

## 闽楠天然次生林树种间联结性分析

游晓庆<sup>1</sup>, 潘萍<sup>2</sup>, 彭诗涛<sup>3</sup>, 臧颢<sup>2</sup>, 欧阳勋志<sup>2\*</sup>, 宁金魁<sup>2</sup>, 黎芳<sup>4</sup>, 曹梦<sup>2</sup>

(1. 上饶市林业科学研究所, 上饶 334000; 2. 江西农业大学林学院, 南昌 330045; 3. 吉安市林业局, 吉安 343000; 4. 中国林业科学研究院亚热带林业实验中心, 分宜 336600)

**摘要:** 应用方差比率法、 $2 \times 2$  列联表的  $\chi^2$  检验以及 Spearman 秩相关系数对闽楠天然次生林重要值较高的 15 个主要树种进行联结性分析, 同时对目的树种闽楠不同生长期与其他乔木层树种进行关联性分析。结果表明: (1) 物种间总体关联性检验表明 15 个树种总体种间呈不显著正关联, 种间联结较为松散, 树种的分布有一定的独立性; 105 个种对的正负关联比为 0.91, 检验显著率为 9.52%。(2) 林分中闽楠大树 ( $20 \text{ cm} \leq \text{DBH}$ )、中树 ( $10 \text{ cm} \leq \text{DBH} < 20 \text{ cm}$ )、小树 ( $5 \text{ cm} \leq \text{DBH} < 10 \text{ cm}$ ) 与其他乔木层树种所形成的 105 个种对的正负关联比分别为 0.86、0.76 和 0.69, 其检验显著率分别为 11.43%、8.57% 和 5.71%, 均表现为大树 > 中树 > 小树, 种间联结较为松散, 群落处于不稳定发展阶段。

**关键词:** 闽楠; 天然次生林; 种间关联; 相关分析

中图分类号: S757.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2017)04-0630-06

### Interspecific association of *Phoebe bournei* natural secondary forest

YOU Xiaqing<sup>1</sup>, PAN Ping<sup>2</sup>, PENG Shitao<sup>3</sup>, ZANG Hao<sup>2</sup>, OUYANG Xunzhi<sup>2</sup>, NING Jinkui<sup>2</sup>, LI Fang<sup>4</sup>, CAO Meng<sup>2</sup>

(1. Shangrao City Forestry Research Institute, Shangrao 334000; 2. College of Forestry, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045; 3. Ji'an City Forestry Bureau, Ji'an 343000; 4. Experimental Center for Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fenyi 336600)

**Abstract:** We analyzed the associativity of 15 main tree species that have a higher important value in the *Phoebe bournei* natural secondary forest using the variance ratio (VR) test,  $\chi^2$ -test for  $2 \times 2$  contingency table and Spearman's rank correlation coefficient. Meanwhile, we explored the correlation between *Phoebe bournei* from different growing periods and other tree layer species. The main results were as follows: (1) The overall association showed no significantly positive correlation among the 15 tree species, which meant that most of the species in the community were distributed independently. The ratio of positive to negative association of 105 tree species-pairs was 0.91 with a significant rate of 9.25%. (2) Using diameter at breast height (DBH), *Phoebe bournei* was divided into three growth periods such as big tree ( $\text{DBH} \geq 20 \text{ cm}$ ), middle tree ( $10 \text{ cm} \leq \text{DBH} < 20 \text{ cm}$ ) and small tree ( $5 \text{ cm} \leq \text{DBH} < 10 \text{ cm}$ ). The ratio of positive to negative association between *Phoebe bournei* in three growth periods and other 105 tree species-pairs was 0.86, 0.76 and 0.69, with the significant rate of 11.43%, 8.75% and 5.71%, respectively, indicating that the interspecific association and significant rate of the middle tree was lower than that of the big tree, but higher than the small ones. Based on the above analysis results, it would be concluded that the interspecific association between different species was loose and the forest community was in an unstable developing stage.

