

基于 Landsat TM/ETM + 数据的 南昌城市热岛效应研究

吴凡^{1,2} 景元书^{1,2}

摘要

利用 Landsat TM/ETM + 数据进行南昌市地表温度反演,得出 1989 年和 2000 年 2 个时相的南昌市热岛强度等级分布特征,结合下垫面土地覆盖类型图,选取样区对比分析了地表温度空间分布。结果表明:南昌市存在比较明显的热岛效应,主城区的地表温度由城区中心向近郊、远郊逐渐降低,城市地表温度与下垫面的性质紧密相关。研究结果对于改善南昌城市生态环境、减缓城市热岛效应具有重要的参考价值。

关键词

城市热岛;地表温度;遥感;南昌市

中图分类号 TP79

文献标志码 A

收稿日期 2012-03-21

资助项目 南京市留学回国人员择优资助项目(20100259);江苏高校优势学科大气科学建设工程资助项目(PAPD)

作者简介

吴凡,男,硕士生,研究方向为应用气象。
wufan_1988@163.com

景元书(通信作者),男,教授,博士生导师,主要研究方向为应用气象、生态环境等。
jingyushu@163.com

1 南京信息工程大学 江苏省农业气象重点实验室,南京,210044

2 南京信息工程大学 应用气象学院,南京,210044

0 引言

城市热岛能够恶化人类生存环境、增加能源耗损,并加剧空气污染。城市热岛传统的监测方法主要有以下 3 种^[1]:一是通过城市和郊区的历年气象资料的分析来研究城市热岛的动态和现状,但其只能定性分析城市热环境的演变过程,而不能实时反映城市空间热环境的现状;二是通过布点观测,可以实时反映城市热环境,但只能刻画局部区域,不能反映城市热环境的整体空间分布状况;三是通过建立数学模型,但模型建立比较困难、可操作性差且不易推广使用。

我国从 20 世纪 80 年代开始真正起步研究热岛效应,但发展较快。主要利用实测气象数据集中研究不同类型城市热岛的时空变化特征及其形成机制,其中,研究最为充分的是上海和北京 2 大城市。研究结果总结为:1)热岛的强度在晚上最大;2)热岛强度在夏天或每年的暖季中间最大;3)热岛强度随风速和云量的增加而降低^[2];4)城市的热岛强度随城市人口规模的增加而增加^[3-4]。随着遥感技术的发展,遥感数据源在城市温度时间变化和空间分布研究中得到了越来越广泛的应用,它能有效、全面地探测到下垫面的温度特征,且能周期性、动态地监测城市热环境的变化趋势,是研究城市热岛效应的有效手段^[5]。我国也有许多学者利用卫星遥感技术对北京、上海、广州、南京等大城市的热岛问题进行了研究^[6-7]。总体来说,城市热岛效应的遥感研究主要依靠热红外波段测量城市下垫面的辐射温度。

为进一步明确城市热效应分布与城市发展的空间关系,本文选择南昌市作为研究区,通过对两景不同时间的 TM/ETM + 影像对南昌市热岛情况进行解译,以期对南昌生态环保型城市建设规划提供相应依据。

1 研究区概况

南昌市地处江西省中部偏北,赣江、抚河下游,滨临鄱阳湖。地理位置在 115°27' ~ 116°35'E, 28°09' ~ 29°11'N 之间。全市以平原为主,东南地势平坦,西北丘陵起伏。全市总面积 7 402.36 km²,南北长 112.1 km,东西宽为 107.6 km。行政上包括 5 区 4 县,主城区包括东湖区、西湖区和青云谱区。南昌市属于亚热带湿润气候区,最冷月为 1

月,最热月为7月,年平均降水量1 627 mm.

