

## 壹、前言

澎湖群島四面環海，沿岸地區具有季節性強風、鹽霧危害嚴重、土壤乾旱及貧瘠等環境逆境，雖然近年靠近內陸之防風林栽植已頗有成效，但海岸前線仍無適當樹種栽植成林。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(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(Kristensen et al. 2008)。紅樹林樹種因具特殊之形態與生理特性，不僅可以攔截泥沙及擴大灘地，亦可保護海堤免於沖蝕損害，有極佳之保安護岸功能。

根據陳明義(1982)及澎湖縣政府陳喬增先生口述，澎湖青螺地區在 1958 年時，由行政院農業發展委員會補助栽植海茄苳(*Avicennia marina*)林分，成林後樹高可達 2-3 m。1960-1970 年代有水產公司承租部分濕地興建魚塢計 50 ha，為當時澎湖最大的魚塢區。業者除將原本茂密成林之海茄苳紅樹林砍伐破壞外，且一併移走富含有機質之底土，因此本區域土壤狀況不佳，除缺乏養分及通氣性差外，並形成硬盤或黏重土壤。1980-1990 年代魚塢堤防導致豐富生物相繼遭破壞，灣內海水亦受養殖場污染而混濁。後因魚塢養殖魚類產生病變，使業者紛紛棄養魚塢。直至澎湖造林工作隊於 1993 年曾栽植 800 株 2-4 年生海茄苳裸根苗，惟當年成活率僅有 10%。農委會於 1994 年補助國立屏東科技大學 1 年經費，在青螺濕地進行紅樹林復育栽植試驗，為台灣最早進行之紅樹林復育研究，惟爾後並無經費支持進行持續性監測。此復育區歷經 14 年時間，目前已成為澎湖最受重視之自然生態解說及賞鳥教育公園，而內政部營建署於 2007 年 12 月將其列為國家級濕地。本計畫為整理歷年之生長調查資料、相片及圖資，以建置青螺濕地紅樹林復育之歷程；此外，收集及調查氣候、土壤及水質等環境因子、濕地周圍植物種類、復育紅樹林之生長及適應機制等。上述資料將與 1994 年栽植時進行比較，並參考世界各國紅樹林經營管理策略，研擬相關建議以作為國家級濕地維護與經營管理之依據。

## 貳、前人研究

### 一、紅樹林復育的理由

Field (1998; 1999)、Kaly 和 Jones (1998)、Imbert 等(2000)學者認為需要復育紅樹林生態系的主要理由包括：

#### 1. 保育自然生態系及景觀

退化的紅樹林生態系如為保育目的，則必須盡可能恢復生態過程及基因歧異度；惟許多因子會影響復育前後生態系之相似性，例如生育地之不可逆改變、生態系之自然變化及缺乏原始生態系基準資料以供比較等。通常若屬於這一類復育計畫，則很少進行經營管理措施及林木生長評估，因此目前很少此類復育計畫。國外最常做的是劃設未受干擾之保護區，即自然保護區(nature reserves)、國家公園(national parks)、野生動物庇護所(wildlife sanctuaries)及國際保護區(internationally protected sites)等(Field, 1998; 1999)。

#### 2. 自然資源之永續生產

紅樹林生態系為一多目標利用系統，可提供高產量及永續生產自然產物。當人類活動(如伐木、木炭、養蝦及破壞)或自然環境改變，導致紅樹林逐漸減少而影響土地利用時則需要復育(Field, 1998; 1999)；例如小安地列斯群島(Lesser Antilles)紅樹林被颶風損毀後，當地社區立即進行復育以保育紅樹林及野生動物，使當地社區能永續利用紅樹林；不但可直接獲得經濟利益，間接亦增加漁獲及生態旅遊價值(Imbert *et al.*, 2000)。

#### 3. 保護海岸地區

紅樹林因特殊的形態特性，不僅可攔截泥沙及擴大灘地，亦可保護海灣不受颶風大浪直接侵襲(Field, 1998; 1999)；例如馬來西亞有 30% 海岸地區受沖蝕的影響，因此利用海堤來保護海岸的農業區；但亦會在海堤與外海間栽種列狀紅樹林，以保護海堤免於沖蝕的損害(Othman, 1994)；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(Dahdouh-Guebas *et al.*, 2005; Kathiresan and Rajendran 2005)。

## 二、紅樹林生態系復育之特殊考慮

近 30 年來世界各國均積極在各受損紅樹林生態系及海岸地區進行復育或栽植工作(Field, 1998; Kaly and Jones, 1998)。Yap (2000)曾指出紅樹林、珊瑚礁及海草等三個海岸生態系中，紅樹林生態系屬於最容易恢復者；若土壤化學、鹽度、沈澱及淹水頻度、淡水注入等環境因子適合，在 2-3 年內即可建立紅樹林植群。Ellison (2000)、Lewis 和 Streever (2000)亦認為復育紅樹林並非特別困難的工作；但由於紅樹林生態系與一般陸生生態系不同，所以在進行復育前，應先考慮許多生育地特性(表 1)。各種因子中又以淹水頻度及持續時間等水文特性，為復育計畫成功與否之最重要因子(Field, 1998; Ellison, 2000; Kaly and Jones, 2000; Lewis and Streever, 2000)。

表 1. 紅樹林生態系復育前需考慮的生育地特性

---

|   |   |
|---|---|
| 生育地穩定性(stability of site)                                   | 隔離(insulation)                              |
| 淤積速率(rate of siltation)                                     | 暴露於風中與否(exposure to wind)                   |
| 土壤狀態(nature of soil)  | 水文表的高度(height of the water table)           |
| 海浪與潮汐頻度(exposure to waves and tidal currents)               | 有害小動物出現與否(presence of pests)                |
| 土壤水鹽度(salinity of the soil water)                           | 繁殖體有效性(availability of propagules)          |
| 淹水深度(depth of tidal inundation)                             | 天然更新跡象(signs of natural regeneration)       |
| 生育地坡度(gradient of site)                                     | 碎片出現與否(absence of debris)                   |
| 淡水的有效性(降雨及逕流)(availability of fresh water)(rain or run-off) | 當地社會之合作(cooperation from local communities) |

---

綜合表 1 內容說明紅樹林復育時需注意：

- (一) 紅樹林最適合生長在浪小之海岸線上，並有廣大陸生區域提供豐富的沈澱物。

- (二) 土壤特徵以砂質土、泥濘地或黏質土最佳，而且必須是穩定、無侵蝕及有足夠土壤深度以支撐苗木；但土壤沈澱速度過快，反而會抑制苗木生長。
- (三) 每一地區之微地形為影響紅樹林苗木成活與否之重要因子，幼苗需適度淹水，但不能過深而淹死苗木；因此水文學對復育工作是很重要的，需要控制進入復育區內之水質、水量及時間。
- (四) 應選擇浪小、沖蝕少、風小及激流少，而能有豐富雨量提供大量淡水之環境，並需與鄰近生態系相容之復育區。
- (五) 紅樹林雖為鹽性植物，但苗木在高鹽度環境下即使成活，生長也不佳，因此生育地鹽度不能太高。
- (六) 紅樹林為淺根系植物，而養分為控制紅樹林生長因子之一，所以表土之理化特性較土壤深度為重要。
- (七) 一般很少在栽植地區進行整地工作，若已有其他植群或農耕作物，則必須先行砍除；而且需瞭解栽植目的樹種之耐蔭性，以便決定復育區之上層樹冠結構。
- (八) 極端退化的區域如由養蝦池新變成泥灘地者，這類土壤狀況變動大，常呈酸性，而且土壤毒性增加，因此復育前必須引進潮水及淡水加以沖洗。
- (九) 注意其他動物如螃蟹、齧齒動物及鳥類危害。

### 三、紅樹林復育技術之選擇

世界各地之紅樹林生育地，若潮汐水文正常而無干擾因子，且鄰近林分漂浮於水上的種子或繁殖體具有活性，並未受干擾或阻塞時，在 15-30 年內即可以自我修復(self-repair)或二次演替成功，而成功復育紅樹林的 5 個必要關鍵性步驟如下(Lewis and Streever, 2000)：

- (一) 瞭解生育地上紅樹林樹種之個別樹種生態學(autecology)，尤其是繁殖形式、胎生苗分布及苗木建立方式。
- (二) 需瞭解正常的水文形式，因為可控制目標紅樹林樹種之分布、建立及生長。

- (三) 評估原來紅樹林環境變化，以預防自然之二次演替。
- (四) 在復育計畫中設計適合水文狀態，且儘可能利用自然漂入之繁殖體建造紅樹林。
- (五) 若自然補充方式無法提供足夠量苗木，而且穩定速率或稚樹生長速率無法達到復育計畫目標時，只能經由 1 至 5 步驟決定樹種後，利用栽植繁殖體、採集或培育苗木方式達成。

紅樹林之復育技術可分為天然更新(natural regeneration)及人工更新(artificial regeneration)二種，國外學者建議復育計畫應以天然更新為主，除非證據顯示確實無法復育成功(FAO, 1994; Field, 1998; 1999; Lewis and Streever, 2000)。紅樹林實施天然更新方式時，必須復育區上要有大量種子或胎生苗，每公頃最少要有 2500 株苗木(FAO, 1994)。若缺乏種子或胎生苗、雜草競爭、過多碎片及土壤貧瘠或水文動態受干擾地區，則不適合採用天然更新方式。Lewis 和 Streever (2000)亦認為最佳的紅樹林生態系復育方式是將造成損害因子移除，而以自然恢復過程重新建立紅樹林生育地。

當自然恢復機制不適合時始需栽植紅樹林，但亦須重新建立適當水文狀況後才實行。紅樹林人工更新方式即利用種子、胎生苗或幼苗栽植於無法天然更新之區域，其優點為：

- (一) 能控制苗木之組成及分布。
- (二) 通常能使用改良之苗木為栽植材料。
- (三) 對於困難或有害物干擾多的地區較容易恢復。

人工更新方法主要包括：

- (一) 以苗木移植在新地區。
- (二) 收集成熟種子或胎生苗直接栽植在該地區，費用較為便宜。
- (三) 在苗圃培育苗木或小樹，然後移植到該地區。

綜合 FAO(1994)、Field (1998)、Ellison (2000)、Imbert 等(2000)及 Lewis 和 Streever (2000)文獻結果，當紅樹林必須採用人工栽植方式時，應注意下列事項：

- (一) 一般最常栽植的是紅茄苳屬(*Rhizophora*)紅樹林，直接以成熟繁殖體插入土壤中可加速紅樹林建立，不需在苗圃事先培育；但此技術不適用小粒及需先脫去種皮而在土壤中長根者，例如海茄苳屬(*Avicennia*)及假紅樹屬(*Laguncularia*)等樹種。
- (二) 紅樹林苗木商業價格以佛羅里達州為例，每株約\$1 美元，1 年生苗木每株\$2 美元。一般栽植距離為 1 m (每公頃 10,000 株)，由於苗木死亡率高，而天然紅樹林密度約每公頃 1,000 株，故初期至少應有 50% 成活率，未來才不致林相稀疏。
- (三) 栽植較大苗木並不會提早樹冠鬱閉，而且大苗木價格較 1 年生苗木貴約 10 倍。
- (四) 雖然終年均為適合栽植季節，但仍以春季栽植為佳，有些地區則是雨季(7-8 月)最佳，因為可避免乾燥及根系生長最快。而且此期間剛成熟的新鮮繁殖體最大，苗木會有最佳成活率與生長勢。
- (五) 通常小區塊內混植多種紅樹林樹種之復育成功機會最大，除可避免有害生物危害外，並可建造永續性紅樹林生態系。

紅樹林生態系一旦復育完成後，需持續模擬及維持生態系之變化過程，各項作業與一般森林計畫相同(表 2)。一個小的復育計畫通常需要模擬監測 2-3 年，甚至需 10 年時間。對於大範圍的復育造林計畫，則可能需模擬 30 年時間(Field, 1998)。

表 2. 紅樹林復育計畫之模擬與維持(Field, 1998)

| 實施方式        | 說明                         |
|-------------|----------------------------|
| 生育地定期進行航空照相 | 為有效的監測方法                   |
| 模擬紅樹林樹種之發育  | 監控繁殖體及種子之原始來源，若鑑定錯誤將導致計畫失敗 |
| 定期模擬生長機能    | 測定苗木密度、胸高直徑、樹高、材積及以上參數之年變化 |
| 模擬生長特徵      | 調查直徑階、節的產生、物候學、結實及對有害生物之抗性 |
| 記錄苗木的死亡狀況   | 提出科學之理由以解釋無法成功原因           |
| 記錄有害生物及病害   | 注意有害生物及病害，並研擬撲滅措施          |

|                 |   |
|-----------------|---|
| 記錄垃圾堆積          | 注意垃圾來源，並使其減量至最少                         |
| 記錄放牧、砍伐、魚塭及釣魚狀況 | 注意逆壓來源並研擬解決問題，例如圍籬、法律驅離等                |
| 調整苗木及稚樹之適當密度    | 適當疏伐，需注意改植及天然更新時之細節                     |
| 評估復育計畫費用        | 以企業觀念評估費用，包括購買土地及一切合法費用                 |
| 模擬收穫方式之衝擊       | 此部份需對復育計畫長期記錄                           |
| 評估復育後紅樹林生態系之特性  | 測定新生態系之動物相、植物相及物理環境，並與鄰近未干擾之相似紅樹林生態系做比較 |
| 測定復育計畫成功之標準     | 很少進行，但為必要的結果                            |

Field (1998)認為若模擬復育後之紅樹林生態系，則應測定樹種組成、植物和土壤結構、系統異質性(heterogeneity)、基本生態過程效率及系統彈性；但一般紅樹林生態系復育計畫，很少進行這些項目測定。Ruiz-Jaen 和 Aide (2005)則建議復育成效主要應測定密度、族群結構及生態過程等三項參數。

#### 四、台灣之紅樹林人工復育栽植概況

台灣自 1945 年開始在西海岸的紅樹林復育工作，而且 1994 年李前總統登輝先生自印尼返國後，指示應廣植紅樹林以保護西海岸地區。爾後各縣市政府均積極進行紅樹林栽植計畫，大部份計畫係在 1-5 ha 小區域內栽植台灣現有的 4 種紅樹林。大多數復育計畫均失敗，僅有少數復育計畫苗木仍然成活，包括：

##### (一) 高雄縣政府執行之高屏溪紅樹林復育計畫

在高屏溪河畔以消波塊所築起的濕地內，栽植海茄苳、五梨跤、水筆仔及欖李苗木。由於復育區鄰近工業區，紅樹林面積已減少至 2-3 ha 左右，而且逐漸被雜草所包圍，許多海茄苳樹體上已有蔓藤攀爬，至於未來此復育區的變化仍須繼續觀察(照片 1-4)。

## (二) 台南縣政府執行之雙春紅樹林復育計畫

1995 年此復育區砍除退化木麻黃林分後，先開挖溝渠引進潮水。由於土質相當適合紅樹林生長，而且周圍預留木麻黃林帶以避免強風侵害苗木。在 2001 年 9 月實地觀摩結果，至少已經成功復育 75,000 株紅樹林苗木，係當時台灣紅樹林復育最成功地區。雙春地區陸續共完成 10 ha 的復育紅樹林面積，包括海茄苳、五梨跤及欖李各 3 ha，水筆仔 1 ha (詹煥榮，2003)。

杜東憲(2005)曾持續觀察雙春紅樹林的生長及林分發育狀況指出，係以海茄苳及五梨跤生長最為優勢，而且樹冠已逐漸鬱閉接觸，五梨跤樹高約 2 m。水筆仔生長狀況居次，樹高約 1.5 m，樹勢不如北部者。欖李則因靠近引水溝堤，已有許多樹幹遭蛀蟲危害而逐漸死亡(照片 5-8)。

## (三) 屏東科技大學與高雄港務局進行之安平港紅樹林復育計畫

### 1. 台南市健康路保護區

#### (1) 淺水區傳統方法復育

健康路保護區自 1998 年起執行海茄苳、五梨跤、水筆仔及欖李等主要紅樹林苗木，並且栽植繖楊及苦檻藍等紅樹林伴生樹種之栽植，目前以海茄苳及五梨跤二種紅樹林為優勢種。欖李及水筆仔因生育地鹽度或溫度過高而生長不佳，其餘試植之繖楊及苦檻藍則因不耐淹水而逐漸死亡。若環境適合加上良好之維護管理，以五梨跤以直插胎生苗方式在第 4 年即可健壯成林，第 6 年樹高即達 4-5 m，可節省育苗時間及造林經費(照片 9、10)。由於五梨跤胎生苗需直立插入土壤，始可成活而長成稚樹。海茄苳果實量多而且較小，擱淺在岸邊後即可長成小苗，因此若無人為控制密度任其自然生長，3-5 年內可能海茄苳會再度成為健康路之優勢種，而逐漸回復到復育前單一林分狀況(范貴珠等，2004)。

#### (2). 深水區之 PVC 管復育

紅樹林苗木對水深、潮汐及海浪的變動非常敏感，通常淹水地區缺乏苗木初期發育的適合環境，因此無法應用傳統的栽植技術。Dr. Riley 在 1995 年發展了 Riley Encased Methodology (REM)，組裝上下 2 部份的 PVC



(poly-vinyl chloride)管，用以保護大紅樹胎生苗抵抗淹水及其他環境逆壓，在傳統栽植技術無法成功的地區，利用此裝入的栽植方法能有效率地建立紅樹林苗木(Riley and Salgado Kent, 1999; Salgado Kent and Lin, 1999)。

高雄港務局在台南市健康路之紅樹林復育區，有 1 ha 為每日受潮水影響之深水區，漲潮時淹水深度達 1.2-1.6 m 左右，由於深水區缺乏紅樹林生長之適合環境，屏東科技大學在 1998 年 7 月將直徑為 4 吋(10 cm)之 PVC 管分別切成 50 及 150 cm 高度，並在每根 PVC 管上鑽出 5 至 10 個小孔，以利管內與外界水分交換。在 PVC 管上方則分別栽植海茄苳、水筆仔及欖李，雖然初期因水面上漂浮垃圾過多，以致成活率僅有 5% 左右。經過不斷補植之後，深水區 150 cm 之 PVC 管苗木成活率仍可維持 60-70%，而便道旁 50 cm PVC 管成活率則高達 90%，樹高已達 400 cm 左右 (照片 11、12)(范貴珠、葉慶龍，2006)。

## 2. 台南市龍岡社區河道紅樹林復育

台南市龍崗社區之紅樹林復育河道，無論土壤及沖蝕情形均不適合紅樹林復育(照片 13)。而 2003 年 2 月執行單位在多次栽植及補植情況下，短短 1 年時間內，整個坡面均有濱水菜覆蓋，而且欖李生長快速而相當健壯，直插五梨跤胎生苗的生長則較為緩慢，每日漲潮時遠眺景觀相當美麗(照片 14)。此河道復育之紅樹林經過 3 年 6 個月之生長後，目前生長狀況相當良好(照片 15)；惟附近漁民以河道阻塞為由，將維護管理便道挖斷而形成一座孤島，將來可能造成紅樹林被蔓藤覆蓋而死亡(照片 16)。



照片 1：高屏溪口紅樹林復育區



照片 5：台南縣雙春地區復育之五梨跖及海茄荖混合林呈現健壯之生長



照片 2：高屏溪紅樹林復育區鄰近石化工廠



照片 6：雙春地區復育之紅樹林有木麻林帶之保護



照片 3：高屏溪口復育之水筆仔苗木



照片 7：雙春地區復育之欖李則生長不佳



照片 4：高屏溪口之海茄荖漸被雜草所包圍



照片 8：雙春復育區靠近水岸之欖李樹幹基部被蛀蟲危害而傾倒



照片 9：安平港健康路直插之五梨跤，經過 5 年後樹高可達 300 cm



照片 13：台南市龍岡水道紅樹林復育前狀況



照片 10：直插五梨跤在環境惡劣地區仍可生長良好



照片 14：龍岡水道紅樹林復育 1 年半後狀況



照片 11：健康路保護區內之深水區用 150 cm PVC 管栽植之五梨跤，生長尚可



照片 15：龍岡水道紅樹林復育 3 年半後呈現美麗景觀



照片 12：50 cm PVC 管栽植之五梨跤呈健壯生長勢



照片 16：復育欖李樹冠上層開始出現蔓藤

#### 四、紅樹林生態系之林分結構及生物量

紅樹林生態系與陸生生態系有極大差異，屬於一個開放性的生態系，養分隨著潮汐輸出至鄰近的海洋生態系(Slim *et al.*, 1996; Kathiresan and Bingham, 2001)。紅樹林生態系若要維持平衡則必須瞭解其結構(structure)及功能(function)，但此結構與功能易受環境因子左右，因此族群結構、林木生長與環境因子間相互關係為生態研究之重要課題(Tam and Wong, 1998; Sherman *et al.*, 1998; Ashton and Macintosh, 2002; Dahdouh-Guebas *et al.*, 2003)。不同紅樹林生態系的組成結構會因樹種、環境因子與演化階段而有很大差異(Fromard *et al.*, 1998)；例如巴基斯坦 Karachi 之海茄荖純林每公頃平均密度約 151.8 株，平均胸高斷面積為 13.3 m<sup>2</sup>，平均樹冠覆蓋度為 4360 m<sup>2</sup> (Saifullah *et al.*, 1994)。紐西蘭各海岸地區之海茄荖平均樹高為 0.58-2.93 m，平均直徑為 3.41-10.11 cm，每公頃密度為 1747-6026 株；而且林分分佈呈 J 反型，向海方向之林分密度較大(Osunkoya and Creese, 1997)。南非 Mgeni 海岸的 *Bruguiera gymnorrhiza* 林分，樹高約在 0.6-5.8 m，每公頃密度約 4700 株(Steinke *et al.*, 1995)。然泰國南部紅樹林以 *Ceriops tagal* 為優勢種，每公頃密度約 11000 株，以樹高及胸高直徑所做的頻度分佈圖為向大直徑級偏歪的分佈模式(Komiyama *et al.*, 2000)。另外，林則桐(1987)調查關渡自然保留區之水筆仔樹密度為 2.5 株 m<sup>-2</sup>，幼苗密度為 0.6 株 m<sup>-2</sup>，齡級分佈曲線為鈴形。李建堂等(2002)則調查經過 10 年後，此保護區之水筆仔相對覆蓋度約佔植群總面積 70.6%；胸徑分布與 1986 年時相同，皆呈反 J 型，顯示更新情形良好。而有關南部地區之紅樹林生態系，葉慶龍等(1995)曾對台南縣北門海茄荖族群結構進行初步調查指出，本區之族群結構呈反 J 型曲線，而較內陸之林分密度僅 1.3 株 m<sup>-2</sup>。而後范貴珠(2008)再度設立樣區詳細調查結果顯示，林分平均樹高為 0.9~1.2 m 間，胸高直徑(DBH)在 2.4~5.1 cm 間，而林分密度則為 5,029~17,000 trees ha<sup>-1</sup>。林木胸高直徑分布多為小徑木，而所有樣木胸徑分布呈反 J 形，顯示此族群呈現更新良好狀態。

以長期演化觀點而言，區域性紅樹林之分佈、林分的建造與土壤養分、鹽度及光線競爭有關(Clarke and Allaway, 1993; McKee, 1995; Chen and Twilley, 1998)。而紅樹林林分之樹種組成及生長與生育地坡度、鹽度變化、

土壤質地及碳酸鹽含量有關(Ukpong, 1997)，或與土壤氮與磷含量、通氣性及鹽度有關(Koch and Snedaker, 1997)，或與土壤水之總磷量、有機碳、硫酸鹽消耗程度及黃鐵礦(pyrite)濃度有關(Sherman *et al.*, 1998)，亦有與土壤養分、土壤 pH 及鹽度有關者(Saifullah *et al.*, 1994; Tam and Wong, 1998)。奈及利亞東南部混生紅樹林林分以主成分分析(principal components analysis)及相關分析(correlation analysis)結果顯示，樹木之胸高直徑、密度、樹冠覆蓋度及其植群特徵與土壤之 Cl 離子濃度呈負相關(Ukpong, 1992)。而後進一步研究結果顯示，與植群最有關的是主要養分元素及鹽分濃度，其次為立地的物理因素及微量元素濃度之影響(Ukpong, 1994)。Ashton 和 Macintosh (2002) 以主成分分析法解釋，影響馬來西亞紅樹林植群分佈之主要環境因子為土壤含水量、pH 及大螯蝦的出現數量；但 Dahdouh-Guebas 等(2003)認為上述的分析方法應用於肯亞與斯里蘭卡的紅樹林生態系時，結果顯示沒有一個環境因子能解釋所有的植群變異。

紅樹林之生物量是估算林分養分蓄積與循環的基礎，生物量結構解析為闡釋生態系機能及特性之有效途徑(Fromard *et al.*, 1998; Komiyama *et al.*, 2000)，而各樹種之相對生長關係(allometric relationships)為推估林分生物量之良好工具(King, 1991)。應用不同生長參數建立樹種之相對生長關係為精確推估林分生物量之有效方法(Khoon and Eong, 1995; Fromard *et al.*, 1998; Komiyama *et al.*, 2000)，常用於溫帶森林和熱帶森林，而應用於紅樹林之研究者亦日益增加。近年來學者已建立各地區不同紅樹林樹種胸高直徑、樹高或生物量間之相對生長關係式，其中海茄苳屬紅樹林之關係式已經建立者有斯里蘭卡(Amarasinghe and Balasubramaniam, 1992)、澳洲北部(Mackery, 1993)、馬來西亞地區(Turner *et al.*, 1995)、南美洲蓋亞那(Chale, 1996)及南美法屬奎亞那地區(Fromard *et al.*, 1998)等。大部份研究將紅樹林視為單一樹幹(single trunk)樹種，而胸高直徑(DBH)與葉、枝條、莖部及地上部總生物量間之相對生長關係以對數方式係呈直線關係(Clough and Scott, 1989; Saenger and Snedaker, 1993)。而五梨朥及海茄苳被視為多幹樹種(multi-stemmed trees)進行分析時，直徑和地上部乾物重間亦呈線性的對數關係(Clough *et al.*, 1997a)。惟同一樹種之樹體結構及相對生長亦會因年齡或生育環境變化而有

