

城市绿地多尺度生态系统服务研究进展与趋势分析

A Bibliometric Review of Multi-scale Urban Green Space Ecosystem Services: Advances and Future Directions

郭鸿艺 钱大文*

GUO Hongyi QIAN Dawen*

(重庆师范大学地理与旅游学院, 山区生态系统碳循环与碳调控重庆市重点实验室, 重庆 401331)

(School of Geography and Tourism, Chongqing Key Laboratory of Carbon Cycle and Carbon Regulation in Mountain Ecosystems, Chongqing Normal University, Chongqing, China, 401331)

文章编号: 1000-0283(2025)10-0076-09

DOI: 10. 12193/j. laing. 2025. 10. 0076. 010

中图分类号: TU986

文献标志码: A

收稿日期: 2025-03-01

修回日期: 2025-04-26

摘要

城市绿地作为连接自然生态系统和社会经济系统的关键纽带, 其生态系统服务为应对城市生态环境风险提供了重要支撑。然而现有研究多集中于单一尺度或单项服务分析, 缺乏对多尺度特征及其影响机制的系统认识。采用文献计量梳理近20年国内外城市绿地生态系统服务相关研究, 围绕绿地构成、服务评估、形成机制与供需关系等, 系统分析其多尺度研究进展。结果表明: (1) 该领域研究在过去10年显著增长, 国内侧重城市规划与国土空间整治, 国际则聚焦生态系统服务与生物多样性、人居健康的关联。(2) 城市绿地生态系统服务呈显著多尺度特征, 涵盖街道、城市和跨城市等典型层级。街道尺度关注微尺度绿地, 通过实地调查和模型模拟手段开展热岛缓解和雨洪调蓄等服务研究; 城市尺度关注中尺度绿地, 利用综合模型和多源数据评估调节和文化服务; 跨城市尺度关注宏观尺度绿地, 利用自然—社会经济模型进行供给、生物多样性及调节服务测算。(3) 绿地服务形成机制与供需关系呈现出明显的多尺度分异特征, 街道尺度绿地小而分散, 易致供需失衡; 城市尺度表现为供需错配与服务割裂; 跨城市尺度则体现为区域资源调配与多主体协调的复杂系统。未来研究应重点构建多尺度绿地分类框架, 解析跨尺度服务传递机制, 创新多源数据融合评估方法, 探索多因素协同作用下的尺度响应规律, 为城市绿地系统优化与可持续发展提供理论支撑与实践指导。

关键词

城市可持续发展; 绿地效益; CiteSpace; 多尺度分析; 环境服务

Abstract

Urban green spaces function as a vital nexus concerning natural ecosystems and socio-economic systems, with their diverse ecosystem services offering crucial support in tackling urban ecological and environmental risks. Nonetheless, current research primarily concentrates on single-scale or isolated service analyses, thereby leaving substantial gaps in comprehending the multi-scale characteristics and influencing mechanisms of green space ecosystem services. This knowledge deficit significantly constrains their potential application in sustainable urban development decision-making. This study conducts a bibliometric review of relevant literature from the past two decades, analyzing research advancements on urban green space ecosystem services from the perspectives of spatial composition, service assessment, formation mechanisms, and supply-demand relationships. The results indicate that: (1) Over the past decade, there has been a significant increase in research in this field. Domestic studies tend to assess green space ecosystem services from the perspectives of urban planning and territorial spatial governance. At the same time, international research is focusing more on the intrinsic connections between these services and biodiversity, as well as human health. (2) Urban green space ecosystem services exhibit distinct multi-scale characteristics, encompassing street, city, and intercity levels. At the street scale, research focuses on microscale green spaces, such as pocket parks and street trees, assessing services like heat mitigation and stormwater regulation through field surveys and modelling. At the city scale, studies evaluate regulatory and cultural services of medium-scale green spaces using integrated models and multi-source data. At the

郭鸿艺

2002年生/女/山西吕梁人/在读硕士研究生/研究方向为城市绿地生态系统服务

钱大文

1990年生/男/甘肃兰州人/博士/副研究员/研究方向为城市绿地生态系统服务

*通信作者 (Author for correspondence)

E-mail: qiandawen@lcb.ac.gn

基金项目:

重庆市教委科学技术研究项目“基于生态系统服务供需视角的三峡库区社会—生态耦合与国土空间调控”(编号: KJQN202300538); 重庆师范大学博士科研启动项目“三峡库区生态系统服务供需耦合关系及优化”(编号: 23XLB004)

intercity scale, research targets macroscale green infrastructure such as forests and watersheds, employing socio-ecological models to assess provisioning, biodiversity, and climate regulation services. (3) There are significant differences in the formation mechanisms and supply-demand relationships of green space ecosystem services across different scales. Street-level green spaces are small and fragmented, often leading to mismatches between supply and demand. At the city scale, mismatched spatial distribution results in service overload in central areas and redundancy in peripheral zones, with urban expansion exacerbating service fragmentation. At the intercity scale, supply-demand dynamics reflect complex systems of regional resource allocation and multi-stakeholder coordination. Future research should prioritize the development of multi-scale green space classification frameworks, the exploration of cross-scale service transfer mechanisms, the innovation of multi-source data integration methods, and the examination of scale-sensitive responses under interacting factors. These advances will provide a stronger theoretical and practical foundation for optimizing urban green space systems and promoting sustainable development.

Keywords

urban sustainable development; green space benefit; CiteSpace; multi-scale analysis; environmental service

城市是人类深刻改变陆地生态系统最显著的空间，当前全球约有58%人口聚集在城市区域。中国城市化率已达67%，并成为拥有超大城市数量最多的国家^[1]。在气候变化背景下，城市正在面临洪涝灾害、城市热岛、空气污染等一系列风险和挑战，对城市居民福祉造成负面影响，并威胁城市可持续发展^[2-3]。城市绿地，作为城市自然环境的“基底”，以不同形态、规模和尺度广泛存在于城市，通过植物属性、生理过程、空间形态和格局，为城市提供热岛缓解、水文调蓄、娱乐休憩等多项生态系统服务，为应对城市风险和挑战，以及提升居民福祉等提供重要支撑^[4-6]。绿地作为城市自然环境的主要载体，其分布紧密依附于城市多个空间尺度，并结合植被属性结构发生变化，这导致其空间和功能同样具有明显的多尺度特征，进而影响城市多个空间尺度的绿地生态系统服务供给和需求^[7-8]。目前对城市绿地生态系统服务 (Urban Green Space Ecosystem Service, UGSES) 多尺度特征的研究中，风景园林、建筑等领域聚焦微观尺度 (如街区、社区)，重点关注绿地空间设计、植被配置优化及居民行为互动，通过实证分析揭示小尺度绿地的降温效能、休憩服务供给等机制。此类研究虽能体现绿地功能，却难以反映其在城市或区域尺

