

# 规划设计实践视角下城市绿地碳汇与碳排研究成果可用性述评

## A Review of the Usability of Research Results on Carbon Sink and Carbon Emission in Urban Green Space from the Perspective of Planning and Design Practice

杨 菲 王洪成\*  
YANG Fei WANG Hongcheng\*

(天津大学建筑学院, 天津 300072)  
(School of Architecture, Tianjin University, Tianjin, China, 300072)

文章编号: 1000-0283(2023)03-0071-08  
DOI: 10. 12193 /j. laing. 2023. 03. 0071. 009  
中图分类号: TU986  
文献标志码: A  
收稿日期: 2022-10-09  
修回日期: 2023-01-07

**摘 要**  
城市绿地的增汇与减排功能是中国“碳中和”目标在城市人居环境领域的重要实现路径。在2008-2021年的研究进程中,学者们针对城市绿地碳汇与碳排进行了大量基础研究。为探明规划设计实践视角下现有研究的成果可用性,从理论体系、清单数据、影响关系以及策略方法4个层面并结合不同维度对城市绿地碳汇与碳排研究成果进行交叉分类分析。结果表明:(1)理论体系研究成果现已融合交叉学科内容不断更新,但总体进程较缓;(2)清单数据研究成果中部分研究内容缺乏规范化的核算边界;(3)影响关系层面,当前研究成果在多维度的影响因子证据链方面具有提升空间;(4)当前策略方法的研究成果具有较强针对性,但有待验证其实际有效性。总体上针对现有城市绿地碳汇与碳排相关研究成果进行了有效回顾与归纳,进一步指出规划设计实践视角下未来有待深入的研究发展方向与内容,基于研究成果可用性为城市绿地在低碳方面的研究厘清思路。

**关键词**  
城市绿地;碳汇碳排;交叉分类;成果可用性

**Abstract**  
The function of increasing sinks and reducing emissions of urban green space is an important way to achieve the “carbon neutrality” goal of China in the field of urban human settlements. During the research process from 2008 to 2021, scholars conducted a lot of basic research on carbon sequestration and emission in urban green spaces. In order to explore the usability of existing research results from the perspective of planning and design practice, this paper conducts a cross-classification analysis of the research results of urban green space carbon sequestration and emission from the four levels of a theoretical system, inventory data, impact relationship, and strategy and method combined with different dimensions. The results show that: (1) The research results of the theoretical system have been continuously updated with the integration of interdisciplinary content, but the overall process is slow; (2) Some research results in the inventory data research results in lack standardized accounting boundaries; (3) The current research results at the impact relationship level have an improvement in the multi-dimensional impact factor evidence chain; (4) The research results of strategies and methods have strong pertinence, but their actual effectiveness needs to be verified. In general, this paper effectively reviews and summarizes the existing research results related to carbon sink and carbon emission in urban green space, further points out the future research development direction and content from the perspective of planning and design practice, and clarifies the ideas for the research on low-carbon aspects of urban green space based on the availability of research results.

**Keywords**  
urban green space; carbon sequestration and emissions; cross-categorization; usability of research results

杨 菲  
1996年生/女/黑龙江哈尔滨人/在读博士  
研究生/研究方向为低碳景观

王洪成  
1965年生/男/吉林通化人/硕士/教授/研  
究方向为低碳景观

\*通信作者 (Author for correspondence)  
E-mail: 1581203793@qq.com

中国在第七十五届联合国大会一般性辩论中提出的“碳中和”目标意味着全国在一定时间内(一般指一年)由人为活动直接和间接排放的二氧化碳,通过碳捕集与封存或植树造林等固碳技术吸收后,达到“零排放”<sup>[1]</sup>。这一政策在城市人居环境领域的实现路径主要依托于城市绿地的固碳与减排功能。在城市“碳中和”目标的实现过程中,

城市绿地直接固碳与间接减排功能是不可替代的一环。首先,城市绿地是城市中唯一具有自净功能及自动调节能力的子系统<sup>[2]</sup>。其次,城市绿地不仅能够通过植物与土壤进行自然固碳,还能通过绿地的合理布置与景观要素的规划设计减少能耗,达到碳减排效果<sup>[3]</sup>。自1998年以来,由于相关政策导向与规划设计需求牵引,城市绿地碳汇与碳排相关研究的原始文献数量不断攀升。城市绿地碳汇主要围绕植被、土壤等碳库的存量与通量展开研究,城市绿地碳排相关研究主要围绕建设施工、管理养护等过程的碳排放量。

城市绿地碳汇与碳排已有的综述多从探究城市绿地碳汇与碳排数据收集分析方法<sup>[4-6]</sup>、城市绿地中各类碳库的研究内容<sup>[7-9]</sup>、城市绿地低碳相关理论<sup>[10]</sup>以及城市绿地不同碳库的研究成果<sup>[11]</sup>等方面进行归纳。张伟畅等<sup>[11]</sup>从植被、土壤等角度,对2012年前城市绿地碳库的研究成果进行系统分类回顾。李惊等<sup>[12]</sup>从全生命周期视角对城市园林绿地的直接固碳与间接减排策略进行归纳整理。王敏等<sup>[13]</sup>归纳当前城市绿地不同维度特征对碳的影响机制,并从市域、城区、街区、地块4个维度提出当前优化策略。当前对城市绿地碳汇与碳排的研究在研究成果层面还缺乏规划设计实践视角下的系统评估。

本研究中“成果可用性”是指评估当前城市绿地碳汇与碳排研究成果能否为规划设计提供合理依据,探明上游研究成果与下游规划设计实践的结合度。通过对当前城市绿地碳汇与碳排相关文献研究成果的整理,面向城市绿地规划实践需求建立基于研究结果可用性的分析模型,从研究成果与研究维度两个层面进行交叉分类系统评估,为下一步的相关研究与实践提供指导性建议并最大化提升后继研究的切实有效性。

