

基于双碳目标的园林植物景观营建策略研究 ——以北京市海淀区公园为例

Strategies of Plant Landscape Construction based on Carbon Peaking and Carbon Neutrality Goals: A Case Study of Haidian Park in Beijing

徐 昉* 李明慧 施 以 李 凉
XU Fang* LI Minghui SHI Yi LI Liang

(北京林业大学园林学院, 北京 100083)
(School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing, China, 100083)

文章编号: 1000-0283(2023)01-0034-07
DOI: 10. 12193 / j. laing. 2023. 01. 0034. 005
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2022-11-07
修回日期: 2022-12-06

摘 要

伴随“双碳”目标的提出, 植物景观规划设计迎来全新的机遇和挑战。聚焦园林植物群落对碳排放的减源和增汇功能, 通过文献分析法对现有研究进行整合分析, 梳理并提出植物景观营建模式三个层次的建议, 包括: (1) 微观上关注植物选择, 提出关于植物材料年龄、植物种类选择的建议; (2) 中观上围绕园林植物群落配置、立体绿化、水体固碳, 探讨如何减排增汇; (3) 宏观上关注如何从规划角度考虑公园绿地和周边绿地的联系, 增强城市碳汇功能。实地调研北京海淀公园典型植物景观, 分析讨论其不足之处并提出植物景观设计建议, 为建立多维度且适用于我国华北地区公园的低碳植物景观营造模式提供参考和支撑。

关键词

植物景观; 风景园林; 碳中和; 树种选择; 植物群落配置; 城市绿地

Abstract

After the goal of carbon neutrality was proposed, plant landscape planning and design have ushered in a new opportunity and challenge. This study focuses on the functions of garden plants to reduce the source and increase the sink of carbon emissions, sorts out and summarizes the existing research through documentary analysis, and puts forward suggestions of plant landscape construction mode through the whole design process, including (1) at the micro level, we should pay attention to the selection of age and type of plant materials; (2) in the medium view, we discussed how to reduce carbon emissions and enhance the carbon sink from garden plant community planting, vertical planting, carbon sequestration in water; (3) from a macro perspective, we should pay attention to how to consider the connection between gardens and surrounding green spaces from the perspective of planning to promote urban carbon sink function. Based on field research in Haidian Park and taking the typical plant landscape as an example, we analyze and discuss the defects and provide suggestions for plant landscape design, which provide references and foundations for the establishment of a multi-dimensional low-carbon plant landscape model suitable for the northern urban parks.

Keywords

plant landscape; landscape architecture; carbon neutrality; tree species selection; plant community arrangement; urban green space

徐 昉
1989年生/女/江苏南通人/博士/讲师/研究方向为景观生态规划、低碳景观

李明慧
2001年生/女/北京人/在读本科生/研究方向为风景园林规划设计

施 以
2001年生/女/江苏南京人/在读本科生/研究方向为风景园林规划设计

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: fangxu2019@bjfu.edu.cn

2020年9月, 习近平总书记在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话, 提出中国“二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值, 努力争取2060年前实现碳中和”的目标。“碳中和”是指在规定时期内人为二氧化碳移除在全球范围内抵消人为二氧化碳排

放时, 可实现二氧化碳净零排放^[1]。2021年6月发布的《国务院办公厅关于科学绿化的指导意见》提出要科学开展大规模国土绿化行动, 增强生态系统功能和生态产品供给能力, 提升生态系统碳汇增量^[2]; 同年10月发布的《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》也提出，要建设城市生态和通风廊道，提升城市园林绿化水平；严守生态保护红线，严控生态空间占用，稳定现有森林、草原、湿地、海洋、土壤、冻土、岩溶等固碳作用；开展山水林田湖草沙一体化保护和修复，深入推进大规模国土绿化行动^[3]。

