

引用格式:

杨英书, 胡希军, 金晓玲, 杨岑, 粟德琼. 三维绿量空间分布对植物群落夏季降温增湿效果的影响——以怀化市公园绿地为例[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2022, 48(2): 181–189.

YANG Y S, HU X J, JIN X L, YANG C, SU D Q. The influence of three-dimensional green biomass spatial distribution on cooling and humidifying effect of plant community in summer: taking the park green space of Huaihua City as an example[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2022, 48(2): 181–189.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



三维绿量空间分布对植物群落夏季降温增湿效果的影响 ——以怀化市公园绿地为例

杨英书^{1,2,3}, 胡希军^{1,2*}, 金晓玲^{1,2}, 杨岑⁴, 粟德琼⁵

(1.中南林业科技大学风景园林学院, 湖南 长沙 410004; 2.湖南省自然保护地风景资源大数据工程技术研究中心, 湖南 长沙 410004; 3.怀化市市政设施维护中心, 湖南 怀化 418000; 4.湖南农业大学风景园林与艺术设计学院, 湖南 长沙 410128; 5.怀化职业技术学院商贸管理系, 湖南 怀化 418000)

摘要: 分析了三维绿量对怀化市城市公园和郊野公园绿地 48 个典型植物群落夏季 11:00—15:00 时间段降温、增湿的影响。结果表明: 植物群落高度、分层数、总三维绿量密度、乔木三维绿量密度、灌木三维绿量密度与降温率和增湿率呈显著正相关, 地被植物三维绿量密度与降温率和增湿率呈显著负相关; 当乔木三维绿量密度接近 $9.9 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 时, 降温率可达到 22.23%; 当群落高度接近 18.0 m 时, 降温率达到 20.44%; 当乔木三维绿量密度接近 $11.08 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 时, 增湿率达到 65.64%; 当群落高度接近 22.3 m 时, 增湿率达到 65.10%。与郊野公园相比, 城市公园植物群落高度、分层数、总三维绿量密度均偏小, 因而日均降温率和增湿率偏低。

关键词: 植物群落; 三维绿量; 降温; 增湿; 公园绿地; 怀化

中图分类号: S718.54

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2022)02-0181-09

The influence of three-dimensional green biomass spatial distribution on cooling and humidifying effect of plant community in summer: taking the park green space of Huaihua City as an example

YANG Yingshu^{1,2,3}, HU Xijun^{1,2*}, JIN Xiaoling^{1,2}, YANG Cen⁴, SU Deqiong⁵

(1.College of Landscape Architecture, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004, China; 2.Hunan Provincial Engineering and Technology Research Center of Landscape Resources Big Data in Nature Reserve, Changsha, Hunan 410004, China; 3.Huaihua Municipal Facilities Maintenance Center, Huaihua, Hunan 418000, China; 4.College of Landscape Architecture and Art Design, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 5.Department of Business Management, Huaihua Vocational and Technical College, Huaihua, Hunan 418000, China)

Abstract: The effects of three-dimensional green biomass on cooling and humidification of 48 typical plant communities among green spaces in urban and suburban parks of Huaihua city during 11:00-15:00 in summer were analyzed. The results show that the height of plant community, the number of layers, the total three-dimensional green biomass density, the three-dimensional green biomass density of trees and the three-dimensional green biomass density of shrubs are significantly positively correlated with the cooling and humidification rate, while the three-dimensional green biomass

收稿日期: 2021-10-21

修回日期: 2021-12-18

基金项目: 国家林业和草原局“十三五”重点学科项目(林人发[2016]21号); 湖南省教育厅高等学校“双一流”建设项目(湘教通[2018]469号)

作者简介: 杨英书(1971—), 男, 湖南中方人, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事风景园林规划与设计研究, 512528324@qq.com; *通信作者, 胡希军, 博士, 教授, 主要从事风景园林规划与设计、景观规划与生态修复研究, 120795043@qq.com

density of ground cover plants is significantly negatively correlated with the cooling and humidification rate. When the three-dimensional green biomass density of trees is close to $9.9 \text{ m}^3/\text{m}^2$, the cooling rate reaches 22.23%. When the height of plant community is close to 18.0 m, the cooling rate reaches 20.44%. When the three-dimensional green biomass density of trees is close to $11.08 \text{ m}^3/\text{m}^2$, the humidification rate reaches 65.64%. When the height of plant community is close to 22.3 m, the humidification rate reaches 65.10%. Compared with suburban parks, urban parks have lower plant community height, less layers and smaller total three-dimensional green biomass density, thus lower average daily cooling rate and humidification rate.

