

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2022.03.011

山地城市挡墙立面木本植物群落调查研究

——以重庆市主城区为例

姚珊¹, 王海洋²

1. 高驰国际设计有限公司 景观所, 重庆 401120; 2. 西南大学 园艺园林学院, 重庆 400716

摘要: 以重庆主城九区 314 个挡墙样方为研究对象, 调研挡墙上植物的组成及分布格局特征。结果表明, 挡墙上木本植物以桑科为主, 构树和黄葛树是挡墙上优势乔木树种; 挡墙上木本植物种群中乡土植物占比 77.2%; 挡墙固有属性值中高度、分阶、倾斜度及缝隙大小分类等级与挡墙上木本植物的物种多样性指数呈正比关系, 且同属性等级划分上公园及森林用地周边挡墙比居住及建设用地周边挡墙木本植物物种多样性高。

关键词: 山地城市; 挡墙; 木本植物; 物种多样性

中图分类号: S731.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2022)03-0093-09

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Investigation of Woody Plant Communities on Retaining Wall Facades in Mountainous Cities

——A Case Study of Chongqing Main Urban Area

YAO Shan¹, WANG Haiyang²

1. Department of Landscape, Gaoci International Design Co. Ltd., Chongqing 401120, China;

2. School of Horticulture and Architecture, Southwest University, Chongqing 400716, China

Abstract: The composition and distribution pattern characteristics of the plants on the retaining walls were investigated in 314 retaining wall plots in the 9th District of Chongqing. The results showed that the woody plants on the retaining walls were mainly distributed by the family of Moraceae. *Broussonetia pa-*

收稿日期: 2021-01-14

基金项目: 重庆市技术创新与应用示范重点项目(csts2019jscx-jksbX0127).

作者简介: 姚珊, 高级园林工程师, 硕士, 主要从事城市园林生态研究.

pyrifera and *Ficus virens* were the dominant tree species on the retaining walls. Native woody plants accounted for 77.2% of the trees on the retaining wall. In the intrinsic attribute value of the retaining wall, the hierarchical gradient of height and the classification grade of gap size were positively correlated to the species diversity index of woody plants on the retaining wall, and the species diversity of woody plants on the retaining wall around the park and forest land was higher than that around the residential and construction land in the same attribute classification.

Key words: mountain city; retaining wall; woody plants; species diversity

墙体植物是现今研究的热点,挡墙是城市内各种墙体中占比较大的类型,在城市内部随处可见.挡墙紧邻城市建设用地,为植物的生长提供了特殊的空间,同时挡墙也充当着城市内特殊的生态廊道,连接地面及城市山体绿化^[1-2],促进物种的交流.挡墙绿面既可反映出城市稳定的绿地系统类型,也增大了城市的绿化率和绿视率,提高了城市的生态效益.挡墙上的木本植物在视觉角度上分布最为明显,且生长更具有优势^[3],很多树种在挡墙上甚至能到达其生物的潜在高度,因此研究挡墙木本植物种群很有生态学价值.由现状可知,挡墙作为人为干扰后留下的半自然生境,环境相对贫瘠^[4],但从另一方面来看,挡墙上生长的植物更能反映出城市稳定的乡土植物种群,不同类型(位置、材料、高度等)的挡墙有着与之对应的木本植物种群,丰富了城市的生物多样性.

