

# 桂西北喀斯特区常绿落叶阔叶混交林种群种间 联结性与相关性

韩文衡<sup>1</sup>, 李先琨<sup>1</sup>, 叶 铎<sup>1</sup>, 吕仕洪<sup>1</sup>, 向 悟生<sup>1</sup>, 宋同清<sup>2</sup>, 曹洪麟<sup>3</sup>

(1. 广西壮族自治区·中国科学院广西植物研究所, 广西 桂林 541006

2 中国科学院亚热带农业生态研究所, 湖南 长沙 410125 3 中国科学院华南植物研究所, 广东 广州 510650)

**摘 要:** 通过 AC测定、 $\chi^2$ 检验、Pearson相关检验和 Spearman秩相关检验多种指标, 分别测定广西木论国家自然保护区 9个乔木优势种群在 6种不同尺度取样面积下的种间联结性和相关性。结果表明: 在中亚热带石灰岩常绿落叶阔叶混交林内, 种间联结性测定的取样面积以  $64 \sim 100 \text{ m}^2$  为宜, 而在  $9 \times 9 \text{ m}^2$  取样中最能体现优势种群的种间联结性及整个群落的特征; 9种优势种组成的 36对种对中, 有 15对存在显著或极显著关联, 其中正关联 12对, 占有显著或极显著关联对数的 80%, 占有种对数的 33.33%; 负关联 3对, 占有正关联对数的 20%, 占有种对数的 8.33%。

**关键词:** 喀斯特; 优势种群; 种间联结; 种间相关; 木论

**中图分类号:** Q145

**文献标识码:** A

森林生物多样性保护是当前世界研究热点之一, 要研究生物多样性维持机制, 必然涉及森林的结构、功能和动态研究<sup>[1]</sup>。种间联结或称种间联结性 (Interspecific association) 是指不同物种在空间分布上的相互关联性, 通常是由于群落生境差异影响物种的分布而引起。不同种个体在空间联结程度的测定, 对研究群落水平格局的形成、种群进化和群落演替动态具有重大的意义<sup>[2]</sup>。种间联结程度受取样面积、取样数目和计算方法的影响, 所以种间联结测定技术的研究, 有助于更精确有效地反映客观规律<sup>[1]</sup>。近年来, 很多学者对种间关系的研究和不同植被类型的优势种种间的联结性进行了研究<sup>[3-6]</sup>, 也有少数学者对水生植物群落和荒漠植物群落的种间关联性进行了研究<sup>[7]</sup>。喀斯特区植物群落的研究主要涉及物种多样性<sup>[8-12]</sup>、植被区系<sup>[13-14]</sup>以及退化森林的恢复重建<sup>[15-16]</sup>, 植物群落种间相关研究报道较少<sup>[17]</sup>, 而对中亚热带喀斯特常绿落叶阔叶混交

林优势植物种群种间关系、种间联结及对于种间关系的最小取样面积的研究未见报道。

本文旨在通过对广西木论自然保护区群落的种间关系分析, 研究不同取样面积对种间联结的结果是否存在影响, 探讨是否存在最适的取样面积, 将有利于深入认识喀斯特森林群落内各种群之间的内在联系, 认识群落的特征, 以便深入认识它的形成与演替, 此将对西南喀斯特受损植被恢复与植被重建具有重要的理论意义与实践指导意义。

## 1 研究地区概况

木论自然保护区位于广西西北部的环江毛南族自治县, 北与贵州省茂兰国家级自然保护区相连, 地理坐标为  $107^{\circ}54'01'' \sim 108^{\circ}05'51''\text{E}$ ,  $25^{\circ}07'01'' \sim 25^{\circ}12'22''\text{N}$ , 年平均气温  $17 \sim 19.3^{\circ}\text{C}$ , 无霜期为 235 ~ 290 d, 平均降水量 1 530 ~ 1 820 mm (降雨多集中

收稿日期 (Received date): 2009-03-15; 改回日期 (Accepted): 2009-08-29.

基金项目 (Foundation item): 中国科学院西部行动计划项目 (KZCX-XB2-08)。[The CAS action-plan for west development (KZCX-XB2-08).]

作者简介 (Biography): 韩文衡 (1983-), 男, 广西梧州人, 研究实习员, 主要从事恢复生态学研究。[Han Wenheng (1983-), male, the Han nationality, born in Wuzhou county of Guangxi. Intern researcher, mainly engaged in the research of Restoration Ecology.] E-mail: hwh2222@163.com; Tel: 0773-3550976.

