

广州市城区公园对周边环境的降温效应

苏泳娴^{1,2,3}, 黄光庆^{2,*}, 陈修治^{1,2,3}, 陈水森²

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

摘要:城市化的快速发展使得大量的人造建筑物取代了自然地表,极大的改变了城市的热环境,加速了城市的“热岛效应”,给人类的身体健康、生活环境带来许多危害。以公园为主体的城市绿地通过植被的光合作用、蒸腾以及蒸散作用降低温度、增加湿度,是缓解城市热岛效应的有效途径之一。选取广州市城区 17 个公园作为研究对象,使用 TM 遥感影像反演公园周边温度,分析了公园周边温度的分布情况。研究表明,在一定范围内,公园周边温度与公园边界点温度的温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,近似于一条过原点的三次多项式;公园的平均降温范围与公园绿地面积存在显著的正相关关系,拟合曲线近似于一种对数形式增加;水体面积比例较大的公园,比同等条件下水体面积较小的公园降温效果好;而长宽比较大(≥ 2)的公园,即使公园面积较小,降温效果也较明显。首次对广州市城区公园周边温度分布规律进行了定量研究,研究结果对像广州这样的大城市生态规划尤其是公园规划设计具有实质性的指导意义,也可为世界其他类似地区、城市进行公园规划设计提供重要的理论依据和参考价值。

关键词:遥感;热岛效应;城市公园;温度变化;降温影响范围

The cooling effect of Guangzhou City parks to surrounding environments

SU Yongxian^{1,2,3}, HUANG Guangqing^{2,*}, CHEN Xiuzhi^{1,2,3}, CHEN Shuisen²

1 Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510070, China

2 Guangzhou Institute of Geography, Guangzhou 510070, China

3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Thermal infrared (TIR) remote sensing techniques have been used over urban areas and applied in urban climate and heat environmental studies for more than 30 years, mainly for analyzing land surface temperature (LST) distribution, difference and their relationship with city development and surface energy fluxes. The rapidly expanding urban areas of the world form an environmental challenge for the 21st century that requires both new analytic approaches and new sources of data and information. In developing countries, however, remote sensing may provide large-scale, fast and repeated observations of urban growth and environmental conditions that are usually not available from other sources or with high cost. Because of the rapid urbanization, large numbers of the natural surfaces in the city have been replaced by artificial surfaces. This has resulted in undesirable thermal impacts on city meteorological and ecological environment-Urban Heat Island (UHI), especially bringing lots of negative effect to the health of human beings and living environments. Some studies have showed that the green land and water areas (mainly in city parks), can just diminish UHI effect on temperature and increase air moisture through the photosynthesis, transpiration and evapotranspiration of vegetation around urban parks. In this paper, 17 Guangzhou City parks were selected as the case areas and the temperature information was inversed from Landsat TM remote sensing data. After analyzing the temperature distribution patterns surrounding the 17 parks using field investigation, buffer area analysis and cubic polynomial fitting method, we find that the temperature differences between the surrounding sites and boundaries of park rise with the distances further away from the park boundaries. However, the temperature accretion rate is step-down at the same time. The shape of the temperature

基金项目:国家自然科学基金项目(40771218);广东省科技计划资助项目(2007B020500002-7,2004B20701002)

收稿日期:2010-04-03; **修订日期:**2010-06-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hgy@gd.ac.cn

increasing curve is similar to a cubic polynomial through the origin of coordinates ($R^2 > 0.84$). The maximum cooling range model of city parks in Guangzhou was built. The maximum cooling ranges are from 14—432m; and the maximum cooling values of temperature are at about 1.9—4.3K. What is more, the average temperature decreasing range around parks has a positive relationship with the green area of parks, and the fitted curve is similar to that of a logarithmic. For those parks that the water-covered-rates are larger than 50%, their temperature cooling effects are always more remarkable. For those parks that the length-width-rates are more than or equal to 2, the temperature cooling effects are also more obvious, even if their park areas are smaller than others. From the viewpoint of the cooling effect of parks to their surrounding environment in Guangzhou, the optimal values of planned green land should be between about 4200 m² and 540000 m². Therefore, the park area and distance from boundary of a park played the significant role in changing the effect of UHI. This study is the first quantitative research on the temperature distributions of main parks' surroundings in Guangzhou City, which may be of the directive significance to the ecology planning (especially city parks) of large cities like Guangzhou City. It also provides a reference and theory basis for other cities to design and plan the city parks in the world.

Key Words: Remote sensing; Urban Heat Island; urban park; temperature distribution; temperature cooling range

城市“热岛效应”是一种城市气温明显高于郊区的现象^[1]。Whitford^[2]和 Kato^[3]等认为热岛效应是城市发展的必然结果。城市热岛改变了城市的热环境^[4],给人类的身体健康和生活带来了很多危害^[5]。研究^[6-7]表明当环境气温高于 28℃时,人们就会有不舒适感,温度再高就易导致烦躁、中暑、精神紊乱。城市绿地能够通过植被的光合作用、蒸腾和蒸散作用来降低地表温度,是缓解城市热岛效应的有效途径之一^[8]。国内外已有不少学者开展了这方面的研究^[1,8-14],结果表明,当绿化覆盖率大于 30%,绿地对热岛有较明显的削弱作用,覆盖率大于 50%,绿地对热岛的削减极其明显。梁娟^[15]、蔺银鼎^[16]、王娟^[17]等分别分析了绿地垂直结构、绿地面积、绿地几何形状、林分和生长量等绿地空间结构因子对绿地生态效应的影响,从而探索了城市绿地生态效应以绿地为中心向周边扩散的规律。Chang 等^[18]对台北市的 61 个公园进行了实地观测,发现面积较大的公园的降温效果比小面积的公园要明显,其公园内部气温与周边采样点气温的温差与公园面积大小呈现非线性关系。在较大尺度上,绿地周边的气温可以降低 2—8℃,这种效果的影响范围接近于一个公园的宽度^[19-20]。

然而,关于公园对周边环境降温影响范围以及降温变化规律至今还没有比较确切的定量研究。由于遥感技术在同一时间获取较大范围地表温度比传统的实地采样具有先天的优势,且近年来遥感反演地表温度的技术已经相对成熟^[21],为研究较大范围近地表气温分布规律提供了有利的技术支持。因此,本文基于 TM 影像反演地表温度的基础上,选取广州市城区 17 个公园作为研究对象,分析公园周边的温度分布情况,并建立公园周边降温与其远离公园边界距离之间的定量模型,对广州市城区公园规划设计起到一定的指导意义。

1 研究区域概况

广州市位于东经 112°57′—114°3′,北纬 22°26′—23°56′,地处亚热带,属典型的亚热带海洋季风气候。广州市总辐射量 4400—5000MJ/(m²·a),全年日照总数 1770—1940h,全年平均气温 20—22℃,最热月 7 月份气温 28.4—28.7℃^[22-23]。研究表明^[24],广州市近年来热岛效应带来的增温效果明显高于全球温室效应的增温作用。可见,研究广州市城区公园对热岛效应的降温作用具有重要意义。本文选取麓湖公园、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、晓港公园等 17 个公园作为研究对象。公园的相关信息见表 1,具体地理位置如图 1 所示。

表 1 广州市城区 17 个公园信息
Table 1 Detailed information about the 17 Guangzhou city parks

