

城市用地语境下国内外城市绿地进化模拟研究进展

Research Progress on Urban Green Space Evolution Simulation at Home and Abroad in the Context of Urban Land Use

刘杰¹ 张浪^{1*} 张青萍^{2*}
LIU Jie¹ ZHANG Lang^{1*} ZHANG Qingping^{2*}

(1.上海市园林科学规划研究院, 城市困难立地生态园林国家林业和草原局重点实验室, 国家林业和草原局城市困难立地绿化造林国家创新联盟, 上海城市困难立地绿化工程技术研究中心, 上海 200232; 2.南京林业大学风景园林学院, 南京 210037)

(1. Shanghai Academy of Landscape Architecture Science and Planning, Key Laboratory of National Forestry and Grassland Administration on Ecological Landscaping of Challenging Urban Sites, National Innovation Alliance of National Forestry and Grassland Administration on Afforestation and Landscaping of Challenging Urban Sites, Shanghai Engineering Research Center of Landscape on Challenging Urban Sites, Shanghai, China, 200232; 2. College of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu, China, 210037)

文章编号: 1000-0283(2022)04-0057-09
DOI: 10.12193/j.laing.2022.04.0057.007
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2021-11-24
修回日期: 2021-12-12

摘要

城市绿地进化耦合于城市用地变化, 受人为活动与自然效应的综合影响, 进化规律的总结归纳有助于探索城市绿地未来发展的可能性, 然而目前缺乏对城市绿地进化模拟领域的系统性研究。基于中国知网(CNKI)文献数据库和Web of Science核心合集数据库, 借助科学计量分析软件CiteSpace的知识图谱绘制功能, 对2000-2020年城市绿地进化模拟的研究热点、研究主题分布和研究趋势等进行对比分析。结果表明: 中英文文献研究的共性体现在对生态环境问题的重视以及研究尺度的聚焦。中英文文献研究的差异性体现在, 中文文献聚焦空间特征挖掘的方法论总结, 元胞自动机及其改进模型等技术路径的探讨, 城市绿地降温效应及优化策略的探索, 驱动机制分析; 英文文献聚焦城市绿地进化与城市增长、土地利用变化之间的关系, 城市绿地效能的延展, 宏观尺度气候应对以及居民福祉研究, 为城市用地的高效配置、城市绿地系统的科学规划提供理论支撑。未来可从结合学科学术研究热点、明晰用地或空间层面规划衔接等方面进行深入探讨。

关键词

风景园林; 城市绿地; 用地模拟; 进化; 进展趋势; 知识图谱

Abstract

The evolution of urban green space is coupled with changes in urban land use, and is affected by the combined effects of human activities and natural effects. Summarizing the evolution law is helpful to explore the possibility of future development of urban green space, but there is a lack of systematic research in the field of urban green space evolution simulation. Based on the literature database of CNKI and the core collection database of Web of Science, the research hotspots, research topic distribution and research trend of urban green space evolution simulation from 2000 to 2020 were analyzed with the scientific econometric analysis software CiteSpace. The research shows that the commonality of Chinese and English literature research is the attention to ecological and environmental issues and the focus on research scale. The differences between Chinese and English literature research are as follows: the Chinese literature focuses on the methodological summary of spatial feature mining, the discussion of technical paths such as cellular automata and its improved model, the exploration of cooling effect and optimization strategy of urban green space, and the analysis of driving mechanism. The English literature focuses on the relationship between urban green space evolution, urban growth and land use change, the extension of urban green space efficiency, the climate response in macro scale and the residents' well-being. This research provides theoretical support for the efficient allocation of urban land use and scientific planning of urban green space system. Future research can explore the academic research hotspots, the clarification of planning convergence of land use or space, etc.

Keywords

landscape architecture; urban green space; land use simulation; evolution; trends in progress; knowledge mapping

刘杰

1990年生/女/山东青州人/博士/工程师/
研究方向为城市绿地进化模拟及预测

张浪

1964年生/男/安徽合肥人/博士/教授级
高级工程师, 博士生导师/上海领军人才、享
受国务院特殊津贴专家/研究方向为生态园
林规划设计与技术研究/本刊主编

张青萍

1965年生/女/江苏南京人/博士/教授,
博士生导师/研究方向为风景园林规划设计、
风景园林遗产保护

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: zl@shsyky.com; qqzh@njfu.edu.cn

基金项目:

国家自然科学基金项目“城市生态廊道多尺度结构与功能连接度的关联机制”(编号: 32171569); 上海市科委科技创新行动计划课题“上海‘四化’生态网络空间综合评价与质量提升关键技术研究及集成示范”(编号: 19DZ1203301)

2015年9月25日，涉及社会、经济和环境17个可持续发展目标(Sustainable Development Goals, SDGs)正式通过。其中，良好健康与福祉、可持续城市和社区、气候行动等目标与城市绿地发展息息相关^[1-2]。党的十九届五中全会把“碳达峰、碳中和”作为“十四五”乃至2035国家战略目标。“双碳”目标下，城市绿地在增汇减排、改善人居环境、增进民生福祉、调节城市气候、维持生态平衡、保护生物多样性等方面的重要作用日益突出。

国内，《城市绿地规划标准》(GB/T 51346-2019)对城市绿地的定义为：城市中以植被为主要形态，并对生态、游憩、景观、防护具有积极作用的各类绿地的总称。国外，“绿地”概念常采用“Open space”或“Green space”来表述。美国环境保护署对开放空间的定义为：未开发的(无建筑物或其他已建构筑物)且公众可进入的任何开放土地，包括绿地(部分或全部被草、树木、灌木或其他植被覆盖的土地)、校园、操场、公众座位区、公共广场、空地等。其中，绿地包括公园、社区花园和墓地^①。国内外对“绿地”的概念界定存在一定差异性，但从用地发展视角可归纳，城市绿地的进化不是单纯的自下而上的自组织过程，而是往往伴随着自上而下的宏观规划调控——城市绿地的空间特征遵循系统内部的某种规律性机制进行演替，同时，又受制于规划干预以及城市用地变化过程^[2-3]。因此，“进化”是对城市绿地从非系统形态到系统形态、从无机系统到有机系统状态的高度概括。

