

文章编号: 1671-6612 (2021) 02-196-06

基于 Landsat 数据的绵阳市城市热岛效应研究

余 洋 韩如冰 唐中华

(西南科技大学土木工程与建筑学院 绵阳 621000)

【摘 要】 随着城市化进程的不断推进,城市热岛也随之不断发展演变。以 2004 年至 2016 年的四组 Landsat 卫星影像数据为基础,使用基于辐射传输方程的方法获取了绵阳市 2004 年至 2016 年的四幅地表温度分布图像;采用监督分类法获取了四幅地表分类图像。研究表明:从 2004 年至 2016 年,绵阳市的城市区域沿着涪江和安昌河两岸不断延伸,城市建成面积扩大了一倍多,农田和林地的面积则分别减少了 17.8%和 12.1%;城市热岛分布范围不断扩大,强度在不断地增强;适当的增加城市的水体和植被的面积则能够明显削弱城市热岛效应强度。

【关键词】 城市热岛;地表温度;土地分类;地温反演;Landsat
中图分类号 P237 文献标识码 B

Research on Urban Heat Island Effect of Mianyang City Based on Landsat Data

Yu Yang Han Rubing Tang Zhonghua

(School of Civil Engineering and Architecture, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, 621000)

【Abstract】 With the continuous advancement of urbanization, urban heat islands also continue to evolve. Based on the four sets of Landsat satellite image data from 2004 to 2016, this paper uses the method based on the radiative transfer equation to obtain four surface temperature distribution images in Mianyang City from 2004 to 2016; uses the supervised classification method to obtain four surface classification images. The research results show that from 2004 to 2016, the urban area of Mianyang City continued to extend along the banks of the Fujiang and Anchang Rivers, the urban built-up area more than doubled, and the area of farmland and woodland decreased by 17.8% and 12.1%, respectively; The distribution range of urban heat islands continues to expand, and the intensity continues to increase; an appropriate increase in the area of urban water and vegetation can significantly weaken the intensity of the urban heat island effect.

【Keywords】 urban heat island; land surface temperature; land classification; ground temperature inversion; Landsat

作者(通讯作者)简介:余 洋(1995.6-),男,在读硕士研究生, E-mail: 760753261@qq.com
收稿日期:2020-07-24

0 引言

随着城市化进程的不断推进,世界上超过一半的人口居住在城市中^[1]。伴随着城市化进程的不断推进,城市的下垫面等表面也随之变化^[2,3],因而大中城市均出现了不同程度的城市热岛效应(UHI)^[4]。热岛效应不仅会改变城市气候,还会造成城市气温升高,提升建筑设备的运行能耗,甚至危害人体健康^[5]。因而城市热岛效应引起国内外广大学者

的关注,研究对象几乎都针对的是大城市(如北京,上海,广州,香港,苏州等)^[6-8],对中等城市的研究相对较少。而实际上,尽管中等城市的规模和人口密度和大型城市有很大区别,但中等城市的热岛效应已经出现了明显的特征。本文将以前四川省绵阳市这个中等城市为例进行热岛效应相关研究。

近几十年来,城市热岛研究中越来越关注地表温度的作用^[9],由于传统的气象数据无法准确的获

得全面的城市气温,特别是在研究城市土地利用的分类、城市热岛的时空演变和发展等方面^[10-12],广泛采用了遥感技术数据和地理信息系统的研究方法。

本文根据 2004 年至 2016 年的 4 组 Landsat 数据绵阳城市热岛演变进行研究。采用基于辐射传输方程的方法获取了四个不同年份的城市地表温度图像,并且采用均值—标准差的方法并将它们进行归一化处理,用以分析和比较不同年份的城市热岛强度。此外还利用监督分类法获取了绵阳市四个不同年份的土地利用图像,以探究不同时期绵阳市的城市化进程。

1 数据及研究区域概况

1.1 研究区域

绵阳市地理坐标为北纬 30°42′至 33°03′,东经 103°45′至 105°43′(见图 1),位于四川盆地的东北边缘地带,城市建筑和人口密集的区域主要集中于涪江和安昌河两岸以及其交汇处。

