

四川大巴山巴山水青冈群落的 物种多样性特征

熊莉军^{1,2} 郭柯^{1*} 赵常明¹ 刘长成^{1,2}

1 (中国科学院植物研究所植被与环境变化重点实验室, 北京 100093)

2 (中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 巴山水青冈(*Fagus pashanica*)是川、陕、鄂、渝四省市交界处的特有植物。巴山水青冈林集中分布在四川省东北部的大巴山区。目前关于巴山水青冈群落的资料极其匮乏。作者在大巴山区通过对7个样地39个样方调查数据的分析,探讨了巴山水青冈群落的物种多样性特征。主要结果有:(1) 巴山水青冈群落物种组成丰富,共记录到维管束植物77科142属217种。乔木层物种集中于壳斗科、杜鹃花科、蔷薇科、山矾科等科;灌木层物种集中于蔷薇科、忍冬科、壳斗科、槭树科等科;草本层植物个体数量以苔草属(*Carex*)植物和普通鹿蹄草(*Pyrola decorata*)占绝对优势。(2) 群落乔木层物种多度对数呈倒“J”型分布,灌木层与草本层的物种多度近似对数正态分布。群落物种丰富度由大到小依次为灌木层>草本层>乔木层;Shannon指数与Simpson指数的顺序为灌木层>乔木层>草本层;均匀度指数的顺序为乔木层>灌木层>草本层。(3) 东坡、南坡的植物物种多样性高于北坡。乔木层Shannon指数与土壤第二层厚度回归关系显著;草本层Shannon指数与土壤第一层厚度的回归关系显著;灌木层的物种数和Shannon指数与土壤第一层有机质回归关系显著。(4) 群落建群种和乔木层主要树种重要值与物种多样性主要表现为负相关关系,但与灌木层的物种多样性关系不显著($P \geq 0.05$)。结果表明,灌木层物种多样性主要受到环境因素的影响,而乔木层和草本层物种多样性受到环境因子和群落自身特征的双重影响。

关键词: 大巴山, *Fagus pashanica*, 物种多样性, 环境因子, 重要值

Species diversity of *Fagus pashanica* community in Daba Mountains, Sichuan

Lijun Xiong^{1,2}, Ke Guo^{1*}, Changming Zhao¹, Changcheng Liu^{1,2}

1 Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093

2 Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract: *Fagus pashanica* is an endemic species of Mt. Daba. The forest dominated by *F. pashanica* mainly distributed in northern Sichuan. We studied the species diversity of *F. pashanica* forest based on a field survey of 39 quadrats in seven plots in Mt. Daba. The results showed that: (1) A total of 217 vascular plant species were recorded, belonging to 142 genera and 77 families. Dominant families in the canopy layer included Fagaceae, Ericaceae, Rosaceae and Symplocaceae, while those in the shrub layer were Rosaceae, Caprifoliaceae, Fagaceae and Aceraceae. In the herbaceous layer, *Carex* spp. and *Pyrola decorata* dominated in individual numbers. (2) Logarithm of species abundance showed an inverse “J” shaped distribution pattern in the canopy layer and an approximate normal distribution pattern in the shrub and herbaceous layers. Species richness was highest in the shrub layer and lowest in the canopy layer. Shannon-Wiener index of the shrub layer was higher than those of the canopy and herbaceous layers. Simpson index and evenness index were highest in the canopy layer and lowest in the herbaceous layer. (3) Species diversity was higher on southern and eastern slopes than on northern slope. Regression analysis indicated various relationships between diver-

sity and soil. (4) A significant negative correlation existed between species diversity of the community and the importance values of the dominant species and the main species in the canopy. We conclude that species diversity of the shrub layer is primarily affected by environmental factors, and species diversities of the canopy and herbaceous layers are affected markedly by both environmental factors and overstory canopy structure.

Keywords: Daba Mountains, *Fagus pashanica*, species diversity, environmental factors, importance value

秦巴山地是亚热带与暖温带的分界线,也是我国中东部的重要生态过渡带。该地区生物区系复杂,植物种类繁多,特有分布的种子植物极其丰富(唐志尧等, 2004b; 许冬焱和徐锦海, 2004),是当前生物多样性研究的重点区域之一。

