

林奕桐, 叶骏菲, 林开平, 等. 南宁市热岛效应的遥感研究[J]. 灾害学, 2014, 29(4): 192–197. [Lin Yitong, Ye Junfei, Lin Kaiping, et al. Remote Sensing Research of Heat Island Effect in Nanning[J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(4): 192–197.]

# 南宁市热岛效应的遥感研究<sup>\*</sup>

林奕桐<sup>1</sup>, 叶骏菲<sup>2</sup>, 林开平<sup>3</sup>, 张家安<sup>2</sup>

(1. 南宁市气象局, 广西 南宁 530022; 2. 宾阳县气象局, 广西 南宁 530022;  
3. 广西区气象台, 广西 南宁 530022)

**摘要:** 利用 MODIS 数据、TM 数据对南宁市的地表温度、植被覆盖度、热场强度、热岛强度分别进行计算, 从热岛的时空分布、热岛强度与面积、热岛成因三方面讨论南宁热岛特征及近十年的演变, 研究南宁市热岛与高温天数的关系, 建立了植被覆盖度与热场强度的联系。结果表明: 南宁市从 2000 年的单一热岛中心逐渐发展成为多热岛中心; 热岛面积以年均 15.7% 的速率增长, 与之对应的是南宁市的高温天数平均以每年 1.1 d 的速率增长。尽管南宁市的植被对热岛的缓解作用强于城市用地及裸土的增温作用, 但由于南宁市植被覆盖的面积 (26.44%) 远小于城市用地的面积 (55.33%), 城市热岛仍处于发展的状态。

**关键词:** 热岛效应; 遥感; 高温灾害; 热岛强度; 广西南宁

**中图分类号:** X87; TP79; X4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000–811X(2014)04–0192–06

**doi:** 10.3969/j.issn.1000–811X.2014.04.035

城市热岛是一种城市公害, 会给人类健康和社会经济带来不容低估的损失<sup>[1]</sup>。随着城市热岛效应的加剧, 高温灾害越来越显著, 据统计, 2000–2010 年, 南宁市的高温天数 (气温大于 35℃<sup>[2]</sup>) 平均以每年 1.1 d 的速率增长。同时, 城市热岛效应也会为城市带来其他方面无法估量的灾害: 一方面表现为影响工业产值并产生严重损失, 耗水耗电量剧增, 以及危及人民生活和健康等<sup>[3]</sup>; 另一方面则会加速城区水土流失, 引起路面开裂与沦陷以及地面沉降等<sup>[4]</sup>。从 1990 年以来, 对城市“热岛”的研究已有很多<sup>[5–6]</sup>。监测城市热岛效应的方法也比较多, 各有所长<sup>[7]</sup>。闫峰等利用 EOS/MODIS 数据对上海市进行了地面热场季节分析, 认为上海市热岛强度及范围存在季节差异<sup>[8]</sup>, 由此说明了热岛研究中季节的选取较为重要。吕光辉<sup>[9]</sup>等利用 MODIS 数据着重从宏观上揭示干旱城市热岛的时空分布特征, 证明了 MODIS 数据能够较好地应用于热岛宏观时空分布的监测。饶胜<sup>[10]</sup>等利用 MODIS 数据定性分析了珠江三角洲地区下垫面类型与地表温度的关系, 初步证明了水体、植被对城市热岛有缓解作用, 但各类下垫面对城市热岛影响的效率还需要进一步定量研究。

随着南宁市规模的迅速发展, 南宁市区的热岛效应日益严重, 这一现象已经引起市政府的重

视, 相应政策的制订和实施也在不断进行中<sup>[11]</sup>。陈业国、凌颖等<sup>[11–12]</sup>通过自动站的实测气温对南宁热岛进行了研究, 认为秋季热岛强度最大, 热岛效应干季 (9 月至翌年 1 月) 较强。该方法的优点是观测值精度较高, 其缺点是覆盖度不广, 很难研究热岛的具体分布情况。韦亮英<sup>[13]</sup>通过遥感手段, 对 1990 年、1998 年、2006 年的 3 景 TM 数据进行了分析, 得出了南宁市温度变化的整体空间格局符合由内向外的“圈层式”, 但并未研究高温区的具体分布位置及热岛的发展演变规律。本文总结已有研究的经验, 通过 MODIS 数据、TM 数据, 以“热岛强度”、“热场强度”、“成因分析”为切入点, 详细分析南宁市 2000–2010 年热岛的面积变化、强度变化, 并定量分析南宁市各类下垫面对城市热岛的影响效率, 为深入了解南宁热岛状况提供科学依据, 为相关部门做出决策提供参考。