公园名称 Park name	所属区 District	面积 Area/m ²	公园名称 Park name	所属区 District	面积 Area/m ²
天河公园	天河区	718387.3	珠江公园	天河区	271720.9
广州动物园	越秀区	366288.1	黄花岗七十二烈士陵园	越秀区	134487.9
广州起义烈士陵园	越秀区	195916.9	越秀公园	越秀区	917858.7
流花湖公园	越秀区	659058.3	荔湾湖公园	荔湾区	296051.3
麓湖公园	白云区	1733777.2	青年公园	荔湾区	40264.8
东风公园	越秀区	52352.0	醉观公园	荔湾区	56952.2
人民公园	越秀区	69602.6	雕塑公园	白云区	505146.0
三元里抗英斗争纪念公园	白云区	18205.0	东湖公园	越秀区	494624.3
晓港公园	海珠区	169549.8			

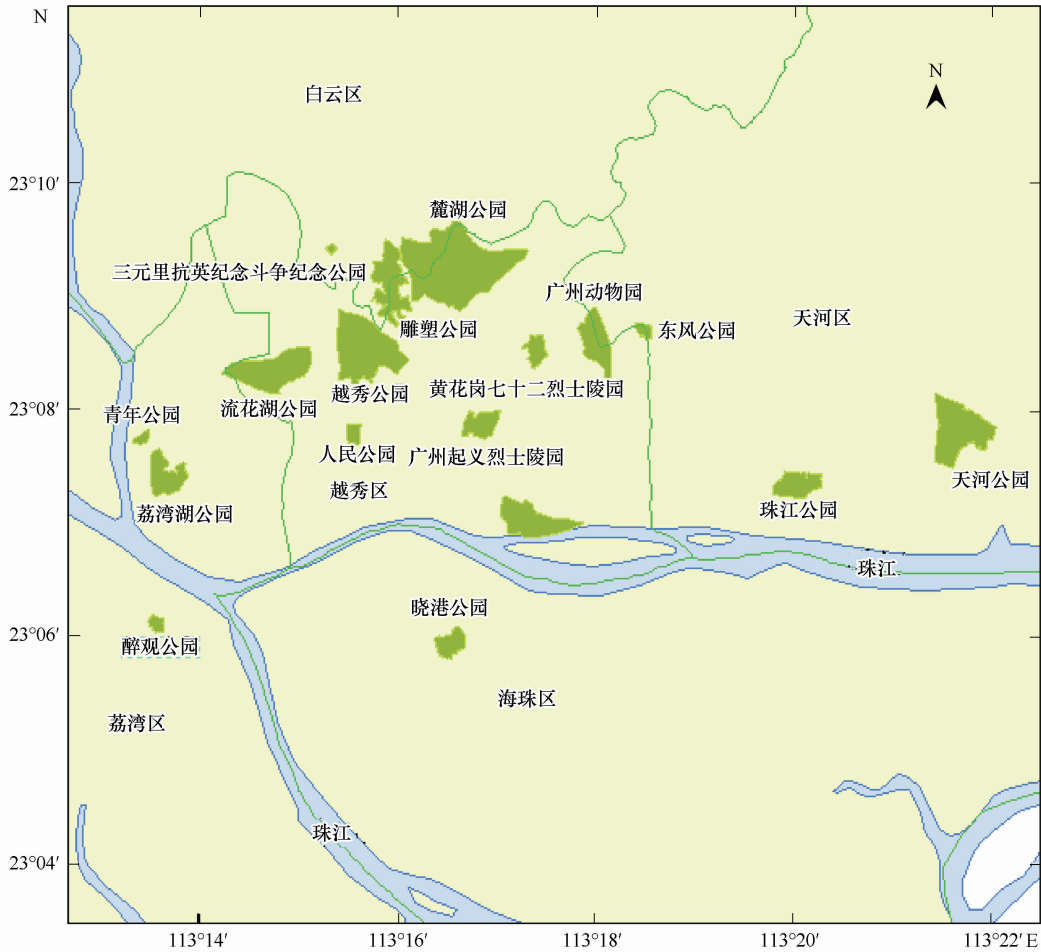


图 1 研究区域概况
Fig. 1 Situation of the study area

2 数据与研究方法

2.1 数据来源

本文使用的遥感数据源为广州市 2005 年 10 月 6 日的 TM 遥感影像数据,图像质量良好,无云,地面特征清晰,图像干扰较少(图 2a)。影像数据处理采用遥感图像处理软件平台 ENVI,Erda,以及地理信息系统软件平台 ArcGIS。根据 TM 影像相关波段信息及其主要用途^[25](表 2),本文使用 TM 影像的 3、4、6 波段进行广

州市城区近地表温度的反演。



图2 研究区域遥感影像图
Fig. 2 Remote sensing imagery of the study area

表2 TM 遥感数据波段及其用途
Table 2 Bands of the TM data and their main functions

波段 Band	波长 Wavelength/ μm	空间分辨率 Spatial resolution/m	主要作用 Main functions
1	0.42—0.52	30	沿岸水域制图, 区别地表植被、落叶树/针叶树
2	0.52—0.6	30	测量水质和正常植被地绿色反射率
3	0.63—0.69	30	鉴别植被种类、人工建筑物和水质
4	0.76—0.90	30	调查生物量、绘制水体边界
5	1.55—1.75	30	测量植物含水量、鉴别云和雪
6	10.4—12.5	120	测量作物热特征, 绘制其他热分布图
7	2.08—2.35	30	绘制液热图, 识别岩性、土壤分类和人工建筑

2.2 研究方法

2.2.1 TM 数据反演地表温度原理

覃志豪^[21]通过引进大气平均温度的概念, 提出根据 TM6 获取地表温度的单窗口算法:

$$T_s = [a(1 - C - D) + (b(1 - C - D) + C + D) \times T_{\text{sensor}} - DT_a] / C \quad (1)$$

式中, T_s 是地表温度, 单位为 K; a 和 b 是根据热辐射强度和亮温的关系拟合出来的系数。当亮度温度在 10—40℃ 时, a 的取值为 -63.1885, b 的取值为 0.44411; T_{sensor} 是有效的传感器温度 (或亮度温度, 单位为 K); T_a 是大气的向上平均作用温度 (又称大气平均作用温度), 单位为 K; C 、 D 是中间变量, 其表达式分别是:

$$C = \varepsilon\tau \quad (2)$$

$$D = (1 - \tau) [1 + (1 - \varepsilon)\tau] \quad (3)$$

式中, ε 是地表比辐射率, τ 为整层大气透射率。根据 Van de Griend & Owe 的经验公式^[26], 当地表的 $NDVI$ 值在 0.157—0.727 之间时, 地表比辐射率可以利用 $NDVI$ 值近似计算:

$$\varepsilon = 1.0094 + 0.047\ln(NDVI) \quad (4)$$

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (5)$$

式中, $NDVI$ 是归一化植被差异指数; ρ_4 和 ρ_3 分别为 TM4 近红外波段和 TM3 可见光红波段的反射率。

根据覃志豪, τ 可以通过大气总水汽含量 $w(\text{g}/\text{cm}^2)$ 来估算。

$$\tau = 1.031412 - 0.115367w \quad (6)$$

$$w_{(z)} = wR_{(z)} \quad (7)$$

式中, $w_{(z)}$ 为高度为 z 处的大气水分含量 (g/cm^2); 在近地层, $R_{(0)}$ 近似等于 0.40206, 因而根据近地层空

气湿度可以求出总的大气水分含量 w 。根据广州市 2005 年 10 月份的水汽情况,本文把 w_0 取值为 $1.6\text{g}/\text{cm}^2$ 。

亮度温度 T_{sensor} 由地物辐射亮度 L_b 转化而来,而地物辐射亮度 L_b 可由 Landsat TM 数据第 6 波段的灰度值 (DN 值) 计算得到,计算公式分别为:

$$T_{\text{sensor}} = \frac{K_2}{\ln(K_1/L_b + 1)} \quad (8)$$

$$L_b = L_{\min} + \frac{L_{\max} - L_{\min}}{255} DN \quad (9)$$

式中, K_1 、 K_2 为常数, $K_1 = 60.776\text{mW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$, $K_2 = 1260.56\text{mW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$; $L_{\max}$ 、 $L_{\min}$ 分别为该波段探测器可探测的最高和最低辐射值,对 Landsat5 号卫星:

$$L_{\max} = 1.56\text{mW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}), L_{\min} = 0.1238\text{mW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$$

