

中国城市园林绿化增汇减排研究热点与趋势

Research Hotspots and Trends of Landscaping to Increase Carbon Sinks and Reduce Carbon Emissions in China

易 扬 张桂莲* 张 浪*
YI Yang ZHANG Guilian* ZHANG Lang*

(上海市园林科学规划研究院, 城市困难立地生态园林国家林业和草原局重点实验室, 国家林业和草原局城市困难立地绿化造林国家创新联盟, 上海城市困难立地绿化工程技术研究中心, 上海 200232)

(Shanghai Academy of Landscape Architecture Science and Planning, Key Laboratory of National Forestry and Grassland Administration on Ecological Landscaping of Challenging Urban Sites, National Innovation Alliance of National Forestry and Grassland Administration on Afforestation and Landscaping of Challenging Urban Sites, Shanghai Engineering Research Center of Landscaping on Challenging Urban Sites, Shanghai, China, 200232)

文章编号: 1000-0283(2025)03-0050-07

DOI: 10. 12193/j. laing. 2025. 03. 0050. 006

中图分类号: TU986

文献标志码: A

收稿日期: 2024-04-23

修回日期: 2024-08-13

摘 要

全球气候变化背景下, 利用低碳理念对园林景观进行营建、养护和管理, 是实现城市“双碳”目标的重要举措。“节能减排”是园林绿化领域增汇减排的研究热点, 多学科交叉融合是该领域的主要特征之一。总结中国园林绿化增汇减排的研究进展, 并构建城市园林绿化增汇减排技术框架, 以期为构建中国高碳汇功能的园林绿化体系提供借鉴。园林绿化的增汇措施主要包含增加绿化面积、营建高碳汇植物群落和提升土壤有机质含量等; 减排措施主要包含园林绿化生产阶段、建造阶段和管护阶段中的各种低碳技术方案和可再生能源的利用。城市园林绿化应该充分利用新技术手段, 明确绿地碳库组成、碳循环特征、碳收支结构及固碳增汇措施, 加强对监测数据的管理和分析, 构建体系化的标准、规范和指南, 指导城市园林绿化的低碳建设和运营, 巩固提升园林绿化固碳增汇能力, 促进园林绿化减污降碳协同增效。

关键词

园林绿化; 碳汇; 减排; 效能提升

Abstract

In the context of global climate change, constructing, maintaining, and managing garden landscapes under a low carbon concept is vital for achieving the "double carbon" goals in cities. "Energy saving and emission reduction" is a prominent research topic in the landscaping field. This paper summarizes research advancements in afforestation in China and outlines the technical framework for urban landscape afforestation. It aims to provide a reference for developing a garden greening system with a significant carbon sink function in China. Currently, the technological system for increasing carbon sinks and reducing carbon emissions is mainly categorized into two aspects. The carbon sink enhancement system primarily includes expanding green areas, establishing plant communities with high carbon storage capacity, and increasing soil organic matter content. The emission reduction system involves various technical solutions and the use of renewable energy throughout the production, construction, and management stages of landscaping. The urban landscaping industry should fully utilize new technological means, develop systematic standards and norms, and improve the management and analysis of monitoring data. This will guide the low-carbon construction and operation of urban landscaping, enhance carbon sequestration capacity, and promote the synergistic effects of landscaping in reducing pollution and carbon emissions.

Keywords

landscaping; carbon sink; reduce carbon emission; efficiency improvement

易 扬

1990年生/女/江苏兴化人/博士/高级工程师/研究方向为景观生态学

张桂莲

1976年生/女/山西太原人/博士/教授级高级工程师/研究方向为生态学

张 浪

1964年生/男/安徽合肥人/博士/教授级高工(二级)/博士生导师, 首届上海杰出人才/上海领军人才/享受国务院特殊津贴专家/上海市园林科学规划研究院前院长, 城市困难立地园林绿化国家创新联盟理事长、上海城市困难立地绿化工程技术研究中心主任、城市困难立地生态园林国家林草局重点实验室主任/兼任国家住建部科技委园林绿化专委会副主任委员、全国风景园林标准委员会副主任委员等/研究方向为生态园林规划设计与技术研究/本刊主编

*通信作者 (Author for correspondence)

E-mail: zgl@shsyky.com; zl@shsyky.com

基金项目:

国家重点研发计划课题“城市蓝绿空间低碳建设关键技术集成与示范”(编号: 2022YFC3802605); 上海市科委青年科技英才扬帆计划“基于高光谱和激光雷达的城市绿地植被群落碳汇计量监测技术研究”(编号: 22YF1444000); 上海市科委软科学研究青年项目“‘双碳’背景下上海城市绿地碳汇功能评估体系研究”(编号: 23692120300); 上海市科委自然科学基金面上项目“城市绿地三维结构对夏季热岛效应的影响机制研究”(编号: 23ZR1459700); 广西科技基地和人才专项“竹—茶混种模式下毛竹林土壤质量的长期变化及其反馈研究”(编号: 桂科AD21220163)

