

广州市风景游憩林树木空间分配特征研究^{*}魏玉晗¹ 胡柔璇² 许东先² 赵庆²

(1. 广东省岭南院勘察设计有限公司, 广东 广州 510599;

2. 广东省森林培育与保护利用重点实验室/广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520)

摘要 为明确风景游憩林常见树木空间分配特征, 揭示风景游憩林树种空间分配策略规律, 为提高风景游憩林景观健康和生态效益提供依据, 采用群落生态学的方法, 以 900 m² 样方为单元, 在广州随机设置风景游憩林群落样方, 利用手持激光雷达扫描仪进行每木调查, 测算三维绿量和林下游憩空间量, 再进行不同区位和不同类型风景游憩林的空间分配特征差异分析。结果表明: 不同区位和类型风景游憩林的空间分配特征相似。城郊风景游憩林根据不同观赏游憩功能需求以及不同树种的空间分配特征来配置; 树冠三维绿量和林下游憩空间存在总体协同但局部矛盾的关系, 三维绿量的增大能有效提高树木的生态效益, 但同时也可能压缩了林下游憩空间, 减少了居民享受树冠带来的降温减热等效益。

关键词 风景游憩林; 三维绿量; 遮阴降温; 林下游憩空间量; 空间分配

中图分类号: S732 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-2053 (2024) 01-0018-09

Study on Spatial Distribution Characteristics of Scenic and Recreational Forest in Guangzhou

WEI Yuhan¹ HU Rouxuan² XU Dongxian² ZHAO Qing²

(1. Guangdong Lingnanyuan Exploration and Design Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510599, China;

2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract To enhance the health and ecological benefits of scenic recreation, we elucidated their spatial distribution characteristics, which can be used to reveal strategic issues regarding the spatial distribution of common tree species. 900 m² quadrats were randomly set up in scenic recreational forest communities in Guangzhou, and each tree was surveyed using LiDAR. Then the living vegetation volume (LVV) and amount of recreational space on the forest floor (RSFF) were calculated, and the differences in spatial distribution characteristics across locations, and forest types were analyzed. The spatial distribution characteristics of trees were similar among different locations and forest types. Urban scenic recreational forest areas are thus configured based on aesthetics, recreational functions, and the spatial distribution characteristics of different tree species. Additionally, the relationship between the tree crown LVV and the RSFF was generally synergistic, yet contradictory. Although an increase in LVV can effectively improve ecological benefits, it may also reduce the RSFF and the benefits of cooling and heat reduction brought by the tree canopy.

^{*} 基金项目: 广东省林业科技创新项目 (2022KJCX009)。

第一作者: 魏玉晗 (1987—), 女, 高级工程师, 主要从事风景园林规划设计、城市林业设计, E-mail: 359905191@qq.com。

通信作者: 赵庆 (1985—), 男, 正高级工程师, 从事城市林业、风景园林研究, E-mail: zhaoqing@sinogaf.cn。

Key words scenic and recreational forest; three-dimensional green quantity; shade and cooling; the amount of recreation space under the forest; space allocation

城市化快速扩张带来的地表不透水面增加,加剧了城市热岛效应^[1-4],这不仅导致能源的巨大消耗^[5],同时也给城市居民带来生理和心理的诸多不利影响^[6-7],根据已发布的最新监测数据显示:2022年大湾区气温总体整体正常,平均气温22.7℃,与常年(22.6℃)基本持平,比2021年(23.5℃)偏低0.8℃。2022年大湾区平均高温日数(日最高气温 $\geq 35^\circ\text{C}$)30.8 d,较常年(19.4 d)偏多11.4 d,为有气象记录以来第二多(最多为2021年,39 d)^[8]。在这种长时间高温的影响下,通过何种方式来缓解高温对城市居民的影像,成为当前需要考虑的重点问题。

风景游憩林从城市核心区一直蔓延到城市近郊区,拥有较高的生态服务功能^[9],是现今生态文明建设的重要一环^[10],也是缓解城市热岛效应、降低环境温度的有效途径之一^[11-12],并为周边市民提供了休闲游憩、纾解压力的场所,具有良好的生态游憩价值^[13]。风景游憩林一方面能满足游憩者视觉审美需求,同时也能构建林下游憩空间,发挥森林的游憩功能^[14],提供较好的遮阴降温作用。目前国内外相关研究主要集中在人的游憩活动特征和心理,对森林游憩空间的形成和结构的研究较少。林菲菲等^[15]对城郊森林公园游憩满意度进行了调研,得出了游憩目的和可达程度对游憩满意度有显著正向影响;周娴等^[16]从游憩心理需要的角度对植物群落空间的私密度和空间特征关系进行量化研究,得到一些模型和规律。杨宏伟等^[17]通过问卷调查北京山地森林游憩的活动特征,得出了近郊的游憩活动行为较为密集,而部分远郊的森林游憩资源又得不到合理的利用,造成游憩资源的极大浪费。

为了更好的发挥风景游憩林的游憩功能必须要选择适合的树种,合理分配所选树种的林冠和林下空间。本研究以游憩林群落为研究对象,量化广州的不同风景游憩林类型林冠结构与林下游憩空间的关系,优化风景游憩林树木的空间分配,在发挥风景游憩林景观功能的同时,最大限度提供具有遮阴降温作用的林下游憩空间,精准提高风景游憩林的生态景观服务功能。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

选定位于粤港澳大湾区核心区域的广州市作为研究对象。广州市(22°26'~23°56'N, 112°57'~114°3'E)地处广东省中南部、珠江三角洲中北缘,是西江、北江、东江三江汇合处,属亚热带季风气候,以温暖多雨、光热充足、夏季长、霜期短为特征,全年平均气温21.9℃,是中国年平均温差最小的大城市之一。

