

伍、結果與討論

一、青螺栽植試驗地水質與土壤化學性質

(一) 水質狀況

青螺栽植試區不同水質測點之 pH 均在鹼性範圍(8.26-8.39)(圖 6)，而由岸邊往中間水邊呈現略微遞減趨勢。而岸邊所測得之平均溶氧量為 5.87 mg L^{-1} ，惟逐漸降低至水邊的 4.96 mg L^{-1} 。而岸邊測得之平均電導度較低(28.6 mS m^{-1})，中間及水邊位置之電導度則較高，分別為 34.5 及 34.9 mS m^{-1} 。至於不同水質測點測得之水溫則差異不大，約 $29\text{-}30^\circ\text{C}$ 間。

(二) 土壤性質

1. pH 及氧化還原電位

臺灣北部淡水河口之竹圍紅樹林沼澤地受海水影響，表層 0-20 cm 之土壤 pH 趨於中性(6.5-7.1)。即使紅樹林中季節性的氾濫而使水文情形有所改變，但土壤終年均處於還原狀態，氧化還原電位在 -100 mV 至 -200 mV 間(Hseu and Chen, 2000)。青螺栽植試區不同土壤測點之 pH 約在中性-微鹼性範圍(7.40-7.67)(圖 7)，不同位置之土壤 pH 差異不大。至於土壤氧化還原電位則以水邊位置者較高(-247.3 mV)，中間位置者較低(-228.5 mV)。

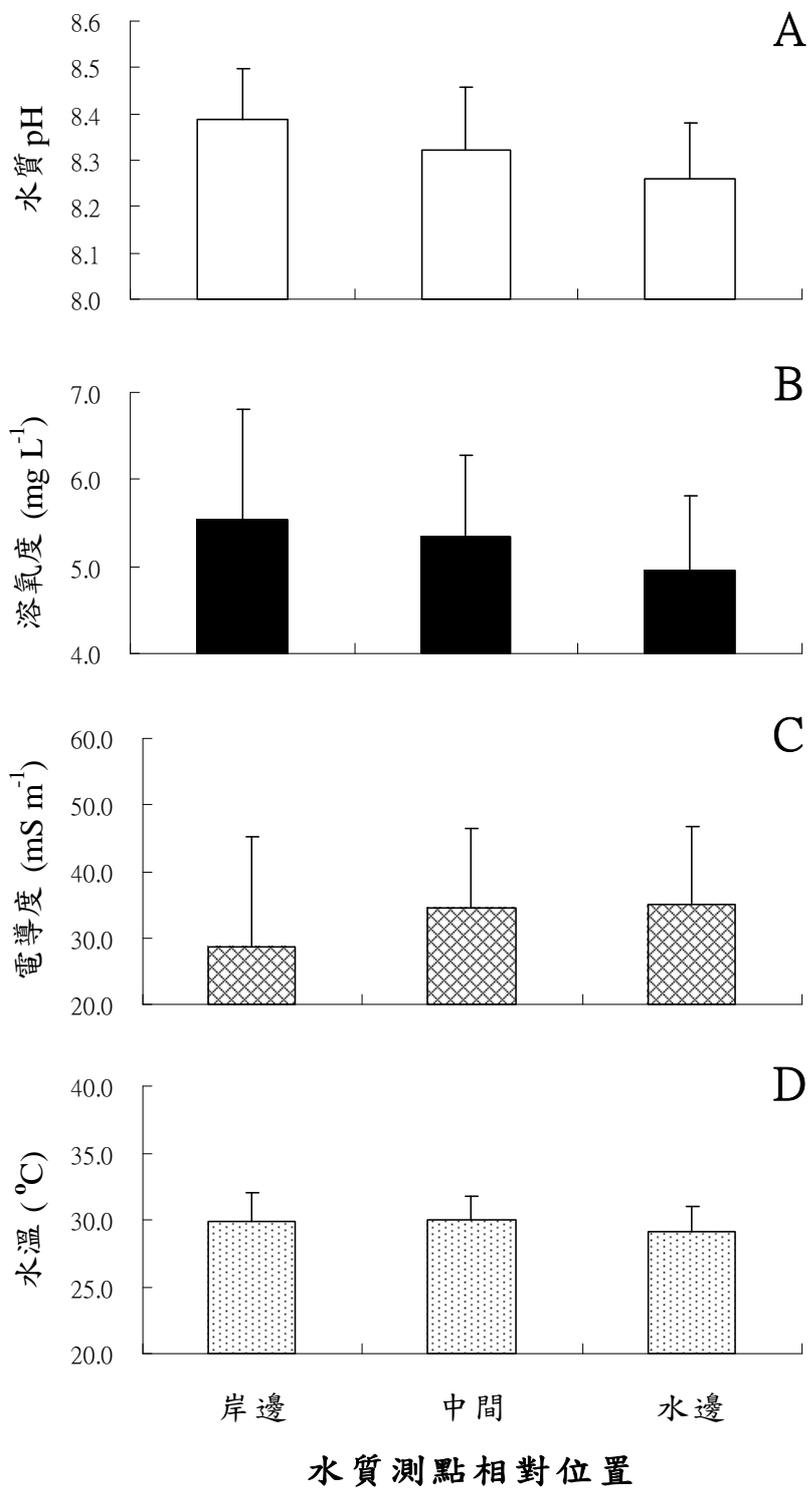


圖 6 青螺試驗地不同樣區之水質 pH、溶氧度、電導度及溫度

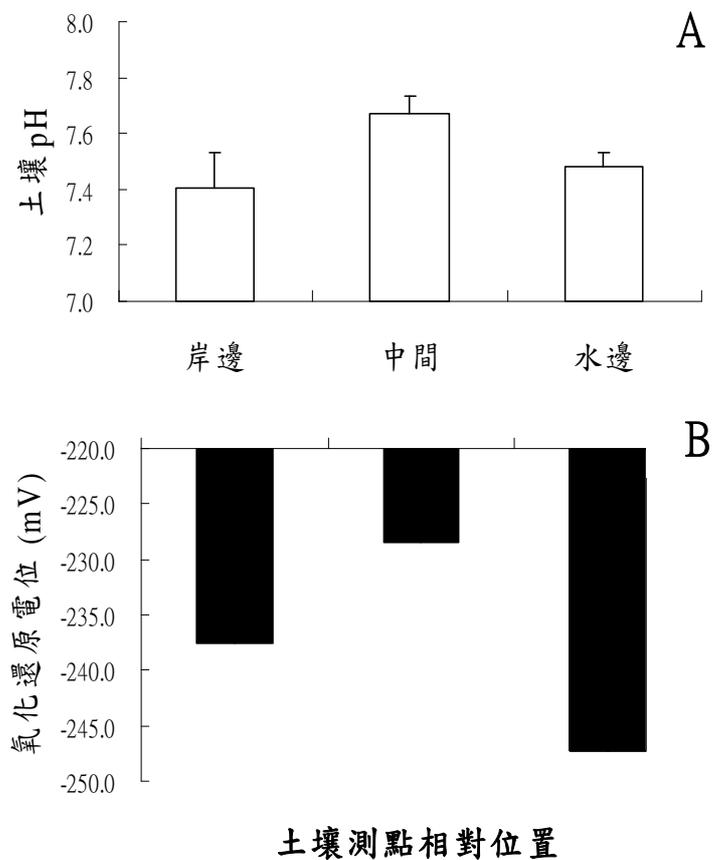


圖 7 青螺試驗地不同樣區之土壤 pH 及氧化還原電位

2. 底質特性

本栽植地第 1 至 3 樣區採樣土壤測定之有機質含量均在 20% 以上(表 6)，但在氮方面稍偏低，均不及 1000 mg/kg (0.1%)；而磷含量則介於 877-3103 mg/kg 之間，以第二樣區水邊較高。3 個樣區不同位置之碳/氮比值偏高，而氮/磷比值則偏低。

表 6 青螺栽植試驗地各樣區底質之主要養分特性

樣區-位置	有機質(%)	氮(mg/kg)	磷(mg/kg)	碳/氮	氮/磷
第一樣區-岸邊	24.5	638	877	222.7	0.73
第一樣區-中間	24.5	613	1199	231.8	0.51
第一樣區-水邊	24.5	662	1229	214.7	0.54
第二樣區-岸邊	24.5	613	1024	231.8	0.60
第二樣區-中間	24.5	613	907	231.8	0.68
第二樣區-水邊	24.5	613	3103	231.8	0.20
第三樣區-岸邊	24.5	613	1258	231.8	0.49
第三樣區-中間	24.5	564	2107	252.0	0.27
第三樣區-水邊	24.5	576	1258	246.7	0.45

3. 粒徑組成

在粒徑組成上，比較本栽植試驗地不同樣區之砂粒、坩粒與粘粒可發現(表 7)，第三樣區岸邊、中間及水邊之砂粒比例較小(64-71%)，而坩粒與粘粒之比較較高。而第一及二樣區則相反，以砂粒比例較高，尤其第一樣區水邊之砂粒比例高達 86%，粘粒僅 8%。

