



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

肖集泓, 熊宽洪, 陈越琳, 王春晓, 江怡萱, 李媚, 邓传远

引用本文:

肖集泓,熊宽洪,陈越琳,王春晓,江怡萱,李媚,邓传远. 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.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4687>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[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](#)

Interspecific Association and Niche of Mixed Forest Communities of *Casuarina equisetifolia* and *Dendrocalamus minor* var. *amoenus* in the Windbreak of Sandy Coast

热带亚热带植物学报. 2021, 29(5): 465–473 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4346>

[黔中喀斯特次生林主要物种的生态位及种间联结性动态变化](#)

Dynamic Changes in Niche and Interspecific Association of Major Species of Karst Secondary Forest in Central Guizhou

热带亚热带植物学报. 2021, 29(1): 9–19 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4252>

[广东翁源青云山自然保护区森林群落优势树种的生态位特征](#)

Niche Characteristics of Dominant Species of Forest Community in Qingyunshan Natural Reserve, Wengyuan, Guangdong Province

热带亚热带植物学报. 2020, 28(6): 565–573 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4214>

[舟山群岛次生林优势种群的生态位与种间联结](#)

Niche and Interspecific Association of Dominant Species in Secondary Forest of Zhoushan Islands

热带亚热带植物学报. 2017, 25(1): 73–80 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3620>

[广州红锥-马占相思林物种组成与多样性研究](#)

Studies on Species Composition and Diversity of *Castanopsis hystrix*-*Acacia mangium* Mixed Forest in Guangzhou

热带亚热带植物学报. 2021, 29(5): 494–502 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4361>

[向下翻页，浏览PDF全文](#)

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

肖集泓, 熊宽洪, 陈越琳, 王春晓, 江怡萱, 李媚, 邓传远*

(福建农林大学园林学院, 福州 350002)

摘要: 为探究福建琅岐岛台湾相思(*Acacia confusa*)群落种间关系和群落演替动态, 对其灌木层主要物种的生态位和种间联结特征进行了分析。结果表明, 重要值和生态位宽度最大的物种为雀梅藤(*Sageretia thea*), 其竞争优势、环境适应能力最强; 灌木层主要物种的生态位相似性和生态位重叠较小, 表明种间对环境资源的利用和要求存在较大差异, 表现为较稳定的种间关系; 灌木层主要物种的总体联结性为显著正联结, 种对间正负联结比为 1.72, 检验显著率为 7.35%, 表明种对间联结程度较弱, 独立性相对较强, 物种竞争不激烈, 群落处于相对后期且稳定的演替阶段; 红锥(*Castanopsis hystrix*)与许多物种间存在垂直方向上对生境要求的互补性, 生态位重叠较小, 种间呈正联结关系; 外来物种马缨丹(*Lantana camara*)与福建胡颓子(*Elaeagnus oldhamii*)存在一定的竞争, 与灌木层其他主要植物之间的资源竞争不激烈, 其对该群落的影响相对较小。琅岐岛台湾相思群落目前已发展为地带性的顶级群落, 物种竞争不激烈, 种间关系较稳定; 而海岛上恶劣的环境和外来物种的扩散会导致植物生境资源短缺, 迫使物种聚集在同一生境中共存, 使植物对环境的利用程度减弱, 因此需要加强控制外来物种数量并改善海岛生态环境, 以维持海岛群落稳定发展。

关键词: 琅岐岛; 台湾相思群落; 灌木层; 生态位; 种间联结

doi: 10.11926/jtsb.4687

Niche and Interspecific Association of Main Species in Shrub Layer of *Acacia confusa* Community in Langqi Island, Fujian Province

XIAO Jihong, XIONG Kuanhong, CHEN Yuelin, WANG Chunxiao, JIANG Yixuan, LI Mei, DENG Chuanyuan*

(College of Landscape Architecture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: The niche and interspecific association of main shrub species in *Acacia confusa* community in Langqi Island of Fujian Province were analyzed to explore the interspecific relationship and succession dynamics of the community. The results showed that *Sageretia thea* had the largest importance value and niche breadth, and had the strongest competitive advantage and environmental adaptability. The niche similarity and niche overlap of the main species in the shrub layer were small, indicating that there were great differences in the utilization and requirements of environmental resources among the species, showing a relatively stable interspecific relationship. The overall association of the main species in the shrub layer was significant positive association, the positive and negative association ratio between species was 1.72, and the significant rate was 7.35%, indicating that the degree of association between species was weak, the independence was relatively strong, and the species competition was

收稿日期: 2022-06-14 接受日期: 2022-08-09

基金项目: 海洋公益性行业科研专项(201505009); 福建省区域发展科技项目计划(2018Y3006); 福建农林大学科技创新专项(CXZX2019086)资助
This work was supported by Grants from the Special Project for Scientific Research of Marine Public Welfare Industry (Grant No. 201505009), the Project for Science and Technology Plan for Regional Development of Fujian (Grant No. 2018Y3006), the Special Project for Science and Technology Innovation of Fujian Agriculture and Forestry University (Grant No. CXZX2019086).

作者简介: 肖集泓(1998年生), 男, 研究生, 研究方向为海岛植物资源应用。E-mail: 1462148878@qq.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dengchuanyuan@fafu.edu.cn

not fierce. The community was in a relatively late and stable succession state. There is vertical complementarity between *Castanopsis hystrix* and many other species, the niche overlap was small, and the interspecific association was positive. The alien species *Lantana camara* competed with *Elaeagnus oldhamii* to some extent, and the competition between *Lantana camara* and other main shrub plants was less intense, so its impact on the community was relatively small. The *Acacia confusa* community in Langqi Island had developed into a zonal climax community, the species competition is not intense, and the interspecific relationship is stable. The harsh environment and the spread of alien species on the island will lead to the shortage of plant habitat resources, forcing species to gather in the same habitat coexistence, so that the degree of plant utilization of the environment is weakened. Therefore, it was necessary to control the number of alien species and improve the ecological environment of islands in order to maintain the stable development of island communities.

Key words: Langqi Island; *Acacia confusa* community; Shrub layer; Niche; Interspecific association

研究群落的生态位和种间联结, 可以了解群落的演替和种间关系, 其对于植被的恢复、建设及物种多样性的保护等也具有重要的指导作用和意义^[1-2]。海岛区域特殊, 生态系统相对独立^[3], 由于风害的干扰和土壤的贫瘠, 造成生态环境非常敏感和脆弱。近年来, 学者们多关注内陆地区的生态位和种间联结的研究, 对岛屿区域的相关研究较少^[4-5], 特别是对内海岛屿的相关研究较为缺乏。内、外海岛屿间的生境、群落物种组成之间有较大不同, 研究结果也会有较大差异。本研究地琅岐岛属内海岛屿^[6], 对其进行生态位和种间联结相关研究可以弥补内海岛屿相关研究的空缺。目前, 海岛旅游经济的发展受到国家和地方政府的高度重视, 福州市政府拟将琅岐岛建设成为国际生态旅游岛^[7], 然而因风沙灾害及土壤盐渍化的影响, 琅岐岛植物的生存环境恶劣^[8], 植物景观等问题制约了当地旅游业的发展。而人工林有调节气候、防风固沙和维护生物多样性等效, 在维护海岛生态系统稳定中起着重要的作用^[9], 琅岐岛未来的开发离不开建设海岛人工林。对琅岐岛植物群落中主要物种的生态位与种间联结进行分析, 探讨其植被的组成和结构特征, 对琅岐岛未来的人工林建设具有重要意义。