Keywords: plant community; three-dimensional green biomass; cooling; humidifying; park green space; Huaihua

城市小气候是城市生态环境质量评价的重要内容之一,对人居生活有着非常重要的影响。城市复杂多样的下垫面类型,形成了“马赛克”式的下垫面结构,从而形成不同的城市小气候类型^[1]。城市林地对城市小气候和水文的影响最大^[2-3],植物对于城市小气候的改善主要体现在调节环境的温度和相对湿度^[4-5]。植被冠层主要影响绿地的增湿^[6],树木遮阳可减少城市热应力的作用^[7]。植物群落对夏季的降温、增湿效果最好^[8],降温、增湿能力与三维绿量有明显相关性^[9]。影响绿地单位面积三维绿量的主要因素有乔木的平均高度^[10]、平均冠幅^[11-13]、平均胸径^[10,12]、灌草的平均高度^[13]、Shannon-Winner 多样性指数^[12]、Berger-Parker 指数^[11]和乔灌比^[12]等。目前,植物群落三维绿量对降温、增湿的影响的研究多偏重于对乔木三维绿量的研究,对灌木和地被植物三维绿量的重视不够;定量分析三维绿量空间分布与降温、增湿功能关系的研究并不多见。笔者通过实测怀化城市公园和郊野公园绿地 48 个典型植物群落夏季 11:00—15:00 时间段的温度和相对湿度,分析群落高度、分层数、总三维绿量密度、乔灌木及地被植物三维绿量密度对植物群落降温、增湿功能的影响,分析城市公园植物群落结构存在的不足,提出植物群落优化措施,以期为怀化及周边城市构建生态效益良好的公园绿地植物群落提供参考。

1 研究区概况与研究方法

怀化市位于湖南省西部偏南,南接广西,西连贵州,处于武陵山脉和雪峰山脉之间,属中亚热带

季风气候区,沅水自南向北贯穿全境。市统计局提供的数据显示,2020年市区常住人口 71.26 万人,建成区面积 65.5 km^2 ,公园绿地总面积 517.98 hm^2 。植物资源丰富,全区共有植物 225 科 900 属 3716 种^[14]。

在怀化市城区公园绿地和郊野公园低海拔区域,选取 48 个植物群落,其中城市公园植物群落 32 个、郊野公园植物群落 16 个(表 1),观测其降温、增湿效果。用 GNSS RTK 手持测绘仪放样,调查样方大小为 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$,在各样方内沿对角线布设 5 个 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 的灌木小样方、5 个 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 的草本小样方。将植物群落划分为乔木层(胸径 $\geq 4 \text{ cm}$ 的木本植物)、灌木层(胸径 $< 4 \text{ cm}$ 且高度 $> 0.5 \text{ m}$ 的木本植物)、地被层(高度 $\leq 0.5 \text{ m}$ 的木本植物和草本植物),分别进行统计调查。其中乔木层又分为小乔木($6 \text{ m} \leq \text{株高} < 10 \text{ m}$)、中乔木($10 \text{ m} \leq \text{株高} < 20 \text{ m}$)、大乔木($20 \text{ m} \leq \text{株高} < 30 \text{ m}$)^[15]和其他类型乔木(胸径 $\geq 4 \text{ cm}$ 且株高 $< 6 \text{ m}$)4 类。乔木层调查过程中主要记录种名、数量、高度、胸径、冠幅、冠高、第一活枝下高度;灌木层调查过程中主要记录种名、数量、盖度、高度、冠幅、冠高;地被层植物主要记录种名、高度、盖度^[16]。能见度较低时,用室外手持 80 m 激光测距仪测量乔木树高和冠幅。通过计算各层植物的郁闭度和高度,按照相邻林层间林木平均高差相差 20% 以上、主林层郁闭度大于 0.3、其他林层郁闭度大于 0.2 的标准,确定群落实际分层数;以主林层具有胸径平均值的树木高度作为群落高度^[17]。将大疆御 2 无人机从 200 m 高空拍摄的植物群落四季顶视图片导入 CAD 2007,绘制夏季乔木覆盖范围,计算植物群落郁闭度值。

表 1 怀化市城市公园和郊野公园植物群落的分布

Table 1 Distribution of plant communities in urban and suburban parks of Huaihua city

公园类型	公园名称	建成时间	公园面积/hm ²	植物群落数量
郊野公园	中坡森林公园	1992 年	1367.00	15
	天仙公园	1979 年	3.54	1
城市公园	五溪文化公园	2006 年	19.10	4
	太平溪带状公园	2016 年	85.30	6
	舞水河带状公园	2017 年	78.90	9
	岩堰溪带状公园一期	2016 年	2.80	1
	舞阳公园	2018 年	10.80	3
	迎丰公园	1979 年	23.00	8
	岩门公园一期	2020 年	6.80	1

于 2020 年 6 月下旬至 9 月上旬,选择晴朗、高温、无风或微风的天气,同步观测调查样地和对照样地的温度和相对湿度。试验仪器为 DJL-18 温湿度光照度三参数记录仪,测点距地面 1.5 m。每个样方观测 3 d,每天观测选择 11:00—15:00 时间段,每 5 min 记录 1 次。采取梅花布点法选取 5 个点,测定温度和相对湿度,5 个点的平均值即为样方内当天的温度和相对湿度值。在样方外没有植物的裸露空地设 2 个样点作为对照,2 个样点的平均值作为对照样地当天的温度和相对湿度值。

用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 22.0 分析调查数据。植物群落的降温、增湿效果分别采用日均降温率(T)和日均增湿率(F)表示。

$$T = \frac{1}{3} \left(\sum_{i=1}^3 \frac{T_i - T_0}{T_0} \right) \times 100\% \quad (1)$$

$$F = \frac{1}{3} \left(\sum_{i=1}^3 \frac{F_i - F_0}{F_0} \right) \times 100\% \quad (2)$$

