

# 福建大田大仙峰省级自然保护区穗花杉所在群落 主要物种生态位和种间联结性

蒋启翔<sup>1</sup>, 龚辰宇<sup>1</sup>, 付厚华<sup>1</sup>, 高上尧<sup>2</sup>, 陈世品<sup>1,①</sup>

(1. 福建农林大学林学院, 福建 福州 350002; 2. 大田大仙峰省级自然保护区服务中心, 福建 三明 353000)

**摘要:** 为更有效地保护濒危植物穗花杉 [*Amentotaxus argotaenia* (Hance) Pilg.], 对福建大田大仙峰省级自然保护区穗花杉分布区域开展群落调查, 采用 Levins 指数、Pianka 指数, 结合方差比率 (VR)、 $\chi^2$  检验、Jaccard 指数及 Spearman 秩相关系数, 多维度解析主要物种的生态位特征与种间联结性。结果显示: 在乔木层 20 个主要物种中, 穗花杉的重要值排名第 4 (5.30%), Levins 指数排名第 4 (8.80); 在灌木层 20 个主要物种中, 穗花杉的重要值排名第 2 (6.27%), Levins 指数排名第 3 (8.68), 充分显示穗花杉在垂直结构中具备跨层次资源利用能力, 生态位优势较为显著。乔木层和灌木层主要物种形成的 190 个种对的 Pianka 指数均值分别为 0.102、0.101, 其中穗花杉与其他 19 个物种的 Jaccard 指数均小于 0.50, 说明这些物种与穗花杉竞争关系不明显。穗花杉所在群落乔木层主要物种总体联结性呈显著负联结, 灌木层主要物种总体联结性呈不显著负联结; 同时,  $\chi^2$  检验与 Spearman 秩相关性分析显示: 这些主要物种的种间联结性多不显著, 穗花杉与多数物种的联结性也不显著, 仅在灌木层与肿节少穗竹 [*Oligostachyum oedogonatum* (Z. P. Wang et G. H. Ye) Q. F. Zheng et K. F. Huang] 呈显著正联结。综合分析认为, 福建大田大仙峰省级自然保护区穗花杉所在群落处于演替中后过渡阶段; 乔木层和灌木层主要物种间以负联结为主, 联结性较弱, 且种间独立性较强; 穗花杉与多数物种的联结性较弱; 群落内主要物种仍在通过长期适应持续优化生态位, 为向演替后期的稳定协同积累条件。基于此, 在对穗花杉种群进行保护时应重点维护穗花杉核心生境的完整性, 通过人工辅助萌发、病虫害防治提升种群自然更新能力, 无需过度调控种间竞争关系。

**关键词:** 福建大田大仙峰省级自然保护区; 穗花杉; 主要物种; 生态位; 种间联结

中图分类号: Q948.15; S718.54 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2026)01-0048-11

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2026.01.05

**Niche and interspecific associations of dominant species in the community including *Amentotaxus argotaenia* in Datian Daxianfeng Provincial Nature Reserve of Fujian Province** JIANG Qixiang<sup>1</sup>, GONG Chenyu<sup>1</sup>, FU Houhua<sup>1</sup>, GAO Shangyao<sup>2</sup>, CHEN Shipin<sup>1,①</sup> (1. Forestry College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Datian Daxianfeng Provincial Nature Reserve Service Center, Sanming 353000, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2026, 35(1): 48-58

**Abstract:** To conserve the endangered plant *Amentotaxus argotaenia* (Hance) Pilg. more effectively, a community survey was conducted in its distribution area in Datian Daxianfeng Provincial Nature Reserve of Fujian Province, and the niche characteristics and interspecific associations of dominant tree species were analyzed multidimensionally by using the Levins index and Pianka index in combination with variance ratio (VR),  $\chi^2$  test, Jaccard index, and Spearman rank correlation coefficient. The results show that among the 20 dominant tree species in the arbor layer, *A. argotaenia* ranks fourth in the importance value (5.30%) and fourth in the Levins index (8.80); among the 20 dominant species in the shrub

收稿日期: 2025-08-22

基金项目: 国家自然科学基金项目 (32470226); 中央财政林业草原生态保护专项 (财资环[2023]115 号)

作者简介: 蒋启翔 (2000—), 男, 福建三明人, 硕士研究生, 主要从事种群生态学与森林培育学方面的研究。

①通信作者 E-mail: fjesp@126.com

引用格式: 蒋启翔, 龚辰宇, 付厚华, 等. 福建大田大仙峰省级自然保护区穗花杉所在群落主要物种生态位和种间联结性[J]. 植物资源与环境学报, 2026, 35(1): 48-58.

layer, *A. argotaenia* ranks second in the importance value (6.27%) and third in the Levins index (8.68), fully demonstrating its ability to utilize resources across vertical layers, and it has significant niche advantage. The averages of Pianka index for the 190 species pairs formed by the main species in the arbor and shrub layers are 0.102 and 0.101, respectively, among which the Jaccard index between *A. argotaenia* and the other 19 species are all smaller than 0.50, indicating weak competition relationship between these species and *A. argotaenia*. The overall association among dominant species in the arbor layer of the community containing *A. argotaenia* shows a significant negative association, while that among dominant species in the shrub layer show a non-significant negative association; meanwhile, the  $\chi^2$  test and Spearman rank correlation analysis show that most interspecific associations among these dominant species are not significant, and the associations between *A. argotaenia* and most species are also not significant, except for a significant positive association with *Oligostachyum oedogonatum* (Z. P. Wang et G. H. Ye) Q. F. Zheng et K. F. Huang in the shrub layer. The comprehensive analysis suggests that the community including *A. argotaenia* in Datian Daxianfeng Provincial Nature Reserve of Fujian Province is in a mid-to-late successional transition stage; negative associations are dominant among the dominant species in the arbor and shrub layers, with relatively weak associations and relatively strong interspecific independence; the associations between *A. argotaenia* and most species are relatively weak; dominant species in the community are continuously optimizing their niches through long-term adaptation, accumulating conditions for stable synergy in the late successional stage. On the basis, conservation efforts for the *A. argotaenia* population should focus on maintaining the integrity of its core habitat, artificial-assisted germination and pest control should be implemented to improve natural regeneration ability of population, and it is not necessary to excessively regulate interspecific competition.

**Key words:** Datian Daxianfeng Provincial Nature Reserve of Fujian Province; *Amentotaxus argotaenia* (Hance) Pilg.; dominant species; niche; interspecific association

在植物群落演替过程中,物种间存在着竞争与协同进化等复杂的关系,贯穿群落动态变化的始终<sup>[1]</sup>。生态位与种间联结性作为现代生态学的核心内容,在群落种间关系、群落结构、群落演替及物种多样性等研究中发挥着关键作用<sup>[2]</sup>。生态位不仅指某种群与其他相关种群在群落中相互关联的位置,还是该物种在群落中地位与重要性的具体体现<sup>[3]</sup>。种间联结性分析能够揭示种群结构的形成与群落演替的机制,明晰特定种间关系及其生态习性的异同<sup>[4]</sup>。研究植物群落的生态位与种间联结性,在维持生物多样性、促进物种共存及增强生态系统稳定性方面意义重大<sup>[5]</sup>。

穗花杉 [*Amentotaxus argotaenia* (Hance) Pilg.] 为红豆杉科 (Taxaceae) 穗花杉属 (*Amentotaxus* Pilg.) 植物,属国家二级重点保护野生植物,为阴性树种,适生于温凉湿润、降水充沛的气候环境<sup>[6]</sup>。该物种主要分布于北纬 20°40'~32°40'、东经 94°15'~119°10' 之间,东起浙江龙泉县,西至西藏南迦巴瓦峰,南达两广地区,北至甘肃文县,且延伸至中国台湾及越南;虽分布范围较广,但植株数量稀少,且种子存在休眠期、易受虫害,加之森林过度采伐导致生态环境恶化,目前已濒临灭绝<sup>[7]</sup>。当前,关于穗花杉的研究多集中

于特定地理单元内种群数量动态变化与年龄结构特征的描述性分析<sup>[8]</sup>,而对其群落水平上的生态位特征与种间相互作用机制的系统性探究仍属空白,这在一定程度上制约其保护工作从“种群层面”向“群落关联层面”的延伸。福建大田大仙峰省级自然保护区保存有更新良好、龄级结构完整的穗花杉自然种群,恰好为填补上述研究空白提供了稀缺且典型的天然研究载体。鉴于此,本研究以福建大田大仙峰省级自然保护区内的穗花杉所在群落为研究对象,通过对群落尺度生态位特征与种间关系分析,一方面突破现有研究“聚焦单一种群结构分析”的局限,另一方面推动群落生态学理论与珍稀濒危植物保护实践的深度融合,为后续制定更具针对性的穗花杉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

