

# 城市街道空间绿地低碳综合效益评估测算与精细化改造研究——以北京新街口片区为例

A Study on the Evaluation and Refinement of Low-Carbon Benefits of Urban Street Green Space: A Case Study of Xinjiekou District in Beijing

杨 鑫\* 张 琦 薛雯丹  
YANG Xin\* ZHANG Qi XUE Wendan

(北方工业大学建筑与艺术学院, 北京 100144)  
(School of Architecture and Art, North China University of Technology, Beijing, China, 100144)

文章编号: 1000-0283(2023)01-0025-09  
DOI: 10. 12193 / j. laing. 2023. 01. 0025. 004  
中图分类号: TU986  
文献标志码: A  
收稿日期: 2022-10-31  
修回日期: 2022-11-29

## 摘 要

在中国双碳发展背景下, 对于高密度集聚的大城市核心区, 城市绿地的直接增汇与间接减碳综合效益突出。以北京新街口片区为研究对象, 开展街道空间精细化绿地调查, 共抽样18条街道, 对3 242株行道树精准定位记录, 运用i-Tree Streets模型对街道空间低碳综合效益进行评估测算, 得出街道空间精细化改造提升建议。研究结果显示, 新街口片区调查行道树隶属于18科、21属、26种。从数量上看国槐所占比例最大, 占调查树木总数的74%。街道总生态效益价值为1 357.711万元, 单株平均加权效益总体水平为4 188.01元/株。其中, 碳储效益占比67.40%, 其他效益占比依次是美学效益、CO<sub>2</sub>吸收效益、节能效益、雨水截留效益、空气质量改善效益。通过对综合效益价值评估测算结果与问题分析, 从树种效益综合分析、间接减碳效益提升、全生命周期绿地环境维护管理三方面, 提出城市街道空间精细化低碳改造提升策略与建议。

## 关键词

街道空间; 碳汇; 生态效益; i-Tree模型; 精细化改造

## Abstract

In the context of the Double Carbon Development in China, the combined direct sink and indirect carbon reduction benefits of urban green space are outstanding for the core areas of large cities with high-density concentrations. This paper takes the Xinjiekou district of Beijing as the research object and conducts a survey on the refined green space of street space. We take 18 streets as samples, accurately locate and record 3242 street trees, apply the i-Tree Streets model to assess and calculate the comprehensive benefits of low-carbon street space, and come up with recommendations for the refined transformation and enhancement of street space. The results of the study show that the street trees surveyed in the Xinjiekou area belong to 18 families, 21 genera, and 26 species. The largest proportion of *Sophora japonica* was found in terms of quantity, accounting for 74% of the total number of trees surveyed. The total ecological benefit value of the street was 13,577,110,000 yuan, with an overall average weighted benefit level of 4,188.01 yuan per plant for a single plant. Among them, carbon storage benefits accounted for 67.40%, while other benefits accounted for aesthetic benefits, CO<sub>2</sub> absorption benefits, energy saving benefits, rainwater retention benefits, and air quality improvement benefits in that order. Through the analysis of the evaluation results and problems of the comprehensive benefit value, the strategies and suggestions for improving the refined low-carbon transformation of urban street space are proposed from three aspects: the comprehensive analysis of tree species benefit, the improvement of indirect carbon reduction benefit, and the maintenance and management of green space environment throughout the life cycle.

## Keywords

street space; carbon sink; ecological benefits; i-Tree model; refined transformation

## 杨 鑫

1983年生/女/黑龙江哈尔滨人/博士/教授、硕士生导师/研究方向为城市绿地格局、健康社区、城市气候环境与低碳研究

## 张 琦

1997年生/女/北京人/在读硕士研究生/研究方向为微气候环境与碳汇研究

## 薛雯丹

2000年生/女/重庆人/在读硕士研究生/研究方向为城市公共空间低碳研究

\*通信作者 (Author for correspondence)  
E-mail: bjiyangxin@126.com

## 基金项目:

北京市自然科学基金面上项目“和谐宜居背景下北京城市街区绿地空间热舒适度适应模型推导与精细化空间改造研究”(编号: 8202017); 2018年北京市属高校高水平教师队伍支持计划青年拔尖人才项目(编号: PXM2018\_014212\_000043)

## 1 研究背景

城市绿地是城市区域范围内唯一直接增汇、间接减碳的要素，因此精确监测城市绿地碳汇能力，能够直接反映城市中的碳中和作用，对促进城市低碳发展具有重要意义<sup>[1]</sup>。城市绿地通过植物群落进行自然固碳，也具有调节小气候、涵养水源、吸收有害污染物等生态效益<sup>[2]</sup>。准确监测城市绿地碳汇的时空分布，对于增强城市绿地碳汇功能，促进城市生态可持续发展，反映城市绿地应对气候变化价值具有重要的指导作用。

近年来，诸多学者对城市绿地碳汇计量展开研究，从估算方法分类上来说，主要有样地清查法<sup>[3]</sup>、同化量法<sup>[4]</sup>、微气象法<sup>[5]</sup>、遥感估算法<sup>[6]</sup>，但基本参考森林碳汇计量监测方法<sup>[7]</sup>，缺乏针对城市绿地的监测标准。因此针对不同尺度及方法开展城市绿地碳汇监测技术及标准研究具有重要意义。不同城市空间尺度包括单体建筑、街道、城市片区、城市等，针对不同尺度的碳汇量估算，目前被广泛使用的软件有CITY green<sup>[8]</sup>、InVEST<sup>[9]</sup>、i-Tree<sup>[10]</sup>等，The Pathfinder为美国近年新开发的碳估算系统，由于开发不久没有大范围使用<sup>[5]</sup>。CITY green主要针对城市或城市片区等大尺度碳汇量估算，依据遥感影像或数字化规划图获得空间特性数据，根据基础数据库中的树木信息进行生态效益分析，但无法对不同树种设定，只能考虑到树冠等因素。InVEST模型主要基于流域角度，指标计算局限性比较大，对于生物多样性保护结果目前不能以经济价值来进行量化。针对微观层面的单体建筑、街道尺度碳汇量估算，目前主要以i-Tree模型为主，该模型基础数据基于现场调研，来源可靠，对植被碳汇量估算全面（包括地上部分和地下部分碳汇量）。本文针对城市街道空间的低碳效益评估测算，综合考虑