城市占全球陆地面积的2%，却消耗了2/3的世界能源，未来温室气体排放量的增长将主要来自城市^[1]。当前，城镇化产生的人口膨胀、资源枯竭、环境恶化等问题及城市建设与人口、用地之间的矛盾日益显现^[2]。到2030年，60%的世界人口将生活在城市，建设用地面积将增加120万 km²，是2000年建设用地区面积的三倍^[3-4]。快速的城市化伴随工业的不断发展，化石能源的广泛使用导致全球气候变暖，对环境造成重大威胁^[5-6]。为有效应对全球变暖，《联合国气候变化框架公约》的近200个国家缔约方在2015年12月的巴黎气候变化会议上达成了《巴黎协定》，其长期目标是将全球平均气温与工业化前水平相比保持在2℃以内，并将这一数字控制在1.5℃内^[7]。2020年9月，习近平总书记在第七十五届联合国大会提出，中国CO₂排放力争于2030年前达到峰值，2060年前实现碳中和。只有依靠经济社会发展全面绿色转型的高质量发展，推动经济生活走上绿色低碳循环发展道路，才是实现碳达峰、碳中和目标的必由之路。应对气候变化的关键在于增汇减排，可以通过产业结构调整、研发节能减排技术等方式减少温室气体排放，还可以通过植树造林、园林绿化、生态修复等措施，增加绿色生态空间的碳汇能力，从而抵消一定量的碳排放。

城市绿地是吸收城市碳排放的重要功能区，由于植物对CO₂的积极吸收，一些植被密集的地区在温暖月份可以实现碳中和^[8-9]。城市绿地是一个巨大的碳库，Churkina等^[10]证明，人类居住区64%的碳储存来自土壤，20%来自植被，11%来自垃圾填埋场，5%来自建筑。城市公园和草坪的土壤可以存储大量的碳，其存储量可能远远超过原生草地、农田和北方森林^[11-13]。并且，土壤的碳

储存时间比其他材料（例如木材）所能储存的时间长得多^[14]。此外，绿地中的淡水、湿地也具有重要碳汇功能，滨海湿地的年碳埋藏量预计可达0.22 Gg·C·km²，相当于燃烧3.36×10⁶ L汽油所排放的CO₂，中国滨海盐沼和红树林湿地的碳埋藏能力在21世纪末有望增加到1.82 ~ 3.64 Tg·C·a^[15]。因此，城市绿地具有较大的碳存储容量和潜力，但与自然环境中生长的植物不同，园林绿化中的植物在发挥固碳能力的同时，因为在施工、养护和管理的过程中涉及机械、材料和人工等方面而消耗能源造成碳排放。这需要在“双碳”背景下城市园林绿化的规划设计中加以考虑和利用。

园林绿化作为城市中重要的生态资源，对其进行提质增效，提升植被直接固碳能力和间接减排效能，减少建设、施工及养护等过程的碳排放成为行业碳中和的发展目标。当前“双碳”政策背景下，亟需对园林绿化行业的增汇减排体系进行整体分析，梳理该研究领域的发展趋势和研究现状，为后续的相关研究提供参考。本研究梳理中国园林绿化增汇减排的科研工作，运用文献分析软件进行整理分析，总结该领域在增汇减排方面的研究现状和发展趋势，构建城市园林绿化增汇减排技术框架，为今后相关工作的开展提供支撑。

1 文献收集和筛选

文献来源于中国知网(CNKI)中文数据库，以“园林增汇”和“园林减排”为检索词，逐条检查记录，删除信息有误和不相关的条目，得到215篇中文文献。最早出现该检索词的时间是2007年。每篇文献包含关键词、摘要、机构、作者和发表日期等信息。本文检索时间为2023年12月。

2 研究方法

目前绘制知识图谱的工具主要有Gephi、Pajek、CiteSpace等，其中CiteSpace因其简洁和美观的优势，成为常用的可视化文献分析工具之一^[16]。该软件可以耦合分析主题焦点、关键词、学者和机构，并统计和绘制知识图谱和网络节点，展示学科的发展历程、热点动态和知识脉络关系等。因此，采用CiteSpace 5.8.R3作为辅助工具，定量分析检索词为“园林增汇”和“园林减排”相关文献的数量和属性。

3 研究文献分析

3.1 关键词

在检索到的215篇文献的关键词中，“节能减排”出现17次，是出现最多的词汇，其次是“风景园林”（14次）、“低碳”（12次）、“园林绿化”（10次）和“园林景观”（10次），由此可见节能减排是该领域的研究重点^[17-18]。实现园林低碳减排，需要在园林建设、管理和维护的过程中涉及设计、施工和其他阶段的整个生命周期内，秉持低碳经济学、景观生态学和可持续发展的理念。园林全生命周期中包含碳排放和碳吸收两个部分，碳排放包括建设过程中对原有生态空间地表的破坏和贯穿整个生命周期的人为活动、机械设备和能源的耗费。碳吸收则主要涉及园林建设而新形成的蓝绿生态空间构成要素，包括园林中的植被、土壤、水体和湿地发挥的碳汇功能。园林建设过程中，应该通过基线设定和全过程监管，使园林建设在满足各项生态系统服务和经济效益的基础上，减少碳排放，同时增强蓝绿生态空间碳汇功能（图1）。园林绿化领域增汇与减排的研究不断深化，但相关技术方法仍有深化空间。

