

厦门地区秋茄幼苗生长的宜林临界线探讨^{*}

陈鹭真^{1,2} 杨志伟^{1,2} 王文卿^{1,2} 林鹏^{1,2,*}

(¹ 厦门大学生命科学学院, 厦门 361005; ² 厦门大学湿地与生态工程研究中心, 厦门 361005)

【摘要】 2003年5月在厦门大屿岛白鹭自然保护区西面滩涂上试种秋茄幼苗, 研究秋茄的宜林临界线。结果表明, 滩涂高程为黄零 0.99 m 处, 每个潮水周期的平均淹水时间高达 8 h, 幼苗成活率低于 50%, 生长缓慢, 不适合用秋茄造林; 在滩涂高程为黄零 1.62 m 处, 秋茄幼苗成活率达 90%, 生物量积累最大, 光合同化作用较高, 生长良好, 为厦门沿海秋茄的最适生长区; 而在高程为黄零 1.31 m 处, 秋茄幼苗仍能正常生长。故厦门地区秋茄造林的宜林临界线应不低于黄零 1.31 m (即厦零 4.55 m), 平均每个潮水周期淹水不高于 5.6 h。

关键词 红树林 秋茄 造林 滩面高程 宜林临界线

文章编号 1001-9332(2006)02-0177-05 中图分类号 S728.6 文献标识码 A

Critical tidal level for planting *Kandelia candel* seedlings in Xiamen. CHEN Luzhen^{1,2}, YANG Zhiwei^{1,2}, WANG Wenqin^{1,2}, LIN Peng^{1,2} (¹ *School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China;* ² *Research Centre for Wetlands and Ecological Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China.*) - *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2006, 17(2): 177~181.

Plantable tidal flat is one of the most important factors affecting the survival rate of mangroves seedlings in forestation. In this paper, an experiment was conducted in the tidal zones of Umbrette Natural Reserve in the Dayu Island of Xiamen in May 2003 to investigate the critical tidal level for *Kandelia candel* forestation. The results showed that the tidal level of 0.99 m above the zero tidal level of the Huang Ocean was not suitable for planting *K. candel* seedlings, because the waterlogging time at this tidal level was longer than 8 h per-tide-cycle, and the survival rate was lower than 50%. At 1.62 m above the zero tidal level of Huang Ocean, *K. candel* seedlings had the best growth and the highest photosynthetic assimilation, with a survival rate of 90%. At 1.31 m above the zero tidal level of Huang Ocean, *K. candel* seedlings could still grow well. It could be concluded that the tidal level of 1.62 m was optimal for planting *K. candel* seedlings and the critical tidal level of *K. candel* seedlings in the coastal areas of Xiamen was not lower than 1.31 m above the zero tidal level of Huang Ocean, where the waterlogging time was not longer than 5.6 h per-tide-cycle.

Key words Mangroves, *Kandelia candel*, Forestation, Tidal flat, Critical tidal level for planting.

1 引 言

秋茄 (*Kandelia candel*) 是我国境内天然分布最广且分布纬度最高的红树植物, 也是我国东南沿海的主要红树林造林树种^[7]。以往对秋茄造林做了较多的研究探讨^[6, 8, 11, 12, 18]。由于红树林的生境受到破坏^[9], 以及全球海平面上升^[4, 15, 17], 导致了红树林宜林滩涂的高程下降。滩面高程和宜林水位线的确定在红树林造林工作中倍受关注^[3, 10~11, 21]。广西属于全日潮区, 莫竹承等^[13]根据广西沿海群众对潮水的计算方法给出了每流水中的小半眼水、半眼水和一眼水的低潮期最高水位线作为红树林的宜林临界水位线^[12]; 深圳赤湾的不规则半日潮区, 秋茄造林的潮滩基面高程应该大于 130 cm, 即不低于当地平均海面以下 22 cm^[6]; 海南东寨港也属于不正

半日潮区, 当地秋茄宜林滩涂的潮汐基面高程应高于 105 cm, 不低于当地海平面 25 cm^[9]。然而福建沿海特别是厦门地区属于正规半日潮区, 也是强潮差海区, 适应于福建红树林造林的宜林水位线还未见报道。

