城市林木树冠覆盖研究综述与未来趋势*

杨雅榕[1,2,3] 贾宝全[1,2,3] 金佳莉[1,2,3] 古 琳[1,2,3]

1 中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091
2 国家林业和草原局林木培育重点实验室 北京 100091
3 国家林业局城市森林研究中心 北京 100091

摘要：城市林木树冠覆盖（UTCC）是衡量城市生态系统健康与功能的重要指标，但现有研究缺乏系统梳理。文章基于 CNKI 与 Web of Science 核心合集数据库，选取 2003—2022 年发表的 2312 篇文献，采用文献计量与科学知识图谱方法，对发文趋势、高被引文献、研究内容、研究热点与方向及未来趋势进行分析，旨在揭示 UTCC 研究的发展脉络、热点主题与前沿趋势，为未来研究与实践提供方向。研究结果表明：1）UTCC研究自 2008 年以来快速增长，经历了准备、增长和繁荣 3 个阶段，科研产出与国家经济发展水平密切相关；2）研究内容主要集中在 UTCC 提取与评估方法、作为生态环境指标的应用、在城市规划与建设中的作用及与城市森林服务功能的耦合；3）近年来，UTCC 研究前沿拓展至城市热风险调控、心理健康与绿色公平等跨学科议题，研究已从概念建构走向多维度综合应用。未来发展趋势主要体现在两方面：1）数据获取精度与智能解译方法的持续提升；2）构建国家级大数据共享机制，以增强研究的可比性和可信度。

关键词：城市林木；树冠覆盖；植被遥感；未来趋势；文献计量分析
DOI：10.12169/zgcsly.2025.05.09.0001

Research on Urban Tree Canopy Cover: Review and Future Trend

Yang Yarong[1,2,3] Jia Baoquan[1,2,3] Jin Jiali[1,2,3] Gu Lin[1,2,3]

(1. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Key Laboratory of National Forestry and Grassland Administration for Tree Breeding and Cultivation, Beijing 100091, China; 3. Urban Forest Research Center of National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: Urban Tree Canopy Cover (UTCC) is a key indicator for assessing the health and function of urban ecosystems, while systematic synthesis lacks in the existing research. Based on literature from the CNKI and Web of Science Core Collection databases, this paper selects 2 312 publications from 2003 to 2022 and employs bibliometric analysis and science mapping method to analyze publishing trends, highly cited literature, research content, hotspots, directions, and future trajectories, with the aim to reveal the developmental pathways, thematic focuses, and cutting-edge trends in UTCC research and thereby provide guidance for future studies and practical applications. The findings indicate that: 1) The UTCC research has grown rapidly since 2008, progressing through preparatory, growing, and flourishing stages, and the research outputs are closely linked with national economic development levels; 2) Research primarily focuses on UTCC extraction and assessment methods, its application as an ecological and environmental indicator, its role in urban planning and construction, and its coupling with urban forest service functions;

收稿日期：2025-05-09
* 基金项目：国家林业和草原局委托项目：探索构建林草领域生态安全风险监测预警体系
第一作者：杨雅榕（1999-），女，博士生，研究方向为景观生态学及城市林业。E-mail：18089351727@163.com
通信作者：古琳（1982-），女，博士，研究员，研究方向为城市林业。E-mail：gulin1123@163.com

and 3) In recent years, the UTCC research has grown to interdisciplinary topics such as urban heat risk mitigation, mental health, and green equity, reflecting a shift from conceptual development to multidimensional integrated applications. Future trends are highlighted in two main aspects: 1) Continuous improvement in data acquisition accuracy and intelligent interpretation methods; and 2) Establishment of a national big data sharing mechanism to enhance the comparability and credibility of the research.

Keywords: urban tree; canopy cover; remote sensing of vegetation; future trend; bibliometric analysis

近年来，快速推进的城市化进程带来了城市热岛效应加剧、生物多样性下降等一系列生态与环境问题[1-2]。传统的治理方式在应对这些挑战时显得力不从心，因此，以自然为基础的解决方案（Nature-based Solutions，NbS）逐渐成为全球城市可持续发展战略的重要方向。作为绿色基础设施的重要组成部分，城市森林在维系生态平衡、改善居住环境质量方面具有不可替代的作用[3-4]。其中，城市林木树冠覆盖率（Urban Tree Canopy Cover，UTCC）被视为评估城市森林健康状况及其生态服务功能的关键指标，较高的 UTCC 通常意味着更显著的生态效益和更强的可持续发展潜力。虽然在全球范围内，关于 UTCC 的遥感提取方法及动态监测技术已取得丰富成果[5-6]，但现有的综述性文献多聚焦于特定专题[7]，缺乏对该领域整体知识结构与研究演进的系统梳理，尤其是缺少针对中国研究现状的全面量化评估。这一不足在一定程度上限制了研究成果的整合与政策实践的推进。基于此，本文采用文献计量学和科学知识图谱方法，对 2003—2022 年 CNKI 与 WOS 数据库中 UTCC 相关文献进行可视化分析，以弥补系统性综述的缺口。研究目标包括：1）通过考察发文国家、期刊分布和高被引成果，揭示 UTCC 研究的全球发展态势及知识结构特征；2）借助关键词分析，梳理研究主题与演化路径，探讨未来发展趋势，期望为构建契合中国国情的城市森林监测与规划体系提供参考依据。

