

壹、前言

紅樹林(mangrove)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，也有極佳之保安護岸功能，可保護海堤免於沖蝕損害。Costanza *et al.* (1997)對全球生態系統的服務價值進行評價，針對各生態系在氣候調節、水資源更新、水土保持、土壤形成、營養循環、廢物處理、棲息地維持、食品與原料生產、基因庫構成、自然景觀形成等多方面功能的估算與統計，得出紅樹林濕地生態系服務功能價值，在全球 16 種生態系中排名第四。按貨幣價值計算，每公頃紅樹林每年可以產生高達 9,990 美元的效益，相當於珊瑚礁生態系的 1.64 倍和熱帶森林的 5 倍。而韓維棟等(2000)對中國現存自然分布總面積 13,646 hm^2 紅樹林的生態系統服務價值進行評估，結果指出中國紅樹林總的年生態服務價值為 236,531 萬元，其中生物量價值 8,163 萬元，防浪護岸價值 99,206 萬元，保護土壤價值 115,692 萬元，固定 CO_2 和釋放 O_2 價值 6,706 萬元，動物棲息價值 5,470 萬元，養分類累積價值 1,012 萬元，污染物降解價值和病蟲害價值 282 萬元。

澎湖地區四面環海，海岸防風林造林綠化已頗有成效，但海岸前線仍無適當樹種栽植成林。本校曾於 1994 年時由農委會補助 1 年經費，在澎湖青螺濕地進行紅樹林復育栽植試驗，為台灣近年來最早進行之紅樹林復育研究；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，業於 2007 年 12 月被內政部營建署列為國家級濕地。本校於 2009 年執行「青螺濕地復育紅樹林之生長、族群結構及生物量調查」計畫，已建立此區之栽植過程、濕地之氣候、土壤、水質及 4 種紅樹林栽植 15 年後之適應性等資料，並評估建議「青螺國家級濕地」及「馬公菜園地

方級溼地」2 處濕地範圍內，為澎湖沿海地區中較適合栽植紅樹林之地區。

潮間帶紅樹林植物幼苗的生長受到許多生物及非生物因素之影響，已有許多研究針對光照狀況(葉勇等, 2001; Clarke and Allaway, 1993; Smith and Lee, 1999; Ye *et al.*, 2001; Ball, 2002)、底質土壤顆粒大小和理化性質(Clarke and Allaway, 1993; Clarke and Myerscough, 1993; Mckee, 1993; Minchinton, 2001; Ye *et al.*, 2001)、潮汐(張喬民等, 1997; Clarke and Myerscough, 1993)、鹽度(Clarke and Allaway, 1993; Ball, 1988; 2002)、動物取食(Robertson *et al.*, 1990; Mckee, 1995; Farnsworth and Ellison, 1997; Sousa *et al.*, 2003)、繁殖體大小(Rabinowitz, 1978; Sousa *et al.*, 2003; Lin and Stermberg, 1995)、繁殖體傳播方式(Rabinowitz, 1978; Mckee 1995; Clarke and Kerrigan, 2001)以及種間競爭(Clarke and Myerscough, 1993; Mo and Fan, 2001)等因子，對紅樹林植物胚軸或種子發芽及生長之影響進行研究。由於澎湖海岸環境相當惡劣，因此本研究參考國內外紅樹林相關報告，一方面以直插、直播及栽植造林方式，分別於適當季節進行進行五梨跤、海茄苳及欖李之小面積栽植試驗。另一方面，為避免上述人工造林成效不佳，於適當地點設置紅樹林簡易苗圃，用以培育 1-2 年生苗木。短期除可供應本計畫所需之苗木外，未來或許亦可作為澎湖其他海岸地區之苗木供應來源；最後期能建立適合澎湖地區之紅樹林育苗及栽植模式，可供澎湖其他沿海濕地及魚塭地綠化造林之參考。

貳、前人研究

紅樹林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)。

一、紅樹林復育的理由

綜合學者認為需要復育紅樹林生態系的主要理由包括保育自然生態系及景觀、自然資源之永續生產及保護海岸地區等(Field, 1998; 1999; Kaly and Jones, 1998; Imbert *et al.*, 2000)。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)。

國際濕地組織(Wetlands International)、世界自然基金會(World Wildlife Fund)及世界自然保育聯盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN)針對南亞海嘯受影響地區編撰之紅樹林復育指導手冊中指出紅樹林具有生態功能、環境服務、沖蝕屏障、防風屏障、森林產物、減少鹽水侵入內陸等功能，此外紅樹林大面積被破壞、紅樹林在海岸植群中保護海岸、減少海嘯衝擊之效果較混凝土塊有用，因此各國均積極進行紅樹林復育工作。台灣為一四面環海之海島型國家，因此紅樹林復育或栽植對台灣海岸保護具重要之意義。

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。

近期國際濕地組織(Wetlands International)、世界自然基金會(World Wildlife Fund)及世界自然保育聯盟(International Union for Conservation of

