

福建龟山伞花木所在群落乔灌层优势种的种间联结性

罗敏贤^{1a,1b,1c}, 林碧华^{1a,1b,1c}, 陈绪辉^{1a,1b,1c}, 肖丽芳^{1a,1b,1c}, 潘标志²,
叶宝鉴³, 刘宝^{1a}, 郑世群^{1a,1b,1c,①}

(1. 福建农林大学: a. 林学院, b. 海峡自然保护区研究中心, c. 生态与资源统计福建省高校重点实验室, 福建 福州 350002;
2. 福建省林业调查规划院, 福建 福州 350003; 3. 福建工程学院建筑与城乡规划学院, 福建 福州 350118)

摘要: 为探明福建省明溪县龟山伞花木 [*Eurycorymbus cavaleriei* (Lévl.) Rehd. et Hand.-Mazz.] 所在群落主要树种的种间关系, 采用 χ^2 检验、联结系数、共同出现百分率和点相关系数, 对乔木层和灌木层优势种 (重要值大于等于 2.0%) 的种间联结性进行研究。结果表明: 该群落乔木层和灌木层的方差比率分别为 0.72 和 1.33, 统计量分别为 14.36 和 33.30, 说明该群落乔木层和灌木层优势种的总体种间联结性分别为不显著负联结和不显著正联结。 χ^2 检验结果表明: 乔木层优势种组成的 45 个种对的 χ^2 值均小于 3.841, 种间联结性不显著, 正、负联结种对数的比值为 0.8 : 1.0; 在灌木层优势种组成的 78 个种对中, 76 个种对的联结性不显著, 正、负联结种对数的比值为 1.2 : 1.0。乔木层和灌木层优势种的联结系数、共同出现百分率和点相关系数分析结果与 χ^2 检验结果相似, 多数种对的联结性不显著, 伞花木与大部分优势种的联结性不显著。从联结系数看, 伞花木在乔木层与木樨 [*Osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour.] 和山牡荊 [*Vitex quinata* (Lour.) Will.] 呈显著负联结; 其在灌木层与紫麻 [*Oreocnide frutescens* (Thunb.) Miq.] 和络石 [*Trachelospermum jasminoides* (Lindl.) Lem.] 呈显著正联结, 与小蜡 [*Ligustrum sinense* Lour.] 呈显著负联结。从共同出现百分率看, 伞花木仅在灌木层与紫麻呈显著正联结。综上所述, 福建龟山伞花木所在群落优势种的种间联结性较低, 因此, 该群落亟待就地保护, 积极实施人工辅助措施。

关键词: 伞花木; 乔木层; 灌木层; 优势种; 种间联结性

中图分类号: Q948.12⁺2.1; S792.99 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2022)06-0063-10
DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2022.06.07

Interspecific associations of dominant species in arbor and shrub layers of *Eurycorymbus cavaleriei* located community in Guishan Mountain of Fujian Province LUO Minxian^{1a,1b,1c}, LIN Bihua^{1a,1b,1c}, CHEN Xuhui^{1a,1b,1c}, XIAO Lifang^{1a,1b,1c}, PAN Biaozi², YE Baojian³, LIU Bao^{1a}, ZHENG Shiqun^{1a,1b,1c,①} (1. Fujian Agriculture and Forestry University; a. Forestry College, b. Cross-Strait Nature Reserve Research Center, c. Key Laboratory of Fujian Universities for Ecology and Resource Statistics, Fuzhou 350002, China; 2. Fujian Forestry Investigation and Planning Institute, Fuzhou 350003, China; 3. College of Architecture and Urban and Rural Planning, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2022, 31(6): 63-72

Abstract: To clarify the interspecific relationships of main tree species of *Eurycorymbus cavaleriei* (Lévl.) Rehd. et Hand.-Mazz. located community in Guishan Mountain of Mingxi County of Fujian Province, the interspecific associations of dominant species (importance value equal to or greater than 2.0%) in arbor and shrub layers were studied by using χ^2 test, association coefficient, percentage of common occurrence, and point correlation coefficient. The results show that the variance ratios of arbor and shrub layers in this community are 0.72 and 1.33, respectively, and the statistical magnitude are

收稿日期: 2022-05-05

基金项目: 福建省林业科技项目(2021FKJ17)

作者简介: 罗敏贤(1998—), 女, 安徽芜湖人, 硕士研究生, 主要从事入侵生态学和保护生物学研究。

① 通信作者 E-mail: fjzsq@126.com

引用格式: 罗敏贤, 林碧华, 陈绪辉, 等. 福建龟山伞花木所在群落乔灌层优势种的种间联结性[J]. 植物资源与环境学报, 2022, 31(6): 63-72.

14.36 and 33.30, respectively, indicating that the overall interspecific associations of dominant species in arbor and shrub layers of this community are non-significant negative association and non-significant positive association, respectively. The χ^2 test result shows that the χ^2 values of 45 species pairs composed of dominant species in arbor layer are all smaller than 3.841, their interspecific associations are not significant, and the ratio of positively and negatively associated species pair numbers is 0.8 : 1.0; among 78 species pairs composed of dominant species in shrub layer, the associations of 76 species pairs are not significant, and the ratio of positively and negatively associated species pair numbers is 1.2 : 1.0. The results of association coefficient, percentage of common occurrence, and point correlation coefficient of dominant species in arbor and shrub layers are similar to the χ^2 test result, the associations of most species pairs are not significant, and the associations between *E. cavaleriei* and most dominant species are not significant. In terms of association coefficient, *E. cavaleriei* shows significant negative associations with *Osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour. and *Vitex quinata* (Lour.) Will. in arbor layer, and shows significant positive associations with *Oreocnide frutescens* (Thunb.) Miq. and *Trachelospermum jasminoides* (Lindl.) Lem. and a significant negative association with *Ligustrum sinense* Lour. in shrub layer. In terms of percentage of common occurrence, *E. cavaleriei* only shows a significant positive association with *O. frutescens* in shrub layer. Taken together, the interspecific associations of dominant species in *E. cavaleriei* located community in Guishan Mountain of Fujian Province are relatively low, so the community is urgent to conserve *in situ* and actively carry out artificial assistance measures.

