

两种红树植物白骨壤 (*Avicennia marina*) 和 桐花树 (*Aegiceras corniculatum*) 的耐淹性

何斌源 赖廷和 陈剑锋 邱广龙

(广西红树林研究中心 广西 北海 536007)

摘要 :以两种红树植物白骨壤 (*Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.) 和桐花树 (*Aegiceras corniculatum* (L.) Blanco) 幼苗为材料 ,在梯度海面高程的野外人工平台上开展了为期 1a 的淹水胁迫实验。3 座平台作为重复 ,每座设置 8 个梯度 ,相邻梯度间高度相差 10 cm ,幼苗立地基质平面的海面高程 320 ~ 390 cm。实验 1a 后测定 1a 幼苗的生长状况及与一些生理指标。结果表明 :小高程生境对两种幼苗茎的纵向生长均有显著促进作用 ,但白骨壤幼苗茎生长高度是桐花树的 7.5 倍。与白骨壤相比 ,桐花树幼苗有较高的叶片保存率。白骨壤幼苗生物量在各器官分配为 :茎 > 根 > 叶 ,3 个器官平均所占比例分别为 56.7% ,25.7% 和 17.6% ;桐花树则为 :叶 > 根 > 茎 ,3 个器官平均所占比例分别为 49.6% ,33.0% 和 17.4%。小高程生境对白骨壤幼苗全株生物量有较强的促进效果 ,桐花树幼苗则在中等高程生境中有较大生物量。在任一高程组 ,桐花树幼苗叶片叶绿素含量均大于白骨壤幼苗 ,但两种幼苗叶绿素 a/b 比值差异不显著。无论在叶片还是根系中 ,桐花树幼苗的活性氧清除酶类活性均高于白骨壤幼苗 ,表明在相同高程生境中桐花树幼苗比白骨壤幼苗面临更大的困难。综合实验结果和野外观察 ,可看出白骨壤耐淹水能力高于桐花树 ,仅从植物本身的生理特性考虑 ,可确定北部湾沿海白骨壤造林滩面高程不宜低于平均海面 30 cm ,桐花树不应低于当地平均海面。

关键词 红树林 ;白骨壤 ;桐花树 ;海面高程 ;淹水胁迫 ;生长 ;活性氧清除酶类

文章编号 :1000-0933 (2007) 03-1130-09 中图分类号 :Q494 文献标识码 :A

Studies of the tolerance of *Avicennia marina* and *Aegiceras corniculatum* to seawater immersion in Guangxi , China

HE Bin-Yuan ,LAI Ting-He ,CHEN Jian-Feng ,QIU Guang-Long

Guangxi Mangrove Research Center ,Beihai ,Guangxi 536007 ,China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (3) 1130 ~ 1138.

Abstract :From October 2004 until October 2005 water logging experiments on two mangrove species *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. and *Aegiceras corniculatum* (L.) Blanco , were carried out on the tidal flat of Yingluo Bay (109°43'E , 21°28'N) in Guangxi , China. Three replicate artificial platforms were set up for seedling cultivation. Eight sea level altitude (SLA) treatments on each platform were created , each 10 cm above the neighboring treatment. The surface planes of the seedling substrates equaled the SLAs and ranged from 320 to 390 cm. 359 cm was the altitude of the local mean sea level. After one year of cultivation under the SLA treatments the growth characteristics and some physiological parameters of the seedlings were measured. The results showed that the lower SLA treatments significantly promoted longitudinal development of stems of both species , while the mean height of *A. marina* seedlings was 6.5 times higher than that of *A.*

基金项目 :广西科学基金资助项目 (桂科自 0447007)

收稿日期 2006-02-10 ;修订日期 2006-09-27

作者简介 :何斌源 (1969 ~) 男 ,广西东兴市人 ,副研究员 ,主要从事红树林生态学研究. E-mail :Hebinyuan2003@yahoo. com. cn

Foundation item :The project was financially supported by Guangxi Science Foundation (No. 0447007)

Received date 2006-02-10 ; **Accepted date** 2006-09-27

Biography :HE Bin-Yuan , Associate professor , mainly engaged in mangrove ecology. E-mail :Hebinyuan2003@yahoo. com. cn

corniculatum seedlings. Compared with *A. marina* seedlings, *A. corniculatum* seedlings had a higher conservation rate in the existing leaves. The order of biomass allocation for *A. marina* seedlings was stem > root > leaf, and mean percentages of the three organs to the total biomass were 56.7%, 25.7% and 17.6% respectively. But the order of biomass allocation for *A. corniculatum* seedlings was leaf > root > stem, and the mean percentages of the three organs were 49.6%, 33.0% and 17.4% respectively. A strong promoting effect of the lower SLAs could be seen in the total biomass of *A. marina* seedlings. However, the moderate SLA treatments were the favorite conditions for higher biomass in *A. corniculatum* seedlings. At the same SLA the chlorophyll content of *A. corniculatum* seedlings was higher than that of *A. marina* seedlings, but there was no significant difference between the ratios of Chl-a to Chl-b for the two species. In both the leaves and the roots the activities of enzymes processing active oxygen in *A. corniculatum* seedlings were higher than those in *A. marina* seedlings, indicating a more stressful condition for the former than the latter. Our experimental results and field observations indicate that the tolerance of *A. marina* to seawater immersion was greater than that of *A. corniculatum*. If only physiological characteristics were considered the most favorable SLA for forestation in Beibu Gulf region should not be 30cm lower than the local mean sea level for *A. marina*, and roughly equal to local mean sea level for *A. corniculatum*.

