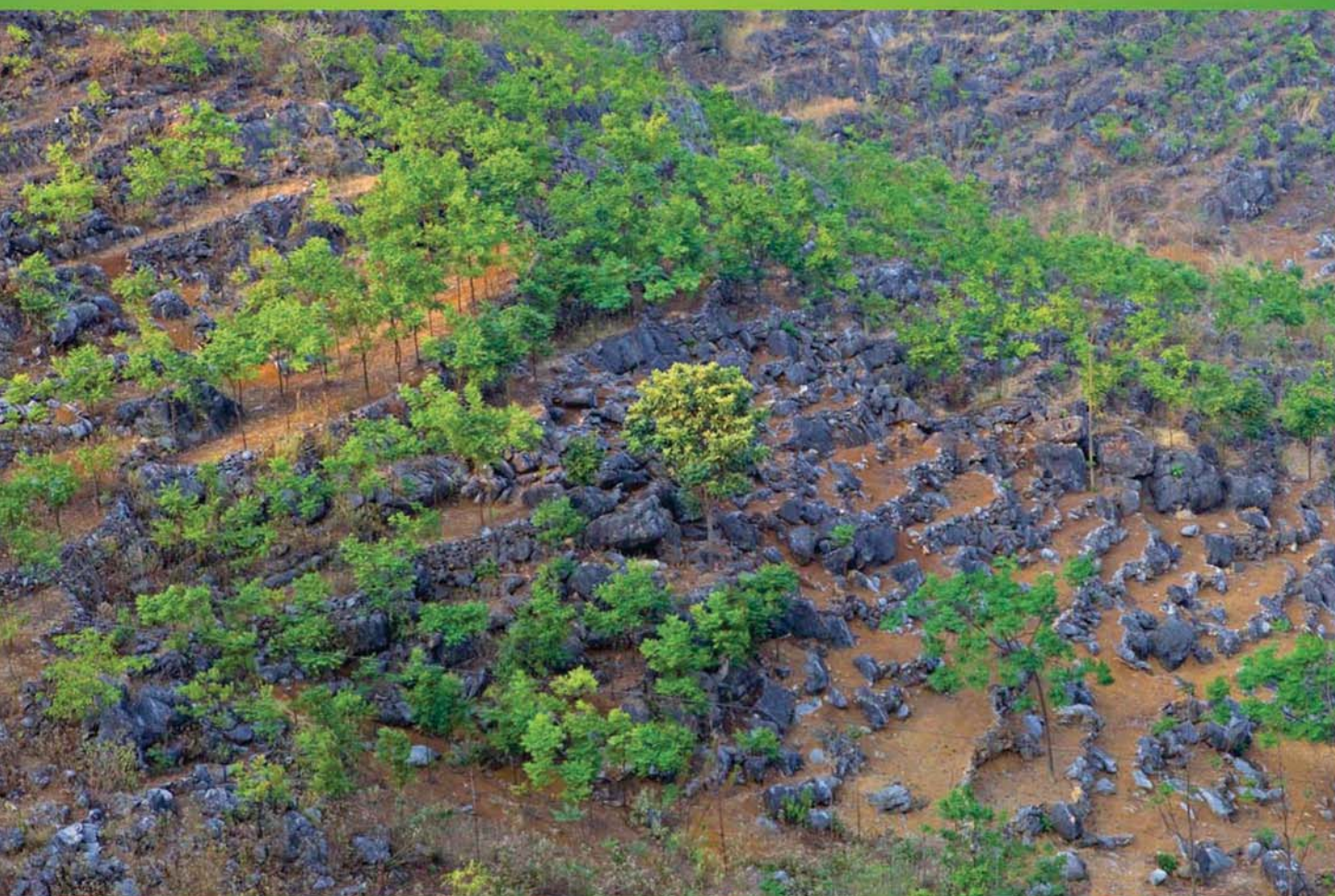


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

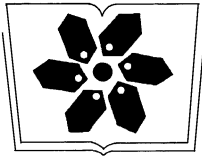
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第15期 Vol.33 No.15 **2013**

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 33 卷 第 15 期 2013 年 8 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 红树林生态系统遥感监测研究进展..... 孙永光,赵冬至,郭文永,等 (4523)
- 基于能值分析方法的城市代谢过程研究——理论与方法 刘耕源,杨志峰,陈 彬 (4539)
- 关于生态文明建设与评价的理论思考 赵景柱 (4552)

个体与基础生态

- 长江口及邻近海域秋冬季小型底栖动物类群组成与分布..... 于婷婷,徐奎栋 (4556)
- 灌河口邻近海域春季浮游植物的生态分布及其营养盐限制..... 方 涛,贺心然,冯志华,等 (4567)
- 春季海南岛近岸海域尿素与浮游生物的脲酶活性..... 黄凯旋,张云,欧林坚,等 (4575)
- 模拟酸雨对蒙古栎幼苗生长和根系伤流量的影响..... 梁晓琴,刘 建,丁文娟,等 (4583)
- 有机酸类化感物质对甜瓜的化感效应..... 张志忠,孙志浩,陈文辉,等 (4591)
- 稻田土壤氧化态有机碳组分变化及其与甲烷排放的关联性..... 吴家梅,纪雄辉,霍莲杰,等 (4599)
- 双氰胺单次配施和连续配施的土壤氮素形态和蔬菜硝酸盐累积变化..... 王煌平,张 青,翁伯琦,等 (4608)
- 不同类型土壤中分枝杆菌噬菌体分离率的比较..... 徐凤宇,苏胜兵,马红霞,等 (4616)
- 模拟酸雨对小麦产量及籽粒蛋白质和淀粉含量及组分的影响 卞雅姣,黄 洁,孙其松,等 (4623)
- 麻花秦艽种子休眠机理及其破除方法 李兵兵,魏小红,徐 严 (4631)
- 4 种金色叶树木对 SO_2 胁迫的生理响应 种培芳,苏世平 (4639)
- 硫丹及其主要代谢产物对紫色土中酶活性的影响..... 熊佰炼,张进忠,代 娟,等 (4649)

种群、群落和生态系统

- 群落水平食物网能流季节演替特征..... 徐 军,周 琼,温周瑞,等 (4658)
- 千岛湖岛屿社鼠的种群数量动态特征..... 张 旭,鲍毅新,刘 军,等 (4665)
- 黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征..... 朱秋莲,邢肖毅,张 宏,等 (4674)
- 青藏高原高寒草甸退化与人工恢复过程中植物群落的繁殖适应对策..... 李媛媛,董世魁,朱 磊,等 (4683)
- 杉木人工林土壤质量演变过程中土壤微生物群落结构变化..... 刘 丽,徐明恺,汪思龙,等 (4692)
- 不同玉米品种(系)对玉米蚜生长发育和种群增长的影响 赵 曼,郭线茹,李为争,等 (4707)
- 伏牛山自然保护区森林冠层结构对林下植被特征的影响..... 卢训令,丁圣彦,游 莉,等 (4715)
- 内蒙古武川县农田退耕还草对粪金龟子群落的影响 刘 伟,门丽娜,刘新民 (4724)
- 铜和营养缺失对海州香薷两个种群生长、耐性及矿质营养吸收的差异影响 柯文山,陈世俭,熊治廷,等 (4737)
- 新疆喀纳斯国家自然保护区植被叶面积指数观测与遥感估算..... 咎 梅,李登秋,居为民,等 (4744)

景观、区域和全球生态

基于 LUCC 的生态系统服务空间化研究——以张掖市甘州区为例 梁友嘉,徐中民,钟方雷,等 (4758)

人工管理和自然驱动下盐城海滨湿地互花米草沼泽演变及空间差异 张华兵,刘红玉,侯明行 (4767)

基于 PCA 的滇西北高原纳帕海湿地退化过程分析及其评价 尚 文,杨永兴,韩大勇 (4776)

基于遥感和地理信息系统的图们江地区生态安全评价..... 南 颖,吉 喆,冯恒栋,等 (4790)

呼中林区森林景观的历史变域模拟及评价..... 吴志丰,李月辉,布仁仓,等 (4799)

降水时间对内蒙古温带草原地上净初级生产力的影响..... 郭 群,胡中民,李轩然,等 (4808)

研究简报

我国中东部不同气候带成熟林凋落物生产和分解及其与环境因子的关系.....

