

滨海自然植物群落物种多样性及种间垂直联结性^{*}

张艺帆,任哲,邓荣艳,谢伟东^{**},单笑旋

(广西大学林学院,广西南宁 530004)

摘要:通过对滨海植物群落物种多样性和种间联结性研究,探索群落的形成及种间的共生与竞争关系,为滨海沙地和海岛修复的树种选择与配置提供理论依据。以广西防城港市滨海自然植物群落为对象,研究其群落结构、物种多样性及垂直层次间物种的联结性与相关性。结果表明:广西防城港滨海自然森林群落组成复杂,物种丰富,分层比较明显,大致可分为乔木层(含乔木层和亚乔木层)、灌木层和草本层。各物种丰富度指数(S)、Shannon-Wiener 指数(H')、Simpson 指数(D)和 Pielou 均匀度指数(J_{sw})均表现为灌木层>乔木层>草本层,三者变化趋势较为一致,草本层处于退化状态; χ^2 统计量、种间关联系数 AC 和物种共同出现百分率 PC 检验结果表明,乔木层与亚乔木层物种总体存在显著负联结,相互独立的种对较多,较少种对显著联结;乔木层与灌木层物种总体存在显著正联结,显著联结的种对较多,种对间较紧密;亚乔木层与灌木层物种间总体存在显著负联结,处于不稳定的演替阶段。表明群落内垂直层次间物种相似的生境要求、生态习性,以及在垂直方向上对生境要求的互补性差异是导致种对间关系的主要原因。

关键词:滨海地区 植物群落 物种多样性 垂直层次 优势种 种间联结

中图分类号: S718.54 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2019)03-0324-11

0 引言

生态交错带又称为生态过渡带或生态脆弱带,指特定尺度下生态实体之间的过渡带,是两个或多个不同群落之间的过渡区。生态交错带是一种交互区或应力区^[1],是联合国第七届“人与生物圈计划”大会呼吁各国重点研究的领域。生态交错带各种要素相互作用、物种间竞争激烈、生物的变异和多样性丰富,是研究生物多样性、物种进化和演替的理想场所。滨海

过渡带位于海陆边缘,是水陆交互作用产生的独特生态系统,是一个能量与物质激烈交换的地区,由于其特殊的自然生境,植被类型和植物区系与内陆地区相比,存在较大的差异,形成不少特殊群落。在滨海过渡带对陆生生态系统植物群落的多样性和种间联结性进行综合研究,可以阐述种群和种间的竞争共生关系以及群落的退化和演替情况,进一步揭示植物群落的系统发育与形成机制,并在滨海过渡带生态系统保护和恢复过程中,为营林乡土树种选择和近自然林的

^{*} 国家自然科学基金项目(20120614)和广西自然科学基金项目(0832030)资助。

【作者简介】

张艺帆(1995—),女,硕士研究生,主要从事森林生态系统与管理研究。

【**通信作者】

谢伟东(1964—),男,副教授,博士,硕士生导师,主要从事森林生态环境监测与评价研究,E-mail:413508883@qq.com。

【引用本文】

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20190618.010

张艺帆,任哲,邓荣艳,等.滨海自然植物群落物种多样性及种间垂直联结性[J].广西科学,2019,26(3):324-334.

ZHANG Y F, REN Z, DENG R Y, et al. Species diversity and inter-specific association between vertical layers in coastal natural plant communities [J]. Guangxi Sciences, 2019, 26(3): 324-334.

理想配置提供科学参考。国外在滨海生态过渡带的保护恢复和研究方面开展了大量的工作^[2-7],我国除了红树林外^[8],在海草、滨海自然植物群落和滨海湿地方面的研究工作较薄弱。目前国内对滨海生态过渡带陆生植物群落的研究主要集中在土壤理化性质^[9-13]、植物资源分布和物种多样性^[9,14-18]、群落结构特征^[14,19]等方面,种间联结性研究尚未见报道。种间联结是不同物种在空间分布上的相互关联性,通常是由于群落生境的差异影响了物种分布而引起的^[20]。研究种间联结不仅有助于认识群落的结构、功能和演替等^[20-21],而且在维持群落的稳定性、森林的经营和恢复以及生物多样性保护方面具有理论指导意义^[21-23]。近年来,国内对种间联结的研究主要集中在一些环境条件恶劣的高寒荒漠地带、水土流失严重的地区、生态脆弱的地带、自然保护区以及一些植被退化的地区或正处于恢复的地带,人工林的研究也有涉猎^[24],但对于滨海森林群落的相关报道比较欠缺;研究对象多侧重于群落同一垂直结构层次中的物种之间^[25-27]、群落中某一物种与其他物种之间^[28-29]或整个群落的优势物种之间^[30-32],不同垂直层次间物种的种间关系研究相对较少。种间联结的测定方法很多,各具特色,最适合的方法至今仍未有定论,其中, χ^2 检验与联结系数为大多数学者所采用。滨海生态过渡带受频繁侵蚀和堆积作用而发生空间迁移,物种在恶劣生境下的竞争激烈;由于旅游、养殖、捕捞等滨海经济开发活动对滨海过渡带的破坏,滨海生态系统退化严重,自然植被锐减。广西防城港目前尚存少量保存较为完整的地带性原生滨海植被,针对这些滨海森林群落的相关报道和不同垂直层次间物种的种间关系的研究都相对较少。本研究通过对滨海自然植物多样性和种间联结性进行研究,了解特定环境因子下滨海自然植物群落中物种多样性结构及其适应性,揭示群落中各物种种间相互依存和竞争关系以及演替过程中种间替代和共存关系演变机制。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

研究地位于广西南部防城港滨海岸边,地处北回归线以南,地跨东经 $107^{\circ}28'$ ~ $108^{\circ}36'$,北纬 $21^{\circ}36'$ ~ $22^{\circ}22'$,该区域为滨海平原,地势平坦,海拔一般在10 m以下,地带性土壤为赤红壤和砖红壤,属南亚热带季风气候区,全年气候温和湿润,雨热同期,年平均气温保持在 22.4°C 左右,年日照时数在1 500 h以上,

