

贵阳喀斯特城市墙壁苔藓植物物种多样性研究

王玮^a, 王登富^{a,b}, 王智慧^c, 张朝晖^{a*}

(贵州师范大学, a. 贵州省山地环境信息系统与生态环境保护重点实验室; b. 喀斯特研究院; c. 生命科学学院, 贵阳 550001)

摘要: 为了解环境对墙壁苔藓植物的影响, 采用典范对应分析方法对贵阳市照壁山墙壁苔藓植物的多样性特征及其环境影响因子进行了研究。结果表明, 该区墙壁苔藓植物有 9 科 17 属 45 种, 以凤尾藓科(Fissidentaceae)、丛藓科(Pottiaceae)、青藓科(Brachytheciaceae)、真藓科(Bryaceae)和羽藓科(Thuidiaceae)为优势科。不同生境苔藓植物的物种组成、优势种、常见种不同, 墙壁上部和中部的苔藓植物优势种和常见种主要为矮丛集型, 墙壁下部的优势种和常见种主要为交织型。CCA 排序表明, 温度和湿度是苔藓植物在墙壁上分布的主要影响因子。卷叶湿地藓(*Hyophila involuta*)、尖叶对齿藓(*Didymodon constrictus*)、长尖对齿藓(*Didymodon ditrichoides*)、小凤尾藓原变种(*Fissidens bryoides* var. *bryoides*) 在墙壁上部、中部和下部都能很好生长。因此, 在城市垂直绿化时可选择适宜的苔藓植物进行配置。

关键词: 喀斯特城市; 墙壁植物; 苔藓; 物种多样性; 典范对应分析

doi: 10.11926/jtsb.3890

Study on Diversity of Bryophytes on the Wall in Karst Urban Guiyang City

WANG Wei^a, WANG Deng-fu^{a,b}, WANG Zhi-hui^c, ZHANG Zhao-hui^{a*}

(a. Key Laboratory for information System of Mountainous Area and Protection of Ecological Environment of Guizhou Province; b. Institute of Karst Science; c. School of Life Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

Abstract: In order to understand the effect of environmental factors on bryophytes, the biodiversity and environmental factors of bryophytes on the wall of Zhaobishan in Guiyang City were studied by CCA. The results showed that there were 45 species of bryophytes on the wall of Zhaobishan, belonging to 9 families and 17 genera, and Fissidentaceae, Pottiaceae, Brachytheciaceae, Bryaceae, and Thuidiaceae were dominant families. The species composition, dominant species, and common species of bryophytes were different in different parts of wall. The dominant and common species of bryophytes in the upper and middle parts of wall were mainly short turfs, and those in the lower wall were mainly wefts. The analysis of CCA showed that temperature and humidity were the main factors affecting the distribution of bryophytes on the wall. *Hyophila involuta*, *Didymodon constrictus*, *Didymodon ditrichoides*, *Fissidens bryoides* var. *bryoides* could grow well in all parts of the wall. Therefore, it was suggested that the suitable bryophytes could be selected in the karst urban vertical greening.

Key words: Karst urban; Wall plant; Bryophytes; Species diversity; CCA

中国西南有世界上最大的裸露型喀斯特区, 面积约为 $6.2 \times 10^5 \text{ km}^2$ ^[1], 而其中贵州省的喀斯特面积就达到 $1.3 \times 10^5 \text{ km}^2$, 成为中国西南部最典型的喀斯特地区之一^[2]。贵阳作为省会城市, 随着城市经

济的持续发展, 城市人口迅速增加, 建筑密度越来越大, 这势必会使城市的绿化用地面积减少, 绿地景观及绿化面积已经不能满足于城市自身污染的净化和人们对景观绿地的欣赏需求^[3-4]。充分利用

收稿日期: 2018-01-31

接受日期: 2018-03-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(31760043, 31760050)资助

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 31760043, 31760050).

作者简介: 王玮(1993~), 女, 硕士研究生, 研究方向为生态学。E-mail: weistayreal@163.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: academiclife@126.com

植物进行墙壁绿化不仅能在没有占用土地资源的情况下增加城市绿化面积、改善城市景观,而且具有降温、减噪、除尘的功能^[5-7];能够减弱建筑物日光反射,有利于改善城市“热岛效应”及形成良好的微气候环境^[8],对改善城市生态环境将起到巨大的作用,成为一种增加绿化的新措施。

