

# 面积与植物群落结构对城市公园气温的影响\*

陈 朱<sup>1</sup> 陈方敏<sup>1</sup> 朱飞鸽<sup>1</sup> 曹 璐<sup>1</sup> 沈兴华<sup>1</sup> 李俊祥<sup>1,2\*\*</sup>

(<sup>1</sup>华东师范大学环境科学系, 上海 200062; <sup>2</sup>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** 城市公园对城市热岛的缓解作用广为人知,但是对公园面积和结构如何影响其降温作用却缺乏足够的了解。选择上海市 15 个公园,研究公园面积和植物群落结构对秋季公园气温和公园冷岛强度的影响,结果表明:秋季城市公园的温度比周边商住区的温度低,公园有明显的冷岛效应,公园的位置影响公园的降温效果,市区公园的气温和冷岛强度与公园面积之间存在显著的定量关系,市区公园的气温随公园面积的增加而增加,冷岛强度则随公园面积增加而降低。公园内不同植物群落类型的降温效果存在差异,其中乔-灌-草类型降温效果最好。

**关键词** 公园面积; 植物群落结构; 城市热岛; 公园冷岛强度; 上海

**中图分类号** P901 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2011)11-2590-07

**Effects of park size and plant community structure on urban park air temperature.** CHEN Zhu<sup>1</sup>, CHEN Fang-min<sup>1</sup>, ZHU Fei-ge<sup>1</sup>, CAO Lu<sup>1</sup>, SHEN Xing-hua<sup>1</sup>, LI Jun-xiang<sup>1,2\*\*</sup> (<sup>1</sup>Department of Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China; <sup>2</sup>Shanghai Key Laboratory of Urbanization and Ecological Restoration, Shanghai 200062, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(11): 2590-2596.

**Abstract:** The mitigation effect of urban park on urban 'heat island' is well known, but how the park size and plant community structure affects urban park air temperature is rather unknown. Selecting 15 urban parks in Shanghai as test objects, this paper analyzed the effects of their size and plant community structure on their air temperature in autumn. It was observed that the air temperature in the parks was lower than that in surrounding residential and commercial areas, indicating that the parks had obvious cool island effect. Park location affected the cool island effect, and there existed significant quantitative relationships among the 'cool island' intensity, air temperature in autumn, and park size. The 'cool island' intensity was decreased with increasing park size, while the air temperature was increased with increasing park size. Among the plant community structures in the parks investigated, tree-shrub-grass had the best effects on the decrease of the air temperature in autumn in the parks.

**Key words:** park size; plant community structure; urban heat island; park cool island intensity; Shanghai.

城市绿地是城市的关键景观类型之一,城市绿地系统是城市生态系统的重要组成部分。随着城市化的加剧,城市不透水面激增,导致城市热岛效应加剧,而城市绿地作为有生命的城市基础设施,是唯一可以通过城市规划来缓解城市热岛效应的景观要素(曹璐等,2011;Li *et al.*, 2011)。绿色植物通过蒸腾蒸散作用,降低温度,增加湿度,是改善城市热岛效

应的关键因素(Oke,1982;Oke *et al.*, 1989)。因此,合理规划和增加城市绿地是缓解热岛效应的有效手段(Jauregui,1990)。众多的研究表明,城市绿地可有效降低自身及一定范围内的周边环境的气温和地表温度及增加空气相对湿度等,从而缓解城市热岛效应,产生“冬暖夏凉”的气温调节作用(Huang *et al.*, 1987;Taha,1997;周红妹等,2002;李俊祥等,2003;葛伟强等,2006)。在城市绿地系统规划建设,绿地的大小、形状和绿地内的植物群落结构是可调控的要素,也是决定规划和建设成本,以及绿地生

\* 国家自然科学基金项目(30770384)、教育部科学技术重点项目(106079)和华东师范大学“211”生态学重点学科项目资助。

\*\* 通讯作者 E-mail: jxli@des.ecnu.edu.cn

收稿日期: 2011-04-20 接受日期: 2011-05-23

态效益发挥的关键指标。

Dimoudi 和 Nikolopoulou (2003) 用计算流体力学方法 (computational fluid dynamics, CFD) 模拟城市公园的大小、城市的几何结构或纹理结构 (urban texture)、走向、植被的类型、风速、距离公园的距离等要素如何影响公园对气温的影响, 结果表明公园大小和距离公园的距离是影响公园降温效应的关键因子, 公园降温效果随面积的增加而增大, 但缺乏实证研究。而 Chang 等 (2007) 在台北对 61 个公园的气温与面积关系的研究, 以及苏泳娴等 (2010) 在广州用遥感方法提取地表温度与公园面积的关系的研究结果, 均不支持上述模拟研究的结果。因此, 究竟公园面积如何影响公园对温度的调节作用仍需要进一步开展研究。

