

文章编号: 1001-1498(2008)04-0486-07

光强对无瓣海桑幼苗的生长和光合特性的影响

刁俊明^{1,2}, 陈桂珠^{1*}

(1. 中山大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510275; 2. 嘉应学院生物系, 广东 梅州 514015)

摘要: 根据实地测定人工无瓣海桑红树林不同环境下的光照强度, 研究了不同光强环境对无瓣海桑幼苗的生长和光合特性的影响。结果表明: 随着光照强度的降低, 无瓣海桑幼苗的生长和光合特性指标水平均呈下降趋势, 且不同光强处理间差异显著。在光照强度为全光照的 80% 和 40% 时, 幼苗的各项生长指标下降, 长势较全光照环境下的幼苗差; 在荫蔽初期 (2~4 个月), 弱光环境对幼苗的茎高、叶面积和叶片长宽比的增加有促进作用, 随着荫蔽时间的延长, 则产生抑制作用, 不利于幼苗的生长; 当光强达全光照的 20% 时, 幼苗生长极为缓慢。在荫蔽处理 180 d 时, S_{a80} 、 S_{a40} 、 S_{a20} 的幼苗死亡率分别为 42%、70%、100%; 在弱光环境下, 无瓣海桑幼苗根、茎、叶的生物量分别下降了 90%、80%、91%; 随着环境光强水平的下降, 无瓣海桑幼苗叶片的叶绿素含量、净光合速率等生理参数均呈下降趋势, 各处理间差异显著。试验说明光强不足是造成无瓣海桑幼苗生长和光合水平低下及死亡率较高的主要原因, 并对无瓣海桑幼苗的天然更新与自然扩散和人工造林技术进行了讨论。

关键词: 光强; 生长; 光合特性; 天然更新; 自然扩散; 无瓣海桑幼苗

中图分类号: Q945.11

文献标识码: A

Effect of Light Intensity on Growth and Photosynthetic Properties of *Sonneratia apetala* Seedling

DAO Junming^{1,2}, CHEN Guizhu¹

(1. School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, Guangdong, China;

2. Department of Biology, Jiaying University, Meizhou 514015, Guangdong, China)

Abstract: Growth and photosynthetic properties of *Sonneratia apetala* seedlings were studied under different light intensity environments according to light intensity of *Sonneratia apetala* in field. The results indicated that with the light intensity lessening, the trend of growth and photosynthetic properties of *Sonneratia apetala* seedlings decreased. The difference of different treatments was significant. When the light intensity was 80% and 40% of full light, the growth of seedlings became worse, they grow worse than that of full light. The weak light environment was beneficial to stem height, leaf area and ratio of length to width of lamina only in initial shading stage (2 to 4 months), but with the shading time prolonging, the growth of seedlings appeared to the trend of decline. The growth of seedlings were restricted seriously in initial shading stage when the light intensity was 20%. The death rate of seedlings of S_{a80} , S_{a40} and S_{a20} in shading treatment 180 days were 42%, 70% and 100%, respectively. Biomass of root, stem and leaf were decreased by about 90%, 80% and 91% in weak light intensity environment. With the light intensity lessening, the trends of physiology parameters such as chlorophyll contents, net photosynthetic rate decreased, the difference among them was significant. Therefore, weak light intensity environment was the main reason for lower growth rate, lower photosynthetic rate and higher death rate of

收稿日期: 2008-01-14

基金项目: 联合国环境规划署/全球环境基金“扭转南中国海及泰国湾环境退化趋势”项目 (GF/2730-02-4340) 资助

作者简介: 刁俊明 (1958—), 男, 广东兴宁人, 副教授, 主要从事植物生理生态学研究。

* 通讯作者: chengguizhu@yeah.net Tel: 020-84039737

Sonneratia apetala seedlings. In addition, the natural regeneration and diffusion and the artificial forestation technique of *Sonneratia apetala* seedlings were discussed.

Key words: light intensity; growth; photosynthetic properties; natural regeneration; natural diffusion; *Sonneratia apetala* seedling

