

从春蕾,刘天雷,孔祥远,等.贵州普定喀斯特受损生态系统石生藓类植物区系及物种多样性研究[J].中国岩溶,2017,36(2):179-186.
DOI:10.11932/karst20170204

贵州普定喀斯特受损生态系统石生藓类植物区系及物种多样性研究

从春蕾¹,刘天雷¹,孔祥远¹,张显强^{1,2}

(1.安顺学院,贵州 安顺 561000;2.中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室,贵阳 550002)

摘要:以贵州普定县喀斯特受损生态系统石生藓类为研究对象,对其区系及多样性进行研究。结果显示,该区共有石生藓类植物8科24属54种,其中丛藓科和灰藓科为优势科,扭口藓属、真藓属、曲柄藓属、拟合睫藓属和细喙藓属为优势属;物种多样性丰富度指数在0.471~0.297之间变化,均匀度指数在0.617~0.566之间无明显变化,受损区域藓类植物多度明显低于水土保持长期观测样方(E);有丛集型(53.8%)、交织型(26.9%)、平铺型(11.5%)和悬垂型(7.7%)4种生活型,主成分分析(PCA)显示不同样方中的苔藓植物生态分布存在差异性。

关键词:喀斯特石漠化;石生藓类植物;区系组成;物种多样性

中图分类号:Q949.35

文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2017)02-0179-08

喀斯特石漠化是由于频繁的人类活动作用于脆弱的生态地质环境而导致的土地生产力退化,出现类似荒漠景观的现象与过程^[1]。石生藓类植物是生于岩石或以岩石基质为基础生长的苔藓种类,根据地势和水湿又可以分为湿润石生、干燥石生和高山石生等类型^[2],石生藓类在丰富苔藓植物多样性上起着重要作用^[3-5]。目前对石生苔藓的研究主要集中在多样性与环境关系方面^[6-8],苔藓植物 α 多样性的变化与生境和构成生境的结构要素有关,苔藓植物 β 多样性的变化与群落结构的关系更显著^[9]。有国外学者认为人为因素的干扰严重影响了森林地表的苔藓植物的物种多样性和盖度,甚至导致某些物种的消失^[10-11]。Hedenäs等^[12]指出,苔藓植物44%的特征由气候地域性控制,35%的特征由普遍的生境引起,23%是因湿度梯度引起的。虽然近年来对喀斯特地区苔藓植物区系和多样性方面的研究取得一定的成果^[13-15],证实石漠化苔藓小生境和生活型多样性较单一,物种多样性较低^[16],但这些研究主要针对某一

特定区域,而针对石生苔藓植物区系和多样性方面的报道却很少。

本文选择贵州省普定县石漠化区石生藓类植物作为研究对象,展开多样性及其区系分布的研究,将有助于掌握该区苔藓植物的分布与现状,为石生苔藓植物多样性的保护、利用苔藓植物进行石漠化生态系统恢复和治理提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

普定县位于贵州省中部,地处 $26^{\circ}13'3''\sim 26^{\circ}15'3''$ N, $105^{\circ}41'27''\sim 105^{\circ}43'28''$ E,国土面积1 091 km²。属于北亚热带季风湿润气候,气候温和,雨量充沛,年均温15.1℃,最冷月(1月)平均温度5.2℃,最热月(7月)平均温度23℃,年均降水量1 396.9 mm。全县喀斯特地貌广泛发育,碳酸盐岩出露面积863.7 km²,占全县国土面积的79.2%。位于长江和珠江水

基金项目:国家自然科学基金项目(41463006)

第一作者简介:从春蕾(1985-),女,硕士,讲师,主要从事生态学研究,E-mail:congchunlei@163.com。

通信作者:张显强(1976-),男,博士后,教授。E-mail:zhangxianqiang@126.com。

收稿日期:2016-06-06

系的结合地带,是长防和珠防工程的重点县。选择中国科学院地球化学研究所普定观测站附近的5个样地进行样方设置和标本采集,样方设置情况详见表1。样地土壤以石灰土和黄壤为主。森林覆盖率为23.2%,植被类型多样^[17]。区域内植被为典型的喀斯特常绿落叶阔叶混交林,植被盖度平均为77.5%,以无石漠化和轻度石漠化为主。主要物种有:青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.)、圆果化香(*Platycarya longipes* Wu.)、贵州鹅耳枥(*Carpinus kweichowensis* Hu.)、窄叶石栎(*Lithocarpus confinis* Huang)、云南樟(*Cinnamomum glanduliferum* (Wall.) Nees.)、杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)、苦楝(*Melia azedarace* L.)、云南鼠刺(*Itea yunnanensis* Franch.)、安顺木姜子(*Litsea kobuskiana* Allen.)、密花树(*Rapanea nerifolia* (Sieb et zuce) Mez.)、齿叶铁仔(*Myrsine semiserrata* Wall.)、竹叶椒(*Zanthoxylum planispinum* Sieb. et Zucc.)、小果蔷薇(*Rosa cymosa* Tratt.)、火棘(*Pyracantha fortuneana* (Maxim.) Li.)、五节芒(*Miscanthus floridulus* (Lab.) Warb. ex Schum. et Laut.)、细叶薹草(*Carex duriuscula* C. A. Mey.)、地果(*Ficus tikoua* Bur.)和蜈蚣草(*Nephrolepis cordifolia* (L.) Presl)等^[18]。