進一步將砂粒細分成 5 個等級，則可發現各樣區不同位置之土壤均以中砂與細砂為主(表 8)，而較易漂移的極細砂並不多，其中第三樣區靠岸土壤中砂比例高達 57.8%。

表 7 青螺栽植試驗地各樣區粒徑組成

樣區-位置	砂粒(%)	坩粒(%)	粘粒(%)
第一樣區-岸邊	74	6	21
第一樣區-中間	75	5	20
第一樣區-水邊	86	6	8
第二樣區-岸邊	85	9	6
第二樣區-中間	79	6	14
第二樣區-水邊	80	8	12
第三樣區-岸邊	71	8	21
第三樣區-中間	64	5	31
第三樣區-水邊	69	1	30

表 8 青螺栽植試驗地各樣區底質之砂粒分級(%)¹

樣區-位置	極粗砂	粗砂	中砂	細砂	極細砂
第一樣區-岸邊	11.1	25.4	28.6	37.2	7.77
第一樣區-中間	10.0	20.6	26.1	40.1	12.2
第一樣區-水邊	6.99	15.8	24.8	38.2	12.0
第二樣區-岸邊	7.37	20.7	48.0	15.6	5.14
第二樣區-中間	11.9	17.9	24.6	45.6	9.16
第二樣區-水邊	10.4	16.2	24.1	45.8	12.8

第三樣區-岸邊	7.21	21.2	57.8	21.2	2.08
第三樣區-中間	16.8	10.2	14.2	43.0	14.5
第三樣區-水邊	16.5	17.9	17.6	36.1	6.08

¹ 砂粒係指 2.0-0.05 mm 顆粒，其中極粗砂為 2.0-1.0 mm，粗砂為 1.0-0.5 mm，中砂為 0.5-0.25 mm，細砂為 0.25-0.1 mm，極細砂為 0.1-0.05 mm；粉粒為 0.005-0.002 mm；粘粒為 <0.002 mm。

二、菜園栽植試驗地水質與土壤化學性質

(一) 水質狀況

菜園試驗地不同水質測點之 pH 均為鹼性，範圍在 8.03-8.18 間(圖 8)。而魚塭第一樣帶所測得之平均溶氧量為 3.41 mg L⁻¹，其次為第二樣帶之 4.36 mg L⁻¹，出海口之平均水質溶氧量則為 5.92 mg L⁻¹。而 3 個地區測得之平均電導度較低差異不大，範圍在 4.31-45.3 mS m⁻¹ 之間。不同水質測點測得之水溫亦差異不大，約 31°C 左右。

(二) 土壤性質

將菜園栽植試驗地區分為 2 條栽植樣帶，每條栽植帶測得之平均土壤 pH 約在微酸性-中性範圍(6.86-7.17)(圖 9)，不同位置之土壤 pH 差異不大。至於土壤氧化還原電位亦不大，2 條栽植樣帶之平均土壤氧化還原電位分別為 -152.4 及 -165.7 mV。

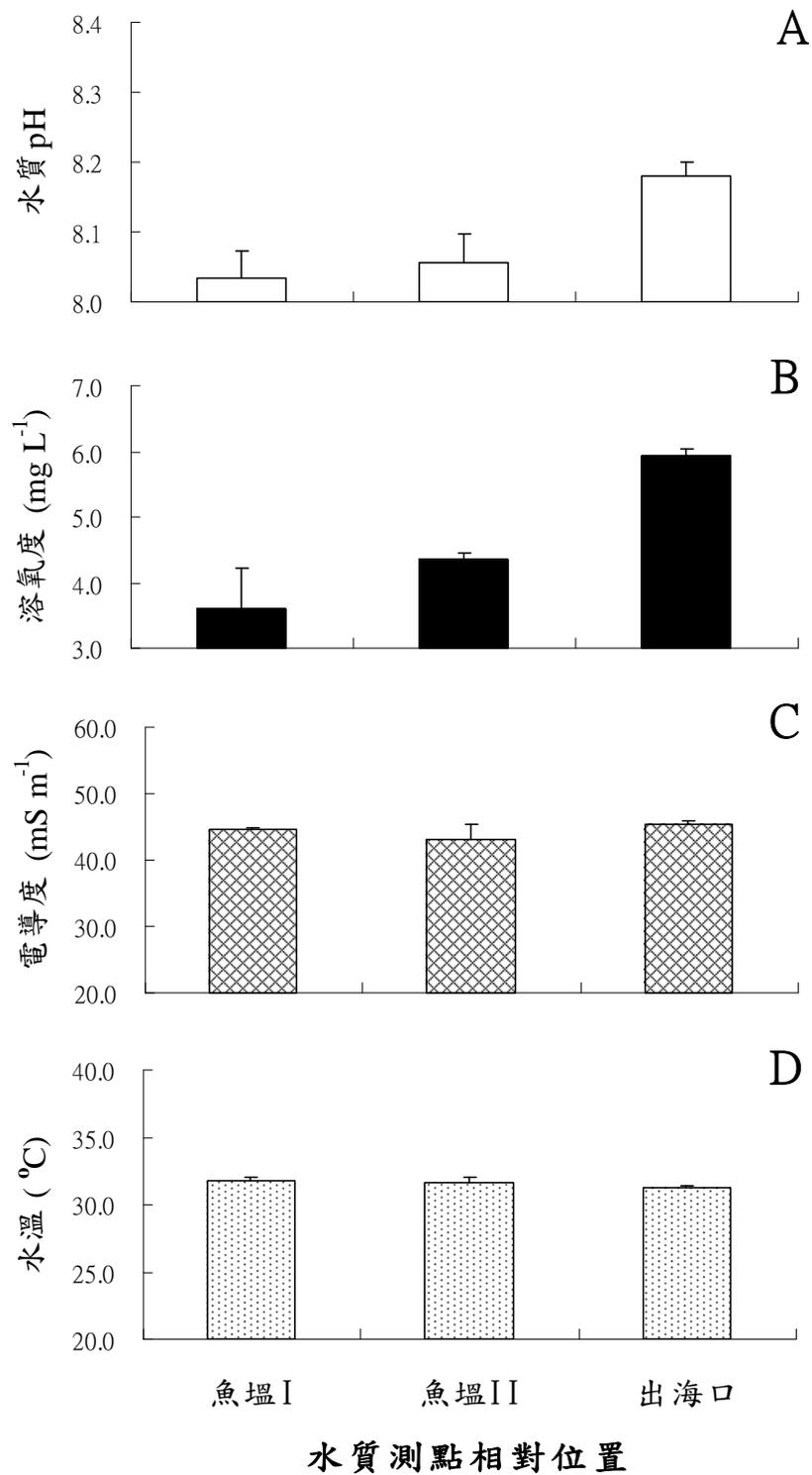


圖 8 菜園試驗地不同水質測點之 pH、溶氧度、電導度及溫度

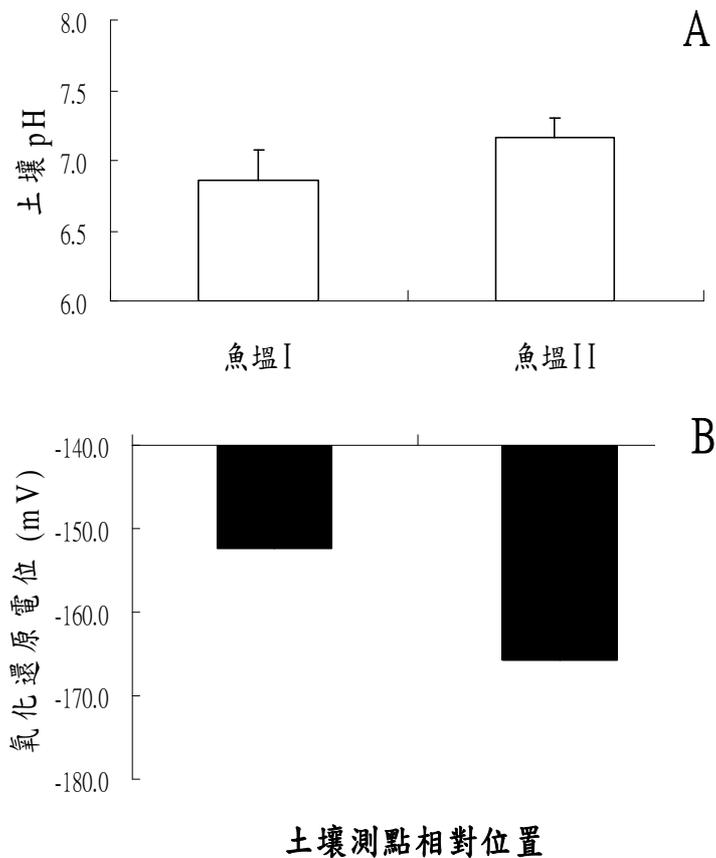


圖 9 菜園試驗地不同測點之土壤 pH 及氧化還原電位

2. 底質特性

菜園濕地 2 條栽植樣帶中，因第 1 栽植樣帶幾乎均為岩石，所剩土壤相當少，因此僅分析第 2 栽植樣帶前段與後段表層 10 cm 土壤樣本，結果發現有機質含量均在 40% 以上(表 9)，相當高；但在氮方面稍偏低，均不及 1000 mg/kg (0.1%)；而磷含量則分別為 2312 及 3190 mg/kg 間，較青螺栽植試驗地為高。前後栽植樣帶之土壤碳/氮比值更高達 429.8 及 428.7，而氮/磷比值則偏低。