无瓣海桑 (*Sonneratia apetala* Buxh-Ham) (简记为 *Sa*) 是海桑科 (Sonneratiaceae) 海桑属 (*Sonneratia* L. f.) 的红树林乔木树种之一, 天然分布于印度、孟加拉国、斯里兰卡等国盐度较低的中低潮带海滨泥质滩涂, 树高一般为 15~20 m, 胸径 25~30 cm, 最大胸径达 50~70 cm^[1], 是前沿裸滩人工造林的先锋红树植物种类^[2]。无瓣海桑具有生长迅速, 结实率高, 定居容易, 适应性广等优良特性^[3]。1985年我国科技人员从孟加拉国引入我国海南东寨港红树林区^[4], 1992年起在国内开始北移引种至广东湛江、深圳、珠海、粤东汕头沿海和福建九龙江口及广西等地并获成功^[5]。2000年起作为广东沿海滩涂主要造林树种之一, 在生产中大量推广, 并获得较好的生态、经济和社会效益。无瓣海桑作为一个外来物种必须进行深入的研究, 目前对无瓣海桑的研究主要集中在其引种与人工造林技术、形态解剖学、生物学特性和生态环境适应性等方面^[1,3,6-7], 而众多的研究表明: 光照强度对红树林的生长、发育、繁殖、种群变化和群落演替均有着深刻的影响^[8-12]; 然而目前未见不同光强照度对无瓣海桑的生长和光合特性影响的报导。本文探讨不同光照强度对无瓣海桑幼苗生长和光合特性的影响, 旨在了解无瓣海桑在低光照水平下的生物学特性及与光环境的关系, 确定其对光环境条件的要求, 为无瓣海桑人工造林技术和天然更新与自然扩散的研究提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

2007年4月15日在广东省汕头市澄海区义丰溪河口8年生无瓣海桑人工红树林周边的光滩内, 采集当年生长势基本一致、无病虫害的无瓣海桑幼苗为试验材料。幼苗平均茎高6.87 cm, 基径2.75 mm, 节数6.20节, 叶片4.78片。

1.2 试验设计

试验在中山大学环境科学研究所的简易温室大棚中进行。在试验开始前, 于2007年4月15日在晴天无云的天气条件下, 使用AR823型分体式照度计测量义丰溪河口人工无瓣海桑红树林及周边环境的光照强度, 无林光滩、林窗与林缘、2年生幼林、

8年生成熟林里对应的光照强度分别为 1 530.59、1 239.78、612.24、275.51 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。以全光照光滩的光照强度为 100% 进行标定, 则林窗与林缘、幼林、成熟林里的光照强度分别相当于全光照的 82%、42%、18%。据此, 本试验设计 1 个在大棚外全光照环境下的种植组, 即光照强度为 100%; 用不同透光率的遮光网和 AR823 型分体式照度计在大棚内设置光量子通量分别为 80%、40%、20% 的 3 个处理组, 即遮荫度分别为 20%、60% 和 80%, 模拟光滩、林窗与林缘、人工幼林和人工成熟林的光照条件, 以上各个光强处理组相应简记为 Sa_{100} 、 Sa_{80} 、 Sa_{40} 和 Sa_{20} 。所有种植用底泥采自珠海淇澳岛红树林, 无瓣海桑幼苗植于盛有 60 kg、15 cm 厚底泥的塑料箱中, 每组处理种植 50 株幼苗。每天上午用粗海盐和自来水调配的人工海水 6 L 浸泡 8 h, 傍晚排水, 模拟潮汐环境。人工海水盐浓度根据现场实测的数据, 每季度调整 1 次, 波动范围为 5~8 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。每隔 7 d 补充一些自来水, 使水面保持相同的高度, 以补充蒸发散失的水分。幼苗培养自 2007 年 4 月 18 日至 10 月 18 日。整个实验期间, 温室未加控温。

1.3 指标测定方法

1.3.1 幼苗生长指标的测定 在试验开始 (0 d) 和每 60 d 测定各组中 15 株固定样树的茎高、基径、节数、叶片数; 采用剪纸法随机测定第 3 节 10 个叶片的叶面积和叶片的长、宽; 在 180 d 时, 随机测定第 3 节叶片的厚度, 并测定侧根数、侧根长及根、茎、叶的生物量 (干质量和去灰分干质量)。每 30 d 记录 1 次幼苗存活株数和死亡率及症状, 并观察记录幼苗生长发育情况等。

1.3.2 幼苗光合特性指标的测定 在 2007 年 9 月 19 日 10:00 - 11:00, 采用 Li-6400 光合作用测定仪测定幼苗叶片的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率等。测定幼苗自上而下成熟度适中的第 3 节叶片, 光量子通量为 700~1 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 气温为 32.6~33.6 $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为 60%~65%。

幼苗叶片叶绿素的含量在 150 时测定, 按张立志等^[13]方法, 采用 752N 紫外可见分光光度计进行比色。

1.4 数据统计分析

采用 SPSS 软件分析数据,各处理间采用单因素分析法分析差异性。

2 结果与分析

2.1 光强对无瓣海桑幼苗叶片净光合速率、气孔导度和蒸腾速率的影响

从表 1 可以看出:随着光照强度的下降,净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均呈下降的趋势,且各处理间差异显著。 $S_{a_{100}}$ 的净光合速率、气孔导度和蒸腾率均显著地高于 $S_{a_{80}}$ 、 $S_{a_{40}}$ 和 $S_{a_{20}}$,其中 $S_{a_{40}}$ 和 $S_{a_{20}}$ 的净光合速率比 $S_{a_{100}}$ 的分别降低 54%和 70%。可见,低光照强度下无瓣海桑幼苗叶片的光合作用指标均显著下降。