覃志豪根据温度随高度的变化对 4 个标准大气剖面进行拟合,得出的一系列的经验公式。本文根据广州市所处的经纬度位置以及遥感影像获取的时间,选取以下公式计算 T_a

$$T_a = 16.0110 + 0.92621 T_0 \quad (10)$$

式中, T_0 是近地层大气温度,单位为 K。根据广州市 2005 年 10 月 6 的气温情况, T_0 取值为 297.5K 。

2.2.2 数据处理流程

本文首先在 ENVI 软件里,利用 TM 影像的 3、4、6 波段反演得到广州市城区的地表温度图,并绘取 17 个公园的面域图 (ArcGIS SHP 文件);然后把反演所得的地表温度图以及公园面域图加载到 ArcGIS 中,将地表温度图转化成点文件图,并且根据公园边界,向外生成 1000m 的缓冲区;再结合温度点文件以及缓冲区文件,提取公园边界以外 1000m 缓冲区内的温度点作为研究对象;最后,选取公园周边空旷区 (即干扰因子较少的区域),沿公园边界法线方向取点,分析公园对其周边环境的降温情况,建立定量模型,同时分析了公园的平均降温影响范围与相关影响因素之间的关系。研究流程如图 3 所示。

3 结果

3.1 公园对周边降温模型的建立

由于广州市城区公园周边环境比较复杂,高大楼房等建筑物的阴影、公路两边绿化带、水体以及其他单棵或者带状树木等都会对气温产生影响,如果不排除这些因素的影响,将会大大增加分析公园对周边环境降温效

果的难度。因此本文在选点时,结合 TM 遥感影像和同一时期的 Quickbird 遥感影像 (图 2b, 空间分辨率为 0.5m), 对广州市城区天河公园、广州起义烈士陵园、黄花岗七十二烈士陵园、广州动物园、越秀公园、流花湖公园、麓湖公园、荔湾湖公园、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、晓港公园等 17 个公园的周边进行空旷区域鉴别,选取公园边界以外空旷区 (即只有路面或者矮房,无高层楼房、绿化带、水体等其他影响因子影响的区域) 作为主要研究区域,在 TM 遥感影像反演所得的地表温度图上,选取 303 条测线 (共 2996 个温度点) (如图 4 所示以广州起义烈士陵园为例) 以公园周边温度点与公园边界点的温差 (ΔT) 为因变量,以公园周边温度点远离公园边界点的距离 (L) 为自变量,进行拟合分析,结果如图 5 所示 (由于本研究选取的研究测线高达 303 条,此处每个公园只展示了一条测线的拟合图),其对

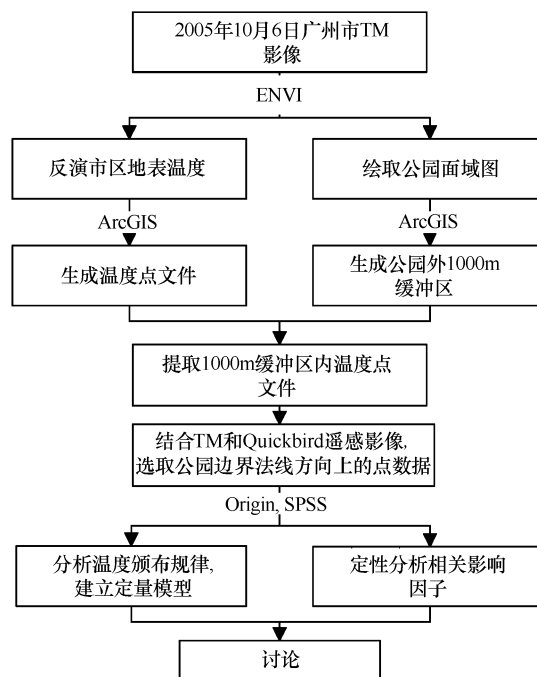


图3 研究技术路线图

Fig. 3 Framework of the study technology

应的拟合多项式如表 3 所示。

从表 3 可以看出,用三次多项式能很好的拟合 17 个公园的降温曲线,它们的 R^2 均大于 0.84。同时,从图 5 不难发现,在公园周边一定的范围内, ΔT 与 L 存在着图 6 所示的变化规律 $\Delta T(L)$ 。

(1) $\Delta T(L)$ 随着 L 的增加而增大,并最终逐渐趋近于一个基本稳定的常数—此处定义为 $\Delta T_{\max}$;当 $\Delta T(L)$ 由初始值达到 $\Delta T_{\max}$ 时,此时对应的 L 值就是公园对周边环境温度影响的最大距离 ($L_{\max}$);

(2) 当 L 小于 $L_{\max}$ 时, $\Delta T(L)$ 是一个关于 L 的三次多项式 $T(L)$, 当 L 大于 $L_{\max}$ 时, $\Delta T(L)$ 是一条数值等于 $\Delta T_{\max}$ 的直线:

$$\Delta T(L) = \begin{cases} aL^3 + bL^2 + cL & 0 \leq L \leq L_{\max} \\ \Delta T_{\max} & L > L_{\max} \end{cases} \quad (11)$$

式中, 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。

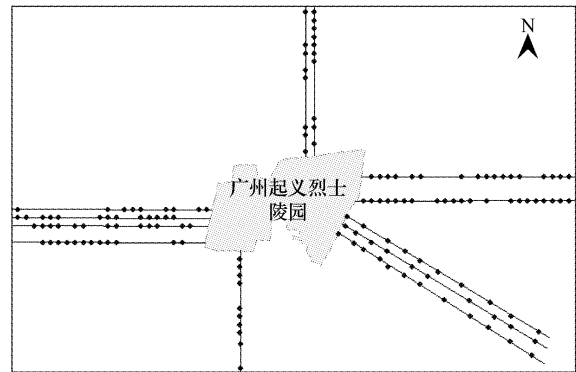


图 4 广州起义烈士陵园测线选取示意图

Fig. 4 Survey lines around Guangzhou Martyrs Park

表 3 公园周边温差 (ΔT) 与距离 (L) 拟合三次多项式

Table 3 Third degree polynomials between ΔT and L of Guangzhou 17 parks

公园名称 Park name	拟合三次多项式 Third degree polynomial	R^2
天河公园	$\Delta T = 0.00000004 L^3 - 0.00002891 L^2 + 0.00654245 L$	0.99995
珠江公园	$\Delta T = 0.0000008 L^3 - 0.0003555 L^2 + 0.0522654 L$	0.93127
动物园	$\Delta T = 0.0000000006 L^3 - 0.0000129451 L^2 + 0.0106795196 L$	0.95510
黄花岗七十二烈士陵园	$\Delta T = 0.00000002 L^3 - 0.00003437 L^2 + 0.01621691 L$	0.98302
广州起义烈士陵园	$\Delta T = 0.00000004 L^3 - 0.00004501 L^2 + 0.01539346 L$	0.84559
越秀公园	$\Delta T = 0.0000002 L^3 - 0.0001251 L^2 + 0.0295655 L$	0.97068
流花湖公园	$\Delta T = 0.00000002 L^3 - 0.00003083 L^2 + 0.01699873 L$	0.94060
荔湾湖公园	$\Delta T = 0.00000008 L^3 - 0.00009138 L^2 + 0.03366551 L$	0.98062
麓湖公园	$\Delta T = 0.00000004 L^3 - 0.00005308 L^2 + 0.01923840 L$	0.94659
青年公园	$\Delta T = 0.00000318 L^3 - 0.00093370 L^2 + 0.09075730 L$	0.99674
东风公园	$\Delta T = 0.00000607 L^3 - 0.00148800 L^2 + 0.11819578 L$	0.95764
醉观公园	$\Delta T = 0.00000571 L^3 - 0.00146860 L^2 + 0.11682446 L$	0.96035
人民公园	$\Delta T = 0.00000385 L^3 - 0.00102211 L^2 + 0.08699625 L$	0.99241
雕塑公园	$\Delta T = 0.00000084 L^3 - 0.00039011 L^2 + 0.06513672 L$	0.99655
三元里抗英斗争纪念公园	$\Delta T = 0.00002548 L^3 - 0.00092660 L^2 + 0.05265462 L$	0.99999
东湖公园	$\Delta T = 0.00000030 L^3 - 0.00025402 L^2 + 0.07075465 L$	0.98729
晓港公园	$\Delta T = 0.00000175 L^3 - 0.00064839 L^2 + 0.07295970 L$	0.93500

