

城市昆虫传粉生境营建研究进展及思考^{*}

殷利华^{1,2} 巩思凝¹ 李良³ 沈正豪¹ 邱爽⁴ 邓心怡⁵ 韩依纹^{1,2}

1 华中科技大学建筑与城市规划学院 武汉 430074

2 湖北省城镇工程研究中心 武汉 430074

3 武汉光谷旅游开发投资有限公司 武汉 430075

4 华中科技大学生命科学与技术学院 武汉 430074

5 武汉市园林建筑规划设计研究院有限公司 武汉 430024

摘要: 传粉昆虫是生物多样性重要组成部分, 昆虫传粉生境建设能有效减缓植物授粉危机, 有利于城市生物多样性保护和促进自然教育。文章通过检索文献库 CNKI 和 Web of Science 近 20 年相关文献, 采用文献计量法、内容分析法, 对昆虫传粉生境营建相关的规划与设计、建设与管理研究成果进行梳理。结果表明: 规划方面, 注重该类绿地与区域生态网络和城市专项规划融合; 设计方面, 强调植物选用遵循“双高”“本土”“多样化”原则, 并采用“高密群植”“防风向阳”方式配置; 建设方面, 提倡保留多种地表, 增加与雨水花园、绿色屋顶等生态景观布置和栖息设施举措; 管理方面, 建议纳入 4 种特色日常管理措施, 并提出管理部门的政策支持能助力实现昆虫多样性目标。文章最后提出传粉生境营建研究还存在意义彰显不足、实践应用待加强, 以及我国发展缓慢等相关思考, 旨在对我国城市昆虫传粉生境营建与城市生物多样性保护提供研究参考。

关键词: 城市林业; 生物多样性; 传粉花园; 生境修复; 景观规划设计

DOI: 10.12169/zgcsly.2024.01.02.0002

Progress and Thoughts on Establishment of Urban Insect Pollination Habitats

Yin Lihua^{1,2} Gong Sining¹ Li Liang³ Shen Zhenghao¹ Qiu Shuang⁴

Deng Xinyi⁵ Han Yiwen^{1,2}

(1. School of Architecture & Urban Planning, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. Hubei Engineering and Technology Research Center of Urbanization, Wuhan 430074, China; 3. Wuhan Optical Valley Tourism Development and Investment Co., Ltd., Wuhan 430075, China; 4. College of Life Science & Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 5. Wuhan Institute of Landscape Architectural Design Co., Ltd., Wuhan 430024, China)

Abstract: Pollinators play an important role in biodiversity, and insect pollination habitat can be established to effectively mitigate the crisis of plant pollination, which is conducive to urban biodiversity protection and promoting nature education. The paper retrieves the literature included in CNKI and Web of Science in the past 20 years, and reviews the research on planning and design, establishment and management of insect pollination habitats using bibliometric method and content analysis method. The results show that in terms of planning, attention should be paid to the inclusion of this type of green space

收稿日期: 2024-01-02

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (52278064); 湖北省自然科学基金联合基金 (黄石创新发展联合基金) 重点项目 (2023AFD005)

第一作者: 殷利华 (1977-), 女, 副教授, 博士生导师, 研究方向为工程景观、生态修复。E-mail: yinlihua2012@hust.edu.cn

通信作者: 韩依纹 (1987-), 女, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为生态系统服务。E-mail: hanyiwen@hust.edu.cn

into regional ecological network and special urban planning; in terms of design, the emphasis should be placed on the principles of “high pollen volume and high nectar yield”, “native” and “diversification” in the selection of plants, and the configuration pattern of “high density group planting” and “windproof and sunny exposure” should be adopted; in terms of establishment, retention of multiple surfaces, and increase of ecological landscape layout and habitat facilities such as rain garden and green roof should be advocated; in terms of management, suggestions are put forward to employ four kinds of daily management measures and to enhance the policy support for realizing the goal of insect diversity. At the end, the problems are identified for the research, including insufficient research on pollination habitat, ineffective practices and application, and slow development in China. This study is aimed to provide references for the research on urban insect pollination habitat and urban biodiversity protection in China.

Keywords: urban forestry; biodiversity; pollinating garden; habitat restoration; landscape planning and design

昆虫传粉者的物种多样性以及种群健康,对维持生物多样性、种群数量和生态系统健康具有重要作用,也是农作物产量安全的重要保障,同时有助于维护生态系统稳定,提高生态系统的自我修复能力。以昆虫为主的传粉者能够为约78%~94%的野生植物和约75%的农作物授粉^[1-2],昆虫的减少将导致自然环境平衡失调和功能退化^[3-4]。然而,在食物和栖息地短缺、化学品滥用、气候变化和单一作物栽培等众多不利因素影响下,全球范围内的传粉昆虫生物量、物种丰富度和个体数量均呈下降趋势。已有研究表明,快速的城市化发展中大面积道路铺设,土地高强度利用,不透水地面的增加,植被的减少,以及声、光、空气、水污染等多种环境胁迫导致了绿地生境结构和组成在空间尺度上发生变化,可能引发某些节肢动物种从城市栖息地局部灭绝,严重侵害了传粉媒介的生存环境^[5]。21世纪以来,全球各地昆虫传粉媒介的物种丰富度下降20%~40%不等^[6]。仅在德国,2008—2017年草地中节肢动物丰度就减少约78%,种类减少34%。传粉昆虫正面临严重的生存压力,亟待采取综合性保护措施应对不断加剧的环境威胁^[5]。

联合国《生物多样性公约》第五次缔约方大会(COP5)和第13次缔约方大会(COP13)分别通过了《国际传粉者倡议》(International Pollinator Initiative, IPI)和《传粉者意愿联盟宣言》(Pollinator Initiatives in EU Member States: Success Factors and Gaps),倡导采取国际行动有力保护传粉者及其栖息地。美国农业部(USDA)和内政部(DOI)联合出台了《联邦土地最优管理方案》,以指导公共土地和私人土地建设加强

