

台南市安平港復育五梨跤稚樹在不同光環境下之形質生長研究

**Morphological growth of rehabilitated *Rhizophora stylosa*
saplings under different light environment in Anping
Harbour, Tainan City, Taiwan**

范貴珠¹

Kuei – Chu Fan¹

¹ 國立屏東科技大學森林系副教授，通訊作者。屏東縣內埔鄉學府路 1 號森林系。

【摘要】安平港紅樹林復育計畫在 1996 及 1998 年兩次直插五梨跤(*Rhizophora stylosa*)胎生苗，本研究繼續於 2005 年 7 月調查分析 9 年及 7 年生稚樹在不同光環境下，樹高、地際直徑、枝下高、樹冠幅、各部位乾重、總乾重、生物量分配、枝條及地上部支持根形態之差異。結果顯示：生長在全光(相對光度 100%)及半遮蔭環境(相對光度約 67%)之 9 年生稚樹，無論樹高、枝下高、樹冠幅及各部位乾重等，均較生長在遮蔭處(相對光度約 11%)者高；其中全株總乾重分別為 5941.3 及 5191.6 g，較遮蔭處者高約 7-8 倍。7 年生之稚樹亦有相似結果，全光及半遮蔭環境生長之樹高分別達 326.7 及 260.0 cm，2 者之生物量較遮蔭處者大約 12 倍。在不同光環境下生長之 9 及 7 年生稚樹葉重率(LWR)並無明顯差異，但生長於全光及半遮蔭環境之稚樹莖重率(SWR)明顯較低，而支持根重率(RWR)則較高。在全光及半遮蔭環境之 2 種年齡稚樹，枝條數、地上部支持根數及支持根角度均較高，而在不同光環境下之枝條平均角度則無顯著差異。以上這些特性顯示五梨跤稚樹在高光環境下會有較佳生長。

【關鍵詞】復育、五梨跤、光環境、形質生長。

¹ 國立屏東科技大學森林系副教授，通訊作者。

【Abstract】 Anping harbour mangrove rehabilitative project involved the direct sowing of *Rhizophora stylosa* viviparous seedlings in 1996 and 1998. We surveyed and analyzed such items of sapling on tree height, root collar diameter, clear length, crown diameter, dry weight of each components, biomass allocation, branch and above-ground prop root characters of rehabilitated 9-year-old and 7-year-old *R. stylosa* saplings under different light environments in July 2005. The results indicated that the mean height, clear length, crown diameter, dry weights of each components of 9-year-old sapling which grown in full light (relative light intensity was 100%) and semi-shade (relative light intensity approximately 67%) environment were significantly higher than those grown under shade environment (relative light intensity approximately 11%). The total dry weight reached 5941.3 and 5191.6 g, respectively, a rate of growth nearly 7-8 times as fast as saplings growing under shade environment. The 7-year-old saplings had similar results, the biomass of saplings grown in full light and semi-shade environment nearly 12 times as much as saplings grown under shade environment. The leaf weight ratio (LWR) of saplings showed no significant difference between 3 light regimes, however stem weight ratio (SWR) of saplings were significantly lower than saplings grown under shade environment, but the prop root weight ratio (RWR) was increased. The branching number, prop root number and angles of saplings were significantly

higher when grown in a fully light and semi-shade environment. However, the branching angles of saplings showed no significant difference between saplings grown in different light environment. These characters indicated that *R. stylosa* saplings have better growth performance when grown in higher light environment.

【Key words】 rehabilitation, *Rhizophora stylosa*, light environment, morphological growth.

1 Associate Professor, Department of Forestry, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan. Corresponding author

一、前言

紅樹林(mangrove)為熱帶至亞熱帶海岸最特殊之濕地生態系，近年來已成為海岸地區氣候變遷影響之重要指標(Blasco *et al.*, 1996; Linton and Warner, 2003)，在熱帶地區之碳素固定(carbon fixation)及碳素吸存(carbon sequestration)方面扮演重要角色(Bouillon *et al.*, 2003; Chmura *et al.*, 2003)，尤其在南亞海嘯造成三十幾萬人死傷後，紅樹林保護海岸環境的功能更為世人所重視(Badola and Hussain, 2005; Kathiresan and Rajendran 2005)。近年來世界各國紅樹林面積因人類活動而迅速減少，全世界紅樹林總面積為 181,000 km² 左右(Farnsworth and Ellison, 1997; Ellison, 2000)。台灣亦因海港擴建、海埔新生地開發、工業區設立及環境污染等問題，使大部份紅樹林生育地遭受破壞；台灣紅樹林總面積約 320 ha (詹煥榮，2003)，僅有水筆仔(*Kandelia obovata*)(Sheue *et al.*, 2003)、海茄苳(*Avicennia marina*)、五梨跤(*Rhizophora stylosa*)及欖李(*Lumnitzera racemosa*)等 4 種紅樹林，均已被列為本島之稀有植物(陳明義，1999)；其中五梨跤族群數量稀少而極珍貴，最主要生育地位於台南市安平港開發區境內，因此五梨跤之復育受各單位及保育人士所重視(范貴珠等，2003)。

交通部高雄港務局在開發安平港時為兼顧生態保育之理念，自 1996 年起即委託本校在台南市健康路保護區進行紅樹林復育工作。此保護區面積為 4.6 ha，其中約 1.5 ha 淺水區為海茄苳純林，雖然保護區環境相當惡劣，包括機動漁船經過引