Key words: *Eurycorymbus cavaleriei* (Lévl.) Rehd. et Hand.-Mazz.; arbor layer; shrub layer; dominant species; interspecific association

伞花木 [*Eurycorymbus cavaleriei* (Lévl.) Rehd. et Hand.-Mazz.] 为无患子科 (Sapindaceae) 伞花木属 (*Eurycorymbus* Hand.-Mazz.) 高大落叶乔木, 是第三纪孑遗植物和中国特有单种属植物^[1], 喜光、耐旱, 主要分布于云南、贵州、广西、湖南、江西、广东、福建和台湾, 湖北神农架亦有分布, 且多生长在海拔 300 ~ 1 400 m 的阔叶林中。由于伞花木分布地的森林遭到严重的人为破坏, 其野生资源日趋减少, 分布范围逐渐缩小, 濒临灭绝风险, 已被列为国家 II 级重点保护野生植物^[2,3]。

种间联结性 (interspecific association) 指不同物种在空间分布上的相互关联性, 是对某个时间范围内物种关系的静态描述, 通常受群落内生物因子和非生物因子的影响^[4]。种间联结性能够量化群落物种间的作用关系, 进而反映物种与生境因子间的耦合关系, 有助于正确认识群落的结构与功能, 为植被的经营管理、自然植被恢复和生物多样性保护提供理论依据^[5-7]。

开展濒危植物群落种间联结性研究能够使人们更准确地了解濒危植物群落的总体联结性和群落稳定性, 分析与濒危植物存在竞争或协同共生关系的物种, 据此提出针对性强且行之有效的濒危植物保护策略。近年来, 国内许多学者对珍稀濒危植物群落的种间联结性展开了相关研究, 发现赣北九江市永修县的

狭果秤锤树 (*Sinojackia rehderiana* Hu) 与群落内多数乔木种类的种间关系较为松散, 群落总体上呈不显著正关联, 尚未达到稳定阶段^[8]; 在吉林长白山的对开蕨 (*Asplenium komarovii* Akasawa) 群落中, 对开蕨与多数植物的联结性不显著, 各种类趋于相互独立, 群落总体上不稳定^[9]; 贵州雷公山的台湾杉 (*Taiwania cryptomerioides* Hayata) 群落的主要乔木种类间以负联结为主, 群落总体处于不稳定阶段^[10]; 贵州茂兰国家级自然保护区的四药门花 [*Loropetalum subcordatum* (Benth.) Oliv.] 群落内各层次优势种间的联结性较弱, 该群落中的四药门花独立性较强, 仅与少数优势种存在竞争关系^[11]。

经过文献查阅, 笔者发现目前关于伞花木的研究主要涉及基因组学和保护遗传学^[12-14]、染色体核型^[15]、营养成分^[16,17]、繁殖培育^[18]和群落特征^[19]等方面, 尚未见关于伞花木群落种间联结性的研究报道, 因此, 人们尚未了解伞花木与其他物种的种间关系, 无法制定有效的就地保护措施。中国东南部地区的伞花木多零星分布于沟谷溪旁的常绿阔叶林中, 很少形成群落。2015年, 肖书平^[20]在福建省明溪县龟山自然保护区内发现了近百株伞花木。本研究以该自然保护区内伞花木所在群落为研究对象, 在 χ^2 检验的基础上, 结合联结系数、共同出现百分率和点相关系数分析群落内乔木层和灌木层优势种 (重要值

大于等于 2.0%) 的种间联结性,尤其是伞花木与其他优势种的种间联结性,以探讨伞花木在该群落中的地位及其与优势种间的关系,为预测该群落的结构变化和演替趋势以及探究伞花木的濒危机制和保护措施提供科学依据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

供试伞花木所在群落位于福建省明溪县龟山自然保护区,地理坐标为东经 117°29′、北纬 26°38′。该群落分布在龟山的中上坡位置,海拔 305~420 m,面积约 0.012 km²。该区域属亚热带海洋性季风气候,年平均气温 18℃,年平均降水量 1 800 mm,年平均无霜期 261 d,气候温和,雨量充沛,冬少严寒、夏无酷暑,光照充足。区域土壤为石灰岩风化成的钙质土,腐殖质厚约 3~4 cm。

供试伞花木所在群落为常绿落叶阔叶混交林,林相较为完整。乔木层高约 10.0 m,郁闭度约 50%,主要树种有木樨 [*Osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour.]、青冈 [*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.]、光皮栎木 [*Cornus wilsoniana* Wanger.]、伞花木、光叶细刺枸骨 [*Ilex hylonoma* var. *glabra* S. Y. Hu] 等;灌木层高约 1.0 m,盖度约 35%,主要种类有伞花木、木樨、紫麻 [*Oreocnide frutescens* (Thunb.) Miq.]、肿节少穗竹 [*Oligostachyum oedogonatum* (Z. P. Wang et G. H. Ye) Q. F. Zhang et K. F. Huang]、扶芳藤 [*Euonymus fortunei* (Turcz.) Hand.-Mazz.] 等;草本层高约 0.2 m,盖度约 50%,该层次植物种类较少,主要有贯众 (*Cyrtomium fortunei* J. Sm.)、山麦冬 [*Liriope spicata* (Thunb.) Lour.]、红蓼 [*Persicaria orientalis* (Linn.) Spach.]、紫金牛 [*Ardisia japonica* (Thunb.) Bl.]、江南星蕨 [*Lepisorus fortunei* (T. Moore) C. M. Kuo] 等。

1.2 研究方法

1.2.1 实地调查 参考方精云等^[21]的植物群落调查方法,于 2021 年 4 月对伞花木所在群落进行实地调查。在伞花木集中分布区域内划分 5 个面积 20 m×20 m 的样地,每个样地分成 4 个面积 10 m×10 m 的乔木层样方,在每个样地的四角和中央各划分 1 个面积 5 m×5 m 的灌木层样方,共 20 个乔木层样方和 25 个灌木层样方。详细记录每个乔木层样方内所有株高大于等于 5.0 m 的乔木个体的种名、株数、高度和

胸径等信息,并详细记录每个灌木层样方内所有株高在 0.3~5.0 m 的灌木、木质藤本或乔木幼树的种名、株数、高度和冠幅等信息。分别计算乔木层和灌木层各种类的重要值,计算公式分别为乔木种类重要值=(相对密度+相对频度+相对显著度)/3;灌木层种类重要值=(相对密度+相对频度+相对盖度)/3。其中,相对密度=(某个种类的个体数/全部种类的个体数)×100%;相对频度=(某个种类的频度/全部种类的频度)×100%;相对显著度=(某个种类胸高断面积的总和/全部种类胸高断面积的总和)×100%;相对盖度=(某个种类的盖度/全部种类的盖度)×100%。

