

城市公园景观的热环境效应

徐丽华^{1,2}, 岳文泽^{1,3,*}

(1. 浙江大学东南土地管理学院 杭州 310029; 2. 浙江林学院 临安 311300; 3. 上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室 上海 200062)

摘要:城市热环境受到地表的物理性质和人类社会经济活动的共同影响,是城市生态环境状况的综合体现。而城市公园景观的热环境效应显著区别于其它景观类型。城市公园景观的热环境效应研究对城市规划以及城市生态环境评价都具有重要意义。论文以上海市为例,首先提取了城市公园景观斑块的空间分布数据,再利用 Landsat7 的 ETM+ 为基本数据源,定量反演了城市热环境温度,然后利用 GIS 中的空间分析功能,重点探讨了城市公园景观的热环境效应。公园景观斑块的面积、周长与其对应的温度具有负相关关系,而形状复杂性指数则与环境温度具有显著的正相关关系,形状复杂性指数则与环境温度的相关程度远高于面积、周长与热环境温度的相关程度。公园斑块的面积以及周长与公园对周围热环境的影响在统计上相关性较差;而形状复杂性指数则与其影响力则具有显著的正相关关系,形状越复杂,公园对周围热环境影响力越强。因此,在城市公园建设中,除了公园类型、空间选址外,边界形状也应作为考虑因素之一。

关键词:公园景观;城市热环境效应;上海市

文章编号:1000-0933(2008)04-1702-09 中图分类号:Q143 文献标识码:A

A study on thermal environment effect of urban park landscape

XU Li-Hua^{1,2}, YUE Wen-Ze^{1,3,*}

1 Department of Land Management, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China

2 Zhejiang Forest University, Linan 311300, China

3 Key Laboratory of Urbanization and Ecological Restoration of Shanghai City, Shanghai 200062, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(4): 1702 ~ 1710.

Abstract: In all urbanization's eco-environment effect, greater consideration was put on thermal environment. Urban thermal environment was co-influenced by land surface physical properties and human social and economic activities, which is a synthesis manifest of urban eco-environment. In all urban landscape types, the thermal environment effect of park landscape is very different with the other landscape types. Studies on thermal environment effect of urban park landscape are of great significances for urban planning and urban eco-environment evaluating. Spatial data of urban park landscape patches and land surface temperature obtaining, thermal environment effect of landscape patch characters are discussed in this paper, using the data collected by the Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) and spatial analysis function of GIS in the city of Shanghai. For the spatial pattern of urban thermal environment in Shanghai city, this has an intense urban heat island effect. Heat island center lies on the west bank of Huangpu River. There is an intense temperature

基金项目:浙江省科技计划资助项目(2006C33047);上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室开放基金资助项目;中国博士后基金资助项目(20060391039);浙江林学院启动基金资助项目(2351000563)

收稿日期:2007-01-11; **修订日期:**2007-08-23

作者简介:徐丽华(1977~),女,湖北红安人,博士,主要从事景观生态与遥感研究. E-mail: xulh99g@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yuewenze@163.com

Foundation item: The project was financially supported by Scientific & Technological Plan Item of Zhejiang Province (No. 2006C33047), Open foundation item of Key Laboratory of Urbanization and Ecological Restoration of Shanghai City, China Postdoctoral Science Foundation (No. 20060391039) and the Scientific Research Starting Foundation of ZJFU (No. 2351000563)

Received date: 2007-01-11; **Accepted date:** 2007-08-23

Biography: XU Li-Hua, Ph. D., mainly engaged in landscape ecology and RS. E-mail: xulh99g@163.com

variance in the inner of heat island. For example, there are some low temperature valleys associating with parks. There are apparent negative correlativity between area, perimeter of park landscape patches and its associate with temperature. There is an apparent positive correlativity between shape complexity index of park patches and environment temperature, which is much significant than that of area and perimeter. There are not apparent statistically relationship between area, perimeter of park patches and park's influence on around thermal environment. By contrast there is a significant positive correlativity between shape complexity index of park patches and park's influence on around thermal environment, the shape is more complexity the influence is more intense. So in urban park buildings, except for park types and special location selection, the outline shape of park should be a considered factor for urban thermal environment.

