

地带性森林群落物种多样性的比较研究*

黄建辉 高贤明 马克平 陈灵芝

(中国科学院植物研究所, 北京, 100093)

5718.54

A 摘要 在群落调查以及文献收集的基础上, 对暖温带地区、暖温带和亚热带过渡地区、亚热带地区以及热带地区的典型地带性植被不同群落类型群落多样性进行了分析和研究, 结果发现这4类地区物种多样性的变化具有一定的规律性, 具体表现在热带地区(以统计平均值表示)群落乔木层的物种丰富度和多样性为最高, 然后依次是亚热带地区、秦岭地区和东灵山地区; 灌木层的物种丰富度和多样性则以亚热带地区为最高, 其次是秦岭地区, 热带地区的则仍高于东灵山地区, 但这种变化明显没有乔木层那样显著; 草本层的情形与乔木层几乎相反, 以东灵山地区为最高, 其次是秦岭地区的, 以亚热带地区的为最低, 而热带地区的仅高于亚热带地区的。这一系列的变化无不反映了环境因子的纬度变化特征。作者还分析了东灵山地区和秦岭地区群落物种多样性随海拔和群落类型的变化特征, 但由于其它环境因子的干扰, 没有发现明显的变化趋势。

关键词: 物种丰富度, 物种多样性, 均匀度, 纬度特征。

森林群落

A COMPARATIVE STUDY ON SPECIES DIVERSITY
IN ZONAL FOREST COMMUNITIES

Huang Jianhui Gao Xianming Ma Keping Chen Lingzhi

(Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100093, China)

Abstract Based on plant community investigation and references available, we calculated and analyzed the species richness, diversity, evenness of main communities of the typical vegetation distributed in warm-temperate zone (represented by Dongling Mt.), the ecotone zone of warm-temperate and subtropics (represented by Qinling Mt.), subtropical zone (represented mainly by Xishuangbanna), respectively. We found that the species richness and diversity of shrub layer were highest in subtropical zone and Qinling ranked second. Dongling Mt. had the lowest species richness and diversity. However, the change of species richness and diversity of herb layer almost oppositely to that of tree layer. In addition to the latitude change, we also analyzed the changes of species richness and diversity along the altitude and community types. Probably due to noise of other environmental factors, no obvious tendency of change of species richness and diversity was found.

- * 本研究是国家自然科学基金项目(编号96011700009)研究的一部分。
于顺利, 万师强, 熊高明, 刘灿然, 刘文彬, 杨朝阳, 苏波等参加了样地调查。
收稿日期: 1996-12-02, 修改稿收到日期: 1997-05-24。

Key words: species richness, species diversity, evenness, latitude feature.

中国是地球上具有高度生物多样性的国家之一。原因之一是我国覆盖了较大的纬度范围,从南到北有热带、亚热带、温带和寒温带,形成了生境的多样性。其中热带、亚热带对生物多样性的贡献最大,而温带和寒温带对生物多样性的贡献相对较小。通常将这种现象称为生物多样性的纬度梯度特征。关于生物多样性的这种纬度梯度变化特征,国外自从60年代起,有很多学者有过相关论述,国内也曾有过介绍和研究,但取得第一手资料的研究还不多。本文在对暖温带的落叶阔叶林、亚热带的常绿阔叶林以及处于两个带过渡地区的落叶阔叶林、热带的雨林和季雨林进行大量群落调查或查阅文献的基础上,将4个地区的代表性森林群落类型的群落多样性特征进行了比较研究。

1 样地概况和研究方法

1.1 样地概况

本文选择东灵山、太白山、黄山等山系(包括黄山、天童山、武夷山、龙栖山等)以及西双版纳(包括海南岛)等4个地区的地带性植被为研究对象,分别代表暖温带地区、暖温带与亚热带的过渡地区、亚热带地区和热带地区。