起大浪、家庭及漁業廢棄物、藻類纏繞胎生苗及養殖牡蠣之長竹竿危害等，但 1996 年 7 月及 1998 年 7 月在淺水區直插之五梨跤胎生苗，於 2000 年 12 月調查時在陽光充足地區第 3 年即已產生大量胎生苗；經 4 年 5 個月及 2 年 5 個月時間生長後，生長在全光環境之稚樹，無論是形質生長或開花結實能力均較遮蔭環境(相對光度 7%)者為佳(范貴珠等，2003)。在小安地列斯群島(Lesser Antilles)之紅樹林復育計畫中，即使在較內陸、少沖蝕及高養分之適合環境，紅茄苳屬紅樹林亦需在栽植第 6 年後，始見到第 1 個胎生苗出現(Imbert *et al.*, 2000)，顯示本保護區之紅樹林復育成效佳。惟 1999 年時保護區內原有之海茄苳幼齡林之林冠逐漸鬱閉，對於復育成活之五梨跤稚樹生長及樹體結構影響很大(范貴珠等，2003；范貴珠、張志遠，2005)。

國外學者研究指出不同紅樹林樹種之耐陰性有所差異，例如遮蔭環境對海茄苳苗木之生長及成活率並無影響(Clarke and Allaway, 1993)；而 *A. germinans* 和 *Laguncularia racemosa* 苗木遮蔭後，暴露於陽光一段時間可以增加生物量及生長，但同樣處理對大紅樹(*R. mangle*)則無影響(McKee, 1995)。Farnsworth 及 Ellison (1996)認為大紅樹苗木較適應林下遮蔭環境，而成熟林木則在全光環境下生長較佳。Krauss 及 Allen (2003)亦曾比較夏威夷 *R. mangle* 及 *Bruguiera gymnorrhiza* 此 2 種優勢紅樹林，在不同光環境下之適應策略有很大差異。通常過量的陽光會傷害紅樹林苗木及稚樹生長，但遮蔭環境亦有負面影響，例如中美洲貝里斯(Ellison and

Farnsworth, 1993)、馬來西亞(Turner *et al.*, 1995)和佛羅里達南部(Koch, 1997)的紅樹林苗木在鬱閉林冠下生長緩慢，而在林冠孔隙下之生長速度則較快。

近年國內僅陳明男(2002)進行溫室試驗，探討光度及溫度對台灣 4 種紅樹林苗木之生理反應；而筆者等曾於 2000 年 12 月調查台南市健康路紅樹林保護區內，4 年 5 個月生及 2 年 5 個月生之五梨跤稚樹，在全光及遮蔭環境下之形質生長、樹體結構、樹冠幅、葉片特性、各部位養分濃度等均有明顯差異(范貴珠等，2003；范貴珠、張志遠，2005)外，國內並未見相關文獻探討紅樹林樹種對光環境之反應。由於本保護區在 2002-2004 年間曾進行 3 次之修枝及疏伐等撫育工作，各區之光環境已有所改變，因此本研究於 2005 年 7 月繼續調查 9 年生及 7 年生之五梨跤稚樹，長期在全光、半遮蔭及遮蔭環境下生長，其樹高、地際直徑、樹冠特徵、各部位生物量、枝條及支持根形態等形質生長是否仍有差異？此基礎資料應可作為相關單位進行紅樹林復育及疏伐作業時之參考。

二、材料及方法

(一)生育地概況及復育栽植方法

安平港紅樹林保護區係位於台南市安平區健康路 3 段之污水處理廠與通往市區航行河道間。有關保護區之位置、氣候概況、土壤與水質、環境衝擊類型、強度等基本資料、1996 年與 1998 年五梨跤之復育栽植方法、水質、土壤及植群概況

如范貴珠等(2003)與范貴珠、張志遠(2005)研究報告所述。本保護區分別於 2002 年 4 月、2003 年 9 月及 2004 年 11 月，共計進行 3 次之修枝及疏伐等撫育工作，每次在原有海茄苳林分及紅樹林復育栽植區中，疏伐約 30-40% 纖弱及遮蔽五梨跤稚樹生長之海茄苳林木。

(二)氣象資料收集

由中央氣象局網站(<http://www.cwb.gov.tw/>)台南氣候站查詢自 1996 年至 2005 年間，每月平均氣溫、最高氣溫、最低氣溫、降雨量、降水日數及日照時數等，並記錄調查此期間侵襲本區之颱風資料。

(三)生育地相對光度測定

2005 年 7 月於海茄苳林外(全光)、疏伐區(半遮蔭)和林內(遮蔭環境)等 3 個微生育地中，以光度計(Digital Illumination meter, DX-200，台製)自早上 9:00 至下午 17:00 止，每隔 2 hr 在 30 min 內各測定 20 個樣點之光度(lux)。將林外全光環境之相對光度視為 100%，計算林內半遮蔭環境之平均相對光度約為 67%，鬱閉林內遮蔭環境之相對光度則僅 11% 左右。

(四)不同光環境下之五梨跤稚樹形質生長比較

在全光、半遮蔭和遮蔭環境等 3 個區域中，分別選取 9 年及 7 年生五梨跤稚樹各 6 株。由於紅樹林生育地污穢泥濘，不易採取五梨跤之地下根系，因此參考 Farnsworth 及 Ellison (1996)、范貴珠等(2003)方法，鋸斷接近地面處之樹幹基部及

