

城市不同植物群落小尺度范围内 降温增湿效应的时空变化

黄和平¹, 邹金浪²

(1. 江西财经大学 鄱阳湖生态经济研究院, 江西 南昌 330032; 2. 云南财经大学 国土资源与持续发展研究所, 云南 昆明 650221)

摘要: 城市中植物群落的降温增湿作用是缓解城市热岛效应的有效途径。选择江西财经大学麦庐园校区的乔木林、灌木丛和草坪为研究对象, 对 3 者在小尺度范围内调节城市小气候的效应进行了量化研究。结果表明: (1) 乔木林的降温效应最明显出现在 20:00(-4.00 °C), 最弱是在 10:00(-1.68 °C); 灌木丛降温效应最明显出现在 8:00(-2.95 °C), 最弱是在 12:00(-0.27 °C); 草坪影响下的降温效应最明显出现在 20:00(-2.31 °C), 最弱是在 10:00(0.38 °C); (2) 上午时段灌木丛的降温效应明显, 灌木丛和草坪增湿效应明显; 下午时段草坪降温效应变化幅度大, 乔木林在下午时段增湿效应的变化幅度大; (3) 乔木林、灌木丛和草坪的降温效应和增湿效应都随距离的增大而减少, 温度差值和相对湿度差值在水平和垂直方向上的变化趋势基本一致。

关键词: 小气候效应; 植物群落; 时空变化; 小尺度

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)04-0307-05

中图分类号: Q14, Q94

Temporal-spatial Changes of Urban Various Plant Communities on Cooling and Humidifying Effects at Small Scale

HUANG He-ping¹, ZOU Jin-lang²

(1. Institute of Poyang Lake Eco-economics, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang, Jiangxi 330032, China; 2. Institute of Land & Resources and

Sustainable Development, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming, Yunnan 650221, China)

Abstract: The cooling and humidifying effect of the urban plant community plays an important role in alleviating the "urban heat island effect". To study the effect of vegetation in regulating urban microclimate at a small scale, arboreal forest, shrubs and lawns were chosen in Mailu campus of Jiangxi Finance and Economics University. The results showed that: (1) The most significant cooling effect of arboreal forest occurred at 20:00(-4.00 °C), while the weakest effect occurred at 10:00(-1.68 °C). The most significant cooling effect of shrubs occurred at 8:00(-2.95 °C), while the least effect occurred at 12:00(-0.27 °C). The most significant cooling effect of lawns occurred at 20:00(-2.31 °C), while the least effect occurred at 10:00(0.38 °C). (2) In morning, the cooling and humidifying effects of shrubs were great, and the humidifying effects of lawns were significant. In afternoon, the cooling effect of lawns and the humidifying effect of arboreal forest varied greatly. (3) The cooling and humidifying effects of arboreal forest, shrubs and lawns decreased as the distance increased. The changes in temperature difference were consistent with the variation in relative humidity difference at the horizontal and vertical direction.

Keywords: microclimate effects; plant community; temporal-spatial diversification; small scale

城市化速度不断加快的过程中,大量人工建筑的涌现,改变了城市下垫面的性质和当地的生态环境,导致了城市热岛效应等一系列生态问题的出现。城

市植被作为城市生态环境的重要组成部分,是构成城市生态系统中唯一执行自然“纳污吐新”负反馈机制的子系统^[1]。在国内外对城市植物群落小气候效应

收稿日期:2012-07-29

修回日期:2012-09-29

资助项目:国家自然科学基金项目“基于 LUCC 的区域城市群物质代谢时空动态变化研究”(40961041)

作者简介:黄和平(1968—),男(汉族),江西省吉水县人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事植被生态学、生态系统管理、循环经济与产业生态学等方面的研究。E-mail:hphuang2004@163.com。

