

# 盐沼草对桐花树人工林污损动物危害的生物防治研究\*

## Biological Prevention Method for Reducing the Fouling Fauna Damage to the Young Transplanted *Aegiceras corniculatum* Mangrove Trees by Mix-culturing with Saltmarsh

何斌源\*\*, 赖廷和, 王欣, 范航清, 潘良浩, 廖思明

HE Bin-yuan, LAI Ting-he, WANG Xin, FAN Hang-ting, PAN Liang-hao, LIAO Si-ming

(广西科学院广西红树林研究中心, 广西红树林保护与利用重点实验室, 广西北海 536000)

(Guangxi Mangrove Research Center of Guangxi Academy of Science, Key Lab of Guangxi Mangrove Conservation and Utilization, Beihai, Guangxi, 536000, China)

**摘要:**以3个树高规格的桐花树(*Aegiceras corniculatum*)苗木与茳芏(*Cyperus malaccensis*)、沟叶结缕草(*Zoysia matrella*)、芦苇(*Phragmites australis*)和南水葱(*Scirpus validus* var. *laeviglumis*)4种盐沼草为材料,在广西北仑河口区高程约为220cm的新造潮间带裸滩上树-草混种,探索利用盐沼草减轻污损动物对人工红树林危害的生物防治效果。结果显示:沟叶结缕草和茳芏适应人造潮间带生境,南水葱和芦苇长势较差。附着盐沼和红树的污损动物有19种,其中潮间藤壶(*Balanus littoralis*)、白条地藤壶(*Euraphia withersi*)、黑口滨螺(*Littorina melanostoma*)和粗糙滨螺(*L. scabra*)为优势种。4种盐沼草中长势较好的茳芏和沟叶结缕草丛受污损程度较轻,南水葱和芦苇丛显著较严重。表明混种茳芏和沟叶结缕草可有效减轻桐花树苗木受污损程度,这两类树-草混种处理区苗木的高度、叶数、枝数、枝下高和存活率等指标均较优于其他处理区。综合而言,茳芏混种桐花树构建“盐沼草-红树协同生态修复体系”对于裸滩红树林防污有较高应用价值。

**关键词:**盐沼草 桐花树 树-草混种 污损动物 生物防治

中图分类号:Q145 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2013)03-0185-08

**Abstract:** Mix-culturing of *Aegiceras corniculatum* (AC) trees in three height grades with four species of saltmarsh on the man-made intertidal bare flat at an elevation of about 220 cm Yellow Sea Datum in Beilun estuarine area of Guangxi, China, to which the seaward and landward single-species treatment areas were designated as contrast, was carried out to explore the biological method for reducing the fouling fauna threatening on mangrove trees. The results showed that *Cyperus malaccensis* (CM) and *Zoysia matrella* (ZM) adapted better to the man-made intertidal flat, while *Scirpus validus* var. *laeviglumis* (SV) and *Phragmites australis* (PA) grew worse. 19 species of fouling fauna occurred on saltmarsh and mangroves, among which *Balanus littoralis*, *Euraphia withersi*, *Littorina melanostoma* and *L. scabra* were the major dominant species. Among the four saltmarsh species, the fouled degrees on CM and ZM were significantly less than those on other two species. The mix-culturing of saltmarsh CM or ZM with mangrove tree AC could efficiently reduce the fouling damage, resulting in better tree growth indexes i. e. tree height, leaf number, branch number, branch conservation and survival rate than those in single-species treatment areas. In general, a saltmarsh-mangrove cooperating ecological conservation system jointly acted by CM and AC could be a more practical solution to fouling reduction for the mangrove afforestation on bare flat.

**Key words:** saltmarsh, *Aegiceras corniculatum*, mix-culturing, fouling fauna, biological prevention method

收稿日期:2013-03-21

作者简介:何斌源(1969-),男,博士,研究员,主要从事海洋生态学。

\*广西自然科学基金项目(桂科自0991070)、北部湾重大基础专项(2011GXNSFE018005)、广西科学院基本科研业务费项目(10YJ25HS03)、国家发改委专项(KLFCGG20092037)和广西科技攻关项目(桂科攻0719005-2-2C)联合资助。

\*\* 通讯作者。

红树林是全球生物多样性保护、湿地保护和可持续利用的重要对象,有力地支撑着热带亚热带近海生物多样性和生态安全,在缓解海洋污染、维持近海渔业、保护海堤、减少风暴潮损失等方面起着重要的生态作用<sup>[1,2]</sup>。近年来随着国民经济发展和环境保护意识上升,我国在红树林造林方面的投入强度持续加大,规划造林面积达数万公顷,但是我国红树林造林保存率普遍很低,主要原因是缺乏完善的红树林造林和管理技术,不利于修复受损的华南滨海湿地生态功能<sup>[3]</sup>。

红树林污损动物是限制天然红树林扩张,致使人工造林失败最重要的因素之一<sup>[4~7]</sup>。在我国已有一些化学法防污实验报道。李云等<sup>[8]</sup>采用农药喷雾方式处理秋茄(*Kandelia obovata*)上污损动物,但是其死亡率仅2.0%~4.0%;而采用油漆涂抹法则可致污损动物100%死亡,但用油漆涂抹叶片不可行。韩维栋等<sup>[9]</sup>将多种化学药物混合配制,采用喷雾方式防治无瓣海桑(*Sonneratia apetala*)上污损动物,致其死率最高为52.5%。何斌源等<sup>[7]</sup>采用低浓度马拉硫磷溶液长期喷雾防治红海榄(*Rhizophora stylosa*)上污损动物,显著降低危害程度。但农药伤害红树叶片光合色素,使叶绿素含量降低,影响植物生长<sup>[7]</sup>。不仅如此,化学药物还会作用于非目标生物,引发其致畸、变性甚至死亡;同时,红树林及其毗邻湿地是海鲜重要产地,长期使用农药将影响海产品品质以致食物安全。必须发展环境友好型防污技术,因地制宜运用各种物理、化学和生物技术方法防治病虫害,生物防治是其中最重要的内容。但目前有关红树林污损动物的生物防治研究未见报道。

