城市公园降温效应的影响因素研究进展*

杨 宣 宫 聪

重庆大学建筑城规学院 重庆 400030

摘要：城市公园降温效应在调节城市气候、应对气候变化和改善人居环境方面具有重要作用。基于 WOS 和 CNKI 数据库中 2011—2024 年文献，筛选出 50 篇相关文献并按照柯本气候分区进行分类整理，在此基础上，结合气候区特征从景观构成面积、斑块形态、空间布局 3 方面形成的指标差异梳理城市公园降温效应影响因素。结果表明，不同气候区的城市公园降温效应影响因素作用效果存在差异：1）景观构成方面，降温效应受公园、绿地、水体和硬质地表的面积等因素影响，不同气候区存在阈值差异，但现有研究缺乏系统性，无法得出普遍适用的结论；2）斑块形状方面，公园形状、绿地形状和水体形状指数对降温效应有不同影响，形状复杂化可增强降温效果，但设计时应结合气候条件与生态需求，合理选择形状指数优化降温效益；3）空间布局方面，公园的绿地聚集度、水体聚集度和硬质地表分布显著影响降温效应，合理的空间布局能优化降温功能，不同气候区应结合当地条件设计，以提高降温效率和生态效益。未来可围绕城市公园降温效应多因素协同机制、降温效应耦合评价体系构建等方面开展进一步研究。

关键词：城市公园；降温效应；景观构成面积；斑块形态；空间布局

DOI：10.12169/zgcsly.2024.07.01.0005

Research Progress in Influencing Factors to Cooling Effect of Urban Parks

Yang Xuan Gong Cong

(School of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: The cooling effect of urban parks plays a crucial role in regulating urban climates, addressing climate change, and improving living environments. Based on literature published from 2011 to 2024 collected in the WOS and CNKI databases, this study selects and categorizes 50 relevant papers according to Köppen climate classification zones, and systematically reviews and concludes the factors influencing the cooling effect of urban parks in terms of landscape composition area, patch morphology, and spatial configuration in combination with the characteristics of climate zones. The results indicate that the influencing factors to urban park's cooling effects vary across different climate zones, including: 1) In terms of landscape composition, cooling effects are influenced by the factors such as the areas of parks, green spaces, water bodies, and impervious surfaces. Thresholds differ across climate zones, but there is no systematic research up to now, making it difficult to draw universally applicable conclusions; 2) Regarding patch shapes, the shape indices of parks, green spaces, and water bodies have varying impacts on the cooling effects. Complex shapes can enhance cooling effects, but designs should consider climate conditions and ecological needs to optimize cooling benefits with reasonably selected shape indexes; and 3) In terms of spatial layout, aggregation of green spaces, concentration of water bodies, and distribution

收稿日期：2024-07-01

* 基金项目：国家自然科学基金（52478006）；国家自然科学基金（51908078）；重庆市研究生科研创新项目（CYS23103）

第一作者：杨宣（1998- ），女，硕士生，研究方向为建筑设计及其理论、生态城市公共空间研究。E-mail：yangxuan989@163.com

通信作者：宫聪（1989- ），男，博士，副教授，研究方向为建筑设计及其理论、生态城市公共空间研究。E-mail：gongcong89@cqu.edu.cn

of impervious surfaces significantly impact the cooling effects. A well-designed spatial layout can optimize cooling performance. Urban park planning in different climate zones should incorporate local conditions to enhance cooling efficiency and ecological benefits. Future studies may explore the synergistic mechanisms of multiple factors to the cooling effect of urban parks and construct evaluation systems for coupling cooling effects.

