

文章编号:1001-4810(2007)02-0178-05

# 琵琶潭瀑布岩溶沉积物生物多样性研究

王智慧<sup>1,3</sup>, 张朝晖<sup>2,3</sup>, 李建华<sup>1,\*</sup>

1. 同济大学环境科学与工程学院、长江水环境教育部重点实验室, 上海 200092;
2. 复旦大学生物多样性科学研究所、生物多样性与生态工程教育部重点实验室, 上海 200433;
3. 贵州师范大学地理与生物科学学院、贵州省山地环境重点实验室, 贵州 贵阳 550001

**摘要:**为了探索瀑布岩溶沉积物中生物多样特征,2006年12月对贵阳市琵琶潭瀑布岩溶沉积环境进行了野外生态学调查,采集样品和标本25份。经室内初步分析和鉴定,该瀑布岩溶沉积物中含有5大生物多样性类群共33个物种,它们是蓝细菌(Cyanobacteria)2个种,原生动物(Protozoan)12个种,绿藻(Green algae)1个种,硅藻(Diatoms)10个种和苔藓植物(Bryophytes)8个种。生物多样性在琵琶潭岩溶沉积形成中的地质生态学贡献主要表现在:(1)生物表面为淡水碳酸盐晶体提供了附着基础;(2)绿色植物光合作用转移了二氧化碳,有助于碳酸盐沉积;(3)生物群落为瀑布岩溶沉积提供了骨架;(4)生物群落在一定程度上控制和影响了岩溶沉积形态。

**关键词:**生物多样性; 蓝藻; 原生动物; 绿藻; 硅藻; 苔藓; 生物岩溶沉积; 琵琶潭瀑布

**中图分类号:**Q948.15 **文献标识码:**A

## 0 前言

生物多样性(Biodiversity)是地球自然历史和生命进化的产物,是21世纪初叶全球学术界和社会普遍关注的热点领域之一<sup>[1~3]</sup>。认识和保护全球各类特殊生境中的生物多样性,对维持自然界生态平衡和人类社会的可持续发展具有重要的战略意义。碳酸盐岩分布区的瀑布岩溶沉积物生物多样性资源十分丰富<sup>[4~17]</sup>,业已经公开报道的瀑布岩溶沉积物生物多样性资源包括原核生物界(Prokaryota)的蓝细菌,植物界(Plantae)的硅藻、绿藻、轮藻、苔藓植物和一些维管植物,动物界(Animalia)的原生动物、软体动物和节肢动物等等,是地球生物多样性在不同岩溶地质背景下的反映和表现。研究岩溶地区沉积物生物多样性资源,对我们认识岩溶地区生物多样性资源的独特性和自然保护具有重要理论意义,并有助于我们分

析岩溶生态系统的结构与功能<sup>[8~11]</sup>。

有关中国瀑布岩溶沉积物中生物多样性资源的研究报道不多,内容主要局限于岩溶苔藓植物及少量藻类植物<sup>[18~22]</sup>,而涉及生物界各个大类群的综合性生物多样性研究,则几乎没有。本文试图以中国贵州中部琵琶潭瀑布为例,初步探索瀑布岩溶沉积生物多样性组成特征,以期抛砖引玉,为未来相关研究者和相关部门积累一些基础的科研资料和数据。

## 1 瀑布概况及研究方法

### 1.1 瀑布概况

琵琶潭瀑布位于贵州省贵阳市乌当区内,该瀑布以水流击地时发出似琵琶之美妙音响而得名。瀑布地理坐标东经106°54.652',北纬26°47.567',海拔1100m。据作者实测,瀑布发育在白云岩上,高5.1m,

基金项目:国家自然科学基金(No. 30460014)、国家人事部留学人员择优资助项目[国人部发(2003)50号]及贵州省优秀科技教育人才省长专项基金[黔科教(2003)04]资助项目