东灵山位于北京西郊的门头沟区(39°58'N, 115°E),与河北省毗邻。最高海拔2303m,森林地区土壤以微酸性山地森林褐土为主,属暖温带半湿润季风气候,年均温为2~8℃,年平均降水量约为600mm,主要集中在6~8月。代表本地区气候特征的森林群落类型为落叶阔叶林,主要分布在本地区1000~1800m之间的山地,包括由暖温带地区常见树种组成的落叶阔叶混交林、辽东栎和以辽东栎为主的落叶阔叶混交林、柞木林等。

太白山地处我国南北气候的分界——秦岭中段,位于东经107°41'~107°21',北纬33°49'~34°08',太白山的地理位置具有一定的特殊性,恰处于我国华北湿润平原之西,青藏高原以东,暖温带的南缘,亚热带的北界。冬季受蒙古冷气团的控制,夏季受太平洋副高压带的影响,太白山最低海拔约720m,最高达3767m,相对高差达3000m。由于人为活动的影响,1500m以下山地的森林受到了较大程度的破坏,现存的代表该地区气候的主要森林群落类型的落叶阔叶林分布于1500~2500m的山地,土壤以山地棕壤为主^[1]。

亚热带常绿阔叶林地区所选样地大致在北纬26~30°,年平均降水量在1000~1900mm,而热带季雨林和季节性雨林地区(西双版纳)所选样地位于21°左右,年降水量约1500mm左右。

1.2 研究方法

1993~1995年,作者对东灵山和太白山两地区的植被类型进行了调查,从约150个样地中选择了代表两地区气候类型的典型落叶阔叶林的样地50个,约20个群落类型,分乔、灌、草3层分别计算其物种多样性指数。为了与这两个地区森林群落物种多样性进行比较,作者还计算了代表亚热带地区气候的常绿阔叶林的物种多样性指数,共61个样地,约17个类型以及代表中国热带地区气候的季雨林和季节性雨林共21个样地的物种多样性指数,其样地位置列在表1中。

取样的样地面积为400~600m²,分成4~6个相等面积的小样方作为乔木和灌木样地,在每一个小样方中分别取一个草本样地,样地面积为1m²。在每一个样方中测定的项目包括乔木的高度、枝下高、胸径和冠幅,灌木和草本的盖度和株数。热带地区的样地面积为1500到2500m²不等,个别样地面积低于1000m²。草本和灌木层取5个25m²的小样方。

森林群落物种多样性统一应用各个物种在该层(乔、灌、草)中的重要值这一综合指标来计算。各个物种的重要值计算公式为:

$$IV(\%) = (\text{相对密度} + \text{相对频度} + \text{相对优势度(或盖度)})/3$$

由于受热带地区资料的局限,季雨林和季节性雨林中某些样地物种多样性的计算是根据各层中植物的株数或相对优势度(相对显著度和相对多度之和),而不是重要值。另外,有些样地的资料是60年代调查的结果,大部分是80年代左右调查的结果,因此这些资料的使用完全是仅考虑其对该地区的代表性。为了便于比较,在使用热带地区的样地资料时,并没有将藤本植物和附生植物包含在任何一个层次中。

表1 亚热带和热带82个样地的取样地点
Table 1 Sampling places for the 82 quadrats in subtropics and tropics

	北纬 Latitude(N)	东经 Longitude(E)	资料来源 Sources
福建龙栖山(Longqishan, Fujian)	26°33'	117°15'	贺金生*
福建武夷山(Wuyishan, Fujian)	27°51'	117°41'	李凌浩*
安徽黄山(Huangshan, Anhui)	30°08'	118°09'	周纪伦 ^[2]
浙江天童山(Tiantongshan, Zhejiang)	29°48'	121°47'	宋永昌等 ^[3]
浙江乌岩岭山(Wuyanling, Zhejiang)	27°30'	119°40'	宋永昌等 ^[4]
浙江杭州(Hangzhou, Zhejiang)	30°20'	120°10'	Song ^[5]
浙江昌化(Changhua, Zhejiang)	30°02'	118°58'	Song ^[5]
浙江龙泉(Longquan, Zhejiang)	27°50'	119°08'	Song ^[5]
上海金山(Jinshan, Shanghai)	30°20'	121°10'	周秀佳 ^[6]
海南岛甘什岭(Ganshiling, Hainan)	18°25'	109°40'	胡玉佳 ^[7]
云南西双版纳(Xishuangbanna, Yunnan)	21°09'~22°36'	99°58'~101°50'	朱华**
云南西双版纳(Xishuangbanna, Yunnan)	21°09'~22°36'	99°58'~101°50'	郭荫卿等 ^[8]
云南西双版纳(Xishuangbanna, Yunnan)	21°09'~22°36'	99°58'~101°50'	吴征镒等 ^[9]
云南西双版纳(Xishuangbanna, Yunnan)	21°09'~22°36'	99°58'~101°50'	朱华等***