Keywords: urban park; cooling effect; landscape composition area; patch morphology; spatial layout

快速城市化导致热浪频发，危及生态系统健康[1]；高度城市化及其对人为热量的影响导致城市下垫面发生变化[2]，人类健康问题受到损害[3]。目前，世界各国研究人员都在探索解决城市热岛效应的途径与办法。研究证明，城市公园作为基于自然的解决办法可以有效缓解城市热岛效应和提高居民的热舒适[4-5]。

目前，城市公园降温效应的关键影响因素存在诸多不确定性。有研究证明，当地气候对公园降温效应有显著影响，但不同当地气候下公园降温效应的主导因素和效率阈值（TVoE）仍不确定[6]。公园的降温性能可能受到地理、气候、城市发展、天气、采样、方法、斑块形状指数、空间要素和植被等多因素的综合影响[7]。城市公园降温效应研究主要涉及气象学、环境科学与资源利用、建筑科学与工程、自然地理学和测绘学等领域。

本文从景观构成、斑块形态、空间布局 3 方面选取相应指标归纳城市公园降温效应影响因素，并对研究数据、模型、方法、内容和结论进行时间上的整合与梳理。首先，按照景观格局视角分类，梳理在 Web of Science 核心数据库和 CNKI 数据库中 2011—2024 年城市公园影响因素的实证研究结论；其次，不同气候区内各城市公园的降温效应存在明显差异（同时受天气、植被等因素影响），再基于柯本气候分类（Köppen climate classification）（表 1）系统梳理不同气候区影响因素研究结论的异同。最后，提出相应的城市公园规划设计建议。

表 1　柯本气候分类标准

气候区	气温指标	降水指标
A(热带气候)	一年内每月均温都在 18 ℃ 及以上	—
B(干燥气候)	—	全年降水量(mm)小于干燥指标值
C(亚热带气候)	一年内最冷月份均温在 0 ℃ 及以上且在 18 ℃ 以下,最热月份均温在 10 ℃ 及以上	全年降水量(mm)不小于干燥指标值
D(温带、亚寒带气候)	一年内最冷月份均温在 0 ℃ 以下,最热月份均温在 10 ℃ 及以上	全年降水量(mm)不小于干燥指标值
E(极地气候)	一年内每月均温都在 10 ℃ 以下	—

注:热带气候降水指标:四种小类气候各有降水量指标,本文按气候大类总结结论,故此处省去小类指标;干燥指标值算法:1)如果该地的夏半年降水量占全年总降水量的 70%及以上,则干燥指标值=本地全年均温(℃)×20+280;2)如果该地的夏半年降水量占全年总降水量的 30%及以上且在 70%以下,则干燥指标值=本地全年均温(℃)×20+140;3)如果该地的夏半年降水量占全年总降水量的 30%以下,则干燥指标值=本地全年均温(℃)×20。

1　景观构成面积差异形成的公园降温效应影响因素

考究中英文文献被引数、时效性等综合因素，最终确定代表城市公园影响因素中景观构成面积研究的文献 37 篇，并对研究内容、研究对象和影响因素阈值等进行系统分析。将文献中的研究对象按照柯本气候区分区排列，根据气候区和公园类型进一步综合总结(表 2)。其中，阈值是指在公园规划设计时，若城市用地有限且欲增强降温效应，公园、绿地、水体和不透水的面积或覆盖率的最佳值或最佳范围。

1.1　公园面积

研究证明，公园面积是城市公园降温效应的重要影响因素，且不同气候区的公园面积阈值有明显差别。相反，也有研究得到公园面积和周长对于内部和周边温度的影响较小，不存在显著的相关关系的结论[36]。大多数研究集中在单个公园的面积与降温效应的相关性和阈值确定上，对于更大尺度的研究，在高度密集的城市环境中，创建大型城市公

