

# 基于 TM 遥感影像的广州市城区公园增湿效应研究<sup>\*</sup>

苏泳娴<sup>1,2,3</sup> 陈修治<sup>1,2,3</sup> 黄光庆<sup>1</sup> 张虹鸥<sup>1</sup>

(1. 广州地理研究所, 广州 510070; 2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640;  
3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 选取广州市城区 17 个公园作为研究对象, 分析了公园对周边环境的增湿效应。结果表明, 公园周边与公园边界点的空气湿度差随着其远离公园边界距离的增大而增加, 且增长趋势逐渐减缓, 拟合曲线近似于一条过原点的三次多项式 ( $R^2 > 0.80$ )。绿化率大于 50%、长宽比接近 1 的公园, 其平均增湿范围和增湿湿度差均与绿地面积存在显著的正线性关系 ( $R^2$  分别为 0.94 和 0.77)。水体面积比例较大或长宽比较大 (约  $\geq 2$ ) 的公园, 比同等条件下水体面积较小或长宽比较小的公园 ( $\approx 1$ ) 增湿效果好。

**关键词:** 城市公园; 绿地; 水体; 增湿效应; 城市生态环境; 遥感

中图分类号: Q143 文献标识码: A 文章编号: (K) 12088(原 1002-1264)(2012)04-0014-05

## Study on Humidifying Effects of Guangzhou Urban Parks Using TM Remote Sensing Imagery

SU Yong-xian<sup>1,2,3</sup>, CHEN Xiu-zhi<sup>1,2,3</sup>, HUANG Guang-qing<sup>1</sup>, ZHANG Hong-ou<sup>1</sup>

(1. Guangzhou Institute of Geography, Guangzhou 510070, China; 2. Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou 510640, China; 3. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Seventeen urban parks in Guangzhou were selected as a study area to analyze the humidifying effects surrounding these urban parks. The results showed that the air humidity differences between park surroundings and park boundaries increase as distance away from the park boundary increases with growth trend becoming slower and slower. The fitting curve is similar to a cubic polynomial passing through the origin point. The average humidification ranges and differences of urban parks, whose green areas are larger than 50% and length-width ratios are closely to 1, are both linear related to park green areas ( $R^2 = 0.94$  and  $0.77$ , respectively). Parks with larger proportion of water areas or larger length-width ratios (approximately  $\geq 2$ ) have more apparent humidification effects than other parks.

**Key words:** urban park; green area; water area; humidification effect; urban ecology and environment; remote sensing

早在 1971 年 Federer<sup>[1]</sup> 就发现城市植被能够通过光合作用、蒸腾蒸散作用降温增湿, 缓解城市“热岛效应”。大量学者<sup>[2-5]</sup> 分别对潮湿季节、干燥季节、白天、黑夜、市郊、城区、闹市区、非闹市区、稀疏植被区、浓密植被区的绿地降温增湿效应进行了研究, 发现绿地降温温差一般在  $1 \sim 6^\circ\text{C}$ , 增湿湿度差一般在  $3.2\% \sim 10\%$ 。城市绿地的降温增湿效应不仅在城区与市郊的大尺度空间上存在差异, 而且在小尺度空间上(不同下垫面)也存在显著差异; 不仅在大尺度时间(季节、月份)上存在差异, 而且在小尺度时间(日、时、刻)上也存在较大差异。总结发现<sup>[6,7]</sup> 太阳辐照量、空气湿度、绿地面积、绿地形状、叶面积指数、生物量等是影响城区绿地降温增湿效应的主要因素。但是目前关于城区绿地增湿效应定量模型以及与影响因素定量关系的研究较少。随着遥感技术的发展, 热红外遥感

为研究绿地增湿效应提供了新的方法<sup>[8,9]</sup>。本文利用 TM 遥感影像模拟广州市城区的空气湿度, 选取广州市城区 17 个公园作为研究对象, 分析公园绿地对周边环境的增湿效应, 并建立定量模型, 进而分析公园特征参数(绿地面积、公园形状、水体面积等)与公园增湿效应之间的定量定性关系。

## 1 研究区域

广州市位于亚热带地区, 年总辐射量  $4400 \sim 5000 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , 年日照时数  $1770 \sim 1940 \text{ h}$ , 年平均气温  $20 \sim 22^\circ\text{C}$ 。本研究选取麓湖公园、越秀公园、流花湖公园、广州起义烈士陵园、黄花岗七十二烈士陵园、广州动物园、荔湾湖公园、天河公园、珠江公园、青年公园、东风公园、醉观公园、人民公园、雕塑公园、三元里抗英斗争纪念公园、东湖公园、晓港公园 17 个公