度上的累积效应与空间协同。另一方面，地理学与生态学多从宏观尺度 (如城市群) 出发，依托遥感数据与生态系统服务模型，评估绿地景观格局演变对碳汇能力、水源涵养等服务的驱动机制。此类研究虽能系统揭示大尺度生态过程，却往往忽视小尺度绿地结构与居民需求的动态关联，导致“自上而下”的规划策略与“自下而上”的实施路径脱节。

因此，目前对于城市绿地生态系统服务多尺度特征的研究是割裂和分散的，局地研究虽精细但缺乏整体视角，区域研究虽全面却忽略尺度间的动态耦合，导致服务供需特征及驱动机制的跨尺度效应仍不明晰。这一瓶颈限制了对城市绿地多尺度功能的全面理解，也制约了其在城市风险治理中的优化应用，亟需跨尺度整合的理论与方法突破。基于文献计量与统计分析手段，本研究开展近20年国内外城市绿地生态系统服务研究脉络及研究热点与趋势分析，并从绿地多尺度特征来系统梳理城市绿地构成、评估及影响机制、供需关系研究趋势及进展，为优化城市绿地布局、提升生态系统服务功能以及应对城市复合风险提供了精细化的决策支持，推动城市绿地研究从单一尺度分析向多尺度协同转变，为促进城市绿地生态系统服务可持续管理提供理论指导和方向参考。

1 数据来源和方法

为全面了解国内外城市绿地生态系统服务相关研究的发展脉络，选择科睿唯安 (Web of Science, WoS) 核心合集数据库和中国知网 (CNKI) 数据库分别代表国际和国内研究状况的文献信息来源，并以千年生态系统评估综合报告发布的时间为研究起始，将文献检索时间限定于2005年1月1日–2023年12月31日。其中WoS的检索主题为 (urban OR city) AND (“ecosystem service”) AND (park* OR “green space” OR “green infrastructure*”)，共检索到3 754篇文献，CNKI的主题词为城市AND生态系统服务AND (公园OR绿地OR绿色基础设施)，共检索到1 283篇文献。随后手动剔除一些研究区域不属于城市，例如乡村、草原、国家自然保护区等，以及研究主题不是生态系统服务，如景观设计、国土空间格局、绿色物流等。然后，利用CiteSpace 6.2除重得到符合研究目的的国际和国内文献分别为3 695篇和1 085篇。

2 文献计量特征分析

2.1 发文量变化

2005–2023年，城市绿地生态系统服务的相关研究数量整体呈增长趋势，且在近10年以来快速增加，而在2012年之前增长

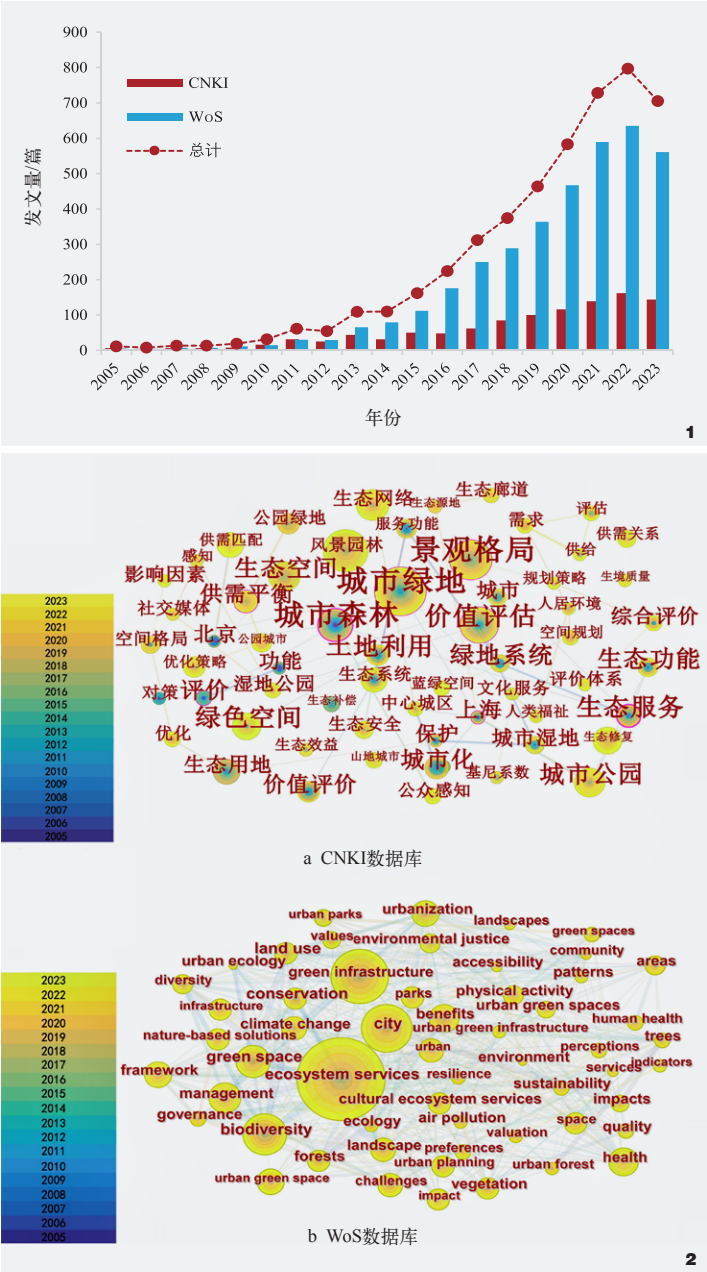


图1 2005—2023年WoS和CNKI数据库刊文量
Fig. 1 The number of published papers in WoS and CNKI database from 2005 to 2023
图2 城市绿地生态系统服务研究关键词图谱
Fig. 2 Keywords coexistence network of UGSES papers

