

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

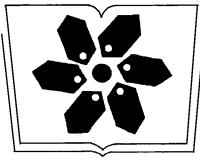
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 21 期  
Vol.30 No.21  
**2010**



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 30 卷 第 21 期 2010 年 11 月 (半月刊)

## 目 次

棉铃虫幼虫对人类呈味物质的取食反应·····	李为争,付国需,王英慧,等 (5709)
西藏拉萨机场周边风沙源空间分布及演变趋势·····	李海东,沈渭寿,邹长新,等 (5716)
新疆沙湾冷泉沉积物的细菌系统发育多样性·····	曾 军,杨红梅,徐建华,等 (5728)
应用鱼类完整性评价体系评价辽河流域健康·····	裴雪姣,牛翠娟,高 欣,等 (5736)
不同海拔天山云杉叶功能性状及其与土壤因子的关系·····	张慧文,马剑英,孙 伟,等 (5747)
滨河湿地不同植被对农业非点源氮污染的控制效果·····	徐华山,赵同谦,贺玉晓,等 (5759)
内蒙古温带荒漠草原能量平衡特征及其驱动因子·····	阳伏林,周广胜 (5769)
南北样带温带区栎属树种功能性状对气象因子的响应·····	冯秋红,史作民,董莉莉,等 (5781)
伏牛山自然保护区物种多样性分布格局·····	卢训令,胡 楠,丁圣彦,等 (5790)
减弱 UV-B 辐射对烟草形态、光合及生理生化特性的影响 ·····	陈宗瑜,钟 楚,王 毅,等 (5799)
川西亚高山针阔混交林乔木层生物量、生产力随海拔梯度的变化 ·····	刘彦春,张远东,刘世荣,等 (5810)
三峡库区消落带水淹初期地上植被与土壤种子库的关系·····	王晓荣,程瑞梅,肖文发,等 (5821)
洞庭湖西岸区防护林土壤和植物营养元素含量特征·····	柏方敏,田大伦,方 晰,等 (5832)
择伐对阔叶红松林主要树种径向与纵向生长的影响·····	蒋子涵,金光泽 (5843)
野鸭湖典型湿地植物光谱特征·····	刘 克,赵文吉,郭逍宇,等 (5853)
三种线性模型在杉木与马尾松地位指数相关关系研究中的比较·····	朱光玉,吕 勇,林 辉,等 (5862)
不同干扰类型下羊草种群的空间格局·····	陈宝瑞,杨桂霞,张宏斌,等 (5868)
基于 SWAT 模型的祁连山区最佳水源涵养植被模式研究——以石羊河上游杂木河流域为例 ·····	王军德,李元红,李赞堂,等 (5875)
2D 与 3D 景观指数测定山区植被景观格局变化对比分析 ·····	张志明,罗亲普,王文礼,等 (5886)
基于投影寻踪的珠江三角洲景观生态安全评价 ·····	高 杨,黄华梅,吴志峰 (5894)
海峡两岸 16 个沿海城市生态系统功能比较 ·····	张小飞,王如松,李 锋,等 (5904)
同安湾围(填)海生态系统服务损害的货币化预测评估 ·····	王 萱,陈伟琪,张璐平,等 (5914)
太阳辐射对玉米农田土壤呼吸作用的影响 ·····	孙敬松,周广胜,韩广轩 (5925)
水分胁迫下 AM 真菌对沙打旺生长和抗旱性的影响·····	郭辉娟,贺学礼 (5933)
宁夏南部旱区坡地不同粮草带比间作种植模式比较·····	路海东,贾志宽,杨宝平,等 (5941)
节节草生长对铜尾矿砂重金属形态转化和土壤酶活性的影响·····	李 影,陈明林 (5949)
自然植物群落形成过程中铜尾矿废弃地氮素组分的变化 ·····	安宗胜,詹 婧,孙庆业 (5958)
硅介导的水稻对二化螟幼虫钻蛀行为的影响 ·····	韩永强,刘 川,侯茂林 (5967)
饥饿对转基因鲤与野生鲤生长竞争和性腺发育的影响·····	刘春雷,常玉梅,梁利群,等 (5975)
<b>专论与综述</b>	
河流水质的景观组分阈值研究进展 ·····	刘珍环,李 猷,彭 建 (5983)
<b>研究简报</b>	
长期模拟增温对岷江冷杉幼苗生长与生物量分配的影响 ·····	杨 兵,王进闯,张远彬 (5994)
环境因素对长额斗蟋翅型分化的影响 ·····	曾 杨,朱道弘,赵吕权 (6001)

## 伏牛山自然保护区物种多样性分布格局

卢训令<sup>1,2</sup>, 胡楠<sup>2,3</sup>, 丁圣彦<sup>1,2,\*</sup>, 范玉龙<sup>2,3</sup>, 廖秉华<sup>2</sup>, 翟元杰<sup>2</sup>, 柳静<sup>2</sup>

(1. 河南大学生态科学与技术研究所, 河南开封 475003; 2. 河南大学生命科学学院, 河南开封 475003;

3. 南阳理工学院, 河南南阳 473004)

**摘要:**在伏牛山自然保护区典型地段设立样方,通过群落调查和多样性分析对物种多样性的垂直分布格局进行研究。发现: $\alpha$ 多样性,乔木层在中海拔的落叶阔叶混交林带最高,灌木层随海拔升高稍呈上升趋势,草本层在低海拔次生林带和山顶矮林带物种多样性较高; $\beta$ 多样性总体上呈“~”型变化,在中海拔建群种发生更替的落叶阔叶混交林区最高,物种更替速率最快,其次是山顶附近。 $\gamma$ 多样性大致沿海拔升高递减,以700m以下和过渡带落叶阔叶混交林区总物种丰富度最高。沿海拔梯度升高,水热组合发生变化,地带性植被总体上表现为由栓皮栎(*Quercus variabilis*)林向锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata*)林更替,在建群种发生更替的中海拔过渡带形成混交林带,短柄枹(*Quercus glandulifera* var. *brevipetiolata*)、槲栎(*Quercus aliena*)等夹杂其间在一些小生境中形成优势种群。总体上体现了过渡带具有高的物种多样性和更替速率,总物种丰富度隐含着沿海拔升高而降低的负相关关系。

