

# 珠三角地区地表温度与土地利用类型关系

牟雪洁, 赵昕奕

(北京大学城市与环境学院, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

**摘要:** 随着城市化进程的加快, 城市气候与环境问题日益显现, 尤以城市热岛效应最为突出。通过监督分类方法对 TM 遥感影像进行了土地利用分类, 并运用 TM 热红外波段线性拟合模型进行近地表气温反演, 分析城市热岛的空间分布及地域性差异, 以及与土地利用类型的关系。结果表明: 珠三角地区近地表气温与土地利用类型紧密相关, 城市建设区形成高温中心, 是热岛的主要贡献因子, 植被和水体则有明显的冷岛效应; 研究区热岛具有区域性集中与分散分布的特点, 且以区域性热岛为中心向周边扩展; 分析热岛强度剖面线发现, 由于地形、植被覆盖度等因素影响, 研究区热岛强度的南北差异较大, 而东西差异较小; 热岛分布与土地利用类型分布格局较为一致, 但也有分布不一致性的区域, 表现为城市热岛向非城市建设用地扩展。

**关键词:** 地表温度; 城市热岛; 热岛强度; 土地利用类型

文章编号: 1000-0585(2012)09-1589-09

## 1 引言

城市气候是在区域气候的背景上, 经过城市化后在人类活动影响下而形成的一种特殊气候。城市热岛是城市对气温影响最突出的特征<sup>[1]</sup>。随着城市化进程的加快、城市化水平的不断提高, 土地利用方式、程度变化日益显著, 城市热岛效应也越来越突出, 并影响着城市环境质量<sup>[2~4]</sup>。土地利用方式的变化影响地表温度的空间分布, 进而影响城市热岛的形成、发展和分布方式。通过确定地表温度和土地覆盖结构之间的关系, 就可以评估城市发展对地表温度的影响, 因此, 研究城市热岛与土地利用类型的关系对城市气候研究十分重要。

遥感监测时相多、范围广、能长期连续观测, 根据热红外图像得出的地面辐射温度图直观形象, 解释方便, 对微观和宏观温度都可进行定性、定量分析<sup>[5]</sup>。近年来应用卫星遥感手段获取地表温度及与土地利用类型关系的研究日趋增多<sup>[6,7]</sup>, 城市热岛空间分布与土地利用类型关系密切, 并在城市发展集中区域形成城市热岛群<sup>[8,9]</sup>。利用遥感反演地表温度并进行热岛效应研究空间分辨率较高, 但仍存在一定问题, 不能准确反映城市热空间分布。研究表明, 地表亮温与观测气温具有明显正相关性<sup>[10~12]</sup>, 利用单个时相的遥感数据和对应气温观测结果建立模型, 能够获得较高精度(误差小于 1 °C)的地表气温分布状况<sup>[10]</sup>, 对城市热岛效应研究具有重要意义。

本文中主要采用 Landsat TM 热红外波段进行地表亮温与气温反演, 计算研究区热岛强度, 分析城市热岛空间分布规律; 通过监督分类获取研究区土地利用类型图, 比较分析

收稿日期: 2011-10-13; 修订日期: 2012-04-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40635028)

作者简介: 牟雪洁(1988-), 女, 山东烟台人, 硕士, 研究方向气候变化与遥感。E-mail: xuejiexiaotu@163.com

通讯作者: 赵昕奕(1968-), 女, 博士, 副教授。E-mail: sh-zhao@urban.pku.edu.cn

不同土地利用类型与气温及热岛强度的关系。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 研究区概况

研究区位于珠三角西部地区, 东经  $112^{\circ}45'$ ~ $114^{\circ}21'$ 、北纬  $22^{\circ}25'$ ~ $23^{\circ}40'$  之间, 行政区包括广州市、佛山市、东莞市、深圳市的大部分地区, 中山、江门市的北部, 惠州市的西部, 总面积约 2.1 万  $\text{km}^2$  (图 1)。东临珠江出海口, 西北为罗平山脉, 中部则主要是平原、水道和台地, 属于亚热带湿润季风气候, 终年高温, 降水丰沛, 年降水量约为 1600~2000mm, 年平均气温约为  $21\sim 22^{\circ}\text{C}$  [13], 地势较为平坦, 由于城市化高度集中, 近十年内已形成城市群热岛 [14]。

