河北小五台山北坡植物物种多样性的垂直梯度变化

刘增力* 郑成洋 方精云

(北京大学环境学院生态学系, 北京大学生态学研究与教育中心, 北京大学地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要:通过野外群落调查, 分析了小五台山北坡植物物种多样性的垂直梯度变化。结果表明: (1) 小五台山北坡的物种丰富度随海拔的升高逐渐减小, 物种组成趋于简单, 乔木树种渐少。 α 多样性指数变化较小, 但呈现出随海拔升高先增大、后减小的趋势。(2) β 多样性指数很好地反映了群落之间的变化。相异系数峰值出现在海拔 1400-1500 m 处灌丛向森林的过渡带和海拔 2600-2700 m 处森林向亚高山草甸的过渡带。海拔 1400-1500 m 处出现的 Cody 指数极大值反映了灌丛群落向森林群落的变化, 而 Cody 指数在海拔 2100-2200 m 的极大值反映了阔叶林和针叶林之间的过渡。(3) 作为小五台山两种最为重要的阔叶树种, 白桦(*Betula platyphylla*) 和红桦(*Betula albo-sinensis*) 沿海拔梯度出现明显的替代现象。随着海拔的升高, 白桦逐渐为红桦所取代。

关键词:小五台山, 北坡, 垂直格局, 物种多样性

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1005-0094(2004)01-0137-09

Changes in plant species diversity along an elevation gradient on Mt. Xiaowutai, Hebei, China

LIU Zeng-Li*, ZHENG Cheng-Yang, FANG Jing-Yun

Department of Ecology, College of Environmental Sciences, Center for Ecological Research & Education, and Key Laboratory for Earth Surface Processes of the Ministry of Education, Peking University, Beijing 100871

Abstract: We analyzed patterns of plant species diversity along the northern slope of Mt. Xiaowutai based on 33 plots along an elevation gradient from 1250 m to 2850 m, at approximately 50 m intervals. Tree species richness decreased gradually with increasing elevation. However, α diversity index distributed along the altitudinal gradient in a unimodal pattern, i. e., α diversity peaked at the middle elevation. Changes in β diversity corresponded with the transition of vegetation types, i. e., β diversity peaked at the ecotones between different vegetation types. Both the community dissimilarity index and Cody index peaked at 1400-1500 m, 2100-2200 m, and 2600-2700 m, corresponding to the transitional zones of shrubs to forests, broad forests to coniferous forests, and forests to subalpine meadows, respectively. Altitudinal replacement of congeneric species was apparent for the two most important broadleaf tree species, white birch (*Betula platyphylla*) and red birch (*Betula albo-sinensis*). At lower elevations, the deciduous broad-leaved forest was dominated by white birch, which was replaced by red birch at higher elevations.

Key words: altitudinal pattern, Mt. Xiaowutai, northern slope, plant species diversity

小五台山自然保护区地处暖温带半湿润气候和半干旱气候的天然分界线上, 地质构造升降悬殊, 地形复杂, 生境多变, 孕育了丰富的植物资源, 是华北地区植物种类最丰富的地区之一, 在人迹罕至地段,

至今尚保留着原始森林。全区共有野生高等植物 1350 种, 隶属于 106 科 486 属, 其中蕨类植物 47 种, 裸子植物 11 种, 被子植物 1292 种。小五台山北坡植物群落垂直分异明显, 从下向上依次可分为 6 个

基金项目: 国家自然科学基金项目资助 (No. 49971002 and 39830050)

收稿日期: 2003-06-12; 接受日期: 2003-09-10

作者简介: 刘增力, 男, 1971 年出生, 工程师, 主要研究方向为植被生态学。E-mail: zlliu@ccermail.net

* 现工作单位: 国家林业局调查规划设计院, 北京 100714

主要的植被带：垦殖带、落叶阔叶林带、针阔混交林带、针叶林带、矮林灌丛带和亚高山草甸带(宋朝枢 2001)。虽然小五台山植被的研究历史较早(杨承元,1937),但关于其生物多样性的宏观格局,尤其是植被的垂直分异特征的研究并不多见(于澎湃,刘鸿雁,1997)。本文通过对小五台山北坡植被垂直带谱的生物多样性调查,定量分析物种多样性的数量特征的垂直变化,为探讨华北山地生物多样性的垂直分异特征提供案例。

