

基于多源数据支撑的城市中心区绿色空间识别与服务供需评价研究 ——以北京为例

郑善文 祝朝阳 张珊珊 刘晨楠 汪坚强* (1 北京工业大学 城市建设学部城乡规划系, 北京, 邮编)

【摘要】城市中心区作为生态系统服务供需矛盾突出的典型地区,高精度的绿色空间识别与服务供需评价能够为规划改善提供科学依据。树木作为绿色空间的重要构成要素与服务空间载体,其高精度的识别是绿色空间服务供需精细化评价的前提与难点。利用多源数据与深度学习方法,综合考虑数据可获取性、复杂建成环境对服务能力多维度影响、城市绿色空间服务的典型需求等,构建了“要素识别—服务供需”分析框架,并以北京核心区为例进行分析。结果表明:(1)服务能力方面,大型公园与林荫道对应的绿色空间服务能力较高,附属绿色空间受到建成环境的影响服务能力相对有限;(2)服务需求方面,高密度商业、办公片区的服务需求普遍较高,绿地水系周边需求较低;(3)供需关系方面,供需错配由公共绿地服务盲区与高密度建成环境共同导致。

【关键词】城市绿色空间;城市中心区;供需评价;深度学习;高精度树木识别

【中图分类号】TU984 **【文献标识码】**A

1 精细化绿色空间识别与供聚评价

1.1 城市中心区是生态服务供需矛盾突出的典型地区

生态系统服务是人类从生态系统中获得的各种效益,包括有形的物质产品供给与无形的服务提供两方面,一般分为供给、支持、调节、文化四类服务^[1-3]。而随着城市扩张,土地硬化面积扩大,城市生态系统结构和服务功能发生了明显改变,以植被为主的自然环境逐渐被众多人工构筑物所取代^[4]。在这一过程中,城市中心区的生态系统服务总量降低、供需矛盾加剧的问题尤为明显^[5],其一方面是因为城市中心区与自然环境逐渐远离、建成区内自然环境的不断减少,导致了城市中心区生态系统的服务能力逐渐降低;另一方面则是由于城市

中心人口愈发集中,对各类服务的需求不断增加,最终共同导致城市中心区生态系统服务供需矛盾突出。

1.2 城市更新为城市中心区绿色空间优化提供了契机

城市绿色空间存在诸多不同内涵,在本研究中主要包括公园、绿地、水系等^[6]。在“绿色发展”作为五大发展理念的背景下,按照“以人为本”思想,以城市生态环境优化为前提的“绿色城市更新”将成为城市高质量发展的重要方向^[7]。对城市中心区而言,进行大面积的绿色空间新建已愈发难以实现,而通过城市更新进行小规模、渐进式、可持续的绿色空间优化提升更具可操作性。北京首都功能核心区(简称“核心区”)作为北京减量发展与城市更新的重点地区,在核心区控规中提出了“结合疏解腾退空间,增加公园绿地、小微绿地和公共型附属绿地等不同形式的绿色空间”的规划实施要点。

1.3 多源数据与深度学习方法为精细尺度的绿色空间识别及供需评价提供科学支撑

选择合适的尺度进行绿色空间识别及服务供需评价至关重要,精细尺度评估更能详细精准地体

基金项目:国家自然科学基金“基于低碳绩效评价的京津冀高密度住区形态对碳排放的影响机理与规划干预研究”(52078007);国家自然科学基金“疏解背景下基于生态系统服务的城市中心区生态空间评价、规划及模拟——以北京为例”(51908004)

* 通讯作者:汪坚强(1976-),男,北京工业大学建筑与城市规划学院教授、博士生导师,研究方向为可持续城市规划与设计,Email:wangjq93@126.com。

现真实情况与问题,以提出更契合研究区的规划策略^[8]。当前有关城市生态系统服务供需的研究在城市群、流域、市域等宏观层面相对较多,街区、地块等小尺度绿色空间服务评价及供需关系还需进一步研究^[9]。树木作为绿色空间的基本要素,能够较好反映不同类型绿色空间,且以矢量树木为单元能够与丰富的建成环境数据相匹配,而随着大数据与深度学习算法的发展,为树木为单元的小尺度、精细化的绿色空间与服务供需评价提供了可能:大数据作为众源地理数据的典型代表,能够为科学定量研究绿地的服务水平及空间公平性提供支撑^[10];深度学习能够有效提取数据中的特征,尤其在高分遥感影像方面,利用其进行特征提取、地物识别、目标检测等方面的研究逐渐普及^[11],能够为精细化的生态要素识别提供基础,为规划决策提供科学支撑。

2 已有研究进展

2.1 城市中心区的绿色空间高精度供给数据相对匮乏

有关城市中心区的绿色空间与服务供需研究主要以城市公园、公共绿地为对象,近年来逐渐向多维度评价、精细化分析的方向发展。在多维度的供需评价中,部分研究从公共绿地可达性视角出发,应用引力模型、两步移动搜索等方法进行可达性分析,结合周边环境进行供需评价^[12-14];部分研究应用多源数据,从多个维度对绿色空间的供需匹配情况进行分析^[15-16]。在精细尺度下,国内较多研究在需求层面采用细粒度数据,从三维建筑视角进行供需评价^[17];国外更多研究在供给层面采用植被、树冠数据,在人口普查单元层面进行空间分布的公平性分析^[18-20]。总体而言,国内研究在需求层面的数据相对丰富,而高精度供给数据(如树木、植被)相对匮乏;国外研究尽管存在较高精度的数据基础,但多进行空间分布公平性分析,较少将建成环境与绿色空间数据结合进行供需分析。

