

利用数字植物冠层图象分析仪测定南亚 热带森林叶面积指数的初步报道

赵平, 曾小平, 蔡锡安, 彭少麟

(中国科学院华南植物研究所, 广东广州 510650)

摘要: 介绍了当今较先进的数字植物冠层图象分析仪的理论基础、实际应用的特点, 测定了南亚热带丘陵地区 8 种森林类型(包括人工林和自然次生林)的叶面积指数、太阳直射透过系数等群落冠层特征, 同时测定一由荒坡草地自然发育而成的灌木草坡群落的叶面积指数。根据测定数据比较分析了不同人工林群落 11 a 发展这些特征的变化, 并与次生自然林的测定数据进行比较, 同时还对 11 a 与 14 a 树龄马占相思林林冠变化进行比较分析。

关键词: 植物冠层图象分析仪; 人工林; 叶面积指数; 太阳光直射透过系数

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2002)06-0485-05

Report on measurement of leaf area index of low subtropical forests by using digital plant canopy imager

ZHAO Ping, ZENG Xiao-ping, CAI Xi-an, PENG Shao-lin

(South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China)

Abstract: This paper introduced the working theory and actual application of the current advanced digital plant canopy imager. We used this device measure the canopy characters such as Leaf Area Index and solar beam transmission coefficient of 8 types of forests(including both man-made forests and secondary natural forest)in low subtropical hilly lands. We also measured the leaf area index of a shrub-grass community developed from an abandoned grass land. Comparative analysis on the changes of these characters of the man-made forests that had grown for 11 years and the secondary natural forest were made. Canopy changes between an 11-year and a 14-year *Acacia mangium* stands were also analyzed using the measurement data.

Key words: digital plant canopy imager; man-made forest; leaf area index; solar beam transmission coefficient

叶面积是研究许多森林植物生态过程的关键参数和研究森林冠层结构的重要指标, 叶面积指数(Leaf Area Index, LAI)与林段的光合作用、蒸腾作用、蒸发散、生产力等密切相关^[1~4]。建立森林生态系统的生长模型和研究森林生态系统的能量交换等, 都需要准确估测叶面积指数。植物的冠层结构

是指植物地上部分物质的总数和组织结构, 它包括植物的叶、茎、枝条、花和果实等器官的大小、形状、方位和在冠层中的上下位置的分布情况。植物的冠层结构深刻地影响植物与环境的相互作用, 由植物构成的植被的冠层不仅直接影响植物和周围环境的物质与能量交流, 还能揭示植物对物理、化学或生物

收稿日期: 2001-09-03

作者简介: 赵平(1963-), 男, 广东台山县人, 博士, 研究员, 植物生理生态学专业。

基金项目: 广东省自然科学基金团队项目(003031); 中国科学院鹤山丘陵综合试验站开放基金课题。

因子适应的策略和植物群落长期演变过程的变化特征。所以,测定和描述植物的冠层结构对理解植物许多生态过程是非常重要的。

获取有关植物或森林冠层结构信息最直接的办法是测定植物的器官,包括面积、形状、角度和方位等。虽然,所有直接测定的手段对植物或森林并非都是毁坏性的,但多多少少会干扰冠层,至少会干扰叶片角度的分布,从而影响数据的质量,而且野外工作量大,数据的缩减非常简单。与此不同,间接的测定方法常常涉及林冠内外的辐射,冠层结构与冠层内的辐射环境的相互作用是一个可量化的关系,辐射交换和冠层结构的耦合关系非常明显,利用测定辐射的相关数据可推断冠层的结构特征,这种关系形成了间接测定技术的基础。通过采用辐射测定方法取得的数据,结合合适的辐射转换理论,借助逆程序可获得冠层结构特征的估测值。间接测定方法具有野外测定简便、迅速、对冠层干扰小的特点,但数据的缩减要经过复杂的演算过程,因而往往需借助合适的计算机程序。

本文利用先进的数字植物冠层图象分析仪测定了南亚热带7种人工森林类型、1种在无人干扰的自然条件下发展的灌木草坡和1种次生自然林的叶面积指数、林段的太阳直射光透过系数等群落特征,分析了群落演替过程中这些特征的变化规律。

