

文章编号:1673-8411(2018)03-0066-06

滨海城市化地区热岛效应的遥感分析研究 ——以防城港为例

谢敏¹, 孙明², 蔡建初³, 朱秋宇¹

(1. 广西气候中心, 南宁 530022; 2. 广西气象减灾研究所, 南宁 530022; 3. 北海市气象局, 广西 北海 536000)

摘要:为研究防城港市热岛效应的时空变化特征及其驱动因素,设置热场强度、热岛比例指数及热岛强度3个评价指标,选用2001,2008,2015及2009年遥感数据分别进行热岛效应年际变化和季节变化分析;利用气象站数据对遥感结果进行验证;同时,从城市下垫面的组成、城市建成区面积变化以及社会经济数据等方面对热岛效应的驱动因素进行分析,研究结果表明:(1)防城港市热场强度呈逐年递增的趋势,港口区强热岛区增幅最快,年均增长率达到26.72%;(2)城市热岛比例指数逐年递增,东兴市最高,达到0.32;(3)防城港市热岛效应季节变化明显,冬春季最弱,秋季最强;(4)城市绿地和水体对城市热岛效应具有明显的降温作用。上述研究成果可为防城港市创建全国园林城市提供科学合理的建议。

关键词:地表温度;城市热岛比例指数;热岛强度

中图分类号:P407

文献标识码:A

Analysis on Heat Island Effect in loastal Urbanization Area Using Remote Sensing Date A case Studg in the Fangchenggang Area

Xie Min¹, Sun Ming², Cai Jianchu³, Zhu Qiuyu¹

(1. Guangxi Climate Center, Nanning Guangxi 530022; 2. Guangxi Meteorological Disaster Mitigation Institute, Nanning Guangxi 530022; 3. Beihai Meteorological Bureau, Beihai Guangxi 536000)

Abstract: To study the spatio-temporal variations of urban heat island effects and driving factors in Fangchenggang, the remote sensing methods were used to monitor the annual variation of urban heat island effects with the images of three periods (2001, 2008, 2015) and the seasonal variations of urban heat island effects with images of 2009. Thermal-field intensity, urban-heat-island ratio index and surface urban heat-island intensity are taken as the evaluation indexes. The auto-meteorological observation data were used to analyze the urban heat island effect in Fangchenggang in order to verify the remote sensing analysis results. We studied the driving factors of urban heat island effects from three aspects, including underlying surface elements, urban built-up area and social economic statistic. The results show that: ①Thermal-field intensity exhibits a trend of rapid expansion in the study area, especially the port with an annual growth rate of 26.72%. ②The urban-heat-island ratio index is rising year by year in all districts, among which, Dongxing reaches the highest value of 0.31. ③The urban-heat-island of Fangchenggang has obvious seasonal changes, which is strongest in autumn and weakest in winter within a year. ④Both urban green space and water body have a cooling effect. The research results may provide scientific and reasonable proposals for Fangchenggang government sectors to reach the goal of creating a national garden city.

Keywords: land surface temperature(LST); heat island intensity; urban-heat-island ratio index

收稿日期:2018-04-25

基金项目:广西区气象局气象科研计划项目(桂气科2017M04);广西自然科学基金项目(2015GXNSFAA39243);广西气象局延伸期气候预测
创新团队项目

作者简介:谢敏(1985-),女,广西北海人,硕士,主要从事气候变化研究,E-mail:xm409680373@126.com。

通信作者:孙明(1986-),男,江苏泰州人,硕士,主要从事生态遥感应用研究,E-mail:msunies@163.com。

城市热岛是指城市发展到一定规模,由于城市下垫面性质的改变、大气污染以及人工废热的排放等使城市温度明显高于郊区,形成的类似高温孤岛现象^[1]。2006年,国家提出广西北部湾经济区发展规划,防城港迎来了新的发展机遇,规划的实施极大地推动城市的发展,由城镇化所造成的下垫面条件变化对气象环境造成的影响逐渐显现,对防城港市近55年来的气温统计发现,年平均气温呈上升趋势,增长率为 $0.177^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,其中秋冬季节增温趋势最显著,达到 $0.234^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。城市热岛效应不仅能引起城市高温,还会增加城市的能源消耗,加剧城市中的大气污染,影响区域气候、城市水文、空气质量以及物资代谢、能量循环等诸多城市生态过程,是引发一系列生态环境问题的重要原因之一。

