

郑州市带状绿地不同空间结构类型温湿度效应分析

牛 凯,李华威,何瑞珍,穆 博,田国行*

(河南农业大学 林学院,河南 郑州 450002)

摘 要:以郑州市中州大道金水路至郑汴路段两侧道路带状绿地为观测对象,探析不同绿地空间结构对温、湿度的调节效应。根据带状绿地宽度、周边建筑环境、植物配置模式、空间类型等指标选取6段样地进行空气温度和相对湿度的观测。结果表明:带状绿地有降温增湿的效果,最大降温幅度2.19℃~3.87℃,最大增湿幅度6.95%~11.25%;4种空间结构类型带状绿地降温增湿方面作用的大小顺序为:乔灌木>乔木广场>草坪>硬化广场;绿地内4种空间类型均能在一定程度上改善人体舒适度,且一天中相对最佳舒适度会在不同绿地空间中出现。结果可作为城市带状绿地生态效益评价的参考,为城市带状绿地的设计、改造和管理提供科学依据。

关键词:郑州市;带状绿地;气温;相对湿度;温湿度效应;绿地结构

中图分类号:S731.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2015)06-0237-05

Effects of Different Spatial Structure of Urban Greenbelts on Air Temperature and Relative Humidity in Zhengzhou

NIU Kai, LI Hua-wei, HE Rui-zhen, MU Bo, TIAN Guo-hang*

(College of Forestry, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002, China)

Abstract: The belt-shaped greenspace on both sides of the Zhongzhou Avenue between Jinshui Rd and Zhengbian Rd were selected to study on the effects of different green space structures on air temperature and relative humidity. Six sample plots were selected according to the indexes of width, peripheral building environment, plant disposition model, spatial structure type of the greenbelts to be observed. The results showed that the greenbelts had cooling and humidification effects, the maximum cooling effect reached 2.19 °C to 3.87 °C, and the most humidifying effect was in the range from 6.95% to 11.25%. The cooling and humidification effects of the four types of belt greenspace were in the order of arbor-shrub-grass> meadow covered by arbor tree layer> meadow> hard pavement square. Human comfort could be improved in all the four types of green space, and the best effect was achieved at different time of the day in four types of greenspace. The results might be referred to ecological benefit evaluation of urban greenbelt, and to the design, modification and management of the urban greenspace.

Key words: Zhengzhou city; belt greenspace; air temperature; relative humidity; temperature-humidity effect; green space structure

带状绿地是城市绿地系统中的重要组成部分,一般沿城市道路或河流分布,是一种线性的绿色空间,同时也是连接城市空间的重要的绿色基础设施^[1],常以公园绿地、防护绿地、附属绿地结合城市

道路、河流、城墙遗迹等呈带状分布^[2-3]。带状绿地具有独特的优势,在高效利用城市土地资源的同时提升城市景观质量,改善城市形象,提供更便利的市民休闲娱乐空间。

收稿日期:2015-03-30 修回日期:2015-06-17

基金项目:国家自然科学基金(31470029);河南省科技厅产学研资助项目(142107000101);河南省交通厅科技攻关项目(2014Z06)。

作者简介:牛 凯,男,硕士,研究方向:建筑学。E-mail:niukai0804@163.com

* 通信作者:田国行,男,博士,教授,博士生导师,研究方向:风景园林规划与设计、城乡绿地资源建设与管控。E-mail:tgh-6408@163.com

温、湿度调节效应作为绿地一种主要的生态功能引起了国内外学者的广泛关注^[4-5]。相同面积的绿地,带状绿地可以更高效地发挥绿地对城市热岛效应的缓解作用^[6]。带状绿地宽度达到 34 m 时具有显著的降温增湿作用^[7]。不同的绿地结构和植物群落所产生的生态效益不同^[8-9],目前已有对不同下垫面的温湿度变化特征的研究^[10],上海市广场、滨水带、街道不同空间结构与小气候之间的量化关系的研究^[11]。对城市带状绿地的温湿度效益的研究中,缺乏更深入的小尺度量化研究,缺乏城市建筑环境对绿地温湿度效益影响的研究。本研究以郑州市城市道路型带状绿地为例,通过定点测量,以试验数据为基础,探讨城市带状绿地内部不同的空间结构类型的温、湿度调节效应是否存在差异,可为城市道路带状绿地的设计、建设、改造和管理提供依据。

