



主持人:任明迅

## 海南陵水新村港红树林现状和修复策略探析

郑法, 刘伟, 刘嘉慧, 陈泽恒, 翟瑞浩, 王宁, 韦秀

(中国地质调查局海口海洋地质调查中心, 海口 571127)

**摘要:** 为了理清红树林的现状, 制定更有效的保护措施, 本研究基于海南省数字正射影像解译海南陵水新村港红树林的面积及分布区域后, 采用样方法研究新村港红树林物种多样性和主要生物学指标, 并研究新村港南、北两岸的红树林自然种群与人工种群的分布特点。结果表明, (1) 在陵水新村港, 红树林种类总数共有12种, 其中南岸8种, 优势种为正红树 (*Rhizophora apiculata*); 北岸6种, 优势种为对叶榄李 (*Laguncularia racemosa*), 并人工移植培育了一株国家二级保护植物红榄李 (*Lumnitzera littorea*), 其生长状态良好。(2) 在南北两岸, 自然林都展现出对高潮位的适应性, 但南岸的红树林生长状态优于北岸, 然而人工植林在两岸的树木都相对较矮。(3) 就物种多样性而言, 南岸自然林生物多样性均高于北岸, 但在人工林方面, 北岸的生物性略高于南岸。(4) 南岸主要是自然林, 更适合采用人工种植无瓣海桑 (*Sonneratia apetala*) 或者疏松树冠的方法来增加物种多样性, 而北岸的人工林则多使用本土物种, 通过多品种和两级种植可以更有效地提高物种多样性。同时也考虑到生物入侵和潮位不同的特点, 提出在高潮位引进无瓣海桑的建议。本研究明确了陵水新村港红树林的物种分布和生态特征, 为该区域红树林保护和修复工程提供了宝贵的调查数据, 有助于优化红树林的保护策略, 从而助力新村港红树林的生态保护和可持续发展。

**关键词:** 新村港; 红树林; 物种分布; 物种多样性; 生态修复

**中图分类号:** Q-9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-7054 (2024) 06-0770-10

郑法, 刘伟, 刘嘉慧, 等. 海南陵水新村港红树林现状和修复策略探析 [J]. 热带生物学报, 2024, 15(6): 760-770.  
doi: 10.15886/j.cnki.rdxswxb.20230129

红树林是在热带和亚热带地区的潮间带河口、海湾和海岸生长和发展的木本植物群落。其具有独特的形态结构、生理和生态特征, 非常适应潮间带泥滩环境<sup>[1]</sup>。红树林生态系统的高能量通量和物质周转率是得益于其高生产力、高恢复率和高分解率, 这使得它们在维持生物多样性、净化海水、分解污染物、维持河口沿海食物链、促进海洋渔业、促进淤积和防止波浪等方面具有重要保护作用<sup>[2]</sup>。目前全球现有真红树16科24属84种, 其中也包括12个变种, 中国有11科24种<sup>[3]</sup>。自20世纪70年代以来, 人类活动严重破坏了世界各地的红树林, 世界上三分之一以上的红树林已经

消失, 并以每年约1.5%的速度在减少<sup>[4]</sup>, 因此, 尽可能地保护每个区域的红树林, 既能增加红树林的区域特征, 也可以从点至面的形式为整个红树林保护与修复大局作出贡献点。

在我国, 红树林广泛分布于海南、广西、广东和福建等地<sup>[5]</sup>。海南岛四周环海, 是我国红树林分布面积最广、种类最多、生物多样性最丰富的地区之一<sup>[6]</sup>。海南陵水红树林位于海南岛东南部陵水县新村港内 (18°23' ~ 18°26'), 已划分为陵水红树林国家湿地公园, 公园总面积为958.22 hm<sup>2</sup><sup>[7]</sup>, 分布有18种红树植物 (含引入桐花树 (*Aegiceras corniculatum*)), 其中真红树11种、半红树植物5种、外来

收稿日期: 2023-11-29

修回日期: 2024-04-24

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目 (DD20220876, DD20220993)

第一作者: 郑法 (1997-), 男, 助理工程师。研究方向: 自然资源调查。E-mail: zf18355371391@163.com

通信作者: 陈泽恒 (1994-), 男, 工程师。研究方向: 湿地生态学与海洋环境。E-mail: 2272070693@qq.com;

刘嘉慧 (1999-), 女, 助理工程师。研究方向: 生态遥感。E-mail: jhliu666@outlook.com

真红树2种,红树植物种数约占中国红树植物种数的50%,含有珍稀濒危红树植物红榄李(*Lumnitzera littorea*)1种,其属于极小种群,被收入《国家重点保护野生植物名录(第一批)》:Ⅱ级。该地区仅存1株,经保护区重点保护下,红榄李目前生长良好,绿叶满株,与史伟<sup>[8]</sup>在2019—2020年调查期间对比,该株有着较大的变化,向着较为良好的方向发展,这很大部分是由于自2016年起,陵水县开始实施红树林造林及退塘还林工程,有效地保护和恢复了红树林湿地生态系统的完整性<sup>[8]</sup>。其中,引种对叶榄李(*Laguncularia racemosa*)作为修复植物种,虽取得了短期成效,但对叶榄李具有极快的扩散能力和入侵性,使该地物种多样性逐渐消退,红树林生态系统趋向单一化<sup>[9]</sup>。

在此背景下,本研究通过实际调查数据,从研究区南北两岸进行对比分析,得出该地区红树林分布特性,也一定程度上得出对叶榄李为主的区域和非对叶榄李为主的区域生物多样性有何差异,为进一步得出较为科学的修复方案,本研究立足海南岛东南红树林区域的整体分布格局中,选取相邻市县万宁市的红树林进行对比分析,形成较为科学的实质性修复方案。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

