

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2024. 01. 037

城市居住区三维绿色空间影响空气温湿度机制研究

肖硕凌, 闫菲泽, 张钰浩, 刘 仪, 何瑞珍

(河南农业大学 风景园林与艺术学院, 河南 郑州 450002)

摘要:以郑州市居住区为例,采用手持式路昌 LM-8000 四合一环境测量仪,对郑州市区中不同方位、不同高度、不同布局形式分类的 6 个居住区微气候环境进行观测,对气温、相对湿度等气象数据进行分析,并探讨绿色空间布局形式影响空气温湿度的机制。结果表明:居住区白天相对湿度的变化幅度高于温度;测量日内,高层小区和多层小区的温湿度达到最大值的时间不同;在静风条件下,植物蒸散和阴影影响的范围为 10~50 m,相对湿度的影响范围为 10~50 m;居住区相对湿度最小值、均值分别与测点 10 m 范围内绿色空间的分形维数有关;相对湿度最大值与 50 m 范围内绿色空间的形状指数有关;白天时段,湿度的变化与 50 m 范围内的形状指数和连接度指数有关。

关键词:微气候;绿色空间布局形式;分形维数;形状指数;温湿度

中图分类号:S731.2;S718.512.1 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0210-08

引文格式:肖硕凌,闫菲泽,张钰浩,等.城市居住区三维绿色空间影响空气温湿度的机制研究[J].林业调查规划,2024,49(1):210-217. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.037

XIAO Shuoling, YAN Feize, ZHANG Yuhao, et al. Mechanism of Three-dimensional Green Space Affecting Air Temperature and Humidity in Urban Residential Area[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 210-217. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.037

Mechanism of Three-dimensional Green Space Affecting Air Temperature and Humidity in Urban Residential Area

XIAO Shuoling, YAN Feize, ZHANG Yuhao, LIU Yi, HE Ruizhen

(College of Landscape Architecture and Art, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The handheld Luchang LM-8000 multi-functional environment measurement instrument was used to observe the microclimate environment of six urban residential areas with different directions, heights and layout forms in Zhengzhou City, meteorological data such as temperature and relative humidity were analyzed, and the mechanism by which green space layout forms affected air temperature and humidity was explored. The results showed that the variation amplitude of relative humidity during the day in residential areas was higher than that of temperature; the time when the temperature and humidity reached the maximum value was different between high-rise buildings and multi-story buildings; under calm wind conditions, the range of plant evapotranspiration and shadow influence was 10-50 meters, and the range of relative humidity influence was 10-50 meters; the minimum and average relative humidity in

收稿日期:2022-07-01.

基金项目:国家自然科学基金项目(31470029).

第一作者:肖硕凌(1996-),女,河南洛阳人,硕士研究生.主要从事城市微气候方面的研究. Email:429577061@qq.com

责任作者:何瑞珍(1970-),女,河北高邑人,博士,副教授.主要从事 3S 地理信息系统和城市微气候研究. Email:hrzzjd@126.com

residential areas were related to the fractal dimension of the green space within a range of 10 meters from the measurement point; the maximum relative humidity was related to the shape index of green space within a range of 50 meters; the variation of humidity during the day was related to the shape index and connectivity index within a range of 50 meters.

Key words: microclimate; green space layout; fractal dimension; shape index; temperature and humidity

伴随着城市原有下垫面性质改变、人类活动强度增加、建成区无序蔓延扩张以及生物量减少等因素,城市气候“五岛”效应越发凸显^[1]。城市绿色空间成为城市发展的一个重要组成部分,因为其具有显著的生态调节功能^[2]。绿色空间能促进局地降温,从而有效缓解城市热岛^[3],城市绿地冠层导度是影响城市气候的重要因素,绿色空间中植物的蒸散和遮阴作用起到一定的降温增湿效果^[4-5]。绿色空间不仅可以改善或提升城市生态环境,还可以保持市民身心健康^[6]及产生美学价值^[7]。因此,亟需进行城市绿色空间研究,帮助人们创造宜居城市环境。

目前,大多研究主要针对城市热岛效应^[8-10]。一些学者采用大尺度遥感影像反演地表温度进行研究^[11-13],但是数据的处理结果会受影像精度的影响。此外还有数值模拟方法^[14],但是其构建场景模型较为复杂,有时模型构建较为单一。小气候中能量、水气的交换对空气温度、相对湿度、风环境等影响复杂多变,实测数据往往更加真实。实际环境中,每个不同的绿色空间在一定的范围内具有其独特的微气候,人们对微气候的感知是最密切的。而人口密集的居住区在城市中面积占比大,因此本研究将实验定在居住区^[15]。孙杰等^[16]研究发现,增加居住区内植物冠层厚度有助于改善微气候环境,任斌斌等^[17]研究发现,绿地面积与降温增湿作用呈正相关,空气温湿度是和市民关系最为密切的因子^[18-19]。He 等^[20]对郑州市的研究发现,春季温度与容积率和绿地率有关,夏季温度与 65 m 以上高差有关,秋季温度与建筑高度有关,冬季温度与距市中心距离差异和建筑高度有关。影响样点温度的最高值、最低值和均温的因素变化在不同季节中差异较大。由此可见,绿色空间影响温湿度研究从二维绿地面积已扩展至三维建筑高度,还需对三维绿色空间进行深入研究。城市景观格局与城市气候关系密切,Dobrowski 等^[21]和 Saunders 等^[22]在对山区和林区的研究中发现,景观与空气温度的关系是动态、跨尺度的。在两者关系研究中,由于遥感数据易获取,多数