广西北仑河是中越界河,近30a来红树林及其生境遭到严重破坏,导致北仑河的主航道向我方一侧偏移2.2km,造成我国固有领土8.7km<sup>2</sup>发生了权属争端<sup>[10]</sup>。开展红树林生态修复,促进沉积,遏制水土流失趋势,攸关我国领土安全和海洋权益。但北仑河口地区滩涂由于人为扰动和自然侵蚀,沉积物粗糙、土层薄且低洼,必须采取工程填海才能满足红树适生高程要求;尽管如此,在新填的裸露滩涂造林仍面临诸多困难,污损动物、大型藻类等生物危害尤为严重。桐花树(*Aegiceras corniculatum*)是广西河口区最优势的红树植物,其耐受潮汐浸淹能力强于绝大多数红树植物<sup>[11]</sup>,但在我国以往红树林造林中应用很少,与其生长较慢、成林不易有关;同时,该树种受污损危害最为严重<sup>[12]</sup>。本文探索利用盐沼草阻流缓速的生态功能,减轻污损动物对造林目标树种的危害,结合移植大规格桐花树木,目的是提高造林成功率和成林

速度,保障北仑河口湿地生态系统的良性修复,为完善我国红树林营林技术体系做积极尝试。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验基地概况

竹山实验基地位于广西东兴市竹山村五一堤岸段滩涂(中心坐标21°32'44"N,108°02'39"E),属中越界河——北仑河入海的河口区。北仑河背靠十万大山,南濒北部湾,西北面以低山丘陵为主。河口口门宽约6km,纵长约11km。滩涂土壤沙质、沙泥质、淤泥质和风化岩石滩夹杂并存<sup>[10]</sup>。北仑河口一带年均气温22.5℃,年均降雨量2220.5mm,年均蒸发量1005mm,年均相对湿度82%,是广西沿海降雨量和相对湿度较高的区域。北仑河口海区潮汐属全日潮型,最大潮差4.64m,平均潮差2.04m。在北仑河河口区,位于我国境内的红树林面积127.9hm<sup>2</sup>,绝大部分为桐花树群落和白骨壤(*Avicennia marina*)群落,常见种类有卤蕨(*Acrostichum aureum*)、秋茄(*Kandelia obovata*)、红海榄(*Rhizophora stylosa*)、老鼠簕(*Acanthus ilicifolius*)和海漆(*Excoecaria agallocha*)等。

### 1.2 处理区设置

于2011年5~7月在中越界河北仑河的河口区竹山段海堤外,采用船运海沙填海的方式,形成面积4hm<sup>2</sup>、平均高程约为220cm的滩涂(当地潮高基准面在平均海面下230cm),8月开展利用盐沼草促进红树成林的生态修复工程。选择局部区域用于盐沼草消减污损动物对红树幼林危害的生物防治试验,3类共10个处理区设置见图1,向海前缘区为桐花树和4种盐沼草单种的处理区,中间为树草混种处理区,向陆后缘区为桐花树单种的处理区,总面积约0.75hm<sup>2</sup>。树、草的种植密度均为1m×1m,混种处理区为树草隔行配置。桐花树木苗有5~6cm、50~60cm和100~120cm等3种规格(下文分别称为小苗、中苗和大苗);盐沼草使用茳茳(*Cyperus malaccensis*)、沟叶结缕草(*Zoysia matrella*)、南水葱(*Scirpus validus var. laeviglumis*)和芦苇(*Phragmites australis*)等4种,均为本地土生种,采用20cm×20cm的草块移植。其中,茳茳草块采自偶然受到特大潮影响的人工田畦,芦苇草块采自静水咸水塘,沟叶结缕草和南水葱草块采自附近高潮带滩涂。

### 1.3 生境和生物监测方法

#### 1.3.1 生境监测方法

对各处理区的生境因子进行监测,指标包括海水

盐度、海水温度和气温。其中,温度的记录使用 UA-002-64 HOBO 温度/光数据采集器(美国产),每 1h 自动记录 1 次。盐度监测采用盐度计法,每月间隔 5d 测定 1 次高潮时海水盐度。实验期间竹山实验基地的实测水温、气温和盐度变化见图 2。

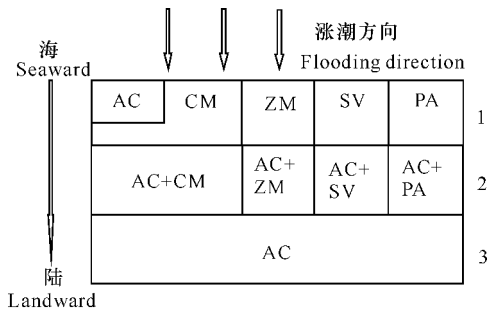


图 1 4 种盐沼草与桐花树处理区的种植位置示意图

Fig. 1 Treatment location for testing the biological prevention effect on the fouling fauna by mix-culturing of transplanted *Aegiceras corniculatum* trees with four saltmarsh species

注:AC=桐花树,CM=茳芏,ZM=沟叶结缕草,SV=南水葱,PC=芦苇。

Note: AC = *Aegiceras corniculatum*, CM = *Cyperus malaccensis*, ZM = *Zoysia matrella*, SV = *Scirpus validus* var. *laeviglumis*, PC = *Phragmites australis*.

1: 桐花树或盐沼草单种处理区;2: 树草混种处理区;3: 桐花树单种处理区。

1: Seaward AC or saltmarsh single-species area; 2: Middle tree-saltmarsh mix-culture area; 3: Landward AC single-species area.

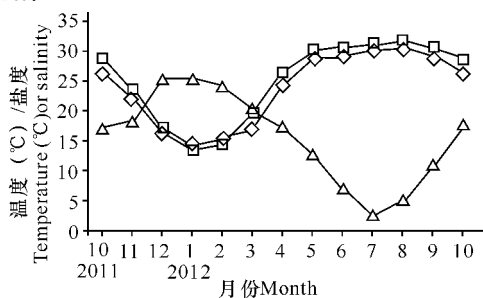


图 2 2011 年 10 月至 2012 年 10 月竹山实验基地的水温、气温和盐度月均变化

Fig. 2 The monthly average of air temperature, water temperature and seawater salinity in Zhushan field base from Oct 2011 to Oct 2012

—◇—: 水温; —□—: 气温; —△—: 盐度。

—◇—: Water temperature; —□—: Air temperature; —△—: Salinity.

