

# 秋茄种源引种深圳湾后幼苗生理生态研究

咎启杰<sup>1,3</sup>, 王勇军<sup>1</sup>, 廖宝文<sup>2</sup>, 黄立南<sup>3</sup>, 张炜银<sup>3</sup>

(1. 广东内伶仃福田国家级自然保护区管理处, 深圳 518040; 2. 中国林业科学院热带林业研究所, 广州 510520; 3. 中山大学生命科学院, 广州 510275)

**摘要:**将海南琼山、廉江高桥、福建龙海及深圳福田本地的秋茄胚轴, 培育在深圳福田相同生境中, 一年以后, 幼苗的形态生长呈现极显著差异性, 琼山和福田本地秋茄种源生长最好, 龙海种源生长最差。生理生态指标值如含水量、叶绿素总量、过氧化氢酶活性、游离脯氨酸含量、电导率等, 以本地种源最高; 而植株分枝数、叶片数量及光合速率、蒸腾速率、气孔导度等指标值, 以琼山种源最高, 龙海和高桥种源的较低。应用坐标综合评定法, 初步认为福田本地秋茄是最优种源。

**关键词:**秋茄; 秋源; 幼苗; 生理生态; 深圳

## The physiological-ecology of *Kandelia candel* seedlings introduced to Shenzhen Bay

ZAN Qi-Jie<sup>1,2</sup>, WANG Yong-Jun<sup>1</sup>, LIAO Bao-Wen<sup>2</sup>, HUANG Li-Nan<sup>3</sup>, ZHANG Wei-Yin<sup>3</sup>

(1. Guangdong Neilingding Futian National Nature Reserve, Shenzhen 518040, China; 2. The Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou 510520, China; 3. School of Life Sciences of Zhongshan University, Guangzhou 510275, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(10): 1662~1669.

**Abstract:** *Kandelia candel* (D.) is a woody mangrove species growing in intertidal of tropical and subtropical region. It naturally distributed in 5 southeastern provinces (Hainan, Guangdong, Guangxi, Taiwan and Fujian) of China. The distribution, however, has been shrinking due to over exploitation of its habitat. Rehabilitating mangrove vegetation underwent in Shenzhen Bay, a place neighboring Hong Kong in Guangdong Province.

*K. candel* propagated through hypocotyls. Replanting efforts demanded proper provenance. Based upon our experiences, one year old seedlings of *K. candel* was the best to use. Therefore, to evaluate the performance of various provenance, we conducted a series of experiment in Futian Nature Reserve, Shenzhen Bay, Guangdong Province.

Mature hypocotyls of *K. candel* were randomly collected from 4 sites, Qiongsan (Hainan Province) Longhai (Fujian Province), Gaoqiao and Futian (Guangdong Province), respectively, in 1997. For uniformity, only intact hypocotyls of similar length and diameter were selected for further experiments. 180 hypocotyls from each site were used, totaling 720 hypocotyls. Each hypocotyls was then planted in nutrient bags of 8 cm diameter and 12 cm high. Each bag was filled with soils dug from intertidal of Futian. By randomized blocks design method, these bags were place on triplicate nursery beds at Futian's intertidal zone. Each bed contained 4×60 hypocotyls from each collection site, totaling 240 bags on each bed.

In 1998, a series of measurements and analyses were made on the one year old seedlings. The survivorship rate was: Qiongsan > Futian > Gaoqiao > Longhai. The number of leaves was Qiongsan >

