



缙云黄芩与伴生物种的种间关联度分析

陶 琪¹, 吴思航¹, 马凯阳^{1,2}, 邓洪平¹, 陶建平¹, 龙 云^{1*}

(1 西南大学 生命科学院, 重庆 400715; 2 中国海洋大学 附属中学, 山东青岛 266100)

摘 要:缙云黄芩(*Scutellaria tsinyunensis* C. Y. Wu et Chow)是重庆特有濒危植物, 也为极小种群物种。该研究采用 2×2 列联表、应用方差分析、 χ^2 统计量、Ochiai 指数、Dice 指数、Jaccard 指数等计算方法, 分析了缙云黄芩 9 个群落中草本层 18 种伴生物种与缙云黄芩的种间关联度, 结合与其伴生物种的频度分布分析, 以明确缙云黄芩及其伴生物种的频度分布及种间关联度, 探讨其群落中主要草本物种与缙云黄芩的相互作用, 为地方特有珍贵物种的保护和利用提供理论依据。结果表明: (1) 缙云黄芩与其伴生物种在频度分布上与边缘鳞盖蕨以及蝴蝶花呈协同作用, 与多序楼梯草、淡竹叶、蓝叶藤呈拮抗作用, 与红盖鳞毛蕨部分呈协同作用、部分呈拮抗作用。(2) 缙云黄芩群落总体关联度表明, 6 个群落呈现正关联, 3 个群落呈现负关联。(3) 在 48 个种对中, 34 个种对显示为正关联, 占总关联对数 70.8%; 14 个种对之间表现为负关联, 占总关联对数 29.2%, 其中显著正联结或负联结的种对仅 3 对, 约占总数 6.3%, 极显著负联结种对仅 1 对。研究认为, 寻找和保护与缙云黄芩正关联性较强的物种来共同形成利于特定物种生存的环境, 或在野外将缙云黄芩移植到分布正关联物种的群落中有利于缙云黄芩野外扩繁。

关键词:缙云黄芩; 伴生物种; 频度分布; 种间关联度

中图分类号: Q948.12

文献标志码: A

Analysis of Interspecific Association for *Scutellaria tsinyunensis* and Its Associated Species

TAO Qi¹, WU Sihang¹, MA Kaiyang^{1,2}, DENG Hongping¹, TAO Jianping¹, LONG Yun^{1*}

(1 School of Life Science, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2 High School Affiliated to Ocean University of China, Qingdao, Shandong 266100, China)

Abstract: *Scutellaria tsinyunensis* C. Y. Wu et Chow is an endangered plant with extremely small populations of endemic species to Chongqing, and we studied the frequency distribution and interspecific association of it and its associated species. We measured the interspecific association between 18 species of herb layer and *S. tsinyunensis* in nine *S. tsinyunensis* communities with the help of the 2×2 contingency table, variance analysis, X^2 -Statistics, Ochiai index, Dice and Jaccard index. Combined with the analysis of frequency distribution, we identified the frequency distribution and interspecific association of *S. tsinyunensis* and its associated species, and discussed the interaction between main herbaceous species in these communities and *S. tsinyunensis*, which provides a theoretical basis for the protection and utilization of endemic endangered species. The result shows that: (1) the frequency distribution of *S. tsinyunensis* and its associated species present that: *S. tsinyunensis* appears to have synergistic effect with *Microlepia marginata* and

收稿日期: 2017-03-03; 修改稿收到日期: 2017-04-11

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划(201510635012); 科技部国家科技基础条件平台国家标本平台教学标本子平台运行服务项目(2005DKA21403-JK)

作者简介: 陶 琪(1995—), 女, 本科生, 主要从事保护生物学研究。E-mail: taoqi1995@foxmail.com

* 通信作者: 龙 云, 博士, 副教授, 主要从事植物种群生态学与植被恢复研究。E-mail: longyr@swuedu.cn

Iris japonica, antagonistic effect with *Elatostema macintyreii*, *Lophatherum gracile* and *Marsdenia tinctoria*, while *S. tsinyunensis* and *Dryopteris erythrosora* show both synergistic effect and antagonistic effect. (2) The overall correlation dominant species of *S. tsinyunensis* communities indicate that: six communities present positive correlation, and the other two present negative correlation. (3) Among the 48 species pairs, 34 pairs showed a positive correlation accounted for 70.8% of the total correlation pairs; 14 pairs showed a negative correlation accounted for 29.2% of the total correlation pairs; only 3 pairs showed a significant positive or negative correlation accounted for 6.3% of the total correlation pairs; only 1 pair showed a extremely significant negative connection. It is studied that building environment conducive to the survival of *S. tsinyunensis* by the way of search for protecting species who are positively correlated with this species, or transplanting them to the communities which distributed positive associated species, is benefit to its population expanding in the wild.