**Key words:** *Phoebe bournei*; the natural secondary forest; interspecific associativity; correlation analysis

天然次生林是原始林植被经异常自然干扰或人为干预破坏后, 又重新天然更新起来的林分<sup>[1]</sup>, 在我国其面积约占全国森林面积的 1/3, 是我国重要的

森林资源<sup>[2]</sup>。天然次生林中不少林分蓄积量低、质量及其稳定性较差, 因此, 在我国森林资源的开发与利用中加强对天然次生林的恢复与经营具有重要

收稿日期: 2016-11-21

基金项目: 林业公益性行业科研专项 (201504301) 和国家自然科学基金 (31360181) 资助。

作者简介: 游晓庆, 助理工程师。E-mail: youxiao1123@163.com

\* 通信作者: 欧阳勋志, 教授, 博士生导师。E-mail: oyxz\_2003@hotmail.com

意义。种间关联是指不同物种在数量和其空间分布上的相互关联性,能够较客观反映群落的数量和结构特征,对有效了解物种间的物种配置和相互作用,以及认识和揭示群落演替过程、种群生物学特性和种群与环境的关系均具有重要的意义<sup>[3]</sup>,可为森林的经营管理、植被恢复以及生物多样性保护提供理论依据<sup>[4-6]</sup>。闽楠(*Phoebe bournei*)是亚热带常绿阔叶树种,现为国家二级珍稀渐危种,在江西、福建、浙江和湖南等海拔 1 000 m 以下的山地常绿阔叶林中有零散分布。目前有关闽楠天然次生林的地理分布、空间结构、生态特征和种群发展趋势等方面已有较多研究<sup>[7-9]</sup>,但对其树种间联结性的研究尚为缺乏,不利于全面认识其群落结构特征。因此,本研究通过对闽楠天然次生林树种间总体关联性检验及成对树种间关联性检验等分析,以揭示其各树种之间的关系,了解闽楠种群的数量动态和发展趋势,为其有效经营措施的制订提供参考依据,这对闽楠天然次生林保护与经营具有重要的现实意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

安福县(27°4'~27°36' N, 114°~114°47' E)位于江西省中部偏西,吉安市西北部。三面环山,地势东南低,西北高。东北部和南部主要为丘陵和低山地,海拔主要在 300~1 000 m 之间。属亚热带季风湿润气候,年平均气温 17.7 °C,年均降水量 1 553 mm,年无霜期 279 d。土壤类型主要有红壤、

黄壤和黄棕壤等,母岩以砂岩和花岗岩为主。森林资源丰富,主要植被类型有针叶林、针阔混交林、常绿阔叶林和竹林等。灌木以杜茎山(*Maesa japonica*)、欆木(*Loropetalum chinense*)和栀子(*Gardenia jasminoides*)等为主,草本以铁芒萁(*Dicranopteris linearis*)和莎草(*Cyperus iria*)等为主。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 标准地设置与调查** 在研究区共设置了 12 块标准地,其设置与调查方法详见文献[8]。

**1.2.2 主要树种筛选** 根据 12 块标准地的调查结果,其乔木树种达 37 种,但不少树种的株数较少,由于株数太少的树种在空间分布上存在较大的偶然性,故首先采用重要性对种间联结分析的树种进行筛选,剔除重要值低的树种。重要值计算公式如下<sup>[10]</sup>:

重要值=(相对多度+相对频度+相对优势度)/3;

式中:相对多度=(某种的个体数之和/所有种的个体数总和)×100%;

相对频度=(某种的频度/所有种的频度总和)×100%;

相对优势度=(某种的胸高断面积之和/所有种的胸高断面积总和)×100%;