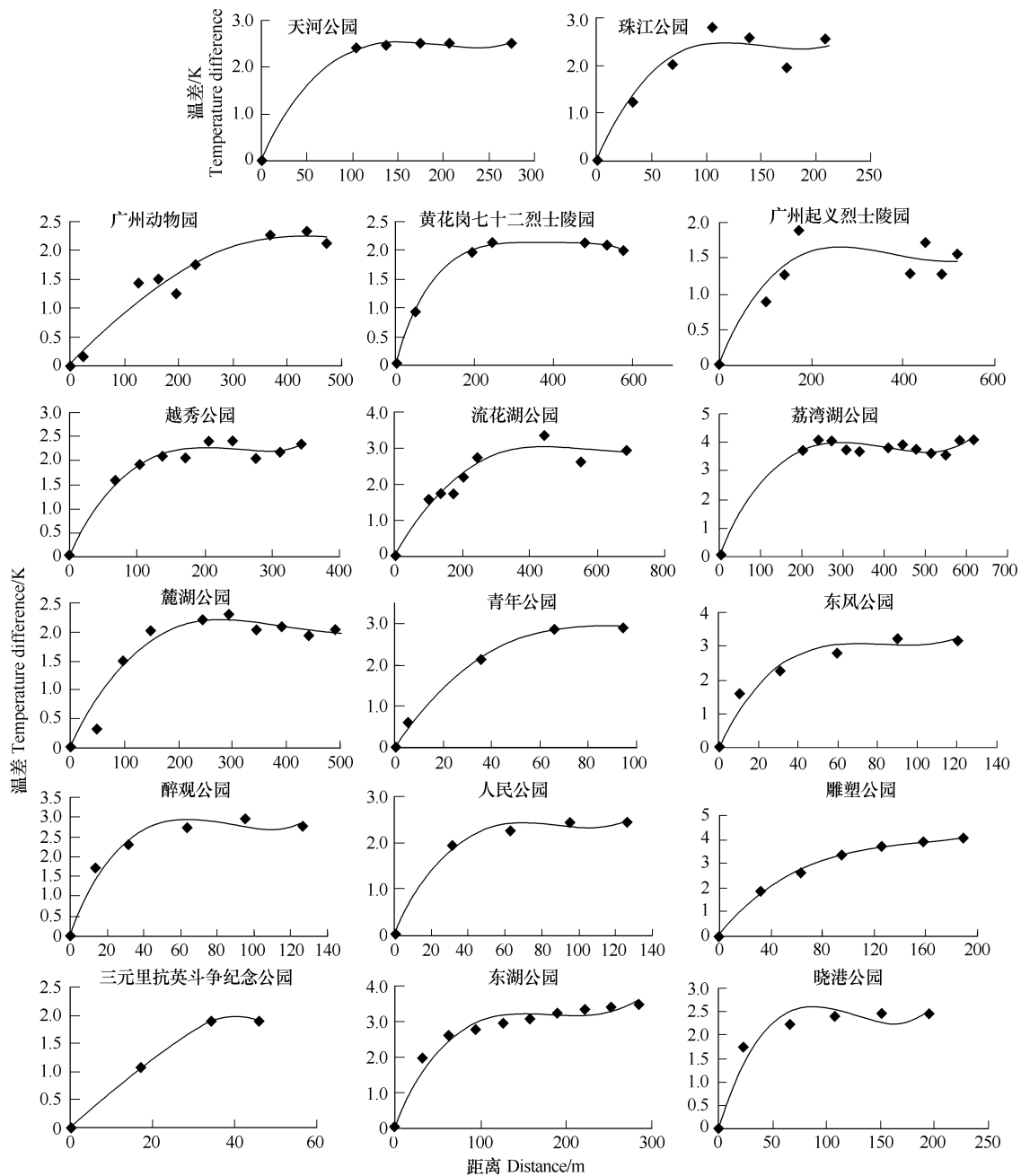
3.2 公园降温影响范围

基于公式 (11), 对三次多项式进行求导, 得出极值点, 即可推导出 $L_{\max}$ 和 $\Delta T_{\max}$ 的计算公式:

$$L_{\max} = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 3ac}}{3a} \quad (12)$$

$$\Delta T_{\max} = \frac{2b^3 + (2b^2 - 6ac) \sqrt{b^2 - 3ac} - 9abc}{27a^2} \quad (13)$$

由此可见, $L_{\max}$ 和 $\Delta T_{\max}$ 可由三次拟合多项式的系数 a, b, c 计算求出。于是, 本文利用公式 (12)、(13), 计

图5 广州市区 17 个公园 ΔT 与 L 的拟合曲线图Fig. 5 Fitting curves between ΔT and L of Guangzhou 17 parks

算 17 个公园 303 条测线对应的降温影响范围 $L_{\max}$ 和最大降温 $\Delta T_{\max}$, 并将结果按公园取平均, 最终得到每个公园的平均降温影响范围 $L_{\max}$ 和平均最大降温 $\Delta T_{\max}$, 见表 4。为了验证公式的可靠性, 本文将由公式推导出的 17 个公园的平均降温影响范围 $L_{\max}$ 和最大降温 $\Delta T_{\max}$ 与图像提供的实际降温数据相比照, 结果发现, 公式推导的平均降温影响范围 $L_{\max}$ 与图像实际降温范围的平均误差介于 5.88—11.09m 之间, 误差均方根基本介于 1.0—4.5m 之间(图 7), 公式推导的平均 $\Delta T_{\max}$ 与图像实际降温温差平均误差维持在 0.09—0.32K 之间, 其误差均方根基本维持在 0.11—0.37K 之间(图 8), 由此证明, 由公式推导得到的平均降温影响范围 $L_{\max}$ 和平均最大降温 $\Delta T_{\max}$ 精度较好, 详细结果见表 4。

表 4 17 个公园的平均降温范围和平均降温温差
Table 4 Average $L_{\max}$ and average $\Delta T_{\max}$ of the 17 parks

