

# 互花米草和 2 种乡土红树林树种的生境适应性试验\*

## Habitat Adaptive Experiment of *Spartina alterniflora* and Two Mangroves

莫竹承<sup>1</sup>,何琴飞<sup>2</sup>,刘文爱<sup>1</sup>,龙 波<sup>3</sup>

MO Zhu-cheng<sup>1</sup>,HE Qin-fei<sup>2</sup>,LIU Wen-ai<sup>1</sup>,LONG Bo<sup>3</sup>

(1. 广西红树林研究中心,广西北海 536000;2. 广西壮族自治区林业科学研究院,广西南宁 530001;3. 广西合浦县白沙镇林业站,广西合浦 536121)

(1. Guangxi Mangrove Research Center, Beihai, Guangxi, 536000, China; 2. Guangxi Zhuang Autonomous Region Forestry Research Institute, Nanning, Guangxi, 530001, China; 3. Beisha Forestry Station, Hepu, Guangxi, 536121, China)

**摘要:**为了正确实施生物替代法防除外来入侵植物互花米草(*Spartina alterniflora*),构建由光照、盐度和土壤质地组合的生境条件,对互花米草与乡土红树林树种秋茄(*Kandelia candel*)和木榄(*Bruguiera gymnorhiza*)进行生境适应性试验。试验的每个因子设 3 个水平(双层遮荫,单层遮荫,全光照;海水,咸淡水,淡水;泥质,泥沙,沙质),按  $L_9(3^4)$  正交表进行试验。结果表明:在双层遮荫条件下(光照度 $<300$  lux)互花米草 90 d 内便全部死亡,而秋茄与木榄幼苗能够正常生长。秋茄和木榄均适宜在适当遮荫和泥质土壤下生长,前者偏向于淡水而后者偏向于海水条件。全光照与低盐度是这 3 种植物叶片实现高光合速率的条件。

**关键词:**互花米草 秋茄 木榄 生境适应

中图法分类号:Q14 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2012)01-0080-04

**Abstract:** To explore an active method of biological replacement in controlling the invasive smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*), the growth of *S. alterniflora* with native mangroves *K. candel* and *B. gymnorhiza* was conducted in the combined environmental factors of illumination, salinity and soil texture. The 3 environmental factors were divided into 3 levels, respectively, namely illumination level was double cover, single cover and full exposure; Soil texture was muddy, mud sandy and sandy; Water was seawater, brackish and freshwater. The experiment was designed by orthogonal  $L_9(3^4)$ . The results showed that *S. alterniflora* died within 90 days under the shadowed condition that the illuminance was less than 300 lux, whereas the *K. candel* and *B. gymnorhiza* seedlings grew well. The growth of *K. candel* and *B. gymnorhiza* seedlings needed shaded and mud soil condition while the former preferred freshwater and the latter preferred seawater. All of the 3 species plants presented high photosynthetic rate under the conditions of full exposure and low salinity water.

**Key words:** *Spartina alterniflora*, *Kandelia candel*, *Bruguiera gymnorhiza*, habitat adaptation

生物生态入侵与生境破碎、环境污染并列为危害生物多样性的三大主因,造成生态环境的严重退化。原产于大西洋沿岸的互花米草(*Spartina alterniflora*)是一种全球性外来入侵种,1979 年被

引进到中国<sup>[1]</sup>。互花米草的入侵破坏了近海生物的栖息环境,造成了滩面升高、海水营养盐下降、浮游生物减少,并侵占牡蛎、泥蚶、花蛤等滩涂贝类的生存空间<sup>[2]</sup>,改变底栖动物类群,降低底栖生物丰度和增加单一种群优势度<sup>[3]</sup>。

控制与防治互花米草在潮间带扩散的主要方法有物理防治(包括拔除幼苗、连续刈割、火烧、水淹、掩埋以及围堤等措施)、化学防治(应用各种药物来消除外来入侵种)、生物防治和生物替代防治等<sup>[4]</sup>。翻耕、