2.2 城市树木要素在应用与管理中已有一定成熟方法

树木作为城市绿色空间的重要要素,是生态系统服务的重要空间载体,在实践与研究中获得了广泛关注。其中纽约市的树木地图(NYC Tree Map)数据最为完整且公开,该数据的收集始于2016年,由公园树木工作人员与志愿者团队采集;2021年纽

约议会签署地方法令,要求公园在网站上维护定期更新树木及检查管理地图;2022年12月该网站进行了更新拓展,包括超过150000棵树木以及树木的位置、大小、状况、种类及相应的生态效益。但目前对于城市树木的识别或是需要大量专业从业者的参与,或是仅能够输出栅格信息,与建成环境丰富的矢量数据难以适配。

2.3 多源数据在高精度绿色空间识别中逐渐普及

遥感、街景影像、激光雷达点云(LiDAR)等数据在绿色空间识别中应用逐渐普及,其中,激光雷达数据精度最高,但由于城市环境的复杂性、相对严格的空中交通管制,目前国内较少采用该数据对城市全域树木进行识别^[21];街景影像可用于街景绿视率的提取与计算^[22],但街景影像往往仅能够覆盖行道树这一类型的绿色空间;高分遥感影像具备涵盖周期长、覆盖范围广、数据采集相对便捷的优势,存在空间结构特征丰富的特征,但也存在光谱信息相对不足、光谱异质性较大的问题^[23],而利用深度学习算法与大样本训练则能够较好弥补其不足,实现全要素绿色空间识别。

已有研究表明,城市中心绿色空间供需关系由于高精度数据的缺乏而少有细粒度、多维度的研究,而随着城市树木应用管理方法的逐渐成熟、多源数据与深度学习方法在要素识别中的普及,为高精度数据获取提供了理论与方法基础,因而本研究希望在此基础上进一步深入探索,尝试基于多源数据的精细化绿色空间识别与供需评价。

3 研究设计

3.1 研究基础理论

研究基于城市绿色空间的生态系统服务的供需匹配理论,供给指基于绿色空间结构和生态过程的完整性,通过一定技术或管理手段可被获取和使用的服务总量;需求则是城市居民目前世纪消耗和未来期望获取的服务量^[9]。在指标量化过程中,根据供需匹配评估概念框架,在供给层面从城市用地等直接驱动因素出发进行生态功能的评价,反映服务供给;在需求层面从人口增长等间接驱动因素出发,进行需求评价^[9]。

3.2 研究框架设计

在本研究中首先进行树木层面的绿色空间识别,结合建成环境对生态功能的影响实现服务供给

的分析;并结合人口数量与需求类型实现整体需求的评价,根据供给与需求的数量实现供需关系分析,具体步骤如下:

步骤一:树木层面的绿色空间高精度识别

收集研究范围及周边的高分遥感影像数据,进行投影、直方图均衡、裁剪预处理。人工标注数据集进行训练,结合既有大样本进行迁移学习,形成研究区树木矢量分布图,并进行研究区全域的人工审核对识别结果校正。

步骤二:街区层面的绿色空间服务供需分析

在供给方面,基于树木数据集,选取树木光照、竞争与曝光情况三个维度进行绿色空间服务供给能力评价,并在街区层面统计其服务能力;在需求方面,选取绿地接触、热岛缓解、噪声削弱三类典型绿色空间服务需求进行分析,结合街区人口线性拟合评价街区层面服务总量需求,实现街区供需关系的空间制图与分析(图1)。

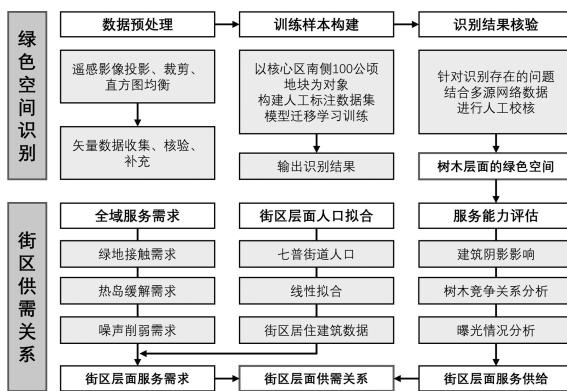


图1 研究框架

资料来源:作者自绘

3.3 数据来源与预处理

3.3.1 数据来源

研究采用 Google Earth 高分影像用于树木要素识别,采用 Open Street Map、百度地图 AOI、建筑层数等多源网络地图数据反映建成环境情况,采用 Landsat8 遥感数据用于地表温度计算,采用人口普查数据、规划图集用于街区人口拟合(表1)。