福建大田大仙峰省级自然保护区位于福建省三明市大田县南部,地理坐标为北纬 25°32'02"~25°38'01"、东经 117°47'02"~117°53'00",保护区内包括大仙峰和象山 2 个片区,主峰海拔 1 553 m,总面积

达6 893 hm<sup>2</sup>。作为森林生态系统类型的自然保护区,保护区内植被类型丰富,主要包括中山草甸、中山矮曲林、针阔混交林、针叶林及常绿阔叶林。该保护区气候属中亚热带季风湿润型,四季分明且日照充足,年均气温 16~18 °C,年均降水量 1 800~1 900 mm,年均日照时数1 723.8 h,无霜期 247 d;土壤以红壤和黄壤为主,水肥条件优良<sup>[9]</sup>。保护区优越的自然条件孕育了丰富的生物多样性,国家重点保护野生植物丰富。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 样方设置与调查

基于穗花杉在保护区内呈现零星分布且个体数量较少的现状,结合其所在群落的生境特点,依据《生物多样性观测技术导则 陆生维管植物多样性观测固定样地的设置》(HJ 710.14—2023) (<https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/>

stzl/202401/t20240116\_1063818.shtml) 中的方法,在保护区内典型穗花杉种群分布区域,采用全站仪精准布设了 12 个面积 20 m×20 m 的标准固定样地。每个样地以穗花杉植株为核心定位点,沿水平和垂直方向划分 4 个面积 10 m×10 m 的乔木层样方,记录样方内胸径大于或等于 5 cm 的乔木物种的种名、株高、胸径、冠幅,随后在各乔木层样方内嵌套设置面积 5 m×5 m 的灌木层样方,记录灌木物种(包括胸径小于 5 cm 的乔木幼树)的种名、株数、株高、地径、盖度。使用测高仪(精度 0.1 cm)测量株高,使用胸径尺(精度 0.1 cm)测量胸径,使用卷尺(精度 0.1 cm)测量冠幅,使用游标卡尺(精度 0.05 cm)测量地径,盖度为灌木冠幅投影面积与灌木样方面积的比值,使用 GPS 仪记录样地的经纬度、海拔、坡度等信息<sup>[10]</sup>。各样地基本信息见表 1。

表 1 福建大田大仙峰省级自然保护区穗花杉所在群落样地基本信息

Table 1 Basic information of plots in of community including *Amentotaxus argotaenia* (Hance) Pilg. in Datian Daxianfeng Provincial Nature Reserve of Fujian Province

样地编号 No. of plot	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔/m Altitude	坡度/(°) Slope	坡向 Slope aspect	坡位 Slope position
P1	N25°34'47"	E117°47'57"	1 051	21	东南 Southeast	中 Middle
P2	N25°34'51"	E117°47'53"	1 127	18	东南 Southeast	上 Upper
P3	N25°35'13"	E117°47'54"	1 035	19	东南 Southeast	上 Upper
P4	N25°35'06"	E117°47'55"	1 115	33	东 East	上 Upper
P5	N25°34'47"	E117°47'50"	1 076	22	东南 Southeast	中 Middle
P6	N25°35'44"	E117°47'30"	1 103	31	西北 Northwest	上 Upper
P7	N25°35'44"	E117°47'29"	1 189	22	西北 Northwest	上 Upper
P8	N25°35'45"	E117°47'28"	1 157	24	北 North	上 Upper
P9	N25°35'45"	E117°47'28"	1 151	21	北 North	上 Upper
P10	N25°35'47"	E117°47'27"	1 119	20	东 East	上 Upper
P11	N25°35'42"	E117°47'56"	1 236	22	西北 Northwest	上 Upper
P12	N25°35'44"	E117°47'30"	1 103	34	西北 Northwest	中 Middle

### 1.2.2 重要值计算

参考吕增伟等<sup>[11]</sup>的方法计算穗花杉所在群落内乔木层和灌木层各物种的重要值,将重要值大于 1%且排名前 20 的物种作为群落内各层主要物种。

### 1.2.3 生态位特征分析

参考叶家桐等<sup>[12]</sup>的方法测算各物种的 Levins 指数 ( $B_L$ ),衡量各物种的生态位宽度;数值越大,表示物种对资源的利用度越高,相应的分布范围也更广泛<sup>[13]</sup>。参考李波等<sup>[14]</sup>的方法计算物种间的 Pianka 指数,衡量生态位重叠程度;数值越高,表明物种间资源竞争强度越大<sup>[15]</sup>。

### 1.2.4 总体联结性分析

参考 Schluter<sup>[16]</sup>和刘润红等<sup>[17]</sup>的方法,采用方差比率(VR)量化不同层次的总

体联结性,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,VR = 1 表示无总体联结性。通过统计量(W) ( $W = N \times VR$ , N 为样方数)对关联强度的显著性进行检验, $\chi^2_{0.95}(N) < W < \chi^2_{0.05}(N)$  表示总体联结性不显著, $W \geq \chi^2_{0.05}(N)$  或  $W \leq \chi^2_{0.95}(N)$  则表示总体联结性显著<sup>[18]</sup>。

### 1.2.5 种间联结性分析

采用 2×2 列联表并结合 Yates 连续校正系数进行校正,通过校正后的值判断各物种种间联结性的强弱,同时依据  $\chi^2$  值确定种对联结的显著性水平, $\chi^2 \geq 3.841$  表示种间呈显著联结, $\chi^2 < 3.841$  表示种间呈不显著联结<sup>[19]</sup>。在此基础上,进一步利用 Jaccard 指数对种对间联结程度进行检

验, Jaccard 指数的值域为  $[0, 1]$ , 0 表示无联结, 数值越接近 1 表示联结性越强<sup>[20]</sup>。运用 Spearman 秩相关系数对种对间的线性关系进行定量分析, Spearman 秩相关系数的值域为  $[-1, 1]$ , 正值表示正联结, 负值表示负联结, 0 表示无联结<sup>[21]</sup>。

### 1.3 数据处理

使用 EXCEL 2020 软件计算穗花杉所在群落主要物种的重要值 (IV), 使用 R 4.1.3 软件的 spss 函数包, 计算生态位相关指数 (Levins 指数、Pianka 指数)、种间联结性指标 ( $VR, \chi^2$ )、Spearman 秩相关系数<sup>[22]</sup>, 并绘制  $\chi^2$  检验半矩阵图以及 Spearman 秩相关系数检验图。

## 2 结果和分析

### 2.1 穗花杉所在群落主要物种重要值及生态位宽度特征

福建大田大仙峰省级自然保护区穗花杉所在群落乔木层和灌木层主要物种的重要值和生态位宽度见表 2。结果显示: 从重要值看, 乔木层中红楠 (*Machilus thunbergii* Siebold et Zucc.) 的重要值最高 (10.82%), 其次是枫香树 (*Liquidambar formosana* Hance) 和罗浮锥 (*Castanopsis fabri* Hance), 重要值分别为 7.46% 和 6.33%, 穗花杉的重要值为 5.30%, 排名第 4; 在灌木层中, 肿节少穗竹 [*Oligostachyum oedogonatum* (Z. P. Wang et G. H. Ye) Q. F. Zheng et K. F. Huang] 的重要值最高 (9.38%), 其次为穗花杉和紫麻 [*Oreocnide frutescens* (Thunb.) Miq.], 重要值分别为 6.27% 和 4.09%。从生态位宽度看, 乔木层主要物种生态位宽度范围为 1.53~15.24, 其中, 红楠的生态位宽度最大, 赤楠 (*Syzygium buxifolium* Hook. et Arn.) 的生态位宽度最小, 穗花杉的生态位宽度为 8.80, 排名第 4; 灌木层主要物种的生态位宽度范围在 1.62~14.56, 其中, 红楠的生态位宽度最大, 蜡莲绣球 (*Hydrangea strigosa* Rehder) 的生态位宽度最小, 穗花杉的生态位宽度为 8.68, 排名第 3。总体上看, 穗花杉在乔木层和灌木层的重要值和生态位宽度排序中均位居前列, 表明穗花杉在群落中占据着较为显著的生态位, 具备较强的环境适应能力, 对资源的利用能力较强, 在竞争中占据主动。

