

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201405048

农友, 郑路, 贾宏炎, 等. 广西大青山南亚热带森林植物群落的种间联结性 [J]. 广西植物, 2016, 36(7):848-858

NONG Y, ZHENG L, JIA HY, et al. Interspecific associations between south subtropical forest plant community species in Daqingshan of Guangxi [J]. Guihaia, 2016, 36(7):848-858

广西大青山南亚热带森林植物群落的种间联结性

农友^{1,2}, 郑路^{1,2}, 贾宏炎^{1,2}, 卢立华^{1,2}, 明安刚^{1,2}

(1. 中国林业科学研究院 热带林业实验中心, 广西 凭祥, 532600; 2. 广西
友谊关森林生态系统定位观测研究站, 广西 凭祥, 532600)

摘要: 广西大青山地处广西西南部, 对该地区的研究主要集中在人工林, 而对其天然次生林植物群落种间联结性的研究尚未见有报道。该研究基于广西友谊关森林生态系统定位观测研究站 1 km² 固定样地的调查数据, 用方差比率法 (VR) 和基于 2 × 2 联列表, 通过 χ^2 统计量检验、共同出现百分率 (PC)、联结系数 (AC), 对广西大青山主要乔木层 17 个树种、灌木层 8 个树种、草本层 12 个树种的种间联结性进行了研究。方差分析结果表明, 乔木层的总体种间联结性表现为显著正关联, 灌木层的总体种间联结性表现为不显著负关联, 草本层的总体种间联结性表现为不显著正关联。不同检验结果表明, 该区域植物群落主要乔木树种间具有正联结性的种对较多, 大多数乔木树种的种间联结性较紧密; 主要灌木树种的种间联结性较松散, 草本层主要种间表现为弱联结性。物种生态习性、群落演替阶段等因素可能是造成这一特性的主要原因。未来应加强对其自然环境的管理和保护, 如果有必要, 可适度人工干预, 促进天然次生林的演替。该研究结果为进一步研究南亚热带天然次生林植物群落演替规律、维持和保护其物种多样性奠定基础, 也可为该地区人工林的树种选择与配置提供数据支撑, 进而对其人工林的近自然经营提供一定的理论参考。

关键词: 大青山, 优势种, 种间联结性, 天然次生林, 南亚热带

中图分类号: Q948.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2016)07-0848-11

Interspecific associations between south subtropical forest plant community species in Daqingshan of Guangxi

NONG You^{1,2}, ZHENG Lu^{1,2}, JIA Hong-Yan^{1,2}, LU Li-Hua^{1,2}, MING An-Gang^{1,2}

(1. Experimental Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang 532600, China;
2. Guangxi Youyiguan Forest Ecosystem Research Station, Pingxiang 532600, China)

Abstract: The natural secondary forest in Southwest Guangxi is rich in typical forest communities; however, little is known about the inter specific associations of the dominate species. Hence, our objective was to investigate how the dominant species in the communities interact with each other. We sampled 1 km² in the natural secondary forest, selected 17 tree species, 8 shrub species and 12 herb species according to importance values and studied inter specific associations by using variance ratio (VR) analysis and χ^2 -tests, percentage co-occurrence (PC) and association coefficient (AC). There was a significant positive correlation of overall association among trees, an insignificant negative correlation among shrubs, and an insignificant positive correlation among herbs. χ^2 -tests showed that there was a pos-

收稿日期: 2014-07-18 修回日期: 2014-09-10

基金项目: 国家“十二五”农村领域科技计划项目(2012BAD22B0105); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(CAFYBB2012001) [Supported by National Science and Technology Project of “12th Five-Year” in Rural Areas (2012BAD22B0105); Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund (CAFYBB2012001)].

作者简介: 农友(1987-), 男(壮族), 广西龙州人, 硕士, 助理工程师, 森林生态学专业, (E-mail) imnongyou@163.com.

itive association for 81 pairs and a negative association for 19 pairs and 5 pairs did not have a relationship among trees. There was a positive association for 14 pairs and a negative association for 12 pairs and 2 pairs did not have a relationship among shrubs. A positive association was found for 32 pairs and a negative association for 24 pairs and 5 pairs did not show a relationship among herbs. The main tree species were connected more closely whereas main shrub species association was loose and main herb species association is weak. The main causes for different associations were assumed to be ecological habits, community succession stage among others. In the future, the management and protection of the natural environment should be more strengthened, if necessary, manual intervention may be appropriate in order to promote the natural secondary forest succession. The research will provide the information only for understanding the current situation and trends in its plant community succession, but also for the future research on its plant community succession regular and the protection of its species diversity.

Key words: Daqingshan, dominate species, interspecific association, natural secondary forest, south subtropical

种间联结是指不同种类在空间分布上的相互关联性,作为两个物种出现的相似性尺度,是以物种的存在与否为依据,是一种定性的数据(张金屯,2004),是不同物种在不同生境中相互影响、相互作用形成的有机联系的反映(王伯荪等,1989;Greig-Smith,1983),通常是由群落生境的差异影响了物种的分布引起的,它反映了物种相互排斥或相互吸引的性质(周纪纶,1992)。了解种群间的联结性,探讨植物对环境的适应能力(邓福英和臧润国,2007),有助于了解森林群落数量结构特征和种群对环境资源利用的相似性,对正确认识群落中各个物种之间的相互作用以及群落的组成、结构、功能和分类有重要的指导意义(王伯荪和彭少麟,1985;张金屯,2004),并能为植物的经营管理、自然植被恢复和生物多样性保护提供理论依据(宋永昌,2001;张金屯,2004;许涵等,2008)。

广西大青山地处广西西南部,对该地区的研究主要集中在人工林(康冰等,2009,2010;明安刚等,2013),天然次生林的研究较少(康冰等,2006),种间联结性的研究尚未见报道。开展大青山天然次生林植物群落种间联结性的研究,可以看出大青山天然次生林植物群落的演替现状及趋势,了解演替过程中群落种对间的相互作用,可为进一步研究南亚热带天然次生林植物群落演替规律、维持和保护其物种多样性奠定基础,也可为该地区人工林的树种选择与配置提供数据支撑,进而对人工林的近自然经营提供一定的理论参考。

1 研究区自然条件

研究区域地处南亚热带南缘,与北热带毗邻,属

于南亚热带季风气候(康冰,2007)。位于 $21^{\circ}57'47''\sim 22^{\circ}19'27''$ N, $106^{\circ}39'50''\sim 106^{\circ}59'30''$ E。年平均气温 21.5°C ,最冷月(1月)平均气温为 13.5°C ,最热月(7月)平均气温为 27.6°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 $7\ 500^{\circ}\text{C}$,年降雨量 $1\ 400\ \text{mm}$ 。大青山主峰海拔为 $1\ 045\ \text{m}$,河谷高度在 $130\sim 150\ \text{m}$ 。地带性土壤为中酸性火山岩和花岗岩发育而成的砖红壤(含紫色土),土层平均厚度为 $0.5\sim 1.0\ \text{m}$ (黄承标等,2011)。大青山主峰地形复杂,气温高,雨量充沛,湿度大,地形陡峭,人为干扰较少。本次调查的群落位于大青山海拔 $900\sim 1\ 040\ \text{m}$ 的山地,组成植物以常绿阔叶树种为主。

