

贵州茂兰国家级自然保护区四药门花群落 各层次优势种群的种间联结性分析

俞筱桢^{1,①}, 余 瑞², 黄 娟¹, 袁子勇¹, 杨 芳¹, 韩国栋¹

(1. 黔南民族师范学院旅游与资源环境学院, 贵州 都匀 558000; 2. 贵州省都匀市第三中学, 贵州 都匀 558000)

摘要: 采用样带法对贵州茂兰国家级自然保护区内濒危植物四药门花 [*Loropetalum subcordatum* (Benth.) Oliv.] 群落乔木层、灌木层和草本层的植物种类进行了野外调查, 并采用方差比率 (VR) 法、Pearson 相关性分析和 Spearman 秩相关性分析对各层次优势种群的种间联结性进行了分析。结果表明: 该群落共有维管植物 86 科 183 属 259 种 (变种), 乔木层、灌木层和草本层的植物种类分别有 131 种、116 种和 198 种 (变种), 优势种分别有 15 种、9 种和 17 种 (变种)。VR 分析结果表明: 各层次的优势种群总体联结性呈负关联 ($VR < 1$), 其中, 乔木层的优势种群总体联结性显著, 统计量 (W) 为 0.69; 灌木层和草本层的优势种群总体联结性不显著, W 值分别为 4.90 和 2.64。Pearson 相关性分析结果表明: 乔木层和灌木层的优势种对以负关联为主, 草本层的优势种对以正关联为主, 分别占相应层次优势种对总数的 58.1%、52.8% 和 58.1%; 四药门花与乔木层和草本层的优势种种间联结性以负关联为主, 其与乔木层的樟 [*Cinnamomum camphora* (Linn.) J. Presl] 和草本层的锈毛崖豆藤 [*Callerya cinerea* (Benth.) Schot] 呈显著 ($P < 0.05$) 正关联, 与灌木层的粗糠柴 [*Mallotus philippensis* (Lam.) Müll. Arg.] 呈极显著 ($P < 0.01$) 正关联, 与乔木层的灯台树 (*Cornus controversa* Hemsl.) 呈显著负关联。Spearman 秩相关性分析结果表明: 乔木层的优势种对以负关联为主, 灌木层和草本层的优势种对以正关联为主, 分别占相应层次优势种对总数的 52.4%、63.9% 和 50.0%; 四药门花与乔木层和草本层的优势种种间联结性以负关联为主, 与灌木层的优势种种间联结性以正关联为主, 其与乔木层的灯台树呈显著负关联, 与灌木层的粗糠柴呈极显著正关联, 并与灌木层的香叶树 (*Lindera communis* Hemsl.) 和南方紫金牛 (*Ardisia thyrsiflora* D. Don) 呈显著正关联。综上所述, 贵州茂兰国家级自然保护区内四药门花群落各层次优势种群的联结性较弱, 四药门花在该群落中表现出较强的独立性, 仅与少数优势种存在竞争关系, 建议在目前封山育林模式基础上采取适当的人工辅助措施, 以利于四药门花种群发展。

关键词: 四药门花群落; 优势种; 种间联结性; 方差比率法; Pearson 相关性分析; Spearman 秩相关性分析

中图分类号: Q948.12⁺2.1; S718.54⁺1 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2018)02-0024-09

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2018.02.04

Analysis on interspecific associations among dominant populations in each layer of *Loropetalum subcordatum* community in Maolan National Nature Reserve of Guizhou YU Xiaoya^{1,①}, YU Rui², HUANG Juan¹, YUAN Ziyong¹, YANG Fang¹, HAN Guodong¹ (1. School of Tourism and Resource Environment, Qiannan Normal University for Nationalities, Duyun 558000, China; 2. Duyun No. 3 Middle School of Guizhou, Duyun 558000, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2018, 27(2): 24-32

Abstract: The field investigation of species in arbor, shrub, and herb layers of endangered plant *Loropetalum subcordatum* (Benth.) Oliv. community in Maolan National Nature Reserve of Guizhou was conducted by transect method, and the interspecific associations among dominant populations in each layer were analyzed by variance ratio (VR) method, Pearson correlation analysis, and Spearman rank correlation analysis. The results show that there are 259 species (varieties) of vascular plants in 183

收稿日期: 2017-08-09

基金项目: 贵州省科学技术厅联合基金项目(黔科合 LH 字[2014]7431); 贵州省教育厅自然科学基金项目(黔教合 KY 字[2013]209 号)

作者简介: 俞筱桢(1980—), 男, 云南罗平人, 硕士, 副教授, 主要从事喀斯特生态系统和植物地理研究。

①通信作者 E-mail: ynyxy800305@163.com

genera belonging to 86 families, and 131 species, 116 species, and 198 species (varieties) in arbor, shrub, and herb layers, respectively, their dominant species are 15 species, 9 species, and 17 species (varieties), respectively. The result of *VR* analysis shows that the overall associations among dominant populations in each layer are negatively correlated ($VR < 1$), in which, those among dominant populations in arbor layer are significant with statistic (W) of 0.69, while those among dominant populations in shrub and herb layers are not significant with W values of 4.90 and 2.64, respectively. The result of Pearson correlation analysis shows that the dominant species-pairs in arbor and shrub layers are mainly negatively correlated, while those in herb layer are mainly positively correlated, which account for 58.1%, 52.8%, and 58.1% of total number of dominant species-pairs in corresponding layer, respectively; the interspecific associations of *L. subcordatum* with dominant species in arbor and herb layers are mainly negatively correlated, it shows significantly ($P < 0.05$) positive correlations with *Cinnamomum camphora* (Linn.) J. Presl in arbor layer and *Callerya cinerea* (Benth.) Schot in herb layer, an extremely significantly ($P < 0.01$) positive correlation with *Mallotus philippensis* (Lam.) Müll. Arg. in shrub layer, and a significantly negative correlation with *Cornus controversa* Hemsl. in arbor layer. The result of Spearman rank correlation analysis shows that the dominant species-pairs in arbor layer are mainly negatively correlated, while those in shrub and herb layers are mainly positively correlated, which account for 52.4%, 63.9%, and 50.0% of total number of dominant species-pairs in corresponding layer, respectively; the interspecific associations of *L. subcordatum* with dominant species in arbor and herb layers are mainly negatively correlated, while those of it with dominant species in shrub layer are mainly positively correlated, it shows a significantly negative correlation with *C. controversa* in arbor layer, an extremely significantly positive correlation with *M. philippensis* in shrub layer, and significantly positive correlations with *Lindera communis* Hemsl. and *Ardisia thyrsoiflora* D. Don in shrub layer. In conclusion, the interspecific associations among dominant populations are weak in each layer of *L. subcordatum* community in Maolan Natural Nature Reserve of Guizhou, and *L. subcordatum* shows strong independence in this community, only has competition relations with a few dominant species. Proper artificial assistances are recommended based on present closed forest mode to facilitate the development of *L. subcordatum* population.