近年来,国内外对墙体自生植物的主要研究热点集中于对墙体自生植物的种类进行划分以及联系环境因子对墙体自生植物的生长特点进行研究,欧洲地区主要为意大利古罗马城墙立面植物的调研^[5]及对垂直的墙面以及岩石生长植物做类比并分析植物生长特点^[6];美洲地区研究者发现墙体植物对墙体本身的损害程度与植物的种类有关^[7];亚洲地区主要为 Jim^[8-10]对香港的石墙生境进行了大量研究,包括墙体生境特征、植物物种组成及其他影响因素等方面,国内近几年主要为湖北荆州和南京古城墙自生植物的研究^[11-13]以及陈春谔对重庆墙体自生植物的调研等^[14],其中陈春谔研究中发现墙体生境因素,尤其是墙体固有属性(墙高、墙体材料、墙体缝隙密度及大小等)对石墙自生植物组成和空间分布格局解释程度较大.国内外对墙体植物的研究角度都存在一定的差别,但都表明了不同地理位置的环境因子与墙体以及墙体植物之间都存在着一定的相关性,但是到目前为止,这些对墙体植物的研究结论中只有少量涉及城市挡墙植物尤其是墙体固有属性特点与木本植物多样性及分布格局的内容.重庆作为全国闻名的 5D 立体城市,是典型的以丘陵山地为主的内陆城市,其内部建筑及道路多因地势而建,存在大量的挡墙.而且重庆是西南地区最大的植物库,植物种类丰富,对重庆立面挡墙木本植物的研究在西南地区挡墙植物研究中具有代表性.本研究旨在从重庆山地城市独特的三维立体垂直面——挡墙出发,调研主城区不同类型的挡墙上木本植物的物种组成及乡土树种的分布状况,尤其是木本植物的多样性和丰富度与墙体属性之间的关系,以此来探讨重庆山地城市挡墙木本植物种群分布的特点,为城市未来立体绿化发展提供一定的科学理论依据.

1 材料与方法

1.1 重庆市主城区概况

重庆市主城区位于四川盆地的东部边缘, 地处川东平行岭谷与长江、嘉陵江汇流地带, 华蓥山的两条支流山脉(即中梁山和铜锣山)大致构成了重庆市中心的東西边界. 复杂的地质、地形和气候条件共同丰富了该地区物种和生态系统的多样性^[15], 该地区拥有 21.1% 的已知中国高等植物种. 重庆市主城区位于我国亚热带常绿阔叶林带, 年均气温 18.3 °C, 年均降水量 1 129.8 mm. 重庆市地处山区, 包括城市核心区在内的整个城市都有斜坡, 在道路和建筑发展过程中, 砌挡墙已成为稳定边坡和土壤的重要工程结构形式. 近几十年来, 在不断的城市化过程中, 重庆建造了许多新的挡墙, 形成了新的城市立体绿化面.

1.2 研究时间、内容及选样原则

由于植被的变化与人类活动密切相关, 城市化对挡墙植被有重要影响. 重庆地形较为特殊, 城市内存在众多的山体公园, 城市内自然或半自然用地较多(如公园用地和森林用地), 这些自然或半自然用地作为城市乡土植物“种子库”, 其内部种子主要依靠风力、动物、自体及水力传播, 且“种子库”的存在与挡墙植物群落的组成有着一定的关联^[16-17]. 因此对城市内调研挡墙根据与周边用地关系的不同在空间位置上做了划分, 划分内容、标准及墙体数量见表 1.

表 1 挡墙空间位置划分

分类	分类标准	挡墙样方/个	比例/%
CW	街道周边挡墙且墙体周边 1 km 范围内	171	54.46
	无公园或森林用地		
SW	街道周边挡墙且墙体周边 1 km 范围内	143	45.54
	存在公园或森林用地		

本研究于 2020 年 4 月—2020 年 10 月进行, 在重庆主城九区内(主要集中于渝中区、沙坪坝区、南坪区、渝北区)进行实地调研, 选取高度大于 2 m 且宽度大于 5 m 的挡墙作为调研样本, 并记录挡墙上木本植物种群. 在选样原则上, 以 5 m×H 的范围作为一个挡墙样方(H 为挡墙高度, 当挡墙长度大于 50 m, 可适当选择两个样方)^[18]. 调研记录内容包括: 墙体属性特征(墙体高度、墙体分级状况、坡度、构筑材料、缝隙大小和密度), 其中墙体各类属性值及植物类数据值运用米尺及坡度仪器进行实地测量, 调研员对每个样方中挡墙属性做 1~4 个等级的评估打分(打分依据及对应挡墙数量见表 2), 同时记录每个样方内木本植物的种类、数量及高度(1.2 m 以下木本植物幼苗在本研究中被视为灌木), 植物鉴定和植物命名遵循《中国植物志》中使用的系统^[19], 乡土树种判定根据《重庆维管植物检索表》确定^[20].

1.3 数据处理

1) 木本植物物种多样性有多种测定指标, 本研究选用两个应用最为广泛的指标进行计算: 物种丰富度选用指标 $R=S$, S 为物种数; 物种多样性选用 Shannon-Wiener 指数^[21-22].

