

风景园林科技创新支撑碳汇能力提升的思考与实践

Consideration and Practice of Landscape Architecture Science and Technology Innovation to Support the Improvement of Carbon Sink Capacity

张 浪
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 Sties, Shanghai Engineering Research Center of Landscape on Challenging Urban Sties, Shanghai, China, 200232)

文章编号: 1000-0283(2023)01-0004-06
DOI: 10. 12193 / j. laing. 2023. 01. 0004. 001
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2022-12-07

摘 要

风景园林是城市生态系统的重要构成, 是城市中唯一具有碳汇功能的基础设施, 也是实现人口高密度区碳中和的主要组成部分。针对全球气候变化, 从政策引导视角对科技创新支撑碳汇能力提升, 以及学科发展机遇作出剖析; 提出“双碳”战略是换跑道, 而不是原道超车, 其本身是一项极具挑战的系统工程, 需通过一系列颠覆性变革, 实现质变变迁, 而非量变到质变, 在新一轮产业革命中获得主角地位等革新思考; 梳理研究团队近年来在城市国土空间生态网络构建、城市困难立地高效园林绿化营建、城市森林与绿地碳汇监测评估三大方面增汇能力提升的探索研究及实践。进一步归纳前沿颠覆性低碳技术支撑下的未来工作重点, 包括实施行动计划编制、城市国土生态空间一体化修复、碳汇长期监测与计量体系构建、管理体制机制建设等, 以期风景园林科技创新为加快支撑碳中和目标实现而助力。

关键词

风景园林; 碳中和; 碳汇; 科技创新; 增汇途径

Abstract

Landscape architecture is an important component of the urban ecosystem and the only infrastructure with a carbon sink function in the city. It's also the main component of achieving carbon neutrality in high-density areas. In view of global climate change, this study analyzed the carbon sink capacity of scientific and technological innovation and the development opportunities of disciplines from the perspective of policy guidance. It was proposed that the “double carbon” strategy is to change the runway rather than overtaking on the same track. It is a very challenging system project and needs to achieve qualitative change through a series of subversive changes, rather than quantitative change to qualitative change, and obtain the leading role in a new round of industrial revolution. In addition, this study combed the exploration and practice of the author's scientific research team in recent years in three aspects: the construction of urban land space ecological network, the efficient landscaping construction of challenging urban sites, and the monitoring and evaluation of urban forest and green space carbon sequestration. The future work priorities under the support of cutting-edge subversive low-carbon technologies were summarized, including the preparation of action plans, the integrated restoration of urban land and ecological space, the construction of long-term carbon sink monitoring and measurement system, and the construction of management systems and mechanisms, with a view to accelerate the realization of carbon neutral goals through scientific and technological innovation in landscape architecture.

Keywords

landscape architecture; carbon neutralization; carbon sink; scientific and technological innovation; ways to increase carbon sink

张 浪

1964年生/男/安徽合肥人/博士/教授级高工, 博士生导师/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院长, 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/研究方向为生态园林规划设计与技术研究/本刊主编

基金项目:

国家自然科学基金面上项目“城市生态廊道多尺度结构与功能连接度的关联机制”(编号: 32171569); 上海市科委重点研发项目“基于生物多样性的城市困难立地高质量园林绿化智能技术及示范”(编号: 22dz1202200)

2020年9月22日, 习近平总书记在第七十五届联合国大会一般性辩论上郑重宣布:“中国将提高国家自主贡献力度, 采取更加有力的政策和措施, 二氧化碳排放力争2030年前达到峰值, 努力争取2060年前实现碳中和。”同年12月, 习近平总书记在气候峰会上进一步宣布:“到2030年, 中国单位国内生产总值二氧化碳排放将比2005年下降65%以上……”以助力《巴黎协定》, 开启了中国应对气候变化的新征程。何为“碳达峰碳中和”(以下简称“双碳”)? 简言之, “碳达峰”即二氧化碳排放量达到某一量值, 且碳排放量与经济发展量脱钩;“碳中和”即二氧化碳或温室气体排放量通过人为作用和自然过程能够抵消, 达到相对“零排放”。从“碳达峰”到“碳中和”, 不是量变到质变的过程, 而是依赖于科技革命系统性变革的质变过程^[1]。