雨量充足,年平均降雨量达到2 738 mm。

群落的乔木一般划分为乔木和亚乔木两层,郁闭度为0.6~0.9,乔木层高10~25 m,盖度60%~70%,主要种类为红鳞蒲桃(*Syzygium hancei*)、肉实树(*Sarcosperma laurinum*)和纳稿润楠(*Machilus nakao*)等;亚乔木层高4~10 m,盖度30%~40%,主要种类为假苹婆(*Sterculia lanceolata*)、鸭脚木(*Schefflera octophylla*)、罗伞树(*Ardisia quinque-gona*)、密花树(*Rapanea neriifolia*)和假鹊肾树(*Streblus indicus*)等。灌木层一般高0.1~4.0 m,盖度20%~90%,物种组成丰富,主要种类除了罗伞树和鸭脚木外,还有细枝龙血树(*Dracaena gracilis*)、黄杞(*Engelhardtia roxburghiana*)、滇藏叶下珠(*Phyllanthus clarkei*)、九节(*Psychotria rubra*)、南山花(*Prismatomeris connata*)、大叶新木姜子(*Neolitsea levinei*)、乌药(*Lindera aggregata*)、龙船花(*Ixora chinensis*)、虎舌红(*Ardisia mamillata*)等。草本层高约0.1~12.0 m,盖度大约1%~10%,常见种有沿阶草(*Ophiopogon bodinieri*)、华山姜(*Alpinia chinensis*)和粉单竹(*Bambusa chungii*)等。

1.2 样地设置与调查

根据当地群落植被情况,共设置5个样地进行样方调查,样地概况和样地具体位置情况分别见表1和图1。在5个样地共设置28个 $20\text{ m}\times 20\text{ m}$ 的大样方,将每个大样方又划分为4个 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 的小样方进行植被调查:记录乔木(胸径 $\geq 1\text{ cm}$)的种类、高度、枝下高、胸径和冠幅等信息;记录灌木(胸径 $< 1\text{ cm}$)种类、株数、平均高度、盖度等;记录草本层的种类、株数、平均高度、盖度;调查乔木层的郁闭度及灌木层和草本层的总覆盖度。

1.3 数据处理与分析

1.3.1 物种重要值

$$\text{乔木重要值 } IV_1 = (\text{RD} + \text{RP} + \text{RF}) / 3,$$

$$\text{灌草重要值 } IV_2 = (\text{RD} + \text{RC} + \text{RF}) / 3,$$

式中,RD为相对密度;RP为相对显著度;RF为相对频度;RC为相对盖度^[33]。

1.3.2 物种多样性指数

采用物种丰富度指数(S)、Shannon-Wiener指数(H')、Simpson指数(D)、Pielou均匀度指数(J_{sw})^[34-36],公式如下:

$$S = n,$$

$$H' = - \sum P_i \ln P_i,$$

$$D = 1 - \sum P_i^2,$$

$$J_{sw} = H' / \ln S,$$

表 1 样地的基本特征

Table 1 Basic characteristics of the sample plots

样地号 No.	地点 Site	经度 Longitude (E)	纬度 Latitude (N)	海拔 Altitude (m)	郁闭度 Canopy density	样方数 Number of quadrats
1	东兴镇竹山村 Zhushan Village, Dongxing Town	108°5'8.19"	21°32'29.04"	8	0.85	9
2	江平镇巫头村 Wutou Village, Jiangping Town	108°7'21.19"	21°32'1.35"	9	0.60	5
3	江平镇巫头新村 New Wutou Village, Jiangping Town	108°7'20.54"	21°34'57.31"	5	0.80	1
4	企沙镇箭山村 Leshan Village, Qisha Town	108°31'23.21"	21°36'43.33"	6	0.90	5
5	光坡镇沙逻寮村 Shaluoliao Village, Guangpo Town	108°32'58.80"	21°39'1.43"	6	0.80	8

式中, n 为出现在样方中的物种数, P_i 为种 i 的相对重要值。

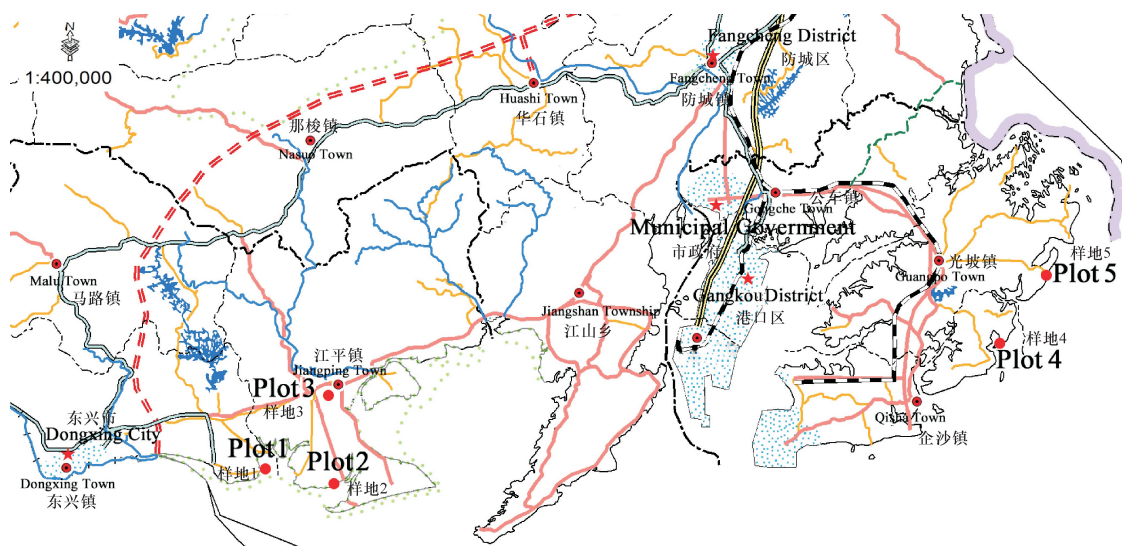


图 1 样地分布图

Fig. 1 The location of the sample plots

1.3.3 总体关联性测定

采用 Schluter^[37] 提出的方差比率法检验多物种间的关联性, 计算公式:

$$W_T^2 = \sum_{i=1}^s P_i (1 - P_i),$$

$$P_i = n_i / N,$$

$$S_T^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2,$$

$$VR = W_T^2 / S_T^2,$$

式中, S 为总的物种数; N 为总的样方数; T_j 为样方 j 内出现的物种数; n_i 为物种 i 出现的样方数; t 为

方中种的平均数。VR 为群落内植物种间的总体关联指数, 当 $VR = 1$, 复合种间关联性是独立的; $VR > 1$, 多物种间表现为正相关; $VR < 1$, 多物种间表现为负相关。为检验相关性的显著性, 采用统计量 W ($W = N \times VR$) 进行 χ^2 检验, 如果种间独立, 则 W 落入 $\chi_{0.95(N)}^2 < W < \chi_{0.05(N)}^2$ 的概率有 90%^[20]。

