

西安市城市热岛环境动态演化规律研究

狄育慧¹, 郑治中², 张博轩¹, 尹 慧¹

(1. 西安工程大学环境与化学工程学院, 陕西 西安 710048; 2. 太原市热力公司, 山西 太原 030000)

摘要: 选择全国重要的加工业及旅游热点城市西安市作为研究对象, 借助RS、GIS等空间信息分析工具, 采用西安市2000年、2007年、2014年3个时相的遥感数据反演地表温度, 对地表温度进行归一化处理, 根据城市热岛分布特点, 分析了城市化进程中城市热岛的变化特征。研究表明: 随着建设用地的扩张, 热岛区域面积逐渐增加并由城市中心向外围延伸, 而绿岛区分布在秦岭附近的自然景区、山林水体区域, 说明绿色植被及水域有明显的降温作用。

关键词: 城市热岛; 遥感影像; 时空分布; 变化特征; 西安

中图分类号: TU398.9

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2016)04-0551-05

Study on dynamic evolvement process of the urban heat island in Xi'an

DI Yuhui¹, ZHENG Zhizhong², ZHANG Boxuan¹, YIN Hui¹

(1. School of Chemical and Environmental Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China;

2. Taiyuan heating company, Taiyuan 030000, China)

Abstract: Xi'an was chosen to analyze the characteristics of urban heat island effect in the urbanization process. With the aid of RS, GIS methods, spatio-temporal distribution characteristics of urban heat effects were analyzed by using the calculation results of the land surface temperature based on the data sources of Landsat in 2000, 2007 and 2014 of Xi'an. The results showed that heat island area increased gradually and extended from the city center to the periphery with the expansion of the land for construction. What's more, green areas are distributed in the natural scenic areas of the Qinling Mountains. It indicated that green vegetation and water have obvious cooling effect.

Key words: urban heat island; remote sensing image; spatio-temporal distribution; characteristic; Xi'an

西部大开发战略的实施, 不仅使得西安市的政治、经济和文化飞速发展, 同时也加快了城市化进程的步伐, 使得城市规模不断增大, 人口数量逐年增加, 城市化进程的加速对城市生态环境和气候产生了不可估量的影响。其中, 由城市“热”引发的一系列环境、生态安全等问题已经影响了城市进一步发展, 并改变了人居生态环境, 成为城市可持续发展的瓶颈^[1]。文献[2]采用专家评测方法结合红外遥感、GIS技术对法国图卢兹城区进行了热岛强度分析。文献[3]Landsat卫星数据为基础, 综合使用RS、GIS空间技术对成都市热岛效应的空间格局现状及其影响因素进行分析。文献[4]基于Landsat卫星的ETM+数据, 研究了2002年西安市城市热岛的空间分布特征及城市热岛与土地利用/覆盖变化的关系。本文利用RS、GIS等先进的空间信息技术手段, 分析了西安市在城市化过程中的城市热岛分布及变化特征, 旨在揭示西安市城市热环境的时空演变规律。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

西安市地处我国西北地区东部, 黄河流域中部的关中盆地, 全国旅游热点城市, 重要的加工业基地。位于33°42'~34°45'N与107°40'~109°49'E之间。地势东南高西北低, 南面与秦岭相邻, 地貌类型主要包括秦岭山地、河谷冲积平原和山前洪积台地。西安市现辖有9区4县, 9区有未央区、新城区、长安区、阎良区、莲湖区、雁塔区、灞桥区、临潼区、碑林区, 4县包括户县、蓝田县、周至县和高陵县。辖境南北约116 km, 东西长约204 km, 面积9 983 km², 本文所选研究区为西安市的9个区, 其面积为1 276 km², 截止2012年末总人口为572.76万人。西安属暖温带半湿润季风气候, 平均海拔高424 m, 1月份平均气温-0.3~-1.3℃, 7月份平均气温26.1~26.3℃, 年平均气温13.1~13.4℃。年平均降水量613.7 mm, 年平均湿度69.6%。

1.2 数据来源与预处理

本文选用的数据有2000年6月29日03时11分30

秒的Landsat 7ETM+、2007年的8月12日03时13分13秒的Landsat TM和2014年5月11日6时38分28秒的Landsat OLI-TIRS数据,轨道号127/36. 上述影像都是从美国地质调查局地球资源观测系统数据中心(<http://glovis.usgs.gov/>)下载所得,质量水平均为L1T,说明在分发数据前已经对数据进行了辐射校正以及几何校正,图像质量良好,云覆盖较少,只需将所研究区域裁剪后提取就可用于地表温度反演及相关分析.

