



福州琅岐岛不同林下外来植物入侵对比研究

王春晓 钟址非 钱志军 陈颖 黄运腾 罗真 林希霆 曹晟 邓传远

A Comparative Study on Alien Invasive Plants Under Different Forests in Langqi Island, Fuzhou

Wang Chunxiao, Zhong Zhifei, Qian Zhijun, Chen Ying, Huang Yunteng, Luo Zhen, Lin Xiting, Cao Shengxuan, Deng Chuanyuan

引用本文:

王春晓, 钟址非, 钱志军, 陈颖, 黄运腾, 罗真, 林希霆, 曹晟, 邓传远. 福州琅岐岛不同林下外来植物入侵对比研究[J]. [西南林业大学学报](#), 2024, 44(5):44–53. doi: 10.11929/j.swfu.202307016

Wang Chunxiao, Zhong Zhifei, Qian Zhijun, Chen Ying, Huang Yunteng, Luo Zhen, Lin Xiting, Cao Shengxuan, Deng Chuanyuan. A Comparative Study on Alien Invasive Plants Under Different Forests in Langqi Island, Fuzhou[J]. [Journal of Southwest Forestry University\(Natural Science\)](#), 2024, 44(5):44–53. doi: 10.11929/j.swfu.202307016

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202307016>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[防城金花茶国家级自然保护区常绿季雨林乔木层种间联结研究](#)

Study on the Interspecific Associations in Arbor Layer of Evergreen Monsoon Rainforest in Fangcheng Golden Camellia National Nature Reserve

西南林业大学学报. 2024, 44(4): 34–44 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202310001>

[1970—2017年全球森林生物入侵的经济成本评估](#)

Economic Cost Assessment of Global Forest Alien Invasive Species from 1970 to 2017

西南林业大学学报. 2024, 44(3): 175–181 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202305006>

[神农架国家公园华山松退化群落生态位特征及种间关系](#)

Niche Characteristics and Interspecific Relationships of Degenerated *Pinus armandii* Community in Shennongjia National Park

西南林业大学学报. 2023, 43(6): 26–37 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202212032>

[滇池湖滨湿地公园园林植物地理区系类型及外来种应用研究](#)

Study on Geographical Flora of Landscape Plants and Application of Exotic Species in Wetland Parks of Dianchi Lake

西南林业大学学报. 2020, 40(6): 58–72 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202003038>

[海南岛热带海岸多种乡土树种海防林的构建及群落动态研究](#)

A Study on Construction and Dynamics of a Tropical Coast Plant Community with Multiple Native Tree Species as Windbreak on Hainan Island

西南林业大学学报. 2020, 40(3): 9–18 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.201909001>

[云南杞麓湖浮游植物的群落特征及相关因子的研究](#)

The Community Structure of Phytoplankton and Its Relationship to Environmental Factors in Qilu Lake, Yunnan

西南林业大学学报. 2022, 42(6): 19–29 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202108062>

DOI: 10.11929/j.swfu.202307016

引文格式: 王春晓, 钟址非, 钱志军, 等. 福州琅岐岛不同林下外来植物入侵对比研究 [J]. 西南林业大学学报 (自然科学), 2024, 44(5): 44–53.

福州琅岐岛不同林下外来植物入侵对比研究

王春晓 钟址非 钱志军 陈颖 黄运腾 罗真 林希霆 曹晟烜 邓传远

(福建农林大学风景园林与艺术学院, 福建福州 350002)

摘要: 外来植物入侵严重威胁海岛生物和生态安全。为探究琅岐岛台湾相思、朴树、柠檬桉林下草本层外来入侵植物的入侵状况及其与本地植物的种间关系, 采用 α 多样性、生态位、种间联结、入侵性分析比较了不同林下外来入侵植物的多样性、生态位特征、外来入侵植物与本土植物的种间关系及入侵程度。结果表明: 3种林下共调查到 10 种外来入侵草本植物, 隶属于 5 科 8 属, 其中三叶鬼针草的生态位宽度和重要值最大, 在 3 种林下入侵广泛; 柠檬桉林的外来入侵草本植物 Shannon–Wiener 指数显著高于朴树林, 3 种林下外来入侵草本植物的 Pielou 均匀度指数、Simpson 优势度均无显著差异; 3 种林下多数外来入侵草本植物与本地优势植物生态位重叠程度和种间联结性均较低, 种间竞争较弱; 朴树和柠檬桉林草本群落的入侵强度系数和群落可入侵系数显著高于台湾相思林; 3 种林下多数外来入侵种与本地优势植物的竞争尚不激烈, 但三叶鬼针草的入侵优势大, 需要加强防控, 同时保护群落灌草结构及物种多样性有助于提升群落对外来入侵种的抵抗力。

关键词: 外来植物; 种间联结; 环境因素; 群落; 琅岐岛

中图分类号: S794.9

文献标志码: A

文章编号: 2095–1914(2024)05–0044–10

A Comparative Study on Alien Invasive Plants Under Different Forests in Langqi Island, Fuzhou

Wang Chunxiao, Zhong Zhifei, Qian Zhijun, Chen Ying, Huang Yunteng,
Luo Zhen, Lin Xiting, Cao Shengxuan, Deng Chuanyuan

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

Abstract: Alien plant invasion seriously threatens the biosecurity and ecological security of islands. In order to explore the invasion status of alien invasive plants in the understory herb layer of *Acacia confusa*, *Celtis sinensis*, and *Eucalyptus citriodora* in Langqi Island and their interspecific relationship with native plants, this study used α diversity, niche, interspecific association, and invasiveness analysis to compare the diversity, niche characteristics, interspecific relationship between alien invasive plants and native plants and the degree of invasion of alien invasive plants in different forests. The results showed that a total of 10 alien invasive herbaceous plants

收稿日期: 2023–07–06; 修回日期: 2023–09–04

基金项目: 海洋公益性行业科研专项经费项目 (201505009) 资助; 福建省区域发展科技项目 (2018Y3006) 资助。

第 1 作者: 王春晓 (1998—), 男, 硕士研究生。研究方向: 海岛入侵植物。Email: 1798117122@qq.com。

通信作者: 邓传远 (1971—) 男, 博士, 副教授。研究方向: 海岛植物资源与海岛生态优化。

Email: dengchuanyuan@fafu.edu.cn。

were investigated under 3 forests, belonging to 5 families and 8 genera. Among them, *Bidens pilosa* has the most considerable niche breadth and essential value, and is widely invaded under 3 forests; the Shannon-Wiener index of exotic invasive herbaceous plants in *E. citriodora* forest was significantly higher than that in *C. sinensis* forest. There was no significant difference in Pielou evenness index and Simpson dominance of exotic invasive herbaceous plants under the 3 forests; the niche overlap and interspecific association between most invasive herbaceous plants and native dominant plants in the three forests were low, and the interspecific competition was weak; the invasion intensity coefficient and community invasion coefficient of herb community in *C. sinensis* and *E. citriodora* forest were significantly higher than those in *A. confusa* forest; most alien invasive species in the 3 forests were not competitive with the local dominant plants. Still, the invasion advantage of *B. pilosa* was enormous, and it was necessary to strengthen the prevention and control. At the same time, protecting the shrub-grass structure and species diversity of the community would help to improve the resistance of the community to alien invasive species.

