

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

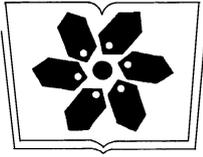
(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 5 期
Vol.31 No.5
2011



中国生态学学会
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5期 2011年3月 (半月刊)

目次

盐胁迫下3种滨海盐生植物的根系生长和分布.....	弋良朋,王祖伟 (1195)
蕙兰病株根部内生细菌种群变化.....	杨娜,杨波 (1203)
森林不同土壤层全氮空间变异特征.....	张振明,余新晓,王友生,等 (1213)
基于生态位模型的秦岭山系林麝生境预测.....	罗翀,徐卫华,周志翔,等 (1221)
黑河胜山自然保护区红松和红皮云杉生长释放判定及解释.....	王晓春,赵玉芳 (1230)
两种大型真菌菌丝体对重金属的耐受和富集特性.....	李维焕,于兰兰,程显好,等 (1240)
2005—2009年浙江省不同土地类型上空对流层NO ₂ 变化特征.....	程苗苗,江洪,陈健,等 (1249)
关帝山天然次生针叶林林隙径高比.....	符利勇,唐守正,刘应安 (1260)
鄱阳湖湿地水位变化的景观响应.....	谢冬明,郑鹏,邓红兵,等 (1269)
模拟氮沉降对华西雨屏区撑绿杂交竹凋落物分解的影响.....	涂利华,戴洪忠,胡庭兴,等 (1277)
喷施芳香植物源营养液对梨树生长、果实品质及病害的影响.....	耿健,崔楠楠,张杰,等 (1285)
不同覆膜方式对旱砂田土壤水热效应及西瓜生长的影响.....	马忠明,杜少平,薛亮 (1295)
干旱胁迫对玉米苗期叶片光合作用和保护酶的影响.....	张仁和,郑友军,马国胜,等 (1303)
不同供水条件下冬小麦叶与非叶绿色器官光合日变化特征.....	张永平,张英华,王志敏 (1312)
水分亏缺下紫花苜蓿和高粱根系水力学导度与水分利用效率的关系.....	李文娆,李小利,张岁岐,等 (1323)
美洲森林群落Beta多样性的纬度梯度性.....	陈圣宾,欧阳志云,郑华,等 (1334)
水体泥沙对菖蒲和石菖蒲生长发育的影响.....	李强,朱启红,丁武泉,等 (1341)
蚯蚓在植物修复芫污染土壤中的作用.....	潘声旺,魏世强,袁馨,等 (1349)
石榴园西花蓟马种群动态及其与气象因素的关系.....	刘凌,陈斌,李正跃,等 (1356)
黄山短尾猴食土行为.....	尹华宝,韩德民,谢继峰,等 (1364)
扎龙湿地昆虫群落结构及动态.....	马玲,顾伟,丁新华,等 (1371)
浙江双栉蝠蛾发生与土壤关系的层次递进判别分析.....	杜瑞卿,陈顺立,张征田,等 (1378)
低温导致中华蜜蜂后翅翅脉的新变异.....	周冰峰,朱翔杰,李月 (1387)
双壳纲贝类18S rRNA基因序列变异及系统发生.....	孟学平,申欣,程汉良,等 (1393)
基于物理模型实验的光倒刺鲃生态行为学研究.....	李卫明,陈求稳,黄应平 (1404)
中国铁路机车牵引能耗的生态足迹变化.....	何吉成 (1412)
城市承载力空间差异分析方法——以常州市为例.....	王丹,陈爽,高群,等 (1419)
水资源短缺的社会适应能力理论及实证——以黑河流域为例.....	程怀文,李玉文,徐中民 (1430)
寄主植物叶片物理性状对潜叶昆虫的影响.....	戴小华,朱朝东,徐家生,等 (1440)
专论与综述	
C ₄ 作物FACE(free-air CO ₂ enrichment)研究进展.....	王云霞,杨连新,Remy Manderscheid,等 (1450)
研究简报	
石灰石粉施用剂量对重庆酸雨区受害马尾松林细根生长的影响.....	李志勇,王彦辉,于澎湃,等 (1460)
女贞和珊瑚树叶片表面特征的AFM观察.....	石辉,王会霞,李秧秧,刘肖 (1471)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 284 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 32 * 2011-03

CONTENTS

Root system characters in growth and distribution among three littoral halophytes YI Liangpeng, WANG Zuwei (1195)

Population dynamics of endophytic bacteria isolated from the roots of infected *Cymbidium faberi* YANG Na, YANG Bo (1203)

Spatial variability of forest soil total nitrogen of different soil layers ZHANG Zhenming, YU Xinxiao, WANG Yousheng, et al (1213)

Habitat prediction for forest musk deer (*Moschus berezovskii*) in Qinling mountain range based on niche model LUO Chong, XU Weihua, ZHOU Zhixiang, et al (1221)

Growth release determination and interpretation of Korean pine and Koyama spruce in Shengshan National Nature Reserve, Heilongjiang Province, China WANG Xiaochun, ZHAO Yufang (1230)

Growth tolerance and accumulation characteristics of the mycelia of two macrofungi species to heavy metals LI Weihuan, YU Lanlan, CHENG Xianhao, et al (1240)

Characters of the OMI NO₂ column densities over different ecosystems in Zhejiang Province during 2005—2009 CHENG Miaomiao, JIANG Hong, CHEN Jian, et al (1249)

The forest gap diameter height ratio in a secondary coniferous forest of Guan Di Mountain FU Liyong, TANG Shouzheng, LIU Yingan (1260)

Landscape responses to changes in water levels at Poyang Lake wetlands XIE Dongming, ZHENG Peng, DENG Hongbing, et al (1269)

Effect of simulated nitrogen deposition on litter decomposition in a *Bambusa pervariabilis* × *Dendrocala mopsis* plantation, Rainy Area of West China TU Lihua, DAI Hongzhong, HU Tingxing, et al (1277)

Effect of aromatic plant-derived nutrient solution on the growth, fruit quality and disease prevention of pear trees GENG Jian, CUI Nannan, ZHANG Jie, et al (1285)

Influences of different plastic film mulches on temperature and moisture of soil and growth of watermelon in gravel-mulched land MA Zhongming, DU Shaoping, XUE Liang (1295)

Effects of drought stress on photosynthetic traits and protective enzyme activity in maize seeding ZHANG Renhe, ZHENG Youjun, MA Guosheng, et al (1303)