通过对闽楠天然次生林乔木层调查数据的分析,选取重要值大于 0.5 的前 15 个主要树种进行种间联结分析(见表 1)。

表 1 乔木层主要树种重要值

Table 1 Importance values of main tree species in tree layer

序号 Serial number	主要树种 Main tree species	相对多度/% Relative abundance	相对频度/% Relative frequency	相对优势度/% Relative dominance	重要值/% Important value
1	闽楠 <i>Phoebe bournei</i>	35.25	28.40	29.27	30.97
2	毛竹 <i>Phyllostachys heterocycla</i>	23.16	18.48	14.98	18.87
3	丝栗栲 <i>Castanopsis fargesii</i>	9.12	13.19	13.23	11.85
4	拟赤杨 <i>Alniphyllum fortunei</i>	8.19	12.57	10.45	10.40
5	刨花楠 <i>Machilus pauhoi</i>	7.45	8.51	7.15	7.70
6	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	3.46	4.54	4.78	4.26
7	千年桐 <i>Aleurites montana</i>	1.89	2.35	3.70	2.65
8	茅栗 <i>Castanea seguinii</i>	1.79	2.15	2.28	2.07
9	檫木 <i>Sassafras tzumu</i>	1.67	1.32	3.21	2.07
10	木荷 <i>Schima superba</i>	1.88	1.57	1.04	1.50
11	青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	1.01	0.41	1.38	0.93
12	绒毛润楠 <i>Machilus velutina</i>	1.53	0.45	0.71	0.89
13	大叶青冈 <i>Cyclobalanopsis jenseniana</i>	0.49	0.71	0.87	0.69
14	杜英 <i>Elaeocarpus sylvestris</i>	0.49	0.51	0.84	0.61
15	山乌柏 <i>Sapium discolor</i>	0.74	0.35	0.43	0.51

**1.2.3 关联性分析方法** (1) 多物种总体关联性检验。采用 Schluter 所提出的方差比率 ( $VR$ ) 法<sup>[11]</sup>进行测定。计算公式如下:

$$\text{总样方方差: } \sigma_T^2 = \sum_{i=1}^S P_i(1-P_i)$$

$$\text{总种数方差: } S_T^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2$$

$$\text{方差比率: } VR = \frac{S_T^2}{\sigma_T^2}$$

式中:  $S$  为总的物种数,  $P_i = \frac{n_i}{N}$

$N$  为样方的总数,  $n_i$  为物种  $i$  在全部样方中出现的频率,  $t$  为各样方中物种数的平均值,  $T_j$  为在样方  $j$  内出现的物种总数。

所有种间无关联的零假设时值  $VR=1$ , 而  $VR>1$  时表示物种间为正关联,  $VR<1$  时表示物种间为负关联。并采用统计量  $W$  来检验  $VR$  值偏离 1 的显著程度。  $W=VR \times N$

若物种间不显著相关联, 则  $W$  值落入由分布给出的界限内的概率有 90%, 即:

$$\chi_{0.95}^2(N) < W < \chi_{0.05}^2(N), \text{ 当 } W < \chi_{0.95}^2(N), W > \chi_{0.05}^2(N)$$

则物种间总体关联显著。

(2) 成对物种间关联性检验。根据调查数据, 列出物种在样方中出现 (1) 或不出现 (0) 的矩阵表格, 并以此为基础, 列出各种对间的列联表 (见表 2), 然后计算出相应的  $a$ 、 $b$ 、 $c$  和  $d$  的值。

表 2 2×2 联列表  
Table 2 2×2 contingency table

物种 Species	种 B Species B		统计值 Statistic value	
	出现 (1) Appear	不出现 (0) Not appear		
种 A Species A	出现 (1) Appear	$a$	$b$	$a+b$
	不出现 (0) Not appear	$c$	$d$	$c+d$
	统计值 Statistic value	$a+c$	$b+d$	$a+b+c+d$

根据 2×2 列联表的  $\chi^2$  统计量来测定成对物种间的关联性。但其理论分布的分布曲线是连续性数据, 而取样为非连续性取样, 故采用 Yates 的连续性校正公式计算<sup>[12]</sup>:

$$\chi_i^2 = \frac{N(|ad-bc|-N/2)^2}{(a+b)(a+c)(b+d)(c+d)}$$

若  $ad>bc$ , 则表示种对间具有正关联, 反之则表示种对间具有负关联;  $\chi_{0.05}^2(1)=3.841$ ,  $\chi_{0.01}^2(1)=6.635$ , 故: 当  $\chi_i^2<3.841$  时表示种对间无关联的零假设; 当  $3.841<\chi_i^2<6.635$  时表示种对间关联性显著; 当  $\chi_i^2>6.635$  时表示种对间关联性极显著。