于 4~8 月, 占全年降雨量的 73.7%。石山裸露面积 80%~90%, 土壤为由白云岩、石灰岩风化形成的石灰土, 局部出现由燧石灰岩风化形成的硅质土, 土层较薄, 但枯枝落叶较丰富, 有机质含量高。林区以峰丛洼地为主, 森林植被以常绿落叶阔叶混交林为特征, 局部分布着落叶阔叶林。该自然保护区主要受中亚热带季风湿润气候影响, 使得区内保持典型的喀斯特森林生境, 是中国生物多样性较为丰富的地区之一<sup>[18]</sup>。

该样地内林冠层成层清晰, 以小栎树 (*Boniodendron minus*)、榔榆 (*Ulmus parvifolia*)、掌叶木 (*Handeliodendron bodinieri*)、青檀 (*Pteroceltis tatarinavii*) 等为主。中层常见种为铁榄 (*Sinosideroxylon pedunculata*)、东女贞 (*Ligustrum japonicum*)、广西密花树 (*Rapanea kwangsiensis*)、粗糠柴 (*Mallotus philippensis*) 等为主。下层的种类多属耐阴植物, 以九里香 (*Murraya exotica*) 和齿叶黄皮 (*Clausena dunniana*) 为主。草本层的组成主要是几种阴生或耐阴的物种, 如: 啮蚀冷水花 (*Pilea longicaulis* var. *erosa*)、贵州悬蒴苣苔 (*Hemiboea cavaleriei*)、羊耳兰 (*Liparis chloroxantha*)、翠云草 (*Selaginella uncinata*)、石韦 (*Pyrrhosia lingua*)、肾蕨 (*Nephrolepis auriculata*)。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置

选择该地区具有代表性的森林群落, 依照美国 Smithsonian 研究院 CTFS (the Center for Tropical Forest Science) 的森林生物多样性监测规范设立固定样地<sup>[19-20]</sup>。样地设在保护区较为典型的常绿落叶阔叶混交林中, 海拔 484~559 m, 坡向为西南坡, 平均坡度 31°, 水平投影面积为 1 hm<sup>2</sup> (100 m × 100 m), 将样地分为 400 个 5 m × 5 m 的小样方进行调查, 对胸径 1 cm 以上的乔木每木检尺, 挂牌并定位, 记录树种名、胸径、树高、枝下高、冠幅等; 灌草层记录各物种的高度、盖度、多度等。

### 2.2 数据分析方法

样方数目越多, 种间联结性的测定结果越精确<sup>[21]</sup>。本研究根据野外调查记录将所有 DBH ≥ 1 cm 个体的坐标定位, 进行尺度转换, 将样地分成 256 个 6 m × 6 m、196 个 7 m × 7 m、144 个 8 m × 8 m、121 个 9 m × 9 m、100 个 10 m × 10 m、81 个 11 m × 11 m 的样方分别进行种间联结计算。

### 2.2.1 优势种的确定

根据样地调查资料, 计算出 DBH ≥ 1 cm 的乔木物种的重要值 [重要值 = (相对多度 + 相对频度 + 相对断面积) / 3], 并按重要值从大到小排序。在计算重要值时丛生个体因占据一定的生长空间, 因此均视为独立个体<sup>[22]</sup>, 然后, 根据公式确定优势种数<sup>[23]</sup>

$$D = \frac{1}{N} \left[ \sum_{i \in T} (X_i - X)^2 + \sum_{j \in T} X_j^2 \right] \quad (1)$$

式中  $X_i$  为排序在前的上位种的重要值,  $X$  为优势种所占的理想百分比,  $X_j$  为上位种以外的剩余种的重要值,  $N$  为总种数。

如果某级只有 1 个优势树种, 则优势树种的理想百分比为 100%; 如果有 2 个优势树种, 则它们的理想百分比为 50%; 如果有 3 个优势树种, 则理想百分比为 33.3%, 依次类推, 分别计算  $D$  值。当  $D$  为最小值时的上位种数为群落优势树种数。

### 2.2.2 种间联结和相关测定的选择

测定种间的联结的显著性常用的公式有: 联结系数 AC<sup>[3]</sup>、纠正的  $\chi^2$  检验<sup>[24]</sup>、Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数<sup>[25]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 取样面积的有效性

种间联结性和关联性测度结果受取样面积的影响, 当样方过小或过大都不能正确反映种间关联的性质<sup>[26]</sup>。在中亚热带山地森林植被中, 学者分别对海拔较高的植被类型<sup>[4, 5, 27]</sup>和南方红豆杉群落主要树种<sup>[6]</sup>群间联结性进行了研究, 认为 100 m<sup>2</sup> 大小的样方更能准确全面地体现优势种的种间联结性及其整个群落的特征。本文的研究对象为海拔较低的中亚热带石灰岩常绿落叶阔叶混交林, 为了探索该地区种间联结性测定较为合适的取样面积, 本文运用 (3)~(6) 公式, 分别检测 6 种不同取样面积优势种群两两之间的 AC、 $\chi^2$ 、Pearson 相关系数和 Spearman 秩相关系数的值并做出其关联分析统计表 (表 1~表 4)。检测结果表明, 4 种检测方法得出的曲线形状基本一致, 当取样面积由 36 m<sup>2</sup> 增大到 121 m<sup>2</sup>, 显著正关联百分比都有一个明显的先升后降趋势, 而且用 4 种检验方法得出的转折点都是在 9 × 9 m<sup>2</sup> 取样尺度下 (图 1), 虽然其结果与学者们研究得出 100 m<sup>2</sup> 最优取样面积有差异, 但鉴于以上结论, 本文重点以 9 × 9 m<sup>2</sup> 取样来对样地群落种间联结进行

