

行政院農業委員會林務局嘉義林管處 104 年度委託研究計畫

海岸林地占用魚塢收回多元復育之研究²⁻²

The fishpond was afforested by pluralism plants imposing of the coast forest²⁻²

期末報告



委託單位：林務局嘉義林管處

執行單位：國立嘉義大學

中華民國 105 年 11 月 30 日

海岸林地占用魚塭收回多元復育之研究

摘要

臺灣西部沿海的防風保安林，長期受到非法魚塭占用，並造成地層下陷、海水倒灌及土壤鹽化等災害。近年來環境意識抬頭，林務局開始積極收復非法占用魚塭進行復育造林。在以恢復防風林保安功能、保留魚塭濕地功能和最小環境干擾完成復育的前提下，進而開啟魚塭多元復育之探討。本研究計畫作業項目包含堤岸整治、堤岸複層林試驗、人工浮島試驗、管柱造林試驗、親水植栽試驗。堤岸整治建立以蚵殼、漂流木為基底的堤岸栽植試驗區，並添加 EM 有機肥(益生一號)作為土壤改良，栽植木麻黃、黃槿及土沉香；人工浮島共計 38 床，嘗試栽植紅樹科及半紅樹科木本植物，並進行不同排列栽植試驗及施肥集約度試驗，試驗結果顯示樹種混合栽植及施肥能促進苗木生長，其中黃槿、欖李及土沉香適應十分良好；管柱栽植紅海欖受潮汐影響甚大，栽植初期可假植於岸邊，減少環境壓力；親水植栽乃利用美植袋提高土壤相對高度，減少苗木遭淹浸之危害。研究初期各作業造林存活率相當高，惟受 7-9 月數個強颱影響，試驗區遭到嚴重損害。未來氣候變遷的影響下，強颱的危害可能成為常態，因此如何增加各造林作業設施之穩定性為首要解決之課題。綜合本試驗研究結果，彙編成海岸林收回魚塭多元復育之作業手冊，以作為林務局未來魚塭復育作業之參考。

關鍵字：濕地、複層林、人工浮島、管柱造林、美植袋、作業手冊

目錄

壹、前言.....	- 1 -
貳、前人研究.....	- 3 -
一、現今海岸造林困境及未來發展趨勢.....	- 3 -
二、海岸林生態系統之改善.....	- 4 -
三、魚塭濕地生態系統之改善.....	- 5 -
(一) 魚塭濕地功能.....	- 5 -
(二)海岸生態保育與生物多樣性之維持.....	- 6 -
參、材料與方法.....	- 8 -
一、試驗地概況.....	- 8 -
二、主要工作項目.....	- 9 -
(一)塭堤整治作業及堤岸複層林試驗.....	- 9 -
(二)人工浮島及管柱造林試驗.....	- 10 -
(三)親水植栽試驗.....	- 10 -
(四)自然植被復育觀察區.....	- 11 -
(五)操作作業手冊編製.....	- 11 -
三、執行成果.....	- 12 -
(一)塭堤整治作業及堤岸複層林.....	- 12 -
(二)浮島造林試驗.....	- 18 -
(三)管柱栽植試驗.....	- 31 -
(四)親水植栽試驗.....	- 33 -
(五)自然植被復育觀察區.....	- 36 -
(六)本研究遭臨之天然災害.....	- 36 -
(七)操作作業手冊.....	- 37 -
肆、討論.....	- 37 -
一、占用收回魚塭已恢復生物多樣之海岸林.....	- 37 -
(一)塭堤整治與複層林植栽作業.....	- 38 -

(二)人工浮島栽植與管柱造林試驗	- 38 -
(三) 親水植栽試驗	- 39 -
二、海岸魚塭生態復育之策略.....	- 39 -
(一)魚塭面積 0.5ha以上.....	- 41 -
(二)魚塭面積 0.5ha以下.....	- 43 -
伍、結論.....	- 45 -
陸、參考文獻.....	- 46 -
附件 1.海岸林收回魚塭多元復育之作業手冊	- 51 -
附件 2.莫蘭蒂颱風試驗地損害及復舊規劃報告	- 84 -
附件 3.林務局嘉義林管處 104 年度委託研究計畫期初簡報	- 90 -
附件 4.林務局嘉義林管處 104 年度委託研究計畫期中簡報	- 94 -
附件 5.林務局嘉義林管處 104 年度委託研究計畫期末簡報	- 97 -

圖目錄

圖 1 台南濱海鹽田段樣區位置圖。.....	8 -
圖 2 台南市安南區鹽田段第 2105 號飛砂防止保安林之占用收回魚塭復育前實景。	9 -
圖 3 塭堤回填剖面圖。.....	12 -
圖 4 展開南側塭堤整地作業。.....	13 -
圖 5 搬運海岸堆積蚵殼等回填材料。.....	13 -
圖 6 採集蚵殼來源之堆積場。.....	13 -
圖 7 採集蚵殼後之堆積場整地。.....	13 -
圖 8 現場路緣蚵殼。.....	13 -
圖 9 海岸堆積蚵殼混砂丘土方回填。.....	13 -
圖 10 春假完成試驗造林作業。.....	14 -
圖 11 新植區域之補植與澆水之撫育。.....	14 -
圖 12 堤岸複層林及親水植栽配置圖。.....	14 -
圖 13 堤岸複層林及親水植栽栽植完成時，及 2 個月後植被恢復之景觀。...	15 -
圖 14 堤岸複層林調查統計圖。.....	17 -
圖 15 試驗魚塭北岸堤處，挖開溢水排水道。.....	18 -
圖 16 溢水排水道開口分別於魚塭內外。.....	18 -
圖 17 進行修整舊有人工浮島 8 座。.....	19 -
圖 18 新製人工浮島 20 座。.....	19 -
圖 19 浮島栽植選擇如土沉香。.....	19 -
圖 20 浮島栽植苦林盤、水筆仔、土沉香及海茄苳等。.....	19 -
圖 21 人工浮島試驗規劃植栽排列方式。.....	20 -
圖 22 人工浮島西側堤岸 13 床人工浮島；東側堤岸 8 床人工浮島；南側堤岸 10 床人工浮島；北側堤岸 7 床人工浮島。.....	21 -
圖 23 各栽植排列苗高變化。.....	24 -
圖 24 各栽植排列基徑變化。.....	24 -
圖 25 各栽植排列冠幅變化。.....	25 -
圖 26 各栽植排列存活率變化。.....	25 -
圖 27 常態人工浮島植栽存活率統計圖。.....	27 -
圖 28 常態人工浮島苗高及基徑統計圖。.....	28 -
圖 29 人工浮島之植栽根系生長情形。.....	30 -
圖 30 西側堤岸管柱，1 月完成栽植並假植於岸邊之情形；管柱 8 月移植完成之 景觀。.....	32 -
圖 31 管柱栽植調查結果統計圖。.....	32 -
圖 32 東側塭岸淺水區規劃試驗。.....	33 -
圖 33 南側塭岸淺水區規劃試驗。.....	33 -
圖 34 南岸淺水區栽種土沉香。.....	34 -

圖 35 西側塹岸淺水區進行假植。.....	- 34 -
圖 36 西側堤岸假植期美植袋放置於人工浮島前端； 8 月假植結束並移至定位完成。.....	- 34 -
圖 37 親水植栽調查結果統計圖。.....	- 35 -
圖 38 規劃東南與西北角落作為自然植被復育觀察區。.....	- 36 -
圖 39 周邊廢養塹岸自然恢復植被優勢植物。.....	- 36 -
圖 40 各型態魚塹示意圖。.....	- 40 -
圖 41 收回魚塹復育作業流程圖。.....	- 41 -
圖 42 大型魚塹-I 復育作業配置示意圖。.....	- 42 -
圖 43 大型魚塹-II 復育作業配置示意圖。.....	- 43 -
圖 44 小型魚塹-I 復育作業配置示意圖。.....	- 43 -
圖 45 小型魚塹-II 復育作業配置示意圖。.....	- 44 -

