

# 半球面影像技术估测三种园林树种的绿量

黎彩敏<sup>1,2</sup>, 黎孟昭<sup>3</sup>, 翁殊斐<sup>3</sup>, 苏志尧<sup>2,3</sup>

(1. 佛山科学技术学院 生命科学院, 广东 佛山 528000; 2. 农业部生态农业重点开放实验室, 广东 广州 510642;

3. 华南农业大学 林学院, 广东 广州 510642)

**摘 要:**利用半球面影像技术获取高山榕、小叶榕、蒲桃 3 种园林树种的 LAI 值, 结合各个体树冠投影面积(S)和冠高(H), 计算并比较 3 个绿量测算指标(LAI、 $LAI \times S$  和  $LAI \times S \times H$ )。结果表明:LAI 是绿量基本的测度单位, 而  $LAI \times S$  能够较合理地反映 3 种园林树种种间或种内的绿量差异, 可以作为一个绿量的评估指标, 以此估计 3 种园林树种的绿量为小叶榕>高山榕>蒲桃。 $LAI \times S \times H$  由于参数较多, 容易造成误差, 且其数据过于密集, 不适宜用于绿量分析。随着半球面影像技术等无损性光学测量技术的发展, 最终应用 LAI 估算绿色植物的绿量会是最可靠的方法。

**关键词:**绿量; 半球面影像技术; Kruskal-Wallis 检验

**中图分类号:**S 731.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2011)19-0073-04

绿量是一个绿化评价指标, 相对于绿地率、城市绿化覆盖率等平面指标, 绿量从三维角度说明绿色量, 更好地反映出不同绿地之间绿色植物量的差异, 运用绿量来推算城市园林绿地生态效益更准确<sup>[1]</sup>。绿量的研究为园林生态效益的定量化研究提供了合理的基础手段, 在估算生态效益的同时也可帮助分析现有植物群落布局的合理性, 并为绿地规划乃至整个城市的规划提供重要的技术依据。

目前常用 2 种形式表示绿量, 一种是指所有生长中植物茎叶所占据的空间体积, 以  $m^3$  为单位, 也称之为绿化三维量、三维绿色生物量, 主要以树冠体积表示绿量<sup>[2-6]</sup>。而另一种指绿量研究植物叶片表面面积的总和, 认为植物的生理过程大都是通过植物叶片进行的, 叶片的多少及其生长状况直接影响植物的新陈代谢, 直接影响绿地的状况, 常以单位面积内植物叶面积的数量—即叶面积指数(Leaf area index, LAI)作为绿量的测度单位。该文所测量的绿量采用后一种方法。

叶面积指数的测定是确定绿量的关键, 而叶面积指数可通过直接测量和间接测量 2 种方式获得, 目前国内研究者主要采用直接测量的方法获取叶面积指数, 即通过测量植物单叶面积、叶片生长密度、树冠垂直投影面积等数据计算植物叶面积指数, 进而建立个体植物的绿量模型或推算绿地整体绿量<sup>[7-9]</sup>。直接测

量的方法比较繁琐, 并且对植物造成一定的伤害, 因而, 寻找快速而精确的获取植物叶面积的方法对绿量的测量具有重要意义。其中, 半球面影像技术是一种快速、无损测量叶面积指数的方法, 用于探讨群落的林冠结构与林下光环境已有约半世纪, 其原理主要是由穿透林冠的孔隙率或比较林内及林外辐射量比率的差异来推估叶面积, 该法是建立在林冠孔隙的分布及排列等统计和机率的关系上<sup>[10-11]</sup>, 通过该法获取叶面积指数后可计算绿地的绿量。该文运用半球面影像技术对华南 3 种常见园林树种为优势种的人工植物群落进行叶面积指数的测定, 探讨个体园林植物绿量的表示方式及估算 3 种园林植物的绿量, 为城市绿地的定量化研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 群落调查与影像获取

在全面踏查的基础上, 在广州市内的公园、校园内分别选择以高山榕(*Ficus altissima*)、小叶榕(*Ficus microcarpa*)、蒲桃(*Syzygium jambos*)为优势种的若干个人工植物群落为对象, 在每个群落中每木调查、记录胸径、树高、冠幅、枝下高、投影面积等内容。半球面影像的获取使用 Nikon CoolPix 4500 数码相机, 外接 Nikon FC-E8 鱼镜头, 用 1 600×1 200 分辨率, 按低压缩比率(1:4)的 JPEG 图像格式保存图片。在每个群落的中心点离地面 1.6 m 处, 保持相机水平, 镜头朝上, 拍照一个半球面林冠影像(图 1), 每种优势种群落测定 60 个影像数据, 当所选群落面积大于 10 m×10 m 时, 根据其面积划分为若干 10 m×10 m 或 5 m×5 m 的样方并于中心点进行摄像。