目前，现有研究多将城市绿地视为城市用地的类型之一，纳入不同情景设置下的城

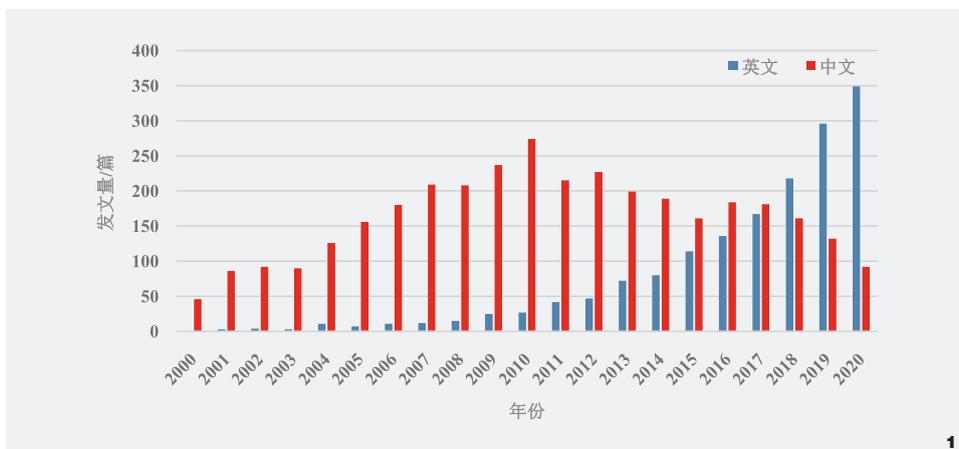


图1 2000-2020年中英文文献发量年分布
Fig. 1 Annual distribution of published literature in Chinese and English from 2000 to 2020

市用地未来发展方案模拟^[4-5]，有助于形成城市规划政策的反馈机制，提高城市规划工作的科学性、前瞻性。本研究着眼于此，基于中英文文献的科学计量分析，阐述该领域的研究热点、研究主题和研究趋势，总结国内、国际的研究共性和差异之处，以期为未来不同目标导向下城市用地的高效配置、城市绿地系统的科学规划提供参考。

1 研究方法

研究以中国知网(CNKI)文献数据库和Web of Science核心合集数据库的文献分别表征国内和国际的相关研究进展，采用基于科学知识图谱分析的CiteSpace软件(5.7版本)^[6]，展示知识的内在发展进程与结构关系。

在中国知网(CNKI)文献数据库，检索主题为“绿地”AND“进化”、“绿地”AND“演化”、“绿地”AND“模拟预测”，采集硕博学位论文、期刊和会议论文。追溯文献对于本研究的研究贡献，数据采集的开始时间设为2000年1月，截止时间为2020年12月，共获

得文献234篇，删除与主题相关性较弱的文献，获得有效文献200篇。基于Web of Science核心合集数据库，设定与中文文献同样的文献检索时间，以主题:(green space) AND主题:(land use change) AND文献类型:(Article) AND语种:(English)检索，并合并以上检索方式中(land use change)分别替换为(evolution)、(simulation)的检索结果，共获取文献730篇，利用CiteSpace的除重功能，获取有效文献727篇。文献分析时，中文文献的“进化”“演化”等主题词尊重原文献表述，英文文献统一采用“进化”表述。

2 城市绿地相关研究发展趋势

2000-2020年城市绿地相关研究的中英文发量情况如图1所示。在2000-2010年和2010-2020年，中文文献年发量分别呈增长趋势和下降趋势。2000-2020年，英文文献数量整体呈现递增趋势。2000-2010年，英文文献数量呈缓慢增长态势，年均发量不超过30篇；2011-2020年，英文文献

① <https://www3.epa.gov/region1/eco/uep/openspace.html>

量呈快速增长趋势, 2015年以后, 年均文献量超过了100篇, 在2020年, 英文文献数量达到峰值, 为349篇。对比发文国家可知, 2010-2020年, 国内学者在国际期刊上的发文量逐年增长, 这可能是导致中文文献发文量呈递减趋势的原因之一。

3 研究热点、研究主题及趋势分析

3.1 研究热点

3.1.1 中文文献的研究热点

通过 CiteSpace 对关键词的共现网络进行聚类分析, 将关键词按照中心度排序和出现频次进行排序 (表1)。具有较高中介中心性的关键词, 一般也具有较高的出现频次。高频关键词与关键词中心度较高的词所反映的主要研究方向基本一致。

绘制基于关键词的知识图谱 (图2), 关键词共现图谱可以反映一定时间序列下研究热点的推演过程。结合关键词中心度和频次排序表 (表1), 可得不同研究阶段高中心性关键词的分布表 (表2)。由表2可得:

2000-2005年, 中心度较高的关键词为上海、城市土地利用、城市结构。房国坤等^[7]分析了21世纪初上海市地域空间结构、区域环境问题的变化特征。凌怡莹^[8]以上海市为研究区域, 对上海市中心城区土地的静态结构、动态演变和预测进行了定性和定量分析。该阶段, 生态和经济利益追求的倾向导致城市绿地设施程度增加和自然度降低。

2006-2010年, 中心度较高的关键词为元胞自动机、城市空间结构、土地利用、动态演化模拟等。胡幸等^[9]以长三角地区部分省级以上的经济开发区和高新技术开发区为研究样本, 提出用地的转化受自组织调整和政府、市场的共同作用。该阶段, 通过设置目标发展幕景, 对城市土地利用演化过程进

表1 关键词中心度和频次排序表
Tab. 1 Ranking table of keywords frequency and centrality

排序 Ranking	关键词中心度排序 Keywords centrality ranking		关键词词频排序 Keywords frequency ranking	
	关键词 Keywords	中心度 Centrality	关键词 Keywords	词频 Word frequency
1	上海	0.27	绿地系统	25
2	动力机制	0.24	形态学	20
3	城市形态	0.18	空间格局	15
4	绿地系统	0.18	规划政策	14
5	城市化	0.17	上海	12
6	元胞自动机	0.13	公共空间	10
7	土地利用	0.09	土地利用	10
8	优化策略	0.07	城市空间结构	9
9	城市空间结构	0.06	优化策略	9
10	地表温度	0.06	动力机制	7
11	城市	0.06	元胞自动机	7
12	时空演变	0.05	地表温度	5
13	中心城区	0.04	城市化	5
14	esda	0.05	发展模式	5

表2 不同研究阶段高中心性关键词分布表
Tab. 2 Distribution table of high centrality keywords in different research stages