\* 基金项目: 国家自然科学基金项目(41001385, 40771218); 广东省自然科学基金项目(10451007003005043)

收稿日期: 2011-09-03; 修订日期: 2012-07-03

园作为研究对象(表1)。

表1 广州市城区17个公园的详细信息

名称	所属区	面积(m <sup>2</sup> )	绿地面积(m <sup>2</sup> )	绿地比例(%)	水体面积(m <sup>2</sup> )	水体比例(%)	长宽比
天河公园	天河区	71.84	51.02	71.02	7.68	10.70	1.20
珠江公园	天河区	27.17	23.20	85.39	0.69	2.55	1.54
广州动物园	越秀区	36.63	28.38	77.47	1.88	5.14	2.86
黄花岗七十二烈士陵园	越秀区	13.45	10.81	80.40	0.10	0.71	1.63
广州起义烈士陵园	越秀区	19.59	12.77	65.17	1.05	4.92	2.67
越秀公园	越秀区	91.79	63.88	69.59	4.27	4.65	1.01
流花湖公园	越秀区	65.91	30.84	46.80	28.68	43.52	3.22
荔湾湖公园	荔湾区	29.61	11.62	39.26	12.89	43.53	2.74
麓湖公园	白云区	173.38	138.36	79.80	22.63	13.05	1.25
青年公园	荔湾区	4.03	0.32	80.60	0	0.00	1.71
东风公园	越秀区	5.24	4.18	79.94	0.20	3.74	1.56
醉观公园	荔湾区	5.70	5.09	89.43	0	0.00	1.27
人民公园	越秀区	6.96	6.95	99.79	0	0.00	1.4
雕塑公园	白云区	50.51	49.71	98.41	0.80	1.59	5.47
三元里抗英斗争纪念馆	白云区	1.82	1.82	99.90	0	0.00	1.05
东湖公园	越秀区	49.46	29.31	59.26	20.15	40.74	2.64
晓港公园	海珠区	16.95	12.70	74.90	4.25	25.10	1.71

## 2 数据采集与研究方法

### 2.1 数据

遥感数据:选取2009年10月17日Landsat-5 TM遥感影像,使用TM影像的第2、第5波段将水体识别出来,使用TM影像的第3、第4波段将植被和裸地识别出来,使用TM影像的第6波段进行地面空气湿度的模拟。

地面数据:2009年10月15日至10月19日中午11:00~14:30时间段,选择广州市越秀区、天河区、白云区、海珠区等不同土地利用类型(植被、裸地、水体)有代表性的点,使用BODACH SUP03-MID10红外自动测温仪对地表温度进行测量,使用CENTER313温湿度计对空气温度与空气湿度进行观测,共获取观测样点139个。

### 2.2 研究方法

首先,针对不同土地利用类型(植被、裸地、水体),使用BODACH SUP03-MID10红外自动测温仪进行0m地表温度观测,使用台湾群特温湿度表进行1.6m空气温度以及空气湿度观测;然后利用SPSS软件将实测地表温度与空气温度数据进行回归分析,建立不同土地利用类型上的地表温度与空气温度之间的关系模型,以及不同土地利用类型上的空气温度与空气湿度之间的关系模型;同时,基于TM遥感影像,使用混合像元分解技术将广州市城区下垫面粗略划分为植被、裸地、水体等3种类型,并利用覃志豪<sup>[10]</sup>的单窗口算法,模拟广州市城区地表温度;然后基于地

表温度与空气温度之间的关系反演广州市城区的空气温度,基于空气温度与空气湿度之间的关系反演广州市城区的空气湿度;进而分析公园周边空气湿度的分布规律,并提取广州市17个公园的特征参数(公园面积、绿地面积、绿地比例、水体面积、水体比例、长宽比等),分析公园对周边增湿效应与这些特征参数之间的关系。