1997年《京都协议书》中肯定了植物对于减缓气候变暖的贡献，支持发展中国家开展碳汇项目，并将其用于抵消国内的减排指标。城市绿地是城市生态系统发挥功能的重要载体，可从固碳增汇、降温减排和绿色慢行三条路径对碳中和产生影响^[4]，而种植植物是“唯一不消耗能量的碳汇方法”^[5]。园林植物的固碳释氧功能使其可通过光合作用吸收二氧化碳释放氧气，并将碳元素转化为有机物，因此高固碳能力的园林植物景观在城市绿地应用中具有重要意义。将双碳理念应用到城市园林植物景观规划设计中，是实现城市可持续发展的重要环节。

植物景观主要从“直接减源”和“增加碳汇”两个方面为达成双碳目标作出贡献^[6]。针对低碳理念下的植物景观规划设计，徐铭等^[7]就公路服务区总结提升植被碳汇能力的技术措施；包志毅等^[8]从植物景观养护过程中的碳排放和植物景观碳效应的影响因素两方面讨论低碳植物景观的设计营造方法，并建议从更长时间维度来研究植物景观的碳效益；荣先林^[9]提出在设置低碳园林植物景观时需要遵循的原则，并针对增加绿量、改善小气候、低强度养护三方面提出设计途径；王敏等^[10]构建城市绿地碳中和效能的评估框架，并提出绿地布局及植物配置的优化策略。但多数文章提出的建议较为模糊^[11]或关注点较单一^[12]，并不足以作为园林植物景观营造时的主要参考；另有部分研究从植物景观评

价的角度出发^[13]，构建评价体系 and 模型，而非提出营造策略。针对植物体本身或群落的碳汇能力，董延梅等^[14]就同一地区内常用树种进行固碳释氧效益研究，并对其固碳释氧能力进行了排序；潘剑彬^[15]以北京奥林匹克公园为例，研究不同植物群落结构和类型降低样地二氧化碳浓度的效益，并提出可高效吸收二氧化碳的植物群落模式；金竹秀^[16]和依兰^[17]对研究地块植物群落固碳释氧能力进行评价，并提出群落优化建议。总体而言，“双碳”目标背景下，园林植物景观营造不仅要考虑植物个体的碳吸收能力，还应着眼于植物群落的组团效应，以及绿地空间在城市、区域范围发挥的集体作用，以实现较为系统的研究。

本文基于中国知网(CNKI)数据库，通过检索式“主题=植物景观 AND 碳”进行检索和筛选，并对检索出的文章进一步归纳总结，尝试提出兼顾植物“减源”和“增汇”，包括微观—植物选择、中观—组团配置、宏观—绿网联系三个层次的植物景观营造模式。以北京市海淀区公园作为研究对象进行实地调研，通过分析公园内部植物景观现状问题，探讨双碳目标下的园林植物景观营造的策略建议。

1 双碳目标下的园林植物景观营造策略

1.1 植物个体选择方面

1.1.1 选用高碳汇乡土树种，合理搭配外来树种

乡土树种指本地区有天然分布的树种，或某些引种期长、并在本地极端气候环境条件下生长良好、已表现没有生态扩侵性、符合引种成功标准的归化树种^[18]，具有区域性、良好的适应性和抗逆性、珍贵性、经济性、历史性和文化性^[19]。相对于外来树种，乡土树种有稳定的群落结构，对当地生态系统不

会造成破坏^[20]，可以从源头上降低营造初期的碳排放量。在施工和后期维护中，乡土树种采集和运输成本较外来树种更低，且成活率和抗性更强^[21]，相同的种植量下需要更少的资源维护，产生更低的排碳量。因此，合理使用高碳汇乡土树种，适当搭配外来树种，不仅可以营造出特色植物群落景观，而且可以减少建设和运营成本，减排增汇，达到美学和生态功能的平衡。

1.1.2 考虑植物体生命周期，优选较强碳汇阶段

研究表明，其他条件相同的情况下，生长速率快的乔木碳汇能力更强^[22]。同时，绿地中高大乔木比例越高，乔木规格越大，其净碳储量和碳汇效应越高^[23]。一般认为，幼龄和中龄的植物生长速度和生物量增长速度均较快，增加量大，固碳增长量更大且排碳量相对较少；而成熟期的植物生物量基本稳定，固碳增长量相应减缓，在移植初期的排碳量也相对较大^[24]。因此在进行植物选择时，可根据实际情况选取处于较强碳汇阶段的苗木进行种植。

