

文章编号:1001-1498(2004)05-0654-06

# 深水裸滩红树植物与落羽杉生长适应性研究

郑松发<sup>1</sup>, 陈玉军<sup>1</sup>, 陈文沛<sup>2</sup>, 廖宝文<sup>1</sup>, 宋湘豫<sup>1</sup>, 李 玫<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520; 2. 广东省番禺市林业局, 广东 番禺 511400)

**摘要:**对深水裸滩几种红树植物及沼生植物落羽杉的生长适应性研究结果表明:(1)红树植物无瓣海桑与落羽杉的成活率和生长速度较接近,远超过桐花树、秋茄和木榄,证明无瓣海桑和落羽杉对于深水裸滩的生长适应能力较强,具有速生特性;(2)随滩面高度的降低,海水淹没时间的增加,红树植物和落羽杉的成活率及生长速度有下降的趋势。在滩面高度低于-0.9 m时,落羽杉成活和生长极差,各种红树植物则无法成活和生长。落羽杉的耐淹没能力最强,其次为无瓣海桑,桐花树较差,秋茄和木榄最差;(3)在同一生长地红树植物与落羽杉的生长指标间存在一定的相关性。无瓣海桑与落羽杉之间的生长相关性最为明显,各生长指标间基本上都表现出极显著的相关性,而桐花树、秋茄、木榄与落羽杉的生长相关性较差。

**关键词:**深水裸滩;红树植物;落羽杉;生长适应性

**中图分类号:**S727.26 **文献标识码:**A

红树林是生长于热带和亚热带海岸及河口潮间带的木本植物群落,是沿海防护林体系中最前沿的一道天然防线。落羽杉(*Taxodium distichum* (L.) Rich.)属古老的子遗植物,生于亚热带排水不良的淡水沼泽地区,原产北美东南部,1917年在我国南京引种,随后作为河岸防护树种得到推广应用<sup>[1~4]</sup>。由于红树植物和落羽杉在堤岸防护中的重要功能和效益,其资源的恢复和发展已成为防护林体系建设中的重要组成部分。一般认为,红树林天然分布于平均海平面以上的潮间带滩涂,当滩面高度低于平均海平面时,红树植物很难自然更新生长。然而,人为填海造陆活动使我国华南沿海大部分海堤外滩涂低于平均海平面,红树林则种植在深水裸滩。研究海堤外深水裸滩红树植物和落羽杉的生长适应性,对于华南沿海红树林资源的恢复和防护林体系建设具有重要的现实意义。

目前,国内外对红树林已开展了广泛的研究,涉及育苗造林技术<sup>[5~13]</sup>、发展动态<sup>[14~19]</sup>、物种多样性<sup>[20~26]</sup>、生态系统结构与功能<sup>[27~29]</sup>、生理生态、分子生态及污染生态<sup>[30]</sup>、红树林的利用<sup>[31]</sup>等诸方面,对落羽杉也有相关研究<sup>[1,2]</sup>,而对深水裸滩立地条件下红树林和落羽杉的生长适应性研究较少。

## 1 试验地概况

试验地设在广州市番禺区,该地处于珠江入海口,南面濒临伶仃洋,位于22°58'N,118°31'

收稿日期:2004-05-20

基金项目:广东省“十五”科技重大专项(A3050102)、国家“九五”科技攻关项目(96-007-03-04)

作者简介:郑松发(1957—),男,广东汕头人,副研究员。

E,属南亚热带季风气候。热量丰富,雨量充沛,年均气温 21.6 ,最冷月平均气温 13.3 ,年降水量 1 937 mm。海岸线曲折,主干堤长 596.2 km,支干堤长 118.2 km<sup>[32]</sup>。由于长期填海造陆的影响,堤外滩涂水深浪大,滩面高度一般在海平面以下。

