

广东阳春鹅凰嶂省级自然保护区 紫纹兜兰群落种间联结性分析

潘发光^{1,2}, 林喜珀³, 顾惠怡¹, 林春惠^{1,2}, 李玉玲⁴, 易绮斐^{1,①}

- (1. 中国科学院华南植物园 中国科学院植物资源保护与可持续重点实验室 广东省应用植物学重点实验室, 广东 广州 510650;
2. 仲恺农业工程学院农业与生物学院, 广东 广州 510230; 3. 广东阳春鹅凰嶂省级自然保护区管理处, 广东 阳春 529631;
4. 华南农业大学林学与风景园林学院, 广东 广州 510640)

摘要: 在实地调查基础上,对广东阳春鹅凰嶂省级自然保护区内 7 个样方中紫纹兜兰 [*Paphiopedilum purpuratum* (Lindl.) Stein] 群落各层次的物种组成及优势种进行了分析,并采用方差比率、 χ^2 检验和种间关联度指数,研究了紫纹兜兰与其余主要草本植物的种间联结性。结果表明:样方内共有维管植物 48 科 78 属 94 种。从各样方主要草本植物的种间总体关联性看,4 个样方为显著正关联,2 个样方为正关联,1 个样方为负关联。在 19 个主要草本植物组成的 171 个种对中,131 个种对的种间联结性不显著。在紫纹兜兰与其余主要草本植物组成的 42 个种对中,25 个种对呈正关联,17 个种对呈负关联。在部分样方中,紫纹兜兰与深绿卷柏 (*Selaginella doederleinii* Hieron.)、中华薹草 (*Carex chinensis* Retz.)、蔓九节 (*Psychotria serpens* Linn.)、竹叶兰 [*Arundina graminifolia* (D. Don) Hochr.]、高秆珍珠茅 [*Scleria terrestris* (Linn.) Fass.] 和石萝藦 (*Pentasachme caudatum* Wall. ex Wight) 呈显著或极显著正关联,与大芒萁 (*Dicranopteris ampla* Ching et Chiu)、蔓九节、黑莎草 (*Gahnia tristis* Nees) 和蚂蝗七 (*Chirita fimbrisepala* Hand.-Mazz.) 呈显著或极显著负关联。综合分析认为,该自然保护区紫纹兜兰群落物种丰富,主要草本植物的种间总体关联性以正关联为主;紫纹兜兰与多数主要伴生草本植物的关联性不显著,且分布相对独立和随机。

关键词: 紫纹兜兰; 物种组成; 方差比率; χ^2 检验; 种间联结

中图分类号: Q948.12⁺2.1; S718.54⁺1 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2021)01-0052-09
DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2021.01.07

Analysis on interspecific association of *Paphiopedilum purpuratum* community in Ehuangzhang Provincial Nature Reserve of Yangchun in Guangdong PAN Faguang^{1,2}, LIN Xipo³, GU Huiyi¹, LIN Chunhui^{1,2}, LI Yuling⁴, YI Qifei^{1,①} (1. Key Laboratory of Plant Resources Conservation and Sustainable Utilization of Chinese Academy of Sciences, Guangdong Provincial Key Laboratory of Applied Botany, South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 2. College of Agriculture and Biology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510230, China; 3. Management Department of Ehuangzhang Provincial Nature Reserve of Yangchun in Guangdong, Yangchun 529631, China; 4. College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510640, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2021, 30(1): 52-60

Abstract: On the basis of field investigation, the species composition and dominant species in each layer of *Paphiopedilum purpuratum* (Lindl.) Stein community in 7 plots in Ehuangzhang Provincial Nature Reserve of Yangchun in Guangdong were analyzed, and the interspecific association of *P. purpuratum*

收稿日期: 2020-07-28

基金项目: 广东省林业发展及保护专项项目(2130207)

作者简介: 潘发光(1993—),男,壮族,贵州从江人,硕士研究生,主要从事珍稀植物保育研究。

①通信作者 E-mail: yiqifei@scbg.ac.cn

引用格式: 潘发光, 林喜珀, 顾惠怡, 等. 广东阳春鹅凰嶂省级自然保护区紫纹兜兰群落种间联结性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(1): 52-60.

with other main herbs was researched by variance ratio, χ^2 -test and interspecies association indexes. The results show that there are 94 species of vascular plants in 78 genera of 48 families in the plots. From the overall interspecific association of main herbs in each plot, 4 plots are significantly positively associated, 2 plots are positively associated, and 1 plot is negatively associated. Among 171 species pairs composed of 19 main herbs, 131 species pairs have no significant interspecific association. Among 42 species pairs consisted by *P. purpuratum* with other main herbs, 25 species pairs are positively associated, and 17 species pairs are negatively associated. In some plots, *P. purpuratum* shows significantly or extremely significantly positive associations with *Selaginella doederleinii* Hieron., *Carex chinensis* Retz., *Psychotria serpens* Linn., *Arundina graminifolia* (D. Don) Hochr., *Scleria terrestris* (Linn.) Fass. and *Pentasachme caudatum* Wall. ex Wight, and shows significantly or extremely significantly negative associations with *Dicranopteris ampla* Ching et Chiu, *P. serpens*, *Gahnia tristis* Nees and *Chirita fimbriepala* Hand.-Mazz. According to comprehensive analysis, the species of *P. purpuratum* community in this nature reserve are rich, the overall interspecific association of main herbs is mainly positive association; *P. purpuratum* shows no significant association with most of main associated herbs, and its distribution is relatively independent and random.