所差異(Turner *et al.*, 1995; Farnsworth and Ellison, 1996)，因此不同學者推估之紅樹林生物量迴歸式，尚需依照各地紅樹林之特性而修正(Steinke *et al.*, 1995)。

至於紅樹林生態系之生物量有很大差異，係因其地理位置、種類組成和結構、生育地狀況、群落發育程度與外界干擾等因子影響所致(Saenger and Snedaker, 1993; Kathiresan and Bingham, 2001)。澳洲 Near Brisbane 地區之海茄荖地上部生物量可達 340 t ha<sup>-1</sup> (Mackey, 1993)，但同一樹種在 Mary River 地上部生物量僅 40 t ha<sup>-1</sup> (Saintilan, 1997)。南非的 *Bruguiera gymnorrhiza* 林分平均地上部生物量為 94.5 t ha<sup>-1</sup> (Steinke *et al.*, 1995)，印度 Sunderbans 之 *Ceriops tagal* 之總生物量則僅 4.8 t ha<sup>-1</sup> (Choudhuri, 1991)。馬來西亞 Matang 地區紅樹林混生林分之總生物量可達 202 t ha<sup>-1</sup> (Gong and Ong, 1990)，南美法屬奎亞那的 *Avicennia germinans*, *Rhizophora* spp. 及 *Laguncularia racemosa* 混生林分之總生物量更高達 315 t ha<sup>-1</sup> (Fromard *et al.*, 1998)。此外，不同生育地環境之差異亦會影響生物量之分配方式，例如澳洲西部海岸因環境較為乾燥，因此五梨朥及海茄荖常呈多幹狀態，且大部份生物量係累積在根部 (Clough *et al.*, 1997a)。泰國南部 *Ceriops tagal* 之次生林分中，因生育地環境具有淹水、高鹽分及缺氧環境，所以需將大部份生物量分配到根部，表示根部在碳素固定過程中扮演重要角色，造成 top/root 比例低至 1.05 (Komiyama *et al.*, 2000)。國內僅陳明義與蔡寶隆(1982)曾估計淡水水筆仔地上部生物量為 143 t ha<sup>-1</sup>，此外范貴珠(2008)調查台南縣急水溪口海茄荖林分生物量為 13.5-22.7 t ha<sup>-1</sup>，而台南市健康路年齡較大者則為 226.7-420.7 t ha<sup>-1</sup>。

## 參、研究區概況

### 一、地理位置

澎湖為離島地區，全縣共有 64 個島嶼，分布在南北長 60 km、東西長 40 km 之海面上，土地面積共 126.8641 km<sup>2</sup>、海岸線長度 326.7634 km，行政區域劃分為 6 鄉市 97 個村里。青螺濕地類型屬於海岸濕地及小部分人為濕地，面積 221 ha，位在澎湖縣湖西鄉北岸(23°35'48"N，119°38'12"E)，管理機關為澎湖國家風景區管理處、澎湖縣政府農漁局、湖西鄉公所。範圍東自澎 13 公路起，西至紅羅漁港東側，其間並剔除青螺港及集居聚落；北自青螺沙嘴北邊 6 m 深的海域起，南至紅羅魚塢止，總面積約 100 ha，為澎湖重要的生態敏感區之一(圖 1、2)。本校與縣政府林務股合作於 1994 年選擇青螺真武殿廟南岸，防波堤以東，面積約 1.14 ha 的魚塢作為復育栽植試驗區(圖 3)。



圖 1. 澎湖縣及青螺國家濕地位置圖



圖 2. 青螺國家濕地位置圖



圖 3. 青螺濕地紅樹林栽植試驗區位置圖



## 二、氣候

根據中央氣象局之網站資料顯示(表 3)，澎湖 1998 至 2008 年之平均溫度為 23.7°C，最高溫度在 29.8~31.2°C 間，最低溫度在 17.8~20.0°C。每年平均降雨量僅約 1222.5 mm，尚不及台灣年平均雨量之半。降雨量雖較少且集中在 6~8 月，分佈相當不均勻，但因紅樹林生育地不缺水分，因此對紅樹林生長之影響性較低。此外，澎湖四面環海，受強烈季風長時間吹襲，10~11 月間平均風速達 6.7 m sec<sup>-1</sup>，年平均最大風速可高達 9.7~12.2 m sec<sup>-1</sup> 左右。秋冬季節風及夏季颱風為澎湖主要風害，挾帶鹽霧嚴重危害農作物及林木。

表 3. 澎湖 1998 年至 2009 年之氣象資料

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

| 年    | 平均溫度<br>(°C) | 最高溫度<br>(°C) | 最低溫度<br>(°C) | 年降水<br>量(mm) | 降水日<br>數(日) | 日照時數<br>(小時) | 最大風速<br>(m s <sup>-1</sup> ) |
|------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|------------------------------|
| 1998 | 24.6         | 30.9         | 20.0         | 1258.4       | 8.0         | 157.3        | 10.7                         |
| 1999 | 23.8         | 30.0         | 18.5         | 1054.6       | 7.5         | 154.9        | 10.7                         |
| 2000 | 23.2         | 29.9         | 18.2         | 1144.0       | 7.1         | 147.4        | 11.1                         |
| 2001 | 23.9         | 30.8         | 19.0         | 1459.7       | 7.3         | 168.5        | 12.3                         |
| 2002 | 24.1         | 31.2         | 19.4         | 940.6        | 4.9         | 187.1        | 9.7                          |
| 2003 | 23.6         | 30.0         | 18.9         | 786.1        | 5.1         | 188.3        | 10.3                         |
| 2004 | 23.3         | 29.8         | 17.8         | 1215.6       | 5.4         | 188.1        | 9.7                          |
| 2005 | 23.2         | 30.4         | 18.0         | 1589.5       | 6.8         | 167.1        | 12.2                         |
| 2006 | 23.9         | 30.5         | 18.7         | 1506.8       | 6.7         | 158.8        | 11.1                         |
| 2007 | 23.8         | 30.0         | 18.6         | 979.4        | 6.8         | 163.1        | 10.7                         |
| 2008 | 23.4         | 29.9         | 18.5         | 1512.6       | 6.8         | 167.1        | 11.5                         |
| 2009 | 24.1         | 30.8         | 19.4         | 957.8        | 6.1         | 179.2        | 11.8                         |
| 平均   | 23.7         | 30.4         | 18.8         | 1200.4       | 6.5         | 168.9        | 11.0                         |

## 肆、研究項目

### 一、紅樹林復育栽植試驗

澎湖造林工作隊於 1993 年曾栽植 800 株 2-4 年生海茄苳裸根苗，惟當年成活率僅有 10% (照片 17)。青螺濕地面積雖小但土壤狀況相當複雜，故於 1994 年時，在人力可達之淹水較淺處，依土壤鬆軟、貧瘠及淹水程度分為 5 個樣區(圖 4)。各區域採取 30 cm 表土混合成一土樣，每個區域重複 3 次，測定土樣之 pH 值及電導度。自 1994 至 2000 年間逐年栽植海茄苳、水筆仔(*Kandelia obovatal*)、欖李(*Lumnitzera racemos*)及五梨跤(*Rhizophora stylosa*)等 4 種紅樹林；各樣區之土壤狀況、苗木栽植時間及方式如表 4 所示。

#### (一)、海茄苳果實直播造林(照片 18-19)

1994 年 9 月在屏東縣林邊及台南縣北門保護區，採取不同種源之海茄苳果實混合後，在第 1 至第 4 樣區中以棍棒挖約 3 cm 深淺溝後，直接放入成熟果實；每個果實間距 50 cm，覆土約 1 cm 後輕輕壓實，估計共直播 30000 粒左右果實。

#### (二)、水筆仔胎生苗直插造林

1995 年 3 月自苗栗縣竹南鎮中港溪出海口，共採集 2300 支水筆仔胎生苗，在退潮時將胎生苗直插於第 2 及第 3 樣區靠深水區之土壤中。

#### (三)、欖李軟盆苗栽植造林(照片 20-22)

1997 年 6 月將澎湖縣政府菜園苗圃所培育之 2 年生欖李苗木，栽植於靠近岸邊第 2 至第 4 樣區的沙岸上。栽植距離為 50 × 50 cm，共計栽植 5 行，栽植總數為 1500 株。

#### (四)、五梨跤胎生苗直插造林(照片 23-24)

1994 年 9 月於第 4 樣區位置直插 415 支不同成熟度之五梨跤胎生苗，在第 1 年之成活率及生長情形均非常良好；惟第 3 年後苗木之支持根雖已開始長出，但已有許多苗木逐年死亡。

2000 年 6 月自台南市鯤身路採集 600 株五梨跤胎生苗，將其直插於較鬆軟的第 5 樣區，再次探討本樹種是否能適應青螺濕地環境。



圖 4. 1994 至 2000 年青螺濕地紅樹林栽植示意圖



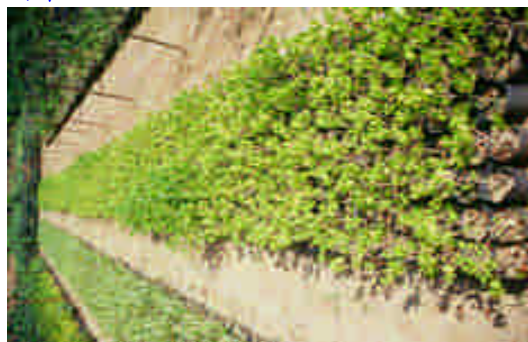
照片 17：1993 年以 2-4 年生海茄荖大苗栽植者，成活率約 10%



照片 21：澎湖菜園苗圃培育之 1 年生欖李苗木



照片 18：於 3 cm 淺溝中播入未剝皮之海茄荖成熟果實



照片 22：澎湖菜園苗圃培育之 2 年生欖李苗木



照片 19：於 3 cm 淺溝中播入剝皮之海茄荖成熟果實



照片 23：1994 年直插之五梨跤胎生苗



照片 20：澎湖菜園苗圃欖李播種發芽



照片 24：工人直插五梨跤胎生苗

表 4. 青螺各樣區土壤狀況、苗木栽植時間及方式

| 樣區     | 土壤狀況                                   |       |                               | 樹種         | 栽植時間       | 栽植方式            |
|--------|--|-------|-------------------------------|------------|------------|-----------------|
|        | 質地與概況                                  | pH    | 電導度<br>(mS cm <sup>-1</sup> ) |            |            |                 |
| 第 1 樣區 | 砂質粘土、貧瘠、混合高鹽分而形成硬盤                     | 8.2   | 11.3                          | 海茄苳        | 1994 年 9 月 | 直播              |
| 第 2 樣區 | 靠圍牆處(帶寬 3-3.5m)：<br>土質鬆軟之砂質地、腐植質較多     | 8.3   | 21.5                          | 欖李         | 1997 年 6 月 | 2 年生軟盆<br>苗栽植   |
|        | 淹水處(帶寬約 25m)：<br>砂質壤土、稍黏重、腐植質較多        | 8.3   | 13.7                          | 海茄苳        | 1993 年     | 2-4 年生裸<br>根苗栽植 |
|        |  |       |                               | 海茄苳        | 1994 年 9 月 | 直播              |
| 水筆仔    | 1995 年 3 月                             | 胎生苗直插 |                               |            |            |                 |
| 第 3 樣區 | 靠旱田岸邊(帶寬 2-2.5m)：<br>鬆軟之砂質土、腐植質少、無圍牆保護 | 8.3   | 9.3                           | 欖李         | 1997 年 6 月 | 2 年生軟盆<br>苗栽植   |
|        | 淹水處(帶寬約 15m)：<br>粘質壤土、腐植質少             | 8.1   | 11.8                          | 海茄苳        | 1994 年 9 月 | 直播              |
| 水筆仔    |  |       |                               | 1995 年 3 月 | 胎生苗直插      |                 |
| 第 4 樣區 | 靠旱田岸邊(帶寬 2m)：<br>鬆軟之砂質土、腐植質少、無圍牆保護     | 8.1   | 25.6                          | 欖李         | 1997 年 6 月 | 2 年生軟盆<br>苗栽植   |
|        | 淹水處(帶寬約 5m)：<br>堅硬砂質粘土、土壤貧瘠            | 8.1   | 11.3                          | 海茄苳        | 1994 年 9 月 | 直播              |
| 五梨跤    |  |       |                               | 1994 年 6 月 | 胎生苗直插      |                 |
| 第 5 樣區 | 黏質壤土、腐植質中等                             | 7.9   | 11.2                          | 海茄苳        | 1993 年     | 2-4 年生裸<br>根苗栽植 |
|        |  |       |                               | 五梨跤        | 2000 年 6 月 | 胎生苗直插           |

#### (五)、紅樹林苗木 PVC 管栽植試驗

2000 年 6 月在試區中間淹水深處進行 PVC 管栽植試驗(圖 4)，由於 4 種紅樹林之胎生苗及果實成熟時間不一，因此各樹種栽植時之材料及苗齡並不相同；其中海茄苳為澎湖菜園苗圃所培育之 10 個月生苗木，水筆仔為 6 個月生苗木、五梨跤則為 5 月底在台南市所採集之成熟胎生苗。另外，欖李果實在 6-7 月成熟，因此尚未育出適當之出栽苗木，僅能以苗圃所培育之 3 年生苗木為材料。各苗木栽植前之基本資料如表 5 所示。

表 5. 2000 年 6 月以 PVC 管栽植之紅樹林苗木基本資料

| 樹種  | 栽植材料(苗齡)      | 苗高 (cm) | 乾重 (g) |
|-----|---------------|---------|--------|
| 海茄苳 | 軟盆苗(苗齡 10 個月) | 27.1    | 0.9    |
| 水筆仔 | 軟盆苗(苗齡 6 個月)  | 31.8    | 3.2    |
| 五梨跤 | 即採之成熟胎生苗      | 25.7    | 7.9    |
| 欖李  | 軟盆苗(苗齡 3 年)   | 42.8    | 8.9    |

以直徑 4 吋之 PVC 管為材料，先鑽出數個 0.3 cm 直徑小孔，以利漲退潮時交換管內水分。依照離岸邊遠近及淹水程度，插入之 PVC 管露出水面之高度分別為 20、70 及 100 cm，另加一直接栽植於平坦沙洲土壤者為對照處理，共計 4 種處理；每種處理重複 4 次，總共 16 個小試區。每一小試區直接挖取附近表層泥濘土壤填入管中，所有樹種各栽植 10 株；栽植行株距為 1 × 1 m，以完全逢機區集方式排列，試驗苗木總計 640 株(照片 25-26)。

## 二、青螺濕地周圍草本植物調查

2009 年 7 月調查濕地周圍草本植物種類，植物之中名及學名依據台灣植物誌 (Flora of Taiwan)(Bufford et al., 2003)。

## 三、水質與土壤化學性質分析

2009 年 1 月起，每季於各區域選取 3 個水質測點，以手提式多功能水質分析儀 (Multi-Parameter, WTW Multi 340i, Germany) 測定 pH、鹽度、電導度及溶氧度。

2009 年 6 月於每樣區逢機選取 3 個樣點，挖取土壤 0-10 及 11-20 cm 之土壤混合，每個區域重複 3 次，測定有機質、全氮、有效性磷、Ca、Mg 離子濃度及可置換性陽離子分析。

土壤有機質以濕消化法，全氮以凱氏氮消化法、有效性磷以鉬藍法萃取後以分光光度計分析。可置換性陽離子以中性醋酸銨法萃取後，以感應耦合電漿光譜分析儀分析。

#### 四、復育紅樹林之生長適應性調查

自 1994 年以不同方式栽植 4 種紅樹林後，由於缺乏長期經費繼續監測，因此僅分別進行 3 次較完整之生長適應性調查，調查項目分述如下：

##### (一) 形質生長調查

1. 2000 年 9 月--各樣區中每種樹種取樣 15 株苗木(5 株 × 3 重複)，調查樹高及地際直徑，同時調查 PVC 管各種栽植苗木成活率及生長狀況。
2. 2006 年 5 月--許多苗木在經過 12 年後已陸續死亡，無法計算成活率，僅能在各區取 15 株苗木(5 株 × 3 重複)，測定其樹高及地際直徑平均之(照片 27-28)。
3. 2009 年 7 月--針對全區 4 種紅樹林樹種進行每木調查，調查成活株數及樹高及地徑(照片 29-30)。

##### (二) 葉片參數、相對含水率及相關生理反應測定

2009 年 1 月起每季調查 4 種紅樹林成熟葉片之比葉面積(specific leaf area, SLA)、肉質程度(degree of succulence)及相對水分含量(relative water content, RWC)，並調查葉綠素、脯氨酸濃度及抗氧化酵素活性等生理反應差異(照片 31-32)。



照片 25：2000 年 6 月進行之 PVC 管栽植試驗



照片 29：2009 年 7 月調查第 2、3 樣區海茄苳



照片 26：以不同高度 PVC 管栽植 4 種紅樹林苗木



照片 30：2009 年 7 月調查第 4 區海茄苳直播後生長勢



照片 27：2006 年 6 月學生量測海茄苳樹高及地徑



照片 31：以葉綠素現場讀取五梨跤葉綠素值



照片 28：調查觀賞步道之海茄苳生長



照片 32：海茄苳葉綠素計之讀值



### 1. 葉部參數測定

每季取樣約 90 片完全展開成熟葉片(30 片×3 重複), 葉片以 Li-3000A 葉面積儀(Li - Cor, Inc., Lincoln, Neb., USA)測定單葉面積後, 烘乾 1 week 後秤其乾重, 計算比葉面積(SLA)

$$SLA = A / WL \quad (\text{cm}^2 \text{g}^{-1}) \quad A: \text{葉面積} \quad WL: \text{葉乾重}$$

### 2. 葉片肉質程度

肉質程度基本上表示植物組織的厚度(thick)及肉質性(fleshy), 一般測定單位面積組織的飽和含水量(Burchett *et al.*, 1984a; Larcher, 1995)。依據 Larcher (1995)及 Gucci 等(1997)方法, 在早上 10 點到 12 點之間, 選取完全展開成熟葉片, 以打孔器切取 8 個葉圓片(直徑 0.6 cm), 重複 2 次; 葉圓片浸入內裝 5 mL distilled H<sub>2</sub>O 玻璃瓶內, 在室溫及低光下放置 5 hr 後, 將完全吸水之葉片秤其膨潤重(turgid weight, TW)。然後將葉片以 100°C 烘乾 48 hr, 秤其乾重(dry weight, DW), 計算 TW-DW 即為葉片飽和含水量。

$$\text{葉片肉質程度}(\text{mg H}_2\text{O cm}^{-2}) = \text{葉片飽和含水量}(\text{mg}) / \text{葉表面積}(\text{cm}^2)$$

### 3. 成熟葉片相對水分含量

將測定葉片肉質程度所得之葉圓片之鮮重(FW)、膨潤重(TW)及乾重(DW), 根據 Marcar (1993) 方法計算相對含水量。

$$RWC (\%) = \left[ \frac{(FW - DW)}{(TW - DW)} \right] \times 100\%$$

### 4. 葉綠素濃度測定

每株苗木選取 2 片完全展開成熟葉片, 以打孔器切取左、右各 10 個葉圓片(直徑 0.6 cm); 秤取鮮重後, 加入少許海砂及液態氮研磨後, 再加入 10 mL DMSO (Dimethyl Sulfoxide) 萃取葉綠素; 以 2 號濾紙(Advantec Toyo)過濾後取上層濾液, 以分光光度計(Hitachi, V-2000)在波長 665 及 648 nm 測其吸光度, 並以下列公式計算葉綠素濃度(Barnes *et al.*, 1992)。由於不同鹽分處理葉片厚度及含水率不同, 故換算為每單位乾重之葉綠素濃度。

$$\text{Chl a} = (14.85 \times A_{665} - 5.14 \times A_{648}) \times \left[ \frac{V}{1000} \times \left( \frac{1}{W} \right) \right]$$

$$\text{Chl b} = (25.48 \times A_{665} - 7.36 \times A_{648}) \times \left[ \frac{V}{1000} \times \left( \frac{1}{W} \right) \right]$$

$$\text{Chl a} + \text{b} = (7.49 \times A_{665} + 20.34 \times A_{648}) \times \left[ \frac{V}{1000} \times \left( \frac{1}{W} \right) \right]$$

V：萃取體積 mL      W：葉片乾重      單位：mg g<sup>-1</sup> 乾重

## 5. 脯氨酸濃度測定

葉以打孔器切取約 8 個葉圓片，秤其鮮重後，加入 10 mL 3% Sulfosalicylic acid，研磨後以離心機(2500 rpm)離心 10 min。取 2 mL 過濾液，加入 2 mL Acid ninhydrin 溶液及 2 mL Glacial acetic acid 後，於 100°C 之沸水浴上加熱 60 min。取出後用水沖涼冷卻，再加入 4 mL Toluene，使用 mixer 均勻搖盪 15-20 sec；1 min 後取甲苯上清液，測定 520 nm 波長之吸光值。以純 L-脯氨酸做成標準校正曲線，估計單位體積甲苯所含脯氨酸(Bates, *et al.*, 1973)。

$$\mu \text{ mole/unit weight} = X \times (10/Y) \times 30.527 \times (4/115.5)$$

X：O.D.值      Y：所取適當過濾液之 mL 數      單位：μ mole g<sup>-1</sup>

## 6. Guaiacol peroxidase (POD)活性測定

- (1) 取新鮮葉片於含 1 mM EDTA 的 25 mM 磷酸緩衝液 (pH 6.0)中均質後，於 10,000 g, 4°C 的條件下離心 30 min，取上清液做蛋白質定量。
- (2) 取 10 μg 的蛋白質及 2.58 mM guaiacol 為受質，於 25 mM 磷酸緩衝液(pH 6.0)中混合均勻，並使總體積達到 1 mL。
- (3) 再加入 10 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 開始進行反應，並於 470 nm 下測定 2 分鐘內的氧化產物 (tetraguaiacol) 所造成的吸光值變化(ΔA<sub>470</sub>)。
- (4) POD 的活性可定義為每微克蛋白質每分鐘的吸光值變化(ΔA<sub>470</sub> nm min<sup>-1</sup> μg<sup>-1</sup> of protein)；每克鮮重的酵素活性單位(μmole/min)則可表示為 ΔA<sub>470</sub> nm ε<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> (消光係數 extinction coefficient ε = 26.6 mM<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>)。

## 六、復育紅樹林之族群結構調查

2009 年 7 月針對全區高潮線以下之 4 種栽植成活紅樹林，調查地徑在 2 cm 以上者之樹高及株數，繪製 4 種紅樹林樹種之族群結構圖(照片 33-34)。



照片 33：海茄苳族群結構調查



照片 34：水筆仔族群結構調查

## 七、優勢種海茄苳地上部生物量調查

2009 年 8 月進行優勢種海茄苳地上部生物量調查，依據 2 cm 間隔地徑階之分層平均木法(stratified mean tree method)，分別選取 2.1~4.0 cm 13 株，4.1~6.0 cm 9 株，6.1~8.0 cm 4 株，8.1~10.0 cm 3 株及 14.0 cm 者 1 株，共計 30 株樣木。選定之樣木自地徑處伐倒，量測樣木之地際直徑及樹高後，以數字型電子秤測定樣木葉部、枝條及幹部總鮮重，並測定各部位小樣本(300-500 g)鮮重(照片 35-40)。樣本攜回實驗室後，以 75°C 之烘箱烘乾 1 week 後秤其乾重，樣木各部位乾重經乾/鮮比率換算而得。根據各樣木之葉( $W_L$ )、幹( $W_S$ )、枝條( $W_B$ )及總乾重( $W_T$ )對地徑之相對生長回歸式，計算全區每株林木之生物量，再換算成單位面積(ha)之生物量。

## 八、優勢種海茄苳天然更新小苗調查

2009 年 11 月 7 日於除原有之 5 大樣區外，另於沿著濕地南側之堤岸增設 1 樣區，共計 6 個大樣區。於各樣區中隨機取樣 4-6 個 1m×1m 小樣區，調查各小區內 2-3 個月生的海茄苳小苗數量，並於各樣區隨機選取 5 株苗木量測其苗高及地際直徑(照片 41-42)。



照片 35：海茄苳地上部生物量調查取樣踏勘



照片 39：將各部位樣木分離葉部、枝條及主幹



照片 36：工人鋸取選取不同直徑之樣木



照片 40：於現場將分離各部位立即秤取鮮重



照片 37：工人鋸取大徑木之樣木



照片 41：於第 6 樣區沿堤岸調查海茄苳天然更新苗密度



照片 38：需於退潮期間鋸取樣木，以便順利從泥沼中搬出樣木



照片 42：於開闊之第 5 樣區調查海茄苳天然更新苗

## 伍、結果

### 一、青螺濕地草本植物

雙子葉植物共計 31 科 82 屬 101 種(表 6) (照片 43-50)，以菊科及豆科之植物最多。單子葉植物則有 7 科 20 屬 21 種，以禾本科植物最多。其中澎湖決明(*Cassia sophora* var. *penghuana*)為特有種，而苦檻藍(*Myoporum bontioides*)及島嶼馬齒莧(*Portulaca insularis*)則為數量較少之稀有植物。