各类尺度模型的优劣势，选择i-Tree模型进行评估分析。

## 2 研究方法

### 2.1 i-Tree Street模型介绍

i-Tree模型是2006年由美国林务局开发的的城市树木采样分析和生态效益评价模型。由不同应用程序促成的套件，用于估算森林结构、生态系统的计算机程序与森林和人类相关的服务、价值和风险<sup>[11]</sup>。i-Tree模型作为城市森林效益以货币形式呈现的评价模型，在景观绩效量化方面有着积极的促进作用，在量化绩效的同时更兼备经济价值的关联。主要应用于针对用地规划、灾害应对、树种选择、建成环境评价以及对于公众自然教育和设计项目参考等方面<sup>[12]</sup>。国内近年来运用i-Tree模型主要基于i-Tree Streets程序模块进行城市行道树生态效益研究。最早是2009年对合肥行道树<sup>[13]</sup>相关生态效益开展研究，随后更多的城市利用该软件进行生态服务能力研究，包括青岛<sup>[14]</sup>、杭州<sup>[15]</sup>、郑州<sup>[16]</sup>、贵阳<sup>[17]</sup>等。

i-Tree模型的应用除生态效益评价外，与数学模型计算相结合，可估算植物光照竞争<sup>[18]</sup>、对降低太阳辐射<sup>[19]</sup>与产生冷岛效应<sup>[20]</sup>的影响；统计特大城市冠幅覆盖面积与树种多样性<sup>[21]</sup>；评估植物对空气中各类颗粒物的净化能力<sup>[22]</sup>；评价城市森林作为鸟类栖息地的潜力<sup>[23]</sup>；量化能够有效改善环境质量的绿色空间占城市森林总面积的比例<sup>[24]</sup>等。而获取模型计算结果，则需要进行大量的实测数据导入，因此会借助地理信息技术与图像识别分析技术方法手段代替现场实测，提升植被信息获取效率。如Zhao等<sup>[25]</sup>利用移动激光扫描设备，快速获取城市行道树形态信息，导入模型进行评价行道树的固碳能力和PM<sub>2.5</sub>的

消除能力。运用手持GIS记录植被落位坐标的方法进行快速地理信息标注，该方法也被美国得克萨斯州雷诺市在建立i-Tree城市绿化树种目录时使用<sup>[26]</sup>。在适用性比较方面，Boukili等<sup>[27]</sup>通过与同类型的方程与经验值比较，分析i-Tree Streets模型对植物固碳作用评价的准确性与适用范围。王韵<sup>[28]</sup>使用数码相机拍摄图像观察银杏物候，利用观测数据计算植物固碳量并将所得数据结果与i-Tree模型计算进行比较分析。

本文利用i-Tree Streets模型对北京老城区新街口片区街道空间进行生态效益价值评估，根据北京年平均温度、年降水量和植物分布情况等综合因素考虑，选定与北京气候相似的northeast板块进行数据模拟。模型利用样本完整清单对树木的年度环境效益进行量化和评估测算，提供树木如何有助于碳固存、建筑节能（通过遮阳和/或阻挡风）、空气质量改善、二氧化碳减少、雨水控制和美学提升的报告（图1）。

### 2.2 样地选择与数据分析

北京新街口片区城市道路主要由主干道和次干道组成系统路网，研究选择西直门内大街、平安里西大街、阜成门内大街等18条道路，于2022年5~8月对街道空间进行信息数据采集。利用A8L手持GPS定位仪进行道路行道树定位，定位精度0.5~1 m，卫星类型由北斗+GPS+GLONASS提供。同时也使用GoPro运动相机、测距仪、胸径尺等设备，对主干道和次干道进行调研。根据街道连通性进行归纳总结，将较短道路进行融合编号，最终形成8条主要街道（图2）。其中主干路长为14 407.9 m，次干路长为6 793.5 m，调研总道路线性长度为21 201.4 m。平均人行道宽度根据《步行和自行车交通环境规划设

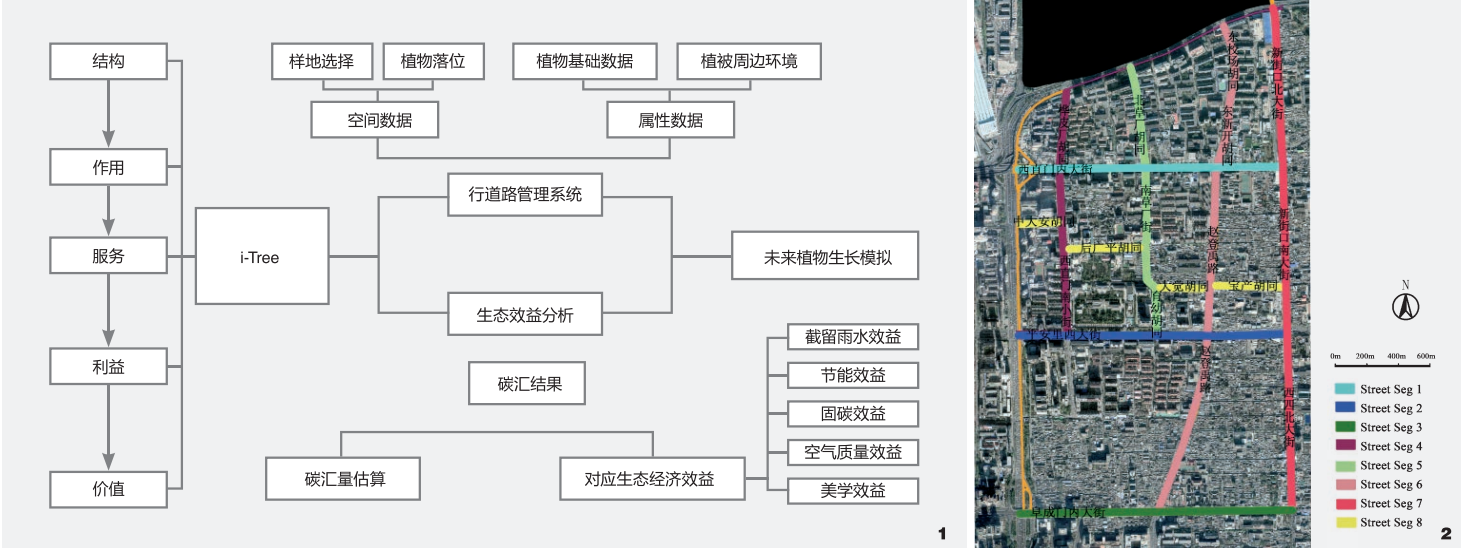


图1 i-Tree模型低碳综合效益评估测算基本流程图  
Fig. 1 Basic flow chart of the i-Tree model low carbon integrated benefits assessment measurement