表 9 菜園試驗地栽植樣帶底質之主要養分特性

樣區	有機質(%)	氮(mg/kg)	磷(mg/kg)	碳/氮	氮/磷
第 2 栽植帶(前段)	40.9	552	2312	429.8	0.24
第 2 栽植帶(後段)	40.8	552	3190	428.7	0.17

3. 粒徑組成

本試驗第 2 栽植樣帶之砂粒、粉粒與粘粒比例發現(表 10)，無論是前段或後段位置之土壤均以砂粒含量較高，分別佔 68 及 79%，而黏粒與粉粒比例較小。

表 10 菜園試驗地栽植樣帶之粒徑組成

樣區	砂粒(%)	粉粒(%)	粘粒(%)
第 2 栽植帶(前段)	68	6	26
第 2 栽植帶(後段)	79	4	17

進一步將砂粒細分成 5 個等級，則發現菜園濕地之土壤以細沙比例較高(表 11)，前後段栽植試驗地之細沙比例高達 33.7 及 28.0%；而較易漂移的極細砂比例亦高，分別為 16.5 及 24.3%。

表 11 菜園試驗地栽植樣帶底質之砂粒分級(%)

樣區	極粗砂	粗砂	中砂	細砂	極細砂
第 2 栽植帶(前段)	14.8	17.0	15.3	33.7	16.5
第 2 栽植帶(後段)	18.4	13.5	14.4	28.0	24.3

土壤基質為影響紅樹林植物群落的生態分布及維持的重要因素，徐海等(2008)將紅樹林土壤之基本特徵敘述如下：

1. 成土時間短，許多方面保有母質特性

花崗岩或玄武岩的風化物經海潮和河流的分選及攜帶，隨時都有一定數量的泥沙被帶到紅樹林灘沈積下來。由於受海水浸漬，土壤無結構、無明顯分層。

2. 土壤呈還原狀態，具有沼澤化特性

由於海潮的時常淹浸，紅樹林土壤處於還原狀態。除表層顏色較淺的氧化層外，其餘土體都呈水分飽和狀態，通氣條件差，氣相部分比例小於 1%；氧化還原電位低，還原物質含量高，隨著剖面深度的降低，具有明顯的沼澤化特徵。

3. 土壤含鹽量高，具有鹽澤化特徵

由於海水的週期浸漬及紅樹林與土壤間元素的循環作用，紅樹林土壤含鹽量較高，一般在 1% 以上，並且質地愈黏重合鹽量愈高。砂質紅樹林土壤含鹽量小於 1%，輕壤質-輕黏質紅樹林土壤含鹽量達 1-3%，黏質土壤可達 4%。含鹽量除受土壤質地類型的影響外，也受河口淡水之影響。

4. pH 值低，土壤呈強酸性

紅樹林的酸化作用對土壤 pH 值產生較大影響。與未生長紅樹林的土壤比較，紅樹林土壤 pH 值低，表層土壤一般為 3.3-6.9，甚至達 7.5 以上，底層土壤 pH 值為 3.0-3.8，且變化緩慢。質地黏重土壤 pH 值比砂質土壤低；林齡較長的土壤 pH 值比林齡短的土壤低。

5. 有基質豐富，營養元素含量高

與未生長紅樹林的土壤相比，紅樹林有機質含量較高，一般為

25 g kg⁻¹，最高可達 100 g kg⁻¹，平均為 44.8 g kg⁻¹。紅樹林每年有大量凋落物進入土壤，但由於土壤呈還原狀態，有機質分解緩慢而易累積。

紅樹林土壤有機質含量雖高，但由於土壤處於厭氧環境，土壤全氮和速效氮含量不高，C/N 偏大，全磷和速效磷也較低，全鉀和速效鉀含量高。與無紅樹林生長的土壤相較，有紅樹林生長的土壤有機質和氮磷鉀含量均高，且林齡愈長含量愈高。土壤愈黏重，土壤養分含量愈高；其中小於 0.001 mm 物理性黏粒含量與有機質、全氮、全磷和全鉀有顯著性相關。

6. 質地均勻，黏粒含量高

紅樹林土壤是經由河流和海灘的分選搬運後在紅樹林作用下發育形成的，一般質地較細及均勻。根據研究顯示，在同一地點相似環境下，有紅樹林生長之土壤較無紅樹林生長的土壤黏粒含量高，小於 0.001 mm 的物理性黏粒含量達 30-85%。

7. 微生物物種多樣性和獨特性

紅樹林生長在海洋與陸地的過渡帶。從印度西海岸地區幾種紅樹林根部分離出的真菌研究結果顯示，紅樹林根部的真菌群落包括陸地、海洋及淡水的真菌，證明紅樹林生態系統的微生物多樣性。

8. 微生物生理生化多樣性

土壤酶活性可作為土壤肥力的指標之一，紅樹林土壤蛋白酶、轉化酶、尿酶、酸性磷酸酶、過氧化氫酶、多酚氧化酶等 6 種酶活性均較無紅樹林生長之土壤高；而蛋白酶、轉化酶、尿酶及酸性磷酸酶等 4 種水解酶活性，隨土壤深度的加深而降低。

張宜輝等(2006)研究指出土壤鹽度、有機質及 pH 與水筆仔苗木之生長無關，且不同樣區之水文及土壤因子雖有差異，但並非造成水筆仔幼苗生長差異之主要原因。而本研究調查廢棄魚塭栽植前之水質及土壤，僅可作為未來紅樹林栽植成活後，若持續長期進行生育環境監測之參考值，對本次研究苗木之成活及生長量無明顯影響。

三、栽植紅樹林之成活率與生長

(一) 青螺不同樹種之耐淹水性試驗

本試驗 3 個栽植樣區由岸邊到水邊之距離均為 40 m，測定其潮差高度為 64 cm，每株栽植苗木之潮差高度為 1.6 cm 左右。滿潮時水位可達岸邊草生地，且將栽植苗木淹沒海水中，但屬於極為平緩且適合紅樹林栽植之潮間帶地形(照片 77-84)。欖李果實在海水中屬於下沈型且無法發芽(Clark *et al.*, 2001)，故本計畫於 2010 年 8 月 27 日調查栽植 1 個月後之苗木成活率，結果顯示欖李軟盆苗在第一及第二樣區的成活率已經降低為 68.3 及 64.2% (表 12)，而第三樣區因有堆砂導致苗木被掩埋，因此成活率僅剩 36.7%(照片 85-92)。

2010 年 10 月 16 日曾赴試驗地觀察，此時雖已開始進入冬季但溫度仍高；栽植在靠岸邊之欖李苗木，雖然大部分葉片脫落然成活率仍高；而靠近栽植樣區中間淹水較深處，欖李苗木則多已死亡(照片 93-96)。2011 年 2 月調查栽植 7 個月後，3 個試驗區從岸邊到魚塭中間相距 40 m 公尺間所栽植之欖李苗木已經完全死亡(表 12)。根據台南安平港及龍岡社區之栽植經驗，若生育地環境適合，選用 6 個月生的欖李苗木在春季栽植，不但成活率高且苗木生長快速；栽植 10 個月後的苗高已可達 95-108 cm，地徑達 37 mm 左右(范貴珠等，2005)。

由於 0.75% NaCl 為欖李苗木生長之最適合鹽度，鹽度增加至 3.0% NaCl 會使苗木所有形態參數明顯下降，而 4.5% NaCl 為此苗木之致死濃度(范貴珠等，1999)。而且欖李為缺乏呼吸根之紅樹林樹種，不耐長期淹水環境(Tomlison, 1994)。在澎湖濕地惡劣環境下，應選用 2 年生以上經健化培育之苗木才能有較高成活率。本次栽植苗木係在屏東科技大學苗圃溫室栽培之 1 年生苗木，且出栽前未經健化處理，加上在夏季高溫環境下栽植，因此苗木死亡率高。



