

# 基于 Landsat TM/ETM 的银川市 热岛效应时空变化研究

孙 鹏, 韩沐汶, 白林波, 赵文婷, 王旭升

(宁夏大学 资源环境学院, 银川 750021)

**摘 要:**应用 1999 年、2006 年和 2011 年 3 期 Landsat TM/ETM 数据的热红外波段数据反演银川市地表亮温,并对绝对亮温值进行归一化处理得到相对亮温。结果表明,1999—2011 年,银川市热岛范围逐步扩大,强度逐渐增加,其中金凤区热岛效应不断加剧,西夏区和兴庆区的热岛效应从无到有,从弱到强变化十分明显。从空间分布来看,热岛效应主要发生在西夏区的工业区,金凤区的经济开发区和兴庆区的商业区。热岛现象产生的原因主要是工业发展变化、道路建设和建成区面积增加等。

**关键词:**热岛效应; Landsat TM/ETM; 银川市; 相对亮温

**中图分类号:**X16;X87

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2014)01-0290-04

## Study on Spatiotemporal Variation of Heat Island Effect Based on Landsat TM/ETM in Yinchuan City

SUN Peng, HAN Mu-wen, BAI Lin-bo, ZHAO Wen-ting, WANG Xu-sheng

(School of Resources and Environment, Ningxia University, Ningxia 750021, China)

**Abstract:**Based on thermal infrared band of Landsat TM/ETM of 1999, 2006 and 2011, the study inversed surface brightness temperature of Yinchuan City, and relative brightness temperature was calculated through normalization processing. The result showed that from 1991 to 2011, the range of heat island generally expanded, and the intensity increased gradually. The heat island effect increased constantly in Jinfeng district, and increased out of nothing in Xixia and Xingqing district. With respect to the spatial distribution, the heat island effect mainly distributed at industrial area of Xixia area, economic development zone of Jinmen district and business district of Xingqing district. Also the main reason included industry development, road construction and increase of urban area.

**Key words:**heat island effect; Landsat TM/ETM; Yinchuan City; relative brightness temperature

伴随着经济的发展,城市化进程的步伐在加快,而由此引起的一系列生态环境问题也日益突显。作为城市化严重程度最重要的一个指标,城市热岛越来越受到人们的关注<sup>[1-2]</sup>。城市规模越大,热岛效应就越明显,热岛的强度也越大<sup>[3-4]</sup>。典型城市热岛研究方法是利用有限的地面气象站提供的地温观测资料进行,由于有限观测点很难全面地掌握城市地面热岛的空间分布情况,而热红外遥感能有效探测常温的热辐射差异,选用不同时相的热红外波段来进行研究,获取大范围的地面温度面状信息<sup>[5-8]</sup>。目前银川市进入了一个高速发展期,城市化进程十分迅速。大规模

的城市建设,工业企业进驻导致城市热容量增大,下垫面温度增高,城乡温度差异增大,城市热岛效应加剧,但是目前对于该区域的热岛效应研究却很少。本文应用 Landsat TM/ETM 遥感影像反演出的亮温对 1999—2011 年间银川市热岛效应的空间分布和时间变化特征及原因进行分析研究,以期为研究区城市规划、环境保护等方面提供借鉴。

## 1 研究数据和方法

### 1.1 研究区概况

银川市是中国西北地区性中心城市。位于宁夏

收稿日期:2013-05-27

修回日期:2013-07-02

资助项目:国家自然科学基金(41161078)

作者简介:孙鹏(1992—),男,宁夏石嘴山人,在读本科生,主要研究方向为遥感与地理信息系统应用。E-mail:sxm2109@163.com

通信作者:白林波(1973—),女,山西长治人,硕士,教授,主要从事遥感与地理信息系统应用研究。E-mail:bailinbo@163.com

引黄灌区的中部,东临黄河,西屏贺兰山,介于东经  $105^{\circ}51'—106^{\circ}21'$ ,北纬  $38^{\circ}25'—38^{\circ}37'$ ,平均海拔 1 100 m,属中温带大陆性气候,年均气温  $8.5^{\circ}\text{C}$ ,年均降水 200 mm,冬无严寒,夏无酷暑。国家实施西部大开发战略以来,银川市经济高速发展,处于历史以来最好的发展时期。本次研究范围包括银川市兴庆区、金凤区和西夏区。其中,兴庆区面积  $757.6\text{ km}^2$ ,常住人口 678 306 人;金凤区面积  $263\text{ km}^2$ ,常住人口 282 554 人;西夏区面积  $987\text{ km}^2$ ,常住人口 329 310 人。