Salinity.

### 1. 3. 2 生物调查方法

在植株稳定 2 个月后的 2011 年 10 月,从各处理区所种植的桐花树苗木中,每种规格苗木标记 50 株生长正常的植株用于固定观测,共计 1500 株苗木。用于本文实验的苗木,是有目的地选择从种源地的群落内部间苗移植而来,污损动物极少附着,而且这时

再次人工彻底去除其上的污损动物,作为无附着的起始点。同时标记固定的盐沼草观测样线,记录其萌发和生长情况。固定观测的树或草均位于各处理区的中间。

每季度开展一次人工种植盐沼草和桐花树苗木的外部形态调查。盐沼草生长状况调查采用样带法,以初植草块位置为中心,连续做 20 个 1m×1m 的样方,调查盐沼草的密度和高度。桐花树苗木观测指标包括:存活率、株高、叶数、枝数和枝下高。

2012 年 10 月调查盐沼草和桐花树上污损动物群落,指标包括附着高度、种类、密度和生物量。对植株的茎分层取样,20cm 为一层,按种计数和称重。

### 1. 4 数据处理

各污损动物种群的相对重要值  $V(\%)$  计算采用如下算式<sup>[13]</sup>:

$$V = 100 \times n_i \times w_i \div \sum (n_i \times w_i)$$

式中,  $n_i$  为第  $i$  种密度,  $w_i$  为第  $i$  种生物量。  $V \geq 1\%$  的种为潮间带底栖动物优势种群。

不同处理组数据的差异均应用 SPSS 软件进行计算和分析。采用单因素方差分析进行显著性检验,  $P < 0.05$  时认为存在显著性差异,  $P < 0.01$  时认为存在极显著差异。采用“标记字母法”显示显著性检验结果。

## 2 结果与分析

### 2. 1 盐沼草生长变化

4 种盐沼草的两次观测的生长指标均发生较大变化。从表 1 可看出,沟叶结缕草移植草块很快地萌发出新的地上茎,仅 2 个月时间向海前缘区和混种区的草块密度分别达到 14.6 ind/m<sup>2</sup> 和 15.3 ind/m<sup>2</sup>, 1a 后至 62.5 ind/m<sup>2</sup> 和 68.8 ind/m<sup>2</sup>, 是本文移植的 4 种盐沼草中密度最高者。匍匐茎的长度平均达 94.8cm, 最长可达 248.0 cm, 但从节上分蘖的直立茎高度小于 30cm, 沟叶结缕草丛整体呈现低矮而浓密特点。

茳芏移植草块的初期萌发虽稍逊于沟叶结缕草, 但后期向海前缘区和混种区的草丛密度分别增长 9.0 倍和 6.3 倍, 增速高于沟叶结缕草; 同时, 三棱形地上茎每面宽约 1.0~1.5 cm, 形成较大的表面积, 机械支撑力较强, 移植 1a 后的茳芏草丛亮绿茂密、直立挺拔。

芦苇和南水葱则明显很不适应这种潮汐生境, 萌发速度慢, 扩展有限, 密度很低, 地上部分纤细柔弱, 与其在种源地的植株长势相差甚远; 这可能与滩涂高程较低、潮汐浸淹较长有关。

## 2.2 盐沼草和红树上污损动物群落种类组成

在竹山实验基地的盐沼和红树上共发现 19 种污损动物。分别为腔肠动物门的纵条肌海葵 (*Haliplanelle luciae*)、软体动物门的黑莽麦蛤 (*Xenostrobus atratus*)、难解不等蛤 (*Enigmonia aenigmatica*)、团聚牡蛎 (*Ostrea glomerata*)、纹斑梭蛤 (*Trapezium Liratum*)、紫游螺 (*Nerita violacea*)、奥莱彩螺 (*Clithon oualaniensis*)、黑口滨螺 (*Littorina melanostoma*)、粗糙滨螺 (*L. scabra*)、斑肋滨螺 (*L. ardouiniana*)、纵带滩栖螺 (*Batillaria zonalis*)、珠带拟蟹守螺 (*Cerithidea cingulata*)、彩拟蟹守螺 (*C. ornata*)、红树拟蟹守螺 (*C. rhizophorarum*)、尖锥拟蟹守螺 (*C. largillierti*)、石磺 (*Onchidium verruculatus*)、节肢动物门的潮间藤壶 (*Balanus littoralis*)、白条地藤壶 (*Euraphia withersi*)、双齿相手蟹 (*Sesarma bidens*) 和褶痕相手蟹 (*S. plicata*)。常见优势种为潮间藤壶、白条地藤壶、粗糙滨螺、黑口滨螺、红树拟

蟹守螺和团聚牡蛎。

## 2.3 4 种盐沼草受污损程度比较

不同种类的盐沼草上污损动物群落结构及优势种差异较大(表 2)。总体而言,混种区的物种丰度高 于前缘区,且优势种较多,相对较分散。以生物量比较,在两个处理区 4 种盐沼草受污损程度均为:荳荳 < 沟叶结缕草 < 南水葱 < 芦苇,但以密度比较则不然,这是因为荳荳上污损动物均以白条地藤壶为主要优势种,该种个体远远小于其他优势种,其密度优势程度很高,但生物量优势程度很低。

向海前缘区荳荳上的污损密度和生物量分别是混种区的 26.4 倍和 4.3 倍,表明郁闭起来的荳荳种群可显著降低污损程度;沟叶结缕草稍逊荳荳,但混种区的污损密度和生物量仅是向海前缘的 26.4% 和 40.7%,降低污损效果也很明显。两类处理区中的芦苇和南水葱的受污损程度差异不显著 ( $P > 0.05$ ),这可能与两区的草丛密度均较低有关。

表 1 不同处理区四种盐沼草的密度和高度(均值±SD)试验前后变化

Table 1 Densities and heights (mean±SD) of four saltmarsh species on Oct 2011 and Oct 2012