台湾相思(*Acacia confusa*)极抗风且树形优美, 是闽东南海岛分布最广的防风与绿化景观树种^[10]。台湾相思在琅岐岛分布极广、数量极多, 是琅岐岛的主要优势树种, 对维持琅岐岛生态系统稳定具有重要意义, 可作为琅岐岛人工林的重点建设植物。现有台湾相思林主要为次生林^[11], 其乔木层物种单一, 但林下植被相对丰富。灌木层位于草本层与乔木层之间, 是连接草本和乔木层的纽带, 其替代和联结作用不容忽视^[12]。研究琅岐岛台湾相思群落灌

木层物种的生态位和种间关联, 对今后相关人工林的建设具有重要意义和价值。因此, 本研究选取琅岐岛台湾相思群落灌木层的主要树种为研究对象, 在样方调查基础上, 对其生态位和种间联结进行分析, 以揭示琅岐岛台湾相思群落灌木层主要物种的种间关系特征, 为琅岐岛台湾相思群落的生物多样性保护和人工林建设提供参考。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

琅岐岛位于福州马尾区, 总面积 94 km², 陆地面积 55 km², 属亚热带海洋性季风气候, 年平均气温 19.3 °C, 平均每年受台风影响 2~3 次, 最大风力可达 12 级^[8,13]。研究区域内台湾相思群落乔木层种类最少, 以台湾相思为建群种, 伴生种主要为朴树(*Celtis sinensis*)和鹅掌柴(*Schefflera heptaphylla*)等, 灌木层主要为雀梅藤(*Sageretia thea*)和杠香藤(*Mallotus repandus* var. *chrysocarpus*)等, 草本层主要为火炭母(*Polygonum chinense*)和求米草(*Oplismenus undulatifolius*)等。

1.2 群落调查

本研究基于海岛地形、地图影像、森林群落分布及可达性等因素, 在干扰小, 距离林缘大于 30 m, 林龄达成熟林, 郁闭度大于 70% 的区域选择具有代表性的台湾相思群落, 共建立了 14 个 20 m×20 m 的样方, 其中, 茶亭山(C)、鼓尾山(G)、牛岭山(N)、九龙山(J)、孟洋山(M)、南山尾(W)和凤窝(F)的样方个数分别为 5、3、2、1、1、1 和 1 个(表 1), 每个样方四角各设置 1 个 5 m×5 m 的灌木样方。记录种名、株数、高度、冠幅等, 即 56 个灌木样方内所有灌木

(包括胸径 ≤ 3 cm 且树高 ≤ 3 m 的乔木幼树)的相关信息。记录海拔、坡位、坡向、坡度、经纬度等立地因

子。这些样方海拔跨度为 17~152 m, 坡度为 3° ~ 45° , 且几乎包含各种坡向、坡位等生境类型(表 1)。

表 1 琅岐岛台湾相思群落样方基础信息

Table 1 Basic information of *Acacia confusa* community sample square in Langqi Island

样方号 Quadrat No.	经度 (E) Longitude	纬度 (N) Latitude	海拔 Altitude (m)	坡度 Slope ($^{\circ}$)	坡向 Aspect	坡位 Slope position
C1	119°38'17"	26°04'59"	38	20	南 South	下 Low
C2	119°38'09"	26°05'01"	45	15	南 South	中 Middle
C3	119°38'07"	26°05'04"	86	25	东 East	中 Middle
C4	119°37'52"	26°05'09"	118	17	北 North	上 Up
C5	119°37'37"	26°04'59"	66	19	西 West	中 Middle
G1	119°38'29"	26°04'08"	66	30	东 East	中 Middle
G2	119°38'27"	26°04'09"	79	20	北 North	上 Up
G3	119°38'06"	26°04'21"	75	8	东南 South east	中 Middle
N1	119°37'08"	26°04'44"	91	18	东北 North east	中 Middle
N2	119°36'37"	26°04'44"	17	21	北 North	下 Low
J	119°35'05"	26°06'07"	110	45	西南 South west	上 Up
M	119°37'01"	26°06'52"	61	25	东南 South east	上 Up
W	119°36'00"	26°06'58"	152	35	东 East	上 Up
F	119°35'35"	26°07'47"	87	3	东北 North east	中 Middle

C: 茶亭山; G: 鼓尾山; N: 牛岭山; J: 九龙山; M: 孟洋山; W: 南山尾; F: 凤窝。

C: Chatingshan; G: Guweishan; N: Niulingshan; J: Jiulongshan; M: Mengyangshan; W: Nanshanwei; F: Fengwo.

1.3 相关计算

植物优势程度以重要值作为指标^[14-15]: 重要值=(相对多度+相对盖度+相对频度)/3。

以各样方和重要值分别作为不同的资源位和物种资源利用状态, 对重要值 >2 的物种进行生态位和种间联结分析^[5]。生态位宽度使用 Levins 指数(B_L)和 Shannon 指数(B_S)计算。生态位相似性和生态重叠分别使用 Schoener 生态位相似性指数(C_{ik})和 Pianka 生态位重叠指数(O_{ik})测定^[15]。

总体联结性测定使用方差比例法(VR)^[16], 以统计量 W 检验其显著性^[17-18]。

种间联结性以 Yates 连续校正公式纠正的 χ^2 统计量进行定性研究^[15], 结合联结系数(association coefficient, A_C)、Jaccard 指数(J_A)、Dice 指数(D_I)和 Ochiai 指数(O_I)定量分析^[5,19]。

2 结果和分析

2.1 重要值特征

琅岐岛 56 个灌木样方中共计有 82 种植物, 根据重要值进行降序排序(表 2), 灌木层植物重要值大于 0.02 的有 17 种, 雀梅藤的相对多度和相对频度

最大, 红锥(*Castanopsis hystrix*)相对盖度最大。雀梅藤是重要值最高的物种, 杠香藤、马缨丹(*Lantana camara*)和两面针(*Zanthoxylum nitidum*)是重要值较高的物种, 表明雀梅藤、杠香藤、马缨丹和两面针是琅岐岛台湾相思群落林下灌木层植物的主要优势种。

2.2 生态位特征

由表 2 可知, B_L 指数与 B_S 指数分别为 1.68~21.34 和 0.35~2.72。雀梅藤生态位宽度最大; 红锥的 B_L 最小; 球花脚骨脆(*Casearia glomerata*)的 B_S 最小。两种生态位宽度的排序结果基本一致。

由表 3 可知, 台湾相思群落灌木层物种的生态位相似性(C_{ik})最大的是杠香藤-红锥(0.67); 生态位重叠指数(O_{ik})最大的是蓬蘽(*Rubus hirsutus*)-鹅掌柴(0.58)。 C_{ik} 和 $O_{ik} \geq 0.50$ 的种对分别有 1 和 3 对, 占总对数的 0.74%和 2.21%; C_{ik} 和 O_{ik} 在 0.10~0.50 之间的种对都为 78 对, 各占总对数的 57.35%; C_{ik} 和 $O_{ik} < 0.10$ 的种对分别有 57 和 55 对, 占总对数的 41.91%和 40.44%。 C_{ik} 和 $O_{ik} \geq 0.50$ 的种对有杠香藤-红锥、蓬蘽-鹅掌柴、雀梅藤-九里香(*Murraya exotica*)、杠香藤-朴树(*Celtis sinensis*), 除红锥外的物种生态位宽度都比较大, 而 C_{ik} 和 O_{ik} 为 0 的种对基本出现

表 2 琅岐岛台湾相思群落林下灌木层主要物种重要值和生态位宽度

Table 2 Importance values and niche breadth of main shrub species in *Acacia confusa* community in Langqi Island

