

基于局地气候区的城市热岛空间格局研究

王思达^{1,2}

¹云南师范大学地理学部, 云南 昆明

²西南联合研究生院, 云南 昆明

收稿日期: 2026年1月14日; 录用日期: 2026年2月6日; 发布日期: 2026年2月14日

摘要

本研究针对快速城市化进程中的热环境问题, 以郑州市为例, 基于局地气候分区(LCZ)框架, 集成Sentinel-2与MODIS遥感数据, 分析了郑州市2023年四季昼夜LST变化, 并揭示了地表城市热岛强度(SUHII)的时空格局。研究首先构建了郑州市LCZ分类图谱, 总体精度85.39%, 清晰呈现出中心高密度-外围开敞-边缘自然的圈层结构; 进一步基于LCZ量化了郑州市各季节地表温度均值, 年均温度极差达2.94℃。建筑密集型区域明显高于自然覆被型。夏季白昼温差最大, LCZ2的温度高达38.76℃, 比LCZA高出6.72℃。建筑区的夏季昼夜温差较大, LCZ2达到14.66℃, 而植被覆盖型LCZG的夏季昼夜温差仅为12.95℃。冬季, 部分建筑区域出现“冷岛”现象, LCZ1冬季夜温降至-0.50℃, 低于多数自然覆被类型。建筑区在夏冬季节的温度波动大于植被或水体覆盖区。进而定量刻画了不同LCZ类型四季昼夜的热岛强度(SUHII)。研究发现, SUHII时空分异显著, 春季热岛覆盖范围最广, 占比约37%。夏季热岛强度最高, 秋季冷岛效应凸显, 强冷岛面积达全年峰值。冬季整体热岛效应最弱。昼夜对比表明, 高密度建成区LCZ 1、LCZ 2始终是强热岛的稳定核心, 其夏季昼间SUHII显著高于其他类型; 而水体与林地日间表现出显著的降温效应, 可使局部地表温度降低3℃~6℃。本研究从LCZ视角为理解城市热岛提供了定量化的空间单元与证据, 成果可为郑州市及同类大城市的空间结构优化、气候适应性规划与热岛缓解策略制定提供科学依据。

关键词

局地气候分区, LST, 城市热岛效应, SUHII

Spatial Pattern Study of Urban Heat Island Based on Local Climate Zones

Sida Wang^{1,2}

¹Faculty of Geography, Yunnan Normal University, Kunming Yunnan

²Southwest United Graduate School, Kunming Yunnan

Received: January 14, 2026; accepted: February 6, 2026; published: February 14, 2026

文章引用: 王思达. 基于局地气候区的城市热岛空间格局研究[J]. 可持续发展, 2026, 16(2): 184-194.
DOI: 10.12677/sd.2026.162070

Abstract

This study focuses on the thermal environment issues in the context of rapid urbanization, using Zhengzhou, a national central city, as a case study. Based on the Local Climate Zone (LCZ) framework and integrating Sentinel-2 and MODIS remote sensing data, it analyzes the seasonal diurnal and nocturnal LST variations in Zhengzhou in 2023, revealing the spatiotemporal patterns of surface urban heat island intensity (SUHII). The study first constructed an LCZ classification map for Zhengzhou, with an overall accuracy of 85.39%, clearly presenting a concentric structure of central high-density, peripheral open, and edge natural areas. Further, the study quantified the seasonal average surface temperatures for Zhengzhou based on LCZs, finding a maximum annual temperature range of 2.94°C. The temperature in densely built-up areas is significantly higher than in natural cover areas. The largest daytime temperature difference occurs in summer, with LCZ2 reaching 38.76°C, which is 6.72°C higher than LCZA. The summer diurnal-nocturnal temperature difference is also more pronounced in built-up areas, with LCZ2 having a difference of 14.66°C, while the temperature difference in vegetation-covered LCZG is only 12.95°C. In winter, some built-up areas experience a “cold island” phenomenon, with LCZ1’s winter nighttime temperature dropping to −0.50°C, lower than most natural cover types. Built-up areas generally have larger temperature fluctuations in both summer and winter compared to vegetation or water-covered areas. The study further quantifies the seasonal diurnal and nocturnal SUHII for different LCZ types. It finds significant spatiotemporal differentiation of SUHII, with the widest coverage in spring, accounting for approximately 37%. Summer exhibits the highest SUHII intensity, while autumn shows a pronounced cold island effect, with the strongest cold island area reaching its annual peak. The overall heat island effect is weakest in winter. Comparisons between day and night show that high-density built-up areas, LCZ 1 and LCZ 2, are the stable core of strong heat islands, with summer daytime SUHII significantly higher than other types. In contrast, water bodies and forests exhibit a significant cooling effect during the day, lowering local surface temperatures by 3°C~6°C. This study provides quantitative spatial units and evidence from the LCZ perspective for understanding urban heat islands, and the findings can serve as a scientific basis for spatial structure optimization, climate adaptation planning, and heat island mitigation strategies in Zhengzhou and similar large cities.