1.3.4 χ^2 统计量的计算及检验

基于样方调查中所获得的数据, 建立 2×2 列联表, 计算其中的 a (包含两个种的样方数)、 b (只存在 B 种的样方数)、 c (只存在 A 种的样方数)、 d (两个种都不存在的样方数) 值, 由于是不连续取样, 一般使用

Yates 的连续校正系数纠正^[38]。

$$\chi^2 = \frac{N[|ad - bc| - N/2]^2}{(a + b)(c + d)(a + c)(b + d)}$$

式中, N 为样方总数, χ^2 符合自由度为 1 的分布, 根据 $\chi^2(0.05)$ 、 $\chi^2(0.01)$ 的理论值和计算得 χ^2 实测值对照, 得出当 $\chi^2 < 3.841$ 时, 种间联结不显著; 当 $3.841 \leq \chi^2 < 6.635$ 时, 种间联结显著; 当 $\chi^2 \geq 6.635$ 时, 种间联结极显著。 χ^2 本身没有负值, 判定正、负联结的方法是当 $ad > bc$ 时, 种间具正关联; 若 $ad < bc$, 种间具负关联。

1.3.5 种间关联程度的测定

用种间关联系数 AC 和物种共同出现百分率 PC 来测定^[20], 公式为

$$AC = (ad - bc) / (a + b)(b + d), (ad > bc);$$

$$AC = (ad - bc) / (a + b)(a + c), (ad < bc,$$

$d \geq a);$

$$AC = (ad - bc) / (d + b)(d + c), (ad < bc,$$

$d < a);$

$$PC = a / (a + b + c)。$$

1.3.6 数据处理

数据处理分析均采用 Excel 2007 和 SPSS 18.0 等软件进行。

2 结果与分析

2.1 群落组成及重要值

经调查统计, 5 个样地的群落分层比较明显, 大致可分为乔木层(含乔木层和亚乔木层)、灌木层、草本层。各样地群落类型如下:

样地 1 群落类型: 红鳞蒲桃 + 假苹婆 - 罗伞树 + 细枝龙血树 - 华山姜群落;

样地 2 群落类型: 红鳞蒲桃 + 红果山胡椒 - 桃金娘 + 乌药 - 沟叶结缕草群落;

样地 3 群落类型: 红鳞蒲桃 + 鸭脚木 - 乌药 - 沿阶草群落;

样地 4 群落类型: 红鳞蒲桃 - 黄杞 - 沿阶草群落;

样地 5 群落类型: 红鳞蒲桃 + 纳槁润楠 + 米碎花 - 滇藏叶下珠 - 沿阶草群落。

对群落内的植物的重要值进行统计计算, 列出每个层重要值在 3% 以上的主要物种(表 2)。

结果表明, 群落乔木层物种组成较丰富, 优势种是红鳞蒲桃, 重要值为 21.24%, 其他重要值均较小, 重要值大于 3% 的树种有 7 种。灌木层中重要值排

表 2 主要物种组成及重要值

Table 2 Major species composition and important values

层次 Layers	种名 Species	重要值 Important values (%)	
乔木层 Tree layers	红鳞蒲桃 <i>Syzygium hancei</i>	21.24	
	假苹婆 <i>Sterculia lanceolata</i>	6.15	
	鸭脚木 <i>Schefflera octophylla</i>	5.76	
	香蒲桃 <i>Syzygium odoratum</i>	4.33	
	肉实树 <i>Sarcosperma laurinum</i>	3.76	
	罗伞树 <i>Ardisia quinquegona</i>	3.75	
	纳槁润楠 <i>Machilus nakao</i>	3.37	
	灌木层 Shrub layer	罗伞树 <i>Ardisia quinquegona</i>	7.46
		细枝龙血树 <i>Dracaena gracilis</i>	6.43
		黄杞 <i>Engelhardtia roxburghiana</i>	5.61
滇藏叶下珠 <i>Neolitsea levinei</i>		5.01	
九节 <i>Psychotria rubra</i>		4.55	
草本层 Herb layer	鸭脚木 <i>Schefflera octophylla</i>	3.68	
	南山花 <i>Prismatomeris connata</i>	3.57	
	大叶新木姜子 <i>Neolitsea levinei</i>	3.52	
	乌药 <i>Lindera aggregata</i>	3.46	
	龙船花 <i>Ixora chinensis</i>	3.40	
	虎舌红 <i>Ardisia mamillata</i>	3.17	
	沿阶草 <i>Ophiopogon bodinieri</i>	24.71	
	华山姜 <i>Alpinia chinensis</i>	20.88	
	粉单竹 <i>Bambusa chungii</i>	14.40	
	沟叶结缕草 <i>Zoysia matrella</i>	12.91	
长叶雀稗 <i>Paspalum longifolium</i>	3.02		

在前 5 位的依次是罗伞树、细枝龙血树、黄杞、滇藏叶下珠和九节, 其中以罗伞树和细枝龙血树为共优势种, 重要值分别为 7.46% 和 6.43%, 重要值大于 3%

的树种有 11 种,重要值差异都不大,其中罗伞树、鸭脚木是乔木层优势树种的幼树,说明该群落在演替过程中具备一定的自然更新能力。草本层种类和数量都很少,处于退化状态,其中沿阶草和华山姜为共优势种,重要值分别为 24.71% 和 20.88%;粉单竹和沟叶结缕草为次优势植物,重要值分别为 14.40% 和 12.91%;其余物种重要值大小分布较均匀,彼此差异不大。

2.2 物种多样性分析

表 3 结果表明,从丰富度指数(S)、Shannon-Wiener 指数(H')、Simpson 多样性指数(D)和 Pielou 均匀度指数(J_{sw})可看出,总体上群落内物种多样性表现为灌木层>乔木层>草本层;灌木层丰富度最高,物种数量多密度大,相对物种分布较均匀,多为乔木树种的幼树,种群呈现出较强的更新能力;乔木层拥有较高的丰富度指数和多样性指数,物种分布比较均匀;草本层物种数较少,各多样性指数水平均