缓慢。其中国际相关研究自2012年后持续增长，且增长幅度明显高于国内研究，其发文量约为国内的两倍；国内相关研究则在2012—2016年间波动增加，随后数量持续增长；国际和国内均于2022年达到最大发文量（图1）。

2.2 研究热点趋势

2.2.1 关键词共现图谱

提取CNKI和WoS中每个时段内中被引频次最高的50个关键词（TOP N=50），生成关键词共现图谱（图2）。分析可得，在国内相关研究中，出现频次最高的关键词是“城市绿地”，其次是“风景园林”“价值评估”“景观格局”“生态网络”等（表1）。其中“城市绿地”“风景园林”“景观格局”作为网络中心度较高的节点，主导了相关研究。在国际研究中，不同文献主要围绕“ecosystem service”“green infrastructure”“city”“biodiversity”“green space”“health”等词展开研究。

从关键词时间变化来说，国际研究的高频关键词主要在2005—2010年出现，而国内研究则在2010年后出现一些新的关键词，包括风景园林、生态空间和生态网络（表1）。从研究内容来看，国际和国内研究均重点关注城市绿地生态系统服务在城市规划及管理中的应用，其中国内研究侧重城市绿地景观格局及其生态功能分析，城市生态网络构建及优化等内容研究^[9-10]，而国际学者更偏重于研究城市绿地生态系统服务对生物多样性及居民健康的影响^[11-12]。

2.2.2 关键词聚类分析

利用关键词聚类图谱结果进行城市绿地生态系统服务研究主题的综合梳理。结果显示，基于CNKI和WoS数据库提取的关键词聚类图谱中的聚类模块值（Q值）> 0.3，聚类平均轮廓值（S值）> 0.7，说明聚类结构显著，结果具有科学性和说服力^[13]。

表1 频次排序前9的关键词
Tab. 1 The top 9 keywords in frequency

国内文献 Domestic literature			国际文献 International literature		
关键词	出现频次 / 次	首次出现年份	关键词	出现频次 / 次	首次出现年份
城市绿地	69	2005	ecosystem services	2 037	2005
风景园林	49	2016	green infrastructure	900	2008
价值评估	45	2007	city	791	2005
景观格局	43	2010	biodiversity	603	2005
生态网络	28	2013	green space	451	2005
城市公园	28	2007	management	417	2007
生态空间	27	2017	health	345	2009
城市森林	25	2005	benefits	338	2006
绿色空间	21	2007	framework	298	2010

国内相关研究的关键词形成9个主要聚类, 包括“景观格局”“城市森林”“供需平衡”“价值评估”“生态空间”“影响因素”“生态系统”等(图3-a), 它们分别代表了国内城市绿地生态系统服务研究的主流方向及不同侧重点, 比如从生态系统类型上关注城市绿地及森林, 从生态系统服务研究内容上关注生态系统、供需平衡和价值评估, 以及关注景观格局、城市化和生态系统服务的关系等^[14-15]。

国际相关研究的关键词主要形成了8个聚类, 包括“nature-based solution”“green infrastructure”“air pollution”“urban heat island”“biodiversity”“urban sustainability”“public health”“urban planning”(图3-b)。这表明国际城市绿地生态系统服务研究重点关注的议题包括城市绿地类型和措施(绿色基础设施和基于自然解决方案)、城市特定生态系统服务类型(城市热岛、空气污染和生物多样性), 以及生态系统服务如何应用于城市可持续性挑战等。

2.2.3 关键词突变分析

基于近20年来城市绿地生态系统服务相关研究的关键词时间突现特征可知, 在国内相关研究共有13个突现词, 其中风景园林和生态用地突现强度较高, 说明国内相关研究重点关注城市规划和生态保护议题(表2)。以突变起始时间为依据可分为两个阶段:(1)2005–2013年, 主要突变词包括“城市森林”“评价”“城市化”“生态用地”和“生态补偿”, 其中突现强度最高的是“生态用地”(突现强度为4.23), 其研究内容为规划国土空间生态用地, 维持及提供城市生态系统服务功能^[16-17]; (2)2017–2021年, 主要突现词为“风景园林”“生态修复”“公园绿地”等。这说明此时段内, 开展城市绿色生态网络识别与优化^[18], 以及生态系统服务供需关系研究^[19]逐渐成为新的研究热点, 国内城市绿地生态系统服务研究正迈向解释规律机制, 以及服务决策应用的方向发展。

在国际研究视野下, 城市绿地生态系统服务共有25个突现词(表3), 其中突现强度较高的有“conservation”“urban ecology”“inner city”等, 说明国际研究侧重绿地生态功能和城市内部尺度。按照突变时间特征, 同样分为两个不同阶段:(1)2005–2011年, 主要突变词为“Urban ecology”“carbon storage”“landscape ecology”“land use”“conservation”“green space”“biodiversity”“ecosystem”“environment”, 其中突现强度最高的是“conservation”(突现强度为13.04), 该阶段主要关注城市生物多样性保护, 维持城市生态系统功能, 推动城市绿色空间发展^[20]; (2)2012–2021年, 主要突变词有“inner city”“management”“urban eco-