Key words: *Scutellaria tsinyunensis* C. Y. Wu et S. Chow; associated species; frequency distribution; interspecific association

种间关联度是指一定时期内不同物种个体在空间上的相互关联性,这种关联性通常是由于群落生境差异引起的^[1]。通过定性分析种的“存在”或“不存在”,测定不同种群种间关联度大小,有利于认识群落中种群间的相互作用和群落的演替趋势,对于认识特定群落内濒危物种的群落结构及功能地位有一定的帮助^[2-3]。种群间频度分布体现了植物种群的空间分布,绘制种群间频度分布图对认识植物种间关系以及环境因子对种群的影响有一定作用。

缙云黄芩隶属于唇形科 (Labiales) 黄芩属 (*Scutellaria*),为多年生草本植物,其根茎匍匐生长,节上生纤维状根,种群多由无性系分株构成,主要进行克隆繁殖^[4-5]。缙云黄芩为重庆缙云山特有物种^[6-7],是重庆市首批重点保护野生植物之一^[8],也是重庆市 8 种极小种群野生植物拯救保护对象之一^[9],缙云黄芩仅分布于重庆缙云山海拔 280~790 m 的林荫下,尤喜林沿路旁等较为阴湿又有一定光照的环境,居群少、面积小且相互隔离,呈“岛屿”状分布。近年来研究发现缙云黄芩分布范围逐渐缩小,植株数量也不断减少,现仅存 9 个种群,分布区面积仅为 1.5 km²,呈极危状态^[10]。

目前针对缙云黄芩的研究主要集中于形态分化^[4]、等位酶^[11]、繁育系统^[12]、遗传多样性^[13]等方面,而种间关系方面的研究报道相对较少。由于群落中草本植物生长旺盛,与缙云黄芩形成了复杂的种间关系,本研究对 9 个缙云黄芩群落中的草本层植物,试图通过种群间频度分布图,种间总体关联性的分析,探讨其群落中主要草本物种与缙云黄芩的相互作用,了解何种物种的存在对缙云黄芩的生存更有益,为地方特有珍贵物种的保护和利用提供理论依据。

1 研究地概况

重庆缙云山位于重庆市北碚区 (106°22′18″~106°24′42″E, 29°45′25″~29°51′53″N),海拔 180~951.5 m。地处中亚热带,属亚热带季风气候,夏热多雨,冬季多雾,四季气候分明,年平均气温 18.20℃。区域内物种资源丰富,自然环境多样,森林覆盖率达 96.6%^[14]。

2 研究方法

2.1 取 样

以缙云山缙云黄芩全分布范围内的 9 个群落为研究对象,每个群落中仅研究草本层植物(包括层调查记录每个样方中所有草本植物的种类间植物及高度低于 30 cm 的木本植物),采用 Smith 提出的“棋盘格子法”并结合种群大小设置 1 m×1 m 小样方若干^[15]。调查记录各样方中所有草本植物的种类、多度(株数统计),进行种间关联性的分析。将所有样方整合,每相邻的 6 个样方划分为 6 m² 的大样方,然后统计群落中优势种的频度分布,同时记录各样地生态环境条件。记测环境条件见表 1。

2.2 数据处理

种间关联性分析中,本研究样方数目结合种群大小进行设置,对群落中 19 个草本层优势种进行关联性分析。用 Excel 进行数据处理和制图。

2.2.1 物种间的总体关联性分析 对不同群落多物种间总体相关性测定,应用 Schluter 提出的方差比率(VR)来检验统计^[16]。公式为:

$$\delta_T^2 = \sum_{i=1}^S P_i (1 - P_i); P_i = n_i / N$$
$$S_T^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^S (T_j - t)^2; VR = S_T^2 / \delta_T^2$$

表 1 样地的环境资料
Table 1 Habitat data of sample plots

| 序号 Number | 样地 Plot | 郁闭度 Crown density | 干扰强度 Interference intensity | 群落类型 Community type | 草本层优势物种 Dominant species of herb layer |
|--------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|--|
| I | 北温泉 I Beiwenquan I | 0.87 | ++++ | 常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest | 1、2、19、15 |
| II | 北温泉 II Beiwenquan II | 0.6 | ++ | 常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest | 1、2、4、5、10、11、15 |
| III | 北温泉 III Beiwenquan III | 0.3 | + | 常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest | 1、2、9、10、19、15 |
| IV | 洛阳桥 Luoyangqiao | 0.55 | ++++ | 常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest | 1、2、4、5、8、12、13、16、19 |
| V | 青龙寨 Qinglongzhai | 0.9 | +++ | 针阔混交林 Mixed broadleaf-conifer forest | 1、2、6、14 |
| VI | 石华寺 Shihuasi | 0.08 | ++ | 针阔混交林 Mixed broadleaf-conifer forest | 1、2、3、17、19 |
| VII | 绍龙观 Shaolongguan | 0.5 | + | 常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest | 1、2、3、4、5、6、7、8、12、13、18 |
| VIII | 狮子峰 Shizifeng | 0.85 | ++++ | 针阔混交林 Mixed broadleaf-conifer forest | 1、2、3、16 |
| IX | 园艺场 Yuanyichang | 0.65 | ++ | 针阔混交林 Mixed broadleaf-conifer forest | 1、2、6、8、14、17 |

注：+，无干扰；++，轻度干扰；+++，中度干扰；++++，重度干扰；1. 缙云黄芩；2. 红盖鳞毛蕨；3. 落地梅；4. 边缘鳞盖蕨；5. 蝴蝶花；6. 淡竹叶；7. 骤尖楼梯草；8. 竹叶草；9. 华山菱；10. 蓝叶藤；11. 多序楼梯草；12. 山麦冬；13. 薯蓣；14. 菝葜；15. 缙云卫矛；16. 罗浮槭；17. 芒；18. 齿叶黑桫欏；19. 红雾水葛

Notes：+，Non-disturbance；++，Low disturbance；+++，Moderate disturbance；++++，High disturbance；1. *Scutellaria tsinyunensis*；2. *Dryopteris erythrosora*；3. *Lysimachia paridiformis*；4. *Microlepia marginata*；5. *Iris japonica*；6. *Lophatherum gracile*；7. *Elatostema cuspidatum* var. *cuspidatum*；8. *Oplismenus compositus*；9. *Piper sinense*；10. *Marsdenia tinctoria*；11. *Elatostema macintyreii*；12. *Liriope spicata*；13. *Dioscorea cirrhosa*；14. *Smilax china*；15. *Euonymus chloranthoides*；16. *Acer fabri*；17. *Miscanthus sinensis*；18. *Gymnosphaera denticulata*；19. *Pouzolzia sanguinea*

