

历山自然保护区猪尾沟森林群落植物多样性研究

张峰^{1,2} 张金屯² 上官铁梁³

(1 中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室,北京 100093)

(2 山西大学黄土高原研究所,太原 030006)

(3 山西大学环境科学系,太原 030006)

摘要 采用丰富度指数、物种多样性指数和均匀度指数对山西历山自然保护区猪尾沟森林群落多样性进行研究。结果表明:1)同一群落内,多样性指数存在一定的波动范围;不同群落间,物种多样性也存在差异,但其并不一定具有统计学意义。由此表明,群落之间存在差异,同时也存在着连续性。2)海拔高度是决定本区多样性分布格局的主导因子,随着群落分布海拔高度的增加,多样性呈一致的上升趋势,即多样性与海拔呈正相关关系。3)群落物种多样性对海拔的敏感性由大到小的次序为草本层 > 乔木层 > 灌木层,其中乔木层的丰富度指数、草本层均匀度指数与海拔有着极显著的正相关关系,而乔木层的多样性指数、草本层的丰富度指数与海拔有着极显著的负相关关系,灌木层的多样性与海拔没有显著的相关性。4)群落中不同结构、不同层次对群落总体多样性的贡献是不同的,两种测定方法所产生的总体多样性之间呈显著相关关系,表明给定加权参数的测定方法没有影响客观生态意义的反映,同时也更好地反映出群落结构对于群落多样性的功能差异。

关键词 群落类型 海拔梯度 群落结构 群落总体多样性

PLANT DIVERSITY OF FOREST COMMUNITY IN ZHUWEIGOU OF LISHAN MOUNTAIN NATURE RESERVE

ZHANG Feng^{1,2} ZHANG Jin-Tun² and SHANGGUAN Tie-Liang³

(1 Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

(2 Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

(3 Department of Environment Science, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

Abstract The relationships between species diversity and the community types, environmental variables and community structure, were studied using the richness indices, diversity indices and evenness indices. 1) Although species diversity within a community varied, there was a greater variation in species diversity among different communities. However, we found that this variation was not always statistically significant, indicating that these communities not only have heterogeneity, but also continuity. 2) It was the altitudinal gradient which determined the patterns of species diversity. With the increase of elevation, all diversity indices increased, and the relationships between diversity indices and altitude were positive correlated. 3) The order of sensitivity in terms of the responses of species diversity to altitude in forest communities was herb layer > shrub layer > tree layer. Richness indices of the tree layer and evenness indices of herb layer were significantly positive correlation to elevation, while diversity indices of the former and richness indices of the latter had a significantly negative correlation to it. 4) In order to measure community diversity as a whole, weighting parameter was used.

Key words Community type, Altitudinal gradient, Community structure, Total community diversity

山地植物群落物种多样性随海拔高度的变化规律一直是生态学家感兴趣的问题。贺金生等(1997)将山地植物群落物种多样性随海拔高度的变化归结为5种模式:1)负相关;2)多样性在中等海拔高度最大,即中间膨胀;3)多样性在中等海拔高度最低;4)正相关;5)无关。Lomolino(2001)认为,多样性随海

拔梯度变化的格局关系(正相关、负相关和单峰关系)在很大程度上依赖于环境变量之间的协变与互助。因此,在对环境因子测度的基础上,不同群落类型、不同生活型物种多样性的比较研究,以及阐明物种多样性与海拔的关系依然是至关重要的(Lomolino,2001;王国宏,2002)。

收稿日期:2001-09-28 接受日期:2002-06-14

基金项目:国家重点基础研究规划项目(G2000018607)和国家自然科学基金(30070140)

E-mail:zhangfeng@ns.ibcas.ac.cn

历山自然保护区以保护暖温带落叶阔叶林为主,森林群落保存较为完整,种类丰富、结构复杂,是该区群落最为突出的特点。已有的研究工作主要是从植被带的划分(张金屯等,1997)、植物资源考察(刘天慰等,1984)、植物区系分析(傅志军等,1994;茹文明等,2000;上官铁梁等,2000)等方面开展的,而运用定量的数学分析手段对历山森林群落进行深入、细致的研究还很少。因而,本文从多样性与群落类型、多样性与生境、多样性与群落结构之间的关系以及总体多样性测度方法的探讨等4个方面对历山猪尾沟森林群落植物多样性进行研究,从而加深对本区植物群落结构、性质的认识,以期为本区生物多样性的保护和持续利用提供参考或依据。