游憩林样地均为城市人工营建的常绿阔叶森林群落,分别位于火炉山森林公园(城市近郊区UFA),华南农业大学(城市次核心区SUA)和广州发展公园(城市核心区CUA)。

1.2 调查方法

在考虑调查时间和成本情况下,设置样方大小为30 m×30 m,每1万m²抽取4个样方以满足准确表达森林群落的空间分布格局。保留以城市森林为主的样地进行调查,剔除以建筑、道路或湖泊为主的样地,共计调查60个样方,其中位于广州发展公园样方15个;华南农业大学样方25个;火炉山森林公园样方20个。

按照风景游憩林类型划分原则,根据样地分布位置的不同,将风景游憩林样方划分为核心林地和边缘林地。其中,核心林地分为核心有林地和核心疏林地(以下简称有林地和疏林地)。有林地样方为样方最远一边远离水体或建筑50 m以上,郁闭度0.20以上的林地;疏林地样方为样方最远一边远离水体或建筑50 m以上,郁闭度在0.10~0.19的林地,建筑旁林地样方为近建筑边距离建筑物小于50 m的林地^[18]。

对样方内所有胸径 ≥ 5 cm的树种进行每木检尺,调查的树木总共1 127株,并记录树种名称,并与手持激光雷达扫描仪SLAM-100得到的数据相匹配。

1.3 指标计算方法

1.3.1 三维绿量 使用手持激光雷达扫描仪SLAM-100(飞马,中国)对所有样方进行扫描,具体方法为:开机后静置站立10 s后,等状态指示灯变为绿色后,保持扫描仪处于身体前方,激光头朝上,围绕样方平稳缓慢行走。设置4个样

方的顶点为控制点，在控制点处将扫描仪的底座十字丝中心对准控制点中心，机头朝向任意，保证采集时间在 10 s 以上。采集过程中，避免人脸遮挡激光发射区域且机器整体不晃动。所有激光扫描数据存入 SD 卡后带回实验室拷出，使用 LiDAR 360 系统（北京数字绿土科技有限公司，中国）进行分析。首先，进行点云去噪，然后分离点云低点后得到点云地面点，从而生成数字高程模型 DEM。使用点云计算工具将 DEM 归一化，即可生成高精度的样方点云种子点。借助 TLS 编辑器将种子点中的错误点和干扰点删除，再使用批量处理功能将样地内的所有单木进行分离切割。分离出样方内所有单木后，使用系统自带的单木属性测量工具计算出所有单木的树高、胸径、冠幅、树冠高度、树冠投影面积、树冠体积等数据。根据上述数据参数，即可计算得到树冠体积，即三维绿量。

1.3.2 林下游憩空间量 林下游憩空间量反映风景游憩林为人们提供通行和游憩空间的大小。本文根据相关研究^[19] 定义林下游憩空间量为树冠垂直投影覆盖面积与乔木枝下净空乘积（枝下净空大于 2.2 m），具体公式为：

$$V_C = \sum_{i=1}^n M_i H_i$$

其中， V_C 表示林下游憩空间量（ m^3 ）， n 表示枝下净空大于 2.2 m 的乔木数量； M_i 表示第 i 株乔

木树冠垂直投影覆盖面积（ m^2 ）， H_i 表示第 i 株乔木的枝下净空（m）； M_i 和 H_i 数据由手持激光雷达扫描仪 SLAM-100（飞马，中国）获取。

1.3.3 三维绿量和林下游憩空间量的分配特征 三维绿量和林下游憩空间量的分配特征是不同的风景游憩林树种在某一场景下所提供的主要功能呈现。本文以将风景游憩林空间分配特征定义为三维绿量和林下游憩空间量的比值。

$$S_A = \frac{V_G}{V_C}$$

其中， S_A 为空间分配特征， V_G 表示三维绿量（ m^3 ）， V_C 表示林下游憩空间量（ m^3 ），当 $S_A < 1.0$ ，表明风景游憩林树种倾向于分配更多的林下游憩空间；当 $S_A < 0.5$ ，表明风景游憩林树种林下游憩空间占据了绝对优势；当 S_A 处在 0.5~1.0 时，表明风景游憩林林下游憩空间稍优于三维绿量；当 $S_A \geq 1.0$ ，表明风景游憩林三维绿量优于林下游憩空间量；当 S_A 处在 0.5~3.0，表明风景游憩林空间分配有较强的多样性。

