

福建大嵵山岛常绿阔叶林木本植物 优势种的生态位和种间联结

邓清雅¹, 温瑞龙¹, 王迎雪¹, 邓传远¹, 郑俊鸣^{2,3,①}, 张琳婷^{3,4}

(1. 福建农林大学风景园林与艺术学院, 福建 福州 350002; 2. 莆田学院土木工程学院, 福建 莆田 351100;
3. 福建省海岛资源生态监测与保护利用重点实验室, 福建 平潭 350400; 4. 自然资源部海岛研究中心, 福建 平潭 350400)

摘要: 采用典型样地调查法对福建大嵵山岛常绿阔叶林木本植物进行群落调查, 采用 Levins 指数、Shannon-Wiener 指数、Pianka 指数、Schoener 指数对木本植物优势种 (重要值大于 1.5%) 的生态位宽度、生态位重叠、生态位相似性进行分析, 并采用方差比率、 χ^2 检验、种间联结系数、Jaccard 指数分析联结性特征。结果显示: 在福建大嵵山岛常绿阔叶林木本植物中筛选出 16 个优势种, 其中, 樟 (*Camphora officinarum* Nees) 的重要值和生态位宽度最大。木本植物优势种的 120 个种对中, Pianka 指数和 Schoener 指数在 [0.0, 0.5] 范围内的种对分别有 78 和 91 对, 占总种对数的 65.0% 和 75.8%, 表明多数种对生态位重叠程度和生态位相似性较低, 即优势种分布相对独立, 种间关系较稳定。优势种间的方差比率为 2.37, 统计量为 37.89, 表明总体联结性为显著正联结。 χ^2 检验结果显示: 75 个种对呈正联结, 41 个种对呈负联结, 4 个种对无联结。联结系数分析结果显示: 79 个种对呈正联结, 42 个种对呈负联结。80 个种对的 Jaccard 指数在 [0.43, 1.00] 范围内, 表明多数种对的联结性较强。回归分析结果显示: 联结系数和 Jaccard 指数与 Pianka 指数和 Schoener 指数均在 0.001 水平上显著正相关。综上所述, 福建大嵵山岛常绿阔叶林木本植物优势种间的生态位重叠程度和生态位相似性较低, 多数种对呈正联结, 且联结性较强; 目前大嵵山岛常绿阔叶林接近群落演替发展的中后期阶段, 物种组成和群落结构较为稳定。

关键词: 大嵵山岛; 常绿阔叶林; 木本植物; 生态位; 种间联结

中图分类号: Q948.12; S727.5 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2024)04-0092-09
DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2024.04.10

Niche and interspecific association of dominant species of woody plants in evergreen broad-leaved forest in Dayushan Island of Fujian Province DENG Qingya¹, WEN Ruilong¹, WANG Yingxue¹, DENG Chuanyuan¹, ZHENG Junming^{2,3,①}, ZHANG Lintong^{3,4} (1. College of Landscape Architecture and Art, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. School of Civil Engineering, Putian University, Putian 351100, China; 3. Key Laboratory of Ecological Monitoring, Protection and Utilization of Island Resources in Fujian Province, Pingtan 350400, China; 4. Island Research Center of Ministry of Natural Resources, Pingtan 350400, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2024, 33(4): 92-100

Abstract: A community investigation was conducted for the woody plants in evergreen broad-leaved forest in Dayushan Island of Fujian Province by using the typical plot survey method, the niche breadth, niche overlap, and niche similarity of the dominant species (importance value greater than 1.5%) of woody plants were analyzed by using Levins index, Shannon-Wiener index, Pianka index, and Schoener index, and the associative characteristics were analyzed by using variance ratio, χ^2 test, interspecific association

收稿日期: 2024-02-18

基金项目: 福建省海岛资源生态监测与保护利用重点实验室开放基金项目(2022ZD09)

作者简介: 邓清雅(1999—), 女, 江西南昌人, 硕士研究生, 主要从事海岛植物资源利用研究。

①通信作者 E-mail: zjm1991@ptu.edu.cn

引用格式: 邓清雅, 温瑞龙, 王迎雪, 等. 福建大嵵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.

coefficient, and Jaccard index. The results show that 16 dominant species are screened out from the woody plants in the evergreen broad-leaved forest in Dayushan Island of Fujian Province, among which, *Camphora officinarum* Nees has the highest importance value and niche breadth. Among the 120 pairs of dominant species of woody plants, there are 78 and 91 species pairs with the Pianka index and Schoener index within the range of $[0.0, 0.5)$, accounting for 65.0% and 75.8% of the total species pairs respectively, indicating that most species pairs have a low degree of niche overlap and niche similarity, namely the distribution of dominant species is relatively independent, and the interspecies relationship is relatively stable. The variance ratio among the dominant species is 2.37, and the statistic is 37.89, indicating that the overall association is significant positive association. The χ^2 test result shows that 75 species pairs show positive associations, 41 species pairs show negative associations, and 4 species pairs show no associations. The association coefficient analysis result shows that 79 species pairs show positive associations, and 42 species pairs show negative associations. The Jaccard index of 80 species pairs are within the range of $[0.43, 1.00]$, indicating that the associations of most species pairs are relatively strong. The regression analysis result shows that association coefficient and Jaccard index have significant positive correlations with Pianka index and Schoener index at 0.001 level. In conclusion, the niche overlap degree and niche similarity between the dominant species of woody plants in the evergreen broad-leaved forest in Dayushan Island of Fujian Province are relatively low, most species pairs show positive associations, and these associations are relatively strong; the evergreen broad-leaved forest of Dayushan Island is approaching the middle to late stage of community succession at present, with relatively stable species composition and community structure.