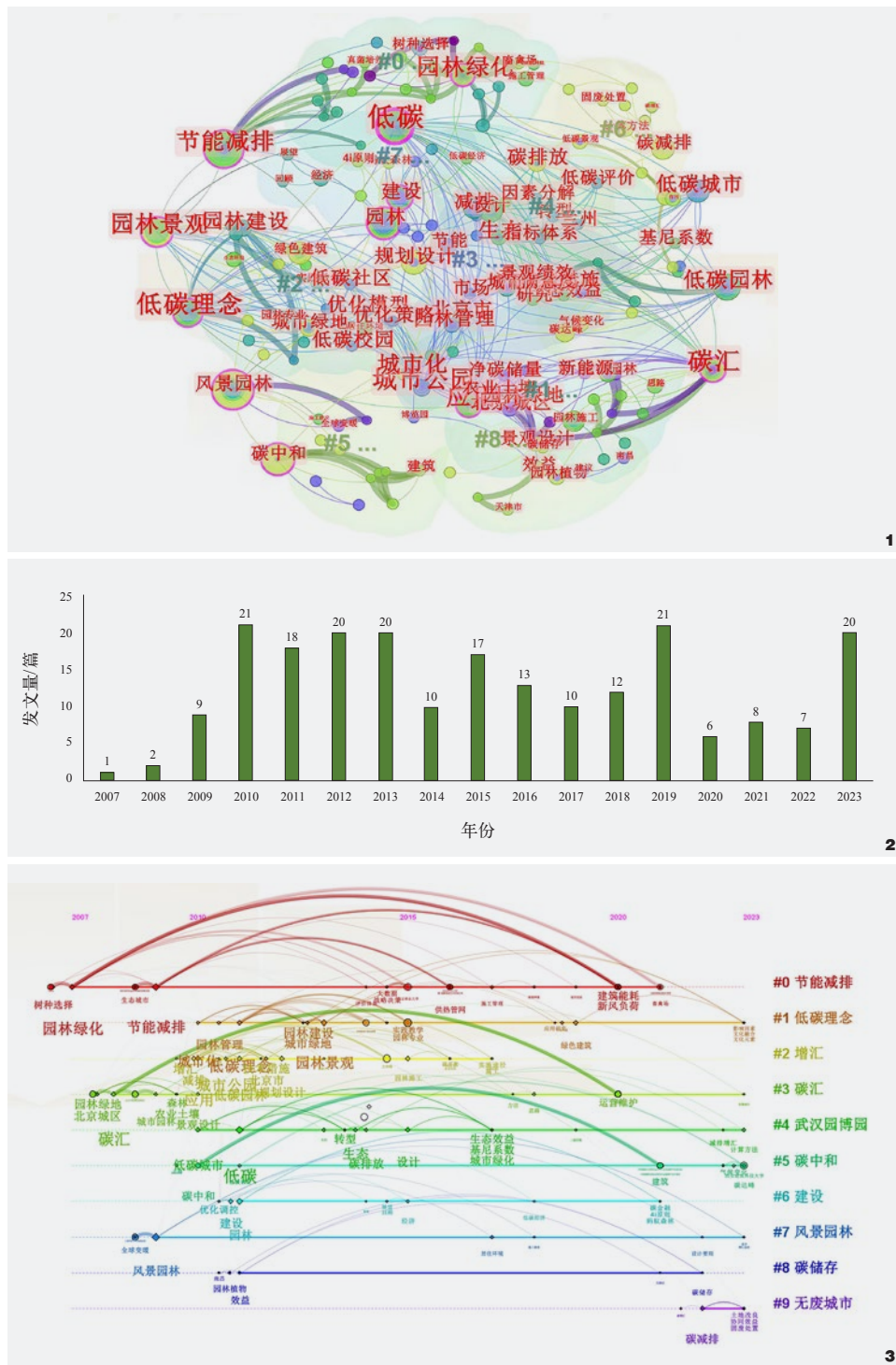


图1 关键词网络节点图
Fig. 1 Keywords network node diagram

图2 不同年份发文量
Fig. 2 Number of publications in different years

图3 关键词聚类时间
Fig. 3 Keywords clustering time

3.2 研究阶段

国内园林绿化领域增汇减排的相关研究最早出现在2007年,为贯彻落实国务院节能减排工作任务提出“推广节约型园林绿化,促进城市节能减排”。此后,园林绿化领域增汇减排的相关研究和发展大致可以分为4个阶段(图2)。(1) 2007–2010年为第一个阶段,发文量逐渐增加至21篇。这一时期,低碳园林的理念盛行,学者们倡导着眼园林生态系统的研究,降低园林建设和管护中的能源消耗,注重资源的循环利用^[19]。(2) 2011–2015年为第二个阶段,2014年该领域发文量有所减少,由20篇减至10篇,2015年增加至17篇。这一时期,学者提出节能型技术和智能园林系统设计方案,建议充分利用本土资源^[20–21]。(3) 2016–2020年该领域发文量有所波动,2016年之后发文量先是减少至2017年的10篇,后逐渐增加至2019年的21篇,在2020年断崖式减少至6篇。(4) 2021–2023年为第4个阶段,发文量由最初的8篇增加至2023年的20篇,这一时期提倡建设生态城市和公园城市,建议充分利用生态新材料(太阳能、风能和生物能),增强水体自净能力和植被碳汇能力^[22–23]。

从发展阶段来看,国内园林绿化增汇减排领域有以下三个特点:(1)起步较晚,2007年开始在国内有文献发表;(2)可追溯的相关学科和文献较早,参考风景园林、生态学等学科,引用的参考文献可追溯至1980年;(3)快速进入蓬勃发展阶段,发表文献数量逐年稳步上升,研究成果被多方肯定,2008年开始本领域研究成果开始被其他研究领域文献参考引用。文献关键词聚类可以分为10类(图3),分别为节能减排、低碳理念、增汇、碳汇、武汉园博园、碳中和、建设、风景园林、碳储存和无废城市。