..... 王健健,王永吉,来利明,等 (4818)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-08



封面图说:石质山区的退耕还林——桂西北地区是我国喀斯特集中分布的地区之一,这里的石漠化不仅造成土地退化、土壤资源逐步消失、干旱缺水和土地生产力下降,而且还导致生态系统退化和植被消亡。桂西北严重的地质生态环境问题,威胁着当地居民的基本生存,严重制约了当地社会经济的发展。增加植被覆盖是防治石漠化的重要举措。随着国家退耕还林、生态移民等治理措施的实施,区域植被碳密度显著增加,生态环境有所好转。图为喀斯特地区农民见缝插针用来耕种的鸡窝地(指小、碎、分散的土地),已经退耕还林了。

彩图及图说提供:陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201205120699

卢训令, 丁圣彦, 游莉, 张恒月. 伏牛山自然保护区森林冠层结构对林下植被特征的影响. 生态学报, 2013, 33(15): 4715-4723.

Lu X L, Ding S Y, You L, Zhang H Y. Effects of forest canopy structure on understory vegetation characteristics of Funiu Mountain Nature Reserve. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(15): 4715-4723.

伏牛山自然保护区森林冠层结构对林下 植被特征的影响

卢训令^{1,2,3}, 丁圣彦^{1,3,*}, 游莉², 张恒月²

(1. 河南大学环境与规划学院, 开封 475004; 2. 河南大学生命科学学院, 开封 475004;

3. 河南大学生态科学与技术研究所, 开封 475004)

摘要:在伏牛山自然保护区典型地段设立样方,测定了森林生态系统内几种典型群落类型的冠层结构、光环境特征,调查了林下植被的特征,分析了它们之间的相互关系。结果显示:各群落的冠层结构和光环境有一定的差异,单因素方差分析表明,部分群落间的差异性达到显著水平;各群落灌木层物种丰富度、多样性和均匀度均高于草本层,而优势度正相反;线性拟合的结果表明,草本层的物种丰富度、多样性与冠下光合量子通量密度间呈极显著负相关,优势度与冠下光合量子通量密度间呈显著正相关,灌木层各参数与冠层结构特征间相关性不显著。研究表明,冠层结构的变化对草本层(包括更新幼苗)的影响显著高于灌木层。林隙/林窗或林中空地的出现可能对草本物种或其他阳性及先锋物种具有促进作用,而对优势种幼苗的萌发和定植产生负效应。推测在典型的落叶阔叶林生态系统演替进程中,林下光照强度可能不是最主要的限制因素,优势种种子的扩散、萌发和定植限制可能更重要。

关键词:冠层结构;光环境;物种多样性;伏牛山自然保护区

Effects of forest canopy structure on understory vegetation characteristics of Funiu Mountain Nature Reserve

LU Xunling^{1,2,3}, DING Shengyan^{1,3,*}, YOU Li², ZHANG Hengyue²

1 College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, China

2 School of Life Sciences, Henan University, Kaifeng 475004, China

3 Institute of Ecological Science and Technology, Henan University, Kaifeng 475004, China

Abstract: Forest canopy is the most direct and active interface layer between the forest and the outside environment, the canopy structure and the understory light environment have great significance for plant growth and community regeneration. Many previous studies have showed that the emergence of forest gaps and the consequently enhanced light penetration significantly impact the regeneration and colonization of understory vegetation. However, we still have few of knowledge about the relationships between the forest canopy structure and the understory vegetation especially in the ecosystems of the typical mountain deciduous broad-leaved forest (DBF). Therefore, in order to investigate the canopy structure, light environment characteristics, and species diversity of understory communities, as well as explore the relationship between community canopy structure and understory vegetation characteristics in a typical mountain deciduous broad-leaved forest ecosystem, we established sampling plots in representative areas of Funiu Mountain Nature Reserve. We recorded canopy structure, light environment characteristics (using a WinScanopy 2006a from Regent Instruments Inc), and understory

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30570301)

收稿日期:2012-05-12; **修订日期:**2012-10-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: syding@henu.edu.cn

plant community (including the shrub layer and the herb layer) characteristics in the plots, and then use a regression analysis (linear curve estimation) to evaluate the relationship between understory vegetation characteristics and canopy structure. The results thus obtained show that: (1) The plant communities certainly differed in certain aspects of canopy structure (including canopy openness, gap fraction, leaf area index, and mean leaf angle index) and light environment characteristics (including direct/diffuse/total photosynthetic photon flux density under/over canopy, and extinction coefficient). One-way ANOVA of the raw data indicates that some of the differences between the communities are statistically significant. (2) The species richness, diversity and evenness of the shrub layer were all higher than those of the herb layer, whereas the herb layer has a higher dominance index. As elevation increases, differences in the physical parameters of the two understory layers decrease. (3) We found statistically significant, though weak, negative correlations between herb layer species richness ($P=0.006$, $R^2=0.309$) and diversity ($P=0.008$, $R^2=0.289$) and the under canopy photosynthetic photon flux density, as well as a weak positive correlation ($P=0.011$, $R^2=0.268$) between dominance index of the herb layer and under canopy photosynthetic photon flux density. We did not find any significant correlation between canopy structure and light environment and the parameters of the shrub layer ($P>0.05$). This study shows that the herb layer (including regeneration seedlings) is more sensitive to changes of canopy structure than the shrub layer (including regeneration saplings). The emergence of forest gaps or spaces may therefore have positive effects on herbaceous plants and other pioneer species, while negatively impacting the germination and growth of dominant species seedlings. This effect may thus produce another succession sequence in the forest gaps, although they may finally develop to the same local climax community type. These above study results make us speculate that, the light intensity in the understory layer may not be the most important limited factor, while the factors about the diffusion, germination and planting of the seedlings of dominant species could be more important in the succession process of the typical deciduous broad-leaved forest ecosystem.