Nature, IUCN)編撰之紅樹林復育指導手冊中指出，紅樹林復育是否能成功必須考慮許多因子(表 2)，大致項目與前述學者相似，但植物間隔及疏伐、成功之苗圃技術、模擬進行過程及復育經費等為新增之影響因子；其中紅樹林復育需注意之觀念中，最重要的是紅樹林栽植生育地之鑑定(表 3)。

表 2 成功復育紅樹林需考慮之因子

影響紅樹林復育成功之因子	<ul style="list-style-type: none"> ● 土壤穩定度及淹水形式 ● 生育地高程 ● 土壤/水質鹽度及生育地之淡水注入 ● 繁殖體/種子有效性 ● 植物間隔及疏伐 ● 雜草出現 ● 成功之苗圃技術 ● 模擬進行之過程 ● 繁殖體掠奪者出現 ● 復育費用 ● 與當地居民之合作
需注意之觀點	<ul style="list-style-type: none"> ● 鑑定適合紅樹林栽植之生育地(土壤穩定度、淹水區域、高程、污染物範圍) ● 樹種選擇/配置適合生育地土壤及水文狀況之樹種 ● 栽植材料之品質 ● 採取適當之栽植技術 ● 減少掠食者之壓力 ● 撫育措施 ● 當地社區參與提供機械設備及支持復育

表 3 紅樹林栽植生育地之鑑定

紅樹林發生之區域	所有紅樹林發生在海岸及瀉湖避免海浪影響之潮間帶地區，暴露在海浪之海岸地區無法自然生長。
----------	---

潮間帶之土壤狀況	潮間帶地區雖然為海岸及陸地間之條狀區域，但是土壤狀況因為每日 2 次之漲退潮，因此變化非常大。在極端鹽分情況下，無法形成植群，因此避免在鹽澤(salt marshes)及鹽礦平地(salt flats)栽植紅樹林。
----------	---

潮間帶之水文狀況	從河流及溪流注入之淡水及雨季之逕流會影響土壤鹽度，而水質鹽分濃度會隨不同區域而有所變化。
----------	--

植物生長之有效性	潮間帶地區之無機養分主要為河流及溪流所沖刷，因此海岸之紅樹林得到養分多則生長可達最高。若栽植現場遠離河流和溪流，則很少養分可供應植物生長，紅樹林栽植在此區域時，要長至成熟階段則需很長時間。
----------	--

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 4 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：

1. 能控制苗木之組成及分布。
2. 通常能使用改良之苗木為栽植材料。
3. 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：

1. 以苗木移植在新地區。

2. 收集成熟種子或胎生苗直接栽植在該地區，費用較為便宜。
3. 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：

1. 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。
2. 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。
3. 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。
4. 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。
5. 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。

四、紅樹林苗圃之必要性及優點

每種樹種之開花、結實及胎生苗成熟季節不同，與栽植區之栽植季節無法配合；例如海茄苳在 9-10 月成熟，但並非適合之栽植季節，因此第 1 年培育第 2 年栽植所需之苗木，避免無法配合造林季節。紅樹林苗圃之優點是苗木在移植前，已長時間在高鹽分相似環境下生長 8-9 個月，因此建立相當完整根系(照片 1-8)，因此在復育區之栽植成活率高(90%)(Ravishankar and Ramasubramanian, 2004)。

紅樹林苗圃與一般林業苗圃不同，闢建時需注意下列條件：

- (一) 選擇潮間帶上部或中部能避開大潮淹水之遮蔽緩坡地，並在苗圃周圍建立小堤岸以避開潮水。
- (二) 紅樹林屬陽性樹種，忌於庇蔭處培育，苗圃以陽光充足環境較適合。
- (三) 苗木培育介質以肥沃之壤土或砂質壤土為佳。
- (四) 在苗圃設置 1 m 寬之苗床，土質最好為較不透水的黏性土壤。將苗床挖深 20 cm 左右，將容器苗排列於苗床內。
- (五) 潮間帶苗圃可設置馬達引進天然之潮水淹灌，每天淹灌苗床 1-2 次，使其自然消退即可。
- (六) 果實或胎生苗採集注意事項
 1. 目前台灣各地紅樹林大多被列為保護對象，採集前最好取得管理單位同意。
 2. 各樹種果實或胎生苗大量成熟時直接自健壯母樹採集，其品質較地面收集者為佳。
 3. 採集後運送至苗圃或造林地時，應保持微濕並遮蔭，以避免高溫之危害。

(七)台灣 4 種紅樹林苗木之培育方法如下：

1. 水筆仔

胎生苗特徵：成熟胎生苗長度約 15-20 cm，尖端呈紅褐色，環狀子葉明顯增長，手輕扯容易脫落。

胎生苗成熟期：竹南中港溪以北地區為 3-4 月；南部則為 12 月至翌年 1 月。

建議採集地點：淡水河河口保留區、新竹縣紅毛港紅樹林、苗栗縣中港溪紅樹林。

育苗方法：黑色軟盆裝入壤土或砂質壤土後，將胎生苗之胚根插入土壤內，插入深度約胎生苗長度之 1/3。苗床內每日引鹽水淹灌 1-2 次，約 1 星期後，胚軸底部之側根長出，2 星期後葉片展開，成苗率約達 100%。