1 研究地区自然概况

历山是国家级自然保护区,位于山西省南部中条山东段,地处 111°05'43" ~ 111°56'29" E, 35°29'07" ~ 35°23'10" N 之间,主峰舜王坪海拔 2358 m。历山属暖温带大陆性季风型气候,夏季炎热多雨、冬季寒冷干燥,年均温 13.3℃,年均降水量 667.6 mm。土壤垂直分异明显,自下而上依次为褐土、山地褐土、山地淋溶褐土、棕色森林土和山地草甸土。

历山地形复杂、水热资源丰富、植被覆盖完好,植被垂直带自下而上可划分为:侧柏林带(500 ~ 1000 m)、松栎林带(800 ~ 1500 m)、栓皮栎林带(1400 ~ 2000 m)、杨桦林带(1900 ~ 2200 m)、山地草甸带(2100 ~ 2358 m)(张金屯等,1997)。

2 研究方法

2.1 样地调查

2000年7月在保护区内以猪尾沟为研究地,从海拔 1400 m 开始,以间隔垂直距离 100 m 设置 1 ~ 2 个样地(20 m × 20 m),每个样地由 4 个 10 m × 10 m 的样方组成(其中有 1 个样地由 2 个样方组成),并分别在每一个样方内取一个 4 m × 4 m 的灌木样方和一个 1 m × 1 m 草本样方,直至海拔 2100 m,共 15 个样地,58 个样方。调查记录内容包括:1) 乔木种的盖度、高度、胸径和株数;2) 灌木种的盖度和高度;3) 草本植物的盖度和高度;4) 群落综合特征和生境特征,包括乔、灌、草总盖度,海拔、坡度、坡向、枯枝落叶层厚度、活地被层厚度等。58 个样方共记录了 160 个种,18 种乔木幼树同时又归入灌木层植物统计,对每个样方分别计算乔木、灌木和草本植物的重要值,最后得到 58 × 178 的原始数据矩阵。在每个

样方中心,除去腐殖质层大约 10 cm 深处取一土样。

2.2 数据分析

采用 Braak (1988) 设计的 CANOCO 软件包标准程序中的 DCCA 排序(张金屯,1995)。环境数据包括 12 个环境因子,即海拔、坡度、坡向、全磷、土壤有机质、土壤全氮、电导率、土壤 pH、Cu、Mn、Zn 和 K,因而组成 58 × 12 的环境因子数据矩阵。

2.2.1 物种多样性的测度

根据马克平等(1995)所评述的植物群落多样性测度方法,本文采用以下 5 种多样性指数进行了群落多样性的分析,即:

(1) Patrick 丰富度指数: $R = S$

(2) Simpson 指数:
$$= 1 - \sum_{i=1}^s \frac{N_i(N_i - 1)}{N(N - 1)}$$

(3) Shannon-Wiener 指数:
$$H = - \sum_{i=1}^s \left(\frac{N_i}{N} \right) \ln \left(\frac{N_i}{N} \right)$$

(4) Pielou 均匀度指数:
$$J_{sw} = \frac{H}{\ln(S)}$$

(5) Alatalo 均匀度指数:
$$E_a = \frac{1}{e^H - 1}$$

式中, S : 每一样方中的物种总数; N : S 个种的全部重要值之和; N_i : 第 i 个种的重要值。

2.2.2 群落多样性的测度

1) 群落总体多样性是所有乔、灌、草各物种一起直接参与多样性的计算。

2) 群落分层多样性测度法,是将群落中的乔、灌、草各层的多样性指数分别计算后,直接进行相加产生。

3) 给定加权参数群落总体多样性测度:

$$D = W_1 D_1 + W_2 D_2 + W_3 D_3$$

其中, D : 群落总体多样性指数; D_1 、 D_2 、 D_3 分别为乔木层、灌木层、草本层的多样性指数; W_1 、 W_2 、 W_3 分别为给定乔木层、灌木层、草本层的权重系数,这里采用 0.5、0.25、0.25。