以往的研究, 将碳中和的实现途径归纳为能源途径、技术途径、社会途径与低碳经营途径^[2,3], 风景园林助力碳中和的途径主要通过增汇和减源实现^[4]。从园林绿化减碳增汇的层级, 张桂莲等^[5]提出通过城市绿地生态网络布局优化、实施城市生态修复、提升园林绿化质量、完善计量监测体系等途径增加城市园林的绿化碳汇能力;从绿地要素角度, 王敏等^[6]通过研究发现, 绿地率、类型、植被配置对绿地增汇效能影响较大, 绿地率、附属绿地占比、绿网建设以及分布均衡性等对绿地减排效能影响较大;从全生命周期的范畴, 李惊等^[7]归纳风景园林减源增汇包括在设计、建造和维护阶段的直接减源途径, 在绿地系统布局优化、政策扶持和低碳生活等方面的间接减源途径, 以及提升植物、土壤和水体的碳汇能力等途径。另外, 基于绿色基础设施的自然解决方案(The Nature-Based Solutions, NBS)在应对气候和生物多样性方面

具有突出价值, 但同时, 小面积的绿地在增加碳汇、缓解城市热岛、提供物种栖息地等方面也具有重要作用^[8,9]。总结而言, 风景园林领域对于减碳增汇途径的认识已较为明晰, 但科技创新支撑碳中和目标的研究与实践还刚刚起步, 关于多尺度、多层次减碳增汇途径的系统性厘清与攻坚点选择还有待展开。

本研究主要以全球气候变化为背景, 梳理国内“双碳”领域的相关政策指引, 从认知、战略、进程、技术4方面进行革新思考, 以科技创新为先导, 在国家“双碳”顶层设计框架下, 梳理了从城市国土空间生态网络构建, 到城市困难立地高效园林绿化营建, 再到城市森林与绿地碳汇监测评估, 多尺度、多层次地面向碳中和的减碳增汇建设实践, 最后提出未来工作的重点研究领域及实践。

1 背景分析

1.1 应对全球气候变化

根据政府间气候变化专门委员会(IPCC)第六次评估报告显示, 2011年至2020年平均气温较工业化前增高1.09℃, 1750年左右以来, 温室气体浓度增加主要是由人类活动造成的。气候变化主要表现为极端高温事件、海洋热浪和强降水的频率和强度增加。

“双碳”行动是应对全球气候变暖的重要举措^[10]。截至2021年4月, 已有130多个国家和地区拟议了“零碳”或“碳中和”气候目标。其中, 2个国家(苏里南、不丹)已实现碳中和, 6个国家(瑞典、英国等)将其纳入法律, 5个国家(爱尔兰、智利等)处于立法状态中, 20个国家已颁布相关政策, 而近百个国家就双碳目标正在商讨中^[11]。世界各国的碳排放阶段因各国经济社会发展差异大致可归纳为4个类型: 碳排放逐步进入“平台期”的国家(如中国)、20世纪70年代至80

年代以后已进入下降阶段的发达国家、还在增长阶段的国家(如印度)、碳排放尚未“启动”的大量发展中国家和农业国。从1850年至2019年, 中国总排放二氧化碳占比全球13.7%, 远低于中国人口在全球的占比, 美国同期排放占比为25%以上;从人均累计二氧化碳排放量来看, 中国仅是美国的8.4%、全球平均的47.2%;但从目前全球二氧化碳年总排放来看, 中国大约占比25%, 这与中国的发展模式息息相关。

为应对全球气候变化, 国际协议主要有《联合国气候变化框架公约》《京都协议书》《巴黎协定》等。其中, 1994年3月正式生效的《联合国气候变化框架公约》, 是世界上第一个全面控制二氧化碳等温室气体排放的国家公约, 提供了应对全球气候变化的国际合作基本框架。2005年正式生效的《京都协议书》, 是全球首个以法规形式限制温室气体排放的协议, 并允许4种减排方式: ①排放权方式; ②净排放量; ③绿色开发机制; ④集团方式。2016年11月正式生效的《巴黎协定》, 为2020年后全球应对气候变化行动作出安排, 缔约方承诺将共同加强应对气候变化威胁, 以实现将全球气温控制在比工业革命前高2℃以内, 并努力控制在1.5℃以内的目标。

