

极小种群野生植物贵州地宝兰群落生态位特征及种间关系

张 央^{1a,1b}, 李 志^{1a,1b}, 安明态^{1a,1b,①}, 李晓芳², 汪 伟^{1a,1b}

(1. 贵州大学: a. 林学院, b. 贵州大学生物多样性与自然保护研究中心, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州省植物园, 贵州 贵阳 550004)

摘要: 对极小种群野生植物贵州地宝兰(*Geodorum eulophioides* Schltr.) 17 个群落进行样方调查, 采用生态位宽度和生态位重叠对群落草本层种类间的生态位进行分析, 并运用方差比率(VR)、 χ^2 检验、Pearson 相关系数和 Spearman 秩相关系数分析草本层种类的种间关系。结果表明: 贵州地宝兰群落中共有维管植物 41 科 78 属 94 种(含亚种、变种)。在草本层中, 贵州地宝兰的重要值为 15.10%, 位列第 4; 贵州地宝兰的 Levins 生态位宽度和 Shannon-Wiener 生态位宽度均位列第 1, 分别为 14.85 和 2.76。贵州地宝兰群落草本层有 23 个种类形成生态位重叠, 共计 100 对, Pianka 生态位重叠值在 0.00~0.85 之间; 贵州地宝兰与其他 22 个种类均存在生态位重叠, 其中与仙茅(*Curculigo orchioides* Gaertn.)、求米草[*Oplismenus undulatifolius* (Arduino) Beauv.]、藿香蓟(*Ageratum conyzoides* Linn.) 和海金沙[*Lygodium japonicum* (Thunb.) Sw.] 的 Pianka 生态位重叠值较大, 分别为 0.79、0.66、0.61 和 0.57。贵州地宝兰群落草本层种类间总体联结为不显著负联结。对贵州地宝兰群落草本层中形成生态位重叠的 23 个种类进行进一步分析, χ^2 检验结果显示这 23 个种类间呈不显著负联结的种对数占总种对数(253)的 65.2%; Pearson 相关性分析和 Spearman 秩相关性分析结果也均表明大多数种对间呈不显著相关, 其中不显著负相关的种对数分别占总种对数的 67.6% 和 53.0%, 贵州地宝兰仅与白茅[*Imperata cylindrica* (Linn.) Beauv.] 存在极显著正相关, 与爵床(*Justicia procumbens* Linn.)、丝叶薹草(*Carex capilliformis* Franch.) 和求米草存在显著正相关。综上所述, 贵州地宝兰群落草本层种间关系总体上较为松散, 种间竞争也不明显, 各种类较为独立, 具有一定的随机性, 但贵州地宝兰与少数种类生态位重叠较大, 在未来群落物种共存及演替过程中可能会存在竞争关系, 建议对贵州地宝兰居群建立保护小区(点)进行就地保护, 同时进行动态监测, 加强对放牧活动的管控力度。

关键词: 极小种群野生植物; 兰科植物; 贵州地宝兰; 生态位; 种间关系

中图分类号: Q948.2; Q949.71*8.43; S718.54 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2022)03-0001-10
DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2022.03.01

Niche characteristics and interspecific relationship of the community of wild plant *Geodorum eulophioides* with extremely small population ZHANG Yang^{1a,1b}, LI Zhi^{1a,1b}, AN Mingtai^{1a,1b,①}, LI Xiaofang², WANG Wei^{1a,1b} (1. Guizhou University: a. Forestry of College, b. Research Center for Biodiversity and Nature Conservation of Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Guizhou Botanical Garden, Guiyang 550004, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2022, 31(3): 1-10

Abstract: Quadrat investigation was conducted for the 17 communities of wild plant *Geodorum eulophioides* Schltr. with extremely small population, the niches among species in herb layers of communities were analyzed by using niche breadth and niche overlap, and the interspecific relationships of herb layer species were analyzed by using variance ratio (VR), χ^2 test, Pearson correlation

收稿日期: 2021-11-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31960042); 国家林业和草原局贵州省兰科植物资源调查项目(2019073004); 生态环境部“生物多样性调查、观测和评估”(8-3-7-20-3)

作者简介: 张 央(1995—), 男, 侗族, 贵州江口人, 硕士研究生, 主要从事野生植物保护与利用方面的研究。

①通信作者 E-mail: gdanmingtai@126.com

引用格式: 张 央, 李 志, 安明态, 等. 极小种群野生植物贵州地宝兰群落生态位特征及种间关系[J]. 植物资源与环境学报, 2022, 31(3): 1-10.

coefficient, and Spearman rank correlation coefficient. The results show that there are 94 species (including subspecies and varieties) of vascular plants belonging to 78 genera of 41 families in *G. eulophioides* communities. In the herb layer, the importance value of *G. eulophioides* is 15.10%, ranking fourth; the Levins niche breadth and Shannon-Wiener niche breadth of *G. eulophioides* rank first, with the values of 14.85 and 2.76 respectively. There are 23 species forming 100 pairs of niche overlaps in herb layers of *G. eulophioides* communities, and the Pianka niche overlap values are within 0.00–0.85; there are niche overlaps between *G. eulophioides* and the other 22 species, in which the Pianka niche overlap values with *Curculigo orchoides* Gaertn., *Oplismenus undulatifolius* (Arduino) Beauv., *Ageratum conyzoides* Linn., and *Lygodium japonicum* (Thunb.) Sw. are relatively large, which are 0.79, 0.66, 0.61, and 0.57 respectively. The overall connection among species in herb layers of *G. eulophioides* communities is non-significant negative connection. Further analyses are made on 23 species forming niche overlaps in herb layers of *G. eulophioides* communities, and the χ^2 test result shows that number of species pairs showing non-significant negative connection among these 23 species accounts for 65.2% of the total species pair number (253); the results of Pearson correlation analysis and Spearman rank correlation analysis both show that the correlations among most species pairs are not significant, in which numbers of species pairs with non-significant negative correlation account for 67.6% and 53.0% of the total species pair number respectively, and *G. eulophioides* only shows an extremely significant positive correlation with *Imperata cylindrica* (Linn.) Beauv. and shows significant positive correlations with *Justicia procumbens* Linn., *Carex capilliformis* Franch., and *O. undulatifolius*. In summary, the interspecific relationship in herb layers of *G. eulophioides* communities is relatively loose in general, the interspecific competition is not obvious, and each species is relatively independent and has a certain randomness. However, the niche overlaps between *G. eulophioides* and a few species are relatively large, and there may be a competitive relationship in the process of community species coexistence and succession in the future. It is suggested to establish a protecting area (site) for *in situ* conservation of *G. eulophioides* populations, conduct dynamic monitoring, and strengthen the control of grazing activities.