## 1.2 数据来源

Landsat TM/ETM 数据的第 6 波段可用来分析地表热辐射和地面温度, TM 6 波段天顶视角下空间分辨率为 120 m, ETM 6 波段空间分辨率为 60 m,相对于其它卫星影像如 MODIS 等分辨率较高,在精度要求较高的研究中应用广泛。本文选取研究区 1999 年 8 月 12 日(TM 影像),2006 年 9 月 16 日(ETM 影像)和 2011 年 6 月 18 日(TM 影像)3 个时段的 Landsat TM/ETM 影像反演地表温度,此外还包括研究区行政区划图(宁夏自然资源图集),研究区 1:500 00 地形图。

## 1.3 研究方法

1.3.1 数据预处理 借助研究区 1:500 00 地形图,应用软件 Erdas Imagine 在影像和地形图中选择 30 个均匀分布的控制点,采用双线性内插法进行重采样,完成 1999 年 TM 国象的几何精校正。2006 年的 ETM 图像和 2011 年的 TM 图像以校正好的 1999 年的 TM 图像为基准进行影像间的配准,利用图像—图像的方式达到几何配准的目的,投影采用 UTM。然后应用行政区划矢量界线将研究区进行裁剪。

1.3.2 地表亮温反演 亮温计算主要分为两步:首先将以灰度值(DN 值)表示的 TM/ETM 数据转换成相应的热辐射强度;然后根据热辐射强度推算相应的地表亮度温度值。

陆地卫星 TM/ETM 在设计制造时已考虑到将所接收到的辐射强度转换为相对应的 DN 值的问题。因此,对于 TM/ETM 数据,所接收到的辐射强度与其 DN 值有如下关系<sup>[9]</sup>:

$$L_{\lambda} = L_{\min(\lambda)} + (L_{\max(\lambda)} - L_{\min(\lambda)})Q_{\text{dn}}/Q_{\max} \quad (1)$$

式中: $L_{\lambda}$ ——传感器所接收到的辐射强度 $[\text{mW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})]$ ;  $Q_{\max}$ ——最大的 DN 值,即  $Q_{\max} = 255$ ;  $Q_{\text{dn}}$ ——像元灰度值;  $L_{\max(\lambda)}$ ,  $L_{\min(\lambda)}$ ——传感器所接收到的最大和最小辐射强度,即相对应于  $Q_{\text{dn}} = 255$  和  $Q_{\text{dn}} = 0$  时的最大和最小辐射强度。式中各参数可分

别从 Landsat TM/ETM 数据头文件中读取。对于 TM 6 影像,发射前已经预设  $L_{\max(\lambda)} = 1.56$ ,  $L_{\min(\lambda)} = 0.1238$ 。因此,对于 TM 6 来说,公式(1)热辐射与灰度值之间的关系可以进一步简化为:

$$L_{\lambda} = 0.1238 + 0.005632156Q_{\text{dn}}$$

在对 Landsat 7 ETM 数据的有关处理计算中,  $L_{\max(\lambda)} = 12.65$ ,  $L_{\min(\lambda)} = 3.2$ 。灰度值  $Q_{\text{dn}}$  已知,便可求出热辐射强度  $L_{\lambda}$ ,进而根据式(2)近似计算像元对应的亮度温度值:

$$T_6 = K_2 / \ln(1 + K_1/L_{\lambda}) \quad (2)$$

式中: $T_6$ ——TM 6/ETM 6 的像元亮度温度(K);  $K_1$ ,  $K_2$ ——发射前预设的常量,对于 Landsat 5 的 TM 数据,  $K_1 = 60.776\text{ mW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$ ,  $K_2 = 1\,260.56\text{ K}$ ; 对于 Landsat 7 的 ETM 数据,  $K_1 = 66.6093\text{ mW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$ ,  $K_2 = 1\,282.7108\text{ K}$ <sup>[10]</sup>。