编号 No.	植物 Species	相对多度 Relative abundance	相对盖度 Relative coverage	相对频度 Relative frequency	重要值 Importance value	Levins 指数 Levins index (B_L)	Shannon 指数 Shannon index (B_S)
1	雀梅藤 <i>Sageretia thea</i>	0.120	0.013	0.062	0.065	21.34	2.72
2	杠香藤 <i>Mallotus repandus</i> var. <i>chrysocarpus</i>	0.073	0.007	0.060	0.047	18.06	2.46
3	马缨丹 <i>Lantana camara</i>	0.067	0.038	0.034	0.046	11.88	2.28
4	两面针 <i>Zanthoxylum nitidum</i>	0.077	0.003	0.052	0.044	17.46	2.37
5	菝葜 <i>Smilax china</i>	0.054	0.009	0.048	0.037	13.94	2.03
6	红锥 <i>Castanopsis hystrix</i>	0.002	0.106	0.004	0.037	1.68	0.39
7	山莓 <i>Rubus corchorifolius</i>	0.057	0.006	0.039	0.034	11.47	1.91
8	福建胡颓子 <i>Elaeagnus oldhamii</i>	0.037	0.013	0.047	0.032	13.89	2.06
9	蓬蘽 <i>Rubus hirsutus</i>	0.058	0.003	0.032	0.031	9.38	1.91
10	朴树 <i>Celtis sinensis</i>	0.026	0.015	0.050	0.030	18.92	2.68
11	白箭 <i>Eleutherococcus trifoliatus</i>	0.047	0.006	0.021	0.025	6.73	1.53
12	白檀 <i>Symplocos paniculata</i>	0.002	0.060	0.007	0.023	3.16	1.01
13	九里香 <i>Murraya exotica</i>	0.030	0.007	0.030	0.022	9.20	1.75
14	鹅掌柴 <i>Schefflera heptaphylla</i>	0.019	0.009	0.037	0.022	14.39	2.30
15	南烛 <i>Vaccinium bracteatum</i>	0.002	0.053	0.007	0.021	2.63	0.75
16	豺皮樟 <i>Litsea rotundifolia</i> var. <i>oblongifolia</i>	0.020	0.017	0.026	0.021	9.55	1.92
17	球花脚骨脆 <i>Casearia glomerata</i>	0.002	0.053	0.005	0.020	1.87	0.35

表 3 琅岐岛台湾相思群落林下灌木层生态位相似性指数(左下)和生态位重叠指数(右上)

Table 3 Niche similarity index (left lower) and niche overlap index (right upper) of shrub layer in *Acacia confusa* community in Langqi Island

编号 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1		0.40	0.19	0.44	0.24	0.07	0.19	0.28	0.14	0.42	0.09	0.15	0.56	0.14	0.14	0.30	0.08
2	0.45		0.22	0.27	0.27	0.02	0.09	0.19	0.03	0.53	0.09	0.04	0.36	0.11	0.04	0.16	0.01
3	0.17	0.26		0.27	0.10	0.04	0.04	0.34	0.01	0.19	0.05	0.00	0.12	0.05	0.00	0.02	0.01
4	0.42	0.30	0.21		0.30	0.09	0.20	0.25	0.23	0.28	0.23	0.15	0.22	0.31	0.12	0.26	0.23
5	0.28	0.29	0.11	0.33		0.07	0.38	0.22	0.09	0.25	0.24	0.18	0.16	0.19	0.20	0.17	0.07
6	0.03	0.67	0.03	0.04	0.02		0.07	0.12	0.04	0.08	0.00	0.00	0.10	0.20	0.00	0.06	0.00
7	0.19	0.15	0.07	0.31	0.38	0.02		0.11	0.26	0.14	0.32	0.06	0.13	0.28	0.27	0.10	0.18
8	0.34	0.23	0.29	0.33	0.32	0.07	0.21		0.12	0.34	0.10	0.12	0.04	0.13	0.08	0.14	0.11
9	0.19	0.06	0.03	0.19	0.14	0.01	0.28	0.22		0.04	0.03	0.05	0.02	0.58	0.07	0.20	0.08
10	0.37	0.44	0.17	0.27	0.31	0.03	0.20	0.37	0.08		0.06	0.00	0.36	0.18	0.03	0.34	0.04
11	0.10	0.11	0.07	0.20	0.26	0.00	0.30	0.13	0.05	0.09		0.39	0.11	0.32	0.10	0.01	0.08
12	0.12	0.03	0.00	0.10	0.09	0.00	0.04	0.12	0.06	0.00	0.26		0.12	0.07	0.00	0.35	0.00
13	0.33	0.33	0.14	0.26	0.25	0.04	0.24	0.10	0.07	0.23	0.20	0.09		0.06	0.13	0.10	0.02
14	0.17	0.17	0.08	0.31	0.26	0.06	0.38	0.15	0.43	0.21	0.29	0.03	0.11		0.01	0.33	0.04
15	0.07	0.03	0.00	0.06	0.10	0.00	0.17	0.06	0.03	0.05	0.06	0.00	0.06	0.03		0.16	0.00
16	0.30	0.19	0.03	0.32	0.20	0.06	0.16	0.21	0.20	0.24	0.03	0.19	0.14	0.24	0.20		0.00
17	0.03	0.01	0.02	0.07	0.10	0.00	0.20	0.03	0.03	0.04	0.16	0.00	0.03	0.05	0.00	0.00	

1~17 见表 2。下同

1-17 see Table 2. The same below

在生态位排位靠后的物种间。

2.3 总体联结性

经计算, $VR=1.92>1$, 表明琅岐岛台湾相思群落灌木层主要物种间总体呈正联结关系; 查表后得出 $\chi^2_{0.95(14)}=6.57$, $\chi^2_{0.05(14)}=23.68$, 检验统计量 $W=107.27$, 不在 $\chi^2_{0.95(14)}<W<\chi^2_{0.05(14)}$ 临界值区间内。结果表明,

琅岐岛台湾相思群落灌木层主要物种间呈显著正联结。

2.4 主要种对间的联结性

琅岐岛台湾相思群落林下灌木主要种对间的联结性检验结果如图 1 和表 4。从联结系数 A_C 结果可以看出, 在 136 个种对中, 86 个种对呈正关联, 占

总对数的 63.24%，正负联结比为 1.72，表明种对间正联结占据相对优势地位。结合表 5 可知，呈极显著、显著和不显著正联结的种对分别有 0、8 和 80 对，负联结的种对分别有 0、2 和 48 对。其中两面针-山莓 (*Rubus corchorifolius*)、两面针-豺皮樟 (*Litsea rotundifolia* var. *oblongifolia*)、菝葜 (*Smilax china*)-山莓、山

莓-蓬蘽、山莓-白筋 (*Eleutherococcus trifoliatus*)、山莓-九里香、山莓-鹅掌柴和蓬蘽-鹅掌柴呈显著正联结关系，杠香藤-蓬蘽和马缨丹-鹅掌柴呈显著负联结。检验显著率为 7.35%，表明各物种呈独立分布格局。