1 研究区域自然概况

小五台山脉位于我国第二阶梯向第三阶梯的过渡带上,地处冀西北—晋北间山盆地的南缘,形成暖温带半湿润气候与半干旱气候的天然分界线。小五台山自然保护区地理坐标为 114°47′—115°30′E, 39°50′—40°7′N。小五台山是华北较高的山地之一,为河北省最高峰。地理位置特殊,山体相对高差大,气候变化明显,暖温带植被类型丰富,分带现象显著,具有暖温带完整的植被垂直带谱。

位于小五台山脚下的蔚县县城的生态气候图解如图 1 所示。随着海拔的升高,小五台山气温降低,降水增多。土壤类型主要为褐土、山地棕壤及亚高山草甸土,阳坡土壤贫瘠,阴坡则较肥沃。

2 研究方法

2.1 样方设置

从西金河口(海拔1190 m)到东台(海拔2882

m),以海拔 50 m 为间隔,在 1250—2850 m 的范围内,设置样方 33 个(S1—S33)。共计调查乔木样方面积 13 800 m²,灌木(包括矮林)样方面积 3000 m²,草本样方面积 700 m²。样方基本情况见表 1。

对于每个样方,利用 GPS、海拔表、罗盘记录经纬度、海拔高度、坡向、坡度和坡位。对乔木样方,以 10 m×10 m 为调查单元,对 DBH≥2 cm 的植株记录种类,作每木胸围测量,利用测高器测量高度。对 DBH<2 cm 的乔木幼树和幼苗统计数量。在每个乔木样方中,按梅花布点分别设置 3 个 5 m×5 m 的灌木样方和 5 个 2 m×2 m 的草本样方,分别记录种类、高度、多度和盖度;灌木和矮林样方以 5 m×5 m 为调查单元,记录种类,量测高度和盖度,并在其中按梅花布点设置 4 个 2 m×2 m 的草本样方,记录种类、多度,量测高度和盖度;草本样方以 2 m×2 m 为调查单元,记录种类、多度,量测高度和盖度。

2.2 群落结构及垂直梯度分析

2.2.1 重要值

分别计算乔木、灌木及草本植物重要值,其计算公式为:

乔木重要值:

$$IV_{tr}=(\text{相对密度}+\text{相对优势度}+\text{相对高度})/3$$

灌木和草本植物的重要值:

$$IV_{sh}=(\text{相对高度}+\text{相对盖度}+\text{相对多度})/3$$

每种植物在群落中的重要值等于其在所在层中的重要值除以群落的层数,例如一个灌丛群落只有灌木层和草本层,则某种草本植物在群落中的重要值等于其在草本层中的重要值除以 2。