2. 五梨跤

胎生苗特徵：成熟胚軸長度約 25-35 cm，呈深褐色且有明顯皮孔；環狀子葉明顯較長，胚根白點明顯，手輕碰觸胚軸即脫落。

胎生苗成熟期：5-7 月。

建議採集地點：台南縣雙春濱海遊樂區、台南市四鯤鯓紅樹林、安平港紅樹林保護區。

育苗方法：育苗方式與水筆仔相同。

3. 海茄苳

果實特徵：蒴果廣橢圓形，成熟時長寬各約 2 cm，果皮顏色由綠轉為淡黃色。

果實成熟期：8-9 月。

建議採集地點：台南縣以南各縣市沿海地區之潮間帶或排水溝均可採

種。

育苗方法：海茄苳果實浸泡海水半天以利脫去果皮，將胚軸之短根部
分向下埋入軟盆土壤中，子葉則避免埋入以免腐爛。若育苗環境
適合，3-5 天後即可長出幼根，成苗率可達 90%。

4. 欖李

果實特徵：核果具纖維質，寬度為 0.8-1.2 cm，長度為 1.5-2.0 cm。果
實成熟時由綠色變成黃綠色，碰觸容易脫落。

果實成熟期：7-8 月。

建議採集地點：台南市四草鹽田及大眾廟之排水溝岸。

育苗方法：撈取排水溝內自然成熟掉落的果實，以細紗網包裹後用手
搓揉至外果肉呈糜爛狀，以清水沖洗去除果肉。將果實播種在裝
有 2 號蛭石的網格塑膠籃中，再輕灑蛭石將果實覆蓋，覆蓋厚度
以果實之 1-1.5 倍為原則。將發芽籃置於自動噴霧設施之砂床上，
或每日以人工灑水 2-3 次。一般約 1 星期後即開始發芽，發芽率
可達 80% 以上。將子葉出土約 2-3 cm 之小苗移植在苗床之軟盆
內，每日引水灌溉培育苗木。



照片 1 台南縣政府闢建全台唯一之紅樹林苗圃



照片 5 七股苗圃培育之健壯五梨跤軟盆苗



照片 2 七股苗圃外側利用馬達抽水灌溉



照片 6 二年生五梨跤苗約 40-50 cm 高



照片 3 每年 5 月開始逐漸有五梨跤胎生苗成熟



照片 7 一年生海茄苳苗木約 40-50 cm



照片 4 五梨跤成熟胎生苗環狀子葉明顯



照片 8 二年生欖李苗木高約 30-40 cm

五、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) 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 9-12)。

(二) 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 13、14)。由於五梨跤胎生苗需直立插入土壤，始可成活而長成稚樹。海茄荖果實量多而且較小，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 年內可能海茄荖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荖、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 15、16)(范貴珠、葉慶龍，2005)。

2. 台南市龍岡社區河道紅樹林復育

台南市龍岡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 17)。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 18)。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 19)；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 20)。

(三) 屏東科技大學與林務局進行之青螺濕地紅樹林復育計畫

青螺濕地在 1958 年時由行政院農業發展委員會補助栽植海茄苳，成林後樹高達 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。1980-1990 年代因魚塢養殖魚類產生病變，使業者紛紛棄養魚塢。1993 年澎湖造林工作隊嘗試移植 2-4 年生海茄苳天然苗，但成活率僅約 10%(照片 21)。本校自 1994 年開始至 2000 年時，在 5 個不同區域直播或直插海茄苳、五梨跤及水筆仔繁殖體(照片 22、23)，而欖李則栽植 1 年生之容器苗。至 2009 年 7 月止，水筆仔、五梨跤及欖李分別僅剩 201、278 及 215 株。目前最耐鹽的海茄苳已成為優勢種，但平均樹高僅 70-215 cm，平均地徑僅 5.0-9.2 cm，呈現明顯的矮化狀態。而調查其族群結構結果顯示全區海茄苳多為小徑木，地徑分布呈反 J 形，顯示更新情形良好(照片 24)。此復育區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(范貴珠等，2009)。



照片 9 台南縣雙春地區復育之五梨跤及海茄荖混合林呈現健壯之生長



照片 13 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 10 雙春復育紅樹林有木麻林帶保護



照片 14 直插五梨跤在惡劣環境仍生長良好



照片 11 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 15 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(已損毀)