1.2 科技创新助力碳中和

创新驱动是发展的第一动力, 构建低碳零碳负碳技术创新体系, 才能为2030年实现碳达峰目标提供技术保障, 并为2060年实现碳中和目标做好技术储备。

2022年6月24日, 科技部等九部门联合印发《科技支撑碳达峰碳中和实施方案(2022-2030年)》(以下简称《实施方案》)。作为“双碳”“1+N”政策体系的重要组成, 《实施方案》对标《关于完整准确全面贯彻

新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》(以下简称《意见》)和《2030年前碳达峰行动方案》有关部署,系统提出科技支撑“双碳”的创新方向,并归纳10项具体行动。其中,行动之五“前沿颠覆性低碳技术创新行动”明确指出,要围绕驱动产业变革的目标,加快培育颠覆性技术创新路径,引领实现产业和经济发展方式的迭代升级。

“十四五”时期,是我国碳达峰的攻坚期、窗口期,在系列政策保障下,风景园林科技创新,着力于加强高效率、低成本的低碳技术供给,积极推进颠覆性低碳技术创新行动,重点关注碳汇技术的研发和应用投入,强化供给碳捕集利用与封存、绿色碳汇、蓝色碳汇等负碳技术,推动一批可复制可推广的减碳技术综合解决方案,并开展一批典型的低碳技术应用示范。另外,持续推进国际合作,支撑构建人类命运共同体,促进协同实施双碳战略。

1.3 学科机遇

《联合国气候变化框架公约》将碳汇(Carbon Sink)定义为从大气中清除二氧化碳的过程、活动或机制。自然界的碳汇来源主要包括森林、草地、耕地和海洋等自然资源。国土空间规划体系下,城市生态空间以提供生态系统服务为主,生态要素涵盖绿地、林地、园地、耕地、未利用地等^[2],是城市空间实现碳汇的重要载体。随着低碳发展和绿色基础设施建设日益得到国家重视,如何通过城乡统筹建设,提升城市碳汇能力,成为风景园林学科需要转变观念、增设学科内涵的时代新命题。

在公园城市建设理念下,以生态建设目标为引领,推进绿地、林地、湿地等融合发展,营造高品质生态空间,优化布局体系,

持续增强生态系统的碳汇能力。增加公园数量,提升公园绿地的服务半径覆盖程度和公园品质;聚焦重点结构性生态空间,提升森林碳汇能力,不断提升森林碳储量;强化海洋生态系统和湿地生态系统的整体保护修复,增强海洋系统和湿地系统的固碳能力;建立生态系统碳汇监测核算体系,加强生态系统碳汇基础支撑。

风景园林中的植物碳汇是实现碳中和的重要途径。因地制宜,种植本土植物,适地适树,减少人工干预产生的碳排放,增加碳汇;丰富植物群落的同时,优化植物布局,增加植被覆盖率,扩大绿地面积以提高绿化碳汇能力;加强群落稳定性,营造具有抗干扰能力强的稳定性植物群落;减少人工干预,让自然做功,通过自然演替形成稳定的植物生态系统;增加生物多样性,促进水源涵养,为野生动物、微生物等提供栖息地,注重多样物种保育,增强生态效益。

2 变革思考

2.1 认知上看,是挑战更是机遇

“双碳”战略是换跑道,而不是原道超车。其将重新定义人类社会的资源利用、生产生活、经济运行方式,其核心表征将是一系列的颠覆性变革。近年来,国家层面采取“庄重承诺—系统谋划—层层部署”的政策方针,国家部委层面积极推进落实一揽子政策举措,31省、直辖市、自治区也均已发布落实“双碳”的行动方案。但目前,对如何在具体实践中贯彻落实上述文件精神还缺乏具体配套技术支持,对城市园林绿化碳汇能力建设应采用怎样的发展路径尚不明确^[3]。在此背景下,风景园林应从意识形态领域建立低碳理念,发挥其作为综合型应用学科的优势,依托学科本身的综合交叉与协同创新优势,深