研究阶段 Research phase	高中心性的关键词 Keywords with high centrality
2000-2005年	上海、城市土地利用、城市结构
2006-2010年	元胞自动机、城市空间结构、土地利用、动态演化模拟、城市化、土地利用/覆盖变化、可持续发展
2011-2015年	动力机制、城市形态、时空演变、空间格局、土地利用优化、城市热岛
2016-2020年	绿地系统、地表温度、城乡统筹、风景园林、演化机理

行预测模拟成为重要的研究探索^[10]。

2011-2015年, 中心度较高的关键词为动力机制、城市形态、时空演变、空间格局、土地利用优化、城市热岛。驱动机制的相关研究涉及植被指数、城市空间结构、城市绿地布局结构、城市功能空间等演化^[11-13]。城市热岛的相关研究在2015年左右开始成为研究趋势, 研究关注城市热岛的形成机制及时空演化遥感分析等方面。

2016-2020年, 中心度较高的关键词为绿地系统、地表温度、城乡统筹、风景园林、

演化机理。在城乡化研究及绿地系统布局多情景模拟优化中。2019年, 《城市绿地规划标准》的实施, 为城乡绿地系统规划的多层级、多尺度提供参考。该阶段, 绿色空间的动态演化特征、演化机理等成为研究的热点。

3.1.2 英文文献的研究热点

统计关键词中心度排序和关键词词频排序 (表3)。由表可得, 中介中心性较高的关键词与词频较高的关键词反映的研究热点基本一致。绘制关键词共现图谱 (图3), 结合

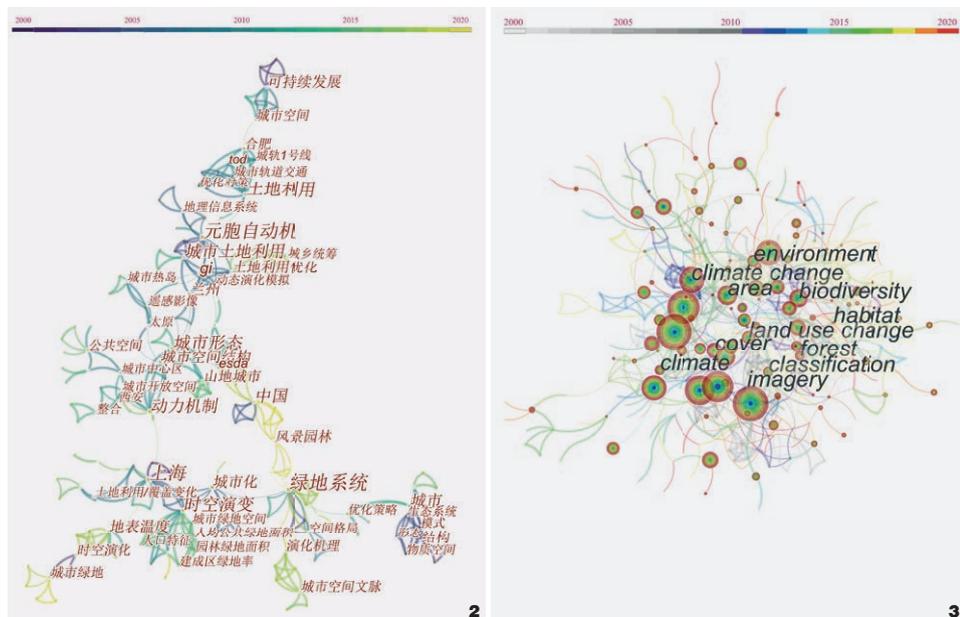


图2 关键词共现图谱
Fig. 2 Keywords co-occurrence map

图3 关键词共现图谱 (英文文献)
Fig. 3 Keywords co-occurrence map (English Literature)

关键词中心度和频次排序表 (表3)，绘制高中心性关键词的分布见表4。

2000-2005年，中心度较高的关键词为覆被、气候变化、土地利用变化等。Rogan等^[14]比较了多时相Kauth-Thomas (MKT) 和 (MSMA) 两种线性变化增强技术，识别了1990年至1996年间南加州研究区植被覆盖的变化。Shashua等^[15]探讨了特拉维夫城市综合体11个不同森林地点植被气候要素的影响。Potter^[16]模拟了过去和未来气候变化对阿拉斯加内陆森林生态系统模式的影响。Li等^[17]在区域、城市和社区3个层面，构建了天然林区、生态缓冲带、绿楔、公园、生态走廊等的综合性生态网络。

2006-2010年，中心度较高的关键词为环境、生态、植被等。Georgi等^[18]探讨了影响居民热舒适的城市绿地生物气候，分析植物物种之间热舒适性的差异。Uy等^[19]以越南河内为研究区域，借助图论提出了改善

取的大不里士市区多时相图像，研究地表温度 (LST) 与覆盖/土地利用 (LULC) 之间的动态关系。

2011-2015年，中心度较高的关键词为体力活动、表面温度、公共健康等。Marcelli等^[21]调查了非营利性组织在支持南加州公园和体力活动中的作用，研究表明城市内部存在健康差异。Li等^[22]以中国北京为研究区域，基于最小二乘回归和空间自回归的方法研究了地表温度和绿地空间格局之间的关系。Shen等^[23]基于PLS模型分析了城市绿地结构通过减少空气污染和缓解热环境降低心血管疾病死亡率。

2016-2020年，中心度较高的关键词为生态系统服务、气候变化应对、微气候等。该阶段研究涉及城市绿地进化与城市规划的关系、城市绿地的降温效应、城市气候变化的应对、微气候等方面。Wellmann等^[24]以德国柏林为研究区域，利用30年陆地卫星序列影

城市绿地生态网络连通度的方法。Amiri等^[20]由Landsat4、5TM和Landsat 7 ETM+ 传感器获

表3 关键词中心度和频次排序表 (英文文献)
Tab. 3 Ranking table of keywords frequency and centrality (English literature)

排序 Ranking	关键词中心度排序 Keywords centrality ranking		关键词词频排序 Keywords frequency ranking	
	关键词 Keywords	中心度 Centrality	关键词 Keywords	词频 Word frequency
1	覆被 (cover)	0.21	城市 (city)	176
2	气候变化 (climate change)	0.16	土地利用 (land use)	147
3	生物多样性 (biodiversity)	0.15	城市化 (urbanization)	136
4	气候 (climate)	0.15	绿地 (green space)	130
5	环境 (environment)	0.14	影响 (impact)	128
6	森林 (forest)	0.14	气候变化 (climate change)	117
7	生态 (ecology)	0.14	生态系统服务 (ecosystem service)	105
8	土地利用变化 (land use change)	0.13	植被 (vegetation)	88
9	植被 (vegetation)	0.11	地区 (area)	76
10	分类 (classification)	0.10	格局 (pattern)	66
11	中国 (China)	0.09	生物多样性 (biodiversity)	65
12	体力活动 (physical activity)	0.09	地表温度 (land surface temperature)	64
13	栖息地 (habitat)	0.09	景观 (landscape)	59
14	农业 (agriculture)	0.08	热岛 (heat island)	57
15	表面温度 (surface temperature)	0.07	保护 (conservation)	56