表 2 景观构成面积影响因素

气候区	公园面积	绿地覆盖率及相近因素	水体覆盖率及相近因素	不透水铺地
A	—	植被覆盖度与地表温度之间具有较显著的负相关性[8-10]	—	人工表面和绿地对地表温度空间分异有主导作用[11]
B	与城市公园降温效果存在正相关性[12]	绿地对公园的降温强度有较大影响[13]	与城市公园降温效果存在正相关性[14]	与城市公园降温效果存在负相关性[14]
C	与城市公园降温效果存在正相关性[15-16]，是 PCI 最重要的因素[17]	与城市公园降温效果存在正相关性[18-19]；灌木覆盖、树木覆盖是控制温度和相对湿度的重要参数[20]；树林和混合绿地的降温效果明显好于草坪和裸地[21]；植被面积增加 10%，地表温度降低约 0.83 ℃[22]；降温距离随着绿地、树冠和草地面积的增加而线性增加[23]	与公园内部地表温度呈显著相关关系[24-25]；水体覆盖率从 0 到 10% 时，影响程度比从 10% 到 30%时显著，大于 30%时，程度不再明显[26]；水体降温能力(10.5 ℃)远大于植被的冷岛强度(4.8 ℃)，流动河渠的冷岛强度要明显高于静止的湖泊[27]	与城市公园降温效果存在负相关性[28]，平均地表温度和不透水表面积百分比之间存在很强正相关性[23]
D	与公园的降温范围呈对数正相关[29]，在调节公园邻近地区夜间局部尺度气候中起主导作用[30]	丰富绿地内部空间结构，增大三维绿量有益降温效应[31]；绿地面积越大、形状越简单，降温作用越好[32]；当 S 绿地斑块为 0.055 km^2 时，降温效率较好，当 S 绿地斑块在 0.070 km^2 时，面积效率较好[33]	与城市公园降温效果存在正相关性[34]；水体形态越规则，降温幅度越大[35]	与公园降温速率呈明显的负相关[30]

注：PCI，即公园冷岛（Park Cooling Island）；柯本气候分区中的 E（极地气候）因无城市公园降温效应相关研究，因此不在本文的表中统计。

园可能不是缓解城市热量的可行选择，合理分布小型城市公园可能是解决方案[37]。考虑到公园城市降温的局部性质，通过规则的、小型的和相连的绿地（例如通过绿树成荫的街道连接）进行分布式城市绿化可能是比大型孤立公园更有效的散热解决方案。在所有气候区中，位于 C 区的涉及公园面积的研究最多，除去个别研究样本（郑州 0.83 hm^2[38]），公园面积阈值大多集中在30 hm^2左右，其中，社区公园的面积阈值小于 1 hm^2[37]。

1.2 公园内绿地覆盖率

城市蓝绿基础设施降温效应研究中公园内绿地覆盖率影响因素研究较多。公园绿地降温效应取决于公园绿地面积[39]。目前，已有综述确定了 167 项研究，覆盖了 27 个国家的 90 个城市，属于 16 个柯本气候区，得到绿地是缓解城市过热的有效措施的结论。在所有气候区中，位于 C 区的涉及公园绿地面积的研究最多，但绿地面积阈值的相关研究较少，并且各研究的结论阈值差异较大，这可能归因于景观配置和构型的联合效应差异。由此可见，单纯控制绿地面积或绿地覆盖率未必能显著提升公园降温效益。进一步研究绿地覆盖率，优化绿地配置可能是比增加绿地覆盖率更实用的手段[40]，特别是在高度城市化地区，空间有限，无法增加绿地覆盖率。总之，根据各气候区的结论可以总结出绿地覆盖率是城市公园降温效应的重要因素。

1.3 公园内水体覆盖率

水体覆盖率也是公园降温效应的重要影响因素之一。水体的降温效果主要受其固有属性、蒸散比率和周边环境的影响。研究表明，水体的降温强度和降温效率与水体面积呈正相关[35]，其中面状水域景观的热环境效应强于线状河流景观，且对热环境的影响随着与热岛中心距离的增加而显著减弱[41]。相较于绿地覆盖率，水体覆盖率对降温效应的影响更大、更为显著。已有研究探讨其物理原因是水体具有较高的反射率和比热容，因此在夏季水体能够有效降温增湿，而在冬季则可以提升环境温度。在所有气候区中，位于 C 区的涉及公园水体面积的研究最多。公园水体覆盖率阈值都处于 30%以下，10%左右以上[26,42]。而不同气候区的水体覆盖率阈值研究出现差异，这可能是由于气候区与公园共同复合的降温增湿趋势不同。