表 1 不同光强处理的无瓣海桑幼苗叶片的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率

光强处理	净光合速率		气孔导度		蒸腾速率	
	$\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	占 $S_{a_{100}}$ 比 / %	$\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	占 $S_{a_{100}}$ 比 / %	$\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	占 $S_{a_{100}}$ 比 / %
$S_{a_{100}}$	13.25 ± 0.18 ^a	100	211.67 ± 11.54 ^a	100	9.59 ± 0.06 ^a	100
$S_{a_{80}}$	8.40 ± 0.06 ^b	63	143.33 ± 17.55 ^b	68	7.09 ± 0.81 ^b	74
$S_{a_{40}}$	6.03 ± 0.20 ^c	46	118.33 ± 10.69 ^c	56	5.75 ± 0.40 ^c	60
$S_{a_{20}}$	4.03 ± 0.03 ^d	30	93.53 ± 2.81 ^d	44	4.70 ± 0.25 ^d	49

注:表中数据为平均值 ± 标准差,不同字母代表在 $P < 0.05$ 水平上差异显著,下同。

2.2 光照对无瓣海桑幼苗叶片叶绿素含量的影响

不同光强处理 150 d 后无瓣海桑幼苗叶绿素的含量见表 2。从表 2 看出:随着光照强度的下降,无瓣海桑幼苗叶片叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量均呈先上升后降低的趋势,且各处理间差异显著,其中 $S_{a_{20}}$ 幼苗的叶绿素含量最低,其叶绿素 a、叶绿素 b 和

总叶绿素的含量比 $S_{a_{100}}$ 分别降低 56.86%、8.11% 和 43.88%;叶绿素 a/b 的含量则随着光照强度的下降而降低,且各处理间差异显著。在 80% 和 40% 光强处理下,无瓣海桑幼苗叶片的叶绿素 a、b 和总叶绿素含量比 100% 光强处理的高,这与一般植物的变化规律相同,是幼苗对荫蔽条件的响应之一。

表 2 不同光强处理 150 d 后无瓣海桑幼苗叶片的叶绿素含量

光强处理	$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$			
	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素总量	叶绿素 a/b
$S_{a_{100}}$	1.02 ± 0.01 ^a	0.37 ± 0.01 ^a	1.39 ± 0.01 ^a	2.75 ± 0.05 ^a
$S_{a_{80}}$	1.30 ± 0.01 ^b	0.52 ± 0.01 ^b	1.82 ± 0.02 ^b	2.49 ± 0.04 ^b
$S_{a_{40}}$	1.25 ± 0.02 ^c	0.60 ± 0.01 ^c	1.85 ± 0.01 ^c	2.07 ± 0.05 ^c
$S_{a_{20}}$	0.44 ± 0.01 ^d	0.34 ± 0.01 ^d	0.78 ± 0.01 ^d	1.31 ± 0.03 ^d

2.3 不同光强对无瓣海桑幼苗生长发育的影响

2.3.1 不同光强对茎高、基茎和节数的影响 根据每 60 d 测得的茎高、基茎和节数,计算无瓣海桑幼苗

在 180 d 内的茎高、基茎和节数总的生长量(表 3)及在 0、60、120、180 d 的生长量(图 1~3)。

表 3 不同光强处理 180 d 后无瓣海桑幼苗的茎高、基茎和节数

光强处理	茎高增量		基茎增量		节数增量	
	cm	占 $S_{a_{100}}$ 比 / %	mm	占 $S_{a_{100}}$ 比 / %	个	占 $S_{a_{100}}$ 比 / %
$S_{a_{100}}$	47.03 ± 0.57 ^a	100	3.37 ± 0.83 ^a	100	11.50 ± 2.32 ^a	100
$S_{a_{80}}$	39.19 ± 3.56 ^a	83	2.02 ± 0.90 ^b	60	11.70 ± 3.56 ^a	102
$S_{a_{40}}$	22.76 ± 0.62 ^b	48	1.08 ± 0.38 ^c	32	8.90 ± 1.52 ^b	77
$S_{a_{20}}$	-	-	-	-	-	-

