

马尾松群落的种间联结性研究

刘 鹏^{1,2}, 张合平^{1,2}

(1. 中南林业科技大学, 湖南 长沙 410004; 2. 南方林业生态应用技术国家工程实验室, 湖南 长沙 410004)

摘 要: 以马尾松群落为研究对象, 采用方差比率法、 χ^2 检验、Pearson 相关和 Spearman 秩相关检验对乔木层 5 个主要树种、灌木层 25 个优势树种、草本层 16 个优势物种的种间联结性及相关程度进行定量研究。结果表明: 马尾松群落乔木层、灌木层、草本层总体种间关系分别表现为显著负关联、不显著正关联和显著负关联; χ^2 检验统计显示乔木层、灌木层、草本层负关联种均占较大优势, 分别占总种对数的 40.00%、66.67%、61.67%, 正关联种对数次之, 分别占总种对数的 10.00%、33.33%、38.33%, 无关联种对数较少; Pearson 相关检验显示乔木层有正关联种对 4 对、负关联种对 6 对、正负关联比为 0.67, 灌木层有正关联种对 113 对、负关联种对 187 对、正负关联比为 0.60, 草本层有正关联种对 51 对、负关联种对 69 对、正负关联比为 0.74; Spearman 秩相关检验显示乔木层有正关联种对 3 对、负关联种对 7 对、正负关联比为 0.43, 灌木层有正关联种对 111 对、负关联种对 152 对、无关联种对 37 对、正负关联比为 0.73, 草本层有正关联种对 46 对、负关联种对 65 对、无关联种对 9 对、正负关联比为 0.71。

关键词: 马尾松群落; 种间联结; 方差比率法; 相关检验

中图分类号: S 718.54 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-5710 (2017) 05-0022-07

doi: 10.3969/j.issn.1003-5710.2017.05.005

Interspecific association of *Pinus massoniana* community

LIU Peng^{1,2}, ZHANG Heping^{1,2}

(1. Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, China;

2. National Engineering Laboratory for Applied Technology of Forestry & Ecology in South China, Changsha 410004, China)

Abstract: The study was conducted in *Pinus massoniana* forest at Shuikoushan forest farm of Hunan. A number of statistic methods (Variance ratio method, χ^2 test, Pearson correlation coefficient test and Spearman rank correlation coefficient test) were used to characterize interspecific associations of 5 overstory tree species, 25 shrub species and 16 herbaceous species. The results showed that the Hunan Shuikoushan *Pinus massoniana* community forest tree layer, shrub layer, herb layer of interspecific relationship were showed significant negative correlation and no significant positive correlation and significant negative correlation. χ^2 test statistics of tree layer, shrub layer and herb layer were negatively correlated to occupy a great advantage, respectively of the total species 40.00%, 66.67%, 61.67% log, positive association pairs took second place, respectively of the total pairs 10%, 33.33% and 38.33%, unrelated pairs less. Pearson related test showed that the tree layer has a positive correlation for 4 pairs, 6 pairs of negative association, positive and negative correlation ratio is 0.67, the shrub layer is in 113 positive association, 187 negative association, positive and negative association ratio is 0.60, the herb layer has a positive correlation for 51 pairs, 69 pairs of negative association, positive and negative association ratio is 0.74. Spearman Yi correlation test showed that tree layer has a positive correlation of 3 pairs, negative association of seven pairs, positive and negative association is 0.43, shrub layer has positive correlation of 111 pairs, negative association of 152 pairs, independent contact for 37 pairs, positive and negative association is 0.73, herb layer has positive association of 46 pairs and negative association of 65 pairs, independent contact for 9

收稿日期: 2017-06-05

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项项目(201204512)、湖南省水利厅水土保持专项(20132130310)

作者简介: 刘 鹏(1991-), 男, 山西省阳泉市人, 硕士, 研究方向为森林生态学

pairs, positive and negative associations is 0.71.

