

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第12期 Vol.31 No.12 **2011**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 12 期

2011 年 6 月 (半月刊)

目 次

基于植被遥感的西南喀斯特退耕还林工程效果评价——以贵州省毕节地区为例	李 昊, 蔡运龙, 陈睿山, 等 (3255)
扩散对破碎化景观上宿主-寄生种群动态的影响	苏 敏 (3265)
湿地功能评价的尺度效应——以盐城滨海湿地为例	欧维新, 叶丽芳, 孙小祥, 等 (3270)
模拟氮沉降对杉木幼苗养分平衡的影响	樊后保, 廖迎春, 刘文飞, 等 (3277)
中国东部森林样带典型森林水源涵养功能	贺淑霞, 李叙勇, 莫 菲, 等 (3285)
山西太岳山油松群落对采伐干扰的生态响应	郭东罡, 上官铁梁, 白中科, 等 (3296)
长期施用有机无机肥对潮土微生物群落的影响	张焕军, 郁红艳, 丁维新 (3308)
云南元江干热河谷五种优势植物的内生真菌多样性	何彩梅, 魏大巧, 李海燕, 等 (3315)
塔里木河中游洪水漫溢区荒漠河岸林实生苗更新	赵振勇, 张 科, 卢 磊, 等 (3322)
基于 8hm 样地的天山云杉林蒸腾耗水从单株到林分的转换	张毓涛, 梁凤超, 常顺利, 等 (3330)
古尔班通古特沙漠土壤酶活性和微生物量氮对模拟氮沉降的响应	周晓兵, 张元明, 陶 冶, 等 (3340)
Pb 污染对马蔺生长、体内重金属元素积累以及叶绿体超微结构的影响	原海燕, 郭 智, 黄苏珍 (3350)
春、秋季节树干温度和液流速度对东北 3 树种树干表面 CO ₂ 释放通量的影响	王秀伟, 毛子军, 孙 涛, 等 (3358)
云南南部和中部地区公路旁紫茎泽兰土壤种子库分布格局	唐樱殷, 沈有信 (3368)
利用半球图像法提取植被冠层结构特征参数	彭焕华, 赵传燕, 冯兆东, 等 (3376)
黑河上游蝗虫与植被关系的 CCA 分析	赵成章, 周 伟, 王科明, 等 (3384)
额尔古纳河流域秋季浮游植物群落结构特征	庞 科, 姚锦仙, 王 昊, 等 (3391)
九龙江河口浮游植物的时空变动及主要影响因素	王 雨, 林 茂, 陈兴群, 等 (3399)
东苕溪中下游河岸类型对鱼类多样性的影响	黄亮亮, 李建华, 邹丽敏, 等 (3415)
基于 RS/GIS 公路路域水土流失动态变化的研究——以榆靖高速公路为例	陈爱侠, 李 敏, 苏智先, 等 (3424)
流域景观结构的城市化影响与生态风险评价	胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等 (3432)
基于景观格局的锦州湾沿海经济开发区生态风险分析	高 宾, 李小玉, 李志刚, 等 (3441)
若尔盖高原土地利用变化对生态系统服务价值的影响	李晋昌, 王文丽, 胡光印, 等 (3451)
施用鸡粪对土壤与小白菜中 Cu 和 Zn 累积的影响	张 妍, 罗 维, 崔晓勇, 等 (3460)
基于 GIS 的宁夏灌区农田污染源结构特征解析	曹艳春, 冯永忠, 杨引禄, 等 (3468)
底墒和种植方式对夏大豆光合特性及产量的影响	刘 岩, 周勋波, 陈雨海, 等 (3478)
不同施肥模式调控沿湖农田无机氮流失的原位研究——以南四湖过水区粮田为例	谭德水, 江丽华, 张 骞, 等 (3488)
丛枝菌根真菌对低温下黄瓜幼苗光合生理和抗氧化酶活性的影响	刘爱荣, 陈双臣, 刘燕英, 等 (3497)
外源半胱氨酸对铜胁迫下小麦幼苗生长、铜积累量及抗氧化系统的影响	彭向永, 宋 敏 (3504)
专论与综述	
水平扫描技术及其在生态学中的应用前景	胡自民, 李晶晶, 李 伟, 等 (3512)
研究简报	
昆仑山北坡 4 种优势灌木的气体交换特征	朱军涛, 李向义, 张希明, 等 (3522)
不同比例尺 DEM 数据对森林生态类型划分精度的影响	唐立娜, 黄聚聪, 代力民 (3531)
苏南丘陵区毛竹林冠截留降雨分布格局	贾永正, 胡海波, 张家洋 (3537)
外来种湿地松凋落物对土壤微生物群落结构和功能的影响	陈法霖, 郑 华, 阳柏苏, 等 (3543)
深圳地铁碳排放量	谢鸿宇, 王习祥, 杨木壮, 等 (3551)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-06



封面图说: 自然奇观红海滩·辽宁省盘锦市——在辽河入海口生长着大片的潮间带植物碱蓬草, 举目望去, 如霞似火, 蔚为壮观, 人们习惯地称之为红海滩。粗壮的根系加快着海滩土壤的脱盐过程, 掉下的茎叶腐质后肥化了土壤, 它是大海的生态屏障。

彩图提供: 段文科先生 中国鸟网 <http://www.birdnet.cn> E-mail: dwk9911@126.com

利用半球图像法提取植被冠层结构特征参数

彭焕华¹, 赵传燕^{2,*}, 冯兆东¹, 许仲林¹

(1. 兰州大学西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000; 2. 兰州大学干旱与草地生态教育部重点实验室, 兰州 730000)

摘要: 植被冠层结构深刻地影响着植物群落与环境的相互作用, 对植被冠层结构的研究是深入理解植被生态系统格局、过程及其运作机制的重要基础。冠层结构特征参数的快速测量方法是植被冠层结构研究的前提, 目前测量方法主要是基于实际测量的地面法, 地面法一般费时费力, 受人为因素影响较大, 因此本文探索利用半球图像法获取植被冠层结构特征参数。通过对半球图像进行几何纠正并建立参数图层, 与分类后的植被冠层图层进行运算提取植被冠层结构特征参数。将该方法应用于祁连山旺腰沟流域青海云杉冠层结构特征参数的提取, 包括植被冠幅、冠层面积、冠层周长等, 结果显示: 半球图像法能够较好的提取植被冠层结构特征参数, 该方法具有简单、客观、可重复等优点, 也可作为植被冠层结构变化的监测方法。