照片 77 青螺試驗區栽植後第一次漲潮



照片 81 栽植之欖李在漲潮時淹沒於水中



照片 78 青螺試區栽植後第一次漲潮帶來之漂流物



照片 82 青螺栽植試驗區滿潮時之景觀



照片 79 青螺栽植區內有漁網可能造成傷害



照片 83 青螺試區第一次退潮後欖李已呈乾縮狀態



照片 80 青螺試區栽植後隨漲潮漂入之木條



照片 84 欖李苗木浸泡一次海水後即呈脫水狀態



照片 85 青螺試驗地栽植 1 個月後景象



照片 89 青螺試驗地欖李死亡率高且葉片多沾滿爛泥



照片 86 第二樣區靠岸之欖李成活率較高



照片 90 成活欖李有不同藻類纏繞之威脅



照片 87 少數 1.5 年生欖李苗木存活



照片 91 海岸之垃圾碎片多亦為苗木威脅



照片 88 大部分成活欖李有從幹部萌發細小葉片



照片 92 第三樣區靠岸處因堆砂欖李死亡率較高

表 12 青螺試驗地不同栽植樣區之欖李及五梨跂苗木成活率

樣區	行數	2010.08.28		2011.02.10	
		欖李	五梨跂	欖李	五梨跂
第一樣區	第 1 行	70.0	100	0	77.5
	第 2 行	67.5	100	0	67.5
	第 3 行	67.5	100	0	77.5
	平均	68.3±1.4	100±0	0±0	74.2±5.8
第二樣區	第 1 行	85.0	97.3	0	52.5
	第 2 行	60.0	94.7	0	55.0
	第 3 行	47.5	100	0	60.0
	平均	64.2±19.1	97.3±2.6	0±0	55.8±3.8
第三樣區	第 1 行	30.0	95.0	0	20.0
	第 2 行	45.0	87.5	0	22.5
	第 3 行	35.0	90.0	0	12.5
	平均	36.7±7.6	90.8±3.8	0±0	18.3±5.2

Clarke *et al.* (2001) 調查五梨跂的成熟胎生苗在海水或淡水環境均屬於漂浮型，在需 14 天根系才開始發育，而且調查第 23 天有生根胎生苗之比率僅 3.3%。而何斌源、賴廷和(2007)在廣西英羅灣灘地上建造 8 個高程梯度(320-390 cm，相隔梯級間高度差 10 cm)的試驗平台，研究淹水逆境對 1 年生紅海欖幼苗生長和生理指標的影響；結果顯示淹水時間較長的小高程(320-330 cm)對幼苗高生長有些微的促進

作用；高程越低，則幼苗的葉片數、葉面積和葉保存力越低，且成活率降至 40.0%，但 370 cm 以上高程之成活率均在 80% 以上，因而建議此為廣西沿海五梨跤胚軸造林的宜林界線。而本試驗直插五梨跤胎生苗 1 個月後之成活率相當高，第一及第二樣區成活率分別為 100 及 97.3% (表 12)，而最低者為第三樣區，然成活率仍高達 90.8%；此主要係因本試驗地之高程差較小，屬於緩坡潮間帶地區而為五梨跤之宜林界線。直插 1 個月後之胎生苗正開始萌發新葉，整支胎生苗幾乎均沾滿細泥，有些甚至被藻類所完全被覆，需用人工將其除去以免影響葉片萌發 (照片 97-100)。直插之五梨跤胎生苗經過 7 個月後成活率已明顯降低，第一樣區雖維持 72.4% 成活率，但第二及三樣區已分別降低至 55.8 及 18.3% (表 12)。因冬季低溫且鹽務危害嚴重，大部分成活苗木葉片僅剩 2-4 片左右，呈現部分枯萎或全部枯萎現象 (照片 101-105)。第三樣區因較近出海位置，漲潮潮水力量較其他 2 樣區為大，因此僅半年時間，土壤堆砂較其他 2 樣區為高，不但砂粒較粗、較乾燥且掩埋五梨跤胎生苗基部，造成直插胎生苗死亡率高 (照片 106-108)。

Clarke *et al.* (2001) 研究指出鹽分處理 4 個月後，五梨跤之根系與地上部發育不受鹽度影響，最適合生長在 1.5-3.0% 之鹽度環境；惟范貴珠、徐誠宏 (2009a; 2009b) 研究結果指出，五梨跤在 0.75% NaCl 鹽度處理會有最佳之形質生長及生理反應，且生長 3 個月後新萌芽高度即可達 16.2 cm。直插在三個試驗樣區之五梨跤胎生苗，成活苗木經 7 個月時間生長後，新萌芽高度以第一樣區的 20.2 cm 較高，第三樣區較小 (15.2 cm) (表 13)；至於 3 個試驗區之新萌芽直徑則無顯著差異，範圍在 4.3-4.7 mm 之間，此生長量明顯較直插在台南市安平港

區及龍岡社區水道者為低。

表 13 青螺試驗地不同栽植樣區 7 個月生五梨跂之新萌芽高及直徑

樣區	新萌芽高 (cm)	新萌芽直徑 (mm)
第一樣區	20.2±6.0	4.3±0.3
第二樣區	18.7±2.6	4.5±0.5
第三樣區	15.2±3.4	4.7±0.7



照片 93 在進入冬季的 10 月至現場調查苗木成活狀態



照片 97 五梨跤胎生苗直插 1 個月後成活率高



照片 94 第二樣區靠岸之欖李仍有較高成活率



照片 98 多數直插五梨跤胎生苗多存活但尚未萌發新葉



照片 95 苗齡較大之欖李苗木幹部仍有萌芽現象



照片 99 少數胎生苗完全被藻類所包裹



照片 96 在 10 月時已見樣區靠水邊之欖李全部死亡



照片 100 直插之五梨跤胎生苗需用人工剝除覆蓋藻類



照片 101 冬季 2 月調查試驗地滿潮景觀



照片 105 藻類懸掛造成成活五梨跤苗木彎曲



照片 102 冬季第二樣區退潮時之景觀



照片 106 第三樣區為堆砂較高且石塊較多之試驗地



照片 103 第二樣區少數成活而葉片較完整之苗木



照片 107 第三樣區僅半年時間堆砂已明顯增加



照片 104 三個樣區多數成活苗木約有 1/3-1/2 枯萎



照片 108 第三樣區成活五梨跤胎生苗約 1/2 被堆砂掩埋

(二) 不同樹種之栽植適應性試驗

至於栽植在較靠塭岸邊之苗木，每一區塊因樹種及栽植位置不同，苗木成活率亦有所差異(表 13)。欖李軟盆苗栽植 1 個月後，在區塊 2、3、4 及 5 之成活率均以栽植在靠岸之第一列較高，但隨著淹水深度增加有降低趨勢(照片 109-110)。至於區塊 1 的第一列末端因靠近進水口，淹水深度較大因而成活率降低。然各區塊栽植之欖李苗木經 7 個月後已經全部死亡(照片 111)；推測主要原因如上所述，於夏季栽植苗齡不足且未健化苗木，此應可作為未來紅樹林栽植之參考。

於各區塊淹水較深處直插之五梨跤胎生苗，調查 1 個月後之成活率，除區塊 5 土質為鬆軟之砂質土，因此胎生苗易被潮水沖走而成活率稍低外(表 13)，其餘區塊之五梨跤胎生苗成活率均相當高，但因土壤堅硬所以根系發育短，不如臺灣栽植紅樹林之表現(照片 112)。而直插胎生苗 7 個月後，各區塊之成活率已明顯降低。由於各區塊各列之潮差非常接近，各列直插五梨跤之成活率係因微地形之土壤質地差異很大所致；其中區塊 1、2 及 3 因土壤質地較鬆軟泥濘，因此直插之五梨跤胎生苗成活率較高，範圍在 45-82.2% 之間。區塊 4 因土壤流失，多為石塊因此成活率明顯降低。高海燕(2007)在廈門杏林海岸利用工程方法，用機械挖掘設立樣地(未填高樣地、填高 0.5 m 樣地及填高 1.0 m 樣地)，然後直插水筆仔胎生苗及栽植 20 個月生之海茄苳苗木，研究指出 2 樹種屬於較先鋒的種類，過高的高程不利於生長，因此在填高 1.0 m 之樣地成活率反而最低；此亦可能為本試驗區塊 5 因堆砂增加，因此直插 3 列五梨跤之成活率分別僅 10-16.7% (照片 113-116)之可能原因。

表 14 青螺試驗地不同區塊之欖李及五梨跂苗木成活率

位置	樹種-列數	栽植株數	2010.8.28	2011.02.10
			成活率(%)	成活率(%)
區塊 1	欖李-1	50	48.0	0.0
	欖李-2	47	70.2	0.0
	五梨跂-1	50	98.0	64.0
	五梨跂-2	50	100.0	72.0
	五梨跂-3	50	100.0	62.0
	五梨跂-4	50	100.0	52.0
	五梨跂-5	50	100.0	52.0
區塊 2	欖李-1	45	84.4	0.0
	欖李-2	45	75.6	0.0
	欖李-3	45	53.3	0.0
	五梨跂-1	45	100.0	57.8
	五梨跂-2	45	93.3	57.8
	五梨跂-3	45	88.9	51.1
	五梨跂-4	45	100.0	64.4
區塊 3	欖李-1	20	80.0	0.0
	欖李-2	20	80.0	0.0
	五梨跂-1	20	95.0	45.0

