

南亚热带人工杉木林灌木层物种组成及 主要木本种间联结性

康 冰^{1,2}, 刘世荣^{2*}, 蔡道雄³, 温远光⁴, 史作民²,

郭文福³, 朱宏光⁴, 张广军¹, 刘 磊⁴

(1. 西北农林科技大学生命科学学院, 陕西杨陵 712100; 2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091;

3. 中国林业科学研究院热带森林实验中心, 凭祥 532600; 4. 广西大学林学院, 南宁 530001)

摘要:南亚热带杉木人工林经过 13a 自然更新过程, 林下灌木层植物种有 71 种, 灌木层出现小乔木。通过重要值分析, 判别了各物种在群落中的地位和作用。用 χ^2 统计和 r 检验研究了该杉木林下灌木层 25 种主要木本种间关系, 测定它们的种间联结性和相关性, 结果清楚地反映了木本植物种间关系以及它们在资源利用和生态特性上的差异。依据分析结果将灌木层 25 种主要木本植物分成 4 个种组: I. 对叶榕 (*Ficus hispida*) + 五月茶 (*Antidesma bunius*) + 毛桐 (*Mallotus barbatus*) + 耳叶榕 (*Ficus cunia*) + 水东哥 (*Saurauia tristyla*) + 粗糠柴 (*Mallotus philippinensis*) + 杜茎山 (*Maesa japonica*) + 粗叶榕 (*Ficus hirta*) + 山麻杆 (*Alchornea rugosa*) + 黄毛榕 (*Ficus fulva*) + 白背叶 (*Mallotus apelta*); II. 拓树 (*Cudrania tricuspidata*) + 鸭脚木 (*Schefflera octophylla*); III. 杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) + 大青 (*Clerodendron cytophyllum*) + 相思子 (*Millettia semicastrata*) + 山石榴 (*Randia spinosa*) + 山苍子 (*Litsea cubeba*) + 木姜子 (*Litsea pungens*); IV. 紫金牛 (*Ardisia japonica*) + 九节 (*Psychotria rubra*) + 山牡荆 (*Vitex quinata*) + 风箱树 (*Cephalanthus occidentalis*) + 亮叶围涎树 (*Pithecellobium lucidum*) + 华腺萼木 (*Mycetia sinensis*)。种组划分的生态指示表明: 如果杉木群落中灌木层以种组 III 或 II 的种为优势种, 则认为该群落是一个不稳定的过渡类型, 最终可能会变化为以这些种为优势的稀疏阔叶林; 若以种组 IV 为优势种, 该群落则是在本地区气候条件下的相对稳定的针叶林群落; 以种组 I 为优势的群落则是乔木层从以针叶树为主、针叶林向针阔混交林的过渡类型。种组划分将为该区域同类型人工林生态功能评价以及林分近自然恢复改造提供理论依据。

关键词:南亚热带; 人工杉木林; 近自然状态; 灌木层组成; 种间联结; 种间相关; 生态种组

文章编号:1000-0933(2005)09-2173-07 **中图分类号:**Q948, S718 **文献标识码:**A

Species composition and correlation of understorey woody plants in chinese fir plantation in the lower subtropical area

KANG Bing^{1,2}, LIU Shi-Rong^{2*}, CAI Dao-Xiong³, WEN Yuan-Guang⁴, SHI Zuo-Min², GUO Wen-Fu³, ZHU Hong-Guang⁴, ZHANG Guang-Jun¹, LIU Lei⁴

(1. College of Life, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, the Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 3. Experiment Center of Tropical Forestry, the Chinese Academy of Forestry, Pingxiang 532600, China; 4. Forestry College, Guangxi University, Nanning 530001, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(9): 2173~2179.

Abstract: *Cunninghamia lanceolata* is the main timber tree in the low subtropical area. Because of the simple stand structure and the traditional management focusing only on wood production, the potential consequences of biodiversity loss for ecosystem function and services have received considerable attention in recent years. It is necessary to change stand structure and species

基金项目:国家林业科技攻关资助项目(2001BA510B06); 国家林业局 948 资助项目(2001-14, 2004-4-66)

收稿日期:2005-03-03; **修订日期:**2005-06-28

作者简介:康冰(1969~), 陕西礼泉人, 博士生, 主要从事森林生态及生物技术研究. E-mail: yl-kangbing@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: liusr@forestry. ac. cn

Foundation item: National Key Project for the Tenth Five Year Plant (No. 2001BA510B06); SFA 948 program (No. 2001-14, 2004-4-66)

Received date: 2005-03-03; **Accepted date:** 2005-06-28

Biography: KANG Bing, Ph. D. candidate, mainly engaged in ecosystem management and biology technology. E-mail: yl-kangbing@163.com

composition of Chinese fir plantation in order to increase its species diversity and ecosystem services.