陵水红树林位于海南省东南部陵水黎族自治县新村港内,它是一个几乎封闭的天然渔港,地理位置见图1,其状态完全由潮汐所控制;新村港地处北纬 $18^{\circ}24' \sim 18^{\circ}25'$ ,东经 $109^{\circ}$ ,口门平均水深5.7 m,湾内最深11.2 m,仅海湾西部有一窄口与陵水湾相通,自然环境条件良好<sup>[10]</sup>,属典型的热带海洋季风气候。日照时间长,气温高,降水多,季风与海陆风明显,夏季长达9个月,春秋季节不分明,全年无冬天,平均气温 $24.8^{\circ}\text{C}$ ,月平均最高气温 $28.0^{\circ}\text{C}$ (7月),月平均最低气温 $19.6^{\circ}\text{C}$ (1月)<sup>[11]</sup>。该地区雨量充沛,降雨多以地表径流的方式进入海域<sup>[12]</sup>。新村港潮汐属于混合的不规则全日潮,以当地平均海平面为基面,新村港最高潮位为1.18 m,最低潮位 $-1.15\text{ m}$ ,平均高潮位0.65 m,平均低潮位 $-0.28\text{ m}$ ,最大可能潮差1.63 m,平均潮差 $0.50\text{ m}$ <sup>[13]</sup>,其内生长的红树分布在南北两岸,独具特征。调查显示,北岸(01~04断面)以人工移植的对叶榄李群落为主,南岸(05~09断面)以自然生长的正红树(*Rhizophora apiculata*)群落为主,突出红树种及周边环境由图2所示。

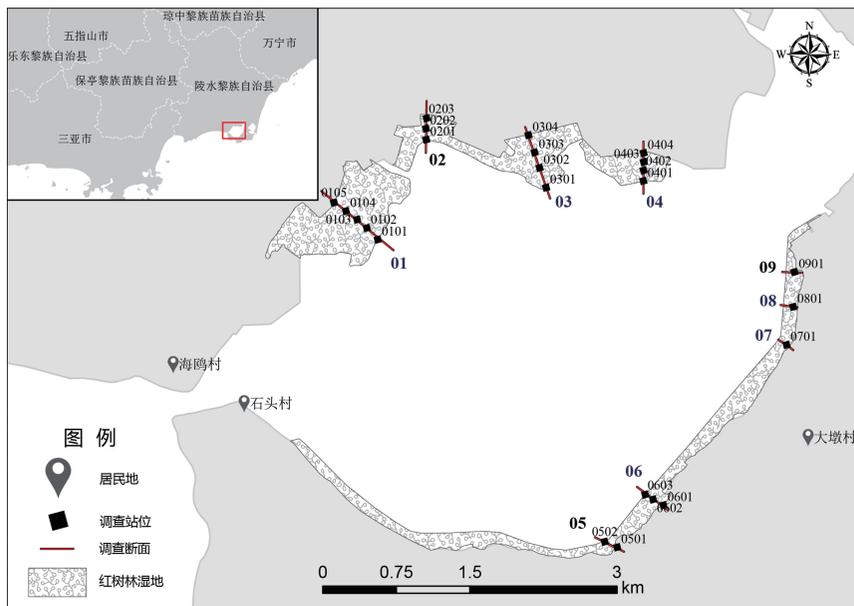


图1 陵水红树林湿地地理位置和调查断面示意图

Fig. 1 Geographic location of Lingshui mangrove wetland and schematic diagram of survey section

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 红树林遥感信息提取

以2019年0.5 m空间分辨率的海南省数字正射影像(海南省自然资

源和规划厅收集得到)为基础,结合实地调查及相关文献资料,获取最新的陵水新村港红树林湿地面积和分布范围数据。



图2 陵水红树林及周边环境

A. 北岸人工林(对叶榄李); B. 北岸自然林(白骨壤); C. 南岸人工林(红海榄); D. 南岸自然林(正红树); E. 北岸周边人为活动; F. 南岸污染状况。

Fig. 2 Lingshui mangrove forest and surrounding environment

A. Plantation forest (*Laguncularia racemosa*) on the north shore; B. Natural forest (*Avicennia marina*) on the north shore; C. Plantation forest (*Rhizophora stylosa*) on the south shore; D. Natural forest (*Rhizophora apiculata*) on the south shore; E. Anthropogenic activity in the north shore neighborhood; F. Pollution conditions on the south shore.

**1.2.2 群落分布调查** 以卫星遥感影像为底图,根据现场调查结果,通过无人机航拍及野外走航的方式,判断红树林中不同植物群落类型的边界,获得陵水新村港红树林植物群落分布数据。

**1.3 群落学调查** 2021年10月至12月,笔者课题组成员对新村港红树植物种群结构和群落特征进行了调查。基于遥感解译新村港红树林分布后,根据红树林面积和分布范围共布设9条断面,穿越向海林带、中间林带和陆林带。根据红树林实际宽度带进行调整,每个断面布设1~5个调查站位(图1),共24个调查站位。每个站位布设1个10 m×10 m乔木样方,记录树种名、胸径、树高、冠幅等。每个样方设置1 m×1 m小样方进行更新层调查计算,如幼苗的种类、株数、株高等。调查过程中,鉴别样方内的植物种类并记录。采用胸径尺测

量乔木(主干明显、树高>3 m)胸径和灌木(丛)基径(精确至0.1 cm),每木检尺;采用测高杆测量树高(精确至0.1 m),每木检尺;记录更新层幼苗种类和数量,采用钢卷尺测量幼苗平均高和最大高度(精确至0.1 cm);采用测高杆分别测量树冠投影的长轴和短轴,计算投影范围(冠幅);目测群落(种群)盖度,即树冠投影占地面的百分比。