较低,呈零星分布,多生长在群落边缘。

表 3 群落内物种多样性

Table 3 Species diversity in the community

层次 Layers	S	H'	D	J_{sw}
乔木层 Tree layers	66	0.935	3.473	0.829
灌木层 Shrub layer	131	0.971	4.076	0.836
草本层 Herb layer	20	0.853	2.336	0.735

2.3 种间联结性分析

由于各层物种种类较多,为便于计算,按照相对多度筛选出群落中优势度较高的物种进行种间联结分析。乔木层选取相对多度大于 4% 的物种,亚乔木层选取相对多度大于 3% 的物种,灌木层选取相对多度大于 2% 的物种。参加分析的乔木层物种 3 个,亚乔木层物种 5 个,灌木层物种 11 个(表 4)。

表 4 群落内各垂直层次所选择的物种

Table 4 Species selected at each vertical level in the community

层次 Layers	序号及物种 No. and species
乔木层 Tree layer	a ₁ 红鳞蒲桃 <i>Syzygium hancei</i> 、a ₂ 肉实树 <i>Sarcosperma laurinum</i> 、a ₃ 纳槁润楠 <i>Machilus nakao</i>
亚乔木层 Sub-tree layer	b ₁ 假苹婆 <i>Sterculia lanceolata</i> 、b ₂ 鸭脚木 <i>Schefflera actinophylla</i> 、b ₃ 罗伞树 <i>Ardisia quinquegona</i> 、b ₄ 密花树 <i>Rapanea neriifolia</i> 、b ₅ 假鹊肾树 <i>Streblus indicus</i>
灌木层 Shrub layer	c ₁ 罗伞树 <i>Ardisia quinquegona</i> 、c ₂ 细枝龙血树 <i>Dracaena gracilis</i> 、c ₃ 黄杞 <i>Engelhardtia roxburghiana</i> 、c ₄ 滇藏叶下珠 <i>Phyllanthus clarkei</i> 、c ₅ 九节 <i>Psychotria rubra</i> 、c ₆ 鸭脚木 <i>Schefflera actinophylla</i> 、c ₇ 南山花 <i>Prismatomeris commata</i> 、c ₈ 大叶新木姜子 <i>Neolitsea levinei</i> 、c ₉ 乌药 <i>Lindera aggregata</i> 、c ₁₀ 龙船花 <i>Ixora chinensis</i> 、c ₁₁ 虎舌红 <i>Ardisia mamillata</i>

2.3.1 乔木层与亚乔木层的种间联结性

由表 5 可见,乔木层与亚乔木层的方差比率 $VR=0.321<1$,总体上种间存在一定的负联结,检验

统计量 $W=8.982$,落在 $\chi^2_{0.95(28)}$ 与 $\chi^2_{0.05(28)}$ 之外,表明乔木层与亚乔木层种间总体上表现为显著的负联结关系。

表 5 各层种群间的总体联结性

Table 5 Overall association among populations

层次 Layers	方差比率 VR	检验统计量 Test statistics W	χ^2 临界值 χ^2 -test($\chi^2_{0.95(N)}$, $\chi^2_{0.05(N)}$)	测度结果 Measure result
乔木层-亚乔木层 Tree layer-sub-tree layer	0.321	8.982	(16.928, 41.337)	显著负关联 Significant negative association
乔木层-灌木层 Tree layer-shrub layer	1.807	50.587	(16.928, 41.337)	显著正关联 Significant positive association
亚乔木层-灌木层 Sub-tree layer-shrub layer	0.562	15.725	(16.928, 41.337)	显著负关联 Significant negative association

χ^2 检验结果显示乔木层的肉实树和亚乔木层的假苹婆、鸭脚木、罗伞树和假鹊肾树极显著正联结, 与密花树之间的联结不显著; 与之相比, 乔木层优势树种纳槁润楠和红鳞蒲桃与亚乔木层所有物种之间均没有显著联结性(表 6)。AC 值和 PC 值分析结果显示(图 2), 10 个种对为正关联, 其中, 4 个种对间的正联结强度很高($AC=1$), 2 个种对为负关联, 3 个种对间无关联($AC=-1, PC=0$)。只有肉实树与假苹婆、鸭脚木和罗伞树组成的 3 个种对间共同出现率大于 0.6, 其余联结性都较弱。

表 6 乔木层与亚乔木层优势物种间 χ^2 统计量

Table 6 χ^2 value of dominant species between tree layer and sub-tree layer

序号 No.	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅
a ₁	3.32	0.19	2.10	0.73	1.13
a ₂	16.43**	11.85**	15.23**	1.37	8.07**
a ₃	0.24	2.66	2.73	0.01	1.53

注: 序号对应物种见表 4, * $P<0.05$, ** $P<0.01$

Note: The species No. is the same as Table 4, * $P<0.05$, ** $P<0.01$

2.3.2 乔木层与灌木层的种间联结性

乔木层与灌木层总体联结性检验结果(表 5) 显示总体种间关系为正联结($VR=1.807>1$), 检验统计量 $W=50.587$, 落在 $\chi^2_{0.95(28)}$ 与 $\chi^2_{0.05(28)}$ 之外, 表明乔木层与灌木层种间总体上表现为显著的正联结关系。

χ^2 统计量显示, 乔木层红鳞蒲桃与灌木层的滇藏叶下珠显著负联结, 与乌药显著正联结; 肉实树与罗伞树、细枝龙血树、鸭脚木和大叶新木姜子极显著正联结; 纳槁润楠与滇藏叶下珠极显著正联结, 与乌药显著正联结(表 7)。根据图 3 的 AC 值和 PC 值可以看出, 正联结种对数为 19 对, 负联结种对数为 7 对, 无联结种对数为 7 对($AC=-1, PC=0$); 其中, 红鳞蒲桃与罗伞树和细枝龙血树之间为强的正联结($AC=1$), 与黄杞之间表现出强的负联结($AC=-1$), 有 9 对联结系数 AC 在 0 上下波动, 联

表 7 乔木层与灌木层优势物种间 χ^2 统计量

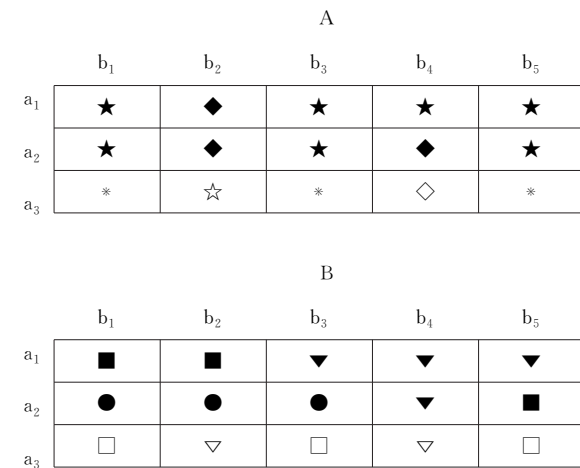
Table 7 χ^2 value of dominant species between tree layer and shrub layer