分析。

3.2 种间相关和关联分析

应用 AC、Pearson 相关和 Spearm an 秩相关公式计算优势种群落总体种间联结性和关联性, 结果见图 2 的半矩阵图及 Spearm an 秩相关的星座图 (图 3)。从表 2~ 表 4 和图 2, 可以看出 4 种测定结果基

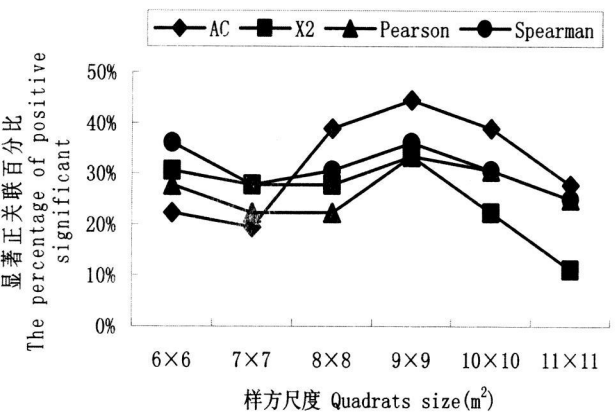


图 1 不同样方尺度显著正关联的百分比

Fig 1 The percentage of positive significant at different quadrants sizes

表 1 不同取样面积优势种群 AC 关联分析统计

Table 1 Analysis of AC- test among dominant tree population in different size quadrants

取样面积 (m <sup>2</sup> )	显著关联的种对数		不显著关联的种对数		无关联的 种对数
	正关联	负关联	正关联	负关联	
6×6	8	6	12	10	0
7×7	7	2	17	10	0
8×8	14	4	7	11	0
9×9	16	5	6	9	0
10×10	14	4	3	11	4
11×11	10	8	13	5	0

表 2 不同取样面积优势种群  $\chi^2$  关联分析统计

Table 2 Analysis of  $\chi^2$ - test among dominant tree population in different size quadrants

取样面积 (m <sup>2</sup> )	显著关联的种对数		不显著关联的种对数		无关联的 种对数
	正关联	负关联	正关联	负关联	
6×6	11	3	9	13	0
7×7	10	1	14	11	0
8×8	10	2	11	13	0
9×9	12	3	10	11	0
10×10	8	0	13	15	0
11×11	4	2	19	11	0

本一致, 但特别指出的是, 由于 AC 系数测定对显著性的判定没有一个明确的界限, 因此临界值不同, 显著的种对数也有差异。因此, 在讨论中, AC 系数值只作为参考值, 在此不作出对比分析。

表 3 不同取样面积优势种群 Pearson 关联分析统计

Table 3 Analysis of Pearson- test among dominant tree population in different size quadrants

取样面积 (m <sup>2</sup> )	显著关联的种对数		不显著关联的种对数		无关联的 种对数
	正关联	负关联	正关联	负关联	
6×6	10	1	10	15	0
7×7	8	1	14	13	0
8×8	8	4	12	12	0
9×9	12	3	10	11	0
10×10	11	3	11	11	0
11×11	9	2	13	12	0