## 2 材料和方法

在番禺区化龙镇沙路村海堤外的裸滩,于 1997 年试验种植落羽杉,株行距 2 m ×1 m,1998 年在落羽杉林中沿海堤向海方向依次种植木榄 (*Bruguiera gymnorhiza* (L.) Lam.)、桐花树 (*Aegiceras corniculatum* (L.) Blanco)、无瓣海桑 (*Sonneratia apetala* Buch.-Ham.)、秋茄 (*Kandelia candel* (L.) Druce)。各树种沿与海堤平行方向带状种植,林带总长为 9.5 km,宽 10 m。无瓣海桑种植规格为 2 m ×1 m,秋茄和桐花树为 0.4 m ×0.2 m,木榄为 0.4 m ×0.4 m。无瓣海桑从孟加拉国引进,树体高大,速生,为滩涂先锋造林树种。桐花树、秋茄和木榄为我国乡土树种,树形优美,生长缓慢。

在试验地内每隔相等的距离设立 31 个样点,2001 年 8—9 月在每个样点调查海水淹没深度、红树植物和落羽杉成活率及生长量。落羽杉和无瓣海桑沿与海岸平行的方向观测一行 30 m 的样带,桐花树、秋茄和木榄平均观测 20 株,据此研究红树植物和落羽杉的生长特性,立地条件对其生长的影响,红树植物和落羽杉之间生长表现的相关性。

## 3 结果与分析

### 3.1 红树植物和落羽杉的生长量及保存率

研究表明,在海堤外的深水裸滩,各树种的成活和生长情况有较大差异,无瓣海桑和落羽杉的平均生长量和保存率较接近,远超过其它 3 种红树植物(表 1)。表 1 表明,无瓣海桑和落羽杉在海堤外深水裸滩区具有一定的生长适应能力,而桐花树、秋茄和木榄的适应能力极差,生长极缓慢,不易保存。

表 1 深水裸滩红树植物和落羽杉的生长量及保存率

树种	树龄/保存率/		生长量				年均生长量			
	a	%	树高/m	地径/cm	胸径/cm	冠幅/m	树高/m	地径/cm	胸径/cm	冠幅/m
无瓣海桑	3	38.7	3.11	9.18	4.56	2.44	1.04	3.06	1.52	0.81
桐花树	3	23.4	0.87	1.32	—	—	0.29	0.44	—	—
秋茄	3	9.1	0.78	0.74	—	—	0.26	0.25	—	—
木榄	3	12.9	0.77	0.89	—	—	0.26	0.30	—	—
落羽杉	4	61.0	3.16	6.87	4.00	0.64	0.79	1.72	1.00	0.16

### 3.2 不同滩面高度对红树植物和落羽杉生长的影响

试验地内各样地的土壤、海水理化性质、风浪等立地条件较为一致,潮滩面高度则有较大差异,变化范围为 - 0.20 ~ - 1.08 m(相对于平均海平面)。随滩面高度的降低,红树植物和落羽杉的成活率及生长量有下降的趋势(表 2)。由于海潮的周期性涨落,植物所处滩面的高度直接影响其受海水淹没的时间。滩面越低,植物个体受海水淹没和忍受缺氧状态所持续的时间就越长,生长受抑制的程度就越高,这可能是成活率和生长量随滩面高度的降低而降低的原因。

表2 不同滩面高度对红树植物和落羽杉生长的影响

滩面高度/ m	落羽杉						无瓣海桑						桐花树						秋茄						木榄					
	树高/		冠幅/		成活率/		树高/		冠幅/		成活率/		地径/		树高/		成活率/		地径/		树高/		成活率/		地径/		树高/		成活率/	
	cm	m	m	m	%	%	cm	m	m	m	%	%	cm	m	m	m	%	%	cm	m	m	m	%	%	cm	m	m	m	%	%
-0.20						96.70	13.27	4.03	3.43																					
-0.43						46.37	11.41	3.06	3.24																					
-0.50	6.51	3.08	0.61	59.17		51.98	9.36	2.88	2.46				1.28	0.83	53.05	0.75	0.76	24.17							0.66	0.67				
-0.72	9.82	3.49	1.00	94.40		57.43	7.06	2.59	1.83						0.00			0.00												
-0.80	8.41	3.52	0.75	63.33		73.33	9.42	3.28	2.27						0.00			0.00							0.85	0.88				
-0.83	7.77	3.42	0.69	75.83		39.05	8.92	3.80	2.52				1.39	0.93	37.98	0.73	0.81	15.83							1.17	0.88				
-0.88	7.73	3.47	0.76	80.30		28.07	8.82	3.05	2.23				1.30	0.85	52.37	0.73	0.78	4.00							0.78	0.66				
-0.98	3.50	2.34	0.36	18.90		0.00									0.00			0.00												
-1.08	3.85	2.63	0.31	32.23		0.00									0.00			0.00												

