

保定市主城区地表温度反演及时空变化分析

田 帅*, 石 岩, 李 雯, 张 勇

(保定理工学院, 河北 保定 071000)

摘要: 以河北省保定市主城区为例, 利用 Landsat 遥感数据对其 2001、2009、2017 年地表温度进行反演及归一化分级处理, 进而研究了地表温度的时空变化。结果表明, 辐射传输方程法适用于保定市主城区地表温度反演; 保定市主城区热环境分布与城市发展联系密切, 热岛区域主要集中在城区中心、周边城镇等人口稠密、建筑密集地区及工业厂区等地; 2001—2017 年保定市主城区低温区明显减少, 中温区不断增加, 热岛区域出现了较为明显的破碎化效应。研究结果对保定市主城区热环境分析有一定的参考意义。

关键词: 地表温度; Landsat; 时空变化; 保定市

中图分类号: X16 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-6830(2021) 04-0033-04

Land surface temperature inversion and spatial-temporal variation analysis on the main urban area of Baoding. TIAN Shuai*, SHI Yan, LI Wen, ZHANG Yong (Baoding University of Technology, Baoding 071000, China) . *Environmental Ecology*, 2021, 3(4) , 33~36.

Abstract: By using Landsat remote sensing data, the main urban area of Baoding City in Hebei Province was taken as an example to invert the land surface temperature and grade the normalization results in 2001, 2009 and 2017, and then studied the spatial-temporal variation. The results showed that the method of radiative transfer equation is suitable for the land surface temperature in the main urban area of Baoding. The distribution of land surface environment in the main urban area of Baoding is closely related to the urban development. The heat island areas are mainly concentrated in the urban center, around towns and other densely populated, built-up areas and industrial factory areas. From 2001 to 2017, the low temperature area in the main urban area of Baoding decreased obviously, while the medium temperature area increased continuously, and the heat island areas showed obvious fragmentation effect relatively. The results have certain reference significance to the thermal environment analysis on the main urban area of Baoding.

Key words: Land surface temperature; Landsat; spatial-temporal variation; Baoding

随着城市化进程的快速推进, 城市自然地表面积不断减少, 建成区面积逐渐增大。地表覆盖形式的巨大变化导致城市地表温度随之改变, 其引起的如城市热岛等热环境问题越来越受到人们的关注^[1]。城市热环境研究对于城市气候、生态环境规划、可持续发展具有重要的意义。近年来, 遥感技术不断发展, 因其数据具有宏观性、动态性等特点, 被国内外学者广泛用于地面温度及其热环境的监测、分析等方面研究并取得了一系列研究成果, 如 DOUSSET 等^[2] 利用 NOAA-AVHRR 遥感影像数据对美国洛杉矶、法国巴黎城市地表热环境变化进行了分析; WENG^[3] 采用 Landsat TM 与 GIS 相结合的方法研究了珠江三角洲地区城市扩张对城市热环境的影响; 陈云浩等^[4] 利用 Landsat TM 遥感影像对北京六环区域内热岛效应的时空动态变化特征及演变规律进行分析。

保定市是“京津冀协同发展”中的重要城市。

近些年, 保定市城市化发展迅速^[5], 下垫面的快速变化对地表温度产生了重要影响。本文利用不同时相 Landsat 数据对保定市主城区地表温度进行反演, 并进行时空变化分析, 以期对城市环境规划、促进城市可持续发展提供参考。

1 研究区概况

保定市位于河北省中部, 主城区包括莲池区与竞秀区, 面积 312 km², 总人口 116.2 万人。保定市属于暖温带大陆性季风气候, 四季分明, 年平均气温 13.4 ℃, 平均降水量 498.9 mm^[6]; 保定市是历史文

收稿日期: 2021-02-10

基金项目: 河北省教育厅资助科研项目(Z2019020); 保定理工学院校级科研项目(ZDCYK2004); 保定理工学院一流课程建设阶段性成果资助。

作者简介: 田帅(1981-), 男, 河北徐水人, 硕士, 讲师, 主要研究方向为土地资源、环境遥感等, E-mail: shtian29@ 126.com。

化城、中国优秀旅游城市、WWF 低碳试点城市。近年来,随着保定市社会经济的快速发展,城市建设不断加速,城区建设面积逐年增加,城市下垫面发生了剧烈改变,城市地表热环境随之也发生了变化。

2 数据及预处理

研究选用 3 期遥感影像,其中 Landsat 5 TM 数据 2 期,成像时间为 2001-08-22、2009-08-12, Landsat 8 OLI 数据 1 期,成像时间为 2017-09-19; 成像轨道号均为 p124r33。影像为 L1T 级数字产品,投影坐标为 UTM-WGS84 坐标系统。利用 ENVI5.3 软件,通过保定市主城区矢量图裁剪得到所需研究区数据;对数据进行辐射定标与快速大气校正 (QUAC)。