表 1 观测样地基本资料

Table 1 Basic information of the experimental sites

样地	覆盖率 /%	平均 宽度 /m	方 位	主要植物种类			紧邻样地的土地利用
				乔木	灌木	草坪与地被植物	
A	86	52	路西	法桐 (<i>Platanus acerifolia</i>), 银杏 (<i>Ginkgo biloba</i>), 女贞 (<i>Ligustrum lucidum</i>), 雪松 (<i>Cedrus deodata</i>), 栎树 (<i>Koelreuteria paniculata</i>), 广玉兰 (<i>Magnolia grandiflora</i>), 龙爪槐 (<i>Sophora japonica</i>), 圆柏 (<i>Sabina chinensis</i>)	小叶女贞 (<i>Ligustrum quihoui</i>), 小叶黄杨 (<i>Buxus sinica</i>), 红枫 (<i>Acer palmatum</i>), 南天竹 (<i>Nandina domestica</i>), 迎春 (<i>Jasminum nudiflorum</i>)	麦冬 (<i>Ophiopogon japonicus</i>), 早熟禾 (<i>Poa annua</i>), 马尼拉草 (<i>Zoysia matrella</i>), 酢浆草 (<i>Oxalis corniculata</i>)	建业城市花园、建业外国语高中; 多层建筑群, 建筑密度较低, 绿化情况良好
B	75	59	路东				博澳福泽门、张花庄社区; 高层住宅区, 建筑密度高, 小区内绿化情况良好
C	84	55	路西				建业置地广场、建业新天地桂园; 高层商业建筑与多层住宅建筑, 商业建筑外附玻璃幕墙, 绿地边缘与建筑之间有 15m 左右硬化地面
D	79	60	路东				东十里铺社区; 多层住宅建筑群, 建筑密度较高, 绿化率较低
E	82	43	路西	紫叶李 (<i>Prunus Cerasifera</i>), 木槿 (<i>Hibiscus syriacus</i>), 碧桃 (<i>Persica persica</i>)			郑州市东建材市场; 建材市场, 低层建筑群, 地面大面积硬化, 基本无绿化
F	80	49	路东				红星美凯龙商场、红星蚂蚁 SOHO; 多层和高层商业建筑, 建筑密度较高, 绿化率

1.2 样地选择与观测方法

根据试验目标要求,在中州大道两侧的带状绿地中根据带状绿地宽度、绿地覆盖率、周边建筑环境、植物配置模式、空间类型等指标选取 6 段样地做为观测对象,各样地分别与不同的外界环境相邻,包括住宅区、商业楼、建材市场等。样地包含乔灌草组合空间、纯草坪空间、纯铺装硬化广场空间、乔木覆盖的广场空间 4 种结构的类型组合(以下分别简称为乔灌草、草坪、硬化广场、乔木广场)。6 段样地分别编号为样段 A、B、C、D、E、F(图 1)。

于 2014 年 9 月—11 月,平均每周 1 次,8:00~18:00 对各样地及其对照点的温度和相对湿度进行测量,晴朗无风天气状况下测得数据为有效数据。根据 6 个样段的实际情况在每个样段中网格格式

1 研究对象与方法

1.1 观测区域概况

郑州市位于 112°42′—114°13′E,34°16′—34°58′N,横跨中国二、三级地貌台阶,属于北温带大陆性季风气候,春季干旱少雨,夏季炎热多雨,秋季晴朗日照长,冬季寒冷少雪。郑州市的年平均气温在 14.0~14.3℃之间;年平均降雨量为 640.9 mm,无霜期 220 d。

观测区位于郑州市中心区域的中州大道金水立交至郑汴路段。中州大道是郑州市区内贯通南北的交通主干道,处于郑州市新老城区交界区域,宽 100 m,双向 14 个车道,两侧绿化带宽约 50 m,植被种类较丰富,生长情况良好(表 1)。观测区所处路段交通流量较大,周边分布有居住区,商业区,中学,人口密集,绿地使用率较高。

