

林下广场、无林广场和草坪的温湿度及人体舒适度

吴 菲 李树华* 刘娇妹

(中国农业大学观赏园艺与园林系,北京 100094)

摘要 园林绿地是缓解城市热岛效应的有效途径,绿地在降温增湿方面发挥着重要作用。选择北京市万芳亭公园林下广场、无林广场和草坪作为研究对象,对三者调节城市小气候的效应进行了定量化研究。每天 8:00~18:00,每 2h 一次分别对林下广场、无林广场和草坪的温度、相对湿度进行同步测定,连续测定 7d。结果表明,在一天中的高温时段(12:00~16:00),林下广场的温度最低、相对湿度最高;在傍晚(18:00)草坪的温度最低、相对湿度最高。与无林广场相比,林下广场的降温幅度为 0.3~3.3℃,平均值为 1.9℃;增湿幅度为 1.1%~5.9%,平均值为 3.2%。林下广场的日最高温度值是最底的,可大大缩短高温持续时间,最多可缩短 8h。在一天中的任何时刻,林下广场和无林广场的温度、相对湿度差异均达到了极显著水平(Duncan's 多重比较, $p < 0.01$)。林下广场调节城市小气候的功能最佳,人体舒适度最好,是夏季人们户外活动的较佳选择。

关键词 城市绿地;城市广场;小气候效应;草坪

文章编号:1000-0933(2007)07-2964-08 中图分类号:Q143 文献标识码:A

The effects of greening ,none-greening square and lawn on temperature ,humidity and human comfort

WU Fei ,LI Shu-Hua* ,LIU Jiao-Mei

Department of Ornamental Horticulture and Landscape Architecture ,China Agricultural University ,Beijing 100094 ,China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (7) 2964 ~ 2971.

Abstract :Urban green space is an effective way to alleviate urban heat island effect. It plays a very important role in temperature dropping and humidifying. In this paper ,three kinds of green space including square with tree layer (greening square) and without tree layer (none-greening square) also lawn were selected in Wan-Fang-Ting Park to study on effects of greening space on temperature ,humidity and human comfort. The air temperature and relative humidity were measured once every two hours from 8:00 to 18:00 every day and continuously seven days in July 2006.

The results indicate that greening square has the lowest temperature and highest humidity during the middle of the day with high air temperature and the lawn has the lowest temperature and highest humidity in the late afternoon.

Compared with none-greening square ,the greening square can decrease temperature 0.3—3.3℃ with the average of 1.9℃ ,and increase the humidity from 2.1%—4.7% ,with the average of 3.2% . The greening square has lowest daily maximum temperature and can reduce the duration of high temperature for the maximum eight hours. The differences of air temperature and humidity between greening square and none-greening square reach significance level ($p < 0.01$) by Duncan's multiple comparison.

It can be concluded that the greening square has the best effects on the adjustment of urban microclimate and human

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30671718)

收稿日期:2006-11-27;修订日期:2007-05-29

作者简介:吴菲(1979~),女,湖北荆门人,博士生,主要从事园林生态研究。E-mail:lovingeaststar@163.com

*通讯作者 Corresponding author. E-mail:lishuhua912@163.com

Foundation item :The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30671718)

Received date 2006-11-27 ; **Accepted date** 2007-05-29

Biography :WU Fei ,Ph. D. candidate ,mainly engaged in landscape ecology. E-mail:lovingeaststar@163.com

weu-being , and can be important for outdoor activities.