2.2.2 物种丰富度指数

丰富度指数 S = 样方内种数/样方面积。

它反映样方单位面积内的物种数目,并不涉及种的多度分布概率,对常见种与偶见种不加区别。

Margalef 指数 $D_M=(S-1)/\ln N$

其中 S 为样方中的物种数目, N 为样方中所有物种的个体数之和(Magurran, 1988)。

2.2.3 α 多样性

Shannon-Wiener 指数 $H'=-\sum_{i=1}^S[(N_i/N)\ln(N_i/N)]$

其中 N_i 为样方中第 i 种的重要值, N 为样方中所有种的重要值之和。 H' 指数因满足相同种数情况下,种间个体数越均匀,指数越高的条件,所以除包含物

图1 河北蔚县生态气候图
Fig. 1 Climate diagram for Yuxian County, Hebei Province

表 1 样方基本情况表
Table 1 Sample plot parameters

编号 No.	海拔 Altitude (m)	坡向 Aspect (°)	坡度 Slope (°)	坡位 Position of slope	样方面积 Plot size (m ²)	植被类型 Vegetation type	木本种数 No. of woody species	草本种数 No. of herbaceous species	Shannon- Wiener index (<i>H'</i>)	Pielou index (<i>E</i>)
S1	1250	24	42	下	100	灌丛 S	9	25	3. 11	0. 88
S2	1300	10	40	下	100	灌丛 S	12	20	3. 12	0. 90
S3	1350	320	38	中下	100	灌丛 S	16	20	3. 21	0. 90
S4	1400	350	35	中	100	灌丛 S	14	12	2. 65	0. 81
S5	1450	44	39	下	600	阔叶林 B	19	29	3. 24	0. 84
S6	1510	13	24	中下	600	阔叶林 B	16	25	3. 13	0. 84
S7	1550	30	34	中	600	阔叶林 B	12	18	3. 14	0. 92
S8	1600	50	37	中下	600	阔叶林 B	15	17	3. 19	0. 92
S9	1650	330	33	下	600	阔叶林 B	17	24	3. 27	0. 88
S10	1700	27	28	中下	600	阔叶林 B	19	17	3. 31	0. 92
S11	1750	41	36	中下	600	针阔混交林 M	14	16	3. 15	0. 94
S12	1800	30	36	中	600	阔叶林 B	19	15	3. 20	0. 91
S13	1850	32	32	中	600	阔叶林 B	16	15	3. 15	0. 92
S14	1900	33	36	中	600	阔叶林 B	19	10	3. 09	0. 92
S15	1950	40	37	中	600	阔叶林 B	21	15	3. 36	0. 95
S16	2000	80	35	中	600	阔叶林 B	14	20	3. 25	0. 91
S17	2050	44	41	中	600	阔叶林 B	15	21	3. 25	0. 91
S18	2100	40	38	中上	600	针阔混交林 M	15	20	3. 32	0. 93
S19	2150	330	40	上	600	针叶林 C	14	11	3. 14	0. 98
S20	2200	52	46	上	600	针叶林 C	11	13	2. 94	0. 92
S21	2250	320	34	上	600	针叶林 C	10	15	2. 90	0. 90
S22	2300	318	38	上	600	针阔混交林 M	10	14	2. 86	0. 90
S23	2350	326	36	上	600	阔叶林 B	9	21	2. 86	0. 84
S24	2400	326	44	上	600	针阔混交林 M	10	21	2. 94	0. 86
S25	2450	15	38	上	600	矮曲林 K	8	18	2. 73	0. 84
S26	2508	10	35	中上	600	矮曲林 K	7	20	2. 76	0. 84
S27	2550	0	40	上	600	矮曲林 K	7	19	2. 72	0. 83
S28	2600	10	38	上	400	矮曲林 K	5	13	2. 37	0. 82
S29	2650	30	34	中	400	矮曲林 K	4	30	2. 80	0. 80
S30	2700	4	38	上	100	矮曲林 K	2	29	3. 09	0. 92
S31	2750	12	41	中	16	草甸 A	0	22	2. 82	0. 91
S32	2800	4	35	上	16	草甸 A	0	21	2. 79	0. 92
S33	2850	0	35	上	24	草甸 A	0	20	2. 73	0. 91

注 : S , 灌丛 Shrub ; B , 阔叶林 Broadleaf forest ; M , 针阔混交林 Mixed broadleaf and coniferous forest ; C , 针叶林 Coniferous forest ; K , 矮曲林 Krummholz ; A , 草甸 Alpine meadow

种丰富度的信息外 , 还反映了物种的均匀度。

Pielou 指数 $E = H' / \ln S$
 H' 是 Shannon-Wiener 指数 , S 是样方内种数 , E 反映不同物种个体数目的相对均匀度。