盐沼种类 Saltmarsh	处理区 Treatment area	2011-10		2012-10		增长率 Increase(%)	
		密度 Density (ind/m <sup>2</sup> )	高度 Height (cm)	密度 Density (ind/m <sup>2</sup> )	高度 Height (cm)	密度 Density (times)	高度 Height (times)
荳荳 ( <i>Cyperus malaccensis</i> )	向海前缘区 Seaward	6.6±0.5 <sup>a</sup>	32.0±4.6 <sup>a</sup>	48.4±4.2 <sup>a</sup>	85.6±9.5 <sup>a</sup>	6.3	1.7
	混种区 Mix-culture	5.8±0.5 <sup>b</sup>	30.6±5.4 <sup>a</sup>	58.2±4.6 <sup>b</sup>	96.5±8.3 <sup>b</sup>	9.0	2.2
沟叶结缕草 ( <i>Zoysia matrella</i> )	向海前缘区 Seaward	14.6±1.5 <sup>a</sup>	16.5±1.4 <sup>a</sup>	62.5±7.5 <sup>a</sup>	91.4±8.5 <sup>a</sup>	3.3	4.5
	混种区 Mix-culture	15.3±1.7 <sup>a</sup>	15.9±1.6 <sup>a</sup>	68.8±6.6 <sup>b</sup>	98.2±7.4 <sup>b</sup>	3.5	5.2
芦苇 ( <i>Phragmites australis</i> )	向海前缘区 Seaward	4.1±0.3 <sup>a</sup>	7.4±1.0 <sup>a</sup>	7.6±0.8 <sup>a</sup>	97.1±10.2 <sup>a</sup>	0.9	12.1
	混种区 Mix-culture	3.6±0.3 <sup>b</sup>	7.0±1.1 <sup>a</sup>	8.1±0.9 <sup>a</sup>	95.3±8.8 <sup>a</sup>	1.3	12.6
南水葱 ( <i>Scirpus validus</i> var. <i>laeviglumis</i> )	向海前缘区 Seaward	3.7±0.3 <sup>a</sup>	37.2±3.4 <sup>a</sup>	10.5±0.9 <sup>a</sup>	78.7±7.1 <sup>a</sup>	1.8	1.1
	混种区 Mix-culture	4.2±0.4 <sup>a</sup>	35.6±3.6 <sup>a</sup>	11.3±1.3 <sup>a</sup>	81.1±7.5 <sup>a</sup>	1.7	1.3

注:同一盐沼草的不同处理区数据标记相同表示差异不显著 ( $P > 0.05$ ),反之差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Note:For the same species in two treatment areas,the data marked with various letters have significant difference ( $P < 0.05$ ),otherwise have not.

表 2 各处理区不同盐沼受污损程度比较

Table 2 Numerical characteristics of fouling fauna on the fouled saltmarsh

处理区 Treatment area	污损对象 Fouled saltmarsh species	污损动物 Numerical characteristics of fouling fauna			
		种数 Species abundance	密度 Density (ind/m <sup>2</sup> )	生物量 Biomass (g/m <sup>2</sup> )	优势种及其相对重要值* Dominant species and their relative importance values V (%)
向海前缘区 Seaward	荳荳 CM	3	20759	156.71	白条地藤壶 EW,99.2
	沟叶结缕草 ZM	3	11745	198.53	潮间藤壶 BL,99.9
	芦苇 PA	3	13495	356.51	潮间藤壶 BL,96.07;团聚牡蛎,3.43
混种区 Mix-culture	南水葱 SV	3	15255	235.36	潮间藤壶 BL,99.9
	荳荳 CM	5	786	36.06	白条地藤壶 EW,54.45;黑口滨螺 LM,39.19;粗糙滨螺,1.14
	沟叶结缕草 ZM	5	3097	80.89	潮间藤壶 BL,94.3;红树拟蟹守螺,3.79;黑口滨螺 LM,1.89
	芦苇 PA	4	14458	347.50	潮间藤壶 BL,96.11;团聚牡蛎 OG,2.85;白条地藤壶 EW,1.05
	南水葱 SV	3	14307	245.27	潮间藤壶 BL,99.9

\*: BL = *Balanus littoralis*, CR = *Cerithidea rhizophorarum*, EW = *Euraphia withersi*, LM = *Littorina melanostoma*, LS = *L. scabra*, OG = *Ostrea glomerata*.

## 2.4 各处理区桐花树受污损程度比较

不同处理区的桐花树污损状况差异较大(表3)。向海前缘区3种规格的桐花树苗木受污损程度均比所有处理区同样规格的苗木更严重,平均密度为9778 ind/m<sup>2</sup>,生物量为933.98 g/m<sup>2</sup>。其次为芦苇区,平均密度为8303 ind/m<sup>2</sup>,生物量为715.47 g/m<sup>2</sup>。再次为南水葱区和向陆后缘区的苗木,两区受污程度近似。与向海前缘区苗木上污损动物的密度和生物量相比,桐花树+荇菜混种区的苗木分别仅为向海前缘区的7.2%和6.1%,桐花树+沟叶结缕草混种区则分别为42.1%和24.1%,表明这两种盐沼与桐花树混种可有效降低污损动物危害。

6类处理区的桐花树苗木均表现出大苗上污损密度显著高于中苗和小苗,大苗在空间上能提供更多的垂直方向位置,细化了生态位类型,种类丰度上升,尤其是白条地藤壶较多占据上层空间。郁闭起来的荇菜区更是群落结构迥异于其他处理区,以黑口滨螺和粗糙滨螺这些能垂直移动的腹足类为优势种,藤壶类的优势丧失。

## 2.5 各处理区移植桐花树苗木的生长和存活变化

实验前后数据显示不同处理区桐花树苗木的不同生长指标有不同表现(表4)。由于经人为选择,处理区间的苗木高度在实验开始时差异不显著或差异有限,1a后小苗的高度增长最大,中苗次之,大苗最少。总体上,向海前缘区的苗木高度增长最少,芦苇、

南水葱混种区的苗木接近,荇菜混种区的小苗和大苗苗木高度增长最大,沟叶结缕草混种区中苗高度增长最大。叶数是不同处理区间差异最大的指标,1a后各处理区的小苗叶数均有增长,但荇菜、沟叶结缕草混种区小苗叶显著高于其他处理区;除荇菜、沟叶结缕草混种区外,其他4个处理区的中苗和大苗的叶均大幅度减少。枝数和枝下高的变化相反,枝数的减少导致枝下高增大,除荇菜、沟叶结缕草混种区外,其他4个处理区的中苗和大苗均枝数锐减、枝下高显著增大。