* 贺金生,陈伟烈,李凌浩,1996. 中国东部亚热带森林群落生物多样性研究。* * 朱华,1990. 西双版纳龙脑香林的研究 I 望天树的群落-生态学研究(博士论文)。* * * 朱华,王洪,李宝贵,许再富,1996. 西双版纳石灰林及植物多样性研究

对于物种多样性指数的计算,许多作者都提出了他们各自的计算公式,归纳起来可以分为3类,即丰富度指数,如 Margalef 指数、Menhinick 指数、Monk 指数等;多样性指数,如 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、种间相遇机率(PIE)、McIntosh 指数、Gini 指数;均匀度指数,如 Pielou 均匀度指数、Brillauin 均匀度指数、McIntosh 均匀度指数等。所有这些指数的计算公式请参见有关的文章^[10]。本文将采用目前使用较普遍的几个物种多样性指数的计算公式:

①物种丰富度指数 S ; ②Simpson 指数 $D_s = N(N-1) / \sum_{i=1}^S n_i(n_i-1)$; ③Shannon-Wiener 指数 $H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$; ④种间相遇机率 $PIE = \sum_{i=1}^S n_i(N-n_i) / N(N-1)$; ⑤McIntosh 指数 $D_M = 1 - (\sum_{i=1}^S P_i^2)^{1/2}$; ⑥Pielou 指数

$$J = (-\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i) / \ln s$$

式中, P_i 为种 i 的相对重要值, n_i 为种 i 的重要值, N 为种 i 所在样地所在层所有种的重要值之和, s 为种 i 所在样地所在层的物种数。

2 结果

2.1 4个地带的地带性森林植物群落乔木层物种丰富度和多样性大小的比较

从4个地区乔木层的物种丰富度和物种多样性指数来看,热带地区显著高于亚热带地区,亚热带地区高于秦岭地区,而秦岭地区的又要高于东灵山地区。经检验,这些差异是极显著的(Kruskal-Wallis 检验, $P < 0.01$, 表2.3)。

2.2 4个地带的地带性森林植物群落灌木层物种丰富度和多样性大小的比较

从平均值来看,灌木层的物种丰富度指数和物种多样性指数由于亚热带地区的样地中包含了乔木层的幼苗和幼树,所以以亚热带地区常绿阔叶林为高,其次是秦岭地区的落叶阔叶林,热带季雨林和季节性雨林中的灌木多样性低于前两者,而高于东灵山地区落叶阔叶林。不过,秦岭地区已很明显接近亚热带地

表 2 4 个主要纬度带 122 个样地的物种丰富度指数、多样性指数与均匀性指数

Table 2 The species richness, species diversity and evenness in 122 quadrats of four zones