图2 新街口片区街道空间8条主要道路分布情况  
Fig. 2 Distribution of the eight main roads in the street space of the Xinjiekou area

计标准》<sup>[29]</sup>中人行道宽度及现场测量实际情况计算平均值约为2.75 m。街道宽度通过现场实测数据计算得出18条主要道路平均值约为29 m。

采用样本普查法对新街口片区8条主要道路的行道树进行数据测量，将调查数据进行清洗整理。行道树采集数据指标包括所有树木胸径（DBH）、树木种类、健康情况、树高、树龄、电线冲突、土地利用、树干情况、树叶情况等<sup>[30]</sup>。结合土壤条件和气象数据等基本信息，对街道空间节能效益、吸收CO<sub>2</sub>、固碳效益、改善空气质量效益、截留雨水效益、美学价值进行综合评估与经济测算。

运用异速生长方程和替代法估算行道树的碳储量及碳汇效益，行道树平均胸径生长率0.83 cm/年，通过树木自身属性分析街道树木吸收和间接排放CO<sub>2</sub>的速率<sup>[31]</sup>，根据碳排放税收标准估算经济效益；节能价值计算主要是通过树木降低或增加周围环境温度时，空调、暖通等设备需要或减少消耗的电量和

天然气来进行加权，把对应的能源量根据实际当地收费标准转化为货币价值；街道雨水径流是通过下水管道进入湿地、溪流、湖泊和海洋，树叶和树枝表面拦截和储存雨水，从而减少径流体积和延迟峰值流量的，主要影响截留的是树木树干、茎和表面积、纹理、间隙面积、叶片生长周期和尺寸；城市森林提供6个主要的空气质量效益，通过叶片表面吸收气体污染物，拦截PM<sub>10</sub>，通过光合作用释放氧气、水蒸发并遮蔽表面从而降低空气温度进而降低O<sub>3</sub>水平、减少能源使用，减少电力污染物排放，包括NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>和挥发性有机化合物（VOCs），通过遮阴减少蒸发碳氢化合物排放和O<sub>3</sub>；树木还能提供大量的美学、社会、经济和健康方面的效益。

### 3 低碳综合效益评估测算结果分析

#### 3.1 街道植物健康状况

调查样段共计3 242株行道树，隶属于18科、21属、26种。从数量上看国槐所占比

例最大，占调查树木总数的74%。国槐作为北京的乡土树种，稳定性高、适应性强，因此被选择为行道树的基本树种。其余树种如海棠占比10.3%，作为中型行道树具有良好的景观丰富度，主要集中在西直门内大街；杨树和毛白杨占比6.82%，大部分种植在平安里西大街，其中种植杨树的街道，因其树木高大，遮蔽性更好；白蜡树占比2.65%，主要种植在一板一带式的育幼胡同，其树干通直，树形美观；银杏大部分种植在后广平胡同和平安里西大街中段，占比1.54%，树形优美，春夏季叶色嫩绿，秋季转为黄色，颇为美观。

树木健康情况分为树干和树叶情况综合分析，健康情况等级划分为4个等级分别为死亡、虚弱、尚好、好，根据调查情况综合计算出行道树的相对表现指数（Relative Performance Index，RPI）。RPI可以说明该树种对当地生长条件的适应度与表现，RPI>1的数值表示物种健康状况相对优良<sup>[32]</sup>，其能在成

本较低的情况下提供更高的效益价值，而表现普通或不良的树种则会产生更多的经济消耗。RPI值与树龄密切相关，如某个树种多数处在衰老期或对城市贡献良多但接近生命尽头，该物种的RPI值将偏低。新街口片区街道空间的行道树总体健康水平如表1。

3.2 街道林冠覆盖情况

研究表明，在树冠覆盖下的地面上15 m处温度比无树木覆盖区域低0.7 ~ 1.3℃，每当树冠覆盖率提高1%时，树木周围环境平均温

度可下降0.04 ~ 0.2℃，位于建筑物周围的树木或其他植被与外界相比可以降低空气温度3℃<sup>[33]</sup>。可见，林冠覆盖情况对于街道空间低碳效率影响较大。

分析得出8条道路行道树形成的总林冠覆盖面积有22.26 hm<sup>2</sup>，其中SS2平安里西大街和SS7新街口北大街—西四北大街林冠覆盖面积均为5.26 hm<sup>2</sup>，两条街道共占比47.26%；其次是SS1西直门内大街，林冠覆盖面积为3.24 hm<sup>2</sup>，占总数的14.56%。SS8中大安胡同、大觉胡同、宝产胡同，街道林冠

覆盖面积为0.81 hm<sup>2</sup>，占总数的3.64%，林冠覆盖面积最少。SS2、SS7、SS1街道林冠覆盖面积共占总数的61.82%，其贡献量最大。这是由于这三条道路中行道树树种丰富，有杨树、毛白杨等树种，且胸径较大，树种健康状况良好。SS8树木健康状况一般，人行道路窄，周围建筑环境干扰性较强，因此道路林冠覆盖面积比重最低。根据实际采集数据并由软件分析得出8条道路人行道总面积为89.03 hm<sup>2</sup>，计算得出人行道林冠覆盖面积比值为25%，显示行道树具有一定的遮阴功能，但遮阴面积有待提高。因此，为优化老城区街道空间微气候环境，增加低碳效益，增加行道树林冠覆盖面积将是行之有效的方法之一（图3）。