巴山水青冈(*Fagus pashanica*)(张永田等, 1988)是四川、湖北、陕西、重庆四省市交界处的特有植物,集中分布于四川省东北部大巴山海拔1,300–1,900 m的范围内(杨玉坡等, 1990)。巴山水青冈林是四川省分布面积最大、保存比较完整的常绿阔叶混交林,也是适应当地气候的相对稳定的演替顶极群落(杨玉坡等, 1990)。其根系发达、树干通直、结构细密、经久耐用,为四川省主要用材树种之一(杨玉坡等, 1990)。但是,由于其地理分布范围比较狭窄,相关研究和文献报道较少(李俊清, 1996; 李俊清等, 1999; 李建强等, 2003),而关于其群落物种多样性特征的资料更是匮乏。本文通过对大巴山巴山水青冈群落的调查,分析比较了群落不同生活型的物种多样性与海拔、坡向、土壤等环境因子以及乔木层物种重要值的关系,揭示了群落物种组成与多样性特征,为进一步了解和研究巴山水青冈林的特性与科学管理提供依据。

1 研究方法

1.1 研究地自然概况

大巴山地处四川省东北部,山体大体呈西—东走向,地理位置居106°10′–110°10′E, 30°50′–33°05′N,主要植被类型为常绿阔叶混交林。南江县大坝林场位于海拔1,400 m处的中山地带,年平均气温约9.6°C,无霜期约170 d,年平均降雨量约1,450 mm,其中70%集中在5–8月;土壤为山地黄壤和黄棕壤,呈弱酸性反应(郭柯, 2003)。群落乔木层冠层一般高20–24 m,常见物种有巴山水青冈、米心水青冈(*Fagus engleriana*)、锐齿槲栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata*)、华千金榆(*Carpinus cor-*

data var. *chinensis*)、桦木(*Betula* spp.)以及常绿树种杜鹃(*Rhododendron* spp.)、青冈(*Cyclobalanopsis* spp.)、山矾(*Symplocos* spp.)等。灌木层常以箭竹(*Fargesia* spp.)和乔木层幼苗为主。草本层一般在林窗发育较好处,主要有普通鹿蹄草(*Pyrola decolata*)、苔草(*Carex* spp.)、重楼(*Paris* spp.)、山酢浆草(*Oxalis acetosella* ssp. *griffithii*)等;常春藤(*Hedera* spp.)、猕猴桃(*Actinidia* spp.)、菝葜(*Smilax* spp.)等是林中常见的藤本植物。

1.2 样方设置与调查

于2006年7–8月在四川省南江县大坝林场海拔1,400–1,700 m的范围内,选取自然生长良好的巴山水青冈林,设置7个样地,面积10 m×30 m至20 m×50 m不等;每个样地再划分成若干10 m×10 m的样方,共有39个样方。

乔木层:对39个样方内所有高度≥3 m的乔木进行逐木统计,详细记录物种名称、树高、冠幅、胸径等指标。调查植物前测量每个样地中间的海拔高度、坡度、坡向等地理指标(表1)。

灌木层和草本层:根据样地的大小,在每个样地内选择2–6个数量不等的10 m×10 m的样方进行调查,7个样地内总共调查了21个样方。调查时,将每个样方划分成4个5 m×5 m的小格子分别统计,然后汇总为该样方的数据。将灌木和高度小于3 m的乔木小树作为灌木层植物进行统计,记录每个物

表1 7个样地的基本情况

Table 1 The characteristics of seven plots of *F. pashanica* community investigated

样地 Plot	面积 Area(m ²)	坡度 Slope	坡向 Aspect	海拔 Altitude (m)
1	1,000	31°	NE20°	1,680
2	300	36°	SW20°	1,570
3	400	44°	NW15°	1,600
4	400	15°	NW30°	1,520
5	400	45°	SE75°	1,480
6	900	15°	NE55°	1,450
7	500	30°	SE20°	1,450

种的名称、株丛数、最大高度和平均高度、种盖度,并综合估计了灌木层的总盖度。

草本层:调查指标同灌木层,所有指标调查数据是在每个10 m×10 m样方内划分的5个以上1 m×1 m小样方的调查数据基础上统计的。

1.3 土壤分析

在样地内挖土壤剖面,根据土壤发生学原理分别取腐殖质层、淋溶层和淀积层3层中部的土样,同时测量每层的土壤厚度。土样密封带回实验室分析。参照土壤理化分析方法(刘光崧等,1996)测量了以下指标:半微量开氏法测量全氮;重铬酸钾外加热法测量全碳,然后换算成土壤有机质;高氯酸—浓硫酸法测量全磷;电位法测量pH值;比重法测量粒级组成。

1.4 数据处理

(1) 重要值计算。重要值(IV)=(相对密度(RDE)+相对优势度(RDO)+相对频度(RFE))/3。计算单个样方时,重要值=(相对密度+相对优势度)/2。其中,相对密度=样方内某种植物的密度/样方内所有物种密度的总和;相对优势度=样方内某种植物的胸高面积/样方内所有物种胸高面积总和;相对频度=某种植物的频度/所有植物的总频度。