表 6. 澎湖青螺濕地維管束植物統計表

| 分類群   | 科  | 屬   | 種   |
|-------|----|-----|-----|
| 蕨類植物  | ×  | ×   | ×   |
| 裸子植物  | ×  | ×   | ×   |
| 被子植物  |    |     |     |
| 雙子葉植物 | 31 | 82  | 101 |
| 單子葉植物 | 7  | 20  | 21  |
| 合計    | 38 | 102 | 122 |

### 二、青螺濕地水質與土壤化學性質

#### (一) 水質狀況

2009 年 1 月起，每季於各區域調查水質之結果顯示(表 7)，每季大致以第 1 及 3 樣區之水質 pH 較高，範圍在 8.12-8.24 間；而第 5 區之 pH 則明顯較其他區域為低，pH 值在 7.83-7.94 間。

2009 年 1 及 4 月調查之水質電導度以第 4 及 5 樣區較高，範圍在 52.75-53.21 mS/cm 間。至 2009 年 7 月調查仍有相似趨勢，然 2 個樣區之水質電導度已分別增加至 78.85 及 87.40 mS/cm。至 2009 年 10 月調查時，各區之水質電導度則無顯著差異。

至於水質之鹽度與電導度之變化趨勢相似，2009 年 1 及 4 月調查之第 4 及 5 樣區水質鹽度均在 35 mS/cm 左右。至 2009 年 7 月調查時，各樣區之水質鹽度則明顯增加，其中以第 5 樣區之水質為 62.37 mS/cm 最高。而 2009 年 10 月調查各區之水質鹽度亦無顯著差異。

2009年1及4月調查各區水質之溶氧度均無顯著差異，範圍在6.10-6.73 mg/L間。而7月調查之範圍則降低至4.54-5.41 mg/L間，其中第1樣區之水質溶氧度較其他區域為高。2009年10月調查各區之水質溶氧度均降低至3.92-5.03 mg/L間，惟其變化趨勢與7月調查時相似，以第1樣區者最高。

表 7. 青螺濕地不同樣區之水質 pH、鹽度、電導度及溶氧度

| 項目           | 樣區 | 2009年1月                  | 2009年4月                 | 2009年7月                  | 2009年10月                 |
|--------------|----|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| pH           | 1區 | 8.18±0.02 <sup>a</sup>   | 8.12±0.00 <sup>b</sup>  | 8.19±0.00 <sup>a</sup>   | 8.13±0.03 <sup>a</sup>   |
|              | 2區 | 8.11±0.01 <sup>b</sup>   | 8.18±0.00 <sup>b</sup>  | 8.02±0.02 <sup>c</sup>   | 8.00±0.00 <sup>c</sup>   |
|              | 3區 | 8.20±0.00 <sup>a</sup>   | 8.28±0.01 <sup>a</sup>  | 8.24±0.02 <sup>a</sup>   | 8.15±0.05 <sup>a</sup>   |
|              | 4區 | 8.13±0.03 <sup>b</sup>   | 8.14±0.02 <sup>b</sup>  | 8.09±0.05 <sup>b</sup>   | 8.06±0.01 <sup>b</sup>   |
|              | 5區 | 7.89±0.00 <sup>c</sup>   | 7.83±0.04 <sup>c</sup>  | 7.83±0.04 <sup>d</sup>   | 7.94±0.02 <sup>d</sup>   |
| 電導度<br>mS/cm | 1區 | 51.05±0.45 <sup>b</sup>  | 52.25±0.05 <sup>c</sup> | 75.80±3.20 <sup>b</sup>  | 49.50±2.10 <sup>NS</sup> |
|              | 2區 | 51.50±0.20 <sup>b</sup>  | 52.75±0.15 <sup>b</sup> | 75.45±0.95 <sup>b</sup>  | 49.55±2.15               |
|              | 3區 | 50.80±0.40 <sup>b</sup>  | 50.00±0.20 <sup>d</sup> | 78.85±2.45 <sup>b</sup>  | 49.05±2.05               |
|              | 4區 | 52.75±0.15 <sup>a</sup>  | 53.21±0.00 <sup>a</sup> | 80.40±5.30 <sup>b</sup>  | 51.05±0.45               |
|              | 5區 | 52.95±0.15 <sup>a</sup>  | 53.00±0.00 <sup>a</sup> | 87.40±2.40 <sup>a</sup>  | 48.05±3.45               |
| 鹽度<br>mS/cm  | 1區 | 34.50±0.00 <sup>c</sup>  | 34.45±0.05 <sup>c</sup> | 50.05±2.05 <sup>c</sup>  | 32.25±1.65 <sup>NS</sup> |
|              | 2區 | 34.70±0.10 <sup>bc</sup> | 34.75±0.05 <sup>b</sup> | 52.15±0.65 <sup>bc</sup> | 32.45±1.55               |
|              | 3區 | 31.45±0.05 <sup>d</sup>  | 32.80±0.10 <sup>d</sup> | 56.55±4.15 <sup>b</sup>  | 32.05±1.55               |
|              | 4區 | 35.10±0.10 <sup>a</sup>  | 35.35±0.15 <sup>a</sup> | 54.90±2.00 <sup>b</sup>  | 33.55±0.35               |
|              | 5區 | 35.85±0.25 <sup>a</sup>  | 35.30±0.00 <sup>a</sup> | 62.37±1.54 <sup>a</sup>  | 31.25±0.65               |
| 溶氧度<br>mg/L  | 1區 | 6.60±0.14 <sup>NS</sup>  | 6.19±0.07 <sup>NS</sup> | 5.41±0.30 <sup>a</sup>   | 5.03±0.75 <sup>a</sup>   |
|              | 2區 | 6.71±0.15                | 6.48±0.04               | 4.94±0.11 <sup>b</sup>   | 3.92±0.05 <sup>b</sup>   |
|              | 3區 | 6.34±0.13                | 6.27±0.10               | 4.80±0.03 <sup>bc</sup>  | 4.20±0.07 <sup>b</sup>   |
|              | 4區 | 6.73±0.23                | 6.42±0.12               | 4.63±0.11 <sup>c</sup>   | 4.18±0.01 <sup>b</sup>   |
|              | 5區 | 6.52±0.48                | 6.10±0.03               | 4.54±0.06 <sup>c</sup>   | 4.10±0.02 <sup>b</sup>   |



照片 43：青螺濕地以天人菊為主要草本植物



照片 47：青螺濕地周圍常見之咸豐草



照片 44：青螺濕地之海芙蓉又名台灣濱藜



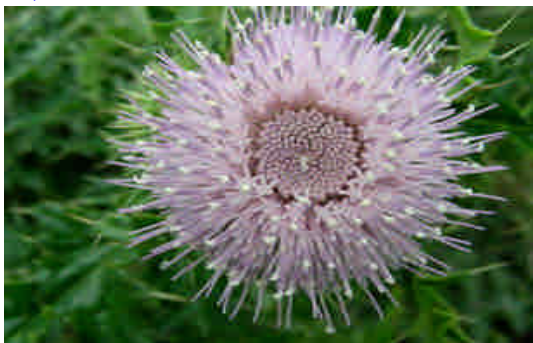
照片 48：海岸常見之菊科植物茵陳蒿



照片 45：青螺濕地耐鹽性強之裸花藜蓬(鹽定)



照片 48：屬多年生肉質性藤本之蕃杏為藥用植物



照片 46：開花極美之濱藪



照片 50：優良防風定沙之濱缸豆果夾

## (二) 土壤化學性質

2009年6月各樣區不同土壤深度之化學性質分析結果顯示(表8)，各區土壤有機質隨土壤深度增加而增加，其中0-10及11-20 cm土壤有機質範圍分別為0.93-1.37%及1.34-1.84%間；土壤全氮量範圍分別為0.03-0.08及0.05-0.12 mg/kg；有效性磷範圍分別為0.29-1.51及0.33-1.93 ppm；Mg離子濃度範圍分別1.79-3.07及2.21-3.19 m.e./100 g；Ca離子濃度範圍分別15.61-26.67及20.03-26.78 m.e./100 g；土壤CEC範圍分別為2.46-8.13及4.94-9.01 m.e./100 g。各區土壤之上述各項化學性質均以11-20 cm者較高，0-10 cm土層者較低。此外，第5區之土壤有機質、有效性磷及CEC較其他區域為高，全氮則以第2區較高。第1區之土壤有機質、全氮量及CEC較其他區域為低，惟Mg及Ca濃度則較其他區域為高。

表8. 青螺濕地各樣區不同土壤深度之土壤化學分析

| 樣區  | 土壤深度 (cm) | 有機質 (%)   | 全氮 (mg/kg) | 有效磷 ppm   | Mg (m.e./100g) | Ca (m.e./100g) | CEC (m.e./100g) |
|-----|-----------|-----------|------------|-----------|----------------|----------------|-----------------|
| 1 區 | 0-10      | 0.93±0.22 | 0.03±0.01  | 0.33±0.09 | 3.07±0.32      | 26.67±1.63     | 2.46±0.70       |
|     | 11-20     | 1.34±0.08 | 0.05±0.01  | 0.44±0.04 | 3.19±0.07      | 26.78±0.20     | 4.94±0.34       |
| 2 區 | 0-10      | 1.02±0.27 | 0.08±0.01  | 0.35±0.05 | 1.79±0.11      | 15.61±0.17     | 4.78±0.36       |
|     | 11-20     | 1.40±0.24 | 0.12±0.02  | 0.54±0.14 | 2.24±0.08      | 21.08±0.15     | 5.86±0.76       |
| 3 區 | 0-10      | 1.06±0.13 | 0.08±0.01  | 0.29±0.02 | 2.21±0.35      | 17.73±1.34     | 5.56±0.29       |
|     | 11-20     | 1.60±0.10 | 0.10±0.01  | 0.33±0.05 | 2.37±0.06      | 20.87±3.55     | 5.97±1.13       |
| 4 區 | 0-10      | 1.24±0.18 | 0.04±0.02  | 0.32±0.09 | 2.60±0.23      | 21.24±0.37     | 4.82±1.00       |
|     | 11-20     | 1.50±0.15 | 0.06±0.02  | 0.42±0.10 | 2.95±0.05      | 23.90±1.97     | 5.60±0.05       |
| 5 區 | 0-10      | 1.37±0.08 | 0.03±0.01  | 1.51±0.32 | 2.52±0.03      | 19.49±0.81     | 8.13±0.55       |
|     | 11-20     | 1.84±0.05 | 0.07±0.01  | 1.93±0.54 | 2.80±0.44      | 20.03±0.83     | 9.01±1.14       |



### 三、紅樹林 PVC 管栽植試驗

2000 年 6 月進行之 PVC 管試驗在當年 9 月調查時，各樹種之成活率及苗高已呈現顯著差異(表 9)。

表 9. 紅樹林苗木在不同高度 PVC 管栽植 3 個月後之成活率及苗高

| 處理         | 欖李                |                   | 海茄苳               |                   | 水筆仔               |                   | 五梨跤               |                   |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|            | 成活率 (%)           | 苗高 (cm)           | 成活率 (%)           | 苗高 (cm)           | 成活率 (%)           | 苗高 (cm)           | 成活率 (%)           | 苗高 (cm)           |
| 100 cm PVC | 78.5 <sup>a</sup> | 26.9 <sup>a</sup> | 85.4 <sup>a</sup> | 17.3 <sup>a</sup> | 85.4 <sup>a</sup> | 18.3 <sup>a</sup> | 95.8 <sup>a</sup> | 33.8 <sup>a</sup> |
| 70 cm PVC  | 79.2 <sup>a</sup> | 26.3 <sup>a</sup> | 87.8 <sup>a</sup> | 17.5 <sup>a</sup> | 84.9 <sup>a</sup> | 18.6 <sup>a</sup> | 92.1 <sup>a</sup> | 32.9 <sup>a</sup> |
| 20 cm PVC  | 0 <sup>b</sup>    | 0 <sup>b</sup>    | 0 <sup>b</sup>    | 0 <sup>b</sup>    | 0 <sup>b</sup>    | 0 <sup>b</sup>    | 91.5 <sup>a</sup> | 35.0 <sup>a</sup> |
| 對照組        | 0 <sup>b</sup>    | 0 <sup>b</sup>    | 0 <sup>b</sup>    | 0 <sup>b</sup>    | 0 <sup>b</sup>    | 0 <sup>b</sup>    | 93.8 <sup>a</sup> | 39.0 <sup>a</sup> |

註：英文字母為鄧肯氏多變域分析結果，同一直行不同字母表示差異顯著  $p < 0.05$

由於直接栽植於土壤之對照組及栽植於 20 cm PVC 管高度之苗木，每日淹水時間較長，因此欖李、海茄苳及水筆仔等苗木在栽植 3 個月後均死亡(照片 51-53)。此 3 樹種栽植在 70 cm 高度 PVC 管者，成活率仍能維持 79.2-87.8 %，且與 100 cm PVC 管高度者並無顯著差異，惟 3 樹種之苗高均較栽植時降低。五梨跤胎生苗在不同高度 PVC 管或直接栽植於土壤者，成活率均高達 90 % 以上(表 9)；栽植時苗高為 25.7 cm，3 個月生長可增加至 32.0 cm 以上，為唯一生長增加之樹種(照片 54)，但最後仍因無法忍受冬季鹽霧而全部死亡。



照片 51：栽植在 100 cm PVC 管之欖李苗木大部分枯萎而後死亡



照片 53：栽植在 70 cm PVC 管之海茄苳苗木



照片 52：栽植在 70 cm PVC 管之欖李苗木梢部乾枯



照片 54：栽植在 100 cm PVC 管之五梨跤苗木

#### 四、復育紅樹林之生長適應性

由於不同樹種之栽植時間不同，無法精確比較各紅樹林苗木之生長差異性，僅能針對每一樹種在不同樣區之生長情況分述如下：

##### (一) 生長量調查

##### 1. 海茄苳(照片 55-62)

##### (1). 樹高生長

1994 年海茄苳直播果實經 6 年後，以第 2 及第 3 樣區之林木較高，樹高分別為 75.1 及 68.2 cm (圖 5)；其次為直播於第 4 樣區者(54.5 cm)，而第 1 樣區之苗木生長最為矮小，平均樹高僅 32.2 cm。至於 1993 年在第 2 樣區栽植成活之裸根苗生長較佳，平均樹高為 83.7 cm，第 5 樣區殘存林木之生長較差，平均高度為 67.6 cm。

2006 年 6 月調查經 12 年後之生長狀況顯示(圖 5)，各區海茄苳之樹高

生長均有明顯增加，其中第3樣區直播者樹高淨生長高達98.5 cm。1993年在第2樣區以裸根苗栽植成活者，高度則降低至71.2 cm。第5樣區以大苗栽植造林者，平均樹高明顯增加至140.1 cm。

2009年6月調查復育栽植15年後之生長狀況(圖5)，海茄苳已成為本區之優勢種，共計2556株。樹高生長仍以第3樣區直播造林者最高，可達215.7 cm，其次為第5樣區栽植造林者(185.6 cm)。而第2樣區大苗栽植者樹高並未明顯增加，僅達90.5 cm。至於直播在第1樣區之海茄苳果實，平均樹高僅70.2 cm。

## (2). 地徑生長

2000年9月調查復育栽植6年後之結果顯示，各樣區海茄苳之地徑較無明顯差異；其中第2樣區以裸根苗栽植者地徑較大(48.4 cm)，而直播於第1樣區者最小，地徑為28.6 cm(圖6)。

2006年6月調查經12年後之生長狀況顯示，第5樣區以栽植造林殘存之林木其地徑生長增加最明顯(103.3 mm)；其次為第3樣區直播者，地徑亦明顯增加至86.1 mm。至2009年6月調查時，各樣區海茄苳地徑仍呈相似變化趨勢。

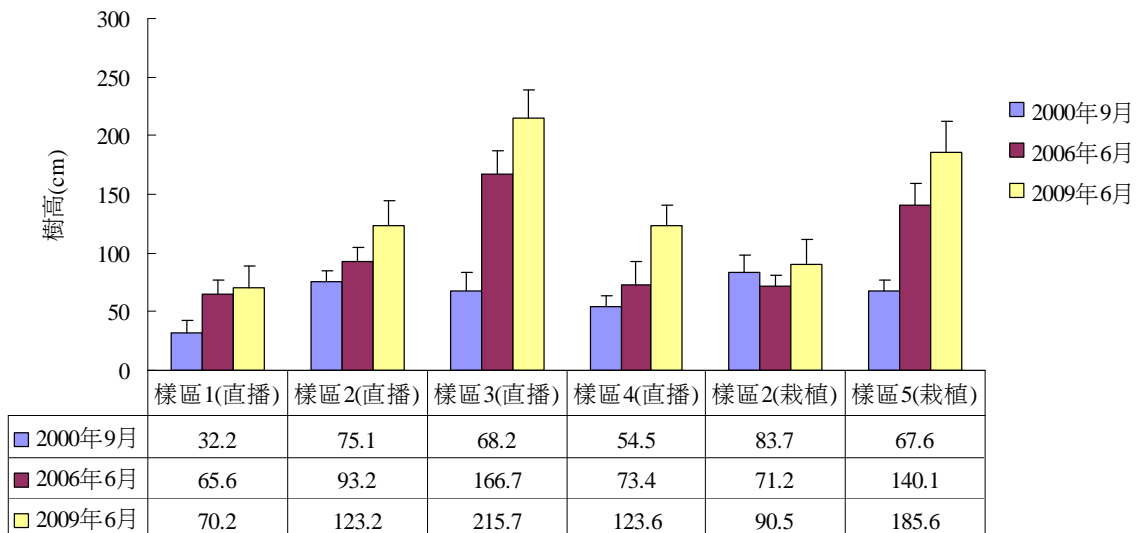


圖 5. 青螺濕地復育海茄苳在不同樣區之樹高生長變化

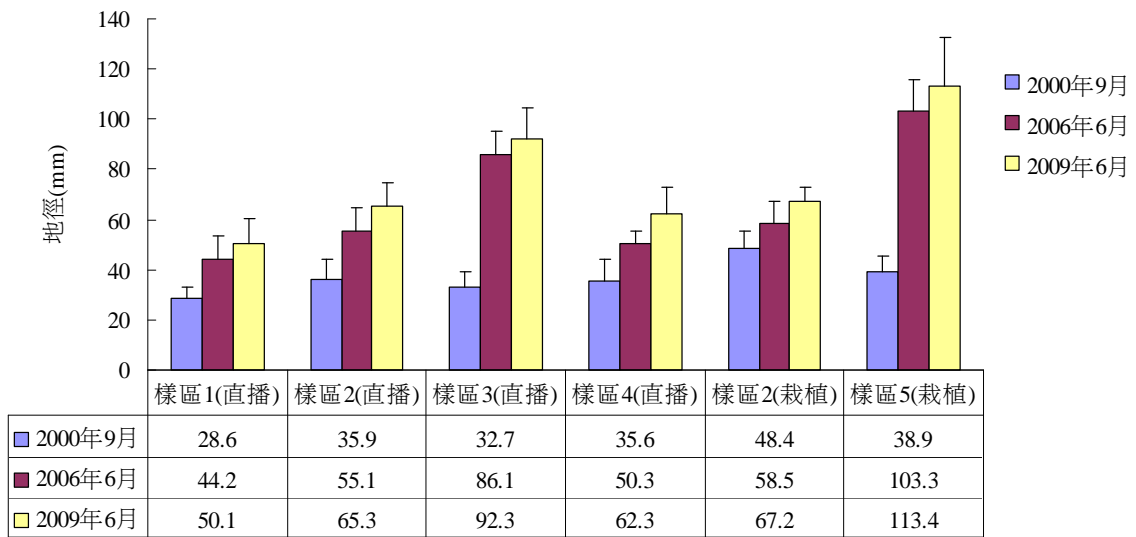


圖 6. 青螺濕地復育海茄苳在不同樣區之地徑直徑生長變化

## 2. 欖李(照片 63-70)

### (1). 樹高生長

2000年6月調查結果顯示(圖7)，生長在第2及3樣區靠近岸邊之欖李均較高，分別為117.7及107.7 cm，而第4樣區靠岸邊者樹高則降低至86.3 cm。此外，生長在第2、3及4樣區生長在靠近水邊者樹高均較低，範圍為54.4-97.3 cm。

栽植9年後，第2樣區靠岸邊者樹高已達184.3 cm，其次第3及4樣區之樹高分別為123.3及113.3 cm，惟各樣區靠近水邊之欖李均已死亡。至2009年6月調查時，3個樣區靠岸邊之欖李僅成活215株(成活率為14.3%)，而且樹高均有下降趨勢，範圍為102.3-163.3 cm。

### (2). 地徑生長

2000年6月調查結果顯示，生長在不同樣區岸邊或水邊之欖李地徑差異不大(圖8)。而栽植9年後，第2樣區靠岸邊者地徑則明顯增加至91.1 mm，其次為生長在第3樣區者，惟生長在第4樣區者地徑僅達55.2 mm。至2009年6月調查栽植12年後，欖李之地徑以第2樣區靠岸邊者最高(134.4 mm)，第4樣區靠岸者最低(76.9 mm)。

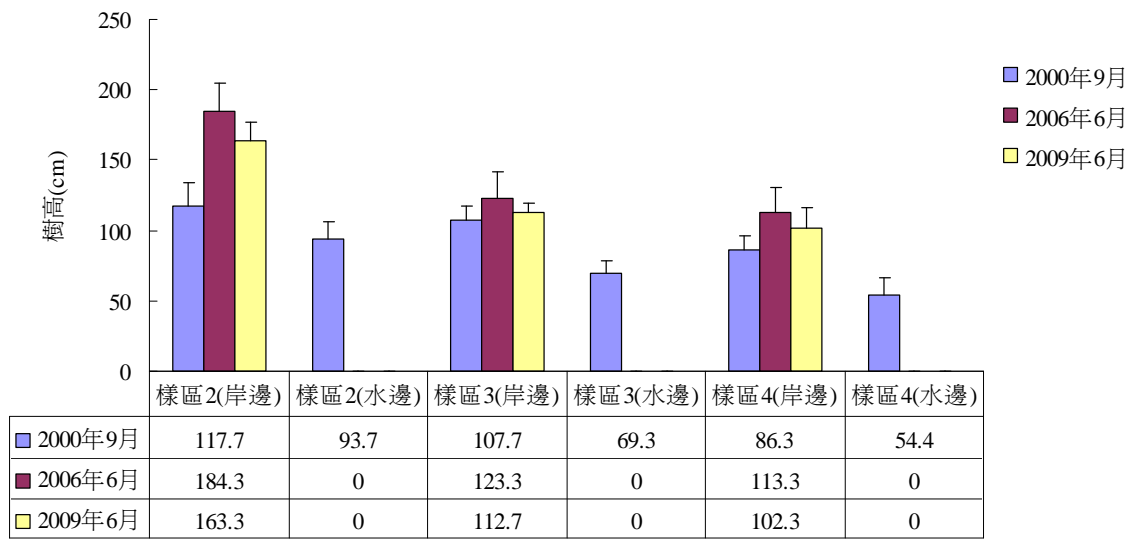


圖 7. 青螺濕地栽植欖李在不同樣區之樹高生長變化

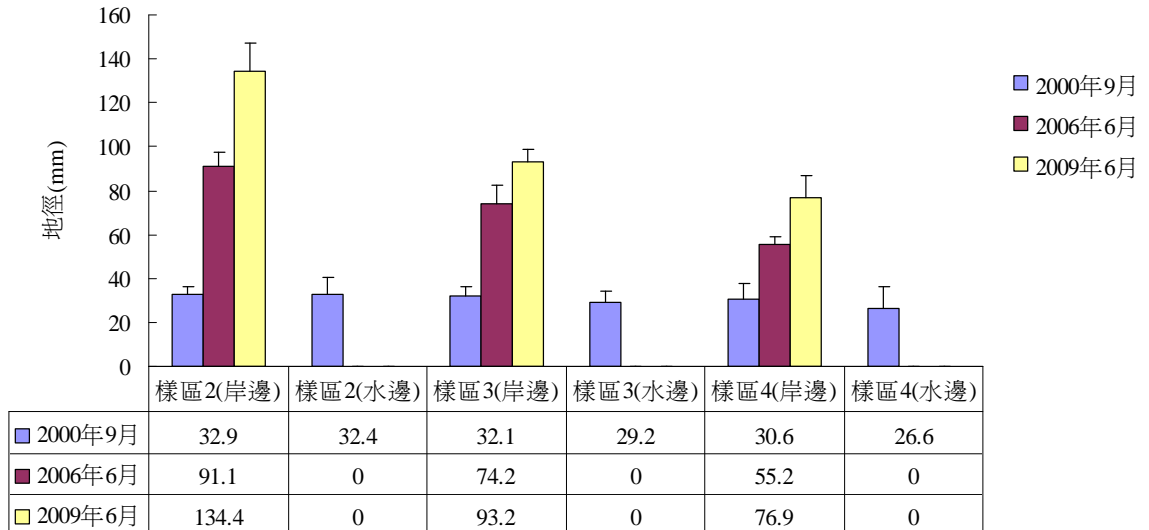


圖 8. 青螺濕地栽植欖李在不同樣區之地徑直徑生長變化



照片 55：1 區第因土壤鹽度高且貧瘠，2000 年 9 月調查時生長不佳



照片 59：第 3 區直播之海茄苳樹高較其他區域為高



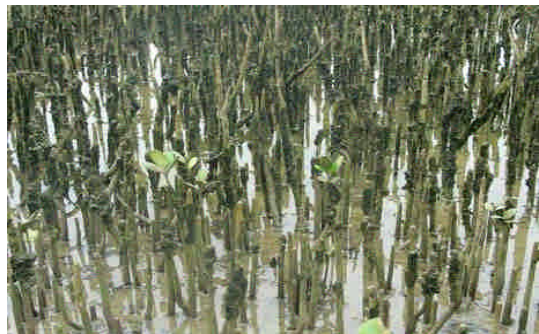
照片 56：第 1 區海茄苳直播 12 年後，生長仍未見明顯增加



照片 60：2006 年調查時第 3 樣區有許多天然更新苗



照片 57：第 1 區雖然土壤狀況極惡劣，但可見海茄苳天然更新苗



照片 61：青螺濕地之海茄苳直立呼吸根密集



照片 58：海茄苳為目前濕地之優勢樹種



照片 62：1993 年栽植之海茄苳殘存林木



照片 63：1998 年 7 月觀察欖李苗木栽植 1 年後，靠水邊者死亡率高



照片 67：2006 年 6 月調查第 2 樣區之欖李高生長達 184 cm



照片 64：岸邊欖李苗木栽植 1 年後生長良好



照片 68：夏季時背風面之欖李為本區重要之綠美化植物



照片 65：2000 年 9 月調查時，第 3、4 樣區雖無圍牆保護，但生長勢佳



照片 69：冬季時迎風面欖李枝枝梢明顯枯萎



照片 66：第 2 樣區欖李因有圍牆保護，生長最佳



照片 70：2009 年 6 月調查時欖李已漸呈衰老現象

### 3. 水筆仔(照片 71-78)

#### (1). 樹高生長

1995 年直插在第 2 及第 3 樣區之水筆仔胎生苗，初期成活率高達 90%，且前 3 年之生長狀況極佳，但苗木在第 4 年後即開始陸續死亡。至 2000 年 9 月調查時僅剩 250 株，生長在第 2 樣區之樹高(75.3 cm)較第 3 樣區者(65.2 cm)高(圖 9)。