Key words: Dayushan Island; evergreen broad-leaved forest; woody plant; niche; interspecific association

植物群落存在复杂的种间关系^[1],物种的生态位和种间联结特征能够较好地表征种间关系。其中,生态位能够体现群落中物种对资源的利用能力及对生态环境的适应性,可以判断物种与环境之间的耦合关系^[2];种间联结指的是不同物种在空间位置上的关联性,能够反映不同生境中种间相互作用的结果^[1]。因此,研究优势物种间的生态位和种间联结,有助于了解优势物种对环境资源的适应性、物种竞争和共生关系以及群落演替规律,在植被构建、恢复以及生物多样性保护方面起到助力科学决策的作用^[3-4]。目前,国内外学者对植物群落的生态位和种间联结进行了广泛的研究,而大部分研究集中于内陆地区,岛屿地区的相关研究较为有限^[5-6]。由于海岛常年受到风沙侵袭和土壤盐渍化的影响,生境具有脆弱性和特殊性,植被的稳定性较差^[7]。海岛植被受到自然环境的制约,加上人为活动的干扰,大量原始林遭到破坏,海岛植被普遍为次生林。采取有效的人为调控方式对海岛植被重建和修复具有重要的作用。因此,研究海岛优势种的生态位和种间联结,筛选适生物种和优势种对,构建稳定的海岛植物群落成为海岛植被修复的重要方向。

大嵵山岛是福建省福鼎市境内岛屿,拥有丰富的植物资源和优质的生态滨海旅游资源,植被类型主要

为常绿阔叶林。常绿阔叶林分布在南、北纬 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 之间的大陆东部,分布面积 250 余万 hm^2 ^[8]。常绿阔叶林拥有丰富的生物多样性和森林资源,群落组成结构复杂多样,具有保持水土、涵养水源、维持碳平衡和生态平衡等重要作用^[9]。目前,针对不同地区的常绿阔叶林生态位和种间联结已有部分研究,但由于常绿阔叶林分布广、结构复杂,不同区域及群落类型的生态位和种间联结性可能存在一定差异^[10]。关于大嵵山岛常绿阔叶林木本植物优势种生态位和种间联结的研究还未见报道,不利于该区域常绿阔叶林恢复以及岛屿植被的保护管理。鉴于此,本文以福建大嵵山岛常绿阔叶林木本植物优势种为研究对象,对其生态位和种间关系进行研究,探讨大嵵山岛植物群落结构特征和共存机制,揭示该海岛植物群落中物种的功能地位、动态演替、生态适应性和资源利用情况,在维护大嵵山岛植物群落多样性、优化群落配置、提高群落稳定性方面发挥重要作用,为进一步推进闽东地区生态旅游岛屿营建提供理论支持。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

大嵵山岛位于福建省福鼎市东南海域(东经

120°19'13.40"~120°23'55.84"、北纬 26°55'08.63"~26°59'48.15"),面积 21.2 km²,森林覆盖率 36.97%,海岸线长 30.12 km,最高海拔 541.4 m,为闽东第一大岛^[11]。该岛属亚热带季风气候区,年均温 15.1 ℃,年均降水量 1 850 mm,夏、秋两季易遭台风影响^[12]。岛上土壤瘠薄,受海雾、海风影响显著,生态环境恶劣,立地条件差。岛上森林类型主要为常绿阔叶林,乔木层高约 10.0 m,主要树种有樟(*Camphora officinarum* Nees)、台湾相思(*Acacia confusa* Merr.)、鹅掌柴(*Heptapleurum heptaphyllum* (Linn.) Y. F. Deng)等;灌木层高约 1.0 m,主要种类有菝葜(*Smilax china* Linn.)、野桐(*Mallotus tenuifolius* Pax)、海桐(*Pittosporum tobira* (Thunb.) W. T. Aiton)等;草本层高约 0.7 m,主要种类有五节芒(*Miscanthus floridulus* (Lab.) Warb. ex K. Schum. et Laut.)、海金沙

[*Lygodium japonicum* (Thunb.) Sw.]、艳山姜[*Alpinia zerumbet* (Pers.) B. L. Burtt. et R. M. Smith]等。

1.2 研究方法

1.2.1 样方设置与物种调查 于 2023 年 6 月至 8 月,采用样线法对大嵛山岛开展野外调查,记录沿线的植物种类。根据大嵛山岛植物群落的类型、结构以及生境等特点,选取受人为干扰较轻的区域设置样地,共设置 16 个面积 20 m×20 m 的乔木样方,记录样方内的乔木种类,在每个样方的四角各设置 1 个面积 5 m×5 m 的灌木样方,共计 64 个样方,记录样方内的灌木种类(包括胸径小于 3 cm 的乔木幼树)。使用测高仪(精度 1 cm)测量高度,使用卷尺(精度 0.1 cm)测量基径、冠幅,使用胸径尺(精度 0.1 cm)测量胸径,采用投影法^[13]测量盖度,同时,使用 GPS 定位仪记录每个乔木样方的经度、纬度、海拔等信息(表 1)。

表 1 福建大嵛山岛乔木样方基础信息

Table 1 Basic information of arbor sample plots in Dayushan Island of Fujian Province

样方编号 Sample plot No.	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Altitude	坡度/(°) Slope	坡向 Aspect	坡位 Slope position
P1	E120°21'30"	N26°57'29"	81.0	29	北 North	中 Middle
P2	E120°21'25"	N26°57'29"	121.0	21	东 East	中 Middle
P3	E120°21'24"	N26°57'50"	70.5	21	东北 Northeast	下 Lower
P4	E120°21'29"	N26°57'50"	75.6	28	东北 Northeast	下 Lower
P5	E120°21'36"	N26°57'55"	66.0	27	东北 Northeast	下 Lower
P6	E120°21'27"	N26°57'56"	82.0	40	北 North	下 Lower
P7	E120°21'53"	N26°57'37"	55.0	36	西北 Northwest	下 Lower
P8	E120°21'12"	N26°57'31"	203.0	28	北 North	中 Middle
P9	E120°21'15"	N26°57'03"	204.0	25	东南 Southeast	中 Middle
P10	E120°20'35"	N26°57'54"	81.0	24	北 North	上 Upper
P11	E120°20'24"	N26°57'47"	109.0	20	东 East	中 Middle
P12	E120°20'30"	N26°59'47"	71.0	28	西 West	下 Lower
P13	E120°20'17"	N26°57'35"	125.0	32	西北 Northwest	上 Upper
P14	E120°20'38"	N26°58'06"	58.0	20	南 South	下 Lower
P15	E120°23'28"	N26°55'48"	99.0	34	南 South	下 Lower
P16	E120°23'21"	N26°55'47"	86.0	26	西南 Southwest	下 Lower

