

文章编号: 1007-7588(2014)12-2631-06

西安市地表温度反演及城市热岛强度定量化研究

李柏延¹, 任志远¹, 李瑞宗², 王昀琛¹

(1. 陕西师范大学旅游与环境学院, 西安 710119; 2. 海南地质综合勘察设计院, 海口 570002)

摘要 本文基于单窗算法, 选取1992年、2000年、2006年、2013年四期Landsat TM/ETM影像及西安市、西安市周边各气象站点的观测资料作为研究数据, 对西安市地表温度反演及城市热岛强度进行定量化研究。结果表明: ①西安市二环与三环之间区域的地表温度升高较快, 城市中心地表温度的变化程度低于二环与三环之间的区域, 这与西安市城市规划布局 and 实际情况相一致; 热岛区的面积年平均增加速率为0.83%; ②1992-2013年西安城区气温平均升高约1.3℃左右, 西安郊区气温平均升高约0.1℃左右, 说明热岛效应对西安市的整体气温的升高贡献率比较大; 就热岛强度总体而言, 西安市热岛强度仍呈现上升趋势, 期间1996-2001年西安市城市热岛强度呈下降趋势, 2008-2011年西安市城市热岛强度呈持续上升趋势, 2002-2007年西安市城市热岛强度有增有减, 变化规律不明显; ③城市热岛比较高的区域逐渐向周围城市扩展, 城市中心温度的变化速率比周围略低; ④中温、高温、次高温的热岛面积百分比是先增大后减少, 次低温及低温的热岛面积百分比是先减少后增大。

关键词 单窗算法; 地表温度; 热岛效应; 热岛强度; 西安市

1 引言

随着我国的经济高速发展和城市化进程的加快, 城市的规模不断扩展, 硬化地面的面积持续增加, 使得热岛效应已经成为城市发展过程中出现的重要环境问题之一。近年来, 许多学者对热岛效应做了大量研究, 覃志豪等推导出用陆地卫星TM6数据演算地表温度的单窗算法并进行了验证^[1-3]; 张勇等用CBERS-02 IRMSS热红外数据对Jimenez-Munoz和Sobrino提出的普适性单通道地表温度反演算法进行改进, 运用中国研制的热红外卫星遥感数据给出了城市热岛效应的定量化描述^[4]; 黄金海研究了杭州市绿地和植被与热岛效应的关系, 并提出了缓解杭州市热岛效应的措施和建议^[5]; 罗智勇等利用Landsat ETM数据对成都市区进行地面真实温度的反演^[6]; 丁凤等利用基于影像的反演算法、单窗算法、单通道算法对福州市进行地表温度反演^[7]; 王天星等采用TES算法实现ASTER地表温度的反演^[8]; 龚宇等以唐山这座重工业城市为例, 采用统计分析方法对热岛效应特征进行研究与对比分析^[9];

谢元礼等用单窗算法对兰州地表温度进行反演^[10]; 张杨等利用TM遥感影像, 定量分析武汉市植被指数和热岛效应的关系和空间分布^[11]; 拉巴次仁等讨论了拉萨市城市热岛效应的时空分布特征^[12]; 张正栋等利用单窗算法反演了行星亮度温度, 结合GIS和CAD技术分析了广州市的热岛效应空间格局和特征^[13]; 李国栋等应用城市气候流动观测、定点观测、GIS空间分析等方法, 模拟分析典型河谷型城市-兰州市的冬季热场、湿度场空间结构特征和演变规律^[14]。

综上, 近几十年, 国内外学者主要围绕以下四种方法来研究城市热岛效应: ①通过查找历年气象资料方法研究城市热岛效应; ②利用遥感反演方法研究城市热岛效应; ③利用数理统计方法研究城市热岛效应; ④利用定点观测的方法研究城市热岛效应。为了定量地了解西安市地表温度的空间格局及动态变化情况, 本文选用遥感反演技术对西安热岛效应进行研究, 以期对西安市的热岛效应及制定相应措施提供科学参考。

收稿日期: 2014-03-19; 修订日期: 2014-10-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 41371523); 中央高校基本科研专项项目(编号: GK201101002)。