12~16 个观测点,各点分别分布在 4 种类型空间上,在绿地外无绿化覆盖的道路上选择对照点进行观测。温、湿度测量高度为 1.5 m。

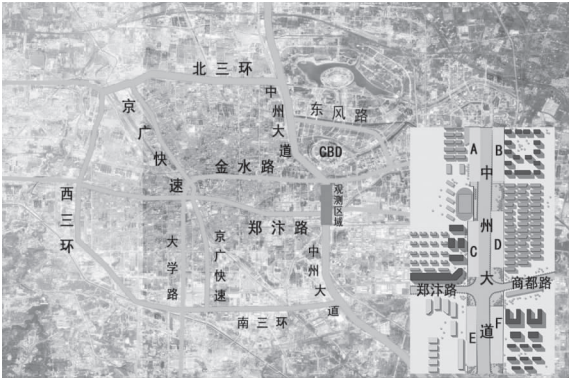


图 1 观测绿地位置平面图

Fig. 1 Green space location

1.3 数据分析

数据使用 Microsoft Excel 2013、Sigmaplot 12.5 和 SPSS 19 分析软件进行处理。

对 6 个带状绿地观测样地内乔灌木、草坪、硬化广场、乔木广场 4 种不同空间类型气温和相对湿度值进行观测,选取晴朗无风天气同时温度较高绿地降温增湿效果比较明显的 3 d 数据加以平均,得出各空间类型日气温和日相对湿度变化曲线,并计算与对照点对比后的降温增湿值,得出 1 日内 4 类空间的降温增湿值的变化曲线,使用 SPSS 软件对 4 种空间类型进行双因素方差分析,分析空间类型和时间因素对温湿度变化影响的显著性。

1.4 温湿度指数

引入温湿度指数,计算各空间类型的温湿度指数以此评价各空间类型的人体舒适度,分析 1 日内不同空间类型相对最佳人体舒适度。

人体舒适度评价是基于人体对外部环境包括温度、湿度、风、气压和太阳辐射等因素感知形成的舒适程度的气候评价指标,广泛应用于指导人类生产生活、城市人居环境建设等方面^[13-14],人体舒适度指数能够直观的用数据反映人体对环境的热感受。绿地对局部环境的生态效益可以利用人体舒适度指数进行衡量,研究表明不同结构和形式的绿地均能够不同程度的提高人体舒适度指数^[15-16],本研究采用王远飞^[17]的温湿度指数公式(表 2):

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

式中: T 为气温; RH 为相对湿度; THI 为温湿度指数。

表 2 THI 与人体舒适度

Table 2 Thermal humidity index and human comfort level

THI	人体舒适度	评价
≥ 29.5	酷热	无降温措施难以工作
26.7~29.4	很热	很不舒适
23.9~26.6	热	不舒适
21.1~23.8	较热	较不舒适
< 21	凉爽	舒适

1.5 观测仪器

采用路昌 LM-8000 温度相对湿度风速照度四合一环境测量仪对气温和相对湿度进行测量。温度测量范围 $-100.0^{\circ}\text{C}\sim 1\,300.0^{\circ}\text{C}$,精确度 $\pm 1\%$ 。相对湿度测量范围 $10\%\sim 95\%$,精确度 $\pm 4\%$ (温度 $0^{\circ}\text{C}\sim 50.0^{\circ}\text{C}$)。

2 结果与分析

2.1 不同绿地空间类型温湿度变化差异分析

2.1.1 温度变化 乔灌木、草坪、乔木广场 3 种带状绿地空间温度显著低于对照点,硬化广场空间温度低于对照点,各空间最高温度出现在 14:00(图 2)。在白昼期间(8:00~18:00)大多数时刻的降温幅度由大至小顺序为:乔灌木>乔木广场>草坪>硬化广场(图 3),17:00~18:00 各空间降温值为负数,说明各类空间温度高于对照点。10:00~16:00 各空间的降温效应最明显,其中 9:00~10:00 和 16:00~17:00 各空间的降温值变化最为剧烈。4 种空间类型中乔灌木最高降温值分别比乔木广场、草坪、硬化广场高 1.12°C 、 0.99°C 、 0.56°C 。