	五梨跂-2	20	95.0	70.0
	五梨跂-3	20	95.0	80.0
	五梨跂-4	20	100.0	65.0
	五梨跂-5	20	100.0	50.0
區塊 4	欖李-1	40	65.0	0.0
	欖李-2	40	52.5	0.0
	五梨跂-1	10	100.0	30.0
	五梨跂-2	10	100.0	40.0
	五梨跂-3	10	100.0	40.0
區塊 5	欖李-1	30	66.7	0.0
	欖李-2	30	30.0	0.0
	五梨跂-1	30	83.3	16.7
	五梨跂-2	30	90.0	16.7
	五梨跂-3	30	86.7	10.0



照片 109 在區塊內靠岸之欖李栽植1個月後成活率較高



照片 113 直插在區塊2之五梨跤胎生苗成活率較高



照片 110 青螺試驗地欖李栽植1個月後葉片多沾滿爛泥且死亡率高



照片 114 五梨跤葉片因長期遭海水浸泡及鹽務而凋萎



照片 111 區塊岸邊栽植之欖李7個月後全數死亡



照片 115 五梨跤葉片沾滿污泥將影響葉片光合作用功能



照片 112 各區塊直插五梨跤1個月後成活率高但尚未萌發新葉



照片 116 有些胎生苗遭螃蟹從基部剪斷而死亡

直插在不同區塊成活之五梨跤苗木，7個月後新萌芽高度除區塊4因土壤堅硬及石塊多而高度較小(11.2 cm)外(表15)，其餘區塊之平均新萌芽高度均為18.0 cm左右；至於各區塊之新萌芽直徑則無顯著差異，範圍在4.4-4.7 mm之間。陳鷺貞等(2010)大陸學者曾調查2008年極端氣候之低溫對華南沿海各地區(最低月均溫10.3-18.3°C)紅樹林的危害，結果顯示大樹之耐寒能力從高至低為：秋茄(水筆仔) > 桐花樹 > 白骨壤(海茄苳) > 木欖 > 無瓣海桑 > 紅海欖(五梨跤) > 海蓬 > 海桑。而同一地點苗圃培育之幼苗耐寒力又低於大樹者，幼苗之耐寒能力分別為秋茄(水筆仔) > 桐花樹 > 白骨壤(海茄苳) > 木欖 > 紅海欖(五梨跤) > 海蓬 > 無瓣海桑 > 海桑，而且引種時未進行抗寒鍛鍊的五梨跤苗木大部分死亡。渠等認為五梨跤之抗寒力雖較其他樹種為低，但其恢復能力仍高於引種植物，因此仍為一可考慮之造林樹種。然鄭堅等(2010)進行幾種紅樹植物在浙南沿海北移的引種試驗結果，亦顯示水筆仔最耐寒，成活率高達77%，而五梨跤及海茄苳則全部死亡。澎湖冬季原已比本島環境更為嚴峻，尤其2010年12月及2011年1月份平均最低溫度為11.9及10.3°C，已達紅樹林最低生長溫度，然仍有一定成活率。而五梨跤直插胚軸造林之新萌芽高度快速生長期出現在第2年(莫竹承、范航清，2001)，因此本樹種是否可適應澎湖青螺之環境，則需持續觀察未來之生長狀態始可作為結論。

表 15 青螺試驗地不同栽植區塊 7 個月生五梨跂之新萌芽高及直徑

位置	新萌芽高 (cm)	新萌芽直徑 (mm)
區塊 1	18.0±3.6	4.5±0.9
區塊 2	18.0±2.3	4.7±0.7
區塊 3	18.2±1.5	4.7±0.5
區塊 4	11.2±2.9	4.5±0.6
區塊 5	18.8±6.1	4.4±0.4

(二) 菜園濕地紅樹林栽植試驗

許多研究指出影響紅樹植物幼苗早期根系生長之主要原因為底質土壤鹽度、海水淹浸時間及潮水流速。底質土壤鹽度過高、潮位太低導致海水淹浸時間太長，均會導致紅樹植物幼苗萌根時間延遲及根系生長不良，當幼苗受到潮水沖刷時易被帶走(McKee, 1995; Elster *et al.*, 1999; Krauss and Allen, 2003; Clarke *et al.*, 2001; Minchinton, 2001)。第一樣帶堤岸邊栽植之欖李因土壤黏重及沖刷大，因此 2010 年 8 月調查栽植 1 個月後死亡率極高，成活率僅剩 20.7% (表 16)(照片 117)。而直插之五梨跂胎生苗成活率為 81.3%，亦較其他栽植試區為低。至於密植於小沙洲上之欖李全數死亡，主要此區為每日漲退潮之主要通道，水流速度大、垃圾及藻類沖刷亦多，因此短時間內苗木全數死亡(照片 118)。惟此區直插之五梨跂胎生苗上面雖纏繞許多藻類或垃圾(照片 119-120)，然成活率仍高達 96.9%。第二樣帶旁邊之魚塢內在高溫之夏季有大量藻類，在靠近堤岸邊栽植之欖李苗木，1 個月後成活率為 49.1%(照片 121-122)；直插之五梨跂胎生苗除少數漂走或被螃蟹剪斷外，成活率則高達 97.7%(照片 123-124)。

在 2010 年 2 月調查時，在菜園濕地各栽植小區之欖李苗木已全部死亡(表 16)，主要原因則是淹水太深、無適當生育地供苗木生長及藻類大量繁殖等因素(照片 125-128)。而密集直插在第一樣區堤岸之五梨跤胎生苗，因為藻類繁殖覆蓋及螃蟹危害因素，因此第 7 個月之成活率已降至 27.3%(照片 129-131)。此與張宜輝等(2006)研究福建樟江口紅樹林水筆仔幼苗生長動態之研究亦指出，潮位、鹽度、底質土壤理化因子並非造成水筆仔幼苗生長差異的主要因子，而動物取食、光照狀況及種間競爭是限制生長主要因子，尤其昆蟲及螃蟹等動物取食為導致已固著幼苗大量死亡之結果相似。然在水流沖蝕強勁的小沙洲上，成活率仍保有 68.1%，顯示若用完全成熟之胎生苗，直插在適合之土質，五梨跤可迅速發根抵擋強勁之水流(照片 132)。直插成活之五梨跤之新萌芽高度及直徑如表 17 所示，未來需持續調查生長。

表 16 菜園試驗地不同栽植樣帶之欖李及五梨跤苗木成活率

位置	樹種	栽植株數	2010.8.28	2011.02.10
			成活率(%)	成活率(%)
第一樣帶(堤岸)	欖李	150	20.7	0.0
	五梨跤	300	81.3	27.3
第一樣帶(小沙洲)	欖李	60	0.0	0.0
	五梨跤	160	96.9	68.1
第二樣帶	欖李	210	49.1	0.0
	五梨跤	830	97.7	0.6

表 17 菜園試驗地不同栽植樣帶 7 個月生五梨跂之新萌芽高及直徑

位置	新萌芽高 (cm)	新萌芽直徑 (mm)
第一樣帶(堤岸)	21.5±2.1	4.0±0.6
第一樣帶(小沙洲)	19.0±8.0	4.3±0.6
第二樣帶	10.2±4.3	4.1±0.8

四、菜園濕地紅樹林臨時苗圃設置

2010 年 6 月於菜園濕地以 5 寸黑色軟盆培育之五梨跂胎生苗，因周圍有海茄苳保護，第一批直插梨跂胎生苗經 3 個月之生長，已經長出 2-3 對葉片。第二批直插胎生苗經 2 個月生長，亦已長出 1-2 對葉片，顯示苗木生長情形非常良好(照片 138-139)。陳鷺真等(2008)調查大陸南方各地苗圃中紅樹植物幼苗受凍害情況，結果顯示在 2008 年的寒害過程中，除海口以外，各地培育之無瓣海桑和海桑苗木全部凍死。廣東深圳、湛江所培育的木欖、紅海欖和白骨壤幼苗存活率也很低。僅在湛江高橋有 30% 的無瓣海桑由人工覆蓋塑膠薄膜才倖免於難，因此認為在低溫前苗圃內之紅樹林幼苗需用保溫措施以避免寒害。而本研究在菜園濕地放置之五梨跂軟盆苗，平日並無雇工照料及於冬季採取保溫措施，然在 2011 年 2 月前往調查時發現，幾乎所有苗木均安然度過寒冬，僅少數葉片枯萎、盆內泥土沖蝕較多，每株苗木已長出 3-4 對葉片，生長勢算相當健壯，可作為春季栽植之良好材料(照片 140)。

根據莫竹承、范航清(2001)比較五梨跂胚軸造林及容器苗造林之結果顯示，容器苗造林之幼苗各種生長指標優於胚軸造林者，其中實生高(即新萌芽高度)增加 36%，基徑增加 18%，成活率增加 11%。3 年生

五梨跤造林之實生高相當於甚至超過胚軸造林的 4 年生者，亦即容器苗造林較胚軸造林縮短 1 年的幼苗生長期。菜園臨時苗圃所培育之容器苗預計於今年春季栽植於青螺魚塭，持續觀察五梨跤苗木生長勢，以作為澎湖紅樹林育苗及栽植之重要參考。

