

广西猫儿山植物群落物种组成、群落结构及树种多样性的垂直分布格局

朱彪¹ 陈安平¹ 刘增力¹ 李光照² 方精云¹

1(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)

2(广西壮族自治区广西植物研究所, 桂林 541006)
中国科学院

摘要: 沿海拔梯度设置 16 个样地, 对广西猫儿山植物群落物种多样性的垂直分布格局进行了初步研究。结果表明: (1) 16 个样地中共调查到乔木 44 科 79 属 184 种, 其中常绿阔叶树 121 种、落叶阔叶树 61 种、针叶树 2 种; (2) 随着海拔的上升, 整个乔木层以及不同生活型的最大树高均呈显著下降趋势, 而乔木树种的最大胸径、胸高断面积之和以及立木密度都呈现出先增大后减小的趋势; (3) 物种丰富度在海拔 1350 m 以下变化不明显, 但 1350 m 以上随着海拔的升高明显下降。在研究的海拔范围内, 物种丰富度呈非常显著的单峰分布格局, 最大的丰富度出现在中海拔群落中; (4) α 多样性沿海拔梯度的变化趋势与物种丰富度相似, 但没有后者显著。Shannon-Wiener 指数 (H') 和海拔之间有明显的负相关性, 均匀度 Pielou 指数 (E) 在取样范围内并没有随着海拔梯度的变化表现出明显的规律; (5) 1350 m 以下的相邻群落之间的 Jaccard 指数 (C_j) 大于 1350 m 以上相邻群落之间的 Jaccard 指数, 最小值出现在中海拔的植被过渡带。Cody 指数也有类似的趋势, 原因在于物种丰富度的变化; (6) 在本研究的海拔范围内, 海拔比坡度和坡向对群落的结构特征、物种丰富度以及 α 多样性的影响更大。而在局部尺度上, 人为干扰以及小地形而导致的生境异质性对群落的物种多样性和结构特征有着重要的影响。

关键词: 群落结构 物种丰富度 α 多样性 β 多样性

中图分类号: Q948

文献标识码: A

文章编号: 1005-0094(2004)01-0044-09

Changes in floristic composition, community structure, and tree species diversity of plant communities along altitudinal gradients on Mt. Mao'er, Guangxi, China

ZHU Biao¹, CHEN An-Ping¹, LIU Zeng-Li¹, LI Guang-Zhao², FANG Jing-Yun¹

1 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

2 Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuangzu Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006

Abstract: We analyzed changes in species diversity of plant communities on Mt. Mao'er using data from 16 plots, which were investigated along an altitudinal gradient at 100 m intervals. Each tree (DBH > 3.3 cm) was identified and recorded. Major results were summarized as follows: (1) A total of 184 tree species from 79 genera in 44 families, among which 121 were evergreen broadleaved, 61 were deciduous broad-leaved and 2 were coniferous, were recorded. (2) Maximum height of tree layer and of different life forms decreased significantly with increasing altitude; however, maximum DBH, basal area and stem density were highest at mid-altitudes. (3) Species richness did not change greatly below 1350 m but decreased sharply with an increasing altitude, with a peak at 1350 m. (4) Alpha diversity correlated with altitude in a similar but less significant fashion compared with species richness. Diversity (H') correlated

negatively with altitude, while evenness (E) did not change notably with altitude. (5) Similarity (C_j) between neighboring plots below 1350 m was larger than that above 1350 m, and the minimum similarity occurred in the transitional zone between different vegetation types. Species turnover (Cody index) paralleled patterns of community similarity (C_j). (6) In the study region, altitude seemed to be the primary determinant of community structure, species richness and alpha diversity, rather than slope and aspect. Spatial heterogeneity resulting from human disturbance and micro-landform appeared to determine these characteristics at a local scale.

Key words: α diversity, β diversity, community structure, species richness

山地植物群落的物种多样性随海拔高度的变化一直是生态学家感兴趣的话题,但研究结果并不一致(贺金生,陈伟烈,1997;Lomolino,2001)。许多研究表明,植物群落的物种多样性在中等海拔高度达到最大值(Whittaker,1960;Peet,1978;Lieberman *et al.*,1996;江明喜等,2002;王国宏,2002);但也有人认为物种多样性与海拔梯度之间并无特定的关系(Stevens,1992)或者与海拔高度呈负相关(Itow,1991;Vazquez & Givnish,1998;郝占庆等,2002)。

南岭山地在中国植被区划上属于中亚热带常绿阔叶林南部亚地带,地带性植被为常绿阔叶林,次为松杉林和毛竹林(吴征镒,1980)。其西段越城岭的猫儿山地处湘黔桂三省交界处,地理成分复杂,沿海拔梯度自下而上依次分布着热带、亚热带、暖温带和温带成分,并有显著的中亚热带性质(李光照,2001);同时也是我国东南部湿润地区海拔较高、相对高差较大的山体,为研究亚热带湿润山地的植物多样性提供了较好的自然条件。过去在该地区的研究多是集中在植被分布和植物区系两个方面(李光照,1985;王献溥,李信贤,1986;李光照,2001),有关物种组成、群落结构、物种多样性及其垂直变化的研究较少。在国外对于热带森林群落特性沿海拔梯度的变化的研究已有相当的积累(Gentry,1988;Kitayama,1992;Nakashizuka *et al.*,1992;Lieberman *et al.*,1996;Pendry & Proctor,1997;Vazquez & Givnish,1998;Aiba & Kitayama,1999),但对于亚热带的常绿阔叶林,这方面的研究还少见报道(Tang & Ohsawa,1997;Hsieh *et al.*,1998)。本研究通过沿海拔梯度设置样方,研究物种组成、群落结构、物种丰富度、 α 多样性及 β 多样性沿海拔梯度的变化。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区域概况