1.3 研究方法

目前,利用Landsat TM/ETM+热红外数据反演地表温度的方法主要包括:单窗算法^[5]、基于影像的辐射亮度反演算法^[6]、单通道算法^[7]和辐射传输方程法. 通过对比上述四种方法的计算原理,可知辐射传输方程算法原理清晰,求算过程中只需要大气轮廓线数据或者有较丰富的大气资料通过软件模拟,而单窗算法在算法上较辐射传输方程法简单,精度也比较高,但是计算过程中所需同步的多种大气参数一般难以获取,如果直接利用默认参数或标准参数进行计算,得到的不确定性的结果机率比较大. 文献[8-10]分别用上述方法反演地表温度后对比分析,结果表明,在有实时探空数据时,辐射传输方程法取得的地表温度的均方根误差最小,所以本文选用辐射传输方程法反演地表温度,其计算过程主要有:

(1) 地表比辐射率的计算

本文将影像中所含的土地利用类型大致分为水体、自然地面及城镇区域,参照文献[11],设定水体像元的比辐射率值为0.995,自然表面和城镇像元的比辐射率计算如下:

$$\varepsilon_s = 0.9625 + 0.0614FV - 0.0461FV^2 \quad (1)$$

$$\varepsilon_b = 0.9589 + 0.086FV - 0.067FV^2 \quad (2)$$

式中: ε_s 和 ε_b 分别为自然表面像元和城镇像元比辐射率; FV 为植被覆盖度值.

参照文献[12], FV 的计算公式如下:

$$FV = \frac{SAVI - SAVI_s}{SAVI_v - SAVI_s} \quad (3)$$

式中: $SAVI$ 为土壤调节植被指数; $SAVI_s$ 为无植被覆盖区域的 $SAVI$ 值; $SAVI_v$ 为全部是植被区域的 $SAVI$ 值,且当 $SAVI > 0.7$ 时, FV 取1; $SAVI < 0$ 时, FV 取0, ENVI软件会自动识别影像中像元的 $SAVI$ 值.

(2) 热红外辐射定标

运用Landsat数据求算地表温度时,要先求出热红外波段的地表辐射亮度值,辐射定标就是将影像灰度值转换成辐射量度值的过程,文献[13]研究表明Landsat OLI-TIRS数据辐射亮度值的计算采用公式(4),而Landsat TM/ETM采用公式(5)计算辐射亮度值,同时本文计算时,公式中所用的系数可在通过影像头文件中获取,如表1所示.

$$L_\lambda = Gain \times DN + Offset \quad (4)$$

式中: L_λ 是辐射亮度值, $W/(m^2 \cdot \mu m \cdot sr)$; DN 为波段的像元灰度值; $Gain$ 、 $Offset$ 分别为波段增益系数和偏移系数.

$$L_\lambda = L_{min, \lambda} + \left[\frac{(L_{max, \lambda} - L_{min, \lambda})}{255} \right] \quad (5)$$

式中: L_λ 是辐射亮度值, $W/(m^2 \cdot \mu m \cdot sr)$; $L_{min, \lambda}$ 、 $L_{max, \lambda}$ 分别为最小、最大辐射亮度值, $W/(m^2 \cdot \mu m \cdot sr)$.