作者简介: 李柏延, 男, 宁夏西吉人, 硕士生, 主要从事资源环境遥感与GIS的相关研究。E-mail: 634247187@qq.com

通讯作者: 任志远, E-mail: renzhy@snnu.edu.cn

2 研究区概况及数据来源

2.1 研究区概况

西安市位于 33.42°N-34.45°N 和 107.40°E-109.49°E 之间,辖境东西长约 204km,南北宽约 116km,总面积 9 983km²,其中市区面积 1 066km²。西安属暖温带半湿润的季风气候,四季分明,雨热同期,日光充足,年平均气温 15.5℃,年降水约 600mm,湿度 69.6%,日照时数 1 377h。境内河网密集,共有 54 条河流,其中过境的河流有渭河、泾河及石川河系。西安市管辖的区有 9 个,分别是新城区、碑林区、莲湖区、灞桥区、未央区、雁塔区、临潼区和长安区,西安市管辖的县有 4 个,分别是蓝田县、周至县、户县和高陵县。鉴于热岛效应的特点,本文选取以西安市三环以内的新城、碑林、莲湖、雁塔、灞桥、未央等 6 个区作为研究对象。

2.2 数据来源

本文研究选取西安市、周至、高陵、临潼、秦都、长安 6 个气象站的逐月气温数据,其数据来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/>)及西安市气象局。西安市城市中心气象站点 1 个,即西安气象站,其所监测的温度作为城市热岛效应中的城市气温,城郊 5 个站点监测的温度求平均数作为城市热岛效应中的郊区气温。一年四季都可能出现城市热岛,而对于对居民生活的影响来说,主要是夏季高温天气的热岛效应^[15]。四季的划分以 3-5 月为春季,6-8 月为夏季,9-11 月为秋季,12 月至次年 2 月为冬季,本文研究主要选择在夏季时段。选择影像质量高(无云量和无噪声),季相相同或接近的遥感图像,以提高变化监测的精度。因此选取 TM5 影像时间分别为 1992 年 7 月 17 日,2000 年 7 月 30 日,2006 年 7 月 24 日,ETM7 影像 2013 年 8 月 3 日(通过重采样等方法处理与 TM 具有行和列矩阵)四期遥感影像数据作研究资料。

3 研究方法

3.1 单窗算法反演地表温度

单窗算法由覃志豪^[1]定义为:假定在天空晴朗且没有明显大气垂直对流作用情况下,把大气分成几个平行层面,如果缺乏实地的大气剖面资料,仍可将标准大气数据和当地实时地面气象资料结合

起来,可以较为准确地计算地表实际温度:

$$T_s = \{a(1 - C - D) + [b(1 - C + D) + C + D]T_6 - DT_a\} / C - 273.15 \quad (1)$$

式中 T_s 为地表实际温度; T_6 为象元亮度值温度; T_a 为大气平均作用温度; a 和 b 为参数(当地表温度在 0~70℃ 时 $a = -67.355351$, $b = 0.458606$)^[16], C 与 D 为中间变量;未知参数及变量计算以及推导过程参见文献[1]。

3.2 城市热岛效应强度模型

根据孙飒梅等研究成果^[17],通过相对地表辐射温度来表示城市热岛效应的强弱,其表达式为:

$$\Pi = (T_i - \bar{T}) / \bar{T} \quad (2)$$

式中 Π 为地区地表辐射温度的强度; T_i 为城市第 i 点地表辐射温度; $\bar{T}$ 为城市与外城市郊区平均温度。

4 结果与分析

4.1 西安市地表温度反演动态变化

基于单窗算法,采用 1992 年、2000 年、2006 年、2013 年 TM/ETM 四期影像的热红外波段对研究区进行地表温度反演,研究西安市下垫面夏季的温度分布及其变化规律。研究发现,城市热岛范围总体在逐渐扩大,这与西安市的城市扩展和实际情况是一致的,热岛面积以钟楼为中心辐射状在持续扩大,并且以城市为中心向城市周边扩展,热岛强度呈逐渐减弱趋势。通过反演得出:1992 年地表平均温度为 20.3℃(图 1a,见 2634 页);2000 年地表平均温度为 20.5℃(图 1b,见 2634 页);2006 年地表平均温度为 22.7℃(图 1c,见 2634 页);2013 年地表平均温度为 23.1℃(图 1d,见 2634 页)。利用 GIS 技术对西安城市中心温度集中区域进行矢量化和范围界定,发现 1992 年西安市温度高亮度集中区域的面积为 111.78km²;2000 年西安市温度高亮度集中区域的面积比 1992 年面积同比扩大 50.36 km²;2006 年西安市温度高亮度集中区域的面积同比 2000 年面积扩大 32.55 km²;2013 年西安市温度高亮度集中区域的面积比 2006 年面积同比扩大 4.13 km²。总之,西安市城区的气温明显高于周边郊区,这可能与城市的建筑物密集,人口基数大,路面硬化,单位面积的绿化面积占有率低,水体缺少等有关。值得注意的是,2013 年城市地表温度范围比 2006 年持续扩大的同时,涉及的区域更广,并且向周边发展。