各支持根後，測定下列各項形質生長參數。

1. 地際直徑、枝下高、全株樹高及樹冠幅

測定每株樣木之高度、地際直徑及枝下高等，並以皮尺量測每株樣木東西及南北向之平均樹冠幅長度。

2. 各部位生物量

將各樣木分為葉部、主幹、枝條及地上部支持根等部位立即秤取鮮重後，分別裝袋攜回屏東科技大學森林系實驗室，以 70°C 烘乾 1 星期後，秤取各部位乾重。

3. 生物量分配

依據各部位乾物量計算出下列各項生長參數(Hunt, 1990)。

(1) 葉重率 (leaf weight ratio, LWR)

$$LWR = (W_L/W) \times 100\%$$

(2) 莖重率 (stem weight ratio, SWR)

$$SWR = (W_S/W) \times 100\%$$

(3) 支持根重率 (root weight ratio, RWR)

$$RWR = (W_R/W) \times 100\%$$

W_L ：葉乾重 W_S ：莖(幹+枝條)乾重 W_R ：支持根乾重 W ：全株乾重

(五)枝條及支持根形態測定

Turner 等(1995)研究指出紅茄苳屬紅樹林在第 5 側枝以後生長並不穩定，因此本研究在分離樣木各部位時，枝條部分係由枝下高往頂梢方向依序視為第 1、第 2、第 3 及第 4 枝條。由樹幹最上位長出之支持根視為第 1 支持根，往土壤方向依序

編為第 2、第 3 及第 4 支持根。參考 Farnsworth 及 Ellison (1996)調查方法量測每樣木之枝條數、第 1 至第 4 枝條之平均角度、地上部支持根數及第 1 至第 4 支持根平均角度。

三、結果

(一)健康路保護區之氣象資料

根據中央氣象局網站查得台南市 1996-2005 年之氣象資料(表 1)顯示，本區之氣候屬熱帶海洋季風氣候，特徵為全年高溫多雨。10 年間之平均溫度介於 24.2-25.1°C 間，最高溫度在 32.1-33.3°C 間，最低溫度在 16.8-18.4°C 間。至於降水量方面，以 2003 年時之降雨量最低，僅 898.5 mm；而 2005 年因有海棠、泰利、龍王等 3 個強度颱風侵襲，因此降雨量達 3148.5 mm。各年之降水日數在 53-106 天間，日照時數每月約 166.3-195.5 hr。本區雨季為夏季 5-9 月，降雨日數則集中在 6-8 月間，主要受颱風侵襲且夾帶大量雨水所致，而冬天則受東北季風之影響。

表 1 台南市 1996-2005 年之氣象資料

(資料來源: 中央氣象局 (<http://www.cwb.gov.tw/>))

Table 1. Climatic conditions of Tainan city during the period from 1996 to 2005.

(Records from the Central Weather Bureau website: <http://www.cwb.gov.tw/>)

年	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	最低溫度 (°C)	降水量 (mm)	降水日數 (day)	日照時數 (h mo ⁻¹)
1996	24.2	32.1	17.2	1025.8	78	179.4
1997	24.4	32.3	17.5	1949.6	90	166.3
1998	25.1	32.9	18.4	1840.1	106	171.0
1999	24.2	32.4	17.0	2135.2	103	170.4
2000	24.4	32.3	17.8	1754.4	82	167.3
2001	25.0	33.2	17.6	2106.5	97	174.2
2002	25.0	32.1	18.4	1226.1	69	191.3
2003	24.8	32.2	17.9	898.5	53	189.6
2004	24.6	32.5	17.1	1107.9	73	195.5
2005	24.6	33.3	16.8	3148.5	97	168.6

(二)不同光環境稚樹形質生長比較

1. 樹高、地際直徑、枝下高、樹冠幅及各部位乾物量

9 年生之五梨跤於全光環境之樹高最高，可達 284.5 cm，其次為半遮蔭及林內遮蔭環境者，樹高分別為 197.5 及 186.0 cm (表 2)；三種不同光環境對稚樹之地際直徑生長則無顯著差異；枝下高則以全光及半遮蔭環境者較高(分別為 37.7 及 33.0 cm)，而遮蔭環境者較低(28.0 cm)。此外，平均樹冠幅以生長於全光環境者最大，可達 122.0 cm，生長於半遮蔭及遮蔭環境者則較低(分別為 82.0 及 73.8 cm)。無論生長於全光及半遮蔭環境者，其葉、主幹、枝條及地上部支持根之乾重均較高，

全株乾重分別高達 5941.3 及 5191.6 g。而生長於林內遮蔭環境者，各部位乾重均明顯較低，全株乾重量僅 720.1 g，顯示生長於前 2 種光環境下之 9 年生稚樹總乾重，約為遮蔭環境者之 7-8 倍。

表 2 生長在不同光環境之 9 年生五梨跤稚樹的生長參數 (n = 6)

Table 2 Growth parameters of 9-year-old *R. stylosa* saplings grown at different light environment (n = 6)

生長參數	生長之光環境		
	全光 (100%)	半遮蔭 (≐ 67%)	林內遮蔭 (≐ 11%)
樹高(cm)	284.5±3.7 ^a	197.5±14.3 ^b	186.0±3.7 ^b
地徑(mm)	28.3±1.1 ^{NS}	27.5±3.2	27.2±1.4
枝下高(cm)	37.7±1.3 ^a	33.0±4.1 ^{ab}	28.0±4.9 ^b
平均樹冠幅(cm)	122.0±22.9 ^a	82.0±16.8 ^b	73.8±13.9 ^b
葉乾重(g)	852.5±76.7 ^a	771.3±86.7 ^a	113.5±25.1 ^b
主幹乾重(g)	2456.7±356.2 ^a	2149.7±558.1 ^a	430.0±47.9 ^b
枝條乾重(g)	1115.8±201.7 ^a	1080.3±235.0 ^a	97.8±20.7 ^b
地上部支持根乾重(g)	1516.3±432.6 ^a	1190.3±332.3 ^a	78.8±17.5 ^b
全株乾重(g)	5941.3±497.9 ^a	5191.6±579.3 ^a	720.1±52.3 ^b