## 1 研究区域及数据

### 1.1 研究区域范围

研究区域为南宁市建城区及城郊, 范围为 22°

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2014–02–10      修回日期: 2014–07–24

基金项目: 国家自然科学基金 (41365002); 广西自然科学基金项目 (2011GXNSFE018006, 0832190, 0991208); 广西科学研究与技术开发项目 (1355010–4)

作者简介: 林奕桐 (1990–), 男, 广西南宁人, 大学本科, 主要从事遥感技术与应用. E-mail: drift\_lin@163.com

13' ~ 23° 33' N, 107° 45' ~ 108° 52' E, 面积约为 22 112 km<sup>2</sup>, 其中城市建成区面积约 190 km<sup>2</sup>。南宁位于北回归线南侧, 气候类型属湿润的亚热带季风气候。地貌分平地、低山、石山、丘陵和台地五种类型, 其中平地所占面积最大(57.78%), 多分布于左、右江下游汇合处和邕江两岸。城市 2006-2010 年的建设规划及发展方向为以邕江为轴线, 两翼拓展, 东建西扩, 完善江北, 提升江南, 形成东、西、南三个主要方向拓展的空间格局, 重点实施城市向东、向南的发展战略。

## 1.2 遥感数据

研究选用 6 景 EOS-MODIS 白天影像, 1 景 LANDSAT7-ETM 影像和 3 景 LANDSAT5-TM 影像。所选的影像, 均为大范围晴朗、无风或微风天气。时间分别为 MODIS: 2000 年、2002 年、2004 年 11 月 1 日、2006 年 11 月 2 日、2008 年 11 月 20 日、2010 年 11 月 2 日; ETM: 2000 年 11 月 1 日; TM 数据: 2006 年 10 月 30 日、2008 年 11 月 20 日、2010 年的 12 月 28 日。

## 2 研究方法和原理

### 2.1 地表温度反演

通过单窗算法<sup>[14]</sup>对 2010 年 12 月的 TM 数据进行地表温度反演, 得出空间分辨率为 30 米的地表温度图像, 研究南宁市热场分布情况。通过分裂窗算法对 2000 年、2002 年、2004 年、2006 年、2008 年、2010 年 11 月的 MODIS 和数据进行地表温度反演, 得出 1 km 空间分辨率的地表温度图像, 研究 10 年南宁市热岛变化情况。

单窗算法主公式为<sup>[14-15]</sup>:

$$T_s = \{a(1 - C - D) + [b(C + D) + c]T_6 - DT_a\} / C_0 \quad (1)$$

式中:  $a = -67.355351$ ,  $b = 0.5414$ ,  $c = 0.458606$  为经验常数,  $T_s$  为地表温度,  $C = t_6 e_6$ ,  $D = (1 - t_6) [1 + t_6(1 - e_6)]$ ,  $t_6$  为大气透射率,  $e_6$  为地表比辐射率,  $T_a$  为大气平均作用温度,  $T_6$  为 TM 第 6 通道反演的亮温。

分裂窗算法公式为<sup>[16-17]</sup>:

$$T_s = A_0 + A_1 T_{31} + A_2 T_{32} \quad (2)$$

式中:  $T_s$  是地表温度(K),  $T_{31}$  和  $T_{32}$  分别是 MODIS 第 31 和 32 通道的亮温,  $A_0$ ,  $A_1$  和  $A_2$  是分裂窗算法的参数, 由 MODIS 数据的 31 通道和 32 通道的比辐射率、大气透过率决定。

### 2.2 温度参照点选取

选取相对温度年变化较小的温度最低点作为参照点。前人研究表明, 植被覆盖度能够很好地反映决定下垫面温度的特性<sup>[8]</sup>, 且植被覆盖度与下垫面温度呈负相关<sup>[9]</sup>, 因此, 宜选取南宁市郊区植被覆盖度常年较高的区域作为温度参照点。