关键词: 半球图像; 植被冠层; 冠幅; 冠层面积

Extracting the canopy structure parameters using hemispherical photography method

PENG Huanhua¹, ZHAO Chuanyan^{2,*}, FENG Zhaodong¹, XU Zhonglin¹

1 Key Laboratory of Western China's Environmental Systems, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

2 Key Laboratory of Arid and Grassland Ecology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

Abstract: One of the most important processes in global hydrological cycling is evapotranspiration (ET), the loss of water to the atmosphere by evaporation from soil and plant surfaces and by transpiration from plants. ET directly links the land-surface eco-hydrological processes with the atmospheric processes and it can thus effectively modulate climatic and eco-hydrological systems through altering water pathways (e. g., ET vs. runoff) and altering energy balance (e. g., albedo vs. absorption, and latent heat vs. sensible heat). Forest canopy has been abundantly demonstrated to be the most effective regulator of evapotranspiration in the forested ecosystems. However, adequate and quantitative characterization of forest canopy structure remains to be a serious challenge. Traditionally, forest canopy parameters (e. g., crown diameters, crown area and crown perimeter) are obtained by ground survey methods. And, these ground survey methods have been proven to be time-consuming and often subjective. High-resolution remote sensing images were also used to study the forest canopy structure parameters; but the accessibility to those images is not always easy either because of their expensive costs or because of no coverage for the areas of interest. Here, we present an alternative method that was tested to be more efficient and more objective to quantitatively measure forest canopy structure parameters. This method is called hemispherical photography because it uses the digital camera with a fisheye lens to obtain the hemispherical images of forest canopy. Specifically, we applied this method to a *Picea crassifolia* forest at the Wangyaogou catchments in the Qilian Mountains. Specifically, a 1600 m² (40m×40m) plot of moss-*Picea crassifolia* forest at the outlet of the catchments was selected study the canopy structure character of *Picea crassifolia*. Totally, 29 hemispherical images were randomly obtained by a Nikon D80 digital camera with Nikon Fisheye AF DX 10.5mm f/2.8G lens. To quantitatively test the accuracy of this hemispherical photography method, the canopy structure parameters were carefully measured using ground survey methods

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (91025015); 国家自然科学基金项目 (30770387); 国家环境保护公益性基金资助项目 (NEPCP 200809098)

收稿日期: 2010-06-06; **修订日期:** 2010-12-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: nanzhr@lzb.ac.cn

for those 29 image-covered areas. The ground-survey measurements include the diameter at breast height (*DBH*), total tree height, two crown diameters (north-south and east-west directions) and height to the lowest branch. The hemispherical images were processed through following procedures. First, the projection function of the fisheye lens was developed to rectify the geometric distortion. Second, the hemispherical images were classified into binary-image data layer including sky (as 0) and *Picea crassifolia* (as 1). Finally, the canopy structure parameters were obtained based on the projection function (i. e., geometrically rectified) and the binary-image data layer (i. e., the canopy). The results show that canopy structure parameters (i. e., crown diameters, crown area and crown perimeter) extracted from the hemispherical images are highly correlated with our carefully-surveyed ground-truth data. We employed statistical method to test the spatial consistency of the correlation between the image-obtained parameters and the ground-surveyed parameters and the test assured our confidence that the hemispherical photography method is an efficient and objective method to measure forest canopy structure parameters.

Key Words: hemispherical photography; canopy structure; crown diameters; crown area

植被冠层是植被与外界环境相互作用最直接和最活跃的界面层,对生态系统物质、能量交换,生物多样性,气候变化等具有重要的影响。冠层结构是冠层研究的一个重要方面,对植被冠层结构的研究是理解植被生态系统格局、过程及其运作机制的重要基础^[1]。冠层结构是一个很直观的群落外观可视化指标,不仅影响植被截获太阳辐射的程度,还影响到诸如风速、空气温湿度、土壤蒸发量、土壤温度等气候特征,从而调节植物与环境的相互作用,影响动植物生存和生长^[2-3]。对冠层结构特征进行研究,一方面可以反映植物群落长期演变过程的变化特征,对理解植物许多生态过程是非常重要的^[4],另一方面冠层结构特征参数又是许多生物-大气过程模型的重要输入参数。

早期对冠层的研究多采用望远镜、攀爬等方法,且都以描述性研究为主,很少进行定量研究^[1]。随着一些新的研究方法不断问世,研究者们终于能够采用更加便捷、有效和数量化的方法进行林冠方面的研究,大大加深了森林冠层对植被生态系统影响过程和机制的理解程度。与此同时,遥感技术的发展为植被冠层结构参数获取提供了强而有利的手段,如:基于激光雷达遥感获取地面树高、冠幅、体积、平均覆盖度等特征参数^[5-9];高分辨率的遥感影像进行树冠面积提取^[10-12];机载高分辨率的多光谱图像提取林冠结构特征^[13-14]等。激光雷达、高分辨率遥感影像及机载多光谱图像方法存在费用高等缺点,而半球图像以其特殊的视角范围和获取半球图像设备的便宜和实用性方面显示了它的优势,正是这一优势使得半球图像应用技术得以发展^[15-16],成套的半球图像系统(如:HemiView, CI-110, WinSCANOPY 等)被开发并广泛应用到植被冠层特征的研究中。目前,半球图像系统主要以测量冠层叶面积指数、植被盖度为主^[17-20],对冠层结构特征参数如冠幅、冠层面积、林冠周长等计算比较少。本文以祁连山地区青海云杉为研究对象探索利用半球图像法获取植被冠层结构特征参数(如:冠幅、冠层面积等),为进一步量化研究冠层结构特征对植被生态系统的影响分析提供科学数据。