像, 探讨城市人口密度、土地利用和城市植被覆盖率之间的关系。Badu等^[25]探讨了布加勒斯特社会主义时期和后社会主义时期政权的变化与城市绿地空间结构的时空变化之间的关系。Aram等^[26]在城市绿地、个体公园尺度和模拟预测绿地方案三个层面对城市绿地的降温效应进行了研究。Mabon等^[27]以中国台湾为例, 从城市绿地功能利益分配公平性角度探讨了城市绿地中环境公平的含义。

3.2 研究主题

3.2.1 中文文献的研究主题分布

绘制关键词共现聚类时间线图(图4)。基于关键词共现聚类时间线图, 可将2000-2020年城市绿地进化模拟预测研究的主题总结为表5。中文文献的研究主题分布可总结为:

(1) 空间特征的挖掘。该主题包含的聚类主题是时空演变、景观格局、形态结构。

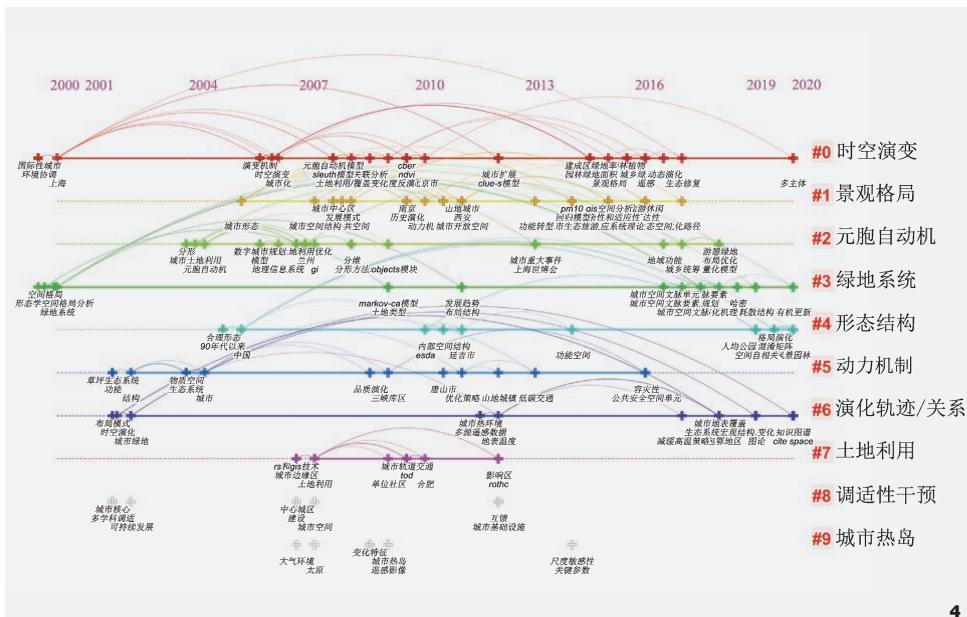


图4 关键词共现聚类时间线图
Fig. 4 Keywords co-occurrence clustering timeline

城市绿地布局结构对于城市绿地系统整体效能的发挥具有决定性作用^[28]。张浪^[29-30]总结了城市绿地系统从非系统形态到系统形态,

从无序状态到有序状态, 从单一分散到联系融合, 最后呈现城乡网络化、城郊结合的整体布局结构进化特征。金云峰等^[31-32]将耗散理论、熵值分析等方法论应用于城市绿地系统的时空演化研究, 并借助分形量化模型对城市绿地系统的布局结构进行优化。该阶段研究基于“斑块—廊道—基质”理论, 对城市绿地系统的空间格局特征进行分析, 并提出格局优化策略^[33]。

(2) 技术路径的探讨。该主题包含的聚类主题是元胞自动机、绿地系统、土地利用。吴艳艳^[34]基于改进的Markov-CA模型, 模拟武汉市未来土地利用的时空格局变化。黄焕春^[35]将基于不等时距的灰色预测模型嵌入元胞自动机模型中, 构建了一个耦合GIS、人工神经网络(ANN)、元胞自动机(CA)、灰色系统的灰色城市空间演化模型。吴蒙^[36]基于系统动力学(System Dynamics, SD)模型与CLUE-S模型的模型体系对生态系统服务价值的时空保护进行了多情景模拟。总结而言,

表4 不同研究阶段高中心性关键词分布表(英文文献)
Tab. 4 Distribution table of high centrality keywords in different research stages (English literature)

研究阶段 Research phase	高中心性的关键词 Keywords with high centrality
2000-2005年	覆被 (cover)、气候变化 (climate change)、气候 (climate)、森林 (forest)、土地利用变化 (land use change)、分类 (classification)、栖息地 (habitat)
2006-2010年	环境 (environment)、生态 (ecology)、植被 (vegetation)、中国 (China)、农业 (agriculture)
2011-2015年	体力活动 (physical activity)、表面温度 (surface temperature)、公共健康 (public health)
2016-2020年	城市规划 (urban planning)、气候变化应对 (climate change adaptation)、微气候 (microclimate)、环境正义 (environment justice)

表5 关键词共现聚类主题分布表
Tab. 5 Distribution table of keywords co-occurrence clustering topic

序号 Serial number	主题分类 Subject classification	聚类主题 Clustering topics
1	空间特征的挖掘	#0时空演变、#1景观格局、#4形态结构
2	技术路径的探讨	#2元胞自动机、#3绿地系统、#7土地利用
3	驱动机制的分析	#5动力机制、#6演化轨迹/关系
4	优化策略的探索	#8调适性干预、#9城市热岛