Key words: *Pinus massoniana* community; interspecific association; variance ratio method; correlation coefficient test

种间联结是对一定时期内植物群落组成物种之间相互影响和相互作用所形成的有机联系的静态描述,既是一种测度物种间相似性的定性数据,同时也表达一种以物种个体数量为依据的定量关系^[1-2]。种间联结性及相关程度是植物群落重要的数量结构特征之一,能够客观地反映种群的空间分布特点、种间竞争与共存机理以及对环境资源的生态适应性,有利于揭示群落的物种组成、结构特征和功能变化,对正确理解群落的发生、发展和演替具有重要的指导意义^[3]。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

本研究区域位于湖南省醴陵市西南部水口山国有林场,地理坐标为 113°54'—113°56' E、27°67'—27°68' N。该林场地处武功山余脉,属典型低山丘陵地貌,最高海拔 867 m。属中亚热带季风湿润气候区,年平均气温 17.8 °C,年平均降水量 1 500 mm,无霜期 292 d。林场内母岩主要为板页岩,石灰岩、花岗岩、砂砾岩也有少量分布,主要土壤类型为山地黄壤、山地红壤和黄壤性粗骨土。主要优势树种有马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、榲栂(*Quercus aliena*)、枫香(*Liquidambar formosana*)等。

1.2 研究方法

选择马尾松人工次生林群落为研究对象,于 2015 年 7 月设置 5 块 20 m × 30 m 的标准地进行野外调查。在每块标准地的四角及中点设置 5 个 5 m × 5 m 的灌木样方和 5 个 1 m × 1 m 的草本样方,共建立样方 50 个,调查记录样地内所有乔木、灌木、草本植物的种名、株数、高度、胸径、盖度等信息,同时记录标准地海拔、坡度、坡位、坡向等数据。

1.3 数据处理

1.3.1 重要值计算 采用重要值(IV)作为测度植物在群落中优势程度的综合数量指标,计算所有样方内乔木、灌木、草本植物的重要值,选择

重要值 > 1.5 的物种作为本文进行种间联结与相关性分析的主要种群。计算公式为^[4]:

乔木重要值

$$IV = (\text{相对多度} + \text{相对高度} + \text{相对优势度}) / 3$$

灌木、草本重要值

$$IV = \text{相对密度} + \text{相对频度} + \text{相对盖度}$$

1.3.2 总体关联性分析 采用 Schluter 提出的零联结模型导出方差比率(VR)法检验多物种间的总体关联性。计算公式为^[5]:

$$\delta_T^2 = \sum_{i=1}^S P_i(1 - P_i);$$

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

$$P_i = n_i / N;$$

$$VR = S_T^2 / \delta_T^2$$

式中 δ_T^2 为所有物种出现频率的方差, S_T^2 为所有样方物种数的方差, P_i 为物种 i 出现的频率, S 为物种总数, N 为总样方数, T_j 为样方 j 内出现的物种数, t 为各样方内物种数的平均值, n_i 为物种 i 出现的样方数。

VR 为群落内植物种间的总体关联指数,当 $VR > 1$, 即物种间的总体关联性为正关联;当 $VR < 1$, 即物种间的总体关联性为负关联;当 $VR = 1$, 即物种间的总体关联性为无关联。采用统计量 $W = N \times VR$ 检验 VR 偏离 1 的显著程度,当物种间的总体关联性不显著,则 W 落入 χ^2 分布界限 ($\chi_{0.95}^2 N < \chi_{0.05}^2 N$) 内的概率为 90%。

1.3.3 种间关联性分析 采用 χ^2 统计量检验对种间联结性进行定性研究,由于取样为非连续性取样,故非连续性数据 χ^2 用 Yates 的连续性校正公式计算^[6]。

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

式中 N 同上, a 为 2 个物种共同出现的样方数, b 、 c 为仅有 1 个物种出现的样方数, d 为 2 个物种均出现的样方数。种间关联性一般有 2 种类型:当 $ad > bc$ 时,种间关联性为正联结;当 $ad < bc$ 时,种间关联性为负联结。通常当 $\chi^2 < 3.841$,

即 $P > 0.05$ ，认为种间联结性不显著；当 $3.841 < \chi^2 < 6.635$ ，即 $0.01 < P < 0.05$ ，认为种间联结性显著；当 $\chi^2 > 6.635$ 时，即 $P < 0.01$ ，认为种间联结性极显著。

