

# 城市地域地表温度 - 植被覆盖定量关系分析 ——以深圳市为例

张小飞<sup>1,2</sup>, 王仰麟<sup>1,2\*</sup>, 吴健生<sup>1,2</sup>, 李卫锋<sup>3</sup>, 李正国<sup>2</sup>

(1. 北京大学深圳研究生院, 深圳 518055; 2. 北京大学环境学院, 北京 100871;

3. Department of Landscape Architecture and urban Planning, Texas A & M University, USA)

**摘要:** 地表温度 - 植被覆盖间的关系一直是城市热岛研究的热点之一, 两者均为描述生态系统特征的重要参数。本文利用深圳市 2004 年的 ETM+ 影像, 基于遥感技术提取相关的下垫面类型、地表温度和植被覆盖等信息, 探讨不同下垫面类型对地表温度 - 植被覆盖关系的影响, 并结合分形维度计算方法, 比较不同分辨率下地表温度、植被覆盖及其相关关系的变化。研究表明, 植被覆盖程度与地表温度之间存在明显的负相关, 并且在不同的植被覆盖程度下, 地表温度 - 植被覆盖关系呈现分段线性关系。下垫面类型及其组合主要通过植被覆盖的分布对地表温度产生影响。而在不同空间分辨率下 (30m 至 960m), 地表温度和植被覆盖的空间变异程度均表现为先升后降, 在 120m 的分辨率下, 两者的相关程度达到最高。结果证实区域植被覆盖状况可直接影响辐射、热动力以及土壤水分等多种地表特征, 从而导致地表温度分异等。

**关 键 词:** 地表温度; 植被覆盖; 深圳

**文章编号:** 1000-0585 (2006) 03-0369-09

## 1 引言

城市地域的景观格局变化在不同尺度上对生态系统的结构与功能产生影响<sup>[1,2]</sup>。随着城市扩展和景观格局的演变, 区域整体生态环境状况和生态系统物质循环与能量流动也有相应改变<sup>[3,4]</sup>。其对气候的影响主要通过排放温室气体 (CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 等) 和改变下垫面性质等形式, 使得温度、湿度、风速以及降水发生变化, 导致局地与区域气候变化。城市地域由于粗糙度、风速等皆不利热量扩散, 造成了城市内部的气温比郊区高的现象<sup>[5]</sup>。由此产生的城市热岛效应是城市扩展对局地气候影响的重要例证<sup>[6,7]</sup>。城市扩展与热岛效应有密切的关系, 在很大程度上改变了城市地域下垫面的热力学特征, 对全球温度升高也有一定的影响<sup>[8]</sup>。

植被覆盖度 (vegetation fraction, 简称 Fv) 是衡量区域生态环境状况和性质的主要指标之一<sup>[9]</sup>。由于植被光合作用能够将大量光能富集转换为潜能, 从而减弱太阳辐射热效应, 因此植被覆盖能够有效降低地表温度<sup>[10]</sup>。植被覆盖度与地表温度 (land surface temperature, 简称 Ts) 间的关系一直是城市热岛研究的热点<sup>[11,12]</sup>。热环境遥感研究表明,

收稿日期: 2005-07-20; 修订日期: 2006-03-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40471002); 中国博士后科学基金项目 (2005038293)

作者简介: 张小飞 (1977-), 女, 台湾台中人, 北京大学深圳研究生院博士后。主要研究方向为景观生态学。

E-mail: lzg\_123@263.net

\*通讯作者: 王仰麟 (1963-), 男, 教授, 博士生导师。E-mail: ylwang@urban.pku.edu.cn

区域植被覆盖状况通过直接影响热辐射、热动力以及土壤水分等多种地表特征,导致地表温度分异<sup>[11~13]</sup>,两者存在显著的负相关关系<sup>[13]</sup>。不同的下垫面类型,由于具有不同的植被覆盖度,因而表现出不同的温度特征<sup>[14]</sup>。Weng 等在美国印第安纳州的研究表明,由于分辨率不同,植被覆盖度与地表温度的相关关系也会有明显变化<sup>[11]</sup>。对两者关系的定量分析,有助于更加准确、有效地认知不同生态格局之间的内在联系。

本文利用深圳市 2004 年的 ETM+ 影像,基于遥感技术提取相关的下垫面类型、地表温度和植被覆盖等信息,探讨不同下垫面类型对地表温度-植被覆盖关系的影响,并结合分形维度计算方法,分析不同分辨率下地表温度、植被覆盖及其相关关系的变化。

## 2 研究区与研究方法

### 2.1 研究区背景

深圳市位于广东省中南部沿海,陆地范围为东经 113°45'44" ~ 114°37'21", 北纬 22°26'59" ~ 22°51'49"。全市总面积 1952.84 km<sup>2</sup>, 其中特区 391.70 km<sup>2</sup>。深圳市地势东南高、西北低,地貌类型多样,其中丘陵面积最大,平原次之。属南亚热带海洋性季风气候,年平均温度 22.4℃, 年降水量 1948 mm, 夏季常有台风出现。