对传粉者栖息生境的保护与营造。

城市绿地空间是物种在城市中生存栖息的重要生境,良好的城市绿地生态系统能有效降低城市化的负面影响,为城市生物多样性保护提供机遇^[7]。城市绿地因其内部多样化的植物和适宜的筑巢地而成为传粉昆虫的重要生境空间。城市绿地总面积虽多、但常小而破碎,且存在频繁的人类活动干扰,对营造大型动物栖息生境存在困难,但昆虫传粉者相对所需生境时空尺度较小,城市绿地稳定且多样化的植物群落结构和面积尺度,能够为昆虫提供一个相对安全和持久的生存环境^[8]。人工栽培管理的植物种类更加丰富,花期较长,也可以为传粉昆虫实现全年不间断的食物供给;同时城市极高的异质性增加了适于传粉者生存的空间,减少了种群间竞争,为传粉者提供多元化的营巢地点和栖息区域,如建筑缝隙、墙壁、洞穴等^[9]。因此,城市化既是传粉媒介的潜在威胁,也是传粉媒介的机遇。城市环境中可以通过绿地空间的科学规划、设计和管理来恢复与控制绿地中传粉昆虫的生物多样性。进行城市昆虫传粉生境研究与营建是保护传粉媒介的重要途径之一。目前国内关于传粉昆虫的保护与生境营建研究相比明显不足,本文旨在梳理国内外传粉昆虫城市生境研究、营建、管理的研究成果,尝试提出其在城市景观规划设计和建设管理方面的思考,以促进城市生物多样性保护。

1 城市昆虫传粉生境研究特征

1.1 文献检索

检索英文文献综合库 Web of Science 和中国

知网 CNKI 自 2000 年 1 月 1 日至 2023 年 11 月 30 日相关文献,检索与筛选条件如下。

1.1.1 英文文献

在 Web of Science Core Collection 中,选取论文类英语文献,运用 2 组专业术语“pollinators garden (传粉者花园)、pollinator habitat (传粉者生境)、pollinator diversity (传粉者多样性)、pollinator-friendly (传粉友好)”与“landscape architecture (风景园林)、urban/city biodiversity (城市生物多样性)、urban/city design (城市设计)、urban/city green space (城市绿色空间)、urban/city management (城市管理)、urban/city planning (城市规划)、urban/city construction (城市建设)”,分别两两组合进行高级主题检索,去除重复文献,得到 470 篇。同时根据 4 个标准,即研究对象是否为昆虫类传粉者,研究区域是否与城市相关,研究主题是否与城市景观、生态系统服务和生物多样性相关,研究成果是否指导规划建设,进一步去除不符合文献,共得到 400 篇有效英文文献。

1.1.2 中文文献

以“传粉花园”“传粉生境”为关键词在 CNKI 检索,仅得到 4 篇有效的中文文献;以“传粉者”为主题词,“昆虫”“传粉昆虫”“传粉动物”为自由词,分别与关键词“风景园林”“生物多样性”“生态系统服务”“城市绿地”“规划

设计”组合进行高级检索,共得到中文文献 99 篇,再剔除与内容偏差过大的文献,最终得到 71 篇有效中文文献。

1.2 文献特征

利用 Excel 和 Citespace 图形文献分析软件进行文献计量分析,分析节点为“关键词”,得到国内外城市传粉昆虫及其生境研究相关文献的逐年发文量、发文地区及研究热点等数据。外文文献分析时间切片设置为 5 年,“关键词阈值”参数设为 15;中文文献分析时间切片设置为 1 年,“关键词阈值”参数设为 5。

1.2.1 发文量

由图 1 可知:总体表现为国外前期(2001~2008 年)缓慢发展,中期(2008~2016 年)有小幅增长,其后呈现快速增长;中国前中期少有涉及,后期(2016~2023 年)缓慢发展。国外传粉昆虫生境相关研究 2012 年后发文量快速增长,2023 年度达到 71 篇,表明传粉服务危机在国际上引起重视,学者们不断探寻影响传粉活动的因素与缓解策略。国内相关研究明显不足,2014 年后出现较缓上升趋势,但至今总量仅为 65 篇。

1.2.2 发文地区

根据分析结果,文献来源地区主要集中于北美和欧洲,其中美国的文献占比 32.00%、英国占比 14.00%、德国占比 11.00%。中国学者及研究机构参与发文仅 17 篇,占比 4.25%。这说明美

