

贵阳市山地公园苔藓植物群落结构及其与环境关系研究^{*}

Bryophyte Community Structure and Its Relationship with Environment in Mountain Parks in Guiyang City

李宇其 王秀荣
LI Yu-qi, WANG Xiu-rong

摘要: 苔藓植物是构成山地公园地被景观的重要组成部分,在地表修复和物种多样性等方面发挥着重要的生态作用。以贵阳市山地公园苔藓植物为对象,研究了物种分布组成和与环境的关系。结果表明:贵阳市山地公园苔藓物种丰富度较低,苔藓植物共有16科24属44种,其中藓纲植物14科22属41种,苔纲植物2科2属3种,优势种为齿边同叶藓 *Isopterygium serrulatum*、疏网美喙藓 *Eurhynchium laxirete*、悬垂青藓 *Brachythecium pendulum* 等9种。不同基质上苔藓植物的分布存在显著差异,其中土生苔藓群落最丰富,其次为石生苔藓群落,树生苔藓群落丰度最低;此外,基质及湿度是苔藓植物分布的关键影响因子。

关键词: 苔藓植物多样性; 生活型; 山地公园; 典范对应分析(CCA)
中图分类号: S688
文献标志码: A
文章编号: 1671-2641(2021)05-0091-06
收稿日期: 2021-03-23
修回日期: 2021-04-20

Abstract: Bryophyte is an important part of ground cover landscape in mountain parks and plays an important ecological role in surface restoration and species diversity. This paper studies the species distribution composition and the relationship between bryophytes and the environment in the mountain parks of Guiyang City. The results show that the bryophyte species richness in Guiyang mountain parks is low. There are 44 species, 24 genera and 16 families of bryophytes, including 41 species, 22 genera and 14 families of Musci, and 41 species, 22 genera and 14 families of Hepaticae. There are 9 dominant species, such as *Isopterygium serrulatum*, *Eurhynchium laxirete*, *Brachythecium pendulum*. There are significant differences in the distribution of bryophytes on different substrates, the geophytia is the most abundant, followed by the petrophytia, and the epixylophytia is the lowest. In addition, matrix and humidity are the key factors affecting bryophyte distribution.

Key words: Diversity of bryophyte; Life-form; Mountain Park; Canonical Correspondence Analysis(CCA)

苔藓植物作为先锋植物遍布于各类生态位中^[1],是具有独特观赏特征的景观植物。其在储水保湿^[2]、检测环境^[3]、防止水土流失、促进土壤结皮^[4]等方面有突出的生态作用;在景观领域,作为造景材料运用于公园、广场、校园等景观空间,以及微景观布置^[5]、盆景装饰、古典插花^[6]等;部分种类还具药用价值^[7]。目前针对贵州喀斯特地貌苔藓植物多样性的研究集中于石漠化区域^[8]、森林公园^[9]、天坑^[10]、沟谷^[11]、城区墙壁^[12]等,但关于山地公园苔藓植物多样性及其与环境关系的研究存在缺失。

贵阳市是全国具有代表性的喀斯特山地城市,近年来一直坚持建设生

态文明城市,为此提出建设“千园之城”的构想,建成或待建许多山地公园。苔藓植物作为具有环境指示作用的隐花植物,是整个生态景观中不可或缺的一部分^[13]。因此,对贵阳市山地公园中自然生长的苔藓植物群落开展多样性特征和景观特征的研究,具有实践意义,可为山地公园植物造景材料的选择和苔藓植物景观营建提供理论依据。

1 材料与方

1.1 研究区概况

贵阳市属于喀斯特中、低山丘陵及溶蚀盆地,森林覆盖率达58.5%^[14],属于亚热带湿润温和型气

候,降雨量大,相对湿度高。本文选取黔灵山公园(106°40'57" E, 26°35'58" N)、观山湖公园(106°37'44" E, 26°38'48" N)、花溪公园(106°39'27" E, 26°26'17" N)为研究对象,三者均为贵阳市具有代表性的山地公园,建成时间线长短不一,规模包含大、中、小三类,公园生境类型丰富,依次为山地-湖泊型、丘陵-湖泊型、山地-河流型。

1.2 样地选择

对3个公园苔藓植物群落进行样方调查及标本采集。苔藓植物生长于土地、石头、树干的表面,存在于公园的林下空间、道路空间、草地空间、开阔地空间和驳岸空间中。为掌握不同基质和景观空间下

