

榕属4个园林树种遮荫效果研究

黄秋燕¹,杨建欣^{2*},陈安³,周莹³,莫伟强³,龙丽芳¹,刘文苑¹

(1. 广东理工学院建设学院,广东 肇庆 526070; 2. 西南林业大学,云南 昆明 650224;
3. 肇庆市林业科学研究所,广东 肇庆 526040)

摘要:为研究桑科榕属植物的遮荫效果,选取细叶榕、黄葛榕、高山榕和垂叶榕等4个园林树种,采用手持激光测距仪、温湿度露点测试器、照度计、测树钢围尺等观测仪器和工具,测量树木的冠幅、胸径、冠高、枝下高等基本参数,采集获取全光下和树木荫影下的温度和照度,计算树木的遮光率、降温率、荫影面积、荫质、遮荫效果等指标并进行对比分析。同时对树木的叶片大小及枝叶疏透度与遮荫效果的关系做进一步验证分析。结果表明:在选取的4个榕属园林树种中,降温率最佳的树种是高山榕,其降温率为3.329%,细叶榕的遮光率、遮荫面积、荫质和综合遮荫效果最好,指标数值分别为62.802%,419.037 m²,0.020 1 n,8.561 8。树木的枝叶疏透度与遮荫面积、遮荫效果均呈负相关,且相关性在0.01水平(双侧)上达到显著,相关系数分别为-0.985,-0.997;树木的叶片面积、枝下高均与遮荫功能各项指标之间存在一定的相关性,但相关性均不显著。上述结果可为榕属植物景观营造尤其是遮荫树种的选择和应用提供依据。

关键词:榕树;园林树木;遮光率;荫质;遮荫效果

中图分类号:Q143+.4;S731.2;S792.99 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2022.04.005

Shading effect of four landscape *Ficus* sp trees in Moraceae

Huang Qiuyan¹, Yang Jianxin^{2*}, Chen An³, Zhou Ying³, Mo Weiqiang³, Long Lifang¹, Liu Wenyuan¹

(1. School of Construction, Guangdong Technology College, Zhaoqing 526070, China;
2. Southwest Forestry University, Kunming 650224, China;
3. Zhaoqing Forestry Research Institute, Zhaoqing 526040, China)

Abstract: To study the shading effect of *Ficus* in Moraceae, we selected 4 landscape trees (*Ficus microcarpa*, *F. virens*, *F. altissima* and *F. benjamina*) as research objects. By using portable laser range finder, temperature and humidity tester, illuminance meter, etc. the crown width of the trees, diameter at breast height, crown height, height under branches were measured. The collection obtained the temperature and illuminance both in sun and tree shadow, finally their shading rate, cooling rate, and shadow area, shadow quality were calculated and their comprehensive shading effect were compared. The results showed that, among 4 landscape ficus trees, *F. altissima* had the highest cooling rate (3.329%). *F. microcarpa* had the best shading rate, shading area, shading quality and comprehensive shading effect, amounting to 62.802%, 419.037 m², 0.020 1 n and 8.561 8, respectively. The canopy opacity was negatively correlated with shading area and shading effect, and their correlation was significant at the 0.01 level (two-sided), with coefficients of -0.985 and -0.997, respectively. There was a certain degree of correlation between the size of leaf area, the height under branches and the indexes of shading function, but the correlation was not significant. These results could provide a basis for *Ficus* sp landscape construction, especially for the selection and application of shade species.

Key words: *Ficus* sp; Landscape tree; Shading rate; Shading quality; Shading effect

收稿日期:2022-05-28;修回日期:2022-06-25

基金项目:2021年度“质量工程”项目“广东理工学院-肇庆市林业科学研究所农科教大学生社会实践教学基地”(SHSJJD202103)