利用遥感数据估算植被覆盖度( $f$ )的常用方法

有三波段梯度差法和 NDVI 像元二分法, 后者比前者有着更高的精度<sup>[18]</sup>, 故本文采用 NDVI 像元二分法估算植被覆盖度:

$$f = \frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_g - NDVI_s} \quad (3)$$

式中:  $NDVI_s$  为裸露土壤或建筑表面的 NDVI 值,  $NDVI_g$  为完全植被覆盖像元的 NDVI 值。

由于研究区域是城市建成区及近郊, MODIS 图像空间分辨率过低难以满足该研究对植被覆盖度尺度上的要求, 因此采用 2000 年 11 月 1 日的 ETM 影像、2006 年 10 月 30 日和 2010 年的 12 月 28 日的 TM 影像, 计算出平均植被覆盖度, 对平均值植被覆盖度进行如表 1 所示的等级划分, 得出 10 年研究区域植被常年覆盖的区域。

表 1 植被覆盖等级划分

植被覆盖等级	对应植被覆盖度阈值
高植被覆盖区	> 0.95
较高植被覆盖区	0.85 ~ 0.95
中植被覆盖区	0.75 ~ 0.85
较低植被覆盖区	0.65 ~ 0.75
低植被覆盖区	0.55 ~ 0.65

在南宁市西北方向的高植被覆盖区域选取 5 个参照点, 并记下其经纬度, 计算各年份热岛强度时, 均以这些点的平均温度作为城乡温差的参照温度。同理, 在南宁市区内城东区域较高植被覆盖区选取 5 个点作为城内温差的参照点。

### 2.3 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, 其表达式为<sup>[18]</sup>:

$$H_i = \frac{T_i - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \quad (4)$$

式中:  $H_i$  为第  $i$  个像元所对应的热场强度指数,  $T_i$  为该像元的地表温度,  $T_{\min}$  为图像区域的有效最低地表温度,  $T_{\max}$  为图像区域对应的有效最高地表温度。

经过对大量遥感图像进行分析试验, 根据参考文献提出的方法<sup>[19]</sup>, 这里把热场强度指数划分为 7 个等级(表 2), 能很好地反映出南宁市的热场分布状况。

表 2 热场强度等级划分

热场强度等级	对应热场强度阈值
高温区	> 0.90
次高温区	0.85 ~ 0.90
较高温区	0.80 ~ 0.85
中温区	0.75 ~ 0.80
较低温区	0.70 ~ 0.75
次低温区	0.65 ~ 0.70
低温区	< 0.65

## 2.4 热岛强度计算

热岛强度可有效地反映出城市热岛面积及强弱。热岛强度定义为城乡温差。在本研究中,为了体现城市内部的热岛强弱程度,除了计算城乡温差之外,还引入城内温差的计算:

$$I_i = T_i - \frac{1}{5} \sum_{n=1}^5 T_n. \quad (5)$$

式中: $I_i$  为图像上第  $i$  个像元所对应的热岛强度, $T_i$  为该点对应的地表温度。当分析城内温差时, $T_n$  为城内温度参照点,当分析城乡温差时, $T_n$  为城乡参照点的温度。根据文献[19] 的分类方法,把热岛强度分为 4 个等级(表 3)。

表 3 热岛强度等级划分

热场强度等级	对应热场强度阈值
强热岛	$> 5.0$
较强热岛	$3.0 \sim 5.0$
弱热岛	$1.0 \sim 3.0$
无热岛	$< 1.0$

## 2.5 南宁市热岛的成因分析

用 2010 年的 TM 影像分别计算归一化植被指数(NDVI)、归一化水体指数(NDWI)、归一化建筑指数(NDBI),并应用决策树分析方法,将南宁市下垫面分为植被、水体、裸土及城市用地四类(图 1)。通过建立掩膜,将四类下垫面分别提取出来。对各类区域,建立 NDVI、NDWI、NDBI 与地表温度关系的散点图(图 2),探究各类下垫面对热岛的贡献率。