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金: 喀斯特地区城市绿地苔藓植物景观适应性评价及造景理论(31960328)

苔藓植物的种类组成和群落特征,本文结合凯文林奇《城市意象》^[15]中的5要素和园林景观设计4要素将苔藓植物群落依据基质和空间位置,划分为10个类型(表1)。土生型和石生型苔藓群落的每个类型各在每个公园选取3个样地,每个样地设置3个1 m×1 m的样方,采用5点取样法收集标本;树生型群落选择胸径大于15 cm且苔藓覆盖树干取样范围2/3的树木作为样点,每个公园选择3棵树,在距离地面90 cm、120 cm、150 cm处各设置1个15 cm×15 cm的样方。调研共采集了432份苔藓标本。

1.3 标本鉴定

采用经典形态法,借助HWG-1型解剖镜和XSZ-107TS型光学显微镜对标本形态进行观察,并参照《中国生物物种名录·第一卷·苔藓植物》^[16]、《中国苔藓志》(1~8卷)^[17]、《贵州苔藓植物志》(1~3)卷^[18]等对标本进行形态学观察和鉴定。标本存放于贵州大学林学院苔藓标本室。

1.4 数据处理

1.4.1 多样性分析

依据调查得出的苔藓植物盖度、种类,结合计算公式,计算出样点、样地的Patrick丰富度指数、Shannon-Wiener多样性指数和Pielou均匀度指数。

1) Patrick 丰富度指数 D :

$$D=S \tag{1}$$

式中 S 表示样地内的苔藓种数。

2) Shannon-Wiener 多样性指数 H :

$$H=-\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \tag{2}$$

$$P_i = N_i / N \tag{3}$$

式中 N 以苔藓总盖度代替, N_i 以第 i 种的盖度代替^[19]。

3) Pielou 均匀度指数 J :

$$J = H / \ln S \tag{4}$$

1.4.2 环境因子测定

记录每个景观类型苔藓植物种类的盖度,并针对样地上层乔木的郁闭度、基质类型、湿度和人为干扰个环境因子进行测定^[20],并分为5个等级(表2)。其中,基质分为土生、石生和树生3类;采用手持式空气湿度计(TRS-57)测量湿度;人为干扰度考虑游客踩踏、园区工人修剪维护等相关因素。

1.4.3 典范对应分析

为分析环境对苔藓植物种类的影响,选取公园各类样地中物种多样性排第一的样地里的苔藓植物,采用典范对应分析法(Canonical Correspondence Analysis, CCA),揭示山地公园苔藓植物和环境的关系。CCA是基于对应分析发展而来的一种排序方法,将对应分析与多元回归分析相结合,每一步计算均与环境因子进行回归,又称多元直接梯度分析。其基本思路是在对应分析的迭

表1 公园不同类型样地数量情况

单位:个

群落类型	群落结构	公园			代号
		黔灵山公园	观山湖公园	花溪公园	
土生群落	林下	3	3	3	TL
	路旁	3	3	3	TR
	草地	3	3	3	TC
	开阔地	3	3	3	TK
石生群落	林下	3	3	3	SL
	路旁	3	3	3	SR
	草地	3	3	3	SC
	开阔地	3	3	3	SK
树生群落	驳岸	3	3	3	SB
	树生	3	3	3	S

表2 环境因子等级划分

等级	郁闭度 (%)	湿度	人为干扰
1	0 ~ 20	1 ~ 2	无人为破坏
2	21 ~ 40	3 ~ 4	极少人为破坏
3	41 ~ 60	5 ~ 6	有人为破坏
4	61 ~ 80	7 ~ 8	较多人为破坏
5	81 ~ 100	8 ~ 9	经常人为破坏

代过程中,每次得到的样方排序坐标值均与环境因子进行多元线性回归^[21]。

使用Excel 2010、SPSS 23、Canoco5.0等软件进行多样性分析和典范对应分析。

2 结果与分析

2.1 苔藓群落物种组成

3个公园中的苔藓植物共有16科24属44种(表3),其中苔纲2科2属3种,藓纲14科22属41种。将野外调查中在样方出现12次以上的物种视为优势种,有齿边同叶藓、疏网美喙藓、悬垂青藓、芽胞湿地藓、狭叶小羽藓、侧枝匍灯藓、偏叶麻羽藓、野口青藓、灰白青藓9种。