表1 样地环境特征

Table 1 Environmental features of sampling location

样地	环境特征	经纬度	海拔/m
陈旗小流域气象水文观测场	有乔木、灌木及草本植物生长,属潜在石漠化区域,苔藓植物多为土生和石生为主。	N26°39'53", E105°44'38"	1 258
陈家寨石漠化治理试验观测场	典型喀斯特峰丛洼地,石漠化等级中强度。样地内苔藓植物多生长于石面上或石头缝隙薄土上,以石生丛集型和交织型苔藓为主。	N26°21'10" E105°47'50"	1 384
沙湾主站址	严重石漠化区域,基岩大量裸露,植被覆盖度极低,样地内苔藓植物多生长于石面上或石头缝隙薄土上,以丛集型和交织型为主。	N26°22'03" E105°45'08"	1 180
赵家田皆伐样地	有乔木、灌木及草本植物生长,苔藓植物多为土生和石生为主。	N26°16'30" E105°46'55"	1 440
天龙山次生林	有乔木、灌木及草本植物生长,以乔灌木为主,苔藓植物多为石生、土生和附生为主。	N26°14'45" E105°45'50"	1 450

1.2 生态调查方法

每个样地内设置5个20 m×20 m共25个样方,每个样方内设置5个面积为20 cm×20 cm的小

样方共125个小样方,并对样方进行编号。参考GB10111《利用随机数骰子进行随机抽样的办法》设置样地和样方^[19],对小样方内的苔藓植物全部采集。采集时,详细记录采集号、时间、地点、海拔、小生境、基质及厚度等,配子体的生长型、生活型、色泽、颜色、盖度等,孢子体的孢蒴形状、孢柄颜色等。记录完成后把苔藓植物装入采集袋中,并把每个样方采集的样品和记录标签放在一起。

1.3 种类鉴定

将采集的苔藓植物体敞开放置于实验室阴凉处,防止其腐烂。取每个样方内的不同种苔藓少许浸泡于清水中,待植物体完全舒展后进行鉴定。利用光学显微镜、解剖镜、解剖器材以及《云南植物志(18—19卷)》^[20-22]、《广东苔藓志》^[23]等工具书,利用形态学、细胞学等苔藓植物特有的分类方法,对采集的苔藓植物标本进行鉴定。

1.4 数据处理

该区苔藓植物的多样性分析参照李军峰等^[24]采用丰富度指数(S_i)、均匀度指数(J)和相似性指数(S_x),计算公式为:

$$S_i = \sum_{j=1}^n \frac{n}{j} \frac{X_{ij} - \bar{X}_{ij}}{\bar{X}_{ij}} \quad (1)$$

式中: X_{ij} 为第*i*个区域第*j*个分类单位的数据, \bar{X}_{ij} 为第*j*个分类单元数据平均值, n 为分类阶层, S_i 为第*i*个区域丰富度指数。 S_i 越大,第*i*个地区植物区系越丰富;反之,则越贫乏。

$$J = [-\sum(p_k \times \ln p_k)] / \ln Q \quad (2)$$

式中: p_k 为第*k*个种的盖度占有植物物种总盖度的百分比; Q 为植物物种总数。

$$S_x = 100\% \times \left[\frac{2C}{A+B} \right] \quad (3)$$

式中: S_x 为相似性指数, A 为甲区域全部科(属、种)数, B 为乙区域全部科(属、种)数, C 为*A*、*B*两区域共有科(属、种)数。

$$C_c = \frac{C_i}{A} \times 100 \quad (4)$$

式中: C_c 为盖度(%); C_i 为样方内某植物种在网格线交叉处出现的次数; A 为样方内网格线交叉总次数。

$$F = \frac{Q_i}{\sum Q} \times 100 \quad (5)$$

式中: F 为种群频度(%); Q_i 为样地内某种植物出现的样方数(个); $\sum Q$ 为样地内被调查的样方总数(个)。

$$\text{重要值} = (\text{相对盖度} + \text{相对频度}) / 2 \quad (6)$$

式中:相对盖度=某种苔藓植物在该样地中的平均盖度/该样地中出现的所有种类的苔藓植物平均盖度之和;相对频度=某种苔藓植物在该样地中的频度/该样地中出现的所有种类的苔藓植物频度之和。