作者简介:黄秋燕(1985-),女,福建宁德人,讲师,硕士。主要研究方向:风景园林植物应用。E-mail:hqy050736@qq.com

*通信作者:杨建欣(1986-),男,云南宜良人,博士研究生。主要研究方向:风景园林植物应用与生态效益。E-mail:la8099@qq.com

榕属(*Ficus*)又名无花果属,隶属于桑科(Moraceae),是热带及亚热带地区生态系统的关键物种,总数约有1 000种。我国拥有较为丰富的榕属植物资源(约有120种),主要分布于长江以南各省区,尤其是西南和华南地区较为常见^[1-3]。榕属植物拥有乔木、灌木、攀援灌木、木质藤本等几乎所有的木本植物生活型,是热带植物区系中最大的木本属种之一^[4]。园林植物应用的实践证明,榕属植物大多具备生长迅速、观赏价值较高、遮荫性能佳的特点,耐修剪、易造型、树冠开阔、枝叶茂盛,且具有良好的滞尘、水土保持和抗风性能,是热带和亚热带城市园林绿化中广泛使用的园林植物资源^[5-6]。

目前关于榕属植物园林应用的相关研究较多,蒋谦才等^[7]分析研究了广东榕属观赏植物资源及其开发应用价值;王耿昌等^[8]从不同指标层次,利用AHP法构建了福建省榕属植物园林应用价值评价体系;黄碧丽^[9]对泉州市榕属植物的园林应用情况进行了调查和总结,提出利用及养护管理的对策;丁印龙等^[10]对厦门市引种的榕属植物资源及其园林应用进行了调查研究,对榕属园林植物资源的合理利用提出了建议;和太平等^[11]阐述了具较高观赏价值的广西榕属观赏树木资源及其园林应用,提出保护和开发利用建议。上述研究大多是针对榕属园林植物资源的应用、评价和开发保护等方面展开的,关于榕属园林植物改善环境的相关研究比较匮乏,尚未见对其遮荫功能及改善环境热舒适性的研究成果。

在全球气温变暖的总体趋势下,极端高温天气屡见不鲜,表明城市热岛效应有日渐严重的趋势^[12],已成为影响环境舒适性的主要问题之一。高温天气使人体感到不适,工作效率降低,中暑、肠道疾病和心脑血管等病症的发病率明显增多。除了积极提倡保护环境、减少碳排放和增加碳汇等措施外,从风景园林角度利用植物营造舒适的环境也是提高热舒适性的有效手段。相关研究已然证实,园林树木能消减UVB辐射^[13],并有明显的降温增湿效应^[14],在缓解城市热岛效应和改善行人热舒适性等方面有重要作用^[15],以上这些方面的效用与树木的遮荫存在密切的关联,因此有必要开展植物遮荫功能的研究,拓展研究视角,丰富和完善园林植物应用的科学理论。鉴于榕属植物是热带和亚热带地区极富代表性的植物,应用频率较高,具备较高观赏价值,故本研究选取榕属植物为研究对象,以

期为植物景观营造尤其是遮荫树种的选择和应用提供依据。

1 研究地概况

肇庆市位于广东西部,地处22°47'—24°24'N和111°21'—112°52'E之间,毗邻广佛,辐射湾区,为珠三角核心城市与粤港澳大湾区的重要节点城市,属亚热带季风气候和亚热带常绿季雨林自然植被区,年平均温度>20℃,年平均降雨量>1 500 mm,年平均日照约为1 800 h。肇庆学院主校区位于肇庆市端州区北岭山脚下,拥有得天独厚的自然环境。经调查及统计,校园内共有园林植物61科138属175种,其中乔木类27科55属74种^[16]。虽然大多数树木曾经受到台风“山竹”的肆掠,但经过精心的养护管理,目前已基本恢复良好的生长状态,所创造的遮荫环境对改善校园空间的热舒适性起了到十分积极的作用^[17]。

2 研究方法

2.1 观测对象选取

观测样株需要具备良好的近自然生长状态,近期无明显的修剪整形或其他人为干扰。根据调查地点范围内现有的桑科榕属树木的规格大小,为了保证能够挑选出足够的样株,同时保证选取的树木具有可比性,现拟定观测样株的选择标准应符合以下要求:种植年限超过5 a;胸径范围(35±8) cm,种间及种内胸径差异≤10 cm。在肇庆学院主校区内,选择隶属桑科榕属的4个园林树种,即细叶榕(*Ficus microcarpa*)、黄葛榕(*F. virens*)、高山榕(*F. altissima*)、垂叶榕(*F. benjamina*),每种树选择样株3株。