Photosynthetic diurnal variation characteristics of leaf and non-leaf organs in winter wheat under different irrigation regimes ZHANG Yongping, ZHANG Yinghua, WANG Zhimin (1312)

The root system hydraulic conductivity and water use efficiency of alfalfa and sorghum under water deficit LI Wenrao, LI Xiaoli, ZHANG Suiqi, et al (1323)

Latitudinal gradient in beta diversity of forest communities in America CHEN Shengbin, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1334)

Influence of silts on growth and development of *Acorus calamus* and *Acorus tatarinowii* in turbid water LI Qiang, ZHU Qihong, DING Wuquan, et al (1341)

Roles of earthworm in phytoremediation of pyrene contaminated soil PAN Shengwang, WEI Shiqiang, YUAN Xin, et al (1349)

Population dynamics of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) along with analysis on the meteorological factors influencing the population in pomegranate orchards LIU Ling, CHEN Bin, LI Zhengyue, et al (1356)

Geophagy of *Macaca Thibetana* at Mt. Huangshan, China YIN Huabao, HAN Demin, XIE Jifeng, et al (1364)

The structure and dynamic of insect community in Zhalong Wetland MA Ling, GU Wei, DING Xinhua, et al (1371)

Analysis of layer progressive discriminant relations between the occurrence of *Bipectilus zhejiangensis* and soil DU Ruiqing, CHEN Shunli, ZHANG Zhengtian, et al (1378)

New mutations in hind wing vein of *Apis cerana cerana* (Hymenoptera: Apidae) induced by lower developmental temperature ZHOU Bingfeng, ZHU Xiangjie, LI Yue (1387)

18S rRNA gene variation and phylogenetic analysis among 6 orders of Bivalvia class MENG Xueping, SHEN Xin, CHENG Hanliang, et al (1393)

Laboratory study on ethology of *Spinibarbus hollandi* LI Weiming, CHEN Qiuwen, HUANG Yingping (1404)

Dynamic change in ecological footprint of energy consumption for traction of locomotives in China HE Jicheng (1412)

Approach to spatial differences analysis of urban carrying capacity: a case study of Changzhou City WANG Dan, CHEN Shuang, GAO Qun, et al (1419)

Social adaptive capacity for water resource scarcity in human systems and case study on its measuring CHENG Huaiwen, LI Yuwen, XU Zhongmin (1430)

Effects of physical leaf features of host plants on leaf-mining insects DAI Xiaohua, ZHU Chaodong, XU Jiasheng, et al (1440)

Review and Monograph

Progresses of free-air CO₂ enrichment (FACE) researches on C₄ crops: a review WANG Yunxia, YANG Lianxin, Remy Manderscheid, et al (1450)

Scientific Note

Influence of limestone powder doses on fine root growth of seriously damaged forests of *Pinus massoniana* in the acid rain region of Chongqing, China LI Zhiyong, WANG Yanhui, YU Pengtao, et al (1460)

Leaf surface microstructure of *Ligustrum lucidum* and *Viburnum odoratissimum* observed by Atomic force microscopy (AFM) SHI Hui, WANG Huixia, LI Yangyang, LIU Xiao (1471)

关帝山天然次生针叶林林隙径高比

符利勇¹, 唐守正¹, 刘应安^{2,*}

(1. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091; 2. 南京林业大学理学院数学系, 南京 210037)

摘要:林隙径高比(D_{EG}/H)是指林隙直径与林隙高度的比值。它是林隙的一个主要特征因子,是研究森林动态及评价森林采伐强度的一个重要指标。以关帝山三种天然次生针叶林(华北落叶松、云杉、油松林)林隙作为研究对象,分析了3种林分林隙径高比结构,结果为:云杉林林隙径高比 D_{EG}/H 以0.6—1.6之间分布最多,占81.82%,油松林林隙径高比主要分布在0.8—1.6之间,占70.72%。华北落叶松林林隙径高比主要分布在0.4—1之间,占97.06%;通过林隙大小与林隙下幼树数量及林隙敏感度与幼树密度之间的散点分布趋势对林隙大小和林隙敏感度两个特征因子进行比较分析,结果为:林隙大小与林隙下幼树数量之间的散点分布无规律,很难反映各自林隙大小与幼树数量之间的具体关系。而 D_{EG}/H 与幼树密度之间的散点分布很有规律,能较好的反映幼树密度与林隙径高比之间的关系;利用线性模型、对数模型以及二阶多项分布模型分别对幼树密度和 D_{EG}/H 进行回归分析,并利用各自模型的相关系数、参数 P 值对它们进行比较,结果为:3种模型都可以用来拟合3种林分的幼树密度和林隙敏感度,其中对数模型拟合效果最好。

关键词:林隙径高比;林隙径高比结构;幼树;回归分析

The forest gap diameter height ratio in a secondary coniferous forest of Guan Di Mountain

FU Liyong¹, TANG Shouzheng¹, LIU Ying'an^{2,*}

¹ Research Institute of Forest Resources Information Techniques, CAF Beijing 100091, China

² The College of Science of Nanjing Forest University, Nanjing 210037, China

Abstract: Forest gaps are openings or holes created in forest canopy. Gaps may range in area from the openings created by the death of a single branch to larger scale blowdowns by catastrophic or noncatastrophic disturbance. Usually the size of gaps was defined within the boundaries of the 4—100m². Forest gaps are divided into two kinds of gap, canopy gap and expanded gap. Based on the fact that forest gaps play an important role in the maintenance of tree species richness, thus it is useful to research the forest gaps for forest regeneration. In this paper, the authors mainly analyzed the relationship between the diameter height ratio (D_{EG}/H) and the number of young trees in gaps. The concept of diameter height ratio (D_{EG}/H) is defined as the ratio of the gap diameter to gap height. It is a major feature factor of forest gaps, and is an important indicator for studying forest dynamics and evaluating forest harvesting.