具体而言,在高分遥感影像选择过程中,本研究经过对近三年不同年份夏季历史影像的测试后,选择识别效果最佳的 2020 年 9 月 18 日的北京核心区范围内的历史影像进行识别。地表温度反演过程中,应用 Google Earth Engine 平台调用了 Landsat8

OLI_TIRS 数据,选择成像时间为 2021 年 06 月 19 日,条编号 123,列编号 32 的数据,云量为 0.14%,能够满足反演的要求。

表 1

数据名称及来源

数据名称	数据来源
高分遥感影像	Google Earth 历史影像
地表温度数据	Google Earth Engine Landsat8 OLI_TIRS
矢量道路数据	Open Street Map road 类型
面状公园数据	百度地图 AOI 旅游景点类型
建筑高度栅格	Open Street Map park 类型
人口统计数据	北京市人口普查年鉴
规划图集	首都功能核心区控制性详细规划图集

资料来源:作者整理

3.3.2 数据预处理

对遥感影像预处理包括栅格投影、直方图均衡与研究范围裁剪。首先运用直方图均衡化方法进行直方图拉伸,有效增强图像的色彩与亮度分布,提高识别的准确性;并对研究范围及周边 200m 缓冲区的范围,避免忽略研究范围外的绿色空间要素对研究区的影响。对矢量数据的处理包括对缺失数据的补充、错误数据的校正与需要数据的筛选。对于面状公园数据,研究以 Open Street Map 的数据为基础,以百度地图 AOI 为补充完善;对于建筑高度栅格,将部分现状已疏解腾退的建筑进行了删除处理,并人工补充了部分新建建筑。

3.4 供给层面研究设计

3.4.1 基于 Deep Forest 算法的树木识别

Deep Forest 是基于可见光遥感检测单树树冠的机器学习包,提供了来自美国国家生态观测站网络的预训练的模型,并提供了注释与自定义训练模块^[24]。研究首先根据获取的遥感影像分辨率及研究区树木特征,通过调整模型参数以获得最优分类结果;在此基础上结合研究区实际,选取能够反映城市特征的样区进行人工标注,对模型进行再训练;通过总结树木识别存在问题,采用不同时相遥感影像、多源网络数据结合人工标注方法,对识别结果进行检验与校正。

3.4.2 建筑阴影影响下的服务供给能力

光照条件对植物生长与绿色空间服务的提供至关重要,而在城市环境中,建筑物产生的阴影对植物生长具有重要影响^[25],因而研究通过太阳辐射区域测算对建筑阴影影响下的树木服务能力进行

评价。通过 ArcMap 对建筑高度栅格测算建筑阴影对研究区太阳辐射的影响。在参数设置上,对研究区含月间隔的整年,间隔 1 小时的辐射区域进行测算。

3.4.3 树木竞争影响下的服务供给能力

植物间的竞争作用是影响植物的生长、形态和存活主要因素之一,竞争现象意味着由于相邻竞争木的存在而使环境资源的减少^[26]。研究将识别的树木矩形范围中心与平均边长构建树木的圆形范围,对圆形的矢量树木构建半径为 3m 的缓冲区,识别缓冲区内的树木数量,数量越高表示树木间的竞争情况越强。

3.4.4 曝光程度影响下的服务供给能力

大量研究结果表明,长期暴露于绿色空间会产生有利的健康影响^[27],因而研究从树木的曝光程度方面,评估其提供健康相关服务的能力。根据北京四环内的 OSM 矢量道路构建网络数据集,假定 5km/h 的步行速度对步行时间可达性进行测度。在可达性栅格的构建方面,通过对四环范围创建 250m 渔网,选取其中心点进行 OD 成本矩阵测算,对 OD 要素线选取半径为 2km 范围内的要素进行汇总并关联至点,通过反距离权重构建可达性栅格反映曝光程度。

3.5 需求层面研究设计

3.5.1 街区层面人口拟合

传统对于人口数量的测度往往通过人口普查、人口网格等方式进行,但对于城市中心区而言,前者的数据粒度相对较低、后者的数据精度相对有限。因而研究采用线性回归的拟合方法,构建居住建筑面积与街道人口普查数据的线性方程,并根据街区层面的居住建筑面积拟合街区人口。

3.5.2 基于单窗算法的热岛缓解需求评价

城市热岛不仅对居民健康造成威胁,也造成了能源消耗、对基础设施安全等造成负面影响,而绿色空间对缓解城市热岛效应与提升气候韧性具有重要作用^[28]。单窗算法 (Mono-window Algorithm) 是陆地表面温度的经典算法,根据地表热辐射传输方程推导出利用 Landsat 热红外波段数据反演地表温度^[29]。研究基于 Google Earth Engine 平台,调用 Landsat8 遥感影像数据对核心区地表温度进行反演,反映核心区热岛缓解需求。

3.5.3 基于等时圈构建的绿地接触需求评价

公共绿地是城市中心区绿色空间的重要组成部分,尤其在提供生态系统服务方面起到了重要作用,而相较于行道树、附属绿地等非正式绿色空间,与公共绿地的接触会更多地受到绿地范围、出入口、道路网络等因素影响,因而研究基于 3.4.4 中构建的道路网络数据集,以研究区及周边主要公共绿地出入口作为出发点,构建 2min 间隔的 2–30min 的公共绿地步行服务范围,反映公共绿地的接触需求。