最后利用Microsoft Excel 2003和SPSS 15.0软

件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 普定喀斯特石生苔藓植物种类组成

普定喀斯特生态系统石生藓类植物共计有石 8 科 24 属 54 种(表 2)。其中丛藓科(Pottiaceae)和灰

藓科(Hypnaceae)为优势科(属数 ≥ 3),这两科中属数占总属数的 62.5%,可见,这两个科的石生藓类植物在该区是极其丰富的。说明了藓类植物的丛藓科和灰藓科,在普定喀斯特石漠化中,在这种人为干扰的环境下,依然保持良好的生长状态,对环境的适应能力较强。扭口藓属、真藓属、曲柄藓属、拟合睫藓属和细喙藓属为优势属(种数 ≥ 3)。

表 2 普定喀斯特生态系统石生藓类植物种类组成
Table 2 Composition of epilithic moss family, genus, and species in karst ecosystem of Puding area

种名	属名	种名(生长位置)
牛毛藓科 Ditrichaceae	牛毛藓属 <i>Ditrichum</i>	细牛毛藓 <i>D. flexicaule</i> (Schwaegr.) Hamp.(岩石面或沙土上)
	小曲尾藓属 <i>Dicranella</i>	变形小曲尾藓 <i>D. varia</i> (Hedw.)Schimp.(泥土或岩面薄土上)
曲尾藓科 Dicranaceae	曲柄藓属 <i>Campyulopus</i>	节茎曲柄藓 <i>C. umbellatus</i> (Arnath.)(树干基部或岩面薄土上)
		黄曲柄藓 <i>C. schmidii</i> (C.Muell.)Jaeg.(林缘, 树生、石生)
		长叶曲柄藓 <i>C. atrovirez</i> De Not.(林下或向阳的岩面和土坡上)
		尾尖曲柄藓 <i>C. caudatus</i> (C.MUell.)Mont.in Doz.et Molk.(林间、石生)
丛藓科 Pottiaceae	丛本藓属 <i>Anoctangium</i>	卷叶丛本藓 <i>A. thomsonii</i> Mitt.(林缘溪边石生或岩面土生)
		扭叶丛本藓 <i>A. stracheyanum</i> Mitt.(林下或林缘的岩面薄土上)
	丛藓属 <i>Pottia</i>	丛藓 <i>P. truncate</i> (Hedw.) B.S.G.(阴湿林地的岩石上及林缘土坡上)
	对齿藓属 <i>Didymodon</i>	土生对齿藓 <i>D. vinealis</i> (Brid.) zander(林地、岩石上及土坡上)
	扭藓属 <i>Tortella</i>	长叶扭藓 <i>T. tortuosa</i> (Hedw.) Limpr.(林间, 石生)
	拟合睫藓属 <i>Pseudosymblepharis</i>	狭叶拟合睫藓 <i>P. angustata</i> (Mitt.) Chen.(石壁上)
		硬叶拟合睫藓 <i>P. subduriuscula</i> (C. Muell.) Chen.(石壁上或土壤上)
		细拟合睫藓 <i>P. duriuscula</i> (Wils.) Chen.(岩石上)
	小石藓属 <i>Weisia</i>	小口小石藓 <i>W. microstoma</i> (Hesw.)C.Muell.(生于岩石表面, 石缝中或砂砾土上)
		东亚小石藓 <i>W. exserta</i> (Broth.)Chen.(林缘的石壁或土壁上)
丛藓科 Pottiaceae	毛口藓属 <i>Trichostomum</i>	卷叶毛口藓 <i>T. involutum</i> Broth.(林缘、石生)
		阔叶毛口藓 <i>T. platyphyllum</i> (His.) Chen.(林缘, 石生)
		毛口藓 <i>T. brachydontium</i> Bruch.
	反扭藓属 <i>Timmiella</i>	反扭藓 <i>T. anomala</i> (B.S.G.) Limpr.(阴湿岩面及土表)
		土生扭口藓 <i>B. vinealis</i> Brid.(土生或湿石生)
		狭叶扭口藓 <i>B. subcontorta</i> Broth.(林下石壁上)
		长尖扭口藓 <i>B. ditrichoides</i> Broth.(林地、林缘石壁薄土上)
		扭口藓 <i>B. unbuiculata</i> Hedw.(林缘、墙基和潮湿岩面上)
		尖叶扭口藓 <i>B. constricta</i> Nitt.(阴湿岩面、石缝或土面)
		北地扭口藓 <i>B. fallax</i> Hedw.(岩面薄土上)
扭口藓属 <i>Barbula</i>	硬叶扭口藓 <i>B. rigidula</i> (Hedw.)Mild.(石缝内)	
	反叶扭口藓 <i>B. reflexa</i> (Brid.)Brid.(岩面或土壁)	
	美叶藓 <i>B. kurziana</i> Chen.(林缘或沟边岩石上, 岩面薄土上)	
美叶藓属 <i>Bellivarbul</i>	尖叶美叶藓 <i>B. obtusicuspis</i> (Besch.)Chen.(岩石上、岩面薄土上)	
	小扭口藓属 <i>Semibarbula</i>	小扭口藓 <i>S. orientalis</i> (Web.)Wijk et Marg.(林间石生)
墙藓属 <i>Tortula</i>	云南墙藓 <i>T. Yunnanensis</i> (林地、岩石、岩面薄土)	
	中华墙藓 <i>T. sinensis</i> (C.Muell.)Broth.(阴湿岩面)	