Key Words : mangrove ; *Avicennia marina* ; *Aegiceras corniculatum* ; sea level altitudes ; waterlogging stress ; growth ; active-oxygen-processed enzymes

自然状态下,不同的红树植物种类在滩涂上呈带状分布,本质上由其自身生理能力所决定^[1]。红树植物能耐受适度的潮水浸淹,淹水胁迫程度变化会使之在生长状况、营养发育、生物量分配、相关酶系、激素水平等方面的生理生态性质表现出梯度性反应^[2-18]。红树植物的耐淹能力研究在造林实践中有着重要的应用意义,它直接有助于形成红树林宜林地科学划分以致红树林成功造林的关键技术参数。

北部湾沿海的广东广西海岸是我国红树林主要分布区,也是红树林生态恢复的主要区域。北部湾的潮汐类型是世界罕见的全日潮,水热条件和沉积物等因素也有其特殊性,这顺理成章地要求特殊的区域性的红树林造林技术要素和技术内容。但迄今在我国全日潮海区,有关红树植物淹水胁迫下的生理生态研究仍然空白,尚未形成具有实践意义的红树林宜林地区域性标准。在其它地区得到的研究成果和成功经验,可能因诸多环境因素差异甚大,而未必能直接应用于指导北部湾沿岸地区的红树林生态恢复工程。因此,本文选择北部湾海岸红树林重要的两种植物:桐花树和白骨壤为材料,在广西英罗湾开展了围绕平均海面线共 8 个海面高程的野外幼苗淹水实验,对比研究两种幼苗在生长形态、叶片和根系中抗逆境的活性氧清除酶类(SOD、POD 和 CAT)活性等方面生理生态差异,为我国北部湾沿海红树林宜林地划分提供科学依据。

1 样地概况

实验基地设在广西山口国家级红树林自然保护区的核心区英罗湾(109°43'E 21°28'N)。这里地处北热带季风区,年平均气温 22.4℃,极端最低气温 -0.8℃,年降水量 1816.5 mm,年均相对湿度为 81.8%。英罗湾海区的潮汐类型是我国仅见北部湾海域的不规则全日潮,每个潮水周期大部分时间里每天潮汐以一次涨潮一次退潮为主。平均潮差 2.35 m,最大潮差 6.25 m。多年平均海水盐度为 29.0。湾内生长的红树林面积 80 hm²,以大面积红海榄(*Rhizophora stylosa*)纯林为特色,其他的红树植物种类有桐花树、白骨壤、秋茄(*Kandelia candel*)和木榄(*Bruguiera gymnorrhiza*)等^[9]。

2 材料与方法

供试树种桐花树和白骨壤均为泌盐型的隐胎生红树植物。

在广西英罗湾红树林外缘的平坦光滩上,搭建 3 个各有 8 级梯级的实验平台,相邻梯级间高度差为 10cm。平台使幼苗除海面高程有梯度差别外,其他如光照、海水盐度、基质性质、营养等立地条件达到最大程度的一致。

淹水试验时间为 2004 年 10 月至翌年 10 月。在英罗湾当地采种后,迅速称量繁殖体鲜重以筛选比较一

致的繁殖体用于试验,选取桐花树繁殖体鲜重范围为 1.1 ~ 1.2 g,白骨壤为 2.4 ~ 2.6 g。将繁殖体浸泡在海水中催芽数天,待果皮被突破,点播在已装好淤泥的育苗袋(充满泥之后的育苗袋直径 15 cm,高 20 cm)中,每袋 1 枚,随后摆放到 3 个野外试验平台上,每种每层有 30 袋。从平台的最底层至最高层,摆放幼苗后其基质表面的高程分别相当于 320、330、340、350、360、370、380、390 cm(当地潮高基准面在平均海面下 359 cm,下同)。试验平台的高程确定方法如下:首先通过多次对照国家海洋局潮汐表而粗定建造地址(高程大约为 300 cm),接着用全站仪测定精确的滩涂高程(平均误差在 ± 5 cm 以内),然后用木板和石块铺垫使之达到目的高程。在广西英罗湾 340 cm 高程的滩面上全年平均每天淹水时间约为 12 h。

根据当地红树林污损动物的附着规律^[19],在 4、10 月和 11 月这 3 个月份,每 3 d 用稀释 200 倍的马拉硫磷水液喷洒幼苗 1 次。

试验结束后,将全部 1 a 幼苗带回实验室。从 8 个高程组各随机取 20 株幼苗用于测定幼苗外部形态指标。80℃ 烘干后称量各器官生物量。生理指标包括叶片叶绿素含量、叶片和根系中的活性氧清除酶类活性。叶片取样为随机从完全展开的第 2 对真叶中,用打孔器在每叶中部打取小圆片,叶绿素测定取 20 片,叶片酶活性测定则累计取鲜重 0.5 g。随机取细根用于根酶活性测定,累计鲜重 1 g,来自同一平台的幼苗重复 3 次。叶绿素含量测定采用混合液提取法^[20],避光浸提 48 h。参照赵世杰等的方法^[21],超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑法(提取酶的磷酸缓冲液中加入 1% 的聚乙烯吡咯烷酮 PVP)。过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收法,过氧化物酶(POD)活性采用比色法测定^[22]。

3 结果与分析

3.1 梯度淹水条件下两种幼苗的生长反应

3.1.1 茎的生长反应

320 ~ 340 cm 高程组的 1a 桐花树幼苗高度显著地($p < 0.001$)高于其他高程组(图 1),高出了 16.7% 至 30.7%,可看出小高程生境显著促进 1a 桐花树幼苗茎的纵向生长。350 ~ 390 cm 高程组的幼苗高度较为接近,这 5 组幼苗的平均高度变异系数小于 5%。