收稿日期:2011-09-07

作者简介:莫竹承(1964-),男,副研究员,主要从事红树林与滨海生态系统研究。

\* 广西科学院基金项目(08YJ16HS03),广西 908 专项项目(GX908-01-06)资助。

人工碎根、割除等物理控制技术治理互花米草每年要多次施工<sup>[5]</sup>,对环境的扰动较大,且效果不太明显。化学防治法喷洒米草净可以使互花米草种子 100% 败育,可以有效地控制互花米草通过种子传播蔓延<sup>[6]</sup>,但是这种方法无法控制互花米草的地下茎的无性繁殖,而且还会导致环境污染。使用光禅 (*Prokelesia marginata*) 控制互花米草的生物防治有一定效果<sup>[7,8]</sup>,但是引入昆虫的防除方法存在扩散危害的风险。在互花米草群落中种植红树植物的生物替代防治是一种较好的生态防除互花米草方法,实践证明在互花米草群落中引种速生的外来树种无瓣海桑 (*Sonneratia apetala*) 的防除效果较好<sup>[9]</sup>,只是这种以外来物种替代外来物种的防除方式受到较多质疑,人们担心会引来另外一个生态入侵危险。

广西的互花米草面积已经扩散到了 389.2 hm<sup>2</sup>,而且还在不断蔓延<sup>[10]</sup>,控制互花米草扩散减轻生态入侵灾难已经是滨海环境整治的重要任务之一。本文通过开展互花米草、秋茄 (*Kandelia candel*)、木榄 (*Bruguiera gymnorhiza*) 的生境适应性选择试验,了解它们对不同生境条件的偏好程度,探索乡土红树林树种替代互花米草的适宜生境条件,提供生物替代控制外来生物入侵的选择。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验方法

构建由光照、盐度和土壤质地组合的生境条件进行试验,每个因子设置 3 个水平。其中,光照条件分为: I1. 双层遮荫网(光照度 10~50 lux)、I2. 单层遮荫网(光照度 100~300 lux)、I3. 全光照(光照度 1000~1800 lux); 盐度条件分为: S1. 海水(盐度 26~30)、S2. 咸淡水(盐度 14~16)、S3. 淡水(盐度 0~3); 土壤质地分为 T1. 泥质(粘粒 60%~100%)、T2. 泥沙质(粘粒 20%~40%)、T3. 沙质(粘粒 < 20%)。

按  $L_9(3^4)$  正交表进行试验设计,正交表排列如表 1 所示。

每一栽培组用 3 个直径为 35 cm 的塑料盆栽植,每盆种 5 条互花米草根茎和 5 条秋茄/木榄胚轴,在 9 个组 27 个栽植盆中用了互花米草根茎和秋茄/木榄胚轴各 135 条。2009 年 6 月将栽植盆按设计要求布置于数控快繁温室的水培池中(池水为淡水起降温增湿作用),每 5 d 给栽植盆添加相应盐度的水分至满盆,调节盐度至相应范围。经过全光照培育至互花米草长出新秆 > 10 cm,秋茄/木榄长出 1~2 对叶片后按设计要求实施组 1~3 双层遮荫、组 4~6 单层遮荫、组 7~9 不遮荫的生长试验。

表 1 正交试验设计

Table 1 Orthogonal design for environmental factors

栽培组号 Test	光照 Illumination	土壤质地 Soil texture	空白 Blank	盐度 Salinity
1	I1	T1	1	S1
2	I1	T2	2	S2
3	I1	T3	3	S3
4	I2	T1	2	S3
5	I2	T2	3	S1
6	I2	T3	1	S2
7	I3	T1	3	S2
8	I3	T2	1	S3
9	I3	T3	2	S1

I1: 双层遮荫, I2: 单层遮荫, I3: 全光照, T1: 泥质, T2: 泥沙, T3: 沙质, S1: 海水, S2: 咸淡水, S3: 淡水。

I1: Double cover, I2: Single cover, I3: Full exposure, T1: Muddy, T2: Mud sandy, T3: Sandy; S1: Seawater, S2: Brackish, S3: Freshwater.