式中, S 为总物种数, N 为总样方数, T_j 为样方 j 内出现的研究物种总数, n_i 为物种 i 出现的样方数, t 为全部样方中种的平均数, $t = (T_1 + T_2 + \cdots + T_N)/N$, S_T^2 为所有样方物种种数的方差, δ_T^2 为所有物种出现频度的方差。独立性假设条件下, VR 期望值为 1, 若 $VR > 1$ 表示物种间表现出正关联, 若 $VR < 1$ 表现物种间表现出负的净关联。采用统计量 $W = VR \times N$ 来检验 VR 值偏离 1 的显著程度, 如果种间无关联, 由 W 落入卡平方分布给出的界限 ($X_{0.95}^2(N) < W < X_{0.05}^2(N)$) 内的概率为 90%。

2.2.2 成对物种间关联性检验 建立 2×2 列联表, 根据其 χ^2 统计量检测成对物种间关联性^[17] 公式:

$$\chi^2 = (ad - bc)^2 / (a + b)(a + c)(c + d)(b + d)$$

当样方数量小或取样非连续时, 需要使用 Yates 校正值来纠正^[17], 公式为:

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

式中, n 为取样总数。当 $\chi^2 < X_{0.01,1}^2 = 3.841$

时, 各个物种间是相互独立的; 当 $X_{0.01,1}^2 < X^2 < X_{0.05,1}^2 = 6.635$ 时, 物种之间有一定的关联性; 当 $X^2 > X_{0.05,1}^2$ 时, 物种之间有显著的关联性。由于 X^2 本身没有负值, 判定正、负关联的方法是:

- 当 $ad - bc = 0$ 时, 2 个物种是相互独立的;
- 当 $ad - bc > 0$ 时, 2 个物种之间呈正关联;
- 当 $ad - bc < 0$ 时, 2 个物种之间呈负关联。

2.2.3 种间关联度测定 用于描述种间关联性大小的公式有许多, Hubalek (1982) 曾研究过 42 个相关指数, 认为描述 2 个种种间关联度大小的方程应满足: $a = 0$ 时, I 值应最小; $b = c = 0$ 时, I 值应最大; I 是对称的, 即不论哪个种为“ A ”或“ B ”, I 值应相同; I 值应能分出正或负关联; 指数 I 应独立于 d ^[18]。以下 3 个无中心指数^[19] 均满足这 4 点:

1. Ochiai (1957) 指数:

$$OI = \frac{a}{\sqrt{a + b} \sqrt{a + c}}$$

2. Dice (1945) 指数:

$$DI = \frac{2a}{2a + b + c}$$

3. Jaccard(1901)指数:

$$JI = \frac{a}{a + b + c}$$

OI、DI、JI 3 个指数均表示种对共同出现机率与关联性程度,在无关联时等于 0,最大关联时为 1^[20]。

3 结果与分析

3.1 群落伴生物种与缙云黄芩频度分布

研究缙云黄芩与伴生物种的频度分布,能帮助探讨缙云黄芩与其他物种的关系。经研究,红盖鳞毛蕨、蝴蝶花、边缘鳞盖蕨、淡竹叶、蓝叶藤、多序楼梯草这 6 种植物出现在大部分缙云黄芩群落中,这种关系也从另一方面反映出缙云黄芩与所调查草本物种间有相似的生境需求存在一定的依存关系。

缙云黄芩与红盖鳞毛蕨几乎分布于所有大样方中(图 1),且在第 7 个样方之前,两种植物表现出拮抗作用,即缙云黄芩频度上升,红盖鳞毛蕨频度则下降;缙云黄芩频度上升则红盖鳞毛蕨频度下降,拮抗作用使缙云黄芩和红盖鳞毛蕨的频度呈波动状态,这是二者对资源分化利用的结果,1~7 样方主要位于北温泉 I 群落,该群落郁闭度为 0.87,林下阳光不充足,且岩石多土壤薄,资源环境不充足的情况下,二者生长受到抑制并产生激烈的竞争作用。第 7 个样方之后两种植物呈协同作用,即二者频度呈现同增同减状态,这主要由于植物对生境的要求相似,在环境资源充裕的情况下,缙云黄芩与红盖鳞毛蕨能够大范围共存。红盖鳞毛蕨与缙云黄芩的频度相似,也能间接反映二者竞争力相似,能够大范围共存。

缙云黄芩与蝴蝶花、边缘鳞盖蕨共存的样方中(图 1),两种植物表现出协同作用,二者频度基本呈现增减同步状态。边缘鳞盖蕨、蝴蝶花喜阴,缙云黄芩也大多生活在潮湿处,二者对生境的要求相似。生态位重叠也能反映这一点,当多个物种对一个或多个资源共同利用时,其生态位邻接部位共同占有的生态位空间区域为生态位重叠^[10]。一般来说,2 个物种生态位重叠值越大说明二者之间利用资源的能力越相似,缙云黄芩与蝴蝶花、边缘鳞盖蕨生态位重叠值分别为 0.919 4 和 0.919 9,说明其利用资源的能力也相似^[10]。蝴蝶花、边缘鳞盖蕨的频度低于缙云黄芩频度,缙云黄芩为资源利用的优势种。