Key Words : urban greening land ; urban square ; microclimatic effect ; lawn

城市热岛是衡量城市环境质量的一个重要指标。Whitford 等认为 ,城市化的显著效果之一是改变城市的气候 ,产生热岛效应^[1]。在炎热的夏季 ,热岛效应导致的高热酷暑天气已严重影响到人们的正常生活和工作。

城市绿地对改善城市生态环境有重要作用 ,绿地是缓解城市热岛效应的有效途径 ,因为绿地具有遮阳、降温、增湿和改善局地小气候等多种效能 ,从而能够补偿一部分由于城市化而受到损害的自然环境功能。城市公园 ,作为城市公共绿地的主要形式 ,对居民的生活产生着重要影响。城市公园中的绿地 ,由于其下垫面和内部构成的不同 ,所发挥出的生态效益和改善城市小气候的功能是不同的。

在以往有关热岛效应的危害及缓解对策的研究中^[2~5] ,缺乏有关城市绿地小尺度方面的定量化的深入研究。本文试图通过对城市公园内不同类型绿地的温度和相对湿度的量化研究 ,比较其调节城市小气候及人体舒适度的差异 ,探索夏季对人体最适宜的绿地类型。

1 研究地自然概况

1.1 研究地概况

研究样地位于北京市万芳亭公园 ,该公园坐落于北京市丰台区西罗园小区西 ,南三环路北侧 ,公园占地 10.60hm² ,绿地面积为 8.60hm² ,公园的绿化覆盖率为 87.22% ,实有树木 3993 株 ,实有草坪 4.45 hm²。

研究样地地处中纬地带 ,东经 116°28' ,北纬 39°54'。气候属暖温带半湿润大陆性季风气候 ,冬季寒冷干燥 ,夏季炎热多雨。全年平均气温为 11.8℃ ,1 月份最冷 ,月平均气温 4~7℃ ,7 月份最热 ,平均气温 26.1℃。年平均降雨量为 626mm ,雨量集中在夏季 ,6~8 月份占全年雨量的 75%。蒸发量大于降雨量 ,年平均蒸发量在 1800~2000mm 之间。

1.2 研究地植物群落现状

本实验所选 3 种类型的绿地 (林下广场、无林广场和草坪)为城市公园常见的和人们利用率较高的绿地类型 ,因此本研究具有现实应用价值。所选绿地的面积均为 1000m²左右。

本实验的乔木主要有国槐 (*Sophora japonica*)、银杏 (*Ginkgo biloba*)、侧柏 (*Platycladus orientalis*)、五角枫 (*Acer mono*) ,灌木为丁香 (*Syringa oblata*) ,草坪植物主要有草地早熟禾 (*Poa pratensis*)、匍匐剪股颖 (*Agrostis stolonifera*)、车前草 (*Plantago asiatica*)、蒲公英 (*Taraxacum officinalis*)。

无林广场的铺装材质主要采用透气性良好的渗水砖 ,基本物理性能如下 :抗压强度 36.9mPa ;单块值 33.5mPa ,耐磨性 28.5m ,保水性 0.63 g/cm² ,透水系数 (水温 15℃) 6.8×10^{-2} cm/s。

本实验中植物群落的调查采用高等教育出版社 2003 年出版的《生态学实验与实习》一书中的植物群落调查方法^[6]。实验地植物群落现状见表 1。

2 实验研究方法

2.1 实验地设置

实验地在万芳亭公园的东南部 ,绿地类型共有无林广场 (渗水砖铺装)、草坪 (为不同草种及高度不同的草组成)和林下广场 (国槐、银杏、侧柏等组成的混交林)3 种。其中无林广场的盖度为 0 ,草坪盖度为 100% ,林下广场的盖度为 90%。

2.2 测试内容与方法

温湿度的测试 :林下广场、无林广场及草坪采取网格布点 ,在每个测试地内部选择 30 个点 ,距地面 1.5m 处测定温湿度。将各测试地所测 30 个数据加以平均 ,得到每个测试地的温湿度值。