表3 红树植物与落羽杉生长的相关系数

项目	无瓣海桑						桐花树						秋茄						木榄							
	地径		胸径		树高		成活率		地径		树高		成活率		地径		树高		成活率		地径		树高		成活率	
	cm	m	cm	m	m	m	%	%	cm	m	m	m	%	%	cm	m	m	m	%	%	cm	m	m	m	%	%
Pearson 相关系数	0.445	0.349	0.695**	0.816**	0.543*	0.543*	0.419	0.419	0.250	0.375	0.619*	0.685**	0.375	0.375	0.168	0.168	0.014	0.014	0.216	0.216	0.619*	0.619*	0.386	0.386	0.194	0.194
显著性水平(双侧)	0.056	0.143	0.001	0.000	0.036	0.036	0.120	0.120	0.229	0.067	0.005	0.005	0.067	0.067	0.155	0.155	0.005	0.005	0.554	0.554	0.005	0.005	0.155	0.155	0.155	0.155
样本数	19	19	19	25	15	15	15	15	25	15	15	15	15	15	25	25	15	15	25	25	15	15	15	15	15	25
Pearson 相关系数	0.625**	0.594**	0.813**	0.808**	0.503	0.503	0.443	0.443	0.387	0.485	0.678**	0.546*	0.485	0.485	0.005	0.005	0.005	0.005	-0.124	-0.124	0.678**	0.678**	0.330	0.330	0.383	0.383
显著性水平(双侧)	0.004	0.007	0.000	0.000	0.056	0.056	0.098	0.098	0.056	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.155	0.155	0.005	0.005	0.554	0.554	0.005	0.005	0.229	0.229	0.059	0.059
样本数	19	19	19	25	15	15	15	15	25	15	15	15	15	15	25	25	15	15	25	25	15	15	15	15	15	25
Pearson 相关系数	0.605**	0.598**	0.863**	0.791**	0.534*	0.534*	0.396	0.396	0.354	0.280	0.560*	0.650**	0.280	0.280	0.030	0.030	0.030	0.030	0.195	0.195	0.560*	0.560*	0.302	0.302	0.272	0.272
显著性水平(双侧)	0.006	0.007	0.000	0.000	0.041	0.041	0.144	0.144	0.083	0.311	0.030	0.009	0.311	0.311	0.155	0.155	0.009	0.009	0.554	0.554	0.030	0.030	0.273	0.273	0.189	0.189
样本数	19	19	19	25	15	15	15	15	25	15	15	15	15	15	25	25	15	15	25	25	15	15	15	15	15	25
Pearson 相关系数	-0.086	-0.185	0.161	0.613**	0.437	0.437	0.352	0.352	0.219	0.384	0.584*	0.595*	0.384	0.384	0.157	0.157	0.022	0.022	0.217	0.217	0.584*	0.584*	0.101	0.101	0.166	0.166
显著性水平(双侧)	0.726	0.448	0.511	0.001	0.104	0.104	0.198	0.198	0.292	0.157	0.022	0.019	0.157	0.157	0.155	0.155	0.019	0.019	0.554	0.554	0.022	0.022	0.720	0.720	0.407	0.407
样本数	19	19	19	27	15	15	15	15	27	15	15	15	15	15	25	25	15	15	25	25	15	15	15	15	15	27

注:\*\*:在0.01水平上相关性显著;\*:在0.05水平上相关性显著。

表 2 显示,在滩面高度低于 - 0.9 m 时,落羽杉成活和生长极差(成活率低于 35%),各种红树植物则无法成活;在滩面高度为 - 0.9 m 以上时,各树种的生长表现各异:落羽杉和无瓣海桑的成活率及生长量都较高(成活率高于 35%),总体上落羽杉的成活率稍高于无瓣海桑;桐花树、秋茄和木榄生长很慢,个体脆弱,抵抗环境能力差,因此,生长极不稳定,仅部分地区能成活。桐花树的成活率较高,秋茄和木榄的成活及生长极差;当滩面高度达 - 0.2 m 以上时,桐花树、秋茄和木榄才可能有较好的生长表现。由各树种在不同滩面高度的生长表现可知,落羽杉的耐淹没能力最强,其次为无瓣海桑,桐花树较差,秋茄和木榄最差。

