

中国城市户外微气候研究进展与展望

Research Progress and Prospects of Outdoor Microclimate in Chinese Cities Based on Bibliometrics and Content Analysis

吴 祎¹ 孙梅霞² 郭苏明^{1*}
WU Yi¹ SUN Meixia² GUO Suming^{1*}

(1.南京林业大学风景园林学院, 南京 210037; 2.南京市市政设计研究院有限责任公司, 南京 210037)
(1. College of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu, China, 210037; 2. Nanjing Municipal Design and Research Institute Co., Nanjing, Jiangsu, China, 210037)

文章编号: 1000-0283(2023)08-0092-07
DOI: 10. 12193 / j. laing. 2023. 08. 0092. 011
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2023-04-26
修回日期: 2023-06-24

摘 要

城市户外微气候研究在提升人居环境舒适度、生态节能等方面具有重要意义, 近年来已成为研究热点。基于文献计量统计与内容分析, 结合 CiteSpace III 软件对中国城市户外环境领域的微气候研究文献进行计量分析, 可知城市微气候研究的主题聚集在数值模拟、气候适应性、舒适度等方面, 梳理文献来源概况、研究历程、空间概况、研究热点等内容进一步评析。基于文献综述, 按照研究对象在城市中的空间类型分为城市公园、城市广场、步行街道、居住区空间、高校校园以及古典园林 6 种进行分析研究内容的异同与趋势。最后结合当前研究的特点与不足提出以人为核心提升公众认知与行为研究、以多尺度视角拓展研究的时空范围、以乡村振兴理念推动乡村微气候发展的三项建议。

关键词

城市户外; 微气候; 文献计量分析; 研究进展; 展望; 综述

Abstract

The research on urban outdoor microclimate is of great significance in improving the comfort of human settlements and ecological energy conservation and has become a research hotspot in recent years. Based on bibliometric statistics and content analysis, combined with CiteSpace III software, this paper makes a bibliometric analysis of the microclimate research literature in the field of urban outdoor environment in China. It can be seen that the research topics of urban microclimate focus on numerical simulation, climate adaptability, comfort, and other aspects, combing the literature source overview, research history, spatial overview, research hotspots, and other contents for further analysis. Based on the literature review, according to the spatial types of the research object in the city, it is divided into six types: urban park, urban square, pedestrian street, residential space, university campus, and classical garden to analyze the similarities and differences and trends of the research content. Combining the characteristics and deficiencies of current research, this article puts forward three suggestions for improving public cognition and behavior research with human beings at the core, expanding the scope of research from a multi-scale perspective, and promoting the development of rural microclimate with the concept of rural revitalization.

Keywords

urban outdoors; microclimate; CiteSpace analysis; research progress; prospect; review

吴 祎

1999 年生 / 女 / 江苏苏州人 / 在读硕士研究生 / 研究方向为风景园林规划设计

孙梅霞

1995 年生 / 女 / 江苏南京人 / 硕士 / 助理工程师 / 研究方向为风景园林规划设计

郭苏明

1974 年生 / 女 / 江苏南京人 / 博士 / 副教授、硕士生导师 / 研究方向为风景园林规划设计

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: 690948349@qq.com

近年来, 极端气候多发, 城市中由过多的硬质下垫面及不合理的绿地配置等因素产生的热岛效应进一步降低了城市环境舒适度^[1], 对居民健康产生了威胁, 对空调等制

冷设备的需求提升将导致更高的能源消耗并影响室外环境^[2]。在全球气候问题严峻的当下, 城市微气候成为热点话题。微气候是局部小范围空间环境的气候条件, 包括气温、

基金项目:

教育部人文社会科学青年基金项目“基于‘水适应性’生态智慧遗产视角的垛田保护与活化利用研究”(编号: 20YJCZH190); 江苏高校优势学科建设工程资助项目 (PAPD)

