

邓玉娇, 匡耀求, 黄锋. 基于 Landsat/TM 资料研究广州城市热岛现象[J]. 气象, 2010, 36(1): 26-30.

基于 Landsat/TM 资料研究广州城市热岛现象^{* 1}

邓玉娇^{1, 2} 匡耀求² 黄 锋³

1 广州气象卫星地面站, 广州 510640

2 中国科学院广州地球化学研究所, 510640

3 广东省东莞市气象局, 东莞 523009

提 要: 利用 Landsat /TM 卫星资料及气象观测资料, 基于覃志豪单窗算法对地表温度进行反演, 根据热岛强度定义进行热岛强度、热岛范围的定量计算。研究表明, 在考虑初始地温、总辐射量、植被状况等因素的影响之后, 2000 年至 2005 年间, 广州市热岛现象呈现明显增强趋势, 2000 年 11 月 1 日、2002 年 11 月 7 日、2005 年 11 月 23 日热岛强度指数分别为 1.15、1.20、2.89, 热岛面积分别为 235.44 km²、261.09 km²、381.42 km²。人口增长刺激城市化加剧、温室效应增强使得地表蓄积热量增加是导致广州城市热岛效应增强的主要原因。

关键词: Landsat/TM, 地表温度, 城市热岛, 广州

Research of Urban Heat Island in Guangzhou Based on Landsat/TM Data

DENG Yujiao^{1, 2} KUANG Yaoqiu² HUANG Feng³

1 Guangzhou Meteorological Satellite Station of Guangdong Province, Guangzhou 510640

2 Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640

3 Dongguan Meteorological Station of Guangdong Province, Dongguan 523009

Abstract: Based on the mono-window algorithm of Qin et al. (2001, 2003), the land surface temperature of Guangzhou City from Landsat/TM data and meteorological measurement data are retrieved, and the heat-island-intensity-index and heat-island-areas are calculated. The result shows that from 2000 to 2005, the urban heat island in Guangzhou is definitely increased with regard to the influences of initiative temperature, whole radiance flux and vegetation status. The heat-island-intensity-indexes on November 1, 2000, November 7, 2002 and November 23, 2005 are 1.15, 1.20 and 2.89, respectively. The heat-island-areas on the above three days are 235.44 km², 261.09 km² and 381.42 km², respectively. The main causes for the enhanced urban heat island in Guangzhou are the population increment and the enhanced greenhouse effect.

Key words: landsat/TM, land surface temperature, urban heat island, Guangzhou

引 言

自 1833 年 Lake Howard 在《伦敦气候》一书中指出伦敦市中心气温比郊外高、城乡温差夜间比白天大, 并提出“城市热岛”概念以来, 城市热岛现象就一直备受关注^[1-2]。狭义的城市热岛仅指城区与郊

区的气温的对比, 随着遥感技术的发展和热红外遥感对地表环境的研究, 城市热岛的概念已经延伸到从地表到高空不同的空间层次上的研究对象^[3-4]。

Landsat/TM 资料是城市热环境研究中应用最多的遥感数据之一。TM6 波段 (10.4~12.5 μm) 具有 120 m 的空间分辨率, 可以较好地实现地表热辐射、地表温度的定量反演。TM6 反演地表温度的

* 广东省社会发展计划项目(2006B37201008)、广东省气象局预报员专项(2007C04)资助
2008 年 5 月 21 日收稿; 2009 年 8 月 16 日收修定稿
第一作者: 邓玉娇, 主要从事遥感及 GIS 开发应用。Email: yujiao_d@163.com