Key words: invasive alien plant; interspecific association; environmental factor; community ; Liangqi Island

生物入侵被认为是继栖息地丧失导致生物多样性下降的第二威胁^[1]。岛屿通常含有较多的外来入侵物种^[2-3]，对岛屿生物多样性造成深刻的影响^[4-5]。现有研究多从岛屿生物入侵的驱动机制^[3,6]、外来入侵种对岛屿生物群的威胁^[7-8]及外来入侵种的影响评估^[9-10]等方面进行探究。近年来，我国海岛植被的研究逐渐丰富，海岛入侵物种也逐渐受关注。如肖兰等^[11]在厦门近岸无居民海岛发现外来入侵植物 49 种，其中恶性外来入侵草本植物 10 种；何雅琴等^[12]在连江县 6 个海岛发现外来入侵植物 24 种，以草本和菊科居多；朱峻熠等^[13]在普陀山发现外来入侵植物 47 种，以美洲原产地为主。这些研究均表明海岛受外来植物入侵已是普遍状况。

群落物种的相互关系是种群生态学研究的核心问题，对于正确认识群落的结构、功能和分类有着重要的指导意义^[14-15]。生态位特征和种间联结关系可用来反映群落物种的相互关系^[16]，是研究外来植物入侵机制的切入点之一^[17]。如郭朝丹等^[18]对弄岗国家级自然保护区天然林和人工林研究表明各群落外来种入侵植物与本土优势植物生态位重叠和种间联结程度均较低；姜倪皓等^[19]对哀牢山紫茎泽兰入侵群落研究表明紫茎泽兰的重要值和生态位宽度最大，入侵群落总体呈现显著负关联。目前，关于海岛不同林下入侵植物的生态位特征与种间关系尚不明确。

本研究以福州琅岐岛为研究区域，对岛上

3 种林下的草本植物开展样方调查，旨在明晰琅岐岛上 3 种林下的草本外来植物入侵现状，分析不同林下入侵植物的入侵差异；通过物种生态位和种间关系探究外来入侵草本植物与本地优势草本植物间的关系以及不同林下外来入侵物种的资源利用能力等。通过本研究可进一步认识海岛入侵植物在不同林下的分布现状及其与本地植物的关系，为岛屿外来植物的防控、生态安全管理提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 研究地概况

琅岐岛地处闽江入海口，位于 119°32'22" ~ 119°39'15"E，26°03'30" ~ 26°07'15"N，与大陆最近距离约 400 m，三面环江，东临大海，全岛总面积 94 km²，是福建省第四大岛（图 1）。琅岐岛气候温暖湿润，为亚热带海洋性气候，年平均气温 19.3 ℃，年降雨 1000 ~ 1200 mm。琅岐岛山体低矮，海拔最高为 273m。琅岐岛土壤盐渍化严重，风沙灾害频发，岛上主要优势植物为木麻黄（*Casuarina equisetifolia*）、台湾相思（*Acacia confusa*）、柠檬桉（*Eucalyptus citriodora*）、朴树（*Celtis sinensis*）和高山榕（*Ficus altissima*）。本研究对象为台湾相思、柠檬桉、朴树林下的草本群落，其中朴树为原生林，台湾相思为次生林，柠檬桉为人工林。

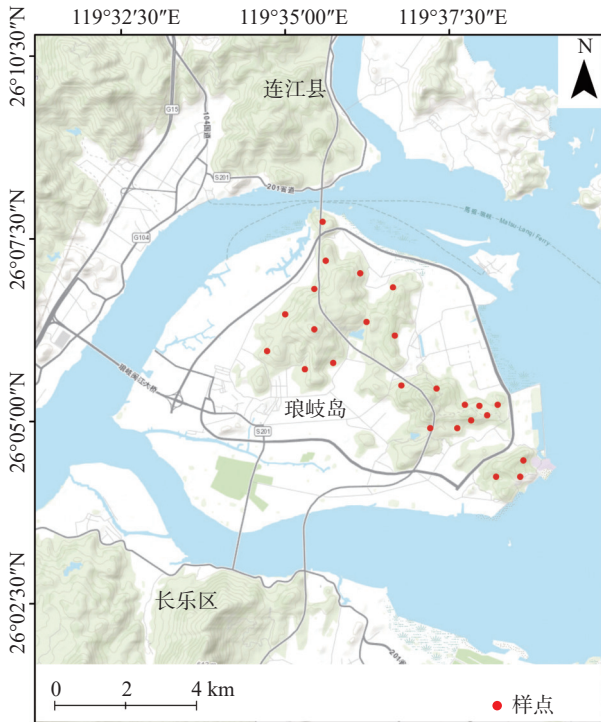


图1 琅岐岛调查样地分布示意图
Fig. 1 Distribution of sample plots in Langqi Island

1.2 样地及样方设定与植物群落调查

2021年8月,在琅岐岛上主要植被斑块选取了台湾相思、朴树、柠檬桉3种林下进行样地设置(图1)。依据3种林型在岛上的分布特征及面积选择样地点和数量,以保证所选样地能够代表全岛3种林型的入侵状况,共设置20 m × 20 m样地24个,其中台湾相思林下11个,朴树林下6个,柠檬桉林下7个。在样地的4个对角各设置5 m × 5 m的灌木样方和1 m × 1 m的草本样方,记录样方内植物的种名、株高、冠幅、数量、盖度,样方的经纬度、海拔、坡度、坡向、距道路距离、郁闭度等信息。外来入侵植物的识别和划分参考《中国入侵植物名录》^[20]完成。

1.3 相关计算及分析

1.3.1 α 多样性指数和物种重要值计算

计算每个样方 Shannon-Wiener 指数 (H)、Pielou 均匀度指数 (J)、Simpson 指数 (R) 和物种丰富度 (D)^[21],并计算草本植物的重要值^[22]。分别对外来入侵草本植物和本地草本植物的 D 、 H 、 R 和 J 进行单因素方差分析,并进行 Duncan 多重比较。

1.3.2 生态位宽度和生态位重叠计算

分别使用 Shannon 指数 (B_s) 和 Pianka 指数 (O_{ij})^[23],计算3种林下外来入侵草本植物和本

土优势植物(重要值排名前10的物种)的生态位宽度和生态位重叠值。其中, $O_{ij} > 0.6$ 和 $O_{ij} > 0.3$ 分别表示物种*i*和物种*j*显著重叠和重叠有意义^[18]。