(2) 物种多样性计算。本文采用 α 多样性指数。 α 多样性用于描述局域群落的物种多样性,一般受到小环境和生物之间作用的影响。本文采用以下几个指数:物种数 S ; Shannon 指数 $H' = -\sum P_i \ln P_i$; Simpson 指数 $D = 1/\sum P_i^2$; 均匀度指数 $J_{sw} = (-\sum P_i \ln P_i) / \ln S$ 。公式中, S 为样方中的物种数; $P_i = N_i / N$,为第 i 个物种的相对密度, N 为所有植物的个体数, N_i 为第 i 个物种的个体数。计算公式主要参考董鸣等(1996)。

在分析多样性与环境因素关系时,为避免面积变化对多样性指数的影响,各个指数均采用小样方多样性指数的平均值。

(3) 多度统计。将各个层次不同物种的植株数取自然对数后,再统计每一倍程(octave)内包含的物种数。

(4) 统计分析。用单因素方差分析比较不同坡向上物种多样性的差异;回归分析方法探讨海拔、土壤、建群种和乔木层主要树种重要值与物种多样性之间的关系。所有统计分析均在SPSS13.0统计软件中完成。

2 结果

2.1 群落植物种类成分分析

在调查的总面积为3,900 m²的39个样方中,记录到维管束植物217种,隶属142个属77个科。其中木本植物有45科82属145种,分别占总科、属、种数的58%、58%、67%;草本植物有40科60属72种,分别占总科、属、种数的52%、42%、33%(图1)。分类系统上,蕨类植物有9科10属11种;裸子植物仅有3科3属3种;被子植物有65科129属203种,其中单子叶植物6科18属24种,双子叶植物59科111属179种。

群落乔木层有21科32属50种,主要由壳斗科(3属9种)、杜鹃花科(5属6种)、蔷薇科(2属6种)、山矾科(1属4种)等科的植物组成,这4个科的物种占乔木层全部物种的50%。灌木层有44科81属142种,其中种数较多的有蔷薇科(10属19种)、忍冬科(3属11种)、壳斗科(3属9种)、槭树科(1属7种)等科。草本层植物物种组成比较分散,没有明显的优势科、属,但从数量上看,莎草科苔草属植物和普通鹿蹄草占有绝对优势,分别占草本层植株数的56%和27%。

2.2 群落的物种多样性

物种多度在不同生活型中有不同的分布格局(图2)。在乔木层,物种多度对数呈倒“J”型分布:个体数量多的物种是群落的优势种,但种数最少;而个体数量很少的物种占了乔木层物种数的一半。在灌木层与草本层中,物种多度呈近似对数正态分布:物种分布的峰值偏向个体数较少的一边,个体

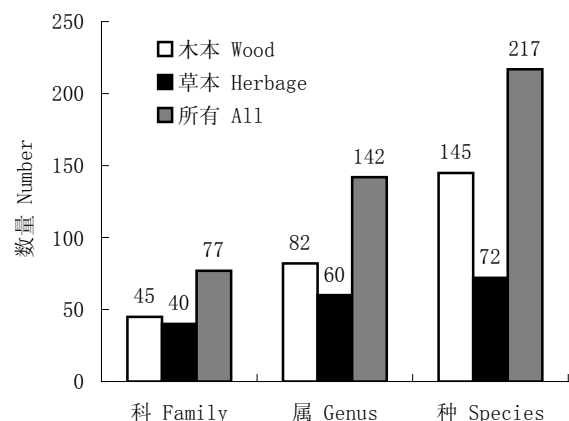


图1 巴山水青冈群落内的物种组成

Fig.1 Species composition of *Fagus pashanica* community

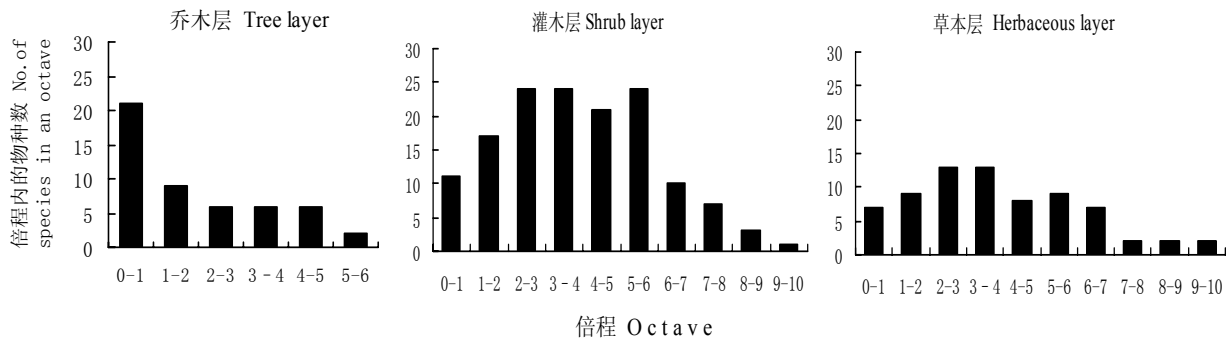


图2 巴山水青冈群落的物种多度分布格局
Fig. 2 Distribution of species abundance in *Fagus pashanica* community

