

# 城市居住区绿地斑块的降温效应及影响因素分析

高凯, 秦俊, 宋坤, 胡永红<sup>①</sup>

(上海植物园, 上海 200231)

**摘要:** 在夏季的高温季节对上海市 21 个居住区的 130 个绿地斑块的环境温度和相对湿度进行了测定, 比较研究了不同绿地斑块的降温效果及其影响因素。结果表明, 城市绿地斑块对周围环境具有明显的降温增湿作用, 能明显改善人体的舒适度, 绿地中心温度降低 2.6 °C、相对湿度增加 8.3%、人体舒适度增加 0.8。环境温度和相对湿度对绿地斑块的降温幅度有显著影响且环境温度的影响大于相对湿度; 降温幅度与环境温度呈显著正相关( $R = 0.416$ )、与相对湿度呈显著负相关( $R = 0.460$ ); 随环境温度升高、相对湿度降低, 绿地中心的降温幅度最大。在影响绿地斑块降温幅度的主要结构指标中, 大乔木盖度的影响力最强, 其次为小乔木盖度和灌木盖度, 并随盖度增加, 绿地尤其是绿地中心的降温效果越来越明显。绿地类型、遮阳程度及配置不同的树种对绿地斑块的降温幅度也有显著影响; 大乔木绿地的降温幅度最大(2.8 °C), 其次为小乔木绿地(2.0 °C), 乔灌相间和灌草结合的绿地平均降温幅度分别仅为 1.4 °C 和 1.2 °C; 以雪松 [*Cedrus deodara* (Roxb.) G. Don] 和香樟 [*Cinnamomum camphora* (L.) Presl] 为优势树种的绿地斑块降温效果最明显, 草坪的降温效果最差。从降温角度考虑, 居住区的绿化应多采用以乔木为主、灌草为辅的绿地结构类型, 尽量避免使用单一的草地绿化类型。

**关键词:** 温度; 相对湿度; 绿地结构; 居住区; 降温; 影响因素

中图分类号: X17; X21; S731.5 文献标志码: A 文章编号: 1004-0978(2009)03-0050-06

**Fallen temperature effects at green patches of urban residential areas and analysis of its influence factors** GAO Kai, QIN Jun, SONG Kun, HU Yong-hong<sup>①</sup> (Shanghai Botanical Garden, Shanghai 200231, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2009, 18(3): 50-55

**Abstract:** The environment temperature and relative humidity at 130 green patches of 21 urban residential areas in Shanghai were investigated at high temperature weather in summer, and temperature drop range at different urban green patches and its influence factors were also researched. The results show that the urban green patch has an obvious effect on falling temperature and increasing relative humidity to surrounding environment, which can improve human comfort with a temperature falling of 2.6 °C, relative humidity increasing of 8.3% and human comfort increasing of 0.8 at the center of green space. The environment temperature and relative humidity have significant effects on temperature drop range of urban green patches, and the effect of environment temperature is higher than that of relative humidity. The temperature drop range has a significantly positive correlation with environment temperature ( $R = 0.416$ ) and a significantly negative correlation with relative humidity ( $R = 0.460$ ). With environment temperature rising and relative humidity decreasing, the temperature drop range at green space center is the biggest. Among the main structural indexes affecting temperature drop range of urban green patch, the influence of big arbor coverage is the strongest, followed by that of small arbor and shrub coverages, and with increasing of coverage, the effect of falling temperature become more and more obvious at the green space, especially at the center of green space. Also the green space type, shading state and tree species planted at urban green patches have significant effect on temperature drop range. The temperature drop range of green patches planted with big arbor is the highest (2.8 °C), 2.0 °C with small arbor, and only 1.4 °C and 1.2 °C with arbor-shrub and shrub-herb, respectively. Using *Cedrus deodara* (Roxb.) G. Don and *Cinnamomum camphora* (L.) Presl as dominant tree species

收稿日期: 2008-08-12

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAJ02A02; 2006BAD2007B07)

作者简介: 高凯(1981—), 男, 浙江杭州人, 硕士, 助理工程师, 主要从事园林植物环境生态方面研究。

<sup>①</sup>通信作者 E-mail: Huyonghong68@hotmail.com

at green patches, the effect of falling temperature is the most obvious, while that of lawn is the worst. It is suggested that for falling temperature, arbor should be used as dominant structure type and shrub-herb as subsidiary type, and single lawn green type is avoided as possible to use in green design at residential areas.

