

# 2001—2023年长江中游城市群热岛效应时空演变特征分析

杨烁 朱弘纪\*

湖北文理学院 资源环境与旅游学院, 中国·湖北 襄阳 441053

**摘要:** 选取长江中游城市群作为研究区域, 基于 2001—2023 年季度平均气温遥感数据, 分析了 29 个代表性城市地表城市热岛的地理空间分布特征及其昼夜、季节和年际变化趋势特征。结果表明: 29 个城市的平均热岛强度为  $1.44^{\circ}\text{C}$ , 不同城市热岛强度差异明显, 郴州市最大, 年均强度达  $2.23^{\circ}\text{C}$ ; 不同时间和季节热岛强度差异大, 整体表现为白天 ( $1.87^{\circ}\text{C}$ ) 明显高于晚上 ( $1.02^{\circ}\text{C}$ ), 夏季 ( $2.52^{\circ}\text{C}$ ) 高于冬季 ( $0.44^{\circ}\text{C}$ ); 从年际变化来看, 大部分城市年平均热岛强度呈明显增加态势, 平均增长速率达到  $0.44^{\circ}\text{C/decade}$ , 整体表现为白天 ( $0.66^{\circ}\text{C/decade}$ ) 明显高于晚上 ( $0.22^{\circ}\text{C/decade}$ ), 夏季 ( $0.73^{\circ}\text{C/decade}$ ) 高于冬季 ( $0.17^{\circ}\text{C/decade}$ )。

**关键词:** 城市热岛; 时空演变; 长江中游城市群

## Analysis of the Spatiotemporal Evolution Characteristics of the Urban Heat Island Effect in the Middle Reaches of the Yangtze River Urban Agglomeration from 2001 to 2023

Yang Shuo, Zhu Hongji\*

School of Resources, Environment and Tourism, Hubei University of Arts and Science, China Hubei Xiangyang 441053

**Abstract:** Taking the urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River as the research area, based on the quarterly average temperature remote sensing data from 2001 to 2023, the geographical spatial distribution characteristics of the surface urban heat island of 29 representative cities and their diurnal, seasonal, and interannual variation trend characteristics were analyzed. The results show that the average heat island intensity of the 29 cities is  $1.44^{\circ}\text{C}$ , with significant differences in heat island intensity among different cities. Chenzhou City has the highest intensity, with an average annual intensity of  $2.23^{\circ}\text{C}$ . The heat island intensity varies significantly at different times and seasons, generally showing that the intensity during the day ( $1.87^{\circ}\text{C}$ ) is significantly higher than that at night ( $1.02^{\circ}\text{C}$ ), and in summer ( $2.52^{\circ}\text{C}$ ) is higher than in winter ( $0.44^{\circ}\text{C}$ ). From the interannual variation perspective, the average annual heat island intensity of most cities shows a significant increasing trend, with an average growth rate of  $0.44^{\circ}\text{C/decade}$ . Overall, the intensity during the day ( $0.66^{\circ}\text{C/decade}$ ) is significantly higher than that at night ( $0.22^{\circ}\text{C/decade}$ ), and in summer ( $0.73^{\circ}\text{C/decade}$ ) is higher than in winter ( $0.17^{\circ}\text{C/decade}$ ).

**Keywords:** Urban heat island; Spatiotemporal evolution; Urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River

## 0 引言

我国城市化进程加速演进, 据统计, 2024 年末我国城镇常住人口为 94350 万人, 比 2023 年末增加 1083 万人, 城镇化率达到 67%。快速的城市化导致城市下垫面性质的急剧改变, 加上人为热源的增加, 从而加速产生和扩展了城市热岛 (Urban Heat Island, UHI) 效应<sup>[1]</sup>, 即城区温度高于周边郊区或乡村的现象。城市热岛强度的加剧, 不仅改变了城市局地生态环境, 如植被生长、水及空气质量;

而且还危害着人类健康, 如增加发病率和死亡率等。作为城市化导致的最明显的气候变化之一, 城市热岛效应与全球气候变暖和城市人居环境息息相关, 因此, 近几十年来其相关研究数量激增, 缓解城市热岛效应也成为了社会关注的焦点<sup>[2]</sup>。

国内外对于城市热岛效应及其影响因素开展了较为广泛的研究<sup>[3]</sup>。已有大量研究证明城市发展所引起的物理环境变化与气候变化之间存在不可否认的联系。Bokaie 等<sup>[4]</sup>认