表2 巴山水青冈群落物种多样性指数
Table 2 Species diversity indices in *Fagus pashanica* community

层次 Layer	物种数 No. of species	Shannon指数 Shannon-Wiener index	Simpson指数 Simpson index	均匀度指数 Evenness index
乔木层 Tree layer	50	1.55±0.69	0.70±0.02	0.81±0.02
灌木层 Shrub layer	142	2.48±0.17	0.80±0.04	0.67±0.04
草本层 Herbaceous layer	72	1.18±0.20	0.47±0.07	0.48±0.07

数较少和中等的物种很多,是灌木层与草本层物种的主要组成成分,对群落的物种组成也有着重要的影响。

从表2可以看出,群落物种丰富度的顺序为灌木层>草本层>乔木层,灌木层的物种数占群落总物种数的65%; Shannon指数与Simpson指数顺序为灌木层>乔木层>草本层;均匀度指数的顺序为乔木层>灌木层>草本层。虽然采用的均匀度指数是通过Shannon指数计算而来,但其变化与Shannon指数并不一致(黄建辉等,1997)。草本层的物种以生态幅较广的苔草属植物和喜阴的普通鹿蹄草占绝对优势,其他植物的密度很小。因此虽然草本层物种丰富度较高,但其他多样性指数及均匀度指数都较低。

2.3 物种多样性与环境因子的关系

2.3.1 物种多样性与海拔的关系

海拔变化对群落不同层次的物种多样性指数的影响各不相同。乔木层的物种数与海拔呈显著的抛物线关系,中海拔上乔木层物种丰富度最高。灌木层Shannon指数、均匀度指数,草本层Simpson指数、均匀度指数同海拔呈显著的负相关,均随着海拔的升高而单调递减($R^2=0.2, P < 0.05$)。其余多

样性指数与海拔的回归关系不显著。

2.3.2 物种多样性与坡向的关系

本文调查的样方位于3个坡向:东坡、南坡、北坡。由图3可以看出,东坡的乔、灌、草三层除灌木层和草本层的物种丰富度与北坡无显著差异外($P > 0.05$),其余多样性指数均显著高于北坡($P < 0.05$)。南坡除了乔木层的Simpson指数、均匀度指数以及草本层的物种丰富度、Shannon指数与Simpson指数与北坡无显著差异外($P > 0.05$),其余的也均显著高于北坡($P < 0.05$)。东坡与南坡仅乔木的均匀度指数存在显著性差异($P < 0.05$)。群落物种多样性对坡向较为敏感,其敏感度是灌木层>乔木层>草本层。

2.3.3 物种多样性与土壤的关系

经过逐步回归分析,得到土壤特征与不同生活型物种数和Shannon指数的回归方程见表3(回归关系未达到显著的没有列出)。乔木层的Shannon指数与土壤第二层厚度回归显著,表现出乔木层的物种多样性受土层厚度的影响。灌木层的物种数和Shannon指数与土壤第一层有机质回归关系显著,表现为受土壤有机肥力的影响。草本层Shannon指数与土壤第一层厚度回归显著。其余的土壤特征与