直插之水筆仔胎生苗經 11 年後，生長在第 3 樣區之稚樹高度為 116.9 cm，較生長於第 2 樣區者(96.0 cm)為高。2009 年 6 月全面調查試驗地內成活之水筆仔僅剩 201 株(成活率為 8.7%)，2 樣區之水筆仔樹高僅分別略增加至 99.1 及 123.6 cm。

#### (2). 地徑生長

2000 年 9 月調查結果顯示(圖 10)，生長在第 2 及 3 樣區之水筆仔地徑直徑差異不大，分別為 33.9 及 31.2 mm。2006 年 6 月調查時，稚樹之地徑增加仍不明顯。2009 年調查直插水筆仔胎生苗經 14 年後之適應性發現，生長在 2 樣區之水筆仔地徑分別為 55.8 及 58.7 mm。

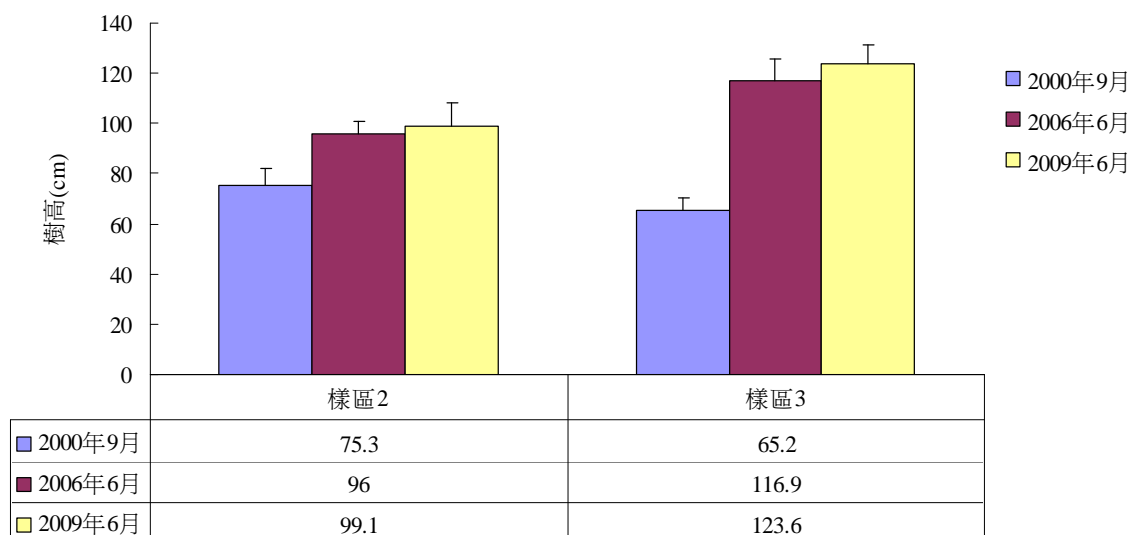


圖 9. 青螺濕地栽植水筆仔在不同樣區之樹高生長變化



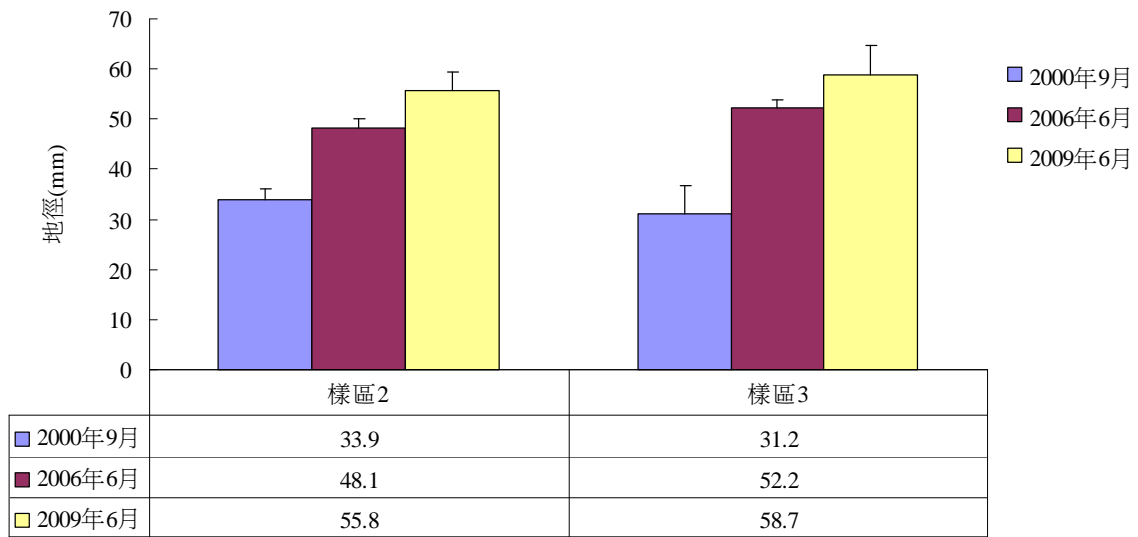


圖 10. 青螺濕地栽植水筆仔在不同樣區之地徑直徑生長變化

#### 4. 五梨跤(照片 79-94)

##### (1). 樹高生長

1994 年直插於第 4 樣區水邊之第 1 年之成活率達 90%左右，生長情形非常良好；惟第 3 年後苗木之支持根雖已開始長出，但已有許多苗木逐年死亡。2000 年 9 月調查此區五梨跤栽植 6 年後，僅在海茄荃旁邊殘存 48 株林木，其樹高為 92.3 cm。2006 年 6 月調查時僅殘存 33 株成樹(成活率為 8.0%)，高度為 177.8 cm。2009 年 6 月調查時，樹高略增加至 203.1 cm。

2000 年 6 月再次於第 5 樣區直插之五梨跤胎生苗，3 個月後之成活率為 96%，苗高已達 28.5 cm (圖 11)。惟此區之五梨跤稚樹經過 6 年後，成活率已降至 46.5%，僅剩 279 株，樹高平均高度為 76.5 cm。2009 年 6 月調查時，此樣區共計成活 250 株(成活率為 41.7%)，惟平均樹高則降低至 73.1 cm。

##### (2). 地徑生長

2000 年 9 月調查第 4 樣區殘存 48 株林木之地徑僅 27.1 mm (圖 12)，而且每次調查之地徑增加均不明顯；至 2009 年 6 月調查時，平均地徑僅為 41.4 mm。至於第 5 樣區直插之五梨跤胎生苗地徑增加比例亦相似，2009 年 6 月調查時，地徑亦未見明顯增加(31.1 mm)。

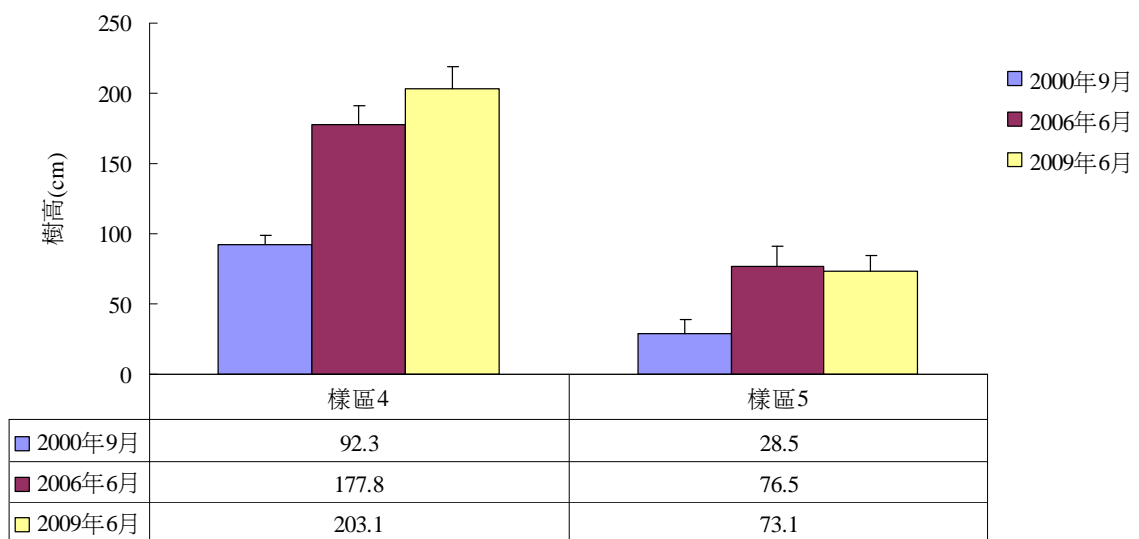


圖 11. 青螺濕地栽植五梨跂在不同樣區之樹高生長變化

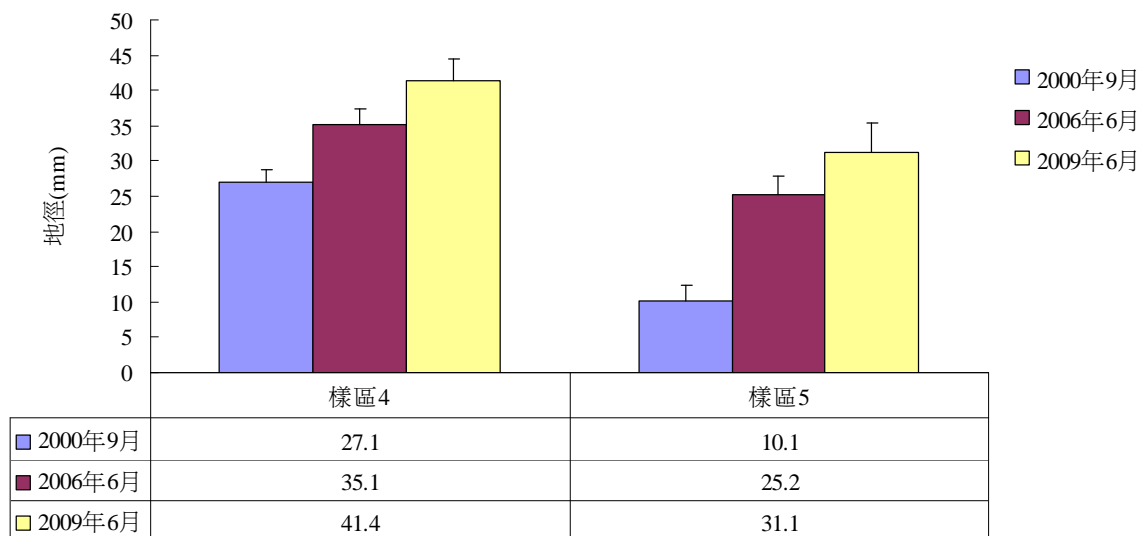


圖 12. 青螺濕地栽植五梨跂在不同樣區之地徑直徑生長變化



照片 71：水筆仔直插 1 年後開始萌葉情形



照片 75：2006 年 6 月調查第 2 樣區之水筆仔呈生長停滯狀態



照片 72：青螺試區之直插水筆仔胎生苗淹沒於潮水中



照片 76：水筆仔栽植在第 3 樣區者，11 年後之樹高僅 117 cm



照片 73：水筆仔前 3 年之生長狀況良好



照片 77：2009 年 6 月調查時水筆仔樹高未見明顯增加



照片 74：2000 年 9 月調查時靠低潮線區之水筆仔已陸續死亡



照片 78：少數被海茄苳包圍之水筆仔生長較佳



照片 79：直插於第 4 樣區之五梨跤胎生苗第 1 年成活率達 90%



照片 83：2006 年 6 月調查時，第 4 區多數五梨跤稚樹已死亡



照片 80：第 4 樣區之五梨跤幼苗在第 2 年後逐漸死亡



照片 84：第 4 區直插五梨跤胎生苗 12 年後，殘存之 33 株五梨跤生長勢尚佳



照片 81：2000 年調查時，第 4 樣區由於土壤堅硬，五梨跤支持根細小且堅硬



照片 85：第 4 樣區五梨跤樹體上可見胎生苗之產生



照片 82：有海茄苳保護之五梨跤生長較佳



照片 86：第 4 樣區殘存五梨跤母樹底下已有數株幼苗生長



照片 87：第 5 樣區之五梨跤胎生苗直插 3 個月後即已長出 2 片葉片



照片 91：2009 年 6 月調查第 5 樣區生長恢復情況不佳



照片 88：第 5 區五梨跤經 6 年後成活率極低



照片 92：2009 年 11 月觀察第 5 樣區之五梨跤大部分已經死亡



照片 89：第 5 區位於濕地中央，冬季強勁季風應為苗木死亡重要原因



照片 93：第 5 樣區五梨跤因空曠無保護而死亡率高



照片 90：2009 年 4 月觀察第 5 區五梨跤恢復狀況



照片 94：在周圍有海茄苳保護之五梨跤生長尚佳

## (二) 苗木葉片參數及生理反應適應性

### 1. 不同樹種葉片之比葉面積、肉質程度及相對含水率

不同樹種之比葉面積變化差異較大(表 10)，其中欖李在 4 及 7 月時，比葉面積較大，約為  $75.0 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ，1 月時則降低至  $49.9 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ 。海茄苳之比葉面積居次，生長在第 2-3 樣區者在不同季節之比葉面積又較第 1 樣區為高。而五梨跂之比葉面積為 4 樹種中最低者，且不同季節間之差異不大。

表 10. 不同季節各樹種葉片之比葉面積變化 ( $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$ )

| 樹種(區域)   | 2009 年 1 月 | 2009 年 4 月 | 2009 年 7 月 | 2009 年 10 月 |
|----------|------------|------------|------------|-------------|
| 海茄苳(1)   | 67.46±0.06 | 50.03±1.15 | 50.09±1.20 | 57.15±0.66  |
| 海茄苳(2-3) | 68.28±1.06 | 61.76±1.04 | 54.67±0.97 | 67.65±1.43  |
| 欖李(2-3)  | 49.89±1.54 | 74.93±2.01 | 74.60±1.49 | 69.42±1.52  |
| 五梨跂(5)   | 41.48±0.16 | 35.27±0.76 | 39.74±0.36 | 40.50±1.11  |
| 水筆仔(2)   | 53.82±1.01 | 47.31±0.16 | 48.01±0.96 | 53.52±1.44  |

大致而言，除 4 月份調查資料外，不同樹種各季節之葉片肉質程度呈欖李>五梨跂>水筆仔>海茄苳之變化趨勢(表 11)；其中欖李在 1 月份時之葉片肉質程度高達  $116.0 \text{ mg H}_2\text{O cm}^{-2}$ 。此外，4 種樹種之葉片肉質程度均以 1 月份最高，其餘 3 季較低。

表 11. 不同季節各樹種葉片之肉質程度變化 ( $\text{mg H}_2\text{O cm}^{-2}$ )

| 樹種(區域)   | 2009 年 1 月  | 2009 年 4 月 | 2009 年 7 月 | 2009 年 10 月 |
|----------|-------------|------------|------------|-------------|
| 海茄苳(1)   | 57.91±0.82  | 46.60±1.32 | 49.18±1.12 | 49.83±2.51  |
| 海茄苳(2-3) | 59.13±2.78  | 48.48±2.78 | 48.26±1.56 | 46.24±1.65  |
| 欖李(2-3)  | 115.95±2.31 | 67.28±2.80 | 82.83±1.58 | 75.32±0.93  |
| 五梨跂(5)   | 88.99±2.24  | 83.91±2.87 | 73.60±3.02 | 75.02±2.04  |
| 水筆仔(2)   | 87.10±3.63  | 61.96±2.63 | 65.79±2.20 | 69.03±1.55  |

欖李之葉片相對水分含量在不同季節中，均呈現欖李>海茄苳>五梨跂>水筆仔之變化趨勢(表 12)，其中欖李各季之相對水分含量範圍在

83.12-97.20%間。水筆仔之葉片水分含量最低，範圍在 68.19-75.35%間。而 4 種樹種之葉片含水量，大致上均以 1 月份最高，7 月較低。

表 12. 不同季節各樹種葉片之相對水分含量變化 (%)

| 樹種(區域)   | 2009 年 1 月 | 2009 年 4 月 | 2009 年 7 月 | 2009 年 10 月 |
|----------|------------|------------|------------|-------------|
| 海茄苳(1)   | 85.80±2.33 | 83.87±0.63 | 78.42±0.95 | 80.77±1.73  |
| 海茄苳(2-3) | 86.79±1.87 | 84.76±1.90 | 78.01±1.44 | 79.83±1.67  |
| 欖李(2-3)  | 97.20±0.91 | 85.25±1.78 | 90.10±1.32 | 83.12±1.49  |
| 五梨跤(5)   | 80.38±2.73 | 78.31±1.21 | 67.93±4.03 | 72.42±0.87  |
| 水筆仔(2)   | 75.35±3.59 | 69.74±1.14 | 67.80±0.82 | 68.19±1.11  |

## 2. 不同樹種完全成熟葉片之葉綠素濃度

於不同季節測定各樹種之葉綠素濃度變化可知(表 13)，不同樹種之葉綠素濃度差異大，且葉綠素濃度最高的季節亦所不同。海茄苳之葉綠素濃度以 1 及 4 月份較高，7 及 10 月份較低；其中生長在第 2-3 樣區之海茄苳，其葉綠素濃度又高於生長在第 1 樣區者。欖李之葉片葉綠素濃度以 4 月(7.32 mg g<sup>-1</sup>)，五梨跤以 7 月(3.96 mg g<sup>-1</sup>)，水筆仔以 1 月(4.47 mg g<sup>-1</sup>)最高。

表 13. 不同季節各樹種葉片之葉綠素濃度變化 (mg g<sup>-1</sup>)

| 樹種<br>(區域)   | 測定項目    | 2009 年 1<br>月 | 2009 年 4<br>月 | 2009 年 7<br>月 | 2009 年 10<br>月 |
|--------------|---------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| 海茄苳(1)       | 葉綠素 a   | 3.62±0.27     | 3.32±0.11     | 2.31±0.05     | 1.44±0.10      |
|              | 葉綠素 b   | 0.84±0.14     | 0.97±0.09     | 0.90±0.05     | 1.17±0.17      |
|              | 葉綠素 a+b | 4.47±0.37     | 4.29±0.13     | 3.21±0.02     | 2.62±0.26      |
| 海茄苳<br>(2-3) | 葉綠素 a   | 3.89±0.11     | 3.55±0.11     | 2.33±0.05     | 2.64±0.10      |
|              | 葉綠素 b   | 0.95±0.02     | 1.48±0.06     | 0.93±0.02     | 1.07±0.10      |
|              | 葉綠素 a+b | 4.84±0.12     | 5.03±0.15     | 3.26±0.07     | 3.70±0.17      |
| 欖李(2-3)      | 葉綠素 a   | 2.25±0.04     | 6.07±0.16     | 3.50±0.08     | 2.85±0.15      |
|              | 葉綠素 b   | 0.51±0.02     | 1.25±0.06     | 1.28±0.02     | 1.09±0.10      |
|              | 葉綠素 a+b | 2.76±0.05     | 7.32±0.21     | 4.78±0.08     | 3.93±0.21      |
| 五梨跤(5)       | 葉綠素 a   | 2.27±0.12     | 1.83±0.07     | 3.03±0.13     | 2.15±0.12      |
|              | 葉綠素 b   | 0.57±0.03     | 0.64±0.08     | 0.93±0.05     | 0.68±0.03      |
|              | 葉綠素 a+b | 2.84±0.14     | 2.47±0.14     | 3.96±0.14     | 2.83±0.13      |

|        |         |           |           |           |           |
|--------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 水筆仔(2) | 葉綠素 a   | 3.62±0.27 | 2.53±0.13 | 2.45±0.04 | 2.27±0.16 |
|        | 葉綠素 b   | 0.84±0.14 | 0.74±0.06 | 0.79±0.07 | 0.85±0.09 |
|        | 葉綠素 a+b | 4.47±0.37 | 3.28±0.18 | 3.24±0.10 | 3.13±0.17 |

### 3. 不同樹種完全成熟葉片之脯氨酸濃度

在不同季節取樣測定不同樹種成熟葉片之脯氨酸濃度，結果顯示 4 種紅樹林均以 1、4 及 10 月時濃度較高(表 14)，範圍在 0.39-0.47  $\mu\text{mole g}^{-1}$  間，其次為 10 月(0.32-0.42  $\mu\text{mole g}^{-1}$ )。而 4 種樹種之葉片脯氨酸濃度均在 4 月時最低，其中生長在第 1 及 2-3 樣區之海茄苳，葉片脯氨酸濃度分別為 0.12 及 0.20  $\mu\text{mole g}^{-1}$ ，脯氨酸濃度較另外 3 種紅樹林明顯低。

表 14 不同季節各樹種葉片之脯氨酸濃度變化 ( $\mu\text{mole g}^{-1}$ )

| 樹種(區域)   | 2009 年 1 月 | 2009 年 4 月 | 2009 年 7 月 | 2009 年 10 月 |
|----------|------------|------------|------------|-------------|
| 海茄苳(1)   | 0.41±0.09  | 0.12±0.05  | 0.42±0.07  | 0.36±0.05   |
| 海茄苳(2-3) | 0.39±0.04  | 0.20±0.04  | 0.36±0.05  | 0.40±0.04   |
| 欖李(2-3)  | 0.47±0.07  | 0.32±0.07  | 0.40±0.06  | 0.35±0.06   |
| 五梨跤(5)   | 0.44±0.07  | 0.32±0.07  | 0.37±0.08  | 0.42±0.03   |
| 水筆仔(2)   | 0.42±0.01  | 0.29±0.03  | 0.39±0.02  | 0.32±0.07   |

### 4. 不同樹種完全成熟葉片之 POD 活性

經比色法分別測定五梨跤、海茄苳、水筆仔及欖李葉片的過氧化酵素活性結果顯示(表 15)，五梨跤葉片之過氧化酵素單位含量最高，達 0.6579 單位/每克鮮重；海茄苳及水筆仔次之，分別為 0.0885 及 0.0576 單位/每克鮮重，而欖李之酵素活性則最低，僅 0.0012 單位/每克鮮重。

表 15. 不同樹種葉片之抗氧化酵素 POD 活性差異

| 樹種  | 含量 (酵素單位/每克鮮重; Unit/gram fresh weight) |
|-----|--|
| 五梨跤 | 0.6579±0.1143                          |
| 海茄苳 | 0.0885±0.0284                          |
| 水筆仔 | 0.0576±0.0348                          |
| 欖李  | 0.0012±0.0001                          |

表中數據為至少 3 次具可信度的分析結果並取其標準差



### 五、4 種紅樹林之族群結構

2009 年 7 月調查全區地徑 2 cm 以上之海茄苳共 2556 株，其中以 2.1~4.0 cm 者佔最多，共計 1059 株；其次為 4.1~6.0 cm 者，共計 875 株。地徑 > 16.1 cm 之大徑木僅 16 株，多為 1993 年栽植造林而殘存者。由地徑階分布頻度圖顯示，青螺濕地海茄苳族群結構呈現反 J 型分布(圖 13a)。