註：每列平均值±標準差後之英文字母不同者，表示達 5% 差異顯著水準，以下表格皆同。

7 年生之五梨跤生長於全光之樹高為最大，可達 326.7 cm，其次為半遮蔭環境者(260.0 cm)，至於林內遮蔭環境者，樹高僅達 155.0 cm (表 3)；地際直徑之生長與 9 年生者有相同之結果，即亦無顯著差異；枝下高亦以全光及半遮蔭環境者較高 (分別為 49.0 及 37.7 cm)，而遮蔭環境者較低 (26.4 cm)。平均樹冠幅以生長於全光及半遮蔭環境者較大，分別達 130.2 及 134.3 cm；而生長於遮蔭環境者則最低(26.4 cm)。此外，生長於全光及半遮蔭環境之各部位乾重亦較高，全株乾重分別高達 7727.1 及 7417.2 g。而生長於林內遮蔭環境者，全株乾重量僅 638.8 g，顯示生長於前 2 種光環境下之 7 年生稚樹總乾重，約為遮蔭環境者之 12 倍。

表 3 生長在不同光環境之 7 年生五梨跤稚樹的生長參數 (n = 6)

Table 3 Growth parameters of 7-year-old *R. stylosa* saplings grown at different light environment (n = 6)

生長參數	生長之光環境		
	全光 (100%)	半遮蔭 (≐ 67%)	林內遮蔭 (≐ 11%)
樹高(cm)	326.7±19.2 ^a	260.0±15.0 ^b	155.0±8.2 ^c
地徑(mm)	30.2±3.7 ^{NS}	27.3±3.2	26.6±3.1
枝下高(cm)	49.0±10.6 ^a	37.7±3.3 ^{ab}	26.4±0.5 ^b
平均樹冠幅(cm)	130.2±17.7 ^a	134.3±17.7 ^a	71.0±6.4 ^b
葉乾重(g)	1454.9±319.1 ^a	1171.5±215.5 ^a	108.8±22.1 ^b
主幹乾重(g)	1276.7±218.2 ^a	1900.0±718.0 ^a	330.0±37.5 ^b
枝條乾重(g)	2144.1±312.1 ^a	1839.5±440.9 ^a	123.0±33.1 ^b
地上部支持根乾重(g)	2851.5±520.0 ^a	2318.3±612.9 ^a	77.1±23.5 ^b
全株乾重(g)	7727.1±845.1 ^a	7417.2±937.8 ^a	638.8±45.5 ^b

2. 生物量分配

在生物量分配方面，9 年生者之葉重率(LWR)無顯著差異(表 4)，其範圍在 14.4-15.8%之間；而生長於遮蔭環境者之莖重率(SWR)為 73.3%，明顯較半遮蔭及全光者為高；惟支持根重率(RWR)則以全光及半遮蔭環境者較高(分別佔 25.5 及 22.9%)，而生長於遮蔭環境之稚樹 RWR 僅 11.0%。

7 年生稚樹之生物量分配與 9 年生者有同樣趨勢，即其葉重率(LWR)亦無顯著

差異(表 4)。而生長於遮蔭環境之稚樹莖重率(SWR)為 70.9%，亦明顯較半遮蔭及全光環境者為高；支持根重率(RWR)仍以全光及半遮蔭環境者(分別佔 36.9 及 31.3%)較高，而生長於遮蔭環境者為最低，僅達 12.1%。

表 4 生長在不同光環境之 9 年生及 7 年生五梨跤稚樹生物量分配(n = 6)

Table 4 Biomass allocation of 9-year-old and 7-year-old *R. stylosa* saplings grown at different light environment (n = 6)

生長參數	生長之光環境		
	全光 (100%)	半遮蔭 (≐ 67%)	林內遮蔭 (≐ 11%)
9年生			
葉重率(LWR)(%)	14.4±2.6 ^{NS}	14.9±3.0	15.8±8.7
莖重率(SWR) (%)	60.1±5.1 ^b	62.2±2.9 ^b	73.3±2.6 ^a
支持根重率(RWR)(%)	25.5±3.1 ^a	22.9±8.3 ^a	11.0±6.9 ^b
7年生			
葉重率(LWR)(%)	18.8±2.5 ^{NS}	15.8±0.9	17.0±2.7
莖重率(SWR) (%)	44.3±1.3 ^b	50.4±3.1 ^b	70.9±7.1 ^a
支持根重率(RWR)(%)	36.9±1.0 ^a	31.3±1.1 ^a	12.1±7.8 ^b

(三)不同光環境稚樹枝條及支持根形態比較

9 年生之五梨跤於全光環境生長者有較多枝條數，每株之枝條數達 41.3 支(表 5)；其次為生長於半遮蔭環境者，而生長於遮蔭環境者之枝條數僅有 14.0 支。生

長於不同光環境之枝條角度則無明顯差異，範圍在 64.4-67.9 度間。此外，生長於全光環境者之地上部支持根數亦最多，每株之支持根數分別達 32.3 及 28.3 支，而生長於遮蔭環境者之支持根數僅有 5.0 支。支持根角度亦以生長於全光及半遮蔭環境者較大，分別為 70.2 及 69.5 度，而生長於遮蔭者較小。