2 资料与方法

2.1 数据选择及处理

选用1989年7月15日的TM遥感影像和2000年9月23日的ETM+遥感影像数据作为数据源,轨道号为121/40,影像覆盖整个南昌市地区.在进行地表温度反演的热遥感研究中,基础分析的分别是TM和ETM+的第6波段影像,其波段范围为10.4~12.5 μm.对遥感图像的预处理,主要包括几何校正、配准以及图像裁剪,几何校正的精度控制在1个像元内.

2.2 亮度温度计算

亮度温度是遥感器在卫星高度所观测到的热辐射强度相对应的温度.这一温度包含有大气和地面对热辐射传导的影响,因而不是真正意义上的地表温度.地表温度是根据这一亮度温度来演算而得.但是,由于许多复杂的因素,解译恢复一个区域的真实温度非常困难,最主要的影响因素就是城市结构形态和城市表面覆盖特征,例如建筑物的材料、几何特征和密度.在城市景观中,每一种表面组成都有其唯一的辐射、热容量、湿度和空气动力学属性,而且其温度也会受到周围环境的影响^[8].

Landsat卫星第6波段接收的是与地表温度相对应的热红外辐射强度,因此可以用其反演地表温度.Landsat影像的像元所对应的数据是以灰度值(DN,记其量值为 I_{DN})来表示的,对于TM6,DN值越大,表示地表热辐射强度越大,温度越高.从ETM+/TM6求算亮度温度的过程需要将DN值转化为相应的热辐射强度值,然后根据热辐射强度推算的亮度对应温度.TM影像各像元的辐射强度与其DN值有如下的关系:

$$L_{\lambda} = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{255} \times I_{DN} + L_{\min}. \quad (1)$$

其中, L_{λ} 为地物在光谱 λ (μm)处的热辐射值($mW \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m$),文中 λ 取波段中间值11.5 μm, L_{\max} 和 L_{\min} 分别对应Landsat TM和Landsat ETM+热红外波段最高和最低热辐射值($mW \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m$),取值见表1.

将热辐射强度转换为像元亮度温度的公式为

$$T_B = k_2 / \ln \left[\frac{k_1}{L_{\lambda}} + 1 \right]. \quad (2)$$

其中, k_1 和 k_2 分别为定标系数,针对不同传感器取

值见表1, T_B 为辐射亮温,单位为K.

表1 地表温度反演中参数设定值

Table 1 Parameter values defined in land surface temperature retrieving

影像	$L_{\max} / (mW \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m)$	$L_{\min} / (mW \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m)$	$k_1 / (mW \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m)$	k_2 / K
Landsat TM 5	15.30	1.24	607.76	1 260.56
Landsat ETM +	17.04	0	666.09	666.09

2.3 地表温度计算

辐射亮温值是假设地物均为黑体的情况下求得的,并不反映地表真实温度,可以根据地物的比辐射率将亮度温度转化为地表真实温度^[9],公式为

$$T_s = \frac{T_B}{1 + (\lambda \times T_B / \rho) \ln \varepsilon} - 273.15. \quad (3)$$

其中, T_s 为地表温度,单位为℃, $\rho = 1.438 \times 10^{-2} m \cdot K$, ε 为地表发射率.参考文献[9]选用植被指数NDVI建立决定不同地表类型 ε 值的判别条件,即

$$\varepsilon = \varepsilon_{soil}, I_{NDVI} < 0.2, \quad (4)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{veg}, I_{NDVI} > 0.5, \quad (5)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{veg} P_V + \varepsilon_{soil} (1 - P_V), 0.2 \leq I_{NDVI} \leq 0.5. \quad (6)$$

其中, ε_{soil} 为土壤发射率,取0.92, ε_{veg} 为植被发射率,取0.95, P_V 为植被覆盖率,由下面公式求得:

$$P_V = \left[\frac{I_{NDVI} - I_{NDVI_min}}{I_{NDVI_max} - I_{NDVI_min}} \right]^2. \quad (7)$$

其中, $I_{NDVI_max} = 0.5, I_{NDVI_min} = 0.2$.