第一作者简介:王智慧(1969-),女,在读博士,副教授,研究方向:水生生态学与环境生态学。

通讯作者:李建华(1959-),男,教授,研究方向:水域生态系统、污染生态和生态修复。

收稿日期:2005-10-24

宽3.9m,地表倾角约84°。水源为一山涧小溪流,瀑布水流速约1.2~1.4m/s,不同季节水流量有显著变化。在瀑布面上发育有极为显著的淡水碳酸钙沉积物,沉积物厚度约0.4~0.65m,弧长4.25m。

琵琶潭瀑布附近岩溶地貌发育,碳酸盐岩分布十分广泛,在山涧溪流的强烈溶蚀和切割下,形成了一系列岩溶峰丛—峡谷和峰丛—洼地组合景观。瀑布附近岩溶植被保存良好,除水沟边多分布喜湿竹类植物外,植物种类主要由桑科、壳斗科、樟科和木兰科植物亚热带乔木树种组成。据有关气候资料<sup>[23]</sup>,该地属亚热带高原性湿润季风气候,全年平均气温15℃,1月平均气温4.9℃,7月平均气温24℃,年平均降水量1200mm。

由于琵琶潭瀑布不大,岩溶沉积物发育较典型,标本易于获取,因而十分适合于进行小规模生物多样性分析研究。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 野外工作

野外工作以琵琶潭岩溶瀑布为中心,在瀑布顶部、中央、底部和两侧边缘不同位置,各取样品和生物标本5份,总共采集样品和标本数约25份。

野外用小刀剥取生物标本和沉积物,用500ml广口瓶收集水样,用30cm×20cm封闭式聚丙烯塑料袋装水生生物标本。野外采集沉积物样品时,分表层、深层进行取样。

野外观察并记载沉积物和生物形态特征。野外工作时间:2006年12月。

### 1.2.2 室内工作

(1)原生动物鉴定<sup>[24,25]</sup>:利用相差显微镜、倒置显微镜等,采用活体镜检的方法和技术鉴定水样中的原生动物。镜检时加甲基纤维素溶液以限制原生动物虫体运动,利用亚甲基兰溶液染核,用碘液染鞭毛等;利用测微尺测定原生动物虫体大小。

(2)蓝藻、硅藻、绿藻鉴定<sup>[26]</sup>:制作临时装片,利用光学显微镜,借助中国现代藻类分类工具书,分析并鉴定藻类植物标本。

(3)苔藓植物鉴定<sup>[13~17]</sup>:采用形态观测和解剖方法,利用光学显微镜、实体解剖镜,借助中国现代苔藓植物分类工具书,分析并鉴定苔藓植物标本。

## 2 岩溶瀑布生物多样性组成

经作者初步鉴定和分析,琵琶潭瀑布岩溶沉积物中生物多样性组成十分丰富,包含了原核生物界(Prokaryota)、动物界(Animalia)和植物界(Plantae)

的5大生物类群,即蓝细菌(Cyanobacteria)、原生动物(Protozoan)、绿藻(Green algae)、硅藻(Diatoms)和苔藓植物(Bryophytes)等,涉及生物物种总数共有32种(见表1)。

### 2.1 蓝细菌(Cyanobacteria)

岩溶瀑布中最原始、最古老的原核生物类群,无细胞核仁和核膜结构,其祖先可追溯到至今33~35亿年以前,以细胞直接分离的方式繁衍后代。在琵琶潭瀑布,有簇生裂须藻*Schizothrix fasciculata*和席藻*Phormidium incrustatum*2种,主要分布于瀑布边缘钙华生境之中。

### 2.2 原生动物(Protozoan)

岩溶瀑布中最常见、分布较广的真核、单细胞动物类群,其生活方式有异养、腐生、寄生和自养等不同方式。在作者调查的琵琶潭瀑布,发现种类十分丰富,共有12种,主要分布于激流生境之中的藓类植物群落丛中。这些原生动物是放射太阳虫*Actinophrys sol*、天鹅漫游虫*Litonotus cygnus*、卵形波豆虫*Bodo ovatus*、平足蒲变虫*Vannella platypodia*、荆棘匣壳虫*Centropyxis aculeataaculeata*、薄漫游虫*Litonotus lamella*、龙骨漫游虫*Litonotus carinatus*、闪瞬目虫*Glaucoma scintillans*、尾草履虫*Paramecium caudatum*、瓜形膜袋虫*Cyclidium citrullus*、钟形钟虫*Vorticella campanula*和纺锤全列虫*Holosticha kessleri*等。