深圳市在 TM/ETM+ 影像上跨越左右两景,但目前的地表温度遥感反演模型难以实现多景数据间的无缝拼接。故本文选用时间为 2004 年 2 月 23 日,轨道号为 122-44 的左侧影像,该部分影像包括了深圳市域中西部 70% 的面积,且多为城市区域,因此能基本反映深圳市域植被覆盖状况与地表温度之间的关系。

### 2.2 下垫面类型划分

利用 TM 影像对地表信息反映较好的特点,根据地表覆被特征及地面调查对下垫面类型进行分类。采用 ETM+ 6 个波段影像(除全色波段和两个热红外波段),经过大气辐射校正和初步几何纠正,对照 1:10000 地形图选取控制点。根据地表覆被状况、人类活动的程度和空间分布,结合实地调查,从土地利用角度划分下垫面类型。共分为耕地、园地、林地、建设用地、水域、推平地 and 草地等 7 种类型(图版 1, 图 1-A)。

### 2.3 植被覆盖信息提取

利用遥感资料提取植被覆盖信息的方法,主要有植被指数法和混合像元法<sup>[15]</sup>。植被指数法主要是通过建立各种植被指数与植被覆被度的关系来反映植被覆盖程度,但当植被覆被度 < 50% 时,所得结果不太可靠。混合像元法基于地物光谱的混合模型,其认为地物尺度往往小于影像的空间分辨率,遥感影像像元特征是地表不同地物反射光谱的综合反映。在缺乏地面实测资料的情况下,该技术可以直接确定植被覆盖度<sup>[16,17]</sup>。

本研究利用基于混合像元法的线性光谱分离模型<sup>[18,19]</sup>提取深圳市植被覆盖信息。该模型假定混合像元的光谱是由该像元内的各类地物光谱的线性组合,具体指像元的光谱亮度值,是由构成像元的基本组分(Endmember)的光谱亮度值以其占像元面积的比例为权重系数的线性组合。可表示为:

$$R_i = \sum_{j=1}^n F_j \cdot RE_{ij} + \epsilon_i \quad \text{和} \quad \sum_{j=1}^n F_j = 1$$

式中,  $R_i$  是混合像元在  $i$  波段上的反射值,  $RE_{ij}$  是地表覆盖类型  $j$  在  $i$  波段上的反射值,  $F_j$  表示地表覆盖类型  $j$  在混合像元面积中的比例,  $\epsilon_i$  表示  $i$  波段对应的残差值。

操作主要在美国 RSI 公司开发的专业遥感信息处理软件 ENVI 4.0 中完成。对研究区

数据进行线性光谱分离处理的主要过程包括数据预处理、MNF (Minimum Noise Fraction) 变换、PPI (Pixel Purity Index) 处理、终端单元的收集、线性光谱分离、结果的检验与校正等。最后按植被覆盖程度划分为 100 级 (0 ~ 99)。

## 2.4 地表温度标定

城市热环境监测的主要信息源是陆地卫星 LANDSAT 的第六波段 (10.4 ~ 12.5 μm)，其影像分辨率达到 60m，远高于 NOAA 卫星，且图像近似正射，对于研究城市热环境更为有效。该波段的噪声水平折算成摄氏温度约为 0.5 左右。遥感热探测对象是城市下垫面地物的辐射温度 (实测为亮温)，这种辐射温度是将地物视为黑体，未经大气校正，以像元为单位的平均地面辐射温度<sup>[20,21]</sup>。用这种辐射温度场表征城市温度场称之为“城市亮温热场”。

ETM + 第六波段的亮温标定公式可以从 EOS 数据网关的官方手册中得到：

$$L = GAINS \times DN + BIASES$$

GAINS 和 BIASES 分别为影像数据的增益和偏差，可从头文件读取相应的增益和偏差。

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

$T_k$  为绝对亮温， $K_1 = 666.09 \text{ (Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1})$ ， $K_2 = 1281.71 \text{ (Kelvin)}$

## 2.5 剖面线分形维度计算

为了对地表温度和植被覆盖的空间格局进行定量评价，在此以市中心区为圆心，按等距角度设定样线 28 条 (图版 1，图 1 - B)，分别通过不同的下垫面类型。通过对不同剖面线温度和植被覆盖的分形维度计算，可加深了解城市热力表面及其植被表面的形态特征。