除了公园的大小影响公园的降温效果以外, 公园内植物群落的结构也影响降温增湿作用 (李晓储等, 2008; 刘娇妹等, 2008; 武小钢等, 2008; 唐罗忠等, 2009), 但上述研究多基于单个或少数几个绿地开展研究, 研究结果容易受取样数量的影响而缺乏说服力。尽管上海四季均存在城市热岛效应 (束炯等, 2000), 但是主要的城市热岛还是出现在秋冬季, 尤以秋季最强 (周淑贞, 1982)。城市公园及其群落结构在秋季热岛强度最严重的季节如何调节气温, 却少有研究。因此, 开展城市公园在秋季的热岛调节作用, 有助于进一步增进人们对公园调节城市热岛效应的理解, 为城市绿地的合理规划和布局提供参考和科学依据。

本研究选择位于上海市区和郊区的 15 个公园, 研究秋季公园对气温的影响, 从公园的等级和结构尺度水平上来探讨城市公园绿地对城市热岛效应的影响, 旨在探讨: 1) 公园的面积是否对公园的降温效果产生影响; 2) 公园内植物群落类型如何影响公园的温度。研究结果将有利于加深对城市绿地缓解热岛效应作用机理的理解, 为上海的城市绿地规划布局以及绿地系统优化管理提供参考。

## 1 研究对象与研究方法

### 1.1 公园取样

为研究公园面积大小对城市热岛的缓解效应, 在上海市东西方向上 10 km 宽的条带上采用分层随机抽样的方法选取公园 (Chang *et al.*, 2007), 为避免水域和邻近绿地的干扰, 排除了靠近水系及周边有其他大型绿地的公园, 最终选取了 15 个面积不等

的公园 (图 1), 公园内的绿地、步道、水体等景观组成信息 (表 1) 通过数字化 2005 年 1:50000 上海市航空遥感影像获得。选取公园周边 2~3 个商住区作为对比和参考点, 商住区离公园的距离要大于一个公园的宽度。

为研究公园内绿地的群落结构对减缓温度的效应, 在上述公园中选取乔-灌-草、乔-草、草地 3 类群落结构为主要观测对象, 乔木层主要是以常绿树种如香樟、广玉兰、雪松、龙柏等为主, 灌木层以小叶黄杨、八角金盘、蚊母树等为主。

### 1.2 研究方法

公园内部的气温观测分别选取 15 个公园中郁闭度大于 60% 的乔-灌-草复合型、乔-草类型、以及开阔草地, 以公园内的水泥广场或道路为非绿地对照观测点。商住区内的气温观测选择其内部无遮阴地点。气温观测采用小气候观测中常用的往返式流动观测法, 具体为: 将 15 个公园按照最近距离原则分组, 尽可能减少在公园之间驾车花费的时间, 以保证观测时间的准同步性。事先进行 2~3 次试运行观测, 以确定观测地点、行车路线、行车速度和观测时长, 保证熟练操作和准确记录。经试验, 行车速度保持在  $20 \sim 30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , 观测时间控制在 15 min 之