为形成城市热岛的根本原因是自然地表被大面积的不透水面积替代导致的城市地表异质性；Baldinelli 等<sup>[5]</sup>研究发现，城市下垫面地表反照率的减小是形成城市热岛的重要原因。针对长江中游城市群，方云皓等人从网络视角分析了热环境的空间结构特征<sup>[6]</sup>，刘小欢等人分析了近 20 年极端温度事件演变规律<sup>[7]</sup>，而本文将重点从时空演变规律进行深入研究。

本文以长江中游城市群为例，选取 29 个不透水面积大于 40 km<sup>2</sup> 的城市与地区，结合 2023 年土地利用类型数据、数字高程数据等多源空间数据，分析了 2001—2023 年长江中游城市群地表城市热岛效应的时空变化特征及其与植被覆盖度的关系，通过分析长江中游城市群热岛效应时空演变特征，认识城市热岛效应影响因素及形成机理，以期制定缓解热岛效应的土地利用策略提供参考。

## 1 研究区与数据

### 1.1 研究区概况

长江中游城市群西起湖北宜昌，东至江西上饶，沟通鄂湘赣 3 省。本研究范围选取武汉市、长沙市、南昌市、黄石市、株洲市、九江市、鄂州市、湘潭市、景德镇市、黄冈市、岳阳市等 29 个城市与地区。

### 1.2 数据来源与预处理

本研究所用的数据资料主要包括温度数据、城市不透水面和植被数据。本文收集了中三角地区 2001 年—2023 年地表季节平均气温（3—5 月是春季，6—8 月是夏季，9—11 月是秋季，12—2 月是冬季），2001 年—2023 年季节植被指数，选取 2023 年中三角地区土地利用数据和高程数据。利用 ENVI 遥感软件进行 1000 米不透水水面重采样，不透水面大于 50% 重采样，不透水面大于 5% 重采样。利用 ArcGIS 计算各个城市的面积与经纬度，选取不透水面积大于 40km<sup>2</sup> 的 29 个城市与地区作为研究对象，通过建立 10km—15km 的缓冲区面积获得乡村范围。

## 2 研究方法

### 2.1 城市与乡村范围的提取

不透水面是城市下垫面的重要组成部分，主要包括交通道路和建筑物屋顶等，可以阻止水渗透到地面以下，较好反映城市化率。本文通过土地利用数据提取归一化差值不透水面指数（NDISI），通过建立缓冲区得到城市与乡村范围，NDISI 的计算公式如下<sup>[8]</sup>：

$$NDISI = \frac{TIRS1 - (MNDWI + NIR + SWIR1) / 3}{TIRS1 + (MNDWI + NIR + SWIR1) / 3} \quad (1)$$

式中：NIR、SWIR1、TIRS1 对应为 Landsat8 遥感影像中的第 5、6、10 波段。

### 2.2 城市热岛强度的计算

为了识别城市的热点区域，本研究采用地表温度反演数据对武汉市的地表城市热岛强度进行了估算。热岛强度被定义为城市区域和郊区之间的温度差异，这些温度数据应在相同的时间段内获取。热岛强度的计算公式如下所示<sup>[9]</sup>：

$$UHII = LST_u - LST_r \quad (2)$$

式中，UHII 表示城市热岛强度，LST<sub>u</sub> 表示每个城市的平均地表温度，LST<sub>r</sub> 表示每个乡村的平均地表温度。研究通过此公式计算得出的城市群热岛强度值，用于评估中三角内不同城市与地区的热岛效应程度。

其次，考虑到乡村的海拔较高，因此以海拔每升高 1000 m 温度降低 6℃ 的递减规律对乡村的温度 LST<sub>r</sub> 进行修正，其计算公式如下所示：