2.2 样株观测及数据收集

在现场实地观测时,采用温湿度测试仪(宝工 Pro'skit, MT-4616)、照度计(宝工 Pro'skit, MT-4617)、激光测距仪(深达威 SANDWAY, SW-50G 室外绿光版)和测树钢围尺(太平洋牌,长度2 m,精度1 mm)等仪器和工具进行数据采集。

2.2.1 观测时间 为使相关指标测量数据尽可能准确,所选择的观测日期应满足气温较高、光照充足、无明显云层等气象条件;由于风吹枝叶摇摆,使得照度无法准确测定,因此在观测时应选择晴朗无风或风力较小的天气进行。为减少观测和读数误差,采取多时段观测而计算数据平均值。根据实际

气象条件,选择2021年7—8月气温相对较高的日期及时间段(7月10日、7月16日、7月23日、8月16日、8月27日,每天8:30—17:30)进行数据观测。

2.2.2 观测位置 为确保数据尽可能真实反映树木的遮荫能力,选取的观测点和对照点分别位于树荫下和荫影之外3 m处,观测点和对照点的高度(均为1.5 m)及其下垫面铺装材质保持一致。

2.2.3 观测步骤 采用手持式激光测距仪测量样株的高度、冠幅、枝下高、胸径等数据,求取平均值;在荫影中心位置处用温度湿度露点测试器测定植物树荫下的空气温度,用照度计测量荫影下的光照强度;在对照点处用相同的仪器按顺序测量以上指标。每种树木每株样株均需测量1次,数据取3株样株的平均值。

2.2.4 数据采集要点及注意事项 观测人员由8人组成,分为4个小组,每个小组2人负责每种树木3株样株的全程观测(1人测量,另1人记录数据)。在每天8:30—17:30时间段内,4个观测小组同时开始读数并记录,读数时间间隔为1.0 h。每个观测日完成全部4种树木的全程观测,重复数据采集4 d,观测次数为10次/d,最终数据取平均值。

2.3 遮荫功能指标的计算

高度、胸径、冠幅、温度、照度等数据运用Excel 2003软件进行统计和分析。降温率、遮光率、遮荫面积、荫质、遮荫效果等相关指标按照吴翼^[18]、陈耀华^[19-20]推荐的研究方法进行计算(见表2)。具体计算方法如下:

降温率(%): $\Delta T = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100$, T_1 为全光温度, T_2 为荫影温度

遮光率(%): $\Delta I = \frac{I_1 - I_2}{I_1} \times 100$, I_1 为全光照度, I_2 为荫影照度

遮荫面积: $S = \pi \cdot R_g^2 / \sin B$, R_g 为1/2冠幅, B 为太阳高度角

荫质: $M = \Delta T \cdot \Delta I$

遮荫效果: $P = M \cdot S = \Delta T \cdot \Delta I \cdot \pi \cdot R_g^2 / \sin B$

2.4 树体结构特征的量化

除了降温率、遮光率、遮荫面积、荫质、遮荫效果等指标,树木叶片的基本参数(大小、颜色、厚度)、叶片排列方式、枝叶疏透度、枝下高和胸径等特征和结构也可以评价树木的遮荫能力^[21-24]。这4

个树种的叶片排列方式基本相同,叶片大小有明显差异,颜色、叶片厚度和疏透度都有所不同。在现有试验条件下,仅对枝叶疏透度、叶片大小和枝下高等3项树体结构特征做进一步分析。

对于树木遮荫而言,树木的枝叶疏透度直接与阳光的透射有关。枝叶疏透度的测定可参考胡喜生等^[25]关于绿化带疏透度对降低交通噪音效果的研究思路。具体方法为:在具体观测研究时,用同部相机拍摄每株树木样株的冠层顶视图(每株树木拍摄照片5张),拍摄时保证照片设定像素相同。将获取的树木冠层的顶视图片(4种树木,每种3株样株,每样株图片5张,合计图片60张)存储到计算机。在每张图片上分别裁剪出20 mm×20 mm的方形区块,并将裁剪处理好的彩色图片转换为“灰度”模式。其次,在Photoshop CS2的图像菜单下选择依次选择“调整”和“阈值”子菜单,采用“阈值色阶”的默认值128,此时图像即转变为高对比度的黑白图像。首先在直方图上读取出方形区块的总像素值,之后利用色彩范围选出白色范围,在直方图读取白色区域的像素值,据此就可计算得出枝叶疏透度。根据每种树木的15张图片分别求取疏透度,取其平均值为该种树木的枝叶疏透度。