2 结果与分析

2.1 城市风景游憩林空间分配特征

对所有研究样方中数量前 30 个树种进行分析，比较不同树种冠层空间与林下游憩空间的分配特征。由图 1 可知，广州市风景游憩林种群数

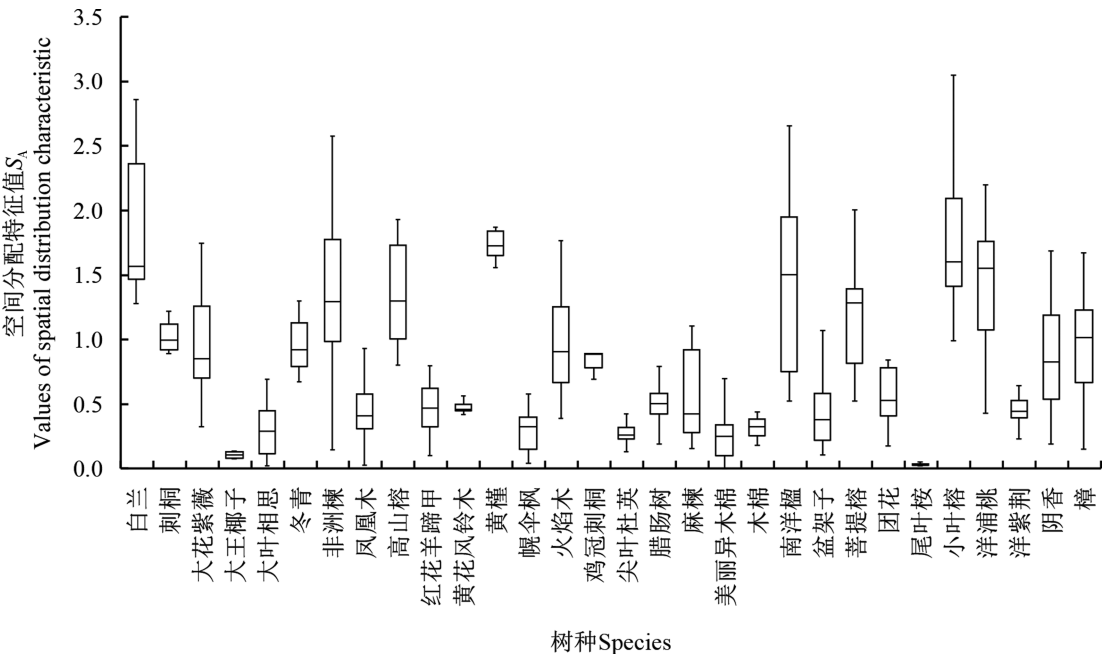


图 1 广州市风景游憩林空间分配特征值
Fig. 1 S_A of different tree species in Guangzhou

量前 30 个树种中, $S_A < 1.0$ 的单株占比为 78%, 表明在城市公园风景游憩林中, 大部分树木林下游憩空间相对较大。

$S_A \geq 1.0$ 的树种有白兰 *Michelia × alba*、非洲楝 *Khaya senegalensis*、高山榕 *Ficus altissima*、黄槿 *Talipariti tiliaceum*、南洋楹 *Falcataria falcata*、菩提榕 *Ficus religiosa*、小叶榕 *Ficus concinna*、洋蒲桃 *Syzygium samarangense*, 表明这些树种的三维绿量优于林下游憩空间, 而铁冬青 *Ilex rotunda*、火焰木 *Spathodea campanulata*、樟 *Camphora officinarum* 的 S_A 处在 0.5~3.0, 表明这些树种的林下空间分配有较强的多样性。

2.2 不同区域风景游憩林空间分配特征

对位于城市核心区、城市次核心区、城市近郊区 3 种不同区域的研究林地中种群进行分析, 比较不同树种冠层空间与林下游憩空间的垂直空间分布。

2.2.1 城市核心区不同树种空间分配特征 由图 2 可知, 城市核心区风景游憩林种中, 树冠体积和林下游憩空间比值小于 1.0 的单株占比为 58%, 表明在城市公园风景游憩林中, 大部分树木林下游憩空间相对较大。 $S_A < 1.0$ 的树种为非洲楝、海南蒲桃 *Syzygium hainanense*、南洋楹、小叶榕、洋蒲桃 *Syzygium samarangense*、樟, 表明这些树种的树冠体积稍优于林下游憩空间, 而大花紫薇 *Lagerstroemia speciosa*、火焰木、印度紫檀 *Pterocarpus indicus* 的树

冠体积和林下游憩空间比值总体为 0.5~3.0, 表明这些树种的垂直空间分布有较强的多样性。

2.2.2 城市次核心区不同树种树冠体积和林下游憩空间比值 由图 3 可知, 城市次核心区风景游憩林中, $S_A < 1.0$ 的单株占比为 77%, 表明在城市公园风景游憩林中, 大部分树木林下游憩空间相对较大。 $S_A \geq 1.0$ 的树种为白兰、构树 *Broussonetia papyrifera*、南洋杉 *Araucaria cunninghamii*、山楝 *Aphanamixis polystachya*、橡胶榕 *Ficus elastica*, 表明该树种的树冠体积稍优于林下游憩空间, 而菩提榕、阴香 *Cinnamomum burmanni* 树冠体积和林下游憩空间比值总体为 0.5~3.0, 表明该树种的垂直空间分布有较强的多样性。

2.2.3 城市近郊区不同树种树冠体积和林下游憩空间比值 由图 4 可知, 城市近郊区风景游憩林种中, $S_A < 1.0$ 的单株占比为 84%, 表明在城市公园风景游憩林中, 大部分树木林下游憩空间相对较大。 $S_A \geq 1.0$ 的树种为菠萝蜜 *Artocarpus heterophyllus*、非洲楝、高山榕、格木 *Erythrophleum fordii*、黄槿、假苹婆 *Sterculia lanceolata*、菩提榕、小叶榕, 表明这些树种的树冠体积稍优于林下游憩空间, 而澳洲鸭脚木 *Schefflera macrostachya*、人面子 *Dracontomelon duperreanum*、樟的树冠体积和林下游憩空间比值总体为 0.5~3.0, 表明这些树种的垂直空间分布有较强的多样性。