1.2.2 总体种间联结性分析 以乔木层和灌木层中重要值大于等于 2.0% 的种类为优势种,采用方差比率法(VR)计算群落总体种间联结性^[22]。VR=1,表示群落总体无种间联结性;VR>1,表示群落总体种间联结性为正联结;VR<1,表示群落总体种间联结性为负联结。统计量(W)依据公式“ $W=VR \cdot N$ ”计算,并根据 W 值判断群落总体种间联结性的显著水平。 $\chi^2_{0.95}(N) \leq W \leq \chi^2_{0.05}(N)$,表示群落总体种间联结性不显著; $W > \chi^2_{0.05}(N)$ 或 $W < \chi^2_{0.95}(N)$,表示群落总体种间联结性显著^[22]。其中,N 为样方数。

1.2.3 种间联结性分析 根据王伯荪等^[23]的方法建立 2×2 联列表,采用 Yates 连续矫正公式计算 χ^2 值。 $\chi^2 < 3.841$,表示种对联结性不显著($P > 0.05$); $3.841 \leq \chi^2 < 6.635$,表示种对联结性显著($0.01 < P \leq 0.05$); $\chi^2 \geq 6.635$,表示种对联结性极显著($P \leq 0.01$)。a 为种对的 2 个种都出现的样方数,b 和 c 分别为种对的 2 个种只出现 1 种的样方数,d 为种对的 2 个种均未出现的样方数, $ad > bc$ 表示种对呈正联结, $ad < bc$ 表示种对呈负联结。

1.2.4 种间联结性检验 虽然 χ^2 检验可定性种间联结性,但无法确定联结程度,为此,本研究通过联结系数(AC)和共同出现百分率(PC)进一步检验 χ^2 结果,确定种对联结程度^[22]。AC 的值域为[-1,1], $-1.0 \leq AC \leq -0.5$,表示种对联结性为显著负联结; $-0.5 < AC < 0.0$ 表示种对联结性为不显著负联结; $AC = 0.0$,表示种对无联结性,2 个种完全独立; $0.0 < AC < 0.5$,表示种对联结性为不显著正联结; $0.5 \leq AC \leq 1.0$,表示种对联结性为显著正联结。PC 主要反映种对的正联结程度,值域为[0,1], $0.0 \leq PC < 0.5$,表示种对联结性为不显著正联结; $0.5 \leq PC \leq 1.0$,表示种对联结性为显著正联结。

值得注意的是, AC 和 PC 值虽然能够反映种对的联结程度,但对种对联结程度等级的划分缺少统一标准,而且当物种出现次数少,特别是 $a=0$ 时, AC 和 PC 值均会夸大物种间的联结程度,甚至得出完全相反的结论^[7]。点相关系数 (PCC) 能够降低上述情况对种对联结程度分析结果的影响^[22]。 $-1.0 \leq PCC \leq -0.5$, 表示种对联结性为显著负联结; $-0.5 < PCC < 0.0$ 表示种对联结性为不显著负联结; $PCC = 0.0$, 表示种对无联结性, 2 个种完全独立; $0.0 < PCC < 0.5$, 表示种对联结性为不显著正联结; $0.5 \leq PCC \leq 1.0$, 表示种对联结性为显著正联结。

2 结果和分析

2.1 伞花木所在群落优势种分析

统计结果(表 1)显示:伞花木所在群落乔木层中,重要值大于等于 2.0% 的优势种有 10 个,重要值

表 1 福建龟山伞花木所在群落乔木层和灌木层优势种的重要值
Table 1 Importance values of dominant species in arbor and shrub layers of *Eurycorymbus cavaleriei* (Lévl.) Rehd. et Hand.-Mazz. located community in Guishan Mountain of Fujian Province

优势种 Dominant species	重要值/% Importance value
乔木层 Arbor layer	
木樨 <i>Osmanthus fragrans</i>	21.8
青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	20.5
光皮栎 <i>Cornus wilsoniana</i>	17.4
伞花木 <i>Eurycorymbus cavaleriei</i>	6.3
光叶细刺枸骨 <i>Ilex hylonoma</i> var. <i>glabra</i>	6.0
香叶树 <i>Lindera communis</i>	5.6
秀丽锥 <i>Castanopsis jucunda</i>	5.4
鸡仔木 <i>Sinoadina racemosa</i>	3.5
山牡荆 <i>Vitex quinata</i>	2.7
紫楠 <i>Phoebe shearerii</i>	2.5
灌木层 Shrub layer	
木樨 <i>Osmanthus fragrans</i>	12.8
紫麻 <i>Oreocnide frutescens</i>	10.5
肿节少穗竹 <i>Oligostachyum oedogonatum</i>	6.0
青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	5.6
伞花木 <i>Eurycorymbus cavaleriei</i>	5.2
扶芳藤 <i>Euonymus hederaceus</i>	5.0
臭常山 <i>Orixa japonica</i>	3.7
光叶细刺枸骨 <i>Ilex hylonoma</i> var. <i>glabra</i>	3.3
大果卫矛 <i>Euonymus myrianthus</i>	2.6
白筋 <i>Eleutherococcus trifoliatus</i>	2.6
小蜡 <i>Ligustrum sinense</i>	2.3
香叶树 <i>Lindera communis</i>	2.1
络石 <i>Trachelospermum jasminoides</i>	2.0

总和为 91.7%。其中,木樨的重要值最高,为 21.8%;其次为青冈和光皮栎,重要值分别为 20.5% 和 17.4%;伞花木的重要值为 6.3%,排名第 4 位。该群落灌木层中,重要值大于等于 2.0% 的优势种有 13 个,重要值总和为 63.7%。其中,木樨的重要值仍最高(12.8%),但明显低于其在乔木层的重要值;其次为紫麻、肿节少穗竹和青冈,重要值分别为 10.5%、6.0% 和 5.6%;伞花木的重要值为 5.2%,排名第 5 位,低于其在乔木层的重要值。

2.2 伞花木所在群落优势种的总体种间联结性分析

经计算,乔木层 10 个优势种的方差比率 (VR) 为 0.72,说明乔木层优势种的总体种间联结性为负联结。乔木层的统计量 (W) 为 14.36,落入 $\chi^2_{0.95}(20) \leq W \leq \chi^2_{0.05}(20)$ [其中, $\chi^2_{0.95}(20) = 10.85$, $\chi^2_{0.05}(20) = 31.41$] 范围内,说明乔木层优势种的总体种间联结性不显著。

与乔木层结果不同,灌木层 13 个优势种的 VR 值为 1.33,说明灌木层优势种的总体种间联结性为正联结。灌木层的 W 值为 33.30,同样落入 $\chi^2_{0.95}(25) \leq W \leq \chi^2_{0.05}(25)$ [其中, $\chi^2_{0.95}(25) = 14.61$, $\chi^2_{0.05}(25) = 37.65$] 范围内,说明灌木层优势种的总体种间联结性也不显著。