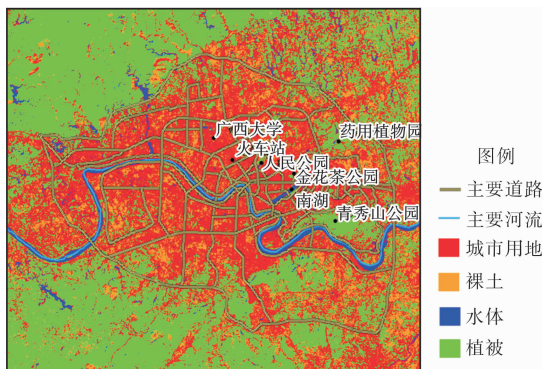


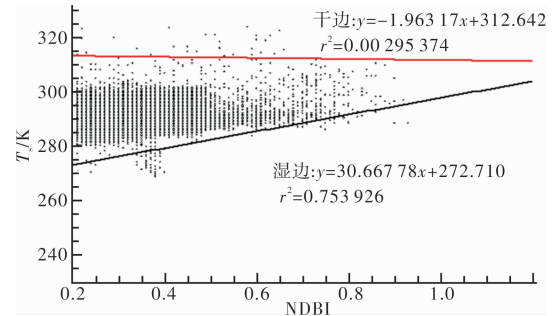
图 1 南宁市土地利用分类图

## 3 结果与讨论

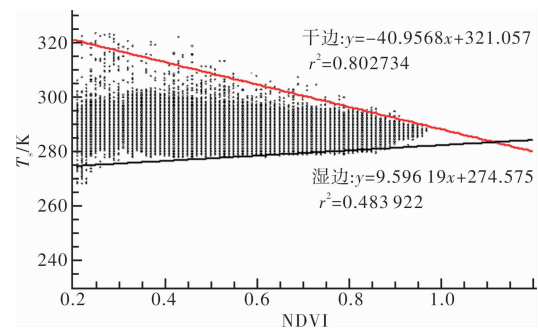
### 3.1 南宁市热岛水平分布的基本特点及其 10 年演变

根据 TM 数据反演地表温度得到的热场强度图很好地体现了南宁市热岛的水平空间分布特征(图 3)。

南宁市的热岛分布主要有以下几个特点:①沿着邕江呈现出一条低温带,将高温中心分为南北两个部分。②热岛中心主要集中在西乡塘区的



(a) NDBI 与地表温度的散点图



(b) NDVI 与地表温度的散点图

图 2 NDBI、NDVI 与温度的散点图

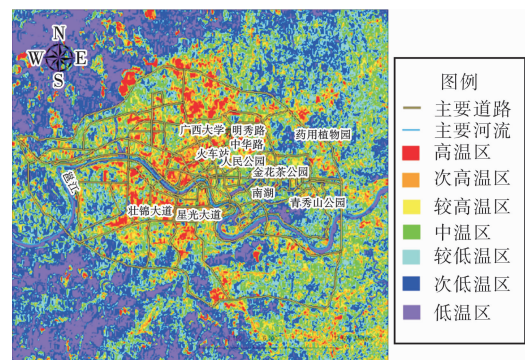


图 3 2010 年南宁市热岛分布图(TM 数据)

明秀路与中华路之间及江南区的壮锦大道与星光大道之间。③广西大学、人民公园、金花茶公园、南湖、青秀山公园、药用植物园等地的温度相对附近地区温度较低。

连续分析 2000 年至 2010 年基于 MODIS 数据反演的热场强度图像(图 4), 可以看到最近 10 年南宁市的热岛分布演变有如下的特征:

(1)高温区域由单一中心变成多中心。2000 年高温中心集中在邕江以北的西乡塘区的明秀路与中华路之间(图 4a), 至 2006 年, 邕江以南的江南区和良庆区交界处也出现了高温中心(图 4d), 至 2010 年, 南宁市区出现了 3 个主要的高温中心区, 分别位于明秀路与中华路之间、江南区和良庆区交界处和城北的安吉区(图 4f)。