续表 2

科名	属名	种名(生长位置)
真藓科 Bryaceae	银藓属 <i>Anomobryum</i>	银藓 <i>Anomobryum filiforme</i> (Dicks.) Solms. (土生或岩面薄土上)
		芽胞银藓 <i>A. gemmigerum</i> Broth. (岩面薄土或土上)
	真藓属 <i>Bryum</i>	近高山真藓 <i>B. paradoxum</i> Schwaegr. (石生)
		真藓 <i>B. argenteum</i> Hedw. (石壁岩面薄土上)
		细叶真藓 <i>B. capillare</i> Hedw. (土或石上)
		高山真藓 <i>B. alpinum</i> Huds ex With. (潮湿的岩面薄土上)
		喀什真藓 <i>B. kashmirensis</i> Broth. (岩面)
		钙土真藓 <i>B. anagustirete</i> Kindb. (岩面)
		球根真藓 <i>B. radiculosum</i> Brid. (岩面薄土上)
		拟大叶真藓 <i>B. salakens</i> Card. (路旁, 石上)
羽藓科 Thuidiaceae	小羽藓属 <i>Haplocadium</i> .	细叶小羽藓 <i>H. microohyllum</i> (Hedw.) Broth. (岩面)
	羽藓属 <i>Thuidium</i> .	大羽藓 <i>T. cymbifolium</i> (Dozy et Molk.) Dozy et Molk. (石生)
		绿羽藓 <i>T. assimile</i> (Mitt.) Jaeger (岩面)
青藓科 Brachtheciaceae	青藓属 <i>Brachythecium</i>	羽枝青藓 <i>B. plumosum</i> (Hedw.) B.S.G. (湿岩面薄土上)
		小青藓 <i>B. perminusculum</i> C. Muell. (石生)
	细喙藓属 <i>Rhynchostegiella</i>	光柄细喙藓 <i>R. laeviseta</i> Broch. (石生)
		密叶美喙藓 <i>E. savatieri</i> Schimp. ex Besch. (石生)
		宽叶美喙藓 <i>E. hians</i> (Hedw.) Lac. (石生)
绢藓科 Entodontaceae	赤齿藓属 <i>Erythrodonium</i>	穗枝赤齿藓 <i>E. julaceum</i> (Schwaegr.) Par. (石生)
灰藓科 Hypnaceae	偏蒴藓属 <i>Ecrotophycium</i>	卷叶偏蒴藓 <i>E. ohsimensis</i> Card. et Ther. (岩面)
	毛灰藓属 <i>Homomallium</i>	云南毛灰藓 <i>H. yunnanensis</i> Broth. (岩面)
	美灰藓属 <i>Eurohypnum</i>	美灰藓 <i>E. leptothallum</i> (C. Muell.) Ando (岩面)

表 3 普定石生藓类植物科属组成及比例

Table 3 Composition of epilithic moss species in Puding area

科名	属数	占总属数/%	种数	占总种数/%
牛毛藓科 Ditrichaceae	1	4.17	1	1.85
曲尾藓科 Dicranaceae	2	8.33	5	9.26
丛藓科 Pottiaceae	12	50.00	26	48.15
真藓科 Bryaceae	2	8.33	10	18.52
羽藓科 Thuidiaceae	2	8.33	3	5.56
青藓科 Brachtheciaceae	2	8.33	5	9.26
绢藓科 Entodontaceae	1	4.17	1	1.85
灰藓科 Hypnaceae	3	12.50	3	5.57

表 4 普定石生藓类植物各属优势情况(种数≥3 为优势属)

Table 4 Dominant conditions of epilithic mosses for every genus in karst ecosystem in Puding area (species number ≥ 3 is dominant genus)

科名	种名	属名	种数
曲尾藓科 Dicranaceae		曲柄藓属 <i>Campylopus</i>	4
		拟合睫藓属 <i>Pseudosymblypharis</i>	3
丛藓科 Pottiaceae		扭口藓属 <i>Barbula</i>	8
真藓科 Bryaceae		真藓属 <i>Bryum</i>	8
青藓科 Brachtheciaceae		细喙藓属 <i>Rhynchostegiella</i>	3

