

# 喀斯特城市石漠苔藓植物多样性及水土保持

贾少华, 张朝晖

(贵州师范大学 山地环境信息系统与生态环境保护重点实验室, 贵阳 550001)

**摘要:**喀斯特城市石漠现象已成为中国西南喀斯特地区不可忽视的突出环境问题之一,以贵阳市为例探究喀斯特城市不同石漠地区苔藓物种多样性及其成土保水能力。结果显示,该城市石漠环境记录藓类植物有 11 科 23 属 45 种,未见苔类和角苔类。苔藓小生境和生活型多样性较单一,物种多样性较低,与人为干扰频度、石漠化程度及生存环境有着密切关系。苔藓水土保持功能在不同生活型和同种生活型下均无显著性差异,三种优势藓类成土量和最大持水量分别为北地对齿藓( $387.35 \text{ g/m}^2$ ,  $1\ 899.53 \text{ g/m}^2$ )>穗枝亦齿藓( $164.35 \text{ g/m}^2$ ,  $1\ 398.3 \text{ g/m}^2$ )>土生真藓( $111.45 \text{ g/m}^2$ ,  $684.42 \text{ g/m}^2$ ),对植被恢复具有潜在意义,可作为喀斯特石漠化地区植被恢复及防治水土流失的优势物种。

**关键词:**喀斯特石漠化; 苔藓植物; 多样性指数; 丰富度指数; 水土保持

中图分类号: Q948; Q949.35

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)02-0100-06

## Diversity of the Bryophytes and Their Roles in Soil and Water Conservation in Karst City Rocky Desertification

JIA Shao-hua<sup>1</sup>, ZHANG Zhao-hui<sup>2</sup>

(Key Laboratory for Information System of Mountainous Area and Protection of Ecological Environment of Guizhou Province, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

**Abstract:** Karst city rocky desertification phenomenon has been one of the important ecological and environmental problems in southwest karst areas of China. This study took Guiyang City as an example to explore the bryophyte diversity and its function of soil and water conservation in typical city rocky desertification area. The results showed that 45 taxa belonging to 23 genera and 11 families were reported in the study area. Liverworts and hornwort were not found. The diversity of bryophyte habitat and life-form are simple. The species diversity is low, and it has a close relationship with human activities, rocky desertification degree and the living environment. The regularity of three dominant moss soil quantity and maximum water-holding capacity is in the sequence of *Didymodon fallax* ( $387.35 \text{ g/m}^2$ ,  $1\ 899.53 \text{ g/m}^2$ ) > *Erythrodonium julaceum* ( $164.35 \text{ g/m}^2$ ,  $1\ 398.3 \text{ g/m}^2$ ) > *Bryum tuberosum* ( $111.45 \text{ g/m}^2$ ,  $684.42 \text{ g/m}^2$ ). Three mosses have high ability to absorb and reserve water. Besides, they have great effect on pedogenesis, and have potential significance for vegetation restoration. Therefore, they can be used as dominant plant for vegetation restoration in karst rocky desertification area. And they also can be used to prevent water and soil erosion in karst rocky desertification area.

**Key words:** karst rocky desertification; bryophytes; diversity indices; abundance indices; soil and water conservation

喀斯特城市石漠是指在城市近市区范围内脆弱的碳酸盐岩环境背景下,由于人类不合理的社会经济活动(例如采石活动、建造住房及建设公路隧道等活

动)破坏而造成大面积岩石裸露、土壤受侵蚀、植被遭到严重破坏,使城市呈现出类似石漠景观的现象<sup>[1]</sup>。仅仅滇、桂、黔三省存在喀斯特石漠的地区就有 200

多个县市,如贵州的贵阳、安顺、六盘水,云南的昭通、大理,广西的柳州、南宁等<sup>[2-4]</sup>。城市石漠同其他类型石漠问题一样不仅会破坏生态环境、威胁植物物种多样性及居民的生活环境质量,影响城市景观美化和生态环境,而且一旦石漠化程度加剧引起严重的水土流失、山体滑坡等一系列连锁问题,随着次生灾害的不断扩大和发展会造成更大的间接经济损失,甚至制约城市的可持续发展建设。喀斯特城市石漠可谓是西南喀斯特城市可持续发展的“癌症”、“肿瘤”,应像大气污染、水污染、噪声污染等城市环境和其他类型石漠化问题一样引起社会的高度重视<sup>[5-7]</sup>。