### 2.2 穗花杉所在群落主要物种生态位重叠特征

福建大田大仙峰省级自然保护区穗花杉所在群

落乔木层和灌木层主要物种的 Pianka 指数见表 3。结果显示: 穗花杉所在群落乔木层和灌木层的 20 个主要物种分别构成 190 个种对, 其生态位重叠特征呈

表 2 福建大田大仙峰省级自然保护区穗花杉所在群落乔木层和灌木层主要物种的重要值和生态位宽度<sup>1)</sup>  
Table 2 Importance values and niche breadths of dominant species in the arbor and shrub layers of the community including *Amentotaxus argotaenia* (Hance) Pilg. in Datian Daxianfeng Provincial Nature Reserve of Fujian Province<sup>1)</sup>

种类 Species	IV/%	$B_L$
乔木层 Arbor layer		
红楠 <i>Machilus thunbergii</i>	10.82	15.24
枫香树 <i>Liquidambar formosana</i>	7.46	7.26
罗浮锥 <i>Castanopsis fabri</i>	6.33	8.07
穗花杉 <i>Amentotaxus argotaenia</i>	5.30	8.80
榕叶冬青 <i>Ilex ficoidea</i>	5.23	11.57
大叶冬青 <i>Ilex latifolia</i>	4.30	7.35
柯 <i>Lithocarpus glaber</i>	4.06	9.31
杨梅叶蚊母树 <i>Distylium myricoides</i>	3.85	5.45
西川朴 <i>Celtis vanderwoetiana</i>	3.54	3.52
南酸枣 <i>Choerospondias axillaris</i>	3.33	7.14
化香树 <i>Platycarya strobilacea</i>	2.96	3.20
灯台树 <i>Cornus controversa</i>	2.69	7.00
百日青 <i>Podocarpus neriifolius</i>	2.41	5.40
木荷 <i>Schima superba</i>	2.25	4.00
栲 <i>Castanopsis fargesii</i>	1.98	3.57
半枫荷 <i>Semiliquidambar cathayensis</i>	1.89	3.00
腋毛泡花树 <i>Meliosma rhoifolia</i> var. <i>barbulata</i>	1.49	5.00
赤楠 <i>Syzygium buxifolium</i>	1.49	1.53
赤杨叶 <i>Alniphyllum fortunei</i>	1.43	3.57
马银花 <i>Rhododendron ovatum</i>	1.40	3.60
灌木层 Shrub layer		
肿节少穗竹 <i>Oligostachyum oedogonatum</i>	9.38	10.21
穗花杉 <i>Amentotaxus argotaenia</i>	6.27	8.68
紫麻 <i>Oreocnide frutescens</i>	4.09	4.01
红楠 <i>Machilus thunbergii</i>	4.05	14.56
阔叶箬竹 <i>Indocalamus latifolius</i>	3.80	3.70
马银花 <i>Rhododendron ovatum</i>	2.85	3.44
猴欢喜 <i>Sloanea sinensis</i>	2.79	4.64
尖连蕊茶 <i>Camellia cuspidata</i>	2.51	5.39
杨梅叶蚊母树 <i>Distylium myricoides</i>	2.35	4.88
海岛苧麻 <i>Boehmeria formosana</i>	2.05	4.10
榕叶冬青 <i>Ilex ficoidea</i>	2.04	7.36
水竹 <i>Phyllostachys heteroclada</i>	1.74	4.00
油茶 <i>Camellia oleifera</i>	1.59	6.53
杜茎山 <i>Maesa japonica</i>	1.43	5.71
常山 <i>Dichroa febrifuga</i>	1.30	5.26
珍珠莲 <i>Ficus sarmentosa</i> var. <i>henryi</i>	1.29	3.80
络石 <i>Trachelospermum jasminoides</i>	1.29	4.50
蜡莲绣球 <i>Hydrangea strigosa</i>	1.26	1.62
野含笑 <i>Michelia skinneriana</i>	1.21	3.20
倒卵叶野木瓜 <i>Stauntonia obovata</i>	1.12	2.38

<sup>1)</sup> IV: 重要值 Importance value;  $B_L$ : Levins 指数 Levins index.

表 3 福建大田大仙峰省级自然保护区穗花杉所在群落乔木层和灌木层主要物种的 Pianka 指数<sup>1)</sup>  
 Table 3 Pianka index of dominant species in the arbor and shrub layers of the community including *Amentotaxus argotaenia* (Hance) Pilg. in Datian Daxianfeng Provincial Nature Reserve of Fujian Province<sup>1)</sup>

种类 Species	乔木层主要物种间的 Pianka 指数 Pianka index between dominant species in the arbor layer																			
	Mt	Lf	Cf1	Aa	If	Il1	Lg	Dm	Cv	Ca	Ps	Cc1	Pn	Ss1	Cf2	Sc	Mr	Sb	Af	
Lf	0.08																			
Cf1	0.08	0.74																		
Aa	0.11	0.04	0.25																	
If	0.30	0.17	0.10	0.15																
Il1	0.03	0.11	0.05	0.05	0.24															
Lg	0.17	0.00	0.00	0.13	0.37	0.17														
Dm	0.11	0.07	0.05	0.13	0.14	0.19	0.00													
Cv	0.07	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.30												
Ca	0.38	0.05	0.00	0.16	0.05	0.06	0.37	0.00	0.00											
Ps	0.07	0.00	0.12	0.00	0.00	0.23	0.06	0.32	0.00	0.00										
Cc1	0.24	0.00	0.00	0.00	0.36	0.16	0.42	0.00	0.08	0.40	0.00									
Pn	0.12	0.09	0.07	0.03	0.20	0.38	0.07	0.23	0.00	0.00	0.06	0.00								
Ss1	0.00	0.00	0.00	0.12	0.38	0.00	0.42	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26							
Cf2	0.18	0.07	0.20	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.17	0.00	0.00	0.00						
Sc	0.00	0.10	0.00	0.27	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44					
Mr	0.21	0.72	0.46	0.05	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.64	0.48	0.00	0.00	0.00			
Af	0.41	0.00	0.20	0.36	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ro	0.20	0.28	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.23	0.00	0.09	0.00	0.00	0.33	0.32	0.00	0.00	0.42	0.61	0.00	0.00

种类 Species	灌木层主要物种间的 Pianka 指数 Pianka index between dominant species in the shrub layer																			
	Oo	Aa	Of	Mt	Il2	Ro	Ss2	Cc2	Dm	Bf	If	Ph	Co	Mj	Df	Fs	Tj	Hs	Ms	
Aa	0.16																			
Of	0.01	0.25																		
Mt	0.31	0.33	0.19																	
Il2	0.08	0.02	0.01	0.30																
Ro	0.26	0.00	0.00	0.27	0.00															
Ss2	0.00	0.14	0.25	0.06	0.00	0.00														
Cc2	0.18	0.42	0.00	0.07	0.09	0.00	0.00													
Dm	0.00	0.09	0.05	0.21	0.00	0.59	0.00	0.00												
Bf	0.39	0.12	0.00	0.23	0.14	0.00	0.00	0.32	0.00											
If	0.37	0.03	0.03	0.21	0.26	0.06	0.00	0.03	0.29	0.19										
Ph	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00									
Co	0.21	0.07	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.02	0.25	0.37								
Mj	0.07	0.29	0.00	0.19	0.00	0.08	0.24	0.48	0.13	0.00	0.00	0.00	0.04							
Df	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.23	0.13	0.08						
Fs	0.04	0.06	0.08	0.15	0.00	0.00	0.49	0.00	0.28	0.05	0.09	0.00	0.00	0.26	0.00					
Tj	0.03	0.33	0.14	0.17	0.00	0.00	0.40	0.19	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00	0.27				
Hs	0.04	0.01	0.20	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.06	0.04	0.00	0.01	0.00	0.01	0.26				
Ms	0.17	0.07	0.05	0.00	0.13	0.00	0.54	0.03	0.14	0.14	0.47	0.00	0.00	0.00	0.46	0.30	0.00			
So	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.48	0.34	0.00	0.52	