Key Words: canopy structure; light environment; species diversity; Funiu Mountain Nature Reserve

生态系统中的群落结构特征和物种多样性是生态学研究中的热点问题之一^[1-4]。森林冠层是森林与外界环境相互作用最直接和最活跃的界面层,冠层结构的特征在一定程度上决定了森林生态系统的能流过程和强度,并对林下植物的生长和群落更新演替具有重要意义^[5-6]。林冠层通过对冠层光的透射、反射和吸收,直接影响到林下光照的强度和分布,而光照对于绝大多数森林树种而言,是决定更新个体能否生存和生长的关键,与更新幼苗的空间分布格局和生态特性密切相关^[7-8]。通过对森林冠层结构的研究有助于对整个森林生态系统演替进程及其机制的理解。目前关于物种多样性和冠层结构方面的研究已有很多,但多集中在林隙/林窗等特殊冠层对群落物种多样性^[9-11],更新和演替^[12-14]的影响方面,关于典型冠层结构对植被群落结构、物种多样性影响的研究较少^[15-18]。林下灌草层植被及其多样性是整个森林生态系统的重要组成部分,对生态系统功能和群落更新意义重大,已有研究表明林隙/林窗的出现及其引起的光照增强对林下植被的更新和拓殖具有重要意义^[9, 11, 19-20],但在典型林冠下的群落结构和物种组成如何?在典型的山地落叶阔叶林中,不同群落类型其冠层结构有何差异?典型冠层结构与林下植被结构的关系如何?这些问题目前尚不清楚。

基于上述问题,本研究拟通过对伏牛山自然保护区落叶阔叶林区典型群落类型冠层结构、光环境特性、林下灌草层植被物种多样性进行研究,探讨典型森林群落冠层结构特征与林下植被特征的关系,为研究森林生态系统更新和维持其多样性提供理论和数据支持,并可为保护区内森林生态系统保育和物种多样性保护提供科学依据。

1 研究区概况

伏牛山国家级自然保护区位于伏牛山的主体部分,地理坐标为东经 $110^{\circ}30'$ — $113^{\circ}05'$,北纬 $32^{\circ}45'$ — $34^{\circ}00'$,大致在海拔 600m 以上的山地范围,保护区面积约 56000 hm^2 ,是华北与华中过渡带面积最大的森林生

态系统类型保护区^[21]。地带性植被为暖温带落叶阔叶林向亚热带常绿阔叶林的过渡型,该区详细的自然地理概况和植被特征已有众多文献报道^[22-23],不再赘述。

2 研究方法

2.1 数据采集

在研究区内,选择具有代表性的山体设置样地。具体设置方式为:从保护区山门处(海拔高度约 1000m)到山顶,海拔每升高 100m 设一个样点(共 8 个样点),每个样点设置 3 个面积为 20m×20m 的乔木样方。在样方的四角及中心分别设一个面积 2m×2m 灌木层样方和 1m×1m 草本层样方,共设置乔木样方 24 个,灌木和草本样方各 120 个。群落调查在 2006 年 7—10 月完成,并于 2007 年 7—8 月进行了复查,具体调查指标包括:灌木层的物种、高度、基径、冠幅、盖度等,草本层的物种、高度、丛径、冠幅、盖度等,同时记录样方所处的地理坐标、海拔、坡向、坡度、坡位等参数;在 2008 年 9 月 11—17 日使用 WinScanopy 2006a(加拿大 Regent 公司, <http://www.regent.qc.ca>)冠层分析仪获取了群落冠层结构数据,具体方式为:在各样地中使用鱼镜头相机对冠层进行拍照,拍摄点位于各灌木层样方的中心,相机高度为 1.2m,拍摄时间在天气晴朗的 8:00—9:00 或者 14:00—16:00。目的是为了消除太阳直射产生的巨大光斑,同时保证有充足的光线^[24-25]。每个拍摄点选取 3 张照片进行分析,供分析用的照片共 360 幅,使用仪器自带的软件对获得的数码照片进行分析,主要参数包括:光合量子通量密度(PPFD)、冠层空隙度、冠层开度、叶面积指数(LAI)、平均叶倾角(MLA)等。

2.2 指数计算

(1)物种丰富度(S) 因各样方面积一致,使用样方内物种数目 S 表示物种丰富度。

(2)Shannon-Wiener 多样性指数 $H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$, 其中 $P_i = \frac{N_i}{N}$

(3)均匀度指数 基于 Shannon-Wiener 多样性指数, $J_{sw} = \frac{H'}{H_{\max}}$, 其中 $H_{\max} = \ln S$

(4)优势度指数 $\lambda = \sum_{i=1}^S [N_i(N_i - 1)/N(N - 1)]$

(5)重要值 $IV = RA(RH) + RD(RC) + RF = \frac{N_i}{N} + \frac{X_i}{X} + \frac{F_i}{F}$

乔木层和灌木层为 重要值=相对多度(RA)+相对显著度(RD)+相对频度(RF)

草本层为 重要值=相对高度(RH)+相对盖度(RC)+相对频度(RF)

(6)消光系数(k) 由 Beer-Lambert 方程得出:

$$I_z = I_0 \times e^{-k \times LAI} \text{ 或 } k = -\ln(I_0/I_z)/LAI$$

式中, S 为样方内物种数目; P_i 为第 i 个物种个体数在群落中的比率; N 为物种个体总数(高度总和); N_i 为第 i 个物种的个体数(高度和); X_i 为第 i 个物种胸径断面积或盖度和; X 为所有物种总胸径断面积或总盖度和; F_i 为第 i 个物种出现的频率; F 为所有物种的频率和,其中, F_i 为第 i 个物种出现的样方数/所有样方数; I_z 为冠层顶部总辐射, I_0 为穿透林冠到达林下的总辐射, k 为消光系数, LAI 为叶面积指数。

使用 SPSS11.5 软件包中的单因素方差分析($\alpha=0.05$)和曲线估计(线性)对冠层结构性状和群落物种多样性及其关系进行分析,所有图表均在 Microsoft Office Excel 2007 中完成。

3 结果分析

3.1 主要森林群落物种多样性特征

通过对保护区内森林生态系统不同群落类型主要组成物种重要值排序分析(表 1),发现群落建群种主要是栓皮栎(*Quercus. variabilis*)、短柄枹(*Q. glandulifera* var. *brevipetiolata*)和锐齿栎(*Q. aliena* var. *acuteserrata*),并沿海拔梯度发生依次更替,这些物种均为典型的温带落叶阔叶林优势树种,也是该区域不同海拔高度地带性山地植被的建群种,在不同海拔区域形成优势群落,从下向上依次是:栓皮栎林(1000—1100m)、栓皮栎+短柄枹林(1100—1300m)、短柄枹+锐齿栎混交林(1300—1350m)、锐齿栎林(1350—1750m)

和锐齿栎矮林(>1750m)等。林下灌木层优势种主要为胡枝子(*Lespedeza bicolor*)和各乔木层优势种幼树,草本层优势种以披针苔草(*Carex lanceolata*)、芒(*Miscanthus sinensis*)、鬼灯檠(*Rodgersia podophylla*)等多年生草本为主,乔木层优势种幼苗较少。为便于分析和表述,本文中所有图表均按此海拔更替顺序排列。

表 1 伏牛山自然保护区不同群落类型优势物种重要值
Table 1 Importance values (IV) of the dominant species in Funiu Mountain Nature Reserve