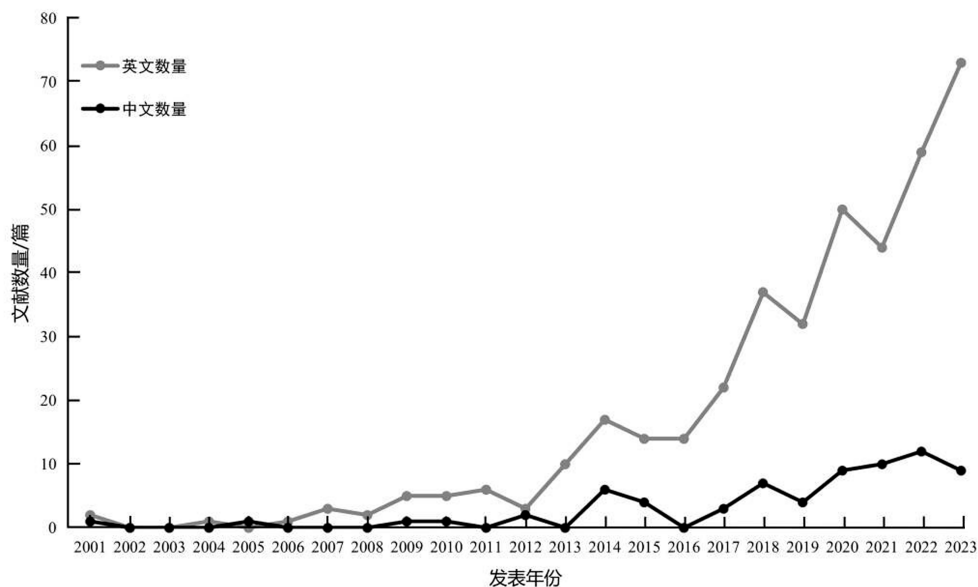


图 1 文献数量年度分布图

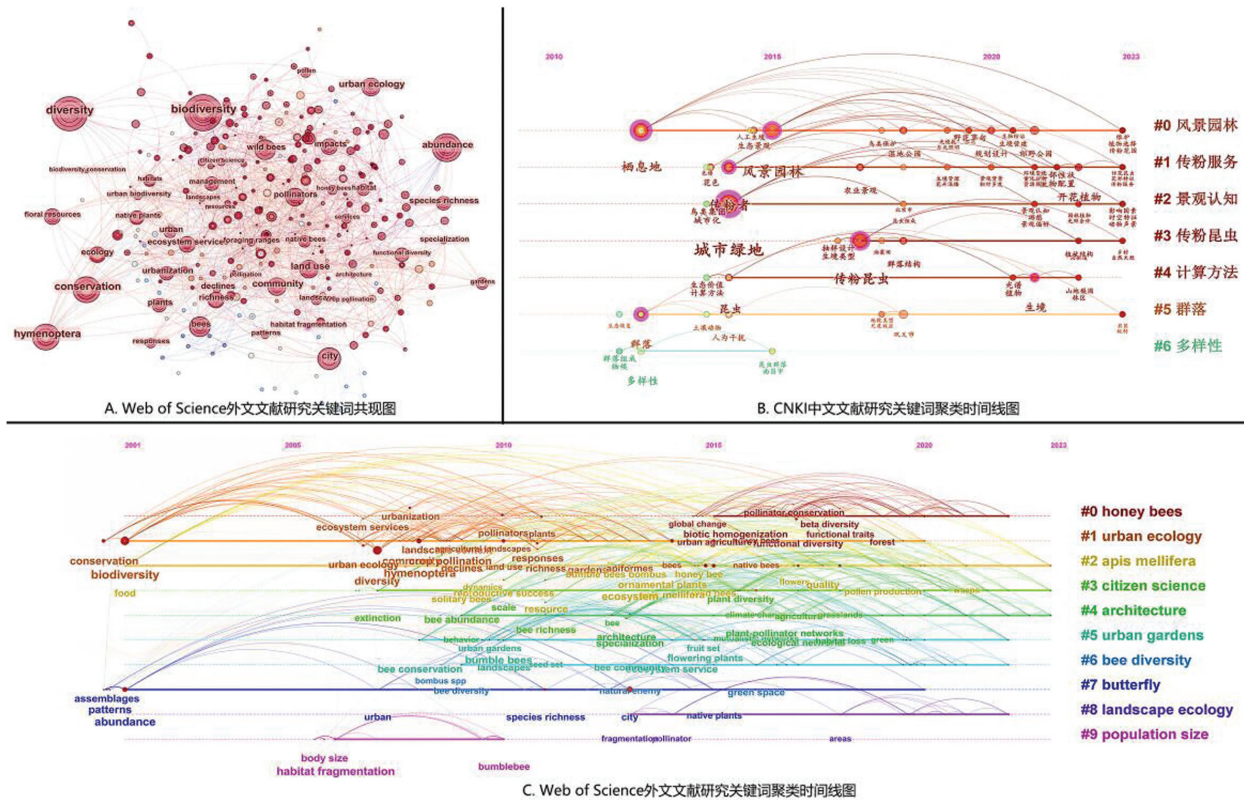


图 2 研究热点关键词分析

国、英国、德国等国家在城市昆虫传粉服务领域已有较多的成果积累和研究经验，我国研究还有很大提升空间。

1.2.3 研究热点

研究热点总体表现为彰显传粉生境的生态系统服务，强调生物多样性保护。由图 2A 可知，国外文献研究热点集中于生态系统服务、传粉物种多样性、土地利用景观格局、生境破碎化等方面^[10-13]。

根据图 2B、图 2C 时间轴可知，2010 年前，国外研究集中于探究传粉服务本身的生态学规律与价值^[10]、传粉昆虫物种多样性监测与研究，传粉者现有生境充裕程度及数量下降的现象，并提出相关保护倡议^[14-15]。国内研究略滞后，2010 年前后主要开展了传粉昆虫资源多样性及其保护研究^[16]。2010—2020 年，国外研究热点转向为城市传粉服务减少与传粉昆虫种群数量、多样性下降的解决方式，研究聚焦于城市绿色基础设施建设^[17]、城市生物多样性保护^[18]、土地利用及景观格局构成^[19]、植物种植设计^[20]等，开始探索通过景观与城市建设手段保护传粉者生境、提升

城市传粉服务以维护城市生态健康。2020 年至今，植物种植研究^[21]、景观构成及城市生物多样性^[22]仍是研究重点，逐渐出现气候研究^[23]、共生网络研究^[22]等新方向。城市传粉昆虫及传粉服务由具体物种、功能的单一视角研究，转向系统、整体、综合视角的研究。国内初步探讨了传粉昆虫生境的景观规划、植物设计理念。

2 城市昆虫传粉生境空间规划与设计

2.1 规划：区域生态网络和城市绿地融合

2.1.1 构建区域生态网络

加拿大学者通过基因组学分析证明，城市景观中绿地联通性的提升及绿色廊道的建立，有效降低了蜜蜂近亲繁殖，同时减少了病原体的传播，对提升蜜蜂种群健康具有重要意义^[24]。城市环境中绿地的连通性是绿地质量评价的重要标准之一，部分传粉者受制于飞行距离，无法跨越远距离寻找栖息地，与其他栖息地隔离的生境斑块中蜜蜂的丰度和物种丰富度明显减少^[25]。随着生境斑块与自然栖息地隔离程度越高，传粉媒介的种群数量开始减少明显。城市中连通型绿地越多，传粉

