

DOI: 10.5846/stxb201804130848

陈春谔.被遗忘的城市“生境”:重庆市墙体自生植物调查分析.生态学报, 2020, 40(2): 473-483.

Chen C D. Forgotten urban habitats: Analysis of spontaneous vegetation on the urban walls of Chongqing City. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(2): 473-483.

被遗忘的城市“生境”:重庆市墙体自生植物调查分析

陈春谔^{1,2,*}

¹ 同济大学建筑与城市规划学院, 上海 200092

² 中国科学院重庆绿色智能技术研究院, 重庆 400714

摘要:被称为“钢筋水泥森林”的现代城市存在大量的墙体,包括建筑外墙、独立围墙、挡土墙等类型。通常情况下,这些完全硬质的界面不会被认作为生境或栖息地。以典型山城重庆市为例,探索城区范围内墙体成为城市生境的可能性。于 2017 年 9—11 月对重庆主城区共 120 块墙,包含 359 个 4×1 m 小样方,调查墙面上自生植物的物种、覆盖度等信息;记录墙体 4 类特征共 22 个因子作为生境影响因素;并采用方差分解和典范对应分析(CCA)排序法研究影响因素与自生植物组成和分布的关系。结果表明:(1)市区墙境自生植物丰富,共记录到 70 科 149 属 193 种,以菊科植物种类最丰富,其次是禾本科和荨麻科。优势种包括蜈蚣草(蕨类)、井栏边草(蕨类)、构树幼苗(乔木)、贯众(蕨类)和黄葛树幼苗(乔木)。相比平面环境的自生植物以旱生为主,墙体上喜阴湿的蕨类植物占明显优势,反映出墙体作为生境的独特性,可以作为城市生态空间的有效补充。(2)墙体 4 类特征共解释自生植物组成与分布变化的 14.4%,植物传播、定植与构建是一个综合复杂的过程,受各种随机因素影响;此外,本文所选因素也未考虑更大尺度的周边景观等因素。所有因子中,墙体高度、藤蔓覆盖度和墙体遮阴率是影响植物变化的主要因子,且与 CCA 排序第 1 轴相关性最强。这些因子均与墙体自身湿度有关,表明水分在决定墙面植物组成与分布起主要作用,植物在墙面沿水分呈梯度分布。讨论了本研究对现代城镇绿化的启示,从自然做功的角度提升城市生态系统服务,为城市生态设计与低成本管理提供科学依据。

关键词:墙境;自生植物;城市生境;城市生态设计

Forgotten urban habitats: Analysis of spontaneous vegetation on the urban walls of Chongqing City

CHEN Chundi^{1,2,*}

¹ College of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai 200092, China

² Chongqing Institute of Green and Intelligent Technology, Chinese Academy of Sciences, Chongqing 400714, China

Abstract: Cities are known as “concrete forests,” and they have substantial walls of many types, including buildings, free-standing (boundary), and retaining (those used for reinforcing slopes or to confine river channels). Generally, these completely concrete walls are not considered as habitats. Using a typical mountainous city, Chongqing, as the case study, we aimed at exploring the possibility that urban walls can act as habitats in cities. From September to November 2017, we surveyed 120 walls, across 359 sampling quadrates, to obtain spontaneous vegetation data and associated wall characteristics. The effects of wall characteristics on the variation of spontaneous vegetation was calculated using variance partitioning and canonical correspondence analysis (CCA) ordination method. Vascular plants totaled 193 species in 149 genera from 70 families. The Compositae family had the greatest number of species and was followed by Gramineae and Urticaceae. The dominant species included *Pteris vittata*, *Pteris multifida*, seedlings of *Broussonetia papyrifera*, *Cyrtomium fortune*, and seedlings of *Ficus virens*. They occurred in more than 40% of all quadrates. The wall vegetation showed a

基金项目:国家重点研发计划课题(2017YFC0505705);国家自然科学基金项目(51408584)

收稿日期:2018-04-13; **网络出版日期:**2019-11-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chundichen@tongji.edu.cn

diverse range of plant life-forms (i.e., woody, fern, and vine). Compared to xerophytes that dominate planar environments, more fern species inhabited the walls. This finding is consistent with that of other studies. This reflects the uniqueness of walls as habitats, and urban walls can act as a valuable complement to urban ecological spaces. The explanatory power of all four wall characteristics was low (14.4%). The spontaneous species assemblage was a complex process, and it was influenced by environmental stochasticity. Additionally, the unexplained portion may come from the influence of the large-scale landscape context. Among all the variables, wall height, vine coverage, and wall shade were the most important factors that influenced vegetation composition and distribution, and they had the highest correlation with the first constrained axis of the CCA ordination. All variables were relevant to wall humidity. This indicates that moisture plays a decisive role in structuring vegetation on urban walls. Lastly, we discussed the implications of this study on greening and landscaping contemporary cities. Urban biodiversity improvement can be done by “allowing nature to work”. Our study also provides scientific support for urban ecological design and low-cost management.

