

## 珠海市城区风景游憩林三维绿量与林下游憩空间量特征

赵庆<sup>1</sup>, 章驰<sup>1</sup>, 胡柔璇<sup>1</sup>, 许东先<sup>1</sup>, 钱万惠<sup>1</sup>, 魏玉晗<sup>2</sup>, 唐洪辉<sup>1</sup>

(1. 广东省林业科学研究院 广东省森林培育与保护利用重点实验室, 广东 广州 510520; 2. 广东省岭南综合勘察设计院, 广东 广州 510663)

**摘要:** 【目的】明确不同生态位风景游憩林的三维绿量(3DGQ)和林下游憩空间量(FRS)特征, 揭示风景游憩林构建的规律和存在的问题。【方法】采用群落生态学的方法分别在广东省珠海市前山公园(13个样方)、北理工珠海学院(14个样方)和梅华城市公园(26个样方)设置风景游憩林群落研究林地, 结合高分遥感影像, 进行每木调查。测算三维绿量和林下游憩空间量, 分析不同区位风景游憩林的差异。【结果】位于城市近郊区(UFA)的前山公园风景游憩林单位面积绿量最低。单木绿量较大的树种有白兰 *Michelia × alba*、小叶榕 *Ficus microcarpa*、樟树 *Cinnamomum camphora*、荔枝 *Litchi chinensis*、非洲楝 *Khaya senegalensis*、高山榕 *Ficus altissima*、凤凰木 *Delonix regia*、阴香 *Cinnamomum burmannii*。3个研究林地三维绿量分布有一定差异, 位于城市核心区(CUA)的梅华城市公园三维绿量分布较均匀; 树木胸径与其三维绿量呈正相关, 相关系数与树种树冠形状有关。凤凰木、美丽异木棉 *Ceiba speciosa*、木棉 *Bombax ceiba* 和秋枫 *Bischofia javanica* 的空间分配策略为林下游憩空间占据绝对优势, 白兰的空间分配策略有较强的多样性。【结论】随着研究林地地理位置由城市核心向城市近郊过渡, 单位面积三维绿量逐渐减小, 绿量分布迅速趋于集中; 胸径与三维绿量的正相关关系受树冠形态影响; 风景游憩林构建过程中, 冠层空间和林下游憩空间的分配应结合树种特点进行。图3表1参30

关键词: 风景游憩林; 三维绿量; 林下游憩空间量; 空间分配策略

中图分类号: S731.2 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2021)03-0534-07

## Characteristics of the three-dimensional green quantity and recreation space for landscape-recreational forests in Zhuhai City

ZHAO Qing<sup>1</sup>, ZHANG Chi<sup>1</sup>, HU Rouxuan<sup>1</sup>, XU Dongxian<sup>1</sup>, QIAN Wanhui<sup>1</sup>, WEI Yuhang<sup>2</sup>, TANG Honghui<sup>1</sup>

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture Protection and Utilization, Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China; 2. Lingnan Integrated Exploration and Design Institute of Guangdong, Guangzhou 510663, Guangdong, China)

**Abstract:** [Objective] This study is aimed to clarify the three-dimensional green quantity (3DGQ) and the characteristics of forest recreation space (FRS) of landscape-recreational forests at different niches, and reveal the rules of constructing landscape-recreation forests and the existing problems. [Method] On the basis of the community ecology theory, with 13, 14 and 26 sample plots selected from Qianshan Park, Zhuhai Institute of BIT, and Meihua City Park respectively as the subjects, each tree was surveyed using high-resolution remote sensing images before 3DGQ and FRS were calculated to analyze the differences between different location of landscape-recreation forests. [Result] Qianshan Park, located in the core urban area (CUA), had the lowest 3DGQ density. *Michelia × alba*, *Ficus microcarpa*, *Cinnamomum camphora*, *Litchi chinensis*, *Khaya*

收稿日期: 2020-07-17; 修回日期: 2021-01-04

基金项目: 广东省林业科技创新项目(2019KJCX009)

作者简介: 赵庆(ORCID: 0000-0003-3744-1689), 高级工程师, 博士, 从事城市林业、风景园林研究。E-mail: zhaoping@sinogaf.cn. 通信作者: 唐洪辉(ORCID: 0000-0002-3654-8188), 教授级高级工程师, 从事城市林业研究。E-mail: 787226271@qq.com