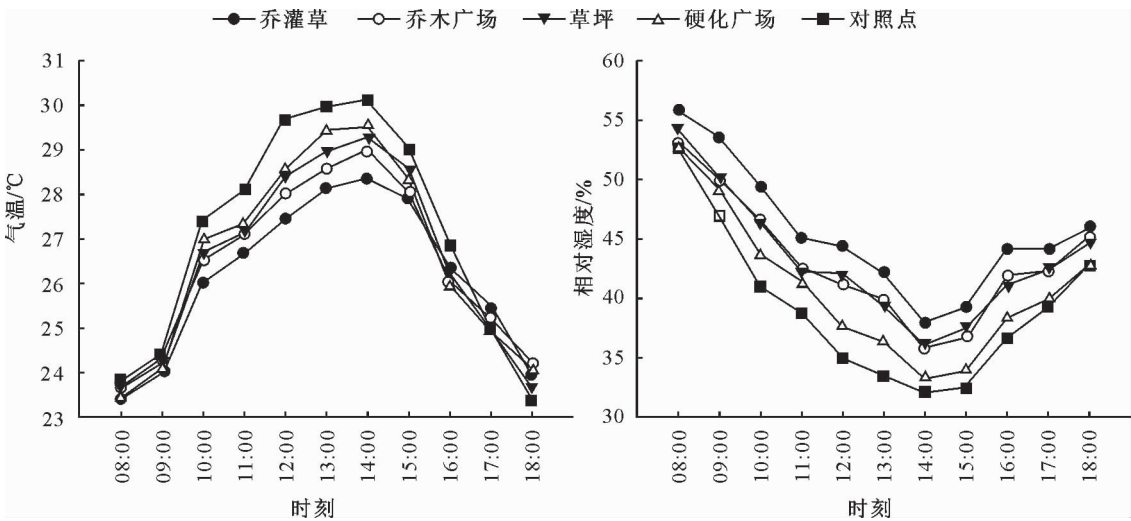


图 2 4 种空间类型温湿度日变化对照

Fig. 2 Daily variations in air temperature and relative humidity comparison between 4 green spaces

2.1.2 湿度变化 4 种空间结构类型在 8:00~18:00 大多数时刻的增湿幅度由大至小依次为:乔灌木>乔木广场>草坪>硬化广场(图 3),乔灌木增湿

作用最明显,乔木广场和草坪增湿能力近似,硬化广场为最低,各类型空间日相对湿度最低值出现在 14:00 时,随后开始回升。各类型空间增湿作用在

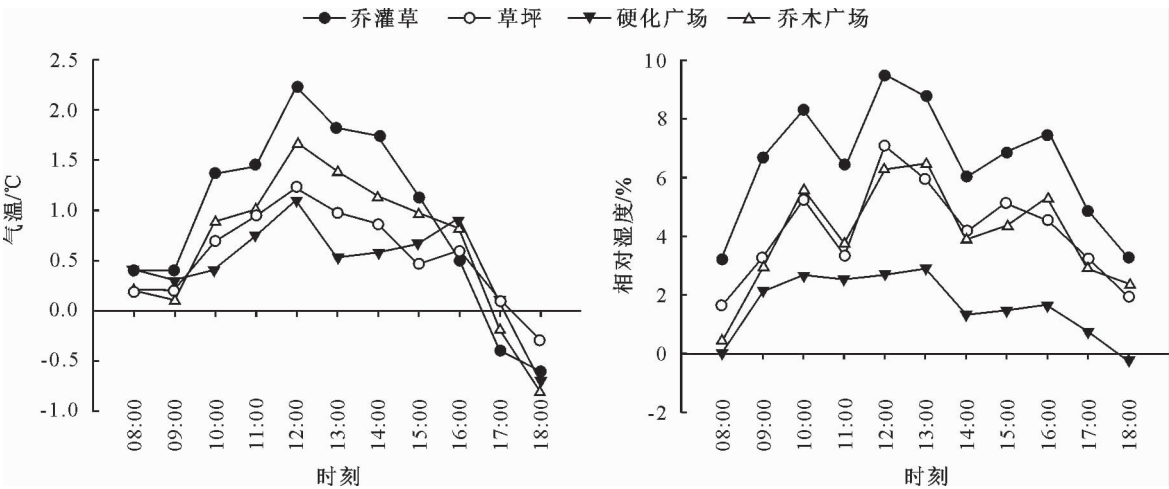


图3 4种空间类型降温增湿幅度日变化对照

Fig. 3 Daily variations in cooling and humidification comparison between 4 green space types

10:00 时、12:00 时、16:00 时出现 3 次峰值,表明此时增湿作用最明显。

2.1.3 差异显著性分析 以绿地空间类型和时间变化作为自变量,气温和相对湿度分别作为因变量,进行双因素方差分析,因素 A(绿地空间类型)和因素 B(时间) p 值均 <0.05 ,通过显著性检验,不同绿地空间类型对气温影响差异显著。时间因素对气温变化影响显著。因素 A(绿地空间类型)和因素 B(时间) p 值均 <0.05 ,不同绿地空间类型对相对湿度影响显著,时间因素对相对湿度变化影响显著。