基金项目: 国家“九五”科技攻关专题(96-007-03-04)和深圳市科技局(99-1-33)资助项目

收稿日期: 1999-10-06; 修订日期: 2000-01-28

作者简介: 咎启杰(1968—)男, 湖北房县人, 博士。主要从事红树林湿地生态系统保护研究和森林群落研究

Futian>Gaoqiao>Longhai. Leaf area was calculated based upon the length and width of 50 randomly selected mature leaves from each provenance. The leaf area was: Futian>Qiongsan>Longhai>Gaoqiao. The results of height and basal diameter measurement showed that the seedlings from Qiongsan had the highest growth rate and followed by those from Futian. The chlorophyll a, b and total chlorophyll content was measured using Spectrophotometric method. Variance analysis of the data indicated that there was significant different of chlorophyll b content but no significant different among chlorophyll a content. The photosynthesis rate, transpiration rate and stomata conductance were measured using Licor-6200 portable photosynthesis device. The photosynthesis rate within the same time frame was Qiongsan>Futian>Gaoqiao and Longhai while the transpiration rate and stomata conductivity of Qiongsan was the highest among the 4 provenance. The total water content of leaves was measure by weighing; the bound water was measured using Abbe refractometer; the free water content was obtained by subtracting the bound water content from the total water content. The ratio of bound water/free water content was Longhai>Futian>Qiongsan and Gaoqiao. This indicated that although Qiongsan provenance had the fast growing rate, it had lower resistant ability of high salt concentration. On the other hand, Longhai provenance grew slower, but it had higher resistant ability. The catalase activity was measured using Potassium permanganate titration method. The results showed Futian>Gaoqiao>Longshan>Qiongsan. Indicating Futian provenance had the best detoxification ability. It was probably because Futian provenance had long grew in and adapted to a highly polluted environment. The free proline contents was measured using Acidic ninhydrin method. The results showed that the free proline content was Longhai>Futian>Qiaonsan>Gaoqiao. Free proline generally accumulated in larger quantity inside plants growing in severe environment condition and reflected the adaptive ability of the plant. Therefore, the results indicated that Gaoqiao provenance, which was from high salt content area, needed only slight accumulation of free proline to grow normally in Futian which had lower salt concentration. On the other hand, those from low salt concentration area of Longhai needed accumulate higher concentration of free proline to grow normally in Futian. The relative electrical conductivity of leaf tissue was Longhai>Gaoqiao>Futian>Qiongsan. The conductivity is an indicator of resistance to environment stress. The results indicated Longhai and Gaoqiao provenance had a better resistance to environment stress.

In order to assess overall performance of the 4 provenance in Futian, we used a coordinate-synthetic-evaluation method to analyze 9 factors (survival rate, height, basal diameter, chlorophyll content, catalase activity, free proline content, boundwater/free-water ratio, relative electrical conductivity and photosynthesis rate). The result showed that the provenance of Futian had the best value.

Based on the results we argued that, for the purpose of rehabilitating mangrove vegetation in Shenzhen Bay, Futian provenance was the best for cultivation, and therefore disprove the effort of massive introduction of *K. candel* from other areas to Shenzhen Bay.

**Key words:** *Kandelia candel*; provenance; seedling; physiological-ecology; Shenzhen Bay

文章编号: 1000-0933(2001)10-1662-08 中图分类号: Q948.11, S661 文献标识码: A

红树植物秋茄(*Kandelia candel* Druce)是热带亚热带海岸潮间带的木本植物,它以独特的“胎生”胚轴方式进行繁殖,在我国海南、广东、广西、台湾、福建 5 省沿海滩涂有自然分布<sup>[1,2]</sup>。由于近年来沿海滩涂的过度开发利用,红树植物资源日渐枯竭,我国红树林面积已从 20 世纪 50 年代的 4 万多公顷减到目前 2 万多公顷,占世界红树林面积的千分之一<sup>[3]</sup>,亟待进行人工栽培红树林。红树林的人工栽培,其种源选择是极其重要的环节。国家“九五”科技攻关专题拟对红树林的种源进行研究。本文将海南琼山、廉江高桥、福建龙海的秋茄胚轴引种到深圳福田,并与深圳当地秋茄胚轴比较,对一龄幼苗形态和生理生态指标

进行研究,以探究不同种源的秋茄在深圳培育后幼苗的差异性和对生境的适应性,为筛选比较适合深圳湾种植的秋茄种源提供理论依据,以便在深圳湾及周边海岸较大面积种植秋茄林,促进海岸红树林的恢复和发展。

1 试验地及种源地概况

在深圳湾东北岸的广东内伶仃福田国家级自然保护区红树林区域西侧海滩上,选择秋茄+桐花树人工林的林窗作为海滩苗床。苗床土壤基质为花岗岩及砂页岩,地带性土壤为赤红壤,红树林发展土壤大多淤泥深厚,育苗土壤为酸性硫酸土<sup>[4]</sup>,有效 N、P、K 分别为 42.1、40.7、838.1mg/kg<sup>[5]</sup>。