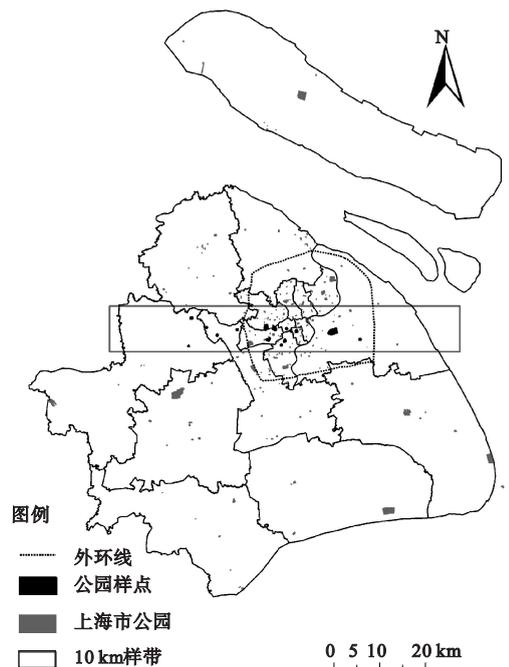


图 1 观测公园的位置示意图

Fig. 1 Location of sampled parks in Shanghai

表1 观测公园的面积及景观组成

Table 1 Area and landscape compositional element of the sampled parks

公园名称	位置	总面积 (hm <sup>2</sup> )	草地面积与比例		步道面积与比例		乔灌类面积与比例		水体面积与比例	
			(hm <sup>2</sup> )	(%)						
光启公园	市区	1.1	0.1	5.3	0.2	15.9	0.8	76.3	0.0	2.5
纪王公园	郊区	1.9	0.3	14.0	0.3	18.4	1.3	67.6	0.0	0.0
紫薇公园	市区	2.1	0.6	26.7	0.2	11.4	1.2	55.9	0.1	6.1
襄阳公园	郊区	2.3	0.3	14.3	0.6	27.2	1.3	58.5	0.0	0.0
华漕公园	郊区	3.0	0.3	8.8	1.0	33.2	1.5	50.6	0.2	7.4
诸翟公园	市区	3.3	1.1	34.8	0.5	14.8	1.3	38.4	0.4	12.0
静安公园	郊区	3.8	0.4	9.9	0.5	12.4	2.8	73.2	0.2	4.4
凤溪公园	郊区	4.8	2.2	46.4	0.9	17.8	1.7	35.8	0.0	0.0
华新公园	郊区	7.7	3.7	47.4	1.4	18.0	1.6	20.7	1.1	13.9
徐家汇公园	市区	8.4	1.3	14.8	2.5	30.0	4.2	49.9	0.5	5.4
复兴公园	市区	9.1	2.6	28.3	1.8	19.4	4.2	45.6	0.6	6.8
新虹桥中心花园	市区	13.7	4.5	32.5	3.4	24.9	4.7	33.8	1.2	8.8
中山公园	市区	20.4	2.0	9.7	4.0	19.8	13.7	67.0	0.7	3.6
长风公园	市区	37.1	1.2	3.2	8.5	22.9	15.2	41.1	12.2	32.8
世纪公园	市区	138.2	57.8	41.8	21.8	15.8	29.6	21.4	28.9	20.9

内,观测时间为整点观测,即提前 30 min 在起始公园开始 15 min 的观测,结束后赶往下一个公园,在整点前约 8 min 开始观测,15 min 结束观测后,再返回起始公园按照同样的路线进行流动观测,将前后 2 次的观测数据进行平均,以代表起始点整点时刻的温度。

气温观测在各典型群落类型中分别设置 5 个观测点,各观测点距周围其他障碍物 10 m 以上。气温采用 AZ8705 自动温湿度仪测定。具体观测方法为,根据每个群落类型的实际形状、大小和布局,以“1 字形”、“梅花形”、“十字形”或“之字形”布置 5 个测点,每个测点观测 3 组温度数据,取 5 个测点的平均值代表此群落类型的气温。在观测的同时,记录下每个样地的位置及周边环境特征。各观测项目的测点高度均为距观测表面 1.5 m。观测日期为 2009 年 10 月 26 日、29 日 2 个晴朗无风日,云量 10% 以下,夜晚观测时间为 18:30—23:00,白天观测时间为 11:30—15:00。

### 1.3 数据处理

实验前仪器校正:将实验所用手持式温湿度仪平稳同高(温湿度仪距地面 1.5 m)放置于同一开阔场地(华东师范大学共青场),同步观测记录温湿度数据,连续观测 2 h,待仪器读数平稳后,记录并对比每个仪器的观测结果,根据各组平均值得出各仪器的校正系数,用于校正每个公园的气象观测数据。同时采用距离观测公园最近的上海市气象局设立的固定气象站当天的全天观测数据为参照,对观测结

果进行统一校正。

## 2 结果与分析

### 2.1 公园气温与公园面积的关系

观测结果表明,总体上秋季公园内的气温比周边的居住区和商业区的气温要低,城市公园发挥着降低温度的“冷岛效应”的功能。在秋季,公园白天的气温明显高于夜间,白天不同公园之间的气温差最高可达 7.82 °C,平均气温为 25.55 °C,但气温变异较大( $SD=2.51$  °C),各公园的气温在公园平均气温两侧分布相对均匀(图 2a);夜间不同公园之间的气温差最高可达 5.91 °C,平均气温为 20.45 °C,但气温变异相对较小( $SD=1.89$  °C)(图 2b);公园日夜平均温差达到 5.1 °C。白天绝大多数公园比周边商住区的温度低,公园比周边商住区平均低 0.87 °C,最低可达 2.35 °C,公园起着“冷岛”的作用,但是 15 个公园中有 2 个公园的温度高于周边商住区的温度,起着“热岛”的作用(图 2c);夜晚所有观测公园的气温均比周边商住区的气温低,公园比周边商住区平均低 1.32 °C,最低可达 3.34 °C(图 2d)。总体上来看,面积  $\geq 7$  hm<sup>2</sup> 的公园,夜晚和白天的冷岛强度均在公园的平均冷岛强度之上,而且随着公园面积的增加,冷岛强度逐渐降低。