2.2 苔藓植物群落 α 多样性分析

2.2.1 土生生境苔藓植物 α 多样性

通过对山地公园的36个样地进行Shannon-Wiener指数的分析可知,不同位置的土生群落苔藓植物的多样性指数值为1.0~1.9(图1)。从平均值来看,整体多样性指数排序从大到小依次为草地土生、开阔地土生、路旁土生、林下土生。草地土生型群落因光照时长适宜,有不同类型草本植物为苔藓植物生长提供了空间和水分,且上层盖度及凋零物盖度较小,所以群落多样性数值高。开阔土生型群落中乔木和草本的郁闭度小,凋零物盖度在40%左右,光照较多,影响苔藓植物的生长,因此物

表3 公园苔藓植物名录

序号	种名	样点中的分布									
		TL	TR	TC	TK	S	SL	SR	SC	SK	SB
1	小胞仙鹤藓 <i>Atrichum rhystophyllum</i>				+						
2	多形小曲尾藓 <i>Dicranella heteromalla</i>			+	+		+				
3	暖地凤尾藓 <i>Fissidens flaccidus</i>	+									
4	卷叶凤尾藓 <i>F. dubius</i>							+			
5	南京凤尾藓 <i>F. teysmannianus</i>	+	+	+							
6	背卷对齿藓 <i>Didymodon vinealis</i>	+				+	+		+	+	
7	芽胞湿地藓 <i>Hyophila propagulifera</i>	+	+	+	+		+	+	+	+	+
8	芒尖毛口藓 <i>Trichostomum zanderi</i>		+					+	+	+	
9	土生真藓 <i>Bryum tuberosum</i>				+		+				+
10	小叶藓 <i>Epipterygium tozeri</i>	+									
11	尖叶匍灯藓 <i>Plagiomnium acutum</i>				+				+		+
12	匍灯藓 <i>P. cuspidatum</i>			+							
13	侧枝匍灯藓 <i>P. maximoviczii</i>	+	+	+	+		+	+		+	
14	毛尖碎米藓 <i>Fabronia rostrata</i>			+							+
15	偏叶麻羽藓 <i>Claopodium rugulosifolium</i>		+	+		+	+	+	+	+	
16	狭叶小羽藓 <i>Haplocladium angustifolium</i>		+	+	+	+		+	+	+	+
17	卵叶小羽藓 <i>H. discolor</i>			+	+		+	+		+	+
18	东亚小羽藓 <i>H. strictulum</i>		+	+			+	+	+	+	+
19	灰羽藓 <i>Thuidium pristocalyx</i>	+		+			+	+			+
20	粗疣藓 <i>Fauriella tenuis</i>		+		+	+	+	+			
21	灰白青藓 <i>Brachythecium albicans</i>			+	+	+	+	+	+	+	
22	密枝青藓 <i>B. amnicola</i>			+			+	+	+	+	
23	毛尖青藓 <i>B. piligerum</i>	+		+	+		+	+	+		+
24	悬垂青藓 <i>B. pendulum</i>	+	+		+	+	+	+	+	+	+
25	青藓 <i>B. pulchellum</i>	+	+	+						+	
26	长叶青藓 <i>B. rotaeanum</i>	+	+	+	+	+				+	
27	卵叶青藓 <i>B. rutabulum</i>	+						+			
28	多枝青藓 <i>B. fasciculirameum</i>				+			+	+		
29	野口青藓 <i>B. noguchii</i>	+	+	+	+			+	+	+	
30	圆枝青藓 <i>B. garovaglioides</i>	+	+	+	+						
31	亚灰白青藓 <i>B. subalbicans</i>						+	+	+	+	+
32	疏网美喙藓 <i>Eurhynchium laxirete</i>	+	+	+	+	+	+	+		+	+
33	羽枝美喙藓 <i>E. longirameum</i>		+		+	+			+		
34	鼠尾藓 <i>Myuroclada maximowiczii</i>	+									
35	深绿褶叶藓 <i>Palamocladium euchloron</i>					+		+		+	+
36	日本细喙藓 <i>Rhynchostegiella japonica</i>	+	+	+	+	+					+
37	光柄细喙藓 <i>R. laeviseta</i>	+		+	+	+	+	+			+
38	直叶灰藓 <i>Hypnum vaucheri</i>	+		+							
39	密叶拟鳞叶藓 <i>Pseudotaxiphyllum densum</i>	+	+	+	+					+	
40	齿边同叶藓 <i>Isopterygium serrulatum</i>	+	+	+	+		+	+	+	+	+
41	长帽绢藓 <i>Entodon dolichocucullatus</i>			+		+		+	+		
42	毛地钱 <i>Dumortiera hirsuta</i>	+	+	+	+	+		+	+		
43	芽胞裂萼苔 <i>Chiloscyphus minor</i>	+							+	+	+
44	南亚异萼苔 <i>Heteroscyphus zollingeri</i>			+	+						