1 原理与模型

1.1 半球图像法原理

半球图像法利用高分辨率专业数码相机配备具有超广角的鱼镜头拍摄半球面数码图像来研究植被冠层结构。鱼镜头最大的特点是能够产生非常大的视角(接近或等于 180°),不仅能够清晰地采集冠层顶部的图像,而且可以拍摄到冠层周围侧方一定范围内的形态结构特征。鱼镜头一般采用极坐标投影方式^[21],这种投影方式最大的特征是相片上任何一点(X')到相片中心(O)的距离(r)与镜头光学轴和该点在半球面中位置(X)所形成的夹角(θ)成线性关系^[22](图 1)。用方程表示,也即为:

$$\frac{\theta}{90} = \frac{r}{R} \quad (1)$$

式中, R 为 θ 等于 90° 时半球图像中对应点到图像中心的距离, R 与半球图像设备设置方式相关。

1.2 鱼眼相机的校准及投影方程

相关研究表明^[21,23], 由于镜头制作工艺及镜头与相机机身之间接口的细微误差通常会导致镜头的光学中心与所获取的相片中心不能重合。因此, 首先要确定鱼眼镜头光学中心。在本文中所采用的仪器是配备了 10.5mm 定焦鱼眼镜头的尼康 D80 相机, 采用文献 23 提供的方法进行光学中心的确定。

此外, 由半球图像投影原理可知, 对于特定的相机及设置从相片中心到相片上任何一点单位距离内的角度增量是一定的。为了确定所使用的鱼眼镜头 (Nikon Fisheye AF DX 10.5mm f/2.8G) 和数码相机 (Nikon D80) 的变形, 采用以下方法进行变形纠正: 选取带有十字交叉点的马赛克墙面为标准面, 在与标准面垂直的轴线上按照设定好的相机参数, 获取镜头离标准面不同距离下的墙面半球图像。将这些图像导入到 Arcgis 9.2 软件中, 并利用确定的光学中心坐标标定每张图像的光学中心。利用 Arcgis 9.2 量尺工具计算图像中各十字交叉点离光学中心的像素距离, 并通过计算相应像素距离下各十字交叉点离光学中心的实际距离。将从每一幅图像中获取的像素距离及对应的实际距离输入到预先编写的 MATLAB 7.0 软件程序中进行分析, 确定鱼眼镜头的投影变形。

Baret 等^[23]研究表明, 当相机参数确定后投影方程随镜头焦距长短变化而变化。本研究所采用的鱼眼镜头为 10.5mm 的定焦镜头, 在确定的相机参数下可得到唯一的投影方程。利用不同距离下标准面半球图像的视角角度与对应的像素距离建立投影方程。为了减少误差, 采用 10 组不同距离下的数据来建立投影方程 (图 2, 式 2):

$$\theta = 0.0454 \times r \quad (R^2 = 0.9998; \text{RMSE} = 0.2153^\circ) \quad (2)$$

式中, θ 为镜头视角角度, r 为半球图像上任意点到光学中心的距离。

2 方法

2.1 样地概述及野外数据采集

青海云杉林样地位于祁连山东段, 天祝县东北部毛山北坡的旺腰沟流域 ($102^\circ 58' 31''$ — $102^\circ 59' 44''$ E; $37^\circ 15' 36''$ — $37^\circ 17' 28''$ N), 流域面积 2.28km², 海拔在 2700—3300m, 整个地势南高北低。该流域属大陆性高原季风气候, 具有气温低、光照不足、生长期短、降水少等特点。在流域低海拔地区有农田与森林呈规律性的带状交错分布; 海拔 2700—2900m 阴坡、半阴坡则多为苔藓-青海云杉林, 林分结构简单, 树种较单一, 阳坡、半阳坡主要以荒草地为主; 海拔 2900—3100m 的地带则多为灌木-青海云杉中幼林, 灌木主要为杜鹃 (*Rhododendron*)、金露梅 (*Potentilla fruticosa*)、绣线菊 (*Spiraea glabra*)、高山柳 (*Salix cupularis*) 等; 高海拔地带则以高山灌丛植被为主。在流域出口附近典型苔藓-青海云杉林内布设有青海云杉定位观测样地, 样地基本信息见表 1。2009 年 8 月 4 日在样地内用鱼眼相机获取了垂直向上拍摄的青海云杉冠层半球图像。

在青海云杉林样地内按照青海云杉分布位置随机获取了 29 张半球图像。半球图像获取时相机设置和校准实验时设置相同, 拍摄时间选择在早晨, 拍摄时尽量避免太阳直射光线进入镜头。将相机固定在离地高 1m

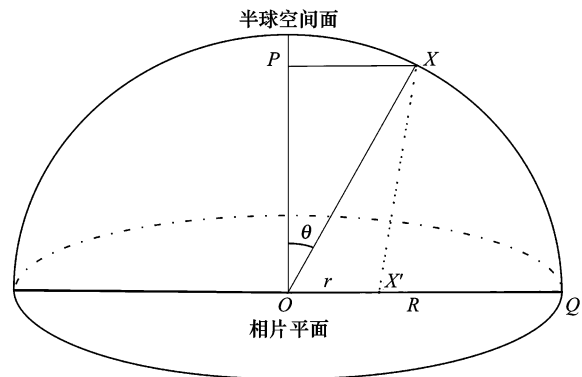


图1 半球图像成像特征示意图

Fig. 1 Sketch map of projection of the sky hemisphere

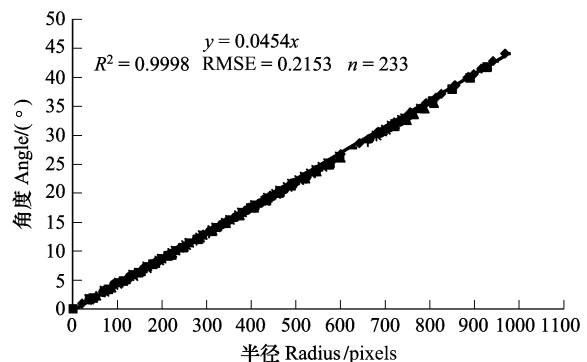


图2 鱼眼相机投影方程

Fig. 2 Illustration of the projection function of the fisheye lens

的三脚架上,使镜头垂直向上,并参考三脚架上指南针调整相机方位使得拍摄的半球图像正上方为北,将获取的半球图像以 JPG 格式存储在内存卡中。同时,记录相机拍摄位置,对样地内青海云杉位置、胸径、树高、枝下高、冠幅等参数进行测量。

表 1 调查样地基本信息

Table 1 Summary of the plot

样地大小 Plot size	坡度/(°) Slope	坡向/(°) Aspect	郁闭度 Canopy coverage	LAI Leaf area index	平均树高/m Average height	平均胸径/cm Average DBH	密度/(株/hm ²) Density
40m×40m	23	340	0.85	3.12	13.7	19.0	1156