**第一作者简介:**黎彩敏(1981-), 女, 广东高要人, 硕士, 助教, 研究方向为园林绿化设计。E-mail:ahmin@163.com。

**基金项目:**农业部生态农业重点实验室开放基金资助项目; 华南农业大学校长基金资助项目(2008K019)。

**收稿日期:**2011-07-05

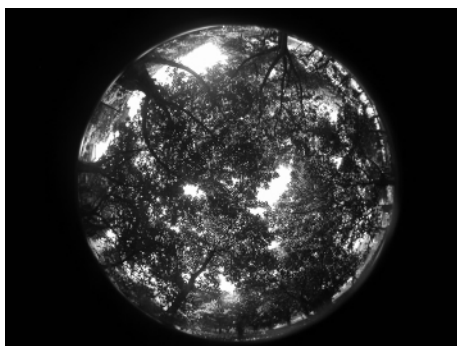


图 1 半球影像例图

## 1.2 影像处理

运用 WinSCANOPY 软件(版本 2.3B, 加拿大 Regent Instruments 公司出版)对所拍摄照片进行分析, 在参数设置中输入样地经、纬度坐标和海拔, 其它

则采用软件默认设置, 即可得到样方叶面积指数。

## 1.3 数据统计分析

样方每木调查数据及半球面影像分析数据经整理后, 用 Statistica 5.5 统计软件(美国 Statsoft 公司出版)进行各项数据分析。每株植物的估计总绿量利用 LAI、 $LAI \times S$ 、 $LAI \times S \times H$  共 3 种方法估算, 其中 LAI 为叶面积指数,  $S$  为投影面积,  $H$  为冠高。LAI 是无量纲的数值, 而  $LAI \times S$  与  $LAI \times S \times H$  的单位分别是  $m^2$ 、 $m^3$ , 在下面的比较讨论中将省略数据单位。

## 2 结果与分析

3 种园林树种的 LAI、 $LAI \times S$ 、 $LAI \times S \times H$  的统计结果如表 1。结果表明, 3 种园林植物绿量估测值的均值及变异系数随着参数的增加而增加, 相比之下, 高山榕与蒲桃各估测值较接近, 且相对较小, 而小叶榕各种估测值的均值及其变异幅度都偏大。

表 1

3 种园林树种绿量估测方法比较

种名	参数	均值	标准差	标准误	变异系数/%	最小值	最大值
高山榕	LAI	3.52	0.53	0.07	2	2.40	5.26
	$LAI \times S$	205.36	104.62	13.5	7	34.18	460.99
	$LAI \times S \times H$	1 268.59	767.84	99.1	8	135.31	3 273.04
小叶榕	LAI	3.56	0.73	0.09	2	2.17	5.74
	$LAI \times S$	418.36	414.46	53.5	1.3	38.27	1 447.38
	$LAI \times S \times H$	5 001.15	6 104.93	788.1	1.6	80.37	21 095.52
蒲桃	LAI	3.52	0.56	0.07	2	1.98	4.81
	$LAI \times S$	117.13	55.74	7.2	6	13.89	292.96
	$LAI \times S \times H$	687.70	475.03	61.3	9	27.79	2 372.99

利用 Kruskal-Wallis 检验(KS 检验)比较三类估测值在物种、径阶和样地间的差异。其中, 根据所测量树种胸径的值域, 将各树种分别分配至 3 个径阶里, 以研究 3 个估测值在同一树种不同年龄间的差异, 其中高山榕与小叶榕的径阶分级一样, 即分为  $<40$ 、 $40 \sim 59$  和  $\geq 60$  cm 3 组, 而蒲桃的分组为  $<20$ 、 $20 \sim 49$  和  $\geq 50$  cm。

