

# 岑王老山常绿落叶阔叶混交林群落优势种种间联结性与种间相关性分析<sup>\*</sup>

于瀛<sup>1</sup>, 罗应华<sup>1,2\*\*</sup>, 刘朝阳<sup>1</sup>, 蒙检<sup>1</sup>, 黄毅杰<sup>3</sup>

(1. 广西大学林学院, 广西南宁 530004; 2. 广西大瑶山森林生态系统国家定位观测研究站, 广西来宾 545700; 3. 广西岑王老山国家级自然保护区管理局, 广西百色 533000)

**摘要:** 种间联结及种间相关性能够反映植物群落中物种间的关系和群落的稳定程度, 对植被的恢复与重建、生物多样性保护等具有重要的意义和价值。本研究基于岑王老山 1 hm<sup>2</sup> 样地中胸径大于 1 cm 的每木调查数据, 采用方差比率法(VR)、种间联结(AC)系数、Ochiai 指数、Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数以及 PCA 排序, 对群落中 13 个优势树种的种间联结性和种间相关性进行分析, 并进行生态种组的划分。结果显示: (1) 群落总体呈现显著正联结, 表明群落正处于演替的稳定阶段; (2) 种间联结性与种间相关性分析中的正负关联比均未超过 1, 但达到显著正关联的种对数明显大于达到显著负关联的种对数, 说明群落整体联结性与群落中达到显著关联的种对数关系更为密切; (3) 相关性检验中虽然结果相似, 但 Spearman 秩相关检验的结果更为灵敏; (4) 生态种组的划分与相关性检验表现出一致性, 说明物种的生态学特性以及对资源的利用方式对其种间关系具有较大的影响。

**关键词:** 种间联结性 种间相关性 相关性检验 生态种组划分 岑王老山

中图分类号: S718.5 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2020)02-0145-09

DOI: 10.13656/j.cnki.gxkx.20200420.001

## 0 引言

森林生物多样性保护是当前世界的研究热点之一, 对于森林生物多样性及其维持机制和演替机制的研究, 必然涉及对森林结构功能及其动态机制的研究<sup>[1]</sup>。森林群落由时间上和空间上彼此相互关联的共存物种所组成<sup>[2]</sup>, 森林在演替的过程中, 群落的结

构, 群落内物种组成、分布及其相互关系也不尽相同。

种间关系是植物群落维持机制和演替机制研究中重要的数量和结构特征之一<sup>[3-5]</sup>。种间联结性和种间相关性都是对一定时期内物种之间相互关系的静态描述<sup>[6]</sup>, 都是指不同物种在空间分布上的关联性, 通常是由森林群落内生境的差异引起的, 这种物种之间的相互关系使群落处于相对稳定的状态<sup>[7]</sup>。其中,

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金项目(31200330)和广西科技厅重大专项(桂科 AB16380254)资助。

### 【作者简介】

于瀛(1994—), 男, 硕士研究生, 主要从事森林生态学研究。

### 【\*\*通信作者】

罗应华(1978—), 男, 硕士生导师, 副教授, 主要从事生物多样性研究, E-mail: 66206540@qq.com。

### 【引用本文】

于瀛, 罗应华, 刘朝阳, 等. 岑王老山常绿落叶阔叶混交林群落优势种种间联结性与种间相关性分析[J]. 广西科学, 2020, 27(2): 145-153.

YU Y, LUO Y H, LIU Z Y, et al. Analysis of Inter-species Association and Inter-species Correlation of Dominant Trees in Evergreen and Deciduous Broad-leaved Mixed Forest in Mt. Cenwanglaoshan [J]. Guangxi Sciences, 2020, 27(2): 145-153.

种间联结性通常以成对物种存在与否作为两个物种出现的相似性的尺度,是定性数据;种间相关性则不局限于物种存在与否的二元数据,同时也取决于他们在样方内的数量多少,是一种定量的相互关系<sup>[8]</sup>。两者结合能够比较客观地测定森林群落种间的关联性,也能更有效地说明群落物种之间的配置状况<sup>[9]</sup>。

岑王老山自然保护区位于广西壮族自治区百色市境内,是一座原始森林,森林群落以常绿落叶阔叶林和混交林为主,自然保护区内森林覆盖面积广泛,具有较高的生物多样性,且生态系统保存较为完好,人为干扰很小。之前对于岑王老山自然保护区的研究多集中于植物资源、植物功能性状、群落空间结构以及群落环境因子调查,而少有对其种间关系的分析。本研究选择岑王老山自然保护区内群落保存完好、演替较为稳定的区域进行研究,在野外群落学调查的基础上,采用方差比率法(VR)、种间联结(AC)系数、Ochiai 指数、Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数检验以及 PCA 排序方法,对岑王老山森林群落主要优势树种之间种间联结性和种间相关性进行测定,以便有效地分析优势树种对之间的相互关系,了解群落的内在联系,并对森林群落优势树种生态种组进行划分,以便进一步研究群落的结构、功能、动态及其演替规律,为岑王老山森林群落的管理和经营以及生物多样性保护提供理论依据<sup>[10]</sup>。