2.2 石生藓类植物物种多样性比较

2.2.1 石生藓类丰富度指数、均匀度指数变化及差异性分析

根据公式(1)、(2)计算石生苔藓植物的丰富度指数和均匀度指数(表 5)。由表 5 可知,A 地丰富度指数(0.471)和均匀度指数(0.617)均最高,D 地的丰富度指数(-0.339)最低;由 B 地和 C 地、B 地和 D 地等可见,物种均匀度指数和丰富度指数之间不一定呈正相关的关系;均匀度指数波动不大,表明该区不同样地苔藓植物群落中物种个体数的频率分布差异小。

表 5 普定石生藓类植物物种丰富度指数、均匀度指数比较
Table 5 Comparison of epilithic moss species abundance and evenness in Puding area

样地	科数	属数	种数	丰富度指数	均匀度指数
A	5	9	12	0.471	0.617 0
B	5	10	10	0.379	0.488 9
C	5	7	8	-0.214	0.523 0
D	5	6	8	-0.339	0.583 2
E	4	8	8	-0.297	0.566 3

2.2.2 石生苔藓植物相似性比较

根据公式(3)计算该区石生苔藓植物相似性指数(表 6)。从表可知,A 样地和 B 样地苔藓植物的相似性指数最低,其原因是这二个样地的群落结构、土壤水分、光照强度等差异较大,共有物种最少,且物种组成较多,从而导致两地之间物种差异明显;C 样地和 D 样地苔藓植物相似性最高,因为这二个样地小生境之间群落组成、群落结构和土壤之间理化性质差异较小,并且苔藓植物的物种组成较少。

表 6 普定石生藓类植物物种相似性比较
Table 6 Comparison of similarities of epilithic moss species in Puding area

	A 样地	B 样地	C 样地	D 样地	E 样地
A 样地	1	0.182	0.400	0.400	0.200
B 样地		1	0.400	0.333	0.200
C 样地			1	0.625	0.375
D 样地				1	0.357
E 样地					1

2.2.3 石生苔藓群落的生活型

生活型(Life-form)是有机体对外界环境适应的外部表现形式,同一生活型的生物,不但体态相似,而且适应环境的特点也是相似的^[25]。苔藓植物生活型的划分参照 Magdefrau K.^[26]的分类系统,该区域苔藓植物可划分为丛集型、交织型、平铺型和悬垂型 4 种生活型,其中丛集型占 53.8%、交织型占 26.9%、平铺型占 11.5%、悬垂型占 7.7%,丛集型有绝对优势;由此可以看出,丛集型苔藓植物在在喀斯特石漠化这种人为频繁活动的环境中,耐受性较强;同样,由于交织型苔藓植物植物体多呈毯状或丛状,可以减少水分的蒸发,其生长型次于丛集型,在该区域也是很常见的(图 1)。

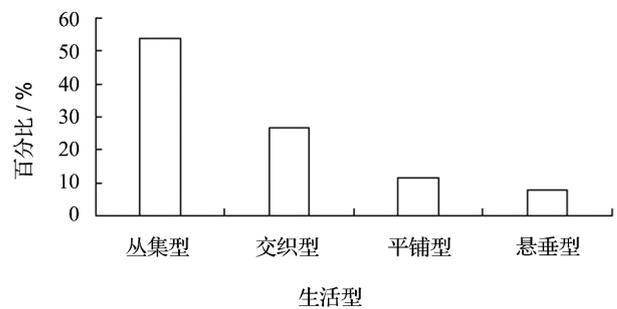


图 1 苔藓植物生活型比例

Fig.1 Proportion of bryophyte life forms

2.2.4 石生藓类植物重要值统计

将重要值大于 50%的藓类物种定位优势种,由表 7 可知,普定喀斯特生态系统的优势石生藓类有 8 种,分别为丛藓(*P. truncate*)、尖叶扭口藓(*B. constricta*)、东亚小石藓(*W. exserta*)、细叶牛毛藓(*D. pusillum*)、细牛毛藓(*D. flexicaule*)、美灰藓(*E. leptothallum*)、银藓(*Anomobryum filiforme*)、和绿羽藓(*T. assimile*)。

2.2.5 普定喀斯特生态系统石生藓类植物生态分布特征

主成分分析是一种掌握主要矛盾的统计方法,能够通过简化数据(即用较少的综合指标代替原来具有一定相关性的较多的指标,来反映原来多变量的大部分信息^[27])。此次以普定喀斯特区藓类植物重要值大于 50%的优势苔藓作为研究对象,以样方内苔藓植物重要值为数据做主成分分析(PCA),在 PCA 排序图中,带箭头的线段表示藓类物种,圆圈表示样地,线段长短表示苔藓植物多度(重要值)大小,两物种射线之间夹角的余弦值在数值上等于两者的相关系数,夹角越小,相关性越高;样点到物种的投影点表示该样