2.4 归一化植被差值指数NDVI的提取

从1972年发射第1颗人造地球资源卫星开始,科学家就开始了地表植被覆盖的研究,并把含有植被信息的波段的不同组合方式统称为植被指数,其中应用最广的植被指数就是归一化植被差值指数(NDVI),它在植被指数中占有重要的位置.NDVI能在TM影像和ETM+影像图上直接进行计算,其计算公式为

$$I_{NDVI} = (B_4 - B_3) / (B_4 + B_3). \quad (8)$$

其中, B_4 和 B_3 分别是第4波段和第3波段的反射值.

2.5 地表温度归一化

由于所用影像的成像时间不同,用反演的温度直接进行比较显然不合理.为了消除时间的影响,本文对得到的地表温度进行归一化处理,将2个不同时期的地表温度值范围统一到0~1之间.

$$N_i = \frac{T_i - T_{min}}{T_{max} - T_{min}} \quad (9)$$

式(9)中, N_i 表示第 i 个像元归一化后的值, T_i 表示第 i 个像元的地表温度值, T_{max} 表示遥感影像中地表温度最大值, T_{min} 表示遥感影像中地表温度最小值。

2.6 下垫面土地覆盖类型分类

运用最大似然法对 2 个不同时期的下垫面土地覆盖类型进行分类. 执行分类后, 采用混淆矩阵方法对分类结果进行评价。

3 结果分析

3.1 南昌市城市热岛效应空间分布特征

本文将经过归一化处理后的地表温度进行等级划分, 平均划分为 7 个等级: 特强绿岛区(0 ~ 0.15)、强绿岛区(0.15 ~ 0.3)、绿岛区(0.3 ~ 0.45)、正常区(0.45 ~ 0.6)、热岛区(0.6 ~ 0.75)、强热岛区(0.75 ~ 0.9)和特强热岛区(0.9 ~ 1.0). 土地覆盖类型的分类精度采用混淆矩阵方法评价, 将地表真实感兴趣区与最大似然法分类的结果相匹配, 输出结果显示 2 幅图像的总分类精度都在 80% 以上, Kappa 系数均大于 0.8. 根据等级划分制成的南昌市热岛分布如图 1 所示. 从热岛的空间分布情况可以看出, 南昌市在 1989 年 7 月 15 日的城市热岛现象十分明显, 城区的温度明显高于郊区的温度, 形成岛屿状的高温区域, 界限明显. 强热岛的主要区域在市中心和新建县, 东湖区、西湖区、青山湖区、青云谱区也有不同程度的热岛现象, 特强热岛现象主要出现在市中心. 结合图 2a 可以看出正常区主要分布在人口稀少的近郊区和城市周边有植被覆盖或者靠近水体的区域. 绿岛区、强绿岛区主要分布在水体和植被覆盖较高的地区, 特强绿岛区出现在城市西北方向的山林区域, 说明南昌城市热岛效应与城区下垫面空间分布之间存在较好的一致性。

2000 年 9 月 23 日南昌的热岛现象不是很明显, 城市热岛有减缓, 市中心热岛面积明显减少, 只有青云谱区出现特强热岛, 但是发现热岛现象的区域与 1989 年相比要更广. 结合图 2b 可以看出, 强绿岛区的面积有所减少, 主要分布在水体和山林, 绿岛区分布在近郊和远郊有植被覆盖的区域, 正常区的面积相应增加。

对比图 1 和 2 可以看出:

1) 南昌市热岛有减缓的现象, 这主要是因为城市绿化面积和水体的面积并没有随着土地的开发利

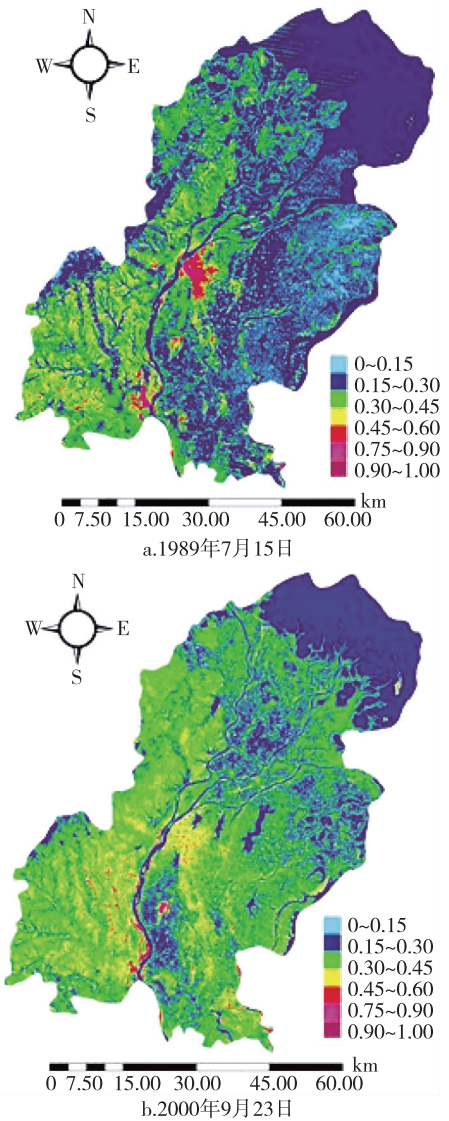


图 1 南昌市热岛强度等级

Fig. 1 Heat island intensity levels

用而减少, 也可能是因为在 9 月城市热岛强度与季节性的总云量有显著的相关关系^[10], 云量的影响作用相比 7 月要明显, 导致 2 个不同时期的地表温度归一化后精度不一致。

2) 2000 年发生热岛的区域与 1989 年相比要更广, 这主要源于城市下垫面的结构直接影响了热岛效应的产生. 由于城市多数为砖石、沥青、水泥和混凝土等下垫面, 其对太阳辐射反射率减小, 能吸收更多的太阳辐射能, 直接导致发生热岛的区域变广。

3) 城市下垫面中植被和水体对热岛效应有明显的调节作用. 水体或植被区域基本上都是绿岛或者强绿岛, 其附近也只有少部分地区出现热岛效应, 大部分为正常区. 整体来看, 城市绿地尤其是植被区