照片 12 雙春混植紅樹林密度過高



照片 16 50 cm PVC 管栽植之五梨跤呈健壯生長勢



照片 17 台南市龍岡水道紅樹林復育前狀況



照片 21 青螺 1993 年以 2-4 年生海茄荖大苗栽植者，成活率約 10%



照片 18 龍岡水道紅樹林復育 1 年半後狀況



照片 22 於 3 cm 淺溝中播入未剝皮之海茄荖成熟果實



照片 19 龍岡水道紅樹林復育 3 年半後呈現美麗景觀



照片 23 直插之五梨跤胎生苗第 1 年成活率達 90%



照片 20 龍岡河道有海茄荖、五梨跤及欖李 3 種紅樹林



照片 24 青螺濕地優勢種為海茄荖且已逐年拓展其範圍

參、試驗區概況

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 km²、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、澎湖縣政府農漁局及湖西鄉公所。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，南至紅羅魚塭止，總面積約 100 ha，為澎湖重要的生態敏感區之一(圖 1)。

菜園濕地類型亦屬於海岸濕地及小部分人為濕地，面積 82 ha，位在澎湖縣馬公市(23°33'06"N，119°35'45"E)，管理機關為澎湖國家風景區管理處及澎湖縣馬公市公所。本濕地位於菜園港東側，北起縣道 205，並剔除集居聚落，南側包括菜園漁塭，東以縣 201 為界。日據時期菜園里東側沿岸已築有魚塭，1945 年後，魚塭範圍逐漸擴大；至 1971 年魚塭停止養殖後，這片濕地成為鳥類過境或度冬的最佳場所(圖 1)。

二、氣候

根據中央氣象局之網站資料顯示，澎湖 2001 至 2009 年之平均溫度為 23.7°C，最高溫度在 29.8-30.8°C 間，最低溫度在 17.8-19.4°C。每年平均降雨量僅約 1212.6 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⁻¹，年平均最大風速可高達 9.7-12.3

m sec^{-1} 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。

本計畫查詢中央氣象局之網站資料顯示(表 4)，澎湖 2010 年 1 月至 12 月中以 8 月之平均溫度最高，達 29.3°C ，而最高氣溫在 7 月的 36.2°C ，最低溫度在 2 月(10.8°C)。1 至 5 月降雨量均少，6 及 9 月月降雨量較高，尤其 9 月高達 238.0 mm，但全年降雨量僅 687.3 mm，屬於降雨量少的年份。而今年 1-3 月及 9-10 月之最大風速分別約 10.5-11.7 及 20.5-14.1 m sec^{-1} 。



圖 1 澎湖縣青螺國家濕地及菜園地方級濕地位置圖

表 4 澎湖 2010 年 1 至 12 月之氣象資料

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

月份	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	最低溫度 (°C)	降水 量(mm)	降水日數 (日)	日照時數 (小時)	最大風速 (m S ⁻¹)
1 月	17.5	25.7	12.0	7.8	5	109.6	11.7
2 月	18.5	28.8	10.8	20.8	7	86.2	10.5
3 月	20.9	30.8	11.8	3.3	3	169.2	11.4
4 月	21.7	31.0	14.9	30.8	6	111.4	9.7
5 月	25.2	32.3	19.5	71.3	12	171.1	7.4
6 月	26.8	33.1	21.8	137.1	11	153.0	9.4
7 月	28.6	36.2	23.9	95.6	7	240.4	7.6
8 月	29.3	34.3	25.6	8.3	4	259.0	6.5
9 月	28.0	33.0	22.9	238.0	7	211.9	20.5
10 月	25.2	31.8	19.0	52.9	5	127.5	14.1
11 月	21.5	25.4	18.0	8.3	6	130.4	10.6
12 月	19.0	27.2	11.9	13.1	2	188.1	11.8
平均	23.5	30.8	17.7	687.3	75	163.2	10.9
/合計							

肆、研究項目

一、栽植試驗地選定

依據本校於 2009 年執行「青螺濕地復育紅樹林之生長、族群結構及生物量調查」期末報告結果，本年度計畫分別選擇青螺濕地一廢棄魚塭(圖 2)(照片 25-26)及菜園濕地堤岸作為紅樹林栽植試驗區(圖 3) (照片 27-28)。



圖 2 青螺魚塭紅樹林栽植試驗區位置圖



照片 25 青螺濕地一廢棄魚塭為試驗地



照片 26 廢棄魚塭退潮時露出平坦潮間帶



圖 3. 菜園濕地紅樹林栽植試驗區位置圖



照片 27 菜園濕地已成為鳥類棲息最佳場所



照片 28 菜園濕地靠內陸邊有防風林保護

二、菜園濕地紅樹林臨時苗圃設置

(一) 五梨跤苗木培育(照片 29-32)

2010 年 6 月 4 日及 25 日分別於台南市安平港保護區共計採集 1300 支五梨跤胎生苗。將其直接運送至澎湖縣菜園濕地，選擇避開大潮淹水而靠內陸有海茄苳保護之岩盤地，以 5 吋黑色軟盆裝入砂質壤土後，將胎生苗胚根插入土壤內，插入深度約胎生苗長度之 1/3，共計栽培 1,300 株軟盆苗。

(二) 欖李苗木培育(照片 33-36)