Key words: *Loropetalum subcordatum* (Benth.) Oliv. community; dominant species; interspecific association; variance ratio method; Pearson correlation analysis; Spearman rank correlation analysis

植物群落具有一定的结构和数量特征,植物的种间联结性和相关性是群落的重要数量特征,对群落动态具有重要影响^[1],因此,研究种间联结性对于正确认识植物群落的结构、功能和分类具有重要的指导意义^[2],同时,也能为森林经营、自然植被恢复和生物多样性保护提供理论依据^[3]。目前已有的种间联结研究方法^[4]主要是基于二元数据定性或定量测定植物种间的相关性,广泛用于各种植被类型优势种群^[5]和珍稀濒危植物群落^[6-7]的种间联结性分析,对于制定植物种类的合理保护策略具有重要意义。

四药门花 [*Loropetalum subcordatum* (Benth.) Oliv.] 隶属于金缕梅科 (Hamamelidaceae) 榿木属 (*Loropetalum* R. Brown)^[8], 主要分布在香港、广东中山五桂山、广西环江和贵州荔波等地^[9], 在国家重点保护野生植物名录 (第一批) 中列为国家 II 级重点保护野生植物。关于四药门花的光照和水分胁迫适应性^{[9]1-50}、传粉生物学特征^[10]、自然种群遗传结

构^[11]及解剖结构特征^[12]的研究结果表明:四药门花的自我繁殖能力较弱,对于干旱胁迫的适应能力也较弱,这是其濒危的主要内因。群落种间关系是植物濒危的重要外因,明确植物群落的种间联结性对于揭示濒危植物在群落中的潜在竞争者和促进者具有重要作用。然而,关于四药门花濒危机制的外因研究却鲜见报道,不利于四药门花有效保护措施制定。

鉴于此,作者对贵州茂兰国家级自然保护区内四药门花群落各层次的植物种类进行了野外调查,并对群落中各层次优势种群的种间联结性进行了分析,以期探究四药门花与各层次优势种的关系,为制定四药门花种群有效保护措施提供参考依据。

1 研究地概况和研究方法

1.1 研究地概况

贵州茂兰国家级自然保护区位于荔波县境内的

黔、桂交界处^[13],具体地理位置为北纬 25°09'20"~25°20'50"、东经 107°52'10"~108°05'40",分为翁昂、三岔河、洞塘和永康4个片区,总面积 212.85 hm²,海拔 430.0~1 078.6 m,平均海拔 800 m。该保护区属亚热带季风气候,常年温热湿润,雨量充沛,夏热冬暖,保护区内植物种类丰富,是中国亚热带地区惟一保存完好的自然生态平衡的喀斯特森林生态系统。该保护区年平均气温 15.3℃,最冷月(1月份)平均气温 5.2℃,最热月(7月份)平均气温 23.5℃,年日照时数 1 272.8 h;保护区内的植物群落以常绿落

叶阔叶混交林为主,共有种子植物 1 820 种^[14],其中包含多种珍稀濒危植物。

1.2 研究方法

1.2.1 样方设置和调查方法 于2016年12月7日至12日,采用郑师章等^[15]的方法,在贵州茂兰国家级自然保护区内四药门花集中分布的永康片区山体中部的狭长地带选取典型分布区域设置样带,共设置5条样带,每条样带面积 40 m×10 m,各样带自然概况见表1。

表1 贵州茂兰国家级自然保护区四药门花群落5条样带的自然概况

Table 1 Natural situation of five transects of *Loropetalum subcordatum* (Benth.) Oliv. community in Maolan National Nature Reserve of Guizhou

样带编号 ¹⁾ No. of transect ¹⁾	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔/m Altitude	坡度/(°) Slope	坡向/(°) ²⁾ Aspect ²⁾	厚度/cm Depth		乔木 ³⁾	Arbor ³⁾
						枯落物层 Litter layer	土壤 AO 层 AO layer of soil	H/m	DBH/cm
T1	N25°20'05"	E107°56'09"	815.0	26.50	342	1.8	1.4	4.30	2.87
T2	N25°19'10"	E107°56'18"	818.9	31.00	288	4.4	3.0	4.14	2.91
T3	N25°19'39"	E107°56'12"	872.6	31.25	192	8.5	3.5	5.09	3.79
T4	N25°17'55"	E107°56'12"	885.4	29.80	335	6.8	2.8	4.53	3.18
T5	N25°18'44"	E107°55'54"	844.5	26.50	73	4.7	2.2	3.26	2.67

¹⁾ T1, T2: 尧古村 Yaogu Village; T3, T4, T5: 董歹村 Dongdai Village.

²⁾ 以正北方向为 0°, 按顺时针方向折算 Regard the north as 0°, and converted by clockwise direction.

³⁾ H: 平均高度 Average height; DBH: 平均胸径 Average diameter at breast height.