Keywords

LCZ, LST, Urban Heat Island Effect, SUHII

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在全球城市化快速推进与气候变化的双重背景下，城市热岛效应已成为影响城市可持续发展与居民生活品质的关键环境问题[1]。近年来，部分学者对此开展大量研究，致力于揭示不同城市及其局部区域热岛效应的时空分布及其内在规律。例如，习闰涛、王双娇[2]等人的研究表明，季节性地表热岛在建成区尤为显著，夏季热岛强度最强，而在绿地或水体覆盖区域则表现出明显的降温效应。吴博伟、张园园[3]等人利用长时间序列遥感数据分析城市热岛的季节分异和绿色基础设施的冷却效应，强调植被指数与地表温度之间的统计关系对于热岛效应解释的重要性。基于形态学的研究发现，城市绿地的空间结构及其演化对热岛效应的缓解具有重要影响[4]。张翔军[5]利用 Landsat 遥感影像和地理探测器方法分析郑州

市地表热岛的长期变化，建成区扩张与植被减少显著推动了地表温度升高，而 NDBI 与 NDVI 是解释热岛空间差异的主要因子，解释力分别达 42.7%和 41.3%。另一方面，基于 MODIS 数据对延安市夏季森林动态与热岛效应之间的关系进行多时相分析，结果表明森林覆盖的动态变化对热岛的缓解具有定量意义，进一步强化了城市绿地在缓解热岛效应中的生态功能[6]。这些研究共同指出，地表覆盖变化、植被空间结构和城市形态因素是影响热岛效应的重要控制变量。郑州作为中原城市群核心，近二十年来经历了剧烈的空间扩张与下垫面变迁，热环境风险日益突出。地表温度(LST)是反映地表能量平衡与生态环境状况的关键物理参量，其精确获取对应对气候变化、优化城市空间结构及开展生态保护均具有重要意义。

以往城市热岛研究普遍采用城乡二分法，该方法难以充分揭示城市内部复杂下垫面对热环境的差异化影响，亦无法细致刻画土地利用或土地覆盖变化对城市热场的时空作用机制。研究表明，城市化导致的热岛效应具有时空分异性，通常城市中心区由于密集的建筑物和较少的绿地而呈现较高的温度，而郊区或绿地较多的区域则相对较低[7]。局地气候分区框架的提出，突破了传统城乡二元分析的局限，通过建立标准化的城市形态与地表特征指标体系，将局地气候与城市建设形态系统关联，为精细识别城市内部气候异质性、深入理解城市发展与环境演变机理提供了新的视角[8]。该框架自建立以来，已在城市气候与规划研究领域得到广泛应用，实践表明其对城市局部气候环境具备良好的区分能力，逐渐成为探究城市形态与热岛效应关系的有效工具。基于 LCZ 理论开展城市气候研究，可助力实现对城市热环境的精准监测、模拟与规划调控，为地方政府制定缓解热岛效应的策略提供科学参考与实践指引[9]。

本研究以郑州市为例，在热岛效应分析与局地气候分区理论指导下，构建城市热场与 LCZ 空间分布图谱，并在此基础上划分 SUHII，探究 SUHII 空间分布，以为缓解该地区热岛效应提供更具针对性的科学依据与实践支持。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况

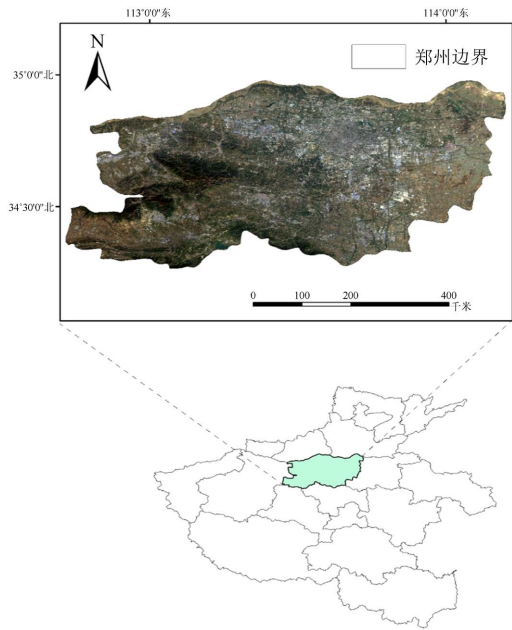


Figure 1. Study location map
图 1. 研究区位图

郑州市位于我国中部地区的核心区域如图 1 所示。具体在河南省中北部，黄河下游南岸。作为中部地区的重要中心城市，它在区域发展中具有显著地位，地貌类型多样，以山地、丘陵和平原为主，整体地势自西南向东北逐渐降低，海拔介于 75 米至 1494 米之间。气候上属于北温带大陆性季风气候，四季区分明显，年均气温约为 15.6℃，多年平均年降水量 640 毫米，降水多集中在每年 7 月至 9 月。从自然地理单元看，郑州市主城区主要分布在黄河冲积平原南缘，地势整体由西南向东北微倾，地形以平原为主，仅在西南部和西北缘有山地或丘陵残存，海拔高程变化总体较小。平坦的地形有利于城市大尺度建设和用地扩展，但同时也削弱了地形对大气环流和近地面风场的调节能力，使得城市热量更易在近地层积聚，这为地表城市热岛的形成提供了地形背景条件。

