

银瓶山自然保护区阔叶林冠层结构与辐射消减效应

崔佳玉<sup>1</sup>,曾焕忱<sup>2</sup>,王永强<sup>1</sup>,张毅<sup>1</sup>,胡益珩<sup>1</sup>,苏志尧<sup>1\*</sup>

(1.华南农业大学 林学院,广东 广州 510642;2.东莞市林业局,广东 东莞 523000)

**摘要:**为定量研究阔叶林群落的辐射消减效应,以银瓶山自然保护区常绿阔叶林为研究对象,设置 2 hm<sup>2</sup> 固定样地开展群落调查,并采用半球面影像技术获取冠层结构和林下光照指标,分析冠层结构对太阳辐射的消减作用。研究表明:样地林下光照(直射光、散射光和总光照)与林冠结构(叶面积指数、林冠开度)相关性极显著;林下直射光对林下总光照的贡献大于散射光,林冠结构与散射光的相关关系较直射光强;林冠结构与林木胸径有显著的相关性,而与林分密度的相关关系不显著;林冠对总光照的消减作用极显著,月际变化呈单峰分布,6 月份消减量最大。

**关键词:**林冠结构;辐射消减;半球面影像技术;林下光照

**中图分类号:**S759.93      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2015)04-0045-05

Canopy Structure and Radiation Attenuation Effects of Broad-leaved Forest  
in Yinpingshan National Nature Reserve

CUI Jia-yu<sup>1</sup>, ZENG Huan-chen<sup>2</sup>, WANG Yong-qiang<sup>1</sup>, ZHANG Yi<sup>1</sup>, HU Yi-heng<sup>1</sup>, SU Zhi-yao<sup>1\*</sup>

(1. College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China;

2. Dongguan Forestry Bureau, Dongguan, Guangdong 523000, China)

**Abstract:** In order to quantitatively understand the radiation attenuation effect of evergreen broadleaved forest, a permanent plot with an area of 2 hm<sup>2</sup> was selected in Yinpingshan National Nature Reserve to carry out the study. Hemispherical photographic technique was adopted to extract indices of canopy structure and understory light to further analyze the effects of radiation attenuation of the canopies. The main conclusions of this study were as following: understory lights (transmitted direct solar radiation, TDir, transmitted diffuse solar radiation, TDif, and transmitted total solar radiation, TTot) were significantly correlated and canopy structure (leaf area index and canopy openness). TDir provided a greater contribution to TTot than TDif, however canopy structure had a greater influence on TDif than TDir. Canopy structure was significantly correlated with diameter at breast height, and the correlation with tree density was not significant. Total radiation attenuation was highly significantly correlated with canopy structure. Monthly variation of attenuation effect showed a unimodal distribution, and reached the maximum in June.

**Key words:** canopy structure; radiation alleviation effect; hemispherical photography; understory light

对于大部分的森林生态系统,光是决定生态系统内部植物生长和发育的关键因素,也是物种更新、演替的重要因素<sup>[1]</sup>。林冠是由上层乔木郁闭的枝叶和层内空气所构成,林冠开度(canopy openness, CO)、叶面积指数(leaf area index, LAI)是冠层结

构的重要参数<sup>[2]</sup>。林冠对太阳直射和各种天空散射的反射、吸收、透射和散射,改变了光的成分、强度和光照时间,影响林下光的可用性及其空间分布,是造成林内光异质性的主要原因<sup>[3-5]</sup>。林内光照组成可分为林下直射光(穿过林冠空隙直接照射到林内的

收稿日期:2015-01-26 修回日期:2015-04-01

基金项目:广东省科技计划项目(2013B020305008)。

作者简介:崔佳玉,女,硕士研究生,研究方向:森林生态学。E-mail:641473275@qq.com

\* 通信作者:苏志尧,男,教授,博士生导师,研究方向:森林生态学。E-mail:zysu@scau.edu.cn

光)和散射光(从任意方向反射到林内的光)<sup>[6]</sup>。由于林冠结构的差异,导致直射光和散射光对林下全光的贡献不同<sup>[7-8]</sup>。林下直射光和散射光的光量子密度差异较大,对林下植物的影响不同<sup>[9]</sup>,其组成比例影响林下环境异质性(林下土壤、空气的温湿度)及动植物的生理生态过程<sup>[10-13]</sup>。