Key words: *Paphiopedilum purpuratum* (Lindl.) Stein; species composition; variance ratio; χ^2 -test; interspecific association

植物群落的各物种间存在依赖、竞争和协同等复杂的关系, 经过长期进化可形成相对稳定的状态^[1]。种间联结是指植物群落内不同物种在空间分布上的相互关联性^[2], 既是植物群落的重要数量动态和结构特征, 也是植物群落结构形成和演化的基础^[3-4]。明确植物群落的种间联结性对于维持群落稳定性和保护群落多样性具有重要意义^[5-6], 可了解群落内各物种的过去和未来^[7], 反映群落的演替趋势, 有利于针对珍稀濒危物种制定有效的保护措施。

紫纹兜兰 [*Paphiopedilum purpuratum* (Lindl.) Stein] 为国家 I 级重点保护野生植物, 主要分布于广东、广西、香港和云南, 在广东主要分布于惠州、深圳、河源和阳春等地^[8]。紫纹兜兰的花朵奇特、艳丽, 具有很高的观赏价值, 但其在野外的分布范围狭窄, 生境易被破坏, 且人为挖掘和盗采严重, 因此, 紫纹兜兰的野生资源越来越少, 生存现状堪忧。

目前, 国内研究者已经在保育生物学^[9]、光合作用^[10]、种群克隆遗传结构^[11]、群落特征和保护^[12]、种群结构和数量动态^[13]等方面对紫纹兜兰开展了相关研究工作, 但关于紫纹兜兰与伴生物种的种间关联性尚不清楚。鉴于此, 作者以广东阳春鹅凰嶂省级自然保护区内的紫纹兜兰群落为研究对象, 分析了该群落内各层次的物种组成和优势种, 并对紫纹兜兰与其余主要草本植物(频度大于 5.00%) 的种间联结性进行了分析, 以期了解该群落内紫纹兜兰与主要伴生草本植物间的相互作用和关系, 为紫纹兜兰群落的保护和科学管理提供依据。

1 研究地概况和研究方法

1.1 研究地概况

广东阳春鹅凰嶂省级自然保护区位于广东省阳春市西南部, 介于东经 111°21'29"~111°36'03"、北纬 21°50'36"~21°58'40"之间。该保护区属南亚热带气候, 是广东省西南沿海片区面积最大且惟一的热带北缘气候类型自然保护区, 总面积 14 700 hm², 最高海拔 1 337 m, 年均温 22.1 °C, 年降水量 3 428.9 mm, 空气相对湿度在 80% 以上, 年日照时数 1 743.4 h, 无霜期 350 d^[14]。土壤为红黄壤, 含沙量较高。

该保护区植被类型属于季风热带地区的山地雨林, 区内植被覆盖良好、种类丰富, 优势科有壳斗科 (Fagaceae)、山茶科 (Theaceae)、桃金娘科 (Myrtaceae) 和樟科 (Lauraceae) 等^[15], 并存在大量的国家重点保护野生植物和广东省特有植物, 如石碌含笑 (*Michelia shiluensis* Chun et Y. F. Wu)、猪血木 (*Euryodendron excelsum* H. T. Chang)、阳春山龙眼 (*Helicia yangchunensis* H. S. Kiu)、虎颜花 (*Tigridiopalma magnifica* C. Chen)、阳春山矾 (*Symplocos yangchunensis* H. G. Ye et F. W. Xing)、杜鹃叶山茶 (*Camellia azalea* C. F. Wei) 和阳春柯 (*Lithocarpus yangchunensis* H. G. Ye et F. G. Wang) 等^[16]。

1.2 研究方法

1.2.1 样方设置及调查 于 2019 年 8 月 23 日至 26

日,在全面踏查的基础上,采用典型抽样法在保护区内分布有紫纹兜兰的区域设置样方。由于紫纹兜兰野外分布很少,且呈居群分布或零星分布,结合紫纹兜兰的分布位置和地形,共设置7个面积10 m×10 m的样方,样方间距在500 m以上。各样方基本情况见表1,群落类型均为常绿阔叶林。

表1 广东阳春鹅凰嶂省级自然保护区供试样方的基本情况
Table 1 Basic status of test plots in Ehuangzhang Provincial Nature Reserve of Yangchun in Guangdong

样方 ¹⁾ Plot ¹⁾	海拔/m Altitude	坡度/(°) Slope	坡向 Slope aspect
P1	334.6	55	东南 Southeast
P2	225.5	85	东南 Southeast
P3	539.4	30	西南 Southwest
P4	576.8	40	西南 Southwest
P5	620.2	80	西北 Northwest
P6	627.5	5	西北 Northwest
P7	464.2	80	西北 Northwest

¹⁾ P1, P2: 三岔水电站 Sanchahe Hydropower Station; P3, P4: 仙家洞水库 Xianjiadong Reservoir; P5, P6: 白木头水库 Baimutou Reservoir; P7: 永宁镇幸蓬村 Xingpeng Village of Yongning Town.

对样方内株高大于等于3 m(或胸径大于等于2 cm)的乔木进行每木检尺,详细记录所有乔木的种名、株数、胸径、株高和冠幅等信息。在样方中央设置1个面积5 m×5 m的灌木样方,详细记录其中所有灌木(包括小于3 m的乔木幼苗)的种名、株数、株高和冠幅等信息。采用棋盘格子法将灌木样方划分成25个面积1 m×1 m的草本样方,随机选择140个草本样方,详细记录其中所有草本的种名、株数、盖度和株高等信息。

1.2.2 物种组成及优势种分析 根据调查结果,分别对乔木层、灌木层和草本层的种类进行统计和整理;计算各种类的频度和重要值^[17],并根据各种类重要值确定乔木层、灌木层和草本层的优势种。

1.2.3 种间联结性分析 选取草本层中频度大于5.00%的种类作为主要草本植物,建立2×2联列表;根据方差比率(VR)进行检验统计^[18-19]。VR值可反映群落的种间总体关联性;VR=1,表示群落的种间总体关联性不显著;VR>1,表示群落的种间总体关联性为正关联;VR<1,表示群落的种间总体关联性为负关联。通过检验统计量(W)并结合 χ^2 临界值范围检验VR值偏离1的显著程度^[20]。若种间总体关联性不显著,则 $\chi^2_{0.95} < W < \chi^2_{0.05}$ 的概率为90%^[21]。

根据已建立的2×2联列表,用 χ^2 统计量检测种间

关联性。由于本研究取样非连续, χ^2 值被认为有偏差,因此,采用Yates连续校正公式计算 χ^2 值^[20]。 $\chi^2 < 3.841$,表示各物种相互独立,种间关联性不显著($P > 0.05$); $3.841 < \chi^2 < 6.635$,表示种间关联性显著($P < 0.05$); $\chi^2 > 6.635$,表示种间关联性极显著($P < 0.01$)。ad-bc=0,表示2个物种间没有关联;ad-bc>0,表示2个物种呈正关联;ad-bc<0,表示2个物种呈负关联。a为2个物种均出现的样方数,b和c分别为2个物种单独出现的样方数,d为2个物种均未出现的样方数。