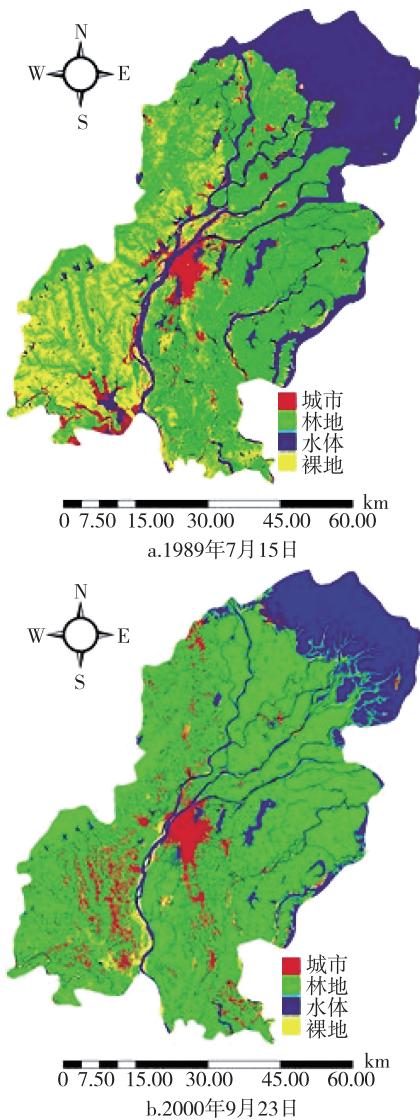


图2 南昌市土地覆盖类型

Fig.2 Land cover types in Nanchang city

和水体的低温效应都是极其显著的。

3.2 南昌市地表温度空间分布分析

为了对比城区和郊区的温度差异,分别在两景遥感影像上的城区、近郊、远郊各选取一面积相等、位置相同的样区。从表2可以看出:1989年城区地表温度最高,主要分布于 $30.7 \sim 39.8 \text{ }^\circ\text{C}$,平均温度为 $36.99 \text{ }^\circ\text{C}$,近郊地表温度次之,主要分布于 $28.42 \sim 35.57 \text{ }^\circ\text{C}$,平均温度为 $30.89 \text{ }^\circ\text{C}$,远郊地表温度与近郊相差不大,主要分布于 $27.98 \sim 36.43 \text{ }^\circ\text{C}$,平均温度为 $30.05 \text{ }^\circ\text{C}$;2000年城市地表温度的空间分布与1989年的相似,也是城区地表温度最高、近郊次之、远郊最低,其中城区地表温度主要分布于 $27.99 \sim 36.75 \text{ }^\circ\text{C}$,平均温度为 $32.93 \text{ }^\circ\text{C}$,近郊地表温度主要

分布于 $27.46 \sim 34.23 \text{ }^\circ\text{C}$,平均温度为 $29.20 \text{ }^\circ\text{C}$,远郊地表温度主要分布于 $26.92 \sim 34.74 \text{ }^\circ\text{C}$,平均温度为 $29.33 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

从地表平均温度来看,1989年城区地表平均温度比近郊高 $6.1 \text{ }^\circ\text{C}$,比远郊高 $6.94 \text{ }^\circ\text{C}$,而2000年城区地表平均温度比近郊高 $3.73 \text{ }^\circ\text{C}$,比远郊高 $3.6 \text{ }^\circ\text{C}$ 。两景遥感影像反演的地表温度结果都说明了南昌市存在明显的热岛效应,城区温度比近郊、远郊都要高。另一方面,1989年的热岛效应比2000年的热岛效应更强,这可能是由于9月云量的影响作用比7月要明显,吸收和反射的太阳辐射能相对较大。

表2 所选样区地表温度值

Table 2 Surface temperature of the sample area $^\circ\text{C}$

地点	1989年			2000年		
	最低温度	最高温度	平均温度	最低温度	最高温度	平均温度
城区	30.70	39.80	36.99	27.99	36.75	32.93
近郊	28.42	35.57	30.89	27.46	34.23	29.20
远郊	27.98	36.43	30.05	26.92	34.74	29.33

4 结论

本文利用两景 Landsat TM 和 ETM+ 影像分析了南昌市城市热岛效应空间分布特征。通过反演地表温度、归一化处理获取2个时期的南昌市热岛强度等级图,对比不同样区地表温度分布值。结果表明:1) 南昌市存在比较明显的热岛效应,主城区的地表温度由城区中心向近郊、远郊逐渐降低;2) 城市地表温度与下垫面土地利用类型紧密相关,建筑用地的地表温度明显高于植被覆盖区和水体区。绿化覆盖率以及水体面积与热岛强度成反比,当绿化或水体达到一定程度后,对热岛有明显的削弱作用。因此通过增加植被覆盖率或者增加水体面积可以在一定程度上缓解城市热岛效应,减少城市热岛所带来的危害。

由于无法获取卫星过境时刻的地表温度和过境时刻的同步气象观测数据,所以没有对地表反演温度结果精度进行客观的评价,只是从温度分布格局上做了定性探讨;另一方面,反演地表温度时选取的影像时间差异大,对于季节性气象因子(云量、风速等)的考虑不足,影响了热岛强度等级划分的精度。在今后的工作中,将改进温度反演结果的可靠性,进一步提高地表温度反演的精度。此外,热岛效应与下

垫面以及与社会经济因素的相关关系等有待进一步探讨和研究.