注: TL-路旁土生型; TR-林下土生型; TC-草地土生型; TK-开阔地土生型; S-树生型; SR-路旁石生型; SL-林下石生型; SC-草地石生型; SK-开阔地石生型; SB-驳岸石生型。

种多样性数值居中。路旁土生型群落中,乔木层、灌木层、草本层的盖度适中,但地理位置特殊,人为破坏程度大,导致苔藓植物盖度小,因此多样性数值低。林下土生型群落中,上层乔灌木郁闭度大,透光性弱,苔藓植物获得的光照少,生长环境差,因此多样性数值低。

对公园内部各样地类型分析可知:花溪公园的多样性指数从大到小依次为草地土生、开阔地土生、路旁土生、林下土生,黔灵山公园的为开阔地土生、林下土生、路旁土生、草地土生,观山湖公园的为草地土生、开阔地土生、林下土生、路旁土生。结果表明,每个公园的土生型苔藓在不同空间中的物种多样性存在差异。路旁土生型和林下土生型样地中,苔藓植物多样性数值最高的位于黔灵山公园,证明该公园路旁和林下的空间给苔藓群落提供了良好的生存环境;草地土生型和开阔地土生型苔藓植物多样性表现良好的样地位于花溪公园,证明花溪公园草地和开阔地的空间更适合苔藓植物生长。

Pielou 指数数值为 0.8~1.0(图 2),总体差别不大,说明 4 种群落生态系统中苔藓植物个体均匀程度相当。

2.2.2 石生生境苔藓植物 α 多样性

通过对山地公园的 45 个样地进行 Shannon-Wiener 指数分析可知,不同位置石生群落苔藓植物多样性指数值为 0.9~1.7(图 3)。由平均值可知,整体多样性指数排序从大到小依次为林下石生、开阔地石生、驳岸石生、草地石生、路旁石生。林下石生群落乔木高大,以阔叶树种为主,郁闭度适中,人为干扰小,苔藓植物几乎布满整块假山、岩石,多样性数值高。开阔地石生群落内上层郁闭度小,光照充足,苔藓植物主要生长于假山等造景石上,人工养护频繁,多样性指数较高。驳岸石生群落位置特殊,上层郁闭度达 50%,光照充足,且临近河、湖空气相对湿度高,人为干扰小,为苔藓生长提供了良好的空间,多样性数值居中。草地石生群落

人为干扰大,苔藓获得的养料和水分较少,小生境单一,多样性数值较低。路旁石生群落人为干扰最大,生长环境差,苔藓种类单一,多样性数值最低。

对公园内部各样地类型分析可知:花溪公园多样性指数从大到小依次为林下石生、路旁石生、草地石生、开阔地石生、驳岸石生,黔灵山公园的为开阔地石生、驳岸石生、草地石生、路旁石生、林下石生;观山湖公园的为林下石生、驳岸石生、开阔地石生、路旁石生、草地石生。研究表明,每个公园石生型苔藓群落不同空间中的物种多样性存在差异。路旁石生型、林下石生型和草地石生型样地中,苔藓植物多样性数值最高的位于花溪公园,证明这3种类型的空间给苔藓群落提供了良好的生存环境;开阔地石生型和驳岸石生型苔藓植物多样性表现良好的样地位于黔灵山公园,证明黔灵山公园开阔地和驳岸空间更适合生长苔藓植物。

Pielou 指数数值为 0.8~1.0 (图 4), 总体差别不大,说明 5 种群落生态系统中苔藓植物个体均匀程度相当。

2.2.3 树生境苔藓植物 α 多样性

由 Shannon-Wiener 指数可知山地公园 9 个样地中苔藓植物多样性指数值为 0.5~1.3 (图 5), 其中最高的为花溪公园 (1.249), 最低的为观山湖公园 (0.580)。树生苔藓群落以树干生、树基生为主,苔藓植物的盖度小,颜色较深,其由疏网美喙藓、偏叶麻羽藓、卵叶小羽藓、日本细喙藓、悬垂青藓、毛地钱等组成。花溪公园树生苔藓植物多样性高的原因为公园面积小,人为干扰少,郁闭度适中,环境湿度稳定,能为苔藓植物生长提供舒适的生存环境。