和缓解城市热岛危害的研究中^[2-4],不难发现目前对城市植物群落小气候效应的研究还需进一步细化,特别进一步量化研究城市植物群落在垂直方向上的小气候效应分布格局。本研究从生态场角度出发,试图通过对城市大学校园内不同植物群落的降温、增湿效应的定量化研究,借助 Curve Expert 1.4 软件,探讨试验地中乔木林、灌木丛和草坪在小尺度范围内降温增湿效应的时空变化规律。

1 试验地概况

1.1 试验地自然概况

南昌市位于东经 115° 27'—116° 35', 北纬 28° 09'—29° 11', 该市平均海拔 25 m, 属于亚热带湿润季风气候。南昌市夏天非常炎热,从夏季多年平均值来看,气温 28.2 °C, 极端最高气温 40.9 °C; 降雨量 520.2 mm, 降水日为 33.2 d; 相对湿度为 79%; 日照时间 687.9 h; 风速 3.1 m/s。试验地为江西财经大学麦庐园校区(最高处海拔约为 35 m), 该校区位于南昌市昌北地区, 植被覆盖率较高。在校园内选取 3 种典型的植物群落, 即乔木林、灌木丛和草坪作为实验样地, 另外设置了一个裸地作为对照样地。

1.2 试验地植物群落特征

乔木林样地位于大学生活动中心(4层)的北边, 图文信息楼(10层)的西北边, 是半自然的片林, 其形状大约是长方形, 东西距离 75.75 m, 南北距离 118.62 m, 面积约 9 000 m²。

灌木丛样地位于篮球场的北边, 职工宿舍楼(6层)的东边, 形状大约是直角梯形, 南北距离分别为 29.5 和 9.1 m, 东西距离 18.18 m, 东南至西北距离 27.27 m, 面积约 350 m²。

草坪样地位于一教楼(5层)的南边, 大约呈长方形, 东西距离 31 m, 南北距离 5.4 m, 面积 167.4 m², 周长 72.8 m。样地地面平整, 地表的情况单纯而统一, 以突出草坪的下垫面特点。在此区域内, 草叶高度基本一致, 且无高大树木。

对照样地明德广场铺地所采用的主要是 60 cm × 60 cm 的灰色大理石, 面积约为 2 800 m² (东西以草坪内侧为基准, 南北以大石头和阶梯为基准), 位于一教楼和二教楼(5层)之间。

植物群落的调查方法借鉴了由杨持主编的《生态学实验与实习》一书中的植物群落调查方法^[5]。试验地植物群落的特征见表 1。

表 1 实验地植物群落结构特征

植物群落类型	优势种	面积/m ²	周长面积比(P/A)	总平均株高/m	总平均胸径 DBH/cm	总冠幅盖度/%
乔木林	马尾松(<i>Pinus massoniana</i> Lamb.)	8 985.465	0.24	12	12.82	270
灌木丛	丁香(<i>Syringa oblata</i>)	350.874	0.04	0.3	—	136
草坪	马尼拉草(<i>Zoysia matrella</i>)	167.400	0.43	0.04	—	112

2 观测条件与研究方法

2.1 试验期天气情况

试验选择晴朗无云或少云的天气进行, 太阳辐射强度较大, 辐射能量仅随时间逐渐变化, 在一段时期内相对恒定, 同时天空散射相对很小, 辐射的效果明显; 另外, 风速对气温也有一定的影响, 因而试验观测选在室外风速低于 0.5 m/s 的工况下进行^[6]。试验时间为 2009 年 7 月 9 日(晴, 气温 29~36 °C, 湿度 39%~73%); 2009 年 7 月 11 日(晴, 气温 30~36 °C, 湿度 35%~69%); 2009 年 7 月 12 日(晴, 气温 28~36 °C, 湿度 33%~74%)。