The understorey woody plant is beneficial to maintaining site productivity, species diversity and stability of community. Study on the species richness, interspecific association and correlation can direct the sound practice of vegetation restoration.

There are 71 species in shrub layer in *Cunninghamia lanceolata* plantation after 13 years natural succession. The species richness and diversity have increased with slight anthropogenic disturbance. The status and function of understorey woody species are judged by analysis of important Value. *Ficus hispida*, *Cudrania tricuspidata*, *Mallotus apelta*, *Millettia semicastrata* etc. are the constructive species; *Periploca forrestii*, *Alangium chinese*, *Pueraria thunbergiana*, *Mallotus barbatus* etc. are the subdominant species, *Clerodendron cytophyllum*, *Maesa japonica*, *Randia spinosa*, *Litsea cubeba* etc. are the companion species; *Viburnum dilatatum*, *Cayratia japonica*, *Rubus palmatus* etc. are the rare species.

X^2 statistics and r test are used for testing significance of interspecific association and correlation among 25 main understorey woody plants selecting from the woody population. The results clearly show their interspecific relationships and their differences in resource utilization. Species-pairs of positive association are in the majority. The most species have accommodated the shady habitat.

There is a positive correlation between the important value of species and the interspecific association. The higher important value of the species is, the more close and significant interspecific association is.

Based on analytical results of interspecific association and correlation, 25 woody plants in shrub layer could be divided into 4 ecological species groups: I. *Ficus hispida* + *Antidesma bunius* + *Mallotus barbatus* + *Ficus cunia* + *Saurauia tristyla* + *Mallotus philippinensis* + *Maesa japonica* + *Ficus hirta* + *Alchornea rugosa* + *Ficus fulva* + *Mallotus apelta*; II. *Cudrania tricuspidata* + *Schefflera octophylla*; III. *Cunninghamia lanceolata* + *Clerodendron cytophyllum* + *Millettia semicastrata* + *Randia spinosa* + *Litsea cubeba* + *Litsea pungens*; IV. *Ardisia japonica* + *Psychotria rubra* + *Vitex quinata* + *Cephalanthus occidentalis* + *Pithecellobium lucidum* + *Mycetia sinensis*. If species group III or II are advantaged species in shrub layer, the community would change from coniferous forest to sparse evergreen broad-leaved forest; For group IV, the community would be relatively stable; For group I, the coniferous forest would be mixed coniferous broad leaved forest. The classification of ecological species groups would provide a theoretical basis on judging its ecological function, adjusting the stand structure of plantation and directing the suitable natural vegetation type through the close-natural restoration process.

Key words: the lower subtropical area; *Cunninghamia lanceolata*; man-made forest; close-natural state; understorey shrub composition; interspecific association; interspecific correlation; ecological species groups

杉木(*Cunninghamia lanceolata*)是我国南方特有的速生用材树种,分布较为广泛。由于传统的杉木栽培主要以纯林方式经营,林分结构单一,伴随着过度地砍伐和重茬连栽等人为不利因素,其生态质量下降、生物稳定性变差、地力衰退和产量递减等负效应已引起很多林学家的关注和忧虑,恢复改造杉木纯林已势在必行。杉木林下灌木通过自然演替,使林分结构多元化,其在维持林地养分、水分等小生境因子及群落生态稳定性方面有着重要的作用^[1~3],其主要木本植物在杉木群落中有着较强地生态适应性,一部分兼具优良材性。物种的联结性与相关性是森林群落重要的数量和结构特征之一,它们作为两个物种相似性的一种尺度,对于正确认识群落的结构、功能和分类有着重要的指导意义,并能为森林经营、恢复自然植被和生物多样性保护提供理论依据^[4~9,11,12]。本文采用了种间联结和种间相关的测定方法,对杉木人工林下 13a 自然更新的主要木本植物种间关系进行研究,力图为该区域杉木纯林近自然恢复改造过程中组织经营、配置植被及调节植被间的关系提供科学依据。

1 研究地概况

研究地点处于广西西南边陲,属南亚热带湿润季风气候。境内日照充足,雨量充沛,干湿季节明显(10~翌年3月干季,4~9月湿季),光、水、热资源丰富。年均气温为 20.5~21.7℃,极端高温 40.3℃,极端低温 -1.5℃;≥10℃活动积温 6 000~7 600℃。年均降雨量 1 200~1 500mm,年蒸发量 1 261~1 388mm,相对湿度 80%~84%。主要地貌以低山丘陵为主,有少量的中山,坡度以 25°~30°为主。地带性土壤为砖红性红壤。

在位于该区域的中国林业科学研究院热带林业实验中心大青山试验场,选择 1993 年重茬连栽的杉木林,该林分只进行过少量的间伐抚育措施,人为干扰活动相对较少。杉木平均高 10.9m,平均胸径为 12.9cm,林分密度为 2 867株/hm²。