## 1 城市绿地碳汇与碳排文献研究方法 with 数据解析

### 1.1 文献筛选统计

《城市绿地分类标准》CJJT85-2017指出,城市绿地是城市中公园绿地、广场绿地、附属绿地、区域绿地等对生态、景观和居民休闲生活具有积极作用、绿化环境较好的绿地的总称。城市绿地碳汇与碳排研究通常包含土壤、植物(地上部分、根系、凋落物、枯枝)等<sup>[9]</sup>自然碳库,以及管理养护、景观小品、建筑等人为碳足迹与碳库。本文选择CNKI数据库,以及Web of Science中核心合集、SciELO Citation Index等常用数据库对“城市绿地碳汇与碳排”相关研究进行文献检索。其中中文文献检索式为TI=(‘景观’+‘绿色空间’+‘绿地’+‘公园’+‘街道’+‘城市森林’+‘植被’+‘植物’+‘土壤’+‘景观建筑’+‘景观设施’) AND TI=‘碳’ AND TI=(‘城市’+‘市’+‘城区’);英语检索式为TI=(landscape OR green space OR residence OR park OR street OR garden OR plant OR vegetation OR soil ‘Garden architecture’ OR ‘Landscape facilities’) AND TI=carbon AND TS=(urban OR city OR downtown)。论文类型限制为期刊论文、会议论文以及学位论文,时间范围不做限制。对文献进行逐篇筛选,剔除重复文献以及综述类文献后共计278篇。根据题目、关键词以及摘要等内容剔除与本研究内容结合度较低的文献,最终得到有效文献数量202篇(英文文献74篇,中文文献128篇)。

### 1.2 交叉分类分析

交叉分类分析是根据两个或两个以上的类别来划分群体的过程<sup>[14]</sup>,多在社会学分析领域中用于人群的分类。交叉分类分析方法能够在一定程度上规避单一分类的片面

性,从而形成多元交叉的系统分析逻辑。现有研究表明,城市绿地碳汇与碳排的量化与驱动因子研究具有明显的维度依赖性,且不同类型研究成果对应的规划设计实践工具也具有显著差异。为探明不同研究维度中各类研究成果对规划设计实践的实际贡献,本文提出基于研究维度与研究成果的交叉分类方式。

(1) 研究维度分类。参考既有研究在宏观、中观、微观尺度的城市绿地碳库与碳足迹研究内容,将本文中的研究维度划分为城市绿地、绿地建设以及景观要素三类。其中城市绿地维度主要包括以城市或区域整体为研究范围的城市绿地碳库研究,研究主要围绕宏观层面城市绿地的植被层、土壤层等内容开展;绿地建设维度包括城市绿地项目设计、施工、运营、管理养护等绿地建设全生命周期中的直接(化石能源燃烧、移动源燃烧等)与间接碳排放(电力与热力消耗等)<sup>[15]</sup>研究,具有显著的“过程—环节”特征;景观要素维度主要关注城市绿地内部的植物景观、表层土壤等动态碳库,以及设施小品、铺装材料、景观建筑等静态碳库研究。

(2) 研究成果分类。即与城市绿地碳汇与碳排研究相关的理论体系、清单数据、影响关系以及策略方法。其中,理论体系主要为低碳城市理论在城市绿地方面的进一步拓展;清单数据为城市绿地碳汇与碳排研究可以被进一步转化应用的数据,例如城市绿地区域碳密度、城市绿地常用乔木的生物量数据等;影响关系包括城市环境中能够影响城市绿地碳汇与碳排的具体因子内容,在实际类别划分过程中仅限制因变量的所属维度,对自变量不做限制;策略方法包含两个部分,即对于低碳视角下城市绿地的直接优化(Y)与间接优化(X→Y)内容(图1)。