公园名称 Park name	平均 $L_{\max}$ Average $L_{\max}/m$			平均 $\Delta T_{\max}$ Average $\Delta T_{\max}/K$		
	公式计算值 /m Expression derived value	与图像实际值 的平均误差/m Error between expression derived $L_{\max}$ and image $L_{\max}$	误差均方根/m Root mean square error	公式计算值/m Expression derived value	与图像实际值 的平均误差/m Error between expression derived $L_{\max}$ and image $L_{\max}$	误差均方根/m Root mean square error
天河公园	250.10	11.00	3.12	2.61	0.32	0.37
珠江公园	194.15	11.05	1.62	2.12	0.20	0.21
动物园	336.29	9.49	3.89	2.66	0.09	0.12
黄花岗七十二烈士陵园	162.67	7.76	3.47	1.99	0.19	0.22
广州起义烈士陵园	228.22	9.17	4.50	2.45	0.18	0.22
越秀公园	299.21	8.64	1.56	2.00	0.19	0.22
流花湖公园	432.16	8.03	3.92	3.16	0.17	0.19
荔湾湖公园	343.35	6.77	1.92	3.89	0.17	0.19
麓湖公园	376.01	11.09	2.20	3.78	0.21	0.25
青年公园	14.86	5.88	3.41	2.91	0.25	0.26
东风公园	100.65	10.42	1.16	3.08	0.16	0.16
醉观公园	98.3	9.08	2.48	2.94	0.21	0.24
人民公园	109.6	7.01	3.78	2.45	0.09	0.11
雕塑公园	344.9	10.49	2.80	3.01	0.11	0.13
三元里抗英斗争纪念公园	46.4	8.76	3.89	1.89	0.22	0.23
东湖公园	355.7	10.14	1.04	4.24	0.13	0.16
晓港公园	165.2	6.78	3.64	2.46	0.17	0.19

3.3 公园降温效果以及降温范围影响因子分析

由表 4 可以看出,每个公园的平均降温影响范围(14—432m)以及平均降温(1.9—4.3K)均不相同,最大影响距离相差将近 418m,降温温差也有 1—2K 的差别,于是本文综合分析 17 个公园的特征参数如: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的平均降温影响范围 $L_{\max}$ 以及平均降温温差 $\Delta T_{\max}$ 之间的关系(表 5)。

(1)对于水体面积比例较高(>40%)的流花湖公园、麓湖公园、荔湾湖公园以及东湖公园,其平均降温影响范围 $L_{\max}$ 以及 $\Delta T_{\max}$ 普遍稍高于其他 13 个公园,由此可见,水体比例较高的公园,其对周边环境的降温效果一般要优于水体比例较小的公园,特别在最大降温温差方面体现的非常明显,如图 9、图 10 所示。

(2)对于绿化率比较高(>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,其平均降温影响范围 $L_{\max}$ 随着公园绿地面积 A_g 的增加而增加,且其增加趋势逐渐减缓,增长曲线可以近似看做成为一种对数形式增加(图 11)。基于图 11 和拟合曲线公式,本文推导出:当公园绿地面积小于 4246.1m²(边长大约为 65.2m),公园对外界的降温范围接近 0m,即,此时公园将失去对周边环境的降温效应。本文进一步以公园绿地面积等于 4246.1m²为起始点,来查看当公园绿地面积每增加 10000m²时,公园降温范围增加的速度,结果如图 12 所示,其中 X 轴为公园绿地面积(万 m²),Y 轴为每增加 10000m² 公园绿地面积时,公园降温影响范围增加的距离。从图 12 不难发现,当公园绿地面积达到 540000m²时,公园绿地面积每增加 10000m²,其对周边环境的降温范围增加量将小于 1m,此刻对应的图 11 中拟合曲线的斜率

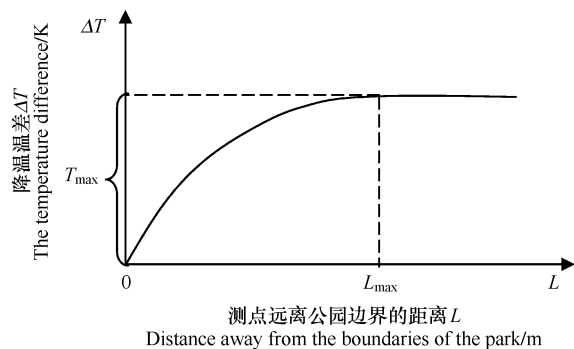


图 6 ΔT 与 L 的拟合曲线模型图
Fig. 6 Fitting curve model between ΔT and L

表 5 公园特征参数信息							
Table 5 Characters of the 17 city parks							
公园名称 Park name	绿地面积 /m ² Green area	绿地比例 /% Green rate	水体面积 /m ² Water area	水体比例 /% Water rate	长宽比 Length-width rate	平均 $L_{\max}$ /m Average $L_{\max}$	平均 $\Delta T_{\max}$ /K Average $\Delta T_{\max}$
天河公园	510177	71.02	76848.2	10.70	1.20	250.10	2.61
珠江公园	232023.6	85.39	6941.3	2.55	1.54	194.15	2.12
动物园	283781.5	77.47	18828.9	5.14	2.86	336.29	2.66
黄花岗七十二烈士陵园	108128	80.40	950.6	0.71	1.63	162.67	1.99
广州起义烈士陵园	127679	65.17	10496	4.92	2.67	228.22	2.45
越秀公园	638756.4	69.59	42689.2	4.65	1.01	299.21	2.00
流花湖公园	308445.2	46.80	286793.1	43.52	3.22	432.16	3.16
荔湾湖公园	116238.5	39.26	128889.2	43.53	2.74	343.35	3.89
麓湖公园	1383588.7	79.80	226303	13.05	1.25	376.01	3.78
青年公园	3245.3	80.60	0	0.00	1.71	14.86	2.91
东风公园	41848.7	79.94	1958.5	3.74	1.56	100.65	3.08
醉观公园	50930.7	89.43	0	0.00	1.27	98.3	2.94
人民公园	69454.3	99.79	0	0.00	1.4	109.6	2.45
雕塑公园	497098.5	98.41	8047.4	1.59	5.47	334.9	3.01
三元里抗英斗争纪念公园	18186	99.90	0	0.00	1.05	46.4	1.89
东湖公园	293100.1	59.26	201524.2	40.74	2.64	355.7	4.24
晓港公园	127000	74.90	42549.8	25.10	1.71	165.2	2.46

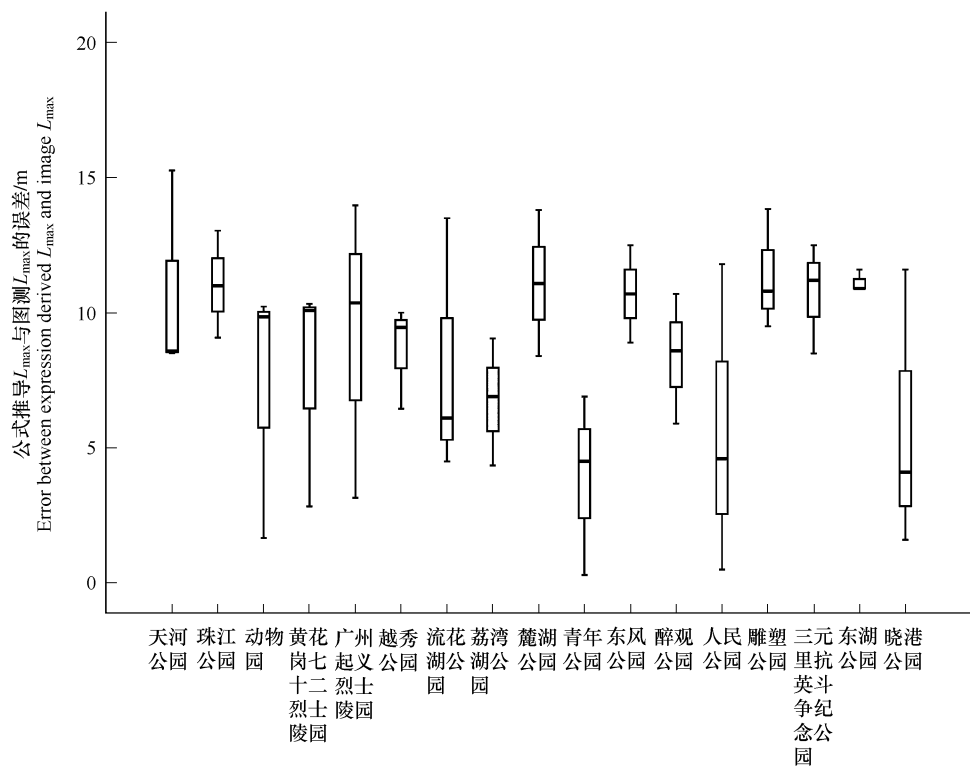


图 7 17 个公园的公式推导 $L_{\max}$ 与图上实测 $L_{\max}$ 误差图

Fig. 7 17 parks' $L_{\max}$ error between expression derived $\Delta T_{\max}$ and image $\Delta T_{\max}$