2.2 温湿度指数

根据公式计算得出对照点和绿地内各空间类型的温湿度指数(表 3),由于均位于带状绿地内部,故 4 种绿地空间类型一天内温湿度指数均普遍低于对照点,相较而言绿地内部更适宜人的室外活动。

带状绿地内 4 种不同空间类型全天平均 THI 值大小排序为:草坪 $>$ 乔灌木 $>$ 硬化广场 $>$ 乔木广场,总的来说乔木广场人体感觉最舒适的活动空间。产生与降温增湿效益排序不同的原因在于:温湿度指数不但与气温呈正相关,同时与相对湿度呈反相关,硬化广场类空间升温速度快,温度极值高,但是由于其相对湿度下降快,且最低值较低,由此,虽然草坪空间和乔灌木的降温能力大于硬化广场类空间,但同时草坪和乔灌木增湿幅度较之硬化广场更大,一定程度上使温湿度指数升高(舒适度下降),所以会产生部分时段硬化广场的舒适度指数优于草坪的情况。同理,乔木广场的空间结构特性使之既能能够遮挡阳光辐射降低温度又能够通风保持相对较低的相对湿度,因此比乔灌木类空间具有更低的温湿度指数。

8:00~9:00 乔木广场 THI 值最低,正适合居

民进行休闲娱乐健身活动。13:00~14:00 乔灌木 THI 值最低,15:00~17:00 硬化广场 THI 值相对最低,傍晚 18:00 则是草坪 THI 值最低,人体舒适程度最高。

表 3 不同时刻 4 种空间温湿度指数 (THI) 值

Table 3 Thermal humidity index of different moment in 4 kind of space

测试时间	乔灌木	草坪	乔木广场	硬化广场	对照点
08:00	21.26	21.33	21.07*	21.10	21.40
09:00	21.58	21.54	21.26*	21.41	21.51
10:00	22.81*	23.10	22.97	23.13	23.21
11:00	23.00*	23.13	23.11	23.20	23.52
12:00	23.49*	23.99	23.64	23.75	24.25
13:00	23.80*	24.15	23.92	24.20	24.30
14:00	23.65*	24.08	23.88	24.03	24.28
15:00	23.42	23.73	23.34	23.31*	23.62
16:00	22.71	22.45	22.36	22.06*	22.55
17:00	22.07	21.63	21.81	21.48*	21.51
18:00	21.16	20.89*	21.26	21.05	20.58
平均	22.63	22.73	22.60	22.61	22.79

注: * 为最低值。

3 结论与讨论

带状绿地能够有效降低最高气温,增加相对湿度,同时带状绿地会延缓气温和相对湿度极值出现的时刻。这可能是由于太阳辐射强度增大后对照点直接暴露在太阳辐射下,气温上升速度较快,而绿地空间内部气温上升速度较为缓和同时温度极值低于对照点,夜间相对湿度较高,太阳高度角上升后对照点水分丧失较快,绿地内由于植物蒸腾作用和土壤水分的蒸发提高了绿地内相对湿度。不同绿地空间类型具有不同的降温增湿效果,4 种空间类型降温增湿能力顺序为:乔灌木 $>$ 乔木广场 $>$ 草坪 $>$ 硬化广场。导致上述差异的部分原因在于:不同的下垫

面存在比热容、导温系数和升温速率的差异^[12],同时也由于绿地空间空气流动对热量传导的影响。乔灌草绿量最大,蒸腾作用最强,因此对空气相对湿度改变最明显,乔木广场和草坪的湿度变化曲线十分接近,但草坪湿度变化波动性更强,这是由于草坪上方空气流动性更强,更易受到外界气流的干扰。硬化广场本身并没有降低气温的作用,相反,与对照点类似的是硬化广场的硬质铺装缺乏遮挡,直接裸露在阳光直射下,从而升温速度较快,且日最高温度高于其他空间。通过改善局部温湿度,带状绿地能够改善人体舒适度,其中乔灌草类空间和乔木广场类空间具有最明显的改善空间舒适度的能力。

对带状绿地今后的规划设计改造管理可提供以下建议:1)如需设置开放空间,可在广场南侧种植落叶乔木,提供居民活动场所的同时,夏日可遮挡太阳辐射,降低广场气温极值;2)在绿地中建立合理的乔灌草空间结构以及乔木加广场空间,既能够增加绿量,有效地降温增湿,降低太阳辐射;同时乔木加广场空间可以增加空气流通性,增强对流,提高人体舒适度。3)一天中不同时间段 4 种空间类型具有不同的改善人体舒适度的能力,因此应当在绿地内部合理分配 4 种绿地空间所占比例,满足居民不同时间段的使用需求。