1.3.3 种间联结计算

使用 Ochiai 指数 (OI)、Spearman 指数 (r_s) 和 Pearson 指数 (r_p)^[24]计算3种林下外来入侵草本植物和本土优势植物(重要值排名前10的物种)的种间联结值。

1.3.4 入侵指数计算

计算外来入侵植物的入侵强度系数 (I_{ii}) 和群落可入侵性系数 (C_{ii})^[25]。

1.3.5 冗余分析

运用 Canoco 5.0 软件,选取本地草本植物 Shannon-Wiener 指数、本地草本植物丰富度、本地草本盖度、郁闭度、灌木 Shannon-Wiener 指数、灌木盖度、距道路距离、海拔、坡度、坡向10个因子,与3种林下的外来入侵植物丰度(个体数量大于10)进行 RDA 分析,探究这些因子对外来入侵草本植物丰度的影响。

α 多样性指数使用 vegan 包计算,生态位宽度、生态位重叠和种间联结使用 spaa 包计算,以上数据计算均在 R 4.0.5 中完成。重要值和入侵指数均用 Excel 计算。运用 SPSS 软件进行单因素方差分析和简单回归分析,使用 GraphPad Prism 9.1.0 完成所有图形绘制。

2 结果与分析

2.1 3种林下入侵草本植物的组成

3种林下共记录到外来入侵草本植物10种(表1),隶属于5科8属。菊科外来入侵物种数量最多,有6种,禾本科、商陆科、苋科、莎草科各1种。三叶鬼针草(*Bidens pilosa*)、棕叶狗尾草(*Setaria palmifolia*)和香附子(*Cyperus rotundus*)在3种林下中均有分布。大部分外来入侵草本植物原产地为美洲。1级外来入侵植物有7种,为三叶鬼针草、假臭草(*Praxelis clematidea*)、苏门白酒草(*Erigeron sumatrensis*)、小蓬草(*Erigeron canadensis*)、肿柄菊(*Tithonia diversifolia*)、豚草(*Ambrosia artemisiifolia*)和空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*);2级外来入侵植物有1种,为垂序商陆(*Phytolacca americana*)。4级外来入侵植物2种,为棕叶狗尾草和香附子。

表 1 3 种林下外来入侵植物名录

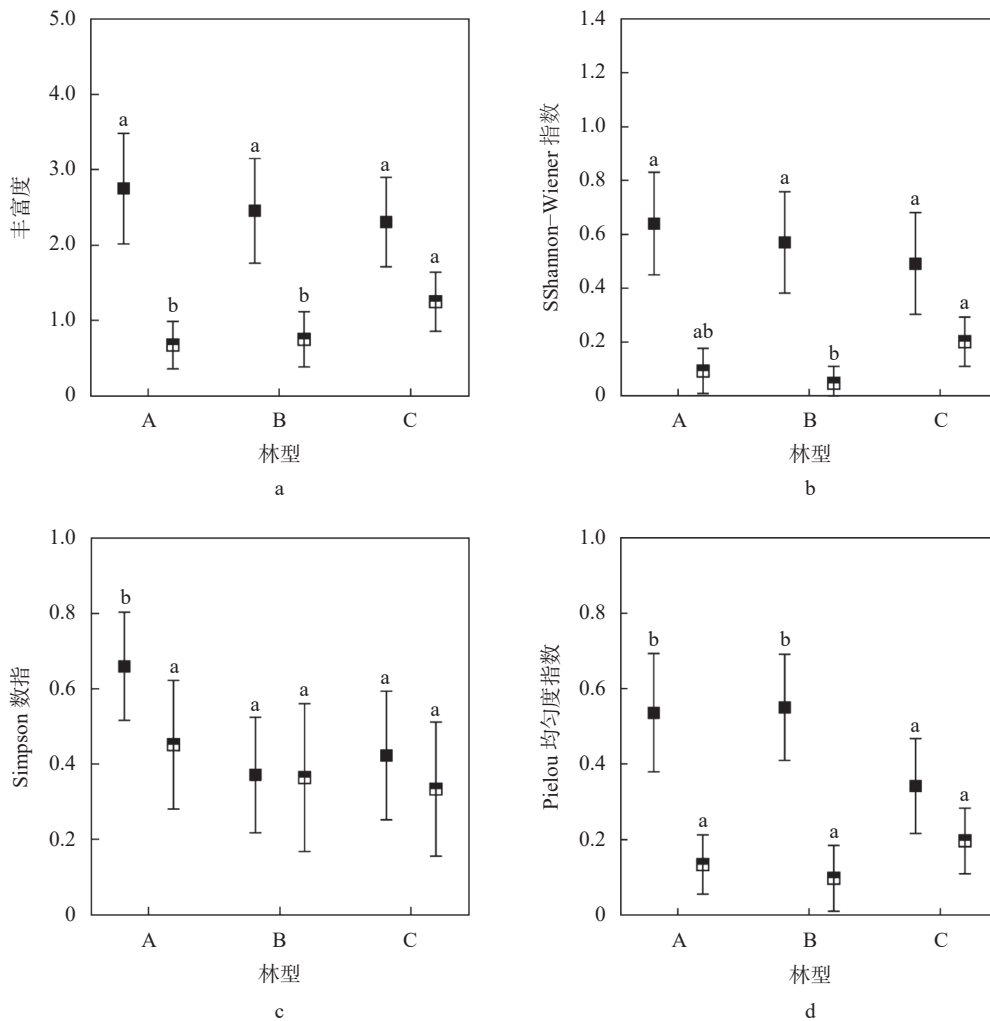
Table 1 List of 3 understory alien invasive plants

科	物种	原产地	入侵等级
菊科 (Asteraceae)	三叶鬼针草 (<i>Bidens pilosa</i>)	热带美洲	1
	假臭草 (<i>Praxelis clematidea</i>)	南美洲	1
	苏门白酒草 (<i>Erigeron sumatrensis</i>)	南美洲	1
	小蓬草 (<i>Erigeron canadensis</i>)	北美洲	1
	肿柄菊 (<i>Tithonia diversifolia</i>)	南美洲	1
	豚草 (<i>Ambrosia artemisiifolia</i>)	美洲	1
商陆科 (Phytolaccaceae)	垂序商陆 (<i>Phytolacca americana</i>)	北美洲	2
苋科 (Amaranthaceae)	空心莲子草 (<i>Alternanthera philoxeroides</i>)	南美洲	1
莎草科 (Cyperaceae)	香附子 (<i>Cyperus rotundus</i>)	美洲	4
禾本科 (Poaceae)	棕叶狗尾草 (<i>Setaria palmifolia</i>)	非洲	4