1.2.2 重要值计算 参考文献[13]计算乔木层和灌木层各种类的重要值,计算公式为乔木重要值=(相对频度+相对密度+相对优势度)/3,灌木重要值=(相对频度+相对密度+相对盖度)/3。对重要值大于 1.5%的优势种进行生态位和种间联结性分析^[14]。

1.2.3 生态位特征分析 计算各优势种 Shannon-Wiener 指数^[15]和 Levins 指数^[7],用于判断生态位宽度;计算 Pianka 指数(Q_{ik})^[16]和 Schoener 指数(C_{ik})^[17],分别用于判断生态位重叠程度和生态位相似性,2 个指数的值域为[0,1], Q_{ik} 值越大表示生态

位重叠程度越高, C_{ik} 值越大表示生态位相似性越高。

1.2.4 总体联结性分析 采用方差比率(VR)法检验群落总体联结性,使用统计量 $W(W=N \cdot VR)$ 检验群落总体联结性的显著程度^[18]。 $VR>1$ 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; $\chi^2_{0.95}(N)<W<\chi^2_{0.05}(N)$ 表示总体联结性不显著,反之则总体联结性显著($P\leq 0.05$)。其中, N 为样方数。

1.2.5 种间联结性分析 根据已建立的 2×2 联列表,采用 Yates 连续校正公式计算 χ^2 值^[19]。 $\chi^2 <$

3.814 表示种间联结性不显著, $3.814 \leq \chi^2 < 6.635$ 表示种间联结性显著, $\chi^2 \geq 6.635$ 表示种间联结性极显著 ($P \leq 0.01$)^[20]。依据 ad 和 bc 值的大小关系判定种间联结性, $ad > bc$ 表示种对呈正联结, $ad < bc$ 表示种对呈负联结, $ad = bc$ 表示种对无联结^[21]。其中, a 为 2 个种均存在的样方数, b 和 c 为 2 个种单独存在的样方数, d 为 2 个种均不存在的样方数。

1.2.6 种间联结性检验 以 χ^2 检验为基础, 结合联结系数 (AC) 和 Jaccard 指数综合分析种间联结性^[4,22]。其中, AC 值域为 $[-1, 1]$, 数值为 0 表示无联结, 数值为负表示负联结, 数值为正表示正联结, 绝对值越接近 1 表示联结性越强; Jaccard 指数的值域为 $[0, 1]$, 数值为 0 表示无联结, 数值越接近 1 表示联结性越强。

1.3 数据处理与分析

利用 EXCEL 2010 软件对数据进行统计和整理, 利用 R 4.1.3 软件中的 spaa 包完成生态位和种间联结特征的相关计算及半矩阵图的绘制, 利用 Origin 2021 软件绘制联结系数和 Jaccard 指数与 Pianka 指数和 Schoener 指数之间的线性回归图。

2 结果和分析

2.1 重要值和生态位宽度分析

福建大嵛山岛常绿阔叶林 16 个样地中共调查到 99 种木本植物, 筛选出重要值大于 1.5% 的 16 个优势种, 其重要值和生态位宽度见表 2。结果显示: 樟的重要值最大 (13.43%), 鹅掌柴、马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.) 和台湾相思的重要值较大, 分别为 8.35%、5.88%、4.62%, 表明这 4 种植物在大嵛山岛的植物群落中起主导作用。16 个优势种的 Levins 指数 (B_L) 和 Shannon-Wiener 指数 (B_S) 分别为 1.81~18.66 和 0.64~12.25, 樟的 B_L 和 B_S 值最大。经计算, 重要值与 B_L 值存在极显著相关性 ($r = 0.684, P < 0.01$), 与 B_S 值不存在显著相关性 ($r = 0.153, P > 0.05$)。

2.2 生态位重叠和生态位相似性分析

福建大嵛山岛常绿阔叶林木本植物优势种间的 Pianka 指数 (Q_{ik}) 和 Schoener 指数 (C_{ik}) 见表 3。结果显示: 16 个木本植物优势种共组成 120 个种对, 其中, Q_{ik} 和 C_{ik} 值小于 0.10 的种对分别有 17 和 15 对, 占总种对数的 14.2% 和 12.5%, 木麻黄 (*Casuarina equisetifolia* Linn.) 与大多数种间的 Q_{ik} 和 C_{ik} 值为

表 2 福建大嵛山岛常绿阔叶林木本植物优势种的重要值和生态位宽度¹⁾
Table 2 Importance value and niche breadth of dominant species of woody plants in evergreen broad-leaved forest in Dayushan Island of Fujian Province¹⁾

种类 Species	IV/%	B_L	B_S
樟 <i>Camphora officinarum</i>	13.43	18.66	12.25
鹅掌柴 <i>Heptapleurum heptaphyllum</i>	8.35	8.76	2.43
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	5.88	2.51	1.16
台湾相思 <i>Acacia confusa</i>	4.62	3.22	1.30
天仙果 <i>Ficus erecta</i>	3.60	9.74	2.37
九节 <i>Psychotria asiatica</i>	3.56	8.54	2.30
野漆 <i>Toxicodendron succedaneum</i>	3.41	5.43	1.86
豺皮樟 <i>Litsea rotundifolia</i> var. <i>oblongifolia</i>	3.34	7.10	2.13
野桐 <i>Mallotus tenuifolius</i>	3.07	8.37	2.28
木麻黄 <i>Casuarina equisetifolia</i>	2.80	1.81	0.64
菝葜 <i>Smilax china</i>	2.55	9.70	2.42
簕欓花椒 <i>Zanthoxylum avicennae</i>	2.37	6.11	2.01
朴树 <i>Celtis sinensis</i>	2.15	6.17	2.13
印度野牡丹 <i>Melastoma malabathricum</i>	1.81	16.23	12.01
栀子 <i>Gardenia jasminoides</i>	1.56	6.13	2.03
鸡屎藤 <i>Paederia foetida</i>	1.53	5.70	2.02