Based on three kinds of the natural secondary coniferous forest gap (*Larix principis-rupprechtii*, *Picea* spp, *P. tabulaeformis*) in Guandi Mountain in Shanxi Province, firstly the paper analyzed the structure of the forest gap using D_{EG}/H . Second, the scatter distribution trends of gap size and D_{EG}/H to the number of saplings were compared. Finally, linear model, logarithm model and second-order multinomial distribution model were used to analyze the saplings density and D_{EG}/H , and to compare the models through the correlation coefficient and the P-value of parameters. The results are as follows:

In the three kinds of the forest gap, the average size of diameter height ratio (D_{EG}/H) of *Picea* spp is the biggest (average value = 1.3327), followed by *Larix principis-rupprechtii* (average value = 1.1315) and *P. tabulaeformis* is minimum (average = 0.7121). D_{EG}/H values of forest Gap for *Picea* spp mainly are between 0.6 and 1.6, which reach

基金项目:国家自然科学基金资助项目(10671032)

收稿日期:2001-07-01; 修订日期:2011-02-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lyastat@yahoo.com.cn

81.82%, *P. tabulaeformis* are between 0.8 and 1.6, which reach 70.72%, *Larix principis-rupprechtii* are between 0.4 and 1, which reach 97.06%.

The scatter distributions of gap size and the number of saplings are not regular, it is difficult to reflect the specific relationship between the gap size and the number of saplings. However the scatter distribution of gap diameter height ratio and the density of saplings are very regular, it is easy to reflect the relationship between gap size and the number of saplings. From the scatter distribution of gap diameter height ratio and the density of samplings, we can include that there is a positive correlation between the number of young trees and D_{EG}/H . According to analysis of the linear relations between the diameter height ratio of expanded gap and the seeding density, the results demonstrated that *Larix principis-rupprechtii* has the most obvious positive correlation, followed successively by oil pine and spruce forest.

The saplings density and D_{EG}/H were analysed based on the linear model, the logarithm model and the second-order multinomial distribution model. The results showed that the regression relationship of the three kinds of model are very significant for two significance levels 0.05 and 0.01, thus all of the three models can be used to fit the relationship between saplings density and D_{EG}/H in those three kinds of forest. The solution of the logarithm model is the best by using the correlation indicators of the coefficient and the P-value for each model.

Key Words: forest gap diameter height ratio (D_{EG}/H); the structure of the forest gap diameter height ratio; sapling; regression analysis

林隙是指森林群落中,由于某上层林冠树木死亡在林地上形成不连续的林中空隙地,是森林更新和生长的潜在空间,可分为冠层林隙(Canopy Gap,简称CG)和扩展林隙(Expanded Gap简称EG)。林隙大小是林隙的重要特征,直接影响着林隙内的小气候状况和微环境特征,从而对林隙内物种更新的种类、数量及分布产生重要影响^[1-5]。有关研究表明:对于相同面积大小的林隙而林隙高度相差较大的同类型林分中,林隙内幼树更新情况差异显著^[5-9]。因为面积大小一致但高度相差甚远的两个林隙中,太阳直接辐射程度不同,其他环境因子如水分、温度、土壤营养物质等都会有差异,必然使林隙内植物个体的生理生化特性及整个林隙的更新表现出差异^[10-11]。因此,在分析林隙对森林更新的影响时,一般都要指出该林隙所处周围林冠层高度的大小。除了用林隙大小作为一个重要特征因子来研究林隙更新动态^[12-15],一些学者还提出了用林隙直径与林隙高度(D/H)的比值(简称径高比)来评价林隙中幼树的更新^[16]。

林隙径高比(D/H)能够准确地反映林隙相对于周围林分的开敞程度,它考虑了太阳光辐射对林隙的环境影响,Canham等6位森林生态学家测定并比较了五类温带和热带森林中林冠空隙中的光照状况,得出光斑(sunfleck)在林隙中潜在持续时间的频率分布与林隙的大小及高度尤其相关^[15]。林隙径高比还影响着其它环境因子如林冠空隙内的温度与湿度,土壤养分与资源有效性等。Guntenspergen和Stearns对美国威斯康星北方阔叶林采伐林冠空隙气温状况的测定表明,在夏季,月平均最高气温随着林冠空隙直径与林隙高之比而变化,当直径与林隙高之比在1.5或2.0之前,最高气温随林冠空隙的增大而增大,但超过2.0之后,最高气温则由于风的增大而减少^[17]。由于林隙径高比对林隙内生境环境产生影响,从而进一步影响林隙的更新,因此研究林隙径高比(D/H)更有实际意义。

在国外,许多学者主要研究林隙对森林的结构、动态和多样性维持的作用^[18-21],其中对林隙动态的研究已成为当前森林生态学研究的重点和热点之一。在林隙大小分布模型研究中,Botkin以森林循环为基础,首创了林隙模型,对林隙动态过程进行了模拟^[22],Shugart和West对此进行了补充^[23],但是对林隙大小分布动态模型研究还是处于初级状态,没有成熟的理论体系,对林隙大小与林隙高度比值(D/H)的分布模型及 D/H 与林隙内更新幼树数量之间的关系研究更是少见。在我国,只有较少数学者仅对林隙大小分布模型拟合进行研究,如赵秀海等人用高斯分布模型、对数正态分布模型、二阶对数分布模型对长白山阔叶松林林隙大小结构研究^[1];闫淑君等人利用了Weibull分布模型对中亚热带常绿阔叶林林隙面积大小进行了研究^[2],而对林隙

径高比 D/H 研究非常少见。本文主要目的是介绍林隙大小与林隙高度比 (D/H) 作为林隙的一个重要因子在分析林隙内幼树更新时比传统的林隙大小因子分析效果好,更具有生态学意义;其次是运用常见的几种数学模型对 D/H 与林隙内幼树数量进行回归分析并通过对这几种回归模型比较,选择出一种最优的回归模型,从而对研究林分更新及评价森林采伐强度起着重要的作用。文中第 1 部分详细地介绍了该研究地域的概况、各种指标的具体测定方法及数据处理方法;第 2 部分中首先分析了 3 种林分各自的林隙径高比 (D/H) 分布结构及变化规律;接着对林隙大小与 D/H 两个因子进行了比较;最后用一元线性模型、二阶多项式模型及对数模型对林隙径高比与林隙内填充者数量进行回归分析并对 3 种模型的拟合效果进行了比较。第 3 部分为结论与讨论。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区自然概况