Pielou 指数数值在 0.6~1.0 (图 6), 总体差别不大,说明生态系统中苔藓植物个体均匀程度相当,整体变化趋势与 Shannon-Wiener 指数变化趋势一致。

2.3 不同基质中苔藓植物物种相似度分析

由不同群落类型苔藓植物的相似性系数 (表 4) 可知,公园各群落类型之间苔藓植物的种类组成差异大。但其中路旁石生型和开阔地石生型群落极相似,相似性系数最高,为 0.824,两者共有种数为 18 种,原因是两群落苔藓植物的生长基质一致,环境中空气湿度差异小,所以群落间差异较小。其他群落类型差异较大的原因是郁闭度不同,光照时间长短不一,空气及土壤湿度存在差异。驳岸石生和林下土生的相似性系数最低,为 0.364,两者共有种数仅 6 种,物种组成差异大,原因是苔藓植物生长的基质存在本质区别,提供给苔藓植物生长的养分和环境条件差异显著。

2.4 苔藓物种与环境因子的分析

采用 CCA 揭示苔藓植物和环境因子的关系。计算环境因子与 CCA 前两轴间的相关系数 (表 5), 确定第一轴环境因子对苔藓植物影响从大到小排序为基质、湿度、郁闭度和人为干扰,第二轴为人为干扰、基质、湿度、