Key Words: wallscape; spontaneous vegetation; urban habitats; urban ecological design

到 2050 年全球城市化率将达到 70%, 将有 60 多亿人口生活在城市环境中^[1]。作为人为干扰最强烈的生态系统, 虽然城市面积仅占全球陆地面积的 2%—4%^[2-3] 却承载着 70%—90% 的人类活动^[4], 是物质、能量流动和消耗的密集区; 也是各类生态环境问题集中区。城市各类环境污染、不透水表面的扩张、自然生境消失, 影响着社区、区域, 甚至全球尺度上的生态系统。而另一方面, 城市土地资源紧张且存在着诸多利用方式间的需求与矛盾。在现有格局下, 通过转变已硬质化的土地来新增城市生境, 代价昂贵, 可行性低。

然而城市是一个立体空间, 包含着丰富的三维信息以及巨大的空间利用潜力, 那么是否能够成为城市潜在生境呢? 当前国内学术界仅有的研究主要涉及屋顶绿化和墙面垂直绿化, 但基本还是与传统城市园林绿化相同的思路; 在不了解自然生境中植物物种的组成、分布、群落构建方式等信息, 盲目地按照人类审美意识, 以装饰为导向, 不仅需要消耗大量资源(水、能源等), 造成生态系统服务损害(Ecosystem Disservice), 例如外来物种入侵^[5]、生物多样性丧失、景观单一等问题, 反而加剧了城市在全球生态系统中的不利影响。

与大部分研究仅将该类硬质化表面作为容器不同, 发达国家以及我国一些地区的城市生态学家、景观设计师也开始关注该类型空间作为生境场所的可能性^[6-9]; 即作为基质能够保育未经人工播种、栽培等措施而自发传播、定居、生长, 甚至形成群落和小型生态系统。本研究采用“自生植物(spontaneous species)”来指代该类植物。目前研究局限于古长城、历史遗迹、名胜古迹等特殊墙体, 如英国和法国古老教堂的外墙^[7]、香港老城的石墙生境^[10]、南京明城墙^[9]以及荆州古城墙^[11]的研究, 却缺少城市中数量众多的普通墙体作为生境的研究。

20 世纪 70 年代的研究认为, 由于古迹墙体材料和结构类似于岩石, 墙体自生植物主要是生长于资源贫瘠的岩石或悬崖生境中的物种^[7]。但这一论点受到新近城市墙体研究的质疑。随着城市快速发展, 近年来的研究表明墙体自生植物不再以岩石种为主, 而转变为与城市公园、废弃地等兼性共生的物种^[12], 可能是由于城市中自然生境不断减少, 使得剩余生境中的繁殖压力增大所导致, 这需要更多的研究来证实。除了植物自身的特性(如繁殖策略、传播方式等), 城市墙体生境能否供自生植物生长取决于多种因素, 例如墙体物理结构、墙面小气候、人类干扰强度等^[7, 13]。重庆是我国乃至世界典型山地人居环境的代表城市之一, 高低错落的地势造就了大量的墙体, 尤其以挡土墙居多, 成为了一道独特的风景线。由此, 本文以重庆市主城区范围内城市墙体为例, 开展墙体自生植物的物种组成、分布格局以及影响因素的分析, 以期增强城市生物多样性, 提高城市生态系统服务为导向的物种筛选与生态设计、城市绿化管理提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

重庆市(105°11' E—110°11' E, 28°10' N—32°13' N), 位于我国西南山区。境内沟壑纵横, 地形复杂, 山

地丘陵面积占 98%,素有“山城”之称(图 1)。市主城区地处西南部长江与嘉陵江两江交汇处,以渝中区所在地渝中半岛为核心,向外辐射囊括了渝北、江北等主城九区,面积 1329 km²,城市人口 800 多万。全境属于亚热带季风性湿润气候,年均气温 18.3℃,年均降水 1129.8 mm。市内地形起伏,高低相间,加之长江、嘉陵江穿插其中,形成了独特的“山-水-城”景观格局。境内植物资源丰富,有维管植物 222 科,1049 属,2310 种,分别占全国维管植物的 51.3%,21.2%和 5.3%,常绿阔叶林是主要的地带性植被类型。主要树种包括石栎(*Lithocarpus glaber*)、黄葛(*Ficus virens*)、北碚榕(*Ficus beipeiensis*)、枫杨(*Pterocarya stenoptera*)、青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、香樟(*Cinnamomum camphora*)等。