式中: T_0 为对照点温度平均值; T_i 为样方中温度平均值; F_0 为对照点相对湿度平均值; F_i 为样方中相对湿度平均值。

根据周坚华等^[18]三维绿量模型逐株计算乔木和灌木的三维绿量。地被植物三维绿量指实测面积与高度的乘积^[19]。乔木、灌木、地被的绿量之和即为总三维绿量。三维绿量与样方面积的比值为三维绿量密度(m^3/m^2)。分别以观测群落的高度、分层数、三维绿量密度为横坐标,降温率、增湿率为纵坐标作散点图,并用二次曲线进行拟合,生成二元回归方程,分析所测植物群落各指标对绿地降温、增湿的影响。

2 结果与分析

2.1 不同类型公园绿地植物群落的降温增湿功能

从表 2 可知,灌木和地被植物的三维绿量密度很小,乔木三维绿量密度对植物群落总三维绿量密度起关键作用。中坡森林公园和天仙公园 2 个郊野公园的植物群落总三维绿量密度均值分别为 $7.54 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 和 $7.52 \text{ m}^3/\text{m}^2$,二者总三维绿量密度平均值非常接近。

表 2 怀化市城市公园和郊野公园植物群落的指标值

Table 2 Index values of plant communities in urban and suburban parks of Huaihua city

样地	样方编号	高度/m	分层数	郁闭度	三维绿量密度/ $(\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2})$			
					地被植物	乔木	灌木	总量
中坡森林公园	1	18.00	4.00	0.89	0.14	8.50	0.25	8.89
	2	22.00	5.00	0.94	0.07	8.33	0.17	8.57
	3	24.00	5.00	0.99	0.26	9.30	0.01	9.57
	4	20.00	4.00	0.96	0.09	8.32	0.17	8.58
	5	16.00	4.00	0.99	0.11	5.77	0.03	5.91
	6	13.00	5.00	0.92	0.09	5.43	0.18	5.70
	7	15.00	4.00	0.96	0.09	8.87	0.21	9.17
	8	15.00	4.00	0.98	0.06	8.22	0.34	8.62
	9	15.00	4.00	0.94	0.03	8.34	0.10	8.47

表 2(续)

样地	样方编号	高度/m	分层数	郁闭度	三维绿量密度/(m ³ ·m ⁻²)			
					乔木	灌木	地被植物	总量
中坡森林公园	10	11.00	2.00	0.99	4.60	0.02	0.26	4.88
	11	18.00	3.00	0.93	6.73	0.07	0.18	6.98
	12	15.00	4.00	0.99	7.03	0.06	0.24	7.33
	13	14.60	4.00	0.99	7.58	0.09	0.14	7.81
	14	12.00	4.00	0.98	6.44	0.16	0.03	6.63
	15	14.00	4.00	0.96	5.80	0.10	0.09	5.99
五溪文化公园	16	13.50	3.00	0.94	4.20	0.00	0.25	4.45
	17	6.00	2.00	0.82	2.96	0.04	0.27	3.27
	18	9.60	3.00	0.56	2.00	0.05	0.17	2.22
	19	7.00	3.00	0.88	4.63	0.01	0.29	4.93
太平溪带状公园	20	8.00	2.00	0.74	5.49	0.00	0.00	5.49
	21	7.70	3.00	0.83	2.25	0.09	0.16	2.50
	22	7.80	3.00	0.58	3.35	0.07	0.31	3.73
	23	5.00	2.00	0.56	1.03	0.08	0.13	1.24
	24	7.20	2.00	0.94	3.39	0.03	0.12	3.54
	25	9.10	2.00	0.76	1.19	0.00	0.24	1.43
舞水河带状公园	26	7.00	3.00	0.76	2.34	0.02	0.16	2.52
	27	6.60	3.00	0.88	3.71	0.00	0.27	3.98
	28	7.00	2.00	0.78	4.65	0.11	0.17	4.93
	29	4.20	2.00	0.73	2.05	0.02	0.46	2.53
	30	7.20	3.00	0.82	2.34	0.10	0.21	2.65
	31	7.60	3.00	0.29	1.77	0.03	0.31	2.11
	32	6.10	3.00	0.72	2.05	0.03	0.40	2.48
	33	6.10	2.00	0.38	1.40	0.02	0.35	1.77
	34	5.70	2.00	0.93	2.17	0.12	0.35	2.64
	35	6.00	3.00	0.89	1.35	0.09	0.22	1.66
岩堰溪带状公园一期	36	11.80	3.00	0.94	2.52	0.07	0.15	2.74
	37	12.00	4.00	0.96	4.22	0.08	0.10	4.41
	38	18.60	3.00	0.96	8.43	0.08	0.07	8.58
舞阳公园	39	22.00	3.00	0.81	5.87	0.00	0.16	6.03
	40	16.60	3.00	0.88	7.88	0.04	0.33	8.25
	41	12.00	4.00	0.93	3.66	0.12	0.18	3.96
	42	15.00	4.00	0.98	5.95	0.38	0.11	6.44
	43	15.00	4.00	0.99	6.64	0.22	0.11	6.97
	44	14.80	3.00	0.92	4.64	0.49	0.07	5.20
	45	16.60	4.00	0.98	4.77	0.41	0.12	5.30
	46	12.60	4.00	0.96	5.29	0.29	0.18	5.76
岩门公园一期	47	11.00	3.00	0.86	1.57	0.22	0.18	1.97
天仙公园	48	13.80	3.00	0.99	7.34	0.06	0.12	7.52