**1.4 数据分析方法** 物种重要值是反映种群在群落中的丰富程度和分布情况的重要性指标。调查基于样方内物种重要值判定种群结构,同时根据重要值对新村港总体分布格局进行概括,具体公式见(1~4)<sup>[14]</sup>。

$$\text{重要值}(P_i) = (RA + RD + RF) / 300, \quad (1)$$

$$\text{相对多度}(RA) = (\text{某一种植物的个体总数} / \text{同一生活型植物个体总数}) \times 100, \quad (2)$$

$$\text{相对显著度}(RD) = (\text{该种所有个体胸面积之和} / \text{所有种个体胸面积总和}) \times 100, \quad (3)$$

$$\text{相对频度}(RF) = (\text{一个种的频度} / \text{所有种的频度总和}) \times 100. \quad (4)$$

物种多样性指数采用Simpson优势度指数( $D$ )、Shannon-Wiener多样性指数( $H$ )、Pielou均匀度指数( $E$ )对陵水新村港红树林植物群落南岸及北岸、人工林与自然林多样性进行分析计算,具体公式见(5~7)<sup>[15]</sup>。

$$D = 1 - \sum P_i^2, \quad (5)$$

$$H = -\sum P_i \ln P_i, \quad (6)$$

$$E = \frac{-\sum P_i \ln P_i}{\ln S}. \quad (7)$$

其中: $S$ 为物种数, $N$ 为样方内植物的总株数, $P_i$ 为物种的重要值。

## 2 结果与分析

**2.1 新村港红树林种群结构及群落特征** 陵水新村港红树林共有12种红树林,南北两岸的树种和优势种都存在差异。本次调查发现陵水新村港红树林有红榄李、对叶榄李、红海榄、正红树、杯萼海桑、木榄、白骨壤、海漆、海莲、卤蕨、黄槿、露兜树共12种红树植物,具体名录见表2,种名参照王伯荪等<sup>[16]</sup>编制的世界红树植物区系。北岸红树林种类占据6种,较为常见的是对叶榄李、白骨壤、红海榄、正红树、杯萼海桑。它们主要以人工种植为主,其中对叶榄李为优势种,在多个调查站位均有出现,并且占有大片的分布区域,其次为红海榄、

白骨壤等。同时,北岸少数调查站位发现正红树、白骨壤自然林,值得一提的是此次调查在北岸发现了国家二级保护植物红榄李,株数为1株,植株生长茂密,为人工移植培育。南岸红树林种类占据8种,分别是红海榄、正红树、木榄、白骨壤、卤蕨和海漆,高潮位区域还分布有露兜树、黄槿等半红树种。它们主要以自然生长为主,正红树为主要优势种,其次为红海榄,南岸的红树林主要以自然生长为主,少数人工种植红海榄、白骨壤等红树分布在南岸的低潮位区域。海漆、海莲等真红树植物仅在南岸观察到(由图1、表1、表2结合野外调

查综合得出)。

根据实地走航和结合样方调查原始数据,共统计出8种植物群系结构。其中新村港北岸目前共有4种群系结构,分别为对叶榄李群系、白骨壤群系、红海榄群系和对叶榄李—红海榄群系,而通过对更新层的调查发现将进一步演替出对叶榄李—白骨壤群系;新村港南岸有3种种群系结构,分别为正红树群系、海莲群系和海漆—正红树群系;新村港北岸种植大面积以对叶榄李群系、红海榄群系为主的人工林,同时小规模集群分布白骨壤和离散分布的杯萼海桑;北岸西北处曲港附近生

表1 新村港红树林植物调查样方

Tab. 1 Mangrove plant survey samples in Xincun Harbor

序号 Code	位置 Location	断面号 Section number (e.g. of a map)	样方号 Sample number	地理坐标 Geographic coordinate	
1	新村港北岸 North shore of Xincun Harbor	01	0101	109° 59' 4.51" E, 18° 25' 30.08" N	
2			0102	109° 59' 0.90" E, 18° 25' 33.85" N	
3			0103	109° 58' 57.71" E, 18° 25' 36.63" N	
4			0104	109° 58' 54.02" E, 18° 25' 39.39" N	
5			0105	109° 58' 50.06" E, 18° 25' 42.16" N	
6		02	0201	109° 59' 20.49" E, 18° 26' 2.83" N	
7			0202	109° 59' 20.41" E, 18° 26' 6.47" N	
8			0203	109° 59' 20.612" E, 18° 26' 9.86" N	
9		03	0301	110° 0' 0.01" E, 18° 25' 47.10" N	
10			0302	109° 59' 57.84" E, 18° 25' 53.61" N	
11			0303	109° 59' 56.22" E, 18° 25' 58.64" N	
12			0304	109° 59' 54.20" E, 18° 26' 4.30" N	
13		04	0401	110° 0' 32.08" E, 18° 25' 49.27" N	
14			0402	110° 0' 32.14" E, 18° 25' 52.76" N	
15			0403	110° 0' 32.18" E, 18° 25' 55.56" N	
16			0404	110° 0' 32.17" E, 18° 25' 58.51" N	
17		05	0501	110° 0' 23.43" E, 18° 23' 49.07" N	
18			0502	110° 0' 19.30" E, 18° 23' 50.84" N	
19		新村港南岸 South shore of Xincun Harbor	06	0601	110° 0' 38.69" E, 18° 24' 2.84" N
20				0602	110° 0' 35.29" E, 18° 24' 4.73" N
21				0603	110° 0' 32.70" E, 18° 24' 6.31" N
22		07	0701	110° 1' 19.26" E, 18° 24' 55.49" N	
23		08	0801	110° 1' 21.51" E, 18° 25' 7.98" N	
24		09	0901	110° 1' 21.90" E, 18° 25' 19.37" N	

注:样方号等同于站位号。

Note: The sample number is equivalent to the station number.