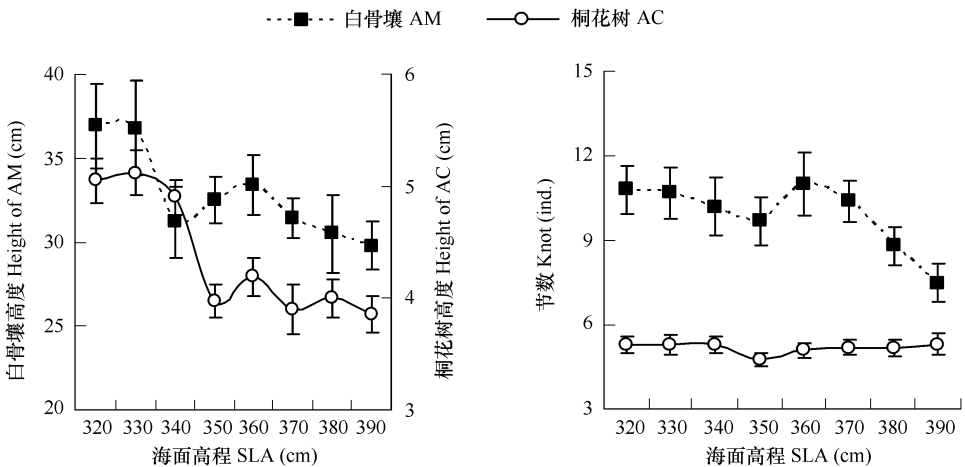


图 1 不同高程滩涂上 1a 桐花树和白骨壤幼苗茎的高度和节数

Fig. 1 Heights and knot numbers of 1 a *A. corniculatum* (AC) and *A. marina* (AM) seedlings on the tidal flats with gradients of sea level altitudes (SLA)

1a 白骨壤幼苗的茎高度生长规律与桐花树茎类似,即小高程处理促进茎的生长(图 1)。320 cm 和 330 cm 高程组这两组幼苗高度相差甚微,而均显著地($p < 0.001$)高于其他高程组。360 cm 以上高程组幼苗茎高度随高程增大而下降。

总体上各处理组桐花树幼苗之间节数相差不大(图 1),仅 350 cm 高程组显著地($p < 0.05$)低于其他高程组。平均每节的茎长度,在 320 ~ 340 cm 高程组为每节 0.92 ~ 0.95 cm,高于其他高程组,尤其是 360 ~ 390 cm

高程组,每节仅0.72~0.78 cm,表明较小高程生境促进桐花树幼苗茎节间生长。

白骨壤幼苗的节数则分为320~350 cm和360~390 cm两个区间,在这两个区间内,均表现为较小高程处理可促进节数的增长(图1)。380和390cm两个高程组幼苗节数显著地($p<0.001$)低于其他高程组,而其他高程组之间差异不显著。白骨壤幼苗平均每节茎长度的规律与桐花树不同,最大值出现在本文设置的最大高程组。

3.1.2 叶及根数量的反应

从图2可看出,350 cm高程组的桐花树幼苗的叶数最少,320、330、340及360 cm这4个高程组幼苗叶数较多,显著地($p<0.01$)高于其余的4个高程组。同时,360 cm以上高程组幼苗叶数随高程增大而递减。桐花树幼苗每节上叶数较多,有0.7~0.9对/节,规律与叶数相同。

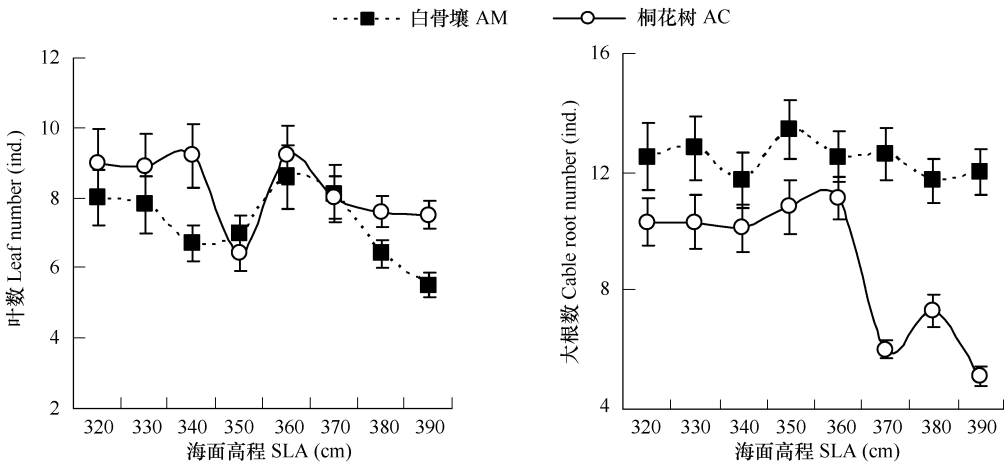


图2 不同高程滩涂上1a桐花树和白骨壤幼苗的叶和大根数

Fig.2 Leaf and cable root numbers of 1 a *A. corniculatum* (AC) and *A. marina* (AM) seedlings on the tidal flats with gradients of SLAs

在所有高程组中,360 cm高程组的白骨壤幼苗叶数最多(图2),同时,320和330 cm组的也较多,似乎长时间淹水也能稍促进白骨壤幼苗叶数的增长。白骨壤幼苗每节上叶数则很少,仅有0.3~0.4对/节,可看出白骨壤幼苗叶片保存率明显低于桐花树。

桐花树幼苗大根数表现很明显的长时间淹水促进、短时间淹水抑制的规律(图2)。白骨壤幼苗的大根数则变化不大。相同高程的白骨壤幼苗的大根数均稍多于桐花树。

3.2 梯度淹水条件对生物量累积及其在各器官中分配特征的影响

8个高程组的1a桐花树幼苗的各新生器官生物量大小一致地表现为:叶>根系>茎(图3)。中等高程组的桐花树幼苗的全株生物量较大值,即360~380 cm的3个高程组较高,可知长时间淹水的促进作用相对较弱。桐花树幼苗平均全株生物量与新生器官生物量的相关关系均达到显著水平($p<0.01$),相关系数大小为: $r_{\text{全株-根}}>r_{\text{全株-叶}}>r_{\text{全株-茎}}$,而与原繁殖体部分生物量没有显著相关关系。1a幼苗的原繁殖体部分生物量几乎为一直线,对比繁殖体去果皮部分生物量(0.43 g),可知320和330 cm高程组幼苗在生长过程中繁殖体生物量略有减少(0.41和0.40 g),而在340 cm及以上高程组有小幅度增长(0.44~0.48 g)。