者的多样性就越大^[26-27]。因此,需要通过合理的布局使传粉昆虫生境与附近绿地具有合理距离与连通环境,将高质量的源栖息地与周围栖息地联系起来,通过“踏脚石”生境创建廊道,或利用各类街道、溪流、沟渠等线性联通空间,将其更好地打造城市有限用地中的连续昆虫传粉生境廊道^[28]。因此,设计师首先要结合国土空间总体规划、城市总体规划、城市绿地系统、城市公园体系、城市风貌、城市景观、基础设施规划、城市生物多样性保护规划等多个专项规划,从大区域范围开展昆虫传粉者栖息地保护规划,并综合考虑现有传粉者栖息地的节点空间分布,对城市昆虫传粉生境空间的规划布局进行“昆虫友好型的城市生态网络”格局构建。

2.1.2 规划多种规模的绿地空间

城市绿地的质量、大小和连通性相互作用,共同影响昆虫传粉媒介的承载能力。虽然随绿地面积的增加,食物与栖息地资源会更加丰富,但昆虫的行为具有物种特异性,其应对城市化的策略存在物种间的差异^[29],城市绿地面积不能作为城市昆虫传粉生境规划建设唯一的评价指标。体型较小的物种可能在破碎化的小斑块中生存,体型较大物种的活动则能覆盖更大城市景观范围^[25]。研究人员对科罗拉多州郊区碎片状分布的绿地进行研究发现,物种丰富度随绿地面积的增加而增加,但较小区域栖息着更多群居、体型较小和穴居的蜜蜂,而较大区域则转向独居、体型较大和地面筑巢的蜜蜂^[30]。不同种类的传粉者因其生物学习性的不同,对城市绿地特征做出差异化反应,这意味着传粉昆虫友好型绿地的规划不能一味追求增大城市绿地和传粉花园的面积,需设立面积差异多样化的传粉花园以增加传粉媒介总体上的多样性。

2.1.3 平衡不同类型绿地

城市绿地不同类型特征也会对传粉昆虫多样性产生影响。德国学者调查了亚琛市具有代表性的城市公园、社区公园、娱乐公园和公墓4类绿地发现,高度近自然的社区公园具有更高的传粉昆虫多样性^[29]。

由于各国对城市绿地的分类与建设规划策略不同,各国需在本土化调查实验基础上,探究不

同类型绿地中传粉昆虫的栖息状况并针对性设计传粉花园,以有效平衡各片区城市不同类型绿地中昆虫多样性可能过大差异的问题^[31]。

2.2 设计:传粉生境植物科学选择与配置

昆虫传粉者通过采食植物花粉、花蜜等分泌物获取营养并维持生存,在取食的同时完成传粉服务,因此食源植物是维持传粉昆虫种群数量与物种多样性的基础资源,开花植物资源的减少是传粉昆虫减少的关键因素之一^[32]。传粉花园作为城市传粉昆虫的重要栖息生境,其科学合理的植物搭配是其有别于普通城市绿地的重要特点之一,因此在传粉生境营建中,植物资源的选用与配置尤为重要。

2.2.1 植物选择原则

美、英、德等国家学者探究了有利于传粉昆虫生存的植物种类与配比。由于地域差异导致了研究结果不尽相同,综合文献分析,本文将昆虫传粉花园的植物选择与配置总结为以下3个原则。

1)“双高”原则。此原则即增加高花粉量、高花蜜量的植物群落,为传粉昆虫提供更丰富的食物来源。这一目的可以通过种植高密度开花或花粉量大的植物,以及搭配不同季节开花植物延长植物群落花期两种方法实现。常见如马利筋(*Asclepias curassavica*)、马鞭草(*Verbena officinalis*)、菊科(*Asteraceae*)以及伞形科(*Apiaceae*)等草本植物,这些植物花朵密度大、颜色鲜艳、花粉量多,是吸引访花昆虫良好的植物材料^[33]。容易被忽视的是,开花乔木是传粉昆虫重要的食物来源。乔木花朵的花蜜含糖量高,部分乔木花粉中还含有大量多肽、氨基酸和甾醇等营养物质,因此在传粉花园中应注重刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、樱花(*Prunus yedoensis*)等城市开花乔木的配合应用^[34]。

2)“本土”原则。此原则即植物的选择应以本土植物为主,以支持本土传粉昆虫的生存。随着土壤、气候、动物和特定地区的其他植物群进化而来的本地植物种,通常被认为比外来物种更适合本地的传粉者^[35]。Fukase等^[36]研究表明,以种植本地植物为主的花园中具有明显较高的昆虫多样性。但外来引进的栽培品种往往具有花期长、反季节开花等特点,可以补充传粉昆虫在本

地植物非开花季节的食物来源,实现长期稳定的营养供给。故在防患外来品种可能潜在的生物入侵基础上,部分空间可合理利用稳定驯化的外来栽培种。

3)“多样化”原则。此原则即植物种类多样化,以尽可能满足不同种类、不同栖息习惯的传粉昆虫需求。例如双翅目昆虫对黄色和白色表现出明显颜色偏好;同为鳞翅目,蝶类偏好花蜜浓度低、花色艳丽而香味清淡的花朵,而蛾类则偏好花蜜丰富、花色浅而香味浓的花朵。除觅食习性不同外,传粉昆虫还具有多样的营巢行为,例如马蜂通常选择较高的树枝,蜜蜂巢穴选址则较矮,蝶类则通常栖息在树叶上^[34]。因此高低错落,类型多样的植物群落才能够充分满足传粉昆虫的栖息生存需求。

2.2.2 植物配置模式

不同传粉昆虫的飞行扩散能力差距较大,多数品种的蜜蜂飞行距离较短,几乎仅在蜂巢周围1.5 km范围内活动,但有些蜂类则可以飞行长达数公里,因此除植物品种的选择与搭配外,植物的种植格局也需针对性的研究与设计^[37]。根据传粉昆虫普遍具有的生物学学习性与现有研究设计经验,文章尝试总结以下2种植物配置模式。

