

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^{*}

张朝晖^{1,2}, 陈家宽², 艾伦·培特客斯³

- (1. 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 ;
2. 复旦大学生命科学学院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. 英国伦敦帝王大学生命科学部 伦敦 SE1 8WA)

摘 要 对法国阿尔卑斯山(Mt. Alps , France) 6 个溪流型喀斯特瀑布水生苔藓植物群落进行了研究。报道典型瀑布水生苔藓群落 14 个, 苔藓植物种类由 11 科 16 属 20 种(含变种亚种) 组成; 生殖系统由雌雄异株(Dioecious 95%) 和雌雄同株异苞(Autoecious 5%) 两种类型构成, 无性繁殖是繁殖的主要方式; 区系地理成分含北温带分布(60%)、欧洲-北美分布(10%)、旧世界温带分布(5%) 和世界广泛分布(25%) 等 4 种成分; 生活型含高丛集型(20%)、矮丛集型(10%)、交织型(60%) 和平铺型(10%) 4 种类型。根据喀斯特沉积环境特征, 划分瀑布水生苔藓群落为峡谷瀑布苔藓群落、温泉瀑布苔藓群落、瀑布水帘洞苔藓群落、悬崖瀑布苔藓群落和悬崖季节性瀑布苔藓群落等 5 种生态类型。法国阿尔卑斯山溪流型瀑布生物喀斯特沉积物具有分布广泛, 但沉积规模较小的特点。

关键词 苔藓植物 水生群落 溪流 喀斯特瀑布 法国阿尔卑斯山

中图分类号: Q948.15 文献标识码: A

溪流型喀斯特瀑布(Stream karst waterfalls) 是指内陆碳酸盐岩地区溪流形成的瀑布。由于水生生物的参与, 这类瀑布往往在瀑布面上下沉积形成淡黄、多孔的淡水生物喀斯特沉积物, 并拥有丰富多样的水生隐花植物物种^[1-6]。在溪流型喀斯特瀑布沉积生态系统中, 由于喀斯特水具有富钙、高速冲击力和淡水碳酸钙沉积迅速等环境特征, 因而绝大多数高等植物难于生存和繁衍后代。但是, 一些水生苔藓植物群落由于长期适应和进化的结果, 往往构成了喀斯特瀑布中最重要的水生植物群落之一。由于苔藓植物参与淡水碳酸钙沉积, 并不断石化沉积形成瀑裙、瀑扇、瀑笋、瀑檐和水帘洞等奇特的瀑布生物喀斯特沉积景观, 因此, 一些植物学和地质学者, 称喀斯特水生苔藓植物为岩石建设者(Mosses as rock builders)^[7-12]。近年来, 一些研究者还发现, 研究瀑布水生苔藓植物群落,

对我们研究喀斯特地区苔藓植物区系特征、起源与演化等具有重要的意义, 并有助于我们了解一些喀斯特瀑布沉积形态的起源和成因^[1-12]。

阿尔卑斯山脉(Mt. Alps) 是欧洲最高大、最雄伟的山脉, 是研究西欧溪流型喀斯特瀑布水生苔藓植物具有重要代表性的区域之一。它西起法国东南部的尼斯, 经瑞士、德国南部、意大利北部, 东到维也纳盆地, 呈弧形贯穿了法国、瑞士、德国、意大利、奥地利和斯洛文尼亚 6 个国家, 绵延 1 200km。其中, 位于法国境内东南角的阿尔卑斯山长约 350km, 面积 3.5 万 km², 平均海拔 1 120m。耸立于法国和意大利之间的勃朗峰, 海拔 4 807m, 是欧洲第一高峰, 峰顶终年积雪。2000 年 4 月, 中英作者曾合作对法国阿尔卑斯山脉典型喀斯特地区苔藓植物、生物钙华沉积、洞

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金(No. 30460014)、英国皇家学会(The Royal Society BP Amoco Research Fellowship)、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] 项目