地区 and 森林类型 Sites and forest types	指数 Index	草本层 Herb layer			灌木层 Shrub layer			乔木层 Tree layer			总 和 Total
北京东灵山落叶阔叶林 (25 个样地) Deciduous broad-leaved forests, Dongling Mt., (25 quadrats)	S	24.520	5.460 ^a	0.223 ^a	9.080	3.523	0.388	4.960	2.245	0.453	38.56
	Simpson	10.232	4.146	0.405	5.053	1.689	0.334	3.011	1.642	0.545	
	P/E	0.888	0.041	0.046	0.773	0.115	0.149	0.563	0.233	0.413	
	Shannon-Wiener	2.578	0.269	0.104	1.747	0.380	0.217	1.133	0.523	0.462	
	McIntosh	0.729	0.065	0.089	0.583	0.108	0.184	0.395	0.187	0.474	
秦岭落叶阔叶林 (25 个样地) Deciduous broad-leaved forests, Qinling (25 quadrats)	Pielou	0.812	0.056	0.069	0.824	0.070	0.085	0.735	0.164	0.223	
	S	14.44	4.709	0.326	23.76	6.580	0.277	7.720	4.138	0.536	45.92
	Simpson	7.861	3.798	0.483	10.94	5.110	0.467	4.618	2.735	0.596	
	P/E	0.848	0.062	0.074	0.876	0.088	0.100	0.666	0.264	0.396	
	Shannon-Wiener	2.218	0.326	0.147	2.576	0.414	0.161	1.510	0.686	0.454	
亚热带常绿阔叶林 (61 个样地) Evergreen broad-leaved forests, subtropical zone (61 quadrats)	McIntosh	0.674	0.085	0.127	0.722	0.113	0.157	0.499	0.219	0.438	
	Pielou	0.848	0.077	0.091	0.823	0.088	0.107	0.794	0.131	0.165	
	S	7.918	4.971	0.628	26.09	10.42	0.400	15.03	6.945	0.462	49.038
	Simpson	4.427	2.965	0.670	14.69	7.632	0.512	7.716	4.129	0.535	
	P/E	0.672	0.227	0.338	0.905	0.067	0.074	0.818	0.128	0.157	
热带季雨林和季节性 雨林 (21 个样地) Tropical rain forests and seasonal rain forests (21 quadrats)	Shannon-Wiener	1.469	0.632	0.430	2.715	0.462	0.170	2.134	0.554	0.280	
	McIntosh	0.496	0.190	0.383	0.767	0.098	0.128	0.647	0.141	0.217	
	Pielou	0.780	0.162	0.208	0.861	0.095	0.110	0.816	0.099	0.121	
	S	12.00	1.93		15.83	3.05		34.43	3.56		62.26
	Simpson	9.65	2.02		12.91	2.81		11.44	1.21		
Tropical rain forests and seasonal rain forests (21 quadrats)	P/E	0.864	0.0333		0.861	0.0679		0.884	0.0163		
	Shannon-Wiener	2.232	0.191		2.409	0.301		2.721	0.100		
	McIntosh	0.701	0.0465		0.721	0.0777		0.732	0.0224		
	Pielou	0.917	0.0217		0.096	0.0384		0.788	0.0189		

注 (Notes): s, 标准差 (Standard deviation), b, 变异系数 (Coefficient variation), c, 灌木层包括乔木层幼苗 (Tree seedlings included in shrub layer), d, 只有 6 个样地含有灌木层数据 (Only 6 quadrats with understory data)

区(可以说,如果剔除乔木层的幼苗和幼树,秦岭地区的灌木丰富度和多样性很有可能已经超过了亚热带地区);但经过检验,东灵山地区落叶阔叶林灌木层的物种丰富度和多样性都显著低于另外3个地区,而其他3个地区除物种丰富度指数在热带季雨林中显著低于亚热带常绿阔叶林和秦岭落叶阔叶林的灌木层外,相互之间都无显著的差异(表3)。

表3 同一地区不同层间、不同地区的同一层间丰富度和多样性指数差异的显著性检验

Table 3 Significance test of species richness and diversity indexes among the different layers (herb, shrub, and tree layer) of a region and different regions (tropical zone, subtropical zone, Qinling, Dongling Mt.) of a layer

	Tro-H	Tro-S	Tro-T	Subt-H	Subt-S	Subt-T	Qingl-H	Qingl-S	Qingl-T	Dongl-H	Dongl-S
Tro-S	N										
Tro-T	***	***									
Subt-H	N	—	—								
Subt-S	—	***	—	***							
Subt-T	—	—	***	***	***						
Qingl-H	N	—	—	N	—	—					
Qingl-S	—	***	—	—	N	—	***				
Qingl-T	—	—	***	—	—	***	***	***			
Dongl-H	*** ^b	—	—	*** ^b	—	—	*** ^b	—	—		
Dongl-S	—	***	—	—	***	—	—	***	—	***	
Dongl-T	—	—	***	—	—	***	—	—	***	***	*** ^a