国内关于城市热岛效应的研究主要集中于沿海发达地区和大中型城市^[2-11],有关中小型城市的研究较少^[12-14];遥感反演LST常用的方法主要有:辐射传输方程法、单窗算法、单通道算法以及劈窗算法。辐射传输方程法根据普朗克方程反演LST,物理基础明确,在获取或模拟出较准确的大气参数时,反演精度较高,借助NASA提供的大气校正计算器,可以快速获取反演所需的各种大气参数,提高了该方法的应用范围和可操作性。

本文利用Landsat数据及辐射传输方程法研究城市热岛效应变化特征及驱动因素。

1 研究区及数据

1.1 研究区概况

防城港市位于广西南部,北部湾北岸,地理坐标介于 $\text{E}107^{\circ}28'\sim108^{\circ}36'$, $\text{N}21^{\circ}36'\sim22^{\circ}22'$ 之间,处在中国大陆资源丰富的大西南经济圈和经济活跃的东南亚经济圈的交叉结合部,是连接大西南和东南亚的海上枢纽,包括含二区、一市、一县,即防城区和港口区、东兴市及上思县。全市山地丘陵面积占80%以上,地势中间高,向东南和西北倾斜。防城港地处亚热带,气候类型属亚热带湿润季风气候区,冬半年(10月~次年3月)受北方冷气团影响,气候干燥少雨;夏半年(4~9月)受南方海洋湿热气团影响,气候湿润多雨;冬短夏长,季风气候明显,气候温和湿润。

1.2 数据及预处理

考虑到遥感卫星数据源的一致性,本文采用Landsat系列遥感数据:选用6景Landsat系列影像,

所选影像均为晴朗或无风天气,目视效果好,时间分别为2001年11月17日、2008年11月20日、2015年10月23日、2009年2月24日、5月31日以及10月6日,其中2015年影像为Landsat8 OLI数据。利用2001、2008以及2015年三期数据进行热岛效应年际变化分析;2009年三期影像进行热岛效应季节变化分析。

2 研究方法

2.1 地表温度反演

本文采用辐射传输方程法反演LST,其计算公式为

$$T_s = K_2 / \ln \left(\frac{K_1}{B(T_s)} + 1 \right) \quad (1)$$

$$B(T_s) = [L_{\text{sensor}} - L_{\text{atm}} \uparrow - \tau(1 - \varepsilon)L_{\text{atm}} \downarrow] / \tau\varepsilon \quad (2)$$

式中: $K_1=607.76 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{um}^{-1}$, $K_2=1\ 260.56 \text{ K (TM)}$; $K_1=774.89 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{um}^{-1}$, $K_2=1\ 321.08 \text{ K (OLI)}$; $B(T_s)$ 为普朗克黑体光谱辐亮度; L_{sensor} 为传感器接收到的热红外光谱辐射亮度; ε 为地表比辐射率; $L_{\text{atm}} \downarrow$ 和 $L_{\text{atm}} \uparrow$ 分别为大气下行辐射亮度和大气上行辐射亮度; τ 为大气透射率。

2.2 热场强度计算

热场强度能够有效地反映出城市热岛的水平分布。热场强度指标,定义为遥感地表热场的归一化,能对一景图像热场分布的相对高温、低温范围及位置做出判断,其计算公式^[19]为:

$$H_i = \frac{T_i - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \quad (3)$$

其中: H_i 表示第*i*个像元所对应的热场强度; T_i 为第*i*个像元的地表温度; T_{\min} 表示图像区域地表温度的最小值; T_{\max} 为图像区域地表温度的最大值。

通过对图像进行分析实验,本文将防城港市热场强度分为5个等级(表1)。

表1 热场强度等级划分

热场强度等级	热场强度阈值
低温区	0.00~0.20
中温区	0.20~0.40
常温区	0.40~0.60
高温区	0.60~0.80
特高温区	0.80~1.00

2.3 热岛比例指数计算

城市热岛比例指数(urban heat-island ratio index, URI)^[20]是一个定量指标,可比较不同时相、不同地区热岛强度大小, URI值越大,热岛效应越严重。其计算公式为

$$URI = \frac{1}{100m} \sum_i^n w_i p_i, \quad (4)$$

式中:URI为城市热岛比例指数;m为归一化等级;i为城区温度高于郊区温度等级;n为城区温度高于郊区温度的等级数;w为权重,为i温度级的值。

2.4 热岛强度计算

地表城市热岛强度(surface urban heat-island intensity, UHI)^[21]定义为城市LST与郊区乡村LST之差,用于反映城区温度高于郊区乡村的程度。其计算公式为

$$UHI_i = T_i - \frac{1}{n} \sum T_{crop} \quad (5)$$

式中:UHI_i为图像中第i像元对应热岛强度;T_i为LST;n为郊区农田内的有效像元数;T_{crop}为郊区农田内的LST。参照文献[20]的划分标准,将热岛强度分为4个等级(表2)。