3 结果与分析

3.1 不同植物群落类型的物种多样性分析

历山自然保护区的地带性植被为暖温带落叶阔叶林,植物群落的结构特征和环境特征见表 1(其中结构特征值为群落内各样方的平均值),各植物群落结构不同,这种差异主要受制于组成物种不同的生态生物学特性,因而作为反映群落组织水平的物种多样性指数研究,在一定程度上可表现出各群落的

表1 群落的结构特征和环境特征

Table 1 The structure characteristics and environmental characteristics of the communities

群落类型 Community	海拔高度 Elevation (m)	坡度 Slope (°)	坡向 Aspect	盖度 Coverage				
				群落 Community (%)	乔木层 Tree (%)	灌木层 Shrub (%)	草本层 Herb (%)	苔藓层 Mosses (%)
I	1800~2100	25	1	92	88	39	38	6
II	1900~2100	15	2~6	87	79	21	32	8
III	1700~1920	15~25	1~2	85	78	40	29	28
IV	1620~1920	15~25	1~4	92	87	31	31	16
V	1600~1620	20	1~2	87	75	43	30	23
VI	1600~1620	20	1~2	99	76	26	72	7
VII	1500~1510	15~20	4	96	89	49	58	25
VIII	1550	5	5~7	89	61	28	64	20
IX	1400	10	1	88	58	53	51	10

I: 红桦+山柳+华山松林 *Betula albo-sinensis* + *Salix pseudotangii* + *Pinus amandii* forest II: 红桦+山杨林 *Betula albo-sinensis* + *Populus davidiana* forest III: 青榨槭+五角枫林 *Acer davidii* + *Acer mono* forest IV: 青榨槭+鹅耳枥林 *Acer davidii* + *Carpinus turczaninowii* forest V: 五角枫+野核桃林 *Acer mono* + *Juglans cathayensis* forest VI: 漆树+小叶鹅耳枥林 *Toxicodendron verniciflum* + *Carpinus turczaninowii* var. *stipulata* forest VII: 小叶鹅耳枥+鹅耳枥林 *Carpinus turczaninowii* var. *stipulata* + *Carpinus turczaninowii* forest VIII: 野核桃林 *Juglans cathayensis* forest IX: 油松林 *Pinus tabulaeformis* forest

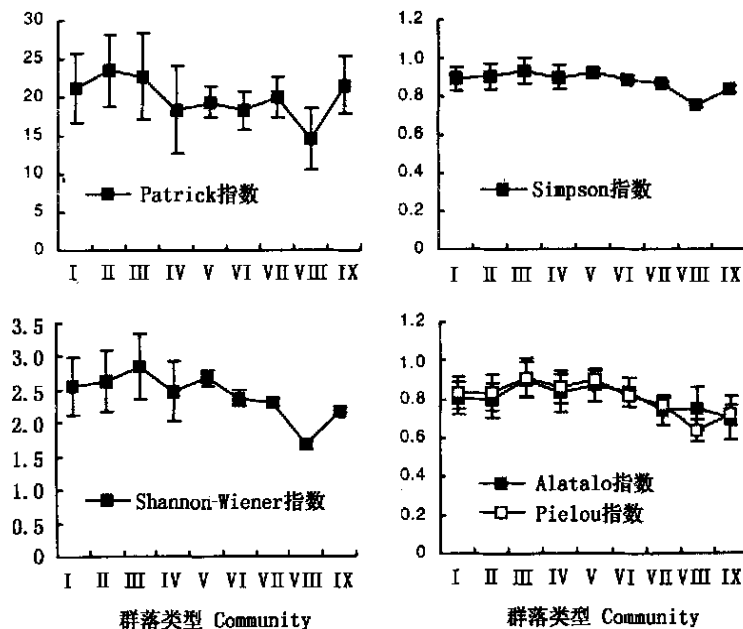


图1 历山主要植物群落类型的物种多样性趋势图

Fig. 1 The tendency of the species diversity of the major plant communities in Lishan Mts

一些生态学习性(黄忠良等,2000)。

图1为历山猪尾沟9个植物群落类型的物种丰富度指数、多样性指数和均匀度指数,它反映了历山猪尾沟地区不同植物群落类型在物种组成或群落组织化水平方面的差异。

首先各项指数与群落类型有关,结构复杂的森林群落较其它群落的多样性指数要高,如群落II、III分别为红桦+山杨林、青榨槭+五角枫林,林型结构复杂、发育较好,因而物种丰富度、物种多样性指数和均匀度指数都较高。而群落VIII、群落IX分别为野核桃林、油松林,林型结构简单,且受人为干扰,因