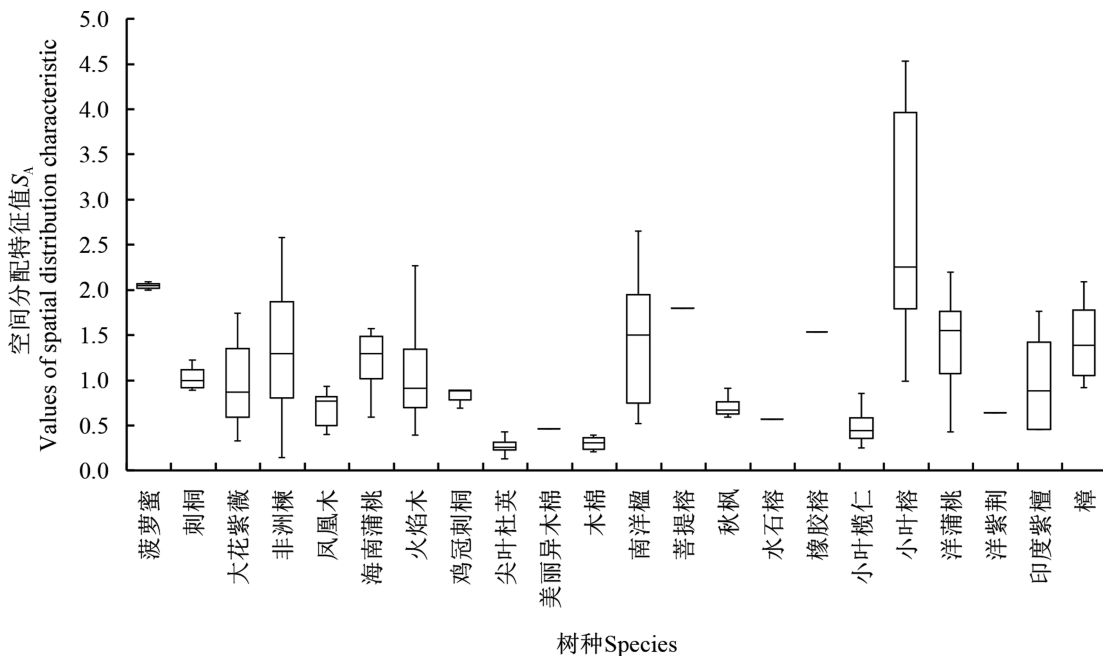


图 2 城市核心区风景游憩林空间分配特征
Fig. 2 S_A of different tree species in core urban areas

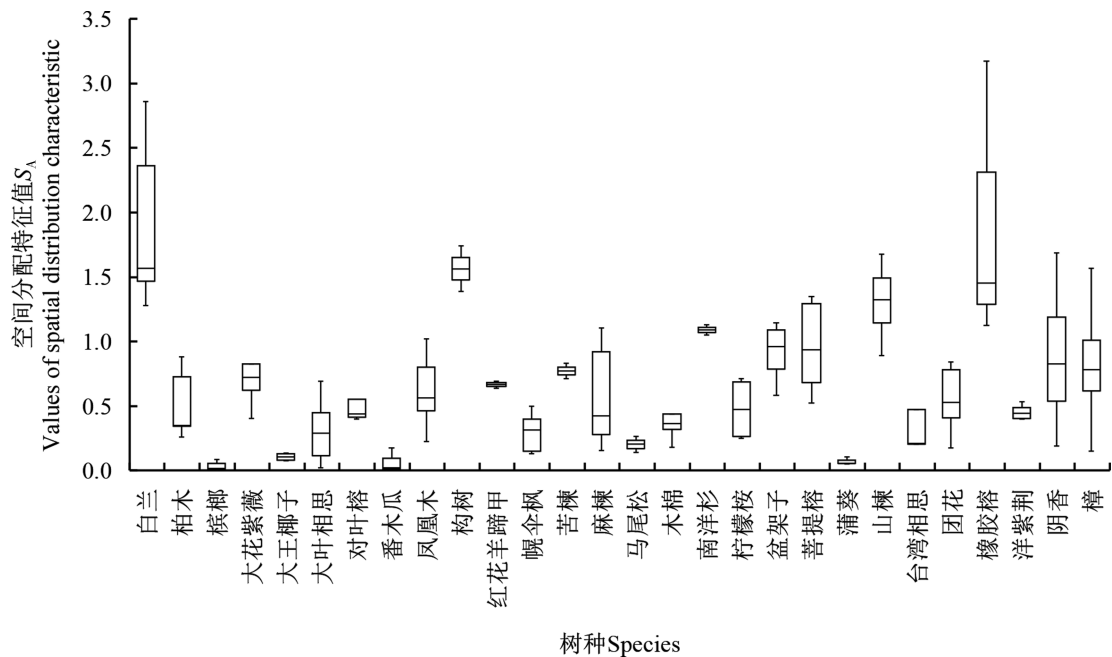


图 3 城市次核心区风景游憩林空间分配特征值
Fig. 3 S_A of different tree species in semi-urban areas

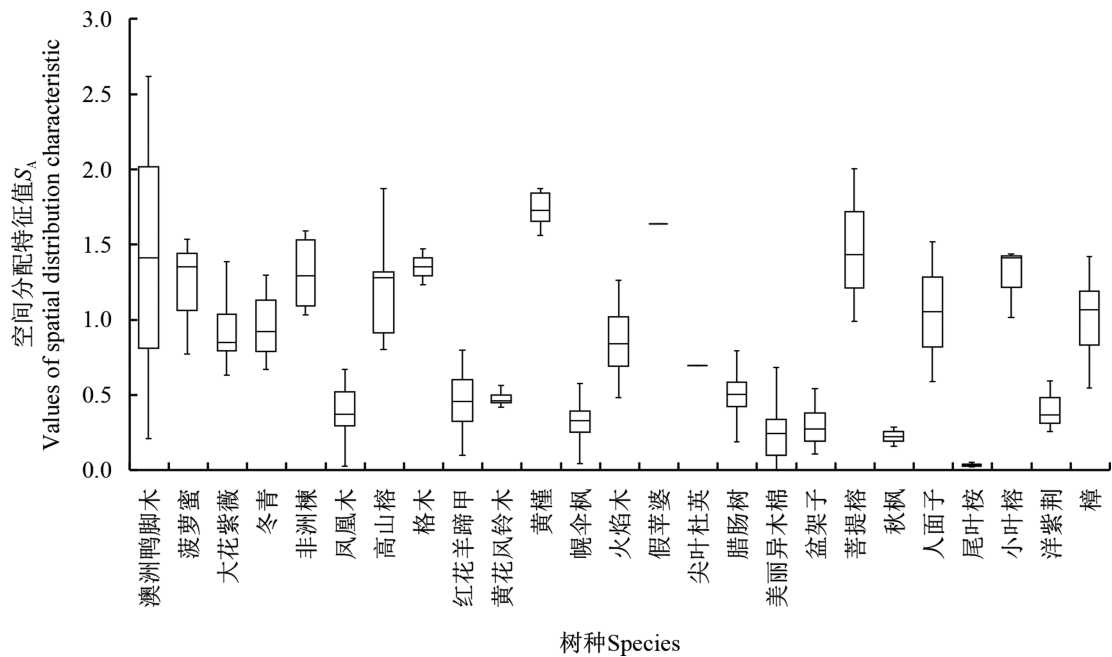


图 4 城区近郊区风景游憩林空间分配特征值
Fig. 4 S_A of different tree species in urban fringe areas

2.2.4 同一树种在不同区域的风景游憩林树冠体积和林下游憩空间比值分析 本研究对核心区、次核心区、近郊区中都有出现的树种进行分析,发现在不同区域风景游憩林中,同一树种其林冠体积与林下游憩空间比值基本相同(表1)。观叶树种菩提榕在次核心区林下空间分配有较强的多样性,在核心区、近郊区林冠体积占优势,观叶

树种樟在近郊区林下空间分配有较强的多样性;其他树种都是林下游憩空间相对占优势。

2.3 不同类型风景游憩林树冠体积和林下游憩空间量的对比

2.3.1 有林地不同树种树冠体积和林下游憩空间比值 由图5可知,有林地风景游憩林种群中, $S_A < 1.0$ 的单株占比为78%,表明在城市公园风景游

表 1 同一树种在不同区域风景游憩林空间分配特征值
Table 1 S_A of the same tree species in core urban areas, semi-urban areas and urban fringe areas