1.4 公园内硬质地表及建筑覆盖率

公园内硬质地表及建筑覆盖率与公园降温效应呈负相关，是城市公园降温效应的影响因素之一。不透水面对气候的调节主要体现在对温度和湿度的影响。一方面，不透水面通过吸收和反射太阳辐射来影响空气温度，下垫面与空气之间的热量交换是不透水面影响热环境的主要机制；此

外，由于不透水面的铺装材质和颜色不同，其比热容以及对太阳辐射的吸收和反射率也有差异。另一方面，不同铺装材料的透水性和吸水性差异导致其保蓄水能力不同，从而对空气湿度产生不同程度的影响[43]。在所有气候区中，有关不透水面的阈值研究并不多，但是结论都得出公园面积里的不透水面的比例不适宜超过 50%，否则会降低公园的降温效应[44-45]。

总之，A、B 区大多数城市对降温的需求日益增大，城市公园的降温效应逐渐受到关注。然而，目前关于城市公园降温效应影响因素的研究相对较少，缺乏系统性和深入性，导致无法总结出普遍适用的阈值结论。在已有的景观构成面积差异形成的公园降温效应影响因素研究中，公园面积阈值作为影响降温效应的关键因素一直是研究热点。

2　斑块形状指数差异形成的公园降温效应影响因素

通过筛选，最终确定代表城市公园影响因素中斑块形状指数研究的文献 12 篇，并对研究内容、研究对象和影响因素阈值等进行解读（表 3），分析更侧重探究其形成原因。

表 3　斑块形状指数影响因素

气候区	公园形状指数	绿地形状指数	水体形状指数
A	与公园内部温度正相关[36]	与公园内部温度正相关[9]	—
B	—	—	水体形状在一定程度上趋向复杂，有助于提高 PCI 效应[13]
C	社区公园形状趋于圆形或正方形时，降温效果显著[37]；与降温效应负相关[46]	绿地的降温范围主要受绿地面积和外部环境因子的影响[18]；当公园面积小于 32 hm^2 时，公园内的绿地形状指数主要集中在 1~4 时有助于提高 PCI 效应[26]；公园内增加水体、绿地斑块形状复杂度和不透水面分离度可有效降低公园内部温度[28]	几何形状是影响 WCI 效应的重要影响因素[47]；当公园面积小于 32 hm^2 时，公园内的水体形状指数主要集中在 1~3 [26]
D	—	绿地斑块形状越复杂，公园内部温度越低，影响范围越远[32]	—

注：WCI，即水体冷岛（Water Cooling Island）。

2.1　公园形状指数

不同形态参数的公园对其周边区域的热环境影响不同[36]。不同气候区中，公园形状指数对降温效应的影响多样化，相关研究结论和定量分析结果在基本一致的基础上也呈现出差异性。在大多数气候区，公园形状指数通常与其降温效应负相关[46]，这主要是因为形状越复杂，公园与外环境之间的热交换就越好，从而不利于公园内部降温，导致降温效果变差。B 区由于水分稀缺，公园的降温效应更多地依赖于植被覆盖和水分管理，因此，形状指数对降温效应的影响相对较小，相关研究也较少。此外，C 区公园的形状指数与其生态环境功能的关系则更为复杂，该地区的城市公园不仅需要考虑降温效应，还需兼顾四季变化的生态需求，因此公园形状需要更加精细设计。

2.2　绿地形状指数

合理设计绿地形状能在一定程度上改善公园的热环境。A 区由于降水充足，植被生长旺盛，公园绿地形状通常较为多样。复杂形状的绿地能够增加地表的异质性，可提高降温、保湿等生态效应[48]。B 区由于水资源稀缺，植被生长受限，公园的绿地形状指数可能相对较低，但合理设计绿地形状仍能在一定程度上改善公园的微气候环境，例如通过设计连续的绿地廊道或带状绿地，可以有效引导风流，降低局部温度；此外，适当引入水体或湿地等要素并与绿地结合，可以形成更加有效的降温体系[35]。C 区公园的绿地形状指数需要综合考虑四季变化和生态环境需求：在春夏季节，可以通过增加绿地形状的复杂性来提升降温和保湿效果；而在秋冬季节，则需要注重绿地的保温功能，避免绿地形状过于开放导致热量散失过快。