入推进跨领域、跨学科专业的深度合作,构建应对碳中和目标的科技创新体系,成为城市碳汇能力提升和低碳生活的主导学科。

2.2 战略上看,系统性是关键

实现“双碳”是一项极具挑战的系统工程,涵盖能源、经济、社会、文化、气候和环境等众多领域,不是一蹴而就,而是循序渐进。要坚持系统观念贯穿“双碳”工作全过程,提高系统性思维能力,处理好发展和减排、整体和局部、短期和中长期的关系,把碳达峰、碳中和纳入经济社会发展全局。碳达峰和碳中和是紧密联系在一起的,需坚持创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念,而不是简单地将其解读为一个纯粹的“环境目标”或“政治目标”,任何“一刀切”“运动式”“片面化”的举措都将适得其反^[4]。全民共建共享理念下,“双碳”已经渗透到公众生活的方方面面,正如联合国环境规划署(United Nations Environment Programme)提出的“AFI”模式,即从意识、政策及硬件建设三方面改变公众的生活方式。

2.3 进程上看,量变不能形成质变

碳达峰是量变,碳中和才是质变。碳达峰的过程本质上是能源利用方式的变革,需要不断地节能减排,依赖产业结构调整、能源结构调整。达峰与中和之间是有鸿沟的,如没有系统性的社会变革,没有颠覆性的技术革命,是很难实现从量变到质变的跃迁。必须摆脱自然能源禀赋的依赖,转向技术革命的新能源开发利用,对资源利用方式的重新定义,这样才能满足新时代高质量发展的要求,实现高碳向低碳、低碳向零碳,和低碳汇向高碳汇双能驱动下占据新高地。从全生命周期的角度,风景园林尊重场地原貌,

形成规划设计的有机生成，可以有效提高资源利用率；通过完整的雨水收集系统降低碳排放；利用可再生资源，注重循环利用，具有较高的减排效益；施工过程中采用模块化建造单元，提高建造效率等^[7]。

2.4 技术上看，水平决定地位

碳汇能力巩固与提升技术水平高低，将决定配角或主角地位，谁是增汇技术的领跑者，谁将在新一轮产业革命中获得主角地位。增汇能力的成套技术研发是目前的重点，以构建更高水平的“源汇动态平衡”，而碳汇领域的颠覆性技术创新成果则是未来的攻坚目标。对于风景园林而言，以绿色低碳循环发展为主体的经济体系，以改善生态环境质量与碳汇服务系统为核心目标，并依此形成引领性的增汇技术体系，才能从资源利用、产业结构、空间格局、政策支持和法规保障等方面，形成学科发展优势。

3 提升增汇能力科技创新实践

对照《意见》，推进城乡建设和管理模式低碳转型，建设城市生态和通风廊道；巩固和提升生态系统碳汇能力，强化国土空间规划和用途管制，深入推进大规模国土绿化行动；建立生态系统碳汇监测核算体系，实施生态保护修复碳汇成效监测评估，提升统计监测能力等要求。在国家“双碳”战略顶层设计指导下，结合建设背景与思考，研究团队做了城市国土空间生态网络构建、城市困难立地高效园林绿化营建、城市森林与绿地碳汇监测评估等三方面工作。

3.1 城市国土空间生态网络构建

3.1.1 总结城市绿地系统布局模式和进化特征

国内城市绿地系统的布局模式主要有环

网放射式（上海、北京、南京等）、结合城市山水格局式（杭州、苏州）、绿心模式、功能主导式等。国外城市绿地系统的布局模式可归纳为环状圈层式（伦敦、莫斯科、东京）、楔向放射式（墨尔本、哥本哈根、慕尼黑）、廊道网络式（波士顿、美国新英格兰地区、伦敦、华沙）及依城市地理人文特点发展式（哈罗新城、平壤）^[13-14]4种。城市绿地系统的进化过程是从非系统形态到系统形态、从无机系统到有机系统、从单一分散到相互联系、从联系到融合，最终逐步走向网络连接、城郊融合状态。其特点可以归纳为自然性、动态性、多样性、复合性、整体性、层次性和功能性^[15-18]。