## 1 研究区域和样地概况

### 1.1 研究区域概况

岑王老山国家级自然保护区位于广西壮族自治区西部百色市境内,地处广西盆地和云贵高原的交界地带<sup>[11]</sup>,属滇、黔、桂三省(区)结合部,地理坐标为 E 106°15′—106°27′, N 24°22′—24°32′,地跨田林县浪平、利周及凌云县玉洪等 3 乡 10 个行政村<sup>[12]</sup>,总面积达到 25 212.8 hm<sup>2</sup>,是桂西北地区海拔最高的山地,其中主峰岑王岭海拔达到 2 062 m。该地区处于亚热带与北热带的过渡区域,属于亚热带季风气候。年平均气温为 13.7℃,年极端最高气温达到 29.7℃,极端最低气温为 -7.5℃,年有效积温为 4 527.5℃,年平均降水量为 1 657.2 mm,雨季为 5—10 月,降水量约占全年降水量的 87%—91%,是广西降水量较丰富的区域之一<sup>[13-15]</sup>。

### 1.2 样地概况

样地位于广西岑王老山国家级自然保护区浪平站海拔 1 643 m 处,典型常绿落叶阔叶混交林分布

区,建立 1 hm<sup>2</sup> 固定样地(设置为 100 m×100 m)进行研究。样地的建设方法参考 Center for Tropical Forest Science (CTFS) 样地建设方案进行<sup>[16-17]</sup>。使用全站仪将样地分割为 25 个 20 m×20 m 的样方,再将每个 20 m×20 m 的样方划分为 16 个 5 m×5 m 的小样方,对样方内每一株胸径(DBH)≥1 cm 以上的植株进行每木调查,进行挂牌、编号、测量并记录,包括物种鉴定、胸径、树高以及其相对坐标。

对种间联结性和种间相关性的分析,会受到样方大小选取的影响,样方太大或者太小都不能准确地反映种间关联的性质<sup>[18]</sup>。在中亚热带森林群落种间关系的研究中,欧祖兰等<sup>[19]</sup>对元宝山冷杉主要树木种群联结关系的研究,以及林长松等<sup>[20]</sup>对玉舍国家级森林公园十齿花群落乔木优势树种种间联结性的研究都表明,10 m×10 m 大小样方更能全面体现群落优势树种的种间联结性以及反映整个群落整体特征。因此在本次试验中,将整个大样地分为 100 个 10 m×10 m 的小样方进行种间联结性和种间相关性的研究。

## 2 材料与方法

### 2.1 群落优势树种确定

根据样地初步调查的数据,对样方内每一株胸径(DBH)≥1 cm 以上的物种的重要值进行计算,计算公式为

相对多度=(某一植物个体总数/同一生活型个体总数)×100%,

相对频度=(某一物种的频度/所有物种的总频度)×100%,

相对显著度=(某一物种的胸高断面积之和/所有物种的胸高断面积之和)×100%,

重要值=(相对多度+相对频度+相对显著度)/3。

以重要值作为反映物种在群落中作用和地位的指标<sup>[21]</sup>,重要值≥2 的树种即为优势树种。

### 2.2 种间联结性

#### 2.2.1 总体联结性

采用方差比率法(VR)<sup>[22]</sup>来测定群落优势物种间的总体联结性,首先做零假设,即主要种群之间不存在显著关联性:

$$VR = \frac{S_T^2}{\delta_T^2} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2}{\sum_{i=1}^s P_i (1 - P_i)} \quad (P_i = \frac{n_i}{N}), \quad (1)$$

式中,  $S_T$  为所有样方物种数的方差,  $\delta_T$  为所有物种出现频度的方差,  $N$  为总样方数,  $T_j$  为样方内的物种总数,  $t$  为样方中种的平均数,  $S$  为总的物种数,  $n_i$  为物种出现的样方个数, VR 就是全部物种的关联指数, 在独立零假设条件下的期望值为 1; 当  $VR > 1$  时, 表示种群之间呈现总体正关联性; 当  $VR < 1$  时, 则表示种群之间呈现总体负关联性; 当  $VR = 1$  时, 即表示种群间符合无关联的零假设。

采用统计量  $W = VR \times N$  来检验 VR 值偏离 1 的显著程度, 若是种群间关联性不显著, 则  $W$  落入  $\chi^2$  临界值范围之内, 即  $\chi_{0.95}^2(N) < W < \chi_{0.05}^2(N)$ ; 否则, 认为种群之间总体关联性显著。

### 2.2.2 各优势种种对间的联结性

种间联结性采用  $2 \times 2$  列联表统计数据, 计算种间联结系数(AC)<sup>[23]</sup>来检验种间联结的相关系数, 联结系数(AC)根据以下公式确定:

当  $ad \geq bc$ ,  $AC = (ad - bc) / [(a + b)(b + c)]$ ,

当  $bc > ad$ ,  $d \geq a$ ,  $AC = (ad - bc) / [(a + b)(a + c)]$ ,

当  $bc > ad$ ,  $a > d$ ,  $AC = (ad - bc) / [(c + d)(b + d)]$ , (2)

式中,  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  分别表示两个物种同时出现、A 物种出现 B 物种未出现、B 物种出现 A 物种未出现以及两个物种均未出现的样方数。AC 值可以用来表示种间联结程度, 其值域为  $[-1, 1]$ 。AC 值越接近于 1, 表示物种种对之间正联结性越强; AC 值越接近于 -1, 表示物种种对之间负联结性越强; 当  $AC = 0$  时, 则表示物种种对之间相对独立。

另外, 为克服 AC 值因受到  $d$  值影响大而造成偏差, 选用测定两树种间关联程度较好的 Ochiai 相似系数来计算种间联结度:

$OI = a / \sqrt{(a + b)(a + c)}$ , (3)