所有高程组中1a白骨壤幼苗均以茎生物量最大,根次之,叶最低(图3),与桐花树完全相反。全株生物量最高值出现在330 cm高程组,这与茎生长高度规律相似。330cm与320cm高程组的全株生物量相差很小,比其他高程组高出14.54%~32.19%,差异显著($p<0.05\sim0.001$)。回归分析可知:白骨壤幼苗平均全株生物量与茎、叶平均生物量的相关关系显著,相关系数 r 分别为0.996和0.967,而与根平均生物量不显著,这与白骨壤根系生物量变化不大有关。

3.3 梯度淹水条件对叶片叶绿素的影响

320cm高程组桐花树幼苗叶片叶绿素a、b及总含量是所有组中最高的,且显著地($p<0.05$)高于350cm

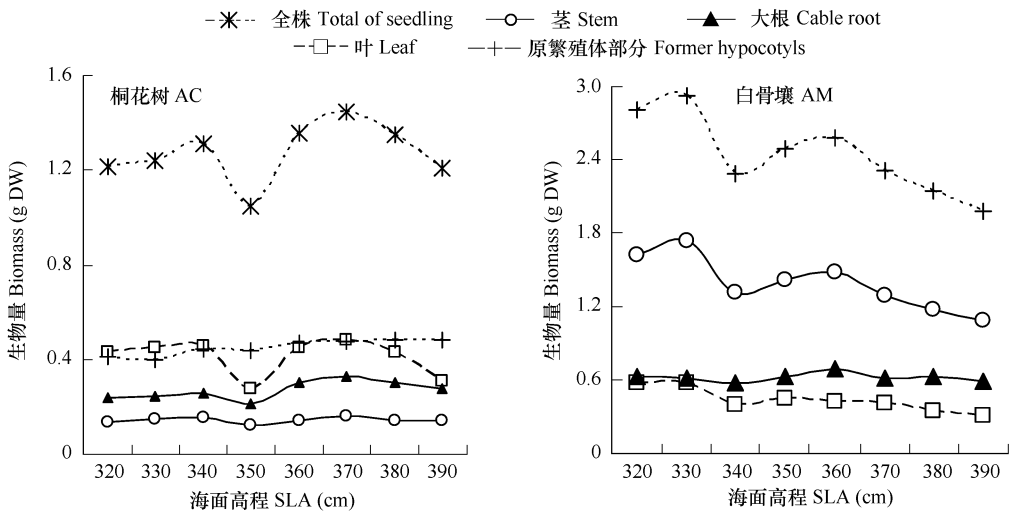


图3 不同高程滩涂上 1a 桐花树和白骨壤幼苗的生物量分配

Fig. 3 Biomass proportions of 1 a *A. corniculatum* (AC) and *A. marina* (AM) seedlings on the tidal flats with gradients of SLAs

及以上高程组 390cm 高程组幼苗的这 3 个含量均最低,而且与除 380cm 外的其他高程组均差异显著 ($p < 0.01$)。在 320 ~ 350 cm 及 360 ~ 390 cm 这两段高程范围,桐花树幼苗叶片的叶绿素 a、b 和总含量均随高程升高而下降 (图 4)。

在 320 ~ 330 cm 这两个小高程组,白骨壤幼苗叶绿素含量较高 (图 4)。在 350 ~ 390 cm 高程组,白骨壤幼苗叶绿素 a 和总叶绿素含量表现出长时间淹水促进、短时间抑制的趋势。同时,各高程组在叶绿素 b 含量上差异不大,经 t 检验仅 320cm 组与 390cm 组、340cm 组与 390cm 组这 2 对达到 95% 显著水平。340 cm 高程组的叶绿素总含量明显比相邻的 330 和 350 cm 组低,分别低了 57.4% 和 51.0%。这样的“谷底”,在全株生物量、茎的高度和生物量、叶的数量和生物量等指标的曲线均可见到,但都没有叶绿素曲线这样明显,其原因有待进一步研究。

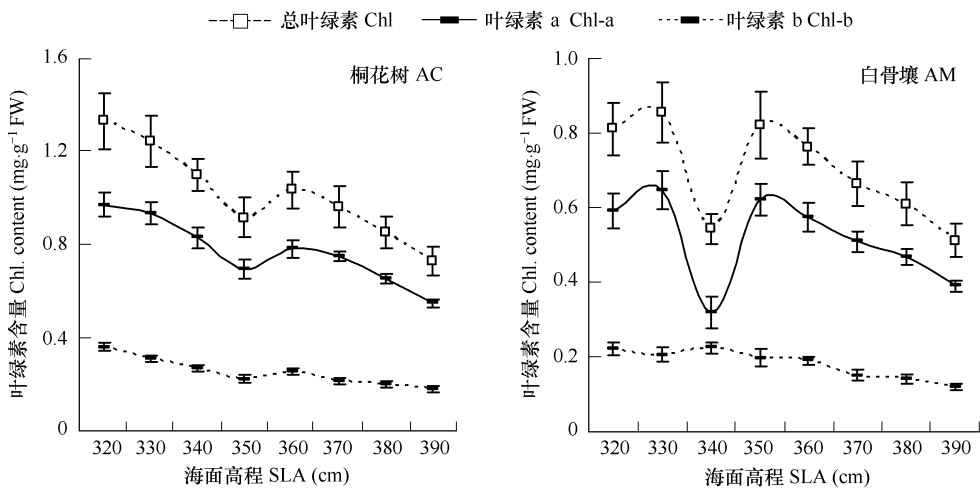


图4 不同高程滩涂上 1a 桐花树和白骨壤幼苗的叶绿素含量

Fig. 4 Contents of Chl-a, Chl-b and total Chl in the leaves of 1 a *A. marina* (AM) and *A. corniculatum* (AC) seedlings on the tidal flats with gradients of SLAs