缙云黄芩与淡竹叶、蓝叶藤、多序楼梯草共存的样方中(图 1),缙云黄芩的频度有不同程度的波动,

植物之间表现出拮抗作用,说明淡竹叶、蓝叶藤、多序楼梯草与缙云黄芩之间产生了竞争性作用或对生境的要求不同。其中淡竹叶与缙云黄芩的生态位重叠值为 0.927 0,重叠值较大,二者利用环境资源相似程度较高^[10]。淡竹叶生长旺盛,分蘖能力强,但在阳光过强的环境中生长状况不佳,表现为植株低矮,分蘖能力降低,故在阴湿又有一定光照的环境条件下,缙云黄芩较淡竹叶更有竞争力。

3.2 缙云黄芩群落物种间关联性

3.2.1 群落主要种群间总体关联性 群落主要种群总体关联度反映了群落的稳定性,对研究种群间相互作用,探讨 9 个群落演替的总体方向有重要意义。该研究 9 个群落中的主要草本物种进行总体关联性分析,其结果见表 2。

表 2 显示,群落 I 方差比率(VR)=0.68<1, W=33.14,落入界限 $X^2_{0.95}(N) < W < X^2_{0.05}(N)$,群落物种间总体关联性表现为不显著负关联;群落 II、III、IV、V、VIII VR 变化范围在 1.53~5.45,检验统量 W 变化范围在 26.06~108.37 之间,表明群落物种间有了密切相互关系,物种总体关联性表现出显著的正相关;群落 VI VR=1.14>1, W=6.86,落入界限 $X^2_{0.95}(N) < W < X^2_{0.05}(N)$,群落物种间总体关联性表现为不显著负关联;群落 VII VR=0.76<1, W=35.5,落入界限 $X^2_{0.95}(N) < W < X^2_{0.05}(N)$,群落物种间总体关联性表现为不显著负关联;群落 IX VR=0.83<1, W=33.28,落入界限 $X^2_{0.95}(N) < W < X^2_{0.05}(N)$,群落物种间总体关联性表现为不显著负关联。一般随着群落演替发展,群落结构趋于稳定,群落种间关系也将趋于正相关以求多物种稳定共存^[21]。本研究中缙云黄芩的多个群落物种间表现出不同的关联性,其中群落 II、III、IV、V、VI、VIII 处于相对稳定的阶段。

3.2.2 缙云黄芩与伴生物种种对间关联性分析 种间显著的正或负关联能够反映物种之间的特定关系,合理解释这些关系对进一步发现其规律是很有意义的^[22],一般种间的关联性被认为有以下几个原因:1)相似(正关联)与不相似(负关联)的环境需要;2)一个种为另一个种创造了合适的定居条件或者前者对后者施加了压力造成正关联;3)两者在根系中通过物理的或化学的因素相互影响也会造成正关联或负关联;4)两者在竞争资源中相互排斥造成负关联^[21-23]。