1) 高密群植。此配置模式即较高密度地集中种植开花植物,并形成一定面积规模的植物集群。研究表明,花园大小虽然不影响昆虫群落的数量,但花密度,即单位面积内的开花总数,往往对传粉媒介的丰度和多样性有积极影响。蜜蜂等访花昆虫对成簇的开花植物有明显的偏好,密集分布着各种花卉资源的小型社区花园对传粉者极具吸引力。在大型休闲公园内增加高密度类开花植物可以增加公园的传粉者生态价值^[38]。美国自然保护局倡议居民在约2.3 m² (25平方英尺)的花园中,集群种植一个物种以吸引传粉昆虫^[39]。国内学者通过调查统计也发现,访花昆虫的多样性与开花植物的覆盖度呈现极显著正相关^[40]。这是由于传粉昆虫通常利用视觉或嗅觉导航寻找蜜源植物,密集种植形成的植物集群能够对传粉昆虫产生更强的引导性,使其更容易导航寻找到传粉花园,也能减少传粉昆虫在不同花朵间转移所需能量,提高昆虫取食与传粉效率。

2) 向阳防风。此配置模式即植物种植区域应当开阔,且具有良好的日照,并注意多利用乔灌木等植物构建防风与遮荫屏障。风对传粉昆虫的飞行路径会产生极大影响,防风屏障的构建能够为传粉者采粉、转移等行为提供庇护,营造一个稳定安全的栖息环境,同时乔木与灌木的垂直结构可以为传粉者提供立体的生境和筑巢场所^[41]。充足的日照可以极大地提升植物生长与开花率^[42]。但由于不同种类传粉昆虫对日照地的偏好存在差异,适当遮荫,营造不同的光照条件,能为更加多样的传粉昆虫提供适宜的生境。

3 城市昆虫传粉生境建设与管理

3.1 建设: 多样化生境营造协调

不同区域的城市绿地中,传粉昆虫物种组成的差异性主要取决于可用的筑巢栖息地类型^[43]。传粉生境建设需要协调用地、景观和设施的关系。

3.1.1 保留多种类型地表

传粉昆虫可大致分为地上营巢、地下营巢、寄生3种生活型。地上营巢的蜂类偏好裸土地,部分蝴蝶幼虫在成堆的树叶中越冬,其种群数量会随木屑、落叶等覆盖物的增加而减少。因此,种植对传粉媒介友好的植物只是创造高质量传粉媒介栖息地的一部分,多样化的生境营造对传粉昆虫的保护同样具有重要意义^[38]。研究也表明,传粉媒介的物种丰富度与城市不透水地表面积呈负相关^[44-45]。更有研究指出,不透水地表面积的增加加剧了传染病在传粉昆虫群落中的传播,影响传粉昆虫的健康状态。因此花园的地貌中需要具备裸露土地、落叶树枝等植物覆盖的土地、石堆土块形成的洞穴缝隙生境,以及茂密的乔灌木丛等多样化的区域处理。

3.1.2 结合雨水花园、绿色屋顶等生态景观设施

雨水花园、绿色屋顶、家庭花园^[46]等生态景观场地规模多样,设计灵活,同时具有较高的生态价值。对于受城市化不利影响的稀有和濒危昆虫物种,精心设计的绿色屋顶可以提供次要栖息地。研究证明绿色屋顶可以扩大因城市化导致景观破碎化而失去的一些昆虫栖息地^[47]。同时在公共花园绿地附近建设的绿色屋顶呈现出更加丰富的传粉昆虫多样性^[48]。

雨水花园等海绵生境综合了水源、植物、土壤、石砾等多种要素,具有多孔结构,是国际公认的重要生态设施,在提升城市生物多样性中具有极大潜力,在城市动植物多样性营建中发挥着重要的生态功能^[49],也为传粉昆虫的保护提供了宝贵机会。昆虫学家和景观设计师合作进行的雨水管理系统实践已被证实提升了区域内水生昆虫的多样性。因此,雨水花园等生态滞留设施与传粉花园二者在形式与功能上具备互通共融之处,具有极高的结合价值^[50]。

3.1.3 增设传粉昆虫的栖息设施

针对性的人工设施也能够为昆虫提供更多的生存空间。一种被称作“昆虫旅馆”的花园设施正在世界各地推广流行。“昆虫旅馆”又称昆虫巢箱,是利用可再循环或可降解的材料,如木材、稻草、砖块、竹筒等进行捆绑堆叠,并放置在城市花园或自然区域,供本地昆虫用作庇护、栖息繁衍的设施,是一种人工构建的栖息地。昆虫巢箱可以作为某些传粉昆虫和捕食性节肢动物的越冬和筑巢场所。随着城市化进程的加快和自然栖息地的分散,在城市园林和自然景观中建设昆虫旅馆可以成功地提高有益节肢动物的生物多样性^[51]。根据设计和使用的材料,昆虫旅馆可以针对特定的传粉昆虫分类建造。此类装置操作简单,且过程充满趣味,常与自然教育结合,在构建栖息生境的同时有效传播了生物多样性保护的理念^[52]。

3.2 管理:适度特色管护介入

科学建设和适度介入人工管理,将有助于城市昆虫传粉生境的可持续利用和功效稳定发挥。美国学者经量化研究证明,相比于绿地大小和其他景观属性,积极的绿地管理与蜜蜂丰度和丰富度的相关性更强^[53]。因此传粉生境空间的日常养护中需注意纳入以下特色管理手段:

3.2.1 控制入侵植物种

入侵植物会大面积抢占本地植物生长空间,抑制本地植物种的生长,并与其竞争传粉服务,同时往往无法为本土传粉昆虫提供适宜的栖息环境,因此需定期清除入侵物种,并运用园艺手段保持植物组合稳定生长^[31]。

3.2.2 避免化学方式防治病虫害

使用杀虫剂、杀菌剂以及除草剂等化学防治

手段可能对传粉昆虫和生物造成不可逆的伤害。采用生物防治技术控制园林害虫和园林杂草,如引入赤眼蜂、金小蜂、异色瓢虫等天敌昆虫,通过昆虫间的竞争与捕食关系,能避免园林害虫的大面积发生,并维持城市传粉昆虫的群落稳定^[54]。