墙壁苔藓植物是自然生长于建筑物墙壁上的一类绿色自养型植物^[9-10],可仅依靠吸收空气中的水分和营养物质在墙壁表面、边缘、缝隙、凹陷处良好生长^[11-12]。墙壁苔藓植物有着重要的生态功能及价值,首先,苔藓植物对基质的营养需求少、重量轻,几乎不受任何病虫害的危害,没有风害和倒伏方面的问题且能生长在背阴或者向阳的建筑物墙壁上^[13];其次,苔藓植物具有耐干旱或喜阴湿、耐贫瘠、易繁殖、适应能力较强的特点;更重要的是,因其色泽和生活型丰富多样,形态构造特殊而具有造景功能和监测环境功能。苔藓植物物种分布和多样性与环境的温度、光照、土壤水分、植被和小生境等因素密切相关,这些生态因子相互协同共同影响苔藓植物的生长繁殖^[14-18]。目前已经有很多关于苔藓植物在墙面绿化中应用的研究^[19-22],然而有关自然生长的墙壁苔藓植物的调查报告较少,张荣京^[23]对澳门墙壁植物的研究,李阳等^[24]对统万城遗址土夯城墙苔藓植物的研究,主要集中在物种多样性和地理区系上,而未开展环境因子(湿度、温度、人为干扰等)对墙壁苔藓植物物种组成和分布影响的研究。贵阳作为喀斯特城市的典型代表,正着力开展生态城市的建设,因此为了丰富立体绿化植物的选择,对其自然生长的墙壁苔藓植物多样性和环境因子进行调查迫在眉睫。通过对贵阳市墙壁植物物种的实地调查,旨在揭示喀斯特城市墙壁苔藓植物的多样性特征,为科学开展生物多样性保护、园林绿化和景观建设提供了理论依据及数据支持。

1 研究区概况

研究区位于贵州省贵阳市云岩区照壁山下,位于 106°43'05.76"~106°43'13.05" E, 26°35'29.68"~26°35'35.04" N, 海拔约为 1 100 m。由于常年受西风带控制,属于亚热带湿润温和型气候,年平均温度 15.3℃,相对湿度为 75%,年平均总降水量为 1 129.5 mm、年平均阴天日数为 235.1 d,年平均日照时数为 1 148.3 h,全年温暖湿润。研究区建筑墙

壁有 70 多年的历史,均为西南朝向,砖混结构,建筑间距较小,背阴,建筑旁长有少量高大乔木,在车行道旁,受人为干扰。在该研究区内,除了苔藓植物类群和少量地衣植物外,其他植物极其稀少。

2 方法

2.1 野外调查

以贵阳市云岩区照壁山下建筑物为研究对象,于 2017 年 11 月 3 日选择 5 个统一西南朝向的、代表性的建筑外墙阴面进行标本采集。分别在建筑外墙下部(距离地面 1 m 以下)、中部(距离地面 2~3 m)和上部(距离地面 3 m 以上)各设置 3 个 1 m×50 m 的样方,共 15 个样方,每个样方内按 5 点取样法设置 5 个 10 cm×10 cm 的小样方,采集小样方内全部苔藓植物,共采集标本 75 份,记录每个样方内苔藓植物的盖度和每个小样方的光照强度、湿度、基质温度以及样地的海拔、经纬度等。

2.2 标本鉴定

在实验室内将采集的 75 份标本晾干、装袋后,采用形态分类方法,借助 HWG-1 型双筒解剖镜和 SMARTe-320 一体化数码显微镜,查阅《中国苔藓植物志》和《中国生物物种名录》等进行分类鉴定^[25-30],生活型按 Mägdefrau^[31]对苔藓植物生活型的划分来确定。

2.3 数据处理

生态重要值代表着苔藓植物在该生态环境中的重要性,表现其生态优势度^[32]。根据苔藓植物的相对盖度和相对频度计算生态重要值: $L=(M+N)/200$, 式中, L 为生态重要值; M 为相对盖度; N 为相对频度, 相对盖度=(某苔藓盖度/所有苔藓盖度之和)×100%; 相对频度=(某苔藓频度/所有苔藓频度之和)×100%。

用 Patrick 指数(K)表示苔藓物种的丰富度指数: $K=P$, K 表示物种的多样性指数; P 为样地内的物种数, P 越小表明物种越稀少。

用 Shannon-Wiener 指数(H)表示苔藓的多样性指数^[33]: $H=-\sum_{i=1}^m(F_i \times \ln F_i)$; 用 Pielou 指数(E)表示苔藓的均匀度指数^[34]: $E=-\sum_{i=1}^m(F_i \times \ln F_i)/\ln m$, m 为

苔藓物种总数; F_i 表示第 i 种苔藓的盖度占总盖度的比例。

所有的数据运算、统计和绘图均在 Microsoft Excel、OriginPro 9.0、Canoco 5.0 和 R 语言中完成。

3 结果和分析

3.1 种类组成

通过整理和鉴定, 贵阳市照壁山下墙壁苔藓植物共有 9 科 17 属 45 种, 包含 3 个变种, 但没有苔

类。从表 1 可见, 优势科有 5 科(≥ 5 种), 含 13 属 40 种, 分别占总属数和总种数的 61.18% 和 87.87%, 分别为凤尾藓科(Fissidentaceae, 1 属 11 种)、丛藓科(Pottiaceae, 5 属 10 种)、真藓科(Bryaceae, 2 属 7 种)、青藓科(Brachytheciaceae, 1 属 7 种)和羽藓科(Thuidiaceae, 4 属 5 种)。李阳等^[24]报道统万城遗址土夯城墙的苔藓植物仅有 3 科 11 属 26 种, 这说明照壁山墙壁的苔藓植物物种多样性较高, 与其他地区墙壁苔藓植物相比有较好的适应性, 这与当地温和湿润的气候有很大的关系。