2010 年 6 月 25 日自台南市四草濕地撈取掉落河道之欖李成熟果實，於菜園苗圃將果肉洗淨後播種在砂床發芽。擬俟適當時間將小苗移植於塑膠軟盆培育一段時間後，再移植於潮間帶苗圃培養適應。

三、青螺濕地紅樹林栽植試驗

(一) 栽植材料準備

1. 欖李苗木培育(照片 37-44)

栽植屏東科技大學苗圃培育之 1 年生欖李軟盆苗，1 年生欖李苗木高度為 20.9 ± 4.3 cm，地際直徑為 0.5 ± 0.1 cm。

2. 五梨跤胎生苗採集

2010 年 7 月 25 日於台南縣雙春森林遊樂區採集五梨跤成熟胎生苗，胎生苗平均長度約為 25-32 cm，包裝後運送至澎湖進行試驗栽植。

3. 海茄苳果實採集

通常海茄苳果實成熟季節在 8-9 月(范貴珠，2006)，本計畫在 8 月 20 及 25 日分別勘查台南縣雙春森林遊樂區及屏東林邊海茄苳分布較多地區，但果實均尚未大量成熟，僅採集少量尚未完全成熟果實，隨後運

送至澎湖進行試驗栽植(照片 45-48)。爾後 9 月 19 日之凡那比中度颱風造成南部地區嚴重災情，也導致海茄苳果實幾乎完全被吹落，因此本年度無法進行海茄苳直播及育苗試驗。

(二) 不同樹種之耐淹水性試驗

2010 年 8 月 1 日於本區設立 3 個栽植樣區(圖 4)，並以竹竿標定潮差位置(照片 49-52)。每樣區由岸邊往魚塭中央水邊方向，栽植欖李軟盆苗及直插五梨跂胎生苗各 3 行。每行栽植或直插 40 株，行株距為 1m × 1 m，每一樣區 2 樹種各栽植 120 株(照片 53-59)。