2 研究方法

2.1 样地构建及野外调查

2013年,经过实地踏查,选择大青山天然次生林保存较好的大青山山顶东北坡,海拔 $960\sim 1\ 040\ \text{m}$,参照巴拿马 Barro Colorado Island (BCI) $50\ \text{hm}^2$ 热带雨林样地的技术规范及中国森林生物多样性监测网络统一的调查方法,结合当地地形地貌,将样地设置为 $1.0\ \text{hm}^2$ 的固定样地,进行长期观测。用全站仪将 $1.0\ \text{hm}^2$ (东西宽 $100\ \text{m}$,南北长 $100\ \text{m}$)样地划分出25个 $20\ \text{m}\times 20\ \text{m}$ 的样方,再把每个 $20\ \text{m}\times 20\ \text{m}$ 的样方划分成4个 $10\ \text{m}\times 10\ \text{m}$ 和16个 $5\ \text{m}\times 5\ \text{m}$ 的小样方,每个 $20\ \text{m}\times 20\ \text{m}$ 样方的4个角用带有样方编号的水泥桩作永久标记。

以 $5\ \text{m}\times 5\ \text{m}$ 小样方为基本调查单元,对每个 $\text{DBH}\geq 1.0\ \text{cm}$ 的木本植物挂铝牌标记,记录种名、胸径、树高、坐标等。每个 $20\ \text{m}\times 20\ \text{m}$ 的样方中,选择东北角及西南角共两个 $5\ \text{m}\times 5\ \text{m}$ 小样方作为灌草层的调查样方,记录 $\text{DBH}<1.0\ \text{cm}$ 灌木和草本植

物的种名、个体数、高度、盖度等数据。调查植物共 136 种,其中乔木 83 种,灌木 31 种,草本 22 种。全部野外工作于 2013 年 12 月至 2014 年 1 月完成。

2.2 重要值的测定

乔木重要值 (IV) = 相对多度 (%) + 相对频度 (%) + 相对胸高断面面积 (%); 灌木重要值 (IV) = 相对多度 (%) + 相对频度 (%) + 相对盖度 (%); 重要值范围为 0~300%。

2.3 总体联结性的测定

用方差比率法 (VR) 确定总体的联结性 (Schluter, 1984), 用 W 检验关联的显著性 (周叶先等, 2000)。计算公式:

$$\delta_T^2 = \sum_{i=1}^S P_i(1 - P_i), P_i = n_i/N \quad (1)$$

$$S_T^2 = 1/N \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2 \quad (2)$$

$$VR = S_T^2/\delta_T^2 \quad (3)$$

$$W = N \cdot VR \quad (4)$$

式中, S 为物种总数, N 为样方总数, T_j 为样方 j 内出现的物种总数, n_i 为物种 i 出现的样方总数, t 为样方中种的平均数, 即 $t = (T_1 + T_2 + \dots + T_n)/N$ 。公式在假设条件下, VR 的期望值是 1, 当 $VR=1$ 时, 符合所有种间无关联的假设, 当 $VR>1$ 时, 种间为净的正关联, 当 $VR<1$ 时, 种间为净的负关联。

2.4 种间联结性测定

基于建立的 2×2 联列表, 以 χ^2 统计量为基础, 结合共同出现百分率 PC 及联结系数 AC 确定种间联结性 (Dice LR, 1945; 张金屯, 2004)。 2×2 联列表样式如表 1。

2.4.1 χ^2 统计量的计算及其检验 首先将物种在样方中出现与否的原始数矩阵转化为 $S \times N$ (S 为种数, N 为样方数) 形式的二元数据矩阵, 即 0, 1 矩阵 (0 为不出现, 1 为出现)。然后分别对种对构建 2×2 联列表, 并统计 a, b, c, d 的值, 其中 a 为两个物种 A 和 B 均出现样方数, b 为物种 B 出现物种 A 不出现的样方数, c 为物种 A 出现物种 B 不出现的样方数, d 为两个物种 A 和 B 都不出现的样方数 (王伯荪和彭少麟, 1985)。假设物种 A 和 B 相互独立, 没有关联, 可以通过 χ^2 值来检验这一假设。由于取样为非连续性取样, 用 Yates 连续校正公式计算 (张金屯, 2004)。即:

$$\chi^2 = [(|(ad-bc) - N/2| \times N) / [(a+b)(b+c)(c+d)(a+c)]] (自由度 P=1) \quad (5)$$

表 1 2×2 联列表样式

Table 1 2×2 contingency table template

		物种 B Species B		
		出现的样方数 Appearance plot number	不出现的样方数 Disappearance plot number	
物种 A Species A	出现的样方数 Appearance plot number	a	b	a+b
	不出现的样方数 Disappearance plot number	c	d	c+d
		a+c	b+d	a+b+c+d

式中, N 为样方总数, 当 $ad>bc$ 时, 为正联结; 当 $ad<bc$ 时, 为负联结。若 $P>0.05$, 即当 $\chi^2<3.841$ 时, 种对相互独立的假设成立, 它们独立分布, 即为中性联结; 若 $P<0.01$, 即当 $\chi^2>6.635$ 时, 种对相互独立的假设不成立, 种间联结为极显著; 若 $0.01<P<0.05$, 即当 $3.841<\chi^2<6.635$ 时, 种间联结为显著。

2.4.2 共同出现百分率 PC PC 值用来测定种间的正联结程度, 公式为:

$$PC = a / (a+b+c) \quad (6)$$

式中, PC 值的范围介于 0 到 1 之间, 其值越接近于 1, 表明种对间的正关联程度越大, 无关联时为 0 (王伯荪和彭少麟, 1985; 王伯荪, 1986; 郭志华等, 1997)。

2.4.3 联结系数 AC 联结系数 AC 用来进一步检验由 χ^2 所测定出的结果及说明种间联结程度。

若 $ad \geq bc$,

$$则 AC = (ad-bc) / [(a+b)(b+d)] \quad (7)$$

若 $bc > ad$ 且 $d \geq a$,

$$则 AC = (ad-bc) / [(a+b)(a+c)] \quad (8)$$

若 $bc > ad$ 且 $d < a$,

$$则 AC = (ad-bc) / [(b+d)(d+c)] \quad (9)$$

式中, AC 值的范围介于 -1 到 1 之间, 其值越接近于 1, 表明物种的正联结性越强; 其值越接近于 -1, 表明物种的负联结性越强; 其值为 0 时, 种对间表现出相互独立的特点 (王伯荪和彭少麟, 1985; 王伯荪, 1986; 郭志华等, 1997)。

2.5 数据处理

所有数据均在 Excel 2003 (Microsoft Corporation)

