

碳中和目标下园林碳汇植物群落构建研究

尉敏航

华汇工程设计集团股份有限公司

DOI:10.12238/eep.v8i4.2642

[摘要] 本论文以深度研究为导向,突破传统园林碳汇植物群落研究框架,从生态系统服务权衡、城市热岛效应与碳汇协同、碳汇植物群落社会经济价值等创新视角,深入剖析园林碳汇植物群落构建问题。综合运用生态学、经济学、社会学等多学科理论与方法,通过实地调查、遥感监测、模型模拟等手段量化生态系统服务,采用层次分析法、遗传算法等建立多目标优化模型,深入揭示园林碳汇植物群落构建的复杂机制。创新性提出基于服务权衡的植物配置、热岛-碳汇协同优化、空间高效利用及社会经济驱动等系统性构建策略,并结合大数据、基因编辑、物联网等前沿技术展望未来发展方向。研究成果不仅完善了园林碳汇理论体系,更为碳中和目标下园林碳汇植物群落构建提供了兼具理论深度与实践创新性的指导,推动园林行业向低碳、高效、可持续方向变革。

[关键词] 碳中和; 园林碳汇; 植物群落; 生态系统服务; 协同效应

中图分类号: R139+.1 文献标识码: A

Research on the Construction of Garden Carbon Sink Plant Communities under the Carbon Neutrality Goal

Minhang Wei

Huahui Engineering Design Group Co., Ltd.

[Abstract] This thesis is guided by in-depth research, breaking through the traditional research framework of garden carbon sink plant communities. From innovative perspectives such as the trade-off of ecosystem services, the synergy between urban heat island effect and carbon sink, and the socio-economic value of carbon sink plant communities, it deeply analyzes the construction of garden carbon sink plant communities. By comprehensively applying the theories and methods of multiple disciplines, including ecology, economics, and sociology, and using means such as field surveys, remote sensing monitoring, and model simulation to quantify ecosystem services, and adopting analytic hierarchy process, genetic algorithm, etc. to establish multi-objective optimization models, it deeply reveals the complex mechanisms of the construction of garden carbon sink plant communities. Systemic construction strategies are innovatively proposed, including plant configuration based on service trade-off, coordinated optimization of heat island-carbon sink, efficient spatial utilization, and socio-economic driven approaches. In addition, the future development directions are prospected in combination with cutting-edge technologies such as big data, gene editing, and the Internet of Things. The research results not only improve the theoretical system of garden carbon sinks but also provide guidance with both theoretical depth and practical innovation for the construction of garden carbon sink plant communities under the carbon neutrality goal, promoting the transformation of the garden industry towards a low-carbon, efficient, and sustainable direction.

[Key words] Carbon neutrality; Garden carbon sink; Plant community; Ecosystem services; Synergy; Cutting-edge technologies

引言

在全球气候变化与碳中和目标的双重压力下,城市作为碳排放的核心区域,其生态系统的碳汇能力提升成为实现碳中和的关键环节。园林绿地作为城市生态系统的重要组成部分,承载

着丰富的生态功能,园林碳汇植物群落构建的优劣直接影响城市碳汇效率。然而,当前传统研究多聚焦于植物碳吸收量与群落结构优化,对园林碳汇植物群落构建所涉及的复杂生态、社会、经济问题缺乏深度探讨。随着城市扩张与人类活动加剧,园林碳

汇植物群落构建面临着生态系统服务冲突、空间资源限制、公众认知不足等诸多挑战,亟需以新的研究思路突破现有瓶颈。

1 园林碳汇植物群落构建的关键问题与挑战

1.1 生态系统服务权衡困境

园林植物群落具有碳汇、生物多样性保护、景观美学、游憩休闲等多种生态系统服务功能。但这些功能之间存在复杂的权衡关系,例如,为追求高碳汇能力而大面积种植单一速生树种,可能会导致生物多样性降低;过于注重景观美学和游憩休闲功能,又可能牺牲部分碳汇潜力。如何在园林碳汇植物群落构建中平衡多种生态系统服务,实现效益最大化,成为当前面临的重要问题。