序号 No.	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	c ₅	c ₆	c ₇	c ₈	c ₉	c ₁₀	c ₁₁
a ₁	3.32	2.67	2.67	6.04*	0.29	0.00	0.12	3.88*	0.45	0.57	0.19
a ₂	16.43**	19.49**	2.49	1.12	0.21	8.58**	0.23	7.27**	0.12	0.23	2.13
a ₃	3.24	3.44	3.44	13.93**	0.21	0.18	0.23	0.08	4.08*	2.10	0.82

注: 序号对应物种见表 4, * $P<0.05$, ** $P<0.01$

Note: The species No. is the same as Table 4, * $P<0.05$, ** $P<0.01$

结较松散。从 PC 结果来看, $PC \geq 0.6$ 的有 7 对, $0.4 \leq PC < 0.6$ 的有 8 对, 大多数种对的共同出现率都很高, 表现为较强的联结性。



A: AC values, ★: $AC \geq 0.6$; ◆: $0.2 \leq AC < 0.6$; ◇: $-0.6 < AC \leq -0.2$; ☆: $-1 \leq AC < -0.6$; *: $AC = -1$

B: PC values, ●: $PC \geq 0.6$; ■: $0.4 \leq PC < 0.6$; ▼: $0.2 \leq PC < 0.4$; ▽: $0 < PC < 0.2$; □: $PC = 0$

图 2 乔木层与亚乔木层优势物种间联结 AC 值和 PC 值(种序号同表 4)

Fig. 2 AC and PC values of dominant species between tree layer and sub-tree layer (the species No. is the same as Table 4)

2.3.3 亚乔木层与灌木层的种间联结性

亚乔木层与灌木层总体联结性检验结果显示, 总体种间关系为负联结($VR=0.562<1$), 检验统计量 $W=15.725$, 落在 $\chi^2_{0.95(28)}$ 与 $\chi^2_{0.05(28)}$ 之外, 表明亚乔木层与灌木层种间总体负联结显著(图 3)。

χ^2 统计量显示, 亚乔木层优势树种假苹婆和灌木层罗伞树、细枝龙血树和鸭脚木极显著正联结, 与黄杞极显著负联结, 与大叶新木姜子显著正联结, 与乌药显著负联结; 鸭脚木与灌木层罗伞树、细枝龙血树和鸭脚木极显著正联结, 与黄杞和虎舌红极显著负联结, 与大叶新木姜子显著正联结; 罗伞树与灌木层罗伞树、细枝龙血树、鸭脚木和大叶新木姜子极显著

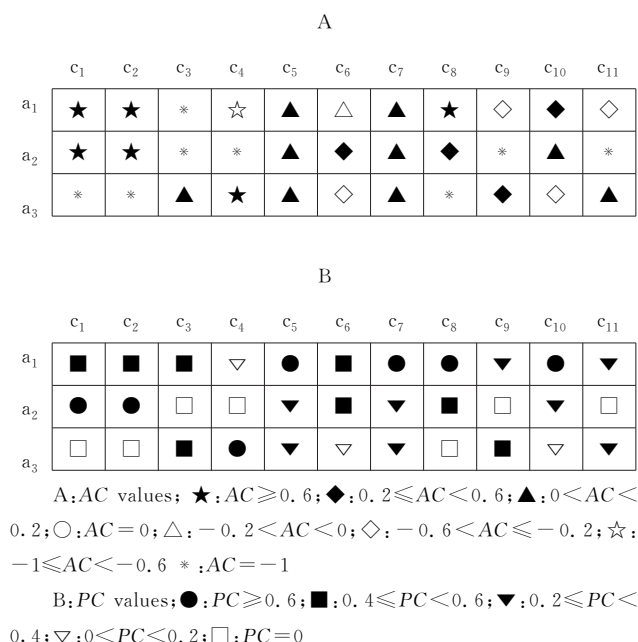


图3 乔木层与灌木层优势物种间联结 AC 值和 PC 值 (种序号同表 4)

Fig. 3 AC and PC value of dominant species between tree layer and shrub layer (the species No. is the same as Table 4)

正联结;密花树与灌木层细枝龙血树显著正联结,与黄杞显著负联结;假鹊肾树与灌木层罗伞树和细枝龙血树极显著正联结,与鸭脚木和大叶新木姜子显著正联结(表 8)。根据图 4 的 AC 值可以看出,正联结种对数为 34 对,负联结种对数为 11 对,无联结种对为 10 对($AC = -1, PC = 0$);其中,假苹婆与细枝龙血树、鸭脚木与细枝龙血树之间表现为强的正联结($AC = 1$),假苹婆与罗伞树、鸭脚木与罗伞树之间为强的负联结($AC = -1$)。从 PC 结果来看, $PC \geq$

Table 8 χ^2 value of dominant species between sub-tree layer and shrub layer

序号 No.	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	c ₅	c ₆	c ₇	c ₈	c ₉	c ₁₀	c ₁₁
b ₁	16.46**	19.93**	19.93**	0.67	0.08	12.60**	0.53	6.18*	3.85*	0.00	1.10
b ₂	11.28**	14.41**	14.41**	3.00	0.02	11.81**	0.94	5.53*	3.00	1.75	7.90**
b ₃	16.43**	19.49**	1.49	0.12	0.21	8.58**	0.23	7.27**	0.42	0.23	0.13
b ₄	3.12	4.00*	4.00*	0.22	0.68	0.97	0.00	0.66	0.22	0.08	0.41
b ₅	10.41**	12.40**	2.40	3.07	0.46	5.30*	0.05	4.46*	3.07	0.00	3.72

注:序号对应物种见表 4, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

Note: The species No. is the same as Table 4, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