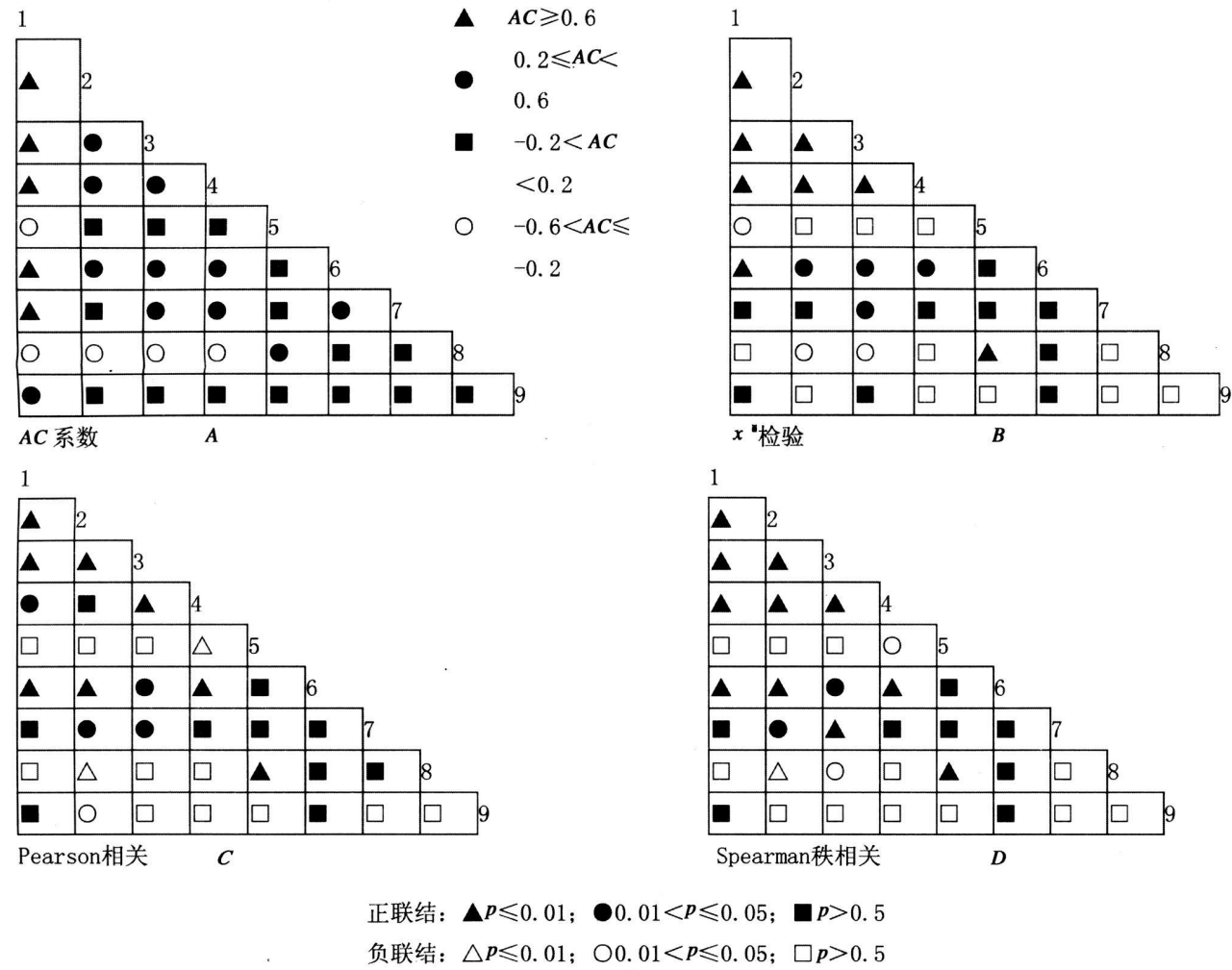
表 4 不同取样面积优势种群 Spearm an 秩关联分析统计

Table 4 Analysis of Spearm an- test among dominant tree population in different size quadrants

取样面积 (m <sup>2</sup> )	显著关联的种对数		不显著关联的种对数		无关联的 种对数
	正关联	负关联	正关联	负关联	
6×6	13	3	6	14	0
7×7	10	2	12	12	0
8×8	11	4	10	11	0
9×9	13	3	8	12	0
10×10	11	4	11	10	0
11×11	9	5	13	9	0

3.2.1 成对物种的关联性

植物种对的正联结体现了植物利用资源的相似性和生态位的重叠性, 而其高度的差别, 体现了生态位空间分异, 这是森林群落演替的必然结果, 也是群落结构的一种标志<sup>[28]</sup>。植物种对的负联结体现了植物间的排斥性, 是植物长期适应微环境, 利用不同资源空间的结果, 也是生态位分离的反映<sup>[29]</sup>。通过  $\chi^2$  检验可知 (图 2B), 在由 9 种优势种组成的 36 对种对中, 有 22 对种对表现出正关联 ( $V > 0$ ) (见表 3), 占种对总数的 61.11%, 其中有 12 对表现出极显著和显著关联性 ( $\chi^2 > 3.841$ ), 占种对总数的 33.33%; 在 12 对正关联的种对中, 极显著关联 ( $\chi^2 > 6.635$ ) 的有 8 对, 占正关联对数总数 66.67%, 它们是 1- 2 (铁榄 - 东女贞)、1- 3 (铁榄 - 小栎树)、1- 4 (铁榄 - 广西密花树)、1- 6 (铁榄 - 九里香)、2



- 3(东女贞 - 小栎树)、2- 4(东女贞 - 广西密花树)、3- 4(小栎树 - 广西密花树)、5- 8(掌叶木 - 七叶莲), 有 4 对存在显著的正关联, 占正关联对数总数 33.33%, 他们是 2- 6(东女贞 - 九里香)、3- 6(小栎树 - 九里香)、3- 7(小栎树 - 菜豆树)、4- 6(广西密花树 - 九里香), 这些种对对综合环境的条件相似, 在一定程度上体现了生态位的重叠。在乔木优势植物中小栎树和掌叶木占据了最上层, 而铁榄、东女贞、广西密花树和菜豆树构成了乔木层的一个中间层次, 九里香和七叶莲在乔木层的最下层主要组成物种。从这些联结种对及实际调查可以看出, 在 12 对显著正关联种对中, 除 1- 2、1- 4、2- 4 三对的物种处于相似的空间层外, 其他显著种对主要体现于生态位空间的分异, 使得利用资源上出现了差异。而铁榄、东女贞和广西密花树都处于中间层次, 但它们均出现显著的正联结, 除了对光照出现明显的竞争外, 它们对喀斯特小生境的需求不同, 其原因有待进一步深入研究。

有 14 对种对表现出负关联 ( $V < 0$ ), 占种对总数的 38.89%, 其中有 3 对表现出显著负关联 ( $\chi^2 > 3.841$ ), 占负关联对数总数的 21.43%, 它们是 1- 5(铁榄 - 掌叶木)、2- 8(东女贞 - 七叶莲)、3- 8(小栎树 - 七叶莲)。可能由于它们对资源空间环境的要求不同或种间存在一定的他感作用, 使得种间表现出负联结。