从表 3 看出:随着光照强度的降低,无瓣海桑幼苗的茎高、茎径和节数均呈下降趋势;光照处理 180 d 时, $S_{a_{20}}$ 处理的幼苗全部死亡; $S_{a_{40}}$ 处理幼苗的茎高增量显著低于 $S_{a_{100}}$ 和 $S_{a_{80}}$ 处理, $S_{a_{80}}$ 和 $S_{a_{40}}$ 处理幼苗的基茎增量均显著低于 $S_{a_{100}}$ 处理, $S_{a_{40}}$ 处理幼苗的节数增量显著低于 $S_{a_{100}}$ 和 $S_{a_{80}}$ 处理。

由图 1 看出:遮荫处理 60 d 时, $S_{a_{40}}$ 幼苗的茎高大于其它处理;遮荫处理 120 d 时, $S_{a_{80}}$ 幼苗的茎高最大,而 $S_{a_{40}}$ 幼苗的茎高增量下降,且小于 $S_{a_{100}}$ 幼苗的茎高;遮荫处理 180 d 时, $S_{a_{100}}$ 幼苗的茎高生长量最大,而 $S_{a_{80}}$ 和 $S_{a_{40}}$ 的茎高几乎没有增加。由此可见,遮荫初期对幼苗的茎高生长有

促进作用,随着遮荫时间的延长,遮荫起抑制作用。

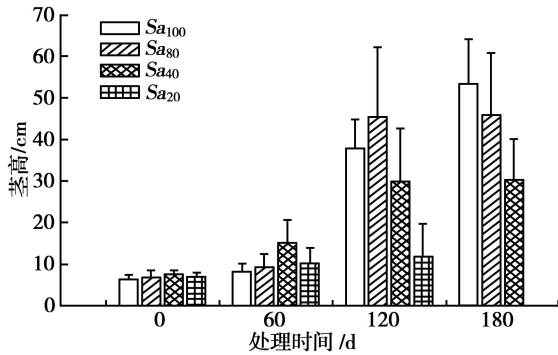


图 1 不同光强对无瓣海桑幼苗茎高生长的影响

由图 2 看出:在遮荫处理 60 d 时, $S_{a_{40}}$ 和 $S_{a_{20}}$ 幼苗的基茎与 $S_{a_{100}}$ 的无显著差异,表明在遮荫初期对幼苗的基茎生长无影响;在遮荫处理 120 d 时, $S_{a_{80}}$ 、 $S_{a_{40}}$ 和 $S_{a_{20}}$ 幼苗的基茎已显著小于 $S_{a_{100}}$ 的,且 $S_{a_{20}}$ 幼苗的基茎比前 60 d 时有变小趋势,且随遮荫时间的延长,低光照水平幼苗的基茎生长很小。

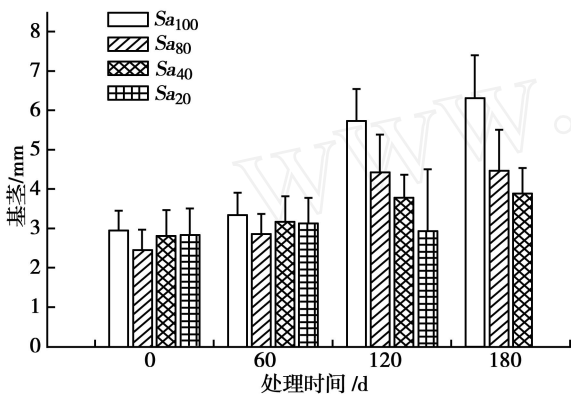


图 2 不同光强对无瓣海桑幼苗基茎生长的影响

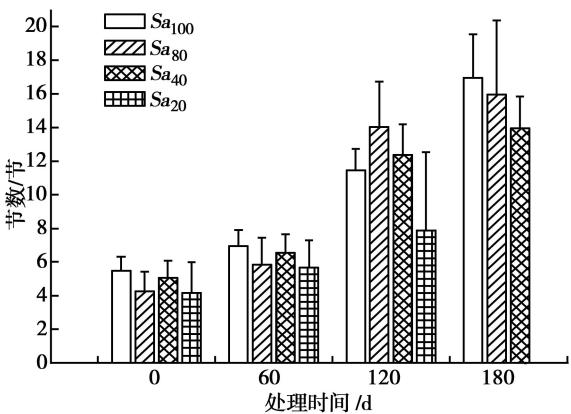


图 3 不同光强对无瓣海桑幼苗节数生长的影响

由图 3 看出:遮荫处理 120 d 时, $S_{a_{80}}$ 、 $S_{a_{40}}$ 处理幼苗的节数比 $S_{a_{100}}$ 的多,但遮荫处理 180 d 时, $S_{a_{100}}$