1.3.4 Pearson 相关分析和 Spearman 秩相关分析 采用定量数据（重要值）对乔木层、灌木层、草本层优势种群的种间相关性进行 Pearson 相关系数和 Spearman 秩相关系数检验。计算公式为^[1]：

Pearson 相关系数：

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

Spearman 秩相关系数：

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

式中 $r_s(i, j)$ 为 Spearman 秩相关系数， $d_k = (x_{ik} - x_{jk})$ ， d_k 为每个种的秩， x_{ik} 和 x_{jk} 分别为种 i 和种 j 在第 k 个样方中的重要值， \bar{x}_i 和 \bar{x}_j 分别为第 k 个样方中种 i 和种 j 重要值的平均值， N 同上。

2 结果与分析

2.1 总体关联性

乔木层 5 个树种的总体关联性检验结果（表 1）显示： $VR = 0.45 < 1$ ，表明乔木层总体种间关系为负关联， $W = 11.20$ ，未落入界限 $\chi^2_{0.95}N < W < \chi^2_{0.05}N$ ，说明 5 个乔木树种间的总体负关联显著；灌木层 $VR = 1.10 > 1$ ，表明灌木层总体种间关系为正关联， $W = 27.45$ ，落入界限 $\chi^2_{0.95}N < W < \chi^2_{0.05}N$ ，说明 25 个灌木树种间的总体正关联不显著；草本层 $VR = 0.56 < 1$ ，表明草本层总体种间关系为负关联， $W = 14.06$ ，未落入界限 $\chi^2_{0.95}N < W < \chi^2_{0.05}N$ ，说明 16 个草本植物间的总体负关联显著。

表 1 马尾松群落各层次主要种群种间的总体关联性
Tab. 1 Overall interspecific associations among dominant populations of different hierarchical levels

层次	方差比率 (VR)	检验统计量 (W)	χ^2 临界值 ($\chi^2_{0.95}N, \chi^2_{0.05}N$)	检验结果
乔木层	0.45	11.20	(14.61, 37.65)	显著负关联
灌木层	1.10	27.45	(14.61, 37.65)	不显著正关联
草本层	0.56	14.06	(14.61, 37.65)	显著负关联

2.2 种间关联性

2.2.1 乔木层种群种间关联性 χ^2 检验统计（图 1）显示 10 对乔木层主要种群种对中，正关联种对数为 1 对，占总种对数的 10.00%，负关联种对数为 4 对，占总种对数的 40.00%，无关联种对数为 5 对，占总种对数的 50.00%，正负关联比为 0.25。其中，显著负关联的有 2 对，分别为杉木-青冈和杉木-枫香。

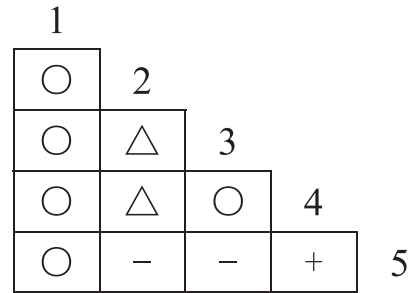


图 1 乔木层 5 个优势种间 χ^2 检验半矩阵图
Fig. 1 The semi-matrix of interspecific association χ^2 correction test of 5 dominant species in overstory layer

+：正关联Positive correlation；★：极显著正关联Positive correlation with extreme significance；▲：显著正关联Significantly positive correlated；-：负关联Negative correlation；☆：极显著负关联Negative correlation with extreme significance；△：显著负关联Significantly negative correlated；○：无关联Non-correlation.下同The same below.

1：马尾松Pinus massoniana；2：杉木Cunninghamia lanceolata；3：青冈Cyclobalanopsis glauca；4：枫香Liquidambar formosana；5：山茶Camellia japonica.下同The same below.