进一步对缙云黄芩与其伴生物种形成的种对的关联性进行分析,结果见表 3。由表 3 可知,所有群

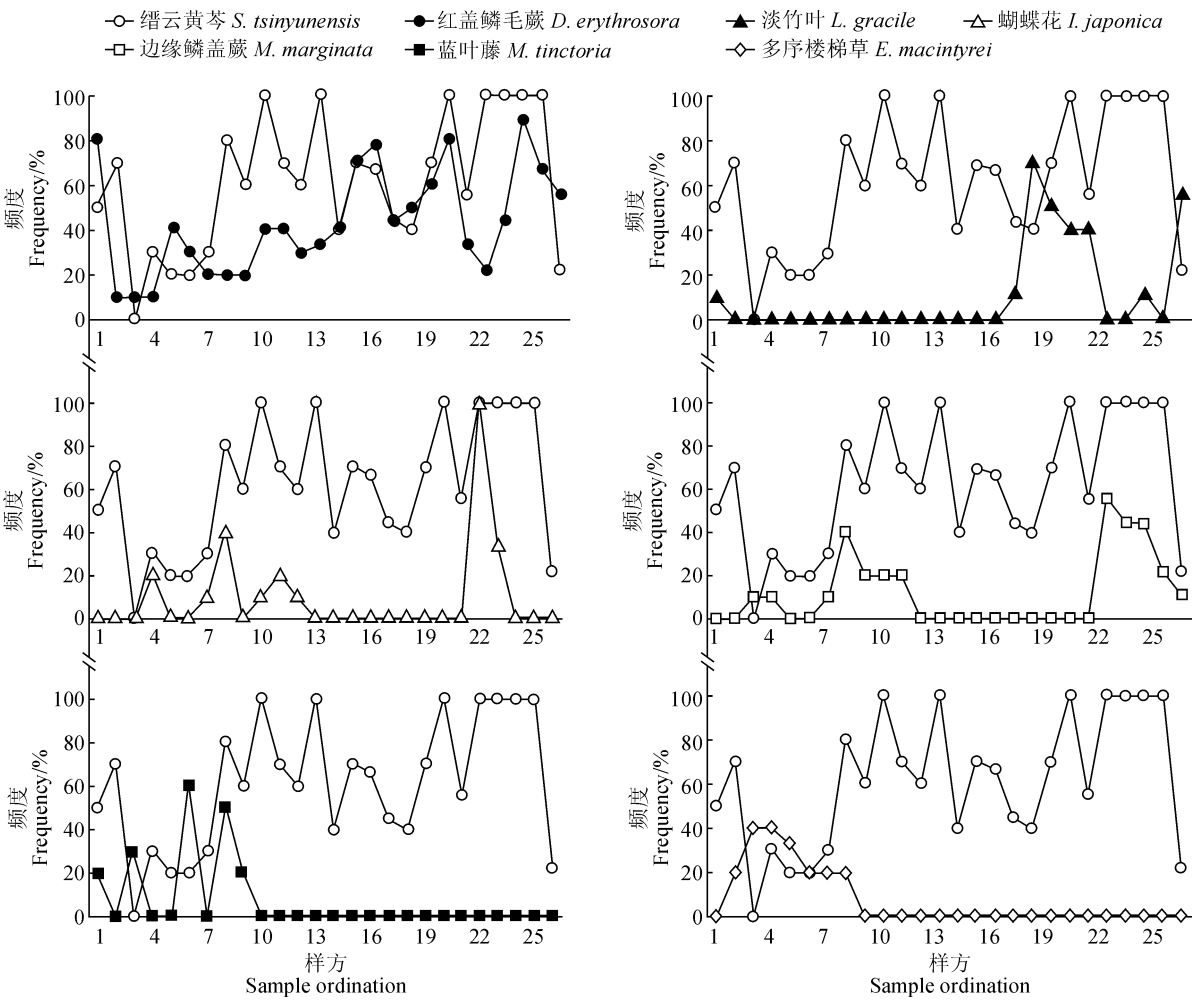


图 1 缙云黄芩与伴生物种的频度分布

Fig. 1 Frequency distribution of *S. tsinyunensis* and companion species

表 2 主要物种间的整体关联性分析

Table 2 The interspecific association analyses of the species in community

| 群落 Community | δ_1^2 | S_1^2 | 方差比率 Variance ratio | 检验统计量 W Statistic W | χ^2 临界值 Critical value | 测度结果 Results |
|-----------------|--------------|---------|------------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| I | 1.38 | 0.94 | 0.68 | 33.14 | (33.93,66.34) | 负关联 Negative |
| II | 1.79 | 2.73 | 1.53 | 68.65 | (30.61,61.66) | 显著正关联 Significantly positive |
| III | 1.22 | 2.12 | 1.74 | 26.06 | (7.26,24.00) | 显著正关联 Significantly positive |
| IV | 1.97 | 5.47 | 2.78 | 108.37 | (25.70,54.57) | 显著正关联 Significantly positive |
| V | 1.41 | 2.11 | 1.49 | 56.70 | (24.70,54.72) | 显著正关联 Significantly positive |
| VI | 4.28 | 4.89 | 1.14 | 6.86 | (1.64,12.59) | 正关联 Positive |
| VII | 2.14 | 1.62 | 0.76 | 35.50 | (32.27,64.00) | 负关联 Negative |
| VIII | 1.05 | 2.90 | 2.77 | 55.37 | (10.85,31.41) | 显著正关联 Significantly positive |
| IX | 2.99 | 2.48 | 0.83 | 33.28 | (26.51,55.79) | 负关联 Negative |

落共分析了缙云黄芩与 19 个草本物种间共计 48 个种对的种间关联度,其中 34 个种对之间表现出正关联,14 个种对之间表现为负关联,其中显著正关联或负关联的种对仅 3 对,约占总数 6.3%,极显著负关联种对仅 1 对。

由表 3 可以看出,群落 I 共有 3 个种对之间表现出正关联,1 个种对表现出负关联,其中缙云黄芩与多序楼梯草($\chi^2=4.187$)为显著负关联。多序楼梯草叶面积较缙云黄芩大,茎高 30~300 cm,能较好地占据阳光等环境资源,并且多序楼梯草主要进行

表 3 各群落缙云黄芩与伴生物种种间关联性 χ^2 统计检验和关联指数

Table 3 The date of χ^2 -test and interspecific association indices among *S. tsinyunensis* and concomitant species of all the communities