2 研究方法

2.1 样方设置及数据调查

样方按坡位上、中、下设置 3 个重复,每个重复设立 4 块固定乔木样地,乔木样地大小为 20 m×30m。在每个乔木样地中心

及四角分别设置 5 个 5m×5m 的灌木样方,共有 60 个样方。记录灌木种类、数量、高度、盖度等。

2.2 重要值计算

$$\text{重要值} = \text{相对频度}(\%) + \text{相对密度}(\%) + \text{相对盖度}(\%)^{[6]}$$

重要值取值范围 0~300。

2.3 物种种间联结测度

2.3.1 种间关联 首先将 $S \times N$ (S -种数, N -样方数) 的原始数据矩阵转化为 0,1 形式的二元数据矩阵。然后分别构建种对间的 2×2 联列表,并统计 a, b, c, d 的值,其中 a 为含有两个种 A 和 B 的样方数, b 为只含有种 B 的样方数, c 为只含有种 A 的样方数, d 为两个种都不存在的样方数, n 为样方总数。由于取样为非连续性取样,因此非连续性数据的 x^2 值用 Yates 的连续校正公式^[7~9]计算:

$$x^2 = \frac{[(|ad - bc| - n/2)^2 \times n]}{[(a+b)(b+d)(c+d)(a+c)]}$$

如果 $ad - bc > 0$, 两个种之间呈正联结;如果 $ad - bc < 0$, 两个种之间呈负联结。其关联程度可比较 x^2 表中自由度 $n=1$ 时 $p_{0.05}$ 和 $p_{0.01}$ 的值,得到各种对间联结性的显著性检验。

2.3.2 相关系数 将成对物种的定量数据代入公式,计算种间相关性,并由自由度为 $n-1$ 相关系数表中查出其显著性程度^[9],公式如下:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

式中, x_i, y_i 为两个物种的数量值, $\bar{x}, \bar{y}$ 为其平均值, n 为样方数。这里定量数据用种的重要值^[9]。

3 结果与分析

3.1 林下灌木层物种组成及结构分析

统计分析杉木人工林下经过 13a 自然更新的灌木层(包括灌木和小乔木)的物种的重要值,结果见表 1。共有 71 种,物种较为丰富。对叶榕(*Ficus hispida*)的重要值最大,为 100.43,其次为拓树(*Cudrania tricuspidata*)、白背叶(*Mallotus apelta*)及相思子(*Millettia semicatrata*),重要值分别为 72.43、64.09、62.47,说明它们是当地杉木林下最主要的种群;重要值在 40 以上的种有玉叶金花(*Mussaenda pubescens*)、黑龙骨(*Periploca forrestii*)、八角枫(*Alangium chinese*)、藤构(*Broussonetia kazinoki*),它们在林下分布较均匀;重要值在 30~40 的种有野葛(*Pueraria thunbergiana*)、毛桐(*Mallotus barbatus*)、耳叶榕(*Ficus cunia*)、水东哥(*Saurauia tristyl*)、粗叶榕(*Ficus hirta*)、海金沙(*Lygodium japonicum*)等,它们组成了杉木林下灌木层的优势种群;重要值在 20~30 的种有扁担藤(*Tetrasigma planicaule*)、牵牛(*Ipomoea hederaceae*)、薯蓣(*Dioscorea batatas*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、三叉苦(*Evodia lepta*)、红背山麻杆(*Alchornea trewioides*)。自然萌生更新的杉木,并没有成为林下的优势种,说明其对环境的竞争力不如其他自然侵入的种群;重要值在 10~20 的灌木有 31 种,它们主要为伴生种;重要值 10 以下的有 27 种,为莢迷(*Viburnum dilatatum*)、乌敛莓(*Cayratia japonica*)、悬钩子(*Rubus palmatus*)等,它们在林下分布较少,为偶见种。

3.2 灌木层主要木本种间关联及相关分析

3.2.1 总体种间关联及相关分析 一方面考虑到灌木层主要木本植物的重要值并参照其生长、经济特性;另一方面因为常绿阔叶树为南亚热带地带性顶级树种^[10],其在植被近自然恢复改造中作用突出。因此,以常绿小乔木为主,去除了一些藤本及落叶小乔木,筛选出 25 种木本植物进行种间关联及相关分析,结果见 x^2 和 r 半矩阵图(图 1)。它们种对相关性的统计结果见表 2 和表 3。