Chen 等^[1, 2]用模拟潮汐系统对秋茄幼苗在没顶海水浸淹情况下的生长和生理反应进行研究, 把潮间带按淹水时间不同平均划分为 7 个淹水梯度, 认为适合秋茄幼苗生长的临界淹水时间为每个潮水周期淹水 8 h。国内外学者在秋茄等红树植物淹水胁迫反应方面也做了不少工作, 其中包括生长、生理指标、氧气运送和根系通气组织等方面^[1, 4, 13, 14, 16, 19]。本研究在

*国家自然科学基金项目(30200031)、教育部博士点基金项目(20030384007)和厦门市科技基金资助项目(3502Z20021046)。

* * 通讯联系人。E-mail: linpeng@xmu.edu.cn

2005-01-18 收稿, 2005-04-25 接受。

潮汐淹水对秋茄幼苗生长和生理特性^[1,2]的影响基础上,通过野外试种实验,给出适合厦门地区潮汐特点的秋茄造林临界淹水时间和确切的宜林临界线,为秋茄造林宜林临界线的确定提供科学依据。

2 研究地区与研究方法

2.1 自然概况

厦门大屿岛白鹭自然保护区位于厦门岛西部、九龙江出海口,地理坐标 $24^{\circ}27'30''\sim 24^{\circ}27'57''N$, $118^{\circ}02'32''\sim 118^{\circ}02'51''E$,总面积 1.8 km^2 。大屿岛距厦门岛 1.9 km 、鼓浪屿 1.1 km 、距嵩屿仅 300 m 。全岛海岸线长 2.3 km 。岛屿东南面陡峭,西面有山坳,退潮时此处露出一片滩涂,是本实验营造秋茄林的滩涂。厦门港属正规半日潮港,海水盐度高、潮差大。按厦门理论基面计算,多年平均高潮位 5.49 m 、平均低潮位 1.50 m 、平均潮差 3.98 m 、最大潮差 6.92 m 、最小潮差 0.99 m 。厦门年均气温 20.7°C 。黄海零点海面(黄零)相当于厦门潮位 3.24 m ,即厦零 3.24 m 。

2.2 研究方法

2.2.1 样地设置 2003年5月开始,在大屿岛西面滩涂上,由高潮线向低潮线延伸,选择I~V 5个样带种植秋茄胚轴。每个样带设有 $0.8\text{ m}\times 1.4\text{ m}$ 3个重复的平行样地,每个样地种 8×5 个秋茄胚轴,株行距 $20\text{ cm}\times 20\text{ cm}$ 。2004年5月补种样带VI,种植胚轴数与前5个样带相同。每个样带均平行于高潮水位线,6个样带在滩涂上的分布位置如图1所示。样地面积、种植情况、盐度与基质情况如表1所示。

同时,每次采样过程中,采集各样方内的土壤以及间隙水带回实验室用于测定。间隙水测定其盐度,土壤样品测定容重(环刀法)、pH值(酸度计法)、盐度(电导法)、有机质含量(含盐量较高,用 375°C 干烧法)以及土壤质地(我国土壤质地分类法)等指标^[9]。土壤背景值如表1所示。

2.2.2 样品采集和测定 种植方法均采用胚轴直接插植,为预防潮水涨落过程中,潮汐力的冲击,胚轴的 $1/2$ 插入土中。幼苗生长过程中,前3个月每月定期测定每个样方幼苗的成

活数量,每株株高,并在每个样方随机取2株带回实验室测量生长指标。以后每季度测定一次,为期1年。样带VI目前已经测定3个月。测定的生长指标包括生物量、基茎直径、全株叶片面积以及叶片的肉质化程度(多汁度)^[11]。

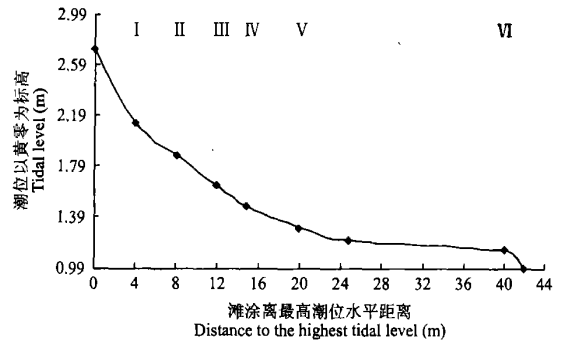


图1 大屿岛滩涂秋茄各高程样带分布图

Fig. 1 Distribution of sample plots in the intertidal zone of Dayu Island.