比较可知,相同的淹水条件下,桐花树幼苗的叶绿素 a、b 及总含量均显著地高于白骨壤 ($p < 0.001$)。然而,桐花树和白骨壤两种幼苗的叶绿素 a/b 值,除 340cm 高程组,在其他高程组均非常接近 (图 5),经 t 检验可知这

两种幼苗的叶绿素 a/b 值差异不显著 ($p > 0.10$)。

3.4 梯度淹水条件下活性氧清除酶系的活性

320 ~ 360 cm 高程组间 1a 桐花树幼苗叶片中 SOD 活性相差不大 (图 6), 均远高于 370 ~ 390 cm 高程组 ($p < 0.001$) , 这说明长时间淹水对桐花树叶片 SOD 活性有显著的促进作用。根系中 SOD 活性则表现为高程组间变化不显著 ($p > 0.05$) , 梯度效应很弱。同时叶片中 SOD 活性远大于根系。

同一高程处理组中桐花树幼苗根系中 POD 活性均大于叶片 (图 6) 。总体上 , 中等程度的淹水胁迫对根系中 POD 酶活性有促进作用 , 较短和较长时间淹水均起抑制作用 , 同时较长时间淹水的抑制作用稍强于短时间淹水。叶片中 POD 活性则总体表现出较小高程有利于 POD 活性增强 , 较大高程生境中的幼苗叶片 POD 活性较低。

桐花树幼苗根系和叶片中 CAT 活性规律较一致 , 较小高程生境可促进 CAT 活性提高。

总体上 , 白骨壤幼苗根系和叶片中这 3 种活性氧清除酶对淹水胁迫的反应较为一致 (图 7) , 即中等高程生境对酶活性有促进作用 , 较小和较大高程均起抑制作用 , 不过 , 较大高程生境的抑制作用稍强于较小高程。

4 讨论

4.1 白骨壤和桐花树应对淹水胁迫的机制

本文实验中所有高程组的白骨壤和桐花树的繁殖体萌发率、1a 幼苗存活率均达 100% , 长势良好。实验设置的最小海面高程是 320 cm , 这一高程已经低于当地平均海面 39cm。可见白骨壤和桐花树幼苗都形成了有效对付淹水胁迫的各种机制。从本文实验结果并结合野外观察 , 可知这两种红树植物对付淹水胁迫的机制各有侧重。

(1) 茎生长机制 小高程处理对两种幼苗茎长的增长均具显著促进效应。一方面 , 茎的迅速伸长可减少叶片被淹没时间 , 通过露出水面的茎叶将氧气输送到根系而缓解根系缺氧的危害 ; 另一方面 , 加快茎高生长可使叶片尽快增加光照时间^[4] , 有利于光合作用。1a 白骨壤幼苗高度平均 32.8 cm , 是桐花树 (4.4 cm) 的 7.5 倍。白骨壤平均节数 (9.9 节) 是桐花树 (5.2 节) 的 1.9 倍。白骨壤平均节数长度 (3.3 cm/节) 是桐花树 (0.8 cm/节) 的 4.1 倍。相对而言 , 白骨壤幼苗不但加快新节的形成 , 而且加快节间生长 , 桐花树则在两方面均相对很慢。

(2) 光合器官叶片机制 两种幼苗的叶对数与节数的比值 , 白骨壤为 0.3 ~ 0.4 对/节 , 桐花树为 0.7 ~ 0.9 对/节。可知白骨壤幼苗对付淹水胁迫的机制是以节数的增加和节间伸长以求得在新的节和高度长出新叶 , 而不是提高叶的保存率 , 桐花树幼苗则保持了较高的叶片保存率 , 多数高程组的平均每株幼苗叶数略多于白骨壤。

(3) 生物量分配机制 Hovenden 研究了白骨壤在土壤表面淹水条件下 , 总生物量和根系生物量显著下降^[9]。在本文实验中 , 白骨壤幼苗全株生物量最高值出现在 330 cm 的较小高程处理组 , 表现出较强的淹水促进效果。桐花树幼苗的全株生物量较大值出现在较大高程组 (360 ~ 380 cm) , 淹水促进作用相对较弱。白骨壤幼苗生物量分配以茎为主 , 平均为 56.7% , 根占 25.7% , 叶占 17.6%。桐花树幼苗生物量的分配则以叶为主 , 平均为 49.6% , 根占 33.0% , 茎占 17.4%。这是两种幼苗在茎高及叶数方面侧重不同的必然结果。本文 1a 白骨壤幼苗高度平均为 32.8 cm , 全株生物量平均为 2.439 g , 梁士楚报道^[23]在广西北海市室内浇灌天然海水的 1a 沙培白骨壤幼苗平均高度仅 26.1 cm , 而全株生物量却达 6.648 g。两个实验中气候因素和海水盐

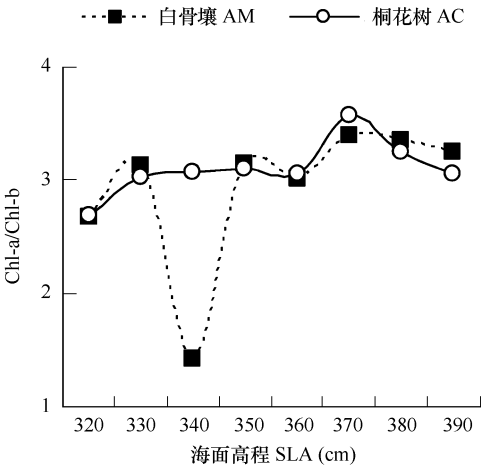


图5 不同高程滩涂上 1a 桐花树和白骨壤幼苗叶片叶绿素 a/b
Fig. 5 Ratios of Chl-a to Chl-b in the leaves of 1 a *A. corniculatum* (AC) and *A. marina* (AM) seedling on the tidal flats with gradients of SLAs