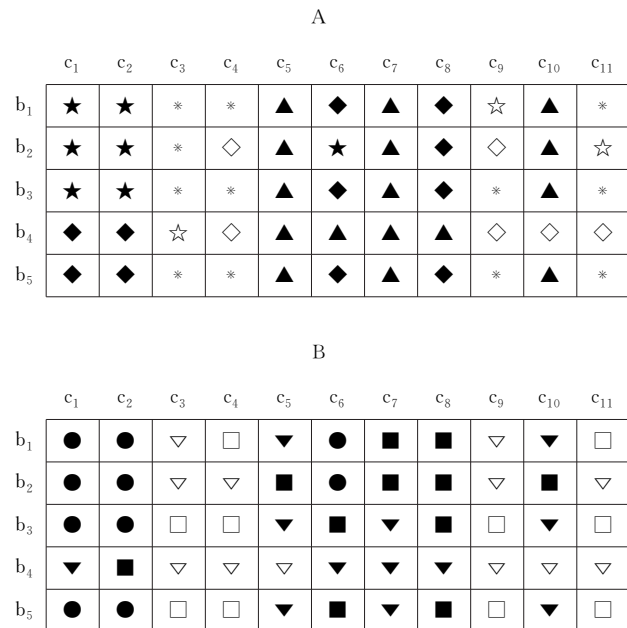
0.6 的有 10 对, $0.4 \leq PC < 0.6$ 的有 11 对, $0.2 \leq PC < 0.4$ 的有 11 对, $0 < PC < 0.2$ 的有 11 对,可见共同出现率低的占多数。

3 讨论

本研究的滨海植物群落多样性分析表明,随着 S 的升高, H' 、 D 和 J_{STW} 也随之升高。这与广西滨海红鳞蒲桃群落^[15]、澳门松山阴香群落^[39]以及青州山血桐群落多样性特征^[40]相似。群落层次分明,乔木层植物种类较少,单一树种优势明显;灌木层的丰富度和多样性都较高,灌木树种与乔木树种的幼苗和幼树共存,极高的盖度造成草本层退化,这种格局可能反映了亚热带森林生态系统的普遍特征^[41]。

植物群落的种间联结性与群落的稳定性密切相关,种间总体上正关联能够反映出群落具有较强的稳定性^[42-44]。乔木层、亚乔木层与灌木层之间出现显著或极显著的正联结种对,是由于乔木层为下层耐阴性较强的树种提供了湿润荫蔽的环境,形成在生境适应性上的生态位互补性及演替过程中的共存关系,在垂直方向上对生境要求的互补性差异造成种间呈现正联结^[25,45]。

群落恢复过程中种间联结关系的研究表明,恢复时间愈长,即群落演替时间愈长或越接近成熟,正关联的种对愈多^[46]。本研究区域的 5 个自然森林群落中,尽管垂直方向优势物种间正关联种对数多于负关联,但联结强度都较弱,且联结性不显著和无关联的物种对较多,说明植物种间独立性较强,在种间关系上表现松散。这一阶段群落中的物种间未能形成一种稳定、协调的搭配关系和对环境资源的最佳利用



A. AC values: ★: $AC \geq 0.6$; ◆: $0.2 \leq AC < 0.6$; ▲: $0 < AC < 0.2$; ○: $AC = 0$; ◇: $-0.6 < AC \leq -0.2$; ☆: $-1 \leq AC < -0.6$; *: $AC = -1$

B. PC values: ●: $PC \geq 0.6$; ■: $0.4 \leq PC < 0.6$; ▼: $0.2 \leq PC < 0.4$; ▽: $0 < PC < 0.2$; □: $PC = 0$

图4 亚乔木层与灌木层优势物种间联结 AC 值和 PC 值(种序号同表4)

Fig. 4 AC and PC value of dominant species between sub-tree layer and shrub layer (the species No. is the same as Table 4)

状态, 群落处于演替动态过程中, 种间对空间与养分的竞争激烈, 群落极不稳定, 对外界的干扰极为敏感, 恢复能力弱, 需要加强保护措施。物种间联结性和相关性除了与群落的组成、所处的阶段以及物种的生态学特性有关^[47-50], 可能与样方的数量和取样面积^[27,32,51]以及本区的环境条件有关^[47], 还可能与群落所处的演替阶段有关^[52], 具体原因需要对机理性做进一步研究。

种间联结性的研究方法很多, 各具特色, 但也都存在不足, 最好多种方法配合使用, 以更有效地说明种间联结程度。本研究先对主要种群进行总体关联度检验, 然后再进行 χ^2 统计量检验, 说明种间是否具有显著关联性, 对关联不显著的种对通过 PC 和 AC 两个指标来做进一步的判断, 说明各种对间的正、负关联程度及其在群落的共同出现率, 最终确定出具体的具有显著关联性的植物种对, 从而更准确地揭示各树种间的相互竞争和依赖关系, 以及群落的稳定性、演替进程和趋势。

在广西滨海植被生态系统恢复及防护林建设, 应选取在垂直方向上具有生境互补性和差异性的正联结较强的乡土树种配置, 主要乔灌木配置类型有红鳞蒲桃—乌药, 肉实树+罗伞树+鸭脚木—细枝龙血树+大叶新木姜子, 纳槁润楠—滇藏叶下珠+乌药, 假苹婆+罗伞树+鸭脚木—细枝龙血树+大叶新木姜子, 密花树—细枝龙血树, 假鹊肾树+罗伞树+鸭脚木—细枝龙血树+大叶新木姜子。

4 结论

广西防城港滨海自然森林群落组成复杂, 物种丰富, 分层比较明显, 大致可分为乔木层(含乔木层和亚乔木层)、灌木层和草本层。各物种丰富度指数(S), Shannon-Wiener 指数(H')和 Simpson 多样性指数(D), Pielou 均匀度指数(J_{scw})均表现为灌木层 > 乔木层 > 草本层的一致性。群落乔木层优势种是红鳞蒲桃。灌木层优势种主要有罗伞树、细枝龙血树、黄杞、滇藏叶下珠和九节, 其中以罗伞树和细枝龙血树为共优势种。草本层处于退化状态。

种间总体上联结性分析表明, 乔木层与亚乔木层、亚乔木层与灌木层均表现为显著的负联结, 乔木层与灌木层种间总体上表现为显著的正联结。经 χ^2 统计量、AC 值和 PC 值检验, 乔木层与亚乔木层所组成的种对中, 种对间显著或极显著关联和共同出现率都较低, 15 个种对中仅有 4 个种对显著正联结, 3 个种对 $PC > 0.6$, 呈现出较强的独立性; 在 33 个乔木层与灌木层的树种种对中, 正联结种对数为 19 对, $PC \geq 0.6$ 的有 7 对, $0.4 \leq PC < 0.6$ 的 8 对, 表现两个林层间大多数物种具有较强的联结性。在乔木层与灌木层的 55 个种对中, 正联结种对数为 34 对, $PC \geq 0.6$ 的 10 对, $0.4 \leq PC < 0.6$ 的有 11 对, 种间关系较为紧密。结果表明, 各群落的乔木层和亚乔木层种间竞争激烈, 林下灌木和幼树对这两个层次形成的微环境依赖性较强, 上层植被的破坏将可能使林下灌木层遭到严重的生境胁迫, 导致大部分物种死亡和生态系统的退化, 从而体现出对自然森林群落保护的重要性。