表 2 主要种群的重要值
Table 2 Important values of main species

编号 No.	乔木层植物名称 Tree layer plant name	重要值 IV (%)	编号 No.	灌木层植物名称 Shrub layer plant name	重要值 IV (%)	编号 No.	草本层植物名称 Herb layer plant name	重要值 IV (%)
1	大叶栎 <i>Quercus griffithii</i>	30.40	1	大叶栎 <i>Quercus griffithii</i>	81.12	1	阔片短肠蕨 <i>Allantodia matthewii</i>	112.75
2	锈毛梭子果 <i>Eberhardtia aurata</i>	26.03	2	菝葜 <i>Smilax china</i>	38.42	2	楼梯草 <i>Elatostema involucratum</i>	29.70
3	鹿角锥 <i>Castanopsis lamontii</i>	20.63	3	海南山龙眼 <i>Helicia hainanensis</i>	31.98	3	高秆珍珠茅 <i>Scleria terrestris</i>	27.08
4	尖连蕊茶 <i>Camellia cuspidata</i>	15.71	4	锈毛梭子果 <i>Eberhardtia aurata</i>	31.34	4	扁柄沿阶草 <i>Ophiopogon compressus</i>	23.11
5	木姜子 <i>Litsea pungens</i>	12.49	5	尖连蕊茶 <i>Camellia cuspidata</i>	25.53	5	苦竹 <i>Pleioblastus amarus</i>	20.87
6	罗浮锥 <i>Castanopsis fabri</i>	12.36	6	柠檬金花茶 <i>C. limonia</i>	14.47	6	广西省藤 <i>Calamus guangxiensis</i>	16.35
7	鸭公树 <i>Neolitsea chunii</i>	12.19	7	鸭公树 <i>Neolitsea chunii</i>	13.07	7	华山姜 <i>Alpinia chinensis</i>	14.01
8	广东琼楠 <i>Beilschmiedia fordii</i>	11.91	8	桃叶珊瑚 <i>Aucuba chinensis</i>	10.51	8	镰羽贯众 <i>Cyrtomium balansae</i>	9.81
9	环鳞烟斗柯 <i>Lithocarpus corneus</i>	11.74				9	灰绿耳蕨 <i>Polystichum eximium</i>	9.69
10	桂南木莲 <i>Manglietia chingii</i>	11.69				10	蜘蛛抱蛋 <i>Aspidistra elatior</i>	7.74
11	柠檬金花茶 <i>Camellia limonia</i>	9.63				11	短穗鱼尾葵 <i>Caryota mitis</i>	7.68
12	海南山龙眼 <i>Helicia hainanensis</i>	9.00				12	狭翅巢蕨 <i>Neottopteris antrophyoides</i>	5.86
13	腺叶桂樱 <i>Laurocerasus phaeosticta</i>	8.70						
14	白背桐 <i>Mallotus apelta</i>	7.09						
15	桃叶珊瑚 <i>Aucuba chinensis</i>	6.73						
16	革叶算盘子 <i>Glochidion daltonii</i>	6.28						
17	青藤公 <i>Ficus langkokensis</i>	5.81						

和 SPSS18.0 等软件下进行处理分析和制图。

3 结果与分析

3.1 种群的重要值

由于植物种类较多,根据每个物种的重要值排序,选取重要值较大的种群进行了种间联结性的计算和分析。参与分析的物种包括乔木 17 种,灌木 8 种,草本 12 种。选取物种的重要值如表 2 所示。

3.2 群落的总体联结性

根据调查数据,计算种群间的总体联结性(表

3)。表 3 结果表明,大青山天然次生林植物群落乔木、灌木、草本 3 个层次的优势种种间联结性存在明显差异。乔木层的 $VR = 6.451 > 1$,表明总体上种间存在一定的正联结,其显著性统计量 W 为 161.277,以自由度查询相应的 χ^2 值(杜荣骞, 2003),即 $\chi^2_{0.05(25)} = 14.61$, $\chi^2_{0.95(25)} = 37.65$, W 值落入 $\chi^2_{0.05(25)}$ 与 $\chi^2_{0.95(25)}$ 区间之外,且大于 $\chi^2_{0.95(25)}$ 值,表明乔木层群落总体上的正联结程度达到显著水平;灌木层的 $VR = 0.839 < 1$,表明总体上种间存在一定的负联结,其显著性统计量 W 为 20.969, W 值落入 $\chi^2_{0.05(25)}$ 与 $\chi^2_{0.95(25)}$ 之间,表明灌木层群落总体上的负联结程度不显著;

表3 种群间的总体联结性

Table 3 Overall associations among populations

层次 Layer	方差比率 VR	检验 统计量 W	χ^2 临界值 χ^2 -tests ($\chi^2_{0.95(N)}$, $\chi^2_{0.05(N)}$)	测度结果 Result
乔木层 Tree layer	6.451	161.25	(14.61, 37.65)	显著正关联 Significant positive correlation
灌木层 Shrub layer	0.839	21.00	(14.61, 37.65)	不显著负关联 Insignificant negative correlation
草本层 Herd layer	1.151	28.93	(14.61, 37.65)	不显著正关联 Insignificant positive correlation

草本层的 $VR = 1.151 > 1$, 表明总体上种间存在一定的正联结, 其显著性统计量 W 为 28.93, W 值落入 $\chi^2_{0.05(25)}$ 与 $\chi^2_{0.95(25)}$ 之间, 表明草本层群落总体上的正联结程度不显著。

3.3 主要种群的联结性

3.3.1 乔木层优势种群的联结性 大青山天然次生林乔木层优势种群间的共同出现百分率 (PC) 半矩阵图、联结系数 AC 半矩阵图、 χ^2 检验数据半矩阵如图 1 和表 4 所示。由于锈毛梭子果和广东琼楠均出现在所有的调查样方中, 与之配对的共 31 个种对无法计算出 χ^2 值及 AC 值。

χ^2 结果显示 (表 4), 有 20 个种对的种间联结达到显著或极显著水平 ($3.841 < \chi^2 < 6.635$ 或 $\chi^2 > 6.635$), 这些种对的物种大部分来自群落的中上层, 他们在群落所处的位置相似, 存在一定的互利关系。 PC 值分析结果 (图 1:a) 显示, 所有种对间均呈现正的联结性, 其中广东琼楠和锈毛梭子果、白背桐和鸭公树、尖连蕊茶和腺叶桂樱这 3 个种对间存在极强的正联结性 (PC 值接近 1)。 AC 值分析结果显示 (图 1:b), 正联结种对数为 81 个, 负联结种对数为 19, 5 个种对表现出完全相互独立的特点 ($AC = 0$)。其中, 有 6 个种对出现强的正联结, 白背桐和鸭公树、桃叶珊瑚和鸭公树的 AC 值均为 1, 11 个种对为强的负联结 ($AC = -1$)。

χ^2 检验结合共同出现百分率 (PC)、联结系数 AC 的分析结果表明, 检验中正联结种对数较多, 在 105 个种对中, 达到显著和极显著正联结的种对 20 个; 不显著联结的种对数为 85 个, 其中正联结 61 个, 占总对数的 71.77%, 负联结 19 个, 占 22.35%,

无联结 5 个, 占 5.88%, 这与总体种间联结性检验的方差比率 VR 值的结果一致, 乔木层优势种群正联结性明显。

3.3.2 灌木层优势种群种对的联结性 大青山天然次生林优势灌木种群间的共同出现百分率 (PC) 半矩阵图、联结系数 AC 半矩阵图及 χ^2 统计数阵如图 2 和表 5 所示。

χ^2 结果显示 (表 5), 灌木层 28 个种对中, 只有菝葜和海南山龙眼 1 个种对的种间联结达到显著水平 ($3.841 < \chi^2 < 6.635$); PC 值分析结果 (图 2:a) 显示, 所有种对间均呈现正的联结性, 其中, 大叶栎与海南山龙眼、锈毛梭子果、尖连蕊茶及海南山龙眼与锈毛梭子果、尖连蕊茶组成的 5 个种对有较强的联结性 ($PC \geq 0.50$), 其他种对为弱联结性 ($PC < 0.50$); AC 值分析结果显示 (图 2:b), 14 个种对为正关联, 12 个种对为负关联, 大叶栎与海南山龙眼、尖连蕊茶和鸭公树 2 个种对无关联 ($AC = 0$)。不同检验结果表明, 灌木种间的联结性较弱。

