

校园绿地植被结构与温湿效应的关系

王晶懋¹, 刘 晖¹, 梁 闯², 吴小辉¹

(1. 西安建筑科技大学建筑学院, 陕西 西安 710055; 2. 西北地景研究所, 陕西 西安 710055)

摘要: 为了探究小尺度空间下植被结构与小气候之间的关系, 选取西安建筑科技大学雁塔校区内 5 处典型的校园绿地为研究样本, 在夏季利用便携式自动气象站对离地 1.5 m 高度的空气温度、相对湿度、太阳辐射强度的日变化进行测定, 为优化校园绿地的植物空间配置提供依据。结果表明, 不同植被结构的降温增湿作用差别较大, 平均降温 0.2~2.3℃, 平均增湿 1.8%~6.5%, 总体趋势表现为: 人工乔木—自然演替地被>人工乔木—人工灌木—人工地被>人工灌木—人工地被>自然演替地被>人工地被, 即绿量越大、乔木层郁闭度越高的复层结构绿地的降温增湿效应越显著。建议采用近自然式种植设计方式进行校园绿地建设, 在提升绿量的同时, 更侧重植被结构的优化, 提升校园绿地的生态效应。

关键词: 校园绿地; 降温增湿效应; 植被结构; 植物种植设计

中图分类号: TU984

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2017)05-0708-06

Relationship between campus green space vegetation structure and temperature-humidity effect

WANG Jingmao¹, LIU Hui¹, LIANG Chuang², WU Xiaohui¹

(1. College of Architecture, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. Institute of China North-Western Landscape Architecture, Xi'an 710055, China)

Abstract: To investigate the relationship between vegetation structure and microclimate in the small-scale space, on the Yanta campus of Xi'an University of Architecture & Technology, the five typical campus green spaces were selected as research samples. The microclimate data were measured with portable automatic weather station. The research measured the solar radiation, relative humidity and air temperature in five sites with 1.5 m height from the ground, to provide the theoretical basis for the planting design of campus green space. The results showed that the cooling and humidifying effects of different vegetation structure sites varied greatly, the average temperature reduction was 0.2~2.3℃, the average humidifying increase was 1.8%~6.5%. The humidifying and cooling effect of the different plant communities from high to low were: artificial arbor-natural succession ground cover > artificial arbor-artificial shrub-artificial ground cover > artificial shrub-artificial ground cover > natural succession ground cover > artificial ground cover. That is, the greater amount and higher tree canopy layer of green space, the effect of vegetation structure of campus green space could be more efficient. It is recommended to use the near natural formula planting design approach in constructing the campus green space. We should focus on optimizing the structure of green vegetation rather than increasing the amount of green area, so as to promote the ecological effect of the campus green space.

Key words: campus green space; temperature-lowering and humidity-raising effect; vegetation structure; planting design

校园绿地是城市附属绿地的重要组成部分, 由于植物具有调节气温、湿度, 防风固沙, 净化空气, 吸烟滞尘, 杀菌防病, 减弱噪声等功能^[1-4], 因此, 校园绿地在校园生态系统中发挥着重要的生态调节和服务功能, 能够有效提高和改善校园生态环境质量^[5]。城市小气候是城市生态环境的重

要内容之一, 是指由于下垫面性质以及人类和生物活动的影响而形成的近地层大气的小范围气候^[6]。城市小气候受人类的活动影响较大, 同时它也会直接影响城市居民的健康、工作、生活以及学习等^[7]。目前, 国内外学者对城市绿地小气候的研究主要集中在城市广场、公园绿地、滨水带、

收稿日期: 2016-09-19 修改稿日期: 2017-08-22

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(51338007); 陕西省高校科协青年人才托举计划项目(20160218); 陕西省教育厅专项科研计划项目(16JK1460)