2.2.4 β 多样性

相异性系数(community dissimilarity) :
$$CD = 1 - \frac{2c}{a + b}$$
其中 c 为两群落共有的物种数 , a 与 b 分别为

两群落各自的物种数。

Cody 指数 : $\beta_T = \frac{g(H) + \mathcal{K}(H)}{2}$
其中 $g(H)$ 为沿生境梯度 H 增加的物种数 , $\mathcal{K}(H)$ 为沿生境梯度 H 失去的物种数。

3 结果与讨论

3.1 北坡植物物种重要值
物种重要值作为一个综合指标 , 可以较好地反

表 2 调查样方内主要乔木树种的重要值(%)
Table 2 Tree species importance values in sample plot (%)

编号 Plot No.	白桦 <i>Betula platyphylla</i>	红桦 <i>Betula albo- sinensis</i>	华北落叶松 <i>Larix principis- rupprechtii</i>	青杆 <i>Picea wilsonii</i>	山柳 <i>Salix phylicifolia</i>	北京花楸 <i>Sorbus discolor</i>	臭冷杉 <i>Abies nephrolepis</i>	北京丁香 <i>Syringa pekinensis</i>	五角枫 <i>Acer mono</i>
S4	89.2								
S5	55.7								
S6	65.3				15.3			5.8	6.9
S7	52.9		12.4		9.8	7.0		5.6	
S8	57.6			3.0	2.7	6.9		16.4	
S9	67.1			9.2				4.7	5.4
S10	65.4			12.0	5.2	8.1			9.4
S11	47.9	5.4	13.6	24.7		6.2			
S12	64.2			3.8		8.0			20.2
S13	51.1	8.4				13.0			27.5
S14	56.0	23.0			5.7		5.6		4.0
S15	29.0	36.4		7.8	4.7	5.2	10.3		3.2
S16	42.8	33.2			8.9	6.3			
S17	27.9	39.0	12.3	7.6	9.5		3.8		
S18	25.1	18.2	11.6	24.1	10.0	3.5	4.5		
S19	6.9	27.1	11.7	21.3	6.4	3.4	23.2		
S20		29.9	5.9	56.5	7.6				
S21		13.1	12.0	53.4	9.0	5.5	7.1		
S22		53.3		31.4	6.6	8.7			
S23		67.1	24.4		8.6				
S24		46.6	40.5	4.6	8.4				
S25		59.2	33.9		7.0				
S26		74.8	25.3						
S27		57.6	42.4						
S28		22.4	69.8	7.8					
S29		36.4	63.6						
S30		22.6	77.4						

映物种在群落中的地位和作用 ;各主要建群树种重要值随海拔的变化趋势 ,可较好地反映该物种沿海拔梯度的分布格局。

调查样方中除了表 2 所列的乔木树种外 ,还有蒙椴(*Tilia mongolica*)出现在 S4、S5 ; 坚桦(*Betula chinensis*)出现在 S5、S6 ;野山楂(*Crataegus pinnatifida*)出现在 S5、S8 ;油松(*Pinus tabulaeformis*)出现在 S5 ; 山杨(*Populus davidiana*)出现在 S7 ;毛榛(*Corylus mandshurica*)出现在 S8、S12 ;小叶鼠李(*Rhamnus parvifolia*)出现在 S8 ; 青杨(*Populus cathayana*)出现在 S9 ;毛柞木(*Cornus walteri*)出现在 S11 ;红丁香(*Syringa villosa*)出现在 S14 ;大果榆(*Ulmus macrocarpa*)出现在 S15 ; 山杨(*Populus davidiana*)出现在 S16 ;白杆(*Picea meyeri*)出现在 S18。

白桦和红桦是小五台山两种最为重要的阔叶树种 ,图 2 反映了其重要值随海拔的变化 ,以及在生态位上的差异。白桦分布海拔较低 ,重要值随海拔的升高逐渐下降。红桦的重要值随海拔的升高而增

图 2 白桦、红桦重要值随海拔的变化
Fig. 2 Importance values of *Betula platyphylla* and *Betula albo-sinensis* along an altitudinal gradient

