

成都市热岛效应特征分析

黄旭龙, 曾胜兰*, 庞斯竞, 唐思昶, 颜照如

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

收稿日期: 2024年6月26日; 录用日期: 2024年8月19日; 发布日期: 2024年8月29日

摘要

为探讨成都市2007~2022近15年来热岛效应特征和时空演变规律, 基于四年(2007、2012、2017、2022年)的MODIS遥感影像反演了成都市地表温度, 结果表明: 1) 成都市地表温度总体呈现上升趋势, 呈现以中心城区为热中心, 向城区周围扩散的分布特征, 昼夜季节变化显著。年均地表温度低于10°C的地区基本位于西北地区, 而日间年均地表温度28°C以上的地区主要位于中部地区; 2) 从季节上看, 热岛效应呈现夏强冬弱的特征, 其中夏季城区和郊区平均温度差值可达6°C。春季、夏季夜间和秋季夜间热岛强度有增强趋势; 3) 成都市城区内热岛状况有所改善, 但周围受热岛效应影响范围扩大, 热岛面积扩张; 4) 成都市日间地表温度在城区的四周区域显著下降; 西部山区地表温度变化与山地城市分布有关; 成都东部以龙泉山脉为界温度变化多为带状分布。夜间地表温度变化多呈未显著变化。

关键词

成都市热岛效应, 热岛等级, 时空演变, 热岛强度, 趋势分析

Characteristics Analysis of Heat Island Effect in Chengdu

Xulong Huang, Shenglan Zeng*, Sijing Pang, Sichang Tang, Zhaoru Yan

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Received: Jun. 26th, 2024; accepted: Aug. 19th, 2024; published: Aug. 29th, 2024

Abstract

To investigate the characteristics and spatiotemporal evolution of the urban heat island effect in Chengdu over the past 15 years (2007~2022), MODIS remote sensing images from four years (2007, 2012, 2017, and 2022) were used to retrieve the land surface temperature of Chengdu. The results indicate that: 1) The land surface temperature in Chengdu has generally shown an upward

*通讯作者。

trend, with a distribution pattern characterized by a heat center in the central urban area spreading towards the surrounding urban areas. There are significant diurnal and seasonal variations. Regions with an annual average land surface temperature below 10°C are mainly located in the northwest, while areas with a daytime annual average land surface temperature above 28°C are primarily located in the central region; 2) Seasonally, the heat island effect is stronger in summer and weaker in winter, with the temperature difference between urban and suburban areas reaching up to 6°C in summer. The intensity of the heat island effect at night during spring, summer, and autumn shows a trend of increasing; 3) The heat island situation within the urban area of Chengdu has improved, but the area affected by the heat island effect around the city has expanded, with the heat island area increasing; 4) During the daytime in Chengdu, surface temperatures significantly decrease in the surrounding areas of the urban district. In the western mountainous regions, surface temperature changes are associated with the distribution of mountainous cities. To the east of Chengdu, temperature variations along the Longquan Mountains are typically distributed in bands. Nighttime surface temperature changes generally show no significant variation.

Keywords

Heat Island Effect in Chengdu, Heat Island Level, Spatial-Temporal Evolution, Heat Island Intensity, Trend Analysis

Copyright © 2024 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

城市热岛效应通常是由于社会人为因素，直接或间接影响到了城市地表空间的温度、湿度、空气的对流能力等下垫面局部因素，进而所引起产生的各种城市气候变化现象，其显著突出的特征之一就是城市气温比郊区气温高的现象[1]。随着社会城市化的进行，热岛效应的发展和表现逐渐突出，已成为城市气候最具代表的特征之一。1833年英国人 Lake Howard [2]第一次记录了热岛效应现象，随后在1958年 Manley [3]首次提出城市热岛的概念。近年来，随着城市化进程的快速发展，城镇化的加剧使城市中的温度变化尤为明显，城市热岛效应逐渐受到关注。在我国城市化水平的持续发展变化过程中，城市的下垫面结构发生巨大变化，同时导致大量农村人口逐渐向发达城市中聚集，人为热影响和有机污染物总量的迅速增加更大大激化了城市热岛问题，导致了其辐射范围日益扩大[4] [5]，所以开展区域性热岛研究是社会可持续发展中的需要[6]。