参照相关文献^[22]计算紫纹兜兰与其余主要草本植物的种间关联度指数(包括Ochiai指数、Dice指数和Jaccard指数),并分析各种对的种间关联程度。种间关联度指数等于0,表示无关联;种间关联度指数越接近1,表示关联性越强。

1.3 数据处理

采用EXCEL 2010软件进行数据处理和绘图。

2 结果和分析

2.1 各层次的物种组成及优势种

调查结果表明:广东阳春鹅凰嶂自然保护区内供试7个样方中共有维管植物48科78属94种,其中,乔木层、灌木层和草本层的物种组成及重要值分别见表2、表3和表4。

由表2可见:该群落乔木层植物共有29种,包括攀援藤本植物杖藤(*Calamus rhabdocladus* Burret)。该层次优势种(重要值高于5.0%,下同)有6种,分别为大头茶[*Polyspora axillaris* (Roxb. ex Ker Gawl.) Sweet]、鹅掌柴[*Schefflera heptaphylla* (Linn.) Frodin]、雷公青冈[*Cyclobalanopsis hui* (Chun) Chun ex Y. C. Hsu et H. W. Jen]、木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)、革叶铁榄[*Sinosideroxylon wightianum* (Hook. et Arn.) Aubr.]和密花树(*Myrsine seguinii* H. Léveillé),重要值分别为18.9%、8.0%、7.8%、7.7%、6.1%和5.7%。

由表3可见:该群落灌木层植物共有34种,包括大型木本蕨类植物黑桫欏(*Alsophila podophylla* Hook.)和9种乔木种类的幼苗。该层次优势种仅3种,分别为柏拉木(*Blastus cochinchinensis* Lour.)、棕竹[*Rhapis excelsa* (Thunb.) Henry ex Rehd.]和黑桫欏,重要值分别为17.1%、10.6%和7.1%。

由表 4 可见: 该群落草本层植物共有 38 种, 包括 11 种蕨类植物。该层次优势种有 7 种, 分别为紫纹兜兰、大芒萁 (*Dicranopteris ampla* Ching et Chiu)、棒距虾脊兰 (*Calanthe clavata* Lindl.)、深绿卷柏 (*Selaginella doederleinii* Hieron.)、黑莎草 (*Gahnia tristis* Nees)、中华薹草 (*Carex chinensis* Retz.) 和蔓九节 (*Psychotria serpens* Linn.), 重要值分别为 14.9%、

11.6%、9.6%、8.4%、6.0%、5.6% 和 5.3%。

2.2 主要草本植物的种间总体关联性

对广东阳春鹅凰嶂省级自然保护区紫纹兜兰群落内的主要草本植物 (频度大于 5.00%) 进行种间总体关联性分析, 结果见表 5。由表 5 可见: P1、P5、P6 和 P7 样方的方差比率分别为 2.81、1.57、2.54 和 3.45; P5 样方的检验统计量超出 χ^2 临界值范围

表 2 广东阳春鹅凰嶂省级自然保护区紫纹兜兰群落乔木层的物种组成及重要值

Table 2 Composition and importance value of species in arbor layer of *Paphiopedilum purpuratum* (Lindl.) Stein community in Ehuangzhang Provincial Nature Reserve of Yangchun in Guangdong

种类 Species	重要值/% Importance value	种类 Species	重要值/% Importance value
大头茶 <i>Polyspora axillaris</i>	18.9	腺叶桂樱 <i>Laurocerasus phaeosticta</i>	1.5
鹅掌柴 <i>Schefflera heptaphylla</i>	8.0	岭南山竹子 <i>Garcinia oblongifolia</i>	1.4
雷公青冈 <i>Cyclobalanopsis hui</i>	7.8	油茶 <i>Camellia oleifera</i>	1.4
木荷 <i>Schima superba</i>	7.7	樟 <i>Cinnamomum camphora</i>	1.4
革叶铁榄 <i>Sinosideroxylon wightianum</i>	6.1	山油柑 <i>Aceronychia pedunculata</i>	1.4
密花树 <i>Myrsine seguinii</i>	5.7	杖藤 <i>Calamus rhabdocladus</i>	1.4
短序润楠 <i>Machilus breviflora</i>	4.5	绒毛润楠 <i>Machilus velutina</i>	1.4
贡甲 <i>Maclurodendron oligophlebium</i>	4.1	铁冬青 <i>Ilex rotunda</i>	1.3
罗浮柿 <i>Diospyros morrisiana</i>	3.8	鼠刺 <i>Itea chinensis</i>	1.3
大叶冬青 <i>Ilex latifolia</i>	3.0	半枫荷 <i>Semiliquidambar cathayensis</i>	1.3
两广梭罗 <i>Reevesia thyrsoidea</i>	2.9	罗汉松 <i>Podocarpus macrophyllus</i>	1.2
柏拉木 <i>Blastus cochinchinensis</i>	2.4	硬叶柯 <i>Lithocarpus crassifolius</i>	1.2
白颜树 <i>Gironniera subaequalis</i>	2.3	多花杜鹃 <i>Rhododendron cavaleriei</i>	1.2
毛锥 <i>Castanopsis fordii</i>	2.2	茜树 <i>Aidia cochinchinensis</i>	1.2
苦槠木 <i>Fraxinus insularis</i>	1.9		

表 3 广东阳春鹅凰嶂省级自然保护区紫纹兜兰群落灌木层的物种组成及重要值

Table 3 Composition and importance value of species in shrub layer of *Paphiopedilum purpuratum* (Lindl.) Stein community in Ehuangzhang Provincial Nature Reserve of Yangchun in Guangdong