在秋季,从所有观测公园的气温与面积的关系来看,公园内的气温以及公园的“冷岛强度”与公园的面积之间没有显著的相关关系(图 2)。但是当考虑公园所处的位置时,发现公园面积与气温及冷岛

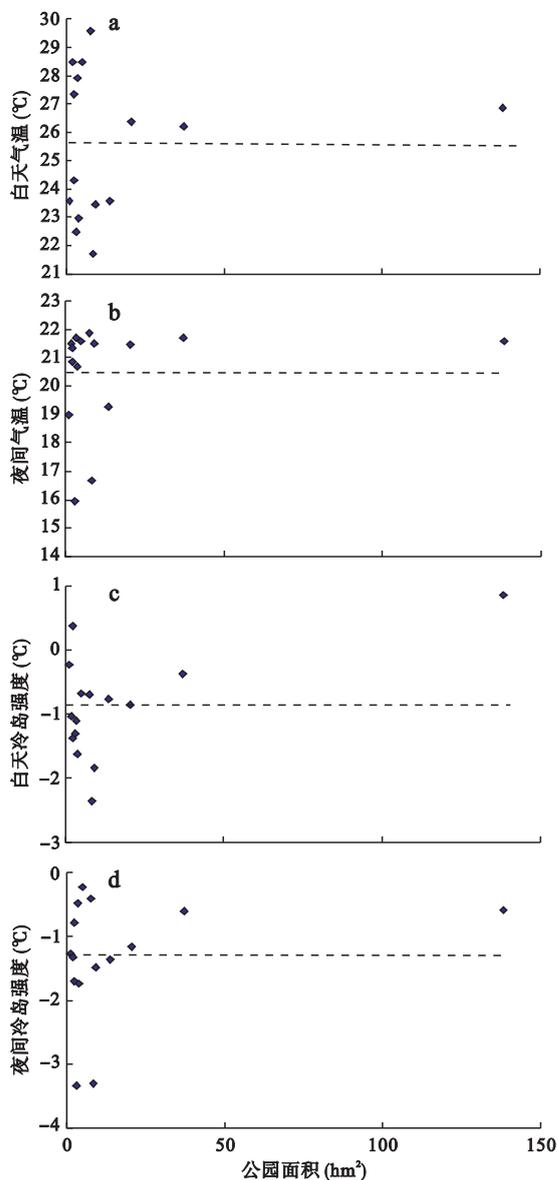


图2 季公园内部气温、冷岛强度与公园面积的关系  
Fig.2 Scatter plot of park size to interior air temperature and local cool/heat island intensity (LCI)  
虚线是气温及温差的均值。

强度之间存在定量关系。在进行定量分析时,剔除了观测异常值,市区公园中的徐家汇公园和郊区公园中的华漕公园,因为其白天和夜晚气温及冷岛强度数值均远小于对应的样本标准差,因此在定量分析时没有包含这两个公园的观测数据。对位于市区的公园,公园白天和夜晚的气温随着公园面积的增加而升高,两者之间存在对数函数的关系(图3a, b);公园的冷岛强度随着公园面积的增加而下降,白天公园的冷岛强度与公园面积之间存在显著的线性负相关(图3c),夜间公园的冷岛强度与公园面积之间存在显著的对数关系(图3d)。郊区的公园除