3.1.2 首推省（市）级国土空间层面的生态网络规划

2012年5月21日，中国首个省（市）级国土空间全域生态网络规划正式获批（沪府〔2012〕53号文正式批复《上海市基本生态网络规划》）。批复中指出，上海通过多层次、成网络、功能复合的基本生态网络建设，落实低碳、生态理念，促进市域绿地、耕地、林园地和湿地的融合发展；加快形成中心城以“环、楔、廊、园”为主体，中心城周边地区以市域绿环、生态间隔带为锚固，市域范围以生态廊道、生态保育区为基底的“环、廊、区、源”城乡生态空间体系；按照“总量锁定、结构优化、远近结合、滚动发展”的原则促进规划的尽快落地实施。该规划通过规划理念、规划层级、规划控制要素以及规划生态控制线落地等方面体现主要突破。

3.1.3 编制上海市首个区级生态空间规划

落实上海市基本生态网络规划，通过前期专项研究，形成上海市闵行区“一廊两环五带”的一级生态网络；进一步串联区内骨干河

流与交通廊道绿地，形成“八纵八横多园”的二级生态网络。同时，明确各级公园体系规模、能级和空间布局要求，明确公园居住区覆盖率，明确近期实施路径，提出远期实施策略；以大型片林、水源涵养林为核心，利用道路林带、水系林带、农田林网串联区域内公园，形成两区、三带、多线多点的“点、线、面”相结合的林业生态网络体系；利用闵行区网格路网结构，结合八纵八横的水系布局，构筑多层次、多功能的生态廊道网络体系。

3.1.4 开展城市生态廊道连接度提升机制研究

城市生态廊道研究的科学问题之一是组分要素、空间结构及功能承载等关联问题^[12]。在厘清城市生态廊道以及城市生态空间廊道、城市绿地生态廊道、城市复合生态廊道三个衍生概念的基础上，基于不同城市化强度区域的社会—生态影响分析，综合运用空间叠加、MSPA和图论模型等，量化识别并明确城市生态廊道范围，建立其内部组分要素甄别提取方法；基于景观格局和生态网络模型，筛选并计算城市生态廊道的多尺度结构指标和功能连接度指标；基于地理加权回归分析，明确影响功能连接度的关键结构指标，研建廊道多尺度结构与功能连接度的数学关系模型，揭示城市生态廊道多尺度结构与功能连接度的关联机制^[19-20]。

3.2 城市困难立地高效园林绿化营建

3.2.1 提出城市困难立地生态园林营建理论框架

界定了“城市困难立地（Challenging Urban Sites）”的概念，明确狭义层面的三大特征：城市区域环境中的人为干扰；地带性植被不能正常生长发育；再开发利用时可提供绿化空间^[21-22]。城市困难立地绿化（Landscaping on Challenging Urban Sites, LCUS）的理论基础包含

城市人居理论、空间构建理论和环境保护理论,具体包括城市与区域生态、人居空间环境、气候带基础、植被地理、快速修复、高效服务、三地营建、群落系统构建、人居行为等方面;LCUS的主要科学研究与技术研发包括城市困难立地空间分布识别与优化、生态园林关键营建技术、健康与效能评估、关键技术选配与系统集成等方面。

3.2.2 识别城市困难立地空间

采用多期遥感解译地类产品,借助Python+GIS,分析过去20年中国搬迁地变迁情况,搬迁地占比靠前的城市群包括京津冀城市群、长江三角洲城市群、江淮城市群等;将可绿化困难立地归纳为一类城市困难立地(包括工业仓储用地)、二类城市困难立地(包括居住、商业服务、公共管理服务、交通运输等非工业用地)、三类城市困难立地(包括未利用地、空闲地等其他用地);基于Google Earth Engine平台,以长三角区域的上海、南京、无锡等10个代表性城市为例,对2000-2019年长三角城市困难立地中的绿化用地进行空间核算,分析绿化用城市困难立地的时空变化特征与分配模式,探究长三角城市群绿色生态空间增长的土地资源供给差异及模拟预测^[23]。