### 2.2 数据来源

本文选用的卫星遥感数据为珠三角地区 2005 年 11 月 23 日 Landsat5 采集的 TM 数据, 包括 TM1~5 及 7 六个多光谱数据, 以及 TM6 热红外波段数据。对热红外波段进行辐射定标, 获取城市地表亮温分布, 并采用监督分类获取同期城市土地利用分类图, 比较城市地表亮温与土地利用类型的关系。

同时选用珠三角地区 2005 年 11 月 23 日自动气象站日平均温度、最高温度、最低温度、风速以及降水量数据, 并考虑到风速和降水对热岛强度的影响, 剔除日平均风速大于  $4\text{m/s}$ 、日降水量大于  $1\text{mm}$  的测站, 最终选取位于广州市、东莞市、佛山市、中山市、惠州市共 82 个站点 (图 1), 建立地表亮温与气温线性拟合模型, 并分析研究区近地表气温及热岛强度与土地利用类型的关系以及城市热岛的空间分布规律。

2.3 地表亮温计算

首先进行辐射定标, 将图像灰度值 ( $DN$ ) 转化为辐射亮度 ( $L_\lambda$ )。公式如下 [15]:

$$L_\lambda = G \times DN + B \quad (1)$$

式中,  $L_\lambda$  为辐射亮度,  $DN$  为 TM6 波段图像灰度值,  $G$  和  $B$  分别为辐射亮度的增益量和偏移量, 定标参数可从头文件中获取。

利用公式 (1) 计算出辐射亮度后, 代入公式 (2) 反演地表辐射温度  $T_k$ , 单位为 K:

$$T_k = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda + 1}\right)}$$

式中,  $T_k$  为 TM6 的像元亮度温度 (单位 K),  $K_1$ 、 $K_2$  为发射前预设的常量。  $K_1 =$

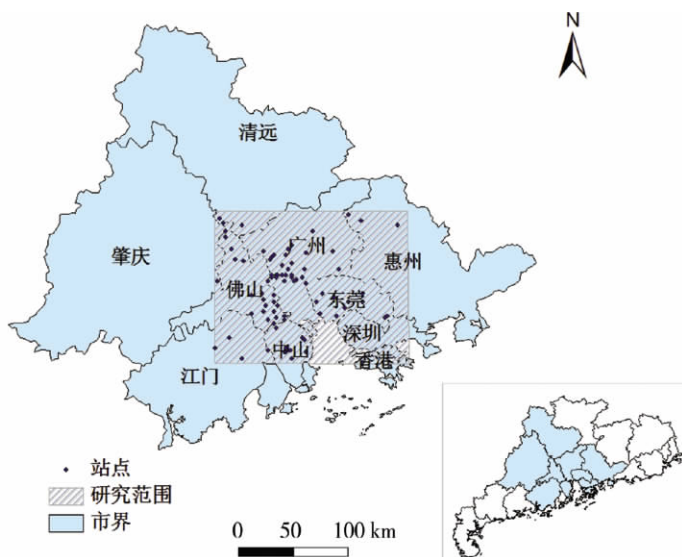


图 1 研究区及站点示意图

Fig. 1 The location of the study area and stations

607.76 W/(m<sup>2</sup>·sr·μm), K<sub>2</sub>=1260.56K。

2.4 气温反演与热岛强度计算

根据地表能量平衡原理,近地表气温与亮温之间具有物理意义明确的相关关系,许多研究也表明这两者之间存在着正相关关系<sup>[10~12]</sup>。城市土地利用类型及其特征影响近地表气温分布,使其具有明显的空间异质性。

建立自动气象站气温与亮温线性拟合模型(图2),反演近地表气温值,并计算气温距平,作为研究区城市热岛强度。基于热岛强度图,选择有一定代表性的路线做热岛强度剖面线,分析研究区热岛强度的区域差异及变化。同时将热岛强度按如下标准分级(表1),计算各级热岛面积比例,讨论研究区热岛强度等级与土地利用类型的空间与比例关系。其中,热岛面积比例为不同等级的热岛像元数和总像元数的比值。

表 1 热岛强度分级	
Tab 1 Heat island intensity classification	
气温距平(℃)	热岛强度
<0.0	冷岛
0.0~1.0	弱热岛
1.0~2.0	较强热岛
>2.0	强热岛