贵阳市是中国西南地区“全世界最大的喀斯特连续带”上典型的喀斯特城市,其潜在石漠化和石漠化面积约占全市总土地面积的 50.65%<sup>[8]</sup>。通过调查发现贵阳市二环线内已存在较大面积的石漠地区,多是因居住、交通、经济开发等人类活动而造成的石漠化现象。这些地区石灰岩大面积裸露,植被覆盖率低,而裸露岩石上发现均有大面积的苔藓植物生长。

目前为止,关于喀斯特城市的研究仅限于城市规划、生态城市景观建设等方面的理论性研究<sup>[9]</sup>,关于喀斯特石漠的研究有刘荣相等<sup>[10]</sup>对贵州贞丰喀斯特石漠峰丛苔藓植物群落生态特征研究,李冰等<sup>[11]</sup>对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,汪文云等<sup>[12-13]</sup>对贵州老万场金矿藓类重金属富集特性及其生态修复潜力研究、老万场金矿石灰岩与红土矿体土壤结皮中苔藓植物种类及群落比较研究等等,然而将喀斯特城市和喀斯特石漠相结合并系统地描述其生物多样性的专题未见报道。

因此本研究以典型喀斯特城市贵阳市为例,初步

探索喀斯特城市石漠地区苔藓植物物种多样性及水土保持功能,了解其作为石漠化地区的先锋植物对石漠环境的特殊意义及其在生态恢复中的重要作用,提升社会对于喀斯特城市石漠的认识,为当地的生态治理提供科学的基础数据和参考资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

贵阳市位于贵州省中部,地处中国西南云贵高原东部,介于东经 106°07′—107°17′,北纬 26°11′—26°55′。研究区域属于亚热带季风湿润温和气候,年均气温 15.3℃,年极端最高温度为 35.1℃。城区地表起伏度较大,海拔 1 000~1 420 m,西北部为高地,中部为海拔较低的喀斯特盆地。由于人类活动的干扰和破坏,其原生植被已保存不多,大部分地区现存的都为次生植被(如针叶林、落叶阔叶林、灌木及灌草丛等)。本研究选取不同成因背景下的喀斯特石漠,如修建公路和隧道、炸石修建房屋、耕作农田地、炸山采石等人为活动造成的石漠及天然完全裸岩。这些生态环境较为脆弱、裸岩面积大、植被覆盖率低、土壤稀薄的地区均有苔藓植物生存。

### 1.2 研究方法

1.2.1 野外工作 对贵阳市区不同喀斯特石漠典型地区进行野外调查,共设置了面积为 10 m×10 m 的 5 个样地,包括农田旁、完全裸岩、采石场、住宅旁和道路旁。每样地内设置 5 个样方,每个样方按梅花五点采样法设置 10 cm×10 cm 的小样方,共采集苔藓植物样品 125 份,同时记录每份样品的盖度、生境特征和经纬度及海拔等信息,详见表 1。

表 1 贵阳市喀斯特城市石漠苔藓植物研究地点

样地	样地类型	石漠类型	海拔/m	经度	纬度	苔藓种数
1	农田旁	峰丛石漠	1119.0	106°43′49.2″—106°43′48.0″	26°32′38.5″—26°32′38.8″	22
2	住宅旁	峰林石漠	1237.3	106°36′32.2″—106°43′49.2″	26°31′38.2″—26°38′17.1″	19
3	道路旁	峰丛石漠	1142.3	106°43′13.5″—106°43′14.3″	26°30′56.0″—26°30′57.1″	16
4	采石场	孤峰石漠	1210.5	106°39′52.8″—106°41′25.5″	26°30′31.6″—26°37′21.9″	16
5	完全裸岩	孤峰石漠	1242.5	106°43′51.3″—106°43′52.4″	26°31′12.5″—26°31′14.0″	13