而全區水筆仔植株僅剩 201 株，其中以 4.1~6.0 cm 者佔最多，共計 149 株，其次地徑 > 6.1 cm 者有 36 株。靠近圍牆生長之欖李則存活 215 株，以 8.1~12.0 cm 者佔最多，共計 114 株。全區之五梨跤則存活 279 株，地徑以 4.1~6.0 cm 者佔最多，共計 230 株；地徑 > 6.1 cm 者則僅有 6 株。由地徑階分布頻度圖顯示，3 種紅樹林之族群結構皆呈鐘型分布(圖 13b、13c、13d)。

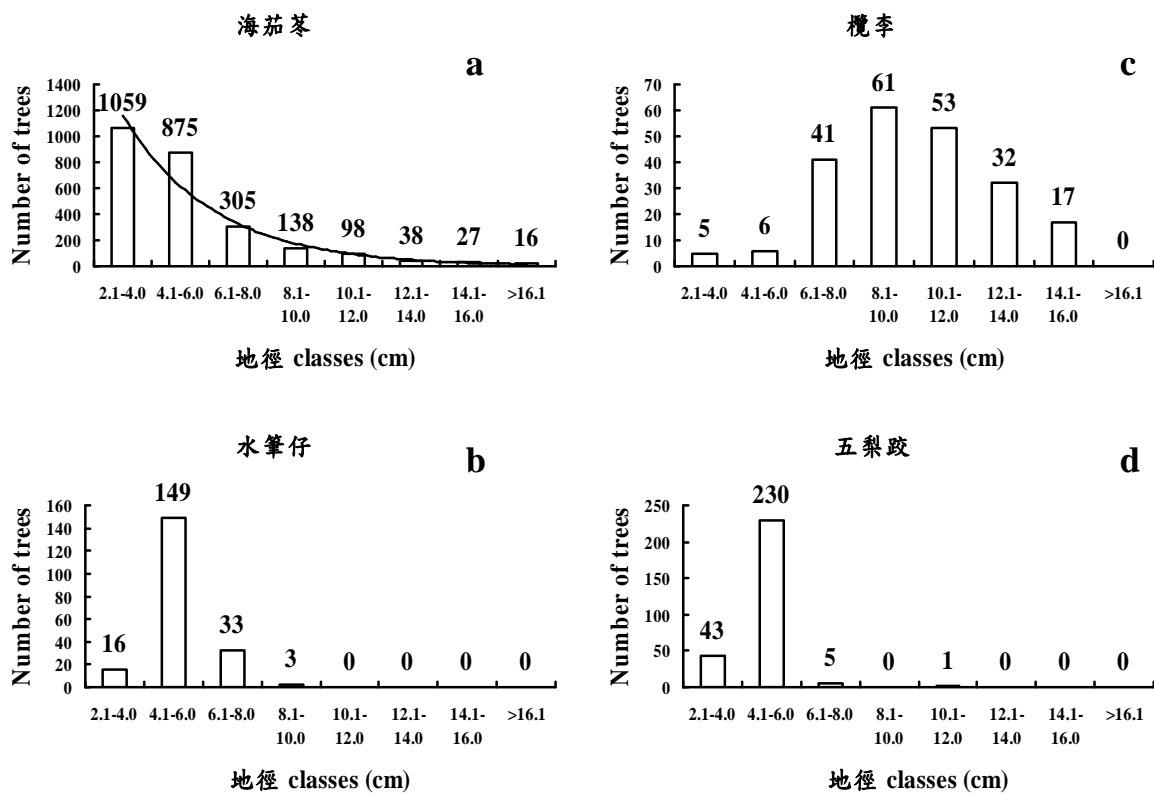


圖 13 青螺濕地之海茄苳(a)、水筆仔(b)、欖李(c)及五梨跤(d)之地徑級頻度分布圖

## 六、優勢種海茄苳地上部生物量

2008年8月依據砍取之30株樣木各部位乾物重資料，建立本區海茄苳葉( $W_L$ )、幹( $W_S$ )、枝條( $W_B$ )及總乾重( $W_T$ )對地徑之相對生長回歸式(圖14)，結果顯示  $R^2$  分別達 0.9544、0.9498、0.9576 及 0.9802。根據樣木地徑對總乾重之最佳相對回歸式， $W_T = 0.0836(\text{地徑}^2) + 0.1184(\text{地徑}) - 0.5305$  ( $R^2 = 0.9802$ ,  $p < 0.01$ )，其中  $W_T =$  地上部生物量(kg)，計算全區每株林木之生物量後，再換算成單位面積(ha)之生物量，結果顯示青螺濕地海茄苳地上部生物量為  $2.84 \text{ ton ha}^{-1}$ 。

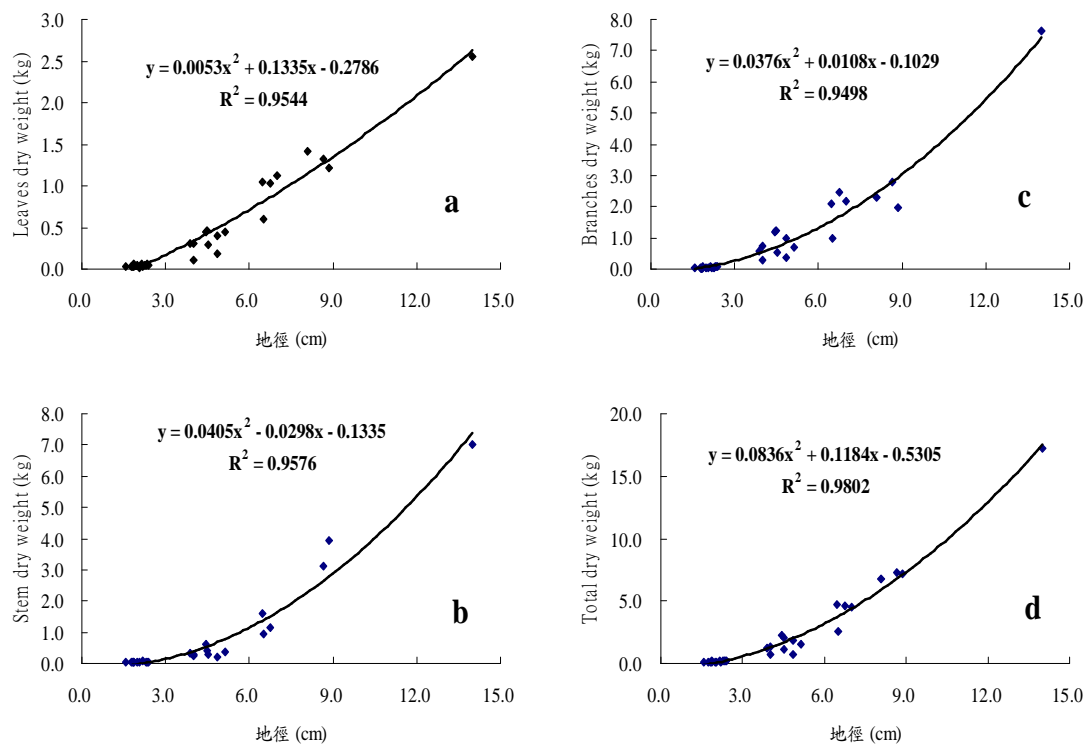


圖 14 青螺濕地海茄苳(a)葉部、(b)幹部、(c)枝條及(d)總乾重對地徑之相對生長回歸式

## 七、海茄苳天然更新小苗調查

調查不同區域由今年成熟果實萌發之 2-3 個月生海茄苳天然更新小苗結果發現(表 16)，不同區域之平均小苗密度差異很大，第 6 區天然更新苗密度最大，高達 389 株/m<sup>2</sup>，惟此區域內不同位置之苗木密度差異亦大，範圍為 129-857 株/m<sup>2</sup>。第 4 區之天然更新小苗密度最小，僅 10 株/m<sup>2</sup>。

至於更新苗木之平均高度除第 1 區較小外(9.9 cm)，其餘樣區之苗木高度差異不大，範圍在 12.3-15.1 cm 間，各區之更新苗地徑則無明顯差異

表 16 不同樣區海茄苳天然更新苗之平均株數、苗高及地際直徑

| 樣區  | 株數(株/m <sup>2</sup> )(最小-最大值)  | 苗高 (cm)               | 地際直徑 (cm)               |
|-----|--------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| 1 區 | 21±2 (6-61) <sup>b</sup>       | 9.9±1.6 <sup>b</sup>  | 0.33±0.02 <sup>NS</sup> |
| 2 區 | 16±7 (8-27) <sup>b</sup>       | 12.3±4.6 <sup>a</sup> | 0.35±0.05               |
| 3 區 | 16±4 (10-18) <sup>b</sup>      | 15.1±1.2 <sup>a</sup> | 0.33±0.03               |
| 4 區 | 10±6 (6-14) <sup>b</sup>       | 13.4±5.3 <sup>a</sup> | 0.39±0.13               |
| 5 區 | 40±6 (8-129) <sup>b</sup>      | 13.8±3.4 <sup>a</sup> | 0.35±0.07               |
| 6 區 | 389±321 (129-857) <sup>a</sup> | 15.0±2.8 <sup>a</sup> | 0.37±0.02               |

## 八、青螺濕地 1979、1989、1996 及 2006 年航照圖變化

2009 年 7 月由林務局航空測量所購得 1979、1989、1996 (黑白)及 2006 年(彩色)航空照片圖，經判釋後期能瞭解青螺濕地之紅樹林變遷情形(圖 15)。青螺濕地最早可購得之航空照片為 1979 年 10 月 1 日所拍攝，由於為漲潮期間拍攝，因此無法判釋是否有紅樹林存在。而 1989 年之航空照片可以清楚看出整個溼地的泥沙部分，但亦無發現任何紅樹林之影像。根據縣政府人員陳喬增先生之口述證實，在此期間青螺濕地並無紅樹林之存在。

造林工作隊於 1993 曾栽植海茄苳大苗，惟成活率僅 10%。而本校自 1994 年起即以不同方式復育及栽植海茄苳、水筆仔、五梨跤及欖李等 4 種紅樹林，因此由 1996 年之航照圖已可看出沿岸及中央沙洲復育栽植之紅樹林存在(圖 16)。由 2006 年之航照圖(圖 17)中顯示青螺溼地之紅樹林面積已由早期零星分布轉為較大面積分布，日後尚須持續監測拓展情形。

民國68年

民國78年



民國85年

民國95年

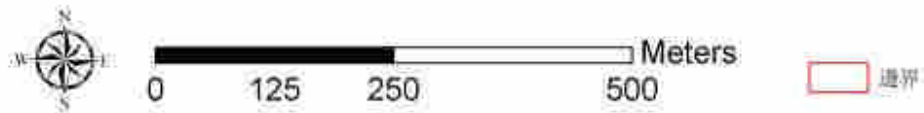


圖 15 澎湖青螺灣溼地紅樹林 1979-2006 年間溼地變遷情形



圖 16 澎湖青螺灣溼地 1996 年局部放大航照圖



圖 17 澎湖青螺灣溼地 2006 年局部放大航照圖

## 九、澎湖適合栽植紅樹林地點之評估

本校自 1994 年開始除了在青螺濕地栽植紅樹林外，亦曾分別在 1995 及 1996 年陸續中屯、瓦硯及菜園濕地試植海茄苳及水筆仔 2 種紅樹林；惟當時因對紅樹林樹種特性不甚瞭解及栽植經驗不足，因此栽植成活率低(照片 95-100)。



照片 95：1995 年在中屯試區栽植水筆仔



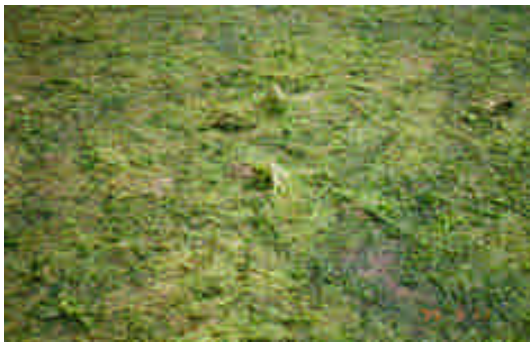
照片 98：1996 年在瓦硯海岸種植水筆仔胎生苗



照片 96：中屯試區栽植之海茄苳葉片沾滿泥沙



照片 99：1997 年在瓦硯海岸培育海茄苳容器苗



照片 97：中屯試區藻類繁殖季節時會將胎生苗覆蓋



照片 100：瓦硯海岸培育之海茄苳容器苗因風浪大僅少數存活

本計畫根據青螺濕地紅樹林復育栽植 15 年之經驗，主要考慮潮汐、底泥厚度(土壤基質)及方位，再次評估建議菜園、中屯、鎮海、瓦碇(2 處)及青螺魚塭等地，應為澎湖較適合栽植紅樹林之地區(圖 18)。上述地點退潮時均為裸露之潮間帶，亦無長期淹沒浸入影響紅樹林之呼吸與光合作用之問題，主要影響因素在於湧浪的大小(表 17)(照片 101-108)。

在評估之各地點中，尤其以菜園濕地因其周圍地勢較高、有近年綠化造林成功之高大複層海岸防風林保護，底泥厚且有機質豐富，應為澎湖地區最適合栽植紅樹林之地區。未來在各樹種繁殖體成熟季節，立即採集後以適當及謹慎方式栽植，應有相當之成功機會。



圖 18 評估澎湖較適合栽植紅樹林之地點

表 17 澎湖縣評估紅樹林可栽植地點之環境因子概況

| 地點      | 面積<br>ha | 方位點                             | 土質                      | 備註  |
|---------|----------|---------------------------------|-------------------------|---|
| 菜園      | 3.0      | N23°33'4"<br>E119°36'11"<br>向南  | 廢棄漁塭<br>泥層厚<br>30-50 cm | 位於馬公內港東北岸的灣底，北臨 20 雙湖園及興仁水庫，東至 201 號公路旁之興仁進士第，西至菜園生命紀念公園，南至菜園魚塭之潮間帶 |
| 中屯      | 0.3      | N23°36'35"<br>E119°36'25"<br>向南 | 細石礫地<br>泥層厚 5-10<br>cm  | 位於中屯國小西側臨護堤，西至漁塭，南至灣底   |
| 鎮海      | 1.0      | N23°38'21"<br>E119°35'50"<br>向南 | 粗質石礫地<br>泥層厚 0-5<br>cm  | 位於講美 OK 標誌護堤以北，鎮海海堤以南   |
| 瓦碇<br>1 | 0.2      | N23°39'15"<br>E119°34'58"<br>向北 | 砂質壤土<br>泥層厚<br>10-15 cm | 位於農田溝渠出口有淡水交會   |
| 瓦碇<br>2 | 2.0      | N23°39'44"<br>E119°34'25"<br>向南 | 砂質壤土<br>泥層厚<br>10-15 cm | 位於瓦碇「三十人公廟」南，西至後寮自來水塔以東   |
| 青螺      | 1.0      | N23°35'28"<br>E119°39'3"<br>向北  | 廢棄漁塭<br>泥層厚<br>20-30cm  | 位於湖西鄉青螺南岸，南至紅羅灣底，北至青螺紗帽山下臨澎 41 號公路                                  |





照片 101：中屯海岸旁邊有高地，可為栽植試驗區



照片 105：瓦碇 1 沿岸沙灘較平坦且後面有防風林保護



照片 102：中屯海岸平坦可再次嘗試栽植



照片 106：瓦碇 1 沿岸已有海茄苳存在，表示環境可能適合生長



照片 103：1997 年瓦碇 2 海岸之殘存海茄苳容器苗



照片 107：菜園濕地周圍有保護且底泥厚，為最理想之栽植地點



照片 104：瓦碇 2 海岸之海茄苳苗木經 13 年後呼吸根逐漸繁密



照片 108：菜園濕地遠眺景觀

## 陸、討論

### 一、青螺濕地草本植物

根據王志強等(2007)之研究共紀錄澎湖植物種類計 99 科 439 種，其中雙子葉植物有 74 科 233 屬 327 種，單子葉植物 18 科 67 屬 102 種。本研究計畫調查青螺濕地周圍之雙子葉植物共計 31 科 82 屬 101 種(表 4)，以菊科及豆科之植物最多；單子葉植物則有 7 科 20 屬 21 種，以禾本科植物最多，植物種類約佔全澎湖地區之 1/4。此外，周圍出現特有之澎湖決明及稀有之苦檻藍及島嶼馬齒莧則應加強保育措施。

### 二、水質及土壤狀況

2009 年 1 月起，每季各區域水質 pH 大致以第 1 及 3 樣區較高(表 7)，範圍在 8.12-8.24 間；而第 5 區之水質 pH 則明顯較其他區域為低，在 7.83-7.94 間，均呈為鹼性，與 1994 年調查之水質 pH(7.9~8.3 間)(范貴珠等，2006)變化不大。2009 年 1 及 4 月調查之水質電導度以第 4 及 5 樣區較高，範圍在 52.75-53.21 mS/cm 間。至 2009 年 7 月調查仍有相似趨勢，然 2 個樣區之水質電導度已分別增加至 78.85 及 87.40 mS/cm。至 2009 年 10 月調查時，各區之水質電導度則無顯著差異。

至於水質之鹽度與電導度之變化趨勢相似，2009 年 1 及 4 月調查之第 4 及 5 樣區水質鹽度均在 35 mS/cm 左右，而第 3 樣區之水質鹽度則分別為 31.45 及 32.80 mS/cm。至 2009 年 7 月調查時，各樣區之水質鹽度則明顯增加，其中以第 5 樣區之水質為 62.37 mS/cm 最高。本區域之鹽分濃度已為海水鹽分濃度，由甚至更高。根據薛美莉(1995)調查台灣 4 種紅樹林之主要生育地，整個西部海岸紅樹林生育地之水質鹽度範圍，大約為 0.02~4.40%。台灣的海茄苳、水筆仔、欖李及五梨跤等 4 種紅樹林，在 0.8-1.5% 鹽度環境生長最佳，鹽度 3.0% 以上的生育地雖可成活，但生長明顯較低矮(范貴珠 2006)。由此可知青螺地區水質之 pH 及鹽度，雖較台灣紅樹林生育地稍高，但亦在各樹種可生長範圍之內。

各區土壤之有機質、有效性磷及 CEC 等化學性質均以 11-20 cm 者較高，0-10 cm 土層者較低(表 8)。此外，第 5 區之土壤有機質、有效性磷及

CEC 較其他區域為高，全氮則以第 2 區較高。由此可知在第 2 及 5 樣區之海茄苳生長最佳。而第 1 區之土壤有機質、全氮量及 CEC 較其他區域為低，惟 Mg 及 Ca 濃度則較其他區域為高，加上土壤物理性質差，因此海茄苳直播 15 年後，甚至呈現匍匐狀態生長。

### 三、PVC 管栽植試驗

Salgado Kent and Lin (1999)在佛羅里達海岸以直徑為 1.5 吋(3.8 cm) PVC 管及竹筒栽植大紅樹(*Rhizophora mangle*)胎生苗，8 個月後以 full-length PVC 管之成活率最高，苗木以 half-length PVC 管及竹筒栽植者則全部死亡。本校在台南市健康路保護區以直徑為 4 吋 50 cm 高之 PVC 管栽植五梨跤，健壯苗木在第 1 年即可從 PVC 管長出支持根；若土壤及環境適合且無太大的人為干擾，至第 7 年時五梨跤稚樹高度約 400 cm，茂盛支持根已將 PVC 管包住而未影響觀瞻(范貴珠等，2004)。本研究以不同高度 PVC 管栽植 4 種紅樹林，前 3 個月僅五梨跤為唯一成活之樹種，但最後仍因無法忍受冬季鹽霧而全部死亡，顯示欲以 PVC 管栽植紅樹林成功之可行性較小。

### 四、復育紅樹林之生長適應性

青螺濕地自 1994 年起栽植 4 種紅樹林，經過 15 年時間後，4 種紅樹林之生長及適應狀況已明顯呈現差異，分述如下：

#### (一) 海茄苳

海茄苳為隱藏性胎生植物，具有鹽腺構造可以排除鹽分，因此為最耐鹽的紅樹林先驅樹種(Tomlinson 1994, Osborne and Berjak 1997)。果實成熟期為每年 8~10 月，具有粒大、含水量高、碳水化合物含量豐富及迅速發芽之特性(范貴珠等 1995, Farrant *et al.* 1992a, 1992b)，因此成熟落地後，果皮可迅速吸水膨脹脫落，約 3-6 天即發芽，而且不受鹽度之影響(Ye *et al.* 2005)。Imbert *et al.* (2000) 在小安地列斯群島進行紅樹林復育時指出，海茄苳多發生於地勢較高且孔隙水鹽度較高的地區，因漂浮效率較佳，而成為佔據復育區之優勢樹種。此外，在阿拉伯聯合大公國的沙漠地區，年平均溫度為

27.4°C，最高7月溫度高達45°C，降雨量在62~144 mm year<sup>-1</sup>的地區亦可生存(ElAmry 1998)。在科威特夏天最高溫達50°C，冬季低溫僅4°C，降雨量在100 mm year<sup>-1</sup>且鹽度為35,000至40,000 ppt之嚴苛環境，本樹種亦可復育成功(AboEl-Nil 2001)。青螺濕地以直播海茄苳果實方式復育紅樹林，但因生育地之鹽度高達3.0%，而且土壤質地堅硬且缺乏養分，因此直播6個月後之苗高生長僅達25.0 cm (范貴珠等 1995)。此結果雖較 Toledo *et al.* (2001) 在 Mexico 的 Baja California Sur 紅樹林中，以3個月生之海茄苳塑膠袋(5個繁殖體)苗栽植6個月後，平均苗高為13 cm之效果較佳；惟與台南市健康路之海茄苳果實成熟落地後，因土質鬆軟且富含有機養分，6個月後之苗高可達48.3 cm，地徑為8 mm (葉慶龍等 2000)結果相較，顯示本區直播苗木之初期生長相當緩慢。

海茄苳直播造林6年後，第1樣區因地勢較高，只有在大潮前後幾天，潮水才能淹過此區域；小潮期間因蒸發作用旺盛，導致表土常有鹽分結晶累積，經年累月造成土壤極為堅硬貧瘠，因此平均苗高僅32.2 cm，地徑為28.6 cm (圖5、圖6)，為全區生長最差者。林木生長15年後，土壤雖仍為黏質且貧瘠之硬盤，但土壤物理性質已稍微改善，直立呼吸根較為茂密，高度已達70.2 cm，地徑為50.1 mm (圖5、圖6) (照片55-57)。推測可能與 Naidoo (2006)指出南非 Richards Bay 海茄苳林分矮小化(樹高<1.5 m)之原因相似，即主要為高鹽分、水分潛勢低、水分逆壓及葉部 Na<sup>+</sup>濃度高，而 K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>及 P 濃度低等養分不平衡因子所致。

第2樣區靠圍牆處之土壤狀況最佳，6年生直播苗高可達75.1 cm，地徑達35.9 mm (圖5、圖6)，然此種生長量與他處相較仍明顯較差；例如台南市安平港保護區因鹽度較低，土質鬆軟且富含養分，亦無冬季季風夾帶鹽霧危害，因此海茄苳天然更新苗木在1年半後，苗高即可達到75.4 cm，地徑則明顯增加至24.1 mm (葉慶龍等 2000)。由於日後交通部觀光局澎湖國家風景區管理處闢建賞鳥木棧道，此區最接近新建之賞鳥涼亭及步道，遊客丟棄的垃圾量較多，生態旅遊及教學亦較集中此區，因此直播海茄苳之平均高度略增為123.2 cm，地徑則增至65.0 mm。

第3樣區土壤狀況與第2樣區者相似，惟僅有農民構築之低矮石牆保

護，因此直播 6 年生樹高較低(68.2 cm) (圖 5、圖 6)；惟苗木生長 15 年後，因土壤理化性質已逐漸改善，較其他樣區為疏鬆及肥沃，加上位置較遠、人為干擾少，且旁邊有生長茂盛之欖李加以保護，因此林木高度明顯增至 215.7 cm，地徑增至 92.3 mm，為直播海茄苳生長最佳的區域(圖 5、圖 6)。此樣區靠近陸地處，可見大量海茄苳天然更新苗，平均高度為 32.7 cm，地際直徑為 29.0 mm，顯示更新情況良好(照片 58-61)。第 4 樣區因土質黏重且呈硬化狀態及土壤腐植質含量少，加上無圍牆或植生保護，林木受冬季季風吹襲危害嚴重，因此栽植 15 年後，海茄苳之高生長及地徑生長增加幅度較其他樣區小(圖 5、圖 6)。

至於生長在第 2 樣區之 2-4 年生裸根苗栽植造林者，6 年後平均樹高為 83.7 cm，地徑為 48.4 mm (圖 5、圖 6)，與栽植時相較並未明顯增加。15 年後因人為及垃圾干擾較其他樣區為大，因此高度僅略增至 90.5 cm，地徑增加量亦小。在第 5 樣區之殘存林木生長 15 年後，雖然平均樹高明顯增加至 185.6 cm，地徑增加為 113.4 mm，但數量少且已發現有整株枯死現象。台南縣急水溪河口之海茄苳成樹亦有相似狀況，但主為蛀蟲啃食樹幹所導致。本區枯死林木樹幹並未發現有蛀蟲，因此尚須研究死亡原因。

綜合觀之，雖然多數紅樹林可以忍受的鹽度範圍大，但隨環境溫度及鹽度升高，林木持續暴露在物理及生理乾旱逆壓中會影響生長表現。AboEl-Nil (2001)以 8 個月生海茄苳容器苗，栽植在高溫、乾旱之科威特 Bahrain 及 United Arab Emirates 等 2 個地區，前者栽植 7 年後之平均樹高為 250 cm，而後者栽植 5 年後之樹高達 288 cm，均明顯高於青螺濕地以大苗栽植或直播造林者，顯示本區域環境較世界各地紅樹林復育環境更為嚴苛。