处理幼苗的节数最多,而 $S_{a_{80}}$ 和 $S_{a_{40}}$ 的节数生长明显降低。

综合图 1~3 看出:随着遮荫时间的延长,低光照水平不利于无瓣海桑幼苗茎高、基径和节数的生长。

2.3.2 不同光强对单叶面积、叶片厚度、叶片长宽比和叶片数的影响 不同光照强度对无瓣海桑幼苗的单叶面积、叶片厚度、叶片长宽比和叶片数均有影响(表 4)。从表 4 看出:遮荫处理 180 d 时,随着光照强度的降低,无瓣海桑幼苗的单叶面积、叶片厚度和叶片数均呈下降趋势,而叶片长宽比呈先升后降的趋势。 $S_{a_{40}}$ 处理的单叶面积、叶片长宽比及叶片数均显著低于 $S_{a_{100}}$ 和 $S_{a_{80}}$ 的,而 $S_{a_{80}}$ 和 $S_{a_{40}}$ 处理的叶片厚度都显著低于 $S_{a_{100}}$ 的。从试验观察发现,随着遮荫度的增大,幼苗的叶片变小,易出现畸形叶,且落叶多。到遮荫处理 120 d 时, $S_{a_{80}}$ 、 $S_{a_{40}}$ 和 $S_{a_{20}}$ 处理的幼苗发生大量落叶现象,而 $S_{a_{100}}$ 处理的幼苗无此现象。

表 4 不同光强处理 180 d 后无瓣海桑幼苗的单叶面积、叶片厚度、叶片长宽比和叶片数

光强处理	单叶面积 / cm^2	叶片长宽比	叶片厚度 / mm	叶片数 / 片
$S_{a_{100}}$	10.69 ± 1.32^a	2.23 ± 0.57^a	0.43 ± 0.01^a	13.10 ± 1.18^a
$S_{a_{80}}$	9.00 ± 4.45^a	2.55 ± 0.41^a	0.36 ± 0.01^b	3.20 ± 5.39^a
$S_{a_{40}}$	2.81 ± 1.96^b	1.50 ± 0.11^b	0.25 ± 0.03^c	2.00 ± 2.44^b
$S_{a_{20}}$	-	-	-	-

从图 4 看出:遮荫处理 180 d 时, $S_{a_{80}}$ 和 $S_{a_{40}}$ 处理幼苗的植株上保留的叶片较少,平均每株 4.4 片叶。可见,低光强环境影响无瓣海桑幼苗叶片的生长发育。

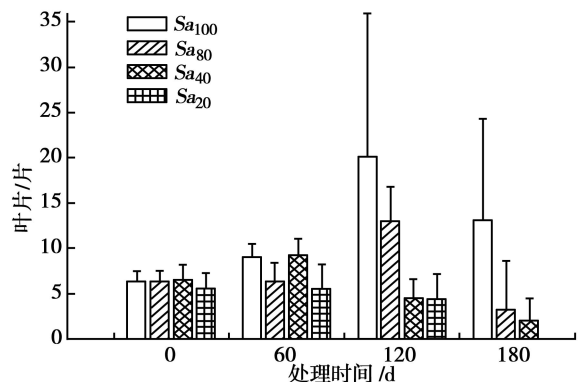


图 4 不同光强对无瓣海桑幼苗叶片数生长的影响

2.3.3 不同光强对侧根数、侧根长和根生物量的影响 不同光强处理 180 d 后无瓣海桑幼苗根生长指

标见表 5。从表 5 看出： $S_{a_{100}}$ 处理的侧根数显著比 $S_{a_{80}}$ 和 $S_{a_{40}}$ 处理的大；随着光照强度的降低，无瓣海桑幼苗的侧根长、根干质量和去灰分干质量均呈下降的趋势， $S_{a_{40}}$ 处理的侧根长和根干质量均显著地低于 $S_{a_{100}}$ 和 $S_{a_{80}}$ 的， $S_{a_{80}}$ 和 $S_{a_{40}}$ 处理的根去灰分干质量都显著地低于 $S_{a_{100}}$ 的。与 $S_{a_{100}}$ 相比， $S_{a_{80}}$ 和 $S_{a_{40}}$

处理的侧根数均降低 70%，侧根长分别降低 10%和 65%，根干质量分别降低 85%和 95%，去灰分干质量分别降低 83%和 93%，说明光照不足会降低根对矿质元素吸收的能力。由此可见，低光照强度不利于无瓣海桑幼苗根系的生长发育。