对于曲线的分维量测一般采用尺度变换法<sup>[22]</sup>。本文利用分割法 (Divider method) 计算不同样线的分形维度，该方法通过对样线表面长度与不同步长比值取对数来计算分形维度<sup>[11,23]</sup>，满足下式：

$$= \log \left[ 1 + \left( \frac{r}{b} \right)^{2(1-D)} \right]^{0.5}$$

式中， $L$  为样线表面长度， $r$  为像元大小， $b$  为步长， $D$  为分形维度， $\log$  为常数。

# 3 研究结果

## 3.1 地表温度 - 植被覆盖的定量关系

本文将 2004 年研究区植被覆盖度分布图 (图版 1，图 1 - C) 以 5% 为间隔等分为 20 级，分别统计每个级别内地表温度的平均值。结果表明，植被覆盖度高的地区，地表温度明显低于植被覆盖度低的区域 (图 2 - A)。但由于全市域地形地貌条件差异较大，海拔和坡向影响了地表温度与植被覆盖度的关系。为降低地形地貌所造成的差异，进一步选取海拔 50 米以下的城市建成区作为研究范围，分析地表温度与植被覆盖的定量关系。

建成区植被覆盖度与地表温度的曲线图呈现明显的分段函数特征 (图 2 - B、C)，即在不同的植被覆盖水平下，植被的降温效果是有显著差别的。在植被覆盖度为 0 ~ 50% 之间时，植被覆盖度与地表温度呈现一定的线性关系。为此，将建成区植被覆盖图继续细分，以 1% 为间隔等距分为 100 级，分别统计每级别内的地表平均温度。结果表明，植被覆盖度在 0 ~ 25% (图 2 - B)，25 ~ 50% (图 2 - C) 时，植被覆盖度与地表温度呈现不同的线性特征。两条拟合直线的  $R^2$  均很高，表明植被覆盖度与地表温度的线性关系非常显

著。前者的斜率为 - 0.06 左右，即植被覆盖度上升 10 %，可以降低地表温度 0.6 ；后者的斜率为 - 0.03，即植被覆盖度上升 10 %，能够有效降低地表温度 0.3 。这一定量关系表明，在较低植被覆盖水平下，提高植被覆盖度所起到的降温效果比较高植被覆盖区域要显著。例如，无植被覆盖区如果能够将植被覆盖水平提高到 25 %，其降温效果可达 1.5 以上。

3.2 下垫面类型对地表温度 - 植被覆盖关系的影响

为深入分析植被覆盖与地表温度的内在关系，将下垫面类型分别与植被覆盖和地表温度进行叠加分析。比较各下垫面类型的地表温度和植被覆盖度均值、标准差，结果显示（见表 1），除水域以外，地表温度均值最低为林地（16.38 ），其标准差也较小（1.10），建设用地和推平地的地表温度最高（18.39 和 18.69 ），其中建设用地的标准差最大，而推平地标准差最小。而从植被覆盖度的比较可见，林地具有最高的植被覆盖度（57.85 %），其标准差也较大（0.24），而建设用地和推平地的植被覆盖度仅高于水体（12.11 %和 10.09 %）。该结果意味着水体由于其自身的热容量大，降温效果最为明显；林地具有较高的植被覆盖度，相应地表温度最低，而城市开发形成的推平地由于对植被覆盖的铲除，这种极端的下垫面类型变化导致的地表平均温度的上升 2.0 以上，而城市建设用地由于内部具有绿化带，温度总体上虽然偏高，但内部的变异显著加大。

为阐明不同下垫面类型组合对地表温度 - 植被覆盖度关系的影响，利用上文选取的 28 条样线，计算各种下垫面类型组合下地表温度 - 植被覆盖度的相关系数（表 2），统计结果表明，通过大片林地的样线（例如，样线 9、13 和 14），两者相关系数达 0.50 以上；通过建成区和推平地为主的样线（例如，样线 2、10、15 和 21），相关系数也较高；耕地、园地和草地等下垫面类型，相关系数则较适中，而水体的相关系数最低。可见，提高植被覆盖度