(3) 物种间相关分析。利用每个物种重要值作为 Spearman 秩相关分析的定量数据。计算公式如下<sup>[13]</sup>:

$$r(i, k) = 1 - \frac{6 \sum_{j=1}^N d_j^2}{N^3 - N}$$

式中:  $r(i, k)$  代表种  $i$  与种  $k$  之间的相关系数,  $d_j=(x_{ij}-x_{kj})$ ,  $x_{ij}$  和  $x_{kj}$  为物种  $i$  和物种  $k$  在样方  $j$  中的秩,  $N$  为样方数。

**1.2.4 闽楠不同生长期的划分** 目的树种闽楠的生长周期较长, 在不同生长期与其他树种的种间关系可能会发生变化, 因此对不同生长期的闽楠与其他乔木层树种的种间关系进行分析, 以期了解其在不

同生长阶段的种间关系, 以便探讨闽楠种群长期稳定存在的可能机制, 从而提出更为有效具体的经营措施。通过实际调查并结合闽楠的自身生长特性及相关的研究<sup>[3,14]</sup>, 将调查的闽楠划分为 3 个不同生长期, 即大树 ( $20 \text{ cm} \leq DBH$ )、中树 ( $10 \text{ cm} \leq DBH < 20 \text{ cm}$ )、小树 ( $5 \text{ cm} \leq DBH < 10 \text{ cm}$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 树种间的总体关联性

闽楠天然次生林 15 个主要树种的总体关联性检验结果如表 3 所示。由表 3 可知, 总体种间关系为正关联 ( $VR=1.08>1$ )。由于  $VR$  值没有显著偏离 1 ( $\chi_{0.95}^2(52)<W<\chi_{0.05}^2(52)$ ), 表明 15 个物种总体上正关联不显著, 总体趋于随机性。

### 2.2 树种种对间的关联性

由  $\chi^2$  统计结果 (图 1) 可知, 15 个树种形成的 105 个种对中, 呈正关联的种对数为 45 对, 占总对数的 42.86%, 呈负关联的种对数为 56 对, 占总对数的 53.33%, 呈无关联的种对数为 4 对, 占总对数的 3.81%, 正负关联之比约为 0.80。其中, 极显著正关联的有 1 对, 为拟赤杨-杉木; 显著正关联的有 3 对, 分别为闽楠-刨花楠、闽楠-杜英和闽楠-绒毛润楠; 显著负关联的有 3 对, 分别为闽楠-毛竹、檫木-青冈和檫木-绒毛润楠。15 个种群间检验显著率

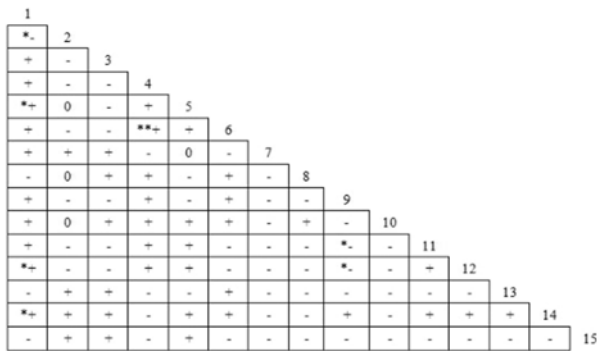
为 6.67%，表明绝大多数种对的种间关联性未达到显著程度，且正关联物种对数小于负关联物种对数，种间联结较为松散，这与总体关联性的检验结果一

致，表明闽楠天然次生林大部分树种间为中性呈独立的分布格局。

表 3 主要树种的总体关联性

Table 3 The overall association of main tree species

方差比率 <i>V/R</i>	检验统计量 Test statistic <i>W</i>	$\chi^2$ 临界值 $\chi^2$ critical value		总体连接性 The overall connectivity
		$\chi_{0.95}^2(N)$	$\chi_{0.05}^2(N)$	
1.08	56.16	36.44	69.83	不显著 Not significant



“\*\*\*+”极显著正关联；“\*+”显著正关联；“+”正关联；“\*\*+”极显著负关联；“\*-”显著负关联；“-”负关联；“0”无关联。种名序号见表 1，下同

“\*\*\*+”,extremely significantly positive correlation; “\*+”,significantly positive correlation; “+”,positive correlation; “\*\*+”extremely significantly negative correlation; “\*-”significantly negative correlation; “-”negative correlation; “0”uncorrelated. species serial number shown in table 1, and the same below