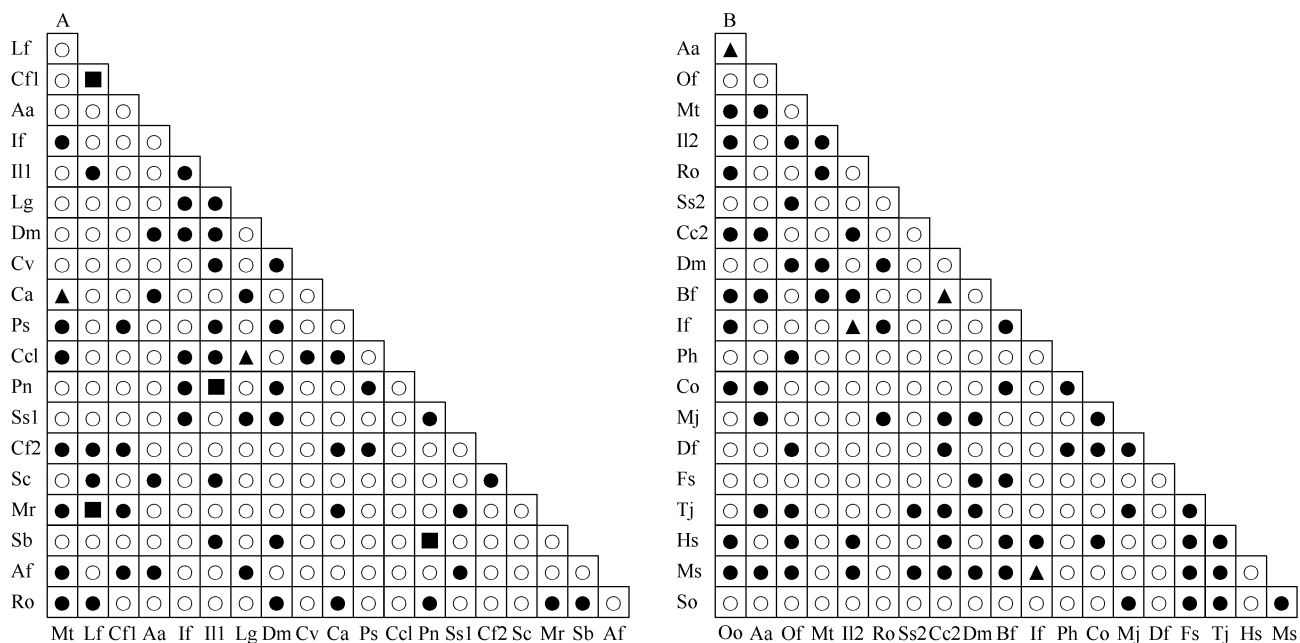
<sup>1)</sup> Mt: 红楠 *Machilus thunbergii* Siebold et Zucc.; Lf: 枫香树 *Liquidambar formosana* Hance; Cf1: 罗浮锥 *Castanopsis fabri* Hance; Aa: 穗花杉 *Amentotaxus argotaenia* (Hance) Pilg.; If: 榕叶冬青 *Ilex ficoidea* Hemsl.; Il1: 大叶冬青 *Ilex latifolia* Thunb.; Lg: 柯 *Lithocarpus glaber* (Thunb.) Nakai; Dm: 杨梅叶蚊母树 *Distylium myricoides* Hemsl.; Cv: 西川朴 *Celtis vanderwoetiana* C. K. Schneid.; Ca: 南酸枣 *Choerospondias axillaris* (Roxb.) B. L. Burt et A. W. Hill; Ps: 化香树 *Platycarya strobilacea* Siebold et Zucc.; Cc1: 灯台树 *Cornus controversa* Hemsl.; Pn: 百日青 *Podocarpus neriifolius* D. Don; Ss1: 木荷 *Schima superba* Gardner et Champ.; Cf2: 栲 *Castanopsis fargesii* Franch.; Sc: 半枫荷 *Semiliquidambar cathayensis* H. T. Chang; Mr: 腋毛泡花树 *Meliosma rhoifolia* var. *barbulata* (Cufod.) Y. W. Law; Sb: 赤楠 *Syzygium buxifolium* Hook. et Arn.; Af: 赤杨叶 *Alniphyllum fortunei* (Hemsl.) Makino; Ro: 马银花 *Rhododendron ovatum* (Lindl.) Planch. ex Maxim.; Oo: 肿节少穗竹 *Oligostachyum oedogonatum* (Z. P. Wang et G. H. Ye) Q. F. Zheng et K. F. Huang; Of: 紫麻 *Oreocnide frutescens* (Thunb.) Miq.; Il2: 阔叶箬竹 *Indocalamus latifolius* (Keng) McClure; Ss2: 猴欢喜 *Sloanea sinensis* (Hance) Hemsl.; Cc2: 尖连蕊茶 *Camellia cuspidata* (Kochs) H. J. Veitch Gard. Chron.; Bf: 海岛苎麻 *Boehmeria formosana* Hayata; Ph: 水竹 *Phyllostachys heteroclada* Oliv.; Co: 油茶 *Camellia oleifera* Abel; Mj: 杜荳山 *Maesa japonica* (Thunb.) Moritz; Df: 常山 *Dichroa febrifuga* Lour.; Fs: 珍珠莲 *Ficus sarmentosa* var. *henryi* (King ex Oliv.) Corner; Tj: 络石 *Trachelospermum jasminoides* (Lindl.) Lem.; Hs: 蜡莲绣球 *Hydrangea strigosa* Rehd.; Ms: 野含笑 *Michelia skinneriana* Dunn; So: 倒卵叶野木瓜 *Stauntonia obovata* Hemsl.

现高度一致性。在乔木层中, Pianka 指数范围为 0.00~0.74, 均值为 0.102, 其中, Pianka 指数小于 0.50 的种对有 186 对, 占总种对数的 97.9%; Pianka 指数最高的种对是枫香树与罗浮锥。在灌木层中, Pianka 指数范围为 0.00~0.68, 均值为 0.101, 其中, Pianka 指数小于 0.50 的种对有 186 对, 占总种对数的 97.9%; Pianka 指数最高的种对是猴欢喜与倒卵叶野木瓜。穗花杉在乔木层和灌木层与其他 19 个物种的 Pianka 指数均未超过 0.50。综上, 穗花杉所在群落绝大多数种对的 Pianka 指数较低, 表明各物种生态位分化程度较高, 穗花杉在资源需求上与其他物种差异明显, 生态位重叠程度较低, 竞争压力较小。

### 2.3 穗花杉所在群落主要物种间关联特征

2.3.1 总体联结性检验 穗花杉所在群落乔木层方差比率 (VR) 为 0.53, 表明该层次主要物种间呈负关联; 统计量 (W) 为 25.35, 落在  $\chi^2_{0.95}(48)$  与  $\chi^2_{0.05}(48)$  的区间外, 表明乔木层主要物种的总体联结性为显著负联结。穗花杉所在群落灌木层 VR 值为 0.69, 也表明灌木层主要物种间呈负关联; 统计量 (W) 为 33.11, 落在  $\chi^2_{0.95}(48)$  与  $\chi^2_{0.05}(48)$  的区间内, 表明灌木层主要物种的总体联结性为不显著负联结。

2.3.2 种间联结性分析 福建大田大仙峰省级自然保护区穗花杉所在群落乔木层和灌木层主要物种的  $\chi^2$  检验结果见图 1。结果显示: 在乔木层 20 个主要



■: 极显著正联结 Extremely significant positive association; ▲: 显著正联结 Significant positive association; ●: 不显著正联结 Not significant positive association; ○: 不显著负联结 Not significant negative association.