Key Words: Park landscape; urban thermal environment effect; Shanghai City

随着城市化进程不断加速,对由农村土地利用方式转变为城市土地利用方式所形成的生态环境效应的研究显得愈加重要^[1,2]。在所有城市化的环境效应中,热环境效应得到较为广泛的关注^[3~5]。城市热环境是城市环境中重要的代表指标之一,它受到地表的物理性质和人类社会经济活动的共同影响,是城市生态环境状况的综合概括与体现^[3,6,7]。在所有城市景观类型中,公园景观的热环境效应显著区别于其它景观类型。从公园景观的物理组成来看,主要包括大量的草地和树林构成的绿色植被,还有相当多的水面。根据地表热量平衡的原理,不论是绿色植被,还是水体都具有较大的热惯性和热容量值、较低的热传导和热辐射率^[3,8,9]。此外根据周淑贞等人的研究,在太阳辐射下,由于吸热面和贮热面较多,水泥路面和建筑物表面贮存的热量要多于绿地,热存贮量相当于地净辐射的 15%~30%,而有森林和草地覆盖的下垫面,热存贮量只相当于地净辐射的 5%~15%^[9]。

公园景观由其面积大小、边界形状、空间分布等特征构成了不同的景观镶嵌体,景观镶嵌体空间格局与其生态学过程的关系是景观生态学研究中的一个重要问题^[10]。要研究这一问题,往往要定量描述景观镶嵌体的空间特征,例如斑块数量、大小、形状及其相对空间位置等。景观镶嵌体形状特征影响能量、物质以及生物的运动,主要包括:扩散(diffusion)、质量流(mass flow)和携带(locomotion)^[10,11]等。本文通过对城市公园景观斑块的形状特征与热环境效应之间定量关系研究,为城市公园建设和城市规划提供相关借鉴。

本文选择的研究区域是目前中国最大的城市之一,上海。20 世纪 90 年代以前,由于城市建成区面积较小,城市功能分区不合理,城市内部居住、工业、商业混杂加上城市内部公园等开敞空间缺乏,导致城市热岛效应十分突出。20 世纪 90 年代以来,随着浦东开发、开放,10 多年来大规模的旧城改造和城市基础设施建设,特别是城市内部工业外迁和大型公园的建设,对城市生态环境演变具有深远影响。其中城市公园对城市热环境影响是最具代表性的,本文选择上海市外环线内的 110 个公园景观斑块(基本上都为公园,此外包含了高尔夫球场、橄榄球场和新江湾城^①)作为研究对象。

1 技术与方法

1.1 城市公园景观数据获取及其缓冲区分析

上海市外环线以内的 110 个主要公园景观斑块的空间布局如图 1 所示。其中面积比较大的公园斑块包括新江湾城、世纪公园、共青森林公园、上海植物园和上海动物园等。公园景观分布数据是通过 2004 年上海市市区图人工数字化获取的。

为进一步分析城市公园斑块对周围热环境的局地温度的影响,对各个公园斑块进行了缓冲区分析(对距公园边界以外不同距离的方案进行评价后,最终选择缓冲区的距离为 250m),得到所有公园斑块缓冲区的矢

① 新江湾城是在原江湾机场废址上建设的上海近代规模最大的人居项目;因为若干年来,机场局部地区先后长期弃置,出现了大面积的自然复归现象:湿地连片,草木丛生,虫鱼生息,鸟兽繁衍(文汇报 2005-3-22 第 5 版);本文使用影像时间较早,住宅建设还没有开始,这里把其也作为城市公园

$\times 10^{-34} \text{Js}$), c 为光速 ($2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$)^[12]。

表 1 Landsat 7 ETM+ 遥感影像的波段特征

Table 1 Characteristics of Enhanced Thematic Mapper plus (ETM+) bands

波段 Band	空间分辨率 Spatial resolution (m)	波长下限 Lower limit (μm)	波长上限 Upper limit (μm)	波段宽度 Bandwidth (nm)	增益系数 Gain	偏移系数 Offset
1	28.50	0.45	0.52	70	0.786274521	-6.1999998
2	28.50	0.53	0.61	80	0.817254878	-6.0000000
3	28.50	0.63	0.69	60	0.639607867	-4.5000000
4	28.50	0.75	0.90	150	0.939215686	-4.5000000
5	28.50	1.55	1.75	200	0.128470589	-1.0000000
6	57.00	10.40	12.50	2100	0.066823533	0.0000000
7	28.50	2.10	2.35	250	0.044243138	-0.3499999
8	14.25	0.52	0.90	380	0.786274521	-6.1999998