传统的城市热岛研究主要是利用了气象站或自动站的数据资料，这些气象资料数据的获取和处理较为方便简单，可以连续使用多个气象站和自动站的观测资料。但是，这些气象观测难以同步进行，同时因为观测站点密度等原因，难以全面反映地面温度的变化情况，深入分析城市热岛的时空分布规律特征[7]。现今遥感技术逐渐成熟，使得城市热岛效应的研究资料更加全面有效。马晶等[8]以长春为研究地区，利用 Landsat TM/TIRS 遥感影像反演地表温度，结论指出长春城市中心区域地表温度相对较高。贺丽琴等[9]基于 MODIS 影像，运用劈窗算法获得珠江三角洲区域城市热岛效应强度大小，结果表明珠江三角洲地区夏季热岛效应最为严重，冬季现象最轻，且珠江三角洲区域城市之间有城市热岛效应连片成群的趋势。饶胜等[10]通过 MODIS 地温数据，研究了珠三角地区热岛现象，分析结果表明，MODIS 数据能够较好地反映出区域地表温度的变化，城市及其周边区域的热岛现象十分明显，而位于研究区的西南和东北方位的城镇分布比较分散，对应的区域热岛现象并不显著。综上所述，遥感监测法具有全天候、数据精度适用、覆盖

范围广等特点,使得检测的地面温度数据更加精确有效,同时能从时空二维动态地监测城市热岛效应的变化趋势,弥补了用气象站点资料研究城市热岛的不足[7]。基于遥感数据的热岛效应研究成为一种十分有效的方法,而研究城市热岛效应的时空演变规律对于城市未来的规划和发展具有一定的参考价值[11]。

成都平原是中国西部最具影响的地区之一,其中成都市是西部大开发的重要城市。在城市化进程中,热岛效应对城市环境带来的危害越来越引起人们的关注,而探究热岛效应特征及时空演变规律可为城市的发展规划提供建议[12]。本文利用 MODIS 遥感影像反演,得到成都市四年地表温度,基于热岛强度和热岛等级的指标,分析了成都市热岛效应的昼夜和季节性分布,热岛效应的时空演变特征。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况

成都,简称蓉,是四川省省会、副省级超大城市。成都位于四川盆地西部,四川省中部。截至 2021 年,成都市下辖 12 个区、5 个市、3 个县(见图 1),全市土地面积为 14,335 平方千米。成都市地处四川盆地西部边缘,属亚热带季风气候区,年平均气温在 16℃左右,极端最低气温约为-5.9℃,大部分区市县出现在 12 月,少部分出现在 1 月。成都晴天少,年平均日照时数为 1042~1412 小时。由于地理条件等因素,其气候具有显著特点:冬春雨少,夏秋多雨,云雾浓,空气相对潮湿,四季分明,雨热同期[13]。