从联结系数 (A_c) 结果看，雀梅藤-红锥、雀梅藤-南烛 (*Vaccinium bracteatum*)、两面针-红锥、菝葜-

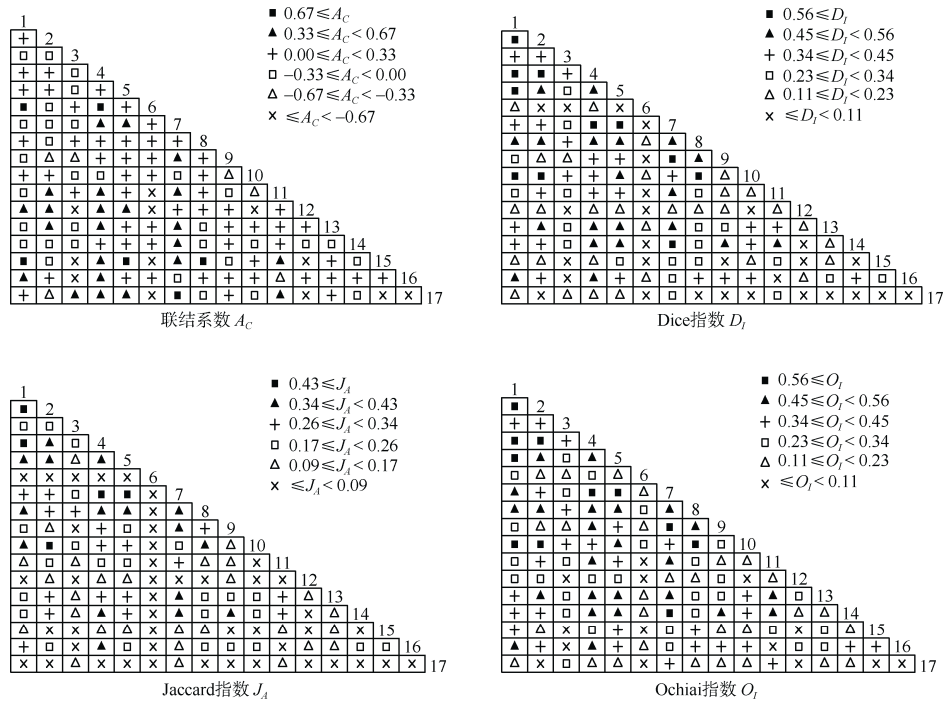


图 1 琅岐岛台湾相思群落灌木层主要物种间联结性检验半矩阵图

Fig. 1 Semi-matrix diagram of the main species in shrub layer of *Acacia confusa* community in Langqi Island

表 4 琅岐岛台湾相思群落灌木层主要物种的 χ^2 统计量检验

Table 4 χ^2 correlation test of main species in shrub layer of *Acacia confusa* community in Langqi Island

编号 No.	χ^2																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
2	2.10																
3	0.41	0.21															
4	2.66	0.66	0.08														
5	0.25	0.04	1.14	0.65													
6	0.22	0.27	0.05	0.52	0.38												
7	0.04	0.08	0.22	4.88	6.91	0.14											
8	0.18	0.01	0.07	0.29	1.04	0.77	1.39										
9	0.80	6.13	3.40	0.34	0.05	0.03	6.13	1.25									
10	0.10	0.97	0.01	0.29	0.00	0.60	0.12	1.73	2.46								
11	0.00	0.68	0.00	1.81	0.88	0.04	5.50	0.08	0.01	1.47							
12	0.02	0.05	0.76	0.27	0.45	1.00	0.00	0.09	0.10	2.20	0.14						
13	0.00	1.99	0.17	2.19	1.51	0.01	4.57	0.15	0.05	0.02	3.08	0.17					
14	0.53	0.00	0.31	1.94	0.46	0.10	5.31	0.64	4.32	0.41	1.22	0.01	0.56				
15	1.45	0.05	0.76	0.27	2.92	1.00	1.15	3.20	0.10	0.20	0.87	0.19	0.17	0.01			
16	1.99	0.10	3.93	4.67	0.38	0.00	0.03	0.60	0.70	0.21	0.94	0.36	0.12	0.10	3.23		
17	0.08	0.07	0.46	0.00	0.02	1.58	2.84	0.04	0.28	0.00	1.85	0.43	0.22	0.28	0.43	0.12	

南烛、山莓-球花脚骨脆和福建胡颓子(*Elaeagnus oldhamii*)-南烛 6 对 $A_C \geq 0.67$, 表现为较强的正联结, 但 χ^2 均表现为不显著联结。从 J_A 、 D_I 和 O_I 的结果看, 雀梅藤-杠香藤、雀梅藤-两面针、雀梅藤-菝葜、雀梅藤-朴树、杠香藤-两面针、杠香藤-朴树和福建胡颓子-朴树 7 对的 $J_A \geq 0.43$ 或 $D_I \geq 0.56$ 或 $O_I \geq 0.56$, 表现为较强的正联结, 但其 $0 \leq A_C < 0.33$, 表现为较弱的正联结, 且其 χ^2 均表现为不显著联结。

2.5 相关回归分析

如图 2 所示, 琅岐岛台湾相思群落灌木层主要物种间的生态位相似性和生态位重叠与 A_C 、 J_A 、 D_I 和 O_I 均呈极显著正相关($P < 0.001$)。种间联结系数越大, 生态位相似性和生态位重叠也越大。

3 结论和讨论

3.1 灌木层主要物种生态位特征

生态位宽度是反映植物种群生态适应性及其利用环境资源能力的重要指标^[20]。在琅岐岛台湾相思群落灌木层植物中, 雀梅藤、朴树、杠香藤、两面针等物种的生态位宽度较大, 说明其具有较强的资源利用能力和环境适应性, 分布较广, 是琅岐岛台湾相思群落灌木层的优势种, 能够维持群落的稳定。而红锥、球花脚骨脆等生态位宽度较窄的物种, 在琅岐岛台湾相思群落中的空间分布不均匀, 该群落的生境较难使其适应和生长, 在群落的发展中容易被淘汰, 会一定程度降低该群落的多样性和海岛植被的丰富度; 且大量研究认为植物群落物种多样性在一定程度上促进了群落的稳定性^[21-22]。因此, 有必要对这些物种所适应的环境进行一定的管理及保护, 防止这些物种在该群落消失, 进而影响该群落的稳定性。

研究表明, 重要值越大(小), 生态位宽度未必越大(小)。如红锥, 重要值排第 6, 两个生态位宽度却排在最后。原因可能是红锥为高可达 25 m 的乔木树种, 其相对盖度较大, 使其重要值增大; 而琅岐岛红锥数量较少, 其又为壳斗科(*Fagaceae*)植物, 种子要广泛传播入台湾相思群落需要动物的介入, 且红锥树体的增长需要更多的光强^[23], 本研究选取 70%郁闭度以上的台湾相思群落林下环境很可能不适合红锥的长期生长, 所以红锥的相对多度和频度

较低, 生态位宽度较小。又如重要值排第 10 的朴树, 生态位宽度却仅次于雀梅藤, 排在第二。其相对频度较高, 生态位宽度较大, 分布较广, 原因可能是琅岐岛朴树分布较广, 其种子相对较小, 风媒^[24]使其能够广泛传播到台湾相思群落中; 且朴树为喜光树种, 郁闭度过高的林下环境可能抑制了其生长, 导致其相对多度和相对盖度较低, 使得重要值减小。表明生态位宽度的大小与其分布的频度呈正相关性^[25]。