表1 Landsat数据辐射定标系数

Tab.1 Landsat data radiometric calibration coefficient

波段	Landsat5 TM		Landsat7 ETM+		Landsat8 OLI-TIRS	
	L_{min}	L_{max}	L_{min}	L_{max}	$Gain$	$Offset$
B1	-1.52	193.0	-6.200	293.700	1.231 1E-02	-61.556 31
B2	-2.84	365.0	-6.400	300.900	1.260 7E-02	-63.034 42
B3	-1.17	264.0	-5.000	234.400	1.161 7E-02	-58.085 68
B4	-1.51	221.0	-5.100	241.100	9.796 2E-03	-48.981 11
B5	-0.37	30.2	-1.000	47.570	5.994 8E-03	-29.974 00
B61	1.2378	15.303	0.000	17.040	1.490 9E-03	-7.454 26
B62			3.200	12.650		
B7	-0.15	16.5	-0.350	16.540	5.025 0E-04	-2.512 49
B8			-4.700	243.100	1.108 7E-02	-55.433 14
B9					2.342 9E-03	-11.714 52
B10					3.342 0E-04	0.1000 0
B11					3.342 0E-04	0.1000 0

(3) 地表温度反演

根据普朗克公式可知,在得到黑体在热红外波段的辐射亮度值时,可利用普朗克公式的反函数求得地表温度,计算公式如下:

$$TS = \frac{K_2}{\ln[K_1/B(TS) + 1]} \quad (6)$$

式中: $B(TS)$ 为黑体在热红外波段的辐射亮度值;采用2000年的ETM+数据计算时, $K_1=666.09 W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$, $K_2=1282.71 K$;采用2007年的TM数据计算时, $K_1=607.76 W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$, $K_2=1260.56 K$;采用2014年的OLI-TIRS数据计算时, $K_1=774.89 W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$, $K_2=1321.14 K$.

文献[14]中利用热红外波段像元的辐射亮度值的计算公式, 得到黑体辐射量度计算公式如下:

$$L_T = \frac{[L_\lambda - L_u - \tau \cdot (1 - \varepsilon) \cdot L_d]}{(\tau \cdot \varepsilon)}$$

(7)

式中: L_T 表示与地表温度相同的黑体的辐射亮度, $W/(m^2 \cdot \mu m \cdot sr)$; L_λ 是热红外波段像元的辐射亮度值, $W/(m^2 \cdot \mu m \cdot sr)$; ε 是地表比辐射率; τ 为大气在热红外波段的透过率; L_u 和 L_d 分别是大气上行和下行辐射亮度, $W/(m^2 \cdot \mu m \cdot sr)$. 本文中 τ 、 L_u 和 L_d 是根据遥感影像头文件信息在NASA官网中计算所得, 结果如表2所示.

表2 各年辐射参数

Tab.2 Radiation parameters of each year

年份	大气在热红外波段的透过率 τ	大气上行辐射亮度 L_u	大气下行辐射亮度 L_d
2000年	0.76	1.78	2.95
2007年	0.74	1.83	3.00
2014年	0.93	0.45	0.80

本文首先在ENVI软件中以公式 (1)、(2)、(3) 为基础, 利用工具Band Math计算研究区各个年份的遥感影像的地表比辐射率 ε , 此过程用到的数据主要是近红外波段和红外波段; 然后以公式 (4)、(5) 及辐射定标系数为基础, 利用ENVI软件中Landsat定标工具对各个年份遥感影像进行热红外辐射定标, 主要用到的数据是影像的热红外波段; 再以公式 (7) 及辐射参数为基础, 结合前面计算得到的地表比辐射率 ε 和热红外辐射定标值 L_λ , 利用ENVI 软件的Band Math工具计算出与地表温度相同的黑体的辐射亮度 L_T ; 最后以公式 (6) 为基础, 结合前边计算所得黑体辐射亮度值 L_T , 在ENVI软件中计算出地表温度, 并依据温度值范围创建图例, 输出得到西安市不同年份的地表温度, 如图1所示.

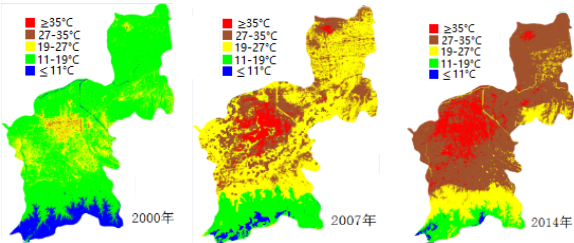


图1 西安市地表温度反演图

Fig.1 Surface temperature inversion chart of Xi'an City

2 结果与分析

由于影像获取时相不同, 受到气候条件等诸多因素的影响, 难以用反演的地表温度直接进行比较, 但热场的相对强弱分布不会受其他因素影响,

因此, 为了消除成像时间不同造成的影响, 分析地表热环境的相对时空变化, 将反演出的城市地表温度进行热场等级划分. 本文对得到的地表温度进行归一化处理, 使得到的温度处于0~1之间, 在ENVI软件中实现归一化处理, 并用密度分割工具将处理后的地表温度划分为五个等级, 分别为强热岛区(0.8~1.0]、热岛区(0.6~0.8]、中间区(0.4~0.6]、绿岛区(0.2~0.4]、强绿岛区(0~0.2], 如图2所示.