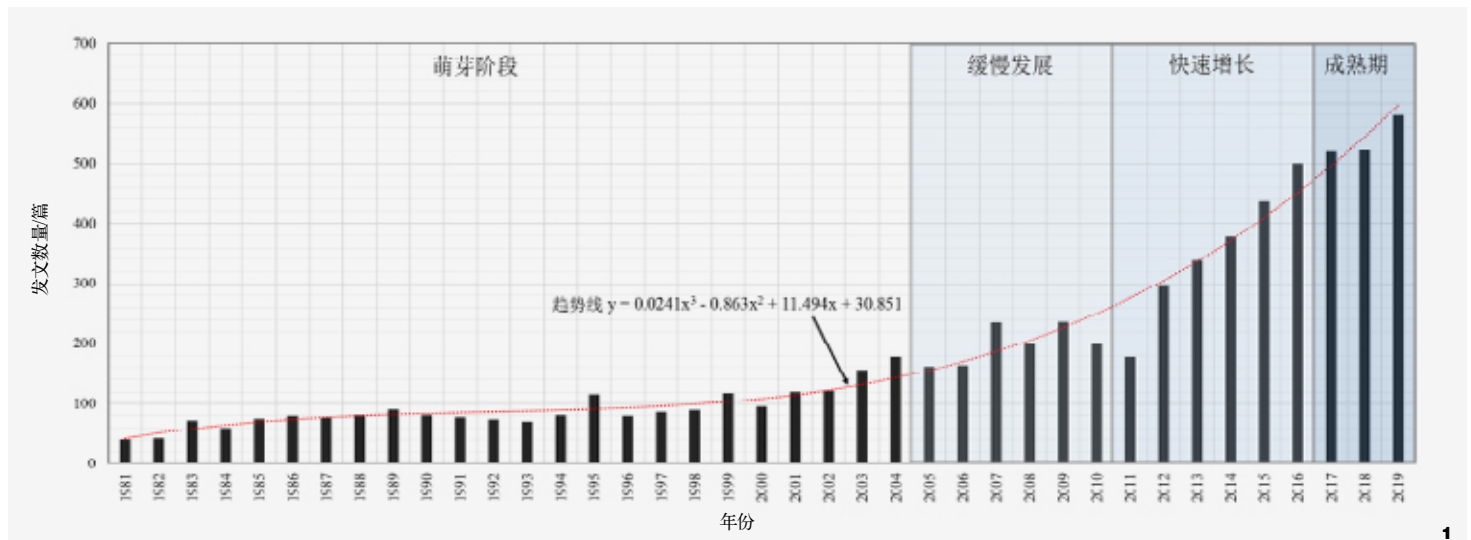


图1 城市户外微气候研究历年文献数
Fig. 1 Number of documents on urban outdoor microclimate research over the years

空气湿度、风速、日照辐射等因子，对现代城市环境具有重要意义。在提升人居环境舒适方面，城市户外环境的温度与人的健康息息相关，影响着人体舒适度的主观感受；从生态节能方面，研究微气候，提高场地适应性，应对气候变化的不确定性^[3]能达到提升热舒适度并降低城市能耗的目的。

文章基于文献计量统计与内容分析，对当前国内城市户外微气候的众多研究文献进行梳理。文献计量统计部分采用CiteSpace III软件系统地梳理相关研究文献的来源概况、研究历程、研究主题热点。内容分析采用文献综述法对当前国内城市户外微气候的众多研究文献进行梳理，阐明当前研究的方法与原理、重点研究方向等，并指出当前研究现状及存在问题，以期能对国内相关研究工作提供参考。

1 城市户外微气候相关研究概述

1.1 研究文献来源

本研究以《中国期刊网全文数据库》

《维普中文科技期刊数据库》《万方数据库资源系统数字化期刊》为统计源，文献检索的主题、篇名、关键词与摘要均为“微气候”，4者关系为“或者”，检索时间起始自1981年1月1日，截至2019年9月30日，不分期刊级别进行全源检索，共命中6 756条结果，筛选出与城市户外环境有关的文献共计670篇文献，作为有效样本进行分析。

1.2 研究历程

从研究文献历年数量、增长趋势来看，城市户外微气候研究可以分为4个阶段：萌芽阶段、缓慢发展阶段、快速增长阶段与成熟发展阶段（图1），且研究数量激增的年份与所处的时代背景与政策环境有着明显的关联性。

萌芽阶段（2004年及以前）：国内城市户外微气候研究起源于环境科学、城市规划和建筑设计等领域专家的研究。这一时期研究文献发文数量少，发文频次呈现缓慢增长的态势。学者们关注的内容大都集中在微气