而各项指数均较低。其次,各项指数与海拔高度也有很大关系,海拔高度高,则水分条件较好,热量也未受限制,且受人为干扰较少,因而各项指数较高,因此当群落I到群落IX,所处生境海拔高度逐渐降低时,各项指数表现出下降的趋势。由此可见,影响物种多样性的因素很多,植物群落类型、海拔高度、人为干扰、演替阶段、生境条件差异等均对各项指数有一定的影响,而海拔高度是决定本区多样性差异的主导因子。

尽管从图1中可直观地反映出,不同的群落类型,物种多样性有差异,而且在实际的野外调查中也

可客观地反映出这一事实。但是表 2 的多重比较却揭示出群落间的界限本身是模糊的。而从统计学上来讲,也可能是因为部分群落内样方数少,或群落内各样方的差异性显著,导致群落间不具有显著性差异。因此可以说,相同的群落内,多样性指数存在一定的波动范围,而不同的群落内物种多样性存在差异性,但并不一定具有统计学意义。因此群落间存在差异,同时也存在着连续性。

3.2 群落物种多样性与生境的关系

58 个样方的 DCCA 排序结果表明,第一、二、三轴的特征值分别为:0.651、0.262 和 0.133,说明 DC-

CA 第一轴代表研究区内一个重要的环境梯度;DC-CA 环境因子与排序轴的相关性也表明,对于第一轴,种与环境因子的相关性已达到 0.977,而其中海拔与 DCCA 第一排序轴的相关性已到 0.866。因此可以认为,在特定研究地猪尾沟,山地海拔高度是影响物种组织、结构格局的决定性因素。

这里的群落多样性测度是将乔、灌、草一起直接参与多样性计算而产生,再将物种多样性指数与 DCCA 排序第一排序轴分值进行相关分析(图 2)。图 2 表明,各多样性指数与排序轴分值具有极显著的相关性($p < 0.01, n = 56$),由此验证,研究区的海

表 2 不同群落类型的物种多样性
Table 2 The species diversity of nine plant communities

类型 Community	Patrick 指数	Simpson 指数	Shannon-Wiener 指数	Pielou 指数	Alatalo 指数
I	21.2500 ^b	0.1062 ^{ab}	2.5422 ^{cde}	0.8322 ^{cde}	0.8097 ^{abc}
II	23.5000 ^b	0.0927 ^{ab}	2.6239 ^{cde}	0.8336 ^{cde}	0.7928 ^{abc}
III	22.6667 ^b	0.0655 ^a	2.8427 ^e	0.9123 ^e	0.8959 ^c
IV	18.3846 ^{ab}	0.1032 ^{ab}	2.4731 ^{bcd}	0.8605 ^{de}	0.8335 ^{bc}
V	19.3333 ^{ab}	0.0785 ^a	2.6739 ^{de}	0.9037 ^e	0.8704 ^c
VI	18.2500 ^{ab}	0.1136 ^{abc}	2.3719 ^{bcd}	0.8185 ^{cd}	0.8375 ^{bc}
VII	20.0000 ^b	0.1335 ^{bc}	2.3137 ^{bc}	0.7725 ^{bc}	0.7442 ^{ab}
VIII	14.5000 ^a	0.2429 ^d	1.6711 ^a	0.6364 ^a	0.7500 ^{ab}
IX	21.5000 ^b	0.1621 ^c	2.1827 ^b	0.7178 ^b	0.7043 ^a

表中字母表示多重比较结果,同一列字母相同表示两者差异性不显著,字母不同,表示差异性显著($p < 0.05$) The alphabets represent the results from multiple comparison between different community types. If there is the same alphabet in the same column, they have no significant difference, if there is different alphabet, they are different significantly ($p < 0.05$)