表目錄

表 1 堤岸複層林生長調查。.....	- 16 -
表 2 堤岸複層林存活率調查。.....	- 16 -
表 3 施肥用量及週期表。.....	- 20 -
表 4 各樹種總樣本數及存活率。.....	- 22 -
表 5 各栽植排列方式之存活率調查及生長調查結果。.....	- 23 -
表 6 栽植排列方式與苗木生長之相關性。.....	- 26 -
表 7 常態配置人工浮島各施肥及約度之存活率。.....	- 27 -
表 8 常態配置人工浮島平均苗高。.....	- 29 -
表 9 常態配置人工浮島平均基徑。.....	- 29 -
表 10 常態配置人工浮島施肥處理方法與苗木生長之相關性。.....	- 29 -
表 11 管住栽植存活率。.....	- 32 -
表 12 親水栽植存活率。.....	- 35 -
表 13 不同魚塹大小選擇栽植作業表。.....	- 44 -

壹、前言

台灣四面環海，海岸地形變化多端，西部海岸以沙岸為主。為減少強風、飛砂、海潮及鹽霧等危害，改善臨海鄉鎮惡劣的生活環境、增加農漁業產量，及維護國土保安、生態保育等公益功能為目的，編入保安林面積約 8000 餘 ha。然而為求經濟發展用地，海岸保安林大量遭到解編。加上近年來，沿海地區常遭颱風侵襲而暴潮高漲，使得災害頻頻發生，復因不當人為開發魚塭及超抽地下水，導致地層下陷而引發海水倒灌、土壤鹽鹼化及海岸侵蝕現象，除了造成國土流失之外，更對人民的生命財產產生威脅，因此，維護安全穩定之海岸防風保安林實為當務之急。

魚塭的開闢多經移除土方以容納養殖空間，抽入海水或地下水供其養殖所需等，使得現地環境除持續地層下陷之餘，其底土鹽化與飽水滯留等危害多不利於恢復林相。然而各型態的魚塭仍具有其不同的生態功能，在魚塭復育作業開始前，應充分對環境及生態進行探討，做為復育手段選擇之依據，以達最大環境保育效益。占用魚塭常為相鄰魚塭所越界濫墾而發生，儘管克服各項困難而完成回收，目前周遭仍有養殖區極度抗性存在，易引起當事者及社會輿情觀感，甚至於有機可乘而再度淪為不法使用，如復養及濺倒有毒廢棄物等，因此，宜積極展開復育造林。另外一般魚塭為求空間完整多切齊塭岸，形成堤岸角度陡立甚或垂直，其相臨塭岸砂質土壤易於崩塌，為因應改善堤岸穩固避免影響合法魚塭之生產，故塭堤整治作業當併入處理。

從海岸永續發展的觀點來看，海岸保護作為不單以防災目的而建造，更須考慮滿足多元性之需求。許啟舜等(2013)指出無論以生態保育或工程成本為考量，生態工程都相當重視就地取材，「材質自然化」除了降低成本，還能避免棲地大幅度的改變，並能提供各種生物利用之環境。因此，

原本展開復育造林，經移除之大量土方需再回填，但基於生態平衡不宜再次挖掘土方回填而造成取土區之破壞。進而考量海岸林風災堆積之漂流木、蚵棚及林分疏伐等有機材料；甚至周邊農業生產廢棄物再利用，有機廢棄物代替土壤的使用，降低區域內的土壤開採，藉由廢棄物資源再利用，減少垃圾的產生。利用添加益生菌有機肥，期能有效改善鹽鹼地土壤的貧瘠性質，促進土壤之物理、化學及生物特性之恢復，且改善植物在鹽鹼地生長情形，加速栽植林木發育健壯，以增加對環境壓力的抗性，達到復育造林的目的。此外，魚塭池水面宜盡量不規則干擾，如設置管柱栽植(Riley Encased Methodology, 簡稱 REM)或人工浮島(Artificial Floating Islands)，利用覆被盡量深入水面，增加保安林帶覆蓋面積，避免再淪為養殖使用，以增加生物多樣性。

目前海岸防風保安林之營造，學者多建議採用複層林的方式(蔡明哲，2011)，相較於木麻黃(*Casuarina equisetifolia*)單一純林，複層林在增加生物量、土地肥力、生物多樣性以及景觀美化上更具優勢(馮杏等，2009)。濕地造林方面，多以紅樹類(Mangrove)為栽植樹種，在長期淹水難以造林的地區，則可配合管柱栽植法等輔助(Riley and Kent,1999)，亦有不錯的成效；另有學者以人工浮島方式在水面種植植栽，人工浮島具有防止堤岸侵蝕、保護海岸線、提供野生動物棲息地、美化景觀、水質淨化及過濾、生物消毒作用(王劫，2008; Hoeger,1988)，潛在效益之多元應用，包括營養鹽去除、增加生物量、水產與農業，猶如雨水及汙水淨化處理(Yeh *et al.*, 2015)與形成種子庫(Cherry and Gough,2006)，然其研究皆以草本為試驗對象，木本植物之應用有待後續深入探討。

本計畫利用本區現有漂流木再利用、廢棄蚵殼及 EM 益生菌施佈以加速分解，配合進行各生活型植被之篩選培育試驗，評估復育造林模式，期供後續相關海岸林地占用魚塭收回復育造林之施行參考。在木麻黃純林被

人為蓄意破壞開發為魚塭之後，能夠藉機營造出多元之生態林相。

貳、前人研究

一、現今海岸造林困境及未來發展趨勢

海岸保安林因早期農業、養殖業與近年工業發展、公共設施建設等需求而陸續解編(陳明義，2006; 陳財輝，2008)，現今海岸保安林多剩以木麻黃為主的人工純林(廖天賜，2012)。依據漁業署統計，臺灣 2015 年魚塭養殖面積為 44,211.35 ha，而非法占用保安林之魚塭面積達 279.60 ha，嘉義林管處轄管區外保安林即占 198.31 ha，將近 71%(李震威，2006)。近年受環境保育意識提升的影響，林務局開始積極收回海岸占用地，進行海岸保安林復育。

木麻黃自 1897 年引入台灣迄今已逾百年之歷史，因具有與固氮菌種共生之特性，故可生長在土壤貧瘠的地區(林睿思等，2009)。木麻黃生長快速容易成林，在海岸林佔有重要的地位，但在造林 20-30 年後會有衰退之現象，透過複層林的方式營造木麻黃防風林可以解決這種需要不斷補植的窘境(鄧書麟等，2007; 黃俊元等，2014)。而木麻黃為耐乾旱之陽性樹種(李明仁，2010)，並不適合種植於濕地，故以傳統木麻黃復育魚塭之方式，需進行土方回填，此法除成本高昂，亦可能對取土區產生破壞。

近年有學者提出，人工埤塘有保育鳥類的作用(Yong,1998)，尤其在自然濕地遭受破壞的情形下，人工濕地更顯重要(黃書彥、薛美莉，2014)。綜合上述結果，尋求如何維持魚塭原本濕地特性，並恢復防風保安林功能，被提出為新的思考方向，進而開啟魚塭多元復育之相關研究，並用作制定占用魚塭復育保安林之方法流程。

魚塭生態功能可透過濕地造林來強化，以紅樹類樹種栽植於在長期淹水地區，配合管柱栽植法、人工浮島、美植袋等輔助設施，提高苗木存活率及環境多樣性。人工浮島提供野生動物棲息地，並阻擋盛行李風，避免強風對野生動物巢穴的為害(Yehet *al.*, 2015)。此外人工浮島還能美化景觀與提高環境的綠覆率，雖然景觀美化功能是以人的角度出發，卻仍舊有顧及他種生物的需要，此為生態工程與景觀美化工程的差異之處。透過魚塭樣態分類，及分析各樹種與造林手段之功能效益，訂定收回占用魚塭復育之標準流程，提供林務局未來復育相關海岸林之指南，期望能建立多樣性環境、增加生物多樣性與綠覆率，符合環境保護與生態功能之最佳效益。

二、海岸林生態系統之改善

木麻黃類植物為耐乾旱之陽性樹種，全台海拔300 m以下地區皆適合種植(李明仁，2010)。雖然生長快速容易成林，但在栽植20-30年後會有衰退之現象，且因不抗蟲害、無法天然更新林相等原因，使得栽植初期族群結構呈現反J型，10年過後由於無天然更新苗的出現而使得族群結構轉變為常態分佈(鄧書麟等，2007)。以營造多種原生樹種之複層林的生態造林方式種植，能促進林分天然更新(黃俊元等，2014)。