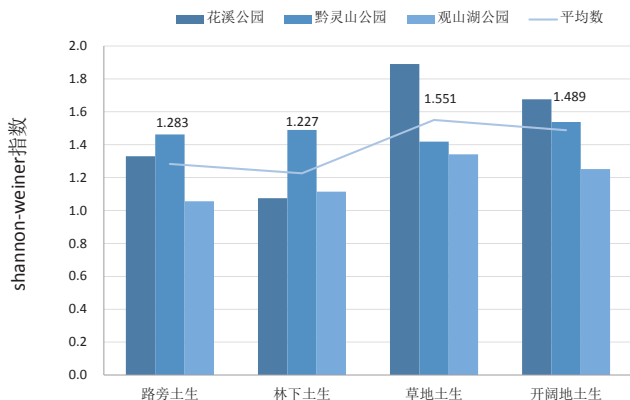


图1 土生境苔藓植物多样性

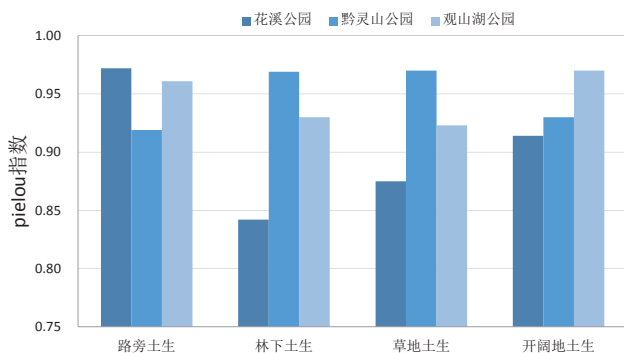


图2 土生境苔藓植物均匀度

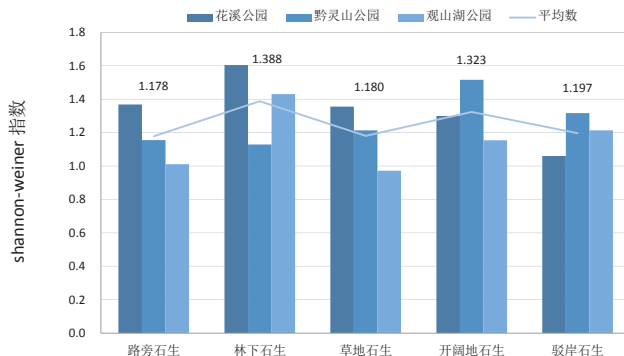


图3 石生境苔藓植物多样性

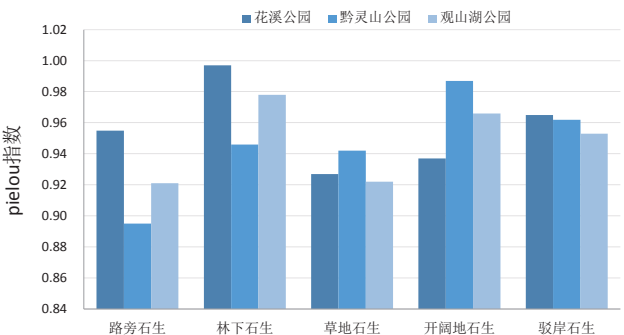


图4 石生境苔藓植物均匀度

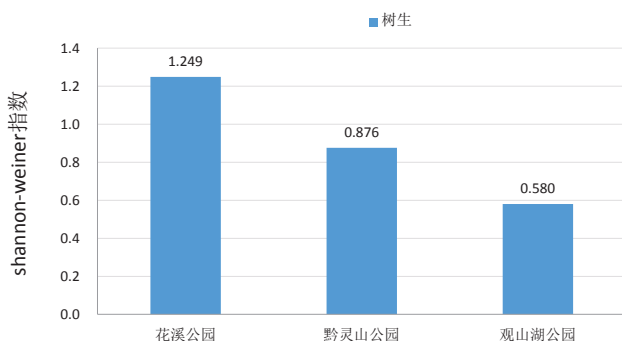


图5 树生境苔藓植物多样性

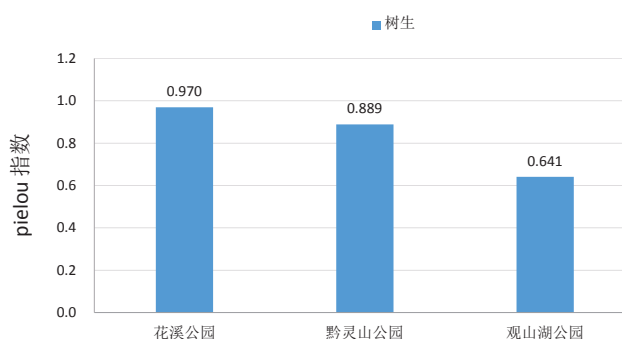


图6 树生境苔藓植物均匀度

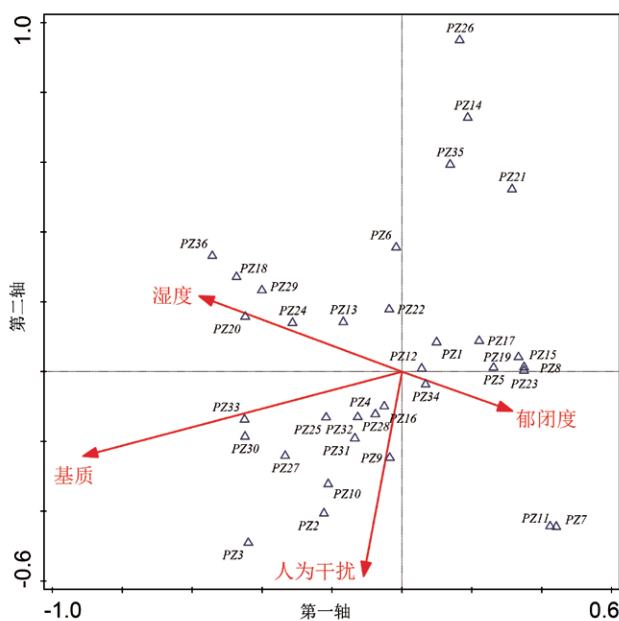


图7 环境因子和物种的典范对应分析二维排序图

郁闭度。生成 CCA 排序图 (图 7), 其中箭头表示环境因子, 箭头所处的象限表示环境因子与排序轴之间的正负相关性, 箭头连线的长度代表某个环境因子与研究对象分布相关程度的大小, 连线越长, 代表这个环境因子对研究对象的分布影响越大。箭头连线与排序轴的夹角代表这个环境因子与排序轴的相关性大小, 夹角越小,

相关性越高。

根据苔藓植物在 CCA 排序图中的位置, 结合苔藓生态学特性, 将其划分为 4 组:

1) 该组位于第一象限, 与湿度、郁闭度呈正相关, 与基质、人为干扰呈负相关, 有 12 种苔藓植物, 分别是小胞仙鹤藓 (1)、芽胞湿地藓 (5)、尖叶匍灯藓 (8)、狭叶小羽藓 (12)、灰羽藓 (14)、粗疣藓 (15)、密枝青藓 (17)、悬垂青藓 (19)、卵叶青藓 (21)、亚灰白青藓 (23)、深绿褶叶藓 (26)、芽胞裂萼苔 (35)。