2.2.3 秋茄幼苗光合作用测定 在植株生长5个月,用便携式光合作用仪(Model CIRAS-1, UK)测定成熟叶片的光合速率和蒸腾速率,应用自然光源和内置 CO_2 提供 CO_2 。水分利用效率(WUE)= $\text{光合速率}(P_n)/\text{蒸腾速率}(Tr)$ 。

3 结果与分析

3.1 秋茄幼苗成活率

由表2可见,3个月后,幼苗已经完全萌发(萌芽、萌根),统计其成活率。III、IV、V 3个样地的幼苗成活率较为一致,而且成活率均高达90%。I与II两个样地属于砂壤土,胚轴不易固定,因此存活率低于III、IV、V 3个样带;I与II两个样地原处于高潮带,而砂壤土的土壤质地严重影响了秋茄胚轴在滩涂上的固定和萌发,影响了其成活率。而样地VI由于滩面高程最低,潮水浸淹时间最长,土壤受海水浸淹时间过长,含水量过高,胚轴不仅不易固定,而且

表1 大屿岛滩涂各秋茄样方的土壤背景值

Table 1 Soil characters in different sample plots in the intertidal zone of Dayu Island (2003. 5)

土壤背景值 Soil characters	样带 Sample plots					
	I	II	III	IV	V	VI
幼苗数量(苗) Seedling number	120	120	120	120	120	120
样地离岸距离 Distance to the highest tidal level (m)	4	8	12	15	20	42
滩面高程(黄零) Tidal level upper the zero tidal level of Huang Ocean (m)	2.11	1.86	1.62	1.45	1.31	0.99
每个潮水周期平均浸淹时间 Waterlogging time per tide-cycle (h)	2.7	3.9	5.0	5.6	6.5	8
水深 Depth of waterlogging (cm)	57	82	106	123	137	169
土壤间隙水盐度 Salinity of soil interstitial water (‰)	31	31	31	31	31	31
土壤 pH Soil pH	7.30 ± 0.04	7.06 ± 0.08	7.01 ± 0.09	7.06 ± 0.03	7.16 ± 0.05	7.17 ± 0.06
土壤盐度 Soil salinity (‰)	10.8 ± 1.6	19.8 ± 3.2	30.2 ± 2.3	32.6 ± 1.8	35.1 ± 1.4	29.5 ± 0.4
土壤容重 Soil bulk density ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	1.66 ± 0.05	1.52 ± 0.07	1.21 ± 0.05	1.09 ± 0.05	1.13 ± 0.06	1.11 ± 0.05
土壤有机质 Soil organic matter (‰)	1.51 ± 0.37	2.57 ± 0.43	3.81 ± 0.29	3.79 ± 0.30	3.61 ± 0.15	3.24 ± 0.08
土壤质地 Soil texture	砂壤 ¹⁾	砂壤	粉粘土 ²⁾	粉粘土	粉粘土	粉粘土

土壤层次采样于 $0\sim 20\text{ cm}$ Soil sampled on the depth between 0 and 20 cm. 1)Sandy loam; 2)Silt clay

表 2 大屿岛滩涂各样方秋茄幼苗的成活率和树高

Table 2 Survival rate and plant height of *Kandelia candel* seedlings in the tidal zone of Dayu Island