Key words: wild plant with extremely small population; Orchidaceae; *Geodorum eulophioides* Schltr.; niche; interspecific relationship

生态位理论通过对物种间以及物种和环境间的相互关系进行定量研究,能够反映种群对资源和生态空间的利用能力,同时生态位理论也是不同种群适应不同环境的重要生存策略和机制^[1]。种间联结反映了群落的结构、功能和动态^[2]。开展植物生态位特征和种间联结性研究,是了解群落结构变化和演替的基础^[3]。濒危种在群落内种间竞争中通常处于较为不利的地位,竞争能力较差^[4]。极小种群野生植物在种群竞争中也可能处在劣势地位。例如:极小种群野生植物玉龙蕨(*Sorolepidium glaciale* Christ)在种群间竞争中处于劣势,数量稀少,对资源的利用率低,不能形成优势种群^[5];浙江安息香(*Styrax zhejiangensis* S. M. Hwang et L. L. Yu)与伴生种产生资源竞争导致其数量少^[6]。但造成植物濒危也并不完全是生态位原因。例如:缙云秋海棠(*Begonia jinyunensis* C. I Peng, B. Ding et Q. Wang)的生态位宽度大,其生境适宜生存,种间竞争不激烈,生态位和种间的相互作用不是造成其濒危状态的主要原因^[7,8]。因此,深入探究植物种内和种间的竞争程度及植物在群落中的

作用和地位,对揭示群落中物种共存机制尤其是濒危物种的群落竞争状况及演替趋势等具有重大意义。

贵州地宝兰(*Geodorum eulophioides* Schltr.)是兰科(Orchidaceae)地宝兰属(*Geodorum* Jacks.)植物,产于中国贵州、广西和云南,模式标本产地为贵州罗甸,花较大且呈玫瑰红色^[9],具有较高的观赏价值。贵州地宝兰自1921年发表以来便销声匿迹,直到2004年才在广西雅长被陆续发现^[10],2021年6月,作者在罗甸进行兰科植物调查时首次在模式标本产地发现了开花的贵州地宝兰居群。贵州地宝兰在野外资源量极少,受威胁严重,被评为濒危(EN)等级^[11],并被列入《全国极小种群野生植物拯救保护工程规划(2011—2015年)》名录。

目前,研究者在贵州地宝兰的资源现状和分类修订^[12]、遗传多样性^[13]、菌根真菌^[14]以及无性繁殖^[15]等方面开展了相关研究,认为其致危因子主要是种群缺乏竞争力、生境片段化、果实少、种子萌发率低以及人为干扰^[10,12]。由于贵州地宝兰分布狭窄,野外居群少,加上调查不深入,对其群落生态学研究不足,贵

州地宝兰是否因为种间竞争关系过大导致濒危尚不清楚,研究极小种群野生植物贵州地宝兰的生态位特征和种间关系是了解其濒危原因的重要途径。因此,本文对野外分布的贵州地宝兰 17 个居群所处群落进行调查,分析其群落的物种组成、生态位宽度、生态位重叠、种间联结和种间相关性,揭示生态位特征和种间关系在贵州地宝兰濒危原因中的生态作用机制,为该种的有效保护提供理论依据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

贵州地宝兰主要分布在北盘江中上游(六枝—关岭段)、北盘江下游(册亨—望谟段)、南盘江和赤水河流域,地理坐标范围为东经 105.23°~106.67°、北纬 24.81°~26.04°,分布区面积约 9 511 km²。海拔范围为 411~928 m,其中贵州罗甸县罗妥村为模式标本产地。研究区位于中国东南季风与西南季风交汇

处^[16],其地势由南向北突升,由南至北地貌依次为常态地貌、喀斯特地貌,土壤类型包括山地黄棕壤和石灰土^[17]。区域内年平均气温 18.4 °C,年平均降水量 1 100 mm;森林植被多为残存的次生林和次生灌丛^[18]。

1.2 研究方法

2021 年 6 月至 8 月,在贵州地宝兰居群所处的群落分别设置面积 10 m×10 m 的样地进行调查,共 17 个样地,样地基本信息见表 1。由于研究目标种贵州地宝兰为草本,数量较少,且大部分居群位于空旷的林下,草本层植物稀疏,参考有关兰科植物的样地设置^[19],每个样地设置 1 个面积 10 m×10 m 的乔木层样方,4 个面积 5 m×5 m 的灌木层样方,在样地四角各设置 1 个面积 2 m×2 m 的草本层样方。对乔木层中胸径(DBH)≥5 cm 的植物进行每木检尺,调查种名、胸径和株高;灌木层和草本层调查种名、株数、地径、株高和盖度。胸径采用围尺(精度 0.1 cm)测量,地径采用游标卡尺(精度 0.1 mm)测量,株高采用

表 1 贵州地宝兰群落样地的基本信息
Table 1 Basic information of plots of *Geodorum eulophioides* Schltr. community

样地号 No. of plot	地点 Place	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Altitude	坡度/(°) Slope	坡向 ¹⁾ Aspect ¹⁾	N ²⁾
P1	广西雅长兰科植物国家级自然保护区 Yachang Orchid National Nature Reserve in Guangxi	E106.23°	N24.84°	424	17	NW	4
P2	广西雅长兰科植物国家级自然保护区 Yachang Orchid National Nature Reserve in Guangxi	E106.23°	N24.84°	428	18	NW	7
P3	贵州望谟县标行村 Biaohang Village of Wangmo County in Guizhou	E106.25°	N25.08°	467	22	W	15
P4	贵州望谟县和亭村 Heting Village of Wangmo County in Guizhou	E106.44°	N25.11°	517	14	NE	3
P5	贵州望谟县平翁村 Pingweng Village of Wangmo County in Guizhou	E106.23°	N25.03°	564	15	W	7
P6	贵州望谟县上亭村 Shangting Village of Wangmo County in Guizhou	E106.42°	N25.12°	481	14	S	3
P7	贵州册亨县板其村 Banqi Village of Ceheng County in Guizhou	E105.65°	N24.81°	508	15	NE	7
P8	贵州册亨县洛凡村 Luofan Village of Ceheng County in Guizhou	E105.93°	N25.10°	450	18	E	4
P9	贵州册亨县纳碰村 Napeng Village of Ceheng County in Guizhou	E105.93°	N25.05°	467	24	S	2
P10	贵州册亨县洛王村 Luowang Village of Ceheng County in Guizhou	E105.95°	N25.08°	434	16	SE	6
P11	贵州晴隆县者布村 Zhebu Village of Qinglong County in Guizhou	E105.39°	N25.78°	725	38	SE	5
P12	贵州晴隆县立新村 Lixin Village of Qinglong County in Guizhou	E105.38°	N25.88°	558	58	E	5
P13	贵州罗甸县罗妥村 Luotuo Village of Luodian County in Guizhou	E106.67°	N25.23°	411	34	SE	3
P14	贵州关岭布依族苗族自治县峡谷村 Xiagu Village of Guanling Bouyei and Miao Autonomous County in Guizhou	E105.61°	N25.69°	543	38	S	3
P15	贵州关岭布依族苗族自治县木工村 Mugong Village of Guanling Bouyei and Miao Autonomous County in Guizhou	E105.69°	N25.65°	801	40	NE	7
P16	贵州关岭布依族苗族自治县大冲村 Dachong Village of Guanling Bouyei and Miao Autonomous County in Guizhou	E105.25°	N26.04°	704	35	NW	11
P17	贵州关岭布依族苗族自治县木城村 Mucheng Village of Guanling Bouyei and Miao Autonomous County in Guizhou	E105.23°	N25.99°	928	52	SE	2

¹⁾ NW: 西北 Northwest; W: 西 West; NE: 东北 Northeast; S: 南 South; E: 东 East; SE: 东南 Southeast.