猫儿山位于广西的东北部,地理坐标为 $25^{\circ}48' - 25^{\circ}58'N$, $110^{\circ}20' - 110^{\circ}35'E$ 。最高峰海拔2141.5 m,相对高差1862 m,系华南第一高峰,亦是南岭山脉越城岭的主峰。猫儿山属中亚热带山地气候,山顶的年均温 $7^{\circ}C$,最高温 $23^{\circ}C$,最低温 $-19^{\circ}C$,山脚年平均气温 $16 - 18^{\circ}C$,日均温 $>10^{\circ}C$ 的正积温为 $6000^{\circ}C$ 左右。年降水量在2100 mm以上,2-6月为雨季且雨天占总天数的 $2/3$ 。成土母质为花岗岩,从山脚到山顶,土壤类型有山地红壤(400 m以下)、山地黄红壤(400-700 m)、山地黄壤(700-1200 m)、山地生草棕壤(1200-1400 m)、山地黄棕壤(1400-1800 m)、泥炭土(1800-2000 m,主要在八角田一带)和山顶矮林土(2000 m以上)(李光照,1985)。猫儿山林区是我国中亚热带保存较好并有一定代表性的天然林区,地带性植被类型为常绿阔叶林。植被的垂直分布较明显,从山脚到山顶,依次出现的植被类型为常绿阔叶林和常绿阔叶人工林、常绿落叶阔叶混交林、常绿阔叶林和常绿针阔叶混交林、山顶矮林和山顶灌草丛(李光照,2001)。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置

样地的设置采用梯度格局法。从最低海拔(660 m)到山顶(2107 m),海拔每升高大约100 m设置一块样地,共17个样地。其中除山顶的灌丛群落外,森林群落样地为16个。样地面积为 $20 m \times 30 m$,由6个 $10 m \times 10 m$ 的邻接格子小样方组成。随机选取一个 $10 m \times 10 m$ 的小样方调查灌木,然后再设置4-6个 $2 m \times 2 m$ 的小样方调查草本。山顶(2107 m)的灌草丛群落取样面积为 $10 m \times 10 m$ 。样地概况见表1。

表 1 猫儿山各样地基本概况

Table 1 Tree plot characteristics on Mt. Mao'er

	样地编号 Plot no.															
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
海拔 Altitude (m)	2009	1970	1910	1817	1718	1642	1550	1453	1350	1250	1157	1064	960	850	757	660
面积 Area (m ²)	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
坡度 Slope (°)	24	5	34	5	37	20	45	53	35	36	45	42	27	36	27	30
坡向 Aspect (°)	120	0	295	0	121	328	135	96	260	320	46	255	100	100	230	280
最大树高 H _{max} (m)	8.5	12.5	12	8.5	12.6	20.5	16	15	16	12	16	17	19.6	21	17	20
最大胸径 DBH _{max} (cm)	52.2	49.3	39.5	31.4	43.0	71.6	81.5	61.1	93.6	43.0	51.9	34.5	78.3	44.9	34.1	63.7
胸高断面面积之和 BA (m ² /hm ²)	63	39	37	28	45	47	64	53	89	43	52	38	49	42	26	38
立木密度 N (no./hm ²)	4360	1120	2610	2860	3090	2220	3840	2300	4640	4290	5400	3480	3650	4240	3010	3500
种数 No. of species (S)	18	11	21	23	23	29	33	28	43	46	38	36	35	25	35	42
Margalef 指数 (D _M)	3.29	2.63	4.32	4.48	4.61	6.02	6.49	6.35	7.93	8.63	7.00	7.15	6.64	4.70	6.90	8.08
科数 No. of families	11	7	11	15	14	17	15	13	21	18	19	19	14	15	15	19
属数 No. of genera	15	7	13	19	19	24	22	20	32	28	29	29	24	22	23	32
Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index (H')	1.55	0.97	2.08	2.53	2.36	1.59	2.55	2.36	1.90	2.98	2.27	2.21	2.65	1.99	2.50	2.71
均匀度指数 Evenness index (E)	0.54	0.40	0.68	0.81	0.75	0.47	0.73	0.71	0.50	0.78	0.62	0.62	0.75	0.62	0.70	0.73

1.2.2 调查内容

调查内容包括:(1)样地的基本状况,如经纬度、海拔、坡度、坡向;(2)对乔木,记录样地内所有胸围大于或等于 10 cm 的存活植株的种名、胸围、树高。以正北为 0°按顺时针旋转的角度给坡向分级,1 表示北坡(337.5°-22.5°)2 表示西北坡(292.5°-337.5°)3 表示东北坡(22.5°-67.5°)4 表示西坡(247.5°-292.5°),5 表示东坡(67.5°-112.5°)6 表示西南坡(202.5°-247.5°)7 表示东南坡(112.5°-157.5°)8 表示南坡(157.5°-202.5°)。