表2 新村港南北两岸红树植物名录

Tab. 2 List of mangrove plants on the north and south shores of Xincun Harbor

区域 Shore	科名 Family name	物种名 Species name
新村港北岸(包含 01 ~ 04 断面) North shore of Xincun Harbor (including sections 01-04)	使君子科(Combretaceae)	红榄李( <i>Lumnitzera littorea</i> ) 对叶榄李( <i>Laguncularia racemosa</i> )
	马鞭草科(Verbenaceae)	白骨壤( <i>Avicennia marina</i> )
	海桑科(Sonneratiaceae)	杯萼海桑( <i>Sonneratia alba</i> )
	红树科(Rhizophoraceae)	红海榄( <i>Rhizophora stylosa</i> ) 正红树( <i>Rhizophora apiculata</i> )
新村港南岸(包含 05 ~ 09 断面) South shore of Xincun Harbor inclusive of sections 05-09	马鞭草科(Verbenaceae)	白骨壤( <i>Avicennia marina</i> )
	大戟科(Euphorbiaceae)	海漆( <i>Excoecaria agallocha</i> )
	红树科(Rhizophoraceae)	红海榄( <i>Rhizophora stylosa</i> ) 正红树( <i>Rhizophora apiculata</i> )
		木榄( <i>Bruguiera gymnorrhiza</i> ) 海莲( <i>Bruguiera sexangula</i> )
		海桑科(Sonneratiaceae)
	卤蕨科(Acrostichaceae)	卤蕨( <i>Acrostichum aureum</i> )
	露兜树科(Pandanaceae)	露兜树( <i>Pandanus tectorius</i> )
锦葵科(Malvaceae)	黄槿( <i>Hibiscus tiliaceus</i> )	

注:其中黄槿、露兜树为半红树,其余均为真红树。

Note: Among them, the yellow hibiscus and lucerne are semi-mangrove trees, while the rest are true mangrove trees.

长以正红树群系为主的自然林。南岸滩涂位置种植红海榄,高潮位自然林以正红树群系或正红树伴生群系为主,群系种类较多,发现海漆、黄槿等半红树植物。

**2.2 生物学特征** 南北两岸自然林均具有高潮位特征,但南岸自然林的红树植物生长状态优于北岸,而人工林在两岸都表现出较低的株高。从表3可得,南岸的正红树平均株高可达6.5 m,平均冠幅达1.4 m×1.5 m,红海榄株高达到9.6 m,冠幅达到2.5 m×2.3 m;而北岸的正红树平均株高仅为2.6 m,平均冠幅为1.0 m×1.3 m。北岸大规模种植的对叶榄李及红海榄,平均株高1.7 m,平均冠幅0.9 m×0.9 m,红海榄数量及生长水平较对叶榄李相比较一般,平均株高1.5 m,平均冠幅0.5 m×0.7 m,而南岸主要以红海榄为主,平均株高小于1 m,长势劣于北岸。总体来看南岸植株总体高度要远大于北岸,物种数也要多于北岸,但南岸的分布带较为狭长,植株分布面要低于北岸。

**2.3 生物多样性** 南岸红树林总体和自然林的生物多样性指数皆高于北岸,而人工林的生物多

样性指数则呈现出完全相反状态。图3展示了新村港红树林南北两岸人工林、自然林多样性指数对比状况。新村港南岸红树林总体 Simpson 优势度指数( $D$ )为0.30, Shannon-Wiener 多样性指数( $H$ )为0.51, Pielou 均匀度指数( $E$ )为0.47,北岸红树林总体的( $D$ )、( $H$ )、( $E$ )3个指数的值分别为0.19、0.30、0.39,南岸红树林的3个指数均呈现出高于北岸红树林的情况。南岸自然林的( $D$ )、( $H$ )、( $E$ )3个指数的值分别为0.34、0.58、0.53,北岸自然林的( $D$ )、( $H$ )、( $E$ )3个指数的值分别为0.19、0.40、0.36,南岸自然林3个指数皆高于北岸自然林;南北两岸人工林的3个指数则呈现出完全相反状态,即南岸人工林的( $D$ )、( $H$ )、( $E$ )值小于北岸。

就两岸内部而言,南岸自然林的( $D$ )、( $H$ )、( $E$ )3个指数分别为0.34、0.58、0.53,高于其人工林区域,其中, Shannon-Wiener 多样性指数( $H$ )差距相对较大。北岸的自然林和人工林( $D$ )、( $H$ )两个指数和南岸呈现出完全相同趋势, ( $E$ )则呈现出相反状态,北岸的自然林和人工林的对应指数之间

表3 新村港红树林北岸、南岸生物学指标

Tab. 3 Biological indicators of mangrove forests on the north and south coasts of Xincun harbor

