

西双版纳热带山地常绿阔叶林 蕨类植物多样性研究

李保贵, 朱 华

(中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 勐腊 666303)

摘要: 基于4个50 m×50 m(包含400个5 m×5 m)样方调查,统计了蕨类植物的 α 多样性指数、优势度指数、相似性指数及 β 多样性指数。结果表明:在调查的1 hm²西双版纳热带山地常绿阔叶林里,蕨类植物的物种丰富度为32种;不同样地蕨类植物丰富度指数、多样性指数、优势度指数及均匀度指数的变化趋势一致;该森林群落蕨类植物的物种多样性虽然不高,但优势种群显著;通过3个无人干扰与1个受人为干扰样地的对比分析研究看出,该类森林遭受一定程度的人为干扰后,蕨类植物物种丰富度、多样性、优势度及相似性等均显著下降,其中物种多样性的降低尤为显著,即使群落的外貌、结构等恢复至接近原始林状态,蕨类植物丰富度及多样性也难以恢复,故此,保护原始的森林植被是保护该森林蕨类植物多样性的有效措施之一。

关键词: 蕨类植物; α -多样性; β -多样性; 热带山地常绿阔叶林; 西双版纳

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2009)02-0202-06

Species diversity of pteridophytes of tropical montane evergreen broad-leaved forest in Xishuangbanna

LI Bao-Gui, ZHU Hua

(Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla 666303, China)

Abstract: Based on 4 sampling plots of 50 m×50 m(divided into 400 small plots of 5 m×5 m), α -diversity, β -diversity, Jaccard index and Simpson index of ferns of the tropical montane evergreen broad-leaved forest in Xishuangbanna were studied. It was found that there are 32 fern species in a total 1 hm² area of sampling plot in the forest. The α -diversity, β -diversity, Jaccard index and Simpson index of ferns had similar patterns in the 4 sampling plots. The dominant species are conspicuous although species diversity of ferns was relatively low in the forest. However, the diversity of ferns including the α -diversity, β -diversity, Jaccard index and Simpson index decreased with disturbance, especially the α -diversity decreased conspicuously. It was also revealed that the diversity of ferns did not significantly increase in the old secondary forest comparing with that of primitive forest of the same type. This suggests that conservation of primitive forest is of most importance for the biodiversity conservation of fern species.

Key words: pteridophytes; α -diversity; β -diversity; tropical montane evergreen broad-leaved forest; Xishuangbanna

热带山地常绿阔叶林(季风常绿阔叶林)是热带、亚热带山地的主要植被类型,是西双版纳自然保护区植被(徐永椿等,1987)及与西双版纳交界处的思茅菜阳河自然保护区植被(曹善寿,2003)的重要组成部分。通过调查,目前保存较好的原始的此类

森林植被在这些保护区中并不很多。

对西双版纳热带山地常绿阔叶林的物种组成与群落结构(曲仲湘,1960;吴征镒,1980,1987;云南植被编写组,1987)、基本特点(金振洲,1979;Shimizu,1991)及群落生态学(施济普等,2003;Zhu等,2005)

收稿日期: 2007-09-13 修回日期: 2008-06-06

基金项目: 国家自然科学基金(30570128)[Supported by the National Natural Science Foundation of China(30570128)]

作者简介: 李保贵(1958-),男,河南荥阳市人,高级实验师,主要从事热带植物生态及蕨类植物研究,(E-mail)lbg@xtbg.org.cn.

等已有一些研究,但涉及到蕨类植物的很少。对其它植被类型蕨类植物多样性有一些研究(陆树刚等,1995;张思玉,2002;董仕勇等,2003;严岳鸿等,2004),但就西双版纳热带山地常绿阔叶林,除了李保贵等(2005)对蕨类植物区系组成有初步研究外,对蕨类植物多样性的研究未见报道。本文通过在西双版纳热带山地常绿阔叶林4个点设置样方,对蕨类植物多样性进行了调查,为进一步阐明西双版纳热带山地常绿阔叶林蕨类植物多样性组成及其特征提供参考。

1 研究地区概况

西双版纳位于东南亚热带的北缘,属横断山脉哀牢山系的南部余脉,位于约 $99^{\circ}55' \sim 101^{\circ}50' E$ 和

$21^{\circ}10' \sim 22^{\circ}40' N$ 之间,海拔420~2400 m。总体上属热带北缘性气候,年降雨量1200~1600 mm,全年分干、湿(雨)两季,干季为11~4月,雨季为5~10月;年均温在 $20^{\circ}C$ 以上。