1.2.2 室内工作 将采集的苔藓植物样品晾干后分装在标本袋中,借助《中国苔藓志》及地方苔藓植物志等现代苔藓分类工具书,利用 HWG-1 型双筒解剖镜和 XSP-BM-2CA 型光学显微镜,采用经典的形态分类方法进行鉴定工作。

根据标本鉴定结果,选取出现频度较高且盖度较大的藓类植物来进行生物量测定等相关实验。首先要去除标本中少许杂物,称量其结皮层总重;将植物体和泥土分离,过 60 目分样筛,然后清洗直至植物体

冲洗干净为止,晾干 24 h 后称量其鲜重;将称量完鲜重的藓类植物浸水 24 h 后,静置于细网上至不滴水时称量其湿重,最后放置在 60℃烘箱内 48 h 将其烘干,称干重,记录所有数据。

### 1.3 数据处理

(1) 采用多样性测度指数 Shannon-Wiener 指数、物种丰富度指数来比较和评价苔藓植物物种多样性。Shannon-Wiener 指数公式为: $H = -\sum P_i \lg P_i$ ,其中  $P_i = n_i/N$ ,  $N$  以样方苔藓总盖度代替,  $n_i$  以第  $i$

种的盖度代替<sup>[14-15]</sup>。丰富度指数计算公式为:

$d = (S - 1) / \ln N$ , 其中  $S$  为样方苔藓物种数。

(2) 参照徐杰、白学良等<sup>[16]</sup>的计算公式对苔藓植物生物量、吸水量等进行计算, 具体公式为: 生物量 = 干重 × 盖度 × 10000; 成土率 = (结皮层总重 - 干重) / 干重 × 100%; 成土量 = 生物量 × 成土率; 最大持水率 = (湿重 - 干重) / 干重 × 100%; 最大持水量 = 生物量 × 最大持水率

利用 Excel 软件和 SPSS 18.0 统计软件对数据进行处理分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 苔藓植物组成多样性分析与讨论