## 2.1 3 种园林树种的 LAI 比较

通过考虑总体的 LAI 值分布发现, 分布在 3.0~4.0 之间的占总数 60.1%, 在 2.0~3.0 与 4.0~5.0 间分别占 16.1% 与 15.5%(图 2-a), 其中小叶榕 LAI 值变异幅度最大, 高山榕的最窄, 蒲桃 LAI 值变异范围介于其中, 而该研究中最小的 LAI 值 1.98 也在人工蒲桃群落。具体地, 高山榕和小叶榕群落的 LAI 值的偏度系数(Skewness)分别为 0.52、0.38, 均属于正偏态, 均能出现较多偏高的 LAI 值; 而蒲桃偏度系数为 -0.14, 属于负偏态, 即其 LAI 值总体相对偏小。3 种人工林的 LAI 值分布的峰度系数(Kurtosis)分别为高山榕 1.26、小叶榕 0.3、蒲桃 0.58, 其中高山榕的峰度系数最大, 即其 LAI 值主要集中在均值附近; 而小叶榕的峰度系数最小, 即其值较均匀地分布于各个级别里面。

根据 KS 检验得知, 树种间的 LAI 值并无显著差异( $P=0.89$ )。同一树种在不同径阶间, 除了小叶榕的

LAI 值差异较显著之外( $P=0.014$ ), 其余 2 个树种的差异并不显著(高山榕:  $P=0.51$ ; 蒲桃:  $P=0.36$ )。另外, 通过比较同一树种在不同样地间的 LAI 差异, 发现除蒲桃外, 其余 2 种树种的 LAI 值均存在显著差异。

3 种树种 LAI 均值比较相近, 这也许与 3 种树种的冠层结构与年龄比较相近有关, 但数值的分布状况各不相同, 如小叶榕、高山榕的 LAI 偏高, 蒲桃的 LAI 相对偏低, 测量的数值与 3 种树种的冠形特征相符, 可见使用半球面影像技术获取园林植物的 LAI 是可行而准确的。然而 LAI 值在一定程度上反映出同一树种在不同年龄和地点间的差异, 却不能反映不同个体间的差异。LAI 作为绿量基本的测度单位, 仅反映出单位面积上的绿量, 而体现不出树种整体的绿量, 需结合树冠面积等参数、考虑植被结构等因素才能够反映出不同植物、不同绿地的绿量差异。

## 2.2 以 $LAI \times S$ 估测 3 种园林树种的绿量

得到 3 种树种的总体均值为 246.9, 偏度系数达 2.53, 呈明显的正偏态, 而峰度系数更高达 6.1, 说明数值频度分布相当集中, 实际上,  $LAI \times S$  的数值跨度是 13~1 447, 而分布在 13~413 的数值已经占总数的 80.8%。蒲桃的观察值主要分布在 200 以下, 占其总数的 90%, 而高山榕的观察值主要分布在 400 以下, 在 200~400 范围内分布了其观察值的 47%。小叶榕的

观察值有 65% 集中在 400 以下, 剩余 35% 观察值在 400~1 400 间均匀分布(图 2b)。

通过 KS 检验发现在不同树种间其  $LAI \times S$  值存在极显著差异( $P < 0.0001$ ), 各树种在不同径阶和同样地间的差异都极其显著, 因此, 以  $LAI \times S$  为绿量测量参数可以较好地反映各个树种个体在绿量上的差

异, 而且计算中只包含 2 个指标, 准确性较高。以此估计 3 种园林树种的绿量为小叶榕 > 高山榕 > 蒲桃, 因为三者的 LAI 差异不大, 绿量的差异主要受树冠投影面积影响, 小叶榕多数冠大荫浓, 绿量也就相对较高, 而蒲桃的树冠相对较小, 绿量就较小。