样带 Sample plot	成活率 Survival rate (%)			平均株高(包括原胚轴部分) Height of seedlings including the hypocotyls (cm)					
	3 个月 3 months	6 个月 6 months	12 个月 12 months	1 个月 1 month	2 个月 2 months	3 个月 3 months	6 个月 6 months	9 个月 9 months	12 个月 12 months
	I	70.0±4.3	72.5±8.7*	70.8±5.8	11.8±0.4	17.6±0.7	20.2±0.1	27.5±0.2	29.5±1.0
II	67.5±4.3	67.5±4.3	65.0±2.5	11.9±0.1	19.2±1.1	23.2±1.5	31.6±1.1	33.7±2.6	40.4±4.2
III	90.0±2.5	88.3±5.2	86.7±6.3	12.4±0.1	20.0±0.4	25.2±0.4	37.4±1.3	40.6±1.2	50.5±2.7
IV	90.0±5.0	90.0±5.0	85.8±5.2	12.2±0.4	20.8±0.7	25.9±1.2	38.4±1.9	42.8±1.2	53.6±2.8
V	90.0±9.0	88.3±6.3	86.7±7.2	12.3±0.3	20.4±0.2	24.8±1.1	35.6±1.9	39.3±3.1	50.3±3.1
VI	43.3±3.8	—	—	0	13.1±0.3	20.2±0.1	—	—	—

*3 个月时统计为枯死的幼苗, 但胚轴还活着, 在 6 个月后才长出小叶 Seedlings is regarded dead in 3 months but leaves grow after 6 months.

受海水浸淹时间长, 胚轴萌发缓慢, 甚至不萌发, 在胚轴种植 1 个月后, 基本没有萌芽, 少数萌根; 3 个月统计其存活率仅 43.3%±3.8%, 低于 50%。样地 V 的高程比样地 I 仅低了 0.32 m, 而秋茄幼苗的成活率却显著下降了 51.9% ($P < 0.001$)。而滩面高程相差 0.31 cm 的 II 和 V 两个样带的秋茄幼苗成活率却无显著的变化 ($P > 0.05$)。可见, 样地 VI 的滩面高程已经低于宜林临界线, 不适合在此高程造林。可以将宜林临界线定义为红树植物幼苗生长 6~12 月内, 成活率达 65% 以上, 株高达 35 cm 以上的最低滩涂高程。

3.2 秋茄幼苗平均株高

如表 2 所示, 秋茄幼苗种植后 1 个月、2 个月、3 个月、6 个月、9 个月和 1 年时间内, 对样地上所有秋茄幼苗地面株高(包括原胚轴的地上部分)的测定和统计结果表明, III、IV、V 3 个样带的幼苗树高增长趋势基本一致。一年后, 样带 IV 的幼苗树高最高, 分别比样地 II 和 V 增高了 106.4% 和 106.2% ($*P = 0.023$, $**P = 0.001$), 而样地 I 和 VI 的幼苗平均树高较低。

3.3 秋茄幼苗生物量

生物量反映了各样地上幼苗生长的物质积累情况。如图 2 和表 3 所示, 总生物量随时间和滩面高程的变化而发生极显著地变化 ($P < 0.001$), 除了第一个月各高程样地上的总生物量没有显著的差异外, 其它各月均有显著变化, 即 III、IV、V 3 个样地的总生物量较高, 样地 VI 的总生物量最低, 随后是样地 I 和样地 II。茎生物量的变化趋势与总生物量和树高基本一致(图 3, 表 3)。秋茄胚轴种植一年后, 样地 II 的总生物量、茎生物量和叶片生物量均显著高于样地 IV、V ($P < 0.05$)。根系生物量(图 4, 表 3)的变化不显著 ($P > 0.05$)。

3.4 秋茄幼苗的茎叶特征

秋茄幼苗的基茎直径变化趋势与茎生物量和树高的变化较为一致(图 3, 表 3), 前 6 个月, 各样带植

株的基茎直径变化不大, 但种植胚轴 9 个月后, III、IV、V 3 个样带的基茎直径比其它样带的基茎直径有显著提高 ($P < 0.05$)。III、IV、V 3 个样带的植株不仅茎生物量和树高增加, 同时基茎加粗, 以此来提高植株抵抗潮汐力冲击的能力, 从而更有效地提高幼苗的成活率。在胚轴种植 2 个月后, 各样带幼苗全株叶片面积无显著变化 ($P > 0.05$); 胚轴种植 3 个月后, 其变化趋势与叶片生物量的变化较为一致, 均表现为 III、IV、V 3 个样带的叶片面积较大。叶片多汁度随样带的变化趋势不显著。

