

不同土地利用类型的城市热环境效应研究 ——以广州市为例

孙芹芹^{1,2}, 吴志峰^{2,3}, 谭建军²

(1. 厦门大学海洋与环境学院, 厦门 361005; 2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640;
3. 广东省生态环境与土壤研究所, 广州 510650)

摘要: 利用2005年Landsat TM遥感卫星数据,对广州市不同土地利用类型与城市热环境之间的关系进行研究,发现不同土地利用类型对地表温度(LST)的影响具有明显的差异。草地、林地及耕地的LST与归一化植被覆盖指数(NDVI)呈现明显的负相关,水域的LST与归一化水体指数(MNDWI)之间呈现明显负相关,而城镇建设用地指数(NDBI)、未利用土地指数(NDBal)则与LST呈现明显正相关。最后建立了LST与各土地利用类型表征指数及DEM之间的多元线性回归方程,可用来指示一个地区不同地表覆盖及地形差异导致的地表温度分布,为城市热环境的评价和分析提供依据。

关键词: 土地利用类型; 地表温度; 多元线性回归; 广州

中图分类号: TP 79 文献标识码: A 文章编号: 1001-070X(2010)04-0067-04

0 引言

利用遥感技术研究土地利用类型(Land Use Class, LUC)与城市热环境之间的关系已受到国内外越来越多学者的关注^[1-5]。Weng等利用Landsat数据发现地表温度(LST)与归一化植被覆盖指数(NDVI)、植被覆盖度之间存在显著的负相关关系^[6];岳文泽等发现LST以及NDVI在不同土地利用类型上均具有明显的负线性关系^[7];徐涵秋发现LST与不透水面指数之间存在指数函数关系^[8];历华等发现城镇建设用地指数(NDBI)与LST间存在明显的线性关系,说明NDBI是地表城市热岛效应研究的有效指标^[9]。大多数的研究主要集中在单一指标与LST的关系分析,对综合使用各土地利用类型的表征指数与LST之间进行定量评价的研究仍然较少。本研究在此基础上,利用NDVI、NDBI、归一化水体指数(MNDWI)及未利用土地指数(NDBal)等指标,建立地表温度与各土地利用类型指数以及海拔高度之间的多元线性回归方程,用来指示一个地区不同地表覆盖及地形差异导致的地表温度分布,为城市热环境形成的原因和结构分析提供依据。

1 研究区简介

广州市位于珠江三角洲北部,东经112°57′~114°03′,北纬22°26′~23°56′之间,毗邻港澳,地理

位置优越。改革开放以来经济高速发展,土地利用覆盖模式发生了根本性的变化。城市建设用地迅速扩张,大量自然覆盖面被侵占,城市热岛效应明显^[10]。因此有必要对不同土地利用类型与城市热环境之间的具体关系做进一步研究,从而为城市热环境的改善和城市可持续发展提供依据。

2 数据处理

基于Landsat TM/ETM+进行土地利用类型分类和地表温度的反演已经得到了较为广泛和成功的应用^[11,12]。本文选取2005年11月23日广州地区的Landsat TM影像,天气晴朗,卫星过境时的当地时间为上午10:40:20。

2.1 地表温度反演及分类

采用覃志豪的单窗算法^[13]实现LST反演,利用ESRI的自然分类法(Jenks' natural breaks)将LST分为5类,如表1所示。

表1 LST分类范围及描述

Tab. 1 The classification and discription of LST

类型	温度范围/K	描述
LLA	282.02 ~ 288.83	低温II地区
LA	288.83 ~ 291.58	低温I地区
NA	291.58 ~ 294.05	LST常温地区
HA	294.05 ~ 296.44	高温I地区
HHA	296.44 ~ 304.66	高温II地区

收稿日期: 2009-11-30; 修订日期: 2010-03-02
基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 40571164)。

2.2 土地利用分类

按照 2005 年广东省国土部门的分类标准,将广州市土地类型分为 6 个土地利用一级类:耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用土地。采用 Erdas 软件的非监督分类配合后期人工校正的方法进行分类, Kappa 系数均大于 0.65, 分类结果良好。