候舒适度评价、验证城市绿地对微气候的调节作用。研究方法多是建立在户外热舒适评价的数学模型、绿地对微气候影响的实试验证。1994年《联合国气候变化框架公约》的签署，是第一次将气候变化目标作为发展的要求，同年中国颁布的《中国二十一世纪议程》提出适应气候变化的概念，该年国际和国内政策的发布对于1995年城市微气候研究数量有着显著提升作用。

缓慢发展阶段（2005-2010年）：这一阶段发文频次呈现波动式缓慢增长的态势，每年发文数量在185篇附近波动。相关研究内容主要以户外景观元素对微气候的影响，及微气候与城市设计的关联性研究为主。2007年，中国政府发布了《中国应对气候变化国家方案》，这是中国第一部也是发展中国家的第一部针对气候变化所出台的方案，使得该年国内对城市户外微气候研究的数量激增，达到了前后数年内的峰值。

快速增长阶段（2011-2016年）：这一阶段的文献数量呈现快速增长的态势。从研究

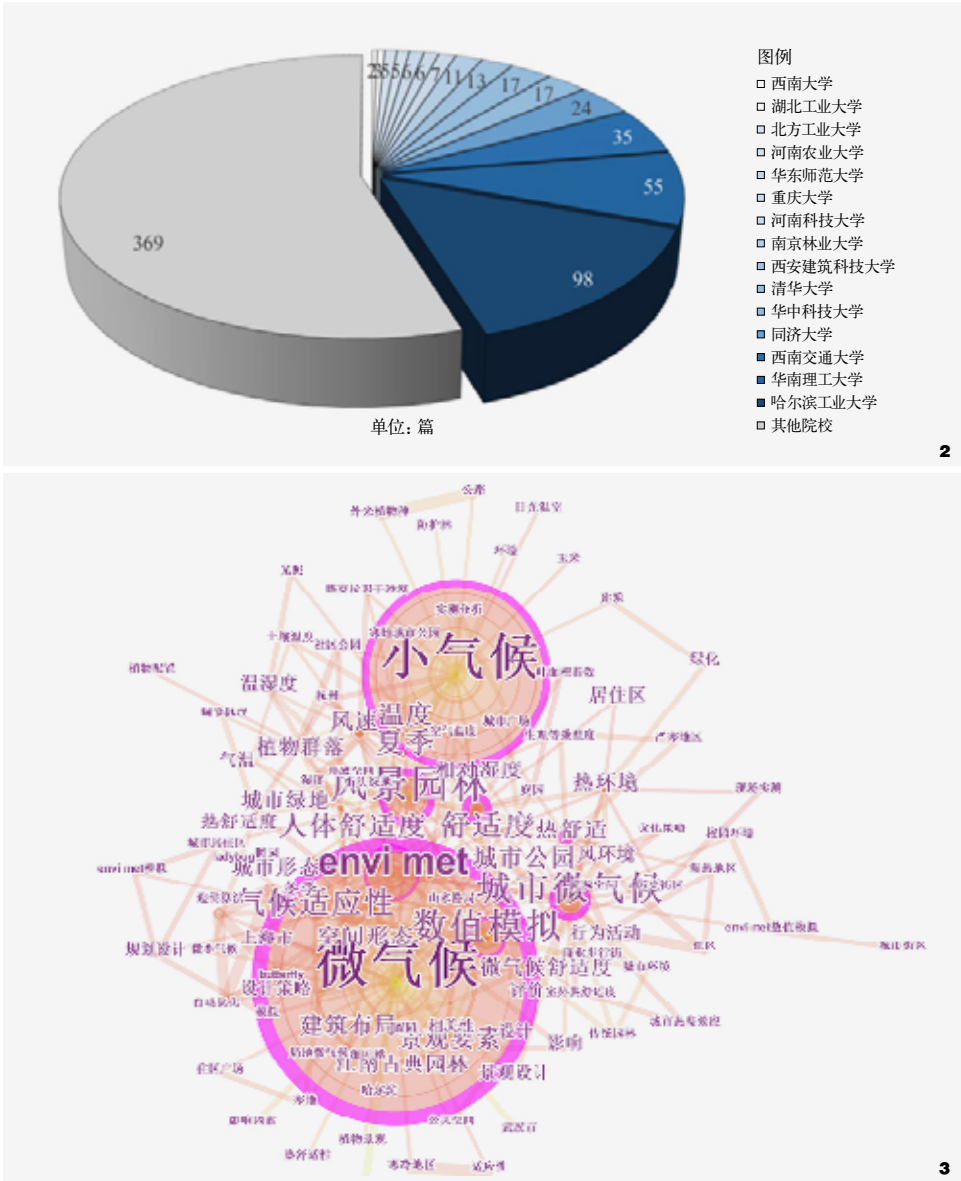


图2 研究文献发文空间概况
Fig. 2 Overview of research literature publication space

图3 文献研究前沿主题与趋势关系图谱
Fig. 3 Graph of the relationship between frontier topics and trends in literature research

内容来看, 学者们的关注点在微气候调节规划、景观设计策略、环境要素对微气候物理因子的影响, 以及探索微气候适应性策略。期间, 国家连续6年发布了关于应对全球气候变化的文件, 例如2013年的《国家适应气候变化战略》和2014年的《国家应对气候变化变

化规划(2014-2020)》等, 使得相关研究在这个阶段达到快速增长, 且更注重将研究结论应用于实际, 探索具体应对策略。