OI 指数<sup>[24]</sup>表示物种种对相伴随机出现概率和联结性程度, 当  $a = 0$  时, 取值为 0, 表示种对间完全相异, 不同时出现在一个样方中; 当  $a = N$  (总样方数) 时, 取值为 1, 表示种对同时出现在样方中。

### 2.3 种间相关性

种间联结性基于物种的二元数据定性来描述物种种对之间的关联性, 无法检验出种对之间关联程度的大小, 不能明确地给出物种之间关联的差异性。因此, 基于物种定量数据所得出的种间相关性, 能更有效地反映出物种种对之间的线性相关关系, 也是对于种间联结性分析的进一步补充和完善。本研究基于岑王老山 13 种优势树种的多度数据, 对岑王老山 13

种优势树种间相关性的测定, 选取 Pearson 相关系数和 Spearman 秩相关系数<sup>[25]</sup>, 其中 Pearson 相关系数公式为

$$r_p(i, j) = \frac{\sum_{k=1}^N (X_{ik} - \bar{X}_i)(X_{jk} - \bar{X}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^N (X_{ik} - \bar{X}_i)^2 \sum_{k=1}^N (X_{jk} - \bar{X}_j)^2}}, \quad (4)$$

Spearman 秩相关系数计算公式为

$$r_s(i, j) = 1 - \frac{6 \sum_{k=1}^n d_k^2}{N^3 - N}, \quad (5)$$

式中,  $N$  为样方总数,  $X_{ik}$  和  $X_{jk}$  分别表示种  $i$  和种  $j$  在样方  $k$  中的秩,  $d_k = (X_{ik} - X_{jk})$ 。

### 2.4 优势树种生态种组的划分

根据以上对优势树种间联结性和种间相关性分析的结果, 对 Hellinger 转化后的物种数据进行 PCA 排序后, 划分优势树种生态种组。

## 3 结果与分析

### 3.1 群落优势树种

经调查统计, 样地中共有 29 科 62 属 138 种 3 065 株个体, 其中, 重要值  $\geq 2$  的优势树种共 13 种 (表 1), 后续分析以这 13 种优势树种作为研究对象。

表 1 13 个优势树种及其重要值

Table 1 13 dominant tree species and their important values

物种名 Name of specie	物种编码 Code of specie	重要值 Importance value
广东琼楠 <i>Beilschmiedia fordii</i>	BEIFOR	7.61
银木荷 <i>Schima argentea</i>	SCHPRI	6.94
硬壳柯 <i>Lithocarpus hancei</i>	LITHAN	5.43
凹脉柃 <i>Eurya impressinervis</i>	EURIMP	5.35
枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	LIQFOR	5.31
罗浮栲 <i>Castanopsis fabri</i>	CASFAB	4.50
广东木瓜红 <i>Rehderodendron kwang-tungense</i>	REHKWA	3.89
十齿花 <i>Dipentodon sinicus</i>	DIPSIN	3.02
毛柄连蕊茶 <i>Camellia fraterna</i>	CAMFRA	2.96
烟斗柯 <i>Lithocarpus corneus</i>	LITCOR	2.74
竹叶木姜子 <i>Litsea pseudoelongata</i>	LITPSE	2.54
刺叶桂樱 <i>Laurocerasus spinulosa</i>	LAUSPI	2.43
南亚新木姜子 <i>Neolitsea zeylanica</i>	NEOZEY	2.16

### 3.2 种间联结性分析

#### 3.2.1 总体关联性

根据上述 13 个优势树种的二元数据,通过方差比率法得出样方内优势树种总体关联性。结果显示:方差比率  $VR=1.24>1$ ,说明样方内优势树种总体上呈现出正相关;统计量  $W$  为 124.62,超出了  $\chi^2$  临界值[77.93,124.34]范围之外,可知该样地内 13 个优势树种间总体呈显著正关联,说明该群落各物种间联系相对紧密,群落结构相对稳定。

#### 3.2.2 各种对种间联结性

根据 13 个优势物种共 78 个种对的种间联结系数做出 AC 系数半矩阵图如图 1 所示。图中有两种形状的图形,其所包括的填充颜色都是一样的,不同填充面积代表不同的联结程度。在下半部分矩形中,左斜杠代表正联结,右斜杠代表负联结。在上半部分的圆形中,按照不同的填充顺序来表示正联结和负联结,顺时针方向代表正联结,逆时针方向代表负联结,填充面积用  $S$  表示,填充面积越大,表示其种间联结性越强,未被填充的圆形则表示无联结性。结果表明,岑王老山 13 个优势树种种对之间,有 32 对种对之间呈现正联结,占总种对数的 41.03%;有 46 对种对之间呈现负联结,占总种对数的 58.97%;正负关联比为 0.70。种间联结度 OI 指数相异矩阵热图如图 2 所示,图中为两种(原始和重排)相异矩阵热图并标色。热图中输出颜色分类:红紫色代表相异系数接近 0,即具有最大的相似系数;青绿色代表相异系数接近 1,即具有最小的相似系数。结果显示,OI 指数较高的种对共有 39 对,占总物种对数 50.00%,表明在岑王老山优势树种种对中,有 50.00%的种对关联程度紧密。