位置 Location	物种名 Species name	出现频度/% Occurrence frequency	平均基径/cm Average basal stem diameter	平均株高/m Average plant height)	平均冠幅/m Average crown spread	平均重要值 Average significant value
新村港北岸 (包含 01 ~ 04 断面) North shore of Xincun Harbor inclusive of sections 01-04)	对叶榄李 <i>Laguncularia racemosa</i>	81	2.9	1.7	0.9 m×0.9 m	0.65
	红海榄 <i>Rhizophora stylosa</i>	69	2.6	1.5	0.5 m×0.7 m	0.22
	白骨壤 <i>Avicennia marina</i>	31	1.2	1.0	0.7 m×0.8 m	0.08
	正红树 <i>Rhizophora apiculata</i>	6	3.1	2.6	1.0 m×1.3 m	0.01
	杯萼海桑 <i>Sonneratia alba</i>	6	15.6	4.8	1.0 m×1.4 m	0.02
新村港南岸 (包含 05 ~ 09 断面) South shore of Xincun Harbor inclusive of sections 05-09)	正红树 <i>Rhizophora apiculata</i>	88	4.1	6.5	1.4 m×1.5 m	0.49
	红海榄 <i>Rhizophora stylosa</i>	25	6.4	9.6	2.5 m×2.3 m	0.06
	木榄 <i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	25	7.2	7.8	2.7 m×3.1 m	0.08
	杯萼海桑 <i>Sonneratia alba</i>	13	15.6	4.8	3.0 m×4.0 m	0.01
	白骨壤 <i>Avicennia marina</i>	25	6.7	2.3	3.2 m×1.0 m	0.02
	海莲 <i>Bruguiera sexangula</i>	25	9.0	5.4	2.6 m×2.2 m	0.11

注: 海漆、黄槿等半红树种未进行生物学指标的调查。为保证受保护物种红榄李免受人为干扰, 此次仅观察植株外观状态, 未采集生物学指标。

Note: Biological indicators of semi-red tree species such as *Excoecaria agallocha* and *Hibiscus tiliaceus* were not measured in the survey. In order to ensure that the protected species of *Lumnitzera littorea* is free from human disturbance, only the appearance of the plant was observed, and biological indicators were not collected.

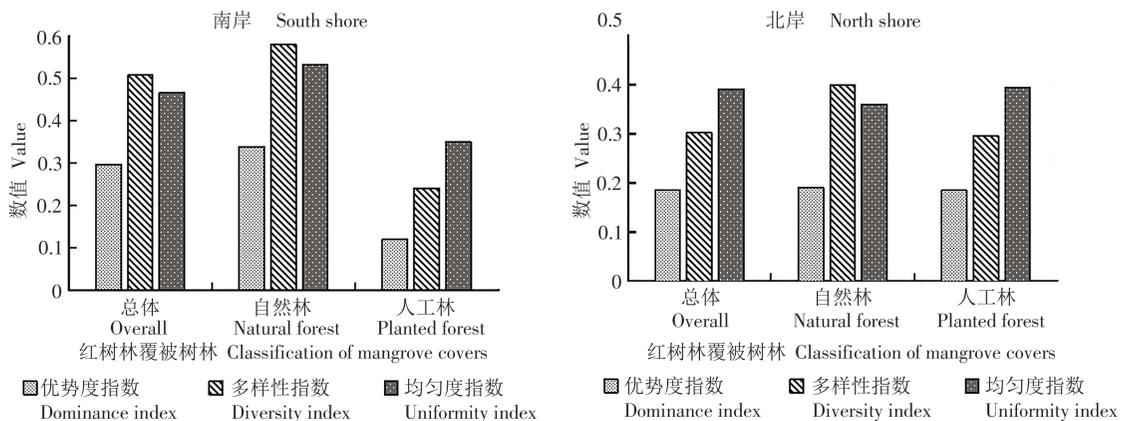


图3 新村港红树林南北两岸人工林、自然林多样性指数对比

仅包含真红树种类指标。

Fig. 3 Comparison of diversity indices of planted and natural forests on the north and south sides of the mangrove forest in Xincun Harbor

Only the true mangrove species indicator is included.

的差值要小于南岸,总体呈现略高或者略低状态。总的来看,相比于人工林区域,自然林区域生物多样性指数更高,这可能是由于人工林以单一物种培育为主。

### 3 讨论

**3.1 新村港红树林生长状况及南北两岸分布特征** 新村港自然林生物多样性强于人工林。出现这种现象可能是由于人工林主要以对叶榄李为主,其次为红海榄,物种较单一,对叶榄李虽占据新村港红树林中面积较大,但植株相对矮小(1~2 m),红海榄则多为幼苗阶段,而新村港自然林生长较为高大,种类较多,如海莲、海桑等平均高度可达5~6 m,平均胸径可达9~16 cm,结合对叶榄李的生长速度及其入侵性的特点,相信这一现象在未来几年中将会有所更改,根据 landsat5、8 卫星数据遥感目视解译和结合实地调查发现,新村港2000年红树林面积为26.57 hm<sup>2</sup>,2020年增长至107.55 hm<sup>2</sup>,增长了80.98 hm<sup>2</sup>,其中大部分来自于对叶榄李生长占用的面积。北岸人工林生物多样性指数接近甚至高于自然林。这和红树林的生长面积及种类数直接相关,1961年起,养殖围垦使新村港自然生长红树林区域和面积大幅度减少,至2015年国家启动了新村、黎安潟湖万亩红树林生态修复工程,对适宜生长的新村港北岸滩涂进行规模化种植红树林,并取得成效<sup>[17]</sup>,本次实地调查结果也表明北岸人工林面积及种类比较优于自然林。

南岸的生物多样性强于北岸,但北岸的人工林长势优于南岸。就人工林来说,北岸以对叶榄李、红海榄种植为主,南岸以红海榄为主,从生长状况来看,人工林长势较好的为新村港北岸地区,北岸人工林以对叶榄李群系为主,红海榄、白骨壤小规模集群分布,杯萼海桑离散分布。而南岸人工林以红海榄群系为主,平均株高不足1 m。根据生物学指标及人为观察显示,北岸人工林对叶榄李长势较其他物种来说稍好且均在平均生长水平,林间层幼苗水平发达。自然林主要以南岸调查为主,南岸自然林以正红树群系或正红树伴生群系为主,群系种类较多,发现海漆、黄槿等半红树植物,种群具有高、中潮位特征,长势趋于成熟,幼苗生长水平普遍较好。

