

广东鹅凰嶂省级自然保护区圆籽荷所在群落 乔木层优势种的生态位及种间联结性

莫金凤¹, 曾睿楷¹, 周庆^{1,2}, 莫其锋^{1,2}, 赵倩^{1,2,①}

(1. 华南农业大学林学与风景园林学院, 广东 广州 510642;

2. 中国森林生态系统定位观测研究网络广东鹅凰嶂野外科学观测研究站, 广东 阳江 529631)

摘要: 为了更好地保护濒危植物圆籽荷(*Apterosperma oblata* Hung T. Chang), 对广东省鹅凰嶂省级自然保护区圆籽荷集中分布区域开展群落调查, 采用 Levins 指数、Shannon 指数、Pianka 指数(O_{ik})、Schoener 指数(C_{ik}) 分析该群落乔木层优势种(重要值大于 1.5%)的生态位特征, 采用方差比率、统计量、 χ^2 检验、联结系数和 Spearman 秩相关系数分析优势种的种间联结性, 并对 Spearman 秩相关系数与 O_{ik} 和 C_{ik} 值进行线性回归分析。结果表明: 粉绿柯(*Lithocarpus glaucus* Chun et C. C. Huang ex H. G. Ye)重要值最大(6.13%), 圆籽荷重要值排名第 5 (2.45%)。天料木[*Homalium cochinchinense* (Lour.) Druce]、鹅掌柴[*Heptapleurum heptaphyllum* (Linn.) Y. F. Deng]、锡兰蒲桃[*Syzygium zeylanicum* (Linn.) DC.] 和革叶铁榄[*Sinosideroxylon wightianum* (Hook. et Arn.) Aubrév.] 的 Levins 指数和 Shannon 指数均较高, 而圆籽荷的 Levins 指数和 Shannon 指数均较低。21 个优势种组成的 210 个种对的 O_{ik} 和 C_{ik} 均值分别为 0.51 和 0.49; 整体来看, 圆籽荷与木荷(*Schima superb* Gardner et Champ.) 和粉绿柯等树种的 O_{ik} 和 C_{ik} 值较高, 说明当群落资源有限时, 这些树种可能与圆籽荷存在竞争关系。该群落乔木层优势种的总体联结性为显著正联结; χ^2 检验、联结系数和 Spearman 秩相关系数分析结果均显示, 这些优势种的种间联结性多不显著, 圆籽荷与多数树种的联结性也不显著。线性回归分析结果显示乔木层优势种间的联结性越强, 其生态位重叠度和生态位相似性越高。综上, 广东省鹅凰嶂省级自然保护区圆籽荷所在群落目前处于演替后期, 乔木层优势种间的联结性较弱, 圆籽荷与多数树种的联结性也较弱。在对该圆籽荷种群进行保护时, 建议减少对生境的人为干扰, 并科学管理与圆籽荷生态位重叠度和生态位相似性较高的树种。

关键词: 圆籽荷; 生态位; 种间联结; 优势种

中图分类号: Q948.15; S793.9.02 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2024)06-0074-09

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2024.06.08

Niche and interspecific associations of dominant species in arbor layer of the community including *Apterosperma oblata* in Ehuangzhang Provincial Nature Reserve of Guangdong Province MO Jinfeng¹, ZENG Ruikai¹, ZHOU Qing^{1,2}, MO Qifeng^{1,2}, ZHAO Qian^{1,2,①} (1. College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Chinese Forest Ecosystem Research Network Guangdong Ehuangzhang National Field Observation and Research Station, Yangjiang 529631, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2024, 33(6): 74–82

Abstract: To better protect the endangered plant *Apterosperma oblata* Hung T. Chang, a community survey was conducted in the concentrated distribution area of *A. oblata* in Ehuangzhang Provincial Nature Reserve of Guangdong Province, the niche characteristics of dominant species (importance value greater than 1.5%) in arbor layer of this community were analyzed by using Levins index, Shannon index,

收稿日期: 2024-06-18

基金项目: 广东省林业局 2024 年自然资源事务(生态林业建设)专项: 连南大叶茶林麝等四种珍稀濒危动植物种质资源发掘与保护(F24027)

作者简介: 莫金凤(2001—), 女, 广西玉林人, 硕士研究生, 主要从事森林生态学方面的研究。

①通信作者 E-mail: zhaopian@scau.edu.cn

引用格式: 莫金凤, 曾睿楷, 周庆, 等. 广东鹅凰嶂省级自然保护区圆籽荷所在群落乔木层优势种的生态位及种间联结性[J]. 植物资源与环境学报, 2024, 33(6): 74–82.

Pianka index (O_{ik}), and Schoener index (C_{ik}), and the interspecific associations among the dominant species were analyzed by using variance ratio, statistics, χ^2 test, association coefficient, and Spearman rank correlation coefficient, and the linear regression analyses were conducted between Spearman rank correlation coefficient and O_{ik} and C_{ik} values. The results show that the importance value of *Lithocarpus glaucus* Chun et C. C. Huang ex H. G. Ye is the largest (6.13%), and that of *A. oblata* ranks the fifth (2.45%). The Levins indexes and Shannon indexes of *Homalium cochinchinense* (Lour.) Druce, *Heptapleurum heptaphyllum* (Linn.) Y. F. Deng, *Syzygium zeylanicum* (Linn.) DC., and *Sinosideroxylon wightianum* (Hook. et Arn.) Aubrév. are all relatively high, while those of *A. oblata* are both relatively low. The mean values of O_{ik} and C_{ik} of the 210 species pairs composed of 21 dominant species are 0.51 and 0.49, respectively; overall, the O_{ik} and C_{ik} values of *A. oblata* with some tree species such as *Schima superb* Gardner et Champ. and *L. glaucus* are relatively high, indicating that there may be a competitive relationship between these tree species and *A. oblata* when community resources are limited. The overall association among the dominant species in arbor layer of this community is significant positive association; the results of χ^2 test, association coefficient, and Spearman rank correlation coefficient analysis all indicate that the interspecific associations among these dominant species are mostly not significant, and the associations between *A. oblata* and most tree species are also not significant. The linear regression analysis results reveal that the stronger the associations between the dominant species in arbor layer, the greater the niche overlap and niche similarity. In conclusion, the community including *A. oblata* in Ehuangzhang Provincial Nature Reserve of Guangdong Province is currently in the late stage of succession, the associations among the dominant species in arbor layer are relatively weak, and the associations between *A. oblata* and most tree species are also relatively weak. When protecting this *A. oblata* population, it is recommended to reduce human disturbance to the habitat and scientifically manage tree species which have large niche overlap and niche similarity with *A. oblata*.