生态相似性可以用于判断物种间是否存在竞争及群落是否稳定^[26]。生态位重叠程度越大, 物种间的生活型和对环境资源的生态需求越相似, 竞争可能越激烈^[27-28]。本研究中, 生态位相似性和生态位重叠指数大于 0.50 的种对物种中, 除红锥外, 生态位宽度都比较大; 生态位相似性和生态位重叠指数为 0 的种对基本出现在生态位排位靠后的物种间, 如红锥、球花脚骨脆与其他种之间, 因为生态位宽度与生态位相似性和生态位重叠指数具有一定的正相关^[27-28]。杠香藤和红锥生态位相似性最大, 为 0.67, 生态位重叠指数却只有 0.02, 虽然生态位相似程度最大, 但是因为红锥为高大直立乔木树种, 与攀援灌木树种杠香藤的生活型差异较大, 且实际调查中发现样方中红锥平均高度 1.8 m, 杠香藤平均高度 0.7 m, 两者形成垂直方向上利用资源方式的互补^[29], 所以导致其生态位重叠指数较小, 说明生态位重叠指数的大小可能受种间生活型差异、利用资源的差异和其他因素的影响。刘润红等^[30]的研究也表明物种的生物学特征差异也会影响种间生态位重叠指数的大小。琅岐岛台湾相思灌木层主要物种生态位相似性和生态位重叠程度普遍较低, 表明其灌木层主要物种对环境资源的利用和要求差异较大, 物种分布较独立, 种间关系较稳定^[30]。琅岐岛台湾相思群落属于亚热带植物群落, 按照演替规律其植被演替方向为灌草丛-针叶林-针阔混交林-常绿阔叶林^[31]。从总体联结结果来看, 目前, 本研究样方接近或已经演替为该群落最顶级的常绿阔叶林, 而演替至顶级群落种间竞争就会减少^[4,32-33]。

3.2 灌木层主要物种种间联结特征

种间联结反映了物种间的相互影响和群落动态, 总体联结体现了群落演替的进程及其稳定性^[34]。琅岐岛台湾相思群落灌木层主要物种间的总体联

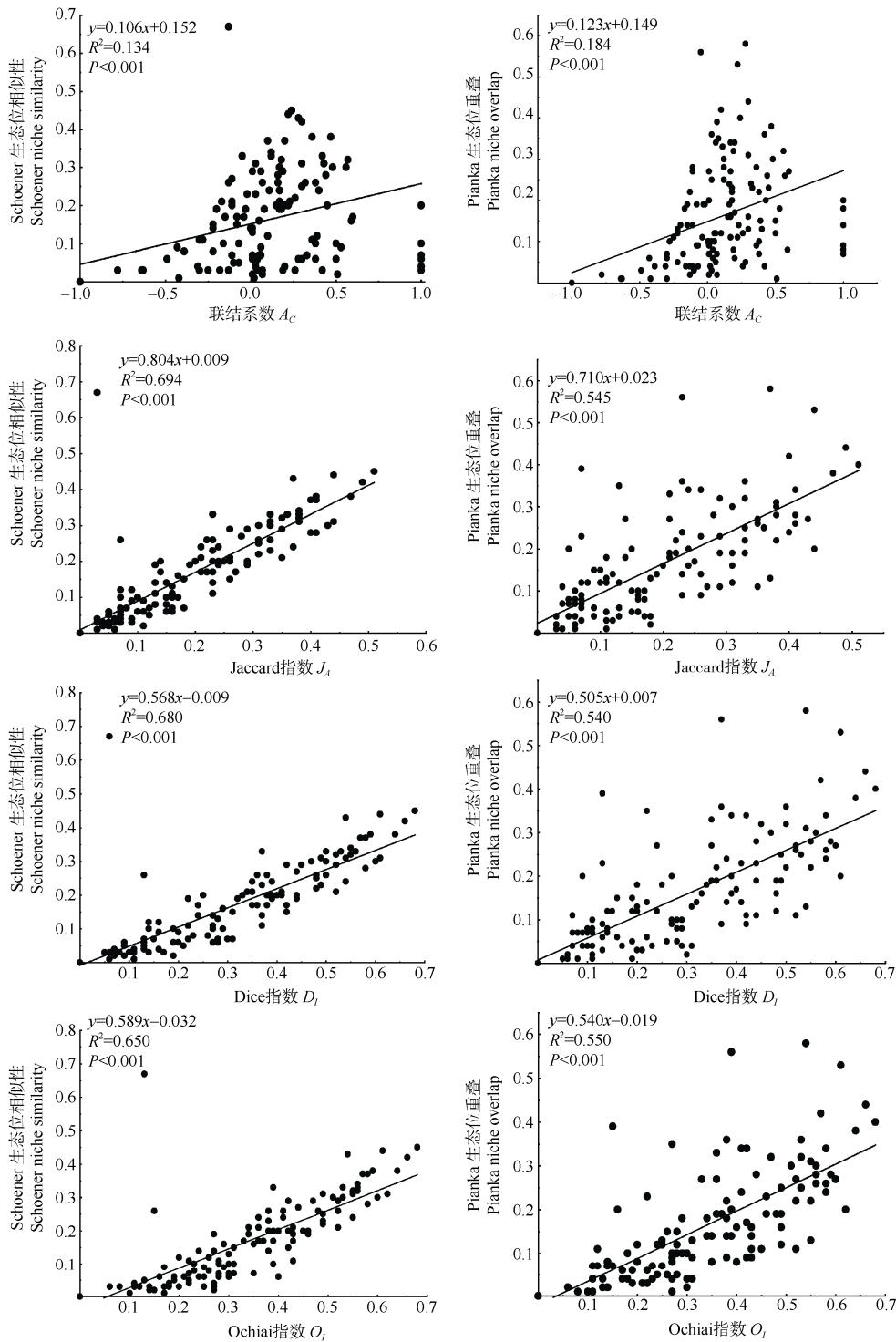


图 2 琅岐岛台湾相思群落灌木层主要物种间联结系数与生态位相似性和生态位重叠指数的回归分析

Fig. 2 Regression analysis between the interspecific correlation indexes and niche similarity and niche overlap among main species in shrub layer of *Acacia confusa* community in Langqi Island

结性表现为显著正联结, 说明琅岐岛台湾相思群落灌木层处于相对稳定阶段。随着群落的演替, 种间联系逐渐接近正联结, 正负联结比值变大, 竞争减弱, 群落稳定性逐渐增强^[30,35-37]。根据 χ^2 检验、 A_C 、

J_A 、 D_I 和 O_I 相关检验结果表明, 琅岐岛台湾相思群落灌木层主要物种正负联结比为 1.72, 检验显著率为 7.35%, 种对间联结程度较弱, 独立性较强。很大原因是海岛的恶劣环境条件和入侵植物扩散导

致了植物生境资源的短缺,使得物种共同出现在同一生境,种间联结紧密,正联结比例增加,但由于相思群落演替已经到达较为后期,群落较为稳定,因此联结不显著,种间竞争较不激烈。

偶见种和伴生种会影响种间联结分析^[38]。这也解释了本研究中 A_C 、 J_A 、 D_1 和 O_1 值的显著率检验结果为何明显高于 χ^2 检验的结果。 A_C 值能反映出 χ^2 检验中呈不显著联结种对的联结性,而 J_A 、 D_1 和 O_1 均可以对 A_C 进行补充和完善^[2]。雀梅藤-红锥、雀梅藤-南烛、两面针-红锥、菝葜-南烛、山莓-球花脚骨脆和福建胡颓子-南烛 6 对 $A_C \geq 0.67$, 表现为较显著的正联结,但 χ^2 均表现为不显著联结,可能是因为红锥、南烛、球花脚骨脆的多度较小,受其影响 χ^2 检验难以检测出它们的种间联结,但这些种对的 J_A 、 D_1 和 O_1 值却表现为较低的联结性,很可能是因为这些种对都不出现的样方数 d 值偏大,导致了 A_C 值偏高^[2],说明定性和定量结合论述种间关系才更具有科学性。