成熟发展阶段(2017-2019年): 从发文频次时间分布看, 2017年以后学者们对城市户外微气候的研究较为成熟, 发文频次趋于

高频稳定状态, 每年发文文献数大于500篇。研究内容多从空气污染物、景观元素、环境因子等多元角度出发, 重点分析不同因素的优化对改善微气候环境的作用。从微气候的研究历程可以看出, 这一时期城市更新与人们日益增长的城市户外环境改善需求是微气候研究发展的主推动力。

1.3 研究空间概况

以第一作者为统计源, 文献作者单位出现频次较多的有哈尔滨工业大学、华南理工大学、西南交通大学、同济大学、清华大学等。分析哈尔滨工业大学的相关论文, 其研究对象集中在严寒地区的微气候适应性, 华南理工大学则较多关注湿热地区及岭南传统园林中的微气候(图2)。从作者单位所在行政区空间分布来看, 发文次数为黑龙江最多, 广东省、四川省与上海市其次; 北京市、湖北省、陕西省、江苏省则较少。研究力量在地域上形成了以黑龙江省、广东省、四川省、上海市为主力, 北京市、湖北省、陕西省、江苏省为助力的格局。以建筑气候区的视角来分析其原因, 研究空间以中国北部严寒地区和南部夏热冬暖地区为主, 这两个典型的气候区在冬季和夏季的热环境和舒适度欠佳, 研究分别注重冬季抗寒保温和夏季通风降温问题。

1.4 研究主题热点

采用CiteSpace III 软件, 使用关键路径 Pathfinder 算法, 绘制出670篇有效文献的主题与趋势关系及文献共词演化图谱。分析前沿主题与趋势关系图谱(图3), 城市户外微气候研究的主题聚集在数值模拟、气候适应性、舒适度、夏季、温度、景观要素、城市公园、风速、建筑布局、空间形态、热舒适、城市绿地、植物群落、江南古典园林和居住

表2 针对不同空间类型的主要研究及结论
Tab. 2 Main research and conclusions for different spatial types