Key words: *Apterosperma oblata* Hung T. Chang; niche; interspecific association; dominant species

濒危植物是生物多样性的的重要组成部分,在维持生态系统稳定性和服务供给方面发挥重要作用^[1]。了解濒危植物所在群落特征能够为揭示濒危植物的生存现状和制定保护措施提供重要信息^[2]。群落内植物种间对资源的竞争可能限制植物对资源的获取能力,而群落内植物种间的互利关系可能促进植物对资源的获取能力,最终影响植物种群数量^[3]。研究濒危植物所在群落的结构特征及其与伴生植物的关系,揭示限制濒危植物分布和种群数量的外因,对于濒危植物保护具有重要意义。

生态位可反映植物种群在群落中的地位,由植物对资源的利用程度及其与其他植物的相互关系共同塑造^[4-5]。分析濒危植物生态位特征可为揭示其资源现状及发展趋势提供重要依据^[6]。种间联结可反映植物所在群落物种间的相互作用,表征群落稳定性^[7-10]。研究濒危植物生态位和种间联结特征,可为探讨限制濒危植物分布和发展的原因提供依据。

圆籽荷(*Apterosperma oblata* Hung T. Chang)为山茶科(Theaceae)常绿灌木或小乔木,是中国特有的单种属植物^[11-12]、国家二级重点保护野生植物,被列入广东省抢救性保护的濒危物种^[13],并被世界自然保

护联盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN)列为极危种(<https://www.iucnredlist.org/species/32322/2814540>)。目前关于圆籽荷的研究主要集中在繁殖^[14-15]、遗传多样性^[16]、叶表皮形态特征^[17]等方面,针对其群落生态学方面的研究暂未见报道。开展圆籽荷所在群落的生态位特征和种间关系研究对于掌握圆籽荷的生存状况及制定有效保护措施具有重要价值。广东鹅凰嶂省级自然保护区拥有现存最大的圆籽荷种群^[18],本研究对该保护区内圆籽荷集中分布的区域开展群落调查,对乔木层优势种的重要值、生态位宽度、生态位重叠度及生态位相似性进行比较,并对优势种的种间联结性进行分析,以期明确广东鹅凰嶂省级自然保护区内圆籽荷所在群落乔木层优势种的生态位特征和种间联结性,为深入探讨圆籽荷濒危机制及保护策略提供科学依据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于广东鹅凰嶂省级自然保护区(东经 111°21'29"~111°36'03"、北纬 21°50'36"~21°58'40")

内。区域气候属热带北缘雨林气候,4月至10月为雨季,年降水量3 428.9 mm,最高可达4 752.2 mm,空气相对湿度在80%以上,年均温22.1℃,最高温38.4℃,最低温-1.8℃,年均日照时数1 743.4 h,无霜期350 d^[19];土壤类型主要为红壤、赤红壤和山地黄壤,且土壤通常呈酸性(pH 4至pH 6)^[20]。保护区内植物群落为典型的常绿季雨林,林龄50~60 a,次生性强,植被覆盖良好,热带植物较多,并且特有种和保护种丰富。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与样方调查 2019年8月,在广东鹅凰嶂省级自然保护区内选取圆籽荷集中分布的区域设置1个南北向和东西向长度均为160 m的样地,并将该样地划分成64个面积20 m×20 m的样方。对每个样方内胸径超过1 cm的乔木层树种进行精确定位和逐一调查,同时记录树种的名称、地理坐标、个体数、胸径、树高、冠幅等^[21]。使用测高仪(精度0.1 cm)测量树高,使用卷尺(精度0.1 cm)测量冠幅,使用胸径尺(精度0.1 cm)测量胸径。

1.2.2 重要值及生态位相关指标计算 参考Curtis等^[22]的方法计算群落中乔木层各树种的重要值,将重要值大于1.5%的树种作为乔木层的优势种;计算Levins指数^[23]和Shannon指数^[24],根据这2个指数判断各优势种的生态位宽度,并计算Pianka指数^[25]和Schoener指数^[26],用这2个指数判断各优势种的生态位重叠度和生态位相似性。

1.2.3 种间联结性分析 参照文献[27],采用方差比率(VR)检验该群落乔木层优势种的总体联结性,采用统计量(W)检验该群落乔木层优势种总体联结性的显著水平。VR=1,表示总体联结性不明显;VR>1,表示总体联结性为正联结;VR<1,表示总体联结性为负联结。 $\chi^2_{0.95}(N) < W < \chi^2_{0.05}(N)$,表示总体联结性不显著,反之则表示总体联结性显著。其中,N为样方数量。

利用 χ^2 检验、联结系数、Spearman秩相关系数分析乔木层各优势种之间的种间联结性^[9]。 χ^2 检验不能准确说明种间联结性差异,而联结系数和Spearman秩相关系数能对 χ^2 检验结果进行补充^[28-29]。依据优势种在样方内的分布情况,建立2×2列联表,采用Yates连续校正公式计算 χ^2 值^[10]。根据ad和bc值判定种间联结性:ad>bc,物种之间为正联结;ad<bc,物种之间为负联结;ad=bc,物种之间无

联结。其中,a为2个物种均出现的样方数,b和c为2个物种单独出现的样方数;d为2个物种均不出现的样方数。 $\chi^2 < 3.841$,物种之间的联结性不显著; $3.841 \leq \chi^2 \leq 6.635$,物种之间的联结性显著; $\chi^2 > 6.635$,物种之间的联结性极显著。联结系数的范围为[-1,1],数值越接近1表示物种之间的正联结性越强,数值越趋近于-1则表示物种之间的负联结性越强,数值为0表示物种之间无联结性。Spearman秩相关系数的值域为[-1,1],数值为0表示无联结,负值表示负联结,正值表示正联结,且数值的绝对值越接近1表示联结性越强。

1.3 数据处理与分析

使用R 4.1.3软件中的spaa包计算重要值大于1.5%的乔木层优势种的生态位特征和种间联结性相关指标,并绘制 χ^2 检验和联结系数半矩阵图以及Spearman秩相关系数检验图。使用Origin 2021软件对Spearman秩相关系数与Pianka指数和Schoener指数的关系进行回归分析及绘图。

2 结果和分析

2.1 乔木层优势种的重要值和生态位特征分析

2.1.1 重要值分析 在供试群落中共调查到乔木层树种214种18 752株,隶属于56科120属。样地内胸径超过1 cm的圆籽荷有665株,平均胸径5.21 cm,平均树高6.67 m,平均冠幅1.94 m,幼苗稀少。

统计结果(表1)显示:重要值大于1.5%的乔木层树种有21种,其中,粉绿柯(*Lithocarpus glaucus* Chun et C. C. Huang ex H. G. Ye)的重要值最大,为6.13%;接下来依次为黄杞(*Engelhardia roxburghiana* Wall.)和贡甲[*Maclurodendron oligophlebium* (Merr.) T. G. Hartley],重要值分别为3.95%和3.06%;天料木[*Homalium cochinchinense* (Lour.) Druce]、圆籽荷、革叶铁榄[*Sinosideroxylon wightianum* (Hook. et Arn.) Aubrév.]、鹅掌柴[*Heptapleurum heptaphyllum* (Linn.) Y. F. Deng]、木荷(*Schima superba* Gardner et Champ.)等8种植物的重要值介于2%~3%之间,其余10种植物的重要值小于2%。