3.3.3 草本层优势种群种对的联结性 由表 6 和图 3 可知, 扁柄沿阶草和蜘蛛抱蛋之间存在显著的正联结; 灰绿耳蕨和短穗鱼尾葵之间存在极显著的正联结; 广西省藤和华山姜之间存在显著的负联结性; 高秆珍珠茅与灰绿耳蕨、短穗鱼尾葵、苦竹和华山姜、狭翅巢蕨之间的 PC 值为 0 和 AC 值为 -1, 说明它们之间无关联; 苦竹和短穗鱼尾葵之间完全独立 ($AC = 0$)。在众多种对中, 仅有阔片短肠蕨和扁柄沿阶草、楼梯草和阔片短肠蕨、灰绿耳蕨和短穗鱼尾葵、楼梯草和扁柄沿阶草 4 个种对的共同出现百分率 PC 在较高的水平 ($PC \geq 0.50$), 说明他们的正联结性较强, 除此之外, 25 个种对联结系数 AC 在 0 上下波动 ($-0.1 < AC < 0.1$), 联结性较为松散。

草本层 66 个种对中, 达到显著和极显著联结的种对 5 个, 其中极显著正联结 1 个, 显著正联结 1 个, 显著负联结 3 个; 不显著联结的种对数为 61 个, 其中正联结 32 个, 占总对数的 52.46%, 负联结 24 个, 占 39.34%, 无联结 5 个, 占 8.20%。分析结果显示, 草本层呈现出弱的正联结性, 与总体种间联结性检验的方差比率 VR 值的结果一致。

有研究表明, 应用方差比率法对优势种群间的总体联结性进行检验, 再以 χ^2 检验为基础, 结合 PC 、 AC 等值进行分析, 能达到较好的效果 (刘金福等, 2001; 邓贤兰等, 2003; 史作民等, 2011)。这些方法依赖于种存在与否的多元数据, 其测定结果受研

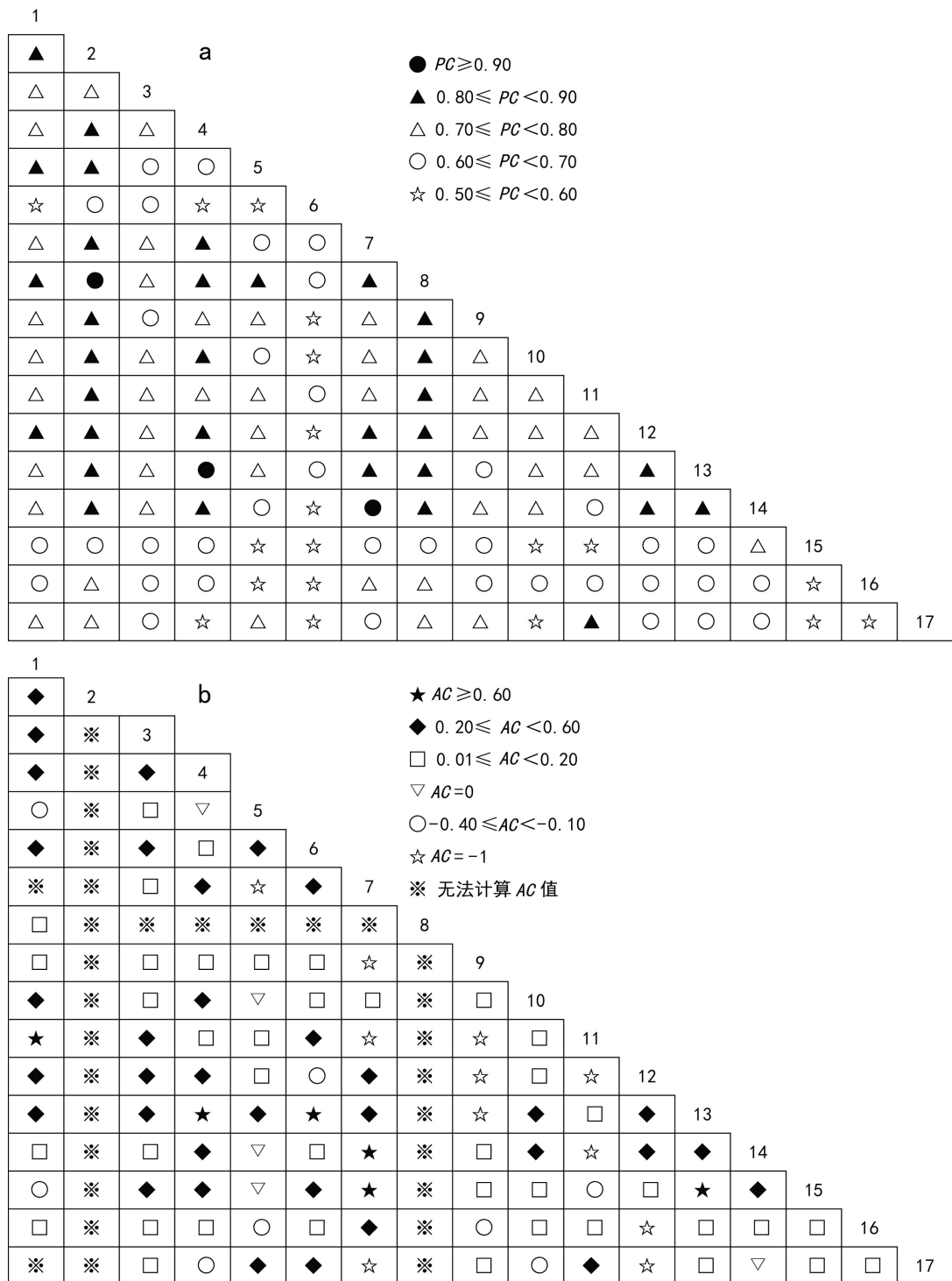


图 1 乔木层优势种群种间联结性半矩阵图 a. PC 值; b. AC 值。种序号: 1. 大叶栎; 2. 锈毛梭子果; 3. 鹿角锥; 4. 尖连蕊茶; 5. 木姜子; 6. 罗浮锥; 7. 鸭公树; 8. 广东琼楠; 9. 环鳞烟斗柯; 10. 桂南木莲; 11. 柠檬金花茶; 12. 海南山龙眼; 13. 腺叶桂樱; 14. 白背桐; 15. 桃叶珊瑚; 16. 草叶算盘子; 17. 青藤公。

Fig. 1 Semi-matrix figure of interspecific association of dominant tree populations Note: a. PC values; b. AC values. Species codes: 1. *Quercus griffithii*; 2. *Eberhardtia aurata*; 3. *Castanopsis lamontii*; 4. *Camellia cuspidata*; 5. *Litsea pungens*; 6. *Castanopsis fabri*; 7. *Neolitsea chuii*; 8. *Beilschmiedia fordii*; 9. *Lithocarpus corneus*; 10. *Manglietia chingii*; 11. *Camellia limonia*; 12. *Helicia hainanensis*; 13. *Laurocerasus phaeosticta*; 14. *Mallotus apelta*; 15. *Aucuba chinensis*; 16. *Glochidion daltonii*; 17. *Ficus langkokensis*.