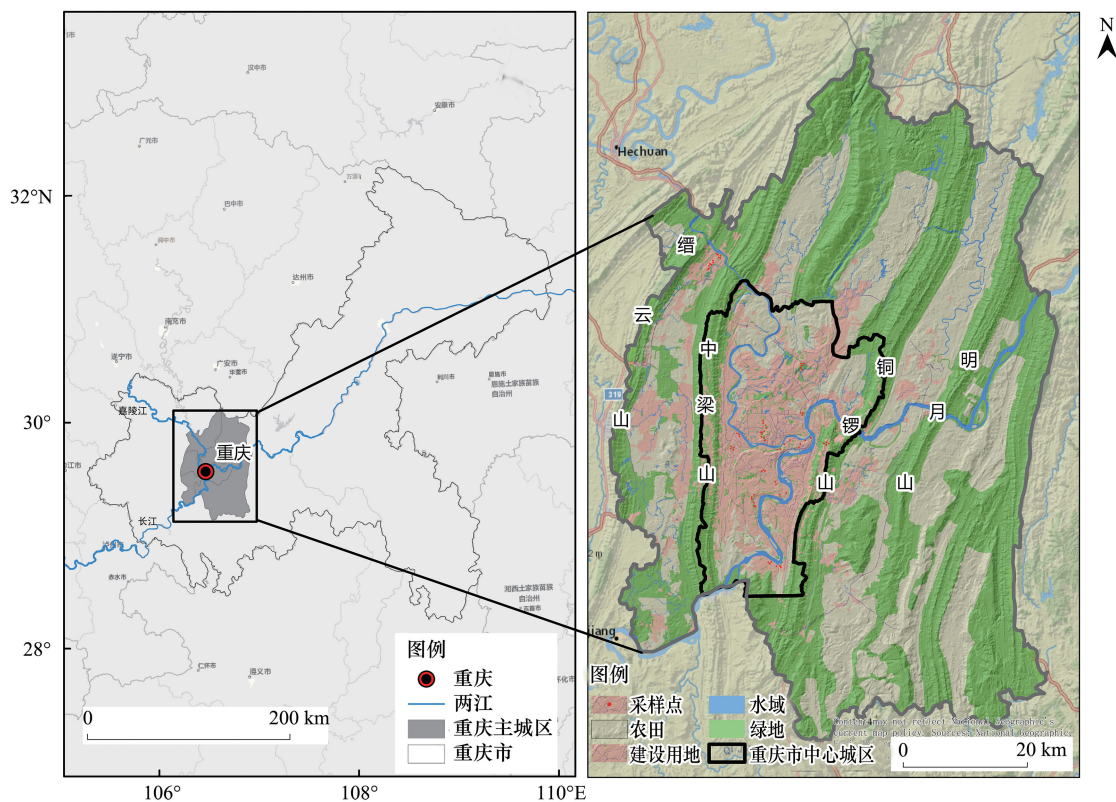


图 1 重庆市地理位置及采样点示意图

Fig.1 The location of the study area and sampling sites

1.2 研究方法

在前期调研的基础上,于 2017 年 9—11 月在重庆主城九区中公园、道路、广场、居住区、废弃地等不同土地利用类型上共设置样地 45 个,每个样地中随机选取 2—4 块墙体,共调查 120 块墙。调查类型为砖、石头、混凝土构造的独立墙、建筑墙以及挡土墙。由于预研发现金属墙与木墙几乎无植物生长,故在调查中排除。除去墙顶以下和墙基以上 10 cm 的墙面周围区(可能存在边缘效应),以每面墙作为一大样方,记录其中的乔木种以及株数和覆盖度;再根据植物分布特征,以 4×1 m(短边与墙高平行)的小样方对灌草层植物进行随机取样,取样量根据墙体尺寸与植物分布的均匀性而定,每面布设 2—4 个小样方,共计 359 个样方,记录物种名和覆盖度。并对出现在墙面但未在样方内的植物种进行记录。

样地调查包括:

(1)物种组成等信息:记录每个样方内的植物种名、覆盖度、高度和长势情况等。植物种名鉴定依据中国植物志^[14]、《四川植物志》^[15]和《重庆维管植物检索表》^[16]。

(2)记录墙体所在的经纬度;测定墙境特征共 22 个墙境因子(表 1)。大部分为现场测量判断,例如墙体

高度、长度、倾斜角、缝隙大小、密度等;墙体年龄通过访问附近居住的老人以及查阅城市规划历史资料;一部分指标进行 1—5 程度打分评估,如墙面风化程度以仅出现裂缝但表面未脱落的定为最轻等级 1;而墙体材料和墙缝粘合材料脱落面积 50%以上的为等级 5。所有程度评估由一名调查员完成,尽量减少误差。

表 1 调查的墙境特征及具体指标

Table 1 Wall attributes and associated indicators

墙境特征 Wall characteristics	具体指标 Indicators
墙体固有属性 Wall intrinsic properties	(1) 墙体高度(2) 墙体长度(3) 墙体倾斜度(4) 墙面颜色(5) 墙面方位(6) 墙体类型(7) 墙体构造材料(8) 墙面贴面程度(9) 墙体风化程度(10) 墙体年龄(11) 墙面粗糙度
墙体外在属性 Wall extrinsic properties	(1) 墙体湿度(2) 墙体遮阴率(3) 藤蔓覆盖度(4) 苔藓/地衣覆盖度
连接缝属性 Wall crack properties	(1) 连接缝材料(2) 连接缝密度(3) 连接缝降解程度(4) 缝隙大小
管理措施 Management	(1) 周围生境粗放管理程度(2) 墙基部硬化程度(3) 人类干扰程度

1.3 数据处理

每面墙内所有小样方的物种覆盖度平均值作为该面墙的植被属性;以 120 面墙的植物信息为基础,构成样方×物种覆盖度矩阵,用于植被-生境关系分析。生境因子矩阵包含墙境特征的 4 大类因素组,共 22 个因子(表 1)。分析之前,所有数据统一对数转换进行标准化。利用 R.2.11 中 vegan 程序包的 varpart 函数进行方差分解,分离 4 类因素组对墙体自生植物分异格局的贡献。对物种数据进行去趋势对应分析(DCA),最大轴的梯度长度为 6.2,大于 3,固选择单峰模型 CCA 对植被-生境因子的关系进一步分析,获得各生境因子对植物格局的影响。DCA 和 CCA 排序由 CANOCO 5.0 完成^[17]。利用前向选择法(Forward Selection)对生境因子进行筛选;因子的显著性通过 999 次蒙特卡罗(Monte Carlo)检验,显著水平设置在 0.05。