枝叶疏透度(%) = (白色区域像素值/正方形区块总像素值) × 100

叶片大小采用现场收集的树木叶片测量得出。每株样株在树冠四周随机选取5片成熟且无病虫害的叶片,每种树木共选取叶片15个,不选用落叶。采用Photoshop图像处理法^[26]测量叶片面积,按树种分别求取平均值。

树木枝条最低点距离地面的垂直高度即为枝下高。不同的树木其分枝点的高度不同,枝下高也存在较大差异。虽然在树种选择时考虑到了枝下高的因素,但随着树木生命周期的演进,枝下高也会发生变化。从树木遮荫的角度,枝下高会对其降温率和遮光率造成影响。对于枝下高较高的树木,很容易受到周围环境条件的影响,如热空气的加速运动会影响树木的实际降温能力、建筑环境散射光影响树木的遮光率等。枝下高直接采用激光测距仪读取,按树种分别求取所有样株的平均值。

2.5 误差处理

在计算遮荫面积时需做一定的简化,认为树木样株所产生的投影面积是规则的几何形态。对于降温率、遮光率等指标的观测研究,都假定树木在

观测的某一时刻处于静止状态,观测得到的相关数值均为近似值。本次研究所选的 4 个榕属园林树种的下垫面均为水泥或花岗岩铺装等硬质地面,不同材料对光和热的影响不尽相同,为了数据的可比性,将该项影响忽略不计。由于符合观测要求的日期不多,且时间跨度大,每个观测日的太阳高度角均有不同,为了缩小误差,减少太阳高度角季节变化对树木遮荫面积计算结果的影响,本研究统一采用观测 2021 年 7 月 23 日的太阳高度角作为计算基础(大致为观测日期的中间时段)。

3 结果与分析

3.1 遮荫功能各指标的日变化

从表 1 可以看出,4 个榕属园林树种的降温率、遮光率、遮荫面积、荫质、遮荫效果在观测时间段内均有不同程度的起伏波动。对每一个树种而言,各项指标最大值出现时刻都不同。其中,降温率的最大值为高山榕在 10:30 时的数值(4.19%),其次依次为细叶榕在 17:30 的数值(4.18%)、垂叶榕在 10:30 时的数值(3.95%)、黄葛榕在 16:30 时的数值(3.49%);遮光率的最大值为细叶榕在 8:30 时的数值(73.68%),其次依次为黄葛榕在 9:30 时的数值(58.32%)、垂叶榕在 11:30 时的数值(50.57%)、高山榕在 8:30 时的数值(46.98%)。在观测时点内,遮荫面积呈现出先逐渐减少再逐渐增大的变化趋势,与太阳高度角的变化趋势一致。若横向对比不同树木的遮荫面积,则遮荫面积由树木的冠幅大小决定,如在 13:30 观测,遮荫面积最大的是细叶榕(283.69 m²),遮荫面积最小的为垂叶榕(62.97 m²),最大值约为最小值的 4.5 倍。因此,若要获得较大的遮荫面积,在空间允许的情况下,应该尽可能选择冠幅较大的树木或采取科学的栽培管理策略,促进树木冠幅的横向扩展。荫质由树木的降温率和遮光率共同决定,若单独考虑每个树种的荫质,则由大到小的排序为细叶榕 0.023 2 n(8:30) > 黄葛榕 > 0.020 0 n(8:30) > 高山榕 0.019 5 n(11:30) > 垂叶榕 0.017 3 n(10:30),表明每种树木荫质出现时刻都不相同,且没有特别明确的规律可言。遮荫效果是树木降温率、遮光率、冠幅、太阳高度角等因素的综合反映,4 种树木遮荫效果的最大值都出现在 17:30 时刻(细叶榕 26.361 6,黄葛榕 7.280 7,高山榕 5.828 6,垂叶榕 3.090 4),表明在傍晚时分这几个树种的遮荫效果最佳。