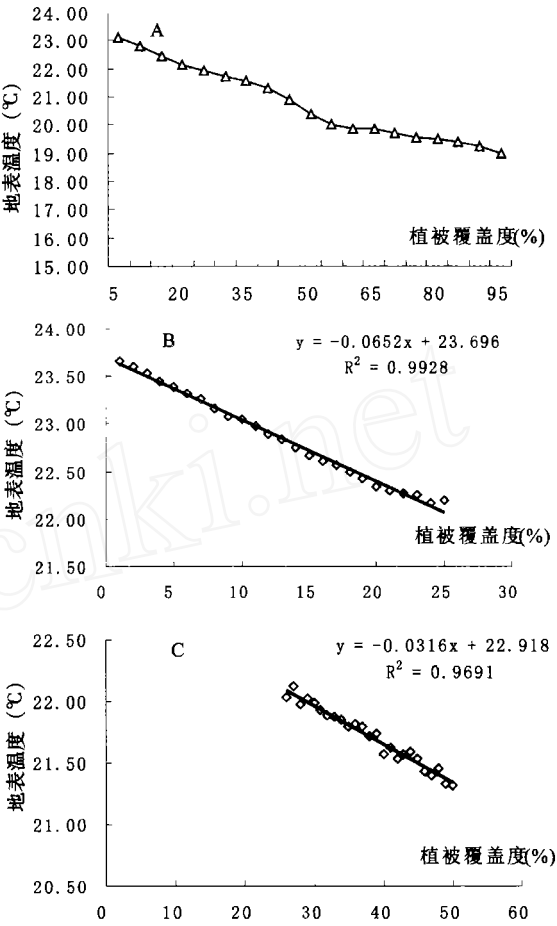


图 2 植被覆盖度与地表温度的线性关系  
Fig. 2 Linear relationship between Fv and Ts

表 1 各下垫面类型的地表温度及植被覆盖度  
Tab 1 Ts and Fv in each land cover type

下垫面类型	地表温度 ( )		植被覆盖度 ( % )	
	平均值	标准差	平均值	标准差
耕地	17.38	1.19	33.12	0.20
园地	17.40	1.15	32.23	0.18
林地	16.38	1.10	57.85	0.24
建设用地	18.39	1.72	12.11	0.14
水域	15.25	1.13	2.05	0.02
草地	16.97	1.61	45.34	0.24
推平地	18.69	1.04	10.09	0.13

可降低温度，但对于不同的下垫面类型，其降温效果却不相同。其中，提高建设用地及推平地的植被覆盖度，降温效果最为显著；而进一步提高耕地、园地及草地的植被覆盖度，其温度变化并不大。总体而言，不同下垫面类型的温度差异，在很大程度上是由于植被覆盖水平的不同引起的。

表 2 各样线的下垫面类型组成及相应的 Ts-Fv 相关系数

Tab 2 Land cover composition characteristics of the transects and correlation between Ts and Fv

样线序号	下垫面类型比例 (%)							Ts 与 Fv
	耕地	园地	林地	建设用地	水域	草地	推平地	相关系数 *
1	0.00	1.26	3.79	40.33	20.99	8.98	24.65	-0.43
2	0.46	8.23	1.11	60.68	6.57	2.96	19.98	-0.42
3	3.57	19.47	15.83	35.95	7.42	2.64	15.12	-0.42
4	2.98	27.90	21.61	23.13	15.33	0.70	8.34	-0.40
5	1.68	22.44	25.36	30.94	7.19	3.24	9.14	-0.45
6	5.34	17.14	35.29	23.28	5.77	2.94	10.25	-0.46
7	1.10	16.03	35.04	31.22	2.07	1.03	13.51	-0.48
8	2.53	9.84	20.86	42.88	1.46	3.41	19.01	-0.46
9	2.44	5.87	48.50	27.46	2.88	3.21	9.63	-0.52
10	6.35	13.04	16.95	54.51	0.89	0.45	7.80	-0.49
11	3.80	12.40	23.85	42.12	1.17	0.84	15.81	-0.47
12	2.24	11.40	38.87	35.73	7.45	2.08	2.24	-0.51
13	4.70	7.08	60.36	20.51	4.64	0.72	1.99	-0.55
14	0.38	5.15	61.66	26.27	1.45	2.07	3.02	-0.57
15	0.63	5.58	2.53	55.26	10.84	2.53	22.63	-0.49
16	1.80	9.08	6.70	47.67	9.57	3.76	21.42	-0.45
17	0.29	0.88	1.02	47.88	31.82	0.73	17.37	-0.30
18	2.35	17.96	18.93	23.92	18.70	1.61	16.52	-0.36
19	3.98	20.89	24.93	29.62	5.35	2.56	12.66	-0.45
20	0.90	8.48	43.66	34.95	2.38	0.45	9.16	-0.52
21	0.90	7.71	14.65	67.22	0.26	0.00	9.25	-0.51
22	3.17	9.52	37.13	32.08	2.94	5.29	9.87	-0.50
23	1.49	14.50	25.48	34.09	5.27	2.28	16.87	-0.45
24	2.17	17.94	35.22	24.39	3.17	1.17	15.94	-0.46
25	2.97	17.87	33.96	30.35	1.35	2.92	10.58	-0.49
26	3.32	8.85	35.12	36.46	4.56	5.04	6.65	-0.50
27	3.07	8.95	43.57	24.58	9.40	0.45	9.99	-0.47
28	0.12	2.71	68.19	22.75	4.04	1.79	0.40	-0.58
Ts 与 Fv 相关系数 *	-0.31	-0.39	-0.64	-0.55	-0.22	-0.52	-0.14	

\*通过 0.05 的显著性水平检验 (correlation significant at 0.05 level)

3.3 地表温度 - 植被覆盖关系的尺度效应

相关研究表明，由于分辨率不同，植被覆盖度与地表温度的相关系数会相应变化。本文分别将 30m 分辨率的地表温度和植被覆盖率分布图重采样至 60、120、240、480 和 960m，利用选定的样线，分析不同分辨率下地表温度与植被覆盖度的空间格局。从剖面线的变化趋势来看，随着分辨率的加大，像元之间不断聚合，地表温度与植被覆盖度的表面变得更为平滑。