城市公园植物群落总三维绿量密度为 1.24 ~ 8.58 m³/m², 平均为 4.04 m³/m², 为郊野公园的近一半。迎丰公园植物群落总三维绿量密度最大, 岩堰溪带状公园一期的最小, 分别为 5.99 m³/m² 和 1.66 m³/m²。城市公园植物群落总三维绿量密度平均值均小于郊野公园, 新建公园植物群落总三维绿量密

度与郊野公园相差较大。

与中坡森林公园相比较, 城市新建公园灌木三维绿量密度平均值小, 地被植物三维绿量密度平均值大; 建成年代较久的迎丰公园及由城市林地改建的岩门公园一期灌木和地被植物三维绿量密度平均值均大, 舞阳公园灌木和地被植物三维绿量密度

平均值均小。中坡森林公园植物群落由次生林和生长多年的人工林改建而成，天仙公园建成年代较久，2 个郊野公园乔木植株高大且数量最多，高低错落，层次结构丰富，三维绿量密度大。迎丰公园和舞阳公园乔木植株比较高大，但大小基本一致、层次结构简单、株数密度小，三维绿量密度比郊野

公园小。岩门公园一期由未成年的马尾松同龄纯林改建而成，群落高度小，缺乏中层植物。城市其他公园多为近年新建，乔木层以樟树、桂花树、杨梅树为主；桂花树和杨梅树植株低矮、冠幅小、生长速度慢，三维绿量不大(表 3)。

表 3 怀化市城市公园和郊野公园的植物群落结构及物种组成

Table 3 Structure and species composition of plant communities in urban and suburban parks of Huaihua city

样方	植物群落结构及物种组成
1	A ₁ 马尾松+A ₂ 栲树-A ₃ A ₄ 栲树-S 宜昌莢蒾+油茶-G 栲树+灰毛泡+淡竹叶
2	A ₁ 马尾松-A ₂ 野柿+栓皮栎-A ₃ A ₄ 油茶+黑桤-S 短尾越橘+油茶-G 灰毛泡
3	A ₁ 马尾松-A ₂ 锥栗+杉木-A ₃ 油茶+榿木-A ₄ 油茶-G 灰毛泡+香花崖豆藤+狗脊+芒萁
4	A ₁ A ₂ 枫香树+苦槠+锥栗-A ₃ A ₄ 榿木-S 赤楠+苦槠-G 灰毛泡+香花崖豆藤+阔鳞鳞毛蕨+花葶藶草
5	A ₁ A ₂ 马尾松-A ₃ 榿木+鹿角杜鹃-A ₄ 榿木+鹿角杜鹃-G 灰毛泡+香花崖豆藤+阔鳞鳞毛蕨
6	A ₂ 麻栎+锥栗-A ₃ 短柄栲栎-A ₄ 榿木+鹿角杜鹃+油茶-S 短尾越橘+油茶-G 灰毛泡+狗脊+阔鳞鳞毛蕨
7	A ₂ 栲树-A ₃ A ₄ 台湾冬青-S 台湾冬青-G 栲树+络石+狗脊
8	A ₂ 栲树+枫香树-A ₃ A ₄ 台湾冬青-S 苦槠+台湾冬青-G 栲树+络石
9	A ₂ 马尾松+毛竹-A ₃ A ₄ 茅栗+青冈-S 冬青+大青+油茶-G 毛豹皮樟+青冈
10	A ₃ A ₄ 榿树-G 二羽边缘鳞盖蕨
11	A ₂ A ₄ 藜蒾锥-S 藜蒾锥-G 藜蒾锥
12	A ₂ 枫香树-A ₃ 枫香树+A ₄ 榿木-S 紫麻-G 地果+蝴蝶花
13	A ₂ 蓝果树-A ₃ A ₄ 红花木莲-S 猴欢喜+山胡椒-G 猴欢喜+狗脊
14	A ₂ 蓝果树+翅荚香槐-A ₃ 翅荚香槐+A ₄ 油茶-S 青榨槭+大叶桂樱-G 青榨槭
15	A ₂ 鹅掌楸+毛竹+枫香树-A ₃ A ₄ 猴欢喜-S 猴欢喜-G 灰毛泡+六月雪+海金沙
16	A ₂ 白花泡桐-A ₄ 杨梅+樟树+紫叶李-G 八角金盘+水栀子+十大功劳+鸢尾
17	A ₂ 银杏+A ₄ 东京樱花-G 金森女贞+萼距花+韭莲
18	A ₃ 樟树-A ₄ 龙柏-G 红花榿木+韭莲
19	A ₃ 柳树+樟树+杜英+紫叶李-A ₄ 山茶+红枫-G 八角金盘+鸢尾
20	A ₂ 柳树-A ₃ A ₄ 木芙蓉
21	A ₃ 刺槐+樟树-A ₄ 夹竹桃-G 小叶女贞+山麦冬
22	A ₃ 樟树-A ₄ 桂花+东京樱花-G 金边黄杨
23	A ₄ 樟树+木芙蓉-G 红花榿木+杜鹃
24	A ₃ A ₄ 桂花+樟树+荷花玉兰+二乔玉兰-G 金叶女贞+红叶石楠+四季桂
25	A ₃ 朴树-G 红叶石楠+葱莲
26	A ₃ 贵州石楠+柳树-A ₄ 杜英-G 沟叶结缕草
27	A ₃ 东京樱花+樟树+垂柳-A ₄ 桂花-G 杜鹃+金叶女贞+沟叶结缕草
28	A ₃ 银杏+荷花玉兰-G 八角金盘+迎春花+山麦冬+沟叶结缕草
29	A ₂ A ₃ A ₄ 樟树+桂花-G 杜鹃+红花榿木
30	A ₃ 樟树+银杏+乐昌含笑-A ₄ 紫叶李+柳树+东京樱花+红叶石楠-G 南天竹+金叶女贞+沟叶结缕草+山麦冬
31	A ₃ 金枝垂柳-A ₄ 樟树+杨梅-G 金森女贞+狗牙根
32	A ₃ 樟树+荷花玉兰-A ₄ 鸡爪槭+慈竹-G 金叶女贞+红花榿木+葱莲
33	A ₃ A ₄ 复羽叶栎树-G 金叶女贞+杜鹃+沟叶结缕草
34	A ₃ A ₄ 桂花+杨梅-G 杜鹃+红叶石楠+沟叶结缕草+狗牙根
35	A ₂ A ₃ 朴树+樟树-A ₄ 桂花+东京樱花-G 金森女贞+水栀子+沟叶结缕草
36	A ₂ 樟树-A ₃ 樟树+杜英-G 八角金盘+鸢尾+吉祥草
37	A ₂ 樟树+杜英-A ₃ 樟树+白花泡桐+桂花-S 杜英+细齿叶桉-G 杜英+阔鳞鳞毛蕨
38	A ₂ 樟树-A ₃ 杜英-G 灰毛泡+络石
39	A ₁ 枫香树-A ₂ A ₃ A ₄ 枫香树+樟树-G 八角金盘+灰毛泡+吉祥草