2.2 数据处理

2.2.1 植被冠层半球图像处理及冠层特征轮廓图层提取

获取的半球图像主要区分图像中的叶片像元与天空像元。Chen 等^[24]研究表明,叶片在蓝色光波段具有较高的吸收率,该波段叶片的灰度值大于天空,也更容易从背景中分离出来。而由于树干及树枝的影响,半球图像中往往存在大量的混合像元,如何区分混合像元也是半球图像处理过程中的难点。当前有效的办法是采用阈值法对混合像元进行处理^[25]。因此,在本研究中采用蓝色光波段,并利用边缘值阈值法来对图像进行分类处理,该过程主要是通过自动选取最优阈值的软件 Sidelook 来实现^[26]。

青海云杉植被冠层半球图像经 Sidelook 软件处理后成为包含植被与天空的二值图像,调入到 ENVI 4.6 软件中,通过 ENVI 4.6 感兴趣区工具,提取青海云杉冠层轮廓,并剔除与目标冠层相连接的树干部分(图 3)。通过分类后处理并生成对应的植被冠层轮廓图层掩膜文件。

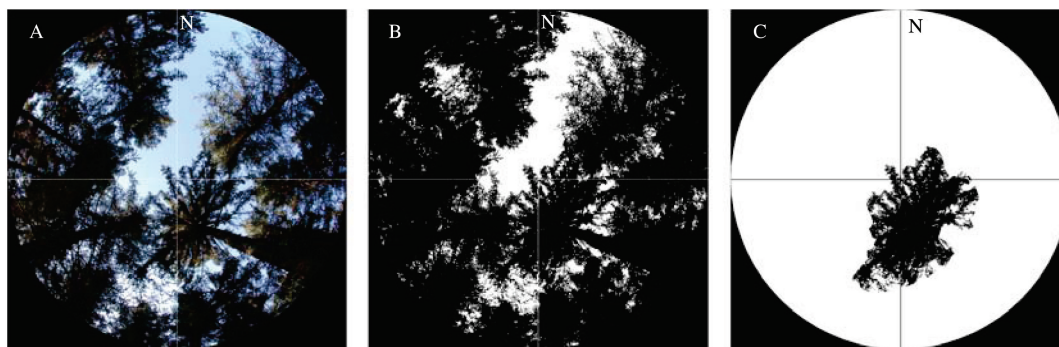


图 3 青海云杉半球图像处理流程

Fig.3 Flow chart of the *Picea crassifolia* image processed

A: 原图像 initial image; B: Sidelook 软件处理后的二值图 the binary-image of sky and *Picea crassifolia*; C: 提取的冠层图像 the layer of the canopy

2.2.2 校准参数图层的建立

为了能够与野外调查的植被冠层半球图像进行匹配并提取植被冠层结构特征参数,需要建立与植被冠层图像相对应的校准参数图层。在与植被冠层半球图像匹配的标准参数图层中,每个像素的正切增量可以通过以下方程来计算:

$$\Delta = \text{TAN}(\theta_{x'} + 1) - \text{TAN}(\theta_{x'}) \quad (3)$$

利用该公式在 Arcgis 9.2 中通过栅格计算工具建立与半球图像相匹配的参数图层。

2.2.3 冠层特征参数的提取

半球图像校准参数图层中每个像素的值为该像素的正切增量,提取出来的植被冠层图层为植被与非植被的二值图层。在 Arcgis 9.2 中将这两图层进行叠加运算,最后得到的图层是所需要的植被冠层正切增量图层。如图 1 中半球图像成像特征可知,欲求 PX ,将 PO 乘以 PX 所对应夹角正切值即可,在实际测量过程中

PO 也即镜头离植被最大冠层的距离。青海云杉植被冠层正切增量图层与拍摄时镜头离该青海云杉植被冠层的距离相乘可得半球图像中植被冠层实际分辨率。由青海云杉林冠垂直形态特征及对野外调查数据的统计分析,将目标青海云杉最大冠层所在高度假定为树顶和枝下高的中间位置,如图 4 中所示。

在 Arcgis 9.2 中,提取出来的冠层特征轮廓图层与对应的植被冠层实际分辨率图层进行运算用来提取冠层结构特征参数。除了冠幅,利用冠层轮廓图层与冠层实际分辨率图层进行运算可以方便、客观的提取冠层面积,并利用冠层轮廓提取冠层周长等参数。此外,还可计算冠层中植被与冠层孔隙所占的面积,从而可计算冠层孔隙度。根据需要可以利用各种形状指数来表达林冠形状。在本研究中通过以上方法提取了样地中 29 株青海云杉林木的冠幅、冠层面积等参数。

3 结果与分析

3.1 青海云杉冠层结构特征参数估算及验证

植被调查中准确测量高大乔木的冠层参数一般较难,半球图像法是一种进行冠层特征参数提取的便捷合理的方法,不仅是对地面调查法的很好补充,也可以为遥感法提取的冠层特征参数提供有效的验证数据。通过对上游青海云杉冠层半球图像的处理,将提取的南北向和东西向冠幅进行平均代表青海云杉的冠幅,并与实测冠幅进行相关性分析。通过对提取的 29 株青海云杉林冠冠幅分析可知,半球图像法提取的样地中青海云杉冠幅在 2.25—7.94m 之间,平均为 5.65m。野外调查的结果显示,样地中青海云杉冠幅在 3.0—7.6m 之间,平均为 5.57m,采用半球图像方法估算的植被冠幅与实测冠幅非常接近(图 5)。

利用半球图像提取的青海云杉冠层面积结果显示,样地中青海云杉冠层面积在 4.94—66.00m² 之间,平均值为 31.07m²。野外调查中没有进行冠层面积的测量,考虑到样地中青海云杉冠层形态特征,将冠层近似认为是圆形并以实测(或半球图像法估算)冠幅为直径求算冠层面积。通过半球图像提取的面积与近似估算的圆面积比较分析,发现以半球图像法提取的冠幅为直径的圆形冠层面积与半球图像直接提取的冠层面积非常接近,而利用实测冠幅为直径的圆形冠层面积与半球图像提取的冠层面积差异很大(图 6)。分析青海云杉冠层半球图像,冠层面积相差较大的一般是青海云杉冠层形状不规则,近似求算的误差相差较大。