海岸複層林相兼顧防風及景觀效益，營造方式可分為一階段式與二階段式作業，一階段式作業是指海岸第1線仍以先驅樹種木麻黃為主，再混植黃槿(*Hibiscus tiliaceus*)、草海桐(*Scaevola sericea*)、白水木(*Messerschmidia argentea*)等樹種，作為防護第2線造林之基礎，海岸第2、第3線內陸地區，則選用多樣性海岸樹種進行生態造林，包括海欒果(*Cerbera manghas*)、黃槿、大葉山欖(*Palaquium formosanum*)、臺灣海桐(*Pittosporum pentandrum*)、苦楝(*Melia azedarach*)、水黃皮(*Pongamia pinnata*)、欖仁(*Terminalia catappa*)等；二階段式作業則是先利用木麻黃營

造出防風林後，再陸續混植濱海型原生樹種，逐年汰除木麻黃，以建立原生樹種混合林(陳麗美，2003; 何坤益、程俊堯，2010)。目前防風林的經營，已趨向以混合林的方式建造和改良(林國銓、唐盛林，1999)，期待能夠依據生態原則，建立永續的海岸綠色長城。

三、魚塭濕地生態系統之改善

沿海魚塭養殖密度高，塭堤常有過窄、坡度過大的問題，不利防風林栽植，因此復育第一步為透過堤岸整治，將塭堤回填建立出約 10-15 m 寬、坡度 10°、離水面高度約 1 m 的淺灘；若魚塭水位過高，則先行透過抽水設備或設置排水管等降低水位高度，避免回填時池水溢出。為避免回填大量土方，造成取土區環境劇變而破壞生態，可利用沿海漂流木或養殖及農業廢棄物，如蚵殼、廢棄蚵棚竹架等作為斜坡基層填充材料，也能大幅減少施工成本。

以蚵殼與漂流木為材料填充斜坡基層所形成的隔離層，可以使重力水順利滲入土壤，並阻斷鹽分上升(唐旭日、張法琴，2007)，改善魚塭嚴重土壤鹽鹼化的問題。蚵殼本身在土壤改良上有多方面功效，包含減少重金屬(鄭紹良，2011)、增加土壤養分與強化植物抗病能力等(黃振文，2007)。

(一)魚塭濕地功能

廢棄魚塭多屬鹹化沼澤或泥灘地，具有高生產力的潛能，應加以系統性規畫，發揮原有生態系的功能，可以提供濕地生物棲息空間，同時使受破壞、汙染或廢棄的區域獲得重建與改善(宜蘭縣竹安濕地之廢棄魚塭再活化營造計畫，2013)。魚塭造成海岸環境破壞主因為養殖業超抽地下水造成的地層下陷、水質汙染與海水倒灌等(毛冠貴，2002)，魚塭收回或轉型即為減緩這些災害首要條件。在環境保護能力上，以防洪防溢與水質淨化功能最為顯著。

張向寬等(2013)以嘉義義竹鄉後鎮大排為樣區，設置 24 個測點，研究魚塭排洪特性。採美國環保署(EPA U.S.)暴雨水流經模式 SWMM (Storm Water Management Model)進行水理演算，以重現期 25 年的雨量(排水設計標準)與 3 種下游邊界條件設定(自由跌水、固定低潮位及固定高潮位)，並以莫拉克颱風(2009)實測校驗，進行魚塭區域排水模擬分析，將結果與都市區域排水做比較。3 種下游邊界條件設定之模擬結果皆顯示降雨初期魚塭能暫時蓄積雨水，達到如滯洪池的作用，故相較於一般都市地區，可舒緩排水幹線於尖峰降雨時之排洪負擔。

養殖魚塭污染源於大飼料使用累積的氮氮，人工濕地做為水質淨化的重要元素為底層土壤和水生植物，利用水生植物降低總氮量，來達到水質穩定的功能。人工浮島能去除水中氮、磷 (張志勇等，2007)，消滅生化需氧量(Biochemical oxygen demand)，並抑制優養化的發生。此外，植物根系的生物膜具消滅營養鹽的功能，浮島本身亦有遮蔽功能，可抑制浮游生物生長。或作為消波的物體，防止堤岸侵蝕，有助於堤岸植被的生長與恢復(黃志豪，2013)。

(二)海岸生態保育與生物多樣性之維持

鳥類相關生態與行為的研究很多，並且容易鑑定，環境監測上可減少物種鑑定或物種間關係不確定所導致的風險，提高監測實用性。而鳥類多位於食物鏈較高位階，因此特別適合用來解釋任何透過食物鏈累積的環境資訊(李培芬等，2008)。黃書彥等(2014)針對嘉義七股地區晒池與非晒池進行鳥類利用情形比較，晒池為漁獲收穫後將池水排至露出 3/4 以上底面積，加速底泥有機質分解，並方便養殖者進行消毒。研究結果發現晒池形成之淺灘地在鳥類利用上有顯著優勢，且不同時間與條件的魚塭，會吸引不同鳥類利用。

透過堤岸防風林的建立與濕地造林技術的搭配，收復魚塭不必排除池水即可進行造林，能避免造成環境過大的變動，並保持原有的生態功能。海岸環境嚴苛，濱海生物也對環境選擇十分嚴謹，因此常出現生物多樣性極低的情形，只有能適應某環境的生物大量繁殖。多元的造林方式營造出各區域不同的林相，有效增加環境歧異度，吸引更多物種前來利用，組成相對複雜而穩定的生態網絡。

參、材料與方法

一、試驗地概況

實驗樣區位於台南市安南區鹽田段第 2105 號飛砂防止保安林之占用收回魚塭(如圖 1、2)，長 125 m、寬 80 m、堤頂至水面 2 m、水深約 1 m，為嘉義林管處經管之區外保安林。位處於亞熱帶氣候，然而受季風及地形影響，降雨乾濕季分明，雨量多集中於夏季，約為全年降雨量 80% 以上，年均溫為 24.3°C，年雨量 1698.2 mm，年平均濕度為 77.2%。座標為 23°00'52.2"N，120°07'07.5"E，距離海岸約 50 m。