**关键词:**物种多样性;垂直梯度格局;重要值;多样性指数;伏牛山自然保护区

## The pattern of plant species diversity of Funiu Mountain Nature Reserve

LU Xunling<sup>1,2</sup>, HU Nan<sup>2,3</sup>, DING Shengyan<sup>1,2,\*</sup>, FAN Yulong<sup>2,3</sup>, LIAO Binghua<sup>2</sup>, ZHAI Yuanjie<sup>2</sup>, LIU Jing<sup>2</sup>

1 Institute of Ecological Science and Technology, Henan University, Kaifeng 475003, China

2 College of Life Science, Henan University, Kaifeng 475003, China

3 Nanyang Institute of Technology, Nanyang 473004, China

**Abstract:** We established experimental plots in representative areas in the Funiu Mountain nature reserve. We investigated plant communities in these plots to discern the pattern of species diversity distribution along the altitudinal gradient. We calculated  $\alpha$ -diversity,  $\beta$ -diversity, and  $\gamma$ -diversity using the data thus collected. Alpha diversity of the tree layer peaks in the deciduous broadleaved mixed forest zone at mid-elevation, alpha diversity of the shrub layer increases gradually along the altitudinal gradient, while alpha diversity of the herb layer peaks in low altitude secondary forests and the mountaintop elfin forest. Beta diversity peaks twice, first at mid-elevations where the composition of edificatory species changes, then in areas near the mountaintop. Gamma diversity decreases along the altitudinal gradient. The highest species richness levels occur in areas below 700m and the mid-elevation deciduous broadleaved mixed forest. As elevation rises, *Quercus variabilis* forest gradually gives way to *Quercus aliena* var. *acuteserrata* forest, forming a mixed forest at mid-elevations; dispersed among the edificatory trees are *Quercus glandulifera* var. *brevipetiolata* and *Quercus aliena*, secondary edificatory species that are dominant in some niches. The transition zone is characterized by relatively high levels of species diversity and species turn-over rate. Overall species richness is negatively correlated with altitude.

**Key Words:** species diversity; vertical distribution pattern; importance value; diversity index; Funiu mountain nature reserve

基金项目:国家自然科学基金资助(30570301);河南大学校内基金资助

收稿日期:2009-09-29; 修订日期:2009-12-01

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

生态系统复杂性(生物多样性)是现代生态学研究热点之一<sup>[1-3]</sup>,物种多样性可以和许多生态梯度结合起来<sup>[4]</sup>。海拔高度梯度包含了温度、湿度和光照强度等各种环境因子,尤其是温度沿海拔梯度的变化要比沿纬度梯度快 1000 倍<sup>[5]</sup>,海拔高度梯度是影响物种多样性分布格局的决定性因素之一,并成为生物多样性梯度格局研究的重要方面<sup>[6-9]</sup>,虽然关于生物多样性的海拔梯度格局早在 200a 前就已明确的提出,但目前仍有一定的争议<sup>[8]</sup>。目前国内外关于物种多样性垂直梯度格局的研究多见于热带、亚热带和温带山地,对亚热带暖温带过渡区山地森林生态系统多样性格局的研究尚显不足<sup>[7,10-13]</sup>。

伏牛山自然保护区是河南省乃至华北地区面积最大的森林生态系统自然保护区,该区属于秦岭东延部分,南北过渡,东西连接,物种丰富,过渡性显著,为我国亚热带和暖温带的过渡区<sup>[14-15]</sup>,区内植物种类繁多,是河南省植物多样性分布和发育中心,前人对区内植物区系、森林资源、濒危植物资源、药用植物资源、功能群分类等进行了研究<sup>[16-22]</sup>,但关于区内群落特征沿海拔梯度变化的研究工作较少<sup>[23-25]</sup>,缺乏对物种多样性垂直分布格局动态的研究。本研究在伏牛山自然保护区沿海拔梯度设置样方,通过分析计算不同尺度物种多样性指数以揭示区内物种多样性的垂直分布格局,并试图分析其形成机制,同时为后期相关研究打下基础。

## 1 研究区概况

伏牛山位于河南省西部,地理坐标为东经 110°30′—113°05′,北纬 32°45′—34°00′,呈西北—东南走向,东西绵延长约 400km,南北宽约 40—70km,面积约 1 万 km<sup>2</sup>,素称“八百里伏牛”。自然保护区位于伏牛山的主体部分,大致在海拔 600m 以上的山地范围,保护区面积约 56000 hm<sup>2</sup>,包括南阳市:西峡、内乡和南召 3 县的大部分山区;洛阳市:栾川、嵩县两县的南部山区;平顶山市鲁山县西部山区,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<sup>[16]</sup>。

表 1 伏牛山自然保护区自然地理概况

Table 1 Physical geographic conditions of Funiu Mountain nature reserve

位置 Location	海拔/m Altitude	温度 Temperature/°C						降水/mm Precipitation	植被 Vegetation
		南坡 South slope			北坡 North slope				
		年均 Annual	最高 Max	最低 Min	年均 Annual	最高 Max	最低 Min		
110°30′— 113°05′E	600— 1900	14.1— 15.1	26.5— 28.5	1— 2	12.1— 12.7	26.5— 28.5	-1.5— -2	800— 1100	暖温带落叶阔叶林 向亚热带常绿阔叶 林的过渡型

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置

在研究区内选择具有代表性的山体(为了更好的研究地带性植被随海拔梯度及其导致的水热条件变化的动态分布格局,在样地选择过程中,多选择坡度较缓的山坡,避开沟谷地带,以降低特殊生境对植被分布的影响),从山脚(640m)至山顶(1860m)沿海拔梯度设置样方,每隔 100m 至少 3 个样方,每个样方为 20m × 20m,在样方的四角及中心分别设一个 2m × 2m 灌木层样方和一个 1m × 1m 草本层样方,共包括乔木层样方 46 个,灌木层样方 230 个,草本层样方 230 个。野外群落调查于 2006 年 7—10 月完成,具体调查指标包括:乔木层的种类、树高、枝下高、胸径、基径、冠幅、冠高;灌木层的种类、高度、基径、冠幅、盖度;草本层的种类、高度、丛径、冠幅、盖度;样方所在地的地理坐标、海拔高度、坡度、坡向、坡位等。