**Key words:** temperature; relative humidity; green space structure; residential area; fallen temperature; influence factor

近几年来,城市绿地的生态效益功能受到了人们越来越多的关注,在许多城市也开展了相关的研究<sup>[1-4]</sup>。由于城市普遍空间有限,尤其是在人口密集的大城市居住区里,如何在十分有限的面积中提高现有绿化水平,建设出景观性与功能性兼具的园林绿地自然成为人们关注的焦点<sup>[5]</sup>。

上海市地处北亚热带季风性气候区,四季分明。随着全球气候变化,近年来上海的夏季最高气温已接近40℃,且持续时间较长,居民普遍感到不适。居住区绿化是夏季有效降温、缓解高温不适的措施之一,其中的关键问题是乔、灌、草的合理搭配。大部分学者提倡采用林木为主、木本和草本有机结合的绿地模式,以提高城市园林绿地的生态效益<sup>[2]</sup>,但目前相关的研究多为定性描述<sup>[4,6]</sup>。为了更准确地反映不同绿地类型在改善城市生态环境方面的差异,为城市园林建设提供依据和指导,有必要以降温效应为指标,就城市绿地对小气候的改善加以研究分析。

作者在上海市3个不同环境的21个居住区中选择了130个绿地斑块进行实地调查和测试,通过对绿地样方植被结构和降温效应的比较分析,定量评价和反映城市绿地生态效益以及不同植被结构对周围环境温度的影响和作用规律。

## 1 材料和方法

### 1.1 样地的选择

在上海市卢湾区高层住宅密布区、徐汇区上海植物园周边多层住宅区和奉贤郊区南桥镇住宅区的21个居住区中随机选择130块样地进行测定,各个绿地类型随机抽样,包括了大乔木(株高8m以上)、小乔木(株高5~8m)、灌木(株高1~5m)和草坪(株高1m以下)4种类型的绿地斑块。

### 1.2 方法

在7月至8月期间选择无雨、晴好高温无风日

测量绿地斑块的降温作用。分别在每一绿地的中心(LZ)、边缘(LB)和距绿地边缘1.5m处的水泥道路(SN)上设置测量点,将自动温湿度记录仪(CENTER 342)置于距地面1.5m处,每隔10s实时记录气温和相对湿度,连续采集数据15min,数据采集设置2个平行;仪器上方用锡箔遮挡,避免因阳光直射而产生误差。同时,在居住区内选择周围15m内无绿化植物的水泥地作为实时空白对照,同样在距地面1.5m处采集气温和相对湿度数据,并据此计算出各个绿地对环境的降温幅度。

另外,测量绿地斑块中大乔木、小乔木、灌木及地被的高度及盖度,记录各层次的全部物种和优势种以及绿地斑块的面积、宽度和遮阳程度。

### 1.3 数据统计处理

采用体感气象指数(DI)<sup>[7]</sup>对人体舒适度进行评价,计算公式为: $DI = 1.8T + 32 - 0.55(1 - RH)(1.8T - 26)$ 。式中, $T$ 为空气温度; $RH$ 为相对湿度。采用SPSS 15.0统计分析软件对所有数据进行统计分析。

## 2 结果和分析

### 2.1 绿地斑块对气温、相对湿度及人体舒适度的影响

由于绿色植物具有叶片的蒸腾降温作用和遮阳隔热效果,因而,对林下及周围环境具有较强的降温、增湿及提高人体舒适度的作用。人体舒适度是以人体与近地大气之间的热交换原理为基础,评价人类在不同气候条件下舒适感的一项生物气象指标,DI值可反映人体对环境的热感受<sup>[7]</sup>。

绿地斑块的降温、增湿效应及其对人体舒适度的影响见表1。由表1可见,从绿地中心至绿地边缘再到水泥道路上绿地斑块的降温能力逐步衰减。绿地中心温度降低2.6℃,相对湿度增加8.3%,人体舒适度增加0.8;绿地边缘温度降低1.6℃,相对

湿度增加 5.4%，人体舒适度增加 0.5；距绿地边缘 1.5 m 处水泥道路上温度降低 1.1℃，相对湿度增加 3.7%，人体舒适度增加 0.3。方差分析表明，绿地中心、绿地边缘及距绿地边缘 1.5 m 处的水泥地对环境温度、相对湿度及人体舒适度的影响有显著差异，绿地斑块对周围环境具有明显的降温增湿效果，能明显改善人体的舒适度。