本文基于 2016 年谷歌地球卫星图像手动绘制了绵阳主城区的城市边界,并将其用作研究区域,整个研究区域主要包括涪城区和游仙区两个部分。

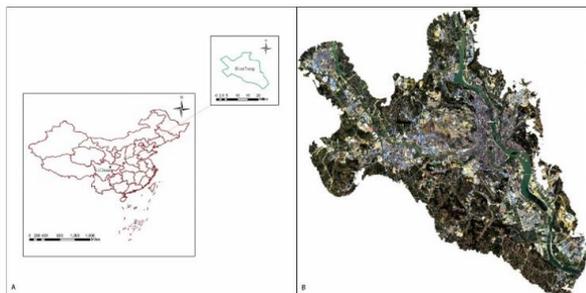


图 1 研究区域位置示意图

Fig.1 Schematic diagram of the location of the study area

1.2 数据

本文使用 4 组 Landsat ETM+数据影像来研究绵阳的城市热岛效应,它们均来自地理空间数据云网站。

由于在 2003 年 5 月 Landsat7 搭载的 ETM+搭载的机载扫描行校正器发生了故障,因此在此之后其所有获取的图像都发生了严重的条带丢失的情况,针对这一情况,我们采用 ENVI 5.3 软件当中的插件对四组数据分别进行了修复工作。

表 1 四组 Landsat 数据

数据	分辨率 (m)	获取时间	日期
Landsat ETM+	60×60	03:25	2004.4.19
		03:23	2009.5.03
		03:28	2013.8.18
		03:35	2016.6.07

2 地表温度反演方法

有文献表明,对于 ETM+数据,采用单通道算法和基于辐射传输方程的算法获取的地表温度精度要高于其它的算法^[13,14],因此本文选用基于辐射传输方程的算法来反演绵阳市的地表温度。

2.1 地温反演

归一化差异植被指数 (NDVI) 反映植被分布状况,NDVI 值越高,则植被的覆盖度越大,生长也越茂密。NDVI 的计算式见公式 (1),NDVI 通常在-1~1 的范围内。

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{red}}{R_{NIR} + R_{red}} \quad (1)$$

式 (1) 中的 R_{NIR} 和 R_{red} 分别是 ETM+的红外和近红外波段,对于 ETM+, R_{NIR} 和 R_{red} 分别为波段 3 和波段 4。

地表比辐射率是同种温度下地表辐射量和黑体辐射量的比值,用于表征物体表面的发射能力,是反演地表温度的必要参数。水体的地表比辐射率近似于黑体,本文将比辐射率设置为 0.995,对于城市和自然表面,则按照已有研究公式进行计算^[15]。

$$\varepsilon_{surface} = 0.9625 + 0.0614 \cdot F_V - 0.0461 \cdot F_V^2 \quad (2)$$

$$\varepsilon_{town} = 0.9589 + 0.086 \cdot F_V - 0.0671 \cdot F_V^2 \quad (3)$$

其中, $\varepsilon_{surface}$ 为植被的地表比辐射率, ε_{town} 为城镇的地表比辐射率。

Landsat7 所搭载的卫星传感器接收到的红外热辐射值大致可以分为三部分:大气向上辐射、地表接收到的大气反射、地表辐射的通过大气层抵达卫星传感器的辐射量。红外热辐射值的计算见公式

(4)。

$$L_T = \frac{L_\lambda - L_{up} - \tau \cdot (1 - \varepsilon) \cdot L_{town}}{\varepsilon \cdot \tau} \quad (4)$$

式(4)中, L_T 表示黑体辐射强度, L_λ 表示卫星传感器接收到的红外热辐射值。 L_{up} 表示大气向上辐射, L_{town} 表示大气向下辐射, τ 表示大气透射, ε 表示地表比辐射率。

进一步根据普朗克公式的反函数来计算地表温度:

$$LST = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_T} + 1\right)} \quad (5)$$