2.2. 局地气候区

局地气候区(Local Climate Zone, LCZ)通常指水平尺度约为数百米至数公里、具有相对一致城市形态、下垫面覆盖和人类活动特征的区域。城市局地气候分区的相关探索在国际上起步较早。Chandler 在研究伦敦气候时首次尝试依据城市结构划分局地类区[10]；随后，Auer 构建了以城市异常气候响应为核心的地表分类体系，在圣路易斯识别出多类城市地形区(UTZs) [11]；Ellefsen [12]在更精细的尺度上，从建筑布局、功能、位置、高度和年代等方面，将城市地表形态细分为 17 类。Oke [13]在前人工作的基础上提出城市气候分区(Urban Climate Zone, UCZ)概念，根据下垫面类型、街区尺度和建筑材料将城市划分为 7 个由半农村到高度城市化的同质区域。Loridan 等[14]进一步发展出 UZE (Urban Zones for Characterizing Energy Partitioning)分类体系，以城市活跃植被和建筑表面特征为依据。Stewart 和 Oke 于 2012 年系统提出 LCZ 理论，在原有城市气候分区基础上扩展类型数量，形成 LCZ1-10 的建筑类型和 LCZA-G 的自然植被类型，使与热环境相关的地表指标体系更加完善。

2.3. 数据来源

本研究使用 Sentinel-2 L2A 地表反射率数据进行郑州市 LCZ 分类。该数据空间分辨率较高，光谱信息丰富，经 2023 年全年中位数合成，并剔除云影干扰，能有效反映城市地表特征。

地表温度数据采用 MODIS 的 MYD11A1 产品。该数据源于 Aqua 卫星，经格式与投影转换、辐射定标、质量控制及季节合成，得到 2023 年四季昼夜温度影像，用于分析城市热岛效应。

2.4. 研究方法

2.4.1. LCZ 样本划分

本文基于 SAGA GIS 中 LCZ 模块采用 Sentinel-2 L2A 地表反射率数据进行郑州市 LCZ 分类。样本划分时，以 Sentinel-2 L2A 影像作为主要的栅格底图，结合 Google Earth 历史影像，参考 LCZ 制图规范、控制样本块形状规整、面积适中，最短边一般不小于 200 m，单个样本多在 1 km² 左右；不同类型样本之间保持一定间距，避免在边界过于接近而造成光谱混合或互相包含。同时，充分对照 2023 年 Sentinel-2 L2A 影像，保证样本选取时间与卫星影像获取时间尽可能一致，剔除正在施工或土地利用剧烈变化的区域，减少过渡地类对分类精度的干扰，并按照 7:3 比例来划分验证数据集。

2.4.2. LST 数据处理

本文基于 GEE (Google Earth Engine)对研究区地表温度变化开展研究。该地表温度由 Modis 卫星遥感影像反演，并经辐射定标和大气校正。通过 GEE 中的掩模函数对云覆盖区域进行掩模，并通过中值合成多个 LST。剩余空白处使用临近像元插值法进行插值。

(1) 辐射定标

卫星传感器在接收地物辐射或反射的电磁信号时，受其自身光电特性及外部环境(如太阳高度、地形

与大气等)的影响,所记录的灰度值(DN 值)往往不能直接反映地物的真实辐射状况。因此,需通过辐射定标将 DN 值转换为具有物理意义的辐射亮度或反射率。

(2) 大气校正

地表反射或辐射的信号在到达卫星传感器前会经过大气层,其中的气溶胶、水汽等成分会对信号产生吸收、散射等干扰,导致传感器接收的信息与地表实际信息存在偏差。大气校正的目的正是消除或减弱这种大气效应对遥感图像造成的影响。

数据预处理完成后,将 LST 数据重采样至 50 m,与 LCZ 数据进行空间分辨率对齐,用于后续统计分析。

2.4.3. SUHII 界定

本文采用 LCZ 各类型与 LCZ D 的地表温度的差值来计算 SUHII。为了更加清晰地分析 SUHII 与城市地表形态之间的关联,将郑州市的 SUHII 划分成了三类共计五个等级,分别是冷岛区域、常温区域、热岛区域。其中冷岛区域包括强冷岛和弱冷岛,热岛区域包括强热岛、弱热岛,具体划分条件及代表符号信息如表 1 所示,数据处理完成之后,将所有数据统一重采样至 1 km,数据对齐,便于后续分析。

Table 1. SUHII classification
表 1. SUHII 划分

区域类型	类别名称	代表符号	数值范围/°C
冷岛区	强冷岛	I	$SUHII \leq -3$
	弱冷岛	II	$-3 < SUHII \leq -1$
常温区	常温区	III	$-1 < SUHII \leq 1$
热岛区	弱热岛	IV	$1 < SUHII \leq 3$
	强热岛	V	$3 < SUHII$