第一作者: 王晶懋(1988—), 女, 博士, 主要研究方向为风景园林植物应用与设计。E-mail: airainmail@126.com

街道等城市公共空间,探讨了在不同场地条件下小气候相关因子的动态变化特征^[8-10]。同时,也针对城市不同类型绿地和绿化植物的降温增湿效益进行了大量研究,主要阐述了下垫面类型、植被类型、覆盖度、郁闭度、群落结构等因子对其生态功能所产生的不同程度影响^[11-13],以及植物绿量、叶面积指数、绿地面积、周长面积比、树木种类、生长发育状况等绿地因子与降温增湿效应之间的相关性^[14]。Avissar^[15]基于中尺度的大气模型,研究了城市植被对城市热环境的潜在作用,证实了植被能够影响城市风环境、温度、湿度和降水等气象因子。Hamada^[16]等对日本名古屋市绿地温湿度的季节性变化特征进行了阐述,并且探讨了城市“冷岛效应”的范围与植被类型之间的关系。冯晓刚^[17]等运用遥感技术,研究了夏季西安城市公园对周边区域热环境的降温效应,发现降温幅度与距公园的远近呈非线性关系特征。

但是,这些研究多集中在大尺度空间城市绿地的小气候特征,专门针对小尺度空间城市绿地的小气候研究较少。为了更为直接地将研究成果应用到小尺度城市绿地的规划设计之中,选择西安建筑科技大学雁塔校区的南门花园为研究对象,通过实测夏季校园绿地中不同植被结构与绿量比例对环境小气候的影响,结合植物群落数量特征,研究绿地植被结构与小气候因子之间的关系,以期在校园绿地种植设计提供启示与依据。

1 研究方法

1.1 试验地概况

选取的试验地面积为 841 m²,地理坐标为 N 34°23'55", E 108°96'77", 处于暖温带半湿润大陆性季风区,气候特征为冬季寒冷,风小,少雨雪;夏季炎热多雨,伏旱突出,多雷雨大风;春秋较短,夏冬较长。年平均气温 13.0~13.7℃,1月气温最低为-1.2~0℃,最热7月份平均气温为 26.3~26.6℃。年降水量 522.4~719.5 mm,7~9月为降水集中月份。年日照时数 1 646.1~2 114.9 h。年平均风速为 1.3~2.6 m/s,春季风速较大,秋季风速较小,全年盛行风向以东北风为主。

1.2 试验设计

对校园绿地不同植被结构条件下的小气候状况进行比较,分别从植被空间结构、乔灌木地被高度、植物配置方式的空间布局形态对小气候的影响进行分析,旨在探求不同植被结构与小气候之间的关系。利用小尺度定量测定方法^[18],依据不同植物结构特征,选取 5 个典型测点(图 1),并且严格控制各测点与周边建筑之间的距离,以避免建筑阴影对测定结果的影响。

试验期间记录不同测点、同一时间下,距离地面 1.5 m 高度的空气温度、相对湿度、太阳辐射强度等气象因子数值。测试时间为 2016 年 7~8 月份,所选 3 个测试日的气象状况为晴朗少云,每天测试时间为 7:00~19:00。