研究^[23-27]利用遥感数据研究景观类型水平指数和地表温度的关系。而从市民舒适度感知角度来看,本研究采用的实测空气温湿度比地表温度更接近于实际,选取的景观水平指数比类型水平指数更能体现区域整体环境的影响。

1 研究区概况

河南省会郑州市主城区为:金水区、二七区、中原区、管城区、惠济区、郑东新区、经开区、高新区、航空港区,中心建成区面积为 709.69 km²。气候类型为北温带大陆性季风气候,冬冷夏热,四季分明。以郑州市城区居住区为例,在郑州市不同的温度带中选取了市区中 6 个不同方位、不同高度、不同布局形式、不同绿化覆盖的居住区(表 1)。

表 1 居住区建筑和植被信息
Tab. 1 Information of building and vegetation in residential area

名称	建筑形式	与市中心距离 /m	建筑布局	楼间距 /m	建筑层数 /层	容积率	绿化覆盖率 /%	绿地率 /%
天下城	高层	1688.71	围合式	50	28	3.60	23	23
帝湖花园	多层	5809.56	行列式	20	6	2.39	22	29
蓝堡湾	高层	4531.92	半围合式	50	33	3.51	40	40
非常国际	高层	5176.22	行列式	50	30	3.00	53	34
宝景花园	多层	4813.19	行列式	20	6	2.30	46	39
帝湖花园	高层	5809.56	行列式	52	33	3.00	24	24

为了减少乔木、草坪等绿色空间蒸腾和阴影的影响以及研究覆盖整个居住区的原则,根据不同的下垫面、植物类型搭配、空间开敞度等因素布设样点。根据居住区不同面积布设相应数量观样点,总计布设 32 个(图 1)。测试居住区均不存在水域。

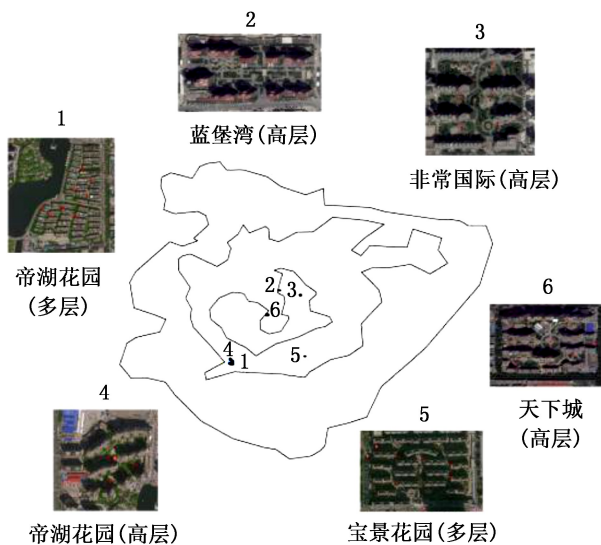


图 1 样点分布

Fig. 1 Distribution of sample points

2 研究方法

研究包括 4 个步骤:研究区域空气温湿度、风速、太阳辐射数据测量;三维绿色空间数据调查和测量;景观指数计算;综合数据分析。

2.1 空气温湿度、风速、太阳辐射和 SVF 测量

选择晴朗无持续风向微风的天气,测量日为 2021 年 9 月 12 日,测量时段为 8:00—18:00,每隔 1 h 分别对各个样点处进行风速、温度、相对湿度观

测。实验采用手持式路昌 LM-8000 温度/相对湿度/风速/照度四合一环境测量仪进行测量。仪器温度测量范围为 $-100.0 \sim 1\,300.0^{\circ}\text{C}$,精确度为 $\pm 1\%$ 。相对湿度测量范围为 $10\% \sim 95\%$,精确度为 $\pm 4\%$ (温度 $0 \sim 50.0^{\circ}\text{C}$)。风速为 $0.4 \sim 30.0 \text{ m/s}$,精确度为 $\pm 3\%$ (温度 $0 \sim 50.0^{\circ}\text{C}$)。天空视域因子(SVF)数据收集采用安装鱼镜头的 SONYNEX-7,在地面约 $0.8 \sim 1 \text{ m}$ 处高度对各样点垂直于地面向上进行定点拍照,使用 Rayman 处理软件对照片进行处理分析获取 SVF 数值。

2.2 三维绿色空间数据调查和测量

利用高分 3 号卫星资料结合实地调查,目视解译了 6 个居住区绿色空间数据。绿色空间数据包括:乔、灌、草和非硬化地面。乔木调查数据为树种、树高、胸径、冠幅、枝下高;灌木调查数据为基径、冠幅、高度;草本数据为草本的高度;非硬化地面为裸土和水体。最后根据选取的居住区各自不同的材料和属性,计算这 6 个居住区的三维绿量。现场实地调查测定了每个样点周围的绿量。采用测高仪、胸径尺和皮尺现场实测获得三维绿量数据。通过对高分 3 号卫星的影像解译获得形状指数,采用林学中三维生物量的计算方法,根据测定的树木参数获得三维绿量(表 2)。为了探讨三维绿色空间的尺度效应,以观测样点为圆心计算间隔 10 m 、半径 50 m 缓冲区内的三维绿量。