秋茄种源分别采自福建龙海、廉江高桥、海南琼山及深圳福田本地,试验地及各种源地自然条件见表 1。

表 1 种源地自然概况<sup>[5,6]</sup>  
Table 1 Generally natural situation of sites from where *K. candel* are

位置 Site	纬度 N Latitude	经度 E Attitude	年均气温 1 月平均气温		年日照时数 YDLH(h)	年降雨量 AP(mm)	年均土壤		pH
			Yearly mean	Mean temp. on Jan. (C)			盐度(‰) Mean	潮汐类型 Tide type	
福田 Futian	22°32′	114°03′	22.0	14.1	2209	1927	<15.0	ST *	7.1
琼山 Qiongsan	19°56′	110°34′	23.8	17.2	2240	1685	21.9	ST *	7.2
高桥 Gaoqiao	21°30′	109°41′	22.8	15.2	1844	1757	25.5	AT *	7.3
龙海 Longhai	24°54′	117°23′	21.0	12.2	2115	1365	16.2	ST *	7.1

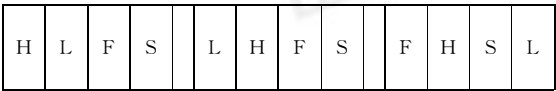
\* ST 半日潮 Semi-day tide, AT 全日潮 All-day tide, \* 不规则潮汐 Irregular tide, YDLH Yearly day-light hours, AP Annual precipitation

2 材料与方法

2.1 材料与培育方法

1997 年 3 月下旬和 4 月上旬,从海南琼山、廉江高桥、福建龙海和深圳福田本地的天然秋茄林中,随机摘取青褐色成熟秋茄胚轴,随即去掉萼管,挑选完好无损、长短粗细一致的胚轴作试验材料。

用直径 8cm、深 12cm 的育苗袋装满海泥,且保证各种源育苗袋内海泥基质相同,把 4 种不同来源的秋茄胚轴插植在育苗袋中(深度约为胚轴长度的 2/3),放在海滩苗床上培育,随机区组排列,每组 2 行,每行 30 个育苗袋,3 次重复(如图 1)。



H 海南琼山的种源 Provenance from Qiongsan, Hainan; L 廉江高桥的种源 Provenance from Gaoqiao, Lianjiang; S 深圳福田的种源 Provenance from Futian, Shenzhen; F 福建龙海的种源 Provenance from Longhai, Fujian

图 1 秋茄种源培育设计图  
Fig. 1 Planting pattern of Mangrove *K. candel* hypocotyl

2.2 幼苗高度、基径及叶片大小测量

幼苗满 1 龄时,测定每一植株高度(胚轴高度除外)和基部直径(测胚轴上部近地面茎径),统计出幼苗平均株高和基径及每个植株叶片总数量(不计子叶),并随机测量 50 片成熟叶片的长度和宽度,再用计算纸法<sup>[7]</sup>测定叶面积。

2.3 生理指标检测

叶片含水量及自由水含量的测定用称重法<sup>[8]</sup>,自由水含量用阿贝氏折射仪法<sup>[9]</sup>;将含水量减水自由水而求得束缚水数据

叶绿素 a、b 及总量的测定,取各秋茄种源发育成的 1 龄幼苗成熟叶片(下同),用分光光度计法<sup>[8]</sup>,据

Lambert-Beer 定律计算。

用酸性茚三酮法<sup>[10]</sup>测定成熟叶片游离脯氨酸的含量。

用高锰酸钾滴定法<sup>[11]</sup>测定过氧化氢酶活性。

用电导仪法<sup>[8]</sup>测定叶片相对电导率。

叶片光合作用、蒸腾作用及气孔导度的测定,用 2 台美制 L1-6200 便携式光合作用测定仪,在 9:00、12:00、16:00 时测定秋茄不离体叶片的净光合速率、蒸腾速率及气孔导度(同一时刻,福田、琼山种源和高桥、龙海种源的测定时差为小于 2min)。