3.2.3 减少清理落叶等覆盖物

杂草和凋落物能提升传粉昆虫生境的复杂性和结构多样性,增强绿地对传粉昆虫的吸引力,同时可以保持土壤水分,提供适宜的土壤动物生存环境,因此建议花园中留下灌木堆、障碍物或树桩,作为洞穴筑巢传粉昆虫的天然筑巢资源。这些特征也可以被鸟类,啮齿动物和爬行动物等其他野生动物用作觅食和繁殖场所^[33]。

3.2.4 积极传播传粉昆虫保护理念

昆虫因其常见、易得、便于观察,具有多样的形态、颜色和行为的特点,能激发人们的好奇心和对自然世界的兴趣,在公众参与和生物多样性科普中具有得天独厚的优势与价值。目前国际上已成立了众多传粉昆虫保护与科普组织,如传粉昆虫守护者联盟(PPA)^[55]、北美授粉媒介保护运动(NAPPC)等,中国的山水自然保护中心也在北京开展了蜜源植物与传粉昆虫调查的公众参与活动。

4 城市昆虫传粉生境营建研究的思考

4.1 城市昆虫传粉生境营建意义有待彰显

传粉昆虫在提升生物多样性、维持生态系统平衡等方面扮演着不可或缺的角色^[55]。构建特色的城市昆虫传粉生境是实现城市生态系统服务的关键一环,但也往往被忽略。建设管理部门、规划设计师、开发商等在对场地进行开发建设前应关注传粉昆虫的生境问题。在技术方面应通过创造多样的微地形和花卉环境,有意识地融入传粉昆虫友好的生境景观设计元素,为传粉昆虫提供安全、多样化的栖息地;在管理方面也应加大城市昆虫传粉生境意义的科普宣传教育。

4.2 城市昆虫传粉生境营建实践及应用推广亟待加强

国内外现有研究成果大多通过定量试验与数据分析,研究传粉昆虫的行为偏好,以及城市化

进程、植物种植方式对昆虫传粉服务的影响。多数研究关注并探讨景观格局变化造成的种群数量或物种丰富度变化,并通过数据分析得到可供城市发展建设参考的重要影响因素和相关建议。少量研究通过综合分析各影响因素,提出规划设计方案及建设意见。更少有研究对已建成的传粉昆虫友好型绿地进行对照分析与评估。现有研究多停留于理论层次,实践研究存在典型不足,亟待管理者、建设者、学者加大实践和应用,切实将保护理念转化为具体实践方案、操作指南、行业评估标准与城市管理模式等成果,鼓励多行业人员投入保护城市昆虫传粉多样性保护和生境建设的实践行动。

4.3 我国城市昆虫传粉生境营建研究有待尽快提升

在城市传粉昆虫生境营建的研究中,北美及欧洲学者相关发文量在2012年后呈现快速持续增长的发展趋势,这表明国外学者已经意识到传粉服务危机的严重性,城市传粉昆虫多样性及其栖息地质量等问题正成为研究关注的热点,并不断探索应对策略。国内针对昆虫及传粉服务的研究仍停留在生物学及农业科学领域,对于传粉生境的生态价值挖掘、规划设计、自然教育、生态应用、生态保护等研究涉及较少或尚处于起步阶段,发文量明显低于欧美地区。国际研究成果虽已积累了较为丰富的数据及经验,但由于城市化水平、社会经济产业结构等社会因素差异、植物物种与传粉昆虫物种构成及生物学与生态学规律差异,以及参与传粉昆虫保护与生境建设的主体,即当地学者、设计师与居民的生活行为习惯差异,使得国外研究成果不能照搬应用于我国本土,这要求我国学者及建设者应针对本土具体国情,积极开展基于本土特征的在地研究与实践,如传粉昆虫丰度和物种多样性监测、种群动态影响因子探究、乡土植物配置应用、不同类群应对城市化发展的响应机制及其对应的保护措施和规划设计解决方案,等等。

诚然,城市昆虫传粉生境建设意义深远,我国在这方面的研究和实践起步晚,还有很多的问题需要系统思考,例如提倡城市绿地昆虫友好的同时如何兼顾其他生物的多样性?诸如鸟类等食

物链上端动物的保护与昆虫多样性保护具有哪些矛盾,如何协调?昆虫的有害或有益如何区别与对待?昆虫传粉生境营建与人们的自然教育有哪些冲突,如何有效协调等等问题,都有待深入研究。

参考文献

- [1] OLLERTON J, WINFREE R, TARRANT S. How many flowering plants are pollinated by animals? [J]. *Oikos*, 2011, 120(3): 321–326.
- [2] KLEIN A M, VAISSIÈRE B E, CANE J H, et al. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops [J]. *Proceedings Biological Sciences*, 2007, 274(1608): 303–313.
- [3] SOLIVERES S, VAN DER PLAS F, MANNING P, et al. Biodiversity at multiple trophic levels is needed for ecosystem multifunctionality [J]. *Nature*, 2016, 536(7617): 456–459.
- [4] NORIEGA J A, HORTAL J, AZCÁRATE F M, et al. Research trends in ecosystem services provided by insects [J]. *Basic and Applied Ecology*, 2018, 26: 8–23.
- [5] SEIBOLD S, GOSSNER M M, SIMONS N K, et al. Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers [J]. *Nature*, 2019, 574(7780): 671–674.
- [6] NATH R, SINGH H, MUKHERJEE S. Insect pollinators decline: an emerging concern of Anthropocene epoch [J]. *Journal of Apicultural Research*, 2023, 62(1): 23–38.
- [7] 曾海聪, 李晨亮, 张君瑶, 等. 城市绿地生物多样性影响因素研究概述 [J]. *中国城市林业*, 2023, 21(5): 171–178.
- [8] SCHUELLER S K, LI Z L, BLISS Z, et al. How informed design can make a difference: supporting insect pollinators in cities [J]. *Land*, 2023, 12(7): 1289.
- [9] HALL D M, CAMILO G R, TONIETTO R K, et al. The city as a refuge for insect pollinators [J]. *Conservation Biology*, 2017, 31(1): 24–29.
- [10] ANDERSSON E, BARTHEL S, AHRNÉ K. Measuring social-ecological dynamics behind the generation of ecosystem services [J]. *Ecological Applications: a Publication of the Ecological Society of America*, 2007, 17(5): 1267–1278.
- [11] TOMMASI D, MIRO A, HIGO H A, et al. Bee diversity and abundance in an urban setting [J]. *The Canadian Entomologist*, 2004, 136(6): 851–869.
- [12] HOSTETLER N E, MCINTYRE M E. Effects of urban land use on pollinator (Hymenoptera: Apoidea) communities in a desert metropolis [J]. *Basic and Applied Ecology*, 2001, 2(3): 209–218.
- [13] SATTLER T, DUELLI P, OBRIST M K, et al. Response of arthropod species richness and functional groups to urban habitat structure and management [J]. *Landscape Ecology*, 2010, 25(6): 941–954.