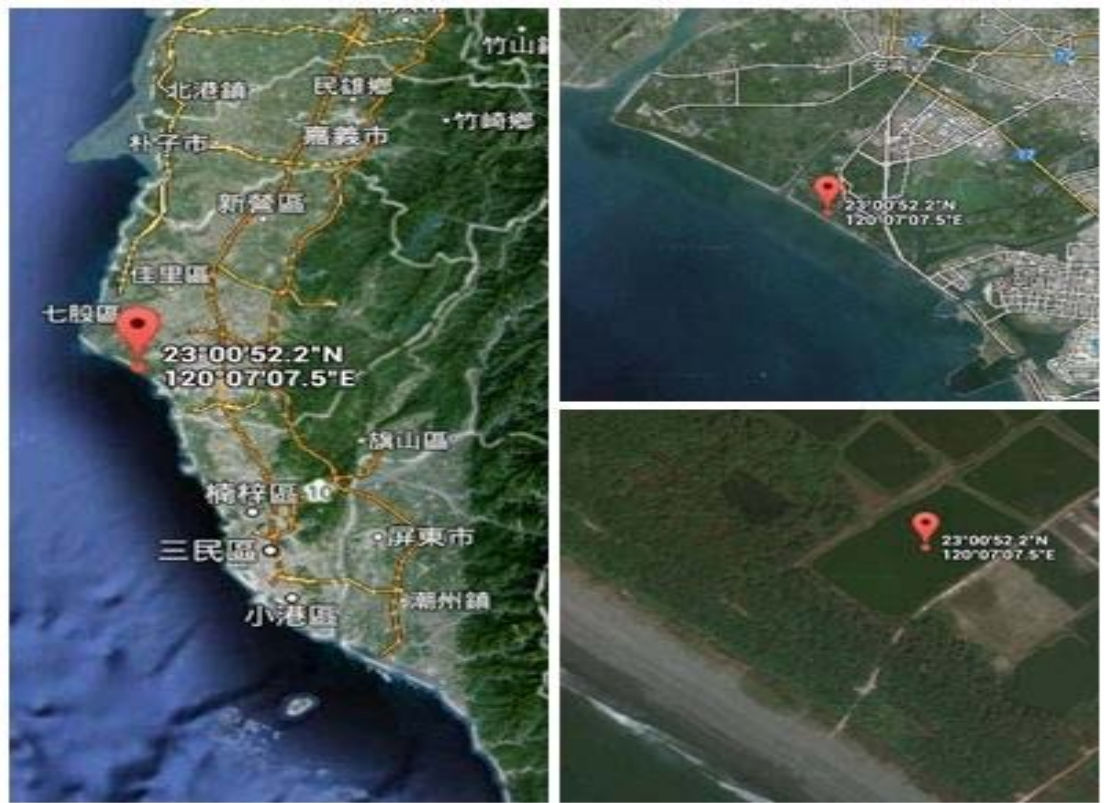


圖 1 台南濱海鹽田段樣區位置圖。



圖 2 台南市安南區鹽田段第 2105 號飛砂防止保安林占用收回魚塭復育前實景。

二、主要工作項目

(一) 塭堤整治作業及堤岸複層林試驗

選擇其道路可及南側塭岸處進行堤整治處理，原規畫回填較難於分解之海岸林重型材料，並配合嘉義林區管理處之漂流木清理作業，但因 103 年度已無漂流木來源，故 104 年度由計畫自行進行試驗樣區基礎施作，以現有南側塭岸為中心，就現場道路及周邊堆置之蚵殼，及堤岸漂流木整理回填為底層，以海岸高灘砂丘土方(混入蚵殼)回填，並持續延伸至水面下 15 cm 淺水區。塭岸整治成斜坡後，進行護坡植物栽植，植穴內加入 Em 益生一號有機肥 100 ml，透過益生菌改良植穴，提高苗木存活率，隨即進行植栽試驗，建立木麻黃、黃槿及土沉香之混合複層林。

(二)人工浮島及管柱造林試驗

1.水位穩定作業

考量魚塭水位高程之穩定，將影響浮島與管柱造林試驗之苗木生長，利用 PVC(poly-vinyl chloride，聚氯乙稀)管埋在塭堤下排水道，開口分別於魚塭內外(以管帽控制)，使水位高於 PVC 管開口時，即能溢出排掉，以穩定魚塭水位高度。

2.人工浮島試驗

海岸林地占用魚塭於道路較難到達之區域，為避免收回魚塭再遭占用，且降低復養風險，利用漂流竹棚編製格柵形成浮島(間隔 PVC 管以穩定浮力)，及修整現有人工浮島，改以 PVC 抽換，其規格為長 4 m×寬 2 m，共計 38 床，浮島造林選擇如苦林盤、黃槿、水筆仔、土沉香及紅海欖等。為避免栽植初期水域生育環境變化增加植栽逆境影響到苗木存活率，將先行於塭岸斜坡進行假植栽培，俟苗木恢復生活勢後，10 月份再引植適當位置予以定植。

3.管柱造林試驗

使用長度為 1 m 4 inch PVC 管，共計 100 支，應用耐水淹之紅海欖定植於 PVC 管，其具有支持根(proprop)能固定於土壤。為避免栽植初期水域生育環境變化影響，將先行於將先行於塭岸斜坡進行假植栽培，俟其苗木恢復後(約 2-4 個月)，再引植於池岸邊，以增進植栽苗木之適應與健化，俟其恢復生活勢後，10 月份再引植於池中適當位置予以定植。

(三)親水植栽試驗

利用塭池岸際淺水區間(配合水位穩定作業及塭堤整治作業後，塭池岸際可增加水深約 10 cm 淺水區間)，規劃試驗栽種紅樹類等親水植物，形成挺水植生帶，以增進綠覆蓋。選擇紅樹類如欖李、水筆仔、紅海欖、

海茄苳，及半紅樹類如苦林盤及土沉香等苗木，再以 30 cm之美植袋換盆。再者，為避免栽植初期水域生育環境變化，增加植栽之初期逆境影響而降低苗木存活率，將先行於塭岸斜坡處進行假植栽培，俟其苗木恢復生活勢後，再引植於池岸邊，切開美植袋底層使其根系自然開展。

(四)自然植被復育觀察區

利用東、南及西側不同堤岸整治作業結果，將所形成塭岸生育環境，規劃寬度 10m 作為自然植被復育觀察區，選擇周邊廢養塭岸自然恢復植被之優勢植物，依其生活型配植於區域內，觀察適應情形，嘗試比較於自然植生或人工復育栽植差異，以提供魚塭多元復育之效益評估。

(五)操作作業手冊編製

考量管理處轄屬各樣態之占用收回魚塭特性，撰寫作業手冊，以利於推廣。

三、執行成果

(一) 塭埕整治作業及堤岸複層林

1. 環境評估申請

試驗作業區屬於台江國家公園一般管制區範圍，於 105 年 3 月專案申請預先環境評估計畫，經該管以營將契字第 1059000804 號函同意，隨即展開南側塭埕整地作業，將塭埕回填建立出約 15 m 寬、坡度 10°、離水面高度約 1 m 的淺灘(圖 3)。



圖 3 塭埕回填剖面圖。

2. 整治作業施作

本年度由本計畫自行進行試驗樣區基礎施作，選擇其道路可及南側塭岸進行治處理(圖 4-7)，回填斜坡基層填充材料利用沿海漂流木與農業廢棄物，包括蚵殼、廢棄蚵棚竹架(圖 8、9)或稻梗等，同時能大幅減少施工成本；最底層以漂流木、竹材建構出斜坡雛型，再鋪上一層高約 30 cm 之蚵殼層，最上層則回填約 30 cm 沿岸海砂或土壤。另接近池面水位時持續延伸至水面下，形成塭池內淺水區間，供紅樹植物栽植。東側塭岸處則因尚與漁民合法魚塭相臨，與之進行協調後，為避免工程影響其養殖生產，而未進行施作。為避免回填時池水溢出，先行透過堤岸埋設 2 支 5 inch PVC 排水管固定水位高度。105 年 3 月 30 日完成整地，配合春假良好造林時間，於 105 年 4 月 13 日初步完成試驗造林作業(圖 10)並進行補植與澆水(圖 11)，目前相關植栽適應良好。



圖 4 展開南側塹堤整地作業。



圖 5 搬運海岸堆積蚵殼等回填材料。



圖 6 採集蚵殼來源之堆積場。



圖 7 採集蚵殼後之堆積場整地。



圖 8 現場路緣蚵殼。



圖 9 海岸堆積蚵殼混砂丘土方回填。



圖 10 春假完成試驗造林作業。



圖 11 新植區域之補植與澆水之撫育。

3. 塹堤複層林試驗

先在各植穴內依試驗設計加入不同量的 EM 益生菌有機肥，透過益生菌有機肥之改良植穴以提高存活率。栽植樹木之規劃以堤頂恢復海岸防林相，故栽植木麻黃 3 列，以株行距離 1.5 m，共栽植 $80 \times 3 = 240$ 株；黃槿 2 列，以株行距離 1.5 m，共栽植 $85 \times 2 = 175$ 株；栽植土沉香 3 列，以株行距離 1.5 m，共栽植 $70 \times 3 = 210$ 株，並以竹竿固定(圖 12)。