从表 2、表 3 及图 1 可以看出,杉木林下灌木层主要木本种间的正联结居多,负联结及无相关种对数较少。尽管 x^2 和 r 统计结果在具体数量上有差异,但总体规律是一致的。 r 分析的显著性与 x^2 分析的结果相比,明显降低,这可能是因为 r 是通过数量指标来分析的,更加全面并接近实际情况,精度更高一些;而 x^2 主要考虑了种对的两个种在样方中出现的频度,以种存在与否的二元数据为依据。 r 检验对 x^2 检验进行了有效补充和完善。

x^2 统计显示 300 对灌木层主要木本植物种对中正关联、负关联及无关联的种对数所占的百分比分别为 87.0%、6.3%、6.7%。正关联占大多数,且显著正关联的种对数居多,而负关联也呈现不显著,说明大部分灌木层主要木本种适应杉木林下荫湿的生境,表现出对生境要求的一致性。重要值较大的物种,如对叶榕、相思子、拓树、白背叶、五月茶、毛桐、耳叶榕、水东哥等,与其他大部分物种间表现出较显著的正关联,说明他们对资源利用更好,它们组成了林下灌木层的优势种群,并成为杉木林下的主要伴生种;重要值处于中间范围的物种,与其他物种的正关联并不显著,如鸭脚木、山苍子、紫金牛、黄毛榕、山石榴等,说明它们不适应林中荫湿的环境,在环境分布上存在差异,有些种表现出中旱生及强阳性的生物生态学特性,如山石榴、山苍子;重要值较低的种,如华腺萼木、亮叶围涎树,它们适合荫湿的环境,彼此之间表现出明显的正联结。灌木层杉木与其他物种间(除

五月茶外)均表现为正关联,也验证了林下大多数物种对杉木群落生境的适应性。

表 1 杉木林中灌木组成及重要值

Table 1 The shrubbery composition and important value in *Cunninghamia lanceolata*

序号 Code	种名 Species	相对频度(%) Relative frequency	相对密度(%) Relative density	相对盖度(%) Relative coverage	重要值 Important value
1	对叶榕 <i>Ficus hispida</i>	1.23	83.24	15.96	100.43
2	拓树 <i>Cudrania tricuspidata</i>	0.49	19.44	52.50	72.43
3	白背叶 <i>Mallotus apelta</i>	0.25	38.84	25.00	64.09
4	相思子 <i>Millettia semicastrata</i>	0.25	40	22.22	62.47
5	玉叶金花 <i>Mussaenda pubescens</i>	9.87	25.78	13.84	49.49
6	五月茶 <i>Antidesma bunius</i>	3.95	16.81	27.55	48.31
7	黑龙骨 <i>Periploca forrestii</i>	0.25	6.25	40.00	46.50
8	八角枫 <i>Alangium chinese</i>	0.74	15.55	30.00	46.29
9	野葛 <i>Pueraria thunbergiana</i>	1.48	16.79	21.49	39.76
10	毛桐 <i>Mallotus barbatus</i>	0.25	18.18	20.00	38.43
11	耳叶榕 <i>Ficus cunia</i>	1.73	26.04	9.38	37.15
12	水东哥 <i>Saurauia tristyla</i>	0.25	11.71	22.72	34.68
13	粗叶榕 <i>Ficus hirta</i>	0.08	21.35	12.00	33.43
14	海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	1.97	10.5	18.08	30.55
15	野蕉 <i>Musa balbisiana</i>	0.99	5.97	23.23	30.19
16	扁担藤 <i>Tetrasigma planicaule</i>	0.49	9.62	18.81	28.92
17	牵牛 <i>Ipomoea hederaceae</i>	0.49	10.84	16.77	28.10
18	薯蓣 <i>Dioscorea batatas</i>	4.93	11.79	10.23	26.95
19	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	4.19	8.43	9.47	22.09
20	三叉苦 <i>Evodia lepta</i>	2.47	8.58	9.76	20.81
21	山麻杆 <i>Alchornea rugosa</i>	0.25	20	0.20	20.45
22	鸭脚木 <i>Schefflera octophylla</i>	0.25	3.03	16.13	19.41
23	大青 <i>Clerodendron cytophyllum</i>	2.96	9.38	6.52	18.86
24	金银花 <i>Lonicera japonica</i>	0.49	16.72	1.47	18.69
25	风箱树 <i>Cephalanthus occidentalis</i>	0.25	10	8.30	18.55
26	杜茎山 <i>Maesa japonica</i>	3.70	6.02	7.28	17.00
27	黄独 <i>Dioscorea bulbifera</i>	2.22	14.24	0.20	16.66
28	紫金牛 <i>Ardisia japonica</i>	0.25	15.79	0.20	16.24
29	黄毛榕 <i>Ficus fulva</i>	1.48	5.22	9.03	15.73
30	山石榴 <i>Randia spinosa</i>	0.25	5.26	10.00	15.51
31	比子草 <i>Desmodium szechuenense</i>	0.25	14.28	0.20	14.73
32	篱打碗花 <i>Calystegia sepium</i>	0.25	14.28	0.20	14.73
33	九节 <i>Psychotria rubra</i>	1.23	7.57	5.76	14.56
34	勒档 <i>Zanthoxylum avicennae</i>	1.97	6.16	4.89	13.02
35	山苍子 <i>Litsea cubeba</i>	0.25	12.5	0.20	12.95
36	吊山桃 <i>Secamone sinica</i>	0.25	12.5	0.20	12.95
37	水丝麻 <i>Maoutia puya</i>	0.74	7.31	4.34	12.39
38	野木瓜 <i>Stauntonia chinensis</i>	0.49	11.47	0.20	12.16
39	粗糠柴 <i>Mallotus philippinensis</i>	0.25	9.82	1.54	11.61
40	木姜子 <i>Litsea pungens</i>	0.74	5.97	4.87	11.58
41	亮叶围涎树 <i>Pithecellobium lucidum</i>	1.48	4.56	5.44	11.48
42	华腺萼木 <i>Mycetia sinensis</i>	0.99	9.29	1.15	11.42
43	山牡荆 <i>Vitex quinata</i>	0.49	2.47	7.36	10.32
44	细齿叶柃 <i>Eurya nitida korthuls</i>	0.49	4.69	5.09	10.27
45	莢迷 <i>Viburnum dilatatum</i>	0.25	3.24	6.00	9.49
46	乌敛莓 <i>Cayratia japonica</i>	5.67	3.33	0.20	9.20
47	地枇杷 <i>Melastoma candudum</i>	0.25	4.35	4.00	8.60
48	鼠刺 <i>Itea chinensis</i>	0.25	4.35	3.70	8.30
49	毛果算盘子 <i>Glochidion eriocarpum</i>	1.23	3.49	3.50	8.22
50	变叶胡椒 <i>Piper mutabile</i>	0.49	3.49	4.22	8.20
51	悬钩子 <i>Rubus palmatus</i>	1.97	3.72	2.45	8.14
52	无须藤 <i>Hosiea sinensis</i>	0.25	6.25	1.41	7.91
53	月桂 <i>Osmanthus marginatus</i>	0.49	1.96	5.39	7.84