*senegalensis*, *Ficus altissima*, *Delonix regia* and *Cinnamomum burmannii* displayed high values of 3DGQ. The three sites showed different spatial distributions of 3DGQ, and Meihua City Park which was located in the core urban area had relatively even distribution of 3DGQ than the others. There was a positive correlation between DBH and 3DGQ, which was related to the crown shapes of trees. In terms of the spatial allocation, for *D. regia*, *Ceiba speciosa*, *Bombax ceiba* and *C. camphora*, superiority was given to FRS, while for *M. ×alba*, various spatial allocation strategies were adopted. [Conclusion] The 3DGQ density decreases while the distribution of 3DGQ showed a strong central tendency with the location of landscape-recreational forests shifting from the core urban area to the sub-urban area (SUA) and finally to urban fringe area (UFA). The correlation coefficient between DBH and 3DGQ is related to the crown shapes of tree species and the features of different tree species in the progress of the construction of landscape-recreation forest should be taken into consideration in the allocation of canopy space and recreation space. [Ch, 3 fig. 1 tab. 30 ref.]

**Key words:** landscape-recreational forest; three-dimensional green quantity; forest recreation space; the spatial allocation strategy

“景观”和“游憩”是城市森林的重要功能<sup>[1-3]</sup>。发挥城市森林“景观”功能的主要载体是林冠的“绿量”，而“游憩”功能则通过建立林下空间来实现。国家林业和草原局于 2019 年提出 GB T37342-2019《国家森林城市评价指标》，旨在建立城乡一体化森林生态系统建设考核指标，并形成标准进行约束<sup>[4]</sup>。其中，涉及森林“绿量”的评价指标有市域森林覆盖率、新造林面积、城区绿化覆盖率、城区人均公园绿地面积、城区街道绿化（树冠覆盖率）、城区地面停车场绿化（乔木树冠覆盖率）等，用以表现城市总体绿化数量，但在推算城市绿化质量时会出现很大偏差。研究发现：2 块面积形状相同、乔木数量和冠幅也相同的绿地，乔木高度不同时，其三维空间层面的绿量有显著差异，从而影响城市森林景观功能的发挥<sup>[5]</sup>。目前，中国城市森林建设中普遍存在过于讲求增加森林覆盖率的现象，对森林质量的要求相对忽视，树木人为矮化、垂直结构不合理、修剪严重等现象时常出现，城市森林绿量较小。城市森林不同于自然林，它具有一定的区位特殊性<sup>[6-8]</sup>和功能侧重性<sup>[9-13]</sup>，“游憩”是城市森林的重要功能之一，需要通过构建一定数量的林下空间来实现。林下空间是城市森林空间占有量的有机组成部分，是人们利用最充分的活动场所。城市中人口密集，休闲活动空间有限，且多被硬化场地、草坪等所占据，利用率极低；同时部分林木枝下高过低，通透性差，严重影响了林下空间，限制了林内的游憩行为。本研究以广东省珠海市的城市公园风景林为研究对象，测算城市风景游憩林的林冠三维绿量（3DGQ）和林下游憩空间量（FRS），分析城市森林空间分配策略，从而引导城市森林生态服务功能的高效发挥和健康发展。

## 1 研究林地概况

珠海市地处广东省南部（21°48′~22°27′N，113°03′~114°19′E），珠江出海口西岸，是珠江三角洲中心城市之一、珠江口西岸的核心城市、粤港澳大湾区重要节点城市。属亚热带季风海洋性气候，气候湿润，年平均气温为 22.5℃，年平均相对湿度为 80%，年平均降水量为 2 061.9 mm。选定的风景游憩林均为城市人工营建的常绿阔叶林，其中前山公园位于城市近郊区（CUA），林地面积约 3.78 万 m<sup>2</sup>；北理工珠海学院位于城市次核心区（SUA），林地面积约 4.40 万 m<sup>2</sup>；梅华城市公园位于城市核心区（UFA），林地面积约 8.07 万 m<sup>2</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 样地调查方法

采用森林群落生态学研究方法，参照周红敏等<sup>[14]</sup>方法选取样方，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 m<sup>2</sup>抽取 4 个样方以准确表达森林群落的空间分布格局。其中前山公园风景游憩林群落样地设置调查样方 13 个，北理工珠海学院 14 个，梅华城市公园 26 个。所有样方随机

选取,尽可能互不相邻,尽量选择树木种类、配植和体量有一定差异的样方,水面、建筑、纯草地占比面积不超过1/3。所有样方的植被进行每木检尺,记录胸径 $\geq 5.0$  cm的树种名称,测定胸径、树高、冠幅、树冠净空高度等指标。