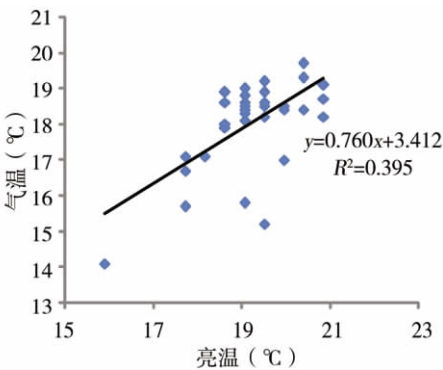


图 2 亮温与气温散点图

Fig. 2 The scatter plot between bright temperature and air temperature

2.5 土地利用类型数据

根据中国土地资源分类系统的土地分类标准<sup>[16]</sup>,同时结合本文研究需要,利用 TM 遥感影像采用监督分类中的最大似然方法,将研究区土地利用划分为水体、绿地(包括林地和草地)、耕地、建设用地、其他(包括沙滩、裸地等)五类(图3)。总体分类精度为 87.47%,kappa 系数为 0.90,通过精度检验。根据土地利用分类结果,建设用地面积为 5770.3 km<sup>2</sup>,非建设用地面积 1.5 万 km<sup>2</sup>,建设用地面积比例约为 27.1%。

3 结果分析

3.1 热岛强度及空间分布

研究区热岛主要位于城市发展较快的东南部地区,冷岛中心主要位于北部及西部地区。热岛在空间上呈大面积、多中心聚集的特点,并形成明显的区域性热岛;热岛中心周边则形成次级热岛与冷岛环带。其中区域性热岛主要以广州市南部、东莞市、深圳市为中心,并有向周边县市扩展的趋势,且随距离增加,区域热岛强度有所降低,至郊区具有明显的冷岛效应;在区域热岛中心外围,城市热岛强度较中心低,且具有向中心靠拢的趋势,形成次级热岛环带;次级热岛环带外围,则呈现出以冷岛分布为主、热岛分散分布的特点(图4)。