图 1 树种间关联的  $\chi^2$  半矩阵图

Figure 1 Semi-matrix of  $\chi^2$ -test of tree species

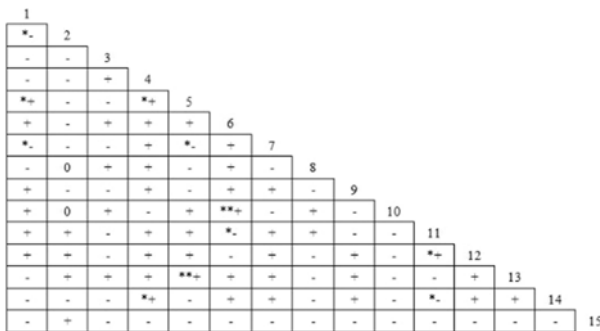


图 2 树种间关联的 Spearman 秩相关分析半矩阵图

Figure 2 Semi-matrix of Spearman's rank correlation coefficients of tree species

Spearman 秩相关分析结果如图 2 所示。15 个树种形成的 105 个种对中，呈正关联的种对数为 49 对，占总对数的 46.67%，呈负关联的种对数为 54 对，占总对数的 51.43%，呈无关联的种对数为 2 对，

占总对数的 1.90%，正负关联之比约为 0.91。其中，极显著正关联的有 2 对，分别为杉木-木荷、刨花楠-大叶青冈；显著正关联的有 3 对，分别为闽楠-刨花楠、拟赤杨-刨花楠和拟赤杨-杜英。显著负关联的有 5 对，分别为闽楠-毛竹、闽楠-千年桐、刨花楠-千年桐、杉木-青冈和杜英-青冈。检验显著率为 9.52%，同样大部分种对的种间关联性并未达到显著程度，种间联结较为松散，与总体关联性的检验结果一致。其正负关联比也是小于 1。Spearman 秩相关分析结果与  $\chi^2$  统计结果较为一致。Spearman 秩相关分析显著率比  $\chi^2$  统计高 2.85%，说明秩相关分析比  $\chi^2$  统计的灵敏度高。因此本研究以 Spearman 秩相关系数检验结果为主，故对不同生长期闽楠与其他乔木层树种间关联性只进行 Spearman 秩相关分析。

### 2.3 不同生长期闽楠与其他乔木层树种对间的关联性

**2.3.1 闽楠大树与其他乔木层树种对间的关联性**  
Spearman 秩相关分析结果如图 3a 所示。15 个树种形成的 105 个种对中，呈正关联的种对数为 48 对，占总对数的 45.71%，呈负关联的种对数为 56 对，占总对数的 53.33%，呈无关联的种对数为 1 对，占总对数的 0.95%，正负关联之比约为 0.86。其中，极显著正关联的有 3 对，分别为杉木-木荷、刨花楠-大叶青冈、绒毛润楠-青冈；显著正关联的有 3 对，分别为闽楠大树-刨花楠、拟赤杨-杉木、拟赤杨-杜英。极显著负关联的有 1 对，为杉木-青冈；显著负关联的有 5 对，分别为闽楠大树-毛竹、闽楠大树-千年桐、刨花楠-千年桐、木荷-檫木、杜英-青冈。检验显著率为 11.43%，表明大部分种对的种间关联性并未达到显著程度，种间联结较为松散。

**2.3.2 闽楠中树与其他乔木层树种对间的关联性**  
Spearman 秩相关分析结果如图 3b 所示。105 个种对中呈正关联的种对数为 44 对，占总对数的 41.90%，呈负关联的种对数为 58 对，占总对数的 55.24%，呈无关联的种对数为 3 对，占总对数的 2.86%，正

负关联之比约为 0.76。其中，极显著正关联的有 1 对，为拟赤杨-杉木；显著正关联的有 4 对，分别为杉木-大叶青冈、杉木-檫木、闽楠中树-绒毛润楠、绒毛润楠-青冈。极显著负关联的有 1 对，为闽楠中树-千年桐；显著负关联的有 3 对，分别为闽楠中树