## (二)、欖李

1997 年在第 2、3 及 4 樣區較靠岸邊處，栽植之欖李苗木生長有相當大差異(圖 7、圖 8)。2000 年 9 月調查時，第 2 樣區之欖李因有圍牆保護且土壤狀況最好，因此苗木栽植 9 年後，樹高可增加至 184.3 cm，地徑則增加至 91.0 mm。惟因長期鹽霧為害導致枝梢枯萎，因此栽植 12 年後，樹高降低至 163 cm(照片 69-70)，而直徑則有持續增粗現象。第 3、4 樣區岸邊之稚樹由

於無圍牆保護，需長期忍受冬季之鹽霧，而且雖為砂質壤土但腐植質並未增加，因此生長情況不如第 2 樣區者，目前亦呈現衰退現象。

綜合栽植多年結果可知，青螺濕地之欖李栽植在靠岸邊者，苗高及地徑生長會較靠水邊者為佳；欖李在台南市安平港健康路水道栽植 2 年後，苗高生長可達 161.0 cm，地徑達 62.5 mm (葉慶龍等，2000)；本樹種在淹水區則不易繼續增高，有些生育地鹽分過高，欖李苗木甚至會死亡(范貴珠等，2004)。台南市鯤身路 3 號橋與龍崗社區栽植之欖李苗木，因生育地土壤及水質適合，苗木高生長及地徑生長均可分別達 186.0 cm 及 72.0 mm (范貴珠，未發表資料)。

### (三)、水筆仔

1995 年在第 2 及第 3 樣區共栽植 2300 支胎生苗，初期成活率高達 90% ，而且前 3 年之生長狀況極佳，但苗木在第 4 年後即開始陸續死亡。至 2000 年 9 月調查時，2 區總共僅剩 250 株。直插之水筆仔胎生苗經 14 年後，第 2 樣區之稚樹高度為 99.1 cm，地徑為 55.8 mm。第 3 樣區之稚樹高度則為 123.6 cm，地徑為 58.7 mm，2 樣區水筆仔合計成活 183 株(圖 9、圖 10)(照片 76-78)。

水筆仔之葉部及莖部不具有鹽腺及其他泌鹽結構，主要是靠脫落老葉方式來排除過量鹽分(黃元勳，1983；Tomlinson, 1994)。雖較其他紅樹林能耐冬季低溫，但苗木最適合生長之鹽度僅約 0.5 %，高鹽分環境會抑制生長(Hwang and Chen., 1995)。Wakushima 等(1994)亦指出日本各地區之水筆仔較適合生長在 1.5% 低鹽度土壤中，較海茄苳屬、紅茄苳屬及海桑屬紅樹林不耐高鹽度環境。黃元勳與許銘志(1995)之研究指出，竹圍矮生帶水筆仔生長較差，主要是因表土鹽度受蒸發作用影響，鹽度可高達 40 ppt，表土鹽度過高與變化不定，可能為限制矮生紅樹林生長之原因，澎湖青螺灣之水筆仔生長狀況亦有相似結果。

#### (四)、五梨跤

1994 年於第 4 樣區水邊直插 415 支五梨跤胎生苗，第 1 年之成活率及生長情形均非常良好(照片 79)；惟第 3 年後苗木之支持根雖已開始長出，但已有許多苗木逐年死亡。此區五梨跤栽植 6 年後，僅在海茄荖旁邊殘存 48 株苗木，調查稚樹高度為 92.3 cm，地徑為 27.0 mm (圖 11、12)。殘存苗木僅有 5-6 支之支持根伸入土壤中，支持根細小而堅硬，接觸地面處呈膨大狀態，與一般台灣鬆軟泥濘土壤栽植者形態差異很大(照片 81-83)。本樣區殘存之五梨跤稚樹栽植 12 年後，在海茄荖旁邊殘存 33 株成樹，高度為 177.8 cm，地徑為 35.0 mm。每株母樹之支持根數雖較前次調查增加，但支持根前端仍呈現膨大現象，無法深入土壤中。每株稚樹上約有 20 支以上胎生苗產生，林下則有 5-8 株天然更新苗(照片 84-86)。至今仍現象相似狀況，生長未見明顯增加。推測主要係因此樣區之土壤為砂質黏土，形成硬盤且缺乏空氣及養分，因此五梨跤苗木生長不佳，在第 3 年若仍無法順利長出支持根，則會逐漸死亡。

2000 年 6 月再次於第 5 樣區栽植 600 株五梨跤胎生苗，此區為每月大潮前後數日，退潮後可露出之平坦沙洲，無論是土壤質地或肥沃度均較第 4 樣區為佳；直插 3 個月後調查胎生苗成活率為 96%，苗高已達 28.5 cm，地徑為 10.1 mm (圖 11、圖 12)(照片 87)。惟本區之五梨跤胎生苗經過 6 年後，成活率已降至 46.5%，僅剩 279 株，苗木平均高度為 76.5 cm，地徑為 25.0 mm。台灣之五梨跤主要分佈在安平地區，水質鹽度為 31.3‰ (薛美莉，1995)。在奈及利亞東南部之紅茄荖屬紅樹林，土壤鹽度範圍大約在 1.4 至 5.9% 間，而且樹種之形質生長與土壤鹽度呈明顯負相關(Ukpong, 1991)。在日本之紅茄荖屬大多生長在 3.2 - 3.5% 之高鹽度土壤中(Wakushima *et al.*, 1994)，因此水質或土壤鹽度並非此樣區五梨跤生長受限之原因。本區位於濕地中央且無圍牆保護，每年強勁冬季季風吹襲應為成活苗木逐年死亡主要原因之一(照片 88-91)。台南市健康路水道在開闊地、陽光充足及土壤硬度適中地區，3 年半生之五梨跤苗高生長可達 170.3 cm，地徑為 40.1 mm (葉慶龍等，2000)。至於全光環境下直插五梨跤胎生苗經 4.5 及 2.5 年生長後，生物量甚至較遮蔭處者高 5-8 倍(范貴珠等，2003)。由此推測在青螺灣環境

如此惡劣之復育區，五梨跤若缺乏耐鹽性強之海茄苳保護，其生長及天然更新之機率將會降低。

綜合而言，4種紅樹林分別在青螺濕地栽植 13-15 後生長受限，主要歸因於與繁殖體種源、缺乏淡水、鹽分濃度過高、鹽霧危害及底土不適合所致。

## 五、紅樹林之葉片參數及生理反應適應性

### (一) 葉片參數

比葉面積(SLA)是葉部結構之重要指數，表示葉之厚度及葉機械組織之數量，一般 SLA 對環境的變化較為敏感(Hunt, 1990)。本研究調查結果顯示欖李在 4 及 7 月時比葉面積較大，約為  $75.0 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$  (表 10)，顯示欖李在春夏季之葉片生長良好。至冬季時(1 月)時則因累積鹽分呈現肉質性(表 11)而 SLA 降低至  $49.9 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$  (表 10)，此與欖李苗木在高鹽分處理下之溫室試驗結果相似(范貴珠等，1999)。

紅樹林植物長期生長在高鹽環境中，已進化出一系列形態特性來適應環境，如鹽腺和組織肉質化等(Tomlinson, 1994)。Popp 等(1993)調查委瑞內拉北部野外生長之非泌鹽種紅樹林，如紅茄苳屬(*Rhizophora*)、假紅樹屬(*Laguncularia*)及聚合果屬(*Conocarpus*)等樹種，其葉部肉質性與組織內的氯離子濃度呈正相關，但有鹽腺的對葉海茄苳(*A. germinans*)則無此關係。Dowton (1982)研究亦顯示具鹽腺之海茄苳在鹽分處理狀況下，葉片並未隨著無機離子累積而呈肉質狀；但 Burchett 等(1984a)及 Suárez 和 Sobrado (2000)之研究則指出，此樹種葉片之肉質性會隨鹽分濃度增加而增加。台灣之欖李屬於不具鹽腺之非泌鹽種紅樹林，苗木葉片肉質性亦隨著鹽度增加而變厚(范貴珠等，1999)。然而 Hwang 和 Chen (1995a)研究指出，無鹽腺結構之水筆仔在高濃度鹽分處理後，葉部並無肉質性情形發生；但王露儀等(2004)則指出 3.0% 鹽度處理之葉片肉質程度顯著高於其他處理；上述學者研究結果顯示，不同樹種、處理濃度、方法及時間均會有不同試驗結果。

本研究調查結果顯示，非泌鹽種之欖李、五梨跤及水筆仔葉片肉質程度，均較有鹽腺之海茄苳為高，與大部分學者進行之室內試驗結果相似(范貴珠等，1999；郭幸榮等，2000；王露儀等，2004；Popp *et al.*, 1993；Cram *et*



al., 2002; Parida *et al.*, 2004)。范貴珠等(1999)將欖李苗木以 4.5 及 6.0% NaCl 處理 120 天後，葉片之肉質程度達  $111 \text{ mg H}_2\text{O cm}^{-2}$  左右，而苗高生長則僅 10 cm 左右。青螺濕地之欖李在 1 月冬季時之葉片肉質程度最高，達  $115.95 \text{ mg H}_2\text{O cm}^{-2}$ ，與范貴珠等(1999)結果一致，但栽植後仍可持續生長 10 年左右，顯示有其一定適應性。

許多學者認為在鹽分環境下，雙子葉鹽性植物組織多汁性與其耐鹽能力有關，可以做為一耐鹽之指標(Tomlinson, 1994; Larcher, 1995)。而 Suárez 和 Sobrado (2000)認為鹽分造成對葉海茄苳(*A. germinans*)葉片肉質程度的增加，主要因皮下細胞層(hypodermal cell layers)數量及葉片細胞大小增加所致。惟葉部肉質性的生理功能至今仍難有完整的解釋，一般認為主要是使細胞能隨著鹽分吸收，而穩定的增加水分吸收，使細胞在伸展期間的鹽分濃度維持一定(Larcher, 1995; Keiffer and Ungar, 1997; Suárez and Sobrado, 2000)，或細胞組織進行鹽分螯合作用(salt sequestration)(Werner and Stelzer, 1990)，或具有儲存無機鹽類及有機代謝物等滲透溶質作用(Parida *et al.*, 2004; Parida and Das, 2005)。至於高鹽分環境下生長之耐鹽植物，組織的多汁性是否因為要增加膨壓以增加生長，仍是一爭論問題(Munns *et al.*, 1995; Parida and Das, 2005)。欖李、水筆仔及五梨跤均為不具鹽腺之非泌鹽種紅樹林(Tomlinson, 1994)，高鹽分雖會使葉片肉質程度增加(表 11)，但亦會導致整株苗木葉片數及葉面積減少，因此促進苗木生長的效應並不明顯。本研究 3 樹種苗木葉片呈肉質性應符合 Tomlinson (1994)的解釋，即紅樹林為使累積在葉片鹽分濃度於脫落前能保持一定，因此細胞體積必須增大以達鹽分平衡目的。

通常葉片含水量變化會明顯反應環境造成土壤水缺乏的程度(Socias *et al.*, 1997)，例如 Naidoo (2006)調查南非海茄苳(*Avicennia marina*)林分生長時指出，矮小紅樹林(樹高 < 1.5 m)因土壤鹽度高，因此葉片之相對水分含量(RWC)較邊緣紅樹林(6-10 m 高)為低。本試驗顯示欖李成熟葉之 RWC 為所有樹種最高者(85.3-97.2%)(表 12)，此與欖李(室內試驗)(范貴珠等, 1999b)、白海欖(*Avicennia alba*)及木果楝(*Xylocarpus granatum*)(Paliyavuth *et al.*, 2004)等紅樹林苗木反應相似。若植物葉片之 RWC 在 80% 以下時，表示葉片水

分潛勢大約在-1.5 MPa 或更低，導致光合作用停止、代謝作用改變、呼吸作用增加及累積脯氨酸及離層酸(abscisic acid)等生理反應(González and González-Vilar, 2001)。此外，Suárez 和 Sobrado (2000)及 Sairam 等 (2002)亦曾指出在鹽分逆境下，葉片 RWC 之降低與脯氨酸、甜菜鹼(Glycine-betain)及可溶性糖類(Soluble sugars)等滲透調節物質增加有關。青螺濕地之水筆仔各季之 RWC 較低(67.8-75.4%)，推測能藉由降低葉片 RWC 來累積 Cl 離子及合成脯氨酸等滲透調節物質，以維持葉片一定的含水率，因此苗木在此惡劣環境下仍可持續生長。范貴珠等(1999a)及 Munns (1993)指出在高濃度的鹽分逆壓下，即使維持細胞的膨壓，但葉片伸展速度仍然下降，范貴珠、徐誠宏(2008)研究亦有相似之結果，即五梨跤苗木在 3.0% 鹽分濃度下，雖有高的 RWC 以維持細胞膨壓，但苗木葉片發育已受阻，導致苗高及乾物量等形質生長較差。

## (二) 葉片生理反應

鹽分對紅樹林葉片之光合色素濃度之影響因樹種而異，例如 Basak 等(1996)將印度東部 Orissa 省之 14 種紅樹林在苗圃無鹽介質中培育一年半後，測定葉部總葉綠素濃度變化範圍為 0.21 (*Aglaia cucullata* 及 *Ceriops decandra*)至 0.56% (*Aegiceras corniculatum*)。而通常紅樹林在無鹽分狀況下葉綠素濃度最低，低鹽分濃度下葉綠素濃度最高，但隨著鹽分濃度之增加，會導致葉綠素濃度下降情形(范貴珠等，2001；范貴珠、徐誠宏，2008)，總葉綠素濃度為影響光合作用速率之重要非氣孔因子，鹽性植物會增加葉綠素濃度以適應鹽分環境，亦可能因 Na 離子流出需要能量，因而增加葉綠素合成(Iyengar and Reddy, 1996)。當鹽分濃度增加至 1.5% 以上時，五梨跤苗木(范貴珠、徐誠宏，2008)、海茄苳(Sobrado, 1999; Naidoo, 2006; Panda, *et al.*, 2006)、欖李(范貴珠等，2001)、小花木欖(*Bruguiera parviflora*)(Parida *et al.*, 2004a)及桐花樹(*Aegiceras corniculatum*)(Parida *et al.*, 2004b)等紅樹林樹種之反應相似。

Pardia 等(2004a)指出木欖(*B. parviflora*)葉部累積大量 Na 及 Cl 離子，會導致 Ca 及 Mg 離子吸收減少，因而增加鹽分對細胞膜的通透性(Permeability)

及減少葉綠素合成；本研究調查生長在第 1 樣區之海茄苳及第 5 樣區之梨跂，各季測定之葉綠素濃度均較其他樹種為低(表 13)，推測葉片應為累積之鹽分濃度較高(表 8)所致。學者指出過高之鹽分逆壓致使葉綠體產生超氧化物 ( $O_2^-$ ) 及  $H_2O_2$ ，而影響葉綠體完整性及類囊體結構(Hernandez *et al.*, 1995)；亦或使色素蛋白複合體的脂質及蛋白質比例改變，或葉綠素酶(Chlorophyllase)活性增加(Hernandez *et al.*, 1995; Iyengar and Reddy, 1996)，而導致植物之葉綠素濃度降低。然 Naidoo (2006)則認為葉綠素含量降低可減少光能的捕捉，此為高鹽分環境下矮小海茄苳之生長適應機制之一。此是否為青螺濕地第 1 樣區海茄苳直播 15 年後生長仍然矮小，苗木葉綠素濃度降低是否為其生長適應機制，則需進一步研究。

通常紅樹林植物生長在鹽分環境中，根、莖及葉等器官會累積無機離子或合成有機物質，使組織內的水分潛勢降至比土壤水分潛勢更低，以進行滲透調節作用(Osmoregulation)增加水分吸收(Popp, 1993; Adrian-Romero, *et al.*, 1998; Suárez *et al.*, 1998; Aziz and Khan, 2001; Khan and Aziz, 2001; Naidoo, 2006)；其中又以吸收無機離子之  $Na^+$  及  $Cl^-$  為主，因為過程需要支出之能量較少(Hwang and Chen, 1995; Parida and Das, 2005)。雖然無機離子在紅樹林植物的滲透調節中佔主要部分，但有機滲透調節物質在維持正常細胞代謝作用亦重要(Datta and Ghose, 2003; Parida *et al.*, 2004a)。紅樹林植物的有機溶質以右旋肌醇甲醚(Pinitol)及甘露糖醇(Mannitol)為主，其次為脯氨酸、甜菜鹼(Betaines)及四級銨化物(Quaternary ammonium compounds, QACs)(Popp *et al.*, 1993; Datta and Ghose, 2003)；例如木欖會累積糖類、脯氨酸和多酚等滲透保護物質來調節水分(Parida *et al.*, 2004a)。青螺濕地 4 種紅樹林之脯氨酸濃度均以 1 月份時最高，顯示此時的低溫及鹽霧逆境為導致脯氨酸濃度增加之原因。

過氧化酵素(Peroxidase; POD)普遍存在植物體中，具許多同功酵素(isozymes)，可區分為胞內可溶型(soluble form)、細胞壁結合型(wall-bound form)及胞外型(extracellular form)等3種，隨不同發育時期、環境條件，在不同部位可能就有不同 POD 的表現。一般認為 POD 可能與植物的生長、老化、木質化(lignification)、生長素代謝及各種逆境的抗性有關，在植物的生

長與分化上 POD也扮演重要的角色。但是不同物種間的 POD 表現常無一致性，可能與其生理狀況、氣候變化及環境因素有關；其功能則是將在特定生長發育時期或因逆境所產生的過氧化物降解，以避免這些過氧化物所造成的氧化逆境對植物細胞的損傷或減緩訊息傳遞的程度。本研究結果顯示五梨跤葉片每克鮮重的過氧化酵素單位含量最高(表15)，海茄荖及水筆仔次之，欖李則較低；表示在同一季節中，五梨跤需表現較多量的過氧化酵素以因應其生長所需或是其生長環境及氣候較其他物種為嚴苛所致。若能了解不同紅樹林在青螺溼地的分布位置及生長狀況，並比較其於不同季節中的過氧化酵素活性，則能提供進一步的判斷與分析，以提供作為撫育及栽植的依據。

#### 六、4 種紅樹林之族群結構

紅樹林生態系之結構特性受緯度及區域性不同環境參數影響(Cintron and Schaeffer-Novelli 1984)，胸高直徑(DBH)及樹高為影響植物社會密度及空間分布的重要參數，可用以表示林分發育程度(Fernandes 2000)。通常紅樹林林分之生長和密度與樹種、結構、年齡及自然地理位置密切相關 (Fromard *et al.* 1998, Liao *et al.* 2004, Ward *et al.* 2006)，例如筆者曾調查台南縣急水溪口海茄荖林分之DBH範圍為2.4~4.1 cm，林分密度為6496~17000株 ha<sup>-1</sup> (Fan 2008)；而台南市安平港林分之DBH在5.9~8.9 cm間，林分密度為4000~8533株 ha<sup>-1</sup> (資料未發表)。青螺濕地復育之海茄荖生長13年後，林分密度僅1712株 ha<sup>-1</sup>，顯示上述2生育地之林分建立時間除較本區為早外，生育地之氣候、土壤及水質等環境亦較佳。

不同紅樹林樹種之林木大小、分布頻度與結構有明顯差異(Cole *et al.* 1999)，而直徑分布圖可代替齡級結構，作為推測族群過去與未來之消長情形，亦可視為天然更新能力的指標(劉崇瑞與蘇鴻傑 1997)。李建堂等(2002)調查關渡自然保留區水筆仔之族群結構呈反J型，顯示關渡地區水筆仔更新情形良好。2009年7月調查全區地徑2 cm以上之海茄荖共2556株，其中以2.1~4.0 cm者佔最多，共計1059株；地徑>16.1 cm之大徑木僅16株，多為1993年栽植造林而殘存者，本區復育之海茄荖族群結構亦呈反J型分布(圖13a)，即本區之小苗數量較多(照片3)。而紐西蘭(Osunkoya and Greese

1997)、阿曼(Naoko *et al.* 2003)、台南縣急水溪口(Fan 2008)及台南市安平港保護區(資料未發表)之海茄苳林分結構均有相似變化；此外，林木直徑分布曲線之傾斜度極大，表示更新持續力越強(劉崇瑞與蘇鴻傑 1997)，在開闊、土壤條件較佳的第5樣區，已可以發現大量之2年生左右苗木，平均高度約60~70 cm，顯示族群更新狀況佳並仍有拓展空間。而其餘之水筆仔、欖李及五梨跤等3種紅樹林之族群結構皆呈鐘型分布(圖 13b、13c、13d)，顯示天然更新小苗少，而將呈逐漸衰退狀況。

### 七、優勢種海茄苳之地上部生物量

胸高直徑(DBH)為預測紅樹林地上部生物量之極佳參數在野外調查時較實用、精確且容易量測(Steinke *et al.* 1995, Fromard *et al.* 1998, Komiyama *et al.* 2008)，已有許多學者建立紅樹林 DBH 與生物量之相對生長關係式(Steinke *et al.* 1995, Clough *et al.* 1997, Fromard *et al.* 1998, Comley and McGuinness 2005, Smith and Whelan 2006, Fan 2008)。青螺濕地之林木因年齡較小且生長差，故本研究改以地徑替代 DBH，調查結果顯示地徑與葉部、幹部、枝條及總乾重間有明顯之相關性(圖 14)，其中地徑與地上部生物量之  $R^2$  高達 0.9802。根據最佳相對生長關係式計算平均單株林木之地上部生物量為 2.2 kg，明顯較斯里蘭卡(8.0 kg)(Amarasinghe and Balasubramaniam 1992)、澳洲西部(7.0 kg)(Clough *et al.* 1997)、澳洲北部(9.0 kg)(Comley and McGuinness, 2005)、台南縣急水溪口(3.9 kg)(Fan 2008)及安平港(44.4 kg)(未發表資料)之海茄苳林分為低。

紅樹林林分生物量會因為年齡、優勢種及地區性而有所差異(Komiyama *et al.* 2008)，表 18 為世界各地不同海茄苳林分之地上部生物量；其中澳洲成熟林分之地上部生物量最高(400.0 ton ha<sup>-1</sup>)(Saintilan 1997a)，紐西蘭灌木狀之幼齡林最低(6.8 ton ha<sup>-1</sup>)(Woodroffe 1985)。Twilley *et al.* (1992)根據緯度發展出一套計算生物量之模式： $Y = -7.291(X) + 298.5$  ( $R^2 = 0.75$ )，其中 X 為緯度，Y 為生物量 (ton ha<sup>-1</sup>)。根據此公式計算青螺濕地之海茄苳地上部生物量應為 130.81 ton ha<sup>-1</sup>。然而實際調查青螺濕地海茄苳林分之地上部生物量僅 2.82 ton ha<sup>-1</sup>，證實Steinke *et al.* (1995)、Smith and Whelan (2006)及

Komiyama *et al.* (2008)等學者認為在不同區域，此相對生長式需經過修正方能應用。

海茄苳雖為最耐鹽之紅樹林，但生育地環境過於惡劣，除需忍受冬季強風及空中鹽霧侵襲外，水質完全為海水並無淡水注入，由於 3.0%左右之鹽分濃度導致海茄苳生長差(Downton 1982, Burchett *et al.* 1984, Clough 1984, Ball 1988)，因此樹高及直徑較小(圖 5、6)，且林分地上部生物量明顯低於世界各地區調查者(表 2)。另以演替觀點而言，土壤特性及養分狀態為影響紅樹林生物量之重要因子(Komiyama *et al.* 2008)。Ferwerda *et al.* (2007)曾比較人為干擾(皆伐)及颶風對澳洲達爾文港附近紅樹林植群之影響，結果指出皆伐後對植群組成及狀況之干擾機制至少會持續 25 年。青螺濕地早期出租給養殖業者時，因肥沃表土被挖除，導致土壤堅硬、貧瘠，復育栽植經過 15 年時間，土壤理化性質已逐漸改善，推測近期內海茄苳之拓展速率應有加速的可能性。

表 18 不同區域海茄苳之地上部生物量

| 緯度 (°) | 樹高 (m)               | 密度 (trees ha <sup>-1</sup> ) | 位置              | 地上部生物量 (ton ha <sup>-1</sup> ) | 資料來源                            |
|--------|----------------------|------------------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 22(N)  | 1.8<br>(young stage) |                              | China           | 77.1                           | Liao <i>et al.</i> , 2004       |
| 23(N)  | 2.0~<br>2.9          | 17000<br>~ 6496              | Taiwan          | 13.5<br>~22.7                  | Fan, 2008                       |
| 23(N)  | 3.5~<br>3.7          | 8533<br>~ 4000               | Taiwan          | 226.7<br>~420.4                | 未發表資料                           |
| 23(N)  | 0.9                  | 1712                         | Taiwan          | 2.8                            | this study                      |
| 27(S)  | 5.3<br>9.7<br>16.4   | 9700<br>4900<br>463          | Australia       | 110.0<br>162.0<br>341.0        | Mackey, 1993                    |
| 29(S)  | 1.0~<br>8.0          | 4700                         | South<br>Africa | 19.8                           | Steinke <i>et al.</i> ,<br>1995 |