为 0.00001。于是本文可以假定,当公园绿地面积达到 540000m²(边长约为 734.8m),公园对周边环境降温范围 $L_{\max}$ 将不再随着公园绿地面积的增加而增加。因此,公园在规划设计时,如果从公园对周边环境降温效果

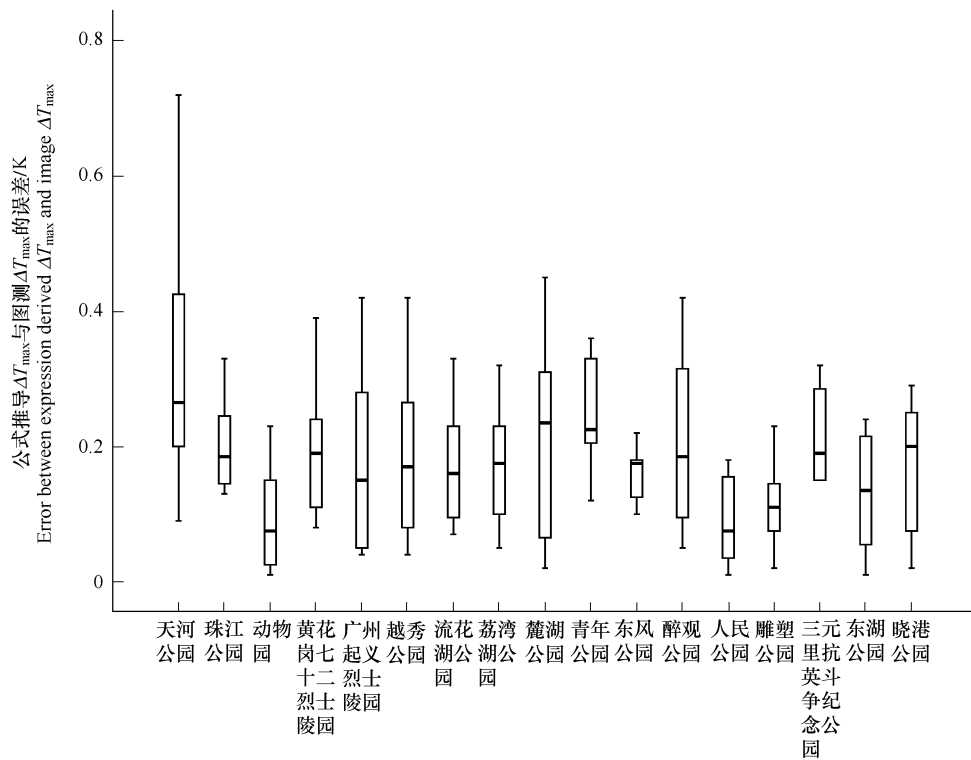


图 8 17 个公园的公式推导 $\Delta T_{\max}$ 与图上实测 $\Delta T_{\max}$ 误差图

Fig. 8 17 parks' error between expression derived $\Delta T_{\max}$ and image $\Delta T_{\max}$

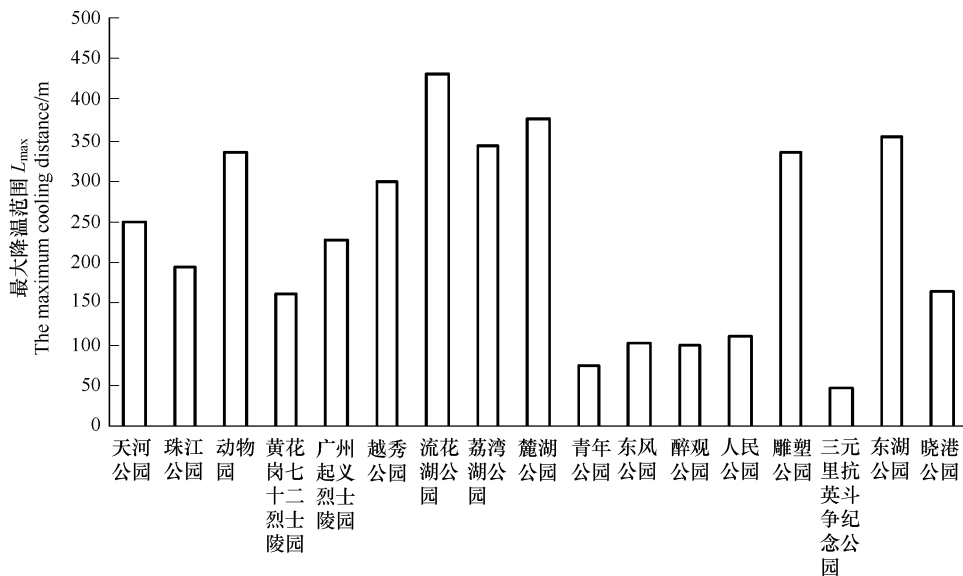


图 9 17 个公园的 $L_{\max}$ 直方图

Fig. 9 Histogram of the 17 parks' $L_{\max}$

的角度出发,其绿地面积最佳值应该维持在 4246.1—540000 m^2 之间。

(3)对于绿化率较高 ($>50\%$) 而公园长宽比 ≥ 2 的广州起义烈士陵园、动物园、雕塑公园、东湖公园,其平均降温影响范围 $L_{\max}$ 与公园绿地面积 A_g 没有显著关系。且与同等绿地面积、长宽比例接近 1 的公园相比,其平均降温影响范围 $L_{\max}$ 一般相对较大。因此,公园在规划设计时,应尽量使得公园的长宽比大于 2,这样会

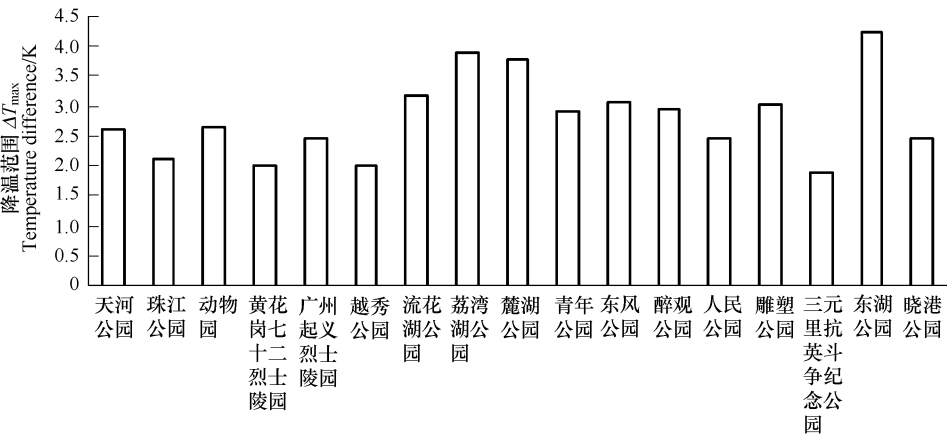


图 10 17 个公园的 $\Delta T_{\max}$ 直方图
Fig. 10 Histogram of the 17 parks' $\Delta T_{\max}$