表 7 石生藓类植物组成及其重要值指数(%)
Table 7 Composition of epilithic mosses and their major indexes (%)

种名	缩写词	I	II	III	IV	V	重要值之和
丛藓 <i>P. truncate</i>	<i>A.tru</i>	48.5	45.64	40.27	64.36	0	198.77
卷叶丛本藓 <i>A. thomsonii</i>	<i>A.tho</i>	2.50	0	0	0	0	2.50
砂地扭口藓 <i>B. arcuatagriff</i>	<i>B.arc</i>	0	0	0	0	38.57	38.57
牛毛藓 <i>D. flexicaule</i>	<i>D.fle</i>	10.25	26.37	0	0	0	36.62
狭叶扭口藓 <i>B. subcontorta</i>	<i>B.sub</i>	2.38	0	0	0	0	2.38
土生对齿藓 <i>Didymodon vinealis</i>	<i>Did</i>	0	0	0	0	0	0
尖叶扭口藓 <i>B. constricta</i>	<i>B.con</i>	20.56	0	46.51	0	0	67.07
亮叶石灰藓 <i>H. subpellucidum</i>	<i>Hyd</i>	0	0	0	9.39	0	9.39
东亚小石藓 <i>W. exserta</i>	<i>W.exs</i>	0	0	0	0	57.48	57.48
云南墙藓 <i>T. muralis</i>	<i>Tor</i>	7.35	0	0	0	24.93	32.28
反纽藓 <i>T. anomala</i>	<i>T.ano</i>	14.5	0	0	0	7.68	22.18
扭叶丛本藓 <i>A. stracheyanum</i>	<i>A.str</i>	0	0	25.24	0	0	25.24
细叶牛毛藓 <i>D. pusillum</i>	<i>D.pus</i>	8.56	32.38	25.46	14.38	0	80.78
细牛毛藓 <i>D. flexicaule</i>	<i>D.fle</i>	0	0	50.59	25.43	0	76.02
云南毛齿藓 <i>T. muricatus</i>	<i>T.mur</i>	0	0	0	31.46	0	31.46
美灰藓 <i>E. leptothallum</i>	<i>E.lep</i>	0	60.45	75.35	70.47	84.32	290.59
银藓 <i>A. fili forme</i>	<i>Ano</i>	0	12.86	0	0	37.96	50.82
绿羽藓 <i>T. assimile</i>	<i>T.ass</i>	0	0	5.83	59.35	0	65.18
细叶小羽藓 <i>H. microohyllum</i>	<i>H.mic</i>	0	0	0	0	14.37	14.37

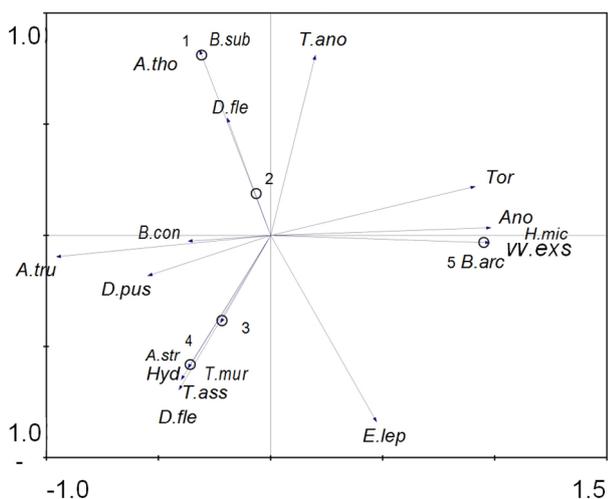


图 2 普定石生优势苔藓 PCA 二位排序图
Fig.2 PCA two-dimensional ordering of epilithic mosses in the Puding area

点某物种的多度值(重要值),沿着箭头方向为增大;样点之间连线的长度便是样方之间的欧几里德距离,长度越短代表两者之间的差异越小。

从图 2 可知,A 样地和 B 样地的藓类植物组成相似,由卷叶丛本藓、狭叶扭口藓、细牛毛藓等主要藓类组成,其中 A 样地的藓类植物多度明显高于 B 样地中的藓类植物。A 样地和 E 样地藓类组成有较大差异,其原因是 E 样地属于水土保持样方,藓类植物生境的湿度相对较高。

2.3 石生藓类植物小生境多样性分析

杜雪莲等参考微地貌形态的划分标准得出喀斯特石漠化地区有石面、石沟、石缝、石槽和土面 5 种小生境^[28]。普定喀斯特石漠化区石灰岩分布广泛,岩石裸露面积大,岩石基质土壤以石灰土和黄壤为主。根据张朝晖等^[29]的研究,将石面生境划分为五种类型的小生境,即岩面薄土、岩面、岩面石缝、岩面石壁和岩石基本土生。由表 8 可知,普定喀斯特石漠化生