本实验时间选择在夏季高温及对市民工作与生活影响较大的白天进行。每天 8:00~18:00 ,每 2h 一次

分别对无林广场、草坪和林下广场的温度、相对湿度进行同步测定 ,连续测定 7d ,晴朗无风天气连续测定 3d。

表 1 实验地植物群落现状
Table 1 The plant community condition in trial sites

绿地类型 Type of green space	植物构成 Botanical composition	高度 (m) Height	胸径 (cm) Chest	株数 Number of plants	绿地面积 (m ²) Area of green space	种植密度 (株/m ²) Planting density
林下广场 Greening square	国槐 <i>Sophora japonica</i>	12	33	12	1000	0.021
	银杏 <i>Ginkgo biloba</i>	10	15	3		
	侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	9	12	3		
	五角枫 <i>Acer mono</i>	11	19	1		
草坪 Lawn	丁香 <i>Syringa oblata</i>	3	—	2	1100	—
匍匐剪股颖 <i>Agrostis stolonifera</i>	草地早熟禾 <i>Poa pratensis</i>	0.1	—	—		
车前草 <i>Plantago asiatica</i>						
蒲公英 <i>Taraxacum officinala</i>						
无林广场 None-greening square	—	—	—	—	1100	—

园林绿地对城市生态环境的改善作用最明显的季节是夏季。春、秋和冬季的改善作用比起夏季来 ,不太明显 ,故本实验选择在夏季进行。园林生态实验要求在晴好无风 (风速≤0.5m/s)的天气下进行 ,故本实验剔除下雨天和刮风天的数据 ,对 3d 符合实验要求的数据进行分析。

实验时间为 2006 年 7 月 9 日至 15 日 ,数据使用 MICROSOFT EXCEL 和 SPSS 12.0 分析软件进行处理。

2.3 测试仪器

测试仪器采用日本扶桑理化制品株式会社 FUSO-8829 温湿度测量仪 (30 台)。温度测定范围为 -40 ~ 85.0℃ ,分辨率为 0.1℃ ,湿度测定范围为 0 ~100.0% RH ,分辨率为 0.1% RH。

2.4 人体舒适度的研究方法

人类的健康受天气、气候因素的影响极大 ,当周围的气象因子如温度、湿度、风、太阳辐射、气压等发生显著变化时 ,对一些人的身体健康就会产生影响。国内外许多研究都表明 ,在所有的气象要素中 ,温度、湿度和风对人体的感觉影响最大。

人体舒适度最早起源于国外 ,随着计算机技术的发展 ,学者们又提出了更复杂的热量平衡模型 ,广泛应用到人体舒适度预报、室内气候适宜度评价和城市规划等方面^[7~10]。关于人体舒适度的预报公式有数十种 ,本文选择王远飞的计算温湿指数的公式^[11] :

$$THI = T - 0.55 (1 - RH) (T - 14.5)$$

(1)

式中 ,THI 指温湿指数 ,是 Thermal Humidity Index 的简写 ,这一指标实际上是人类生物学的方法评价夏季环境的舒适度。式中 T 的单位为 (℃)。温湿指数反映了群体的人对环境的热感受。THI 与人体舒适度的划分标准如表 2 所示^[12]。

表 2 THI 与舒适度
Table 2 Thermal humidity index and body comfort

温湿指数 THI	舒适度 Comfort degree	评价 Evaluation
≥29.5	酷热 Torrid	无降温措施难以工作 Hard to work without temperature reduction measures
26.7 ~ 29.4	很热 Very hot	很不舒适 Greatly uncomfortable
23.9 ~ 26.6	热 Hot	不舒适 Uncomfortable
21.1 ~ 23.8	较热 Little hot	较不舒适 Little uncomfortable
< 21.1	凉爽 Cool	舒适 Comfortable

目前 ,国内学者对人体舒适度的研究多集中在大范围的尺度上 ,如对一个省的旅游舒适度 ,或是一个城市的人体舒适度进行研究并分级 ,而对小尺度的人体舒适度研究较少。本文将对小尺度范围的人体舒适度差异进行分析。