从半球图像中也提取出了冠层孔隙度,29 张青海云杉半球图像提取的孔隙度在 0.126—0.356 之间,平均值为 0.246,一般认为冠层孔隙度对林下有效光照和土壤水分等都有着重要的作用,因此提供精确的冠层孔隙度对研究林下植被有着重要的生态意义。

3.2 误差分析

通过对比发现,半球图像法对青海云杉林冠结构特征参数的估算能取得较精确的结果(表 2),是较为可行的用于植被冠层结构特征参数提取的方法。但从冠幅和冠层面积与实测结果的分析发现,有些青海云杉冠层估算存在较大误差,通过对冠层半球图像分析,估算误差较大的青海云杉冠层很不规则而且周围还存在其他冠层的影响,在图像处理过程中提取冠幅参数图层有较大误差。

利用半球图像估算植被冠层结构特征参数中一个重要的参数是镜头到冠层最大冠幅处的距离,在本研究

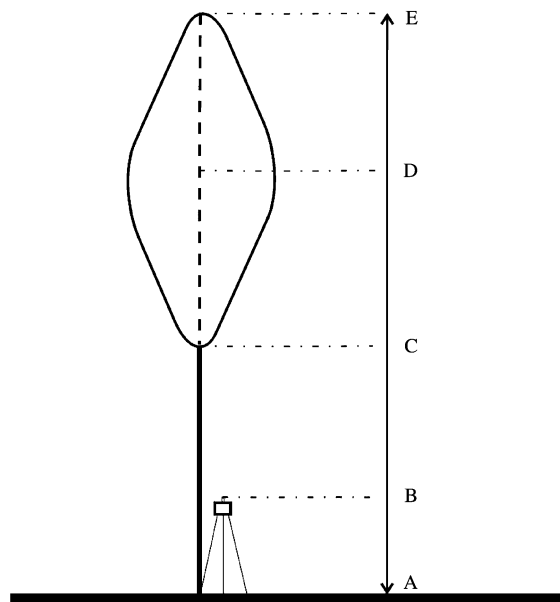


图 4 半球图像法获取植被冠层示意图

Fig. 4 Sketch map of the hemispherical photograph method to obtain canopy images

图中:AE 为树高,AC 为枝下高,AB 为相机镜头离地高度,BD 为镜头离最大冠幅处距离; $BD = (AE + AC) / 2 - AB$ AE, AC, AB and BD is tree height, under crown height, height from ground to lens and distance from the lens to the maximum crown, respectively

中该距离依青海云杉林冠垂直形态特征及对野外调查数据的统计分析假定而来,不同的林分该距离会有所不同,因此有必要对不同林分进行调查以对该距离进行调整,以提高假设的合理性。此外,相关研究表明^[22,27]样地坡度会影响到林冠特征的测量精度,因此下一步研究方法有必要考虑坡度对林冠特征的提取。

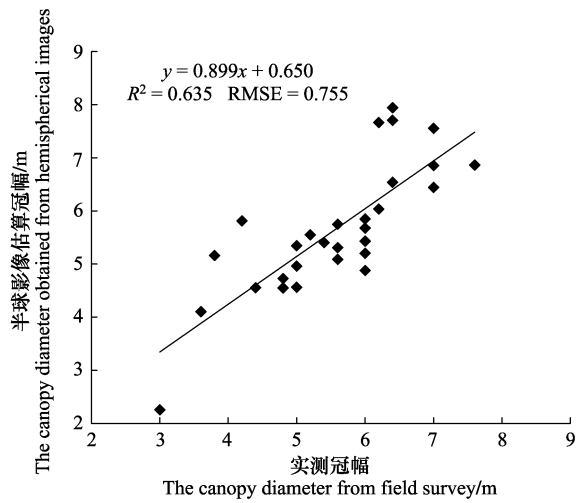


图5 不同方法测定青海云杉冠幅相关散点图

Fig. 5 Scatter plot of crown diameter by field survey and hemispherical images

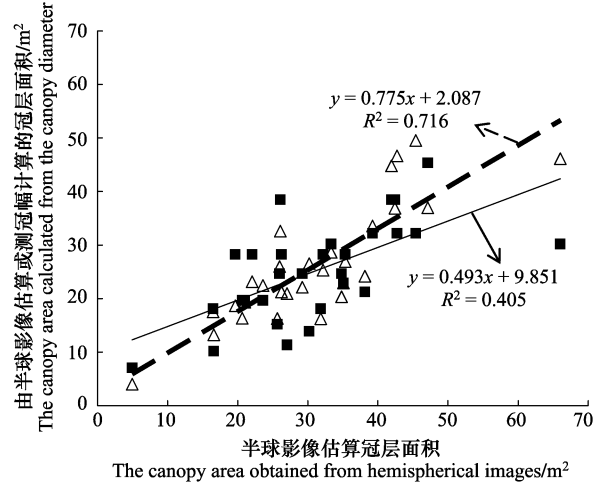


图6 不同方法估算青海云杉冠层面积相关散点图

Fig. 6 Scatter plot of crown area by different methods

空心三角形为半球图像法估算冠层面积与利用半球图像估算的冠幅计算而来的冠层面积,虚线为其线性拟合;实心正方形为半球图像法估算面积与利用野外调查冠幅计算而来的冠层面积,实线为其线性拟合

此外,地面法在测量时存在较大的主观性,对同一冠层由于测量者的经验或相邻林冠的遮挡可能会对实测结果产生较大影响。

表2 验证方程及误差分析

Table 2 Parameters of linear regressions, correlation coefficients and error

验证方程 Validation function		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i> ²	RMSE	SSE
青海云杉 <i>Picea crassifolia</i>	D1 vs. D2	0.899±0.269	0.650±1.522	0.635	0.755	15.4
	A1 vs. A2	0.775±0.193	2.087±6.403	0.716	5.907	942.1
	A1 vs. A2	0.493±0.236	9.851±7.835	0.405	7.228	1411

D₁: 实测冠幅;D₂: 半球图像法估算冠幅;A₁: 半球图像法估算冠层面积;A₂: 半球图像法估算冠幅计算的冠层面积;A₃: 实测冠幅计算的冠层面积;*a* 为方程斜率;*b* 为截距;*R*² 为判定系数;RMSE 为均方根误差;SSE 为误差平方和