态系统藓类植物的小生境以岩面薄土和岩面为主, 藓类种类最为丰富, 占总种数的 75.93%; 这两种小生境的藓类植物在所调查样地均可见。

表 8 普定喀斯特生态系统不同小生境石生藓类植物分布
Table 8 Distribution of epilithic mosses in different habitats of karst ecosystem in Puding area

生境类型	出现藓类种类	占总种数百分比/%	出现样地种类
岩面薄土	12	22.22	5
岩面	29	53.70	5
岩面石缝	3	5.57	2
岩面石壁	5	9.26	2
岩石基部土生	5	9.26	3

3 讨论

普定喀斯特生态系统有石生藓类植物 8 科 24 属 54 种, 生活型有 4 种类型, 丛集型占有绝对优势, 占四种类型的 53.8%。如丛藓科 (Pottiaceae)、真藓科 (Bryaceae) 以及小曲尾藓属 (*Dicranella*)、牛毛藓属 (*Ditrichum*) 的种类多为此种类型, 丛集型藓类植物植株密集丛生, 吸水能力强。此外该类型藓类植物叶细胞具有特殊的构造——疣, 耐旱性强; 生长型有: 直立丛生、匍匐生长、侧弯曲生长和稀疏生长; 石生藓类平均盖度为 43.74%; 基质土壤平均厚度为 0.43 cm; 有的群落还伴随着藻类植物(念珠藻) 生长, 通常有灰藓科生长的群落苔藓种类较为单一。张朝晖等研究了附近黄果树、龙宫等地区的苔藓植物, 发现石生种类发达, 比较龙宫区石灰岩和砂页岩, 石灰岩样地苔藓植物种类数量明显高于砂页岩; 龙宫和黄果树两样地苔藓植物的相似性指数较高^[16, 29-30]。

生境差异(包括群落结构, 土壤湿度和光照强度等)是造成苔藓植物物种丰富度差异的主要原因^[9]。普定喀斯特生态系统不同地区石生苔藓植物藓类植物物种组成、丰富度与环境具有一定的关系, 人为活动频繁的地区, 其多样性相对较低; 其次, 均匀度指数波动不大, 表明不同样地喀斯特石生苔藓植物群落中物种个体数的频率分布差异甚小。除此之外, 各样地之间物种相似性也较高, 因为本次围绕中国科学院地球化学研究所普定县陈旗小流域气象水文观测场、陈家寨石漠化治理试验观测场、沙湾主站址、赵家田皆

伐样地(重度石漠化)和天龙山次生林样地(无石漠化)进行样方设置和标本采集。李军峰等^[31]研究表明, 喀斯特石漠化不同阶段苔藓植物的多样性变化程度不同, 不同阶段影响苔藓植物多样性的环境因子也不同; 不同石漠化区苔藓植物的种数和丰富度均不同; 而不同石漠化区均匀度指数相对稳定。普定喀斯特石漠化生态系统石生藓类不同样地的丰富度指数为 0.471、0.379、-0.214、-0.339、-0.297, 变化明显; 均匀度指数为 0.617、0.489、0.523、0.583、0.566, 变化不明显; 本文研究与李军峰等研究的结论相似。

此外, 在生态系统中, 苔藓植物可以分泌酸性物质, 分化土壤及岩石, 为其他植物提供生存条件; 苔藓植物蓄水能力强, 能够防止水土流失; 此外, 苔藓植物对环境变化敏感, 可以作为环境监测的指示植物。

参考文献

- [1] 王世杰. 喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨[J]. 中国岩溶, 2002, 21(2): 101-105.
- [2] 陈邦杰, 万宗玲, 高谦, 等. 中国藓类植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1963.
- [3] Bates J W. Mineral nutrition, substratum ecology, and pollution [A]. In: Shaw A J, Gogginet B eds. Bryophyte Biology [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000: 248-311.
- [4] Frahm J P. Biologie der Moose [M]. Berlin, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2001.
- [5] 曹同, 郭水良. 长白山主要生态系统苔藓植物的多样性研究[J]. 生物多样性, 2000, 8(1): 60-69.
- [6] 王中生, 方炎明. 龙王山常绿阔叶林石生藓分布格局的缀块性分析[J]. 南京林业大学学报, 2002, 26(1): 42-46.
- [7] 王中生, 方炎明. 常绿阔叶林曙石生藓类对森林植被发育的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(7): 872-876.
- [8] Kubesová S. Bryophytes in a block field microrelief: case studies from SW Moravia [J]. Acta Universitatis Purky nianae, Studia Biologica, 2000, (4): 113-125.
- [9] 徐杰, 白学良, 哈斯, 等. 鄂尔多斯地区不同生境类型对苔藓植物多样性和丰富度的影响[J]. 内蒙古师范大学学报: 自然科学版, 2007, 36(1): 98-103.
- [10] Romero C. Reduced impact logging effects on commercial non-vascular pendant epiphyte biomass in a tropical montana forest in Costa Rica [J]. Forest Ecology and Management, 1999, 118: 117-125.
- [11] Beesea W J, Bryantb A A. Effect of alternative silvicultural systems on vegetation and bird communities in coastal montane forests of British Columbia, Canada [J]. Forest Ecology and Management, 1999, 115: 231-242.
- [12] Hedenäs L. Environmental Factors Potentially Affecting Character States in Pleurocarpous Mosses [J]. Bryologist, 2015, 104 (1): 72-91.