表 1 贵阳市照壁山下墙壁苔藓植物组成

Table 1 Composition of bryophytes on wall of Zhaobishan in Guiyang City

科 Family	属数 Number of genera	%	种数 Number of species	%
凤尾藓科 Fissidentaceae	1	3.33	11	23.91
丛藓科 Pottiaceae	5	16.67	10	21.74
真藓科 Bryaceae	2	11.76	7	15.56
青藓科 Brachytheciaceae	1	5.88	7	15.56
羽藓科 Thuidiaceae	4	23.53	5	11.11
绢藓科 Entodontaceae	1	5.88	2	4.44
灰藓科 Hypnaceae	1	5.88	1	2.22
薄罗藓科 Leskeaceae	1	5.88	1	2.22
柳叶藓科 Amblystegiaceae	1	5.88	1	2.22

3.2 生活型特征

苔藓植物的生活型对外界环境适应的外部表现形式, 可以反映出环境的一般特征^[35]。苔藓植物基本生活型有 3 种, 即丛集型、交织型和平铺型, 丛集型又分为高丛集型和矮丛集型。照壁山墙壁苔藓植物的生活型可分为矮丛集型和交织型 2 种类型。矮丛集型苔藓植物比交织型的多, 共 28 种, 占总种数的 62.22%, 主要有卷叶湿地藓(*Hyophila involuta*)、长尖对齿藓(*Didymodon ditrichoides*)、小凤尾藓原变种(*Fissidens bryoides* var. *bryoides*)等; 交织型共 17 种, 主要有鳞叶藓(*Taxiphyllum taxirameum*)、尖叶青藓(*Brachythecium coreanum*)、偏叶麻羽藓(*Cladopodium rugulosifolium*)等。这 2 种生活型的苔藓矮小, 能紧贴于建筑墙壁表面生存, 且不易被风和雨水等外力破坏。有研究表明, 交织型苔藓多呈毯状或垫状, 可提高毛细管系统的持水力, 减少空气在叶片表面的运动, 因而减少水分的蒸发, 保持植物体内的水分, 能在阴湿或者干旱的环境上生长^[36-38]; 同时丛集型苔藓植物大多矮小、密集, 易于贴身生长于建筑表面或基部、砖缝中, 避免外力的破坏, 对

环境的抵抗性、耐受性较强^[36,39]。因此丛集型和交织型的苔藓植物能很好地生活在建筑物墙壁上。

3.3 分布特点

根据墙壁下部、中部和上部苔藓植物的生态重要值, 将墙壁苔藓植物划分为优势种(重要值 $\geq 0.1\%$)、常见种(0.05%~0.1%)和偶见种(重要值 $< 0.05\%$)。从表 2 可见, 墙壁下部有 27 种苔藓, 占总种数的 60.00%, 优势种为卷叶湿地藓、长尖对齿藓、鳞叶藓, 常见种为尖叶对齿藓(*Didymodon constrictus*)、小凤尾藓原变种、尖叶青藓、宽叶青藓(*Brachythecium oedipodium*); 墙壁中部有 25 种苔藓, 占总种数的 55.56%, 优势种为卷叶湿地藓、尖叶对齿藓、纤枝短月藓(*Brachymenium exile*), 常见种为芽孢湿地藓(*Hyophila propagulifera*)、长尖对齿藓、小凤尾藓原变种、鳞叶藓; 墙壁上部有 29 种苔藓, 占总种数的 64.44%, 优势种为尖叶对齿藓, 常见种为卷叶湿地藓、小凤尾藓原变种、尖叶青藓。可以看出, 丛集型苔藓在墙壁上、中、下均有分布, 而交织型苔藓作为优势种和常见种主要分布于墙