不同处理区的桐花树苗木存活率差异很大(图3),荇菜混种区的3种规格桐花树苗木的存活率均高于其他处理区,分别为:小苗84%;中苗90%;大苗94%。沟叶结缕草混种区次之,向海前缘区的最低,芦苇混种区、南水葱混种区和向陆后缘区的存活率较接近。经过1a生长的荇菜群落茂密,高草遮阴和枯草缠绕导致部分苗木死亡,尤其是对低矮的小苗影响更大。沟叶结缕草更为茂密,而且主茎匍匐生长,对小苗和中苗的影响均较大,但毕竟大幅度减少了污损动物附着,存活率也显著高于其他混种区。根据现场观察,枝叶锐减是向海前缘区、芦苇混种区、南水葱混种区和向陆后缘区的苗木死亡较多的主要原因,大苗还能保持萌发出一定数量的新叶,因此其存活率稍高。

表3 不同处理区的桐花树苗木受污损程度比较

Table 3 Numerical characteristics of fouling fauna on the fouled *A. corniculatum* trees

处理区 Treatment area	苗木 Seedlings	污损动物 Numerical characteristics of fouling fauna			优势种及其相对重要值* Dominant species and their relative importance values V (%)
		种数 Species abundance	密度 Density (ind/m <sup>2</sup> )	生物量 Biomass (g/m <sup>2</sup> )	
向海前缘区 Seaward	大苗 High	7	10682	973.24	潮间藤壶 BL, 83.42; 白条地藤壶 EW, 9.25
	中苗 Middle	7	9106	1024.18	潮间藤壶 BL, 96.70; 团聚牡蛎 OG, 3.14
	小苗 Low	5	9545	804.53	潮间藤壶 BL, 99.20
混种区 AC+CM	大苗 High	8	754	63.72	黑口滨螺 LM, 76.34; 粗糙滨螺 LS, 15.39; 白条地藤壶 EW, 6.1
	中苗 Middle	7	724	59.85	黑口滨螺 LM, 78.88; 粗糙滨螺 LS, 14.44; 白条地藤壶 EW, 5.8
	小苗 Low	5	647	48.43	黑口滨螺 LM, 80.25; 粗糙滨螺 LS, 12.41; 白条地藤壶 EW, 5.3
混种区 AC+ZM	大苗 High	6	6605	374.93	潮间藤壶 BL, 86.73; 白条地藤壶 EW, 9.35; 黑口滨螺 LM, 1.09
	中苗 Middle	5	4851	229.23	潮间藤壶 BL, 95.41; 黑口滨螺 LM, 2.07
	小苗 Low	5	899	70.90	潮间藤壶 BL, 98.7
混种区 AC+SV	大苗 High	6	8705	607.53	潮间藤壶 BL, 89.25; 白条地藤壶 EW, 8.71
	中苗 Middle	5	7700	637.29	潮间藤壶 BL, 95.36; 白条地藤壶 EW, 2.18
	小苗 Low	4	7904	629.81	潮间藤壶 BL, 99.3
混种区 AC+ PA	大苗 High	5	9401	770.06	潮间藤壶 BL, 86.67; 白条地藤壶 EW, 11.20; 团聚牡蛎 OG, 1.91
	中苗 Middle	4	8948	728.62	潮间藤壶 BL, 96.35; 白条地藤壶 EW, 2.22
	小苗 Low	4	6559	647.73	潮间藤壶 BL, 98.98
向陆后缘区 Landward	大苗 High	5	9087	677.55	潮间藤壶 BL, 85.28; 白条地藤壶 EW, 7.67
	中苗 Middle	5	7820	644.38	潮间藤壶 BL, 98.94
	小苗 Low	5	7237	627.63	潮间藤壶 BL, 99.20

\*: BL= *Balanus littoralis*, EW= *Euraphia withersi*, LM= *Littorina melanostoma*, LS= *L. scabra*, OG= *Ostrea glomerata*.