3. 结果与分析

3.1. 局地气候区分类图

3.1.1. 精度验证

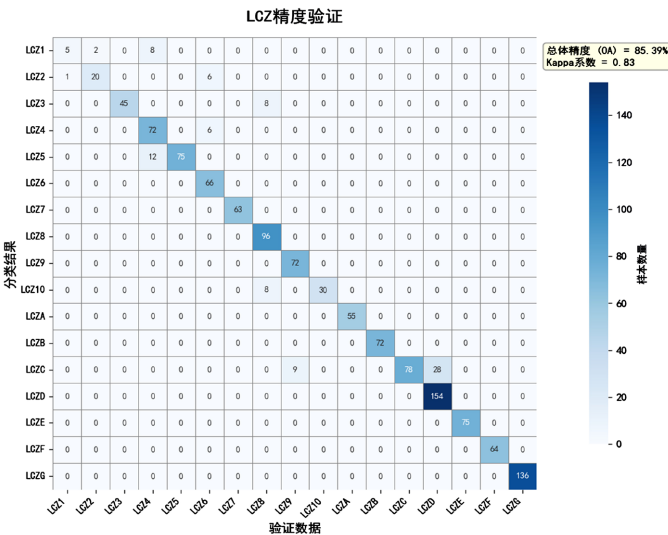


Figure 2. LCZ precision verification diagram
图 2. LCZ 精度验证图

为定量评估本研究所生成的 LCZ 分类图的可靠性,本研究采用混淆矩阵为基础,选取总体精度(Overall Accuracy, OA)、Kappa 系数指标对分类结果进行系统验证。得到研究发现,郑州市的 OA、Kappa 分别为 85.39%、0.83。分类精度满足研究需求如图 2 所示。

3.1.2. 局地气候区空间分布

郑州市 LCZ 空间格局呈现出明显的圈层分异特征,如图 3 所示。城市核心区(二环以内)以高密度建筑类型为主导,主要包括 LCZ 2 和 LCZ 5,并零散分布有 LCZ 1。该区域建筑密集,尤以金水区为典型,多层建筑与商业办公楼宇集中,街道空间狭窄,交通流量大,绿化覆盖有限。向外至二环周边区域,LCZ 3 和 LCZ 4 占比显著提升。此类区域以产业园区、校园及多层居住区为主,郑东新区是典型代表,呈现为大面积开敞的高层建筑布局,建筑密度相对较低,绿地与水系分布有所增加。在此过渡地带边缘,散布着 LCZ 6(开敞型低层建筑),多为老旧住区或待改造区域,建筑密度偏低,地表覆盖状况较为混杂。城市外围(四环以外)则以 LCZ 7 和 LCZ 9 为主,对应广大乡村居民点。更外围的农业与自然区域广泛分布 LCZ D 和 LCZ F,得益于平原地区的大面积耕地与自然植被,该区域植被覆盖度较高,地表温度普遍较低。此外,LCZ A 主要集中于西南部的嵩山及伏羲山等地,构成城市重要的生态绿地;LCZ G 则分布于西南、东北部及穿城而过的贾鲁河、北部的黄河等水系,这些水体对周边局地气候具有明显的调节与降温作用。

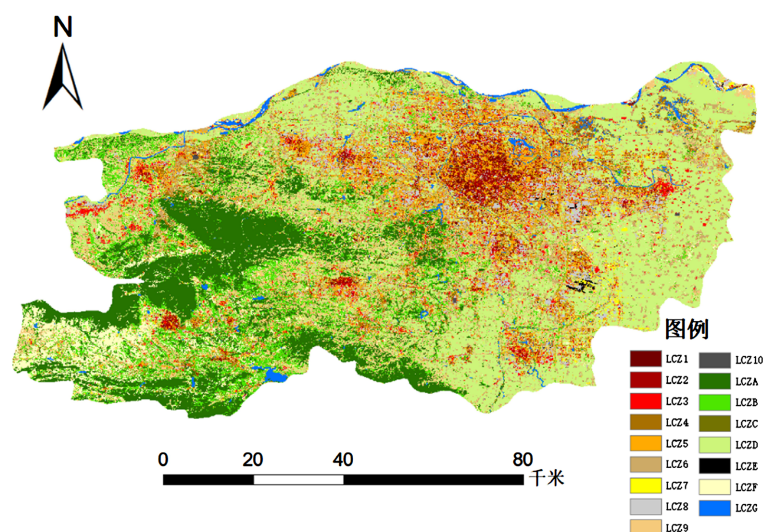


Figure 3. LCZ map of Zhengzhou
图 3. 郑州市 LCZ 分类图

3.2. 郑州市 LST 分布

郑州市各季节昼夜平均地表温度的差异十分明显,如图 4 所示。从地表温度数值上看,各季节昼夜地表温度呈现出明显的趋势,夏季的昼夜地表温度最高,白天地表温度最高达到 48.64℃,平均温度为 35.06℃,夜间地表温度最高达到 27.09℃,平均温度为 20.930℃;春季的地表温度次之,白天地表温度在 18.28℃到 32.21℃,平均地表温度到达了 26.77,夜间地表温度在 4.88℃~15.96℃,平均温度达到了 11.23℃;秋季地表温度次于夏季和春季,其白天温度最高达到了 30.47℃,夜间地表温度可低至 7.22℃,平均温度有 23.94℃;冬季昼夜平均地表为全年最低。白天最高仅为 12.29℃,夜间地表温度最高仅为 3.18℃,最低可达到-6.95℃。白天与夜晚的平均温度均呈现一致的规律:夏季最高,冬季最低。从夏季的 35.06℃依