对于城市而言,比辐射率 ε 是复杂、难以确定的。因此,一般都采用间接方法来获取 ε ^[13]。Van 通过实地测量自然地表的热红外($8 \sim 14 \mu\text{m}$)比辐射率和归一化植被指数($NDVI$)后,提出如下经验公式^[14]:

$$\varepsilon = 1.0094 + 0.047 \ln(NDVI) \quad (3)$$

Van 的经验公式是在自然地表上总结出来的,要求 $NDVI$ 的值介于 $0.157 \sim 0.727$ 之间,对于城市而言,很多小于 0.157 的像元,据宫阿都等人的研究,将其比辐射率定为 0.923 ^[15]。而水面,根据相关研究将其比辐射率定为 0.9925 ^[16]。

再利用各个公园的缓冲区与上文计算得到的地表温度栅格数据进行空间叠置,统计得到各个缓冲环内热环境温度的所有统计量。

3 结果与讨论

3.1 LST 的计算结果

图 2 提供了上海市城市热环境温度的遥感反演结果。图上显示,城市的中心温度明显高于郊区,具有明显的城市热岛效应。受到复杂下垫面性质的影响,在城市热岛的内部,温度变化也很显著,在一些公园上形成一些大小各异的低温斑块,北部的新江湾城和共青森林公园尤其明显。

3.2 公园斑块特征及其热环境效应

3.2.1 公园斑块特征

根据景观生态学理论,景观斑块的大小、周长及其边界的复杂性是衡量斑块特征的重要指标^[11]。对外环以内的 110 个公园,按照面积大小、边界长度和边界复杂性(周长面积比)进行统计,结果如表 2 所示。

从表 2 可以看出,上海市公园景观斑块的差异非常显著,不论是面积大小,边界长度还是边界的复杂性均存在明显的差异。面积最大的新江湾城达到 5 km^2 多,最小的西康公园只有 3421.7 m^2 。周长也是如此,新江湾城最大 18107 m ,昆山公园最小,只有 263 m 。若不包括新江湾城,面积最大的是世纪公园,达到 1.4 km^2 ,但周长并不是最大;周长最大是黄浦公园,为 5728.3 m 。

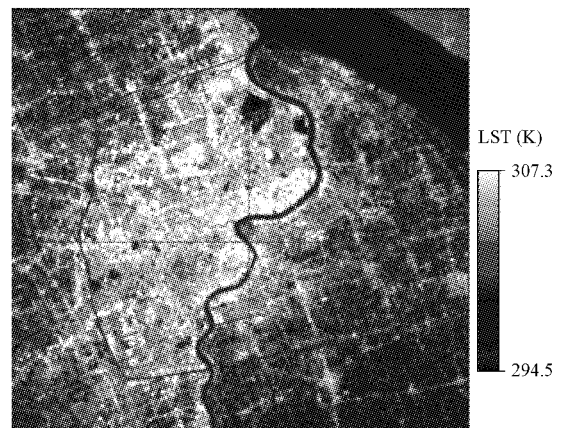


图 2 研究区域内城市热环境的空间格局

Fig. 2 Spatial pattern of urban thermal environment in study region

而从边界复杂性来看,最大值是西康公园,为 0.0827,最小值是新江湾城,为 0.0031。

表 2 上海市主要公园景观斑块的特征统计
Table 2 Statistic result of park landscape patches in Shanghai city

项目 Item	数目 Count	平均值 Mean	最大值 Maximum	最小值 Minimum	变程 Range	方差 Variance	标准差 Standard deviation
斑块大小 Patch size	110	183105.77	5757255.0	3421.7	5753833.3	340884154179.9	583852.6
边界长度 Edge length	110	1564.22	18107.23	263.00	17844.23	3956899.93	1989.20
周长面积比 Perimeter/Area	110	0.0245	0.0827	0.0031	0.0796	0.0002	0.0148

3.2.2 公园斑块的热环境效应

将公园景观斑块与城市热环境进行叠置,通过分析各公园对应热环境温度与其斑块特征之间的关系发现,总体上公园温度随着公园面积的增加而减小,即热环境温度与公园面积成反比。但二者的总体相关性较低,相关系数为 -0.4620 。面积较大的公园受周围环境影响相对较弱,与温度的统计相关性明显高一些。例如温度最低的公园为“共青森林公园”,面积仅次于新江湾城和世纪公园。图 3 为按照大小排在前 16 位的公园面积与其对应温度的关系,相关系数提高到 -0.6842 。根据散点分布图,二者的关系符合对数模型。根据图 3 中的