通过实地调查和对采集的苔藓植物样品进行物种形态鉴定, 记录研究区内藓类植物共有 11 科 23 属 45 种, 未发现苔类和角苔类植物, 详细统计见表 2。

表 2 贵阳市喀斯特城市石漠地区苔藓植物名录

种名	频度	种名	频度
角齿藓 <i>Ceratodon purpureus.</i> (Hedw.) Bird.	2.14	高山真藓 <i>Bryum alpinum</i> Huds ex With.	4.29
曲柄狗牙藓 <i>Cynodontium sinensi-fugax</i> (C. Muell.) Par.	1.07	毛状真藓 <i>Bryum apiculatum</i> Schwaegr	3.22
细叶卷毛藓 <i>Dicranoweisia criata</i> (Hedw.) Lindb.	1.07	银叶真藓 <i>Bryum argenteum</i> Hedw.	9.65
立膜藓 <i>Hymenostylium recurvirostre</i> (Hedw.) Dix.	1.07	比拉真藓 <i>Bryum billarderi</i> Schwaegr.	5.36
皱叶小石藓 <i>Weissia crispa</i> (Hedw.) Mitt.	5.36	丛生真藓 <i>Bryum caespiticium</i> Hedw.	2.14
缺齿小石藓 <i>Weissia eduntula</i> Mitt.	3.22	宽叶真藓 <i>Bryum funkii</i> Schwaegr.	2.14
阔叶毛口藓 <i>Trichostomum planifolium</i> (Hs.) P.-C. Chen	5.36	拟三列真藓 <i>Bryum pseudotriquetrum</i> (Hedw.) Gaerth.	2.14
卷叶湿地藓 <i>Hyophila involuta</i> (Hook.) Jaeg.	1.07	沙氏真藓 <i>Bryum sauteri</i> B. S. G.	1.07
湿地藓 <i>Hyophila javanica</i> (Nece et Blum.) Bird.	1.07	土生真藓 <i>Bryum tuberosum</i> Mohamed et Damanhuri	12.86
芽孢湿地藓 <i>Hyophila propaguli-fera</i> Broth.	2.14	垂蒴真藓 <i>Bryum uliginosum</i> (Brid.) B. S. G.	3.22
匙叶湿地藓 <i>Hyophila spatulata</i> (Harv.) Jaeg.	4.29	小木灵藓 <i>Orthotrichum exiguum</i> Sull.	2.14
尖叶对齿藓 <i>Didymodon constricta</i> Mitt. Saito var. <i>constrictus</i>	4.29	狭叶小羽藓 <i>Haplocladium angustifolium</i> (Hampe et C. Muell.) Broth.	1.07
尖叶对齿藓芒尖变种 <i>Didymodon constrictus</i> var. <i>flexicuspis</i> (P.-C. Chen) Saito	1.07	多姿柳叶藓 <i>Amblystegium varium</i> (Hedw.) Lindb.	4.29
长尖对齿藓 <i>Didymodon ditrichoides</i> Broth.	8.57	灰青藓 <i>Brachythecium glauculum</i> C. Muell.	1.07
北地对齿藓 <i>Didymodon fallax</i> (Hedw.) Zand.	17.15	羽枝青藓 <i>Brachythecium plumosum</i> (Hedw.) B. S. G.	2.14
反叶对齿藓 <i>Didymodon ferrugineus</i> (Schimp. ex Besch.) Hill	4.29	匙叶毛尖藓 <i>Cirriphyllum cirrosom</i> (Schwaegr.) Grout	1.07
剑叶对齿藓 <i>Didymodon rufidulus</i> (C. Müll.) Broth.	2.14	穗枝赤齿藓 <i>Erythrodontium julaceum</i> (Schwaegr.) Par.	15
土生对齿藓 <i>Didymodon vinealis</i> (Brid.) Zand.	7.5	云南绢藓 <i>Entodon yunnanensis</i> Ther.	1.07
卷叶扭口藓 <i>Barbula convoluta</i> Hedw.	1.07	东亚毛灰藓 <i>Homomallium connexum</i> (Card.) Broth.	1.07
暗色石灰藓 <i>Hydrogonium sordidum</i> (Besch.) P.-C. Chen	1.07	美灰藓 <i>Eurohypnum leptothallum</i> (C. Muell.) Ando	7.5
纤枝短月藓 <i>Brachymerium exile</i> (Doz. et Molck.) Bosch et Lac.	2.14	南亚同叶藓 <i>Isopterygium bancanum</i> (Lac.) Jaeg.	1.07
砂生短月藓 <i>Brachymerium muricola</i> Broth.	1.07	羽叶锦藓 <i>Sematoptyllum subpinatum</i> (Bird.) Britt.	1.07
狭网真藓 <i>Bryum algovicum</i> Sendt.	2.14		

研究区内苔藓植物的组成分布情况得出研究区内丛藓科(7 属, 30.43%)和灰藓科(3 属, 13.04%)为优势科( $\geq 3$  属); 优势属( $\geq 3$  种)为湿地藓属(4 种), 对齿藓属(7 种), 真藓属(11 种), 三个属所含种数总和占总种数的 48.89%, 近总数的一半。依据藓类植物频度得出本研究的藓类植物分为五个等级, 即非常普遍种(频度  $F \geq 10$ , 含有 3 种), 如北地对齿藓、土生真藓等; 普遍种( $8 \leq F < 10$ , 含有 2 种), 如长尖对齿藓、银叶真藓等; 常见种( $5 \leq F < 8$ , 含有 5 种), 如皱叶小石藓、阔叶毛口藓等; 偶见种( $3 \leq F < 5$ , 含有 8 种), 如缺齿小石藓、毛状真藓等; 罕见种( $1 \leq F < 3$ , 含有 27 种), 如角齿藓、羽叶锦藓等。45 种藓类植物出现频度  $F \geq 5$  的有 10 种, 即皱叶小石藓、阔叶毛口藓、长

尖对齿藓、北地对齿藓、土生对齿藓、银叶真藓、比拉真藓、土生真藓、穗枝赤齿藓和美灰藓。

### 2.2 苔藓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地区有石面、石沟、石缝、土面和石槽 5 种小生境, 其中石面型占有的比例最大, 也最为严酷, 植物对小生境资源利用率最低, 其表面仅有苔藓和地衣生存<sup>[17-18]</sup>。贵阳市城市石漠地区多为石灰岩分布区, 大面积的岩石裸露, 所谓石面生境并不是全部没有土壤。本研究根据研究区实际情况将前人研究的石面生境划分为五种类型的小生境, 即岩面薄土、岩面石生、岩石石壁、岩石石缝和岩石基部土生, 详见表 3。