3.2.3 提出城市搬迁地高效园林绿化技术思路

针对城市搬迁地高效园林绿化的共性关键技术瓶颈问题,瞄准城市更新背景下的园林绿化行业发展需求,研发技术路线,重点在“改地适树”“选树适地”“精准评价”等方面开展科研攻关,以实现城市搬迁地园林绿化高效抚育和快速成林成景。改善立地条件以改地适树,并从场地原生性、乡土性、抗逆性等方面进行选树适地,形成不同立地

类型和同型不同区位立地高效园林绿化的技术思路;针对极端高低温、强风和暴雨等5个气候因子,明晰影响树木正常生长的极端障碍因子和阈值,以气候相似性引种理论和耐寒、耐热带划分为参照,实现外来树种的成功引种;建立基于城市搬迁地的21种绿化适生树种的生长模型,实现对上海地区城市搬迁地适生绿化树种生长的精准预测^[24-27]。

3.2.4 建立城市搬迁地园林绿化障碍因子及土壤质量评价指标体系

首次揭示土壤物理性质退化是城市搬迁地快速绿化的主要障碍因子,包括非土层厚度、土壤pH值、容重、有机质4个关键障碍指标,且对障碍程度的贡献率超过80%;发明了城市搬迁地绿化11个立地障碍因子分级评价方法;首次划定城市搬迁地3个障碍等级,其中, $P>2.7$ 为轻度, $0.9 \leq P \leq 2.7$ 为中度, $P<0.9$ 为重度;率先划分出上海城市搬迁地4个土壤质量等级,Ⅲ级和Ⅳ级土壤需要修复改良后使用;编制《上海已批规划未建设绿地空间调查报告》和《上海典型绿地土壤质量监测保障体系总结报告》;制订《园林绿化棕地(城市搬迁地)土壤质量分级》标准^[28-29]。

3.2.5 研发城市搬迁地园林绿化土壤就地改良技术

开展搬迁地土壤团粒结构研究,利用无机化学、高分子结构改良材料,并结合湿垃圾的资源化利用,研发适宜搬迁地土壤团粒结构快速形成改良配方及关键技术;发明功能性无包膜生物炭基肥等土壤改良剂专利技术;研发湿垃圾堆肥产品快速改良城市搬迁地土壤技术;研制土壤疏松调理剂搬迁地土壤改良技术;明确移植树木根冠平衡修剪强度,解决了常规技术无法满足的共性关键技术支撑难题^[30-33]。

3.3 城市森林与绿地碳汇监测评估

3.3.1 城市森林碳汇定位及园林绿碳汇测计

2012年,上海等省市被纳入全国林业碳汇计量监测体系试点工作。自2012年起,连续9年对全市范围内近百个城市森林碳汇固定样地的地上生物量、地下生物量、枯落物、枯死木和土壤五大碳库的碳汇指标开展定位连续监测,至2019年起,新增森林碳汇监测微样地313个。2021年以来,在对城市绿地碳汇多年连续监测的基础上,整合传统林业碳汇监测方法,结合遥感、GIS等空间分析技术分析城市绿地分类和结构特征,建立城市园林绿地碳汇能力的快速评估方法;研制城市绿地碳汇智能测计系统,该系统基于遥感技术和生态系统生产力模型,可以快速准确地实现城市绿地碳汇能力的智能测计。

3.3.2 探索城市森林碳汇计量方法

开展城市森林碳汇计量方法研究,成功获取一种草本沼泽湿地生态系统呼吸观测室(专利号:ZL201921776966.9)、一种森林资源资产评价方法(申请号:201911322250.6)、植物细根分泌物原位收集装置(申请号:202022416296.9)等多项专利;获得土地利用变化和林业温室气体清单核算系统(软著登字第1029558号)、上海市林业碳汇计量监测系统(软著登字第1121657号)、上海市森林生态服务价值评估系统(软著登字第1373635号)、上海市林业碳汇固定监测样地调查系统(软著登字第1373633号)、上海市林业碳汇数据采集系统(软著登字第2092134号)等多项软件著作权。制定上海地方系列标准/规范,如《城市森林碳汇计量监测技术规程》(DB31/T1234-2020)、《城市森林碳汇调查及数据采集技术规范》(DB31/T1232-2020)等。