2) 该组位于第二象限, 组与湿度呈正相关, 有 8 种苔藓植物, 分别是芒尖毛口藓 (6)、东亚小羽藓 (13)、毛尖青藓 (18)、长叶青藓 (20)、野口青藓 (22)、疏网美喙藓 (24)、直叶灰藓 (29)、南亚异萼苔 (36)。

3) 该组位于第三象限, 与基质、人为干扰呈正相关, 与郁闭度和湿度呈负相关, 有 13 种苔藓植物, 分别是多形小曲尾藓 (2)、暖地凤尾藓 (3)、背卷对齿藓 (4)、侧枝匍灯藓 (9)、毛尖碎米藓 (10)、灰白青藓 (16)、羽枝美喙藓 (25)、日本细喙藓 (27)、光柄细喙藓 (28)、圆枝青藓 (30)、密叶拟鳞叶藓 (31)、齿边同叶藓 (32)、长帽绢藓 (33)。

4) 该组位于第四象限, 与郁闭度呈正相关, 有 3 种苔藓植物, 分别是土生真藓 (7)、偏叶麻羽藓 (11)、毛地钱 (34)。

上述结果表明: 深绿褶叶藓、灰羽藓、南亚异萼苔、卵叶青藓抗干扰能力强, 可以在公园广场、公园入口等人流量大的空间使用; 毛尖青藓、长叶青藓、圆枝青藓在潮湿的环境中长势好, 可用于驳岸景观的营建; 偏叶麻羽藓、土生真藓受光性强, 耐旱, 适宜用于大草坪、以低矮的灌木、草丛为主的开阔空间; 基质对毛地钱、密叶拟鳞叶藓、日本细喙藓等苔藓植物有较大影响, 这类苔藓在进行公园造景时需因地制宜; 暖地凤尾藓、背卷对齿藓、毛尖碎米藓等苔藓的抗干扰能力弱, 观赏时长短, 可用于特定时间 (如节庆) 的微景观营建。

3 结论与讨论

贵阳市山地公园苔藓植物共有 16 科 24 属 44 种, 9 个优势种, 物种丰富程度较低, 原因是苔藓植物生长受环境影响显著, 公园各景观空间人为干扰活动较多, 影响苔藓植物分布。不同基质上苔藓植物分布存在显著差异, 其中土生苔藓群落种类最丰富, 其次是石生苔藓群落, 树生苔藓群落最少, 原因是不同基质内部养分构成不同, 土生境稳定性高, 空气湿度和光照条件适宜, 其苔藓植物的组成与分布相对较好。

通过 CCA 分析得出基质和湿度是影响苔藓植物分布的关键因子, 这与程军^[22]等对上海地区影响苔藓植物群落生长的是郁闭度和湿度的结论有差异。造成差异

表4 不同群落类型苔藓植物相似性系数

群落类型	相似性系数									
	TR	TL	TC	TK	S	SR	SK	SL	SB	SC
TR	-	0.667	0.667	0.56	0.4	0.476	0.55	0.578	0.537	0.465
TL	-	-	0.698	0.619	0.375	0.47	0.512	0.649	0.364	0.4
TC	-	-	-	0.706	0.44	0.558	0.615	0.609	0.429	0.37
TK	-	-	-	-	0.5	0.619	0.667	0.533	0.439	0.512
S	-	-	-	-	-	0.5	0.488	0.457	0.516	0.424
SR	-	-	-	-	-	-	0.824	0.595	0.606	0.514
SK	-	-	-	-	-	-	-	0.652	0.524	0.682
SL	-	-	-	-	-	-	-	-	0.444	0.684
SB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.588
SC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

注：TR—路旁土生；TL—林下土生；TC—草地土生；TK—开阔地土生；S—树生；SR—路旁石生；SK—开阔地石生；SL—林下石生；SB—驳岸石生；SC—草地石生

的原因是上海地区属于平原城市，贵阳属于喀斯特山地城市，地质地貌不同，生态环境差异大，苔藓植物的结构特征与养分需求存在差异。

本文通过对苔藓植物群落多样性研究和环境因子研究，得到不同景观空间适配的苔藓植物种类。整体研究表明，本文选取的公园皆有山地公园特征，苔藓植物种类相似，因此苔藓植物分布整体受地域环境的影响较大，公园景观空间类型对苔藓植物的分布影响较小。