表 3 贵阳市喀斯特城市石漠不同生境类型苔藓植物分布

生境类型	出现苔藓种类	占总种数百分比/%	占总标本数/%	出现样地种类
岩面薄土	34	75.56	36.44	5
岩面	15	33.33	16.08	3
岩面石缝	11	24.44	11.79	5
岩石石壁	13	28.89	13.93	2
岩石基部土生	4	8.89	4.29	2

其中岩面薄土生的藓类植物有 34 种,占总种数的 75.56%,为主要的生境类型。频度较高的 10 种藓类植物除银叶真藓均为岩面薄土生,更说明研究区岩面薄土是苔藓植物主要的生存环境。

苔藓植物小生境的环境条件影响着其种类组成:岩面薄土生境质量较好,藓类植物最为丰富;岩面和石壁适合更为耐旱或者交织型的藓类植物生存。研究区频度  $F \geq 5$  的 10 种藓类植物均出现在岩面薄土生境中,且岩面薄土为苔藓植物的主要生境,着生藓类植物主要为丛藓科和真藓科。而苔类和角苔类植物较藓类植物对水分要求较高,其抗旱能力较弱,在这种严酷的生态环境中,藓类植物表现出更强的适应性。

### 2.3 苔藓植物生活型多样性分析

苔藓植物生活型是指苔藓植物对综合生境条件长期适应而外貌上表现出来的生长类型,是对其生长环境的一种适应性表现,可明确反映出苔藓植物与环境之间的关系。研究区域内苔藓植物的生活型有 3 类,即矮丛集型(Short Turfs)、高丛集型(Tall Turfs)和交织型(Wefts),其生活型图谱如图 1 所示。

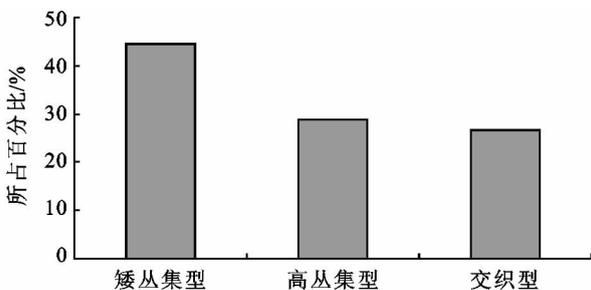


图 1 贵阳市喀斯特城市石漠地区苔藓生活型

研究区苔藓植物生活型较少,其中矮丛集型含有藓类植物 20 种,所占比例为 44.44%,为主要的生境类型,高丛集型的藓类植物为 13 种,所占比例为 28.89%,交织型的藓类植物所占比例最小,为 26.67%,仅含有 12 种藓类植物。

岩面薄土、岩面石生、岩石石壁三种生境环境受阳光直接照射,光照强度大、大气相对湿度低、表层土壤和岩面温度高、土壤含水量低<sup>[17]</sup>,因此适合抗水冲击能力较强、耐强光耐旱的矮丛集型藓类植物生存;而岩石石缝和岩石基部其环境阴暗湿度大,利于高丛

集型和交织型的苔藓植物生存。因此,贵阳市城市石漠地区仅有矮丛集型、高丛集型和交织型三种,其中矮丛集型(44.68%)的藓类植物占相对优势,与李冰等<sup>[11]</sup>对喀斯特石漠地区苔藓植物优势生活型的结论一致,故苔藓植物生活型较为单一。因此,生境的多样性和生境条件好坏对苔藓植物组成多样性及其生活型均有一定的影响。