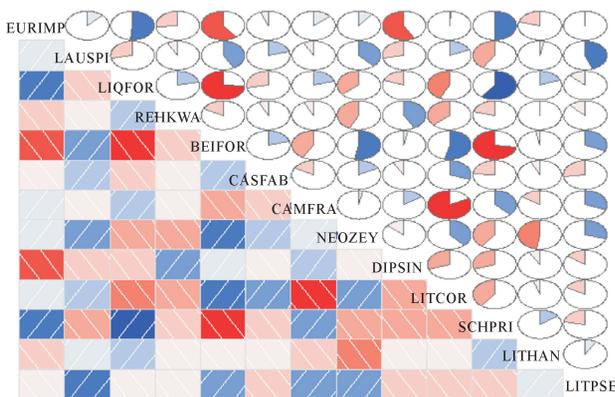


图 1 13 个优势树种的 AC 系数半矩阵图

Fig. 1 Semi-matrix graph of AC coefficients of 13 dominant species

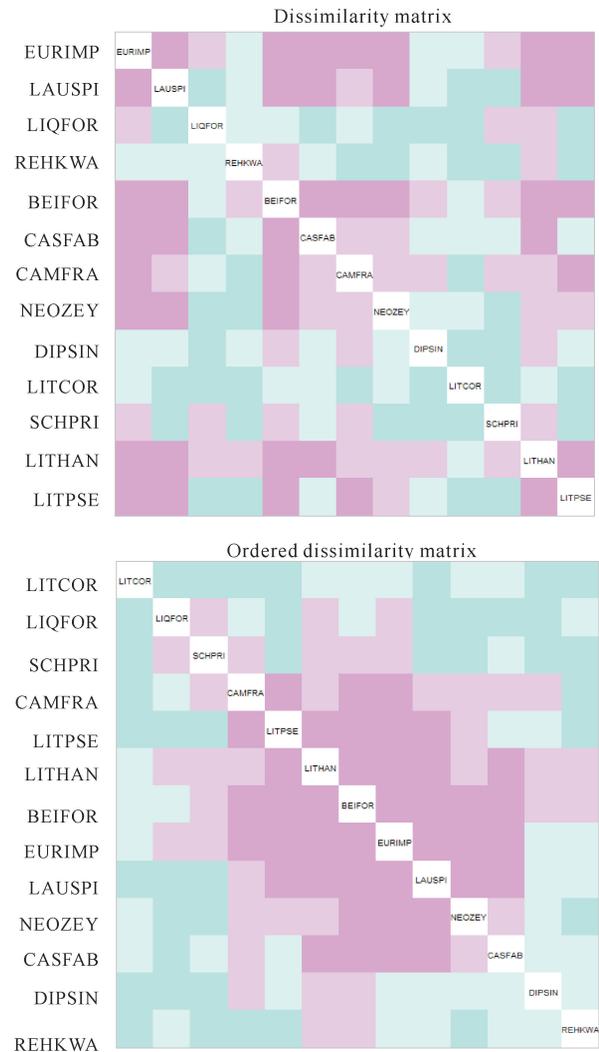


图 2 13 个优势树种的 Ochiai 相异矩阵热图

Fig. 2 Ochiai heterogeneous matrix heat graph of 13 dominant species

### 3.3 种间相关性分析

岑王老山 13 个优势树种 Pearson 相关矩阵图如图 3 所示,图中上半部分展示了两个变量(即种对)之间的相关系数(带显著水平),下半部分为两个种对之间的双变量散点图,在上半部分的相关系数中,蓝色字体表示呈负相关,红色字体表示成正相关,\* 代表呈显著相关,\*\* 代表呈极显著相关,\*\*\* 表示呈极显著相关且相关程度更高(图 4 同)。Pearson 相关系数矩阵表明,在 13 个优势种共 78 个种对中,呈正相关的种对共有 38 个,占总物种对数的 48.72%,其中有 10 个种对呈显著正相关,占总正相关种对的 26.32%,8 个种对呈极显著正相关,占总正相关种对的 21.05%;呈负相关的种对共有 40 对,占总物种对数的 51.28%,其中达到显著负相关的种对有 4 对,占总负相关种对数的 10.00%,达到极显

著负相关的种对有 2 对, 占总负相关种对数的 5.00%; 正负相关性比为 0.95, 达到显著水平的正负相关比为 2.5。在 13 个优势树种共 78 个种对中, 刺叶桂樱和烟斗柯分别与南亚新木姜子呈显著正相关, 硬壳柯和广东琼楠与罗浮栲分别呈极显著正相关, 刺叶桂樱、南亚新木姜子和毛柄连蕊茶与竹叶木姜子分别呈极显著正相关, 凹脉柃、枫香和银木荷 3 个优势种两两之间互呈极显著正相关; 烟斗柯与毛柄连蕊茶呈显著负相关, 广东琼楠与银木荷呈显著负相关, 枫香和凹脉柃与广东琼楠分别呈极显著负相关。

从 Spearman 相关矩阵图(图 4)中可以看到, 岑王老山 13 个优势种共 78 个种对中, 呈正相关的种对共有 39 个, 占总相关种对的 50%, 有 15 个种对呈显著正相关, 占总的正相关种对的 38.46%, 其中达到极显著正相关的种对有 10 对, 占总正相关种对数的 25.64%; 呈负相关的种对有 39 对, 占总物种对数的 50%, 有 4 对种对呈显著负相关, 占总负相关种对数的 10.26%, 其中达到极显著负相关的种对有 2 对, 占总负相关种对数的 5.13%。正负相关比为 1.0, 达到显著水平的正负相关比为 3.75。在 13 个优势树