群落类型 Community types	乔木层 Tree layer		灌木层 Shrub layer		草本层 Herb layer	
	物种名称 Species	重要值 IV	物种名称 Species	重要值 IV	物种名称 Species	重要值 IV
栓皮栎林 <i>Q. variabilis</i> forest<1120m	栓皮栎 <i>Q. variabilis</i>	1.655	胡枝子 <i>L. bicolor</i>	0.890	披针苔草 <i>C. lanceolata</i>	1.655
	短柄枹 <i>Q. glandulifera</i> var. <i>brevipetiolata</i>	0.582	栓皮栎 <i>Q. variabilis</i>	0.251	芒 <i>M. sinensis</i>	0.305
	茅栗 <i>Castanea seguinii</i>	0.224	短柄枹 <i>Q. glandulifera</i> var. <i>brevipetiolata</i>	0.178	菅 <i>T. gigantea</i>	0.291
短柄枹+栓皮栎林 <i>Q. glandulifera</i> var. <i>Brevipetiolata</i> +	短柄枹 <i>Q. glandulifera</i> var. <i>brevipetiolata</i>	1.219	短柄枹 <i>Q. glandulifera</i> var. <i>brevipetiolata</i>	0.553	披针苔草 <i>C. lanceolata</i>	1.488
<i>Q. variabilis</i> forest 1120—1230m	栓皮栎 <i>Q. variabilis</i>	0.784	栓皮栎 <i>Q. variabilis</i>	0.516	蕨 <i>P. aquilinum</i>	0.417
	化香 <i>Platycarya strobilacea</i>	0.210	胡枝子 <i>L. bicolor</i>	0.431	芒 <i>M. sinensis</i>	0.2964
短柄枹+锐齿栎林 <i>Q. glandulifera</i> var. <i>Brevipetiolata</i> +	锐齿栎 <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	1.143	锐齿栎 <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	0.475	披针苔草 <i>C. lanceolata</i>	0.770
<i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> forest1230—1350m	短柄枹 <i>Q. glandulifera</i> var. <i>brevipetiolata</i>	1.154	短柄枹 <i>Q. glandulifera</i> var. <i>brevipetiolata</i>	0.423	宽叶苔草 <i>C. siderosticta</i>	0.687
	栓皮栎 <i>Q. variabilis</i>	0.288	胡枝子 <i>L. bicolor</i>	0.302	芒 <i>M. sinensis</i>	0.528
锐齿栎林 <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> forest 1350—1750m	锐齿栎 <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	2.082	锐齿栎 <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	0.764	芒 <i>M. sinensis</i>	0.790
	华山松 <i>P. armandi</i>	0.150	椴树 <i>Tilia tuan</i>	0.241	披针苔草 <i>C. lanceolata</i>	0.375
	椴树 <i>Tilia tuan</i>	0.150	漆树 <i>T. vernicifluum</i>	0.230	宽叶苔草 <i>C. siderosticta</i>	0.325
锐齿栎矮林 <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> coppice forest>1750m	锐齿栎 <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	1.614	锐齿栎 <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	0.499	鬼灯檠 <i>R. podophylla</i>	0.626
	椴树 <i>Tilia tuan</i>	0.396	鹅耳枥 <i>C. turczaninowii</i>	0.325	芒 <i>M. sinensis</i>	0.353
	华山松 <i>P. armandi</i>	0.250	三桠乌药 <i>L. obtusiloba</i>	0.313	糙苏 <i>P. umbrosa</i>	0.280

林下灌草层物种丰富度和多样性的调查分析结果显示:各群落中灌木层物种丰富度(*S*)、物种多样性(*H'*)和均匀度指数(*J_{sw}*)均高于草本层,其差距大致随海拔升高逐渐减小;物种丰富度和多样性指数在灌木层和草本层的变化趋势基本一致;均匀度指数在灌木层中呈单峰曲线,草本层中呈递增状态;优势度指数呈现草本层明显大于灌木层,其差距随海拔升高大致呈递减趋势,草本层优势度指数随海拔升高大致呈递减趋势,灌木层优势度指数的变化,除锐齿栎矮林外,随海拔升高呈递减态势,但各群落间的变化幅度很小(图1)。

3.2 群落冠层结构和光环境特征

在森林群落中,太阳辐射可以穿透整个群落,供各层植物进行光合作用,但由于植株叶片的阻挡、遮光效应,使冠层内不同高度、不同层次的太阳辐射发生改变。各群落的组成、结构、性状等的差异对进入群落内部的光辐射产生影响,使不同类型群落中的辐射分布状况产生差异。通过对不同群落类型的空隙度、开度、冠上辐射、冠下辐射和叶面积指数等的分析,有助于对研究区落叶阔叶林不同群落类型的冠层结构和光环境特征的认识。

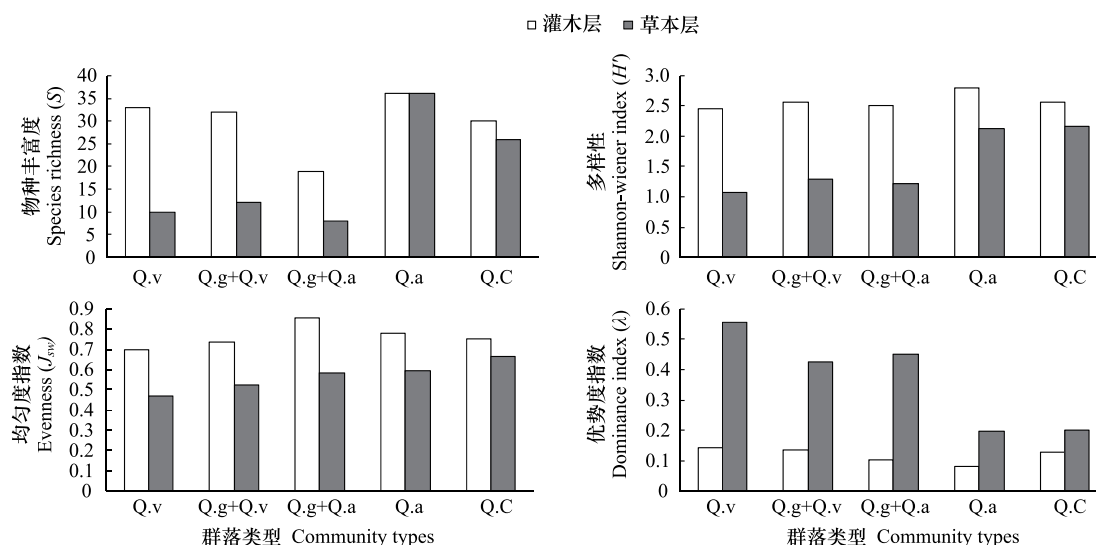


图1 伏牛山自然保护区不同森林群落中灌草层物种多样性特征

Fig.1 Species diversity characteristics of the shrub and herb layers in different forest communities in Funiu Mountain Nature Reserve

Q.v: 栓皮栎林 *Q. variabilis* forest; Q.g+Q.v: 短柄枹+栓皮栎林 *Q. glandulifera* var. *brevipetiolata* + *Q. variabilis* forest; Q.g+Q.a: 短柄枹+锐齿栎林 *Q. glandulifera* var. *Brevipetiolata* + *Q. aliena* var. *acuteserrata* forest; Q.a: 锐齿栎林 *Q. aliena* var. *acuteserrata* forest; Q.C: 锐齿栎矮林 *Q. aliena* var. *acuteserrata* coppice forest