将每条样带分成4个面积 10 m×10 m 的乔木层样方,详细记录每个样方内胸径大于等于 1 cm 的木本植物的种类、胸径、冠幅和高度等信息,目测乔木层郁闭度;在每个样方的中央和四角各设置1个面积 2 m×2 m 的灌木层样方,详细记录每个样方内胸径小于 1 cm、高度大于等于 1.3 m 的木本植物和藤本植物的种类和株数,目测灌木层盖度;同时,在每个灌木层样方中央设置1个面积 1 m×1 m 的草本层样方,详细记录样方内草本植物和木本植物幼苗的种类和株数,目测草本层盖度。以植株与土壤接触部位的茎数量为丛生草本植物的株数。

1.2.2 重要值计算及优势种选取 参照刘琪璟等^[16]的方法计算5条样带内乔木层、灌木层和草本层中各种类的重要值;乔木层和草本层的优势种为在5条样带均出现的种类,灌木层的优势种为在4条或5条样带均出现的种类。

1.2.3 种间联结性分析 采用方差比率(VR)法^[17]检验每条样带各层次优势种间的总体联结性,根据VR值判断群落内各层次所有优势种间的总体联结性。VR=1,表示群落内各层次优势种间无关联;VR>

1,表示群落内各层次优势种间呈正关联;VR<1,表示群落内各层次优势种间呈负关联。采用统计量(W)检验群落内优势种间的联结性是否显著,其计算公式为 $W = VR \cdot N$ 。式中,N为样带数。W值服从 χ^2 分布,查阅 χ^2 表^[18],若 $W < \chi_{0.95}^2(N)$ 或 $W > \chi_{0.05}^2(N)$,表示群落内优势种间的总体联结性显著;若 $\chi_{0.95}^2(N) < W < \chi_{0.05}^2(N)$,表示群落内优势种间的总体联结性不显著。

参照张金屯^[19]的方法,根据5条样带各层次优势种的重要值计算乔木层、灌木层和草本层优势种间的 Pearson 相关系数和 Spearman 秩相关系数,对各层次优势种群所有种对的联结性进行分析。

2 结果和分析

2.1 四药门花群落各层次的优势种分析

调查结果表明:贵州茂兰国家级自然保护区四药门花群落中共有维管植物 259 种(变种),隶属于 86 科 183 属。该群落可分为3个层次,其中,乔木层的

植物种类有 131 种, 最大高度达 8.0 m, 郁闭度 0.8, 优势种包括香叶树 (*Lindera communis* Hemsl.)、九里香 (*Murraya exotica* Linn.) 和四药门花等 15 种; 灌木层的植物种类有 116 种, 高度 1.3~2.2 m, 盖度 30%, 优势种包括针齿铁仔 (*Myrsine semiserrata* Wall.) 和香

叶树等 9 种; 草本层的植物种类有 198 种 (变种), 高度约 20 cm, 盖度 50%, 优势种包括中华薹草 (*Carex chinensis* Retz.) 和深绿卷柏 (*Selaginella doederleinii* Hieron.) 等 17 种 (变种)。供试 5 条样带乔木层、灌木层和草本层优势种的重要值见表 2。

表 2 贵州茂兰国家级自然保护区四药门花群落 5 条样带各层次优势种的重要值

Table 2 Important value of dominant species in each layer of five transects of *Loropetalum subcordatum* (Benth.) Oliv. community in Maolan National Nature Reserve of Guizhou

层次 Layer	编号 No.	种类 Species	在不同样带中的重要值 ¹⁾ Important value in different transects ¹⁾				
			T1	T2	T3	T4	T5
乔木层 Arbor layer	A1	粗糠柴 <i>Mallotus philippensis</i>	1.65	1.80	0.96	1.30	0.49
	A2	灯台树 <i>Cornus controversa</i>	4.03	4.41	4.00	1.21	2.21
	A3	火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	2.23	1.97	0.41	1.82	4.31
	A4	交让木 <i>Daphniphyllum macropodum</i>	1.42	0.76	0.49	0.57	1.51
	A5	九里香 <i>Murraya exotica</i>	9.50	8.15	2.20	1.56	18.37
	A6	四药门花 <i>Loropetalum subcordatum</i>	5.98	8.72	12.20	20.18	13.24
	A7	香叶树 <i>Lindera communis</i>	17.73	6.34	7.07	13.84	6.27
	A8	小果十大功劳 <i>Mahonia bodinieri</i>	0.40	0.68	0.93	0.95	0.64
	A9	小檗木 <i>Cornus quinquevenis</i>	0.95	1.22	0.64	1.12	0.43
	A10	崖花子 <i>Pittosporum truncatum</i>	1.06	4.39	3.66	1.08	1.44
	A11	化香树 <i>Platycarya strobilacea</i>	6.31	9.00	5.86	3.37	7.03
	A12	樟 <i>Cinnamomum camphora</i>	1.08	0.67	3.44	4.69	1.99
	A13	细叶青冈 <i>Cyclobalanopsis gracili</i>	1.32	2.52	4.75	0.99	1.72
	A14	针齿铁仔 <i>Myrsine semiserrata</i>	0.69	2.27	0.69	0.43	3.88
	A15	皱叶雀梅藤 <i>Sageretia rugosa</i>	1.10	3.31	2.41	1.01	1.16
灌木层 Shrub layer	S1	粗糠柴 <i>Mallotus philippensis</i>	4.99	1.50	0.85	2.68	2.87
	S2	九里香 <i>Murraya exotica</i>	2.96	7.29	2.78	2.93	9.16
	S3	四药门花 <i>Loropetalum subcordatum</i>	9.79	3.01	2.78	4.33	4.80
	S4	香叶树 <i>Lindera communis</i>	6.40	5.03	0.85	4.72	5.91
	S5	米槠 <i>Castanopsis carlesii</i>	1.35	0.00	4.94	1.15	2.73
	S6	石山柿 <i>Diospyros saxatilis</i>	1.60	3.76	1.93	0.00	3.84
	S7	南方紫金牛 <i>Ardisia thyrsoiflora</i>	1.60	0.75	0.00	0.89	0.80
	S8	细叶青冈 <i>Cyclobalanopsis gracilis</i>	0.68	1.50	2.55	0.00	0.64
	S9	针齿铁仔 <i>Myrsine semiserrata</i>	9.91	6.13	2.78	0.00	6.73
草本层 Herb layer	H1	粗糠柴 <i>Mallotus philippensis</i>	0.78	1.13	0.58	1.04	1.36
	H2	大叶茜草 <i>Rubia schumanniana</i>	0.48	1.44	0.37	0.59	2.31
	H3	东风草 <i>Blumea megacephala</i>	1.02	0.95	0.29	0.88	3.66
	H4	凤尾蕨 <i>Pteris cretica</i> var. <i>nervosa</i>	1.26	2.64	1.58	2.42	0.81
	H5	鸡矢藤 <i>Paederia foetida</i>	0.24	0.45	0.74	0.29	0.27
	H6	九里香 <i>Murraya exotica</i>	1.21	3.28	1.90	2.55	3.58
	H7	樟叶木防己 <i>Cocculus laurifolius</i>	0.83	1.17	1.32	1.17	0.27
	H8	山莓 <i>Rubus corchorifolius</i>	1.55	0.58	0.37	0.67	0.27
	H9	射干 <i>Belamcanda chinensis</i>	1.31	1.44	0.29	0.59	1.08
	H10	深绿卷柏 <i>Selaginella doederleinii</i>	7.23	5.94	1.19	3.14	5.39
	H11	四药门花 <i>Loropetalum subcordatum</i>	3.01	1.48	3.61	1.78	2.98
	H12	香叶树 <i>Lindera communis</i>	3.07	2.25	1.16	0.96	3.65
	H13	小蜡 <i>Ligustrum sinense</i>	0.78	0.68	0.58	0.29	0.27
	H14	锈毛崖豆藤 <i>Callerya cinerea</i>	0.83	0.36	1.61	0.29	1.36
	H15	化香树 <i>Platycarya strobilacea</i>	0.24	1.75	0.29	0.29	0.27
	H16	针齿铁仔 <i>Myrsine semiserrata</i>	2.78	3.05	2.21	0.29	5.06
	H17	中华薹草 <i>Carex chinensis</i>	27.25	28.45	16.57	4.23	25.42