### 3.2.2 成对物种的相关性

在  $\chi^2$  检验半矩阵图中可知, 呈极显著关联的种对数有 8 个, 呈显著关联的种对数有 7 个, 总共 15 对; 在 Pearson 相关半矩阵图中, 呈极显著联结的种对数有 10 个, 呈显著联结的种对数有 5 个, 总共 15 对; 在 Spearman 秩相关半矩阵图中, 呈极显著联结的种对数有 12 个, 呈显著联结的种对数有 4 个, 总共 16 对, 其计算结果上的差异是由于测定公式的不同所致,  $\chi^2$  公式是用定性数据计算,  $r$  公式则是定量数据计算的结果, 但相对而言, 两种计测结果较接近。

由相关性测定星座图 (图 3) 可知, I (Pearson 相关) 检验结果和 II (Spearman 秩相关) 检验结果基本一致: 种 5(掌叶木)、种 7(菜豆树) 和种 9(齿叶黄皮) 与其余种的相关性都很小, 其中的原因需要更深入的调查研究。种对 1- 4(铁榄 - 广西密花树)、3- 7(小栎树 - 菜豆树) 在 I 检验中呈显著正相关, 而在 II 检验中呈极显著正相关; 种对 2- 4(东

女贞 - 广西密花树) 在 I 检验中呈不显著正相关, 而在 II 检验中呈极显著正相关、3- 8(小栎树 - 七叶莲) 在 I 检验中呈不显著负相关, 而在 II 检验中呈显著负相关; 而种对 2- 9(东女贞 - 齿叶黄皮)、4- 5(广西密花树 - 掌叶木) 的相关性在 I 检验较 II 检验时强, 因此, 虽然 Spearman 秩相关检验比 Pearson 相关检验精度和准确性更高, 但两者需要相互检验和补充。

## 4 讨论

物种间的相互作用是有一定空间范围的, 一旦超出此范围, 其相互作用就减弱, 甚至不再有相互作用<sup>[4]</sup>, 从表 3~表 6 和图 1 可以看出, 当在  $8\text{ m} \times 8\text{ m}$  取样尺度时, 物种间的相互作用比较弱, 但随着取样尺度的增大, 物种间的作用随之增强, 在  $9\text{ m} \times 9\text{ m}$  尺度时, 物种间的相互作用达到了最大值, 而之后相互作用强度在  $10\text{ m} \times 10\text{ m}$  取样尺度又减弱, 但过了这尺度已经超出了相互作用的空间范围, 所以联结对数急剧减少。据前人的研究结果, 在中亚热带山地森林植被中,  $100\text{ m}^2$  ( $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ ) 大小的样方能更准确全面地体现优势种的种间联结性及其整个群落的特征。本文的研究结果与学者们研究得出的结果有差异, 笔者认为结果的差异主要与取样的方法有关, 前人的取样方法以  $5\text{ m} \times 5\text{ m}$  为最小样方面积, 依次以  $5\text{ m}$  为一个单位递增 (如  $5\text{ m} \times 10\text{ m}$ ,  $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ ,  $5\text{ m} \times 20\text{ m}$  等), 取样中有矩形样方的出现 ( $5\text{ m} \times 10\text{ m}$ ), 而本文的取样是在最小样方面积下依次以  $1\text{ m}$  为单位方形递增, 避免了出现矩形样方时主观定样的影响, 而且细化了取样面积的尺度化。因此, 我们认为在研究种间联结和关联性取样时, 在最小样方面积下方形递增法应该更合理和科学, 同时结合木伦自然保护区样地群落的特征及植被特征, 在中亚热带石灰岩常绿落叶阔叶混交林内种间联结性测定的取样面积以  $64\text{ m}^2$  ( $8\text{ m} \times 8\text{ m}$ ) ~  $100\text{ m}^2$  ( $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ ) 为宜, 而  $9\text{ m} \times 9\text{ m}$  的取样尺度较其他 5 种大小取样更能反映优势种群的联接性以及群落的特征。种群间联结关系是十分复杂的, 仅靠一次调查取得数据进行数学计算研究是不够的, 还需通过反复多次的研究, 并结合实验的方法, 才能对种间关系有清楚全面的认识。

种间联结是指不同物种在空间分布上的相互关联性, 通常是由于群落生境的差异影响了物种的分

布而引起的,体现了物种间的竞争关系及对生境分化的反应<sup>[30]</sup>。物种间的正关联和正相关时由于它们具有相近的生物学特征,对生境具有相似的生态适应和生态位分化所致,而物种之间的负关联和负相关,主要是由于种对间物种不同的生物学特征以及对生境具有不同的生态适应和生态位重叠所致<sup>[31]</sup>。通过对9个优势物种的种间联结性和相关性分析,结果表明常绿落叶阔叶混交林优势乔木种间正、负联结(或相关)的对数相近,这可能与喀斯特石山特殊的生境有关。喀斯特石山由于岩石裸露程度、土层的盖度和厚度、土壤的水分和养分等生境特征的不均匀性、不连续性和复杂多样性,导致即使在同一地段、坡位、坡向的小生境类型、特征的差异也十分明显。不同生态适应性的植物利用不同的微资源,使得样地内出现多个优势种并存的现象。相似生物学特征的优势种团状分布,种间联结表现出显著正关联;而不同生态学特征的优势种表现出明显的差异性,种间联结表现为负关联。因此,在环境压力和种间竞争等因素共同作用下,种间的正关联性(或正相关性)程度和数量有所下降。