- [14] PAUW A. Collapse of a pollination web in small conservation areas[J]. *Ecology*, 2007, 88(7): 1759–1769.
- [15] MURRAY T E, KUHLMANN M, POTTS S G. Conservation ecology of bees: populations, species and communities[J]. *Apidologie*, 2009, 40(3): 211–236.
- [16] 徐环李, 杨俊伟, 孙洁茹. 我国野生传粉蜂的研究现状与保护策略[J]. *植物保护学报*, 2009, 36(4): 371–376.
- [17] JOHANSSON V, KOFFMAN A, HEDBLÖM M, et al. Estimates of accessible food resources for pollinators in urban landscapes should take landscape friction into account[J]. *Ecosphere*, 2018, 9(10): e02486.
- [18] TURO K J, GARDINER M M. From potential to practical: conserving bees in urban public green spaces[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2019, 17(3): 167–175.
- [19] DE MATOS BARBOSA M, CARNEIRO L T, DE CARVALHO DA SILVA PEREIRA M F, et al. Future scenarios of land-use-cover effects on pollination supply and demand in São Paulo State, Brazil[J]. *Biota Neotropica*, 2020, 20(S1): e20190906.
- [20] DYLEWSKI Ł, MAĆKOWIAK Ł, BANASZAK-CIBICKA W. Linking pollinators and city flora: how vegetation composition and environmental features shapes pollinators composition in urban environment[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2020, 56: 126795.
- [21] ZENG H C, WANG J N, GUAN M Z, et al. Effects of vegetation structure and environmental characteristics on pollinator diversity in urban green spaces[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2023, 84: 127928.
- [22] PARDEE G L, BALLARE K M, NEFF J L, et al. Local and landscape factors influence plant-pollinator networks and bee foraging behavior across an urban corridor[J]. *Land*, 2023, 12(2): 362.
- [23] CHRISTMAN M E, SPEARS L R, STRANGE J P, et al. Land cover and climate drive shifts in *Bombus* assemblage composition[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2022, 339: 108113.
- [24] CHAU K D, SAMAD-ZADA F, KELEMEN E P, et al. Integrative population genetics and metagenomics reveals urbanization increases pathogen loads and decreases connectivity in a wild bee[J]. *Global Change Biology*, 2023, 29(15): 4193–4211.
- [25] STEFFAN-DEWENTER I, TSCHARNTKE T. Effects of habitat isolation on pollinator communities and seed set[J]. *Oecologia*, 1999, 121(3): 432–440.
- [26] GARIBALDI L A, STEFFAN-DEWENTER I, KREMEN C, et al. Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits[J]. *Ecology Letters*, 2011, 14(10): 1062–1072.
- [27] KENNEDY C M, LONSDORF E, NEEL M C, et al. A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems[J]. *Ecology Letters*, 2013, 16(5): 584–599.
- [28] GRAFFIGNA S, GONZÁLEZ-VAQUERO R A, TORRETTA J P, et al. Importance of urban green areas' connectivity for the conservation of pollinators[J/OL]. *Urban Ecosystems*, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11252-023-01457-2>.
- [29] AHRNÉ K, BENGTTSSON J, ELMQVIST T. Bumble bees (*Bombus* spp.) along a gradient of increasing urbanization[J]. *PLoS One*, 2009, 4(5): e5574.
- [30] HINNERS S J, KEARNS C A, WESSMAN C A. Roles of scale, matrix, and native habitat in supporting a diverse suburban pollinator assemblage[J]. *Ecological Applications: a Publication of the Ecological Society of America*, 2012, 22(7): 1923–1935.
- [31] DANIELS B, JEDAMSKI J, OTTERMANN S R, et al. A “plan bee” for cities: Pollinator diversity and plant-pollinator interactions in urban green spaces[J]. *PLoS One*, 2020, 15(7): e0235492.
- [32] GOULSON D, NICHOLLS E, BOTÍAS C, et al. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers[J]. *Science*, 2015, 347(6229): 1255957.
- [33] 潘城宸, 王铖, 王洁, 等. 美国传粉花园建设与管理实践研究及其对中国的启示[J]. *园林*, 2023, 40(9): 116–122.
- [34] 邹晓春, 龚燕兵. 传粉者友好型城市: 现状与展望[J]. *生物资源*, 2021, 43(6): 597–605.
- [35] MADER E, SHEPHERD M, VAUGHAN M, et al. Attracting native pollinators: protecting North America's bees and butterflies[M]. Storey Publisher, 2011.
- [36] FUKASE J. Increased pollinator activity in urban gardens with more native flora[J]. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2016, 14(1): 297–310.
- [37] 潘城宸. 传粉花园设计及植物群落构建研究[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2023.
- [38] OWEN J. Wildlife of a garden: a thirty-year study[C]. London: Royal Horticultural Society, 2010: 184–188.
- [39] CHRISTY. Ask Gardenerd: Pollinator Garden Density[EB/OL]. (2017–10–31) [2023–03–13]. <https://gardenerd.com/blog/ask-gardenerd-pollinator-garden-density/>.
- [40] 俞诗音, 王雅男, 李泽勋, 等. 不同时空情境下杭州市城市花境植物与访花昆虫间的相关性[J/OL]. *浙江理工大学学报(自然科学版)*: 1–9 [2023–12–28]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/33.1338.TS.20231102.0846.002.html>.
- [41] KLINE O, JOSHI N K. Mitigating the effects of habitat loss on solitary bees in agricultural ecosystems[J]. *Agriculture*, 2020, 10(4): 115.
- [42] PETRA L M, LISA M, MARTIN R. Garden plants for wild bees—Laypersons' assessment of their suitability and opinions on gardening approaches[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2021, 62: 127181.
- [43] PERSSON A S, EKROOS J, OLSSON P, et al. Wild bees and