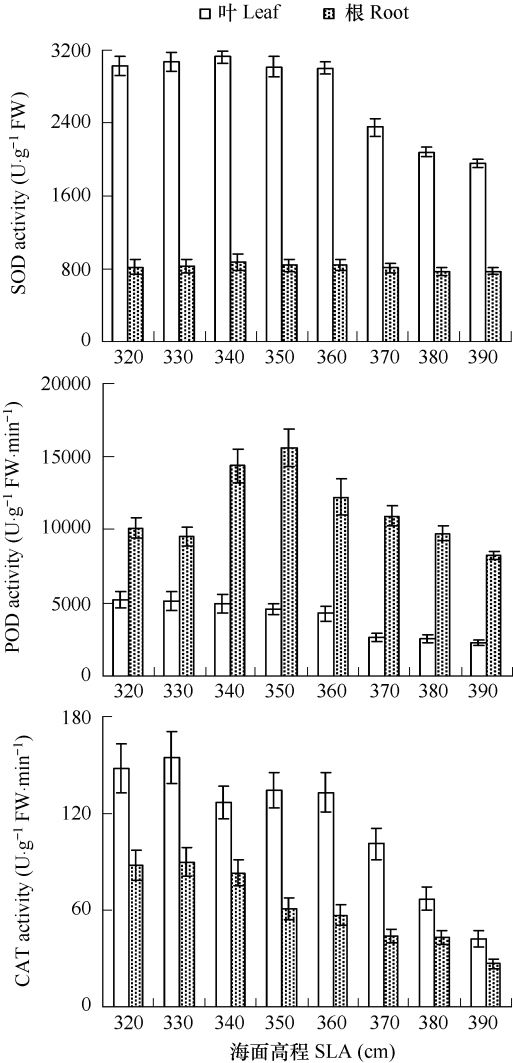


图6 不同高程滩涂上1a 桐花树幼苗叶片和根系中SOD、POD 和CAT 活性
Fig. 6 Activities of SOD ,POD and CAT in the leaves and roots of 1 a *A. corniculatum* seedlings on tidal flats with gradients of SLAs

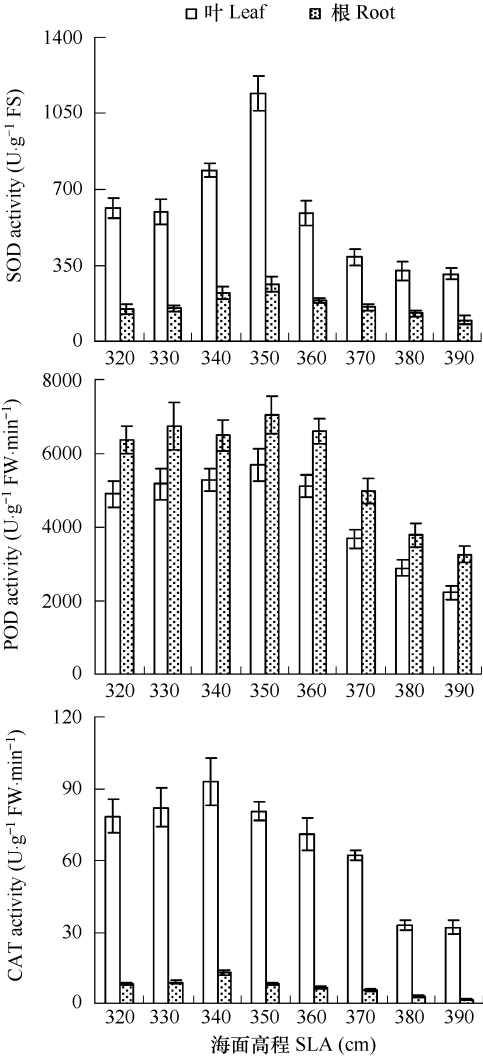


图7 不同高程滩涂上1a 白骨壤幼苗叶片和根系中SOD、POD 和CAT 活性
Fig. 7 Activities of SOD ,POD and CAT in the leaves and roots of 1 a *A. marina* seedlings on tidal flats with gradients of SLAs

度相差不大,差别最大在于淹水胁迫程度。这表明淹水胁迫可显著促进白骨壤幼苗茎的纵向生长,却对生物量累积不利。

(4)光合机制 总体上,小高程生境促进桐花树和白骨壤幼苗的叶绿素含量增加。叶勇等^[41]认为叶绿素含量增加是红树植物秋茄对淹水的适应机制之一:叶片受水淹时间延长,相当于处于较荫蔽的环境,光合色素含量的增加有助于集中在较短的光照时间内采光。本文结果表明桐花树和白骨壤也有类似的机制。相同高程下的桐花树幼苗叶片的叶绿素含量均显著地高于白骨壤,然而它们的叶绿素 a/b 比值却差异不显著。叶绿素 a/b 比值可用于指示植物的光合能力^[24],研究表明一些红树植物和红树林伴生植物的叶片碳固定速率与叶绿素 a/b 比值呈极显著正相关^[25]。因此,根据图 5 可认为本文供试的桐花树幼苗的光合作用能力与白骨壤的相近。反观桐花树的生物量累积,可以认为桐花树幼苗固定的能量中用以构建自身组织的比例比白骨壤低得多。

⑤ 活性氧清除机制 两种幼苗叶片的 SOD 活性均大于根,表明叶是这两种植物幼苗消除活性氧危害的主要器官。同时无论是叶片还是根系中,桐花树的 SOD 活性高于白骨壤数倍,POD 和 CAT 活性也以桐花树

为高。这正说明了在相同高程的立地环境中,桐花树面临的困难程度大于白骨壤。活性氧清除酶类可减轻淹水胁迫下活性氧积累对植物的伤害^[16-26],但活性氧的清除需要付出物质和能量代价,使得本可用于生长的物质和能量减少。因此,尽管桐花树幼苗的光合作用能力与白骨壤相近,但桐花树生物量累积较少。

