

文章编号:1673-8411 (2018) 01-0055-04

基于遥感的南宁城市热岛效应时空演变分析

叶骏菲¹, 文 秀¹, 林奕桐^{2*}, 廖国莲³

(1.南宁市邕宁区气象局, 广西 南宁 530200; 2. 南宁市气象局, 广西 南宁 530022

3. 广西区气象台, 广西 南宁 530022)

摘 要:利用 MODIS、TIRS 等遥感数据对南宁市 2013 年四季及昼夜的地表温度、热场强度和热岛强度分别进行计算, 研究南宁城市热岛的水平空间分布、四季演变及昼夜变化特征。结果表明:南宁市的热岛中心主要集中在西乡塘区及江南区, 有大面积植被覆盖的兴宁区、良庆区及青秀区热岛相对较弱; 白天高温区域分散于城市的南北两侧, 夜晚集中于市中心, 白天热岛强度明显大于晚上; 夏季热岛强度最强, 冬季热岛强度最弱。

关键词:遥感; 热岛效应; 热场强度; 热岛强度

中图分类号:P407 **文献标识码:**A

Spatio-temporal evolution of urban heat island effect in Nanning based on remote sensing

Ye Junfei¹, Wen Xiu¹, Lin Yitong², Liao Guolian³

(1.Nanning Yongning Meteorological Bureau, Nanning Guangxi 530200; 2. Nanning Meteorological

Bureau, Nanning Guangxi 530022; 3. Guangxi Meteorological Observatory, Nanning Guangxi 530022)

Abstract: This paper used remote sensing data such as MODIS and TIRS to calculate the earth surface temperature, heat field intensity, and heat island intensity in the four seasons and the day and night of Nanning city in 2013, respectively, and studied the spatial distribution, the evolution of the four seasons, and changes in day and night of Nanning urban heat island. The results showed that the central heat island center of Nanning is mainly concentrated in Xixiangtang and Jiangnan areas, while in areas with large vegetation covered, such as Xingning, Liangqing, and Qingxiu District, the heat island were relatively weak. The high temperature areas in the daytime were scattered on the north and south sides of the city, while at night, city center had a high temperature. The intensity of heat island during the daytime was much greater than which in the evening, and in summer, the intensity of the heat island was strongest while in winter the heat island was the weakest.

Keywords: remote sensing; heat island effect; thermal field intensity; heat island intensity

城市热岛是城市气候最显著的特征之一。城市化进程加快使得城市热岛日益加剧, 对城市人居环境产生了极为不利的影响^[1]。热岛效应作为在城市化过程中产生的特有环境问题^[2], 其产生及演变与城市地表覆被变化、人类社会经济活动密切相关, 是城市生态环境状况的综合概括与体现, 因而, 对于城市热岛的分布特征、形成演变机制等问题的研究受

到了众多学科领域的广泛关注^[3-5]。很多地区都存在城市热岛逐年加重的趋势, 但不同城市的热岛四季变化和昼夜变化是不同的^[6-8]。目前, 对城市热岛的研究大多都是基于气象站点或自动气象站气温观测资料的分析应用, 以点代面, 有一定的局限性。而利用遥感测定分析法进行的城市热岛监测和研究具有时相多、范围广、能长期连续观测, 不受气候影响, 可

收稿日期:2017-06-05

基金项目:国家自然科学基金项目(41575051)、广西科技计划项目(桂科 AB16380292)和广西气象科研计划项目(桂气科 2016M02)共同资助。

作者简介:叶骏菲(1992-), 女, 重庆大足人, 学士, 助理工程师, 主要从事环境气象探索与研究工作。

通信作者:林奕桐(1990-), 男, 广西梧州人, 学士, 助理工程师, 主要从事遥感应用研究。

以进行大面积地表温度测定,且通过遥感手段获取的观测资料时间同步性好等特点,基本克服了传统方法的缺陷^[1]。同时,传统的研究方法没有足够的覆盖度,不能很好地体现高温区的具体分布位置及热岛的发展演变规律。因此,本文针对热岛效应传统研究方法存在的不足,并总结已有的研究经验,利用 MODIS 数据和 TIRS 数据,对 2013 年南宁市四季及昼夜的热岛强度、热场强度与剖面结构进行了分析,探明近年来南宁热岛的四季及昼夜变化特征,为城市管理部门做好城市生态文明规划与建设决策提供科学理论依据。

1 研究区域及数据

1.1 研究区域范围

南宁市在地貌分区上属广西盆地西南部之间的桂西南丘陵区,地貌分为平地、低山、石山、丘陵和台地,其中平地所占面积最大。南宁市建城区及城郊,位于北回归线南侧,范围为北纬 22°13′–23°33′,东经 107°45′–108°52′,面积约为 22112km²,城市建成区面积 190km²,其中自西向东流的邕江将南宁市城区划分为南北两部分。