表 4 乔木层优势种群 χ^2 检验数据半矩阵
Table 4 Semi-matrix table of χ^2 -tests of dominant tree populations

1																	
—	2																
1.76	—	3															
2.68	—	4.44	4														
9.00	—	0.46	0.00	5													
0.45	—	2.34	1.04	1.04	6												
0.76	—	0.16	4.64	0.85	1.01	7											
—	—	—	—	—	—	—	8										
0.29	—	0.00	0.07	0.07	0.20	0.65	—	9									
0.07	—	0.88	6.25	0.00	1.04	0.38	—	0.07	10								
0.76	—	3.40	0.38	0.38	1.01	0.46	—	0.65	0.38	11							
6.51	—	3.40	4.64	0.38	0.06	1.47	—	0.65	0.38	0.46	12						
2.68	—	4.44	14.1	1.56	4.17	4.64	—	1.19	1.56	0.38	4.64	13					
2.68	—	0.88	6.25	0.00	1.04	13.6	—	0.07	1.56	0.85	4.64	6.25	14				
2.43	—	2.34	4.17	0.00	2.78	5.11	—	2.43	1.04	0.06	1.01	4.17	9.38	15			
0.02	—	0.11	0.45	0.20	1.19	2.53	—	0.02	0.45	0.05	1.33	0.45	0.45	1.19	16		
1.14	—	0.11	0.20	3.17	1.19	1.33	—	1.14	0.20	8.77	1.33	0.45	1.69	0.03	0.00	17	

注: 1. 大叶栎; 2. 锈毛梭子果; 3. 鹿角锥; 4. 尖连蕊茶; 5. 木姜子; 6. 罗浮锥; 7. 鸭公树; 8. 广东琼楠; 9. 环鳞烟斗柯; 10. 桂南木莲; 11. 柠檬金花茶; 12. 海南山龙眼; 13. 腺叶桂樱; 14. 白背桐; 15. 桃叶珊瑚; 16. 草叶算盘子; 17. 青藤公。

Note: 1. *Quercus griffithii*; 2. *Eberhardtia aurata*; 3. *Castanopsis lamontii*; 4. *Camellia cuspidata*; 5. *Litsea pungens*; 6. *Castanopsis fabri*; 7. *Neolitsea chunii*; 8. *Beilschmiedia fordii*; 9. *Lithocarpus corneus*; 10. *Manglietia chingii*; 11. *Camellia limonia*; 12. *Helicia hainanensis*; 13. *Laurocerasus phaeosticta*; 14. *Mallotus apelta*; 15. *Aucuba chinensis*; 16. *Glochidion daltonii*; 17. *Ficus langkokensis*.

表 5 灌木层优势种群 χ^2 检验数据半矩阵
Table 5 Semi-matrix table of χ^2 value of dominated shrub populations

1																	
3.52	2																
0.00	4.17	3															
3.17	1.99	0.03	4														
1.04	0.12	0.69	0.53	5													
1.56	1.16	0.26	1.89	1.42	6												
1.04	0.12	0.69	0.03	0.00	0.26	7											
1.19	0.41	0.45	1.85	0.45	0.25	0.45	8										

注: 1. 大叶栎; 2. 菝葜; 3. 海南山龙眼; 4. 锈毛梭子果; 5. 尖连蕊茶; 6. 柠檬金花茶; 7. 鸭公树; 8. 桃叶珊瑚。

Note: 1. *Quercus griffithii*; 2. *Smilax china*; 3. *Helicia hainanensis*; 4. *Eberhardtia aurata*; 5. *Camellia cuspidata*; 6. *Camellia limonia*; 7. *Neolitsea chunii*; 8. *Aucuba chinensis*.

究的尺度(样方大小)、取样方法(数目多少)影响较大(王伯荪和卢泽愚, 1981; 王伯荪和彭少麟, 1985)。本文先用方差比率法对优势种进行总体联

结性分析,再运用 χ^2 统计数阵、共同出现百分率(PC)、联结系数AC对种对间的联结性进行测定,发现,AC值和PC值虽能反映种间联结性的相对强弱,但当两个种都存在于所有的样方中的情况下(锈毛梭子果、广东琼楠),统计量及联结系数AC无法计算。张金屯(2004)的研究表明,在这种情况下,我们就要使用数量数据,比如多度、盖度等,一般通过计算种间相关系数来衡量两种间的相关程度。种间联结性与物种的生物学特性、生态适应性等因素有关,其测定值只是说明竞争的结果或现状,不能揭示其原因及过程。

4 讨论与结论

4.1 优势种群的总体联结

总体上优势种群具有正联结反映了群落具有较强的稳定性(杨一川,1994;杜道林,1995;邓贤兰等,2003)。本研究对大青山天然次生林优势种群间的总体联结性分析结果表明,乔木层群落总体上的正

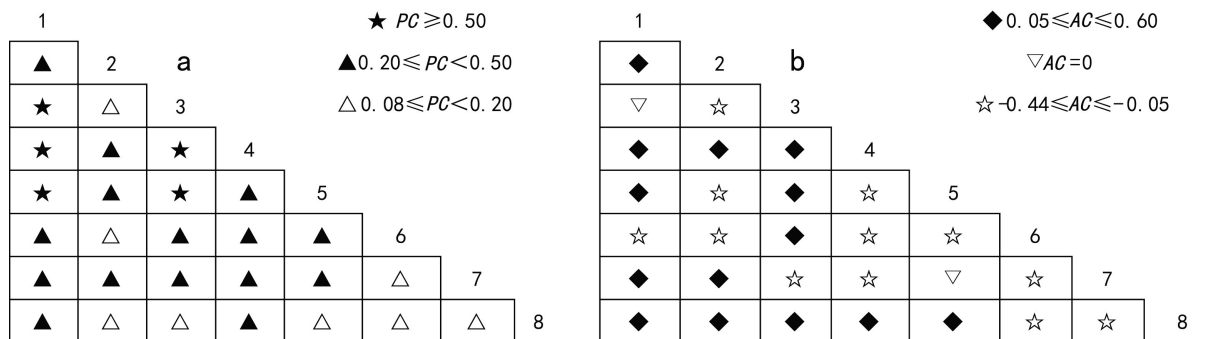


图 2 灌木层优势种群种间联结性半矩阵图 a. PC 值; b. AC 值。种序号:

1. 大叶栎; 2. 菝葜; 3. 海南山龙眼; 4. 锈毛梭子果; 5. 尖连蕊茶; 6. 柠檬金花茶; 7. 鸭公树; 8. 桃叶珊瑚。

Fig. 2 Semi-matrix figure of interspecific association of dominated shrub populations Note: a. PC values;

b. AC values. Species codes: 1. *Quercus griffithii*; 2. *Smilax china*; 3. *Helicia hainanensis*; 4. *Eberhardtia aurata*; 5. *Camellia cuspidata*; 6. *Camellia limonia*; 7. *Neolitsea chunii*; 8. *Aucuba chinensis*.