表 2 苔藓植物在墙壁不同部位的分布

Table 2 Distribution of bryophyte in different parts of wall

编号 No.	科 Family	属 Genera	种 Species	上部 Upper	中部 Middle	下部 Lower
1	丛藓科 Pottiaceae	湿地藓属 <i>Hyophila</i>	卷叶湿地藓 <i>H. involuta</i>	++	+++	+++
2			芽孢湿地藓 <i>H. propagulifera</i>	+	++	+
3			湿地藓 <i>H. javanica</i>			+
4		对齿藓属 <i>Didymodon</i>	尖叶对齿藓 <i>D. constrictus</i>	+++	+++	++
5			长尖对齿藓 <i>D. ditrichoides</i>	++	++	+++
6			土生对齿藓原变种 <i>D. vinealis</i> var. <i>vinealis</i>		+	
7		小石藓属 <i>Weisia</i>	小石藓 <i>W. controversa</i>	+	+	+
8			皱叶小石藓 <i>W. longifolia</i>	+		
9		反纽藓属 <i>Timmia</i>	反纽藓 <i>T. anomala</i>	+	+	+
10		扭口藓属 <i>Barbula</i>	小扭口藓 <i>B. indica</i>		+	+
11	凤尾藓科 Fissidentaceae	凤尾藓属 <i>Fissidens</i>	小凤尾藓原变种 <i>F. bryoides</i> var. <i>bryoides</i>	++	++	++
12			狭叶凤尾藓 <i>F. wichurae</i>	+	+	+
13			羽叶凤尾藓 <i>F. plagiochloides</i>	+	+	+
14			粗柄凤尾藓 <i>F. crassipes</i>	+	+	+
15			短肋凤尾藓 <i>F. gardneri</i>	+		+
16			厄氏凤尾藓 <i>F. esquirolii</i>			+
17			暖地凤尾藓 <i>F. splachnobryoides</i>			+
18			黄叶凤尾藓 <i>F. zippelianus</i>	+		
19			锡兰凤尾藓 <i>F. ceylonensis</i>			+
20			南京凤尾藓 <i>F. teysmannianus</i>		+	
21			黄边凤尾藓 <i>F. geppii</i>	+		
22	真藓科 Bryaceae	短月藓属 <i>Brachymenium</i>	纤枝短月藓 <i>B. exile</i>	+	+++	+
23			宽叶短月藓 <i>B. capitulatum</i>	+	+	
24			粗肋短月藓 <i>B. systylium</i>			+
25			短月藓 <i>B. nepalense</i>			+
26		真藓属 <i>Bryum</i>	真藓 <i>B. argenteum</i>	+	+	
27			丛生真藓 <i>B. caespiticium</i>	+		
28			灰黄真藓 <i>B. pallens</i>	+		
29	青藓科 Brachytheciaceae	青藓属 <i>Brachythecium</i>	尖叶青藓 <i>B. coreanum</i>	++	+	++
30			宽叶青藓 <i>B. oedipodium</i>		+	++
31			匍枝青藓 <i>B. procumbens</i>	+	+	
32	青藓科 Brachytheciaceae		野口青藓 <i>B. noguchii</i>	+		+
33			毛尖青藓 <i>B. piligerum</i>	+	+	
34			绒叶青藓 <i>B. velutinum</i>	+	+	
35			皱叶青藓 <i>B. kuroishicum</i>			+
36	灰藓科 Hypnaceae	鳞叶藓属 <i>Taxiphyllum</i>	鳞叶藓 <i>T. taxirameum</i>	+	++	+++
37	羽藓科 Thuidiaceae	麻羽藓属 <i>Claopodium</i>	偏叶麻羽藓 <i>C. rugulosifolium</i>			+
38		小羽藓属 <i>Haplocladium</i>	狭叶小羽藓 <i>H. angustifolium</i>	+		
39			东亚小羽藓 <i>H. strictulum</i>	+		
40		鹤嘴藓属 <i>Pelekium</i>	尖毛鹤嘴藓 <i>P. fuscatum</i>		+	+
41		羽藓属 <i>Thuidium</i>	细枝羽藓 <i>T. delicatulum</i>			+
42	绢藓科 Entodontaceae	绢藓属 <i>Entodon</i>	广叶绢藓 <i>E. flavescens</i>		+	
43			绢藓 <i>E. cladorrhizans</i>	+		
44	薄罗藓科 Leskeaceae	细罗藓属 <i>Leskeella</i>	细罗藓 <i>L. nervosa</i>		+	
45	柳叶藓科 Amblystegiaceae	柳叶藓属 <i>Amblystegium</i>	柳叶藓原变种 <i>A. serpens</i> var. <i>serpens</i>	+		

+++：优势种；++：常见种；+：偶见种。

+++：Dominant species；++：Common species；+：Occasional species.

壁下部, 而墙壁中部和上部的优势种和主要常见种为丛集型苔藓, 说明丛集型苔藓较交织型的苔藓植物更适应建筑物墙壁环境。另外, 卷叶湿地藓、尖叶对齿藓、长尖对齿藓、小凤尾藓原变种在墙壁上、中、下部均为优势种或常见种, 说明这 4 种在建筑物墙壁上比其他苔藓植物生长优势更明显, 对墙壁环境具有较大的适应性, 对墙壁垂直绿化植物的选种有重要的参考价值。

3.4 多样性分析

苔藓植物的物种多样性指数反映了物种丰富程度和生境多样性情况。由于苔藓植物个体数目不易统计, 因此以其盖度代替多度^[32], 计算 Patrick 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数。

从图 1 可见, 贵阳市照壁山墙壁苔藓植物的 Patrick 丰富度指数为上部(29)>下部(27)>中部(25), Shannon-Wiener 多样性指数为上部(20.92)>中部(18.56)>下部(18.29)。随着高度的上升, 光照充足, 为苔藓植物的生长提供有利的条件, 所以苔藓植物的 Patrick 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数较大。同时, Pielou 均匀度指数为 0.68~0.72, 变化幅度小, 说明苔藓植物个体分布比较均匀。