¹⁾T1, T2: 尧古村 Yaogu Village; T3, T4, T5: 董歹村 Dongdai Village.

2.2 四药门花群落各层次优势种群的联结性分析

2.2.1 各层次优势种群的总体联结性分析 计算结果表明:贵州茂兰国家级自然保护区四药门花群落乔木层优势种的方差比率(VR)为0.14,明显小于1,说明该群落乔木层的优势种间存在负关联;统计量(W)为0.69,没有落入 $\chi^2_{0.95}(5)$ 和 $\chi^2_{0.05}(5)$ 的数值范围内(0.711~9.488),表明该群落乔木层优势种间的总体联结性显著。该群落灌木层优势种的VR值为0.98,略小于1,说明该群落灌木层的优势种间存在负关联;W值为4.90,落入 $\chi^2_{0.95}(5)$ 和 $\chi^2_{0.05}(5)$ 的数值范围内,表明该群落灌木层优势种间的总体联结性不显著。该群落草本层优势种的VR值为0.53,明显小于1,表明该群落草本层的优势种间存在负关联;W值为2.64,落入 $\chi^2_{0.95}(5)$ 和 $\chi^2_{0.05}(5)$ 的数值范围内,表明该群落草本层优势种间的总体联结性不显著。

2.2.2 乔木层优势种群的联结性分析 Pearson相关性分析结果(表3)表明:在贵州茂兰国家级自然保护区四药门花群落乔木层优势种组成的105对种对中,42对种对呈正关联,占乔木层优势种种对总数的40.0%;61对种对呈负关联,占乔木层优势种种对总

数的58.1%;2对种对无关联,占乔木层优势种种对总数的1.9%。在所有正关联种对中,仅崖花子-皱叶雀梅藤(*Pittosporum truncatum*-*Sageretia rugosa*)1对种对呈极显著($P<0.01$)正关联,粗糠柴-小栎木(*Mallotus philippensis*-*Cornus quinquevenis*)、火棘-九里香(*Pyracantha fortuneana*-*Murraya exotica*)、交让木-九里香(*Daphniphyllum macropodum*-*Murraya exotica*)、九里香-针齿铁仔(*Murraya exotica*-*Myrsine semiserrata*)和四药门花-樟(*Loropetalum subcordatum*-*Cinnamomum camphora*)5对种对呈显著($P<0.05$)正关联,其余36对种对呈不显著正关联;在所有负关联种对中,灯台树-四药门花(*Cornus controversa*-*Loropetalum subcordatum*)和化香树-樟(*Platycarya strobilacea*-*Cinnamomum camphora*)2对种对呈显著负关联,其余59对种对呈不显著负相关;灯台树-交让木和小栎木-化香树2对种对无关联。四药门花与该群落乔木层优势种共形成14对种对,其中,正关联种对有2对,负关联种对有12对。

Spearman秩相关性分析结果(表3)表明:在贵州茂兰国家级自然保护区四药门花群落乔木层优势种

表3 贵州茂兰国家级自然保护区四药门花群落乔木层优势种群的 Pearson 相关系数和 Spearman 秩相关系数¹⁾
Table 3 Pearson correlation coefficient and Spearman rank correlation coefficient among dominant populations in arbor layer of *Loropetalum subcordatum* (Benth.) Oliv. community in Maolan National Nature Reserve of Guizhou¹⁾