表 4 各处理区桐花树植株生长变化

Table 4 Growth indexes of *A. corniculatum* trees in different treatment areas

生长指标 Growth index	处理区 Treatment area	A(2011-10)			B(2012-10)			变化率 Rate of change(B/A-1)(%)		
		小苗 Low	中苗 Middle	大苗 High	小苗 Low	中苗 Middle	大苗 High	小苗 Low	中苗 Middle	大苗 High
高度 Height(cm)	向海前缘区 Seaward	5.5 <sup>a</sup>	55.4 <sup>a</sup>	113.3 <sup>a</sup>	22.5 <sup>d</sup>	58.0 <sup>b</sup>	117.9 <sup>d</sup>	309.1	4.7	4.1
	混种区 AC+CM	5.3 <sup>b</sup>	54.2 <sup>a</sup>	108.5 <sup>b</sup>	38.7 <sup>a</sup>	69.3 <sup>a</sup>	135.3 <sup>c</sup>	630.2	27.9	24.7
	混种区 AC+ZM	5.6 <sup>a</sup>	52.9 <sup>b</sup>	114.6 <sup>a</sup>	32.4 <sup>b</sup>	71.9 <sup>a</sup>	128.4 <sup>b</sup>	478.6	35.9	12.0
	混种区 AC+SV	5.6 <sup>a</sup>	53.9 <sup>a</sup>	104.1 <sup>b</sup>	25.1 <sup>c</sup>	61.2 <sup>b</sup>	113.0	348.2	13.5	8.5
	混种区 AC+PC	5.3 <sup>b</sup>	55.7 <sup>a</sup>	116.4 <sup>a</sup>	23.6 <sup>d</sup>	62.4 <sup>b</sup>	124.4 <sup>c</sup>	345.3	12.0	6.9
	向陆后缘区 Landward	5.4 <sup>a</sup>	53.8 <sup>a</sup>	109.8 <sup>b</sup>	26.8 <sup>c</sup>	62.3 <sup>b</sup>	117.8 <sup>d</sup>	396.3	15.8	7.3
叶数 Leaf(ind)	向海前缘区 Seaward	2.2 <sup>a</sup>	25.4 <sup>a</sup>	143.5 <sup>a</sup>	2.4 <sup>d</sup>	11.4 <sup>d</sup>	38.7 <sup>e</sup>	9.1	-55.1	-73.0
	混种区 AC+CM	2.1 <sup>a</sup>	22.3 <sup>b</sup>	133.2 <sup>b</sup>	8.5 <sup>a</sup>	31.2 <sup>b</sup>	152.7 <sup>a</sup>	304.8	39.9	14.6
	混种区 AC+ZM	2.1 <sup>a</sup>	23.8 <sup>a</sup>	114.2 <sup>d</sup>	7.3 <sup>a</sup>	34.8 <sup>a</sup>	118.1 <sup>b</sup>	247.6	46.2	3.4
	混种区 AC+SV	2.3 <sup>b</sup>	24.7 <sup>a</sup>	124.5 <sup>c</sup>	3.4 <sup>b</sup>	13.5 <sup>c</sup>	42.3 <sup>d</sup>	47.8	-45.3	-66.0
	混种区 AC+PC	2.2 <sup>a</sup>	21.4 <sup>b</sup>	139.1 <sup>a</sup>	3.2 <sup>b</sup>	12.8 <sup>c</sup>	43.6 <sup>d</sup>	45.5	-40.2	-68.7
	向陆后缘区 Landward	2.2 <sup>a</sup>	22.6 <sup>b</sup>	148.7 <sup>a</sup>	2.8 <sup>c</sup>	12.1 <sup>d</sup>	48.9 <sup>c</sup>	27.3	-46.5	-67.1
枝下高 Branch height(cm)	向海前缘区 Seaward		34.5 <sup>b</sup>	65.4 <sup>b</sup>		51.6 <sup>a</sup>	91.6 <sup>a</sup>		49.6	40.1
	混种区 AC+CM		35.7 <sup>a</sup>	65.5 <sup>b</sup>		37.6 <sup>b</sup>	67.3 <sup>c</sup>		5.3	2.7
	混种区 AC+ZM		36.2 <sup>a</sup>	63.4 <sup>b</sup>		36.3 <sup>b</sup>	69.4 <sup>c</sup>		0.3	9.5
	混种区 AC+SV		33.3 <sup>b</sup>	64.5 <sup>b</sup>		47.5 <sup>a</sup>	84.8 <sup>b</sup>		42.6	31.5
	混种区 AC+PC		35.6 <sup>a</sup>	67.2 <sup>a</sup>		46.3 <sup>a</sup>	78.9 <sup>b</sup>		30.1	17.4
	向陆后缘区 Landward		33.8 <sup>b</sup>	68.3 <sup>a</sup>		45.4 <sup>a</sup>	82.3 <sup>b</sup>		34.3	20.5
枝数 Branch (ind)	向海前缘区 Seaward		4.1 <sup>a</sup>	16.5 <sup>a</sup>		1.5 <sup>c</sup>	6.4 <sup>d</sup>		-63.4	-61.2
	混种区 AC+CM		3.8 <sup>b</sup>	15.2 <sup>b</sup>		4.1 <sup>a</sup>	18.6 <sup>a</sup>		7.9	22.4
	混种区 AC+ZM		4.3 <sup>a</sup>	13.8 <sup>b</sup>		4.1 <sup>a</sup>	14.2 <sup>b</sup>		-4.7	2.9
	混种区 AC+SV		4.3 <sup>a</sup>	14.2 <sup>b</sup>		2.2 <sup>b</sup>	8.3 <sup>c</sup>		-48.8	-41.5
	混种区 AC+PC		3.9 <sup>b</sup>	16.1 <sup>a</sup>		1.8 <sup>b</sup>	7.9 <sup>c</sup>		-53.8	-50.9
	向陆后缘区 Landward		4.2 <sup>a</sup>	17.5 <sup>a</sup>		2.1 <sup>b</sup>	8.2 <sup>c</sup>		-50.0	-53.1

注:同一规格苗木的不同处理区数据标记相同表示差异不显著 ( $P > 0.05$ ),反之差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Note:For the same species in two treatment areas,the data marked with various letters have significant difference ( $P < 0.05$ ),otherwise have not.

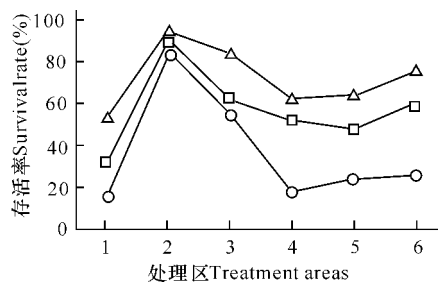


图 3 各处理区桐花树苗木存活率

Fig. 3 Survival rates of *A. corniculatum* trees in different treatment areas

1: 向海前缘区; 2: AC+CM 混种区; 3: AC+ZM 混种区; 4: AC+SV 混种区; 5: AC+PA 混种区; 6: 向陆后缘区。

1: Seaward; 2: AC+CM; 3: AC+ZM; 4: AC+SV; 5: AC+PA; 6: Landward.

○: 小苗; □: 中苗; △: 大苗。

○: Low; □: Middle; △: High.

### 3 讨论

#### 3.1 红树林与盐沼草的生态位重叠

红树林不是孤独的海滩守护者,许多盐沼草与红树混杂或相邻生长<sup>[14,15]</sup>,显然盐沼草与红树占据的

生态位重叠或相近。常见伴生红树林的盐沼草有沟叶结缕草、南水葱、芦苇、荳苳、短叶荳苳 (*Cyperus malaccensis* var. *brevifolius*)、狗牙根 (*Cynodon dactylon*)、盐地鼠尾粟 (*Sporobolus virginicus*)、双穗雀稗 (*Paspalum distichum*)、多穗扁莎草 (*Pycreus polystachyus*)、香附子 (*Cyperus rotundus*)、硬骨草 (*Holosteum umbellatum*) 和灯芯草 (*Juncus effusus*) 等,不过广西面积最大的盐沼草则是外来物种——互花米草 (*Spartina alterniflora*)。米草比大多数红树和盐沼草更耐淹、生存和扩张能力更强,在福建、广东、广西沿海发生米草入侵红树林事件<sup>[16-18]</sup>。国内目前已有一些利用快速生长的红树种类如无瓣海桑 (*Sonneratia apetala*) 和海桑 (*S. caseolaris*) 抑制互花米草的报道<sup>[16,19]</sup>,其理论基础立足于盐沼草与红树植物的生态位重叠而竞争的基本事实。我国南方沿海的原生盐沼草高度适应当地滨海环境,同时受到各种生境条件的有效制约而不至于泛滥。这可以从我国在盐沼草造成生物入侵方面的报道仅限于外来种——互花米草得到反证。