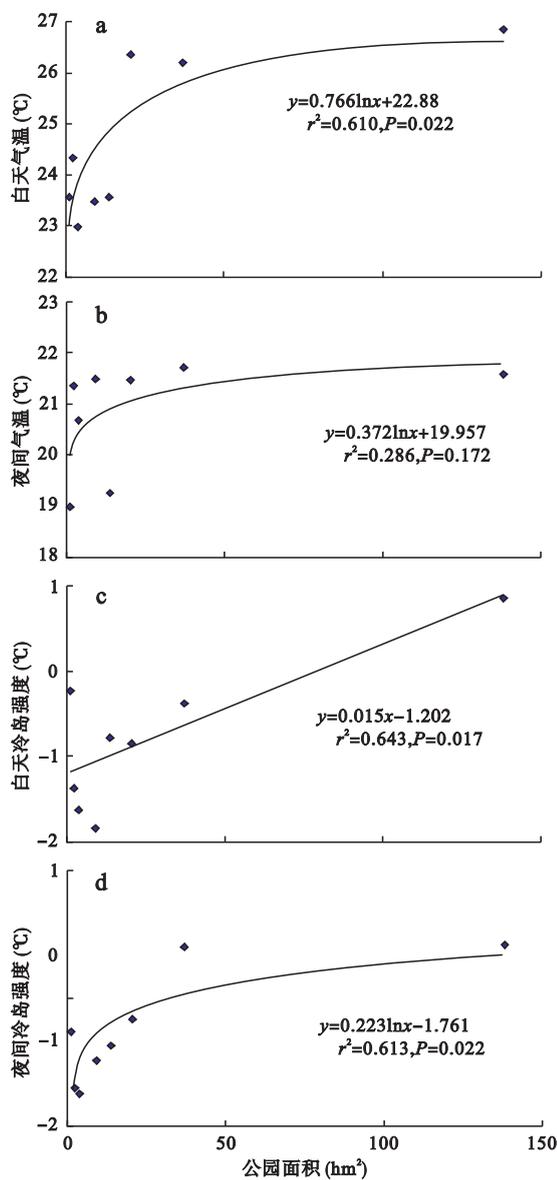


图3 秋季城区公园日夜气温、日夜公园冷岛强度与公园面积的关系  
Fig.3 Relationships between interior air temperature and local cool/heat island intensity (LCI) and park size in urban areas

了白天气温与公园面积之间存在显著的线性正相关外(图4a),夜间气温、日夜冷岛强度与公园面积之间的定量关系不显著(图4b,c,d)。

## 2.2 公园内植物群落结构对温度的影响

在秋季,公园内绿地的群落结构对气温有明显的影响,白天市区公园内植物群落的气温均比公园内铺砌广场(即不透水下垫面)的气温低,气温总体呈现广场>草地>乔-草>乔-灌-草(图5a);夜晚公园植物群落内的气温总体呈现乔-灌-草>乔-草>草地,但是相比于铺砌广场,约一半的公园植物群落内

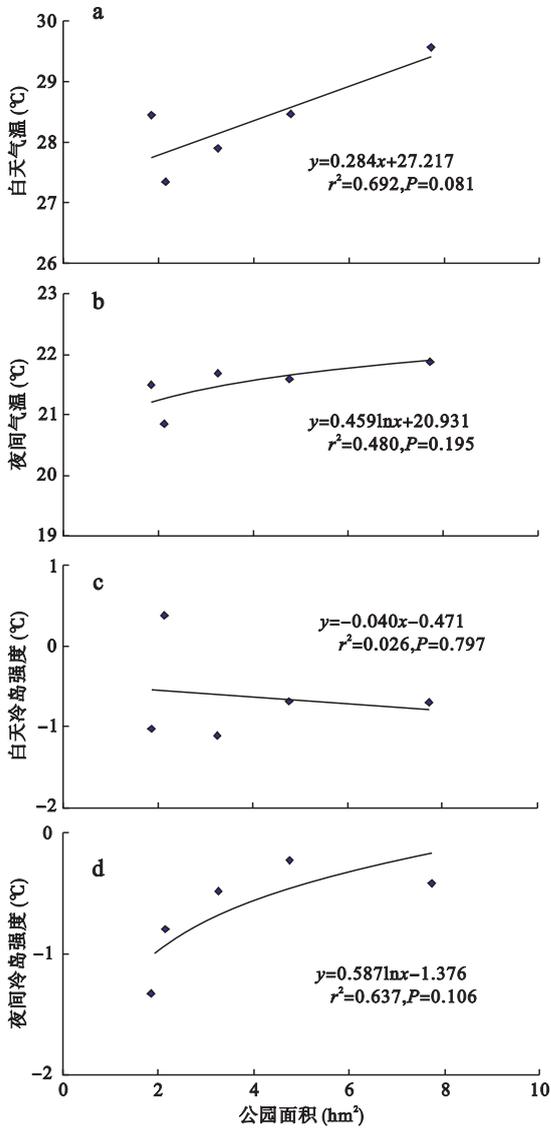


图4 秋季郊区公园日夜气温、日夜公园冷岛强度与公园面积的关系

Fig. 4 Relationships between interior air temperature, local cool/hot island intensity (LCI) and park size in suburban areas