1.2.3 物种丰富度测度方法

物种丰富度: $S =$ 出现在样地内的物种数

Margalef 指数: $D_M = \frac{S-1}{\ln N}$ (Magurran, 1988)

其中: N 为乔木 (DBH > 3.3 cm) 的总株数。

1.2.4 α 多样性测度方法

Shannon-Wiener 指数: $H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$ (Magurran, 1988)

Pielou 指数: $E = H'/\ln S$ (Magurran, 1988)

其中: P_i 为种 i 的重要值,也即该种的相对胸高断面面积。

1.2.5 β 多样性测度方法

Jaccard 指数: $C_J = \frac{c}{a+b-c}$ (Magurran, 1988)

Cody 指数: $\beta_C = \frac{g(H)+k(H)}{2} = \frac{a+b-2c}{2}$

(Magurran, 1988)

其中: a 和 b 分别为两群落各自的物种数, c 为两群落的共有物种数, $g(H)$ 为沿生境梯度 H 增加的物种数, $k(H)$ 为沿生境梯度 H 丢失的物种数。

2 结果与讨论

2.1 物种组成

据李光照(2001),猫儿山地区的维管束植物有 190 科 658 属 1500 种。本次调查在 16 个森林群落样方中共记录到乔木种类(胸围不小于 10 cm)44 科 79 属 184 种;其中常绿阔叶树 121 种、落叶阔叶树 61 种、针叶树 2 种。

常绿阔叶林一般分布在海拔 1300 m 以下,主要优势种有常绿的罗浮栲 (*Castanopsis fabri*)、甜槠 (*C. eyeri*)、木荷 (*Schima superba*) 等;部分落叶树种如枫香 (*Liquidambar formosana*)、拟赤杨 (*Alniphyllum fortune*)、长柄水青冈 (*Fagus longipetiolata*)、缺萼枫香 (*Liquidambar acalycina*) 等混生其中。常绿落叶阔叶混交林主要分布在海拔 1300-1800 m,主要优势种有落叶的长柄水青冈、青榨槭 (*Acer davidii*)、缺萼

枫香、亮叶水青冈 (*Fagus lucida*) 以及常绿的华东润楠 (*Machilus leptophylla*)、曼青冈 (*Cyclobalanopsis oxyodon*)、鹿角锥 (*Castanopsis lamontii*)、桂南木莲 (*Manglietia chingii*) 等。山顶矮林 (海拔 1800 - 2100 m) 的主要优势种有褐叶青冈 (*Cyclobalanopsis stewardiana*)、厚叶杜鹃 (*Rhododendron pachyphyl-lum*)、大八角 (*Illicium majus*) 及南方铁杉 (*Tsuga chinensis*)。山顶灌草丛主要由华西箭竹 (*Fargesia nitida*)、越峰杜鹃 (*Rhododendron yuefengense*) 组成。

2.2 群落结构

图 1 是群落的 4 种结构特征沿海拔梯度的变化。胸高断面积之和 (basal area) 和立木密度 (stem density) 分别采用投影面积计算 (投影面积 = 样方面积 $\times \cos(\text{slope})$)。

随着海拔升高,乔木层的最大树高 (H_{\max}) 显著下降 ($R^2 = 0.55$, $P < 0.01$), 从低海拔常绿阔叶林群落的 20 m 左右下降到山顶矮林群落的 8.5 m (图 1a)。最大树高显示这种变化趋势的原因与水热条件的组合有关: 由于热量条件沿海拔梯度是线性下降的, 所以群落的最大树高沿海拔梯度也相应下降。

乔木的最大胸径 (DBH_{\max}) 在 16 个样地之间波动比较大, 没有明显的规律 (图 1b)。但从低海拔到高海拔, 最大胸径有先增加后降低的趋势, 最大值 ($DBH_{\max} = 93.6$ cm) 出现在海拔 1350 m 的罗浮栲群落。低海拔的常绿阔叶林由于受人为干扰的影响, 乔木的最大胸径反而没有海拔 1350 m 的罗浮栲群落的大, 而在 1350 m 以上由于热量条件的限制, 最大胸径下降的趋势非常明显。

乔木的胸高断面积之和 (BA) 在各样地间差别不大 (图 1c)。从低海拔到高海拔, 乔木的胸高断面积之和有先增加后降低的趋势, 最大值出现在海拔 1350 m 的罗浮栲群落。另外, 立木密度 (N) 随海拔升高也有先增加后降低的趋势 (图 1d)。

图 2 是三种生活型 (常绿阔叶、落叶阔叶和针叶树) 的最大树高和最大胸径沿海拔梯度的变化。可以看出, 不管是常绿阔叶树种还是落叶阔叶树种, 最大树高和海拔之间都有明显的负相关性 ($P < 0.05$)。说明不同生活型的乔木树种所反映的群落的潜在生产力都是随海拔上升而递减的。在低海拔的常绿阔叶林和较高海拔的山顶矮林群落, 常绿阔