传统方法是通过辐射传输方程法,该方法首先需要进行大气模拟,以便从卫星高度所观测到的热辐射中减去大气的辐射分量,从而得到地面实际的热红外辐射量,然后考虑到地表辐射率的影响,反演出真实的地表温度,实时资料的缺乏限制了该方法的应用^[5]。覃志豪根据地表热辐射传导方程,提出针对 TM6 数据的单窗算法,该算法只需要地表辐射率、大气透过率、大气平均作用温度三个基本参数,当基本参数的估计没有误差时,演算绝对精度 $<0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,当参数估计存在一定误差时,演算的平均误差约为 $1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[6-8]。Jimenez-Munoz 等提出普适性单通道算法,该算法可用于不同传感器资料,且不需要太多的实时资料^[9]。黄妙芬对以上三种方法的反演结果进行了比较分析,结果表明覃志豪单窗算法与实测探空资料估算结果非常一致,在缺乏探空资料情况下,采用该方法反演的地表温度的精度是可以接受的^[10]。Cynthia 利用 TM 资料和气象观测资料对 Newark、Camden 的城市热岛效应进行研究,指出在全球气候变化背景下,因风速减慢、云量增多两种因素对城市热岛效应带来的影响互为抵消,城区与非城区的温度差异将维持不变^[11]。George 利用 TM 对 Tampa Bay 流域和 Las Vegas 的热环境进行研究,表明城市热环境的空间分布最基本的影响因素是土地利用/土地覆盖类型^[12]。刘宇提出了热效应贡献度指数、热单元权重指数、区域热单元权重指数,利用 TM 资料对广东省东莞市土地利用类型及其变化对城市地表温度的影响作了定量研究^[13]。

纵观前人研究状况,应用遥感技术实现地表真实温度反演并用以城市热岛效应定量研究方面的成果并不多见。因此,本文试图在前人提出的地表真实温度反演方法基础上,以 Landsat/TM 资料、气象观测资料为数据源,对广州市城市热岛现象进行定性、定量研究。

1 数据来源及预处理

广州市地处珠江三角洲的中心腹地,辖芳村、荔湾、越秀、东山、海珠、天河、黄埔、白云、番禺、花都等 10 个区和从化、增城 2 个市,地理跨度为 $22^{\circ}26'\sim 23^{\circ}56'\text{N}$ 、 $112^{\circ}57'\sim 114^{\circ}03'\text{E}$,总面积 7344.4 km^2 。图幅编号为 P122R044 的 Landsat 资料可以覆盖广州市绝大部分区域,仅缺失从化市北部的小块数据,缺失部分对研究结果并不造成影响,因此,本研究的

数据源主要是 2000 年 11 月 1 日和 2002 年 11 月 7 日获取的 P122R044 幅 Landsat/ETM+ 数据、2005 年 11 月 23 日获取的 P122R044 幅 Landsat/TM 数据,以及广州市观象台(地理坐标: $23^{\circ}10'\text{N}/113^{\circ}20'\text{E}$)观测的与卫星资料同步的气温、相对湿度、总辐射量等数据。

由于 Landsat/TM 传感器在成像过程中受到卫星速度变化、大气状况、随机噪声等多种因素的影响,在进行地表温度反演前,需要进行预处理以消除上述因素造成的影响。图像预处理主要分为以下几步:

(1) 以 2005 年 11 月 23 日影像为基准,利用多项式纠正模型对另外两幅影像进行几何校正,使两者具有统一的地理坐标;

(2) 利用最邻近插值法对第 6 波段数据(简称 B6)进行重采样,使图像分辨率为 30m ,以便于与其他波段进行运算;

(3) 利用广州市行政边界矢量图层提取影像子集(保留矢量边界外数据区),后续工作仅对该子集数据进行处理、分析。

2 研究方法

2.1 地表真实温度反演

根据覃志豪提出的单窗算法,地表真实温度反演公式如下:

$$LST = \{a_6(1 - C_6 - D_6) + [b_6(1 - C_6 - D_6) + C_6 + D_6] T_6 - D_6 T_a\} / C_6 \quad (1)$$

$$C_6 = \tau_6 \epsilon_6 \quad (2)$$

$$D_6 = (1 - \tau_6)[1 + \tau_6(1 - \epsilon_6)] \quad (3)$$

式中, $a_6 = -60.3263$, $b_6 = 0.43436$, LST 为地表真实温度, T_6 为 Landsat/B6 反演的亮度温度(反演方法可参见文献[6]); T_a 为大气平均作用温度, τ_6 为大气透射率, ϵ_6 为地表辐射率。 T_a 、 τ_6 计算方法如下^[8]:

$$T_a = 17.9769 + 0.91715 T_0 \quad (4)$$

当 $0.4 < \omega < 1.6$ 时,

$$\tau_6 = 0.974290 - 0.08007 \omega \quad (5)$$

当 $1.6 < \omega < 3.0$ 时,

$$\tau_6 = 1.031412 - 0.11536 \omega \quad (6)$$

式中, T_0 (单位:K)为广州市观象台的实测的 2 m 高气温数据,水汽含量 ω (单位: g/cm^2)由实测相对湿

度数据换算可得。

ϵ_6 可由归一化植被指数 $NDVI$ 进行估算^[14], 方法见表 1。

表 1 地表辐射率估算公式

Table 1 Land surface emissivity calculation equation

NDVI 取值区间	计算公式
$NDVI < -0.185$	$\epsilon_6 = 0.995$
$-0.185 < NDVI < 0.157$	$\epsilon_6 = 0.970$
$0.157 < NDVI < 0.727$	$\epsilon_6 = 1.0094 + 0.047 \ln(NDVI)$
$NDVI > 0.727$	$\epsilon_6 = 0.990$

2.2 反演结果统一化处理

虽然所选影像成像日期相近(均为 11 月),且陆地资源卫星过境的地方时大体相同,但不同时相之间具体的成像条件不完全相同,因而需对影像进行系统背景参数统一化处理^[15]。在文献[15]中,陈云浩认为,影响地物亮温的因素主要由辐射总量、初始地温、地物的热性质等,因此他采用初始地温、辐射总量、地物增温梯度等资料来完成不同时像遥感反演数据的一致化处理。由于该方法计算较为复杂,且广州地区的地物增温梯度数据欠缺,因此,本文依据不同时相地表温度的平均值进行统一化处理,操作简单,可一定程度消除背景参数的影响。文中以 2005 年 11 月 23 日平均值为标准状态,将某一时相的反演结果统一至此标准状态:

$$\Delta Avg = Avg_i - Avg_{2005} \quad (7)$$

$$LST_i' = LST_i - \Delta Avg \quad (8)$$

上式中, Avg_i 、 Avg_{2005} 分别为某一指定时相、2005 年 11 月 23 日反演的平均地表温度, ΔAvg 为两平均温度的差值, LST_i 为指定时相遥感数据反演所得像元的原始地表温度, LST_i' 为进行统一化处理后像元的标准地表温度。

2.3 热岛强度定量分析

热岛强度的定义为城市中心区温度与郊区的温度差值^[16-17], 该温差即可作为热岛强度指数, 用以定量分析不同年份城市热岛的变化规律。热岛强度与大气状况、辐射、地表等诸多因素有关, 本文全部选择 11 月份获取的卫星资料, 可一定程度上排除上述因素的影响。

城市中心区、郊区的界定要结合广州市的具体地理特征。广州市老八区为芳村区、荔湾区、越秀区、东山区、海珠区、天河区、黄埔区、白云区等, 前七

区均具有人口密度大、建筑密集、自然地表稀少等城市中心区的典型特征, 而白云区是“广州市肺”白云山的所在, 具有大面积的自然植被区, 其温度明显低于其他七区, 因此, 以前七区的平均温度代表城市中心区温度。番禺、花都、从化、增城, 原为广州市的四个郊县, 于 2000 年改设为番禺区、花都区, 保留从化市、增城市, 其中从化市自然地表保存最为完好, 地表温度相对较低, 其平均温度可以作为郊区温度用于热岛强度的定量计算。即:

$$I_{UH} = Avg_{7-region} - Avg_{CH} \quad (9)$$

式中, I_{UH} 为热岛强度指数, $Avg_{7-region}$ 为广州 7 区的平均地表温度, Avg_{CH} 为从化市的平均地表温度。

根据江学顶等的研究成果^[18], 可将与郊区平均温度之差大于 1.0 的像元定义为热岛像元, 则:

$$S = n \times 30 \times 30 / 10^6 \quad (10)$$

式中, n 表示广州 7 区与从化区平均温度之差大于 1.0 的像元个数, S 表示热岛区面积(单位: km^2)。

3 结果与讨论

3.1 热岛效应定性分析

对不同时相地表温度的反演结果进行统一化处理后, 按同样方法、统一色标进行密度分割可得广州市地表温度分布图(见图 1)。2000 年 11 月 1 日广州市地表温度平均值为 297.64 K, 标准差为 2.20, 从图 1 中可以看出, 当日温度偏高区域分布零散, 主要为各区或郊县的人口集中、建筑密集地带; 温度偏低区主要为从化市北部丘陵山区、番禺区珠江水体区域; 温度偏高区域与温度偏低区域之间的温度反差并不明显。2002 年 11 月 7 日广州市地表温度平均值为 297.36 K, 标准差为 2.44, 当日的平均地表温度低于 2000 年 11 月 1 日, 但地表温度分布图中黄埔区、天河区等温度偏高区域与周围温度偏低区域的反差却比 2000 年 11 月 1 日明显。2005 年 11 月 23 日广州市地表温度平均值为 293.36, 标准差为 2.62, 当日地表温度平均值明显低于 2000 年 11 月 1 日、2002 年 11 月 7 日, 温度偏高区域主要为黄埔区、天河区、番禺区北部, 温度偏低区域主要分布在从化市北部、增城市北部、花都区北部以及白云山区域, 温度偏高区域与温度偏低区域的反差明显增大, 形成显著的城市热岛现象。