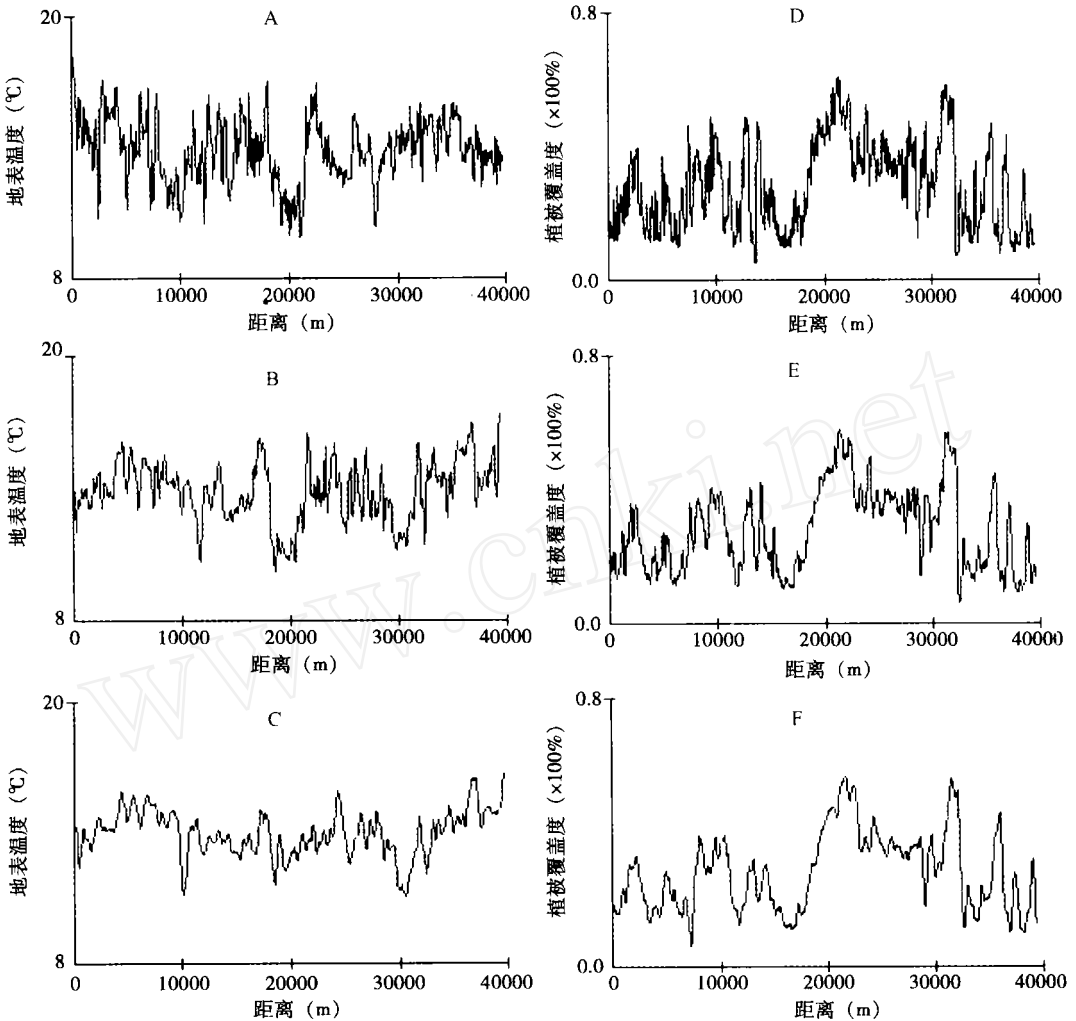


图 3 不同分辨率下样线 11 的地表温度和植被覆盖率剖面曲线

Fig 3 Example (# 11) of transects derived from the aggregated images of Ts and Fv in different resolutions

在此选取 11 号样线为例，该样线从城市中心区向西北方向延伸，途经各种下垫面类型，具有较强代表性。从图 3 所示，在分辨率从 60m 变化至 240m 的过程中，样线中众多的波峰和波谷被聚合，只有大的起伏变化被保留，整条样线变得更为平滑，从而可以观察该样线方向植被覆盖度与地表温度的主要变化趋势。通过对两类样线的比较(图 3A - F)，可见地表温度的波峰往往对应植被覆盖度的波谷。进一步通过计算该样线温度的分形维度值可知，其在 30m 下值为 1.35，到 60m 则为 1.51，120m 达到 1.64，随后开始下降(表 3)。总体上，地表温度和植被覆盖度表面的负相关程度在不同分辨率下均较为显著，而且随着分辨率的提升，地表温度和植被覆盖度的主要变化趋势被凸显，从而强化了两者的相关关系，但随着分辨率进一步加大，主要变化趋势被模糊，两者相关程度开始下降。