| 群落 Community | 物种对 Species pair | 关联性 Association | χ^2 值 Chi-square (* = biased) | χ^2 连续校正 Chi-square (Correction) | 关联指数 Association index | | |
|-----------------|---------------------|--------------------|--|---|------------------------|-------|---------|
| | | | | | Ochiai | Dice | Jaccard |
| I | 1-2 | + | 0.089 | 3.083 | 0.519 | 0.516 | 0.348 |
| | 1-11 | — * | 0.116 | 4.187 | 0.067 | 0.067 | 0.034 |
| | 1-19 | + | 0.001 | 0.054 | 0.217 | 0.182 | 0.100 |
| | 1-15 | + | 0.001 | 0.050 | 0.257 | 0.240 | 0.136 |
| II | 1-2 | — | 0.080 | 2.170 | 0.145 | 0.138 | 0.074 |
| | 1-4 | + | 0.055 | 1.230 | 0.434 | 0.385 | 0.238 |
| | 1-5 | + | 0.038 | 0.532 | 0.344 | 0.261 | 0.150 |
| | 1-10 | + * * | 0.506 | 18.496 | 0.842 | 0.842 | 0.727 |
| | 1-11 | + | 0.002 | 0.036 | 0.281 | 0.240 | 0.136 |
| | 1-15 | — | 0.008 | 0.065 | 0.318 | 0.313 | 0.185 |
| III | 1-2 | — | 0.028 | 0.026 | 0.333 | 0.267 | 0.154 |
| | 1-9 | + | 0.087 | 0.036 | 0.881 | 0.880 | 0.786 |
| | 1-10 | + | 0.219 | 1.356 | 0.764 | 0.737 | 0.583 |
| | 1-19 | + | 0.005 | 0.156 | 0.589 | 0.556 | 0.385 |
| | 1-15 | — | 0.125 | 0.469 | 0.387 | 0.353 | 0.214 |
| IV | 1-2 | + | 0.137 | 3.535 | 0.685 | 0.638 | 0.469 |
| | 1-4 | + | 0.025 | 0.090 | 0.354 | 0.222 | 0.125 |
| | 1-5 | + | 0.025 | 0.090 | 0.354 | 0.222 | 0.125 |
| | 1-8 | — | 0.000 | 0.566 | 0.316 | 0.216 | 0.121 |
| | 1-12 | — | 0.000 | 0.566 | 0.316 | 0.216 | 0.121 |
| | 1-13 | + | 0.012 | 0.071 | 0.250 | 0.118 | 0.063 |
| | 1-16 | — * | 0.038 | 4.659 | 0.125 | 0.059 | 0.030 |
| | 1-19 | + | 0.028 | 0.349 | 0.561 | 0.500 | 0.333 |
| V | 1-2 | + | 0.093 | 2.395 | 0.698 | 0.698 | 0.536 |
| | 1-6 | — | 0.001 | 0.333 | 0.154 | 0.087 | 0.045 |
| | 1-14 | + | 0.006 | 0.004 | 0.386 | 0.345 | 0.208 |
| VI | 1-2 | — | 0.100 | 0.150 | 0.671 | 0.667 | 0.500 |
| | 1-3 | + | 0.200 | 0.000 | 0.775 | 0.750 | 0.600 |
| | 1-17 | + | 0.200 | 0.000 | 0.775 | 0.750 | 0.600 |
| | 1-19 | — | 0.100 | 0.150 | 0.671 | 0.667 | 0.500 |
| VII | 1-2 | + | 0.038 | 0.915 | 0.714 | 0.698 | 0.537 |
| | 1-3 | — | 0.002 | 0.010 | 0.738 | 0.732 | 0.578 |
| | 1-4 | + * | 0.122 | 4.023 | 0.649 | 0.593 | 0.421 |
| | 1-5 | + | 0.091 | 2.718 | 0.585 | 0.510 | 0.342 |
| | 1-6 | + | 0.001 | 0.152 | 0.331 | 0.227 | 0.128 |
| | 1-7 | + | 0.015 | 0.141 | 0.462 | 0.375 | 0.231 |
| | 1-8 | + | 0.049 | 1.036 | 0.459 | 0.348 | 0.211 |
| | 1-12 | + | 0.001 | 0.152 | 0.331 | 0.227 | 0.128 |
| | 1-13 | — | 0.002 | 0.125 | 0.243 | 0.143 | 0.077 |
| | 1-18 | — | 0.126 | 3.769 | 0.229 | 0.174 | 0.095 |

续表 3 Continued Table 3

| 群落 Community | 物种对 Species pairs | 关联性 Association | χ^2 值 Chi-square (* = biased) | χ^2 连续校正 Chi-square (Correction) | 关联指数 Association index | | |
|-----------------|----------------------|--------------------|--|---|------------------------|-------|---------|
| | | | | | Ochiai | Dice | Jaccard |
| Ⅷ | 1-2 | + | 0.079 | 0.036 | 0.354 | 0.222 | 0.125 |
| | 1-3 | + | 0.474 | 1.321 | 0.707 | 0.667 | 0.500 |
| | 1-16 | + | 0.098 | 0.055 | 0.378 | 0.250 | 0.143 |
| Ⅸ | 1-2 | + | 0.021 | 0.326 | 0.669 | 0.667 | 0.500 |
| | 1-6 | + | 0.012 | 0.116 | 0.642 | 0.638 | 0.469 |
| | 1-8 | + | 0.004 | 0.035 | 0.294 | 0.200 | 0.111 |
| | 1-14 | + | 0.050 | 0.963 | 0.485 | 0.412 | 0.259 |
| | 1-17 | + | 0.091 | 1.994 | 0.480 | 0.375 | 0.231 |

注：+，种间正关联；-，种间负关联；*，种间关联性显著；* *，种间关联性极显著

Note: +, Positive correlation; -, Negative correlation; *, Significant statistics of interspecific association; * *, Great significant statistics of interspecific association

有性生殖繁殖能力强,竞争力强;缙云黄芩与多序楼梯草关联指数很低(*OI*、*DI*、*JI* 值分别为 0.067、0.067、0.034)的特点可以看出两个物种对生境的要求和适应不同,由此其显著负关联可能是环境异质性的结果。

群落Ⅱ共有 4 个种对表现出正关联,2 个种对表现出负关联;种对 1-10($\chi^2=18.496$)缙云黄芩与蓝叶藤为极显著正关联,两种间关联指数(*OI*、*DI*、*JI* 值分别为 0.842、0.842、0.727)很高,说明俩物种对生境的要求和适应相同或相似,这也说明,在群落资源环境较丰富的情况下,群落中的优势物种能够同时利用资源形成显著正关联;

群落Ⅳ共有 5 个种对表现出正关联,3 个种对表现出负关联种对,1-16($\chi^2=4.659$)缙云黄芩与罗浮槭为显著负关联,罗浮槭为阳生性木本植物,而缙云黄芩喜爱偏酸性的阴湿环境,从两种间关联指数较低(*OI*、*DI*、*JI* 值分别为 0.125、0.059、0.030)也可以看出两个物种对生境的要求和适应不同从而造成其呈显著负相关;