注(Notes): Tro-H, 热带草本层; Tro-S, 热带灌木层; Tro-T, 热带乔木层; Subt-H, 亚热带草本层; Subt-S, 亚热带灌木层; Subt-T, 亚热带乔木层; Qingl-H, 秦岭草本层; Qingl-S, 秦岭灌木层; Qingl-T, 秦岭乔木层; Dongl-H, 东灵山草本层; Dongl-S, 东灵山灌木层; Dongl-T, 东灵山乔木层。***, Kruskal-Wallis 检验, $p < 0.01$ (Kruskal-Wallis test, $P < 0.01$); **, Kruskal-Wallis 检验, $p < 0.05$ (Kruskal-Wallis test, $P < 0.05$); —, 没有比较两者之间的差异 (No comparison made); N, 差异不显著 (Difference not significant); a. 只有丰富度指数 S 极显著, 其余指数均不显著 (Significant only for species richness); b. Simpson, PIE , McIntosh 指数, $p < 0.1$ (Simpson, PIE , McIntosh indexes, $p < 0.1$).

2.3 4个地带的地带性森林植物群落的草本层物种丰富度和多样性大小的比较

由表2, 草本层的物种丰富度和物种多样性指数与乔木层近似相反, 以东灵山地区落叶阔叶林为最高, 其次是秦岭地区, 而以亚热带地区为最低, 热带地区季雨林和季节性雨林位于亚热带常绿阔叶林和秦岭落叶阔叶林的两端之间。通过检验发现, 物种丰富度和多样性的5个指数发生了微小的偏离, 即东灵山地区落叶阔叶林草本层的物种丰富度指数及 Shannon-Wiener 多样性指数极显著地高于其他3个地区 ($p < 0.01$), 而 Simpson 指数、 PIE 和 McIntosh 指数的检验结果显著 ($P < 0.1$)。2.4 4个地带的地带性森林植物群落的物种分布的均匀度的比较

4个地带的地带性森林群落3个层次物种均匀度的变化并没有十分明显的规律。

3 讨论

3.1 多样性指数在4个纬度带的变化特征

环境因子对植物的生长、植物区系的组成、植物群落的分布乃至生态系统的功能都具有制约性的影响, 不同的环境因子甚至不同的环境因子的组合都对应着相应的植物、植物区系、植物群落乃至生态系统。因此, 与植物有关的特征必将反映了环境因子的组合特征。由于本文主要研究的东灵山地区、秦岭地区以及亚热带地区和热带地区的环境因子的组合不同, 对这些地区的物种丰富度、群落多样性都会产生一些必然的影响, 具体表现在3个地区乔木层、灌木层和草本层物种丰富度指数、物种多样性指数以及物种均匀度

指数大小的影响,这种影响显然是十分复杂的。

物种丰富度和物种多样性的变化格局中存在一种纬度梯度特性,这已为生态学家们普遍接受。尽管自然界还存在着其它形式的空间变化格局,但多样性的这种纬度梯度变化无疑是最为显著的。关于多样性的这种纬度梯度变化,国外有很多学者已经有过专门论述^[11~13],我国也有过介绍^[14]和研究^[15~17]。多样性的纬度梯度学说认为,随着纬度的不断降低,生态系统的群落多样性将不断增加,这里的多样性包括所有的植物和动物。由于植物研究和动物研究的各自特殊性,使得植物学家和动物学家在大多数情形下不得不将植物和动物分开来研究,有时甚至只能研究植物或动物的某一类群,如乔木层、灌木层、草本层以及鸟类或兽类等。形成群落多样性的这种纬度梯度特性的原因主要被认为是环境方面的作用,如温度和降水等因子,而生物方面的作用则被认为是次要的^[14]。