3.3 种间联结与生态位的相关性

种间正联结反映物种利用资源的相似性和生态位的重叠性^[39],正联结越强,生态位相似性和生态位重叠越大^[40-41]。本研究也有相同的结论,如雀梅藤-杠香藤、雀梅藤-两面针、雀梅藤-菝葜、雀梅藤-朴树、杠香藤-两面针、杠香藤-朴树、两面针-山莓、菝葜-山莓、山莓-蓬蘽、山莓-鹅掌柴和福建胡颓子-朴树等,这些种对表现出较强的正联结性,这些物种的频度、生态位宽度、生态位相似性和生态位重叠指数都较大,调查结果还显示它们平均高度都较接近,可能因此而表现出较强的种间联结。垂直方向上对生境要求的互补性也会导致正联结^[42]。本研究中,红锥就是受此因素影响,使其与其他 16 种物种间有 11 个种对表现为正联结性。生境差异导致的负联结,种对生态重叠程度较低,而资源竞争导致的则较高^[1]。杠香藤-蓬蘽和马缨丹-鹅掌柴 2 个种对表现为显著负联结。调查发现,杠香藤在海拔 120 m 左右的样方中出现频度最大,而蓬蘽在海拔 60 m 左右的样方中出现频度最大,马缨丹多分布在海拔 60 m 以下的样方中,而鹅掌柴集中分布在 110~120 m 的样方中,表明 2 个种对受海拔差异的影响导致负联结。

3.4 外来物种的种间联结与生态位特征

群落的稳定性和种间联结等会受外来物种的影响^[5,40]。从 A_C 结果可见,外来物种马缨丹除与雀

梅藤、杠香藤、福建胡颓子和球花脚骨脆之间表现为正联结,与其他 12 种植物间均表现为负联结,种对间生态位重叠系数均较低,表明马缨丹与台湾相思群落灌木层主要植物之间的资源竞争目前较不激烈,马缨丹对该群落的影响相对较小,群落处于相对稳定的状态。但马缨丹在灌木层中重要值占比较大,生态位宽度较大,且具有较强的生长优势,表现出一定的入侵潜力^[43-44],加之福州市琅岐岛的高温环境适合其生长,以及全球气候变暖的影响,很可能导致未来马缨丹的扩散加剧。目前马缨丹与福建胡颓子对环境的生态需求较相近,存在一定的竞争。同时两种植物都为直立灌木(马缨丹可蔓生),生活型相似,生长高度十分相近,两者间无法通过形成垂直方向对环境的互补性减少种间竞争,且马缨丹通过释放化感物质抑制周边植物生长发育^[45],其进一步扩散可能导致福建胡颓子的数量减少、生长受阻。因此建议日后定期监测其对琅岐岛台湾相思群落的影响,必要时应适当采取人工清除。也可引入生态位宽度较大,且与马缨丹生态位重叠较低的物种如山莓、鹅掌柴等进行抑制,防止其对群落生物多样性和稳定性造成威胁。

3.5 琅岐岛台湾相思人工林建设策略

根据琅岐岛台湾相思群落灌木层主要物种的生态位与种间联结特征结果来看,台湾相思人工林灌木层物种建设时可以从以下几方面考虑:(1) 选择生境要求相似的种对进行搭配。选择生态位宽度大,即环境适应性强的优势植物作为主要树种种植,如雀梅藤、朴树、杠香藤、两面针,并选择与其生态位重叠程度较小的树种进行搭配种植,如雀梅藤-白筋,朴树-白檀(*Symplocos paniculata*)等种对;(2) 选择正联结较强的种对进行搭配种植。如两面针-山莓、两面针-豺皮樟等种对正联结较强,竞争较不激烈,可以有效避免物种之间的恶性竞争,保护群落的多样性特征^[28];(3) 考虑到不同物种的生境差异,如海拔等因素的影响,在不同海拔高度种植相适应的物种,能促进其生长,也能有效避免竞争;(4) 考虑到种对间在垂直方向上对生境要求的互补性,选择高度差异大、对光照等环境需求差异大的物种进行搭配种植,如红锥与其他树种的搭配;(5) 考虑到树种的生活习性,如红锥幼树虽然稍耐阴,但是其为喜光树种,需要较多的光强才能充足提供红锥树体生长要求^[23],因此应该考虑乔木层的郁闭度对林下植物生长的影响,对这类树种

的分布区域适当减少乔木层的郁闭度, 增大林内的辐射强度; 同理, 对于喜荫树种应加大乔木层郁闭度, 减小林内辐射, 保证不同树种生长发育的不同光照需求。同时考虑到红锥为乔木树种, 应对生长到一定阶段的红锥进行移植, 并换植新的红锥, 以维持较为稳定的灌木层结构; (6) 控制入侵植物的数量, 要定期监测是否有入侵物种如马缨丹等扩散到群落中, 并及时控制清除, 防止其进一步扩大, 进而对群落生物多样性和稳定性造成影响。

本研究探讨了福建琅岐岛台湾相思群落灌木层主要物种的生态位和种间联结特征, 发现雀梅藤在灌木层中占据最大的生态优势, 能较好的适应琅岐岛的生态环境。灌木层主要物种的生态位相似性和生态位重叠较小, 种间对环境资源的利用和要求存在较大差异, 且该群落演替相对后期, 因此联结不显著, 种间竞争较不激烈, 群落较稳定。红锥与许多物种之间存在垂直方向上对生境要求的互补性, 种间竞争较小, 有利于物种对环境的充分利用; 但其生长扩散较为困难, 后续在人工林建设、群落保护和恢复等, 可以利用人工干预传播扩散。目前外来物种马缨丹对该群落影响相对较小, 但其入侵优势明显, 其继续生长扩散会导致植物生境资源更为短缺, 进而会使得群落中的物种共同占领同一环境, 使得物种对环境的利用程度减弱, 导致种间竞争加剧, 破坏群落稳定性, 因此, 应积极控制外来物种的数量, 适当引种增加群落的物种多样性, 同时对海岛的生态进行修复和建设, 以维持海岛群落的稳定发展。