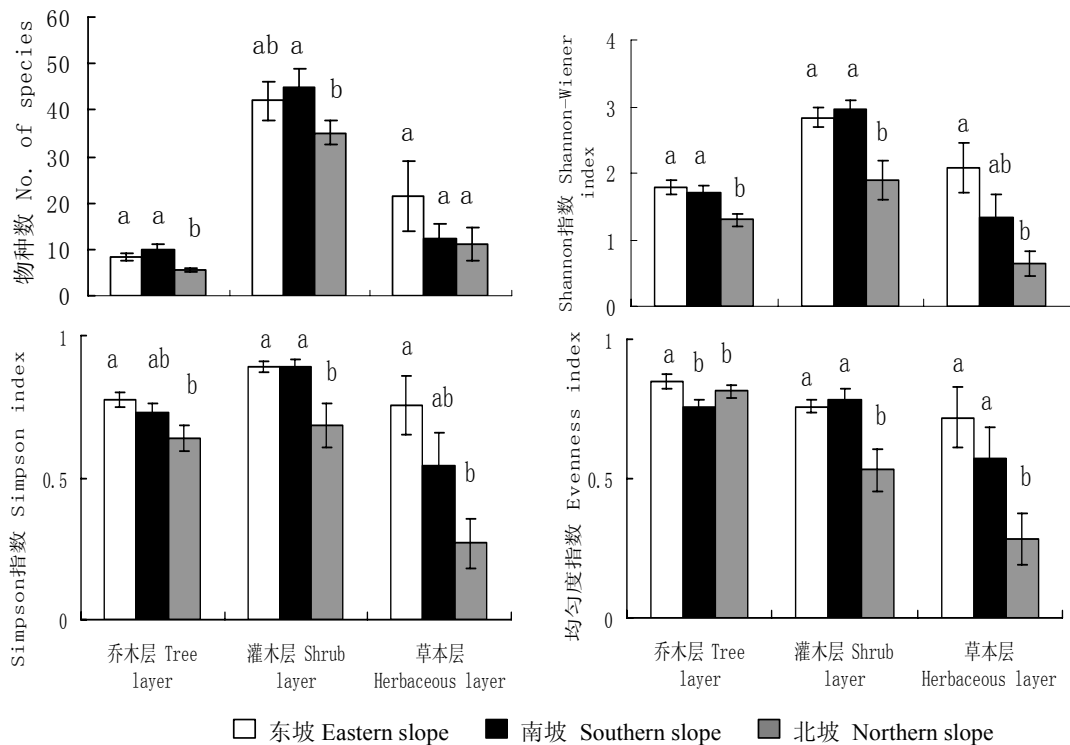


图3 不同坡向的物种多样性比较(不同字母表示差异显著)

Fig. 3 Comparison of species diversity on different slopes. Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$)

表3 物种多样性与土壤因子的回归关系

Table 3 The regression relationship between species diversity and soil characteristics

物种多样性指数 Species diversity indices		回归方程 Regression equation
乔木层 Tree layer	Shannon指数 (H') Shannon-Wiener index	$Y = 0.025DSL + 1.064$ ($R^2 = 0.856$, $P = 0.024$)
灌木层 Shrub layer	物种数 (S) Number of species	$Y = -0.424OFL + 44.86$ ($R^2 = 0.869$, $P = 0.021$)
	Shannon指数 (H') Shannon-Wiener index	$Y = -0.08OFL + 3.646$ ($R^2 = 0.798$, $P = 0.041$)
草本层 Herbaceous layer	Shannon指数 (H') Shannon-Wiener index	$Y = 0.172DFL + 2.16$ ($R^2 = 0.778$, $P = 0.048$)

DSL: 土壤第二层厚度 Depth of second layer of soil profile; OFL: 土壤第一层有机质 Organic matter in first layer of soil profile; DFL: 土壤第一层厚度 Depth of first layer of soil profile.

不同生活型的物种多样性回归关系均不显著。

2.4 群落建群种及乔木层主要树种与群落物种多样性的关系

Shannon指数同群落建群种巴山水青冈的重要值以及乔木层主要树种(重要值 $> 10\%$ 的树种)重要值之和的关系见图4。巴山水青冈重要值同群落和草本层的Shannon指数呈显著负相关(图4A, G), 同乔木层Shannon指数呈极显著的抛物线关系(图4C)。乔木层主要树种的重要值同群落、乔木、草本的

Shannon指数均呈极显著负相关(图4B, D, H)。灌木层的Shannon指数与巴山水青冈以及其他优势种的重要值都没有显著相关关系(图4E, F) ($P \geq 0.05$)。

3 讨论

物种多样性是多个生态过程的结果, 它受到多个环境因子如海拔、土壤、坡度、坡向、坡位、湿度、地形、外界干扰(贺金生等, 1997; Sollins, 1998; Stohlgren *et al.*, 1998; Brown, 2001; 彭闪江等, 2003;