1.2 植物组团配置方面

1.2.1 选择高碳汇能力植被覆盖类型，打造复层植物群落

不同植被覆盖类型的平均固碳量有很大差别(表1)，碳汇能力高的植被覆盖类型能够显著提升绿地碳汇效益^[26]。不同学者对华中地区^[27-28]、华东地区^[29]、华南地区^[30]和东北地区^[31]园林植物固碳释氧能力的研究表明，从植物生活型^[32]的角度来看，基本符合乔木个体固碳能力略大于灌木，乔灌大于地被和草坪、落叶树种大于常绿树种的规律；从单位叶面积固碳释氧能力的角度来看，结论则基本相反，草本花卉单位面积日固碳量

表1 不同植被覆盖类型单位绿地面积净日固碳量^[25]
Tab. 1 Net daily carbon sequestration per unit green area of different green space types^[25]

植被覆盖类型 Vegetation cover type	单位绿地面积净日固碳量/ (g·m ⁻² ·d ⁻¹) Net daily carbon sequestration per unit green-lands area			
	乔木 Tree	灌木 Shrub	草坪 Herb	总体 Total
乔灌草型	35.67	20.95	23.38	79.99
灌草型	15.29	33.52	23.38	72.18
草坪型	15.29	16.76	23.38	55.42
草地	0	0	23.38	23.38

注: 植被覆盖状况乔灌草型=乔木覆盖率70%+灌木覆盖率50%+草坪覆盖率100%; 灌草型=乔木覆盖率30%+灌木覆盖率80%+草坪覆盖率100%; 草坪型=乔木覆盖率30%+灌木覆盖率40%+草坪覆盖率100%; 草地=草坪覆盖率100%。

极高^[27-28,33-35]。因此, 乔灌复层和落叶常绿混交林的搭配组合对增加碳汇能力有重要作用。而不同密度^[36]的植物群落也会使城市绿地的碳汇能力有所区别。虽然理论上植物的生物量越高碳汇量就越高, 但群落密度过大会引起植物生长不良, 碳汇能力下降^[23]。植物群落的碳汇效应和其生物量并非简单的线性关系, 栽植密度并非越大越好, 应选择合理密度进行栽植, 并及时进行养护管理。

1.2.2 鼓励垂直绿化和立体绿化结合

在用地较为紧凑、公园绿地面积受限时可以考虑垂直绿化和立体绿化。虽然垂直绿化中使用较多的植物(如攀援植物)不论是单位面积固碳量还是释氧量均远小于绿地中种植的乔灌木^[37], 但是在用地紧张的地块不失为一种增加碳汇的方式。垂直绿化还有为所在小区域降温增湿的作用^[38], 其能够在一定程度上减少碳排放; 若是面积较大的立体绿化, 则不但能在一定程度上减缓城市热岛效应, 而且有隔热保温的效果^[39], 从“减源”和“增汇”两方面助力碳中和。

1.2.3 打造湿地植物生长格局, 促进水体碳储存

植物具有净化水体的作用, 不仅能吸收水中的营养物质, 还能显著降解氮、磷和泌

氧的含量, 为微生物提供适宜的生存空间, 从而影响水体和周边湿地的碳储存^[40-41]。研究表明, 在河流湿地和人工湿地中, 有植物覆盖的沉积物中碳储量高于无植物覆盖的沉积物中的碳储量, 而在人工湿地中, 潜流湿地的单位面积碳储量也显著高于表流湿地^[42], 说明湿地中的植物对湿地固碳起到了极为重要的作用。建议在有水体处适度扩大水生植物和湿地植物种植面积, 打造从沉水植物到湿生植物的全序列或部分序列的植物生长格局^[43]。