2.4 数据分析与综合评价

将各种源引种到深圳湾后的一周年龄幼苗的生长及生理生态指标观测数据,用 STATGRAPHICS STATISTICAL GRAPHICS SYSTEM 软件进行方差分析和多重比较分析。应用综合评定方法<sup>[12]</sup>,将幼苗生长及生理生态观测指标综合起来,评定引种到深圳的秋茄种源品质的优劣。

3 结果与分析

3.1 幼苗高度和基径

4 个种源的秋茄胚轴在深圳福田培育后,一龄幼苗平均高度和基径见表 2,不同种源的幼苗高度和基径生长有极显著差异。从基径和高度上分析,琼山种源的秋茄幼苗长势明显好于深圳福田本地种源,而高桥和龙海种源明显劣于深圳本地种源。各种源幼苗存活率存在很大不同,是因为各秋茄种源培育了 3 个月时,深圳湾海面遭到严重的油污染,海水表面覆盖了一层工业石油,涨潮时带至苗床,落潮时海水表面油层缓缓落在秋茄幼苗叶片上,覆盖了幼苗叶片表面,影响了幼苗的呼吸而死亡,表 2 所示的存活率基本上是油污染后的幼苗存活率,这虽然没能反映出种源之间幼苗存活率的差异性,但反映出了不同种源幼苗对油污染的抗性差异,这对深圳湾严重油污染的生境中引种秋茄是非常重要的。

表 2 1 龄幼苗的高度和地径  
Table 2 Height and basal diameter of one year old *K. condal* seedlings

种源	存活率(%)	高度(cm)		地径(cm)	
Provenance	Survival rate	Height	(%)	Basal diameter	(%)
龙海 F	10.83a±2.83	54.56a±2.53	98.8	0.82a±0.12	83.7
高桥 L	21.11a±4.57	56.95ab±3.25	103.2	0.87ab±0.14	88.8
福田 S	44.56b±3.25	55.21a±1.25	100	0.98ab±0.09	100
琼山 H	73.33c±0.00	65.40b±2.94	118.5	1.04b±0.11	106.1
F 值 F-value	66.449**	5.298**		5.922**	

\* \* 表示差异极显著, $\alpha<0.01$  significant difference at 0.01 probability level;同列数字后面英文字母相同者,表示多重检验结果差异不显著, $\alpha<0.05$  same scripts within columns indicate which means were no significant difference at a probability level of 0.05;(%)表示各种源与福田本地种源作比较的相对值,(%) value being compared with the provenance from Futan;下同 similarly hereinafter

3.2 叶片大小和叶面积

不同秋茄种源胚轴在深圳湾培育后,平均每个植株叶片数量由多到少为:琼山>福田>高桥>龙海;叶面积大小为:福田>琼山>龙海>高桥。方差分析和多重比较表明,各种源间的每株平均叶片数、叶面积存在极显著差异(见表 3)。这可能与种源的遗传特性及生态适应性有关。

3.3 叶绿素含量

叶绿素 a、b 分别是高等植物光合作用的主要色素和辅助色素,其含量在一定程度上体现了光合作用能力大小<sup>[13]</sup>。4 个种源的秋茄胚轴在深圳福田培育后的一龄幼苗叶片叶绿素 a、b 及总量含量,以福田本地种源最高,琼山、高桥和龙海种源均比福田本地种源的低;方差分析和多重比较分析表明,各种源间叶绿素 a 及叶绿素 b 的含量差异显著,叶绿素 b 的含量差异显著(表 4)。

林鹏等人对秋茄和桐花树的叶绿素含量与土壤盐度关系的研究后,认为秋茄在盐度 9.2‰时,叶片叶

绿素含量最高,当盐度大于 10‰时,秋茄的叶绿素合成和累积受到抑制<sup>[14]</sup>,污水浓度也对秋茄幼苗生长和生理指标有明显影响<sup>[15]</sup>。因此,表 4 数据反映了各种源在深圳湾的特定盐度及水质污染的生境中合成和累积叶绿素量的差异,以及对深圳湾生境的适应性之不同。