表 1 绿地斑块中不同样点的降温、增湿及增加人体舒适度幅度的比较 ( $\bar{X} \pm SD$ )

Table 1 Comparison of ranges of falling temperature, increasing relative humidity and increasing human comfort at different plots in green patches ( $\bar{X} \pm SD$ )

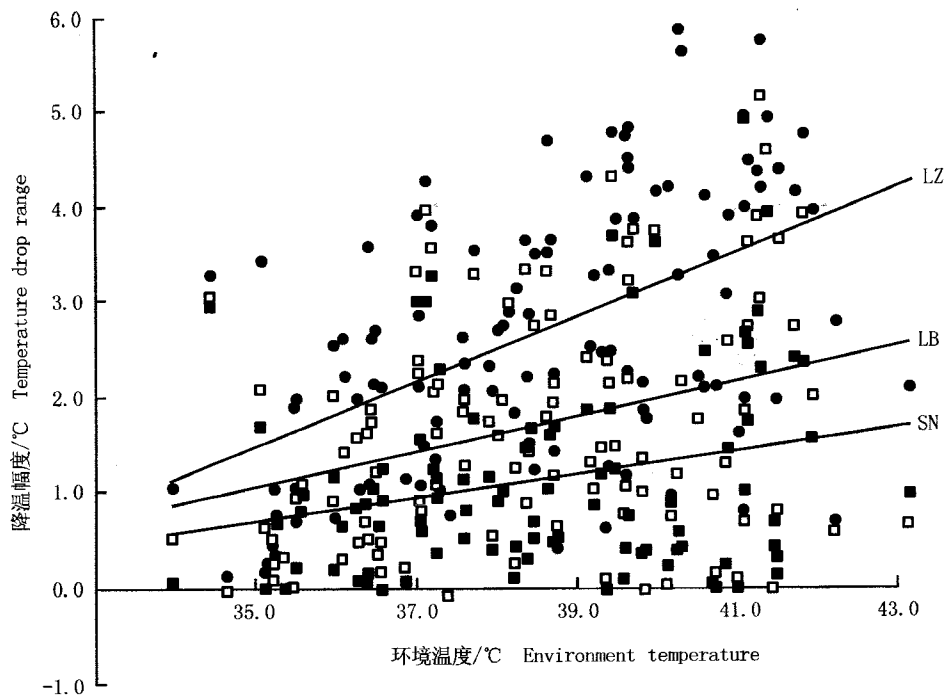
样点 <sup>1)</sup> Plot <sup>1)</sup>	降温幅度/℃ Temperature drop range	相对湿度增幅/% Relative humidity increase range	人体舒适度增幅 Human comfort increase range
SN	1.1±0.2	3.7±0.2	0.3±0.1
LB	1.6±0.5	5.4±1.0	0.5±0.2
LZ	2.6±0.6	8.3±1.1	0.8±0.2

<sup>1)</sup>SN: 距绿地边缘 1.5 m 处的水泥道路 Cement road away from the edge of green space with a distance of 1.5 m; LB: 绿地边缘 Edge of green space; LZ: 绿地中心 Center of green space.

## 2.2 温度和相对湿度对绿地斑块降温效果的影响

以 130 个样点的气温数据对不同测量点降温幅度作散点图并进行线性回归分析，结果见图 1。由图 1 可见，环境温度与绿地斑块的降温效果有一定的相关性；气温在 34℃~43℃ 之间，随环境温度的逐渐升高，绿地中心、绿地边缘和距绿地边缘 1.5 m 处水泥道路的降温效果越显著，环境温度和降温幅度两者呈显著正相关 ( $R=0.416, P=0.000$ )。环境温度越高，绿地对环境的降温幅度越大，反之亦然。

由相关线性方程的斜率可见，随环境温度的升高，绿地中心的降温幅度变化最大，绿地边缘的降温幅度次之，距绿地边缘 1.5 m 处水泥道路的降温幅度最小。根据线性方程进一步推断，当环境温度约为 30℃ 时，植物的降温作用不明显。环境温度变化 ( $X$ ) 与绿地平均降温幅度 ( $Y$ ) 的线性回归方程为： $Y = 0.218X - 6.553 (R^2 = 0.173)$ 。



●: 绿地中心 Center of green space; □: 绿地边缘 Edge of green space; ■: 距绿地边缘 1.5 m 处的水泥道路 Cement road away from the edge of green space with a distance of 1.5 m.