种类 Species	重要值/% Importance value	种类 Species	重要值/% Importance value
柏拉木 <i>Blastus cochinchinensis</i>	17.1	白花灯笼 <i>Clerodendrum fortunatum</i>	2.0
棕竹 <i>Rhapis excelsa</i>	10.6	革叶铁榄 <i>Sinosideroxylon wightianum</i>	1.9
黑桫欏 <i>Alsophila podophylla</i>	7.1	阳春山龙眼 <i>Helicia yangchunensis</i>	1.8
岭南山竹子 <i>Garcinia oblongifolia</i>	4.8	亮叶冬青 <i>Ilex nitidissima</i>	1.6
厚壳桂 <i>Cryptocarya chinensis</i>	4.0	香叶树 <i>Lindera communis</i>	1.5
密花树 <i>Myrsine seguinii</i>	3.7	榕叶冬青 <i>Ilex ficoidea</i>	1.1
毛冬青 <i>Ilex pubescens</i>	3.5	黄桐 <i>Endospermum chinense</i>	1.0
变叶榕 <i>Ficus variolosa</i>	3.3	鸭公树 <i>Neolitsea chui</i>	1.0
茜树 <i>Aidia cochinchinensis</i>	3.2	贡甲 <i>Maclurodendron oligophlebium</i>	1.0
短序润楠 <i>Machilus breviflora</i>	3.0	马蹄参 <i>Diplopanax stachyanthus</i>	1.0
越南山矾 <i>Symplocos cochinchinensis</i>	2.9	多毛茜草树 <i>Aidia pycnantha</i>	1.0
薰薹蕨 <i>Castanopsis fissa</i>	2.8	梔子 <i>Gardenia jasminoides</i>	1.0
红鳞蒲桃 <i>Syzygium hancei</i>	2.6	凹叶红豆 <i>Ormosia emarginatas</i>	1.0
杜鹃 <i>Rhododendron simsii</i>	2.5	山鸡椒 <i>Litsea cubeba</i>	0.9
粗叶木 <i>Lasianthus chinensis</i>	2.3	山血丹 <i>Ardisia lindleyana</i>	0.9
青皮木 <i>Schoepfia jasminodora</i>	2.2	簕竹 <i>Pseudosasa hindsii</i>	0.9
山矾 <i>Symplocos sumuntia</i>	2.1	罗浮粗叶木 <i>Lasianthus fordii</i>	0.8

表4 广东阳春鹅凰嶂省级自然保护区紫纹兜兰群落草本层的物种组成及重要值

Table 4 Composition and importance value of species in herb layer of *Paphiopedilum purpuratum* (Lindl.) Stein community in Ehuangzhang Provincial Nature Reserve of Yangchun in Guangdong

种类 Species	重要值/% Importance value	种类 Species	重要值/% Importance value
紫纹兜兰 <i>Paphiopedilum purpuratum</i>	14.9	金线兰 <i>Anoetochilus roxburghii</i>	1.1
大芒萁 <i>Dicranopteris ampla</i>	11.6	黄兰 <i>Cephalantheropsis obcordata</i>	1.0
棒距虾脊兰 <i>Calanthe clavata</i>	9.6	三叉蕨 <i>Tectaria subtriphylla</i>	0.9
深绿卷柏 <i>Selaginella doederleinii</i>	8.4	芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	0.9
黑莎草 <i>Gahnia tristis</i>	6.0	剑叶鳞始蕨 <i>Lindsaea ensifolia</i>	0.8
中华薹草 <i>Carex chinensis</i>	5.6	芒萁 <i>Dicranopteris pedata</i>	0.8
蔓九节 <i>Psychotria serpens</i>	5.3	砂仁 <i>Amomum villosum</i>	0.7
高秆珍珠茅 <i>Scleria terrestris</i>	3.8	阳春耳草 <i>Hedyotis yangchunensis</i>	0.5
薄叶卷柏 <i>Selaginella delicatula</i>	3.4	华南紫萁 <i>Osmunda vachellii</i>	0.5
蚂蝗七 <i>Chirita fimbriepala</i>	2.8	淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	0.5
扇叶铁线蕨 <i>Adiantum flabellulatum</i>	2.4	散穗黑莎草 <i>Gahnia baniensis</i>	0.5
牛齿兰 <i>Appendicula cornuta</i>	2.3	蜂斗草 <i>Sonerila cantonensis</i>	0.5
竹叶兰 <i>Arundina graminifolia</i>	2.3	香港带唇兰 <i>Tainia hongkongensis</i>	0.4
石萝藦 <i>Pentasachme caudatum</i>	2.2	山菅 <i>Dianella ensifolia</i>	0.4
毛蕨 <i>Cyclosorus interruptus</i>	2.1	割鸡芒 <i>Hypolytrum nemorum</i>	0.4
鳞籽莎 <i>Lepidosperma chinense</i>	1.8	华山姜 <i>Alpinia oblongifolia</i>	0.3
新月蕨 <i>Pronephrium gymnopteridifrons</i>	1.7	臭节草 <i>Boeninghausenia albiflora</i>	0.2
见血青 <i>Liparis nervosa</i>	1.6	乌毛蕨 <i>Blechnum orientale</i>	0.2
兰花蕉 <i>Orchidantha chinensis</i>	1.4	草珊瑚 <i>Sarcandra glabra</i>	0.2

表5 广东阳春鹅凰嶂省级自然保护区紫纹兜兰群落内主要草本植物的种间总体关联性

Table 5 Overall interspecific association of main herbs in *Paphiopedilum purpuratum* (Lindl.) Stein community in Ehuangzhang Provincial Nature Reserve of Yangchun in Guangdong

样方 ¹⁾ Plot ¹⁾	δ_T^2	S_T^2	方差比率 Variance ratio	检验统计量 Test statistic	$\chi_{0.95}^2$	$\chi_{0.05}^2$	种间总体关联性 Overall interspecific association
P1	1.61	4.53	2.81	90.12	69.13	113.14	显著正关联 Significantly positive association
P2	1.44	1.47	1.02	24.48	13.85	36.42	不显著正关联 Not significantly positive association
P3	1.28	1.75	1.36	16.32	7.96	26.30	不显著正关联 Not significantly positive association
P4	1.05	0.40	0.38	6.08	1.64	12.59	不显著负关联 Not significantly negative association
P5	1.12	1.76	1.57	37.68	2.73	15.51	显著正关联 Significantly positive association
P6	1.09	2.76	2.54	30.48	18.49	47.77	显著正关联 Significantly positive association
P7	1.28	4.45	3.45	80.28	60.39	101.88	显著正关联 Significantly positive association