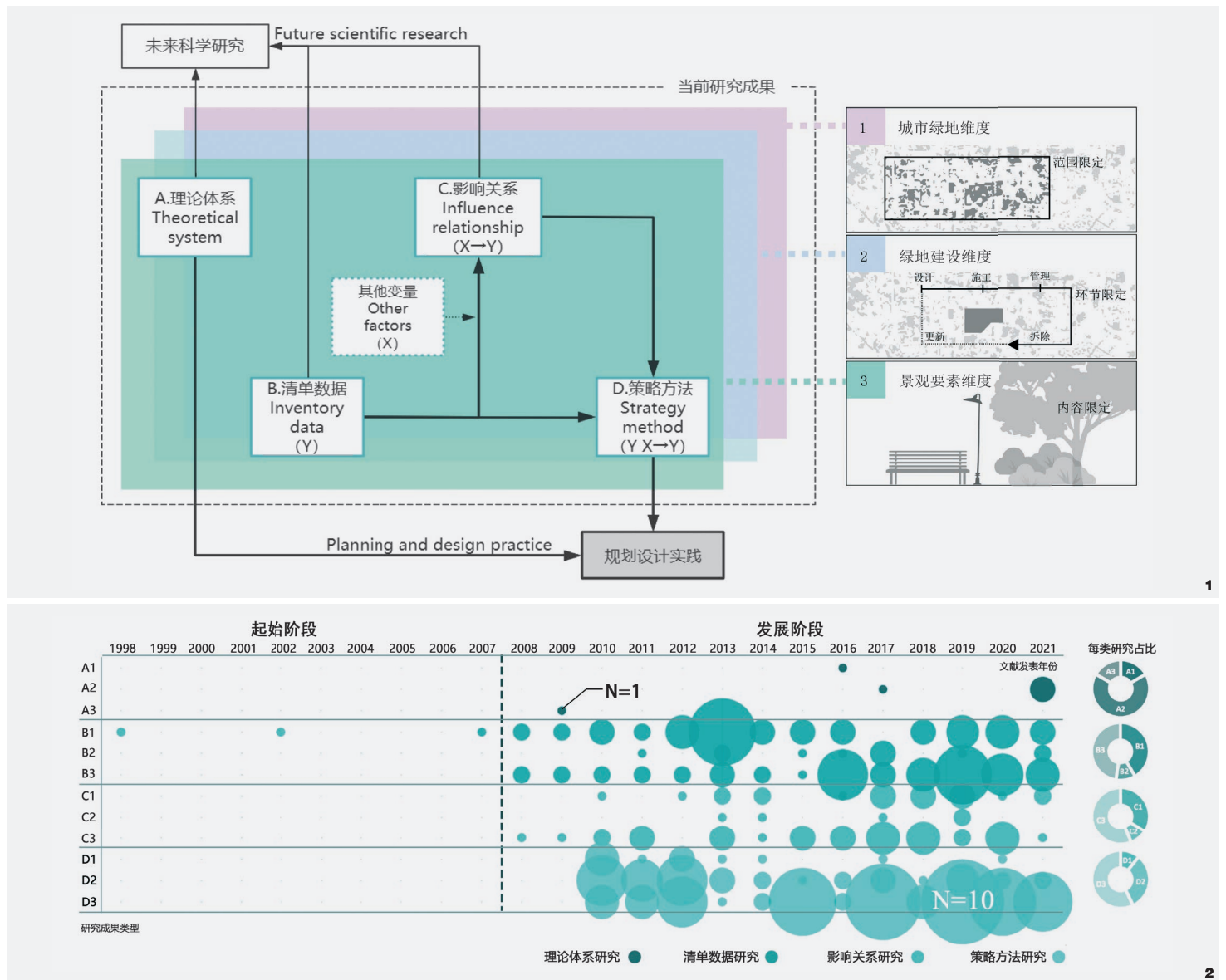


图1 基于研究成果可用性的文献分类模型  
Fig. 1 Classification model based on the usability of research results

图2 城市绿地碳汇与碳排交叉分类研究发文时间覆盖特征  
Fig. 2 Coverage characteristics of the publication time of the cross-classification study of carbon sinks and carbon emissions in urban green spaces

## 2 城市绿地碳汇与碳排研究现状

### 2.1 研究覆盖面评估

经统计发现城市绿地碳汇与碳排研究在2008年前后发文量具有显著差异。除城市绿地维度的清单数据研究开始较早以外，其余研究基本始于2008年。现状发文量呈现策略

方法>清单数据>影响关系>理论体系的特征，2008年后的发展阶段基本呈现同步推进、匀速发展的态势。此外不同类型研究成果在各个维度中发文量的比例呈现异质性，具体体现为理论体系中的绿地建设维度（A2）发文比例较高；清单数据中城市绿地维度与景

观要素维度（B1、B3）发文比例相当；影响关系与策略方法中景观要素维度（C3、D3）发文比例超50%（图2）。

针对2008年后研究所在地为中国的文献进行空间覆盖面的评估，可以发现清单数据与策略方法研究覆盖较为广泛。理论体系研

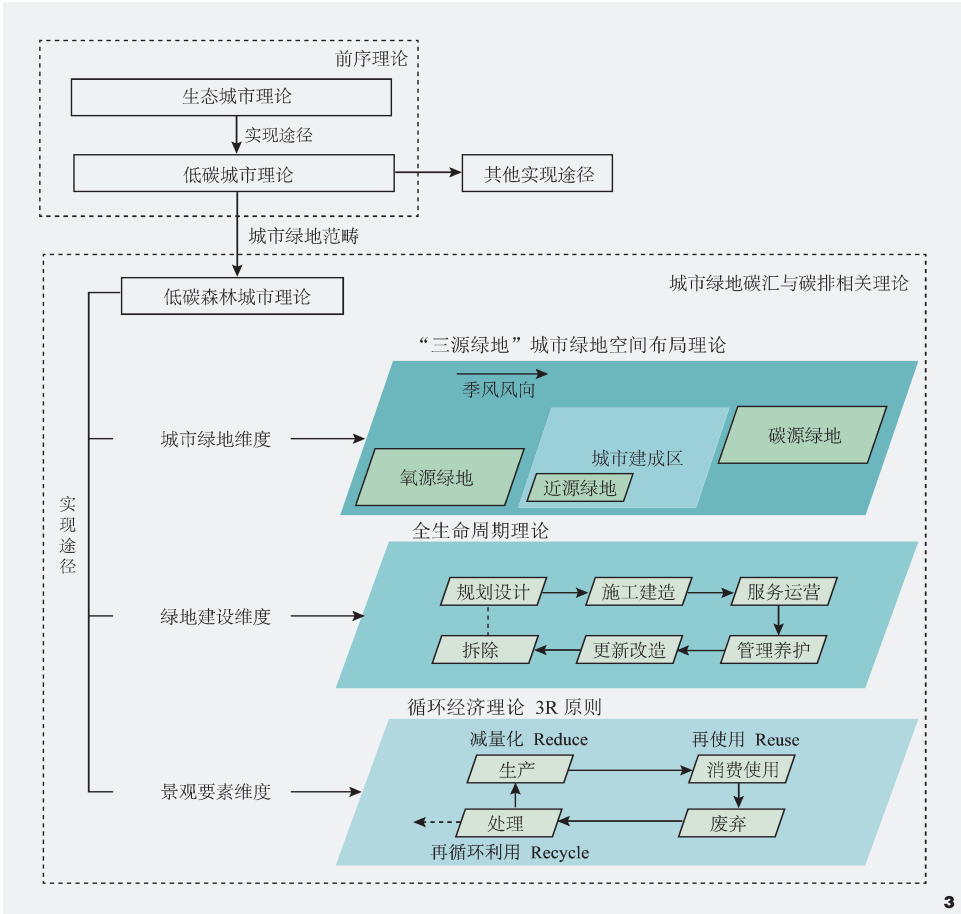


图3 理论体系研究成果梳理  
Fig. 3 The research results of the theoretical system

究主要分布于北京、南京等；清单数据研究热力较高的地区包括上海、广州等；影响关系研究主要集中于上海、北京等；策略方法研究所在地主要包括北京、武汉等。整体研究多分布于中部与东部直辖市与省会城市，西部地区以及非省会地级市的城市绿地碳汇与碳排研究有待进一步开展。