3.2 热岛强度区域差异性

热岛强度剖面线能够从一定程度上反映研究区热岛强度的区域差异。如图4、图5所示,①②③号和④⑤⑥号剖面线分别为东西和南北方向。其中,①号剖面线所示热岛强度

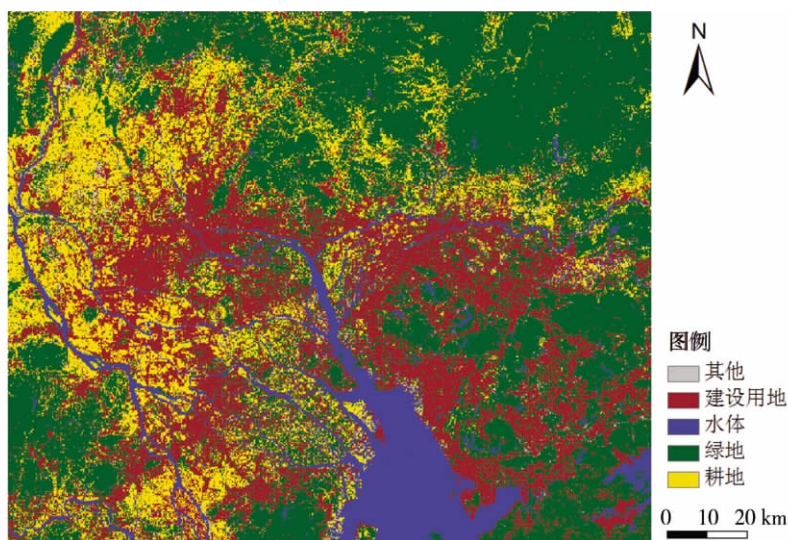


图 3 珠三角地区土地利用类型图

Fig 3 The types of land use in Pearl River Delta region

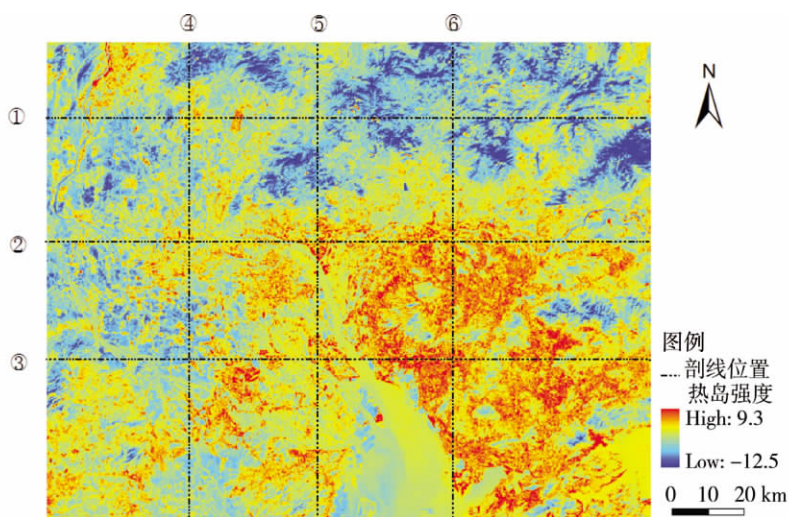


图 4 研究区热岛强度分布及剖面线位置

Fig 4 The spatial distribution of heat island intensity and location of profile in research area

的变化表明,研究区北部以冷岛为主,间或有一定的热岛分布,且东西差异相对较小;②③号剖面线呈冷岛向热岛跨越,且热岛强度逐步增强的趋势,这表明研究区中部地区区域性热岛显著发展;④号剖面线所示冷热岛交替出现,表明研究区西部地区热岛中心分布较为分散,城市发展较分散,不集中;⑤⑥号剖面线所示热岛强度则呈现出明显的南北差异,冷岛到热岛的跨越性较大,且东南部地区热岛强度大、热岛空间连续性强,形成城市群热岛,这主要是由该区域城市发展相对集中、发展规模大造成的。