1 文献筛选

研究数据源自中国知网（CNKI）与 Web of Science 核心合集（WOSCC）两大权威数据库。CNKI 系统收录了国内主要学术文献，而 WOSCC 作为全球权威引文数据库，是公认的计量分析首选平台，相较于 Scopus 或 Google Scholar 等其他数据库，WOSCC 更适合本研究主题，能有效确保研究结果的全面性与代表性[8]。文献检索时间截至 2022 年 12 月 31 日。为保证系统性，本研究统一采用“主题/TS”字段作为检索入口。CNKI 的检索策略为：“主题=(城市森林树冠覆盖)OR(城市林木树冠覆盖)”；WOSCC 的检索策略为：“TS = (urban tree canopy cover) OR (tree canopy coverage)”。在初始检索后，剔除新闻报道、会议纪要、评论性文献等记录，利用文献管理工具清理重复与无效文献，最终获得有效文献 2 312 篇（图 1）。

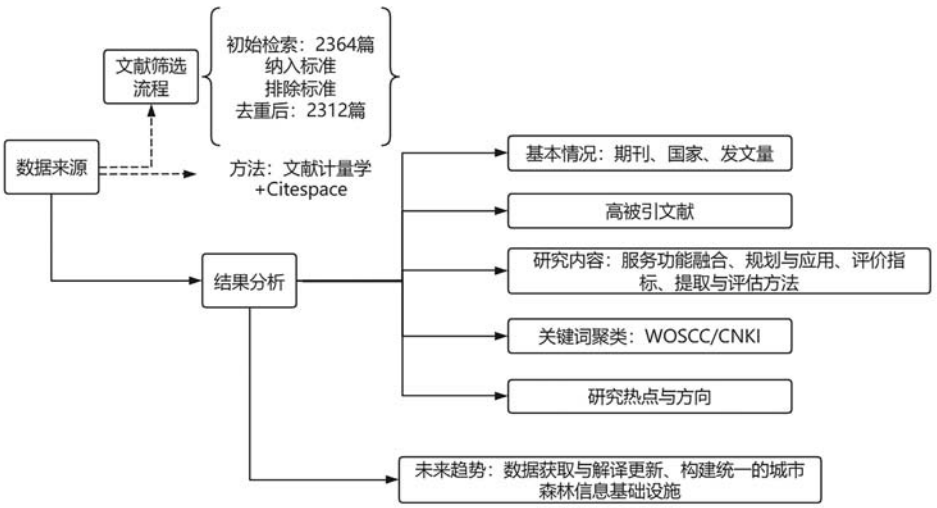


图 1 研究框架

2　文献基本特征

2.1　发文量

2003—2022 年，共检索到 2 312 篇有效文献，结合增长速率，研究进程大体可划分为准备期、增长期与繁荣期 3 个阶段（图 2）。

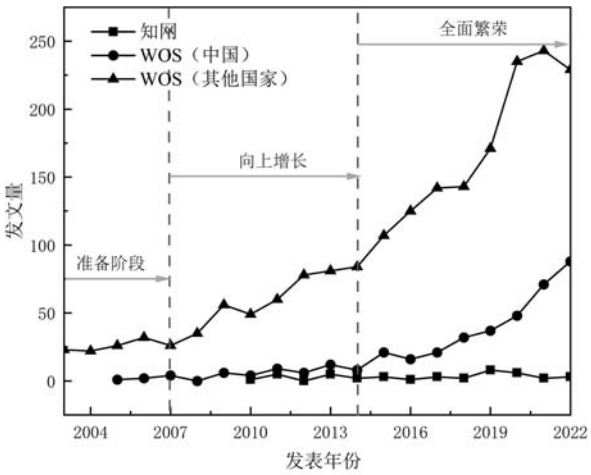


图 2　2003—2022 年 UTCC 领域在各数据库的年度发文量

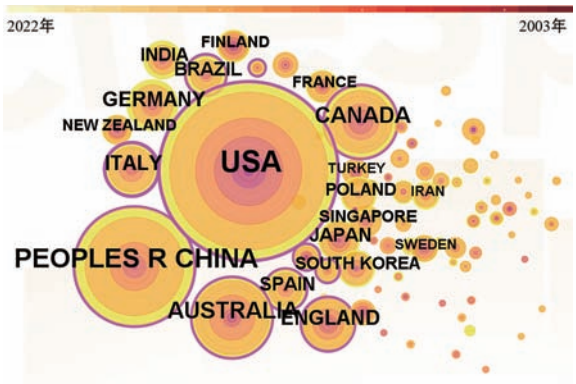
在 2003—2007 年的准备期内，文献增幅有限，仅占总量的 5.72%。UTCC 作为衡量城市森林空间结构与生态功能的重要指标，研究源头可追溯至 20 世纪 90 年代。Nowak 等[9]首次提出并在城市尺度上系统量化树冠覆盖率，为相关研究奠定了基础。WOS 数据库中首篇以“树冠覆盖”为核心的论文由 Shashua-Bar 和 Hoffman[10]于 2003 年发表，尽管研究对象聚焦街谷环境中树荫对地表温度的作用，但其定量建模方法对后续研究具有重要启发意义。2004 年，中国学者首次在 WOS 平台发表涉及 UTCC 的文献[11]，而在 CNKI 数据库中，中国学者发表的相关文献则直至 2010 年才出现[12]。该阶段发展缓慢的原因除遥感与监测手段的技术瓶颈外，还与我国长期存在的“城乡分割”绿化管理体制相关。林业部门更强调“森林覆盖率”，而市政园林则侧重“绿地率”“绿化覆盖率”等二维指标[13]，使得 UTCC 在政策与实践中未能得到充分应用。

2008—2014 年进入增长期。美国农业部林务局在 2008 年提出较为统一的 UTCC 定义与测算方法[14]，推动其在国际学术界的广泛传播。与此同时，加拿大温哥华和美国马里兰州分别在 2005—2006 年率先将树冠覆盖率引入城市绿化考核与政策实践[15-16]，为 UTCC 在北美城市森林治理中的应用提供了先行示范。该阶段相关文献数量显著增加，占比约 20%，研究主题逐渐多样化，不仅仅涉及 UTCC 与呼吸健康[17]、碳储估算[5]等，显示出学术创新与前瞻性。