### 1.2 数据测定

栽植 2 个月后(8 月份)测定光合效率,至 10 月份遮荫处理的互花米草全部死亡试验结束,结束时测定秋茄/木榄的生长指标。测定方法是:选择秋茄/木榄自顶芽往下第 2 对成熟叶、互花米草自顶芽往下第 2 片完全展开叶片,用 TPS-2 光合作用仪测定光合速率,秋茄/木榄叶片选择标准气室(2.5 cm<sup>2</sup>),互花米草叶片选择通用气室(1.2 cm<sup>2</sup>),人工光源光强为 550  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。用钢卷尺和游标卡尺测量秋茄/木榄的高生长指标,测量精度到 0.1 cm。

数据统计是用正交试验设计直观分析、单因素方差分析(One-way ANOVA)和 Duncan 法多重比较进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 生境对互花米草生长的影响

在光照、盐度和土壤质地 3 类因素中光照对互花米草的影响最为明显:在全遮荫的 1~3 组 90 d 后互花米草全部死亡;在半遮荫的 4~6 组在栽培的第 4 个月草丛变得极为稀疏,株高只有 22~32 cm;在全光照的第 7~9 组草丛生长旺盛,株高达到 40.2~50.8 cm。谷兴华等研究发现遮荫对互花米草的生长具有显著的抑制作用,2 层遮荫(透光率 32.5%)处理明显抑制互花米草生长,3 层遮荫(透光率 15.2%)1 个月后全部死亡<sup>[11]</sup>,与本试验结果相互印证。

### 2.2 生境对秋茄生长的影响

试验结束时秋茄存活幼苗 116 株,成活率 86%,平均实生高 22.1 cm,平均基径 3.8 mm,秋茄实生高直观分析和方差分析见表 2。表 2 结果表明,9 个栽培组的秋茄实生高存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。其中

秋茄高生长最大的环境组合因子为 I2T1S3, 而且与其他组存在显著差异, 即单遮、泥质及淡水为秋茄适宜生长条件。不同盐度下秋茄高生长极差最大, 说明盐度是主要影响因子。在弱光条件下, 秋茄幼苗的高生长增加, 抽条叶数和叶片的叶绿素含量均有所提高, 可以缓和盐度对秋茄幼苗净光合速率的抑制<sup>[12]</sup>。含沙量高的土质在秋茄胚轴根的生长发育方面有促进根系生长的作用, 但是经过 150~180 d 培育后, 滩涂泥组的幼苗生长速度明显比沙子组快<sup>[13]</sup>。

表 2 秋茄实生高直观分析和方差分析结果

Table 2 Orthogonality and variance analysis of growing height of *K. candell* seedlings

栽培组号 Test	光照 Illumination	土壤质地 Soil texture	盐度 Salinity	高 Height growth(cm)*
1	I1	T1	S1	21.0±1.81bc
2	I1	T2	S2	22.1±2.08bc
3	I1	T3	S3	24.7±1.12cd
4	I2	T1	S3	26.9±1.35d
5	I2	T2	S1	20.1±1.11b
6	I2	T3	S2	21.9±0.76bc
7	I3	T1	S2	26.1±0.85d
8	I3	T2	S3	19.9±1.48b
9	I3	T3	S1	13.4±0.83a
Kc1	22.600	24.667	18.167	
Kc2	22.967	20.700	23.367	
Kc3	19.800	20.000	23.833	
极差 Range	3.167	4.667	5.666	

\*: 不同字母表示栽培组间的差异显著性 ( $\alpha = 0.05$ )。Kc1, Kc2, Kc3 分别是秋茄 1, 秋茄 2, 秋茄 3。

The different letters indicate significant at  $\alpha = 0.05$  level. Kc1, Kc2, Kc3 are *K. candell* 1, 2, 3.