群落Ⅶ共有 7 个种对表现出正关联,3 个种对表现出负关联,其中种对 1-4($\chi^2=4.023$)缙云黄芩与边缘鳞盖蕨为显著正关联;两种间关联指数不低(*OI*、*DI*、*JI* 值分别为 0.649、0.593、0.421),说明两物种对生境有着相同的要求,其中边缘鳞盖蕨高度较缙云黄芩占优势,也可能存在边缘鳞盖蕨为缙云黄芩的生长创造了合适的条件。

缙云黄芩与其他伴生物种形成的种对 70.8% 为正关联,这与缙云黄芩和其他伴生物种对生境的相似要求分不开;其中缙云黄芩与边缘鳞盖蕨呈显著正关联,与蓝叶藤呈极显著正关联;与多序楼梯

草、罗浮槭呈显著负关联,与缙云黄芩与伴生物种的频度分布是不谋而合的。种间显著的正关联或负关联都反映了物种之间的特定关系,其对认识特定群落内珍稀濒危物种与其他物种的关系有一定作用,其可能为濒危物种的保护,维持其群落稳定性提供理论基础,可以通过寻找和保护与该物种正关联性较强的物种来共同形成利于特定物种生存的环境,从而使得濒危物种能够在野外扩繁^[2],同样,将缙云黄芩与具有正关联的物种搭配种植也能使其更好扩大居群数量。

4 结 论

通过样方调查,缙云黄芩群落有维管植物 66 科 110 属 143 种,其中蕨类植物 11 科 14 属 20 种,裸子植物 2 科 4 属 4 种,被子植物 53 科 92 属 119 种。缙云黄芩现仅存 9 个种群,与李俊敏^[24]2004 年的调查结果相比,物种组成相对增加,种群个体数量严重衰减,主要由于修建健身步道导致缙云黄芩遭到人为破坏。

通过缙云黄芩与伴生物种的频度分布可看出,伴生物种的频度低于缙云黄芩,缙云黄芩是缙云黄芩群落中的主要优势种。缙云黄芩与红盖鳞毛蕨频度相似,反映其竞争力相似从而能实现大规模共存;边缘鳞盖蕨、蝴蝶花因与缙云黄芩对生境的要求相似呈协同作用;多序楼梯草、淡竹叶、蓝叶藤与缙云黄芩的拮抗作用反映出资源分化利用的竞争机制。

本研究中,缙云黄芩群落总体关联度及缙云黄芩与伴生物种的种对的关联程度不强:群落Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ、Ⅷ呈现正关联,说明这 6 个群落处于相对稳定的阶段,群落Ⅰ、Ⅶ、Ⅸ呈现负关联表明群落结

构不够稳定,群落内物种数量、资源配置将进一步发展完善。对缙云黄芩群落 19 种草本植物 48 个种对间关联性分析结果表明:缙云黄芩与伴生植物种对间以正关联为主,占总关联对数 70.8%,但关联性不强,呈现显著或极显著关联种对极少,说明缙云黄芩与伴生物种的种对独立性较强,也进一步说明所在的群落结构和物种组成处于相对稳定阶段,群落中各物种在漫长的演替过程以其生态学特性占据自身有利的位置从而减少种间竞争^[25]。在缙云黄芩群落中,种对间呈正相关主要是由于它们有相同或相似的生境需要,如缙云黄芩与蓝叶藤,二者植株高度相差不大,多生长在潮湿的林下,对光照、土壤、水分等环境因子的需求相似;有些种对呈负相关是因为植物对生境的要求不同,如缙云黄芩与罗浮槭种对,罗浮槭为阳生性木本植物,喜光,与缙云黄芩的生长需求不同。而有些种对呈负相关是因为激烈的

种间竞争,如缙云黄芩与多序楼梯草种对,多序楼梯草叶面积较缙云黄芩大,植株较高,并且有性生长能力强,与缙云黄芩相互制约,其关联指数 *OI*、*DI*、*JI* 值分别为 0.067、0.067、0.034,表现为极显著负相关性。

另外缙云黄芩大多生活在路边,水沟旁等人为影响较大的地方,因此对缙云黄芩的保护需就地保护与迁地保护相结合,一方面加大环境保护力度,避免现有种群退化,另一方面可通过寻找和保护与该物种正关联性较强的物种来共同形成利于特定物种生存的环境,如在后期人工扩建的群落中以协调边缘鳞盖蕨、蝴蝶花、蓝叶藤等植物作为搭配植物,或在野外将缙云黄芩移植到分布正关联物种的群落中,可使得濒危物种缙云黄芩更好地在野外扩繁,笔者后续将进一步探究缙云黄芩与伴生物种的野外搭配模式。

参考文献:

[1] 张继强,陈文也,康建军,等. 甘肃敦煌西湖湿地芦苇群落种间关联性研究[J]. 西北植物学报,2014,**34**(2):358-363.
ZHANG J Q, CHEN W Y, KANG J J, *et al.* Study on inter-related dominant community between species of *Phragmites communis* in Dunhuang Westlake Wetland of Gansu [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2014,**34**(2):358-363.

[2] 王 伟,郭 倩,康海军,等. 线叶嵩草草地群落构成及种间关联分析[J]. 西北植物学报,2015,**35**(10):2 096-2 102.
WANG W, GUO Q, KANG H J, *et al.* Community composition and interspecific association analysis of *Kobresia capillifolia* grassland [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2015,**35**(10):2 096-2 102.

[3] 覃 林. 统计生态学 [M]. 北京:中国林业出版社, 2009. 75-77.

[4] 林长松,邓洪平,何 平. 不同小生境缙云黄芩形态变异数量分析[J]. 北方园艺,2007,(12):43-47.
LIN C S, DENG H P, HE P. Quantitative analysis of morphological diversity differentiation of *Scutellaria tsinyunensis* in different microhabitats [J]. *Northern Horticulture*, 2007, (12):43-47.