的气温高于广场(图5b)。郊区公园白天植物群落内的气温均低于铺砌广场的气温,气温总体呈现广场>草地>乔-草>乔-灌-草(图5c),夜间各群落之间的的气温差异不大,但均低于公园内铺砌广场的气温(图5d)。平均起来,坐落在市区的公园,白天各群落类型总体平均气温均低于公园内铺砌广场的气温,呈草地>乔-草>乔-灌-草,各群落类型的气温变异则呈乔-灌-草>乔-草>草地,夜间平均气温呈乔-草>乔-灌-草>广场>草地(图6a);坐落在郊区的公园,白天各群落类型的平均气温的高低顺序与市区公园的顺序相似,呈现广场>草地>乔-草=乔-灌-草,夜间

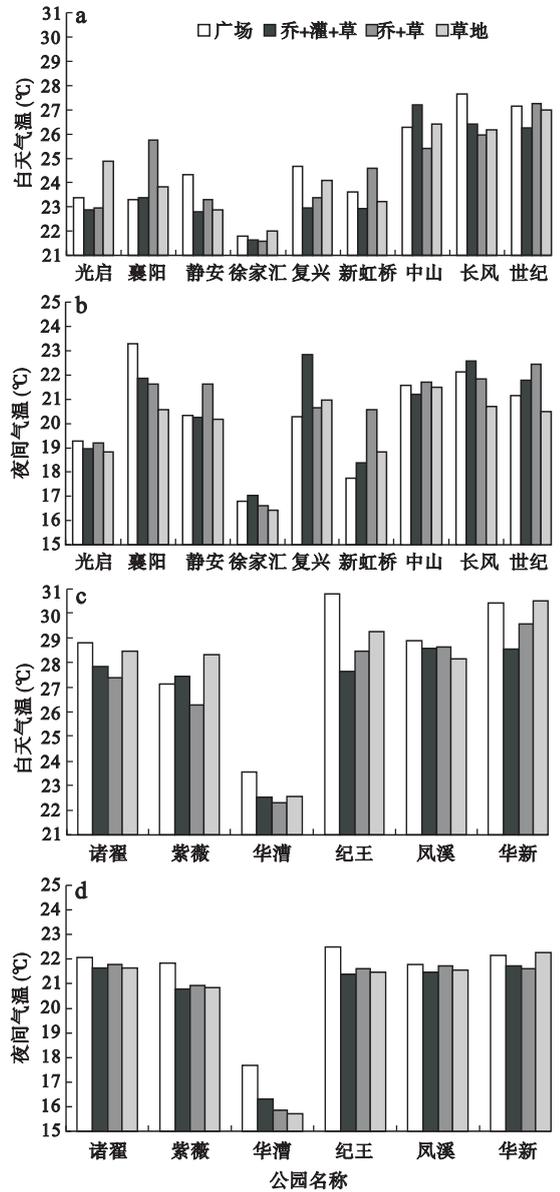


图5 市区和郊区公园内不同群落的日夜气温  
Fig. 5 Air temperature in different plant communities in park in urban and suburban areas  
a, b 为市区, c, d 为郊区。

各群落类型之间的的气温几乎相等,但均低于铺砌广场的气温(图6b)。市区公园与郊区公园相比,郊区公园各群落类型在秋季午间的平均气温要显著高于市区,夜间平均气温相差不大(图6)。

### 3 讨论与结论

本研究表明,城市公园内部的气温明显低于周边商住区的气温,绝大多数公园起着局部“冷岛效应”的作用。本研究还显示,白天公园的冷岛强度(0.87℃)低于夜间的冷岛强度(1.32℃),前人研究结果显示,城市热岛效应夜间强,白天弱(束炯

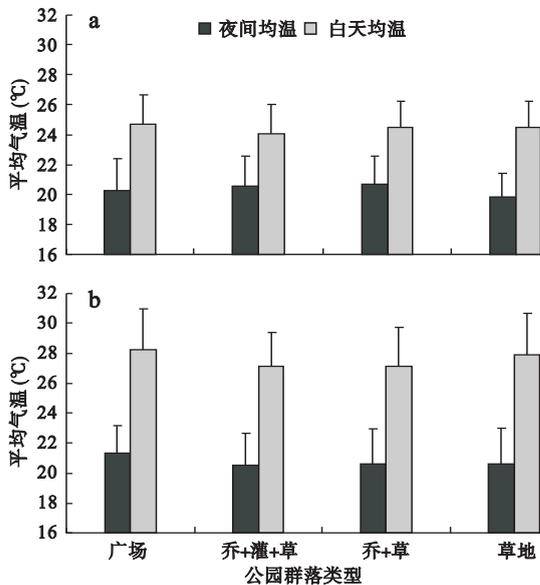


图6 公园内植物群落内的日夜温度

Fig. 6 Variation of mean air temperature in different plant community in urban park