2) 所有数据处理应用 SPSS 24.0 统计分析软件对各样方内植物多样性指标值与挡墙固有属性分类进行单因素方差分析, 并用 LSD 法进行多重比较.

表 2 挡墙分类

固有属性类型	分类	分类标准	CW 挡墙样方/个	SW 挡墙样方/个	挡墙样方/个	比例/%
高度	1	2~5 m	92	89	181	57.64
	2	5~8 m	46	29	75	23.89
	3	8~11 m	21	13	34	10.83
	4	>11 m	12	12	24	7.64
分阶	1	无分级	120	103	223	71.02
	2	1 级	19	14	33	10.51
	3	2 级	15	15	30	9.55
	4	3 级	17	11	28	8.92
坡度	1	>90°	132	106	238	75.80
	2	90°~85°	13	11	24	7.64
	3	85°~80°	16	13	29	9.24
	4	<80°	10	13	23	7.32
构筑材料	1	钢筋混凝土	50	51	101	32.16
	2	混凝土	30	16	46	14.65
	3	砖墙	13	7	20	6.37
	4	石墙	78	69	147	46.82
缝隙大小	1	≤1 cm	20	13	33	10.51
	2	1~2 cm	76	55	131	41.72
	3	2~3 cm	50	44	94	29.94
	4	>3 cm	25	31	56	17.83
缝隙密度	1	小	87	71	158	50.32
	2	中等	49	24	73	23.25
	3	大	12	11	23	7.32
	4	较大	23	37	60	19.11

2 结果和分析

2.1 重庆市主城区挡墙植物群落的物种组成和生活性特征

在 314 个挡墙样方中共记录了 61 科 118 属 137 种木本植物, 其中是乔木和灌木分别为 85 种和 52 种 (62% 和 38%), 从图 1 可以明显看到木本植物种乔木种类数量更优于灌木。

从挡墙上木本植物的种群数量上统计, 共记录 2 964 株树种, 平均每个样方 9 株, 其中乔木 1 253 株, 灌木 1 711 株. 乔木记录共 43 科, 优势科为: 豆科 (Leguminosae 10 种), 桑科 (Moraceae 7 种), 樟科 (Lauraceae 7 种) 和蔷薇科 (Rosaceae 5 种); 灌木记录共 32 科, 优势物种为: 马鞭草科 (Verbenaceae 10 种), 蔷薇科 (Rosaceae 4 种), 忍冬科 (Caprifoliaceae 4 种) 和马钱科 (Loganiaceae 3 种). 乔木树种中数量

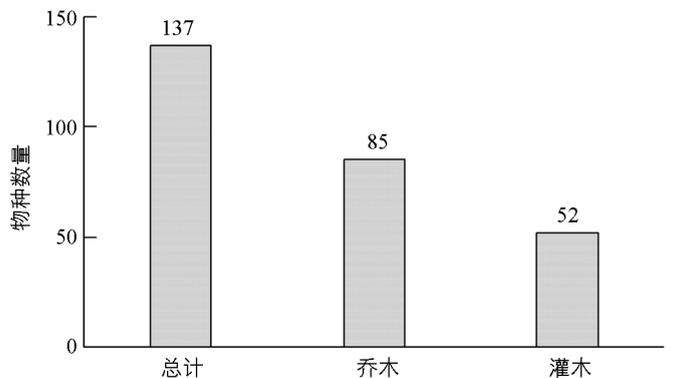


图 1 挡墙木本植物生活型物种数分析

分布前 5 乔木树种来看 (表 1), 主要为桑科植物, 说明重庆本土的挡墙生态环境条件非常适合桑科木本植

物的生长, 构树(*Broussonetia papyrifera*)、黄葛树(*Ficus virens*)、小叶榕(*Ficus concinna*)都具有连续的高度级分布, 并能达到其生物潜在高度. 其他能长成大树($H > 8$ m)的物种包括楝树(*Melia azedarach*)、樟树(*Cinnamomum camphora*)、栲树(*Koelreuteria paniculata*)、朴树(*Celtis sinensis*)、秋枫(*Bischofia javanica*)、八角枫(*Alangium chinense*)等. 灌木树种中, 分布前 5 的灌木树种中杜鹃(*Rhododendron simsii*)、石楠(*Photinia serratifolia*)和八角金盘(*Fatsia japonica*)多分布在城市内区域, 是近几年城市挡土墙美化工程中应用最广的 3 类灌木树种(表 3).