2 结果与分析

2.1 城市墙境自生植物物种构成

调查共发现和确认维管植物 70 科 149 属 193 种。其中菊科植物种类最丰富,其次是禾本科和荨麻科植物,分别占本次调查总物种数的 12.4%、5.2%和 5.2%,是墙体环境下的自发植物的优势科。单种属、寡种属数量最多,占总科目的 32%(表 2)。物种出现频率最高的前 10 种是蜈蚣草(*Pteris vittata*, 78.3%)、井栏边草(*Pteris multifida*, 49.3%)、构树(幼苗)(*Broussonetia papyrifera*, 45.4%)、贯众(*Cyrtomium fortune*, 42.1%)、黄葛树(幼苗)(*Ficus virens*, 41.5%)、黄鹌菜(*Youngia japonica*, 30.4%)、华南毛蕨(*Cyclosorus parasiticus*, 22%)、酢浆草(*Oxalis corniculata*, 19.5%)、北京铁角蕨(*Asplenium pekinense*, 18.9%)、葎菜(*Rorippa indica*, 17.3%)等,形成了重庆市立面空间的自然绿化(图 2)。样方的物种丰富度从 1 到 29 种,平均每个样方 7 种植物;而每面墙的物种丰富度差异较大,介于 3—39 种,平均为 13 种。

表 2 墙境自生植物物种组成

Table 2 Species composition of spontaneous vegetation on walls

科名 Family name	属数 No. of genera	种数 No. of species
菊科 Compositae	19	24
禾本科 Gramineae	8	10
荨麻科 Urticaceae	6	10
蔷薇科 Rosaceae	6	6
百合科 Liliaceae	5	6
桑科 Moraceae	3	6
蓼科 Polygonaceae	3	6

续表

科名 Family name	属数 No. of genera	种数 No. of species
苋科 Amaranthaceae、唇形科 Labiatae	3	5
大戟科 Euphorbiaceae	4	4
豆科 Leguminosae	3	3
葡萄科 Vitaceae、鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	3	4
茄科 Solanaceae	2	4
景天科 Crassulaceae	1	4
凤尾蕨科 Pteridaceae	1	3
石竹科 Caryophyllaceae、莎草科 Cyperaceae	3	3
姬蕨科 Dennstaedtiaceae、榆科 Ulmaceae、樟科 Lauraceae、十字花科 Cruciferae	2	3
堇菜科 Violaceae	1	3
中国蕨科 Sinopteridaceae、五加科 Araliaceae、伞形科 Umbelliferae、壳斗科 Fagaceae、天南星科 Araceae、木犀科 Oleaceae、忍冬科 Caprifoliaceae、旋花科 Convolvulaceae、芸香科 Rutaceae、茜草科 Rubiaceae、落葵科 Basellaceae、葫芦科 Cucurbitaceae、锦葵科 Malvaceae、玄参科 Scrophulariaceae	2	2
铁角蕨科 Aspleniaceae、藜科 Chenopodiaceae、车前科 Plantaginaceae、酢浆草科 Oxalidaceae、罂粟科 Papaveraceae、金星蕨科 Thelypteridaceae、卷柏科 Selaginellaceae	1	2
报春花科 Primulaceae、仙人掌科 Cactaceae、八角枫科 Alangiaceae、小檗科 Berberidaceae、岩蕨科 Woodsiaceae、无患子科 Sapindaceae、杜鹃花科 Ericaceae、槲蕨科 Drynariaceae、海金沙科 Lygodiaceae、爵床科 Acanthaceae、石榴科 Punicaceae、紫茉莉科 Nyctaginaceae、紫蕨科 Bignoniaceae、苦木科 Simaroubaceae、蕨科 Pteridiaceae、铁线蕨科 Adiantaceae、陵齿蕨科 Lindsaeaceae、马钱科 Loganiaceae、马齿苋科 Portulacaceae、商陆科 Phytolaccaceae、水龙骨科 Polypodiaceae、虎耳草科 Saxifragaceae、鸢尾科 Iridaceae、鸭跖草科 Commelinaceae	1	1



图2 重庆墙境自生植物 (拍摄:杨阳)

Fig.2 Spontaneous vegetation established on walls of Chongqing city (Photographed by Yang Yang)

2.2 墙境自生植物生活型特征

墙境自生植物生活型丰富,共包含 6 种(表 3),几乎囊括陆生植物常见生活型。以多年生和一、二年生草本植物占绝对优势(70%),分别占统计植物种的 33.7%、26.4%;出乎预期,灌木和乔木也占较大比重(20.7%)。相比其他平面生境的自生植物,很明显墙境中蕨类和藤本植物非常丰富,分别占统计植物种的 12.4%和 6.7%。

表 3 墙境植物生活型
Table 3 Life forms of spontaneous vegetation on walls

生活型 Life forms	物种数 No. of species	比例 Percentage/%
一年生或二年生草本 Annual/biennial herbs	51	26.4
多年生草本 Perennial herbs	65	33.7
灌木 Shrubs	16	8.3
乔木 Arbor	24	12.4
蕨类 Fern	24	12.4
藤本 Vine	13	6.7
合计 Total	193	100