2.2 交叉分类评估

2.2.1 理论体系——规划设计需遵循的核心原则

基于米勒（Miller R W）于2013年提出的低碳森林城市理论<sup>[16]</sup>，延伸出城市绿地在不同维度的低碳实现途径（图3）。城市绿地维

度的当前理论为“三源绿地”城市绿地空间布局理论<sup>[17]</sup>，从固碳释氧的角度对城市绿地进行再分类；绿地建设维度为全生命周期理论<sup>[18]</sup>，将绿地建设过程中能够产生潜在碳足迹的环节进行系统归纳；景观要素维度为循环经济理论3R原则<sup>[19]</sup>。已有学者将生态经济学领域的3R理论映射到设计项目中，搭建适合于城市外环境设计项目的碳收支优化理论。针对以上三个维度的理论研究，分别从空间分布、过程环节以及循环利用层面构建低碳城市实现路径的理论体系。已有研究成果已经能够借助其他领域的内容在不同维度中进行融合更新，进一步突显城市绿地

碳汇与碳排理论研究层面中学科交叉的可行性与必要性。

2.2.2 清单数据——规划设计前后效益量化对比

城市绿地维度的清单数据包括一定城市区域中绿地的总植被碳库与表层土壤碳库。其中植被碳库数据包括乔木层、乔灌木层、地上部分的碳密度与固碳率。常用数据采集方法为利用遥感影像结合已有计算模型估算<sup>[20-21]</sup>，或利用每木调查、已有清单数据，结合生物量方程、光合速率法等进行估算<sup>[22-26]</sup>。表层土壤碳库数据内容多数为0~20 cm城市绿地土壤全碳、有机碳、无机碳密度，数据采集方法主要包括两种，即利用已有清单数据与碳转化系数进行估算<sup>[27]</sup>，以及采集土壤样本进行估算<sup>[26,28-32]</sup>。

绿地建设维度的清单数据包括绿地施工、管理养护等全生命周期中的直接与间接碳排放量。其中材料运输、苗木购买等数据基本为绿地的设计施工方直接提供。灌溉、修剪、施肥等数据可通过绿地现状估测每类项目的潜在数量并依照市场价格估算，也可通过对管理人员的问卷调查与实地走访获取各项的数量与实际价格。如黄柳菁等<sup>[28]</sup>针对广州市城市绿地建造施工与管理养护阶段的碳足迹进行系统化；Jo等<sup>[33]</sup>通过政府部门获取韩国30个城市公园的建设施工数据；Jamirsah等<sup>[34]</sup>调查了马来西亚三个城市公园建设、管理和更新阶段的碳排放。

景观要素维度的清单数据包含植物个体与群落的地上、地下部分以及枯落物等内容。其中植物碳储量数据采集方法包括选择前人研究当中气候、地理位置与研究区域相近的植物生物量方程与碳转化系数进行估算，如Snehata等<sup>[35]</sup>对城市公园中25类乔木的碳储量进行估算，或通过砍伐、焚烧计算植物各部

分生物量进行估算，林雯等<sup>[36]</sup>采用样方调查和解析木测定相结合的方法，针对广州市6类典型林分的植物地上部分、根系，以及枯落物碳库进行数据采集。植物固碳量的数据采集方法主要为测算植被冠层面积与光合速率数据，估算植被固碳量，Wang等<sup>[25]</sup>针对北京市47种植被进行固碳量的测算。

总体来看，城市绿地维度与景观要素维度针对动态碳库的量化精度、边界与方法均已具备成熟的计算标准。绿地建设维度中各个环节的碳排放量也具备统一的核算规范。然而当前研究还存在一些问题：(1) 绿地建设维度目前由于部分施工、管理等基础数据为非公开状态，致使该部分的研究难以开展；(2) 景观要素维度目前缺少除植被外的其他景观要素数据的研究与整理。

2.2.3 影响关系——规划设计增汇减碳证据支撑

(1) 城市绿地维度。当前证据表明在一定气候条件下，绿地面积<sup>[20,37-40]</sup>、辐射强度<sup>[41]</sup>、建成时间<sup>[26,42]</sup>、城市化程度<sup>[30]</sup>、景观格局指数<sup>[43]</sup>等指标与城市绿地碳库均具有单向影响关系。此外，绿地类型对区域城市绿地碳库也具有一定的间接影响作用。由于各类城市绿地中绿化覆盖率、硬质表面占比等指标具有差异，且在不同城市、地区也具有差异化特征，导致不同类型绿地中的表层土壤有机碳密度与植被碳密度的比重呈现较强的异质性<sup>[26,31,44-45]</sup>，多因素影响下的不同类型城市绿地碳库体现出“源”与“汇”的差异。

(2) 绿地建设维度。当前证据表明绿化面积<sup>[33,46]</sup>、地表覆盖<sup>[47-48]</sup>等绿地设计、管理养护阶段的内容对绿地的碳排放具有影响。此外不同栽植位置的植物固碳能力一定程度上也会因光合有效辐射呈现出异质性<sup>[41]</sup>。人