1 材料与方 法

野外测定工作在地处南亚热带的中国科学院鹤山丘陵综合试验站进行,该定位站地处广东省鹤山市境内,位于北回归线附近。鹤山站于1984年建站,旨在退化的南亚热带荒山草坡上,通过研究退化生态系统植被恢复的过程和进一步演替发展的动态与机理,研究人工森林生态系统的物种多样性与稳定性、结构与功能的相互关系的规律,创建一个生态与经济持续、协调发展的丘陵综合开发利用示范样板。在该站内,已组建多个不同类型的人工林生态系统。鹤山站代表的是南亚热带丘陵荒坡人工林植被的恢复。我们在鹤山站选择7种不同类型的人工林生态系统、1种次生自然林和1种自然发展的灌木草坡作为研究对象,于每种群落内沿着双行平行线选取20个测定点,用美国CID公司生产的CI-110型数字植物冠层图象分析仪分别测定灌木层和乔木层的冠层叶面积指数及乔木层的冠层太阳光直

射透过系数等。其中,测定灌木层的叶面积指数时,先将CI-110型数字植物冠层图象分析仪的鱼眼图象捕获器置于灌木层的下方,可测定灌木层以上的叶面积指数(即灌木层叶面积指数+乔木层的叶面积指数),然后将鱼眼图象捕获器置于灌木层的上方,测定出乔木层的叶面积指数,两种叶面积指数值之差则为灌木层的叶面积指数。

各种群落草本层的叶面积指数的测定则采用收获法:于同样的测定点,收割样方面积为1m×1m的草本层植物,用美国Li-Cor公司生产的Li-2000型叶面积仪和配备的履带式传送装置测定总叶面积,然后计算草本层的叶面积指数。

2 数字图象分析仪的理论基础和应用原理

本研究所采用的仪器是由美国CID公司生产的CI-110型数字植物冠层图象分析仪,其理论基础是林隙分数(gap-fraction)逆程序。林隙分数方法提供了一个估测完全覆盖或单独的林冠、甚至是异质性冠层的叶面积指数和叶倾角的强大工具。它假定冠层的所有元件是在各个方位随机分布的,某一天顶角(θ_i)处的人射太阳辐射的透射比例(T_i)由如下公式给出:
$$-\ln T_i = \sum_{j=1}^N f_j K_{ij} \quad (1.1)$$

$$\text{其中: } L = \sum_{j=1}^N f_j \quad (1.2)$$

L 是叶面积指数, N_j 是叶片倾角级数, f_j 是在叶倾角 j 级的叶面积指数, K_{ij} 为在天顶角 θ_i 处、当叶片倾角为 α_j 时的光辐射消光系数, K_{ij} 被看作是积分方程的影响函数核,它的形式取决于关于冠层所取得的信息,由如下公式计算出来:

$$K_{ij} = \sum_{j=1}^N g_{ij} \cos \delta_{ij} = \sum_{j=1}^N \frac{f_j}{L} \cos \delta_{ij} \quad (1.3)$$

$$\cos \delta_{ij} = \cos \alpha_j \quad \theta \leq 90 - \alpha$$

$$\cos \delta_{ij} = \cos \alpha_j \frac{1 + 2(\tan x - x)}{\pi} \quad \theta > 90 - \alpha \quad (1.4)$$

其中叶角的分布由如下公式表达:

$$x = \frac{1}{\cos(\cot \alpha_j \cot \theta_i)} \quad (1.5)$$

林隙分数的方法就是通过方程1.1的逆过程的运算而实现的,整个运算要经过复杂的矩阵变换,因而必须借助计算机程序^[5]。

CI-110型数字植物冠层图象分析仪由鱼眼图

象捕获器、植物冠层分析软件和微电脑组成。CI-110不是用测定光强的办法,而是通过鱼镜头获取图象,计算机分析软件对被捕获的图象进行数字化处理,然后计算太阳光直射透过系数(solar beam transmission coefficient)或计算从植物冠层底下向上可观测得到的天空比例。零表示完全看不到天空,1则意味着整个观测范围为天空,0~1之间的数字显示部分天空被叶片遮盖。

CI-110应用林隙分数的逆程序,计算机程序根据操作员定义的天顶角和方位角的分区数将所获得的图象分解为数个扇区或格栅(图1),通过自动快速计点每个扇区中可见天空的图素,可分析出该扇区的可见天空比率(太阳光直射透过系数)。一旦完成对所有的扇区的分析,并计算出每一天顶角区的平均太阳光直射透过系数,CI-110植物冠层分析仪的计算机软件即可分别计算出半圆散射光透过系数、平均叶倾角、植物冠层消光系数。