续表 1

54	秋枫 <i>Bischofia trifoliata</i>	0.25	2.56	4.72	7.53
55	鬼画符 <i>Breynia fruticosa</i>	0.25	6.67	0.20	7.12
56	红丝线 <i>Hypoestes purpurea</i>	0.25	6.67	0.20	7.12
57	毛木防己 <i>Cocculus sarmentosus</i>	0.25	3.13	3.13	6.51
58	细圆花 <i>Pericampylus glaucus</i>	0.99	5.26	0.20	6.45
59	耳草 <i>Oldenlandia auricularia</i>	1.48	3.6	0.42	5.50
60	野牡丹 <i>Melastoma candidum</i>	0.25	1.47	3.45	5.17
61	红紫株 <i>Callicarpa rubella</i>	0.25	1.47	3.45	5.17
62	绒润楠 <i>Machilus velutina</i>	0.49	3.13	1.54	5.17
63	绞股蓝 <i>Gynostemma pentaphyllum</i>	0.25	3.13	1.54	4.92
64	蕙木 <i>Aralia chinensis</i>	0.25	3.13	1.54	4.92
65	紫金牛 <i>Ardisia japonica</i>	0.25	4.35	0.20	4.80
66	茅瓜 <i>Melothria heterophylla</i>	0.25	4.34	0.20	4.79
67	凤凰木 <i>Delonix regia</i>	0.25	4.16	0.20	4.61
68	鸡血藤 <i>Millettia reticulata</i>	0.25	1.47	1.47	3.19
69	扒地蜈蚣 <i>Tylophora renchangii</i>	0.25	2.56	0.20	3.01
70	大沙叶 <i>Aporosa chinensis</i>	0.25	1.00	0.20	1.45
71	山杜英 <i>Elaeocarpus sylvestris</i>	0.25	0.65	0.20	1.10

表 2 灌木层 25 种木本植物间 χ^2 关联分析统计

Table 2 The statistics of χ^2 association analysis of 25 main woody plants in shrub layer

显著关联的种对数 Species-pairs being significant association		不显著关联的种对数 Species-pairs being no significant association		无关联的种对数 Species-pairs being no association
正关联 Positive	负关联 Negative	正关联 Positive	负关联 Negative	
198	0	63	19	20

表 3 灌木层 25 种木本植物间 r 相关分析统计

Table 3 The statistics of r correlation analysis of 25 main woody plants in shrub layer