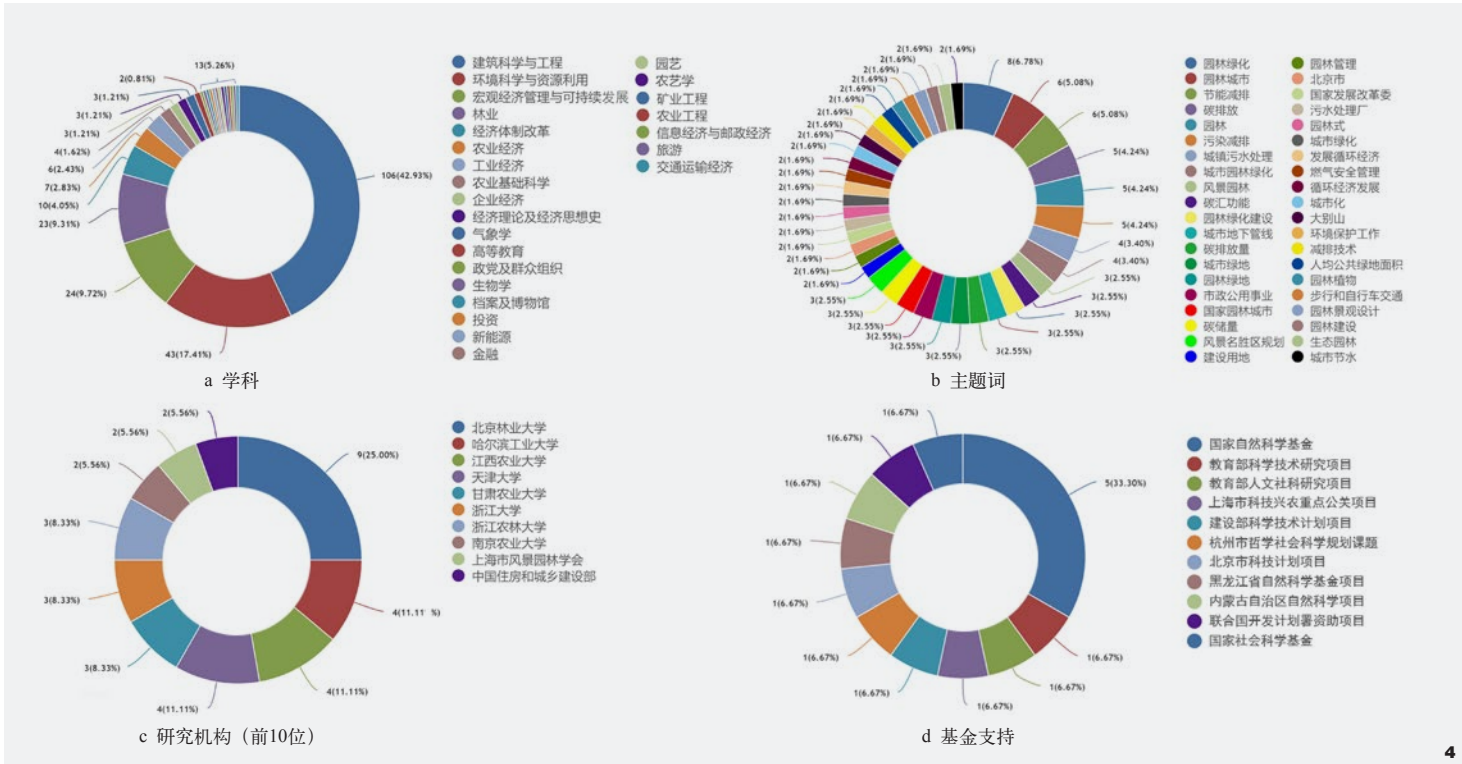


图4 文献所属类型分布情况
Fig. 4 Distribution of types of literature

3.3 研究学科和主题

园林增汇减排相关的研究主要集中在建筑科学与工程、环境科学与资源利用、宏观经济管理与可持续发展、林业、经济体制改革、农业经济学科,此外,气象学、高等教育、生物学、园艺、农艺、农业功能、矿业工程和旅游等领域也有涉及(图4-a)。其中,建筑科学与工程学科对园林低碳减排的相关研究最多,占比42.93%,其次是环境科学与资源利用(17.41%)、宏观经济管理与可持续发展(9.72%)和林业(9.31%),三者占比36.44%,以上4个学科的研究占比达到79.37%。从上述可以看出,园林增汇减排是一个涉及多个学科的交叉性科学领域,综合了生态、经济、环境、地理等学科的特点。利用多学科背景进行分析研究已经成为园林

绿化领域增汇减排研究的发展趋势。

相关研究文献的主题呈现多样、均衡的特点,其中占比靠前的主要有园林绿化(6.78%)、园林城市(5.08%)、节能减排(5.08%)、碳排放(4.24%)、园林(4.24%)、污染减排(4.24%)、城镇污水处理(3.39%)、城市园林绿化(3.39%),以上8个主题词占总量的36.44%(图4-b)。分析总结主题词,得出一系列与园林增汇减排相关的措施:在设计建设方面,强化地下管线设计,保障燃气安全,使用风能、光能和生物质等清洁能源,合理规划、设计和管护;在资源应用方面,细化节水措施,加强污水处理,改进传统交通资源,建设游憩式自行车等;在材料使用方面,采用低耗能的照明技术,减少使用高耗能的大型喷泉和其他建筑材料,提倡使用可持续