第一作者简介: 张朝晖(1963 -) 男, 教授, 主要从事生态学和植物学研究。

收稿日期: 2006-11-03

穴生物、喀斯特生物地球化学等进行了较系统的野外考察^[16~18]。本文主要报道有关法国阿尔卑斯地区 6 个溪流型喀斯特瀑布水生苔藓植物群落研究结果,以期为中国西南—西欧喀斯特地区生物区系、生态、喀斯特生物沉积的进一步比较研究提供基本的数据和资料。

1 研究地点自然地理概况及研究方法

1.1 研究地点自然地理概况

研究地点位于法国阿尔卑斯山脉(Mt. Alps, France),地理坐标大约北纬 45°16′~46°08′,东经 4°28′~7°12′。气候为海洋性温带阔叶林气候,年均温度-1~14℃,年均降水量 850~2 050mm,相对湿度 70%^[13~15]。在法国阿尔卑斯山脉喀斯特地貌具有分布广泛,但面积规模较小的特点;出露的碳酸盐岩主要是侏罗纪石灰岩和三叠纪泥灰岩,少量地区有晚白垩纪石灰岩分布;常见喀斯特地貌类型有喀斯特洞穴、喀斯特峡谷溪流、陡崖、瀑布、喀斯特泉等

等^[13~15]。受考察季节及野外自然条件限制,4 月份的阿尔卑斯山仍大雪纷飞,山顶白雪皑皑,故野外实际考察范围海拔 500~2 800m。调查时自然冰雪线海拔 1 400m,其中喀斯特瀑布沉积范围海拔 330~1 510m。

1.2 研究方法

1.2.1 野外工作

研究区位于法国阿尔卑斯山脉(Mt. Alps, France),主要是雪山下面山涧溪流构成的瀑布,包括萨瓦省(Savoie)的朗坠溪流型喀斯特瀑布(Landry Waterfall)、普拉洛尼昂—拉瓦努瓦斯溪流型喀斯特瀑布(Pralognan la Vanoise Waterfall)、普拉洛尼昂—拉瓦努瓦斯喀斯特溪流型大瀑布(Pralognan la Vanoise Cascade)、拉罗什溪流型喀斯特瀑布(La Rochette Waterfall)、普朗德法斯温泉瀑布(Plan de phazy Waterfall)等 5 个喀斯特瀑布和罗纳省(Rhone)的喀斯特溶洞溪流型大瀑布(Grotte de Gournier Cascade),基本情况见表 1。

表 1 法国阿尔卑斯山脉溪流型喀斯特瀑布水生苔藓植物环境特征
Tab.1 Aquatic bryophytes at stream karst waterfall in Alps, France

省名	瀑布点	瀑布名称	海拔 (m)	瀑布特征	瀑华沉积面积 (m ²)	苔藓种类
萨瓦省 Savoie	1	朗坠瀑布 Landry Waterfall	710	溪流型钙华瀑布	200	1
	2	普拉洛尼昂—拉瓦努瓦斯瀑布 Pralognan la Vanoise Waterfall	1 460	溪流型钙华瀑布	750	7
	3	普拉洛尼昂—拉瓦努瓦斯大瀑布 Pralognan la Vanoise Cascade	1 510	溪流型钙华瀑布	0. 05	2
	4	拉罗什瀑布 La Rochette Waterfall	330	溪流型钙华瀑布	680	10
	5	普朗德法斯温泉瀑布 Plan de phazy Waterfall	883	溪流型温泉钙华瀑布	760	2
罗纳省 Rhone	6	溶洞大瀑布 Gournier Cascade	742	溪流型钙华瀑布	600	3

在上述 6 个研究地点,主要是在喀斯特瀑布淡水碳酸钙沉积范围内,进行标本和样品取样。野外观察并记载苔藓植物生长状况、钙华和小环境特征,采用 10 cm×10 cm 金属方框,在法国阿尔卑斯地区喀斯特瀑布内取苔藓植物群落样方 46 个。野外工作时间:2000 年 4 月 15—16 日。

1.2.2 室内工作

(1) 标本鉴定:在伦敦帝王学院艾伦实验室和英国自然历史博物馆隐花植物标本室,借助欧洲现代分类工具书,利用光学显微镜、实体解剖镜分析并鉴定苔藓植物标本。

(2) 群落研究:群落命名主要采用优势种原则,并结合喀斯特环境特征归类^[18~22];生活型(Life-form)参考 Magdefrau^[23]的概念和分类系统;苔藓植物分布区参考 Smith, Paton 和 Augier 等对现代欧洲苔藓植物的记载^[24~27],归纳整理而成。