(2)高温区域以西乡塘区为中心往外扩展。2000 年, 高温区域基本上只出现在快环以内, 快环外的区域温度与普通市郊所差无几(图 4a), 之

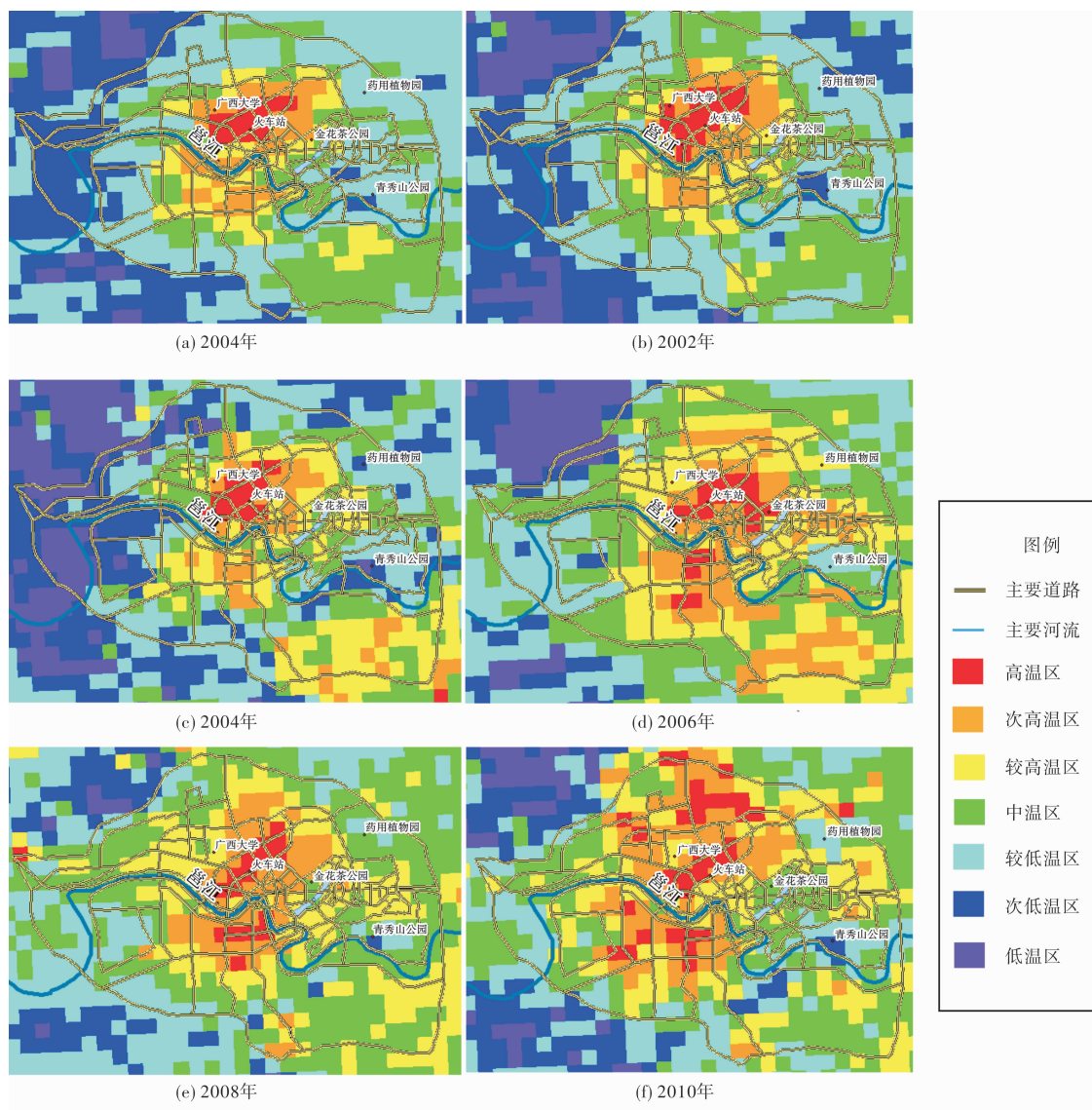


图4 2000-2010年南宁市热岛空间分布图

后, 高温区、次高温区及较高温区的范围逐年向四周扩展。到了2010年, 较高温区几乎布满整个绕城高速以内的区域(图4f)。

(3) 琅东区的次高温区域自2004年以来迅速发展。2000年, 南湖以东的整个青秀区均为较低温区域或中温区域, 琅东区的温度与其北面的药用植物园, 南面的青秀山公园等低温区域相差无几, 在图像上, 三处几乎连成一片(图4a)。而2004年, 琅东区开始有较高温区域出现(图4c), 之后较高温区域迅速发展成为次高温区, 把原来连成一片的药用植物园到青秀山公园的较低温区从中间分割成南北两部分。