Mt: 红楠 *Machilus thunbergii* Siebold et Zucc.; Lf: 枫香树 *Liquidambar formosana* Hance; Cfl: 罗浮锥 *Castanopsis fabri* Hance; Aa: 穗花杉 *Amentotaxus argotaenia* (Hance) Pilg.; If: 榕叶冬青 *Ilex ficoidea* Hemsl.; Il1: 大叶冬青 *Ilex latifolia* Thunb.; Lg: 柯 *Lithocarpus glaber* (Thunb.) Nakai; Dm: 杨梅叶蚊母树 *Distylium myricoides* Hemsl.; Cv: 西川朴 *Celtis vandervoetiana* C. K. Schneid.; Ca: 南酸枣 *Choerospondias axillaris* (Roxb.) B. L. Burt et A. W. Hill; Ps: 化香树 *Platycarya strobilacea* Siebold et Zucc.; Ccl: 灯台树 *Cornus controversa* Hemsl.; Pn: 百日青 *Podocarpus nerifolius* D. Don; Ss1: 木荷 *Schima superba* Gardner et Champ.; Cf2: 栲 *Castanopsis fargesii* Franch.; Sc: 半枫荷 *Semiliquidambar cathayensis* H. T. Chang; Mr: 腋毛泡花树 *Meliosma rhoifolia* var. *barbulata* (Cufod.) Y. W. Law; Sb: 赤楠 *Syzygium buxifolium* Hook. et Arn.; Af: 赤杨叶 *Alniphyllum fortunei* (Hemsl.) Makino; Ro: 马银花 *Rhododendron ovatum* (Lindl.) Planch. ex Maxim.; Oo: 肿节少穗竹 *Oligostachyum oedogonatum* (Z. P. Wang et G. H. Ye) Q. F. Zheng et K. F. Huang; Of: 紫麻 *Oreocnide frutescens* (Thunb.) Miq.; Il2: 阔叶箬竹 *Indocalamus latifolius* (Keng) McClure; Ss2: 猴欢喜 *Sloanea sinensis* (Hance) Hemsl.; Cc2: 尖连蕊茶 *Camellia cuspidata* (Kochs) H. J. Veitch Gard. Chron.; Bf: 海岛苧麻 *Boehmeria formosana* Hayata; Ph: 水竹 *Phyllostachys heteroclada* Oliv.; Co: 油茶 *Camellia oleifera* Abel; Mj: 杜茎山 *Maesa japonica* (Thunb.) Moritzi; Df: 常山 *Dichroa febrifuga* Lour.; Fs: 珍珠莲 *Ficus sarmentosa* var. *henryi* (King ex Oliv.) Corner; Tj: 络石 *Trachelospermum jasminoides* (Lindl.) Lem.; Hs: 蜡莲绣球 *Hydrangea strigosa* Rehder; Ms: 野含笑 *Michelia skinneriana* Dunn; So: 倒卵叶野木瓜 *Stauntonia obovata* Hemsl.

图 1 福建大田大仙峰省级自然保护区穗花杉所在群落乔木层 (A) 和灌木层 (B) 主要物种的  $\chi^2$  检验  
Fig. 1  $\chi^2$  test of dominant species in the arbor (A) and shrub (B) layers of the community including *Amentotaxus argotaenia* (Hance) Pilg. in Datian Daxianfeng Provincial Nature Reserve of Fujian Province

物种组成的190个种对中,有61个正联结种对和129个负联结种对,分别占总种对数的32.1%和67.9%;其中,184个种对呈不显著联结,占总种对数的96.8%,不显著正、负联结种对分别占总种对数的28.9%和67.9%;4个种对呈极显著正联结,占总种对数的2.1%,分别是枫香树与罗浮锥、枫香树与腋毛泡花树〔*Meliosma rhoifolia* var. *barbulata* (Cufod.) Y. W. Law〕、大叶冬青 (*Ilex latifolia* Thunb.) 与百日青 (*Podocarpus neriifolius* D. Don)、百日青与赤楠;2个种对呈显著正联结,占总种对数的1.1%,分别是红楠与南酸枣〔*Choerospondias axillaris* (Roxb.) B. L. Burt et A. W. Hill〕、柯〔*Lithocarpus glaber* (Thunb.) Nakai〕与灯台树 (*Cornus controversa* Hemsl.);没有极显著和显著负联结种对。综上,穗花杉所在群落乔木层主要物种间联结性以不显著负联结为主,说明种间联结较弱,种间相互作用以微弱的竞争排斥为主。

在灌木层20个主要物种组成的190个种对中,有72个正联结种对和118个负联结种对,分别占总种对数的37.9%和62.1%;其中,186个种对呈不显著联结,占总种对数的97.9%,不显著正、负联结种对分别占总种对数的35.8%和62.1%;4个种对呈显著正联结,占总种对数的2.1%,分别是肿节少穗竹与穗花杉、阔叶箬竹〔*Indocalamus latifolius* (Keng) McClure〕

与榕叶冬青 (*Ilex ficoidea* Hemsl.)、尖连蕊茶〔*Camellia cuspidata* (Kochs) H. J. Veitch Gard. Chron.〕与海岛苧麻 (*Boehmeria formosana* Hayata)、榕叶冬青与野含笑 (*Michelia skinneriana* Dunn);没有极显著正联结以及极显著和显著负联结种对。综上,穗花杉所在群落灌木层种间联结性也以不显著负联结为主,种间关联程度较低,物种间资源竞争强度也较低。

此外,穗花杉仅与灌木层中肿节少穗竹组成的种对存在显著的正联结关系,而与乔木层及灌木层的其他物种所组成的种对联结性均不显著,表明穗花杉的生态位相对独立。同时,乔木层和灌木层中仅有少数极显著和显著正联结种对,表明穗花杉所在群落主要物种中只有极少数物种通过资源利用的互补性形成了相对稳定的协同关系。

2.3.3 种间联结性检验 福建大田大仙峰省级自然保护区穗花杉所在群落乔木层和灌木层主要物种的 Jaccard 指数见表4。结果显示:穗花杉所在群落乔木层主要物种中, Jaccard 指数在 [0.20, 0.60] 的种对有15个,占总种对数的7.9%;而 Jaccard 指数在 [0.00, 0.20) 的种对则有175个,占总种对数的92.1%;没有 Jaccard 指数大于0.60的种对。其中, Jaccard 指数最大的种对是枫香树与腋毛泡花树, Jaccard 指数为

表4 福建大田大仙峰省级自然保护区穗花杉所在群落乔木层和灌木层主要物种的 Jaccard 指数<sup>1)</sup>

Table 4 Jaccard index between dominant species in the arbor and shrub layers of the community including *Amentotaxus argotaenia* (Hance) Pilg. in Datian Daxianfeng Provincial Nature Reserve of Fujian Province<sup>1)</sup>

种类 Species	乔木层主要物种间的 Jaccard 指数 Jaccard index between dominant species in the arbor layer																			
	Mt	Lf	Cf1	Aa	If	Il1	Lg	Dm	Cv	Ca	Ps	Cc1	Pn	Ss1	Cf2	Sc	Mr	Sb	Af	
Lf	0.08																			
Cf1	0.08	0.38																		
Aa	0.15	0.05	0.11																	
If	0.19	0.10	0.05	0.14																
Il1	0.04	0.13	0.06	0.05	0.22															
Lg	0.12	0.00	0.00	0.05	0.21	0.12														
Dm	0.04	0.07	0.07	0.19	0.11	0.14	0.00													
Cv	0.05	0.00	0.00	0.00	0.06	0.08	0.00	0.10												
Ca	0.30	0.06	0.00	0.18	0.05	0.06	0.29	0.00	0.00											
Ps	0.10	0.00	0.17	0.00	0.00	0.17	0.07	0.09	0.00	0.00										
Cc1	0.14	0.00	0.00	0.00	0.25	0.14	0.31	0.00	0.10	0.25	0.00									
Pn	0.09	0.07	0.07	0.06	0.12	0.36	0.07	0.18	0.00	0.00	0.10	0.00								
Ss1	0.00	0.00	0.00	0.07	0.13	0.00	0.17	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11							
Cf2	0.16	0.08	0.18	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.29	0.00	0.00	0.00						
Sc	0.00	0.09	0.00	0.07	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17					
Mr	0.10	0.40	0.17	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.20	0.00	0.00	0.00			
Af	0.10	0.00	0.18	0.14	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Ro	0.10	0.18	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.10	0.00	0.09	0.00	0.00	0.11	0.14	0.00	0.00	0.29	0.20	0.00	

续表4 Table 4 (Continued)

种类 Species	灌木层主要物种间的 Jaccard 指数 Jaccard index between dominant species in the shrub layer																			
	Oo	Aa	Of	Mt	Il2	Ro	Ss2	Cc2	Dm	Bf	If	Ph	Co	Mj	Df	Fs	Tj	Hs	Ms	
Aa	0.39																			
Of	0.04	0.09																		
Mt	0.30	0.35	0.08																	
Il2	0.17	0.05	0.08	0.14																
Ro	0.17	0.00	0.00	0.20	0.00															
Ss2	0.00	0.09	0.21	0.08	0.00	0.00														
Cc2	0.21	0.28	0.00	0.04	0.09	0.00	0.00													
Dm	0.00	0.09	0.13	0.23	0.00	0.18	0.00	0.00												
Bf	0.24	0.24	0.00	0.09	0.11	0.00	0.00	0.33	0.00											
If	0.26	0.09	0.07	0.13	0.30	0.08	0.00	0.07	0.07	0.08										
Ph	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00									
Co	0.20	0.14	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.08	0.07	0.20								
Mj	0.04	0.14	0.00	0.13	0.00	0.08	0.07	0.15	0.23	0.00	0.00	0.00	0.14							
Df	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.25	0.17	0.17						
Fs	0.10	0.10	0.07	0.09	0.00	0.00	0.08	0.00	0.27	0.10	0.08	0.00	0.00	0.08	0.00					
Tj	0.05	0.17	0.17	0.04	0.00	0.00	0.18	0.09	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.10				
Hs	0.11	0.05	0.08	0.00	0.13	0.00	0.00	0.10	0.00	0.29	0.09	0.00	0.09	0.00	0.00	0.11	0.13			
Ms	0.11	0.11	0.08	0.00	0.13	0.00	0.09	0.10	0.09	0.13	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.13	0.00		
So	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.13	0.14	0.00	0.17	