2 法国阿尔卑斯山脉溪流型喀斯特瀑布水生苔藓植物群落特征

2.1 群落种类组成

现代苔藓植物学的研究表明,现今生存的苔藓植

物(Bryophytes)可划分为苔类(Liverworts)、角苔类(Hornworts)和藓类(Mosses)3 大类群,其共同特点是生活史中配子体发达并占优势地位^[24~27]。根据我们室内研究结果,6 个调查溪流型喀斯特瀑布中共含有水生苔藓植物 11 科 16 属 20 种(表 2),没有发现角苔类植物。其中苔类植物(Liverworts)4 科 4 属 4 种,均是单科、单属和单种,而藓类植物(Mosses)含 7 科 12 属 16 种,是喀斯特瀑布苔藓植物的主要成分。种类较丰富的藓类植物有柳叶藓科(Amblystegiaceae, 4 属 6 种)、丛藓科(Pottiaceae, 3 属 4 种)和提灯藓科(Mniaceae, 1 属 2 种)等。

根据我们掌握的资料^[18, 24~27],新记录于阿尔卑斯山脉喀斯特瀑布生境中的法国钙华苔藓植物,共有 7 种,它们是: *Camphylium chrysophyllum* (Brid.) J. Large、波叶走灯藓 *Plagiomnium undulatum* (Hedw.) Kop、椭圆走灯藓(新拟名) *P. ellipticum* (Brid.)Kop、牛角藓 *Cratoneuron filicinum* (Hedw.)

Spruce、长叶牛角藓偏叶变种 *C. commutatum* var. *falcatum* (Brid.) Monk、黄色水灰藓 *Hygrohypnum ochraceum* (Turn. Wils) Loeske 和漆光镰刀藓 *Drepanocladus vernicosus*(Mitt.) Warnst 等等。

溪流型喀斯特瀑布一个引人注目的现象是苔藓植物参与瀑布淡水碳酸钙沉积过程,并形成瀑檐、瀑裙和瀑扇等生物钙华沉积景观^[7~12]。在上述法国阿尔卑斯山脉地区喀斯特瀑布中,典型和较常见的参与淡水碳酸钙沉积的苔藓植物主要有牛角藓 *Cratron filicium* (Hedw.) Spruce、钙质泽藓 *Philonotis calcarea* (Br. Eur.) Schimp、艳枝藓 *Eucladium verticillatum* (Brid.) Br. Eur.、钩喙净口藓 *Gymnostomum recurirostum* Hedw、拟三列真藓 *Bryum pseudotriquetrum* (Hedw.) Schwaegr. 和溪边长喙藓 *Rhynchostegium ripariodes* (Hedw.)C. Jens 等苔藓植物种类。

表 2 法国阿尔卑斯山溪流型喀斯特瀑布水生苔藓植物种类统计
Tab.2 Family, genus and species of aquatic bryophyte at stream karst waterfall in Alps, France