### 3.3 红树植物与落羽杉之间的生长相关性

利用相关分析方法,对红树植物与落羽杉生长指标间的相关性进行分析(表 3)。由表 3 可知,红树植物与落羽杉的生长之间存在着一定的相关性,在所有 52 个相关系数中,有 21 个在 0.95 的可靠性水平上相关性显著或极显著。

无瓣海桑与落羽杉之间的生长相关性最为明显,各生长指标基本上表现出显著的相关性(0.95 的可靠性水平);桐花树、秋茄、木榄与落羽杉的生长相关性较差,仅部分生长指标与落羽杉相关,成活率与落羽杉的生长指标间相关性极差或呈负相关,说明这些红树植物在幼年期由于生长极缓慢,受环境影响严重,成活和生长不稳定,因此,与落羽杉间生长表现上的规律性不明显。

根据无瓣海桑与落羽杉之间生长的相关性,可拟合出二者在同一生长指标间的回归方程(表 4)。经方差分析,多数方程在 0.95 的可靠性水平上线性关系极显著。

表 4 无瓣海桑与落羽杉同一生长属性间的相关方程

生长指标	回归方程	相关系数 $r$	差异来源	自由度	差方和	均方	均方比 $F$	$F_{0.05}$	$F_{0.10}$	自变量变幅	因变量变幅
地径	$Y = 1.7055 + 0.6085X$	0.4451	回归	1	1.5998	1.5998	4.2002	4.45	3.03	1.29 ~ 2.99 cm	1.43 ~ 3.97 cm
			剩余	17	6.4750	0.3809					
胸径	$Y = -0.4459 + 1.6658X$	0.5943	回归	1	1.7917	1.7917	9.2819	4.45	3.03	0.81 ~ 1.62 cm	0.46 ~ 2.23 cm
			剩余	17	3.2816	0.1930					
树高	$Y = -0.3345 + 1.5937X$	0.8627	回归	1	0.7816	0.7816	49.4526	4.45	3.03	0.67 ~ 1.13 m	0.71 ~ 1.58 m
			剩余	17	0.2687	0.0158					
成活率	$Y = -6.7393 + 0.7238X$	0.6127	回归	1	10317.596	10317.596	15.0220	4.42	2.92	8.50 ~ 100.00 %	0.00 ~ 100.00 %
			剩余	25	17170.851	686.834					

注:自变量  $X$  表示落羽杉的生长属性,因变量  $Y$  表示无瓣海桑的生长属性。

## 4 结论与讨论

(1) 研究结果显示,在潮滩面高度为 - 0.20 ~ - 1.08 m 的深水裸滩,红树植物无瓣海桑和落羽杉的生长速度及保存率接近,无瓣海桑在 3 a 内树高年均生长量达 1.04 m,保存率为 38.7%,落羽杉在 4 a 内树高年均生长量达到 0.79 m,保存率为 61.0%,充分显示了其在深水裸滩的生长适应能力,可作为华南沿海大面积深水裸滩防护林建设的造林推广树种。桐花树、秋茄和木榄在 3 a 内的平均保存率低于 25%,秋茄只有 9.1%,且不同地段成活率极不稳定,树高年均生长量不足 0.3 m,可见其在深水裸滩的生长适应能力极差,生长极缓慢,在低于 - 0.2 m 的裸滩滩涂造林是不可取的。

(2) 随滩面高度的降低,红树植物和落羽杉的成活率和生长量有下降的趋势,无瓣海桑和落羽杉随滩面高度变化的趋势较明显。当滩面高度低于 - 0.9 m 时,无瓣海桑和落羽杉均不能正常生长和成活,可见二者在深水裸滩造林也有最低的滩面要求。要保证无瓣海桑和落羽杉造林的成功,滩面高度必须在平均海平面 - 0.9 m 以上,而无瓣海桑要达到 40% 以上的造林成活率,滩面高度必须在平均海平面 - 0.8 m 以上或更高。落羽杉耐淹没能力最强,其次为无瓣海桑,桐花树较差,秋茄和木榄最差。