参考文献

- [1] ZHANG D M, ZHAO W Z, LUO W C. Niche and interspecific association of dominant plant species in saline-alkaline soils of desert steppe zone [J]. *Chin J Ecol*, 2018, 37(5): 1307–1315. [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. doi: 10.13292/j.1000-4890.201805.027.]
- [2] XU M H, LIU M, ZHAI D T, et al. A review of contents and methods used to analyze various aspects of plant interspecific associations [J]. *Acta Ecol Sin*, 2016, 36(24): 8224–8233. [徐满厚, 刘敏, 翟大彤, 等. 植物种间联结研究内容与与方法评述 [J]. *生态学报*, 2016, 36(24): 8224–8233. doi: 10.5846/stxb201505311092.]
- [3] GAO J G, LIU D H. Particularities of environment management of island and their countermeasures [J]. *Mar Environ Sci*, 2007, 26(4): 397–400. [高俊国, 刘大海. 海岛环境管理的特殊性及其对策 [J]. *海洋环境科学*, 2007, 26(4): 397–400. doi: 10.3969/j.issn.1007-6336.2007.04.024.]
- [4] WEI K, ZHENG J Z, YANG M, et al. Niche characteristics of dominant species in typical plant communities in Guangyou Island, Pingtan [J]. *J For Environ*, 2020, 40(3): 290–297. [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. doi: 10.13324/j.cnki.jfcf.2020.03.009.]
- [5] ZHANG M, ZHENG J M, WAN J Y, et al. Niche and interspecific associations of dominant woody plants in Dongmen Island, Fujian Province [J]. *J For Environ*, 2022, 42(1): 11–19. [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. doi: 10.13324/j.cnki.jfcf.2022.01.002.]
- [6] SHEN L. Studies on flora and geographic distribution of bryophytes in Dongchong peninsula and its adjacent Islands, Fujian Province, China [D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2020. [申琳. 福建东冲半岛及其周围岛屿苔藓植物多样性及其生物地理学研究 [D]. 上海: 上海师范大学, 2020.]
- [7] SHEN J. Research on tourism development of Langqi International Eco-tourism Island [J]. *Qual Mark*, 2021(20): 175–177. [沈洁. 琅岐国际生态旅游岛旅游发展的探究 [J]. *质量与市场*, 2021(20): 175–177.]
- [8] HUANG X Y. Preliminary report on afforestation effects of tree species such as *Acacia*, *Eucalyptus grandis* and *Casuarina japonica* in the coastal sandy land of Fuzhou [J]. *For Prospect Des*, 2012(2): 86–88. [黄秀勇. 福州滨海后沿沙地相思、尾巨桉和木麻黄等树种造林效果初报 [J]. *林业勘察设计*, 2012(2): 86–88. doi: 10.3969/j.issn.1004-2180.2012.02.023.]
- [9] WANG X L, WANG A, SHI H H, et al. Carbon storage of *Pinus thunbergii* and *Robinia pseudoacacia* plantations on Nanchangshan Island, Changdao County of Shandong Province, China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2013, 24(5): 1263–1268. [王晓丽, 王媛, 石洪华, 等. 山东省长岛县南长山岛黑松和刺槐人工林的碳储量 [J]. *应用生态学报*, 2013, 24(5): 1263–1268. doi: 10.13287/j.1001-9332.2013.0287.]
- [10] XU H L, YUAN T T, WANG L, et al. Succession of *Acacia confusa* communities during fifteen years in Neilingding Island of Guangdong Province, China [J]. *Ecol Sci*, 2016, 35(4): 12–22. [徐华林, 袁天天, 王蕾, 等. 广东内伶仃岛台湾相思群落在 15 年间的演替研究 [J]. *生态科学*, 2016, 35(4): 12–22. doi: 10.14108/j.cnki.1008-8873.2016.04.002.]
- [11] LIU J Y, DING G C, LAN Y X, et al. Evaluation on landscape quality of *Acacia confusa* in spring in the southeast Islands of Fujian: A case study of Pingtan Island [J]. *J NW For Univ*, 2020, 35(5): 249–254. [刘金燕, 丁国昌, 兰宇翔, 等. 闽东南海岛台湾相思林春季景观质量

- 评价研究——以平潭岛为例 [J]. 西北林学院学报, 2020, 35(5): 249–254. doi: 10.3969/j.issn.1001-7461.2020.05.38.]
- [12] YAO Y Q, ZHANG Z H, LIANG S C, et al. Structure of *Cyclobalanopsis glauca* population on karst hills of Guilin [J]. J Zhejiang For Sci Technol, 2008, 28(4): 8–11. [姚贻强, 张忠华, 梁士楚, 等. 桂林岩溶石山青冈栎种群的结构特征 [J]. 浙江林业科技, 2008, 28(4): 8–11. doi: 10.3969/j.issn.1001-3776.2008.04.002.]
- [13] ZHOU G H. Plant communities on coastal dune in Langqi Island, Fuzhou [J]. Fujian Geogr, 2005, 20(1): 9–11. [周国红. 福州琅岐岛的滨海沙丘植物群落 [J]. 福建地理, 2005, 20(1): 9–11. doi: 10.3969/j.issn.1673-7105.2005.01.003.]
- [14] SONG Y C. Vegetation Ecology [M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2017: 44–84. [宋永昌. 植被生态学 [M]. 第 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2017: 44–84.]
- [15] ZHANG J T. Quantitative Ecology [M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2011: 20–123. [张金屯. 数量生态学 [M]. 第 2 版. 北京: 科学出版社, 2011: 20–123.]
- [16] SCHLUTER D. A variance test for detecting species associations, with some example applications [J]. Ecology, 1984, 65(3): 998–1005. doi: 10.2307/1938071.
- [17] TU H R, LI J F, YANG L T, et al. Interspecific associations of the main tree populations of the *Cyclobalanopsis glauca* community in karst hills of Guilin, southwest China [J]. Chin J Appl Ecol, 2019, 30(1): 67–76. [涂洪润, 李娇凤, 杨丽婷, 等. 桂林岩溶石山青冈群落主要乔木树种的种间关联 [J]. 应用生态学报, 2019, 30(1): 67–76. doi: 10.13287/j.1001-9332.201901.018.]
- [18] ROUSSET O, LEPART J. Positive and negative interactions at different life stages of a colonizing species (*Quercus humilis*) [J]. J Ecol, 2000, 88(3): 401–412. doi: 10.1046/j.1365-2745.2000.00457.x.
- [19] WANG B S, PENG S L. Studies on the measuring techniques of interspecific association of lower-subtropical evergreen-broadleaved forests: I. The exploration and the revision on the measuring formulas of interspecific association [J]. Acta Phytoecol Geobot Sin, 1985, 9(4): 274–279. [王伯荪, 彭少麟. 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): 274–279.]
- [20] YU X Y, YU R, HUANG J, et al. Niche characteristics of dominant plant populations of *Loropetalum subcordatum* community in Maolan karst forest, Guizhou [J]. Chin J Ecol, 2017, 36(12): 3470–3478. [俞筱押, 余瑞, 黄娟, 等. 贵州茂兰喀斯特森林四药门花群落优势种群生态位特征 [J]. 生态学杂志, 2017, 36(12): 3470–3478. doi: 10.13292/j.1000-4890.201712.017.]
- [21] YANG H J, JIANG L, LI L H, et al. Diversity-dependent stability under mowing and nutrient addition: Evidence from a 7-year grassland experiment [J]. Ecol Lett, 2012, 15(6): 619–626. doi: 10.1111/j.1461-0248.2012.01778.x.
- [22] YAO T H, ZHU Z H, LI Y N, et al. Effects of functional diversity and functional redundancy on the community stability of an alpine meadow [J]. Acta Ecol Sci, 2016, 36(6): 1547–1558. [姚天华, 朱志红, 李英年, 等. 功能多样性和功能冗余对高寒草甸群落稳定性的影响 [J]. 生态学报, 2016, 36(6): 1547–1558. doi: 10.5846/stxb.201408301725.]
- [23] XU H C, ZHENG L, WANG H X, et al. Seedling regeneration and spatial correlation between seedlings and seed trees in *Castanopsis hystrix* plantation by large diameter wood cultivation in south subtropical China [J]. Chin J Appl Ecol, 2020, 31(4): 1055–1062. [徐浩成, 郑路, 王宏翔, 等. 南亚热带红锥大径材培育林幼苗更新及其与母树的空间关联性 [J]. 应用生态学报, 2020, 31(4): 1055–1062. doi: 10.13287/j.1001-9332.202004.009.]
- [24] YAN S J, CHEN Y, CHEN Y, et al. Temporal and spatial distribution of seed rain of *Celtis sinensis* community shelter forest in Langqi Island of Minjiang estuary, Fujian Province [J]. J NE For Univ, 2015, 43(1): 13–16. [闫淑君, 陈莹, 陈英, 等. 闽江口琅岐岛朴树防护林种子雨时空分布特征 [J]. 东北林业大学学报, 2015, 43(1): 13–16. doi: 10.3969/j.issn.1000-5382.2015.01.004.]
- [25] QIAN Y F, YI L T, HU J F, et al. Niche characteristics of main plant species in Putuo Mountain, Zhejiang Province of east China [J]. Chin J Ecol, 2012, 31(3): 561–568. [钱逸凡, 伊力塔, 胡军飞, 等. 普陀山主要植物种生态位特征 [J]. 生态学杂志, 2012, 31(3): 561–568. doi: 10.13292/j.1000-4890.2012.0122.]
- [26] HE Z W, HU R C, HUANG R B, et al. Niche of the major tree species populations in *Cathaya argyrophylla* forest in Guangxi [J]. For Res, 2012, 25(6): 761–766. [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. doi: 10.3969/j.issn.1001-1498.2012.06.014.]
- [27] LI Y F, TIE J, ZHANG G P, et al. Niche characteristics of an artificial *Pinus tabulaeformis* forest in Manghe National Nature Reserve of Shanxi [J]. Chin J Ecol, 2014, 33(11): 2905–2912. [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]. 生态学杂志, 2014, 33(11): 2905–2912. doi: 10.13292/j.1000-4890.20141022.012.]
- [28] LI X S, YU Z H, SUN S, et al. Ecological niche breadth and niche overlap of dominant species of fish assemblage in Yangtze River estuary and its adjacent waters [J]. Chin J Appl Ecol, 2013, 24(8): 2353–2359. [李显森, 于振海, 孙珊, 等. 长江口及其毗邻海域鱼类群落优势种的生态位宽度与重叠 [J]. 应用生态学报, 2013, 24(8): 2353–2359. doi: 10.13287/j.1001-9332.2013.0394.]
- [29] CHEN J H, BU Y K, SU S F, et al. Interspecific association of main species in shrub layer of *Pinus tabulaeformis* aerial seeding forest and the environmental interpretation [J]. Chin J Ecol, 2021, 40(11): 3512–