3.5 CCA 分析

除趋势对应分析(detrended correspondence analysis, DCA)表明, 4 个排序轴的梯度长度的最大

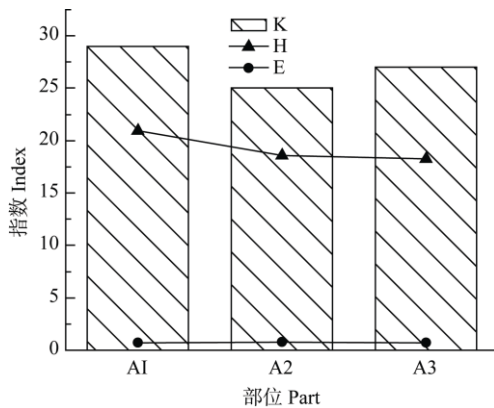


图 1 墙壁不同部位苔藓植物的多样性指数。A1: 上部; A2: 中部; A3: 下部; K: 丰富度指数; H: Shannon-Wiener 多样性指数; E: Pielou 均匀度指数。
Fig. 1 Diversity index of bryophyte in different part of wall. A1: Upper; A2: Middle; A3: Lower; K: Patrick richness index; H: Shannon-Wiener diversity index; E: Pielou evenness index.

值(6.1)超过 4, 因此以苔藓植物的物种重要值数据矩阵和环境因子矩阵进行单峰模型的典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)的直接梯度分析, 探讨苔藓物种与环境因子之间的相互关系。基于环境因子的 Monte Carlo 随机置换检验的 P 值小于 0.01, 筛选出温度、湿度对物种有显著的影响。

图 2 表明, 温度与湿度呈负相关关系。样方 A10、A11、A12、A13、A14、A15 主要受温度的影响, 样方 A2、A3、A4、A5、A6 主要受湿度的影响, 而样方 A1、A7、A8、A9 受到温度和湿度的共同影响。暖地凤尾藓(编号 7, 下同)、短月藓(25)、灰黄真藓(28)、细枝羽藓(41)、细罗藓(44)、皱叶青藓(35)等主要生长于墙壁下部的物种受湿度影响较大, 且呈正相关关系, 即基质湿度越大, 这些物种较容易生长; 而皱叶小石藓(8)、羽叶凤尾藓(13)、黄叶凤尾藓(18)、南京凤尾藓(20)等主要生长于墙壁上、中部的物种对温度有较高忍耐力; 卷叶湿地藓(1)、尖叶对齿藓(4)、长尖对齿藓(5)、小凤尾藓原变种(11)受温度、湿度影响不大, 即在较干燥的环境也能生存, 这也是它们能在墙壁上、中、下部都能生存的原因。

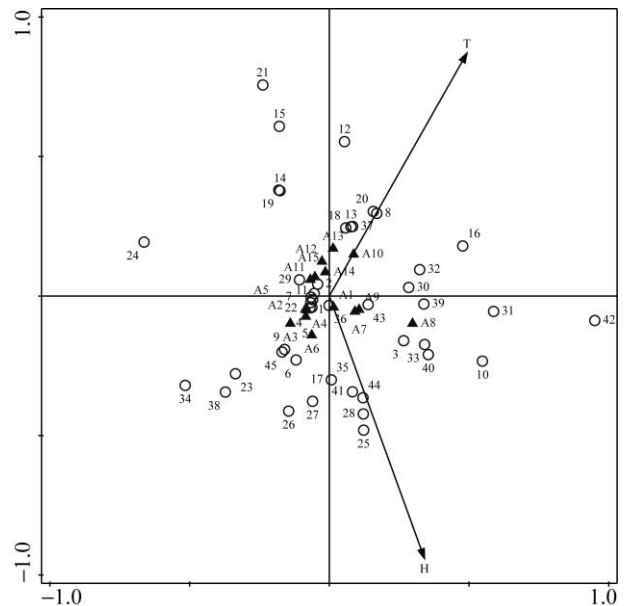


图 2 苔藓植物分布与环境因子关系的 CCA 排序。T: 温度; H: 湿度; A1~A15: 样方; 1~45 见表 2。
Fig. 2 CCA rank of relationship between bryophyte distribution and environmental factors. T: Temperature; H: Humidity; A1~A15: Plots; 1~45 see Table 2.

4 结论和讨论

在照壁山墙壁共有苔藓植物 9 科 17 属 45 种, 与其他非喀斯特地区墙壁苔藓植物相比, 有着较丰富的物种组成^[26]。优势科是凤尾藓科、丛藓科、真藓科、青藓科以及羽藓科。生活型只有矮丛集型和交织型, 这两种类型苔藓植物由于其特殊的生理特征^[38-39]而能较容易地生活在该区, 同时矮丛集型苔藓植物比交织型多, 且在墙壁上、中、下均有分布, 为该地区优势苔藓植物群落, 而交织型苔藓植物主要分布与墙壁下部, 可能是因为该区墙壁底部有水沟的原因, 下部湿度较大, 因此下部更适合交织型苔藓植物。

照壁山墙壁苔藓植物的 Patrick 丰富度指数为上部 > 下部 > 中部, Shannon-Wiener 多样性指数为上部 > 中部 > 下部, 呈递减趋势。墙壁下部的常见种多是交织型的苔藓植物, 从生长空间上来说, 很可能是交织型藓类的出现挤压了其他苔藓物种在墙壁下部的生长空间, 导致墙壁下部的多样性指数低于墙壁上部。不同部位的 Pielou 均匀度指数为 0.68~0.72, 变化幅度小, 说明苔藓植物个体在墙壁上的分布比较均匀。