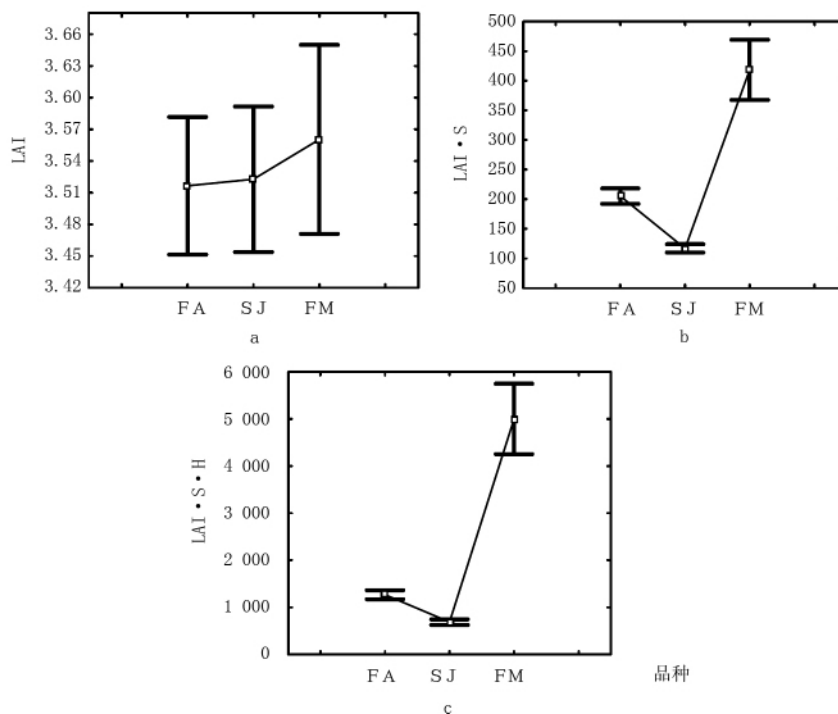


图 2 3 种园林树种绿量的测算方法比较

注: FA=高山榕(*Ficus altissima*); SJ=蒲桃(*Syzygium jambos*); FM=小叶榕(*Ficus microcarpa*)。

### 2.3 以 $LAI \times S \times H$ 估测 3 种园林树种的绿量

高山榕、小叶榕和蒲桃的  $LAI \times S \times H$  估测值分布在 2 000 以下的占各自总体的 81.7%、98.3% 和 96.7%, 均呈现了非常密集的分布。总体的峰度系数高达 8.0, 其中分布在 2 000 以下的数值就占 73.1%。小叶榕在华南地区使用很广泛, 调查的样本冠幅、高度跨度大, 因而小叶榕的  $LAI \times S \times H$  值的跨度非常大(图 2-c)。根据 KS 检验, 树种间的  $LAI \times S \times H$  值存在极其显著的差异( $P < 0.0001$ ), 但其 U 值低于  $LAI \times S$  的 U 值, 这可能因为冠高抵消了该值的部分差异。另外, 3 个树种在不同径阶和同样地间的  $LAI \times S \times H$  值存在显著差异。

然而, 尽管  $LAI \times S \times H$  测算的单位与三维绿量的单位一致, 考虑因素也比较全面, 但是由于其数值过于集中, 树种间分布规律差异不显著, 且参数过多, 容易造成误差, 所以  $LAI \times S \times H$  值不适宜用于估测绿量。

### 3 讨论与结论

根据半球面影像技术获取 3 种园林植物的 LAI, 结合树冠投影面积、冠高等参数得到了 3 种园林树种的绿量, 小叶榕绿量最高, 高山榕次之, 蒲桃最小。该

文比较了 LAI 与树冠投影面积、冠高的关系, 探讨了个体植物绿量计算的具体方法, 认为  $LAI \times S$  是最佳的表示绿量的方式。使用半球面影像技术取得植物的 LAI 后, 结合树冠投影面积能快速测算出单株园林植物的绿量。半球面影像数据比较难直接反映树木冠层的真实形态构造, 且 LAI 所说明的是单位面积中的叶面积, 所以采用  $LAI \times S$  与  $LAI \times S \times H$  测算绿量则能较真实地反映树种间绿量的差异, 但后者实用性不大。虽然  $LAI \times S$  所得出的数值是以  $m^2$  为单位, 没有反映出树冠的体积, 但植物的生态效益估测大多是建立在叶面积基础上的, 叶面积指数是生态系统模型的重要输入参数<sup>[12-14]</sup>, 使用  $LAI \times S$  表示绿量更具有参考意义, 同时该研究应用该值比较真实地还原了不同树种的绿量贡献效果, 因此可以作为比较及分类的指标使用。另外, 绿量大小受树冠面积影响, 绿地的规划建设时, 在满足树木生长空间的前提下, 适当增加树木的数量、层次, 使树冠面积增大, 进而增加叶面积, 可以提高城市的绿量, 使城市绿地发挥更大的生态效益。