表 2 不同树种的三维绿量计算公式

Tab. 2 Calculation formula of three-dimensional green biomass of different tree species

立体几何形态	树种	三维绿量计算公式
卵形 扁球形 广卵形 近球形	国槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> 、枫杨 <i>Pterocarya stenoptera</i> 、白皮松 <i>Pinus bungeana</i> 、洋槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> 、杨树 <i>Populus</i> 、木瓜 <i>Chaenomeles speciosa</i> 、垂柳 <i>Salix babylonica</i> 、枫香 <i>Liquidambar formosana</i> 、朴树 <i>Celtis sinensis</i> 、臭椿 <i>Ailanthus altissima</i> 、黄桷 <i>Cotinus coggygia</i> Scop、青桐 <i>Firmiana platanifolia</i> 、香椿 <i>Toona sinensis</i> 、楝树 <i>Melia azedarach</i> 、五角枫 <i>Acer mono Maxim</i> 、构树 <i>Broussonetia papyrifera</i> 、梓树 <i>Catalpa ovata</i> 、杜仲 <i>Eucommia ulmoides</i> Oliver、栎树 <i>Koelreuteria paniculata</i> 、石榴 <i>Punica granatum</i> 、山楂 <i>Crataegus pinnatifida</i> 、广玉兰 <i>Magnolia grandiflora</i> 、马褂木 <i>Liriodendron tulipifera</i> 、柿树 <i>Diospyros kaki</i> 、白玉兰 <i>Magnolia heptapeta</i> 、柞树 <i>Quercus mongolica</i> Fisch、复叶槭 <i>Acer negundo</i> 、白蜡 <i>Fraxinus chinensis</i> 、元宝枫 <i>Acer truncatum</i> 、挪威槭 <i>Acer platanoides</i> 、大叶女贞 <i>Ligustrum compactum</i> 、三角枫 <i>Hedera nepalensis</i> 、丝棉木 <i>Euonymus maackii</i> 、银杏 <i>Ginkgo biloba</i> 、紫杉 <i>Taxus cuspidata</i> 、乌桕 <i>Sapium sebiferum</i> 、合欢 <i>Albizia julibrissin</i> 、樱花 <i>Cerasus serrulata</i> 、紫叶矮樱 <i>Prunus x cistena</i> 、枇杷 <i>Eriobotrya japonica</i> 、桂花 <i>Osmanthus</i> 、鸡爪槭 <i>Acer palmatum</i> 、桃树 <i>Amygdalus persica</i> 、海棠 <i>Malus spectabilis</i> 、碧桃 <i>Amygdalus persica</i> 、紫荆 <i>Cercis chinensis</i> 、紫叶李 <i>Prunus cerasifera</i> 、紫薇 <i>Lagerstroemia indica</i> 、腊梅 <i>Chimonanthus praecox</i> 、香樟 <i>Cinnamomum camphora</i> 、海桐 <i>Pittosporum tobira</i> 、重阳木 <i>Bischofia polycarpa</i> 、夹竹桃 <i>Nerium oleander</i> L、楸树 <i>Catalpa bungei</i> 、核桃 <i>Juglans regia</i> 、悬铃木 <i>Platanus acerifolia</i> 、泡桐 <i>Paulownia fortunei</i> 、石楠 <i>Photinia serratifolia</i> 、无花果 <i>Ficus carica</i> 、棕榈 <i>Trachycarpus fortunei</i>	$\frac{\pi x^2 y}{6}$
圆锥形	雪松 <i>Cedrus deodara</i> 、榆树 <i>Ulmus pumila</i> 、珊瑚树 <i>Viburnum odoratissimum</i> 、木槿 <i>Hibiscus syriacus</i> 、水杉 <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	$\frac{\pi x^2 y}{12}$
球形	丁香 <i>Syringa oblata</i> 、绣线菊 <i>Spiraea salicifolia</i> 、结香 <i>Edgeworthia chrysantha</i> 、南天竹 <i>Nandina domestica</i>	$\frac{\pi(2y^3 - y^2\sqrt{4y^2 - x^2})}{3}$

注: x 为平均树木冠径(m), y 为树木冠高(m)^[28]。

2.3 景观指数计算

为探讨景观类型和景观水平上绿色空间的温湿度效应,研究利用 Fragstats 4.2 软件间距 10 m 的移动同心圆窗口采样法,计算每个样点 50 m 缓冲区内形状指数。郑州市内的街区通常分成两个约 500 m 的住宅居住区,在围墙的分隔下形成了独立的城市小气候。住宅区又通常分成 5 部分,东西方向共有 2~3 排楼房,在人行水平上,将 50 m 作为缓冲区覆盖整个居住区。利用多元回归分析方法分析绿色空间的温湿度效应。景观水平绿色空间的量化指标主要选取形状指数、连接度指数和分形维数(表 3)。

表 3 研究采用的景观指数

Tab. 3 Landscape index used in the study

指数	描述	水平
分形维数(FMN)平均值	缓冲区内分形维数	类、景观
形状指数(SMN)平均值	缓冲区内形状维数	类、景观
相关外接圆指数(CMN)平均值	缓冲区内相关外接圆指数	类、景观