3 地表温度反演研究

3.1 辐射传输方程法

本文采用辐射传输方程法 (RTE) 进行地表温度反演^[7]。辐射传输方程法也称大气校正法,其基本原理与思路为:卫星传感器接收到的热红外辐射亮度由三部分组成,包括大气上行辐射亮度、大气下行辐射亮度、地面辐射经大气传输后到达传感器的辐射亮度;在估算大气对地表热辐射影响基础上,将其从卫星传感器所观测到的热辐射总量中减去,即得到地表热辐射强度,再将之转化为相应的地表温度。

基于辐射传输方程法的基本原理,遥感影像辐射亮度值表达式为:

$$L_{\lambda} = [\varepsilon B(T_s) + (1 - \varepsilon) L_{\downarrow}] \tau + L_{\uparrow} \quad (1)$$

式中, ε 为地表比辐射率; T_s 为真实的地表温度; $K; B(T_s)$ 为黑体辐射亮度; τ 为大气热红外波段透射率; $L_{\uparrow}$ 为大气上行辐射亮度; $L_{\downarrow}$ 为大气下行辐射亮度。

3.2 地表比辐射率

地表比辐射率表示在一定温度 T 、波长 λ 下,辐射出射度与同温度、波长下的黑体辐射出射度的比值。本研究采用 Sobrino 等^[8]提出的 NDVI 阈值法公式计算地表比辐射率:

$$\varepsilon = 0.004P_v + 0.986 \quad (2)$$

其中, P_v 为研究区植被覆盖度。计算公式为:

$$P_v = (NDVI - NDVI_{Soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{Soil}) \quad (3)$$

式中, NDVI 为归一化植被指数; $NDVI_{Soil}$ 为裸土

或无植被覆盖区域下 NDVI 值; $NDVI_{veg}$ 为完全植被覆盖下像元 NDVI 值。本文取经验值 $NDVI_{veg} = 0.70$, $NDVI_{Soil} = 0.05$ ^[7]。

3.3 地表亮度温度

亮度温度指同一波长下,若某一物体与黑体的光谱辐射强度相等,则此时黑体的温度被称为该物体在此波长下的亮度温度。其计算公式为:

$$B(T_s) = [L_{\lambda} - L_{\uparrow} - \tau(1 - \varepsilon)L_{\downarrow}] / \tau\varepsilon \quad (4)$$

根据查询结果, $L_{\uparrow}$ 、 $L_{\downarrow}$ 、 τ 值如表 1 所示。

表 1 影像反演相关参数

Table 1 Relevant parameters of Landsat images for inversion

成像时间	$L_{\uparrow} /$ [W·(m ² ·sr·μm) ⁻¹]	$L_{\downarrow} /$ [W·(m ² ·sr·μm) ⁻¹]	τ
2001-08-22	2.89	4.56	0.64
2009-08-12	1.45	2.42	0.83
2017-09-19	0.81	1.41	0.90

3.4 地表温度

依据普朗克公式,将亮度温度转换为地表温度:

$$T_s = K_2 / \ln [K_1 / B(T_s) + 1] \quad (5)$$

式中, TM Band 6 遥感影像 $K_1 = 607.76$ W/(m²·sr·μm), $K_2 = 1260.56$; TIRS Band10 遥感影像 $K_1 = 774.89$ W/(m²·sr·μm), $K_2 = 1321.08$ 。

所得研究区地表温度反演结果如图 1 所示。

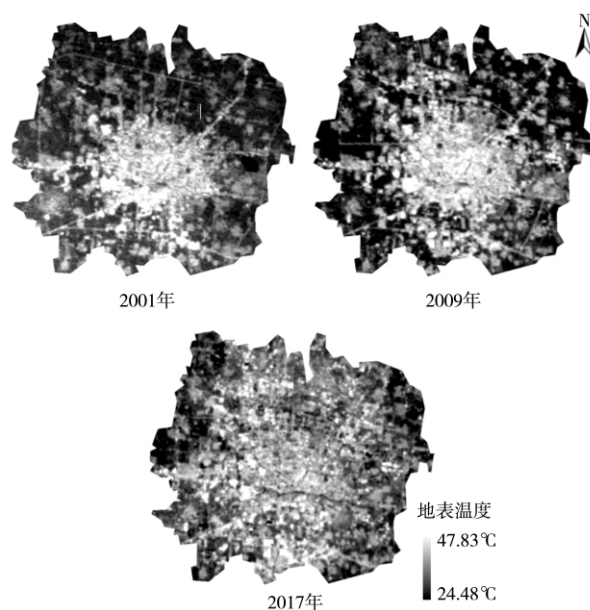


图 1 保定市主城区地表温度反演图

Fig.1 Land surface temperature inversion on the main urban area of Baoding

4 地表温度时空变化研究

4.1 地表温度分级

由于研究区遥感影像获取时间不同,导致其最高温、最低温存在差异,直接利用此反演结果进行温度分布及变化研究的可比性较差。根据研究区影像数据的实际情况,选择 99% 置信区间对反演结果进行归一化处理,公式为:

$$K_i = (T_i - T_{\min}) / (T_{\max} - T_{\min}) \quad (6)$$

式中, K_i 为像元归一化后影像值; T_i 为像元地表温度反演结果; $T_{\min}$ 为地表温度反演的最小值; $T_{\max}$ 为地表温度反演的最大值。

将归一化处理的结果按照等差级数进行密度分割为 5 个等级^[9]: 低温区 (0~0.2)、次中温区 (0.2~0.4)、中温区 (0.4~0.6)、次高温区 (0.6~0.8)、高温区 (0.8~1.0), 保定市主城区地表温度等级分布如图 2 所示。

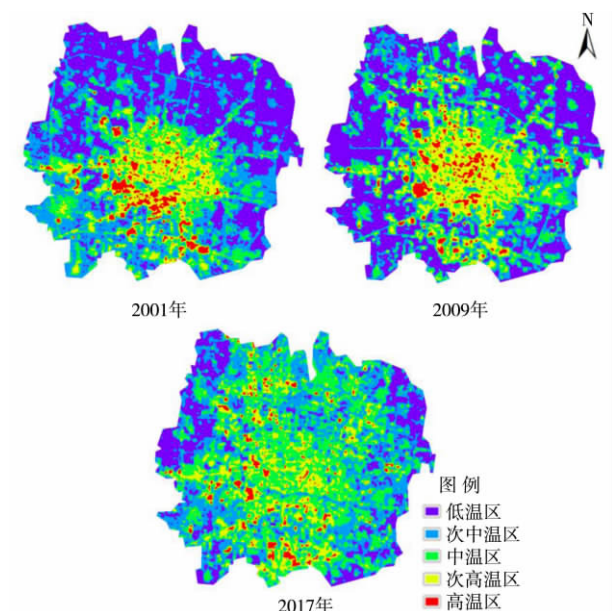


图 2 保定市主城区地表温度分级图

Fig.2 Classification of the land surface temperature in the main urban area of Baoding

4.2 时空变化分析

从表 2 可知,保定市主城区 2001 年低温区与次中温区分别为 103.12 km²、102.42 km²,所占比例相差不大,区域总面积大于 65%,比例较高。2009 年低温区与次中温区分别为 109.89 km²、76.81 km²,所占比例为 35.22%、24.62%;次中温区相较于 2001 年减少 8.21%,但低温区与次中温区总面积占比仍然接近 60%。2017 年低温区与次中温区分别

为 44.40 km²、108.64 km²,所占比例为 14.23%、34.82%;与 2009 年相比,低温区面积迅速下降,减少 20.99%,次中温区面积增加 10.20%,低温区与次中温区整体面积降低至总面积的 49.05%。2001—2017 年,中温区面积逐步增加,3 个研究时段面积分别为 59.44 km²、65.58 km²、110.07 km²,所占比例分别为 19.05%、21.02%、35.28%,其中 2009—2017 年增加幅度明显提高,达到 14.26%。次高温区与高温区是热岛效应的来源,2001 年其总面积为 47.02 km²,所占比例为 15.07%;2009 年总面积增加为 59.72 km²,所占比例为 19.14%;2017 年总面积降低为 48.89 km²,所占比例为 15.67%。结果表明,保定市主城区城市化进程对低温区影响较大,其面积在研究时段后期迅速降低;中温区在主城区城市化影响下范围快速扩大;次高温区与高温区面积整体上在不断增加,研究时段后期面积相对降低与该时期保定市主城区扩张、绿地数量增加等因素有关。

表 2 保定市主城区不同温度等级变化表

Table 2 Grade change of different land surface temperature in the main urban area of Baoding

温度等级	2001 年		2009 年		2017 年	
	面积/ km ²	比例/ %	面积/ km ²	比例/ %	面积/ km ²	比例/ %
低温区	103.12	33.05	109.89	35.22	44.40	14.23
次中温区	102.42	32.83	76.81	24.62	108.64	34.82
中温区	59.44	19.05	65.58	21.02	110.07	35.28
次高温区	36.73	11.77	49.05	15.72	40.97	13.13
高温区	10.29	3.30	10.67	3.42	7.92	2.54