照片 29 2010 年 6 月台南安平港五梨跤採種母樹



照片 33 學生 6 月份於四草河溝打撈脫落之欖李成熟果實



照片 30 台南市安平港 6 月初有一部份胎生苗開始成熟



照片 34 打撈之欖李果實裝入塑膠袋



照片 31 於 6 月底赴台南雙春採集逐漸成熟胎生苗



照片 35 澎湖菜園濕地砂床播種欖李果實



照片 32 同一地區五梨跤胎生苗成熟狀態不一致



照片 36 研究團隊檢查澎湖菜園苗圃欖李發芽狀況



照片 37 2009 年 6 月欖李果實於蛭石盤中發芽



照片 41 屏科大苗圃浸水培育之欖李苗木



照片 38 欖李果實發芽出土之小苗



照片 42 屏科大苗圃培育 9 個月生欖李苗木



照片 39 屏科大苗圃預備培育欖李之軟盆



照片 43 欖李苗木在遮蔭情況下生長較弱



照片 40 屏科大苗圃培育 6 個月生欖李軟盆苗



照片 44 屏科大培育 1 年生欖李苗木裝箱載運至澎湖



照片 45 本年度 8 月時林邊之海茄苳果實尚未成熟且結實量少



照片 49 學生退潮時就地取材測定潮差



照片 46 學生採集生長在水道旁樹上尚未成熟之果實



照片 50 退潮時在樣區不同位置設立之標竿



照片 47 於試驗地靠岸處挖溝直播海茄苳果實



照片 51 漲潮時淹沒所設立之標竿



照片 48 直播之海茄苳尚未成熟且果實較小



照片 52 學生於漲潮時量測不同潮差高度

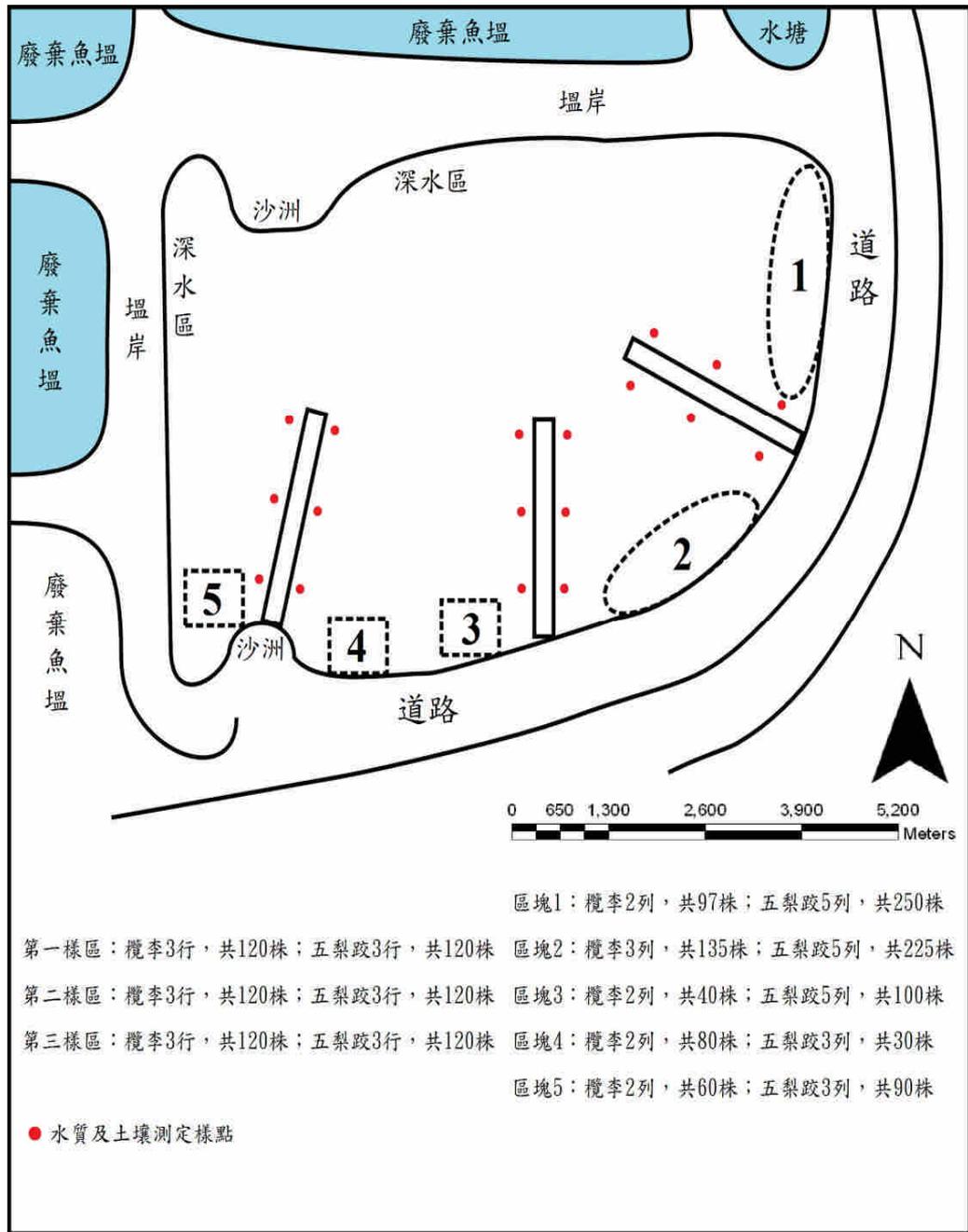


圖 4 青螺魚塭紅樹林栽植試驗示意圖



照片 53 青螺試驗區工人從馬路搬運欖李苗木



照片 57 學生實地參與辛苦之栽植工作



照片 54 工人整理分配栽植之欖李苗木



照片 58 工人等距離栽植欖李與五梨跂胎生苗



照片 55 退潮時以皮尺設立栽植試驗區



照片 59 栽植完成之試驗樣區總長 40 m



照片 56 工人於試驗區內栽植欖李及五梨跂胎生苗



照片 60 工人於靠岸處不同區塊栽植欖李與五梨跂胎生苗

(三) 不同樹種之栽植適應性試驗

由於試驗區面積雖小但土壤狀況相當複雜，而且考慮欖李盆栽苗培育及五梨跤胎生苗等材料相當珍貴，因此根據青螺真武殿廟南岸濕地 15 年紅樹林之復育栽植經驗(范貴珠等, 2009)，選擇土壤質地較適合地區，將不耐淹水之欖李栽植在靠近內陸地區，而五梨跤胎生苗則直插在靠近水邊地區(圖 4)。由於各區塊土壤質地及堅硬程度差異頗大，因此每一區塊各樹種之栽植株數不同(表 5)。各區塊總計栽植 412 株欖李及直插 695 支五梨跤胎生苗(照片 60)。

於 2010 年 8 月 28 日於各小區靠岸處，以木棍劃出約 5 cm 深之淺溝，將採集之海茄荖果實直播溝內並覆土。

表 5 青螺試驗區各區塊之苗木栽植列數及株數

位置	栽植樹種	栽植列數(列)	栽植總數(株)
區塊 1	欖李	2	97
	五梨跤	5	25
區塊 2	欖李	3	135
	五梨跤	5	225
區塊 3	欖李	2	40
	五梨跤	5	100
區塊 4	欖李	2	80
	五梨跤	3	30
區塊 5	欖李	2	60
	五梨跤	3	90

四、菜園濕地紅樹林栽植試驗

2010年8月2日菜園濕地選定2處栽植樣區(圖5)，其中一區目前有土壤且靠內陸處均已為海茄苳所佔據，其餘均為浪潮沖刷大之裸露岩盤，很少可供栽植紅樹林之適合生育地。因此選擇塭岸邊有土壤處設置第一樣帶栽植，靠岸上方共計栽植150株欖李軟盆苗及直插300支五梨跂胎生苗。另在此樣區靠出海口一處小沙洲上，密集栽植60株欖李及直插160支五梨跂胎生苗(照片61-65)。