2.3 数据分析

为了探明不同土地利用类型的平均地表温度以及不同 LST 级别的土地利用类型分布情况,将土地利用类型分类图矢量化后使用 ArcGIS 软件进行区域统计分析,并构建土地利用类型百分比指数公式,即

$$LUCP = \frac{A_{lsti-lucj}}{A_{lucj}} \times 100\% \quad (1)$$

式中 $A_{lsti-lucj}$ 为第 i 类 LST 类型上 j 类土地类型的面积; A_{lucj} 为该种土地利用类型的总面积。

LST 与各土地利用类型表征指数之间定量关系的研究则通过选取测试点提取其对应 LST 后在 SPSS 中进行统计分析来实现。测试点的选取需要考虑 2 方面的影响:一是地形高度的影响,根据低层大气对地表辐射的吸收作用,海拔每升高 1 km,温度降低约 6°C;二是太阳入射角的影响,广州市南北跨度较大,气温必然有所偏差。因此本研究中测试点均沿地势平坦的水平方向选取,研究中所使用的 NDVI、MNDWI、NDBI 以及 NDBaI 分别用来表示植被覆盖地区、水域、建设用地、未利用土地^[14-17],即

$$NDVI = (d_4 - d_3) / (d_4 + d_3) \quad (2)$$

$$NDBI = (d_5 - d_4) / (d_5 + d_4) \quad (3)$$

$$MNDWI = (d_2 - d_3) / (d_2 + d_3) \quad (4)$$

$$NDBaI = (d_5 - d_6) / (d_5 + d_6) \quad (5)$$

式中 d_3 、 d_4 、 d_5 、 d_6 分别为 Landsat TM 影像第 3、4、5、6 波段的 DN 值。

3 不同 LUC 的城市热环境效应

3.1 基于土地利用类型的 LST 区域统计

不同土地利用类型的 LST 统计见图 1。

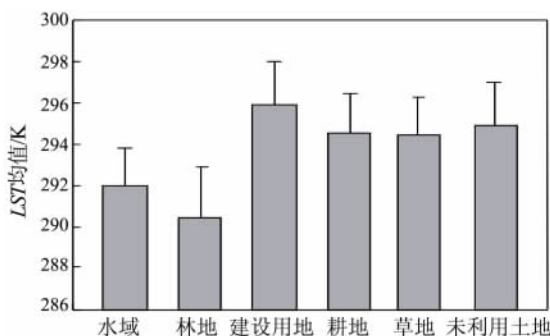


图 1 各土地利用类型的平均 LST 及标准差

Fig. 1 The mean LST and standard deviation of each LUC

各土地利用类型的平均地表温度从高到低依次为:建设用地 > 未利用土地 > 耕地 > 草地 > 水域 > 林地。建设用地和未利用土地 LST 均值较高;林地 LST 均值最低(290.38 K),主要原因主要有 2 方面,一是因为林地生长区域海拔高度一般都较高,二是因为浓密的植被覆盖通过蒸发作用减少热储存,从而起到抑制温度升高的作用。水域的平均 LST 也较低(291.96 K),这是由于水体的高比热可以在周围温度升高时起到蓄热的作用,而在周围温度降低时则起到释放热量的作用。草地和耕地的 LST 均值相对适中。