空间类型 Different spatial types	主要研究内容 Research contents	主要共识结论 Main consensus conclusions
城市公园	人群活动、植物结构、植物特征	1.活动人次与太阳辐射、温度呈显著正相关，与风速呈负相关；2.不同植物群落结构降低温度的效应不同；3.植物郁闭度较高可以减少光照、降低气温、增加空气湿度
城市广场	太阳辐射、广场形态、基础设施、人群活动	1.太阳辐射是影响广场热环境的基础；2.周边建筑界面引起的朝向、高宽比(H/W)、天空视觉因子(SVF)等形态因子显著影响；3.广场空间极大地承载人群活动，需动态设计遮阳设施，夏遮阳、冬透光
步行街道	下垫面、空间形态、植物结构	1.街道硬质空间较多，不同下垫面的微气候效果不同；2.不同高度建筑的组合形式是重要影响因素，影响街道的H/W和SVF；3.乔灌木结构对气候有改善作用，高大绿化树种温湿度调控能力最强
居住区空间	空间围合、植物配置、下垫面	1.居住区建筑层高往往较高，周边建筑引起的空间围合、朝向、高宽比影响显著；2.植物的配置引导或阻碍风的运行，不同下垫面的微气候效果不同；3.下垫面材料的蓄热性、比热容、颜色不同对微气候的影响也不同
高校校园	人群活动、植物配置、空间围合度	1.校园内各季节绿地结构影响人体舒适度，不同年龄段对温度感知有差异，青年人热适应性较好；2.建筑物、高大植物对风有一定阻碍作用，周边建筑空间围合程度越高，对风速阻碍越强；3.遮挡太阳辐射主要影响空气温度
古典园林	地势高低、水体布置、植物配置、建筑形式	1.古典园林多作假山，高地势处风速高，风通过时，遮挡较少；2.水体反射率较陆地高，且热容量较大，对气候有改善作用；3.植物的配置引导或阻碍风的运行；4.古典建筑中许多形式通透的空间中风速也更高

为的分析。相比较街道、广场等其他城市户外空间，研究者普遍认同的是公园内的植物要素具有减少太阳辐射、降温增湿的调节作用^[4-5]，因此对公园微气候的研究较多着眼于对植被、绿化对微气候的优化作用^[6-7]。此外，在有关人体舒适度感受与人群行为的研究报告中，热舒适环境的提升能够有效提高人们休闲活动的体感舒适度，温度因子对人体舒适感受影响最大，其次是相对湿度和风速^[8]。

3.2 城市广场

涉及城市广场的研究集中在微气候影响因素、舒适度指标、广场空间形态问题的探讨中。广场相比较别的城市户外空间植被覆盖更少，更加空旷，学者们都认为广场朝向、广场高宽比(H/W)、天空视觉因子(SVF)对广场微气候环境影响显著^[9-10]。刘伟毅^[11]认为夏热冬冷地区城市广场普遍存在广场布置

对周围建筑界面缺乏日照分析、铺装导热系数较高等问题影响广场的微气候效应，并提出应对策略。

3.3 步行街道

街道朝向、街谷高宽比、断面形式、天空可视域、植被分布、铺装是影响街道热环境及行人热舒适的重要因子。邓寄豫^[12]认为SVF对室外气温起主要的影响作用。胡悦华^[13]研究表明，建筑围合形式及其街旁建筑高度与街道宽度比值、植被阴影覆盖对空间平均辐射温度影响较大。由于街道中两侧建筑相对固定，因此有大量研究针对行道树展开研究，利用行道树控制SVF，探索具有更好微气候效应的种植模式^[14-15]。

3.4 居住区

绿色植被、建筑布局形式对微气候效应的影响是居住区微气候研究领域的主要内

容。住区环境是与城市居民生活最息息相关的公共空间。针对植被因素，研究者认为居住区绿地的温湿度调控能力主要来自乔木^[16-17]。建筑对住区微气候的营造尤为重要，在建筑布局层面，研究学者认为建筑形式、建筑布局、建筑密度、建筑宽高比、建筑朝向、天空视图因子是影响居住区微气候的重要因素^[6,18-20]。邬尚霖等^[21]认为优化建筑界面形态能够提高街谷风环境；陈珂珂等^[22]探讨了不同绿化和建筑布局对居住区内部气温与风速的影响。

3.5 高校校园

在高校校园领域，微气候研究主要关注绿化设施对微气候的调节和人体热舒适的研究，学者们从微气候改善策略出发，提出相关理论。高校校园和居住区的小尺度绿地具有一定相似性，都受到建筑围合形态的影响较大，但校园环境比住区承载更多人流，

在微气候环境改善方面要考虑人流、通行等问题^[23]。

3.6 古典园林

古典园林的空间形态、建筑形式、水系特征、植物配置、场地地势与微气候的关联性是学术界关注的重点。探究古典园林中的微气候对于理解古代造园智慧与启示现代公园设计有重要意义。李庆华等^[24]重点分析了园林中植物景观在种植方式、生长方式及精神立意上营造微气候的方式；张顺德^[25]研究了造园要素与微气候的调控关系；薛思寒等^[26]量化研究传统岭南庭园的气候适应性特征，提取4个具有代表性的类型化庭园空间，从郁闭度、水面积比例、景观建筑方位、乔木组织方式、围合建筑开口位置、庭院空间比例等方面较为全面地分析了传统岭南庭园空间的气候适应性特征，熊瑶等^[27]归纳了各要素密度、布局形式、要素组合方式对古典园林微气候的影响。