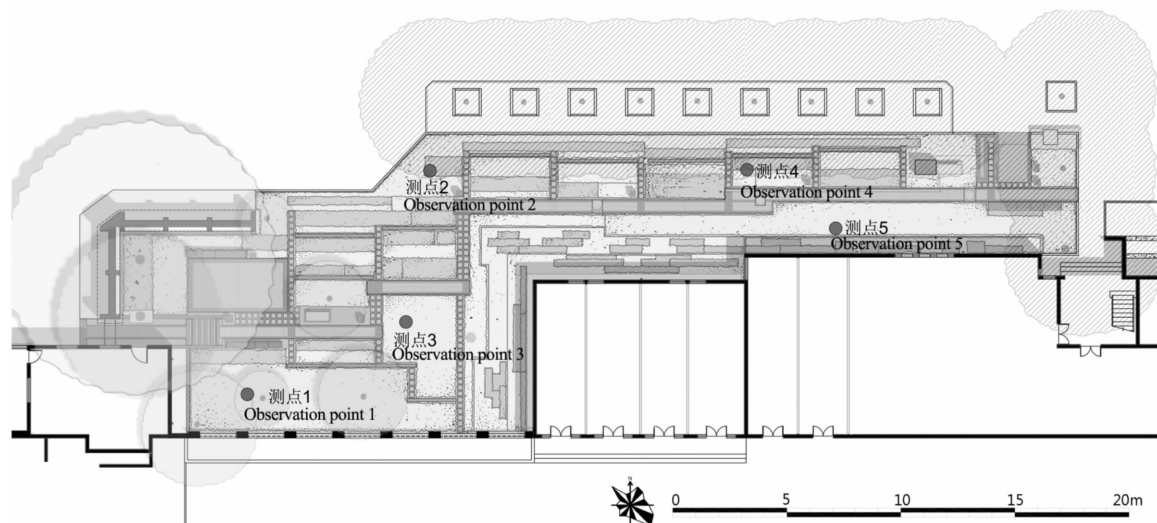


图1 南门花园测点分布示意图

Fig. 1 Schematic layout of measuring sites in South-gate garden

试验所选测点的植被结构分别为:人工乔木—自然演替地被、人工灌木—人工地被、自然演替地被、人工乔木—人工灌木—人工地被、人工

地被。各测点的植被结构和乔灌木绿量比例如表 1 所示。

表 1 测点植被结构与乔灌草绿量比例

Tab. 1 Observation points of vegetation structure and green quantity ratio

测定位点	植被结构	绿量比例(乔:灌:草)
测点 1	人工乔木—	0.57:0:0.43
	自然演替地被	
测点 2	人工灌木—	0:0.35:0.65
	人工地被	
测点 3	自然演替地被	0:0:1
测点 4	人工乔木—人工灌木	0.50:0.25:0.25
	—人工地被	
测点 5	人工地被	0:0:1

1.3 试验仪器

本试验所采用的仪器为美国产便携式自动气象站 Vantage Pro2, 分别布置在场地内 5 个测点处, 每 5 min 自动记录 1 次各点位的气象数据. 温度测试范围为 $-76\sim+54^{\circ}\text{C}$, 精度为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$; 相对湿度测试范围为 $10\%\sim 100\%$, 精度为 $\pm 2\%$; 太阳辐射强度测试范围为 $0\sim 1\,800\text{ W/m}^2$, 精度为 $\pm 5\text{ W/m}^2$. 城市气象数据来源为西安气象局的城市气象站, 每半小时记录 1 次.

1.4 数据处理方法

数据处理运用数学统计软件 Excel 2013, 分析对比测点的小气候因子间的差距, 用 SPSS 18.0 软件分析各测点的小气候因子间是否存在显著差异.

2 结果与分析

根据试验场地内 5 种植被结构类型, 确定相应测点位置. 对各测点的植物构成及群落数量特征(密度、盖度、郁闭度)进行调查统计(表 2).

2.1 不同植被结构的太阳辐射强度差异

由图 2 可见, 7:00~19:00, 测点 1 至测点 5 的太阳辐射强度变化范围分别为: $49\sim 176\text{ W/m}^2$ 、 $40\sim 243\text{ W/m}^2$ 、 $42\sim 386\text{ W/m}^2$ 、 $30\sim 191\text{ W/m}^2$ 、 $44\sim 420\text{ W/m}^2$, 受植物群落郁闭度的影响, 平均值显示, 测点 1(103.2 W/m^2) < 测点 4(118.7 W/m^2) < 测点 2(139.4 W/m^2) < 测点 3(182.3 W/m^2) < 测点 5(216.5 W/m^2), 由此也能够看出各测点的植被结构对太阳辐射阻挡作用的强弱依次为人工乔木—自然演替地被 > 人工乔木—人工灌木—人工地被 > 人工灌木—人工地被 > 自然演替地被 > 人工地被. 在测定日中的任何时段, 各测点太阳辐射

强度的差异均达显著水平($P < 0.05$).