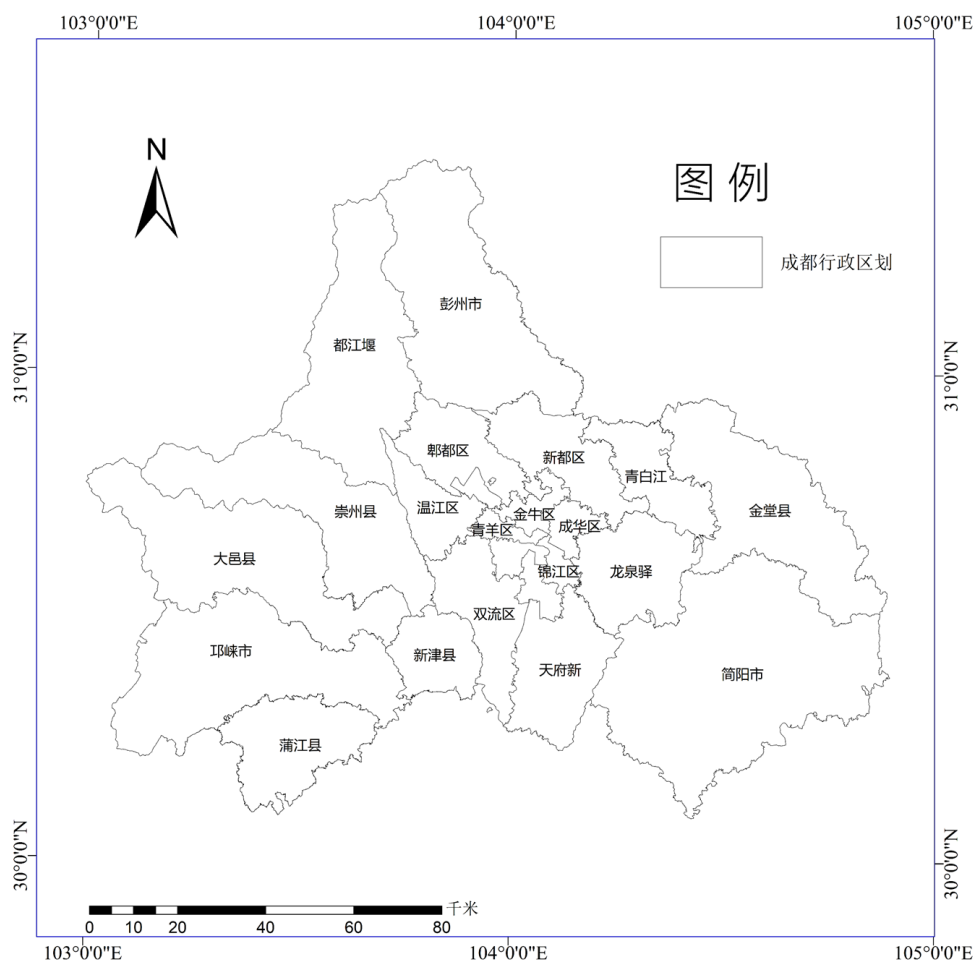


Figure 1. Administrative divisions of Chengdu

图 1. 成都市行政区划

2.2. 数据来源

中分辨率成像光谱仪(MODIS)是美国宇航局研发的一种传感器, 安装在 Terra 和 Aqua 卫星上, 用于监测全球气候变化和人类活动对气候的影响。其提供的数据可以在全球范围内免费获取, 涵盖 36 个波段, 其中第 31 和 32 波段可用于反演地表温度(LST), 并应用于热岛效应的分析[14] [15]。Terra 卫星中的 MOD11 产品由美国国家航空航天管理局(NASA)通过昼夜陆地温度产品算法生成, 该产品利用 MODIS 多波段数据反演而成, 其中 MOD11A1 和 MOD11A2 被认为是适用于地表温度研究的较佳选择[10] [16]。MOD11A1 提供日地表温度数据, 而 MOD11A2 则通过对 8 天 MOD11A1 数据进行算术平均, 使用了一些改进的云处理算法, 更好地处理了云覆盖的地区, 这有助于提高温度产品的精确性, 因此其地表温度数据质量更高[17]。

成都地区日照少, 云雾较多, 为了削弱云雾对遥感观测数据的影响, 本文采用 MOD11A2 影像作为原始数据。其中春季为 3~5 月, 夏季为 6~8 月, 秋季为 9~11 月, 冬季为 12 月~翌年 2 月。研究分别选用 2007、2012、2017、2022 年 MOD11A2 影像用于分析城市地表温度、热岛效应的分布特征, 热岛强度, 利用 2000~2022 年共 23 年 MOD11A2 影像数据分析热岛效应的时空变化趋势。

2.3. 遥感数据处理

遥感数据来源于 google earth engine (<https://earthengine.google.com/>), 选用四年(2007、2012、2017、2022 年)日间(LST-Day-1→km)和夜间(LST-Night-1 km)分辨率为 1 km 的 MOD11A2 影像数据。运用 Arcgis 10.8 对数据进行重采样→(Bilinear)、重投影(Lambert)等预处理。运用下载的栅格数据与地表温度间的运算关系(1)计算地表温度, 单位为摄氏度(°C), 计算公式如下:

$$\text{地表温度} = \text{像元值} \times 0.02 - 273.15 \quad (1)$$

2.4. 研究方法

利用最新的成都市行政区划数据, 将城市划分为中心城区和郊区两个部分。通过 ArcGIS 分别计算城区和郊区的平均地表温度。这两个平均值的差值即为该时段的热岛强度[18]。最后, 使用 ArcGIS 中的栅格计算功能对年均数据进行 Slope 趋势分析。热岛强度常见的计算方法有均值 - 标准差法和城区与郊区均值差法[19], 为了从空间上阐述成都市热岛强度的大小及分布变化, 结合基于相对温度的等级划分(见表 1)。相对温度为

$$T_r = (T_i - T_a) / T_a \quad (2)$$

其中 T_r 是相对温度, T_i 是研究区第 i 点的地表温度, T_a 是研究区域的平均温度。在热岛效应演变研究中采用 Slope 趋势分析方法, 用 P 值作为显著性检验的结果[20], 其划分数值和程度如表 2 所示。

Table 1. Standards for urban heat island classification

表 1. 热岛等级划分标准

相对温度	热岛等级
<0	绿岛
0~0.1	弱热岛
0.1~0.2	中等热岛
0.2~0.3	强热岛
>0.3	极强热岛

Table 2. Classification of trend analysis degrees**表 2.** 趋势分析程度划分

划分数值	程度
$Slope < 0, P \leq 0.01$	极显著减小
$Slope < 0, 0.01 < P \leq 0.05$	显著减小
$Slope < 0, P > 0.05$	未显著减小
$Slope > 0, P > 0.05$	未显著增加
$Slope > 0, 0.01 < P \leq 0.05$	显著增加
$Slope > 0, P \leq 0.01$	极显著增加