### 3.2 红树林与盐沼草的生态功能互补

海底摩擦可消减波浪高度和能量密度,但红树林和盐沼等潮间带高等植物群落比裸露滩涂更能有效消波降能。红树林的底泥与波浪的磨擦较小,但其密集的植株树干、枝条、气生根、支柱根等产生较大阻力。Quartel 等<sup>[20]</sup>在越南红河三角洲的研究表明,红树林对波高的消减率是泥滩的 5~7.5 倍。陈玉军等<sup>[21]</sup>对比研究了海南东寨港三江湾人工红树林与裸滩的消波效应,发现波浪在经过裸滩 50m 后平均波高仅减低 5.8%,同样宽度的红树林则能使平均波高降低 28.8%~46.1%。盐沼草虽然比红树柔软,但其茂密草丛也能显著消波。Möller 等<sup>[22]</sup>在英格兰 North Norfolk 潮间带滩涂的研究表明:波浪经过 197m 的砂质光滩,有效波高仅降低 15.29%;但波浪经过 180m、高度仅 20~30cm 的盐沼,有效波高就可降低 61.0%。史本伟等<sup>[23]</sup>在长江口崇明岛东部的互花米草盐沼观测发现,盐沼导致单位距离波高的损失率比光滩的高 14~29 倍,使单位距离波能密度的损失率比光滩的高 40~55 倍。

植物群落消减波能的生态效能因群落类型、宽度、密度、高度等因素而异,同时也因潮汐性质而异。陈玉军等<sup>[21]</sup>比较秋茄和无瓣海桑两种红树林的消波效应发现,50m 宽的秋茄林使波浪平均波高降低 46.1%,同样林宽的无瓣海桑林则仅降低 28.8%。在越南胡志明市 Can Gio 区红树林的观测表明,波高为 0.35~0.4m 的波浪进入红树林内 20m 处,波能降低 50%~70%,超过 40m 后虽然波能持续减低,但降幅趋小<sup>[24]</sup>。英格兰北诺福克以大米草 (*Spartina anglica*) 和盐地碱蓬 (*Suaeda maritima*) 为主的盐沼,高度 20~30cm,波浪经过宽度 180m,有效波高降低 60.96%<sup>[22]</sup>,即 0.034%/m。这种低矮盐沼的消波效应明显弱于植株高大、茂密的互花米草盐沼。Knuston 等<sup>[25]</sup>报道波浪进入互花米草盐沼 20~30m 距离后,波高降低 71%,波能损失 92%~100%。史本伟等<sup>[23]</sup>研究发现:株高 1.5~2.0m、盖度为 90%~95% 的崇明岛东部互花米草盐沼,波浪进入其中仅 9m,有效波高和波能密度就降低 23.8% 和 35.3%,分别为 2.69%/m 和 3.92%/m。

本文在广西北仑河口人工种植不到 14 个月的茳茳密度为 58.2 株/米<sup>2</sup>;广西茅尾海的多年茳茳草丛的密度可达 212~307 株/米<sup>2</sup><sup>[26]</sup>。广西铁山港的多年互花米草种群密度为 152.1~270.0 株/米<sup>2</sup><sup>[27]</sup>。据 908 调查数据,桐花树林是广西最为优势的先锋树种,该种群的密度最高达 337 丛/100 米<sup>2</sup>。可以看出,盐沼和作为红树林先锋树种的桐花树都具有消浪

降能的结构基础。

红树茎与盐沼的水文生态效应机理不同,但红树枝叶与盐沼的相同<sup>[28]</sup>;同时,红树和盐沼存在高度差,但这却构成两类植物群落生态功能互补的基础。Yang<sup>[29]</sup>在长江口观测海三棱藨草 (*Scirpus mariqueter*) 沼泽前缘的消浪能力表明:在草丛顶部被波浪淹没之前,波高和波能在传入沼泽 10m 就分别损失了 57% 和 81%,而草丛顶部被淹没之后,波浪的损失很小。红树在较贴近滩面的低层空间以茎为主,相对而言阻水面积有限,这时低矮的盐沼草缓流能力更强;而在较高空间,红树的枝叶发挥较大作用。

陈坚等<sup>[30]</sup>记录广西大冠沙白骨壤林受污损动物危害程度表现为:向海林带>中间林带>向陆林带,这与白骨壤林逐层消浪密切相关。向平等<sup>[31]</sup>报道,在九龙江口红树林区,当林分郁闭度达到 0.5 时就基本没有藤壶附着。但李云等<sup>[8]</sup>认为在广东红树林幼林的密度与藤壶附着没有正相关性;对此向平等<sup>[31]</sup>推测可能与红树小苗还没形成有效的郁闭度有关。这与本文情形相似,基于经济考虑,移植大规格苗木营造红树林不可能采取很高的密度,本文中采取 1m×1m 的种植密度成本不低;同时移植初期大规格苗木采取落叶策略应对失水胁迫,短期内无法达到有效郁闭,实际单纯种植红树植物对污损动物附着生长影响有限。

红树林与盐沼草具有相似的生态功能,尤其是缓流促淤、保护堤岸方面。我国南方沿海的原生盐沼草资源丰富,草种选择空间广阔。有目的地选育原生盐沼草,探索盐沼草与红树混种技术,形成兼具消浪降能和减轻污损功能的“盐沼草-红树协同生态修复体系”,无疑具有较高的实用价值。

## 4 结论

(1) 本文试验的 4 种盐沼草中,茳茳和沟叶结缕草更加适应潮汐海岸生境,可快速生长和扩展。1a 试验期间,茳茳的密度和高度增长分别为 6.3~9.0 倍和 1.7~2.2 倍,沟叶结缕草的密度和高度增长分别为 3.3~3.5 倍和 4.5~5.2 倍。