3.5.4 基于 NoiseModelling 的道路噪声削弱需求评价

噪声作为影响城市居民身心健康的主要因素,合理配置绿地对噪声削弱具有明显作用^[30]。研究利用基于 GIS 的开源噪声制图平台 NoiseModelling 实现现状噪声地图绘制,该平台能够在短时间内生成城市、城市群层面的噪声地图,具体包括两个步骤:估算交通网络的噪声排放、计算声源到测点的声级^[31]。研究以核心区 OSM 道路网络作为噪声源,对核心区构建 30m 渔网中心点作为测点,以百度地图建筑栅格作为噪声传播过程中的环境模型,在 NoiseModelling 平台上计算接收点的时间平均声级 (LeqA),形成核心区噪声栅格。

4 实证研究

4.1 研究区域

研究以北京核心区为对象,包括北京市东城区和西城区,总面积约 92.5 km²,2022 年常住人口约 181.2 万人。核心区是北京减量更新的重中之重,区内有景山、北海、后海、天坛、陶然亭、动物园等重要城市绿色空间,此外还有西单广场、北京展览馆广场等大中型城市开敞空间,这些空间具有较强的生态服务功能。但相较于北京其他区,东、西城区的绿地覆盖率分别为 35.48% 与 32.16%,低于北京市平均值 49.77%^[32],核心区在绿色空间优化方面仍有较高的潜力与需求。

4.2 树木识别与绿色空间服务能力评估结果

4.2.1 树木识别结果

通过对核心区的高分影像进行机器学习树冠要素识别,共识别出 413198 处树木。以街道行政区划对街道单元内矢量树木数量进行统计,可以发现核心区各街道差别较大(图 2),其中天坛、展览路和什刹海街道分别因天坛公园、北京动物园、北海公

园此类大型公园的存在而有较多树木;大棚栏、椿树、前门、崇文门、朝阳门街道则因为建成环境密度高而树木相对较少。

4.2.2 树木与绿色空间服务能力评价结果

对树木光照、竞争、曝光情况进行评价的结果见图3,在此基础上形成的绿色空间服务能力评价结果见图4。

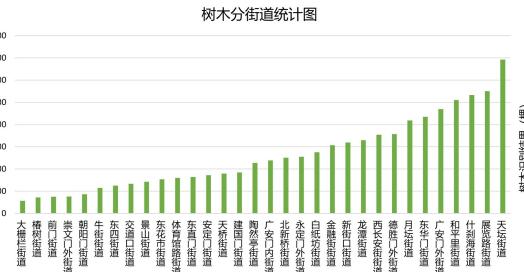


图2 研究区矢量树木分街道统计图

资料来源:作者自绘

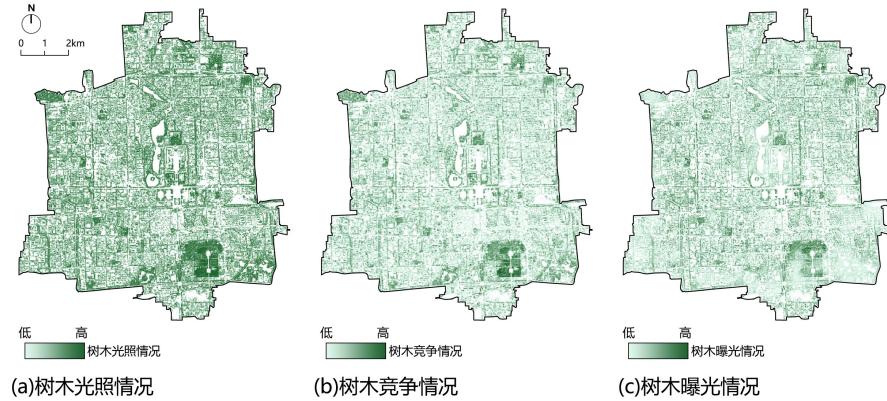


图3 研究区树木服务能力评价结果

资料来源:作者自绘

4.3 绿色空间服务需求分析与街区人口线性拟合结果

4.3.1 绿色空间服务需求分析结果

研究对公共绿地接触、热岛缓解、噪声削弱三类典型绿色空间服务需求的分析结果见图5,在此基础上形成的整体需求分析结果见图6。

绿地接触的需求分析结果表明,复兴门、金融街、西单、东直门对应的高密度商业办公空间对绿地接触需求最高且分布最为广泛;西四、大棚栏对应的胡同片区,广渠门、展览路对应的高密度居住区需求较高。热岛缓解的需求分析结果表明,除大

光照条件评价结果表明,大型公园内的树木光照条件普遍较好;而住宅小区内部、街道峡谷内部、东西向街道南侧的树木光照条件普遍较差。树木竞争评价结果表明,公园内由于树木密度高、冠幅大,其中单棵树的竞争普遍较大;胡同院落中、住宅小区中的树木竞争则相对较小。绿色曝光评价结果表明,大型公园、景区内由于其覆盖范围大、且出入口数量相对有限,因而单棵树的曝光程度最低;而小型公园、行道树等则具备最高的曝光程度。