表 6 草本层优势种群 χ^2 检验数据矩半矩阵

Table 6 Semi-matrix table of χ^2 value of dominated herb populations

1											
0.96	2										
1.85	0.07	3									
2.68	1.47	1.89	4								
0.26	0.36	0.69	0.20	5							
1.56	2.16	0.12	0.53	1.04	6						
0.82	0.34	0.76	0.68	4.91	3.90	7					
1.85	0.07	2.33	0.23	0.69	1.42	0.00	8				
0.41	0.10	5.47	0.00	3.17	0.53	0.01	1.99	9			
0.49	0.99	0.62	4.58	0.18	3.71	0.17	0.01	0.05	10		
0.26	0.16	3.52	0.20	0.00	1.04	0.65	0.69	8.38	0.18	11	
0.33	3.11	0.67	0.11	1.97	1.79	1.65	0.67	0.50	0.01	0.05	12

种序号: 1. 阔片短肠蕨; 2. 楼梯草; 3. 高秆珍珠茅; 4. 扁柄沿阶草; 5. 苦竹; 6. 广西省藤; 7. 华山姜; 8. 镰羽贯众; 9. 灰绿耳蕨; 10. 蜘蛛抱蛋; 11. 短穗鱼尾葵; 12. 狭翅巢蕨。

Species codes: 1. *Allantodia matthewii*; 2. *Elatostema involucreatum*; 3. *Scleria terrestris*; 4. *Ophiopogon compressus*; 5. *Pleiolabium amarus*; 6. *Calamus guangxiensis*; 7. *Alpinia chinensis*; 8. *Cyrtium balansae*; 9. *Polystichum eximium*; 10. *Aspidistra elatior*; 11. *Caryota mitis*; 12. *Neottopteris antrophyoides*.

联结程度达到显著水平;灌木层群落总体上的负联结程度不显著;草本层群落总体上的正联结程度不显著。说明,乔木优势种群对所处的综合生长环境有着相似的反应,生态位在一定程度上出现重叠,乔木群落具有一定的稳定性,并且这种稳定性将随着演替的进行得到逐步加强;但林下的灌草层种间联结关系松散,暗示灌草层还处于不稳定的演替阶段,物种有一定的独立性,种类和数量均处于波动的状态。

这种联结的松散性可能与大青山天然次生林目前的发展阶段及物种本身的生态学特性有关,调查

发现,大青山天然次生林林下灌木和草本的种类、数量、分布范围均不及乔木树种,其物种间相遇的概率较低。今后可加强对种间联结性内在机制及物种与环境之间的耦合关系等方面的研究,进一步从物种生态适应性及生态位、群落结构与动态方面深入了解群落的总体联结性。

4.2 优势种群种对间的联结性

优势种群间的联结性分析,可看出种群间的相互作用及群落组成的动态。植物之间存在直接或间接的相互影响(周先叶等,2000),正联结表明种对

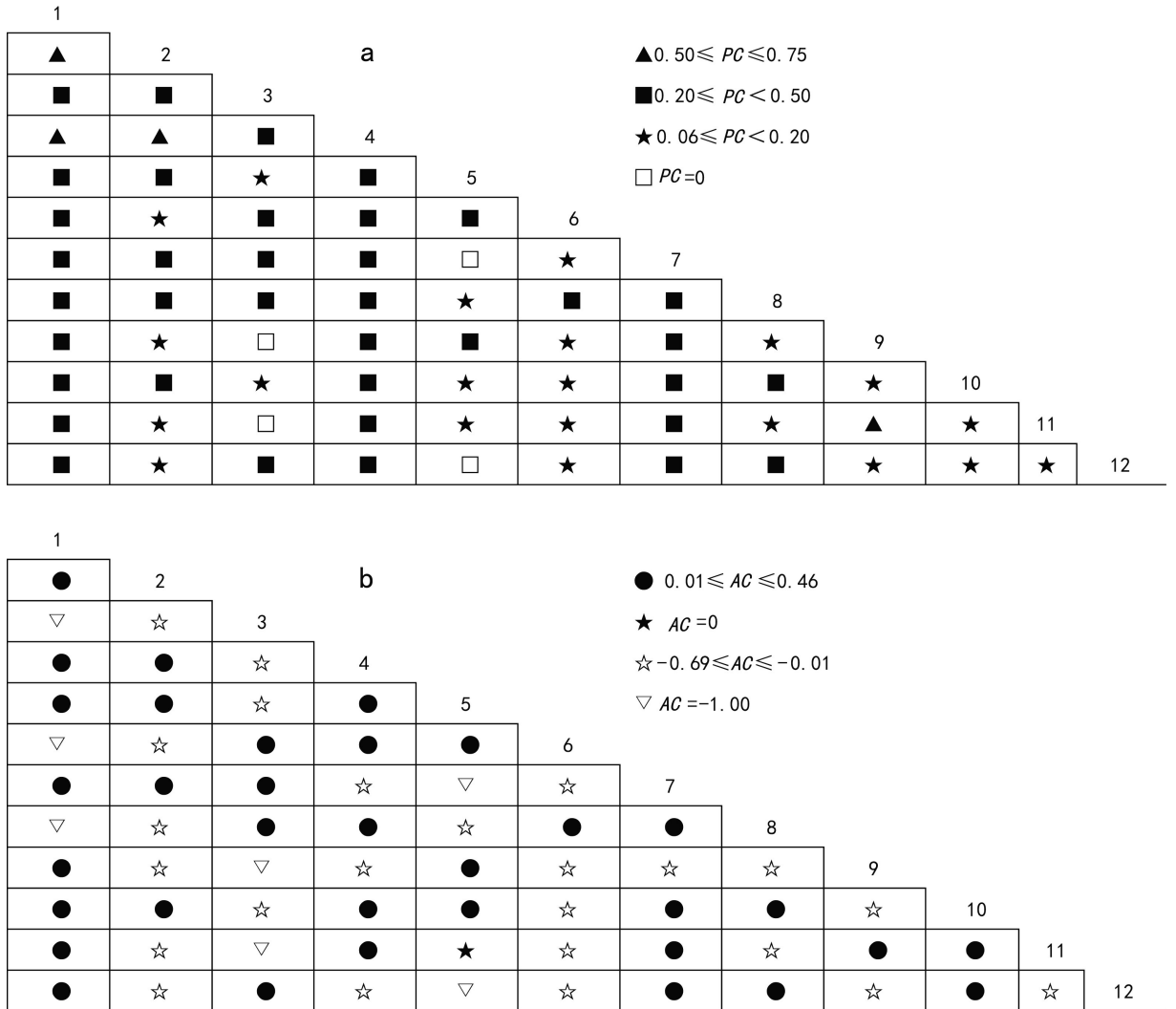


图3 草本层优势种群间联结性半矩阵图 a. PC值; b. AC值。种序号: 1. 阔片短肠蕨; 2. 楼梯草; 3. 高秆珍珠茅; 4. 扁柄沿阶草; 5. 苦竹; 6. 广西省藤; 7. 华山姜; 8. 镰羽贯众; 9. 灰绿耳蕨; 10. 蜘蛛抱蛋; 11. 短穗鱼尾葵; 12. 狭翅巢蕨。

Fig. 3 Semi-matrix figure of interspecific association of dominated herb populations a. PC value; b. AC value. Species codes: 1. *Allantodia matthewii*; 2. *Elastostema involucreatum*; 3. *Scleria terrestris*; 4. *Ophiopogon compressus*; 5. *Pleiolblastus amarus*; 6. *Calamus guangxiensis*; 7. *Alpinia chinensis*; 8. *Cyrtomium balansae*; 9. *Polystichum eximium*; 10. *Aspidistra elatior*; 11. *Caryota mitis*; 12. *Neottopteris antrophyoides*.