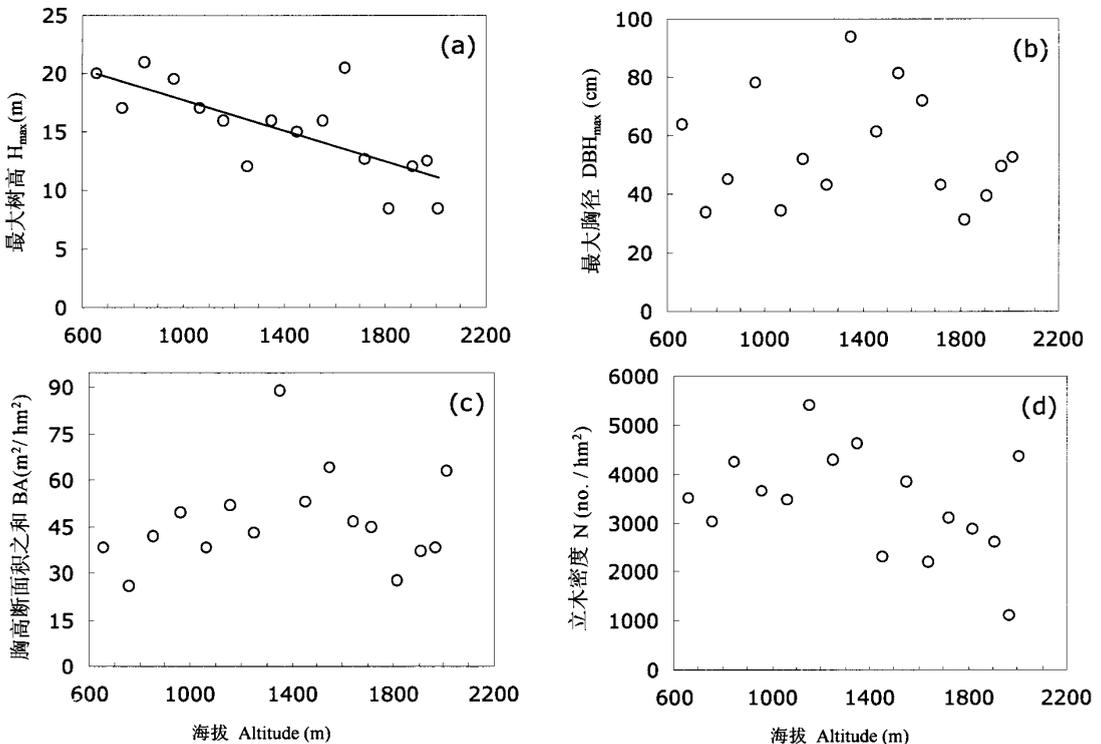


图 1 猫儿山沿海拔梯度 (a) 最大树高、(b) 最大胸径、(c) 胸高断面积之和以及 (d) 立木密度的变化

Fig. 1 Changes in (a) H_{\max} , (b) DBH_{\max} , (c) basal area and (d) density of stems of forest community along an altitudinal gradient on Mt. Mao'er

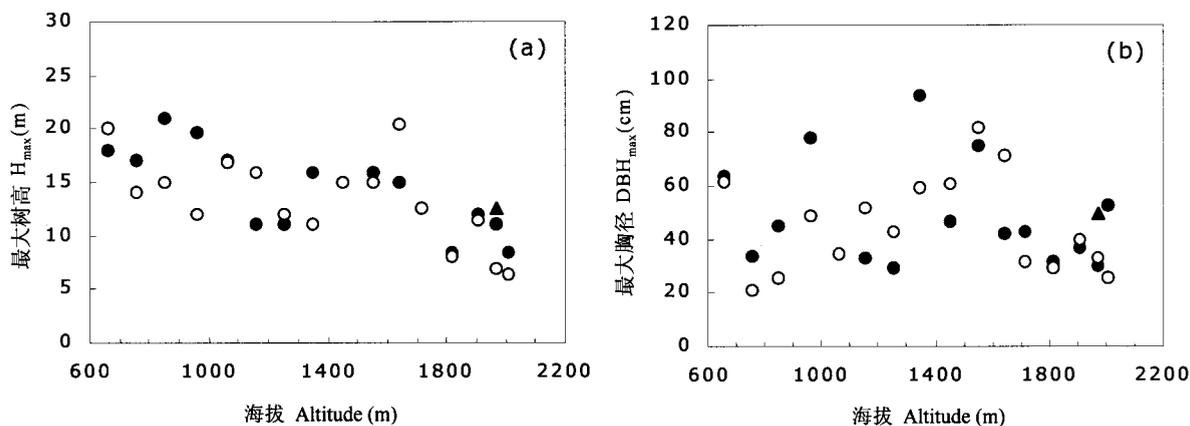


图2 猫儿山沿海拔梯度三种生活型的(a)最大树高和(b)最大胸径的变化

Fig. 2 Changes in (a) H_{\max} and (b) DBH_{\max} of three life forms along an altitudinal gradient on Mt. Mao'er
常绿阔叶树 Evergreen broadleaf trees (●); 落叶阔叶树 Deciduous broadleaf trees (○); 针叶树 Coniferous trees (▲)