## 2.2 指标计算方法

2.2.1 三维绿量 三维绿量的计算参考郭雪艳等<sup>[15]</sup>,不同树冠形态树种树冠体积计算公式不同。以 $x$ 表示平均冠径(m),即东西和南北树冠长度的平均值,以 $y$ 表示冠高(m),通过文献查阅确定不同树种的树冠形态<sup>[16-22]</sup>,分别计算树冠体积( $V$ ,  $m^3$ ),确定树冠三维绿量(表1)。

表1 树冠形态分类及树冠体积

Table 1 Classification of crown morphology and calculation of crown volume

树冠形状	树种	体积公式
球形	四季桂 <i>Osmanthus fragrans</i> 、黄金榕 <i>Ficus microcarpa</i>	$V=\pi x^2 y/6$
卵形	白兰 <i>Michelia × alba</i> 、垂柳 <i>Salix babylonica</i> 、翻白叶树 <i>Pterospermum heterophyllum</i> 、红苞木 <i>Rhodoleia championii</i> 、黄金香柳 <i>Melaleuca bracteata</i> 、黄皮 <i>Clausena lansium</i> 、木荷 <i>Schima superba</i> 、桑 <i>Morus alba</i> 、铁冬青 <i>Ilex rotunda</i> 、土蜜树 <i>Bridelia tomentosa</i> 、樟树 <i>Cinnamomum camphora</i> 、海南蒲桃 <i>Syzygium hainanense</i> 、蒲葵 <i>Livistona chinensis</i>	$V=\pi x^2 y/6$
圆锥形	罗汉松 <i>Podocarpus macrophyllus</i> 、竹柏 <i>Nageia nagi</i> 、马占相思 <i>Acacia mangium</i> 、台湾相思 <i>Acacia confusa</i> 、马尾松 <i>Pinus massoniana</i> 、南洋杉 <i>Araucaria columnaris</i> 、鱼尾葵 <i>Caryota maxima</i> 、红车 <i>Syzygium rehderianum</i>	$V=\pi x^2 y/12$
半球形/扁圆形	紫薇 <i>Lagerstroemia indica</i> 、黄槿 <i>Hibiscus tiliaceus</i> 、大花紫薇 <i>Lagerstroemia speciosa</i> 、鸡蛋花 <i>Plumeria rubra</i> 、黄槐决明 <i>Senna surattensis</i> 、小叶榕 <i>Ficus microcarpa</i> 、潺槁木姜子 <i>Litsea glutinosa</i> 、刺桐 <i>Erythrina variegata</i> 、非洲楝 <i>Khaya senegalensis</i> 、莲雾 <i>Syzygium samarangense</i> 、蒲桃 <i>Sterculia monosperma</i> 、阴香 <i>Cinnamomum burmannii</i> 、印度紫檀 <i>Pterocarpus indicus</i> 、高山榕 <i>Ficus altissima</i> 、荔枝 <i>Litchi chinensis</i>	$V=\pi x^2 y/6$
球扇形	大叶相思 <i>Acacia auriculiformis</i> 、洋紫荆 <i>Bauhinia variegata</i> 、红花紫荆 <i>Bauhinia × blakeana</i> 、蓝花楹 <i>Jacaranda mimosifolia</i> 、柳叶榕 <i>Ficus binnendijkii</i> 、窿缘桉 <i>Eucalyptus exserta</i> 、麻楝 <i>Chukrasia tabularis</i> 、杧果 <i>Mangifera indica</i> 、美丽针葵 <i>Phoenix canariensis</i> 、秋枫 <i>Bischofia javanica</i> 、盆架子 <i>Alstonia rostrata</i> 、散尾葵 <i>Chrysalidocarpus lutescens</i> 、小叶榄仁 <i>Terminalia neotaliala</i> 、凤凰木 <i>Delonix regia</i> 、番木瓜 <i>Carica papaya</i> 、美丽异木棉 <i>Ceiba speciosa</i> 、木棉 <i>Bombax ceiba</i> 、黄花风铃木 <i>Handroanthus chrysanthus</i>	$V=\pi[2y^3-y^2(4y^2-x^2)^{1/2}]/3$
球缺形	澳洲火焰木 <i>Brachychiton acerifolius</i> 、澳洲鸭脚木 <i>Schefflera actinophylla</i> 、大王椰子 <i>Roystonea regia</i> 、假槟榔 <i>Archontophoenix alexandrae</i> 、老人葵 <i>Coccothrinax crinita</i>	$V=\pi(3xy^2-2y^3)/6$
圆柱形	火焰木 <i>Spathodea campanulata</i> 、苹婆 <i>Sterculia monosperma</i> 、白千层 <i>Melaleuca cajuputi</i>	$V=\pi x^2 y/4$