总的来看,热岛强度的南北差异性主要受地形、植被覆盖等影响:北部地区山地较

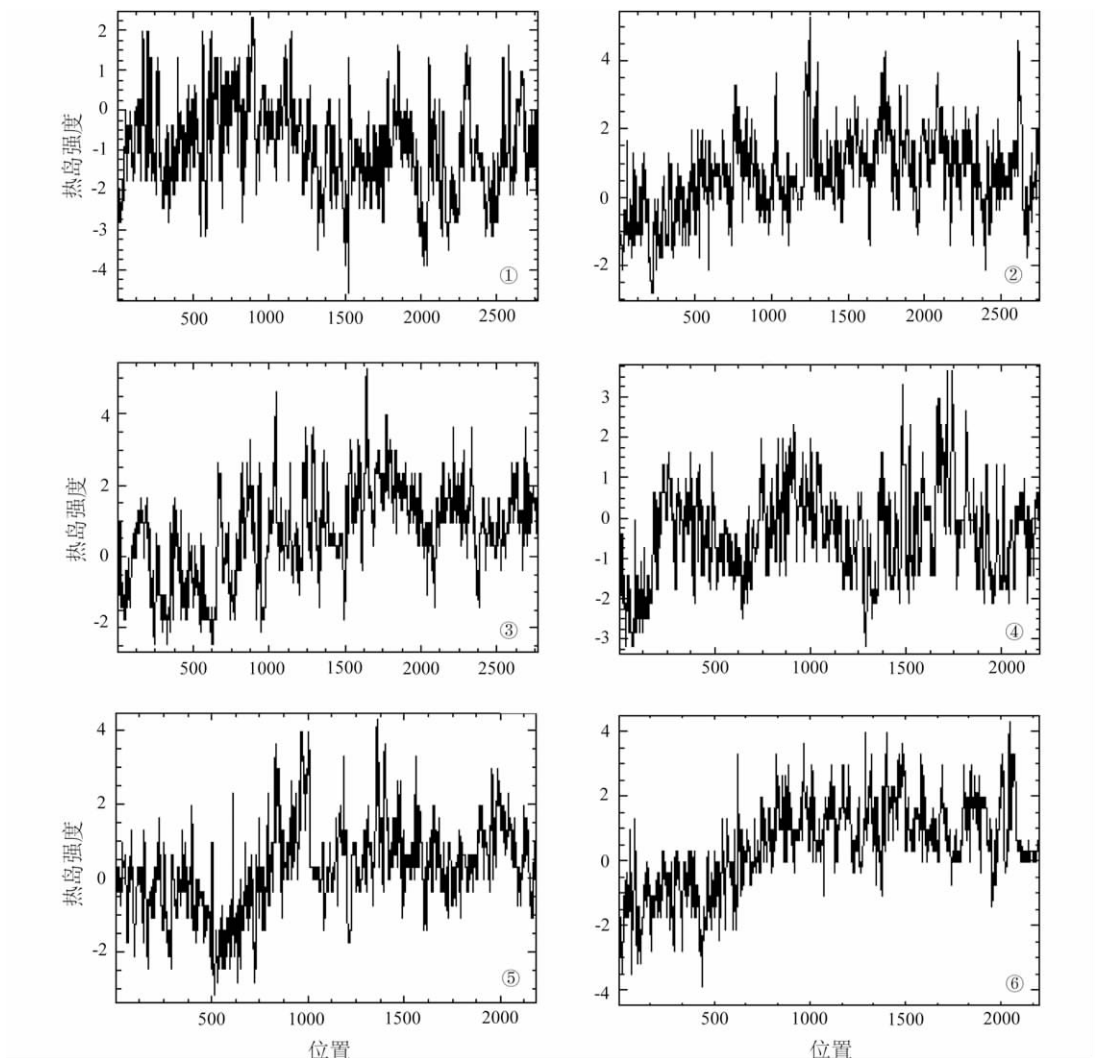


图 5 热岛强度剖面

Fig. 5 Heat island intensity profile

多，植被覆盖度较高，因而冷岛效应明显；南部地区则平原较多，城市发展集中、速度较快，城市建设用地比例较高，植被覆盖相对较低，热岛强度较高。热岛强度的东西向分布差异性则与城市发展规划及土地利用类型有关。

### 3.3 土地利用类型对气温的影响

通过土地利用类型图与研究区近地表气温图叠加，运用感兴趣区域统计不同地物类型平均气温（表 2），发现城市建设用地平均气温最高，其次为水体、耕地、绿地，说明城市建设用地是导致城市热岛效应的重要因素，而绿地、水体则有一定的冷岛效应。

### 3.4 热岛强度等级与土地利用类型

按照前面所述热岛强度分级标准，通过 ENVI 密度分割功能，得到研究区热岛强度分级图（图 6）。分析发现，研究区强热岛多分布于东南部地区，尤其集中于广州、东莞、深圳等地，形成较强的都市群热岛，占研究区总面积的 5%；较强热岛及弱热岛依次围绕