次递减至冬季的 9.648℃；夜晚平均温度夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季，其中冬季夜晚均温已降至冰点以下 -2.975℃，该季节地表可能出现持续的冻结现象。各季节白天的温度极均大于夜晚，其中夏季白天的极差高达 22.192℃，表明该季节白天温度变化最为剧烈，这可能与夏季强烈的太阳辐射及不稳定的天气过程有关。从温度的离散程度来看，白天温度的标准差在夏季达到最大值 2.326℃，说明郑州市夏季白天温度具有不稳定性；而各季节夜晚的标准差相对较小且数值接近 1.48℃~1.565℃，反映出夜晚地表温度变化较为平缓稳定。

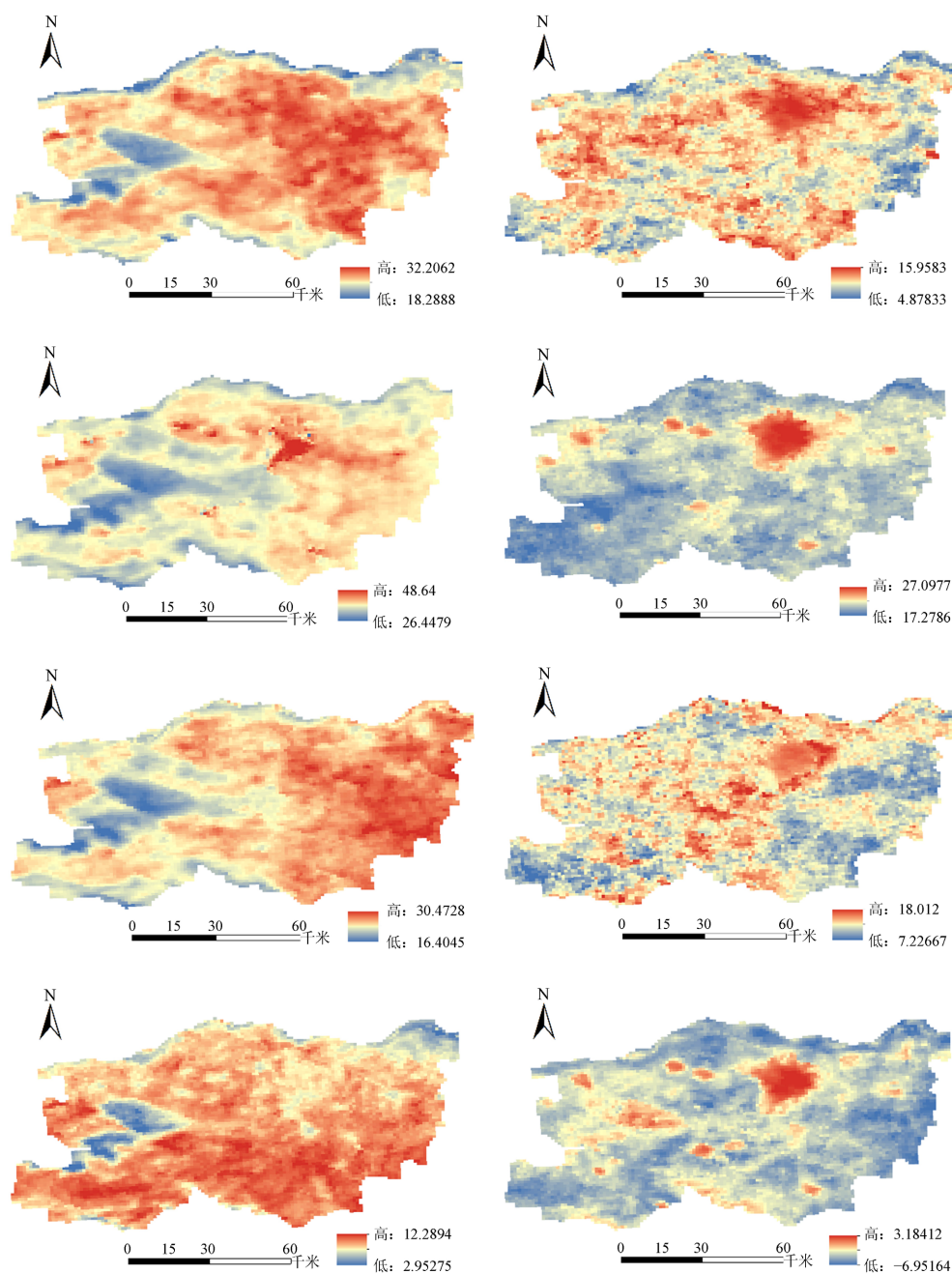


Figure 4. Diurnal and seasonal distribution of LST in Zhengzhou
图 4. 郑州市四季昼夜 LST 分布