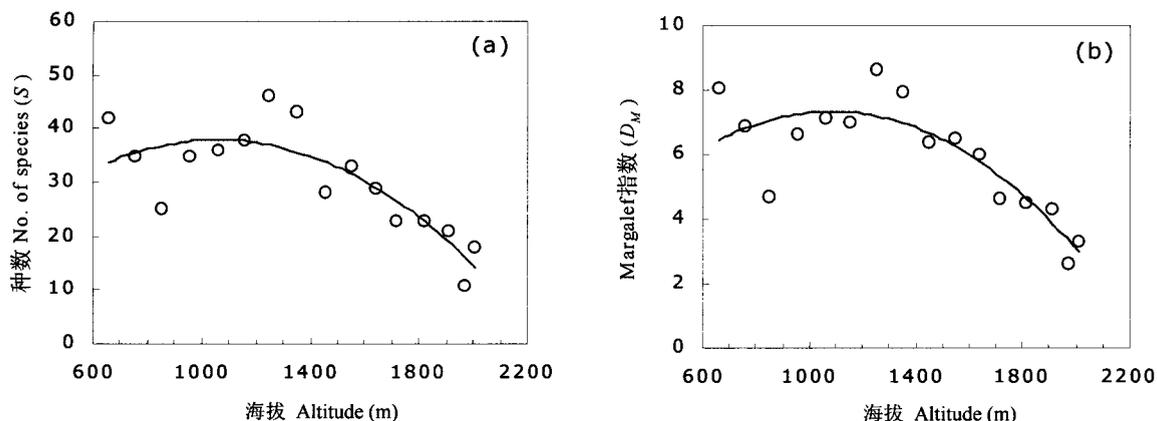


图3 猫儿山沿海拔梯度(a)种数和(b) Margalef 指数的变化

Fig. 3 Changes in (a) number of species and (b) Margalef index along an altitudinal gradient on Mt. Mao'er

叶树种的最大树高一般大于落叶阔叶树种的最大树高,也就是说乔木最上层被常绿阔叶树种所占据(海拔 1970 m 的南方铁杉林上层被南方铁杉占据,是个例外);而中海拔(1000 - 1250 m)的常绿落叶阔叶混交林群落的情况正好相反:乔木最上层被长柄水青冈、缺萼枫香和青榨槭等落叶阔叶树种占据。与 Tang & Ohsawa(1997)在峨眉山的结论不同的是,在较高海拔群落最上层的针叶树没有占据明显的优势,因为峨眉山较高海拔有典型的以峨眉冷杉(*Abies fabri*)和南方铁杉占优势的亚高山暗针叶林,而南岭山地一般山体较小,海拔高度不够高,还不足以形成亚高山针叶林,1800 m 以上多为以褐叶青冈和大八角占优势的山顶矮林所占据(王献溥,李信贤,1986),群落最上层仍以常绿阔叶树种占优

势。

三种生活型的最大胸径沿海拔梯度的变化趋势不明显,对常绿阔叶树种和落叶阔叶树种的最大胸径和海拔的关系分别用抛物线模型进行拟合,发现二者均没有明显的相关性($P > 0.05$)。与最大树高相似,在常绿阔叶林和山顶矮林群落,常绿阔叶树种的最大胸径大于落叶阔叶树种的最大胸径;而常绿落叶阔叶混交林群落正好相反:落叶阔叶树种的最大胸径大于常绿阔叶树种的最大胸径。

2.3 物种丰富度

猫儿山各样地的物种丰富度见图 3。可以看出,随着海拔梯度的变化,乔木层的物种数(S)和 Margalef 指数(D_M)的变化趋势非常明显:最大值(S

=46, $D_M = 8.6$) 出现在海拔 1250 m 的常绿落叶阔叶混交林(样地 P10);自海拔 1250 m 起,随着海拔的升高,物种丰富度下降趋势明显;自海拔 1250 m 往上,植被类型由常绿阔叶林变为常绿落叶阔叶混交林、山顶矮林和山顶灌草丛。从植物区系的角度来看,海拔 1300 m 以下主要是亚热带常见种类以及少数热带性较强的种类,而 1300 m 以上亚热带耐寒种类以及温带种类增多(李光照 2001)。海拔 1250 m 以下的常绿阔叶林和混有落叶树种(如拟赤杨、枫香等)的常绿落叶阔叶混交林的物种丰富度差别不大;海拔 850 m 的罗浮栲群落(样地 P14)由于处在山脊附近,土壤浅薄,物种丰富度相对较低($S = 25$, $D_M = 4.7$)。分别用抛物线拟合乔木层的物种数(S)和丰富度指数(D_M),发现关系显著($R^2 = 0.69$, $P < 0.001$ 和 $R^2 = 0.71$, $P < 0.001$)。

2.4 α 多样性

乔木层 α 多样性的测度采用表示群落多样性的 Shannon-Wiener 指数(H')和表示群落均匀度的 Pielou 指数(E)。猫儿山乔木层的 α 多样性沿海拔梯度的变化虽然没有物种丰富度那样明显,但也表现出一定的趋势(图 4)。多样性(H')与海拔之间有明显的负相关性($r = -0.51$, $P < 0.05$)。但必须注意到:在 1250 m 以下的群落之间 H' 差别并不明显,只是在 1250 m 以上才随着海拔的上升而显著下降。均匀度(E)和海拔之间有负相关性,但不显著($r = -0.18$, $P > 0.05$)。Wilson *et al.* (1999)指出,在小尺度上均匀度随着样方面积的增加而增大;但在较大的尺度上,均匀度无明显的变化趋势(黄