部分优势种有着较大的生态幅,对异质性环境具有较强的适应能力和资源利用能力,其种间关联性(或相关性)在复杂的生境中也能表现出显著,如:铁榄-东女贞、铁榄-小栎树、东女贞-广西密花树、小栎树-广西密花树等。但值得注意的是,种间关联性强的物种不一定有较大的生态幅,掌叶木和七叶莲的生态位宽度虽然较窄,但其也表现出极显著的正联结性,这表明掌叶木和七叶莲有着相近的生物学特征和相近的生态适应性。因此,通过对喀斯特植被优势种的种间关系研究,在进行喀斯特地区人工植被恢复时,需要根据生境条件的差异,选择生物学特性和适应性相近的树种搭配一起,进行合理的配置。

用 $\chi^2$ 检验得出的联结性强的种对,其相关性不一定都强,如种对1-5(铁榄-掌叶木)有显著的负联结,但其相关较弱, Pearson 相关系数和 Spearman 秩相关系数分别为-0.111, -0.087, 还如,种对4-5(广西密花树-掌叶木)在 $\chi^2$ 检验得出联结性弱,而 Pearson Spearman 秩相关检验中却显著负相关;种对2-6(东女贞-九里香)在 $\chi^2$ 检验为显著,而在后两个检验中为极显著等等,都说明了 Pearson 相关系数和 Spearman 秩相关系数的精度和准确性要高些, Spearman 秩相关分析克服了 $\chi^2$ 分析

Pearson 相关系数检验的缺点<sup>[25]</sup>,通过图2的C和D对比相似度可知,在样地的植物群落中物种的多度值基本符合正态分布。因此,在中亚热带石灰岩常绿落叶阔叶混交林生态系统中研究优势种的种间联结性时 Spearman 秩相关检验比 $\chi^2$ 检验、Pearson 相关检验的精度和准确性要高些,但三种检验所得的结果基本一致,只是强弱的差异,可以相互检验和补充。

## 5 小结

中亚热带石灰岩常绿落叶阔叶混交林内种间联结性测定的取样面积以 $64\text{ m}^2$ ( $8\text{ m} \times 8\text{ m}$ )~ $100\text{ m}^2$ ( $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ )为宜,而 $9\text{ m} \times 9\text{ m}$ 的取样尺度更能反映该种群的联结性以及整个群落的特征。

常绿落叶阔叶混交林优势乔木种间正、负联结(或相关)的对数相近,这主要与喀斯特石山异质性强的生境有关。物种的生态幅越宽其种间的关联性(或相关性)越显著;而种间的关联性(或相关性)越强其生态幅不一定越宽。

在进行常绿落叶阔叶混交林物种联结性研究时, Spearman 秩相关检验比 $\chi^2$ 检验、Pearson 相关检验的精度和准确性要高些,但三种检验所得的结果基本一致,可以相互检验和补充。

## 参考文献 (References)

- [1] Zhang Qingmei, Chen Beiguang, Zhou Guoyi. Interspecific association of the dominant species in two typical communities in Dinghusan, South China[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2006, 1(27): 79~83[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, 1(27): 79~83]
- [2] Huang Shining, Li Zhangde, Luo Tushou, et al. Dynamics of association between tree species in secondary tropical mountain rain forest at Jianfengling on Hainan island[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(5): 569~574[黄世能, 李章德, 骆土寿, 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]
- [3] Wang Bosun, Peng Shaolin. Studies on the measuring techniques of interspecific association of lower subtropical evergreen broad-leaved forests I The exploration and the revision on the measuring formulas of interspecific association China[J]. *Acta Phytocologica ET Geobotanica Sinica*, 1985, 9(4): 274~285[王伯荪, 彭少麟. 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, 1985, 9(4): 274~285]
- [4] Guo Zhihua, Zhuo Zhengda. Interspecific association of trees in mixed evergreen and deciduous broadleaved forest in Lushan mountain