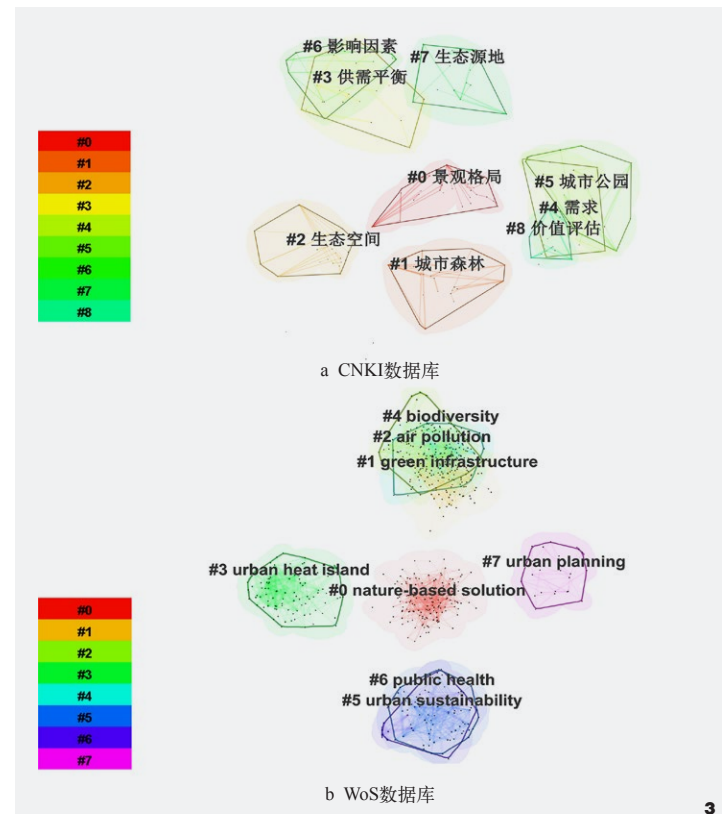


图3 城市绿地生态系统服务研究关键词聚类图
Fig. 3 Keywords clustering network of UGSES papers

system services”“gardens”“social-ecological systems”“resource”“species richness”等。该阶段国际相关研究开始关注城市绿地的系统识别与分类、城市生态系统服务类型识别与定义、街区—城市—城市群等跨尺度效应, 以及社会—生态系统耦合等, 表明城市绿地生态系统服务研究正向量化、模型化和系统化发展^[21-22]。

3 城市绿地多尺度生态系统服务研究

3.1 城市绿地多尺度构成

城市绿地具有强烈的尺度依赖性, 在街道、城市和跨城市等不同空间尺度下, 其规模和表现形式发生变化, 居民对其生态系统服务需求也存在尺度变化, 从而导致城市绿地构成具有多尺度特征。

(1) 街道尺度绿地构成。在街道尺度下, 城市绿地表现为附着于建筑、街道等人工景观, 形成水平和垂直层面的多维度立体单元, 也被定义为绿色基础设施。主要类型包括面状的小型专类公园、社区公园、草坪、花坛、建筑物屋顶绿化及其他专用绿地等, 以及沿

表2 CNKI数据库城市绿地生态系统服务研究突变性关键词
Tab. 2 Keywords burst detection in UGSES papers of CNKI database

关键词 Keywords	年份 Year	强度 Strength	开始 Begin	结束 End	2005–2023 年 Year 2005-2023
城市森林	2005	3.14	2005	2012	
评价	2005	2.82	2005	2015	
城市化	2009	3.5	2009	2014	
生态用地	2011	4.23	2011	2019	
生态补偿	2013	3.82	2013	2016	
生态空间	2017	3.73	2017	2021	
风景园林	2016	4.74	2019	2021	
生态修复	2019	3.36	2019	2023	
公园绿地	2013	3.24	2019	2021	
规划设计	2019	2.52	2019	2021	
生态源地	2020	2.44	2020	2021	
供需匹配	2017	3.88	2021	2023	
电路理论	2021	3.3	2021	2023	

表3 WoS数据库城市绿地生态系统服务研究突变性关键词
Tab. 3 Keyword burst detection in UGSES papers of WoS database

关键词 Keywords	年份 Year	强度 Strength	开始 Begin	结束 End	2005–2023 年 Year 2005-2023
urban ecology	2005	9.8	2005	2016	
carbon storage	2005	6.25	2005	2017	
landscape ecology	2005	4.98	2005	2016	
ecology	2006	8.6	2006	2015	
land use	2006	4.39	2006	2015	
conservation	2007	13.04	2007	2015	
green space	2005	6.4	2007	2014	
biodiversity	2005	8.15	2008	2013	
ecosystem	2009	7.04	2009	2014	
environment	2011	8.31	2011	2015	
inner city	2012	9.02	2012	2017	
management	2007	5.39	2012	2014	
urban ecosystems	2005	6.92	2013	2018	
urban ecosystem services	2013	6.54	2013	2016	
gardens	2007	4.79	2013	2016	
social-ecological systems	2013	4.71	2013	2019	
new york city	2013	4.47	2013	2017	
resource	2013	4.46	2013	2015	
areas	2006	5.99	2014	2016	
street trees	2014	5.43	2014	2017	
species richness	2014	4.79	2016	2018	
richness	2014	4.4	2017	2018	
functional diversity	2019	4.84	2019	2020	
urban development	2019	4.61	2019	2021	
water management	2021	4.64	2021	2023	

城市道路、河流、走廊、防护带等建立起来的绿色和蓝色带状绿地、交通绿地等^[23]。相关研究主要关注植被个体到群落的结构属性及功能^[24-25]。该尺度下的城市绿地规模最小且稳定性最低，其影响范围一般也局限于街道和街区内。

(2) 城市尺度绿地构成。在城市尺度下，城市绿地主要指由不同植被类型及群落组成的土地利用或景观单元，主要从生态系统类型或土地覆被类型角度出发，包括大型的全市性公园、专类公园（例如地质公园、风景名胜公园、湿地公园、植物园等）、城市中成片的林地，以及其他城市中大型的绿色空间^[24]。该尺度下的城市绿地具有规模中等且稳定性较好，其影响范围包括城区及其周边区域。

(3) 跨城市尺度绿地构成。在跨城市尺度下，城市绿地的空间范围从城市内部扩展到城市边缘地带，也包括城市和城市之间的乡村地区。其类型包括宏观生态系统类型和土地覆被类型，包括用于食物生产功能的农田、园地等景观类型，也包括具有明显生物多样性维持功能的森林草地等类型^[26-28]。该尺度下的绿地规模最大且稳定性最好，其影响范围包括多个城市及其中间地带。

3.2 城市绿地多尺度生态系统服务评估

在不同的空间尺度下，城市绿地的类型、规模、功能，以及城市居民的需求均存在差异性^[29]，从而导致其生态系统服务类型和评价方法同样呈现出多尺度特征。

(1) 街道尺度绿地生态系统服务评估。在街道尺度下，城市绿地规模较小且与居民区联系紧密，主要面临的生态风险和居民需求包括减缓城市热浪、降低城市内涝、减少噪声干扰和提供休憩娱乐设施等，与之对应