研究结果显示(图2):不同群落类型的冠层空隙度和开度差异显著,栓皮栎林和锐齿栎林具有较高的空隙度和开度,短柄枹+栓皮栎林和短柄枹+锐齿栎林次之,锐齿栎矮林最低。林冠上面的光合量子通量密度变化,除栓皮栎林外,其他各样地间差异不显著,因为各样地处于同一个山体上,自然环境相似性很大,而分析研究的照片获取时间较一致,天气状况变化很小,所以林冠层上面的光环境条件变化很小。不同群落类型的冠下总 PPFD、直射 PPFD、散射 PPFD 均有一定的变化,且差异显著,其变化趋势与冠层空隙度、开度基本一致(图2)。

3.3 群落叶面积指数和平均叶倾角的变化与消光系数

光合辐射在通过林冠的途中必定要通过连续的叶层。在这个过程中,辐射强度会衰减,衰减程度主要取决于叶簇的密度、群落内叶片的排布及角度。辐射的衰减服从 Beer-Lambert 方程,从消光系数的计算公式可发现,叶片的面积、排布和角度直接影响到群落内部光辐射的衰减速率和强度。将实地获得的林冠影像照片用 WinScanopy 软件分析,可直接获得 LAI 和 MLA,使用的指数分别是软件自带的 LAI (2000G) -log 和 Meanleafangle-log,因为这两个指数计算过程中考虑到了坡度对参数计算的影响,更适用于山地森林生态系统。

叶面积指数(LAI)指单位土地面积上的总叶面积,它是群落结构的一个重要特征指数。结果显示(图2):不同群落间的 LAI 有一定的差异,形成了3个差异显著的组对,以锐齿栎矮林的 LAI 最高,短柄枹+栓皮栎林和短柄枹+锐齿栎林次之,栓皮栎林和锐齿栎林最低。平均叶倾角(MLA)指叶表面垂线与铅垂线的夹角(也有一些研究者定义为叶表面与水平线的夹角,二者是相同的)。自然界中的植物多以锐角截获阳光,使只有少数叶片连续暴露于直射光下,以避免强光造成的灼伤。研究区内不同群落内的 MLA 分为3组,组间差异显著,短柄枹+锐齿栎林最高(16.7°),短柄枹+栓皮栎林次之(15.9°),栓皮栎林、锐齿栎林和锐齿栎矮林较低,且差异较小(分别为15.1°、15.0°和14.8°)。消光系数 k 描述了光在群落内部被吸收和散射而降低的程度,它与 LAI、MLA 关系密切,区域内不同群落的消光系数有一定的差异,分为3组,组间差异性不如前几项指标显著,各群落冠层的消光能力相差不大,总体上以锐齿栎林和锐齿栎矮林消光能力最强(分别为0.835和0.830),短柄枹+栓皮栎林和短柄枹+锐齿栎林消光能力最弱(分别为0.752和0.778),栓皮栎林处于中等

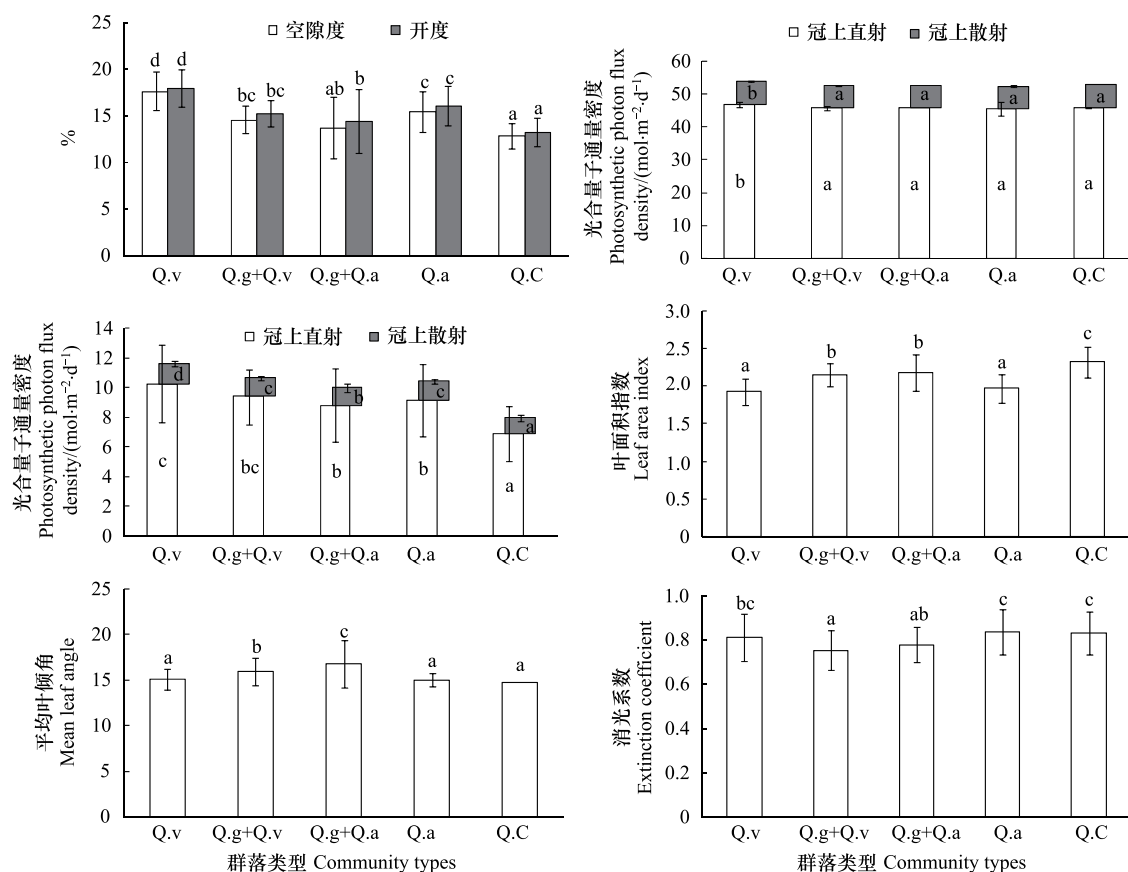


图2 伏牛山自然保护区不同群落类型冠层结构特征

Fig. 2 Canopy structure characteristics of different plant communities in the Funiu Mountain Nature Reserve

(0.810) (图2)。

3.4 林下灌草层物种多样性特征与冠层结构特征关系

通过线性拟合分析,探讨群落冠层结构特征与林下灌草层植被特征间的关系,分析选取的冠层结构指标包括:冠层开度,叶面积指数(LAI)和冠下总光合量子通量密度(PPFD);灌草层物种多样性指标包括:物种丰富度(S)、物种多样性(H')、均匀度(J_{sw})和优势度(λ)等。拟合结果显示:灌木层各物种多样性指标与冠层结构特征间相关性均不显著;草本层物种丰富度($R^2=0.309, P=0.006$)、物种多样性($R^2=0.289, P=0.008$)与冠下光合量子通量密度间呈极显著负相关,优势度指数($R^2=0.268, P=0.011$)与之呈显著正相关,但 R^2 值均较低,显示其间关系均较弱,与冠层开度和叶面积指数间相关性则不显著;草本层均匀度与冠层结构特征间相关性不显著(图3)。以上结果表明区内森林生态系统冠层结构差异及其引起的光环境变化对草本层的影响较灌木层显著,尤其是对草本层物种丰富度和多样性影响更强烈,或者说对林下幼苗的萌发和定植意义更为重大;灌木层物种对冠层结构变化及其导致的光环境异质性适应性更强,敏感性较草本植物和幼苗为低。