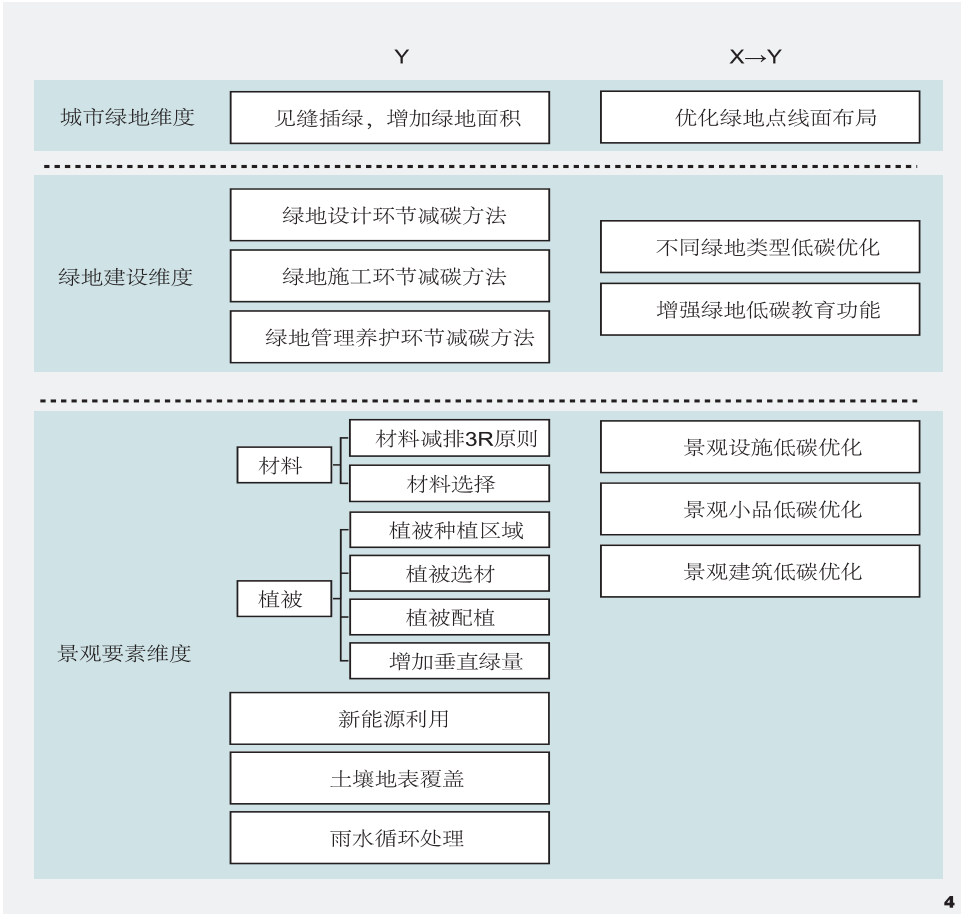


图4 城市绿地碳汇与碳排优化策略方法整理与归纳  
Fig. 4 Collation and induction results of carbon sink and carbon emission optimization strategy methods in urban green space

为干扰程度<sup>[31]</sup>、植物群落栽植密度、植株规格<sup>[49]</sup>等都能够影响建设阶段与管理养护阶段的碳排放量。

(3) 景观要素维度。当前证据表明植物个体与群落特征，如植物种类<sup>[42]</sup>、株高、冠幅<sup>[50]</sup>、胸径、郁闭度、种植密度<sup>[26]</sup>、树种多样性等<sup>[40,51-54]</sup>均能在一定范围内对植被碳汇具有明显影响。此外日温差、蒸汽压力与大气二氧化碳浓度<sup>[55]</sup>等作为控制变量在一定区间内对植被固碳量具有影响。

目前影响关系层面延续清单数据的研究成果，利用量化数据进行了充分的驱动因子挖掘。然而也受到清单数据中部分数据采集

困难的影响，尚存有待进一步挖掘的内容：(1) 城市绿地建设维度中对绿地拆除与更新阶段碳排放影响要素的挖掘；(2) 景观要素维度中，当前针对绿地内植物碳库的影响因子研究证据较为充足，但缺乏针对影响内容的进一步挖掘。

2.2.4 策略方法——规划设计低碳更新与建设路径

针对策略方法部分进行归纳如图4。城市绿地维度的直接策略包括见缝插绿，增加绿地面积，例如高架桥下空间、工业废弃地、停车场等<sup>[56]</sup>；间接策略为优化整体城市绿地点线面布局<sup>[57]</sup>，构建绿道网络间接促进

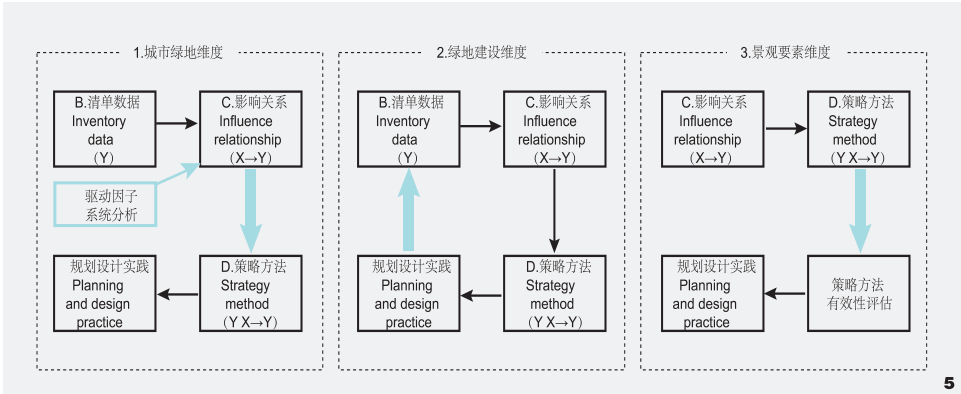


图5 当前研究成果在规划设计实践中的待优化内容  
Fig. 5 Content to be optimized in the planning and design practice of current research results

人群低碳出行<sup>[58]</sup>。绿地建设维度直接策略包括设计、施工、管理养护<sup>[34]</sup>等全生命周期的减碳策略；间接策略包括不同绿地类型的低碳优化方法与侧重点，如城市森林公园<sup>[59]</sup>、街道绿地等。此外，城市绿地更新还需要加强低碳教育功能<sup>[60]</sup>，加深城市绿地固碳功能的公众认知，间接对市民个人的碳减排意识进行培养，进一步降低碳足迹。景观要素维度直接策略包括材料、植被、新能源利用、土壤地表覆盖、雨水处理<sup>[60]</sup>等的低碳优化，其中材料低碳优化包括选材<sup>[61]</sup>和对于场地原有材料的再利用<sup>[33]</sup>，植被低碳优化包括种植区域<sup>[41]</sup>、选材<sup>[62-66]</sup>、配植<sup>[62,65,67]</sup>以及增加垂直绿量<sup>[68]</sup>；间接策略包括景观小品、设施<sup>[69]</sup>、建筑等与人群游憩密切相关的景观要素的低碳优化内容。

当前关于城市绿地增汇与减碳的优化策略已经可以区别于城市绿地的生态功能或景观游赏功能，提出更具低碳指向性的提升方案<sup>[64]</sup>，例如多种植对蒸汽压不敏感的植株能够有效提升城市绿地的整体固碳能力<sup>[67]</sup>。当前研究存在的问题包括：无法明确各项策略方法在城市绿地增汇与减排中的实际贡献度，缺少对现有策略实际效益的评估与验