综合考虑树木数量与服务能力,通过对树木层面三类服务能力进行归一化处理与等权叠加计算,在30m绿色空间栅格上统计形成核心区的绿色空间服务能力。结果表明大型历史名园内的绿色空间仍具有最高的服务能力,主要道路旁的绿色空间同样有较高的服务能力,居住区、胡同院落内部附属绿色空间的服务能力则相对较低。

型公园、水系外,建成环境对热岛缓解均具有较高需求,尤其以胡同片区需求最高。噪声削弱的需求分析结果表明,二环及周边的需求最为明显,其他重要道路周边的需求同样较高。

综合考虑三类典型需求进行归一化处理与等权叠加计算,最终形成绿色空间服务需求综合评价结果,表明西单—西四、朝阳门—东直门周边的需求最高,南/北护城河、中轴线周边需求相对较低。

4.3.2 街区人口线性拟合结果

第七次人口普查的街道人口与居住建筑总面积的线性拟合结果见图7a, R^2 超过0.9表明拟合程度较好,能够反映人口数量,因而根据街区的居住

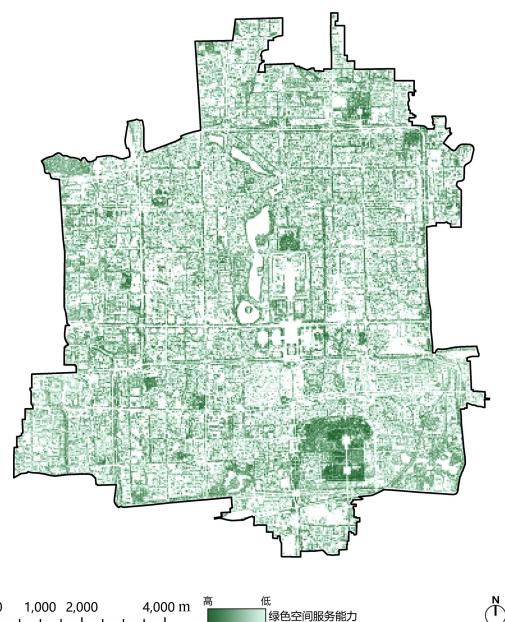


图 4 研究区绿色空间服务能力综合评价

资料来源:作者自绘

建筑面积拟合街区人口,其空间分布见图 7b,整体

呈现为中心低、周边高的分布态势。

4.4 街区层面绿色空间供需评价

将绿色空间服务能力关联至街区进行统计,反映街区层面服务供给(图 8a),结果表明核心区中心的胡同片区的服务供给普遍相对较低;核心区外围的展览路、天坛、二环北部街区的供给较高,但广安门外周边街区供给相对有限。将功能需求关联至街区,与街区人口归一化的乘积反映街区服务需求(图 8b),整体呈现为中心低、周边高的空间分布。将街区层面的供给—需求测算结果通过自然断点法进行高中低三级分类,形成九类供需类型(图 8c),结果表明广安门外街道有较多的低供给—高需求街区类型,存在较严重的生态服务供给缺口;而二环外的展览路、和平里街道对应街区均呈现出高供给—高需求,存在优质的供需平衡;核心区内部的传统胡同片区由于人口较少普遍呈现出低供给—低需求,存在低质量的平衡;供给过剩的地需求—高供给街区往往在内部包含有机关单位、医院、体育场等,呈孤岛式散布于核心区中。

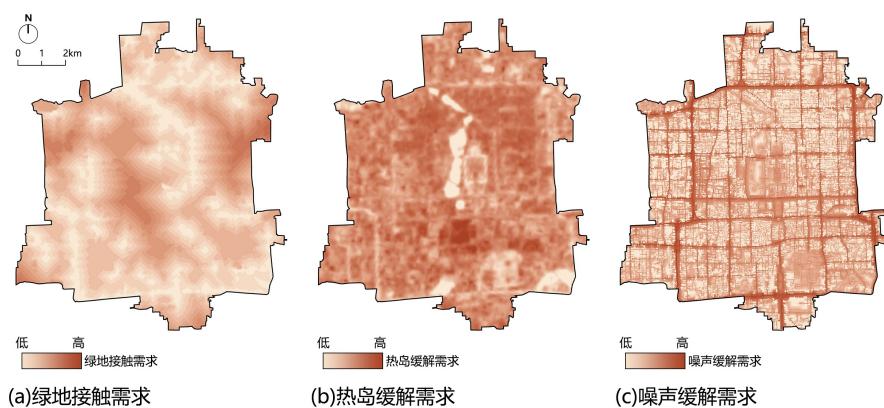


图 5 研究区绿色空间服务典型需求分析结果

资料来源:作者自绘

5 总结与讨论

5.1 高精度—细粒度的供需分析框架在街区层面得到实践

研究从城市中心区的绿色空间服务与供需评价出发,构建了高精度、细颗粒度的“要素识别—服务供需”分析框架,并以北京核心区为例进行分析。在要素识别中应用高分遥感影像数据与深度学习方法,形成矢量树木数据集;在供需评价中应用基