4 结论与讨论

通过对伏牛山自然保护区森林生态系统几种典型森林群落的林下植物群落特征、冠层结构和光环境特征的调查分析,得到以下结论:各群落中灌木层物种丰富度、多样性和均匀度均高于草本层,优势度指数则明显低于草本层,而二者的差距随海拔升高而逐渐缩小;不同类型群落的冠层结构和光环境特征有一定的差异,各调查指标在不同群落类型间形成明显的分组,各组间差异显著;林下灌木层物种丰富度、多样性、优势度和均匀度等与冠层结构特征间相关性不显著,草本层的物种丰富度、多样性与冠下光合量子通量密度间呈极显著负相关,优势度与冠下光合量子通量密度间呈显著正相关。

森林生态系统群落的更新和演替主要依靠林下植被的更新。前人很多研究认为,光照是林下植被生长的

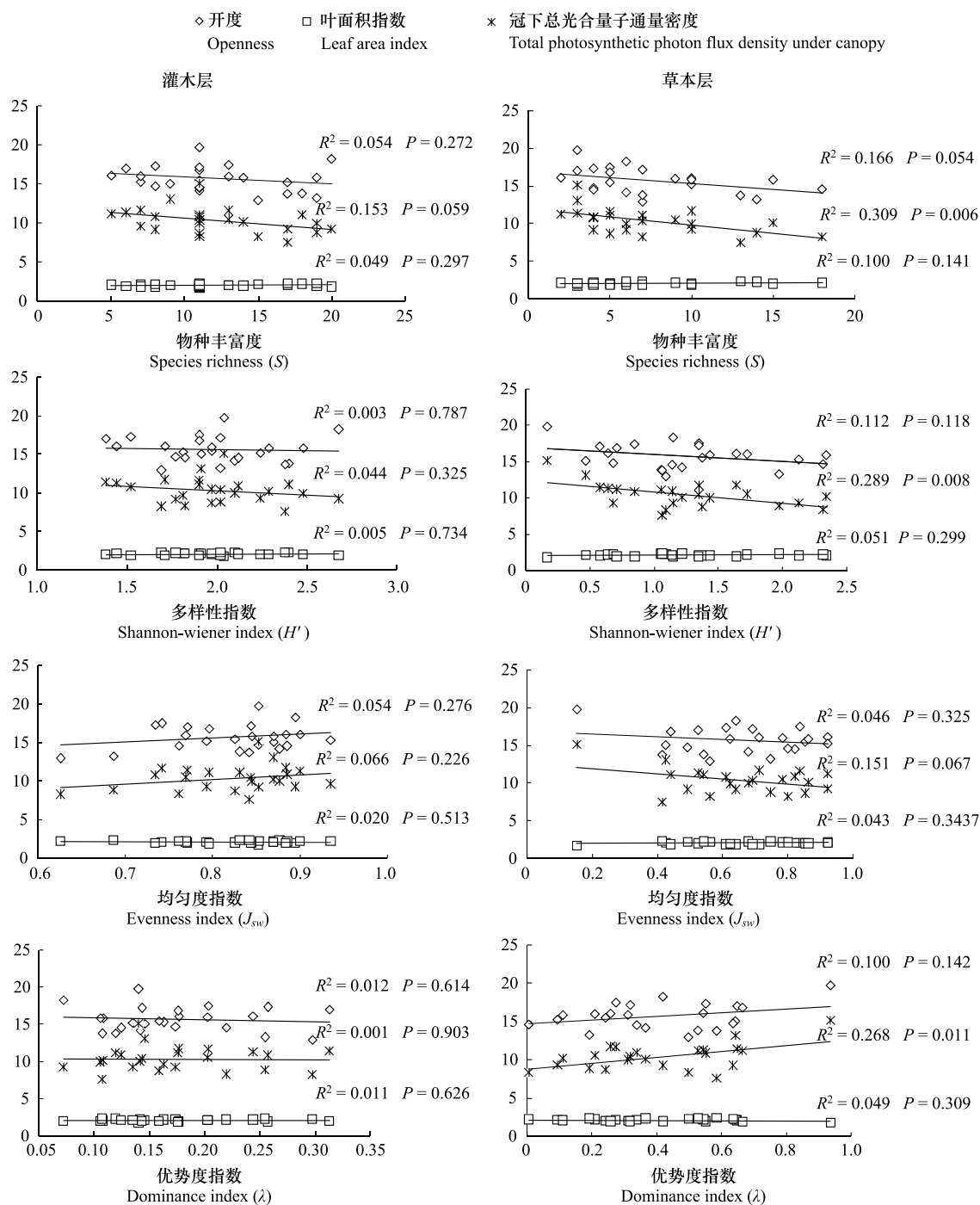


图 3 林下植被特征与冠层结构特征间的关系

Fig. 3 Relationship between understory vegetation characteristics and the canopy structure

主要限制因素之一,林隙/林窗和林中空地等的出现能提高林下植物多样性或物种的光合能力^[9, 19]。但该结论对本区落叶阔叶林的适用性尚待商榷。

在本研究中发现:草本层物种丰富度、多样性与冠下 $PPFD$ 间呈极显著负相关,表明林下较低的光照强度将可能更有利于草本层物种丰富度和多样性的维持,同时结合表 1(草本层优势种以多年生草本为主)和图 1(草本层优势度指数明显高于灌木层)的数据,推测林隙/林窗或林中空地的出现将导致林下光照强度增加,而这将可能更有利于草本层单优群落的形成和其他一些阳性先锋种的定植,并提高草本植物的优势度,而对优势种幼苗的萌发和定植产生负效应。据此推断林隙/林窗的出现对区内群落更新的促进效应很有限,对物

种丰富度和多样性具有一定的负效应,对优势种幼苗更新是一种限制因素。同时前人的一些研究也支持了以上结论。如 Pelt 和 Franklin 等在太平洋沿岸成熟针叶林中也发现林下植被特征指标多与上层冠层结构参数间呈微弱的显著的负相关关系^[26]。Chavez 和 Macdonald 等在加拿大西海岸的温带成熟混交林中发现林窗/林隙内的下层植被具有较多的草本和不耐荫种^[27]。

调查数据显示典型森林群落中,各类型群落的灌木层均维持了较高的物种丰富度(S 多大于 30)和物种多样性(H' 均大于 2.4),且均匀度也较高($J_{sw}>0.7$),均高于草本层,同时结合表 1(灌木层中优势种以乔木层优势种幼树为主)的数据,据此推断,随着演替的进行,灌木层优势种将能进入上层乔木和亚乔木层,也即群落是能正常更新的。

综合以上结论认为,在典型的落叶阔叶林中,冠下植被物种多样性的维持受冠层结构及光环境的影响不大。在典型林冠覆盖区域,下层植被将依然能够维持较高的物种丰富度和多样性,尤其是灌木层具有较多的优势种幼树,因此群落应能进行正常的更新、演替。很多研究认为林隙/林窗的形成将更有利于森林生态系统的演替和正常更新^[10, 28],可能并不适于本区域落叶阔叶林生态系统,林隙/林窗(天然/人工)等的形成将更可能促进其他阳性物种或先锋物种的定植^[29-30],且这种效应对草本层植物的影响更为明显,可能会加强草本层原有优势物种的优势度或促使新的优势群落的形成,并在林隙/林窗区域产生另一种演替序列,虽然最后二者可能均可演替为当地的地带性顶极群落。同时推测在典型的落叶阔叶生态系统中林下光照强度可能已不是限制其更新演替的最主要因素,优势种种子的扩散、萌发和定植限制可能更重要^[31]。但其具体的影响和响应机制尚需要进一步的实验验证。