2.1.2 生态位宽度分析 统计结果(表1)表明:21个优势种的生态位宽度指数Levins指数和Shannon指数的大小顺序差异明显,仅部分树种的顺序相同,其中,天料木的Levins指数和Shannon指数均最高

(分别为 51.81 和 4.04), 接下来依次为鹅掌柴、锡兰蒲桃[*Syzygium zeylanicum* (Linn.) DC.]、革叶铁榄、轮叶木姜子(*Litsea verticillata* Hance)、红楠(*Machilus thunbergii* Siebold et Zucc.)等。圆籽荷的 Levins 指数和 Shannon 指数分别为 23.71 和 3.38, 排名均靠后。

2.1.3 生态位重叠度和生态位相似性分析 统计结果(表 2)表明: 在 21 个优势种组成的 210 个种对的 Pianka 指数(O_{ik}) 均值为 0.51。这些种对中, 122 个

表 1 广东鹅凰嶂省级自然保护区圆籽荷所在群落乔木层优势种的重要值和生态位宽度¹⁾

Table 1 Importance value and niche breadth of dominant species in arbor layer of the community including *Apterosperma oblata* Hung T. Chang in Ehuangzhang Provincial Nature Reserve of Guangdong Province¹⁾

编号 No.	种类 Species	IV/%	B_L	B_S	编号 No.	种类 Species	IV/%	B_L	B_S
1	粉绿柯 <i>Lithocarpus glaucus</i>	6.13	33.15	3.68	12	罗浮栲 <i>Castanopsis faberi</i>	1.96	26.69	3.56
2	黄杞 <i>Engelhardia roxburghiana</i>	3.95	35.11	3.77	13	红枝蒲桃 <i>Syzygium rehderianum</i>	1.88	16.69	3.47
3	贡甲 <i>Maclurodendron oligophlebium</i>	3.06	33.28	3.75	14	短序润楠 <i>Machilus breviflora</i>	1.86	33.67	3.72
4	天料木 <i>Homalium cochinchinense</i>	2.62	51.81	4.04	15	白颜树 <i>Gironniera subaequalis</i>	1.85	35.39	3.73
5	圆籽荷 <i>Apterosperma oblata</i>	2.45	23.71	3.38	16	锡兰蒲桃 <i>Syzygium zeylanicum</i>	1.85	43.07	3.90
6	革叶铁榄 <i>Sinosideroxylon wightianum</i>	2.45	42.10	3.90	17	烟斗柯 <i>Lithocarpus corneus</i>	1.81	27.01	3.52
7	鹅掌柴 <i>Heptapleurum heptaphyllum</i>	2.41	44.34	3.93	18	紫荆木 <i>Madhuca pasquieri</i>	1.74	33.12	3.66
8	木荷 <i>Schima superba</i>	2.40	25.61	3.46	19	轮叶木姜子 <i>Litsea verticillata</i>	1.68	37.68	3.83
9	尖叶木 <i>Urophyllum chinense</i>	2.22	26.78	3.59	20	密花树 <i>Myrsine seguinii</i>	1.63	18.85	3.33
10	中华杜英 <i>Elaeocarpus chinensis</i>	2.18	24.60	3.41	21	红楠 <i>Machilus thunbergii</i>	1.59	37.02	3.81
11	二色波罗蜜 <i>Artocarpus styracifolius</i>	2.17	36.09	3.75					

¹⁾ IV: 重要值 Importance value; B_L : Levins 指数 Levins index; B_S : Shannon 指数 Shannon index.

表 2 广东鹅凰嶂省级自然保护区圆籽荷所在群落乔木层优势种间的 Pianka 指数和 Schoener 指数¹⁾

Table 2 Pianka index and Schoener index between dominant species in arbor layer of the community including *Apterosperma oblata* Hung T. Chang in Ehuangzhang Provincial Nature Reserve of Guangdong Province¹⁾

种类 Species	树种间的 Pianka 指数(横线上方)和 Schoener 指数(横线下方) Pianka index (above the horizontal line) and Schoener index (below the horizontal line) between tree species																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	—	0.48	0.64	0.74	0.69	0.55	0.65	0.71	0.39	0.19	0.60	0.60	0.39	0.62	0.31	0.53	0.46	0.77	0.46	0.54	0.59
2	0.49	—	0.45	0.63	0.46	0.69	0.50	0.57	0.33	0.41	0.58	0.63	0.48	0.61	0.46	0.61	0.66	0.70	0.58	0.49	0.60
3	0.56	0.47	—	0.71	0.54	0.48	0.70	0.44	0.54	0.45	0.55	0.44	0.35	0.46	0.55	0.60	0.32	0.61	0.56	0.31	0.42
4	0.61	0.59	0.64	—	0.60	0.70	0.77	0.62	0.59	0.51	0.69	0.60	0.45	0.72	0.58	0.71	0.53	0.71	0.64	0.56	0.75
5	0.60	0.44	0.49	0.52	—	0.52	0.62	0.76	0.23	0.11	0.42	0.58	0.30	0.61	0.23	0.44	0.32	0.61	0.47	0.51	0.48
6	0.51	0.63	0.51	0.65	0.45	—	0.67	0.60	0.42	0.48	0.52	0.61	0.45	0.73	0.52	0.60	0.55	0.54	0.78	0.53	0.79
7	0.59	0.51	0.63	0.68	0.50	0.58	—	0.60	0.63	0.55	0.60	0.55	0.43	0.63	0.63	0.69	0.48	0.53	0.65	0.44	0.57
8	0.66	0.53	0.42	0.52	0.62	0.51	0.52	—	0.22	0.17	0.43	0.72	0.51	0.59	0.23	0.44	0.63	0.66	0.46	0.57	0.57
9	0.37	0.41	0.49	0.52	0.27	0.44	0.56	0.27	—	0.54	0.45	0.27	0.25	0.35	0.62	0.70	0.39	0.30	0.41	0.15	0.35
10	0.24	0.42	0.42	0.47	0.15	0.46	0.48	0.23	0.51	—	0.46	0.21	0.22	0.27	0.66	0.60	0.41	0.23	0.57	0.07	0.39
11	0.54	0.57	0.53	0.61	0.42	0.51	0.56	0.42	0.45	0.38	—	0.44	0.40	0.57	0.62	0.66	0.50	0.58	0.63	0.40	0.52
12	0.56	0.54	0.44	0.56	0.52	0.55	0.50	0.63	0.35	0.27	0.46	—	0.27	0.71	0.30	0.53	0.48	0.59	0.51	0.56	0.56
13	0.47	0.53	0.45	0.53	0.33	0.52	0.50	0.46	0.40	0.35	0.48	0.43	—	0.39	0.36	0.48	0.60	0.52	0.35	0.29	0.33
14	0.56	0.55	0.47	0.62	0.55	0.63	0.57	0.51	0.38	0.29	0.53	0.62	0.47	—	0.33	0.60	0.49	0.61	0.58	0.59	0.72
15	0.35	0.48	0.53	0.54	0.27	0.50	0.57	0.27	0.55	0.57	0.55	0.34	0.44	0.36	—	0.70	0.43	0.39	0.65	0.17	0.40
16	0.49	0.57	0.54	0.64	0.43	0.56	0.63	0.41	0.62	0.53	0.59	0.48	0.54	0.57	0.60	—	0.57	0.57	0.63	0.41	0.49
17	0.46	0.56	0.37	0.48	0.32	0.52	0.44	0.53	0.40	0.38	0.49	0.47	0.51	0.46	0.42	0.52	—	0.58	0.47	0.32	0.49
18	0.67	0.62	0.51	0.59	0.52	0.51	0.49	0.59	0.32	0.26	0.51	0.51	0.52	0.53	0.38	0.50	0.54	—	0.47	0.50	0.57
19	0.46	0.58	0.55	0.59	0.42	0.67	0.58	0.43	0.46	0.51	0.58	0.48	0.52	0.52	0.61	0.59	0.47	0.46	—	0.33	0.65
20	0.59	0.46	0.38	0.54	0.53	0.47	0.45	0.60	0.22	0.13	0.40	0.54	0.36	0.55	0.20	0.38	0.37	0.55	0.36	—	0.49
21	0.54	0.57	0.50	0.64	0.42	0.71	0.55	0.52	0.41	0.40	0.51	0.50	0.47	0.60	0.43	0.49	0.46	0.51	0.59	0.51	—