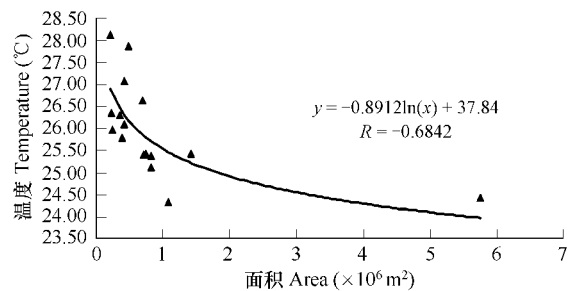


图 3 面积前 16 位的公园的面积与温度关系
Fig. 3 The relationship between patch area and temperature for top 16 parks

公式,当公园面积从 0.5 km^2 增加到 1 km^2 时,对应温度降低 0.6177°C ;而从 1 km^2 增加到 2 km^2 时,对应温度降低 0.6177°C ;从 2 km^2 增加到 3 km^2 时,对应温度也只是降低 0.3614°C ;从 3 km^2 增加到 4 km^2 时,对应温度也只是降低 0.2564°C 。可见热环境温度随着公园面积的增加而降低的速度是非均匀的,随着公园斑块面积的增加,下降的幅度越慢。

由此可见,公园面积过小对城市局地热环境的影响很小。当然,由于各个公园斑块内部地表覆盖的差异,导致面积较大公园的热环境效应也存在一定的差异。例如共青森林公园等几乎全部为林地和草地,不透水面分布很少;另外一些公园内还包括了大面积的水面,例如世纪公园、长风公园等;而其他一些公园内部有大量的不透水建筑等。公园内地表覆盖的差异导致相同面积范围的公园热环境效应也有较大差异。

斑块边界的宽度、长度、连续性和曲折性是衡量边界形态的主要指标,这里选用边界的周长作为衡量边界的代表指标。计算发现,上海市各主要公园的周长与其所对应热环境温度的相关关系明显要好于公园面积。二者具有显著的负相关关系,相关系数 R 为 -0.7234 。下图为公园斑块的周长与城市热环境温度的散点图,曲线为对二者关系模拟的结果,具体模型见图 4。

从图 4 可以看出,各公园所对应的热环境温度随着公园斑块边界周长的增加而减小。而且当公园斑块边界较大时,周长变化对城市热环境温度变化影响越小。当边界周长较小时,斑块对应热环境温度减小的速度也更快。二者关系用指数模型拟合效果较好,具体公式如图 4。模型的相关系数为 -0.7234 ,相关系数在 0.001 的置信水平上是显著的。面积和周长是两个密切相关的指数,在面积的基础上考虑周长才更有意义,因此,图 4 反映的只是公园周长与温度之间的总体关系。

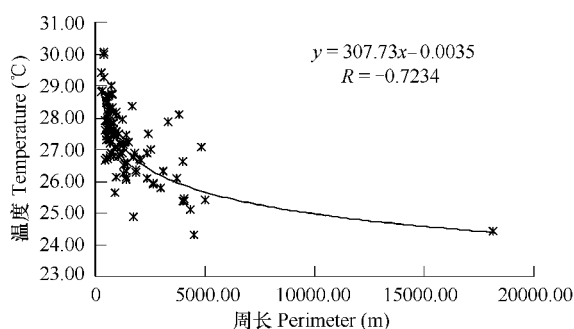


图4 公园斑块边界周长与热环境温度的关系

Fig.4 The relationship between park perimeter and thermal environment temperature

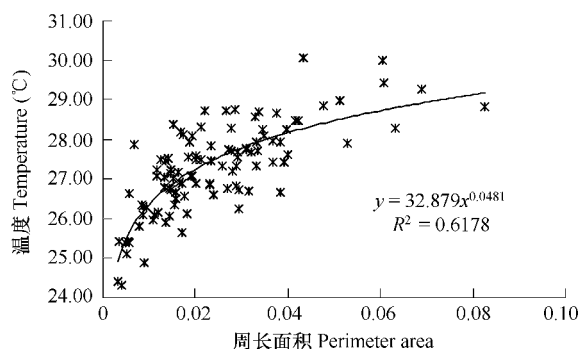


图5 上海市公园斑块形状指数与热环境温度的关系

Fig.5 The relationship between park shape index and thermal environment temperature