### 2.2 指数计算

#### 2.2.1 α-多样性

##### (1) 物种丰富度

此次野外调查中各样方面积一致,使用样方内物种数目  $S$  表示物种丰富度。

##### (2) 物种多样性指数

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

式中,  $H'$  为 Shannon-Wiener 指数;  $S$  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,  $P_i = \frac{N_i}{N}$ ;  $N$  为样方个体总数;  $N_i$  为第  $i$  个物种的个体数。

### (3) 均匀度指数

本文选用基于 Shannon-Wiener 多样性指数的均匀度指数进行研究:

$$J'_H = \frac{H'}{H_{\max}}, \text{ 其中 } H_{\max} = \ln S$$

### 2.2.2 $\beta$ -多样性

本文选取 Sorensen 相异性指数来反映  $\beta$ -多样性, 公式如下:

$$S = 1 - \frac{2W}{a+b}$$

式中,  $S$  为 Sorensen 相异性指数,  $a$  和  $b$  分别为样方  $i$  和  $j$  内物种数目,  $W$  为两个样方内的共有种数目。本研究中将伏牛山自然保护区植物群落以 100m 梯度为间隔分段, 计算海拔段间群落物种相异性指数。

### 2.2.3 $\gamma$ -多样性

本研究中将伏牛山自然保护区植被群落从山脚至山顶以 100m 梯度为间隔划分为 13 个海拔带, 以每个海拔梯度带中总物种数(总物种丰富度  $S$ ) 来表示区域内的  $\gamma$  多样性。

## 3 结果分析

### 3.1 群落特征概况

通过对研究区森林生态系统不同群落类型组成种重要值排序分析(表 2), 发现伏牛山自然保护区内建群种主要是栓皮栎 (*Q. variabilis*)、锐齿栎 (*Q. aliena* var. *acuteserrata*)、短柄枹 (*Q. glandulifera* var. *brevipetiolata*)、华山松 (*Pinus armandii*)、槲栎 (*Q. aliena*) 等, 灌木层主要优势种为胡枝子 (*Lespedeza bicolor*) 和各建群种幼树, 草本层主要优势种为披针苔草 (*Carex lanceolata*)、芒 (*Miscanthus sinensis*) 等。

表 2 伏牛山自然保护区不同群落类型主要优势种重要值排序

Table 2 Importance values of the dominant species of Funiu Mountain Nature Reserve

群落类型 Community	乔木层 Tree layer		灌木层 Shrub layer		草本层 Herb layer	
	物种名 Species	重要值 IV	物种名 Species	重要值 IV	物种名 Species	重要值 IV
栓皮栎林 <i>Q. variabilis</i> forest	栓皮栎 <i>Q. variabilis</i>	1.470	栓皮栎 <i>Q. variabilis</i>	0.576	披针苔草 <i>C. lanceolata</i>	0.915
	槲栎 <i>Q. aliena</i>	0.408	胡枝子 <i>L. bicolor</i>	0.528	臭草 <i>Melica scabrosa</i>	0.315
	短柄枹 <i>Q. glandulifera</i> var. <i>brevipetiolata</i>	0.340	槲栎 <i>Q. aliena</i>	0.359	鸡眼草 <i>Kummerowia striata</i>	0.193
落叶阔叶 混交林 Mixed forest	短柄枹 <i>Q. glandulifera</i> var. <i>brevipetiolata</i>	0.934	胡枝子 <i>L. bicolor</i>	0.653	披针苔草 <i>C. lanceolata</i>	1.06
	栓皮栎 <i>Q. variabilis</i>	0.868	短柄枹 <i>Q. glandulifera</i> var. <i>brevipetiolata</i>	0.405	蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>	0.317
锐齿栎林 <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> forest	化香 <i>Platycarya strobilacea</i>	0.150	栓皮栎 <i>Q. variabilis</i>	0.317	芒 <i>M. sinensis</i>	0.253
	锐齿栎 <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	1.694	锐齿栎 <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	0.508	芒 <i>M. sinensis</i>	0.580
	华山松 <i>P. armandii</i>	0.419	华山松 <i>P. armandii</i>	0.227	鬼灯檠 <i>Rodgersia aesculifolia</i>	0.259
	椴树 <i>Tilia tuan</i>	0.192	椴树 <i>Tilia tuan</i>	0.225	宽叶苔草 <i>Carex siderosticta</i>	0.254

注: 乔木层和灌木层重要值计算公式为: 重要值 = 相对多度 (RA) + 相对显著度 (RD) + 相对频度 (RF); 草本层计算公式为: 重要值 = 相对高度 (RH) + 相对盖度 (RC) + 相对频度 (RF)。具体的计算公式如下:  $IV = RA(RH) + RD(RC) + RF = \frac{N_i}{N} + \frac{X_i}{X} + \frac{F_i}{F}$ , 式中  $N_i$ : 第  $i$  个物种个体数 (高度和),  $N$ : 个体总数 (高度总和);  $X_i$ : 第  $i$  种物种胸径断面积和 (盖度和),  $X$ : 所有物种总胸径断面积 (总盖度和),  $F_i$ : 第  $i$  个物种出现的频率,  $F$ : 所有物种的频率和, 其中, 第  $i$  个物种的频率 = 第  $i$  个物种出现的样方数/所有样方数