3.3.3 完成多轮上海林业碳汇计量监测

根据碳汇可测量、可报告、可核查“三可”要求，及IPCC提出的一系列计量方法（包括《2006年IPCC国家温室气体清单指南》《IPCC土地利用、土地利用变化和林业（LULUCF）优良做法指南》等），完成国家林草局工作部署，设立46个2 km×2 km样方，开展遥感解译和碳汇计量；每两年开展一轮碳汇计量，目前第三轮工作完成，计算了上海市土地利用变化、碳储量变化。在土地利用变化和林业（LUCF）温室气体清单编制方面，根据上海市发改委（生态环境局）工作安排，形成5大清单中唯一一份温室气体净吸收清单；连续十余年，每年核算林业活动温室气体排放，直接支撑了上海节能减排和低碳发展工作。

4 结语

“双碳”目标的实现，首要的是自上而下的制度牵引，并以管理体制机制建设为保障。完善投资政策，充分发挥政府投资引导作用；强化公众参与，多渠道多途径开展碳汇相关知识的宣传教育和科普活动，发展碳普惠。

在风景园林领域，不断加强前沿颠覆性减碳增汇技术体系研发，可从以下方面具体开展：编制城市园林绿化“双碳”实施规划和行动计划；持续强化城市国土生态空间一体化保护和修复技术研发；揭示系统构建城市生态网络，完善生态安全格局的方法原理；建设全国布局城市的园林绿化碳汇及碳源长期监测与计量体系；积极推进城市园林绿化减碳增汇管控政策法规制定等。

致谢：

本文系刘杰博士根据作者在中国风景园林学会主办的青年风景园林师论坛（2022年5月27日），及南京林业大学120周年校庆风景园林学院校友论坛·综合专场（2022年11月20日）等所作的主旨报告整理加工而成。

参考文献

[1] 张浪. “双碳”目标下的风景园林使命担当[J]. 园林, 2022, 39(01): 2-3.

[2] WU X, TIAN Z, GUO J. A Review of the Theoretical Research and Practical Progress of Carbon Neutrality[J]. Sustainable Operations and Computers, 2022, 3: 54-66.

[3] HUOVILA A, SIIKAVIRTA H, ANTUNA R C, et al. Carbon-neutral Cities: Critical Review of Theory and Practice[J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 341: 130912.

[4] 徐丽华, 陈婷, 张瑞华. 低碳园林研究综述及研究热点分析[J]. 园林, 2022, 39(01): 10-17.

[5] 张桂莲, 仲启铤, 张浪. 面向碳中和的城市园林绿化碳汇能力建设研究[J]. 风景园林, 2022, 29(05): 12-16.

[6] 王敏, 朱雯. 城市绿地影响碳中和的途径与空间特征——以上海市黄浦区为例[J]. 园林, 2021, 38(10): 11-18.

[7] 李惊, 吴佳鸣, 汪文清. 碳中和目标下的风景园林规划设计策略[J]. 风景园林, 2022, 29(05): 45-51.

[8] LAMPINEN J, GARCIA A O, OLAFFSSON A S, et al. Envisioning Carbon-smart and Just Urban Green Infrastructure[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2022, 75: 127682.

[9] SEDDON N, SMITH A, SMITH P, et al. Getting the Message Right on Nature-Based Solutions to Climate Change[J]. Global Change Biology, 2021, 27(8): 1518-1546.

[10] 刘泽森, 黄贤金, 卢学鹤, 等. 共享社会经济路径下中国碳中和路径预测[J]. 地理学报, 2022, 77(09): 2189-2201.

[11] ZHAO Y, SU Q, LI B, et al. Have Those Countries Declaring “Zero Carbon” or “Carbon Neutral” Climate Goals Achieved Carbon Emissions-economic Growth Decoupling?[J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 363: 132450.