3.2 LUC - LST 百分比指数计算

不同 LST 区间的土地利用类型百分比见图 2。

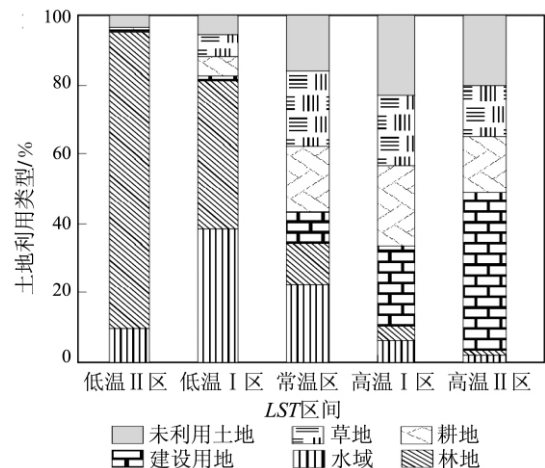


图 2 不同 LST 区间的土地利用类型百分比

Fig. 2 The LUC percentage in each LST type

由图 2 可知,水域主要集中在 LST 常温区和低温 I 区,林地主要集中在低温 I 区和低温 II 区,说明这 2 种土地利用类型的 LST 相对不高,这可能跟二者的抑温作用有关。需要注意的是,不仅建设用地的最大百分比出现在高温 I 区和高温 II 区,耕地的最大百分比也出现在了高温 I 区,并且有大于 1/3 的耕地位于高温 II 区,未利用土地在主要分布于高温 I 区。这说明当时的耕地跟城镇建设用地和未利用土地一样具有较高的 LST。草地主要集中在常温区和高温 I 区,可能与当时的土壤含水状况有关^[18]。当时正值秋季,降水较少而气温较高,蒸发量大,作物蒸腾作用强,地表含水量较低,是秋旱的易发季节。

3.3 土地利用类型指数与 LST 的定量关系

3.3.1 LST 与 NDVI 之间的关系

对 2 000 个独立测试点的 LST 与 NDVI 进行散点投图(图 3)表明 LST 与 NDVI 的关系为一个倒立的“V”形,LST 在 NDVI = 0.18 时达到最高。NDVI 低于 0.18 时,大部分为水域、建设用地以及未利用

土地,此时 LST 随 $NDVI$ 的上升而上升; $NDVI$ 高于 0.18 时,大部分为林地、耕地, LST 随 $NDVI$ 的上升而下降。由于不同的土地利用类型 LST 与 $NDVI$ 的关系不同,因此有必要分别在不同的土地利用类型上计算 $NDVI$ 与 LST 的定量关系。

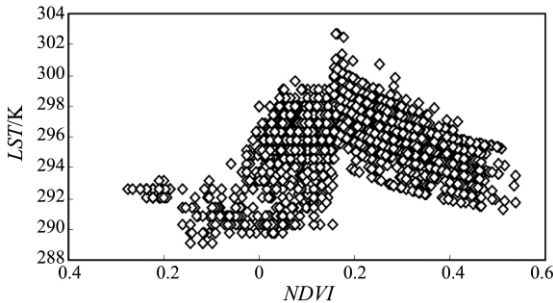


图 3 LST 与 $NDVI$ 的散点图

Fig.3 Scatter plots of LST and $NDVI$

3.3.2 不同土地利用类型 LST 与 $NDVI$ 相关性

对不同土地利用类型的 LST 与 $NDVI$ 进行线性回归分析说明(表 2),草地、林地、耕地土地类用类

型的 LST 与 $NDVI$ 为正相关,且相关系数达到 0.4 以上;水域、未利用土地和建设用地的 LST 与 $NDVI$ 呈微弱负相关,相关系数较小,说明此种土地利用类型的 $NDVI$ 无法用来指征 LST 的变化。

表 2 不同土地利用类型的 $NDVI$ 和 LST 线性回归方程

Tab.2 The linear regression equation of $NDVI$ and LST for each LUC

土地利用类型	回归方程	R^2
林地	$y = -13.26x + 299.36$	0.43
草地	$y = -14.26x + 300.22$	0.42
耕地	$y = -17.21x + 301.52$	0.40
水域	$y = -4.08x + 291.67$	0.16
未利用土地	$y = -7.22x + 296.77$	0.04
建设用地	$y = 5.90x + 295.34$	0.01

3.3.3 LST 与土地利用类型指数的线性回归分析

对 LST 与各土地利用类型表征指数及海拔高度 (H , 单位为 km) 之间进行相关性分析,结果见表 3。表中 ** 表示在 0.01 水平相关性显著。

表 3 LST 与各土地利用类型表征指数及 DEM 之间的相关系数

Tab.3 Correlations between LST , DEM and LUC indices

	LST	$MNDWI$	$NDBI$	$NDVI$	$NDBaI$	H
LST	1	-0.176(**)	0.643(**)	-0.476(**)	0.421(**)	-0.698(**)
$MNDWI$	-0.176(**)	1	-0.542(**)	-0.574(**)	-0.886(**)	-0.105(**)
$NDBI$	0.643(**)	-0.542(**)	1	-0.358(**)	0.778(**)	-0.335(**)
$NDVI$	-0.476(**)	-0.574(**)	-0.358(**)	1	0.204(**)	0.493(**)
$NDBaI$	0.421(**)	-0.886(**)	0.778(**)	0.204(**)	1	-0.152(**)
H	-0.698(**)	-0.105(**)	-0.335(**)	0.493(**)	-0.152(**)	1