### 2.4 苔藓植物物种多样性分析

贵阳市不同形成背景下城市石漠苔藓植物多样性指数和物种丰富度指数变化如图 2 所示。

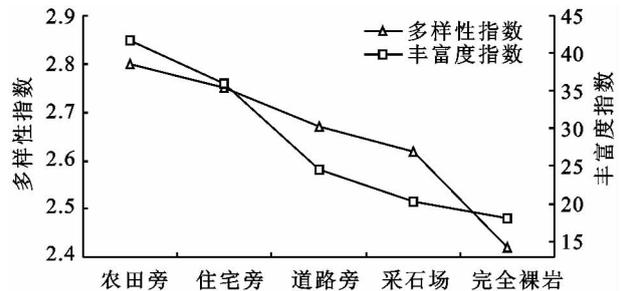


图 2 贵阳市喀斯特城市石漠苔藓物种多样性和丰富度指数的变化

从图 2 可以看出,不论 Shannon-Wiener 指数还是物种丰富度指数,其变化规律均为农田旁 > 住宅旁 > 道路旁 > 采石场 > 完全裸岩。由于 5 个研究样地受人为干扰频度为:农田旁 > 住宅旁 > 道路旁 > 采石场 > 完全裸岩,而岩石裸露程度(即石漠化程度)为:完全裸岩 > 采石场 > 道路旁 > 住宅旁 > 农田旁。因此,研究得出苔藓植物物种多样性和丰富度与人为干扰频度成反比,与石漠化程度成正比。

贵阳市不同背景下的城市石漠地区苔藓植物物种多样性和丰富度均不同。其中人类活动较为频繁、石漠化程度较小土壤中营养较为丰富的农田旁苔藓植物的种类最为丰富,物种多样性较好;而人类活动较为频繁且石漠化程度较高、周围生存环境较为恶劣地区苔藓植物物种多样性最差,如天然完全裸岩区。苔藓植物丰富度和多样性差异与人类活动、石漠化程度及其周围的生存环境存在着密切关系,与李洋等研究一致<sup>[19]</sup>。因此,对于石漠化问题治理应综合考虑人为干扰程度、频繁度和石漠化程度多方面的因素,采取适当措施来防止其恶化,并及时给予治理。

### 2.5 苔藓植物成土特征和保水功能

根据野外调查分析得出,土生真藓、北地对齿藓、穗枝赤齿藓 3 种藓类植物在贵阳市城市石漠地区广泛存在,对植被恢复贡献大,固以这 3 种藓类作为测定的实验对象,测定其生物量、成土量及最大持水量等指标(表 4),并通过 SPSS 18.0 软件对不同藓类各个指标作差异性分析(表 5)。

表 4 贵阳市喀斯特城市石漠地区苔藓成土保水实验测定结果

种名	结皮层总重/ (g·cm <sup>-2</sup> )	生物量/ (g·m <sup>-2</sup> )	成土率/%	成土量/ (g·m <sup>-2</sup> )	最大持水率/ %	最大持水量/ (g·m <sup>-2</sup> )
A <sub>1</sub>	8.12	177.12	120.05	212.64	885.91	1569.12
A <sub>2</sub>	4.94	42.00	194.05	81.50	909.52	382.00
A <sub>3</sub>	3.67	14.85	270.71	40.20	687.88	102.15
均值	5.58±1.32	77.99±50.18	194.94±43.49	111.45±51.98	827.77±70.28	684.42±449.66
B <sub>1</sub>	10.31	352.00	192.90	679.00	1014.49	3571.00
B <sub>2</sub>	8.66	169.40	257.85	436.80	1119.01	1895.60
B <sub>3</sub>	2.82	24.25	190.72	46.25	956.70	232.00
均值	7.26±2.27	260.7±91.3	213.82±22.02	387.35±184.33	1030.07±47.3	1899.53±963.89
C <sub>1</sub>	9.54	252.00	278.57	702.00	1073.41	2705.00
C <sub>2</sub>	3.32	72.00	268.89	193.60	1294.44	932.00
C <sub>3</sub>	2.74	56.70	238.27	135.10	983.95	557.90
均值	5.2±2.18	126.9±62.71	261.91±12.15	164.35±29.52	1117.27±92.27	1398.3±662.22

注:A为土生真藓(*Bryum tuberosum*);B为北地对齿藓(*Didymodon fallax*);C为穗枝赤齿藓(*Erythrodonium julaceum*)