误差线为标准偏差, a. 市区, b. 郊区。

等,2000;邓莲堂等,2001),这表明公园的降温效果有着随热岛强度增加而增强的趋势。

面积对公园的温度是否有影响?这涉及到多大面积的绿地具有最佳的降温效果,以及大公园是否可以被同等面积的多个小公园替代的问题,是城市绿地规划设计中至今尚无明确答案的问题之一(Chang *et al.*, 2007)。本研究表明,公园面积确实对公园的温度产生影响,面积与公园内的温度之间是否存在定量关系,取决于公园所处的位置,市区公园的日夜气温随公园面积的增加而增加,而冷岛强度增随公园面积的增加而减弱;郊区公园也存在与市区公园类似的趋势,但是相关性不显著。由此可见,并非公园面积越大降温效果越好,本研究表明,在市区,公园的降温效果随着公园面积的增加而降低,小公园尽管温度变异很大,但降温效果甚至优于大公园。这个结论和苏泳娴等(2010)在广州用遥感影像提取的地表温度与公园面积的关系的结果相一致,但不支持前人的模拟研究的结果:公园内的气温和公园下风方气温与周边地区的温差与公园的面积呈线性负相关,即公园降温效果随面积的增加而增大(Dimoudi & Nikolopoulou, 2003)。Chang等(2007)在台北的类似研究结果认为,平均而言,大公园的冷岛强度比小公园强,且与时间(即季节)无关,面积>3 hm<sup>2</sup>的公园夏季中午冷岛效应稳定,而小公园则不稳定,冷岛强度变异很大,相当大一部分

面积<2 hm<sup>2</sup>的公园则表现为热岛而非冷岛,公园面积与冷岛强度之间可能存在非线性关系。这与本研究结果也不尽相同,但也不支持Dimoudi和Nikolopoulou(2003)模拟研究的结果。造成这种差异的原因可能有:1)两者的取样数量不同,Chang等(2007)的取样数量是61个,而本研究的只有15个,2个研究的样本数量均符合统计分析的要求;2)公园所处的位置不同,本研究的公园取样市区和郊区均有分布,而Chang等(2007)则没有明确区分;3)观测时间的差异,Chang等(2007)的观测是在夏冬季,本研究观测时间是在秋季;4)地理位置和气候迥异,Chang等(2007)的观测地点在台北市,属于湿润亚热带气候,最大的城市热岛出现在夏季,而本研究地点在上海,属于北亚热带季风气候,最大城市热岛出现在秋季(周淑贞,1982)。

在本研究中,尽管市区公园面积与气温和冷岛强度之间存在定量的关系,但是面积只能解释两者关系的60%左右( $r^2=0.610\sim0.643$ ),这表明影响公园气温及其冷岛强度的因素,除了公园面积之外,还存在其他因素,例如,城市公园周边的城市形态、城市用地类型、公园内不透水人行道的类型和乔木的空间配置等(Chang *et al.*, 2007)。此外,由于经费和工作量的关系,公园取样数量仅考虑到符合统计分析要求,在分析过程中,发现由于不可预测和解释的原因,导致个别公园的观测值出现异常,从而导致郊区公园观测值统计分析时,样本量偏少,这对统计分析可能会产生影响。进一步的研究应该尽量增加样本量,以确保统计分析不受偶然因素的影响。

前人研究表明,公园内群落结构和植物配置对温度产生影响,这些研究多选择夏季和/或冬季(刘娇妹等,2008;武小钢等,2008;唐罗忠等,2009),但上海的城市热岛主要出现在秋冬季(周淑贞,1982),绿地在秋季的降温作用更能体现绿地缓解城市热岛的效果。对15个城市公园的研究表明,公园在秋季能发挥明显的降温作用,而且公园的植物群落结构的降温效果存在差异,总体上乔-灌-草结构的群落降温效果优于乔-草和草地类型,这个结论与基于单个或少数几个绿地的研究结果相近(周立晨等,2005;武小钢等,2008;唐罗忠等,2009)。因此,在建设城市公园时,建议多增加以乔木为主的乔-灌-草复合类型的植物群落配置的比例,适当控制草地的比例,以增加公园调节温度的功能。