表1 行道树不同树种健康状况  
Tab. 1 Health status of different tree species of street trees

| 树种<br>Tree species | 健康等级/%                      |                |            |             | 相对表现指数<br>RPI |
|--------------------|-----------------------------|----------------|------------|-------------|---------------|
|                    | 死亡（濒临死亡）<br>Dead/near death | 虚弱<br>Weakness | 尚好<br>Good | 好<br>Health |               |
| 国槐                 | 0.17                        | 2.71           | 13.30      | 83.82       | 0.99          |
| 海棠                 | 0                           | 0.30           | 1.19       | 98.51       | 1.06          |
| 杨树                 | 0                           | 3.52           | 8.45       | 88.03       | 1.00          |
| 白蜡                 | 0                           | 0              | 4.65       | 95.35       | 1.06          |
| 毛白杨                | 0                           | 0              | 6.33       | 93.67       | 1.06          |
| 银杏                 | 0                           | 0              | 0          | 100         | 1.06          |
| 栾树                 | 0                           | 0              | 100        | 0           | 0.76          |
| 山桃                 | 0                           | 0              | 45.83      | 54.17       | 0.87          |
| 玉兰                 | 0                           | 0              | 13.04      | 86.96       | 0.96          |
| 五角槭                | 0                           | 0              | 11.11      | 88.89       | 0.97          |
| 白皮松                | 0                           | 0              | 0          | 100         | 1.09          |
| 油松                 | 0                           | 7.69           | 7.69       | 84.62       | 1.00          |
| 榆树                 | 0                           | 18.18          | 0          | 81.82       | 0.89          |
| 圆柏                 | 0                           | 0              | 0          | 100         | 0.96          |
| 香椿                 | 0                           | 40.00          | 20.00      | 40.00       | 0.74          |
| 枣树                 | 0                           | 0              | 33.33      | 66.67       | 0.82          |
| 杜仲                 | 0                           | 0              | 0          | 100         | 1.04          |
| 元宝槭                | 0                           | 0              | 0          | 100         | 1.09          |
| 梓树                 | 0                           | 0              | 0          | 100         | 1.09          |
| 紫叶李                | 0                           | 0              | 0          | 100         | 1.09          |
| 桑树                 | 0                           | 0              | 0          | 100         | 0.93          |
| 菩提树                | 0                           | 0              | 0          | 100         | 0.93          |
| 核桃                 | 0                           | 0              | 0          | 100         | 1.09          |
| 柏树                 | 0                           | 0              | 0          | 100         | 1.09          |
| 总体情况               | 0.12                        | 2.34           | 11.98      | 85.56       | 1.00          |

3.3 街道生态效益总价值量分析

研究结果表明，新街口片区街道空间低碳综合效益价值总计为1 357.711万元，各分项生态效益占比分别为：节能效益2.05%、CO<sub>2</sub>吸收效益9.64%、碳储量67.40%、空气质量改善效益0.05%、雨水截留效益1.50%、美学效益19.36%。由此可见，街道低碳综合效益价值占比最多的为碳储量价值，其次是美学价值，占比最少的为空气质量改善价值（图4）。

新街口8条主要街道的低碳综合效益价值比较可以看出，SS7街道在年效益总量上贡献最大，占总道路效益的24%。年效益占比最小的是SS8街道为4%；从碳储量效益数据得出，SS7街道碳储量贡献最高，价值量为2 322 921.2元，碳储量贡献最小街道为SS8，价值量为315 673.1元；从吸收CO<sub>2</sub>效益数据得出，SS2街道吸收CO<sub>2</sub>贡献最高，价值量为318 896.5元，吸收CO<sub>2</sub>效益贡献最小街道为SS8，价值量为53 647.6元；从雨水截留

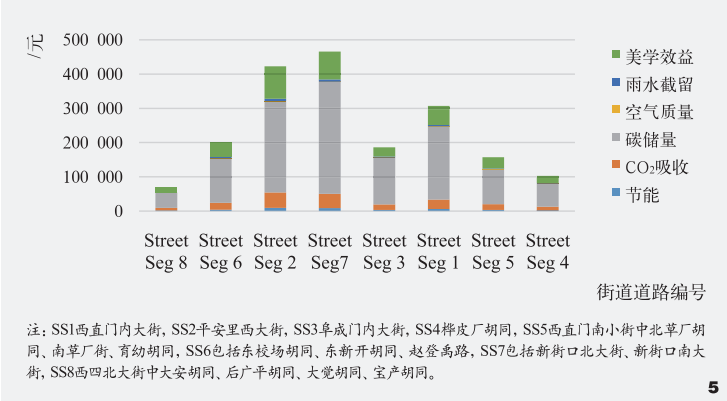
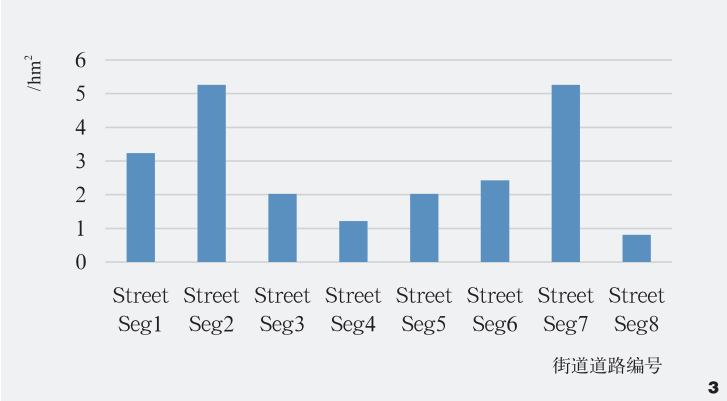


图3 各街道林冠覆盖面积情况  
Fig. 3 Canopy coverage of each street

图4 街道空间低碳综合效益占比情况  
Fig. 4 Percentage of combined low carbon benefits of street space

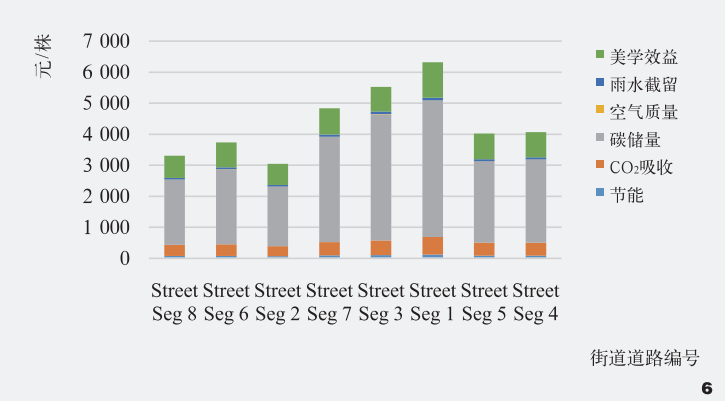
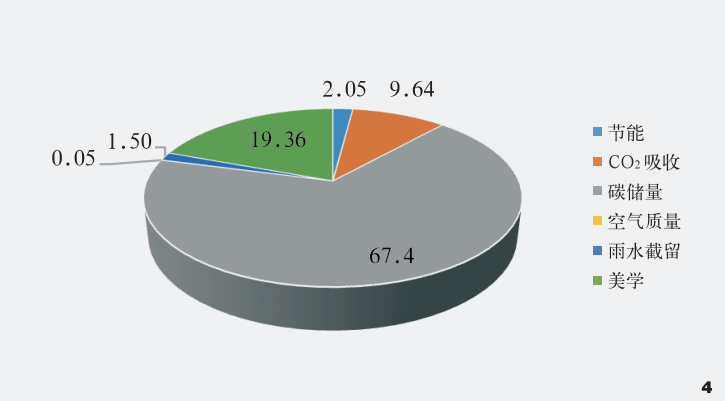