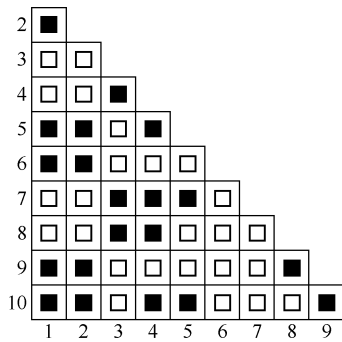
2.3 伞花木所在群落优势种的种间联结性分析

乔木层 10 个优势种的 χ^2 检验结果(图 1)显示:在这些优势种组成的 45 个种对中,正联结种对有 20 个,负联结种对有 25 个,分别占种对总数的 44.4% 和 55.6%,正、负联结种对数的比值为 0.8 : 1.0。值得注意的是,所有种对的 χ^2 值均小于 3.841,说明乔木层优势种的种间联结性均不显著。

灌木层 13 个优势种的 χ^2 检验结果(图 2)显示:在这些优势种组成的 78 个种对中,正联结种对有 43 个,负联结种对有 35 个,分别占种对总数的 55.1% 和 44.9%,正、负联结种对数的比值为 1.2 : 1.0。这些种对中,仅肿节少穗竹-青冈种对呈极显著正联结 ($\chi^2 \geq 6.635$),扶芳藤-光叶细刺枸骨种对呈显著正联结 ($3.841 \leq \chi^2 < 6.635$),其余 76 个种对的联结性均不显著。

2.4 伞花木所在群落优势种的种间联结性检验

2.4.1 联结系数 从乔木层优势种间的联结系数(表 2)看,正联结种对有 20 对,负联结种对有 24 个,无联结性种对有 1 个,分别占种对总数的 44.4%、53.3% 和 2.2%,正、负联结种对数的比值为 0.8 : 1.0,



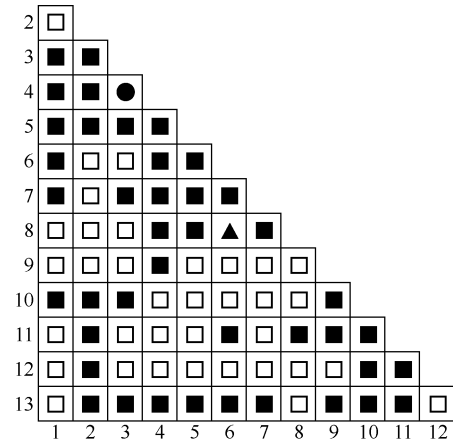
□: 不显著负联结 Non-significant negative association; ■: 不显著正联结 Non-significant positive association.

1: 木樨 *Osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour.; 2: 青冈 *Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.; 3: 光皮栎木 *Cornus wilsoniana* Wanger.; 4: 伞花木 *Eurycorymbus cavaleriei* (Lévl.) Rehd. et Hand.-Mazz.; 5: 光叶细刺枸骨 *Ilex hylonoma* var. *glabra* S. Y. Hu; 6: 香叶树 *Lindera communis* Hemsl.; 7: 秀丽锥 *Castanopsis jucunda* Hance; 8: 鸡仔木 *Sinoadina racemosa* (Sieb. et Zucc.) Ridsd.; 9: 山牡荊 *Vitex quinata* (Lour.) Will.; 10: 紫楠 *Phoebe sheareri* (Hemsl.) Gamble.

图 1 福建龟山伞花木所在群落乔木层优势种的 χ^2 检验半矩阵图
Fig. 1 χ^2 test semi-matrix map of dominant species in arbor layer of *Eurycorymbus cavaleriei* (Lévl.) Rehd. et Hand.-Mazz. located community in Guishan Mountain of Fujian Province

与 χ^2 检验结果基本相同。其中, 联结性不显著的种对有 20 个, 占种对总数的 44.4%; 显著正联结种对有 10 个, 占种对总数的 22.2%, 其中 8 个种对由于 b 值为 0, 导致联结系数为 1.000, 致使联结系数在 0.5 及以上的种对偏多, 这一研究结果并不符合实际情况; 显著负联结种对有 14 个, 占种对总数的 31.1%, 其中 12 个种对由于 a 值为 0, 导致联结系数为 -1.000, 致使联结系数在 -0.5 及以下的种对偏多, 这一研究结

果也不符合实际情况。值得注意的是, 伞花木仅与木樨和山牡荊 [*Vitex quinata* (Lour.) Will.] 呈显著负联结, 与其他优势种的联结性均不显著。



□: 不显著负联结 Non-significant negative association; ■: 不显著正联结 Non-significant positive association; ▲: 显著正联结 Significant positive association; ●: 极显著正联结 Highly significant positive association.

1: 木樨 *Osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour.; 2: 紫麻 *Oreocnide frutescens* (Thunb.) Miq.; 3: 肿节少穗竹 *Oligostachyum oedogonatum* (Z. P. Wang et G. H. Ye) Q. F. Zhang et K. F. Huang; 4: 青冈 *Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.; 5: 伞花木 *Eurycorymbus cavaleriei* (Lévl.) Rehd. et Hand.-Mazz.; 6: 扶芳藤 *Euonymus hederaceus* (Turcz.) Hand.-Mazz.; 7: 臭常山 *Orixa japonica* Thunb.; 8: 光叶细刺枸骨 *Ilex hylonoma* var. *glabra* S. Y. Hu; 9: 大果卫矛 *Euonymus myrianthus* Hemsl.; 10: 白箭 *Eleutherococcus trifoliatus* (Linn.) S. Y. Hu; 11: 小蜡 *Ligustrum sinense* Lour.; 12: 香叶树 *Lindera communis* Hemsl.; 13: 络石 *Trachelospermum jasminoides* (Lindl.) Lem.