1.3 整合公园植物景观, 完善城市绿网构建

殷炜达等^[44]人基于遥感技术进行北京市绿地碳储量估算, 其绘制的碳密度空间分布图(图1)显示四环到五环之间是海淀区五环内城市绿地碳储量最高的区域, 主要是大面积的公园绿地与区域绿地构成了集中的碳库。在四环以内的碳储则均匀散布, 碳储量相对较低主要是由于附属绿地在城市内的分布较分散, 除此之外还包括线性分布的防护绿地碳储。通过对城市“城-郊-乡”绿地碳储的研究, 公共绿地的碳密度排在第二位, 仅次于生产绿地^[45]。因此对于中心城区外分布的较大绿地, 其植物景观规划宜考虑与周围现有绿地区域相互作用、相互联系; 不同

类型的公园绿地之间, 如城市公园、郊野公园、游园等, 以及公园绿地辐射范围内的附属绿地之间, 植物景观不仅在树种选择和群落搭配上可以呼应, 同时相互补充不同的增汇手段, 也可以串联不同用地间的低碳空间, 多种类型绿地集中分布, 形成城市绿地碳储集中区和“城市碳库”。

2 北京市海淀区公园植物景观营建

2.1 研究区概况

海淀公园建于2003年, 位于北京西北四环的万泉河桥畔, 与皇家园林颐和园相邻, 占地面积34 hm², 是北京海淀区重要的综合性公园(图2), 前身为畅春园, 为北京市三山五园体系中重要的组成部分。根据综合性公园在城市中的服务范围, 海淀公园又属于区域性综合公园, 自然条件良好, 规模较大, 能满足人们游览休息、文化娱乐等多种功能的需求, 适合各种年龄和职业的城市居民进行半日到一日的游览活动。此外, 海淀公园还是全国首个AI公园, 公园内的智慧公园设施和科技科普场所与植物景观的结合, 可以为华北地区新型低碳公园建设提供参考。海淀公园植物景观营造总体上较为成功, 园内基调树种和大部分骨干树种均为北京市乡土树种, 仅在有特定景观需求的地方栽植



图1 海淀区五环内城市绿地碳密度分布^[44]
Fig. 1 Carbon density distribution of urban green space in the Fifth Ring Road, Haidian District^[44]

图2 海淀公园平面图
Fig. 2 Plan of Haidian Park

图3 中心草坪景区
Fig. 3 Central lawn area

图4 雨水花园
Fig. 4 Rain garden

图5 “未来空间”
Fig. 5 “Future Space”

外来树种，且栽植面积不大，并与其他乡土树种组合形成良好的景观效果。但仍存在部分问题，有待改进。

2.2 现状问题

就海淀公园内部绿地而言，部分景区群落复层结构完善，具有良好的碳汇潜力。但公园大部分景区景点及周边绿地群落大多以乔木结构为主，灌木层较缺失，存在复层结构缺失的问题。陈有臻^[46]对海淀公园内木本

植物进行调查，发现灌木层数量和种类远少于乔木层。部分景区乔木层较为缺乏，以海淀公园中心草坪与淀园花谷景区为例，中心草坪（图3）植被结构为单一地被群落，缺少落叶植物特别是乔木；淀园花谷景区主要为灌木—宿根草本群落，且乔木群落集中在景区外围，碳汇能力低于群落结构更为丰富、以乔木群落为骨干的其他景区。另外，公园内雨水花园（图4）数量较少，且和园内大面积湖水结合得并不是很好。水体旁虽有一

定面积的人工湿地，对于水体净化和生物活动（如鸟类活动）均有一定益处，但其人工湿地和水生植物种植面积相对较小，距离水体较远、净水范围有限，植物种类较为单一且木本植物数量不足。经观察发现，公园中一部分水生植物并非直接种植在水体中，而是通过在水中摆放盆栽的方式对植物进行展示，虽然具有一定的景观效果，但盆栽方式既会在维护景观时产生较高的碳排放，也不利于水生生态系统的稳定。同时，园内垂直绿



图6 海淀公园乡土树种种植范围示意图
Fig. 6 Sketch map of planting area of native trees in Haidian Park
图7 海淀公园及其周边绿地网络^[55]
Fig. 7 Haidian Park and its surrounding green space network^[55]