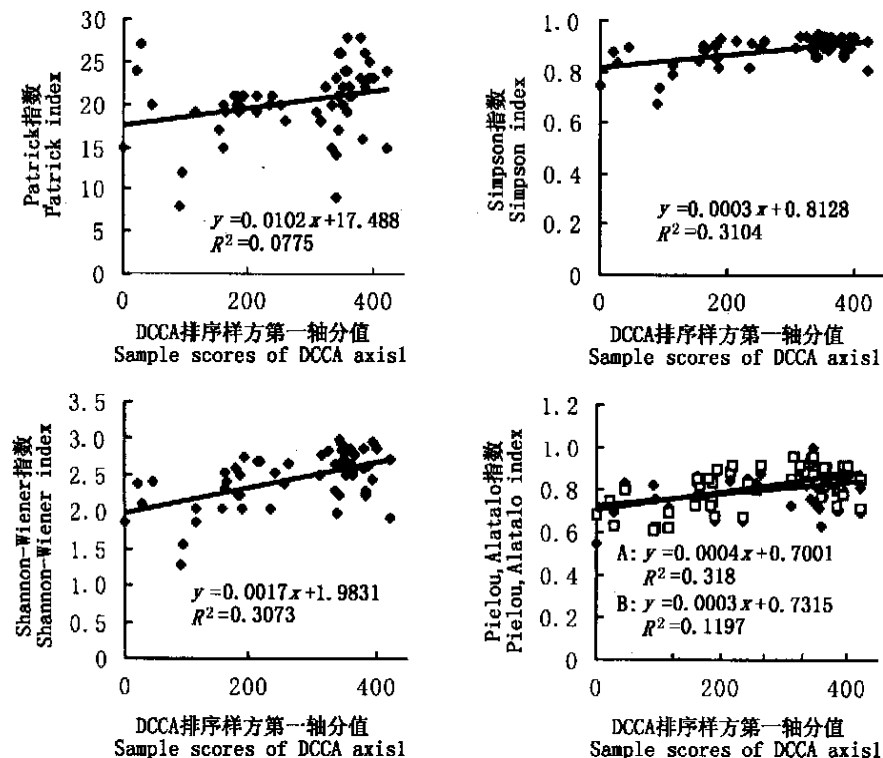


图 2 历山猪尾沟森林群落物种多样性在 DCCA 第一排序梯度上的变化趋势
Fig. 2 Patterns of species diversity of nine forest communities varying with DCCA axis1 in Lishan Mts.
A: Pielou 指数 Pielou index B: Alatalo 指数 Alatalo index

拔高度是影响物种分布格局的主导因素,且呈正相关关系。沿排序轴从左到右,海拔高度从低至高,物种多样性均单调递增,反映出研究区域在较高海拔的环境条件下,有着良好的水热条件,有利于物种向多样化和均匀化的方向发展。

在特定研究地猪尾沟,山地海拔高度是影响物种多样性格局的决定性因素,随着海拔高度的增加,水分条件逐渐得到改善,而热量条件也没有成为制约因素,因此局部高程内良好的水热生境,导致较高的物种多样性。但依然存在另一些因素来影响群落的物种多样性,如对于研究区人类活动强度的变化,由低海拔向高海拔,影响强度逐渐减弱。此外还有群落所处的不同发育阶段或生境如坡位、坡度、坡向等的差异,以及由此引起的土壤厚度和有机质含量、水分条件等一系列生境的变化,也能导致物种多样性出现波动。

3.3 群落物种多样性与群落结构

从群落结构的角度来研究生物群落的多样性是很有意义的。因为生物群落的结构是群落中植物与植物之间、植物与环境之间相互关系的可见标志,同时也是群落其它特征的基础(谢晋阳等,1997)。本文分别以乔木层、灌木层和草本层作为研究对象,从空间意义上来揭示历山森林群落结构特点及其规律。

暖温带森林中,生物量和所占空间均是乔木层最大、灌木层次之、草本层最小,但其物种多样性则表现出不同趋势。分别计算乔、灌、草各层的物种多样性,结果表明,对于物种丰富度,乔木层和灌木层的种数明显低于草本层,因而草本层的丰富度指数明显高于乔、灌;均匀度指数,在各样方波动不是很大,但基本上存在乔木层 > 灌木层 > 草本层的

趋势,这主要是由于乔木层各树种的个体数分布比较均一,而草本层的数量多集中在几个种;最后,对于物种多样性指数,各层多样性指数表现出多元化趋势,很难概括三者的关系,其原因在于多样性指数是物种丰富度和均匀度指数的函数,除受丰富度指数影响外,还受到均匀度指数的制约。