种共 78 个种对中, 广东琼楠和南亚新木姜子与烟斗柯之间分别呈显著正相关, 南亚新木姜子和银木荷与毛柄连蕊茶之间分别呈显著正相关, 罗浮栲与刺叶桂樱之间呈显著正相关, 广东琼楠和硬壳柯与罗浮栲之间分别呈极显著正相关, 刺叶桂樱和毛柄连蕊茶与竹叶木姜子之间分别呈极显著正相关, 广东琼楠、刺叶桂樱和竹叶木姜子与南亚新木姜子之间分别呈极显著正相关, 凹脉柃、银木荷和枫香两两之间互呈极显著正相关, 银木荷和枫香与广东琼楠之间分别呈显著负相关, 烟斗柯与毛柄连蕊茶之间呈极显著负相关, 凹脉柃与广东琼楠之间呈极显著负相关。

### 3.4 优势树种生态种组的划分

如图 5 所示, 岑王老山 13 个优势树种可划分为 4 个生态种组:

第一生态种组: 由枫香、银木荷和凹脉柃 3 种植物组成。该生态组的 3 种优势种在 Spearman 相关性分析中, 两两之间都呈现出极显著正相关关系, 组内关系密切, 都具有喜光、喜温暖气候的特点。他们都满足处于第一主成分轴右侧和第二主成分轴上侧的特点。