结合各样线的下垫面类型组合信息(表 2)可见，具有较高分形维度的样线往往通过较多的下垫面类型或各类型组成比例相对均匀，由于其地表空间结构相对复杂，使得地表

温度和植被覆盖的空间变异加强。相关研究表明，下垫面类型改变，尤其是城市发展所形成的建筑物、道路、公园以及绿地等取代了原先的地表类型，使得地表的热力性质产生明显反差，表现出较高的分形维度<sup>[24]</sup>。通过对表 3 的统计分析，通过大面积城市建成区的样线具有相对较低的分形维度，相应的城市建设用地比例和分形维度的相关系数为 - 0. 72。该结果表明当城市建设用地占据区域主导地位时，地表热力性质将会同质化。

通过计算不同分辨率下地表温度和植被覆盖度的分形维度（表略），可见空间尺度对植被覆盖度和地表温度具有类似的影响，均表现为 120m 分辨率下，空间变异程度最强，而下垫面类型组成对地表温度的分形维度影响更为明显，其取值范围在 1. 38 至 1. 65 之间变化。而通过植被表面的样线具有更低的分形维度，其取值范围在 1. 01 至 1. 03 之间变化。造成植被表面分形维度较低的原因主要由于采用了标准化数据的计算结果。在利用线性光谱分离法提取植被覆盖信息时，需要进行 MNF 变换、提取纯净像元以及像元分离等操作，上述操作均进行了数据标准化的处理。

对地表温度和植被覆盖度的分形维度进行相关分析，结果表明，两者的相关系数在不同分辨率下从 0. 43 变化至 0. 61，其中在 120m 下相关性最大（表 3），随后下降。可以认为两者空间变异具有明显的负相关性。

总体而言，地表温度和植被覆盖的空间变异程度在 120m ~ 240m 分辨率下达到最高，其代表了热力景观和植被景观格局在空间的特征尺度。

表 3 不同分辨率下各下垫面类型 Ts- Fv 相关系数

Tab 3 Correlation between Ts and Fv across resolutions in each land cover type

下垫面类型	分辨率 (m)					
	30	60	120	240	480	960
耕地	- 0. 31	- 0. 36	- 0. 41	- 0. 39	- 0. 37	- 0. 35
园地	- 0. 39	- 0. 39	- 0. 41	- 0. 39	- 0. 37	- 0. 34
林地	- 0. 64	- 0. 70	- 0. 74	- 0. 73	- 0. 69	- 0. 65
建设用地	- 0. 55	- 0. 58	- 0. 59	- 0. 59	- 0. 58	- 0. 55
水域	- 0. 22	- 0. 25	- 0. 26	- 0. 25	- 0. 22	- 0. 22
草地	- 0. 52	- 0. 54	- 0. 57	- 0. 56	- 0. 56	- 0. 54
推平地	- 0. 14	- 0. 18	- 0. 19	- 0. 16	- 0. 15	- 0. 12
Ts 与 Fv 相关系数 *	- 0. 43	- 0. 52	- 0. 61	- 0. 58	- 0. 52	- 0. 47

\*通过 0. 05 的显著性水平检验 (correlation significant at 0. 05 level)

4 结论与讨论

植被覆盖通过吸收和转化太阳辐射能量，可以有效降低地表温度。由于人为活动和下垫面类型的影响，在城市地域两者之间的关系变得更为复杂。下垫面性质的改变，是城市热岛效应增强的重要原因。城市地域绿化覆盖率的高低对城市环境改善起着主导作用，对 2004 年深圳市建成区植被覆盖度与下垫面温度的研究结果表明，植被覆盖度小于 25 % 时，植被覆盖度上升 10 % 可以起到降温 0. 6 的效果；植被覆盖度在 25 % 至 50 % 时，相应的降温幅度下降到 0. 3 。

不同的下垫面类型由于具有不同的植被覆盖水平，温度分布也有明显差异，并且在下垫面类型下，提升植被覆盖度所起的降温效果也有明显差异，总体而言，降温效果从大到小依次为林地、推平地、建设用地、园地、草地、耕地和水体。另外，植被覆盖度

与地表温度的相关关系具有明显的尺度效应,不同分辨率下分形维度计算结果表明,植被覆盖度与地表温度空间变异程度均在 120m 左右达到最大,反映了相应格局和过程的特征尺度。

目前,城市热岛效应的遥感监测,许多研究都通过建立地面实地观测数据与影像数据的拟合模型来进行,本研究未能获取深圳市的地面观测数据。此外,由于未能获取夏季遥感影像,因此没有进行夏季热岛效应的研究。夏季植被覆盖的降温效果,也应当高于冬季。如能补充夏季城市热岛效应的遥感研究,将使植被覆盖与地表温度的关系研究更加全面。