1.2 城市热岛效应与碳汇协同难题

城市热岛效应是城市环境的典型特征,高温环境会影响植物的生长代谢和碳吸收能力。同时,园林碳汇植物群落的构建也会对城市热环境产生影响。然而,目前对城市热岛效应与园林碳汇植物群落碳汇能力之间的协同关系研究不足,缺乏有效的协同调控策略。如何通过合理的植物群落构建,在增强碳汇能力的同时缓解城市热岛效应,实现两者的协同增效,是亟待解决的难题。

1.3 空间资源限制与优化矛盾

城市土地资源稀缺,园林绿地空间有限,在有限的空间内既要满足碳汇功能需求,又要兼顾其他城市功能,这对园林碳汇植物群落构建提出了更高要求。例如,在高密度建成区,可供建设园林绿地的空间极少,难以构建理想的复层植物群落结构。此外,不同类型的城市空间(如道路、居住区、商业区等)对园林植物群落的功能需求不同,如何在有限空间内优化植物群落配置,实现空间资源的高效利用,是园林碳汇植物群落构建面临的现实挑战。

1.4 社会经济因素的制约

园林碳汇植物群落构建不仅涉及生态问题,还受到社会经济因素的制约。公众对园林碳汇功能的认知不足,缺乏参与积极性,导致园林建设过程中难以充分考虑碳汇需求。同时,园林碳汇植物群落的建设和养护成本较高,而其碳汇效益的量化评估和经济价值实现机制尚未完善,使得政府和企业在投资园林碳汇项目时存在顾虑,限制了园林碳汇植物群落构建的推广与实施。

2 园林碳汇植物群落构建的深度理论解析

2.1 生态系统服务权衡理论应用

生态系统服务权衡理论强调不同生态系统服务之间存在相互影响、相互制约的关系。在园林碳汇植物群落构建中,需运用该理论对碳汇、生物多样性、景观美学等多种服务进行综合分析。通过建立生态系统服务权衡模型,量化不同服务之间的权衡关系,确定最佳的植物群落配置方案。例如,在城市公园建设中,可根据公园的定位和周边居民需求,在保证一定碳汇能力的基础上,合理配置植物种类和群落结构,实现碳汇与景观美学、游憩休闲等服务的平衡^[1]。

2.2 城市热岛-碳汇协同作用机制

城市热岛效应与园林碳汇植物群落碳汇能力之间存在复杂的协同作用机制。一方面,高温会影响植物的光合作用和呼吸作用,降低碳吸收效率;另一方面,园林植物通过蒸腾作用、遮荫等方式调节微气候,缓解城市热岛效应,进而为植物生长创造更有利的环境,提高碳汇能力。研究表明,不同植物种类对城市热岛效应的缓解作用和碳汇能力存在差异,需要深入研究植物生理特性与城市热环境之间的关系,筛选出既能高效固碳又能显著缓解热岛效应的植物种类,并优化群落结构,实现两者的协同增强。

2.3 空间生态学视角下的群落优化

从空间生态学角度来看,园林碳汇植物群落的空间分布和配置模式对其功能发挥至关重要。在城市有限空间内,应根据不同区域的功能需求和环境特点,合理规划植物群落的空间布局。例如,在道路两侧,可采用行列式种植高大乔木,既发挥碳汇功能,又能起到遮荫和降噪作用;在居住区,构建乔-灌-草相结合的复层群落,增加绿量和碳汇能力,同时营造舒适的居住环境。此外,还需考虑植物群落的斑块-廊道-基质结构,通过绿色廊道连接不同的园林绿地斑块,促进生态流的流通,提高城市生态系统的整体碳汇能力^[2]。