2014年12月

4.2 西安市基于气象站点数据的城市热岛效应的分析

通过气象站点逐月气温数据计算西安市热岛强度,周至、高陵、临潼、秦都、长安5个气象站点的月平均气温、西安站年平均气温变化趋势见图2。1993年是西安市近20年最低温度,西安市平均气温为12.9℃,西安市周边平均气温为11.9℃,相差1℃。近20年西安市城区气温平均升高约1.3℃左右,其郊区气温平均升高约0.1℃左右,因此近20年热岛对西安市整体气温的升高贡献率较大。热岛强度是城市中心温度与其周边温度之差(图3),增加趋势线 $y=0.0143x+1.0703$,拟合度 $R^2=0.1486$,相关系数不高,说明热岛强度变化不是按线性规律变化。用3a为单位作滑动平均,发现1996年、2001年、2004年、2008年、2011年出现拐点,1996–2001年之间热岛强度是减弱的,相应地,绿岛区和强绿岛区是增加的,这与冯晓刚^[18]研究得出西安市绿岛区和强绿岛区在1992–2001年总体呈现增长趋势的研究结果相吻合,究其原因主要包括:政府注重生态城市、绿色城市的构建,城市绿地面积、人均绿地面积占有量和水域面积持续增加的结果。西安市热岛强度总体呈现上升趋势,其中2008–2011年西安市城市热岛强度呈持续上升趋势显著,在2011–2013年,西安市热岛强度一直保持较高态势,达到了自1992–2013年以来热岛强度的最高值,其中绿岛区和强绿岛区在部分区域有所上升,如2007年、2008年。

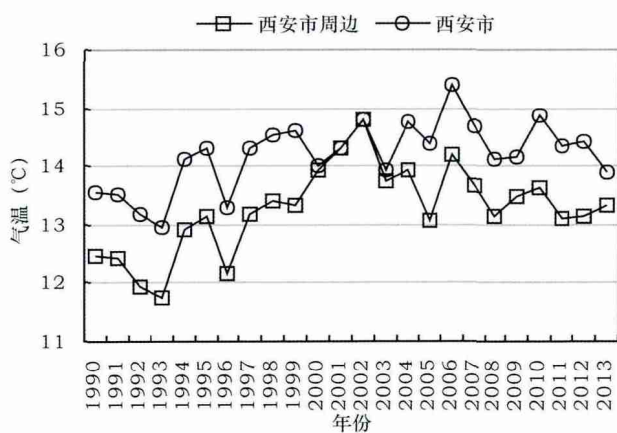


图2 1992–2013年西安市及其周边温度变化

Fig.2 Xi'an and the surrounding temperature changes from 1992 to 2013

4.3 西安市地表温度等级空间分布特征

利用自然间断点分级法将1992年、2000年、2006年、2013年的地表温度划分为5级(图4a、图4b、图4c、图4d),依次按照高温区、次高温区、中温区、次低温区、低温区进行重分类具体等级划分,一般将高温区和次高温区作为热岛区。从总体来看,高温区和次高温区的区域面积在1992–2013年总体是增大的,2006–2013年期间由于区域扩大范围广,涉及到咸阳、灞桥等区域,城市整体的温度相对降低,出现了空心热岛现象。由于老城区原则上不再建设成片的住宅区,降低建设密度,行政职能逐步外迁,旧城区功能主要以旅游和商贸为主造成的,这可能是造成老城区地表温度变化缓慢的主要原因。

为量化研究热岛效应空间分布,具体地表温度等级划分见表1。1992年热岛区的面积占西安市总面积的22.73%,2000年热岛区的面积占西安市总面积的32.97%,2006年热岛区的面积占西安市总面积的39.59%,2013年热岛区的面积占西安市总面积的40.43%,期间2000年比1992年面积增加10.24个百分点,2006年比2000年增加6.62个百分点,2013年比2006年增加0.84个百分点。西安总体热岛区面积呈增加趋势,年平均增长率为0.83%。其中次低温、低温的区域面积所占比较低,中温、次高温、高温的区域面积所占比较高,在1992到2006年期间,中温及其中温以下的区域面积所占比较高,高温及次高温的区域面积所占比较低,但在