表 1 遮荫功能指标分析

树种	观测时点	降温率 /%	遮光率 /%	太阳高度角/°	冠幅 /m	遮荫面积 /m ²	荫质 /n	遮荫效果
细叶榕	8:30	3.15	73.68	41.33	18.36	400.69	0.023 2	9.305 6
	9:30	3.12	63.46	55.09		322.68	0.019 8	6.381 0
	10:30	3.35	63.82	68.88		283.67	0.021 4	6.068 7
	11:30	2.49	66.90	82.41		266.95	0.016 7	4.452 3
	12:30	3.29	65.42	82.41		266.95	0.021 5	5.741 3
	13:30	3.53	61.91	68.87		283.69	0.021 9	6.204 5
	14:30	3.47	60.25	55.08		322.72	0.020 9	6.741 0
	15:30	3.23	57.61	41.32		400.77	0.018 6	7.448 0
	16:30	2.16	56.16	27.69		569.45	0.012 1	6.914 3
17:30	4.18	58.81	14.28	1072.79	0.024 6	26.361 6		
黄葛榕	8:30	3.46	57.95	41.33	13.89	229.34	0.020 0	4.595 6
	9:30	2.26	58.32	55.09		184.69	0.013 2	2.434 0
	10:30	2.53	50.75	68.88		162.36	0.012 8	2.083 0
	11:30	2.78	47.55	82.41		152.79	0.013 2	2.018 1
	12:30	3.28	38.18	82.41		152.79	0.012 5	1.912 4
	13:30	1.64	38.08	68.87		162.37	0.006 3	1.016 3
	14:30	2.92	35.48	55.08		184.71	0.010 4	1.912 3
	15:30	3.20	38.27	41.32		229.38	0.012 2	2.809 4
	16:30	3.49	45.08	27.69		325.92	0.015 7	5.120 2
17:30	2.49	47.56	14.28	614.01	0.011 9	7.280 7		
高山榕	8:30	3.76	46.98	41.33	10.73	136.86	0.017 7	2.415 5
	9:30	3.66	38.30	55.09		110.21	0.014 0	1.545 8
	10:30	4.19	44.51	68.88		96.89	0.018 7	1.807 0
	11:30	4.14	47.18	82.41		91.18	0.019 5	1.782 4
	12:30	3.54	42.35	82.41		91.18	0.015 0	1.367 7
	13:30	2.17	39.22	68.87		96.89	0.008 5	0.826 1
	14:30	2.93	36.19	55.08		110.23	0.010 6	1.167 0
	15:30	2.41	38.06	41.32		136.88	0.009 2	1.253 7
	16:30	2.93	40.25	27.69		194.49	0.011 8	2.296 2
17:30	3.55	44.78	14.28	366.41	0.015 9	5.828 6		
垂叶榕	8:30	3.19	46.62	41.33	8.65	88.94	0.014 9	1.322 1
	9:30	3.44	39.28	55.09		71.62	0.013 5	0.967 4
	10:30	3.95	43.78	68.88		62.97	0.017 3	1.090 2
	11:30	3.31	50.57	82.41		59.25	0.016 7	0.990 7
	12:30	3.25	47.19	82.41		59.25	0.015 3	0.909 3
	13:30	3.23	49.84	68.87		62.97	0.016 1	1.012 4
	14:30	3.19	48.74	55.08		71.63	0.015 6	1.114 2
	15:30	2.67	48.00	41.32		88.96	0.012 8	1.138 7
	16:30	2.95	45.32	27.69		126.40	0.013 4	1.689 4
17:30	3.02	42.95	14.28	238.12	0.013 0	3.090 4		

注:①太阳高度角根据经纬度求得;②数据均为同树种 3 样株观测所得数据的平均值;③因树冠荫影均为卵圆形,近似椭圆,故荫影面积参照椭圆形面积计算。

3.2 遮荫功能各指标的平均值

为了更加直观地考量 4 个榕属园林树种的综合遮荫能力,以降温率、遮光率、遮荫面积、荫质的平均数值为依据进行分析与对比。从表 2 可以看出,4 个榕属园林树种的降温率最佳树种是高山榕,遮光率、遮荫面积、荫质和综合遮荫效果最好的树种均为细叶榕。