伏牛山自然保护区内沿海拔升高,受水热组合的变化,地带性植被发生着有序的变化(表3)。群落内建群种和主要优势种也在发生着有序的变化,总的来说从低到高依次是栓皮栎-槲栎-短柄枹-锐齿栎-华山松,以栓皮栎和锐齿栎的生态幅最宽,分布范围最广,从整个研究区来看,总体上是从栓皮栎林向锐齿栎林的更替,槲栎、短柄枹、华山松等只是在一些小生境中成为优势种或建群种,主要在中海拔过渡带和1500m以上的一些小生境中形成优势群落。灌木层植被受上层乔木影响较为显著,除胡枝子之外,林下多有建群种幼树存在;草本层植被受影响因素更多,组成较复杂,以披针苔草的分布范围最大,从山脚一直到山顶均有分布,在1500m以下绝大多数样方中形成优势种群,其他物种只是在一些小生境中成为优势种,或成为宽生态幅低优势度种。

表3 沿海拔梯度主要群落类型及主要组成种

Table 3 Both community type &amp; community composition vary along the altitudinal gradient

海拔高度 Altitude/m	主要群落类型 Main community type	主要组成种 Main composition
<1000	栓皮栎林 <i>Q. variabilis</i> forest	栓皮栎 + 胡枝子 + 栓皮栎幼树 + 披针苔草 <i>Q. variabilis</i> + <i>L. bicolor</i> + <i>Q. variabilis</i> saplings + <i>C. lanceolata</i>
1000—1100	栓皮栎 + 槲栎混交林 <i>Q. variabilis</i> + <i>Q. aliena</i> forest	栓皮栎 + 槲栎 + 栓皮栎幼树 + 披针苔草 <i>Q. variabilis</i> + <i>Q. aliena</i> + <i>Q. variabilis</i> saplings + <i>C. lanceolata</i>
>1100—1300	栓皮栎 + 短柄枹 + 锐齿栎混交林 <i>Q. variabilis</i> + <i>Q. glandulifera</i> var. <i>brevipetiolata</i> + <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> forest	栓皮栎 + 短柄枹 + 胡枝子 + 披针苔草 <i>Q. variabilis</i> + <i>Q. glandulifera</i> var. <i>brevipetiolata</i> + <i>L. bicolor</i> + <i>C. lanceolata</i> 短柄枹 + 锐齿栎 + 胡枝子 + 披针苔草 + 芒 <i>Q. glandulifera</i> var. <i>brevipetiolata</i> + <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> + <i>L. bicolor</i> + <i>C. lanceolata</i> + <i>M. sinensis</i>
>1300—1700	锐齿栎林 <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> forest	锐齿栎 + 椴树 + 三桠乌药 + 莢蒾 + 宽叶苔草 + 芒 <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> + <i>T. tuan</i> + <i>L. obtusiloba</i> + <i>Viburnum</i> L. + <i>C. siderosticta</i> + <i>M. sinensis</i>
>1500—1800	锐齿栎 + 华山松林 <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> + <i>P. armandi</i> forest	锐齿栎 + 华山松 + 千金榆 + 芒 <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> + <i>P. armandi</i> + <i>C. cordata</i> + <i>M. sinensis</i>
>1750	山顶矮林 <i>Montane elfin</i> forest	锐齿栎 + 华山松 + 三桠乌药 + 芒 + 宽叶苔草 <i>Q. aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> + <i>P. armandi</i> + <i>L. obtusiloba</i> + <i>M. sinensis</i> + <i>C. siderosticta</i>

### 3.2 $\alpha$ 多样性变化

区内  $\alpha$  多样性随海拔梯度变化如图 1。

物种丰富度 (1) 乔木层,总体上沿海拔梯度物种丰富度变化较小,中海拔区域稍高,1000—1100m 的几个样方最高,这和该区域处于栓皮栎林向短柄枹 + 栓皮栎混交林和短柄枹 + 锐齿栎混交林过渡带有关,乔木层拥有较多的亚优势种和伴生种,如:化香(*P. strobilacea*)、茅栗(*Castanea seguinii*)、山槐(*Albizia kalkora*)、麻栎(*Quercus acutissima*)等。(2) 灌木层,总体上沿海拔梯度呈缓慢上升趋势,但变化不大。灌木层物种组成受很多因子的综合影响,低海拔区域(800m 以下)多为封山育林后形成的次生林(灌丛),群落高度约 7m,郁闭度很高,灌木层不发达,组成种较少,多为优势种幼树,中海拔区域(1000—1400m)多为乔木层树种的幼树,1700m 以上受环境因子限制多形成高山矮林,整个群落高度一般不超过 8m,林下光照强度较高,灌木层组成种较丰富。(3) 草本层,沿海拔梯度大致呈“U”型变化,形成这种格局的原因是:800m 以下次生林内,受人为干扰强烈,草本层组成种较复杂,优势种不明显,1700m 以上的高山矮林下光照强度较高,物种组成较丰富,其他区域受小生境特征及人类活动的影响,物种丰富度有一定的波动,如 1050m 出现高值的样方就是处于村庄附近。