苔藓植物在墙壁上的分布具有特异性, 3 个部位各有不同的苔藓植物优势种和常见种。墙壁上部和中部的苔藓植物优势种和常见种主要为丛集型, 而墙壁下部生长的优势种和常见种植物大多为交织型。卷叶湿地藓、尖叶对齿藓、长尖对齿藓、小凤尾藓原变种在墙壁不同部位均有出现, 显示了较大的优势度, 说明这 4 种苔藓植物具有较大的生态适应性, 适合生长在墙壁上, 对墙壁垂直绿化植物的选择有重要的参考价值。

CCA 排序结果表明, 温度和湿度是影响苔藓植物在墙壁上分布的主要因子。墙壁上、中部的苔藓植物对温度有较好的忍耐力, 而下部的苔藓植物对湿度的依赖性较高, 这也说明每种苔藓植物对温度的忍耐力和对湿度的需求不同。因此, 研究物种多样性和生态因子的影响对该地区苔藓植物生物多样性的保护具有十分重要的意义, 合理开发、利用墙壁苔藓植物资源也为垂直绿化带来新的发展空间。

致谢 野外工作及标本鉴定得到了贵州师范大学山地环境重点实验室申家琛、李泽科、刘润的帮助, 文章的写作及修改建议得到吴启美、黄欢、王慧慧、雪刚刚的指导, 在此

一并表示感谢!

参考文献

- [1] Academic Departments of Chinese Academia Sinica. Suggestions on the promotion of the comprehensive management of rock desertization in southwest China's Karst region [J]. Bull Chin Acad Sci, 2003, 18(3): 489-492. doi: 10.3969/j.issn.1000-3045.2003.03.005.
中国科学院学部. 关于推进西南岩溶地区石漠化综合治理的若干建议 [J]. 中国科学院院刊, 2003, 18(3): 489-492. doi: 10.3969/j.issn.1000-3045.2003.03.005.
- [2] LONG Z F, TANG C B, MO B T. Effect of grass production on control of soil erosion in karst areas of Guizhou [J]. Guizhou Agric Sci, 2000, 28(1): 57-58. doi: 10.3969/j.issn.1001-3601.2000.01.022.
龙忠富, 唐成斌, 莫本田. 贵州草业在喀斯特山区水土流失治理中的作用 [J]. 贵州农业科学, 2000, 28(1): 57-58. doi: 10.3969/j.issn.1001-3601.2000.01.022.
- [3] WANG X, REN J J, LIANG C X. Development and counter measures on urban vertical greening [J] N Hort, 2006(6): 104-105. doi: 10.3969/j.issn.1001-0009.2006.06.055.
王雪, 任吉君, 梁朝信. 城市垂直绿化现状及发展对策 [J]. 北方园艺, 2006(6): 104-105. doi: 10.3969/j.issn.1001-0009.2006.06.055.
- [4] HUANG J X, ZENG J H, LI Z C. Present situation and prospect on vertical virescence in Guangzhou City [J]. Guangdong Land Archi, 2009(6): 41-45. doi: 10.3969/j.issn.1671-2641.2009.06.011.
黄久香, 曾竞辉, 李忠超. 广州市垂直绿化现状调查及发展对策 [J]. 广东园林, 2009(6): 41-45. doi: 10.3969/j.issn.1671-2641.2009.06.011.
- [5] LI L, WEI X Y. Current situation and analysis of the vertical afforestation in Xi'an [J]. J Anhui Agric Sci, 2006, 34(5): 903,914. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2006.05.038.
李莉, 魏晓英. 西安市垂直绿化现状及对策 [J]. 安徽农业科学, 2006, 34(5): 903,914. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2006.05.038.
- [6] DUNNETT N, KINGSBURY N. Planting Green Roofs and Living Walls [M]. Portland, OR: Timber Press, 2008.
- [7] CHEN X, ZHANG X Y. Study on effect of decreasing temperature and increasing humidity of metope greening by sedum lineare [J]. J Anhui Agric Sci, 2008, 36(28): 12163-12164,12173. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2008.28.041.
陈祥, 张晓艳. 佛甲草墙面绿化的降温增湿效应研究 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36(28): 12163-12164,12173. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2008.28.041.
- [8] GUO J. Discussing the feasibility of building metope greening [J]. J Fujian For Sci Technol, 2004, 31(4): 134-136. doi: 10.3969/j.issn.1002-