2.2 观测内容和方法

观测乔木林、灌木丛和草坪以及参照点对照裸地, 在不同时间和不同空间内的温度和相对湿度。

每天 8:00—20:00, 每隔 2 h 在距灌木丛和草坪边缘水平方向上 -50 cm (垂直边缘向内 50 cm, 下

同) 处的垂直其表面高度 1, 10, 20, 30, 40, 50 和 100 cm 上观测其温、湿度; 在距乔木林边缘水平方向上 -50, 1, 50, 100 和 150 cm 处的垂直地面高度 10, 20 和 30 cm 上观测其温、湿度; 在距草坪边缘水平方向上 1 和 50 cm 处的垂直下垫面高度 10 和 20 cm 上观测其温、湿度; 在距灌木丛边缘水平方向上 1, 50, 100 和 150 cm 处的垂直下垫面高度 10, 20 和 30 cm 上观测其温、湿度; 在距裸地垂直表面 1, 10, 20, 30, 40, 50 和 100 cm 处观测其温、湿度。

2.3 观测仪器与数据处理方法

观测仪器采用天津市天巴仪器仪表有限公司生产的 DHM2 型通风干湿表 20 支(相对湿度测量范围: 10%~100%; 温度表的测量范围: -26~51 °C。温度表刻度的最小分度值: 0.2 °C)。将 3 d 中各试验点的数据加以平均, 得到各个试验点的温湿度值; 为了便于分析, 将每一时间段所观测到的数据定为该时间段开始时刻所得到的数据, 以 8:00 为例, 8:00 时

刻得到数据其实是 8:00~8:30 之间观测到的数据,数据使用 Excel 和 Curve Expert 1.4 软件进行处理。

2.4 降温增湿效应的研究方法

本研究中降温效应和增湿效应定义为各观测点温、湿度值与对照点的差值,计算公式为^[7]:

$$\Delta T = T_n - T_0 \quad (1)$$

$$\Delta P = P_n - P_0 \quad (2)$$

式中: $\Delta T, \Delta P$ ——温度差和相对湿度差; T_n, P_n ——不同观测点的温度和相对湿度; T_0, P_0 ——对照点的温度和相对湿度; n ——不同观测点。为了方便分析,本研究取 $\Delta T_1 = -2.1 > \Delta T_2 = -1.2 > \Delta T_3 = 1.2$ 。

3 结果与分析

3.1 乔木林小气候效应的时空变化

选取各时刻 $D(-50 \text{ cm})$ 和 $D(1 \text{ cm})$ 处的温度差 (ΔT) 或相对湿度差 (ΔP) 的平均值作为 Y 轴,时刻值 (在 8:00—20:00 时间段中,用“1”代替 8:00,“7”代替 20:00,中间每间隔 2 h 加 1,下同) 作为 X 轴,使用 Curve Expert 1.4 对试验数据进行拟合,得到最佳曲线适合模型 (图 1—2)。乔木林影响下 ΔT 在观测的时间范围内大致呈增加趋势,其 ΔT 值排序为:10:00 (-1.68°C) < 8:00 (-1.88°C) < 14:00 (-2.30°C) < 16:00 (-2.57°C) < 12:00 (-2.67°C) < 18:00 (-3.22°C) < 20:00 (-4.00°C)。乔木林影响下的降温效应最明显出现在 20:00,最弱是在 10:00,两者相差 2.31°C 。8:00—12:00, ΔT 波动增加,其平均值为 -2.08°C ,变化幅度为 0.98°C ;14:00—20:00,曲线呈加速下降趋势,其平均值为 -3.02°C ,变化幅度为 1.70°C ,说明乔木林在下午 (14:00—20:00,下同) 的降温效应比上午明显,变化幅度大。

由于绿地植物的蒸腾耗热以及树冠对日光的遮蔽作用使绿地成为一个“冷源”^[7]。与 ΔT 相比, ΔP 在所观测的范围内出现两个极大值:20.5% (10:00) 和 22.0% (18:00)。乔木林一天中的增湿效应最明显出现在 18:00,最弱是在 20:00,两者相差 8.67%, ΔP 值排序为:20:00 (13.33%) < 8:00 (13.5%) < 12:00 (14.83%) < 16:00 (15.33%) < 14:00 (15.50%) < 10:00 (20.50%) < 18:00 (22.00%)。8:00~12:00,乔木林影响下相对湿度差的平均值为 16.28%,变化幅度为 7.0%;14:00~20:00,相对湿度差的平均值为 16.54%,变化幅度为 8.67%,说明乔木林在下午的增湿效应比上午明显,变化幅度大。这一现象和乔木林影响下的降温效应相一致。