LZ: 环境温度与绿地中心降温幅度的相关直线 Correlation linear between environment temperature and temperature drop range at center of green space; LB: 环境温度与绿地边缘降温幅度的相关直线 Correlation linear between environment temperature and temperature drop range at edge of green space; SN: 环境温度与距绿地边缘 1.5 m 处的水泥道路降温幅度的相关直线 Correlation linear between environment temperature and temperature drop range at cement road away from the edge of green space with a distance of 1.5 m.

图 1 环境温度与绿地斑块中不同样点降温幅度的关系

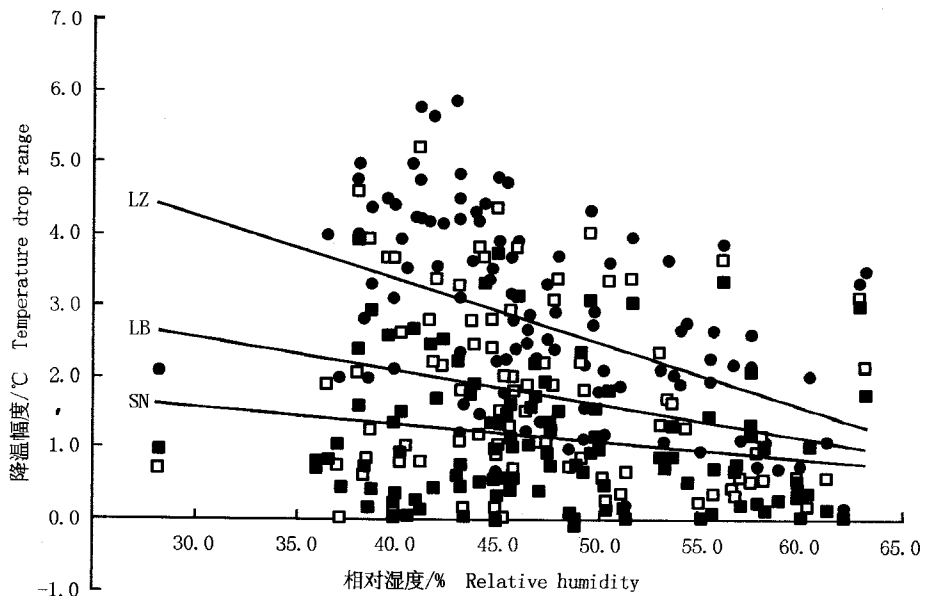
Fig. 1 The correlation between environment temperature and temperature drop range at different plots in green patches

以130个样点的相对湿度对不同测量点降温幅度作散点图并进行线性回归分析,结果见图2。由图2可见,当环境相对湿度为35%~65%时,随着环境相对湿度的逐步升高,不同绿地的降温幅度逐渐降低,两者间呈显著负相关( $R=0.460, P=0.000$ ),即环境相对湿度越低,绿地对环境的降温效果越大,反之亦然。这与高湿度抑制植物叶片蒸腾作用进而减弱植物的降温作用有一定的关系。

根据相关方程的斜率可看出,环境相对湿度越

高,绿地中心的降温幅度变化最大;绿地边缘的降温幅度小于绿地中心,距绿地边缘1.5m处水泥道路的降温幅度变化最小。由线性方程进一步推断,当相对湿度约为85%时,绿地的降温作用就比较微弱。环境相对湿度( $X$ )与绿地平均降温幅度( $Y$ )的线性回归方程为: $Y = -0.055X + 4.430 (R^2 = 0.123)$ 。

方差分析结果表明,环境温度的 $F=8.7, P=0.040$ ,相对湿度的 $F=1.7, P=0.196$ ,表明环境温度对绿地降温幅度的影响大于相对湿度。



●: 绿地中心 Center of green space; □: 绿地边缘 Edge of green space; ■: 距绿地边缘1.5 m 处的水泥道路 Cement road away from the edge of green space with a distance of 1.5 m.