树种 Species	学名 Scientific name	科属 Family and genus	树冠体积 V/林下游憩空间 R Spatial distribution characteristics			是否落叶 Deciduous/ evergreen	花期 Flowering period	观花、观叶 Flowering/ foliage
			核心区	次核心区	近郊区			
			CUA	SUA	UFA			
大花紫薇	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	千屈菜科紫薇属	II	II	II	落叶	5—7 月	观花（紫色系）
凤凰木	<i>Delonix regia</i>	豆科凤凰木属	II	II	I	落叶	6—7 月	观花（红色系）
菩提榕	<i>Ficus religiosa</i>	桑科榕属	III	IV	III	常绿	3—4 月	观叶
洋紫荆	<i>Bauhinia variegata</i>	苏木科羊蹄甲属	II	I	I	落叶	3—4 月	观花（粉色系）
樟	<i>Camphora officinarum</i>	樟科樟属	II	II	IV	常绿	4—5 月	观叶

注：表格中“Ⅰ”表示 S_A 总体为 <0.5；“Ⅱ”表示 S_A 总体为 0.5~1.0；“Ⅲ”表示 S_A 总体为 ≥1.0；“Ⅳ”表示 V/R 的比值总体为 0.5~3.0。
Note: “Ⅰ” in the table indicates S_A <0.5; “Ⅱ” indicates S_A 0.5~1.0; “Ⅲ” indicates S_A ≥1.0; and “Ⅳ” indicates S_A 0.5~3.0.