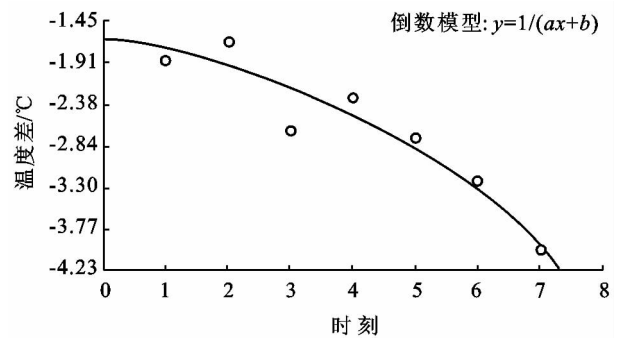


图1 乔木林影响下温度差值随时间的变化

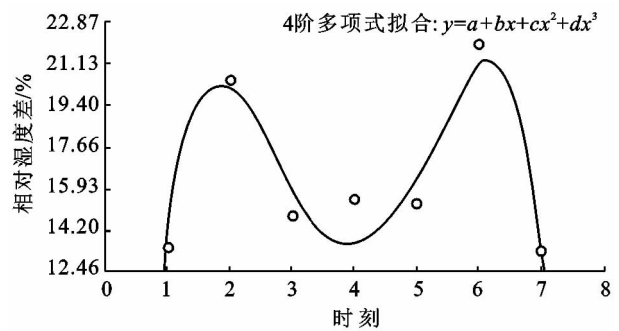


图2 乔木林影响下相对湿度差值随时间的变化

受到太阳辐射的影响,植物群落具有强大的蒸腾作用,不断向空气中输送水蒸汽^[8],从而能降低其周围的气温和提高空气的相对湿度。生态场 (在此特指温度场和相对湿度场) 作用范围内,场源植物对其周围环境的作用随作用距离的变化而变化。以垂直地面高度 30 cm 处的日平均数据为例,分析在所观测的水平距离内乔木林影响下 ΔT 和 ΔP 在水平方向上的变化趋势可分别用倒数模型 $y = 1/(-0.00095x - 0.48332)$ 和热容量模型 $y = 13.1232 - 0.0111x + 3.0280x^2$ 函数较好的拟合,由分析结果可以看出, ΔT 值和 ΔP 值随距其边缘距离的增大而减小。 ΔT 值在 $D(1 \text{ cm}) \sim D(50 \text{ cm})$ 范围内减小趋势明显,在 $D(50 \text{ cm}) \sim D(150 \text{ cm})$ 范围内呈平缓减小势态;其最大值与最小值之差为 0.65°C 。 ΔP 值在 $D(1 \text{ cm})$ 处达到最大,为 16.14%,在 $D(-50 \text{ cm})$ 和 $D(50 \text{ cm})$ 处的值分别为:13.29% 和 13.00%。在观测的水平距离内 ΔP 最大值与最小值之差为 5.43%。

3.2 灌木丛小气候效应的时空变化

选取各时刻 $D(-50 \text{ cm})$ 和 $D(1 \text{ cm})$ 处垂直高度 30 cm 以下的温度差 (ΔT) 或相对湿度差 (ΔP) 的平均值作为 Y 轴,时刻值作为 X 轴,使用 Curve Expert 1.4 拟合灌木丛影响下 ΔT 和 ΔP 随时间的变化趋势 (图 3—4)。在所观测的时间范围内,灌木丛降温效应最明显出现在 8:00 (-2.95°C),最弱是在 12:00