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

0.00, 表明木麻黄与多数植物可能竞争较小或不存在竞争关系; Q_{ik} 和 C_{ik} 值在 $[0.10, 0.50]$ 范围内的种对分别有 61 和 76 对, 占总种对数的 50.8% 和 63.3%, 表明这些种对存在一定程度竞争, 但在资源较充足时仍可共存。 Q_{ik} 和 C_{ik} 值在 $[0.50, 1.00]$ 范围内的种对分别有 42 和 29 对, 占总种对数的 35.0% 和 24.2%, 表明这些种对具有较高的环境适应相似度, 可能会对有限的环境资源产生激烈的争夺; 其中, 樟和九节 (*Psychotria asiatica* Linn.) 的 Q_{ik} 和 C_{ik} 值均最大, 分别为 0.89 和 0.75。

2.3 联结性分析

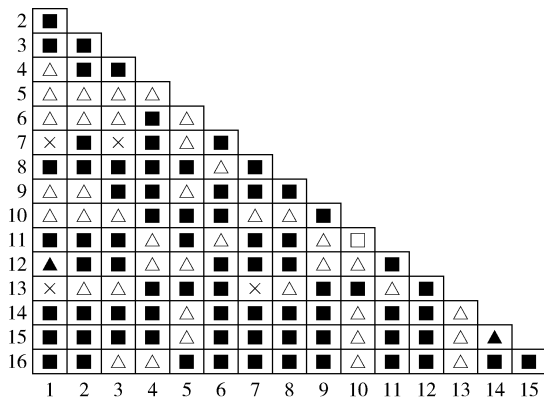
2.3.1 总体联结性分析 福建大嵛山岛常绿阔叶林木本植物优势种间的方差比率 (VR) 为 2.37, 大于 1。 χ^2 检验的临界值为 $\chi^2_{0.95}(16) = 7.96$, $\chi^2_{0.05}(16) = 26.30$, 统计量 (W) 为 37.89, 不在 χ^2 检验的区间内。以上结果表明大嵛山岛 16 个木本植物优势种的总体联结性为显著正联结。

2.3.2 种间联结性分析 χ^2 检验结果 (图 1) 显示: 福建大嵛山岛常绿阔叶林木本植物优势种 120 个种对中, 75 个种对呈正联结, 占总种对数的 62.5%; 41 个种对呈负联结, 占总种对数的 34.2%; 4 个种对无联结, 占总种对数的 3.3%。仅樟与簕欓花椒 [*Zanthoxylum avicennae* (Lam.) DC.]、印度野牡丹 (*Melastoma*

表 3 福建大俞山岛常绿阔叶林木本植物优势种的 Pianka 指数 (Q_{ik}) 和 Schoener 指数 (C_{ik})¹⁾
Table 3 Pianka index (Q_{ik}) and Schoener index (C_{ik}) between dominant species of woody plants in evergreen broad-leaved forest in Dayushan Island of Fujian Province¹⁾

种类 Species	优势种间的 Q_{ik} (横线上方) 和 C_{ik} (横线下方) Q_{ik} (above the line) and C_{ik} (below the line) between dominant species															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	—	0.57	0.23	0.03	0.59	0.89	0.38	0.49	0.39	0.00	0.68	0.61	0.69	0.25	0.41	0.56
2	0.45	—	0.29	0.30	0.52	0.61	0.86	0.39	0.73	0.04	0.69	0.56	0.40	0.53	0.83	0.51
3	0.18	0.27	—	0.05	0.13	0.09	0.07	0.65	0.35	0.00	0.62	0.21	0.15	0.38	0.44	0.45
4	0.02	0.25	0.05	—	0.31	0.22	0.19	0.29	0.28	0.02	0.20	0.18	0.17	0.68	0.17	0.08
5	0.54	0.47	0.08	0.27	—	0.68	0.46	0.45	0.43	0.25	0.63	0.66	0.51	0.26	0.29	0.50
6	0.75	0.55	0.15	0.15	0.59	—	0.51	0.41	0.46	0.03	0.70	0.61	0.64	0.33	0.48	0.54
7	0.30	0.66	0.12	0.21	0.45	0.44	—	0.28	0.75	0.00	0.59	0.48	0.23	0.48	0.84	0.40
8	0.49	0.38	0.39	0.26	0.41	0.40	0.27	—	0.45	0.00	0.81	0.37	0.32	0.38	0.48	0.44
9	0.34	0.61	0.32	0.26	0.46	0.42	0.65	0.43	—	0.25	0.59	0.30	0.28	0.59	0.84	0.73
10	0.00	0.03	0.00	0.02	0.15	0.01	0.00	0.00	0.10	—	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.02
11	0.59	0.63	0.37	0.20	0.57	0.61	0.51	0.65	0.56	0.00	—	0.55	0.46	0.42	0.66	0.59
12	0.47	0.49	0.22	0.13	0.47	0.53	0.42	0.33	0.31	0.00	0.48	—	0.47	0.41	0.37	0.32
13	0.49	0.42	0.13	0.18	0.54	0.50	0.28	0.37	0.38	0.12	0.43	0.43	—	0.21	0.28	0.27
14	0.27	0.56	0.30	0.45	0.32	0.32	0.48	0.36	0.56	0.00	0.43	0.38	0.26	—	0.57	0.40
15	0.38	0.68	0.35	0.17	0.30	0.44	0.67	0.47	0.67	0.00	0.60	0.41	0.30	0.54	—	0.50
16	0.48	0.52	0.41	0.13	0.50	0.52	0.40	0.38	0.57	0.02	0.54	0.36	0.35	0.42	0.40	—

¹⁾ 1: 樟 *Camphora officinarum* Nees; 2: 鹅掌柴 *Heptapleurum heptaphyllum* (Linn.) Y. F. Deng; 3: 马尾松 *Pinus massoniana* Lamb.; 4: 台湾相思 *Acacia confusa* Merr.; 5: 天仙果 *Ficus erecta* Thunb.; 6: 九节 *Psychotria asiatica* Linn.; 7: 野漆 *Toxicodendron succedaneum* (Linn.) Kuntze; 8: 豺皮樟 *Litsea rotundifolia* var. *oblongifolia* (Nees) C. K. Allen; 9: 野桐 *Mallotus tenuifolius* Pax; 10: 木麻黄 *Casuarina equisetifolia* Linn.; 11: 菝葜 *Smilax china* Linn.; 12: 箭欏花椒 *Zanthoxylum avicennae* (Lam.) DC.; 13: 朴树 *Celtis sinensis* Pers.; 14: 印度野牡丹 *Melastoma malabathricum* Linn.; 15: 栀子 *Gardenia jasminoides* J. Ellis; 16: 鸡屎藤 *Paederia foetida* Linn.