LZ: 相对湿度与绿地中心降温幅度的相关直线 Correlation linear between relative humidity and temperature drop range at center of green space; LB: 相对湿度与绿地边缘降温幅度的相关直线 Correlation linear between relative humidity and temperature drop range at edge of green space; SN: 相对湿度与距绿地边缘1.5 m 处的水泥道路降温幅度的相关直线 Correlation linear between relative humidity and temperature drop range at cement road away from the edge of green space with a distance of 1.5 m.

图2 相对湿度与绿地斑块中不同样点降温幅度的关系

Fig. 2 The correlation between relative humidity and temperature drop range at different plots in green patches

### 2.3 绿地斑块结构对降温效果的影响

对绿地斑块的面积和宽度与大乔木、小乔木、灌木以及草本的高度和盖度等结构指标进行协方差分析,结果见表2。由表2可见,影响绿地斑块降温效果并具有统计意义的绿地植物群落内在因素包括大乔木盖度、小乔木盖度和灌木盖度,三者贡献的离差平方和分别为11.780、7.204和4.477, $F$ 值分别为16.1、9.9和6.1,相伴概率分别为0.000、0.002和0.015;草本盖度和各类型植物的高度、绿地斑块的面积和宽度(2~8 m)的相伴概率均大于0.05,无显

著影响。由此可见,在影响绿地斑块降温幅度的主要结构指标中,大乔木盖度影响力最强,其次为小乔木盖度和灌木盖度。

对大乔木盖度、小乔木盖度及灌木盖度3个主要结构指标与绿地降温幅度做多因子线性逐步筛选回归,得到回归方程:绿地降温幅度 =  $2.32 \times$  大乔木盖度 +  $2.04 \times$  小乔木盖度 +  $1.43 \times$  灌木盖度 +  $0.071 (R^2 = 0.416, F = 26.4, P = 0.000)$ 。根据方程中各因子的系数值总和比例可看出,同等盖度下,大乔木盖度对绿地降温的能力分别比小乔木盖度和

表2 绿地结构与居住区绿地斑块降温幅度的协方差分析

Table 2 Covariance analysis of green space structure and temperature drop range at green patch of residential area

因子 Factor	离差平方和 SS	自由度 Df	均方 MS	F	相伴概率 Sig.
绿地面积 Green patch area	0.265	1	0.265	0.4	0.548
绿地宽度 Green patch width	0.862	1	0.862	1.2	0.280
大乔木高度 Big arbor height	0.144	1	0.144	0.2	0.658
小乔木高度 Small arbor height	0.163	1	0.163	0.2	0.638
灌木高度 Shrub height	0.358	1	0.358	0.5	0.486
草本高度 Herb height	0.311	1	0.311	0.4	0.516
大乔木盖度 Big arbor coverage	11.780	1	11.780	16.1	0.000
小乔木盖度 Small arbor coverage	7.204	1	7.204	9.9	0.002
灌木盖度 Shrub coverage	4.477	1	4.477	6.1	0.015
草本盖度 Herb coverage	0.467	1	0.467	0.6	0.426

灌木盖度提高 13.7% 和 62.2%。

对所有样点的数据进行线性分析,结果显示,随大乔木盖度、小乔木盖度或灌木盖度的增加,绿地的降温效果越来越明显,尤其是绿地中心的降温幅度更加明显。如果要使绿地边缘水泥道路上的温度降低 1.5 °C,大乔木盖度只要达到 30%,而小乔木盖度要达到 60%、灌木盖度至少需要达到 95% 以上。可见,同为乔木覆盖,大乔木的降温幅度至少要高于小乔木 0.2 °C 以上;而乔木和灌木相比,乔木的降温幅度至少高出灌木 0.6 °C 以上,且在绿地边缘和中心,乔木的降温效果更为明显。

将环境温度和相对湿度与绿地的大乔木盖度、小乔木盖度及灌木盖度合并进行多因子线性逐步筛选回归,得到回归方程:绿地降温幅度 = 2.14 × 大乔木盖度 + 1.78 × 小乔木盖度 + 1.44 × 灌木盖度 + 0.335 × 环境温度 + 6.48 × 环境相对湿度 - 15.08 ( $R^2 = 0.495, F = 21.4, P = 0.000$ ),其中环境温度自定量范围为 32 °C ~ 43 °C,环境相对湿度自定量范围为 35% ~ 65%。