[12] 张晨笛, 刘杰, 张浪, 等. 基于城市生态廊道概念应用的三个衍生概念生成与辨析[J]. 中国园林, 2021, 37(11): 109-114.

[13] 张浪. 城市绿地系统布局结构模式的对比研究[J]. 中国园林, 2015, 31(04): 50-54.

[14] 张浪, 王浩. 城市绿地系统有机进化的机制研究——以上海为例[J]. 中国园林, 2008(03): 82-86.

[15] LIU J, ZHANG L, ZHANG Q P, et al. Spatiotemporal Evolution Differences of Urban Green Space: A Comparative Case Study of Shanghai and Xuchang in China[J]. Land Use Policy, 2022, 112: 105824.

[16] LIU J, ZHANG L, ZHANG Q P, et al. Predicting the Surface Urban Heat Island Intensity of Future Urban

Green Space Development Using a Multi-scenario Simulation[J]. Sustainable Cities and Society, 2021, 66: 102698.

[17] 张浪. 基于基本生态网络构建的上海市绿地系统布局结构进化研究[J]. 中国园林, 2012, 28(12): 65-68.

[18] 张浪. 上海市基本生态网络规划特点的研究[J]. 中国园林, 2014, 30(06): 42-46.

[19] WANG Y J, QU Z Y, ZHONG Q C, et al. Delimitation of Ecological Corridors in a Highly Urbanizing Region Based on Circuit Theory and MSPA[J]. Ecological indicators, 2022, 142: 109258.

[20] ZHANG R, ZHANG Q P, Zhang L, et al. Identification and Extraction of a Current Urban Ecological Network in Minhang District of Shanghai Based on an Optimization Method[J]. Ecological Indicators, 2022, 136: 108647.

[21] 张浪. 城市困难立地概念及其分类辨析[J]. 上海建设科技, 2020(03): 107-109.

[22] 李晓策, 郑思俊, 张浪. 上海城市困难立地识别及分布特征[J]. 园林, 2021, 38(02): 7-12.

[23] 刘家霖, 朱义, 张群, 等. 基于绿化用途的长三角区域主要城市困难立地空间识别[J]. 园林, 2021, 38(02): 2-6.

[24] 张冬梅, 林奕成, 张浪, 等. 城市搬迁地适生绿化树种生长模型构建——以上海为例[J]. 上海农业科技, 2021(01): 84-87.

[25] 张浪, 曹福亮, 张冬梅. 城市棕地绿化植物物种优选方法研究——以上海市为例[J]. 现代城市研究, 2017(09): 119-123.

[26] 张浪, 韩继刚, 伍海兵, 等. 关于园林绿化快速成景配生土的思考[J]. 土壤通报, 2017, 48(05): 1264-1267.

[27] 张冬梅, 张浪, 有祥亮, 等. 气候障碍因子对城市绿化适生树种选择的影响——以上海世博公园为例[J]. 中国园林, 2020, 36(05): 94-98.

[28] 张维维, 韩继刚, 张琪, 等. 城市园林绿化土壤质量特征与监测指标体系构建[J]. 园林, 2022, 39(08): 133-138.

[29] 陈平, 张浪, 李跃忠, 等. 基于园林绿化用途城市搬迁地土壤质量评价的思考[J]. 园林, 2019(08): 78-82.

[30] 梁晶, 张青青, 张浪. 氨基酸、木醋液与湿垃圾堆肥配施对搬迁地土壤物理性质的影响[J]. 上海农业学报, 2022, 38(03): 54-59.

[31] 梁晶, 伍海兵, 张浪. 城市典型搬迁地土壤质量特征及绿化障碍因子研究[J]. 中国园林, 2021, 37(12): 38-42.

[32] 于全波, 张浪, 黄绍敏, 等. 城镇搬迁地土壤厚度划分与案例研究[J]. 土壤, 2021, 53(05): 1081-1086.

[33] 仲启铤, 张浪, 张桂莲. 基于城市搬迁地的公园绿地建设项目综合效益评价研究——以上海世博公园为例[J]. 园林, 2021, 38(10): 2-10.