的城市绿地生态系统服务类型包括应对城市极端降水和洪涝灾害的雨洪调蓄服务^[29]，承载的绿地类型以屋顶绿地和城市街旁树木为主；满足人类教育文化及户外放松的休闲娱乐服务^[30]，以一些小型花园或公园、高尔夫球场、社区绿化、广场绿地为主；减少噪声污染的降噪服务^[31]，以居住区周围的绿地以及屋顶绿地为主。在该尺度下，生态系统服务评估方法以样地调查、居民主观感知和过程模型为主，例如调查植物群落结构、土壤和水文性质等；开展居民调查问卷访谈，采集交通出行、社交媒体等空间定位数据信息；利用iTree^[32-33]、ENVI-met^[34]和SWMM^[35]等过程模型等方法。

(2) 城市尺度绿地生态系统服务评估。在城市尺度下，由于绿地规模和类型的转变，以及居民关注重点需求的变化，城市绿地生态系统服务类型随之发生变化，比如土壤侵蚀控制服务，提供碳汇功能的气候调节服务，满足城市不同地区居民的公共文化服务（娱乐休闲、教育、体育等），应对城市需水要求的水文调节服务等。例如应对城市气候变化的气候调节服务^[36-37]，包括缓解城市热岛效应和提供碳汇功能，主要由城市中的大型公园、城市内的自然保护区等进行提供；应对城市水资源管理和洪涝灾害的水文调节服务^[38-39]，主要由城市内湿地、湖泊等蓝绿空间，提供包括雨洪调蓄和径流削减等相关服务；满足居民身心健康需求的文化服务^[40-41]，主要通过不同功能类别的大型城市公园和公共绿地等提供休憩、教育、体育等服务。在该尺度下，主要通过土地利用/覆被、气象和遥感多源数据、交通出行信息，以及InVEST^[42-43]、ARIES (Artificial Intelligence for Environment & Sustainability)^[44]为代表的生态系统服务综合模型等手段开展评估。

(3) 跨城市尺度绿地生态系统服务评估。在跨城市尺度下，城市绿地空间范围进一步扩大，其内涵同时发生变化。城市及周边居民的需求进一步转变，重点关注支持和供给服务，包括食物和水源供给，以及生物多样性和生境维持服务，也同时包括跨城市和区域尺度的气候调节服务等^[45-46]。例如解决粮食、水资源和能源的相关供给服务；维持栖息地生境质量服务，解决由于栖息地生态破坏带来的生物多样性减少问题；城市绿地植被或土壤碳汇服务等^[47]。在该尺度下，遥感数据和多模型综合手段应用占主导地位，开展城市绿地生态系统服务及未来情景的评估及模拟研究。

3.3 城市绿地多尺度生态系统服务影响机制

受绿地类型、规模及服务供需过程的空间差异，城市绿色空间生态系统服务的影响机制在不同空间尺度上侧重点不同。

(1) 街道尺度绿地生态系统服务影响机制。在街道尺度下，当前研究主要基于气候、生物物理等过程，探讨特定生态系统服务的形成及其变化机理。例如，在热岛缓解服务方面，研究通常从物理机制出发，将其影响因素归纳为外部环境因素（如气候背景、土地覆盖类型）、空间配置（如绿色空间分布、形状和连接性）以及植被物种构成与形态（如树冠覆盖率、叶面积指数）三类^[48]。雨洪调蓄服务则关注林冠截留、土壤入渗和径流形成等雨水再分配过程^[49]，重点研究植被类型与结构、叶片属性、绿地构型、土壤特性及空间形态等因素的影响^[50-52]。

(2) 城市尺度绿地生态系统服务影响机制。在城市尺度下，相关研究则侧重于绿地及其周边景观的形态与格局特征对其多项生态系统服务的影响。绿地规模相关特征，包

括绿地覆盖度、面积比例指数、最大面积斑块指数以及平均斑块面积等，一般对热岛缓解、水文调节和休闲娱乐等服务具有正面影响。绿地形状或分形指数，则被证实对提高滞蓄效能的作用更显著^[53]。此外，城市结构（如建筑物密度与高度等）也可能通过改变空气流动、热交换和景观连通性等方式，影响绿色空间的生态系统服务供给与需求平衡^[54]。部分研究则关注服务需求实现潜力角度，通过结合人口、交通网络以及公共基础设施等空间数据，分析绿地空间可达性对生态系统服务供需过程的影响^[55]。

(3) 跨城市尺度绿地生态系统服务影响机制。在跨城市尺度，当前研究基于气候、遥感以及社会经济数据，试图整合自然与社会经济多重因素，综合评估多种生态系统服务的影响机制。气候背景与社会经济条件是绿地生态系统服务的根本影响因素，也是不同城市间服务差异的主要驱动力^[56]。土地利用作为城市扩张与绿色空间变化的直接驱动力，对生态系统服务供需关系具有决定性作用^[57]。植被指数及NPP等则受气候变化影响，从质量变化的层面影响绿地生态系统服务功能水平。

这些研究为理解不同尺度下城市绿地生态系统服务形成机制提供了重要基础，但多局限于单一服务或单一尺度的分析，未能揭示多服务间的交互作用及其影响机制的尺度效应。

3.4 城市绿地多尺度生态系统服务供需关系

(1) 街道尺度绿地生态系统服务供需关系。在街道尺度下，城市绿地的生态系统服务供给与居民日常需求呈现高度空间匹配性与即时性特征。供给方面，街道绿地通过植被覆盖、雨水调蓄和降噪功能，提供热岛缓

解、雨洪管理及休憩空间等服务，主要依赖小型公园、屋顶绿化及街旁树木等载体。需求方面则集中于街道社区内高密度人口的即时需求，例如高温天气下的遮阴降温、暴雨期间的排水防涝、居住环境的噪声隔离以及步行可达的休闲空间等。然而，由于街道绿地规模小、分布碎片化，其服务供给易受人工干扰和用地拥挤影响，导致供需失衡现象突出。例如居民对街道绿地的使用频率和服务感知强度与其空间可达性和植被结构（如乔木覆盖率）显著相关，但低效的空间配置、产权限制及维护不足常削弱服务供给能力，难以满足老龄化社区、低收入群体等特定人群的差异化需求^[58]。