说明:  $V$ 为树冠体积( $m^3$ );  $x$ 为平均冠径(m);  $y$ 为冠高(m)

2.2.2 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。根据 GB 51192-2016《城市公园设计规范》规定<sup>[23]</sup>,公园集散场地种植的树木枝下净空应大于2.2 m。本研究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)。

## 3 结果与分析

### 3.1 风景游憩林三维绿量特征分析

研究可知:前山公园风景游憩林总绿量为4 442.60  $m^3$ ,单位面积绿量0.38  $m^3 \cdot m^{-2}$ ,其中单木绿量最大的树种为白兰(262.00  $m^3$ ),绿量排名前5%的单木绿量合计2 259.23  $m^3$ ,占总绿量的50.85%,主要树种为白兰、小叶榕和樟树。北理工珠海学院风景游憩林总绿量为8 122.39  $m^3$ ,单位面积绿量0.64  $m^3 \cdot m^{-2}$ ,

其中单木绿量最大的树种为荔枝 ( $261.67 \text{ m}^3$ )，绿量排名前 5% 的单木绿量合计  $2\,183.33 \text{ m}^3$ ，占总绿量的 26.88%，主要树种为荔枝、非洲楝、樟树。梅华城市公园风景游憩林总绿量为  $18\,986.74 \text{ m}^3$ ，单位面积绿量  $0.81 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ ，其中单木绿量最大的树种为小叶榕 ( $283.58 \text{ m}^3$ )，绿量排名前 5% 的单木绿量合计  $4\,855.09 \text{ m}^3$ ，占总绿量的 25.57%，主要树种为小叶榕、高山榕、凤凰木、阴香。

从 3 个研究林地的三维绿量核密度 (KDE) 分布图来看 (图 1)，0~100  $\text{m}^3$  绿量级内，前山公园风景游憩林的三维绿量分布极不均衡，主要分布于 0~25  $\text{m}^3$ ，北理工珠海学院和梅华城市公园风景游憩林的三维绿量主要分布于 0~50  $\text{m}^3$ 。100~200  $\text{m}^3$  绿量级内，前山公园风景游憩林的绿量分布极不均衡，主要集中于 100~150  $\text{m}^3$ ，北理工珠海学院和梅华城市公园的三维绿量分布较为均匀，分布密度均小于 0.015。200~300  $\text{m}^3$  绿量级内，前山公园和北理工珠海学院风景游憩林的三维绿量分布相对集中，在 210~275  $\text{m}^3$  内分布密度较高，梅华城市公园分布较为均匀，分布密度小于 0.015。

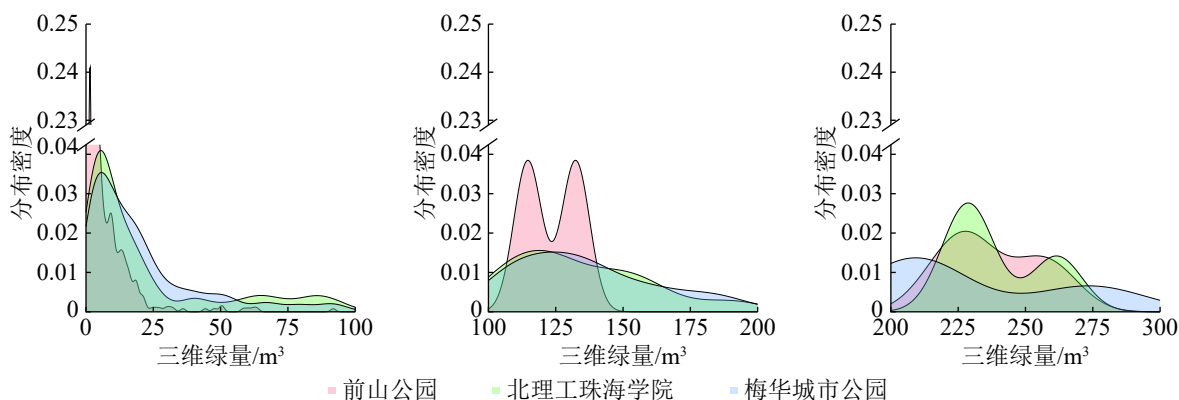


图 1 风景游憩林三维绿量核密度分布

Figure 1 KDE of 3DGQ distribution in study forests

### 3.2 树冠形态与三维绿量

分析 3 个研究林地每木胸径和三维绿量的关系 (图 2) 可知：三维绿量大于 200  $\text{m}^3$  的树种，单木胸径多为 30~50 cm，树冠以卵形、扁圆形和球扇形为主。随着胸径增加，扁圆形、卵形、圆锥形、球扇形和圆柱形树冠的树种三维绿量明显上升，而球缺形和球形树冠的树种三维绿量并无明显提升。不同树冠形状树种胸径与单木三维绿量的正相关系数从大到小依次为扁圆形、卵形、圆锥形、球扇形、圆柱形、球缺形、球形。

