[24,26-27]</sup>。对本研究而言,瀑布的水流作用是导致不同区域钙华藻类物种多样性差异的主要干扰因素:A区受瀑布水流直接冲刷作用,水流对钙华藻类的干扰程度最大;C区仅受瀑布水流跌落产生的水雾的影响,水流对钙华藻类的干扰程度最小;B区受瀑布水流跌落时的溅水和水雾共同影响,水流对钙华藻类的干扰程度在瀑布钙华的3个区域中处于中等程度。因此,瀑布钙华藻类物种多样性以B区最高,C区次之,A区最低。另外,水流干扰程度差异促使3个区域中钙华藻类优势种分布的不同,进而导致群落形态的差异。所以,钙华瀑布藻类群落类型的多样性、物种的多样性在空间分布上与水流干扰作用具有较高的一致性。

### 4.2 瀑布钙华形成中的藻类群落生物岩溶作用

生物岩溶作用是指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<sup>[28]</sup>。田友萍等对贵州香纸沟瀑布钙华藻席的研究认为,拦截和粘附结壳作用是藻类群落沉积的主要作用方式<sup>[19]</sup>。但是本研究的结果显示,不同区域的藻类群落对瀑布钙华形成过程中的作用存在一定差异。

为适应较强的水流冲刷作用,瀑布钙华A区垫状群落丝状藻类通过较强烈的钻孔作用<sup>[9,29]</sup>使藻丝基部深入到钙华基质中,而胶质颗粒或团块状群落则通过呼吸作用产生CO<sub>2</sub>在群落基部形成碳酸<sup>[10]</sup>,或由基部胶质分解产生的有机酸<sup>[29]</sup>溶解钙华基质而使群落大部分陷入。因此,A区的钙华溶蚀微形态发育较好。但区域内藻类通过同化作用和(或)分泌作用等<sup>[10]</sup>形成的碳酸盐颗粒物难以附着在垫状群落藻丝(因为垫状群落的藻丝几乎与水流方向平行而难以形成网状结构)或胶质群落的胶被上,表明该区域内的藻类生物沉积作用较弱。然而,由于群落对水流的阻挡作用,从而使得在逆水方向的群落基部形成了水流冲刷比较弱的微环境,进而导致水流中因冲击曝气、低压和喷射作用析出的碳酸盐<sup>[30-31]</sup>容易在该处发生堆积沉淀。这种堆积不仅对群落起到支撑作用,也促使了瀑布钙华在A区的沉积。因此,以上3种群落在A区的生物岩溶作用以溶蚀作用为主,在瀑布钙华沉积和溶蚀的方向性上起着重要作用。本研究结果也证实了藻类生物群落形态在多数情况下可控制钙华的形态构造<sup>[20]</sup>。

在溶蚀作用方面,瀑布钙华B区的群落与A区相似:垫状和绒毡状群落中的丝状藻类也可通过钻孔作用使藻丝基部深入钙华基质,胶质颗粒或团块状群落则通过呼吸作用和分解作用产生酸性物质溶解钙华基质而使群落陷入其中。但是钻孔作用形成的溶蚀道多数较短,且方向性不如A区典型;而胶质颗粒或团块状群落陷入钙华基质多数比A区浅,表明B区群落在瀑布钙华形成过程中的生物溶蚀作用要弱于A区。这可能是环境胁迫条件的改变(水流冲刷强度不同)导致群落中藻类生长生理发生改变所致<sup>[32]</sup>。因此,我们推测,强的水流冲刷胁迫作用促使藻类的钻孔作用、呼吸作用等增强,而分泌作用等减弱;反之,钻孔作用、呼吸作用等减弱,而分泌作用等增强,这尚待进一步的研究证实。在沉积作用方面,B区分离的碳酸盐颗粒用1%盐酸溶蚀后,偶尔可见内部为粘球藻属、色球藻属的种类,而A区的碳酸盐

颗粒完全溶解,表明 B 区的藻类生物成核作用<sup>[12]</sup>强于 A 区。这不仅是因为 B 区极缓慢的水流为钙华藻类提供足够的外源性碳酸盐(溶解于水中的碳酸盐),有利于在同化作用下析出,还可能是因为 B 区的钙华藻类具有更高的物种多样性,从而使 B 区的钙华生物沉积作用更为丰富所致。因此认为,B 区藻类群落生物溶蚀作用弱于 A 区,而生物沉积作用和物理沉积作用强于 A 区,该区内瀑布钙华以沉积为主。