**3.2 陵水红树林和万宁红树林对比分析(主要包括植物生长状况和生物多样性)** 为科学实现陵水红树林修复总目标,使之具有更加明确的实质性修复方向,本研究立足于海南岛整个东南区域红树林分布格局上,选择与陵水县邻近的万宁市红树林进行对比分析,一是将这两个地区的真红树植物和半红树植物组成种类进行了初步的比较(表4),二是重点划分两个地区真红树的覆被类型,主要分为人工林、自然林两大类,进行物种多样性分析。

万宁市红树林主要分布在小海和老爷海区域,也是本次调查的覆盖区域。结果表明,两个地区共有真红树植物7科12种,半红树植物7科12种。两个地区均有分布的真红树植物有白骨壤、红海榄、木榄、海莲和卤蕨,半红树植物包括黄槿和海漆。另外,就真红树而言,秋茄、角果木、桐花树和海桑仅在万宁市红树林中有所发现,而红榄李、对叶榄李、杯萼海桑仅见于陵水新村港红树林区。水椰、海漆等半红树种多分布在万宁市红树林区域。万宁市真红树和半红树种类均优于陵水县,突出体现在半红树种类上。

在真红树物种多样性方面(图4),万宁市红树林总体的Simpson优势度指数( $D$ )为0.74,Shannon-Wiener多样性指数( $H$ )为2.22,Pielou均匀度指数( $E$ )为1.11,3个指数均呈现出高于陵水红树林,其中( $H$ )指数值较为突出,是陵水区域的1.36倍。就划分的覆被类型而言,万宁真红树的自然林和人工林的3个物种多样性均大于陵水区域,其中,也表现为( $H$ )指数值较为突出,自然林和人工林的( $H$ )指数分别是陵水区域的1.19和1.75倍。就两个区域内部而言,自然林的3个指数均大于人工林,陵水较万宁更加显著。万宁仅呈现出自然林物种多样性指标略高于人工林的状态,因此,万宁人工种植的红树林对当地红树林生态系统有着较好的恢复,种植理念和方法可供参考。反观,陵水红树林区域种源单一、种群规模小是其主要特征,区域内红树林种类变化不明显,天然植物种群普遍萎缩,分布范围狭窄且呈破碎斑块状,对叶榄李疯狂增长,这也是天然红树物种萎缩的主要原因之一。天然林,约3/4面积的红树林已消失,分析这是其物种多样性偏低的原因。

**3.3 修复方向探析** 南岸以自然林为主,更适合

表 4 海南陵水、万宁真红树植物和半红树植物种类比较

Tab. 4 Comparison of true mangrove plant species and hemi-mangrove plant species in Lingshui and Wanning, Hainan

序号 Code	科名 Family name	种名 Species name	陵水 Ling Shui	万宁 Wan Ning
1	使君子科(Combretaceae)	对叶榄李( <i>Laguncularia racemosa</i> )	+	
2		红榄李( <i>Lumnitzera littorea</i> )	+	
3	海桑科(Sonneratiaceae)	杯萼海桑( <i>Sonneratia alba</i> )	+	
4	马鞭草科(Verbenaceae)	白骨壤( <i>Avicennia marina</i> )	+	+
5		红海榄( <i>Rhizophora stylosa</i> )	+	+
6	红树科(Rhizophoraceae)	正红树( <i>Rhizophora apiculata</i> )	+	+
7		木榄( <i>Bruguiera gymnorrhiza</i> )	+	+
8		海莲( <i>Bruguiera sexangula</i> )	+	+
9		秋茄( <i>Kandelia candel</i> )		+
10		角果木( <i>Ceriops tagal</i> )		+
11		紫葳科(Bignoniaceae)	桐花树( <i>Parmentiera cerifera</i> )	
12	卤蕨科(Acrostichaceae)	卤蕨( <i>Acrostichum aureum</i> )	+	+
13	海桑科(Sonneratiaceae)	海桑( <i>Sonneratia caseolaris</i> )		+
14	露兜树科(Pandanaceae)	露兜树( <i>Pandanus tectorius</i> )	+	
15	棕榈科(Palmae)	水椰( <i>Nypa fruticans</i> )		
16	锦葵科(Malvaceae)	黄槿( <i>Hibiscus tiliaceus</i> )	+	+
17	梧桐科(Sterculiaceae)	银叶树( <i>Heritiera littoralis</i> )		+
18	锦葵科(Malvaceae)	桐棉( <i>Thespesia populnea</i> )		+
19	马鞭草科(Verbenaceae)	苦郎树( <i>Clerodendrum inerme</i> )		+
20	夹竹桃科(Apocynaceae)	海杧果( <i>Cerbera manghas</i> )		+
21	大戟科(Euphobiaceae)	海漆( <i>Excoecaria agallocha</i> )	+	+
22	菊科(Compositae)	阔苞菊( <i>Pluchea indica</i> )		+
23	玉蕊科(Lecythidaceae)	玉蕊( <i>Barringtonia racemosa</i> )		+
24	豆科(Leguminosae)	水黄皮( <i>Pongamia pinnata</i> )		+

注: 1 ~ 13 为真红树植物; 14 ~ 24 为半红树植物。

Note: The codes from 1 to 13 are true mangrove plants, while the codes from 14 to 24 are semi-mangrove plants.