²⁾ N: 株数 Number of individuals.

测高杆(精度 0.1 m)或钢尺(精度 0.1 cm)测量,盖度采用方格法^[20]估测。

1.3 数据分析

1.3.1 物种组成及优势种分析 依据群落调查结果,分别对乔木层、灌木层和草本层的种类进行统计并计算各种类的重要值^[21],根据重要值确定各层的优势种。

1.3.2 生态位分析 生态位宽度采用 Levins^[22]和 Shannon-Wiener^[23]2种生态位宽度计算,生态位重叠采用 Pianka 生态位重叠值^[24]计算。

1.3.3 联结性分析 采用方差比率(VR)法^[25]测定多个种间的联结性。若 $VR > 1$,表示种间呈净的正关联;若 $VR < 1$,表示种间呈净的负关联;若 $VR = 1$,表示所有种间无关联。由于种间的正、负关联会相互抵消,因此,采用统计量(W)检验关联程度,若 $W < \chi^2_{0.95}(N)$ 或 $W > \chi^2_{0.05}(N)$,种间总体联结显著($p < 0.05$);若 $\chi^2_{0.95}(N) < W < \chi^2_{0.05}(N)$,则种间总体联结不显著($p > 0.05$),其中,N为样方数。种间联结性先建

立 2×2 联列表,再采用 Yates 校正的 χ^2 检验定性判定种间联结性^[26]。若 $\chi^2 < 3.841$,表示种间联结性不显著($p > 0.05$);若 $3.841 < \chi^2 < 6.635$,表示种间联结性显著($0.01 < p < 0.05$);若 $\chi^2 > 6.635$,则表示种间联结性极显著($p < 0.01$)。

1.3.4 种间相关性分析 采用 Pearson 相关性分析和 Spearman 秩相关性分析比较贵州地宝兰群落草本层种间的相关程度^[27,28]。

1.4 数据处理

采用 EXCEL 2016 软件对相关数据进行统计和计算;采用 R 4.0.3 软件计算和分析生态位特征和种间联结性。

2 结果和分析

2.1 物种组成及重要值

调查结果(表 2、表 3 和表 4)显示:17 个贵州地宝兰群落共有维管植物 41 科 78 属 94 种(含变种、亚

表 2 贵州地宝兰群落乔木层物种组成及重要值

Table 2 Species composition and importance value in arbor layer of *Geodorum eulophioides* Schltr. community

种类 Species	IV/% ¹⁾	种类 Species	IV/% ¹⁾	种类 Species	IV/% ¹⁾
麻栎 <i>Quercus acutissima</i>	63.90	青檀 <i>Pteroceltis tatarinowii</i>	4.08	清香木 <i>Pistacia weinmanniifolia</i>	2.56
赤桉 <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	9.25	斜叶榕 <i>Ficus tinctoria</i>	4.00	鸡仔木 <i>Sinoadina racemosa</i>	2.54
小叶干花豆 <i>Fordia microphylla</i>	5.61	大叶土蜜树 <i>Bridelia retusa</i>	3.24	圆叶乌柏 <i>Triadica rotundifolia</i>	2.50
粗糠柴 <i>Mallotus philippensis</i>	4.87	山麻杆 <i>Alchornea davidii</i>	3.21	红椿 <i>Toona ciliata</i>	2.27
白栎 <i>Quercus fabri</i>	4.48	大果冬青 <i>Ilex macrocarpa</i>	2.89	翅荚香槐 <i>Cladrastis platycarpa</i>	2.25

¹⁾ IV: 重要值 Importance value.

表 3 贵州地宝兰群落灌木层物种组成及重要值

Table 3 Species composition and importance value in shrub layer of *Geodorum eulophioides* Schltr. community

种类 Species	IV/% ¹⁾	种类 Species	IV/% ¹⁾	种类 Species	IV/% ¹⁾
假木豆 <i>Dendrolobium triangulare</i>	26.61	苦槠木 <i>Fraxinus insularis</i>	3.81	梗花雀梅藤 <i>Sageretia henryi</i>	1.34
麻栎 <i>Quercus acutissima</i>	23.57	毛桐 <i>Mallotus barbatus</i>	3.48	贵州毛柃 <i>Eurya kweichowensis</i>	1.13
浆果楝 <i>Cipadessa baccifera</i>	11.97	地果 <i>Ficus tikoua</i>	3.02	斜叶榕 <i>Ficus tinctoria</i> subsp. <i>gibbosa</i>	1.08
山麻杆 <i>Alchornea davidii</i>	10.79	薄叶鼠李 <i>Rhamnus leptophylla</i>	3.00	柃木 <i>Eurya japonica</i>	0.93
山槐 <i>Albizia kalkora</i>	9.92	楮 <i>Broussonetia kazinoki</i>	2.59	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	0.66
粗糠柴 <i>Mallotus philippensis</i>	9.23	白栎 <i>Quercus fabri</i>	2.56	花椒筋 <i>Zanthoxylum scandens</i>	0.60
盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	6.97	杜茎山 <i>Maesa japonica</i>	2.48	假苹婆 <i>Sterculia lanceolata</i>	0.60
羊耳菊 <i>Duhalea cappa</i>	6.45	青檀 <i>Pteroceltis tatarinowii</i>	2.05	粗叶榕 <i>Ficus hirta</i>	0.59
清香木 <i>Pistacia weinmanniifolia</i>	6.31	密蒙花 <i>Buddleja officinalis</i>	1.99	梧桐 <i>Firmiana simplex</i>	0.57
水锦树 <i>Wendlandia uvariifolia</i>	5.16	小叶干花豆 <i>Fordia microphylla</i>	1.96	野柿 <i>Diospyros kaki</i> var. <i>silvestris</i>	0.57
马甲子 <i>Paliurus ramosissimus</i>	4.80	粉叶羊蹄甲 <i>Bauhinia glauca</i>	1.94	广西密花树 <i>Myrsine kwangsiensis</i>	0.57
乌冈栎 <i>Quercus phillyreoides</i>	4.78	花椒 <i>Zanthoxylum bungeanum</i>	1.84	朴树 <i>Celtis sinensis</i>	0.57
构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	3.89	细叶云南松 <i>Pinus yunnanensis</i> var. <i>tenuifolia</i>	1.61	叶下珠 <i>Phyllanthus urinaria</i>	0.57
余甘子 <i>Phyllanthus emblica</i>	3.84	岩樟 <i>Cinnamomum saxatile</i>	1.51	乌柏 <i>Triadica sebifera</i>	0.54

¹⁾ IV: 重要值 Importance value.