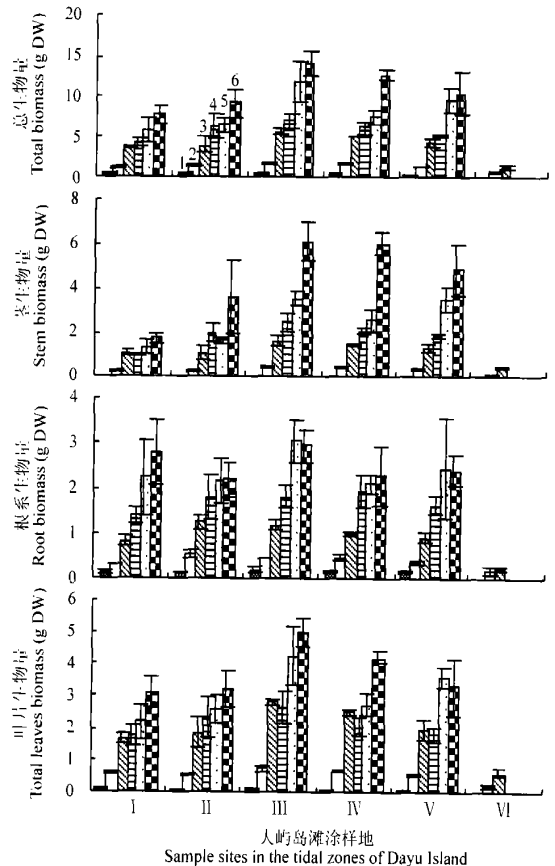


图 2 大屿岛滩涂秋茄幼苗单株生物量变化

Fig. 2 Individual plant biomass of *Kandelia candel* seedlings in the tidal zone of Dayu Island.

1) 1 个月 1 month; 2) 2 个月 2 months; 3) 3 个月 3 months; 4) 6 个月 6 months; 5) 9 个月 9 months; 6) 12 个月 12 months. 下同 The same below.

表3 采样时间和滩面高程对大屿岛滩涂秋茄幼苗影响的显著程度(F值)

Table 3 Results of ANOVA (F-values) for the effects of different cultivation time and tidal flat on growth of *Kandelia candel* seedlings in Dayu Island

参数 Parameter	II-way ANOVA			幼苗在不同滩面高程(各样带)的变化的显著性(I-way ANOVA) F-way ANOVA for the growth of <i>Kandelia candel</i> seedlings in different tidal flats					
	采样时间 Month	滩面高程 Elevation	M×E	1个月 1 month	2个月 2 months	3个月 3 months	6个月 6 months	9个月 9 months	12个月 12 months
苗高 Seedling height (cm)	870.213***	71.249***	8.605***	1.932	10.247**	15.454***	29.769***	21.827***	18.642***
总生物量 Total biomass (g)	232.434***	21.154***	4.332***	1.240	29.640***	7.565**	3.973*	7.165**	6.839**
茎生物量 Stem biomass (g)	201.786***	26.349***	8.002***	1.315	11.643**	4.326*	13.043**	22.219***	9.926**
根系生物量 Root biomass (g)	102.670***	3.625**	0.989	0.833	6.619**	7.045**	1.244	0.624	1.089
叶片生物量 Leaf biomass (g)	206.556***	22.385***	3.938***	1.952	6.223*	8.708**	2.455	6.254*	5.390*
茎直径 Diameter of root base (cm)	137.011***	8.622***	2.220**	0.152	0.782	0.899	1.122	5.328*	5.381*
全株叶面积 Leaf area of a seedling (cm ²)	178.109***	31.029***	4.673***	0.759	2.218	10.301**	2.965	10.062**	9.697**
叶片多汁度 Leaf succulence (g·dm ⁻²)	78.683***	4.672**	3.903***	0.387	9.241**	3.222	1.454	4.882*	4.092*