于 GIS 的分析模型与多源地理空间数据,评价核心区全域的供给需求,并在街区层面进行供需关系分析。结果表明:(1)服务能力方面,大型公园与林荫道对应的绿色空间服务能力较高,附属绿色空间受到建成环境的影响服务能力相对有限;(2)服务需求方面,高密度商业、办公片区的服务需求普遍较高,绿地水系周边需求较低;(3)供需关系方面,供需错配由公共绿地服务盲区与高密度建成环境共同导致。

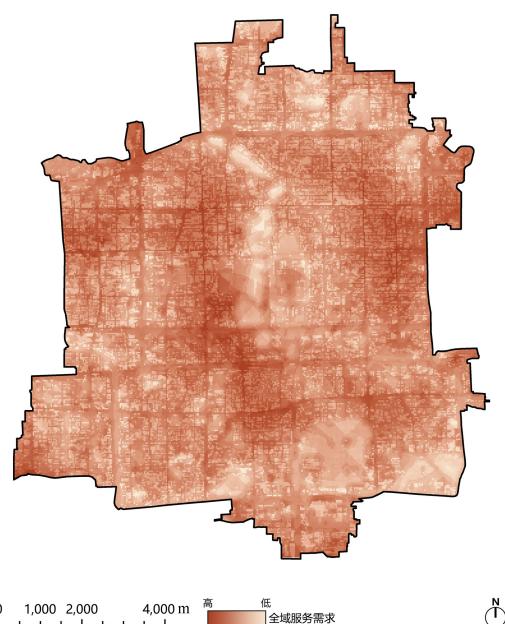


图 6 研究区绿色空间服务典型需求综合评价

资料来源:作者自绘

5.2 基于深度学习与多源数据的研究方法实用精确性提高

在绿色空间识别方面,采用深度学习方法简化了传统绿色空间识别的数据需求与计算难度,同时提高了识别的精细度。传统研究所需要的 LIDAR、多光谱数据尽管能够提供更加准确的分类结果,但其数据获取难度、数据公开性都决定了并不适用于城市尺度的研究。本研究应用可见光高分遥感数据实现对城市树木的识别,降低了对绿色空间识别的数据门槛,且采取的迁移学习方法能够有效降低训练所需的人工标注工作量、便于在本地进行计算。

在供需分析方面,研究构建了综合考虑建成环境与高精度特征的供需评价方法。在供给评价中,研究综合考虑光照环境、树木竞争、曝光情况,对其服务能力进行评估;在需求评价中,研究从绿地接触、热岛缓解、噪声削弱三类典型绿色空间服务需求出发,结合街区人口拟合结果,从街区这一规划管理的基本单元出发对供需关系进行分析,为城市更新、绿地系统规划提供科学指引。

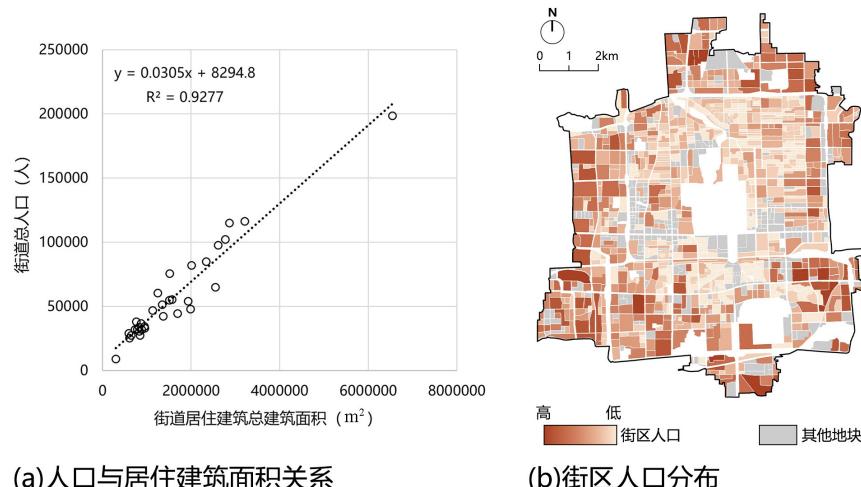


图 7 研究区人口线性拟合结果与街区人口分布情况

资料来源:作者自绘

5.3 研究方法应用前景广阔

研究层面,生态系统服务价值测算是生态学研究的热点,传统基于土地利用与土地覆盖的 InVEST 模型常用于区域尺度的生态价值评价,而在高精度绿色空间信息的支持下,通过构建公众参与的信息平台,能够实现对树木信息的深度采集,并基于 i-tree 等树木层面模型实现更精确的绿色空间和生态系统服务评价。

绿色空间管理与监测方面,结合不同时相的高分遥感影像,能够对城市发展过程中的绿色空间演化进行量化分析,并模拟树木自然生长、城市扩张、城市更新等不同情景下的绿色空间演化预期。结合无人机影像、街景图等多源影像数据,能够对绿色空间实现长期动态监测,保障其中树木、植被的健康生长。