2.2 3 种林下本地及入侵草本植物 α 多样性比较

α 多样性指数的单因素方差分析及 Duncan 多重比较见图 2。外来入侵草本植物中，柠檬桉林外来入侵草本植物的 Shannon-Wiener 指数显著高于朴树林 ($P < 0.05$)，其丰富度显著高于其他林

($P < 0.05$)。3 种林下外来入侵草本植物 Pielou 均匀度指数、Simpson 优势度均无显著差异。不同林下本地草本植物的物种丰富度、Shannon-Wiener 指数无显著差异，柠檬桉林的 Pielou 均匀度指数、Simpson 优势度指数显著低于台湾相思林 ($P < 0.05$)。



A、B、C 分别代表台湾相思、朴树、柠檬桉林；不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图 2 3 种林下外来入侵草本植物和本地草本植物多样性
Fig. 2 Diversity of 3 understory invasive herbs and native herbs

2.3 3种林下本地及入侵草本植物的重要值和生态位

就本地优势草本植物而言,台湾相思林中重要值较大的为菴草 (*Arthraxon hispidus*) 和升马唐 (*Digitaria ciliaris*), 朴树林为山麦冬 (*Liriope spicata*) 和沿阶草 (*Ophiopogon japonicus*), 柠檬桉林为菴草和求米草 (*Oplismenus undulatifolius*) (表2)。外来入侵草本植物中, 3种林下的三叶鬼针草重要值最大, 其次是香附子和棕叶狗尾草 (*Setaria palmifolia*), 其他入侵种的重要值均较小。3种林下中外来入侵草本植物生态位宽度有差异, 部分外来入侵草本植物在3种林下出现频次很低, 其生态位宽度很小或者为零, 而三叶鬼针草在3种林下的生态位宽度均较大。

表2 3种林下外来入侵植物和本地优势植物重要值及生态位宽度

Table 2 Importance value and niche breadth of 3 understory invasive plants and native dominant plants

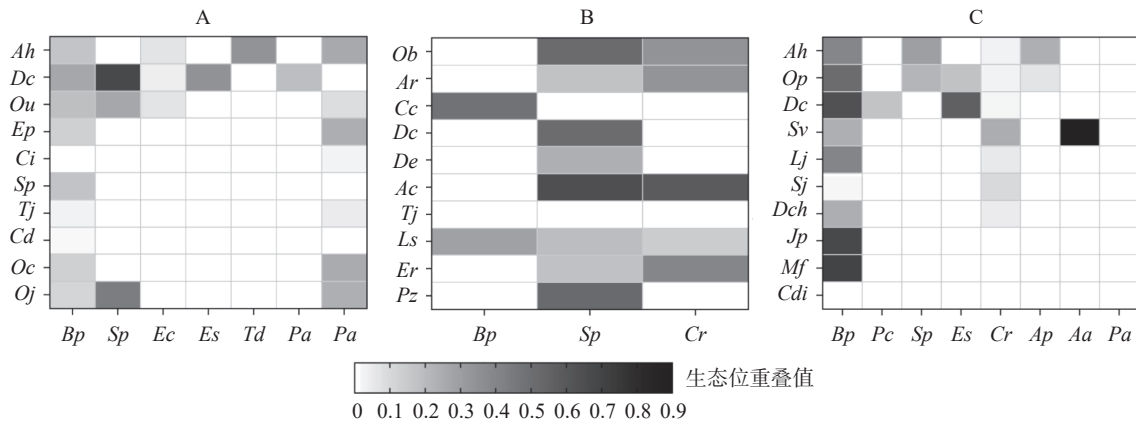
种(变种)	物种代号	重要值/%			生态位宽度		
		A	B	C	A	B	C
三叶鬼针草 (<i>Bidens pilosa</i>) *	Bp	13.55	17.21	15.75	3.29	2.36	2.23
苏门白酒草 (<i>Erigeron sumatrensis</i>) *	Es	2.31	—	2.32	1.06	—	0.62
小蓬草 (<i>Erigeron canadensis</i>) *	Ec	2.38	—	—	1.12	—	—
肿柄菊 (<i>Tithonia diversifolia</i>) *	Td	0.66	—	—	0	—	—
棕叶狗尾草 (<i>Setaria palmifolia</i>) *	Sp	2.85	5.07	0.90	1.61	1.79	0.31
垂序商陆 (<i>Phytolacca americana</i>) *	Pa	1.81	—	1.06	0.51	—	0.54
豚草 (<i>Ambrosia artemisiifolia</i>) *	Aa	—	—	0.77	—	—	0.24
假臭草 (<i>Praxelis clematidea</i>) *	Pc	—	—	6.67	—	—	2.05
空心莲子草 (<i>Alternanthera philoxeroides</i>) *	Ap	—	—	1.82	—	—	0.96
香附子 (<i>Cyperus rotundus</i>) *	Cr	4.74	3.52	9.90	1.02	1.08	2.06
菴草 (<i>Arthraxon hispidus</i>)	Ah	21.52	7.06	35.35	2.85	1.82	2.58
升马唐 (<i>Digitaria ciliaris</i>)	Dc	21.29	3.40	5.48	2.50	1.34	1.26
求米草 (<i>Oplismenus undulatifolius</i>)	Ou	18.86	—	9.82	2.66	—	2.40
山麦冬 (<i>Liriope spicata</i>)	Ls	—	24.65	—	—	2.52	0
络石 (<i>Trachelospermum jasminoides</i>)	Tj	6.10	5.41	—	1.34	0.96	—
画眉草 (<i>Eragrostis pilosa</i>)	Ep	5.41	—	—	0.68	—	—
野菊 (<i>Chrysanthemum indicum</i>)	Ci	4.30	—	—	0.21	—	—
皱叶狗尾草 (<i>Setaria plicata</i>)	Sp	3.18	—	—	1.31	—	—
野雉尾金粉蕨 (<i>Onychium japonicum</i>)	Oj	2.14	—	—	1.35	—	—
狗牙根 (<i>Cynodon dactylon</i>)	Cd	2.99	—	—	0.79	—	—
沿阶草 (<i>Ophiopogon japonicus</i>)	Ob	—	11.13	—	—	1.81	—
节节草 (<i>Equisetum ramosissimum</i>)	Er	—	7.25	—	—	1.12	—
白花丹 (<i>Plumbago zeylanica</i>)	Pz	—	7.06	—	—	1.49	—
山菅 (<i>Dianella ensifolia</i>)	De	—	4.01	—	—	1.46	—
鸭跖草 (<i>Commelina communis</i>)	Cc	—	3.62	—	—	0.67	—
竹节菜 (<i>Commelina diffusa</i>)	Cdi	—	—	1.21	—	—	0.73
狗尾草 (<i>Setaria viridis</i>)	Sv	—	—	4.20	—	—	0.86
益母草 (<i>Leonurus japonicus</i>)	Lj	—	—	3.88	—	—	0.76
狗肝菜 (<i>Dicliptera chinensis</i>)	Dch	—	—	2.44	—	—	0.64
毛梗豨薟 (<i>Sigesbeckia glabrescens</i>)	Sg	—	—	1.56	—	—	0
爵床 (<i>Justicia procumbens</i>)	Jp	—	—	1.11	—	—	0.69
酢浆草 (<i>Oxalis corniculata</i>)	Oc	2.10	—	—	0.69	—	—
天门冬 (<i>Asparagus cochinchinensis</i>)	Ac	—	1.70	—	—	0.50	—
五节芒 (<i>Miscanthus floridulus</i>)	Mf	—	—	1.20	—	—	0