都市群热岛中心呈环带状展开, 面积比例依次为 15%、28% (表 3), 冷岛则主要分布于西部和北部地区。

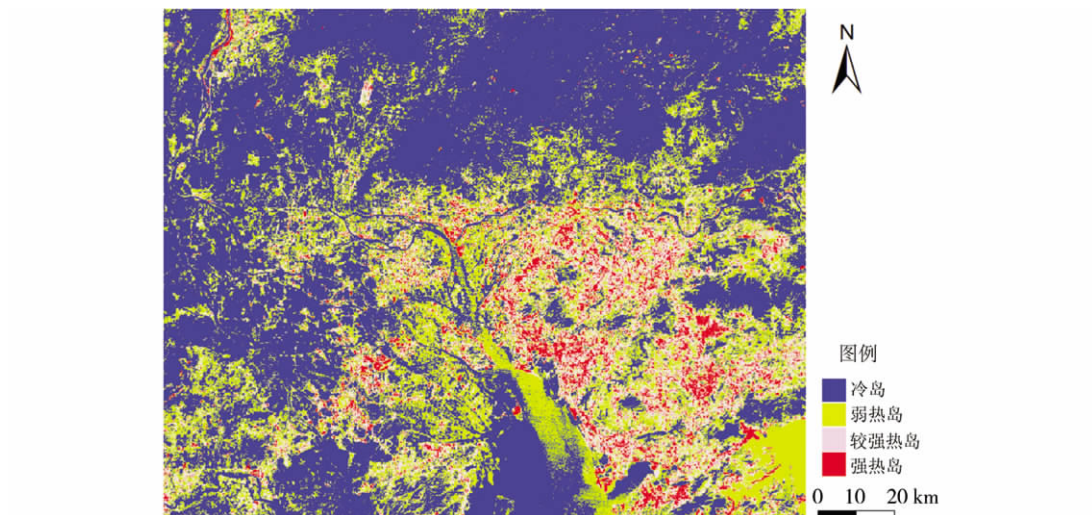


图 6 热岛强度分级图

Fig. 6 Heat island intensity classification

表 2 不同土地利用类型气温

Tah 2 The temperature of different land use types

土地利用类型	气温 (°C)
耕地	16.6
绿地	16.4
水体	17.7
建设用地	18.9

表 3 各级热岛强度面积比例

Tah 3 The area ratio of heat island intensity at all levels

气温距平 (°C)	热岛级别	百分比 (%)
<0.0	冷岛	53
0.0~1.0	弱热岛	28
1.0~2.0	较强热岛	15
>2.0	强热岛	5

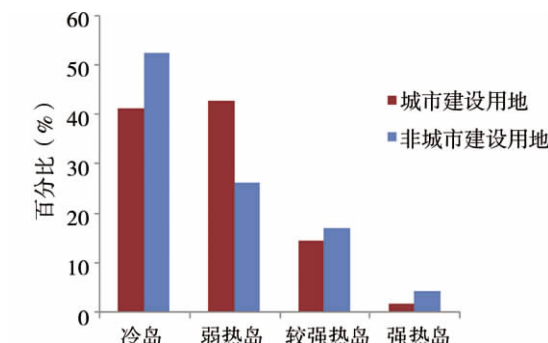


图 7 城市与非城市建设用地的各级热岛比例

Fig. 7 The proportion of heat island in urban and non-urban construction land

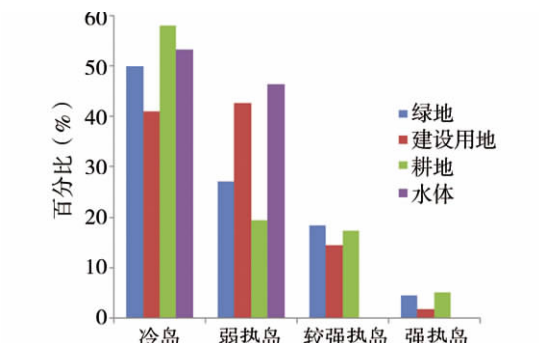


图 8 土地利用类型与各级热岛比例关系

Fig. 8 The proportional relation between land use types and heat island at all levels

在 ENVI 中采用感兴趣区域统计不同地物类型中各级热岛的面积比例, 比较发现城市建设用地的热岛比例明显高于非城市建设用地, 其中弱热岛比例高于非城市建设用地, 而较强热岛、强热岛所占比例则低于非城市建设用地 (图 7)。在非城市建设用地中, 绿地具有较高的热岛比例, 耕地其次, 而水体的弱热岛比例最高。这可能是由于水体具有流动性大、热容性大的特点, 因而气温差异相对较小, 热岛分级化程度较低 (图 8)。

已有研究表明, 东莞市在近 15 年间城市热环境格局变化显著, 随着城市建设用地扩张, 热岛由分散点状分布向条状和带状分布演变<sup>[17]</sup>, 本文中对东莞市城市热岛强度的计算与分级也验证了该结论。分析该地区热岛强度与土地利用类型的空间分布关系发现, 热