图5 各街道低碳综合效益测算比重  
Fig. 5 Measured share of low carbon combined benefits by street

图6 单株行道树平均加权效益测算比重  
Fig. 6 Average weighted benefit measurement weight of individual street trees

效益数据得出，SS7街道雨水截留贡献最高，价值量为47 988.9元，雨水截留贡献最小街道为SS8，价值量为7 533.1元；从空气质量效益数据得出，SS7街道空气质量贡献最高，价值量为1 583.3元，空气质量贡献最小街道为SS8，价值量为241.4元；从节能效益数据得出，SS2街道节能效益贡献最高，价值量为67 769.5元，节能效益贡献最小街道为SS8，价值量为11 317.4元；从美学效益数据得出，SS2街道美学效益贡献最高，价值量为673 356.9元，美学效益贡献最小街道为SS8，价值量为107 543.7元（图5）。

通过数据分析可以看出，新街口街道8条主要街道的单株平均加权效益总体水平为

4 188.01元/株，其中SS1街道单株平均加权效益最高为6 321.56元，SS2街道最低单株平均加权效益仅为3 045.76元/株。SS7街道在综合效益价值中为最大值，但在道路单株平均加权效益中排名第三，为4 834.11元/株。由此可得SS1单株平均加权效益高说明，树木状况更好更健康，优势在于树木单株效益产出，SS7街道生态效益总量最多，说明道路上树木数量更多，从而累计效益总量更多，但从单株树木效益优势上比较，劣势于SS1街道（图6）。

不同树种间固碳能力差别很大，高于平均值的树种有桑树、枣树、榆树、毛白杨、杨树、梓树，其中桑树单株平均效益最高，

达到11 625元/株，固碳量最少的树种是油松、柏树、杜仲，最接近固碳单株平均值的树种是核桃和国槐。根据数据分析来看，大型落叶乔木固碳能力相对较强，目前街道树种固碳能力情况较好，在今后行道树规划中，若以油松、杜仲、柏树等作为行道树时，应当适当考虑增加上述大型落叶乔木，从而增加树木总体固碳量（图7）。

低碳综合效益测算结果表明，不同树种在节能减排、固碳含氧、吸收CO<sub>2</sub>、改善空气质量、截留雨水与美学方面的单株平均效益均有差异，且综合效益树种也有不同。各项效益测算数据表明，单株综合生态效益平均值为1 380.75元/株，高于平均值树种单株

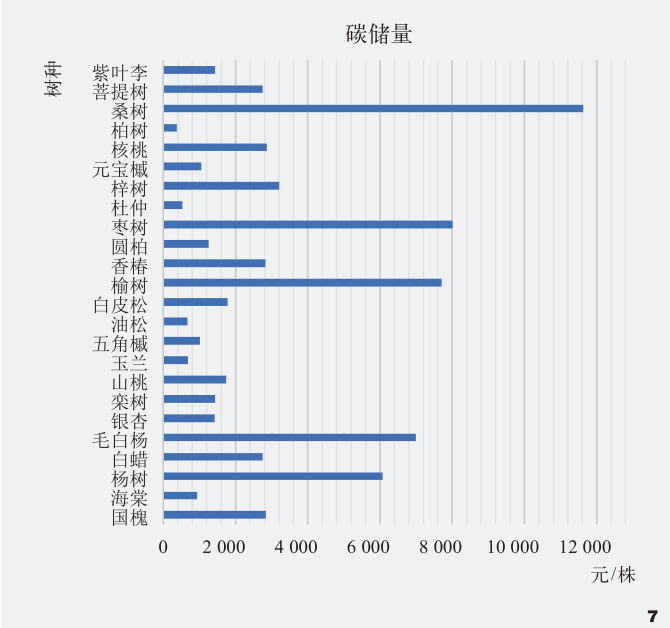


图7 行道树单株碳储量效益对比  
Fig. 7 Comparison of carbon storage benefits of single street tree

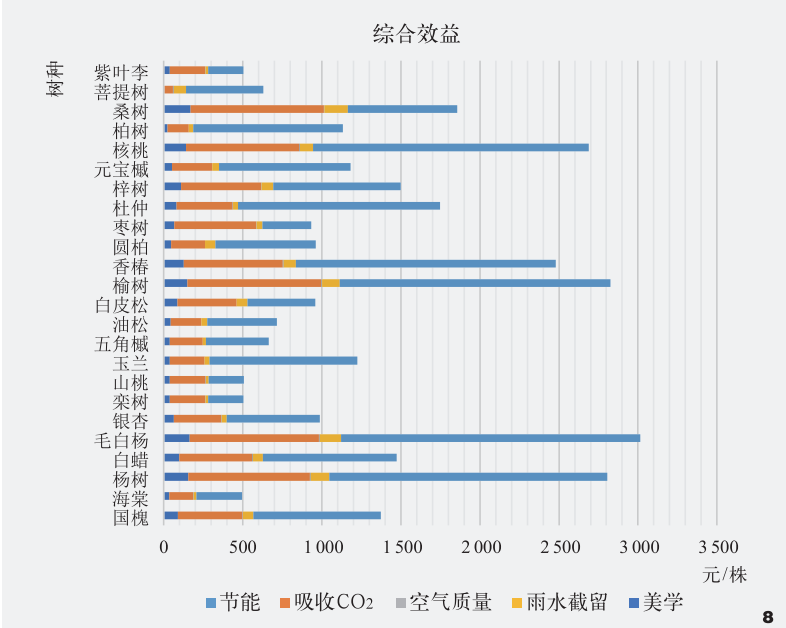


图8 行道树单株平均加权效益对比  
Fig. 8 Comparison of the average weighted benefits of individual street trees

生态效益为毛白杨、榆树、杨树、核桃、香椿、桑树、杜仲、梓树、白蜡。毛白杨单株平均加权效益最高为3 015.09元/株；国槐最接近平均值为1 373.50元/株；海棠单株平均效益最低为494.94元/株（图8）。