表 3(续)

样方	植物群落结构及物种组成
40	A ₂ 枫香树+苦槠-A ₃ A ₄ 杜英+深山含笑+油茶-G 杜鹃+沟叶结缕草+狗脊
41	A ₂ 枫香树-A ₃ A ₄ 红花木莲+樟树-S 樟树+槲木+油茶-G 狗脊
42	A ₂ 樟木+枫香树+樟树-A ₃ A ₄ 槲木+油茶-S 槲木+细齿叶柃+小叶女贞-G 水栀子
43	A ₂ 马尾松+蓝果树-A ₃ A ₄ 油茶-S 槲木+油茶-G 细齿叶柃+狗脊+阔鳞鳞毛蕨
44	A ₂ A ₃ 马尾松+樟树-S 槲木+油茶-G 油茶+狗脊+阔鳞鳞毛蕨
45	A ₂ 樟树-A ₃ A ₄ 槲木-S 槲木+油茶-G 油茶+狗脊+阔鳞鳞毛蕨
46	A ₂ 樟树-A ₃ A ₄ 槲木-S 油茶-G 圆叶悬钩子+狗脊+阔鳞鳞毛蕨
47	A ₂ 马尾松-S 槲木+铺地竹-G 芒萁
48	A ₂ 榆树-A ₃ A ₄ 榆树+青冈-G 香花崖豆藤+络石+山麦冬

A₁、A₂、A₃、A₄、S、G 分别表示大乔木、中乔木、小乔木、其他乔木、灌木、地被植物。

测试结果(表 4)表明,城市公园绿地各植物群落夏季日均降温 1.34~9.29 °C, 平均为 5.78 °C。迎丰公园日平均降温幅度最大, 岩堰溪带状公园一期的最小, 分别为 8.20 °C 和 2.86 °C。城市公园绿地植物群落日均降温率为 3.44%~22.79%, 平均为

14.72%; 降温率的大小顺序与降温幅度一致。除岩门公园一期外, 其他公园降温幅度、降温率与三维绿量密度的大小顺序一致。岩门公园一期植物群落郁闭度较大, 灌木三维绿量密度相对较大, 提升了群落降温、增湿能力。