不同类型森林群落内辐射特征及其变化规律的研究,主要集中在太阳辐射在林冠内的分布状况及林冠结构特性对辐射的影响<sup>[1,14-15]</sup>。大部分仪器对生长均匀的林冠结构描述结果较好<sup>[16]</sup>,对林冠结构和林下透光率模型的研究多为同龄林<sup>[17]</sup>和人工林<sup>[18-20]</sup>。天然林内垂直结构更为复杂,枝叶交错,上层木对林下植物的影响取决于林冠动态对林下光照水平的影响,与树种关系较弱<sup>[21]</sup>。天然林较人工林树种组成多样,冠层结构具有较高的空间异质性,研究它可以增强林冠结构对太阳辐射消减作用的理解。半球面影像技术(hemispherical photography)是一种快捷、准确、高性价比,并可区分直射光和散射光的光学遥感技术<sup>[22]</sup>,目前已经广泛应用到探索林冠结构与林下光照的研究中<sup>[23-24]</sup>。

本研究以银瓶山自然保护区常绿阔叶林为研究对象,采用半球面影像技术获取林冠影像,量化冠层结构和林下光照。通过对冠层结构和林下光照指标相互关系的分析,探讨冠层结构与林下透光率的关系,探究常绿阔叶林冠层对太阳辐射的消减作用,并分析影响冠层结构的因素。探究林下光照和林冠结构之间的关系,对森林更新、林下物种多样性和植物生产力具有重要意义。

## 1 研究地概况

银瓶山自然保护区(22°52′—22°56′N, 114°10′—114°15′E)位于东莞市与惠州市交界的谢岗镇境内,距东莞城 64 km,面积 2 518.3 hm<sup>2</sup>,主峰银瓶嘴海拔 898 m。银屏山地处北回归线以南,属南亚热带季风气候,具有阳光充足、雨量充沛、热量丰富、气候温和等特点。年均气温 22.1℃,一年中以 1 月份气温最低,平均在 13~14℃之间,7 月份平均气温最高,在 27~28℃之间;年降雨量 1 500~2 400 mm,降雨集中在 4—9 月。保护区内动、植物资源丰富,目前共发现野生维管植物 1 500 多种,陆生脊椎动物 170 多种。植被类型多样,包括低地常绿季雨林、典型常绿阔叶林等多种类型<sup>[25]</sup>。成土母岩为花岗岩,土壤类型随着山地海拔高度的变化而改变,保护区内海拔 600 m 以下为赤红壤,海拔 600 m 以上为黄壤。

## 2 研究方法

### 2.1 野外调查方法

2012 年 7 月,在银瓶山自然保护区常绿阔叶林内,设置 2 个大小为 100 m×100 m 的固定样地,分别为麻竹坑和界石样地,采用全站仪(Nikon DTM-310)把样地分成 100 个 10 m×10 m 的样方,每隔 10 m 设置 1 个标记点,用 PVC 管进行标记,对 PVC 管进行编号并记录下该标记点的编号、两点之间的高程,水平角度、水平距离等。每个样方编号由 4 位数字组成,以左下角 PVC 管的编号进行命名。植物调查采用样方调查法,以 10 m×10 m 的样方为单位,对样地内胸径≥1 cm 的活立木(乔木、灌木)进行调查,记录林木种名、胸径、树高和枝下高。

### 2.2 林冠影像获取

以 20 m×20 m 的样方单位,在每个样方中心及对角线四分位处用 Nikon CoolPix 4500 数码相机外接 Nikkor FC-E8 鱼镜头转换器获取半球面林冠影像。相机与鱼镜头组合,用三脚架水平放置于离地面 1.65 m 处,用相机内置的 Fisheye1 模式来拍摄半球面影像。图像像素为 2 272×1 704,并保存为 JPEG 格式(1:4 压缩)<sup>[26]</sup>。拍摄半球面林冠影像照片选择阴天或无风的天气,在日出或日落的时间,以减少太阳直射光造成眩光现象和风的影响,确保光照条件一致<sup>[27]</sup>。

### 2.3 半球面林冠影像分析

采用 Gap Light Analyzer 2.0 图像处理软件分析林冠影像,在参数设置中输入样地经纬度坐标和海拔及月份,其他采用软件默认设置,经过模拟获得全年的冠层结构参数和林冠上下的光照条件。此次研究使用林冠开度(从林地某个点向上仰视,未被树木枝叶所遮挡的天空球面的比例)、叶面积指数作为冠层结构参数,选择林下直射光(transmitted direct solar radiation, TDir)、林下散射光(transmitted diffuse solar radiation, TDif)和林下总光照(transmitted total solar radiation, TTot)为林下光照指标。辐射消减率(attenuation rate)的计算:

$$\text{总光照消减率}/\% = (\text{林冠顶部总光照} - \text{林下总光照}) / \text{林冠顶部总光照} \times 100\%$$