2015—2022 年为繁荣期，相关文献数量占总量的 73.36%，2019 年之后年均发文量超过 200 篇，表明该领域进入快速扩展阶段。研究重心逐步转向 UTCC 与城市森林生态系统服务功能之间的耦合关系[18]，并推动数据获取技术进步，如激光雷达与深度学习[9]，以及在城市规划中的应用[19]。在全球气候变化与公共健康问题的共同驱动下，UTCC 研究已成为城市生态治理的重要组成部分，并展现出向成熟独立学科方向发展的潜力。

2.2　各国发文情况

WOS 数据库显示，全球共有 112 个国家（地区）开展了 UTCC 研究，发文量前 3 位为美国（39.92%）、中国（18.02%）和澳大利亚（7.69%）。如图 3 所示，美国在发文量与中心性上均占优势，凸显发达国家的主导地位。自 2015 年联合国提出可持续发展目标以来，多国通过政策推动城市森林建设。中国自 2004 年启动“国家森林城市”创建以来，截至 2022 年已有 219 座城市获评“国家森林城市”称号，但在快速城市化和生态退化压力下仍面临挑战[20]。为此，国家林草局设立城市森林研究中心（UFRC），以强化科研与政策支持[21]。



注：节点圆圈大小代表发文量，紫色外圈表示中介中心性。

图 3　WOS 数据库各国发文量

2.3　主要发文期刊

据 WOS 发文统计，该平台检索到的文献来源

于 505 个出版物。2003 年至今，排名前 5 的期刊发文量占样本总量的 21.84%（表 1）。CNKI 平台相关文献发文量排名前 5 的期刊均为核心期刊。通过比较发现，国外相关文献在城市林业生态、遥感、城市规划等多个领域出现，国内相关文献集中于林业生态领域。

表 1 在 WOS/CNKI 平台期刊发文量排名

平台	期刊	发文量
WOS	*URBAN FORESTRY & URBAN GREENING*	135
WOS	*REMOTE SENSING*	70
WOS	*LANDSCAPE AND URBAN PLANNING*	67
WOS	*FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT*	66
WOS	*URBAN ECOSYSTEMS*	49
CNKI	林业科学	8
CNKI	生态学报	6
CNKI	东北林业大学学报	5
CNKI	生态学杂志	3
CNKI	浙江农业学报	2

2.4 高被引文献

论文被引频率能够体现其学术影响力。根据 WOS 数据库统计，排名前 10 的高被引文献（表 2）均发表于 2014 年之后，印证了 UTCC 研究自 2014 年进入繁荣阶段。高被引成果主要集中在 6 大主题，包括气候调节、恢复潜力、公共健康、冠层结构、雷达制图以及环境正义。其中气候调节最为突出，5 篇研究强调 UTCC 在缓解城市热岛、碳汇功能及应对气候变化中的作用[22-25]。被引量最高的 Nature 论文探讨了全球树木恢复潜力[22]，为城市尺度 UTCC 研究提供了重要的理论与方法借鉴。

除气候相关外，其余文献则凸显 UTCC 的多元价值：COVID-19 背景下的公共健康功能[26]、城市森林在水文与污染调控中的作用综述[27]、混交林与单一林冠层结构比较[28]、融合高光谱与激光雷达的制图技术[29]，以及树冠覆盖率与环境正义的关系研究[30]。总体而言，这些研究不仅推动了方法与理论的创新，也拓展了 UTCC 的应用边界，对该领域的发展具有重要启示。