五、紅樹林造林成本計算

Saenger (2002)指出任何描述更新之成本均很難量化。而紅樹林之復育有許多不同變數，例如地區性的工資成本、生育地特性(可到達性及大小)、胎生苗來源地之距離、使用胎生苗、苗木或移植方式。表 18 為澳洲昆士蘭省布利斯班國際機場移植計畫之經費(Saenger, 1996)。

表 18 布利斯班國際機場培育及栽植之每株紅樹林苗木成本(以 1980 年澳幣計算) (Saenger, 1996)

植物材料	每株成本	成活率
繁殖體	< \$ 0.5	30-90%
1 年生苗木	\$0.74 - \$ 1.33	40-60%
移植	\$4.5	80%

移植成本包括在機場生育地收集適合植物、運輸、栽植、建造及維護。樹種為海茄苳及桐花樹，栽植區域為分洪河道 2 側寬 10 m × 6.2 km 區域；每 100 m² 栽植 41 株，即栽植密度為 1.5 m × 1.5 m。栽植小樹的總成本(1980 年時)為 \$A228,271 或 \$4.5 株⁻¹。

有設施之商業苗圃培育之 1 年生苗木，由繁殖、種植及建造之成本為 \$A1.28-1.33 元，營建署(construction agency)培育者則為 \$A0.74 元。

對於新鮮採集之繁殖體則無一可靠的成本資料，但被認為會較苗圃培育者少。

Snedaker and Biber (1996)也報導在美國的成本相似。依據栽植時密度，成本約為\$US20,000 ha⁻¹(Saenger, 1996)。而印度則為\$US70-122 ha⁻¹(Untawale, 1996)，泰國為\$US140 ha⁻¹(Aksornkoae et al., 1993)及馬來西亞為\$US314 ha⁻¹(Chan, 1996)，顯示工資非常低廉。

莫竹承、范航清(2001)比較3種不同紅樹林之造林成本計算：

(一) 胚軸造林

將胚軸(胎生苗)直接栽入土壤基質，插入深度為胚軸長度的1/3-1/2，過深則胚軸容易發霉腐爛，過淺則易被海浪沖走；此法簡單易行，適用於大型繁殖體造林，但受胚軸成熟季節性約束較大。

(二) 容器苗造林

用聚已烯薄膜袋(育苗袋裝滿營養土時直徑7 cm，高20 cm)在海上苗圃進行人工育苗，培育出一定規格的容器苗進行造林。此法技術要求高，但造林質量較有保證，特別適合小型胚軸及特殊環境的造林。

(三) 天然苗造林

直接從紅樹林群落挖取天然苗來造林，由於天然苗根系裸露，在移苗和植苗時均容易傷根，造林成活率低，且挖取幼苗對群落的發展有負面影響。

作者依據廣西沿海社會經濟發展和造林經驗，初步得到3種不同造林成本結構(表19)。從經濟角度考慮，胚軸造林費用僅為容器苗造林費用的21%，為天然苗造林費用之27%，此法為費用最低、技術簡單且適宜大規模造林的方法。紅樹林的幼林撫育工作包括看護、補植、防治污損動物及病蟲害，按3年估算的撫育成本，平均每年所需投入

約 0.48 元 株⁻¹。地區性差異和不同造林方式產生的造林成本也不相同，例如在印度 Maharashtra 州，每株 3 年生幼樹造林成本可達 3.46 盧比，而在廣西海岸則為 1.64-2.4 元人民幣。綜合而言，容器苗較胚軸造林成效快，縮短 1 年生時間成林，但造林成本卻增加 46%。從經濟和技術方面而言，胚軸造林是廣為接受的造林方式(莫竹承、范航清，2001)。

表 19 廣西沿海紅樹林造林費用指標 (元 株⁻¹) (莫竹承、范航清，2001)

造林方法	採選繁殖體	育苗費	植苗費	費用合計
胚軸	0.10	0	0.1	0.20
容器苗	0.10	0.44	0.42	0.96
天然苗	0.35	0	0.38	0.73

註：容器苗植苗費包括起苗、運苗和定植費用。育苗費包括育苗材料和用工支出。

由 Ravishankar and Ramasubramanian (2004) 撰寫記載紅樹林苗圃技術手冊中可知，印度 Matlapalem 及 Bhairavalanka 村之村民在自家後院培育紅樹林苗木以增加收入。婦女在發育初期工作 4-5 天左右，而後每天澆水 1 小時，並地其移除藻類及垃圾。而後出售苗齡 8 個月之紅樹林苗木，成本約 1 盧比 株⁻¹。而培育 30000 株紅樹林稚樹之勞工成本則表 20 所示：

表 20 印度苗圃培育 30,000 株紅樹林苗木之勞工吸收(盧比)

工作	人員		工時	工資		總計
	男工	女工		男工	女工	
整地	7		6	60		420
苗床整治	70		6	60		4200
築圍牆	40		6	60		2400
裝袋	28	98	6	60	40	5600
種子收集		42	6		40	1680
袋移至苗床		16	6		40	640
種子栽植		108	6		40	4320
入袋中						
維護		96	6		40	3840
總計	145	360				23100

本研究今年度目前尚未有完成苗木培育工作，因此無法計算育苗成本。



照片 117 菜園濕地第一樣區堤岸邊栽植欖李 1 個月後成活率低



照片 121 菜園濕地夏季魚塭內藻類繁殖量驚人



照片 118 菜園濕地第一樣區小沙洲上欖李苗木全數死亡，而五梨跤仍然成活



照片 122 菜園濕地栽植欖李多為藻類所覆蓋死亡



照片 119 小沙洲上冲刷進入之垃圾量極大



照片 123 菜園濕地直插之五梨跤初期成活率高



照片 120 小沙洲上直插五梨跤胎生苗被藻類完全纏繞



照片 124 少數五梨跤苗木被螃蟹咬斷



照片 125 2010 年 2 月冬季菜園濕地仍有大量藻類繁殖



照片 129 第一樣帶密植之五梨跤成活率較高



照片 126 菜園濕地魚塭冬季有厚重之藻類生長



照片 130 第一樣帶許多五梨跤被大量藻類覆蓋



照片 127 第一樣帶栽植之欖李苗木 7 個月後全數死亡



照片 131 第一樣帶由於缺乏土壤固定許多五梨跤被強勁水流沖倒



照片 128 菜園濕地死亡之欖李根系裸露



照片 132 小沙洲上直插五梨跤苗木成活率較高



照片 133 菜園濕地第二樣帶直插五梨跤多遭螃蟹剪斷之危害



照片 137 菜園濕地可見漁民放置之螃蟹籠，顯示螃蟹數量多



照片 134 菜園濕地直插五梨跤胎生苗被剪斷之胎生苗根系已生長良好



照片 138 於菜園濕地沖刷岩盤地設置之臨時苗圃，苗木因受保護而生長佳



照片 135 第二樣帶直插之五梨跤胎生苗因軟泥無法固定而傾斜



照片 139 五梨跤苗木生長狀況良好



照片 136 菜園濕地後端原有石牆被移動成水道



照片 140 五梨跤軟盆苗未受冬季寒害影響

陸、結論與建議

- 一、本計畫以青螺及菜園濕地為紅樹林栽植試驗地，第 1 年栽植結果可知，青螺試驗地為地形緩和之潮間帶，大部分土質雖然較為堅硬或堆砂較高，但仍屬於較適合栽植紅樹林之生育地。造林成活率低主要是因欖李苗齡不足、出栽前未健化及栽植季節不當所致。
- 二、青螺濕地直插之五梨跤胎生苗 7 個月後，不同潮差之淹水試驗苗木成活率為 18.3-74.2%，而直插在靠岸區塊之成活率亦有 10-82%。成活率低主要是土壤堆砂太高或土質堅硬，至於本樹種未來之生長勢，仍須持續調查。
- 三、菜園濕地目前有土壤之地區已被海茄苳完全佔據，其餘地區已為堅硬岩石或藻類密佈之魚塭，完全無適當之栽植地點；在無法填土或以工程方式改變現況之原則下，目前不建議在此區進行栽植紅樹林工作。
- 四、菜園濕地目前有海茄苳及少數水筆仔生長，數體高大具有保護作用，剩餘空間多為水流強勁之堅硬岩盤地。若尋覓有海茄苳保護之適當地點，僅需花費採集胎生苗及裝土培育之工資，即可以相當低的成本培育五梨跤健壯苗木，因此建議菜園濕地可作為紅樹林臨時苗圃的適當地點。
- 五、大陸學者已指出近年在極端低溫之氣候發生頻繁，不但導致紅樹林植物人工育苗大量凍死，也造成紅樹植物大量落花落果、降低繁殖體產量，將嚴重影響 1-2 年內紅樹林之建造工程。臺灣亦有相似狀況，即進行紅樹林栽植工作時，必須對於各樹種胎生苗或