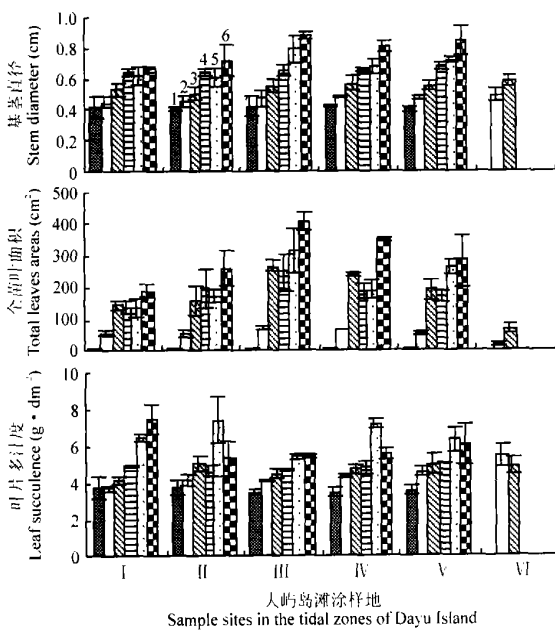


图3 大屿岛滩涂秋茄幼苗茎叶特征

Fig. 3 Stem and leaf characters of *Kandelia candel* seedlings in the tidal zone of Dayu Island.

表4 大屿岛滩涂秋茄幼苗的光合、蒸腾速率和水分利用率
Table 4 Pn, Tr and WUE of *Kandelia candel* seedlings in the tidal zone of Dayu Island

样带 Sample plot	光合速率 Photosynthesis rate ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	蒸腾速率 Transpiration rate ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	水分利用效率 Water use efficiency
I	9.72±1.01	5.39±0.44	1.97±0.15
II	10.94±1.09	5.93±0.10	1.77±0.11
III	11.30±0.84	5.78±0.11	2.08±0.11
IV	12.72±0.99	5.98±0.31	2.17±0.08
V	14.11±1.36	4.96±0.55	3.32±0.44

3.5 叶片光合和蒸腾速率及水分利用率

叶片的光合速率和蒸腾速率与叶片面积和叶片生物量有较大关系,特别是叶片光合速率,可以反映植株的光合同化能力和有机物的积累速率.由表4可知,III、IV、V 3个样带的光合速率随滩面高程下降而有所升高($P < 0.001$),特别是V样带光合速率

达到最大值 $14.11 \pm 1.36 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.各样地之间,蒸腾速率变化不显著($P > 0.05$).由于水分利用效率(WUE)是光合速率和蒸腾速率的比值,因此,在样地I~IV之间由于蒸腾速率变化不大,植株叶片的水分利用效率变化不显著($P > 0.05$),但样带V的水分利用效率比其它4个样带有极显著提高($P < 0.001, df = 29$).

4 讨论

从造林成活率的结果来看,样地VI在潮间带上处于中低潮带,土壤条件与中高潮带III~V 3个样地没有较大差异,但仅3个月成活率就低于50%,明显不适合秋茄造林.秋茄幼苗的生长受高程影响,而样地V在6个样地中,相对滩面高程最低,淹水时间最长,秋茄幼苗生长不良.由此可以推知,样地VI的高程(黄零0.99 m)低于厦门地区宜林临界线的高程.

在属于高潮位的样地I和II(高程分别是黄零2.11 m和1.86 m)上,秋茄幼苗虽然可以生长,但成活率、树高和生物量均较低,生长不如样地III~V好.这可能与当地的土壤条件有关,从土壤质地、有机质含量和盐度等条件看(表1),贫瘠和坚硬的砂壤土不适合秋茄胚轴的固定、伸根和营养需求.因此,在厦门沿海的红树林造林过程中,高程高于黄零1.86 m的滩涂是有机物含量低的砂壤土,虽然其淹水时间较短,但也不适于秋茄幼苗的造林,应该避开.而III~V 3个样地均处于中高潮带,不管从秋茄成活率、树高或生物量积累,还是从光合速率上来衡量,秋茄幼苗都生长良好,叶面积也较大,能进行正常的光合同化和营养积累,特别是样地III(黄零1.62 m)上的秋茄幼苗,在种植1年后,其总生物量、茎生物量和叶片生物量均高于其它样地上的幼苗.