本研究中 1999 年和 2011 年为 TM 数据,2006 年为 ETM 数据。ETM 数据的第 6 波段空间分辨率为 60 m,为便于比较,将 2006 年的数据重采样成与 1999 年和 2011 年分辨率相同的 120 m。此次研究所采用的 3 个时段的影像分别为 6 月、8 月和 9 月,对于研究区来说气候条件比较接近,具有可比性,但直接比较绝对亮温值仍然会有差别。因此,为了较精确地利用不同季相的影像反演的亮温对城市热岛进行时间序列研究,本文采用亮温归一化方法将亮温分布范围统一到 0 和 1 之间。归一化公式如下:

$$N_i = (T_{si} - T_{\min}) / (T_{\max} - T_{\min}) \quad (3)$$

式中: $N_i$ ——第  $i$  个像元归一化处理后的值;  $T_{si}$ ——第  $i$  个像元的绝对亮温值;  $T_{\min}$ ——地面绝对亮温的最小值;  $T_{\max}$ ——地面绝对亮温的最大值。

## 2 结果与分析

### 2.1 亮温反演

利用 Landsat TM/ETM 热红外计算模型,在 Erdas 中用建模工具反演出银川市 1999 年、2006 年和 2011 年的地面亮温,然后经过归一化处理得到相对亮温分布图,为更加全面深入地分析研究区热岛效应,用自然断点分类法将相对亮温分成 7 类,作研究区温度等级图(图 1),并统计计算 3 个时段 7 类温度区的面积比例(表 1)。

### 2.2 热岛分布特征及分析

2.2.1 热岛空间分布特征 由图 1 可以看出银川市西部和东部出现大片的高温区,这是由于银川市西部是贺兰山,东部是黄河的河漫滩,这些区域大部分都是裸露的岩石和沙地,这些物质比热容相对较小,所

以温度较高,属于高温和极高温区。但研究时段内未利用土地的时空变化并不明显,因此在分析数据时,对于高温区和极高温区的趋势变化分析没有影响。

表 1 不同温度区面积比例			%
温度区	1999 年	2006 年	2011 年
极低温区	1.51	1.08	0.19
低温区	22.46	3.72	3.03
较低温区	18.20	17.75	15.90
中温区	13.44	26.47	14.89
较高温区	14.28	18.64	23.03
高温区	14.65	16.87	20.75
极高温区	15.46	15.47	22.21

1999 年西夏区并未出现明显的热岛现象,而金

凤区南部工业区热岛现象明显,兴庆区与金凤区边界处有热岛现象产生,但强度相对较弱。2006 年金凤区南部的热岛效应加剧,并且向北发展。西夏区与金凤区、兴庆区与金凤区交界处出现高温区且较高温区增加,1999 年的中温区被 2006 年的高温区取代,范围也变大。2011 年银川市中部热岛范围更广,强度也更大,西夏区和金凤区的高温 and 极高温区面积增大,高温区和较高温区向南扩张,取代了大部分 2006 年的中温区,热岛效应加剧。但是在金凤区北部,也就是阅海国家湿地公园所在区域,亮度整体仍然不高。兴庆区内较高温区和极高温区面积比例都在逐渐增加。