- tain China[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 21(5): 33~41 [郭志华, 卓正大. 庐山常绿阔叶、落叶阔叶混交林乔木种群间联结性研究[J]. 植物生态学报, 1997, 21(5): 424~432]
- [5] Ou Zukun, Li Xiankun, Su Zongming *et al* Interconnection among main tree populations of *Abies yuanbaoshanensis* community[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2002, 21(1): 14~18 [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]
- [6] Li Xiankun, Huang Yuqing, Su Zongming Preliminary studies on interconnections among the main tree populations of *Taxus chinensis* var *mairei* community[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1999, 18(3): 10~14 [李先琨, 黄玉清, 苏宗明. 南方红豆杉群落主要树木种群间联结关系初步研究[J]. 生态学杂志, 1999, 18(3): 10~14]
- [7] Yin Linke Interspecific relationship analysis of desert riparian forest plant communities in the middle and lower reaches of the Tarim river[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(2): 226~234 [尹林克. 塔里木河中下游地区荒漠河岸林群落种间关系分析[J]. 植物生态学报, 2005, 29(2): 226~234]
- [8] Zhang Zhaohui, Chen Jiaquan Biodiversity and ecological depositing types of aquatic bryophytes at karst waterfalls in southwest Guangxi *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(4): 603~611 [张朝晖, 陈家宽. 桂西南喀斯特瀑布水生苔藓植物生物多样性与生态沉积类型研究[J]. 沉积学报, 2007, 25(4): 603~611]
- [9] Long Cuiling Comparison of species diversity in karst forest among different topography sites—A case study in Maolan natural reserve, Guizhou province[J]. *Carsologica Sinica*, 2007, 36(1): 55~60 [龙翠玲. 不同地形部位喀斯特森林物种多样性的比较研究——以贵州茂兰自然保护区为例[J]. 中国岩溶, 2007, 36(1): 55~60]
- [10] Yu Xiaoya, Li Yuhui, Ma Zunping A preliminary study on flora diversity of karst microhabitat in Shilin park, Yunnan, China[J]. *Journal of Mountain Science*, 2007, 25(4): 438~447 [俞筱押, 李玉辉, 马遵平. 云南石林喀斯特小生境木本植物多样性特征[J]. 山地学报, 2007, 25(4): 438~447]
- [11] Hou Manfa, Jiang Zhongdun Species diversity of karst original forest in different geological environments in Maolan[J]. *Ecology and Environment*, 2006, 15(3): 572~576 [侯满福, 蒋忠诚. 茂兰喀斯特原生林不同地球化学环境的植物物种多样性[J]. 生态环境, 2006, 15(3): 572~576]
- [12] Ou Zukun, Li Xiankun, Su Zongming Population variation and species diversity in succession process of karst vegetation in Yangshuo[J]. *Ecological Science*, 2005, 24(4): 295~297 [欧祖兰, 李先琨, 苏宗明. 广西阳朔喀斯特植被演替过程种群变化及物种多样性[J]. 生态科学, 2005, 24(4): 295~297]
- [13] Ou Zukun, Su Zongming, Li Xiankun Flora of karst vegetation in Guangxi[J]. *Guhaia*, 2004, 24(4): 302~310 [欧祖兰, 苏宗明, 李先琨. 广西岩溶植被植物区系[J]. 广西植物, 2004, 24(4): 302~310]
- [14] Su Zongming, Li Xiankun The types of natural vegetation in karst region of Guangxi and its classified system[J]. *Guhaia*, 2003, 23(4): 298~293 [苏宗明, 李先琨. 广西岩溶植被类型及其分类系统[J]. 广西植物, 2003, 23(4): 298~293]
- [15] Li Xiankun, Lv Shihong, Su Zongming *et al* The spatial pattern of natural vegetation in the karst regions of Guangxi and the ecological signal for ecosystem rehabilitation and reconstruction[J]. *Journal of Mountain Science*, 21(2): 129~139 [李先琨, 苏宗明, 吕仕洪, 等. 广西岩溶植被自然分布规律及对岩溶生态恢复重建的意义[J]. 山地学报, 2003, 21(2): 129~139]
- [16] Yu Lifei, Zu Shouqian, Ye Jingzhong *et al* Dynamics of a degraded karst forest in the process of natural restoration[J]. *Sicentia Sitvae Sinica*, 2002, 38(1): 1~6 [喻理飞, 朱守谦, 叶镜中, 等. 退化喀斯特森林自然恢复过程中群落动态研究[J]. 林业科学, 2002, 38(1): 1~6]
- [17] Zhang Zhonghua, Liang Shihu, Hu Gang Interspecific relationships among main species of *Cinnamomum bumanii* community on karst hills of Guilin[J]. *Journal of Mountain Science*, 2007, 25(4): 475~482 [张忠华, 梁士楚, 胡刚. 桂林喀斯特石山阴香群落主要种群的种间关系[J]. 山地学报, 2007, 25(4): 475~482]
- [18] Jiang Guofang A preliminary report on the biodiversity in the Maolan karst forest[J]. *Biodiversity Science*, 1995, 3(2): 91~94 [蒋国芳. 木论喀斯特森林区生物多样性初报[J]. 生物多样性, 1995, 3(2): 91~94]
- [19] Hao Zhanqing, Li Buhang, Zhang Jian Broad-leaved Korean Pine (*Pinus koraiensis*) mixed forest plot in Changbaishan (CBS) of China: Community composition and structure[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2008, 32(2): 238~250 [郝占庆, 李步杭, 张健, 等. 长白山阔叶红松林样地 (CBS): 群落组成与结构[J]. 植物生态学报, 2008, 32(2): 238~250]
- [20] Ye Wanhui, Cao Honglin, Huang Zongliang *et al* Community structure of a 20 hm<sup>2</sup> lower subtropical evergreen broadleaved forest plot in Dinghushan, China[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2008, 32(2): 274~286 [叶万辉, 曹洪麟, 黄忠良, 等. 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林 20公顷样地群落特征研究[J]. 植物生态学报, 2008, 32(2): 274~286]
- [21] Wang Guoliang, Liu Guobin Study on the interspecific association of the *Artemisia sacronum* Community in less hilly region[J]. *Grassland of China*, 2002, 24(3): 1~6 [王国梁, 刘国彬. 黄土丘陵沟壑区铁杆蒿群落种间联结性研究[J]. 中国草地, 2002, 24(3): 1~6]
- [22] Tang Mengping, Zhou Guomu, Shi Yongjun, *et al* Study of dominant plant population and their spatial patterns in evergreen broad-leaved forest in Tianmushan mountain, China[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2006, 30(5): 743~752 [汤孟平, 周国模, 施拥军, 等. 天目山常绿阔叶林优势种群及其空间分布格局[J]. 植物生态学报, 2006, 30(5): 743~752]
- [23] Da Liangjun, Yang Yongcun, Song Yongchuang Population structure and regeneration types of dominant species in an evergreen broad-leaved forest in Tiantong National Forest Park[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(3): 376~384 [达良俊, 杨永川, 宋永昌. 浙江天童国家森林公园常绿阔叶林主要组成种的种群结构及更新类型[J]. 植物生态学报, 2004, 28(3): 376~384]
- [24] Janson S, Vegelius J Measure of ecological association[J]. *Oecologia*, 1981, 49(3): 371~376