事实上,东灵山地区位于北纬40°左右,年平均气温在2~7℃,降水量平均为600mm左右;秦岭地区位于北纬34°左右,年均温在海拔700m处为7~12℃,年平均降水量为1000mm左右;而本文所选择的亚热带地区分布在北纬26°~30°,年降水量1000~1900mm;热带地区西双版纳位于北纬21°,其年均温为21℃,年降水量1500mm左右。环境因子特别是热量的这种纬度的梯度变化很大程度上导致了森林群落多样性的纬度梯度变化,尤其是对那些地带性分布的森林群落。因此,本文所研究的4个地区地带性分布的森林群落物种丰富度和物种多样性特征是符合生物多样性的纬度梯度变化理论的。但当作者对这4个地区地带性分布的森林群落进行进一步的分析时,发现森林群落的3个不同层次的纬度梯度变化并不一致。可以说,群落物种多样性纬度变化假说只是很好地体现在乔木层,在灌木层则很勉强,在草本层则完全相反(图1)。虽然,这并没有完全与群落的物种多样性的梯度变化背道而驰,因为4个层次的多样性总和似乎仍然符合该规律。但这一现象还需作进一步解释。事实上,从4个地区的环境优劣比较上,可以看到,东灵山地区的环境条件很明显要比秦岭地区的恶劣,与亚热带地区相比则更差,而热带地区环境条件自然要优越得多。受这种恶劣的环境条件影响最大的是乔木层,而灌木层和草本层,尤其是草本层,由于受到了乔木层和灌木层的遮蔽,环境条件的恶劣性得到了一定程度的弱化。另一个可能的原因(也许是主要原因)是热带地区季雨林和季节性雨林和亚热带地区常绿阔叶林的乔木层常年有较大的郁闭度,使得灌木层和草本层,尤其是草本层得不到充足的太阳辐射,致使一些类型的植物不能生存,如早春植物等。

前述环境条件的影响也可以解释在东灵山地区各样地群落类型中乔木层各指数的变化最为剧烈,其次是灌木层,而草本层最小(表2);在秦岭地区,乔木层各指数的变异程度仍然最大;而在亚热带地区,各指数变异程度最大的则是草本层。这说明由于受气候条件和生物条件的共同影响,使得在东灵山等温带落叶阔叶林地区的乔木和亚热带常绿阔叶林地区的草本植物的偶然性因素增大,必然性因素减小,对于前者的草本和后者的乔木的分布恰好相反。

3.2 物种多样性指数随海拔高度的变化特征

在群落物种多样性的空间分布格局中,物种多样性的海拔梯度变化也被认为是极为显著的^[18]。但在本文的研究中,各样地所代表的群落类型物种多样性各指数随海拔高度的变化并没有一种明显的趋势(图2)。

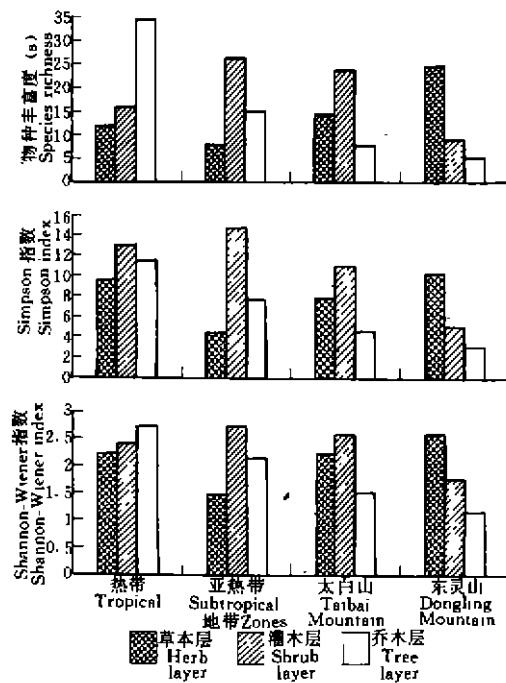


图1 4个地带性森林群落物种丰富度或多样性指数在乔、灌、草3个层次的变化

Fig. 1 Species richness and diversity index in tree, shrub and herb layer in four zonal forest communities