### 3.2 南宁市热岛面积及强度的变化

对2000年至2010年6景MODIS数据进行热岛强度计算。以2000年、2004年和2010年热岛强度为例(图5), 观察南宁市热岛的面积变化。对强热岛及较强热岛区域部分进行了面积计算。

2000年南宁市大部分地区属于弱热岛区域且

强热岛集中在南宁市中心, 而至2010年南宁市大部分地区已属于强热岛区域。在面积上, 2000-2010年6景图像中, 强热岛区面积分别为46、96、103、113、167、175 km<sup>2</sup>, 年均增长率为15.7%。

热岛强度的数值计算结果如表4所示。

表4 2000-2010年南宁市热岛强度变化情况

年份	城郊温差/K	城内温差/K	温度最高点坐标
2000	6.830 627	4.536 316	22°49'18.69"N, 108°18'0.88"E
2002	6.205 627	5.099 395	22°49'32.17"N, 108°17'51.75"E
2004	6.925 873	5.110 474	22°49'4.24"N, 108°18'39.61"E
2006	5.220 642	4.395 813	22°49'40.37"N, 108°19'53.21"E
2008	6.229 615	4.922 455	22°50'27.56"N, 108°19'21.21"E
2010	7.544 494	6.129 883	22°52'12.91"N, 108°18'58.78"E

由表4可以看出, 对于南宁市多年来城市建设飞速发展, 人口迅猛增加, 而从城市热岛效应来看, 其高温区的范围也迅速扩大, 但城市热岛的强度变化却不明显。2000-2008年温度最高点都



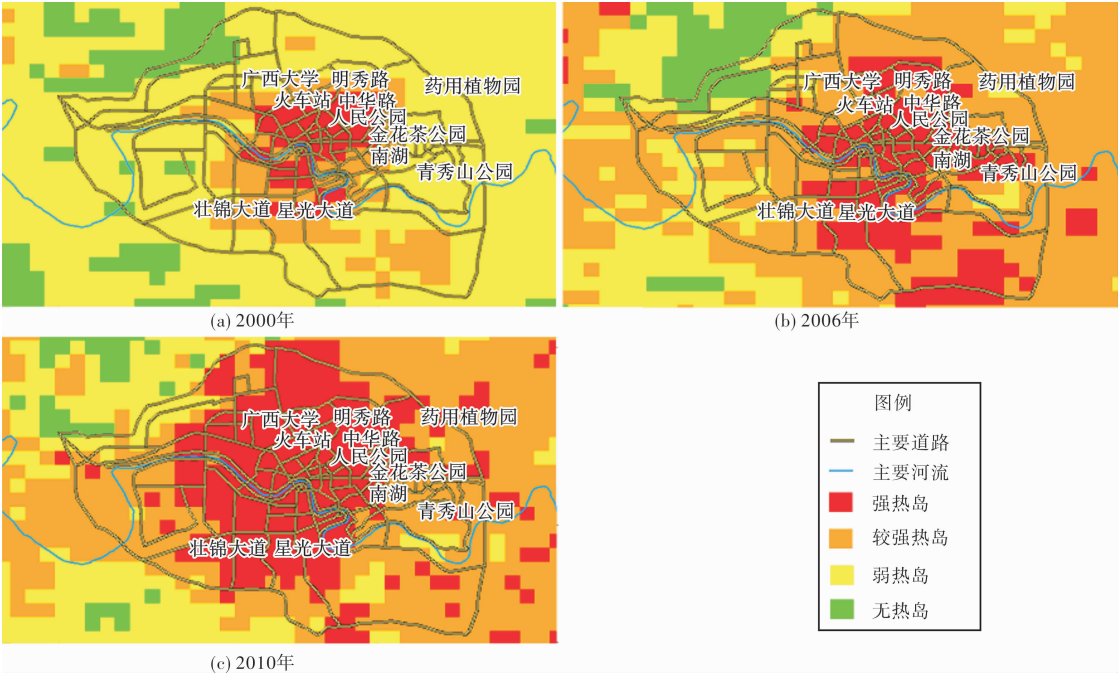


图5 南宁市热岛强度的10年变化

出现在西乡塘区的明秀路与中华路之间，该地区为南宁市的老城区之一，这10年来并没有显著的发展。而青秀山风景区和大明山风景区是南宁两个重要的生态保护区，由于这两个风景区占地面积大，生态环境保护好，树林茂密，植被覆盖度大，因此10年来温度也没有多大的变化，这是造成近10年来城郊温差或城内温差变化不大原因。而2010年温度最高点却出现在西乡塘区的安吉附近，其温度要高于西乡塘区的明秀路与中华路这个老城区的传统高温区。这也使得该年的热岛强度明显高于往年。