2.3 城市墙体生境特征

本研究共调查 120 块生长自生植物的墙体,绝大部分分布在渝中区、沙坪坝区、巴南区等旧城区;相比而言,渝北区等新区则比较少。因为有植物的墙体大多聚集在公园绿地、居民点和各大高校科研院所,调查中我们也询问过城市园林绿化工人和物业管理者,并未有定期清理墙面的规定。绝大部分墙体受到不同程度的风化,最轻等级占 17.5%;最严重的占 13.3%。所有墙体类型中,挡土墙最多,占全部的 84%,其余为建筑墙和独立墙,数量相当,分别为 10 和 9 块。66%为正方形或长方形石头堆砌的石砌墙,28%为砖墙,水泥墙体仅占 6%。大部分墙的高度在 2 m 以内(占 45%);高于 4 m 以上的墙占 23%,主要有建筑墙和挡土墙组成。仅有 2.5%的墙因为自身方位、环境遮阴和紧邻水源等情况,处于极度潮湿的状态(表面有明显的液态水存在),绝大部分(73%)表现为一般湿润(无液态水,但手触有湿润感)。除了水泥墙面没有粘合材料,绝大部分的石砌墙和砖墙通过石灰水泥灰浆粘合(占 79.2%),而新近的墙体多采用水泥粘合(11.7%),仅有少数墙体砖、石块处于开放状态,无材料粘合。整体来说,重庆市内各种新老建筑并存,墙体特征差异较大,表明墙体作为潜在生境所提供的生存要素也比较丰富多样。

2.4 墙境植物分布的主要影响因素

方差分解的结果表明,4 大类墙境特征因素组共解释其上自生植物组成与空间分布变化的 14.4%,剩下 85.6%属于未解释部分。从各因素组的解释能力可以看出(表 4),墙体固有属性引起的植物组成与分异格局最大(7.1%),其次为连接缝属性、墙体外在属性和管理措施。其中连接缝属性与其他因素组的交互作用最强(0.7%);相比之下,管理措施的影响与其他的交互作用微乎其微。

表 4 生境因素组的解释能力
Table 4 Explanation power of wall characteristics

因素组 Factor groups	总解释量 Explanation/%	纯因素组解释量 Independent effects/%	因素组与其他因素 组交互作用解释量 Joint effects/%
墙体固有属性 Wall intrinsic properties	7.1	6.8	0.3
墙体外在属性 Wall extrinsic properties	2.4	2.2	0.2
连接缝属性 Wall crack properties	3.2	2.5	0.7
管理措施 Management	1.8	0.8	0

所有解释量均通过检验, $P < 0.05$

Fig.3 CCA ordination for spontaneous vegetation on walls of Chongqing City

<http://www.ecologica.cn>

在所有因子中,墙体高度、藤蔓覆盖度和墙体遮阴率 3 个因子对植物分异格局的解释量最大,分别为 4.0%、3.8%、3.5%(表 5)。而与管理措施相关的因子解释量均较小,表明人类干扰在墙体自生植物中不起主要影响。

表 5 墙境因子对墙体自生植物变化的解释能力

Table 5 Explanation power of 13 wall variables on variation of spontaneous vegetation

因子 Variables	解释量 Explanation/%	贡献率 Contribution/%	P	因子 Factor	解释量 Explanation/%	贡献率 Contribution/%	P
Hi	4.0	14.2	0.002	CaMa	1.5	5.2	0.008
Wicov	3.8	13.4	0.002	Di	1.4	5.0	0.004
Sh	3.5	12.4	0.002	Man	1.3	4.8	0.004
Ma	2.4	8.6	0.004	Co	1.4	5.1	0.004
Sl	2.3	8.1	0.002	We	1.9	6.8	0.002
Casi	1.8	6.6	0.006	Caden	1.1	4.0	0.024
Hu	1.6	5.7	0.002				

Hi: 墙体高度, Height; Wicov: 藤蔓覆盖度, Vine coverage; Sh: 墙体遮阴率, Shade; Ma: 墙体构造材料, Material; Sl: 墙体倾斜, Slop; Casi: 缝隙大小, Crack size; Hu: 墙体湿度, Humidity; CaMa: 连接缝材料, Crack material; Di: 人类干扰程度, Disturbance degree; Man: 粗放管理程度, Management; Co: 墙面颜色, Color; We: 墙体风化程度, Weathering degree; Caden: 连接缝密度, Crack density

3 讨论

3.1 城市墙境自生植物的组成特征

异质性是自然界普遍存在的现象,即使是完全硬质化、通常认为不具生命特征的城市墙体,无论在基质材料(石块、砖块等)、微地形(砖块大小、缝隙密度等)、面积,以及所处的周围环境,均表现很强的异质性,具有生境潜力,可作为城市生态空间的有效补充,丰富城市生物多样性。我们以山城——重庆市为例,对墙面自生植物的研究支持这一结论。相比城市二维平面用地上的自生植物或野生植物,如宁波市自生植物 48 科 101 属 129 种^[18];上海中心城区的 32 科 89 属 107 种^[19];西安市区 37 科 75 属 95 种^[20];北京奥林匹克森林公园 32 科 98 属 128 种^[21],作为下垫面条件更为苛刻的墙体支持自生植物共 70 科 149 属 193 种。同样有文献报道南京古城墙拥有 70 科 125 属 159 种自生植物^[9];而香港旧石墙保有的自生树木约 17 科 28 种^[22]。可能的原因是,上述城市地处亚热带湿润气候区,本身的生物资源就非常丰富。此外重要的一点是,当前城市园林绿化语境下,自生植物通常被认作有害杂草,而城市绿地进行高频率的维护管理工作,采用除草剂或者人工去除自生植物。相比之下,城市墙体所受到的干扰少一些,尤其在水、热等资源丰盈的南方城市,立面空间的生物多样性可能并不逊色于平面空间。总体来看,重庆市墙境自生植物以菊科、禾本科和荨麻科为物种数最多的三大优势科,与很多城市自生植物研究相似,同样以菊科和禾本科为主。但是与平面生境不同是,墙体上喜阴喜湿的蕨类植物,例如鳞毛蕨科、凤尾蕨科、姬蕨科、中国蕨科、铁角蕨科、蕨科、铁线蕨科、陵齿蕨科占有很大比例,这一点也得到南京古石墙研究的印证^[9];反映出墙体作为生境的独特性。