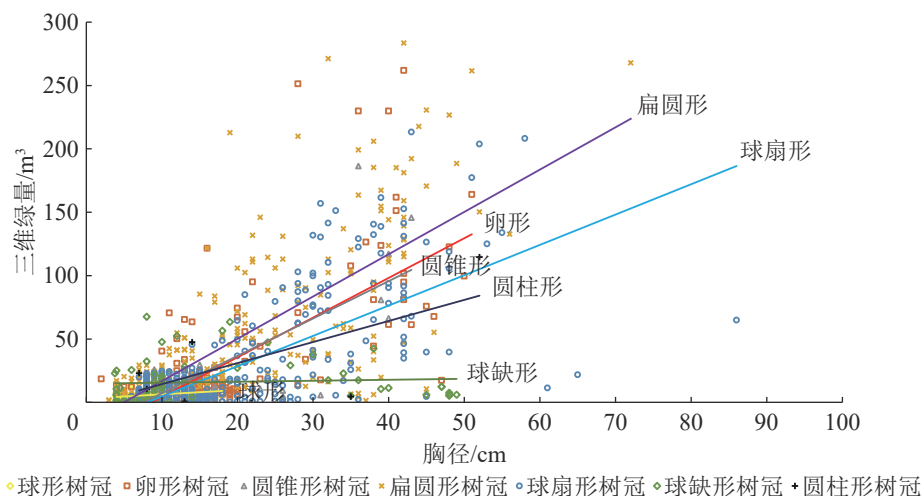


图 2 树木胸径和三维绿量相关关系

Figure 2 Relationship between the DBH and 3DGQ

### 3.3 风景游憩林林下游憩空间量特征

研究得知：前山公园风景游憩林林下空间总量为  $5\,543.75 \text{ m}^3$ ，林下游憩空间量为  $2\,148.86 \text{ m}^3$ ，占比

38.88%，单位面积游憩空间量  $0.18 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ ，其中单木林下游憩空间最大的树种为樟树 ( $66.55 \text{ m}^3$ )，林下游憩空间量排名前 5% 的单木游憩空间量合计  $813.05 \text{ m}^3$ ，占游憩总空间量的 37.84%，主要树种为樟树、凤凰木、海南蒲桃、秋枫、刺桐等。北理工珠海学院林下空间总量为  $10\,534.72 \text{ m}^3$ ，林下游憩空间量为  $7\,880.47 \text{ m}^3$ ，占比 74.80%，单位面积游憩空间量  $0.63 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ ，其中单木林下游憩空间最大的树种为樟树 ( $235.20 \text{ m}^3$ )，林下游憩空间量排名前 5% 的单木游憩空间量合计  $2\,017.77 \text{ m}^3$ ，占游憩总空间量的 25.60%，主要树种为樟树、木棉、非洲楝、小叶榄仁等。梅华城市公园林下空间总量为  $16\,662.62 \text{ m}^3$ ，林下游憩空间量为  $12\,914.97 \text{ m}^3$ ，占比 77.51%，单位面积游憩空间量  $0.55 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ ，其中单木林下游憩空间最大的树种为高山榕 ( $252.00 \text{ m}^3$ )，林下游憩空间量排名前 5% 的单木游憩空间量合计  $4\,649.33 \text{ m}^3$ ，占游憩总空间量的 36.00%，主要树种为高山榕、凤凰木、美丽异木棉。