通过表 4 可知不同藓类植物的生物量、成土量和最大持水量等各不相同。其中生物量、成土量和最大持水量 3 种指标均呈现出以下规律:北地对齿藓(260.7,387.35,1 899.53 g/m<sup>2</sup>)>穗枝赤齿藓(126.9,164.35,1 398.3 g/m<sup>2</sup>)>土生真藓(77.99,111.45,684.42 g/m<sup>2</sup>);而成土率和最大持水率呈现的规律则是:穗枝赤齿藓(261.91%,1398.3%)>北地对齿藓(213.82%,

1030.07%)>土生真藓(194.94%,827.77%)。

从表 5 结果可以看出,结皮层总重、生物量、成土率、成土量、最大持水率和最大持水量的 *F* 值分别为 0.311,0.525,1.417,0.955,4.212,0.713,相伴概率分别为 0.744,0.616,0.313,0.437,0.072,0.528,相伴概率均大于 0.05,表明 6 个指标不论是在不同生活型之间还是在同种生活型之间均不存在显著差别。

表 5 贵阳市喀斯特城市石漠地区不同生活型苔藓结皮层各指标差异性分析

项目	变异来源	SS	df	S <sup>2</sup>	F	Sig.
结皮层总重	不同生活型间	7.244	2	3.622	0.311	0.744
	同种生活型间	69.907	6	11.651		
	总变异	77.151	8			
生物量	不同生活型间	16209.180	2	8104.590	0.525	0.616
	同种生活型间	92644.538	6	15440.756		
	总变异	108853.718	8			
成土率	不同生活型间	7154.461	2	3577.231	1.417	0.313
	同种生活型间	15145.420	6	2524.237		
	总变异	22299.881	8			
成土量	不同生活型间	131919.324	2	65959.662	0.955	0.437
	同种生活型间	414490.023	6	69081.670		
	总变异	546409.347	8			
最大持水率	不同生活型间	132336.101	2	66168.051	4.212	0.072
	同种生活型间	94255.882	6	15709.314		
	总变异	226591.983	8			
最大持水量	不同生活型间	2237347.062	2	1118673.531	0.713	0.528
	同种生活型间	9418846.746	6	1569807.791		
	总变异	1.166×10 <sup>7</sup>	8			

喀斯特石漠地区土壤大多是由岩石经过一系列的作用后演变而来的,生物在此过程起着至关重要的作用。朱显谟<sup>[20]</sup>将原始成土过程划分为 4 个时期,其中第三个时期一般是与苔藓植物的着生和发展相伴随的。首先是匍匐岩面的藓类最早着陆岩石生长,其次是植株直立的藓类植物作点状生长于有细土的

低凹、石缝等小生境中,加之匍匐型的苔藓植株较大,具有特殊的保水机制(最大可保持其自身体重的 80 倍以上)。研究区三种优势藓类植物的生物量、成土量和最大持水量三种均呈现出以下规律:北地对齿藓>穗枝赤齿藓>土生真藓。生物量和成土量与植株结皮层总重及其物种本身的性质和对岩石作用强度

等因素<sup>[11]</sup>有关:北地对齿藓植株体比土生真藓高大,比穗枝赤齿藓植株更为密集,有一定的假根,则其结皮层总重较大,具有较大的生物量和成土量,其成土量为 $387.35\text{ g/m}^2$ ;而最大持水量则与植物体本身的性质有更大的关系,枝叶茎叶密集、有假根的北地对齿藓不仅能够从大气和基质中充分吸收水分,并且其叶片具有能反射强光的疣,可减少水分蒸发,更好地储蓄水分以适应喀斯特石漠地区高温干旱环境,其最大持水量可达 $1\ 899.53\text{ g/m}^2$ 。

土生真藓、北地对齿藓和穗枝赤齿藓三种藓类植物均具有很好的成土和保水作用,且其较大面积的普遍存在,对于植被恢复贡献大,可作为喀斯特城市贵阳市石漠地区植被恢复的物种选择。

### 3 结论

(1) 研究结果表明喀斯特城市贵阳市石漠研究区内藓类植物11科23属45种,未发现苔类和角苔类,藓类植物较苔类和角苔类植物相比占有优势;生活型以矮丛集型(44.68%)为主,岩面薄土为主要的生境类型。苔藓植物生活型和小生境类型多样性较低,物种多样性和丰富度与人为干扰频度成反比,与石漠化程度成正比。