研究区在山西省关帝山庞泉沟自然保护区内进行,地理位置为 $37^{\circ}44'—37^{\circ}55'N$, $111^{\circ}22'—111^{\circ}33'E$, 最高海拔为 2 830 m, 最低 1 650 m。该林区南北长 15.0 km, 东西长 14.5 km, 总面积为 1.04 万 hm^2 , 其中有林面积 6 982.2 hm^2 , 占总面积的 66.19%。研究地区的气候属于季风控制下的暖温带大陆性山地气候, 年平均气温为 4.12 $^{\circ}C$, $\geq 0^{\circ}C$ 积温为 2100 $^{\circ}C$, 无霜期 100—130 d, 日照时数 1900—2200 h; 多年平均年降水量为 822.16 mm, 年蒸发量 1100—1500 mm, 相对湿度 70.19%; 土壤类型由低到高出现山地淋溶褐土、山地棕土、暗棕土和亚高山草甸土等, 试验地土壤为山地棕壤。天然次生针叶林的主要树种有华北落叶松 (*Larix principis-rupprechtii*) 林, 青扦 (*Picea wilsonii*) 林和白扦 *P. meyeri* 林, 油松 (*Pinus tabulaeformis*) 林。林下灌木主要有: 金花忍冬 (*Lonicera chrysantha*)、水木甸子 (*Cotoneaster multiflorus*)、土庄绣线菊 (*Spiraea pubescens*)、美蔷薇 (*R. bella*)、山麻子 (*Ribes manshuricum*) 等。草本植物有: 披针苔草 (*Carex lanceolata*)、糙苏 (*Phlomis umbrosa*)、唐松草 (*Thalictrum petaloideum*)、蒿类 *Artemisia* spp 等。

1.2 研究方法

1.2.1 林隙数据采集方法

采用样带调查方法,在关帝山华北落叶松林、油松林、云杉林中根据地形状况、林分特点及林分大小随机确定具有充分代表性的样地。在每个样地中,随机设置一条 20m \times 100m 的样带,根据扩展林隙的定义,对沿样带出现的每个林隙进行调查。调查内容包括: 扩展林隙直径、林隙高度、扩展林隙面积及扩展林隙下填充者数量(3 种林分各自的填充者里有其他外来树种,但实际调查时只考虑优势树种的数量,即华北落叶松幼树、油松幼树及云杉幼树数量)。总设置了 47 个样带,调查了 108 个林隙,3 种林分林隙个数分别为: 华北落叶松林 34 个,油松林 41 个,云杉林 33 个。

1.2.2 扩展林隙直径测定

扩展林隙直径 (D_{EG}) 采用过各自林隙中心 8 个不同方向的 4 个直径取平均值方法求取。公式为:

$$D_{EG} = \sum_{i=1}^4 d_i / 4 \quad (1)$$

林隙的中心一般取林隙内最长轴的中点。

1.2.3 扩展林隙高度测定

林隙高度 (H_{gap}) 在单层林中以林隙周围优势树树冠平均高度为准,复层林中以林隙周围主林层的各优势树树冠平均高度为准。

$$H_{gap} = \sum_{i=1}^n h_i \quad (2)$$

式中, n_i 为林隙周围优势树的个数, h_i 为第 i 株优势树的树冠高度。

1.2.4 扩展林隙面积测定

在计算林隙面积时,对规则的近椭圆形林隙,采用下面公式来计算^[9]:

$$A = \pi LW/4 \quad (3)$$

式中, A 为林隙面积, L 为长轴长, W 为短轴长。

对较大且不规则的林隙时, 可采用形成木与边界树构建三角形、由海伦公式计算各三角形面积再求和的方法来计算 EG 面积^[24]。

$$A = [s(s-a)(s-b)(s-c)]^{1/2} \quad (4)$$

式中, A 为三角形面积, s 为半周长, a, b, c 为各自的边长。

1.2.5 单位面积填充者数量计算

单位面积填充者数量是指在林隙内单位面积(一般为 1m^2) 上填充者数量 (N'), 也称单位面积幼树密度, 计算公式:

$$N' = \frac{N}{A} \quad (5)$$

式中, N 为林隙内填充者数量, A 为林隙面积。

1.2.6 林隙径高比测定

林隙分为冠层林隙和扩展林隙, 对应的林隙直径有两个, 分别为冠层林隙直径及扩展林隙直径, 这两种林隙的高度是相同的, 它们所对应的林隙径高比称之为冠空林隙径高比和扩展林隙径高比。许多学者一般是在扩展林隙下对物种多样性及树种更新进行研究^[25], 因为扩展林隙涉及的研究区域更大, 更能分析出林隙对林下各种研究因子之间的关系。本试验所调查填充者数量也是在扩展林隙下进行的, 用它来对林隙下填充者进行分析(文中把扩展林隙径高比简称为林隙径高比)。林隙径高比的数学表达式为:

$$DHR = \frac{D_{EG}}{H} \quad (6)$$

式中, D_{EG} 为扩展林隙直径, H 为林隙高度。

通过对 108 个林隙的测定, 计算了各林隙的林隙径高比和单位面积填充者数量。

由于林隙径高比(D/H) 是林隙直径与林隙高度 (D/H) 比值, 因此它与林隙的发育阶段、林分类型、林隙年龄及立地条件等因素有关。一般情况林隙径高比 (D/H) 随着林隙年龄的增大而变小, 这是由于林隙直径随着林冠空隙的侧生长的填充而变小, 而林隙高度随着年龄的增大而增大。Runkle 等人对众多材料总结后指出, 不同地区, 不同树种的林冠空隙侧生长速率非常相似, 一般变化在 $4-14\text{cm/a}$ 之间, 少数树种达 $20-26\text{cm/a}$, 侧生长速率对林冠空隙更新的影响程度很大程度取决于林冠空隙的大小和林隙高度^[13]。林隙高度的增大程度一般与林分类型及立地条件有关。当林隙侧生长填充或林隙内幼树高生长填充使得林隙面积小于 4m^2 时, 这时林隙完全被填充(林隙的大小定义在 $4-1000\text{m}^2$ 的界限之内), 再考虑林隙径高比 (D/H) 没什么实际意义。对于较大的林隙, 如果林隙内幼树高生长填充使得这些大林隙被划分多个小林隙时, 这些小林隙将被看作为新的林隙来进行研究, 而从每一个小林隙将对应一个林隙径高比。