### 3.4 三维绿量和林下游憩空间量的分配策略

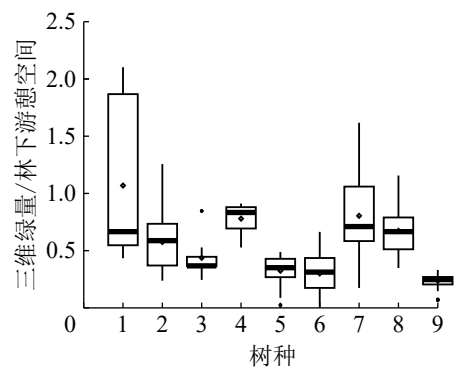
对 3 个研究林地中三维绿量和林下游憩空间前 5% 且种群数量较大的 9 个树种进行分析，比较不同树种冠层空间与林下游憩空间的分配策略。从图 3 中可以得出：所有 9 个树种，50% 以上单株的三维绿量和林下游憩空间比值小于 1.0，表明在城市公园风景游憩林中，树木倾向于分配更多的林下游憩空间。其中，凤凰木、美丽异木棉、木棉和秋枫的三维绿量和林下游憩空间比值均小于 0.5，表明这些树种的空间分配策略，林下游憩空间占据了绝对优势；非洲楝、海南蒲桃、小叶榕和樟树的三维绿量和林下游憩空间比值总体为 0.5~1.0，表明这些树种的空间分配策略为林下游憩空间稍优于三维绿量；而白兰的三维绿量和林下游憩空间比值总体为 0.5~2.0，表明白兰的空间分配策略有较强的多样性。

## 4 讨论

城市森林的三维绿量一定程度上反映城市森林生态服务功能的强弱。LIANG 等<sup>[24]</sup>对上海公共绿地乔木的研究结果表明：乔木三维绿量与树冠投影面积呈现显著正相关；李晓婷<sup>[25]</sup>研究发现：随着研究林地的地理位置由城市核心区向城市近郊区过渡，乔木平均冠幅呈现逐渐减小趋势，单位面积三维绿量逐渐减小，绿量分布趋于集中。本研究中，0~300  $\text{m}^3$  绿量区间内，梅华城市公园绿量分布密度呈现“平缓均衡”的趋势，北理工珠海学院呈现“中间均衡，两头集中”的趋势，前山公园呈现“由集中急速向均衡”改变的趋势。与郑绍伟等<sup>[26]</sup>得出的大径级乔木数量随绿量级增大逐渐减小的结论略有差异，极有可能是树种形态不同导致的。本研究发现：每木胸径和三维绿量的正相关关系受树冠形态影响；相同胸径的球形乔木和扁圆形乔木，三维绿量差异较大。因此推测，相同绿量级的乔木径级很有可能处于不同区间，这也是北理工珠海学院绿量分布密度“中间均衡，两头集中”的原因。

林冠空间的三维绿量提供了生态服务功能，林下空间提供了有效的游憩功能。城市公园风景游憩林三维绿量和林下游憩空间量的比值不同，反映出不同树种在空间分配策略上的差异。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，这 3 个树种的林下游憩空间占据绝对优势，与树种自身的特点有矛盾。林下游憩空间的主要影响因素为树冠投影面积与最低分支点。然而在实际城市环境中，游憩空间主要由林下空旷地和林下少量植被共同构成<sup>[27]</sup>，林下的小乔木和灌木对林下游憩的真实活动空间具有直接影响；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和游憩功能的发挥。因此，今后需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，从而更加真实地反映和评价城市风景游憩林林下游憩空间配置。

林木树冠三维绿量和林下游憩空间的分布格局，演替、生长、物候等引起的时间动态变化，森林群



1. 白兰; 2. 非洲楝; 3. 凤凰木; 4. 海南蒲桃;  
5. 美丽异木棉; 6. 木棉; 7. 小叶榕; 8. 樟树; 9. 秋枫

图 3 不同树种三维绿量和林下游憩空间分配  
Figure 3 Allocation strategy of 3DGQ and recreation space of different tree species

落学与生态学等相关学科的融合交叉,是进一步深入研究城市森林、城市植被提供生态与景观服务功能的有效途径<sup>[28]</sup>。本研究针对城市风景游憩林的林冠空间和林下空间展开,重点集中在体量、空间分布、分配策略等方面,是一种静态研究结果;而树冠三维绿量和林下游憩空间实则为一个动态过程,群落演替、生长、物候等都将引起时间、空间的动态变化。因此,构建反映动态过程的指标参数,可以更加科学地反映和评价城市风景游憩林的景观游憩功能。本研究基于树冠、树形、枝下高等数据测算出三维绿量和林下游憩空间,人力、时间成本巨大。今后可以利用搭载多光谱镜头的无人机监测城市森林斑块的冠层动态演变<sup>[29]</sup>,运用孔径雷达估测大面积城市森林地上生物量的空间格局<sup>[30]</sup>,从而快速获取更高精度的包括树冠结构、林下空间、生长演替、物候变迁在内的城市森林多维时空尺度数据,提升研究者对城市森林生态与景观功能的认知。