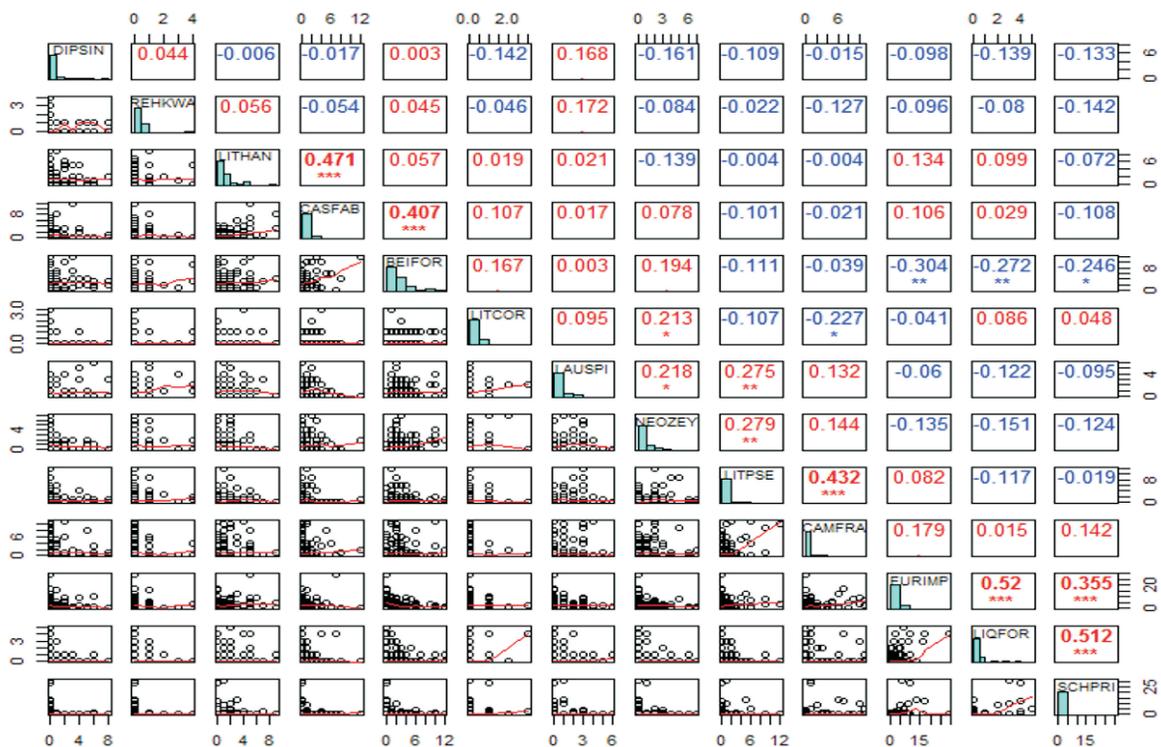


图 3 13 个优势树种 Pearson 相关矩阵图

Fig. 3 Pearson correlation matrix graph of 13 dominant tree species

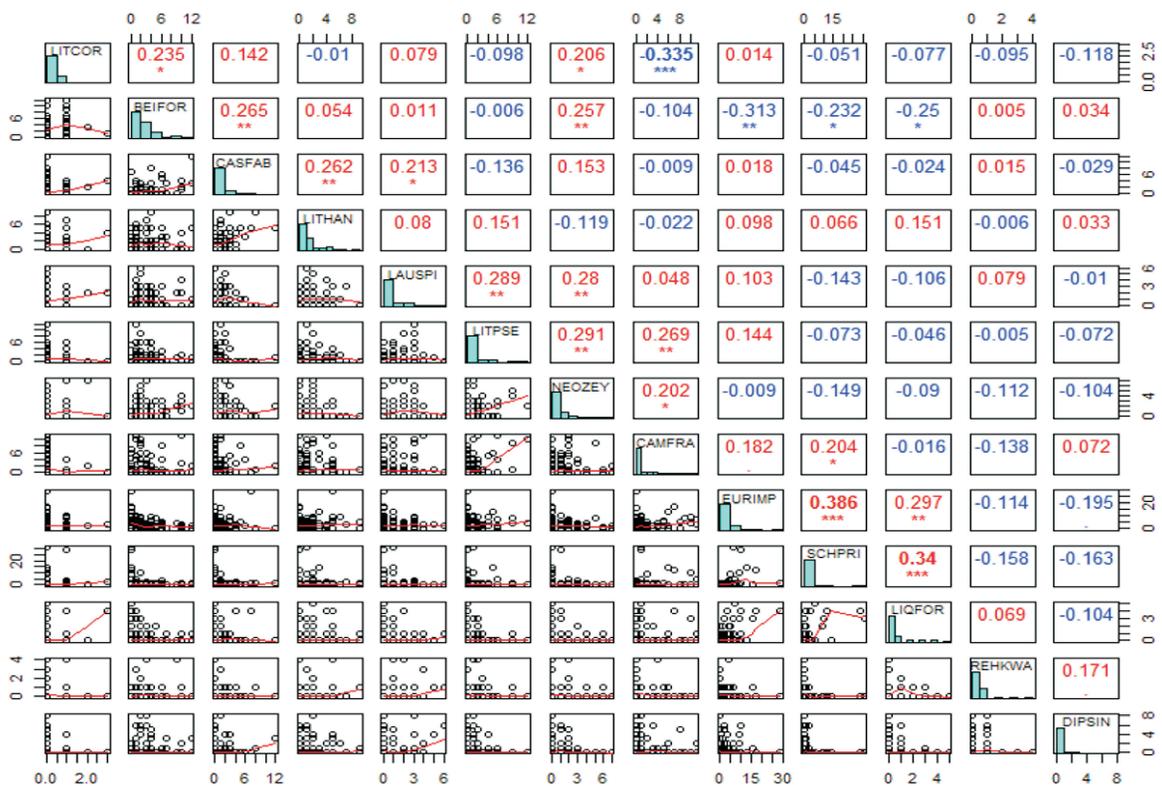


图4 13个优势树种 Spearman 相关矩阵图

Fig. 4 Spearman correlation matrix graph of 13 dominant tree species

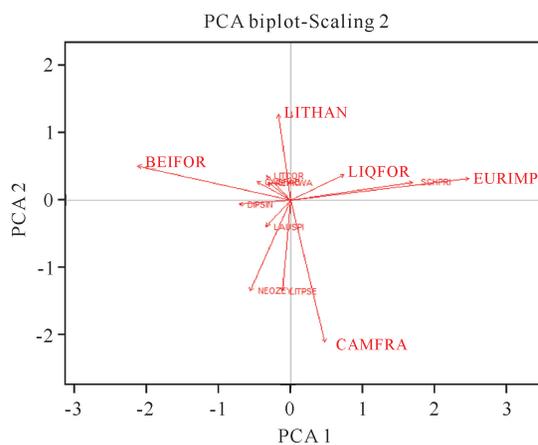


图5 13个优势树种的PCA二维排序图

Fig. 5 PCA two-dimensional ranking diagram of 13 dominant tree species

第二生态种组:由硬壳柯、烟斗柯、广东木瓜红、广东琼楠和罗浮栲5种植物组成。其中烟斗柯和硬壳柯都为壳斗科柯属植物,罗浮栲为壳斗科栲属植物。组内物种联系较为紧密,对环境需求也具有很多共同之处,并且组内物种多呈正相关,与第一生态种组的3种植物之间多呈不显著的负相关关系。他们都满足处于第一主成分轴左侧和第二主成分轴上侧的特点。

第三生态种组:由十齿花、刺叶桂樱、南亚新木姜

子和竹叶木姜子4种植物组成。他们与第一生态组的植物基本都呈现出负相关关系。组内物种联系非常紧密,其中,刺叶桂樱、竹叶木姜子以及南亚新木姜子3种植物两两之间都呈现出极显著正相关关系。他们满足处于第一主成分轴左侧和第二主成分轴下侧的特点。

第四生态种组:只有毛柄连蕊茶一种植物。他与第一生态种组和第三生态种组内的植物多呈现不显著的正相关关系,与第二生态种组内的物种呈现出负相关关系,其中与广东木瓜红呈现极显著的负相关关系。他处于第一主成分轴右侧和第二主成分轴下侧。

## 4 讨论

### 4.1 种间关联性与群落演替的关系

种间联结性与群落演替相互联系,群落在不同的演替阶段其种群之间的种间关联性也不尽相同,种群之间的总体联结性能反映出群落演替阶段的稳定性,群落演替阶段的稳定性是种间关联性的表现形式。而对于群落在演替不同阶段时群落不同物种间关联性的研究,业内学者说法不一。如杜道林等<sup>[26]</sup>在对缙云山亚热带栲树林优势种群间联结性的研究,以及周先叶等<sup>[27]</sup>对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中,都认为群落在演替过程中,随着群落演替的进行,成熟度越高,种群之间应当存在更多的正关联,以使得种群之间能够相对稳定地共存。而黄世能等<sup>[28]</sup>在海南岛尖峰岭次生热带山地雨林树种间联结动态的研究中认为,种群之间所存在的正关联或者负关联,是由种群之间的竞争导致的,种群之间无关联的种对数量以及比例,会随着群落的演替呈现出增加的趋势,说明群落将朝着总体无关联的方向发展。在本次对于岑王老山优势树种间关联性的研究中,得出群落优势树种间总体呈现出显著正关联,各个优势树种对之间多为不显著的相关关系,正负相关种对数相差不大。这也说明岑王老山群落物种组成和资源配置比较平衡,正处于相对稳定的群落演替阶段,可能正趋于群落演替的顶级阶段中,所以群落内优势树种的组成和结构也相对独立地稳定。而在正负关联种对中呈现出显著正关联的种对数,从数量上和比例上都要多于达到显著负关联性的种对数,这与群落总体上呈现出的显著正联结性表现出一致性。说明群落种群间总体联结性受到各种对之间达到显著相关的种对数的影响比较大,而这样显著的正关联的关系也使得群落朝着更为稳定的方向发展,更有利于群落的演替。