另一魚塭區雖然面積大且軟泥較深，但是目前淹水深度過高且藻類繁殖旺盛，因此選擇靠近堤岸邊設置第二樣帶栽植，共計栽植210株(2列)欖李及直插830支(2-3列)五梨跂胎生苗(照片66-68)。

五、水質與土壤化學性質分析

2010年7月29日於青螺試驗區之3個栽植樣區，每一樣區由岸邊往魚塭中央水邊方向，分別選取岸邊、中間及水邊地區各2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。於同一測點利用手提式微電腦酸鹼度計(Pocket pH Meter, WTW pH330, Germany)測定土壤之pH及氧化還原電位(ORP)後，逢機挖取表面10cm土壤混合後，攜回屏東科技大學供分析之用(照片61-68)。菜園濕地則因多為岩盤地區，所剩土壤多與石塊混合，取樣困難，因此僅取第二栽植帶前段及後段土壤分析，分析項目與方法如下：



圖 5. 菜園濕地紅樹林栽植試驗位置圖

(一) 有機碳：Walkley-Black 濕式氧化法(Nelson and Sommer, 1982)

將土壤過 0.5 mm 的篩子，並稱取土樣 0.25 g 置入 500 mL 的三角瓶中，加入 10 mL 1N $K_2Cr_2O_7$ ，充分震盪後，迅速加入 20 mL 濃硫酸，再次搖勻，靜置 30 分鐘等待溶液冷卻，若溶液成綠色，則重複上述二個步驟；另作空白試驗(不加土樣且相同步驟)，在靜置後加入 200 mL 蒸餾

水即 10 mL 85% 磷酸，加入 2-3 滴 O-phenanthroline 指示劑，並以配置之 1 N 硫酸亞鐵銨(ferrous ammonium sulfate)滴定，待其顏色變暗(顏色變化為：暗褐-濁藍-鮮明藍-綠-濁綠)，此時為滴定點記錄此點的硫酸亞鐵銨體積，依下列公式計算有機物含量：

$$\text{O.C. (g/kg)} = \text{Oxi} (1 - \text{Vs}/\text{Vb}) \times 1.0 \times (12/4000) \div 0.77 \times (100/\text{烘乾土重})$$

Oxi: 重鉻酸鉀添加體積(mL)

Vs: 土壤滴定 1 N 硫酸亞鐵銨之體積(mL)

Vb: 空白試驗 1 N 硫酸亞鐵銨之體積(mL)

(二) 土壤全氮

取 1 g sample 加入 1 g 分解促進劑及加入 5 mL 之硫酸，分解至澄清(溫度約為 360°C，約 4 小時)，定量至 100 mL；將濾液倒入 PE 瓶中，取 25 mL 澄清液加入 10 N 之氫氧化鈉 10 mL，用硼酸指示劑 10 mL 吸收蒸餾液至 40 mL，用 0.02 N 的硫酸反滴定，即為全-N。

$$\text{全 N\%} = A * 0.02 \text{ N} * (10^{-3} \text{ l/ml} * 14 \text{ g/eq} * 100\%) * 100 \text{ ml} / 25 \text{ ml}$$

$$= A * 0.02 \text{ N} * (1.4) * 4 \quad A \text{ 為 } 0.02 \text{ N 硫酸之滴定 mL 數}$$

(三) 土壤總磷(過氯酸消化法)

1. 試劑：

- (1) 1.70% 過氯酸(Perchloric acid)。
- (2) 濃硝酸(15.8 M)。
- (3) 2.5 M 硫酸：取 70 mL 的濃硫酸(18 M)，並稀釋至 500 mL。
- (4) 鉬酸銨 $[(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ ：溶解 20 g 的鉬酸銨，並定量至 500 mL，溶液需儲存在有玻璃塞的容器中。

- (5) 酒石酸鉀銻 [$K(SbO)C_6H_4O_6 \cdot 1/2 H_2O$] (1 mg Sb/mL) : 溶解 0.2728 g 的酒石酸鉀銻，並定量至 100 mL。
- (6) 0.1 M 維他命 C (Ascorbic acid) : 溶解 1.76 g 的 $C_6H_8O_6$ ，並定量至 100 mL。
- (7) 混合試劑 : 各取 2.5 M 硫酸 50 mL、酒石酸鉀銻溶液 5 mL、鉬酸鉍溶液 15 mL 和維他命 C 溶液 30 mL，並充分混合均勻。
- (8) 磷儲存溶液 (50 mg P/L) : 溶解 0.2197 g 經烘乾 (40°C) 後的磷酸二氫鉀 (KH_2PO_4)，添加 25 mL 的 3.5 M 硫酸，並以去離子水定量至 1 L。
- (9) 磷標準溶液 (5 mg P/L) : 取 10 mL 的磷儲存溶液 (50 mg P/L)，並以去離子水定量至 100 mL。