图 2 福建龟山伞花木所在群落灌木层优势种的 χ^2 检验半矩阵图
Fig. 2 χ^2 test semi-matrix map of dominant species in shrub layer of *Eurycorymbus cavaleriei* (Lévl.) Rehd. et Hand.-Mazz. located community in Guishan Mountain of Fujian Province

表 2 福建龟山伞花木所在群落乔木层优势种的联结系数¹⁾

Table 2 Association coefficient of dominant species in arbor layer of *Eurycorymbus cavaleriei* (Lévl.) Rehd. et Hand.-Mazz. located community in Guishan Mountain of Fujian Province¹⁾

优势种 Dominant species	不同优势种间的联结系数 Association coefficient among different dominant species								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	1.000								
3	-1.000	-0.500							
4	-1.000	-0.077	0.286						
5	1.000	0.111	-0.091	0.221					
6	1.000	1.000	0.000	-0.429	-0.556				
7	-0.330	-0.467	0.500	0.077	0.273	-1.000			
8	-1.000	-0.200	0.500	0.077	-0.111	-0.200	0.200		
9	1.000	1.000	-0.167	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	
10	1.000	1.000	-0.167	0.231	0.091	-1.000	-1.000	-1.000	0.444

¹⁾ 1: 木樨 *Osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour.; 2: 青冈 *Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.; 3: 光皮栎木 *Cornus wilsoniana* Wanger.; 4: 伞花木 *Eurycorymbus cavaleriei* (Lévl.) Rehd. et Hand.-Mazz.; 5: 光叶细刺枸骨 *Ilex hylonoma* var. *glabra* S. Y. Hu; 6: 香叶树 *Lindera communis* Hemsl.; 7: 秀丽锥 *Castanopsis jucunda* Hance; 8: 鸡仔木 *Sinoadina racemosa* (Sieb. et Zucc.) Ridsd.; 9: 山牡荊 *Vitex quinata* (Lour.) Will.; 10: 紫楠 *Phoebe sheareri* (Hemsl.) Gamble.

从灌木层优势种间的联结系数(表3)看,正联结种对有41个,负联结种对有36个,无联结性种对有1个,分别占种对总数的52.6%、46.2%和1.3%,正、负联结种对数的比值为1.1:1.0,与 χ^2 检验结果基本一致。其中,联结性不显著的种对有58个,占种对总数的74.4%;显著正联结的种对有10个,占种对总数的12.8%,其中紫麻与香叶树(*Lindera communis* Hemsl.)和络石(*Trachelospermum jasminoides* (Lindl.) Lem.)的联结系数均为1.000;显著负联结的种对有9个,占种对总数的11.5%,其中香叶树与扶芳藤、臭常

山(*Orixa japonica* Thunb.)和络石以及小蜡(*Ligustrum sinense* Lour.)与臭常山的联结系数均为-1.000。值得注意的是,伞花木与紫麻和络石呈显著正联结,与小蜡呈显著负联结,与其他优势种的联结性均不显著。

2.4.2 共同出现百分率 从乔木层优势种间的共同出现百分率(表4)看,木樨与青冈、光皮栎木和光叶细刺枸骨的联结性显著,这些种对共同出现百分率分别为0.833、0.500和0.500;其余42个种对的联结性不显著,占种对总数的93.3%。该层次中,伞花木与其他优势种的联结性均不显著。

表3 福建龟山伞花木所在群落灌木层优势种的联结系数¹⁾

Table 3 Association coefficient of dominant species in shrub layer of *Eurycorymbus cavaleriei* (Lévl.) Rehd. et Hand.-Mazz. located community in Guishan Mountain of Fujian Province¹⁾

优势种 Dominant species	不同优势种间的联结系数 Association coefficient among different dominant species												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2	-0.286												
3	0.405	0.375											
4	0.026	0.091	0.650										
5	0.351	0.545	0.301	0.188									
6	0.351	-0.107	-0.053	0.026	0.026								
7	0.537	-0.286	0.476	0.351	0.188	0.026							
8	-0.330	-0.259	-0.306	0.008	0.008	0.603	0.008						
9	-0.206	-0.048	-0.107	0.490	-0.026	-0.026	-0.351	-0.206					
10	0.286	0.000	-0.167	-0.091	-0.091	-0.545	-0.545	-0.444	0.167				
11	-0.167	0.500	-0.583	-0.545	-0.545	0.286	-1.000	0.063	0.167	0.107			
12	-0.306	1.000	-0.479	-0.432	-0.432	-1.000	-1.000	-0.306	-0.026	0.063	0.048		
13	-0.306	1.000	0.519	0.554	0.554	0.107	0.107	-0.306	0.107	0.063	0.167	-1.000	

¹⁾ 1: 木樨 *Osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour.; 2: 紫麻 *Oreocnide frutescens* (Thunb.) Miq.; 3: 肿节少穗竹 *Oligostachyum oedogonatum* (Z. P. Wang et G. H. Ye) Q. F. Zhang et K. F. Huang; 4: 青冈 *Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.; 5: 伞花木 *Eurycorymbus cavaleriei* (Lévl.) Rehd. et Hand.-Mazz.; 6: 扶芳藤 *Euonymus hederaceus* (Turcz.) Hand.-Mazz.; 7: 臭常山 *Orixa japonica* Thunb.; 8: 光叶细刺枸骨 *Ilex hylonoma* var. *glabra* S. Y. Hu; 9: 大果卫矛 *Euonymus myrianthus* Hemsl.; 10: 白箭 *Eleutherococcus trifoliatus* (Linn.) S. Y. Hu; 11: 小蜡 *Ligustrum sinense* Lour.; 12: 香叶树 *Lindera communis* Hemsl.; 13: 络石 *Trachelospermum jasminoides* (Lindl.) Lem.

表4 福建龟山伞花木所在群落乔木层优势种的共同出现百分率¹⁾

Table 4 Percentage of common occurrence of dominant species in arbor layer of *Eurycorymbus cavaleriei* (Lévl.) Rehd. et Hand.-Mazz. located community in Guishan Mountain of Fujian Province¹⁾

优势种 Dominant species	不同优势种间的共同出现百分率 Percentage of common occurrence among different dominant species									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	0.833									
3	0.500	0.421								
4	0.250	0.294	0.357							
5	0.500	0.412	0.313	0.333						
6	0.278	0.333	0.214	0.091	0.077					
7	0.211	0.111	0.308	0.200	0.273	0.000				
8	0.150	0.176	0.308	0.200	0.167	0.111	0.250			
9	0.111	0.133	0.077	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
10	0.111	0.133	0.077	0.125	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

¹⁾ 1: 木樨 *Osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour.; 2: 青冈 *Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.; 3: 光皮栎木 *Cornus wilsoniana* Wanger.; 4: 伞花木 *Eurycorymbus cavaleriei* (Lévl.) Rehd. et Hand.-Mazz.; 5: 光叶细刺枸骨 *Ilex hylonoma* var. *glabra* S. Y. Hu; 6: 香叶树 *Lindera communis* Hemsl.; 7: 秀丽锥 *Castanopsis jucunda* Hance; 8: 鸡仔木 *Sinoadina racemosa* (Sieb. et Zucc.) Ridsd.; 9: 山牡荆 *Vitex quinata* (Lour.) Will.; 10: 紫楠 *Phoebe shearerii* (Hemsl.) Gamble.