总之,本研究表明,城市公园的面积和公园内植

物群落结构对温度产生明显的影响,公园的降温效果也因公园所处的位置而异。城市公园对城市热岛的减缓作用不仅受到公园所在城市的地理位置、自然环境条件、绿地类型和树冠郁闭度等因素的影响,而且也受城市公园周边的城市形态、城市用地类型、公园内不透水人行道的类型和乔木的空间配置(Chang *et al.*, 2007),以及绿地的景观结构的影响(周志翔等, 2004)。本文在这些方面都没有探索,今后的研究需要综合考虑上述因素对公园绿地降温增湿作用的影响,以便能为城市绿化规划设计提供更加丰富的信息和参考依据,充分发挥城市公园绿地的生态服务功能。

**致谢** 我们衷心感谢两位匿名审稿人对初稿提供的宝贵修改意见,他们的建议对提高和完善稿件至关重要。上海市绿化与市容管理局公园管理处许东新处长及15个公园的管理处在观测期间给予了大力协助,上海市气象局气象信息中心杨礼敏高工提供了2009年10月26日和29日全市气象台站的气象观测数据,孟先磊、刘利华同学参与了部分野外观测工作,在此一并致谢!

#### 参考文献

- 曹璐, 胡瀚文, 孟宪磊, 等. 2011. 城市地表温度与关键景观要素的关系——以上海为例. *生态学杂志*, 30(10): 2329-2334.
- 邓莲堂, 束炯, 李朝颐. 2001. 上海城市热岛的变化特征分析. *热带气象学报*, 17(3): 273-280.
- 葛伟强, 周红妹, 杨引明, 等. 2006. 基于遥感和GIS的城市绿地缓解热岛效应作用研究. *遥感技术与应用*, 21(5): 432-435.
- 李俊祥, 宋永昌, 傅徽楠. 2003. 上海市中心城区地表温度与绿地覆盖率相关性研究. *上海环境科学*, 22(9): 599-601.
- 李晓储, 嵇恩光, 徐玮玮, 等. 2008. 扬州古运河风光带不同绿地类型的降温增湿效应分析. *植物资源与环境学报*, 17(1): 75-77.
- 刘娇妹, 李树华, 杨志峰. 2008. 北京公园绿地夏季温湿效应. *生态学杂志*, 27(11): 1972-1978.
- 束炯, 江田汉, 杨晓明. 2000. 上海城市热岛效应的特征分析. *上海环境科学*, 19(11): 532-534.
- 苏泳娟, 黄光庆, 陈修治, 等. 2010. 广州市城区公园对周边环境的降温效应. *生态学报*, 30(18): 4905-4918.
- 唐罗忠, 李职奇, 严春风, 等. 2009. 不同类型绿地对南京

- 热岛效应的缓解作用. *生态环境学报*, 18(1): 23-28.
- 武小钢, 蔺银鼎, 闫海冰, 等. 2008. 城市绿地降温增湿效应与其结构特征相关性研究. *中国生态农业学*, 16(6): 1469-1473.
- 周红妹, 丁金才, 徐一鸣, 等. 2002. 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*, 18(2): 83-88.
- 周立晨, 施文斌, 薛文杰, 等. 2005. 上海园林绿地植被结构与温湿度关系浅析. *生态学杂志*, 24(9): 1102-1105.
- 周淑贞. 1982. 上海城市热岛效应. *地理学报*, 37(4): 372-382.
- 周志翔, 邵天一, 唐万鹏, 等. 2004. 城市绿地空间格局及其环境效应——以宜昌市中心城区为例. *生态学报*, 24(2): 186-192.
- Chang CR, Li MH, Chang SD. 2007. A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks. *Landscape and Urban Planning*, 80: 386-395.
- Dimoudi A, Nikolopoulou M. 2003. Vegetation in the urban environment: Microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings*, 35: 69-76.
- Huang YJ, Akbari H, Taha H, *et al.* 1987. The potential of vegetation in reducing summer cooling loads in residential buildings. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26: 1103-1116.
- Jauregui E. 1990. Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city. *Energy and Buildings*, 15: 457-463.
- Li J, Song C, Cao L, *et al.* 2011. Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: A case study of Shanghai, China. *Remote Sensing of Environment*, doi: 10.1016/j.rse.2011.02.008.
- Oke TR, Crowther JM, McNaughton KG, *et al.* 1989. The micrometeorology of the urban forest [and discussion]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London: B, Biological Sciences*, 324: 335-349.
- Oke TR. 1982. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108: 1-24.
- Taha H. 1997. Urban climates and heat islands; Albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, 25: 99-103.

**作者简介** 陈朱,女,1985年生,硕士研究生。主要从事城市与景观生态学方面的研究。E-mail: czwef@163.com

**责任编辑** 刘丽娟