表2 热岛强度等级划分

热岛强度等级	热岛强度阈值
无热岛	-1.00~1.00
弱热岛	1.00~3.00
较强热岛	3.00~5.00
强热岛	≥5.00

3 结果与分析

3.1 热场强度分析

通过对比3期热场强度的影像,防城区与港口区的建成区范围扩张较快,特高温区的范围明显增大,新增的特高温区、高温区主要集中在港口区沿海港口码头开发区域以及企沙镇新扩建的工业园区,2008~2015年新增热岛面积尤为显著;而防城区的变化则比较缓慢,15年间无明显特高温区出现,这主要是因为老城区城市改造幅度较小。

通过对3期影像中高温区及特高温区进行面积统计,高温区面积分别为1.18km²、3.75 km²和9.88 km²,年均增长率为9.60%;特高温区面积分别为0.16km²、1.38km²和2.69km²,年均增长率为26.72%。

东兴市热岛新增区域与城市开发范围一致,热岛区域均分布在新建城区范围内,特高温区由老城

区逐渐往城市外围新城区转移,低温中温区域随着城市的发展面积迅速减少;老城区的发展趋势与防城区类似,热岛增加趋势比较缓慢。通过对3期影像中特高温区面积统计,其面积分别为0.84km²、1.49 km²和4.40km²。2008~2015年,东兴市的城市特高温区面积大幅增加,这与东兴市的城市发展趋势一致。

从2001~2008年上思县城市建成区面积扩张面积几乎为老城区一倍,高温特高温区往城市西南方向发展,老城区的热岛变化趋势较为平稳,高温区域零散状分布,无连片区域;2008~2015年,老城区高温区域由点状分布发展成大范围连片分布,特高温区无显著增加,低温和中温区域面积大幅减小。从面积统计上看,高温和特高温区域面积从2001年的0.095km²发展到2015年的1.02km²,面积扩大了约25.7倍。

为了更具体地反映防城港市各区市县城城市热岛的空间分布情况,将各区市县的地表温度等级面积进行统计分析。可以看出,各区的高温 and 特高温区域所占比重逐年加大,其中东兴市增长趋势显著,到2015年,城市热岛区域所占比重接近40%。

3.2 热岛比例指数发展趋势

根据地表温度归一化结果,统计不同等级LST的面积,选取高温和特高温2个等级代表城市热岛范围。利用热岛比例指数计算公式[公式(4)]计算得到不同时期、不同区域的热岛比例指数(图1)。热岛比例指数逐年递增,表明防城港市热岛效应逐年加重。其中,东兴市的热岛比例指数最高,年增幅最大,表明东兴市的城市热岛现象非常显著;防城区和港口区的热岛比例指数与上思县发展趋势较为一致,2001~2008年增速较快,2008~2015年平稳上升。

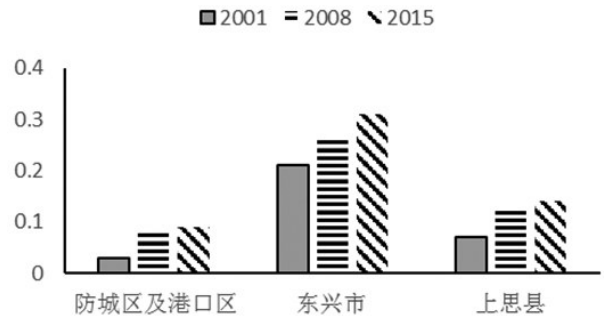


图1 2001~2015年防城港市热岛比例指数示意图

3.3 热岛强度随季节变化趋势

受天气及水汽条件的影响,本文研究热岛效应随着季节的变化采用2009年2月24日、5月31日、

10月6日三个时相的热红外遥感影像,对防城港市主要建成区的热岛强度进行了遥感反演,得出2009年三个季节防城港市城市热岛效应时空演变情况,通过分析,得出了三个季节热岛强度的变化。