7 年生之五梨跤亦以生長於全光及半遮蔭環境者之枝條數較多，每株之枝條數分別為 32.3 及 30.3 支(表 5)，而生長於遮蔭環境者枝條數僅有 12.7 支。生長於不同光環境者之枝條角度無顯著差異，範圍在 64.9-69.6 度間。此外，支持根數及角度亦以生長於全光及半遮蔭環境者較高。

表 5 生長在不同光環境之 9 年生及 7 年生五梨跤稚樹枝條及支持根特徵 (n = 6)

Table 5 Branch and prop root attributes of 9-year-old and 7-year-old *R. stylosa* saplings grown at different light environment (n = 6)

稚樹年齡	生長參數	生長之光環境		
		全光 (100%)	半遮蔭 (≐ 67%)	林內遮蔭 (≐ 11%)
9 年生	枝條數(支)	41.3±1.5 ^a	36.1±1.2 ^b	14.0±3.5 ^c
	枝條角度(度)	65.9±1.9 ^{NS}	64.4±1.5	67.9±6.3
	支持根數(支)	32.3±8.5 ^a	28.3±2.5 ^a	5.0±1.0 ^c
	支持根角度(度)	70.2±2.3 ^a	69.5±7.9 ^a	58.9±8.1 ^b
7 年生	枝條數(支)	32.3±8.3 ^a	30.3±8.5 ^a	12.7±6.8 ^b
	枝條角度(度)	64.9±5.4 ^{NS}	65.2±1.4	69.6±2.8
	支持根數(支)	30.7±8.0 ^a	25.7±4.6 ^a	4.0±1.0 ^b
	支持根角度(度)	72.9±5.0 ^a	70.1±3.5 ^a	44.7±7.2 ^b

四、討論

(一)全光與遮蔭環境對稚樹形質生長之影響

許多研究指出紅樹林林分建造初期，生育環境之光線、水文、土壤有效養分、氧化還原能力(Farnsworth and Ellison, 1996; Koch, 1997; Krauss and Allen, 2003; Krauss *et al.*, 2006)、鹽度(Clarke and Allaway, 1993; Ball, 1996, Naidoo, 2006)、地勢狀況及土壤硬度等(Komiyama *et al.*, 1996)均與苗木生長有密切關係。由於本紅樹林保護區生育地之光線與土壤質地適合，2 個年度栽植生長在林外開闊地區之稚樹，在 2000 年 12 月調查時，其樹高、地徑、各部位乾重量、葉片數及總葉面積等形質參數，均明顯較生長於遮蔭環境(當時之相對光度約 6-7%)者為高，總生物量較遮蔭處者分別高約 8 及 5 倍(范貴珠等，2003)。而本研究繼續調查此 9 及 7 年生之稚樹生長狀況，結果顯示在 3 種不同光環境下生長之稚樹地際直徑範圍在 28.3-27.2 mm 間，並未呈現顯著性差異(表 2、3)，與 2000 年 12 月調查時之結果相較(范貴珠等，2003)，並未呈現明顯增粗現象。Verheyden 等(2004)研究同屬之 *R. mucronata*，結果指出其直徑生長速率僅約 0.5 mm yr^{-1} ，且此生長速度與生育地環境無關。此外，Brookss 及 Bell (2005)亦指出 *R. mangle* 與一般森林不同，其林木之直徑不會隨著樹高增加而增粗，由此可知本研究之五梨跤與渠等試驗之同屬樹種有相似生長特性。

生長於全光及半遮蔭環境之五梨跤稚樹，其樹高、枝下高、平均樹冠幅及各部位乾物重，均較生長於遮蔭環境者為高；其中 9 年生而生長於全光及半遮蔭環境者，其全株總乾重分別為 5191.6 及 5941.3 g，而 7 年生稚樹則高達 7727.1 及 7417.2 g (表 2、3)。通常紅樹林生育地雖然在陽光充足之熱帶環境，但過量之強光會抑制光合系統 II，而使紅樹林之光合作用速率降低(Björkman *et al.*, 1988; Cheeseman *et al.*, 1997)。澳洲海岸之五梨跤成熟林木(高 6-10 m)在最適合環境下，光合作用速率可達 $10-11 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Andrews and Muller, 1985)。然在一般天然生育地中，五梨跤遮蔭葉之光合作用速率為 $7.8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，而陽性葉之光合作用速率則較低，平均約 $5.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Björkman *et al.*, 1988)。Krauss 及 Allen (2003)亦指出夏威夷之 15 個月生大紅樹苗木在強光環境下，會以快速生長及生理策略來促進碳同化作用。本研究雖未測定葉片光合作用速率，但決定植物生產力者主要為光合組織的量(葉面積)，而非光合作用速率本身(Pereira, 1995)；由此推測 9 年生及 7 年生之五梨跤，在藻類、油污染及高鹽度之惡劣環境下，生長在全光及半遮蔭環境之稚樹，因葉片乾重較大或碳同化作用速率較高(Krauss and Allen, 2003)，因此全株生物量明顯較遮蔭者高(表 2、3)。

本研究生長於遮蔭環境之稚樹其各項生長參數均相當低，總乾重約為全光及半遮蔭者之 1/7-1/8 及 1/12 左右(表 2、3)。此結果與范貴珠等(2003)研究相較，顯示遮蔭下之稚樹雖再經 4 年 6 個月後，其生長仍相當緩慢而幾成停滯狀態，且未