间存在至少对一方有利的作用,负联结表明种对间存在至少不利于一方的相互作用机制(许涵等, 2008)。两个物种的正联结程度越高说明它们所需的生长环境条件越相似;反之则表明对生长环境条件的需求有所不同(王伯荪和彭少麟, 1985)。在同一环境条件下,正的联结,可能在某种程度上指示相互作用的存在对一方或双方种是有利的,例如互惠共生或资源划分方面的互补;负的联结,可能表明不利于一方或双方的相互作用,例如种间竞争、干扰(蒋有绪, 1979)。竞争只是生物进化过程中出现的阶段性现象,生物进化的发展方向终将是生物与生

物之间以及生物与环境之间的协同(王德利和高莹, 2005)。许多研究认为,一个种对相关性大,是因为它们具有相似的生物学特性和生态适应性,对环境的适应能力、对资源利用能力、对群落所起的功能作用等均有一致性,因此,它们的关系应该是稳定的(张金屯和焦蓉, 2003; Greig-Smith, 1983)。植物群落内物种间的种间关系与该群落所处的演替阶段密切相关,在群落的演替初期,物种间尚未形成一定的种间关系;演替中期,物种间主要表现为竞争关系;群落演替到达中生阶段时,物种间的关系较为复杂,群落内部处于同一层次的物种由于对生长环境

需求相似而表现出种间联结(周先叶等,2000;Halton & Peters,2003)。种间联结程度与生态位重叠值之间是密切相关的,种间正联结程度越高,生态位重叠程度也越高(彭少麟和王伯荪,1990)。

在生长环境及竞争一致条件下,具有相同或相似生态习性的物种往往共同出现在同一群落中,其种间联结性一般表现为显著的正相关,这在前人的研究中得到了验证(邓贤兰等,2003;邓福英和臧润国,2007),本研究结果进一步证实了这一规律。例如,乔木层具有显著正联结性的种对由尖连蕊茶、腺叶桂樱、白背桐、鸭公树、海南山龙眼等乔木中下层植物组成,这些种一般生于林内潮湿湿润环境内,它们对生境和资源要求有一定的相似性,具有一定的耐荫性,它们之间的显著正联结暗示它们具有较大的生态位重叠;木姜子与白背桐、桂南木莲、桃叶珊瑚、尖连蕊茶、白背桐与青藤公 5 个种对相互独立,它们的生态位重叠度也较小,可能是由于它们对环境具有不同的生态适应性或相互分离的生态位所致,这与其生态习性有关,如木姜子喜光,而尖连蕊茶、桃叶珊瑚性喜温暖湿润的气候环境,耐荫性强。

相对于乔木层,灌草层的联结性则表现出松散及较弱的特性。由于研究区域的生态环境变化并不大,灌木层中具有较大重要值的物种多为上层乔木的优势种的幼苗,个体数量并不大,且他们在研究区域的分布具有一定的随机性,具有较强联结性的种都是具有较大个体数及频度的乔木层幼苗,故其联结性也较大。例如,大叶栎与海南山龙眼、锈毛梭子果、尖连蕊茶及海南山龙眼与锈毛梭子果、尖连蕊茶组成的 5 个种对有较强的联结性。草本层一般居于林下,一般都呈现聚集分布,容易受到林分内小环境的影响,如土壤、水分、郁闭度等的变化都会引起其个体数、种类及分布的变化,因此,草本层的种间联结性呈现较弱联结性可能是物种对生境的不同偏好或相异的生物学特性所致。例如,高秆珍珠茅与灰绿耳蕨、短穗鱼尾葵、苦竹和华山姜、狭翅巢蕨、短穗鱼尾葵五个种对表现出相互独立的特点。所以,灌草层之间总体的联结性较松散是符合实际的。

通过上述分析表明,大青山天然次生林植物群落乔木树种间具有较强的正联结性,大多数乔木树种的种间联结性较紧密;主要灌木树种的种间联结性较松散,草本层主要种间表现为弱联结性。物种生态习性、群落演替阶段等因素可能是造成这一特性的主要原因。大青山天然次生林乔木层的建群种

大叶栎、锈毛梭子果、鹿角锥及其伴生种尖连蕊茶、鸭公树之间存在较强的联结性,它们的个体数及频度都较大,群落中尚未存在具更强的竞争潜力的物种,群落处于较稳定的发展阶段,预示着这些种群将在一定时期内占据并主导大青山天然次生林整个群落的演替方向。未来应加强对其自然环境的管理和保护,如果有必要,可适度人工干预,促进天然次生林的演替。大叶栎在大青山天然次生林中占据优势,野外调查时发现,大叶栎母株下的幼苗个体数量较多,自然更新良好,暗示该种群具有较好的自我更新能力,在群落中具有一定的稳定性且处于动态的发展阶段之中,正在不断更新。因此,大叶栎是该地区人工林树种选择上一个值得考虑的物种。

参考文献:

- COC GW (Translated by JIANG YX), 1979. Methods in plant ecology [M]. Beijing: Science Press: 76-103. [COC GW (JIANG YX, transl, 1979. 普通生态学实验手册 [M]. 北京: 科学出版社]
- DENG FY, ZANG RG, 2007. The identification of functional groups in a secondary tropical montane rain forest of Hainan Island, south China [J]. Acta Ecol Sin, 27: 3240-3249. [邓福英, 臧润国, 2007. 海南岛热带山地雨林天然次生林的功能群划分 [J]. 植物生态学报, 27: 3240-3249.]
- DENG XL, LIU YC, WU Y, 2003. Interconnection among dominant plant populations of *Castanopsis* community in Jinggang Mountain Nature Reserve [J]. Acta Phytoecol Sin, 27:531-536. [邓贤兰, 刘玉成, 吴物, 2003. 井冈山自然保护区栲属群落优势种群的种间联结关系研究 [J]. 植物生态学报, 27:531-536.]
- DICE LR, 1945. Measures of the amount of ecologic association between species [J]. Ecol, 26(3): 297-302.
- DU DL, LIU YC, LI R, 1995. Studies on the interspecific association of dominant species in a subtropical *Castanopsis fargesii* forest of Jinyun Mountain, China [J]. Acta Phytoecol Sin, 19(2): 149-157. [杜道林, 刘玉成, 李睿, 1995. 缙云山亚热带栲树林优势种群间联结性研究 [J]. 植物生态学报, 19(2): 149-157.]
- DU RQ, 1999. Biostatistics [M]. Beijing: Higher Education Press. [杜荣骞, 1999. 生物统计学 [M]. 北京: 高等教育出版社.]
- GREIG-SMITH P, 1983. Quantitative plant ecology [M]. Orlando: University of California Press.
- GUO ZH, ZHUO ZD, CHEN J, et al, 1997. Interspecific association of trees in mixed evergreen and deciduous broad-leaved forest in Lushan Mountain [J]. Acta Phytoecol Sin, 21:424-432. [郭志华, 卓正大, 陈洁, 等, 1997. 庐山常绿阔叶、落叶阔叶混交林乔木种群种间联结性研究 [J]. 植物生态学报, 21: 424-432.]
- HALTON A, PETERS, 2003. Neighbour-regulated mortality: the influence of positive and negative density dependence on tree populations in species-rich tropical forests [J]. Ecol Lett, 2003, 6: 757-765.
- HUANG CB, LU LH, WEN YG, et al, 2011. Vertical distribution of main meteorological elements in Daqingshan forest zone of Guianxi [J]. Guizhou Agric Sci, (1): 90-95. [黄承标, 卢立华, 温