2.2.2 灌木层种群种间关联性 χ^2 检验统计（图 2）显示 300 对灌木层优势种群种对中，正关联种对数为 100 对，占总种对数的 33.33%，其中 9 个种对是显著正关联；负关联种对数为 200 对，占总种对数的 66.67%，显著负关联种对有 31 对，正负关联比为 0.50。

2.2.3 草本层种群种间关联性 χ^2 检验统计（图 3）显示 120 对草本层优势种群种对中，正关联种对数为 46 对，占总种对数的 38.33%，负关联种对数为 74 对，占总种对数的 61.67%，正负关联比为 0.62。其中，显著负关联的有 3 对，分别为山茶-山莓、山茶-柃木和山莓-柃木。

2.3 Pearson 相关和 Spearman 秩相关系数

2.3.1 乔木层 Pearson 相关和 Spearman 秩相关分析 Pearson 相关检验（图 4）显示 10 对乔木层主要种群种对中，正关联的种对数为 4 对，占总种对数的 40.00%，负关联种对有 6 对，占总种对数

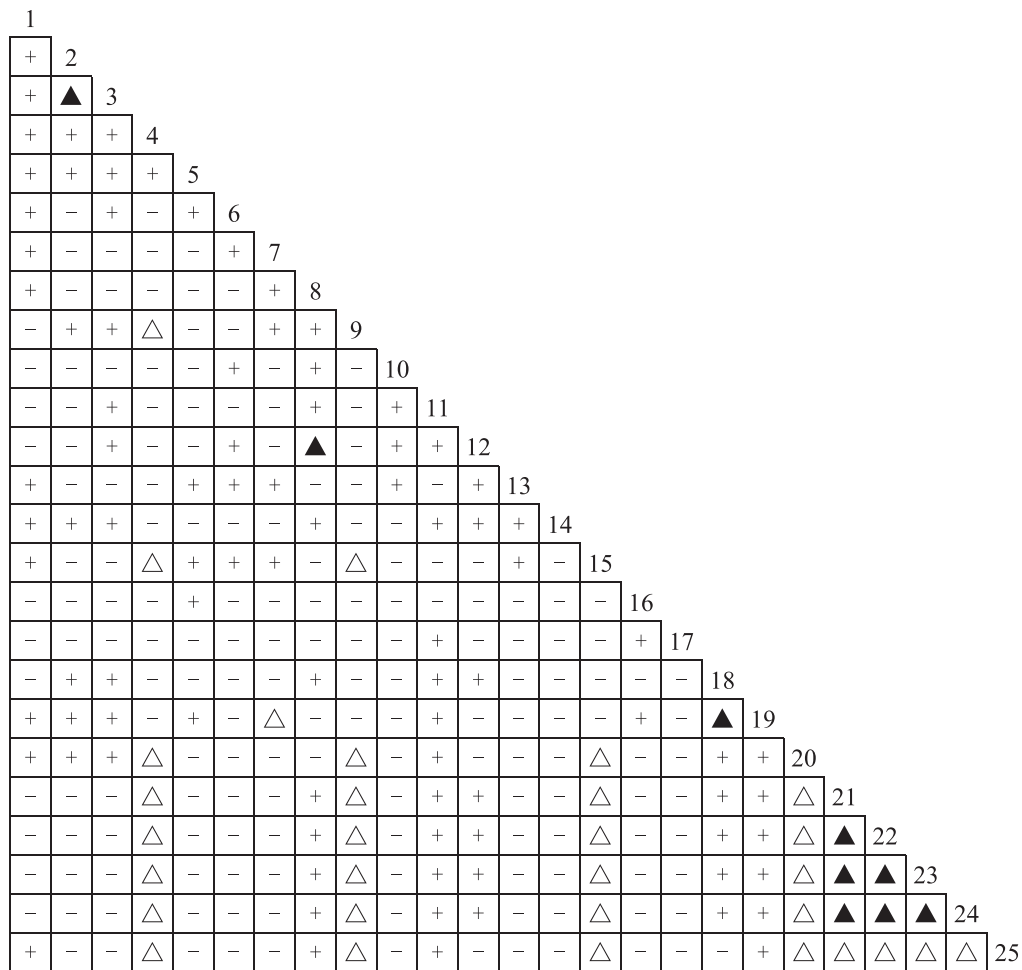


图 2 灌木层 25 个优势种间 χ^2 检验半矩阵图

Fig. 2 The semi-matrix of interspecific association χ^2 correction test of 25 dominant species in shrub layer