- [13] 李冰,张朝晖.喀斯特石漠结皮层藓类物种多样性及在石漠化治理中的作用研究[J].中国岩溶,2009,28(1):55-60.
- [14] 张天汉,代玉,王智慧,等.贵州关岭县喀斯特峰丛石漠区苔藓群落生态特征[J].中国岩溶,2014,33(2):192-200.
- [15] 籍焯,张朝晖.林歹二矿岩溶型铝土矿区藓类植物多样性及其生态分布特征研究[J].中国岩溶,2015,34(6):599-606.
- [16] 贾少华,张朝晖.喀斯特城市石漠苔藓植物多样性及水土保持[J].水土保持研究,2014,21(2):100-105.
- [17] 姜运力,王进,丁访军,等.贵州省普定县喀斯特石漠化地段的植物群落研究[J].贵州林业科技,2006,34(1):55-59.
- [18] 熊红福,王世杰,容丽,等.普定喀斯特地区不同演替阶段植物群落凋落物动态[J].生态学杂志,2013,32(4):812-816.
- [19] 张金玉.采用GB10111《利用随机数骰子进行随机抽样的方法》进行产品检验抽样[J].铁道技术监督,1992(3):37-39.
- [20] 高谦,曹同.云南植物志(第十七卷)[M].北京:科学出版社,2000.
- [21] 黎兴江.云南植物志(第十八卷)[M].北京:科学出版社,2002.
- [22] 黎兴江.云南植物志(第十九卷)[M].北京:科学出版社,2005.
- [23] 吴德邻,张力.广东苔藓志[M].广州:广东科技出版社,2013.
- [24] 李军峰,贾少华,王智慧,等.喀斯特石漠化过程中苔藓植物多样性及分布与环境关系[J].生态科学,2015,34(1):68-73.
- [25] 孙儒泳,李庆芬,牛翠娟,等.基础生态学[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [26] Magdefrau K. Life forms of bryophytes[C]//SMITH A J E. Bryophyte Ecology. New York: Chapman and Hall, 1982:45-58.
- [27] 李玉,俞志明,等.运用只成分分析(PCA)评价海洋沉积物中重金属污染来源[J].环境科学,2006,(27)1:147-151.
- [28] 杜雪莲,王世杰.喀斯特石漠化区小生境特征研究:以贵州清镇王家寨小流域为例[J].地球与环境,2010,38(3):265-266.
- [29] 王智慧,张朝晖.黄果树喀斯特区域苔类植物区系及生态分布的初步研究[J].贵州师范大学学报:自然科学版,1996(1):37-41.
- [30] 王智慧,张朝晖,钟本固,等.贵州龙宫石灰岩和砂页岩苔藓植物的比较研究[J].贵州林业科技,1995,23(3):30-33.
- [31] 李军峰,王智慧,张朝晖.喀斯特石漠化山区苔藓多样性及水土保持研究[J].环境科学研究,2013,26(7):769-774.

Flora and species diversity of epilithic mosses on rock desertification in the Puding karst area

CONG Chunlei¹, LIU Tianlei¹, KONG Xiangyuan¹, ZHANG Xianqiang^{1,2}

(1. Anshun University, Anshun, Guizhou 561000, China;

2. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550002, China)

Abstract This work studied the flora and species diversity of epilithic mosses in karst rock desertification area in Puding, Guizhou Province. The results show that there are 8 families, 24 genera and 54 species of epilithic mosses. Among them, the pottiaceae and hypnacea are the dominant families. Barbula, btyum, campylopus, pseudosymblypharis broth and rhynchostegiella are dominant genera. There is significant change in richness index of species, ranging 0.471 to -0.297. The evenness index is inconspicuous, which ranges from 0.671 to 0.566; and the abundance of the epilithic mosses in the ecologically damaged area is significantly lower than long-term observation of samples(E) of soil and water conservation. There are 4 types of life forms, including cluster pattern (53.8%), wefts (26.9%), mats (11.5%) and pendants (7.7%), in which the cluster pattern is absolutely dominant. The result of PCA shows that through quadrat analysis, the ecology and distribution of the epilithic mosses are different.

Key words rock desertification in karst areas, epilithic mosses, flora composition, species diversity

(编辑 张玲)