表 3 挡墙上分布排名前 5 的木本树种

乔木分布前 5 树种	数量/株	比例/%	灌木分布前 5 树种	数量/株	比例/%
构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	465	37.11	构树幼苗 <i>Broussonetia papyrifera seedlings</i>	475	27.76
黄葛树 <i>Ficus virens</i>	144	11.49	黄葛树幼苗 <i>Ficus virens seedlings</i>	154	9.00
樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	51	4.07	杜鹃 <i>Rhododendron simsii</i>	141	8.24
楝树 <i>Melia azedarach</i>	48	3.83	石楠 <i>Photinia serratifolia</i>	66	3.86
小叶榕 <i>Ficus concinna</i>	45	3.59	八角金盘 <i>Fatsia japonica</i>	63	3.68

2.2 挡墙植物的乡土性分析

总体调研样方植物中(图 2), 乡土植物共 99 种(占总样本比例为 72.3%), 说明了城市内挡墙木本植物中乡土植物处于优势地位, 城市挡墙上原生植物较多. 再从挡墙空间位置分类后分析植物的乡土植物分类, 虽然 CW 类挡墙上木本植物数量(86 种占比 69.8%)多于 SW 类挡墙(83 种占比 86.7%), 但是乡土植物占比却明显低于城市森林, 印证了城市空间位置不

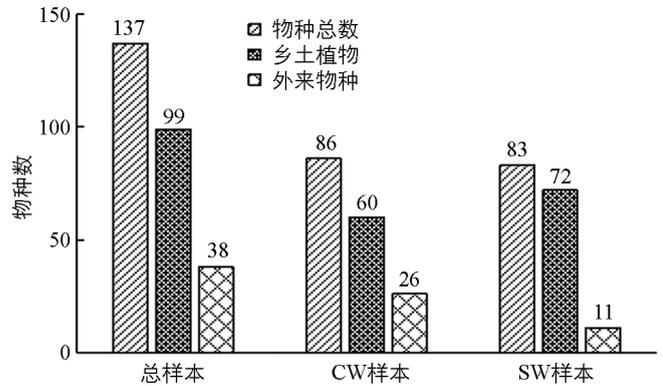
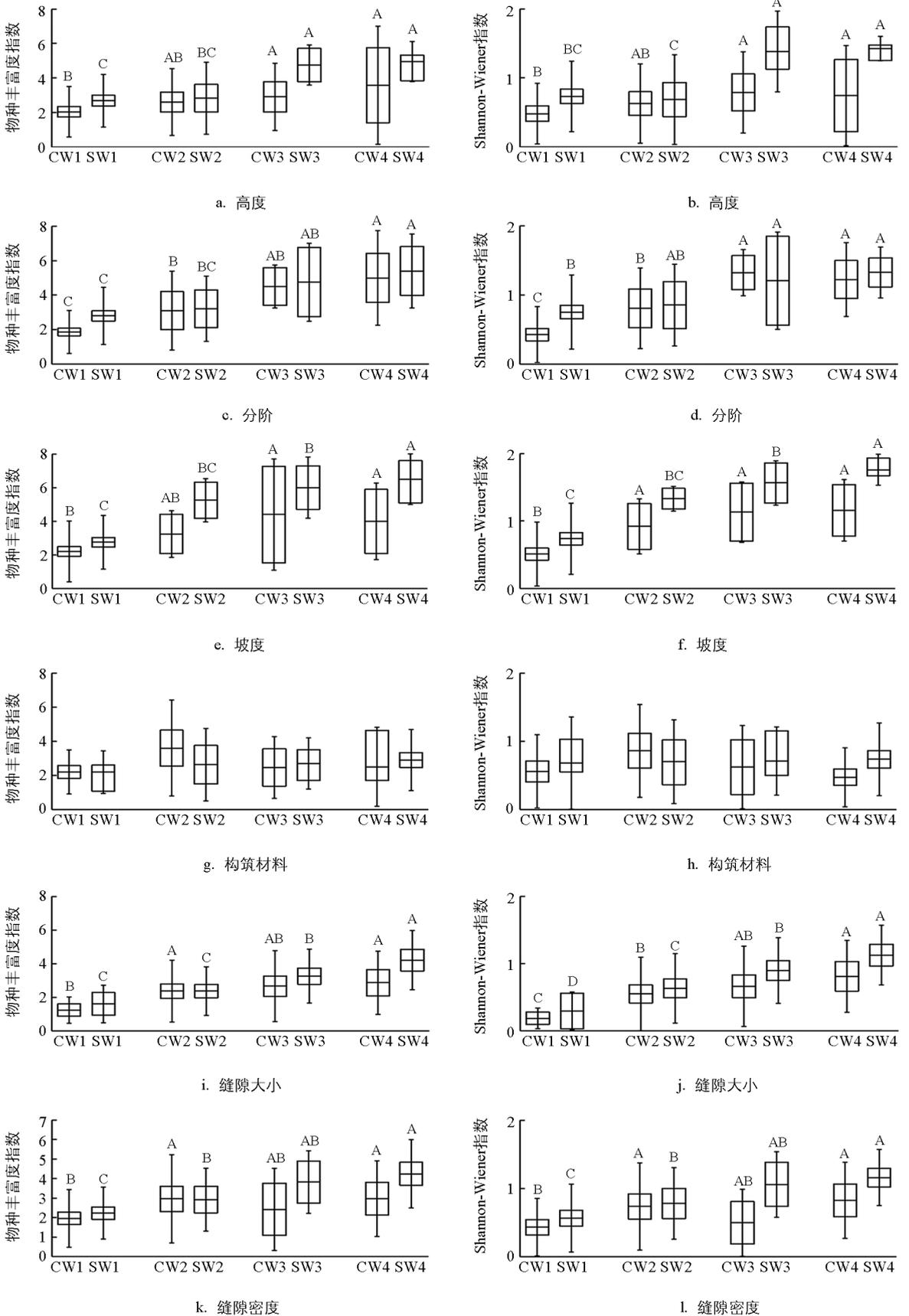