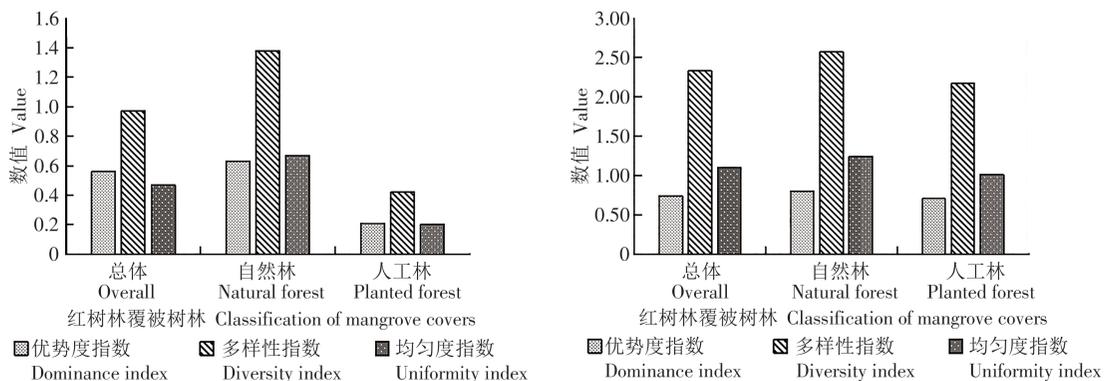


图 4 陵水(左)、万宁(右)红树林多样性指数对比

本次仅包含真红树种类指标。

Fig. 4 Comparison of mangrove diversity indices in Lingshui (left) and Wanning (right)

only true mangrove species indicators are included in this case.

采用人工种植或者疏松树冠的方法增加物种多样性, 而北岸的人工林通过多品种种植则更能事半功倍。南岸红树林以自然林为主, 那么在修复过程中可以考虑通过人工播种、植苗、扦插、埋根、嫁

接等方式培育红树林, Asaeda 等<sup>[18]</sup>建议种植不同的树种, 并保持适当的间距, 以避免树木密度过高。同样也可以考虑打开树冠的方法, 提高结构和物种多样性, 从而促进生态恢复<sup>[19]</sup>。在北岸的

人工林中则可以多使用本土物种,采用多品种、两级种植的模式,实现红树林群落物种多样性的快速、科学恢复。日本中部关东平原成功恢复矮林物种多样性的事实证明,这一理论是有效的<sup>[20]</sup>。引进物种的同时还要考虑到生物入侵这一全球性问题,它在红树林中也很常见,它对本土物种和当地生态系统都极易造成巨大威胁<sup>[21]</sup>。目前已经开发出几种控制方法来减轻生物入侵,例如淡水淹没、用外来的快速生长的红树林物种无瓣海桑替代<sup>[22]</sup>。唐国玲等<sup>[23]</sup>也认为这些方法也都可以有效地制止对叶榄李等入侵物种的肆意生长,避免给原生红树林带来威胁。

针对南北两岸潮位不同的特点,可以考虑在高潮位区域引进无瓣海桑。无瓣海桑一直以来都被认为是最好的红树林造林树种之一,这是由于它对高潮和寒冷条件具有良好的耐受性<sup>[24]</sup>,中国很多红树造林的项目都使用了无瓣海桑。与此同时,潮汐淹没期、海水盐度、气温等环境因素会影响红树林补植的成活率。选择适合红树林补植的潮汐带对于任何红树林恢复工程也是至关重要的<sup>[25-26]</sup>。红树林的修复工作任重道远,应从长远考虑,循序渐进,同时加以景观改造,营造“从红树林海滩至陆地森林的生态系统”,从园林生态景观的角度,改造现有海岛乡村,使之成为拥有“文明、文化、社会主义的新渔村”。

#### 4 结论

通过遥感解译和实地调查,本研究对海南陵水新村港红树林的现状和分布特性进行了详细的分析。从物种分布来看,新村港南北两岸的红树林种类分别为6种和8种,南岸的优势种为正红树,北岸的优势种为对叶榄李,北岸还出现了1株国家二级保护植物红榄李。从物种特征来看,新村港南北两岸自然林均具有高潮位特征,但南岸自然林的红树植物生长状态优于北岸,而人工林在两岸都表现出较低的株高。从生物多样性来看,南岸红树林总体和自然林生物多样性指数皆高于北岸,而人工林生物多样性指数则呈现出完全相反状态。研究从3个角度分析了新村港南北两岸红树林的差异性,但由于周期性短,研究不够深入,未来研究可深入探索生物多样性的长期监测和评估,以确保红树林生态系统的可持续发展。