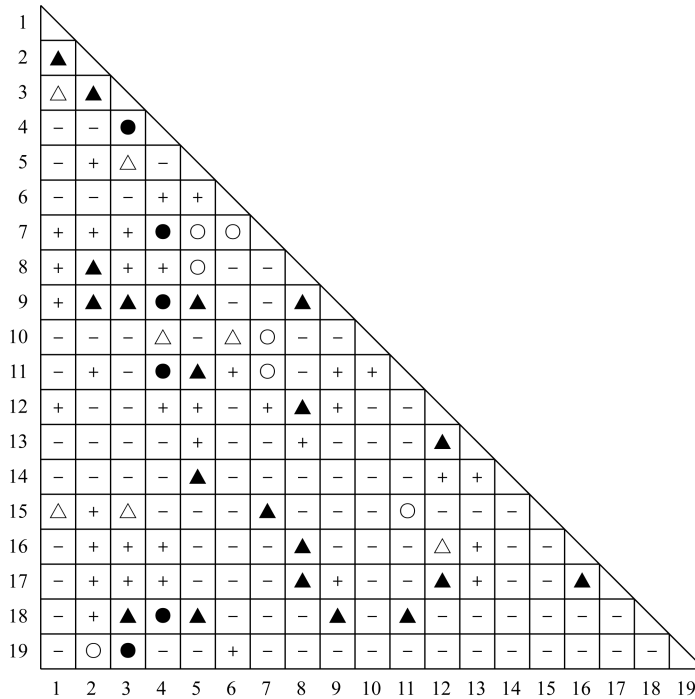
¹⁾ P1, P2: 三岔河水电站 Sanchahe Hydropower Station; P3, P4: 仙家洞水库 Xianjiadong Reservoir; P5, P6: 白木头水库 Baimutou Reservoir; P7: 永宁镇幸蓬村 Xingpeng Village of Yongning Town.

($\chi_{0.95}^2 < W < \chi_{0.05}^2$), 而 P1、P6 和 P7 样方的检验统计量则均落入 χ^2 临界值范围内; 上述 4 个样方的方差比率明显偏离 1, 说明这 4 个样方的种间总体关联性为显著正关联。P2 和 P3 样方的方差比率分别为 1.02 和 1.36, 2 个样方的检验统计量均落入 χ^2 临界值范围内, 说明这 2 个样方的种间总体关联性为不显著正关联。P4 样方的方差比率为 0.38, 其检验统计量落入 χ^2 临界值范围内, 说明此样方的种间总体关联性为不显著负关联。

2.3 主要草本植物的种间联结性

对广东阳春鹅凰嶂省级自然保护区紫纹兜兰群

落内的主要草本植物(频度大于 5.00%)的种间联结性进行分析, 结果见图 1。由图 1 可见: 在 171 个种对中, 62 个种对呈正关联, 其中, 7 个种对呈显著正关联, 20 个种对呈极显著正关联; 109 个种对呈负关联, 其中, 7 个种对呈显著负关联, 6 个种对呈极显著负关联。总体上看, 与紫纹兜兰呈正关联的主要草本植物种类有深绿卷柏、中华薹草、棒距虾脊兰、竹叶兰 [*Arundina graminifolia* (D. Don) Hochr.]、牛齿兰 (*Appendicula cornuta* Bl.)、薄叶卷柏和石萝藦 (*Pentasachme caudatum* Wall. ex Wight), 其中, 深绿卷柏与紫纹兜兰呈极显著正关联, 中华薹草和石萝藦



1: 紫纹兜兰 *Paphiopedilum purpuratum* (Lindl.) Stein; 2: 深绿卷柏 *Selaginella doederleinii* Hieron.; 3: 中华薹草 *Carex chinensis* Retz.; 4: 大芒萁 *Dicranopteris ampla* Ching et Chiu; 5: 蔓九节 *Psychotria serpens* Linn.; 6: 黑莎草 *Gahnia tristis* Nees; 7: 棒距虾脊兰 *Calanthe clavate* Lindl.; 8: 竹叶兰 *Arundina graminifolia* (D. Don) Hochr.; 9: 牛齿兰 *Appendicula cornuta* Bl.; 10: 扇叶铁线蕨 *Adiantum flabellulatum* Linn.; 11: 高秆珍珠茅 *Scleria terrestris* (Linn.) Fass.; 12: 薄叶卷柏 *Selaginella delicatula* (Desv.) Alston; 13: 见血青 *Liparis nervosa* (Thunb. ex A. Murr.) Lindl.; 14: 金线兰 *Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl.; 15: 石萝藦 *Pentstemon caudatum* Wall. ex Wight; 16: 蚂蝗七 *Chirita fimbriepala* Hand.-Mazz.; 17: 新月蕨 *Pronephrium gymnopteridifrons* (Hay.) Holtt.; 18: 毛蕨 *Cyclosorus interruptus* (Willd.) H. Ito; 19: 三叉蕨 *Tectaria subtriphylla* (Hook. et Arn.) Cop.

+: 正关联 Positive association; △: 显著正关联 Significantly positive association; ▲: 极显著正关联 Extremely significantly positive association; -: 负关联 Negative association; ○: 显著负关联 Significantly negative association; ●: 极显著负关联 Extremely significantly negative association.

图 1 广东阳春鹅凰嶂省级自然保护区紫纹兜兰群落主要草本植物种间联结性分析
Fig. 1 Analysis on interspecific association of main herbs in *Paphiopedilum purpuratum* (Lindl.) Stein community in Ehuangzhang Provincial Nature Reserve of Yangchun in Guangdong

与紫纹兜兰呈显著正关联;而大芒萁、蔓九节、黑莎草等种类与紫纹兜兰呈不显著负关联。

2.4 紫纹兜兰与其余主要草本植物的种间联结性

供试 7 个样方中紫纹兜兰与其余主要草本植物的种间关联性 χ^2 检验和关联度指数分析结果见表 6。由表 6 可见:共有 25 个种对呈正关联,占种对总数的 59.5%,其中,3 个种对呈显著正关联,分别为 P2 样方中的紫纹兜兰-竹叶兰种对和 P7 样方中的紫纹兜兰-深绿卷柏种对和紫纹兜兰-高秆珍珠茅[*Scleria terrestris* (Linn.) Fass.]种对;5 个种对呈极显著正关联,分别为 P2 和 P5 样方中的紫纹兜兰-深绿卷柏种对、P5 样方中的紫纹兜兰-石萝藦种对、P7 样方中的紫纹兜兰-中华薹草种对和紫纹兜兰-蔓九节种对。共有 17 个种对呈负关联,占种对总数的 40.5%,其中,2 个种对呈显著负关联,分别为 P1 样方中的紫纹