式中, K_1 和 K_2 是红外波段的定标参数, 对于Landsat7 ETM+传感器, $K_1=666.09W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$, $K_2=1282.71K$ 。

2.2 城市热岛强度计算

为了更好地比较不同时期城市热岛强度的差异, 对获得的地表温度数据进行归一化处理, 并且根据表2将地表温度划分成不同的温度等级。

表2 地表温度等级划分标准

Table 2 Standards for Classification of Surface

Temperature	
温度等级	划分标准
极高温	$LST_i > \mu + std$
高温	$\mu + 0.5std < LST_i \leq \mu + std$
中温	$\mu - 0.5std < LST_i \leq \mu + 0.5std$
低温	$\mu - std < LST_i \leq \mu - 0.5std$
极低温	$LST_i \leq \mu - std$

为更好的表征城市的热岛强度, 进一步计算城市热岛强度指数 (URI) 来比较不同年份城市热岛强度的差异, 热岛强度指数通过式(6)进行计算。

$$URI = \frac{1}{100m} \sum_i^n \omega_i \cdot p_i \quad (6)$$

式(6)中, m 是地表温度的等级划分数量, $m=5$ n 是城镇区域地表温度高于郊区的温度等级数, 城镇区域划分为三类: 极高温, 高温和中温, $n=3$ 。 ω 是权重因子, 取极高温等级 $\omega=5$, 高温等级 $\omega=3$, 中温等级 $\omega=1$ 。 p_i 是第 i 个温度等级占研究区域面积的百分比。

2.3 地表分类精度分析

基于2004年至2016年绵阳市的四组Landsat ETM影像数据, 研究土地覆盖(LULC)地图并研究LULC的变化。对分类结果进行评估, 计算混淆矩阵、各个准确性和Kappa系数, 结果显示所有准确率都超过80%。

表3 地表分类的精度评价表

Table 3 Accuracy evaluation table of surface classification

	2004	2009	2013	2016
地物类型	PA	PA	PA	PA
	UA	UA	UA	UA
	97%	100%	98%	99%
	100%	99%	97%	100%
	94%	100%	100%	99%
农田	98%	100%	100%	95%
林地	99%	99%	98%	95%
水体	97%	100%	100%	98%
建筑用地	90%	87%	95%	87%
耕地	98%	94%	100%	96%
裸地	100%	98%	100%	100%
	100%	98%	93%	81%
	99%	96%	100%	100%
	92%	91%	95%	86%
总体精度	97%	98%	98%	93%
Kappa系数	0.96	0.97	0.98	0.91

3 结果分析

3.1 地表温度结果分析

基于辐射传输方程法和四组Landsat ETM+数据反演得到的地表温度图像, 如图2所示。由图2可知, 自2004年至2016年, 高温区域沿着安昌河和涪江两侧在不断扩张, 绵阳市地表温度最高的部分始终位于城市区域。由表4可知, 自2004年春季至2009年春季, 地表温度最小值几乎恒定, 而最大值和平均值分别增加了2.5°C和1.2°C。而自2013年夏季至2016年, 地表温度的最小值增加了1.62°C, 最大值和平均值分别增加了15.6°C和8.32°C。因此可知, 自2004年至2016年, 绵阳市的平均地表温度一直在增长。