表 3 植株叶片数量和大小

Table 3 Leaf number and leaf size of one year old <i>K. condel</i> seedlings								
种源 Provenance	平均每株 分枝数	平均每株 叶片数	(%)	叶片大小 Leaf size( $\bar{X}\pm SD$ )				
	Branch No.	Leaf No.		长度	宽度	长/宽	叶面积	(%)
				Length(cm)	Width(cm)	Length/width	Area(cm <sup>2</sup> )	
龙海 F	0~1a	9.0a±0.9	64.3	10.0±0.8	4.8±0.6	2.1±0.2	33.2ab±8.4	73.6
福田 S	1~2a	14.0a±6.2	100	11.2±0.5	5.4±0.5	2.1±0.3	45.2c±5.8	100
琼山 H	6~7b	42.0b±7.2	300	10.0±0.5	5.3±0.4	1.9±0.2	38.4b±3.1	85.1
高桥 L	1~2a	11.6a±6.8	83.1	10.0±0.6	4.7±0.6	2.1±0.3	30.2a±2.7	66.8
F 值	45.089**	35.709**					17.779**	
F-value								

表 4 叶绿素含量

Table 4 Contents of chlorophylls								
种源 Provenance	叶绿素总量		叶绿素 a		叶绿素 b		a/b	
	Total chl.	(%)	Chl. a	(%)	Chl. b	(%)	a/b	(%)
	(mg/g FW)							
福田 S	0.759a±0.015	100	0.520a±0.112	100	0.240b±0.002	100	2.167±0.53	100
琼山 H	0.615a±0.021	81.0	0.437a±0.014	84.0	0.178a±0.007	74.2	2.455±0.53	113.3
高桥 L	0.748a±0.020	98.6	0.509a±0.017	97.9	0.239b±0.013	99.6	2.130±0.42	98.3
龙海 F	0.639a±0.028	84.2	0.438a±0.019	84.2	0.201ab±0.05	83.8	2.179±0.18	100.6
F 值 F-value	2.522 <sup>NS</sup>		2.178 <sup>NS</sup>		3.418*			

NS 表示差异不显著 no significant difference at 0.05 probability level; \* 表示差异显著,  $a<0.05$  least significant difference at 0.05 probability level; 下同 similar hereinafter

3.4 叶片光合作用、蒸腾作用和气孔导度

不同种源秋茄胚轴在深圳福田培育后的 1 龄幼苗,在同一时刻的光合速率、蒸腾作用及气孔导度存在显著差异(表 5)。同一时刻光合速率大小为:琼山>福田>高桥、龙海;同一时刻蒸腾速度以琼山最大,上午 9:00 和 16:00 以龙海种源的最小,12:00 以福田种源的最小。同一时刻的气孔导度为琼山种源最大,龙海或福田最小。

与其他陆生植物相比,红树植物光合作用和蒸腾作用与土壤盐渍条件、pH 值、水分条件、小气候等紧密联系<sup>[16~18]</sup>。不同秋茄种源长期适应各自生境,引种到新的生境后,其光合作用和蒸腾作用产生了一定的差异性,这反映了各种茄种源对深圳湾生境的适应性之不同。

3.5 叶片含水量及自由水、束缚水含量

植物体内的水,据与原生质的结合状况不同而分为自由水和束缚水。自由水含量与植物的生理活性强度有关,它制约着植物的光合速率、呼吸速率和生长速率;束缚水不参与植物的代谢作用,但与植物对不良环境的抗生有关,当植物遇到干旱或浓度盐水时,植物体内含水量减少时,束缚水多,则植物保水力较强。在某种程度上,体内自由水和束缚水含量及其比值与植物生长和抗性密切相关。因此,自由水和束缚水含量是植物抗性生理的一个重要指标<sup>[9]</sup>。

表 6 显示各种源秋茄胚轴在深圳福田培育后,幼苗的含水量存在极显著差异,琼山、高桥种源的秋茄幼苗的束缚水/总水量比值较深圳本地种源低,而龙海种源则较高。这说明琼山、高桥种源在污染较严重的深圳湾生长,其幼苗保水力较弱,抗性较差,但其生理活性强,生长快;而龙海种源幼苗保水力较强,抗性