### 2.4 数据分析

样方每木调查数据及半球面影像分析数据经整理后,用相关性分析和异质性分析检验辐射消减与林冠结构的关系以及立木结构与冠层之间的关系。相关性分析和异质性分析在 Statistica 8.0 统计软件中进行。

### 3 结果与分析

#### 3.1 冠层结构与林下光照

总辐射消减率与叶面积指数呈极显著正相关 ( $p<0.01$ ),与林冠开度呈极显著负相关 ( $p<0.01$ ) (图 1)。林下直射光、散射光均与叶面积指数呈极

显著的负相关 ( $p<0.01$ ),与林冠开度呈极显著正相关 ( $p<0.01$ ) (图 2)。林冠结构(林冠开度和叶面积指数)与散射光的相关关系较强,与直射光的相关关系较弱;林下直射光的量比散射光多,因此直射光对林下总光照的贡献大于散射光。

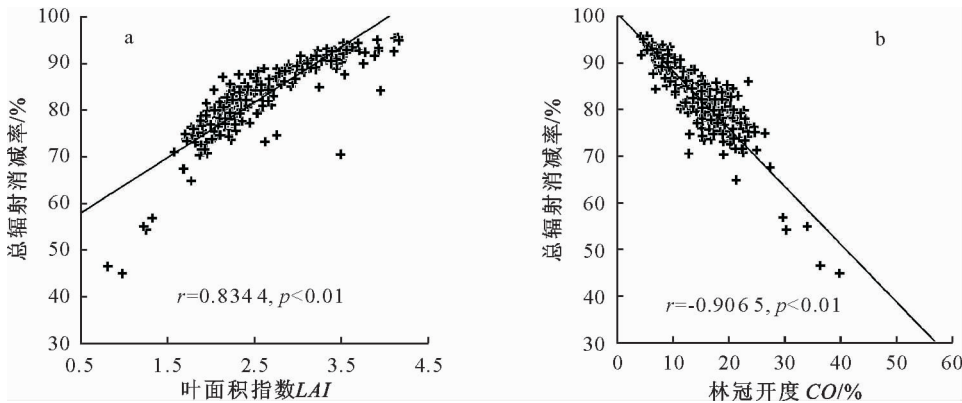


图 1 冠层结构与总辐射消减率的关系

Fig. 1 Effects of canopy structure on total radiation reduction rate

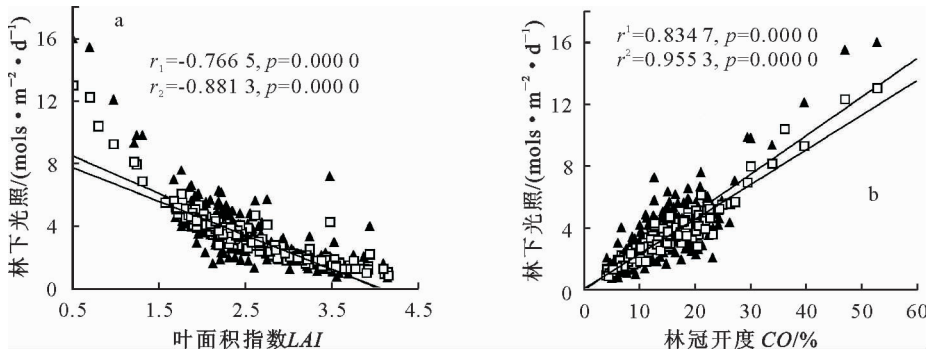


图 2 冠层结构与林下光照的关系

Fig. 2 Correlations of canopy structure and understory light

#### 3.2 林冠结构与立木结构

2 样地植被类型为典型的亚热带常绿阔叶林,主要优势种类为:木荷 (*Schima superb*)、华润楠 (*Machilus chinensis*)、鼠刺 (*Itea chinensis*)、豺皮樟 (*Litsea rotundifolia* var. *oblongifolia*)。样地群落特性与林冠结构特征见表 1。矩阵图 (matrix plot) 是一种可在二维图中表现多个变量间相互关系的散点图,方便对多个参数进行数据分析。