- 7351.2004.04.039.
- 郭军. 建筑物墙面绿化的可行性探讨 [J]. 福建林业科技, 2004, 31(4): 134–136. doi: 10.3969/j.issn.1002-7351.2004.04.039.
- [9] CAO T, GAO Q. Diversity of bryophytes and their conservation [J]. Chin J Ecol, 1997, 16(2): 47–52. doi: 10.13292/j.1000-4890.1997.0026.
- 曹同, 高谦. 苔藓植物的生物多样性及其保护 [J]. 生态学杂志, 1997, 16(2): 47–52. doi: 10.13292/j.1000-4890.1997.0026.
- [10] ZHOU Y X, XIE F G, WU S H, et al. Proceedings of the seminar on biodiversity and observation of both sides of the Taiwan Strait [C]. Taizhong: National Museum of Natural Science, 2000: 317–329.
- 周延鑫, 谢丰国, 吴声华, 等. 2000年海峡两岸生物多样性与保育研讨会论文集 [C]. 台中: 国立自然科学博物馆, 2000: 317–329.
- [11] LEI Z X, FEI Y J. List of wild angiosperms in the ancient city wall of Jingzhou: I. Vegetation and vine [J]. J Hubei Agric Coll, 1996, 16(4): 276–279.
- 雷泽湘, 费永俊. 荆州古城墙野生被子植物名录: I. 草本和藤本植物 [J]. 湖北农学院学报, 1996, 16(4): 276–279.
- [12] XIE L S, WANG F G, XING F W, et al. Study on resources and utilization of plants of building metope in the Pearl River Delta region [J]. Ecol Environ, 2008, 17(2): 807–811. doi: 10.3969/j.issn.1674-5906.2008.02.069.
- 谢良生, 王发国, 邢福武, 等. 珠江三角洲城市墙壁植物资源及其应用 [J]. 生态环境, 2008, 17(2): 807–811. doi: 10.3969/j.issn.1674-5906.2008.02.069.
- [13] ZHANG Z. Application and maintenance of roof garden plants in the Yangtze River Delta [J]. Garden, 2015(5): 58–60. doi: 10.3969/j.issn.1000-0283.2015.05.013.
- 章蓁. 长三角地区屋顶花园植物的应用与养护 [J]. 园林, 2015(5): 58–60. doi: 10.3969/j.issn.1000-0283.2015.05.013.
- [14] TIAN Y L, WANG W H, YAN T Y, et al. Species diversity of floor bryophytes in different vegetations in Baihua Mountain National Nature Reserve, Beijing, China [J]. Bull Bot Res, 2013, 33(4): 398–403.
- 田晔林, 王文和, 颜亭玉, 等. 北京百花山自然保护区不同植被地面生苔藓植物物种多样性 [J]. 植物研究, 2013, 33(4): 398–403.
- [15] BAI X L, ZHAO L M, SUN W, et al. A preliminary study on the species diversity, phytomass and ecological effect of bryophytes in Helan Mountain, China [J]. Acta Sci Nat Univ Neimongol, 1998, 29(1): 118–124.
- 白学良, 赵连梅, 孙维, 等. 贺兰山苔藓植物物种多样性、生物量及生态学作用的研究 [J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 1998, 29(1): 118–124.
- [16] SUN S Q, WANG G X, LUO J, et al. Response and adaption of bryophytes to the changes of environmental factors [J]. Acta Bot Boreali-Occid Sin, 2009, 29(11): 2360–2365. doi: 10.3321/j.issn: 1000-4025.2009.11.031.
- 孙守琴, 王根绪, 罗辑, 等. 苔藓植物对环境变化的响应和适应性 [J]. 西北植物学报, 2009, 29(11): 2360–2365. doi: 10.3321/j.issn: 1000-4025.2009.11.031.
- [17] RAMBO T R, MUIR P S. Forest floor bryophytes of *Pseudotsuga menziesii*-*Tsuga heterophylla* stands in oregon: Influences of substrate and overstory [J]. Bryologist, 1998, 101(1): 116–130. doi: 10.2307/3244083.
- [18] WU Y H, HUANG G H, GAO Q, et al. Research advance in response and adaptation of bryophytes to environmental change [J]. Chin J Appl Ecol, 2001, 12(6): 943–946.
- 吴玉环, 黄国宏, 高谦, 等. 苔藓植物对环境变化的响应及适应性研究进展 [J]. 应用生态学报, 2001, 12(6): 943–946.
- [19] JIAO Y H, YE J. Utilization status of bryophyta in the gardern city [J]. J Biol, 2006, 23(2): 48–49,34. doi: 10.3969/j.issn.2095-1736.2006.02.015.
- 焦云红, 叶嘉. 苔藓植物在园林城市建设中的应用现状分析 [J]. 生物学杂志, 2006, 23(2): 48–49,34. doi: 10.3969/j.issn.2095-1736.2006.02.015.
- [20] CAO T, CHEN J W, LOU Y X. Reproducing techniques in the tissue culture of bryophytes and its applying prosperity [J]. J Shanghai Norm Univ (Nat Sci), 2005, 34(4): 52–58. doi: 10.3969/j.issn.1000-5137.2005.04.011.
- 曹同, 陈静文, 娄玉霞. 苔藓植物组织培养繁殖技术及其应用前景 [J]. 上海师范大学学报(自然科学版), 2005, 34(4): 52–58. doi: 10.3969/j.issn.1000-5137.2005.04.011.
- [21] GAO Y C, SHA W, ZHANG H. Tissue culture of bryophytes [J]. Plant Physiol Commun, 2002, 38(6): 607–610.
- 高永超, 沙伟, 张晗. 苔藓植物的组织培养 [J]. 植物生理学通讯, 2002, 38(6): 607–610.
- [22] WANG Q, ZHANG G N, HE S A. Application prospect of bryophytes in gardens [J]. J Chin Land Architect, 1999, 15(6): 25–26.
- 汪庆, 张光宁, 贺善安. 苔藓植物在园林中的应用前景 [J]. 中国园林, 1999, 15(6): 25–26.
- [23] ZHANG R J, ZENG F, HUANG L J. Study on the diversity of wall plants in Macao [J]. J Anhui Agric Sci, 2010, 38(26): 14193–14194, 14197. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2010.26.001.
- 张荣京, 曾凤, 黄柳菁. 澳门墙壁植物物种多样性研究 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38(26): 14193–14194, 14197. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2010.26.001.
- [24] LI Y, DONG Y Z, LI W Z, et al. Diversity research of the bryophyta on the wall of Tongwan Castle Site [J]. Chin Wild Plant Resour, 2017,