样地 II 的平均淹水时间为每个潮汐循环 5 h, 这是最适合秋茄幼苗生长的淹水时间. 这一结果比相关模拟实验^[12]得到的秋茄幼苗适应于 2~4 h 的淹水结果高, 但仍与秋茄在潮间带的分布较为一致^[7].

受各地不同的潮汐特点制约, 国内红树林造林宜林临界线的规定不尽相同. 总体上认为, 红树林主要分布于中潮滩面以上, 个别延伸至低潮带, 如白骨壤等^[7]. 张乔民等^[20]认为, 红树林主要分布在平均海平面(或稍上)与回归潮平均高高潮位(或大潮高潮位, 或最高天文潮位)之间的滩涂上. 在广西的造林过程中, 通常认为低潮期的海水最高水位线为低潮线, 这条低潮线是滩涂的宜林临界线^[12]. 根据各地秋茄造林的结果, 深圳赤湾的秋茄林滩涂基面高程应高于 130 cm, 即不低于当地平均海面以下 22 cm^[6]; 而海南东寨港的秋茄宜林滩涂的潮汐基面高程应大于 105 cm, 不低于当地平均海面以上 25 cm^[6]. 而本研究的结果表明在厦门大屿岛试种秋茄, 当高程达到黄零 0.99 m (样地 VI) 时, 即每个潮水周期秋茄幼苗被海水浸淹长达 8 h 时, 幼苗的成活率降低、生物量下降、生长不良, 特别是胚轴仅种植 3 个月, 其成活率就低于 50%, 说明这个高程不适合秋茄的造林. 宜林临界线应高于这个高程, 即临界淹水时间应低于 8 h. 这一结果比 Chen 等^[1]的淹水时间临界值为每个潮水周期浸淹 8 h 的时间短. 说明人工模拟潮汐的淹水条件比自然条件下的宜林地淹水时间有所延长. 当滩面高程不低于黄零 1.31 m 时(即样地 III~V), 秋茄幼苗生长最好, 此处每个潮水周期浸淹 5.0~6.5 h, 因此认为, 在厦门地区秋茄造林过程中, 滩面高程应不低于黄零 1.31 m, 淹水时间不高于 6.5 h.

结合潮汐模拟实验^[1,2]的结果, 认为在厦门地区进行秋茄造林最适的生长滩涂是高程为黄零 1.62 m, 平均淹水时间约在每个潮水周期浸淹 5 h 的淤泥质滩涂; 而宜林临界线高于黄零 1.31 m 时, 平均淹水时间约在每个潮水周期浸淹 6.5 h 以内. 这条宜林临界线的划定不仅为厦门地区秋茄造林提供科学依据, 同时也是福建省红树林造林中第一条宜林临界线, 将为福建省红树林造林中宜林地的选择提供借鉴, 也有助于提高福建省红树林造林的成活率.

致谢 感谢陈长平博士、王龙和揭祖亮同学在野外调查和样品处理过程中给予帮助, 感谢大屿岛白鹭自然保护区的王博和朱开建同志在调查过程中给予帮助.