表 4 怀化市城市公园和郊野公园植物群落的降温率和增湿率

样地	样方编号	降温/°C	降温率/%	增湿率/%	样地	样方编号	降温/°C	降温率/%	增湿率/%
中坡森林公园	1	8.93	22.43	66.08	舞水河带状公园	26	7.13	17.10	56.69
	2	8.64	21.69	68.22		27	5.36	14.21	34.32
	3	9.03	22.69	68.79		28	5.06	13.41	42.12
	4	7.74	20.09	64.76		29	4.80	12.73	20.42
	5	7.63	19.81	63.24		30	5.60	13.48	38.76
	6	7.53	19.52	61.59		31	1.73	4.63	18.28
	7	10.30	26.09	64.60		32	2.76	6.90	16.14
	8	10.07	26.27	62.31		33	2.21	5.52	20.51
	9	8.36	21.00	65.16		34	1.34	3.44	9.96
	10	6.86	20.20	49.94		35	2.86	7.13	29.04
	11	5.60	16.50	32.90		36	3.36	9.83	23.22
	12	7.12	18.48	55.87		37	7.78	20.11	56.03
	13	6.98	20.65	43.31		38	8.65	21.49	71.33
	14	6.76	20.00	49.51		39	7.98	20.41	69.52
	15	7.00	20.80	52.20		40	6.68	17.10	44.84
五溪文化公园	16	6.09	15.03	38.14	41	7.98	20.41	64.43	
	17	6.34	15.58	42.97	42	7.52	19.25	60.72	
	18	5.17	12.68	40.65	43	8.74	21.91	68.34	
	19	6.20	15.31	46.28	44	8.94	22.43	69.95	
太平溪带状公园	20	4.25	11.57	39.70	45	8.50	21.64	63.50	
	21	4.13	11.25	37.63	46	9.29	22.79	68.15	
	22	5.45	14.46	39.40	47	7.65	19.63	56.80	
	23	4.12	9.97	34.38	48	7.77	21.31	58.68	
	24	5.66	15.30	35.19					
	25	5.65	14.27	42.42					

中坡森林公园和天仙公园 2 个郊野公园植物群落的平均降温分别为 7.90 °C 和 7.77 °C, 均小于迎丰公园的; 平均降温率分别为 21.08% 和 21.31%, 均大于迎丰公园的。郊野公园植物群落降温幅度和

降温率平均值分别为 7.90 °C 和 21.10%。城市公园植物群落夏季日均降温幅度和降温率均低于郊野公园的, 除受三维绿量密度大小影响外, 还受周边环境、群落结构、公园面积等其他因素的影响。

从表 4 可知,城市公园植物群落夏季日均增湿率为 9.96%~71.33%,平均为 43.74%。迎丰公园植物群落日均增湿率平均值最高,舞水河带状公园的最低,分别为 63.68%和 28.58%。除岩堰溪带状公园一期和舞水河带状公园外,其他公园植物群落的增湿率与降温率大小顺序一致。岩堰溪带状公园一期植物群落郁闭度和灌木绿量密度均高于舞水河带状公园,提升了群落增湿率。中坡森林公园和天仙公园 2 个郊野公园植物群落日均增湿率为 32.9%~68.79%,平均为 57.95%。城市公园植物群落增湿率平均值比郊野公园的小。

2.2 植物群落高度对降温增湿的影响

郊野公园植物群落高度为 11~24 m,平均为

16.03 m;大乔木在中坡森林公园 5 个植物群落中出现;中乔木、小乔木和其他乔木株数密度相差不大,分别分布在植物群落的不同高度。城市公园植物群落高度为 4.2~22 m,平均为 10.08 m,大乔木仅在迎丰公园 1 个植物群落中出现。建成年代较久的迎丰公园植物群落高度平均值最大,为 15.58 m,接近郊野公园的;新建公园植物群落高度普遍偏低,岩堰溪带状公园一期最低,仅为 6.0 m。群落高度与降温率的二元回归方程为 $y=-0.07x^2+2.52x-2.24$,相关系数为 0.731,并呈显著正相关(表 5)。当植物群落高度低于 18.0 m 时,降温率随高度的增加而增加;当群落高度为 18.0 m 时,降温率达到 20.44%;当植物群落高度大于 18.0 m 时,降温率随高度的增加而减少。

表 5 植物群落各指标与夏季降温率和增湿率的相关系数

Table 5 Correlation coefficient between plant community index and cooling and humidification rate in summer

指标	相关系数					
	群落高度	分层数	总绿量密度	乔木绿量密度	灌木绿量密度	地被绿量密度
降温率	0.731**	0.643**	0.762**	0.759**	0.481**	-0.582**
增湿率	0.743**	0.655**	0.687**	0.656**	0.487**	-0.641**

***表示在 0.01 水平上显著相关。

植物群落高度与增湿率的二元回归方程为 $y=-0.13x^2+5.8x+0.41$,相关系数为 0.743,并呈显著正相关。当植物群落高度低于 22.3 m 时,增湿率随高度的增加而增加;当植物群落高度为 22.3 m 时,增湿率达到 65.10%;当植物群落高于 22.3 m 时,增湿率随高度的增加而减少,但减少得比降温率慢。除岩门公园一期和天仙公园外,其他公园植物群落高度的大小顺序与总三维绿量密度大小顺序一致。总体上是植物群落越高、层次结构越丰富,则三维绿量密度越大,降温、增湿效果越好。经实地调查发现,当植物群落高度达到一定值时,乔木层植物覆盖率随高度的增加而增大,灌木和地被植物因光照不足而长势差,数量很少,三维绿量在垂直空间分布整体上移,降温、增湿效果逐渐降低(表 5)。

2.3 植物群落分层数对降温增湿的影响

郊野公园植物群落的分层数为 2.00~5.00 层,平均为 3.94 层;城市公园植物群落的分层数为 2.00~4.00 层,平均为 2.91 层。城市公园植物群落分层数平均值最大的为迎丰公园,最小的为太平溪带状公园。除迎丰公园外,城市其他公园植物群落