4 小结

从时间进程来看，国内城市户外微气候研究呈快速增长态势，相关研究已经初显丰富。从研究内容来看，以下三个方面的成果相对丰富：(1) 城市风景园林设计要素对城市户外微气候的影响关系总结；(2) 利用数值模拟的数字化技术对微气候热舒适环境进行预测和分析；(3) 从热舒适度的角度探讨城市户外环境的改善提升。

然而，现有研究也存在以下不足之处：(1) 目前公众对微气候设计需求的认知很少；(2) 研究内容并未广泛应用到城市规划设计领域，宏观视角下的整体城市微气候调控；(3) 目前的研究视角多致力于城市，相关研究还没有广泛应用到乡村小气候环境营造和

发展模式之中。

因此，在总结与参考众多研究文献基础之上，本文认为研究领域可在以下问题中重点展开与完善：(1) 如何在微气候实际规划设计中提高公众参与性？(2) 如何拓宽研究视角？(3) 如何将较为成熟的都市研究成果更契合地应用于乡村研究中？

5 研究展望

5.1 以人为核心提升公众认知与行为研究

景观设计原则之一是以人为本，如何提升公众对小气候研究的认知并对其提出设计需求，具有一定研究价值。由于城市户外温度、风速、相对湿度等环境因子复杂多样以及公众个体的风俗习惯、文化背景、衣服热阻值等差异性，人体舒适度评价复杂。完善人体热舒适度评价体系应当拓宽思路和视野：(1) 相关文献研究不仅要关注环境因素的影响，还应进一步探讨小气候舒适度对人的行为的影响；(2) 实验时间可以延长，进一步研究城市微气候在不同月份、季节对人体舒适度的影响；(3) 针对非稳态环境的舒适度的研究。

5.2 以多尺度视角拓展研究的时空范围

国内已有大量文章分析城市不同户外空间的微气候，但是研究内容较少涉及到中尺度的范围，在一定程度上限制了研究视角的多样性和侧重点。今后研究应更充分地挖掘城市规划中的建筑布局、特定高度空间区域、用地类型、通风廊道等因素对于局地微气候的影响。应加强长时间尺度范围的研究，不仅应涉及夏季、冬季等典型或极端气象条件的研究，还应涉及长时间和周期化的微气候研究。综合考虑不同地域、不同气候条件下全年、四季、跨月度等长时间范围的分析，

完善时间序列上的动态性分析^[28]。

5.3 以乡村振兴理念推动乡村微气候的发展

目前国内微气候研究主要针对城市地区，乡村微气候相关学术研究处于起步阶段。由于城乡地域性、物理环境因素的差异性，城镇相关分析与评价研究不能适用于乡村地区，因此乡村微气候的分析是不可或缺的重要环节。微气候的研究今后应和乡村振兴理念相结合，利用乡村景观基因理论^[29]，判别人居环境景观基因图谱与微气候之间的耦合关系，并进行数字化分析，为后续人居环境营建提供科学基础。其次，乡村微气候研究与可现代农业技术相结合，通过研究不同产业、不同类型的农业微气候特征，探究在何种模式和配置下，能够降低能耗、营造适宜的微气候条件，实现乡村可持续产业发展。最后，乡村微气候应与数字景观相结合，顺应信息化、数字化、智能化发展的特征，结合乡村环境大数据，科学营造出舒适的乡村微气候。

注：文中图表均由作者自绘。

参考文献

- [1] RIZWAN A M, DENNIS L Y C, LIU C. A Review on the Generation, Determination and Mitigation of Urban Heat Island[J]. Journal of Environmental Sciences, 2008, 20(1): 120-128.
- [2] GAGO E J, ROLDAN J, PACHECO-TORRES R, et al. The City and Urban Heat Islands: A Review of Strategies to Mitigate Adverse Effects[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2013, 25(07): 749-758.
- [3] WALKER W E. Policy Analysis: A Systematic Approach to Supporting Policymaking in the Public Sector[J]. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, 2000(09): 1-3.
- [4] 赖寒. 湿热地区城市绿地植物群落微气候效应研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.