表 5 不同光强处理 180 d 后无瓣海桑幼苗单株的侧根数、侧根长、根干质量和去灰分干质量

光强处理	侧根数/条	侧根长/cm	根干质量/g	根去灰分干质量/g
$S_{a_{100}}$	23.00 ± 4.00 ^a	11.37 ± 4.18 ^a	1.30 ± 0.57 ^a	0.88 ± 0.41 ^a
$S_{a_{80}}$	7.00 ± 1.73 ^b	10.27 ± 4.55 ^a	0.19 ± 0.15 ^a	0.15 ± 0.12 ^b
$S_{a_{40}}$	7.00 ± 1.00 ^b	3.99 ± 0.56 ^b	0.07 ± 0.01 ^b	0.06 ± 0.00 ^b
$S_{a_{20}}$	-	-	-	-

2.3.4 不同光强对茎、叶的生物量和冠根比的影响

不同光强处理 180 d 后无瓣海桑幼苗茎和叶的干质量、去灰分干质量及冠根比见表 6。从表 6 看出：随着光照强度的降低，无瓣海桑幼苗茎和叶的干质量、去灰分干质量均呈下降趋势， $S_{a_{100}}$ 处理的茎干质量和去灰分干质量均显著地大于 $S_{a_{80}}$ 和 $S_{a_{40}}$ 处理的， $S_{a_{40}}$ 处理的叶干质量和去灰分干质量均显著地低于 $S_{a_{100}}$ 和 $S_{a_{80}}$ 的。与 $S_{a_{100}}$ 相比， $S_{a_{80}}$ 和 $S_{a_{40}}$ 处理

的茎干质量分别降低 72%和 88%，茎去灰分干质量分别降低 70%和 88%，叶干质量分别降低 83%和 97%，叶去灰分干质量分别降低 84%和 97%。可见，弱光条件不利于无瓣海桑幼苗茎和叶的物质积累。从表 6 还看出：干质量的冠根比随着光照强度的降低而上升，说明光强不同会改变干物质的分配模式，即随着光照强度的降低，不利于根的干物质积累，从而影响幼苗根系的生长。

表 6 不同光强处理 180 d 后无瓣海桑幼苗单株的茎、叶的干质量和去灰分干质量及冠根比

光强处理	茎		叶		冠根比
	干质量/g	去灰分干质量/g	干质量/g	去灰分干质量/g	
$S_{a_{100}}$	2.00 ± 0.42 ^a	1.84 ± 0.37 ^a	0.36 ± 0.28 ^a	0.31 ± 0.24 ^a	1.82 ± 0.24 ^b
$S_{a_{80}}$	0.57 ± 0.11 ^b	0.55 ± 0.10 ^b	0.06 ± 0.02 ^a	0.05 ± 0.02 ^a	3.32 ± 0.39 ^a
$S_{a_{40}}$	0.24 ± 0.04 ^b	0.23 ± 0.04 ^b	0.01 ± 0.01 ^b	0.01 ± 0.01 ^b	3.57 ± 0.48 ^a
$S_{a_{20}}$	-	-	-	-	-

2.3.5 不同光强对幼苗死亡率的影响

不同光强处理 180 d 时， $S_{a_{100}}$ 、 $S_{a_{80}}$ 、 $S_{a_{40}}$ 、 $S_{a_{20}}$ 幼苗的死亡率分别为 6%、42%、70%、100%。可见，随着光照强度的降低，无瓣海桑幼苗死亡率上升。当遮荫度为 60% 时，幼苗死亡率达 70% 以上，表明在人工幼林和人工成熟林里无瓣海桑幼苗难以成活。

进作用；随着遮荫时间的延长，则产生抑制作用，表现出不利于幼苗的生长；这与弱光对多数植物幼苗和秋茄 (*Kandelia candel* (L.) Druce) 胎生幼苗的初期生长有促进作用的研究结果一致^[14-15]。当光强为 20% 时，遮荫初期幼苗就表现出生长极为缓慢的响应；遮荫处理 180 d 时， $S_{a_{80}}$ 、 $S_{a_{40}}$ 、 $S_{a_{20}}$ 处理幼苗的枯死率分别为 42%、70%、100%；该结果与多数红树幼苗随着遮荫的加重，存活率随之下降相一致^[16-18]。有研究表明：林内弱光条件下，秋茄幼苗死亡率很高^[19]；充足的光照对木榄 (*B. nuguiera gym-nomiza* (L.) Lamk)、红海榄 (*Rhizophora stylosa* Griff) 苗期生长十分重要^[20]。Smit 等^[17]对大红树 (*R. mangle* L.) 的研究和 Tamai 等^[9]对正红树 (*R. apiculata* B1)、小花木榄 (*B. parviflora*)、柱果木榄 (*B. cylindrica* (Linn.) B1) 的研究及叶勇等^[21]对秋茄的研究也表明：幼苗在林外比在林内生长得更好。