参考文献

References

- [1] 黄妙芬,陈波,刘素红,等. 基于 TM 的城市温度异常区分析[J]. 国土资源遥感,2007,73(3):23-27
HUANG Miaofen, CHEN Bo, LIU Suhong, et al. An analysis of the city temperature abnormal area based on TM data[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2007, 73(3):23-27
- [2] Morris C J G, Simmonds I, Plummer N. Quantification of the influences of wind and cloud on the nocturnal urban heat island of a large city[J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2001, 40(2):169-182
- [3] 宋艳玲,张尚印. 北京市近 40 年城市热岛效应研究[J]. 中国生态农业学报,2003,11(4):126-129
SONG Yanling, ZHANG Shangyin. The study on heat island effect in Beijing during last 40 years[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2003, 11(4):126-129
- [4] 林学椿,于淑秋. 北京地区气温的年代际变化和热岛效应[J]. 地球物理学报,2005,48(1):39-45
LIN Xuechun, YU Shuqiu. Interdecadal changes of temperature in the Beijing region and its heat island effect[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2005, 48(1):39-45
- [5] 赵丽丽,赵云升,董贵华. 基于 ETM + 遥感影像的城市热岛效应监测技术研究[J]. 中国环境监测,2006,22(3):59-63
ZHAO Lili, ZHAO Yunsheng, DONG Guihua. Study on hot land in Guangzhou based on ETM + [J]. Environmental Monitoring in China, 2006, 22(3):59-63
- [6] 彭静,刘伟东,龙步菊,等. 北京城市热岛的时空变化分析[J]. 地球物理学进展,2007,22(6):1942-1947
PENG Jing, LIU Weidong, LONG Bujue, et al. A study of the urban heat island of Beijing based on remote sensing images [J]. Progress in Geophysics, 2007, 22(6):1942-1947
- [7] 唐曦,束炯,乐群. 基于遥感的上海城市热岛效应与植被的关系研究[J]. 华东师范大学学报:自然科学版,2008(1):119-128
TANG Xi, SHU Jiong, LE Qun. Relationship between vegetation and urban heat-island effect in Shanghai [J]. Journal of East China Normal University: Natural Science Edition, 2008(1):119-128
- [8] Weng Q H, Lu D S, Schubring J. Estimation of land surface temperature-vegetation bundance relation-ship for urban heat island studies [J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 89(4):497-483
- [9] Sobrino J A, Jiménez-Muñoz J C, Paolini L. Land surface temperature retrieval from Landsat TM5 [J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 90(4):434-440
- [10] 杨沈斌,赵小艳,申双和,等. 基于 Landsat TM/ETM + 数据的北京城市热岛季节特征研究[J]. 大气科学学报,2010,33(4):427-435
YANG Shenbin, ZHAO Xiaoyan, SHEN Shuanghe, et al. Characteristics of urban heat island seasonal pattern in Beijing based on Landsat TM/ETM + imagery [J]. Transactions of Atmospheric Sciences, 2010, 33(4):427-435

Analysis of urban heat island based on Landsat TM/ETM + imagery in Nanchang city

WU Fan^{1,2} JING Yuanshu^{1,2}

1 Jiangsu Key Laboratory of Agricultural Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 School of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract The distribution characteristics of heat island intensity was obtained after surface temperature inversion through the use of Landsat TM/ETM + data, then the contrast of surface temperature spatial distribution was analyzed combined with the underlying surface land cover types in sample areas. The result indicates that there existed obvious heat island effect in Nanchang, and the surface temperature gradually decreased from city center to suburban. The surface temperature was closely related to the nature of the underlying surface. The research results have important reference value to improve ecological environment and slow down the heat island effect for Nanchang.

Key words urban heat island; surface temperature; remote sensing; Nanchang city