优势种来看,整个墙境广泛分布的、出现频率 40% 以上的物种包括蜈蚣草(78.3%)、井栏边草(49.3%)、构树(45.4%)、贯众(42.1%)、黄葛树(41.5%),很明显蕨类植物占优势。即使与相近纬度和气候条件的城市平面生境上的优势物种组成也不尽相同,例如宁波城区以升马唐(*Digitaria sanguinalis*)、酢浆草(*Oxalis corniculata*),铁苋菜(*Acalypha australis*),狗牙根(*Cynodon dactylon*),喜旱莲子草(*Alternanthera philoxeroides*),小飞蓬(*Conyza canadensis*)为优势物种^[18];杭州城区以构树(*Broussonetia papyrifera*)、栾树(*Koelreuteria paniculata*)、枫杨(*Pterocarya stenoptera*),麦冬(*Ophiopogon japonicus*)、葎草(*Humulus scandens*)、常春藤(*Hedera nepalensis*)为出现频率最高的物种^[23]。可以看出,平面环境下的自生植物以旱生为主,且有些具有入侵特性(如葎草),如果没有人类持续管理,在平面生境各种资源相对丰富的条件下,很容易形成绝对优势种群,加速其他物种的灭绝,反而会破坏城市生物多样性。

本文的发现与同样是亚热带温暖湿润气候的珠江三角洲墙体优势物种高度相似,共同的优势种包括蜈蚣草、井栏边草和构树^[24]。与相近纬度的南京古石墙优势物种相似,共同的优势物种包括构树、井栏边草和贯众。同样,构树也是香港墙境乔木树种的优势种。虽然气候等诸多环境因素会影响城市墙境的物种组成,但类似于平面生境,我们猜测也有一些物种因其自身的传播、繁殖等性状的适应性极强,而会广泛分布全国墙境。当然这一猜测还需要更多不同气候、环境背景下,城市墙境自生植物功能性状的解析来支持。

但就所有物种来说,重庆墙体与南京石墙上植物的相似程度不高,少于 25%。这可能与本地环境下的“种子库”有很大关系。例如,黄葛树是重庆市市树,在城区各类型绿地广泛栽培。该树属于桑科榕属,生命力极强,依靠繁殖体如枝条即可传播繁殖,且种子是浆果类,鸟类等小型动物喜食继而通过排泄起到传播的作用。在重庆湿润气候下,在贫瘠的墙体即可定居且成为优势物种。而该物种在同纬度的南京、荆州的研究中则未见报道。同样,蜈蚣草是重庆园林绿化常见蕨类植物,本地种子库丰富,依靠分株或者孢子粉繁殖,很容易从城市栽培环境“逃逸”进入立面空间,也是“溢出效应”(spillover)的体现。这一发现与其他研究类似^[25],墙体一般与周边环境有相似的植物种类。该结论也与“城市悬崖”假设(Urban Cliff Hypothesis)相悖。该假设认为城市墙体环境与自然界中的悬崖岩石类似,因此保育特殊的岩石种^[26]。然而,本研究的结果更倾向于物种库的集团效应(mass effect),即由于物种多度差异(保育丰富物种的城市各类型园林绿地 vs 裸露“贫瘠”的墙面环境)所引起的物种从“源”(平面生境)扩散到“汇”(立面墙体)。

3.2 墙境自生植物的影响因素

墙体作为潜在生境也取决于城市墙体自身与周边的环境特征。本研究所选取的 4 大类特征共计 22 个因子对墙境自生植物组成与分布变化的总解释量不高。植物传播、定居与群落构建是一个综合复杂的过程;一方面是环境筛选作用,另一方面也受物种自身和各种随机过程的影响。其次,尽管我们的研究选取了涉及墙体的众多特征,但还局限于本地小尺度生境的影响因素,没有考虑更大尺度,例如周边景观的潜在影响因素。已有研究指出墙体周围若存在生物多样性保育良好的公园绿地、自然保护地等,可以为墙体持续不断地提供“种子源”,进而影响其上植物的组成和结构^[9]。因此,在后续的研究中加入墙体所在地周边景观因素可能提高影响因素的解释量,更好地描述墙体自生植物分异格局。

4 类特征中墙体固有属性对植物组成与分布的解释量最大,连接缝属性和墙体外在属性次之,管理措施最小,符合预期。其中,墙体高度、藤蔓覆盖度和墙体遮阴率是植物变化的主要影响因子。墙体高度是一个非常直观的因子,较符合经验观察。由于山城环境特殊,用地紧张,所以楼房密度普遍比平原城市高,无论何种朝向,低矮的墙均不易受阳光照射,在阴湿的环境下墙面植物更茂密。而越往高墙处,遮阴效果越差,并且可能处于风口,更进一步阻止了植物的定居。这点类似孤立的古城墙研究结论,即阴面的墙体植物比阳面保育有更多样的自生植物^[11]。城市墙体所处的特殊环境也解释了为何墙面方位对自生植物没有显著影响,这一点与香港城墙上的木本植物研究结论类似^[22]。