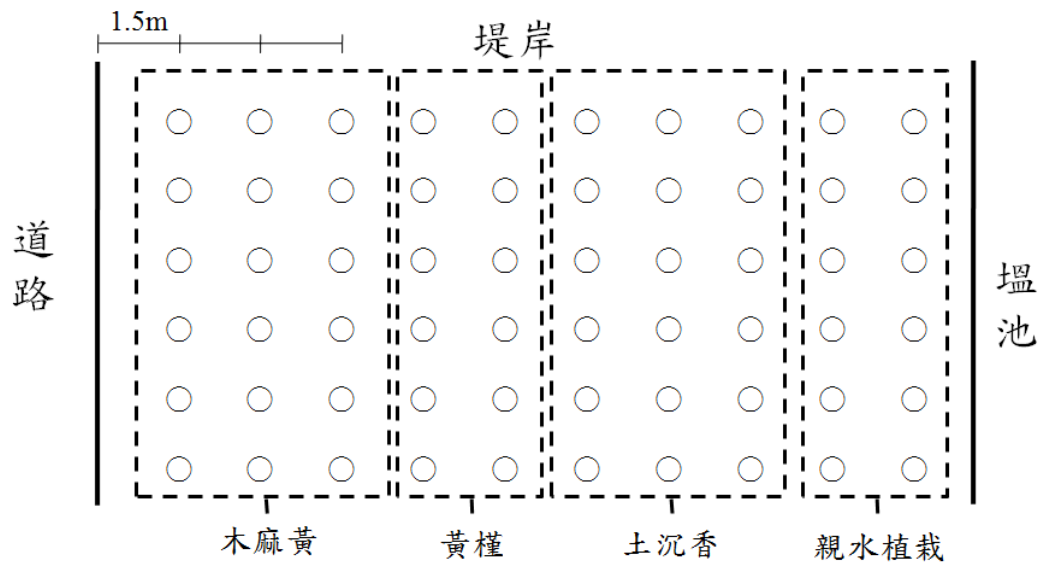


圖 12 堤岸複層林及親水植栽配置圖。

海岸多為砂質地，蒸發旺盛且易受風雨侵蝕，地表草本植被可加強保濕與砂質地穩定，因此復育時無須進行除草；為避免造林目標苗木與草本間發生競爭，苗木選擇以1年生或以上苗木為佳，因其已具有優勢苗高，較不受競爭影響(圖13)。目前植栽成活良好，惟受樣區豪雨衝擊，林區內出現逕流，將加強逕流排水之改善，部分裸露土球已培土改善恢復生長情形。



圖 13 (A)堤岸複層林及親水植栽栽植完成時，及(B)2 個月後植被恢復之景觀。

4.調查結果：

由調查資料顯示：第2次調查(8/28)中，木麻黃苗高及基徑生長在施肥密集度較高時皆有較快的生長。第3次調查中，集約處裡的木麻黃苗高生長速度則下降至低於粗放處理，原因可推測為原本較高的苗木受莫蘭蒂颱風之影響，產生風折危害，且粗放處理中，較細小的木麻黃則枯死數量較多，影響到木麻黃平均高度的分布。

表 1 堤岸複層林生長調查。

樹種	*處理方式	平均苗高(cm)			平均基徑(cm)		
		5/14	8/28	9/24	5/14	8/28	9/24
木	集約	114.46	159.27	162.00	1.04	1.53	1.90
麻	常態	117.14	147.88	147.76	0.97	1.41	1.58
黃	粗放	117.46	154.58	167.77	0.92	1.47	1.76
黃 槿	集約	51.14	72.53	75.67	1.01	1.47	1.65
	常態	48.22	64.38	69.35	0.98	1.42	1.49
	粗放	45.72	57.78	68.69	0.86	1.62	1.60
土	集約	38.46	49	-	1.15	1.75	-
沉	常態	36.41	49.52	-	1.04	1.77	-
香	粗放	45.65	55.37	-	0.94	1.76	-

*集約：3 週施用有機肥料 1 次(50 ml/株)。常態：6 週施用有機肥料 1 次(100 ml/株)週(100 ml/株)。粗放：不經行任何處理。

存活率方面，黃槿則皆維持在高於 9 成的高存活率，沒有顯著關係，集約處理及粗放處理更接近 100%的存活率；木麻黃則為集約處理與常態處理高於 9 成，粗放處理則接近 8 成，有明顯下降趨勢。

表 2 堤岸複層林存活率調查。

樹種	處理方式	平均存活率(%)		
		5/14	8/28	9/24
木 麻 黃	集約	100.00	96.30	96.30
	常態	100.00	96.30	92.59
	粗放	92.59	88.89	81.48
黃 槿	集約	100.00	100.00	100.00
	常態	100.00	94.44	94.44
	粗放	100.00	100.00	100.00
土 沉 香	集約	100.00	88.89	-
	常態	100.00	92.59	-
	粗放	100.00	100.00	-

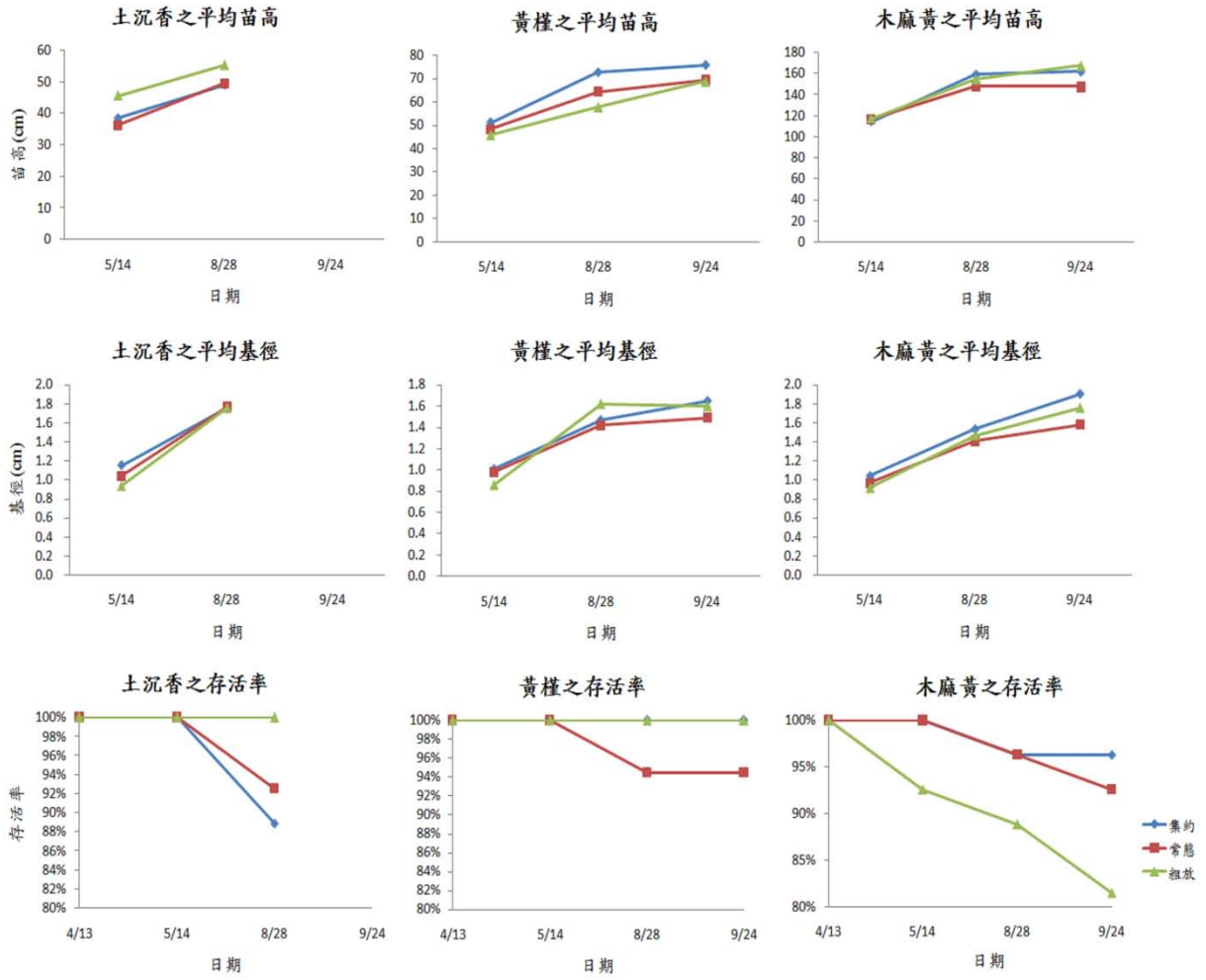


圖 14 堤岸複層林調查統計圖。

(二)浮島造林試驗

1.水位穩定作業

本計畫規劃魚塭水位高程之穩定，將影響浮島與管柱造林試驗之苗木生長，目前於試驗魚塭北岸堤處挖開塭岸土堤(圖 15)，利用 PVC 管埋在塭堤下，形成與外界連通之溢水排水道，開口分別於魚塭內外(以管帽控制)，使水位高於 PVC 管開口時，即能立即排出(圖 16)，以穩定魚塭水位高度，避免水位上漲掩蓋水際美植袋與浮島苗木。同時，PVC 管口設置過濾網，以避免枯枝落葉及垃圾淤塞。