乔木层、灌木层、草本层与海拔相关性研究表明(表3),研究地植物群落物种多样性对海拔的敏感性由大到小的次序为草本层 > 乔木层 > 灌木层,其中乔木层的丰富度指数、草本层均匀度指数与海拔有着极显著的正相关关系($n = 57, p < 0.01$),而乔木层的多样性指数、草本层的丰富度指数与海拔有着极显著的负相关关系($n = 57, p < 0.01$),灌木层的多样性与海拔没有显著的相关性。

3.4 群落总体多样性测度方法对比

不同生长型的物种多样性指数对群落的贡献是不等价的,这种不等价是由于植物不同的生长型对群落的结构、功能和稳定性的贡献是不相等的。乔木层对群落的结构、外貌、动态等生态学功能和过程起决定性的作用,它与生境间的关系最直接,而其它层次则除了受生境因子的影响外,还依赖于乔木层的状况(高贤明等,1998;贺金生等,1998)。因而本文将对群落总体多样性的计算进行探索和论证。

本研究样地为暖温带落叶阔叶林,现采用经验加权参数,即乔木层 0.5、灌木层 0.25、草本层 0.25,计算新的总体多样性,并且将新的总体多样性与分层总体多样性进行了相关性分析。结果表明,两种总体多样性具有极显著的相关关系($p < 0.01, n = 57$),那么可以认为给定的经验权重系数是比较合理的,它没有影响客观生态意义反映,同时参数值也突出体现了群落中不同结构、不同层次对于群落总体

表3 历山猪尾沟森林群落乔、灌、草多样性指数与海拔的线性回归方程
Table 3 Regression equation between diversity indices and altitude in Lishan Mts.

	乔木层 Arbor layer	灌木层 Shrub layer	草本层 Herb layer
Patrick 指数 Patrick index	$y = 0.0054x - 4.6895$ $R^2 = 0.3267$	$y = -0.0005x + 7.2561$ $R^2 = 0.0012$	$y = 8E-05x + 1.0264$ $R^2 = 0.001$
Simpson 指数 Simpson index	$y = -0.0005x + 1.2726$ $R^2 = 0.2501$	$y = -9E-5x + 0.462$ $R^2 = 0.0107$	$y = -0.0004x + 0.9877$ $R^2 = 0.3205$
Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	$y = -0.0007x + 1.5541$ $R^2 = 0.3064$	$y = -3E-05x + 0.7027$ $R^2 = 0.0031$	$y = -0.0003x + 1.084$ $R^2 = 0.3335$
Pielou 指数 Pielou index	$y = 6E-05x + 0.8178$ $R^2 = 0.0395$	$y = 4E-05x + 0.7363$ $R^2 = 0.005$	$y = 0.0004x + 0.032$ $R^2 = 0.31$
Alatalo 指数 Alatalo index	$y = 6E-05x + 0.7971$ $R^2 = 0.0221$	$y = 8E-05x + 0.7511$ $R^2 = 0.033$	$y = 0.0005x - 0.0341$ $R^2 = 0.1984$

多样性具有不同的贡献的特点。因此结合经验加权参数的总体多样性合理、有效地揭示出群落结构对于群落多样性的功能差异。

4 结 论

采用丰富度指数、多样性指数、均匀度指数对历山自然保护区猪尾沟森林群落多样性进行研究,得出如下结论:

同一群落内,多样性指数有一定的波动范围,不同的群落间物种多样性存在着差异性,但其并不一定具有统计学意义,因此群落间存在差异,同时也存在着连续性。

群落物种多样性与 DCCA 排序第一轴分值的相关研究表明,海拔高度是决定本区多样性分布格局的主导因子,随着群落分布海拔高度的增加,多样性呈一致的上升趋势,即多样性与海拔呈正相关关系。

研究地植物群落物种多样性对海拔的敏感性由大到小的次序为草本层 > 乔木层 > 灌木层,其中乔木层的丰富度指数、草本层均匀度指数与海拔有着极显著的正相关关系 ($n = 57, p < 0.01$),而乔木层的多样性指数、草本层的丰富度指数与海拔有着极显著的负相关关系 ($n = 57, p < 0.01$),灌木层的多样性与海拔没有显著的相关性。对丰富度来讲,草本层 > 灌木层 > 乔木层;对于均匀度指数,则有乔木层 > 灌木层 > 草本层;而对于物种多样性指数则无明显的大小顺序。