一个可能的原因是由于作者所选择的这些样地除了受到海拔高度的影响,同时还受到了坡向以及其它环境因子如土壤和不同群落类型的影响,因此海拔对群落多样性变化的影响被其它因子所掩盖,这方面的影响有待进一步的研究。类似的情形在多样性的纬度梯度变化上也同样会发生。

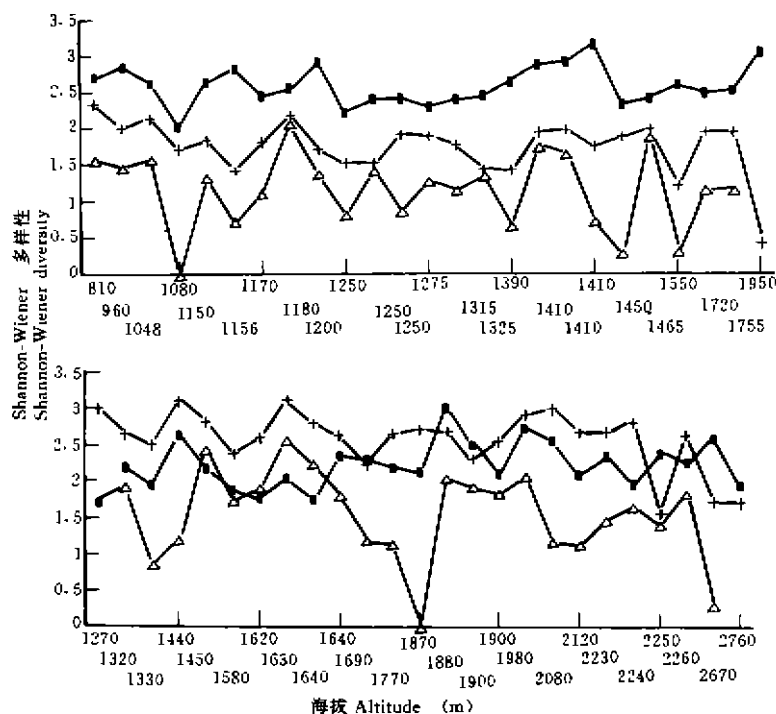


图2 东灵山和秦岭地区地带性森林多样性指数在海拔高度上的变化

Fig. 2 The species diversity change along the altitude in zonal forest communities in Dongling Mt. and Qinling

3.3 物种多样性指数在不同类型的群落之间的变化

同样由于在环境条件变化不大的范围内,不同森林群落类型的分布具有一定的偶然性的,并不存在随环境因子的相互替代现象,反映在物种多样性指数随群落类型的变化并没有明显的规律(图3)。

3.4 物种均匀度指数在不同地区的森林群落中的变化及其特殊性

由于均匀度的特殊性,在理论上它是用来表示物种在群落内分布的均匀程度,而在计算上则是采用实际的多样性计算值除以假设物种均匀分布时(理论上多样性达最大)的多样性计算值。它可以采用不同的多样性公式来计算。本文所应用的 Pielou 指数实际上是根据 Shannon-Wiener 指数来计算的。虽然它是从物种丰富度指数推算而来,但它与物种多样性指数之间并没有明显的相关关系,同样与物种丰富度指数也没有明显的相关关系。不难理解,各地区之间群落均匀度指数并不象物种丰富度和物种多样性那样呈现出一种纬度的梯度特征(表2)。