3.3. 基于 LCZ 的地表温度统计

对郑州市 LCZ 地表温度进行统计分析如图 5 所示。从整体热力状况来看, 各 LCZ 类型的年均温度存在显著分异, 极差达 2.94℃。其中 LCZE 年均温最高, 达 17.65℃, LCZF 最低, 为 14.71℃。其次, 建筑密集型普遍高于自然覆被型, 表现出更高的热水平, 其中 LCZ2 为建筑类型年均温最热类型, 为 16.90℃, 略高于紧凑高层 LCZ1 的 16.66℃; 而 LCZ9 年均温仅为 14.78℃, 在建筑类别中温度最低。在季节昼夜尺度上, 夏季白昼是所有 LCZ 类型中温差最显著的时段, 其中 LCZ2 温度高达 38.76℃, 比 LCZA 高出 6.72℃。昼夜温差也以建筑区为大, LCZ2 夏季昼夜温差达 14.66℃; 而 LCZG 全年温度最为稳定, 其年均温为 15.67℃, 夏季昼夜温差仅为 12.95℃, 表现出显著的热缓冲能力。冬季则呈现不同的热格局: 部分建筑区在夜间出现“冷岛”现象, LCZ1 冬季夜温降至-0.50℃, 低于同期多数自然地表类型; 而植被覆盖型 LCZ 在冬季夜间表现出一定的保温效应, LCZA 夜温为-2.22℃, 高于 LCZF 的-3.63℃。建筑区在夏冬两季的温度变幅普遍大于植被区与水区。此外, LCZD 在秋季白昼温度升高至 24.98℃, 高于部分建筑类型, LCZ10 在冬季夜间温度相对较高, 为-2.52℃, 较结构相似的紧凑中层区域温差约 1.5℃。

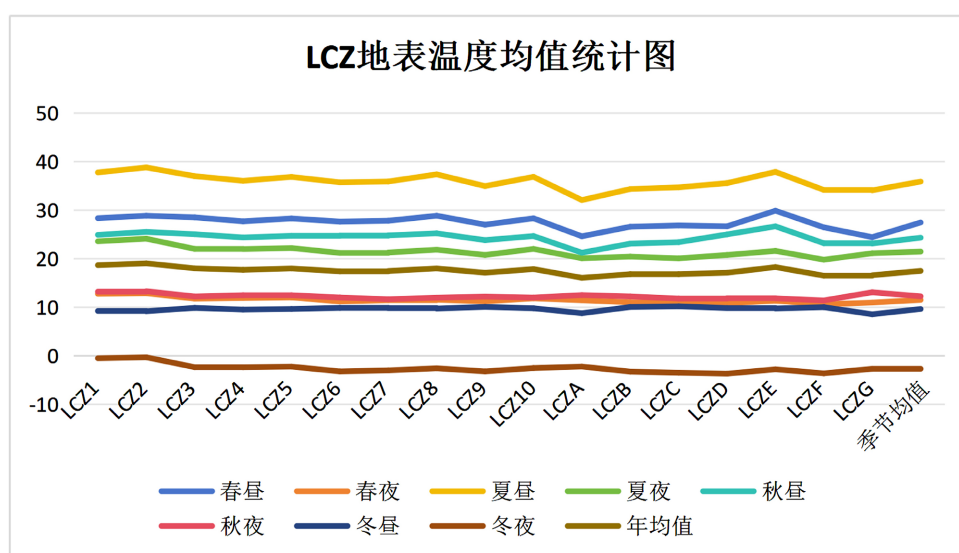


Figure 5. LCZ surface temperature average statistics
图 5. LCZ 地表温度均值统计图

3.4. 基于 LCZ 的热岛强度分布

春季白天的热岛范围最为广泛, 占研究区总面积的比例达全年峰值(36.96%)。其中, 中东部地区主要由弱热岛覆盖, 强热岛斑块则镶嵌其中。冷岛区域相对有限, 强冷岛集中于北部黄河水体及西南山区, 弱冷岛多伴生于水体周边植被与西部林地, 体现了自然下垫面的降温功能。转入夜晚, 常温区范围明显向外围乡村扩展, 热岛面积相应缩减, 且强热岛的分布从白天格局转变为聚焦于城市核心区及部分水体周边。值得注意的是, 部分水体由日间的冷岛转为夜间的常温或弱冷岛, 反映出其热调节作用具有昼夜交替的特征。夏季白天热岛集中分布于建筑密集的城区, 其形成与建筑材料吸热快、热容量低的特性直接相关。然而, 夜间热岛范围锐减, 占比较白天大幅下降, 成为全年夜晚热岛效应最不显著的时段。此时, 超过 94% 的区域温差维持在 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 以内, 城乡热力对比微弱。强热岛仅零星分布于城市最核心区域。秋季的突出特征是白天冷岛范围大幅扩展, 其中强冷岛面积达到全年最高, 多见于西部山区及北部河流地带。与之对应, 热岛范围显著收缩, 尤其是强热岛面积较春、夏季急剧减少。夜间则转为以热岛为主