- [25] Zhang Jintun. Quantitative Ecology [M]. Beijing: The Science Press, 2004: 98~106 [张金屯. 数量生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 98~106]
- [26] Chen Zhongyi, Chen Jiakun. The spatial pattern of *Ranalisia rostratum* population and interspecific association in the community [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(1): 56~61 [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]
- [27] Lin Changsong, Li Yuying, Zuo Jinghui *et al*. Interspecific association of dominant tree species in rare plant Dipterodon Sinicus communities of Yushenational forest park, Guizhou Province [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(2): 178~184 [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关联性 [J]. 生态学杂志, 2008, 27(2): 178~184]
- [28] Sun Zhongwei, Zhao Shidong. Interspecific association and correlation of linear broad leaved Korean pine forest on the northern slope of Changbai Mountain [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 19(1): 55~60 [孙中伟, 赵士洞. 长白山北坡椴树阔叶红松林群落木本植物种间联结性与相关性研究 [J]. 应用生态学报, 1999, 7(1): 1~5]
- [29] Li Xinrong. Interspecific association and correlation of shrub layer in the coniferous-broad leaved mixed geobotanical zone of Russia plain [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(1): 55~60 [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 [J]. 生态学报, 1999, 19(1): 55~60]
- [30] Zhang Guiping, Zhang Feng, Ru Wenming. Interspecific correlations among dominant populations of ligneous species in Mianshan Mountain of Shanxi [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(3): 295~298 [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]
- [31] Zhang Feng, Shang Guan Tielang. Numerical analysis of interspecific relationship in an *elaegnus mollis* community in Shanxi [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(3): 351~355 [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]

## Interspecific Association and Correlation between Dominant Woody Plant Species in an Evergreen and Deciduous Broad-leaved Mixed Forest of Karst Area, Northwest Guangxi

HAN Wenheng<sup>1</sup>, LIX iankun<sup>1</sup>, YE Duo<sup>1</sup>, LÜ Shihong<sup>1</sup>, XIANG Wusheng<sup>1</sup>,  
SONG Tongqing<sup>3</sup>, CAO Honglin<sup>4</sup>

(1 Guangxi Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China;

2 Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China;

3 South China Institute of Botany, Academia Sinica, Guangzhou 510650, China)

**Abstract** A series of parameters including interspecific association coefficient (AC),  $\chi^2$ -test, Pearson's and Spearman's correlation were used to study the interspecific association with different sizes of dominant species in an evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest of karst area. Based on the  $2 \times 2$  contingency table and species abundance data, the effects of different size on these parameters were examined. The major results are: The better quadrates of interspecific association is  $64\text{ m}^2 - 100\text{ m}^2$  in karst evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest at the mid-subtropics, but the quadrates of  $9 \times 9\text{ m}^2$  could exactly display the character of connection between dominant populations and the whole community. There were 36 species-pairs, which were composed by 9 dominant species and checked by  $\chi^2$ -test. Among these, the inter-species associations of 15 species-pairs were significant or very significant. Of these, 12 species-pairs revealed a significant correlation, accounting for 33.33% and 80% of the species-pairs with a significant correlation. While 3 species-pairs showed a significant negative correlation, accounting for 8.33% of all species-pairs and 20% of the species-pairs with a significant correlation.

**Key words** karst, dominant population, Interspecific association, Interspecific correlation, Mu lin of Guangxi