藤蔓覆盖度和墙体遮阴率与表面湿度有直接关系。降雨是直接水源,是植物生长所需。但是对于墙面自生植物,据我们观察,更重要的是充分利用空气中和墙体的“湿气”。亚热带城市,空气湿度大,重庆年平均相对湿度 70%—80%,在全国属于高湿区,这使得墙体植物能够从空气中获得足够水分;而重庆夏季炎热,太阳辐射强度大,有中国“四大火炉”之称。尤其在近些年全球气候变化,极端气温频发的背景下,营造阴湿环境是植物繁殖体能够定居于墙体环境的关键环节。墙境是一类非常特殊的生境,植物所需的营养物质几乎均来自于外界,因此受外界环境干扰大,具有很大的偶然性;相比平面空间,墙上自生植物组成与分布可能有高度不确定性和更高的周转速率,相应的影响因素也会不同,这有待进一步长时间且不同季节追踪研究。

3.3 城市园林绿化启示

随着国内对城市生态的重视,越来越多的设计师认识到“野草之美”^[27]。而城市大量存在立面空间,墙体提供丰富且具有较高观赏价值的本土野生植物,例如多样的蕨类、何首乌、鸡矢藤等可用于观叶,垂穗商陆可观果,忍冬可观花等,以及一些颇具野趣观赏价值的植物,如狗尾草、蒿、夏至草、风轮菜等。近些年,欧美国

家对城市绿化墙体的研究逐步转入“活墙(living wall)”^[28]。相比传统的栽培攀援植物为绿墙,活墙更强调应用本土植物,且物种丰富多样形成群落,并以此为基础,吸引鸟类、蝴蝶、甲虫等小型动物,进而形成微型生态系统,无论是对建筑体的节能减排^[29],还是对整个城市保育生物多样性、减缓热岛效应等都具有重要作用。而墙境自生植物物种库能够为城市其他竖向类型的野趣生境(例如边坡、建筑阳台、立交桥、立柱等)的营建筛选适宜植物。

在一些气候适宜的城市,园林绿化管理者应转变视角,不是所有的非栽培植物需要一律铲除。当然,有一些乔木类植物因为自重较大且根深叶茂,会损坏墙体^[30];而一些植物具入侵特性。因此应结合植物种类(例如不同生活型、乡土或入侵植物等不同来源)制定有针对性的管理措施,给予乡土野生植物适宜的生存空间,允许“自然做功”,充分利用乡土植物的“自发性”营建低维护景观,以最小的物质能量等资源消耗成本,提升城市生态系统服务。

4 结论

我国自古便有筑墙习惯,大到万里长城、各类型城邦的围墙,小到家家户户的院墙,已有几千年的历史。即使到今天,除了建筑物的墙体,各类型的独立围墙也非常多,包括企事业单位、工厂、学校,各楼盘小区等,依旧担负着划分界限和安全的作用。不断增加的竖向空间也为城市园林绿化开拓了新空间。本文以典型山城代表——重庆市为例,探索了城市普通墙体作为生境的潜力。研究发现自生维管植物 70 科 149 属 193 种,并不逊色于平面城市绿地所保育的自生植物,很多乡土植物具有较高的生态系统服务,例如本文调查的早熟禾(*Poa annua*)、地果(*Ficus tikoua*)等为鸟类等小型动物提供食物来源、迁徙途中的跳脚石,进而提升城市生物多样性。我们的调研中也发现有大量植物覆盖的墙体出现鸟类、蝴蝶、甲壳虫以及一些软体无脊椎小动物。对这些非传统生境及其自发组建的“生态系统”需要不同季节、不同地域、气候、环境的更多研究来支撑,以启发城市生态设计,寻求可持续、多样化、低成本城市景观的实现途径。

致谢:西南大学硕士研究生:杨阳、何云云、曾思源、陈祖培等帮助调研,西南大学园艺园林学院王海洋和刘元平教授给予支持,特此致谢。

参考文献(References):

- [1] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World urbanization prospects: the 2014 revision, highlights. (2014-07-01). <https://esa.un.org/unpd/wup/publications/files/wup2014-highlights.pdf>.
- [2] Potere D, Schneider A, Schlomo A, Civco D L. Mapping urban areas on a global scale; which of the eight maps now available is more accurate? *International Journal of Remote Sensing*, 2009, 30(24): 6531-6558.
- [3] Schneider A, Friedl M A, Potere D. A new map of global urban extent from MODIS satellite data. *Environmental Research Letters*, 2009, 4(4): 044003.
- [4] Schneider A, Friedl M A, Potere D. Mapping global urban areas using Modis 500-m data: new methods and datasets based on ‘urban ecoregions’. *Remote Sensing of Environment*, 2010, 114(8): 1733-1746.
- [5] Chen C D, Wu S J, Meurk C D, Ma M H, Zhao J J, Lv M Q, Tong X X. Effects of local and landscape factors on exotic vegetation in the riparian zone of a regulated river: implications for reservoir conservation. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 157: 45-55.
- [6] Collins R, Schaafsma M, Hudson M D. The value of green walls to urban biodiversity. *Land Use Policy*, 2017, 64: 114-123.
- [7] Francis R A. Wall ecology: a frontier for urban biodiversity and ecological engineering. *Progress in Physical Geography*, 2011, 35(1): 43-63.
- [8] Lundholm J T, Richardson P J. Habitat analogues for reconciliation ecology in urban and industrial environments. *Journal of Applied Ecology*, 2010, 47(5): 966-975.
- [9] 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. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2016, 18: 41-52.
- [10] Jim C Y. Old stone walls as an ecological habitat for urban trees in Hong Kong. *Landscape and Urban Planning*, 1998, 42(1): 29-43.
- [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. *湖北民族学院学报: 自然科学版*, 2008, 26(2): 209-211.