致谢:本实验野外工作得到宝天曼自然保护区管理局的大力支持。

References:

- [1] Hairston N G, Smith F E, Slobodkin L B. Community structure, population control, and competition. *The American Naturalist*, 1960, 94(897): 421-425.
- [2] Ives A R, Carpenter S R. Stability and diversity of ecosystems. *Science*, 2007, 317(5834): 58-62.
- [3] Dawson T P, Jackson S T, House J I, Prentice I C, Mace G M. Beyond predictions: biodiversity conservation in a changing climate. *Science*, 2011, 332(6025): 53-57.
- [4] Reich P B, Tilman D, Isbell F, Mueller K, Hobbie S E, Flynn D F B, Eisenhauer N. Impacts of biodiversity loss escalate through time as redundancy fades. *Science*, 2012, 336(6081): 589-592.
- [5] Li D Z, Zang R G. The research advances on the structure and function of forest canopy, as well as their temporal spatial changes. *World Forestry Research*, 2004, 17(3): 12-16.
- [6] Qiu J L, Li Y D, Chen D X, Luo T S. The research progress and the significance of canopy structure in forest ecology. *Guangdong Forestry Science and Technology*, 2008, 24(1): 75-82.
- [7] Chen S B, Song A Q, Li Z J. Research advance in response of forest seedling regeneration to light environmental heterogeneity. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(2): 365-370.
- [8] Xu Z Q, Huang X R, Xu C L, Xu Q, Ji X L. The impacts of light conditions on the growth and morphology of *Quercus Mongolica* seedlings. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1121-1128.
- [9] Zang R G, Wang B S, Liu J Y. Tree species diversity in gaps of different sizes and developmental stages in lower subtropical evergreen broadleaved forest, South China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(4): 485-488.
- [10] Liu S C, Duan W B, Feng J, Han S Z. Effects of forest gap on tree species regeneration and diversity of mixed broadleaved Korean pin forest in Xiaoxing'an Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(6): 1381-1388.
- [11] Hubbel S P, Foster R B, O'Brien S T, Harms K E, Condit R, Wechsler B, Wright S J, Loo de Lao S. Light-gap disturbance, recruitment limitation, and tree diversity in a Neotropical forest. *Science*, 1999, 283(5401): 554-557.
- [12] Richards J D, Hart J L. Canopy gap dynamics and development patterns in secondary *Quercus* stands on the Cumberland Plateau, Alabama, USA. *Forest Ecology and Management*, 2011, 262(12): 2229-2239.
- [13] Gravel D, Canham C D, Beaudet M, Messier C. Shade tolerance, canopy gaps and mechanisms of coexistence of forest trees. *Oikos*, 2010, 119(3): 475-484.
- [14] Zhang L Z, Wang X A, Guo H, Li F. Gap characteristics and its effects on community regeneration of *Quercus liaotungensis* forest on Loess Plateau. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(11): 1835-1840.
- [15] Hardiman B S, Bohrer G, Gough C M, Vogel C S, Curtis P S. The role of canopy structural complexity in wood net primary production of a

- maturing northern deciduous forest. *Ecology*, 2011, 92(9): 1818-1827.
- [16] Peterson D W, Reich P B. Fire frequency and tree canopy structure influence plant species diversity in a forest-grassland ecotone. *Plant Ecology*, 2008, 194(1): 5-16.
- [17] Wulf M, Naaf T. Herb layer response to broadleaf tree species with different leaf litter quality and canopy structure in temperate forest. *Journal of Vegetation Science*, 2009, 20(3): 517-526.
- [18] Ishii H T, Tanabe S, Hiura T. Exploring the relationships among canopy structure, stand productivity, and biodiversity of temperate forest ecosystems. *Forest Science*, 2004, 50(3): 342-355.
- [19] Chen Z G, Fan D Y, Zhang W F, Xie Z Q. Effects of gap and understory environments on the regeneration of *Quercus aliena* var. *acuterrata* and *Fagus engleriana*. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(3): 354-360.
- [20] Zhang X J, Wang Q C, Hao L F, Wang S L. Effects of gap thinning on the regeneration and plant species diversity in *Larix olgensis* Plantation. *Scientia Silvae Sinicae*, 2011, 47(8): 7-13.
- [21] Ding S Y, Lu X L. Comparison of plant flora of Funiu Mountain and Jigong Mountain natural reserves. *Geographical Research*, 2006, 25(1): 62-70.
- [22] Fan Y L, Hu N, Ding S Y, Zhai Y J, Liu J, Liao B H, Lu X L. The classification of plant functional types based on the dominant herbaceous species in forest ecosystem at Funiu Mountain Natural Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(7): 3092-3101.
- [23] Lu X L, Hu N, Ding S Y, Fan Y L, Liao B H, Zhai Y J, Liu J. The pattern of plant species diversity of Funiu Mountain Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(21): 5790-5798.
- [24] Ding S Y, Lu X L, Li H M. A comparison of light environmental characteristics for evergreen broad-leaved forest communities from different successional stages in Tiantong National Forest Park. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 2862-2867.
- [25] Song Z W, Guo X P, Zhao T N, Bi H X, Dai W. A comparison of light environmental characteristics for road greening plants communities in Beijing Shunyi District. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 25(8): 3779-3788.
- [26] Pelt R V, Franklin J F. Influence of canopy structure on the understory environment in tall, old-growth, conifer forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 2000, 30(8): 1231-1245.
- [27] Chávez V, Macdonald S E. The influence of canopy patch mosaics on understory plant community composition in boreal mixedwood forest. *Forest Ecology and Management*, 2010, 259(6): 1067-1075.
- [28] Schnitzer S A, Carson W P. Treefall gaps and the maintenance of species diversity in a tropical forest. *Ecology*, 2001, 82(4): 913-919.
- [29] Brokaw N, Busing R T. Niche versus chance and tree diversity in forest gaps. *Trends in Ecology and Evolution*, 2000, 15(5): 183-188.
- [30] Schnitzer S A, Carson W P. Lianas suppress tree regeneration and diversity in treefall gaps. *Ecology Letters*, 2010, 13(7): 849-857.
- [31] Du Y J, Mi X C, Ma K P. Comparison of seed rain and seed limitation between community understory and gaps in a subtropical evergreen forest. *Acta Oecologica*, 2012, 44: 11-19.