种类 Species	相关系数 ²⁾ Correlation coefficient ²⁾														
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15
A1	—	0.70	-0.10	-0.10	-0.20	-0.60	0.40	-0.10	0.90*	0.10	0.30	-0.60	-0.10	-0.21	0.20
A2	0.48	—	0.10	0.10	0.30	-0.90*	0.00	-0.50	0.40	0.40	0.70	-0.90*	0.50	0.36	0.70
A3	-0.41	-0.39	—	1.00**	0.90*	-0.20	-0.30	-0.80	-0.30	-0.30	0.60	-0.50	-0.30	0.67	-0.10
A4	-0.22	0.00	0.82	—	0.90*	-0.20	-0.30	-0.80	-0.30	-0.30	0.60	-0.50	-0.30	0.67	-0.10
A5	-0.40	-0.02	0.91*	0.89*	—	-0.40	-0.40	-0.90*	-0.50	-0.10	0.70	-0.60	0.10	0.82	0.20
A6	-0.42	-0.88*	-0.01	-0.46	-0.35	—	-0.30	0.70	-0.20	0.00	-0.50	0.80	-0.30	-0.21	-0.40
A7	0.45	-0.15	-0.10	0.21	-0.25	-0.07	—	0.00	0.30	-0.70	-0.60	0.20	-0.50	-0.82	-0.60
A8	-0.29	-0.41	-0.50	-0.85	-0.65	0.79	-0.37	—	0.30	0.30	-0.60	0.70	0.00	-0.56	-0.10
A9	0.91*	0.13	-0.37	-0.42	-0.52	-0.02	0.38	0.02	—	0.20	0.10	-0.30	-0.20	-0.36	0.10
A10	0.25	0.67	-0.49	-0.53	-0.24	-0.30	-0.69	0.27	0.19	—	0.50	-0.30	0.80	0.46	0.90*
A11	0.21	0.71	0.25	0.31	0.53	-0.73	-0.53	-0.50	0.00	0.62	—	-0.90*	0.40	0.87	0.70
A12	-0.38	-0.70	-0.35	-0.58	-0.60	0.89*	0.10	0.83	-0.09	-0.28	-0.89*	—	-0.30	-0.62	-0.60
A13	-0.19	0.55	-0.62	-0.50	-0.32	-0.18	-0.58	0.41	-0.32	0.75	0.24	0.07	—	0.46	0.90*
A14	-0.49	-0.07	0.81	0.56	0.88*	-0.12	-0.64	-0.28	-0.47	0.08	0.61	-0.46	-0.11	—	0.62
A15	0.38	0.69	-0.44	-0.49	-0.21	-0.36	-0.62	0.17	0.31	0.99**	0.68	-0.38	0.64	0.09	—

¹⁾ A1: 粗糠柴 *Mallotus philippensis* (Lam.) Müll. Arg.; A2: 灯台树 *Cornus controversa* Hemsl.; A3: 火棘 *Pyracantha fortuneana* (Maxim.) H. L. Li; A4: 交让木 *Daphniphyllum macropodum* Miq.; A5: 九里香 *Murraya exotica* Linn.; A6: 四药门花 *Loropetalum subcordatum* (Benth.) Oliv.; A7: 香叶树 *Lindera communis* Hemsl.; A8: 小果十大功劳 *Mahonia bodinieri* Gagnep.; A9: 小栎木 *Cornus quinquevenis* Franch.; A10: 崖花子 *Pittosporum truncatum* Pritz.; A11: 化香树 *Platycarya strobilacea* Sieb. et Zucc.; A12: 樟 *Cinnamomum camphora* (Linn.) J. Presl; A13: 细叶青冈 *Cyclobalanopsis gracilis* (Rehd. et E. H. Wilson) W. C. Cheng et T. Hong; A14: 针齿铁仔 *Myrsine semiserrata* Wall.; A15: 皱叶雀梅藤 *Sageretia rugosa* Hance.

²⁾ “—”上方和下方数据分别为 Spearman 秩相关系数和 Pearson 相关系数 Data above and below “—” are Spearman rank correlation coefficient and Pearson correlation coefficient, respectively. *: $P<0.05$; **: $P<0.01$.

组成的 105 对种对中, 46 对种对呈正关联, 占乔木层优势种种对总数的 43.8%; 55 对种对呈负关联, 占乔木层优势种种对总数的 52.4%; 4 对种对无关联, 占乔木层优势种种对总数的 3.8%。在所有正关联种对中, 仅火棘 - 交让木 (*Pyracantha fortuneana* - *Daphniphyllum macropodum*) 1 对种对呈极显著正关联, 粗糠柴 - 小栎木 - 崖花子 - 皱叶雀梅藤 (*Pittosporum truncatum* - *Sageretia rugosa*)、细叶青冈 - 皱叶雀梅藤 (*Cyclobalanopsis gracilis* - *Sageretia rugosa*)、火棘 - 九里香和交让木 - 九里香 5 对种对呈显著正关联, 其余 40 对种对呈不显著正关联; 在所有负关联种对中, 灯台树 - 四药门花、九里香 - 小果十大功劳 (*Murraya exotica* - *Mahonia bodinieri*)、灯台树 - 樟 (*Cornus controversa* - *Cinnamomum camphora*) 和化香树 - 樟 4 对种对呈显著负关联, 其余 51 对种对呈不显著负关联; 灯台树 - 香叶树 (*Cornus controversa* - *Lindera communis*)、香叶树 - 小果十大功劳 (*Lindera communis* - *Mahonia bodinieri*)、四药门花 - 崖花子 (*Loropetalum subcordatum* - *Pittosporum truncatum*) 和小果十大功劳 -

细叶青冈 (*Mahonia bodinieri* - *Cyclobalanopsis gracilis*) 4 对种对无关联。四药门花与该群落乔木层优势种共形成 14 对种对, 其中, 正关联种对有 2 对, 负关联种对有 11 对, 无关联种对有 1 对。

2.2.3 灌木层优势种群的联结性分析 Pearson 相关性分析结果 (表 4) 表明: 在贵州茂兰国家级自然保护区四药门花群落灌木层优势种组成的 36 对种对中, 17 对种对呈正关联, 占灌木层优势种种对总数的 47.2%; 19 对种对呈负关联, 占灌木层优势种种对总数的 52.8%。在所有正关联种对中, 仅粗糠柴 - 四药门花 (*Mallotus philippensis* - *Loropetalum subcordatum*) 1 对种对呈极显著正关联, 粗糠柴 - 南方紫金牛 (*Mallotus philippensis* - *Ardisia thyrsoiflora*) 和香叶树 - 南方紫金牛 (*Lindera communis* - *Ardisia thyrsoiflora*) 2 对种对呈显著正关联, 其余 14 对种对呈不显著正关联; 19 对负关联种对的关联性均不显著。四药门花与该群落灌木层优势种共形成 8 对种对, 其中, 正关联和负关联的种对各 4 对。