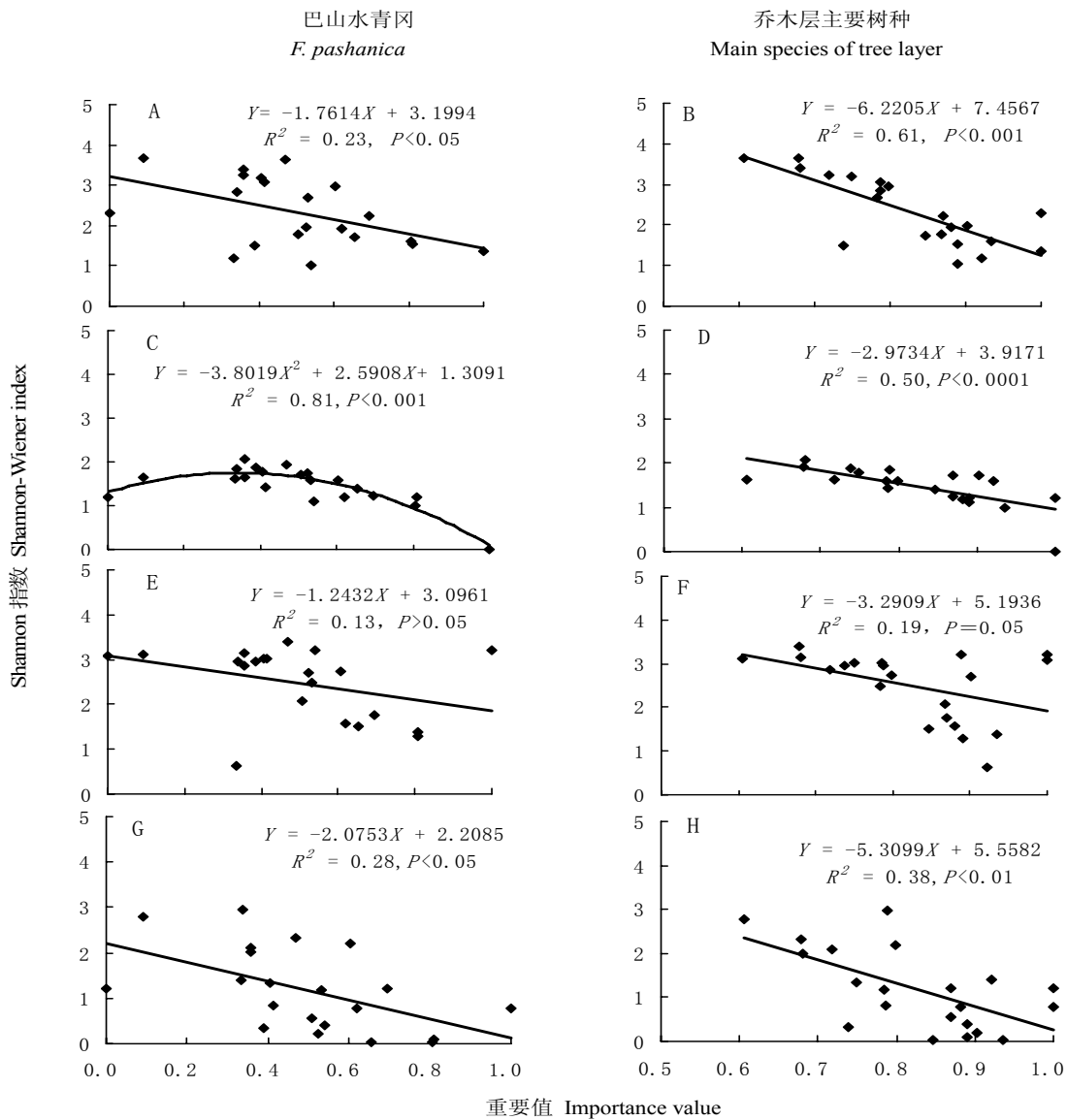


图4 群落建群种(左列)和乔木层主要树种(右列)的重要值分别与群落(A、B)、乔木层(C、D)、灌木层(E、F)和草本层(G、H)的Shannon指数的关系

Fig. 4 The correlation between importance values of dominant species (left column) and main species (right column) and Shannon-Wiener index of community (A, B), tree layer (C, D), shrub layer (E, F) and herbaceous layer (G, H). Freedom degree $n = 21$.

唐志尧, 2004a, b)等的综合影响(Grime, 1979; Huston, 1994; 唐志尧等, 2004b)。但是, 在不同尺度上和不同的群落中, 起主要作用的环境因素又各不相同(贺金生等, 1997; 沈泽昊等, 2001; 刘世梁等, 2003; 唐志尧等, 2004a; 朱彪等, 2004)。巴山水青冈群落中, 不同的环境因子对不同生活型的物种多样性的影响也不同。相比起土壤、海拔而言, 坡向对

乔木层、灌木层和草本层的物种多样性有着更大的影响。

不同生活型植物对环境因素的适应不尽相同, 乔、灌、草三层的物种多样性随环境的变化也呈现不同的变化趋势。对东灵山等4个地区森林的研究(黄建辉等, 1997)以及对祁连山植被的研究(王国宏, 2002)均显示出这种特征。就物种多样性对环境变化