兜兰-蔓九节种对和 P4 样方中的紫纹兜兰-黑莎草种对;1 个种对呈极显著负关联,即 P4 样方中的紫纹兜兰-大芒萁种对。

P1 样方有 10 个种对,5 个种对呈正关联,5 个种对呈负关联。其中,紫纹兜兰-蔓九节种对呈显著负关联,其 χ^2 值和 χ^2 连续校正值均最高(分别为 4.85 和 2.93),而其 Ochiai 指数、Dice 指数和 Jaccard 指数却较低(分别为 0.341、0.312 和 0.206)。P2 样方有 9 个种对,5 个种对呈正关联,4 个种对呈负关联。其中,紫纹兜兰-深绿卷柏种对呈极显著正关联,其 χ^2 值和 χ^2 连续校正值均最高(分别为 9.91 和 5.65),其 Ochiai 指数、Dice 指数和 Jaccard 指数也最高(分别为 0.919、0.917 和 0.850);紫纹兜兰-竹叶兰种对呈显著正关联,其 χ^2 值和 χ^2 连续校正值均较高(分别为 6.26 和 4.96),其 Ochiai 指数、Dice 指数和 Jaccard 指数也

表6 广东阳春鹅凰嶂省级自然保护区供试样方中紫纹兜兰与其余主要草本植物种间关联性 χ^2 检验及种间关联度指数Table 6 χ^2 -test of interspecific association and interspecific association indexes of *Paphiopedilum purpuratum* (Lindl.) Stein with other main herbs in test plots in Ehuangzhang Provincial Nature Reserve of Yangchun in Guangdong

样方 ¹⁾ Plot ¹⁾	种对 ²⁾ Species pair ²⁾	关联性 Association	χ^2 值 χ^2 value	χ^2 连续校正 χ^2 continuous correction value	Ochiai 指数 Ochiai index	Dice 指数 Dice index	Jaccard 指数 Jaccard index	
P1	1-2	正关联 Positive association	1.82	0.51	0.735	0.701	0.561	
	1-3	正关联 Positive association	0.19	0.03	0.540	0.437	0.280	
	1-4	正关联 Positive association	0.02	0.14	0.543	0.500	0.333	
	1-5	显著负关联 Significantly negative association	4.85	2.93	0.341	0.312	0.206	
	1-6	负关联 Negative association	1.32	0.37	0.263	0.193	0.107	
	1-7	负关联 Negative association	0.00	0.18	0.357	0.242	0.153	
	1-11	负关联 Negative association	0.00	0.02	0.506	0.457	0.296	
	1-12	正关联 Positive association	0.30	0.06	0.600	0.514	0.364	
	1-13	负关联 Negative association	0.05	0.01	0.454	0.423	0.362	
	1-14	正关联 Positive association	0.41	0.13	0.578	0.531	0.376	
	P2	1-2	极显著正关联 Extremely significantly positive association	9.91	5.65	0.919	0.917	0.850
		1-3	正关联 Positive association	1.89	0.04	0.521	0.500	0.333
		1-4	负关联 Negative association	0.73	0.15	0.639	0.482	0.318
		1-8	显著正关联 Significantly positive association	6.26	4.96	0.889	0.878	0.800
1-9		正关联 Positive association	0.03	0.03	0.468	0.400	0.025	
1-12		正关联 Positive association	2.66	0.80	0.710	0.689	0.526	
1-13		负关联 Negative association	1.46	2.90	0.378	0.200	0.143	
1-16		负关联 Negative association	3.60	0.66	0.406	0.370	0.238	
1-17		负关联 Negative association	3.08	1.02	0.508	0.506	0.334	
P3		1-2	正关联 Positive association	0.27	0.20	0.628	0.600	0.429
	1-4	正关联 Positive association	0.41	1.64	0.686	0.667	0.500	
	1-5	负关联 Negative association	0.14	1.23	0.416	0.352	0.214	
	1-6	负关联 Negative association	0.41	1.64	0.588	0.571	0.400	
	1-19	负关联 Negative association	0.15	0.73	0.686	0.623	0.467	
P4	1-4	极显著负关联 Extremely significantly negative association	6.10	10.84	0.379	0.375	0.230	
	1-6	显著负关联 Significantly negative association	3.20	5.69	0.548	0.545	0.375	
	1-10	负关联 Negative association	0.60	3.27	0.433	0.376	0.231	
P5	1-2	极显著正关联 Extremely significantly positive association	7.00	4.11	0.866	0.857	0.800	
	1-3	正关联 Positive association	0.60	0.02	0.726	0.705	0.545	
	1-4	负关联 Negative association	0.10	0.99	0.456	0.384	0.235	
	1-7	正关联 Positive association	2.06	0.67	0.746	0.713	0.639	
	1-15	极显著正关联 Extremely significantly positive association	7.36	4.50	0.947	0.944	0.894	
P6	1-2	正关联 Positive association	1.79	0.29	0.717	0.705	0.545	
	1-4	正关联 Positive association	0.01	0.25	0.507	0.500	0.333	
P7	1-2	显著正关联 Significantly positive association	7.47	4.93	0.858	0.851	0.750	
	1-3	极显著正关联 Extremely significantly positive association	26.03	7.14	0.889	0.888	0.800	
	1-5	极显著正关联 Extremely significantly positive association	9.11	6.74	0.827	0.821	0.720	
	1-6	正关联 Positive association	0.06	0.03	0.535	0.363	0.222	
	1-9	正关联 Positive association	0.17	0.02	0.568	0.516	0.348	
	1-10	正关联 Positive association	0.18	0.00	0.485	0.411	0.259	
	1-11	显著正关联 Significantly positive association	4.15	2.30	0.856	0.851	0.740	
	1-19	负关联 Negative association	0.06	0.49	0.491	0.316	0.209	

¹⁾ P1, P2: 三岔河水电站 Sanchahe Hydropower Station; P3, P4: 仙家洞水库 Xianjiadong Reservoir; P5, P6: 白木头水库 Baimutou Reservoir; P7: 永宁镇幸蓬村 Xingpeng Village of Yongning Town.