Shannon-Wiener 多样性指数与物种丰富度间有一定的相关关系,受计算方式的影响物种多样性指数的离散性稍高,但二者变化趋势基本一致。

物种均匀度 (1) 乔木层,总体上波动较为剧烈,但亦有规律可循,即在主要建群种的最适生长区,乔木

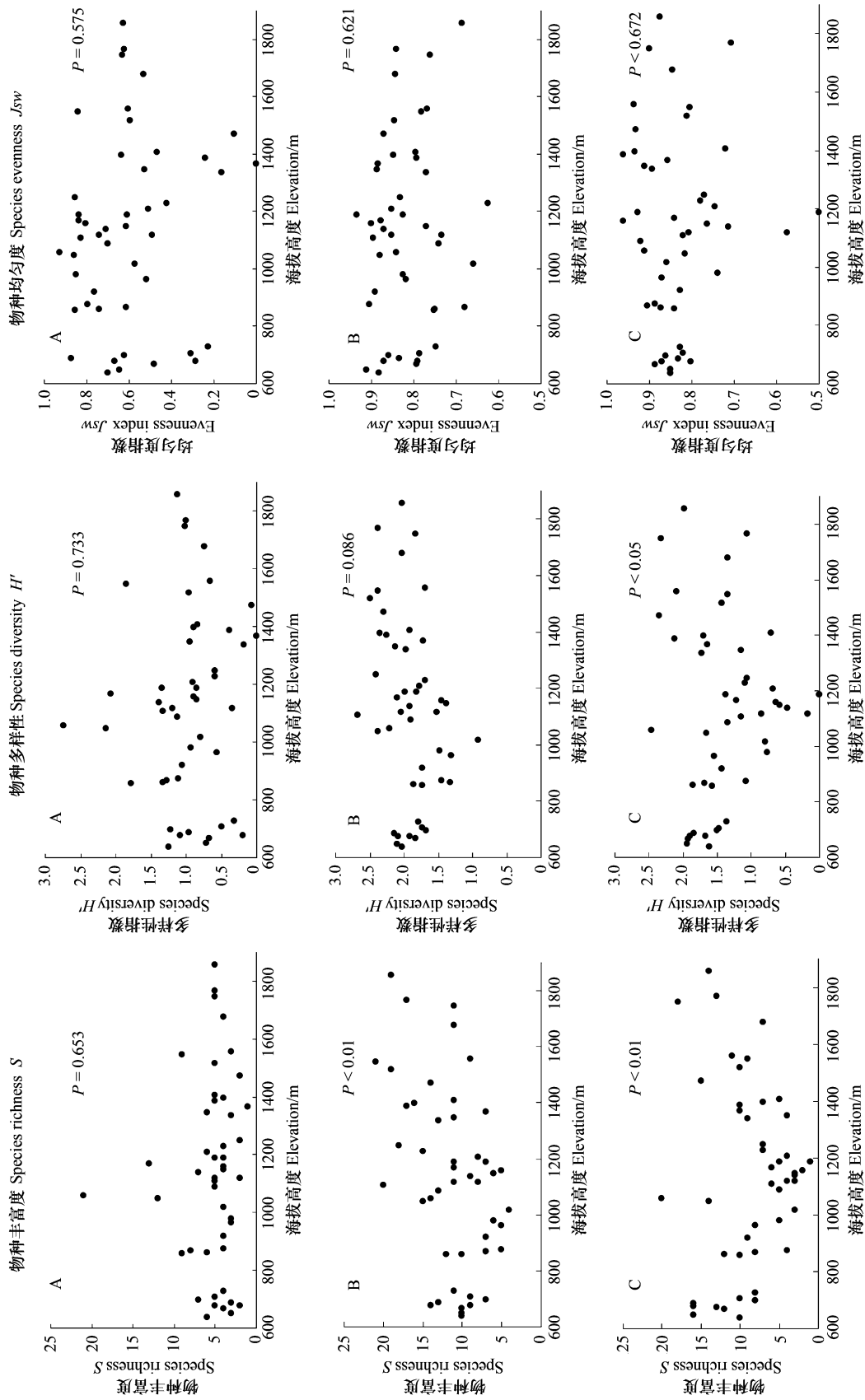


图1 伏牛山自然保护区 $\alpha$ 多样性沿海拔梯度的变化  
注: A为乔木层, B为灌木层, C为草本层

Fig.1 Variation of  $\alpha$ -diversity along the altitudinal gradient of Funiu Mountain nature reserve

注: A为乔木层, B为灌木层, C为草本层

层组成种较单一,伴生种较少,均匀度较低,如 700m 左右形成的栓皮栎纯林,1350—1500m 处形成的锐齿栎纯林(受小生境的影响,部分样方的均匀度稍高)。(2)灌木层,总体上均匀度较高,大多在 0.75 以上,最低为 0.63,且波动较小,表明灌木层中优势种不明显,物种组成较丰富。(3)草本层,总体上波动较大,规律性不明显,受小生境影响较大。

### 3.3 $\beta$ 多样性

$\beta$  多样性指沿环境梯度不同生境群落之间物种组成的相异性或物种沿环境梯度的更替速率,反映了生境间的多样性,控制  $\beta$  多样性的主要生态因子有水分、土壤、地貌及干扰等<sup>[26]</sup>,它可以反映较大距离上群落组成的差异<sup>[3,27-28]</sup>,也可以是小范围内环境梯度快速变化下物种组成的更替<sup>[29-30]</sup>。伏牛山自然保护区  $\beta$  多样性(图 2)沿海拔梯度呈“~”型变化,中海拔过渡带和山顶附近物种更替速率较快,与两个海拔段的群落类型有关,中海拔区域处于栓皮栎林向短柄枹 + 栓皮栎混交林和短柄枹 + 锐齿栎混交林过渡,山顶附近为高山矮林,物种组成变化较大。

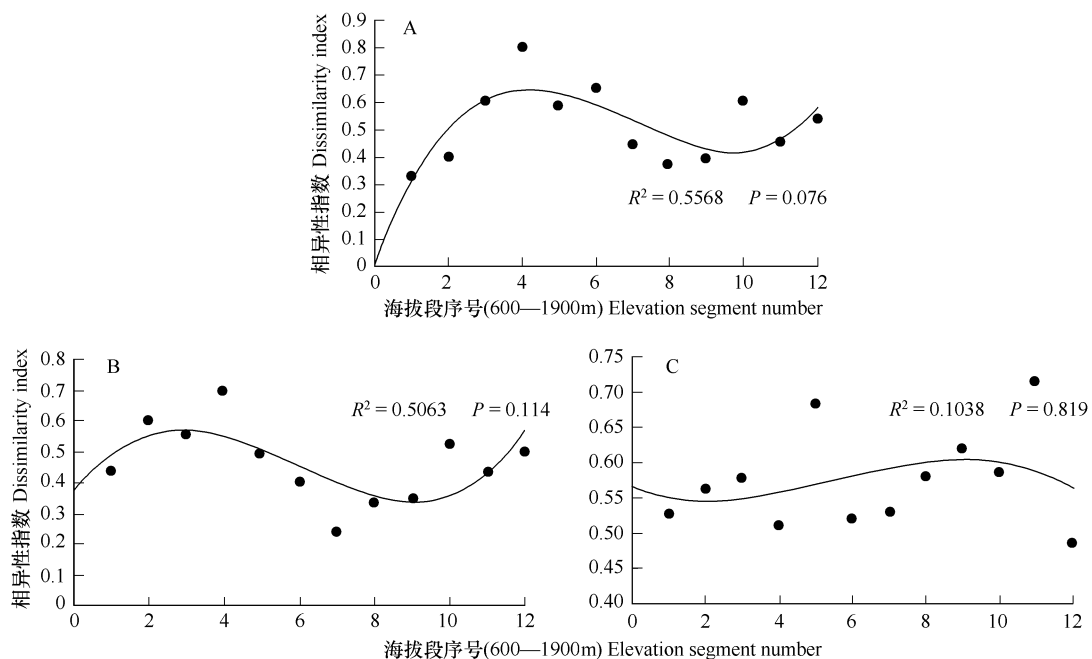


图 2 伏牛山自然保护区群落间物种相异性( $\beta$ -多样性)沿海拔梯度的变化

Fig. 2 Variation of  $\beta$ -diversity along the altitudinal gradient of Funiu Mountain nature reserve