的敏感度而言,草本层>灌木层>乔木层(王国宏, 2002),灌木层与乔木层表现出较为一致的趋势(谢晋阳等, 1994; 赵淑清等, 2004)。但是,在巴山水青冈群落中,灌木层受到坡向、土壤的影响最大,草本层受到的影响最小。在该群落中,对环境因素变化最敏感的是灌木层,其次是乔木层和草本层。

一般地,群落内物种多样性指数表现为草本层>灌木层>乔木层(马克平等, 1995; 黄建辉等, 1997; 吴晓蕾等, 2004)。但巴山水青冈群落中,除物种丰富度外,乔木层和灌木层的物种多样性指数均高于草本层,这可能与草本层受到群落自身特征的显著影响有关。乔木、灌木层对草本层的发育有着抑制作用(谢晋阳等, 1994),林木对地面遮蔽越严重,草本层的物种多样性就越低(贺金生等, 1997; 黄建辉等, 1997)。

巴山水青冈群落中,建群种和乔木层主要树种的重要值与群落以及乔灌草三层的Shannon指数主要呈负相关关系。通过与乔木层主要树种重要值关系的分析可以看出,物种多样性指数对群落自身特征变化的敏感度为乔木层>草本层>灌木层(图4)。巴山水青冈群落的乔木层和草本层物种多样性受到环境和群落自身特征的双重影响,而灌木层物种多样性则更多地受到环境因素的影响。

在过去的研究中,群落自身特征对多样性的影响往往被忽略,但空间与环境因子的交互并不能完全解释群落的多样性格局,群落自身的特征在其中也起到很大的作用(谢晋阳等, 1994; 王国宏等, 2001)。本次调查结果也表明,群落乔木层对群落的多样性有着很重要的影响,应该成为多样性研究中不可或缺的因素。分析中若加入群落本身对多样性的调节,可能将更全面地探讨和解释植物群落的多样性特征。

致谢:感谢南江县大坝林场领导、职工以及退休职工岳威远对野外工作的支持和帮助;感谢植物所系统中心李振宇、陈文俐、张宪春、张树仁、昆明植物所的武素功等老师对部分标本的鉴定。

参考文献

- Brown JH (2001) Mammals on mountainsides, elevational patterns of diversity. *Global Ecology & Biogeography*, **10**, 101–109.
- Dong M (董鸣), Wang YF (王义凤), Kong FZ (孔繁志), Jiang

- GM (蒋高明), Zhang ZB (张知彬) (1996) *Survey, Observation and Analysis of Terrestrial Biocommunities* (陆地生物群落调查观测与分析). Standard Press of China, Beijing. (in Chinese)
- Grime JP (1979) *Plant Strategies and Vegetation Processes*. Chichester, Wiley.
- Guo K (郭柯) (2003) Seedling establishment of *Fagus engleriana*, a dominant in mountain deciduous forests. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **14**, 161–164. (in Chinese with English abstract)
- He JS (贺金生), Chen WL (陈伟烈) (1997) A review of gradient changes in species diversity of land plant communities. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), **17**, 91–99. (in Chinese with English abstract)
- Huang JH (黄建辉), Gao XM (高贤明), Ma KP (马克平), Chen LZ (陈灵芝) (1997) A comparative study on species diversity in zonal forest communities. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **17**, 611–618. (in Chinese with English abstract)
- Huston MA (1994) *Biological Diversity, the Coexistence of Species on Changing Landscapes*. Cambridge University Press, New York.
- Li JQ (李俊清) (1996) Studies on intra- and inter- species gene diversity of Chinese beeches. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **4**, 63–68. (in Chinese with English abstract)
- Li JQ (李建强), Wang HC (王恒昌), Li XD (李晓东), Li XW (李新伟) (2003) Molecular phylogenetic inference in *Fagus* (Fagaceae) based on ITS (internal transcribed spacer) sequence of nuclear ribosomal DNA. *Journal of Wuhan Botanical Research* (武汉植物学研究), **21**, 31–36. (in Chinese with English abstract)
- Li JQ (李俊清), Wu G (吴刚), Liu XP (刘雪萍) (1999) Studies on genetic diversity of Chinese beeches in Nanjiang, Sichuan Province. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **19**, 42–49. (in Chinese with English abstract)
- Liu SL (刘世梁), Ma KP (马克平), Fu BJ (傅伯杰), Kang YX (康永祥), Zhang JY (张洁瑜), Zhang YX (张育新) (2003) The relationship between landform, soil characteristics and plant community structure in the Donglingshan Mountain region, Beijing. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **27**, 496–502. (in Chinese with English abstract)
- Ma KP (马克平), Huang JH (黄建辉), Yu SL (于顺利), Chen LZ (陈灵芝) (1995) Plant community in Donglingshan Mountain region, Beijing, China. II. Species richness, evenness and species diversities. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **15**, 268–277. (in Chinese)
- Liu GS (刘光崧), Jiang NH (蒋能慧), Zhang LD (张连第), Liu ZL (刘兆礼) (1996) *Soil Physical and Chemical Analysis and Description of Soil Profiles* (土壤理化分析与剖面描述). Standard Press of China, Beijing. (in Chinese)
- Peng SJ (彭闪江), Huang ZL (黄忠良), Xu GL (徐国良),