¹⁾ 1: 粉绿柯 *Lithocarpus glaucus* Chun et C. C. Huang ex H. G. Ye; 2: 黄杞 *Engelhardia roxburghiana* Wall.; 3: 贡甲 *Maclurodendron oligophlebium* (Merr.) T. G. Hartley; 4: 天料木 *Homalium cochinchinense* (Lour.) Druce; 5: 圆籽荷 *Apterosperma oblata* Hung T. Chang; 6: 革叶铁榄 *Sinosideroxylon wightianum* (Hook. et Arn.) Aubrév.; 7: 鹅掌柴 *Heptapleurum heptaphyllum* (Linn.) Y. F. Deng; 8: 木荷 *Schima superba* Gardner et Champ.; 9: 尖叶木 *Urophyllum chinense* Merr. et Chun; 10: 中华杜英 *Elaeocarpus chinensis* (Gardner et Champ.) Hook. f. ex Benth.; 11: 二色波罗蜜 *Artocarpus styracifolius* Pierre; 12: 罗浮栲 *Castanopsis faberi* Hance; 13: 红枝蒲桃 *Syzygium rehderianum* Merr. et L. M. Perry; 14: 短序润楠 *Machilus breviflora* (Benth.) Hemsl.; 15: 白颜树 *Gironniera subaequalis* Planch.; 16: 锡兰蒲桃 *Syzygium zeylanicum* (Linn.) DC.; 17: 烟斗柯 *Lithocarpus corneus* (Lour.) Rehder; 18: 紫荆木 *Madhuca pasquieri* (Dubard) H. J. Lam; 19: 轮叶木姜子 *Litsea verticillata* Hance; 20: 密花树 *Myrsine seguinii* H. Lév.; 21: 红楠 *Machilus thunbergii* Siebold et Zucc.

种对的 O_{ik} 值大于或等于 0.50, 占种对总数的 58.1%, 其中 5 个种对的 O_{ik} 值大于 0.75; 88 个种对的 O_{ik} 值小于 0.50, 占种对总数的 41.9%。在圆籽荷与其他优势种组成的种对中, 其与木荷的 O_{ik} 值最大 (0.76), 与粉绿柯、黄杞、天料木、革叶铁榄、鹅掌柴、罗浮栲 (*Castanopsis faberi* Hance)、短序润楠 [*Machilus breviflora* (Benth.) Hemsl.]、紫荆木 [*Madhuca pasquieri* (Dubard) H. J. Lam] 和密花树 (*Myrsine seguinii* H. Lév.) 的 O_{ik} 值均大于 0.50, 而与其余 10 个优势种的 O_{ik} 值均小于 0.50。

优势种种对的 Schoener 指数 (C_{ik}) 均值为 0.49。这些种对中, 118 个种对的 C_{ik} 值大于或等于 0.50, 占种对总数的 56.2%, 且仅红楠-革叶铁榄种对的 C_{ik} 值大于 0.70; 92 个种对的 C_{ik} 值小于 0.50, 占种对总数的 43.8%。在圆籽荷与其他优势种组成的种对中, 其与木荷的 C_{ik} 值最大 (0.62), 与粉绿柯、天料木、鹅掌柴、罗浮栲、短序润楠、紫荆木、密花树的 C_{ik} 值均大于或等于 0.50, 而与其余优势种的 C_{ik} 值均小于 0.50。

整体上, 广东鹅凰嶂省级自然保护区圆籽荷所在群落乔木层优势种之间的生态位重叠度和生态位相似性并不高, 圆籽荷仅与木荷、粉绿柯等部分树种的生态位重叠度和生态位相似性较高。

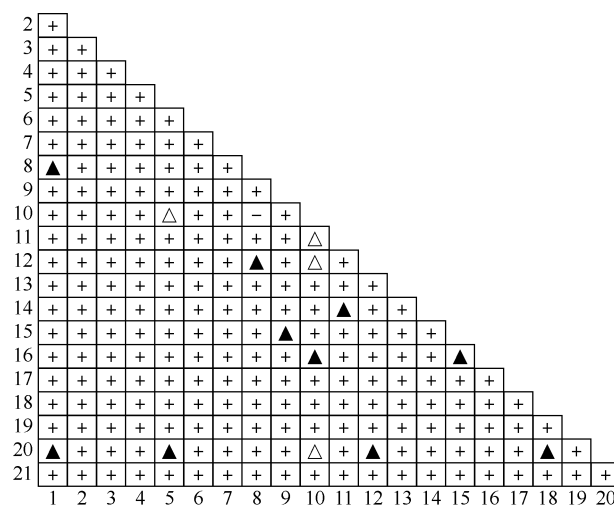
2.2 种间联结性分析

2.2.1 总体联结性分析 圆籽荷所在群落乔木层优势种的总体联结性分析结果显示: 该群落乔木层优势种的方差比率 (VR) 为 1.810 5, 明显大于 1, 说明该群落乔木层优势种的总体联结性为正联结。计算获得的统计量 (W) 为 115.87, 不在 $\chi^2_{0.95}(64)$ 与 $\chi^2_{0.05}(64)$ 的区间内, 据此认为该群落乔木层优势种间的总体联结性为显著正联结。