注: A、B、C分别表示台湾相思、朴树、柠檬桉林; *表示外来入侵植物。

2.4 入侵群落物种生态位重叠

选取台湾相思、朴树和柠檬桉林的本地优势草本植物与外来入侵草本植物，进行生态位重叠分析，分别组成 70、30、80 对种对关系（图 3）。3 种林下的本地优势草本植物与外来入侵草本植物生态位重叠值多数较小。台湾相思林外来入侵草本植物与本地优势草本植物生态位重叠程度最

高的是升马唐与棕叶狗尾草（0.53）；朴树林为三叶鬼针草与天门冬（*Asparagus cochinchinensis*）（0.50）；柠檬桉林为豚草（*Ambrosia artemisiifolia*）与狗尾草（*Setaria viridis*）（0.88）。台湾相思、朴树、柠檬桉林生态位重叠有意义的种对数比例分别为 2.90%、33.30%、10.00%，显著重叠的种对数比例分为 0、0、5.00%。



A、B、C 分别表示台湾相思、朴树、柠檬桉林；物种代号含义见表 2。

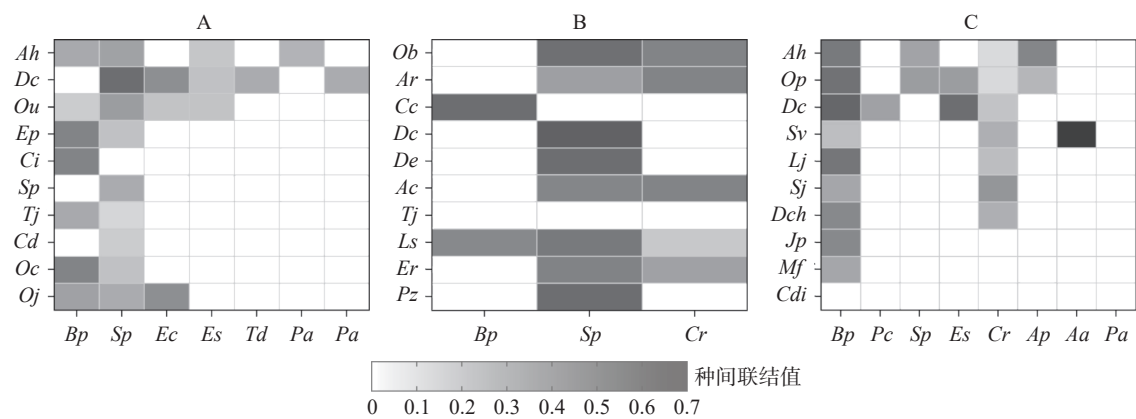
图 3 3 种林下外来入侵植物与本土优势植物的生态位重叠

Fig. 3 Niche overlap between 3 understory invasive plants and native dominant plants

2.5 入侵群落物种种间联结

3 种林下超过 90% 的种对数 *OI* 指数小于 0.50，近 50% 的种对数 *OI* 指数为 0，表明 3 种林下外来入侵草本植物与本土优势植物的种间联结程度较低（图 4）。但也存在一些物种对的种间联结程

度较高，如台湾相思林的三叶鬼针草与升马唐（0.50）；朴树林的三叶鬼针草与升马唐（0.55）、棕叶狗尾草与鸭跖草（*Commelina communis*）（0.50）；柠檬桉林的三叶鬼针草与升马唐（0.53）、豚草与狗尾草（0.71）。



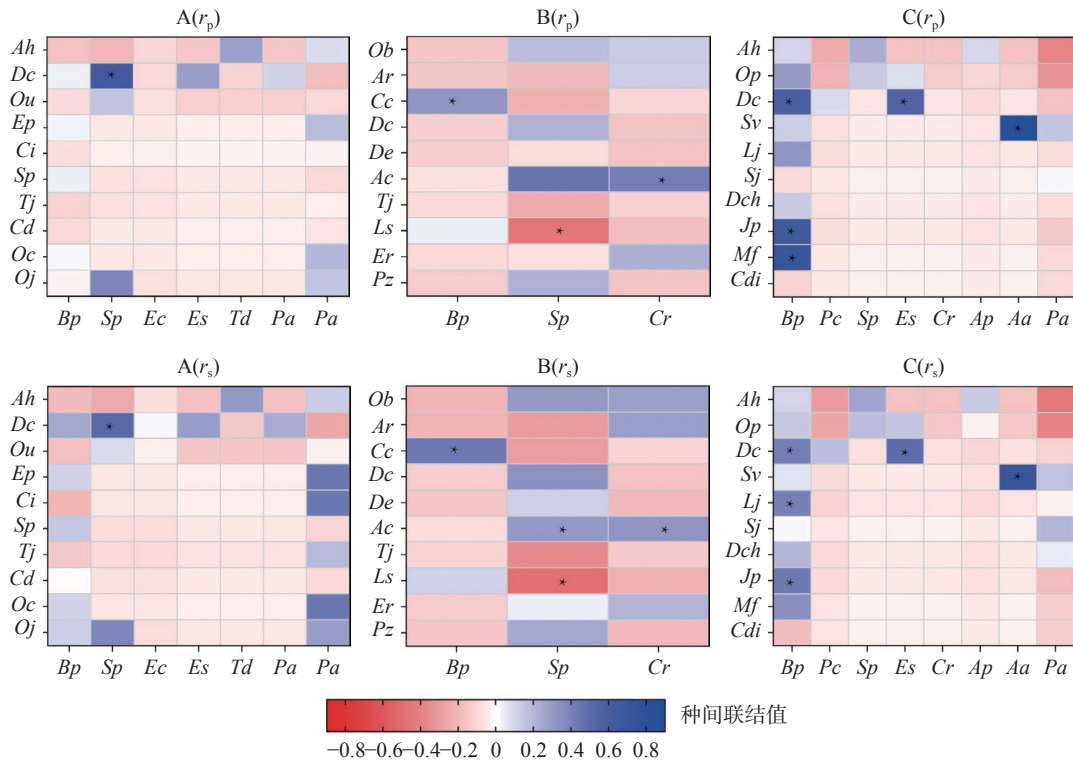
A、B、C 分别表示台湾相思、朴树、柠檬桉林。

图 4 3 种林下外来入侵植物与本地优势植物的 Ochiai 种间联结指数

Fig. 4 Ochiai interspecific association index of 3 understory invasive plants and native dominant plants