1.2 遥感数据

研究选用 4 景 EOS-MODIS 白天影像,4 景 EOS-MODIS 夜晚影像,1 景 LANDSAT8-TIRS 影像。所选的影像,均为大范围晴朗、无风或微风天气。选取的时间为:MODIS 数据:2013 年 3 月 6 日;2013 年 6 月 12 日,2013 年 10 月 7 日,2013 年 12 月 1 日,用于 2013 年热岛效应四季变化的研究,每日包含白天夜晚两景图像,用于热岛效应昼夜变化的研究。LANDSAT8-TIRS 数据:2013 年 12 月 20 日,用于热岛分布及温度参照点选取。

2 研究方法和原理

2.1 地表温度反演

热岛主要研究城市近地层的温度分布规律^[9]。因此,在进行热岛分析前,需要对遥感数据进行地表温度反演。本文分别通过单窗算法^[10]和分裂窗算法^[11]分别对 TIRS 数据和 MODIS 数据进行地表温度反演。前者是为了研究 2013 年南宁热场的分布情况,后者是为了研究 2013 年南宁热岛的四季变化与昼夜变化。

单窗算法主要公式为^[10]:

$$T_s = \{a(1-C-D) + [(b-1)(1-C-D) + 1]T_B - DT_B\} / C \quad (1)$$

式中, $a=-67.355351$, $b=0.458606$,为经验常数, T_s 为地表温度, T_B 为亮温,通过普朗克公式可以计算得到。 T_a 为大气平均作用温度, $C=te$, $D=(1-t)[1+t(1-e)]$ 。 t 为大气透射率, e 为比辐射率。

分裂窗算法公式为^[11]:

$$T_s = A_0 + A_1T_{31} - A_2T_{32} \quad (2)$$

其中, 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 、 A_2 为分裂窗算法的参数,其表达式为:

$$A_0 = a_{31}D_{32}(1-C_{31}-D_{31}) / (D_{32}C_{31}-D_{31}C_{32}) - a_{32}D_{31}(1-C_{32}-D_{32}) / (D_{32}C_{31}-D_{31}C_{32}) \quad (3)$$

$$A_1 = 1 + D_{31} / (D_{32}C_{31}-D_{31}C_{32}) + b_{31}D_{32}(1-C_{31}-D_{31}) / (D_{32}C_{31}-D_{31}C_{32}) \quad (4)$$

$$A_2 = D_{31} / (D_{32}C_{31}-D_{31}C_{32}) + b_{32}D_{31}(1-C_{32}-D_{32}) / (D_{32}C_{31}-D_{31}C_{32}) \quad (5)$$

其中, $a_{31}=-64.60363$, $a_{32}=-68.72575$, $b_{31}=0.440817$, $b_{32}=0.473453$, $C_i=\varepsilon_i\tau_i$, $D_i=[1-\tau_i][1+(1-\varepsilon_i)\tau_i]$ 。

ε_i 和 τ_i 分别表示 MODIS 第 i 通道($i=31,32$)的比辐射率和透射率。

2.2 温度参照点选取

温度参照点用于热岛强度的研究。由于植被的比热较大,温度的四季或昼夜变化较小,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。

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 2013 年 12 月 20 日的 TIRS 影像计算出植被覆盖度^[12]。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,计算季节热岛强度时,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:

$$H_i = \frac{T_i - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \quad (6)$$

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^[14], 这里把热场强度指数划分为 7 个等级(表 1), 能很好地反映出南宁市的热场分布状况。

表 1 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。热岛强度往往定义为城乡温差。在本研究中, 为了体现城区的热岛强弱程度, 除了计算城乡温差之外, 还引入城区内部温差的计算:

$$I_i = T_i - \frac{1}{5} \sum_{n=1}^5 T_n \tag{7}$$

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 为城乡温度参照点。根据参考文献^[14]的分类方法, 把热岛强度分为 4 个等级(表 2)。

表 2 热岛强度等级划分

热岛强度等级	对应热岛强度阈值	
强热岛	> 5.0	
较强热岛	3.0	5.0
弱热岛	1.0	3.0
无热岛	< 1.0	

3 研究结果与讨论

3.1 南宁热岛水平分布的基本特点

根据 TIRS 数据反演地表温度得到的热场强度图能很好地体现了南宁市热岛的水平空间分布特征, 本文以热场分布最为明显的 12 月份为例分析南宁市热岛分布特征。

南宁市的热岛分布主要有以下几个特点: (1)邕江在冬季为热源, 夏季为冷源, 并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及江南区, 兴宁区、良庆区及青秀区由于有大面积植被覆盖, 热岛较不明显。(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较低, 这与利用自动气象站气温观测资料统计分析结果相同。

3.2 昼夜及四季热场分布变化

对 8 景 MODIS 影像进行热场强度计算, 得到的南宁四季昼夜热场分布特征(图略):