图 2 挡墙乡土植物比例分析

同挡墙上植物分布较为不同, SW 类挡墙周边存在公园或森林用地, 这些城市用地都属于城市乡土植物种子库, 在鸟类和风等传播途径中能使得更多的乡土植物在挡墙上存活, 另外, 在调研中发现 SW 类挡墙多距离城市中心区较远, 受到的人工化程度较小, 且最初修建挡墙时, 更多地运用科学的方式(比如, 外挂陶盆, 增加挡土墙分级等), 这些因素最终都可能成为增大乡土植物种子生存几率的原因.

2.3 挡墙固有属性分类与木本植物物种多样性的关系

对本次调研挡墙在高度、分阶、倾斜度、构筑材料、缝隙大小和缝隙密度这 6 类的固有属性上按不同的分类标准做出 4 类划分, 划分的具体标准见表 2, 再根据对不同挡墙的上木本植物在物种丰富度、Shannon-Wiener 多样性的具体数据在结合挡墙本身的固有属性后进行分析, 得到图 3 结果. 结果表明木本植物的物种丰富度、Shannon-Wiener 多样性指数在不同空间位置上挡墙的高度、分阶、倾斜度、缝隙大小差异有统计学意义($p < 0.05$), 并随着分类级别的增大物种多样性的指数也随之增高(图 3d 和图 3f); 从挡墙空间位置来看, 相同挡墙属性分类级别中 SW 类挡墙物种多样性指数明显都高于 CW 类挡墙, 再次印证了公园及森林用地即城市植物种子库的存在对其周边 1 km 内挡墙上木本植物多样性的增大有着积极影响的作用. 方差分析(图 3d 和图 3f)发现, 挡墙在构筑材料分类级别上木本植物物种丰富度、Shannon-Wiener 多样性指数数值变化不大, 差异无统计学意义($p > 0.05$), 而挡墙缝隙密度与木本植物物种丰富度差异有统计学意义($p < 0.05$), 但分布无规律.