科 名		属 名	种 名	瀑布点
苔类 LIVERWORT				
绿片苔科 Aneuraceae	绿片苔属 <i>Aneura</i>	绿片苔 <i>A. pinguis</i> (L.)Dum		4
蛇苔科 Conocephalaceae	蛇苔属 <i>Conocephalum</i>	蛇苔 <i>C. conicum</i> (L.)Underw		4
叶苔科 Jungermanniaceae	叶苔 <i>Jungermannia</i>	深绿叶苔 <i>J. atroirens</i> Dum.		4
溪苔科 Pallaviciniaceae	溪苔属 <i>Pellia</i>	花叶溪苔 <i>P. endiviifolia</i> (Dicks)Dum		4
藓类 MOSSES				
丛藓科 Pottiaceae	扭口藓属 <i>Barbula</i>	枣红扭口藓(新拟名) <i>B. spedicea</i> (Mitt.) Braithw		5
	艳枝藓属 <i>Eucladium</i>	艳枝藓 <i>E. verticillatum</i> (Brid.) Br. Eur		5
	净口藓属 <i>Gymnostomum</i>	铜绿净口藓 <i>G. aeruginosum</i> Sm		3, 4
真藓科 Bryaceae	真藓属 <i>Bryum</i>	钩喙净口藓 <i>G. recurvirostrum</i> Hedw		1
		拟三列真藓 <i>B. pseudotriquetrum</i> (Hedw.)Schwaegr		2
		钙质泽藓 <i>P. calcarea</i> (Br. Eur.) Schimp		3, 4
珠藓科 Bartramiaceae	泽藓属 <i>Philonotis</i>	* 波叶走灯藓 <i>P. undulatum</i> (Hedw.) Kop		2
提灯藓科 Mniaceae	走灯藓属 <i>Plagiomnium</i>	* 椭圆走灯藓(新拟名) <i>P. ellipticum</i> (Brid.)Kop		2
		长叶牛角藓 <i>C. commutatum</i> (Hedw.)Roth var <i>commutatum</i>		4
		* 长叶牛角藓偏叶变种 <i>C. commutatum</i> var. <i>falcatum</i> (Brid.) Monk		2
柳叶藓科 Amblystegiaceae	牛角藓属 <i>Cratoneuron</i>	* 牛角藓 <i>C. filicinum</i> (Hedw.) Spruce		2
		拟细湿藓 * <i>C. chrysophyllum</i> (Brid.) J. Large		4
		* 漆光镰刀藓 <i>D. vernicosus</i> (Mitt.) Warnst		2
青藓科 Brachytheciaceae	细湿藓属 <i>Camphylium</i>	* 黄色水灰藓 <i>H. ochraceum</i> (Turn. Wils) Loeske		2
		镰刀藓属 <i>Drepanocladus</i>		
		水灰藓属 <i>Hygrohypnum</i>		
绢藓科 Entodontaceae	长喙藓属 <i>Rhynchostegium</i>	溪边长喙藓 <i>R. ripariodes</i> (Hedw.)C. Jens		2
	灰石藓属 <i>Orthothecium</i>	灰石藓 <i>O. refescens</i> Br. Eur		2
总计	万方数据	16 属	20 种	

注释：* 法国钙华苔藓新记录种

2.2 苔藓植物区系地理成分

根据欧洲现代苔藓植物分布区的记录^[24~27], 可把法国阿尔卑斯山脉溪流型喀斯特瀑布水生苔藓植物划分成如下区系地理成分, 即北温带分布(North Tempethure)、欧洲—北美分布(Europe-North American)、旧世界温带分布(Old Temperate elements)和世界广泛分布种(Cosmopolitan)等 4 种类型(表 3)。

北温带分布类型有 12 种, 占总数的 60%, 如蛇苔 *Conocephalum conicum* (L.) Underw、深绿叶苔 *Jungermannia atroirens* Dum. 花叶溪苔 *Pellia endi-viifolia* (Dicks) Dum、灰石藓 *Orthothecium rufescens* (Hartw.) Br. Eur、拟细湿藓 *Camphylium chrysophyl-lum* (Brid.) J. Large、艳枝藓 *Eucladium verticillatum* (Brid.) Br. Eur.、钩喙净口藓 *Gymnostomum re-curirostum* Hedw 和溪边长喙藓 *Rhynchostegium ri-parioides* (Hedw.) C. Jens 等; 欧洲—北美分布有枣红扭口藓(新拟名) *Barbula spedicea* (Mitt.) Braithw 等 2 种, 占总数的 10%; 旧世界温带分布 1 种, 占总数的 5%, 即椭圆走灯藓(新拟名) *Plagiom-nium ellipticum* (Brid.) Kop; 世界广布种有 5 种, 占总数的 25%, 它们是绿片苔 *Aneura pinguis* (L.) Dum、拟三列真藓 *Bryum pseudotriquetrum* (Hedw.) Schwaegr、牛角藓 *Cratoneuron filicium* (Hedw.) Spruce var. *filicium*, 和钙质净口藓 *Gymnos-tomum calcareum* Nees & Hornsch 等。在上述 4 种类型中, 北温带分布种和世界广泛分布种占优势。