（2）城市尺度绿地生态系统服务供需关系。城市尺度的绿地生态系统服务供需关系表现为全域性服务供给与异质性需求的特征。供给方面，依托大型公园、湿地、森林等复合绿色空间，重点提供气候调节、水文调控、文化服务等中尺度功能。在需求方面，中心城区、人口密集区对热岛缓解、休闲空间的需求强烈，而工业区、新建城区更关注空气净化、雨洪韧性提升等服务。城市尺度绿地服务供给效率与“核心—边缘”格局密切相关，中心城区绿地因高可达性和功能复合性往往呈现服务过载，城市边缘、郊区等则因利用率低导致服务冗余，此外，城市扩张引起的绿地形态破碎化会削弱其服务连通性^[59-60]。

（3）跨城市尺度绿地生态系统服务供需关系。在跨城市尺度下，绿地生态系统服务供需关系表现为区域资源调配与多主体利益协调的复杂系统。供给端依赖农田、森林、流域等宏观生态系统，主导食物供给、水源涵养、生物多样性维持及区域气候调节等基础性服务。需求端则跨越行政边界，涉及区

域人口、产业布局、政策导向等，体现为城市群的资源竞争与协同需求，例如流域上游绿地的水源涵养服务需满足下游多个城市的用水需求，农田生态系统需同时保障粮食安全与生态保护双重目标^[61]。

4 结论与讨论

4.1 结论

城市绿地作为衔接自然生态系统与城市社会经济系统的关键载体，其多尺度生态系统服务研究对于缓解城市生态风险、提升居民福祉具有重要意义。本研究基于对近20年国内外城市绿地生态系统服务进行文献计量分析，构建“街道—城市—跨城市”多层级分类框架，揭示不同尺度城市绿地构成、生态系统服务评估及影响机制、供需关系研究趋势及进展，分析发现：

（1）近10年来，城市绿地生态系统服务研究在国内外学术界迅速兴起，成为生态学、城市规划及可持续发展领域的热点议题。国际和国内研究关注重点则略有不同，其中国内研究围绕景观格局和风景园林等主题，开展供需平衡、生态网络构建等内容，正从数量与功能的简单评估迈向机制与规律解释，以及服务城市规划和生态保护等决策应用方向；国际研究则围绕生物多样性和人居健康关键主题，探索基于自然解决方案应对城市可持续挑战等问题。

（2）城市绿地生态系统服务具有鲜明的尺度分异特征，可分为街道、城市和跨城市三个尺度。街道尺度下，绿地以小型公园、屋顶绿化和街旁树木等为主，评估重点包括热岛缓解、雨洪调蓄和降噪等服务，研究方法以样地调查、居民主观感知和过程模型（如i-Tree、SWMM）为主。城市尺度下，绿地包括大型公园、湿地和森林等，评估重点

为气候调节、水文调节和文化服务，研究方法依托土地利用/覆被、遥感数据和综合模型（如InVEST和ARIES）。跨城市尺度下，绿地涵盖农田、森林和流域等宏观生态系统，评估重点为食物和水源供给、生物多样性维持及区域气候调节，研究方法以遥感数据和多模型综合手段为主。

（3）不同尺度的服务供需矛盾各异，街道绿地的生态系统服务供给与居民日常需求呈现高度空间匹配性与即时性特征。由于街道绿地规模小、分布碎片化，其服务供给易受人工干扰和用地拥挤影响，导致供需失衡现象突出。城市尺度的绿地生态系统服务供需关系表现为全域性服务供给与异质性需求的特征。城市尺度绿地服务供给效率与“核心—边缘”格局密切相关，中心城区绿地因高可达性和功能复合性往往呈现服务过载，城市边缘、郊区等则因利用率低导致服务冗余，此外，城市扩张引起的绿地形态破碎化会削弱其服务连通性，在跨城市尺度下，绿地生态系统服务供需关系表现为区域资源调配与多主体利益协调的复杂系统。

未来研究需突破单一尺度局限，重点构建多层级绿地分类体系，揭示跨尺度服务传递机制，发展多源数据融合与动态模拟技术，并探索多因素协同作用下的尺度响应规律，以推动城市绿地系统从“单点优化”向“多尺度协同治理”转型，为城市韧性提升与可持续发展提供科学支撑。

4.2 讨论

（1）构建面向生态系统服务的多尺度城市绿地分类体系。城市绿地指城市行政范围内被植被覆盖的空间单元，随着对城市生态系统服务研究深入，对于城市绿地的定义、内涵及类型的理解等均发生变化^[6]。城市绿

地主要依据土地利用类型、植被结构、属性功能等进行分类^[27-28]，但缺乏整合绿地多尺度特征，并且面向生态系统服务研究的分类体系。未来研究应当整合城市规划、景观生态学、地理信息系统及生态系统服务评估等跨学科研究，建立一套多尺度协同的城市绿地分类系统。该系统需以生态系统服务理论为核心框架，在微观（地块植被结构）、中观（绿地空间格局）和宏观（区域生态网络）尺度上实现分类标准的衔接与统一，确保绿地类型划分既能反映空间形态特征，又能精准对应不同生态系统服务功能。通过购买这种多尺度绿地分类体系，最终实现从单体绿地的生态效能评估到城市绿色基础设施网络优化的全尺度整合，为城市生态系统的精准管控与可持续治理提供科学基础。

（2）提出城市绿地生态系统服务跨尺度评估方法。目前，城市不同尺度的绿地生态系统服务评估方法虽已较为多样化，但仍缺乏系统的尺度推演，对于不同类型生态系统服务的尺度效应也尚不明确。这种尺度断裂导致单一尺度的研究成果难以形成系统性指导，限制了绿地规划与管理的科学性和适用性。因此，未来研究亟待突破尺度壁垒，重点探究绿地生态系统服务的尺度效应，揭示其随空间尺度变化的非线性特征与阈值规律，进而构建跨尺度的服务传递模型。

（3）探究城市绿地生态系统服务尺度耦合机制。尽管现有研究已从不同尺度和角度探讨城市绿色空间生态系统服务的影响机制，但仍缺乏多尺度、多因素的综合分析框架。特别是对于不同影响因素在空间尺度和服务类型变化时的响应机制，以及各因素间的交互作用及权重，尚未形成系统性的认知。因此，未来研究需要构建多尺度、多因素的综合指标体系，以精准解析城市绿色空间生