## 5 结论

珠海城市公园风景游憩林单位面积绿量由城市核心区向近郊区逐渐降低。从三维绿量密度分布上看,处在城市近郊区的前山公园风景游憩林绿量分布较为集中,而处在城市核心区的梅华城市公园绿量分布较为均衡。单木绿量较大的树种有白兰、小叶榕、樟树、荔枝、非洲楝、高山榕、凤凰木、阴香。从每木胸径和三维绿量的关系分析,不同树冠形状树种胸径和三维绿量的正相关系数从大到小依次为扁圆形、卵形、圆锥形、球扇形、圆柱形、球缺形、球形。三维绿量和林下游憩空间量的比例关系一定程度上反映树木对提供观赏和生态服务功能的冠层空间和提供游憩功能的林下空间的分配策略;在风景游憩林构建过程中,应结合不同树种的自身特点分配冠层空间和林下空间。

## 6 参考文献

- [1] PIRNAT J. Conservation and management of forest patches and corridors in suburban landscapes [J]. *Landscape Urban Plann*, 2000, **52**(2/3): 135 – 143.
- [2] NOVÁKOVÁ J. Vegetation changes in Prague's suburban forest during the last 40 years: human impact and legislative protection [J]. *Urban For Urban Greening*, 2008, **7**(4): 301 – 314.
- [3] 陈鑫峰, 沈国防. 森林游憩的几个重要概念辨析[J]. *世界林业研究*, 2000, **13**(1): 69 – 73.  
CHEN Xinfeng, SHEN Guofang. Dissection of some concepts about forest recreation [J]. *World For Res*, 2000, **13**(1): 69 – 73.
- [4] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 国家森林城市评价指标: GB T37342—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [5] 赵庆, 唐洪辉, 魏丹, 等. 基于绿视率的城市绿道空间绿量可视性特征[J]. *浙江农林大学学报*, 2016, **33**(2): 288 – 294.  
ZHAO Qing, TANG Honghui, WEI Dan, et al. Spatial visibility of green areas of urban greenway using the green appearance percentage [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2016, **33**(2): 288 – 294.
- [6] MILLER R W. *Urban Forestry*[M]. New Jersey: Prentice Hall, 1996.
- [7] 陈丹, 彭蓉. 台湾地区国家公园环境教育体系浅析: 以金门国家公园为例[J]. *林产工业*, 2019, **46**(5): 62 – 64.  
CHEN Dan, PENG Rong. Analysis on environmental education system in China's Taiwan National Parks: take Jinmen National Park as an example [J]. *China For Prod Ind*, 2019, **46**(5): 62 – 64.
- [8] 梁星权. 城市林业[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
- [9] 刘常富, 李海梅, 何兴元, 等. 城市森林概念探析[J]. *生态学杂志*, 2003, **22**(5): 146 – 149.  
LIU Changfu, LI Haimei, HE Xingyuan, et al. Concept discussion and analysis of urban forest [J]. *Chin J Ecol*, 2003, **22**(5): 146 – 149.
- [10] 王孟欣. 福建华安九龙江湿地公园保护与利用研究[J]. *林产工业*, 2019, **46**(4): 61 – 64.  
WANG Mengxin. Protection and utilization of Jiulongjiang Wetland Park in Fujian Huan [J]. *China For Prod Ind*, 2019, **46**(4): 61 – 64.
- [11] BREUSTE J H. Decision making, planning and design for the conservation of indigenous vegetation within urban development [J]. *Landscape Urban Plann*, 2004, **68**(4): 439 – 452.
- [12] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2001.
- [13] 何兴元, 金莹杉, 朱文泉, 等. 城市森林生态学的基本理论与研究方法[J]. *应用生态学报*, 2002, **13**(12): 1679 – 1683.