表 2 WOS 数据库关于 UTCC 研究前 10 的高被引文献

排名	频率	发表年份	名称	作者	类型
1	910	2019	The global tree restoration potential	Bastin 等[22]	Article
2	516	2017	Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity	Gunawardena 等[1]	Article
3	403	2020	Urban nature in a time of crisis recreational use of green space increases during the COVID-19 outbreak in Oslo, Norway	Venter 等[26]	Article
4	389	2016	The urban forest and ecosystem services: impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale	Livesley 等[27]	Article
5	359	2014	Canopy space filling and tree crown morphology in mixed-species stands compared with monocultures	Pretzsch[28]	Review
6	350	2014	Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: an example from Addis Ababa	Feyisa 等[23]	Article
7	340	2014	Urban tree species mappingusing hyperspectral and lidar data fusion	Alonzo 等[29]	Article
8	340	2014	Evaluation of the 'local climate zone' scheme using temperature observations and model simulations	Stewart 等[24]	Article
9	293	2017	Effects of the spatial configuration of trees on urban heat mitigation: a comparative study	Zhou 等[25]	Article
10	287	2015	Trees grow on money: urban tree canopy cover and environmental justice	Schwarz 等[30]	Article

在 CNKI 数据库中，我们将被引率最高的前 5 篇文献如表 3 进行排序。朱耀军等[31]的研究位列首位，该文以广州市建成区街区为分析单元，结合航片解译的树冠覆盖数据，探讨了城市森林斑块的分布特征及服务功能，并评估了不同可达性街区的差异。其次为贾宝全等[32]的综述文章，系统梳理了国内外 UTCC 研究进展。这 5 篇高被引文献均出自中国林业科学研究院林业研究所，体现了该机构在 UTCC 领域的研究活跃度与学术影响力。

表 3 CNKI 数据库关于 UTCC 研究前 5 的高被引文献

排名	频次	发表年份	名称	作者
1	73	2011	基于 GIS 的广州市中心城区城市森林可达性分析	朱耀军等[31]
2	58	2013	城市林木树冠覆盖研究进展	贾宝全等[32]
3	39	2014	厦门本岛城市森林树冠覆盖与热岛效应关系	高美蓉等[33]
4	31	2013	广州市主城区树冠覆盖景观格局梯度	朱耀军等[31]
5	19	2015	北京的北部城市森林树冠覆盖特征	姚佳等[34]

3　UTCC 研究主要内容

通过关键词共现的频率、中心性和年份可揭示 UTCC 研究内容。图 4 显示 WOS 数据库中 10 个关键词出现次数均大于 155 次。尽管“雷达”（148）和“温度”（120）未入前 10，但仍具重要影响。多数关键词间联系紧密，其中“森林”“植被”“模型”等与其他关键词关联度较高。

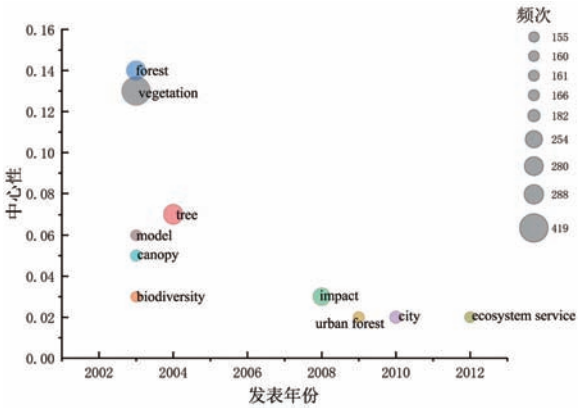


图 4　WOS 数据库关于 UTCC 研究排名前 10 的关键词共现

CNKI 数据库结果（图 5）显示，“城市林木树冠覆盖”（28 次）、“城市森林”（25 次）与“北京”（13 次）在频率和中心性上均居前位，表明国内研究高度关注城市森林空间结构与功能关系。其中，“城市森林”与“树冠覆盖”的共现凸显 UTCC 在定量评估中的核心地位；“北京”的高频出现则与数据开放度、科研资源及示范性治理密切相关。此外，“乡村人居林”（3 次）的出现反映了对城乡统筹的关注，随着“乡村振兴”和“美丽乡村”战略的实施，其逐渐被纳入 UTCC 研究框架[35]。同时，“景观格局”“热岛效应”“可达性”等关键词的涌现，显示学者们日益重视空间格局与生态过程的耦合。整体而言，UTCC 研究正向多尺度和多功能方向拓展。

关键词聚类分析可提炼研究主题[36]。鉴于 CNKI 相关文献数量有限，本研究仅基于 WOS 数据库进行聚类，采用 LLR 算法生成标签，结果（图 6）显示，主要主题包括植被结构、机载激光雷达、热舒适、环境公平、大气颗粒物、降雨截流。除机载激光雷达外，其余主题均聚焦于城市森林的服务功能。结合高被引成果，可将 UTCC 研究内容归纳为 4 类：1）提取与评估方法；