3. 结果与讨论

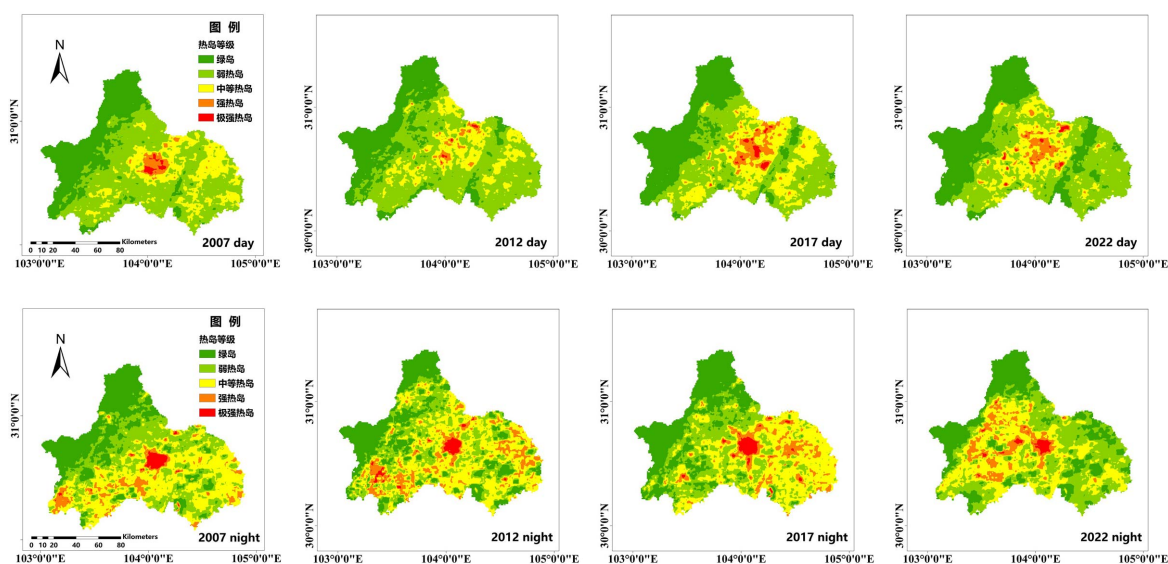
3.1. 成都市热岛效应现状分析

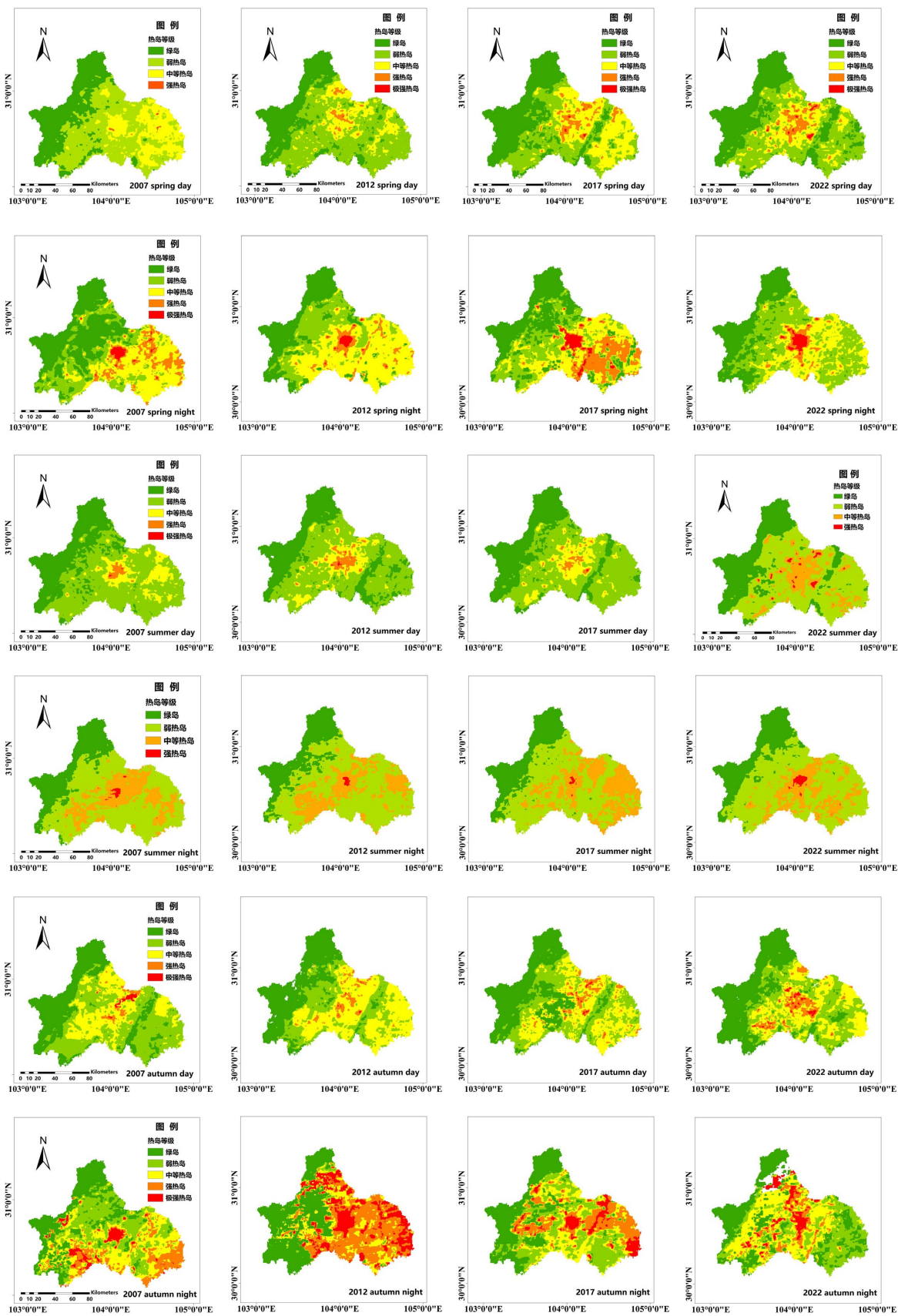
3.1.1. 热岛等级

从总体来看,成都市区域按热岛等级主要可分成三个部分,西北部以边缘山脉为界,东南侧以龙泉山脉为界,成都市热岛区域主要集中在城区中心,总体表现为热岛面积扩张,周围受热岛效应影响范围扩大同时城区内热环境状况有所改善(图 2),这与颜萍等[21]的研究结果相符。其中在日间该界限十分清晰,热岛等级整体表现为西北部低,东南部中等,中部高,与成都市地形有很大关系(图中未详细标明图例等信息与该行第一幅图信息一致)。