使用本仪器时,最理想的天空条件是云层均匀分布的阴天,如早晨或傍晚时分,此时辐射的散射量较低。在晴天,鱼镜头应遮蔽以防止低估叶面积指数和高估太阳辐射和散射。为获取比较合理的数据,最好是在各种天气条件下进行测定并进行比较,由CI-110软件计算以获取最佳测定结果。

3 结果与讨论

图2示鹤山站各种类型的人工林生态系统、人为保护而自然发展的灌木草坡生态系统及该站附近的次生自然林生态系统的叶面积指数结构图,人工林中,除马占相思林1的树龄为14a外(主要是用于与马占相思林2进行相同树种但不同林龄的林型冠层结构比较),其余人工林的林龄均为11a,灌木草坡是在10a前马尾松林被砍伐后的迹地上自然发展而成,根据当地居民提供的材料和野外调查的结果,次生自然林已有三十多年的历史。

从图2中可看出,经10a的自然发展,退化草坡只演替到以灌木层为主的灌木草坡群落,乔木层仍然还没有形成,进一步说明,在南亚热带地区,退化草坡植被的自然恢复是非常缓慢的。但经过10a的发展,群落的总叶面积指数已接近3,对地表起到较明显的覆盖作用,减少强烈阳光对土壤的暴晒,缓和雨水对土壤表面的冲刷,有利于土壤表面微环境的改善,为后继的阳生性乔木树种的入侵和定居创

造条件。因此,封山育林作为绿化荒坡一种辅助性的手段,在华南地区是适用的,因为该区域的环境条件优越,水分和热量充足,植物的自然生长有保证。

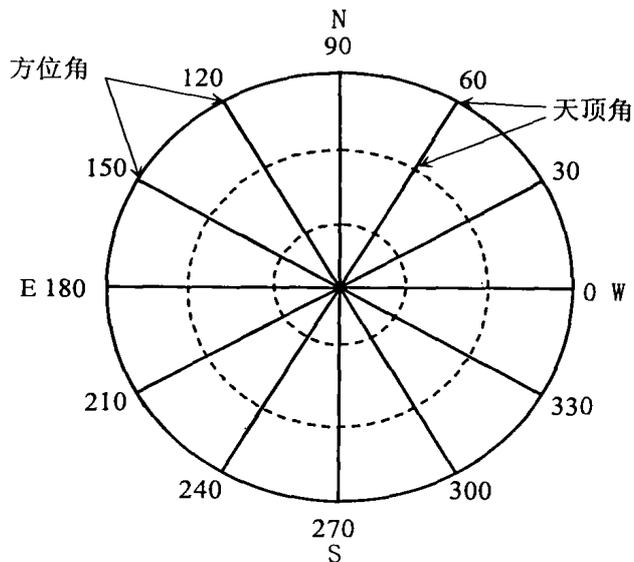


图1 进行鱼眼图象分析的扇区平面图解
Fig. 1 Plane delineation of sectors for analyzing fish-eye images

由乡土树种组成的人工林、大叶相思林和马占相思林的叶面积指数及叶面积指数的分布特点比较接近三十多年的次生自然林,说明合理构建的先锋人工群落,在较短的时间里,群落的结构会很快恢复,并达到较理想的目的。同时我们发现,14a的马占相思林的总叶面积指数比11a的马占相思林略低,我们再分析两者在图3的乔木冠层太阳光直射透过系数,前者较高,说明马占相思林林冠的生长在10a左右以后有下降的趋势。曾有学者对该马占相思人工林进行过系统仿真模拟的研究,模拟的结果显示,马占相思人工林随时间发展,出现一个叶生物量由增长变为下降的现象,从 2.5 tC hm^{-2} 降为 1.3 tC hm^{-2} 左右,出现明显下降的时间为10~12a^[6]。马占相思叶生物量较其他乡土树种大,这是它生长迅速的原因之一,但后期的下降影响了总生产力。因此,马占相思虽然是华南地区优良的造林先锋树种,适合当地快速绿化荒山和林业经营短期轮伐造林,但不宜长期经营。

从图2、3可以看出,豆科树种混交林的总叶面积指数比预想的要低,但群落草本层的叶面积指数却比较高,乔木冠层的太阳光直射透过系数也相对较高,因此,从群落冠层结构和叶面积指数来考虑,该群落的发展并不很理想,是否提倡用混交的方式

构建豆科林先锋群落值得进一步研究和探讨。因为这些豆科乔木树种的生物学特性相似,可被看作植被恢复先锋群落内具有相同生态功能的功能群,根据树种与生态系统功能关系的研究结果^[7],当较