1: 檵木 *Loropetalum chinensis*; 2: 山茶 *Camellia japonica*; 3: 黄檀 *Dalbergia hupeana*; 4: 合掌木 *Exbucklandia populnea*; 5: 六月雪 *Serissa japonica*; 6: 杉木 *Cunninghamia lanceolata*; 7: 青冈 *Cyclobalanopsis glauca*; 8: 白栎 *Quercus fabri*; 9: 马尾松 *Pinus massoniana*; 10: 水红木 *Viburnum cylindricum*; 11: 油茶 *Camellia oleifera*; 12: 山莓 *Rubus corchorifolius*; 13: 白背叶 *Mallotus apelta*; 14: 蔷薇 *Rosa*; 15: 南酸枣 *Choerospondias axillaris*; 16: 柃木 *Eurya japonica*; 17: 拔葵 *Smilax china*; 18: 栾树 *Koelreuteria paniculata*; 19: 木油桐 *Vcmicia Montana*; 20: 红果钓樟 *Lindera erythrocarpa*; 21: 香樟 *Cinnamomum camphora*; 22: 异叶榕 *Ficus heteromorpha*; 23: 垂珠花 *Styrax dasyantha*; 24: 杜茎山 *Maesa japonica*; 25: 漆树 *Toxicodendron vernicifluum*. 下同 The same below.

的 60.00%，正负关联比为 0.67。Spearman 秩相关检验（图 4）中，正关联的种对数为 3 对，占总种对数的 30.00%，负关联种对有 7 对，占总种对数的 70.00%，正负关联比为 0.43。

2.3.2 灌木层 Pearson 相关和 Spearman 秩相关分析 Pearson 相关检验（图 5）显示 300 对灌木层主要种群种对中，正关联的种对数为 113 对，占总种对数的 37.67%，其中呈极显著正关联的种对有 32 对，显著正关联的种对有 3 对；负关联种对有 187 对，占总种对数的 62.33%，正负关联比为 0.60，检验显著率为 11.67%。Spearman 秩相关检验（图 5）中，正关联的种对数为 111 对，占总种对数的 37.00%，其中呈极显著正关联的种对

有 30 对，显著正关联的种对有 2 对；负关联种对有 152 对，占总种对数的 50.67%，呈显著负关联的种对有 3 对；无关联的种对有 37 对，占总种对数的 12.33%，正负关联比为 0.73，检验显著率为 11.67%。

2.3.3 草本层 Pearson 相关和 Spearman 秩相关分析 Pearson 相关检验（图 6）显示 120 对草本层主要种群种对中，正关联的种对数为 51 对，占总种对数的 42.50%，其中呈极显著正关联的种对有 1 对；负关联种对有 69 对，占总种对数的 57.50%，显著负关联的种对有 5 对，正负关联比为 0.74，检验显著率为 5.00%。Spearman 秩相关检验（图 6）中，正关联的种对数为 46 对，

1															
+	2														
+	+	3													
+	+	+	4												
+	-	-	-	5											
-	-	-	-	+	6										
-	-	+	+	-	+	7									
-	-	-	-	-	-	-	8								
-	-	-	+	-	-	+	+	9							
-	-	-	-	+	+	-	+	-	10						
+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	11					
+	△	-	+	+	-	-	-	-	-	+	12				
+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	13			
-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	14		
+	-	-	+	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-	15	
+	△	-	+	+	-	-	-	+	-	+	△	-	-	-	16

图 3 草本层 16 个优势种间 χ^2 检验半矩阵图

Fig. 3 The semi-matrix of interspecific association χ^2 correction test of 16 dominant species in herbaceous layer

1: 狗脊蕨 *Woodwardia japonica*; 2: 蛇葡萄 *Ampelopsis sinica*; 3: 薯蕷 *Dioscorea polystachya*; 4: 鳞毛蕨 *Dryopteridaceae*; 5: 淡竹叶 *Lophatherum gracile*; 6: 崖豆藤 *Millettia Wight*; 7: 斑茅 *Saccharum arundinaceum*; 8: 芒萁 *Dicranopteris dichotoma*; 9: 崖爬藤 *Tetrastigma formosanum*; 10: 鸡矢藤 *Paederia scandens*; 11: 乌敛莓 *Cayratia japonica*; 12: 酢浆草 *Oxalis corniculata*; 13: 苔草 *Carex tristachya*; 14: 狗尾巴草 *Setaria viridis*; 15: 海金沙 *Lygodium japonicum*; 16: 金毛耳草 *Hedyotis Chrysotricha*. 下同 The same below.