表 2 不同群落结构绿地的数量特征

Tab. 2 Quantitative characteristics of green space with different structure

测点	植被结构类型	植物构成	群落数量特征			
			密度		盖度 /%	郁闭度
			乔木	灌木		
01	人工乔木—自然演替地被	雪松	0.6	/	/	0.86
		山菅兰			4	
		小飞蓬			15	
		白三叶			23	
		千屈菜			12	
		麦冬			18	
		黄杨	/	5	/	/
		马蔺			5	
		狼尾草			22	
		八宝景天			20	
02	人工灌木—人工地被	常夏石竹			16	
		假龙头	/	/	10	/
		婆婆纳			18	
		过路黄			20	
		细叶芒			25	
03	自然演替地被	法桐	0.8	/	/	0.82
		海桐	/	8	/	
		迷迭香			12	
		松果菊			16	
		麦冬			25	
04	人工乔木—人工地被	山菅兰	/	/	18	/
		肾蕨			12	
		铁线蕨			15	
		麦冬			20	

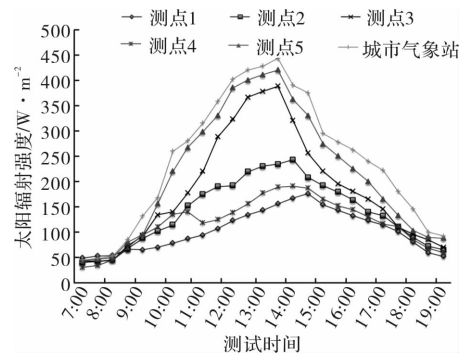


图 2 不同植被结构绿地的太阳辐射强度差异

Fig. 2 Solar radiation intensity of green space with different vegetation structure

2.2 不同植被结构的气温差异

将试验地各测点所记录 3 个测试日的温度与城市气象站的温度进行比较，可以看出各测点的日平均温度均小于城市气象站所测的日均温度(表 3)。其中测点 1 的日平均温度最小，最多比城市气象站所测温度低 2.3℃，这是由于该处有高大乔木遮挡，其郁闭树冠层及地被覆盖能够显著降低林下空间的温度。测点 5 的日平均温度与城市气象站所测温度最为接近，最多仅低 0.3℃，这是由于测点 5 生长的主要是人工地被，无冠层遮挡，植物对此处环境的降温作用不太明显。

表 3 场地测点与西安气象站的平均温差

Tab. 3 The average air temperature difference between observation points and the Xi'an weather stations (℃)

测试日期	测点 1	测点 2	测点 3	测点 4	测点 5
2016.7.20	-2.3	-1.2	-0.7	-1.9	-0.2
2016.7.28	-1.5	-0.8	-0.4	-1.3	-0.1
2016.8.06	-1.8	-1.0	-0.5	-1.6	-0.3

从图 3 可以看出，7:00~19:00，测点 1 至测点 5 的空气温度变化范围分别为：23.2~29.8℃、23.6~31.8℃、23.5~32.1℃、23.1~29.9℃、23.3~33.6℃，平均值显示，人工乔木—自然演替地被(27.1℃) < 人工乔木—人工灌木—人工地被(27.3℃) < 人工灌木—人工地被(28.3℃) < 自然演替地被(28.6℃) < 人工地被(29.2℃)。在 7:00~9:00 之间，校园绿地 5 个测点的温度均高于城市气象站当天观测温度 0.3~1.3℃；在 9:00~12:00 过程中，两者的温度值逐渐接近；从 12:00 之后，城市气象站的温度值始终高于 5 个测点的温度值，其温差的范围为 0.3~3.2℃。