表 4 贵州茂兰国家级自然保护区四药门花群落灌木层优势种群的 Pearson 相关系数和 Spearman 秩相关系数¹⁾
Table 4 Pearson correlation coefficient and Spearman rank correlation coefficient among dominant populations in shrub layer of *Loropetalum subcordatum* (Benth.) Oliv. community in Maolan National Nature Reserve of Guizhou¹⁾

种类 Species	相关系数 ²⁾ Correlation coefficient ²⁾								
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
S1	—	0.50	1.00**	0.90*	-0.10	-0.10	0.90*	-0.60	0.70
S2	-0.13	—	0.50	0.70	-0.30	0.70	0.20	-0.30	0.60
S3	0.97**	-0.26	—	0.90*	-0.10	-0.10	0.90*	-0.60	0.70
S4	0.77	0.41	0.63	—	-0.20	0.20	0.70	-0.30	0.90*
S5	-0.36	-0.22	-0.24	-0.74	—	0.20	-0.30	0.30	0.10
S6	-0.24	0.87	-0.23	0.18	-0.04	—	-0.50	0.30	0.40
S7	0.94*	-0.02	0.88	0.89*	-0.66	-0.15	—	-0.70	0.40
S8	-0.67	-0.09	-0.47	-0.79	0.58	0.34	-0.72	—	0.10
S9	0.60	0.33	0.67	0.58	-0.22	0.54	0.60	-0.01	—

¹⁾ S1: 粗糠柴 *Mallotus philippensis* (Lam.) Müll. Arg.; S2: 九里香 *Murraya exotica* Linn.; S3: 四药门花 *Loropetalum subcordatum* (Benth.) Oliv.; S4: 香叶树 *Lindera communis* Hemsl.; S5: 米楮 *Castanopsis carlesii* (Hemsl.) Hay.; S6: 石山柿 *Diospyros saxatilis* S. K. Lee; S7: 南方紫金牛 *Ardisia thyrsoiflora* D. Don; S8: 细叶青冈 *Cyclobalanopsis gracilis* (Rehd. et E. H. Wilson) W. C. Cheng et T. Hong; S9: 针齿铁仔 *Myrsine semiserrata* Wall.

²⁾ “—” 上方和下方数据分别为 Spearman 秩相关系数和 Pearson 相关系数 Data above and below “—” are Spearman rank correlation coefficient and Pearson correlation coefficient, respectively. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

Spearman 秩相关性分析结果 (表 4) 表明: 在贵州茂兰国家级自然保护区四药门花群落灌木层优势种组成的 36 对种对中, 23 对种对呈正关联, 占灌木层优势种种对总数的 63.9%; 13 对种对呈负关联, 占灌木层优势种种对总数的 36.1%。在所有正关联种对中, 仅粗糠柴 - 四药门花 1 对种对呈极显著正关联, 粗

糠柴 - 香叶树 (*Mallotus philippensis* - *Lindera communis*)、粗糠柴 - 南方紫金牛、四药门花 - 香叶树 (*Loropetalum subcordatum* - *Lindera communis*)、四药门花 - 南方紫金牛 (*Loropetalum subcordatum* - *Ardisia thyrsoiflora*) 和香叶树 - 针齿铁仔 (*Lindera communis* - *Myrsine semiserrata*) 5 对种对呈显著正关联, 其余 17

对种对呈不显著正关联;13对负关联种对的关联性均不显著。四药门花与该群落灌木层优势种共形成8对种对,其中,正关联种对有5对,负关联种对有3对。

2.2.4 草本层优势种群的联结性分析 Pearson相关性分析结果(表5)表明:在贵州茂兰国家级自然保护区四药门花群落草本层优势种组成的136对种对中,79对种对呈正关联,占草本层优势种种对总数的

表5 贵州茂兰国家级自然保护区四药门花群落草本层优势种群的 Pearson 相关系数和 Spearman 秩相关系数¹⁾

Table 5 Pearson correlation coefficient and Spearman rank correlation coefficient among dominant populations in herb layer of *Loropetalum subcordatum* (Benth.) Oliv. community in Maolan National Nature Reserve of Guizhou¹⁾

种类 Species	相关系数 ²⁾ Correlation coefficient ²⁾								
	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9
H1	—	1.00**	0.70	-0.10	-0.30	0.90*	-0.67	-0.40	0.50
H2	0.89*	—	0.70	-0.10	-0.30	0.90*	-0.67	-0.40	0.50
H3	0.80	0.89*	—	-0.60	-0.80	0.40	-0.98**	-0.10	0.60
H4	-0.02	-0.29	-0.61	—	0.60	0.00	0.67	0.30	0.20
H5	-0.60	-0.34	-0.53	0.18	—	0.10	0.87	-0.40	-0.40
H6	0.87	0.86	0.63	0.15	-0.13	—	-0.36	-0.70	0.20
H7	-0.66	-0.76	-0.95*	0.75	0.63	-0.38	—	0.05	-0.46
H8	-0.36	-0.50	-0.32	-0.05	-0.46	-0.74	0.04	—	0.30
H9	0.49	0.47	0.33	0.01	-0.58	0.23	-0.42	0.42	—
H10	0.43	0.38	0.37	-0.17	-0.73	0.05	-0.53	0.59	0.96*
H11	-0.51	-0.17	0.11	-0.82	0.35	-0.47	-0.24	0.00	-0.41
H12	0.51	0.68	0.77	-0.66	-0.56	0.23	-0.88*	0.21	0.73
H13	-0.57	-0.44	-0.56	0.12	0.23	-0.59	0.37	0.63	0.41
H14	-0.30	0.11	0.27	-0.77	0.48	-0.13	-0.30	-0.34	-0.42
H15	0.28	0.27	-0.18	0.66	0.16	0.46	0.30	-0.14	0.55
H16	0.47	0.79	0.77	-0.66	-0.14	0.43	-0.78	-0.22	0.51
H17	0.19	0.46	0.33	-0.35	-0.10	0.11	-0.43	0.22	0.78