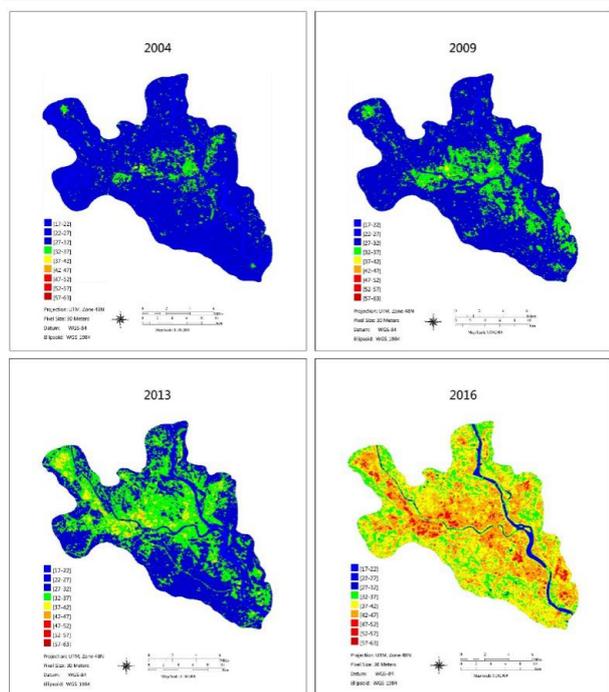


图 2 绵阳市不同年份地表温度图像

Fig.2 Surface temperature images in different years in Mianyang City

表 4 绵阳市不同年份地表温度统计表

Table 4 Land surface temperature statistics in different years in Mianyang City

年份	最小值	最大值	平均值	标准差
2004	17.92	45.78	28.74	2.40
2009	18.03	48.28	29.94	2.66
2013	19.89	49.95	31.87	3.35
2016	21.51	65.55	40.19	4.45

3.2 热岛强度指数分析

由图 3 和表 5 可知, 自 2004 年至 2016 年, 绵

表 5 绵阳市不同年份各温度等级面积 (百分比) 和 URI 值

Table 5 Area (percentage) and URI value of each temperature grade in Mianyang City in different years

温度等级	2004 (%)	2009 (%)	2013 (%)	2016 (%)
极低温	14.16	8.45	10.44	11.33
低温	13.60	20.41	13.09	0.00
中温	43.42	43.84	40.23	41.29
高温	18.73	12.75	13.39	16.57
极高温	10.00	14.55	22.83	30.81
URI	0.299	0.310	0.389	0.490

3.3 地表分类图像

图 4 为采用监督分类方法获取的绵阳市 2004 年至 2016 年的土地利用/土地覆盖 (LULC) 图像。

阳市城市热岛强度不断地增强, 极高温地区和高温地区的面积不断增长且集中在城市区域, 极低温地区和低温地区的面积则不断的减少且集中在水体和自然植被覆盖的区域。自 2004 年至 2009 年, 绵阳市的热岛强度指数 (URI) 变化不大, 尽管极高温区域增加了 4.55%, 但高温区域减少了 5.98%, 而 URI 仅增加了 0.011。自 2009 年至 2016 年, 极高温区域和高温区域的面积分别增加了 16.26% 和 3.82%, 低温区域面积减少了 20.41%, URI 从 0.31 增加到 0.49, 城市的热岛强度显著提高。

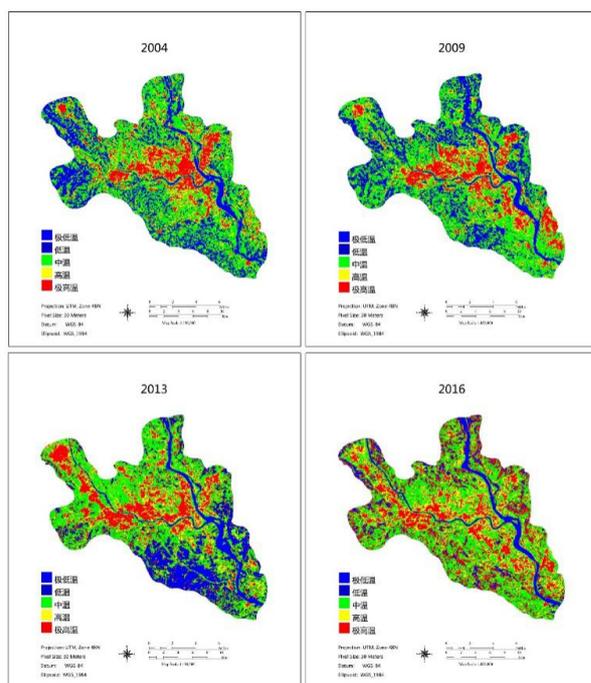


图 3 绵阳市不同年份温度等级图像

Fig.3 Temperature grade images in different years in Mianyang

表 6 统计了绵阳市 2004 年至 2016 年四个年份各自的土地利用状况。由图 4 和表 6 可知, 自 2004 年至 2016 年, 绵阳市城区面积持续增加, 农田、耕