参考文献:

- [5] 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.
- [6] 邱建丽, 李意德, 陈德祥, 骆士寿. 森林冠层结构的生态学研究现状和展望. *广东林业科技*, 2008, 24(1): 75-82.
- [7] 陈圣宾, 宋爱琴, 李振基. 森林幼苗更新对光环境异质性的响应研究进展. *应用生态学报*, 2005, 16(2): 365-370.
- [8] 许中旗, 黄选瑞, 徐成立, 许晴, 纪晓林. 光照条件对蒙古栎幼苗生长及形态特征的影响. *生态学报*, 2009, 29(3): 1121-1128.
- [10] 臧润国, 王伯荪, 刘静艳. 南亚热带常绿阔叶林不同大小和发育阶段林隙的树种多样性研究. *应用生态学报*, 2000, 11(4): 485-488.
- [11] 刘少冲, 段文标, 冯静, 韩生忠. 林隙对小兴安岭阔叶红松林树种更新及物种多样性的影响. *应用生态学报*, 2011, 22(6): 1381-1388.
- [14] 张吕醉, 王孝安, 郭华, 李峰. 辽东栎林林隙特征及其对群落更新的影响. *生态学杂志*, 2008, 27(11): 1835-1840.
- [19] 陈志刚, 樊大勇, 张旺锋, 谢宗强. 林隙与林下环境对锐齿槲栎和米心水青冈种群更新的影响. *植物生态学报*, 2005, 29(3): 354-360.
- [20] 张象君, 王庆成, 郝龙飞, 王石磊. 长白落叶松人工林林隙间伐对林下更新及植物多样性的影响. *林业科学*, 2011, 47(8): 7-13.
- [21] 丁圣彦, 卢训令. 伏牛山和鸡公山自然保护区植物区系比较. *地理研究*, 2006, 25(1): 62-70.
- [22] 范玉龙, 胡楠, 丁圣彦, 翟元杰, 柳静, 廖秉华, 卢训令. 伏牛山自然保护区森林生态系统草本植物功能群的分类. *生态学报*, 2008, 28(7): 3092-3101.
- [23] 卢训令, 胡楠, 丁圣彦, 范玉龙, 廖秉华, 翟元杰, 柳静. 伏牛山自然保护区物种多样性格局. *生态学报*, 2010, 30(21): 5790-5798.
- [24] 丁圣彦, 卢训令, 李昊民. 天童国家森林公园常绿阔叶林不同演替阶段群落光环境特征比较. *生态学报*, 2005, 25(11): 2862-2867.
- [25] 宋子炜, 郭小平, 赵廷宁, 毕华兴, 代巍. 北京市顺义区公路绿化植物群落的光环境特性. *生态学报*, 2008, 25(8): 3779-3788.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 15 Aug. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review on the application of remote sensing in mangrove ecosystem monitoring SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, GUO Wenyong, et al (4523)
- Urban metabolism process based on emergy synthesis: Theory and method LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin (4539)
- Theoretical considerations on ecological civilization development and assessment ZHAO Jingzhu (4552)

Autecology & Fundamentals

- Assemblage composition and distribution of meiobenthos in the Yangtze Estuary and its adjacent waters in autumn-winter season Yu Tingting, XU Kuidong (4556)
- Ecological distribution and nutrient limitation of phytoplankton in adjacent sea of Guanhe Estuary in spring FANG Tao, HE Xinran, FENG Zhihua, et al (4567)
- The distribution of urea concentrations and urease activities in the coastal waters of Hainan Island during the spring HUANG Kaixuan, ZHANG Yun, OU Linjian, et al (4575)
- Effects of simulated acid rain on growth and bleeding sap amount of root in *Quercus mongolica* LIANG Xiaoqin, LIU Jian, DING Wenjuan, et al (4583)
- Allelopathic effects of organic acid allelochemicals on melon ZHANG Zhizhong, SUN Zhihao, CHEN Wenhui, et al (4591)
- Fraction changes of oxidation organic carbon in paddy soil and its correlation with CH₄ emission fluxes WU Jiamei, JI Xionghui, HUO Lianjie, et al (4599)
- Changes of soil nitrogen types and nitrate accumulation in vegetables with single or multiple application of dicyandiamide WANG Huangping, ZHANG Qing, WENG Boqi, et al (4608)
- Comparison of isolation rate of mycobacteriophage in the different type soils XU Fengyu, SU Shengbing, MA Hongxia, et al (4616)
- Effects of different acidity acid rain on yield, protein and starch content and components in two wheat cultivars BIAN Yajiao, HUANG Jie, SUN Qisong, et al (4623)
- The causes of *Gentiana straminea* Maxim. seeds dormancy and the methods for its breaking LI Bingbing, WEI Xiaohong, XU Yan (4631)
- Physiological responses of four golden-leaf trees to SO₂ stress CHONG Peifang, SU Shiping (4639)
- Influence of endosulfan and its metabolites on enzyme activities in purple soil XIONG Bailian, ZHANG Jinzhong, DAI Juan, et al (4649)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal dynamics of food web energy pathways at the community-level XU Jun, ZHOU Qiong, WEN Zhourui, et al (4658)
- Population dynamics of *Niviventer confucianus* in Thousand Island Lake ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (4665)
- Soil ecological stoichiometry under different vegetation area on loess hilly-gully region ZHU Qiulian, XING Xiaoyi, ZHANG Hong, et al (4674)
- Adaptation strategies of reproduction of plant community in response to grassland degradation and artificial restoration LI Yuanyuan, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (4683)
- Effect of different *Cunninghamia lanceolata* plantation soil qualities on soil microbial community structure LIU Li, XU Mingkai, WANG Silong, et al (4692)
- Effects of different maize hybrids (inbreds) on the growth, development and population dynamics of *Rhopalosiphum maidis* Fitch ZHAO Man, GUO Xianru, LI Weizheng, et al (4707)
- Effects of forest canopy structure on understory vegetation characteristics of Funiu Mountain Nature Reserve LU Xunling, DING Shengyan, YOU Li, et al (4715)

- Influence of restoring cropland to grassland on dung beetle assemblages in Wuchuan County, Inner Mongolia, China LIU Wei, MEN Lina, LIU Xinmin (4724)
- Cu and nutrient deficiency on different effects of growth, tolerance and mineral elements accumulation between two *Elsholtzia haichouensis* populations KE Wenshan, CHEN Shijian, XIONG Zhiting, et al (4737)
- Measurement and retrieval of leaf area index using remote sensing data in Kanas National Nature Reserve, Xinjiang ZAN Mei, LI Dengqiu, JU Weimin, et al (4744)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- An spatial ecosystem services approach based on LUCC: a case study of Ganzhou district of Zhangye City LIANG Youjia, XU Zhongmin, ZHONG Fanglei, et al (4758)
- Spatiotemporal characteristics of *Spartina alterniflora* marsh change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities ZHANG Huabing, LIU Hongyu, Hou Minghang (4767)
- Process analysis and evaluation of wetlands degradation based on PCA in the lakeside of Napahai, Northwest Yunnan Plateau SHANG Wen, YANG Yongxing, HAN Dayong (4776)
- On eco-security evaluation in the Tumen River region based on RS&GIS NAN Ying, JI Zhe, FENG Hengdong, et al (4790)
- Evaluation and simulation of historical range of variability of forest landscape pattern in Huzhong area WU Zhifeng, LI Yuehui, BU Rencang, et al (4799)
- Effects of precipitation timing on aboveground net primary productivity in inner mongolia temperate steppe GUO Qun, HU Zhongmin, LI Xuanran, et al (4808)
- Research Notes**
- Litter production and decomposition of different forest ecosystems and their relations to environmental factors in different climatic zones of mid and eastern China WANG Jianjian, WANG Yongji, LAI Liming, et al (4818)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 赵景柱

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 33 卷 第 15 期 (2013 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 15 (August, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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 90.00 元