### 2.3 生境对木榄生长的影响

试验结束时木榄幼苗成活 133 株, 成活率 99%, 平均高 24.6 cm, 平均直径 4.9 mm, 木榄高生长直观分析和方差分析见表 3。表 3 表明, 木榄实生高最大的组合因子水平是 I1T1S1, 而且显著大于 I1T3S3 和 I2T3S2, 这表明沙质土明显不利于木榄生长, 而双

表 4 光合速率测定结果

Table 4 Record of photosynthetic rate

栽培组号 Test No.	生境 Habitat	光合速率 Photosynthetic rate( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )			
		Kc*	Sa*	Bg*	Sa*
1	I1T1S1	3.73±0.41ab	1.40±0.72a	1.75±0.25a	1.70±0.12a
2	I1T2S2	2.97±0.21a	0.50±0.25a	3.52±0.64bc	1.13±0.35a
3	I1T3S3	4.12±0.61abc	0.93±0.09a	2.38±0.34ab	0.90±0.35a
4	I2T1S3	5.42±0.31cd	6.87±1.15cd	6.50±0.82e	9.37±0.88c
5	I2T2S1	6.18±0.55de	5.73±0.40bc	4.25±0.54cd	9.33±0.97c
6	I2T3S2	5.60±0.58cd	5.90±0.40bb	5.62±0.67de	6.13±0.23b
7	I3T1S2	7.20±0.48e	13.60±0.40ce	4.35±0.39cd	9.30±0.89c
8	I3T2S3	8.60±0.43f	10.97±0.67e	6.68±0.60e	17.60±0.95d
9	I3T3S1	4.78±0.58bcd	7.33±0.30d	5.78±0.43de	10.20±0.22c

\*: Sa; 互花米草 *S. alterniflora*, Kc; 秋茄 *K. candell*, Bg; 木榄 *B. gymnorhiza*.

遮、泥质和海水条件为木榄生长的最适宜条件。其中不同土壤质地木榄的高生长极差最大, 这也说明土壤质地为首要影响因子, 即木榄最喜欢泥质滩涂生境。

在离海岸较近的滩涂上木榄幼苗成活率、植株生长状况及其生物量等都比离海岸较远、水深较深的地方高<sup>[14]</sup>。木榄幼苗最适生长盐度为 20, 总生长量比对照高 72.2%, 比基质盐度 50 时高 287.5%<sup>[15]</sup>。这些研究结果支持本试验的泥质和海水条件有利于木榄幼苗生长的结论。

表 3 木榄实生高直观分析和方差分析结果

Table 3 Orthogonality and variance analysis of growing height of *B. gymnorhiza* seedlings

栽培组号 Test	光照 Illumination	土壤质地 Soil texture	盐度 Salinity	高 Height growth(cm)*
1	I1	T1	S1	28.0±0.34b
2	I1	T2	S2	25.7±1.87ab
3	I1	T3	S3	22.9±1.15a
4	I2	T1	S3	26.3±1.51ab
5	I2	T2	S1	24.0±1.69ab
6	I2	T3	S2	22.0±1.21a
7	I3	T1	S2	23.6±1.29ab
8	I3	T2	S3	23.4±1.49ab
9	I3	T3	S1	25.6±1.32ab
Bg1	25.533	25.967	25.867	
Bg2	24.100	24.367	23.767	
Bg3	24.200	23.500	24.200	
极差 Range	1.433	2.467	2.100	

\*: 不同字母表示栽培组间的差异显著性 ( $\alpha = 0.05$ )。Bg1, Bg2, Bg3 分别是木榄 1, 木榄 2, 木榄 3。

The different letters indicate significant at  $\alpha = 0.05$  level. Bg1, Bg2, Bg3 are *B. gymnorhiza* 1, 2, 3.

### 2.4 生境对光合速率的影响

光合作用是绿色植物吸收  $\text{CO}_2$  释放  $\text{O}_2$ , 建造自身有机物质并将太阳能转化为化学能的过程。本试验分别测定 9 个栽培组秋茄与其竞争生长的互花米草、木榄与其竞争生长互花米草的光合速率数据结果如表 4 所示。表 4 表明, 在不同处理下栽培组间

的光合效率均存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。其中,秋茄光合速率最大的生境条件组合是 I3T2S3 即全光照、泥沙质和淡水条件,与秋茄竞争生长的互花米草光合速率最大的生境条件组合是 I3T1S2 即全光照、泥质和咸淡水条件;木榄和竞争生长的互花米草光合速率最大的生境条件组合均为 I3T2S3,即全光照、泥沙质和淡水条件,而且这些组合的植物光合速率均显著大于其他组合,说明全光照与低盐度条件明显有利于这三种植物的光合速率。