地等植被区域面积持续减少。特别是 2013 年至 2016 年期间，城区面积增加了将近一倍。

由图 4 可知，绵阳市新建区域主要集中在涪江、安昌河的沿岸地区。新建城区区域从 2004 年的 17.9% 提高到 2016 年的 47.6%（新建城区面

积与总城区面积的比值）。同时，农田、耕地、林地等自然植被覆盖区域面积的逐年减少。以林地为例，2004 年林地占城区总面积的 17.8%，而 2016 年林地仅占城区总面积的 5.7%。

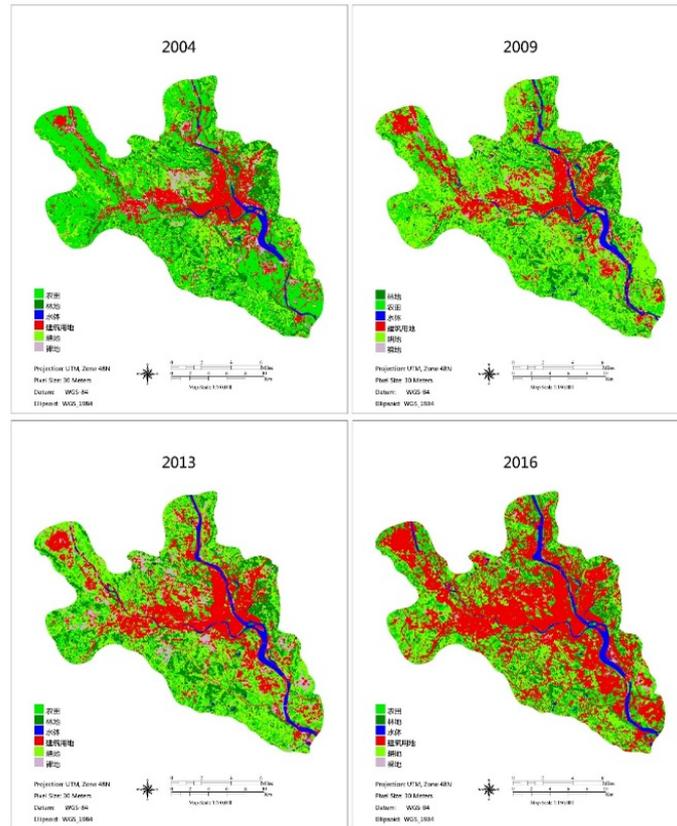


图 4 绵阳市不同年份 LULC 图像

Fig.4 LULC images in different years in Mianyang City

表 6 绵阳市不同年份土地利用类型统计表

Table 6 Statistics of land use types in different years in Mianyang City

地表类型	2004.4.19		2009.5.03		2013.8.18		2016.6.07	
	面积 (km ²)	%						
水体	8.8	2.0	14.7	3.3	15.8	3.6	17.5	4.0
裸地	18.1	4.1	9.5	2.2	27.6	6.3	6.2	1.4
城镇	78.8	17.9	89.4	20.3	117.1	26.6	209.6	47.6
农田	162.9	37.0	70.7	16.0	52.8	12.0	84.4	19.2
耕地	93.3	21.2	192.5	43.7	161.6	36.7	97.0	22.0
林地	78.3	17.8	63.9	14.5	65.2	14.8	25.1	5.7

4 主要研究结论与展望

本文以绵阳市 2004 年至 2016 年的四组 Landsat ETM+ 数据为基础，获取了四个不同年份的

地表温度图像以及土地利用/土地覆盖图像，分析了绵阳市城市热岛的时空分布特征以及演变过程，主要的结论包括以下几条：

(1) 从 2004 年到 2016 年, 绵阳市的平均地表温度在不断增高, 高温区域和极高温区域的面积总体呈增大的趋势, 主要集中在人口和建筑比较密集的区域。期间绵阳市的城市热岛强度也在不断的增强, 并且城市热岛分布的范围也越来越广, 不少植被区域在城镇化过后地表温度陡然增高, 热岛强度也随之增强。