### 参考文献:

- [1] Forman R T T, Godron M. Landscape Ecology. New York: Wiley, 1986.
- [2] Forman R T T. Land Mosaics-the Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge University Press, 1995.
- [3] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [4] Wu Jianguo, Jelinski D E, Luck Matt, *et al.* Multiscale analysis of landscape heterogeneity: scale variance and pattern metrics. *Geographic Information Sciences*, 2000, 6(1): 6~19.
- [5] 汤君友, 杨山, 赵锐. 无锡市城镇用地变化及其环境效应研究. *国土资源遥感*, 2002, (3): 16~18.
- [6] 周红妹, 周成虎, 葛伟强, 等. 基于遥感和 GIS 的城市热场分布规律研究. *地理学报*, 2001, 56(2): 189~197.
- [7] Weng Q. A remote sensing: GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22: 1999~2014.
- [8] 李晓兵. 国际土地利用——土地覆盖变化的环境影响研究. *地球科学进展*, 1999, 14(8): 395~400.
- [9] 朴世龙, 方精云. 最近 18 年来中国植被覆盖的动态变化. *第四纪研究*, 2001, 21(4): 294~302.
- [10] 杨士弘, 等. 城市生态环境学. 北京: 科学出版社, 2003. 75~82.
- [11] Weng Q, Lu D, Schubring J. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 89: 467~483.
- [12] Makoto Y, Robert D, Yoshitake K, *et al.* The cooling effect of paddy fields on summertime air temperature in residential Tokyo, Japan. *Landscape and Urban Planning*, 2001, 53: 17~27.
- [13] Campbell J B. Introduction to Remote Sensing. (3rd edn.). New York: The Guilford Press, 2002.
- [14] Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 79: 213~224.
- [15] 陈晋, 陈云浩, 何春阳, 史培军. 基于土地覆盖分类的植被覆盖率估算亚像元模型与应用. *遥感学报*, 2001, 5(6): 416~422.
- [16] 赵英时. 美国中西部沙山地区环境变化的遥感研究. *地理研究*, 2001, 20(2): 213~219.
- [17] 万军, 蔡运龙. 应用线性光谱分离技术研究喀斯特地区土地覆被变化——以贵州省关岭县为例. *地理研究*, 2003, 22(4): 439~446.
- [18] Hill J, Hoster P, Tsiouris G, *et al.* Monitoring 20 years of increased grazing impact on the Greek Island of Crete with earth observation satellites. *Journal of Arid Environments*, 1998, 39: 165~178.
- [19] Adams J B, Smith M O, Johnson P E. Spectral mixture modeling: a new analysis of rock and soil types at the Viking Lander I Site. *Geophys. Res.*, 1986, 91: 8098~8112.
- [20] 李旭文. 苏南大运河沿线城市热岛现象的卫星遥感分析. *国土资源遥感*, 1993, (4): 28~33.
- [21] 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. 北京: 科学出版社, 2004.
- [22] Lam N S N. Description and measurement of Landsat TM images using fractals. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1990, 56: 187~195.
- [23] Brown S R. Measuring the dimension of self-affine fractals: Examples of rough surfaces. In: C C Barton, P R LaPointe (Eds.). *Fractals in the Earth Sciences* (pp. 77, 87). New York: Plenum, 1995.
- [24] Weng Q. Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2003, 69: 555~566.



## Study on land surface temperature vegetation cover relationship in urban region a case in Shenzhen City

ZHANG Hsiao-fei<sup>1,2</sup>, WANG Yang-lin<sup>1,2</sup>, WU Jian-sheng<sup>1,2</sup>,  
LI Wei-feng<sup>3</sup>, LI Zheng-guo<sup>2</sup>

(1. Graduate School of Shenzhen, Peking University, Shenzhen 518055, China;

2. College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China;

3. Department of Landscape Architecture and Urban Planning, Texas A & M University, USA)

**Abstract :** Studies on urban heat islands (UHIs) have traditionally focused on relationship between vegetation fraction (Fv) and land surface temperature (Ts), which are important parameters to describe characters of ecosystem. The objectives of this study are: (1) to derive Ts and analyze their spatial variations using Landsat ETM+ thermal measurements; (2) to apply linear spectral mixture analysis to estimate Fv of urban vegetation abundance; and (3) to investigate the relationship between Ts and Fv derived vegetation abundance using conventional statistics and fractal analysis.

Based on examination of a Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) image of Shenzhen city, acquired on February 23, 2004, the landscape classification of Shenzhen is conducted on supervised classification and interactive modification, and the applicability of Fv is investigated as an alternative indicator of vegetation abundance, and Ts is derived from ETM+ thermal infrared (TIR) data. To examine the spatial patterns of Ts and Fv, 28 transects (profiles) are drawn across through the center of the city on the image. Since these transects pass over various landscapes with different environmental settings, an inquiry into the fractal characteristics of the profiles using the divider method will help to understand the factors shaping the city's thermal and vegetative landscape and lead to the development of UHIs. The use of fractals for analyzing TIR images will improve our understanding of the thermal behavior of different land cover types.