#### 4.2 种间联结性与种间相关性

种间联结通常是指群落中不同物种在空间分布上的相互关联性,受到群落生境的差异性影响,是以物种种对在样地内是否同时存在为依据,作为物种种对之间是否存在的一种相似性的尺度,是基于群落物种的定性数据。群落中优势物种种对之间的正联结是由于他们具有相近的生物学特性,对生境具有相似的生态适应性和生态分化导致的,而物种之间的负联结则主要是由于物种之间具有不同的生物学特性,以及对生境具有不同的生态适应性和生态位重叠所导致的<sup>[29]</sup>。

种间相关性也是用来表示物种在空间分布上的相互关联性,但又不局限于物种是否存在于一个样方内的二元数据,而是基于物种在样方内分布数量的多少来决定的,是一种定量的关系<sup>[30]</sup>。种间联结性反映物种之间相似性的尺度,而种间相关性则能够更有效地表达种群间相互作用的大小。本文对岑王老山群落种间相关性的研究选取 Pearson 相关系数和 Spearman 秩相关系数。在 Pearson 相关系数分析中正负关联比为 0.95,且显著正相关的种对数为 10,极显著相关的种对数为 8。而在 Spearman 秩相关分析

中正负关联比为 1,达到显著正相关的种对数为 15,其中有 10 个种对达到极显著正相关。出现这个现象的主要原因是 Pearson 相关系数检验属于参数检验,要求样本服从正态分布,而 Spearman 秩相关检验属于非参数检验,样本不必服从正态分布,所以 Spearman 秩相关检验要比 Pearson 相关系数检验更灵敏,可以进一步对相关系数检验进行补充<sup>[31]</sup>。另外,由两种相关系数计算出的正负关联比均未超过 1,但群落整体的联结性却呈现出显著的正相关关系。这可能是由于无论是 Pearson 相关系数检验,还是 Spearman 秩相关系数检验,所得出的结果中达到显著正相关的种对数,都要明显多于达到显著负相关的种对数,并且达到显著相关的种群关联性对于群落整体的联结性的影响更为显著。

#### 4.3 生态种组与种间相关性的关系

生态种组是群落中具有相似生态习性的种群的组合,而群落中种间联结性和种间相关性能够反映物种在空间分布上的相互关系,所以种间联结性和种间相关性的结果可以作为生态种组的划分依据<sup>[9]</sup>。本次研究以 PCA 排序,利用种间联结性和种间相关的分析结果,结合不同物种的生态特性以及他们对环境的不同适应性,将岑王老山群落中 13 个优势树种划分为 4 个生态种组,且在相关性分析中达到显著正相关的种对也都处于同个种组,达到显著负相关的种对多处于不同的生态种组中。这样所表现出的一致性的结果,也说明群落物种之间不同的生态特性,以及对资源的利用方式等对种群之间相互关系的影响。也就是说,在同一种组中达到显著正相关的种对之间也具有相似的生态学特性和资源利用方式,相反,不同生态种组的种对之间的生态学特性和资源利用方式也存在差异。

#### 参考文献

- [1] 张倩媚,陈北光,周国逸. 鼎湖山主要林型优势树种种间联结性的计算方法研究[J]. 华南农业大学学报, 2006, 27(1): 79-83.
- [2] ARMAS C, PUGNAIRE F I. Plant interactions govern population dynamics in a semi-arid plant community [J]. *Journal of Ecology*, 2005, 93(5): 978-989.
- [3] 黄云鹏. 武夷山米槠林主要树种种间关联性[J]. 山地学报, 2008, 26(6): 692-698.
- [4] CONNELL J H. On the prevalence and relative importance of interspecific competition: Evidence from field experiments [J]. *The American Naturalist*, 1983, 122