证，部分策略方法的实际有效性未知。

总体来看，城市绿地碳汇与碳排在研究成果方面易受前序研究的影响。在研究维度方面低碳聚焦的能力逐渐增强。归纳当前研究成果在规划设计实践中的待优化内容如图5。其中，城市绿地维度在影响关系剖析层面缺乏复杂系统中的整体驱动因子分析，同时在策略方法归纳层面缺乏针对各类型绿地的优化内容。在绿地建设维度方面，由于绿地建造施工过程的数据记录较为困难且非公开，造成部分清单数据难以获取。如现场工人的施工方式、材料运输距离等均具有较大不确定性。在景观要素维度方面，部分策略在实际规划设计项目中的有效性缺乏定量评估。如在建设过程中使用废弃材料的具体减碳效益，以及应用乡土树种能带来的固碳减碳量缺乏量化统计。

### 3 规划设计实践视角下研究成果可用性的启示与展望

通过上文的整理与归纳发现城市绿地碳汇与碳排研究的覆盖面在各类研究成果与维度均具有异质性，未来研究需要针对欠缺区域重点展开研究，为下一步研究与实践应用

进行成果的有效输出。

### 3.1 理论体系——进一步拓宽理论的实现途径边界

人居环境相关领域可以继续将其他相关学科的研究成果纳入到城市绿地碳汇与碳排的研究体系当中，将现有理论做进一步延伸，并以人一城市—自然和谐共生为前提进行实现路径方面的具体细化。在现有基础上可以充分吸收来自经济学、环境地理、植物学、土壤学、林学等相关学科理论，拓宽现有理论在不同维度层级中的边界，建立多层级、多交叉、全要素的复合理论体系。

### 3.2 清单数据——规范化数据核算边界，提升数据完整性

需要在绿地建设维度建立完善的全生命周期碳足迹的核算体系，规范不同研究内容的数据采集精度，便于研究成果的进一步转化利用。同时，尝试建立面向研究机构的城市各类绿地设计、建设的碳足迹数据库，便于开展后续相关领域的研究。未来研究需要进一步增加景观要素维度“人工碳库”清单数据的核算，明晰无论是自然要素还是人工要素都是大气碳的暂存载体，可以将建筑领域的“城市矿山”<sup>[70]</sup>概念迁移至城市绿地范畴做进一步的补充与完善。

### 3.3 影响关系——探究复杂环境系统中的影响机制

未来研究需要对比已有清单数据与策略方法的研究成果，挖掘有待继续深入探索的研究内容，如铺装与建筑小品的材料使用与城市绿地全生命周期碳足迹的影响关系等内容。此外，后续研究需要进一步关注影响因子在不同维度中的证据链。如城市绿地维度

中的绿地类型因子、绿地建设维度中的地表覆盖与绿化面积、景观要素维度中的植物种类、多样性等因子均具有内在联系。城市绿地碳汇与碳排的影响内容复杂多样，未来研究需要在城市绿地维度与绿地建设维度进一步对比各个因子对城市绿地碳汇与碳排影响程度的差异，以便于后续城市绿地低碳优化策略有效性的量化评估。

### 3.4 策略方法——开展增汇与减排效益量化评估

在策略方法层面需要进行思维模式的转变，将“城市绿地领域的低碳是改造更新的准则”转变为“城市绿地中的固碳与减碳举措能带来实际效益”，从而客观、定量的评估城市绿地固碳与减碳的贡献潜力，进一步探寻城市绿地固碳和减碳功能、游憩功能、美学功能以及其他生态功能的平衡点。目前很多研究之所以在效益评估阶段无法完整闭环，很大的原因在于优化前后的数据难以获取与量化，因此可以从企业合作着手开展设计—研究一体化的成果产出，避免策略方法难以评估、策略与实际设计脱轨等问题，进一步从实际项目与科学研究同步出发，为碳中和目标提供城市绿地的实现路径。

## 4 结语

通过对城市绿地碳汇与碳排现有研究成果的归纳与分析，从研究成果与研究维度两个层面出发，按照理论体系、清单数据、影响关系以及策略方法4个部分对规划设计实践视角下的研究成果有效性进行了评估。同时结合当下政策导向，以可持续发展的视角针对现有研究成果提出未来研究建议，为城市规划者提供更为有效的规划设计工具。