3 研究结果与分析

3.1 居住区内各样点间温度数据分析

将外业收集的 温度、相对湿度和风速数据,使用 WPS Office 2019 和 Origin 2020 软件进行处理制作图表。各个样点的温度平均值可以看出,各个居住区白天的温度均值差距均较大。温度值为:蓝堡湾(高层)<宝景(多层)<帝湖(高层)<非常国际(高层)<天下城(高层)<帝湖(多层)。帝湖多层温度均值最高,蓝堡湾温度均值最低。帝湖多层绿化覆盖率 22%、建筑高度 6 层,蓝堡湾绿化覆盖率 40%、建筑高度 33 层,较高的绿化覆盖和较高的建筑对温度均有降温影响。帝湖多层建筑低、绿化覆盖率低,这两个因素会增加场地内太阳辐射热量吸收,造成平均温度比其他居住区高(图 2)。

3.2 居住区内各样点间湿度数据分析

通过观测时段各个样点的湿度平均值可以看出,各个居住区间平均湿度值差距相对较小。湿度值为:帝湖(多层)<帝湖(高层)<蓝堡湾(高层)<宝景(多层)<天下城(高层)<非常国际(高层)。因为建筑高度较低,接受太阳辐射热量多,多层比高层蒸散面积大,更容易降低空气湿度,低绿化和多层建筑的组合湿度最小,高绿化和高层建筑的组合湿度大(图 3)。

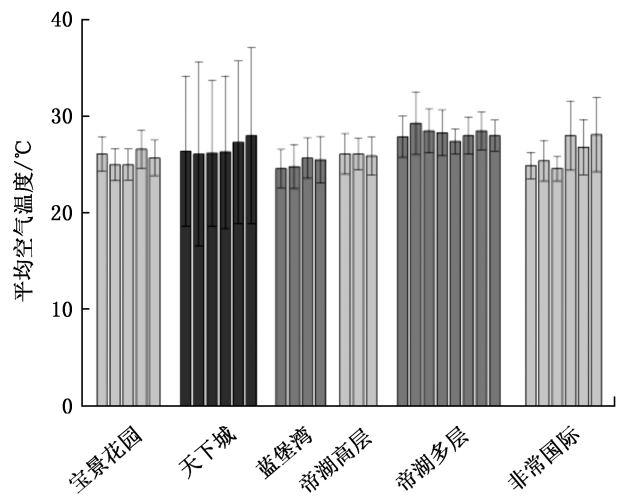


图 2 居住区样点实测温度平均值

Fig. 2 Mean value of measured temperature in residential area sample points

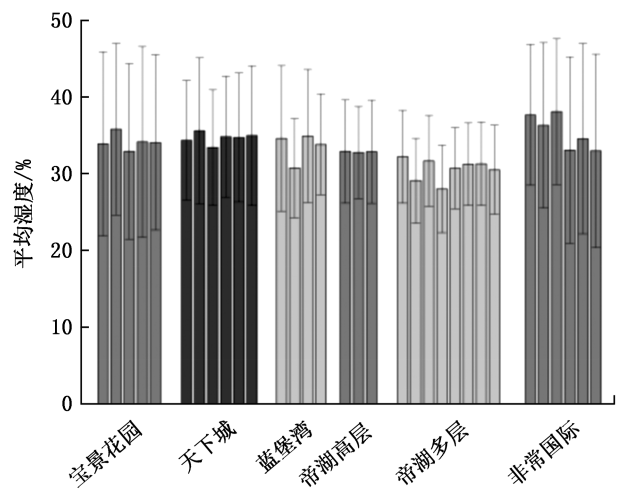


图 3 居住区样点实测湿度平均值

Fig. 3 Mean value of measured humidity in residential area sample points

3.3 居住区样点空气温湿度白天变化情况分析

为了对不同类型不同绿化的居住区空气温湿度数据进行对比,以宝景花园多层和帝湖高层为例分别制作了温度和湿度的变化图(图 4,图 5)。

从图 4 中可以看出,多层和高层日间的温度变化表现出不一样的趋势,多层在上午 9:00 出现一个小低谷,直至上午 11:00 一直上升,在 11:00 达到最大值;而高层从上午 8:00 一直升温,至下午 14:00 达到一天中的最高值。从温度变化图中可以看出,多层中样点有 3 个峰值,而高层只有 2 个,这说明多层的温度变动幅度和频率比高层大。多层降温时间段为 11:00—18:00,高层降温时间段为 14:00—