随着时间推进,热岛中心由单中心发展为多中心,由主城区向城区四周的郊区,如青白江区北部、双流区东部、龙泉驿区西南部等地发展。在李海峰等[22]研究结论表示,热岛中心的发展可能与城市人口逐步由市中心向郊区迁移有关,而上述地区多为该区人口建筑集中地区。夜间高热岛等级区域较日间扩张,其极强和强热岛等级主要分布在中部城区,其余零星分布在东、西部区域。

季节上,夏季大部分区域热岛等级相对较低,冬季城区热岛等级高于夏季,夜间更加显著。秋冬季的夜间,其强热岛以及极强热岛的面积远远高于同年其他季节的面积,这与曾胜兰[18]研究结果相符。考





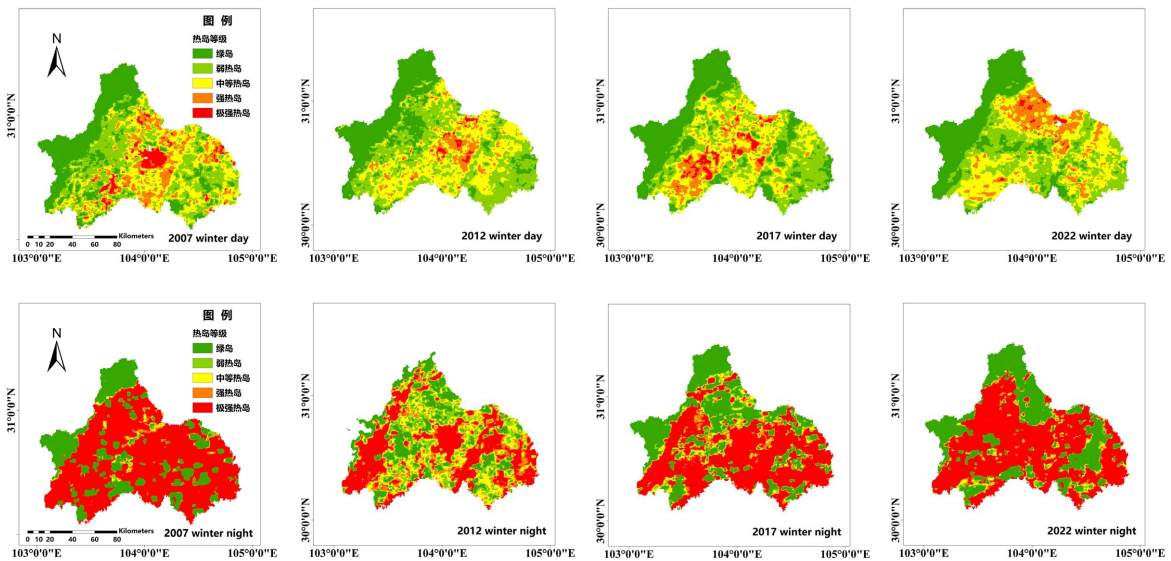


Figure 2. Diurnal and nocturnal urban heat island levels in Chengdu for 2007, 2012, 2017, and 2022