态系统服务的形成机制及其动态变化规律，为优化绿色空间规划与管理提供科学依据。

4.3 研究不足

本研究主要依赖于文献计量和统计分析方法，虽然能够系统梳理研究脉络和热点，但忽略了研究内容的深度和复杂性，文献计量方法在捕捉研究的动态变化存在一定的局限性，城市绿地生态系统服务的跨尺度传递机制复杂，涉及生物物理过程、社会经济因素和政策调控等多方面，现有研究在整合这些因素方面仍存在挑战，研究结果在转化为实际政策和管理措施方面存在一定的滞后性，而如何将研究成果有效应用于城市规划、生态修复和空间治理实践中，仍需进一步探索。

注：文中图表均由作者绘制。

参考文献

- [1] 中华人民共和国统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2024.
- [2] CHUNG M, FRANK K, POKHREL Y, et al. Natural Infrastructure in Sustaining Global Urban Freshwater Ecosystem Services[J]. *Nature Sustainability*, 2021(04): 1068-1075.
- [3] FANG X, LI J, MA Q, et al. A Quantitative Review of Nature-based Solutions for Urban Sustainability (2016-2022): From Science to Implementation[J]. *Science of The Total Environment*, 2024, 927: 172219.
- [4] WANG Y, OUYANG W, ZHANG J. Matching Supply and Demand of Cooling Service Provided by Urban Green and Blue Space[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2024, 96: 128338.
- [5] OORSCHOT J V, SLOOTWEG M, REMME R P, et al. Optimizing Green and Gray Infrastructure Planning for Sustainable Urban Development[J]. *Urban Sustainability*, 2024, 4(01): 1-12.
- [6] TATE C, WANG R, AKARACI S, et al. The Contribution of Urban Green and Blue Spaces to the United Nation's Sustainable Development Goals: An

- Evidence Gap Map[J]. *Cities*, 2024, 145: 104706.
- [7] WONG N H, TAN C L, KOLOKOTSA D D, et al. Greenery as a Mitigation and Adaptation Strategy to Urban Heat[J]. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2021, 2(03): 166-181.
- [8] SUAREZ M, RIEIRO A M, ALBA D, et al. Urban Resilience Through Green Infrastructure: A Framework for Policy Analysis Applied to Madrid, Spain[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2024, 241: 104923.
- [9] 陈舒玲. 自贡市绿地生态网络构建及优化研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2023.
- [10] 荣月静, 严岩, 王辰星, 等. 基于生态系统服务供需的雄安新区生态网络构建与优化[J]. *生态学报*, 2020, 40(20): 7197-7206.
- [11] BOTZAT A, FISCHER L, KOWARIK I. Unexploited Opportunities in Understanding Liveable and Biodiverse Cities: A Review on Urban Biodiversity Perception and Valuation[J]. *Global Environmental Change*, 2016, 39: 220-233.
- [12] KABISCH N, BOSCH M V D, LAFORTEZZA R. The Health Benefits of Nature-based Solutions to Urbanization Challenges for Children and the Elderly: A Systematic Review[J]. *Environmental Research*, 2017, 159: 362-373.
- [13] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. Citespace知识图谱的方法论功能[J]. *科学学研究*, 2015, 33(02): 242-253.
- [14] 李想, 雷硕, 冯骥, 等. 北京市绿地生态系统文化服务功能价值评估[J]. *干旱区资源与环境*, 2019, 33(06): 33-39.
- [15] 魏云龙, 蔡建国. 杭州市绿地生态系统服务功能价值评估及可持续性发展研究[J]. *浙江农林大学学报*, 2017, 34(04): 695-703.
- [16] 姜子璇, 柯新利, 陈媛媛, 等. 武汉市城市内部生态用地时空演变特征研究[J]. *生态科学*, 2024, 43(02): 141-150.
- [17] 张浩, 赵智杰. 基于GIS的城市用地生态适宜性评价研究——综合生态足迹分析与生态系统服务[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2011, 47(03): 531-538.
- [18] 刘杰, 胡国华, 张浪. 上海市中心城区绿地生态网络演化多情景模拟及景观连接度评价[J]. *风景园林*, 2024, 31(11): 70-78.
- [19] 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.
- [20] PATAKI D E, CARREIRO M M, CHERRIER J, et al. Coupling Biogeochemical Cycles in Urban Environments: Ecosystem Services, Green Solutions, and Misconceptions[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2011, 9(01): 27-36.
- [21] RIECHERS M, STRACK M, BARKMANN J, et