从灌木层优势种间的共同出现百分率(表 5)看, 肿节少穗竹与木樨、紫麻、青冈和臭常山的联结性显著, 这些种对的共同出现百分率分别为 0.500、0.500、0.643 和 0.533; 扶芳藤与光叶细刺枸骨以及伞花木与紫麻的联结性也显著, 2 个种对的共同出现百分率分别为 0.538 和 0.529; 其余 72 个种对的联结性均不显著, 占种对总数的 92.3%。该层次中, 伞花木与其他优势种(紫麻除外)的联结性基本不显著。

2.4.3 点相关系数 从乔木层优势种间的点相关系

数(表 6)看, 正联结种对有 19 个, 负联结种对有 25 个, 无联结性种对有 1 个, 分别占种对总数的 42.2%、55.6% 和 2.2%, 正、负联结种对数的比值为 1.0 : 1.3。其中, 联结性不显著的种对有 42 个, 占种对总数的 93.3%; 显著正联结种对仅有 1 个, 即木樨-青冈种对, 二者的点相关系数为 0.577; 显著负联结种对也仅有 1 个, 即鸡仔木 [*Sinoadina racemosa* (Sieb. et Zucc.) Ridsd.] - 木樨种对, 二者的点相关系数为 -0.577。

表 5 福建龟山伞花木所在群落灌木层优势种的共同出现百分率¹⁾

Table 5 Percentage of common occurrence of dominant species in shrub layer of *Eurycorymbus cavaleriei* (Lévl.) Rehd. et Hand.-Mazz. located community in Guishan Mountain of Fujian Province¹⁾

优势种 Dominant species	不同优势种间的共同出现百分率 Percentage of common occurrence among different dominant species												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2	0.435												
3	0.500	0.500											
4	0.381	0.368	0.643										
5	0.450	0.529	0.438	0.375									
6	0.450	0.300	0.278	0.294	0.294								
7	0.400	0.238	0.533	0.467	0.375	0.294							
8	0.227	0.200	0.167	0.250	0.250	0.538	0.250						
9	0.190	0.222	0.188	0.385	0.200	0.200	0.125	0.143					
10	0.211	0.176	0.133	0.143	0.143	0.067	0.067	0.077	0.200				
11	0.150	0.250	0.063	0.067	0.067	0.231	0.000	0.167	0.200	0.200			
12	0.100	0.267	0.067	0.071	0.071	0.000	0.000	0.083	0.200	0.125	0.214		
13	0.100	0.267	0.231	0.250	0.250	0.154	0.154	0.083	0.214	0.125	0.231	0.000	

¹⁾ 1: 木樨 *Osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour.; 2: 紫麻 *Oreocnide frutescens* (Thunb.) Miq.; 3: 肿节少穗竹 *Oligostachyum oedogonatum* (Z. P. Wang et G. H. Ye) Q. F. Zhang et K. F. Huang; 4: 青冈 *Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.; 5: 伞花木 *Eurycorymbus cavaleriei* (Lévl.) Rehd. et Hand.-Mazz.; 6: 扶芳藤 *Euonymus hederaceus* (Turcz.) Hand.-Mazz.; 7: 臭常山 *Orixa japonica* Thunb.; 8: 光叶细刺枸骨 *Ilex hylonoma* var. *glabra* S. Y. Hu; 9: 大果卫矛 *Euonymus myrianthus* Hemsl.; 10: 白栎 *Eleutherococcus trifoliatus* (Linn.) S. Y. Hu; 11: 小蜡 *Ligustrum sinense* Lour.; 12: 香叶树 *Lindera communis* Hemsl.; 13: 络石 *Trachelospermum jasminoides* (Lindl.) Lem.

表 6 福建龟山伞花木所在群落乔木层优势种的点相关系数¹⁾

Table 6 Point correlation coefficient of dominant species in arbor layer of *Eurycorymbus cavaleriei* (Lévl.) Rehd. et Hand.-Mazz. located community in Guishan Mountain of Fujian Province¹⁾

优势种 Dominant species	不同优势种间的点相关系数 Point correlation coefficient among different dominant species									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	0.577									
3	-0.272	-0.236								
4	-0.454	-0.061	0.171							
5	0.302	0.058	-0.082	0.179						
6	0.192	0.333	0.000	-0.182	-0.290					
7	-0.192	-0.467	0.236	0.061	0.174	-0.333				
8	-0.577	-0.200	0.236	0.061	-0.058	-0.067	0.200			
9	0.111	0.192	-0.068	-0.245	-0.302	-0.192	-0.192	-0.192		
10	0.111	0.192	-0.068	0.105	0.034	-0.192	-0.192	-0.192	-0.192	-0.111

¹⁾ 1: 木樨 *Osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour.; 2: 青冈 *Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.; 3: 光皮柞木 *Cornus wilsoniana* Wanger.; 4: 伞花木 *Eurycorymbus cavaleriei* (Lévl.) Rehd. et Hand.-Mazz.; 5: 光叶细刺枸骨 *Ilex hylonoma* var. *glabra* S. Y. Hu; 6: 香叶树 *Lindera communis* Hemsl.; 7: 秀丽锥 *Castanopsis jucunda* Hance; 8: 鸡仔木 *Sinoadina racemosa* (Sieb. et Zucc.) Ridsd.; 9: 山牡荆 *Vitex quinata* (Lour.) Will.; 10: 紫楠 *Phoebe sheareri* (Hemsl.) Gamble.

从灌木层优势种间的点相关系数(表7)看,正联结种对有41个,负联结种对有36个,无连接性种对有1个,分别占种对总数的52.6%、46.2%和1.3%,正、负联结种对数的比值为1.1:1.0。其中,联结性

不显著的种对有75个,占种对总数的96.2%;显著正联结种对有2个,分别为青冈-肿节少穗竹种对和光叶细刺枸骨-扶芳藤种对,2个种对的点相关系数分别为0.600和0.510。

表7 福建龟山伞花木所在群落灌木层优势种的点相关系数¹⁾

Table 7 Point correlation coefficient of dominant species in shrub layer of *Eurycorymbus cavaleriei* (Lévl.) Rehd. et Hand.-Mazz. located community in Guishan Mountain of Fujian Province¹⁾