1.2.7 数据分析

首先分析 3 种林分各自的林隙径高比结构及分布规律。接着比较林隙大小和林隙径高比两个林隙特征因子在评价林隙幼树更新时哪个因子更为合理有效。本文通过林隙大小与林隙下填充者数量之间的关系及林隙径高比与单位面积填充者数量之间的关系对两个特征因子进行比较的。从 3 种林分各自的林隙径高比与填充者数量散点分布趋势笔者选用一元线性模型、二阶多项式模型及对数模型对它们进行回归分析, 最后利用回归模型的相关系数及参数的 P 值确定最优回归模型, 其中林隙径高比为横坐标, 填充者数量为纵坐标。3 种回归模型简要介绍如下:

$$\text{一元线性模型} \quad y = ax + b + \varepsilon \quad (7)$$

$$\text{二阶多项式模型} \quad y = ax^2 + bx + c + \varepsilon \quad (8)$$

$$\text{对数模型} \quad y = a \log(x) + b + \varepsilon \quad (9)$$

在以上 3 个模型中, y 表示幼树密度, x 为林隙径高比, a, b, c 为未知参数, ε 为随机误差, $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ 。

分析过程中,由于填充者数量一般是与扩展林隙面积大小呈正相关,林隙之间填充者数量相差很大,不利于比较与分析。为了能清楚地反映填充者数量的分布情况,笔者把各自林隙中所调查的填充者数量(N)转化为单位面积(1m^2)上填充者数量(N'),即幼树密度。最后分别求出它们的回归方程和相关系数,并且在显著性水平为 0.05 和 0.01 两种情形下,利用样本相关系数检验相关显著性。所有分析是在统计学软件 SAS 9.0 上进行的。

2 结果与分析

2.1 林隙径高比 D_{EG}/H 的结构

在所调查的 34 个华北落叶松林林隙,41 个油松林林隙及 33 个云杉林林隙中,分别计算各自林分林隙径高比的平均值、变异系数和标准差,见表 1。

表 1 3 种林分各自林隙径高比的统计量

Table 1 The statistic of three kinds of forests D_{EG}/H

森林类型 Forest type	样本个数 Sample numbers	平均值 Average value	最小值 Minimum	最大值 Maximum	变异系数 A coefficient of variation	标准差 Standard deviation
云杉林 <i>Picea</i> spp	33	1.1315	0.4	2.32	0.066	0.0747
华北落叶松 <i>Larix principis-rupprechtii</i>	34	0.7121	0.41	1.22	0.0379	0.027
油松林 <i>P. tabulaeformis</i>	41	1.3327	0.74	2.23	0.0443	0.0591

从表 1 中可以看出,油松林冠空隙径高比 D_{EG}/H 最大(平均值为 1.3327),其次是云杉林的冠空隙径高比(D_{EG}/H)(平均值为 1.1315),华北落叶松林的扩展林隙径高比 D_{EG}/H 最小(平均值为 0.7121)。对于变异系数及标准差,华北落叶松最小,油松林次之,云杉林最大。为了能清楚的看到林隙径高比的结构分布,以 0.2 为级距对林隙进行分级。根据实测数据分别计算 3 种林分的 D_{EG}/H 等级百分比,见表 2。

表 2 各林分中 D_{EG}/H 等级占调查样点的百分比

Table 2 D_{EG}/H grades accounted for the percentage of survey samples in three forests

森林类型 Forest type	不同 D_{EG}/H 等级的百分比 Different D_{EG}/H grade percentage/%									样本数 Number of samples
	0.2—0.4	0.4—0.6	0.6—0.8	0.8—1	1—1.2	1.2—1.4	1.4—1.6	1.6—1.8	1.8—2.0	
华北落叶松林 <i>Larix principis-rupprechtii</i>	0	23.53	50	23.53	0	2.94	0	0	0	34
云杉林 <i>Picea</i> spp	3.03	3.03	15.15	24.24	15.15	12.13	15.15	6.06	6.06	33
油松林 <i>P. tabulaeformis</i>	0	0	4.88	19.51	14.63	21.95	14.63	12.2	12.2	41
合计 Total	0.93	8.33	22.22	22.22	10.19	12.96	10.19	6.48	6.48	108

从表 2 中可以看出华北落叶松林的扩展林隙径高比 D_{EG}/H 主要分布在 0.4—1 之间,占 97.06%,大于 1.4 没有分布。云杉林的扩展林隙径高比 D_{EG}/H 以 0.6—1.6 之间分布最多,占 81.82%。油松林的扩展林隙径高比 D_{EG}/H 主要分布在 0.8—1.6 之间,占 70.72%。

2.2 3 种林分各自林隙大小与林隙敏感的比较分析

以林隙大小为横坐标,林隙内填充者数量(N)为纵坐标,得到 3 种林分各自的林隙填充者数量与林隙大小的散点分布趋势图(图 1—图 3)。

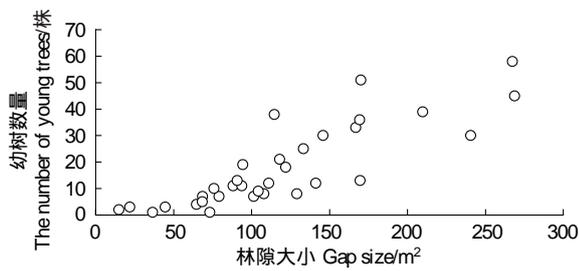


图 1 云杉林林隙大小与幼树数量散点分布

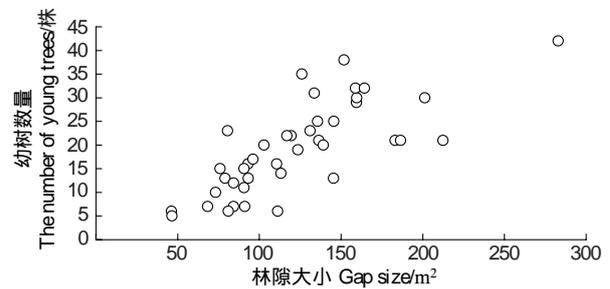
Fig. 1 The scatter distribution of gap size and the number of young trees in *picea spp* forest

图 2 油松林林隙大小与幼树数量散点分布

Fig. 2 The scatter distribution of gap size and the number of young trees in *P. tabulaeformis* forest

以林隙径高比为横坐标, 幼树密度 (N') 为纵坐标, 得到 3 种林分各自的林隙填充者数量与扩展林隙径高比 D_{EG}/H 的散点图及趋势 (图 4—图 6)。