从地表温度空间分布特征来看,2001 年次高温区及高温区域主要集中于保定市主城区中心及南部区域,低温区主要集中于北部;2009 年次高温区及高温区域在主城区中心及南部区域基础上开始向周围发展,北部高温区域面积逐渐增大;2017 年,次高温区及高温区域变得较为分散,特别是北部区域,相应斑块明显增多。在热源分布方面,次高温区及高温区域主要集中于人口密集、建筑物密度大、交通发达的中心建成区以及城郊规模较大的工业厂区等;主城区北部区域温度的变化与该区域的开发相一致,2001—2009 年,该区域开发强度不大;2009 年之后,区域建设迅速发展,特别是房地产项目的建设,

使得建成区面积、人口密度、交通等因素促进了该区域温度的整体上升。

5 结论

(1) 辐射传输方程法较好地对保定市主城区地表温度进行了反演。

(2) 在 2001—2017 年城市化进程中,保定市主城区地表温度呈低温区范围整体下降、中温区范围不断扩大、次高温区及高温区整体上增加的趋势。

(3) 保定市主城区不同温度分区的变化与城市开发建设相一致;随着城市化进程的发展,保定市主城区次高温区及高温区的破碎化现象较为明显。在今后的城市建设中应科学规划城市发展、控制人口及建筑密度、提高绿化率等,促进保定市主城区热环境不断优化。

参考文献

- [1] 姚远,陈曦,钱静.城市地表热环境研究进展[J].生态学报,2018,38(3):1134-1147.
- [2] DOUSSET B, GOURMELON F. Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and landcover [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2003, 58(1-2): 43-54.
- [3] WENG Q. A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China [J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(10): 1999-2014.
- [4] 陈云浩,宫阿都,李京.基于地表辐射亮温标准化的城市热环境遥感研究:以上海市为例[J].中国矿业大学学报,2006,35(4):462-467.
- [5] 田帅,王利军.基于 RS 与 GIS 的保定市植被覆盖度动态变化[J].农业工程,2017,7(6):57-62.
- [6] 保定市地方志办公室,《保定年鉴》编辑部.保定年鉴(2014) [M].北京:中国文史出版社,2014.
- [7] 覃志豪,李文娟,徐斌,等.陆地卫星 TM6 波段范围内地表比辐射率的估计[J].国土资源遥感,2004,16(3):28-32.
- [8] SOBRINO J A, JIMENEZ-MUNOZ J C, PAOLINI L. Land surface temperature retrieval from Landsat TM5 [J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 90(4): 434-440.
- [9] 李红,高崎,解韩玮.昆明市主城区热环境及其影响因素的时空演化特征[J].生态环境学报,2018,27(10):1916-1924.

“生态文明建设与环境保护成果”专栏征稿通知

党的十八大以来,我国的生态文明建设和生态环境保护经历了从理论到实践、从改革探索到发展完善的过程,生态文明建设日益加强,环境保护效果持续显现。在这个继往开来的时间节点,认真总结我国生态文明建设与环境保护取得的主要成果以及获得的经验启示,对于全面推进社会主义生态文明迈向新时代具有重要的指导和借鉴意义。《环境生态学》杂志于 2020 年 2 月开设“生态文明建设与环境保护成果”专栏,现向国内外从事环境生态领域研究、实践、教学与管理的业界人士诚征优秀稿件。

征稿范围:稿件主要报道“生态文明建设与环境保护”方面取得的显著成效、优秀成果以及经验启示。内容包括:1) 加快推进生态文明顶层设计和制度体系建设方面;2) 深入实施大气、水、土壤环境污染防治三大行动计划,生态环境质量明显改善方面;3) 大力深化改革、产业结构不断优化,推动绿色发展,能源消费结构发生积极变化,实现资源节约有效推进方面;4) 开发与治理并重,在综合治理荒漠化、石漠化、水土流失等环境生态问题的同时,扩大森林、湖泊、湿地面积,保护生物多样性等领域取得的成果及经验;5) 各级政府积极投入生态文明建设实践,国家生态文明试验区、国家生态文明建设示范市、县纷纷建立,生态文明建设领域涌现出许多优秀个人和集体;社会公众的生态文明意识有了显著提高,生态文明理念深入人心,热爱自然、保护环境的行为规范正在形成等方面。

联系方式:杂志社邮箱: hjshegtaixue@163.com 编辑部电话: 010-84044731

通讯地址:北京市西城区广安门外大街 248 号机械大厦 2110 《环境生态学》编辑部 邮编: 100055