显著关联的种对数 Species-pairs being significant association		不显著关联的种对数 Species-pairs being no significant association		无关联的种对数 Species-pairs being no association
正关联 Positive	负关联 Negative	正关联 Positive	负关联 Negative	
120	0	101	37	42

r 统计显示 300 对灌木层主要木本种对中正关联、负关联及无关联的种对数所占的百分比分别为 73.7%、12.3%、14.0%。 r 分析结果中,正关联种对数稍有减少,不显著正关联、负关联及无相关种对数稍有增加。由于用数量检验,结果更精细并接近实际,比如:风箱树-山石榴、大青-毛桐在 χ^2 中无关联,风箱树生长在荫蔽处,山石榴生长在旷野,比较喜光,生境上的差异使两者呈现显著的负相关;而大青和毛桐虽共同具有喜光的习性,毛桐多生长在荫蔽的环境,弱阳性,大青生长在开阔地带,为强阳性,两者生境上又有所差异,应该表现出不显著的正相关。拓树-毛桐、九节-木姜子、大青-风箱树、华腺萼木-粗糠柴、紫金牛-大青、大青-鸭脚木、紫金牛-山石榴等这些种对在 χ^2 中表现出正相关,而 r 检验结果却为负相关,这些种对的两种之间在实际微生境中,都表现出一定的分布差异,它们之间应呈负关联,如拓树和毛桐就其生境特点而言,都属于中生环境小乔木或灌木。但长期适应不同的微环境的结果,两者表现出一定的分布差异,毛桐通常在中生偏湿环境下生长,而拓树则通常在中生偏干的环境下生长,这样二者负相关的机会更大。

3.2.2 生态种组 群落中生态习性相似的种可以联合为一生态种组^[13]。在南亚热带杉木林中,其灌木种群的生态习性并不完全一致。而群落内的种间联结性揭露了群落中不同种类因受小生境因子影响而体现在空间分布上的相互关系^[14]。

按组间联系及种间的亲和力,杉木人工林林下灌木层主要木本种群可分为 4 个亲和力强的种组:Ⅰ. 对叶榕、五月茶、毛桐、耳叶榕、水东哥、粗糠柴、杜茎山、粗叶榕、山麻杆、黄毛榕、白背叶,种组内两两之间 χ^2 值、 r 值都较高,和其他大部分物种种对之间正联结显著性较强,这些种都要求有较高的热量条件和较弱的光照条件,且是群落中灌木层的建群种,在群落中起着极重要的作用,它们不仅数量多,而且分布广、生态幅度大;Ⅱ. 拓树、鸭脚木,这些种耐干旱瘠薄,对生境选择性很广,并具有一定的耐荫性,除与特别喜荫湿的物种(如紫金牛、华腺萼木、风箱树、山牡荆等)有负联结外,与其他物种基本为正联结;Ⅲ. 杉木、大青、相思子、山石榴、山苍子、木姜子,它们种组之间表现为正联结,但与林下大部分喜荫湿的物种之间负联结较多,这些种对光照条件要求较高,主要分布在林分相对稀疏的小生境;Ⅳ. 紫金牛、九节、山牡荆、风箱树、亮叶围涎树、华腺萼木,它们与喜光的物种之间表现出负联结,与其他物种之间大多数为不显著正联结,这些种极喜荫湿的生境,仅分布于林分相对郁闭的区域。

根据各联结生态种组的特点,结合群落的其它特征,可以判断一个杉木森林群落在演替序列中的地位。如果一个杉木群落中灌木层的优势种为以上种组Ⅲ、Ⅰ的种,则被认为该群落是一个不稳定的过渡类型,最终可能会演替成以这些种为优势的稀

疏阔叶林;灌木层若以种组 IV 为优势种,该群落则是在本地区气候条件下的相对稳定的针叶林群落;灌木层以种组 I 为优势的群落则是乔木层从以针叶树为主、针叶林向针阔混交林的过渡类型,这与该林分实际情况相符,乔木层已经有一定数量的通过自然演替的常绿阔叶树。