2. 步驟 :

- (1) 秤取 2.0 g 的風乾土 (<0.5mm)，置入分解管中，並加入 30 mL 的 70% $HClO_4$ ，分解管需放置漏斗保持迴流，並以 130-140°C 進行消化。消化至土壤呈暗黑色後，將溫度提高至 203-210°C，且需再消化約 20~30 min，當消化完全時會有濃白煙霧產生，接著加入 1-2 mL 的 $HClO_4$ 淋洗分解管壁上的顆粒。
- (2) 當消化完全後，將分解管中消化液移入 200 mL 定量瓶中，並定量之，定量後需靜置使固體物沈澱。
- (3) 取 5 mL 的消化液，以及從 5 mg P/L 的磷標準溶液中取適量溶液配置檢量線 (檢量線濃度需在 0.004 mg/L~0.8 mg/L 之間)，置入 50 mL 定量瓶中，分別加入 8 mL 的混合試劑後定量之，於 10 min 後以 UV 測定 P 濃度；UV 波長為 880 nm，空白組為不加 sample，僅加混合試劑者。

3. 計算 :

$$P_{Br}(mg/Kg) = P \quad Conc.(mg/L) \times \frac{50mL}{V_1} \times \frac{L}{10^3 mL} \times \frac{200}{g \quad soil \quad used} \times (1 + w\%) \times \frac{10^3}{kg}$$

V_1 =測磷時所取的樣品毫升數(mL)

(四)質地分析：吸管法(Gee and Bauder, 1986)

秤取約 12 g 的土壤於 500 mL 的燒杯中，加入少量的蒸餾水濕潤後，加入 30 mL 的 35% 雙氧水(H₂O₂)，並在加熱板上以 70~80°C 溫度加熱去除有機質；期間適度攪拌以防泡沫溢出，直到土壤溶液中無氣泡產生。煮乾多餘 H₂O₂，接著加入約 200 mL 0.3 M 的檸檬酸鈉(sodium citrate)溶液，25 mL 1 M 的碳酸氫鈉(bicarbonate, NaHCO₃)，2 g 的連二亞硫酸鈉(dithionite, Na₂S₂O₄)於土壤中，置入 80°C 水浴中加熱以去除游離鐵，並時而攪拌約 15 分鐘後土壤溶液成灰白色時取用，若未成灰白色則重複此步驟。靜置後將土壤混合液以 1100×g 之轉速離心 10 分鐘，以除去上清液(加入純水再次離心以完全去除 DCB 所殘留之液體)，最後將剩餘土壤用純水洗入燒杯中，置入烘箱以 105°C 烘乾；再秤取 10 g 的烘乾土壤放入攪拌杯中，加入蒸餾水和 10 mL 的分散劑偏磷酸鈉(sodium hexametaphosphate)，攪拌速度中等，攪拌約 10 分鐘後取出，過 320-325 mesh 的篩子(<0.05 mm)進行濕篩，將粉粒和粘粒洗入 1000 mL 的沉降筒中，留在篩上的沙粒經洗出、烘乾，在乾篩分為極細砂(2-1 mm)、粗砂(1-0.5 mm)、中砂(0.5-0.25 mm)、細砂(0.25-0.1 mm)、極細砂(0.1-0.05 mm)洗入沉降筒的溶液加水定量到 1000 mL，再以攪拌棒充分攪拌後，依 Stoke 定率計算沉降 10 cm 時所需的時間，再以 25 mL 的玻璃吸管於 10 cm 處吸取 25 mL 粘粒懸浮溶液(<2 μm)，烘乾後秤重，其值乘以 40 即為粘粒含量，最後以總重量減去砂粒與粘粒重量即為粉粒重量。質地分級則依美國農業部土壤調查手冊質地三角圖求得。



照片 61 菜園濕地沖蝕嚴重缺乏可栽植土壤



照片 65 於一沖刷嚴重小沙洲處密集栽植欖李苗木及直插五梨絞胎生苗



照片 62 菜園濕地多為堅硬岩盤無法栽植



照片 66 菜園濕地魚塭水深且藻類多，無法栽植



照片 63 工人挑運苗木尋找可栽植地區



照片 67 目前菜園濕地極少可供栽植土壤



照片 64 工人於靠岸處勉強栽植欖李與五梨絞胎生苗



照片 68 菜園濕地廢棄魚塭岸勉強栽植欖李與五梨絞胎生苗



照片 69 青螺試驗地測定前儀器檢查



照片 73 青螺栽植試驗地學生將表層土壤取樣



照片 70 學生於青螺試驗地不同樣點測定水質



照片 74 菜園濕地魚塭水質測定



照片 71 青螺試驗地土壤 pH 及氧化還原電位測定



照片 75 菜園濕地出海口水質測定



照片 72 青螺試驗地土壤 pH 及氧化還原電位測定記錄



照片 76 菜園試驗地相當缺乏適當測定土壤性質之樣點