图 2. 2007、2012、2017、2022 年成都市热岛等级四季昼夜分布特征

虑由于成都平原的地理位置等情况，冬季采暖的能耗导致中心城区的温度远高于郊区，夏季由于城区的绿植等规划使得热岛状况有所改善，也可能是夏季下垫面接受太阳辐射相对较多，温差减小导致夏季日间热岛等级相对降低[23]。

3.1.2. 热岛强度

无论季节和昼夜，成都市中心城区的平均温度都高于郊区，最大差值达到 6℃。热岛强度呈现夏强冬弱的特征，具有较强的季节性差异，此结果与但尚铭等[24]的结论相符，其中表明考虑到成都属于南方城市，冬季采暖能耗及太阳辐射相对夏季晴天太阳辐射对城市下垫面的增温要小，这是夏季热岛强于冬季的一个因素。季节上按热岛强度从大到小依次为夏、春、秋、冬。除 2017 年秋季和 2022 年冬季以外，日间的热岛强度都大于夜间(见表 3)。

Table 3. Day and night urban heat island intensity in Chengdu for 2007, 2012, 2017, and 2022

表 3. 2007、2012、2017、2022 年成都市昼夜城市热岛强度

季节	年份	昼夜	区域	平均温度	热岛强度
	2007	日间	市区	30.78	3.69
			郊区	27.09	
		夜间	市区	15.66	3.23
			郊区	12.43	
春	2012	日间	市区	27.75	3.85
			郊区	23.90	
		夜间	市区	17.79	3.77
			郊区	14.02	
	2017	日间	市区	30.65	5.17
			郊区	25.48	
		夜间	市区	19.26	4.67
			郊区	14.59	

续表

春	2022	日间	市区	30.84	5.36
			郊区	25.48	
		夜间	市区	18.54	4.40
			郊区	14.14	
夏	2007	日间	市区	34.48	5.59
			郊区	28.89	
		夜间	市区	23.69	3.34
			郊区	20.35	
	2012	日间	市区	35.07	6.07
			郊区	29.00	
		夜间	市区	23.27	2.06
			郊区	21.21	
2017	日间	市区	35.89	5.48	
		郊区	30.41		
	夜间	市区	24.36	3.01	
		郊区	21.35		
秋	2022	日间	市区	36.94	4.78
			郊区	32.16	
		夜间	市区	26.40	3.91
			郊区	22.49	
	2007	日间	市区	23.89	3.73
			郊区	20.16	
		夜间	市区	13.17	2.91
			郊区	10.26	
秋	2012	日间	市区	22.74	3.52
			郊区	19.22	
		夜间	市区	11.80	3.36
			郊区	8.44	
	2017	日间	市区	21.94	1.93
			郊区	20.01	
		夜间	市区	13.03	3.22
			郊区	9.81	
2022	日间	市区	25.27	4.72	
		郊区	20.55		
	夜间	市区	16.18	3.58	
		郊区	12.60		

续表

冬	2007	日间	市区	16.06	4.32	
			郊区	11.74		
		夜间	市区	4.24	3.05	
			郊区	1.19		
		2012	日间	市区	14.59	2.72
				郊区	11.87	
	夜间		市区	5.24	2.21	
			郊区	3.03		
	2017	日间	市区	15.95	2.88	
			郊区	13.07		
		夜间	市区	4.40	2.25	
			郊区	2.15		
2022	日间	市区	14.92	2.62		
		郊区	12.30			
	夜间	市区	5.80	3.28		
		郊区	2.52			

3.2. 成都市热岛效应演变趋势

利用成都市近年年均地表温度数据得到地表温度趋势图。日间地表温度的演变按趋势在中心城区强度增强，环绕城区的四周强度减小，且显著程度很高，东西侧增加减小趋势交错分布。中心城区向中心多为建设用地，耕地林地交错分布在城区外侧；东部以龙泉山脉为界温度变化趋势为带状分布；西部多山区，城市和山地交错分布导致温度变化不同。夜间地表温度变化多为不显著状态。