建辉等,1997)。本文结果表明乔木层的均匀度在取样范围内并没有随着海拔梯度的变化表现出特定的变化规律,这与王国宏(2002)在祁连山和郝占庆等(2002)在长白山的研究结果一致。

2.5 β 多样性

β 多样性可以定义为沿环境梯度的变化物种替代的速率(Whittaker, 1972),还包括不同群落间物种组成的差异。本文分别利用 Jaccard 指数(C_j)、Cody 指数(β_C)来研究猫儿山植物物种多样性沿环境梯度的分布格局及变化规律。

从图 5a 可以看出,海拔 1350 m 以下相邻群落的相似性(C_j)明显大于海拔 1350 m 以上的群落,这说明海拔 1350 m 以下的群落间共有种多,生境差异较小;而海拔 1350 m 以上的群落则恰恰相反,相似性较低。这与本文前面从物种丰富度和 α 多样性的角度得出的结果十分相似。它的生态学意义是:海拔 1350 m 左右是一个明显的生境转折点,其以下的海拔范围内植被类型为常绿阔叶林和常绿落叶阔叶混交林,群落物种组成变化不剧烈;其以上的海拔范围内植被类型为常绿落叶阔叶混交林和山顶矮林以及山顶灌草丛,群落物种组成变化剧烈,生境差异大;而海拔 1350 m 左右恰好是猫儿山常绿阔叶林的分布上限,同时也是亚热带树种和温带树种的分布界线。

从乔木种的 Cody 指数(图 5b)可以看出,虽然低海拔的相邻群落间的相似性(C_j)较大,但由于具有较高的物种丰富度,所以相邻群落之间的物种替换总量(Cody 指数)反而大于较高海拔的群落。可

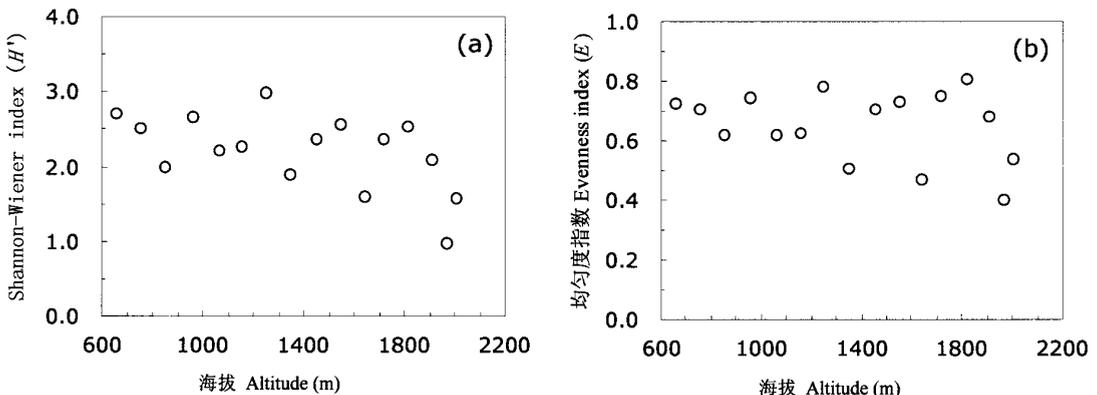


图 4 猫儿山沿海拔梯度 (a) Shannon-Wiener 指数和 (b) 均匀度指数的变化

Fig. 4 Changes in (a) Shannon-Wiener index and (b) evenness index along an altitudinal gradient on Mt. Mao'er

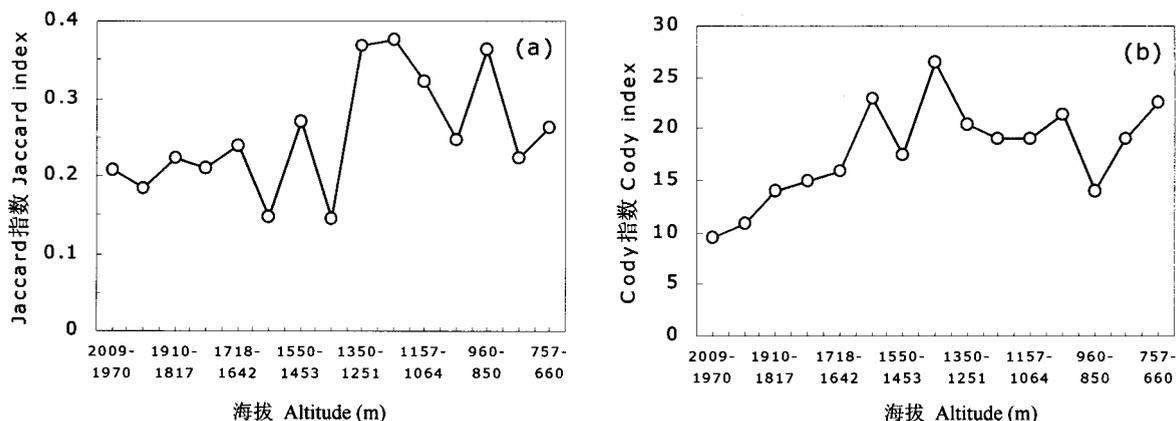


图 5 猫儿山沿海拔梯度相邻群落间的 (a) Jaccard 指数和 (b) Cody 指数

Fig. 5 Changes in (a) Jaccard index and (b) Cody index between the neighboring communities along an altitudinal gradient on Mt. Mao'er