根据 Wiens 等人在 1993 年的研究发现,周长面积比是反映斑块形状的重要指标,周长面积比越大的斑块,说明形状越复杂,这样斑块内部的能量、物质以及信息与斑块周围环境的交流就越容易^[17],因此用周长面积比来表征形状指数。在所有公园斑块中形状指数最小的是新江湾城,为 0.0031,因为新江湾城面积很大,而边界又相对规则。新江湾城对应的热环境温度较低,排在倒数第二,为 24.423 °C,仅次于共青森林公园的 24.325 °C。除了新江湾城外,斑块形状指数排在后面的还有世纪公园、共青森林公园、汤臣、上海动物园、上海植物园、黄兴公园等,这些公园的温度也都比较低。在所有公园斑块中,斑块形状指数较大的,排前 5 位的公园分别是西康公园、霍山公园、梅川公园、昆山公园和惠民公园,温度均在 28 °C 以上,其中霍山公园、昆山公园和惠民公园更是达到了 29 °C 以上。上图是上海市所有公园斑块形状指数与对应热环境温度的散点图,温度与形状指数的关系正如上面分析的那样,形状越简单,形状指数越小,温度也越低,随着形状指数的增加,即斑块的形状趋于复杂,对应温度也逐渐增加。二者的统计规律较好,符合指数分布模型。从模型本身来看,拟合程度远远好于面积、周长与热环境关系模型,因此从公园斑块景观与城市热环境温度的关系来看,形状指数与热环境之间的模拟模型逼近度最高。

在城市热岛效应的影响下,城市公园的热环境效应也表现出一定的空间规律特征。其中,热环境温度最低的十个公园分别为,共青森林公园、新江湾城、橄榄球场、上海动物园、汤臣、上海植物园、世纪公园、长宁区公园、牡丹公园和长风公园,除了浦东的世纪公园位于内环线以内(热岛中心在浦西)之外,其它的公园都分布在内环以外,说明这些公园斑块对热环境的影响除了自身特征外,还与公园的空间位置有较大的关系。在中心城区的公园,无疑受到城市热岛效应的影响更为强烈,从中心城区越往外,热岛效应的强度越低,公园受到的影响也越小。同样的,在浦西地区内环以内的所有公园中,即位于热岛中心区的所有公园中,中山公园、鲁迅公园以及和平公园是温度最低的 3 个,均靠近内环线的边缘,即热岛中心的最外端。由此可以说明,各个公园的热环境效应,除了公园斑块的面积、周长、形状外还与空间相对位置息息相关。

3.3 公园斑块特征对周围局地热环境的影响

公园斑块内部与缓冲区内对应的热环境温度均值差异一定程度上反映了公园景观斑块对周围热环境的影响。平均温差最大值是新江湾城,缓冲带的平均温度比公园内高 3.113 °C。另外,和平公园、长风公园、中山公园、杨浦公园、上海植物园、长宁公园、鲁迅公园、广中公园、共青森林公园、闸北公园和复兴公园共 11 个公园的平均温差都在 2 °C 以上,其中和平公园最大,为 2.712 °C;复兴公园最小,为 2.103 °C。上海动物园、人民公园和黄兴公园等 29 个公园的平均温差都在 1 °C 以上,其中上海动物园最大,为 1.935 °C;松鹤公园最小,温差为 1.062 °C。其它公园平均温差都在 1 °C 以下(表 3)。

表 3 公园斑块内与缓冲区内热环境的平均温差

Table 3 Average temperature difference between park patches and its buffer zones

平均温差(℃) Mean temperature difference	公园名称 Park name
>3	新江湾城 New Jiangwan Town
2~3	和平公园 长风公园 中山公园 杨浦公园 上海植物园 长宁公园 鲁迅公园 广中公园 共青森林公园 闸北公园 复兴公园 Peace Park Changfeng Park Zhongshan Park Yangpu Park Shanghai Arboretum Changning Park Luxun Park Guangzhong Park Gongqing Forest Park ZhaBei Park Fuxing Park
1.5~2	上海动物园 人民公园 黄兴公园 天山公园 康健园 大华行知公园 大桥花园 岭南公园 虹桥高尔夫球场 Shanghai Z. G. People Park Huangxing Park Tianshan Park Jiankang Park Dahua Xingzhi Park Daqiao Park Lingnan Park Hongqiao Golf Course
1~1.5	海棠公园、曲阳公园、新虹桥中心公园、内江公园等 20 个 Haitang Park Quyang Park New Hongqiao Centre Park Neijiang Park etc.
<1	蓬莱公园、真光公园、仙霞公园等 59 个 Penglai Park Zhenguang Park Xianxia Park etc.