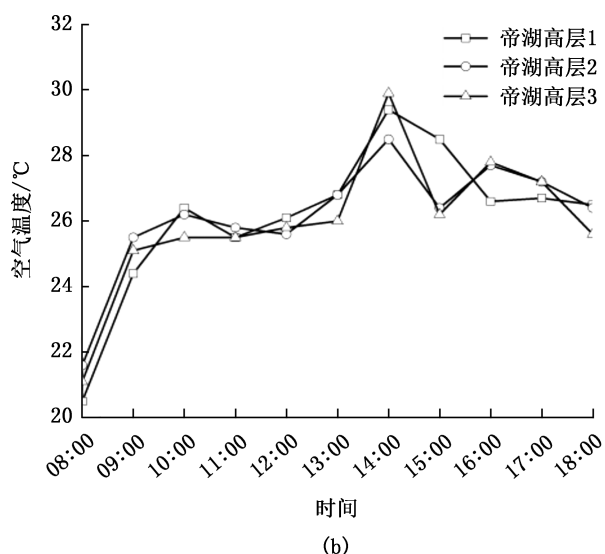
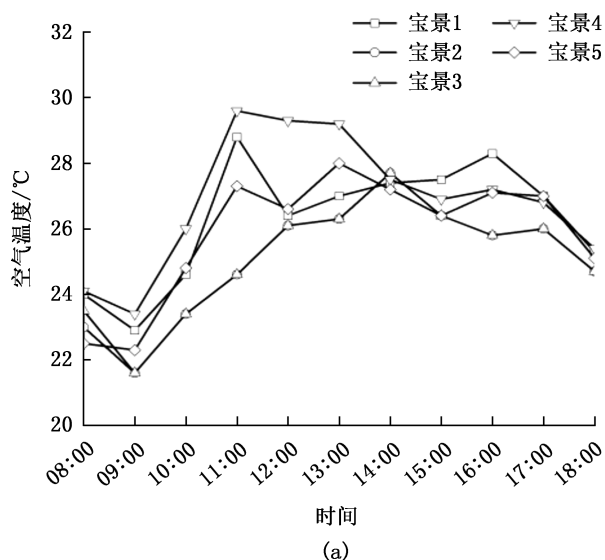


图 4 多层和高层白天的温度变化及对比

Fig. 4 Daytime temperature change and comparison between multi-story buildings and high-rise buildings

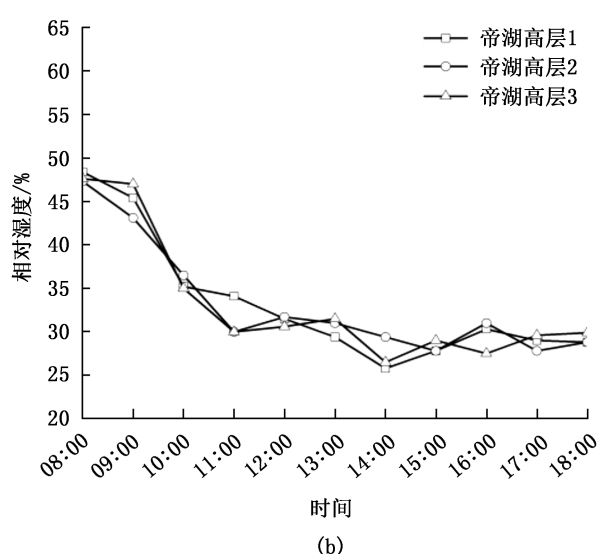
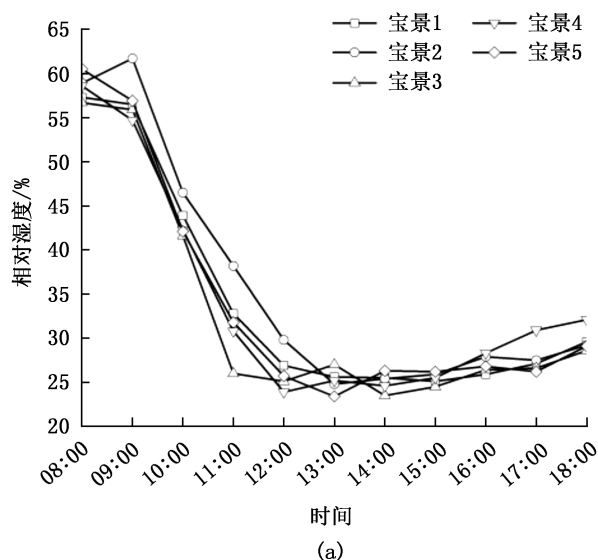


图 5 多层和高层白天的湿度变化及对比

Fig. 5 Daytime humidity change and comparison between multi-story buildings and high-rise buildings

18:00。宝景建筑高度比帝湖高层高度低,开阔的天空视域吸收了更多的太阳辐射热量,所以在上午 11:00 就达到一天中最高温度。宝景的绿化覆盖面积比帝湖高层的大,植物的蒸腾起到了很好散热作用,所以宝景在 11:00 后温度就开始下降,而帝湖高层在 14:00 后温度开始下降。更高的天空开阔度使得多层在日间会反复吸收和散发更多的热辐射,因此变动幅度和频率比高层的大,多层温度变化起伏柔和丰富,高层温度变化单一而剧烈。

从图 5 中可以看出,多层和高层白天的湿度变化均表现出先降后升的趋势,多层和高层分别在 13:00 和 14:00 达到日间湿度最小值。由此看出,多层达到最小值的时间比高层早,并且保持低值湿

度时间更长。上午 8:00 宝景湿度比帝湖高层大,宝景较高的绿化覆盖率和天空视域度使得湿度在日间蒸散快且程度大,但除 8:00—11:00 幅度大,其他时间整体波动平稳。帝湖高层因较低的天空视域度导致湿度降低速度慢,但是波动较为丰富。整体而言,高绿化率反而在白天湿度低,这可能是因为较大的叶面积蒸腾加速了湿度的降低,但是在太阳辐射逐渐减弱后湿度又会很快出现上升。