注:A 为乔木层,B 为灌木层,C 为草本层;使用三次方程曲线模拟变化趋势

### 3.4 $\gamma$ 多样性

Whittaker 将  $\gamma$  多样性定义为在一个地理范围(如一个景观、一个岛屿等)内各生境中的物种丰富度<sup>[31]</sup>,多指区域或大陆尺度的物种数量。本研究将研究区按海拔区间分段,以各海拔段内出现的物种数为研究对象,因而包含有  $\gamma$  多样性研究的内涵,借用  $\gamma$  多样性对区内物种多样性沿环境梯度(主要是水热组合梯度)的变化规律进行展示。具体结果如图 3 所示,伏牛山自然保护区物种丰富度沿海拔升高总体上呈微下降趋势,但有一定的波动,在 700m 以下和 1000—1200m 处出现高值。

## 4 结论和讨论

### 4.1 结论

伏牛山自然保护区森林生态系统内随着海拔升高,水热组合发生改变,建群种在发生着有序的更替和转变,从低到高依次是栓皮栎—槲栎—短柄枹—锐齿栎、华山松等,以从栓皮栎向锐齿栎的更替为根本,槲栎、短柄枹和华山松多在一些特殊生境中成为建群种或优势种,在过渡带内,随着建群种的更替,其他优势种和伴生



种也在发生更替。

受群落类型更替的影响,  $\alpha$  多样性沿海拔梯度变化有一定的波动, 但仍有规律可循。乔、灌、草 3 层物种多样性变化规律稍有不同, 乔木层在中海拔的落叶阔叶混交林带具有最高的多样性, 灌木层随海拔升高稍呈上升趋势, 草本层在低海拔次生林区和山顶矮林区具有较高的物种多样性。  $\beta$  多样性总体上呈“~”型变化, 在过渡带的落叶阔叶混交林区最高, 群落间相异性最大, 其次是山顶附近的锐齿栎林向山顶矮林过渡区。  $\gamma$  多样性在低海拔次生灌丛区和过渡带最高。体现了过渡带具有高的物种多样性和更替速率。

#### 4.2 讨论

目前研究认为  $\alpha$  多样性具有多种海拔梯度格局, 主要有两种: (1) 驼峰格局, 中海拔区域物种多样性最高, 是一种最常见的分布格局<sup>[32]</sup>; (2) 负相关, 沿海拔升高而降低, 也是一种较常见的格局<sup>[13,33]</sup>。也有一些研究发现物种多样性随海拔梯度变化不明显<sup>[34]</sup>。

本研究发现伏牛山自然保护区物种多样性海拔格局较特殊, 不同功能型(乔木、灌木、草本)物种多样性海拔梯度格局有一定的差异, 结合实地调查所见, 认为应归因于研究区内受水热组合主导的地带性植被更替与人类活动的共同影响。低海拔区受人类活动影响较大, 封山育林后形成次生林(灌丛), 各样方内乔灌层物种组成较一致, 草本层植被差异较大, 夹杂一些与人类活动密切相关的物种, 具有较高的物种丰富度和多样性; 在地带性植被发生更替的过渡带, 随建群种的更替, 伴生种也发生变化, 多形成混交林, 乔灌层具有较高的物种丰富度和多样性; 山顶附近的矮林带受环境因素的影响, 乔木种类较单一, 多样性较低, 但林下较明亮, 光照充足, 灌草层发达, 物种组成丰富, 灌草层具有很高的物种丰富度和多样性, 这与常见的驼峰格局和负相关格局均不符, 这应该与研究区山顶海拔高度有限(1863m)、温度能满足绝大多数落叶树种越冬需要、降水也较充足、缺乏限制性环境因子有关。

目前有很多关于  $\beta$  多样性的指数计算方法, Sorensen 指数反映了群落或样地间物种的相异性, 常被理解为沿环境梯度所表现出来的不同群落在种类构成方面的差异性, 不同群落在种类组成方面相异性越大, 表明不同环境梯度间  $\beta$  多样性越大, 该指数很好的反映了研究区内群落物种组成沿海拔梯度发生的变化, 群落间 Sorensen 指数沿海拔梯度峰值出现的区域为建群种发生更替的过渡带, 为不同群落类型的交错带。

目前为大家广为认可的  $\gamma$  多样性变化格局主要有两种: (1) 偏峰(单峰)格局, 在中海拔或中低海拔区域具有最高的物种丰富度。(2) 负相关格局, 即  $\gamma$  多样性沿海拔梯度递减。

区内  $\gamma$  多样性沿海拔梯度变化有一定的波动, 但总的趋势中隐含着物种丰富度沿海拔升高而降低的负相关关系。在低海拔带(700m 以下)受人类活动影响较大, 乔、灌、草 3 层物种差别很大, 总物种丰富度很高; 在中海拔段(1100m 左右)的过渡带, 乔、灌、草 3 层物种组成均较丰富, 但由于 3 层物种类别相似性较高, 总物种丰富度处于第 2 位。

伏牛山自然保护区地处我国南暖温带和北亚热带过渡区, 是我国中部物种分布中心之一, 由于旅游的开发, 保护区内人类活动影响愈来愈烈, 各级地方政府不能只顾眼前的经济利益而无视人类活动造成的物种多样性丧失。在保护区的核心区内要严格限制人类活动的干扰, 以保护和限制性的科学研究为主, 旅游活动要严格限制在保护区的外围。