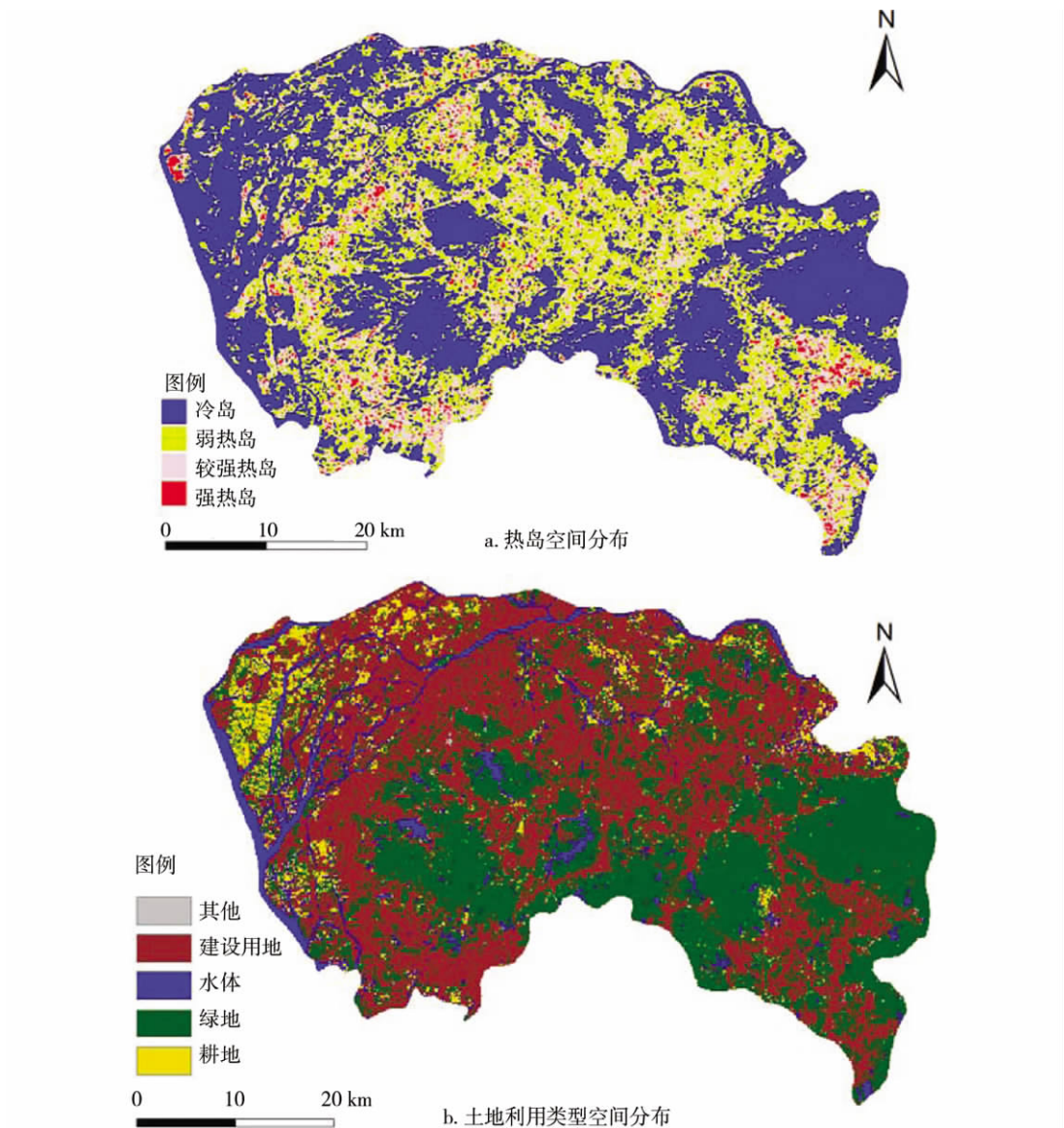


图 9 东莞市热岛强度与土地利用类型的空间分布关系

Fig. 9 The relationship between heat island intensity and spatial distribution of land use types in Dongguan

岛空间分布格局与城市建设用地分布较为一致,冷岛则多分布于植被、水体覆盖区域。此外,在城市绿地较少的区域,热岛不仅分布于城市建设区,更扩展到绿地等非城市建设区域(图9)。

## 4 结论与讨论

本文主要运用 Landsat TM 数据进行了地表气温反演和研究区土地利用分类,并分析不同土地利用类型与近地表气温及热岛强度的关系。结果表明:植被、水体等附近气温较低,对城市具有明显的降温效应,而建设用地附近气温最高,是城市热岛的主要作用因子。

对研究区热岛强度进行计算并分级,得到热岛强度的空间分布情况,结果表明:(1)研究区已形成区域热岛,并以区域热岛为中心向周边城市扩展,热岛强度逐渐减弱;(2)分析热岛强度剖面线发现,由于地形、植被覆盖度等因素影响,研究区热岛强度的南北差异较大,而东西差异较小,且东南部地区热岛面积大、空间连续性强、分布集中,西部地区热岛则分布较为分散;(3)分析不同土地利用类型中各级热岛强度面积比例发现,城市建设用地热岛总体比例最高,但较强热岛、强热岛比例则相对非城市建设用地低;(4)以东莞市为例分析热岛强度与土地利用类型的空间关系,结果表明城市热岛的空间分布与城市建设用地分布格局较为一致;但局部地区也表现出不一致性,热岛由城市建设区向非城市建设区扩展。