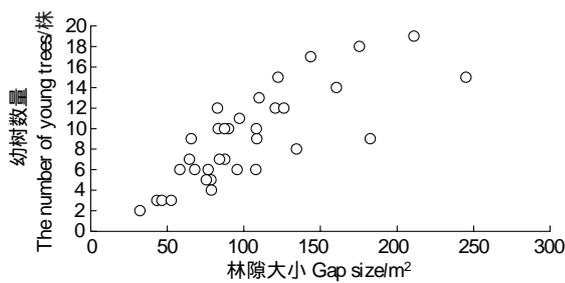
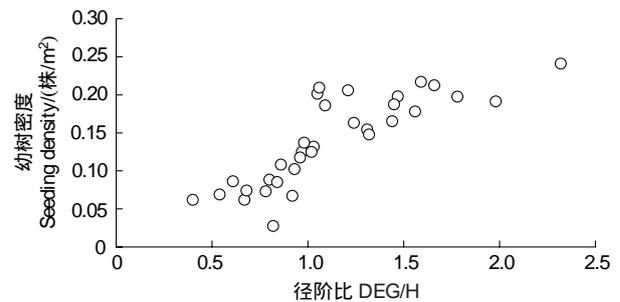
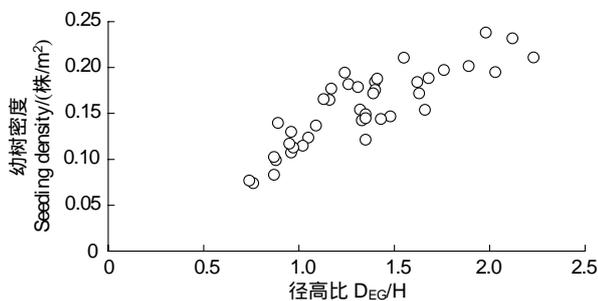
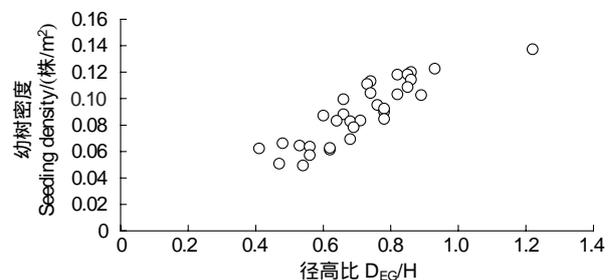


图 3 华北落叶松林林隙大小与幼树数量散点分布

Fig. 3 The scatter distribution of gap size and the number of young trees in *Larix principis-rupprechtii* forest图 4 云杉林幼树密度与 D_{EG}/H 的散点分布Fig. 4 The scatter Distribution of seeding density and D_{EG}/H in *picea spp* forest图 5 油松林幼树密度与 D_{EG}/H 的散点分布Fig. 5 The scatter Distribution of seeding density and D_{EG}/H in *P. tabulaeformis* forest图 6 华北落叶林幼树密度与 D_{EG}/H 的散点分布Fig. 6 The scatter Distribution of seeding density and D_{EG}/H in *Larix principis-rupprechtii* forest

从图 1、图 2 及图 3 可知幼树数量整体上随着林隙大小呈正相关, 但是很多大小接近的林隙对应的幼树数量相差很大, 并且散点分布凌乱, 走势没有明显规律, 很难反映林隙大小与幼树数量之间的具体关系。图 4、图 5 及图 6 是描述幼树密度与林隙径高比之间的关系, 从这 3 个图中可知幼树密度与林隙径高比之间有较强的正相关, 并且散点分布比图 1、图 2 及图 3 的散点分布明显有规律, 散点走势也很明显, 能较好的反映林隙径高比与幼树数量之间的关系。因此, 利用林隙径高比作为特征因子比利用林隙大小作为特征因子来评价林隙下幼树更新更为合理有效。

虽然图 4、图 5 及图 6 中各散点分布很有规律,并且林隙径高比与单位面积填充者数量有较强的正相关,但不同大小的林隙径高比所对应的填充者数量是不同的,并且不同林分大小接近的林隙径高比对应的填充者数量也不一定相同,甚至两者相差很大,这是因为林隙填充者数量不仅仅受林隙径高比的影响,还与林分类型及林隙内填充者的种类、林隙所处海拔高度、坡度、坡向、土壤等理化条件密切相关,因此要提出一个能充分考虑以上各个影响因子的林隙特征因子是几乎不可能的。而林隙高度和林隙大小是林隙的主要特征因子,同时也是影响林隙下幼树更新重要因素,本文定义的林隙径高比就是结合了这两个因子,所以与现有的林隙大小来比,林隙径高比能更好的分析与评价林隙下幼树的更新情况。

2.3 林隙内填充者数量与扩展林隙径高比 D_{EG}/H 的回归关系

利用一元线性模型、对数模型及二阶多项分布对三种林分各自的单位面积填充者数量与 D_{EG}/H 大小作一元回归分析,分别求出它们的模型参数、参数估计所对应的 P 值、相关系数(R)、 R^2 及校正相关系数。并且在显著性水平为 0.05 和 0.01 两种情形下,利用样本相关系数检验回归关系是否显著(表 3、表 4 及表 5)。

表 3 华北落叶松林回归分析表

Table 3 The regression analysis table for *Larix principis-rupprechtii* forest

模型 Model	参数 Parameter value	P	相关系数(R) correlation	R^2	Adjusted R^2	$r_{0.01}(n-2)$	$r_{0.05}(n-2)$
$y = ax + b + \varepsilon$	$a = 0.1283$ $b = -0.0024$	< 0.0001 0.7986	0.8716	0.7596	0.7521	0.439	0.34
$y = a \log(x) + b + \varepsilon$	$a = 0.0914$ $b = 0.1221$	< 0.0001 < 0.0001	0.8709	0.7585	0.751		
$y = ax^2 + bx + c + \varepsilon$	$a = -0.059$ $b = 0.2186$ $c = -0.0353$	0.2106 0.0047 0.2062	0.8785	0.7717	0.7569		