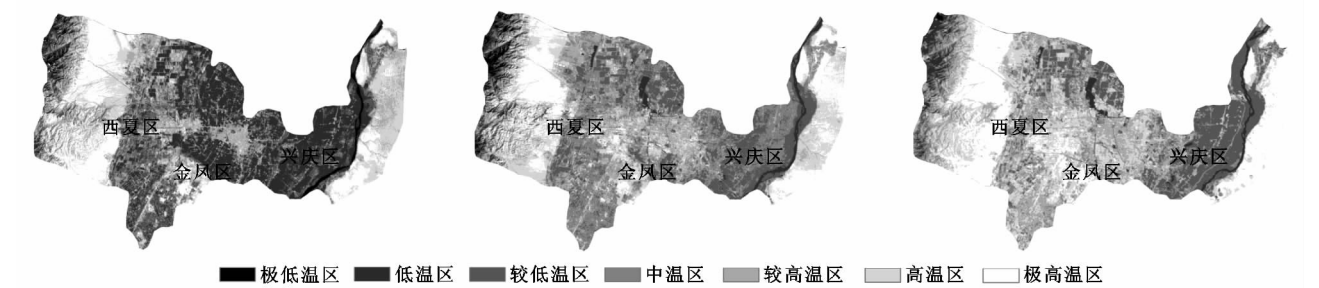


图 1 研究区温度等级

2.2.2 热岛时间分布特征 从表 1 可以看出,1999 年研究区极低温区和低温区的比例为 23.97%,2006 年为 4.8%,2011 年为 3.22%,说明极低温区和低温区范围在逐渐减少,1999 年较低温区、中温区和较高温区的比例为 45.92%,2006 年为 62.86%,2011 年为 53.82%,1999—2006 年增加了 16.94%,幅度很大,到 2011 年又有所减小,但仍大于 1999 年。高温区和极高温区 1999 年为 30.11%,2006 年为 32.34%,2011 年为 42.96%,呈逐渐上升的趋势,2006 年到 2011 年的增加幅度非常明显,达到 10.62%。

为深入分析银川市三区 1999—2011 年热岛效应变化规律,对银川市三区的温度等级分别进行面积统计(表 2)。由表 2 可以看出,西夏区内代表极低温区、低温区和较低温区面积在 1999 年占到 28.78%,而之

后的两个年份出现显著下降,最低时达到 2011 年的 11.34%。西夏区低温和较低温范围的减小表明热岛效应加剧。而代表高温的较高温区、高温区和极高温区的面积比例在 1999 年为 54.74%,2011 年增加至 74.36%,这其中包括了贺兰山特殊区域的影响,但是这些特殊区域在 3 期图像中变化并不明显,不影响对变化趋势的分析,所以西夏区高温区域增加明显。

金凤区内变化更为明显,极低温区、低温区和较低温区的面积比例从 1999 年到 2011 年减少了 49.38%;极高温区、高温区和较高温区的面积比例从 1999 年到 2011 年增加了 50.69%。其中,中温区先增加后减少;高温区域面积比例增长迅速,由 1999 年的 7.83%增加到 2006 年的 15.62%,2011 年增加为 31.65%。

表 2 三区温度区面积比例										%
	西夏区			金凤区			兴庆区			
	1999 年	2006 年	2011 年	1999 年	2006 年	2011 年	1999 年	2006 年	2011 年	
极低温区	1.18	2.12	0.31	0.07	0.17	0.17	2.67	0.07	0.06	
低温区	11.24	4.16	3.10	34.67	2.61	2.51	32.17	3.66	3.19	
较低温区	16.36	12.43	7.93	24.92	19.74	7.60	17.47	24.27	31.25	
中温区	16.48	25.09	14.30	14.76	32.70	13.45	8.52	25.28	16.40	
较高温区	17.17	20.81	23.83	12.40	25.58	33.40	11.12	12.13	16.83	
高温区	15.30	17.96	23.81	7.83	15.62	31.65	17.12	15.97	10.98	
极高温区	22.27	17.43	26.72	5.35	3.58	11.22	10.93	18.62	21.29	

兴庆区内极低温区和低温区面积比例大幅减小,由 1999 年的 34.84%减小为 2011 年的 3.25%;较低温区面积比例逐渐增加,由 1999 年的 17.47%增加到 2006 年的 24.27%,再到 2011 年的 31.25%;中温区呈现先增加后减少的趋势,较高温区和极高温区面积比例都在逐渐增加,由 1999 年的 22.05%增加到 2006 年的 30.75%,2011 年增加为 38.12%,但是高温区面积比例由 1999 年的 17.12%下降为 2011 年的 10.98%。

2.2.3 热岛时空分布特征原因分析 热岛效应的时空分布以及异常现象受到很多因素的影响,如水体覆盖、植被覆盖、建筑物密度等,其中建筑物密度与热岛效应的关系已经得到了证明<sup>[11-12]</sup>。1999 年金凤区出现明显的热岛,这是因为银川市经济技术开发区一期位于金凤区,该区所在工厂的生产活动所排放的热量导致地表温度增高。在随后的发展中,金凤区已建设为现代化区域中心城市核心区。直至 2011 年金凤区除北部的阅海湿地国家公园外,其余地区均成为热岛。