-毛竹、木荷-檫木、杉木-青冈。检验显著率为 8.57%，同样大部分种对的种间关联性并未达到显著程度，种间联结较为松散。

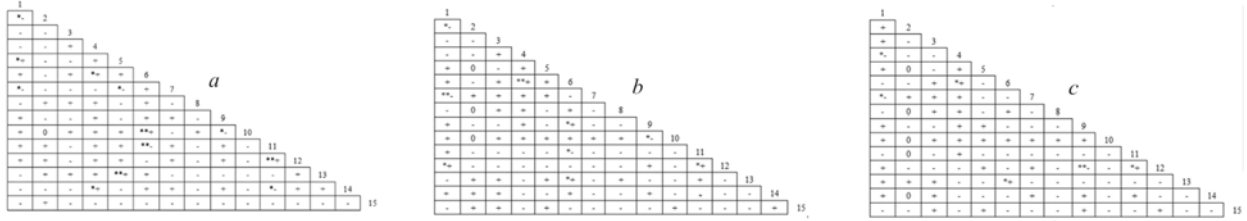


图 3 闽楠不同生长期与其他乔木层树种间的 Spearman 秩相关分析半矩阵图

Figure 3 The semi-matrix of Spearman's rank correlation coefficients of *Phoebe bournei* in different periods and other tree species in the tree layer

**2.3.3 闽楠小树与其他乔木层树种对间的关联性分析** Spearman 秩相关分析结果如图 3c 所示。105 个种对中呈正关联的种对数为 41 对，占总对数的 39.05%，呈负关联的种对数为 59 对，占总对数的 56.19%，呈无关联的种对数为 5 对，占总对数的 4.76%，正负关联之比约为 0.69。其中，显著正关联的有 3 对，分别为拟赤杨-杉木、杉木-大叶青冈、绒毛润楠-青冈。极显著负关联的有 1 对，为檫木-绒毛润楠；显著负关联的有 2 对，分别为闽楠小树-千年桐、闽楠小树-拟赤杨。检验显著率为 5.71%，也表明大部分种对的种间关联性并未达到显著程度，种间联结较为松散。

大竞争。闽楠天然次生林整个林分的正负关联比大于不同生长期闽楠的，检验显著率小于大树阶段而大于中树和小树阶段，这可能是由于林分整体分析时各树种在样方出现的频率相对更高所引起的。

种对间的正关联显著主要是由于它们具有相似的环境需要、相似的生物学特性、或相互重叠的生态位，即 2 个种在竞争中可以利用相同的环境资源（如土壤养分、光照和水分等）。种对间的负关联显著主要是由于它们在竞争中相互排斥，具有不同的环境需求<sup>[18]</sup>。千年桐与不同生长期的闽楠及林分整体均表现出极显著或显著负关联，这可能是由于闽楠为耐阴树种，而千年桐为速生喜阳树种而造成其对环境的需求不一样，而在进化过程中，不同的物种会选择各异的环境适应策略<sup>[19-20]</sup>。种间差异的原因除了物种自身的生长习性外，环境的异质性也是其另一重要原因，如光照、土壤、坡度、林窗等<sup>[21]</sup>，一般认为随着群落的发展，主要树种间逐渐出现显著的正关联<sup>[16]</sup>。因此，为有效地缩短闽楠天然次生林群落演替进程，对于闽楠小树较少的林分可以考虑适当补植闽楠、刨花楠等树种，而根据种对间的关联性分析结果，经营中宜采伐林分中的毛竹，千年桐、拟赤杨等树种也可考虑优先伐除，刨花楠、绒毛润楠、青冈、杉木等树种予以保留，以促进群落向健康稳定的方向发展。