参考文献

[1] ODUM E P. Fundamentals of ecogogy [M]. 2nd ed. Pennsylvania: Cengage Learning, 1980.
 [2] ALMADA F, CARPI P, CARLOS F F, et al. Identification of adult and juvenile *Atherina presbyter* Cuvier,

- 1829 in a marine coastal area adjacent to Tagus estuary (NE Atlantic): A molecular tool for an ecological question [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2017, 33(2): 168-173.
- [3] GUO H, WEAVER C, CHARLES S P, et al. Coastal regime shifts: Rapid responses of coastal wetlands to changes in mangrove cover [J]. *Ecology*, 2017, 98(3): 762-772.
- [4] HAMILTON S, CASEY D. Creation of a high spatio-temporal resolution global database of continuous mangrove forest cover for the 21st century (CGMFC-21) [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2016, 25(6): 729-738.
- [5] MALAVASI M, BARTAK V, CARRANZA M L, et al. Landscape pattern and plant biodiversity in Mediterranean coastal dune ecosystems: Do habitat loss and fragmentation really matter? [J]. *Journal of Biogeography*, 2018, 45(6): 1367-1377.
- [6] JARVIS S G, ROWE E C, HENRYS P A, et al. Empirical realised niche models for British coastal plant species [J]. *Journal of Coastal Conservation*, 2016, 20(2): 107-116.
- [7] ÜLLAS E, PEEP K, KALJU H. Land cover types and ecological conditions of the Estonian coast [J]. *Journal of Coastal Conservation*, 2002, 8: 109.
- [8] 张磊, 吴莺, 王菲, 等. 红树林植物的研究进展[J]. *海峡药学*, 2014, 26(4): 8-12.
- [9] 刘富强. 山东省沙质海岸防护林群落多样性及其土壤理化性质研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009.
- [10] 覃莉. 广西滨海红鳞蒲桃营养状况及其林地土壤理化性质研究[D]. 南宁: 广西大学, 2010.
- [11] 王红丽, 李艳丽, 张文佳, 等. 崇明东滩湿地土壤养分的分布特征及其环境效应[J]. *环境科学与技术*, 2010, 33(1): 1-5.
- [12] 罗弼樱, 黄承标, 闭炳翠, 等. 广西滨海红鳞蒲桃群落的土壤理化性质[J]. *亚热带农业研究*, 2016, 12(3): 175-180.
- [13] 宿少锋, 陈毅青, 薛杨, 等. 海南岛滨海台地 5 种典型林分类型土壤理化特性研究[J]. *广东农业科学*, 2016, 43(11): 64-69.
- [14] 高伟, 叶功富, 游水生, 等. 海岸沙地不同干扰方式植物群落结构与多样性[J]. *福建林学院学报*, 2011, 31(3): 227-233.
- [15] 谢伟东, 招礼军, 邓荣艳, 等. 干扰对红鳞蒲桃群落植物多样性及重要值的影响[J]. *西南大学学报: 自然科学版*, 2011, 33(6): 58-63.
- [16] 曾聪, 李蕾鲜, 范航清. 广西滨海红鳞蒲桃资源现状与群落特征[J]. *广西科学*, 2011, 18(3): 283-288.
- [17] 赵艳云, 陆兆华, 刘京涛, 等. 海岸沙丘植物群落分布、适应性和演替研究进展[J]. *湿地科学*, 2014, 12(3): 401-408.
- [18] 曾聪, 李蕾鲜. 25 年来广西滨海红鳞蒲桃群落的变化特征[J]. *广西科学*, 2017, 24(5): 468-473.
- [19] 李远发, 王磊, 喻素芳, 等. 广西滨海过渡区红鳞蒲桃群落的空间结构特征[J]. *生态学杂志*, 2016, 35(3): 726-732.
- [20] 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]. *植物生态与地植物学丛刊*, 1985, 9(4): 274-285.
- [21] 张金屯, 焦蓉. 关帝山神尾沟森林群落木本植物种间联结性与相关性研究[J]. *植物研究*, 2003, 23(4): 458-463.
- [22] 张倩媚, 陈北光, 周国逸. 鼎湖山主要林型优势树种种间联结性的计算方法研究[J]. *华南农业大学学报*, 2006, 27(1): 79-83.
- [23] 黄云鹏. 武夷山米槠林主要树种种间关联性[J]. *山地学报*, 2008, 26(6): 692-698.
- [24] 康丽丹. 暖温带落叶阔叶林灌木层种间关联探究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2011.
- [25] 刘金福, 洪伟, 樊后保, 等. 天然格氏栲林乔木层种间关联性研究[J]. *林业科学*, 2001, 37(4): 117-123.
- [26] 王乃江, 张文辉, 陆元昌, 等. 陕西子午岭森林植物群落种间联结性[J]. *生态学报*, 2010, 30(1): 67-78.
- [27] 潘高, 张合平, 潘登. 中亚热带南酸枣林优势种群的种间联结性[J]. *生态学杂志*, 2017, 36(4): 892-901.
- [28] 张志勇, 陶德定, 李德铎. 五针白皮松在群落演替过程中的种间联结性分析[J]. *生物多样性*, 2003, 11(2): 125-131.
- [29] 柴勇, 孟广涛, 武力, 等. 馨香玉兰所在群落主要树种的种间联结性[J]. *西北林学院学报*, 2009, 24(5): 31-35.
- [30] 彭少麟, 周厚诚, 郭少聪, 等. 鼎湖山地带性植被种间联结变化研究[J]. *植物学报*, 1999, 41(11): 1239-1244.
- [31] 周先叶, 王伯荪, 李鸣光, 等. 广东黑石顶自然保护区森林次生演替过程中群落的种间联结性分析[J]. *植物生态学报*, 2000, 24(3): 332-339.
- [32] 邓莉萍, 白雪娇, 李露露, 等. 辽东山区次生林优势木本植物种间联结与相关分析[J]. *生态学杂志*, 2015, 34(6): 1473-1479.
- [33] 戈峰. 现代生态学[M]. 第 2 版. 北京: 科学出版社, 2008.
- [34] 张金屯. 植被数量生态学方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [35] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 II 丰富度、均匀度和物种多样性指数