3.3 植被树冠面积与树高关系

树冠面积是表征林冠特征的一个重要参数,常规的野外调查方法通常测量多个方位上的冠幅将树冠按照多边形或椭圆来近似计算,而利用半球图像法可以客观的提取高精度的树冠面积。通过对青海云杉树冠面积地面测量数据分析可知,对于较规则的圆形冠层利用冠幅近似计算而来的冠层面积是可行的,但不规则冠层的近似计算则会有很大误差,而半球图像法是不受树冠形状的影响,均能方便、快捷的提取树冠面积。一般认为树冠面积与树高以及胸径存在一定的关系^[28-29],也有研究利用树冠周长或冠幅来建立与树高及胸径之间的关系^[30]。但树冠周长一般随冠层形状变化而剧烈变化,在相等树冠面积下树冠周长也不是固定,而利用树冠面积可以较好的避免冠层周长变化带来的不确定性。通过在青海云杉样地中树冠面积与树高的分析显示,树冠面积与株高之间存在较为密切的对数函数关系(图7)。较小的幼树主要以株高快速增长而冠层增加不大,随着树高达到一定阶段植株主要以冠层的生长为主。在幼苗阶段植被为了能够争取更多的资源主要以快速的生长来达到有利的位置来获取充足的资源,当达到一定的株高后,扩大树冠面积成了获取更多资源的主

要手段。树冠面积与树高之间的关系也充分反映了植被生长中环境异质性对林冠空间分布的重要作用。

4 小结

植被冠层的大小、形状和结构在树木的生长过程中具有重要的作用。树木在生长过程中,由于邻近树木的压力,其枝条会偏向于有较多可利用资源或有利于树冠伸展的方向生长,这也往往造成冠层结构特征各异,而冠层的结构特征客观地反映了树木对空间资源的利用情况。常规地面法很难进行林冠结构特征的准确研究,半球图像法对冠层结构特征能够进行高效、客观、方便的提取,是对地面法的一种很好的补充,也对进一步研究冠层结构特征提供了至关重要的基础数据。

通过对比地面法与半球图像法,发现两种方法在获取植被冠层结构特征参数过程中均有误差。地面法受样地植株分布及观测者经验影响较大,当样地中植株较多时或观测人员经验不足时测量的误差将大大增加,而且地面法很难测量植被树冠面积。半球图像方法获取的植被冠幅能取得较好的结果,而且也比较客观。此外,半球图像法还能提取植被冠层面积、冠层孔隙度、冠层周长等参数,是一种比较可行的用于植被冠层结构特征研究的方法。树冠面积是表征冠层结构的一个重要参数,以往野外调查中很难获取该参数。利用半球图像法可以提取各种不同形状冠层的树冠面积。通过提取的树冠面积与树高之间建立的关系可知,青海云杉树冠面积与树高之间存在对数函数关系,这种函数关系符合青海云杉生长过程中对资源的利用。

半球图像法能够较精确地估算出多种冠层结构特征参数,对植被冠层的细小变化也能够进行准确的反应。当然半球图像法也可以用于其他多个方面的研究,如:可以通过该方法获取植被冠层与周围物种之间的竞争与合作关系;植被冠幅对林下其它动植物的分布影响;提供准确的植被冠层面积,大大丰富生物建模参数;此外,通过对植被冠层面积变化的研究将有可能影响到政府部门对造林政策及相关评价数据的公布。这一方法的实现也将为研究植被冠层结构提供更加科学的数据。

References:

- [1] Li D Z, Zang R G. The research advances on the structure and function of forest canopy, as well as their temporal and spatial changes. *World Forestry Research*, 2004, 17(3): 12-16.
- [2] Vierling L A, Wessman C A. Photosynthetically active radiation heterogeneity within a monodominant Congolese rain forest canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 103(3): 265-278.
- [3] Cui Q W, Zhu J W. The transmissive and reflective theoretics of light for various structures of the forest canopy. *Acta Geographica Sinica*, 1981, 36(2): 196-208.
- [4] Chen J M, Rich P M, Gower S T, Norman J M, Plummer S. Leaf area index of boreal forests: theory, techniques, and measurements. *Journal of Geophysical Research*, 1997, 102(D24): 29429-29444.
- [5] Kato A, Moskal L M, Schiess P, Swanson M E, Calhoun D, Stuetzle W. Capturing tree crown formation through implicit surface reconstruction using airborne lidar data. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(6): 1148-1162.
- [6] Heurich M. Automatic recognition and measurement of single trees based on data from airborne laser scanning over the richly structured natural forests of the Bavarian Forest National Park. *Forest Ecology and Management*, 2008, 255(7): 2416-2433.
- [7] Roberts S D, Dean T J, Evans D L, McCombs J W, Harrington R L, Glass P A. Estimating individual tree leaf area in loblolly pine plantations using LiDAR-derived measurements of height and crown dimensions. *Forest Ecology and Management*, 2005, 213(1/3): 54-70.
- [8] Pang Y, Zhao F, Li Z Y, Zhou S F, Deng G, Liu Q W, Chen E X. Forest height inversion using airborne Lidar technology. *Journal of Remote Sensing*, 2008, 12(1): 152-158.
- [9] Xiong N N, Wang J, Luo X, Feng Z K, Han G S. Measuring tree crown volume based on three dimension laser scanning and mapping system-taking *Pinus tabulaeformis* as a case. *Journal of Beijing Forestry University*, 2007, 29(S2): 61-65.
- [10] Feng Y M, Li Z Y, Zhang X. Estimating forest stand crown based on high spatial resolution image. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(5): 110-113.
- [11] Xiong Y Q, Wu J P. Tree-crown area detection algorithm for high spatial resolution remote-sensing image. *Geography and Geo-Information Science*, 2007, 23(6): 30-33.
- [12] Qin X L, Li Z Y, Yi H R. Extraction method of tree crown using high-resolution satellite image. *Remote Sensing Technology and Application*,