### 3.4 结果与问题总结

根据6大类效益价值分析得出，吸收CO<sub>2</sub>效益最高的树种是榆树（845.75元/株），碳储量平均价值最高的树种是桑树（11 625.47元/株），节能效益最高的树种是桑树（170.33元/株），雨水截留效益价值最高的树种是桑树（147.89元/株），改善空气质量效益价值最高的树种为毛白杨（6.11元/株），美学效益价值最高的树种是毛白杨（1 892.36元/株）。

根据北京新街口片区街道空间绿地低碳综合效益评估测算结果显示，街道环境存在的不足主要包括：（1）部分道路行道树数

量较少，街道总效益价值较低，如何在现有条件下补植绿地空间中的行道树，提升行道树总量，是突出问题；（2）行道树覆盖率较低，街道热空间缓解情况不明显，导致小气候环境不舒适从而影响整体低碳效益的发挥，需考虑提升树木覆盖率，在提升效益价值的同时解决舒适度问题；（3）行道树健康指数低，维护成本与树木健康情况不符，主要表现在街道的行道树树龄存在老化问题，树干与枝叶破坏较严重，维护不当；（4）冬季与夏季植物景观差距大，导致街道空间美学效益价值在不同季节有较大差异，这一地域性问题需与北京地理自然环境相结合，寻找解决方案。

以新街口片区为代表的，在北京老城区内普遍存在上述街道空间环境改善问题。因老城区建筑密度高、人口聚集、路网较密又缺少绿地空间，故街道的行道树绿化显得尤

为重要，其面积广、数量大、可见缝插针等特点，决定了街道空间精细化改造成为高密度城区低碳建设与发展的重要途径。可从街道空间单棵树种选择与数量增加的直接减碳角度，行道树树木覆盖率提升的间接降碳角度，以及街道绿地管理维护的全生命周期角度，协同优化老城区街道空间的绿地低碳综合效益。

## 4 精细化低碳改造提升策略

### 4.1 树种效益综合分析

在低碳综合效益评估测算结果分析中，碳储量和吸收CO<sub>2</sub>效益在总价值占比中最大，因此，碳汇效益对整条街道综合生态效益的影响最大。在街道绿地空间中，行道树的树种选择应在乡土树种的基础上适当考虑碳汇能力及碳效益价值。街道空间树木通过自身属性直接吸收并分解CO<sub>2</sub>，是植物生长所需

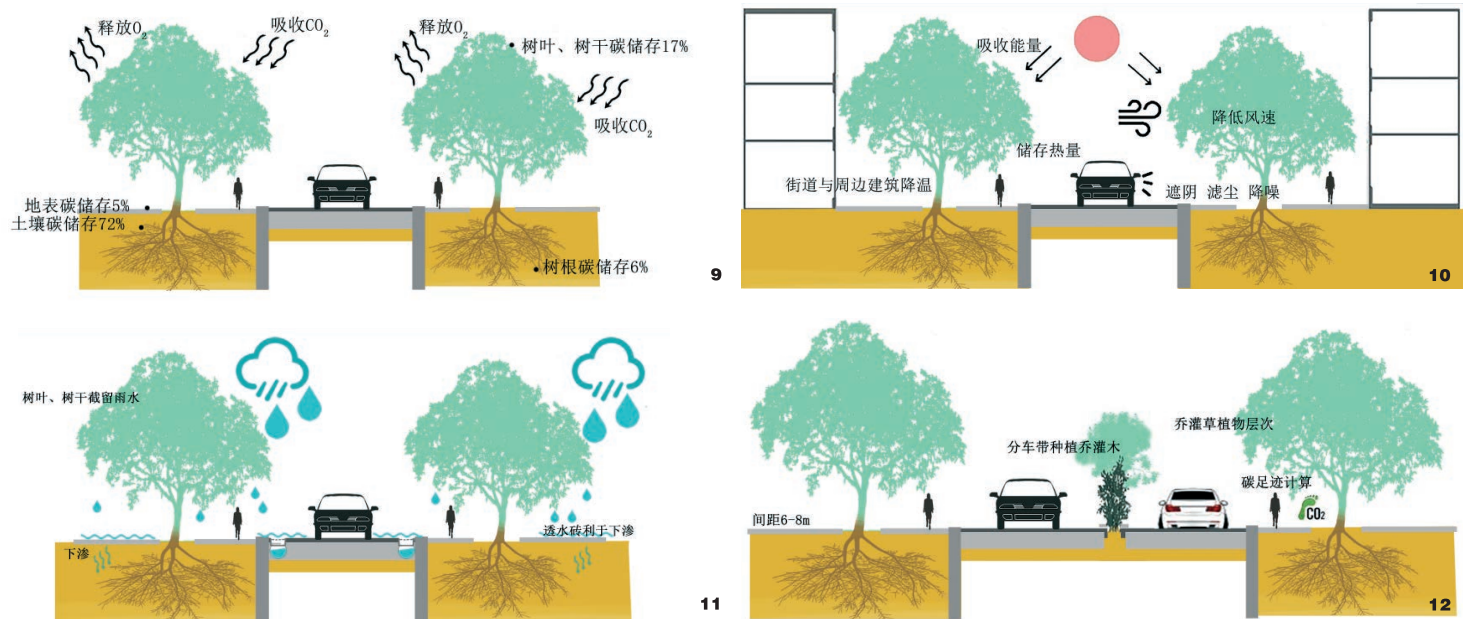


图9 街道碳汇效益策略  
Fig. 9 Street carbon sink benefits strategy

图11 街道雨水截留策略  
Fig. 11 Street stormwater retention strategy

图10 街道节能效益策略  
Fig. 10 Street energy efficiency strategy

图12 行道树街道交通组织策略  
Fig. 12 Traffic organisation strategy for street tree streets

营养来源，且不同树种对建筑物附近可以减少采暖或空调等设备的使用需求，降低电力生产等相关产业的燃料排放能力（图9）。经济效益方面，在选择树种进行补植或替换种植时，应选取综合效益更高的树种，在乡土树种中筛选出输出效益更高、维护成本更低、健康程度更具优势的树种，进而可使街道产生更多综合生态效益。

在新街口片区的低碳综合效益测算分析中，单株平均加权吸收 $CO_2$ 效益为403.64元，高于平均值的树种有榆树、桑树、毛白杨、杨树、核桃、香椿、梓树、白蜡、国槐。这其中榆树、香椿、白蜡与国槐都是街道空间中常用的优势树种，可在街道行道树的树种选择中优先考虑。