3.4 居住区空气温湿度和 SVF 值多因素综合分析

帝湖多层绿化覆盖低,平均温度最高,湿度均值最低,太阳辐射均值最大。宝景花园绿化覆盖高,湿度值最大,平均温度和太阳辐射均值第二低,湿度均值和湿度最小值均处于中间位置。蓝堡湾高层虽然

绿化覆盖高,温湿最低值和最高值差距较大,温度均值最低、温度最大值、湿度最小值均出现在这里,这也许和蓝湾堡地处繁华商业中心、郑州热岛强度最大的第一梯度有关(表 4)。

表 4 居住区空气温湿度和 SVF 值
Tab. 4 Temperature, humidity and SVF value in residential areas

名称	温度 均值 /℃	温度 最大值 /℃	湿度 均值 /%	湿度 最小值 /%	太阳辐 射均值 /W	SVF /%
帝湖 高层	26.11± 1.90	29.9	32.88± 6.50	25.8	5905.08± 3387.76	26.98
帝湖 多层	28.12± 2.09	33.7	30.62± 5.64	19.0	14082.53± 5920.04	32.08
宝景 花园	25.59± 1.78	29.6	34.20± 11.71	23.4	5732.63± 3069.26	31.40
非常 国际	26.19± 2.51	34.8	35.48± 11.11	18.6	10634.53± 5167.56	26.76
天下 城	26.53± 2.75	38.4	34.68± 8.38	26.8	3491.81± 1852.83	39.65
蓝堡 湾	25.13± 2.22	38.8	34.20± 8.29	17.2	7141.82± 3776.85	26.98
方差	0.95	4.18	3.55	3.97	3653.55	4.58

从温度均值和湿度均值的方差可以看出,湿度的变动度高于温度,温度最大值的方差高于湿度最小值,这说明湿度对绿色空间的响应灵敏度高于温度。同时,上述结果表明,微气候是一个复杂的环境,影响微气候的环境因素更加复杂,太阳辐射、SVF、建筑高度、建筑容积、植被覆盖类型和植被高度、水体形状及水体量、绿色空间的布局形式均会对微气候产生影响。

3.5 缓冲区内三维绿量计算结果

影响植物三维绿量的因素有宏观的植物形态指标和微观的指标,如植物的叶面积密度、叶面积指数等,植物形态起着决定性作用,因此,本研究主要利用植物的形态数据计算三维绿量。样点周围 50 m 内间隔 10 m 三维绿量的变化情况结果如图 6 所示。

从图 6 中可以看出,各样点周围三维绿量数值变化很大,且各样点不同距离缓冲区内三维绿量数值变化也较大。

3.6 绿色空间景观指数与温湿度的相关性

绿色空间影响温湿度的机制是水体和草坪通过蒸腾作用降温,乔木通过蒸腾和阴影降温,绿色空间通过减少阳光入射量,同时通过光合作用达到降温

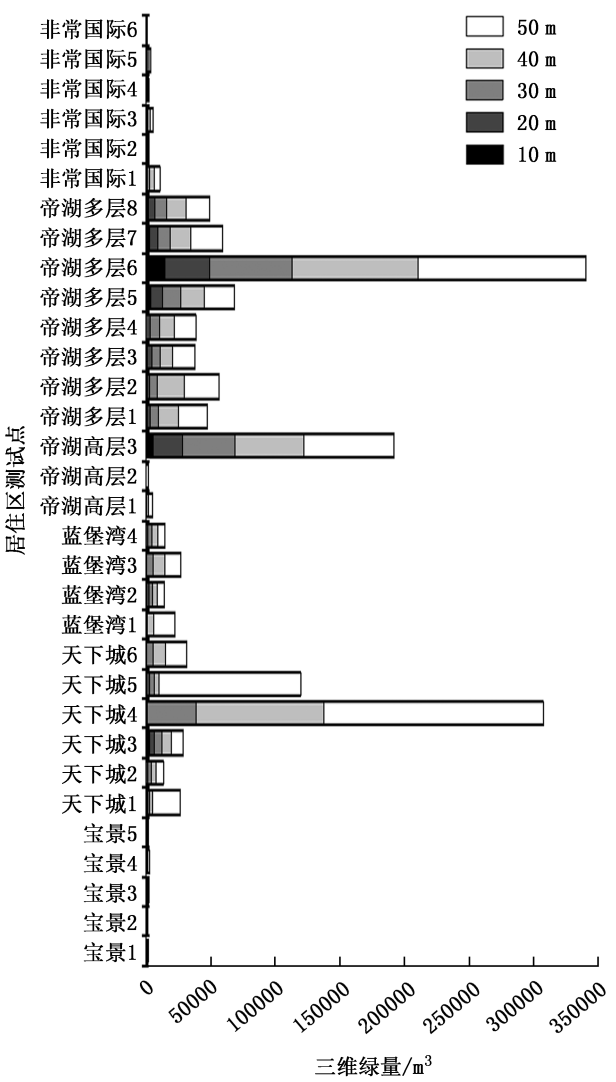


图 6 各样点 50 m 缓冲区内三维绿量随距离的变化情况
Fig. 6 Variation of three-dimensional green biomass with distance within a buffer zone of 50 meters for various sample points