由表 3 可知 LST 与 H 呈较强的负相关关系,说明地形对地表温度的分布起到很大的影响作用,且能在很大程度上降低 LST ; LST 与 $NDBI$ 呈明显正相关关系,代表城镇建设用地的增多对地表温度的促进升温作用明显; $NDVI$ 与 LST 呈现负相关,说明该种土地利用类型的植被覆盖度越高,越能对地表

起到抑制升温的作用; $NDBaI$ 与 LST 呈现较强正相关,说明未利用土地的增多同样对地表起到促进温度升高的作用; $MNDWI$ 与 LST 呈显著负相关且系数较小,主要起到平衡地表温度的作用。

在 SPSS 中对因变量 LST 与自变量 $MNDWI$ 、 $NDBI$ 、 $NDBaI$ 、 $NDVI$ 、 H 做多元线性回归方程,即

$$LST = 292.974 - 17.416 MNDWI - 4.660 NDBI - 15.289 NDVI - 5.011 NDBaI - 0.01H \quad R^2 = 0.71 \quad (7)$$

为了鉴定模型的质量,建立回归模型以后,对模型的可信度进行检验,发现统计量 F 服从 F 分布,在置信水平 $\alpha = 0.01$ 下该回归方程是显著的。这也说明,一个地区的地表温度可以通过该地区的归一化水体指数、城镇建设用地指数、植被覆盖指数、未利用土地指数以及该地区的地形等因素综合计算而得。

$NDVI$ 与 LST 呈现明显的负相关关系,说明植被覆盖率越高,抑温作用越明显。而 $NDVI$ 与 LST 在低密度植被覆盖地区相关性差,主要是因为低密度植被覆盖区对 $NDVI$ 反映并不敏感,因此引入 $NDBI$ 、 $NDBaI$ 、 $MNDWI$ 分别用来表征城镇建设用地、未利用土地和水体,并结合海拔高度因子与 LST 之间进行相关性分析发现, LST 与各土地利用类型指数和海拔高度之间均具有较强的相关性。将 LST 与各土地利用类型指数和海拔高度之间建立的多元线性回归方程置信水平高,证明综合使用各土地利用类型指数和海拔高度进行该地区 LST 分布的估算是可行的。

需要说明的是,虽然本研究综合考虑了 $NDBI$ 、

4 结论

基于遥感图像的土地利用与地表温度之间的关系研究发现,不同土地利用类型的 LST 与 $NDVI$ 之间的关系具有明显的差异。耕地、林地以及草地的

MNDWI 以及海拔高度等因素对 LST 的影响,但是仍然无法避免区域、季节变化等产生的差异,因此在今后的研究中应该选取更多区域和时间段的影像数据,以验证该关系的普适性。

参考文献:

- [1] Goetz S J. Multi - Sensor Analysis of NDVI , Surface Temperature and Biophysical Variables at a Mixed Grassland Site [J]. International Journal of Remote Sensing , 1997 , 18(1) : 71 - 94.
- [2] Weng Q. A Remote Sensing - GIS Evaluation of Urban Expansion and Its Impact on Surface Temperature in the Zhujiang Delta , China [J]. International Journal of Remote Sensing , 2001 , 22: 1999 - 2014.
- [3] Chen X , Zhao H , Li P , et al. Remote Sensing Image - Based Analysis of the Relationship Between Urban Heat Island and Land Use/Cover Changes [J]. Remote Sensing of Environment , 2006 , 104: 133 - 146.
- [4] 历 华, 曾永年, 柳钦火. 基于遥感的长沙市城市热岛与土地利用/覆盖变化研究[J]. 国土资源遥感, 2008(4) : 47 - 52.
- [5] 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.
- [6] Weng Q , Lu D , Schubring J. Estimation of Land Surface Temperature - Vegetation Abundance Relationship for Urban Heat Island Studies [J]. Remote Sensing of Environment , 2004 , 89: 467 - 483.
- [7] 岳文泽, 徐建华, 徐丽华. 基于遥感影像的城市土地利用生态环境效应研究[J]. 生态学报, 2006 , 26(5) : 1450 - 1460.
- [8] 徐涵秋. 城市不透水面与相关城市生态要素关系的定量分析[J]. 生态学报 2009 , 29(5) : 2456 - 2462.
- [9] 历 华, 柳钦火, 邹 杰. 基于 MODIS 数据的长株潭地区 NDBI 和 NDVI 与地表温度的关系研究 [J]. 地理科学, 2009 , 29(2) : 262 - 267.
- [10] 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[J]. 地理学报 2005 60(5) : 761 - 770.
- [11] Sobrino J A , Jiménez - Muñoz J C , Paolini L. Land Surface Temperature Retrieval from Landsat TM 5 [J]. Remote Sensing of Environment , 2004 , 90 (4) : 434 - 440.
- [12] Zhang J , Wang Y , Li Y. A C ++ Program for Retrieving Land Surface Temperature from the Data of Landsat TM/ETM + Band6 [J]. Computers and Geosciences , 2006 , 32 (10) : 1796 - 1805.
- [13] 覃志豪, Zhang M , Karnieli A , 等. 用陆地卫星 TM6 数据估算地表温度的单窗算法[J]. 地理学报, 2001 , 56(4) : 456 - 466.
- [14] Purevdorj T S , Tateishi R , Ishiyama T , et al. Relationships Between Percent Vegetation Cover and Vegetation Indices [J]. International Journal of Remote Sensing , 1998 , 19(18) : 3519 - 3535.
- [15] Zha Y , Gao J , Ni S. Use of Normalized Difference Built - up Index in Automatically Mapping Urban Areas from TM Imagery [J]. International Journal of Remote Sensing , 2003 , 24(3) : 583 - 594.
- [16] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI) 提取水体信息的研究[J]. 遥感学报, 2005 , 9(5) : 589 - 595.
- [17] Zhao H , Chen X. Use of Normalized Difference Bareness Index in Quickly Mapping Bare Areas from TM/ETM + [J]. Geoscience and Remote Sensing Symposium , 2005 , 3(25 - 29) : 1666 - 1668.
- [18] Carson T N , Gillies R R , Perry E M. A Method to Make Use of Thermal Infrared Temperature and NDVI Measurements to Infer Surface Soil Water Content and Fractional Vegetation Cover [J]. Remote Sensing Reviews , 1994(9) : 161 - 173.

The Relationship Between Urban Heat Island and Land Use/Cover Changes in Guangzhou City

SUN Qin - qin^{1, 2} , WU Zhi - feng^{2, 3} , TAN Jian - jun²

(1. College of Oceanography and Environmental Science , Xiamen University , Xiamen 361005 , China;

2. Guangzhou Institute of Geochemistry , Chinese Academy of Sciences , Guangzhou 510640 , China;

3. Guangdong Institute of Eco - environment and Soil Sciences , Guangzhou 510650 , China)

Abstract: In this paper , the land surface temperature (LST) was retrieved from Landsat TM image using the Mono - Window algorithm. To study the relationship between LST and different land use classes (LUC) , the authors used several indices , which included Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) , Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) , Normalized Difference Build - up Index (NDBI) , and Normalized Difference Barren Index (NDBaI) . It is found that the correlation between NDVI and LST is negative when NDVI is limited in range , and that there exist positive correlations between NDBI , NDBaI , MNDWI and LST. The multiple linear regression equation was established between LST , DEM and the above indices. Both qualitative and quantitative analytical results show that LUC can influence urban temperature. Therefore , with appropriate land use planning , the urban heat island (UHI) could be mitigated.

Key words: LUC; LST; Multiple linear regression; Guangzhou

第一作者简介: 孙芹芹(1983 -) ,女, 博士后, 主要研究方向为环境遥感和 GIS 应用。

(责任编辑: 李 瑜)