- [12] Francis R A, Hoggart S P G. Urban river wall habitat and vegetation: observations from the River Thames through central London. *Urban Ecosystems*, 2009, 12(4): 465-485.
- [13] Jim C Y. Urban biogeographical analysis of spontaneous tree growth on stone retaining walls. *Physical Geography*, 2008, 29(4): 351-373.
- [14] 中国科学院植物研究所数字植物项目组. 《中国植物志》中文名索引. (2018-05-06). <http://frps.eflora.cn/name/a>.
- [15] 《四川植物志》编辑委员会. 四川植物志. 成都: 四川科学技术出版社, 2012.
- [16] 杨昌煦, 熊济华, 钟世理, 王海洋, 李先源. 重庆维管植物检索表. 成都: 四川科学技术出版社, 2009.
- [17] Ter Braak C J F, Smilauer P. Canoco Reference Manual and User's Guide; Software for Ordination, Version 5.0. Ithaca USA: Microcomputer Power Ithaca, 2012.
- [18] 赵娟娟, 孙小梅, 陈珊珊, 江波, 陈春娣. 城市野生草本植物种类构成的特征——以宁波市为例. *生态环境学报*, 2016, 25(1): 43-50.
- [19] 田志慧, 陈克霞, 达良俊, 古红梅. 城市化进程中上海植被的多样性、空间格局和动态响应(Ⅲ): 高度城市化影响下上海中心城区杂草区系特征. *华东师范大学学报: 自然科学版*, 2008, (4): 49-57.
- [20] Cervelli E W, Lundholm J T, Du X. Spontaneous urban vegetation and habitat heterogeneity in Xi'an, China. *Landscape and Urban Planning*, 2013, 120: 25-33.
- [21] 李晓鹏, 董丽, 关军洪, 赵凡, 吴思佳. 北京城市公园环境下自生植物物种组成及多样性时空特征. *生态学报*, 2018, 38(2): 581-594.
- [22] Jim C Y, Chen W Y. Habitat effect on vegetation ecology and occurrence on urban masonry walls. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2010, 9(3): 169-178.
- [23] 许维强. 城市建成区自生植物调查研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2015.
- [24] 谢良生, 王发国, 邢福武, 周劲松. 珠江三角洲城市墙壁植物资源及其应用. *生态环境*, 2008, 17(2): 807-811.
- [25] Jim C Y, Chen W Y. Bioreceptivity of buildings for spontaneous arboreal flora in compact city environment. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2011, 10(1): 19-28.
- [26] Larson D W, Matthes U, Kelly P E, Lundholm J T, Gerrath J A. The Urban Cliff Revolution: New Findings on the Origins and Evolution of Human Habitats. Markham, Canada: Fitzhenry and Whiteside, 2004.
- [27] 俞孔坚. 节约型城市园林绿地理论与实践. *风景园林*, 2007, (1): 55-64.
- [28] Francis R A, Lorimer J. Urban reconciliation ecology: the potential of living roofs and walls. *Journal of Environmental Management*, 2011, 92(6): 1429-1437.
- [29] 陈秋瑜. 夏热冬冷地区建筑活墙研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2016.
- [30] Lisci M, Monte M, Pacini E. Lichens and higher plants on stone: a review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2003, 51(1): 1-17.

附表 A 3 个墙境因子与 CCA 排序轴的相关性

Table A Correlation coefficients between 13 wall habitat factors and CCA ordination

因子 Factor	轴 1 Axis1	轴 2 Axis2	轴 3 Axis3	轴 4 Axis4	因子 Factor	轴 1 Axis1	轴 2 Axis2	轴 3 Axis3	轴 4 Axis4
Sl:墙体倾斜度	0.2851	0.0824	-0.1599	-0.0592	Wicov:藤蔓覆盖度	-0.4495	0.4775	-0.2265	0.2681
Co:墙面颜色	0.2813	-0.2364	-0.4588	-0.0032	Sh:墙体遮阴率	0.6028	-0.0867	-0.4268	0.0218
Hi:墙体高度	-0.5014	-0.5113	-0.2379	0.1418	We:墙体风化程度	-0.1417	-0.1461	-0.3834	-0.4046
Ma:墙体构造材料	-0.2395	-0.0893	-0.3931	-0.1208	Man:粗放管理程度	-0.0011	-0.192	-0.5479	-0.3685
CaMa:连接缝材料	0.2082	-0.4833	-0.2983	-0.2973	Di:人类干扰程度	0.2886	0.1724	0.4451	0.1733
Casi:缝隙大小	0.1722	-0.5505	-0.3379	-0.1131	Caden:连接缝密度	0.3044	-0.0284	-0.0819	-0.1396
Hu:墙体湿度	0.4479	0.0626	-0.2003	-0.1922					

样本量为 120, 在 0.05 显著性水平上进行检验, 当绝对值系数大于 0.178 时, 通过显著检验