表 2 猫儿山森林群落 11 个特征值的相关矩阵

Table 2 Correlation matrix among 11 parameters of forest communities on Mt. Mao'er

	海拔 Altitude	坡度 Slope	坡向 Aspect	最大 树高 H_{\max}	最大 胸径 DBH_{\max}	胸高断 面积之 和 BA	立木 密度 N	种数 S	Margalef 指数 D_M	Shannon- Wiener 指数 H'	均匀度 指数 E
海拔 Altitude (m)	1.00										
坡度 Slope (°)	-0.30	1.00									
坡向 Aspect (°)	-0.20	0.40	1.00								
最大树高 H_{\max} (m)	-0.75**	0.14	0.19	1.00							
最大胸径 DBH_{\max} (cm)	-0.06	0.13	0.25	0.35	1.00						
胸高断面积之和 BA (m^2/hm^2)	0.19	0.40	0.41	0.00	0.79**	1.00					
立木密度 N (no./ hm^2)	-0.32	0.36	0.34	0.05	0.29	0.49	1.00				
种数 No. of species (S)	-0.73**	0.38	-0.02	0.42	0.26	0.15	0.52*	1.00			
Margalef 指数 (D_M)	-0.77**	0.42	0.03	0.42	0.21	0.10	0.48	0.99**	1.00		
Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index (H')	-0.51*	0.27	0.12	0.06	-0.06	-0.18	0.15	0.53*	0.57*	1.00	
均匀度指数 Evenness index (E)	-0.18	0.21	0.15	-0.23	-0.25	-0.20	0.07	0.19	0.22	0.88**	1.00

Values are Spearman's rank correlation, ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$

见 随着海拔的升高, 相邻群落之间物种组成的差异在增大, 但由于物种丰富度降低得更快, 所以物种替换总量 (Cody 指数) 反而降低。所以研究 β 多样性沿海拔梯度的变化必须考虑到物种丰富度的影响, 用不同指数从不同角度可以更好地理解 β 多样性沿环境梯度的变化。

用 Spearman 回归方法对最大树高 (H_{\max})、最大胸径 (DBH_{\max})、胸高断面积之和 (BA)、立木密度 (N)、种数 (S)、Margalef 指数 (D_M)、多样性 (H') 以及均匀度 (E) 和海拔 (ALT)、坡度 (Slope)、坡向 (ASPE) 这三个环境变量进行相关分析, 结果见表 2。发现最大树高、种数、Margalef 指数以及多样性和海拔有显著的负相关性 ($P < 0.05$), 而最大胸径、

胸高断面积之和、立木密度以及均匀度和海拔之间的相关性不显著 ($P > 0.05$)。这与前面的结论一致。还可以发现, 坡度和坡向与群落的结构特征、物种丰富度和 α 多样性等的相关性均不明显。这也从一个方面说明了在这样一个中等尺度的山地景观中, 海拔比坡度和坡向对群落的结构、物种丰富度和 α 多样性的影响更大。

3 结论

(1) 在猫儿山沿海拔梯度的 16 个森林群落样地中共调查到乔木 44 科 79 属 184 种, 其中常绿阔叶树 121 种、落叶阔叶树 61 种、针叶树 2 种。植被的垂直分布较明显, 从山脚到山顶, 依次出现的植被

类型为常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、山顶矮林和山顶灌草丛、针阔叶混交林(南方铁杉林)零星分布于沼泽边缘或者干旱贫瘠的山脊等特殊生境中。随着植被类型的变化,物种组成和区系成分也都相应地变化。

(2)随着海拔的上升,整个乔木层以及不同生活型的最大树高均显著下降,而乔木种的最大胸径、胸高断面面积之和以及立木密度都呈现出先增大后减小的趋势。这种显著下降趋势或单峰分布格局与群落的水热条件组合、人为干扰强度以及小生境等有关。三种生活型的最大树高和胸径的变化及相对大小与群落外貌的关系非常密切。

(3)物种丰富度在海拔 1350 m 以下变化不大,但此后随着海拔的升高明显地下降。在研究的海拔范围内,物种丰富度与海拔梯度之间呈非常显著的单峰关系,最大的丰富度出现在中海拔群落中。

(4) α 多样性沿海拔梯度的变化趋势与物种丰富度相似,但没有后者显著。群落的多样性 Shannon 指数(H')和海拔之间有明显的负相关性,均匀度 Pielou 指数(E)在取样范围内并没有随着海拔梯度的变化表现出明显的变化规律。

(5)1350 m 以下的低海拔群落相似性 Jaccard 指数(C_j)大于 1350 m 以上的高海拔群落,最小值出现在中海拔的植被类型分界处。物种的替换总量(Cody 指数)也有类似的现象,原因在于物种丰富度的影响。

(6)在本研究区取样的海拔范围内,海拔比坡度和坡向对群落的结构特征、物种丰富度和 α 多样性的影响更大,而在局部尺度上,人为干扰以及小地形而导致的生境异质性对群落的物种多样性和结构特征有着重要的影响。

参考文献

Aiba, S. and Kitayama, K. 1999. Structure, composition and species diversity in an altitude-substrate matrix of rain forest tree communities on Mount Kinabalu, Borneo. *Plant Ecology*, **140**: 139 – 157.