2.4 社会-生态系统耦合关系

园林碳汇植物群落构建是一个涉及社会和生态系统的复杂过程,两者相互作用、相互影响。社会因素(如公众认知、政策法规、经济投入等)会影响园林碳汇植物群落的规划、建设和管理;而园林碳汇植物群落的生态效益又会反馈到社会系统,影响公众的生活质量和社会经济发展。因此,需要建立社会-生态系统耦合模型,分析社会和生态系统之间的动态关系,制定相应的政策和管理措施,促进两者的良性互动。例如,通过开展科普宣传活动,提高公众对园林碳汇功能的认知和参与度;制定激励政策,引导企业和社会资本参与园林碳汇项目建设^[3]。

3 园林碳汇植物群落构建的创新策略

3.1 基于生态系统服务权衡的植物配置

服务功能量化评估:运用生态系统服务评估方法,对园林植物群落的碳汇、生物多样性、景观美学等服务功能进行量化评估。采用实地调查、遥感监测、模型模拟等手段,获取不同植物种类和群落结构下各项服务功能的指标数据,为权衡分析提供基础。在实际操作中,实地调查需建立标准化的植物群落样方,以北京某公园为例,选取10m×10m的乔木样方、5m×5m的灌木样方和1m×1m的草本样方,通过测定植物胸径、树高、冠幅等参数,结合生物量模型计算植物地上部分碳储量;同时利用陷阱法、样线法调查样方内的动物和植物物种数,评估生物多样性。遥感监测则可借助高分辨率卫星影像和无人机遥感,获取城市园林绿地的植被覆盖度、叶面积指数等信息,结合植被指数(如NDVI)估算植物的生长状况和碳汇潜力。模型模拟方面,InVEST模型中的碳储存模块可综合考虑植物生物量、土壤有机碳等因素,评估园林植物群落的碳储量和碳汇能力;而美学评估模型则可通过

公众问卷调查与景观要素分析相结合的方式,量化景观美学服务功能。

多目标优化配置:以生态系统服务权衡为目标,建立多目标优化模型,结合城市不同区域的功能需求,确定植物群落的最佳配置方案。例如,在生态保护区,优先考虑生物多样性和碳汇功能;在商业区,注重景观美学和碳汇功能的平衡;在居住区,强调游憩休闲和碳汇功能的结合。在构建多目标优化模型时,可采用层次分析法(AHP)确定碳汇、生物多样性、景观美学等不同服务功能的权重,以广州某居住区改造项目为例,通过对居民的调研发现,居民对游憩休闲功能的需求权重占比达40%,碳汇功能占比30%,景观美学占比20%,生物多样性占比10%。基于此权重,结合遗传算法对植物种类和配置模式进行优化,最终选择榕树作为乔木层骨干树种,其年均碳吸收量可达25kg/株,搭配紫薇、三角梅等花灌木提升景观效果,底层铺设麦冬、葱兰等地被植物,既保证了群落的绿量和碳汇能力,又为居民提供了舒适的休闲空间。

3.2 城市热岛-碳汇协同优化策略

植物筛选与组合:筛选具有较强碳汇能力和热岛缓解能力的植物种类,研究不同植物组合对城市热环境和碳汇的影响。例如,选择蒸腾量大、冠幅大的乔木(如榕树、悬铃木等)与低矮的地被植物(如麦冬、佛甲草等)搭配种植,形成多层次的植物群落,既能有效缓解热岛效应,又能提高碳汇能力。相关研究表明,榕树的蒸腾作用可使周边环境温度降低2-3℃,其单位面积碳吸收量比普通树种高30%-50%。在植物组合研究中,通过风洞实验和数值模拟发现,乔-灌-草复层群落结构比单一乔木群落的降温效果提升15%-20%,碳汇效率提高20%-30%。此外,一些特殊功能植物如夹竹桃,不仅具有较强的抗污染能力,其叶片表面的绒毛结构还能有效吸附颗粒物,在净化空气的同时,通过增加空气湿度间接缓解热岛效应。