大写字母不同表示在 $p < 0.05$ 水平差异具有统计学意义。

图 3 挡墙属性类型及对应不同空间位置内木本植物物种多样性方差分析

3 讨论

3.1 重庆市主城区挡墙上植物组成特点

挡墙是人类对自然干扰后留下的人工产物,为城市植物的生长提供了特殊的生长空间,相比于城市地面而言,受到的干扰较少,是城市部分植物生长的“避难所”^[23]。由于挡墙对植物而言生长环境特殊,土壤及水分等营养条件相对贫瘠,不同挡墙上植物生长状况不一。从木本植物组成来看,挡墙上乔木分布多于灌木,可见乔木在挡墙上有限的孔洞和缝隙中能更好生长,并迅速向四周扎根以汲取养分和稳定植株^[16]。调研发现挡墙上乔木以桑科植物为主,这个结果与重庆市地面植物分布相似,桑科的构树、黄葛树、桑树以及小叶榕,这些广泛分布于挡墙上的树种在地面也同样分布较多。本次调研结果中,挡墙上分布最多的植物为桑科的构树,占总乔木树种的37.11%,这一点与南京古城墙上维管束植物的调研结果类似^[12]。李新华等研究^[24]发现,在南京调查的鸟类粪便样本中,构树种子的出现频率较高,侧面说明鸟类对构树种子的传播十分频繁,因此,鸟类食果类植物对构树在挡墙上的广泛定居作出了很大贡献,但至今在重庆挡墙上植物的传播机制的研究中^[23],尚无根据挡墙上植物本身特性对植物最初的传播机制做出一定的划分的研究,同时也无基础调研植物的传播最根本的机制内容以及传播的路径的覆盖范围,这些都值得进一步结合挡墙的环境因子做更加细致的研究。在视觉效果方面,黄葛树作为挡墙上分布数量第2的特色乔木树种,在城市立面上随处可见。同时黄葛树是重庆的市树,在重庆有年代悠久的栽培历史。黄葛树根系较为发达,在城市挡墙面上形成连根,根系视觉面较大,并且其根能穿过墙体缝隙深入到墙体内部并延伸到地面土壤,以获得大量养分、水分,从而很好地适应墙体特殊的生境,成为重庆主城区挡墙植物的主要优势种,这与香港石墙生境研究结果类似^[25],其中本次调研中记录最大黄葛树树干直径为80 cm,位于李子坝森林公园附近,该挡墙建于1931年,位于上清寺嘉陵东村,挡墙从外观上大部分遍布着桑科植物的树根。一方面,桑科植物中挡墙分布较多的黄葛树、构树、小叶榕都为重庆本地的乡土植物,地面分布也都较为丰富,地面植物种子的散布为挡墙桑科植物的生存增加了存活几率;另一方面,桑科植物中榕属植物的根系生长迅速、穿透力强,形成的板状根分布于挡墙表面,即树的基部斜向延伸入土形如板墙的翼状结构^[26],这些根系在渝中区中山路呈现出重庆的特有的挡墙视觉外观增添了城市的历史韵味,但是挡墙的植物根系过于发达对挡墙也存在着一定的破坏性。挡墙植物在墙体上生长的是一个长期动态的过程,本研究仅探究了木本植物群落在挡墙上的分布关系,并没涉及其他植物(包括草本、藤本及蕨类)与木本植物的分布是否存在着联系,但北美学者的研究表明^[8],当植物在墙体上存活且生根后,植物根系会穿透墙壁,破坏墙体本身的材料并增加了基质的量,即改变墙体本身的固有属性(挡墙的湿度,挡墙的内在结构性质),使得墙体更适合植物的生长。

3.2 重庆主城区挡墙植物与用地类型的关系

挡墙上乡土植物分布比例较高,占总分布树种的72.3%,且SW类挡墙乡土植物占比明显高于CW类挡墙,也说明了城市挡墙在不同的空间位置上植物分布有着明显的差异,但本研究也仅在空间位置上做了一个较为笼统的分类,即根据周边1 km服务半径内不同用地关系来做划分,实际上SW类挡墙周边的公园或森林用地即是一个城市内的乡土植物的种子库,种子库内种子的传播途径通常为鸟类、风等外界媒介传播,这些种子的存活都与传播途径的半径大小有关,后期可更加详细地研究植物种子的传播路径和种子存活概率,即公园和森林用地内植物类型与挡墙上植物的相同植物类型与距离关系,这对城市内挡墙上植物的生长种类的评估及预测有着非常重要的作用。