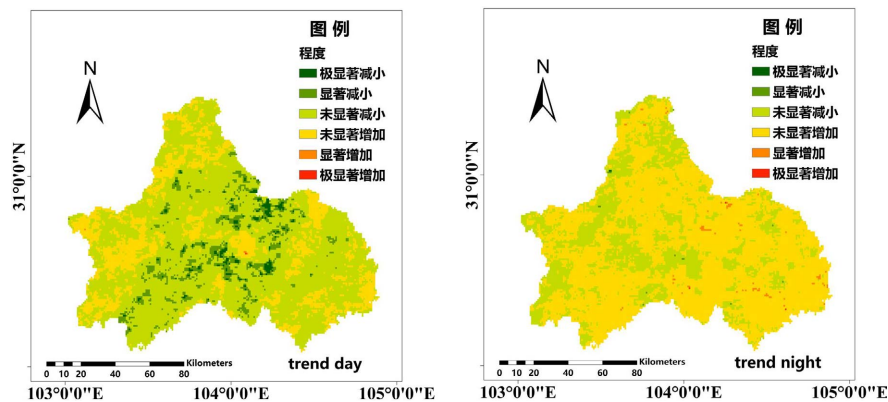


Figure 3. Evolution trend of Chengdu's land surface temperature

图 3. 成都市地表温度演变趋势

从成都市热岛效应演变趋势中分析昼夜斑块数量(见表 4)，对比图 2、图 3 图像，发现白天热岛强度上总体呈现减弱趋势。在靠近青白江区和龙泉驿这两处常驻高热岛等级区域附近，地面温度有显著甚至极显著的下降趋势，这或是造成高热岛等级原因之一。随着人口向郊区迁移和建筑用地的增加，夜晚的

温度增长区域面积更大。

Table 4. Evolution trend analysis of urban heat island effect in Chengdu: daytime and nighttime patch count
表 4. 成都市热岛效应演变趋势分析昼夜斑块数

	极显著减小	显著减小	未显著减小	未显著增加	显著增加	极显著增加
日间	257	1248	11522	3678	5	1
夜晚	2	15	4650	11960	81	3

4. 结论

1) 成都市热岛效应明显, 具有显著的昼夜和季节性差异。城市热岛效应的特征与城市的地理位置和发展规划有关[25] [26], 成都市位于成都平原, 地势为四周高中间低, 导致与外界的热交换少, 容易形成城市热岛效应。随着城市的规划发展, 地温较高的地区环绕城区不断向外发展, 这时热岛中心已经由单中心发展为多中心[22]。夜间热岛效应强于白天。夏季大部分区域热岛等级相对较低, 冬季城区热岛等级高于夏季, 夜间更加显著。

2) 成都市中心城区的平均温度都高于郊区, 最大差值达到 6℃, 日间的热岛强度普遍大于夜间。热岛强度具有较强的季节性差异, 季节上按热岛强度从大到小依次为夏、春、秋、冬, 呈现夏强冬弱的特征。成都属于南方城市, 冬季采暖能耗及太阳辐射相对夏季晴天太阳辐射对城市下垫面的增温要小[24], 是导致成都市热岛效应夏强冬弱的一个因素。

3) 成都市日间地表温度的演变按趋势可大致分为四个部分: 中心城区升高; 环绕城区的四周温度显著降低; 西部山区地表温度变化多与城市和山地的分布有关; 成都东部以龙泉山脉为界温度变化多为带状分布。随着成都市区的可持续规划发展, 其城区热岛效应改善效果显著, 但伴随人口向郊区迁移, 热岛中心位置也在变化, 面积也在扩张。人口聚集地、建设用地与耕地林地的交错分布可能会造成小区域的热岛效应。

致 谢

在我完成这篇论文的过程中, 得到了许多人的支持和帮助, 借此机会, 向所有在此过程中给予我指导和帮助的师长、同学以及家人表示衷心的感谢, 另特别感谢成都信息工程大学大学生创新创业训练计划项目的大力支持。

首先, 我要特别感谢我的指导老师曾胜兰副教授。在论文写作的每一个阶段, 曾老师都给予了我无微不至的关怀和指导。从选题、文献综述到结构安排、数据分析, 再到最后的修改定稿, 曾老师都耐心地给予了我宝贵的意见和建议, 教会了我严谨的学术态度和研究方法, 使我受益匪浅。曾老师的辛勤付出和无私奉献, 使我的论文能够顺利完成, 我在此深表感谢。

其次, 我要感谢我的同学们。在论文的写作过程中, 我的许多同学都给予了我无私的帮助和支持。特别是在讨论和分享过程中, 他们提出的宝贵意见和建议对我改进论文起到了重要的作用。正是因为有了大家的帮助, 我才能顺利地完成这篇论文。

此外, 我还要感谢我的家人。他们在我写作过程中给予了我无限的关怀和支持, 每当我遇到困难和挫折时, 家人的理解和鼓励让我有了坚持下去的动力。特别是我的父母, 他们不仅在生活上给予了我无微不至的照顾, 还在精神上给予了我极大的支持, 使我能够专心投入到论文的写作中。

最后, 我要感谢所有在这段时间里给予我帮助的朋友和老师们。虽然这篇论文内容不多, 但它是独立完成的第一篇学术作品, 对我来说具有重要的意义。在这个过程中, 我学到了很多宝贵的知识和经