绿量是新的城市园林绿化指标, 是定量估计不同绿色植物的生态功能的基本依据, 对城市园林绿化规

划有重要的指导意义。随着半球面影像技术等无损性光学测量技术的发展,最终应用 LAI 估算绿色植物的绿量会是最可靠的方法之一。应用半球面影像技术来估算绿量有三大优势。首先,半球面影像技术操作简便,可以在不同时间段内按需要迅速计量不同区域的绿量值;因为各树种在不同的生长期与不同季节间的绿量变化很大,所以半球面影像相对于传统建立回归方程方法具有明显的优势。第二,半球面影像技术是无损测量技术,可以较大规模地多次地应用于绿量测量而不破坏环境。第三,半球面影像技术不需要附带其它指标便能估测绿量,具有快捷、高效等特点。未来,在贯彻乔灌木的造景原则的同时,利用半球面影像技术能合理地评价不同绿色植物的生态功能,为各种规划提供科学依据。

### 参考文献

- [1] 刘立民,刘明. 绿量—城市绿化评估的新概念[J]. 中国园林,2000(5):32-34.
- [2] 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.
- [3] 周坚华. 城市绿量测算模式及信息系统[J]. 地理学报,2001,56(1):14-23.
- [4] 周廷刚,罗红霞,郭达志. 基于遥感影像的城市空间三维绿量(绿化三维量)定量研究[J]. 生态学报,2005(3):415-420.
- [5] 刘常富,何兴元. 沈阳城市森林三维绿量测算[J]. 北京林业大学学报,2006,28(3):32-37.
- [6] 周伟,王脩珺. 高分辨率遥感数据在园林绿化调查中的应用进展[J]. 中国园林,2006(12):72-76.
- [7] 安勇,卓丽环. 哈尔滨市紫丁香绿量[J]. 东北林业大学学报,2004,32(6):81-83.
- [8] Dong Y,Zhao L S,Zhao Y X. Quantity of plant leaf area on three major public squares in Kunming City, China [J]. Journal of forest research,2004,15(4):291-294.
- [9] 陈芳,周志翔. 武汉钢铁公司厂区绿地绿量的定量研究[J]. 应用生态学报,2006,17(4):592-596.
- [10] 张仲德,林登秋,王素芬. NDVI 与 LAI 的关联及在生态系统动态上的研究[R]. 台湾长期生态研究网(TERN)2005 年年会.
- [11] Wang H C,Lin T C. Decisions Affecting Estimations of Understory Light Environments during Photograph Acquisition,Storage, and Analysis Using Hemispherical Photography[R]. Taiwan Journal For Science,2006,21(3):281-95.
- [12] Jonckheere I,Fleck S,Nackaerts K,et al. Review of methods for in situ leaf area index determination: Part I. Theories, sensors and hemispherical photography [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2004,121:19-35.
- [13] Jonckheere I, Nackaerts K, Muys B, et al. Assessment of automatic gap fraction estimation of forests from digital hemispherical photography[J]. Agricultural land Forest Meteorology,2005,132:96-114.
- [14] Ho B X,Miller J R,Chen J M,et al. Retrieval of the canopy leaf area index in the BOREAS flux tower sites using linear spectral mixture analysis[J]. Remote Sensing of Environment,2004,89:176-188.

## Estimate for Green Quantity of Three Landscape Tree Species Using Hemispherical Photography

LI Cai-min<sup>1,2</sup>, LI Meng-zhao<sup>3</sup>, WENG Shu-fei<sup>3</sup>, SU Zhi-yao<sup>2,3</sup>

(1. School of Life Science, Foshan University, Foshan, Guangdong 528000; 2. Key Laboratory of Ecological Agriculture of Ministry of Agriculture, People's Republic of China, Guangzhou, Guangdong 510642; 3. College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642)

**Abstract:** Three green quantity indices, leaf area index(LAI),  $LAI \times S$ ,  $LAI \times S \times H$ , of three landscape tree species were calculated and evaluated on the individual and population scale, with the LAI obtained by digital hemispherical photography technique and the canopy projection area(S) and canopy height(H) measured directly in the field. The results showed that LAI was a basic unit to estimate green quantity and the  $LAI \times S$  was the most reliable index for reflecting both the interspecific and intraspecific variability of green quantity. The green quantity of three landscape tree species were estimated using the  $LAI \times S$ , what was *Ficus microcarpa* > *Ficus altissima* > *Syzygium jambos*. The  $LAI \times S \times H$  was inadequate for green quantity analysis for involving comparatively too many interrelated factors, making the data over skew. Along with the development of harmless optics measure technology such as Hemispherical Photography, using the LAI to estimate green quantity would be a most dependable method in future.

**Key words:** green quantity; hemispherical photography; Kruskal-Wallis analysis