3.3 重庆主城区挡墙固有属性值的影响因素

挡墙的固有属性是决定每个挡墙外观及内部结构组成的一个特有指标。本研究把每个样本内挡墙固有属性——高度、分阶、倾斜度、构筑材料、缝隙大小和缝隙密度作了4个分类等级,对每个等级的固有属性的类型在不同空间位置的木本植物物种多样性作了平均值方差分析。结果表明挡墙高度、分阶、倾斜度、

挡墙缝隙大小及密度的等级,与木本植物的物种多样性指数成正比关系;同一固有属性等级中 SW 类挡墙物种多样性都高于 CW 类挡墙,这与前面分析的“种子库”种子的传播有关。

墙体高度是一个很直观的外在指标因子,Jim 等^[27]的研究表明:只有高于 2 m,宽于 5 m 的墙体才能满足乔木的生长,且不同高度墙体上植物的种类和多样性都不相同,对木本植物而言,它们的生长需要阳光,挡墙的高度越高受光面越大,植物显然分布越多,种类更为丰富。挡墙的分阶及缝隙大小都与挡墙本身基质裸露面有关,植物的根系生长需要最初的空间,挡墙分阶越多或缝隙面积越大,为植物提供的生存空间越大,且这些挡墙体裸露面能为植物提供更直接的外界营养物质(水,鸟类的粪便等),更利于植物的生长。墙体倾斜度与植物根系最初的稳固性有一定的关系,在挡墙植物种子存活初期,很容易因为外界雨水冲刷而死亡,显然墙体倾斜度的增大能避免雨水的冲刷对植物幼苗的破坏程度,加大植物生存的几率。本研究表明挡墙的材料和密度与木本植物物种多样性没有明显的关联。现场调研还发现,虽然人工化程度较小的毛石挡墙在材质和砌筑方式上更为自然化,为立面挡墙增加更多的孔隙和湿度,能提高立面植物生存的几率,但是现阶段现代化城市人工砌筑的混凝土及钢筋混凝土挡墙同样能为墙体留有更多的孔隙(比如格构挡墙),此外,挂网、外挂陶土盆及挡墙分阶的形式也能为植物提供更多的生存条件和空间。

3.4 挡墙与植物的关系

挡墙为植物提供生存的空间和条件,植物在墙体上的生长同时也改变着墙体的基质甚至损坏墙体,存在着一定的变化关系,是一个相对的关系量。对这个量的控制,需要对墙体属性及植物生长关系进行更加深入的研究,比如结合不同结构性质的挡墙,分析城市挡墙优势种群根系的年生长量、挡墙植物群落的演替,以及木本植物与其他植物生长的根茎叶的生长量及相互关系等。现对城市内的挡墙树种的管理较为粗犷,木本植物管理多为直接砍伐的方式,比如黄葛树及构树留根砍枝较为常见。但是这些方式是否合理,这些管理对城市挡墙植物的多样性有何影响,能否有更优的方式处理挡墙的管理问题,需要更加细致的研究。如何找到更加科学且便捷的方式来管理城市挡墙,如何选择出稳定生长、美观、安全且代表重庆特有植物特色的挡墙乔灌草群落,是接下来对城市立面墙体植物群落研究的重点。

4 结论

本研究以重庆主城九区 314 个挡墙样方为对象,调研挡墙上植物的组成及分布格局特征。结果表明,挡墙上木本植物以桑科分布为主,构树和黄葛树是挡墙上优势乔木树种;挡墙上木本植物种群中乡土植物占比 77.3%;挡墙固有属性值中高度、分阶、倾斜度、缝隙大小和缝隙密度分类等级与挡墙上木本植物的物种多样性指数呈正比关系,且同属性等级划分上公园及森林用地周边挡墙比居住及建设用地周边挡墙木本植物物种多样性更高。

城市立面挡墙植物是山地城市立体景观未来持续发展的基础,现存稳定的挡墙群落也是立体植物配置应用的模板。形成具有特色并维护成本低多样性和稳定性高的立体景观是未来重庆立体绿化研究的重点。

参考文献:

- [1] ANGOLD P G, SADLER J P, HILL M O, et al. Biodiversity in Urban Habitat Patches [J]. *Science of the Total Environment*, 2006, 360(1-3): 196-204.
- [2] GODDARD M A, DOUGILL A J, BENTON T G. Scaling up from Gardens: Biodiversity Conservation in Urban Environments [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2010, 25(2): 90-98.
- [3] 李婷. 重庆都市区石墙植物组成特征及成因 [D]. 重庆: 重庆大学, 2018.
- [4] DE NEEF D, STEWART G H, MEURK C D. Urban Biotopes of Aotearoa New Zealand (URBANZ) (III): Spontaneous Urban Wall Vegetation in Christchurch and Dunedin [J]. *Phyton - Annales Rei Botanicae*, 2008, 48(1): 133-154.
- [5] POCOCK C. An Investigation into Plant Species Composition on the Roman Wall in Silchester, Hampshire, UK [J].