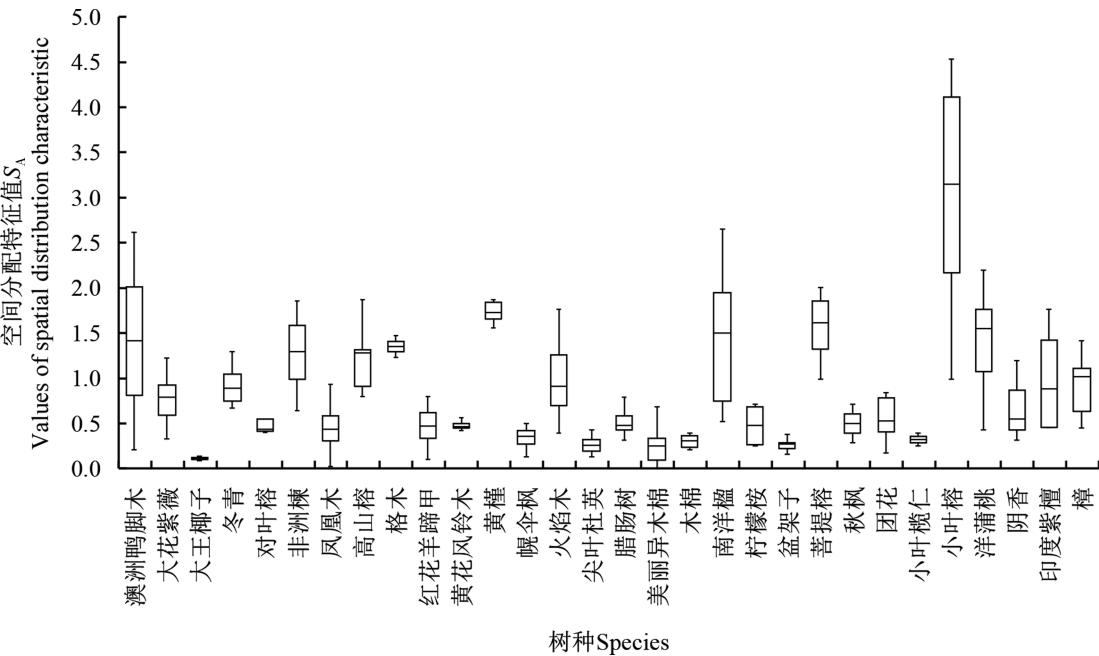


图 5 有林地不同树种空间分配特征值
Fig. 5 S_A of different tree species in closed forests

憩林中，大部分树木林下游憩空间相对较大。 S_A ≥1.0 的树种为非洲楝、高山榕、格木、黄槿、菩提榕、小叶榕、洋蒲桃，表明这些树种的树冠体积稍优于林下游憩空间，而澳洲鸭脚木、火焰木、南洋楹、印度紫檀的树冠体积和林下游憩空间比值总体为 0.5~3.0，表明这些树种的垂直空间分布有较强的多样性。

2.3.2 疏林地不同树种树冠体积和林下游憩空间比值 由图 6 可知，疏林地风景游憩林种群中， S_A <1.0 的单株占比为 73%，表明在城市公园风景游

憩林中，大部分树木林下游憩空间相对较大。 S_A ≥1.0 的树种为大花紫薇、山楝、小叶榕、樟，表明这些树种的树冠体积稍优于林下游憩空间，而非洲楝、人面子的树冠体积和林下游憩空间比值总体为 0.5~3.0，表明这些树种的垂直空间分布有较强的多样性。

2.3.3 建筑旁林地不同树种树冠体积和林下游憩空间比值 由图 7 可知，建筑旁林地风景游憩林种群中， S_A <1.0 的单株占比为 74%，表明在城市公园风景游憩林中，大部分树木林下游憩空间相对