$$LST_r = \frac{T_{si}}{H_{yi} - H_{si}} \quad (3)$$

式中，T<sub>si</sub> 表示乡村的实际平均地表温度，H<sub>yi</sub> 和 H<sub>si</sub> 分别代表城市和乡村的海拔高度。

## 3 研究结果与分析

### 3.1 中三角城市热岛效应的时空分布

除极个别城市外，其余绝大部分城市均表现出明显的热岛效应，同一城市和区域热岛强度在时间上明显差异，同一时间的不同城市和区域热岛强度也存在明显差异（图 2）。中三角平均热岛强度为 1.44℃，郴州市年均城市热岛强度最大，达 2.23℃；永州市最小，只有 0.934℃。宜春市（2.13℃）、怀化市（2.12℃）和娄底市（2.05℃）三个城市年均热岛强度也均超过 2℃，除永州外，还有襄阳市（0.935℃）和九江市（0.96℃）两城市年均城市热岛强度小于 1℃。总体来看，白天城市热岛强度明显高于夜晚，中三角 29 个城市白天平均热岛强度为 1.87℃，夜晚为 1.01℃，平均昼夜温差达 0.86℃。白天的郴州市（3.63℃）最强，襄阳市最弱（0.14℃），晚上襄阳市（1.73℃）最强，九江市（0.26℃）最弱。另外，中三角城市热岛效应的夏季强度（2.52℃）明显高于冬季强度（0.44℃），冬夏季差异高达 2.08℃，而春季（1.3℃）和秋季（1.5℃）相差不大。白天郴州市的夏季平均热岛强度高达 5.66℃，白天襄阳市的秋季平均热岛强度为 -0.96℃，出现微弱的冷岛效应。宏观上看，中三角地区城市热岛效应南部高于北部。

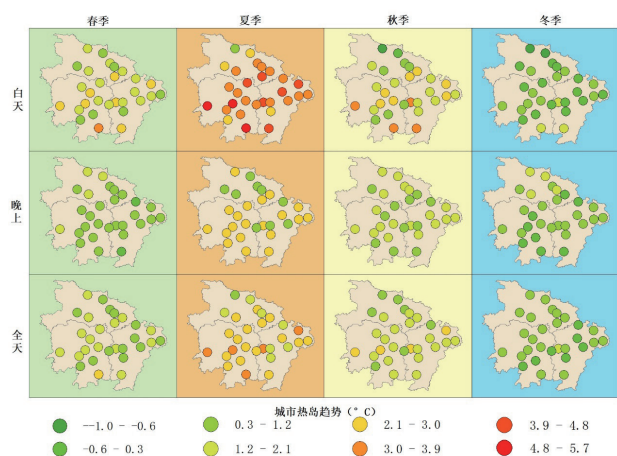


图1 中三角29个主要城市与地区热岛强度的时空分布

### 3.2 中三角城市热岛效应的时空变化

中三角城市热岛效应季节变化趋势差异明显, 且不同城市地区变化差异较大(图3)。各地区城市热岛趋势变化表现为白天( $0.66^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ )明显高于晚上( $0.22^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ ), 且白天城市热岛趋势表现为夏季( $1.10^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ )强冬季( $0.24^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ )弱, 白天热岛年内变化幅度较大, 夜晚的季节差异虽减小( $0.27^{\circ}\text{C}$ ), 但仍呈现夏季( $0.36^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ )高于冬季( $0.09^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ )。从全年和夜晚来看, 增长幅度最大的是新余市( $0.83^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ ), 最小的是荆州市( $0.05^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ ), 荆州市在晚上甚至呈现微弱的冷岛效应( $-1.1^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ )。白天变化趋势最大的赣州市( $1.31^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ )与最小的襄阳市( $0.12^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ )相差约 $1.2^{\circ}\text{C}$ 。从位置分布来看, 中三角地区城市热岛效应变化趋势东部略高于西部。