表 3 法国阿尔卑斯山脉溪流型喀斯特瀑布水生苔藓植物区系地理成分

地理成分	种类	百分比(%)
世界分布	5	25
Cosmopolitans		
北温带分布	12	60
Temperate European elements		
旧世界温带分布	1	5
Old Temperate elements		
欧洲—北美分布	2	10
Europe-North American elements		

2.3 苔藓植物生活型(Life-form)

生活型是苔藓植物生长型、群集方式及其对外界环境的长期综合反映。通过苔藓植物生活型的分析, 可以揭示环境的一般特征^[18~20, 23]。法国阿尔卑斯山脉喀斯特瀑布水生苔藓植物生活型, 可划分为 4 种基本类型(表 4): 高丛集型(Tall turfs), 4 种, 占总数的

20%, 即淡绿凤尾藓; 矮丛集型(Short turfs), 2 种, 占总数的 10%, 它们是绿片苔、背托苔、陀螺状无褶苔、灰土扭口藓、钩喙净口藓、艳枝藓等; 平铺型(Mats), 2 种, 占总数的 10%, 即花叶溪苔和蛇苔; 交织型(Wefts), 12 种, 占总数的 60%, 它们是溪边长喙藓、石韦美喙藓、长叶牛角藓、长叶牛角藓淡绿变种和牛角藓等。由于法国阿尔卑斯喀斯特瀑布水生生境具有多水和潮湿的特点, 故高丛集型和交织型占优势(80%)。

表 4 法国阿尔卑斯山脉溪流型喀斯特瀑布水生苔藓植物生活型

生活型	种类	百分比(%)
矮丛集型(Short turfs)	2	10
高丛集型(Tall turfs)	4	20
交织型(Wefts)	12	60
平埔型(Mats)	2	10

2.4 苔藓生殖系统(Reproductive system)

法国阿尔卑斯山脉溪流型喀斯特瀑布水生苔藓植物生殖系统由雌雄异株(Dioecious)和雌雄同株异苞(Autoecious)两种类型构成(表 5)。其中雌雄同株异苞的种类仅青藓科的溪边长喙藓 *Rhynchostegium riparioides* (Hedw.) C. Jens 1 种, 占总数的 5%; 而雌雄异株的种类多达 19 种, 占总数的 95%, 如钙质泽藓 *Philonotis calcarea* (Br. Eur.) Schimp、艳枝藓 *Eucladium verticillatum* (Brid.) Br. Eur、钩喙净口藓 *Gymnostomum recurvirostrum* Hedw、铜绿净口藓 *G. aeruginosum* Sm、拟三列真藓 *Bryum pseudotri-quetrum* (Hedw.) Schwaegr、牛角藓 *Cratoneuron fil-icinum* (Hedw.) Spruce 和波叶走灯藓 *Plagiomnium undulatum* (Hedw.) Kop, 等等。野外调查中我们发现, 大多数法国阿尔卑斯山脉(Mt. Alps) 溪流型喀斯特瀑布苔藓缺乏新鲜或往年宿存的孢子体。因而, 我们推测, 无性繁殖可能是苔藓繁殖后代的主要方式。

表 5 法国阿尔卑斯山脉溪流型喀斯特瀑布水生苔藓植物生殖系统

生殖系统	种类	百分比(%)
雌雄异株 Dioecious	19	95
雌雄同株异苞 Autoecious	1	5

2.5 群落类型及生态分布

表 6 归纳出了法国阿尔卑斯山脉溪流型喀斯特瀑布苔藓植物群落 14 个, 这些群落在溪流型瀑布中央激流处、边缘钙华沉积活跃地带或瀑华洞穴内分布, 构成了法国阿尔卑斯山脉溪流型喀斯特瀑布生态系统中重要的绿色生物成分。根据苔藓植物群落生长位置及基质, 可把法国阿尔卑斯山脉溪流型喀斯特瀑布苔藓植物群落划分为如下 5 种基本生态群落分布类型:

(1) 温泉瀑布苔藓群落 (Communities on warm spring waterfall): 指生长在喀斯特温泉瀑布上的苔藓植物群落, 它们往往在泉口及附近沉积淡水碳酸

钙。考察中所见唯一低温温泉是普朗德法斯瀑布, 野外调查时温泉瀑布水温实测温度约 21℃, 而周边大气温度约 5℃。参与沉积形成瀑华的群落是艳枝藓群落 *Eucladietum*, 主要由艳枝藓 *Eucladium verticillatum* (Brid.) Br. Eur. 和枣红扭口藓 (新拟名) *Barbula spedicea* (Mitt.) Braithw 等 2 种藓类组成。

(2) 瀑布洞穴苔藓群落 (Communities on waterfall travertine cave): 指在喀斯特瀑布下面发育的钙华洞穴中生长的苔藓植物群落。考察中唯一所见瀑华洞穴位于溶洞大瀑布, 这一类型群落包含溪苔群落 *Pellietum* 和牛角藓群落 *Cratoneuretum* 等。

表 6 法国阿尔卑斯山脉溪流型喀斯特瀑布水生苔藓植物主要苔藓群落及其分布环境

Tab. 6 Main types of aquatic bryophyte community and their distribution at stream karst waterfall in Alps, France

钙华苔藓群落类型	群落名称	群落种类组成 *	环境	生长基质	瀑布点
温泉瀑布苔藓群落 Communities on warm spring waterfall	艳枝藓群落 Eucladietum	优: <i>Eucladium verticillatum</i> 伴: <i>Babbula spedicea</i>	低温温泉瀑布, 温度 21℃	瀑布檐状沉积物底部	5
峡谷瀑布苔藓群落 Communities on waterfall at valley	偏叶牛角藓—真藓群落 Cratoneuro-Bryetum	优: <i>Cratoneuron falcatum</i> + <i>Bryum pseudotriquetrum</i>	溪流瀑布边缘	瀑华	2
	走灯藓群落 Plagiomnietum	<i>Plagiomnium ellipticum</i>	溪流瀑布边缘	瀑华	2
	镰刀藓—水灰藓群落 Drepanoclado-Hygrophypnetum	<i>Drepanocladus vernicosus</i> + <i>Hygrohypnum ochraceum</i>	溪流小瀑布底部	瀑华	2
	长喙藓群落 Rhynchostegietum	优: <i>Rhynchostegium ripariodes</i> 伴: <i>Plagiomnium undulatum</i>	溪流瀑布激流下	瀑华	2
悬崖瀑布苔藓群落 Communities on cliff waterfall	净口藓—泽藓群落 Gymnostomo-Philonotetum	<i>Gymnostomum aeruginosum</i> + <i>Philonotetis calcarea</i>	溪流瀑布边缘	瀑华	3, 4
	长叶牛角藓—真藓群落 Cratoneuro-Bryetum	<i>Cratoneuron commutatum</i> + <i>Bryum pseudotriquetrum</i>	溪流瀑布边缘	瀑华	3, 4
	绿片苔—净口藓群落 Aneuro-Gymnostometum	<i>Aneura pinguis</i> + <i>Gymnostomum aeruginosum</i>	溪流瀑布边缘	瀑华	4
	灰石藓群落 Orthothecietum	<i>Orthothecium refescens</i>	溪流瀑布边缘	瀑华	4
	叶苔群落 Jungermannietum	<i>Jungermannia atroirens</i>	溪流瀑布边缘	瀑华	4
	蛇苔—真藓群落 Conocephalo-Bryetum	优: <i>Conocephalum conicum</i> + <i>Bryum pseudotriquetrum</i> 伴: <i>Camphylium chrysophyllum</i>	溪流瀑布边缘	瀑华	4
悬崖季节性瀑布苔藓群落 Communities on cliff seasonal waterfall	净口藓群落 Gymnostometetum	<i>Gymnostomum recurvirostrum</i>	季节性瀑布地面堆	瀑华	1
瀑布洞穴苔藓群落 Communities on waterfall caves	溪苔群落 <i>Pellietu</i>	优: <i>Pellia endiviifoli</i> 伴: <i>Cratoneuron filicinum</i>	瀑布下钙华洞穴	钙华洞壁	6, 4
	牛角藓群落 Cratoneuretum	<i>Cratoneron filicinum</i>	瀑布下钙华洞穴	钙华洞壁	6