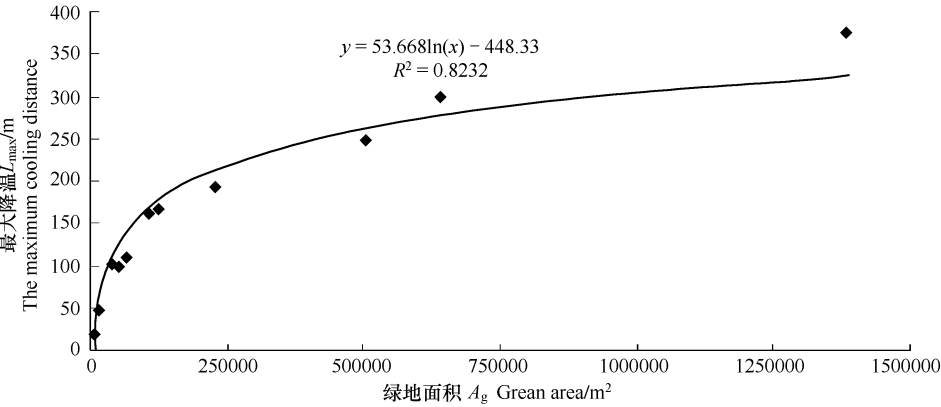


图 11 $L_{\max}$ 与 A_g 的拟合曲线图
Fig. 11 Fitting curve between $L_{\max}$ and A_g

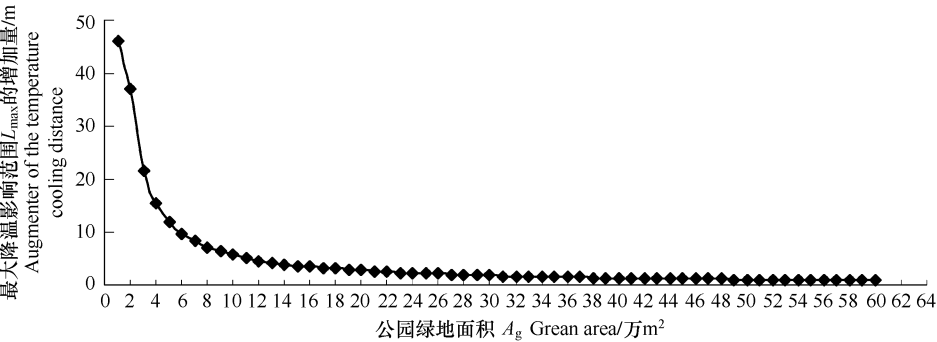


图 12 公园降温影像范围 $L_{\max}$ 增加量随公园绿地面积 A_g 增加的渐变曲线图
Fig. 12 Relationship between the augments of temperature cooling distance $L_{\max}$ and the park green covered area A_g

在绿地面积不变化的情况下,相对增加公园对周边环境的降温效果。但由于广州市城区内公园数量有限,该结论可能缺少严格的统计分析,尚待进一步研究证明。

4 结论与讨论

本文在基于 TM 遥感影像数据进行广州市城区近地表温度的基础上,以公园周边温度点与公园边界点的温差(ΔT)为因变量,以公园周边温度点远离公园边界点的距离(L)为自变量,分析了广州市城区麓湖公园、

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、晓港公园等 17 个公园对周边环境的降温效应。王娟^[17]对草地、树林、复合绿地周边温度场分布情况进行了研究,结果表明, $\Delta T(L)$ 随着 L 的增加而增大,增长曲线是一种非线性关系,本文则更进一步明确了温度曲线的增长趋势,是一条过原点的三次多项式(R^2 均大于 0.84)。可见,无论是结构比较简单的绿地斑块(草地、树林、复合绿地),还是类似于公园这种结构极其复杂的绿地斑块,其周边温度分布均满足这种规律。基于以上发现,本文建立了公园对周边环境的降温规律模型,并推导出公园最大降温范围 $L_{\max}$ 以及最大降温 $\Delta T_{\max}$ 的计算公式。另外,研究区公园的最大降温在 1.9—4.3K 左右,Chang 等^[18]对台湾公园进行研究,也得出了相似的结果。

本文进一步综合分析了 17 个公园的水体面积、绿地面积、水体所占比例、绿地面积比例以及公园长宽比等因子与公园的平均降温影响范围 $L_{\max}$ 和平均降温温差 $\Delta T_{\max}$ 之间的关系,研究发现,公园绿地面积、水体面积以及长宽比等因子共同影响着公园对周边环境的降温作用:(1)王娟^[17]建立了关于绿地面积与降温效果的线性模型,但是 Chang^[18]、蔺银鼎^[16]等两位学者认为两者是一种非线性关系。笔者研究表明,绿化率较高(大于 50%)、长宽比接近 1 的公园,其平均降温影响范围 $L_{\max}$ 随着公园绿地面积 A_g 的增加而增大,且其增长趋势逐渐减缓,对数曲线能更好的拟合两者的关系;基于上述对数曲线模型,本文进一步推导出,当绿地面积小于 4246.1m²(边长大约为 65.2m),公园对周边环境的降温影响范围为 0m;当公园绿地面积达到 540000m²(边长为 734.8m),公园对周边环境降温范围 $L_{\max}$ 将不再随着公园绿地面积的增加而增加。因此,在公园规划设计时,如果从公园对周边环境降温效果的角度出发,其绿地面积最佳值应该维持在 4246.1—540000 m² 之间。(2)绿化率较高(大于 50%)、且公园长宽比 ≥ 2 的公园,其平均降温影响范围 $L_{\max}$ 与公园绿地面积 A_g 没有显著关系,且相比同等面积、长宽比较小的公园,具有较好的降温效果。原因可能是,长宽比较大的公园,其边缘率较大,易于促进公园与周围环境的气流运动和能量交换,进而降温效果较明显。但由于研究区域内此类公园数量有限,该结论可能缺少严格的统计分析,尚待进一步研究;(3)水体面积比例较高的公园,其平均降温影响范围 $L_{\max}$ 以及 $\Delta T_{\max}$ 一般普遍高于水体面积比例较小的公园,说明水体面积比例较大的公园,相对于同等条件下水体面积比例较小的公园,具有更好的降温效果,笔者认为这可能是由于水体热容较大,在同等太阳辐射能量下,升温较慢,同时由于水体具有较强的蒸发蒸散以及空气对流作用,使得其对公园周边环境的降温作用较为明显。

传统观念上,城市公园仅仅是休闲、游憩以及观赏的场所,随着城市气温逐年增加,“热岛效应”越来越严重,城市公园对周边环境的降温效应显得尤为重要,因此,在城市公园规划设计时,为了更好的发挥公园对周边环境的降温效应,笔者认为,决策者应首先考虑增大公园内绿地、水体面积的比例,但是当公园绿地、水体面积比例增加到一定程度时,其降温影响范围 $L_{\max}$ 、降温效果 $\Delta T_{\max}$ 增加趋势逐渐减缓,因此,在增大公园绿地、水体面积的同时,还应尽量增加公园的边缘率,比如将公园设计成边缘率较大的长方形、带形、条形以及边界蜿蜒多曲折的松散型。此时城市公园不再是一个独立的绿地斑块,他们可被看作整个城市的绿地廊道,互相之间组成一个有机的廊道网,使公园的降温效应可以覆盖整个城市,进而从整体上改善城市的热环境,提高城市的“宜居性”。

本文是一次关于城区公园对周边环境降温效应的定量研究,由于研究区域公园数量有限,部分结论可能缺少严谨的统计分析进行验证,同时由于研究数据来源于 2005 年 10 月 6 日 TM 遥感影像,反演所得公园边界温度与实际温度可能会有误差,且地点局限于广州市城区,时间和空间上均具有一定的局限性,因此,研究结果可能仅适用于与研究区域类似的地区公园。如何建立更精确的适用于常年时期大部分地区的公园周边温度分布规律模型,尚待进一步研究。

References:

- [1] Li Y M, Guo J, Feng J Y. Urban green space and its effect on urban heat island effect. Urban Environment and Urban Ecology, 2004, 17(1):1-

4.