优势种 Dominant species	不同优势种间的点相关系数 Point correlation coefficient among different dominant species												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2	-0.145												
3	0.243	0.294											
4	0.014	0.066	0.600										
5	0.194	0.395	0.277	0.188									
6	0.194	-0.099	-0.045	0.026	0.026								
7	0.226	-0.263	0.439	0.351	0.188	0.026							
8	-0.275	-0.238	-0.220	0.007	0.007	0.510	0.007						
9	-0.206	-0.036	-0.064	0.345	-0.014	-0.014	-0.194	-0.097					
10	0.089	0.000	-0.080	-0.040	-0.040	-0.242	-0.242	-0.167	0.134				
11	-0.134	0.204	-0.280	-0.242	-0.242	0.161	-0.443	0.042	0.134	0.134			
12	-0.214	0.356	-0.201	-0.167	-0.167	-0.387	-0.387	-0.100	-0.014	0.055	0.036		
13	-0.214	0.356	0.236	0.273	0.273	0.053	0.053	-0.100	0.068	0.055	0.115	-0.190	

¹⁾ 1: 木樨 *Osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour.; 2: 紫麻 *Oreocnide frutescens* (Thunb.) Miq.; 3: 肿节少穗竹 *Oligostachyum oedogonatum* (Z. P. Wang et G. H. Ye) Q. F. Zhang et K. F. Huang; 4: 青冈 *Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.; 5: 伞花木 *Eurycorymbus cavaleriei* (Lévl.) Rehd. et Hand.-Mazz.; 6: 扶芳藤 *Euonymus hederaceus* (Turcz.) Hand.-Mazz.; 7: 臭常山 *Orixa japonica* Thunb.; 8: 光叶细刺枸骨 *Ilex hylonoma* var. *glabra* S. Y. Hu; 9: 大果卫矛 *Euonymus myrianthus* Hemsl.; 10: 白筋 *Eleutherococcus trifoliatus* (Linn.) S. Y. Hu; 11: 小蜡 *Ligustrum sinense* Lour.; 12: 香叶树 *Lindera communis* Hemsl.; 13: 络石 *Trachelospermum jasminoides* (Lindl.) Lem.

3 讨论和结论

植物群落的总体种间联结性与群落的稳定性密切相关。研究表明,随着植物群落的正向演替,不同层次和不同生活型的植物种类通过相互竞争和合作逐渐趋于和谐共生的状态,种间关系逐渐趋于正联结,最终发展成稳定的顶极群落^[24,25]。总体种间联结性结果与 χ^2 检验、联结系数和点相关系数结果均显示:福建龟山伞花木所在群落乔木层优势种表现为不显著负联结,灌木层优势种表现为不显著正联结,说明福建龟山伞花木所在群落的乔木层和灌木层的优势种尚未形成稳定的种间关系。并且,乔木层作为森林群落的优势层,是群落发展方向的重要影响因子,据此可推断该伞花木所在群落处于相对不稳定的演替阶段^[26,27]。

χ^2 检验侧重于检验种间联结性是否显著,联结系数和共同出现百分率可反映 χ^2 检验判断为种间联结性不显著的种对的联结程度。一般情况下,在 χ^2 检

验结果显示联结性不显著的种对中,往往能发现个别种对的联结系数和共同出现百分率显示其种间联结性显著。当 $\alpha=0$ 时,联结系数和共同出现百分率往往会得出完全相反的结论,使得相关种类的种间联结性被夸大。例如:在伞花木所在群落乔木层的10个优势种中,联结系数为-1.000的种对有12个,其中9个种对的共同出现百分率为0.000;而在灌木层的13个优势种中,联结系数为-1.000的种对有4个,且其共同出现百分率均为0.000。点相关系数可降低 α 或 b 值为0时对种对联结性程度分析结果的影响,通过点相关系数分析,可明显降低联结系数和共同出现百分率分析中种对联结性的显著程度。因此,以 χ^2 检验为基础、以联结系数、共同出现百分率和点相关系数为辅助参数进行综合分析,能够更准确地判定福建龟山伞花木所在群落乔木层和灌木层优势种的种间联结性^[28,29]。

相关研究结果表明:对环境需求相似或互利共生的物种往往表现为显著正联结,而对环境需求有差异或在资源竞争中互相排斥的物种往往表现为显著负

联结^[30-32]。本研究结果也验证了这一规律。例如:在伞花木所在群落乔木层中,共同出现百分率结果显示木樨与青冈、光皮栎木和光叶细刺枸骨呈显著正联结,这是因为这些植物的更新能力强、喜光、对土壤和水分要求不严,适应性广;而点相关系数结果显示木樨与鸡仔木呈显著负联结,这与木樨喜光,而鸡仔木在本地喜生于水边或林内潮湿处有关;联结系数结果显示伞花木与木樨呈显著负联结,原因是木樨为常绿树种,伞花木为落叶树种,二者生长需光性不同,并且木樨枝叶浓密,林下光照度极低,可能会造成伞花木的种子萌发和幼苗生长没有合适的环境条件。在灌木层中,综合 χ^2 检验、联结系数和点相关系数结果,肿节少穗竹分别与青冈、木樨、紫麻、臭常山呈显著正联结,由于肿节少穗竹具有入侵性,易迅速占领群落,完全或部分遮挡其他种类的光照,对林下灌木和乔木的更新小植株易形成强烈的竞争,因此,在福建龟山伞花木所在群落中需要注意疏伐肿节少穗竹,以维护该群落的生物多样性^[33];共同出现百分率和联结系数结果显示伞花木与紫麻和络石均呈显著正联结,伞花木在灌木层为幼苗或幼树阶段,平均高度0.69 m,紫麻常生于林下,为小型灌木,二者可能对生境有基本相同的偏好;络石常生于山野岩石上和攀伏在树体上,适应性和抗逆性都很强。联结系数结果显示伞花木与小蜡呈显著负联结,相比之下,伞花木在幼苗和幼树阶段需要充足的光照,要求乔木层郁闭度小,而小蜡对光的适应范围广,乔木层郁闭度可以有较大波动。伞花木与其余大部分物种的相关性均不太明显,种间关系较为松散,独立性较强。

值得注意的是,笔者在调查过程中共发现伞花木幼苗(株高低于0.3 m)34株,幼树(株高低于5.0 m)73株,成年植株(株高在5.0 m及以上)8株,表明在调查群落中,虽然伞花木幼苗和幼树数量较多,但成年植株偏少,可见福建龟山伞花木所在群落中伞花木幼苗和幼树的生存和生长面临巨大挑战,生境条件不利于其生长发育。笔者还发现,该群落中的伞花木幼苗大多生长在裸露的路边,易受到人为活动、动物采食和自然灾害等干扰,这也在一定程度上影响了其幼苗的存活率。因此,为了促进伞花木幼苗和幼树的生长和发育,应积极实施人工辅助措施,确保其种群正常更新。建议在伞花木的生长地划定特定区域、设置指示牌和宣传栏,降低人为干扰。另外,建议适当疏伐伞花木所在群落中具有入侵性的肿节少穗竹以及