2.3　水体形状指数

各气候区被基本认同水体形状在一定程度上趋向复杂时有助于提高公园降温效应。复杂的水体形状有助于增加水面与周围环境的接触距离，水分的蒸发和散热可以有效调节公园内部的温度和湿度[47]。总之，不同气候区的水体形状指数对其降温效应的影响存在些微差异，但大致相同。因此在进行城市公园规划和设计时，需要充分考虑当地的气候条件和生态环境需求，选择合适的

形状指数和设计方案，以最大限度地发挥公园的生态服务价值。

综上，斑块形状的复杂化在一定程度上能够提高公园降温效应。冯悦怡等[49]证实了这一结论，指出随着斑块形状复杂化，其内部物质能量与周围环境的热量交换变得更加剧烈，从而有助于增强斑块的降温效应。陈力行等[26]通过对斑块形态指标与冷岛效应指标的 Pearson 相关性分析发现，公园形状指数与冷岛效应指标之间无显著相关性，这一结论与韩贵锋和蔡智[50]的研究结果存在一定差异，这可能是由于研究中对公园进行了合并处理，进而对结论产生了一定影响。

3 空间布局差异形成的公园降温效应影响因素

通过筛选，最终确定代表城市公园影响因素中空间布局研究的文献 11 篇，并对研究内容、研究对象和影响因素阈值等进行解读（表 4）。

表 4 空间布局影响因素

气候区	绿地聚集度	水体聚集度	硬质地表分布
A	绿地斑块布局分散化可以改善公园内部及周围环境的热环境[9,15]	—	布局越分散，对周边的影响范围及降温幅度越大[10]
B		景观破碎化程度越小，分布越集中，降温效应越好[7]	
C	随着绿地聚集度的增大，降温幅度、降温效率增大，降温范围、最大降温幅度减小[26]；绿地聚集度在 0.2~0.3 降温效应最好[26]	随着水体聚集度的增大，降温幅度增大，降温范围先增大后减小[47]；水体聚集度在 0.5 左右，对周围环境的降温效应最显著[26]	—
D	公园林地布局越分散，内部温度越低，影响范围越大[49]	—	硬质地表分布与降温幅度、降温范围、最大降温幅度均显著相关[30]

3.1 绿地聚集度

绿地斑块布局的分散化有助于增强绿地对公园内部及其周围环境的改善，但分散化布局会降低公园自身的降温效率[26]。因此，综合考虑公园的降温效应和自身的降温效率，对于小面积公园内的绿地布局，建议采用以大斑块为主、小斑块为补充、分散化的形式。A 区公园的绿地聚集度通常较高，有助于形成连续的绿地网络，增强降温、保湿等生态功能。高聚集度的绿地能够更有效地吸收和储存雨水，减少地表径流，同时也有利于植被的生长和生物多样性的维护[51]。B 区由于水分资源的稀缺，绿地聚集度对公园降温效应的影响可能不如 A 区显著；C 区的绿地聚集度与降温效应成正相关[26]。

3.2 水体聚集度

由于气候条件的显著差异，不同气候区的水体在空间上的集中程度或分散程度也会有所不同。C 区降水丰富且分布均匀，地表水和地下水资源充足，湖泊、河流等水体广泛分布，而 B 区降水稀少且分布不均，地表水和地下水资源有限，水体往往以孤立的湖泊、河流和绿洲形式存在。B 区研究表明，水体景观的面积越大，景观的破碎程度越小，分布越集中，形状越复杂，其平均地表温度越低，对缓解城市热岛效应的效果越显著[7]。C 区相关研究中，公园的水体聚集度需要综合考虑其与公园面积的关系，在不同的公园面积区间，降温范围随着水体聚集度增大有所差异[26]。