## 3 结果与讨论

### 3.1 TM影像模拟地表温度、空气温度和空气湿度

实测数据显示:水体、植被和裸地的地表温度和空气温度呈现不同斜率的正线性相关关系(图1);植被的空气温度与空气湿度呈显著的线性负相关关系,裸地的空气温度与空气湿度呈显著的分段线性负相关关系,而水体的空气温度与空气湿度之间则无显著相关关系(图2)。本文首先利用覃志豪<sup>[10]</sup>单窗口地表温度反演方法,反演广州市城区2009年10月17日的地表温度(图3a),并进一步将城区下垫面粗略划分为水体、植被覆盖地区、裸地3种土地利用类型,利用不同土地利用类型空气温度与地表温度的经验关系(图1)模拟广州市城区空气温度(图3b),然后利用不同土地利用类型空气湿度与空气温度之间的经验关系式(图2),从广州市城区空气温度反演得到广州市城区空气湿度(图3c)。结果显示,广州市城区裸地的空气湿度基本在36%以下,而有植被覆盖的地方,其空气湿度均在45%以上,可见绿地对于增加空气湿度有着明显的作用。

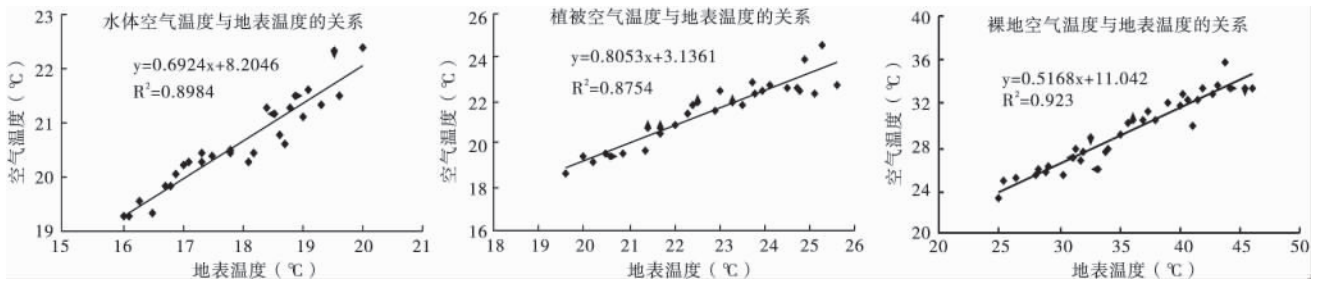


图1 不同土地利用类型上空气温度与地表温度的经验关系

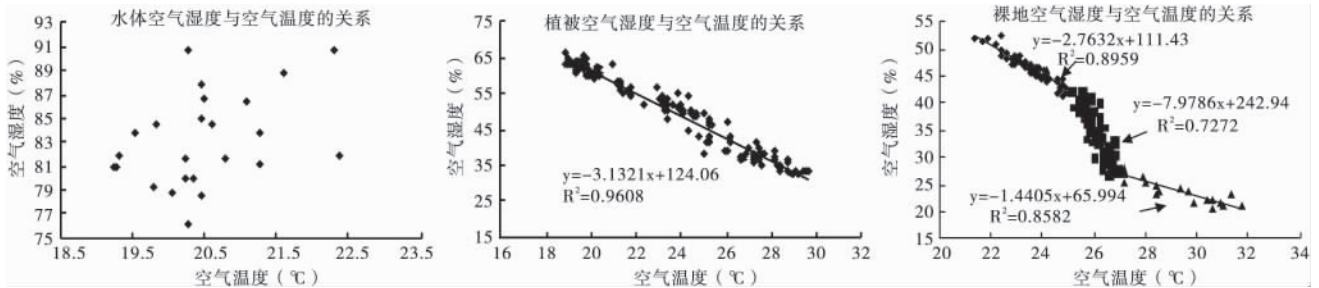


图2 不同土地利用类型上空气湿度与空气温度的经验关系



图3 广州市城区(a)地表温度、(b)空气温度和(c)空气湿度分布图

### 3.2 公园对周边环境的增湿效应

由于公园周边环境比较复杂,建筑物的阴影、绿化带、水体以及其他单棵或带状树木等都会对气温、空气湿度产生影响,因此需要排除上述因素的影响,减少分析公园对周边环境增湿效应的难度。本文在选点时,结合 TM 遥感影像和同一时期准同步 Quick-bird 遥感影像,对 17 个公园周边进行空旷区域鉴别,选取公园周边空旷区(即只有路面或者矮房,没有高层楼房、绿化带、水体的区域)作为主要研究区域,在空气湿度图上选取 303 条测线。本文进一步以测线上公园周边采样点与公园边界点的湿度差  $\Delta H(L)$  为因变量,以公园周边采样点远离公园边界点的距离 ( $L$ ) 为自变量,进行拟合分析,经过最优模拟筛选发现,三次多项式能很好的拟合 17 个公园周边的增湿曲线 ( $R^2 > 0.8$ )。结果显示  $\Delta H(L)$  随着  $L$  的增加而减小,并逐渐趋近于一个常数 ( $\Delta H_{max}$ ),此时对应的  $L$  值就是公园对周边空气湿度影响的最大距离  $L_{Hmax}$ ;当  $L$  小于  $L_{Hmax}$  时,  $\Delta H(L)$  是一个关于  $L$  的三次多项式(公式 1),当  $L$  大于  $L_{Hmax}$  时,  $\Delta H(L)$  是一条数值等于  $\Delta H_{max}$  的直线。对公式 1 进行求导,得出极值点,即可

推导出  $L_{Hmax}$  的计算公式(公式 2)和  $\Delta H_{max}$  的计算公式(公式 3)。

$$\Delta H(L) = aL^3 + bL^2 + cL \quad 0 \leq L \leq L_{Hmax} \quad (1)$$