与伞花木存在显著负联结的种类(如木樨),定期适度清理病腐木,为伞花木种群发展创造合适的生存条件。

影响树种种间关系的因子除生态适应性外,还包括个体发育阶段和群落演替阶段^[34]。本研究仅采用种间联结方法初步分析了现阶段福建龟山伞花木所在群落乔木层和灌木层优势种的种间关系,关于群落内不同种间的生态关系还需进一步深入研究。例如:运用点格局分析法,分析群落内伞花木在不同空间尺度和不同年龄结构的分布格局及种内关联性,进一步探究伞花木所在群落的种内和种间关系;建立固定样地,通过监测生态因子计算生态位,并分析生态位与种间联结的关系,从而揭示伞花木所在群落种间联结的内在机制;还可以从植物生理学和分子遗传学角度研究伞花木所在群落的种间联结,探讨种间联结产生的机制^[22,35]。

根据上述研究结果,福建龟山伞花木所在群落乔木层和灌木层的优势种并未形成紧密的关系,种间联结性较低,各优势种均相对独立,群落尚处于相对不稳定的演替前期,宜对该伞花木所在群落采取就地保护措施,积极实施人工辅助措施,确保伞花木种群正常更新。

参考文献:

- [1] 朱红艳,康明,叶其刚,等.雌雄异株稀有植物伞花木(*Eurycorymbus caraleriei*)自然居群的等位酶遗传多样性研究[J].武汉植物学研究,2005,23(4):310-318.
- [2] 吴显芝.模拟干旱胁迫对喀斯特森林喜钙树种伞花木生理特征的影响[J].中国水土保持,2012,33(5):33-35.
- [3] 鲁兆莉,覃海宁,金效华,等.《国家重点保护野生植物名录》调整的必要性、原则和程序[J].生物多样性,2021,29(12):1577-1582.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 张金屯.数量生态学[M].3版.北京:科学出版社,2018:147-158.
- [7] 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间联结性与功能群划分[J].应用生态学报,2018,29(6):1736-1744.
- [8] 周赛霞,彭焱松,丁剑敏,等.珍稀植物狭果秤锤树群落木本植物种间联结性及群落稳定性研究[J].广西植物,2017,37(4):442-448.

- [9] 黄祥童, 王绍先, 黄炳军, 等. 珍稀植物对开蕨与其伴生物种的联结性及群落稳定性[J]. 生态学报, 2015, 35(1): 80-90.
- [10] 王加国, 李晓芳, 安明态, 等. 雷公山濒危植物台湾杉群落主要乔木树种间联结性研究[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(4): 78-83.
- [11] 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.
- [12] DU X, XIN G, REN X, et al. The complete chloroplast genome of *Eurycorymbus cavaleriei* (Sapindaceae), a Tertiary relic species endemic to China [J]. Conservation Genetics Resources, 2019, 11: 283-285.
- [13] YANG J, HU G, HU G. Comparative genomics and phylogenetic relationships of two endemic and endangered species (*Handeliidendron bodinieri* and *Eurycorymbus cavaleriei*) of two monotypic genera within Sapindales [J]. BMC Genomics, 2022, 23: 27.
- [14] 杨家鑫. 掌叶木和伞花木的叶绿体全基因组研究及其系统位置分析[D]. 贵阳: 贵州大学生命科学学院, 2019: 32-39.
- [15] 张清其, 吴文珊, 刘剑秋. 伞花木染色体核型的研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 1995(2): 79-81.
- [16] 曹丽敏, 王跃华, 赵成, 等. 伞花木种仁的营养成分分析[J]. 植物资源与环境学报, 2015, 24(4): 114-115.
- [17] 何轶, 赵明, 宗玉英, 等. 伞花木化学成分研究[J]. 中草药, 2010, 41(1): 36-39.
- [18] 望雄英, 张海波, 张国禹, 等. 伞花木播种育苗技术[J]. 绿色科技, 2018(13): 65-66.
- [19] 王学兵. 福建汀江源自然保护区伞花木群落特征研究[J]. 林业勘察设计, 2017, 37(2): 52-56.
- [20] 肖书平. 福建省明溪县龟山发现伞花木群落[J]. 福建林业, 2015(6): 12.
- [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] 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] 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, 9(4): 274-285.
- [24] 沈年华. 紫金山栓皮栎群落主要乔木种群的种间联结性[J]. 江苏林业科技, 2022, 49(3): 42-47.
- [25] 刘益鹏, 叶兴状, 叶利奇, 等. 观光木群落优势树种生态位和种间联结[J]. 应用生态学报, 2022, 33(10): 2670-2678.
- [26] 陈晓霞, 包维楷, 何其华, 等. 2005—2015年不同恢复途径下川西亚高山森林乔木层群落动态变化[J]. 生态学杂志, 2021, 40(5): 1253-1263.
- [27] 李丘霖, 宗秀虹, 邓洪平, 等. 赤水桫欏群落乔木层优势物种生态位与种间联结性研究[J]. 西北植物学报, 2017, 37(7): 1422-1428.
- [28] 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.
- [29] 叶权平, 张文辉, 于世川, 等. 桥山林区麻栎群落主要乔木种群的种间联结性[J]. 生态学报, 2018, 38(9): 3165-3174.
- [30] 张滋芳, 毕润成, 张钦弟, 等. 珍稀濒危植物矮牡丹生存群落优势种间联结性及群落稳定性[J]. 应用与环境生物学报, 2019, 25(2): 291-299.
- [31] 李丹雄, 杨建英, 史常青, 等. 汶川地震滑坡迹地植被恢复中优势种的种间关联性[J]. 应用与环境生物学报, 2014, 20(5): 938-943.
- [32] 刘萍萍, 程积民. 植物种间联结关系的研究[J]. 水土保持研究, 2000, 7(2): 179-184.
- [33] 杨清培, 郭英荣, 兰文军, 等. 竹子扩张对阔叶林物种多样性的影响: 两竹种的叠加效应[J]. 应用生态学报, 2017, 28(10): 3155-3162.
- [34] 殷东生, 沈海龙. 森林植物耐荫性及其形态和生理适应性研究进展[J]. 应用生态学报, 2016, 27(8): 2687-2698.
- [35] 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.

(责任编辑: 佟金凤)