(2) 通过对水土保持各指标差异性分析得出苔藓植物的水土保持功能在不同生活型和同种生活型下均无显著性差异。

(3) 通过研究表明在研究区普遍存在土生真藓、北地对齿藓和穗枝赤齿藓,生物量、成土量和最大持水量三种指标均呈现出以下规律:北地对齿藓( $260.7, 387.35, 899.53\text{ g/m}^2$ )>穗枝赤齿藓( $126.9, 164.35, 1398.3\text{ g/m}^2$ )>土生真藓( $77.99, 111.45, 684.42\text{ g/m}^2$ );而成土率和最大持水率呈现的规律则是:穗枝赤齿藓(261.91%, 1398.3%)>北地对齿藓(213.82%, 1030.07%)>土生真藓(194.94%, 827.77%)。三种藓类植物具有较强的水土保持能力,能较好地改善生境基质环境,更有利于其他物种的进入,可作为喀斯特石漠化地区植被恢复及防治水土流失的优势物种。

#### 参考文献:

[1] 王世杰,李阳兵,李瑞玲.喀斯特石漠化的形成背景、演化与治理[J].第四纪研究,2003,23(6):657-666.  
[2] 江兴龙,黄海,张明珍.贵州石漠化现状与防治对策探讨[J].中国西部科技,2009,8(3):52-54.  
[3] 罗文生,宋维峰,尹义发.云南石漠化防治现状[J].亚热带水土保持,2010,2(1):27-30.

[4] 徐劲原,胡业翠,王慧勇.近10 a广西喀斯特地区石漠化景观格局分析[J].水土保持通报,2012,32(1):181-184.  
[5] Wang S J, Zhang D F, Li R L. Mechanism of rocky desertification in the karst mountain Areas of Guizhou province, southwest China [J]. International Review for Environmental Strategies,2002,3(1):123-135.  
[6] Yuan D X. The Chinese academy of science propositions on advancing the comprehensive control of karst mountain areas in southeast China[J]. Advance in Earth Science,2003,18(4):389-492.  
[7] Liu Y S, Wang J Y, Deng X Z. Rocky land desertification and its driving forces in the karst areas of rural Guangxi, southwest China [J]. Journal of Mountain Science,2008,5(4):250-357.  
[8] 刘建忠,韩德军,顾再柯.贵阳市城市水土保持的制约因素与应对策略[J].中国农学通报,2008,24(5):467-469.  
[9] 高红艳,刁承泰.试论喀斯特地貌对城市发展建设的影响:以喀斯特山区城市贵阳为例[J].中国岩溶,2010,29(1):81-86.  
[10] 刘荣相,王智慧,张朝晖.贵州贞丰喀斯特石漠峰丛苔藓植物群落生态特征[J].植物研究,2009,29(6):734-741.  
[11] 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.  
[12] 汪文云,张朝晖.老万场金矿藓类重金属富集特性及其生态修复潜力研究[J].金属矿山,2008(9):134-139.  
[13] 汪文云,张朝晖.贵州老万场金矿石灰岩与红土矿体土壤结皮中苔藓植物种类及群落比较研究[J].水土保持研究,2008,15(4):244-247.  
[14] Slack N G. Species diversity and community structure in Bryophytes: New York State studies [M]. New York: Albany,1977.  
[15] Magurran A. Ecological diversity and its measurement [M]. Princeton: Princeton University Press,1988.  
[16] 徐杰,白学良,杨持,等.固定沙丘结皮层藓类植物多样性及固沙作用研究[J].植物生态学报,2003,27(4):545-551.  
[17] 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):255-261.  
[18] 熊华,刘济明,谢元贵,等.中度石漠化小生境特征及分布格局研究[J].安徽农业科学,2008,36(34):15101-15104.  
[19] 李洋,张娇娇,曹同.长江口冲积岛屿与苔藓植物多样性及其特点[J].上海师范大学学报:自然科学版,2008,37(5):504-512.  
[20] 朱显谟.论原始土壤的成土过程[J].水土保持研究,1995,2(4):83-89.