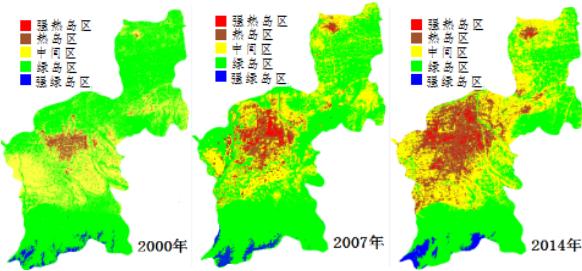


图2 西安市地表温度等级划分图

Fig.2 Surface temperature grade division of Xi'an City

2.1 西安市热岛环境分布特征

从温度等级划分结果图2中可以得知, 在西安市发展过程中, 城市热岛现象明显, 热岛区域分布及等级各有差异. 从整体上来看, 西安市城市热场的分布范围呈现逐渐增加的趋势, 由城市中心向外围蔓延, 空间形态呈现出由散点状变成连片状再到扩散转移状的特征. 2000年强热岛区以散点形式分布在莲湖区、新城区和碑林区, 这三个区是以建筑物为主的商业区和住宅区, 人类生产生活中消耗能量、排出废热, 致使温度较周围高; 热岛区主要集中在强热岛区外围, 但范围较小, 零散分布; 中间区位于市区南边的西安高新技术开发区和雁塔区, 这些区域的建设及快速发展使得钢筋混凝土、水泥地面、沥青路面、金属框架逐渐代替了自然景观, 地表水蒸腾减少, 温度有所升高; 绿岛区为优势分级区, 由于城市建成区集中在城市中心, 而其他大部分地面作为耕地使用, 耕地比较空旷且种有植被, 自然通风不受阻碍, 且植物具有降温增湿作用, 温度下降效果明显; 强绿岛区则位于秦岭附近有植被和水体的地区. 2007年强热岛区和热岛区较2000年明显增大, 以2000年高温区为中心, 向外部延伸, 莲湖区、新城区、碑林区、雁塔区、未央区南部、灞桥区西部均在强热岛和热岛区范围内, 这些区域分布着火车站、商业区以及工业区等, 人口密集、车流量大, 不利于能量流通; 强绿岛区依旧分布在秦岭附近有植被和水体的地区; 中间区向临潼区南部及长安区北部扩散, 并呈散点分布在这两个区域; 绿岛区变化较小, 仍为主要分级区. 2014

年强热岛区和热岛区仍在延原有强热岛区和热岛区蔓延,面积明显扩大,其中未央区和灞桥区的大部分区域由原来的中间区转变为热岛区,而且长安区北部、临潼区和阎良区都有零星的热岛区;中间区主要分布在长安区、灞桥区和临潼区,由原来的散点状扩散成连片状;绿岛区还是主要分级区,分布在郊区,不过面积明显减少;强绿岛区则基本没发生变化。

2.2 西安市热岛环境变化特征

通过统计2000年、2007年、2014年的地表温度等级划分图的面积,得到结果如表3所示,分析表中数据能够反映出2000—2014年14年间西安市热环境变化情况。

表3 西安市各温度等级的面积百分比(%)
Tab.3 Percentage of the area of the temperature in Xi'an City(%)

温度等级	2000年	2007年	2014年	2000—2007	2007—2014
强热岛区	0.1	1.9	2.84	1.8	0.94
热岛区	3.1	6.02	17.04	2.92	11.02
中间区	29.08	24.72	35.57	-4.36	10.85
绿岛区	66.25	65.83	42.25	-0.42	-23.58
强绿岛区	1.47	1.53	2.3	0.06	0.77