## 参考文献

- [1] 余碧莹, 赵光普, 安润颖, 等. 碳中和目标下中国碳排放路径研究[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2021, 23(02): 17-24.
- [2] 尹沛卓, 李端杰. 基于碳汇理念的城市绿地布局优化——以日照市主城区为例[C]//中国风景园林学会2018年会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018: 389-394.
- [3] 王敏, 靳乔莎. 城市绿色碳汇效能影响因素及优化研究[J]. 中国城市林业, 2015, 13(04): 1-5.
- [4] 鲁敏, 秦碧莲, 牛朝阳, 等. 城市植物与绿地固碳释氧能力研究进展[J]. 山东建筑大学学报, 2015, 30(4): 363-369.
- [5] PAKZAD P, OSMOND P, PHILIPP CH. Review of Tools for Quantifying the Contribution of Green Infrastructure to Carbon Performance[C]//Icuc9-9th International Conference on Urban Climate Jointly with 12th Symposium on the Urban Environment, 2015.
- [6] CHEN Y, GUERSCHMAN J P, CHENG Z, et al. Remote Sensing for Vegetation Monitoring in Carbon Capture Storage Regions: A Review[J]. Applied Energy, 2019, 240: 312-326.
- [7] SAMARASINGHE G, LAGISZ M, SANTAMOURIS M, et al. A Visualized Overview of Systematic Reviews and Meta-analyses on Low-carbon Built Environments: An Evidence Review Map[J]. Solar Energy, 2019, 186: 291-299.
- [8] 孙雅伟, 郭茹, 王洪成. 基于CiteSpace的城市植被固碳效益研究进展知识图谱分析[C]//中国风景园林学会2019年会论文集(下册). 北京: 中国建筑工业出版社, 2019: 324-330.
- [9] KUMAR M, NANDINI N. Review- Importance of Assessing Carbon Sequestration Potential in Forest and Urban Areas[J]. Life Sciences Leaflets, 2013, 5: 78-88.
- [10] 邹喆. “城市低碳景观”研究综述[J]. 设计艺术研究, 2013, 3(5): 108-112.
- [11] 张伟畅, 盛浩, 钱奕琴, 等. 城市绿地碳库研究进展[J]. 南方农业学报, 2012, 43(11): 1712-1717.
- [12] 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(5): 45-51.
- [13] 王敏, 宋昊洋. 影响碳中和的城市绿地空间特征与精细化管控实施框架[J]. 风景园林, 2022, 29(5): 17-23.
- [14] SONG J, ZUO B. Functional Significance of Conflicting Age and Wealth Cross-categorization: the Dominant Role of Categories that Violate Stereotypical Expectations[J]. Frontiers in Psychology, 2016, 7: 1624.
- [15] T/GDLC 002-2019. 社区碳排放核算与报告方法[S]. 广东: 广东省低碳发展促进会, 2019.
- [16] National Research Council. Urban Forestry: Division on Earth and Life Studies, Board on Atmospheric Sciences and Climate[M]. Valencia: National Academies Press, 2013.
- [17] 付士磊, 宫琪, 徐婷婷. 基于碳汇理论的沈阳城市“三源绿地”构建方法[J]. 辽宁林业科技, 2016, 274(1): 5-8.
- [18] ALMUT H. Will the Next 10 Years Be as Productive in Advancing Life Cycle Approaches as the Last 15 Years?[J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2006, 11(1): 6-8.
- [19] 李兆前, 齐建国. 循环经济理论与实践综述[J]. 数量经济技术经济研究, 2004(9): 145-154.
- [20] 朱敏, 任云英. 西安浐灞生态区绿地系统固碳评估[C]//中国风景园林学会2019年会论文集(下册). 北京: 中国建筑工业出版社, 2019: 516-520.
- [21] ZHAO M, KONG Z H, ESCOBEDO F J, et al. Impacts of Urban Forests on Offsetting Carbon Emissions From Industrial Energy Use in Hangzhou, China[J]. Journal of Environmental Management, 2010, 91(4): 807-813.
- [22] 刘常富, 赵爽, 李玲, 等. 沈阳城市森林固碳和污染物净化效益差异初探[J]. 西北林学院学报, 2008, 92(4): 56-61.
- [23] 汤煜, 石铁矛, 卜英杰, 等. 城市绿地碳储量估算及空间分布特征[J]. 生态学报, 2020, 39(4): 1387-1398.
- [24] 张彪, 谢紫霞, 高吉喜. 上海城市森林植被固碳功能及其抵消能源碳排放效果评估[J]. 生态学报, 2021, 41(22): 8906-8920.
- [25] WANG Y N, CHANG Q, LI X Y. Promoting Sustainable Carbon Sequestration of Plants in Urban Greenspace by Planting Design: A Case Study in Parks of Beijing[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2021(64): 127291.
- [26] 黄柳菁, 张颖, 邓一荣, 等. 城市绿地的碳足迹核算和评估——以广州市为例[J]. 林业资源管理, 2017(2): 65-73.
- [27] 王祖华, 刘红梅, 关庆伟, 等. 南京城市森林生态系统的碳储量和碳密度[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2011, 35(4): 18-22.
- [28] 赵涵, 吴绍华, 徐晓晖, 等. 城市土壤无机碳空间分布特征及其与城市化历史的关系[J]. 土壤学报, 2017, 54(6): 1540-1546.
- [29] 汤煜, 石铁矛, 卜英杰, 等. 城市化进程中沈阳城市绿地土壤有机碳储量空间分布研究[J]. 中国园林, 2019, 35(12): 68-73.
- [30] 罗上华, 马齐正, 马克明, 等. 北京城市绿地表层土壤碳氮分布特征[J]. 生态学报, 2014, 34(20): 6011-6019.
- [31] 沈非, 任雅茹, 黄艳萍, 等. 芜湖城市绿地表层土