矩阵图中每个散点图所反映相关关系为该散点图横向和纵向分别对应的变量。本研究利用矩阵图分析胸径、密度、叶面积指数和林冠开度之间的关系 (图 3),结果表明:胸径与林冠开度、叶面积指数显著相关 ( $p<0.05$ ),与林分密度呈极显著负相关 ( $p<0.01$ );林冠开度与叶面积指数呈极显著负相关 ( $p<0.01$ );林冠开度和叶面积指数与林分密度的相关关系均不明显 ( $p>0.05$ )。

表 1 样地的结构特性

Table 1 Structural attributes of the sample plot

结构指标	均值	最大值	最小值	变异系数/%
胸径 DBH/cm	7.09±0.23	10.81	4.14	22.63
密度 Density(tree number per square meter)	0.43±0.02	0.80	0.20	36.06
叶面积指数 LAI	2.56±0.08	3.58	1.84	21.33
林冠开度 CO/%	14.69±0.73	24.41	5.57	35.15

#### 3.3 总辐射消减的月际变化

麻竹坑、界石 2 样地不同月份林冠对总光照消减量的差异极显著 ( $p<0.01$ ),但总光照消减率没

有显著差异 (图 4)。2 样地对总光照的消减量呈现单峰分布,从 1 月份开始升高到 6 月份达到最高,之后逐渐下降,12 月份消减量为最低。由于全年的冠

层结构参数和林冠上下的光照条件为模拟获得,全年的林冠结构一致,所以对总光照消减率没有显著差异,不同月份林冠对光照的消减量与太阳高度角有关<sup>[28]</sup>。