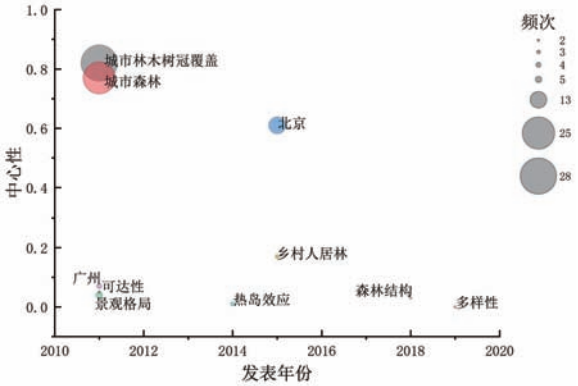


图 5　CNKI 数据库关于 UTC 研究 C 排名前 10 的关键词共现

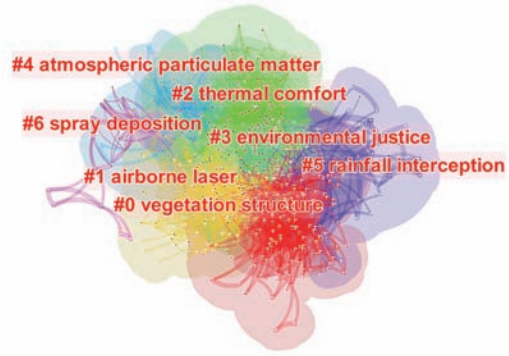


图 6　WOS 数据库研究文献关键词聚类图谱

2）作为评价指标的应用；3）作为规划与建设依据；4）与生态系统服务的耦合研究。

3.1　UTCC 的提取与评估方法

WOS 数据库共收录 231 篇方法类研究，并于 2020 年达到峰值（40 篇），而 CNKI 仅有 5 篇，仍处起步阶段。早期研究多依赖实地调查[37]，虽操作简便但受主观影响较大。随着遥感和 GIS 技术的普及，逐步引入卫星和航空影像[38]，研究范围从局部拓展至城市尺度。近年来，eCognition、ENVI 等面向对象的解译工具提高了分类精度与自动化水平；同时，激光雷达（LiDAR）等三维技术使研究更加精细化，可提取树高、冠幅等结构参数，为生态功能评估提供了坚实基础。

3.2　UTCC 作为评价指标的应用

UTCC 已成为衡量城市森林建设水平的重要指标。在欧美，UTCC 被广泛纳入生态系统服务评估体系，并作为城市森林可持续性的量化标准，部分城市甚至将其确立为法定规划基准。例如，美国多地已将 UTCC 作为规划目标。相比之下，我国长期依赖绿化覆盖率、绿地率等二维指标，虽能体现规模，但难以揭示空间结构与生态效益。

UTCC 的引入推动了评价体系由“数量”向“质量”转变，实现了从二维到三维的突破。其与绿视率、三维绿量等指标具有互补性，并因具备遥感适应性与跨尺度监测能力而在生态评估中作用突出。

3.3 UTCC 作为规划与建设依据

UTCC 与城市森林规划高度契合。2006 年纽约发布的报告首次提出树冠覆盖率目标、树木再生率与死亡率监测、综合管理计划及经济模型，并通过政策推动树冠扩展[39]；2007 年《洛杉矶一百万棵树评估报告》[40]提出了潜在树冠覆盖率的概念，即未硬化透水地表的潜在树冠面积，后续研究甚至探索通过改造硬化地表以提升覆盖水平[32]。近年来，人工智能方法逐渐应用于潜在树冠覆盖率评估，为植树规划与政策制定提供了科学支持[41]。

3.4 UTCC 与服务功能的耦合关系

UTCC 与多种生态系统服务密切相关，如大气污染削减[16]。伴随“3S”技术发展，CityGreen、UFORE 和 i-Tree 等模型被广泛应用。CityGreen 主要用于模拟土地利用变化对服务功能的影响；UFORE 由美国林务局开发，可用于空气净化、碳储量和水文调节评估；i-Tree 自 2006 年推出以来应用最为广泛，目前已有 145 篇相关研究。尽管这些模型并非直接计算 UTCC，但已有证据表明 UTCC 与森林健康、结构稳定性及服务功能显著正相关[42-43]。此外，城市森林在居民福祉与生态系统健康中的作用日益凸显[44-45]，UTCC 常被用作区域规划目标[46]，并成为许多城市扩大覆盖率的重要依据[47]。