互花米草是 C4 植物,具有很高的光合效率<sup>[16]</sup>。C4 植物具有光合速率高,CO<sub>2</sub> 补偿点低,几乎没有光呼吸等优点,特别是在强光、高温、干旱、盐碱等条件下具有明显的生长优势及水分和营养利用率。

木榄在 0~50 盐度范围内,低盐度促进高盐度抵制叶片的光合作用。盐胁迫下叶片栅栏组织厚度的下降、海绵组织中胞间隙的减少以及叶肉细胞中叶绿体的分布变化可能是导致植株光合效率下降和幼苗生长受阻的重要原因<sup>[17]</sup>。

### 3 结论

通过控制条件试验评估了光照、土壤和盐度条件对互花米草和秋茄、木榄的生长及光合速率的影响。实验结果表明,光照条件是决定互花米草生存的首要因子,光照不足会导致其死亡,盐度条件中的海水(盐度 26~30)不利于光合速率。适当的遮荫、泥质土壤与淡水条件有利于秋茄的生长,适当的遮荫、泥质土壤与海水条件有利于木榄的生长。在全光照和低盐度条件下这三种植物均能获得较高的光合速率。

参考文献:

[1] 李加林,杨晓平,童亿勤,等. 互花米草入侵对潮滩生态系统服务功能的影响及其管理[J]. 海洋通报,2005,24(5):33-38.  
 [2] 林如求. 三都湾大米草和互花米草的危害及治理研究[J]. 福建地理,1997,12(1):16-19.  
 [3] Carlos N, Lisa A L, Edwin D G, et al. Influence of inva-

sive *Spartina* growth stages on associated macrofaunal communities[J]. Biol Invasions, 2007, 9:975-993.

[4] 李富荣,陈俊勤,陈沐荣,等. 互花米草防治研究进展[J]. 生态环境,2007,16(6):1795-1800.  
 [5] 李贺鹏,张利权. 外来植物互花米草的物理控制实验研究[J]. 华东师范大学学报:自然科学版,2007(6):44-55.  
 [6] 刘建,庄志鸿,蔡宣梅. 互花米草人工败育技术[J]. 植物保护,2003,31(1):70-72.  
 [7] David S. Biological control of marine invasive species: cautionary tales and land-based lessons[J]. Biological Invasions,2003,5:117-131.  
 [8] 王蔚,张凯,汝少国. 米草生物入侵现状及防治技术研究进展[J]. 海洋科学,2003,27(7):38-42.  
 [9] 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.  
 [10] 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.  
 [11] 谷兴华,廖宝文,朱宁华,等. 遮荫对互花米草生长影响的初步研究[J]. 中国森林病虫,2010,29(3):34-36,39.  
 [12] 杨盛昌,中须贺常雄,林鹏. 光强对秋茄幼苗的生长和光合特性的影响[J]. 厦门大学学报:自然科学版,2003,42(2):242-247.  
 [13] 仇建标,陈少波,黄丽,等. 不同类型土壤对秋茄胚轴生长发育的影响[J]. 安徽农业科学,2010,38(31):17514-17517.  
 [14] 刘治平. 秋茄和木榄的海上育苗研究[J]. 生态科学,1991(1):72-76.  
 [15] 张宜辉,王文卿,林鹏. 短时间和长时间盐度对木榄幼苗生长及叶片膜脂过氧化作用的研究[J]. 水生生物学报,2004,28(2):186-190.  
 [16] 王长永,仲崇信,钦佩. 米草光合作用速率季节变化及其对初级生产的影响[J]. 农村生态环境学报,1994,10(3):14-17.  
 [17] 刘睿,孙伟,巢牡香,等. 盐胁迫下木榄幼苗叶片的解剖学变化[J]. 热带亚热带植物学报,2009,17(2):169-175.

(责任编辑:邓大玉)