利用和循环利用的材料。

3.4 研究机构和基金支持

园林绿化增汇减排领域涉及的研究机构较多,本文筛选排名前10的机构进行分析,其中占比最高的是北京林业大学(25.00%),其次是哈尔滨工业大学(11.11%)、江西农业大学(11.11%)和天津大学(11.11%),四者占比达到58.33%(图4-c)。

该领域的基金项目主要来源于国家自然科学基金(占比33.30%),其他类型基金占比相同,分别是教育部科学技术研究项目、教育部人文社科研究项目、上海市科技兴农重点攻关项目、建设部科学技术计划项目、杭州市哲学社会科学规划课题、北京市科委计划项目、黑龙江省自然科学基金项目、内蒙古自治区自然科学基金项目、联合国开发计划署资助项目、国家社会科学基金。

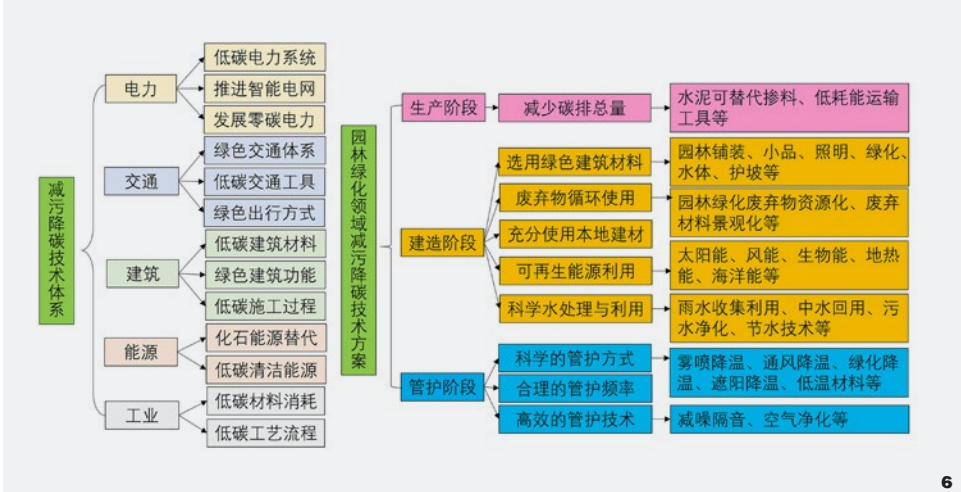
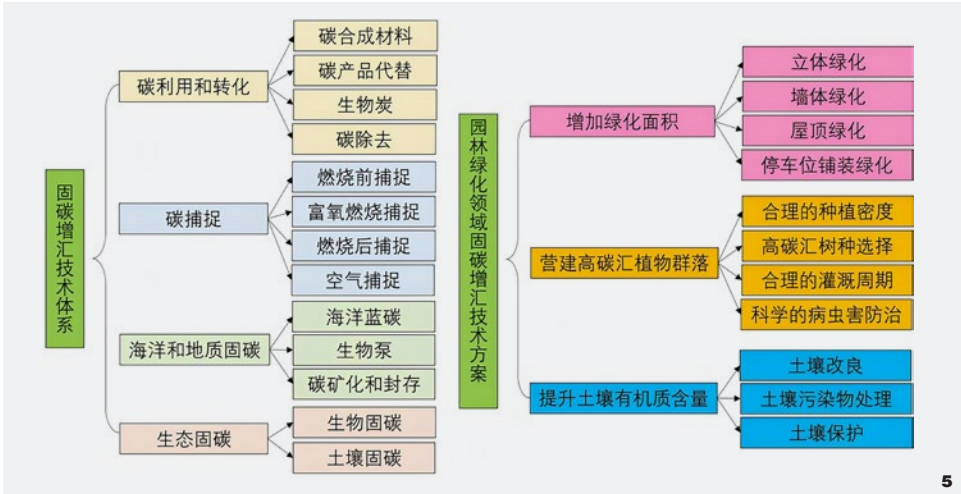


图5 固碳增汇技术框架
Fig. 5 Technical framework for carbon sequestration and incremental sinks

图6 减污降碳技术框架
Fig. 6 Technical framework for pollution reduction and carbon reduction

自治区自然科学基金、联合国开发计划署资助项目和国家社会科学基金(图4-d)。

4 增汇减排技术体系框架构建

基于园林绿化领域增汇减排相关的关键词、主题及学科特点等分析研究,梳理园林绿化行业在生产、建造和管护等各阶段的低碳节能、增汇减排等相关技术^[24-25],构建园林绿化领域增汇减排技术体系框架(图5,图6)。园林绿化过程中可通过增加绿化

面积、营建高碳汇植物群落和提升土壤有机质起到增汇作用^[26-27]。具体而言,增加绿化面积可以通过立体绿化、墙体绿化、屋顶绿化和停车位铺装绿化进行;营建高碳汇的植物群落可以通过合理的种植密度,选择高碳汇树种,进行合理的灌溉和科学的病虫害防治^[28-30];土壤是地球表面最大的有机碳库,也可以通过土壤改良、土壤保护和土壤污染物处理来提升土壤的有机质含量,进而起到园林增汇的作用。同时,在园林绿化生产阶