多功能相似的种类在同一生态系统内生长时,它们利用资源的方式相同,利用资源的区域产生重叠,往往造成激烈的种间竞争,从而降低生态系统的稳定性,用豆科植物构建的混交林先锋群落,其生长和发

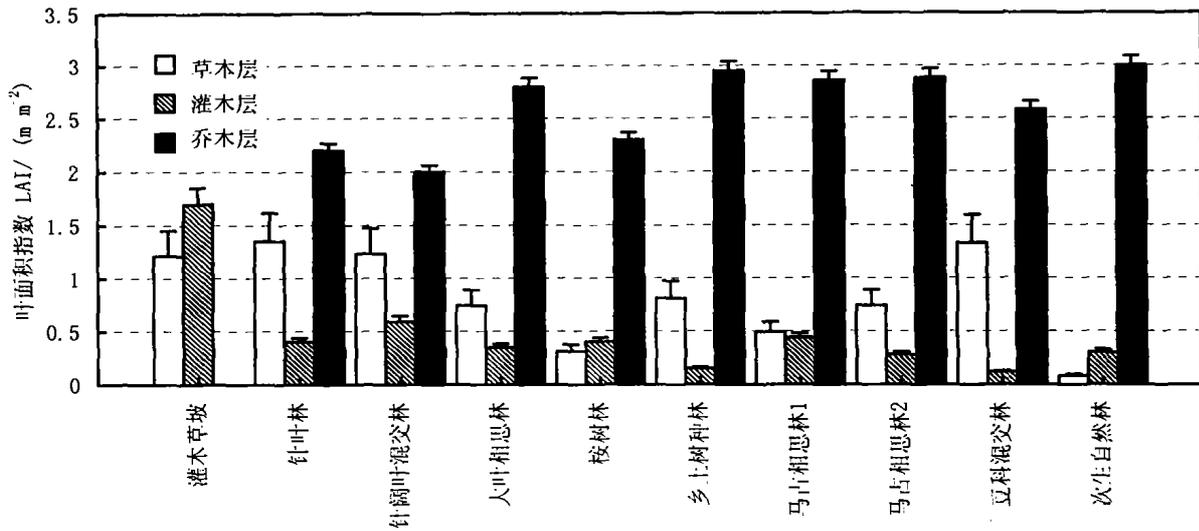


图 2 鹤山站不同植被的叶面积指数

Fig. 2 Leaf area index in different vegetations of Heshan Station

乔木层: n=20, p<0.01; 灌木层: n=20, p<0.01; 草本层: n=20, p<0.05.

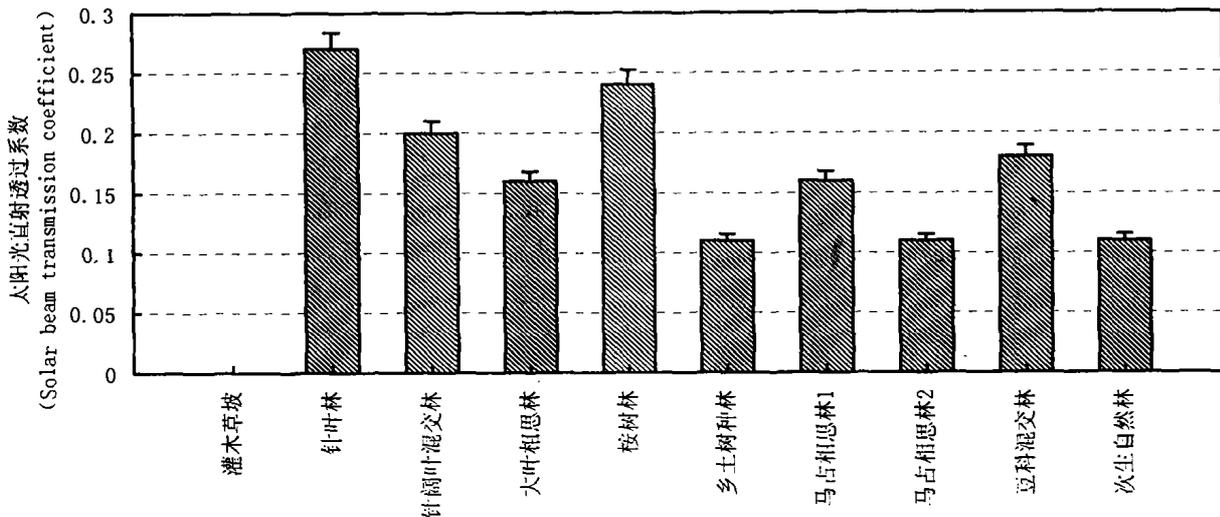


图 3 鹤山站人工林乔木冠层太阳光直射透过系数

Fig. 3 Solar beam transmission coefficient in tree canopies of man-made forests in Heshan Station

乔木层: n=20, p<0.01.