有关微风对带状绿地内部及其对照点的气温和相对湿度的影响尚未确定;绿地周围建筑密度与高度、街道走向以及周边环境绿化率对降温增湿效应的影响有待通过更多观测数据进一步探讨。

参考文献:

[1] 穆博,田国行. 一种新型绿地空间模式的探索——以郑州环城绿道网为例[J]. 华中建筑, 2012, 30(2):110-114.
MU B, TIAN G X. Exploring a new model of green space : a case study of forest recreation and greenway network around Zhengzhou[J]. Huazhong Architecture, 2012, 30(2): 110-114. (in Chinese)

[2] 杨赟丽. 城市园林绿地规划[M]. 北京:中国林业出版社, 2006.

[3] CJJ/T 85-2002. 城市绿地分类标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2002.

[4] 贾刘强,舒波. 城市绿地与热岛效应关系研究回顾与展望[J]. 中国园林, 2012(4):37-40.

[5] 郭伟,申屠雅瑾,邓巍,等. 城市绿地对小气候影响的研究进展[J]. 生态环境, 2008, 17(6):2520-2524.

[6] 雷江丽,刘涛,吴艳艳,等. 深圳城市绿地空间结构对绿地降温效应的影响[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(4):218-223.
LEI J L, LIU T, WU Y Y, *et al.* Effects of structure charac-

teristics of urban green land on the temperature-lowering in Shenzhen City[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(4):218-223. (in Chinese)

[7] 朱春阳,李树华,纪鹏,等. 城市带状绿地宽度与温湿效益的关系[J]. 生态学报, 2011, 31(2):383-394.
ZHU C Y, LI S H, JI P, *et al.* Effects of the different width of urban green belts on the temperature and humidity[J]. 2011, 31(2):383-394. (in Chinese)

[8] 王娟,蔺银鼎,刘清丽. 城市绿地在减弱热岛效应中的作用[J]. 草原与草坪, 2006(6):56-59.
WANG J, LIN Y D, LIU Q L. Role of green land in urban on the reduction of heat island effect[J]. 2006(6):56-59. (in Chinese)

[9] 夏繁茂,季孔庶,杨宜东. 植物不同配置模式对绿地小气候湿度的影响[J]. 林业科技开发, 2013, 27(5):75-78.
XIA F M, J K S, YANG Y D. The influence of different plant disposition models on temperature and humidity in the micro-climate of green spaces[J]. 2013, 27(5):75-78. (in Chinese)

[10] 吴菲,朱春阳,李树华. 北京市 6 种下垫面不同季节温湿度变化特征[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(1):207-213.
WU F, ZHU C H Y, LI S H. Seasonal changes of temperature and humidity of six urban underlying surfaces in Beijing[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(1):207-213. (in Chinese)

[11] 刘滨谊,张德顺,张琳,等. 上海城市开敞空间小气候适应性设计基础调查研究[J]. 中国园林, 2014, 30(12):17-22.

[12] 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[J]. 中国园林, 2004, 20(1):72-75.

[13] YAN Y C, YUE S P, LIU X H, *et al.* Advances in assessment of bioclimatic comfort conditions at home and abroad [J]. Advances in Earth Science, 2013, 28(10):1119-1125.

[14] 吴兑. 多种人体舒适度预报公式讨论[J]. 气象科技, 2003, 31(6):370-372.
WU D. Discussion on various formulas for forecasting human comfort index[J]. Meteorological Science and Technology, 2003, 31(6):370-372. (in Chinese)

[15] 王娟. 城市不同结构的绿地对舒适度的影响分析[D]. 山西太谷:山西农业大学, 2005.

[16] 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 F, LI S H, LIU J M. The effects of greening, none-greening square and lawn on temperature, humidity and human comfort[J]. Acta Ecologica Sinia, 2007, 27(7):2964-2971. (in Chinese)

[17] 王远飞,沈愈;上海市夏季温湿效应与人体舒适度[J]. 华东师范大学学报:自然科学版, 1998(3):60-66.
WANG Y F, SHEN Y. The temperature-humidity effect and human comfort in Shanghai summer[J]. Journal of East China Normal University: Natural Science, 1998(3):60-66. (in Chinese)