2 样地设置及基本情况

为使研究结果更具有普遍性和代表性,分别在属于同一森林类型的勐腊县南贡山、勐海县曼稿、景洪市关坪及与西双版纳景洪市普文相连的思茅莱阳河等4处有代表性的森林地段设置了调查样地,样地依次编号为样地A、B、C、D。样地A中南贡山海拔约900 m以上的大部分地带为热带山地常绿阔叶林;样地B片区森林均属热带山地常绿阔叶林;样地C、D保护区的主要森林类型仍是热带山地常

表1 样地的基本情况
Table 1 Information of sampling plots

样地 Plot No.	面积 Area (m ²)	海拔 Alt. (m)	坡度 Aspect ($^{\circ}$)	坡向 Slope	群落高度 Height of canopy(m)	群落总盖度 Coverage of vegetation(%)	乔木株数 No. of trees (胸径 ≥ 5 cm)	密度 Density (株/m ²)	土壤pH值 ¹⁾ Soil pH (A层/B层/C层)	有机质含量 ¹⁾ O. M(g/kg) (A层/B层/C层)
样地 Plot A	2500	1290	40	WN10 $^{\circ}$	28	100	432	0.17	4.7/4.7/4.7	45.8/31.4/23.2
样地 Plot B	2500	1200	10	WS	20	100	754	0.30	5.5/5.5/5.5	63.5/43.9/32.2
样地 Plot C	2500	980	35	N	28	100	448	0.18	4.7/4.7/4.9	24.7/19.2/16.6
样地 Plot D	2500	1250	20	S	25	100	1142	0.46	4.6/4.6/4.6	69.3/46.7/34.9

¹⁾为各层5个点的均值 Average of 5 samples of each layer

绿阔叶。

4个样地均处在大的自然保护区里,海拔基本上属于西双版纳的中海拔地带,所取样地的范围均位于山坡或是山腰,森林保存得较好,无人、畜干扰。样地的基本情况详见表1。

为探讨该类森林受人为干扰恢复后,蕨类植物多样性的变化,在样地设置时,选择了一个在30年前曾受到人为干扰的森林(样地B)作为对比分析研究。样地B至今恢复较好,从森林外貌、群落结构及树种组成等上看,几乎与未受干扰的另3个样地(A、C、D)没有区别。

4个样地均属典型的热带山地常绿阔叶林,它们的外貌特征表现为林相整齐,林冠颜色苍翠;群落结构简单,林内空旷;干季林下显得干燥;绝大多数乔木树种分枝低矮,树皮厚而粗糙;林内无大型木质藤本,附生植物少见。乔木层均主要以壳斗科(Fagaceae)、樟科(Lauraceae)、山茶科(Theaceae)树种组成,主要植物有红锥(*Castanopsis hystrix*)、泥柯(*Lithocarpus fenestratus*)、湄公锥(*C. mekongen-*

sis)、截果柯(*L. truncatus*)、杯丝锥(*C. calathiformis*)、思茅黄肉楠(*Actinodaphne henryi*)、细毛润楠(*Machilus tenuipila*)、钝叶桂(*Cinnamomum bejolghota*)、西南木荷(*Schima wallichii*)、银木荷(*S. argentea*)、滇银柴(*Aporusa yunnanensis*)、隐距越桔(*Vaccinium exaristatum*)、岭罗麦(*Tarennoidea wallichii*)等;灌木层主要植物有岗桉(*Eurya groffii*)、山石榴(*Catunaregam spinosa*)、罗伞树(*Ardisia quinquegona*)、三桠苦(*Evodia leptota*)、勐海山胡椒(*Lindera menghaiensis*)、多花野牡丹(*Melastoma affine*)、南亚泡花树(*Meliosma arnotiana*)、云南九节(*Psychotria yunnanensis*)、短柄苹婆(*Sterculia brevissima*)等;草本层主要种类是山稗子(*Carex baccans*)、节鞭山姜(*Alpinia conchigera*)、小齿锥花(*Gomphostemma microdon*)、淡竹叶(*Lophatherum gracile*)、刚莠竹(*Microstegium ciliatum*)、山菅(*Dianella ensifolia*)、沿阶草(*Ophiopogon bodinieri*)等。在西双版纳的该热带山地常绿阔叶林沟谷中,常会出现少数季节雨林的成分,但