种),其中,乔木层 10 科 14 属 15 种,主要为麻栎 (*Quercus acutissima* Carr.),重要值为 63.90%,占据绝对优势;灌木层 21 科 33 属 42 种,主要以假木豆 [*Dendrolobium triangulare* (Retz.) Schindl.]、麻栎和浆果楝 [*Cipadessa baccifera* (Roth.) Miq.] 占据优势,

重要值分别为 26.61%、23.57% 和 11.97%;草本层 20 科 39 属 45 种,主要以求米草 [*Oplismenus undulatifolius* (Arduino) Beauv.]、仙茅 (*Curculigo orchioides* Gaertn.)、藿香蓟 (*Ageratum conyzoides* Linn.) 和贵州地宝兰占据优势,重要值分别为 21.69%、

表 4 贵州地宝兰群落草本层物种组成及重要值

Table 4 Species composition and importance value in herb layer of *Geodorum eulophioides* Schltr. community

种类 Species	IV/% ¹⁾	种类 Species	IV/% ¹⁾	种类 Species	IV/% ¹⁾
求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i>	21.69	丛毛羊胡子草 <i>Eriophorum comosum</i>	1.78	薯蓣 <i>Dioscorea polystachya</i>	1.03
仙茅 <i>Curculigo orchioides</i>	18.21	鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	1.72	假鞭叶铁线蕨 <i>Adiantum malesianum</i>	0.69
藿香蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>	16.20	丝叶薹草 <i>Carex capilliformis</i>	1.67	菊芋 <i>Helianthus tuberosus</i>	0.69
贵州地宝兰 <i>Geodorum eulophioides</i>	15.10	爵床 <i>Justicia procumbens</i>	1.62	小蓬草 <i>Erigeron canadensis</i>	0.67
海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	5.85	大白茅 <i>Imperata cylindrica</i> var. <i>major</i>	1.60	鹿藿 <i>Rhynchosia volubilis</i>	0.62
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	5.48	山菅 <i>Dianella ensifolia</i>	1.55	鸭儿芹 <i>Cryptotaenia japonica</i>	0.62
金丝草 <i>Pogonatherum crinitum</i>	5.11	荩草 <i>Arthraxon hispidus</i>	1.53	葛 <i>Pueraria montana</i>	0.54
芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	4.87	地胆草 <i>Elephantopus scaber</i>	1.33	落花生 <i>Arachis hypogaea</i>	0.54
野燕麦 <i>Avena fatua</i>	3.74	锈色蛛毛苣苔 <i>Paraboea rufescens</i>	1.31	铁线蕨 <i>Adiantum capillus-veneris</i>	0.54
矛叶荩草 <i>Arthraxon lanceolatus</i>	3.41	肾蕨 <i>Nephrolepis cordifolia</i>	1.23	五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	0.54
淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	3.34	牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	1.11	建兰 <i>Cymbidium ensifolium</i>	0.52
飞机草 <i>Chromolaena odorata</i>	3.13	毛萼玉凤花 <i>Habenaria ciliolaris</i>	1.08	狸尾豆 <i>Uraria lagopodioides</i>	0.52
扇蕨 <i>Neocheiropteris palmatopedata</i>	2.06	线瓣玉凤花 <i>Habenaria fordii</i>	1.06	楼梯草 <i>Elatostema involucreatum</i>	0.52
石蝉草 <i>Peperomia blanda</i>	1.93	硬秆子草 <i>Capillipedium assimile</i>	1.06	野苘蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i>	0.52
白茅 <i>Imperata cylindrica</i>	1.91	黄茅 <i>Heteropogon contortus</i>	1.03	珍珠矮 <i>Cymbidium nanulum</i>	0.52

¹⁾ IV: 重要值 Importance value.

18.21%、16.20% 和 15.10%,其中贵州地宝兰的重要值在草本层中位列第 4,处于中上水平。

2.2 生态位特征

2.2.1 生态位宽度 贵州地宝兰群落草本层 45 个种类中仅 18 个种类的 Levins 生态位宽度和 Shannon-Wiener 生态位宽度不同时为最小值(Levins 生态位宽度为 1.00 且 Shannon-Wiener 生态位宽度为 0.00),这 18 个主要种类的 Levins 生态位宽度和 Shannon-Wiener 生态位宽度见表 5。由表 5 可以看出:贵州地宝兰群落草本层 18 个主要种类的 Levins 生态位宽度为 1.00~14.85,Shannon-Wiener 生态位宽度为 0.00~2.76。18 个主要种类的 2 种生态位宽度存在一定差异,但生态位宽度排名前 8 的种类一致,由高到低依次为贵州地宝兰、仙茅、求米草、藿香蓟、海金沙 [*Lygodium japonicum* (Thunb.) Sw.]、淡竹叶 (*Lophatherum gracile* Brongn.)、金丝草 [*Pogonatherum crinitum* (Thunb.) Kunth]、芒 (*Miscanthus sinensis* Anderss.),表明这 8 种植物在草本群落中资源利用能力较强。该排序与重要值的排序基本一致,总体表现为重要值大的种类其生态位宽度也较大。草本层中

表 5 贵州地宝兰群落草本层主要种类的生态位宽度

Table 5 Niche breadth of main species in herb layer of *Geodorum eulophioides* Schltr. community

种类 Species	B _L ¹⁾		B _S ²⁾	
	数值 Value	排名 Ranking	数值 Value	排名 Ranking
贵州地宝兰 <i>Geodorum eulophioides</i>	14.85	1	2.76	1
仙茅 <i>Curculigo orchioides</i>	10.80	2	2.39	2
求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i>	9.60	3	2.35	3
藿香蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>	9.09	4	2.33	4
海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	6.26	5	1.96	5
淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	3.18	6	1.27	6
金丝草 <i>Pogonatherum crinitum</i>	3.05	7	1.23	7
芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	2.98	8	1.10	8
丝叶薹草 <i>Carex capilliformis</i>	2.97	9	0.59	17
扇蕨 <i>Neocheiropteris palmatopedata</i>	2.87	10	1.08	10
飞机草 <i>Chromolaena odorata</i>	2.56	11	1.02	11
肾蕨 <i>Nephrolepis cordifolia</i>	1.98	12	0.69	12
野燕麦 <i>Avena fatua</i>	1.96	13	0.68	13
白茅 <i>Imperata cylindrica</i>	1.90	14	0.67	14
鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	1.82	15	0.64	15
山菅 <i>Dianella ensifolia</i>	1.67	16	1.09	9
石蝉草 <i>Peperomia blanda</i>	1.67	17	0.00	18
爵床 <i>Justicia procumbens</i>	1.00	18	0.59	16

¹⁾ B_L: Levins 生态位宽度 Levins niche breadth.

²⁾ B_S: Shannon-Wiener 生态位宽度 Shannon-Wiener niche breadth.