3 结果与分析

3.1 无林广场、草坪和林下广场的温度比较

3.1.1 每日温度比较

在一天测定的 6 个时间段 ,除第 6 时间段以外 ,无林广场的温度高于草坪 ,远高于林下广场 (图 1)。测定 3d 的温度值略有不同 ,但 3d 的变化趋势基本一致。测试第 3 天的变化趋势和差别最为显著 ,而一天中 ,又以 14 00 的温度差别最大 ,其中无林广场 14 00 时的温度为 37.0℃ ,比草坪高 1.9℃ ,比林下广场高 5.1℃ ;草坪的温度比林下广场的温度高 3.2℃。研究表明 ,环境温度与人的生理功能密切相关 ,当环境气温高于 28℃ 时 ,人们就会有不舒服感 ,温度再高就易导致烦躁、中暑、精神紊乱 ,频繁的热浪冲击还可引发一系列疾病 ,特别是使心脏、脑血管和呼吸系统疾病的发生率增加 [13]。在炎热的夏季 ,正午温度多超过 35℃ ,严重影响了人们的户外活动 ,而林下广场却有着较低的温度 ,成为人们户外活动的较佳选择。主要原因为林下广场的乔木具有较高的绿量 ,乔木不仅有着较好的遮荫效果 ,而且将太阳的辐射热大部分吸收掉用于自身的蒸腾散热 ,从而降低了周围的温度。在测试的 3d 中 ,无林广场、草坪和林下广场出现的最高温度分别为 38.6 ,36.4 ,34.1℃。若将温度 ≥34℃ 定为高温 ,则在测试第 3 日 ,无林广场、草坪和林下广场出现的高温持续时间分别为 8、2、0h。林下广场全日最高温仅为 31.9℃ ,其高温持续时间比无林广场缩短了 8 h ,这对人们的户外活动是十分有益的。

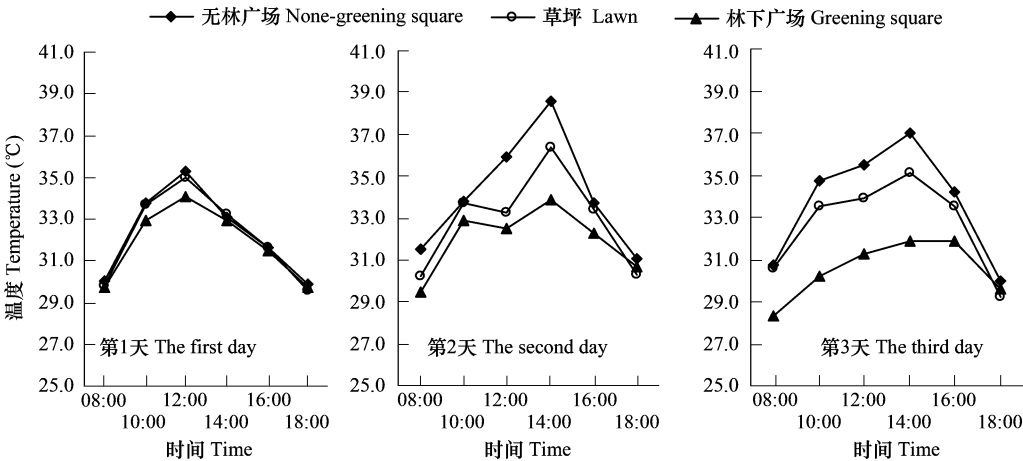


图1 无林广场、草坪和林下广场 3d 温度变化情况

Fig. 1 Temperature changes in three days of None-greening Square , Lawn and Greening Square

3.1.2 3d 平均温度比较

每段时间的温度值都取自 3d 同一时段温度的平均值 (90 个温度值的平均)。(图 2)为无林广场、草坪和林下广场 3d 平均温度变化趋势。

在实验测试的前 5 个时间段 ,无林广场、草坪和林下广场温度排序为 :无林广场 > 草坪 > 林下广场 ,草坪与无林广场相比 ,其降温幅度为 0.3 ~ 1.5℃ ,平均值为 0.8℃ ;林下广场与无林广场相比 ,其降温幅度为 0.3 ~ 3.3℃ ,平均值为 1.9℃。影响城市小气候最突出的有物体表面温度、气温和太阳辐射温度 3 个方面。夏季在树荫地下和在直射阳光下 ,人身能感觉到巨大降温作用。这种温差感觉差异主要是由太阳辐射温度决定的。经辐射温度计测定 ,夏季树荫下的太阳辐射温度要比阳光直射的太阳辐射温度低 30 ~ 40℃ 之多。也就是说 ,在正午的时候 ,林下广场的气温比无林广场低 3.3℃ ,人们所感觉到的太阳辐射温度 ,林下广场比无林广场低