种群数量很小,如在样地 B 下面的沟谷中有番龙眼(小苗)、多花白头树、木奶果、假海桐植物出现,但均仅 1 株。

3 研究方法

3.1 野外调查

在 4 个调查地点,分别设置了 50 m×50 m 样地,采用相邻样方格子法(董鸣,1997),共取得 400 个 5 m×5 m 的小样方格,调查时采用拉网式调查记录,对地生蕨类的每一个个体进行记录,并测量高度、冠幅及记录生活型等。

对根状茎直立或斜生的蕨类,以一个独立的个体记录为一株(或丛);根状茎横走的种类,根据在自然条件下,通过根状茎延长断裂或失去功能后,形成多个遗传结构一致的新个体记录为一株,即分株;具有无性系生长习性(董鸣,1996;严岳鸿等,2003)蕨类植物的记录是以每一无性系生长的分株为一株(张笃见等,1999;严岳鸿等,2003)。

有些附生蕨类,由于常附生在一定高度的树上,不便测量,对这类附生蕨类的盖度(即冠幅)没有调查,但对它们在每个小样方的种群数量(个体数量)、附生高度等进行了调查。

调查的同时,在每个样地里均挖取了土壤,即分别在每个样地的 4 个角及中间等 5 个点挖取了土壤剖面,每个点分别在土壤表层(枯枝落叶下)下 10 cm 及 20 cm、30 cm 处的 3 个层取样。

3.2 数据处理

对获取的数据,分别进行物种丰富度(董鸣,1997)、重要值(孙儒泳等,1993)、物种丰富度指数(李博,2000;董鸣,1997)、多样性指数(Pielou,1975;严岳鸿等,2004)、优势度指数(马克平等,1994)、均匀度指数(马克平,1994,1995;严岳鸿等,2004)、相似性指数(Wittaker,1972;严岳鸿等,2004)及 β 多样性指数(Wittaker,1960;严岳鸿等,2004)的测定。即:物种丰富度 = S (1)

重要值 (IV%) = 相对多度 (A%) + 相对频度 (F%) + 相对盖度 (C%) (2)

物种丰富度指数 $dMo = S' / N$ (3)

优势度指数采用 Simpson 指数 $D = 1 / \sum P_i^2$ (4)

多样性指数采用 Shannon Wiener 指数 $H' = -\sum P_i \ln P_i$ (5)

物种均匀度指数采用 Pielou 的均匀度指数

$$J_{sw} = (-\sum P_i \ln P_i) / \ln S \dots\dots\dots (6)$$

相似性指数采用 Jaccard 指数

$$C_j = j / (a + b - j) \dots\dots\dots (8)$$

βw 多样性采用 Wittaker 指数

$$\beta_w = S / ma - 1 \dots\dots\dots (9)$$

式中:S 为研究系统中所记录蕨类植物的物种总数;dMo 为物种丰富度指数;S' 为一个样地物种的数目;N 为所有物种个体数目之和;P_i 为第 i 个物种的个体数占所有物种个体数的比值;ln 为自然对数 2.718 28;j 为样地 A、B 的共有物种数;a、b 分别为样地 A、B 的物种数;ma 为各样地或样本的平均物种数。

对采集的土壤,通过风干、磨细等处理后,送中国科学院热带植物园植物地球化学实验室进行分析测定。土壤有机质(O. M),采用硫酸、重铬酸钾氧化-外加热法测定;土壤 pH 值,采用“电位法”测定,即采用重量比 10 : 1 的蒸馏水与待测土壤混合,搅拌,静置 30 min 后进行测定。

4 研究结果

4.1 蕨类植物的组成与丰富度

在西双版纳热带山地常绿阔叶林中,记录蕨类植物 32 种,隶属于 16 个科,22 个属。主要以鳞毛蕨科(3 属 7 种)、水龙骨科(3 属 4 种)、碗蕨科(1 属 3 种)、凤尾蕨科(1 属 3 种)、金星蕨科(1 属 2 种)、蹄盖蕨科(2 属 2 种)、乌毛蕨科(2 属 2 种)的属、种组成,这 7 个科包含了 13 个属及 23 个种;其余 9 个种分别出自一个科。藤本状蕨类有 1 种;附生种占 21.88%。种类详见表 2。

4.2 蕨类植物的频度及重要值

从表 1 看出,频度较高的仅 4 种,即狗脊、疏叶蹄盖蕨、光叶鳞盖蕨及半圆盖阴石蕨。它们出现的样方数依次是 232、135、104 及 92。有 75% 的种类频度在 10% 以下;有 4 个种仅在 1 个样方中出现,它们是蕨、灯笼草石松、变异鳞毛蕨及书带蕨等。重要值在 10 以上的仅 6 种,它们是该森林群落中蕨类植物的优势种,其中狗脊重要值占到重要值总数的 1/3 以上,它在该森林生态系统中占有重要的地位;而苏铁蕨虽仅有 266 株,只在 66 个样方中出现,频度仅 16.5%,但由于它拥有较大的盖度,它的重要值达到了 36.06,按重要值排序居第 3 位;有 84% 种