▲: 显著正联结 Significant positive association; ■: 不显著正联结 Non-significant positive association; △: 显著负联结 Significant negative association; □: 不显著负联结 Non-significant negative association; ×: 无联结 No association.

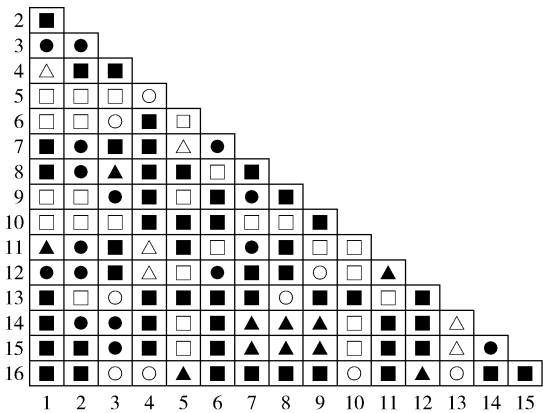
1: 樟 *Camphora officinarum* Nees; 2: 鹅掌柴 *Heptapleurum heptaphyllum* (Linn.) Y. F. Deng; 3: 马尾松 *Pinus massoniana* Lamb.; 4: 台湾相思 *Acacia confusa* Merr.; 5: 天仙果 *Ficus erecta* Thunb.; 6: 九节 *Psychotria asiatica* Linn.; 7: 野漆 *Toxicodendron succedaneum* (Linn.) Kuntze; 8: 豺皮樟 *Litsea rotundifolia* var. *oblongifolia* (Nees) C. K. Allen; 9: 野桐 *Mallotus tenuifolius* Pax; 10: 木麻黄 *Casuarina equisetifolia* Linn.; 11: 菝葜 *Smilax china* Linn.; 12: 箭欏花椒 *Zanthoxylum avicennae* (Lam.) DC.; 13: 朴树 *Celtis sinensis* Pers.; 14: 印度野牡丹 *Melastoma malabathricum* Linn.; 15: 栀子 *Gardenia jasminoides* J. Ellis; 16: 鸡屎藤 *Paederia foetida* Linn.

图 1 福建大俞山岛常绿阔叶林木本植物优势种 χ^2 检验
Fig. 1 χ^2 test of dominant species of woody plants in evergreen broad-leaved forest in Dayushan Island of Fujian Province

malabathricum Linn.) 与栀子 (*Gardenia jasminoides* J. Ellis) 显著正联结。以上结果表明优势种之间正联结占主导地位,但多数种对间的联结性不显著。

联结系数(AC)分析结果(图 2)显示:120 个种对中,79 个种对呈正联结,占总种对数的 65.8%,其中樟与箭欏花椒、樟与马尾松、鹅掌柴与豺皮樟 [*Litsea rotundifolia* var. *oblongifolia* (Nees) C. K. Allen] 等 16 个种对呈极显著正联结;41 个种对呈负联结,占总种对数的 34.2%,其中 9 对表现为极显著负联结。表明木本植物优势种间多数为正联结,此结果与 χ^2 检验结果一致,说明群落处于较为稳定的状态。

Jaccard 指数(JI)分析结果(图 3)显示:80 个种对的 JI 值在 [0.43, 1.00] 范围内,占总种对数的 66.7%,表明多数种对的联结性较强;29 个种对的 JI 值在 [0.14, 0.43] 范围内,占总种对数的 24.2%,呈现较弱的联结性;11 个种对的 JI 值在 [0.00, 0.14] 范围内,联结性很弱。值得注意的是,鹅掌柴与鸡屎藤 (*Paederia foetida* Linn.)、天仙果 (*Ficus erecta* Thunb.) 与菝葜、九节与野桐、九节与朴树 (*Celtis sinensis* Pers.) 4 个种对的 JI 值在 [0.72, 1.00] 范围内,联结性很强,但 χ^2 检验和联结系数分析结果均表现为不显著联结。



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

1: 樟 *Camphora officinarum* Nees; 2: 鹅掌柴 *Heptapleurum heptaphyllum* (Linn.) Y. F. Deng; 3: 马尾松 *Pinus massoniana* Lamb.; 4: 台湾相思 *Acacia confusa* Merr.; 5: 天仙果 *Ficus erecta* Thunb.; 6: 九节 *Psychotria asiatica* Linn.; 7: 野漆 *Toxicodendron succedaneum* (Linn.) Kuntze; 8: 豺皮樟 *Litsea rotundifolia* var. *oblongifolia* (Nees) C. K. Allen; 9: 野桐 *Mallotus tenuifolius* Pax; 10: 木麻黄 *Casuarina equisetifolia* Linn.; 11: 菝葜 *Smilax china* Linn.; 12: 簕欓花椒 *Zanthoxylum avicennae* (Lam.) DC.; 13: 朴树 *Celtis sinensis* Pers.; 14: 印度野牡丹 *Melastoma malabathricum* Linn.; 15: 梔子 *Gardenia jasminoides* J. Ellis; 16: 鸡屎藤 *Paederia foetida* Linn.