#### 2.4 绿地斑块类型对降温效果的影响

根据绿地斑块中乔、灌、草盖度占有的比例,将绿地分成大乔木、小乔木、乔灌相间和灌草结合为主的 4 种绿地类型,并根据每一绿地斑块的中心、边缘和距边缘 1.5 m 处水泥道路上的降温幅度计算出平均值,结果见表 3。大乔木绿地的降温幅度最高,为 2.8 °C;小乔木绿地的降温幅度也达到 2.0 °C;而乔灌相间和灌草结合的绿地降温幅度明显小于前两者,分别仅为 1.4 °C 和 1.2 °C。方差分析结果表明,乔灌相间绿地和灌草结合绿地的降温效果无显著差异,而与大乔木和小乔木为主的绿地的降温效果有显著差异。因此,要使城市绿地对环境有明显的降

温效果,至少要配置以小乔木为主的绿地斑块。

表3 不同类型绿地斑块降温幅度的比较 ( $\bar{X} \pm SD$ )Table 3 Comparison of temperature drop range in different types of green patches ( $\bar{X} \pm SD$ )

类型 Type	降温幅度/°C Temperature drop range
大乔木 Big arbor	2.81 ± 1.01
小乔木 Small arbor	1.97 ± 0.73
乔灌相间 Arbor-shrub	1.43 ± 0.57
灌草结合 Shrub-herb	1.21 ± 0.71

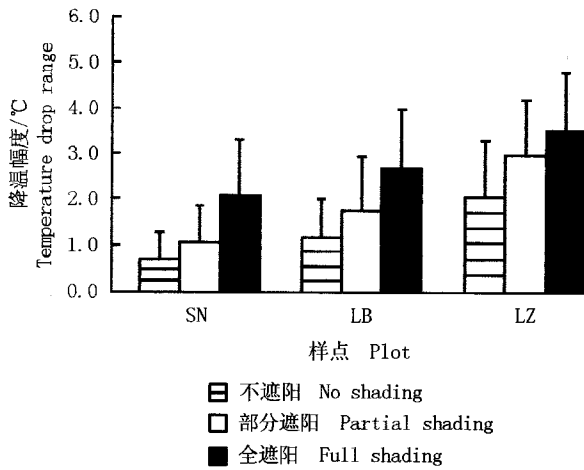
#### 2.5 绿地斑块的遮阳状况对降温效果的影响

根据植被对地面的遮阳状况,将 130 个样点的遮阳状况初步划分为不遮阳、部分遮阳和全遮阳 3 类。绿地斑块的遮阳状况对降温的影响见图 3。由图 3 可见,有无遮阳对绿地周围环境降温效果的影响差异明显;如果要达到一定的降温效果,从绿地中心到绿地边缘直至距绿地边缘 1.5 m 处的水泥道路,遮阳程度必须逐渐提高。如果要达到居住区环境要求的 1.5 °C 以上的降温效果,水泥地上必须达到 80% 以上的遮阳,而绿地边缘只要部分遮阳即可。

#### 2.6 具有不同优势树种的绿地斑块与草坪降温效果的比较

对以雪松 [*Cedrus deodara* (Roxb.) G. Don]、香樟 [*Cinnamomum camphora* (L.) Presl]、广玉兰 (*Magnolia grandiflora* L.)、水杉 (*Metasequoia glyptostroboides* Hu et Cheng)、银海枣 (*Phoenix sylvestris* Roxb.) 及银杏 (*Ginkgo biloba* L.) 为优势树种的绿地斑块的降温效果进行测定,并根据每种绿地斑块的中心、边缘和距绿地边缘 1.5 m 处水泥道路上的降温幅度计算平均值,同时与草坪的降温幅度进行比较,结果见表 4。结果显示,种植有雪松和香樟的绿地斑块对环境的降温效果最明显,平均降温

幅度分别为 2.50 °C 和 2.37 °C,但在水泥道路上香樟的降温效果明显优于雪松;银海枣和银杏的降温效果较差,平均降温幅度分别为 1.76 °C 和 1.45 °C;草坪的降温效果最差,平均降温幅度仅有 0.61 °C。



SN: 距绿地边缘 1.5 m 处的水泥道路 Cement road away from the edge of green space with a distance of 1.5 m; LB: 绿地边缘 Edge of green space; LZ: 绿地中心 Center of green space.