综合以上分析可知,不同公园斑块对周围热环境的影响差异很大。斑块内部与缓冲区平均温差越大,在一定程度上说明公园斑块对周围热环境的影响可能相对较弱;相反,那些内外部平均温差较小的公园斑块,则可能对周围热环境的影响相对较强。为了进一步探讨造成这种影响强弱的原因,分别对各个公园斑块的大小、边界长度以及形状指数与斑块内外的平均温差进行相关分析。

统计发现,公园斑块的面积大小、边界长度与内外部平均温差相关性较差,相关系数分别为 -0.4299 和 -0.4976 ,解释能力较弱。而斑块形状指数与内外部平均温差的相关性则有较大提高,相关系数达到 0.7198 ,在 0.001 的置信水平上是显著的。说明公园斑块对周围热环境的影响与斑块形状关系更密切。形状指数与温度差的关系如图 6 所示,随着公园斑块形状指数的增加,公园斑块的形状越趋于复杂,这时斑块内外部的平均温差的绝对值则逐渐减小,内外部热环境温度趋于一致,这在一定程度上,表明公园斑块对周围热环境的影响力逐渐增强。可以用对数模型来模拟上述公园斑块形状指数与内外部平均温差之间的关系变化,具体模型公式如图 6,其中 Y 为公园斑块与周边缓冲区内热环境的平均温差,因为内部温度相对较低,所以 Y 一般为负值; X 为公园斑块的形状指数。

从定量的角度看,当公园斑块形状指数从 0.01 增加到 0.02 时,缓冲区与公园的温差从 $1.6027\text{ }^{\circ}\text{C}$ 减少到 $1.0780\text{ }^{\circ}\text{C}$;当公园斑块形状指数从 0.02 增加到 0.03 时,温差从 $0.7711\text{ }^{\circ}\text{C}$ 减少到 $0.5533\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。由此可见,总体上相同面积下形状越复杂,说明斑块内部与周围热环境的热量流作用越强,公园斑块对周围热环境温度的缓解能力可能也就越大。但是,根据上文研究,周长越大,面积越小,对应公园温度越低;因此考虑公园斑块对周围局地热环境的影响,必须考虑在一定面积基础上,面积越大的公园,形状越复杂,对周围气温影响越有意义。

因此,在城市规划中,对于公园建设,在考虑面积的基础上,公园的形状不应该是单一的、十分规则的,增加斑块形状的复杂性将会促进公园景观对周围环境的影响,更大程度的发挥公园改善城市生态环境的效率。

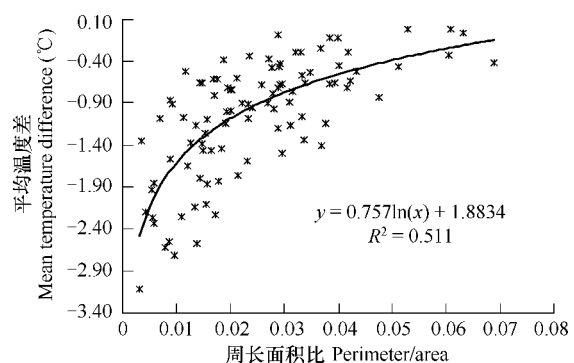


图 6 公园斑块形状指数与内外部平均温差的关系

Fig. 6 The relationship between park patch shape index and average temperature difference

4 结论

本文基于 ETM + 遥感数据和 GIS 空间分析方法,重点探讨了城市公园景观斑块的热环境效应特征,得到如下结论。

(1) 不论面积,边界长度还是边界的复杂性均表明上海市公园景观斑块的差异非常显著。对公园斑块形状特征与城市热环境温度关系的分析发现,公园景观斑块的面积、周长与温度具有负相关关系,面积越大或者周长越长对应的热环境温度越低;而形状复杂性指数则与环境温度具有显著的正相关关系,形状越复杂对应的热环境温度越高。形状复杂性指数则与环境温度的相关程度远高于面积、周长与温度的相关程度。