白骨壤和桐花树繁殖体从母体带来的物质基础本来就有差异。本文所用的白骨壤繁殖体的平均鲜重为 2.55 g,两片肥厚的子叶富含营养物质,在萌发后一段时间可以提供充足的营养使幼苗迅速生长。桐花树繁殖体则先天不足,较瘦小,繁殖体平均鲜重为 1.16 g,繁殖体萌发后更早和更多地依靠根系吸收营养元素、靠叶片合成有机物质。低龄白骨壤幼苗就可长出发达的指状呼吸根^[20],届时根系缺氧的困境就可以大大缓解。桐花树成年植株的茎枝上皮孔丰富,有助于吸入氧气,但幼苗的皮孔很少,根系则没有特化的器官。

在向海林带和潮沟边缘群落,白骨壤和桐花树纯林随处可见,这两种红树的混交群落外貌通常表现为灰绿斑块镶嵌在一片翠绿基底之上。白骨壤植株比较长寿,在广东湛江特呈岛几十上百龄的老树为数不少,基径可达 100 cm 以上,在广西很多红树林区,树高 4 m、基径 20 cm 以上的白骨壤植株较常见。桐花树则相对短寿,在英罗湾向海林带群落未发现超过 20 a、基径大于 10 cm 的植株。

从上述可知:在北部湾海区,白骨壤的耐淹水能力强于桐花树。

4.2 探讨广西白骨壤和桐花树的宜林临界线

一些专家认为红树林自然分布在当地平均海面以上,因此平均海面线可作为红树林的宜林临界线^[27,28]。林业部门划分我国红树林宜林地时,既参考平均海面线这一技术参数,也注重顾及和协调当地政府和有关部门的意愿^[29]。莫竹承等^[30]认为广西红树林的宜林临界线大约与平均海面重叠,但同时指出个别地方可能会低于或高于平均海面。范航清^[31]认为在个别避风浪条件很好的港湾和潟湖海岸,平均海面以下也可发育一定规模的红树林。实际调查发现,广西有相当多的红树林自然生长在当地平均海面线以下,本文试验所在地英罗湾的 80 hm² 红树林中约有一半位于平均海面线以下。有理由推测:广西区域性的红树林宜林临界线可以适当地向平均海面以下延伸,那么广西甚至北部湾我国沿岸(广东、广西和海南 3 省)的实际红树林宜林地面积将大于目前所估计的数字。因潮汐类型、水热条件、土壤条件的差异,同一个物种在不同地区应有不同的宜林临界线。因此,红树林造林既需要一般性指导方针,也要有地区性的特殊要求和技术。以秋茄为例,廖宝文等^[32]研究指出在深圳赤湾用秋茄造林的潮滩高程不低于当地平均海面以下 22 cm,而在海南东寨港,造林的潮滩高程不低于当地平均海面以下 30 cm。陈鹭真等^[5]通过野外试验指出厦门地区秋茄造林滩涂不低于黄零 131cm(厦零 455 cm)。这一高程为厦门当地平均海面以上 127cm。上述 3 个地区的秋茄宜林临界线差距如此之大,可见很有必要在不同海区开展红树植物的淹水胁迫生理研究,形成地区性的宜林地标准。

根据本文的实验结果,如果仅从植物自身的生理耐受能力考虑,可大致地确定北部湾沿海白骨壤造林滩面高程不宜低于当地平均海面 30 cm,桐花树造林滩面不应低于当地平均海面。

References :

- [1] Lin P. Chinese Mangrove ecosystem. Beijing : Science Press , 1997.
- [2] Ye Y , Lu C Y , Tan F Y. Studies on differences in growth and physiological responses to waterlogging between *Bruguiera gymnorrhiza* and *Kandelia candel*. *Acta Ecologica Sinica* , 2001 , 21 (10) : 1654 — 1661.
- [3] Ye Y , Lu C Y , Zheng F Z , et al. Effects of simulated sea level rise on the mangrove *Kandelia candel*. *Acta Ecologica Sinica* , 2004 , 24 (10) : 2238 — 2244.
- [4] Chen L Z , Wang W Q , Lin P. Influence of waterlogging time on the growth of *Kandelia candel* seedlings. *Acta Oceanologica Sinica* , 2005 , 27 (2) : 141 — 147.
- [5] Chen L Z , Yang Z W , Wang W Q , et al. Critical level for planting *Kandelia candel* seedlings in Xiamen. *Chinese Journal of Applied Ecology* , 2006 , 17 (2) : 177 — 181.
- [6] Clarke L D , Hannon N J. The mangrove and marsh communities of the Sydney district III. Plant growth in relation to salinity and waterlogging. *J Ecol* , 1970 , 58 : 351 — 369.
- [7] Naidoo G. Effects of waterlogging and salinity on plant-water relations and on the accumulation of solutes in three mangrove species. *Aquat. Bot.* , 1985 , 22 : 133 — 143.
- [8] Pezeshki S R , Delaune R D , Patrick W H Jr. Differential response of selected mangroves to soil flooding and salinity : gas exchanges and biomass partitioning. *Can J For Res* , 1989. 20 : 869 — 874.