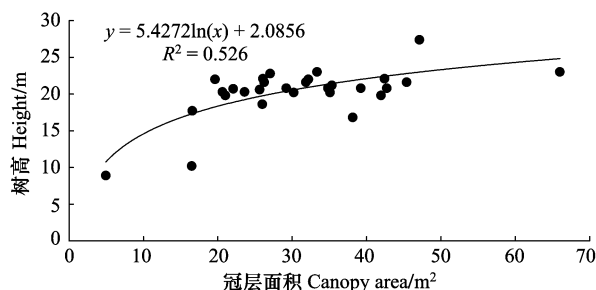


图7 青海云杉冠层面积与树高相关散点图

Fig. 7 Scatter plot of crown area and height of *Picea crassifolia*

- 2005, 20(2): 228-232.
- [13] Culvenor D S. TIDA: an algorithm for the delineation of tree crowns in high spatial resolution remotely sensed imagery. *Computers and Geosciences*, 2002, 28(1): 33-44.
- [14] Pouliot D A, King D J, Bell F W, Pitt D G. Automated tree crown detection and delineation in high-resolution digital camera imagery of coniferous forest regeneration. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 82(2/3): 322-334.
- [15] Lang M, Kuusk A, Möttö M, Rautiainen M, Nilson T. Canopy gap fraction estimation from digital hemispherical images using sky radiance models and a linear conversion method. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2010, 150(1): 20-29.
- [16] Yao K M, Hu N, Lu C G, Huang F X. Advances in canopy structure parameters retrieval using hemispherical photography. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2008, 31(1): 139-144.
- [17] Demarez V, Duthoit S, Baret F, Weiss M, Dedieu G. Estimation of leaf area and clumping indexes of crops with hemispherical photographs. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2008, 148(4): 644-655.
- [18] Ma Z Q, Liu Q J, Zeng H Q, Li X R, Chen Y R, Lin Y M, Zhang S H, Yang F T, Wang H Q. Estimation of leaf area index of planted forests in subtropical China by photogrammetry. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5): 1971-1980.
- [19] Zhao C Y, Shen W H, Peng H H. Methods for determining canopy leaf areaindex of *Picea Crassifolia* forest in Qilian Mountains, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(5): 860-869.
- [20] Zhao C Y, Qi J G, Shen W H, Zou S B. Estimating the canopy coverage of *Picea crassifolia* forest using digital hemispherical photography in Qilian Mountains. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(8): 4196-4205.
- [21] Herbert T J. Area projections of fisheye photographic lenses. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1987, 39(2/3): 215-223.
- [22] Hu L L, Zhu J J. Determination of the tridimensional shape of canopy gaps using two hemispherical photographs. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2009, 149(5): 862-872.
- [23] Baret F, Agroparc S. A Simple Method to Calibrate Hemispherical Photographs. [2004-06-05]. http://w3.avignon.inra.fr/valeri-methodology-hemis_calib1.pdf.
- [24] Chen J M, Black T A, Adams R S. Evaluation of hemispherical photography for determining plant area index and geometry of a forest stand. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1991, 56(1/2): 129-143.
- [25] Nobis M, Hunziker U. Automatic thresholding for hemispherical canopy-photographs based on edge detection. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2005, 128(3/4): 243-250.
- [26] Zehm A, Nobis M, Schwabe A. Multiparameter analysis of vertical vegetation structure based on digital image processing. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 2003, 198(2): 142-160.
- [27] Hu L L, Li J S, Wu X P, Yan B Q, Zhu J J, Luo J W, Xiao N W. Reviews on methods of measuring geometric characteristics of forest gaps involving gap size, gap shape, and the height of canopy trees surrounding the gap. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(7): 1911-1919.
- [28] Gill S J, Biging G S, Murphy E C. Modeling conifer tree crown radius and estimating canopy cover. *Forest Ecology and Management*, 2000, 126(3): 405-416.
- [29] Condés S, Sterba H. Derivation of compatible crown width equations for some important tree species of Spain. *Forest Ecology and Management*, 2005, 217(2/3): 203-218.
- [30] Deng B Z, Wang S L, Li Q J. Correlation analysis of breast diameter and crown width in artificial and natural forests mixed by Korean Pine and broadleaved trees. *Protection Forest Science and Technology*, 2003, (4): 19-20.

参考文献:

- [1] 李德志, 臧润国. 森林冠层结构与功能及其时空变化研究进展. *世界林业研究*, 2004, 17(3): 12-16.
- [3] 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. *地理学报*, 1981, 36(2): 196-208.
- [8] 庞勇, 赵峰, 李增元, 周淑芳, 邓广, 刘清旺, 陈尔学. 机载激光雷达平均树高提取研究. *遥感学报*, 2008, 12(1): 152-158.
- [9] 熊妮娜, 王佳, 罗旭, 冯仲科, 韩光瞬. 一种基于三维激光扫描系统测量树冠体积方法的研究——以油松为例. *北京林业大学学报*, 2007, 29(S2): 61-65.
- [10] 冯益明, 李增元, 张旭. 基于高空间分辨率影像的林分冠幅估计. *林业科学*, 2006, 42(5): 110-113.
- [11] 熊轶群, 吴健平. 基于高分辨率遥感图像的树冠面积提取方法. *地理与地理信息科学*, 2007, 23(6): 30-33.
- [12] 覃先林, 李增元, 易浩若. 高空间分辨率卫星遥感影像树冠信息提取方法研究. *遥感技术与应用*, 2005, 20(2): 228-232.
- [16] 姚克敏, 胡凝, 吕川根, 黄凤新. 鱼眼影像技术反演植被冠层结构参数的研究进展. *南京气象学院学报*, 2008, 31(1): 139-144.
- [18] 马泽清, 刘琪璟, 曾慧卿, 李轩然, 陈永瑞, 林耀明, 张时煌, 杨风亭, 汪宏清. 南方人工林叶面积指数的摄影测量. *生态学报*, 2008, 28(5): 1971-1980.
- [19] 赵传燕, 沈卫华, 彭焕华. 祁连山区青海云杉林冠层叶面积指数的反演方法. *植物生态学报*, 2009, 33(5): 860-869.
- [20] 赵传燕, 齐家国, 沈卫华, 邹松兵. 利用半球图像反演祁连山区青海云杉 (*Picea crassifolia*) 林盖度. *生态学报*, 2009, 29(8): 4196-4205.
- [27] 胡理乐, 李俊生, 吴晓蕾, 闫伯前, 朱教君, 罗建武, 肖能文. 林窗几何特征的测定方法. *生态学报*, 2010, 30(7): 1911-1919.
- [30] 邓宝忠, 王素玲, 李庆君. 红松阔叶人工天然混交林主要树种胸径与冠幅的相关分析. *防护林科技*, 2003, (4): 19-20.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 12 June, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Effect assessment of the project of grain for green in the karst region in Southwestern China: a case study of Bijie Prefecture	LI Hao, CAI Yunlong, CHEN Ruishan, et al (3255)
The effect of dispersal on the population dynamics of a host-parasite system in fragmented landscape	SU Min (3265)
The effect of spatial scales on wetland functions evaluation: a case study for coastal wetlands in Yancheng, Jiangsu Province	OU Weixin, YE Lifang, SUN Xiaoxiang, et al (3270)
Effects of simulated nitrogen deposition on nutrient balance of Chinese fir (<i>Cunninghamia lanceolata</i>) seedlings	FAN Houbao, LIAO Yingchun, LIU Wenfei, et al (3277)
The water conservation study of typical forest ecosystems in the forest transect of eastern China	HE Shuxia, LI Xuyong, MO Fei, et al (3285)
The ecological responses of <i>Pinus tabulaeformis</i> forests in Taiyue Mountains of Shanxi to artificial Harvesting	GUO Donggang, SHANGGUAN Tielang, BAI Zhongke, et al (3296)
The influence of the long-term application of organic manure and mineral fertilizer on microbial community in calcareous fluvo-aquic soil	ZHANG Huanjun, YU Hongyan, DING Weixin (3308)
Endophytic fungal diversity of five dominant plant species in the dry-hot valley of Yuanjiang, Yunnan Province, China	HE Caimei, WEI Daqiao, LI Haiyan, et al (3315)
Seedling recruitment in desert riparian forest following river flooding in the middle reaches of the Tarim River	ZHAO Zhenyong, ZHANG Ke, LU Lei, et al (3322)
Scaling up for transpiration of <i>Pinaceae schrenkiana</i> stands based on 8hm permanent plots in Tianshan Mountains	ZHANG Yutao, LIANG Fengchao, CHANG Shunli, et al (3330)
Responses of soil enzyme activities and microbial biomass N to simulated N deposition in Gurbantunggut Desert	ZHOU Xiaobing, ZHANG Yuanming, TAO Ye, et al (3340)
Effects of Pb on growth, heavy metals accumulation and chloroplast ultrastructure of <i>Iris lactea</i> var. <i>Chinensis</i>	YUAN Haiyan, GUO Zhi, HUANG Suzhen (3350)
Effects of temperature and sap flow velocity on CO ₂ efflux from stems of three tree species in spring and autumn in Northeast China	WANG Xiuwei, MAO Zijun, SUN Tao, et al (3358)
The soil seed bank of <i>Eupatorium adenophorum</i> along roadsides in the south and middle area of Yunnan, China	TANG Yingyin, SHEN Youxin (3368)
Extracting the canopy structure parameters using hemispherical photography method	PENG Huanhua, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong, et al (3376)
The CCA analysis between grasshopper and plant community in upper reaches of Heihe River	ZHAO Chengzhang, ZHOU Wei, WANG Keming, et al (3384)
Community structure characteristics of phytoplankton in argun River Drainage Area in autumn	PANG Ke, YAO Jinxian, WANG Hao, et al (3391)
Spatial and temporal variation of phytoplankton and impacting factors in Jiulongjiang Estuary of Xiamen, China	WANG Yu, LIN Mao, CHEN Xingqun, et al (3399)
Effect of bank type on fish biodiversity in the middle-lower reaches of East Tiaoqi River, China	HUANG Liangliang, LI Jianhua, ZOU Limin, et al (3415)
Study on dynamic changes of soil and water loss along highway based on RS/GIS: an example of Yujing expressway	CHEN Aixia, LI Min, SU Zhixian, et al (3424)
The urbanization effects on watershed landscape structure and their ecological risk assessment	HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (3432)
Assessment of ecological risk of coastal economic developing zone in Jinzhou Bay based on landscape pattern	GAO Bin, LI Xiaoyu, LI Zhigang, et al (3441)
Impacts of land use and cover changes on ecosystem service value in Zoige Plateau	LI Jinchang, WANG Wenli, HU Guangyin, et al (3451)
Effect of chicken manure application on Cu and Zn accumulation in soil and <i>Brassica sinensis</i> L.	ZHANG Yan, LUO Wei, CUI Xiaoyong, et al (3460)
GIS analysis of structural characteristics of pollution sources in irrigable farmland in Ningxia China	CAO Yanchun, FENG Yongzhong, YANG Yinlu, et al (3468)
Effects of pre-sowing soil moisture and planting patterns on photosynthetic characteristics and yield of summer soybean	LIU Yan, ZHOU Xunbo, CHEN Yuhai, et al (3478)
<i>In situ</i> study on influences of different fertilization patterns on inorganic nitrogen losses through leaching and runoff: a case of field in Nansi Lake Basin	TAN Deshui, JIANG Lihua, ZHANG Qian, et al (3488)
Effects of AM fungi on leaf photosynthetic physiological parameters and antioxidant enzyme activities under low temperature	LIU Airong, CHEN Shuangchen, LIU Yanying, et al (3497)
Effects of exogenous cysteine on growth, copper accumulation and antioxidative systems in wheat seedlings under Cu stress	PENG Xiangyong, SONG Min (3504)
Review and Monograph	
The horizon scanning technology and its application prospect in Ecology	HU Zimin, LI Jingjing, LI Wei, et al (3512)
Scientific Note	
The gas exchange characteristics of four shrubs on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (3522)
Effect of DEM data at different scales on the accuracy of forest Ecological Classification system	TANG Lina, HUANG Jucong, DAI Limin (3531)
Canopy interception of rainfall by Bamboo plantations growing in the Hill Areas of Southern Jiangsu Province	JIA Yongzheng, HU Haibo, ZHANG Jiayang (3537)
Effects of exotic species slash pine (<i>Pinus elliottii</i>) litter on the structure and function of the soil microbial community	CHEN Falin, ZHENG Hua, YANG Bosu, et al (3543)
The carbon emission analysis of Shenzhen Metro	XIE Hongyu, WANG Xixiang, YANG Muzhuang, et al (3551)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 12 期 (2011 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 12 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元