---

|       |     |       |             |  |                  |
|-------|-----|-------|-------------|--|------------------|
| 33(S) | 3.0 | 2000  | Australia   | 400.0  | Saintilan, 1997a |
| 33(S) |     |       | Australia   | < 10 (landward)<br>120 (sea ward<br>edge)<br>19~25(upstream) | Saintilan, 1997b |
| 37(S) | 0.4 | 16000 | New Zealand | 6.8  | Woodroffe, 1985  |
| 37(S) | 2.7 | 3350  | New Zealand | 104.1  | Woodroffe, 1985  |

---

## 柒、結論與建議

青螺地區原有 20 年生之海茄苳林分，樹高甚至可達 2-3 m。而後因出租開闢養殖魚塭。業者除將海茄苳砍除外，並一併移走富含有機質之底土，導致土壤缺乏養分、形成硬盤而通氣性差，加上每年強勁冬季季風之侵襲，環境極為惡劣。本校栽植 4 種紅樹林經過 15 年後，綜合長期監測結果並提出建議如下：

- 一、青螺濕地為澎湖地區除菜園濕地外，最適合紅樹林生長之區域，惟 4 種紅樹林栽植 13-15 年後之生長量，仍不如台灣西海岸各地紅樹林生長 6-7 年者，顯示青螺濕地並非紅樹林生長之最適環境。
- 二、青螺濕地以直播方式復育耐鹽性強之海茄苳，不但作業簡單且節省經費。雖然目前已成為濕地之優勢樹種，但生長相當緩慢，直播 15 年後，生長最佳者樹高亦僅 200 cm 左右。生育地環境差者，樹體甚至呈矮化匍匐狀，與台灣各地海茄苳生長勢差異極大。
- 三、由族群結構分析結果顯示，海茄苳之族群結構呈反 J 型，天然更新苗已逐漸增多，顯示更新情況良好。水筆仔、欖李及五梨跤之族群結構則呈現鐘形，顯示天然更新狀況不佳。4 種紅樹林生長雖較台灣南部復育者明顯不佳，但立地環境已逐年改善。
- 四、欖李在青螺濕地若栽植在靠岸邊而避免長期淹水處，初期可為一良好而開花美麗之海岸綠化樹種，惟至第 12 年後則因鹽霧長期危害而逐漸衰退。根據監測結果顯示此樹種具開花美麗及葉片翠綠特性，仍建議此應為澎湖值得栽植之海岸綠化樹種，惟在第 10 年後，若無法天然更新，則需以人為栽植方式更新。
- 五、水筆仔與五梨跤在栽植初期，除非周圍有海茄苳保護，否則在強風及堅硬貧瘠土壤環境下生長不佳。目前青螺濕地微環境已逐漸改善，若再次栽植此 2 樹種是否有較佳生長，則需進一步試驗及觀察始能斷論。
- 六、澎湖紅樹林栽植復育肇始青螺濕地，目前海茄苳面積已逐漸往周圍擴展。建議應將此國家級濕地作為長期研究的永久樣區，持續監測紅樹林及不同生物之多樣性、植群結構及生態結構功能變化，並適時提出規範或管理計畫。



- 七、以青螺溼地復育栽植紅樹林15年的經驗，應選擇澎湖適當沿岸或灘地，以適地適木原則並配合潮汐有計劃進行栽植試驗。若能栽植成功，則將改變以往海岸完全水泥化之護堤工程，期能活化海岸生態環境。
- 八、依據環境基本法第 18 條規定：「各級政府應積極保育野生生物，確保生物多樣性；保護森林、潟湖、濕地環境，維護多樣化自然環境」。內政部營建署鼓勵各縣(市)政府整合社區及民間非政府組織(NGO)，提出國家重要濕地生態環境監測、地景復育及復育計畫。青螺濕地和馬公市郊菜園濕地分別獲評為國家級濕地和地方級濕地，初期應選擇適合之紅樹林進行復育計畫，期能建造生態歧異度大之紅樹林。
- 九、由於紅樹林具有重要教育與研究價值，兼具自然觀光、生態旅遊等功能；近來在地的野生動物保育團體十分關切青螺溼地現況並持續監測，而衍生賞鳥活動之生態旅遊型態。旅遊主管機關於2007年提出以保育觀念與觀光發展並容之開發案，期待活化青螺濕地周邊漁塭的發展。惟為避免因開發而破壞紅樹林引發保育爭議，仍須依「台灣沿海地區自然環境保護計畫」之精神，檢討劃定紅樹林保護區之必要；相關開發利用紅樹林之行為需法制化，才是保育與開發共存共榮關鍵。
- 十、國外之紅樹林面積相當大，但由於相關之管理機構複雜，因此對於紅樹林的政策和法律執行度均較弱，管理機構和各類紅樹林相關利益團體間缺乏協商機制，實施之績效和評估不足，紅樹林管理同沿海地區及河流域的管理間缺乏整合及協調。目前青螺濕地雖列為國家級濕地，但有紅樹林生存之面積極小，未來可參照國外制訂之紅樹林管理規劃，涵蓋下列內容逐步實施：
- (一) 相關利益群體參與規劃和實施的所有階段。
  - (二) 評估紅樹林現況和管理計畫的成功程度及進度報告。
  - (三) 具有適當專業技能的地方學術和研究機構參與紅樹林生態系統的實施、監測和評估。
  - (四) 實施有效性績效標準，至少每3-5年重複一次。

## 捌、參考文獻

- 王志強、陳一正、邱清安、林志銓、曾彥學、歐辰雄、呂金誠 (2007) 澎湖地區植相與植群之研究。林業研究季刊 29(2): 1-28。
- 王露儀、陳紀伶、李明仁 (2004) 鹽度對水筆仔苗木生長之效應。中華林學季刊 32(2): 147-156。
- 李建堂、鄭育斌、邱文良、林則同、陳建文、王儀臻 2002 關渡自然保留區 1986-1998年植群變遷。台灣林業科學 17(1): 41-50。
- 林則桐 (1987) 關渡沼澤地植物生態調查。自然文化景觀調查研究計畫要集 (一) 29 頁。
- 黃元勳 (1983) 竹圍紅樹林生態系營養物質流轉之動力學研究。國立台灣大學植物學研究所碩士論文。
- 范貴珠、劉正平、楊玫玲 1995 海茄苳(*Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.) 種子形態與種子發芽之研究。中華林學季刊 28(1): 21-30。
- 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、許博行、張峻德 (1999a) 鹽分對欖李苗木生長之影響。中華林學季刊 32(2):315-328。
- 范貴珠、許博行、張峻德 (1999b) 鹽分對欖李苗木水分狀態、葉綠素螢光反應及細胞活性之影響。中華林學季刊 32(4):469-480。
- 范貴珠、許博行、張峻德 (2001) 土壤鹽度對欖李苗木光合作用之影響。林業研究季刊 23(3):47-62。
- 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、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、葉慶龍、顏江河、許博行 (2004) 安平港紅樹林監測報告(九十三年一月至三月) 高雄港務局、屏東科技大學院合作報告 36 頁。
- 范貴珠、葉慶龍、顏江河、許博行 (2004) 安平港紅樹林監測報告(九十三年一月至三月) 高雄港務局、屏東科技大學院合作報告 36 頁。

- 年一月至三月) 高雄港務局、屏東科技大學院合作報告 39 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 (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 (2008a) 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 (2008b) 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。
- 郭幸榮、林如森、許世宏、梁亞忠 (2000) 供水方式和土壤鹽分對欖李生長及形態之影響。中華林學季刊 33(2):217-230。
- 陳明義 (1982) 紅樹林之特性。中華林學季刊 15(3): 17-25。
- 陳明義、蔡寶隆 (1982) 台灣中北部地區紅樹林育林特性之研究。中興理工學報 19:11-20。
- 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。
- 葉慶龍、范貴珠、王濟民 (1995) 台南縣北門保護區海茄苳族群結構初步調查。台灣林業 21(3): 40-45。
- 葉慶龍、范貴珠、顏江河、許博行 2000 安平港紅樹林復育監測計畫。高雄港務局、屏東科技大學合作報告 100 頁。
- 薛美莉 1995 消失中的濕地森林—記臺灣的紅樹林。臺灣省特有生物研究保育中心出版 116 頁。

- 劉崇瑞、蘇鴻傑 1997 森林植物生態學。台灣商務印書館。462 頁。
- AboEl-Nil, M. A. (2001) Growth and establishment of mangrove (*Avicennia marina*) on the coastlines of Kuwait. *Wetlands Ecology and Management* 9: 421-428.
- Adrian-Romero, M., S. Wilson, J., Blunden, G. Yang, M. H., Carabot-Cuervo, A. and Bashir, A. K. (1998) Betaines in coastal plants. *Biochemical Systematics and Ecology* 26:535-543.
- Amarasinghe, M. D. and Balasubramaniam, S. (1992) Net primary productivity of two mangrove forest stands on the northwestern coast of Sri Lanka. *Hydrobiologia* 247:37-47.
- Ashton, E. C. and Macintosh, D. J. (2002) Preliminary assessment of the plant diversity and community ecology of the Sematan mangrove forest, Sarawak, Malaysia. *Forest Ecology and Management* 166:111-129.
- Aziz, I. and M. A. Khan (2001) Experimental assessment of salinity tolerance of *Ceriops tagal* seedlings and saplings from the Indus delta, Pakistan. *Aquatic Botany* 70: 259-268.
- Ball, M. C. (1988) Salinity tolerance in the mangroves *Aegiceras corniculatum* and *Avicennia marina*. I. Water use in relation to growth, carbon partitioning, and salt balance. *Australian Journal of Plant Physiology* 15: 447-464.
- Barnes, J. D., Balauger, L., Manrique, E., Elvirra, S. and Davison, A. W. (1992) A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination chlorophyll a and b in lichens and higher plants. *Environmental and Experimental Botany* 32:85-100.
- Basak, U. C., Das, A. B. and Das, P. (1996) Chlorophylls, carotenoids, proteins and secondary metabolites in leaves of 14 species of mangrove. *Bulletin of Marine Science* 58(3):654-659. Björkman, O., Demmig, B. and Andrews, J. T. (1988) Mangrove photosynthesis: Response to high irradiance stress. *Australian Journal of Plant Physiology* 15:43-61.

- Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline water-stress studies. *Plant and Soil* 39:205-207.
- Botero, L. and Salzwedel, H. (1999) Rehabilitation of Ciénaga Grande de Santa Marta, a mangrove-estuarine system in the Caribbean coast of Colombia. *Ocean and Coastal Management* 42:243-256.
- 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., Field, C. D. and Pulkownik, A. (1984) Salinity, growth and root respiration in the grey mangrove, *Avicennia marina*. *Physiologia Plantarum* 60: 113-118.
- 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.
- Chale, F. M. M. (1996) Litter production in an *Avicennia germinans* (L.) stearn forest in Guyana, South America. *Hydrobiologia* 330:47-53.
- Chen, R. and Twilley, R. R. (1998) A gap dynamic model of mangrove forest development along gradients of soil salinity and nutrient resources. *Journal of Ecology* 86:37-51.
- Choudhuri, P. K. R. (1991) Biomass production of mangrove plantation in Sundarbans, West Bengal (India)-- A case study. *Indian Forester* 117(1):3-12.
- Cintron, G. M. and Schaeffer-Novelli, Y. (1984) Methods for studying mangrove structure: In: *The mangrove Ecosystem: research methods*. Monographs on oceanographic methodology 8: 91-113.

- Clarke, P. J., and Allaway, W. G. (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.
- Clough, B. F., Dixon, P. and Dalhaus, O. (1997) Allometric relationships for estimating biomass in multi-stemmed mangrove trees. *Australian Journal of Botany* 45:1023-31.
- Clough, B. F. (1984) Growth and salt balance of the mangroves *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. and *Rhizophora stylosa* Griff. in relation to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology* 11: 419-430.
- Clough, B. F. and Scott, K. (1989) Allometric relationships for estimating above-ground biomass in six mangrove species. *Forest Ecology and Management* 27:117-27.
- Cole, T. G., Ewel, K. C. and Devoe, N. N. (1999) Structure of mangrove trees and forests in Micronesia. *Forest Ecology and Management* 117: 95-109.
- Comley, B. W. T. and McGuinness, K. A. (2005) Above- and below-ground biomass, and allometry, of four common northern Australian mangroves. *Australian Journal of Botany* 53:431-6.
- Cram W. J., Torr, P. G. and Rose, D. A. (2002) Salt allocation during leaf development and leaf fall in mangroves. *Trees* 16:112-119.
- Dahdouh-Guebas, F., Kairo, J. G., Jayatissa, L. P., Cannicci, S. and Kowdam, N. (2003) An ordination study to view vegetation structure dynamics in disturbed and undisturbed mangrove forests in Kenya and Sri Lanka. *Plant Ecology* 161:123-135.
- 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.
- Datta, P. N. and Ghose, M. (2003) Estimation of somotic potential and free amino acids in some mangroves of the sundarbans, India. *Acta Botanica Croatica Acta* 62(1): 37-45.

- 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.
- Downton, W. J. S. (1982) Growth and osmotic relations of the mangrove *Avicennia marina*, as influenced by salinity. *Australian Journal of Plant Physiology* 9: 519-528.
- ElAmry, M. (1998) Population structure, demography and life tables of *Avicennia marina* (Forssk.) at sites on the eastern and western coasts of the United Arab Emirates. *Marine & Freshwater Research* 49: 303-308.
- 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.
- Fan, K. C. (2008) Population structure, allometry and above-ground biomass of *Avicennia marina* forest at the Chishui River Estuary, Tainan County, Taiwan. *Quarterly Journal of Forest Research* 30(2):1-12. [in English with Chinese summary].
- FAO (1994) Mangrove Forest Management Guidelines. FAO Rome, p. 319.
- Farrant, J. M., Berjak, P. and Pammenter, N. W. (1992a) Proteins in development and germination of a desiccation sensitive (recalcitrant) seed species. *Plant Growth Regulation* 11: 257-265.
- Farrant, J. M., Pammenter, N. W. and Berjak, P. (1992b) Development of the recalcitrant (Homoiohydrous) seeds of *Avicennia marina*: Anatomical, Ultrastructural and biochemical events associated with development for histodifferentiation to maturation. *Annals of Botany* 70: 75-86.
- Farnsworth, E. J. and Ellison, A. M. (1996) Sun-shade adaptability of the red mangrove, *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae): changes through ontogeny at several levels of biological organization. *American Journal of Botany*

83(9):1131-1143.

- Farnsworth, E. J. and Ellison, A. M. (1997) The global conservation status of mangroves. *Ambio* 26(6):328-334.
- Fernandes, M. E. B. (2000) A structural analysis of *Rhizophora*, *Avicennia*, and *Laguncularia* forests on Maracá Island, Amapá, Brazil. In: Lieberei R, Bianchi HK, Boehm V, and Reisdorff C editors. German-Brazilian workshop on neotropical ecosystems-achievements and prospects of cooperative research Hamburg; 2000 September 3-8; GKSS-Geesthacht. p 565-72.
- Ferwerda, J. G., Ketner, P. and McGuinness, K. A. (2007) Differences in regeneration between hurricane damaged and clear-cut mangrove stands 25 years after clearing. *Hydrobiologia* 591: 35-45.
- 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.
- Fromard, F., Puig, H., Mougín, E., Marty, G., Betoulle, J. L. and Cadmuro, L. (1998) Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana. *Oecologia* 115:39-53.
- Gong, W. W. and Ong, J. E. (1990) Plant biomass and nutrient flux in a managed mangrove forest in Malaysia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 31:519-530.
- Gucci, R., Lombardini L. and Tattini M. (1997) Analysis of leaf water relations in leaves of two olive (*Olea europaea*) cultivars differing in tolerance to salinity. *Tree Physiology* 17:13-21.
- Hernandez, J. A., Olmos, E., Corpas, F. J., Sevilla, F. and del Rio, L. A. (1995) Salt-induced oxidative stress in chloroplast of pea plants. *Plant Science* 105:151-167.
- 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.
- Hunt, R. (1990) *Basic Growth Analysis*. Unwin Haman Inc. London, UK 112 pp.
- Hwang, Y. H. and Chen S. C. (1995) Salt tolerance in seedling of the mangrove *Kandelia candel* (L.) Druce, Rhizophoraceae. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 36:25-31.
- 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.
- Iyengar, E. R. R. and Reddy, M. P. (1996) Photosynthesis in highly salt - tolerant plants. P. 897-909. In Pessarakli, M. eds. *Handbook of Photosynthesis*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- 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. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 65: 601-606.
- Khoon, G. W. and Eong, O. J. (1995) The use of demographic studies in mangrove silviculture. *Hydrobiologia* 295:255-261.
- King, D. A. (1991) Correlations between biomass allocation, relative growth rate and light environment in tropical forest saplings. *Functional Ecology* 5:485-492.
- 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., Havanond, S., Srisawatt, W., Mochida, Y., Fujimoto, K., Ohnishi, T., Ishihara, S. and Miyagi, T. (2000) Tap/root biomass ratio of a secondary mangrove (*Ceriop tagal* (Perr.) C. B. Rob.) forest. *Forest Ecology and Management* 139:127-134.
- Komiyama, A., Ong, J. E. and Pongparn, S. (2008) Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany* 89: 128-137.
- Kristensen, E., Bouillon, S., Dittmar, T. and Marchand, C. (2008) Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review. *Aquatic Botany* 89: 201-219.
- Larcher, W. (1995) *Physiological Plant Ecology*. Springer-Verlag, Berlin. 504 pp.
- Liao, W. B., Lan, C. Y., Zan, Q. J., Wong, Y. S. and Tam, F. Y. (2004) Growth dynamics and self-thinning of the dominant populations in the mangrove community. *Acta Botanica Sinica* 46(5):522-32.
- 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](http://www.wes.army.mil/el/wrp)
- 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.
- Marcar, N. E. (1993) Waterlogging modifies growth, water use and ion concentrations in seedlings of salt-treated *Eucalyptus camaldulensis*, *E. tereicorhis*, *E. robusta* and *E. globules*. *Australian Journal of Plant Physiology* 20:1-13.

- Mackey, A. P. (1993) Biomass of the mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. near Brisbane, south-eastern Queensland. Australian Journal of Marine and Freshwater Research 22:421-5.
- 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. (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.
- McKee, K. L. and Faulkner, P. L. (2000) Restoration of biogeochemical function in mangrove forests. Restoration Ecology 8(3):247-259.
- Munns, R., Schachtman D. P. and Condon A. G. (1995) The significance of the two phase growth response to salinity in wheat and barley. Australian Journal of Plant Physiology 22:561-569.
- Naidoo, G. (2006) Factors contributing to dwarfing in the mangrove *Avicennia marina*. Annals of Botany 97: 1095-1101.
- Naoko, M., Bardel, A. B., Yasuhito, Y. and Ken, Y. (2003) Stand structure of mangrove (*Avicennia marina* (Forssk.) Vierh.) forests on the coast of gulf of Oman. J Jpn Soc Reveget Tech 29(1):125-30.
- Osborne, D. J. and Berjak, P. (1997) The making of mangroves: the remarkable pioneering role played by seeds of *Avicennia marina*. Endeavour 21(4): 143-147.
- Osunkoya, O. O. and Greese, R. G. (1997) Population structure, spatial pattern and seedling establishment of grey mangrove, *Avicennia marina* var. *australasica*, in New Zealand. Australian Journal of Botany 45:707-25.
- Othman, M. A. (1994) Value of mangroves in coastal protection. Hydrobiologia 285:277-282.
- Paliyavuth, C., Clough, B. and Patanaponpailboon, P. (2004a) Salt uptake and shoot water relations in mangroves. Aquatic Botany 78: 349-360.

- Parida, A. K., Das, A. B. and Mitra, B. (2004b) Effects of salinity on biochemical components of the mangrove, *Aegiceras corniculatum*. *Aquatic Botany* 80: 77-87.
- Parida, A. K. and Das, A. B. (2005) Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60: 324-349.
- Popp, M., Polania, J. and Weiper, M. (1993) Physiological adaptations to different salinity levels in mangrove. P. 217-224. In Lieth, H. and Al Masoom, A. A. eds. *Towards the Rational Use of High Salinity Tolerant Plants*, Vol.1. Kluwer academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 521 pp.
- Riley, Jr, R. W. and Salgado Kent, C. P. (1999) Riley encased methodology: principles and process of mangrove habitat creation and restoration. *Mangroves and Salt Marshes* 3:207-213.
- 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.
- Ruiz-Jaen, M. C. and Aide, T. M. (2005) Restoration success: How is it being measured? *Restoration Ecology* 13(3):569-577.
- Saenger, P. and Snedaker, S. C. (1993) Pantropical trends in mangrove above-ground biomass and annual litterfall. *Oecologia* 96:293-299.
- Saifullah, S. M., Shaukat, S. S. and Shams, S. (1994) Population structure and dispersion pattern in mangroves of Karachi, Pakistan. *Aquatic Botany* 47:329-240.
- Saintilan, N. (1997a) Above-and below-ground biomasses of two species of mangroves on the Hawkesbury River estuary, New South Wales. *Marine & Freshwater Research* 48:147-52.
- Saintilan, N. (1997b) Above- and below-ground biomass of mangroves in a sub-tropical estuary. *Marine & Freshwater Research* 48:601-4.
- Sairam, R. K., Veerabhadra, R. and Srivastava, G. C. (2002) Differential

- response of wheat genotypes to long salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science* 163:1037-1046.
- Salgado Kent C. P. and Lin, J. (1999) A comparison of Riley encased methodology and traditional techniques for planting red mangrove (*Rhizophora mangle*). *Mangrove and Salt Marshes* 3:215-225.
- Sherman, R., Fahey, T. J. and Howarth, R. W. (1998) Soil-plant interactions in a neotropical mangrove forest: iron, phosphorus and sulfur dynamics. *Oecologia* 115:553-563.
- Slim, F. J., Gwada, P. M., Kodjo, M. and Hemminga, M. A. (1996) Biomass and litterfall of *Ceriops tagal* and *Rhizophora mucronata* in the mangrove forest of Gazi Bay, Kenya. *Marine and Freshwater Research* 47:999-1007.
- Smith III, T. J., Whelan, K. R. T. (2006) Development of allometric relations for three mangrove species in South Florida for use in the Greater Everglades Ecosystem restoration. *Wetlands Ecology and Management* 14:409-19.
- Steinke, T. D., Ward, C. J. and Rajh, A. (1995) Forest structure and biomass of mangrove in the Mgeni estuary, south Africa. *Hydrobiologia* 295:159-66.
- Sobrado, M. A. (1999) Leaf photosynthesis of the mangrove *Avicennia germinans* as affected by NaCl. *Photosynthetica* 36(4):547-555.
- Socias, F. X., Pol F., Aguilo F., Vadeell J. and Medrano H. (1997) Effects of rapidly and gradually induced water stress on plant response in subterranean clover leaves. *Journal of Plant Physiology* 150:212-219.
- Spurgeon, J. (1998) The socio-economic costs and benefits of coastal habitat rehabilitation and creation. *Marine Pollution Bulletin* 37(8-12):373-382.
- Suárez, N. and Sobrado M. A. (2000) Adjustments in leaf water relations of mangrove (*Avicennia germinans*) seedlings grown in a salinity gradient. *Tree Physiology* 20:277-282.
- Tam, N. F. Y. and Wong, Y. S. (1998) Variations of soil nutrient and organic matter content in a subtropical mangrove ecosystem. *Water, Air, and Soil*

Pollution 103:245-261.

- Toledo, G., Rojas, A. and Bashan, T. (2001) Monitoring of black mangrove restoration with nursery-reared seedlings on an arid coastal lagoon. *Hydrobiologia* 444: 101-109.
- Tomlinson P.B. 1994. The botany of mangroves. New York: Cambridge University Press. 419 p.
- Tomlinson, P. B. (1994) *The Botany of Mangroves*. Cambridge University Press. 413pp. U.S.A
- Turner, I. M., Gong, W. K., Ong, J. E., Bujang, J. S. and Kohyama, T. (1995) The architecture and allometry of mangrove saplings. *Functional Ecology* 9:205-212.
- Twilley, R. R., Chen, R. H. and Hargis, T. (1992) Carbon sinks in mangroves and their implications to carbon budget of tropical coastal ecosystems. *Water Air Soil Pollution* 64:265-88.
- Ukpong, I. E. (1992) The structure and soil relations of *Avicennia* mangrove swamps in southeastern Nigeria. *Tropical Ecology* 33(1):1-16.
- Ukpong, I. E. (1994) Soil-vegetation interrelationships of mangrove swamps as revealed by multivariate analyses. *Geoderma* 64:167-181.
- Ukpong, I. E. (1997) Mangrove swamp at a saline/fresh water interface near Creak Town , Southeastern Nigeria. *Catena* 29:61-71.
- Wakushima, S., Kuraishi, S. and Sakurai, N. (1994) Soil salinity and pH in Japanese mangrove forests and growth of cultivated mangrove plants in different soil conditions. *Journal of Plant Research* 107: 39-46.
- 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.
- Ward, G. A., Smith III, T. J., Whelan, K. R. T. and Doyle, T. W. (2006) Regional processes in mangrove ecosystems: spatial scaling relationships, biomass, and turnover rates following catastrophic disturbance. *Hydrobiologia*

569:517-27.

Woodroffe, C. D. (1985) Studies of a mangrove basin, Tuff Crater, New Zealand.

I. Mangrove biomass and production of detritus. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 20:265-80.

Yap, H. T. (2000) The case for restoration tropical coastal ecosystem. *Ocean and Coastal Management* 43:841-851.

Ye, Y, Tam, N. F. Y., Lu, C. Y. and Wong, Y. S. (2005) Effects of salinity on germination, seedling growth and physiology of three salt-secreting mangrove species. *Aquatic Botany* 83: 193-205.