3.3 硬质地表分布

过多的硬质地表可能导致地表温度升高。A 区公园的硬质地表通常较为分散，更多地与绿地和水体相结合，此类布局有助于维持公园内的湿度，减少硬质地表对雨水径流的影响，促进雨水的自然渗透和地下水补给；同时，分散的硬质地表也为游客提供了多样化的活动空间，增强了公园的景观多样性和功能性。B 区由于水资源稀缺和生态脆弱性，公园的硬质地表分布需要更加精细，减少硬质地表的面积和集中布置就是一种常规策略，以降低地表温度、减少水分蒸发和提高节水效率。因此，通过优化硬质地表的面积、布局和材料选择，可以最大程度地降低其对微气候的负面影响，提升公园的降温效应和游客体验。

综上，空间布局差异对公园降温效应具有显著影响。在公园规划和设计中，应充分考虑绿地聚集度、水体聚集度和硬质地表分布等因素，通过合理的空间布局和景观设计，优化公园的降温

效应。同时，不同气候区的公园规划应结合当地气候特点和生态环境需求，制定针对性的空间布局策略，以最大限度地发挥公园的降温功能。

4　展望

本文综述了不同气候区的绿地指标、水体指标和硬质地表指标对城市公园降温效应的影响。作为典型的城市气候变化应对的基于自然解决方案，城市公园已经被认为是城市环境、社会和经济可持续发展中不可或缺的多尺度生态框架的重要组成部分。未来城市公园降温效应影响因素研究可从以下几方面继续深化：1）气候区的异同。基于气候区特征，衔接多个城市的城市公园降温效应研究，筛选关键的影响因素，指导城市公园规划设计；2）多因素复合阈值与权重研究。实际情况中，城市公园降温效应受多因素共同交叉影响，单一的影响因素研究很难直接嵌入城市公园的规划设计指导中，应提供考虑多因子的综合指标体系，为城市公园在降温效应方向的规划设计提供指标参考；3）基础理论研究。探讨不同影响因素与降温效应的关联机理，为探索复杂的多因素关联研究提供基础。

参考文献

[1] FANG X N, LI J W, MA Q. Integrating green infrastructure, ecosystem services and nature-based solutions for urban sustainability: a comprehensive literature review [J]. Sustainable Cities and Society, 2023, 98: 104843.

[2] CHAPMAN S, WATSON J E M, SALAZAR A, et al. The impact of urbanization and climate change on urban temperatures: a systematic review [J]. Landscape Ecology, 2017, 32(10): 1921-1935.

[3] 聂敬娣，张俊华，黄波. 城市热岛效应对人体健康影响研究综述[J]. 生态科学，2021，40(1)：200-208.

[4] NORTON B A, COUTTS A M, LIVESLEY S J, et al. Planning for cooler cities: a framework toprioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes [J]. Landscape and Urban Planning, 2015, 134: 127-138.

[5] WEI D, YANG L C, BAO Z K, et al. Variations in outdoor thermal comfort in an urban park in the hot-summer and cold-winter region of China [J]. Sustainable Cities and Society, 2022, 77: 103535.

[6] GENG X L, YU Z W, ZHANG D, et al. The influence of local background climate on the dominant factors and threshold-size of the cooling effect of urban parks [J]. Science of the Total Environment, 2022, 823: 153806.

[7] LIU H, HUANG B Z, CHENG X, et al. Sensing-based park cooling performance observation and assessment: a review [J]. Building and Environment, 2023, 245: 110915.

[8] ARAM F, SOLGI E, HIGUERAS GARCÍA E, et al. The cooling effect of large-scale urban parks on surrounding area thermal comfort [J]. Energies, 2019, 12(20): 3904.

[9] 王刚，张秋平，肖荣波，等. 城市绿地对热岛效应的调控功能研究：以广州为例[J]. 生态科学，2017，36(1)：170-176.