**致谢:** 在野外调查过程中得到内乡宝天曼自然保护区管理局相关人员的大力协助, 特此致谢。

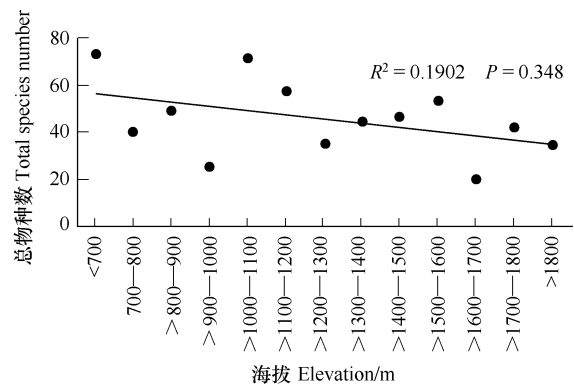


图3 伏牛山自然保护区总物种丰富度( $\gamma$ 多样性)沿海拔梯度带的变化

Fig.3 Variation of  $\gamma$ -diversity along the altitudinal gradient of Funiu Mountain nature reserve

**References:**

- [ 1 ] Tilman D, Reich P B, Knops J M H. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature*, 2006, 441: 629-632.
- [ 2 ] Ives A R, Carpenter S R. Stability and diversity of ecosystems. *Science*, 2007, 317: 58-62.
- [ 3 ] Condit R, Pitman N, Leigh E C Jr, Chave J, Terborgh J, Foster R B, Nunez P V, Aguilar S, Valencia R, Villa G, Muller-Landau H C, Losos E, Hubbell S P. Beta-diversity in tropical forest trees. *Science*, 2002, 295: 666-669.
- [ 4 ] Wang G H, Zhou G S, Yang L M, Li Z Q. Distribution, species diversity and life-form spectra of plant communities along an altitudinal gradient in the northern slopes of Qilianshan Mountains, Gansu, China. *Plant Ecology*, 2002, 165: 169-181.
- [ 5 ] Walter H. *Vegetation of the Earth and Ecological Systems of the Geo-biosphere*. Translated by Ecological Laboratory, Institute of Botany, CAS. Beijing: Science Press, 1984: 9.
- [ 6 ] Stevens G C. The elevational gradient in altitudinal range: an extension of Rapoport's latitudinal rule to altitude. *American Naturalist*, 1992, 140: 893-911.
- [ 7 ] Lieberman D, Lieberman M, Peralta R, Hartshorn G. Tropical forest structure and composition on a large-scale altitudinal gradient in Costa Rica. *Journal of Ecology*, 1996, 84: 137-152.
- [ 8 ] Lomolino M V. Elevation gradients of species-density: historical and prospective views. *Global Ecology & Biogeography*, 2001, 10: 3-13.
- [ 9 ] Gaston K J. Global patterns in biodiversity. *Nature*, 2000, 405: 220-226.
- [ 10 ] Kessler M. Altitudinal gradients in species richness and endemism of selected plant groups in the central Bolivian Andes. *Plant Ecology*, 2000, 149: 181-93.
- [ 11 ] Feng J M, Wang X P, Xu C D, Yang Y H, Fang J Y. Altitudinal patterns of plant species diversity and community structure on Yulong Mountains, Yunnan, China. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24(1): 110-116.
- [ 12 ] Zhu Y, Kang M Y, Jiang Y, Liu Q R. Altitudinal pattern of species diversity in woody plant communities of mountain Helan, northwestern China. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(3): 574-581.
- [ 13 ] Tang Z Y, Fang J Y. A review on the elevational pattern of plant species diversity. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 20-28.
- [ 14 ] Jiang A L. Demarcation of tropical and subtropical zone of China. *Acta Geographica Sinica*, 1960, 26(2): 104-109.
- [ 15 ] Ma J H. Laws of soil vertical variations on southern slope of Funiu Mt: simultaneous study on north boundary of subtropical zone. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(6): 998-1011.
- [ 16 ] 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.
- [ 17 ] Shi Z M, Liu S R, Wang Z Y. The Characteristics of flora of seed plants in Bao Tianman. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1996, 16(3): 329-335.
- [ 18 ] Wang L S. Study on resource of Funiushan nature reserve in Henan Province III. Forest resource analysis and protecting strategy. *Journal of Henan Forestry Science and Technology*, 2004, 24(2): 26-27.
- [ 19 ] Wang L S, Shen J M, Li H T, Xu Y L. Study on biological resource of Funiushan nature reserve in Henan Province. *Journal of Henan Forestry Science and Technology*, 2003, 23(3): 42-44.
- [ 20 ] Ding X Y. Stand structure and protection of rare and endangered tree species in Funiu Mountain nature reserve. *Henan Science*, 2007, 25(1): 63-65.
- [ 21 ] Hu N, Fan Y L, Ding S Y, Lu X L. Classification of plant functional types based on dominant tree species in the forest ecosystem at Funiu mountain national reserve, east China. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(5): 1104-1115.
- [ 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 national natural reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(7): 3092-3101.
- [ 23 ] Zhang Y M, Wu L H, Zhao T S, Wang Z Y. Study on the major types of vegetation and their vertical distribution in Baotianman natural reserve in Henan. *Acta Agriculturae Universitatis Henanensis*, 1996, 30(2): 178-185.
- [ 24 ] Liao B H, Hu N, Ding S Y, Lu X L, Liu J, Fan Y L, Zhai Y J. Dynamics of plant functional groups along altitudinal gradient on the northern slope of Funiu Mountain. *Journal of Henan University (Natural Science)*, 2008, 38(6): 618-621.
- [ 25 ] Zhang Z Y, Han Y Y, Duan S G, Yan D F, Guo F, Zhang Y M. Study on the species diversity and altitude distribution of oka natural forest in Baotianman. *Henan Science*, 2005, 23(6): 819-822.
- [ 26 ] Cui B S, Zhao X S, Yang Z F, Tang N, Tan X J. The response of reed community to the environment gradient of water depth in the Yellow River Delta. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1533-1541.