化和立体绿化使用较少，如“未来空间”处（图5），另有多处挡土墙，均为墙面裸露在外的状态。整体海淀公园中绿地相对块面较小且破碎化比较严重。

2.3 植物景观营造策略建议

2.3.1 增加部分绿地植物复层结构

海淀公园中现有植被组成以乡土植物（图6）为主，且主要景点的群落组成以乔木为主，大量种植的馒头柳（*Salix matsudana*

var. matsudana）、栾树（*Koelreuteria paniculata*）、国槐（*Styphnolobium japonicum*）、黄 栌（*Cotinus coggygia*）等乔木，紫叶李（*Prunus cerasifera*）、榆叶梅（*Amygdalus triloba*）、红瑞木（*Comus alba*）、茶条槭（*Acer tataricum*）、碧 桃（*Amygdalus persica var. persica*）等灌木，玉簪（*Hosta plantaginea*）、石竹（*Dianthus chinensis*）、玉带草（*Phalaris arundinacea*）等宿根花卉，均属北京乡土植物，在海淀区生境中可以形成稳定的群落，生态位稳定，其中栾树、碧桃、紫叶李、榆叶梅等（表2）均为单

位叶面积碳吸收量较高的树种^[47]，且采集和运输成本较低，碳消耗量少。

但调研中发现，海淀公园中心草坪景区及其周边绿地灌木层都较为缺乏，考虑到公园整体景观空间体验和环境营造需求，作为公园入口处的主要中心景观，中心草坪景区的植物景观形式仍很有必要。对于其周边绿地，则可以通过增加灌木层的覆盖面积，打造复层植物群落，更快速地构建生物量高且较为稳定的植被生态系统，提高植物景观碳

表2 海淀公园“双碳”园林植物名单
Tab. 2 List of beneficial garden plants for carbon peaking and carbon neutrality in Haidian Park

植物类型 Plant type	植物名称 Plant name
固碳释氧	油松（ <i>Pinus tabuliformis</i> ）、白皮松（ <i>Pinus bungeana</i> ）、圆柏（ <i>Juniperus chinensis</i> ）、毛白杨（ <i>Populus tomentosa</i> ）、绦柳（ <i>Salix matsudana</i> ）、栾树、刺槐（ <i>Robinia pseudoacacia</i> ）、毛泡桐（ <i>Paulownia tomentosa</i> ）、柿树（ <i>Diospyros kaki</i> ）、碧桃、紫叶李、榆叶梅、西府海棠（ <i>Malus micromalus</i> ）、金银木（ <i>Lonicera maackii</i> ）、紫丁香（ <i>Syringa oblata</i> ）、连翘（ <i>Forsythia suspensa</i> ）、迎春（ <i>Jasminum nudiflorum</i> ）、丰花月季（ <i>Rosa hybrida</i> ）、麦冬（ <i>Ophiopogon japonicus</i> ）
降温增湿	油松、白皮松、圆柏、雪松（ <i>Cedrus deodara</i> ）、国槐、刺槐、柿树、毛泡桐、绦柳、迎春、丰花月季
抗SO ₂ 性	侧柏（ <i>Platycladus orientalis</i> ）、圆柏、毛白杨、毛泡桐、大叶黄杨（ <i>Buxus megistophylla</i> ）、沙地柏（ <i>Juniperus sabina</i> ）
抗Cl ₂ 性	白皮松、毛泡桐、大叶黄杨、沙地柏

汇,同时有助于土壤碳收集能力的提升^[48],以达到提高绿地碳汇效益的效果。

公园南部区域,乔木层植被均较高大,长势良好,但是灌木层缺乏,在选择灌木层植物时可以考虑使用较为耐阴的种类,如香茶藨子(*Ribes odoratum*)、小花溲疏(*Deutzia parviflora*)等,既能较好地适应比较阴蔽的场地环境,又能适应北京的气候条件,达到一定的景观效果。对于乔木较为缺乏的区域,如公园中部草坪周边的绿地,则可适当补植如国槐、毛泡桐、圆柏等的高碳汇乔木,同时注意和所处景观及下层植被生态习性相适应。在选择苗木时应注意选择处于幼龄和中龄、规格较小的苗木进行栽植,增强所在绿地碳汇能力。同时,应注意选择合理密度进行栽植,将种植密度控制在250~450株/hm²范围内^[35],防止植株栽植密度过小或过大,而导致栽植量不足或者生长不良、生物量下降,继而引发碳汇减少及景观整体美观度降低等问题。