(2) 与茳茳、沟叶结缕草的混种显著促进桐花树幼苗生长,保障幼苗保存率。与茳茳混种 1a 后,3 种高度规格的桐花树幼苗存活率分别为:小苗,84%;中苗,90%;大苗,94%;与沟叶结缕草混种的桐花树幼苗存活率分别为:小苗,54%;中苗,62%;大苗,84%。

(3) 桐花树苗木的成活率与受污损程度密切相关。郁闭起来的茳茳和沟叶结缕草盐沼群落,既使得污损动物群落结构发生改变,同时又降低了污损动物

数量。与茳芰混种的桐花树上污损动物的平均密度和生物量分别仅为向海前缘区的 7.2% 和 6.1%，与沟叶结缕草混种的植株污损动物的平均密度和生物量区则分别为 42.1% 和 24.1%。茳芰和沟叶结缕草与桐花树混种都可有效降低污损动物危害。

(4)降低潮水流速及增加滩涂高程,均可减轻人工红树幼林的污损危害程度,提高造林成功率。红树林与盐沼草的生态位重叠,高度层次互补,两者混种可发挥综合的生态功能。

参考文献:

[1] 林鹏. 中国红树林生态系[M]. 北京:科学出版社,1997.  
 [2] 范航清. 海岸环保卫士——红树林[M]. 南宁:广西科技出版社,2000.  
 [3] 王文卿,王瑁. 中国红树林[M]. 北京:科学出版社,2007.  
 [4] 林鹏,韦信敏. 福建亚热带红树林生态学的研究[J]. 植物生态学与地植物学丛刊,1981,5(3):177-186.  
 [5] Perry M D. Effects of associated fauna on growth and productivity in the red mangrove[J]. Ecology,1988,69:1064-1075.  
 [6] Ellison A M, Farnsworth E J. The ecology of Belizean mangrove-root fouling communities: Patterns of epibiont distribution and abundance, and effects on root growth [J]. Hydrobiologia,1992,247:87-98.  
 [7] 何斌源,赖廷和,王瑁,等. 农药对红海榄幼苗上藤壶的防治及其生理生态效应[J]. 生态学杂志,2008,27(8):1351-1356.  
 [8] 李云,郑德璋,郑松发,等. 人工红树林藤壶为害及其防治的研究[J]. 林业科学研究,1998,11(4):370-376.  
 [9] 韩维栋,陈亮,袁梦婕. 红树幼林藤壶的防治试验[J]. 福建林业科技,2004,31(1):57-61,70.  
 [10] 范航清,何斌源. 北仑河口红树林生态恢复的科学原则 [J]. 广西科学,2001,8(3):210-214.  
 [11] He B Y, Lai T H, Fan H Q, et al. Comparison of flooding-tolerance in four mangrove species in a diurnal tidal zone in the Beibu Gulf [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science,2007,74:254-262.  
 [12] 范航清,陈坚,黎建玲. 广西红树林上大型固着污损动物的种类组成及分布[J]. 广西科学院学报,1993,9(2):58-62.  
 [13] 范航清,韦受庆,何斌源,等. 英罗港红树林缘潮水中游泳动物的季节动态[J]. 广西科学,1998,5(1):45-50.  
 [14] 林益明,林鹏. 中国红树林生态系统的植物种类、多样性、功能及其保护[J]. 海洋湖沼通报,2001(3):8-16.  
 [15] 梁士楚. 广西湿地植物[M]. 北京:科学出版社,2011.  
 [16] 唐国玲,沈禄恒,廖宝文,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:自然科学版,2007,28(1):10-13.  
 [17] 张祥霖,石盛莉,潘根兴,等. 互花米草入侵下福建漳江口红树林湿地土壤生态化学变化[J]. 地球科学进展,2008,23(9):974-981.  
 [18] 莫竹承,范航清,刘亮. 广西海岸潮间带互花米草调查研究[J]. 广西科学,2010,17(2):170-174.  
 [19] 管伟,廖宝文,邱凤英,等. 利用无瓣海桑控制入侵种互花米草的初步研究[J]. 林业科学研究,2009,22(4):603-607.  
 [20] Quartel S, Kroom A, Austinus P G E F, et al. Wave attenuation in coastal mangroves in the Red River Delta, Vietnam [J]. Journal of Asian Earth Sciences,2007,29(4):576-584.  
 [21] 陈玉军,廖宝文,黄勃,等. 秋茄 (*Kandelia obovata*) 和无瓣海桑 (*Sonneratia apetala*) 红树人工林消波效应量化研究[J]. 海洋与湖沼,2011,42(6):764-770.  
 [22] Möller I, Spencer T, French J R, et al. Wave transformation over salt marshes: a field and numerical modeling study from North Norfolk, England [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science,1999,49:411-426.  
 [23] 史本伟,杨世伦,罗向欣,等. 淤泥质光滩 盐沼过渡带波浪衰减的观测研究——以长江口崇明东滩为例[J]. 海洋学报,2010,32(2):174-178.  
 [24] Phuoc V L H, Massel S R. Experiments on wave motion and suspended sediment concentration at Nang Hai, Can Gio mangrove forest, Southern Vietnam [J]. Oceanologia,2006,48(1):23-40.  
 [25] Knuston P L, Brochur A, Seelig W N, et al. Wave damping in *Spartina alterniflora* marshes [J]. Wetlands,1982,2:87-104.  
 [26] 潘良浩. 广西茅尾海茳芰生物量研究[J]. 安徽农业科学,2011,39(22):13481-13483.  
 [27] 李武峥. 山口红树林保护区互花米草分布调查与评价 [J]. 南方国土资源,2008(7):39-41.  
 [28] 陈玉军,廖宝文,黄勃,等. 红树林消波效应研究进展 [J]. 热带生物学报,2011,2(4):378-382.  
 [29] Yang S L. The role of *Scirpus* marsh in attenuation of hydro-dynamics and retention of fine-grained sediment in the Yangtze Estuary [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science,1998,47:227-233.  
 [30] 陈坚,范航清,黎建玲. 广西北海大冠沙白骨壤树上大型固着动物的数量及其分布[J]. 广西科学院学报,1993,9(2):67-72.  
 [31] 向平,杨志伟,林鹏. 人工红树林幼林藤壶危害及防治研究进展[J]. 应用生态学报,2006,17(8):1526-1529.

(责任编辑:尹 闯)