参考文献

- 1 Chen LZ, Wang WQ, Lin P. 2005. Photosynthetic and physiological responses of *Kandelia candel* (L.) Druce seedlings to duration of tidal immersion in artificial seawater. *Environ Exp Bot*, **54**: 256~266
- 2 Chen LZ, Wang WQ, Lin P. 2004. Influence of waterlogging time on the growth of *Kandelia candel* seedlings. *Acta Oceanol Sin*, **23** (1): 149~158
- 3 Chen Y-J(陈玉军), Chen W-P(陈文沛), Zheng S-F(郑松发), et al. 2001. Researches on the mangrove plantation in Panyu, Guangdong. *Ecol Sci* (生态科学), **20**: 25~31 (in Chinese)
- 4 Ellison AM, Farnsworth EJ. 1997. Simulated sea level change alters anatomy, physiology, growth, and reproduction of red mangrove (*Rhizophora mangle* L.). *Oecologia*, **112**: 435~446
- 5 Fan H-Q(范航清), Li G-Z(黎广钊). 1997. Effect of sea dike on the quantity, community characteristic and restoration of mangroves forest along Guangxi coast. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **8**: 240~244 (in Chinese)
- 6 Liao B-W(廖宝文), Zheng D-Z(郑德璋), Zheng S-F(郑松发), et al. 1997. Studies on the cultivation techniques of mangrove *Kandelia candel*. In: Wong YS, Tam NFY, eds. *Mangrove Research of Guangdong, China*. Guangzhou: South China University of Technology Press. 479~486 (in Chinese)
- 7 Lin P. 1999. *Mangrove Ecosystem in China*. Beijing: Science Press.
- 8 Lu C-Y(卢昌义), Lin P(林鹏). 1990. Afforesting techniques of *Kandelia candel* mangrove and their ecological principle. *J Xiamen Univ* (Nat Sci) (厦门大学学报·自然科学版), **29** (6): 694~698 (in Chinese)
- 9 Lu R-K(鲁如坤). 2000. *Methods of Agriculture and Chemistry Analysis of Soil*. Beijing: China Agriculture Science and Technique Press. (in Chinese)
- 10 McKee, KL. 1996. Growth and physiological responses of neotropical mangroves seedlings to root zone hypoxia. *Tree Physiol*, **16**: 883~889
- 11 Mo Z-C(莫竹承), Fan H-Q(范航清). 2001. Comparison of mangroves forestation methods. *Guangxi For Sci* (广西林业科学), **30** (2): 73~75 (in Chinese)
- 12 Mo Z-C(莫竹承), Liang S-C(梁士楚), Fan H-Q(范航清). 1995. A preliminary study on planting techniques of Guangxi Mangroves. In: Fang HQ, Liang C, eds. *Research and Management on China Mangroves*. Beijing: Science Press. 164~172 (in Chinese)
- 13 Naidoo G. 1985. Effects of waterlogging and salinity on plant-water relations and on the accumulation of solutes in three mangrove species. *Aquat Bot*, **22**: 133~143
- 14 Naidoo G, Rogalla H, Vorr Willert DJ. 1997. Gas exchange responses of a mangrove species, *Avicennia marina*, to waterlogged and drained conditions. *Hydrobiologia*, **352**: 39~47
- 15 Semeniuk V. 1994. Predicting the effect of sea-level rise on mangroves in northwestern Australia. *J Coast Res*, **10**: 1050~1076
- 16 Skelton NJ, Allaways WG. 1996. Oxygen and pressure changes measured in situ during flooding in roots of the grey mangrove *Avicennia marina* (Forssk.) Vieh. *Aquat Bot*, **54**: 165~175
- 17 Snedaker SC, Meeder JF, Ross MS, et al. 1994. Mangrove ecosystem collapse during predicted sea-level rise-Holocene analogues and implications-discussion. *J Coast Res*, **10**: 497~498
- 18 Wang B-S(王伯荪), Liao B-W(廖宝文), Wang Y-J(王勇军), et al. 2002. *Mangrove Forest Ecosystem and its Sustainable Development in Shenzhen Bay*. Beijing: Science Press. 194~211 (in Chinese)
- 19 Ye Y, Tam NFY, Wong YS, et al. 2003. Growth and physiological responses of two mangrove species (*Bruguiera gymnorrhiza* and *Kandelia candel*) to waterlogging. *Environ Exp Bot*, **49**: 209~221
- 20 Zhang Q-M(张乔民), Yu H-B(于红兵), Chen X-S(陈欣树), et al. 1997. The relationship between mangrove zone on tidal flats and tidal levels. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **17** (3): 258~265 (in Chinese)
- 21 Zheng D-Z(郑德璋), Li M(李玫), Zheng S-F(郑松发), et al. 2003. Headway of study on mangroves recovery and development in China. *Guangdong For Sci Technol* (广东林业科技), **19** (1): 10~14 (in Chinese)

作者简介 陈鹭真, 女, 1977年生, 博士, 主要从事红树林生理生态学研究, 发表论文多篇. E-mail: luzhenc@263.net

责任编辑 李凤琴