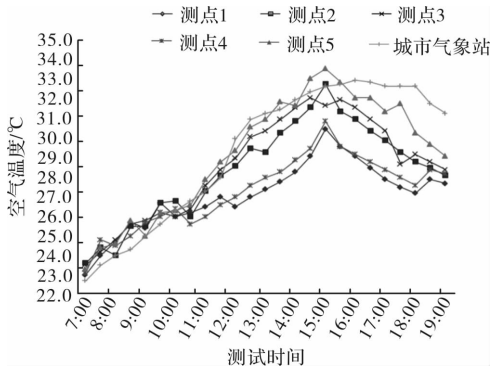


图 3 不同植被结构绿地的空气温度差异

Fig. 3 Air temperature of green space with different vegetation structure

结合图 2 和图 3 可以看出，在 7:00~11:00 之间，城市气象站的温度数值持续升高，且温度

的升高幅度明显高于试验地 5 个测点的升温幅度，各测点所接收到的太阳辐射强度持续攀升，但是温度的增幅差别也较大，人工乔木—自然演替地被(4.3℃) < 人工乔木—人工灌木—人工地被(4.9℃) < 人工灌木—人工地被(5.7℃) < 自然演替地被(6.9℃) < 人工地被(7.7℃)，而此期间城市气温的增幅达到了 8.6℃。在 11:00~18:00 之间，不同植被结构的空气温度为：测点 1 < 测点 4 < 测点 2 < 测点 3 < 测点 5，测点 5 在 15:00 时温度值最大，达到了 33.6℃，分别较测点 1、测点 2、测点 3、测点 4 的温度高了 3.1℃、0.8℃、1.9℃和 2.7℃。测点 4 和测点 1 的温度更低，这说明有高大乔木存在的植被结构在夏季能够起到更为明显的降温作用。而测点 5 和测点 3 以低矮地被植物为主的场地日间温度较高，这说明只有地被植物而没有树木遮挡时，对太阳辐射所引起升温作用的缓解能力较弱。从 14:00 起，太阳辐射强度逐渐下降，各测点的温度也随着平缓下降，这表明绿地植被能够延缓气温的变化。

在夏季一天中的大部分时段，各测点气温的差异中，人工乔木—自然演替地被与人工乔木—人工灌木—人工地被间的差异未达到显著水平($P < 0.05$)，与人工灌木—人工地被、自然演替地被和人工地被间的差异达到了显著水平($P < 0.05$)；人工灌木—人工地被与自然演替地被和人工地被间的差异达到了显著水平($P < 0.05$)；自然演替地被和人工地被间的差异未达到显著水平($P < 0.05$)。由此可以说明各植被结构的温度调节强度却存在差别，呈人工乔木—自然演替地被 > 人工乔木—人工灌木—人工地被 > 人工灌木—人工地被 > 自然演替地被 > 人工地被。

2.3 不同植被结构的相对湿度差异

从图 4 可以看出，各测点的相对湿度日变化趋势与温度相反。7:00~19:00，测点 1 至测点 5 的空气相对湿度变化范围分别为：26.5%~64.7%、21.3%~61.8%、18.5%~58.6%、25.1%~67.3%、16.5%~59.3%，各测点相对湿度呈先降低后增长的变化规律。平均值显示，人工乔木—自然演替地被(45.3%) > 人工乔木—人工灌木—人工地被(44.2%) > 人工灌木—人工地被(36.6%) > 自然演替地被(33.9%) > 人工地被(32.5%)。

在 7:00~9:00，人工乔木—人工灌木—人工地被的相对湿度稍高于人工乔木—自然演替地被，这是由于：①夏季夜间气温低，周围环境的

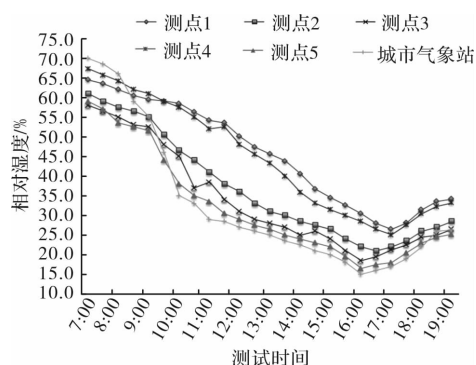


图4 不同植被结构绿地的相对湿度差异

Fig. 4 Relative humidity of green space with different vegetation structure

相对湿度大, 人工乔木—人工灌木—人工地被的群落内部结构较人工乔木—自然演替地被更为密闭, 空气流通不畅, 湿气不易扩散, 因此其空气相对湿度也更大; ②夏季早晨, 植物群落接受太阳照射后, 人工乔木—人工灌木—人工地被群落所产生的蒸腾作用较人工乔木—自然演替地被更强, 因此其绿地内部的保湿效果更强。在 10:00~19:00, 人工乔木—自然演替地被的相对湿度高于人工乔木—人工灌木—人工地被, 这是由于随着植物群落接收太阳辐射强度的增大, 周围环境的气温逐渐升高, 人工乔木—自然演替地被的植物蒸腾作用更强, 因而其相对湿度也更大。综合来看, 从 7:00~19:00, 单一地被结构绿地的保湿能力明显弱于乔灌木和灌木结构的绿地, 并且易受周围环境的影响。