### 2.3 绿藻(Green algae)

岩溶瀑布中常见的真核低等植物类群,植物体形态多样,载色体(Chromatophore)主要色素有叶绿素a和叶绿素b。在琵琶潭瀑布,仅有新月藻*Closterium striolatum*1种分布,主要附生于激流下的藓丛生境之中。

### 2.4 硅藻(Diatoms)

岩溶瀑布中最常见、分布较广的真核低等植物类群,植物体为单细胞,具硅质的上壳(Epitheca)和下壳(Hypotheca)结构,可以连接成片状或其它形状的群体。在琵琶潭瀑布,作者发现该类群种类极为丰富,共有10种,即曲壳藻*Achnanthes minutissima*、虱卵形藻属*Cocconeis pediculus*(新拟名)、微细桥弯藻*Cymbella minuta*(新拟名)、优美细齿藻*Denticula elegans*(新拟名)、短缝藻*Eunotia arcus*、狭异极藻*Gomphonema angustum*(新拟名)、尖布纹藻*Gyrosigma acuminatum*、舟形藻属*Navicula cryptotenella*和菱形藻属*Nitzschia sinuata*等,主要分布于瀑布激流或边缘地带的钙华和藓丛生境之中。

### 2.5 苔藓植物(Bryophytes)

岩溶瀑布中最显著、生态功能最明显的真核高等植物类群,其植物体构造简单,生活史中配子体世代发达,孢子体世代退化且寄生在配子体上。该类群围绕瀑布水湿生境分布,共有8种,如矮网花萼苔 *Asterella sanguinla*、软枝绿锯藓 *Duthiella flaccida*、钩喙净口藓 *Gymnostomum recurvirostre*、异叶藓

*Kindbergia praelonga*、卷叶湿地藓 *Hyophila involuta*、水生长喙藓 *Rhynchostegium riparioides*、东亚孔雀藓 *Hypopterygium japonicum* 和尖叶毛口藓 *Trichostomum cuspidatum* 等,而卷叶湿地藓、钩喙净口藓和水生长喙藓等几种钙华沉积苔藓植物,主要分布于激流生境之中。