[5] 马凯阳,王有为,郭晨慧,等. 重庆特有濒危植物缙云黄芩种群生态位研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),2016,**41**(1):45-50.
MA K Y, WANG Y W, GUO C H, *et al.* Niche studies on populations of the endangered plant *Scutellaria tsinyunensis* of

endemic species of Chongqing[J]. *Journal of Southwest China Normal University* (Natural Science Edition), 2016, **41** (1): 45-50.

[6] 李锡文,祝正银. 四川植物志(第 10 卷)[M]. 成都:四川科学技术出版社, 1988:195-197.

[7] 孙雄才,胡俊毓. 中国唇形科植物的新种、新变种、新变型和新命名[J]. 植物分类学报,1966,**11**(1):35-38.
SUN X C, HU J Y. New species, varieties, forms and new names of Chinese Labiatae [J]. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 1966,**11**(1):35-38.

[8] 重庆市人民政府. 重庆市人民政府关于公布重庆市重点保护野生植物名录(第一批)的通知[EB/OL]. (2015-02-13) [2015-06-08]. <http://www.cq.gov.cn/publicinfo/web/views/Show!detail.action?sid=4178556>.

[9] 重庆市林业局. 关于印发《重庆市极小种群野生植物拯救保护工程实施方案(2011-2015)》的通知[EB/OL]. (2012-10-24) [2015-08-08]. http://www.cqforestry.gov.cn/articleview/2012-11-6/article_view_55323.htm.

[10] 马凯阳,邓洪平,郭晨慧,等. 重庆特有极小种群植物缙云黄芩濒危等级评估[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2017,(1):70-76.
MA K Y, DENG H P, GUO C H, *et al.* On level evaluation of endangered plant species with extremely small populations *Scutellaria tsinyunensis* endemic in Chongqing [J]. *Journal of Southwest China Normal University*(Natural Science Edition), 2017,(1):70-76.

[11] 林长松,何 平,邓洪平.缙云山特有植物缙云黄芩的等位酶变异研究[J].西南师范大学学报(自然科学版),2002,27(2):219-225.

LIN C S, HE P, DENG H P. Studies on allozymic differentiation of *Scutellaria tsinyunensis* which is endemic to Mt. Jingyun of Chongqing [J]. *Journal of Southwest China Normal University* (Natural Science Edition), 2002, 27 (2): 219-225.

[12] 刘开全,邓洪平.重庆特有濒危植物缙云黄芩的繁育系统研究[J].植物研究,2011,31(4):403-407.

LIU K Q, DENG H P. Floral biology and breeding system of endangered plant *Scutellaria tsinyunensis* endemic to Chongqing, China [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2011,31(4):403-407.

[13] 林长松,何 平,邓洪平.缙云山特有植物缙云黄芩的遗传多样性研究[J].西北植物学报,2003,23(4):566-571.

LIN C S, HE P, DENG H P. Studies on genetic diversity of *Scutellaria tsinyunensis* of endemic species from Mt. Jinyun of Chongqing [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2003,23(4):566-571.

[14] 熊济华.重庆缙云山植物志[M].重庆:西南师范大学出版社,2005.

[15] GREIG-SMITH P. Data on pattern within plant communities: I. The analysis of pattern [J]. *Journal of Ecology*, 1961, 49(3): 695-702.

[16] SCHLUTER D. A variance test for detecting species association with some example applications [J]. *Ecology*, 1984, 65(3): 998-1 005.

[17] 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,(4):274-285.

WANG B S, PENG S L. Studies on the measuring techniques of interspecific association of lower-subtropical evergreen-broadleaved forests[J]. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica*, 1985,(4):274-285.

[18] HUBALEK Z. Coefficients of association and similarity based on binary data: an evaluation[J]. *Biol. Rev.*, 1982, 57: 669-689.

[19] 宋永昌.植被生态学[M].上海:华东师范大学出版社,2001:84.

[20] LUDWIG J. A. & J. F. Reynolds. Statistical Ecology: a Primer on Methods and Computing [M]. New York: A Wiley-interscience Publication, 1982:129-131.

[21] 杜道林,刘玉成,李 睿.缙云山亚热带栲树林优势植物种群间联结性研究[J].植物生态学报,1995,19(2):149-157.

DU D L, LIU Y C, LI R. Studies on the interspecific association of dominant species in a subtropical *Catanopsis fargesii* forest of Jinyun Mountain, China[J]. *Acta Phytoecologica Sinica*, 1995,19(2):149-157.

[22] 周先叶,王伯荪,李鸣光,等.广东黑石顶自然保护区森林次生群落的种间联结性分析[J].植物生态学报,2000,24(3):332-339.

ZHOU X Y, WANG B S, LI M G, *et al.* An analysis of interspecific associations in secondary succession forest communities in Heishiding Natural Reserve, Guangdong Province [J]. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2000,24(3):332-339.

[23] GREIG-SMITH P. Quaternary Plant Ecology[M]. Oxford: Blackwell Science Publication, 1983.

[24] 李俊敏.濒危植物缙云黄芩群落特征及种群结构与适应性研究[D].重庆:西南师范大学,2004.

[25] 汲文宪,陈丽华,郭 峰,等.北沟林场天然次生林主要乔木树种种间关系分析[J].东北林业大学学报,2012,(9):10-14.

JI W X, CHEN L H, GUO F, *et al.* Interspecific relationships of main tree species in a natural secondary forest in Beigou forest farm[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2012, (9): 10-14.

(编辑:潘新社)