果實成熟期正確掌握，本計畫因颱風而無成熟海茄苳果實進行直播試驗及育苗，此為日後需密切注意之議題。

六、根據大陸學者研究結果，水筆仔及海茄苳為抗寒性高之樹種，而澎湖造林尚須考慮樹種之耐鹽性，故未來將以耐鹽及抗寒性佳之海茄苳為優先考慮樹種，期能採集足夠果實以直播方式進行造林。

七、大陸學者建議由外地引進種栽植紅樹林時，在苗木(胚軸)引進時可接受抗寒鍛鍊，以減少受寒害之影響。惟此技術恐需增加成本與人力因此並不建議採用此方式。

八、通常紅樹林復育或栽植研究之進行需觀察3年後始可論成敗，且本年度計畫因無法抗拒之氣候因素而無法進行某些試驗，故明年年度期能繼續進行及觀察研究。

九、參考學者建議之維護管理工作中，未來進行紅樹林栽植時需注意事項包括：

(一) 清除種植區和掛在幼苗上之塑膠袋等垃圾物，以避免紅樹林苗木造成長期危害。

(二) 在紅樹林種植初期，禁止漁民在種植區進行掏挖魚蝦等捕撈活動；漁民經過紅樹林區時，盡量減少和避免對幼苗及幼樹的傷害。

(三) 胎生類樹種之胚軸差直深度為胚軸的40%，而需育苗的樹種其幼苗根部要深植入淤泥中，使其樹體不易倒伏；此外，要用竹竿進行固定，防止幼苗被風浪沖倒或受人為破壞。

(四) 補植及擴大栽植

1. 由於海灘環境惡劣，加上沿海地區的捕撈活動頻繁，造成大量的紅樹林幼苗受破壞；因此，需在紅樹幼苗缺損的地方進行適當補

植，以提高紅樹幼苗的成活率。

2. 應適當密植，即使部分苗木受到破壞死亡，也使適量紅樹幼苗保存下來，達到最終造林目標；其中屬於慢生樹種的水筆仔及五梨朥初植規格應為 24、36 株 m^2 、或更密。
3. 根據不同造林地點各種紅樹林的生長情況，選擇適宜的樹種進行擴大種植及拓寬種植帶，並需考慮擴植地點的交通條件。交通便利的地方可適當增加種植數量，便於以後對紅樹林幼苗進行維護管理。
4. 紅樹林幼苗出苗圃時的生長勢和種植精細程度，對紅樹林幼苗生長和成活有重要影響。通常出圃時苗木粗壯，則種植後容易生根生長，未來生長勢較佳。若苗木細弱則容易被海面風浪沖倒，不易成活或生長細弱。同時，種植時幼苗插植愈深愈牢，則能經受海浪的衝擊，不易倒伏使根系暴露，日後成活率較高且生長愈佳。

柒、參考文獻

- 何斌源、賴廷和 (2007) 廣西沿海紅海欖造林的宜林臨界線。應用生態學報 18(8):1702-1708。
- 呂奕民、王國棟 (2009) 紅樹林生態景觀型護岸的營造—以廣州市大角山海濱公園項目為例。廣東園林 31:37-40。
- 范貴珠、劉正平、葉慶龍、吳清富、陳喬增 (1995) 澎湖青螺灣紅樹林復育研究之初步成果 台灣林業 21(12): 18-24。
- 范貴珠、葉慶龍 (2002) 紅樹林生態系復育之觀念與作法 台灣林業 28(1):35-45。
- 范貴珠、葉慶龍、顏江河、許博行 (2004) 安平港紅樹林復育監測計畫(第三期)。高雄港務局、屏東科技大學院合作報告。268頁。
- 范貴珠、葉慶龍 (2005) PVC 管在安平港紅樹林復育上之應用。台灣林業 31(2):18-23。
- 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。
- 范貴珠 (2006) 適用於台灣之紅樹林造林技術。台灣林業 32(1):4-11。
- 范貴珠、陳高樑、葉慶龍、陳喬增 (2006) 澎湖青螺灣復育紅樹林之生長適應性研究。台灣林業 32(5): 35-46。
- 范貴珠 (2006) 紅樹林人工復育。郭幸榮編輯 育林手冊。行政院農業委員會林務局編印。315頁。
- 范貴珠 (2007) 台南市龍岡河道之紅樹林復育成效探討。台灣林業 33(6): 13-24。

- 范貴珠 (2008) 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。林業研究季刊 30(1):1-14。
- 范貴珠、徐誠宏 (2009a) 鹽分對五梨跤(*Rhizophora stylosa*)苗木形質生長之影響。中華林學季刊 42(1): 41-55。
- 范貴珠、徐誠宏 (2009b) 鹽分對五梨跤(*Rhizophora stylosa*)苗木生理反應之影響。中華林學季刊 42(3):347-361。
- 范貴珠、徐志宏、李鴻麟 (2009) 澎湖青螺濕地復育紅樹林之生長、族群結構及生物量調查。屏東科技大學、屏東林管處研究計畫報告。99 頁。
- 范貴珠 陳高樑 陳喬增 徐志宏 (2010) 青螺濕地栽植紅樹林之生長適應性。森林資源保存與利用研討會論文集。行政院農委會林業試驗所編印。P115-125。
- 高海燕 (2007) 不同高程下秋茄和白骨壤幼苗生長的動態研究。科技信息 33:212-214。
- 徐海、陳少波、張素霞、仇建標、黃曉林 (2008) 紅樹林土壤基本特徵及發展前景。安徽農業科學 36(4):1496-1497, 1504。
- 陳鷺真、王文卿、張宜輝、黃麗、趙春磊、楊盛昌、楊志偉、陳粵超、徐華林、鍾才榮、蘇博、方柏州、陳乃明、曾傳志、林光輝 (2010) 2008 年南方低溫對我國紅樹植物的破壞作用。植物生態學報 34(2):186-194。
- 張喬民、余紅兵、陳欣樹等 (1997) 紅樹林生長帶與潮汐水位關係的研究。生態學報 17(3):258-265。

- 張宜輝、王文卿、吳秋成、方伯州、林鵬 (2006) 福建漳江口紅樹林區秋茄幼苗生長動態 生態學報 26(6): 1648-1656。
- 莫竹承、范航清 (2001) 木欖和秋茄的轉間化感作用研究。 廣西科學 8(1): 61-62。
- 葉勇、譚鳳儀、盧昌義 (2001) 土壤結構與光照水瓶對秋茄某些生長和生理參數的影響。 植物生態學報 25(1):42-49。
- 鄭堅、王金旺、陳秋夏、許加義、李效文、盧翔、雷海清、夏海濤、鄭松發 (2010) 幾種紅樹林植物在浙南沿海北移引種試驗。 西南林學院學報 30(5):11-17。
- 韓維棟、高秀梅、盧昌義 林鵬 (2000) 中國紅樹林生態系生態價值評估。 生態科學 19(1):40-46。
- Ball, M. C. (1988) salinity tolerance in the mangroves *Aegiceras corniculatm* and *Avicennia marina* I. water use in relation to growth, carbon partitioning and salt balance. Australian Journal of Plant Physiology 15:477-464.
- Ball, M. C. (2002) Interactive effects of salinity and irradiance on growth: implications for mangrove forest structure along salinity gradients. Trees-structure and function 16(2-3):126-139.
- Botero, L. and Salzwedel, H. (1999) Rehabilitation of Cienaga Grande de Santa Marta, a mangrove-estuarine system in the Caribleam coast of Colombia. Ocean and Coastal Management 42:243-256.
- Bremner J. M. (1965) Total nitrogen, inorganic forms of nitrogen, organic forms of nitrogen, nitrogen availability indexes. In C.A. Black et al. (ed.) Methods of soil analysis, Part 2, Agronomy 9:1149-11255, 1324-1348. Am, Soc. Of Agron ., Inc., Madison,

Wis.