- 36(2): 61–65. doi: 10.3969/j.issn.1006-9690.2017.02.015.
- 李阳, 董耀祖, 李万政, 等. 统万城遗址土夯城墙苔藓植物多样性 [J]. 中国野生植物资源, 2017, 36(2): 61–65. doi: 10.3969/j.issn.1006-9690.2017.02.015.
- [25] GAO Q. Flora Bryophytorum Sinicorum, Vol. 2 [M]. Beijing: Science Press, 1996: 146–202.
- 高谦. 中国苔藓志, 第 2 卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1996: 146–202.
- [26] HU R L, WANG Y F. Flora Bryophytorum Sinicorum, Vol. 7 [M]. Beijing: Science Press, 2005: 82–233.
- 胡人亮, 王幼芳. 中国苔藓志, 第 7 卷 [M]. 北京: 科学出版社, 2005: 82–233.
- [27] LI X J. Flora Bryophytorum Sinicorum, Vol. 4 [M]. Beijing: Science Press, 2006: 42–107.
- 黎兴江. 中国苔藓志, 第 4 卷 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 42–107.
- [28] WU P C, JIA Y. Flora Bryophytorum Sinicorum, Vol. 8 [M]. Beijing: Science Press, 2004: 88–239.
- 吴鹏程, 贾渝. 中国苔藓志, 第 8 卷 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 88–239.
- [29] WU P C. Flora Bryophytorum Sinicorum, Vol. 6 [M]. Beijing: Science Press, 2002: 140–240.
- 吴鹏程. 中国苔藓志, 第 6 卷 [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 140–240.
- [30] JIA Y, HE S. Species Catalogue of China [M]. Beijing: Science Press, 2013: 80–261.
- 贾渝, 何思. 中国生物物种名录 [M]. 北京: 科学出版社, 2013: 80–261.
- [31] MÄGDEFRAU K. Life-forms of bryophytes [M]// SMITH A J E. Bryophyte Ecology. Dordrecht: Springer, 1982: 45–58.
- [32] SUN Y, SHAO X M, LIU X C, et al. Bryophyte species diversity in main forest vegetations in Dongling Mountain of Beijing [J]. Chin J Ecol, 2007, 26(11): 1725–1731.
- 孙宇, 邵小明, 刘欣超, 等. 北京东灵山主要森林植被中苔藓植物的物种多样性 [J]. 生态学杂志, 2007, 26(11): 1725–1731.
- [33] ZHANG J T. Quantitative Ecology [M]. Beijing: Science Press, 2004: 125–129.
- 张金屯. 数量生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 125–129.
- [34] PEET R K. The measurement of species diversity [J]. Annu Rev Ecol Syst, 1974, 5(1): 285–307.
- [35] ZHANG T H, WANG Z H, ZHANG Z H. Distribution of bryophyte communities from karst peak cluster rock desertification in valley of Siya River, Guizhou Province [J]. Acta Bot Boreali-Occid Sin, 2013, 33(10): 2104–2112.
- 张天汉, 王智慧, 张朝晖. 贵州思雅河谷地区喀斯特峰丛石漠苔藓植物群落研究 [J]. 西北植物学报, 2013, 33(10): 2104–2112.
- [36] LIU R X, WANG Z H, ZHANG Z H. Ecological characteristics of bryophyte communities from karst rock desertification peak cluster in Zhenfeng of Guizhou Province [J]. Bull Bot Res, 2009, 29(6): 734–741.
- 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 (6): 734–741.
- [37] WU P C. Bryophyte Biology [M]. Beijing: Science Press, 1998: 348–360.
- 吴鹏程. 苔藓植物生物学 [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 348–360.
- [38] PROCTOR M C F. The bryophyte paradox: tolerance of desiccation, evasion of drought [J]. Plant Ecol, 2000, 151(1): 41–49.
- [39] XIA Q L. A study of applying bryophytes to conduct vertical greening [D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2015.
- 夏乔莉. 应用苔藓植物进行立体绿化的技术研究 [D]. 上海: 上海师范大学, 2015.