图 2 福建大嵵山岛常绿阔叶林木本植物优势种间联结系数 (AC)
Fig. 2 Association coefficient (AC) between dominant species of woody plants in evergreen broad-leaved forest in Dayushan Island of Fujian Province

2.4 种间联结指标与生态位特征指标间的回归分析
联结系数和 Jaccard 指数与 Pianka 指数和

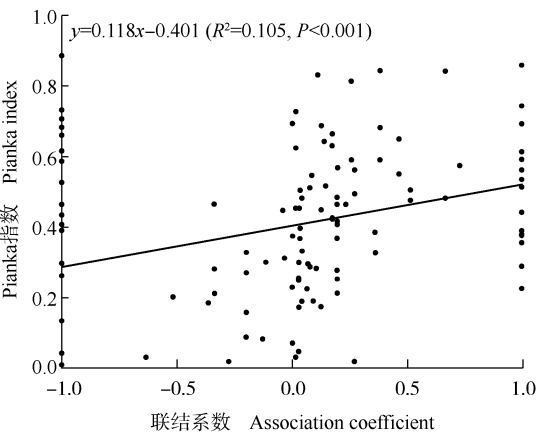
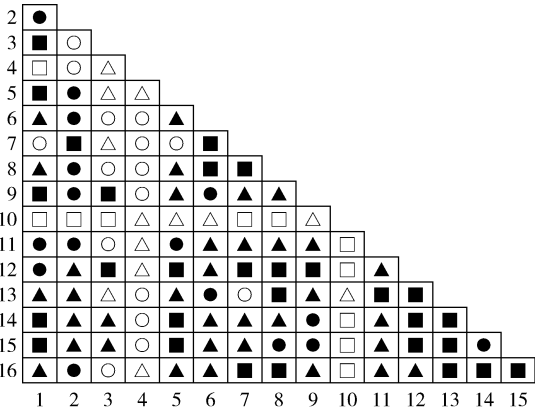


图 4 福建大嵵山岛常绿阔叶林木本植物优势种联结系数与 Pianka 指数和 Schoener 指数的回归分析
Fig. 4 Regression analysis on association coefficient with Pianka index and Schoener index of dominant species of woody plant in evergreen broad-leaved forest in Dayushan Island of Fujian Province

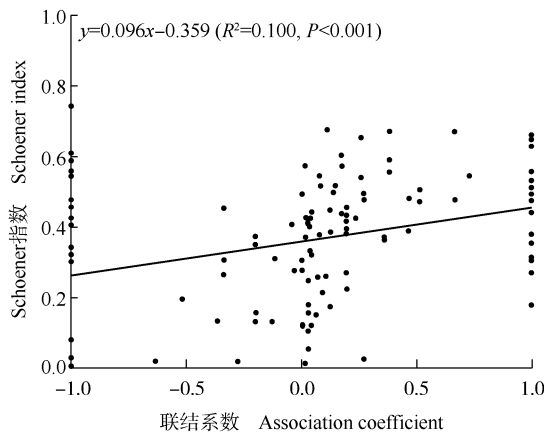
Schoener 指数的回归分析结果(图 4 和图 5)显示: 福建大嵵山岛常绿阔叶林木本植物优势种的联结系数和 Jaccard 指数与 Pianka 指数和 Schoener 指数之间均在 0.001 水平上显著正相关, 即种间联结性越强, 生态位重叠程度和生态位相似性越高。



●: $0.72 \leq JI \leq 1.00$; ▲: $0.58 \leq JI < 0.72$; ■: $0.43 \leq JI < 0.58$; ○: $0.29 \leq JI < 0.43$; △: $0.14 \leq JI < 0.29$; □: $0.00 \leq JI < 0.14$.

1: 樟 *Camphora officinarum* Nees; 2: 鹅掌柴 *Heptapleurum heptaphyllum* (Linn.) Y. F. Deng; 3: 马尾松 *Pinus massoniana* Lamb.; 4: 台湾相思 *Acacia confusa* Merr.; 5: 天仙果 *Ficus erecta* Thunb.; 6: 九节 *Psychotria asiatica* Linn.; 7: 野漆 *Toxicodendron succedaneum* (Linn.) Kuntze; 8: 豺皮樟 *Litsea rotundifolia* var. *oblongifolia* (Nees) C. K. Allen; 9: 野桐 *Mallotus tenuifolius* Pax; 10: 木麻黄 *Casuarina equisetifolia* Linn.; 11: 菝葜 *Smilax china* Linn.; 12: 簕欓花椒 *Zanthoxylum avicennae* (Lam.) DC.; 13: 朴树 *Celtis sinensis* Pers.; 14: 印度野牡丹 *Melastoma malabathricum* Linn.; 15: 梔子 *Gardenia jasminoides* J. Ellis; 16: 鸡屎藤 *Paederia foetida* Linn.

图 3 福建大嵵山岛常绿阔叶林木本植物优势种间 Jaccard 指数 (JI)
Fig. 3 Jaccard index (JI) between dominant species of woody plants in evergreen broad-leaved forest in Dayushan Island of Fujian Province



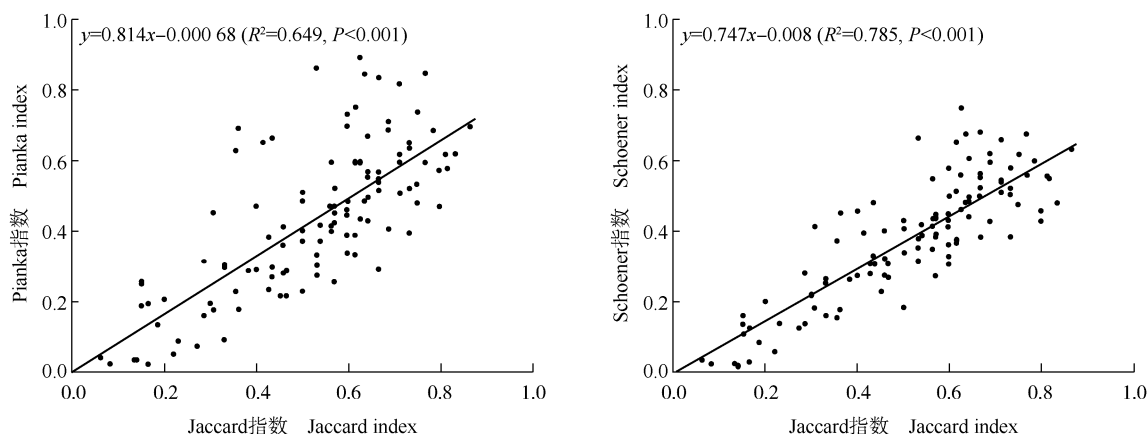


图5 福建大嵵山岛常绿阔叶林木本植物优势种 Jaccard 指数与 Pianka 指数和 Schoener 指数的回归分析
Fig. 5 Regression analysis on Jaccard index with Pianka index and Schoener index of dominant species of woody plant in evergreen broad-leaved forest in Dayushan Island of Fujian Province