好,但生理活性较弱,生长较慢。

表 5 叶片光合作用、蒸腾作用和气孔导度  
Table 5 Photosynthesis,transpiration and stomatla conductance

种源 Provenance	时间 Time	光强度 Light intensity ( $\mu\text{mo}/\text{m}^2\text{s}$ )	光合作用 Photosynthesis ( $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2\text{s}$ )	蒸腾作用 Transpiration ( $\text{MmolH}_2\text{O}/\text{m}^2\text{s}$ )	气孔导度 Stomatla conductance ( $\text{cm}/\text{s}$ )
福田 S	1998-08-13 16:00	1455	13.12	8.871	0.820
	1998-08-14 9:00	1296	13.54	7.431	0.827
	1998-08-14 12:00	1707	10.69	7.255	0.504
琼山 H	1998-08-13 16:00	1603	18.97	11.877	1.168
	1998-08-14 9:00	1274	18.93	10.432	1.386
	1998-08-14 12:00	1749	16.59	13.481	1.297
高桥 L	1998-08-13 16:00	1313	8.97	7.460	0.943
	1998-08-14 9:00	1043	11.07	7.561	1.160
	1998-08-14 12:00	1772	8.87	7.764	0.572
龙海 F	1998-08-13 16.00	1409	6.72	5.782	0.495
	1998-08-14 9:00	1226	9.50	5.599	0.501
	1998-08-14 12:00	1843	9.68	8.352	0.652

表 6 叶片含水量、自由水和束缚水百分含量  
Table 6 Percentages of water content,free-water and bound-water content in leaves

种源	总量		自由水		束缚水		束缚水/自由水	
Provenance	Total	(%)	Free-water	(%)	Bound-water	(%)	Bound/Free	(%)
	(%)		(%)		(%)			
高桥 L	71.57a±0.28	94.4	42.58b±0.08	100.6	28.99a±0.19	86.6	0.681a±0.13	86.0
琼山 H	75.40ab±1.17	99.5	46.09b±0.61	108.9	29.31a±0.07	87.6	0.636a±0.01	80.3
福田 S	75.80ab±2.02	100	33.49a±0.34	100	42.31c±1.68	100	0.792ab±0.14	100
龙海 F	79.42b±2.65	104.8	42.96b±2.68	101.5	36.46b±0.13	108.9	0.852b±0.05	107.6
F 值 F-value	5.655**		32.155**		149.237**		117.346**	

3.6 叶片过氧化氢酶活性

过氧化氢酶普遍存在植物组织中,它能催化对植物体有毒害作用的过氧化氢的分解,它的高低在某种程度上反映了植物的抗性<sup>[19]</sup>。方差分析及多重比较分析表明,各种源间过氧化氢酶活性存在极显著差异,琼山、高桥和龙海 3 个外地种源的秋茄幼苗酶活性均低于深圳福田本地种源(表 7)。这说明幼苗对体内过

表 7 叶片过氧化氢酶活性

种源 Provenance	活性 Activity ( $\text{mg}/\text{gFW} \cdot \text{min}$ )	(%)
琼山 H	5.206a±0.490	21.7
龙海 F	15.513b±0.493	64.6
高桥 L	20.188c±1.860	84.1
福田 S	24.013d±2.971	100
F 值 F-value	509.439**	

氧化氢的解毒能力以福田种源最高,高桥种源次之,琼山种源最低;这可能与福田种源长期生活在污染较严重的深圳湾而适应了当地生境有关。

3.7 叶片游离脯氨酸含量

生活在干旱、盐碱环境中的植物,体内常积累游离脯氨酸,其累积量与环境干旱程度、盐度和植物对干旱等的抗性相关<sup>[15]</sup>。表 8 反映了不同秋茄种源胚轴在福田海滩上同样生境中生长,其体内游离脯氨酸积累量存在极显著差异,其中高桥种源积累的游离脯氨酸最少,而龙海种源最多。这反映了各种源对生境盐度的适应能力,高桥种源长期生活在较高盐度的生境中(表 1),对高盐土壤的适应性强,引种