(2) 从 2004 年到 2016 年, 绵阳市的土地利用状况发生了显著的变化, 沿着涪江和安昌河两岸城市建成区域面积不断增加。从 2004 年至 2016 年, 整个城市的建成区面积百分比增加了 29.7%; 而农田、林地等植被覆盖区域的面积则不断的减少, 农田面积减少了 17.8%, 林地面积减少了 12.1%。这种改变带来的直接影响则是城市热岛的分布范围随着建成区域的扩大而不断扩大, 且强度不断增加。

(3) 城市下垫面的类型是影响城市热岛的一项重要因素, 下垫面的透水性与辐射吸收系数的改变使得整个城市蓄积大量的热量, 导致城市热岛强度增加。自 2004 年到 2016 年, 绵阳市大量的自然植被表面被城市区域取代, 造成城市热岛强度增强以及分布范围扩大, 因此在未来的城市规划和城市改造中, 应采取一些技术措施, 尽量保留一定面积的植被和水体区域。这些技术措施包括: 改造既有建筑屋面为浅层蓄水屋面或者绿化屋面; 下垫面采用透水性强、反射率高的材料; 暖通工程师应优化冷热源设计方案, 尽量减小系统排热量对热岛效应的影响。

参考文献:

- [1] LEE S H, BAIK J J. Evaluation of the vegetated urban canopy model (VUCM) and its impacts on urban boundary layer simulation[J]. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 2011,47(2):151-165.
- [2] 何川, 王亮, 王志星. 立面绿化植被层能量平衡数学模型研究[J]. *制冷与空调*, 2019,33(3):328-331.
- [3] 盛肖利, 刘学来, 李永安, 等. 北方农村建筑围护结构节能研究[J]. *制冷与空调*, 2019,33(4):395-398.
- [4] MOONEN P, DEFRAEYE T, DORER V, et al. Urban Physics: Effect of the micro-climate on comfort, health and energy demand[J]. *Frontiers of Architectural Research*, 2012,1(3):197-228.
- [5] 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.
- [6] 付盈, 国巧真, 吴晓旭. 基于 Landsat 8 遥感数据的天津市地表温度反演[J]. *中国环境监测*, 2018,34(5):165-172.
- [7] 何炳伟, 赵伟, 李爱农, 等. 基于 Landsat 8 遥感影像的新旧城区热环境特征对比研究——以成都市为例[J]. *遥感技术与应用*, 2017,32(6):1141-1150.
- [8] 卫玲玲, 段梦雷, 王子涵. 基于 Landsat 8 卫星影像的热岛效应研究——以南京市主城区为例城市勘测[J]. 2018,(6):54-58.
- [9] VOOGT, J A, OKE, et al. Thermal remote sensing of urban climates[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003,86(3):370-84.
- [10] LI Z L, TANG B H, WU H, et al. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2013,(131):14-37.
- [11] MILLER R B, SMALL C. Cities from space: potential applications of remote sensing in urban environmental research and policy[J]. *Environmental Science & Policy*, 2003,6(2):129-37.
- [12] JACOB F, LESAINOUX A, OLIOSSO A, et al. Reassessment of the temperature-emissivity separation from multispectral thermal infrared data: Introducing the impact of vegetation canopy by simulating the cavity effect with the SAIL-Thermique model[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017,198:160-172.
- [13] DIANDIAN J, ZHAONING G. Algorithms Comparison of Land Surface Temperature Retrieval from Landsat Series Data: A Case Study in Qiqihar, China[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2018,33(5):830-841.
- [14] XUHAN-QIU, CHENBEN-QING. Remote sensing of the urban heat island and its changes in Xiamen City of SE China[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2004,16(2):276-281.
- [15] QIN Z, LI W, XU B, et al. The Estimation of Land Surface Emissivity for Landsat TM6[J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2004,16(3):28-32.