- HE Xingyuan, JIN Yingshan, ZHU Wenquan, *et al.* Basic theory and research method of urban forest ecology [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2002, **13**(12): 1679 – 1683.
- [14] 周红敏, 惠刚盈, 赵中华, 等. 森林结构调查中最适样方面积和数量的研究[J]. 林业科学研究, 2009, **22**(4): 485 – 495.  
ZHOU Hongmin, HUI Gangying, ZHAO Zhonghua, *et al.* Studies on the area and the number of the sample for forest structure [J]. *For Res*, 2009, **22**(4): 485 – 495.
- [15] 郭雪艳. 南京市常见园林植物的绿量研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2009.  
GUO Xueyan. *Research on the Living Vegetation Volume of Common Landscape Plants in Nanjing*[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2009.
- [16] 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素[J]. 浙江农林大学学报, 2013, **30**(4): 529 – 535.  
WANG Dongliang, JIN Hexian, FAN Likun, *et al.* Distribution and influencing factor of three-dimensional green biomass for artificial greenbelts in sanatoriums [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2013, **30**(4): 529 – 535.
- [17] 王帆. 深圳坝光区域滨海河溪红树植物群落生态与景观特性研究[D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2017.  
WANG Fan. *The Study on The Ecology and Landscape of Mangrove Communities in Coastal Rivers of Baguang Community, Shenzhen*[D]. Guangzhou: Zhongkai University of Agriculture and Engineering, 2017.
- [18] 祖若川. 海口市公园抗风园林植物的选择与应用[D]. 海口: 海南大学, 2016.  
ZU Ruochuan. *Haikou Park Selection and Application of Wind-Resistant Garden Plants*[D]. Haikou: Hainan University, 2016.
- [19] 乔小菊. 南京城区园林绿化中常见阔叶乔木树种的光合特性及相关生态功能的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2016.  
QIAO Xiaojie. *Nanjing City Landscaping Broadleaf Tree Species of Photosynthetic Characteristics and Associated Ecosystem Functions*[D]. Nanjing: Nanjing Agriculture University, 2016.
- [20] 吴显坤. 台风灾害对深圳城市园林树木的影响和对策[D]. 南京: 南京林业大学, 2007.  
WU Xiankun. *Effect of Typhoon Disasters to Urban Landscape Trees and Typhoon Disaster-Reducing Strategies in Shenzhen*[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2007.
- [21] 王燕. 广东省生态景观林带生态效益和景观评价[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.  
WANG Yan. *Ecological Benefit and Landscape Aesthetic Value of Eco-Landscape Forest Belt in Guangdong Province: A Case Study of Huizhou City and Meizhou City*[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016.
- [22] 陈莉. 福州市棕榈科植物景观特性及评价[D]. 福州: 福建农林大学, 2015.  
CHEN Li. *Analysis on the Landscaping Characteristics of Palms and Evaluation of Its Application in Fuzhou*[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2015.
- [23] 北京市园林绿化局. 公园设计规范: GB51192—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [24] LIANG Huilin, LI Weizheng, ZHANG Qingping, *et al.* Using unmanned aerial vehicle data to assess the three-dimension green quantity of urban green space: a case study in Shanghai, China [J]. *Landscape Urban Plann*, 2017, **164**: 81 – 90.
- [25] 李晓婷. 北京城区校园与医院林木树冠覆盖与城市森林结构研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2018.  
LI Xiaoting. *A Study on Urban Tree Canopy and Urban Forest Structure of Schools and Hospitals in Beijing Urban Area*[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2018.
- [26] 郑绍伟, 李隽, 黎燕琼, 等. 利用形态因子建立城市森林主要乔木树种三维绿量预测模型[J]. 四川林业科技, 2017, **38**(1): 6 – 10.  
ZHENG Shaowei, LI Jun, LI Yanqiong, *et al.* Establishing the three dimensional green quantity forecast model of main tree species in urban forest by using morphological factors [J]. *J Sichuan For Sci Technol*, 2017, **38**(1): 6 – 10.
- [27] ZHAO Qing, XU Dongxian, QIAN Wanhui, *et al.* Ecological and landscape perspectives on urban forest planning and construction: a case study in guangdong-hongkong-macao greater bay area of China [J]. *Front Sustainable Cities*, 2020, **2**: 44. doi: [10.3389/frsc.2020.00044](https://doi.org/10.3389/frsc.2020.00044).
- [28] ZHAO Q, TANG H, GAO C J, *et al.* Evaluation of urban forest landscape health: a case study of the Nanguo Peach Garden, China [J]. *For Biogeosci For*, 2020, **13**: 175. doi: [10.3832/for3206-013](https://doi.org/10.3832/for3206-013).
- [29] TIAN Jinyan, WANG Le, LI Xiaojuan, *et al.* Comparison of UAV and WorldView-2 imagery for mapping leaf area index of mangrove forest [J]. *Int J Appl Earth Observ Geoinf*, 2017, **61**: 22 – 31.
- [30] RANSON K J, SUN G, WEISHAMPEL J F, *et al.* Forest biomass from combined ecosystem and radar backscatter modeling [J]. *Remote Sensing Environ*, 1997, **59**(1): 118 – 133.