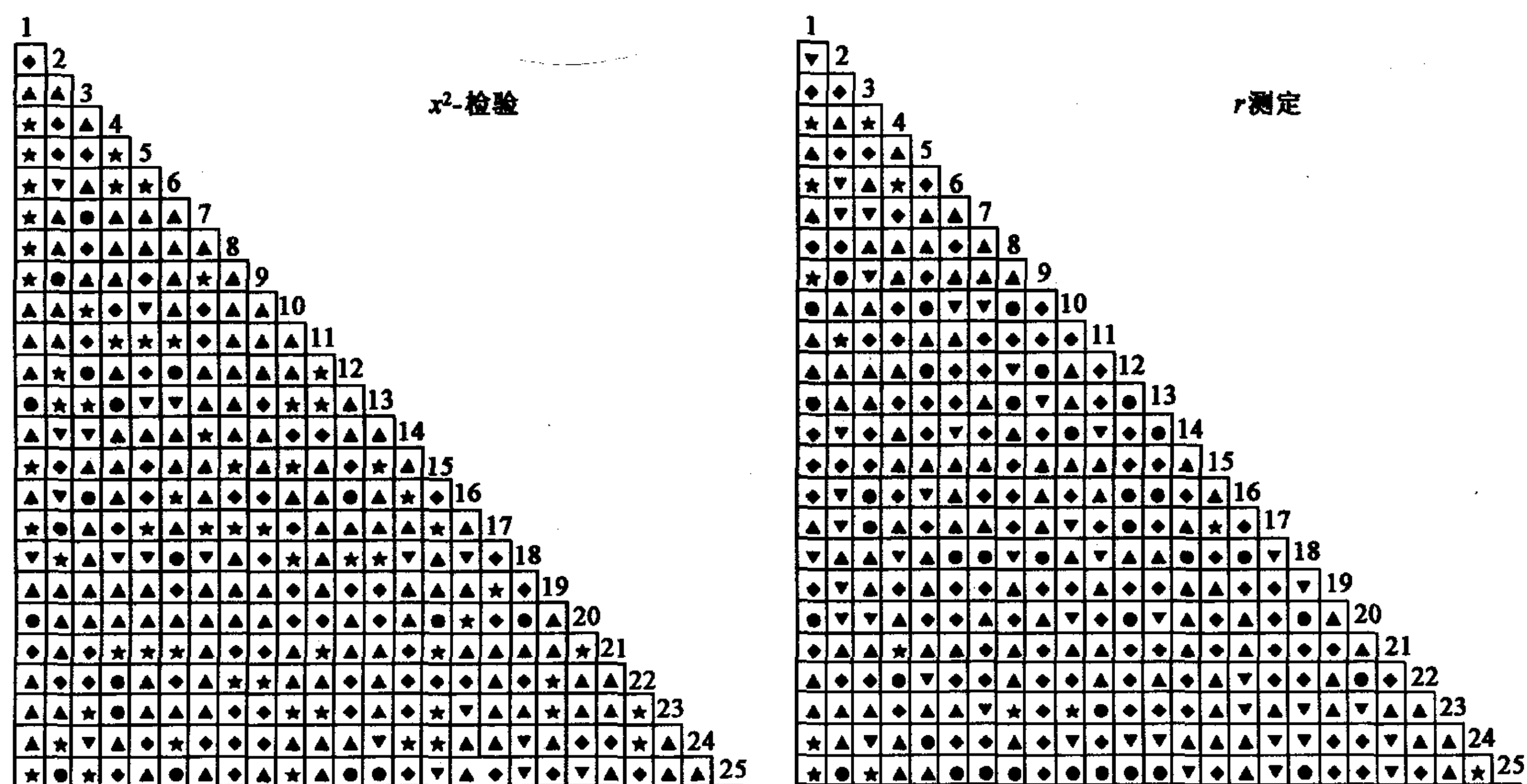


图 1 灌木层 25 种主要木本植物间关联测定半矩阵图

Fig. 1 Half-matrix-diagram of interspecific association test of 25 main woody plants in shrub layer

正联结 Positive association ★ $p \leq 0.01$ (极显著 most significant), ▲ $0.01 < p \leq 0.05$ (显著 significant), ◆ $0.05 < p$ (不显著 no significant);
负联结 Negative association ● $0.05 < p$ (不显著 no significant); ▼ 无关联 no association^[9,11,12]; 种号 1. 对叶榕 2. 拓树 3. 相思子 4. 白背叶 5. 五月茶 6. 毛桐 7. 耳叶榕 8. 水东哥 9. 粗叶榕 10. 杉木 11. 山麻杆 12. 鸭脚木 13. 大青 14. 风箱树 15. 杜茎山 16. 紫金牛 17. 黄毛榕 18. 山石榴 19. 山苍子 20. 九节 21. 粗糠柴 22. 木姜子 23. 亮叶围涎树 24. 华腺萼木 25. 山牧荆 1~25 种名见表 1 Code 1~25 species name are in the table 1

4 结论

4.1 南亚热带杉木人工林林下经过 13a 自然更新所形成灌木层的种共有 71 种,物种较为丰富。灌木层植物大多为常绿阔叶树种。通过重要值分析,杉木林下灌木层的物种中,对叶榕重要值最大,其次为拓树、白背叶及相思子,它们的重要值分别大于 60,是当地杉木林下灌木层最主要的优势种群;重要值在 30~60 的种有玉叶金花、黑龙骨、八角枫、藤构、野葛、毛桐、耳叶榕、水东哥、粗叶榕等,它们组成了林下灌木层的次优势种群。

4.2 x^2 检验方法和 r 公式能够较好的反映出杉木林下灌木层主要木本植物种间联结关系的特点,由于 r 测定利用数量指标,更精细并与实际相符, r 检验对 x^2 检验进行了有效补充和完善。从测定的结果来看,正联结种对占大多数,而负关联也呈现不显著,说明大部分灌木种适应杉木林下荫湿的生境,表现出对生境要求的一致性。