- [27] Normand S, Vormisto J, Svenning J C, Grandez C, Balslev H. Geographical and environmental controls of palm beta diversity in paleo-riverine terrace forests in Amazonian Peru. *Plant Ecology*, 2006, 186: 161-176.
- [28] Bridgewater S, Ratter J A, Ribeiro J F. Biogeographic patterns,  $\beta$ -diversity and dominance in the Cerrado biome of Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 2004, 13: 2295-2318.
- [29] Hao Z Q, Yu D Y, Wu G, Deng H B, Jiang P, Wang Q L. Analysis on  $\beta$  diversity of plant communities on northern slope of Changbai Mountain. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(12): 2018-2022.
- [30] Liu Z L, Zheng C Y, Fang J Y. Changes in plant species diversity along an elevation gradient on Mt. Xiao wutai, Hebei, China. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 137-145.
- [31] Whittaker R H. Evolution and Measurement of Species Diversity. *Taxon*, 1972, 21: 213-251.
- [32] Rahbek C. The role of spatial scale and the perception of large-scale species-richness patterns. *Ecology Letters*, 2005, 8: 224-239.
- [33] Hao Z Q, Yu D Y, Yang X M, Ding Z H. A diversity of communities and their variety along altitude gradient on northern slope of Changbai Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(7): 785-789.
- [34] Dolezal L, Srutek M. Altitudinal changes in composition and structure of mountain-temperate vegetation: a case study from the Western Carpathians. *Plant Ecology*, 2002, 158: 202-221.

#### 参考文献:

- [5] Walter H. 世界植被——陆地生物圈的生态系统//中国科学院植物研究所生态室,译.北京:科学出版社,1984:9.
- [11] 冯建孟,王襄平,徐成东,杨元合,方精云.玉龙雪山植物物种多样性和群落结构沿海拔梯度的分布格局. *山地学报*, 2006, 24(1): 110-116.
- [12] 朱源,康慕谊,江源,刘全儒.贺兰山木本植物群落物种多样性的海拔格局. *植物生态学报*, 2008, 32(3): 574-581.
- [13] 唐志尧,方精云.植物物种多样性的垂直分布格局. *生物多样性*, 2004, 12(1): 20-28.
- [14] 江爱良.论我国热带亚热带气候带的划分. *地理学报*, 1960, 26(2): 104-109.
- [15] 马建华.试论伏牛山南坡土壤垂直分异规律——兼论亚热带北界的划分. *地理学报*, 2004, 59(6): 998-1011.
- [16] 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.
- [17] 史作民,刘世荣,王正用.河南宝天曼种子植物区系特征. *西北植物学报*, 1996, 16(3): 329-335.
- [18] 王理顺.河南省伏牛山自然保护区资源研究 III.森林资源分析与保护对策. *河南林业科技*, 2004, 24(2): 26-27.
- [19] 王理顺,申洁梅,李华堂,徐瑜林.伏牛山自然保护区珍稀濒危植物资源现状与保护对策. *河南林业科技*, 2003, 23(3): 42-44.
- [20] 丁向阳.伏牛山自然保护区珍稀树种林分结构与综合保护. *河南科学*, 2007, 25(1): 63-65.
- [21] 胡楠,范玉龙,丁圣彦,卢训令.伏牛山自然保护区森林生态系统乔木植物功能型分类. *植物生态学报*, 2008, 32(5): 1104-1115.
- [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] 张益民,吴立宏,赵体顺,王正用.河南宝天曼自然保护区主要植被类型及垂直分布的研究. *河南农业大学学报*, 1996, 30(2): 178-185.
- [24] 廖秉华,胡楠,丁圣彦,卢训令,柳静,范玉龙,翟元杰.伏牛山北坡植物功能群组成沿海拔梯度的动态变化. *河南大学学报:自然科学版*, 2008, 38(6): 618-621.
- [25] 张忠义,韩艳英,段绍光,闫东锋,郭芳,张雅梅.宝天曼栎类天然林物种多样性海拔分布研究. *河南科学*, 2005, 23(6): 819-822.
- [26] 崔保山,赵欣胜,杨志峰,唐娜,谭学界.黄河三角洲芦苇种群特征对水深环境梯度的响应. *生态学报*, 2006, 26(5): 1533-1541.
- [29] 郝占庆,于德永,吴钢,邓红兵,姜萍,王庆礼.长白山北坡植物群落  $\beta$  多样性分析. *生态学报*, 2001, 21(12): 2018-2022.
- [30] 刘增力,郑成洋,方精云.河北小五台北坡植物物种多样性的垂直梯度变化. *生物多样性*, 2004, 12(1): 137-145.
- [33] 郝占庆,于德永,杨晓明,丁之慧.长白山北坡植物群落  $\alpha$  多样性及其随海拔梯度的变化. *应用生态学报*, 2002, 13(7): 785-789.

# 2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊\*

(源于 2009 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	8956	1	生态学报	1.669
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

★《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次,全国排名第 2; 影响因子 1.669,全国排名第 14;第 1~8 届连续 8 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 30 卷 第 21 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 30 No. 21 2010

**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

**主 编** 冯宗炜  
**主 管** 中国科学技术协会  
**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

**出 版** 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717

**印 刷** 北京北林印刷厂  
**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

**订 购** 全国各地邮局  
**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

**广告经营** 京海工商广字第 8013 号  
**许 可 证**

**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

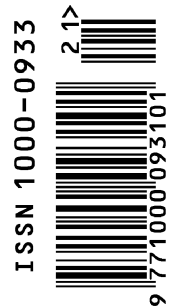
**Editor-in-chief** FENG Zong-Wei  
**Supervised** by China Association for Science and Technology  
**Sponsored** by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

**Published** by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

**Printed** by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China

**Distributed** by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel:(010)64034563  
E-mail:journal@cspg.net

**Domestic** All Local Post Offices in China  
**Foreign** China International Book Trading  
Corporation  
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



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