見其開花。基本上，紅樹林不耐遮蔭環境(Tomlinson, 1994; Araújo *et al.*, 1997)，在貝里斯(Ellison and Farnsworth, 1993)、馬來西亞(Turner *et al.*, 1995)和佛羅里達南部(Koch, 1997)之紅樹林中，生長在鬱閉林冠下層之苗木或稚樹，生長量亦較生長於陽光下者為差。五梨朥同屬之大紅樹苗木雖然較適應遮蔭林冠下層環境，但在全光環境下，幼苗及稚樹之光合作用速率及生長量明顯較高(Farnsworth and Ellison, 1996)，本研究之五梨朥稚樹亦呈現相似生長反應(表 2、3)。

Turner 等(1995)指出馬來西亞的紅樹林若生長在遮蔭環境者，每株之枝條乾重、葉乾重及葉面積較低，而且稚樹樹冠幅較窄，枝條序數較少，葉部乾重量大部份累積於頂端枝條。Araújo 等(1997)之研究指出全光下生長之稚樹樹冠上部有濃密葉片，但下層樹冠葉片則很少。本試驗區於 2000 年 12 月調查時，4 年 5 個月生之五梨朥生長在全光環境者因生長勢超群，鄰近植株彼此擠壓相互遮蔭，已造成下層枝條葉片因自我遮蔭(self-shading)而脫落，導致第 1 至第 4 枝條上之葉片數及葉面積均較 2 年 5 個月生者為小(范貴珠、張志遠，2005)；爾後數年持續進行觀察，由於 9 年生稚樹仍在空間不足環境下生長，因此總乾重較 7 年生者為小(表 2、3)。

林木之個體發育與光環境可能同時影響樹冠發育，但二者對於葉片形態之影響有較多研究，對樹冠之發育影響則較少文獻述及(Sterck and Bongers, 2001)。King 及 Maindonald (1999)認為過度的強光會抑制植物光合作用能力、減低枝條伸展速度及角度，但光線可能對樹冠結構有更大影響。通常熱帶先驅樹種在林分建造初

期若想成活，必須快速擴展樹冠以遮蔽鄰近者以競爭光線(Alvarez-Buylla and Martinez-Ramos, 1992)；Givnish (1988)指出在深度遮蔭地區植物樹冠會相對較寬闊，使整株植物的光合作用效率達最高。而 Turner 等(1995)研究指出馬來西亞生長在遮蔭環境之紅樹林稚樹，在一定高度時樹冠幅較窄，而且枝條序數較少；但葉部乾重量大部分累積在頂端枝條，使稚樹總截光面積達到最大。本研究 9 年生及 7 年生之五梨朥稚樹，均以全光及半遮蔭環境者之樹冠幅面積明顯較高(表 2、3)，顯示本研究與 Turner 等(1995)有相似結果，因此全光及半遮蔭環境之稚樹總乾重亦較遮蔭環境者為高(表 2、3)。

一般整株植物的乾物重分配到光合組織的部分，最常利用的參數是葉重率(LWR)，表示植物用於生產投資(productive investment)之程度(Hunt, 1990; Claussen, 1996)。Ong 等(2004)指出胸圍 > 15 cm 之 *R. apiculata* 大樹，地下部根系約佔 4.5%，支持根約為 12.5%，樹幹則佔 71.7%，枝條、小枝及繁殖體佔 8.1%，葉僅佔 3.2%。本研究 1996 及 1998 年栽植於全光環境之五梨朥稚樹，分別經 4 年 5 個月及 2 年 5 個月短時間生長後，葉重率(LWR)及莖重率(SWR)均較林內遮蔭者為低，而支持根重率(RWR)則明顯較高(范貴珠等，2003)；結果符合 Givnish (1988)之理論，即陽性植物較陰性植物之乾物量分配到葉部者較少，分配到根部者則較多；而 LWR 低的優點即是植物暴露在高光度環境時，更多乾物重分配到根系可增加其吸收能力(Claussen, 1996)。惟五梨朥稚樹持續在不同光環境下分別生長 9 及 7 年時間後，乾

物量分配到光合組織部分(LWR)已無顯著差異(表 4)，與 Ong 等(2004)研究 *R. apiculata* 之結果近似，即小樹之生物量分配變異較大，而較大樹體之分配則相對較一定，其中葉部比率會隨著年齡增加而逐漸降低；9 年生與 7 年生五梨朮之莖重率(SWR)均以林內遮蔭者為最高，而支持根重率(RWR)則明顯較低(表 4)；此與 Turner 等(1995)在馬來西亞紅樹林之研究結果相似，即 *Rhizophora* 屬之支持根除具支撐莖部功能外，並為與地下根系氣體交換之通道，生長在遮蔭處之林木支持根系乾重會較低，但機制尚未完全釐清。

(二)不同光環境稚樹枝條及支持根形態比較

不同紅樹林樹種之樹體結構及相對生長速率均有所不同，即使同一樹種在不同生育環境亦會產生差異(Tomlinson, 1994; Turner *et al.*, 1995; Araújo *et al.*, 1997)。本研究結果顯示 9 年生及 7 年生之稚樹，長期生長在全光及半遮蔭環境下，其枝條數在 30.3-41.3 支間，均明顯較遮蔭者(僅 14.0 及 12.7 支)為高；惟在 3 種不同光環境下生長之稚樹，由下方往枝梢方向之第 1 至第 4 枝條平均角度則無差異，平均角度在 64.4-69.6 度間(表 5)，與生長 4 年 5 個月及 2 年 5 個月之稚樹表現一致(范貴珠、張志遠，2005)。在貝里斯紅樹林中，大紅樹苗木(高度在 15-70 cm，僅有 1 個叢生結構)若生長在遮蔭環境(夏季正中午光合作用有效輻射 PAR 約 $398 \pm 14 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)中會缺乏支持根及分枝；在全光環境下(夏季正中午 PAR 超過 2300