3 讨 论

3.1 大嵵山岛木本植物优势种生态位特征

物种重要值越大,说明物种在群落中的地位和优势程度越高;物种生态位宽度越大,表明其利用资源的能力越强,对环境的适应性也越强^[23]。本研究中,樟的重要值和生态位宽度最高,为建群种,在营造群落内部特殊生境和决定群落内物种构成等方面起主导作用,且对群落内资源利用的能力和适应群落小生境的能力都具有显著优势^[24]。本研究发现,重要值与 Levins 指数存在极显著相关性,但与 Shannon-Wiener 指数不存在显著相关性,说明优势种重要值与生态位宽度排序不完全一致^[25-26],例如本研究中台湾相思和马尾松的重要值较大,而其生态位宽度却偏小,根据实地情况判断,台湾相思和马尾松常成片出现或者与樟混交成林,在出现的样地中占据较大优势,但出现频次较少,导致台湾相思和马尾松生态位宽度偏小,说明其对资源利用具有较强的选择性,对环境比较敏感。

生态位重叠和生态位相似性是量化物种之间竞争关系的重要指标^[27]。福建大嵵山岛木本植物优势种的 Pianka 指数和 Schoener 指数主要集中于[0.10, 0.50),说明这些植物对环境资源的需求具有一定相似性^[26]。一般来说,物种生态位宽度越大,与其他物种的生态位重叠程度和生态位相似性越高^[28]。本研究中,生态位宽度最大的樟与其他优势种之间的生态位重叠程度和生态位相似性较高;生态位宽度最小的

木麻黄与其他优势种的生态位重叠程度和生态位相似性极低(Pianka 指数和 Schoener 指数均接近 0),这可能与其生长在特定生境有关,木麻黄多分布于近海岸沙地,在内岛山体上分布较少,因此与其他植物相比资源相似度较低,植物群落结构单一。而生态位宽度与生态位重叠程度和生态位相似性并不存在必然联系^[29]。本研究中,樟和印度野牡丹的生态位宽度均较高,但二者的生态位重叠程度却较低,这可能是由于樟是乔木,而印度野牡丹是灌木,二者对环境资源的利用与适应性有较大差异。已有研究表明植物的生物学特征差异会对种间生态位重叠程度产生影响^[5,30]。大嵵山岛常绿阔叶林木本植物优势种间生态位重叠程度和生态位相似性普遍较低,表明大嵵山岛常绿阔叶林木本植物优势种分布相对独立,种间关系较稳定^[31]。

3.2 大嵵山岛木本植物优势种间联结特征

不同生境条件下的种间相互作用和群落动态可以通过种间联结来反映^[32]。相关研究表明:在正向演替过程中,群落内的物种通过竞争和合作以最大化利用环境资源,群落内物种组成逐渐固定,群落结构更加稳定,最终发展为顶极群落,共存物种间总体趋向于正联结或无联结^[33]。生态习性相似的物种在相同生长环境下通常会聚集成同一群落,物种之间通常互利、互补,呈现显著的正相关;不同生态特征的物种占据不同的生态位,物种之间通常相互排斥、竞争,呈现显著的负相关^[34-36]。本研究采用 χ^2 检验、联结系数和 Jaccard 指数对福建大嵵山岛木本植物优势种间联结显著性和联结强度 2 个方面进行分析。 χ^2 检验

中75个种对呈正联结,41个种对呈负联结,4个种对无联结;联结系数分析结果显示79个种对呈正联结,41个种对呈负联结;正联结种对数大于负联结种对数,说明种对主要呈现互相促进的关系。樟与马尾松、鹅掌柴与马尾松、鹅掌柴与野漆[*Toxicodendron succedaneum* (Linn.) Kuntze]、鹅掌柴与豺皮樟、鹅掌柴与菝葜、鹅掌柴与簕欓花椒、鹅掌柴与印度野牡丹、马尾松与野桐、马尾松与印度野牡丹、马尾松与梔子、九节与簕欓花椒、九节与野漆、野漆与野桐、野漆与菝葜14个种对在 χ^2 检验中均表现为不显著正联结或无联结,而在联结系数分析中均表现为极显著或显著正联结,可能是因为这些物种在同一样方中的频度较小,导致 χ^2 检验难以检测出种间联结。综合 χ^2 检验、联结系数和Jaccard指数分析结果可知,大嵛山岛常绿阔叶林群落正处于相对稳定阶段,接近群落演替中后期。

3.3 大嵛山岛木本植物优势种的种间联结与生态位重叠程度和生态位相似性的关系

种间联结性与生态位重叠程度和生态位相似性紧密相关^[37]。本研究中福建大嵛山岛常绿阔叶林木本植物优势种间联结系数和Jaccard指数与Pianka指数和Schoener指数间均在0.001水平上显著正相关。种对间联结性越强,其生态位重叠程度越高,表明这些物种的环境适应相似度较高^[38-40]。如樟与簕欓花椒、梔子与印度野牡丹等种对呈现较强的正联结,这些种对的生态位相似性和生态位重叠程度均较高。但种对间的联结性不仅与其生态位存在一定相关性,还可能与其分布的频率、环境条件和资源利用能力等有关^[30]。鹅掌柴与野桐、菝葜与九节2个种对呈显著或不显著负联结,其Pianka指数和Schoener指数却较高,即生态位相似性和生态位重叠程度较高。这可能是因为种间负联结成因较复杂,由于环境差异和资源竞争导致的负联结,其种间的生态位重叠程度截然不同^[41]。鹅掌柴与野桐、菝葜与九节等优势种对资源竞争激烈,可能是海岛生境恶劣、资源稀缺所致。