[10] ESTOQUE R C, MURAYAMA Y, MYINT S W. Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: an urban heat island study in the megacities of Southeast Asia [J]. Science of the Total Environment, 2017, 577: 349-359.

[11] PENG J, JIA J L, LIU Y X, et al. Seasonal contrast of the dominant factors for spatial distribution of land surface temperature in urban areas [J]. Remote Sensing of Environment, 2018, 215: 255-267.

[12] IBRAHIM M. Mitigation strategies of the urban heat island over Greater Cairo Metropolitan Area, Egypt utilizing ENVI-met model [J]. Catrina: the International Journal of Environmental Sciences, 2021, 24(1): 35-47.

[13] DECLET-BARRETO J, BRAZEL A J, MARTIN C A, et al. Creating the park cool island in an inner-city neighborhood: heat mitigation strategy for phoenix, AZ [J]. Urban Ecosystems, 2013, 16(3): 617-635.

[14] 张俊艳，林高山，王华静，等. 城市公园降温效应的季节性差异研究：以石家庄市为例[J]. 西北林学院学报，2019，34(1)：247-253.

[15] LEE H, YI C, KIM K R, et al. Improvement of vegetation cooling effects in BioCAS for better estimation of daily maximum temperature during heat waves-in case of the Seoul Metropolitan Area [J]. Atmosphere, 2019, 29: 131-147.

[16] MAY S, OLIPHANT A J. Characteristics of the park cool island in golden gate park, SanFrancisco [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2023, 151(3): 1269-1282.

[17] LIU Z H, FU L Z, WU C F, et al. Spatialized importance of key factors affecting park cooling intensity based on the park scale [J]. Sustainable Cities and Society, 2023, 99: 104952.

[18] 钟秀惠，金荷仙，李胜，等. 杭州公园绿地冷岛效应及其主要影响因素[J]. 中国园林，2022，38(9)：75-80.

[19] MCCARTY D, LEE J, KIM H W. Machine learning simulation of land cover impact on surface urban heat island surrounding park areas [J]. Sustainability, 2021, 13(22): 12678.

[20] CHEUNG P K, JIM C Y, SIU C T. Effects of urban park design features on summer air temperature and humidity in compact-city milieu [J]. Applied Geography, 2021, 129: 102439.

[21] 陈旭，李霖，王江. 城市绿地对热岛效应的缓解作用研究：以

台州市为例[J].生态环境学报,2015,24(4):643-649.

[22]KONG F,YIN H,JAMES P,et al.Effects of spatial pattern of greenspace on urban cooling in a large metropolitan area of eastern China[J].Landscape & Urban Planning,2014,128:35-47.

[23]VAZ MONTEIRO M,DOICK K J,HANDLEY P,et al.The impact of greenspace size on the extent of local nocturnal air temperature cooling in London[J].Urban Forestry & Urban Greening,2016,16:160-169.

[24]PENG J,LIU Q Y,XU Z H,et al.How to effectively mitigate urban heat island effect? A perspective of waterbody patch size threshold[J].Landscape and Urban Planning,2020,202:103873.

[25]WAN J K,LIU Y,YONG B,et al.Temporal and spatial effects of large airport construction and operation on the local thermal environment[J].Environmental Science and Pollution Research International,2023,30(5):13788-13800.

[26]陈力行,邓雅丽,张樱子,等.成都市城市公园景观特征的"冷岛效应"研究[J].中国园林,2023,39(5):132-138.

[27]杨朝斌,张亭,胡长涛,等.蓝绿空间冷岛效应时空变化及其影响因素:以苏州市为例[J].长江流域资源与环境,2021,30(3):677-688.

[28]TALEGHANI M,SAILOR D J,TENPIERIK M,et al.Thermal assessment of heat mitigation strategies:the case of Portland state university,Oregon,USA[J].Building and Environment,2014,73:138-150.

[29]杨宇翀,林箐,岳晓蕾.区域和城市尺度下的城市森林冷岛效应:以北京市五环内为例[J].北京规划建设,2018(3):93-96.