贵州地宝兰的重要值位列第4,其 Levins 生态位宽度和 Shannon-Wiener 生态位宽度却位列第1,分别为14.85和2.76,表明贵州地宝兰在群落草本层的资源利用能力强于其他种类。

2.2.2 生态位重叠 贵州地宝兰群落草本层种类的 Pianka 生态位重叠值见表6。由表6可以看出:贵州地宝兰群落草本层45个种类中有23个种类形成的种对存在生态位重叠,共计100个种对,占总种对数

(253)的39.5%,Pianka 生态位重叠值在0.00~0.85之间,其中,Pianka 生态位重叠值大于0.50的种对有19个,占总种对数的7.5%。贵州地宝兰与其他22个种类均存在生态位重叠,Pianka 生态位重叠值为0.15~0.79,其中与仙茅、求米草、藿香蓟和海金沙的 Pianka 生态位重叠值较大,分别为0.79、0.66、0.61和0.57,表明贵州地宝兰与这4个种类在群落草本层中存在资源竞争关系。

表6 贵州地宝兰群落草本层种类的 Pianka 生态位重叠值¹⁾

Table 6 Pianka niche overlap value of species in herb layer of *Geodorum eulophioides* Schltr. community¹⁾

种类 Species	不同种类间的 Pianka 生态位重叠值 Pianka niche overlap value among different species																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2	0.50																					
3	0.49	0.55																				
4	0.66	0.79	0.61																			
5	0.33	0.80	0.35	0.57																		
6	0.20	0.55	0.38	0.44	0.47																	
7	0.45	0.32	0.16	0.35	0.31	0.22																
8	0.33	0.52	0.29	0.41	0.25	0.14	0.32															
9	0.13	0.00	0.08	0.21	0.00	0.00	0.60	0.00														
10	0.46	0.19	0.11	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00													
11	0.07	0.00	0.58	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00												
12	0.30	0.00	0.12	0.24	0.00	0.00	0.48	0.00	0.00	0.20	0.00											
13	0.00	0.38	0.00	0.15	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00										
14	0.23	0.23	0.18	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00									
15	0.00	0.55	0.19	0.45	0.79	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.72	0.00								
16	0.00	0.27	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	0.00							
17	0.10	0.26	0.27	0.23	0.00	0.00	0.00	0.73	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00						
18	0.37	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
19	0.26	0.28	0.32	0.37	0.19	0.13	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00				
20	0.35	0.50	0.36	0.45	0.48	0.00	0.26	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
21	0.26	0.28	0.32	0.37	0.19	0.13	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
22	0.00	0.38	0.00	0.15	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
23	0.00	0.27	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

¹⁾ 1: 求米草 *Oplismenus undulatifolius* (Arduino) Beauv.; 2: 仙茅 *Curculigo orchioides* Gaertn.; 3: 藿香蓟 *Ageratum conyzoides* Linn.; 4: 贵州地宝兰 *Geodorum eulophioides* Schltr.; 5: 海金沙 *Lygodium japonicum* (Thunb.) Sw.; 6: 金丝草 *Pogonatherum crinitum* (Thunb.) Kunth; 7: 芒 *Miscanthus sinensis* Anderss.; 8: 淡竹叶 *Lophatherum gracile* Brongn.; 9: 狗尾草 *Setaria viridis* (Linn.) Beauv.; 10: 飞机草 *Chromolaena odorata* (Linn.) R. M. King et H. Robinson; 11: 矛叶荩草 *Arthraxon lanceolatus* (Roxb.) Hochst.; 12: 野燕麦 *Avena fatua* Linn.; 13: 荩草 *Arthraxon hispidus* (Trin.) Makino; 14: 白茅 *Imperata cylindrica* (Linn.) Beauv.; 15: 扇蕨 *Neocheropteris palmatopedata* (Baker) Christ; 16: 丛毛羊胡子草 *Eriophorum comosum* Nees; 17: 鬼针草 *Bidens pilosa* Linn.; 18: 石蝉草 *Peperomia blanda* (Jacquin) Kunth; 19: 丝叶薹草 *Carex capilliformis* Franch.; 20: 山菅 *Dianella ensifolia* (Linn.) Redouté; 21: 爵床 *Justicia procumbens* Linn.; 22: 大白茅 *Imperata cylindrica* var. *major* (Nees) C. E. Hubbard; 23: 地胆草 *Elephantopus scaber* Linn.

2.3 关联性分析

2.3.1 总体联结分析 贵州地宝兰群落草本层种类方差比率(VR)为0.76,小于1,表明贵州地宝兰群落种间呈净的负联结,且统计量(W)为12.96,根据 χ^2 检验临界值表可知, $\chi^2_{0.95}(17)$ 和 $\chi^2_{0.05}(17)$ 分别为8.76和27.59,即 $\chi^2_{0.95}(17) < W < \chi^2_{0.05}(17)$,表明贵州地宝兰

群落草本层种类间总体联结为不显著负联结。

2.3.2 种间联结分析 对贵州地宝兰群落草本层中形成生态位重叠的23个种类根据其出现与否建立2×2联列表,然后进行 χ^2 检验,结果见图1。由图1可以看出:贵州地宝兰群落草本层上述23个种类构成的253个种对中,仅矛叶荩草[*Arthraxon lanceolatus*

(Roxb.) Hochst.) 与白茅 [*Imperata cylindrica* (Linn.) Beauv.] 1 个种对呈极显著正联结, 占总种对数的 0.4%; 63 个种对呈不显著正联结, 占总种对数的 24.9%; 2 个种对呈显著负联结, 占总种对数的 0.8%; 165 个种对呈不显著负联结, 占总种对数的 65.2%; 22 个种对呈无联结, 占总种对数的 8.7%。不显著联结和无联结的种对共有 250 个, 占总种对数的 98.8%, 表明贵州地宝兰群落草本层种类间的联结性较弱, 各种类间关系较为松散, 种类呈相对独立的分布格局。贵州地宝兰与石蝉草 [*Peperomia blanda* (Jacquin) Kunth] 呈无联结, 与其他 21 个种类呈不显著联结, 其中, 与求米草、仙茅、鬼针草 (*Bidens pilosa* Linn.)、爵

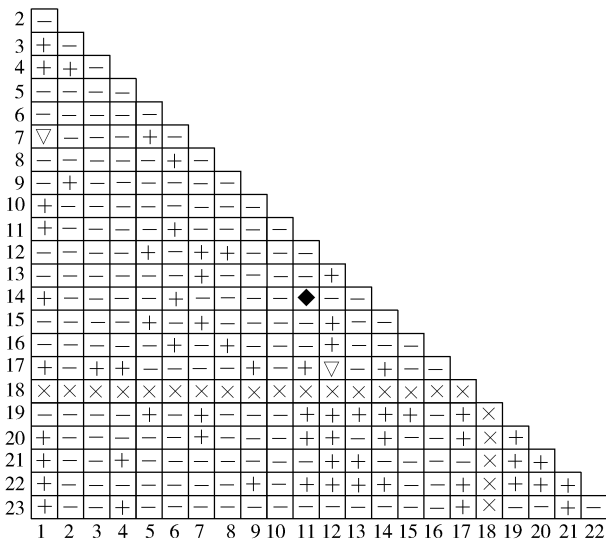
床 (*Justicia procumbens* Linn.) 和地胆草 (*Elephantopus scaber* Linn.) 5 个种类呈不显著正联结, 与藿香蓟、海金沙、金丝草、芒、野燕麦 (*Avena fatua* Linn.)、淡竹叶和狗尾草 [*Setaria viridis* (Linn.) Beauv.] 等 16 个种类呈不显著负联结。