3522. [陈佳卉, 卜元坤, 苏少峰, 等. 油松飞播林灌木层主要物种种间联结及其环境解释 [J]. 生态学杂志, 2021, 40(11): 3512–3522. doi: 10.13292/j.1000-4890.202111.022.]
- [30] LIU R H, BAI J L, BAO H, et al. Variation and correlation in functional traits of main woody plants in the *Cyclobalanopsis glauca* community in the karst hills of Guilin, southwest China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2020, 44(8): 828–841. [刘润红, 白金莲, 包含, 等. 桂林岩溶石山青冈群落主要木本植物功能性状变异与关联 [J]. 植物生态学报, 2020, 44(8): 828–841. doi: 10.17521/cjpe.2019.0146.]
- [31] ZHENG X X, ZHANG Z K, LIN H Z, et al. Species diversity characteristics of vegetation communities in different succession stages in Pingtan Island [J]. *For Res Manage*, 2019, 8(3): 66–73. [郑心炫, 张增可, 林华贞, 等. 平潭岛不同演替阶段植被群落物种多样性特征 [J]. 林业资源管理, 2019, 8(3): 66–73. doi: 10.13466/j.cnki.lyzygl.2019.03.012.]
- [32] SU Z Y, WU D R, CHEN B G. Niche characteristics of dominant populations in natural forest in north Guangdong [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2003, 14(1): 25–29. [苏志尧, 吴大荣, 陈北光. 粤北天然林优势种群生态位研究 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(1): 25–29.]
- [33] CHEN Z L, CHEN Y, ZHOU Y H. The population structure and regeneration of *Machilus thunbergii* in sixty-field natural reserve of Zhejiang Province [J]. *China For Sci Technol*, 2007, 21(4): 33–36. [陈子林, 陈煜, 周钰鸿. 浙江六十田自然保护区红楠种群结构与更新 [J]. 林业科技开发, 2007, 21(4): 33–36. doi: 10.3969/j.issn.1000-8101.2007.04.010.]
- [34] JIN J Y, QIN W G, TAN W N, et al. Interspecific association among dominant populations in endangered plant *Kmeria septentrionalis* communities [J]. *J W China For Sci*, 2013, 42(3): 86–94. [金俊彦, 覃文更, 谭卫宁, 等. 濒危植物单性木兰群落主要种群种间联结性研究 [J]. 西部林业科学, 2013, 42(3): 86–94. doi: 10.3969/j.issn.1672-8246.2013.03.015.]
- [35] GUO Z L, MA Y D, ZHENG J P, et al. Biodiversity of tree species, their populations' spatial distribution pattern and interspecific association in mixed deciduous broadleaved forest in Changbai Mountains [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2004, 15(11): 2013–2018. [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.]
- [36] HAN W H, LI X K, YE D, et al. Interspecific association and correlation between dominant woody plant species in an evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest of Karst area, Northwest Guangxi [J]. *J Mount Sci*, 2009, 27(6): 719–726. [韩文衡, 李先琨, 叶铎, 等. 桂西北喀斯特区常绿阔叶混交林种群种间联结性与相关性 [J]. 山地学报, 2009, 27(6): 719–726. doi: 10.3969/j.issn.1008-2786.2009.06.012.]
- [37] HU W Q, HUANG S N, LI J X, et al. Interspecific associations among dominant tree populations in an elfin forest community in Shikengkong of Nanling Mountains, China [J]. *Chin J Ecol*, 2013, 32(10): 2665–2671. [胡文强, 黄世能, 李家湘, 等. 南岭石坑崆山顶矮林乔木优势种群的种间关联性 [J]. 生态学杂志, 2013, 32(10): 2665–2671. doi: 10.13292/j.1000-4890.2013.0289.]
- [38] ZHANG F, SHANGGUAN T L. Numerical analysis of interspecific relationships in an *Elaeagnus mollis* community in Shanxi [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2000, 24(3): 351–355. [张峰, 上官铁梁. 山西翅果油树群落种间关系的数量分析 [J]. 植物生态学报, 2000, 24(3): 351–355.]
- [39] LI Q L, ZONG X H, DENG H P, et al. Niche and interspecific association of dominant species in tree layer of Chishui *Alseodaphne spinulosa* community [J]. *Acta Bot Boreal-Occid Sin*, 2017, 37(7): 1422–1428. [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. doi: 10.7606/j.issn.1000-4025.2017.07.1422.]
- [40] ZHENG J M, LI M, ZHANG M, et al. Interspecific association and niche of mixed forest communities of *Casuarina equisetifolia* and *Dendrocalamus minor* var. *amoenus* in the windbreak of sandy coast [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2021, 29(5): 465–473. [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. doi: 10.11926/jtsb.4346.]
- [41] LI S F, LIU W D, SU J R, et al. Niches and interspecific associations of dominant tree populations at different restoration stages of monsoonal broad-leaved evergreen forest [J]. *Chin J Ecol*, 2011, 30(3): 508–515. [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. doi: 10.13292/j.1000-4890.2011.0072.]
- [42] ZHOU L L, ZHANG Q Q, ZHAO Y T, et al. Species association and correlation between vertical layers in the *Liquidambar formosana* community in Tiantong region, Zhejiang Province [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2015, 39(12): 1136–1145. [周刘丽, 张晴晴, 赵延涛, 等. 浙江天童枫香树群落不同垂直层次物种间的联结性与相关性 [J]. 植物生态学报, 2015, 39(12): 1136–1145. doi: 10.17521/cjpe.2015.0110.]
- [43] RANJAN R. Deriving double dividends through linking payments for ecosystem services to environmental entrepreneurship: The case of the invasive weed *Lantana camara* [J]. *Ecol Econ*, 2019, 164: 106380. doi: 10.1016/j.ecolecon.2019.106380
- [44] MISHRA A. Allelopathic properties of *Lantana camara* [J]. *Int Res J Basic Clin Stud*, 2015, 3(1): 13–28. doi: 10.14303/irjbc.2014.048.
- [45] LU X R, TAN Z Q, LIN Y M, et al. Allelopathy of invasive plant *Lantana camara* on four receiver plants [J]. *J Xiamen Univ (Nat Sci)*, 2013, 52(1): 133–138. [卢向荣, 谭忠奇, 林益明, 等. 入侵植物马缨丹对4种农作物的化感作用 [J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2013, 52(1): 133–138.]