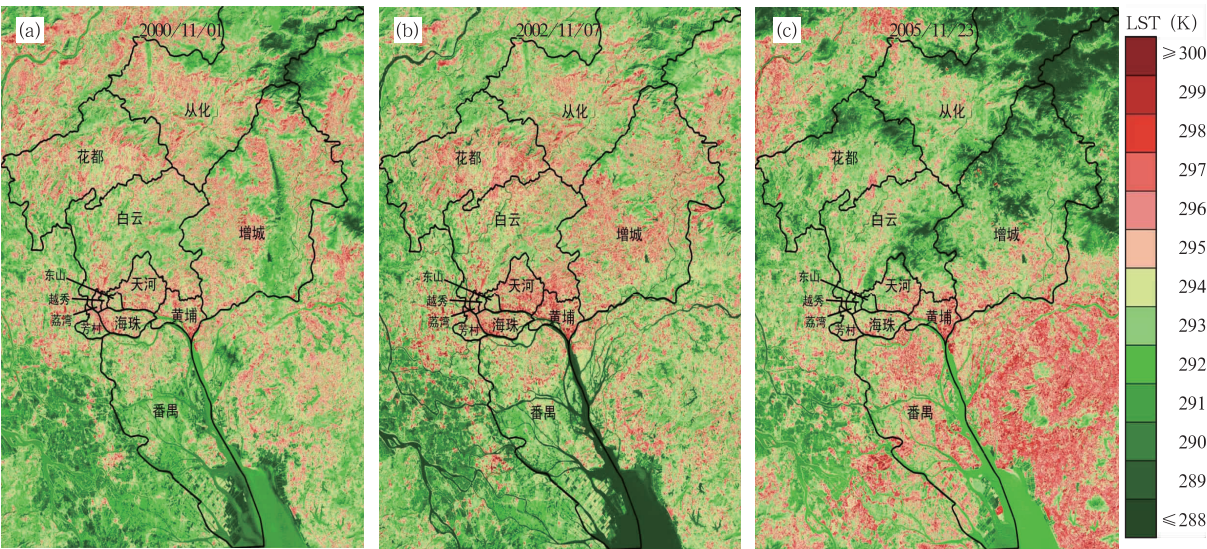


图 1 广州市地表温度分布图

Fig.1 The land surface temperature distribution of Guangzhou City

3.2 热岛效应定量分析

广州市热岛强度定量计算结果见表 2。通常而言,辐射总量、城市能耗、下垫面性质等是影响城市热场分布的主导因素^[19]。由表 2 可知,2000 年 11 月 1 日、2002 年 11 月 7 日、2005 年 11 月 23 日的初始地温(02:00 的地温)、总辐射量、平均地温是逐渐降低,对于某一特定区域而言,水体增温梯度最小,水泥增温梯度最大^[15],当辐射总量降低时,水体与水泥间的温差应减小,地表温度偏高区域与温度偏低区域的反差减小,地表温度数据分布的离散程度减小。表 2 还显示,2000 年 11 月 1 日与 2002 年 11 月 7 日的归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index,简称 NDVI)平均值基本持平,

2005 年 11 月 23 日的 NDVI 平均值比前两个时相有显著增加,植被因为其叶面的蒸腾降温作用,对城市热岛效应有改善作用。因此,从初始地温、辐射总量、平均地温、植被状况等影响因素而言,2000 年 11 月 1 日、2002 年 11 月 7 日、2005 年 11 月 23 日广州市地表温度的分布离散程度、高温区与低温区的温差、城市热岛强度等理论上应该呈降低趋势,然而实际反演结果表明,2000 年 11 月 1 日、2002 年 11 月 7 日、2005 年 11 月 23 日的热岛强度指数分别为 1.15、1.20、2.89,热岛强度逐渐增大;热岛面积分别为 235.44 km²、261.09 km²、381.42 km²,热岛范围逐步扩大。因此,可以认为,在排除初始地温、总辐射量、植被状况等因素的影响之后,2000 年至 2005 年间,广州市热岛现象呈现明显增强趋势。

表 2 广州市热岛现象定量研究结果及相关数据

年份	观测数据			归一化植被指数		全市平均 LST/K	定量反演		热岛面积/ km ²
	初始地温 /K	相对湿度	总辐射量/ MJ·m ⁻²	平均值	标准差		标准差	UHI	
2000/11/01	287.0	0.415	6.82	-0.030	0.226	297.64	2.20	1.15	235.44
2002/11/07	286.7	0.495	6.79	-0.036	0.244	297.36	2.44	1.20	261.09
2005/11/23	286.7	0.500	5.68	0.163	0.206	293.36	2.62	2.89	381.42

4 结论

本文利用 Landsat /TM 资料、气象观测资料,基于覃志豪单窗算法对地表温度进行反演,根据其平均值对不同时的反演结果进行统一化处理,根

据热岛强度定义进行热岛强度、热岛范围的定量计算、定量分析。研究表明,广州市地表温度偏高区域主要为各区或郊县的人口集中、建筑密集区域,而地表温度偏低区域主要为植被、水体覆盖区域,黄埔区、天河区等中心城区温度明显高于从化市北部高植被区域。以芳村区、荔湾区、越秀区、东山区、海珠

区、天河区、黄埔区等七区的地表温度平均值代表城市中心区温度,以从化市地表温度平均值代表郊区温度,定量计算结果表明,2000年11月1日、2002年11月7日、2005年11月23日热岛强度指数分别为1.15、1.20、2.89,热岛强度逐渐增大;热岛面积分别为235.44 km²、261.09 km²、381.42 km²,热岛范围逐步扩大。气象观测资料表明,2000年11月1日、2002年11月7日、2005年11月23日的初始地温、总辐射量、平均地温是逐渐降低,对于某一特定区域而言,这些条件都有助于地表温度偏高区域与温度偏低区域的反差减小、热岛强度减弱;NDVI计算结果表明,2000年11月1日与2002年11月7日的NDVI平均值基本持平,2005年11月23日的NDVI平均值比前两个时相有显著增加,有利于热岛强度减弱;因此可以认为,在排除初始地温、总辐射量、植被状况等因素的影响之后,2000年至2005年间,广州市热岛现象呈现明显增强趋势。