大；在海拔 2500 m 以上，重要值又逐渐减小。在海拔 1900 – 2100 m 之间，白桦和红桦的重要值相当；在海拔 1850 m 以下，红桦被白桦替代；在海拔 2150 m 以上白桦被红桦替代。

3.2 北坡植物物种丰富度

物种丰富度是指单位面积内的物种数目。分别考虑乔木层、灌木层和草本层物种丰富度的垂直梯度变化(图 3)，发现乔木层在海拔 1400 – 2200 m 的地方物种丰富度变化不大；在海拔 2200 m 以上，随海拔的升高，物种丰富度逐渐降低。灌木层的物种丰富度有 3 个峰值：一个是在海拔 1350 m 处的灌丛带，一个是在海拔 1950 m 处白桦林分布的上限，另一个是 1700 m 左右的 1998 年风雪灾中的过风带，枯倒木很多，林窗丰富；在海拔 2000 m 以上，物种丰富度随海拔升高而逐渐下降。草本层的物种丰富度的垂直梯度变化表现出两头高、中间低的趋势。这种格局与小五台山北坡的植被特征及其垂直分布密切相关：小五台山森林植被结构比较简单，乔木层物种数较少，变化也不大；2200 m 以后，植被类型逐渐向灌丛和亚高山草甸过渡，因而乔木物种丰富度下降而灌木、草本丰富度上升。

3.3 α 多样性

α 多样性指某个群落或生境内部的物种多样性，考虑了群落中不同物种的重要值，从而比直接的物种丰富度指标更为准确地反映了植物群落的多样性特征(Magurran ,1988；马克平 ,1994)。根据各样方物种重要值，分别计算群落的 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数。

图 4 显示了小五台山北坡沿海拔梯度 33 个样方(样方号见表 1)的物种多样性和均匀度指数值。从图 4 可见，4 个指数都反映出基本一致的变化趋势。

1400 m 以下(S1 – S4)为灌丛样方，2650 m 以上(S30 – S33)为亚高山草甸样方。灌丛样方和亚高山草甸样方多样性指数均表现为随海拔的升高而变小。样方 S4 为密灌样方，虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)和六道木(*Abelia biflora*)郁闭度很高，林下物种数目较少，致使多样性指数较低。样方 S28 为华北落叶松矮林，高的郁闭度和低的物种数目同样使多样性指数较低。在 S5 – S27 的森林样方中，物种数目随海拔升高逐渐降低，但 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀性指数随海拔的升高先增大，而后

图 3 小五台山北坡物种总数、乔木层(600 m²)、灌木层(125 m²)和草本层(20 m²)物种丰富度的垂直梯度变化
Fig. 3 Changes in species richness of total , of tree layer , of shrub layer and of herb layer on Mt. Xiaowutai along an altitudinal gradient

图 4 小五台山北坡物种多样性指数随海拔的变化
Fig. 4 Species diversity along an altitudinal gradient on the northern slope of Mt. Xiaowutai

减小。Shannon-Wiener 指数的峰值出现在海拔 1950 m 处的样方 S15 (3.363),在海拔 2100 m 的样方 S18 ,也有一个次峰值(3.320);Pielou 均匀性指数的最大值出现在海拔 2150 m 处的样方 S19。图 4 基本上反映了小五台山北坡不同植物群落类型在物种组成方面的差异。

植物生活型是表征群落外貌特征和垂直结构的重要指标。本文的生活型分类主要参照 Whittaker & Marks(1975)的分类系统,选其中最主要的 3 个类型即乔木、灌木和草本作为研究对象。从空间结构意义上,此 3 类生活型也是植物群落的 3 个最主要层次。图5显示了2种类型多样性指数随海拔梯度

图 5 乔木层、灌木层和草本层多样性指数沿海拔梯度的变化
Fig. 5 Species diversity of tree layer , shrub layer and herbaceous layer along an altitudinal gradient