## 玖、附錄

### 一、青螺溼地動物名錄

資料來源：澎湖縣野鳥學會 2002 年 1-12 月調查資料

#### A 鳥類

※為保育類(I) ★為保育類(II) ◆為保育類(III) ▲為特有種

數量(四季出現量) 學名來源：台灣大學動物博物館

| 科名   | 種名    | 第 1、2 季 | 第 3、4 季 | 學名                            |
|------|-------|---------|---------|-------------------------------|
| 鷺鷥科  | 小鷺    | +       | ++      | <i>Tachybaptus ruficollis</i> |
| 鷺鷥科  | 鷺鷥    | —       | ++      | <i>Phalacrocorax carbo</i>    |
| 鷺科   | 蒼鷺    | —       | +++     | <i>Ardea cinerea</i>          |
|      | 池鷺    | +       | ++      | <i>Ardeola bacchus</i>        |
|      | 牛背鷺   | +       | +++     | <i>Bubulcus ibis</i>          |
|      | ★唐白鷺  | —       | +       | <i>Egretta eulophotes</i>     |
|      | 小白鷺   | ++      | +++     | <i>Egretta garzetta</i>       |
|      | 中白鷺   | —       | +       | <i>Mesophoyx intermedia</i>   |
|      | 大白鷺   | —       | ++      | <i>Casmerodius albus</i>      |
|      | 岩鷺    | +       | +       | <i>Egretta sacra</i>          |
|      | 夜鷺    | +       | +       | <i>Nycticorax nycticorax</i>  |
| 雁鴨科  | 小水鴨   | —       | +++     | <i>Anas crecca</i>            |
| 鵟科   | ★魚鷹   | —       | +       | <i>Pandion haliaetus</i>      |
| 鷹科   | ★赤腹鷹  | —       | +       | <i>Accipiter soloensis</i>    |
|      | ★灰面鵟鷹 | —       | +       | <i>Butastur indicus</i>       |
|      | ★澤鵟   | —       | +       | <i>Circus spilonotus</i>      |
| 隼科   | ★紅隼   | —       | ++      | <i>Falco tinnunculus</i>      |
| 三趾鶉科 | 棕三趾鶉  | +       | ++      | <i>Turnix suscitator</i>      |
| 秧雞科  | 白腹秧雞  | —       | +       | <i>Amaurornis phoenicurus</i> |
|      | 紅冠水雞  | +       | +       | <i>Gallinula chloropus</i>    |
| 反嘴鵞科 | 高蹺鵞   | —       | +       | <i>Himantopus himantopus</i>  |



|     |       |    |     |                                 |
|-----|-------|----|-----|---------------------------------|
|     | 反嘴鴿   | —  | +   | <i>Recurvirostra avosetta</i>   |
| 燕鴿科 | ★燕鴿   | +  | —   | <i>Glareola maldivarum</i>      |
| 鴿科  | 東方環頸鴿 | ++ | ++  | <i>Charadrius alexandrinus</i>  |
|     | 小環頸鴿  | +  | ++  | <i>Charadrius dubius</i>        |
|     | 鐵嘴鴿   | —  | +   | <i>Charadrius leschenaultii</i> |
|     | 蒙古鴿   | —  | +   | <i>Charadrius mongolus</i>      |
|     | 金斑鴿   | —  | ++  | <i>Pluvialis fulva</i>          |
|     | 灰斑鴿   | —  | ++  | <i>Pluvialis squatarola</i>     |
|     | 小瓣鴿   | —  | +   | <i>Vanellus vanellus</i>        |
| 鷗科  | 翻石鷗   | —  | +++ | <i>Arenaria interpres</i>       |
|     | 尖尾濱鷗  | —  | +   | <i>Calidris acuminata</i>       |
|     | 黑腹濱鷗  | —  | +++ | <i>Calidris alpina</i>          |
|     | 紅胸濱鷗  | —  | ++  | <i>Calidris ruficollis</i>      |
|     | 田鷗    | —  | +   | <i>Gallinago gallinago</i>      |
|     | 斑尾鷗   | —  | +   | <i>Limosa lapponica</i>         |
|     | 黑尾鷗   | —  | +   | <i>Limosa limosa</i>            |
|     | 中杓鷗   | —  | +   | <i>Numenius phaeopus</i>        |
|     | 大杓鷗   | —  | —   | <i>Numenius arquata</i>         |
|     | 磯鷗    | —  | +   | <i>Tringa hypoleucos</i>        |
|     | 鷹斑鷗   | —  | +   | <i>Tringa glareola</i>          |
|     | 小青足鷗  | —  | +   | <i>Tringa stagnatilis</i>       |
|     | 青足鷗   | +  | +   | <i>Tringa nebularia</i>         |
|     | 赤足鷗   | +  | +   | <i>Tringa totanus</i>           |
|     | 黃足鷗   | —  | ++  | <i>Tringa brevipes</i>          |
| 鷗科  | 紅嘴鷗   | —  | +   | <i>Larus ridibundus</i>         |
|     | ◆小燕鷗  | ++ | —   | <i>Sterna albifrons</i>         |
|     | ★白眉燕鷗 | —  | +   | <i>Sterna anaethetus</i>        |
|     | 燕鷗    | —  | +   | <i>Sterna hirundo</i>           |

|     |       |     |     |                                       |
|-----|-------|-----|-----|---------------------------------------|
|     | 黑腹燕鷗  | —   | +   | <i>Chlidonias hybridus</i>            |
|     | 白翅黑燕鷗 | —   | +   | <i>Chlidonias leucopterus</i>         |
|     | ★蒼燕鷗  | —   | +   | <i>Stema sumatrana</i>                |
| 鳩鴿科 | 斑頸鳩   | ++  | ++  | <i>Streptopelia chinensis</i>         |
|     | 紅鳩    | +   | +   | <i>Streptopelia<br/>tranquebarica</i> |
| 杜鵑科 | 中杜鵑   | +   | —   | <i>Cuculus saturatus</i>              |
| 鷓鴣科 | 短耳鷓   | —   | +   | <i>Asio flammeus</i>                  |
| 夜鷹科 | 台灣夜鷹  | —   | —   | <i>Caprimulgus affinis</i>            |
| 雨燕科 | 小雨燕   | —   | —   | <i>Apus nipalensis</i>                |
| 翠鳥科 | 翠鳥    | +   | +   | <i>Alcedo atthis</i>                  |
| 雲雀科 | ▲小雲雀  | ++  | ++  | <i>Alauda gulgula</i>                 |
| 燕科  | 家燕    | +++ | ++  | <i>Hirundo rustica</i>                |
|     | 洋燕    | +++ | ++  | <i>Hirundo tahitica</i>               |
|     | 赤腰燕   | —   | +   | <i>Hirundo striolata</i>              |
| 鵲鴿科 | 赤喉鵲   | —   | +   | <i>Anthus cervinus</i>                |
|     | 白鵲鴿   | —   | +   | <i>Motacilla alba</i>                 |
|     | 灰鵲鴿   | —   | +   | <i>Motacilla cinerea</i>              |
|     | 黃鵲鴿   | —   | ++  | <i>Motacilla flava</i>                |
| 鶇科  | 白頭翁   | ++  | +++ | <i>Pycnonotus sinensis</i>            |
| 伯勞科 | ※紅尾伯勞 | ++  | +++ | <i>Lanius cristatus</i>               |
| 鶇科  | 藍磯鶇   | —   | +   | <i>Monticola solitarius</i>           |
|     | 黃尾鶇   | —   | +   | <i>Phoenicurus auroreus</i>           |
|     | 虎鶇    | —   | +   | <i>Zoothera dauma</i>                 |
|     | 斑點鶇   | —   | +   | <i>Turdus naumanni</i>                |
| 王鶇科 | 寬嘴鶇   | —   | +   | <i>Muscicapa dauurica</i>             |
| 繡眼科 | 綠繡眼   | +++ | +++ | <i>Zosterops japonicus</i>            |
| 巫鳥科 | 黑臉巫鳥  | —   | +   | <i>Emberiza spodocephala</i>          |
| 文鳥科 | 麻雀    | +++ | +++ | <i>Passer montanus</i>                |

|     |      |    |   |                                 |
|-----|------|----|---|---------------------------------|
| 椋鳥科 | 八哥   | ++ | + | <i>Acridotheres cristatellu</i> |
|     | 家八哥  | +  | + | <i>Acridotheres tristis</i>     |
|     | 白尾八哥 | +  | + | <i>Acridotheres javanicus</i>   |
|     | 灰背椋鳥 | -  | + | <i>Sturnus sinensis</i>         |

## B 蝶類

| 科 名  | 種 名    | 第 1、2 季 | 第 3、4 季 | 學 名   |
|------|--------|---------|---------|---|
| 鳳蝶科  | 白紋鳳蝶   | +       | +       | <i>Papilio helenus fortunius</i>                  |
|      | 無尾鳳蝶   | -       | -       | <i>Papilio demoleus Linnaeus</i>                  |
|      | 青帶鳳蝶   | -       | -       | <i>Graphium sarpedon</i><br><i>connectens</i>     |
|      | 玉帶鳳蝶   | -       | -       | <i>Papilio polytes polytes</i><br><i>Linnaeus</i> |
|      | 黑鳳蝶    | -       | -       | <i>Papilio protenor Cramer</i>                    |
|      | 台灣烏鴉鳳蝶 | -       | -       | <i>Papilio dialis tatsuta</i>                     |
| 粉蝶科  | 荷氏黃蝶   | +++     | +       | <i>Eurema hecabe</i>                              |
|      | 銀紋淡黃蝶  | -       | -       | <i>Catopsilia pomona</i>                          |
|      | 台灣黃蝶   | +       | +       | <i>Eurema blanda arsakia</i>                      |
|      | 台灣紋白蝶  | -       | -       | <i>Pieris canidia</i>                             |
|      | 黃紋粉蝶   | +       | +       | <i>Colias erate formosana</i><br><i>Shirozu</i>   |
|      | 紋白蝶    | +       | +       | <i>Pieris rapae crucivora</i><br><i>Boisduval</i> |
|      | 水青粉蝶   | ++      | +       | <i>Catopsilia pyranthe</i>                        |
| 蛇目蝶科 | 樹蔭蝶    | +       | +       | <i>Melanitis leda</i>                             |
|      | 黑樹蔭蝶   | -       | +       | <i>Melanitis phedima</i><br><i>polishana</i>      |

|      |         |      |      |   |
|------|---------|------|------|---|
| 斑蝶科  | 黑脈樺斑蝶   | +    | +    | <i>Danaus genutia</i>                                 |
|      | 青斑蝶     | —    | —    | <i>Parantica sita niponica</i>                        |
|      | 紫端斑蝶    | —    | —    | <i>Euploea mulciber barsine</i><br><i>Fruhstorfer</i> |
|      | 小紫斑蝶    | —    | —    | <i>Euploea tulliolus</i>                              |
| 蛺蝶科  | 孔雀青蛺蝶   | +    | +    | <i>Junonia orithya</i>                                |
|      | 孔雀蛺蝶    | +    | +    | <i>Junonia almana</i>                                 |
|      | 石牆蝶     | +    | +    | <i>Cyrestis thyodamas</i>                             |
|      | 姬紅蛺蝶    | +    | +    | <i>Vanessa cardui</i>                                 |
|      | 紅蛺蝶     | —    | +    | <i>Vanessa indica</i>                                 |
|      | 黃蛺蝶     | —    | +    | <i>Polygonia caureum</i><br><i>lunulata</i>           |
|      | 黑端豹斑蝶   | +    | —    | <i>Argyreus hyperbius</i>                             |
|      | 琉球紫蛺蝶   | +    | +    | <i>Hypolimnas bolina kezia</i>                        |
|      | 雌紅紫蛺蝶   | +    | —    | <i>Hypolimnas misippus</i>                            |
| 小灰蝶科 | 沖繩小灰蝶   | ++++ | ++++ | <i>Zizeeria maha okinawana</i>                        |
|      | 波紋小灰蝶   | +++  | +    | <i>Lampides boeticus</i>                              |
|      | 東陞蘇鐵小灰蝶 | +    | —    | <i>Chilades peripatria Hsu</i>                        |
|      | 姬波紋小灰蝶  | +    | —    | <i>Prosotas nora formosana</i>                        |
| 弄蝶科  | 台灣單帶弄蝶  | +    | +    | <i>Borbo cinnara</i>                                  |
|      | 褐弄蝶     | +    | +    | <i>Pelopidas mathias</i><br><i>oberthuerei</i>        |

## C 爬虫類

| 科名             | 種名   | 第 1、2 季 | 第 3、4 季 | 學名                       |
|----------------|------|---------|---------|--------------------------|
| <b>(a) 兩生類</b> |      |         |         |                          |
| 蟾蜍科            | 黑眶蟾蜍 | +       | +       | <i>Bufo melanosticus</i> |
| 赤蛙科            | 澤蛙   | +       | —       | <i>Rana limnocbaris</i>  |

## (b) 爬虫類

|      |       |    |   |                               |
|------|-------|----|---|-------------------------------|
| 草蜥科  | ★蓬來草蜥 | ++ | + | <i>Takydromus stejnegeri</i>  |
| 石龍子科 | 麗紋石龍子 | +  | + | <i>Eumeces elegans</i>        |
| 守宮科  | 守宮    | +  | - | <i>Gekko hokouensis</i>       |
|      | 蝎虎    | +  | + | <i>Hemidactylus frenatus</i>  |
|      | 無疣蝎虎  | +  | + | <i>Hemidactylus bowringii</i> |

## (c) 蛇類

|      |     |   |   |                                |
|------|-----|---|---|--------------------------------|
| 黃頷蛇科 | 臭青公 | - | + | <i>Elaphe carinata</i>         |
| 盲蛇科  | 盲蛇  | + | - | <i>Ramphotyphlops braminus</i> |

## D 昆虫類

| 科名   | 種名    | 第1、2季 | 第3、4季 | 學名                           |
|------|-------|-------|-------|------------------------------|
| 蝗虫科  | 條背土蝗  | ++    | +++   | <i>Patanga succincta</i>     |
|      | 台灣大蝗  | +     | +     | <i>Chondracris rosea</i>     |
|      | 日本稻蝗  | +     | +     | <i>Oxya japonica</i>         |
| 螳螂科  | 寬腹螳螂  | +     | +     | <i>Hierodula patellifera</i> |
|      | 大螳螂   | +     | +     | <i>Tenodera aridifolia</i>   |
| 螽斯科  | 大剪斯   | +     | +     | <i>Pseudorhynchus gigas</i>  |
| 虎甲蟲科 | 八星虎甲蟲 | +     | -     | <i>Cosmodela batesi</i>      |
| 天牛科  | 星天牛   | +     | -     | <i>Anoplophora malasiaca</i> |

## E 哺乳類

| 科名  | 種名   | 第1、2季 | 第3、4季 | 備註                          |
|-----|------|-------|-------|-----------------------------|
| 蝙蝠科 | 東亞家蝠 | ++    | +++   | <i>Pipistrellus abramus</i> |
| 鼠科  | 玄鼠   | +     | +     | <i>Rattus rattus</i>        |
|     | 溝鼠   | +     | +     | <i>Rattus norvegeicus</i>   |
| 尖鼠科 | 臭鼩   | +     | +     | <i>Suncus murinus</i>       |

## 二、青螺濕地草本植物名錄

### 1 雙子葉植物

#### 1 Aizoaceae 番杏科

- 1 *Sesuvium portulacastrum* (L.) L. Aizoaceae. 濱水菜
- 2 *Tetragonia tetragonoides* (Pall.) Ktze. 番杏
- 3 *Trianthema portulacastrum* 假海馬齒

#### 2 Amaranthaceae 莧科

- 4 *Achyranthes aspera* L. var. *indica* L. 土牛膝
- 5 *Amaranthus spinosus* L. 野莧
- 6 *Amaranthus viridis* L. 刺莧
- 7 *Celosia argentea* L. 假千日紅
- 8 *Gomphrena celosioides* Mart. 青葙

#### 3 Apocynaceae 夾竹桃科

- 9 *Nerrium indicum* Mill. 夾竹桃

#### 4 Basellaceae 落葵科

- 10 *Basella alba* L. 落葵

#### 5 Cactaceae 仙人掌科

- 11 *Opuntia dillenii* (Ker) Haw. 仙人掌
- 12 *Opuntia ficus-indica* 無刺仙人掌

#### 6 Capparaceae 白花菜科

- 13 *Cleome gynandra* L. 白花菜
- 14 *Cleome viscosa* 臭白花菜

#### 7 Chenopodiaceae 藜科

- 15 *Atriplex nummularia* Lindl. 台灣濱藜
- 16 *Chenopodium acuminatum* Willd. subsp. *virgatum* (Thunb.) Kitamura 變葉藜
- 17 *Chenopodium acuminatum* Willd. var. *japonicum* Franch. et Sav. 圓葉藜
- 18 *Chenopodium album* L. 藜
- 19 *Chenopodium ambrosioides* L. 臭杏
- 20 *Suaeda nudiflora* Moq. 鹽定

## 8 Compositae 菊科

- 21 *Gaillardia pulchella* Foug. 天人菊
- 22 *Artemisia capillaris* Thunb. 茵陳蒿
- 23 *Bidens pilosa* L. var. *radiata* Schultz-Bip. 大花咸豐草
- 24 *Bidens tripartite* 田鬼針
- 25 *Blumea glomerata* *Artemisia* Princeps Pamp. Var 艾草
- 26 *Cirsium japonica*. 南國薊
- 27 *Emilia sonchifolia* (L.) DC. 紫背草
- 28 *Erigeron bonariensis* 野塘蒿
- 29 *Glossogyne tenuifolia* (Labill.) Cass. 香菇
- 30 *Gynura formosana* Kitamura. 白鳳菜
- 31 *Ixeris chinensis* (Thunb.) Nakai 兔仔菜
- 32 *Ixeris repens* (L.) Gray. 濱剪刀股
- 33 *Siegesbeckia orientalis* L. 豨薟
- 34 *Sonchus oleraceus* L. 苦蕒菜
- 35 *Tithonia diversifolia* 王爺葵
- 36 *Tridax procumbens* L. 長柄菊
- 37 *Vernonia cinerea* (L.) Less. 傷寒草
- 38 *Wedelia prostrata*. 單花蟛蜞菊
- 39 *Wedelia triloba* L. 南美蟛蜞菊
- 40 *Xanthium strumarium* var. *japonica* 羊帶來
- 41 *Youngia japonica* (L.) DC. 黃鵪菜

## 9 Convolvulaceae 旋花科

- 42 *Dichondra micrantha* Urban 馬蹄金
- 43 *Evolvulus alsinoides* L. 土丁桂
- 44 *Ipomoea cairica* (L.) Sweet 槭葉牽牛
- 45 *Ipomoea imperati* (Vahl.) Grisebach 白花馬鞍藤
- 46 *Ipomoea obscur* (L.) Ker. Gawl. 姬牽牛
- 47 *Ipomoea pes-caprae* (L.) Sweet subsp. *Brasiliensis* (L.) Oostst. 馬鞍藤

48 *Ipomoea sinensis* (Desr.) Choisy 白花牽牛

## 10 Euphorbiaceae 大戟科

49 *Breynia officinalis* Hemsl. 紅珠子

50 *Euphorbia atoto* Forst. f. 濱大戟

51 *Euphorbia cyathophora* Murr. 猩猩草

52 *Euphorbia hirta* Linn. 大本紅乳草

53 *Euphorbia thymifolia* L. 紅乳草

54 *Ricinus communis* L. 蓖麻

55 *Synostemon bacciforme* (L.) Webster 假葉下珠

## 11 Goodeniaceae 草海桐科

56 *Scaevola sericea* Vahl. 草海桐

## 12 Labiatae 唇形科

57 *Leonurus sibiricus* Linn. 益母草

## 13 Lauraceae 樟科

58 *Cassytha filiformis* 無根草

## 14 Leguminosae 豆科

59 *Alysicarpus vaginalis* (L.) DC. 山地豆

60 *Canavalia lineata* (Thunb.) DC. 濱刀豆

61 *Cassia sophora* L. var. *penghuana* Y. C. Liu et F. Y. Lu 澎湖決明

62 *Cassia surattensis* Burm. f. 黃槐

63 *Christia campanulata* (Benth.) Thoth. 羅瑞草

64 *Clitoria ternatea* L. 蝶豆

65 *Glycine clandestine* Wendl. 澎湖大豆

66 *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit 銀合歡

67 *Phaseolus atropurpureus* Moc. & Sesse ex DC. 賽蜀豆

68 *Rhynchosia minima* (L.) DC. 小葉括根

69 *Sesbania roxburghii* Merr. 田菁

70 *Tephrosia obovata* Merr. 台灣灰毛豆

71 *Vigna marina* (Burm.) Merr. 濱虹豆



**15 Malvaceae 錦葵科**

- 72 *Abutilon indicum* (L.) Sweet 冬葵子  
73 *Hibiscus rosa-sinensis* L. 朱槿  
74 *Hibiscus tiliaceus* L. 黃槿  
75 *Malvastrum coromandelianum* (L.) Garcke 賽葵  
76 *Sida veronicaefolia* Lam. 澎湖金午時花

**16 Menispermaceae 防己科**

- 77 *Cocculus trilobus* (Thunb.) DC. 木防己

**17 Myoporaceae 苦檻藍科**

- 78 *Myoporum bontioides* A. Gray 苦檻藍

**18 Nyctaginaceae 紫茉莉科**

- 79 *Boerhavia diffusa* L. 黃細心

**19 Oxalidaceae 酢漿草科**

- 80 *Oxalis corniculata* L. 酢漿草

**20 Plantaginaceae 車前草科**

- 81 *Plantago asiatica* Linn. 車前草

**21 Plumbaginaceae 藍雪科**

- 82 *Limonium sinense* (Girard) Ktze. 黃花磯松

- 83 *Plumbago zeylanica* L. 烏面馬

**22 Portulacaceae 馬齒莧科**

- 84 *Portulaca insularis* Hosokawa 島嶼馬齒莧

- 85 *Portulaca oleracea* L. 馬齒莧

- 86 *Portulaca pilosa* L. 毛馬齒莧

**23 Primulaceae 櫻草科**

- 87 *Anagalis arvensis* L. 琉璃繁縷

- 88 *Lysimachia mauritiana* Lam. 濱排草

**24 Sapindaceae 無患子科**

- 89 *Cardiospermum halicacabum* L. 倒地鈴

**25 Scrophulariaceae 玄參科**

90 *Bacopa monnieri* 過長沙

**26 Solanaceae 茄科**

91 *Datura metel* L. 曼陀羅

92 *Solanum incanum* Linn. 黃水茄

93 *Solanum nigrum* L. 龍葵

**27 Sterculiaceae 梧桐科**

94 *Waltheria Americana* L. 草梧桐

**28 Tiliaceae 田麻科**

95 *Corchorus olitorius* Linn. 山麻

**29 Urticaceae 蕁麻科**

96 *Boehmeria frutescens* Thunb. 裡白苧麻

**30 Verbenaceae 馬鞭草科**

97 *Lantana camara* L. var. *aculeata* (L.) Moldenke. 馬纓丹

98 *Phyla nodiflora* (L.) Greene 過江藤

99 *Premna microphylla* Turcz. 臭娘仔

100 *Vitex trifolia* L. var. *simplicifolia* 蔓荊

**31 Zygophyllaceae 蒺藜科**

101 *Tribulus terrestris* L. 蒺藜

**2 單子葉植物**

**32 Agavaceae 龍舌蘭科**

102 *Agave sisalana* Perr. ex Engelm. 瓊麻

**33 Amaryllidaceae 石蒜科**

103 *Crinum asiaticum* L. 文珠蘭

**34 Commelinaceae 鴨跖草科**

104 *Commelina benghalensis* L. 圓葉鴨跖草

**35 Cyperaceae 莎草科**

105 *Cyperus rotundus* L. 香附子

106 *Fimbristylis cymosa* R. Br. 鹽飄拂草

**36 Gramineae 禾本科**

- 107 *Cenchrus echinatus* L. 蒺藜草
- 108 *Chloris barbata* Sw. 孟仁草
- 109 *Cynodon dactylon* (L.) Pers. 狗牙根
- 110 *Dactyloctenium aegyptium* (L.) Beauv. 龍爪茅
- 111 *Eleusine indica* (L.) Gaertn. 牛筋草
- 112 *Imperata cylindrical* (L.) Beauv. var. *major* (Nees) Hubb. ex Hubb. & Vaughan  
白茅
- 113 *Miscanthus floridulus* (Labill.) Warb. ex Schum. & Laut. 五節芒
- 114 *Pennisetum purpureum* Schum. 狼尾草
- 115 *Rhynchelytrum repens* (Wild.) C.E. Hubb. 紅毛草
- 116 *Setaria pallidifusca* (Schum.) Stapf et G. E. Hubb. 褐狗尾草
- 117 *Setaria viridis* (L.) Beauv. 狗尾草
- 118 *Spinifex littoreus* (Burm. f.) Merr. 濱刺麥
- 119 *Sporobolus virginicus* (L.) Kunth 鹽地鼠尾粟
- 120 *Zoysia matrella* (L.) Merr. 馬尼拉芝

### 37 Liliaceae 百合科

- 121 *Aloe vera* (L.) Webb. var. *chinensis* Haw. 蘆薈

### 38 Pandanaceae 露兜樹科

- 122 *Pandanus odoratissimus* L. f. 林投