党的十八大以来，国家强调精准林业发展[48]。“国土三调”成果绘制了统一的国土空间规划图，科学划定生态保护红线、永久基本农田与城镇边界，明确森林覆盖率和林地目标，为精准管理提供制度保障。与此同时，UTCC 在环境公平研究中受到高度关注。Greene 等[49]发现，收入等社会变量影响树冠覆盖率分布，揭示了潜在的不公平现象。因而学界呼吁在治理中加强社区参与，遵循环境正义原则[49-50]，以确保城市森林效益惠及所有居民。

4 UTCC 研究热点与方向

如表 4 所示，2013—2017 年突现词集中于“遥感分类”和“热环境调节”，其中“北京”突现强度最高，显示其典型研究地位。2019—2022 年则演化为“多样性”“雄安新区”“林木斑块”“相关性”“建成区”，表明研究从技术应用转向空间格局、生态功能与区域政策。

表 4 CNKI 数据库文献关键词突现强度

关键词	强度	起始年份	终止年份	2013—2022 年
树冠覆盖	1.14	2013	2014	
城市森林	1.12	2013	2013	
热岛效应	1.09	2014	2014	
北京	1.18	2015	2017	
Ecognition	0.65	2017	2017	
面向对象	0.6	2017	2017	
多样性	0.65	2019	2020	
雄安新区	0.59	2021	2021	
林木斑块	0.59	2021	2021	
相关性	0.61	2022	2022	
建成区	0.61	2022	2022	

注：时间切片 1 年，突现词数量 Top N=25。

如表 5 所示，早期关键词以“多样性”“分类”“生态系统”“树冠结构”为主，2013 年后出现“激光雷达数据”“效益”等新技术与应用，近期则突出“地表温度”“缓解”“心理健康”，显示研究已拓展至热环境治理与公众健康层面。其中“格局”突现强度最高，反映城市森林空间结构与社会因素的结合成为新焦点。

总体来看，UTCC 研究经历 3 个阶段：1）概念建构与技术引入期，侧重遥感分类与生态指标测量；2）功能扩展期，强调碳汇、热缓解

与雨水调蓄等服务功能；3）多学科融合期，拓展至社会健康、空间公平与规划管理。未来，UTCC 研究有望融入“复合生态系统”框架，结合遥感、AI 与 GIS 等技术，推动高精度、多尺度的森林管理与政策制定，并服务于城市碳中和战略。

表 5　WOS 数据库文献关键词突现强度

关键词	强度	起始年份	终止年份	2003—2022 年
diversity	5.4	2003	2006	
pattern	7.88	2007	2014	
classification	5.45	2007	2012	
canopy structure	4.91	2008	2013	
ecosystem	4.94	2009	2013	
lidar data	4.81	2015	2016	
benefit	4.55	2019	2020	
land surfacetemperature	5.28	2020	2022	
mitigation	4.46	2020	2022	
mental health	4.04	2020	2022	

5　未来研究趋势

UTCC 作为城市森林的重要结构性指标，国际研究体系相对成熟，但我国仍存在不足：缺乏统一分类与评估框架，城市间目标值不可比，研究偏重静态覆盖率，忽视树种多样性、空间结构与生态服务的耦合；同时，遥感与 AI 虽发展迅速，但数据标准不一、更新不足，地区监测差异明显。未来研究需加强 UTCC 与国土空间规划、生态健康评价等政策工具融合，建立本土化分类与监测规范，依托“绿地普查”“国土三调”等国家调查实现数据共享，推动科学监测与可持续管理。

5.1　数据获取与解译方法的更新

遥感精度提升与多尺度发展为 UTCC 研究提供条件。高分辨率卫星影像（0.3 m）、无人机（5~30 cm）及“高分专项”增强了城市森林精细化调查能力，LiDAR 与无人机实现树种识别和三维结构提取[51-52]。

深度学习与机器学习（如随机森林[53]、模拟未来碳储[22]）广泛应用于解译与预测。碳卫星（TANSAT、OCO-2、GOSAT）为城市森林碳监测提供新机遇，但受制于尺度匹配和破碎化格局，仍需提升碳卫星效能并推进多要素融合[54]。未来遥感与碳卫星协同将成为支撑 UTCC 研究与碳中和战略的重要途径。

5.2　构建统一的城市森林信息基础设施

UTCC 分布受土地利用、建筑与道路格局影响，现有数据标准不一、尺度不兼容，限制了跨区域整合。未来需建立国家级城市森林信息平台，核心包括：1）一体化信息基础设施，实现多源数据融合与动态更新；2）标准化数据流通体系，依托“国土三调”等工程统一分类与共享协议；3）AI+遥感解译，实现快速自动监测；4）服务导向的生态决策系统，支撑碳储估算、热岛缓解和空间绿量优化。此外，建议将 UTCC 纳入未来城市生态普查，并整合进国家生态大数据系统，设立城市森林大数据机构，实现从“有数据”到“会用数据”的转变，推动精细化与可持续管理。

参考文献

[1] GUNAWARDENA K R, WELLS M J, KERSHAW T. Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity[J]. Science of The Total Environment, 2017, 584: 1040-1055.