尽管瀑布钙华 C 区中分离的碳酸盐颗粒溶蚀后有相对较多的粘球藻属、色球藻属的种类存在,但是由于该区域无水流的直接作用,群落沉积的外源性碳酸盐主要来自于饱和的水雾,因此,该区域内各种群落对瀑布钙华的沉积作用有限。相反,由于没有水流的稀释作用,藻类通过呼吸作用和分解作用产生的酸类物质对钙华溶蚀作用则会更强。因此认为,瀑布钙华 C 区内的藻类群落对钙华的溶蚀作用强于沉积作用,钙华表层表现为疏松多孔的形态。

## 5 结 论

(1)马岭河峡谷的天星画廊景区瀑布钙华藻类以蓝藻占优势,种类组成具有较强的季节稳定性特点;在受水流中等程度干扰的生境中,瀑布钙华藻类物种多样性和群落多样性较高;

(2)钙华藻类群落对瀑布钙华的形成同时存在沉积和溶蚀作用,藻类群落可影响瀑布钙华沉积和溶蚀的方向性;

(3)在中等程度水流干扰作用下,钙华藻类群落在瀑布钙华形成过程中以沉积作用为主;在强或弱水流干扰作用下,则以溶蚀作用为主;

(4)水流干扰程度和藻类群落类型共同作用是控制瀑布钙华形态构造多样化的主要因素之一。

**致 谢:**审稿专家和编辑对本文的修改提出了宝贵的建议和意见,在此致以衷心的感谢。

## 参考文献

[1] 袁道先. 岩溶学词典[M]. 北京:地质出版社,1988:6.  
[2] Folk R L, Roberts H H, Moore C H. Black phytokarst from Hell, Cayman Islands, British West Indies[J]. Geological Society of America Bulletin, 1973, 84(7): 2351-2360.  
[3] 福迪 B. 藻类学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1980:1-10, 370-414.  
[4] 胡鸿钧,魏印心. 中国淡水藻类:系统、分类及生态[M]. 北京:

科学出版社,2006:1-915.

[5] 奥德姆 E P. 生态学基础[M]. 北京:人民教育出版社,1981:25-33.  
[6] 王福星,曹建华,黄俊发,等. 生物岩溶[M]. 北京:地质出版社,1993:16-32.  
[7] 刘志礼. 化石藻类学导论[M]. 北京:高等教育出版社,1990:1-491.  
[8] 张捷. 地表喀斯特沉积中藻类作用的观察研究[J]. 地理研究, 1992, 11(2): 26-33, 109-112.  
[9] 钱凯先,朱浩然. 中国穿钙藻类研究:(一)江苏连云港海区穿钙藻类[J]. 南京大学学报,1982(藻类专辑): 82-93.  
[10] 王福星,曹建华,黄俊发. 初论藻类生物岩溶作用[J]. 桂林工学院学报,1995, 15(2): 149-156.  
[11] 张捷,李什峰,陈舒泛. 石灰岩表面溶针孔的初步研究[J]. 中国岩溶,1991,10(2): 151-158.  
[12] Golubic S, Perkins R D, Lukas K J. Boring microorganisms and microborings in carbonate substrates[M]//R. W. Frey, Editor. The Study of Trace Fossils: A Synthesis of Principles, Problems, and Procedures in Ichnology. New York: Springer, 1975:229-259.  
[13] Pentecost A, Zhang Z. A review of Chinese travertines[J]. Cave and Karst Science, 2001, 28(1): 15-28.  
[14] 刘红敏,李杰,陈作州,等. 兴义马岭河峡谷瀑布藻类多样性初步研究[J]. 贵州科学,2007,25(2): 78-80.  
[15] 向刚,陈稼,刘宁. 荔波小七孔钙华藻类多样性初步研究[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版),2002,20(2): 35-40.  
[16] 田友萍,何复胜. 石灰华的生物成因研究——以四川九寨沟和贵州黄果树等地石灰华为例[J]. 中国岩溶,1998,17(1): 49-55.  
[17] 王智慧,张朝晖,李建华. 琵琶潭瀑布岩溶沉积物生物多样性研究[J]. 中国岩溶,2007,26(2): 178-182.  
[18] 田友萍,何复胜. 贵州盘县风洞藻席蓝藻群落生态初探[J]. 中国岩溶,1996,15(3): 233-238,300.  
[19] 田友萍,何复胜. 贵州香纸沟瀑水钙华藻席研究[J]. 中国岩溶,1997,16(2): 145-154.  
[20] 王智慧,张朝晖,李建华. 石灰华扇(Tufa Fan)沉积物中的微生物多样性[J]. 沉积学报,2008,26(4): 670-675.  
[21] 徐柯健,李兴中,刘嘉麒. 贵州兴义喀斯特景观特征[J]. 中国岩溶,2008,27(2): 157-164.  
[22] 廣瀬弘幸,山岸高旺. 日本淡水藻図鑑[M]. 東京:内田老鶴圃,1981:1-829.  
[23] Wehr J D, Sheath R G. Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification[M]. New York: Academic Press, 2003:59-774.  
[24] Connell J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs [J]. Science, 1978, 199(4335): 1302-1310.  
[25] Sousa W P. Disturbance in marine intertidal boulder fields: The nonequilibrium maintenance of species diversity[J]. Ecology, 1979, 60(6): 1225-1239.  
[26] Pickett S T A, White P S. Patch dynamics: A synthesis [C]//Picketts S T A, White P S (eds). The ecology of natu-