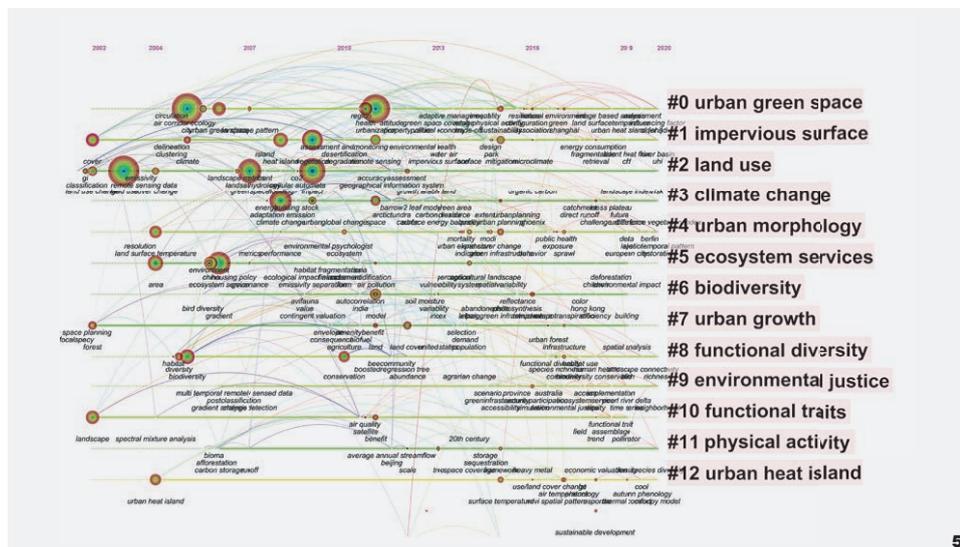


图5 关键词共现聚类时间线图 (英文文献)
Fig. 5 Keywords co-occurrence clustering timeline (English Literature)

基于用地模拟模型，可以进行不同约束条件下，如耕地保护、生态保护和城市发展等情景下的未来用地模拟预测。

(3) 驱动机制的分析。该主题包含的聚类主题是动力机制、演化轨迹/关系。城市绿地系统进化的要素，包括城市经济的发展、产业结构的调整、基础设施的规划建设，也包括园林绿化政策和相关行政法规的引导，城乡关系的变异，以及城市内部用地结构的突变，生态资源利用方式的改变等^[37]。杨玉鹏和金云峰^[38]提出城市绿地的演化过程由系统内部和外部条件共同作用。史利江等^[39]研究了上海市土地利用变化和驱动机制，提出经济、人口、生活水平、规划政策以及国家大型活动等是引起城市土地利用变化的主要驱动力，且城市绿地的进化过程存在正向进化（正进化）和负向进化（负进化）。

(4) 优化策略的探索。该主题包含的聚类主题是调适性干预、城市热岛。学者们将城市理解为社会—经济—自然复合系统^[40-41]。优化策略就形态布局的优化主要从城乡统筹、

系统稳定性、缩小空间差异等方面提供优化建议。优化策略在不同约束条件下的多情景模拟预测，主要是从生态空间保护、耕地保护、热岛缓解等方面提供实现途径。优化策略涉及社会经济宏观调控，自然基底的科学利用，规划政策的法律保障等^[42-43]方面。

3.2.2 英文文献的研究主题分布

绘制关键词共现聚类时间线图（图5）。基于关键词共现聚类时间线图，将2000-2020年城市绿地进化模拟预测研究的主题总结为表6。英文文献的研究主题分布可总结为：

表6 关键词共现聚类主题分布表（英文文献）
Tab. 6 Distribution table of keywords co-occurrence clustering topic (English literature)

序号 Serial number	主题分类 Subject classification	聚类主题 Clustering topics
1	进化特征	#1不透水 (impervious)、#2土地利用 (land use)、#4城市形态 (urban morphology)、#7城市增长 (urban growth)
2	绿地效能	#3气候变化 (climate change)、#5生态系统服务 (ecosystem services)、#6生物多样性 (biodiversity)、#8功能多元 (functional diversity)、#10功能特征 (functional traits)、#12城市热岛 (urban heat island)
3	居民福祉	#9环境正义 (environmental justice)、#11体力活动 (physical activity)

(1) 进化特征。该主题包含的聚类主题有不透水面、土地利用、城市形态、城市增长。Dinda等^[44]应用集成元胞自动机-马尔科夫链 (CA-MC) 模型，预测了印度加尔各答市土地利用的动态和城市绿地的状态。Gadi等^[45]将城市绿地的生长动态通过检测绿地内部草地密度和地上部生长速率的时空动态变化来实现。Garcia等^[2]以西班牙马德里三个案例研究为例，研究城市绿地对城市项目的背景、规划沿革和发展趋势等规划过程的敏感性。Xu等^[46]以德国慕尼黑为例，从区域和次区域两个层面分析不同情景下的绿地利用率以及两个指标之间的权衡，结果表明很难找到一种在不同区域表现最好的城市生长模式。

(2) 绿地效能。该主题包含的聚类主题较为广泛，包含气候变化、生态系统服务、生物多样性、功能多元、城市热岛等，属于城市绿地的效能范畴。Masoudi等^[47]以新加坡为例，提出更多的、形状较为简单的、破碎化程度较低、连接度较高的城市绿地斑块具有更低的地表温度和更高的降温效果。Sun等^[48]以中国南京市为例，探讨了指数（植被覆盖度、水分覆盖度、面积、叶面积和斑块形状指数）与地表温度或降温效应强度之间的关系。Fisher等^[49]以乔治敦为例，使用中介模型来测试声音感知、鸟类物种丰富度、自然度