4.3 重要值大小与种间联结性基本呈正相关关系。重要值较大的物种,如对叶榕、相思子、拓树、白背叶、五月茶、毛桐、耳叶榕、水东哥等,与其他大部分物种间表现出较显著的正关联;重要值处于中间范围的物种,与其他物种的正关联并不显著,如鸭脚木、山苍子、紫金牛、黄毛榕、山石榴等,说明它们不适应林中荫湿的环境,在环境分布上存在差异,有些种表现出中旱生及强阳性的生物生态学特性,如山石榴、山苍子;重要值较低的种,如华腺萼木、亮叶围涎树,它们适合荫湿的环境,与其他大多数物种之间正联结不显著,但彼此之间表现出明显的正联结。

4.4 按组间联系及种间的亲和力,可将林下主要木本种群分为 4 个亲和力强的种组。灌木层植物生态联结组的划分对该地区针叶林向针阔混交林过渡类型判别、针叶纯林结构改造、植被生态系统的恢复及重建具有重要的参考价值。

References:

- [1] Liu S R. Nitrogen cycling and dynamic analysis of man-made larch forest ecosystem. *Journal of Plant and Soil*, 1995, **169**:391~397.
- [2] Liu S R, Li X M, Niu L M. The degradation of soil fertility in pure larch plantation in the northeastern part of China. *Ecological Engineering*, 1998, **10**:75~86.
- [3] Yu X B, Zhong L S, Yang W D, et al. Structure of understorey vegetation in eucalyptus plantation. *Chinese Journal of Tropical Crops*,

1999,2(1):66~72.

- [4] Wang B S. *Plant community ecology*. Beijing: Higher Education Press, 1987.
- [5] Guo Z H, Zhuo Z D, Chen J, *et al.* Interspecific association of trees in mixed evergreen and deciduous broad-leaved forest in Lushan mountain. *Acta Phytocologica Sinica*, 1997,21(5):424~432.
- [6] Liu S R, Jiang Y X, Shi Z M, *et al.* *A study on the biological diversity in warm temperate forest in China*. Beijing: China Science and Technology Press, 1998.
- [7] Ludwig J, Reynolds J. *Statistical ecology*. New York: Academic Press, 1991.
- [8] Zhang J T. Review in communities. *Rural Eco-Environment*, 1997,13(4):48~53.
- [9] Zhang J T, Jiao R. Interspecific association between woody plants in shen weigou of guandi mountains. *Bulletin of Botanical Research*, 2003,23(4):458~463.
- [10] Li C H, Yu S Q, Zhou G M. Review of researches in restoration of subtropical evergreen broad-leaved forests. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2002,19(3):325~329.
- [11] Sun Z W, Zhao S D. Interspecific association and correlation of lime-broad leaved Korean pine on the northern slop of Changbai Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1996,7(1): 1~5.
- [12] Li X R. Interspecific association and correlation of shrub layer in the coniferousm broad leaved mixed geobotanical zone of Russia plain. *Acta Ecologica Sinica*, 1999,19(1):55~60.
- [13] Muller-Dombois & Ellenberg H D. Bao X C, *et al* translation. *The objective and method of vegetation ecology*. Beijing: Science Press, 1986.
- [14] Yang Y C, Zhuang P, Li X R. Ecological studies on the forest community of *Castanopsis platy*, *Acantha-schima sinensis*. *Acta Phytocologica Sinica*, 1994,18(2):105~120.

参考文献:

- [3] 余雪标,钟罗生,杨为东,等.按树人工林林下植被结构的研究.热带作物学报,1999,2(1):66~72.
- [4] 王伯荪.植物群落学.北京:高等教育出版社,1987.
- [5] 郭志华,卓正大,陈洁,等.庐山常绿阔叶、落叶阔叶混交林乔木种群种间联结性研究.植物生态学报,1997,21(5):424~432.
- [6] 刘世荣,蒋有绪,史作民,等.中国暖温带森林生物多样性研究.北京:中国科学技术出版社,1998.
- [8] 张金屯.群落中物种多度格局的研究综述.农村生态环境,1997,13(4):48~54.
- [9] 张金屯,焦蓉.关帝山神尾沟森林群落木本植物种间联结性与相关性研究.植物研究,2003,23(4):458~463.
- [10] 李翠环,余树全,周国模.亚热带常绿阔叶林恢复研究进展.浙江林学院学报,2002,19(3):325~329.
- [11] 孙中伟,赵士洞.长白山北坡椴树阔叶红松林群落木本植物间联结性与相关性研究.应用生态学报,1996,7(1):1~5.
- [12] 李新荣.俄罗斯平原针阔混交林群落的灌木层植物种间相关研究.生态学报,1999,19(1):55~60.
- [13] Muller-Dombois & Ellenberg H D. 鲍显诚,等译.植被生态学的目的和方法.北京:科学出版社,1986.
- [14] 杨一川,庄平,黎系荣.峨嵋山峨嵋栲、华木荷群落研究.植物生态学报,1994,18(2):105~120.