规划应用层面,存量更新背景下,城市绿色更

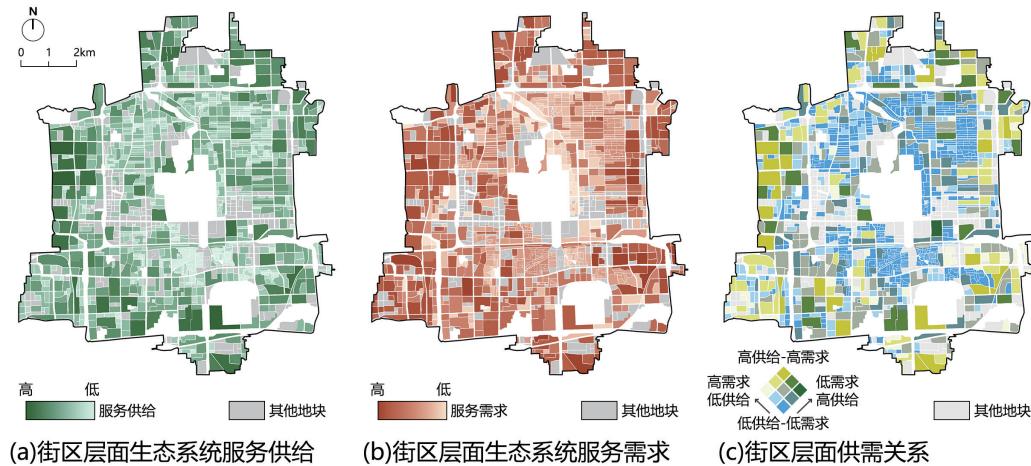


图 8 研究区街区层面绿色空间服务供需评价

资料来源:作者自绘

新不仅要考虑供需关系,将会更多考虑更新成本效益平衡。基于研究提供的城市树木要素数据库,结合成本效益模型,能够为绿色空间正外部性最大化的更新与运营提供数据支撑。为北京核心区的城市更新与规划提升提供技术支撑。

5.4 不足与展望

城市中心高人口密度的特征导致了不仅绿色空间存在供需矛盾,居住、公共服务设施同样面临着紧张的供需关系,如何明确绿色空间需求在各类服务中的优先级是下一步研究需要关注的内容。此外本研究更多关注室外以树木为单元的绿色空间,并未将灌木、草坪、立体绿化、室内绿化考虑在内,在未来的实践与研究中应考虑如何将更广义的绿色空间纳入综合考虑范畴,为城市绿色更新提供更加具体的理论与方法支撑。△

【参考文献】

- [1] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务:概念、方法与进展 [J]. 地理科学进展, 2014, 33(04): 441–446.
- [2] COSTANZA R, D'ARGE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *nature*, 1997, 387(6630): 253–260.
- [3] DAILY G C. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems [M]. Island press, 1997.
- [4] 李锋, 王如松, 赵丹. 基于生态系统服务的城市生态基础设施:现状、问题与展望 [J]. 生态学报, 2014, 34(01): 190–200.
- [5] 李全, 李腾, 杨明正, 等. 基于梯度分析的武汉市生态系统服务价值时空分异特征 [J]. 生态学报, 2017, 37(06): 2118–2125.
- [6] 杨振山, 张慧, 丁悦, 等. 城市绿色空间研究内容与展望 [J]. 地理科学进展, 2015, 34(01): 18–29.
- [7] 林坚, 叶子君. 绿色城市更新:新时代城市发展的重要方向 [J]. 城市规划, 2019, 43(11): 9–12.
- [8] 袁周炎妍, 万荣荣. 生态系统服务评估方法研究进展 [J]. 生态科学, 2019, 38(05): 210–219.
- [9] 闫水玉, 唐俊. 城市绿色空间生态系统服务供需匹配评估方法:研究进展与启示 [J]. 城市规划学刊, 2022(02): 62–68.
- [10] 木皓可, 高宇, 王子尧, 等. 供需平衡视角下城市公园绿地服务水平与公平性评价研究——基于大数据的实证分析 [J]. 城市发展研究, 2019, 26(11): 10–15.
- [11] 董蕴雅, 张倩. 基于 CNN 的高分遥感影像深度语义特征提取研究综述 [J]. 遥感技术与应用, 2019, 34(01): 1–11.
- [12] 赵洋, 徐枫, 万义良. 基于改进引力模型的公园绿地空间可达性及供需平衡分析方法 [J]. 地球信息科学学报, 2022, 24(10): 1993–2003.
- [13] 黄玖菊, 林伊婷, 陶卓霖, 等. 社会公平视角下深圳公园绿地可达性研究 [J]. 地理科学, 2022, 42(05): 896–906.
- [14] 全德, 孙裔煜, 谢苗苗. 基于改进高斯两步移动搜索法的深圳市公园绿地可达性评价 [J]. 地理科学进展, 2021, 40(07): 1113–1126.
- [15] 庄思冰, 龚建周, 陈康林, 等. 粤港澳大湾区小型公园绿地生态文化服务的供需匹配特征 [J]. 生态学报, 2023, 43(14): 5714–5725.
- [16] 刘影, 张小勇, 徐铭嘉, 等. 供需协同视角下公园绿地空间分异特征研究——以北京市朝阳区为例 [J]. 城市发展研究, 2022, 29(02): 12–19.
- [17] 江海燕, 梁挚呈, 肖希, 等. 三维视角下高密度街区开放空间供需匹配研究——以广州珠江新城为例 [J]. 城市规划, 2022, 46(11): 42–51.
- [18] NESBITT L, MEITNER M J, GIRLING C, et al. Who has access to urban vegetation? A spatial analysis of distributional