图3 遮阳状况对不同居住区绿地斑块降温幅度的影响  
Fig. 3 Effect of shading state on temperature drop range of green patch at different residential areas

表4 具有不同优势树种的绿地斑块与草坪绿地降温幅度的比较 ( $\bar{X} \pm SD$ )  
Table 4 Comparison of temperature drop range between green patch with different dominant tree species and green grassland ( $\bar{X} \pm SD$ )

优势种 Dominant species	降温幅度/°C Temperature drop range
雪松 <i>Cedrus deodara</i>	2.50 ± 1.42
香樟 <i>Cinnamomum camphora</i>	2.37 ± 0.66
广玉兰 <i>Magnolia grandiflora</i>	1.94 ± 0.83
水杉 <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	1.93 ± 0.69
银海枣 <i>Phoenix sylvestris</i>	1.76 ± 0.59
银杏 <i>Ginkgo biloba</i>	1.45 ± 0.63
草坪 Lawn	0.61 ± 0.33

### 3 讨论和结论

研究表明,居住区绿地斑块对周围环境的改善具有一定的辐射效应,但范围有限,距绿地边缘 1.5 m 处的水泥道路的降温幅度只有 1.1 °C,相比绿地中心减少了 1.5 °C。环境温度和相对湿度的变化对绿地斑块的降温效果具有较为显著的影响,降温幅度与环境温度呈正相关、与相对湿度呈负相关。环境温度增加 1.00 °C,绿地降温幅度增加 0.22 °C;

相对湿度增加 10%,绿地降温幅度减少 0.55 °C。

在绿地斑块内在结构特征上,大乔木盖度对降温幅度的影响最为显著,其次是小乔木盖度和灌木盖度,草本的作用不显著,因此,从降温角度考虑,在居住区绿化建设中应尽量避免使用单一的草地绿化类型,应多采用以乔木为主、灌草为辅的绿地结构类型,并尽可能增加乔木盖度,尤其是应该增加株高 8 m 以上的大乔木。研究结果还显示,乔草结构的绿地斑块降温效果优于乔灌相间绿地斑块,推测与乔草结构的绿地林下较为通风有关。另外,绿地斑块中种植的植物是否具有遮阳效果也是影响绿地对周边环境降温效果的关键。在绿地斑块种植的大乔木中,降温效果最佳的是雪松和香樟,其次为广玉兰,还可以配置一些以观赏为主的银海枣和银杏等种类。在居住区绿化建设中,应充分考虑到绿地类型、结构及植物配置等因素对环境温度的调节作用,才可显著改善人居环境和提高住宅区的舒适度。

高温区城市热岛效应不仅对居民的健康和环境质量产生不利影响,还提高了城市生活成本,同时也使城市建设面临严峻考验。21 世纪世界发展主题是“人与自然,共同发展”,其中心是创造优美舒适的生活、居住及工作环境,实现真正意义上的景观优美、健康舒适的城市环境。随着上海市人口的逐渐增多及居住区建设面积的不断扩大,热岛效应对人居环境的影响日趋显著,科学合理布局居住区绿地斑块是解决这一难题的有效、经济、可行的办法。

#### 参考文献:

- [1] 王成. 城镇不同类型绿地生态功能的对比分析[J]. 东北林业大学学报, 2002, 30(3): 111-114.
- [2] 刘桂英, 曲国强, 郁永英, 等. 城市绿地建设应合理配置树木和草坪[J]. 防护林科技, 2003(1): 36, 48.
- [3] 李晓储, 嵇恩光, 徐玮玮, 等. 扬州古运河风光带不同绿地类型的降温增湿效应分析[J]. 植物资源与环境学报, 2008, 17(1): 75-77, 80.
- [4] 王献溥, 于顺利. 城市绿地类型的划分及其在生态城市建设中的意义和作用[J]. 植物资源与环境学报, 2008, 17(4): 61-66.
- [5] 车生泉. 上海城市绿地景观异质性分析[J]. 上海环境科学, 2001, 20(11): 511-514, 560.
- [6] 王治国, 张云龙, 刘徐师, 等. 林业生态工程学——林草植被建设的理论与实践[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000: 13.
- [7] 曹丹, 周立晨, 毛义伟, 等. 上海城市公共开放空间夏季小气候及舒适度[J]. 应用生态学报, 2008, 19(8): 1797-1802.