表 2 遮荫效果综合分析

树种	降温率 /%	遮光率 /%	遮荫面积 /m ²	荫质 /n	遮荫效果
细叶榕	3.197	62.802	419.037	0.020 1	8.561 8
黄葛榕	2.804	45.721	239.835	0.012 8	3.118 2
高山榕	3.329	41.782	143.122	0.014 1	2.029 0
垂叶榕	3.219	46.229	70.672	0.014 9	1.332 5

树木导致温度下降的原因主要是遮荫降温 and 蒸腾降温^[27]。因各种树木形态不同、枝叶茂密程度、冠幅和冠高的不同,其对太阳辐射的阻挡和屏蔽能力有所不同,且各种树木在观测时刻的蒸腾速率有较大差别,因而导致每种树木的平均降温率存在明显的差异。高山榕的遮光率和遮荫面积都不是最佳,但却有着最高的降温率,表明高山榕遮荫降温 and 蒸腾降温的综合能力最强。

树木具有良好的遮光性能主要归因于树冠的组成和结构,如叶片的大小及透光能力、分枝的多少、枝条的浓密程度、冠层高度等方面。由遮荫面积的计算公式可知,树木的荫影面积与树木冠幅的 1/2 成正比,与太阳高度角成反比。荫质受到树木降温率和遮光率的共同影响。遮荫效果与树木的降温率、遮光率、冠幅等 3 个因素呈正比,与太阳高度角成反比,以往采用某一特定时刻的数值进行分析研究,并不能体现出该树木整体的荫影质量和遮荫效果^[28-29]。本研究采用观测时间段内的平均值进行分析更为科学合理。细叶榕在遮光率、遮荫面积、荫质和综合遮荫效果等方面表现最佳,说明该树木能够通过树木遮荫显著地改善环境的热舒适性,是热带和亚热带地区营造遮荫环境的首选树种。

3.3 枝叶疏透度与遮荫功能的关系

如表 3 所示,仅从树木枝叶疏透度来看,疏透度最低的为细叶榕,其对阳光的遮挡和屏蔽效果最好,其次分别为黄葛榕和高山榕,疏透度最差的是垂叶榕。以上结果与观测计算得出的平均遮光率数值不完全相符,平均遮光率的排序为细叶榕(62.802%)>垂叶榕(46.229%)>黄葛榕(45.721%)>高山榕(45.721%)。事实上,阳光的投射除了与树木冠层枝叶的疏透度有关,还与太阳光的入射方向及树木的冠高有关。树木的冠高越高,则阳光投射下来被吸收和反射的通量就越大,达到树木荫影下方的量就越少,平均遮光率的排序与 4 种树木冠高的实测数据相一致,从而进一步验证了观测的结果。此外,通过相关性分析(见表 4)可知,树木的枝叶疏透度与遮荫面积、遮荫效果为负相关关系,且相关性在 0.01 水平(双侧)上达到显著,相关系数分别为-0.985, -0.997,表明枝叶疏透度越大,树木的遮荫面积及遮荫效果就越差。

表 3 榕属 4 个园林树种的枝叶疏透度

树种	白色区域 像素值	方形区块 像素值	枝叶疏透度/%
细叶榕	20 604		6.41
黄葛榕	30 496	321 489	9.49
高山榕	33 051		10.28
垂叶榕	35 223		10.96

3.4 叶片大小与遮荫功能的关系

计算得到 4 种树木的叶片面积分别为 $S_{\text{细叶榕}} = 22.15 \text{ cm}^2$, $S_{\text{黄葛榕}} = 56.79 \text{ cm}^2$, $S_{\text{高山榕}} = 120.91 \text{ cm}^2$, $S_{\text{垂叶榕}} = 20.77 \text{ cm}^2$ 。将叶片面积与树木的降温率、遮光率、遮荫面积、荫质和遮荫效果等指标进行相关性分析,结果发现叶片的大小与树木遮荫各项指标之间存在相关性,其中与枝下高和降温率呈正相关关系,与其他指标呈负相关关系,但相关性均不显著(如表 4)。