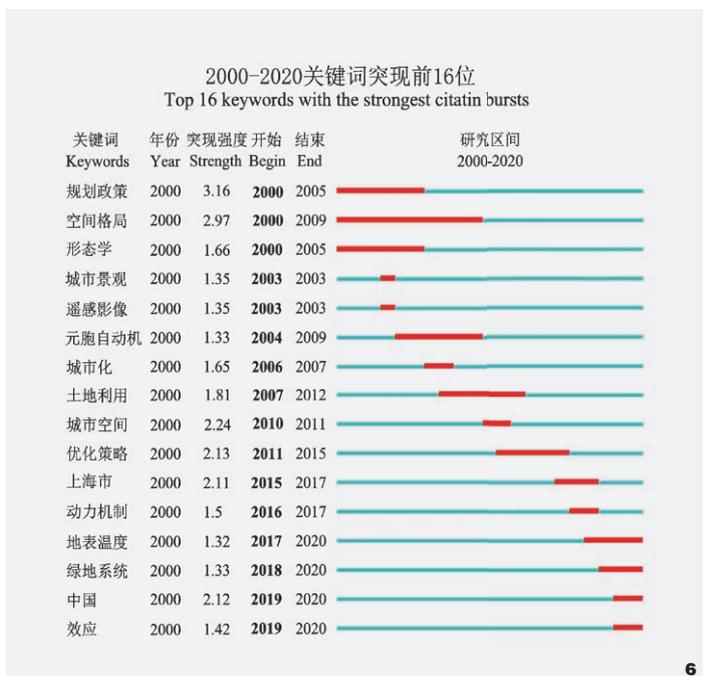
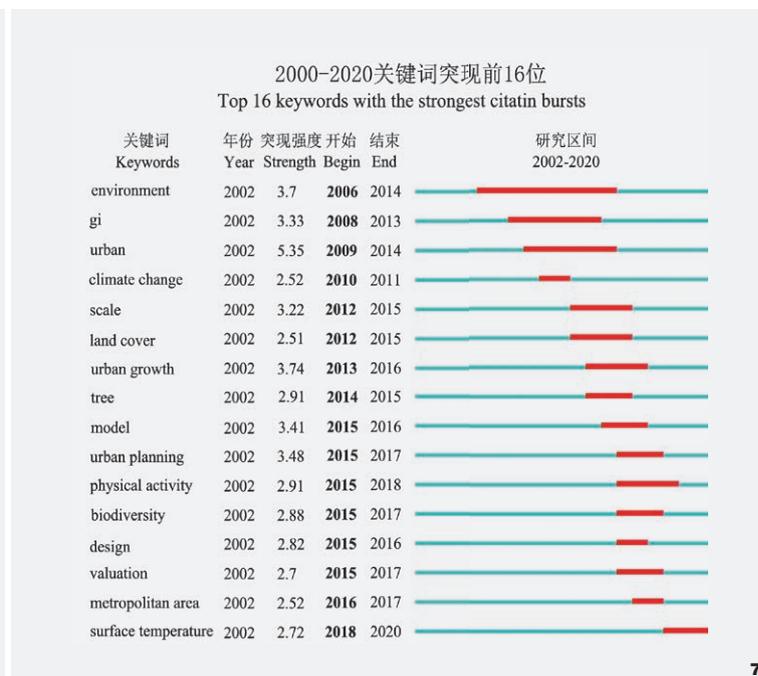


图6 关键词突现前16位
Fig. 6 Top 16 keywords with the strongest citation bursts

图7 关键词突现前16位 (英文文献)
Fig. 7 Top 16 keywords with the strongest citation bursts (English literature)



和安全问题如何影响恢复性场所, 从而影响健康。Kong等^[50]以中国济南市为例, 采用最小成本路径法对潜在廊道进行识别, 并基于图论和引力模型对绿地网络进行开发和改进。

(3) 居民福祉。该主题包含的聚类主题是环境正义、体力活动。Kronenberg等^[51]探讨了后社会主义城市的城市绿地和蓝色空间规定的三个正义维度(分配/分配、程序/参与和互动/承认)。Enssle等^[52]以柏林(德国)为例, 利用公园访问模式、人口特征和社会网络模式的综合数据集, 通过社会环境正义的三个维度(分配、互动和程序)进行, 探讨了老年人的城市绿地访问模式。Rigolon等^[53]以加利福尼亚州为例, 分析了121个在联盟中工作的非政府组织有关环境正义重点、工作范围、收入和其他特征的信息。Du等^[54]以中国上海市的6个公园为例, 探讨空间设计和植被配

置对公众健康和居民福祉(PHW)的影响。

3.3 研究趋势

3.3.1 中文文献的研究趋势

CiteSpace中的突现词(Burst terms)是通过考察词频, 将某段时间内频次变化率高的词探测出来。关键词突现可以反映受关注主题的发展趋势, 突现时间较早的关键词是早期受关注的主题, 而突现时间较近的关键词则可以反映该研究方向近年及未来的可能研究热点。获取2000年至2020年关键词突现的前16位(图6)。其中, “规划政策”“空间格局”“形态学”是最早突现的关键词, “规划政策”的突现强度最强, “空间格局”的突现持续时间最长, 表明早期的研究热点围绕规划政策、空间形态、空间格局而展开。2004年至2007年, “元胞自动机”“城市化”“土地

利用”成为该阶段的突现关键词, 且“元胞自动机”和“土地利用”的突现持续时间较长, 表明该阶段城市土地利用模拟预测技术途径的研究成为热点。2010年至2016年, 关键词的突现呈现多元化的状态, 以“优化策略”“上海市”“动力机制”为主。2020年, “地表温度”和“效应”成为最新的突现词, 表明与城市绿地相关的城市热岛研究, 生态效应或环境效应研究成为当前以及未来几年的研究热点。

3.3.2 英文文献的研究趋势

英文文献2000年至2020年关键词突现的前16位如图7所示, 以用于研究趋势的分析。其中, 突现时间较早的关键词是“环境”“绿色基础设施”“城市”“气候变化”“尺度”等, 突现时间最长的关键词是

“环境”，突现强度最强的关键词是“城市”，表明城市绿地进化模拟预测的英文文献研究围绕城市绿地与城市的耦合关系、城市绿地对环境的改善、城市绿地与气候变化等方面而展开。2002年至2010年，突现的关键词较少，表明该研究阶段内，研究主题较为集中，2011年至2020年，突现的关键词数量较多，研究呈现多元化，但研究热点基本围绕城环境、城市、气候等方面。近几年新增的突现关键词是“大都市区”“地表温度”，表明较大尺度的研究区域、城市地表温度等研究成为当前英文文献研究中的研究热点，并在未来几年仍成为研究热点。

4 结论与讨论

基于中国知网(CNKI)文献数据库和Web of Science核心合集数据库进行了城市绿地进化模拟研究文献的计量分析，中英文文献研究的共性和差异性具体体现在：

(1) 中英文文献研究的共性体现在对生态环境问题的重视，研究尺度的聚焦以及研究应用方面。现有研究多依托城市增长、城市扩张，关注城市气候、城市热岛等问题，对城市内部复杂用地间的转化关系以及城市绿地的功能提升关注较少，研究尺度以大都市区或超大城市为主，对中小城市的关注较少。