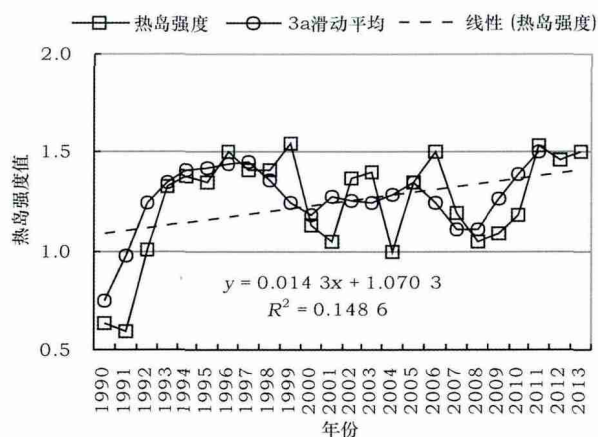


图3 1992–2013年西安市夏季平均热岛强度变化

Fig.3 Xi'an average heat island intensity changes from 1992 to 2013

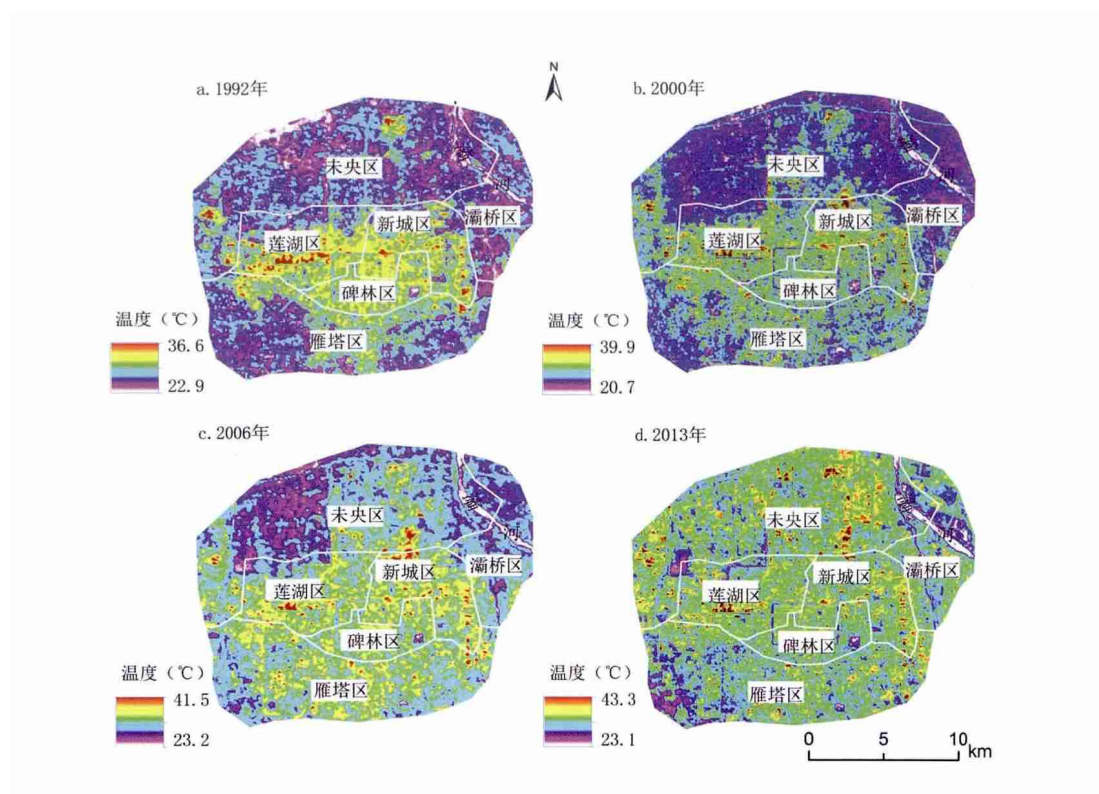


图1 1992–2013年西安市地表温度反演

Fig.1 Land surface temperature retrieval from 1992 to 2013

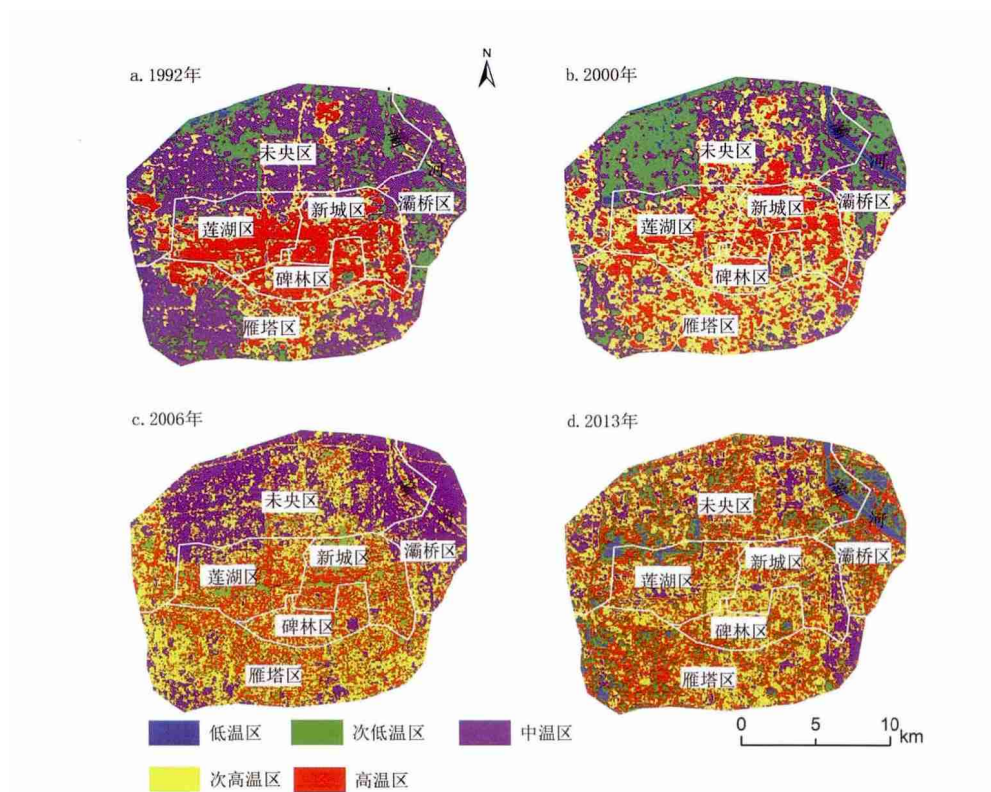


图4 1992–2013年西安市地表温度等级划分

Fig.4 The surface temperature classification from 1992 to 2013

2014年12月

表1 1992–2013年西安市 TM/ETM 地表温度等级划分信息统计

Table 1 TM/ETM surface temperature classification information statistics from 1992 to 2013

	占研究区面积的百分比值(%)					
	高温区	次高温区	中温区	次低温区	低温区	热岛区
1992年	2.13	20.6	32.44	40.96	3.87	22.73
1999年	8.06	24.91	30.58	32.55	3.9	32.97
2006年	14.08	25.51	27.63	29.71	3.07	39.59