2.3.2 优化滨水植物种植

在海淀公园现有草坪处和沿水边绿地处建议增加雨水花园的数量和面积,将水生植物造景与海绵设施相结合,创造多样低碳植物景观的同时,更好地进行雨水收集和净化工作。在园内人工湿地区域,建议筛选出净化水体效果较好的湿生木本植物,如耐水湿的旱柳(*Salix matsudana*)、丝绵木(*Euonymus maackii*)、柘树(*Cudrania tricuspidata*)等以替换现水边不耐水湿的木本植物^[49],湿生木本植物的根系可净化水质^[50],减少后期繁琐的草本刈割工作和湿地管理成本,还能保证湿地景观的持久性,防止水体富营养化,符合碳中和的植物群落构建理念,值得在低碳园林湿地景观建设中推广。适当添加耐污及净化

能力均较高的浮水植物,如凤眼莲(*Eichhornia crassipes*);沉水植物,如金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)、狐尾藻(*Myriophyllum verticillatum*);湿生植物,如鸢尾(*Iris tectorum*)、黑麦草(*Lolium perenne*)等^[51-52],构建良好的从沉水植物到湿生植物的全序列植物生长格局。在滨水地块还可构建如“落新妇(*Astilbe chinensis*) + 荚果蕨(*Matteuccia struthiopteris*)”“地榆(*Sanguisorba officinalis*) + 白花败酱(*Patrinia villosa*) + 紫菀(*Aster tataricus*) + 林地早熟禾(*Poa nemoralis*)”等群落,丰富滨水景观^[53]。园内部分浅塘中建议选择较为抗病或耐寒的品种直接栽种,如墨西哥黄品系、香睡莲品系等^[54],替换现有的盆栽,若由于展示需要,则可以使用缸栽的方式,在水体范围外进行单独展示。

2.3.3 增加立体绿化和垂直绿化

建议考虑在园内挡土墙处,特别是“未来空间”处增加垂直绿化和立体绿化。垂直绿化具有降温增湿作用,可以改善建筑内环境,从一定程度上减少建筑碳排放量;立体垂直绿化也可以作为科普展示的一部分,为人们带来科技体验。丰富的垂直绿化和立体绿化也与该景点打造的创新主题紧密结合,进一步加强海淀公园对于“双碳目标”的探索。

2.3.4 整合园内部分破碎绿地,发挥碳汇节点作用

建议整合海淀公园西南部较为破碎化的绿地,通过降低部分园路级别、设置汀步的方式连接场地,加以种植乔灌木复层结构植物群落,使之成为更完整、碳汇效益较高的公园绿地。海淀公园现与西侧颐和园、东北侧圆明园以及圆明园东侧东升八家郊野公园形成北京西北郊四环到五环间相互联系、相互作用(图7)的碳汇高密度区域;作为综合公园,与周边社区公园、郊野公园、街旁游

园、专类园等多种绿地类型组成种类丰富的城市绿地集中分布区和“城市碳库”,将城市西北郊绿隔的大面积绿地与四环内教育区、科技区的零碎绿地联系起来,进一步提高海淀公园作为城市公园绿地的碳汇功能,更好地改善城市生态环境。

3 结论与讨论

植物景观是城市园林绿地的重要组成部分,在城市园林绿地影响碳中和的途径中发挥主要作用。园林绿地的全面低碳化,很大程度上受植物景观营建的影响。本文较为系统地梳理和整合现有成果和相关研究,从三个层次提出较为细致的园林植物景观营建策略,并结合海淀公园现状,从“双碳”目标角度提出植物景观营造建议。不足之处为并未对设计策略进行更进一步的量化分析,将在后续研究中继续探讨植物景观中不同植物种类的数量和比例关系对植物群落碳收支情况的影响,通过实测和计算,得出更为精准具体的方案。