(-0.27 °C),两者相差 1.18 °C。8:00—12:00,曲线呈快速上升趋势, ΔT 平均值为 -2.00 °C,变化幅度为 1.18 °C;14:00—20:00,曲线波动下降, ΔT 平均值为 -2.03 °C,变化幅度为 0.81 °C:说明灌木丛在下午的降温效应明显,但是变化幅度小。灌木丛增湿效应最明显出现在 10:00(21.00%),最弱是在 20:00(8.14%),两者相差 12.86%。8:00—12:00,曲线波动明显, ΔP 值在 10:00 时远大于 8:00 和 12:00,8:00 和 12:00 时 ΔP 值仅相差 0.86%; ΔP 平均值为 12.81%,变化幅度为 12.71%;14:00—18:00, ΔP 值大致呈倒 U 形分布, ΔP 最大值出现在 16:00(10.86%),最小值出现在 20:00(8.14%), ΔP 平均值为 9.71%,变化幅度为 2.71%:说明灌木丛在上午(尤其是 10:00 左右的时间段)的增湿效应明显,变化幅度大。这一结果与其他研究存在一定的差异,如蔺银鼎等^[9]的研究表明灌木群落的降温效应在 14:00—15:30 时段最高,其次是 10:00—11:30 时段,再次是 17:00—18:00,且在该时段为逆差;灌木群落的增湿效应在 14:00—15:30 时段最高,其次是 10:00—11:30 时段,再次是 17:00—18:00,且在该时段为逆差。本研究认为产生这一差异的主要原因应该是观测尺度、试验地状况和分析尺度不相同。相对其他研究的尺度而言,本研究的尺度更小,距离灌木丛边缘的距离在 50 cm 以内,垂直灌木丛表面的高度在 30 cm 以内。在这样的小尺度范围内,气温受灌木丛的影响更加明显。本研究选择 $D(-50\text{ cm})$ 和 $D(1\text{ cm})$ 处垂直高度 30 cm 以下的温度差(ΔT)或相对湿度差(ΔP)的平均值来分析灌木丛影响下 ΔT 和 ΔP 随时间的变化情况。本试验地有其特殊性(在试验地概况部分已有详细介绍,这里就不再重复),灌木丛深受周围的影响(比如建筑物的遮阴和乱流交换因素的影响^[10])。

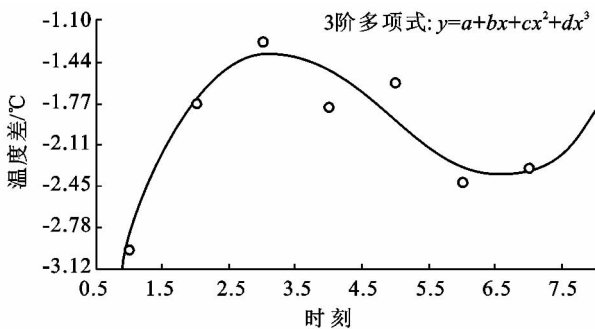


图 3 灌木丛影响下温度差值随时间的变化

考虑到灌木丛的总平均株高(0.3 m),选取 $D(-50\text{ cm})$ 处的垂直其表面高度 1 cm 和 $D(1\text{ cm})\sim D(150\text{ cm})$ 处的垂直地面高度 30 cm 的日平均值,分

析灌木丛影响下 ΔT 和 ΔP 在水平方向上的变化趋势,并可用 Logistic 模型 $y=0.9848/[1-0.2788\exp(-0.0206x)]$ 和正弦拟合函数 $y=8.7095+2.4738\cos(0.0189x+0.2675)$ 较好的拟合,由拟合结果可以看出:Logistic 模型较好地拟合了 ΔT 值水平距离内的变化趋势,在 $D(-50\text{ cm})\sim D(1\text{ cm})$ 范围内减小趋势明显,在 $D(50\text{ cm})\sim D(150\text{ cm})$ 范围内呈平缓减小趋势; ΔT 值在 $D(-50\text{ cm})$ 处最大,在 $D(150\text{ cm})$ 处最小,两者相差 2.86 °C。 ΔP 值在 $D(-50\text{ cm})\sim D(1\text{ cm})$ 范围内变化平缓;在 $D(1\text{ cm})\sim D(100\text{ cm})$ 范围内呈快速减小趋势,减小了 3.70%。