(2) 中英文文献研究的差异性体现在，中文文献的空间特征演变侧重空间特征挖掘的方法论总结与应用，土地利用变化的研究侧重元胞自动机及其改进模型等技术路径的探讨，而城市热岛的相关研究则侧重城市绿地的降温效应研究及优化策略的探索，城市绿地进化的驱动机制分析也是研究热点之一。英文文献的绿地空间进化特征的研究强调了与城市增长、土地利用变化之间的关系，城市绿地效能的研究涉及气候变化、生物多样性

性、生态系统服务、功能的多元化等方面，气候变化的研究尺度更为宏观，研究侧重气候变化的应对，居民福祉的研究则多与环境正义、体力活动、公共健康等相联系。

未来城市绿地进化模拟研究可以从以下方面继续深化。

(1) 结合本学科学术热点，作为城市内部复杂用地演化模拟驱动因素和约束条件设置的重要参照。国土空间规划“生态空间优化”目标导向下，以城市绿地生态廊道功能和布局优化^[55]为介入点，设置用地模拟的空间约束条件和引导条件，是未来城市绿地进化模拟的重要研究方向；“碳中和”目标引导下，城市绿地直接增汇和间接减排的效能是促进碳中和实现的重要途径^[56]。从碳汇和减排角度出发，指导城市绿地空间布局的合理优化，以作为未来城市绿地进化模拟的重要条件；城市绿地是缓解城市热岛效应，调节城市气候的重要用地类型，以城市绿地的“生态—社会”功能完善和热岛缓解为目标下的城市绿地布局优化，也可以作为未来用地模拟的重要参考^[6]。

(2) 梳理城市绿地进化模拟中用地重分类的相关标准，明晰城市绿地在用地层面或空间规划层面的对接依据。现行的三大用地分类体系侧重点不同，《土地利用现状分类》(GB/T21010-2017)的城乡用地覆盖全面，但不适用于精细化管理，《城市用地分类与规划建设用地标准》(GB50137-2011)和《城市绿地分类标准》(CJJ/T85-2017)，前者在于协调各城市用地类型之间的关系，后者强调城市绿地本身的分类及空间协调，但两者对于城市建设用地范围外的用地分类，空间定位相对模糊。未来研究应协调三种用地分类体系之间的关系，以作为未来城市用地模拟中用地重分类的参考。

参考文献

- [1] 张浪. 城市生态网络规划原理[M]. 北京: 科学出版社, 2021.
- [2] GARCIA G M J, CHRISTIEN L, GARCIA E E, et al. Sensitivity of Green Spaces to the Process of Urban Planning. Three Case Studies of Madrid (Spain)[J]. Cities, 2020, 100: 102655.
- [3] 张浪. 基于基本生态网络构建的上海市绿地系统布局结构进化研究[J]. 中国园林, 2012, 28(12): 65-68.
- [4] CRUZ J A, BLANCO A C, GARCIA J J, et al. Evaluation of the Cooling Effect of Green and Blue Spaces on Urban Microclimate Through Numerical Simulation: A Case Study of Iloilo River Esplanade, Philippines[J]. Sustainable Cities and Society, 2021, 74: 103184.
- [5] LIU J, ZHANG L, ZHANG Q, et al. Predicting the Surface Urban Heat Island Intensity of Future Urban Green Space Development Using a Multi-scenario Simulation[J]. Sustainable Cities and Society, 2021, 66: 102698.
- [6] 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.
- [7] 房国坤, 姚士谋, 李昌峰, 等. 21世纪上海地域结构与环境演化[J]. 现代城市研究, 2000(04): 28-31.
- [8] 凌怡莹. 城市土地利用结构及其演变的非线性研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2004.
- [9] 胡幸, 王兴平, 陈卓. 开发区用地构成的影响因素及演化机制分析——以长三角为例[J]. 现代城市研究, 2007(04): 62-70.
- [10] 韩会娟. 上海地区土地利用演化的数值模拟及其对城市人口、经济与环境的影响研究[D]. 上海: 复旦大学, 2008.
- [11] 常青, 李双成, 王仰麟, 等. 基于稳定映射分析的深圳绿色景观时空演化及启示[J]. 地理学报, 2012, 67(12): 1611-1622.
- [12] 陈晨, 胡德勇, 胡妹婧. 基于CBERS数据的北京城区NDVI演变及其驱动机制分析[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2010, 31(01): 45-50.
- [13] 汝绪伟, 江涛. 城市绿地演化驱动因素与景观格局空间分析——以济南市建成区为例[J]. 水土保持研究, 2015, 22(05): 197-203.
- [14] ROGAN J, FRANKLIN J, ROBERTS D A. A Comparison of Methods for Monitoring Multitemporal Vegetation Change Using Thematic Mapper Imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 80(1): 143-156.
- [15] SHASHUA B L, HOFFMAN M E. Vegetation as a Climatic Component in the Design of an Urban Street[J]. Energy and Buildings, 2000, 31(3): 221-235.