西夏区热岛效应从无到有,从弱到强,范围也在增大。这是由于银川经济技术开发区二期的成立,导致大量工业企业进驻西夏区,2011 年末,开发区共有各类入区企业 1 400 多家,如宁夏化工厂、银川橡胶厂、西北轴承厂等高耗能企业,这些工厂的生产活动所排放的热量导致地表温度较高,使得西夏区南部热岛迅速扩张且强度不断加大。

兴庆区是银川市商业区,1999 年建成区范围较小,且周围有大量水稻种植,水塘遍布,因此热岛效应不明显,随着城市的不断扩展,大量农田、水塘转变为建筑用地,建成区的面积逐渐增大、城市道路不断扩建,人口也不断增加,从而导致兴庆区热岛效应的加剧。

### 3 结论

城市热岛效应的研究对城市规划决策、城市污染的辅助治理、分析居住生活质量以及生态环境保护建设等具有十分重要的意义。本文利用 TM/ETM 数据对宁夏的城市热岛效应进行了研究,得出以下结论:

(1) 利用 TM 和 ETM 的第六波段,可以反演地表亮温分布情况,根据亮温在一个时期的时空变化,可分析研究区在研究时段内的城市发展和生态环境变化。

(2) 银川市虽是中等城市,但其热岛效应依然明显,以中温区、较高温区和高温区为主。从 1999 年到

2011 年,银川市西夏区和兴庆区热岛效应强度从弱到强,范围从小到大,金凤区热岛效应范围不断扩大。

(3) 银川市热岛效应主要分布在西夏区、金凤区的经济开发区和和兴庆区的商业区,1999 年后出现 3 个热岛中心且都呈辐射状趋势发展,并且有合并为一个大型热岛中心的趋势。

(4) 热岛分布与城市空间结构基本吻合,热岛的变化趋势也与城市发展基本一致。

#### 参考文献:

- [1] Rizwan A M, Dennis L Y C, Liu C. A review on the generation, determination and mitigation of urban heat island [J]. Journal of Environmental Sciences, 2008, 20 (1): 120-128.
- [2] 李京忠,薛冰,刘永涛. 基于 TM 的城市热岛效应研究及其应用探讨:以许昌市为例[J]. 水土保持研究, 2011, 18 (4): 88-96.
- [3] 邓玉娇,单海滨,胡民达. 基于 Landsat/TM 资料研究东莞市地表温度地理分区[J]. 水土保持研究, 2012, 19(2): 62-65.
- [4] 程晨,蔡喆,闫维等. 基于 Landsat TM/ETM+ 的天津城区及滨海新区热岛效应时空变化研究[J]. 自然资源学报, 2010, 25(10): 1727-1736.
- [5] 孔达,龚文峰,赵惠新,等. 基于 RS 与 GIS 的哈尔滨城市热岛效应动态变化分析[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2009, 41(3): 197-200.
- [6] 陈述彭,赵英时. 遥感地学分析[M]. 北京:测绘出版社, 1990.
- [7] 徐涵秋,陈本清. 不同时相的遥感热红外图像在研究城市热岛变化中的处理方法[J]. 遥感技术与应用, 2003, 18(3): 129-133.
- [8] 刘建,刘小琴,何政伟. 基于 TM 影像的城市热岛效应研究:以重庆市为例[J]. 水土保持研究, 2010, 17(5): 172-175.
- [9] Markham B L, Barker J L. Landsat-MSS and TM post-calibration dynamic ranges, atmospheric reflectance and at-satellite temperature [J]. EOSAT Landsat Technical-Notes, 1986, 1: 3-8.
- [10] 徐涵秋,陈本清. 不同时相的遥感热红外图像在研究城市热岛变化中的处理方法[J]. 遥感技术与应用, 2003, 18(3): 129-133.
- [11] 武鹏飞,王茂军,张学霞. 基于归一化建筑指数的北京市城市热岛效应分布特征[J]. 生态环境学报, 2009, 18 (4): 1325-1331.
- [12] 张宏利,陈豫,张纳伟锐,等. 西安市热岛效应变化特征与城市人口发展研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(4): 131-136.