3 种林下 Spearman 和 Pearson 种间联结指数，负相关的种对数量均多于正相关的种对数量（图 5）。Pearson 分析结果显示，台湾相思、朴树、柠檬桉林呈负相关的种对数量比例分别为 83.80%、80.00% 和 78.80%，显著相关的种对数量比例分别

为 1.40%、10.00%、6.30% ($P < 0.05$)。Spearman 分析结果显示，台湾相思、朴树、柠檬桉林呈负相关的种对数比例分别为 74.30%、63.30% 和 76.30%，显著相关的种对数量比例分别为 1.40%、13.30%、6.30% ($P < 0.05$)。



A、B、C 分别表示台湾相思、朴树、柠檬桉林； r_s 和 r_p 分别表示 Spearman 和 Pearson 指数；*表示差异显著 ($P < 0.05$)。

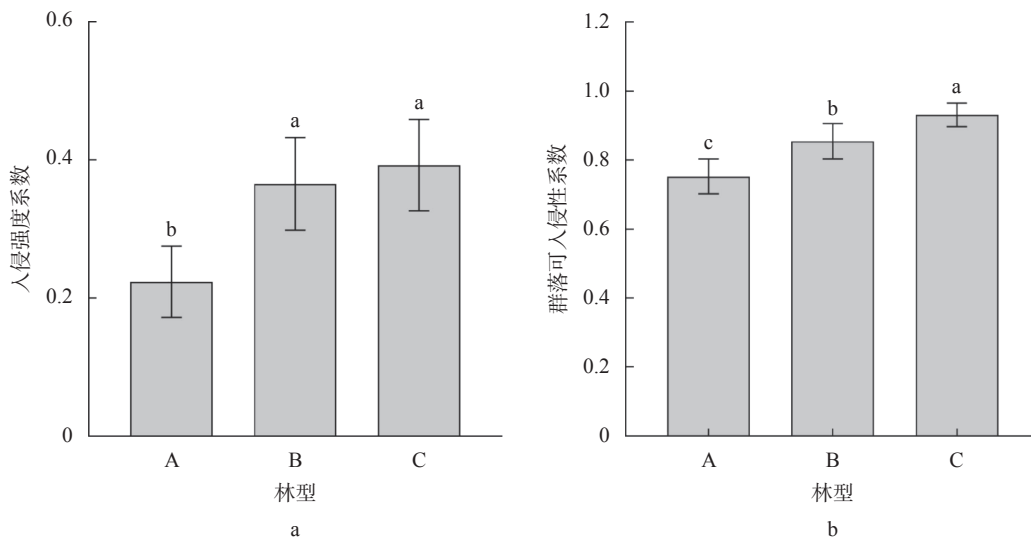
图 5 3 种林下外来入侵草本植物与本土优势植物的 Spearman 和 Pearson 种间联结指数

Fig. 5 Spearman and Pearson interspecific association indexes of 3 understory invasive herbaceous plants and native dominant plants

2.6 入侵强度系数和群落可入侵性系数

3 种林下草本群落的 I_{ii} 系数和 C_{ii} 系数单因素方差分析结果表明，朴树和柠檬桉林的 I_{ii} 系数

和 C_{ii} 系数显著高于台湾相思林 ($P < 0.05$)，而朴树与台湾相思林的 I_{ii} 系数无显著差异，柠檬桉林的 C_{ii} 系数显著高于朴树林 ($P < 0.05$) (图 6)。



A、B、C 分别表示台湾相思、朴树、柠檬桉林；不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图 6 3 种林下草本群落入侵强度系数和群落可入侵系数

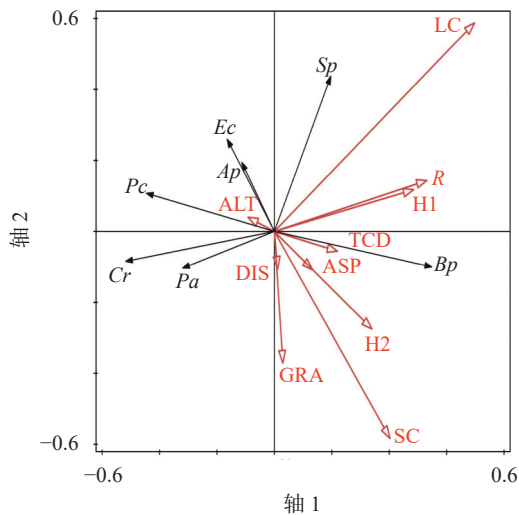
Fig. 6 Invasion intensity coefficient and community invasibility coefficient of 3 understory herb layer communities

2.7 外来入侵草本植物与环境因子的 RDA 分析

外来入侵草本植物丰度与 10 个因子进行

RDA 排序分析，结果见图 7。轴 1 和轴 2 对外来入侵草本植物丰度的解释量分别为 21.82% 和

14.84%，总解释量为 36.66%。本地草本植物盖度、灌木盖度、本地草本植物多样性是影响外来入侵草本植物丰度的显著因子。其中，本地草本植物盖度和本地植物多样性与三叶鬼针草、棕叶狗尾草呈正相关；与垂序商陆（*Phytolacca americana*）、假臭草、香附子呈负相关。灌木盖度与鬼针草呈正相关，与香附子、假臭草、空心莲子草、小蓬草、棕叶狗尾草呈负相关。



H1: 本地草本植物 Shannon-Wiener 指数; H2: 灌木 Shannon-Wiener 指数; LC: 本地草本植物盖度; SC: 灌木盖度; ALT: 海拔; DIS: 距道路距离; GRA: 坡度; TCD: 郁闭度; ASP: 坡向; R: 本地植物丰富度。Bp: 三叶鬼针草; Sp: 棕叶狗尾草; Ec: 小蓬草; Ap: 空心莲子草; Pc: 假臭草; Cr: 香附子; Pa: 垂序商陆。

图 7 入侵草本植物丰度和环境因子的 RDA 排序
Fig. 7 RDA ordination of invasive herb abundance and environmental factors