植物景观营建主要属于增汇措施,不同的营造措施在不同立地条件下产生的碳汇效能可能存在较大差异,设计师需要根据实际的设计条件创造性地运用营建策略,也可将不同策略叠加运用,发挥植物景观的综合效益,兼顾城市园林植物景观营建的生态与审美目标。

碳中和理念的深入研究将为新时代风景园林的发展提供更科学、精细的营建指南。在植物景观规划设计中,风景园林工作者应充分发挥园林绿地的示范作用和先锋作用,构建系统的植物景观碳汇数据库和营建体系,为城市园林绿地的低碳建设提供数据参考和支持,助力推动双碳目标的早日实现。

注：图1引自参考文献[44]，图2引自海淀公园官方网站 (<http://www.haidianpark.net/>)，图7改绘自参考文献[55]，其余均为作者自绘。

参考文献

[1] 王灿, 张雅欣. 碳中和愿景的实现路径与政策体系[J]. 中国环境管理, 2020, 12(6): 58-64.

[2] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于科学绿化的指导意见[J]. 绿色中国, 2021(11): 12-17.

[3] 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实施意见[N]. 陕西日报, 2022-8-25.

[4] 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.

[5] 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(6): 23-26.

[6] 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.

[7] 徐铭, 薛铸. 碳中和服务区植被碳汇能力提升技术与措施研究[J]. 交通节能与环保, 2021, 17(5): 10-13.

[8] 包志毅, 马婕婷. 试论低碳植物景观设计和营造[J]. 中国园林, 2011, 27(1): 7-10.

[9] 荣先林. 基于低碳理念的园林植物景观设计关键技术及措施探究[J]. 现代园艺, 2018(18): 116-117.

[10] 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.

[11] 阿丽香. 低碳理念在城市园林植物景观设计中的应用[J]. 现代园艺, 2020, 43(22): 53-54.

[12] 游雅. 低碳理念视角下的城市园林植物景观设计分析[J]. 现代园艺, 2021, 44(10): 49-50.

[13] 陈晓刚, 林想, 林辉. 住宅区低碳景观评价模型及其应用——以园林植物景观为例[J]. 广东农业科学, 2012, 39(6): 63-66.

[14] 董延梅, 章银柯, 郭超, 等. 杭州西湖风景名胜区内10种园林树种固碳释氧效益研究[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(4): 209-212.

[15] 潘剑彬. 北京奥林匹克森林公园绿地生态效益研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.

[16] 金竹秀. 临安市城区绿地植物群落结构与生态效益研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2011.

[17] 依兰. 城市公园植物群落的碳收支评估及其优化研究[D]. 天津: 天津大学, 2019.

[18] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. (GB/T 37342-2019) 国家森林城市评价指标[S]. 国家林业和草原局, 2019.

[19] 张寄英. 北方乡土植物与现代城市园林景观建设探究[J]. 山西林业, 2022(S2): 76-77.

[20] 孙卫邦. 乡土植物与现代城市园林景观建设[J]. 中国园林, 2003(7): 63-65.

[21] 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(1): 14-19.

[22] 王敏, 石乔莎. 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(4): 1-5.

[23] 于超群, 齐海鹰, 张广进, 等. 基于低碳理念的园林植物景观设计研究——以济南市城区典型绿地为例[J]. 山东林业科技, 2016, 46(5): 10-15.

[24] 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.

[25] 郭新想, 吴珍珍, 何华. 居住区绿化种植方式的固碳能力研究[C]//第六届国际绿色建筑与建筑节能大会论文集. 北京: 《城市发展研究》编辑部, 2010: 256-258.

[26] 殷利华, 杭天, 徐亚如. 武汉园博园蓝绿空间碳汇绩效研究[J]. 南方建筑, 2020(3): 41-48.

[27] 史红文, 秦泉, 廖建雄, 等. 武汉市10种优势园林植物固碳释氧能力研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31(9): 87-90.

[28] 陈月华, 廖建华, 覃事妮. 长沙地区19种园林植物光合特性及固碳释氧测定[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(10): 116-120.