Results demonstrate that Ts possessed a slightly stronger negative correlation with the Fv for all land cover types across the spatial resolution (30 to 960 m). Fractal analysis of image texture shows that the complexity of these images increased initially with pixel aggregation and peaked around 120 m, but decreased with further aggregation. Correlations reached the strongest at a resolution of 120 m, which is believed to be the operational scale of Ts and Fv. The spatial variability of texture in Ts is positively correlated with those in Fv. The interplay between thermal and vegetation dynamics in the context of different land cover types leads to the variations in spectral radiance and texture in Ts. It is suggested that the areal measure of vegetation abundance by unmixed vegetation fraction has a more direct correspondence with the radiative, thermal, and moisture properties of the Earth's surface that determines Ts.

**Key words :** land surface temperature; vegetation cover; Shenzhen

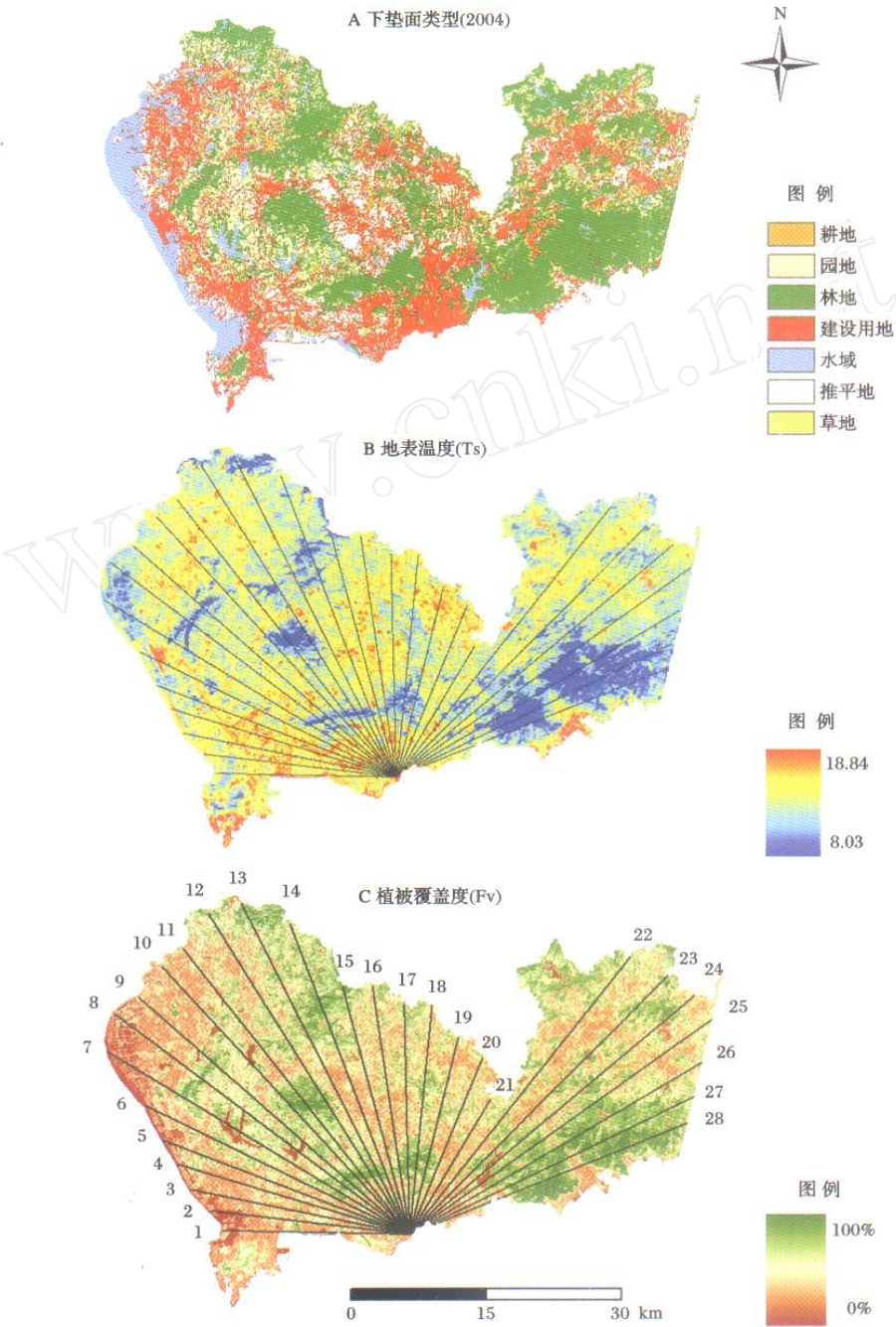


图 1 下垫面类型、温度与植被覆盖度的空间分布 (包括样线的设定和排序)

Fig.1 Geospatial distribution of land cover type, Ts, and Fv (Transect lines are superimposed and numbered)