种类 Species	相关系数 ²⁾ Correlation coefficient ²⁾								
	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	
H1	0.30	-0.70	0.50	-0.50	-0.30	0.10	0.70	0.30	
H2	0.30	-0.70	0.50	-0.50	-0.30	0.10	0.70	0.30	
H3	0.70	-0.20	0.90*	-0.10	0.00	-0.56	0.80	0.50	
H4	-0.10	-0.60	-0.70	0.30	-0.60	0.87	-0.40	0.10	
H5	-0.70	0.00	-0.60	-0.10	0.20	0.82	-0.30	-0.20	
H6	-0.10	-0.60	0.30	-0.70	-0.10	0.36	0.60	0.10	
H7	-0.62	0.15	-0.82	0.21	0.05	0.66	-0.67	-0.31	
H8	0.50	-0.10	-0.30	0.70	-0.60	-0.21	-0.50	0.10	
H9	0.90*	-0.60	0.50	0.50	-0.40	0.05	0.60	0.90*	
H10	—	-0.30	0.60	0.60	-0.30	-0.36	0.50	0.80	
H11	-0.27	—	0.10	0.10	0.80	-0.56	-0.20	-0.30	
H12	0.79	0.19	—	0.00	0.40	-0.56	0.90*	0.60	
H13	0.38	0.10	0.09	—	-0.10	-0.05	-0.10	0.60	
H14	-0.37	0.93*	0.22	-0.07	—	-0.31	0.30	0.00	
H15	0.29	-0.68	-0.01	0.37	-0.50	—	-0.15	0.05	
H16	0.47	0.33	0.87	0.01	0.50	0.11	—	0.70	
H17	0.71	0.14	0.79	0.57	0.19	0.42	0.80	—	

¹⁾ H1: 粗糠柴 *Mallotus philippensis* (Lam.) Müll. Arg.; H2: 大叶茜草 *Rubia schumanniana* E. Pritz.; H3: 东风草 *Blumea megacephala* (Randeria) C. C. Chang et Y. Q. Tseng; H4: 凤尾蕨 *Pteris cretica* var. *nervosa* (Thunb.) Ching et S. H. Wu; H5: 鸡矢藤 *Paederia foetida* Linn.; H6: 九里香 *Murraya exotica* Linn.; H7: 樟叶木防己 *Cocculus laurifolius* DC.; H8: 山莓 *Rubus corchorifolius* Linn. f.; H9: 射干 *Belamcanda chinensis* (Linn.) Redouté; H10: 深绿卷柏 *Selaginella doederleinii* Hieron.; H11: 四药门花 *Loropetalum subcordatum* (Benth.) Oliv.; H12: 香叶树 *Lindera communis* Hemsl.; H13: 小蜡 *Ligustrum sinense* Lour.; H14: 锈毛崖豆藤 *Callerya cinerea* (Benth.) Schot; H15: 化香树 *Platycarya strobilacea* Sieb. et Zucc.; H16: 针齿铁仔 *Myrsine semiserrata* Wall.; H17: 中华薹草 *Carex chinensis* Retz.

²⁾ “—”上方和下方数据分别为 Spearman 秩相关系数和 Pearson 相关系数 Data above and below “—” are Spearman rank correlation coefficient and Pearson correlation coefficient, respectively. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

58.1%; 56 对种对呈负关联, 占草本层优势种种对总数的 41.2%; 1 对种对无关联, 占草本层优势种种对总数的 0.7%。在所有正关联种对中, 粗糠柴-大叶茜草 (*Mallotus philippensis*-*Rubia schumanniana*)、大叶茜草-东风草 (*Rubia schumanniana* - *Blumea megacephala*)、射干-深绿卷柏 (*Belamcanda chinensis*-*Selaginella doederleinii*) 和四药门花-锈毛崖豆藤 (*Loropetalum subcordatum*-*Callerya cinerea*) 4 对种对呈显著正关联, 其余 75 对种对呈不显著正关联; 在所有负关联种对中, 东风草-樟叶木防己 (*Blumea megacephala*-*Cocculus laurifolius*) 和樟叶木防己-香叶树 (*Cocculus laurifolius*-*Lindera communis*) 2 对种对呈显著负关联, 其余 54 对种对呈不显著负关联; 仅山莓-四药门花 (*Rubus corchorifolius* - *Loropetalum subcordatum*) 1 对种对无关联。四药门花与该群落草本层优势种共形成 16 对种对, 其中, 正关联种对有 7 对, 负关联种对有 8 对, 无关联种对有 1 对。

Spearman 秩相关性分析结果 (表 5) 表明: 在贵州茂兰国家级自然保护区四药门花群落草本层优势种组成的 136 对种对中, 68 对种对呈正关联, 占草本层优势种种对总数的 50.0%; 63 对种对呈负关联, 占草本层优势种种对总数的 46.3%; 5 对种对无关联, 占草本层优势种种对总数的 3.7%。在所有正关联种对中, 仅粗糠柴-大叶茜草 1 对种对呈极显著正关联, 粗糠柴-九里香 (*Mallotus philippensis* - *Murraya exotica*)、大叶茜草-九里香 (*Rubia schumanniana* - *Murraya exotica*)、东风草-香叶树 (*Blumea megacephala*-*Lindera communis*)、射干-深绿卷柏、射干-中华薹草 (*Belamcanda chinensis*-*Carex chinensis*) 和香叶树-针齿铁仔 6 对种对呈显著正关联, 其余 62 对种对呈不显著正关联; 在所有负关联种对中, 仅东风草-樟叶木防己 1 对种对呈极显著负关联, 其余 62 对种对呈不显著负关联; 东风草-锈毛崖豆藤 (*Blumea megacephala*-*Callerya cinerea*)、凤尾蕨-九里香 (*Pteris cretica*-*Murraya exotica*)、鸡矢藤-四药门花 (*Paederia foetida*-*Loropetalum subcordatum*)、香叶树-小蜡 (*Lindera communis*-*Ligustrum sinense*) 和锈毛崖豆藤-中华薹草 (*Callerya cinerea*-*Carex chinensis*) 5 对种对无关联。四药门花与该群落草本层优势种共形成 16 对种对, 其中, 正关联种对有 4 对, 负关联种对有 11 对, 无关联种对有 1 对。