- Brown, S. and Lugo, A. E. (1994) Rehabilitation of tropical lands: A key to sustaining development. *Restoration Ecology* 2(2):97-111.
- Burchett, M. D., Pulkownik, A., Grant, C. and Macfarlane, G. (1998a) Rehabilitation of saline wetlands, Olympics 2000 site, Sydney (Australia)-I: Management strategies based on ecological needs assessment. *Marine Pollution Bulletin* 37(8-12):515-525.
- Burchett, M. D., Allen, C., Pulkownik, A. and Macfarlane, G. (1998b) Rehabilitation of saline wetlands, Olympics 2000 site, Sydney (Australia)-II: Saltmarsh transplantation and trials and application. *Marine Pollution Bulletin* 37(8-12):526-534.
- Clarke P. J. and Allaway W G. (1993) The regeneration niche of grey mangrove (*Avicennia marina*): effects of salinity, light and sediment factors on establishment, growth and survival in the field. *Oecologia*, 93:548-556.
- Clarke, P. J. and Myerscough, P. J. (1993) The intertidal distribution of the grey mangrove (*Avicennia marina*) in southeastern Australia: the effect of physical conditions, interspecific competition and predation on propagule establishment and survival. *Australian Journal of Ecology* 18:307-315.
- Clarke, P. J. Kerrigan, R. A. and Westphal, C. J. (2001) Dispersal potential and early growth in 14 tropical mangroves: do early life history traits correlate with patterns of adult distribution? *Journal of Ecology* 89:648-659.
- Costanza R. d'Arge, R., Groot, R., Farber, S., Grasso, M. Hannon, B. Limburg, K. Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Paskin, R. G., Sutton, P. and van den Belt, M. (1997) The value of the world's

- ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.
- Dahdouh-Guebas, F., Jayatissa, L. P. Nitto, D. Di. Bosire, J.O. Lo Seen, D. and Koedam, N. (2005) How effective were mangroves as a defense against the recent tsunami? *Current Biology* **15**(2): 443-447.
- Day, S., Streever, W. J. and Watts, J. J. (1999) An experimental assessment of slag as a substrate for mangrove rehabilitation. *Restoration Ecology* 7(2):139-144.
- Ellison, A. M. (2000) Mangrove restoration: Do we know enough? *Restoration Ecology* 8(3):219-229.
- Elster, C. (2000) Reasons for reforestation success and failure with three mangrove species in Colombia. *Forest Ecology and Management* 131:201-214.
- FAO (1994) *Mangrove Forest Management Guidelines*. FAO Rome, p. 319.
- Farnsworth, E. J. and Ellison, A. M. (1997a) The global conservation status of mangroves. *Ambio* 26(6):328-334.
- Farnsworth, E. J. and Ellison, A. M. (1997b) Global patterns of pre-dispersal propagule predation in mangrove forests. *Biotropica* 29(3):318-330.
- Field, C. D. (1998) Rehabilitation of mangrove ecosystems: An overview. *Marine Pollution Bulletin* 37:383-392.
- Field, C. D. (1999) Mangrove rehabilitation: choice and necessity. *Hydrobiologia* 413:47-52.
- Higgs, E. S. (1997) What is good ecological restoration? *Conservation Biology* 11(2):338-348.
- Hobbs, R. J. and Norton, D. A. (1996) Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology* 4(2):93-110.

- Hseu, Z. Y. and Chen, Z. S. (2000) Monitoring the changes of redox potential, pH and electrical conductivity of the mangrove soils in northern Taiwan. *Proc. Nat. Sci. Counc.* 24(3):143-150.
- Imbert, D., Rousteau, A. and Scherrer, P. (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.
- Jackson, L. L., Lukhine, N. and Hillyard, D. (1995) Ecological restoration: a definition and comments. *Restoration Ecology* 3(2):71-75.
- Kaly, U. and Jones, G. P. (1998) Mangrove restoration: A potential tool for coastal management in tropical developing countries. *Ambio* 27(8):656-661.
- Kathiresan, K. and Bingham, B. L. (2001) Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Advances in Marine Biology* 40:84-254.
- Kathiresan, K. and Rajendran, N. (2005) Coastal mangrove forests mitigated tsunami. *Est Coastal Shelf Sci* 65: 601-606.
- Kristensen, E., Bouillon, S., Dittmar, T. and Marchand, C. (2008) Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review. *Aquatic Botany* 89: 201-219.
- Lewis III, R. R. (2000) Ecologically based goal setting in mangrove forest and tidal marsh restoration. *Ecological Engineering* 15:191-198.
- Lewis, R. R., and Streever, B. (2000) "Restoration of mangrove habitat," WRP Technical Notes Collection (ERDC TN-WRP-VN-RS-3.2), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. www.wes.army.mil/el/wrp
- Lin, G. and Sternberg, L. da S. L. (1995) Variation in propagule mass and

- its effect on carbon assimilation and seedling growth of red mangrove (*Rhizophora mangle*) in Florida, USA. *Journal of Tropical Ecology* 11:109-119.
- Linton, D. M., and Warner, G. F. (2003) Biological indicators in the Caribbean coastal zone and their role in integrated coastal management. *Ocean Coast Management* 46: 261-276.
- Lugo, A. (1998) Mangrove forests: a tough system to invade but an easy one to rehabilitate. *Marine Pollution Bulletin* 37(8-12):427-430.
- MacMahon, J. A. (1997) Ecological restoration. P. 479-511. In Meffe, G. K. and Carroll, C. R. eds. *Principles of Conservation Biology*. Sinauer Associates, Inc. Massachusetts. 729 pp.
- McKee, K. L. (1993) Soil physicochemical patterns and mangrove species distribution-reciprocal effects? *Journal of Ecology* 81:477-487.
- McKee, K. L. (1995a) Mangrove species distribution and propagule predation in Belize an exception to the dominance predation hypothesis. *Biotropica* 27:334-345.
- McKee, K. L. (1995b) Seedling recruitment patterns in a Belizean mangrove forest: effect of early growth ability and physico-chemical factors. *Oecologia* 101:448-460.
- McKee, K. L. and Faulkner, P. L. (2000) Restoration of biogeochemical function in mangrove forests. *Restoration Ecology* 8(3):247-259.
- Minchinton, T. E. (2001) Canopy and substratum heterogeneity influence recruitment of the mangrove *Avicennia marina*. *Journal of Ecology* 89(5):888-902.
- Olsen, S. R. and Sommers, L. E. (1982) Phosphorus. In Page, et al., (eds.) *Methods of Soil Analysis. Part II: Chemical and Microbiological properties*. Second Edition. ASA. CSSA. SSSA. Madison.

- Wisconsin. P.403-430 (1982).
- Othman, M. A. (1994) Value of mangroves in coastal protection. *Hydrobiologia* 285:277-282.
- Ruiz-Jaen, M. C. and Aide, T. M. (2005) Restoration success: How is it being measured? *Restoration Ecology* 13(3):569-577.
- Smith, S. M. and Lee, D. W. (1999) Effects of light quantity and quality on early seedling development in the red mangrove, *Rhizophora mangle* L. *Bulletin of Marine Science* 65(3):795-806.
- Spurgeon, J. (1998) The socio-economic costs and benefits of coastal habitat rehabilitation and creation. *Marine Pollution Bulletin* 37(8-12):373-382.
- Rabinowitz, D. (1978) Mortality and initial propagule size in mangrove seedlings in Panama. *Journal of Ecology* 66:45-51.
- Ravishankar, T. and Ramasubramanian (2004) Manual on mangrove nursery raising techniques. M. S. Swaminathan Research Foundation, Chennai, India. 46pp.
- Robertson, A. I., Giddins, R., and Smith, T. J. III. (1990) Seed predation by insects in tropical mangroves forests: extent and effect on seed viability and the growth of seedlings. *Oecologia* 83:213-219.
- Rubin, J. A., Gordon, C. and Amatekpor, J. K. (1998) Causes and consequences of mangrove deforestation in the Volta Estuary, Ghana: Some recommendations for ecosystem rehabilitation. *Marine Pollution Bulletin* 37(8-12):441-449.
- Saenger, P. (2002) *Mangrove Ecology, Silviculture and Conservation*. Kluwer Academic Publishers, 360pp. London.
- Sousa, W. P., Kennedy, P. G. and Michell, B. J. (2003) Propagule size and predispersal damage by insects affect establishment and early

- growth of mangrove seedlings. *Oecologia* 135(4):564-575.
- Tomlinson, P. B. (1994) *The Botany of Mangroves*. Cambridge University Press. 413pp. U.S.A
- Walters, B. B. (1997) Human ecological questions for tropical restoration: experiences from planting native upland trees and mangroves in the Philippines. *Forest Ecology and Management* 99:275-290.
- Yap, H. T. (2000) The case for restoration tropical coastal ecosystem. *Ocean and Coastal Management* 43:841-851.
- Ye, Y., Tan, F. Y. and Lu, C. Y. (2001) Effects of soil texture and light on growth and physiology parameters in *Kandelia candel*. *Acta Phytoecologica Sinica* 25(1):42-49.
- Zhang, Q. M., Yu, H. B., Chen, X. S, *et al.* (1997) The relationship between mangrove zone on tidal levels. *Acta Ecologica Sinica*, 17(3):258-265.

柒、附錄

附錄一 研究人員

序號	機關名稱	單位名稱	研究人員	職稱
1.	國立屏東科技大學	森林系	范貴珠	教授
2.	國立屏東科技大學	生命科學系	徐志宏	助理教授
3.	國立屏東科技大學	森林系	陳燕晟	研究生
4.	國立屏東科技大學	森林系	王孟宇	學生
5.	國立屏東科技大學	森林系	陳駿瑋	學生
6.	國立屏東科技大學	森林系	林瑋璇	學生
7.	國立屏東科技大學	森林系	林奕辰	學生
8.	國立屏東科技大學	森林系	郭卜文	學生
9.	國立屏東科技大學	森林系	陳珮鈞	學生
10.	國立屏東科技大學	森林系	古婷云	學生