表1 琵琶潭岩溶瀑布微型生物多样性

Tab.1 Species diversity of microorganism from Pipatan karst waterfall

| 种 名  | 生长基质 | 生长环境    |
|--|------|---------|
| 蓝细菌 Cyanobacteria                              |      |         |
| 席藻属 <i>Phormidium incrustatum</i>              | 钙华   | 瀑布边缘生长  |
| 簇生裂须藻 <i>Schizothrix fasciculata</i> (新拟名)     | 钙华   | 瀑布边缘生长  |
| 原生动物 Protozoan                                 |      |         |
| 卵形波豆虫 <i>Bodo ovatus</i>                       | 藓附生  | 瀑布激流下生长 |
| 平足滴变虫 <i>Vannella platypodia</i>               | 藓附生  | 瀑布激流下生长 |
| 针棘匣壳虫 <i>Centropyxis aculeataaculeata</i>      | 藓附生  | 瀑布激流下生长 |
| 放射太阳虫 <i>Actinophrys sol</i>                   | 藓附生  | 瀑布激流下生长 |
| 天鹅漫游虫 <i>Litonotus Cygnus</i>                  | 藓附生  | 瀑布激流下生长 |
| 薄漫游虫 <i>Litonotus lamella</i>                  | 藓附生  | 瀑布激流下生长 |
| 龙骨漫游虫 <i>Litonotus carinatus</i>               | 藓附生  | 瀑布激流下生长 |
| 闪烁目虫 <i>Glaucoma scintillans</i>               | 藓附生  | 瀑布激流下生长 |
| 尾草履虫 <i>Paramecium caudatum</i>                | 藓附生  | 瀑布激流下生长 |
| 瓜形膜袋虫 <i>Cyclidium citrullus</i>               | 藓附生  | 瀑布激流下生长 |
| 钟形钟虫 <i>Vorticella campanula</i>               | 藓附生  | 瀑布激流下生长 |
| 纺锤全列虫 <i>Holosticha kessleri</i>               | 藓附生  | 瀑布激流下生长 |
| 绿藻 Green algae                                 |      |         |
| 新月藻属 <i>Closterium striolatum</i>              | 藓附生  | 瀑布激流下生长 |
| 硅藻 Diatoms                                     |      |         |
| 曲壳藻 <i>Achnanthes minutissima</i>              | 钙华   | 瀑布边缘生长  |
| 虱卵形藻 <i>Cocconeis pediculus</i> (新拟名)          | 钙华   | 瀑布边缘生长  |
| 微细桥弯藻 <i>Cymbella minuta</i> (新拟名)             | 钙华   |         |
| 优美细齿藻 <i>Denticula elegans</i> (新拟名)           | 藓附生  | 瀑布激流下生长 |
| 短缝藻 <i>Eunotia arcus</i>                       | 藓附生  | 瀑布激流下生长 |
| 狭异极藻 <i>Gomphonema angustum</i> (新拟名)          | 钙华   |         |
| 尖布纹藻 <i>Gyrosigma acuminatum</i>               | 藓附生  | 瀑布激流下生长 |
| 舟形藻 <i>Navicula cryptotenella</i>              | 钙华   |         |
| 菱形藻 <i>Nitzschia sinuata</i>                   | 钙华   |         |
| 苔藓植物 Bryophytes                                |      |         |
| 矮网花萼苔 <i>Asterella sanguinla</i>               | 湿白云岩 | 瀑布边缘生长  |
| 软枝绿锯藓 <i>Duthiella flaccida</i>                | 湿白云岩 | 瀑布边缘生长  |
| 钩喙净口藓 <i>Gymnostomum recurvirostre</i>         | 钙华   | 瀑布激流下生长 |
| 异叶藓 <i>Kindbergia praelonga</i>                | 湿白云岩 | 瀑布边缘生长  |
| 卷叶湿地藓 <i>Hyophila involuta</i> (Hook.) Jaeg. , | 边缘钙华 | 瀑布边缘生长  |
| 东亚孔雀藓 <i>Hypopterygium japonicum</i> Mitt.     | 边缘钙华 | 瀑布边缘生长  |
| 水生长喙藓 <i>Rhynchostegium riparioides</i>        | 钙华   | 瀑布激流下生长 |
| 尖叶毛口藓 <i>Trichostomum cuspidatum</i>           | 湿白云岩 | 瀑布边缘生长  |

在上述5大生物类群之中,原生动物数量最多,有12个种,但个体微小。硅藻数量较大,共10个种,但个体极小。苔藓植物是唯一出现的高等植物类群,共有8种。其中,钩喙净口藓和水生钩喙藓分布于激流之中,是该瀑布沉积生境的关键性物种和建群种。

### 3 生物多样性在琵琶潭岩溶瀑布沉积中的作用

通过对琵琶潭岩溶瀑布生物多样性成分的分离和生物学鉴定分析,我们不难看出岩溶瀑布沉积环境为瀑布区多样性的生物类群提供了适宜的生存小生境和进化空间。下面,从生物多样性—岩溶沉积相互作用的角度,简述生物多样性对琵琶潭瀑布岩溶沉积的贡献。

琵琶潭瀑布淡水碳酸钙沉积物的形成,是一种生物多样性和岩溶环境相互作用产生的综合的、复杂的地质生态学现象。一方面琵琶潭瀑布岩溶沉积的发生,离不开该地可溶性的碳酸盐岩、过饱和的岩溶水、瀑布地貌构造和亚热带气候背景条件等;另一方面琵琶潭瀑布淡水岩溶沉积物内部含有大量的生物多样性成分,如蓝细菌(Cyanobacteria)、原生动物(Protozoan)、绿藻(Green algae)、硅藻(Diatoms)和苔藓植物(Bryophytes)等不同的生命多样性类群。这些丰富多彩和多样性的小型、微型生物及其生命活动自然历史过程,在琵琶潭岩溶沉积物的形成及其形态和结构的塑造中,起到了很大的作用。