2013年	15.24	25.19	27.23	28.54	3.8	40.43
变化率(%)	5.93→6.02→1.16	4.31→0.60→-0.32	-1.86→-2.95→-0.4	-8.41→-2.84→-1.17	0.03→-0.83→0.73	5.92→18.34→-7.92

2006年到2013年期间高温及次高温的区域面积所占比率较高,中温及其中温以下的区域面积所占比率较低。

5 结论

本文在前人研究的基础上,基于单窗算法,用定量的方法,通过地表参数和大气参数的相关数据来反演地表温度,并结合气象观测站点数据,对西安市的城市热岛从理论和方法上进行研究和应用,研究结论如下:

(1)西安市热岛范围的变化与西安市的城市扩展是一致的。通过4个时期的对比发现,目前西安城区已延伸扩展到咸阳、灞桥等区域,而反演得出热岛强度的区域也向咸阳、灞桥等区域扩展,这说明热岛强度分布和西安市的城市扩展是相吻合的。

(2)近20年,热岛对西安市整体气温的升高贡献率较大。西安市1992–2013年间多年平均气温为13.8℃,在此期间,年平均气温上升了1.3℃。同期,郊区气温平均升高约0.1℃左右。

(3)热岛区的范围总体趋势在增大。热岛区(高温区、次高温区)面积年均增加0.83个百分点,但是热岛强度比较高的区域逐渐向城市周边扩展,根据四期遥感影像反演地表温度发现,随着城市规模的扩大,热岛强度比较高的区域逐渐向城市周围扩展,城市中心温度变化不大,而城市周围地表温度升高速率较快,两者相比较而言,城市中心温度的升高速率比城市周围地表温度的升高速率低,因此呈现热岛空心状态。