40℃左右。

在实验测试的第 6 时间段,无林广场、草坪和林下广场温度排序为:无林广场>林下广场>草坪。此时草坪具有最低的温度,具有较佳的降温效果,主要因为草坪上空空旷,无树木遮挡,有利于空气对流和散热,可造成区域性微风和气体环流,并输入新鲜空气,使得周围温度下降较快。在实验中也发现有更多的游人在傍晚会选择在草坪上休憩。

在测定的 6 个时间段中,8:00、10:00 和 16:00 时,无林广场与林下广场、草坪与林下广场的温度差异均达到了极显著水平,而无林广场与草坪无显著差异(图 3)。在 12:00、14:00 和 18:00 时,无林广场、草坪、林下广场三者之间的温度差异均达到了极显著水平(Duncan's 多重比较,不同的字母表示差异显著, $p < 0.01$)。在一天中的任何时刻,无林广场和林下广场的温度差异均达到了极显著水平。由此可见,在炎热的夏季,林下广场的降温效果十分明显,草坪的降温效果虽不如林下广场,但其作用也不可忽视。与硬质铺装的无林广场相比,草坪的降温效果还是比较明显的。

3.2 无林广场、草坪和林下广场的相对湿度比较

3.2.1 每日相对湿度比较

图 4 为 3 种类型绿地各时间段的相对湿度值。在一天测定的 6 个时间段,除第 6 时间段以外,无林广场的湿度低于草坪,远低于林下广场。原因为林下广场有乔木的遮荫,在距地面十几米的高空形成一个类似隔离层的界面,可以保持林下空间有着较高的湿度。测定 3d 的湿度值略有不同,但 3d 的变化趋势基本一致。无林广场、草坪和林下广场的相对湿度差别最大的时刻出现在 10:00~12:00,其次才是 14:00,由此可见,林下

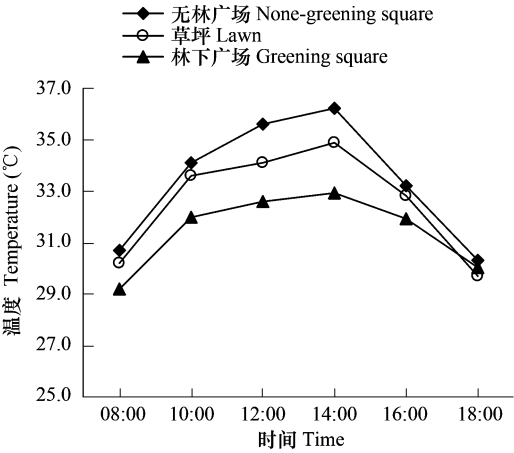


图 2 无林广场、草坪、林下广场 3d 温度平均值

Fig. 2 Mean temperature of None-greening Square, Lawn and Greening Square

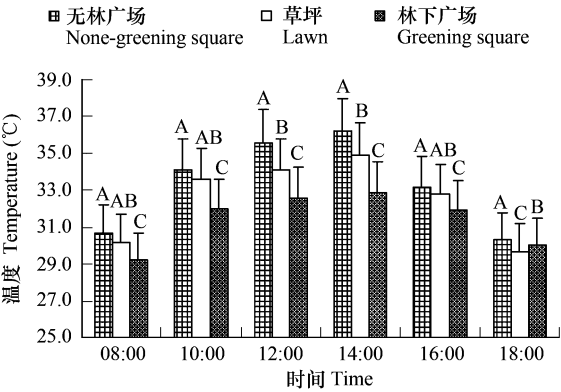


图 3 3d 平均温度不同时刻的显著性差异

Fig. 3 Notability difference of three days' average temperature at different moments