- [5] 周忠胜, 卫笑, 魏家星, 等. 南京滨江公园绿地冬春季温湿度调节能力研究[J]. 中国城市林业, 2017, 15(04): 16-20.
- [6] 吴云霄, 李华军, 董仕萍, 等. 重庆市公园7种植物群落结构对夏季微气候的改善效果[J]. 西部林业科学, 2007(02): 75-79.
- [7] 晏海. 城市公园绿地小气候环境效应及其影响因子研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.
- [8] 董宁博. 拉萨城市公园休闲空间景观要素对热舒适的影响及优化研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2019.
- [9] 张恒坤. 城市户外公共空间热环境研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2008.
- [10] 葛疆, 蒋明健. 西南地区城市广场热环境特性的分析研究[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2009, 35(03): 576-578.
- [11] 刘伟毅. 夏热冬冷地区城市广场气候适应性设计策略研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.
- [12] 邓寄豫, 郑妍, WONG N H. 街道层峡谷形态对夏季室外气温及热舒适的影响[J]. 浙江大学学报(工学版), 2018, 52(05): 873-885.
- [13] 胡悦华. 基于微气候热舒适的太古里商业街区评价研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2019.
- [14] 魏伟. 不同绿化方式对杭州临安区道路微气候的影响[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2019.
- [15] 任智慧. 基于SVF的哈尔滨典型街谷空间热环境优化模拟研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019.
- [16] 李英汉, 王俊坚, 陈雪, 等. 深圳市居住区绿地植物冠层格局对微气候的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(02): 343-349.
- [17] 岳小智, 尹海伟, 孔繁花, 等. 基于ENVI-met的绿地布局模式对微气候的影响研究——以南京市居住小区为例[J]. 江苏城市规划, 2018(03): 34-40.
- [18] 林满, 王宝民, 刘辉志. 广州典型小区微气候特征观测与数值模拟研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2015, 54(01): 124-129.
- [19] 王燕飞, 王一波, 吕良. 夏热冬冷地区城市住宅区气候适应性规划设计比较研究[J]. 工业建筑, 2018, 48(07): 49-53.
- [20] 李晗, 吴家正, 赵云峰, 等. 建筑布局对住宅区室外微环境的影响研究[J]. 建筑节能, 2016, 44(03): 57-63.
- [21] 郭尚霖, 孙一民. 广州地区街道微气候模拟及改善策略研究[J]. 城市规划学刊, 2016(01): 56-62.
- [22] 陈珂珂, 梁涛, 甘义猛, 等. 建筑和绿化布局对郑州市居住区小气候的影响[J]. 河南农业大学学报, 2016, 50(05): 674-682.
- [23] 吴左宾, 王震. 应对微气候条件下寒地校园空间布局思考——以长春师范大学新校区为例[C]//活力城乡 美好人居——2019中国城市规划年会论文集(07城市设计). 北京: 中国建筑工业出版社, 2019: 8.
- [24] 李庆华. 微气候视角下苏州古典私家园林的植物景观营造[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(02): 272-277.
- [25] 张德顺, 李宾, 王振, 等. 上海豫园夏季晴天小气候实测研究[J]. 中国园林, 2016, 32(01): 18-22.
- [26] 薛思寒, 冯嘉成, 肖毅强. 岭南名园余荫山房庭园空间的热环境模拟分析[J]. 中国园林, 2016, 32(01): 23-27.
- [27] 熊瑶, 张建萍, 严妍. 基于气候适应性的苏州留园景观要素研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2019, 19(09): 1-11.
- [28] WILD J, KOPECKY M, MACEK M, et al. Climate at Ecologically Relevant Scales: A New Temperature and Soil Moisture Logger for Long-term Microclimate Measurement[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2019(268): 40-47.
- [29] LIU Q, PENG P H, WANG Y K, et al. Microclimate Regulation Efficiency of the Rural Homegarden Agroforestry System in the Western Sichuan Plain, China[J]. Journal of Mountain Science, 2019(16): 516-528.