到深圳较低盐度的土壤生境后,累积少量的游离脯氨酸即能良好生长,而龙海种源长期生长在较低盐度的生境(表 1),引种到更低盐度的生境后,积累较多的游离脯氨酸才能适应生境,说明其抗盐性较弱。

3.8 叶片组织相对电导率

叶片组织相对电导率是植物环境胁迫抗性指标之一<sup>[20]</sup>。4 个秋茄种源在深圳福田培育 1a,其幼苗叶片组织相对电导率差异极显著,相对电导率大小为:龙海>高桥>福田>琼山(表 9),这说明龙海、高桥种源的幼苗对环境胁迫的抗性较强、琼山的较弱。

表 8 叶片游离脯氨酸含量

表 9 叶片组织相对电导率

Table 8 Contents of free proline of leaves

Table 9 Relative electrical conductivity of leaves

种源 Provenance	含量 Content (ug/g FW)	(%)
高桥 L	69.94a±4.23	76.3
琼山 H	83.93b±3.12	91.6
福田 S	91.64c±5.42	100
龙海 F	171.93d±17.50	187.6
F 值 F-value	100.000 **	

种源 Provenance	相对电导率 Relative elec. cond.	(%)
琼山 H	3.83a±0.59	79.3
福田 S	4.83ab±0.00	100
高桥 G	5.27b±0.05	109.1
龙海 L	5.67b±0.34	117.4
F 值 F-value	9.467 **	

4 综合评定与建议

综合评定是应用多维空间(欧几米德) $E^n$  多向量的理论综合评定的数学模型<sup>[12]</sup>。前苏联学者维列辛做欧洲赤松生态型地理造林时,为选择优良品质的种子,将 15 个生态型种子,从 6 个性状方面进行综合评定,最后确定了 3 个最好的种子,该方法在前苏联应用较多<sup>[21]</sup>。

秋茄种源引种深圳福田相同生境中生长一年的幼苗,其幼苗形态、生长和生理生态指标存在不同程度的差异性,将主要指标进行坐标综合评定,以判别各种源品质的优劣。具体做法为:

将观测值列成原始数据表,以  $a_{ij}$  表示( $i$  为 1、2、3、4 即代表 4 个种源; $j$  为 1、2、3、...、9,即代表存活率、高度、地径、叶绿素含量等 9 个指标),以每列中数值最大者作比较,得到相应位置上的相对值,结果成为  $a_{ij}$  矩阵坐标,用公式  $P_i^2 = \sum K_{ij}(1-a_{ij})^2$  计算综合值  $P_i$  大小,值小者为优,式中  $K_{ij}$  为加权系数,考虑到各种源秋茄引种到深圳福田后,幼苗形态、生理、生态指标对其生长都比较重要,因此,9 个指标的权重系数都定为 1,计算结果见表 10。

表 10 种源综合评定表

Table 10 Synthetic evaluation of plants from different provenance

种源( <i>i</i> )		各指标( <i>j</i> )的 $K_{ij}(1-a_{ij})^2$ 值									
Provenance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$P_i$	评定 序号  SN
	存活率	高度	地径	叶绿素	过氧化	脯氨酸	束缚水/	相对电	光合		
				含量	氢活性	含量	自由水	导率	速率		
	SR	Height	BD	CC	CA	PC	BW/FW	REC	PHO		
福田	0.165	0.024	0.003	0.000	0.000	0.218	0.005	0.022	0.000	0.661	1
琼山	0.000	0.000	0.000	0.036	0.613	0.262	0.064	0.105	0.000	0.040	2
高桥	0.516	0.017	0.027	0.000	0.025	0.352	0.040	0.005	0.220	1.097	3
龙海	0.732	0.028	0.045	0.025	0.125	0.000	0.000	0.000	0.275	1.109	4

SR Survival rate,BD Basal diameter,CC Contents of chlorophyll,CA Catalase activity,PC Proline contents, BW/FW Bound water/free-water,REC Relative electrical conductivity,PHO Photosynthesis,SN Evaluated serial number



表 10 中评定序号显示,各种源综合值由低至高为:福田>琼山>高桥>龙海。据此可以确定,福田本地秋茄可能是深圳福田种植的优良种源,琼山、高桥和龙海的秋茄种源较差,不宜引种到深圳湾。