增湿的效果。研究分析了各样点温湿度与形状指数、分形维数和相关外接圆指数的相关关系,各缓冲区相关系数均为非线性关系(表 5)。

从表 5 可以看出,绿色空间景观指数与温湿度关系密切。距离观测样点越远,温度呈下降趋势,湿度呈上升趋势,具体原因还有待研究。

3.7 绿色空间的温湿度效应

利用 SPSS 软件,以 9 月 12 日所测的各样点温度均值 AV、湿度均值 RA、湿度最大值 RAMAX、湿度最小值 RAMIN,白天湿度的变化范围 RADIF 为因变量,以三维绿量、景观层次的各种形状为自变量,应用逐步回归分析方法,建立了各样点白天的温湿度与绿色空间布局的多元方程,FMN 代表分形维

表 5 不同距离缓冲区内景观指数与温湿度均值的相关系数

Tab. 5 Correlation coefficient between landscape index and mean temperature and humidity in buffer zones with different distances

相关外接圆指数	温度均值	湿度均值	形状指数	温度均值	湿度均值	分形维数	温度均值	湿度均值
CN	0.13520	-0.247430	SMN	0.060575	-0.229270	FN	0.351597	-0.476080
CMN2	-0.17556	-0.024660	SMN2	-0.119630	0.073620	FMN2	-0.070000	0.099995
CMN3	-0.16416	0.171821	SMN3	-0.143380	0.172279	FMN3	-0.245080	0.203089
CMN4	-0.21414	0.223292	SMN4	-0.157930	0.183514	FMN4	-0.047720	0.031846
CMN5	-0.17105	0.238006	SMN5	-0.191870	0.286324	FMN5	-0.149170	0.203524

数, SMN 代表形状指数, CMN 为相关外接圆指数, 计算公式为:

$$\text{白天温度均值 AV9} = \text{FMN} \times 0.352 \\ (R^2 = 0.352) \quad (1)$$

$$\text{湿度均值 RA9} = -5.009 \times \text{FMN} + 40.059 \\ (R^2 = 0.613) \quad (2)$$

$$\text{湿度最大值 RA9MAX} = \text{SMN5} \times 38.302 - \\ 2.538 \times \text{SMN4} (R^2 = 0.578) \quad (3)$$

$$\text{湿度最小值 RA9MIN} = 30.577 - 4.606 \times \\ \text{FMN} (R^2 = 0.365) \quad (4)$$

$$\text{白天时段湿度差值 RA9DIF} = 70.425 \times \\ \text{SMN5} - 52.636 \times \text{CMN5} - 48.350 \\ (R^2 = 0.675) \quad (5)$$

温度最小值和温度最大值及温度变动幅度与绿色空间参数间的关系不显著, 未有方程成立。从公式看出, 居住区内每个点的日均温、白天湿度最大值和白天湿度最小值及白天湿度变动度与形状指数 SMN 有关, 部分与分形维数 FMN 有关。从 9 月数据来看, 居住区尺度的温度均值、湿度均值和湿度最小值均与 10 m 内的绿化分形维数 FMN 关系密切, 而湿度最大值及白天时段湿度差值与 50 m 内的形状指数 SMN 有关。结果表明, 在 9 月静风条件下, 植物的蒸散和阴影影响的幅度为 10~50 m。居住区湿度的影响范围为 10~50 m, 而白天时段湿度差值方程说明湿度的变化与 50 m 范围内的形状指数 SMN 和连接度指数 CMN 有关。居住区尺度上, 绿色空间影响温湿度的尺度是不同的, 影响湿度的绿色空间尺度要比温度大些, 在景观指数中, 分形维数 FMN 影响最大, 其次是形状指数 SMN。

4 结论与讨论

4.1 结论

1) 在秋季, 形状指数 SMN、分形维数 FMN 和周

长面积比 PMN、相关外接圆指数 CMN 对景观层次上温湿度的影响较大, 说明绿色空间的布局对温湿度是有影响的。

2) 秋季无风的日间, 绿色空间影响温湿度的尺度不同, 影响湿度的绿色空间尺度要比温度大。

3) 在景观水平上, 观测样点的温湿度与 10 m 内缓冲区内绿色空间的分形维数 FMN、形状指数 SMN 和相关外接圆指数 CMN 呈显著相关, 分形维数 FMN 对温湿度影响最大。

4) 绿化覆盖大的多层居住区温湿度变化均优于绿化覆盖低的多层和高层。

5) SVF 值较大且绿化率低的多层居住区温度高、湿度低。

4.2 讨论

1) 由于尺度较小, 通常表示绿色空间数量关系的绿地率和绿化覆盖率未在本次模型构建中予以考虑。

2) 由于所测空气温度与研究区的围合度有关, 大于 50 m 的缓冲区会包括围墙的影响, 因此, 研究中未选取超过 50 m 的缓冲区。场地范围较大时, 影响空气温度的范围可能会增加。

3) 空气温度是随季节变化的, 本研究只探讨了秋季的温度与周围环境的关系, 春、夏和冬的关系将进行后续研究。

绿色空间与空气温湿度关系的研究因区域气候、地形和景观背景不同产生较大的区别, 因此景观的地域性、景观空间构成和尺度应成为区域及局地气候研究关注的重点。这些研究数据与结果将为城市区域合理规划绿色空间提供科学依据, 创造更舒适健康的环境。