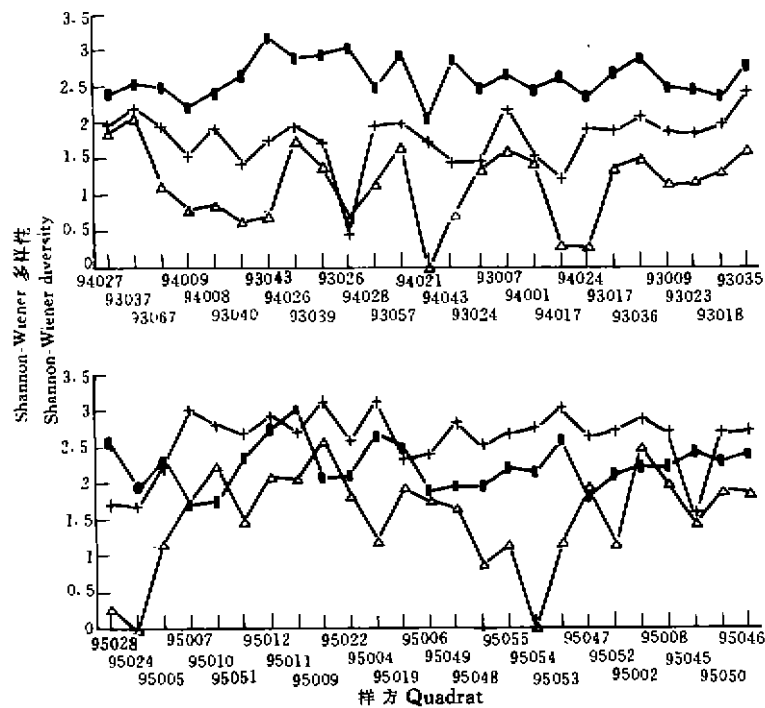


图3 东灵山和秦岭地区地带性森林群落多样性指数随群落类型的变化

Fig. 3 The species diversity in different forest communities in Dongling Mt. and Qinling

参考文献

- 黎邦水, 安里宁. 太白山自然保护区土壤考察报告. 见: 太白山自然保护区综合考察论文集. 西安, 陕西师范大学出版社, 1989. 77~94
- 周纪纶. 黄山的植物群落. 见: 陈邦杰, 吴鹏程, 裘佩素等. 黄山植物的研究. 上海, 上海科学技术出版社, 1965
- 宋永昌, 王祥荣(主编). 浙江天童国家森林公园的植被和区系. 上海, 上海科学技术出版社, 1995
- 宋永昌, 张绅, 刘金林等. 浙江泰顺县乌岩岭常绿阔叶林的群落分析. 植物生态学与地植物学丛刊, 1982, 6(1): 14~35
- Song Yongchang. The essential characteristics and main types of the broad-leaved evergreen forest in China. *Phytocoenologia*, 1988, 16: 105~123
- 周秀佳. 上海的自然植被类型及其分布. 植物生态学与地植物学丛刊, 1984, 8(3): 189~198
- 胡玉佳. 海南岛的无翼坡垒林. 热带亚热带森林生态系统研究, 1982, 1: 251~271
- 郭荫卿, 杨宇明, 汤加生等. 西双版纳自然保护区植被考察报告. 见: 西双版纳自然保护区综合考察报告集(西双版纳自然保护区综合考察团). 昆明, 云南科技出版社, 1987. 88~169
- 吴征镒(主编). 云南植被. 北京, 科学出版社, 1987. 107~192
- 谢晋阳. 物种多样性指数与物种多度分布格局. 见: 植物科学综论(林金安主编). 哈尔滨, 东北林业大学出版社, 1993. 222~233
- Connell JH and Eduard O. The ecological regulation of species diversity. *The American Naturalist*, 1964, 98, 399~414
- Pianka ER. Latitudinal gradients in species diversity: a review of concepts. *The American Naturalist*, 1966, 100, 36~46
- Wilson EO. *The diversity of life*. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press. 1922, 183~211
- 黄建辉. 物种多样性的空间格局及其形成机制初探. 生物多样性, 1994, 2(2): 103~107
- 张荣祖, 林水烈. 中国及其邻近地区兽类分布的趋势. 动物学报, 1985, 31(2): 187~197
- 黄建辉, 陈灵芝. 北京东灵山地区森林植被多样性的分析. 植物学报, 1994, 36(增刊): 178~186
- 张知彬. 物种数和面积、纬度之间关系的研究. 生态学报, 1995, 15(3): 305~311
- 马克平, 黄建辉, 于顺利等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 I 丰富度、均匀度和物种多样性指数. 生态学报, 1995, 15(3): 268~277