#### 参考文献:

- [1] 李皓宇, 彭逸生, 刘嘉健, 等. 粤东沿海红树林物种组成与群落特征 [J]. 生态学报, 2016, 36(1): 252-260.
- [2] 王丽荣, 李贞, 蒲杨婕, 等. 海南东寨港、三亚河和青梅港红树林群落健康评价 [J]. 热带海洋学报, 2011, 30(2): 81-86.
- [3] 王伯荪, 梁士楚, 张炜银, 等. 世界红树植物区系(英文)[J]. Acta Botanica Sinica, 2003(6): 644-653.
- [4] 王震, 陈卫军, 管伟, 等. 珠海市淇澳岛主要红树林群落特征研究 [J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(4): 86-91.
- [5] 林鹏. 中国红树林生态系 [M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [6] 黄小兰, 张婷, 谭人纲. 海南红树林资源现状与预警研究 [J]. 江西师范大学学报(自然科学版), 2018, 42(3): 236-241.
- [7] 涂志刚, 韩涛生, 陈晓慧, 等. 海南陵水新村港与黎安港海草特别保护区大型底栖动物群落结构与多样性 [J]. 海洋环境科学, 2016, 35(1): 41-48.
- [8] 史伟. 海南陵水红树林湿地资源现状及保护对策 [J]. 中南林业调查规划, 2021, 40(2): 51-54.
- [9] 陈戔, 程成, 王鑫, 等. 外来红树植物拉关木在陵水新村港的群落特征 [J]. 热带林业, 2022, 50(2): 25-29.
- [10] 巩慧敏, 刘永, 肖雅元, 等. 近海海水和表层沉积物重金属污染与生态风险评价: 以海南新村港为例 [J]. 农业现代化研究, 2018, 39(4): 700-708.
- [11] 陈戔, 杨克仁, 方发之, 等. 海南陵水新村港退塘还林区域植被调查报告 [J]. 林业科技通讯, 2019(12): 27-30.
- [12] 周立柱, 杨顶田, 尹小青. 海南新村港和黎安港非点源污染负荷估算 [J]. 生态科学, 2018, 37(3): 11-20.
- [13] 杨阳, 高抒, 周亮, 等. 海南新村港潟湖表层沉积物粒度特征及其沉积环境 [J]. 海洋学报, 2016, 38(1): 94-105.
- [14] 谢春平, 方彦, 方炎明. 乌冈栎群落垂直结构与重要值分析 [J]. 安徽农业大学学报, 2011, 38(2): 176-184.
- [15] 杨星晨, 雷少刚, 徐军, 等. 生物多样性指数遥感制图方法研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(6): 105-113.
- [16] 王伯荪, 梁士楚, 张炜银, 等. 世界红树植物区系 [J]. Acta Botanica Sinica, 2003, 45(6): 644-653.
- [17] 吴协保, 曾晖, 谢邦雄, 等. 海南陵水新村港潟湖滩涂红树林生态修复关键技术研究 [J]. 湿地科学与管理, 2020, 16(1): 60-63.
- [18] ASAEDA T, BARNUEVO A, SANJAYA K, et al. Mangrove plantation over a limestone reef-Good for the ecology? [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2016, 173: 57-64.
- [19] BARNUEVO A, ASAEDA T, SANJAYA K, et al. Drawbacks of mangrove rehabilitation schemes: lessons learned from the large-scale mangrove plantations [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2017, 198: 432-437.
- [20] HIDA S, NAKASHIZUKA T. Forest fragmentation and its

- effect on species diversity in sub-urban coppice forests in Japan [J]. *Forest Ecology and Management*, 1995, 73(1/2/3): 197–210.
- [21] HIGGINS S I, RICHARDSON D M, COWLING R M. Modeling invasive plant spread: the role of plant-environment interactions and model structure [J]. *Ecology*, 1996, 77(7): 2043–2054.
- [22] AN S Q, GU B H, ZHOU C F, et al. *Spartina* invasion in China: implications for invasive species management and future research [J]. *Weed Research*, 2007, 47(3): 183–191.
- [23] 唐国玲, 沈禄恒, 翁伟花, 等. 无瓣海桑对互花米草的生态控制效果 [J]. *华南农业大学学报*, 2007, 28(1): 10–13.
- [24] 李云, 郑德璋, 陈焕雄, 等. 红树植物无瓣海桑引种的初步研究 [J]. *林业科学研究*, 1998, 11(1): 42–47.
- [25] 张乔民, 于红兵, 陈欣树, 等. 红树林生长带与潮汐水位关系的研究 [J]. *生态学报*, 1997, 17(3): 258–265.
- [26] CHEN L Z, WANG W Q, LIN P, et al. Influence of water logging time on the growth of *Kandelia candel* seedlings [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004, 23(1): 149–157.

## Current status and restoration strategy of mangroves in Xincun Port, Lingshui, Hainan Island, China

ZHENG Fa, LIU Wei, LIU Jiahui, CHEN Zeheng, ZHAI Ruihao, WANG Ning, WEI Xiu  
(Haikou Marine Geological Survey Center, China Geological Survey, Haikou, Hainan 571127, China)

**Abstract:** In recent years, the growth environment of mangroves has been seriously threatened and has become one of the most endangered ecosystems in the world. To clarify the current situation of mangroves and formulate more effective protection measures, digital orthophotos of Hainan Province were used to interpret the area and distribution areas of mangroves in Xincun Port, Lingshui, Hainan, and a survey was made of the species of mangroves in Xincun Port by using a sampling method. At the same time, the diversity of main biological indicators, and the distribution characteristics of natural and artificial populations of mangroves on the south and north banks of Xincun Port were analyzed. The results indicate there are a total of 12 species of mangroves, including 8 species on the south shore, with the dominant species being *Rhizophora apiculata*; and 6 species on the north shore, with the dominant species being *Laguncularia racemos*. A national second-level protected plant (*Lumnitzera littorea*) has been transplanted and its growth condition is good. On both the north and south shores, natural forests have shown adaptability to high tide levels, but the growth status of mangroves on the south shore is better than that on the north shore. However, the trees in plantation forests on both shores are relatively short. In terms of species diversity, the biodiversity of natural forests is higher on the south shore than on the north shore. However, in terms of plantation forests, the biodiversity is slightly higher on the north shore than on the south shore. On the south shore mainly grows a natural forest, where it is more suitable to plant *Sonneratia apetala* or prune the trees to have loose canopy to increase species diversity, while the plantation forests on the north shore are mostly of native species. Planting multi-species at a two-layer pattern can increase species diversity more effectively. At the same time, taking into account the characteristics of biological invasion and different tide levels, a suggestion was made on planting *Sonneratia apetala* at high tide levels. This study clarified the species distribution and ecological characteristics of the mangroves in Xincun Port, Lingshui, which might provide valuable survey data for the mangrove protection and restoration projects in the area, facilitating optimization of the mangrove protection strategy, and hence the ecological protection and sustainable development of mangroves in Xincun Port.

**Keywords:** Xincun Port; mangrove forest; species distribution; species diversity; ecological restoration

(责任编辑:钟云芳)