- Ouyang XJ (欧阳学军), Zhang C (张池) (2003) Effects of habitat heterogeneity on forest community diversity in Dinghushan Biosphere Reserve. *Guihaia* (广西植物), **23**, 391–398. (in Chinese with English abstract)
- Shen ZH (沈泽昊), Fang JY (方精云), Liu ZL (刘增力), Wu J (伍杰) (2001) Patterns of biodiversity along the vertical vegetation spectrum of the east aspect of Gongga Mountain. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **25**, 721–732. (in Chinese with English abstract)
- Sollins P (1998) Factors influencing species composition in tropical low land rain forest, does matter? *Ecology*, **79**, 23–30.
- Stohlgren TJ, Bachand RR, Onami Y, Binkley D (1998) Species-environment relationships and vegetation patterns, effects of spatial scale and tree life-stage. *Plant Ecology*, **135**, 215–228.
- Tang ZY (唐志尧), Fang JY (方精云) (2004a) A review on the elevational patterns of plant species diversity. *Biodiversity Science* (生物多样性), **12**, 20–28. (in Chinese with English abstract)
- Tang ZY (唐志尧), Fang JY (方精云), Zhang L (张玲) (2004b) Pattern of woody plant species diversity along environmental gradients on Mt. Taibai, Qinlin Mountains. *Biodiversity Science* (生物多样性), **12**, 115–122. (in Chinese with English abstract)
- Wang GH (王国宏) (2002) Species diversity of plant communities along an altitudinal gradient in the middle section of northern slopes of Qilian Mountains, Zhangye, Gansu, China. *Biodiversity Science* (生物多样性), **10**, 7–14. (in Chinese with English abstract)
- Wang GH (王国宏), Yang LM (杨利民) (2001) Gradient analysis and environmental interpretation of woody plant communities in the middle section of the northern slopes of Qilian Mountain, Gansu, China. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **25**, 733–740. (in Chinese with English abstract)
- Wu XP (吴晓莆), Zhu B (朱彪), Zhao SQ (赵淑清), Piao SL (朴世龙), Fang JY (方精云) (2004) Comparison of community structure and species diversity of mixed forests of deciduous broad-leaved tree and Korean pine in Northeast China. *Biodiversity Science* (生物多样性), **12**, 174–181. (in Chinese with English abstract)
- Xie JY (谢晋阳), Chen LZ (陈灵芝) (1994) Species diversity characteristic of deciduous forests in the warm temperate zone of North China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **14**, 337–344. (in Chinese with English abstract)
- Xu DY (许冬焱), Xu JH (徐锦海) (2004) Preliminary study on the endemic genera to China of spermatophyte in Dabashan Nature Reserve. *Ecologic Science* (生态科学), **23**, 137–140. (in Chinese with English abstract)
- Yang YP (杨玉坡), Li CB (李承彪), Guan ZT (管中天), Yang QZ (杨钦周) (1990) *Forest in Sichuan* (四川森林). China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese)
- Zhang YT (张永田), Huang CJ (黄成就) (1988) Notes on Fagaceae (II). *Acta Phytotaxonomica Sinica* (植物分类学报), **26**, 111–119. (in Chinese)
- Zhao SQ (赵淑清), Fang JY (方精云), Zong ZJ (宗占江), Zhu B (朱彪), Shen HH (沈海花) (2004) Composition, structure and species diversity of plant communities along an altitudinal gradient on the northern slope of Mt. Changbai, Northeast China. *Biodiversity Science* (生物多样性), **12**, 164–173. (in Chinese with English abstract)
- Zhu B (朱彪), Chen AP (陈安平), Liu ZL (刘增力), Li GZ (李光照), Fang JY (方精云) (2004) Changes in floristic composition, community structure, and tree species diversity of plant communities along altitudinal gradients on Mt. Mao'er, Guangxi, China. *Biodiversity Science* (生物多样性), **12**, 44–52. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 方精云 责任编辑: 周玉荣、时意专)