比较试验所测得各测点的空气相对湿度, 发现人工乔木—自然演替地被与人工乔木—人工灌木—人工地被间的差异未达到显著水平 ($P < 0.05$), 二者与人工灌木—人工地被、自然演替地被和人工地被间的差异达到了显著水平 ($P < 0.05$); 人工灌木—人工地被与自然演替地被和人工地被间未达到显著差异水平 ($P < 0.05$)。由此可以说明各植被结构在夏季均能起到明显的增湿效果, 并且人工乔木—自然演替地被与人工乔木—人工灌木—人工地被这两种植被结构的增湿效应更好。

3 结论与讨论

通过对西安建筑科技大学南门花园进行温湿度测定, 结合典型植物群落结构特征, 分析不同群落类型下夏季校园绿地的降温增湿效应, 得出以下结论。

(1) 在西安炎热的夏季, 校园绿地表现出明显

的降温增湿效应。不同植被结构的降温增湿作用差别较大, 平均降温 $0.2 \sim 2.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 平均增湿 $1.8\% \sim 6.5\%$, 总体趋势表现为: 人工乔木—自然演替地被 > 人工乔木—人工灌木—人工地被 > 人工灌木—人工地被 > 自然演替地被 > 人工地被。

(2) 绿量越大、乔木层郁闭度越高的复层结构绿地的降温增湿效应越显著, 特别是雪松和法桐林下覆盖空间的温湿度状况更好。从温湿度的日变化特征来看, 以半自然乔木—地被植物结构和自然演替地被为主的绿地微环境相对稳定, 对夏季日间高温的调节能力较强, 但是以人工地被为主的绿地温湿度日变化幅度最大, 调节能力较弱。

(3) 通过实测, 人工乔木—自然演替地被绿地和人工乔灌木结构绿地的降温增湿效应最好, 这是由于这种植物群落的结构更合理, 绿量比例更佳, 更接近于自然植物群落。

目前多数校园绿地建设的人工痕迹过多, 使得植物群落的层次结构过于简单, 较难发挥其最佳的生态效益。因此, 在进行校园绿地建设时, 如在相同的场地条件下, 应当优先考虑乔—灌—草结构的近自然化种植设计方式进行植物群落配置, 注重优化绿地植被结构, 在提升绿量的同时, 充分发挥校园绿地改善校园生态环境的效应。在此基础上, 将来可以进一步研究适应降水、日照、气温等小气候因子的植物群落设计策略以及适宜的植物群落组构模式, 为构建基于气候适应性的西北半干旱地区附属绿地规划设计导则奠定基础。

参考文献 References

- [1] 吴菲, 李树华, 刘娇妹. 林下广场、无林广场和草坪的温、湿度及人体舒适度[J]. 生态学报, 2007, 27(7): 2964-2971.
WU Fei, LI Shuhua, LIU Jiaomei. The effects of greening, none greening square and lawn on temperature, humidity and human comfort[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(7): 2964-2971.
- [2] 刘娇妹, 李树华, 吴菲, 等. 纯林、混交林型园林绿地的生态效益[J]. 生态学报, 2007, 27(2): 674-684.
LIU Jiaomei, LI Shuhua, WU Fei, et al. The ecological effects between pure woodland and mixed of urban green space[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(2): 674-684.
- [3] 冯悦怡, 李恩敬, 张力小. 校园绿地夏季小气候效应分析[J]. 北京大学学报, 2014(50): 812-818.
FENG Yueyi, LI Enjing, ZHANG Lixiao. Microclimate effects of campus green space in summer[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2014(50): 812-818.