群落总体多样性研究表明,给定加权参数是对群落总体多样性测度方法的一次有力探索,文中给定经验加权参数,首先是对群落中不同结构、不同层次对群落总体多样性贡献不同的肯定;其次,给定加权参数对群落总体多样性进行测定,两种测定方法所产生的总体多样性之间呈显著相关关系。进一步表明:给定加权参数的测定方法在没有影响客观生态意义反映的同时,更好地揭示出群落结构对于群落多样性的功能差异。加权参数的给定可以更好地揭示群落的结构、功能多样性,然而如何合理地确定参数,是一个有待于进一步讨论的问题,仅依据经验是远远不够的,但它毕竟为科学问题的解决提供了一个新的思路。

参 考 文 献

- Fu, Z. J. (傅志军) & X. T. Zheng (郑雪婷). 1994. The characteristics of flora in the Zhongtiao Mountain. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), **14**: 148 ~ 152. (in Chinese)
- Gao, X. M. (高贤明) & L. Z. Chen (陈灵芝). 1998. Studies on the species diversity of *Quercus liaotungensis* communities in Beijing mountains. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **22**: 23 ~ 32. (in Chinese)
- He, J. S. (贺金生) & W. L. Chen (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)
- He, J. S. (贺金生), W. L. Chen (陈伟烈) & L. H. Li (李凌浩). 1998. Community diversity of the main types of the evergreen broad-leaved forest in the middle subtropical China. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **22**: 303 ~ 311. (in Chinese)
- Huang, Z. L. (黄忠良), G. H. Kong (孔国辉) & D. Q. He (何道泉). 2000. Plant community diversity in Dinghushan Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **20**: 193 ~ 198. (in Chinese)
- Liu, T. W. (刘天魁), Z. B. Zeng (曾昭玢), X. L. Sha (沙心苓), Q. J. Meng (孟清杰) & J. Y. Yue (岳建英). 1984. A preliminary report of investigation of the natural plant resource of seventy-two Hungou at the Zhongtiao Mt., Shanxi province. *Wuhan Botanical Research* (武汉植物学研究), **2**: 259 ~ 266. (in Chinese)
- Lomolino, M. V. 2001. Elevation gradients of species-density: historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography*, **10**: 3 ~ 13.
- Ma, K. P. (马克平), J. H. Huang (黄建辉), S. L. Yu (于顺利) & L. Z. Chen (陈灵芝). 1995. Plant community diversity in Dongling mountain, Beijing, China. II. Species richness, evenness and species diversities. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **15**: 268 ~ 277. (in Chinese)
- Ru, W. M. (茹文明) & F. Zhang (张峰). 2000. On the flora of seed plants in the eastern segment of Zhongtiao Mountains, Shanxi. *Journal of Shanxi University (Natural Science Edition)* (山西大学学报(自然科学版)), **23**: 82 ~ 87. (in Chinese)
- Shangguan, T. L. (上官铁梁), F. Zhang (张峰) & L. S. Fan (樊龙锁). 2000. Analysis on the flora of xylophyta in Zhongtiao Mountains, Shanxi. *Bulletin of Botanical Research* (植物研究), **20**: 143 ~ 155. (in Chinese)
- Wang, G. H. (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)
- Xie, J. Y. (谢晋阳) & L. Z. Chen (陈灵芝). 1997. The studies of some aspects of biodiversity on scrubs in the warm temperate zone in China. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **21**: 197 ~ 207. (in Chinese)
- Zhang, J. T. (张金屯), F. Zhang (张峰) & T. L. Shangguan (上官铁梁). 1997. Reanalysis of vertical zones of vegetation in Zhongtiao Mountain. *Journal of Shanxi University (Natural Science Edition)* (山西大学学报(自然科学版)), **20**: 76 ~ 79. (in Chinese)
- Zhang, J. T. (张金屯). 1995. The methods in plant quantitative ecology. Beijing: Chinese Science and Technology Press. 10 ~ 25. (in Chinese)

责任编辑:周玉荣