$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)之稚樹(高度大於 1 m 者)則表現極大之適應性；此外，生長在全光環境下之大紅樹苗木，每一枝條之葉片數較多，但枝條角度、樹冠表現及枝條分叉比率則未因不同光環境而有所差異(Farnsworth and Ellison, 1996)，本研究之五梨跤稚樹生長 9 及 7 年後枝條亦呈現相似特性。此外，植株之支持根數在 25.7-32.3 支間，亦明顯較遮蔭者(僅 5.0 及 4.0 支)為高(表 5)；此與范貴珠等(2003)、范貴珠、張志遠(2005)調查年齡為 4 年 5 個月及 2 年 5 個月之稚樹相似，亦與生長於全光環境之紅茄苳屬紅樹林根系乾重較高結果(Turner *et al.*, 1995)一致。生長於全光及半遮蔭環境之五梨跤有較大之支持根數，應為植株地上部支持根生物量較大(表 2、3)原因之一。此外，稚樹由上端往土壤方向之第 1 至第 4 支持根平均角度，亦以全光及半遮蔭環境下者較大，尤其 7 年生之稚樹支持根角度較遮蔭處者分別大 28.2 及 25.4 度(表 5)，顯示不同光環境對五梨跤之支持根結構亦有相當之影響；惟不同光度對植物支持根長度或角度之影響機制，則未見其他相關文獻詳細述及，故爾後應進一步研究探討。

綜合上述結果，由於本保護區初期復育工作相當艱辛，紅樹林在台灣被列為珍貴稀有植物，因此復育初期深恐環保團體反彈而未進行疏伐。由於生物量可用於評估紅樹林復育是否成功之標準(Smith III and Whelan, 2006)，本研究在 2000 年 12 月調查 4 年 5 個月及 2 年 5 個月生之稚樹，以全光環境下之生物量明顯較遮蔭環境者高 8 及 5 倍，因此根據此結果及 Khoon 及 Eong (1995)建議在保護區內進行

疏伐。本研究再次調查 9 及 7 年生五梨跤稚樹之生物量及樹體結構，結果仍以全光及半遮蔭環境下之生長最佳，顯示光線充足地區之復育成效較佳。此外，本保護區所復育栽植之五梨跤為陽性樹種且生長相當快速，若未持續疏伐相鄰之海茄苳及五梨跤，造成樹冠鬱閉而無法持續快速擴展時，因相互競爭光線則會造成樹冠幅因自我遮蔭而較窄，導致稚樹生長 9 年後之生長量反而較 7 年生者為低；因此建議本紅樹林保護區每隔 1-2 年應進行適度疏伐工作，以確保復育之五梨跤稚樹能順利成林。

五、致謝

本研究感謝高雄港務局經費支援及同仁在研究期間鼎力協助，特此致謝。並感謝屏東科技大學森林系紀凱文、羅世安、羅宇秀、詹筑蕙、姚王彬等同學，在野外調查及取樣分析上協助，使本文得以順利完成，在此謹致最誠摯之謝忱。

六、參考文獻

- 范貴珠、葉慶龍、張志遠 (2003) 台南市安平港之紅樹林復育—直插五梨跤胎生苗之適應性研究。中華林學季刊 36(3):221-234。
- 范貴珠、張志遠 (2005) 安平港復育五梨跤生長及生理之研究。中華林學季刊 38(4):367-382。
- 陳明男 (2002) 四種台灣紅樹林植物對光度與溫度之生理反應。中興大學森林學研究所碩士論文。45 頁。
- 陳明義 (1999) 台灣海岸濕地植物。行政院農業委員會、中華民國環境綠化協會編印。126 頁。
- 詹煥榮 (2003) 台灣產海茄苳生物學之研究。嘉義大學林業研究所碩士論文。128 頁。
- Alvarez-Buylla, E. R. and M. Martinez-Ramos (1992) Demography and allometry of *Cecropia obtusifolia*, a neotropical pioneer tree- an evaluation of the climax-pioneer paradigm for tropical rain forest. *Journal of Ecology* 80:275-290.
- Andrews, T. J. and G. J. Muller (1985) Photosynthetic gas exchange of the mangrove, *Rhizophora stylosa* Griff., in its natural environment. *Oecologia* 64:449-455.
- Araújo, R. J., J. C. Jaramillo and S. C. Snedaker (1997) LAI and leaf size differences in two red mangrove forest types in south Florida. *Bulletin of Marine Science* 60(3):643-647.
- Badola, R. and S. A. Hussain (2005) Valuing ecosystem functions: an empirical study on the storm protection function of Bhitarkanika mangrove ecosystem, India. *Environmental Conservation* 32(1):85-92.
- Ball, M. C. (1996) Comparative ecophysiology of mangrove forest and tropical lowland moist rainforest. P. 461-496. In Mulkey, S. S. Chazdon, R. L. and Smith, A. P. eds.