2.4 种间相关性分析

对贵州地宝兰群落草本层中形成生态位重叠的 23 个种类进一步进行 Pearson 相关性分析和 Spearman 秩相关性分析, 结果见图 2。

Pearson 相关性分析结果 (图 2-A) 表明: 贵州地宝兰群落草本层上述 23 个种类构成的 253 个种对中, 21 个种对呈极显著 ($p < 0.01$) 正相关, 占总种对数的 8.3%; 10 个种对呈显著 ($p < 0.05$) 正相关, 占总种对数的 4.0%; 25 个种对呈不显著正相关, 占总种对数的 9.9%; 5 个种对呈极显著负相关, 占总种对数的 2.0%; 11 个种对呈显著负相关, 占总种对数的 4.3%; 171 个种对呈不显著负相关, 占总种对数的 67.6%; 10 个种对呈不相关, 占总种对数的 4.0%。不显著相关和不相关的种对共有 206 个, 占总种对数的 81.4%, 表明贵州地宝兰群落草本层中大部分种类间的相关性不显著。贵州地宝兰仅与白茅存在极显著正相关, 与求米草、丝叶薹草 (*Carex capilliformis* Franch.) 和爵床存在显著正相关, 与海金沙、荩草 [*Arthraxon hispidus* (Trin.) Makino]、扇蕨 [*Neocheiropteris palmatopedata* (Baker) Christ] 和大白茅 [*Imperata cylindrica* var. *major* (Nees) C. E. Hubbard] 存在显著负相关, 与其他 14 个种类不显著相关或不相关。

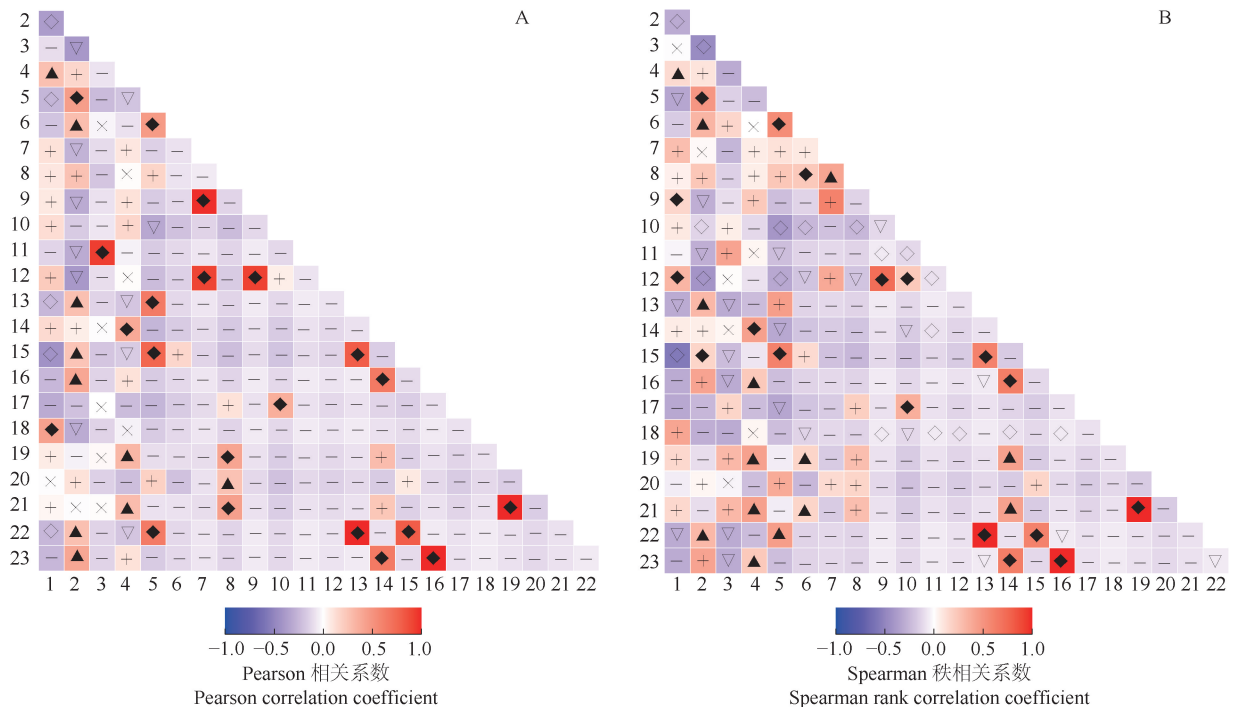
Spearman 秩相关性分析结果 (图 2-B) 表明: 贵州地宝兰群落草本层上述 23 个种类构成的 253 个种对中, 18 个种对呈极显著正相关, 占总种对数的 7.1%; 14 个种对呈显著正相关, 占总种对数的 5.5%; 36 个种对呈不显著正相关, 占总种对数的 14.2%; 19 个种对呈极显著负相关, 占总种对数的 7.5%; 24 个种对呈显著负相关, 占总种对数的 9.5%; 134 个种对呈不显著负相关, 占总种对数的 53.0%; 8 个种对呈不相关, 占总种对数的 3.2%。不显著相关和不相关的种对共有 178 个, 占总种对数的 70.4%。贵州地宝兰仅与白茅存在极显著正相关, 与求米草、丛毛羊胡子草 (*Eriophorum comosum* Nees)、丝叶薹草、爵床和地胆草存在显著正相关, 与其他 16 个种类不显著相关或不相关。



◆: 极显著正联结 Extremely significant positive connection; +: 不显著正联结 Non-significant positive connection; ∇: 显著负联结 Significant negative connection; -: 不显著负联结 Non-significant negative connection; ×: 无联结 No connection.

- 1: 求米草 *Oplismenus undulatifolius* (Arduino) Beauv.; 2: 仙茅 *Curculigo orchoides* Gaertn.; 3: 藿香蓟 *Ageratum conyzoides* Linn.; 4: 贵州地宝兰 *Geodorum eulophioides* Schltr.; 5: 海金沙 *Lygodium japonicum* (Thunb.) Sw.; 6: 金丝草 *Pogonatherum crinitum* (Thunb.) Kunth; 7: 芒 *Miscanthus sinensis* Anderss.; 8: 淡竹叶 *Lophatherum gracile* Brongn.; 9: 狗尾草 *Setaria viridis* (Linn.) Beauv.; 10: 飞机草 *Chromolaena odorata* (Linn.) R. M. King et H. Robinson; 11: 矛叶荩草 *Arthraxon lanceolatus* (Roxb.) Hochst.; 12: 野燕麦 *Avena fatua* Linn.; 13: 荩草 *Arthraxon hispidus* (Trin.) Makino; 14: 白茅 *Imperata cylindrica* (Linn.) Beauv.; 15: 扇蕨 *Neocheiropteris palmatopedata* (Baker) Christ; 16: 丛毛羊胡子草 *Eriophorum comosum* Nees; 17: 鬼针草 *Bidens pilosa* Linn.; 18: 石蝉草 *Peperomia blanda* (Jacquin) Kunth; 19: 丝叶薹草 *Carex capilliformis* Franch.; 20: 山菅 *Dianella ensifolia* (Linn.) Redouté; 21: 爵床 *Justicia procumbens* Linn.; 22: 大白茅 *Imperata cylindrica* var. *major* (Nees) C. E. Hubbard; 23: 地胆草 *Elephantopus scaber* Linn.