探究广州市热岛效应增强的原因主要可归结为两点:一是人口总数的增加,广州市人口在2000年为685万人,2002年为712.6万人,2005年为737.67万人,不断增长的人口总量,一方面加大了城市中心区域的人为热排放量,另一方面为容纳增长人口而加大了城市中心区域建筑物、居民区的密度,使得城市中心区域的增温梯度增大;二是大气中温室气体浓度增加、温室效应增强,来自太阳的短波辐射穿透大气到达地面,而地表吸收太阳辐射后释放出的长波辐射则被CO₂吸收,地球表面散失到大气层以外的热量减少,使地球表面蓄积的热量增多,进而导致城市热岛效应增强。

参考文献

- [1] Howard L. The climate of London, Vol. 1-3[M]. London Harvey and Dorton, 1833.
- [2] 邓玉娇,刘诚,林锦祥. 基于MODIS资料研究广州市热环境[J]. 热带气象学报,2007,23(3): 261-264.
- [3] 张金区. 珠江三角洲地区地表热环境的遥感探测及时空演化研究[D]. 广州:中国科学院广州地球化学研究所,2006.
- [4] 张月维,何全军,赵晓利,等. 2005年7月珠三角地表温度场的遥感监测分析[J]. 气象,2006,32(9): 23-27.
- [5] 张兆明,何国金,肖荣波. 基于MODIS和TM数据的陆面温度反演[J]. 中国图象图形学报,2007,12(2): 366-370.
- [6] 覃志豪, Minghua Zhang, Amon Karniel, 等. 用陆地卫星TM 6数据演算地表温度的单窗算法[J]. 地理学报,2001,56(4): 456-466.
- [7] 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]. International Journal of Remote Sensing, 2001(18): 583-594.
- [8] 覃志豪, Wenjuan Li, Minghua Zhang, 等. 单窗算法的大气参数估计方法[J]. 国土资源遥感,2003(2): 38-43.
- [9] Jimenez-Munoz J C, Sobrino J A. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data[J]. Journal of Geophysical Research, 2003(108): 4688-4695.
- [10] 黄妙芬,邢旭峰,王培娟,等. 利用LANDSAT/TM热红外通道反演地表温度的三种方法比较[J]. 干旱区地理,2006,29(1): 132-137.
- [11] Cynthia R, William D S, Lily P, et al. Characterizing the urban heat island in current and future climates in New Jersey[J]. Environmental Hazards, 2005(6): 51-62.
- [12] George Xian, Mike Crane. An analysis of urban thermal characteristic and associated land cover in Tampa Bay and Las Vegas using Landsat satellite data[J]. Remote Sensing of Environment, 2006,104(2): 147-156.
- [13] 刘宇,匡耀求,吴志峰,等. 不同土地利用类型对城市地表温度的影响——以广东东莞为例[J]. 地理科学,2006,26(5): 597-601.
- [14] Jinqu Zhang, Yunpeng Wang, Yan Li. AC++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM+ Band 6[J]. Computers and geosciences, 2006, (32): 1796-1805.
- [15] 陈云浩,宫阿都,李京. 基于地表辐射亮温标准化的城市热环境遥感研究[J]. 中国矿业大学学报,2006,25(4): 462-467.
- [16] 徐军旭,王勇. 基于卫星遥感的“城市热岛”分析[J]. 气象,2006,32(6): 71-74.
- [17] 丁金才,周红妹,叶其欣. 从上海市热岛演变看城市绿化的重要意义[J]. 气象,2002,28(2): 22-24.
- [18] 江学顶,夏北成. 珠江三角洲城市群热环境空间格局动态[J]. 生态学报,2007,27(4): 1461-1470.
- [19] 陈云浩,李京,李晓兵. 城市空间热环境遥感分析——格局、过程、模拟与影响[M]. 北京:科学出版社,2004.