- Tropical Forest Plant Ecophysiology. Chapman and Hall, New York. 675 pp.
- Björkman, O., B. Demmig and J. T. Andrews (1988) Mangrove photosynthesis: Response to high irradiance stress. *Australian Journal of Plant Physiology* 15:43-61.
- Blasco, F., P. Saenger and E. Janodet (1996) Mangrove as indicators of coastal change. *Catena* 27:167-178.
- Bouillon S., F. Dahdouh-Guebas, A. V. V. S. Rao, N. Koedam and F. Heharis (2003) Sources of organic carbon in mangrove sediments: variability and possible ecological implications. *Hydrobiologia* 495(1):33-39.
- Brookss, R. A. and S. S. Bell (2005) A multivariate study of mangrove morphology (*Rhizophora mangle*) using both above and below-water plant architecture. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 65:440-448.
- Cheeseman, J. M., L. B. Herendeen, A. T. Cheeseman and B. F. Clough (1997) Photosynthesis and photoprotection in mangroves under field conditions. *Plant, Cell and Environment*. 20:579-588.
- Chmura G. L., S. C. Anisfeld, D. R. Cahoon and J. C. Lynch (2003) Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils. *Global Biogeochemical Cycles* 17(4):1-22.
- Clarke, P. J. and W. G. Allaway (1993) The regeneration niche of the grey mangrove (*Avicennia marina*): effects of salinity, light and sediment factors on establishment, growth and survival in the field. *Oecologia* 93:548-556.
- Claussen J. W. (1996) Acclimation abilities of three tropical rainforest seedlings to an increase in light intensity. *Forest Ecology and Management* 80:245-255.
- Ellison, A. M. and E. J. Farnsworth (1993) Seedling survivorship, growth, and response

- to disturbance in Belizean mangal. *American Journal of Botany* 80(10):1137-1145.
- Ellison, A. M. (2000) Mangrove restoration: Do we know enough? *Restoration Ecology* 8(3):219-229.
- Farnsworth, E. J. and A. M. Ellison (1996) Sun-shade adaptability of the red mangrove, *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae): changes through ontogeny at several levels biological organization. *American Journal of Botany* 83(9):1131-1143.
- Farnsworth, E. J. and A. M. Ellison (1997) The global conservation status of mangroves. *Ambio* 26(6):328-334.
- Givnish, T. J. (1988) Adaptation to sun and shade: a whole-plant perspective. *Australian Journal of Plant Physiology* 15:63-92.
- Hunt, R. (1990) *Basic Growth Analysis*. Unwin Haman Inc. London, UK. 112 pp.
- Imbert, D., A. Rousteau and P. Scherrer (2000) Ecology of mangrove growth and recovery in the Lesser Antilles: State of knowledge and basis for restoration projects. *Restoration Ecology* 8(3):230-236.
- Kathiresan K. and N. Rajendran (2005) Coastal mangrove forests mitigated tsunami. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 65:601-606.
- Khoon, G. W. and O. J. Eong (1995) The use of demographic studies in mangrove silviculture. *Hydrobiologia* 295:255-261.
- King, D. A. and J. H. Maindonald (1999) Tree architecture in relation to leaf dimensions and tree stature in temperate and tropical rain forests. *Journal of Ecology* 87:1012-1024.
- Koch, M. S. (1997) *Rhizophora mangle* L. seedling development into the sapling stage across resource and stress gradients in subtropical Florida. *Biotropica*

29(4):427-439.

- Komiyama, A., T. Santiean, M. Higo, P. Patanaponpaiboon, J. Kongsangchai and Ogino, K. (1996) Microtopography, soil hardness and survival of mangrove (*Rhizophora apiculata* BL.) seedlings planted in an abandoned tin-mining area. *Forest Ecology Management* 81:243-248.
- Krauss, K. W. and J. A. Allen. (2003) Factors influencing the regeneration of the mangrove *Bruguiera gymnorhiza* (L.) Lamk. on a tropical Pacific island. *Forest Ecology and Management* 176:49-60.
- Krauss, K. W., T. W. Doyle, R. R. Twilley and V. H. Rivera-Monroy (2006) Evaluating the relative contributions of hydroperiod and soil fertility on growth of south Florida mangroves. *Hydrobiologia* 569:311-324.
- Linton, D. M. and G. F. Warner (2003) Biological indicators in the Caribbean coastal zone and their role in integrated coastal management. *Ocean and Coastal Management* 46:261-276.
- Mckee, K. L. (1995) Interspecific variation in growth, biomass partitioning, and defensive characteristics of neotropical mangrove seedlings: response to light and nutrient availability. *American Journal of Botany* 82(3):299-307.
- Naidoo, G. (2006) Factors contributing to dwarfing in the mangrove *Avicennia marina*. *Annals of Botany* 97:1095-1101.
- Ong, J. E., W. K. Gong and C. H. Wong (2004) Allometry and partitioning of the mangrove, *Rhizophora apiculata*. *Forest Ecology and Management* 188:395-408.
- Pereira, J. S. (1995) Gas exchange and growth. P 147-181. In: Schulze E. D. and Caldwell M. M. eds. *Ecophysiology of photosynthesis*. Berlin: Springer. 576 pp.
- Sheue C. R., H. T. Liu and W. H. Yong (2003) *Kandelia obovata* (Rhizophoraceae), a

- new mangrove species from eastern Asia. *Taxon* 52:287-94.
- Smith III, T. J. and K. R. T. Whelan (2006) Development of allometric relations for three mangrove species in south Florida for use in the Greater Everglades ecosystem restoration. *Wetlands Ecology and Management* 14:409-419.
- Sterck, F. J. and F. Bongers (2001) Crown development in tropical rain forest trees: patterns with tree height and light availability. *Journal of Ecology* 89:1-13.
- Tomlinson, P. B. (1994) *The Botany of Mangroves*. Cambridge University Press. New York. 419 pp.
- Turner, I. M., W. K. Gong, J. E. Ong, J. S. Bujang and T. Kohyama (1995) The architecture and allometry of mangrove saplings. *Functional Ecology* 9:205-212.
- Verheyden, A., J. G. Kairo, H. Beeckman and N. Koedam. (2004) Growth rings, growth ring formation and age determination in the mangrove *Rhizophora mucronata*. *Annals of Botany* 94:59-66.