4 结 论

福建大嵛山岛常绿阔叶林木本植物群落中,樟的重要值和生态位宽度最大,拥有较强的资源利用能力和环境适应性,有利于维持群落稳定性和改善群落生

态环境。大嵛山岛常绿阔叶林木本植物优势种间生态位相似性和生态位重叠程度普遍偏低;种间总体呈正联结关系,且联结性较强。目前大嵛山岛常绿阔叶林的群落结构及其物种组成正逐渐完善和稳定,接近群落演替发展的中后期阶段。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 李雨晗,丁彦芬,张畅为.南京外秦淮河优势草本植物生态位和种间联结性研究[J].南京林业大学学报(自然科学版),2023,47(6):203-210.
- [3] 郑俊鸣,李敏,张盟,等.滨海防护林木麻黄和花吊丝竹混交林群落的种间关联和生态位分析[J].热带亚热带植物学报,2021,29(5):465-473.
- [4] 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.
- [5] 张盟,郑俊鸣,万佳艺,等.福建省东门屿优势木本植物的生态位与种间联结[J].森林与环境学报,2022,42(1):11-19.
- [6] 魏凯,郑建忠,杨铭,等.平潭光幼屿典型植物群落优势种生态位特征[J].森林与环境学报,2020,40(3):290-297.
- [7] 马晓迪,姜德刚,刘子琳,等.平潭岛台湾相思群落优势种群生态位研究[J].热带作物学报,2022,43(12):2614-2625.
- [8] HU G, JIN Y, LIU J L, et al. Functional diversity versus species diversity: relationships with habitat heterogeneity at multiple scales in a subtropical evergreen broad-leaved forest [J]. Ecological Research, 2014, 29(5): 897-903.
- [9] 陈晓熹,李群,黄久香,等.翁源青山山自然保护区亚热带常绿阔叶林群落结构和区系特征[J].林业科学研究,2020,33(5):77-85.
- [10] 李坚锋.庐山常绿阔叶林种间关联与生态位特征[D].南昌:江西农业大学,2023:8.
- [11] 曾思炎.嵛山岛:海上天湖、南国北疆[J].地理教学,2021(12):2,65.
- [12] 林业宇.闽东大嵛山岛生物防火林带建设研究[J].农业与技术,2020,40(18):77-79.
- [13] 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.
- [14] 肖集泓,熊宽洪,陈越琳,等.福建琅岐岛台湾相思群落灌木层主要物种生态位与种间联结[J].热带亚热带植物学报,2023,31(6):805-815.
- [15] 林勇,艾训儒,姚兰,等.木林子自然保护区不同群落类型主要优势种群的生态位研究[J].自然资源学报,2017,32(2):223-234.
- [16] PIANKA E R. The structure of lizard communities[J]. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 1973, 4(1): 53-74.
- [17] SCHOENER T W. Resource partitioning in ecological communities [J]. Science, 1974, 185(4145): 27-39.

- [18] SCHLUTER D. A variance test for detecting species associations, with some example applications [J]. *Ecology*, 1984, 65(3): 998–1005.
- [19] 李锦婷, 穆君, 申开平, 等. 小黄花茶群落优势木本植物生态位与种间联结性[J]. *生态学报*, 2024, 44(1): 283–294.
- [20] 罗敏贤, 林碧华, 陈绪辉, 等. 福建龟山伞花木所在群落乔灌木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.
- [21] 郭忠玲, 马元丹, 郑金萍, 等. 长白山落叶阔叶混交林的物种多样性、种群空间分布格局及种间关联性研究[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(11): 2013–2018.
- [22] 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.
- [23] 李一凡, 甘先华, 张卫强, 等. 深圳市盐田区森林群落优势种生态位特征[J]. *中国水土保持科学*, 2020, 18(5): 144–151.
- [24] 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.
- [25] 薛卫星, 李春辉, 艾训儒, 等. 鹅掌楸天然林优势树种生态位与种间联结性[J]. *森林与环境学报*, 2023, 43(1): 26–34.
- [26] 何江, 徐来仙, 艾训儒. 湖北七姊妹山亚热带常绿阔叶混交林主要木本植物的生态位与种间联结[J]. *林业科学研究*, 2023, 36(3): 138–148.
- [27] 赵阳, 曹家豪, 李波, 等. 洮河自然保护区大峪沟林区紫果云杉群落木本植物种群生态位特征[J]. *生态学报*, 2022, 42(5): 1865–1875.
- [28] 铁军, 李燕芬, 金山, 等. 山西历山国家级自然保护区猕猴栖息地优势树种生态位特征[J]. *生态学杂志*, 2015, 34(3): 634–641.
- [29] 杨新东, 陈流保, 曾献兴, 等. 广东翁源青山自然保护区森林群落优势树种的生态位特征[J]. *热带亚热带植物学报*, 2020, 28(6): 565–573.
- [30] 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.
- [31] 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: 20190369.
- [32] TIAN Z Q, LI H C, LI W Y, et al. Structural characteristics and niches of dominant tree populations in *Tetracentron sinense* communities: implications for conservation [J]. *Botanical Sciences*, 2018, 96(2): 157–167.
- [33] 张明霞, 王得祥, 康冰, 等. 秦岭华山松天然次生林优势种群的种间联结性[J]. *林业科学*, 2015, 51(1): 12–21.
- [34] 农友, 郑路, 贾宏炎, 等. 广西大青山南亚热带森林植物群落的种间联结性[J]. *广西植物*, 2016, 36(7): 848–858.
- [35] 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.
- [36] 江常春, 梁希妮, 田磊, 等. 浙江省常绿阔叶林优势树种种间联结分析[J]. *浙江师范大学学报(自然科学版)*, 2022, 45(4): 437–445.
- [37] 张东梅, 赵文智, 罗维成. 荒漠草原带盐碱地优势植物生态位与种间联结[J]. *生态学杂志*, 2018, 37(5): 1307–1315.
- [38] 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.
- [39] 李帅锋, 刘万德, 苏建荣, 等. 季风常绿阔叶林不同恢复阶段乔木优势种群生态位和种间联结[J]. *生态学杂志*, 2011, 30(3): 508–515.
- [40] 康冰. 广西大青山退化森林植被特征及生态恢复研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007: 5.
- [41] 陈旭. 长白山哈泥泥炭地七种苔藓植物种间联结和生态位研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2008: 24.

(责任编辑: 吴蕊夷)