<sup>1)</sup> Mt: 红楠 *Machilus thunbergii* Siebold et Zucc.; If: 枫香树 *Liquidambar formosana* Hance; Cf1: 罗浮锥 *Castanopsis fabri* Hance; Aa: 穗花杉 *Amentotaxus argotaenia* (Hance) Pilg.; If: 榕叶冬青 *Ilex ficoidea* Hemsl.; Il1: 大叶冬青 *Ilex latifolia* Thunb.; Lg: 柯 *Lithocarpus glaber* (Thunb.) Nakai; Dm: 杨梅叶蚊母树 *Distylium myricoides* Hemsl.; Cv: 西川朴 *Celtis vanderhoetiana* C. K. Schneid.; Ca: 南酸枣 *Choerospondias axillaris* (Roxb.) B. L. Burt et A. W. Hill; Ps: 化香树 *Platycarya strobilacea* Siebold et Zucc.; Cc1: 灯台树 *Cornus controversa* Hemsl.; Pn: 百日青 *Podocarpus neriifolius* D. Don; Ss1: 木荷 *Schima superba* Gardner et Champ.; Cf2: 栲 *Castanopsis fargesii* Franch.; Sc: 半枫荷 *Semiliquidambar cathayensis* H. T. Chang; Mr: 腋毛泡花树 *Meliosma rhoifolia* var. *barbulata* (Cufod.) Y. W. Law; Sb: 赤楠 *Syzygium buxifolium* Hook. et Arn.; Af: 赤杨叶 *Alniphyllum fortunei* (Hemsl.) Makino; Ro: 马银花 *Rhododendron ovatum* (Lindl.) Planch. ex Maxim.; Oo: 肿节少穗竹 *Oligostachyum oedogonatum* (Z. P. Wang et G. H. Ye) Q. F. Zheng et K. F. Huang; Of: 紫麻 *Oreocnide frutescens* (Thunb.) Miq.; Il2: 阔叶箬竹 *Indocalamus latifolius* (Keng) McClure; Ss2: 猴欢喜 *Sloanea sinensis* (Hance) Hemsl.; Cc2: 尖连蕊茶 *Camellia cuspidata* (Kochs) H. J. Veitch Gard. Chron.; Bf: 海岛苧麻 *Boehmeria formosana* Hayata; Ph: 水竹 *Phyllostachys heteroclada* Oliv.; Co: 油茶 *Camellia oleifera* Abel; Mj: 杜茎山 *Maesa japonica* (Thunb.) Moritzi; Df: 常山 *Dichroa febrifuga* Lour.; Fs: 珍珠莲 *Ficus sarmentosa* var. *henryi* (King ex Oliv.) Corner; Tj: 络石 *Trachelospermum jasminoides* (Lindl.) Lem.; Hs: 蜡莲绣球 *Hydrangea strigosa* Rehder; Ms: 野含笑 *Michelia skinneriana* Dunn; So: 倒卵叶野木瓜 *Stauntonia obovata* Hemsl.

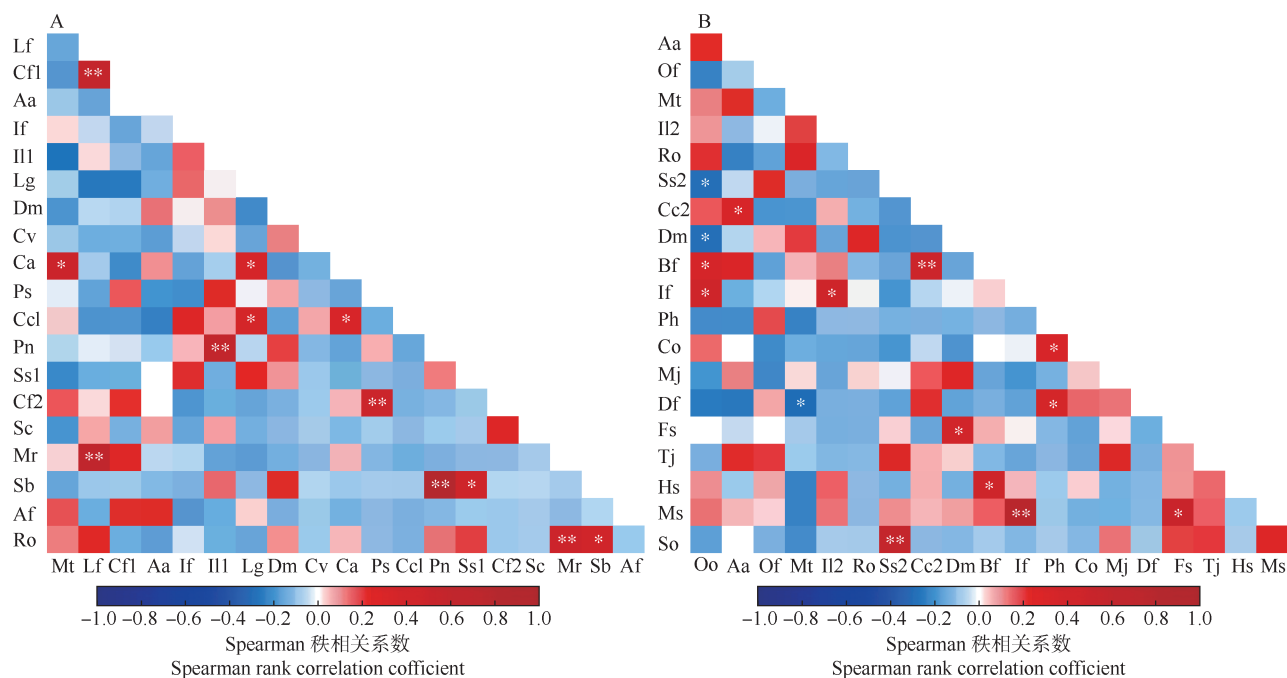
0.40。穗花杉与其他 19 个物种间的 Jaccard 指数均在 [0.00,0.20) 范围内。表明绝大多数物种在空间分布上的共现概率极低,空间重叠范围极小,且乔木层主要物种的 Jaccard 指数整体较小,乔木层主要物种间负联结性较强,这与  $\chi^2$  检验结果一致。

穗花杉所在群落灌木层主要物种中,Jaccard 指数在 [0.20,0.60] 区间的种对有 22 个,占总种对数的 11.6%;而 Jaccard 指数在 [0.00,0.20) 区间的种对有 168 个,占总种对数的 88.4%;没有 Jaccard 指数大于 0.60 的种对。Jaccard 指数最大的种对是肿节少穗竹与穗花杉,Jaccard 指数为 0.39。穗花杉与其他 19 个物种间构成的种对 Jaccard 指数均小于 0.60,表明灌木层主要物种间负联结性仍较强,但是灌木层主要物种 Jaccard 指数在 [0.20, 0.60] 区间的种对比例 (21.6%) 略高于乔木层 (6.8%),表明灌木层物种间局部空间共现性相对乔木层更强,但绝大多数物种空间共现频率仍较低,这与  $\chi^2$  检验结果一致。

2.3.4 种间相关性分析 Spearman 秩相关系数(图

2) 显示:穗花杉所在群落乔木层中,33.1%的种对相关性的正相关,66.9%的种对相关性的负相关;93.7%的种对相关性的不显著。在极显著 ( $P < 0.01$ ) 水平上,正相关的种对有 6 个,无负相关种对;在显著 ( $P < 0.05$ ) 水平上,正相关的种对有 6 个,无负相关种对。穗花杉与 7 个物种呈不显著正相关,与 12 个物种呈不显著负相关。乔木层主要物种 Spearman 秩相关性检验以不显著负相关为主,与  $\chi^2$  检验、Jaccard 指数分析结果一致。