3.3 不同下垫面状况对南宁地面温度的影响

通过分析不同下垫面与城市地表温度的二维散点图，得知绿地和水体对城市热岛具有缓解作用，而裸土和城市用地则对热岛有增强作用。但下垫面与城市地表温度的关系并不是简单的线性关系，因此可借鉴干旱研究中“干湿边”的思想，计算出南宁市各类下垫面对城市热岛的最大影响方程，并通过像元统计计算出各类下垫面所占面积(表5)。

表5 各类下垫面对热岛效应影响

下垫面类型	所占面积比例/%	影响方程	R <sup>2</sup>
水体	4.57	$y = -21.430\ 2x + 308.654$	0.616 069
植被	26.44	$y = -40.956\ 8x + 321.057$	0.802 734
城市用地	55.33	$y = 30.677\ 8x + 272.710$	0.763 926
裸土	13.66	$y = 31.6168\ 6x + 272.470$	0.754 306

由表5看出，水体、植被、城市用地、裸土的影响方程斜率分别为-21.430 2、-40.956 8、30.677 8、31.616 9，说明各类下垫面对热岛的影

响效率：植被>裸土>城市用地>水体。其中植被对热岛的缓解效率大于城市用地及裸土的增温效率，但由于南宁市植被覆盖的面积(26.44%)远小于城市用地的面积(55.33%)，城市热岛仍处于发展的状态。因此，在城市扩展的同时，增加植被覆盖的面积，能有效地缓解热岛的发展。

3.4 南宁市热岛对高温的影响

为了研究热岛的发展对高温的影响，取2000-2010年的高温天数数据分别与3.2节中得到的热岛强度与热岛面积进行相关分析。为了消除单位不统一的影响，分别对高温天数、热岛强度、热岛面积进行无量纲化，得到结果如图6所示。由图中可以看出，高温天数与热岛强度、热岛面积都有较好的相关性，且热岛强度与高温天数的相关性更为密切。

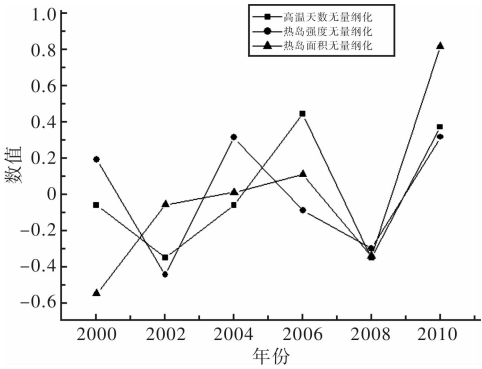


图6 城市热岛与高温的相关性

4 结论

(1)南宁市的热岛从2000年的单一热岛中心

逐渐发展成为多热岛中心; 十年以来, 南宁市的高温区域以西乡塘区和兴宁区为中心, 由内向外呈“圈层式”不断扩大, 由 2000 年的快环之内扩散到了 2010 年的几乎布满整个绕城高速圈。

(2) 2000–2010 年, 南宁市的热岛面积以年平均 15.7% 的速率增长, 但城内温差及城乡温差发展较为平缓, 热岛强度增强不是很明显。

(3) 各类下垫面对热岛的影响: 植被 > 裸土 > 城市用地 > 水体, 其中植被对热岛的缓解效率大于城市用地及裸土的增温效率, 但由于南宁市植被覆盖的面积远小于城市用地的面积, 城市热岛仍处于发展的状态。