- [16] POTTER C. Predicting Climate Change Effects on Vegetation, Soil Thermal Dynamics, and Carbon Cycling in Ecosystems of Interior Alaska[J]. *Ecological modelling*, 2004, 175(1): 1-24.
- [17] LI F, WANG R, PAULUSSEN J, et al. Comprehensive Concept Planning of Urban Greening Based on Ecological Principles: A Case Study in Beijing, China[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2005, 72(4): 325-336.
- [18] GEORGI J N, DIMITRIOU D. The Contribution of Urban Green Spaces to the Improvement of Environment in Cities: Case Study of Chania, Greece[J]. *Building and Environment*, 2010, 45(6): 1401-1414.
- [19] UY P D, NAKAGOSHI N. Analyzing Urban Green Space Pattern and Eco-network in Hanoi, Vietnam[J]. *Landscape and Ecological Engineering*, 2007, 3(2): 143-157.
- [20] AMIRI R, WENG Q, ALOMOHAMMADI A, et al. Spatial-temporal Dynamics of Land Surface Temperature in Relation to Fractional Vegetation Cover and Land Use/Cover in the Tabriz Urban Area, Iran[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(12): 2606-2617.
- [21] JOASSART M P, WOLCH J, SALIM Z. Building the Healthy City: The Role of Nonprofits in Creating Active Urban Parks[J]. *Urban Geography*, 2013, 32(5).
- [22] LI X, ZHOU W, OUYANG Z, et al. Spatial Pattern of Greenspace Affects Land Surface Temperature: Evidence from the Heavily Urbanized Beijing Metropolitan Area, China[J]. *Landscape Ecology*, 2012, 27(6): 887-898.
- [23] SHEN Y, LUNG S C. Can Green Structure Reduce the Mortality of Cardiovascular Diseases?[J]. *The Science of the Total Environment*, 2016, 566-567: 1159-1167.
- [24] WELLMANN T, SCHUG F, HAASE D, et al. Green Growth? On the Relation Between Population Density, Land Use and Vegetation Cover Fractions in a City Using a 30-years Landsat Time Series[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2020, 202: 103857.
- [25] BADIU D L, ONOSE D A, NITA M R, et al. From "Red" to Green? A Look into the Evolution of Green Spaces in a Post-socialist City[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2019, 187: 156-164.
- [26] ARAM F, HIGUERAS G E, SOLGI E, et al. Urban Green Space Cooling Effect in Cities[J]. *Heliyon*, 2019, 5(4): e1339.
- [27] MABON L, SHIH W. What Might 'Just Green Enough' Urban Development Mean in the Context of Climate Change Adaptation? The Case of Urban Greenspace Planning in Taipei Metropolis, Taiwan[J]. *World Development*, 2018, 107: 224-238.
- [28] 张浪. 上海市绿化建设规划指标与保障体系有机进化研究[J]. *上海建设科技*, 2012(06): 43-46.
- [29] 张浪. 试论城市绿地系统有机进化论[J]. *中国园林*, 2008(01): 87-90.
- [30] 张浪. 基于有机进化论的上海市生态网络系统构建[J]. *中国园林*, 2012, 28(10): 17-22.
- [31] 李涛, 金云峰. 生态修复指引下基于熵值分析的上海城乡绿地系统时空演化研究[C]// 中国风景园林学会2017年会议论文集, 2017: 426-430.
- [32] 金云峰, 李涛, 吴钰宾, 等. 基于耗散结构理论的上海城乡绿地系统空间演化特征[J]. *中国城市林业*, 2019, 17(01): 42-46.
- [33] 武静. 武汉市滨湖景观格局演化研究[J]. *华中建筑*, 2013, 31(09): 140-144.
- [34] 吴艳艳. Markov-CA模型支持下的武汉市土地利用变化模拟与预测[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.
- [35] 黄焕春. 改革开放以来的延吉市城市空间结构演化研究[D]. 延吉: 延边大学, 2010.
- [36] 吴蒙. 基于SD与CLUE-S模型的快速城市化区域生态服务价值时空保护研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2013.
- [37] 徐毅, 彭震伟. 1980-2010年上海城市生态空间演进及动力机制研究[J]. *城市发展研究*, 2016(11): 1-10.
- [38] 杨玉鹏, 金云峰. 生态修复下城区内外绿地系统演化动力机制研究——基于自组织理论的上海市域绿地分析评价[C]// 中国风景园林学会2017年会议论文集, 2017: 412-419.
- [39] 史利江, 王圣云, 姚晓军, 等. 1994-2006年上海市土地利用时空变化特征及驱动力分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2012, 21(12): 1468-1479.
- [40] 黄莺新, 杜澍. 城市复合生态系统理论模型与中国城市发展[J]. *国际城市规划*, 2009, 23(01): 30-36.
- [41] 马世骏, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统[J]. *生态学报*, 1984(01): 1-9.
- [42] 刘颂, 张翀. 基于空间耦合的小城镇绿地系统优化策略[J]. *上海城市规划*, 2014(04): 83-87.
- [43] 杨帆, 段宁, 许莹, 等. "精明规划"与"跨域联动": 区域绿地资源保护的困境与规划应对[J]. *规划师*, 2019, 35(21): 52-58.
- [44] DINDA S, DAS C N, GHOSH S. An Integrated Simulation Approach to the Assessment of Urban Growth Pattern and Loss in Urban Green Space in Kolkata, India: A GIS-based Analysis[J]. *Ecological Indicators*, 2021, 121.
- [45] GADI V K, GARG A, RATTAN B, et al. Growth Dynamics of Deciduous Species During Their Life Period: A Case Study of Urban Green Space in India[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2019, 43: 126380.
- [46] XU C, HAASE D, PAULEIT S. The Impact of Different Urban Dynamics on Green Space Availability: A Multiple Scenario Modeling Approach for the Region of Munich, Germany[J]. *Ecological Indicators*, 2018, 93: 1-12.
- [47] MASOUDI M, TAN P Y, FADAEI M. The Effects of Land Use on Spatial Pattern of Urban Green Spaces and Their Cooling Ability[J]. *Urban Climate*, 2021, 35: 100743.
- [48] SUN X, TAN X, CHEN K, et al. Quantifying Landscape-metrics Impacts on Urban Green-spaces and Water-bodies Cooling Effect: The Study of Nanjing, China[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2020, 55: 126838.
- [49] FISHER J C, IRVINE K N, BICKNELL J E, et al. Perceived Biodiversity, Sound, Naturalness and Safety Enhance the Restorative Quality and Wellbeing Benefits of Green and Blue Space in a Neotropical City[J]. *The Science of the Total Environment*, 2021, 755(2): 143095.
- [50] KONG F, YIN H, NAKAGOSHI N, et al. Urban Green Space Network Development for Biodiversity Conservation: Identification Based on Graph Theory and Gravity Modeling[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2010, 95(1): 16-27.
- [51] KRONENBERG J, HAASE A, LASZKIEWICZ E, et al. Environmental Justice in the Context of Urban Green Space Availability, Accessibility, and Attractiveness in Postsocialist Cities[J]. *Cities*, 2020, 106: 102862.
- [52] ENNSLEA F, KABISCHA N. Urban Green Spaces for the Social Interaction, Health and Well-being of Older People— An Integrated View of Urban Ecosystem Services and Socioenvironmental Justice[J]. *Environmental Science and Policy*, 2020, 109: 36-44.
- [53] RIGOLON A, GIBSON S. The Role of Non-governmental Organizations in Achieving Environmental Justice for Green and Blue Spaces[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2021, 205.
- [54] DU H, ZHOU F, CAI Y, et al. Research on Public Health and Well-being Associated to the Vegetation Configuration of Urban Green Space: A Case Study of Shanghai, China[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2021, 59: 126990.
- [55] 张晨笛, 刘杰, 张浪, 等. 基于城市生态廊道概念应用的三个衍生概念生成与辨析[J]. *中国园林*, 2021: 1-6.
- [56] 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.