的变化。不论任何一种多样性指数,基本上均表现出明显的草本层 > 灌木层 > 乔木层,这主要与物种丰富度有关。

乔木层和灌木层的 Shannon-Wiener 指数均表现出随海拔的升高先增大、后减小的趋势,其中灌木层最大值出现得较早,在海拔 1700 m 就达到最大值,乔木层到海拔 2150 m 才达到最大值。草本层的 Shannon-Wiener 指数表现趋势正好相反,中等海拔最低。

灌木层和草本层的 Pielou 均匀性指数沿海拔梯度的变化不明显,除两端稍微波动以外,大部分中等海拔地段比较平稳;乔木层的 Pielou 均匀性指数随海拔的升高而逐渐增大,并且波动剧烈,说明样方间乔木层均匀度的差异远大于灌木层和草本层。

3.4 β 多样性

β 多样性可用以分析不同生境间的梯度变化,也可以定义为群落间的多样性。它可以定义为沿着某一环境梯度物种替代的程度或速率、物种周转率、生物变化速度等。β 多样性可以较直观地反映不同群落间物种组成的差异(Whittaker , 1975)。相异性系数和 Cody 指数分别从不同的角度反映物种多样性沿环境梯度的分别格局及变化规律,均很好地表达了 β 多样性的含义。

3.4.1 相异性系数

群落的相异性系数反映了群落间的异质性。当两个群落物种组成完全相同时,相异性系数为 0;当两个群落物种组成完全不同时,相异性系数为 1。

图 6 反映了小五台山北坡群落间相异性系数随海拔差的变化,分别以样方 S1(1250 m)、S2(1300 m)、S3(1350 m)和 S4(1400 m)为基准,以 50 m 为步长,分别计算不同海拔差的样方与基准样方的相异性系数,发现了相同的规律:随着海拔差的增加,相异性系数逐渐增大,直至接近于 1。但尽管海拔跨度达 1600 m,但群落相互间在物种组成上均有或多或少的联系,海拔差越小,相互间的共有种越多,

相异程度也越小。同时图 6 也说明了小五台山的海拔变化是明显的生态梯度,不同海拔间的群落组成和结构发生了很大的变化。

沿海拔梯度比较相邻样方间的相异性系数(图 7)表明,50 m 间隔的样方间相异性系数平均为 0.37,100 m 间隔样方间相异性系数平均为 0.45,同样表现出间隔加大则相异性系数变大。如果沿海拔梯度植被类型的变化是均匀的,相异性系数波动不会太大,如果植被类型发生剧变,相异性系数必然出现峰值,如图中表现出明显的两个峰值:图 7A 中的 1400 – 1450 m 和 2600 – 2650 m;图 7B 中的 1400 – 1500 m 和 2600 – 2700 m,非常一致。这两个海拔段

图 6 群落相异系数随海拔差的变化趋势线
Fig. 6 Community dissimilarity along an altitudinal gradient

图 7 沿海拔梯度相邻样方间的相异性系数(A, 间隔 50 m; B, 间隔 100 m)
Fig. 7 Community dissimilarity index between sample plots. (A) at 50 m intervals and (B) at 100 m intervals

图 8 沿海拔梯度相邻样方间的 Cody 指数(草本层、灌木层、乔木层和群落)。(A、C)间隔 50 m ;(B、D)间隔 100 m。
Fig. 8 Cody index of tree layer ,shrub layer ,herbaceous plant layer and community between samples along altitudinal gradient. (A & C) at 50 m intervals and (B & D) 100 m intervals.