[30]LI Y L,FAN S X,LI K,et al.Large urban parks summertime cool and wet island intensity and its influencing factors in Beijing,China[J].Urban Forestry & Urban Greening,2021,65:127375.

[31]徐欣,张兴,高飞,等.城市公园绿地植被群落郁闭度与三维绿量对夏季降温增湿效应的影响[J].中国城市林业,2024,22(2):10-16.

[32]樊柏青,刘东云,李丹宁,等.北京市六环内区域城市绿地对地表温度降温效益的差异性[J].中国城市林业,2022,20(4):43-50.

[33]袁振,吴相利,臧淑英,等.基于 TM 影像的哈尔滨市主城区绿地降温作用研究[J].地理科学,2017,37(10):1600-1608.

[34]冯晓刚,石辉.基于遥感的夏季西安城市公园"冷效应"研究[J].生态学报,2012,32(23):7355-7363.

[35]韩雪,李利.基于降温幅度和降温范围平衡的城市公园蓝绿空间影响因子及设计优化研究[J].北京建筑大学学报,2023,39(2):36-46.

[36]成实,宇琛,王鲁帅.城市公园缓解热岛效应研究:以深圳为例[J].中国园林,2019,35(10):40-45.

[37]肖逸,戴斯竹,赵兵.小尺度公园对于城市热岛效应的缓解作用:基于南京市中心城区社区公园的实证研究[J].景观设计学,2020,8(3):26-43.

[38]CAI X Y,YANG J,ZHANG Y Q,et al.Cooling island effect in urban parks from the perspective of internal park landscape[J].Humanities and Social Sciences Communications,2023,10(1):674.

[39]KONG F H,YIN H W,NAKAGOSHI N.Using GIS and landscape metrics in the hedonic price modeling of the amenity value of urban green space:a case study in Jinan City,China[J].Landscape and Urban Planning,2007,79(3/4):240-252.

[40]SRIVANIT M,IAMTRAKUL P.Spatial patterns of greenspace cool islands and their relationship to cooling effectiveness in the tropical city of Chiang Mai,Thailand[J].Environmental Monitoring and Assessment,2019,191(9):580.

[41]岳文泽,徐丽华.城市典型水域景观的热环境效应[J].生态学报,2013,33(6):1852-1859.

[42]花利忠,孙凤琴,陈娇娜,等.基于 Landsat-8 影像的沿海城市公园冷岛效应:以厦门为例[J].生态学报,2020,40(22):8147-8157.

[43]陈家硕,荣立苹,高玉福,等.不同铺装材质对局部热环境及人体舒适度的影响[J].延边大学农学学报,2021,43(1):54-61.

[44]肖捷颖,季娜,李星,等.城市公园降温效应分析:以石家庄市为例[J].干旱区资源与环境,2015,29(2):75-79.

[45]CHANG C R,LI M H.Effects of urban parks on the local urban thermal environment[J].Urban Forestry & Urban Greening,2014,13(4):672-681.

[46]ZHU W H,SUN J B,YANG C B,et al.How to measure the urban park cooling island? A perspective of absolute and relative indicators using remote sensing and buffer analysis[J].Remote Sensing,2021,13(16):3154.

[47]DU H Y,SONG X J,JIANG H,et al.Research on the cooling island effects of water body:a case study of Shanghai,China[J].Ecological Indicators,2016,67:31-38.

[48]雷江丽,刘涛,吴艳艳,等.深圳城市绿地空间结构对绿地降温效应的影响[J].西北林学院学报,2011,26(4):218-223.

[49]冯悦怡,胡潭高,张力小.城市公园景观空间结构对其热环境效应的影响[J].生态学报,2014,34(12):3179-3187.

[50]韩贵锋,蔡智.山地城市公园形态对其降温效应的影响[J].西部人居环境学刊,2016,31(6):61-68.

[51]LEPCZYK C A,ARONSON M F J,EVANS K L,et al.Biodiversity in the city:fundamental questions for understanding the ecology of urban green spaces for biodiversity conservation[J].BioScience,2017,67(9):799-807.