圖 15 試驗魚塭北岸堤處，挖開溢水排水道。



圖 16 溢水排水道開口分別於魚塭內外(以管帽控制)。

2.人工浮島試驗

浮島原指由於泥炭層向上浮起作用，以植物根為基底結合浮動的水生植物之系統所組成，植物根系的生物膜具削減營養鹽的功能，亦有遮蔽功能以抑制浮游生物生長，提供了水生動物棲息與躲避獵食者侵擾，亦對盛行季風有阻擋的功能，避免強風對巢穴的危害。為避免栽植初期水域生育環境變化，增加植栽逆境而影響初期存活率，先行於塭岸斜坡進行假植栽培，俟其苗木恢復生活勢後，再引植於池岸邊，以增進苗木之適應與健化(約 2-4 個月)，當完全適應健化而充分恢復生長後，再引植於適當位置定植至堤岸複層林成林後，移置親水植栽區前水深 0.5-1 m 處長期定植，期陸化成最前端之紅樹林區域，或與部分親水植栽重疊成混合林。

(1) 人工浮島製作

於東側塹堤臨水岸際，進行修整舊有人工浮島 8 床(圖 17)，新製人工浮島 30 床(圖 18)，尺寸為 4 m× 2 m，竹竿：PVC 管比例 4：1 共約 20 支(視竹竿尺寸略有不同調整)，以白鐵線固定。東側放置 9 床浮島，混植欖李、黃槿、土沉香；西側 13 床混植、水筆仔、黃槿、土沉香；南側 10 床混植欖李、紅海欖；北側 7 床混植、水筆仔、黃槿、土沉香，間隔 2-3 m，並以 1.5 m 竹竿及蚵線固定位置。2 月底栽植完成，假植至 8 月底後移植至定位處。人工浮島須以 2-4 根竹竿固定，應於假植期間即先完成定位，使竹竿因池中沉積現象能更加穩固。竹竿釘於人工浮島長軸兩端，相距至少 5 m。根系生長以欖李及黃槿最為快速，10 月根系即已佈滿土壤，且有穿透人工浮島之情形。



圖 17 進行修整舊有人工浮島 8 座。



圖 18 新製人工浮島 20 座。



圖 19 浮島栽植選擇如土沉香。



圖 20 浮島栽植苦林盤、水筆仔、土沉香及海茄苳等。

(2) 混植及施肥集約度試驗

混植試驗目的在比較不同混合程度時，苗木之生長及適應情形，期望透過營造出類似複層林的概念，強化苗木在人工浮島上的生長勢。同時，比較各樹種對人工浮島栽植的適應力，篩選適用於人工浮島造林之樹種。

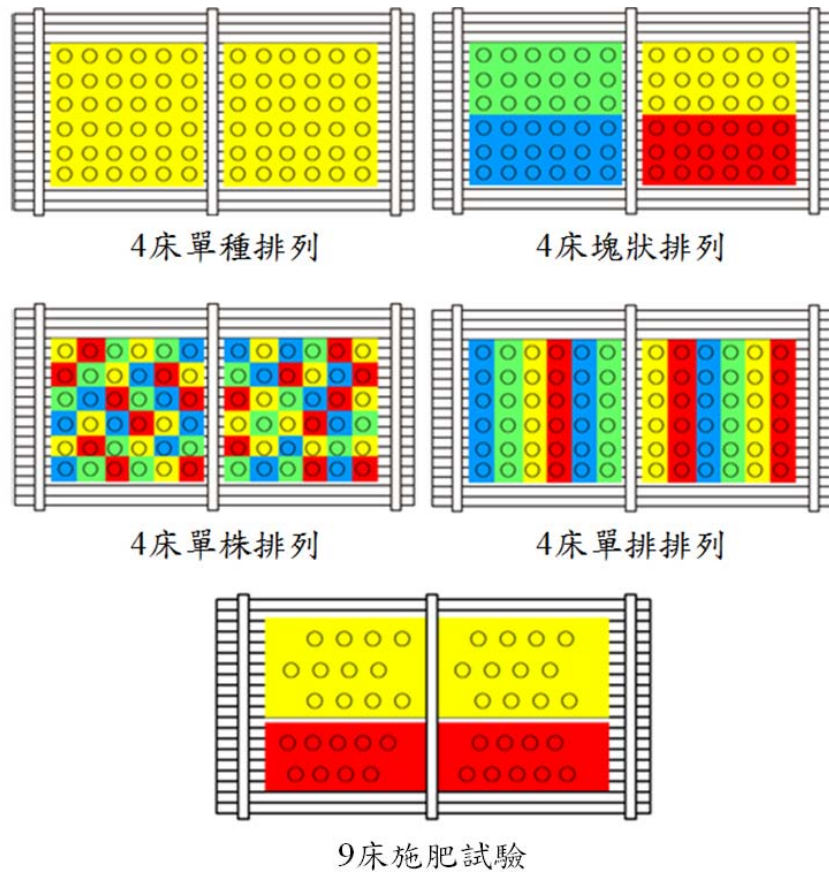


圖 21 人工浮島試驗規劃植栽排列方式(相同顏色代表同種植物)。

施肥集約度試驗設計以相同總施肥量，但施肥周期不同的處理，並透過無施肥之對照組進行比較。

表 3 施肥用量及週期表。

處理方法	施肥用量	施肥週期
粗放處理(3 床)	無施肥處理	無
常態處理(3 床)	100 g / 棵	1 次 / 6 週
集約處理(3 床)	50 g / 棵	1 次 / 3 週