的空间格局，强热岛沿城市核心区及西南方向延伸分布。冬季白天热岛效应最为微弱，全境未出现强热岛，常温区面积占比达全年最高。这主要归因于太阳辐射减弱，地表与人工建材升温困难。冷岛斑块多与水体、湿地及植被覆盖区吻合。但冬季夜间热岛效应显著增强，甚至超过秋季夜间水平。强热岛聚集于中心城区与西部工业区，面积超过 500 平方公里，显示出城区在冬季夜晚具有较强的蓄热能力；冷岛范围则急剧收缩，空间分异减弱，如图 6 所示。

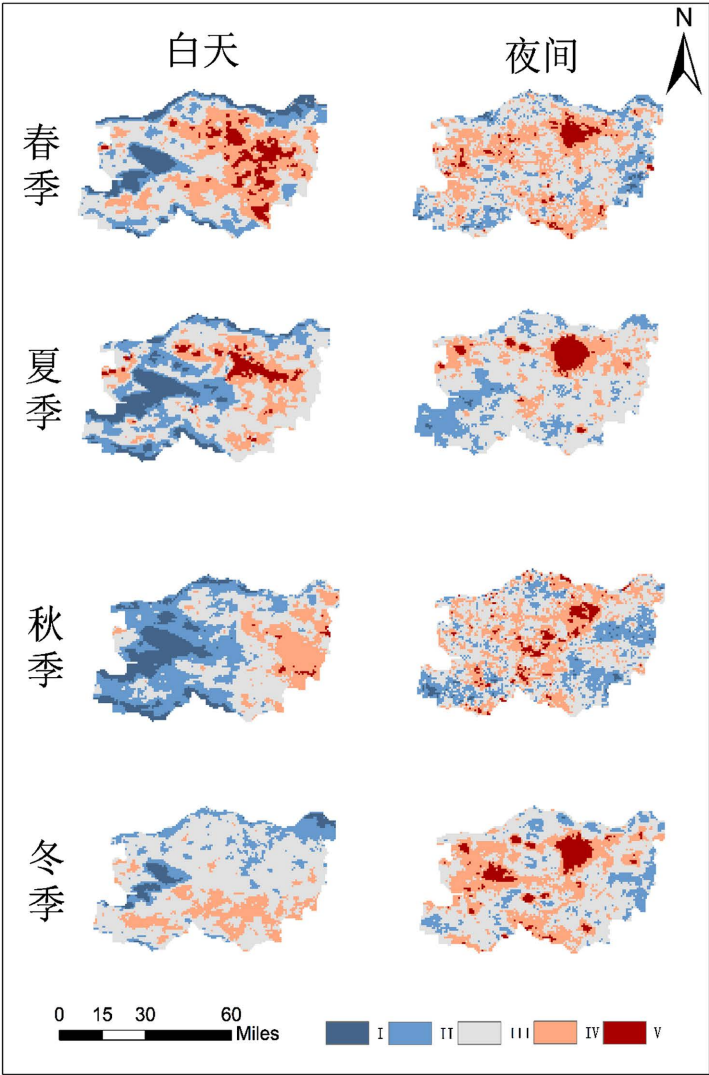


Figure 6. Heat island distribution map
图 6. 郑州市 SUHII 分布图

4. 结论

本文以郑州市为研究区,基于 Sentinel-2、Google Earth 高清历史影像、制作样本数据集,利用 SAGAGIS 模型对 2023 年 Sentinel-2 影像进行局地气候区分类,以探究城市内部空间格局及局地气候区分布状况;基于 Google Earth Engine 平台,利用 MYD11A1 数据集计算了郑州市各季节昼夜平均地表温度,基于局地气候区分类结果,计算了研究区域地表城市热岛效应强度,分析了地表城市热岛的季节性昼夜分布状况;得出的主要结论如下:

(1) 局地气候分区研究

二环以内的高密度建筑区主要分布着 LCZ2 和 LCZ5, 这些区域的地表具有密度大、绿化少、人流量大的特点。在二环区域外围, LCZ3 和 LCZ4 占据较大比例, 这些区域建筑密度较低, 绿地和水体的分布增多, 表现出较为开放的城市布局。四环外则以乡村与农业用地为主, LCZ7 和 LCZ9 成为主导, 植被覆盖较为丰富, 地表温度相对较低。研究区外围主要是农村部分, 包括了大量的低矮植被和裸土或沙地以及稀疏建筑。总而言之, 研究区以自然覆盖类型为主, 其中低矮植被面积最大, 同时稀疏建筑为建成局地气候区类型的主导类型。整体来看, 郑州市 LCZ 分区呈现出从市中心到郊区、农村的逐步过渡特征, 表现了郑州市城市化与自然环境的交织状况。