1	-	+	-	-
-	2	-	-	+
+	-	3	-	-
-	+	-	4	+
-	+	-	+	5

图 4 乔木层 5 个优势种间的 Pearson 相关分析和 Spearman 秩相关分析半矩阵图

Fig. 4 The semi-matrix of interspecific association Pearson correlation coefficients and Spearman rank correlation for 5 dominant species in overstory layer

对角线上方为Spearman秩相关分析半矩阵图, 对角线下方为 Pearson相关分析半矩阵图。下同。The figures above diagonal line represent semi-matrix of Spearman,s rank correlation,that below diagonal line represent semi-matrix of Pearson,s correlation coefficients.The same below.

占总种对数的 38.33%, 其中呈极显著正关联的种对有 1 对, 呈显著正关联的种对有 3 对, 总共有 4 对; 负关联种对有 65 对, 占总种对数的 54.17%, 极显著负关联的种对有 1 对, 显著负关联的种对有 3 对; 无关联的种对有 9 对, 正负关联比为 0.71, 检验显著率为 6.67%。

3 结论与讨论

湖南水口山国有林场马尾松群落乔木层、灌木层、草本层总体联结性分别为显著负关联、不显著正关联、显著负关联, 且对乔木层 10 个种对、灌木层 300 个种对、草本层 120 个种对的 χ^2 检验和 Pearson 相关分析、Spearman 秩相关分析均表现出负关联、负相关的种对数多于正关联、正相关种对, 表明马尾松群落目前尚不成熟且稳定性较差, 物种之间的联结关系较为松散, 且独立性较强, 同时也反映了群落的次生性与年轻性。白玉宏、胡文强等^[7,8]认为, 群落的成熟程度越高, 大多数物种间应存在较显著的正联结, 即物种间的正负关联比 > 1。本文中乔木层、灌木层、草本层的 3 种检验结果显示正负关联比均 < 1, 且多数物种间的联结性未达到显著水平, 说明该群落正处于不断发展的演替初期。因此, 应选取种间联结程度呈显著正联结的物种作为湖南水口山国有林场植被恢复与人工林营造的主要物种, 深入研究其自身的生态学特性, 推动群落朝着有利于物种稳定与共存的方向发展。

很多学者对 χ^2 检验、Pearson 相关检验和

1	-	-	-	-	△	+	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
-	2	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	-	○	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
-	+	3	+	-	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
-	+	+	4	+	+	-	+	★	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	+	+	+	5	★	-	-	+	▲	-	+	+	-	+	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
-	-	-	+	+	6	-	-	+	▲	-	+	+	-	+	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	+
+	-	-	-	-	7	+	-	-	-	+	+	+	○	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
+	-	+	+	-	-	+	8	+	-	-	+	+	+	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	+	+	★	+	+	-	+	9	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	+	+	▲	-	-	+	10	△	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
+	+	+	-	-	-	-	-	-	11	-	-	○	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	12	+	+	○	△	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	+	13	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	★	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	★	-	15	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
▲	-	-	-	-	-	▲	-	-	-	+	-	-	-	-	16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
★	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	18	★	★	★	★	★	★	★	★	★
-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	★	19	★	★	★	★	★	★	★	★	★
-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	★	★	20	★	★	★	★	★	★	★	★
-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	★	★	★	21	★	★	★	★	★	★	★
-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	★	★	★	★	22	★	★	★	★	★	★
-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	★	★	★	★	★	23	★	★	★	★	★
-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	★	★	★	★	★	★	24	★	★	★	★
-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★

图 5 灌木层 25 个优势种间的 Pearson 相关分析和 Spearman 秩相关分析半矩阵图

Fig. 5 The semi-matrix of interspecific association Pearson's correlation coefficients and Spearman's rank correlation for 25 dominant species in shrub layer