育会由于激烈的种间竞争而受到制约。

图 2 还显示针叶林、针阔叶混交林和桉树林的叶面积指数较低,森林冠层太阳光直射透过系数较高。同时我们可看到,针叶林和针阔叶混交林草本层的叶面积指数还是比较高,灌木层在群落内所占

的比率仍然比较大,说明群落结构的演替缓慢。特别指出的是桉树林,不但总叶面积指数较低,林下的草本和灌木层的叶面积指数都偏低,与其他阔叶树种人工林相比,其林冠层太阳光直射透过系数明显高出很多。一方面桉树的化学互感作用(即桉树分

泌一些次生性的化学物质)抑制了林下植物的生长,另一方面丘陵坡地比较差的土壤水分状况限制了需水量大的桉树生长,桉树大量消耗水分的结果是造成土壤上层的含水量降低,不利于林下植物的生长。植物的有机物生产与实际蒸发散存在非常密切的关系,这是因为实际蒸发散的量与入射光能和可利用水分的量有关,而这两因子与植物生产力的相关性明显^[8]。冠层的叶面积以及叶面积指数是指示植物群落生产力的重要指标,当没有出现水分限制时,植物群落通过蒸腾所消耗的水分与群落总叶面积成正比^[9]。因此,桉树不适合用作该地区退化生态系统植被恢复的先锋树种。对已有的桉树林,应尽快用乡土树种进行林分改造,保证森林生态系统的可持续发展。

本文的测定结果,基本上反映了不同人工林生态系统叶面积指数的特点,该方法可以避免传统收获法所造成的大规模破坏森林的缺点,又不受时间的限制,获取的数据量大,仪器容易操作,方便快捷。由于该方法不伤害植物,所以,还可以测定一年中森林冠层叶面积指数的季节变化,为了解森林生态系统冠层结构的动态变化提供可靠的观测数据。以数字植物冠层图象分析仪测定植物群落的叶面积指数等群落的结构特征,具有明显的应用价值。

参考文献:

- [1] Pierce L L, Running R W. Rapid estimation of coniferous forest leaf area index using a portable integrating radiometer[J]. *Ecology*, 1988, **69**: 1 762—1 767.
- [2] Gholz H L, Vogel S A, Cropper W P, *et al.* Dynamics of canopy structure and light interception in *Pinus elliottii* stands, North Florida[J]. *Ecological Monograph*, 1991, **6**: 33—51.
- [3] 彭少麟, 张祝平. 鼎湖山森林植被优势种云南银柴和柏拉木的生物量及第一性生产力研究[J]. *应用生态学报*, 1992, **3**(3): 202—206.
- [4] 彭少麟, 张祝平. 鼎湖山地带性植被生物量、生产力和能量利用效率[J]. *中国科学(B辑)*, 1994, **25**(5): 497—502.
- [5] Norman J M, Campbell G S. Canopy structure[A]. In: Pearcy R W, Ehleringer H A, Mooney H A, *et al.* *Plant Physiological Ecology: Field Methods and Instrumentation*[C]. New York: Chapman and Hall, 1989. 301—325.
- [6] 徐于秋. 马占相思人工林系统仿真模拟[D]. 中国科学院华南植物研究所硕士学位论文, 1998, 28—32.
- [7] 赵平, 彭少麟. 种、种的多样性及退化生态系统功能的恢复和维持研究[J]. *应用生态学报*, 2001, **12**(1): 132—136.
- [8] Lieth H. Modeling the primary productivity of the world[A]. In: Lieth H, Whittaker R H, *et al.* *Primary productivity of the biosphere*[C]. *Ecological Studies*, Vol. 14, Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1975. 234—267.
- [9] Medina E, Klinge H. Productivity of tropical forests and tropical woodlands[A]. In: Lange O L, Noble P S, Osmond C B, *et al.* *Encyclopedia of Plant Physiology*, Vol. 12D, *Physiological Plant Ecology IV*, Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1982. 281—303.