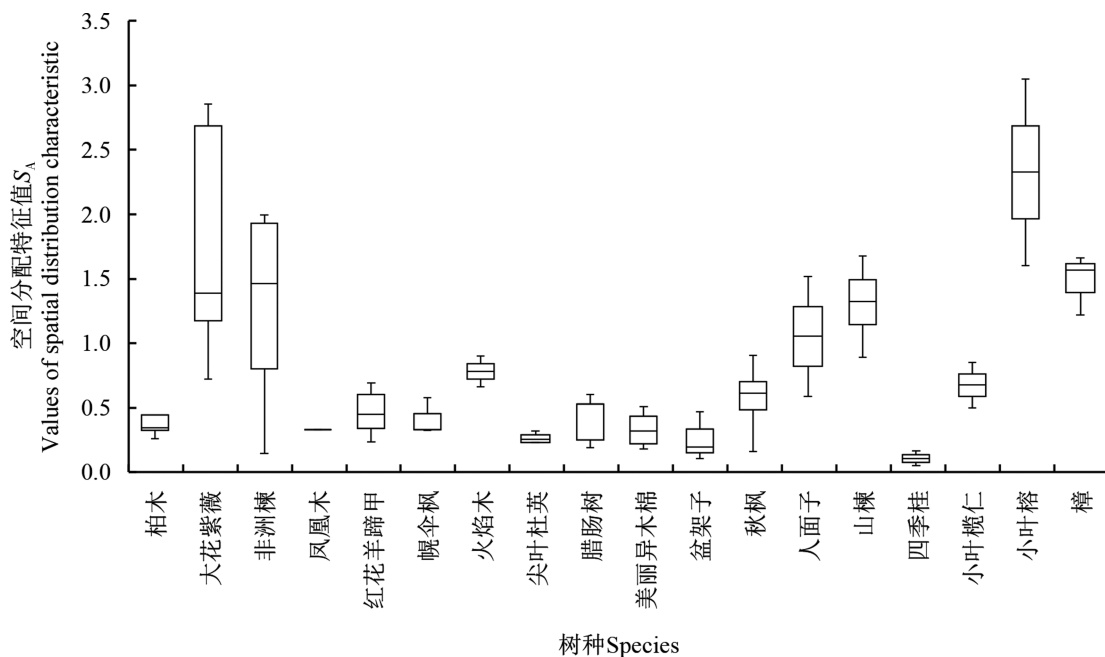


图 6 疏林地不同树种空间分配特征值

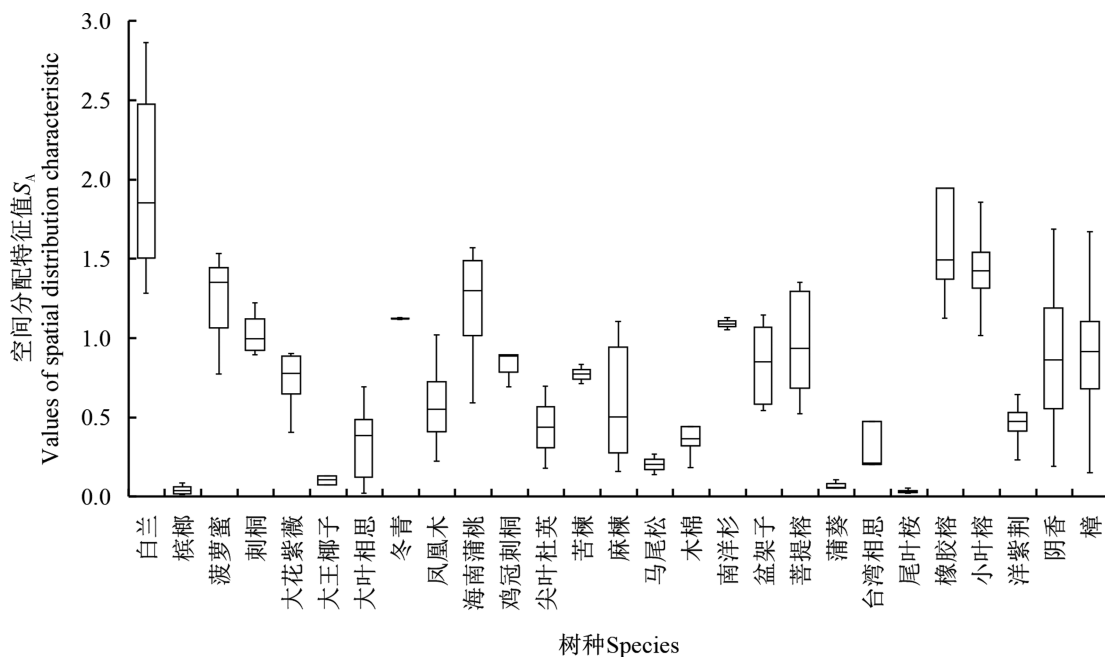
Fig. 6 S_A of different tree species in open woodlands

图 7 建筑旁林地不同树种空间分配特征值

Fig. 7 S_A of different tree species in forest areas beside buildings

较大。 $S_A \geq 1.0$ 的树种为白兰、菠萝蜜、铁冬青、海南蒲桃、南洋杉、橡胶榕、小叶榕,表明这些树种的树冠体积稍优于林下游憩空间,而刺桐 *Erythrina variegata*、菩提榕的树冠体积和林下游憩空间比值总体为 0.5~3.0,表明这些树种的垂直空间分布有较强的多样性。

2.3.4 同一树种在不同类型风景游憩林 S_A 分析

对有林地、疏林地、建筑旁林地都有出现的树种进行分析,发现在不同类型风景游憩林中,同一树种其 S_A 所处的区间相似性较高(表 2)。观花树种大花紫薇在疏林地、建筑旁林地林冠体积占优势,观叶树种小叶榕在不同类型风景游憩林中都是林冠体积占优势,观叶树种樟在疏林地林冠体积占优势;其他树种在不同类型风景游憩林都是

表 2 同一树种在不同类型风景游憩林空间分配特征值
Table 2 S_A of the same tree species in different types of forests

树种 Species	学名 Scientific name	科属 Family and genus	树冠体积 V/林下游憩空间 R Spatial distribution characteristics			是否落叶 Deciduous/ evergreen	花期 Flowering period	观花、观叶 Flowering /foliage
			有林地 Closed forest	疏林地 Open woodland	建筑旁林地 Forest areas beside buildings			
大花紫薇	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	千屈菜科紫薇属	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	落叶	5—7 月	观花（紫色系）
凤凰木	<i>Delonix regia</i>	豆科 凤凰木属	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	落叶	6—7 月	观花（红色系）
尖叶杜英	<i>Elaeocarpus rugosus</i>	杜英科 杜英属	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	常绿	8—9 月	观叶
盆架子	<i>Alstonia scholaris</i>	夹竹桃科鸡骨常山属	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	常绿	6—11 月	观叶
小叶榕	<i>Ficus concinna</i>	桑科榕属	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	常绿	3—6 月	观叶
樟	<i>Camphora officinarum</i>	樟科樟属	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	常绿	4—5 月	观叶

注：表格中“Ⅰ”表示 S_A 总体为 <0.5 ；“Ⅱ”表示 S_A 总体为 $0.5\sim1.0$ ；“Ⅲ”表示 S_A 总体为 ≥ 1.0 ；“Ⅳ”表示 V/R 的比值总体为 $0.5\sim3.0$ 。

Note: “Ⅰ” in the table indicates $S_A<0.5$; “Ⅱ” indicates $S_A\ 0.5\sim1.0$; “Ⅲ” indicates $S_A\geq 1.0$; and “Ⅳ” indicates $S_A\ 0.5\sim3.0$.

林下游憩空间相对占优势。

3 讨论与结论

3.1 树木通过树冠形成了林下游憩空间，并提供了良好的遮阴降温作用。然而，如何平衡林下游憩真实的活动空间和林下植被量，关系到风景游憩林群落中下层的配置，并发挥游憩功能的最大化。在城郊森林公园中，林下空旷地与林下少量植被共同构成了其游憩空间^[20]。林下的小乔木和灌木也对林下游憩的真实活动空间具有直接影响，因此，下一步需要构建反映林下游憩真实的活动空间和林下植被量的综合评价指标参数，从而更加真实的反映和评价风景游憩林林下游憩空间配置。

风景游憩林空间分配特征，与游客游憩空间选择行为偏好相关。李明阳等^[21]对游客风景林美景度与游憩活动适宜度进行问卷调查，发现不同的游憩活动需要的游憩空间不同，当游客进行休闲娱乐型游憩活动均需要地势比较平坦的林分开敞空间，林冠体积、郁闭度等因子对其影响不大，进行观光型游憩活动及疗养度假游憩活动时，对风景游憩林美景度要求较高，林冠体积、郁闭度等因子对其影响较大。