参考文献:

[1] 周淑贞. 上海城市气候中的“五岛”效应[J]. 中国科学

- (B 辑), 1988(11): 1226-1234.
- [2] 王如松. 转型期城市生态学前沿研究进展[J]. 生态学报, 2000(5): 830-840.
- [3] 苏王新, 常青, 刘筱, 等. 城市蓝绿基础设施降温效应研究综述[J]. 生态学报, 2021, 41(7): 2902-2917.
- [4] 白玉洁, 朱媛君, 马景永, 等. 城市绿地冠层导度季节变化及其环境调控[J]. 生态学杂志, 2020, 39(1): 120-129.
- [5] FAN S X, ZHANG M Y, LI Y L, et al. Impacts of composition and canopy characteristics of plant communities on microclimate and airborne particles in Beijing, China [J]. Sustainability, 2021, 13(9): 4791.
- [6] 贺宏斌, 孙然好, 段兴武. 城市景观影响人居环境健康的研究进展[J]. 生态学杂志, 2022, 41(2): 1-10.
- [7] 李锋, 王如松. 城市绿地系统的生态服务功能评价、规划与预测研究——以扬州市为例[J]. 生态学报, 2003(9): 1929-1936.
- [8] 彭保发, 石忆邵, 王贺封, 等. 城市热岛效应的影响机理及其作用规律——以上海市为例[J]. 地理学报, 2013, 68(11): 1461-1471.
- [9] 薛倩, 谢苗苗, 郭强, 等. 地理学视角下城市高温热浪脆弱性评估研究进展[J]. 地理科学进展, 2020, 39(4): 685-694.
- [10] 黄群芳. 城市空间形态对城市热岛效应的多尺度影响研究进展[J]. 地理科学, 2021, 41(10): 1832-1842.
- [11] DARARAT K, SHOBHAKAR D. Time series analysis of land use and land cover changes related to urban heat island intensity: Case of Bangkok metropolitan area in Thailand [J]. Journal of Urban Management, 2020, 9(4): 383-395.
- [12] 陈康林, 龚建周, 陈晓越, 等. 广州城市绿色空间与地表温度的格局关系研究[J]. 生态环境学报, 2016, 25(5): 842-849.
- [13] 李空明, 李春林, 曹建军, 等. 基于景观生态学的辽宁中部城市群绿色基础设施 20 年时空格局演变[J]. 生态学报, 2021, 41(21): 8408-8420.
- [14] 魏琳沅, 孙然好. 城市绿地和建筑格局影响热环境的模拟研究[J]. 生态学报, 2021, 41(11): 4300-4309.
- [15] 范舒欣, 李坤, 张梦园, 等. 城市居住区绿地小微尺度下垫面构成对环境微气候的影响——以北京地区为例[J]. 北京林业大学学报, 2021, 43(10): 100-109.
- [16] 孙杰, 毛智慧, 王乐, 等. 居住区典型地物热环境的日变化及其相互影响分析[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(2): 279-289.
- [17] 任斌斌, 李薇, 谢军飞, 等. 北京居住区绿地规模与结构对环境微气候的影响[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(6): 289-295.
- [18] 陈红, 何瑞珍, 郭煜琛, 等. 校园不同绿色空间的小气候特征及其人体舒适度[J]. 地域研究与开发, 2018, 37(3): 126-131, 137.
- [19] 熊瑶, 金梦玲. 南京林业大学校园不同类型绿地冬季微气候效应分析[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(1): 281-288.
- [20] HE R Z, CHEN H, GUO Y C, et al. Study on the influential mechanism of green space to microclimate in Zhengzhou [C]//刘滨谊. 中国第一届风景园林与小气候国际研讨会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018: 792-801.
- [21] DOBROWSKI S Z, ABATZOGLOU J T, GREENBERG J A, et al. How much influence does landscape-scale physiography have on air temperature in a mountain environment? [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2009, 149(10): 1751-1758.
- [22] SAUNDERS S C, CHEN J Q, CROW T R, et al. Hierarchical relationships between landscape structure and temperature in a managed forest landscape [J]. Landscape Ecology, 1998, 13(6): 381-395.
- [23] 潘明慧, 兰思仁, 朱里莹, 等. 景观格局类型对热岛效应的影响——以福州市中心城区为例[J]. 中国环境科学, 2020, 40(6): 2635-2646.
- [24] 乔治, 黄宁钰, 徐新良, 等. 2003—2017 年北京市地表热力景观时空分异特征及演变规律[J]. 地理学报, 2019, 74(3): 475-489.
- [25] 卢惠敏, 李飞, 张美亮, 等. 景观格局对杭州城市热环境年内变化的影响分析[J]. 遥感技术与应用, 2018, 33(3): 398-407.
- [26] 王敏, 孟浩, 白杨, 等. 上海市土地利用空间格局与地表温度关系研究[J]. 生态环境学报, 2013, 22(2): 343-350.
- [27] 陈爱莲, 孙然好, 陈利顶. 传统景观格局指数在城市热岛效应评价中的适用性[J]. 应用生态学报, 2012, 23(8): 2077-2086.
- [28] 陈颖. 北京地区森林植被三维绿量估测及分析[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.

责任编辑: 杨焱熔