(4)通过热岛强度分级,发现面积变化率5个等级级别总体中温、高温、次高温的热岛面积百分比是先增大后减少,次低温及低温的热岛面积百分比是先减少后增大。

参考文献(References):

- [1] 覃志豪, Zhang M, Karnieli A, 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.
- [2] 覃志豪. 单窗算大气参数估值的计方法[J]. 国土资源遥感, 2003, 56(2): 37–43.
- [3] 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, 61(3): 28–32.
- [4] 张勇, 余涛, 顾行发, 等. CBERS-02IRMSS 热红外数据地表温度反演及其在城市热岛效应定量分析中的应用[J]. 遥感学报, 2006, 10(5): 790–796.
- [5] 黄金海. 杭州市热岛效应与植被覆盖关系的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [6] 罗智勇, 刘汉湖, 杨武年. 单窗算法在成都市地面温度反演中的应用研究[J]. 热带气象学报, 2007, 23(4): 409–412.
- [7] 丁凤, 徐涵秋. 基于 Landsat TM 的 3 种地表温度反演算法比较分析[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2008, 24(1): 91–96.
- [8] 王天星. 地表参数遥感定量反演及其在城市热环境研究中的应用[D]. 福州: 福建师范大学, 2008.
- [9] 龚宇, 余森, 王璞, 等. 典型重工业城市热岛效应特征分析—以唐山市为例[J]. 资源科学, 2010, 32(6): 1120–1126.
- [10] 谢元礼, 范熙伟, 韩涛, 等. 基于 TM 影像的兰州市地表温度反演及城市热岛效应分析[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(9): 172–175.
- [11] 张杨, 江平, 陈奕云, 等. 基于 Landsat TM 影像的武汉市热岛效应研究[J]. 生态环境学报, 2012, 21(5): 884–889.
- [12] 拉巴次仁, 卓嘎, 罗布, 等. 拉萨市城市热岛的时空分布特征[J]. 资源科学, 2012, 34(12): 2364–2373.
- [13] 张正栋, 蒙金华. 基于城市热岛效应的城市降温通道规划研究—以广州市为例[J]. 资源科学, 2013, 35(6): 1261–1267.
- [14] 李国栋, 张俊华, 赵自胜, 等. 典型河谷型城市冬季热场分布和热岛效应特征及其驱动机制研究—以兰州市为例[J]. 资源科学, 2013, 35(7): 1463–1473.
- [15] 周淑贞, 张超. 城市气候学导论[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1985.
- [16] Schneider K, Mauser W. Processing and accuracy of landsat thematic mapper data for lake surface temperature measurement

- [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17(17): 2027–2041.
- [17] 孙飒梅, 卢昌义. 遥感监测城市热岛强度及其作为生态监测指标的探讨[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2002, 41(1): 66–70.
- [18] 冯晓刚. 城市热岛效应演变与成因遥感研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2011.

Urban Heat Island Intensity Quantitative Inversion and City Land Surface Temperatures in Xi'an

LI Boyan¹, REN Zhiyuan¹, LI Ruizong², WANG Yunchen¹

(1. College of Tourism and Environmental Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China;

2. Geologic Survey and Design Institute of Hainan, Haikou 570002, China)

Abstract Here, using a single window algorithm, meteorological data, and data from 1992, 2000, 2006 and 2013 TM/ETM images we studied land surface temperatures in Xi'an. We found that the region between the second ring and the third ring surface temperature has risen faster in the center of Xi'an than between the second ring and the third ring. This is consistent with the planning layout of Xi'an. Island areas had an annual average increase rate of 0.83%. The temperature increased about 1.3 degrees on average over the study period, and the overall rise in temperature of the heat-island effect in Xi'an has a greater contribution to the city's temperature, especially given the three-year increase trend of the heat island intensity. The Urban Heat Island has extended gradually around the city. Zhonglou in the center of expansion into the present temperature of the hollow island of urban form, that is, when the heat island develops to a certain stage the heat island regional center of gravity shifts and experiences slightly lower temperatures than the surrounding city center. The urban heat island area rate of change first increased and then decreased, but without human intervention, island regions may be transformed into strong island areas and deterioration of Xi'an's thermal urban environment will occur.

Key words : mono-window algorithm; surface temperature; heat island effect; intensity of heat island; Xi'an