不过,本研究仅仅根据种源幼苗的生长、生理生态方面的实验得出的初步结论,建议继续作栽培实验和专门的种源抗性实验,以更准确地判断种源的优劣。

根据十几年的红树林造林工作情况,一龄幼苗是人工种植的最佳苗木,因此,对 1 龄幼苗种源的综合评定对人工造林时种源的选择有十分重要的意义,本文的研究结果对深圳湾种植秋茄时,盲目引用外地种源是个有力的否定。因此,建议深圳湾及周边地区种植秋茄人工林时,多采用深圳本地种源,这样既促进了红树林的自然恢复,又保护了本地物种的遗传多样性。

参考文献

[ 1 ] 林 鹏. 中国东南部沿海红树林的类群及其分布. 生态学报, 1981, **1**(3): 283~290.

[ 2 ] 林光辉, 林 鹏. 红树林秋茄热值及其变化的研究. 生态学报, 1991, **11**(3): 44~48.

[ 3 ] 郑德璋, 郑松发, 廖宝文. 红树林湿地的利用及其保护与造林. 林业科学研究, 1995, **8**(3): 322~328.

[ 4 ] 龚子同, 张效林. 中国红树林与酸性硫酸土. 土壤学报, 1994, **31**(1): 86~94.

[ 5 ] 廖宝文, 郑德璋, 郑松发, 等. 红树植物秋茄造林技术的研究. 林业科学研究, 1996, **29**(5): 575~579.

[ 6 ] 林 鹏, 苏 麟, 林庆扬. 九龙江口红树林研究 II 秋茄群落的钾、钠积累和循环. 生态学报, 1987, **7**(2): 102~110.

[ 7 ] 王伯荪, 余世孝, 李鸣光, 等. 植物群落学实验手册. 广州: 广东高等教育出版社, 1996. 38~39.

[ 8 ] 朱广廉, 钟海文, 张爱琴, 等. 植物生理学实验. 北京: 北京大学出版社, 1990. 51~254.

[ 9 ] 华东师范大学生物系. 植物生理学实验指导. 北京: 人民教育出版社, 1980. 5~8.

[ 10 ] 朱广廉, 邓兴旺, 左卫能, 等. 植物体内游离脯氨酸的测定. 植物生理学通讯, 1983, **1**(1): 35~37.

[ 11 ] 黄学林, 陈润政. 种子生理实验手册. 北京: 农业出版社, 1990. 122~124.

[ 12 ] 顾万春. 林业试验统计. 杭州: 浙江省林业出版社, 1986. 349~353.

[ 13 ] 郑文教, 林 鹏. 盐度对红树植物海莲幼苗的生长和某些生理生态特性的影响. 应用生态学报, 1992, **3**(1): 9~14

[ 14 ] 林 鹏, 陈德海, 李钨金. 两种红树叶的几种酶的生理特性和海滩盐度的相关性初探. 植物生态学报与地植物学丛刊, 1984, **8**(3): 222~227.

[ 15 ] 陈桂珠, 缪绅裕, 谭凤仪, 等. 人工合成污水对秋茄幼苗几个生态生理学指标影响初报. 应用生态学报, 1994, **5**(2): 221~224.

[ 16 ] Scholander P F, Hammel H T, Hemmingsen E A, *et al.* Salt balance in mangroves, *Plant Physiol.*, 1962, **37**: 722~9.

[ 17 ] Scholander P F, Hanmmel H T, Bradstreet E D, *et al.* Sap pressure in vascular Plant, *Science*, 1965, **148**: 339~46.

[ 18 ] Clough B F. Coastal and Esturine studies. In: Robertson A L and Alongi K M. ed. *Tropical Mangrove Ecosystems*. Washington. American Geophysical Union. DC., 1992. 225~250.

[ 19 ] 庞士铨. 植物逆境生理学基础. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1990. 106.

[ 20 ] 王焕校. 污染生态学基础. 昆明: 云南大学出版社, 1990. 91~94.

[ 21 ] 维列辛(前苏联). 欧洲赤松种子评价. 森林业(前苏联), 1978, **12**(1): 30~32.