- (5):661-696.
- [5] BRUNO J F, STACHOWICZ J J, BERTNESS M D. Inclusion of facilitation into ecological theory [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2003, 18(3): 119-125.
- [6] 郑生猛, 盖爽爽, 谢强, 等. 桂西北喀斯特峰丛洼地典型灌丛植物种间关系及环境解释[J]. *农业现代化研究*, 2016, 37(6): 1198-1205.
- [7] 张桂萍, 张峰, 茹文明. 山西绵山植被木本植物优势种群种间关联[J]. *生态学杂志*, 2006, 25(3): 295-298.
- [8] 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[J]. *植物研究*, 2003, 23(4): 458-463.
- [9] 白玉宏, 毕润成, 张钦弟. 山西五鹿山自然保护区辽东栎群落木本植物种间数量关系[J]. *生态学杂志*, 2012, 31(8): 1942-1948.
- [10] ARROYO A I, PUEYO Y, SAIZ H, et al. Plant-plant interactions as a mechanism structuring plant diversity in a Mediterranean semiarid ecosystem [J]. *Ecology and Evolution*, 2015, 5(22): 5305-5317.
- [11] 温远光, 李信贤. 田林老山南坡森林植被的生态学研究 I. 森林植被主要类型和分布[J]. *广西农学院学报*, 1991, 10(4): 40-51.
- [12] 张国革, 崔勇, 盘福林, 等. 广西岑王老山国家级自然保护区植物资源调查研究[J]. *安徽农业科学*, 2008(9): 3770-3772.
- [13] 谭伟福. 广西岑王老山自然保护区生物多样性保护研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005.
- [14] 任礼, 罗应华, 王磊, 等. 岑王老山不同海拔森林群落结构比较[J]. *广西林业科学*, 2018, 47(2): 139-144.
- [15] 卢家仕, 黄敏, 高清. 岑王老山自然保护区药用种子植物区系分析[J]. *福建林业科技*, 2007, 34(2): 62-65, 71.
- [16] RICHARD CONDIT. Research in large, long-term tropical forest plots [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 1995, 10(1): 18-22.
- [17] 马克平. 大型固定样地: 森林生物多样性定位研究的平台[J]. *植物生态学报*, 2008, 32(2): 237.
- [18] 陈中义, 陈家宽. 长喙毛茛泽泻的种群分布格局和群落内种间关联[J]. *植物生态学报*, 1999, 23(1): 56-61.
- [19] 欧祖兰, 李先琨, 苏宗明, 等. 元宝山冷杉群落主要树木种群间联结关系的研究[J]. *生态学杂志*, 2002, 21(1): 14-18.
- [20] 林长松, 李玉英, 左经会, 等. 珍稀植物十齿花群落乔木优势种群种间联结性[J]. *生态学杂志*, 2008, 27(2): 178-184.
- [21] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [22] SCHLUTER D. A variance test for detecting species association, with some example applications [J]. *Ecology*, 1984, 65(3): 998-1005.
- [23] 张悦, 郭利平, 易雪梅, 等. 长白山北坡 3 个森林群落主要树种种间联结性[J]. *生态学报*, 2015, 35(1): 106-115.
- [24] 黄云鹏. 武夷山米槠林主要树种种间关联性[J]. *山地学报*, 2008, 26(6): 692-698.
- [25] 吉颖, 许强, 张钦弟, 等. 山西五鹿山自然保护区木贼麻黄群落优势种的种间关联性分析[J]. *西北植物学报*, 2017, 37(5): 1004-1011.
- [26] 杜道林, 刘玉成, 李睿. 缙云山亚热带栲树林优势种群种间联结性研究[J]. *植物生态学报*, 1995, 19(2): 149-157.
- [27] 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.
- [28] 黄世能, 李意德, 骆士寿, 等. 海南岛尖峰岭次生热带山地雨林树种间的联结动态[J]. *植物生态学报*, 2000, 24(5): 569-574.
- [29] 张峰, 上官铁梁. 山西翅果油树群落种间关系的数量分析[J]. *植物生态学报*, 2000, 24(3): 351-355.
- [30] 简敏菲, 刘琪, 朱笃, 等. 九连山常绿阔叶林乔木优势种群的种间关联性分析[J]. *植物生态学报*, 2009, 33(4): 672-680.
- [31] 黄祥童, 王绍先, 黄炳军, 等. 珍稀植物对开蕨与其伴生生物种的联结性及群落稳定性[J]. *生态学报*, 2015, 35(1): 80-90.

# Analysis of Inter-species Association and Inter-species Correlation of Dominant Trees in Evergreen and Deciduous Broad-leaved Mixed Forest in Mt. Cenwanglaoshan

YU Ying<sup>1</sup>, LUO Yinghua<sup>1,2</sup>, LIU Zhaoyang<sup>1</sup>, MENG Jian<sup>1</sup>, HUANG Yijie<sup>3</sup>

(1. Forestry College, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 2. Mt. Dayaoshan National Positioning Observation and Research Station of Forest Ecosystem, Laibin, Guangxi, 545700, China; 3. Mt. Cenwanglaoshan National Nature Reserve Administration of Guangxi, Baise, Guangxi, 533000, China)

**Abstract:** Inter-species association and inter-species correlation can reflect the relationships between species in plant communities and the stability of communities, and have important significance and value for the restoration and reconstruction of vegetation and biodiversity protection. Based on the survey data of every tree with DBH greater than 1 cm in the 1 hm<sup>2</sup> plot of Mt. Cenwanglaoshan community, this study used the ratio of variance (VR), interspecies association (AC) coefficient, Ochiai index, Pearson correlation coefficient, Spearman rank correlation coefficient and PCA sequencing to analyze the interspecific connectivity and interspecific correlation of 13 dominant species in the community, and divided ecological species into groups. The results showed that: (1) The community as a whole showed a significant positive association, indicating that the community was in a stable stage of succession. (2) The positive and negative correlation ratios in the analysis of inter-specific linkage and inter-specific correlation did not exceed 1, but the species logarithm that reached a significant positive correlation was significantly greater than species logarithm that reached a significant negative correlation, which showed that the overall connectivity of the community was more closely related to the logarithm of the species that had reached a significant correlation. (3) Although the results of the correlation test were similar, the results of the Spearman rank correlation test were more sensitive. (4) The classification of ecological species and groups showed consistency with the correlation test, indicating that the ecological characteristics of species and the utilization way of resources had a great influence on the inter-species relationship.

**Key words:** inter-species connectedness, inter-species correlation, correlation test, classification of ecological species and groups, Mt. Cenwanglaoshan

责任编辑: 陆 雁



微信公众号投稿更便捷

联系电话: 0771-2503923

邮箱: gxkx@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxkx.ijournal.cn/gxkx/ch>