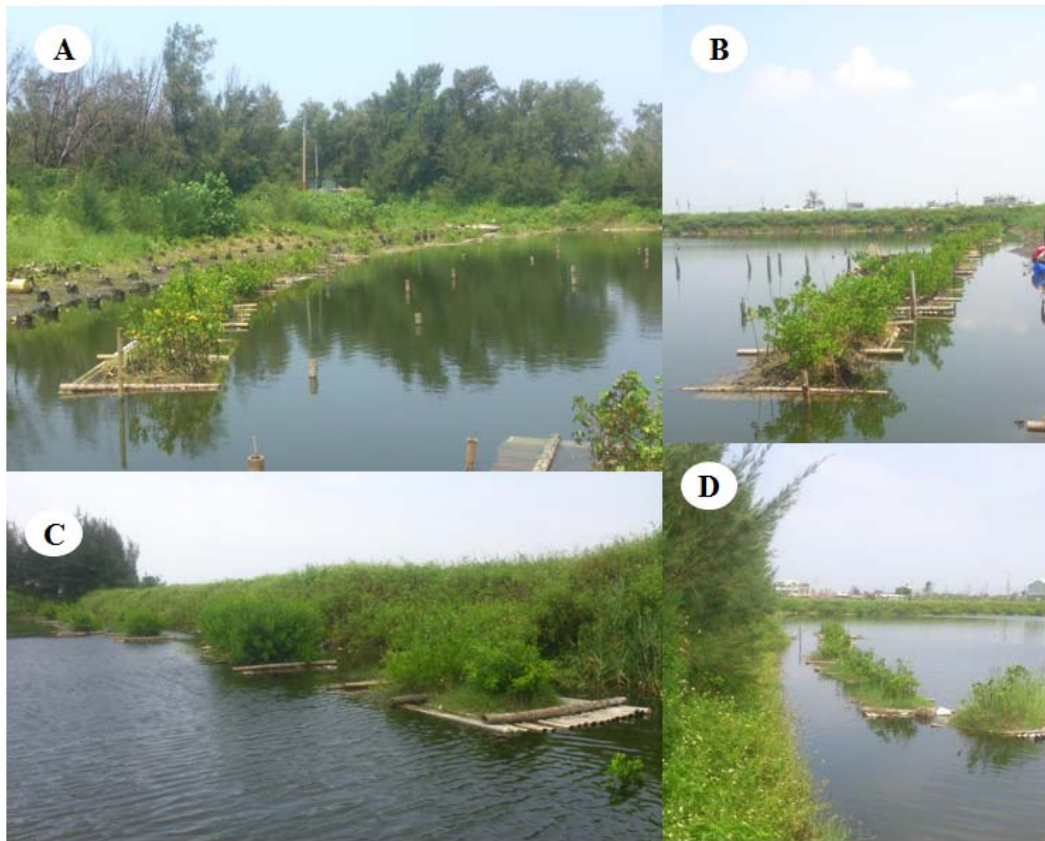


圖 22 人工浮島(A)西側堤岸 13 床人工浮島；(B)東側堤岸 8 床人工浮島；(C)南側堤岸 10 床人工浮島；(D)北側堤岸 7 床人工浮島。

(3) 人工浮島調查結果：

A. 不同栽植排列試驗

a. 各樹種存活率比較

各樹種存活率有顯著之差異($P < 0.05$)，由高至低依序為黃槿、土沉香、紅海欖及水筆仔(表 4)，土沉香及黃槿存活率超過 9 成，對人工浮島栽植適應性極高；紅海欖及水筆仔則有大量苗木死亡，水筆仔更有 9 床浮島樣木全數死亡。就現地苗木死亡情形來討論，紅海欖及水筆仔對於土沉香及黃槿在外型上較為細長，人工浮島上土壤層淺薄，不利紅海欖及水筆仔之固定，常有風倒甚至風折的情形，導致根系裸露遭曝曬而死亡。根系生長方面，本次試驗人工浮島上土沉香及黃槿側根生長快速，於假植期間即深入

土壤，黃槿根系屬於平行與水平型根系，而側根屬於淺密型(廖宜 緯,2011)；紅海欖及水筆仔根系生長緩慢，土壤受風浪流失嚴重，造成部分苗木遺失。石栢岡、張文亮(2006)對不同水生植物栽植於人工浮島的試驗中，也指出具有地下匍匐根或根系發達的植物，如香埔及培地茅等相較其他植物生長良好。存活率在在不同的栽植排列方式則無顯著差異($P>0.05$)(表 5)，主要仍受樹種特性影響。

表 4 各樹種總樣本數及存活率。

樹種	樣本數	9/27 存活率(%)
土沉香	114	94.74 ^{a1}
水筆仔	107	6.54 ^b
紅海欖	105	18.1 ^c
黃槿	122	96.72 ^a

¹：數值後之字母不相同，表示有顯著差異($P<0.05$)。

b. 各栽植排列方式對苗木生長影響比較

受水筆仔及紅海欖死亡率過高影響，生長調查無足夠樣本進行分析，僅以土沉香及黃槿比較人工浮島不同排列栽植方式對苗木的影響。結果顯示不同栽植排列方式對土沉香的存活率、苗高生長、基徑生長和冠幅生長都有顯著影響($P<0.05$)；對水筆仔僅存活率受栽植排列方式具顯著影響；黃槿及紅海欖之存活率及生長則皆無顯著差異。

表 5 各栽植排列方式之存活率(9/24)調查及生長調查結果。

樹種	調查項目	排列方式				F	P
		單種排列	塊狀排列	單排排列	單株排列		
土沉香	存活率 (%)	100	100	96.66	100	-	0.04*
	苗高生長 (cm)	24.44±11.34	22.10±10.03	37.11±13.24	31.22±16.28	7.52	0.00*
	基徑生長 (cm)	0.57±0.32	0.62±0.29	1.24±0.56	1.44±0.50	25.64	0.00*
	冠幅生長 (cm)	2.65±3.84	7.48±8.47	8.65±7.21	2.40±7.42	-	0.00*
水筆仔	存活率 (%)	16.66	3.33	0	0	3.31	0.02*
紅海欖	存活率 (%)	16.66	16.66	21.87	15.78	0.15	0.93
黃槿	存活率 (%)	97.22	100.00	100.00	90.00	-	0.26
	苗高生長 (cm)	20.06±12.60	15.67±10.72	19.97±15.87	25.05±15.24	1.73	0.17
	基徑生長 (cm)	0.48±0.30	0.57±0.40	0.63±0.30	0.63±0.25	1.34	0.27
	冠幅生長 (cm)	2.34±5.41	4.37±6.74	5.80±6.18	5.96±5.35	-	0.12

* : ($P < 0.05$)。

由圖 23-26 顯示，各人工浮島栽植黃槿與土沉香有較佳的苗高生長與苗徑生長，水筆仔則無法適應人工浮島環境，死亡率高，且苗高生長、苗徑生長與葉子數量都有逐漸減少萎縮的現象，預計近期內可能全數死亡。目前各浮島生長差異仍不明顯，可能因為樹冠才剛開始鬱蔽，人工浮島上空間狹小，將會大幅增加栽植苗木彼此間的競爭性，到達一定密度時甚至可能會停止生長或枯死(石栢岡、張文亮，2006)，其生長變化待日後更進一步調查及討論。