²⁾ 1: 紫纹兜兰 *Paphiopedilum purpuratum* (Lindl.) Stein; 2: 深绿卷柏 *Selaginella doederleinii* Hieron.; 3: 中华薹草 *Carex chinensis* Retz.; 4: 大芒萁 *Dicranopteris ampla* Ching et Chiu; 5: 蔓九节 *Psychotria serpens* Linn.; 6: 黑莎草 *Gahnia tristis* Nees; 7: 棒距虾脊兰 *Calanthe clavate* Lindl.; 8: 竹叶兰 *Arundina graminifolia* (D. Don) Hochr.; 9: 牛齿兰 *Appendicula cornuta* Bl.; 10: 扇叶铁线蕨 *Adiantum flabellulatum* Linn.; 11: 高秆珍珠茅 *Scleria terrestris* (Linn.) Fass.; 12: 薄叶卷柏 *Selaginella delicatula* (Desv.) Alston; 13: 见血青 *Liparis nervosa* (Thunb. ex A. Murr.) Lindl.; 14: 金线兰 *Anoetochilus roxburghii* (Wall.) Lindl.; 15: 石萝藦 *Pentasachme caudatum* Wall. ex Wight; 16: 蚂蝗七 *Chirita fimbrispala* Hand.-Mazz.; 17: 新月蕨 *Pronephrium gymnopteridifrons* (Hay.) Holtt.; 19: 三叉蕨 *Tectaria subtriphyllo* (Hook. et Arn.) Cop.

较高(分别为 0.889、0.878 和 0.800)。P3 和 P4 样方均以大型乔木种类为主,草本植物较少。P3 样方有 5 个种对,但关联性均未达到显著水平,其中,2 个种对呈正关联,3 个种对呈负关联。P4 样方有 3 个种对,均呈负关联,其中,紫纹兜兰-大芒萁种对呈极显著负关联,其 χ^2 值和 χ^2 连续校正值均最高(分别为 6.10 和 10.39),其 Ochiai 指数、Dice 指数和 Jaccard 指数较低(分别为 0.379、0.375 和 0.230);紫纹兜兰-黑莎草种对呈显著负关联,其 χ^2 值和 χ^2 连续校正值较高(分别为 3.20 和 5.69),其 Ochiai 指数、Dice 指数和 Jaccard 指数分别为 0.548、0.545 和 0.375。P5 和 P7 样方分别有 2 和 3 个种对呈极显著正关联,其 Ochiai 指数、Dice 指数和 Jaccard 指数均高于 0.7,说明这 5 个种对的种间关联程度高,并且,2 个样方中紫纹兜兰-深绿卷柏种对分别呈极显著和显著正关联。P6 样方内仅有 3 种草本植物,分别为紫纹兜兰、深绿卷柏和大芒萁,紫纹兜兰-深绿卷柏种对和紫纹兜兰-大芒萁种对均呈正关联,但未达到显著水平。

3 讨论和结论

实地调查发现,广东阳春鹅凰嶂省级自然保护区内供试 7 个样方中紫纹兜兰主要生长在腐殖质丰富、排水顺畅、通风良好且荫蔽的林下,大部分样方的坡度相对较大,且旁边有水流经过。该区域紫纹兜兰群落的物种比较丰富,乔木层优势种有大头茶和鹅掌柴等 6 种,灌木层优势种有柏拉木、棕竹和黑桫欏 3 种,草本层优势种有紫纹兜兰和大芒萁等 7 种,并且,紫纹兜兰分布区域十分狭窄且比较集中,仅少量植株零星分布。供试 7 个样方中,频度大于 5.00% 的草本植物有 19 种,结合相关研究结果^[9,12,23-25],推断紫纹兜兰对伴生草本植物没有明显的选择性。

植物群落的种间总体关联性不仅能够反映群落的稳定性,还能够反映种群间相互作用和群落的演替方向^[26]。方差比率分析结果显示:P1、P5、P6 和 P7 样方主要草本植物的种间总体关联性为显著正关联, P2 和 P3 样方主要草本植物的种间总体关联性为不显著正关联,仅 P4 样方主要草本植物的种间总体关联性为不显著负关联。值得注意的是, P3 和 P4 样方虽然处于同一水系,但种间总体关联性却不同, P4 样方的草本层中除了紫纹兜兰外,仅有大芒萁、黑莎草和扇叶铁线蕨(*Adiantum flabellulatum* Linn.) 3 种草本

植物,且紫纹兜兰与这 3 个种均呈负关联,因此,该样方主要草本植物的种间总体关联性为负关联。总体来看,该群落中紫纹兜兰及主要草本植物的种类组成和种群动态趋于稳定,种间联结紧密,说明该群落的大环境与各种类对生境的需求一致^[27]。

在供试紫纹兜兰群落 19 个主要草本植物组成的 171 个种对中,131 个种对的关联性不显著,这可能是部分草本植物种类分布不均匀所致,例如,石萝藦和蚂蝗七等种类仅出现在 1 个样方中。为了进一步了解紫纹兜兰与伴生草本植物之间的关系,对 7 个样方 42 个种对的种间关联性进行了分析。结果表明:正关联和负关联的种对数分别占种对总数的 59.5% 和 40.5%,且 71.4% 种对的种间关联性未达到显著水平,说明紫纹兜兰在该群落中的分布相对独立和随机,与多数伴生草本植物不存在强烈的种间竞争,由此判断种间竞争不是紫纹兜兰濒危的主要原因。

相关研究结果表明:种对呈正关联说明 2 个物种对生境的需求具有一致性,而种对呈负关联则说明 2 个物种对生境的选择和需求存在差异,需通过种间竞争才能存活^[21,28-29]。本研究发现, P2 和 P5 样方中的紫纹兜兰-深绿卷柏种对呈极显著正关联,这是因为深绿卷柏为小型多年生草本植物,常年生长在低海拔的林下湿地、荫蔽溪边或者潮湿岩石上^[30],其对生境的需求与紫纹兜兰相似,在生境资源充足的条件下,利于深绿卷柏和紫纹兜兰的种群扩大。P5 样方中的紫纹兜兰-石萝藦种对呈极显著正关联,且石萝藦仅在 P5 样方中出现,这是因为该样方虽然位于陡峭的石壁上,但有水流经过,区域湿度很大,适合石萝藦^[31]和紫纹兜兰的生长。P4 样方中的紫纹兜兰-大芒萁种对呈极显著负关联,这是因为该样方主要以大乔木为主,群落郁闭度较大,导致林下光照不足,而大芒萁具有很强的生长能力,株高明显超过紫纹兜兰,这样的生境条件不利于紫纹兜兰生长。此外,还存在同一种对在不同样方中的关联性恰好相反的现象,例如,紫纹兜兰-蔓九节种对在 P1 样方中呈显著负关联,而在 P7 样方中呈极显著正关联,这是因为 P1 样方以乔木为主,蔓九节主要攀援在乔木或灌木上生长;而 P7 样方中乔木较少,蔓九节主要匍匐在岩石或土壤上,与紫纹兜兰共生。