表 2 样地蕨类植物组成
Table 2 Composition of fern species from sampling plots

种名 Species	株数(株) No. of individuals	频度(%) Frequency	存在度(5级) Presence	重要值 ¹⁾ IV	样地编号 Plot No.
狗脊 <i>Woodwardia japonica</i>	1981	58.00	Ⅲ	113.47	A、B、C、D
疏叶蹄盖蕨 <i>Athyrium dissitifolium</i>	1563	33.75	Ⅱ	40.56	A、B、D
苏铁蕨 <i>Brainea insignis</i>	266	16.50	I	36.04	A、B
光叶鳞盖蕨 <i>Microlepia calvescens</i>	893	26.00	Ⅱ	27.94	A、C、D
清秀复叶耳蕨 <i>Arachniodes spectabilis</i>	913	15.50	I	23.26	C
假稀羽鳞毛蕨 <i>Dryopteris pseudoparsa</i>	207	15.50	I	10.51	A、C、D
二型鳞毛蕨 <i>D. cochleata</i>	123	14.50	I	8.20	D
金毛狗 <i>Cibotium barometz</i>	56	4.75	I	6.42	A、B、C
剑叶鳞始蕨 <i>Lindsaea ensifolia</i>	81	9.50	I	5.28	A、C
华南毛蕨 <i>Cyclosorus parasiticus</i>	131	6.50	I	5.00	B、C、D
芒萁 <i>Dicranopteris pedata</i>	114	4.75	I	4.48	A、B
渐尖毛蕨 <i>Cyclosorus acuminatus</i>	76	5.25	I	3.93	B、C、D
线羽凤尾蕨 <i>Pteris linearis</i>	32	6.50	I	3.37	B、D
疏羽耳蕨 <i>Polystichum disjunctum</i>	61	2.75	I	2.77	D
长尾凤尾蕨 <i>Pteris heteromorpha</i>	22	3.50	I	1.86	C、D
柳叶海金沙 <i>Lygodium salicifolium</i>	17	2.75	I	1.48	C
热带鳞盖蕨 <i>Microlepia speluncae</i>	14	2.25	I	1.32	A、C
美丽复叶耳蕨 <i>Arachniodes speciosa</i>	12	1.75	I	1.03	D
边缘鳞盖蕨 <i>Microlepia marginata</i>	11	1.75	I	0.94	A
勐腊凤尾蕨 <i>Pteris menglaensis</i>	6	1.25	I	0.65	C、D
狭鳞鳞毛蕨 <i>Dryopteris stenolepis</i>	10	1.00	I	0.64	D
拟鳞毛蕨 <i>Kuniwatzukia cuspidata</i>	3	0.75	I	0.38	C、D
蕨 <i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>	1	0.25	I	0.17	D
灯笼草石松 <i>Palhinhaea cernua</i>	2	0.25	I	0.16	A
变异鳞毛蕨 <i>Dryopteris varia</i>	1	0.25	I	0.14	D
半圆盖阴石蕨 <i>Humata platylepis</i>	265	23.00	Ⅱ	--	D(地面~15 m)
柔软石韦 <i>Pyrrosia parosa</i>	45	4.75	I	--	D(附高 0.01~2 m)
瓦韦 <i>Lepisorus thunbergianus</i>	44	6.25	I	--	D(附高 0.05~3.50 m)
隐柄尖嘴蕨 <i>Belvisia henryi</i>	21	3.75	I	--	A、D(附高地面~1.30 m)
崖姜蕨 <i>Pseudodrynaria coronans</i>	19	3.50	I	--	D(附高 0.12~1.77 m)
书带蕨 <i>Vittaria flexuosa</i>	7	0.25	I	--	A(附高 1~2.20 m)
裸叶石韦 <i>Pyrrosia nuda</i>	4	1.00	I	--	D(附高 1~1.50 m)
合计 Total: 32 种	7001	278		300	