3 结论与讨论

3.1 结论

光强对无瓣海桑幼苗的生长和光合特性影响很大，随着光照强度的降低，无瓣海桑幼苗的生长指标水平均呈下降趋势，且不同光强处理即 $S_{a_{100}}$ 与 $S_{a_{40}}$ 和 $S_{a_{20}}$ 间差异显著。在光照强度为 80% 和 40% 时，幼苗的各项生长和光合特性指标已下降，表现出长势比 $S_{a_{100}}$ 处理的差；只是在遮荫初期 (即 0 ~ 120 d) 光照强度为 80% 时对幼苗的茎高和叶长宽比有促

由此可见,光强是影响红树幼苗生长发育的主要生态因子之一。

净光合速率、气孔导度和蒸腾速率是植物光合作用的 3 个重要生理参数。在遮荫处理 150 d 时,随着光照强度的减弱,无瓣海桑幼苗的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均呈下降趋势,且 $S_{a_{80}}$ 、 $S_{a_{40}}$ 和 $S_{a_{20}}$ 显著低于 $S_{a_{100}}$ 。可见,光强是影响光合作用的主要生态因子。这一点在其它红树植物上也表现明显:低光照水平下(全光照的 6%),白骨壤 (*Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.) 叶片的最大净光合速率下降约 20%^[22];在下雨期间的低光照水平下,大红树叶片的饱和净 CO_2 同化率显著降低,导致对 C 的吸收明显下降^[23];遮荫对红海榄的光合作用有负面影响^[24];在盐度达 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,高光强条件下,秋茄幼苗叶片的最大净光合速率为 $14.26 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,而中光强和弱光强条件下,分别为 12.47 、 $10.59 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,呈现逐步下降的趋势^[15]。本试验结果表明:无瓣海桑是强阳性树种,对光强较敏感,表现出在弱光环境中光合生产能力低下,进而对幼苗的根、茎、叶的形态生长和生长量及干物质分配模式等均有显著不利影响。由于本试验所有条件控制一致,包括底质、盐度、营养盐、潮汐淹浸时间等,且不存在底栖动物如螃蟹等及人为损害的因素。故弱光条件是造成无瓣海桑幼苗生长和光合水平低下及死亡率较高的主要原因,本试验结果可解释无瓣海桑天然更新不良的现象。

3.2 讨论

光照强度直接影响无瓣海桑幼苗的生长发育,也是影响无瓣海桑种苗的天然更新与自由扩散的主要生态因子之一。本试验表明:在 40% 光强环境下,无瓣海桑幼苗在半年内死亡率较高,证明在荫蔽的林下难以成活。故在郁闭或接近郁闭的天然或人工林中,极少有扩散的无瓣海桑植物。本试验结果可得出:无瓣海桑天然扩散地的条件之一为光照充足。无瓣海桑有一定的扩散能力,特别是种子漂泊到阳光充足的淤泥滩时,其定居和扩散就非常容易,如深圳市福田区红树林区种植的无瓣海桑种子漂到香港米埔岸滩生长旺盛。

作为外来引进种,无瓣海桑与几种乡土红树植物生态位的关系值得关注。廖宝文等^[25]对海南东寨港几种红树植物种间生态位研究的结果表明:无瓣海桑生态位宽度值(2.9137)处于中等水平,比中低潮滩的乡土植物(桐花树、秋茄、白骨壤、木榄)

低,比中高潮的乡土植物(角果木 (*Ceriop tagal* C. B. Rab)、红海榄、海莲 (*B. nguiera sexangula* (Lour.) Poir)) 高,与同属植物海桑的值较为接近;其生态位重叠值与中低潮滩植物(海桑、桐花树、秋茄和白骨壤)的重叠相对较大,与中高潮滩植物(木榄、红海榄、角果木、海莲)的重叠较小。可见,当共享资源不足的情况下,无瓣海桑主要与中低潮滩植物之间出现较激烈的资源利用性竞争,但因利用各种资源的能力较低,对资源的选择程度相对较高,故要完全取代这些重叠较大的红树植物的可能性较小;无瓣海桑与中高潮滩红树植物的竞争程度较弱,取代这些中高潮滩植物的可能性亦小。目前,无瓣海桑是我国东南沿海大面积营造红树林所采用的重要树种之一。从本试验可知,在进行无瓣海桑人工造林时,应根据无瓣海桑的生物学特性及其对光照条件的要求,首先要考虑光照条件环境因子,选择好造林地。

参考文献:

- [1] 廖宝文,郑松发,陈玉军,等. 外来红树植物无瓣海桑生物学特性与生态环境适应性[J]. 生态学杂志, 2004, 23(1): 10 - 15
- [2] 陈玉军,廖宝文,郑松发,等. 无瓣海桑、海桑、秋茄红树人工林群落动态及物种多样性研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(6): 924 - 928
- [3] 李 云,郑德璋,廖宝文,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): 39 - 44
- [4] 王淑元,郑德璋,陈相如,等. 赴孟加拉国红树林技术考察报告[M] / 陈禹畴,杜梦纲. 国外林业技术考察报告选编. 哈尔滨:东北林业大学出版社, 1995: 91 - 96
- [5] 陈玉军,廖宝文,彭耀强,等. 红树植物无瓣海桑北移引种的研究[J]. 广东林业科技, 2003, 19(2): 9 - 12
- [6] 钟才荣,李海山,陈桂珠. 无瓣海桑的育苗技术[J]. 广东林业科技, 2003, 9(3): 68 - 70
- [7] 张苏玮. 闽南无瓣海桑苗木培育技术[J]. 林业勘察设计(福建), 2007(1): 114 - 116
- [8] Smith T.J. Effects of seed predators and light level on the distribution of *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. in tropical, tidal forests[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1987, 25: 43 - 51
- [9] Tamai S, Iampa P. Establishment and growth of mangrove seedlings in mangrove forests of southern Thailand[J]. Ecological Research, 1988, 3: 227 - 238
- [10] Allen J A, Krauss K W, Hauff R D. Factors limiting the intertidal distribution of the mangrove species *Xylocarpus granatum* [J]. Oecologia, 2003, 135: 110 - 121
- [11] Proffitt C E, Devlin D J. Long-term growth and succession in restored and natural mangrove forests in southwestern Florida[J]. Wetlands Ecology and Management, 2005, 13: 531 - 551
- [12] Inai N, Takyu M, Nakamura Y, et al. Gap formation and regener-

- ation of tropical mangrove forests in Ranong, Thailand [J]. *Plant Ecology*, 2006, 186: 37 - 46
- [13] 张志良. 植物生理实验指导 (第三版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003, 127 - 165
- [14] Santiago L S, Lau T S, Melcher PJ, *et al* Morphological and physiological responses of Hawaiian hibiscus tiliaceus populations to light and salinity [J]. *Inter J plant Scik*, 2000, 161: 99 - 106
- [15] 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
- [16] Clarke P J, Allaway W G The regeneration niche of grey mangrove (*Avicennia marina*): effects of salinity, light and sediment factors on establishment, growth and survival in the field [J]. *Oecologia*, 1993, 93: 548 - 556
- [17] Smith SM, Lee D W. Effects of light quantity and quality on early seedling development in the red mangrove, *Rhizophora mangle* L. [J]. *Bulletin of Marine Science*, 1999, 65 (3): 795 - 806
- [18] Ball M C. Interactive effects of salinity and irradiance on growth: implications for mangrove forest structure along salinity gradients [J]. *Trees structure and function*, 2002, 16 (2 - 3): 126 - 139
- [19] 张宜辉, 王文卿, 吴秋城, 等. 福建漳江口红树林区秋茄幼苗生长动态 [J]. *生态学报*, 2006, 26 (6): 1648 - 1656
- [20] 莫竹承, 范航清, 何斌源. 木榄母树下 2 种红树植物幼苗生长特征研究 [J]. *广西科学*, 2001, 8 (3): 218 - 222
- [21] 叶 勇, 谭凤仪, 卢吕义. 土壤结构与光照水平对秋茄某些生长和生理参数的影响 [J]. *植物生态学报*, 2001, 25 (1): 42 - 49
- [22] Ball M C, Critchley C. Photosynthetic responses to irradiance by the grey mangrove, *Avicennia marina*, grown under different light regime [J]. *Plant Physiology*, 1982, 70: 1101 - 1106
- [23] Mehlig U. Phenology of the red mangrove, *Rhizophora mangle* L., in the Caeté Estuary, Pará, equatorial Brazil [J]. *Aquatic Botany*, 2006, 84: 158 - 164
- [24] Kitaya Y, Sumiyoshi M, Kawabata Y, *et al* Effect of submergence and shading of hypocotyls on leaf conductance in young seedlings of the mangrove *Rhizophora stylosa* [J]. *Trees*, 2002, 16: 147 - 149
- [25] 廖宝文, 李 玫, 郑松发, 等. 海南岛东寨港几种红树植物种间生态位研究 [J]. *应用生态学报*, 2005, 16 (3): 403 - 407

www.cnki.net