2009年城市热岛随着季节变化明显,在冬季上午11时左右,防城港市主要建成区的城市热岛基本处于无热岛状态,热岛不明显,但是由于冬季汽车尾气排放、工业生产的能源消耗、城市居民空调制热等人因素,贡献了大量的热量,使得主城区在冬季也有局部小范围的较强热岛区域,强热岛区域几无分布;春末夏初,各区市县主城区基本上处于无热岛和弱热岛变化范围,东兴市的热岛强度出现明显提升,大部分地区处于弱热岛和较强热岛变化范围,其中,港口区的港环路及东湾工业园附近出现局部强热岛区域;上思县老城区出现较强热岛区域;到了秋季,则城区的热岛效应出现明显提升。秋季城区有明显热岛效应的原因是人造建筑结构如街道和建筑物一般比自然地表有较低的反照率,高层建筑林立,绿地大量减少,工业活动旺盛,夏季普遍使用空调又增加了热量排放,使防城港市秋季出现了明显的热岛效应。

3.4 气温监测热岛强度发展趋势

为了验证遥感反演热岛强度结果,本文选择气象观测站实测温度数据进行验证。挑选港口区、防城区、东兴市各一组城区与郊区站组,对同一时期城区站温度与郊区站温度进行对比分析(图2):防城港站与公车站,计算两站2009年到2015年期间温差,

7a间城区站温度均大于郊区站,2009年至2012年温差有逐年上升趋势,但最近三年却呈现减小趋势;东兴站与大桥村站,计算两站2010年到2015年期间温差得出,6a间城区站温度均大于郊区站,2010年至2015年温差有逐年上升趋势;防城站与茅岭站,计算两站2009年到2015年期间温差得出,7a间除2009年外,城区站温度均大于郊区站,2010年至2015年温差有逐年上升趋势。

3.5 热岛效应驱动因素分析

3.5.1 热岛效应与城市下垫面的关系

大量前人的研究表明:城市热岛效应是由人为因素和地理条件等众多因子的共同影响下形成的,并且地表温度分布与下垫面性质有着密切的关系,尤其是由于城市下垫面对城市太阳辐射的反射率小、吸收率高、储热能力强的热力学特性导致城市温度比郊区高。本文主要利用建筑用地、水体和植被三种指数进行分析。利用2015年遥感影像提取3种指数并将其进行归一化;然后在整个研究区内选取样本点,利用SPASS软件对样点进行拟合,得出LST与各种指数之间的最佳拟合方程(表3)。

从LST与NDBI的拟合方程可以看出,建筑用地指数与地表温度成正比关系,NDBI指数越高,建筑密度越高,其地表温度越高,表明城镇建筑对城市热岛效应具有明显的增温作用;根据NDVI及MNDWI与LST回归方程,LST与NDVI及MNDWI呈反比关系,表明植被和水体对城市热岛效应具有明显的降温作用;NDVI值越高、植被覆盖越好的地区,其LST

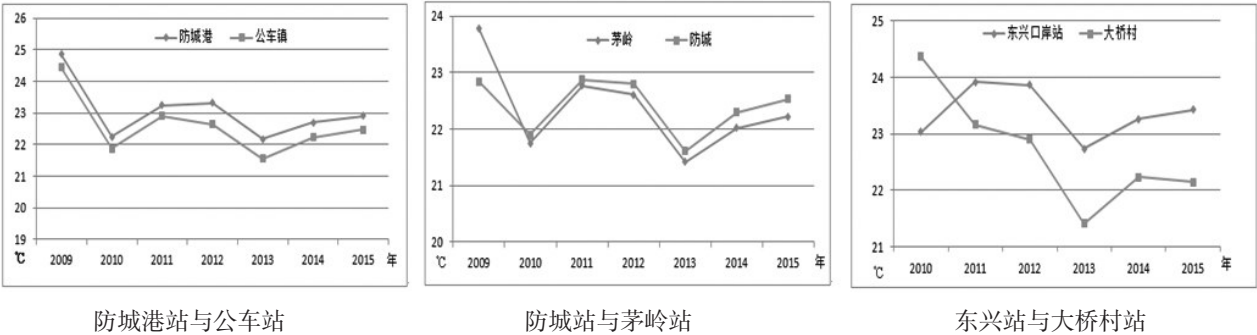


图2 城区站与郊区站对比图

表3 下垫面与LST的拟合方程

下垫面类型	影响方程		
NDBI	$LST=32.750+16.893NDBI+34.301NDBI^2+49.087NDBI^3$		
NDVI	$LST=-18.747NDVI+43.718$	$R^2=0.71$	
MNDWI	$LST=-29.98MNDWI+58.266$	$R^2=0.626$	