- [9] Hovenden M J, Curran M, Cole M A, *et al.* Ventilation and respiration in roots of one-year old seedlings of grey mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. *Hydrobiologia*, 1995, 295 : 23—29.
- [10] Ellison A M, Farnsworth E J. Simulated sea level change alters anatomy, physiology, growth, and reproduction of red mangrove (*Rhizophora mangle* L.). *Oceanographic Literature Review*, 1998, 45 (6) : 1003—1004.
- [11] Misra S, Choudhury A, Ghosh A. The role of hydrophobic substances in leaves in adaptation of plants to periodic submersion by tidal water in a mangrove ecosystem. *J Ecol*, 1984, 72 (2) : 621—625.
- [12] Skelton N J, Allaway W G. Oxygen and pressure changes measured in situ during flooding in roots of the grey mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. *Aquat Bot*, 1996, 54 (2, 3) : 165—175.
- [13] Youssef T, Saenger P. Anatomical adaptive strategies to flooding and rhizosphere oxidation in mangrove seedlings. *Aust J Bot*, 1996, 44 : 297—313.
- [14] Koch M S, Snedaker S C. Factors influencing *Rhizophora mangle* L seedling development in everglades carbonate soils. *Aquat Bot*, 1997, 59 (1, 2) : 87—98.
- [15] Pezeshki S R, Delaune R D, Meeder J F. Carbon assimilation and biomass partitioning in *Avicennia germinans* and *Rhizophora mangle* seedlings in response to soil redox conditions. *Environ Exp Bot*, 1997, 37 (2/3) : 161—171.
- [16] Chen L Z, Wang W Q, Lin P. Photosynthetic and physiological responses on *Kandelia candel* L. Druce seedlings to duration of tidal immersion in artificial seawater. *Environ Exp Bot*, 2005, 54 : 256—266.
- [17] Ye Y, Tam N F Y, Wong Y S, *et al.* Growth and physiological responses of two mangrove species (*Bruguiera gymnorrhiza* and *Kandelia candel*) to waterlogging. *Environ Exp Bot*, 2003, (49) : 209—221.
- [18] Ye Y, Tam N F Y, Wong Y S, *et al.* Does sea level rise influence propagule establishment, early growth and physiology of *Kandelia candel* and *Bruguiera gymnorrhiza*? *J. Exp. Mar. Bio. Eco.*, 2004, 306 (2) : 197—215.
- [19] He B Y. Research on the ecology of the fouling fauna community in mangrove. *Guangxi Science*, 2002, 9 (2) : 133—137.
- [20] He B Y, Liang S C, Ling J W. Comparison of extraction methods used to determine chlorophyll content in mangrove leaves and alive leaf determination. *Journal of Guangxi Academy of Science*, 1993, 9 (2) : 77—81.
- [21] Zhao S J, eds. Guide for plant physiological experiments. Beijing Chinese Agricultural Science and Technique Press, 2002.
- [22] Zhang Z L, Qu W J. The experimental guide for plant physiology (third edition). Beijing: Higher Education Press, 2004.
- [23] Liang S C. Morphological character and biomass of *Avicennia marina* seedlings. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1996, 7 (4) : 344—348.
- [24] Anderson J M, Chow W S, Goodchild D C. Thylakoid membrane organization in sun/shade acclimation. *Aust. J. Plant Physiol*, 1988, (15) : 11—26.
- [25] Das A B, Parida A, Basak U C, *et al.* Studies on pigments, proteins and photosynthetic rates in some mangroves and mangrove associates from Bhitarkanika, Orissa. *Mar. Biol.*, 2002, (141) : 415—422.
- [26] Monk L S, Fagerstedt K V, Crawford R M M. Super oxide dismutase as an anaerobic polypeptide. A key factor in recovery from oxygen deprivation in *Iris pseudacorus*? *Plant Physiol.*, 1987, (85) : 1016—1020.
- [27] Zhang Q M, Yu H B, Chen X S, *et al.* The relationship between mangrove zone on tidal flats and tidal levels. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17 (3) : 258—265.
- [28] Zhang Q M, Su S Z, Zhang Y C, *et al.* Marine environmental indexes related to mangrove growth. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21 (9) : 1427—1437.
- [29] National forestry bureau of China. Investigation report of Chinese mangrove resources. 2002.
- [30] Mo Z C. The preliminary study on the mangrove habitat conditions in Guangxi. *Guangxi Forestry Science*, 2002, 31 (3) : 122—127.
- [31] Fan H Q. Coastal Guarder—mangrove. Nanning: China Guangxi Science and Technology Press, 2000.
- [32] Liao B W, Zheng D Z, Zheng S F, *et al.* A study on the afforestation techniques of *Kandelia candel* mangrove. *Forest Research*, 1996, 9 (6) : 586—592.

参考文献：

- [1] 林鹏. 中国红树林生态系. 北京: 科学出版社, 1997.
- [2] 叶勇, 卢昌义, 谭凤仪. 木榄和秋茄对水渍的生长与生理反应的比较研究. *生态学报*, 2001, 21 (10) : 1654—1661.
- [3] 叶勇, 卢昌义, 郑逢中, 等. 模拟海平面上升对红树植物秋茄的影响. *生态学报*, 2004, 24 (10) : 2238—2244.
- [4] 陈鹭真, 王文卿, 林鹏. 潮汐淹水时间对秋茄幼苗生长的影响. *海洋学报*, 2005, 27 (2) : 141—147.
- [5] 陈鹭真, 杨志伟, 王文卿, 等. 厦门地区秋茄幼苗生长的宜林临界线探讨. *应用生态学报*, 2006, 17 (2) : 177—181.
- [9] 何斌源. 红树林污染动物群落生态研究. *广西科学*, 2002, 9 (2) : 133—137.
- [20] 何斌源, 梁士楚, 凌俊文. 红树植物叶片叶绿素提取方法比较及其活体测定. *广西科学院学报*, 1993, 9 (2) : 77—81.
- [21] 赵世杰等主编. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002.
- [22] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [23] 梁士楚. 白骨壤幼苗的形态特征及其生物量. *应用生态学报*, 1996, 7 (4) : 344—348.
- [27] 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. *生态学报*, 1997, 17 (3) : 258—265.
- [28] 张乔民, 隋淑珍, 张叶春, 等. 红树林宜林海洋环境指标研究. *生态学报*, 2001, 21 (9) : 1427—1437.
- [29] 国家林业局. 全国红树林资源调查报告. 2002.
- [30] 莫竹承. 广西红树林立地条件研究初报. *广西林业科学*, 2002, 31 (3) : 122—127.
- [31] 范航清. 红树林——海岸环保卫士. 南宁: 广西科学技术出版社, 2000.
- [32] 廖宝文, 郑德璋, 郑松发, 等. 红树植物秋茄栽培技术的研究. *林业科学研究*, 1996, 9 (6) : 586—592.