对琵琶潭岩溶瀑布的野外观察和室内分析揭示,该瀑布参与岩溶沉积的生物多样性成分,主要包括了水生的生物类群,如蓝细菌、硅藻、绿藻和苔藓植物等。根据野外生态学观察,结合前人的工作<sup>[4~18]</sup>,作者认为生物多样性在琵琶潭岩溶沉积形成中的地质生态学贡献,主要体现在以下四个方面:

(1) 晶体附着基础:琵琶潭瀑布生物群落植物体表面多样性的微观构造可为碳酸钙晶体的附着、结核、形成和发育提供稳定的和较大面积的生长基础。

(2) 光合作用转移:琵琶潭瀑布绿色多样的植物类群如蓝细菌、硅藻、绿藻和苔藓光合作用转移了岩溶水中的CO<sub>2</sub>。而山间河谷岩溶沉积过程是岩溶水体中CO<sub>2</sub>逃逸的淡水碳酸钙化学沉积过程,琵琶潭的这种生物光合作用结果大大加速了淡水碳酸钙沉积和发育。

(3) 群落沉积骨架:琵琶潭瀑布沉积点多样性的蓝细菌群落、硅藻群落、绿藻群落和苔藓群落形成的基本沉积骨架席,大大加速并稳定保护了岩溶沉积物的沉积成长。

(4) 群落形态控制:琵琶潭瀑布岩溶沉积物多样性的宏观和微观形态构造,许多情况下是由生物群落形态控制的。

综上所述,我们不难看出岩溶瀑布沉积物之中的生物多样性有着十分丰富的内涵和研究价值,同时对岩溶沉积的发生和形成具有重要的不可忽略的地质生态学作用。因此,在贵州岩溶瀑布广泛分布的碳酸盐岩地区,特别应加强对岩溶瀑布生物多样性保护及沉积生态景观的研究工作。

**致谢:** 贵州师范大学本科生和研究生吴启美、杨再超、江洪和李冰参加部分野外调查和室内工作,作者在此一并致谢。

### 参考文献

- [1] Myers, N., Mittermeier R. A., Mittermeier C. G., da Fonseca G. A. B. and Kent, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities [J]. *Nature*, 2000, 403 (6772): 853—858.
- [2] Koh, L. P., Dunn, R. R., Sodhi, N. S., Colwell, R. K., Proctor H. C. and Smith V. S. Species coextinctions and the biodiversity crisis [J]. *Science*, 2004, 305 (5690): 1632—1634.
- [3] Gaston, K. J. Global patterns in biodiversity [J]. *Nature*, 2000, 405 (6783): 220—227.
- [4] Emig, W. H. Mosses as rock builders [J]. *Bryologist*, 1918, 21: (2)55—59.
- [5] Flowers, S. On fossil mosses [J]. *Bryologist*, 1933, 36(1): 26—27.
- [6] Edward, S. Travertine deposits near Lexington, Virginia [J]. *Science*, 1934, 80(2068): 162—163.
- [7] Emeis, K. C., Richnow, H. H. and Kempe, S. Travertine formation in Plitvice National Park: chemical versus biological control [J]. *Sedimentology*, 1987, 34(4): 595—610.
- [8] Ford, T. D. and Pedley, H. M. A review of tufa and travertine deposits in the world [J]. *Earth Sciences Reviews*, 1996, 41 (3): 117—175.
- [9] Viles, H. A. and Goudie, A. S. Tufas, travertines and allied carbonate deposits [J]. *Progress in Physical Geography*, 1990, 14(1): 19—41.
- [10] Pentecost, A. The Quaternary travertine deposits of Europe and Asia Minor [J]. *Quaternary Science Reviews*, 1995, 14 (10): 1005—1028.
- [11] Pentecost, A. Travertine: life inside the rock [J]. *Biologist*, 1992, 39(4): 161—164.
- [12] Field, M. H. Plant Macrofossils from the Lower Channel Sediments at Marsworth, Buckinghamshire [J]. *New Phytologist*, 1993, 123(1): 195—201.
- [13] 张朝晖, 艾伦. 培特喀斯. 英国约克郡国家公园(Yorkshire Dale) 钙华苔藓植物群落研究 [J]. *中国岩溶*, 1999, 18(4): 367—373.
- [14] 张朝晖, 培特喀斯. 英国钙华苔藓植物区系及其岩溶沉积研究