风景游憩林是相对较为自然的城市森林，其人工干预程度相对较低，植物景观更具自然属性。曾瑶等^[22]对游憩者行为进行了研究，发现许多游

憩者喜欢安静自然的环境，前来散步或欣赏风景，建议林下空间能多设置休息设备和路径，更能满足游憩需求，方便游憩者在林下的活动。

3.2 本研究通过对林冠体积和林下游憩空间的对比分析，得出如下结论：大部分观花树种，林冠体积占比偏小；观叶树种林冠体积占比相对较大，其遮荫效果较好。风景游憩林应根据不同树种的空间分配特征来配置。如大花紫薇在不同区域、不同类型的风景游憩林其 S_A 都稳定在 $0.5\sim1.0$ 之间，而黄花风铃木的林冠体积占比更小，占比都小于 0.5 ，说明大花紫薇、黄花风铃木受外界干扰较小，黄花风铃木属于观花树种，盛花期满树黄花观赏性较强，但花期过后其冠幅偏小，林冠体积不足，因此该树种适合种植在有观赏需求的区域，不适合种植在有遮荫需求的区域。凤凰木、美丽异木棉、木棉属于典型的观花景观树种，林冠空间是决定景观效果的关键性因子，然而从空间分配策略上看，上述 3 个树种的林下游憩空间占据绝对优势，这与树种自身的特点有矛盾。

树冠三维绿量和林下游憩空间是相辅相成，同时在某些时刻又是相互矛盾的。三维绿量的增大能有效提高树木的生态效益，但同时也可能压缩了林下游憩空间，减少了城市居民享受树冠带来的降温减热等效益。因此，在风景游憩林配置时，应根据主体功能需求，合理选用树种空间分配策略，使得树尽其用。

参考文献

- [1] MÜLLER N, KUTTLER W, BARLAG A B. Counteracting urban climate change: adaptation measures and their effect on thermal comfort [J]. Theoretical Applied Climatology, 2014(115):243–257.
- [2] GRIMMOND C S B, OKE T R. Heat storage in urban areas: local-scale observations and evaluation of a simple model[J]. Journal of applied meteorology, 1999(83):922–940.
- [3] OKE T R. The micrometeorology of the urban forest [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences, 1989(324):335–349.
- [4] DEILAMI K, KAMRUZZAMAN M, LIU Y. Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures [J]. International journal of applied earth observation and geoinformation, 2018(67):30–42.
- [5] SANTAMOURIS M, PAPANIKOLAOU N, LIVADA I, et al. On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings [J]. Solar energy, 2001(70):201–216.
- [6] SANTAMOURIS M, PARAPONIARIS K, MIHALAKAKOU G. Estimating the ecological footprint of the heat island effect over Athens, Greece [J]. Climatic Change, 2007(80):265–276.
- [7] AKITT J. Some observations on the greenhouse effect at the Earth's surface [J]. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2018(188):127–134.
- [8] 广东省气象局, 香港天文台, 澳门地球物理暨气象局. 2022 年粤港澳大湾区气候监测公报 [Z]. 2023–7–5.
- [9] 王韶晗, 宋爽, 石梦溪, 等. 城郊森林公园康养景观质量评价体系的构建: 以黑龙江加格达奇国家森林公园为例 [J]. 东北林业大学学报, 2022, 50(12):60–65.
- [10] 钱铖. 基于 GIS 技术的森林公园游览路线规划研究: 以广州增城南香山森林公园为例 [D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2022.
- [11] RAHMAN M A, SMITH J G, STRINGER P, et al. Effect of rooting conditions on the growth and cooling ability of *Pyrus calleryana* [J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2011, 10(3):185–192.
- [12] RÖTZER T, RAHMAN M A, MOSER-REISCHL A, et al. Process based simulation of tree growth and ecosystem services of urban trees under present and future climate conditions [J]. Sci. Total Environ, 2019(676):651–664.
- [13] 房城, 王成, 郭二果, 等. 城郊森林公园游憩与游人生理健康关系: 以北京百望山森林公园为例 [J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(3):87–88.
- [14] 李房英, 朱哲民, 周璐, 等. 基于多元回归模型的城郊森林公园绿色锻炼空间吸引力研究 [J]. 西北林学院学报, 2020, 35(6):288–295.
- [15] 林菲菲, 陈秋华, 严羽爽, 等. 城郊森林公园游憩满意度影响因素研究 [J]. 中国林业经济, 2020, (2):79–83.
- [16] 周娴, 靳思佳, 车生泉. 城市公园植物群落空间特征与私密度关系研究: 以杭州为例 [J]. 中国园林, 2012, 28(5):99–103.
- [17] 杨宏伟, 田甜, 李涛, 等. 北京山地森林游憩中游憩者活动特征研究 [J]. 北京林业大学学报(社会科学版), 2008, 7(4):27–32.
- [18] 赵庆, 胡柔璇, 许东先, 等. 佛山市公园风景游憩林的群落结构特征 [J]. 浙江农林大学学报, 2020, 37(3):447–455.
- [19] 赵庆, 章驰, 胡柔璇, 等. 珠海市城区风景游憩林三维绿量与林下游憩空间量特征 [J]. 浙江农林大学学报, 2021, 38(3):534–540.
- [20] GAO X, LI C, CAI Y, et al. Influence of scale effect of canopy projection on understory microclimate in three subtropical urban broad-leaved forests [J]. Remote Sensing, 2021, 13(18):3786.
- [21] 李明阳, 崔志华, 申世广, 等. 紫金山风景林美学评价与森林游憩活动适宜度量化模型研究 [J]. 北京林业大学学报(社会科学版), 2008, 7(3):6–11.
- [22] 曾瑶, 齐童. 北京市郊野公园游憩设施及游憩者行为偏好研究 [J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2012, 33(1):62–66.