穗花杉所在群落灌木层中,40%的种对相关性的正相关,60%的种对相关性的负相关;92.1%的种对相关性的不显著。在极显著水平上,正相关的种对有 3 个,无负相关种对;在显著水平上,正相关的种对有 9 个,负相关的种对有 3 个。穗花杉与尖连蕊茶呈显著正相关,与其他物种相关性不显著,其中与 6 个物种呈不显著正相关,与 12 个物种呈不显著负相关。灌木层主要物种 Spearman 秩相关性检验也以不显著负相关为主,与  $\chi^2$  检验、Jaccard 指数分析结果一致。



Mt: 红楠 *Machilus thunbergii* Siebold et Zucc.; Lf: 枫香树 *Liquidambar formosana* Hance; Cfl: 罗浮锥 *Castanopsis fabri* Hance; Aa: 穗花杉 *Amentotaxus argotaenia* (Hance) Pilg.; If: 榕叶冬青 *Ilex ficoidea* Hemsl.; Il1: 大叶冬青 *Ilex latifolia* Thunb.; Lg: 柯 *Lithocarpus glaber* (Thunb.) Nakai; Dm: 杨梅叶蚊母树 *Distylium myricoides* Hemsl.; Cv: 西川朴 *Celtis vanderroetiana* C. K. Schneid.; Ca: 南酸枣 *Choerospondias axillaris* (Roxb.) B. L. Burtt et A. W. Hill; Ps: 化香树 *Platycarya strobilacea* Siebold et Zucc.; Cc1: 灯台树 *Cornus controversa* Hemsl.; Pn: 百日青 *Podocarpus nerifolius* D. Don; Ss1: 木荷 *Schima superba* Gardner et Champ.; Cf2: 栲 *Castanopsis fargesii* Franch.; Sc: 半枫荷 *Semiliquidambar cathayensis* H. T. Chang; Mr: 腋毛泡花树 *Meliosma rhoifolia* var. *barbulata* (Cufod.) Y. W. Law; Sb: 赤楠 *Syzygium buxifolium* Hook. et Arn.; Af: 赤杨叶 *Alniphyllum fortunei* (Hemsl.) Makino; Ro: 马银花 *Rhododendron ovatum* (Lindl.) Planch. ex Maxim.; Oo: 肿节少穗竹 *Oligostachyum oedogonatum* (Z. P. Wang et G. H. Ye) Q. F. Zheng et K. F. Huang; Of: 紫麻 *Oreocnide frutescens* (Thunb.) Miq.; Il2: 阔叶箬竹 *Indocalamus latifolius* (Keng) McClure; Ss2: 猴欢喜 *Sloanea sinensis* (Hance) Hemsl.; Cc2: 尖连蕊茶 *Camellia cuspidata* (Kochs) H. J. Veitch Gard. Chron.; Bf: 海岛苧麻 *Boehmeria formosana* Hayata; Ph: 水竹 *Phyllostachys heteroclada* Oliv.; Co: 油茶 *Camellia oleifera* Abel; Mj: 杜茎山 *Maesa japonica* (Thunb.) Moritzi; Df: 常山 *Dichroa febrifuga* Lour.; Fs: 珍珠莲 *Ficus sarmentosa* var. *henryi* (King ex Oliv.) Corner; Tj: 络石 *Trachelospermum jasminoides* (Lindl.) Lem.; Hs: 蜡莲绣球 *Hydrangea strigosa* Rehder; Ms: 野含笑 *Michelia skinneriana* Dunn; So: 倒卵叶野木瓜 *Stauntonia obovata* Hemsl. \*:  $P < 0.05$ ; \*\*:  $P < 0.01$ .

图2 福建大田大仙峰省级自然保护区穗花杉所在群落乔木层(A)和灌木层(B)主要物种间的 Spearman 秩相关系数

Fig. 2 Spearman rank correlation coefficients between dominant species in the arbor (A) and shrub (B) layers of the community including *Amentotaxus argotaenia* (Hance) Pilg. in Datian Daxianfeng Provincial Nature Reserve of Fujian Province

### 3 讨论和结论

#### 3.1 穗花杉所在群落主要物种生态位特征

生态位宽度是衡量物种资源利用能力与生态适应性的核心指标<sup>[23]</sup>,能反映物种在群落中的功能地位与生存策略,重要值则能综合量化物种在群落中的优势程度<sup>[24]</sup>,二者结合可全面评估物种对群落结构的影响。通常而言,生态位宽度较大的物种,对环境异质性的适应能力更强,资源利用范围更广,往往在群落中占优势地位,对群落结构的稳定性和演替方向具有关键调控作用<sup>[25]</sup>。穗花杉在乔木层和灌木层的 Levin 指数均排名靠前,且重要值同样位居前列,说明穗花杉在不同垂直层次中均具备较广的生态适应范

围和较强的资源利用能力,能够跨层次获取生存所需的光照、水分和养分资源,在群落中占据显著的生态位优势,对该区域的植物群落结构和生存环境具有重要作用<sup>[26]</sup>。穗花杉为阴性树种、适生于温凉湿润环境,进一步说明穗花杉能够充分利用局部微环境资源,形成稳定的生存策略。值得注意的是,穗花杉虽为国家二级重点保护野生植物,且面临植株数量稀少、种子休眠期长、易受虫害及生境退化等濒危威胁<sup>[27]</sup>,但其较高的生态位宽度与重要值表明,穗花杉的环境适应能力与资源竞争能力并未显著弱化,这与部分濒危植物因生态位狭窄导致竞争能力弱的特征存在差异,其濒危机制可能更多与种群自身的繁殖障碍、外部人为干扰有关,需结合种群动态监测与繁殖生态学研究进一步验证。

生态位重叠指数是衡量物种间资源利用相似性的关键指标<sup>[28]</sup>, 生态位重叠指数越高, 竞争越激烈<sup>[29]</sup>; 反之则表明物种已通过生态位分化实现资源分配优化。穗花杉所在群落乔木层和灌木层 Pianka 指数均值分别仅为 0.102 和 0.101, 其中 97.9% 种对的 Pianka 指数小于 0.50, 说明该群落内多数物种的生态学和生物学特征并不接近, 绝大多数种对在资源利用上的相似性极低, 各自有相对独立的资源利用策略, 群落结构趋于稳定。低生态位重叠是群落结构稳定的重要标志之一, 穗花杉所在群落主要物种间通过长期适应, 逐渐在资源利用上形成“分工”, 避免了过度竞争导致的物种淘汰<sup>[30]</sup>。穗花杉在各层与其他 19 个物种的 Jaccard 指数均未超过 0.60, 表明穗花杉在资源利用上具有高度独特性, 形成了相对独立的生态位。穗花杉多散生于湿润沟谷、溪边或常绿阔叶林中, 其对局部微环境的偏好, 使其能够避开与其他物种在资源需求上的直接冲突; 此外, 穗花杉在乔木层中以中上层个体为主, 在灌木层中则以幼树形式存在, 这种“跨层次分布”减少了与同层次物种的资源竞争, 使其形成相对独立的生态空间<sup>[31]</sup>。因此, 在制定保护策略时, 应重点保护穗花杉现有生境的完整性, 避免因人为干扰破坏其赖以生存的微环境, 同时无需过度关注其与群落内其他物种的资源竞争问题, 转而聚焦于改善其种群繁殖效率、减少外部干扰这些核心致濒因子。

### 3.2 穗花杉所在群落主要物种总体联结性与种间联结性

种间总体联结性是群落稳定性的重要表征, 既能反映群落内种间的整体相互作用格局, 也可间接揭示群落的演替阶段与潜在动态方向<sup>[32]</sup>。已有研究表明: 群落演替早期物种因资源竞争激烈常呈负联结, 随演替推进正联结逐渐主导, 演替后期则多表现为显著正联结, 这是物种长期协同进化、资源分配优化的结果<sup>[33]</sup>。穗花杉所在群落的总体联结性呈现明显的层次差异, 乔木层主要物种总体呈显著负联结, 灌木层主要物种总体为不显著负联结。乔木层物种多为红楠、枫香树、罗浮锥等高大树种, 平均冠幅较大, 对光照、上层空间资源的竞争相对激烈, 且该层次物种多处于成熟阶段, 林分郁闭度较高, 物种为占据有利生态位易形成竞争排斥关系, 最终表现为显著负联结。而灌木层物种(包括乔木幼树)则多处于生长初期, 对资源的需求强度低于乔木层, 且部分物种可适