段、建造阶段和管护阶段中,可以通过减排技术来减少碳排放^[30-33]。例如在生产阶段,利用水泥可替代掺料、低耗能运输工具;在建造阶段,选用绿色建筑材料进行园林铺装和小品营建等,循环使用诸如绿化废弃物和废弃材料等,进行资源再利用和景观改良,充分使用本地建材,利用如太阳能、风能和生物能等可再生能源,科学处理与利用水资源;在管护阶段使用科学的管护方式,如进行高效的管护技术、合理的管护频率^[34-37]。

5 结论与讨论

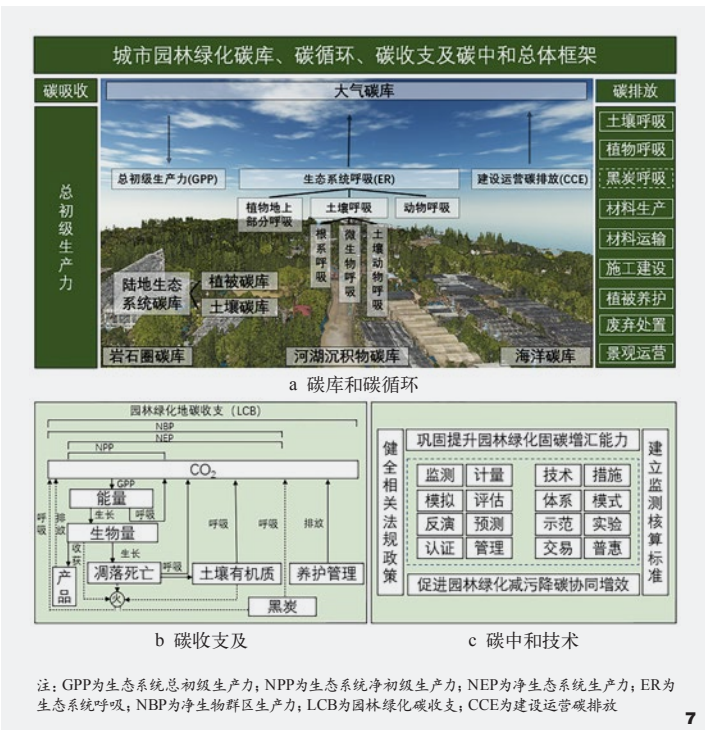
城市绿地作为城市中直接增汇和间接减排的重要组成部分,长期来看能提升城市碳汇能力。但在早期建设和长期运营过程中,其不可避免地会产生碳排放,当碳排放量值过高,绿地植被固碳量短期内难以抵消,碳平衡维持困难,反而使得绿地成为城市中的碳源。作为超大城市,上海市将在2035年实现2000座公园建设目标,同时又要达成碳中和目标;北京市2023年的全市公园总数也已达到1065个,千园之城不断扩容。如何在城市公园规划设计、施工建设及运营维护的全过程中落实低碳理念,巩固城市绿地碳汇能力,减少碳排放,提升城市绿地碳汇增量,厘清城市绿地中碳吸收和碳排放,准确核算城市绿地碳收支情况,十分重要。综合考虑城市绿地在碳汇与碳源方面的双重身份,探究其碳收支状况,对建立健全城市区域内碳达峰碳中和相关理论框架和评估体系至关重要,能帮助了解全球气候变化背景下城市绿地的碳汇功能生态效益。为此,本文梳理城市绿地碳汇和碳排放相关概念和关系,提出城市绿地碳库、碳循环、碳收支及固碳增汇总体框架(图7)。

当前,在“双碳”背景下,进一步开展

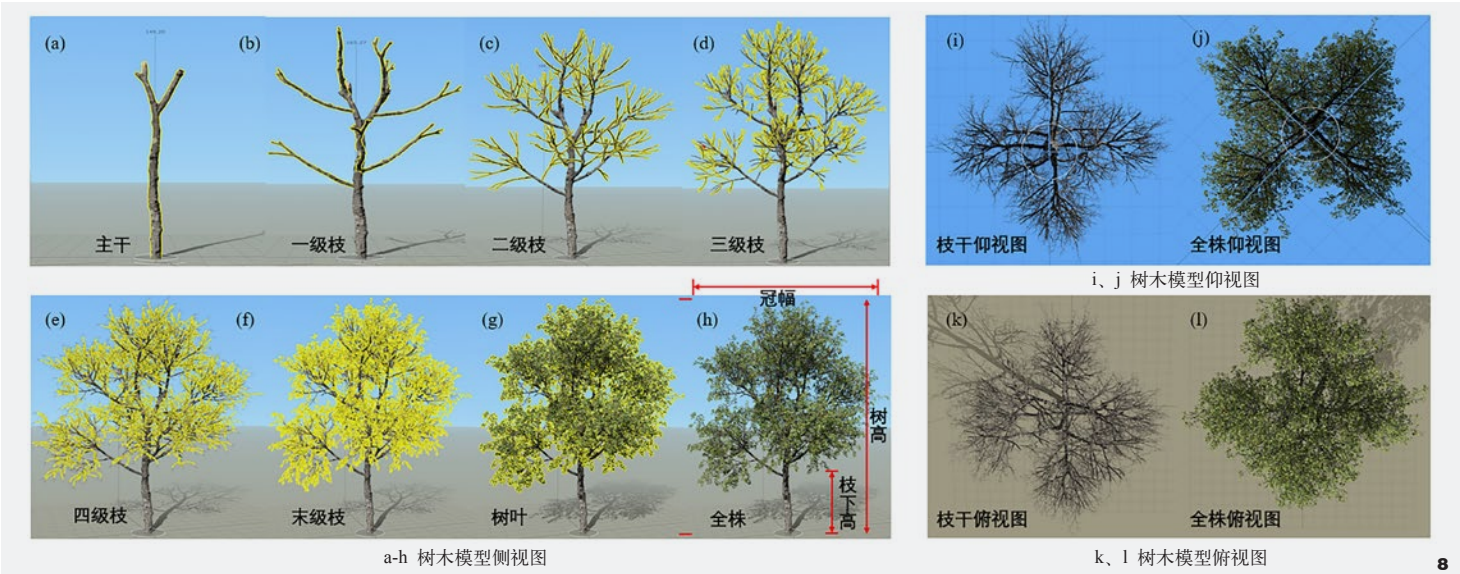
城市园林绿化建设，提升生态资源碳汇能力，降低园林绿化各环节的碳排放，是践行低碳理念、实现城市碳中和的重要途径^[38]。中国正处于城镇化蓬勃发展阶段，城市园林绿化与工业、商业和住宅用地竞争激烈，见缝插绿、发展屋顶绿化和墙体绿化是改善绿色基础