¹⁾重要值不包括附生种 The IV of epiphytic ferns were not calculated

类的重要值在 10% 以下。

4.3 蕨类植物的多样性

4.3.1 各样地蕨类植物多样性指数 4 个样地间蕨类植物物种丰富度指数在 0.1466~0.3348 间, 值差 0.1882; 多样性指数在 0.5892~1.4282 间, 差异较显著(值差 0.839), 其中差异显著性主要存在于样地 B 分别与样地 A、C、D 间, 而样地 A、C、D 间的差异并不显著; 优势度指数在 0.265~0.6389 间, 差异显著(值差 0.3739); 均匀度指数在 0.1872~0.3336 之间, 差异不显著(差值 0.1464)(表 3)。

图 1 显示, 4 个样地相关指数值的表现情况基本一致, 吻合多样性研究的一般规律, 即优势度指数与多样性成反比关系, 物种多样性越小, 优势度指数

就越高(尚玉昌, 2002); 而优势度与均匀度也不成正

表 3 4 个样地中蕨类植物的多样性指数¹⁾

Table 3 Biodiversity indices of ferns in the 4 sampling plots

样地 Plot	丰富度 Richness (S)	多度 Abundance	丰富度 指数 (dMo)	多样性 指数 Shannon- Wiener index(H')	优势度 指数 (D)	均匀度 指数 (Jsw)
A	12	1555	0.2221	1.3461	0.6107	0.2905
B	9	1026	0.1466	0.5892	0.2649	0.1872
C	13	2076	0.2965	1.2486	0.6384	0.2670
D	23	2344	0.3348	1.4282	0.6389	0.3336

¹⁾该表多样性的相关计算不包括附生蕨类 Epiphytic ferns were not included

相关性, 即优势度越高的群落中物种分布的均匀性

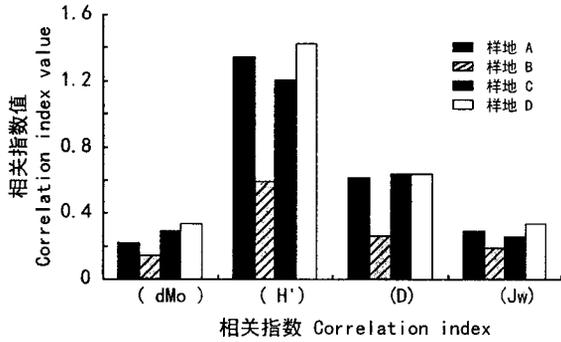


图1 4个样地相关指数的变化趋势
Fig. 1 The biodiversity indices of ferns from 4 sampling plots

越差。

图1还显示,样地A、C及D的4个指数值基本接近,而样地B的4个指数值均显著较低,其原因之一是该森林曾在30年前遭受到一定程度的人为

干扰。据调查,样地B在森林外貌、群落结构及树种组成上,与另3个样地几乎没有区别,但蕨类植物的丰富度、多样性、优势度及均匀度等均显著较低,其中物种多样性的降低尤为明显,这说明人为干扰对森林蕨类植物多样性的影响较显著,该类森林一旦遭受人为干扰后,蕨类植物的多样性也难以恢复。虽然样地B的物种丰富度仅9种,但样地中优势种最突出,重要值50以上的有2种,其中狗脊的频度达85%,种群数量占蕨类植物总数的85.01%,重要值高达154.83,这种优势种群完全被1或是2个种所控制的种群结构,抑制了其它蕨类植物的生长,也可能是导致相关指数值降低的原因之一。

4.3.2 各样地的βw多样性指数与相似性指数 表4显示,在该热带山地常绿阔叶林不同点的4个0.25 hm²样地间蕨类植物的βw多样性指数在0.52~0.7143之间;相似性指数值(Cj)在0.3125~

表4 西双版纳热带山地常绿阔叶林4个样地间相似性指数及β多样性
Table 4 Similarity and β diversity of fern species in the 4 sampling plots

样地 Plot	Plot A			Plot B			Plot C			Plot D		
	βw	Cj	Cs	βw	Cj	Cs	βw	Cj	Cs	βw	Cj	Cs
A	—	—	—	—	—	5	—	—	5	—	—	3
B	0.5238	0.3125	—	—	—	—	—	—	4	—	—	5
C	0.5200	0.2500	—	0.5455	0.2353	—	—	—	—	—	—	9
D	0.7143	0.0937	—	0.6875	0.1852	—	0.5000	0.2963	—	—	—	—

* Cs (Communion species 共有种)