[29] 赵艳玲, 阚丽艳, 车生泉. 上海社区常见园林植物固碳释氧效应及优化配置对策[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2014, 32(4): 45-53.

[30] 郭新想. 居住区绿化植物固碳能力评价方法研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2010.

[31] 于佳, 陈宏伟, 闫红伟. 沈阳市常用园林植物碳汇功能研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(8): 94-97.

[32] 郭晴, 马锦义, 邵海燕, 等. 不同生活型园林植物固碳能力统计分析[J]. 江苏林业科技, 2020, 47(2): 44-47.

[33] 张青云, 吕伟娅, 徐炳乾. 华北地区城市绿地固碳能力测算研究[J]. 环境保护科学, 2021, 47(01): 41-48.

[34] 王丽勉, 胡永红, 秦俊, 等. 上海地区151种绿化植物固碳释氧能力的研究[J]. 华中农业大学学报, 2007(3): 399-401.

[35] 康红梅, 宋卓琴, 段九莉, 等. 太原市常见园林植物秋季固碳释氧、降温增湿能力研究[J]. 山西农业科学, 2018, 46(6): 992-997.

[36] 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, (3): 36-43.

[37] 黎国健, 丁少江, 周旭平. 华南12种垂直绿化植物的生态效应[J]. 华南农业大学学报, 2008(2): 11-15.

[38] 刘光立, 陈其兵. 成都市四种垂直绿化植物生态学效应研究[J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 2004(3): 259-262.

[39] 肖婧, 刘化高, 王希嘉. 面向“碳中和”目标的未来社区建设探索[J]. 中外建筑, 2022(6): 85-89.

[40] 李鑫, 都李萍, 徐婷婷, 等. 植物群落组成对人工湿地微生物群落影响[J]. 生态学杂志, 2014, 33(6): 1508-1514.

[41] 王敏, 张晖, 曾惠娟, 等. 水体富营养化成因现状及修复技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(6): 1-6.

[42] 杨瑞蕊. 植物对河流湿地和人工湿地沉积物中碳储存和碳氮关系的影响[D]. 济南: 山东大学, 2021.

[43] 夏丽芝. 人工湿地景观营造初探[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2007.

[44] 殷炜达, 苏俊伊, 许卓亚, 等. 基于遥感技术的城市绿地碳储量估算应用[J]. 风景园林, 2022, 29(5): 24-30.

[45] 赵倩, 赵敏. 城市化过程及其绿地储碳研究——以上海“城—郊—乡”样带为例[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(4): 531-538.

[46] 陈有臻. 海淀公园木本植物多样性分析[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(15): 1-3.

[47] 陈自新, 苏雪痕, 刘少宗, 等. 北京城市园林绿化生态效益的研究(2)[J]. 中国园林, 1998(02): 49-52.

[48] 童家靖, 黄伟, 黎秀琼, 等. 我国园林绿地的碳汇研究进展[J]. 热带生物学报, 2018, 9(1): 117-122.

[49] 梁廷永, 姚霞珍. 北京海淀公园景观植物群落调查与分析[J]. 中国林副特产, 2019(1): 55-59.

[50] 王晓雯, 许铭宇, 黄丽, 等. 湿地木本植物资源应用的综合评价[J]. 湿地科学与管理, 2018, 14(2): 61-64.

[51] 何蕾. 湿地植物对人工湿地生态修复作用研究[J]. 智慧农业导刊, 2022, 2(21): 40-42.

[52] 李咏红. 基于协同发展的北方湿地公园生态修复技术研究——以琉璃河湿地公园为例[J]. 水生生物学报, 2022, 46(10): 1535-1545.

[53] 王睿, 朱玲. 近自然理念下城市河岸带草本植物群落构建的实验研究途径[J]. 风景园林, 2022, 29(10): 102-108.

[54] 韦家隆. 耐寒睡莲育种趋势[J]. 花木盆景(花卉园艺), 2022(08): 14-19.

[55] 夏成钢, 王智, 端木歧. 海淀公园规划设计说明[C]//北京园林学会规划设计专业赴韩作品参展与考察专辑. 北京园林论文集. 北京: 《北京园林》编辑部, 2003: 67-74.