- [J]. 生态学报, 1995, 15(3): 268-277.
- [36] 黄忠良, 孔国辉, 何道泉. 鼎湖山植物群落多样性的研究[J]. 生态学报, 2000, 20(2): 193-198.
- [37] SCHLUTER D. A variance test for detecting species associations, with some example applications [J]. *Ecology*, 1984, 65(3): 998-1005.
- [38] 张金屯. 数量生态学[M]. 第2版. 北京: 科学出版社, 2011.
- [39] 宋贤利, 邢福武, 易绮斐, 等. 澳门松山阴香群落特征及物种多样性研究[J]. 福建林业科技, 2013(3): 1-7, 13.
- [40] 赵珊珊, 曾庆文, 邢福武. 澳门青洲山血桐群落特征及物种多样性研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(6): 3243-3248.
- [41] 彭少麟, 王伯荪. 鼎湖山森林群落分析 I. 物种多样性[J]. 生态科学, 1983, 1: 11-17.
- [42] 邓贤兰, 刘玉成, 吴杨. 井冈山自然保护区栲属群落优势种群的种间联结关系研究[J]. 植物生态学报, 2003, 27(4): 531-536.
- [43] 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.
- [44] 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.
- [45] 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.
- [46] 张文辉, 徐学华, 李登武, 等. 黄土高原丘陵沟壑区狼牙刺群落恢复过程中的种间联结性研究[J]. 西北植物学报, 2004, 24(6): 1018-1023.
- [47] 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.
- [48] 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[J]. 应用生态学报, 2004, 15(11): 2013-2018.
- [49] 王文进, 张明, 刘福德, 等. 海南岛吊罗山热带山地雨林两个演替阶段的种间联结性[J]. 生物多样性, 2007, 15(3): 257-263.
- [50] PETERSON C J, SQUIERS E R. An unexpected change in spatial pattern across 10 years in an aspen-white-pine forest [J]. *Journal of Ecology*, 1995, 83(5): 847-855.
- [51] 刘春生, 刘鹏, 张志祥, 等. 九龙山南方铁杉群落物种多样性及乔木种间联结性[J]. 生态环境学报, 2008, 17(4): 1533-1540.
- [52] 康冰, 刘世荣, 温远光, 等. 广西大青山南亚热带次生林演替过程的种群动态[J]. 植物生态学报, 2006, 30(6): 931-940.

Species Diversity and Inter-specific Association between Vertical Layers in Coastal Natural Plant Communities

ZHANG Yifan, REN Zhe, DENG Rongyan, XIE Weidong, SHAN Xiaoxuan

(College of Forestry, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China)

Abstract: Through the study of species diversity and inter-specific association of coastal plant communities, the formation of communities and the symbiotic and competitive relationship between species were explored, which provided a theoretical basis for the selection and allocation of tree species for coastal sandy land and island restoration. The coastal natural plant community in Fangchenggang City of Guangxi Province was taken as object, and the community structure, species diversity and the association and correlation of species between vertical layers were studied. The results show that the coastal natural forest community of Fangchenggang in Guangxi has complex composition, abundant species and obvious stratification. It can be roughly divided into tree layer (including tree and sub-tree layers), shrub layer and herb layer. The species richness index (S), Shannon-Wiener index (H'), Simpson diversity index (D) and Pielou evenness index (J_{sw}) were all expressed as shrub layer > tree and sub-tree layers > herb layer. The variation trend of species diversity index was consistent with the variation trend of richness index. The herb layer was in a state of degradation.

The results of χ^2 tests, inter-species association coefficient (*AC*) and percentage co-occurrence (*PC*) showed that there was significant negative association between tree layer and sub-tree layer, while there were more independent species pairs, and fewer pairs were significantly connected. There was a significant positive association between the species in tree layer and shrub layer, and there were more pairs of species that were significantly connected, and the species pairs were much closer. Generally there was a significant negative association between the species in sub-tree layer and shrub layer, which was in an unstable stage of succession. The results suggested that similar habitat requirements and ecological habits of species between vertical levels within a community and complementary differences in habitat requirements between the vertical layers might be the main driver affecting the relationship between species.

Key words: coastal zone, plant communities, species diversity, vertical layers, dominant species, inter-specific association

责任编辑: 陆 雁

本刊编委范航清研究员荣膺 2019 年广西“最美科技工作者”

近日,自治区党委宣传部、自治区科协、自治区科技厅、自治区工信厅、广西科学院等五部门联合发文,公布了 2019 年广西“最美科技工作者”遴选结果。本刊编委、广西红树林研究中心主任范航清研究员荣膺 2019 年广西“最美科技工作者”。

据悉,此次遴选工作从 5 月上旬开始,经过广泛动员、有关单位推荐、2019 年广西“最美科技工作者”推荐评选工作小组评选、面向社会公示,最终产生 10 名 2019 年广西“最美科技工作者”,分别是邓荫伟、杨章旗、范航清、庞耀珊、徐世宏、黄旭华、黄战威、韩玉、覃文、雷欢。他们来自全区各行业,长期从事科学研究、科学普及、科技推广、科技扶贫、技术创新、成果转化等科技事业,得到社会广泛认可,具有突出的先进性、代表性和影响力。

据了解,中办、国办印发的《关于进一步弘扬科学家精神加强作风和学风建设的意见》,明确提出以“最美科技工作者”等宣传项目为抓手,积极选树、广泛宣传基层一线科技工作者和创新团队典型。广西将以“弘扬爱国奋斗精神、建功立业新时代”为主题,广泛宣传 2019 年广西“最美科技工作者”,推动“最美科技工作者”学习宣传活动深入开展。

范航清研究员于 1991 年 4 月到广西壮族自治区北海市工作,同年创建我国迄今为止唯一的红树林独立法人研究机构——广西红树林研究中心。28 年来扎根基层研究,不忘初心,牢记使命,为我国红树林保护、合理利用及国际合作做出了突出贡献。

(摘自广西科学院网页)



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxkx@gxas.cn

投稿系统网址:<http://gxkx.ijournal.cn/gxkx/ch>