正好是两个过渡带 :1400 – 1500 m 是灌丛与森林之间的过渡带 2600 – 2700 m 是森林与亚高山草甸之间的过渡带 ,说明相异性系数在描述群落或生境间的 β 多样性上是有效的。

3.4.2 Cody 指数

Cody 指数是指调查中的物种在生态梯度的每个点上被替代的速率。Cody 指数通过对新增加和失去的物种数目进行比较 ,从而获得十分直观的物种更替概念 ,并清楚地表明 β 多样性的含义。但由于 Cody 指数仅用物种数目这一指标 ,因此所反映的差异实际上是分化的总和 ,而不是变化的速率(Wilson ,1994)。Cody 指数随海拔差的变化 ,表现形式与相异性系数完全相同 :在海拔梯度上 ,随海拔差的增加 ,Cody 指数也逐渐增大。

图 8 显示了小五台山沿海拔梯度相邻样方间的 Cody 指数变化 :草本层的 Cody 指数 > 灌木层 > 乔木层 ;随海拔差的增加 ,Cody 指数增大。由于样方并不能包含该海拔段所有物种 ,所以 50 m 间距 Cody 指数波动非常剧烈 ,难以明确群落间的变化和替代 ;而 100 m 间距 Cody 指数趋势性好于 50 m 间

距。群落总的 Cody 指数变化受草本层影响。海拔 1400 – 1500 m 间 Cody 指数的极大值反映了灌丛群落向森林群落的转变 ;海拔 2100 – 2200 m 间 Cody 指数的极大值反映了阔叶林和针叶林之间的过渡。

4 结语

(1)在华北地区较高的山地小五台山 1600 多米的相对高差范围内 ,植被的垂直分带现象明显。

(2)重要值很好地表示了小五台山北坡典型的乔木树种随海拔梯度的变化。在垂直梯度上 ,白桦逐渐被红桦替代 ,华北落叶松分布在青杆之上。主要建群树种的垂直分布特点 ,形成了小五台山北坡植被垂直带的更替。

(3)小五台山北坡的物种丰富度随海拔的升高逐渐减小 ,尤其是乔木层和灌木层物种丰富度的变化趋势是很明显的。

(4)小五台山北坡植被的物种组成比较简单 ,乔木树种非常少 α 多样性指数变化不大 ,共同的趋势为随着海拔的升高 α 多样性指数先增大后减小。

(5) β 多样性指数很好地反映了小五台山植被

群落沿海拔梯度所发生的变化 ,其中海拔 1400 – 1500 m 是灌丛群落和森林群落的过渡带 ;海拔 2100 – 2200 m 是阔叶林和针叶林之间的过渡。

参考文献

Cui, H. T. (崔海亭). 1983. On the demarcation of subalpine and alpine in North China. *Chinese Science Bulletin* (科学通报), **28** (8): 494 – 497.

Ma, K. P. (马克平). 1994. The measurement of community diversity. In: Qian, Y. Q. (钱迎倩) and Ma, K. P. (马克平) (eds.), *Principles and Methodologies of Biodiversity Studies*(生物多样性研究的原理与方法). Chinese Science and Technology Press, Beijing, 141 – 165. (in Chinese)

Magurran, A. E. 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton University Press, Princeton.

Song, C. S. (宋朝枢). 2001. *Scientific Survey in Hebei Xi-*

aowutaishan Nature Reserve(河北小五台山自然保护区科学考察). China Forestry Press, Beijing. (in Chinese)

Whittaker, R. H. and Marks, P. L. 1975. Method of terrestrial productivity. In: Leith, H. and Whittaker, R. H. (eds.), *Primary Productivity of Biosphere*. Springer-Verlag, Berlin.

Wilson, B. J. 1994. Plant community structure and its relation to the vertical complexity of communities: dominance/diversity and spatial rank consistency. *Oikos*, **70** (1): 91 – 98.

Yang, C. Y. 1937. The forest vegetation of Shishan and Hsiao-Wutaishan Bull. *Chin Soc*, **3**: 97 – 118.

Yu, P. T. (于澎涛) and Liu, H. Y. (刘鸿雁). 1997. Surface pollen and its climatical significance of vertical zone Beitai, Xiaowutai Mountain. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekincnsis* (北京大学学报), **33** (4): 475 – 484.

(责任编辑 : 闫文杰)