**3 讨论与结论**

本研究表明，闽楠天然次生林 15 个树种间总体表现出正联结性不显著，经 Spearman 秩相关分析发现其 105 个种对间，正负关联比约为 0.91，其检验显著率为 9.52%，大多数种对间的关联性不强，关系松散，这与秦岭华山松天然次生林群落及福建三明次生林栲树种间关联性相似<sup>[15-16]</sup>。而闽楠大树、中树和小树的 105 个种对间，其正负关联比分别约为 0.86、0.76 和 0.69，其检验显著率分别为 11.43%、8.57%和 5.71%，均为大树阶段 > 中树阶段 > 小树阶段，但各阶段都为大多数种对间的关联性不强，关系松散。周先叶等<sup>[17]</sup>认为群落处于一个稳定的状态，其正关联种对数应远远大于负关联种对数，且极显著正关联和显著正关联种对较多。而本研究表明不同生长期的闽楠与其他乔木层所形成的种对其正负关联比均小于 1，在一定程度上说明闽楠天然次生林群落尚未处于稳定状态，树种间依然存在较

**参考文献:**

[1] 朱教君, 刘世荣. 次生林概念与生态干扰度[J]. 生态学杂志, 2007, 26(7): 1085-1093.  
 [2] 张二亮. 天然次生林经营路线研究[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(4): 77-78.  
 [3] 齐麟, 赵福强. 不同采伐强度对阔叶红松林主要树种

- 空间分布格局和物种空间关联性的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(1): 46-55.
- [4] 姜俊, 赵秀海. 吉林蛟河针阔混交林群落优势种群种间联结性[J]. 林业科学, 2011, 47(12): 149-153.
- [5] 靳瑰丽, 董莉莉, 安沙舟, 等. 天山北坡醉马草群落种间关联分析[J]. 草地学报, 2014, 22(6): 1179-1185.
- [6] 周刘丽, 张晴晴, 阎恩荣, 等. 浙江天童枫香树群落不同垂直层次物种间的联结性与相关性[J]. 植物生态学报, 2015, 39(12): 1136-1145.
- [7] 葛永金, 王军峰, 叶荣华, 等. 闽楠地理分布格局及其气候特征研究[J]. 江西农业大学学报, 2012, 34(4) : 749-753.
- [8] 游晓庆, 彭诗涛, 郭孝玉, 等. 闽楠天然次生林林分空间结构研究[J]. 江西农业大学学报, 2016, 38(4): 660-667.
- [9] 刘宝, 陈存及, 陈世品, 等. 福建明溪闽楠天然林群落种间竞争的研究[J]. 福建林学院学报, 2005, 25(2): 117-120.
- [10] 李慧, 陈颐, 林开泰, 等. 福州市城中山与城周山木本植物多样性比较研究[J]. 安徽农业大学学报, 2016, 43(1): 102-110.
- [11] SCHLUTER D. A variance test for detecting species associations, with some example applications[J]. Ecology, 1984, 65(3): 998-1005.
- [12] 丁文慧, 李秀珍, 姜俊彦, 等. 崇明东滩南部河口盐沼植物群落种间关系的数量分析[J]. 应用生态学报, 2016, 27(5): 1417-1426.
- [13] 张锐, 李庆卫. 北京凤凰岭岩生植物优势种群种间关系[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(6): 167-174.
- [14] 郭垚鑫, 胡有宁, 李刚, 等. 长白山红桦种群不同发育阶段的空间格局与关联性[J]. 林业科学, 2014, 50(1): 9-14.
- [15] 张明霞, 王得祥, 康冰, 等. 秦岭华山松天然次生林优势种群的种间联结性[J]. 林业科学, 2015, 51(1): 12-21.
- [16] 周洋, 郑小贤. 福建三明栲树次生林树种间联结性研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(1): 101-106.
- [17] 周先叶, 王伯荪, 李鸣光, 等. 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, 2000, 24(3): 332-339.
- [18] 张岗岗, 王得祥, 张明霞, 等. 秦岭南坡松栎林群落演替过程中种间联结性和相关性研究[J]. 西北植物学报, 2015, 35(8): 1657-1668.
- [19] ZHU Y, MI X C, REN H B, et al. Density dependence is prevalent in a heterogeneous subtropical forest [J]. Oikos, 2010, 119(1): 109-119.
- [20] GONZALEZ M, LADET S, DECONCHAT M, et al. Relative contribution of edge and interior zones to patch size effect on species richness: An example for woody plants[J]. Forest Ecol Manag, 2010, 259(3): 266-274.
- [21] 孙园园, 刘彤, 刘尊驰, 等. 古尔班通古特沙漠南缘优势物种的种间关联特征[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(1): 169-174.