注释: 优=优势种; 伴= 伴生种。

万方数据

(3)峡谷瀑布苔藓群落 (Communities on waterfall at valley): 指在峡谷底部深切的溪流或江河河床上形成的瀑布苔藓植物群落。考察中普拉洛尼昂—拉瓦努瓦斯瀑布和普拉洛尼昂—拉瓦努瓦斯大瀑布含有此类型苔藓植物群落, 常见群落如长喙藓群落 Rhynchostegietum、偏叶牛角藓—真藓群落 Cratoneuro-Bryetum、走灯藓群落 Plagiomnietum 和镰刀藓—水灰藓群落 Drepanoclado-Hygrophynetum 等。

(4)悬崖瀑布苔藓群落 (Communities on cliff waterfall): 指生长在山岳或峡谷两旁悬崖面溪流瀑布上的苔藓植物群落。考察中该类型群落有净口藓—泽藓群落 Gymnostomo-Philonotetum、长叶牛角藓—真藓群落 Cratoneuro-Bryetum、灰石藓群落 Orthothecietum、绿片苔—净口藓群落 Aneuro-Gymnostometum 和蛇苔—真藓群落 Conocephalo-Bryetum 等, 主要分布于拉罗什瀑布。

(5)悬崖季节性瀑布苔藓群落 (Communities on cliff seasonal waterfall): 指由于水源的季节不稳定性, 仅在雨季才有溪流在山岳或峡谷两旁悬崖面形成的瀑布上的苔藓植物群落。考察中所见的朗坠瀑布属于此类型, 这是一座位于峡谷两旁高等级公路左侧的悬崖季节性瀑布。主要的群落是位于悬崖壁基部水浸处的净口藓群落 Gymnostometetum。

致 谢: 在法国野外考察和英国访问研究期间, 承蒙伦敦自然历史博物馆(The Natural History Museum of London) 隐花植物标本室 Le Ellis 博士, Alan Harrington 博士和 Angeca E. Newton 博士及英国伦敦大学帝王学院(King’s College, University of London) 艾伦实验室有关工作人员提供资料及标本查阅等友好帮助, 作者在此一并致谢。

参考文献

[1] Ford, T. D., Pedly, H. M. A review of tufa and travertine deposits in the world[J]. Earth Sciences Reviews, 1996, 41: 117—175.

[2] Pentecost A. The Quaternary travertine deposits of Europe and Asia Minor[J]. Quaternary Science Reviews, 1995, 14: 1005—1028.

[3] Pentecost, A. & Zhang , ZH. A review of Chinese travertines [J]. Cave Karst Science, 2001, 28: 15—28.

[4] Viles, H. A., Goudie, A. S. Tufas, travertines and allied carbonate deposits[J]. Progress in Physical Geography, 1990, 14: 19—41.

[5] J. J. Casas & M. O. Gessner. Leaf litter breakdown in a Mediterranean stream characterised by travertine precipitation [J]. Freshwater Biology, 1999, 41: 781—793.

[6] Jane C. Marks, Roderic Parnell , Cody Carter , Eric C. Dinger, G. Allen Haden . Interactions between geomorphology and ecosystem processes in travertine streams: Implications for decommissioning a dam on Fossil Creek, Arizona[J]. Geomorphology, 2006, 77 : 299—307.

[7] Emig, W H. Mosses as rock builders[J]. Bryologist, 1918, 21: 55—59.

[8] Richards, P.W. Ecology[C]// Fr. Verdoorn(ed.), Manual of Bryology. The Hague, 1932: 367—395.

[9] Pant G, Tewari SD. An assessment of bryophytic vegetation of Naini Tal and Environs—II [J]. Journal of the Indian Botanical Society, 1988, 67: 285—296.

[10] Zhang, ZH. A preliminary taxonomical study on tufa-bryophyte in Guizhou Province, SWChina[J]. Chenia, 1998, 5: 173—176.