- [J]. 中国岩溶, 2002, 21(1): 36-43.
- [15] 张朝晖, 培特喀斯. 东英格兰和威尔士西北部钙华苔藓植物群落研究[J]. 广西植物, 2002, 22(1): 45-49.
- [16] 张朝晖, 培特喀斯. 英格兰洞穴苔藓植物区系及其岩溶沉积研究[J]. 西北植物学报, 2002, 22(2): 359-367.
- [17] 张朝晖, 陈家宽, 艾伦. 培特喀斯. 法国阿尔卑斯山(Mt. Alps, France) 溪流型喀斯特瀑布水生苔藓植物群落生态研究[J]. 中国岩溶, 2007, 26(1): 24-30.
- [18] Pentecost, A. and Zhang, Z. H. A review of Chinese travertines[J]. Cave Karst Science, 2001, 28(1): 15-28.
- [19] Zhang, Z. H. (张朝晖). A preliminary taxonomical study on Tufa-Bryophytes in Guizhou, SWChina [J]. Chenia, 1998, 5: 173-176.
- [20] Zhang, Z. H. (张朝晖) and Pentecost, A. New and noteworthy list of bryophytes from active travertine sites of Guizhou and Sichuan, S. W. China [J]. Journal of Bryology, 2000, 22(1): 66-68.
- [21] Pentecost, A. and Zhang, Z. H. The travertine flora of Juizhaigou and Munigou, China, and its relationship with calcium carbonate deposition [J]. Cave and Karst Science, 2000, 27(2): 71-78.
- [22] Pentecost, A. and Zhang, Z. H. A note on freshwater research in China, with some observations on the algae from Doupe Pool, Guizhou Province [J]. Freshwater Forum, 2000, 15: 77-84.
- [23] 王朝文, 张玉环. 乌当区综合农业区划[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1989. 10-21.
- [24] 王智慧, 杨祖丽. 红枫湖春季原生动植物群落与水质的初步研究[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2004, 22(3): 25-29.
- [25] 沈檀芬主编. 原生动植物学[M]. 北京: 科学出版社, 1999. 1-656.
- [26] 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. 1-1023.

## Biodiversity on karst deposits at Pipatan waterfall

WANG Zhi-hui<sup>1,2</sup>, ZHANG Zhao-hui<sup>2,3</sup>, LI Jian-hua<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Yangtze River Water Environment of Ministry of Education, School of Environmental Science & Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Guizhou Provincial Laboratory for Mountainous Environment, School of Geography and Biology, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China; 3. Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological

Engineering, Institute of Biodiversity Science, Fudan University, Shanghai 200433, China)

**Abstract:** Biodiversity is one of scientific hotspots for modern society. For the research of characteristics of biodiversity from karst deposits of waterfall, the authors conducted out a fieldwork at Pipatan karst waterfall in Guiyang, Guizhou province in December 2006. After our identification and analysis in laboratory, 33 taxa belonging to five groups have been found from karst deposits at Pipatan waterfall. Among them, there are two species for cyanobacteria while twelve for protozoan, one for green algae, ten for diatoms and eight for bryophytes. The relationship between biodiversity and karst deposition of waterfall have been discussed in this paper, including (1) the surfaces of biota acting as sites for nucleation and crystal growth of calcium carbonate from fresh water; (2) the process of photosynthesis removes carbon dioxide from the water, favoring carbonate precipitation; (3) living communities providing a framework for carbonate deposition; (4) the morphology of karst deposition may be affected by the growth of living communities. Biodiversity may play an important geo-ecological role in karst deposition process at Pipatan waterfall.

**Key words:** Biodiversity; cyanobacteria; protozoan, green algae; diatoms; bryophytes; karst deposit; Pipatan waterfall