综上所述，公园拥有丰富的苔藓植物资源，科学系统地研究苔藓植物多样性的特征，能为后期营建苔藓景观提供理论依据，且具体苔藓种类的提出，能为不同空间造园提供便利。同时这进一步证明了苔藓植物在园林学科拥有宽广的应用前景和特殊的科研价值。但本研究并未完全探明公园苔藓植物的群落特征、分布状况和环境因子三者之间的具体关系，后续将对该方面进行深入研究。

注：图片均为作者自绘。

参考文献：

[1] 闫德仁，张胜男，黄海广，等．沙漠苔藓植物分解的土壤改良效应[J]．水土保持研究，2020，27（3）：225-229+237．
[2] 张显强，龙华英，刘天雷，等．贵州喀斯特地区5种石生藓类的持水性能及吸水特征比较[J]．中国岩溶，2018，37（6）：835-841．

[3] 安丽，曹同，俞鹰浩，等．苔藓植物与环境重金属污染监测[J]．生态学杂志，2006（2）：201-206．
[4] 申家琛，张朝晖，王智慧，等．石漠化程度对苔藓植物多样性及其结皮土壤化学性质的影响[J]．生态学报，2018，38（17）：6043-6054．
[5] 刘雪涵，戚朝辉．苔藓微景观生态空间设计研究[J]．山东林业科技，2017，47（5）：101-104．
[6] 苏同向．日本京都西芳寺的自然与文化[J]．园林，2018（10）：31-33．
[7] 石磊，杨传东，熊源新，等．梵净山药用苔藓植物多样性及分布特点[J]．贵州师范大学学报（自然科学版），2016，34（6）：39-44．
[8] 刘润，申家琛，张朝晖，等．4种苔藓植物在喀斯特石漠化地区的生态修复意义[J]．水土保持学报，2018，32（6）：141-148．
[9] 谢斐，杨再超，左经会，等．贵州山地森林公园地面苔藓植物多样性[J]．北方园艺，2015（9）：71-75．
[10] 李小芳，张朝晖，李承义，等．贵州猴耳天坑地下森林苔藓植物多样性特征研究[J]．西北植物学报，2018，38（12）：2324-2333．
[11] 谈洪英．贵州喀斯特沟谷苔藓植物物种多样性研究[D]．贵州：贵州大学，2017．
[12] 王伟，王登富，王智慧，等．贵阳喀斯特城市墙壁苔藓植物物种多样性研究[J]．热带亚热带植物学报，2018，26（5）：473-480．
[13] 毛俐慧，温从发，丁华侨，等．苔藓植物景观价值[J]．中国野生植物资源，2020，39（7）：30-32+38．
[14] 杨婷．基于景观适宜性的山地公园植物景观评价及营建策略研究[D]．贵州：贵州大学，2019．
[15] 凯文·林奇．城市意象[M]．北京：华夏出版社，2017．
[16] 贾渝．中国生物物种名录·第一卷·苔藓植物[M]．北京：科学出版社，2013．
[17] 高谦．中国苔藓志（第1～8卷）[M]．北京：科学出版社，2011．
[18] 熊源新．贵州苔藓植物志（第1、2、3卷）[M]．贵州：贵州科技出版社，2014．
[19] 皮春燕，刘艳．重庆主城区住宅小区苔藓组成

表5 环境因子与CCA前两轴间的相关系数

环境因子	相关系数	
	第1轴	第2轴
郁闭度	0.289	-0.095
湿度	-0.531	0.184
人为干扰	-0.101	-0.499
基质	-0.836	-0.206

与多样性[J]．生物多样性，2014，22（5）：583-588．

[20] 王挺杨，官飞荣，王强，等．祁连山不同景观类型中苔藓植物物种多样性研究[J]．植物科学学报，2015，33（4）：466-471．

[21] 张金屯．数量生态学[M]．北京：科学出版社，2018．

[22] 程军．上海地区苔藓群落生态及其景观利用[D]．上海：上海师范大学，2016．

作者简介：

李宇其/1994年生/女/贵州六枝人/贵州大学林学院（贵州550025）/在读硕士研究生/专业方向为地景规划与生态修复

王秀荣/1972年生/女/贵州贵阳人/博士研究生/贵州大学林学院（贵州550025）/教授/研究方向为森林培育、园林景观评价、风景园林规划设计