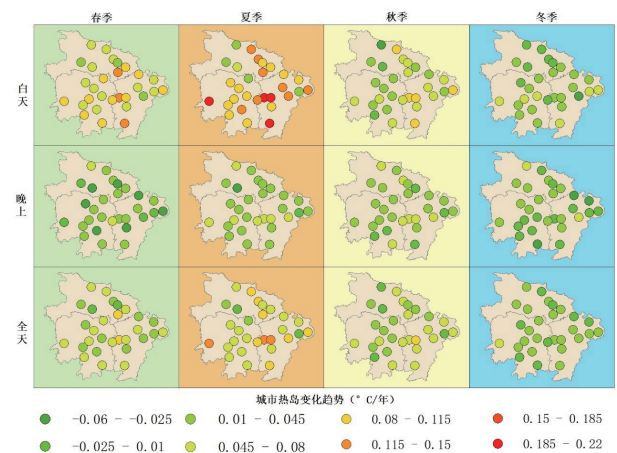


图2 中三角29个主要城市与地区热岛强度的时空变化

### 3.3 中三角城市热岛效应趋势的年际变化

2001~2023年中三角地区城市热岛强度均呈现逐年增强的趋势(图4)。从图4可以直观地看出, 29个主要城市与地区的城市年平均热岛强度变化趋势线均是上升状

态。从年际变化来看, 平均增长速率达到 $0.44^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ , 整体表现为白天( $0.66^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ )明显高于晚上( $0.22^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ )。从年内变化来看, 夏季( $0.73^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ )高于冬季( $0.17^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ )。白天的夏季( $1.10^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ )增强趋势最大, 夜晚的冬季( $0.22^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ )热岛效应较微弱。春季白天的热岛效应是晚上的6倍, 夏季白天的热岛效应是晚上的3倍, 冬季白天是晚上的2.6倍, 说明城市热岛效应受太阳辐射的影响较大。从图上可以看出, 自2009年起, 年间城市热岛强度波动幅度增大, 符合近年来城市极端天气增加情况, 武汉、南昌、长沙等城市夏季高温天数显著增加, 研究结果可以说明年际变化趋势与城市变化趋势高度一致。

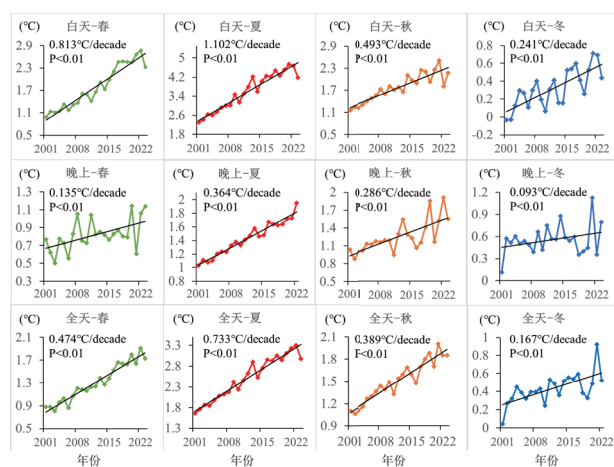


图3 中三角29个主要城市与地区城市热岛强度趋势的年际变化

## 4 结语

(1) 2001~2023年绝大部分城市均表现出明显的热岛效应, 所有城市平均热岛强度为 $1.44^{\circ}\text{C}$ , 平均增长速率达到 $0.44^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ 。以武汉、长沙和南昌等城市与地区最为突出, 整体上南部城市略高于北方。

(2) 2001~2023年各地区城市热岛趋势变化均表现为白天( $0.66^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ )明显高于晚上( $0.22^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ ), 夏季( $1.10^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ )强于冬季( $0.24^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ ), 季节与昼夜差异明显。

### 参考文献:

- [1] 贾若愚, 刘洛, 徐新良等. 2005—2020年逐年1Km中国夏季地表城市热岛空间数据集及空间扩张分析[J]. 西部人居环境学刊, 2024,39(06):149-154.
- [2] 刘敬, 慎利, 黄媛等. 基于局地气候分区的北京夜间热岛强度空间分异特征研究[J]. 地理与地理信息科学, 2020,36(05):39-45+64.

- [3] Murugesan B ,Venkatramanan S ,Sivakumar K , et al.A study of urban heat island effects using remote sensing and GIS techniques in Kancheepuram, Tamil Nadu, India[J].Urban Climate,2023,51
- [4] Bokaie M, Zarkesh M K, Arasteh P D, et al. Assessment of urban heat island based on the relationship between land surface temperature and land use/land cover in Tehran. Sustainable Cities and Society, 2016, 23: 94-104.
- [5] Baldinelli G, Bonafoni S. Analysis of albedo influence on surface urban heat island by space borne detection and airborne thermography. New Trends in ImageAnalysis and Processing-ICIAP 2015 Workshops, 2015.
- [6] 方云皓, 赵丽元, 窦碧莹等. 基于 MSPA-CIRCUIT 的长江中游城市群热环境网络识别与评价研究[J]. 生态环境学报, 2023,32(07):1237-1248.
- [7] 刘小欢, 梁友嘉, 桂智凡. 城市化对长江中游城市群极端温度事件的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2024,33(12):2754-2766.
- [8] 徐涵秋. 一种快速提取不透水面的新型遥感指数[J]. 武汉大学学报 ( 信息科学版 ), 2008,(11):1150-1153+1211.
- [9] 刘慧民, 马箴悦, 李淼等. 基于卫星遥感的城市热岛效应体检评估——以武汉市为例[J]. 西部人居环境学刊, 2023,38(06):38-45.
- 基金项目：湖北省自然科学基金项目，“快速城市化进程中襄阳城市热岛效应的演变及驱动机制研究”（2022CFD098）。