- green equity in 10 US cities [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2019, 181: 51–79.
- [19] NELSON J, GRUBESIC T, MILLER J, et al. The equity of tree distribution in the most ruthlessly hot city in the United States: Phoenix, Arizona [J]. *Urban forestry & urban greening*, 2021, 59: 124016.
- [20] FRANCIS J, DISNEY M, LAW S. Monitoring canopy quality and improving equitable outcomes of urban tree planting using LiDAR and machine learning [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2023, 89: 128115.
- [21] WANG K, WANG T, LIU X. A review: Individual tree species classification using integrated airborne LiDAR and optical imagery with a focus on the urban environment [J]. *Forests*, 2018, 10 (1): 1.
- [22] 肖希, 韦怡凯, 李敏. 日本城市绿视率计量方法与评价应用 [J]. 国际城市规划, 2018, 33(02): 98–103.
- [23] 李军军, 曹建农, 朱莹莹, 等. 高分辨率遥感影像建筑区域局部几何特征提取 [J]. 遥感学报, 2020, 24(03): 233–244.
- [24] WEINSTEIN B G, MARCONI S, BOHLMAN S, et al. Individual tree-crown detection in RGB imagery using semi-supervised deep learning neural networks [J]. *Remote Sensing*, 2019, 11(11): 1309.
- [25] TAN P Y, ISMAIL M R B. Building shade affects light environment and urban greenery in high-density residential estates in Singapore [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2014, 13 (4): 771–784.
- [26] 吴巩胜, 王政权. 水曲柳落叶松人工混交林中树木个体生长的竞争效应模型 [J]. 应用生态学报, 2000(05): 646–650.
- [27] 黄子浩, 班婕, 高祥伟, 等. 绿色空间暴露的人群健康效应研究进展 [J]. 现代预防医学, 2021, 48(01): 19–22.
- [28] 胡凤宁, 周亮. 城市绿色基础设施降温作用及其影响因素研究进展 [J]. 生态学报, 2023, 43(11): 4445–4460.
- [29] QIN Z, KARNIELI A, BERLINER P. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region [J]. *International journal of remote sensing*, 2001, 22 (18): 3719–3746.
- [30] 陈龙, 谢高地, 盖力强, 等. 道路绿地消减噪声服务功能研究——以北京市为例 [J]. 自然资源学报, 2011, 26(09): 1526–1534.
- [31] BOCHER E, GUILLAUME G, PICAUT J, et al. Noisemodelling: An open source GIS based tool to produce environmental noise maps [J]. *Isprs international journal of geoinformation*, 2019, 8(3): 130.
- [32] 北京市园林绿化局. 2022 年城市绿化资源情况 [EB/OL]. (2023-06-09) [2024-4-8]. <https://ylhj.beijing.gov.cn/zwgl/tjxx/202306/P020230905670585947306.pdf>.

作者简介:郑善文(1984-),男,北京工业大学建筑与城市规划学院副教授、硕士生导师,城乡规划系副主任,研究方向为生态城市规划与城市更新。

收稿日期:2024-04-20

Identification and Evaluation of Green Spaces and Service Supply-demand in Urban Central Areas Supported By Multi-source Data: A Case Study of Beijing

ZHENG Shanwen, ZHU Chaoyang, ZHANG Shanshan, LIU Shengnan, WANG Jianqiang*

【Abstract】 Urban central areas, as typical regions with prominent conflicts between ecosystem service supply and demand, require high-precision identification of green spaces and evaluation of service supply and demand to provide scientific basis for planning improvements. Trees, being crucial components and service carriers of green spaces, present a challenge for accurate identification, which is a prerequisite for refined evaluations of green space services. This study utilizes multi-source data and deep learning methods, considering data availability, the multidimensional impacts of complex built environments on service capacity, and the typical demands for urban green space services. An "element identification-service supply and demand" analytical framework was constructed and applied to the core area of Beijing for analysis. The results indicate that: (1) In terms of service capacity, large parks and tree-lined avenues exhibit higher green space service capacities, while the service capacity of ancillary green spaces is relatively limited due to the influence of the built environment. (2) In terms of service demand, high-density commercial and office areas generally exhibit higher service demand, while the demand around green spaces and water bodies is lower. (3) Regarding the supply-demand relationship, mismatches are caused by service blind spots in public green spaces and the high-density built environment.

【Keywords】 Urban Green Spaces; Urban Central Areas; Supply-Demand Evaluation; Deep Learning Method; High-Precision Tree Identification