图 1 贵州地宝兰群落草本层种类间 χ^2 检验的半矩阵图
Fig. 1 Semi-matrix diagram of χ^2 test among species in herb layer of *Geodorum eulophioides* Schltr. community



◆: 极显著正相关 Extremely significant positive correlation; ▲: 显著正相关 Significant positive correlation; +: 不显著正相关 Non-significant positive correlation; ◇: 极显著负相关 Extremely significant negative correlation; ▽: 显著负相关 Significant negative correlation; -: 不显著负相关 Non-significant negative correlation; ×: 不相关 No correlation.

1: 求米草 *Oplismenus undulatifolius* (Arduino) Beauv.; 2: 仙茅 *Curculigo orchoides* Gaertn.; 3: 藿香蓟 *Ageratum conyzoides* Linn.; 4: 贵州地宝兰 *Geodorum euploidioides* Schltr.; 5: 海金沙 *Lygodium japonicum* (Thunb.) Sw.; 6: 金丝草 *Pogonatherum crinitum* (Thunb.) Kunth; 7: 芒 *Miscanthus sinensis* Anderss.; 8: 淡竹叶 *Lophatherum gracile* Brongn.; 9: 狗尾草 *Setaria viridis* (Linn.) Beauv.; 10: 飞机草 *Chromolaena odorata* (Linn.) R. M. King et H. Robinson; 11: 矛叶荩草 *Arthraxon lanceolatus* (Roxb.) Hochst.; 12: 野燕麦 *Avena fatua* Linn.; 13: 荩草 *Arthraxon hispidus* (Trin.) Makino; 14: 白茅 *Imperata cylindrica* (Linn.) Beauv.; 15: 扇蕨 *Neocheiropteris palmatopedata* (Baker) Christ; 16: 丛毛羊胡子草 *Eriophorum comosum* Nees; 17: 鬼针草 *Bidens pilosa* Linn.; 18: 石蝉草 *Peperomia blanda* (Jacquin) Kunth; 19: 丝叶薹草 *Carex capilliformis* Franch.; 20: 山菅 *Dianella ensifolia* (Linn.) Redouté; 21: 爵床 *Justicia procumbens* Linn.; 22: 大白茅 *Imperata cylindrica* var. *major* (Nees) C. E. Hubbard; 23: 地胆草 *Elephantopus scaber* Linn.

图2 贵州地宝兰群落草本层种类间的 Pearson 相关系数 (A) 和 Spearman 秩相关系数 (B) 的半矩阵图
Fig. 2 Semi-matrix diagrams of Pearson correlation coefficient (A) and Spearman rank correlation coefficient (B) among species in herb layer of *Geodorum euploidioides* Schltr. community

3 讨论和结论

植物群落物种组成受植被生物学、干扰因子、地形和生境异质性等因子的综合影响^[29]。本次调查发现,贵州地宝兰在北盘江下游(册亨—望谟段)、南盘江和红水河流域的分布点为常态地貌,土壤类型以山地黄棕壤为主,土层深厚,肥力较高,植被以麻栎林为主;在北盘江中上游(六枝—关岭段)的分布点主要为喀斯特地貌,土壤类型以石灰土为主,土壤瘠薄,水土流失较为严重,植被以次生林为主。由于各贵州地宝兰群落样地的地貌和林分的不同,不同群落的物种组成差异较大,具体表现为喀斯特地貌物种组成丰

富,主要以浆果楝和山麻杆(*Alchornea davidii* Franch.)为主,常态地貌物种组成单一,主要以麻栎和假木豆为主。综合 17 个样地来看,贵州地宝兰在草本层的重要值仅位列第 4,并不占据绝对优势,在与求米草、仙茅和藿香蓟的竞争中可能处于劣势。

生态位宽度受种类在样方中出现频度的影响,且与重要值并不存在绝对的相关关系^[30],种群的生态位宽度越大,对环境的适应能力强和资源利用能力也越强^[31]。本研究中,贵州地宝兰在草本层中的重要值和生态位宽度计算结果显示:其重要值位于第 4,但 Levins 生态位宽度和 Shannon-Wiener 生态位宽度均为最大,分别为 14.85 和 2.76,表明贵州地宝兰的资源利用能力强于该群落草本层其他种类。本研究

结果也表明:植物种类的重要值与其生态位宽度并无直接关系。重要值大的种类对群落的构建及生态位功能起决定性作用^[30],例如:贵州晴隆县立新村居群所在群落草本层中金丝草的重要值最大,为优势种,对该居群所在群落的草本层构建起着决定性作用,但由于金丝草在其他群落中分布频度低,导致其整体重要值及生态位宽度不高。

生态位重叠反映了同一生态系统中不同种类对资源需求的相似程度^[32],生态位重叠值越大,种类之间对资源的利用程度越相似,竞争可能越激烈^[33]。本研究中,贵州地宝兰 17 个群落草本层的 45 个种类中仅有 23 个种类形成的种对存在生态位重叠,共计 100 对,占总种对数的 39.5%,表明贵州地宝兰群落草本层种类间整体上对资源利用竞争较小。草本层形成生态位重叠的 23 个种类中,贵州地宝兰与其他 22 个种类均存在生态位重叠,但 Pianka 生态位重叠值大于 0.5 的仅有仙茅、求米草、藿香蓟和海金沙 4 种,说明贵州地宝兰与这 4 种植物具有相似的资源利用方式,在未来群落物种共存及演替过程中可能会存在竞争关系。本研究还发现,物种的生态位宽度越大,与其他物种的生态位重叠可能性越大,贵州地宝兰、仙茅、求米草和藿香蓟这 4 个生态位宽度较大的种类与群落中其他种类均形成了较为广泛的生态位重叠,达到了 68 对,占生态位重叠种对数的 68.0%。该结果与红豆杉 [*Taxus chinensis* (Pilger) Rehd.]^[34] 的群落生态位研究结果相似,二者均表明生态位宽度较大的种类,其生态位重叠也较大。

种间联结性则反映了群落中种间的相互作用及物种与环境因子间的耦合关系^[35]。本研究中,贵州地宝兰群落草本层种类间总体联结为不显著负联结,意味着草本层还处于不稳定的演替阶段,种间相对独立,在受到外界干扰时种类和数量易出现波动。 χ^2 检验结果表明:贵州地宝兰群落草本层种间呈不显著联结和无联结的种对共有 250 个,占 98.8%,种间联结性较弱,各种间关系较为松散,物种呈相对独立的分布格局。Pearson 相关性分析和 Spearman 秩相关性分析结果均表明:贵州地宝兰与白茅存在极显著相关,与爵床、丝叶藁草和求米草存在显著正相关,说明在相同环境条件下贵州地宝兰与这 4 种植物在一定程度上是“互利互惠”的关系。

在进行种间关系研究时,通常以 χ^2 检验为基础,定性判断种间联结性的显著性,并以 Pearson 相关性

分析和 Spearman 秩相关性分析等方法进行检验,才能全面、准确地反映植物群落的种间联结性^[36]。本研究中,Spearman 秩相关性分析呈极显著和显著相关的种对共有 75 个,大于 Pearson 相关性分析呈极显著和显著相关的种对数(47),即 Spearman 秩相关性分析的灵敏度比 Pearson 相关性分析高。这与刘润红等^[37]对岩溶石山青冈 [*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.] 群落研究结果一致,这是因为 Spearman 秩相关性分析是一种非参数检验,更符合自然界物种呈集群分布的特点,而 Pearson 相关性分析是一种参数检验,更多地要求物种服从连续的正态分布^[36]。