表 4 油松林回归分析表

Table 4 The regression analysis table for *P. tabulaeformis* forest

模型 Model	参数 Parameter value	P	相关系数 Correlation	R^2	Adjusted R^2	$r_{0.01}(n-2)$	$r_{0.05}(n-2)$
$y = ax + b + \varepsilon$	$a = 0.0922$ $b = 0.0328$	< 0.0001 0.0138	0.8487	0.7203	0.7132	0.397	0.308
$y = a \log(x) + b + \varepsilon$	$a = 0.1265$ $b = 0.1243$	< 0.0001 < 0.0001	0.8717	0.7599	0.7538		
$y = ax^2 + bx + c + \varepsilon$	$a = -0.0398$ $b = 0.1462$ $c = 0.125$	0.2749 < 0.0001 < 0.0001	0.8761	0.7675	0.7552		

表 5 云杉林回归分析表

Table 5 The regression analysis table for *picea spp* forest

模型 Model	参数 Parameter value	P	相关系数 Correlation	R^2	Adjusted R^2	$r_{0.01}(n-2)$	$r_{0.05}(n-2)$
$y = ax + b + \varepsilon$	$a = 0.1119$ $b = 0.0126$	< 0.0001 0.0138	0.8304	0.6895	0.6795	0.444	0.345
$y = a \log(x) + b + \varepsilon$	$a = 0.1267$ $b = 0.1324$	< 0.0001 < 0.0001	0.8437	0.7118	0.7025		
$y = ax^2 + bx + c + \varepsilon$	$a = -0.0497$ $b = 0.2401$ $c = -0.06$	0.0364 0.0004 0.111	0.8558	0.7323	0.7145		

从表 3 中可知,3 种模型拟合华北落叶松林幼树密度和林隙径高比之间的关系时,二阶多项分布模型对

应的相关系数最大 $R = 0.8785$, 线性模型次之 $R = 0.8709$, 对数模型最小 $R = 0.8716$ 。对于样本相关系数检验, 3 种模型的相关系数 R 都大于临界值 r , 因此 3 种模型都可以用来拟合华北落叶松林幼树密度和林隙径高比之间的关系。对于参数 P 值, 二阶多项分布模型两个参数都小于 0.0001, 因此参数的估计量都可以接受。而另外两个模型它们的参数所对应的 P 值不全小于 0.0001, 所以部分参数的估计量与参数的真实值差异显著。由于参数是每一个模型的基础, 而 3 种模型对应的相关系数相差不大 (级差 = 0.0076), 因此选用对数模型来拟合华北落叶松林幼树密度和林隙径高比更为合理。根据表 4、表 5 中同理可得到对数模型是 3 种模型中拟合油松林及云杉林幼树密度和林隙径高比的最佳模型。

3 结论与讨论

①通过 3 种林分各自的冠空隙径高比 D_{EG}/H 比较可得油松林最大 (平均值为 1.3327), 其次是云杉林 (平均值为 1.1315), 华北落叶松林最小 (平均值为 0.7121)。这可能是因为, 相对于另外两个林分, 油松主要分布在较低的海拔区域, 容易受到人为干扰, 一般形成的林隙面积比另外两种大, 平均树高也较小, 而华北落叶松林正好与油松林相反, 它分布在海拔较高的海拔区域, 受到人为干扰强度较小, 形成的林隙大小相对较小并且平均树高较大, 使得油松林的平均冠空隙径高比 D_{EG}/H 最大而华北落叶松林的平均冠空隙径高比 D_{EG}/H 最小。

②通过对林隙大小和林隙径高比两个因子的比较可得, 林隙径高比比林隙大小更能有效地评价林分内更新情况。通过线性模型、对数模型及二阶多项分布模型对 3 种林分各自的幼树密度与 D_{EG}/H 作一元回归分析, 根据模型相关系数及参数 P 值检验对 3 种模型进行比较, 最后得到对数模型为最优。

③在表 3、表 4 及表 5 中, 无论是线性模型、对数模型还是二阶多项分布模型对幼树密度与 D_{EG}/H 进行的回归分析, 模型的相关系数都满足华北落叶松林最大, 油松林次之, 云杉林最弱。因此可知华北落叶松林隙下填充者的数量主要与林隙大小及高度有关, 其次是油松林, 而云杉林林隙下填充者的数量不但与林隙大小及高度有关, 还与海拔高度、坡度、坡向、光照、土壤及林下灌木、草本数量和种类等条件密切相关。林隙形成后, 林隙填充者最有可能取代原形成木的位置, 其种类组成将直接影响林隙未来林冠层物种组成, 对林隙更新演替起着决定性作用。从图 4、图 5 及图 6 可得对于油松林和华北落叶松林, 当林隙径高比较小时, 尽管林隙面积很大, 但空地中幼树数量较少, 所以对于那些适合在该生境生长的外来物种很容易侵占了这类空地, 并迅速生长, 到最后这类林隙将会被其他树种所代替。由于关帝山中这两种林分的林隙形成方式主要为人为砍伐, 油松林占 42.11%, 华北落叶松林占 57.69%^[26], 如果对这两种林分在作业采伐时不考虑林隙径高比的大小而大面积砍伐时, 很有可能这些林分将被新的树种所取代。对于云杉林, 幼树密度随着林隙径高比的增大而增大, 当林隙径高比达到一定大小时幼树密度开始减少, 呈负相关, 并把这个值成为峰值。云杉林林隙的形成方式主要也是人为砍伐, 占 66.67%^[26], 所以为了合理可持续地经营云杉林, 最理想的采伐强度是使得由采伐所形成的林隙空地的林隙径高比为峰值。由以上分析可得林隙径高比是森林采伐强度的一个重要指标。

④因为林隙径高比是林隙的一个重要特征因子, 它反映该林隙内物种更新的强弱。如果能动态预测林隙径高比随着林隙年龄变化规律, 那么就能动态预测整个林隙下填充者的数量变化, 所以林隙径高比对研究森林动态变化起着重要的作用。另外林下水分、热量、光照、土壤物理性质等因子与林隙径高比有着紧密联系。

References:

- [1] Zhao X H, Zhang C Y, Zheng J M. Size structure of canopy gaps in broadleaved Korean pine forests in the Changbai Mountains. *Journal of Beijing Forestry University*, 2006, 28(4): 34-38.
- [2] Yan S J, Hong W, Wu C Z. A Study on Weibull Model for GAP Area in Mid-Subtropical Evergreen Broad-leaved Forest in Wannulin. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis (Natural Science)*, 2002, 24(6): 802-805.
- [3] Zang R G, Yang Y C. Gaps and their natural disturbance regimes in the tropical montane rain forest of hainan island. *Scientia Silvae Sinicae*, 1999, 35(1): 1-8.
- [4] Wu G. Regeneration dynamics of tree species in gaps of Korean pine broad leaved mixed forest in Changbai Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1997, 8(4): 360-364.