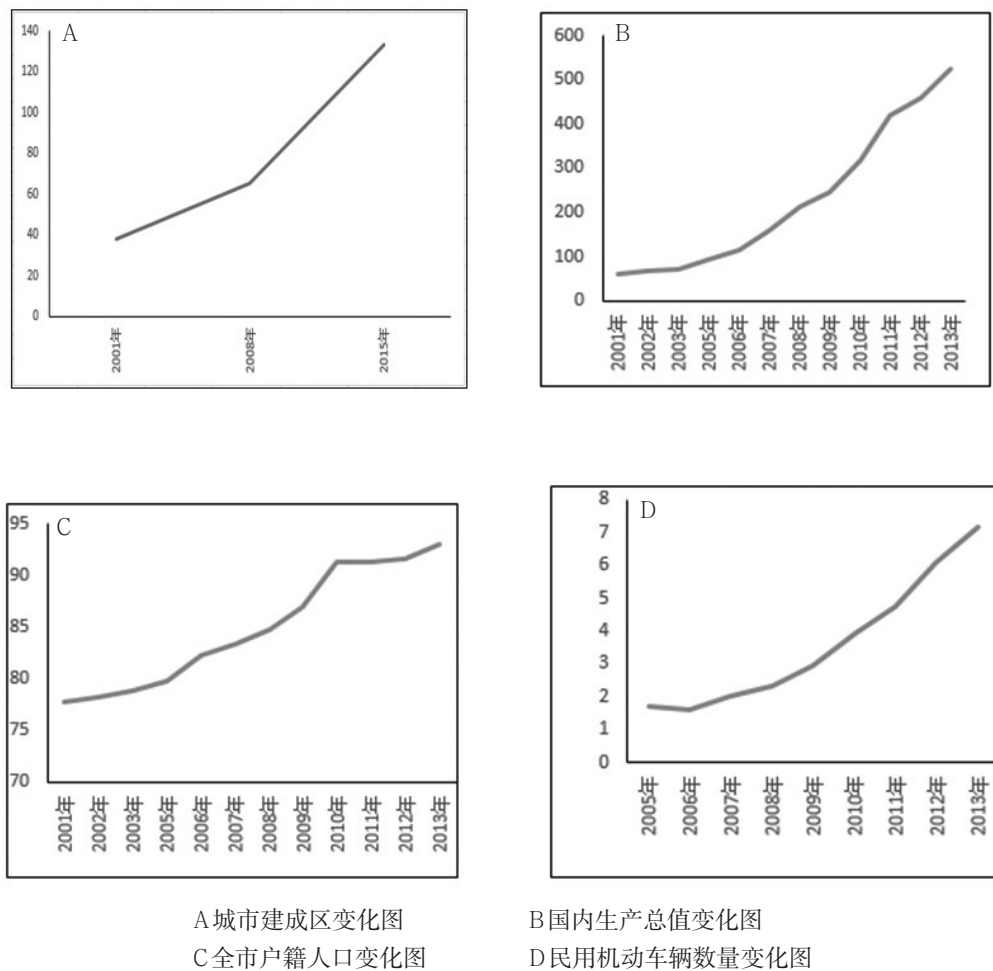


图3 防城港市社会经济要素变化图

值越低;MNDWI值越高、水分含量高地区,其LST值越低;同时根据对拟合方程的斜率分析(植被-18.747,水体-29.982),水体对LST的影响程度高于植被。

3.5.2 热岛效应与城市建设和工业发展的关系

城市热岛的发展与城市化进程的变化息息相关,于淑秋等研究表明,城市化指数的变化与城市热岛强度的变化非常相似,二者具有良好的线性关系。本文通过遥感提取城市建成区范围,收集了2001~2013年以来防城港市主要社会经济要素:包括全市户籍人口、民用机动车数量、城市建成区及国内生产总值,通过这四个方面分析2001年以来各个要素的变化情况(图3)。