2.2.2 种间联结性分析 供试群落乔木层优势种的 χ^2 检验结果 (图 1) 显示: 正联结种对有 205 个, 占种对总数的 97.6%, 其中粉绿柯-木荷、中华杜英 [*Elaeocarpus chinensis* (Gardner et Champ.) Hook. f. ex Benth.] - 锡兰蒲桃等 10 个种对呈显著正联结; 负联结种对仅有 5 个, 占种对总数的 2.4%, 其中中华杜英-二色波罗蜜 (*Artocarpus styracifolius* Pierre)、中华杜英-罗浮栲等 4 个种对呈显著负联结。圆籽荷与中华杜英呈显著负联结, 与密花树呈显著正联结, 与其余 18 个优势种均呈不显著正联结。

联结系数 (AC) 分析结果 (图 2) 显示: 正联结种对有 138 个, 占种对总数的 65.7%; 负联结种对有 72

个, 占种对总数的 34.3%。正联结种对中, 仅 1 个种对 (天料木-革叶铁榄) 的联结性达到极显著水平, 粉绿柯-紫荆木、黄杞-密花树等 23 个种对的联结性达到显著水平, 其余 114 个种对的联结性均不显著。负联结种对中, 粉绿柯-鹅掌柴、贡甲-短序润楠等 58 个种对的联结性达到极显著水平, 木荷-中华杜英、白颜树 (*Gironniera subaequalis* Planch.) - 密花树等 6 个种对的联结性达到显著水平, 其余 8 个种对的联结性均不显著。圆籽荷与木荷、罗浮栲和密花树呈显著正联结, 与中华杜英、白颜树、轮叶木姜子呈极显著负联结, 与尖叶木 (*Urophyllum chinense* Merr. et Chun) 呈显著负联结, 与其余优势种的联结性均不显著。

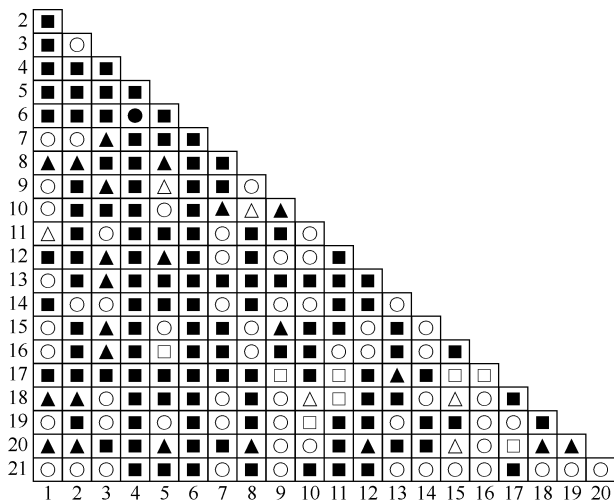


+: 不显著正联结 Non-significant positive association; -: 不显著负联结 Non-significant negative association; ▲: 显著正联结 Significant positive association; △: 显著负联结 Significant negative association.

1: 粉绿柯 *Lithocarpus glaucus* Chun et C. C. Huang ex H. G. Ye; 2: 黄杞 *Engelhardia roxburghiana* Wall.; 3: 贡甲 *Maclurodendron oligophlebium* (Merr.) T. G. Hartley; 4: 天料木 *Homalium cochinchinense* (Lour.) Druce; 5: 圆籽荷 *Apterosperma oblata* Hung T. Chang; 6: 革叶铁榄 *Sinosideroxylon wightianum* (Hook. et Arn.) Aubrév.; 7: 鹅掌柴 *Heptapleurum heptaphyllum* (Linn.) Y. F. Deng; 8: 木荷 *Schima superba* Gardner et Champ.; 9: 尖叶木 *Urophyllum chinense* Merr. et Chun; 10: 中华杜英 *Elaeocarpus chinensis* (Gardner et Champ.) Hook. f. ex Benth.; 11: 二色波罗蜜 *Artocarpus styracifolius* Pierre; 12: 罗浮栲 *Castanopsis faberi* Hance; 13: 红枝蒲桃 *Syzygium rehderianum* Merr. et L. M. Perry; 14: 短序润楠 *Machilus breviflora* (Benth.) Hemsl.; 15: 白颜树 *Gironniera subaequalis* Planch.; 16: 锡兰蒲桃 *Syzygium zeylanicum* (Linn.) DC.; 17: 烟斗柯 *Lithocarpus corneus* (Lour.) Rehder; 18: 紫荆木 *Madhuca pasquieri* (Dubard) H. J. Lam; 19: 轮叶木姜子 *Litsea verticillata* Hance; 20: 密花树 *Myrsine seguinii* H. Lév.; 21: 红楠 *Machilus thunbergii* Siebold et Zucc.

图 1 广东鹅凰嶂省级自然保护区圆籽荷所在群落乔木层优势种间的 χ^2 检验

Fig. 1 χ^2 test between dominant species in arbor layer of the community including *Apterosperma oblata* Hung T. Chang in Ehuangzhang Provincial Nature Reserve of Guangdong Province



●: 极显著正联结 Extremely significant positive association ($0.67 \leq AC \leq 1.00$); ▲: 显著正联结 Significant positive association ($0.33 \leq AC < 0.67$); ■: 不显著正联结 Non-significant positive association ($0.00 < AC < 0.33$); □: 不显著负联结 Non-significant negative association ($-0.33 < AC < 0.00$); △: 显著负联结 Significant negative association ($-0.67 < AC \leq -0.33$); ○: 极显著负联结 Extremely significant negative association ($-1.00 \leq AC \leq -0.67$).

1: 粉绿柯 *Lithocarpus glaucus* Chun et C. C. Huang ex H. G. Ye; 2: 黄杞 *Engelhardia roxburghiana* Wall.; 3: 贡甲 *Maclurodendron oligophlebium* (Merr.) T. G. Hartley; 4: 天料木 *Homalium cochinchinense* (Lour.) Druce; 5: 圆籽荷 *Apterosperma oblata* Hung T. Chang; 6: 革叶铁榄 *Sinosideroxylon wightianum* (Hook. et Arn.) Aubrév.; 7: 鹅掌柴 *Heptapleurum heptaphyllum* (Linn.) Y. F. Deng; 8: 木荷 *Schima superba* Gardner et Champ.; 9: 尖叶木 *Urophyllum chinense* Merr. et Chun; 10: 中华杜英 *Elaeocarpus chinensis* (Gardner et Champ.) Hook. f. ex Benth.; 11: 二色波罗蜜 *Artocarpus styracifolius* Pierre; 12: 罗浮栲 *Castanopsis fabri* Hance; 13: 红枝蒲桃 *Syzygium rehderianum* Merr. et L. M. Perry; 14: 短序润楠 *Machilus breviflora* (Benth.) Hemsl.; 15: 白颜树 *Gironniera subaequalis* Planch.; 16: 锡兰蒲桃 *Syzygium zeylanicum* (Linn.) DC.; 17: 烟斗柯 *Lithocarpus corneus* (Lour.) Rehder; 18: 紫荆木 *Madhuca pasquieri* (Dubard) H. J. Lam; 19: 轮叶木姜子 *Litsea verticillata* Hance; 20: 密花树 *Myrsine seguinii* H. Lév.; 21: 红楠 *Machilus thunbergii* Siebold et Zucc.