$$L_{Hmax} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 3ac}}{3a} \quad (2)$$

$$\Delta H_{max} = \frac{2b^3 + (2b^2 - 6ac)\sqrt{b^2 - 3ac} - 9abc}{27a^2} \quad (3)$$

其中  $a$ 、 $b$ 、 $c$  分别是三次多项式中三次项、二次项以及一次项的拟合系数。

利用公式 2 和 3,本文进一步计算了 17 个公园 303 条测线对应的增湿影响范围  $L_{Hmax}$  和最大增湿湿度差  $\Delta H_{max}$ ,按公园取平均,最终得到每个公园的平均增湿影响范围  $L_{Hmax}$  和平均最大湿度差  $\Delta H_{max}$ (表 2)。将公式推导的 17 个公园的平均增湿影响范围  $L_{Hmax}$  和最大增湿湿度差  $\Delta H_{max}$  与图像实测的增湿范围和最大湿度差做比较,结果发现,平均  $L_{Hmax}$  误差介于 5.74 ~ 10.70m 之间,误差均方根介于 1.90 ~ 4.66m 之间,平均  $\Delta H_{max}$  误差在 0.95% ~ 3.49% 之间,误差均方根在 0.64% ~ 2.04% 之内,可见,公式模拟的增湿范围和增湿湿度差精度良好。

表 2 17 个公园的平均增湿范围和平均增湿湿差

公园名称	平均 $L_{H_{max}}$ (m)			平均 $\Delta H_{max}$ (%)		
	公式计算值	平均误差	误差均方根	公式计算值	平均误差	误差均方根
天河公园	200	10.70	3.23	-10.36	3.49	2.04
珠江公园	64.45	8.89	3.38	-3.03	2.18	0.91
动物园	120.11	9.14	3.33	-3.58	1.09	0.86
黄花岗七十二烈士陵园	85.20	7.28	4.22	-3.84	2.16	1.55
广州起义烈士陵园	136.95	8.91	4.59	-2.21	1.94	1.56
越秀公园	159.63	6.59	2.63	-8.78	2.05	1.24
流花湖公园	280.63	7.04	4.66	-12.19	1.80	1.16
荔湾湖公园	309.21	6.14	2.92	-13.21	1.96	1.16
麓湖公园	246.28	10.18	3.19	-15.39	2.21	1.41
青年公园	65.41	6.02	3.29	-3.03	2.51	0.79
东风公园	49.59	9.73	2.62	-6.66	1.74	0.63
醉观公园	58.88	8.70	3.49	-7.36	2.06	1.29
人民公园	60.84	6.86	3.22	-3.30	0.95	0.64
雕塑公园	102.98	9.29	2.95	-10.16	1.18	0.67
三元里抗英斗争纪念公园	34.37	8.48	3.58	-2.73	2.10	0.89
东湖公园	238.62	9.09	1.90	-20.19	1.36	0.90
晓港公园	80.21	5.74	2.67	-7.06	1.73	1.02