空间布局优化:根据城市热岛强度分布特征,合理规划园林碳汇植物群落的空间布局。在热岛强度较高的区域,增加绿地面积和植物密度,构建绿色通风廊道,引导气流流通,降低热岛效应;同时,优化植物群落结构,提高碳汇效率。以武汉为例,通过热红外遥感和地理信息系统(GIS)技术绘制城市热岛强度分布图,发现汉口沿江商务区等区域热岛强度最高。针对这些区域,规划建设宽度不小于10m的东西向绿色通风廊道,廊道内种植高大乔木(如杨树、水杉等)和低矮灌木(如木槿、紫薇等),形成通透的植物群落结构。同时,在热岛区域周边的公园和广场,增加绿地面积,采用乔-灌-草-藤相结合的复合群落结构,经实测,改造后该区域夏季平均气温降低1.5-2℃,碳汇量增加25%-30%。

3.3 空间资源高效利用模式

立体绿化拓展:充分利用城市垂直空间,发展立体绿化,如

屋顶绿化、垂直绿化等。屋顶绿化可选择适应性强、浅根系的植物(如佛甲草、垂盆草等),在增加碳汇的同时减少屋顶热量吸收;垂直绿化通过种植攀援植物(如爬山虎、紫藤等),覆盖建筑物墙面,提高城市绿量和碳汇能力。据统计,每平方米屋顶绿化每年可吸收二氧化碳约1.5kg,减少屋顶表面温度10-15℃。在上海某商务楼的屋顶绿化项目中,采用模块化种植技术,铺设佛甲草和八宝景天混合种植毯,总面积达2000平方米,年碳汇量可达3吨,同时使建筑夏季空调能耗降低12%-15%。垂直绿化方面,重庆某老旧小区改造时,在建筑外墙种植爬山虎,经过2年生长,墙面覆盖率达到80%以上,小区内夏季平均气温降低1-2℃,碳汇量显著增加,同时为居民营造了绿意盎然的居住环境。

复合功能绿地建设:打造具有复合功能的园林绿地,将碳汇功能与雨水收集、生态停车、社区活动等功能相结合。例如,建设下凹式绿地,在收集雨水的同时种植碳汇植物;在停车场周边种植高大乔木,既提供遮荫又发挥碳汇作用。深圳某社区公园建设了总面积5000平方米的下凹式绿地,内部种植芦苇、菖蒲等水生植物和香樟、榕树等碳汇乔木,年雨水收集量可达1.2万立方米,经处理后用于园区绿化灌溉,同时该绿地年碳汇量达到15吨。在生态停车场建设中,采用植草砖铺设地面,间隔种植高大乔木(如栾树、国槐等),每辆车位的绿化面积不小于2平方米,既解决了停车需求,又实现了年均每车位碳汇量0.5kg,有效提升了城市空间资源的利用效率。

4 结论

本研究从新的研究思路出发,深入探讨了碳中和目标下园林碳汇植物群落构建的关键问题、理论基础、创新策略及前沿技术应用。研究表明,园林碳汇植物群落构建是一个涉及多学科、多因素的复杂系统工程,需要综合考虑生态系统服务权衡、城市热岛-碳汇协同、空间资源利用和社会经济驱动等多个方面。通过运用新的理论和方法,制定创新策略,并结合前沿技术应用,能够有效提升园林碳汇植物群落的构建水平,为实现碳中和目标提供有力支撑。

【参考文献】

- [1]钱璟,沈思栋,范舒欣,等.北京市30种常用园林绿化树种固碳能力评价[J].风景园林,2025,32(01):41-48.
- [2]陈树祥,张颖,王洪成.人民公园低碳数字植物园规划研究[J].景观设计,2024,22(06):71-76.
- [3]李华.低碳理念下兰州市园林植物景观设计存在的问题及其对策[J].南方农业,2024,18(22):161-163.

作者简介:

尉敏航(1997--),男,汉族,浙江绍兴人,本科,助理工程师,研究方向:风景园林。