0.0937之间;共有种(Cs)是3~9种。通过排序,4个样地的βw多样性指数由高到低依次是样地A-D→B-D→B-C→A-B→A-C→C-D。结合样地间的共有种看,样地C-D的共有种最多(9种),βw多样性指数最小,相似性指数较大,为此,两样地间的相似程度较高;而样地A-D的共有种最少(仅3种),βw多样性指数最大,相似性指数最小,两样地间的相似程度较低。这一结果基本符合多样性研究的一般规律,并与4个样地所处的地理位置、它们间联系距离及纬度等实际情况相吻合,即样地C-D的距离及纬度较相近;而样地A-D间的距离最远,纬度相差较大。

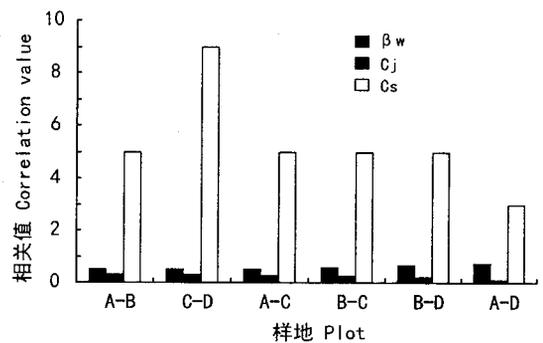


图2 4个样地物种多样性及相似性的变化趋势
Fig. 2 Similarity and β diversity of fern species in the 4 sampling plots

5 结论与讨论

蕨类植物对环境条件有着高度的敏感性,它们在某地区或地带生长种类的多少及种群的大小等,常受到水分、光照、土壤、地形及其它生物等诸多生态环境因子直接或间接的影响。所以,样地间生境

的异质性对蕨类植物多样性有一定的影响。研究结果表明,在一个山体(李保贵等,2005)或不同地点多个样地累加的1 hm²西双版纳热带山地常绿阔叶林山坡地带,蕨类植物的物种丰富度基本维持在32种;同类森林不同样地间蕨类植物丰富度指数、多样性指数、优势度指数及均匀度指数的变化趋势一致;

该森林群落蕨类植物的物种多样性虽然不高,但优势种群显著;不同地点样地间生境的异质性,对蕨类植物丰富度指数和均匀度指数的影响不显著,但对多样性指数及优势度指数会产生显著的影响,样地间生境异质性程度越高,蕨类物种的共有种越少,相似性越差;4个样地间蕨类植物优势度指数与多样性、均匀度均成反比关系,样地间 β_w 多样性指数基本与相似性指数、共有种成反比关系,这一结果符合多样性研究的一般规律。

这类森林在遭受一定程度人为干扰后,蕨类植物的丰富度、多样性、优势度及相似性等均显著下降,其中物种多样性的降低尤为显著,即使森林在外貌、结构等方面恢复到接近原始状态后,蕨类植物丰富度及多样性等也难以恢复。由此说明,保护原始的森林植被是保护该森林蕨类植物多样性的有效措施之一。

就森林植被或群落里蕨类多样性方面的研究,取样面积因人而异,至今没有一个统一的标准,如陆树刚等(1995)在“滇东南老君山自然保护区蕨类植物物种多样性研究”一文中,采用的是22个20 m×20 m样方进行调查;严岳鸿等(2004)对每一植被类型采用的是4个5 m×5 m的小样方。施济普等(2003)在热带森林群落草本层植物(包括蕨类)的调查中,采取在一个20 m×25 m样方中取5个2.5 m×2 m的小样方;朱华(1992,1993)在一个50 m×50 m的样方中取5个5 m×5 m的小样方。虽然朱华等(1998)的研究阐明:西双版纳热带森林群落研究的最小取样面积是50 m×50 m,但对热带森林草本层研究的取样方法、面积及数量等,目前仍没有定论。本文在一种森林植被类型或森林群落中采用取4个50 m×50 m(包括400个5 m×5 m)的样地进行调查,是一个尝试。至于热带森林植被或植物群落中蕨类植物调查研究的取样面积及取样数量等,还有待探讨。

参考文献:

- 孙儒泳,李博,诸葛阳,等. 1993. 普通生态学[M]. 北京:高等教育出版社,1—324
- 李博. 2000. 生态学[M]. 北京:高等教育出版社,340—347
- 吴征镒. 1980. 中国植被[M]. 北京:科学出版社
- 吴征镒. 1987. 云南植被[M]. 北京:科学出版社
- 尚玉昌. 2002. 普通生态学(第二版)[M]. 北京:北京大学出版社,272—273
- 钱迎倩,马克平. 1994. 生物多样性研究的原理与方法[M]. 北京:中国科学技术出版社,141—163
- 董鸣. 1997. 陆地生物群落调查观测与分析[M]. 北京:中国标准出版社,3—18
- Dong M(董鸣). 1996. Plant clonal growth in heterogeneous habitats: risk-spreading(异质性生境中的植物克隆生长:风险分摊)[J]. *Acta Phytocol Sin*(植物生态学报),20(6):543—548
- Dong M(董鸣). 1996. Clonal growth in plants in relation to resource heterogeneity: foraging behavior(资源异质性生境中的植物克隆生长:觅食行为)[J]. *Acta Bot Sin*(植物学报),38(10):828—835
- Dong SY(董仕勇),Chen ZC(陈珍传),Zhang XC(张宪春). 2003. Biodiversity and conservation of pteridophytes from Diaoluo Mountain, Hainan Island(海南岛吊罗山蕨类植物的多样性及其保育)[J]. *Biodiversity Sci*(生物多样性),11(5):422—431
- Jin ZZ(金振洲). 1979. The types and characteristics of evergreen broad-leaved forests in Yunnan(云南常绿阔叶林的类型及特征)[J]. *Acta Bot Yunnan*(云南植物研究),1(1):90—105
- Li BG(李保贵),Zhu H(朱华). 2005. A study on ferns in monsoon everteent brosd-leaves forest on Nangong Muntain in Mengla, Xishuangbanna, China(西双版纳勐腊南贡山季风常绿阔叶林蕨类植物初步研究)[J]. *Guihaia*(广西植物),25(6):497—503
- Lu SG(陆树刚),Cheng X(成晓). 1995. A study on the species diversity of Pteridophytes from the Laojun Moutain Nature Reserves, SE. Yunnan(滇东南老君山自然保护区蕨类物种多样性研究)[J]. *Acta Bot Yunnan*(云南植物研究),17(4):415—419
- Ma KP(马克平),Huang JH(黄建辉),Yu SL(于顺利),et al. 1995. Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China. II. Species richness, evenness and species diversities(北京东灵山地区植物群落多样性的研究II丰富度、均匀度和物种多样性指数)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报),15(3):268—277
- Pielou EC. 1975. Ecological Diversity[M]. New York: John Wiley & SONS Inc,1—165
- Qu ZX(曲仲湘). 1960. Nature reserves in Yunnann(云南自然保护区植被专号)[J]. *J Yunnan Univ(Nat Sci)*(云南大学学报·自然科学版),1:1—4
- Shi JP(施济普),Zhu H(朱华). 2003. A community ecology study on the monsoonal evergreen broad-leaved forest in tropical montane of Xishuangbanna(西双版纳热带山地季风常绿阔叶林的群落生态学研究)[J]. *Acta Bot Yunnan*(云南植物研究),25(5):513—519
- Shimizu Y. 1991. Forest types and vegetation zones of Yunnan, China[J]. *J Faculty of Sciencs, Univ Tokyo, sect III*,15:1—71
- Wittaker RH. 1960. Vegetation of Siskiyou Mountains. Oregon and California[J]. *Ecol Monographs*,30:279—338
- Wittaker RH. 1972. Evolution and measurement of species diversity[J]. *Taxon*,21—213—251
- Yan YH(严岳鸿),Qi XS(秦新生),Xing FW(邢福武). 2003. Characteristics of fern community in Gudoushan Nature Reserve, Guangdong(广东古兜山自然保护区蕨类植物群落的特征)[J]. *J Trop Subtrop Bot*(热带亚热带植物学报),11(2):109—116
- Yan YH(严岳鸿),Yi QF(易绮斐),Huang ZL(黄忠良),et al. 2004. Ecological response of fern diversity to vegetation succession in Gudoushan Nature Reserve, Guangdong(广东古兜山自然保护区蕨类植物多样性对植被不同演替阶段的生态响应)[J]. *Biodiversity Sci*(生物多样性),12(3):339—347

径大的一般年龄较大,小树则年龄相对较小(Biging & Dobbertin, 1995)。因此很多单木生长模型都隐去了年龄因子(Monserud & Sterba, 1996),本模型也属于隐去年龄的单木生长量模型。

相对其他生长模型而言,该模型的优越性主要体现在以下几点:(1)以前大多模型在进行多元回归时,主要考虑了不同因子的单一作用方式(Bertelink, 2000)。该模型充分考虑了外界因子的不同作用方式,比如有的因子(冠幅比)与生长量呈线性关系,有的因子(对象木胸径和竞争因子)与生长量呈对数函数关系,有的因子(海拔)呈二次函数关系等;(2)该模型考虑了不同因子的综合作用效果,比如坡度和坡向的联合作用。(3)在样地的选择上,没有特意选择某些样地。此外,多元回归分析表明,该模型有较高的相关性,有较强的说服力和预测能力。通过钻取太白红杉的年轮数据分析发现,该模型预测的结果与其实际生长状况基本吻合,表明该模型能很好地预测不同生境下太白红杉的径向生长状况。