[2] YANG Y R, SONG F, MA J, et al. Spatial and temporalvariation of heat islands in the main urban area of Zhengzhou under the two-way influence of urbanization and urban forestry[J]. PLoS One, 2022, 17(8): e0272626.

[3] BIALECKI M B, FAHEY R T, SCHARENBROCH B. Variation in urban forest productivity and response to extreme drought across a large metropolitan region[J]. Urban Ecosystems, 2018, 21(1): 157-169.

[4] YANG Y R, MA J, LIU H, et al. Spatial Heterogeneity analysis of urban forest ecosystem services in ZhengzhouCity[J]. PLoS One, 2023, 18(6): e0286800.

[5] PASHER J, MCGOVERN M, KHOURY M, et al. Assessing carbon storage and sequestration by Canada's urban forests using high resolution earth observation data[J]. Urban Forestry & Urban

Greening,2014,13(3):484-494.

[6]GUO J H,XU Q S,ZENG Y,et al.Nationwide urban tree canopy mapping and coverage assessment in Brazil from high-resolution remote sensing images using deep learning[J].ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,2023,198:1-15.

[7]HALEVI G,MOED H,BAR-ILAN J.Suitability of Google Scholar as a source of scientific information and as a source of data for scientific evaluation: review of the literature [J]. Journal of Informetrics,2017,11(3):823-834.

[8]ARCHAMBAULT É,CAMPBELL D,GINGRAS Y,et al.Comparing bibliometric statistics obtained from the web of science and scopus[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology,2009,60(7):1320-1326.

[9]NOWAK D J,ROWNTREE R A,MCPHERSON E G,et al. Measuring and analyzing urban tree cover[J]. Landscape and Urban Planning,1996,36(1):49-57.

[10]SHASHUA-BAR L,HOFFMAN M E.Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees[J].Energy and Buildings,2003,35(1):61-68.

[11]XU M,QI Y,CHEN J Q,et al.Scale-dependent relationships between landscape structure and microclimate [J]. Plant Ecology,2004,173(1):39-57.

[12]朱耀军.基于多数据源的广州市城市森林景观格局研究[D].北京:中国林业科学研究院,2010.

[13]崔佳奇,刘宏涛,陈媛媛.中国城市建成区绿化覆盖率变化特征及影响因素分析[J].生态环境学报,2021,30(2):331-339.

[14]USDA FOREST SERVICE.Urban natural resources stewardship: about the urban tree canopy assessment[R]. Washington, DC: USDA Forest Service,2008.

[15]CITY OF VANCOUVER.Vancouver urban forest strategy 2018[R]. Vancouver,BC:City of Vancouver,2018.

[16]MARYLAND DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES. Guidelines for implementing the chesapeake bay program's urban and community tree canopy goals[R]. Annapolis, MD: Maryland DNR,2005.

[17]LOVASI G S,O'NEIL-DUNNE J P M,LU J W T,et al.Urban tree canopy and asthma, wheeze, rhinitis, and allergic sensitization to tree pollen in a New York City birth cohort[J]. Environmental Health Perspectives,2013,121(4):494-500.

[18]NYELELE C,KROLL C N,NOWAK D J.Present and future ecosystem services of trees in the Bronx,NY[J].Urban Forestry & Urban Greening,2019,42:10-20.

[19]贾宝全,张文,李晓婷,等.北京城市潜在林木树冠覆盖的区域分布、动态变化与评价研究[J].生态学报,2020,40(3):874-887.

[20]GRUMBINE R E.Assessing environmental security in China[J]. Frontiers in Ecology and the Environment,2014,12(7):403-411.

[21]PEI N C,WANG C,SUN R L,et al.Towards an integrated research approach for urban forestry:the case of China[J].Urban Forestry & Urban Greening,2019,46:126472.

[22]BASTIN J F,FINEGOLD Y,GARCIA C,et al.The global tree restoration potential[J].Science,2019,365(6448):76-79.

[23]FEYISA G L,DONS K,MEILBY H.Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: an example from Addis Ababa[J].Landscape and Urban Planning,2014,123:87-95.

[24]STEWART I D,OKE T R,KRAYENHOFF E S.Evaluation of the 'local climate zone' scheme using temperature observations and model simulations [J]. International Journal of Climatology, 2014,34(4):1062-1080.

[25]ZHOU W Q,WANG J,CADENASSO M L.Effects of the spatial configuration of trees on urban heat mitigation: a comparative study[J].Remote Sensing of Environment,2017,195:1-12.

[26]VENTER Z S,BARTON D N,GUNDERSEN V,et al.Urban nature in a time of crisis: recreational use of green space increases during the COVID-19 outbreak in Oslo,Norway[J]. Environmental Research Letters,2020,15(10):104075.

[27]LIVESLEY S J,MCPHERSON E G,CALFAPIETRA C.The urban forest and ecosystem services: impacts on urban water, heat,and pollution cycles at the tree,street,and city scale[J]. Journal of Environmental Quality,2016,45(1):119-124.