- [4] 秦仲. 北京奥林匹克公园绿地夏季温湿效应及其影响机制研究[D]. 北京:北京林业大学, 2016:25-26.
QIN Zhong. Cooling and humidifying effects and driving mechanisms of Beijing Olympic Forest Park in summer [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2016:25-26.
- [5] 张碧辉,刘树华,桑建国. 北京大学校园夏季气象场的数值模拟[J]. 北京大学学报, 2011(47):59-65.
ZHANG Bihui, LIU Shuhua, SANG Jianguo. Numerical simulation of meteorological fields in the campus of Peking university in summer [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2011(47):59-65.
- [6] 埃维特·埃雷尔,戴维·珀尔穆特. 城市小气候:建筑之间的空间设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2014:15.
ELLA V., DAVID P. Urban microclimate designing the spaces between buildings [M]. Beijing: China Building Industry Press, 2014:15.
- [7] 黄承标,文祥凤,黄丹,等. 大学校园不同绿地结构类型的小气候特征[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2010, 2(9):37-41.
HUANG Chengbiao, WEN Xiangfeng, HUANG Dan, et al. Microclimate characteristics of different structural types of greenbelt in university campus[J]. Journal of Guangzhou University (Natural Science Edition), 2010, 2(9):37-41.
- [8] 刘滨谊,林俊. 城市滨水带环境小气候与空间断面关系研究[J]. 建筑学报, 2013(2):76-81.
LIU Binyi, LIN Jun. Study on relationship between microclimate and space section of urban waterfront green belt[J]. Architectural Journal, 2013(2):76-81.
- [9] 纪鹏,朱春阳,李树华. 城市河道绿带宽度对空气温湿度的影响[J]. 植物生态学报, 2013(1):37-44.
JI Peng, ZHU Chunyang, LI Shuhua. Effects of greenbelt width on air temperature and humidity in urban river corridors[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2013(1):37-44.
- [10] 王美莲,李志强,银红,等. 行道树绿化模式夏季小气候效应与人体舒适度研究[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(5):235-240.
WANG Meilian, LI Zhiqiang, YIN Hong, et al. Microclimate effects and human comfortably of street tree planting patterns in Hohhot[J]. Journal of northwest forestry university, 2015, 30(5):235-240.
- [11] POTCHTER O, COHEN P, BITAN A. Climatic behavior of various urban parks during hot and humid summer in the mediterranean city of Tel Aviv, Israel [J]. International Journal of Climatology, 2006, 26: 1695-1711.
- [12] 晏海,王雪,董丽. 华北树木群落夏季微气候特征及其对人体舒适度的影响[J]. 北京林业大学学报, 2012, 34(5):57-63.
YAN Hai, WANG Xue, DONG Li. Microclimatic characteristics and human comfort conditions of tree communities in northern China during summer [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2012, 34(5): 57-63.
- [13] 胡永红,王丽勉,秦俊,等. 不同群落结构的绿地对夏季微气候的改善效果[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(2):235-237.
HU Yonghong, WANG Limian, QIN Jun, et al. The improvement of different community structure green lands on summer microclimate[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2006, 34(2):235-237.
- [14] 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.
WU Xiaogang, LIN Yinding, YAN Haibing, et al. Correlation between ecological effect and structure characteristics of urban green areas[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16(6):1469-1473.
- [15] Avissar R. Potential effects of vegetation on the urban thermal environment[J]. Atmospheric Environment, 1996, 30(3): 437-448.
- [16] HAMADA S, OHTA T. Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas[J]. Urban Forestry and Urban Greening, 2010, 9(1): 15-24.
- [17] 冯晓刚,石辉. 基于遥感的夏季西安城市公园“冷效应”研究[J]. 生态学报, 2012, 32(23):7355-7363.
FENG Xiaogang, SHI Hui. Research on the cooling effect of Xi'an parks in summer based on remote sensing [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32 (23): 7355-7363.
- [18] 朱春阳,李树华,纪鹏. 城市带状绿地结构类型与温湿效应的关系 [J]. 应用生态学报, 2011, 22 (5): 1255-1260.
ZHU Chunyang, LI Shuhua, JI Peng. Relationships between urban green belt structure and temperature-humidity effect[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(5):1255-1260.

(编辑 沈 波)