参考文献:

- Bertelink HH. 2000. A growth model for mixed forest stands[J]. *Fore Ecol Manage*, **134**: 29—43
- Biging GS, Dobbertin M. 1995. Evaluation of competition indices in individual tree growth models[J]. *Fore Sci*, **41**: 360—377
- Draper NR, Smith H. 1981. Applied regression analysis[M]. New York: John Wiley and Sons, 709—715
- Duan RY(段仁燕), Wang XA(王孝安). 2005. Intraspecific and interspecific competition in *Larix chinensis*(太白红杉种内种间竞争的研究)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), **29**(2): 242—250
- Huang LZ(黄焯增), Xie SB(谢世波), Xie RJ(谢瑞基), et al. 2000. Using the regression orthogonal design to establish the single-tree growth model of *Cryptomeria fortunei* plantation(用回归正交设计建立柳杉人工林单木生长模型)[J]. *J Fujian Fore Sci Tech*(福建林业科技), **27**(3): 38—42
- Levin SA, Grenfell B, Hastings A, et al. 1997. Mathematical and computational challenges in population biology and ecosystems science[J]. *Science*, **275**: 334—343
- Monserud RA, Sterba H. 1996. A basal area increment model for individual trees growing in even and uneven-aged forest stands in Austria[J]. *Fore Ecol Manage*, **80**: 57—80
- Stage AR. 1976. An expression for the effect of slope, aspect and habitat type on tree growth[J]. *Fore Sci*, **22**(4): 457—460
- Wang XA(王孝安), Wang ZG(王志高), Xiao YP(肖娅萍). 2004. Analysis on reproduction age in *Larix chinensis* and effect factors(太白红杉生殖年龄及其影响因素分析)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*(西北植物学报), **24**(5): 855—858
- Wykoff WR. 1990. A basal area increment model for individual conifers in the northern rocky mountains[J]. *Fore Sci*, **36**(4): 1 077—1 104
- Zhang YX(张跃西). 1993. Study on the improvement and application of the neighborhood interference index model(邻体干扰指数模型的改进及其在营林中的应用)[J]. *Acta Phytoecol Geobot Sin*(植物生态学与地植物学学报), **17**(4): 352—357
- Zhang ZP(张泽浦), Fang JY(方精云), Jian C(菅诚). 2000. Effects of competition on growth rate and probability of death of plant individuals: a study based on nursery experiments of *Larix leptolepis* populations(邻体竞争对植物个体生长速率和死亡概率的影响: 基于日本落叶松种群试验的研究)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), **24**(3): 340—345
- Zhang DJ(张笃见), Ye XY(叶晓娅), You WH(由文辉). 1999. Evergreen broad-leaved forest floor in Tiantong, Zhejiang Province(浙江天童常绿阔叶林地被层的研究)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), **23**(6): 544—556
- Zhang SY(张思玉). 2002. Studies on species diversity of *Al-sophila spinulosa* community in the Bijia Mountain of Yongding, Fujian(福建永定县笔架山杉栎群落物种多样性研究)[J]. *J Wuhan Bot Res*(武汉植物学研究), **20**(4): 275—279
- Zhu H, Shi JP, Zhao CJ. 2005. Species composition, physiognomy and plant diversity of the tropical montane evergreen broad-leaved forest in southern Yunnan[J]. *Biodiversity and Conservation*, **14**: 2 855—2 870
- Zhu H(朱华). 1992. Research of community ecology on *Shorea chinensis* forest in Xishuangbanna(西双版纳望天树林的群落生态学研究)[J]. *Acta Bot Yunnan*(云南植物研究), **14**(3): 237—258
- Zhu H(朱华). 1993. Phytocoenological study on *Vatica* forest in Xishuangbanna(西双版纳青梅林的群落学研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **13**(1): 48—60
- Zhu H(朱华), Wang H(王洪), Li BG(李保贵), et al. 1998. Species diversity of primary tropical rain forest south Yunnan of China with special reference of sampling area(滇南热带雨林物种多样性取样面积探讨)[J]. *Biodiversity Sci*(生物多样性), **6**(4): 241—247

(上接第 207 页 Continue from page 207)