- Geoverse, 2009, 18: 1-18.
- [6] LÁŇÍKOVÁ D, LOSOSOVÁ Z. Rocks and Walls: Natural Versus Secondary Habitats [J]. *Folia Geobotanica*, 2009, 44(3): 263-280.
- [7] LISCI M, MONTE M, PACINI E. Lichens and Higher Plants on Stone: a Review [J]. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2003, 51(1): 1-17.
- [8] JIM C Y. Urban Biogeographical Analysis of Spontaneous Tree Growth on Stone Retaining Walls [J]. *Physical Geography*, 2008, 29(4): 351-373.
- [9] JIM C Y. Drivers for Colonization and Sustainable Management of Tree-Dominated Stonewall Ecosystems [J]. *Ecological Engineering*, 2013, 57: 324-335.
- [10] JIM C Y. Epiphytic Strangler Trees Colonizing Extreme Habitats of Building Envelopes in Hong Kong [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2018, 178: 281-291.
- [11] 周存宇, 李妮, 杨朝东. 荆州古城墙南北段植物群落物种多样性比较 [J]. *湖北民族学院学报(自然科学版)*, 2008, 26(2): 209-211.
- [12] 王燕. 南京明城墙垂直墙体上维管植物多样性及传播机制研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [13] 王笑梅, 秦晓颖, 师昊, 等. 南京明城墙植被考察暨城墙本体生态评估 [J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(32): 15761-15763.
- [14] 陈春谛. 被遗忘的城市“生境”: 重庆市墙体自生植物调查分析 [J]. *生态学报*, 2020, 40(2): 473-483.
- [15] 彭先涛. 重庆主城区陡坡植物区系及其群落特点研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [16] LI X H, YIN X M, WANG Y. Diversity and Ecology of Vascular Plants Established on the Extant World-Longest Ancient City Wall of Nanjing, China [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2016, 18: 41-52.
- [17] 吴玲. 环杭州湾区域墙体植物材料的调查研究 [D]. 杭州: 浙江农林大学, 2014.
- [18] 李婷, 黄力, 钱深华, 等. 重庆主城区石墙景观植物组成特征及传播机制 [J]. *西部人居环境学刊*, 2018, 33(4): 67-72.
- [19] 中国科学院植物研究所数字植物项目组. 中国植物志 [EB/OL]. (2018-05-06). <http://www.iplant.cn/frps>.
- [20] 杨昌煦, 熊济华, 钟世理. 重庆维管植物检索表 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2009.
- [21] 王崑, 罗垚, 李萍, 等. 城市化背景下滨海城市绿地木本植物物种多样性特征研究——以东营市建成区为例 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2019, 41(7): 53-61.
- [22] 周阳. 景观生态学指导下植物层次化分布格局设计 [J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2021, 46(1): 90-98.
- [23] HUANG L, QIAN S H, LI T, et al. Masonry Walls as Sieve of Urban Plant Assemblages and Refugia of Native Species in Chongqing, China [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2019, 191: 103620.
- [24] 李新华, 尹晓明, 贺善安. 南京中山植物园秋冬季鸟类对植物种子的传播作用 [J]. *生物多样性*, 2001, 9(1): 68-72.
- [25] JIM C Y. Urban Biogeographical Analysis of Spontaneous Tree Growth on Stone Retaining Walls [J]. *Physical Geography*, 2008, 29(4): 351-373.
- [26] 崔卓梦, 葛萌, 甄学宁. 三种榕树的板根生长特征及其在城市绿化的应用研究 [J]. *广东林业科技*, 2015, 31(2): 89-95.
- [27] JIM C Y, CHEN W Y. Habitat Effect on Vegetation Ecology and Occurrence on Urban Masonry Walls [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2010, 9(3): 169-178.