- [2] 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. *Landscape and Urban Planning*, 57(2): 91-103.
- [3] Kato S, Yamaguchi Y. Analysis of urban heat-island effect using ASTER and ETM + data: Separation of anthropogenic heat discharge and natural heat radiation from sensible heat flux. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 99(1/2): 44-54.
- [4] Xiao R B, Ouyang Z Y, Li W F, Zhang Z M, Tarver J G, Wang X K, Miao H. A review of the eco-environmental consequences of urban heat islands. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8): 2055-2060.
- [5] Li F J, Ma A Q, Ding Y D, Yang J J, Jiao J C, Liu L J. Research on urban heat island effect based on landsat data. *Remote Sensing Technology and Application*, 2009, 24(4): 553-558.
- [6] Wu F, Li S H, Liu J M. The effects of greening, none greening square and lawn on temperature, humidity and human comfort. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 2964-2971.
- [7] Zhou H F. Discussion in synthetic index of climatic change influence on human health. *Climatic and Environmental Research*, 1999, 4(1): 121-126.
- [8] Wu P F, Wang M J, Zhang X X. Relationship between vegetation greenness and urban heat island effect in Beijing. *Journal of Beijing Forestry University*, 2009, 31(5): 54-60.
- [9] Weng Q H, Lu D S, Schubring J. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 89(4): 467-483.
- [10] Da H W, Tang L Z, Li Z Q, Yan C F. A comparison of heat island effects at different urbanlands in winter in Nanjing City. *Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology*, 2009, 36(4): 13-16.
- [11] Tang L Z, Li Z Q, Yan C F, Sun C H, Xu X, Xiang H R. Mitigative effects of different vegetations on heat island effect in Nanjing. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(1): 23-28.
- [12] Wang J, Lin Y D, Liu Q L. Role of green land in urban on the reduction of heat island effect. *Grassland and Turf*, 2006, 6(119): 56-59.
- [13] Zhou H M, Ding J C, Xu Y M, Huang J X, Yang W Y, Fang Y. The monitoring and evaluation of relation between heat island effect and greenbelt distribution in Shanghai urban area. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2002, 18(2): 83-88.
- [14] Yang S H. A study on the effect of decreasing temperature and increasing humidity of urban afforestation trees. *Geographical Research*, 1994, 13(4): 74-80.
- [15] Liang J, Lin Y D. Temporal and spatial patterns of peripheral environment influenced by urban forest. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(7): 379-385.
- [16] Lin Y D, Han X M, Wu X G, Hao X Y, Wang J, Liang F, Liang J, Wang Z H. Ecological field characteristic of green land based on urban green space structure. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(10): 3339-3346.
- [17] Wang J. Analysis on the effect of different structural urban green to comfort degree. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2007.
- [18] Chang C R, Li M H, Chang S D. A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei City parks. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 80(4): 386-395.
- [19] Taha H, Akbari H, Rosenfeld A. Heat island and oasis effects of vegetative canopies: micrometeorological field measurements. *Theoretical and Applied Climatology*, 1991, 44, 123-138.
- [20] Jauregui E. Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city. *Energy Build*, 1990, 15/16, 457-463.
- [21] Qin Z H, Zhang M H, Arnon K, Pedro B. Monowindow algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM 6 data. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(4): 456-466.
- [22] Ma Y L, Chen Y, Cai R. Application of remote sensing to studying the Heat Island Effect in Guangzhou City zone. *Yunnan Geographic Environment Research*, 2009, 21(1): 83-88.
- [23] Guo Q H. Studies of ecological service and assessment of urban forest in Guangzhou. Changsha: Central South Forestry University, 2005.
- [24] Shi X, Wu T G, Xu D P, Liu Y T, Su J, Xiao Y H. Micro-climate in forest park of Maofeng Mountains in Guangzhou. *Journal of Chinese Urban Forestry*, 2005, 3(3): 46-48.
- [25] Tu L P. Land Surface Temperature (LST) retrieval and land surface emissivity (LSE) estimation from Landsat. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.
- [26] Griend V D, Owe M A A. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, 1993, 14(6): 1119-1131.

参考文献:

- [1] 李延明, 郭佳, 冯久莹. 城市绿色空间及对城市热岛效应的影响. *城市环境与城市生态*, 2004, 17(1): 1-4.

- [4] 肖荣波, 欧阳志云, 李伟峰, 张兆明, Tarver Jr Gregory, 王效科, 苗鸿. 城市热岛的生态环境效应. 生态学报, 2005, 25(8): 2055-2059.
- [5] 李福建, 马安青, 丁原东, 杨俊杰, 焦俊超, 刘乐军. 基于 Landsat 数据的城市热岛效应研究. 遥感技术与应用, 2009, 24(4): 553-558.
- [6] 吴菲, 李树华, 刘娇妹. 林下广场、无林广场和草坪的温湿度及人体舒适度. 生态学报, 2007, 27(7): 2964-2971.
- [7] 周后福. 气候变化对人体健康影响的综合指标探讨. 气候与环境研究, 1999, 4(1): 121-126.
- [8] 武鹏飞, 王茂军, 张学霞. 北京市植被绿度与城市热岛效应关系研究. 北京林业大学学报, 2009, 31(5): 54-60.
- [10] 笪红卫, 唐罗忠, 李职奇, 严春风. 南京市不同地点冬季热岛效应比较研究. 江苏林业科技, 2009, 36(4): 13-16.
- [11] 唐罗忠, 李职奇, 严春风, 孙储华, 徐新, 相恒让. 不同类型绿地对南京热岛效应的缓解作用. 生态环境学报, 2009, 18(1): 23-28.
- [12] 王娟, 蔺银鼎, 刘清丽. 城市绿地在减弱热岛效应中的作用. 草原与草坪, 2006, 6(119): 56-59.
- [13] 周红妹, 丁金才, 徐一鸣, 黄家鑫, 杨文悦, 方岩. 城市热岛效应与绿地分布的关系监测和评估. 上海农业学报, 2002, 18(2): 83-88.
- [14] 杨士弘. 城市绿化树木的降温增湿效应研究. 地理研究, 1994, 13(4): 74-80.
- [15] 梁娟, 蔺银鼎. 城市森林对周边小气候时空格局的影响. 中国农学通报, 2007, 23(7): 379-385.
- [16] 蔺银鼎, 韩学孟, 武小刚, 郝兴宇, 王娟, 梁锋, 梁娟, 王志红. 城市绿地空间结构对绿地生态场的影响. 生态学报, 2006, 26(10): 3339-3346.
- [17] 王娟. 城市不同结构的绿地对舒适度的影响分析. 晋中: 山西农业大学, 2007.
- [22] 马跃良, 陈彧, 蔡睿. 广州市城区热岛效应的遥感应用研究. 云南地理环境研究, 2009, 21(1): 83-88.
- [23] 郭清和. 广州市城市森林服务功能及价值研究. 长沙: 中南林学院, 2005.
- [24] 史欣, 吴统贵, 徐太平, 刘燕堂, 粟娟, 肖以华. 广州帽峰山森林公园的“冷岛”效应分析. 中国城市林业, 2005, 3(3): 46-48.
- [25] 涂梨平. 利用 Landsat TM 数据进行地表比辐射率和地表温度的反演. 杭州: 浙江大学, 2006.