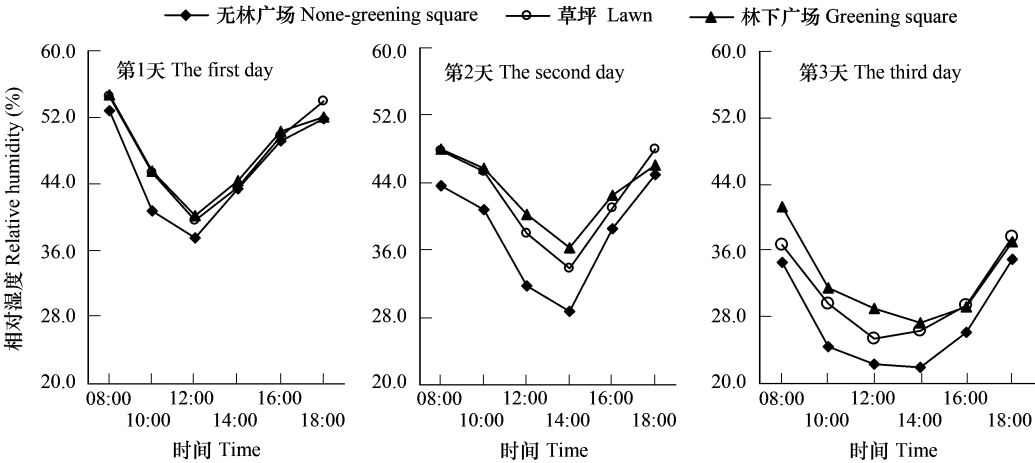


图 4 无林广场、草坪、林下广场 3d 相对湿度变化趋势

Fig. 4 Relative humidity changes in three days of None-greening Square, Lawn and Greening Square

广场在正午时的增湿效应虽不如 10:00~12:00 时明显,但是仍高于一天中的其它时刻。这与温度的变化趋势不同,温度差别最大的时刻出现在 14:00。

3.2.2 3d 平均相对湿度比较

每段时间的湿度数据都取自 3d 同一时段湿度的平均值(90 个相对湿度值的平均)。(图 5)为无林广场、草坪和林下广场 3d 相对湿度平均值变化趋势。

在实验测试的前 5 个时间段,无林广场、草坪、林下广场相对湿度排序为:无林广场 < 草坪 < 林下广场,草坪与无林广场相比,其增湿幅度为 2.1%~4.7%,平均值为 3.2%;林下广场与无林广场相比,其增湿幅度为 1.1%~5.9%,平均值为 4.1%。

在实验测试的第 6 时间段,无林广场、草坪和林下广场相对湿度排序为:无林广场 < 林下广场 < 草坪。此时草坪的相对湿度最高,增湿效果较佳。

在测定的 6 个时间段中,12:00 和 18:00 时,无林广场、草坪和林下广场三者之间的相对湿度差异均达到了极显著水平。在 8:00、10:00、14:00 和 16:00 时,无林广场与林下广场、草坪与林下广场的湿度差异均达到了极显著水平,而无林广场与草坪无显著差异(Duncan's 多重比较,不同的字母表示差异显著, $p < 0.01$)。在一天中的任何时刻,无林广场和林下广场的相对湿度差异均达到了极显著水平。由此可见,在炎热的夏季,林下广场的增湿效果十分明显。

3.3 无林广场、草坪和林下广场的舒适度比较

根据人体舒适度的计算公式 $THI = T - 0.55(1 - RH)(T - 14.5)$,计算出 3d 不同时刻的温湿指数(表 3)。参考 THI 与舒适度之间的关系(表 2)可知,在炎热的夏季,THI 值越低,人体感觉越舒适。各时间段的 THI 反映了一天中不同时间的舒适度情况,对城市居民的影响也不相同。8:00 时大约是居民外出工作的出行时间,THI 的高低基本上决定了一天工作不舒适感的时间长短;14:00 时处于一天中 THI 最高的一段时间,不舒适程度最强,极端的高温高湿会导致中暑等发生。在实验测试的前 5 个时间段,无林广场、草坪、林下广场的 THI 值大小排序为:无林广场 > 草坪 > 林下广场,林下广场是人体感觉最舒适的,成为人们户外活动的首选。傍晚时刻(18:00 以后),草坪的 THI 值是最小的。