本文提供了采用遥感手段反演近地表气温,并分析城市热岛效应的新思路和新方法,但也存在很多不足之处:比如采用线性拟合模型反演近地表气温,仍有一定误差和不确定性;对城市热岛的空间分布规律和区域差异性有一定认识,但热岛强度空间结构的定量讨论还有待深入。

## 参考文献:

- [1] 周淑贞,束炯.城市气候学.北京:气象出版社,1994.244.
- [2] 杨英宝,苏伟忠,江南,等.南京市热岛效应变化时空特征及其与土地利用变化的关系.地理研究,2007,26(5):877~886.
- [3] 何剑锋,庄大方.长江三角洲地区城镇时空动态格局及其环境效应.地理研究,2006,25(3):388~396.
- [4] 任春艳,吴殿廷,董锁成.西北地区城市化对城市气候环境的影响.地理研究,2006,25(2):233~241.
- [5] 杨英宝,苏伟忠,江南.基于遥感的城市热岛效应研究.地理与地理信息科学,2006,22(5):36~40.
- [6] 钱乐祥,丁圣彦.珠江三角洲土地覆盖变化对地表温度的影响.地理学报,2005,60(5):761~770.
- [7] 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.地理研究,2010,29(1):127~136.
- [8] 窦浩洋,张晶晶,赵昕奕.珠江三角洲城市热岛空间分布及热岛强度研究.地域研究与开发,2010,29(4):72~77.
- [9] 葛伟强,周红妹,杨何群.基于 MODIS 数据的近 8 年长三角城市群热岛特征及演变分析.气象,2010,36(11):77~81.
- [10] 祝善友,张桂欣,尹球,等.基于多源极轨气象卫星热红外数据的近地表气温反演研究.遥感技术与应用,2009,24(1):27~31.
- [11] Prihodko L, Goward S N. Estimation of air temperature from remotely sensed surface observations. Remote Sensing of Environment, 1997, 60(3): 335~346.
- [12] Saaroni H, Ben-Dor E, Bitan A, et al. Spatial distribution and microscale characteristics of the urban heat island in Tel-Aviv, Israel. Landscape and Urban Planning, 2000, 48: 1~18.
- [13] 珠江三角洲城市群年鉴编纂委员会.珠江三角洲城市群年鉴.广州:广东人民出版社,2010.22.



- [14] 张晶晶, 窦浩洋, 张恩洁, 等. 珠江三角洲城市群热岛特征研究. 见: 中国气象学会. 中国气象学会 2008 年年会城市气象与城市可持续发展分会场论文集. 北京: 中国气象学会, 2008. 434~442.
- [15] Chander G, Markham B L, Barsi J A. Revised Landsat-5 Thematic Mapper Radiometric Calibration. *Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2007, 4(3): 490~494.
- [16] 张景华, 封志明, 姜鲁光. 土地利用/土地覆被分类系统研究进展. *资源科学*, 2011, 33(6): 1195~1203.
- [17] 陈明辉, 陈颖彪, 郭冠华, 等. 东莞市城市热环境时空变化及其驱动机制. *地理研究*, 2011, 30(8): 1431~1438.

## Study on the relationship between surface temperature and land use in Pearl River Delta

MOU Xue-jie, ZHAO Xin-yi

(Laboratory for Earth Surface Processes, Ministry of Education of China;  
College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** With the accelerated process of urbanization, issues of urban climate and environment become more prominent, especially the urban heat island effect. In this paper, we made land use classification by supervised classification method and near-surface air temperature inversion by using Landsat Thematic Mapper (TM) data. Then we analyzed the spatial distribution of urban heat island and its regional differences, as well as the relationship with land use types. It is shown that the temperature of urban construction land is relatively high, which is the main factor for urban heat island while the temperature of vegetation and water is relatively low, which has a significant cooling effect. The heat island intensity profiles show that there are significant differences between north and south in terms of heat island intensity due to vegetation cover and terrain differences while little difference exists between east and west. We also found that the spatial distribution of urban heat island in the research area has the feature of both regional concentrating and scattering. And the heat island has the trend of expanding from the center of regional urban heat island to the suburbs. Besides, there is relatively consistency in terms of spatial distribution between urban heat island and land use types, but also inconsistent area where the urban heat island has expanded to non-urban construction area.

**Key words:** surface temperature; urban heat island; heat island intensity; land use types