综上所述,广东阳春鹅凰嶂省级自然保护区内紫纹兜兰群落物种丰富,主要草本植物的种间总体关联性以正关联为主;紫纹兜兰与多数主要伴生草本植物

的关联性不显著,且分布相对独立和随机。实际上,该区域紫纹兜兰的种群规模较小,野生植株的萌发率低和结实率较低,且主要依靠无性繁殖方式繁衍后代^[32]。为了促进紫纹兜兰种群发展,加快其无性繁殖速度,应保护与其种间正关联较强的草本植物种类,如深绿卷柏、中华藁草、石萝藦和竹叶兰等,适当清除负关联性较强的草本植物种类,如大芒萁等。此外,还要对紫纹兜兰野生居群进行保护,防止恶性采挖、破坏生境等行为,维持分布区生态环境稳定。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 武秀娟. 芦芽山阴坡典型天然次生林群落的种间联结性[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(1): 54-61.
- [3] 谢 焱,巨天珍,师贺雄,等. 甘肃省小陇山濒危珍稀植物白皮松群落种间关联[J]. 生态学杂志, 2010, 29(3): 448-453.
- [4] ÁLVAREZ-YÉPİZ J C, BÚRQUEZ A, DOVČIAK M. Ontogenetic shifts in plant-plant interactions in a rare cycad within angiosperm communities[J]. *Oecologia*, 2014, 175(2): 725-735.
- [5] TILMAN D, REICH P B, KNOPS J M H. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment [J]. *Nature*, 2006, 441(7093): 629-632.
- [6] 蔡 鑫,陈 波,陈 锋,等. 珍稀特有植物华顶杜鹃的种群结构和种间联结[J]. 浙江大学学报(理学版), 2019, 46(3): 354-363.
- [7] 何友均,李 忠,崔国发,等. 濒危物种保护方法研究进展[J]. 生态学报, 2004, 24(2): 338-346.
- [8] 刘仲健,陈心启,陈利君,等. 中国兜兰属植物[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 181-182.
- [9] 刘仲健,张建勇,茹正忠,等. 兰科紫纹兜兰的保育生物学研究[J]. 生物多样性, 2004, 12(5): 509-516.
- [10] 王燕君,闻真珍,蔡继业,等. 4种兜兰光合特性研究[J]. 现代农业科技, 2011(20): 200-202, 204.
- [11] 孙阳纳. 溪流对紫纹兜兰克隆遗传结构的影响[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 中国科学院植物研究所, 2012: 41-45.
- [12] 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.
- [13] 潘发光,叶钦良,李玉峰,等. 珍稀濒危植物紫纹兜兰的种群结构和数量动态[J]. 热带亚热带植物学报, 2020, 28(4): 375-384.
- [14] 李辛雷,孙振元,李纪元,等. 广东鹅凰嶂自然保护区杜鹃红山茶种群结构与空间分布格局[J]. 应用生态学报, 2013, 24(8): 2115-2121.
- [15] 王登峰,叶华谷,曹洪麟. 广东阳春鹅凰嶂自然保护区植被初步研究[J]. 广东林业科技, 2004, 20(4): 27-31.
- [16] 王发国,叶华谷,叶育石. 广东鹅凰嶂自然保护区珍稀濒危植物及保育[J]. 华南农业大学学报(自然科学版), 2004, 25(1): 77-79.
- [17] 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.
- [18] SCHLUTER D. A variance test for detecting species associations, with some example applications [J]. *Ecology*, 1984, 65(3): 998-1005.
- [19] 许宝坤,许晓岗,李 垚,等. 黄山常绿阔叶林甜槠群落优势种种间关联分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2019, 43(4): 77-84.
- [20] 刘 喆,岳 明. 太白山独叶草及其伴生种的种间关联研究[J]. 武汉植物学研究, 2007, 25(5): 445-450.
- [21] 刘世彪,林永慧,姜业芳. 五柱绞股蓝群落主要伴生种的种间关联性研究[J]. 亚热带植物科学, 2006, 35(2): 27-30.
- [22] 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.
- [23] 李宗艳,李名扬. 滇东南地区硬叶兜兰群落伴生种子植物研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2016, 38(7): 94-100.
- [24] 王祥福,池秀莲,董莉莉,等. 濒危物种杏黄兜兰分布区种子植物区系分析[J]. 辽宁林业科技, 2013(5): 9-15.
- [25] 陈 福,王进强,宋希强. 海南霸王岭卷萼兜兰种群分布格局研究[J]. 热带农业工程, 2009, 33(4): 18-21.
- [26] 邢韶华,赵 勃,崔国发,等. 北京百花山草甸优势种的种间关联性分析[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(3): 46-51.
- [27] 张岗岗,王得祥,张明霞,等. 秦岭南坡松栎林群落演替过程中种间联结性和相关性研究[J]. 西北植物学报, 2015, 35(8): 1657-1668.
- [28] 王 烨,金 山,秦晓娟,等. 浊漳河干流湿地草本植物群落优势种种间关系及功能群划分[J]. 生态学杂志, 2015, 34(8): 2109-2114.
- [29] 杜有新,王军峰,梁 炜,等. 浙江九龙山国家级自然保护区长序榆群落的结构特征及种间联结性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2020, 29(5): 66-74.
- [30] 孙雅颖,张宪春,崔绍梅,等. 中国29种和泰国1种卷柏科植物的叶形态学研究及其分类学意义[J]. 植物分类学报, 2006, 44(2): 148-160.
- [31] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第六十三卷[M]. 北京: 科学出版社, 1977: 415.
- [32] 曾宋君,郭贝怡,孔鑫平,等. 兜兰离体快繁技术研究进展[J]. 热带作物学报, 2020, 41(10): 2080-2089.

(责任编辑: 佟金凤)