(2) 热环境温度随着公园面积的增加而降低的速度是非均匀的,随着公园斑块面积的增加,下降的幅度越慢,当公园面积从 0.5 km^2 增加到 1 km^2 时,对应温度降低 0.6177°C ;而从 1 km^2 增加到 2 km^2 时,对应温度只是降低 0.6177°C 。而形状复杂性指数则与公园对周围热环境影响力则具有显著的正相关关系,形状越复杂,公园对周围热环境影响力越强。当公园斑块形状指数从 0.01 增加到 0.02 时,缓冲区与公园的温差从 1.6027°C 减少到 1.0780°C ;当公园斑块形状指数从 0.02 增加到 0.03 时,温差从 0.7711°C 减少到 0.5533°C 。由此可见,总体上相同面积下形状越复杂,说明斑块内部与周围热环境的热量流作用越强,相应公园斑块对周围热环境温度的缓解能力也就越大。但是必须考虑在一定面积基础上,面积越大的公园,形状越复杂,那么其对周围气温影响越有意义。

(3) 公园斑块的面积以及周长大小与公园对周围热环境影响力在统计上相关性较低;因此,在城市公园建设中,除了公园类型、空间选址、公园大小外,斑块形状也应作为考虑因素之一。

References:

- [1] Owen T W, Carlson T N, Gillies R R. An assessment of satellite remotely-sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19: 1663 — 1681.
- [2] Vitousek P M, Mooney H A, Lubchenco J, *et al.* Human domination of earth's ecosystems. *Science*, 1997, 277: 494 — 499.
- [3] Wilson J S, Clay M, Martin E, *et al.* Evaluating environmental influence of zoning in urban ecosystems with remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 86: 303 — 321.
- [4] Lo C P, Quattrochi D A, Luvall J C. Application of high-resolution thermal infrared remote sensing and GIS to assess the urban heat island effect. *International Journal of Remote Sensing*, 1997, 18: 287 — 303.
- [5] Carlson 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. *Remote Sensing Reviews*, 1994, 9: 161 — 173.
- [6] Yue W Z, Xu J H, Xu L H. An analysis on eco-environmental effect of urban land use based on remote sensing images. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 26(5): 1450 — 1460.
- [7] Nichol J E. High-resolution surface temperature patterns related to urban morphology in a tropical city; a satellite-based study. *Journal of Applied Meteorology*, 1996, 28: 276 — 284.
- [8] Huang J, Akari H, Taha H, *et al.* The potential of vegetation in reducing summer cooling loads in residential buildings. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 1987, 26: 1103 — 1106.
- [9] Zhou S Z, Su J. *Urban Climatology*. Beijing: China Meteorological Press, 1994. 244 — 345.
- [10] Forman R T, Godron M. *Landscape Ecology*. New York: John Wiley & Sons, 1986.
- [11] Wu J G. *Landscape ecology pattern, process, scale and hierarchy*. Beijing: Higher Education Press, 2000. 104 — 105.
- [12] Landsat Project Science Office. *Landsat 7 science data user's handbook*. Goddard Space Flight Center. 2002, www address: http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc.html.
- [13] Weng Q. Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2003, 69(5): 555 — 565.
- [14] Van De Griend A, Owe M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for nature surfaces. *Int.*

J. Remote Sensing, 1993, 14(6): 1119—1131.

- [15] Gong A, Jiang Z, Li J, *et al.* Urban land surface temperature retrieval based on landsat TM remote sensing images in Beijing. Remote Sensing Information, 2005, (3): 18—20.
- [16] Masuda K, Takashima T, Takayama Y. Emissivity of pure and sea waters for the model sea surface in the infrared window region. Remote Sensing of the Environment, 1988, (24): 313—332.
- [17] Wiens J A, Stenseth N C, Horne B V, *et al.* Ecological mechanisms and landscape ecology. Oikos, 1993, 66: 369—380.

参考文献:

- [6] 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——以城市热环境和植被指数为例. 生态学报,2006,26(5): 1450~1460.
- [9] 周淑贞,束炯. 城市气候学. 北京:气象出版社,1994. 244~345.
- [11] 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. 12 104~105.
- [15] 宫阿都,江樟焰,李京,等. 基于 Landsat TM 图像的北京城市地表温度遥感反演研究. 遥感信息,2005,(3):18~20.