设施、增加生态空间的另一举措^[39-40]。开发和建设城市绿带，改变市民的出行方式，如步行和骑自行车等，可间接减少交通CO₂排放。优化城市生态空间结构，减缓热岛效应，减少空调使用，也可间接达到减排效果，全面促进城市生产、生活与生态的高质量发展^[41-42]。另外，在“双碳”背景下，城市园林绿化行业的碳源/汇应该满足可测量、可计算、可报告和可核查的原则和要求，要充分利用遥感、机器学习、5G等新技术手段，加强对监测数据的管理和分析，并跟踪监测和动态测量园林中植被的固碳能力，实时掌握城市绿地的碳汇效率。例如，利用无人机能够搭载摄影测量仪器（多光谱相机、高光谱相机、热红外相机等）和激光雷达设备等多个小型设备完成飞行任务并采集数据。通过联合多源异构数据，得到包含多重信息的植被信息数据，可以从水平和垂直方向对城市园林绿化中植被的形态进行全方位研究，突破现有二维层面研究结论，建立城市绿地植被的三维模型（图8）。通过建立的三维模型，可以直观获取以树木为例的植被的主干、各级枝干、树叶模型，客观获取树木的体积、树高、枝下高、冠幅和树冠投影面积等信息。此外，还可以构建体系化的标准规范，指导城市园林绿化的低碳建设和运营，提升城市园林绿化的碳汇能力，助力城市实现碳中和。

注：文中图片均由作者绘制。



7



8

图7 城市园林绿化碳库和碳循环、碳收支及碳中和总体框架
Fig. 7 Overall framework of carbon pool, carbon cycle, carbon budget and carbon neutrality in urban landscaping

图8 基于激光雷达和高光谱的城市园林绿化树木三维立体模型建立及参数获取示意图
Fig. 8 The establishment and parameter acquisition diagram of three-dimensional model of urban landscaping tree based on LiDAR and hyperspectrum