- 壤有机碳密度分布特征[J]. 土壤通报, 2018, 49(5): 1123-1129.
- [32] 武慧君, 姚有如, 苗雨青, 等. 芜湖市城市森林土壤理化性质及碳库研究[J]. 土壤通报, 2018, 49(5): 1015-1023.
- [33] JO H K. Ecological Design and Construction Strategies Through Life Cycle Assessment of Carbon Budget for Urban Parks in Korea[J]. Forests, 2021(12): 1399.
- [34] JAMIRSAH N, SAID I, JAAFAR B, et al. Carbon Footprint of Built Features and Planting Works During Construction, Maintenance and Renewal Stages at Urban Parks in Petaling Jaya, Selangor[J]. Pertanika Journal of Science and Technology, 2021, 29(1): 387-406.
- [35] SNEHLATA, RAJLAXMI A, KUMAR M. Urban Tree Carbon Density and Co2 Equivalent of National Zoological Park, Delhi[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2021, 193(12): 841.
- [36] 林雯, 李聪颖, 周平. 广州城市森林六种典型林分碳积累研究[J]. 生态科学, 2019, 38(6): 74-80.
- [37] 王冬生, 况明生, 张小军, 等. 基于RS的城市绿地及其固碳能力演变研究——以重庆市主城区为例[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2012, 37(03): 105-112.
- [38] OTHMAN R, SUID S, NOOR M N F, et al. The Influence of Urban Park Green Spaces, Plant Material Specifications and Spatial Design Organization and Pattern Towards Carbon Sequestration Rate[J]. Applied Ecology and Environmental Research, 2019, 17(4): 8079-8088.
- [39] GRATANI L, VARONE L. Atmospheric Carbon Dioxide Concentration Variations in Rome: Relationship with Traffic Level and Urban Park Size[J]. Urban Ecosystems, 2014, 17(2): 501-511.
- [40] REN Y, WEI X H, WANG D R, et al. Linking Landscape Patterns with Ecological Functions: A Case Study Examining the Interaction between Landscape Heterogeneity and Carbon Stock of Urban Forests in Xiamen, China[J]. Forest Ecology and Management, 2013, 293: 122-131.
- [41] GUO Z, ZHANG Z, WU X, et al. Building Shading Affects the Ecosystem Service of Urban Green Spaces: Carbon Capture in Street Canyons[J]. Ecological Modelling, 2020(431): 109178.
- [42] LINDEN L, RIIKONEN A, SETALA H, et al. Quantifying Carbon Stocks in Urban Parks Under Cold Climate Conditions[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2020(49): 126633.
- [43] LYV H L, WANG W J, HE X Y, et al. Association of Urban Forest Landscape Characteristics with Biomass and Soil Carbon Stocks in Harbin City, Northeastern China[J]. Peerj, 2018(6): e8525.
- [44] 陶晓, 姚晓洁, 杨春, 等. 城市不同绿地类型土壤碳氮分布特征[J]. 安徽农业大学学报, 2016, 43(5): 728-732.
- [45] 刘莺, 张腾龙, 杨成都, 等. 土地利用方式对城市草坪土壤活性有机碳组分及碳库活度的影响[J]. 北方园艺, 2020, 466(19): 94-101.
- [46] OTHMAN R, ABU K S Z, HASHIM K, et al. Evaluation of Carbon Reduction through Integration of Vertical and Horizontal Landscape Design for Hotel Premises[J]. Journal of Environmental Biology, 2016, 37(5): 1187-1190.
- [47] SETALA H M, FRANCINI G, ALLEN J A, et al. Vegetation Type and Age Drive Changes in Soil Properties, Nitrogen, and Carbon Sequestration in Urban Parks Under Cold Climate[J]. Frontiers in Ecology and Evolution, 2016(4): 93.
- [48] BAE J, RYU Y. Land Use and Land Cover Changes Explain Spatial and Temporal Variations of the Soil Organic Carbon Stocks in a Constructed Urban Park[J]. Landscape and Urban Planning, 2015, 136: 57-67.
- [49] 何晶. 基于全生命周期的城市绿地乔木群落碳收支研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- [50] 王亚军, 郁珊珊. 城市绿化植物—凋落物—土壤系统碳氮磷化学计量特征研究[J]. 西北植物学报, 2017, 37(1): 171-180.
- [51] 史淑雅. 城市景观格局对碳储量空间分布的影响研究[J]. 环境科学与管理, 2020, 45(8): 24-28.
- [52] MITCHELL M G E, JOHANSEN K, MARON M, et al. Identification of Fine Scale and Landscape Scale Drivers of Urban Aboveground Carbon Stocks Using High-resolution Modeling and Mapping[J]. Science of the Total Environment, 2018, 622: 57-70.
- [53] HELEN, JARZESKI M P, GASPARATOS A. Land Use Change, Carbon Stocks and Tree Species Diversity in Green Spaces of a Secondary City in Myanmar, Pyin Oo Lwin[J]. Plos One, 2019, 14(11): e0225331.
- [54] JO H, KIM J Y, PARK H. Carbon and PM<sub>2.5</sub> Reduction and Design Guidelines for Street Trees in Korea[J]. Sustainability, 2020, 12(24): 10414.
- [55] AWAL M A, OHTA T, MATSUMOTO K, et al. Comparing the Carbon Sequestration Capacity of Temperate Deciduous Forests Between Urban and Rural Landscapes in Central Japan[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2010, 9(3): 261-270.
- [56] 王丁冉. 低碳生态城市建设的景观设计途径[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(27): 15236-15239.
- [57] WEI S, CHEN Q, WU W, et al. Quantifying the Indirect Effects of Urbanization on Urban Vegetation Carbon Uptake in the Megacity of Shanghai, China[J]. Environmental Research Letters, 2021, 16(6): 064088.
- [58] 王静文. 低碳城市理念视角下的绿地系统优化策略之探讨——以岳阳市为例[J]. 华中建筑, 2014, 32(5): 101-104.
- [59] 严健标, 于晓聪, 毛成龙, 等. 低碳经济下城市森林公园发展的新探究[J]. 生态经济, 2011, 242(8): 138-141.
- [60] 于波, 孙琦. 基于低碳视角的城市景观生态规划设计[J]. 环境工程, 2016, 34(S1): 940-942.
- [61] 王春申, 谭凡, 赵雁. 探究低碳理念在现代城市景观设计中的运用[J]. 设计, 2017, 261(6): 104-105.
- [62] 赵彩君, 刘晓明. 城市绿地系统对于低碳城市的作用[J]. 中国园林, 2010, 26(06): 23-26.
- [63] LAHOTI S, LAHOTI A, JOSHI R K, et al. Vegetation Structure, Species Composition, and Carbon Sink Potential of Urban Green Spaces in Nagpur City, India[J]. Land, 2020, 9.
- [64] 舒也, 包志毅. 低碳园林理念下的城市植物景观规划设计问题与对策[J]. 景观设计, 2019(01): 14-19.
- [65] 依兰, 王洪成. 城市公园植物群落的固碳效益核算及其优化探讨[J]. 景观设计, 2019(03): 36-43.
- [66] KIL J H, HYE-MIP, YOUNG K J. Carbon Reduction and Enhancement for Greenspace in Institutional Lands[J]. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, 2020, 48(4): 1-7.
- [67] TOR-NGERN P, LEKSUNGNOEN N. Investigating Carbon Dioxide Absorption by Urban Trees in a New Park of Bangkok, Thailand[J]. BMC Ecology, 2020, 20(1): 20.
- [68] LI Y. Urban Landscape Design with Low Carbon Energy Saving and Environmental Protection for Micro Climate Improvement[C]//Materials Science, Energy Technology and Power Engineering Iii, 2019.
- [69] 石坚韧, 雷雅昕, 杜敏. 打造杭州低碳之城——杭州城市景观与光污染问题分析[J]. 生态经济, 2015, 31(9): 194-199.
- [70] 仇保兴. 城市碳中和与绿色建筑[J]. 城市发展研究, 2021, 28(7): 1-8.