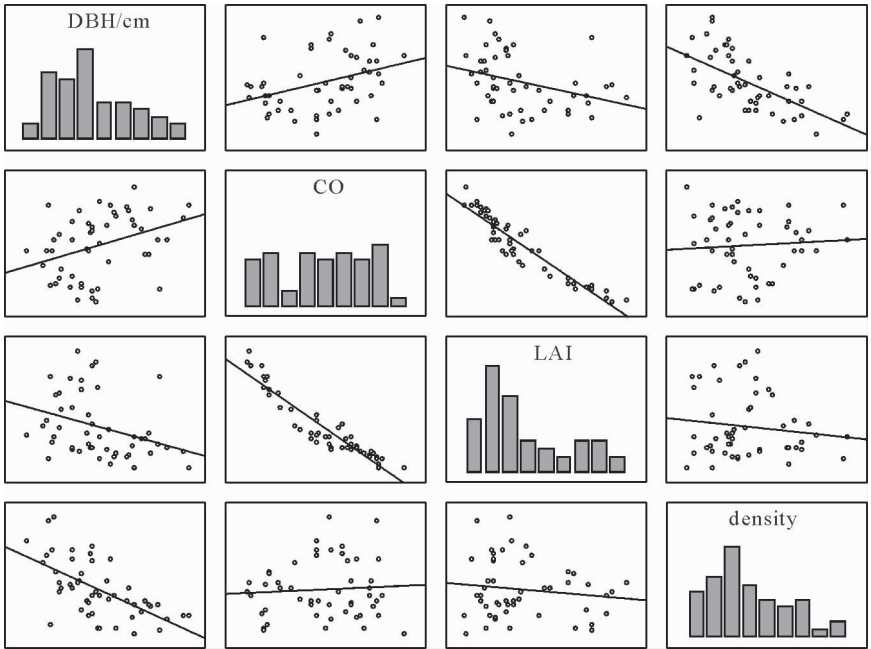


图3 立木结构与林冠结构的关系

Fig. 3 The relationships between canopy structure and stand structure

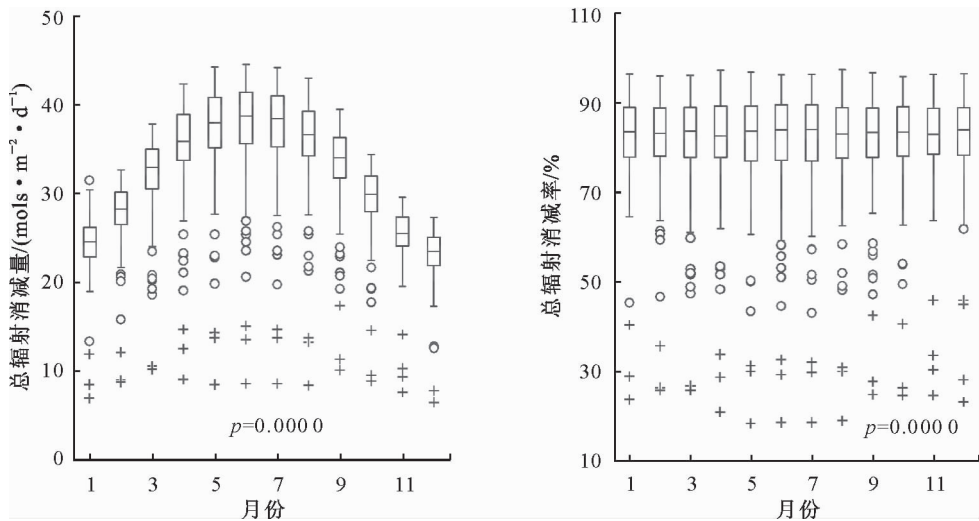


图4 林冠对总光照消减的月际变化模拟

Fig. 4 Modeling monthly changes in total radiation attenuation by canopy

4 结论与讨论

冠层结构与总光照消减率有极显著的相关性,影响林下直射光、散射光的量。区余端<sup>[29]</sup>等在研究受冰灾干扰后常绿阔叶林恢复动态时表明,受灾初时,林冠结构对直射光的影响大于散射光,随着植被的恢复,林冠结构对散射光的影响大于直射光。本次研究中林冠结构对林下散射光的影响大于直射光,说明样地的林冠结构较好,林下直射光的量大于散射光说明林分郁闭程度较低。

本次研究中林冠结构与林木胸径有显著的相关

性,与林木密度的相关关系不显著,而 M. Sprin-  
tsin<sup>[30]</sup>等对旱地森林的研究得出,林冠开度在前  
53%与林分密度有强烈的线性关系,两者之间结论  
的差异可能与林分的植物组成、单株树木枝叶茂密  
程度以及地形等因素有关,林冠开度与密度之间的  
相互关系还需要进一步研究。

林冠对于太阳辐射的吸收和反射作用,使林下辐  
射与林冠上层相比具有光照强度减弱、分布不均匀及  
光照时间缩短的特点。城市植物具有遮荫、消减辐射  
的生态服务功能<sup>[31]</sup>;天然林林冠对光的消减有利于  
阴生植物的生长及一些乔木幼苗的存活,对丰富林下

植物种类、促进演替进行等具有重要生态意义。林冠结构与林下光照有极显著的相关性,林冠结构的异质性导致了林下光照水平的差异,林内光的异质性大,提供的生态位多,进而满足林下不同植物对光的需求,进一步有助于林下物种多样性的维持。

参考文献:

[1] LOCHHEAD K D, COMEAU P G. Relationships between forest structure, understorey light and regeneration in complex Douglas-fir dominated stands in south-eastern British Columbia[J]. *Forest Ecology and Management*, 2012, 284:12-22.

[2] 陈厦,桑卫国. 暖温带地区 3 种森林群落叶面积指数和林冠开阔度的季节动态[J]. *植物生态学报*, 2007, 31(3):431-436.

[3] NICOTRA A B, CHAZDON R L, IRIARTE S V B. Spatial heterogeneity of light and woody seedling regeneration in tropical wet forests[J]. *Ecology* (Washington D C), 1999, 80(6):1908-1926.

[4] GENDRON F, MESSIER C, COMEAU P G. Comparison of various methods for estimating the mean growing season percent photosynthetic photon flux density in forests[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1998, 92(1):55-70.

[5] MONTGOMERY R A, CHAZDON R L. Forest structure, canopy architecture, and light transmittance in tropical wet forests[J]. *Ecology* (Washington D C), 2001, 82(10):2707-2718.

[6] ENDLER J A. The color of light in forests and its implications [J]. *Ecological Monographs*, 1993:2-27.

[7] MESSIER C, PUTTONEN P. Spatial and temporal variation in the Bight environment of developing Scots pine stands; the basis for a quick and efficient method of characterizing Bight[J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1995, 25(2):343-354.

[8] GENDRON F, MESSIER C, COMEAU P G. Comparison of various methods for estimating the mean growing season percent photosynthetic photon flux density in forests[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1998, 92(1):55-70.

[9] DUSAN R, STJEPAN M, IGOR A, *et al.* Gap regeneration patterns in relationship to light heterogeneity in two old-growth beech - fir forest reserves in South East Europe[J]. *Forestry*, 2007, 80(4):431-443.