综上所述,对贵州地宝兰的保护应注重群落种间关系的维持,建议在居群分布点建立保护小区(点)进行就地保护,同时进行动态监测,加强对放牧活动的管控力度。本研究仅从群落生态学的角度揭示了贵州地宝兰群落现阶段的生态位特征和种间关系,但对于群落间物种共存及种间关系的长期维持机制尚不明确,这也是其他珍稀濒危植物值得长期关注和研究的内容。

参考文献:

- [1] 陈玉凯,杨琦,莫燕妮,等.海南岛霸王岭国家重点保护植物的生态位研究[J].植物生态学报,2014,38(6):576-584.
- [2] 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.
- [3] 张东梅,赵文智,罗维成.荒漠草原带盐碱地优势植物生态位与种间联结[J].生态学杂志,2018,37(5):1307-1315.
- [4] 张文辉,祖元刚,刘国彬.十种濒危植物的种群生态学特征及致死因素分析[J].生态学报,2002,22(9):1512-1520.
- [5] 余潇,张宝,区智,等.极小种群植物玉龙蕨的群落调查及生态位分析[J].湖北民族学院学报(自然科学版),2018,36(1):1-5.
- [6] 吴霖东,李婷婷,傅国林,等.极小种群野生植物浙江安息香的生态位和种间关系[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2020,46(4):459-474.
- [7] 郑秋敏,张腾,刘宇飞,等.重庆特有极小种群植物缙云秋海棠生态位特征研究[J].西北植物学报,2018,38(7):1340-1348.
- [8] 张腾,郑秋敏,王玉玲,等.缙云秋海棠与主要伴生物种的种间关联性研究[J].西南师范大学学报(自然科学版),2019,44(9):52-59.
- [9] 中国科学院植物志编辑委员会.中国植物志:第十八卷[M].北京:科学出版社,1999:190.
- [10] 冯昌林,蔡树威,邓振海.雅长林区贵州地宝兰的濒危原因及保护对策[J].广西林业,2012(9):43-44.

- [11] 覃海宁, 杨永, 董仕勇, 等. 中国高等植物受威胁物种名录[J]. 生物多样性, 2017, 25(7): 696-744.
- [12] 魏海燕, 李晓芳, 安明态, 等. 贵州极危植物贵州地宝兰资源现状与濒危原因分析[J]. 山地农业生物学报, 2018, 37(3): 44-48.
- [13] 营婷. 贵州地宝兰保护遗传学研究[D]. 南京: 南京大学生命科学学院, 2013: 37-52.
- [14] 张武凡. 地宝兰属植物菌根真菌及种子萌发的初步研究[D]. 北京: 北京林业大学林学院, 2014: 23-25.
- [15] 蓝玉甜, 韦新莲, 黄岚, 等. 野生贵州地宝兰无菌播种及根状茎繁育技术研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(2): 395-397, 418.
- [16] 甘露, 万国江, 梁小兵, 等. 贵州岩溶荒漠化成因及其防治[J]. 中国沙漠, 2002, 22(1): 69-74.
- [17] 陈龙, 安明态, 任娇娇, 等. 贵州北盘江石漠化区植物群落物种多样性及主要乔木种间联结性[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2020, 42(5): 80-94.
- [18] 杨成华, 安和平. 贵州南、北盘江流域植被类型的卫片解译与制图[J]. 贵州林业科技, 1996, 24(1): 55-58.
- [19] 杜晓洁, 易绮斐, 叶钦良, 等. 濒危植物紫纹兜兰群落特征及其保护[J]. 植物科学学报, 2017, 35(6): 844-850.
- [20] 叶兴状, 王妙青, 程诺, 等. 福建天台山半枫荷天然群落的物种组成、生态位和种间关系[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(6): 19-28.
- [21] 方精云, 王襄平, 沈泽昊, 等. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范[J]. 生物多样性, 2009, 17(6): 533-548.
- [22] DENNISTON C. Evolution in changing environments: some theoretical explorations by Richard Levins [J]. American Anthropologist, 1969, 71(6): 1194-1195.
- [23] COLWELL R K, FUTUYMA D J. On the measurement of niche breadth and overlap[J]. Ecology, 1971, 52(4): 567-576.
- [24] PIANKA E R. The structure of lizard communities[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973, 4(1): 53-74.
- [25] SCHLUTER D. A variance test for detecting species associations, with some example applications [J]. Ecology, 1984, 65(3): 998-1005.
- [26] 张金屯. 数量生态学[M]. 3版. 北京: 科学出版社, 2018: 147-148.
- [27] BISHARA A J, HITTNER J B. Testing the significance of a correlation with nonnormal data: comparison of Pearson, Spearman, transformation, and resampling approaches [J]. Psychological Methods, 2012, 17(3): 399-417.
- [28] 俞筱押, 余瑞, 黄娟, 等. 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[J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27(2): 24-32.
- [29] 赵安, 周晓雷, 田青, 等. 迭山北坡云冷杉林火烧迹地灌木群落特征和物种多样性研究[J]. 西部林业科学, 2021, 50(5): 90-100.
- [30] 姚珊, 郭其强, 盘金文, 等. 马尾松人工林发育过程中林下灌草群落优势种生态位动态分析[J]. 西北植物学报, 2021, 41(8): 1417-1424.
- [31] 李雅男, 张峰, 赵天启, 等. 刈割留茬高度对大针茅草原群落组成及物种生态位的影响[J]. 生态环境学报, 2021, 30(7): 1386-1392.
- [32] 李德志, 石强, 臧润国, 等. 物种或种群生态位宽度与生态位重叠的计测模型[J]. 林业科学, 2006, 42(7): 95-103.
- [33] KORNIJÓW R, MARKIYANOVA M, LANGE E. Feeding by two closely related species of *Chironomus* (Diptera: Chironomidae) in south Baltic lagoons, with implications for competitive interactions and resource partitioning [J]. Aquatic Ecology, 2019, 53: 315-324.
- [34] 张国强, 巨天珍, 刘文楨, 等. 天水小陇山红豆杉群落特征的生态学意义[J]. 林业科学研究, 2020, 33(5): 184-190.
- [35] 陈倩, 陈杰, 钟娇娇, 等. 秦岭山地油松天然次生林灌木层主要种群种间联结性与功能群划分[J]. 应用生态学报, 2018, 29(6): 1736-1744.
- [36] 刘润红, 姜勇, 常斌, 等. 漓江河岸带枫杨群落主要木本植物种间联结与相关分析[J]. 生态学报, 2018, 38(19): 6881-6893.
- [37] 刘润红, 陈乐, 涂洪润, 等. 桂林岩溶石山青冈群落灌木层主要物种生态位与种间联结[J]. 生态学报, 2020, 40(6): 2057-2071.

(责任编辑: 张明霞)