- al. Cultural Ecosystem Services Provided by Urban Green Change Along an Urban-periurban Gradient[J]. Sustainability, 2019, 11(03): 645.
- [22] WILKERSON M L, MITCHELL M G E, SHANAHAN D, et al. The Role of Socio-economic Factors in Planning and Managing Urban Ecosystem Services[J]. Ecosystem Services, 2018, 31: 102-110.
- [23] 何荣晓, 张宏巍, 闫蓬勃, 等. 多属性视角下的新版《城市绿地分类标准》分析[J]. 林业资源管理, 2018(05): 29-34, 98.
- [24] 贾行飞, 戴菲. 我国绿色基础设施研究进展综述[J]. 风景园林, 2015(08): 118-124.
- [25] 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.
- [26] DOBBS C, VASQUEZ A, ALEGRIA V, et al. Assessing Multiple Dimensions of Distributional Justice: Access, Biodiversity and Landscape Structure of Green Spaces for Multiple Social Groups of the Metropolitan Region of Santiago De Chile[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2023, 84: 127948.
- [27] ESMAIL B A, CORTINOVIS C, SULEIMAN L, et al. Greening Cities Through Urban Planning: A Literature Review on the Uptake of Concepts and Methods in Stockholm[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2022, 72: 127584.
- [28] LUZ A C, MAARTJEALEIXO C, INESGRILLO, et al. Should I Stay or Should I Go? Modelling the Fluxes of Urban Residents to Visit Green Spaces[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2019, 40: 195-203.
- [29] 黎贝, 焦胜, 周敏, 等. “城市-街区”尺度下绿地景观格局对雨洪滞蓄效能的影响研究进展[J]. 应用生态学报, 2024, 35(02): 533-542.
- [30] 戴子云, 濮阳雪华, 高晨浩, 等. 高尔夫球场生态系统服务价值评价研究[J]. 草地学报, 2013, 21(06): 1085-1092.
- [31] 张祥, 赵骏, 吴雪飞. 城市绿地形态对区域环境噪声的影响[J]. 风景园林, 2022, 29(04): 83-88.
- [32] 徐赛, 李松, 丁茗童. 基于i-tree模型的行道树生态系统服务价值[J]. 中国城市林业, 2024, 22(03): 41-49.
- [33] RAUM S, HAND K L, HALL C, et al. Achieving Impact From Ecosystem Assessment and Valuation of Urban Greenspace: The Case of I-tree Eco in Great Britain[J]. Landscape and Urban Planning, 2019, 190: 103590.
- [34] 裴婷婷, 韩萌, 陈朔, 等. 行道树种植对街谷PM_{2.5}浓度扩散的影响研究[J]. 环境科学与管理, 2024, 49(11): 55-60.
- [35] 田原. 基于暴雨洪水管理模型的海绵设施应用成效评价——以福州市平潭县老旧小区改造项目为例[J]. 绿色建筑, 2024(06): 78-82.
- [36] 连欣欣, 刘兴诏, 李倩, 等. 城市“蓝绿空间”的降温效应研究进展[J]. 南方林业科学, 2021, 49(02): 68-72.
- [37] BOEHNKE D, KREHL A, MöRMANN K, et al. Mapping Urban Green and Its Ecosystem Services at Microscale – A Methodological Approach for Climate Adaptation and Biodiversity[J]. Sustainability, 2022, 14(15): 9029.
- [38] 梁芳源, 李鹏, 程维金, 等. 武汉城市湿地景观格局及生态系统服务功能演变轨迹与驱动机制[J]. 环境工程, 2023, 41(01): 105-111.
- [39] ABDULLAH S, ADNAN M S G, BARUA D, et al. Urban Green and Blue Space Changes: A Spatio-temporal Evaluation of Impacts on Ecosystem Service Value in Bangladesh[J]. Ecological informatics: an International Journal on Ecoinformatics and Computational Ecology, 2022, 70: 101730.
- [40] 陈乾明, 郭青海, 毛齐正. 城市公园生态系统文化服务的空间格局特征及其影响因素研究[J]. 生态学报, 2024(21): 1-15.
- [41] SILVA C E M D, BEZERRA A C V, NETO C C C. Associations Between the Perception of Ecosystem Services and Well-being in Urban Parks[J]. Urban Ecosystems, 2023, 26(06): 1615-1627.
- [42] KADAVRUGU A, KADAVRUGU R, CHINTALA N R, et al. Flood Vulnerability Assessment of Urban Micro-watersheds Using Multi-criteria Decision Making and Invest Model: A Case of Hyderabad City, India[J]. Modeling Earth Systems and Environment, 2021, 8: 3447-3459.
- [43] 吕小永, 许晓婷, 马新萍, 等. 基于invest模型的汉中市生态系统服务及其权衡协同关系研究[J]. 环境科技, 2024, 37(05): 63-67.
- [44] WILLCOCK S, MARTINEZ-LÓPEZ J, HOOF-TMAND A P, et al. Machine Learning for Ecosystem Services[J]. Ecosystem Services, 2018, 33: 165-174.
- [45] 李成, 赵洁, 庄智程, 等. 长三角城市群生态系统服务权衡强度时空演变及影响因素[J]. 生态学报, 2022, 42(14): 5708-5720.
- [46] 王莺莹, 李小马, 甘德欣, 等. 长林潭城市群生态系统服务权衡与协同关系的空间异质性及其驱动因素[J]. 生态环境学报, 2024, 33(06): 969-979.
- [47] 戴菲, 江佩宜, 文晨. 基于生态系统服务簇分析的城市生态空间碳汇能力综合提升[J]. 风景园林, 2023, 30(11): 96-104.
- [48] 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.
- [49] 阿娜尔, 黄甘霖. 城市绿色空间的雨洪调蓄效益研究进展[J]. 中国城市林业, 2024, 22(01): 70-76.
- [50] 戴子云, 隋静轩, 许蕊, 等. 北京城市绿地土壤水分入渗性能研究[J]. 中国园林, 2019, 35(06): 105-108.
- [51] 石铁矛, 卜英杰. 多尺度绿地景观格局对滞蓄能力的影响研究[J]. 风景园林, 2021, 28(03): 88-94.
- [52] 李孝永, 匡文慧. 北京城市土地利用/覆盖变化及其对雨洪调节服务的影响[J]. 生态学报, 2020, 40(16): 5525-5533.
- [53] 黎贝, 焦胜, 周敏, 等. “城市-街区”尺度下绿地景观格局对雨洪滞蓄效能的影响研究进展[J]. 应用生态学报, 2024, 35(02): 533-542.
- [54] FUSARO L, NARDELLA L, MANES F, et al. Supply and Demand Mismatch Analysis to Improve Regulating Ecosystem Services in Mediterranean Urban Areas: Insights From Four Italian Municipalities[J]. Ecological Indicators, 2023, 155: 110928.
- [55] PHILLIPS A, CANTERS F, KHAN A Z. Analyzing Spatial Inequalities in Use and Experience of Urban Green Spaces[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2022, 74: 127674.
- [56] RICHARDS D R, BELCHER R N, CARRASCO L R, et al. Global Variation in Contributions to Human Well-being From Urban Vegetation Ecosystem Services[J]. One Earth, 2022, 5(05): 522-533.
- [57] ZHANG H, ZHOU Q, YANG J, et al. Change and Driving Factors of Eco-environmental Quality in Beijing Green Belts: From the Perspective of Nature-based Solutions[J]. Ecological Indicators, 2024, 166: 112581.
- [58] SUN X, WU J, TANG H, et al. An Urban Hierarchy-based Approach Integrating Ecosystem Services into Multiscale Sustainable Land Use Planning: The Case of China[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2022, 178: 106097.
- [59] 刘鑫, 王宽, 齐增湘, 等. 基于生态系统服务供需的城市绿地空间布局优化[J]. 湖南生态科学学报, 2022, 9(03): 8-17.
- [60] 肖华斌, 何心雨, 王玥, 等. 城市绿地与居民健康福祉相关性研究进展——基于生态系统服务供需匹配视角[J]. 生态学报, 2021, 41(12): 5045-5053.
- [61] 聂家龙, 官冬杰, 樊晓凤, 等. 长江流域城市蔓延对生态系统服务损失量的影响分析[J]. 中国环境科学, 2025, 45(04): 2147-2158.