[10] BROWN N. The implications of climate and gap microclimate for seedling growth conditions in a Bornean lowland rain forest[J]. *Journal of Tropical Ecology*, 1993, 9(2):153-168.

[11] COATES K D. Conifer seedling response to northern temperate forest gaps[J]. *Forest Ecology and Management*, 2000, 127(1):249-269.

[12] 刘少冲,段文标,钟春艳,等. 阔叶红松林不同大小林隙土壤温度、水分、养分及微生物动态变化[J]. *水土保持学报*, 2012, 26(5):78-83.

[13] 陈宏伟,殷鸣放,刘娜,等. 辽东山区林下人参生长与林内温度和光照因子关系初步研究[J]. *西北林学院学报*, 2007, 22(2):20-23.

[14] PARKER W C. The relationship of stand structure with canopy transmittance; Simple models and practical methods for

managing understory light conditions in eastern white pine (*Pinus strobus* L.)-dominated forests[J]. *Forestry Chronicle*, 2014, 90(4):489-497.

[15] 张文其,任海,彭少麟,等. 鼎湖山季风常绿阔叶林林冠结构与冠层辐射研究[J]. *生态学报*, 1996, 16(2):174-179.

[16] 邱建丽,李意德,陈德祥,等. 森林冠层结构的生态学研究现状与展望[J]. *广东林业科技*, 2008, 24(1):75-82.

[17] LHOTKA J M, LOEWENSTEIN E F. Indirect measures for characterizing light along a gradient of mixed-hardwood riparian forest canopy structures[J]. *Forest Ecology and Management*, 2006, 226(1/3):310-318.

[18] 纪和,陈勇,胡云,等. 不同密度马尾松林内辐射与叶面积垂直分布关系研究[J]. *湖北林业科技*, 2011(4):11-13.

[19] 贾小容,苏志尧,区余端,等. 三种人工林分的冠层结构参数与林下光照条件[J]. *广西植物*, 2011, 32(4):473-478.

[20] 王丽丽. 不同密度杉木林内辐射与叶面积垂直分布对生长的影响[J]. *林业科学研究*, 1990, 3(6):589-594.

[21] THOMSEN R P, SVENNING J C, BALSLEV H. Overstorey control of understorey species composition in a near-natural temperate broadleaved forest in Denmark[J]. *Plant Ecology*, 2005, 181(1):113-126.

[22] SOUDANI K, TRAUTMANN J, WALTER J. Leaf area index and canopy stratification in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23(18):3605-3618.

[23] PARKER W C. The relationship of stand structure with canopy transmittance; Simple models and practical methods for managing understory light conditions in eastern white pine (*Pinus strobus* L.)-dominated forests[J]. *Forestry Chronicle*, 2014, 90(4):489-497.

[24] 苏志尧,贾小容,解丹丹,等. 用半球面影像技术测定城市林分的冠层结构参数[J]. *华南农业大学学报*, 2007, 28(2):65-68.

[25] 李志刚,曾焕忱,叶静文,等. 东莞银瓶山自然保护区蝶类群落的多样性[J]. *生态学杂志*, 2012, 31(9):2385-2390.

[26] FRAZER G W, FOURNIER R A, TROFYMOW J A, *et al.* A comparison of digital and film fisheye photography for analysis of forest canopy structure and gap light transmission[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001, 109(4):249-263.

[27] BEAUDET M, MESSIER C. Variation in canopy openness and light transmission following selection cutting in Northern hardwood stands; an assessment based on hemispherical photographs[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2002, 110(3):217-228.

[28] 崔启武,朱劲伟. 林冠的结构和光的分布——光的透射和反射理论[J]. *地理学报*, 1981, 36(2):196-208.

[29] 区余端,苏志尧. 粤北山地常绿阔叶林自然干扰后冠层结构与林下光照动态[J]. *生态学报*, 2012, 32(18):5637-5645.

[30] SPRINTSIN M, KARNIELI A, SPRINTSIN S, *et al.* Relationships between stand density and canopy structure in a dryland forest as estimated by ground-based measurements and multi-spectral spaceborne images[J]. *Journal of Arid Environments*, 2009, 73(10):955-962.

[31] 秦吉中,童开林. 6 种藤本植物的生态效应比较[J]. *西北林学院学报*, 2013, 28(5):63-65.