(3) 红树植物与落羽杉之间存在着一定的相关性。无瓣海桑与落羽杉之间的生长相关性最为明显,桐花树、秋茄、木榄与落羽杉的生长相关性较差。红树植物与落羽杉,特别是无瓣海桑与落羽杉之间生长相关性的研究结果,对于华南沿海防护林的建设有一定的参考价值。由于在实际造林生产中,沿海地区深水滩涂立地条件的测定较繁杂,而在华南沿海,尤其是珠江三角洲地区落羽杉的种植推广已很普遍,因此,落羽杉造林的成功经验可作为红树植物无瓣海桑造林规划的参考和借鉴,从而减少不必要的造林成本,以推动整个沿海防护林体系的完善。

#### 参考文献:

- [1] 汪企明,汪泽明,吕祥生,等.落羽杉属种源研究:树种生物学特性[J].江苏林业科技,1995,22(2):14~18
- [2] 汪企明,王伟,蒋志新,等.落羽杉属种源研究:生长和生物量变异[J].江苏林业科技,1998,25(1):1~6
- [3] 李云,郑德璋,陈焕雄,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] 李云,郑德璋,廖宝文,等.几种红树植物引种试验初报[J].林业科学研究,1998,11(6):652~655
- [5] 刘治平.秋茄和木榄的海上育苗研究[J].生态科学,1991(1):72~76
- [6] 莫竹承,梁士楚,范航清.广西红树林造林技术的初步研究[A].见:中国红树林研究与管理[M].北京:科学出版社,1995.164~172
- [7] Lu Changyi, Lin Peng. The Techniques of Afforestation the Mangrove and Its Role in Coastline Protection. Island Environment and Coast Development[M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1993. 321~328
- [8] 廖宝文,郑德璋,郑松发,等.红树植物秋茄造林技术的研究[J].林业科学研究,1996,9(6):586~592
- [9] 廖宝文,郑德璋,郑松发,等.红树植物桐花树育苗造林技术的研究[J].林业科学研究,1998,11(5):474~480
- [10] 陈玉军,陈文沛,郑松发,等.广东番禺红树林造林研究[J].生态科学,2001,20(1~2):24~31
- [11] 陈文沛,郑松发,黎税成,等.番禺地区引种种植红树林的研究[J].林业科学研究,2001,14(3):307~314
- [12] Riley R W, Kent C P S. Riley encased methodology: principles and processes of mangrove habitat creation and restoration[J]. Mangroves and Salt Marshes, 1999, 3(4): 207~213
- [13] Kent C P S. A comparison of riley encased methodology and traditional techniques for planting red mangroves (*Rhizophora mangle*) [J]. Mangroves and Salt Marshes, 1999, 3(4): 215~225
- [14] 陈玉军,郑松发,廖宝文,等.红树植物海桑天然更新的初步研究[J].林业科学研究,2003,16(3):306~311
- [15] Dahdouh-Guebas F, Kairo J G, Jayatissa L P, et al. An ordination study to view vegetation structure dynamics in disturbed and undisturbed mangrove forests in Kenya and Sri Lanka[J]. Plant Ecology, 2002, 161(1): 123~135
- [16] Bertrand F. Mangrove dynamics in the Rivières du Sud area, West Africa: an ecogeographic approach[J]. Hydrobiologia, 1999, 413(1): 115~126
- [17] Saintilan N, Hashimoto T R. Mangrove-saltmarsh dynamics on a bay-head delta in the Hawkesbury River estuary, New South Wales, Australia[J]. Hydrobiologia, 1999, 413(1): 95~102
- [18] Delgado P, Jiménez J A, Justic D. Population dynamics of mangrove *Avicennia bicolor* on the Pacific coast of Costa Rica[J]. Wetlands Ecology and Management, 1999, 7(3): 113~120
- [19] Sherman R E, Fahey TJ, Battles J J. Small-scale disturbance and regeneration dynamics in a neotropical mangrove forest[J]. Journal of Ecology, 2000, 88(1): 165~180
- [20] 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