(4) 高温天数与热岛强度、热岛面积都有一定的相关性, 而热岛强度与高温天数的相关性较好。

## 参考文献:

- [1] 陈命男, 马蔚纯, 周立国, 等. 上海多时段热岛效应的遥感研究[J]. 灾害学, 2010, 25(Supp. 1): 396–397.
- [2] 姬兴杰, 朱业玉, 顾万龙, 等. 1971–2010 年河南省夏季高温日数的变化趋势分析[J]. 灾害学, 2012, 27(3): 59–63, 68.
- [3] 德寿. 城市高温灾害及其预防[J]. 灾害学, 1994, 9(3): 29–33.
- [4] 施斌, 刘春, 王宝军, 等. 城市热岛效应对土的工程性质影响及灾害效应分析[J]. 地球科学进展, 2008, 23(11): 1167–1173.
- [5] 李东海, 艾彬, 黎夏. 基于遥感和 GIS 的城市水体缓解热岛效应的研究[J]. 热带地理, 2008, 28(9): 414–418.
- [6] 骆高远, 冯利华, 黄淑玲. 城市屋面绿化对城市气候影响评价[J]. 热带地理, 2008, 28(9): 56–62.
- [7] 许辉熙, 但尚铭, 何政伟, 等. 成都平原热岛效应的遥感分析[J]. 环境科学与技术, 2007, 30(8): 21–23.
- [8] 闫峰, 覃志豪, 李茂松, 等. 基于 MODIS 数据的上海市热岛效应研究[J]. 武汉大学学报, 2007, 32(7): 576–580.
- [9] 吕光辉, 贡璐. MODIS 热红外数据在乌鲁木齐市热岛研究中的应用[J]. 干旱区研究, 2007, 24(5): 698–703.
- [10] 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.
- [11] 陈业国, 农孟松. 2003–2006 年南宁市热岛强度变化特征[J]. 气候变化研究进展, 2009, 5(1): 35–38.
- [12] 凌颖, 黄海洪. 南宁市城市热岛效应特征分析[J]. 广西气象, 2003, 24(3): 25–27.
- [13] 韦亮英. 南宁城市空间扩展及其生态环境效应研究[J]. 规划师, 2008, 24(12): 31–34.
- [14] Qin Z, Karnieli A, Berliner P. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region[J]. Int. J. Remote Sens. 2002, 22: 3719–3746.
- [15] 秦志豪, Li W J, Zhang M H, 等. 单窗算法的大气参数估计方法[J]. 国土资源遥感, 2003, 15(2): 37–43.
- [16] 张霞, 朱启疆, 闵祥军. 陆面温度反演算法——劈窗算法的敏感度分析[J]. 遥感学报, 2000, 4(1): 8–13.
- [17] Mao K, Qin Z, Shi J, et al. A practical split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from MODIS data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(15): 3181–3204.
- [18] 历华, 曾永年, 负培东, 等. 利用多源遥感数据反演城市地表温度[J]. 遥感学报, 2007, 11(6): 891–898.
- [19] 叶彩华, 刘勇洪, 刘伟东, 等. 城市地表热环境遥感监测指标研究及应用[J]. 气象科技, 2011, 39(1): 95–101.

## Remote Sensing Research of Heat Island Effect in Nanning

Lin Yitong<sup>1</sup>, Ye Junfei<sup>2</sup>, Lin Kaiping<sup>3</sup> and Zhang Jiaan<sup>2</sup>

(1. Nanning Municipal Meteorological Service, Nanning 530022, China; 2. Binyang County Meteorological Service, Nanning 530022, China; 3. Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022, China)

**Abstract:** The surface temperature, vegetation coverage, thermal field intensity and heat island intensity in Nanning are respectively calculated with MODIS and TM data. And the characteristics and evolution of heat island in Nanning in recent ten years are discussed from three aspects which are spatial and temporal distribution, intensity and area, the factors of formation of heat island. Then the relations between heat island and days of high temperature are researched and the relations between vegetation coverage and thermal field intensity were built. The results show that the single center of heat island in Nanning has become multi-centers since 2000; the heat island area has grown at an annual average rate of 15.7%, and corresponding days of high temperature has increased at an annual average rate of 1.1 days. Though the alleviation efficiency of the vegetation for heat island in Nanning is higher than calescence efficiency of the urban and bare land, the urban heat island is still in a developmental state as the area of vegetation coverage (26.44%) in Nanning is much smaller than the urban land's (53.33%).

**Key words:** heat island effect; remote sensing; high temperature disaster; heat island intensity