### 3.3 公园对周边环境增湿效应的影响因素分析

可见,各公园的平均增湿影响范围(49.59 ~ 309.21m)和平均增湿湿差(-2.21% ~ -20.19%)均不相同(表2),最大增湿影响距离相差将近259.62m,增湿湿差也有最大17.98%的差别。于是,本文综合分析17个公园的5个特征参数(水体面积、水体所占比例、绿地面积、绿地所占比例、长宽比等因子)与公园平均增湿影响范围  $L_{H_{max}}$  和平均增湿湿差  $\Delta H_{max}$  之间的关系,得出以下结论。

对于绿化率较高(大于50%)且形状比较规则(公园长宽比接近1)的越秀公园、天河公园、麓湖公园、黄花岗七十二烈士陵园、珠江公园、青年公园、东风公园、醉观公园、人民公园、三元里抗英斗争纪念公园以及晓港公园等11个公园,其平均增湿影响范围  $L_{H_{max}}$  随着公园绿地面积  $A_g$  的增加而增加,两者呈现较好的线性相关关系( $R^2 = 0.94$ ,图4a),其平均增湿湿差与公园绿地面积  $A_g$  也呈较显著线性相关关系( $R^2$ 为0.77,图4b)。对于绿化率较高(>50%)而公园长宽比大于等于2的广州起义烈士陵园、动物园、东湖公园,其平均增湿影响范围  $L_{H_{max}}$  与公园绿地面积  $A_g$  则无显著相关关系。但与同等绿地面积、长宽比例接近1的公园相比,其平均增湿影响范围  $L_{H_{max}}$  也一般相对较大(图5)。

对于水体面积比例较高(>40%)的流花湖公园、麓湖公园、荔湾湖公园、东湖公园以及天河公园,其平均增湿影响范围  $L_{H_{max}}$  和平均增湿湿差  $\Delta H_{max}$  均高于其

他公园(图6、图7),可见,水体对周围环境的增湿具有明显的优势。同时,将公园对周边环境的最大增湿影响范围与最大降温影响范围<sup>[4]</sup>进行对比后可以发现(图8),这些水体比例较高的公园,其对周边的增湿影响范围与降温影响范围比较接近;流花湖公园、荔湾湖公园以及东湖公园的增湿影响范围大于降温影响范围,而其他公园的增湿影响范围明显小于降温影响范围。这可能是由于水体比例较高的公园,其降温主要是通过水体与大气进行水汽交换,增大大气水分达到的,因此水体比例比较大的公园的增湿影响范围与降温影响范围相当,而且都较大。