- ral disturbance and patch dynamics. London: Academic Press, 1985:371—384.
- [27] McCabe D J, Gotelli N J. Effects of disturbance frequency, intensity, and area on assemblages of stream macroinvertebrates [J]. *Oecologia*, 2000, 124: 270—279.
- [28] Viles H A. Biokarst: Review and prospect [J]. *Progress in Physical Geography*, 1984, 8: 532—542.
- [29] 曹建华, 王福星. 初探藻类、地衣生物岩溶微形态与内陆环境间相关性[J]. *地质评论*, 1998, 44: 656—661.
- [30] Zhang D D, Zhang Y, Zhu A, et al. Physical mechanisms of river waterfall tufa (travertine) formation[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2001, 71(1): 205—216.
- [31] Chen J, Zhang D D, Wang S, et al. Factors controlling tufa deposition in natural waters at waterfall sites[J]. *Sedimentary Geology*, 2004, 166: 353—366.
- [32] 潘瑞炽, 王小菁, 李娘辉. 植物生理学(第五版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 282—286.

## Characteristics of tufa algae community and bio-karstification at the Malinghe waterfall in Guizhou

TANG Yu-hong<sup>1</sup>, PAN Hong<sup>2</sup>

(1. School of Public Policy and Management, Zunyi Medical University, Zunyi, Guizhou 563003, China;

2. School of Public Health, Zunyi Medical University, Zunyi, Guizhou 563003, China)

**Abstract:** Carbonates of the Triassic system, widely distributing in the Malinghe gorge, mainly form gorge, peak cluster, peak forest, stone forest landscapes. Among the geomorphologic landscape, there is a 2 km long gorge called the Tianxing gallery locating at 104°56'E and 25°08'N. The gallery has typical waterfall tufa that presents the appearance as vertical curtain, lobes and scaly. In order to investigate the role of flow interference and algae community during the development of the tufa at waterfall, the algae samples are collected at the fluid, inundation and moist regions from 3 waterfalls at the Tianxing gallery in August, 2007. The morphological characteristics of tufa algal communities are recorded at field. The samples are divided into subsamples of algae and matrix which treated with 5 %  $C_2H_4O_2$  and 1 % HCl respectively. Then, the treated subsamples are analyzed qualitatively and quantitatively after being mixed to each other. The micro-morphology samples of tufa are observed under the stereo microscope. The micro-deposit is separated from the sample and then added with a little 1 % HCl to observe the nucleus of micro-deposit. The results show that there are 5 algae coenotypes in the waterfall involving granular, lumps, mat, felty and pulverous. The dominant assemblage in the tufa algae is cyanophyta. In the moderate disturbed habitats by water flow, the species and community diversity are higher in the inundation region than other regions. Deposition and dissolution also take place in the tufa algae communities during the development of waterfall tufa, which may affect the direction of deposition and dissolution. The main role of tufa algae community is deposition under the condition of moderate disturbance by flow during the development of waterfall tufa, while under the conditions of stronger or weak disturbance of flow, the main role is dissolution. Therefore, it is considered that the synergism of flow disturbance degree and coenotype is one of the main factors that controlling the diversification in shape and structure of the waterfall tufa. And the moderate disturbance of flow is favorable for deposition of waterfall tufa.

**Key words:** tufa algae; coenotype; disturbance of flow; bio-karstification; waterfall

(编辑 韦复才)