图2 广东鹅凰嶂省级自然保护区圆籽荷所在群落乔木层优势种间的联结系数(AC)

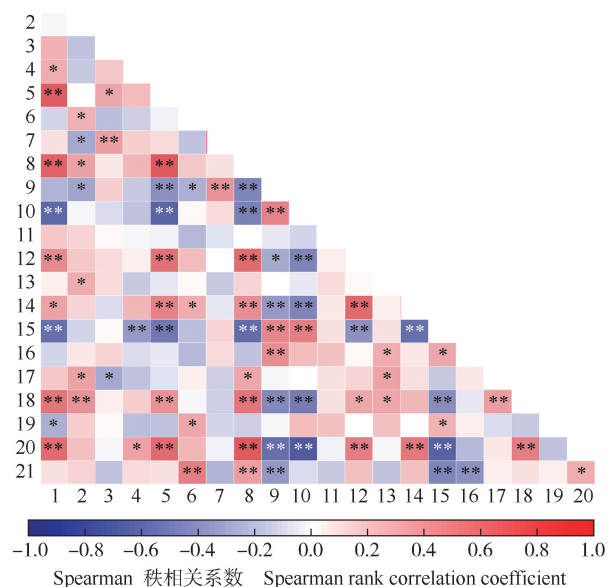
Fig. 2 Association coefficient (AC) between dominant species in arbor layer of the community including *Apterosperma oblata* Hung T. Chang in Ehuangzhang Provincial Nature Reserve of Guangdong Province

Spearman 秩相关系数分析结果(图3)显示:123个种对呈正联结,占种对总数的58.6%,其中,木荷-密花树、罗浮栲-短序润楠等28个种对呈极显著正联结,天料木-密花树、革叶铁榄-轮叶木姜子等18个种对呈显著正联结;87个种对呈负联结,占种对总数的41.4%,其中,粉绿柯-中华杜英、木荷-白颜树等23个种对呈极显著负联结,黄杞-尖叶木、贡甲-烟斗柯[*Lithocarpus corneus* (Lour.) Rehder]等6个种对呈显著负联结。圆籽荷与粉绿柯、木荷、罗浮栲、短序润

楠、紫荆木和密花树呈极显著正联结,与贡甲呈显著正联结,与尖叶木、中华杜英和白颜树呈极显著负联结,与其余11个优势树种的联结性不显著。

2.3 线性回归分析

对广东鹅凰嶂省级自然保护区圆籽荷所在群落乔木层优势种的 Spearman 秩相关系数与 Pianka 指数和 Schoener 指数进行线性回归分析,结果见图4。从图4可以看出,该群落乔木层优势种的 Spearman 秩相关系数与 Pianka 指数和 Schoener 指数之间的线性拟合结果较好,均在0.001水平上显著正相关,说明该群落乔木层优势种间的联结性越强,其生态位重叠度和生态位相似性越高。



1: 粉绿柯 *Lithocarpus glaucus* Chun et C. C. Huang ex H. G. Ye; 2: 黄杞 *Engelhardia roxburghiana* Wall.; 3: 贡甲 *Maclurodendron oligophlebium* (Merr.) T. G. Hartley; 4: 天料木 *Homalium cochinchinense* (Lour.) Druce; 5: 圆籽荷 *Apterosperma oblata* Hung T. Chang; 6: 革叶铁榄 *Sinosideroxylon wightianum* (Hook. et Arn.) Aubrév.; 7: 鹅掌柴 *Heptapleurum heptaphyllum* (Linn.) Y. F. Deng; 8: 木荷 *Schima superba* Gardner et Champ.; 9: 尖叶木 *Urophyllum chinense* Merr. et Chun; 10: 中华杜英 *Elaeocarpus chinensis* (Gardner et Champ.) Hook. f. ex Benth.; 11: 二色波罗蜜 *Artocarpus styracifolius* Pierre; 12: 罗浮栲 *Castanopsis fabri* Hance; 13: 红枝蒲桃 *Syzygium rehderianum* Merr. et L. M. Perry; 14: 短序润楠 *Machilus breviflora* (Benth.) Hemsl.; 15: 白颜树 *Gironniera subaequalis* Planch.; 16: 锡兰蒲桃 *Syzygium zeylanicum* (Linn.) DC.; 17: 烟斗柯 *Lithocarpus corneus* (Lour.) Rehder; 18: 紫荆木 *Madhuca pasquieri* (Dubard) H. J. Lam; 19: 轮叶木姜子 *Litsea verticillata* Hance; 20: 密花树 *Myrsine seguinii* H. Lév.; 21: 红楠 *Machilus thunbergii* Siebold et Zucc. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

图3 广东鹅凰嶂省级自然保护区圆籽荷所在群落乔木层优势种间的 Spearman 秩相关系数

Fig. 3 Spearman rank correlation coefficient between dominant species in arbor layer of the community including *Apterosperma oblata* Hung T. Chang in Ehuangzhang Provincial Nature Reserve of Guangdong Province

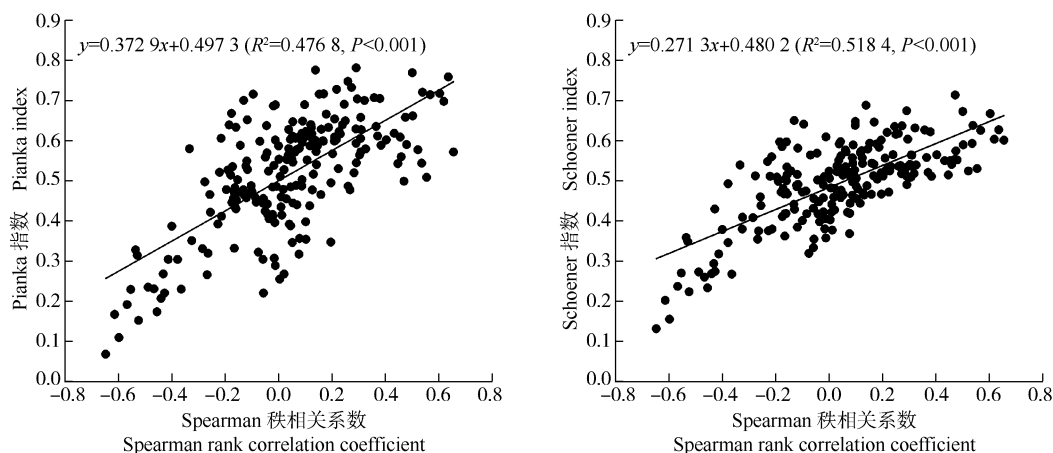


图4 广东鹅凰嶂省级自然保护区圆籽荷所在群落乔木层优势种的 Spearman 秩相关系数与 Pianka 指数和 Schoener 指数的线性回归分析

Fig. 4 Linear regression analysis of spearman rank correlation coefficient with Pianka index and Schoener index of dominant species in arbor layer of the community including *Apterospasma oblata* Hung T. Chang in Ehuangzhang Provincial Nature Reserve of Guangdong Province