4 结论与建议

4.1 结论

林下广场与无林广场相比,温度降低 0.3~3.3℃,平均值为 1.9℃,湿度增加 1.1%~5.9%,平均值为 4.1%。草坪与无林广场相比,温度降低 0.3~1.5℃,平均值为 0.8℃,湿度增加 2.1%~4.7%,平均值为 3.2%。林下广场的人体舒适度优于草坪和无林广场,草坪又优于无林广场。

在实验测试的前 5 个时间段,无林广场、草坪、林下广场温度排序为:无林广场 > 草坪 > 林下广场,相对湿度排序为:无林广场 < 草坪 < 林下广场;THI 值大小排序为:无林广场 > 草坪 > 林下广场(THI 值越小,人体感

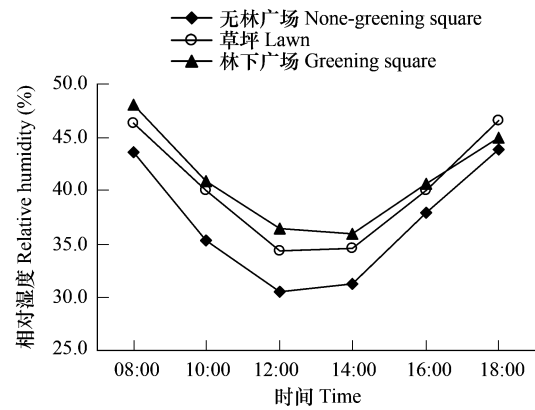


图 5 无林广场、草坪和林下广场 3d 相对湿度平均值
Fig. 5 Mean relative humidity of None-greening Square, lawn and Greening Square

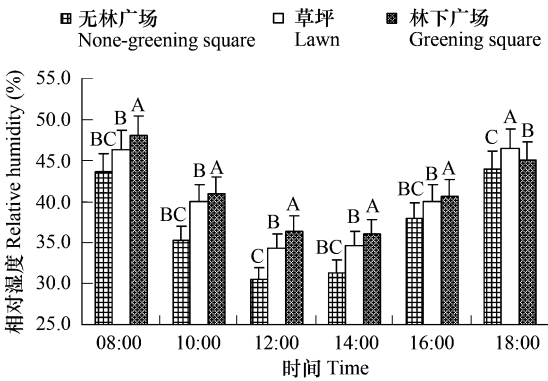


图 6 3d 平均相对湿度不同时刻的显著性差异
Fig. 6 Notability difference of three days' average relative humidity at different moments

觉越舒适)。

综合无林广场、草坪和林下广场的降温作用、增湿作用和改善人体舒适度的作用,林下广场调节城市小气候的功能最佳,其次为草坪。炎热的夏季,林下广场成为人们户外活动的较佳选择。

表 3 3d 不同时刻的温湿指数 (THI)

Table 3 Thermal humidity index of different moments on three days				
观测日 Observation day	观测时刻 Observation time	无林广场 None-greening Square	草坪 Lawn	林下广场 Greening Square
第 1 天 The first day	8 00	26.1	26.0	25.9
	10 00	27.5	27.4	27.3
	12 00	27.9	27.6	27.5
	14 00	28.1	28.0	27.6
	16 00	26.9	26.8	26.7
	18 00	25.9	25.6	25.7
第 2 天 The second day	8 00	26.2	25.7	25.2
	10 00	27.5	27.4	27.3
	12 00	27.9	26.8	26.6
	14 00	29.1	28.4	27.1
	16 00	27.2	27.1	26.6
	18 00	26.1	25.7	25.9
第 3 天 The third day	8 00	24.8	24.7	23.8
	10 00	26.3	26.1	24.3
	12 00	26.5	25.9	24.7
	14 00	27.3	26.7	25.0
	16 00	26.2	26.1	25.1
	18 00	24.4	24.1	24.3