的分层数与三维绿量密度、植物群落高度的大小顺序不一致。群落分层数与降温率的二元回归方程为 $y=-0.19x^2+5.38x+1.47$,相关系数为 0.643,呈显著正相关;分层数与增湿率的二元回归方程为 $y=-0.1x^2+13.41x+6.03$,相关系数为 0.655,呈显著正相关(表 5),表明植物群落的分层数对降温率和增湿率的影响是一致的,当三维绿量密度值相同时,植物群落分层数越多、三维绿量在垂直空间的分布越复杂,降温、增湿效果越好。

群落分层数与三维绿量密度的二元回归方程为 $y=0.14x^2+0.92x+0.55$,相关系数为 0.645,呈显著正相关。说明当植物群落高度接近时,乔木层次结构丰富的植物群落比简单的植物群落的三维绿量密度大,即植物群落分层数越多、层次结构越复杂,则三维绿量密度越大、降温、增湿功能越好。

2.4 三维绿量空间分布对降温的影响

植物群落总三维绿量密度与降温率的二元回归方程为 $y=-0.15x^2+3.35x+4.64$,相关系数为 0.762,呈显著正相关。乔木三维绿量密度与降温率的二元回归方程为 $y=-0.17x^2+3.38x+5.43$,相关系数为 0.759,呈显著正相关。当植物群落乔木三维绿量密

度接近 $9.9 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 时, 绿地降温率达到 22.23%, 随着乔木绿量的继续增加, 绿地的降温作用不再明显提高。灌木三维绿量密度与降温率的二元回归方程为 $y = -35.52x^2 + 37.33x + 13.6$, 相关系数为 0.481, 呈显著正相关。地被植物三维绿量密度与降温率的二元回归方程为 $y = -29.92x^2 - 18.88x + 21.5$, 相关系数为 -0.582, 呈显著负相关(表 5)。

2.5 三维绿量空间分布对增湿的影响

植物群落总三维绿量密度与增湿率的二元回归方程为 $y = -0.34x^2 + 8.22x + 17.15$, 相关系数为 0.687, 呈显著正相关。乔木三维绿量密度与增湿率的二元回归方程为 $y = -0.38x^2 + 8.42x + 18.9$, 相关系数为 0.656, 呈显著正相关。当植物群落乔木三维绿量密度接近 $11.08 \text{ m}^3/\text{m}^2$, 绿地增湿率达到 65.64%, 随着乔木绿量密度的继续增加, 绿地的增湿作用不再明显提高。灌木三维绿量密度与增湿率的二元回归方程为 $y = -81.87x^2 + 103x + 39.09$, 相关系数为 0.487, 呈显著正相关。地被植物三维绿量密度与增湿率的二元回归方程为 $y = -195x^2 - 22.17x + 60.71$, 相关系数为 -0.641, 呈显著负相关。总三维绿量密度和乔木三维绿量密度对增湿率的影响小于降温率, 灌木和地被植物三维绿量密度对增湿率的影响大于降温率(表 5)。

从表 2 可以发现, 在总三维绿量密度大、养护水平低的郊野公园和建成年代较久的城市公园植物群落中, 乔木层三维绿量密度大, 地被植物则因林内光线不足而长势差、覆盖率低, 三维绿量密度相对较小。反之, 在总三维绿量密度小、养护水平高的新建城市公园人工植物群落中, 地被植物长势好、覆盖率高, 三维绿量密度相对较大。这是地被植物三维绿量密度与降温率和增湿率呈负相关的重要原因。

3 结论

实测了怀化城市公园和郊野公园绿地 48 个典型植物群落夏季 11:00—15:00 时间段的降温率和增湿率, 分析了植物群落高度、分层数、总三维绿量密度、乔木三维绿量密度、灌木三维绿量密度及地被植物三维绿量密度对降温、增湿功能的影响。结果表明: 乔木三维绿量密度对总三维绿量密度起关键作用, 灌木和地被植物三维绿量密度占比很小。

植物群落高度、分层数、总三维绿量密度、乔木三维绿量密度、灌木三维绿量密度与降温率和增湿率呈显著正相关, 地被植物三维绿量密度与降温率和增湿率呈显著负相关。总三维绿量密度和乔木三维绿量密度对增湿率的影响小于对降温率的, 灌木和地被植物三维绿量密度对增湿率的影响大于对降温率的。与郊野公园相比, 城市公园植物群落高度、分层数、总三维绿量密度均偏小, 日均降温幅度、降温率和增湿率偏低, 新建公园地被植物三维绿量占比较大, 总三维绿量小。

当乔木三维绿量密度达到一定值时, 植物群落降温、增湿能力不再随乔木三维绿量密度的增加而继续增大, 而且乔木的三维绿量也不可能无限增大。灌木三维绿量单独存在时, 降温、增湿功能非常小; 但当其与乔木三维绿量共同存在时, 能够有效提升植物群落的综合降温、增湿功能; 当植物群落总三维绿量一定时, 层次结构复杂、灌木绿量较大的植物群落降温、增湿效果好; 灌木三维绿量占比虽小, 但也应给予足够的重视。总三维绿量密度大、绿量在垂直空间分布复杂的植物群落降温、增湿效果最好。通过增大植物群落高度、丰富层次结构、合理配置中下层植物等措施, 可以综合提升植物群落降温、增湿能力。