3 结论与讨论

3.1 3 种林下外来入侵种的特征

3 种林下外来入侵草本植物中菊科占比最大，且多数原产自美洲，与在福建厦门^[11]、浙江普陀山^[13]、广西北部湾^[26]等海岛入侵植物调查结果类似。这与我国和美洲地区的气候环境及植物区系相似较高有关^[27]。三叶鬼针草的重要值在 3 种林下均居前列，是草本层的优势种。三叶鬼针草具有强大的繁殖、散布^[28]、环境适应能力，在 3 种林下形成优势，表明其在群落中拥有较强的竞争力，入侵性较高。*Iii* 系数和 *Cii* 系数单因素方差结果表明，朴树和柠檬桉林更容易被外来植物入侵，外来植物入侵程度更高；台湾相思林更不容易被外来植物入侵，外来植物入侵程度更低。从物种丰富度来看，柠檬桉林的外来入侵草

本植物丰富度显著高于台湾相思和朴树林，说明柠檬桉林存在更多的入侵物种，入侵频率更高。这与罗文启等^[29]对海南岛外来入侵植物研究结果相似，即人为干扰强的生境容易被外来入侵植物入侵。柠檬桉为人工林，人为干扰会消灭其林下的小树和灌木，降低林下优势植物的重要性，进而给外来植物入侵提供便利。

3.2 入侵种与本地种的生态位和种间关系

3 种林下不同外来入侵草本植物生态位宽度值有差异，同一入侵种在不同林型中的生态位宽度及排序也有所不同，说明外来入侵种的资源利用效率或适应能力受到生境条件的影响^[18]。三叶鬼针草、棕叶狗尾草、香附子的生态位宽度值较大，其资源利用能力强，环境适应性高^[30]。另外，这些入侵物种与本地优势植物之间的生态位重叠值也较高，部分存在显著重叠。这可能是生态位宽度大的物种资源利用能力更强，与其他物种的生态位重叠值更高，物种之间的竞争关系更强^[31-32]。

外来植物入侵会影响群落内的种间关系，使群落处于不稳定的状态^[33]。3 种林下外来入侵草本植物与本地优势草本植物间以弱的负联结为主，表明外来入侵种与本地优势植物的竞争尚不激烈，且草本群落处于非稳定状态，与喜旱莲子草（*Alternanthera philoxeroides*）、藿香蓟（*Ageratum conyzoides*）入侵群落的联结特征类似^[17,34]。这可能是外来入侵草本植物与本地优势草本植物间生态习性不同导致的需求差异^[35]。如 3 种林下求米草（*Oplismenus undulatifolius*）、山麦冬（*Liriope spicata*）、络石（*Trachelospermum jasminoides*）、鸭跖草（*Commelina communis*）、白花丹（*Plumbago zeylanica*）、山菅（*Dianella ensifolia*）等本地优势草本植物喜阴性环境，而三叶鬼针草、假臭草、小蓬草等大多数外来入侵草本植物喜阳性环境。外来植物入侵会将群落内的稀有种、狭域种逐渐淘汰，使得广布的适生种的相对丰度增加，并与入侵种形成强的正关联^[36]。本研究中 3 种林下外来入侵植物与本地优势种的 Spearman 和 Pearson 种间关系有类似的情况，如在显著相关的种对中正相关居多数。

3.3 环境因子对外来入侵植物的影响

植被功能越完整的植被类型或生境，受到外来植物入侵的概率就越小^[37]。RDA 分析结果表明本地草本植物及灌木的盖度越高，外来入侵植物丰度就越低。可能的原因：一是植物群落中草本

及灌木盖度增加,林下可用光减少,不利于外来入侵植物的生长^[38],如小蓬草、假臭草、垂序商路等均为喜阳植物,但喜阳性的三叶鬼针草不受灌木盖度的影响,光照条件不会完全限制三叶鬼针草种子萌发生长^[39];二是灌草更丰富的群落内原生物种对资源环境利用更充分^[40],外来植物入侵要受到更大的竞争压力。朴树林的灌草结构更为丰富,因此林下的外来入侵植物种类数量更少。另外,本地草本植物多样性也显著影响外来入侵植物丰度。本研究中,多数外来入侵植物与本地植物多样性呈负相关,说明本地植物多样性越高的群落更不容易被外来物种入侵。这可能是由于本地物种多样性高的群落内空缺的生态位更少^[41],可供外来植物利用的资源较少,因而其入侵阻力更大。本研究中台湾相思林下本地草本植物多样性相对更高,因此其 *Iii* 系数和 *Cii* 系数相对更小,更不容易被外来植物入侵。

3.4 琅岐岛林区外来入侵植物防控及建议

海岛是典型的生态脆弱区^[42],海岛生态安全建设应当重视生物入侵。从琅岐岛3类林下入侵群落的生态位与种间联结特征结果来看,三叶鬼针草的入侵性最高,其与许多物种存在显著的正联结,如升马唐、鸭跖草、爵床 (*Justicia procumbens*)、五节芒 (*Miscanthus floridulus*) 等。这些物种与三叶鬼针草存在显著正联结和较高的生态位重叠,说明其对三叶鬼针草的入侵具有一定的抵抗力。保护这些本地物种或适当栽植,将有助于遏制其蔓延和植被恢复^[33]。从入侵强度和入侵植物与环境因子的分析来看,外来物种最容易入侵人为干扰程度较高的柠檬桉林。因此,要加强对林区的保护,尽量避免外来干扰。干扰会严重影响原生群落的物种组成和关系,致使群落稳定性下降^[43],给外来物种入侵提供机遇。此外,还需要加强对海岛林区外来入侵植物的长期监测,积极控制外来物种的数量,以维持海岛群落的稳定发展。

[参 考 文 献]