[28]PRETZSCH H.Canopy space filling and tree crown morphology in mixed-species stands compared with monocultures[J].Forest Ecology and Management,2014,327:251-264.

[29]ALONZO M,BOOKHAGEN B,ROBERTS D A.Urban tree species mapping using hyperspectral and lidar data fusion[J]. Remote Sensing of Environment,2014,148:70-83.

[30]SCHWARZ K,FRAGKIAS M,BOONE C G,et al.Trees grow on money:urban tree canopy cover and environmental justice[J]. PLoS One,2015,10(4):e0122051.

[31]朱耀军,王成,贾宝全,等.广州市主城区树冠覆盖景观格局梯度[J].生态学报,2011,31(20):5910-5917.

[32]贾宝全,王成,邱尔发,等.城市林木树冠覆盖研究进展[J].生态学报,2013,33(1):23-32.

[33]高美蓉,贾宝全,王成,等.厦门本岛城市森林树冠覆盖与热岛效应关系[J].林业科学,2014,50(3):63-68.

[34]姚佳,贾宝全,王成,等.北京的北部城市森林树冠覆盖特征[J].东北林业大学学报,2015,43(10):46-50,62.

[35]马明娟.基于林木树冠覆盖的乡村人居林分析与评价:以山东省安丘市凌河镇为例[D].北京:中国林业科学研究院,2014.

[36]廖冲绪,张曦.热点、逻辑与趋势:党内政治生活研究:基于CNKI(1949—2020年)的文献计量分析[J].邓小平研究,2021(3):105-120.

[37]NOWAK D J,CRANE D E,STEVENS J C,et al.Brooklyn's urban forest [R]. Newtown Square, PA: U. S. Department of

Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station, 2002.

[38] ERKER T, WANG L, LORENTZ L, et al. A statewide urban tree canopy mapping method [J]. Remote Sensing of Environment, 2019, 229: 148-158.

[39] GROVE J M, O'NEIL-DUNNE J, PELLETIER K, et al. A report on New York City's present and possible urban tree canopy [R]. Newtown Square, PA: USDA Forest Service, Northeastern Research Station & University of Vermont, Spatial Analysis Lab, 2006.

[40] MCPHERSON E G, SIMPSON J, XIAO Q, et al. Los Angeles one million tree canopy cover assessment: final report [R]. Davis, CA: USDA Forest Service, Center for Urban Forest Research & University of California, Davis, 2007.

[41] BRAVO-BELLO J C, MARTINEZ-TRINIDAD T, VALDEZ-LAZALDE J R, et al. Analyzing potential tree-planting sites and tree coverage in Mexico City using satellite imagery [J]. Forests, 2020, 11(4): 423.

[42] ANDERSON E C, AVOLIO M L, SONTI N F, et al. More than green: tree structure and biodiversity patterns differ across canopy change regimes in Baltimore's urban forest [J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2021, 65: 127365.

[43] MOODY R, GERON N, HEALY M, et al. Modeling the spatial distribution of the current and future ecosystem services of urban tree planting in Chicopee and Fall River, Massachusetts [J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2021, 66: 127403.

[44] NOWAK D J, HIRABAYASHI S, DOYLE M, et al. Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health [J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2018, 29: 40-48.

[45] LIU J J, SLIK F. Are street trees friendly to biodiversity? [J]. Landscape and Urban Planning, 2022, 218: 104304.

[46] DWYER J, NOWAK D, NOBLE M, et al. Connecting people with ecosystems in the 21st century: an assessment of our nation's urban forests [R]. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 2000.

[47] ROMAN L A, FRISTENSKY J P, EISENMAN T S, et al. Growing canopy on a college campus: understanding urban forest change through archival records and aerial photography [J]. Environmental Management, 2017, 60(6): 1042-1061.

[48] 郝利利. 现代农林业精细化管理的重要性及技术分析：评《现代农林业精细化管理》[J]. 林业经济, 2022, 44(11): 101.

[49] GREENE C S, ROBINSON P J, MILLWARD A A. Canopy of advantage: Who benefits most from city trees? [J]. Journal of Environmental Management, 2018, 208: 24-35.

[50] GRANT A, MILLWARD A A, EDGE S. Pursuit of environmental justice in urban forest planning and practice [J]. Frontiers in Sustainable Cities, 2023, 5: 1233878.

[51] MATASCI G, COOPS N C, WILLIAMS D A R, et al. Mapping tree canopies in urban environments using airborne laser scanning (ALS): a Vancouver case study [J]. Forest Ecosystems, 2018, 5(1): 31.

[52] 马佳敏. 机载激光雷达反演森林生物量研究综述 [J]. 林业科技通讯, 2024(4): 39-43.

[53] 郑宇, 李玲玲, 陈玉洁, 等. 公园城市视角下伦敦城市绿地建设实践 [J]. 国际城市规划, 2021, 36(6): 136-140.

[54] 王飞平, 张加龙. 基于碳卫星的森林碳储量估测研究综述 [J]. 世界林业研究, 2022, 35(6): 30-35.