[11] Pentecost A. Some observations on the growth rates of mosses associated with tufa and the interpretation of some postglacial bryoliths[J]. Journal of Bryology, 1987, 14: 543—550.

[12] Pentecost, A. & Zhang , ZH. The travertine flora of Juizhaigou and Munigou, China, and its relationship with calcium carbonate deposition[J]. Cave Karst Science, 2000, 27(2): 71—78.

[13] Hoffman, G.W. A geography of Europe [M]. New York: The Ronald Press Company, 1969.

[14] Laborde, ED. Western Europe [M]. London: University of London Press Ltd. , 1968.

[15] Bessemoulia, J. Atlas Climate de la France [M]. Paris: Ministry of Transport, 1969.

[16] Pentecost A, Zhang Z. Bryophytes from some travertinedepositing sites in France and the U. K. : relationships with climate and water chemistry[J]. Journal of Bryology, 2002, 24: 233—241.

[17] Pentecost A and Zhang ZH. Response of bryophytes to exposure and water availability on some European travertines[J]. Journal of Bryology , 2006, 28: 21—26.

[18] 张朝晖, 培特喀斯. 法国阿尔卑斯—罗纳(Rone—Alps) 岩溶洞穴弱光带苔藓植物群落研究[J]. 中国岩溶, 2001, 20: 236—240.

[19] 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: 367—373.

[20] 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: 45—49.

[21] 陈邦杰, 中国苔藓植物生态群落和地理分布初步报告[J]. 植物分类学报, 1958, 7(4): 270—293.

[22] Longton, RE. Vegetation ecology and Classification in the maritime Antarctic zone[J]. Canadian Journal of Botany , 1979, 57: 2264—2278.

[23] Magdefrau, K., Life—forms of Bryophytes[C]// Smith, A.JE (ed.): Bryophyte Ecology. Chapman and Hall, 1982: 45—58.

[24] Augier. Flore des Bryophytes. Encyclopedie biologique LXIV [M]. Paris: Publied by P. Lechevalier, 1966.

[25] Smith, A.JE. The moss flora of Britain & Irelan [M]. Cam-

bridge: Cambridge University Press, 1978.

[26] Smith AJE. The liveworts of Britain & Irelan [M]. Cam-bridge: Cambridge University Press,1990.

[27] Paton, JA. The livewort flora of the British Isles[M]. Harley Books, 1999.

Ecologic study on aquatic bryophyte community at stream karst waterfall in Alps, France

ZHANG Zhao-hui^{1,2}, CHEN Jia-kuan², PENTECOST Allan³

(1. Guizhou Provincial Laboratory for Mountainous Environment, School of Geography and Biology, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China; 2. Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, Institute of Biodiversity Science, Fudan University, Shanghai 200433, China; 3. Division of Life Sciences, King’s College London SE1 8WA)

Abstract: An ecological survey was conducted at six stream karst waterfalls in Alps, France in 2000, about 14 aquatic bryophyte communities were recorded. The bryoflora of karst waterfalls consists of 11 families, 16 genera, and 20 species including subspecies and variety. The reproductive systems consist of two types: the Dioecism is 95% while the Autoecism 5%. The phytogeographcial elements of the bryoflora include North Temperate (60%), Old temperate(5%), Europe-North American elements(10%) and Cosmopolitans (25%). The life-forms are Tall turfs(20%), Short turfs(10%), Mats(10%) and Wefts(60%). Five ecological types of aquatic bryophyte communities can be distinguished in stream karst waterfalls: canyon waterfall community, warm spring waterfall community, waterfall travertine cave community, cliff waterfall community and cliff seasonal waterfall community.

Key words: Bryophytes; Aquatic communities; Stream; Karst waterfall; Alps, France

公 告

经研究,决定增选 Arthur N PALMER(美国)、Andrej KRANJC(斯洛文尼亚)、Julia M JAMES(澳大利亚)、Tony WALTHAM(英国)、Wolfgang DREYBRODT(德国)、李国敏(美国)及李红春(美国)7 人为《中国岩溶》第五届编辑委员会委员。特此公告。

《中国岩溶》编辑部