- [5] Denslow J S, Schultz J C, Vitousek P M, Strain B R. Growth response of tropical shrubs to treefall gap environments. *Ecology*, 1990, 71(1): 165-179.
- [6] Whittaker R H, Levin S A. The role of mosaic phenomena in natural communities. *Theoretical Population Biology*, 1977, 12(2): 117-139.
- [7] Shao G F, Schall P, Weishampel J F. Dynamic simulations of mixed broadleaved-*Pinus koraiensis* forests in the Chang bai shan biosphere reserve of China. *Forest Ecology and Management*, 1994, 70(1/3): 169-181.
- [8] Lertzman K P. Pattern of gap-phase replacement in a subalpine, old-growth forest. *Ecology*, 1992, 73(2): 657-669.
- [9] Zang R G, Guo Z L, Gao W T, Yang W H. Gap regeneration in a broadleaved Korean pine forest in the Changbai Mountain Natural Reserve. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(4): 349-353.
- [10] Liu J F, H W, Li J Q, Yang W H. Gap natural disturbance regime in the *Castanopsis kawakamii* forest. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(10): 1991-1999.
- [11] Liu W J, Li Q J. Microclimatic Characteristics of Canopy Gaps in *Shorea chinensis* Forest in Xishuangbanna. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(3): 356-361.
- [12] Runkle, J R. Comparison of methods for determining fraction of land area in treefall gaps. *Forest Science*, 1985, 31(1): 15-19.
- [13] Rankle J R. Disturbance regimes in temperate forests // Pickett S T A, White P S, eds. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. New York: Academic Press, 1985: 17-33.
- [14] Canham C D, Denslow J S, Platt W J, Runkle J R, Spies T A, White P S. Light regimes beneath closed canopies and tree-fall gaps in temperate and tropical forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 1990, 20(5): 620-631.
- [15] Dorney J R, Guntenspergen G R, Keough J R, Stearns F. Composition and structure of an urban woody plant community. *Urban Ecology*, 1984, 8(1/2): 69-90.
- [16] Yang J, Liu L J, Ge J P, Ding Y, Tan Y C. Characteristics of Canopy Gap Disturbance in Wolong Nature Reserve. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(5): 723-726.
- [17] Runkle J R, Stewart G H, Veblen T T. Sapling diameter growth in gaps for two *Nothofagus* species in New Zealand. *Ecology*, 1995, 76(7): 2107-2117.
- [18] Morgan J W. Importance of canopy gaps for recruitment of some forbs in *Themeda triandra*-dominated grasslands in southeastern Australia. *Australian Journal of Botany*, 1998, 46(6): 609-627.
- [19] Tilman D. Competition and biodiversity in spatially structured habitats. *Ecology*, 1994, 75(1): 2-16.
- [20] Kneeshaw D D, Bergeron Y. Canopy gap characteristic and tree replacement in the southeastern boreal forest. *Journal of Ecology*, 1998, 79(3): 783-794.
- [21] Tyrrell L E, Crow T R. Structural characteristics of old-growth hemlock hardwood forests in relation to age. *Ecology*, 1994, 75(2): 370-386.
- [22] Botkin D B, Janak J F, Wallis J R. Some ecological consequence of a computer model of forest growth. *The Journal of Ecology*, 1972, 60(3): 849-872.
- [23] Shugart H H. *A theory of forest dynamics: the ecological implications of forest succession models*. New York: Springer-Verlag, 1984.
- [24] An S Q, Hong B G, Li C Y, Zhang Y, Liu Z L. Environmental and Vegetation Studies of the gaps of Secondary Forests on Zijin Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology* 1997, 8(3): 245-249.
- [25] Lawton R O. Canopy gaps and light penetration into a wind exposed tropical lower montane rain forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 1990, 20(5): 659-667.
- [26] Li X F, Han Y Z, Zhang L, Lu Y J. Gap characteristics in a secondary coniferous forest of Guandi Mountain, Shanxi Province. *Journal of Zhejiang Forestry College*. 2008, 25(1): 28-32.

参考文献:

- [1] 赵秀海, 张春雨, 郑景明. 长白山阔叶红松林林隙大小结构研究. *北京林业大学学报*, 2006, 28(4): 34-38.
- [2] 闫淑君, 洪伟, 吴承祯. 中亚热带常绿阔叶林林隙面积的 Weibull 分布模型研究. *江西农业大学学报(自然科学版)*, 2002, 24(6): 802-805.
- [3] 臧润国, 杨彦承. 海南岛热带山地雨林林隙及其自然干扰特征. *林业科学*, 1999, 35(1): 1-8.
- [4] 吴刚. 长白山红松阔叶林林冠空隙特征的研究. *应用生态学报*, 1997, 8(4): 360-364.
- [9] 臧润国, 郭忠凌, 高文韬. 长白山自然保护区阔叶红松林林隙更新的研究. *应用生态学报*, 1998, 9(4): 349-353.
- [10] 刘金福, 洪伟, 李俊清, 杨文晖. 栎氏栲树林林窗自然干扰规律. *生态学报*, 2003, 23(10): 1991-1999.
- [11] 刘文杰, 李庆军, 张光明, 施济普, 白坤甲. 西双版纳望天树林林窗小气候特征研究. *植物生态学报*, 2000, 24(3): 356-361.
- [16] 杨娟, 刘丽娟, 葛剑平, 丁易, 谭迎春. 卧龙自然保护区林隙干扰特征. *植物生态学报*, 2004, 28(5): 723-726.
- [24] 安树青, 洪必恭, 李朝阳, 张亚, 刘志礼. 紫金山次生林林窗植被和环境的研究. *应用生态学报*, 1997, 8(3): 245-249.
- [26] 李雪芬, 韩有志, 张莉, 卢雅娟. 关帝山天然次生针叶林的林隙特征. *浙江林学院学报*, 2008, 25(1): 28-32.

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)

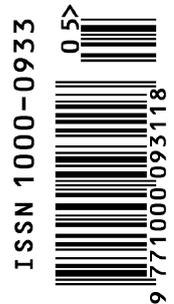
第 31 卷 第 5 期 (2011 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 5 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