郊野公园和建成年代较久的城市公园植物群落总三维绿量密度大, 但地被植物的覆盖率和三维绿量密度相对较小; 新建公园植物群落总三维绿量密度小, 但地被植物的覆盖率和三维绿量密度相对较大。48 个植物群落中, 总三维绿量密度大的群落地被植物三维绿量密度相对较小, 降温、增湿效果好; 反之, 总三维绿量密度小的群落地被植物三维绿量密度相对较大, 降温、增湿效果差。在总三维绿量密度接近的同类型植物群落中, 地被植物三维绿量密度与降温、增湿能力的相关性如何, 值得进一步探讨。

4 建议

根据植物群落生态效益和景观效益并重的原则, 吸收郊野公园自然植物群落的优点和城市公园植物群落配置的经验, 建议从以下几个方面对怀化城市公园植物群落进行优化。

一是在建成年代较久的迎丰公园植物群落中,

由于上层乔灌木郁闭度较大、林内光线不足,地被植物覆盖率低,可在保留现有绿化成果的基础上自然式种植耐阴观花、观叶地被植物,丰富地被植物种类、提高地被层覆盖率。舞阳公园和岩门公园一期分别由园林苗圃、城市马尾松纯林改建而来,乔木层植物株高基本一致,缺乏中层小乔木或灌木,降温、增湿能力低于迎丰公园,可增加耐阴小乔木和灌木植物,丰富植物层次、增加三维绿量。

二是针对新建公园存在植物群落高度小、层次结构简单、三维绿量密度小、降温、增湿能力差等不足,可通过在常绿植物群落上层增加生长较快、成熟期植株高大的落叶乔木,在落叶植物群落中下层配置耐阴小乔木和灌木等措施,丰富植物层次结构,增大植物株数量和三维绿量密度。同时,加强绿地养护管理,促使上层乔木向上、向外生长,中层灌木树形饱满,地被植物密实度增大,从而实现植物群落层次清晰、结构复杂、三维绿量密度大、景观效益和生态效益俱佳的目标。

参考文献:

- [1] YAN H, FAN S X, GUO C X, et al. Assessing the effects of landscape design parameters on intra-urban air temperature variability: the case of Beijing, China[J]. *Building and Environment*, 2014, 76: 44–53.
- [2] CARLSON T N, ARTHUR S T. The impact of land use-land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: a satellite perspective [J]. *Global and Planetary Change*, 2000, 25(1/2): 49–65.
- [3] WHITFORD V, ENNOS A R, HANDLEY J F. “City form and natural process”: indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Mersey-side UK[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2001, 57(2): 91–103.
- [4] DONOVAN G H, BUTRY D T. The value of shade: estimating the effect of urban trees on summertime electricity use[J]. *Energy and Buildings*, 2009, 41(6): 662–668.
- [5] RIZWAN A M, DENNIS Y C L, LIU C H. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, 20(1): 120–128.
- [6] YILMAZ S, TOY S, IRMAK M A, et al. Determination of climatic differences in three different land uses in the city of Erzurum, Turkey[J]. *Building and Environment*, 2007, 42(4): 1604–1612.
- [7] KLOK L, ROOD N, KLUCK J, et al. Assessment of thermally comfortable urban spaces in Amsterdam during hot summer days[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2019, 63(2): 129–141.
- [8] 苑征. 北京部分绿地群落温湿度状况及对人体舒适度影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [9] 韩世明. 南昌市红谷滩新区居住绿地的生态效应研究[D]. 南昌: 东华理工大学, 2017.
- [10] 潘桂菱. 合肥城市公园生态型植物群落评价与配置优化研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2012.
- [11] 叶志勇. 平潭综合实验区公路绿地植物群落多样性与绿量影响因子研究[J]. *中国园艺文摘*, 2015, 31(5): 92–94.
- [12] 郑俊鸣, 朱丹丹, 蒋梦莹, 等. 福州市 3 个山地公园三维绿量与其影响因子特征研究[J]. *中国园林*, 2018, 34(2): 89–93.
- [13] 芮文娟, 阚丽艳, 靳思佳, 等. 上海社区不同类型绿地植物群落结构特征与绿量相关性研究——以瑞金社区、莘城社区、方松社区为例[J]. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 2015, 33(4): 77–87.
- [14] 湖南省怀化地区地方志编辑委员会. 怀化地区志[Z]. 北京: 新知·三联书店, 1999.
- [15] 陈有民. 园林树木学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990.
- [16] 李珍. 南京城市湖滨公园植物景观研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2012.
- [17] GB/T 26424—2010 森林资源规划设计调查技术规程[S].
- [18] 周坚华, 孙天纵. 三维绿色生物量的遥感模式研究与绿化环境效益估算[J]. *环境遥感*, 1995, 10(3): 162–174.
- [19] 王东良, 金荷仙, 范丽琨, 等. 疗养院人工绿地三维绿量分布特征及影响因子[J]. *浙江农林大学学报*, 2013, 30(4): 529–535.

责任编辑: 罗慧敏
英文编辑: 罗维