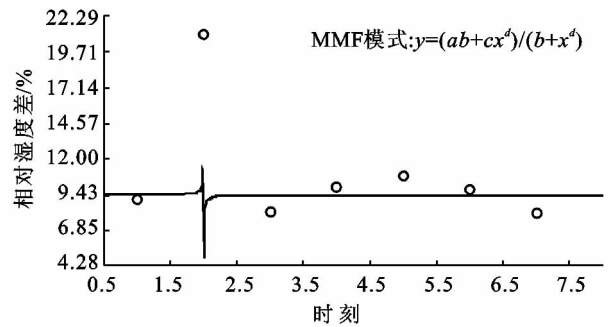


图 4 灌木丛影响下相对湿度差值随时间的变化

各高度点的日平均值,拟合灌木丛影响下 ΔT 和 ΔP 在垂直方向上的变化趋势,并可用模型 $y=1/(-0.0198x-0.2052)$ 和 $y=1/(-0.0414+0.0453\ln x)$ 较好的拟合,由拟合结果可以看出:在 20~100 cm 垂直高度之间,灌木丛的降温效应和增湿效应的变化趋势一致,20~50 cm 呈稳定减小趋势,50~100 cm 这种趋势变得平缓。在 1~10 cm 的过程中,数值变化更加明显, ΔT 值减小,而 ΔP 值增大。

3.3 草坪小气候效应的时空变化

选取各时刻 $D(-50\text{ cm})$ 和 $D(1\text{ cm})$ 处垂直高度 20 cm 以下的温度差(ΔT)或相对湿度差(ΔP)的平均值作为 Y 轴,时刻值作为 X 轴,拟合草坪影响下 ΔT 和 ΔP 随时间的变化趋势(如图 5—6)。与乔木林影响下 ΔT 值曲线变化相比,草坪影响下 ΔT 值曲线变化更接近于灌木丛影响下 ΔT 值曲线变化。草坪影响下 ΔP 值曲线变化呈 M 形,与乔木林影响下 ΔP 值曲线变化相一致。10:00 草坪的气温比对照点的气温高,说明草坪在此时间段的增温速度较裸地快。

考虑到草坪的总平均株高(0.1 m),选取 $D(-50\text{ cm})$ 处的垂直其表面高度 1 cm 和 $D(1\text{ cm})\sim D(50\text{ cm})$ 处的垂直地面高度 20 cm 的日平均值,分析草坪影响下 ΔT 和 ΔP 在水平方向上的变化趋势,并可用模型 $y=-1.0530+0.0029x+0.000083x^2$ 和 $y=$

6.993 4+0.007 1x-0.000 539x² 较好的拟合,由拟合结果可以看出,这两条曲线很好地拟合了 ΔT 和 ΔP 在水平方向上的变化,草坪在水平方向上的增湿效应和降温效应分布趋势基本一致。