- hoverflies respond differently to urbanisation, human population density and urban form [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2020, 204: 103901.
- [44] ZANINOTTO V, FAUVIAU A, DAJOZ I. Diversity of greenspace design and management impacts pollinator communities in a densely urbanized landscape: the city of Paris, France [J]. *Urban Ecosystems*, 2023, 26(2): 503–515.
- [45] HE M Y, RAN N, JIANG H Q, et al. Effects of landscape and local factors on the diversity of flower-visitor groups under an urbanization gradient, a case study in Wuhan, China [J]. *Diversity*, 2022, 14(3): 208.
- [46] 江雨, 高亦珂. 家庭花园对城市生物多样性的贡献与展望 [J]. *中国城市林业*, 2023, 21(4): 66–72.
- [47] TONETTO R, FANT J, ASCHER J, et al. A comparison of bee communities of Chicago green roofs, parks and prairies [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2011, 103(1): 102–108.
- [48] HUSSAIN R I, FRANK T, KRATSCHEMER S. More insect species are supported by green roofs near public gardens [J]. *Journal of Insect Conservation*, 2023, 27(6): 941–946.
- [49] MORASH J, WRIGHT A, LEBLEU C, et al. Increasing sustainability of residential areas using rain gardens to improve pollutant capture, biodiversity and ecosystem resilience [J]. *Sustainability*, 2019, 11(12): 3269.
- [50] 刘晖, 李仓栓, 王晶懋. 低影响开发引导下的生境与植物群落景观建构 [J]. *中国园林*, 2019, 35(10): 13–18.
- [51] HARRIS B A, POOLE E M, BRAMAN S K, et al. Consumer-ready insect hotels: an assessment of arthropod visitation and nesting success [J]. *Journal of Entomological Science*, 2021, 56(2): 141–155.
- [52] HANE E N, KORFMACHER K F. Insect “Bee&Bees” and pollinator penthouses: teaching students about pollinators and their services in an urban environment [J]. *Urban Ecosystems*, 2022, 25(4): 1057–1064.
- [53] ANDERSON M, CRUBAUGH F, GREENSLIT C, et al. B.Y.O. Bees: managing wild bee biodiversity in urban greenspaces [J]. *PLoS One*, 2023, 18(4): e0281468.
- [54] GLENNY W, RUNYON J B, BURKLE L A. A review of management actions on insect pollinators on public lands in the United States [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2022, 31(8): 1995–2016.
- [55] 张淑菁, 王成. 近20年来欧洲城市生物多样性研究进展 [J]. *中国城市林业*, 2022, 20(6): 15–24.

~~~~~

(上接第33页)

- [15] KAPLAN R, KAPLAN S. *The experience of nature: a psychological perspective* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- [16] 殷雨婷, 邵钰涵, 薛贞颖, 等. 疗愈性街景元素识别与评价研究 [J]. *景观设计学*, 2020, 8(4): 76–89.
- [17] 彭慧蕴, 谭少华. 城市公园环境的恢复性效应影响机制研究: 以重庆为例 [J]. *中国园林*, 2018, 34(9): 5–9.
- [18] DE VRIES S, VERHEIJ R A, GROENEWEGEN P P, et al. Natural environments—healthy environments? an exploratory analysis of the relationship between greenspace and health [J]. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 2003, 35(10): 1717–1731.
- [19] BAGOT K L, ALLEN F C L, TOUKHSATI S. Perceived restorativeness of children's school playground environments: nature, playground features and play period experiences [J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2015, 41: 1–9.
- [20] 王宝强, 陈娴, 施澄. 基于多源数据的武汉市环城游憩空间特征解析 [J]. *中国园林*, 2021, 37(6): 49–54.
- [21] ADCOCK C J. Sample size determination: a review [J]. *Journal of the Royal Statistical Society Series D: the Statistician*, 1997, 46(2): 261–283.
- [22] COLLADO S, STAATS H, SORREL M A. A relational model of perceived restorativeness: Intertwined effects of obligations, familiarity, security and parental supervision [J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2016, 48: 24–32.
- [23] PAQUET C, ORSCHULOK T P, COFFEE N T, et al. Are accessibility and characteristics of public open spaces associated with a better cardiometabolic health? [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2013, 118: 70–78.
- [24] 羿可, 杨定海. 基于SD法的校园绿色空间恢复性知觉效益 [J]. *中国城市林业*, 2022, 20(5): 125–130.
- [25] ZHANG Z J, ZHUO K F, WEI W H, et al. Emotional responses to the visual patterns of urban streets: evidence from physiological and subjective indicators [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(18): 9677.
- [26] VAN DEN BERG A E, HARTIG T, STAATS H. Preference for nature in urbanized societies: stress, restoration, and the pursuit of sustainability [J]. *Journal of Social Issues*, 2007, 63(1): 79–96.
- [27] NIELSEN G, TAYLOR R, WILLIAMS S, et al. Permanent play facilities in school playgrounds as a determinant of children's activity [J]. *Journal of Physical Activity & Health*, 2010, 7(4): 490–496.
- [28] HARTIG T. Three steps to understanding restorative environments as health resources [M]. London: Taylor & Francis, 2007.