(2) 地表城市热岛研究

基于 LCZ 的地表温度统计分析表明, 郑州市不同 LCZ 类型的年均温度存在显著差异, 极差达到 2.94℃。LCZE 类型的年均温度最高, 达 17.65℃, LCZF 最低为 14.71℃。建筑密集型区域普遍温度较高, LCZ2 的年均温为 16.90℃, 略高于 LCZ1 的 16.66℃, 而 LCZ9 的年均温最低, 为 14.78℃。夏季白昼温差最大, LCZ2 温度达到 38.76℃, 比 LCZA 高出 6.72℃。建筑区域的昼夜温差较大, LCZ2 的夏季昼夜温差达到 14.66℃。LCZG 表现出较为稳定的温度变化, 年均温为 15.67℃, 夏季昼夜温差仅为 12.95℃。冬季, 一些建筑区域出现冷岛现象, LCZ1 冬季夜温降至 -0.50℃, 而植被覆盖型 LCZ 则呈现一定的保温效应, LCZA 冬季夜温高于 LCZF。总体来看, 建筑区在夏冬季节的温度波动大于植被或水体覆盖区。对于热岛而言, 总体上郑州市的城市热岛呈现出: 春广、夏强、秋显、冬弱的特点。春季热岛空间分布范围最广, 面积最大且强度仅次于夏季, 以弱热岛为主导。主要分布在郑州市中东部地区。夜晚范围收缩但核心区域仍然明显。夏季热岛强度达到全年峰值, 空间面积小于春季。其特点为日间极端高温高度集中于紧凑型建成区 LCZ1-2, 形成强热岛核心; 而夜间热岛范围显著收缩, 温差减小, 反映出强烈的昼夜热力循环与日间蓄热的主导影响。秋季热岛范围明显收缩, 冷岛效应开始凸显, 强冷岛面积达全年最高。其特点表现为热岛快速衰减, 常温区占主导, 昼夜分异显著, 热环境从夏季的热积聚向冬季的冷释放过渡。冬季热岛效应最弱, 昼间几乎无强热岛, 常温区面积达全年最大值。其特点为热岛强度微弱, 但夜间在人为热源支撑下, 热岛仍然位于二环核心区, 呈现出昼弱夜显的特殊格局, 热环境整体收敛, 空间差异最小。

参考文献

- [1] 郝学军, 朱烨, 周海珠. 城市街谷热岛效应研究进展[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(16): 6576-6591.
- [2] Xi, Y., Wang, S., Zou, Y., Zhou, X. and Zhang, Y. (2024) Seasonal Surface Urban Heat Island Analysis Based on Local Climate Zones. *Ecological Indicators*, **159**, Article ID: 111669. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111669>
- [3] Wu, B., Zhang, Y., Wang, Y., He, Y., Wang, J., Wu, Y., et al. (2024) Mitigation of Urban Heat Island in China (2000-2020) through Vegetation-Induced Cooling. *Sustainable Cities and Society*, **112**, Article ID: 105599. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105599>
- [4] 王立果, 白永平, 梁建设, 等. 基于形态学的城市建成区绿色空间与地表热岛演化关系研究——以西安市为例[J]. 地理研究, 2024, 43(3): 754-775.
- [5] Zhang, X., Li, G., Yu, H., Gao, G. and Lou, Z. (2024) Remote Sensing Monitoring and Multidimensional Impact Factor Analysis of Urban Heat Island Effect in Zhengzhou City. *Atmosphere*, **15**, Article 1097. <https://doi.org/10.3390/atmos15091097>
- [6] Wang, X., Chen, Y., Wang, Z., Xu, B. and Feng, Z. (2024) Multi-Temporal Analysis of the Impact of Summer Forest Dynamics on Urban Heat Island Effect in Yan'an City. *Sustainability*, **16**, Article 3473. <https://doi.org/10.3390/su16083473>
- [7] Manley, G. (1958) On the Frequency of Snowfall in Metropolitan England. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **84**, 70-72. <https://doi.org/10.1002/qj.49708435910>
- [8] 王硕. 基于建筑气候分区的国内主要城市集居住宅朝向量化对比研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉大学,

- 2023.
- [9] 杨梅焕, 姚明昊, 王涛, 等. 基于局地气候区的西安市城市热环境变化及其影响因素分析[J]. 生态环境学报, 2023, 32(9): 1644-1653.
 - [10] Oke, T.R. (2009) Chandler, T.J. 1965: The Climate of London. London: Hutchinson, 292 pp. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, **33**, 437-442. <https://doi.org/10.1177/0309133309339794>
 - [11] Auer, A.H. (1978) Correlation of Land Use and Cover with Meteorological Anomalies. *Journal of Applied Meteorology*, **17**, 636-643. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1978\)017<0636:coluac>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1978)017<0636:coluac>2.0.co;2)
 - [12] Ellefsen, R. (1991) Mapping and Measuring Buildings in the Canopy Boundary Layer in Ten U.S. Cities. *Energy and Buildings*, **16**, 1025-1049. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(91\)90097-m](https://doi.org/10.1016/0378-7788(91)90097-m)
 - [13] Oke, T.R. (2004) Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites. World Meteorological Organization.
 - [14] Loridan, T. and Grimmond, C.S.B. (2012) Characterization of Energy Flux Partitioning in Urban Environments: Links with Surface Seasonal Properties. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **51**, 219-241. <https://doi.org/10.1175/jamc-d-11-038.1>