2000—2007年间,强热岛区和热岛区面积明显增大,强热岛区由0.1%增大到1.9%,热岛区由3.1%增大到6.02%,对比地表温度等级划分图,可以看出,强热岛区和热岛区的增加主要是由于城市建成区的扩张,沿着2000年的强热岛区和热岛区向外扩散发展;中间区的变化呈减少趋势,由29.08%减少到24.72%,主要原因是强热岛区和热岛区面积增大替代了原来的中间区;绿岛区稍有减少,从66.25%到65.83%,主要变化区域集中于未央区南部,由绿岛区变为热岛区的面积,而长安区的部分中间区变为绿岛区;强绿岛区由1.47%变为1.53%,增加了0.06%,发生变化可以忽略。总体来说,西安市7年间大部分区域处在绿岛区和中间区,这两个分级的面积百分比一直在90%以上,同时,强热岛区和热岛区显著增加。

2007—2014年间,强热岛区和热岛区面积持续增加,强热岛区由1.9%到2.84%,较2000—2007年稍小,热岛区增加尤为突出,从6.02%到17.04%,较2000—2007年大数倍,对比地表温度等级划分图,强热岛区和热岛区继续扩张,并且逐渐渗透到城市的每个区,从2000—2014热岛区和强热岛区一直增加,表明城市的快速扩张,建成区面积扩大,

导致城市中心区域的热岛范围不断扩大。中间区面积明显增大,从24.72%到35.57%,而绿岛区面积减少最为显著,从65.83%到42.25%,主要由于绿岛区减少,被中间区和热岛区所代替;强绿岛区增加了0.77%,虽然增加不明显,但这14年来保持增加趋势,说明城市的合理规划、自然景区建设及植被保护等措施有益于城市热环境的改善。

3 结论

本文基于西安市的三景landsat数据,反演地表温度,对反演得到的地表温度进行归一化处理,结果表明:(1)热岛区大多分布在城市中的商业区、工业区、住宅区及车辆密集的繁华区,城区周边的自然景区、山林、农田及水体区域处在强绿岛区和绿岛区;(2)随着城市的快速发展,部分绿岛区被热岛区代替,城市热场的分布范围呈现逐渐增加的趋势,由城市中心向外围蔓延,空间形态呈现出由散点状变成连片状再到扩散转移状的特征;(3)不同土地利用类型所产生的热环境效应的差异明显,且水体区域和绿色植被生态效益明显。

参考文献 References

- [1] 冯晓刚. 城市热岛效应演变与成因遥感研究—以西安都市圈为例[D]. 西安: 陕西师范大学, 2011.
FENG Xiaogang. Study on the evolution of urban heat island effect and the remote sensing of the formation of urban heat island—a case study of Xi'an metropolitan area[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2011.
- [2] HOUET Thomas, PIGEON Gregoire. Mapping urban climate zone and quantifying climate behaviors—an application on Toulouse urban area(France)[J]. Environmental Pollution, 2011, 3: 1-13.
- [3] 赵海军, 唐斌. 成都市热岛效应的遥感分析[J]. 内蒙古科技, 2011(12): 21-22.
ZHAO Haijun, TANG Bin. Remote sensing analysis of urban heat island effect in Chengdu City[J]. Inner Mongolia science and technology, 2011(12): 21-22.
- [4] 王娟敏, 孙娴, 毛明策, 等. 西安市城市热岛效应卫星遥感分析[J]. 陕西气象, 2011(3): 23-25.
WANG Juanmin, SUN Xian, MAO Mingce, et al. Satellite remote sensing analysis of urban heat island effect of Xi'an City[J]. Journal of Shaanxi Meteorology, 2011(3): 23-25.
- [5] 覃志豪, ZHANG Minghua, KAMIELI Arnon, 等. 用陆地卫星TM6数据演算地表温度的单窗算法[J]. 地理学报, 2001, 56(4): 456-466.
TAN Zhihao, ZHANG Minghua, KAMIELI Arnon, et al. Mono-window A lgorithm for Retrieving Land Surface Temperature from Landsat TM6 data[J]. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(4): 456-466.
- [6] ARTIS D A, CARNAHAN W H. Survey of emissive