(1)四季的白天和夜晚都存在城市热岛现象。
(2)从四季变化来看, 南宁市的秋、冬季节热场分布最为明显, 春季的热场分布相对不明显, 夏季居中。

(3)从昼夜变化来看, 南宁市的高温区域白天分散于城市的南北两侧, 夜晚集中于市中心。

(4)从空间分布上来看, 白天南宁东部城郊的温度低于西部城郊, 夜晚相反。这是由于东部城郊的植被覆盖度较高, 比热较大, 昼夜温度变化较小。

3.3 昼夜及四季热岛强度变化

对 8 景 MODIS 数据进行热岛强度计算, 以春秋两季为例观察南宁市热岛面积的变化情况: 2013 年南宁市春、秋两季强热岛区均以邕江为界, 划分为南北两部分。在白天, 春季的强热岛区的面积为 74km², 而秋季的强热岛区的面积达到了 154km², 秋季热岛面积远大于春季。但到了夜晚, 两季均仅剩弱热岛区, 且面积差异较小, 均集中在市中心。

热岛强度的计算结果如表 3 所示。

由表 3 可以看出, 尽管被称为“绿城”的南宁市的整体植被覆盖度较高, 但仍出现了城郊温差达 10°以上的强热岛现象。对数据进行详细分析, 得出以下主要结论:

(1)从昼夜变化上看, 南宁市白天的热岛强度明显大于晚上。在白天, 春、夏、秋三个季节都出现了强热岛, 冬季出现了较强热岛, 而到了晚上只有冬、夏两个季节出现了较强热岛, 春秋两个季节都仅出现弱热岛。

(2)从四季变化上看, 夏季的热岛强度最大, 冬季热岛强度最小, 秋季和春季居中。

(3)城内温差与城郊温差有较好的相关性。

表 3 2013 年南宁市热岛强度变化情况

时间	城郊温差 /K	城内温差 /K	温度最高点坐标
春季白天	6.690613	4.070556	22° 47′ 32.55″ N, 108° 17′ 30.98″ E
春季夜晚	1.680207	0.484955	22° 49′ 23.94″ N, 108° 17′ 43.74″ E
夏季白天	10.050903	7.801483	22° 50′ 38.25″ N, 108° 19′ 52.49″ E
夏季夜晚	3.248047	1.675782	22° 49′ 3.46″ N, 108° 17′ 30.52″ E
秋季白天	7.274109	4.167724	22° 47′ 36.24″ N, 108° 17′ 6.63″ E
秋季夜晚	2.631988	2.284362	22° 47′ 50.95″ N, 108° 18′ 10.32″ E
冬季白天	4.818115	2.861145	22° 52′ 1.29″ N, 108° 18′ 36.82″ E
冬季夜晚	3.750122	1.59018	22° 47′ 51.43″ N, 108° 17′ 48.15″ E

4 结论

本文利用遥感反演的地表温度分析南宁市热岛效应,以下为主要的分析结论:

(1)从热岛分布位置上看,热岛中心主要集中在西乡塘区及江南区,兴宁区、良庆区及青秀区由于有大面积植被覆盖,热岛较不明显。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。白天南宁东部城郊的温度低于西部城郊,夜晚相反。

(2)从四季变化上看,南宁市的秋、冬季节热场分布最为明显,春季的热场分布相对不明显,夏季居中;夏季热岛强度最强,冬季热岛强度最小,秋季和春季居中。

(3)从昼夜变化上看,南宁市的高温区域白天分散于城市的南北两侧,夜晚集中于市中心。南宁市区白天的热岛强度明显大于晚上。

参考文献:

[1] 李志乾, 巩彩兰, 胡勇, 等. 城市热岛遥感研究进展 [J]. 遥感信息, 2009,(4): 100-105.

[2] 黄聚聪, 赵小锋, 唐立娜, 等. 城市化进程中城市热岛景观格局演变的时空特征——以厦门市为例 [J]. 生态学报, 2012, 32(2): 622-631.

[3] 戴晓燕, 张利权, 过仲阳, 等. 上海城市热岛效应形成机制及空间格局 [J]. 生态学报, 2009, 29 (7): 3995-4004.

[4] 孙石阳, 陈新光, 李春梅, 等. 深圳市热岛强度特征分析及情景预估 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28(S1): 89-91.

[5] 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): 23-25.

[6] 王清川, 郭立平, 张绍侠. 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.

[7] 唐伍斌. 近 50a 来桂林市灰霾天气的气候特征及热岛效应影响 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28 (4): 20-25.

[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.

[9] 白杨, 王晓云, 姜梅梅, 等. 城市热岛效应研究进展 [J]. 气象与环境学报, 2013, 29(2): 101-106.

[10] 覃志豪, Li-Wenjuan, Zhang-Minghua, 等. 单窗算法的大气参数估计方法 [J]. 国土资源遥感, 2003, 56 (2): 37-43.

[11] 姜立鹏, 覃志豪, 谢雯. MODIS 数据地表温度反演分裂窗算法的 IDL 实现 [J]. 测绘与空间地理信息, 2006, 29(3): 114-117.

[12] 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.