在行道树的美学效益评价方面，由于受北方地区的气候条件影响，冬夏两季植物景

观差异较大。而街道落叶树种和常绿树种比重相差悬殊，导致冬季街道景观情况更差。应在现状条件下完善行道树体系发展规划，可考虑对常绿树种、阔叶树种和针叶树种配置比例调整，适当增加常绿的底层小乔木及灌木配置，构建更完善和稳定的街道绿化生长结构体系，提高美学价值。

#### 4.2 间接减碳效益的提升

节能效益中，街道空间植物可通过遮阴减少建筑物吸收太阳辐射的热能并将热量储存在树木表面，对周边建筑具有降温作用。植物节约能源也可通过蒸腾作用将液态水转换为水蒸气散发到空气中，使周围环境温度降低，也可有效降低风速从而减少外界空气渗入室内空间和减少热损失。可通过形成林荫道增加街道绿量，发挥街道遮阴、滤

尘、降噪等作用，提升休憩空间品质，从而可以鼓励市民走出建筑，进行多样的室外活动，减少建筑空间耗能（图10）。街道植物雨水截留效益可通过增加街道绿地面积、植物树叶和树干表面拦截并储存降雨，减少雨水径流和降低降水高峰流量。树木根部增加降雨渗透土壤和土壤蓄水能力，减少铺装水流速度。对于铺装材质可以选择透水砖等绿色环保新型建材，透水性好、防滑功能强，维护成本低。可充分发挥土壤调节街道温度和湿度的优势，维护街道地表生态平衡，提升自然包容度（图11）。

在新街口片区低碳综合效益测算中，SS7街道节约能源效益与雨水截流效益都表现出最好的价值，这条主要街道种植的行道树以国槐为主，由于主体行道树分布量大，且具有较大树冠，树木覆盖率达到47.27%，极大

地发挥了间接减碳的综合效益。

另外，街道空间作为城市中组织交通的空间，在交通减排方面能够发挥重要作用。街道中的植物具有分割空间和优化可达性的功能。在实际改造提升中，选择节能效益更高的树种，并增加行道树列数，起到吸收交通尾气降低交通污染物排放，同时选择树冠形状完整、优美的乔木，能够在人通勤时缓解长期的视觉疲劳，引导交通，降低交通事故发生。人行街道适度增加行道树植被覆盖和景观配植，改善步行空间热环境，并结合社会宣传提倡保护树木，通过量化个人低碳行为，实时查看碳足迹等活动鼓励市民低碳出行（图12）。

4.3 全生命周期的绿地环境维护管理

对于绿地环境的维护管理首先应当完善低碳减排规划的编制体系，形成低碳城市街道建设框架。将低碳理念落实到城市总体布局和城市交通与路网布局，以及城市街道环境中。不断完善低碳城市理念和传统城市规划体系融合，将低碳效益作为规划中重要一环来对待，从宏观层面上指导低碳城市建设。优化街道植物种植树种、运输环节、施工环节以及后续的更换、维护管理全生命周期体系。

其次，对于城市街道空间来讲，城市交通排放是碳排的重要来源，城市热岛效应、温室气体排放也是造成大气污染的主要原因。因此，对于控制汽车尾气排放量，一是可以加大公共交通线路与站点设施建设，优化街道绿地环境，方便人们公共出行，同时完善建设城际铁路运输体系、优化出行时间与路程、降低私家车使用数量。二是政府应该鼓励居民低碳出行，加大宣传力度，鼓励和引导人们使用公共交通服务设施，充分发

挥绿地空间作用，做到共享共赢。三是优化街道绿地空间的管理维护，使慢行空间环境既安全又可持续发挥作用，培养人们长期的户外低碳绿色出行意识与习惯。

最后，中心城区建筑设施相对完善但老旧更新将是持久话题，由于空间有限，大面积增加街道绿化很难实现，对于街道绿地空间中的行道树维护管理至关重要。除优化树种外，树木的健康程度影响街道绿地的低碳综合效益发挥，因此定期维护，制定完善的行道树监测与管理制度，是实现低碳的重要途径。城市中树木健康状态也能侧面体现管理体系是否健全，精细化的养护也能为城市提供更多的经济效益和优良环境，促进实现良性循环可持续发展。

5 总结

在双碳目标的实现过程中，对于超大城市高密度居住生活空间来讲，由于用地限制等因素，直接增加碳汇与间接降低碳排的结合至关重要。其中，精细化的低碳效益评估测算与改造提升是存量时代城市更新的重要途径。习近平总书记在多次考察北京、上海等超大城市社区环境时强调，城市治理与社区治理都需要“绣花功夫”。城市低碳发展同样需要这种精细化的绣花技术，从小微尺度研究城市低碳问题，是对大尺度城市森林碳储与中尺度城市绿地碳汇的有效补充，也是对人们低碳绿色生活方式的有效引导。

通过对北京老城区新街口片区的街道绿地低碳综合效益测算评估结果分析，得到街道绿地中的主要行道树各项生态效益总价值，其中碳储量发挥的效益价值最高，美学效益价值次之。这与各条街道的行道树数量、树木覆盖率、树木健康指数有最直接的关系。以北京老城区的建设现状为例，从

街道空间绿地直接减碳，间接降碳以及全生命周期三个角度，提升街道空间的绿地低碳综合效益，包括增加行道树数量及覆盖率，选择优势树种，增强全生命周期的维护管理。

街道行道树是城市街道空间最重要的组成部分，不仅能够起到美化环境效果，还可以改善微气候、净化空气、减少噪音、增加碳汇、降低风速、有效缓解城市热岛效应、保护人行道路面、组织城市交通等作用。因此，合理选取行道树应当从多层次综合效益发挥的角度进行考虑，在提升经济效益合理化的前提下，做到景观配景精细化、交通组织低碳化，遵循“以人为本”的设计原则，实现低碳效益的景观建设，改善街道生活空间品质，营造低碳、健康的人居环境。

参考文献

[1] 张桂莲, 邢璐琪, 张浪, 等. 城市绿地碳汇计量监测方法研究进展[J]. 园林, 2022, 39(1): 4-9.

[2] 李小莹. 低碳理念下城市园林植物景观设计研究[J]. 科技资讯, 2022, 20(03): 90-92.

[3] 吴恒, 胥辉. 基于综合监测体系的森林样地抽样方案比较研究[J]. 林业资源管理, 2022(03): 48-53.