应林下较弱的光照环境, 种间竞争压力相对缓和, 因此负联结性减弱且未达显著水平。此外, 穗花杉作为濒危物种<sup>[6]</sup>, 虽在各层均占据一定优势, 但其所在群落尚未进入资源分配完全稳定的演替后期, 仍处于物种间相互适应、生态位进一步优化的阶段。

种间联结性是解析物种共存机制、生境需求差异的关键切入点<sup>[34]</sup>。结合  $\chi^2$  检验、Jaccard 指数及 Spearman 秩相关系数分析, 穗花杉所在群落内乔木层和灌木层主要物种间的负联结种对数明显多于正联结种对数, 且多数种对的联结性不显著, 表明穗花杉所在群落内绝大多数物种间的相互作用极其微弱, 而少数极显著和显著正联结种对的存在, 多源于物种相似的生境需求, 如乔木层枫香树和罗浮锥均喜温暖湿润气候, 且对土壤水分要求相近, 因此在空间分布上呈现协同出现的趋势<sup>[35]</sup>。值得关注的是, 穗花杉仅在灌木层与肿节少穗竹呈显著正联结, 与其他物种均为不显著联结, 表明穗花杉的生态位相对独立, 其对生境的特殊需求(如湿润沟谷、散射光环境)与多数物种形成明显分化, 有效降低了种间竞争压力, 但凸显了其作为濒危物种的生态脆弱性, 一旦所依赖的独特微生境被破坏, 将难以维持种群稳定<sup>[36]</sup>。

### 3.3 结论

福建大田大仙峰省级自然保护区穗花杉所在群落处于演替中后过渡阶段, 乔木层和灌木层主要物种间以负联结为主, 联结性较弱, 尚未形成紧密的协同作用关系, 各物种间相互独立, 群落内主要物种仍在通过长期适应持续优化生态位, 为向演替后期的稳定协同积累条件。穗花杉在群落中重要值和生态位宽度较突出, 与其他物种的生态位重叠度低, 在群落中占据优势地位, 且生态位高度独立, 说明其濒危机制并非源于生态位竞争, 可能更多与种群自身的繁殖障碍、外部人为干扰有关。而物种濒危是多因子协同作用的结果, 仅从生态位与种间联结性切入, 难以全面揭示穗花杉濒危的原因, 未来需从生殖生理、种群更新动态维度开展多方面研究。总体而言, 福建大田大仙峰省级自然保护区穗花杉所在群落结构相对稳定, 对生境具有较强适配性, 处于演替中后过渡阶段, 保护实践应聚焦维护核心生境完整性与提升种群自然更新能力, 以保障其种群的持续发展。

### 参考文献:

- [1] 郑永敏, 吕江波, 吴文晓, 等. 新安江森林公园阔叶林木本植物

- 生态位与种间联结性[J]. 森林与环境学报, 2024, 44(6): 619-627.
- [2] COLWELL R K, FUTUYMA D J. On the measurement of niche breadth and overlap[J]. *Ecology*, 1971, 52(4): 567-576.
- [3] 陶磊, 黄雍容, 蔡德淡, 等. 福建省尤溪水松-江南桫木群落主要物种生态位特征及种间联结性[J]. 生态学杂志, 2025, 44(3): 705-712.
- [4] 刘雨婷, 侯满福, 贺露炎, 等. 滇东菌子山喀斯特森林群落乔木优势树种生态位和种间联结[J]. 应用生态学报, 2023, 34(7): 1771-1778.
- [5] 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.
- [6] 胡千惠, 陈琳, 赖媛, 等. 江西官山濒危植物穗花杉种群结构与动态[J]. 江西农业大学学报, 2023, 45(6): 1418-1430.
- [7] 肖纪军, 陈焕伟, 沈斌, 等. 穗花杉简易设施扦插育苗技术初探[J]. 江苏林业科技, 2018, 45(1): 36-39.
- [8] 李云波, 苏宇阳, 刘志, 等. 贵州习水国家级自然保护区穗花杉的种群资源现状特征分析[J]. 贵州科学, 2019, 37(4): 43-47.
- [9] 梁晖. 福建大仙峰保护区野生木本药用植物调查分析[J]. 福建林业科技, 2022, 49(2): 125-129.
- [10] 邓清雅, 温瑞龙, 王迎雪, 等. 福建大嵛山岛常绿阔叶林木本植物优势种的生态位和种间联结[J]. 植物资源与环境学报, 2024, 33(4): 92-100.
- [11] 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.
- [12] 叶家桐, 邓涛, 岑华飞, 等. 广西银竹老山资源冷杉群落乔木优势树种生态位与种间联结[J]. 生态学报, 2025, 45(8): 3921-3932.
- [13] 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 B*, 2019, 286(1902): 20190369.
- [14] 李波, 赵阳, 曹家豪, 等. 洮河上游紫果云杉群落主要乔木生态位、种间关系及群落稳定性[J]. 中南林业科技大学学报, 2024, 44(11): 70-77.
- [15] 商乃演, 李东海, 杨小波, 等. 濒危植物蝴蝶树所在群落不同林层优势树种生态位与种间联结[J]. 生态学报, 2025, 45(7): 3389-3400.
- [16] SCHLUTER D. A variance test for detecting species associations, with some example applications [J]. *Ecology*, 1984, 65(3): 998-1005.
- [17] 刘润红, 陈乐, 涂洪润, 等. 桂林岩溶石山青冈群落灌木层主要树种生态位与种间联结[J]. 生态学报, 2020, 40(6): 2057-2071.
- [18] 李珂佳, 蔡晨, 阮广鸣, 等. 小叶红豆群落主要树种的种间关系及群落稳定性[J]. 应用生态学报, 2025, 36(2): 427-436.
- [19] 卢燕, 吴万平, 曾勇. 天山北麓绿洲荒漠过渡带优势植物的生态位特征与种间联结[J]. 中国沙漠, 2024, 44(2): 254-263.
- [20] 何江, 徐来仙, 艾训儒. 星斗山天然次生林优势种的生态位和种间联结动态[J]. 林业科学研究, 2024, 37(1): 171-182.
- [21] 黄学平, 陈子悦, 何国庆, 等. 涪溪口浮游植物优势种生态位的变化及种间联结性[J]. 生物学杂志, 2023, 40(5): 61-68.
- [22] 高亮, 江子涵, 洪子辰, 等. 武夷山国家公园甜槠林主要树种生态位与种间联结分析[J]. 植物资源与环境学报, 2024, 33(6): 65-73.
- [23] 赵家豪, 叶钰倩, 陈斌, 等. 江西武夷山南方铁杉针阔混交林主要植物生态位特征[J]. 林业科学, 2021, 57(1): 191-199.
- [24] 阿旺罗布, 王俊伟, 曾哲飞, 等. 西藏雅尼湿地洲滩植物群落优势种生态位及种间联结性[J]. 生态环境学报, 2025, 34(10): 1558-1568.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 郭微, 景慧娟, 凡强, 等. 江西井冈山穗花杉群落及其物种多样性研究[J]. 黑龙江农业科学, 2013(7): 71-76.
- [28] 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.
- [29] 高磊, 窦霄, 徐婷, 等. 山东省濒危植物紫椴群落生态位与种间联结性[J]. 中国野生植物资源, 2025, 44(7): 122-130.
- [30] 唐佳乐. 湛江市半自然植物群落乔木层主要优势种生态位及种间联结性[J]. 绿色科技, 2022, 24(15): 173-178.
- [31] 余丽慧, 姚良锦, 朱志柳, 等. 亚热带针阔混交林群落结构与生态位分析: 以浙江省景宁县针阔混交林地为例[J]. 河北林业科技, 2021(4): 13-19.
- [32] 罗真, 黄运腾, 林希霆, 等. 湄洲岛典型森林群落木本优势种生态位与种间联结[J]. 东北林业大学学报, 2025, 53(8): 16-25, 50.
- [33] 李子涵, 赵悦悦, 吴爽, 等. 北京四座楼市级自然保护区落叶阔叶林优势种生态位及种间联结分析[J]. 植物资源与环境学报, 2025, 34(4): 83-94.
- [34] PANDEY R, RAWAT M, SINGH V, et al. Large scale field-based evaluation of niche breadth, niche overlap and interspecific association of Western Himalayan temperate forest tree species[J]. *Ecological Indicators*, 2023, 146: 109876.
- [35] 阮梓臻, 王斌, 钟艺倩, 等. 淡黄金花茶伴生群落优势乔灌木的种间联结及群落稳定性分析[J]. 植物科学学报, 2024, 42(2): 170-180.
- [36] 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.

(责任编辑: 郭严冬)