- variability in thermography of urban areas[J]. Remote sensing of Environment, 1982, 4(12): 313-329.
- [7] JIMENEZ-MUFIOZ J C. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data[J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108: 4688.
- [8] 黄妙芬, 邢旭峰, 王培娟, 等. 用LANDSAT/TM热红外通道反演地表温度的三种方法比较[J]. 干旱地理, 2006, 29(1): 132-137.
HUANG Miaofen, XING Xufeng, WANG Peijuan, et al. Comparison between three different methods of retrieving surface temperature from Landsat TM thermal infrared band[J]. Arid Land Geography, 2006, 29(1): 132-137.
- [9] 白洁, 刘邵民, 扈光. 针对TM/ETM+遥感数据的地表温度反演与验证[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 148-154.
BAI Jie, LIU Shaomin, HU Guang. Inversion and verification of land surface temperature with remote sensing TM/ETM+ data[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(9): 148-154.
- [10] SOBRINO J. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM5[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 90(4): 434-440.
- [11] 邓书斌. ENVI遥感图像处理方法[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
DENG Shubing. ENVI remote sensing image processing method[M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [12] 江樟焰, 陈云浩, 李京. 基于Landsat TM数据的北京市热岛研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2006, 31(2): 120-123.
JIANG Zhangyan, CHEN Yunhao, LI Jing. Heat Island Effect of Beijing Based on Landsat TM Data[J]. Journal of Wuhan University(Information Science Edition), 2006, 31(2): 120-123.
- [13] 梁顺林. 定量遥感[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
LIANG Shunlin. Quantitative Remote Sensing[M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [14] 季青, 贺伶俐, 余明, 等. 基于Landsat ETM+数据的福州市土地利用/覆被与城市热岛的关系研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2009, 25(6): 106-113.
JI Qing, HE Lingli, YU Ming, et al. Study on relationship between land use/cover and urban heat island based on Landsat ETM+ remote sensing data[J]. Journal of Fujian Normal University(Natural Science Edition), 2009, 25(6): 106-113.
- [15] 刘艳红, 王均国, 郭晋平. 太原城市热环境动态演变规律研究[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(7): 1776-1779.
- LIU Yanhong, WANG Junguo, GUO Jinping. Study on Dynamic Evolvement Process of the Urban Heat Island in Taiyuan[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2009, 48(7): 1776-1779.
- [16] 陈明辉, 陈颖彪, 郭冠华, 等. 东莞市城市热环境时空变化及其驱动机制[J]. 地理研究, 2011, 30(8): 1431-1438.
CHEN Minghui, CHEN Yingbiao, GUO Guanhua, et al. Temporal and spatial changes of urban thermal environment and driving mechanism in Dongguan City[J]. Geographical Research, 2011, 30(8): 1431-1438.
- [17] 方永侠, 申双和, 韩莹等. 基于TM影像的不同季节北京市热环境研究[J]. 气候与环境研究, 2011, 16(4): 487-493.
FANG Yong, SHEN Shuanghe, HAN Ying, et al. A Study of Seasonal Urban Heat Environment in Beijing on TM Image[J]. Climatic and Environmental Research, 2011, 16(4): 487-493.
- [18] 王鹏龙. 基于遥感的近20年银川市热力景观变化研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2013.
WANG Penglong. Urban Thermal Landscape Pattern Variation in Yinchuan City Based on Remote Sensing from 1989 to 2011[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2013.
- [19] 王鹏龙, 张建明, 吕荣芳. 基于空间自相关的兰州市热环境[J]. 生态学杂志, 2014, 33(4): 1089-1095.
WANG Penglong, ZHANG Jianming, LÜ Rongfang. Urban thermal environment pattern with spatial autocorrelation in Lanzhou[J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 33(4): 1089-1095.
- [20] 王冰, 田永中, 易佳, 等. 基于遥感影像的重庆市城市热场环境效应研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2009, 31(12): 134-139.
WANG Bing, TIAN Yongzhong, YI Jia, et al. A Remote Sensing Image-Based Study of the Environmental Effects of Urban Thermal Field in Chongqing[J]. Journal of Southwest University(Natural Science Edition), 2009, 31(12): 134-139.

(编辑 桂智刚)