[4] 韩树英. 基于基尼系数的碳汇量分配的均衡性研究[D]. 江苏: 江南大学, 2017.

[5] 于洋, 王昕歌. 面向生态系统服务功能的城市绿地碳汇量估算研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2021, 53(01): 95-102.

[6] 续珊珊. 森林碳储量估算方法综述[J]. 林业调查规划, 2014, 39(06): 28-33.

[7] 熊育久, 赵少华, 鄢春华, 等. 城市绿地资源多尺度监测与评价方法探讨[J]. 国土资源遥感, 2021, 33(01): 54-62.

[8] 占珊. CITYgreen模型对长沙市城市森林生态系统的效益评价研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2008.

[9] 王梅娟, 李阳. 基于Invest模型对生态系统服务功能评估的研究综述[J]. 旅游纵览(下半月), 2018(20): 185.

[10] 马宁,何兴元,石险峰,等.基于i-Tree模型的城市森林经济效益评估[J].生态学杂志,2011,30(04):810-817.

[11] VARGAS K E, MCPHERSON E G, SIMPSON J R, et al. Interior West Community Tree Guide: Benefits, Costs, and Strategic Planting. 2007.

[12] 邱雯婉,张敏霞,鲍沁星.i-Tree模型在城市森林景观绩效量化中的应用评析[J].浙江林业科技,2019,39(05):106-116.

[13] 陶晓,吴泽民,郝焰平.合肥市行道树生态效益研究[J].中国农学通报,2009,25(03):75-82.

[14] 张玉阳,周春玲,董运斋,等.基于i-Tree模型的青岛市南区行道树组成及生态效益分析[J].生态学杂志,2013,32(07):1739-1747.

[15] 刘朋朋.基于i-Tree模型杭州西湖景区行道树生态效益分析[D].杭州:浙江农林大学,2018.

[16] 薛兴燕,赵杰,石蒙蒙,等.基于i-Tree模型的郑州市行道树生态效益评估[J].河南科学,2018,36(09):1460-1467.

[17] 包峻州,周长威.基于i-Tree模型的贵阳市行道树组成与生态服务功能研究[J].防护林科技,2018(11):4-9.

[18] PACE R, BIBER P, PRETZSCH H, et al. Modeling Ecosystem Services for Park Trees: Sensitivity of i-Tree Eco Simulations to Light Exposure and Tree Species Classification[J]. Forests, 2018, 9(2).

[19] MCPHERSON E G, KOTOW L. A Municipal Forest Report Card: Results for California, USA[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2013, 12(2):134-143.

[20] WANG X, CHENG H, XI J, et al. Relationship Between Park Composition, Vegetation Characteristics and Cool Island Effect[J]. Sustainability, 2018, 10(3): 587.

[21] ENDRENY T, SANTAGATA R, PERNA A, et al. Implementing and Managing Urban Forests: A Much Needed Conservation Strategy to Increase Ecosystem Services and Urban Wellbeing[J]. Ecological Modelling, 2017, 360: 328.

[22] BARALDIR, CHIECOC, NERI L, et al. An Integrated Study on Air Mitigation Potential of Urban Vegetation: From a Multi-trait Approach to Modeling[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2019, 41: 127-138.

[23] LERMAN, SB, NISLOW, et al. Using Urban Forest Assessment Tools to Model Bird Habitat Potential[J]. Landscape Urban Plan, 2014, 122(-): 29-40.

[24] ARBOIT M, BETMAN E. Evaluation of the Energy Impact of Green Area Surfaces and Vegetation Cover in Forested Urban Environments with Dry Climates Case: Mendoza Metropolitan Area, Argentina[J]. Procedia Environmental Sciences, 2017.

[25] ZHAO Y, HU Q, LI H, et al. Evaluating Carbon Sequestration and PM<sub>2.5</sub> Removal of Urban Street Trees Using Mobile Laser Scanning Data[J]. Remote Sensing, 2018, 10(11): 1759.

[26] TERRI RL. City of Reno Counting Trees[EB/OL]. <https://www.kolotv.com/home/headlines/Counting-Trees-268193862.html>, 2014-6-22/2019-7-9.

[27] BOUKILI V K S, BEBBER D P, MORTIMER T, et al. Assessing the Performance of Urban Forest Carbon Sequestration Models Using Direct Measurements of Tree Growth[J]. Urban For Urban Green, 2017, 24: 212-221.

[28] 王韵.基于数码相机的银杏固碳释氧量估算[D].雅安:四川农业大学,2013.

[29] 北京市规划和自然资源委员会,北京市市场监督管理局.步行和自行车交通环境规划设计标准[Z].2020-09-29

[30] 刘朋朋,蔡建国,章毅,等.基于i-Tree模型的杭州市环西湖景区行道树生态效益分析[J].科技通报,2019,35(02):132-137.

[31] 中国林科院. LY/T 2253-2014 造林项目碳汇计量监测指南[S].北京:国家林业局,2011.

[32] 刘朋朋.基于i-Tree模型杭州西湖景区行道树生态效益分析[D].杭州:浙江农林大学,2018.

[33] 姚佳,贾宝全,王成.北京市中轴线地区林木树冠覆盖特征及影响因素[J].东北林业大学学报,2018,46(12):54-57.

## 2023年《园林》 学刊专题征稿

为紧贴时代脉搏,突显时代主题,集中展示中国风景园林标志事件和新时代重大规划,2023年《园林》学刊拟选推出如下专题(所列专题顺序,不作为最终发刊专题顺序):

(1) 科技创新助力碳中和;(2) 城市生物多样性与栖息地营建;(3) 康复景观;(4) 城市基础设施与公共空间;(5) 风景园林教育创新;(6) 景观感受与健康影响;(7) 城市绿地大数据管理与应用;(8) 气候变化与风景园林;(9) 植物园规划设计;(10) 自然保护地及人地协调;(11) 东亚绿色城市;(12) 蓝绿空间与环境效应;(13) 园林遗产数字化;(14) 城市用地变化情景模拟;(15) 江南园林美学思想索隐。

专题文章采用学术主持人组稿与作者自由来稿相结合的方式。稿件具体要求可关注“园林杂志”微信公众号。

投稿系统: <https://www.gardenmagazine.cn>; 投稿邮箱: LA899@vip.163.com。稿件自发稿之日起3个月内未接到本编辑部任何通知,可自行处理。

请踊跃投稿!