通过遥感提取城市建成区范围,统计表明:防城港市主要建成区面积2001年为38.1km²,2008年为65.1km²,2011年为132.85km²,年均增长率为9.3%。其中,防城区及港口区建成区面积2001年为33.39

km²,2008年为54.15km²,2015年为114.78km²,15a间面积大幅增加了81.39km²,年均增长率为9.2%;建成区扩张主要在沿海滩涂区域,包括围海造陆、兴建工业园区等。东兴市的扩展为典型的圈层式,每隔7a建成区面积扩大1倍,2001年为3.6km²,2008年为6.15km²,2015年为12.13km²,年均增长率为9.1%;上思县建成区面积2001年为1.11km²,2008年为4.80km²,2015年为5.94km²,2015年建成区面积约为2001年的5.3倍。其中,2001~2008年上思建成区面积迅速扩张,年均增长率为23.3%;2008~2015年上思建成区面积增速放缓,年均增长率降低到3.1%。

从图3可以看出,防城港市全市户籍人口2001年到2005年缓慢递增,年均增长率19.9%;2005年到2010年是一个人口快速增长阶段,年均增长率达到62.8%,增速为前4a的3倍;伴随着人口的增长,全市机动车数量也大幅增长,从2006年的1.59万辆发展到2013年的7.17万辆,年均增长率27.8%;全市国内

生产总值的变化趋势与机动车一致,都呈现快速发展的态势:2001~2006年缓慢递增,从2007年开始,国内生产总值迅猛增长,年均增长率为前5a的1.5倍。

4 结语

(1)对2001、2008及2015三期遥感影像的年际变化分析表明:防城港市各区、市、县的城市热场强度均呈现逐年递增的趋势。其中,防城区和港口区特高温区面积年均增长26.72%;东兴市特高温区面积年均增长9.49%;上思县特高温区面积从2001年的0.02km²发展到2015年的0.1km²,面积显著增加;城市热岛比例指数逐年递增,其中,东兴市的热岛比例指数最高,年均增幅最大,表明东兴市的热岛效应最为显著。

(2)防城港市城市热岛效应随季节变化明显:冬季全市基本处于无热岛状态;春末夏初,各市区县以无热岛和弱热岛为主;秋季,热岛效应明显提升,强热岛区域面积达到最大。

(3)气象自动站观测资料分析结果与遥感数据分析结果较为一致:城区站与郊区站的温差呈逐年递增的趋势。

(4)热岛效应的主要驱动因素包括:城市建成区的迅猛扩张、经济的快速发展,人口的大量迁入以及机动车数量的爆发式增长;城市下垫面对热岛效应的影响主要表现为:热岛效应与城市用地成正比关系,城镇化程度越高,建筑密度越大,地表增温越快;热岛效应与城市绿地和水体呈反比关系,城市植被盖度越高,水体越多,对周边城市热场的降温作用越明显。

参考文献:

[1] Manley G. On the frequency of snowfall in metropolitan Eng-

land[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1958, 84(359): 70-72.

[2] 刘伟东,杨萍,尤焕苓,等.北京地区热岛效应及日较差特征[J].气候与环境研究,2013,(2):171-177.

[3] 乔治,田光进.北京市热环境时空分异与区划[J].遥感学报,2014,18(3):715-734.

[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研究[D].自然资源学报,2011,25(10):1727-1737.

[5] 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.

[6] 但尚铭,安海锋,但玻,等.基于AVHRR和DEM的重庆城市热岛效应分析[J].长江流域资源与环境,2009,18(7):680-685.

[7] 钟喆,华璿,陈俊雄.广西沿海城镇建设格局时空演化研究[J].气象研究与应用,2016,37(4):73-76.

[8] 牛俊玫.阳泉城市热岛效应及气象因素分析[J].气象研究与应用,2013,34(1):34-36+43.

[9] 陈桢华,马慧,汤沛.珠三角盛夏高温特征及其原因分析[J].气象研究与应用,2011,32(1):22-24+110.

[10] 王清川,郭立平,张绍恢.廊坊市城市热岛效应的昼夜变化特征分析[J].气象研究与应用,2009,30(2):26-30.

[11] 杨琳,钟保舜.热岛效应对四季变化的影响[J].气象研究与应用,2007,28(3):18-19+32.

[12] 饶胜,张惠远,金陶陶.等.基于MODIS的珠江三角洲地区区域热岛的分布特征[J].地理研究,2010,29(1):127-136.

[13] 张勇,余涛,顾行发,等.CBERS-02 IRMSS热红外数据地表温度反演及其在城市热岛效应定量化分析中的应用[J].遥感学报,2006,10(5):789-797.

[14] 何如,欧艺,苏志,等.广西风能资源分布高分辨率数值模拟应用研究[J].广东电力,2016,29(6):24-29.