- [21] 刘敏超,李花粉. 试论湛江红树林区生物多样性保护[J]. 湛江海洋大学学报,2001,21(3):44~47
- [22] 李明顺,蓝崇钰,陈桂珠,等. 深圳福田红树林的群落学研究[J]. 生态科学,1994,13(1):81~86
- [23] Hsueh M L, Lee H H. Diversity and distribution of the mangrove forests in Taiwan[J]. Wetlands Ecology and Management, 2000, 8(4):233~242
- [24] Macintosh DJ, Ashton E C, Havanon S. Mangrove Rehabilitation and Intertidal Biodiversity: a Study in the Ranong Mangrove Ecosystem, Thailand[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2002, 55(3):331~345
- [25] Ellison A M, Farnsworth E J, Merkt R E. Origins of mangrove ecosystems and the mangrove biodiversity anomaly[J]. Global Ecology & Biogeography,1999, 8(2):95~115
- [26] Ashton E C, Macintosh D J. Preliminary assessment of the plant diversity and community ecology of the Sematan mangrove forest, Sarawak, Malaysia[J]. Forest Ecology and Management, 2002, 166(1):111~129
- [27] 张宏达,陈桂珠,刘治平,等. 深圳福田红树林湿地生态系统研究[M]. 广州:广东科技出版社,1998. 1~14
- [28] 王伯荪,廖宝文,王勇军,等. 深圳湾红树林生态系统及其持续发展[M]. 北京:科学出版社,2002
- [29] 陈玉军,郑德璋,廖宝文,等. 台风对红树林损害及预防的研究[J]. 林业科学研究,2000,13(5):524~529
- [30] 林鹏. 红树林研究论文集(2000—2001)[C]. 厦门:厦门大学出版社,2002
- [31] 林鹏,傅勤. 中国红树林环境生态及经济利用[M]. 北京:高等教育出版社,1995
- [32] 广东省统计局. 广东省市地县概况[M]. 广州:广东省地图出版社,1985. 39~40

## Adaptability of Several Mangrove Species and *Taxodium distichum* on Deep-water Mudflat

ZHENG Songfa<sup>1</sup>, CHEN Yirjun<sup>1</sup>, CHEN Werppei<sup>2</sup>, LIAO Baowen<sup>1</sup>, SONG Xiangyu<sup>1</sup>, LI Mei<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou 510520, Guangdong, China;

2. Panyu Forestry Bureau, Panyu 511400, Guangdong, China)

**Abstract:** Research on the adaptabilities of several mangrove species and *Taxodium distichum* on deep-water mudflat showed that (1) the growing speed and survival rate of mangrove species *Sonneratia apetala* were close to that of *Taxodium distichum*, greatly higher than that of *Aegiceras corniculatum*, *Kandelia candel* and *Bruguiera gymnorrhiza*, proving that *Sonneratia apetala* and *Taxodium distichum* had a strong growth adaptability on deep-water mudflat and fast-growing characteristics; (2) with the decrease of the mudflat height, the survival rate and growing speed of mangrove species and *Taxodium distichum* decreased accordingly. *Taxodium distichum* grew poorly and few survived under mudflat height of -0.9 m, and all the mangrove species could not even survive. The ability of *Taxodium distichum* to endure sea water inundation was the greatest, next was *Sonneratia apetala*, *Aegiceras corniculatum* was poor, and *Kandelia candel* and *Bruguiera gymnorrhiza* were the poorest; (3) there existed certain correlations between growth indexes of mangrove species and *Taxodium distichum* at the same place. The correlations between *Sonneratia apetala* and *Taxodium distichum* were most remarkable, almost every growth index of *Sonneratia apetala* had especially notable correlation with that of *Taxodium distichum*. *Aegiceras corniculatum*, *Kandelia candel* and *Bruguiera gymnorrhiza* had relatively poor growth correlations with *Taxodium distichum*.

**Key words:** deep-water mudflat; mangrove species; *Taxodium distichum*; adaptability