参考文献

- [1] 王庆华. 风景园林建设中低碳理念的实践途径[J]. 工程建设与设计, 2019(14): 23-24.
- [2] IPCC. Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems, IPCC (2019)[EB/OL]. [2024-02-05]. <https://www.ipcc.ch/srccl/>
- [3] SETO K C, GüNERALP B, HUTYRA L R. Global Forecasts of Urban Expansion to 2030 and Direct Impacts on Biodiversity and Carbon Pools[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2012, 109(40): 16083-16088.
- [4] GHOSH S. Urban Agriculture Potential of Home Gardens in Residential Land Uses: A Case Study of Regional City of Dubbo, Australia[J]. Land Use Policy, 2021, 109(2): 105686.
- [5] GIELEN D, TAYLOR P. Indicators for Industrial Energy Efficiency in India[J]. Energy, 2009, 34(8): 962-969.
- [6] YI Y, WANG B, SHI MC, et al. Variation in Vegetation and Its Driving Force in the Middle Reaches of the Yangtze River in China[J]. Water, 2021, 13(15): 2036.
- [7] HE Y, LIAO N, LIN K. Can China's Industrial Sector Achieve Energy Conservation and Emission Reduction Goals Dominated by Energy Efficiency Enhancement? A Multi-objective Optimization Approach[J]. Energy Policy, 2021, 149: 112108.
- [8] BERGERON O, STRACHAN I B. CO₂ Sources and Sinks in Urban and Suburban Areas of a Northern Mid-latitude City[J]. Atmospheric Environment, 2011, 45(8): 1564-1573.
- [9] LI P, WANG Z H. Environmental Co-benefits of Urban Greening for Mitigating Heat and Carbon Emissions[J]. Journal of Environmental Management, 2021, 293: 112963.
- [10] CHUKINA G, BROWN D G, KEOLEIAN G. Carbon Stored in Human Settlements: The Conterminous United States[J]. Global Change Biology, 2010, 16(1): 135-143.
- [11] KAYE J P, MCCULLEY R L, BURKE I C. Carbon Fluxes, Nitrogen Cycling, and Soil Microbial Communities in Adjacent Urban, Native and Agricultural Ecosystems[J]. Global Change Biology, 2005, 11(4): 575-587.
- [12] GOLUBIEWSKI N E. Urbanization Increases Grassland Carbon Pools: Effects of Landscaping in Colorado's Front Range[J]. Ecological Applications, 2006, 16(2): 555-571.
- [13] LINDÉN L, RIIKONEN A, SRTÄLä, et al. Quantifying Carbon Stocks in Urban Parks Under Cold Climate Conditions[J]. Urban for Urban Green, 2020, 49: 126633.
- [14] YI Y, SHI M C, LIU C J, et al. Changes of Ecosystem Services and Landscape Patterns in Mountainous Areas: A Case Study in the Mentougou District in Beijing[J]. Sustainability, 2018, 10(10): 3689.
- [15] 王法明, 唐剑武, 叶思源, 等. 中国滨海湿地的蓝色碳汇功能及碳中和对策[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(03): 241-251.
- [16] 韦宝婧, 胡希军, 朱满乐, 等. 基于CiteSpace的我国绿色生态网络研究热点与趋势[J]. 经济地理, 2021, 41(09): 174-183.
- [17] ZHOU Y, ZHUO C, DENG F. Can the Rise of the Manufacturing Value Chain be the Driving Force of Energy Conservation and Emission Reduction in China[J]. Energy Policy, 2021, 156(6): 112408.
- [18] 刘咏梅. 循环经济理论的研究综述[J]. 现代经济信息, 2016(02): 7.
- [19] 邓陈飞. 谈低碳理念应用于园林建设的理论与实践[J]. 国家林业局管理干部学院学报, 2014, 13(02): 17-20.
- [20] 吴建峰. 绿色智能园林系统设计[J]. 信息通信, 2015(6): 119-120.
- [21] 李龙飞, 张慧明. 园林施工中节能型技术的应用探析[J]. 绿色科技, 2015(6): 83-84.
- [22] 昌继芝, 刘金海. 生态技术在城市园林设计中的应用思路和方法[J]. 农业与技术, 2018, 38(20): 208.
- [23] 李红敏. 如何考虑环境污染的园林景观设计思路研究[J]. 居舍, 2019(1): 120.
- [24] 郑德高, 吴浩, 林辰辉, 等. 基于碳核算的城市减碳单元构建与规划技术集成研究[J]. 城市规划学刊, 2021(4): 43-50.
- [25] 冀媛媛, 罗杰威, 王婷, 等. 基于低碳理念的景观全生命周期碳源和碳汇量化探究——以天津仕林苑居住区为例[J]. 中国园林, 2020, 36(08): 68-72.
- [26] PINCETL S. The Reinvention of Public Green Space[J]. Urban Geography, 2005, 26(5): 365-384.
- [27] MICHAEL W, STROHBACH E A, DAGMARa H. The Carbon Footprint of Urban Green Space - A Life Cycle Approach[J]. Landscape and Urban Planning, 2012, 104: 220-229.
- [28] SOUSA C A D. Turning Brownfields into Green Space in the City of Toronto[J]. Landscape and Urban Planning, 2003, 62(4): 181-198.
- [29] 董菁, 左进, 李晨, 等. 城市再生视野下高密度城区生态空间规划方法——以厦门本岛立体绿化专项规划为例[J]. 生态学报, 2018, 38(12): 4412-4423.
- [30] YI Y, ZHAO Y Y, DING G D, et al. Effects of Urbanization on Landscape Patterns in a Mountainous Area: A Case Study in the Mentougou District, Beijing, China[J]. Sustainability, 2016, 8(11): 1190.
- [31] YI Y, ZHANG C, ZHANG G L, et al. Effects of Urbanization on Landscape Patterns in the Middle Reaches of the Yangtze River Region[J]. Land, 2021, 10(10): 1025.
- [32] YI Y, SHEN G, ZHANG C, et al. Quantitative Analysis and Prediction of Urban Heat Island Intensity on Urban-rural Gradient: A Case Study of Shanghai[J]. Science of The Total Environment, 2022, 22: 154264.
- [33] 曲建升, 陈伟, 曾静静, 等. 国际碳中和战略行动与科技布局分析及对我国的启示建议[J]. 中国科学院院刊, 2022, 37(04): 444-458.
- [34] HECK A, WILL H. Interim Use: Opportunity for New Open-space Quality[J]. German Journal of Urban Studies, 2007(01): 46.
- [35] 马蕴, 何建勇. 30个碳足迹计算器帮助市民碳中和[J]. 绿化与生活, 2020(11): 2.
- [36] 王云才, 杨眉, 奉朝洋. 高密度城区微绿地设计探讨——以上海城隍庙片区微绿地为例[J]. 南方建筑, 2017(02): 29-33.
- [37] 梁燕. 风景园林建设中低碳理念的实践途径[J]. 乡村科技, 2017(14): 47-48.
- [38] 张太芳, 周群会. 城市生态园林建筑的绿化设计及对生态环境污染的改善研究[J]. 环境科学与管理, 2023, 48(04): 172-177.
- [39] 黄颖. 低碳理念在城市园林景观设计中的应用设计思考[J]. 居舍, 2023(21): 121-124.
- [40] 王雪伊, 李惊, 吴佳鸣, 等. “双碳”目标下国内碳中和园林相关研究与展望[J]. 北京规划建设, 2023(04): 102-106.
- [41] 陈睿山, 陈丹, 王云. 风景园林应对气候变化的创新路径[J]. 华中农业大学学报, 2023, 42(04): 23-31.
- [42] 郑宇, 尹准生, 周原驰, 等. 北京市林业碳汇工作实践与发展建议[J]. 中南林业调查规划, 2023, 42(04): 5-9.