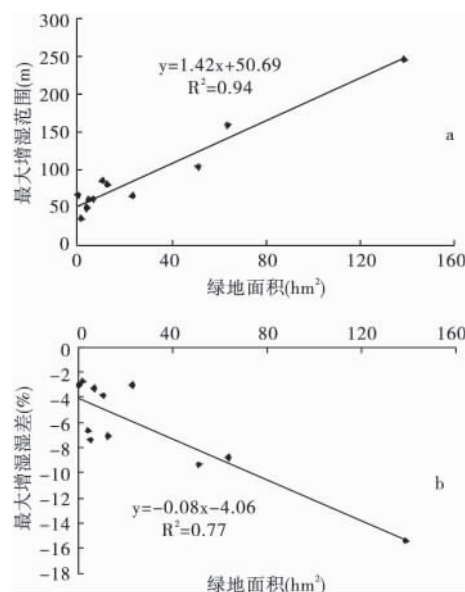


图 4 增湿范围、增湿湿度差与公园绿地面积的关系

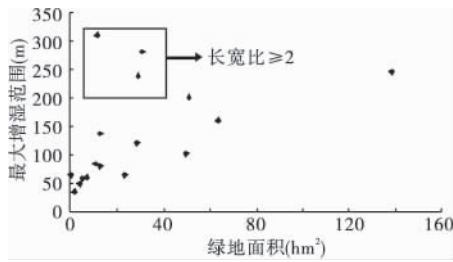


图5 最大增湿范围与绿地面积的散点图

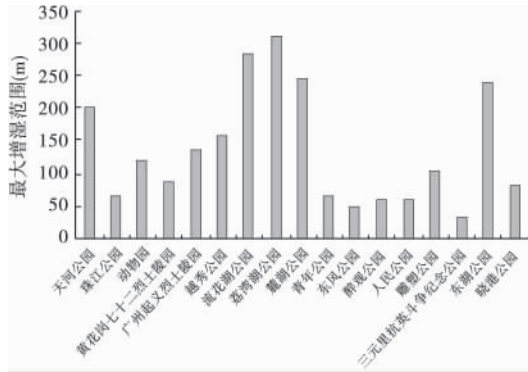


图6 增湿范围直方图

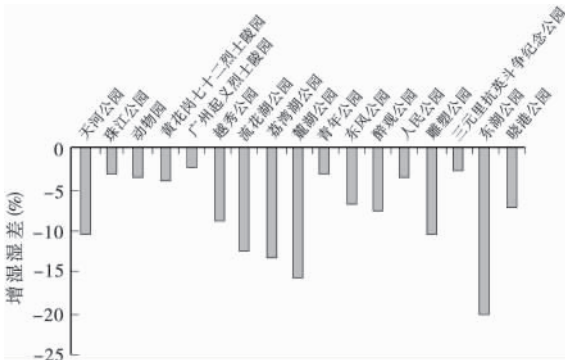


图7 增湿湿度差直方图

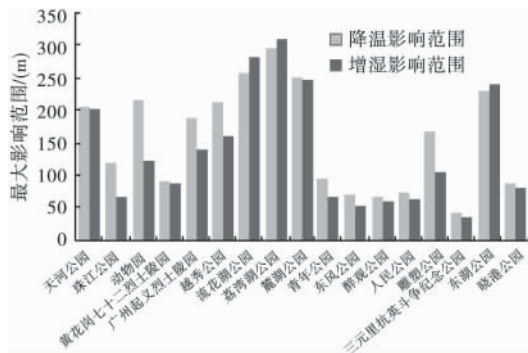


图8 降温范围与增湿范围对比图

综上所述,在城镇化水平比较高的区域,公园的规划与建设应合理考虑其生态功能的发挥,适度增加公园中水体、绿地的面积比例。但随着公园面积(绿地、水体面积等)的不断增大,其降温增湿等生态效应将越来越不明显<sup>[4]</sup>,而此时经济成本却不断增加,因此,应综合考虑公园的生态效应以及经济成本,在两者间实现“双赢”。在注重增加绿地、水体面积的同时,还应适度增加公园的边缘率,增加公园与周边环境的空气流动程度,从而有利于公园对周边环境生态效应的发挥。

参考文献

- [1] Federer C. A. . Effects of Trees in Modifying Urban Microclimates [A]. In: Proceedings of the Symposium on Trees and Forests in an Urbanizing Environment , Co-operative Extension Service , University of Massachusetts , Amherst , 1971.
- [2] Jauregui E. . Influence of A Large Urban Park on Temperature and Convective Precipitation in A Tropical City [J]. Energy Buildings , 1990 , 15/16: 457-463.
- [3] Hamada S. , Ohta T. . Seasonal Variations in the Cooling Effect of Urban Green Areas on Surrounding Urban Areas [J]. Urban Forestry & Urban Greening , 2010 , 9: 15-24.
- [4] 苏泳娴,黄光庆,陈修治,等. 广州市城区公园对周边环境的降温效应 [J]. 生态学报, 2010, 30(18): 4905-4918.
- [5] 苏泳娴,黄光庆,陈修治,等. 城市绿地的生态环境效应研究进展 [J]. 生态学报, 2011, 31(23): 7287-7300.
- [6] Whitford V. , Ennos A. R. , Handley J. F. . “City form and natural process”-indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside , UK [J]. Landscape and Urban Planning , 2001 , 57: 91-103.
- [7] 肖荣波,欧阳志云,李伟峰,等. 城市热岛的生态环境效应 [J]. 生态学报, 2005 , 25 ( 8) : 2055-2059.
- [8] Cao X. , Onishi A. , Imurab H. . Quantifying the Cool Island Intensity of Urban Parks Using ASTER and IKONOS Data [J]. Landscape and Urban Planning , 2010 96: 224-231.
- [9] Imhoff M. , Zhang P. , Wolfe R. E. , et al. Remote Sensing of the Urban Heat Island Effect across Biomes in the Continental USA [J]. Remote Sensing of Environment , 2010 , 114: 504-513.
- [10] Qin Z. H. , Zhang M. H. , Arnon. K. , et al. Monowindow Algorithm for Retrieving Land Surface Temperature from Landsat TM 6 data [J]. Acta Geographica Sinica , 2001 , 56(4): 456-466.

作者简介: 苏泳娴(1985-),女,广东中山人,博士研究生,主要从事生态学与生态规划研究,已发表论文10篇。