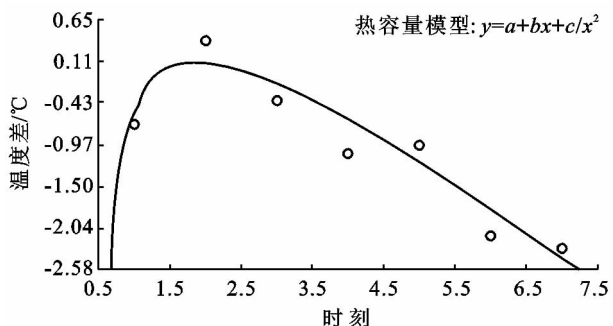


图 5 草坪影响下温度差值随时间的变化

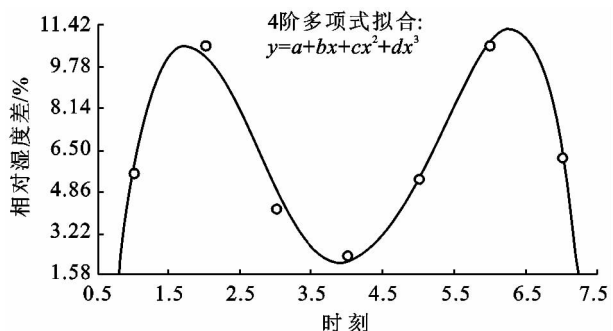


图 6 草坪影响下相对湿度差值随时间的变化

以各高度点的日平均值,拟合草坪影响下 ΔT 和 ΔP 在垂直方向上的变化趋势,并可用模型 $y = 0.069 2+1.069 5\cos(0.043 7x-3.210 5)$ 和 $y = -51.130 8+345.791 8/x$ 较好的拟合,由拟合结果可以看出, ΔT 值在垂直其表面 40~100 cm 高度区间大于 0,数值变化不明显,这说明草坪的生态场范围在垂直方向上约为 30 cm 以内。在垂直其表面 1~30 cm,曲线呈稳定上升趋势,变化幅度为 0.49 °C。草坪在垂直方向上的增湿效应和灌木丛具有一致性,但增湿效应不及灌木丛明显。

4 结论

(1) 乔木林的降温效应最明显出现在 20:00(-4.00°C),最弱是在 10:00(-1.68°C);灌木丛降温效应最明显出现在 8:00(-2.95°C),最弱是在 12:00(-0.27°C);草坪影响下的降温效应最明显出现在 20:00(-2.31°C),最弱是在 10:00(0.38°C),10:00,草坪的气温比对照点的气温高,这说明草坪在此时间

段的增温速度比裸地快;

(2) 上午,灌木丛的降温效应明显,灌木丛和草坪增湿效应明显;下午,草坪降温效应变化幅度大,乔木林在下午增湿效应的变化幅度大;

(3) 乔木林、灌木丛和草坪的降温效应和增湿效应都随距离的增大而减少, ΔT 和 ΔP 在水平和垂直方向上的变化趋势基本一致;

(4) 乔木林、灌木丛和草坪影响下 ΔT 和 ΔP 的变化幅度大小排序为:乔木林<灌木丛<草坪;

(5) 本研究由于试验观测设施的限制,没有全部得出所选样地小气候效应的可达半径以及在可达半径内其降温效应和增湿效应完整的分布情况,这是本研究的局限之处。将所得结论与其他研究相比较,存在一定的差异,这可能是由于观测尺度、所选对照样地、试验地状况和分析尺度的不同而引起的;此外,试验观测过程中由于仪器本身的问题或操作不当引起的误差也会影响分析结论。

[参 考 文 献]

[1] 任学慧,田红霞,付万. 城市绿地的小气候效应空间差异性:以大连市为例[J]. 地域研究与开发,2007,26(1): 91-94.

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

[3] 郝兴宇,蔺银鼎,武小钢,等. 城市不同绿地垂直热力效应比较[J]. 生态学报,2007,27(2):685-692.

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

[5] 杨持. 生态学实验与实习[M]. 北京:高等教育出版社,2007.

[6] 王威,狄洪发,江亿,等. 草坪环境下温度分布试验研究[J]. 北方园艺,2001,199(2):47-49.

[7] 武小钢,蔺银鼎,闫海冰,等. 城市绿地降温增湿效应与其结构特征相关性研究[J]. 中国生态农业学报,2008, 16(6):1469-1473.

[8] 蔺银鼎,梁锋. 城市灌木群落小气候效应的时空分布[J]. 中国农学通报,2007,23(3):313-317.

[9] 吴艳艳,庄雪影,雷江丽,等. 深圳市居住区绿地的增湿降温效应初探[J]. 广东园林,2008,30(6):33-36.

[10] 袁学迎. 论现代校园绿化[J]. 南通工学院学报:社会科学版,2004,20(4):101-103.