4.2 建议

城市热岛效应是城市气候最显著的特征之一。热岛引起地表温度的提高,必将强烈地影响着城市生态系统的物流、能流,改变城市生态系统结构和功能,产生一系列生态环境效应,影响着城市气候、城市水文、城市土壤理化性质、城市大气环境、城市生物习性、城市物质循环、城市能量代谢以及城市居民健康等^[4]。而城市热岛的分布与当地的绿化状况有直接关系,凡是绿化状况好的地段,热岛效应的表现就弱;反之越是在城市绿化状况差的地段,热岛的分布就越是普遍,热岛的强度也越高^[2]。

在城市市区组建大面积的绿地,构筑绿化广场,降低城市建筑和人口密度,是改善城市生态环境,缓解热岛效应的有效手段。本实验通过研究证明了林下广场改善城市小气候的显著功能。

因此,建设园林绿地时,在保证游人有一定运动空间的同时,应适当考虑广场上多种乔木,林下广场比无林广场更有利于人们的生理健康,是人们户外活动的较佳选择。

References :

[1] Whitford V, Ennos A R and 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, 2001, 57 (2):91—103.

[2] Li Y M, Zhang J H, Gu R Z. Research on the relationship between urban greening and the effect of urban heat island. Chinese Landscape Architecture, 2004, 20 (1):72—75.

[3] Rosenzweig C, Solecki W D, Parshall L, et al. Characterizing the urban heat island in current and future climates in New Jersey. Global Environmental Change B:Environmental Hazards, 2005, 6 (1):51—62.

[4] Wilby R L, Perry G W. Climate change, biodiversity and the urban environment: a critical review based on London, UK. Progress in Physical Geography, 2006, 30 (1):73—98.

[5] Golden J S ,Kaloush ,K. E. Mesoscale and microscale evaluation of surface pavement impacts on the urban heat island effects. International Journal of Pavement Engineering ,2006 ,7 (1) :37 — 52.

[6] Yang C. Ecology experiment and practice. Beijing :Advanced Education Press ,2003. 160 — 172.

[7] Yoshimitsu Inoue , Mikio Nakao , Syozo Okudaira , *et al.* Seasonal variation in sweating response of older and younger men. European Journal of Applied Physiology ,1995 ,70 (1) :6 — 12.

[8] Hiroyuki Ueda , Yoshimitsu Inoue , Tsutomu Araki , *et al.* Clothing microclimate temperatures during thermal comfort in boys , young and older men. International Journal of Biometeorology ,1996 ,39 (3) :127 — 132.

[9] H ppe P. The physiological equivalent temperature-a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. International Journal of Biometeorology ,1999 ,43 (2) :71 — 75.

[10] Anderson G S. Human morphology and temperature regulation. International Journal of Biometeorology ,1999 ,43 (2) :99 — 109.

[11] Wang Y F ,Shen Y. The temperature-humidity effect and human comfort in Shanghai summer. Journal of East China Normal University (Natural Science) ,1998 (3) :60 — 66.

[12] John E O. Climatology :Selectel Application. London :V H Winston & Sonms ,1981. 190 — 192.

[13] Zhou H F. Discussion in synthetic index of climatic change influence on human health. Climatic and Environmental Research ,1999 (1) :121 — 126.

[14] Xiao R B ,Ouyang Z Y , Li W F , *et al.* A review of the eco-environmental consequences of urban heat islands. Acta Ecologica Sinica ,2005 ,25 (8) :2055 — 2060.

参考文献：

[2] 李延明 ,张济和 ,古润泽. 北京城市绿化与热岛效应的关系研究. 中国园林 2004 20 (1) :72 ~ 75.

[6] 杨持. 植物群落调查方法. 见 :杨持主编. 生态学实验与实习. 北京 :高等教育出版社 ,2003. 160 ~ 172.

[11] 王远飞 ,沈愈. 上海市夏季温湿效应与人体舒适度. 华东师范大学学报 (自然科学版) ,1998 (3) :60 ~ 66.

[13] 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 (1) :121 ~ 126.

[14] 肖荣波 ,欧阳志云 ,李伟峰 ,等. 城市热岛的生态环境效应. 生态学报 2005 25 (8) :2055 ~ 2060.