3 讨 论

3.1 圆籽荷在群落中的生态位特征

生态位宽度是衡量不同物种在群落中资源利用能力和生态适应性的重要参数,与重要值均能有效反映物种在群落中的作用和地位^[30]。一般来说,物种的生态位宽度大,说明其对环境的适应能力和利用能力强,分布空间大,常为群落中的优势种^[31]。本研究中,天料木、鹅掌柴、锡兰蒲桃和革叶铁榄的生态位宽度均较大,据此认为这些树种的分布范围广、资源利用能力强,为广东鹅凰嶂省级自然保护区植物群落的优势种,对该区域的植物群落结构和生存环境具有重要作用。圆籽荷的生态位宽度较小,木荷、中华杜英、红枝蒲桃和密花树的生态位宽度也较小,说明这些树种对环境的适应性差、资源利用能力弱,分布范围小且不均匀,适合生长的栖息地较少,在群落中的竞争能力较弱,容易在群落演替过程中被淘汰^[31]。值得注意的是,虽然调查群落中圆籽荷的生态位宽度较小,但其重要值却较大(排名第5),这可能与圆籽荷具有独特的生境需求有关^[32]。圆籽荷喜腐殖质高的赤红壤,分布区域海拔一般不超过600 m,对光照要求高,需要独特小生境^[18],因而,其生态位宽度较小。然而,濒危植物小黄花茶(*Camellia luteoflora* Y. K. Li ex Hung T. Chang et F. A. Zeng)^[10]和观光木(*Michelia odora* (Chun) Noot. et B. L. Chen)^[3]在群

落中的重要值和生态位宽度均最大,这可能是因为这2个研究均调查的小尺度样地,而濒危植物在小尺度上具有聚集分布的特征^[33],导致植物种群占据较多环境资源。另有研究表明:频度是影响生态位宽度的重要因子,植物的频度越大,其生态位宽度也越大^[34]。调查发现,广东鹅凰嶂省级自然保护区植物群落中的圆籽荷频度较低(0.011),表明其资源利用能力和环境适应性较差,分布范围较为狭窄^[35],这可能是导致其生态位宽度偏小的一个重要原因。

生态位重叠度能够反映物种在适应环境或资源利用方式上的相似程度^[36]。本研究调查群落中Pianka指数在0.5及以上的种对占比为58.1%,说明该群落内多数物种的生态学和生物学特征接近。通过评估生态位重叠度和生态位相似性可以更准确地判断不同物种间资源竞争的激烈程度^[37]。生态位重叠度和生态位相似性越高,说明物种对资源的利用方式越相似,对环境资源的竞争越激烈^[38]。本研究中,圆籽荷与木荷和粉绿柯等树种之间的Pianka指数和Schoener指数均较高,表明广东鹅凰嶂省级自然保护区植物群落中的圆籽荷可能同这些树种存在较大的资源竞争。木荷与圆籽荷均为山茶科植物,二者在植株形态、繁殖策略及生境选择等方面存在诸多相似之处,当资源有限时,二者可能会呈现竞争关系。粉绿柯为常绿阔叶高大乔木,喜阳,位于森林最上层,具有利用阳光和热量等资源的优势,在群落中占据有利生态位^[39],当资源不足时,会抑制圆籽荷生长。因此,

在对该群落圆籽荷进行保护时,应疏伐木荷和粉绿柯等树种植株或管理这些树种树冠上过高、过密的枝条,从而为圆籽荷生长创造有利条件。

3.2 圆籽荷与其他优势种的种间联结性

物种之间的总体联结性与群落稳定性密切相关,可反映群落内部的动态平衡及潜在的演替方向^[35]。在植物群落演替早期,物种间多呈负联结;随着演替过程的推进,正联结逐渐占据主导地位;到了演替后期,群落内的物种往往表现为显著正联结^[40-41]。本研究乔木层优势种的总体联结性为显著正联结,说明该圆籽荷所在群落目前正处于演替后期。调查中发现,该群落乔木层优势种重要值排名靠前的粉绿柯、黄杞、贡甲、天料木的平均冠幅分别为 2.77、3.40、2.11、1.24 m,乔木层以大树为主,林分郁闭度较大,光照成为影响该群落圆籽荷生长的重要因子^[15]。由此推测,在郁闭度较大的群落中,圆籽荷可能面临更新困难的问题。因此,在对该群落中的圆籽荷种群进行保护时,建议减少对圆籽荷种群所在生境的人为干扰,同时,对群落进行适当的人工抚育,增加林分透光度,并加强对圆籽荷幼苗和幼树的保育力度。

结合群落的种间总体相关性、种间联结性(χ^2 检验、联结系数和 Spearman 秩相关系数)分析结果可以准确判定群落内物种的种间联结性^[9]。本研究中, χ^2 检验、联结系数和 Spearman 秩相关系数分析结果均显示正联结种对数高于负联结种对数,且多数种对的联结性不显著,说明该群落乔木层优势种的种间关系表现为互利、互补关系,但彼此间的作用强度较低,符合演替后期群落的种间关系特征^[3,42]。群落内的圆籽荷与中华杜英表现出极强的负联结,这可能是因为不同物种对生境的适应性差异和生物学特性差异较大,或存在竞争关系^[43-44]。根据这 2 个树种的 Pianka 指数和 Schoener 指数均在所有种对中最小,判断圆籽荷和中华杜英对生境的需求存在较大差异,如中华杜英耐阴、喜湿润,而圆籽荷对光照的要求较高^[15,45]。该群落中,圆籽荷与密花树表现为很强的正联结,这是因为这 2 个树种的生态习性颇为相同,均喜光,且喜温暖湿润的气候及酸性土壤条件^[46]。线性回归分析结果显示 Spearman 秩相关系数与 Pianka 指数和 Schoener 指数均在 0.001 水平上显著正相关,说明该群落乔木层优势种的资源利用方式越相似,种间联结性越强。可见,植物群落所在生境的资源状况直接影响群落内的种间关系^[47]。

4 结 论

综合分析认为,广东鹅凰嶂省级自然保护区圆籽荷所在群落正处于演替后期,乔木层优势种之间的联结性较弱,各种类之间相互独立。圆籽荷的生态位狭窄,与多数优势种的种间联结性弱,但与木荷和粉绿柯等树种的生态位重叠度和生态位相似性均较高,当群落资源不足时,可能会与木荷、粉绿柯等树种产生竞争关系,因此,应科学管理这些树种,为圆籽荷种群发展创造有利环境。然而,导致物种濒危的原因很多,仅基于生态位和种间联结性无法全面阐述圆籽荷的濒危机制,后期应从生殖生理、种群更新与繁殖障碍等方面深入探究圆籽荷的濒危和衰退机制。

参考文献:

- [1] YE P, ZHANG G, ZHAO X, et al. Potential geographical distribution and environmental explanations of rare and endangered plant species through combined modeling: a case study of Northwest Yunnan, China[J]. Ecology and Evolution, 2021, 11: 13052-13067.
- [2] 汪志培,卢建,何耀理,等. 江西齐云山伯乐树群落乔木层优势物种生态位与种间联结研究[J]. 江西农业大学学报, 2023, 45(6): 1431-1442.
- [3] 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.
- [4] 李燕芬,铁军,张桂萍,等. 山西蟒河国家级自然保护区人工油松林生态位特征[J]. 生态学报, 2014, 33(11): 2905-2912.
- [5] KYLAFIS G, LOREAU M. Niche construction in the light of niche theory[J]. Ecology Letters, 2011, 14: 82-90.
- [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] 沈雪梨,吴远密,朱艺璇,等. 濒危植物百花山葡萄群落物种生态位特征与种间联结研究[J]. 植物科学学报, 2020, 38(2): 195-204.
- [8] SCHEELE B C, FOSTER C N, BANKS S C, et al. Niche contractions in declining species: mechanisms and consequences[J]. Trends in Ecology and Evolution, 2017, 32(5): 346-355.
- [9] 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.
- [10] 李锦婷,穆君,申开平,等. 小黄花茶群落优势木本植物生态位及种间联结性[J]. 生态学报, 2024, 44(1): 283-294.
- [11] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第四十九卷第三分册[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 225.
- [12] 张宏达. 圆籽荷属——山茶科一新属[J]. 中山大学学报, 1976(2): 90-92.
- [13] 广东省林业局. 广东省陆生野生动植物保护行动计划(2023—

- 2030年)[EB/OL]. (2023-03-03)[2024-10-08]. https://lyj.gd.gov.cn/news/forestry/content/post_4119150.html.
- [14] 易慧琳, 汪越, 徐翊, 等. 圆籽荷(*Apterosperma oblata*)扦插繁殖试验[J]. 生态科学, 2016, 35(3): 184-188.
- [15] 袁明, 王跃华, 沙莎, 等. 山茶科珍稀濒危植物圆籽荷的繁殖生物学研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2006, 28(S1): 319-322.
- [16] 罗晓莹, 唐光大, 许涵, 等. 山茶科3种中国特有濒危植物的遗传多样性研究[J]. 生物多样性, 2005, 13(2): 112-121.
- [17] 张浩, 庄雪影. 山茶科部分属种叶表皮形态学研究[J]. 华南农业大学学报, 2004, 25(3): 87-93.
- [18] 袁明, 王跃华, 沙莎, 等. 山茶科特有珍稀植物圆籽荷的生物学特性及保护生物学研究[J]. 广西植物, 2007, 27(3): 426-430.
- [19] 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.
- [20] 于耀泓, 刘悦, 王艺颖, 等. 鹅凰嶂季雨林土壤有机碳特征及空间分布规律[J]. 中国土壤与肥料, 2022(9): 139-147.
- [21] 蓝校, 林子湛, 莫其锋. 广东阳春鹅凰嶂省级自然保护区季雨林下灌木多样性及分布特征[J]. 乡村科技, 2023, 14(22): 154-157.
- [22] CURTIS J T, MCINTOSH R P. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin[J]. Ecology, 1951, 32(3): 476-496.
- [23] LEVINS R. Evolution in Changing Environments[M]. Princeton: Princeton University Press, 1968: 12-25.
- [24] SHANNON C E, WEAVER W, WIENER N. The mathematical theory of communication[J]. Physics Today, 1950, 3(9): 31-32.
- [25] PIANKA E R. The structure of lizard communities[J]. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics, 1973, 4: 53-74.
- [26] SCHOENER T W. Resource partitioning in ecological communities[J]. Science, 1974, 185: 27-39.
- [27] SCHLUTER D. A variance test for detecting species associations, with some example applications[J]. Ecology, 1984, 65(3): 998-1005.
- [28] 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.
- [29] 简敏菲, 刘琪, 朱笃, 等. 九连山常绿阔叶林乔木优势种群的种间关联性分析[J]. 植物生态学报, 2009, 33(4): 672-680.
- [30] 刘润红, 常斌, 荣春艳, 等. 漓江河岸带枫杨群落主要木本植物种群生态位[J]. 应用生态学报, 2018, 29(12): 3917-3926.
- [31] 陈聪琳, 赵常明, 刘明伟, 等. 神农架南坡小叶青冈+曼青冈常绿阔叶林主要木本植物生态位与种间联结[J]. 生态学报, 2024, 44(11): 4889-4903.
- [32] SERRANO H C, PINTO M J, BRANQUINHO C, et al. Ecology as a tool to assist conservation of a rare and endemic Mediterranean *Plantago* species[J]. Frontiers in Ecology and Evolution, 2021, 9: 614700.
- [33] 李帅锋, 刘万德, 苏建荣, 等. 云南兰坪云南红豆杉种群年龄结构与空间分布格局分析[J]. 西北植物学报, 2013, 33(4): 792-799.
- [34] 吕增伟, 蒋天雨, 徐绣琴, 等. 六盘山白桦群落乔木层主要物种生态位与种间联结[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2023, 52(5): 660-668.
- [35] 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.
- [36] 郑超超, 伊力塔, 张超, 等. 浙江江山公益林物种间关系及CCA排序[J]. 生态学报, 2015, 35(22): 7511-7521.
- [37] 何忠伟, 胡仁传, 黄日波, 等. 广西银杉林主要树种种群生态位分析[J]. 林业科学研究, 2012, 25(6): 761-766.
- [38] COSTA-PEREIRA R, ARAÚJO M S, SOUZA F L, et al. Competition and resource breadth shape niche variation and overlap in multiple trophic dimensions[J]. Proceedings of the Royal Society: Biological Sciences, 2019, 286: 20190369.
- [39] 曾睿楷, 莫金凤, 张少纯, 等. 粉绿柯群落优势乔木的生态位与种间关联分析[J]. 森林与环境学报, 2024, 44(4): 403-413.
- [40] 程瑞梅, 王瑞丽, 刘泽彬, 等. 三峡库区栲属群落主要乔木种群的种间联结性[J]. 林业科学, 2013, 49(5): 36-42.
- [41] 涂洪润, 农娟丽, 朱军, 等. 桂林岩溶石山密花树群落主要物种的种间关联及群落稳定性[J]. 生态学报, 2022, 42(9): 3688-3705.
- [42] 张孟文, 钟才荣, 吕晓波, 等. 海南清澜港南海桑群落中物种生态位特征和种间联结性[J]. 植物资源与环境学报, 2023, 32(5): 70-77.
- [43] 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.
- [44] 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.
- [45] 罗洪生. 中华杜英[J]. 花卉, 2015(2): 11-12.
- [46] 谢清华. 优良野生观赏植物密花树育苗技术[J]. 中国林副特产, 2013(5): 59-60.
- [47] 陈龙涛, 石晓东, 高润梅. 山西陵川南方红豆杉群落种间联结与生态位特征研究[J]. 植物科学学报, 2016, 34(4): 521-529.

(责任编辑: 佟金凤)