验，也体会到了科研的艰辛和乐趣。我深知自己还有很多不足和需要改进的地方，但我会继续努力，不断提升自己的学术水平和研究能力。向百忙之中抽时间对本文进行审阅的各位老师表示衷心的感谢！

基金项目

本文章受成都信息工程大学大学生创新创业训练计划(202310621012)项目资助。

参考文献

- [1] 柏林. 几种热效应及其成因图解[J]. 中学地理教学参考, 2009(12): 36-37.
- [2] Howard, L. (1833) Climate of London Deduced from Meteorological Observation. *Harvey and Darton*, 1, 1-24.
- [3] 佐藤洋. 9p-E-3 Manley, Rowe relation と热力学第二法则[J]. 日本物理学会年会講演予稿集, 1959, 14(4): 62.
- [4] 刘施含, 曹银贵, 贾颜卉, 等. 城市热岛效应研究进展[J]. 安徽农学通报, 2019, 25(23): 117-121.
- [5] 冉磊. 基于 RS 和 GIS 技术城市热岛效应的研究进展[J]. 智慧中国, 2023(1): 81-83.
- [6] 江晓燕, 张朝林, 高华, 等. 城市下垫面反照率变化对北京市热岛过程的影响——一个例分析[J]. 气象学报, 2007, 65(2): 301-307.
- [7] 黄宏涛, 吴荣军, 王晓云, 房小怡, 杜吴鹏. 城市热岛效应研究进展[J]. 河南科学, 2015, 33(7): 1214-1220.
- [8] 马晶, 王青妹, 纪梦达, 李曦彤. 长春市城区热岛效应遥感分析[J]. 测绘科学, 2019, 44(8): 61-69.
- [9] 贺丽琴, 杨鹏, 景欣, 晏磊, 苏琳琳. 基于 MODIS 影像及不透水面积的珠江三角洲热岛效应时空分析[J]. 国土资源遥感, 2017, 29(4): 140-146.
- [10] 饶胜, 张惠远, 金陶陶, 等. 基于 MODIS 的珠江三角洲地区区域热岛的分布特征[J]. 地理研究, 2010, 29(1): 127-136.
- [11] 张新刚, 周斌, 王珂. 杭州市热岛效应的遥感监测[J]. 科技通报, 2004, 20(6): 501-505.
- [12] 黄大田. 全球变暖、热岛效应与城市规划及城市设计[J]. 城市规划, 2002, 26(9): 77-79.
- [13] 伊铭. 《成都下同仁路——佛教造像坑及城市生活遗址发掘报告》简介[J]. 考古, 2018(7): 120.
- [14] De Andrade, M.D., et al. (2021) Evaluation of the MOD11A2 Product for Canopy Temperature Monitoring in the Brazilian Atlantic Forest. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 1-20.
- [15] 李召良, 段四波, 唐伯惠, 吴骅, 任华忠, 阎广建, 唐荣林, 冷佩. 热红外地表温度遥感反演方法研究进展[J]. 遥感学报, 2016, 20(5): 899-920.
- [16] 王丽美, 姜永涛, 孙林, 王春香. MODIS 分裂窗算法反演地表温度[J]. 地理空间信息, 2011, 9(6): 99-100+104.
- [17] 李晓敏, 曾胜兰. 成都、重庆城市热岛效应特征对比[J]. 气象科技, 2015, 43(5): 888-897.
- [18] 曾胜兰. 成都市城市热岛效应分析[J]. 成都信息工程学院学报, 2015, 30(1): 96-101.
- [19] 查良松, 王莹莹. 一种城市热岛强度的计算方法——以合肥市为例[J]. 科技导报, 2009, 27(20): 76-79.
- [20] 孙灏, 马立茹, 蔡创创, 等. 干旱区地表温度和热岛效应演变研究——以宁夏沿黄城市带为例[J]. 干旱区地理, 2020, 43(3): 694-705.
- [21] 颜萍. 基于遥感数据的成都市土地利用类别与热岛效应关联性研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2022.
- [22] 李海峰, 李永树, 卢正. 基于 L5/L8 影像成都市热环境特征分析[J]. 激光与光电子学进展, 2017, 54(3): 280-288.
- [23] 崔林林, 李国胜, 戢冬建. 成都市热岛效应及其与下垫面的关系[J]. 生态学杂志, 2018, 37(5): 1518-1526.
- [24] 但尚铭, 但玻, 杨秀蓉, 等. 卫星遥感成都平原城市热岛效应的动态特征[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(7): 10-13.
- [25] 张好, 徐涵秋, 李乐, 等. 成都市热岛效应与城市空间发展关系分析[J]. 地球信息科学学报, 2014, 16(1): 70-78.
- [26] 曾胜兰. 道路建设对成都市热岛效应的影响[J]. 生态环境学报, 2014, 23(10): 1622-1627.