- [1] Maxwell S L, Fuller R A, Brooks T M, et al. Biodiversity: the ravages of guns, nets and bulldozers [J]. *Nature*, 2016, 536(7615): 143–145.
- [2] Leung G P C, Hau B C H, Corlett R T. Exotic plant invasion in the highly degraded upland landscape of Hong Kong, China [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2009, 18(1): 191–202.
- [3] Moser D, Lenzner B, Weigelt P, et al. Remoteness promotes biological invasions on Islands worldwide [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2018, 115(37): 9270–9275.
- [4] Wu S H, Hsieh C F, Chaw S M, et al. Plant invasions in Taiwan: insights from the flora of casual and naturalized alien species [J]. *Diversity and Distributions*, 2004, 10(5/6): 349–362.
- [5] Tershy B R, Shen K W, Newton K M, et al. The importance of Islands for the protection of biological and linguistic diversity [J]. *BioScience*, 2015, 65(6): 592–597.
- [6] Chown S L, Hull B, Gaston K J. Human impacts, energy availability and invasion across Southern Ocean Islands [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2005, 14(6): 521–528.
- [7] Pyšek P, Jarošík V, Hulme P E, et al. A global assessment of invasive plant impacts on resident species, communities and ecosystems: the interaction of impact measures, invading species' traits and environment [J]. *Global Change Biology*, 2012, 18(5): 1725–1737.
- [8] Schrader J, Wright I J, Krefl H, et al. A roadmap to plant functional island biogeography [J]. *Biological Reviews*, 2021, 96(6): 2851–2870.
- [9] Kueffer C, Daehler C C, Torres-Santana C W, et al. A global comparison of plant invasions on oceanic Islands [J]. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2010, 12(2): 145–161.
- [10] Lenzner B, Latombe G, Capinha C, et al. What will the future bring for biological invasions on Islands? an expert-based assessment [J]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2020, 8: 280.
- [11] 肖兰, 张琳婷, 杨盛昌, 等. 厦门近岸海域无居民海岛植物区系和物种组成相似性 [J]. *生物多样性*, 2018, 26(11): 1212–1222.
- [12] 何雅琴, 曾纪毅, 陈国杰, 等. 福建省连江县6个海岛维管植物资源调查与分析 [J]. *热带作物学报*, 2021, 42(7): 2102–2108.
- [13] 朱峻熠, 胡军飞, 欧丹燕, 等. 浙江普陀山外来入侵植物组成及危害现状 [J]. *浙江农林大学学报*, 2020, 37(4): 737–744.
- [14] 高永恒, 曾晓阳, 周国英, 等. 长江源区高寒湿地植物群落主要种群间关系分析 [J]. *湿地科学*, 2011, 9(1): 1–7.
- [15] 童建宁. 小叶青冈林主要种群间关系及生态种组

- 的划分 [J]. 福建林学院学报, 2010, 30(2): 174-178.
- [16] 施晨阳, 蒋天雨, 赖文峰, 等. 宁夏六盘山毛榛群落灌木层优势种的生态位和种间联结分析 [J]. 植物资源与环境学报, 2022, 31(4): 85-94.
- [17] 郭佳琦, 陈俊辰, 黄旬, 等. 喜旱莲子草入侵群落主要物种生态位和种间联结研究 [J]. 生态环境学报, 2021, 30(8): 1607-1616.
- [18] 郭朝丹, 赵彩云, 李飞飞, 等. 天然林和人工林外来入侵和本地植物对比研究: 以弄岗国家级自然保护区为例 [J]. 生物多样性, 2022, 30(4): 45-57.
- [19] 姜倪皓, 张世浩, 张诗函. 哀牢山紫茎泽兰入侵群落主要物种种间联结及环境解释 [J]. 生态环境学报, 2022, 31(7): 1370-1382.
- [20] 马金双. 中国入侵植物名录 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2013.
- [21] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法 (下) [J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.
- [22] 高贤明, 马克平, 陈灵芝. 暖温带若干落叶阔叶林群落物种多样性及其与群落动态的关系 [J]. 植物生态学报, 2001, 25(3): 283-290.
- [23] 王刚, 赵松岭, 张鹏云, 等. 关于生态位定义的探讨及生态位重叠计测公式改进的研究 [J]. 生态学报, 1984, 4(2): 119-127.
- [24] 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.
- [25] Wang C, Wei M, Wang S, et al. *Erigeron annuus* (L.) Pers. and *Solidago canadensis* L. antagonistically affect community stability and community invasibility under the co-invasion condition [J]. Science of the Total Environment, 2020, 716(3): 13-18.
- [26] 程欣欣, 聂丽云, 余小玲, 等. 广西北部湾海岸带、海岛的外来入侵植物 [J]. 热带亚热带植物学报, 2023, 31(3): 444-454.
- [27] 蒋奥林, 朱双双, 陈雨晴, 等. 中国香港外来入侵植物 [J]. 广西植物, 2018, 38(3): 289-298.
- [28] 尚春琼, 朱珣之. 外来植物三叶鬼针草的入侵机制及其防治与利用 [J]. 草业科学, 2019, 36(1): 47-60.
- [29] 罗文启, 符少怀, 杨小波, 等. 海南岛入侵植物的分布特点及其对本地植物的影响 [J]. 植物生态学报, 2015, 39(5): 486-500.
- [30] Van Kleunen M, Dawson W, Dostal P. Research on invasive-plant traits tells us a lot [J]. Trends in Ecology & Evolution, 2011, 26(7): 317.
- [31] 范玮熠, 王孝安, 汪超, 等. 黄土高原马栏林区主要植物种的生态位研究 [J]. 西北植物学报, 2006, 26(1): 157-164.
- [32] 董雪, 辛智鸣, 段瑞兵, 等. 乌兰布和沙漠典型灌木群落多样性及其生态位 [J]. 干旱区研究, 2020, 37(4): 1009-1017.
- [33] 江焕, 张辉, 龙文兴, 等. 金钟藤入侵群落的种间联结及生态位特征 [J]. 生物多样性, 2019, 27(4): 388-399.
- [34] 张亚芬, 郑子洪, 陈旭波, 等. 入侵植物藿香蓟与常见伴生杂草的生态位特征 [J]. 生态学报, 2022, 42(9): 3727-3737.
- [35] 赵彩莉, 张峰, 庞春花, 等. 反枝苋群落优势种的种间关联性分析 [J]. 植物研究, 2013, 33(4): 454-460.
- [36] 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.
- [37] 杨春玉, 梁有发, 李芳念. 贵州雷公山保护区外来入侵植物分布格局 [J]. 中国环境监测, 2019, 35(2): 83-90.
- [38] Song X, Aaron H J, Brown C, et al. Snow damage to the canopy facilitates alien weed invasion in a subtropical montane primary forest in southwestern China [J]. Forest Ecology and Management, 2017, 391: 275-281.
- [39] 关琳, 杜子悦, 蔡估焯, 等. 遮阴与氮肥对入侵植物三叶鬼针草种子萌发及幼苗生长的影响 [J]. 江苏农业科学, 2019, 47(23): 126-128.
- [40] 赵彩云, 李俊生, 刘峰. 云南省纳板河流域国家级自然保护区不同生境对外来入侵草本植物分布的影响 [J]. 植物保护学报, 2019, 46(1): 114-121.
- [41] 刘艳杰, 黄伟, 杨强, 等. 近十年植物入侵生态学重要研究进展 [J]. 生物多样性, 2022, 30(10): 272-288.
- [42] Long X, Yu H, Sun M, et al. Sustainability evaluation based on the Three-dimensional Ecological Footprint and Human Development Index: a case study on the four island regions in China [J]. Journal of Environmental Management, 2020, 265: 110509.
- [43] 郝建锋, 李艳, 齐锦秋, 等. 人为干扰对碧峰峡栲树次生林群落物种多样性及其优势种群生态位的影响 [J]. 生态学报, 2016, 36(23): 7678-7688.

(责任编辑 刘永梅)