3 讨论和结论

各植物种类种对间的联结性能够反映不同植物种类种群间的相互作用、群落动态及各植物种类在群落中的地位。一般情况下, 随着植物群落的顺行演替, 群落内各种类的种内竞争和种间竞争均趋于稳定, 群落的种间联结性以正关联为主, 使得群落中各植物种群能够和谐共存^[20-22]。本研究中, 贵州茂兰国家级自然保护区四药门花群落乔木层、灌木层和草本层优势种间的总体联结性均表现为负关联, 说明该四药门花群落各层次的优势种间未形成紧密的耦合关系, 即该群落正处于动态演替过程中, 这一研究结果与四药门花处于该保护区自然恢复的次生林中的现状相吻合。

Pearson 相关性分析结果表明: 贵州茂兰国家级自然保护区四药门花群落乔木层和灌木层优势种间的联结性以负关联为主, 而草本层优势种间的联结性则以正关联为主; 并且, 该群落乔木层、灌木层和草本层中优势种间的关联性很少能达到显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$) 水平。Spearman 秩相关性分析结果表明: 该四药门花群落乔木层优势种间的联结性以负关联为主, 而灌木层和草本层优势种间的联结性则以正关联为主; 并且, 乔木层、灌木层和草本层优势种间的关联性也很少能达到显著或极显著水平。上述研究结果表明: 该四药门花群落各层次优势种间的联结性较弱, 各优势种的独立性均较强。

研究结果表明: 四药门花与乔木层优势种的联结性以负关联为主; 在 Pearson 相关性分析中, 其与樟呈显著正关联, 与灯台树呈显著负关联; 在 Spearman 秩相关性分析中, 其与灯台树也呈显著负关联, 且与崖花子无关联。总体来看, 四药门花与灌木层优势种的联结性以正关联为主; 在 Pearson 相关性分析中, 其与粗糠柴呈极显著正关联; 在 Spearman 秩相关性分析中, 其与粗糠柴也呈极显著正关联, 并与香叶树和南方紫金牛呈显著正关联。四药门花与草本层优势种的联结性以负关联为主; 在 Pearson 相关性分析中, 其与锈毛崖豆藤呈显著正关联, 且与山莓呈负关联; 在 Spearman 秩相关性分析中, 其与鸡矢藤无关联。上述研究结果表明: 四药门花在该群落中属于相对独立的植物种类, 与多数种类间存在互补关系, 与少数种类间存在竞争关系。

四药门花的自我更新能力差,分布范围狭窄,被定为中国珍稀濒危植物。根据对贵州茂兰国家级自然保护区四药门花群落的调查和分析,该群落共有维管植物86科183属259种(变种),乔木层、灌木层和草本层的优势种分别有15种、9种和17种(变种);各层次优势种间的总体联结性表现为负关联,且乔木层优势种间的总体联结性显著。此外,该群落各层次优势种间的联结性较弱,四药门花与多数种类存在互补关系,与少数优势种存在竞争关系。综上所述,该自然保护区沿用目前的封山育林模式能够实现四药门花种群的自我维持;同时,为了扩大四药门花种群的规模,建议适当开展人工辅助措施,如对一些正关联植物(如樟和香叶树等)进行修剪或减少株数,从而改善四药门花的生长环境,利于其种群发展。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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, 1996, 7(1): 1-5.
- [3] 简敏菲,刘琪璟,朱筠,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.
- [4] 徐满厚,刘敏,翟大彤,等. 植物种间联结研究内容与方法评述[J]. 生态学报, 2016, 36(24): 8224-8233.
- [5] 潘高,张合平,潘登. 中亚热带南酸枣林优势种群的种间联结性[J]. 生态学杂志, 2017, 36(4): 892-901.
- [6] 胡理乐,江明喜,党海山,等. 从种间联结分析濒危植物毛柄小勾儿茶在群落中的地位[J]. 植物生态学报, 2005, 29(2): 258-265.
- [7] 王博,王亮,王立龙,等. 濒危植物裸果木(*Gymnocarpus przewalskii*)与其伴生种种间联结性及群落稳定性[J]. 中国沙漠, 2017, 37(1): 86-92.
- [8] WU Z Y, RAVEN P H, HONG D Y. Flora of China: Vol. 9[M]. Beijing: Science Press, 2003: 33.
- [9] 申长青. 濒危植物四药门花对光照和水分胁迫的适应性研究[D]. 广州: 华南农业大学林学与风景园林学院, 2016.
- [10] 顾垒,张莫湘. 濒危植物四药门花的自花授粉[J]. 植物分类学报, 2008, 46(5): 651-657.
- [11] GONG W, GU L, ZHANG D. Low genetic diversity and high genetic divergence caused by inbreeding and geographical isolation in the populations of endangered species *Loropetalum subcordatum* (Hamamelidaceae) endemic to China[J]. Conservation Genetics, 2010, 11(6): 2281-2288.
- [12] 洪文君,黄久香,申长青,等. 3种榿木属植物结构解剖及环境适应性评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2016, 40(5): 61-66.
- [13] 周政贤. 茂兰喀斯特森林科学考察集[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1987: 98-124.
- [14] 陈丰林. 贵州茂兰国家级自然保护区种子植物区系研究[D]. 广州: 中国科学院华南植物研究所, 2012: 1-150.
- [15] 郑师章,吴千红,王海波,等. 普通生态学: 原理、方法和应用[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1994: 247-248.
- [16] 刘琪璟,胡理乐,李轩然. 小流域治理20年后的千烟洲植物多样性[J]. 植物生态学报, 2005, 29(5): 766-774.
- [17] SCHLUTER D. A variance test for detecting species associations, with some example applications [J]. Ecology, 1984, 65(3): 998-1005.
- [18] 宋素芳,秦豪荣,赵聘. 生物统计学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2008: 315.
- [19] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 98-109.
- [20] 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.
- [21] 康冰,刘世荣,蔡道雄,等. 南亚热带人工杉木林灌木层物种组成及主要木本种间联结性[J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2173-2179.
- [22] 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.

(责任编辑: 佟金凤)