- 远光,等,2011.大青山林区不同海拔高度主要气象要素的变化[J].贵州农业科学,(01):90-95.]
- KANG B,LIU SR,CAI DX, et al, 2009. Effects of *Pinus massoniana* plantation stand density on under story vegetation and soil properties [J]. Chin J Appl Ecol, (10):2 323-2 331. [康冰,刘世荣,蔡道雄,等,2009.马尾松人工林分密度对林下植被及土壤性质的影响[J].应用生态学报,(10):2 323-2 331.]
- KANG B,LIU SR,CAI DX, et al, 2010. Soil physical and chemical characteristics under different vegetation restoration patterns in China south subtropical area [J]. Chin J Appl Ecol, (10): 2 479-2 486. [康冰,刘世荣,蔡道雄,等,2010.南亚热带不同植被恢复模式下土壤理化性质[J].应用生态学报,(10):2 479-2 486.]
- KANG B,LIU SR,WEN YG, et al, 2006. Population dynamics during succession of secondary natural forest in Daqingshan, Guangxi, China [J]. J Plant Ecol, (06):931-940. [康冰,刘世荣,温远光,等,2006.广西大青山南亚热带次生林演替过程的种群动态[J].植物生态学报,(06):931-940.]
- KANG B, 2007. Vegetation characteristics of degraded forest and ecological restoration in Daqingshan, Guangxi [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2007. [康冰, 2007. 广西大青山退化森林植被特征及生态恢复研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2007.]
- LIU JF, HONG W, FAN HB, et al, 2001. Study on the interspecific association of species in the vegetation layer in *Castanopsis kawakamii* forest [J]. Sci Silv Sin, 37:117-123. [刘金福, 洪伟, 樊后保, 等, 2001. 天然格氏栲林乔木层种群间关联性研究[J]. 林业科学, 37:117-123.]
- MING AG, ZHANG ZJ, ZHAN HH, et al, 2013. Effects of thinning on the biomass and carbon storage in *Pinus massoniana* Plantation [J]. Sci Silv Sin, (10):1-6. [明安刚, 张治军, 谌红辉, 等, 2013. 抚育间伐对马尾松人工林生物量与碳贮量的影响[J]. 林业科学, (10):1-6.]
- PENG SL, WANG BS, 1990. Studies on dominant species niche overlapping of the forest community in Dinghushan [M]. Study on the forest ecosystem in subtropical and tropical, 6:19-27. [彭少麟, 王伯荪, 1990. 鼎湖山森林群落优势种群生态位重叠研究[M]. 热带亚热带森林生态系统研究, 6:19-27.]
- SCHLUTER D, 1984. A variance test for detecting species associations, with some example applications [J]. Ecology, 65(3): 998-1 005.
- SONG YC, 2001. Vegetation ecology [M]. Shanghai: East China Normal University Press. [宋永昌, 2001. 植被生态学[M]. 上海:华东师范大学出版社.]
- WANG BS, PENG SL, 1985. Studies on the measuring techniques of interspecific association of the lower subtropical evergreen-broad-leaved forest. The exploration and the revision on the measuring formulas of interspecific association [J]. Acta Phytoecol Geobot Sin, (4):274-285. [王伯荪, 彭少麟, 1985. 南亚热带常绿阔叶林种间联结测定技术研究——I. 种间联结测式的探讨与修正[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, (4):274-285.]
- WANG BS, LI MG, PENG SL, 1989. Acta populations [M]. Guangzhou: Sun Yat-Sen University Press. [王伯荪, 李明亮, 彭少麟, 1989. 植物种群学[M]. 广州:中山大学出版社.]
- WANG DL, GAO Y, 2005. Competitive evolution and coevolution [J]. Chin J Ecol, (10):1 182-1 186. [王德利, 高莹, 2005. 竞争进化与协同进化[J]. 生态学杂志, (10):1 182-1 186.]
- XU H, HUANG JX, TANG GD, et al, 2008. Interspecific associations of dominant trees in communities with *Tsoongiodendron odorum* on Nankunshan [J]. J S Chin Agric Univ, (01):57-62. [许涵, 黄久香, 唐光大, 等, 2008. 南昆山观光木所在群落优势树种的种间联结性[J]. 华南农业大学学报, (01):57-62.]
- ZHANG JT, 2004. Quantitative ecology [M]. Beijing: Science Press: 100. [张金屯, 2004. 数量生态学[M]. 北京:科学出版社: 100.]
- ZHANG JT, JIAO R, 2003. Interspecific association between woody plants in Shenweigou of Guandi Mountains, Shanxi Province [J]. Bull Bot Res, 23: 458-463. [张金屯, 焦蓉, 2003. 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[J]. 植物研究, 23: 458-463.]
- ZHOU JL, 1992. Acta population ecology [M]. Beijing: High Education Press. [周纪纶, 1992. 植物种群生态学[M]. 北京:高等教育出版社.]
- ZHOU XY, WANG BS, LI MG, et al, 2000. An analysis of interspecific associations in secondary succession forest communities in Heishiding Nature Reserve, Guangdong Province [J]. Acta Phytoecol Sin, 24:332-339. [周先叶, 王伯荪, 李鸣光, 等, 2000. 广东黑石顶自然保护区森林次生演替过程中群落的种间联结性分析[J]. 植物生态学报, 24:332-339.]
- [吴建国, 张小全, 徐德应, 2004. 土地利用变化对土壤有机碳贮量的影响[J]. 应用生态学报, 15(4): 593-599.]
- YANG SD, WU J, TAN HW, et al. 2013. Variation of soil fertility in *Eucalyptus robusta* plantations after controlled burning in the red soil region and its ecological evaluation [J]. Acta Ecol Sin, 33(24): 7 788-7 797. [杨尚东, 吴俊, 谭宏伟, 等. 2013. 红壤区桉树人工林炼山后土壤肥力变化及其生态评价[J]. 生态学报, 33(24): 7 788-7 797.]
- YANG XF, LU SW, RAO LY, et al, 2011. Advances in the researches of carbon storage of forest ecology and related factors in China [J]. J NW For Univ, 26(3):73-78. [杨晓菲, 鲁绍伟, 饶良懿, 等, 2011. 中国森林生态系统碳储量及其影响因素研究进展[J]. 西北林学院学报, 26(3):73-78.]
- ZHANG ZJ, 2009. Study on carbon potential and its cost-benefit of afforestation and reforestation activities in Guangxi, China [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry. [张治军, 2009. 广西造林再造林固碳成本效益研究[D]. 北京:中国林业科学研究院.]
- ZHONG JH, LI SY, LAN PL, et al, 2005. Characteristics and causes of soil fertility under *Eucalyptus* plantations in Leizhou Peninsula [J]. Bull Soil Water Conserv, 25(3): 44-48. [钟继红, 李淑仪, 蓝佩玲, 等, 2005. 雷州半岛桉树人工林土壤肥力特征及其成因[J]. 水土保持通报, 25(3): 44-48.]
- ZHOU GS, WANG YH, JIANG YL, et al, 2002. Conversion of terrestrial ecosystems and carbon cycling [J]. J Plant Ecol, 26(2): 250-254. [周广胜, 王玉辉, 蒋延玲, 等, 2002. 陆地生态系统类型转变与碳循环[J]. 植物生态学报, 26(2): 250-254.]

(上接第 775 页 Continue from page 775)