1	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	○	-	-	-	+
+	2	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-
+	+	3	-	▲	+	△	-	△	+	+	+	○	-	-	-
-	△	-	4	○	+	-	-	○	-	+	+	★	-	-	○
+	+	+	+	5	+	△	-	☆	+	+	+	+	-	-	○
-	+	+	+	-	6	-	+	-	+	-	○	+	-	-	-
-	-	△	+	△	-	7	+	▲	-	-	-	-	+	▲	+
-	+	-	-	-	+	+	8	+	-	-	-	-	+	+	-
-	-	△	+	△	+	+	+	9	-	-	-	-	+	+	○
+	+	★	-	+	+	-	-	-	10	-	+	-	-	-	-
+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	11	+	+	-	+	+
-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	12	+	-	-	-
-	-	-	+	+	+	-	-	+	-	+	+	13	-	-	○
-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	14	+	-
-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	-	-	+	15	+
+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	16

图 6 草本层 16 个优势种间的 Pearson 相关分析和 Spearman 秩相关分析半矩阵图

Fig. 6 The semi-matrix of interspecific association Pearson's correlation coefficients and Spearman's rank correlation for 16 dominant species in herbaceous layer

Spearman 秩相关检验等 3 种检验方法进行比较研究^[9-11], 结果表明 Pearson 相关检验、Spearman 秩相关检验的检验显著率高于 χ^2 检验。这一结论在本研究中并未得到充分体现, 仅在草本层中 Pearson 相关检验与 Spearman 秩相关的显著率略高于 χ^2 检验。本研究中櫟木-拔葵、山莓-蔷薇、白背叶-南酸枣和薯蓣-斑茅在 Pearson 相关检验中呈极显著正相关, 在 Spearman 秩相关检验中呈正相关, 櫟木-柃木在 Pearson 相关检验中呈显著正相关, 在 Spearman 秩相关检验中呈正相关, 蛇葡萄-鳞毛蕨在 Pearson 相关检验中呈显著负相关, 在 Spearman 秩相关检验中呈正相关; 这与胡贝娟、郭俊兵等^[12, 13] 研究表明 Spearman 秩相关检验的灵敏度明显高于 Pearson 相关检验的结论不一致。赵则海等^[14] 认为, 当样方面积为 25 m², 样方数为 50 时, χ^2 检验正负关联比最接近 1, 能更全面地反映主要种群的种间联结性。因此, 在对湖南水口山国有林场马尾松群落种间联结性的研究中, 样方面积与数目是影响物种正负关联比以及 Pearson 相关与 Spearman 秩相关检验灵敏度的重要因素, 如何更科学、合理地确定取样面积与样方数目还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 简敏菲, 刘琪景, 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.
- [2] 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.
- [3] 刘珏宏, 高 慧, 张丽红, 等. 内蒙古锡林郭勒草原大针茅-克氏针茅群落的种间关联特征分析 [J]. 植物生态学报, 2010, 34 (9): 1016-1024.
- [4] 孙儒泳, 李庆芬, 牛翠娟, 等. 基础生态学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [5] Schluter D. 1984. A variance test for detecting species associations, with some example applications [J]. Ecology, 65 (3): 998-1005.
- [6] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 2004
- [7] 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.
- [8] 胡文强, 黄世能, 李家湘, 等. 南岭石坑崆山顶矮林乔木优势种群的种间关联性 [J]. 生态学杂志, 2013, 32 (10): 2665-2671.
- [9] 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 [J]. 植物生态学报, 1997, 21 (5): 33-41.
- [10] 程瑞梅, 王瑞丽, 刘泽彬, 等. 三峡库区栲属群落主要乔木种群的种间联结性 [J]. 林业科学, 2013, 49 (5): 36-42.
- [11] 杜道林, 刘玉成, 李 睿. 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, 1995, 19 (2): 149-157.
- [12] 胡贝娟, 张钦弟, 张 玲, 等. 山西太岳山连翘群落优势种种间关系 [J]. 生态学杂志, 2013, 32 (4): 845-851.
- [13] 郭俊兵, 狄晓艳, 李素清. 山西大同矿区煤矸石山自然定居植物群落优势种种间关系 [J]. 生态学杂志, 2015, 34 (12): 3327-3332.
- [14] 赵则海, 祖元刚, 杨逢建, 等. 东灵山辽东栎林木本植物种间联结取样技术的研究 [J]. 植物生态学报, 2003, 27 (3): 396-403.

(文字编校: 龚玉子)