Gentry, A. H. 1988. Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, **75**: 1 – 34.

Hao, Z. Q. (郝占庆), Yu, D. Y. (于德永), Yang, X. M. (杨晓明) and Ding, Z. H. (丁之慧). 2002. α diversity

of communities and their variety along altitude gradient on northern slope of Changbai Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, **13**(7): 785 – 789. (in Chinese)

He, J. S. (贺金生) and Chen, W. L. (陈伟烈). 1997. A review of gradient changes in species diversity of land plant communities. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, **17**(1): 91 – 99. (in Chinese)

Hsieh, C. F., Chen, Z. S., Hsu, Y. M., Yang, K. C. and Hsieh, T. H. 1998. Altitudinal zonation of evergreen broad-leaved forest on Mount Lopei, Taiwan. *Journal of Vegetation Science*, **9**: 201 – 212.

Huang, J. H. (黄建辉), Gao, X. M. (高贤明), Ma, K. P. (马克平) and Chen, L. Z. (陈灵芝). 1997. A comparative study on species diversity in zonal forest communities. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, **17**(6): 611 – 618. (in Chinese)

Itow, S. 1991. Species turnover and diversity patterns along an elevation broad-leaved forest coenocline. *Journal of Vegetation Science*, **2**: 477 – 484.

Jiang, M. X. (江明喜), Deng, H. B. (邓红兵), Tang, T. (唐涛) and Cai, Q. H. (蔡庆华). 2002. On spatial patterns of species richness in plant communities along riparian zone in Xiangxi River watershed. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, **22**(5): 629 – 635. (in Chinese)

Kitayama, K. 1992. An altitudinal transect study of the vegetation of Mountain Kinabalu, Borneo. *Vegetatio*, **102**: 149 – 171.

Li, G. Z. (李光照). 1985. A preliminary study of Mao'ershan flora. *Guihaia (广西植物)*, **5**(3): 211 – 226. (in Chinese)

Li, G. Z. (李光照). 2001. A study of the Mao'ershan flora. *Guihaia (广西植物)*, **21**(supplement1): 4 – 17. (in Chinese)

Lieberman, D., Lieberman, M., Peralta, R. and Hartshorn, G. S. 1996. Tropical forest structure and composition on a large-scale altitudinal gradient in Costa Rica. *Journal of Ecology*, **84**: 137 – 152.

Lomolino, M. V. 2001. Elevation gradients of species-density: historical and perspective views. *Global Ecology & Biogeography*, **10**: 3 – 13.

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

Nakashizuka, T., Yusop, Z. and Nik, A. R. 1992. Altitudinal zonation of forest communities in Selangor, Peninsular Malaysia. *Journal of Tropical Forest Science*, **4**: 233 – 244.

Peet, R. K. 1978. Forest vegetation of the Colorado Front Range: composition and dynamics. *Vegetatio*, **37**: 65 –

- 78.
- Pendry, C. A. and Proctor, J. 1997. Altitudinal zonation of rain forest on Bukit Belalong, Brunei: soils, forest structure and floristics. *Journal of Tropical Ecology*, **13**: 221 – 241.
- Stevens, G. C. 1992. The elevational gradient in altitudinal range: an extension of Rapoport's latitudinal rule to altitude. *American Naturalist*, **140**: 893 – 911.
- Tang, C. Q. and Ohsawa, M. 1997. Zonal transition of evergreen, deciduous, and coniferous forests along the altitudinal gradient on a humid subtropical mountain, Mt. Emei, Sichuan, China. *Plant Ecology*, **133**: 63 – 78.
- Vazquez, J. A. and Givnish, T. J. 1998. Altitudinal gradients in tropical forest composition, structure, and diversity in the Sierra de Manantlan. *Journal of Ecology*, **86**: 999 – 1020.
- Wang, G. H. (王国宏). 2002. Species diversity of plant communities along an altitudinal gradient in the middle section of northern slope of Qilian Mountains, Zhangye, Gansu, China. *Biodiversity Science (生物多样性)*, **10** (1): 7 – 14. (in Chinese)
- Wang, X. P. (王献溥) and Li, X. X. (李信贤). 1986. Vegetation of Mao'ershan Nature Reserve, Xing'an, Guangxi. *Guihaia (广西植物)*, **6**(1 – 2): 79 – 91. (in Chinese)
- Whittaker, R. H. 1960. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs*, **30**: 279 – 338.
- Whittaker, R. H. 1972. Evolution of measurement of species diversity. *Taxon*, **21**: 213 – 251.
- Wilson, J. B., Steel, J. B., King, W. M. and Gitay, H. 1999. The effect of spatial scale on evenness. *Journal of Vegetation Science*, **10**: 463 – 468.
- Wu, Z. Y. (吴征镒). 1980. *The Vegetation of China (中国植被)*. Science Press, Beijing. (in Chinese)

(责任编辑: 闫文杰)