3.5 枝下高与遮荫功能的关系

相关性分析可知,榕属 4 个园林树种的枝下高与其遮荫各项指标之间存在相关性,其中与降温率呈负相关,与其他指标则呈正相关,但相关性均不显著(如表 4)。

表4 榕属4个园林树种的树体结构与遮荫功能相关性分析

结构因素	枝叶疏透度	叶片面积/cm ²	枝下高/m	降温率/%	遮光率/%	遮荫面积/m ²	荫质/n	遮荫效果
枝叶疏透度	1							
叶片面积	0.365	1						
枝下高	-0.592	0.267	1					
降温率	0.063	0.225	-0.526	1				
遮光率	-0.928	-0.640	0.270	0.048	1			
遮荫面积	-0.985*	-0.304	0.714	-0.209	0.866	1		
荫质	-0.838	-0.505	0.076	0.389	0.939	0.731	1	
遮荫效果	-0.997**	-0.411	0.525	-0.013	0.953*	0.968*	0.878	1

注:* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关;** 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

4 结论与建议

本文对桑科榕属4个园林树种的遮荫效果进行了量化研究,得到了一些结论,但仍存在许多问题需要进一步研究和探讨。

(1)在观测时间段的特定时刻,不同树种的降温率、遮光率、增湿率、遮荫面积、荫质、遮荫效果等指标有着不同程度的起伏波动,就平均值而言,也有着较大的差异。4种榕属园林树木的降温率最佳的树种是高山榕,遮光率、遮荫面积、荫质和综合遮荫效果最好的树种均为细叶榕。

(2)树木的枝叶疏透度与遮荫面积、遮荫效果为负相关关系,且相关性在 0.01 水平(双侧)上达到显著,相关系数分别为-0.985, -0.997,表明枝叶疏透度越大,树木的遮荫面积及遮荫效果就越差。树木的叶片面积大小及枝下高均与遮荫功能各项指标之间存在一定程度的相关性,但相关性均不显著。从生态学意义及园林植物栽培应用的角度而言,在研究中单纯考量叶片的大小其实意义不大,应从叶面积指数的角度分析其与树木遮荫的相关性。若从改善树木遮荫性能的角度,应加强树木的栽培管理,使其在生长季多萌发叶片,并协调好营养生长和生殖生长的关系。从叶片面积和枝叶疏透度的相关性来看,2者之间的相关系数为 0.365,并未达到显著水平。但从树木栽培繁殖及养护管理的角度,若在树木生长的特定阶段采取相应的策略,促进树木的萌蘖和枝叶的密集,可以增加枝条和叶片之间的相互重合、搭接,以降低枝叶疏透度,更好地阻隔阳光,提高树木的遮荫性能。

(3)研究表明4个榕属园林树种的遮荫效果与冠幅有着极大关系。为充分发挥遮荫潜力,应在充分遵循“适地适树”原则的基础上,让树木生长良

好,充分发挥遮荫潜力。榕属类植物都具有发达的根系、开阔的树冠,在种植地点选择时应确保拥有足够空间,以满足根系生长和树冠扩展要求。

(4)在园林树木的实际应用和日常管理养护中,应根据场所的实际情况,对树冠结构及下部枝条进行合理修整,以更好发挥遮荫作用。同时,须采取合理的种植设计及绿地规划布局策略,提高树木遮荫的针对性。同时,城市人工环境如不透水地面具有明显的升温作用,可抵消园林树木遮荫所带来的效益,而通风廊道的设计和水体景观的合理布局则可以强化园林树木的遮荫功效,因此,应将树木的遮荫与其他规划设计策略有效结合、正面叠加,以最大程度削减城市热岛效应带来的消极影响。

(5)为进一步验证榕属园林树木遮荫功能及其影响因素,在今后开展相关研究时,应尽可能选择较多数量的树木样株进行数据观测,在选择样株时要尽可能选择生长健壮且未受到外界环境过度干扰的树木,有条件时宜在实验苗圃开展长期的观测研究,以尽量规避客观条件的差异对研究结果的影响,提高准确率和客观性。虽然本研究全面考量了榕属4个园林树种的遮荫功能,但由于样株种类少,尚不能全面了解其他榕属植物的遮荫功能。在将来条件允许时,应将榕属其他园林树木如橡胶榕(*F. elastica*)、菩提榕(*F. religiosa*)、柳叶榕(*F. binnendijkii*)、雅榕(*F. concinna*)等,也加入到试验研究对象中,并采用3S技术等更为科学有效的研究手段,以提高对榕属植物遮荫效果的全面了解。

参考文献:

- [1] 陈有民.园林树木学[M].2版.北京:中国林业出版社,2021.
- [2] 林强.榕属植物在福建省园林中的应用[J].福建林业科技,2004,31(4):129-133.
- [3] 闫长春.海南岛榕属植物资源及其园林应用研究[D].海口:海

- 南大学,2011.
- [4] 林 静,何云松,张玉武,等.贵州榕属植物的命名特点与园林应用评价[J].贵州科学,2015,33(5):52-55.
- [5] 罗泽榕,庄雪影.浅论榕属植物在岭南园林中的应用[J].广东园林,2004(3):30-33.
- [6] 江尊钦.桑科榕属植物在园林绿化中的应用研究——以福州为例[D].福州:福建农林大学,2011.
- [7] 蒋谦才,黄悦朝,李增祥.广东榕属观赏植物资源及其开发利用[J].亚热带植物科学,2004,33(4):48-51.
- [8] 王耿昌,魏理树,张雪平,等.基于 AHP 的福建省榕属植物园应用价值综合评价[J].东南园艺,2015,3(6):44-48.
- [9] 黄碧丽.福建泉州榕属植物园应用调查及合理利用对策[J].亚热带植物科学,2009,38(3):63-68.
- [10] 丁印龙,谭忠奇,林益明.厦门引种的榕属植物资源及其园林应用[J].亚热带植物科学,2008,37(4):51-54.
- [11] 和太平,李运贵.广西榕属观赏树木资源及其利用[J].广西科学院学报,1998,14(2):7-10.
- [12] 彭少麟,周 凯,叶有华,等.城市热岛效应研究进展[J].生态环境,2005(4):574-579.
- [13] 杨 莹,安慧君,王 冰,等.呼和浩特地区 5 种园林绿化树种 UVB 屏蔽效应研究[J].环境科学与技术,2011,34(4):31-34.
- [14] 陈明玲,靳思佳,阚丽艳,等.上海城市典型林荫道夏季温湿效应[J].上海交通大学学报(农业科学版),2013,31(6):81-85.
- [15] 许 敏,洪 波,姜润声.校园行道树对夏季室外行人热舒适的影响研究[J].中国园林,2020,36(3):139-144.
- [16] 黄秋燕,和太平.肇庆学院校园园林植物资源调查研究[J].林业调查规划,2022,47(1):116-123.
- [17] 黄秋燕,杨建欣.缓解热岛效应的园林树木遮荫设计[J].黑龙江农业科学,2022(5):69-73.
- [18] 吴 翼.树木遮荫与街道绿化[J].园艺学报,1963(3):295-308,335-336.
- [19] 陈耀华.关于行道树遮荫效果的研究[J].园艺学报,1988(2):135-138.
- [20] 陈耀华.关于园林树木遮荫效果定量分析方法的探讨[J].中国园林,1988(2):6,61-62.
- [21] RAHMAN M A, STRATOPOULOS L, MOSER-REISCHL A, et al. Traits of trees for cooling urban heat islands; A meta-analysis [J]. Building and Environment, 2020, 170: 106606.
- [22] SIMPSON J R . Improved estimates of tree-shade effects on residential energy use [J]. Energy and Buildings, 2002, 34 (10) : 1067-1076.
- [23] SMITHERS R.J, DCICK K J , BURTON A, et al. Comparing the relative abilities of tree species to cool the urban environment[J]. Urban Ecosystems, 2018, 21: 851-862.
- [24] ARMSON D, STRINGER P, ENNOS A R. The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area [J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2012, 11(3):245-255.
- [25] 胡喜生,郑 燕,陈 敏,等.不同行道树绿化带疏透度对降低交通噪音效果的对比[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2015,34(4):95-98,160.
- [26] 于守超,张秀省,冀芦莎.基于 Photoshop CS5 的植物叶面积测定方法[J].湖北农业科学,2012,51(15):3340-3342.
- [27] GAO K, SANTAMOURIS M, FENG J. On the efficiency of using transpiration cooling to mitigate urban heat [J]. Climate, 2020, 8 (6) : 69.
- [28] 白 雪.重庆市主城区常见行道树遮荫效果研究[D].重庆:西南大学,2017.
- [29] 关 任.济南市常见行道树遮荫效果研究[D].济南:山东建筑大学,2020.