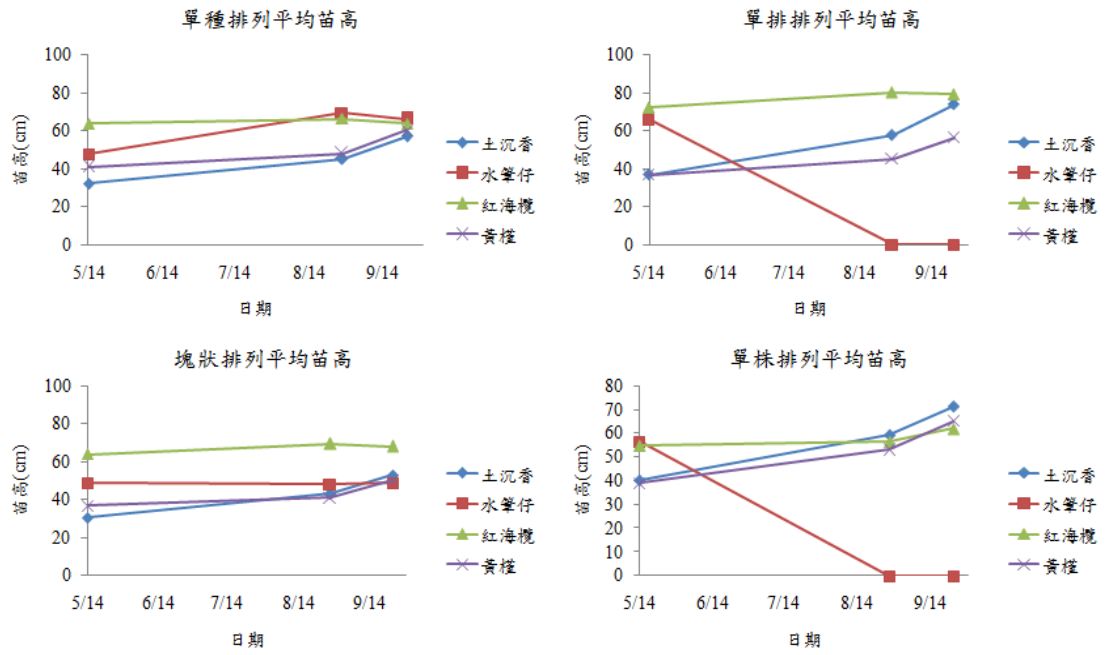


圖 23 各栽植排列苗高變化。

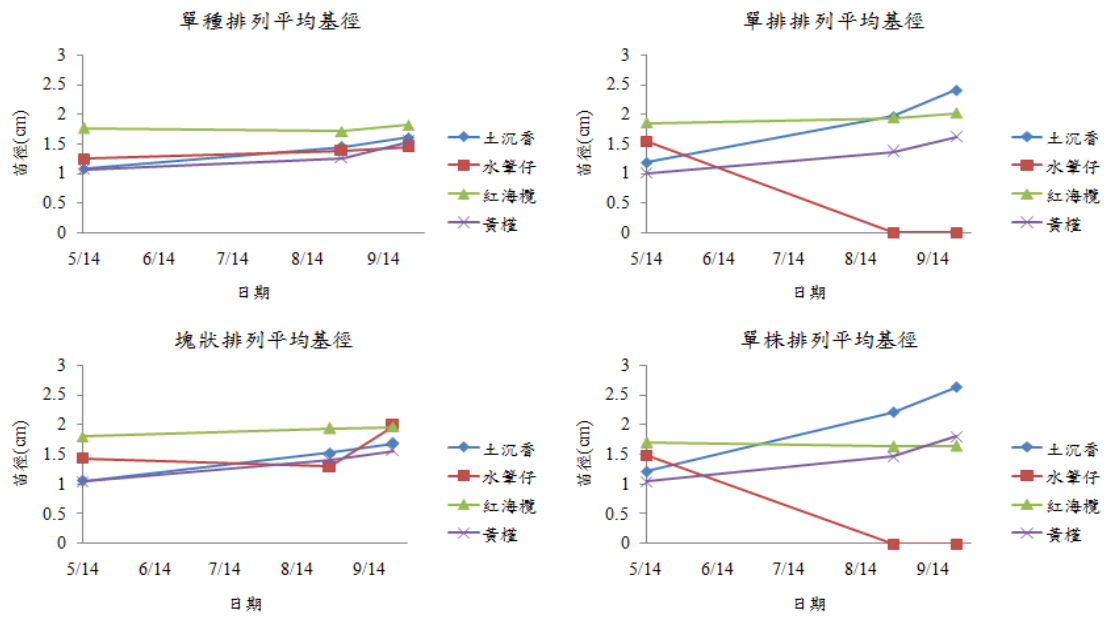


圖 24 各栽植排列基徑變化。

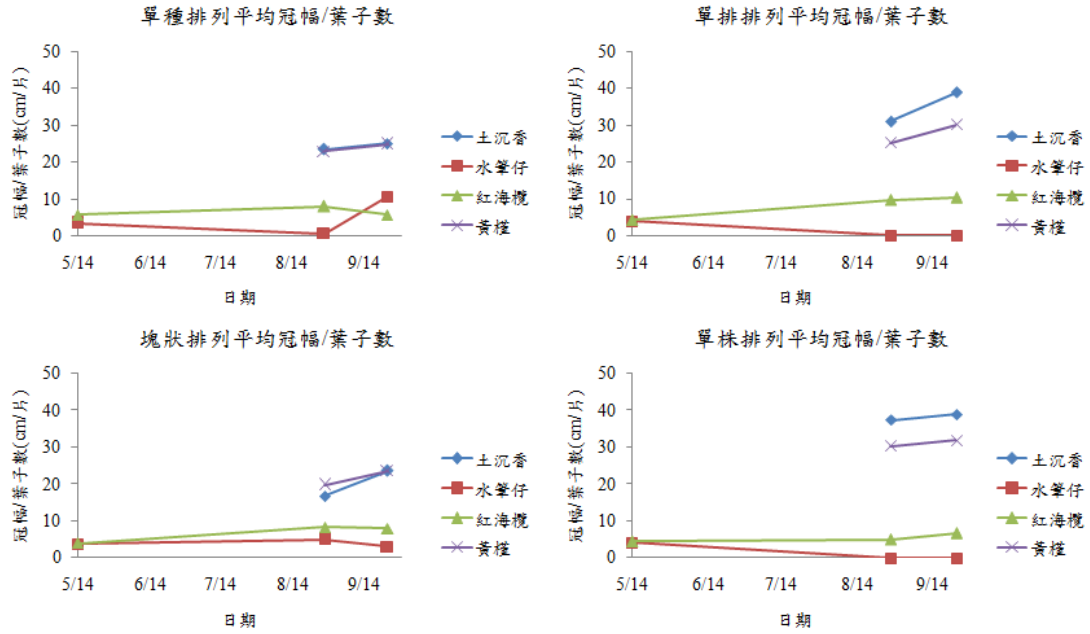


圖 25 各栽植排列冠幅變化。

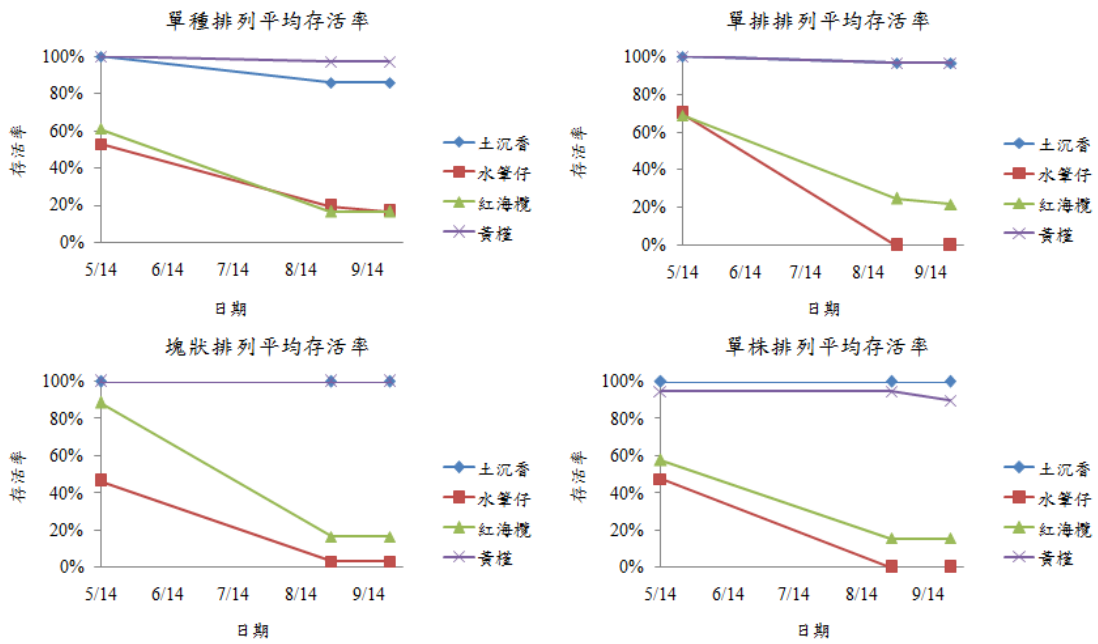


圖 26 各栽植排列存活率變化。

c. 栽植排列方式與苗木生長相關性

將栽植排列方式依混合度由高至低分成4個等級進行相關性分析，分級如下列所示：4-單株排列、3-單排排列、2-塊狀排列及1-單種排列。

結果顯示，人工浮島栽植排列混合度與苗高生長、冠幅生長有低度正相關，對基徑生長則有中度正相關(表6)。隨著排列混合度越高，苗木能有較佳生長，原因可能為浮島由不同生活型態的植物組成，能減少種內競爭，並提高對環境空間及資源更完整的利用，同時也增加環境的穩定性。田雄等(2014)指出混合型人工浮島整體生態功能更強、水體環境較穩定、植物根際微生物多樣性高，對氮、磷的利用較為完整。魚塭池水雖氮、磷等營養鹽含量高，但在高密度的栽植下，空間、土壤及陽光等競爭強烈，若能以不同生長型的樹種混合，達到完整空間分布，方能有較佳生長情形。

表6栽植排列方式與苗木生長之相關性。

	排列方式	苗高生長	基徑生長	冠幅生長
排列方式	1.000			
苗高生長	.192*	1.000		
基徑生長	.447*	.568*	1.000	
冠幅生長	.141*	.128	.093	1.000

控制變數：樹種。

*： $p < 0.05$ 。

B. 施肥集約度試驗

a. 施肥集約度對存活率之影響

在常態人工浮島調查中，施肥對紅海欖存活率達顯著差異($P<0.05$)；欖李則因各施肥處理的存活率都相當高，而無顯著差異(表7)。程煒兒等(1996)指出海岸環境壓力強，可成影響結果的分析，從現地調查時的情形來看，浮島的近水側有大量土壤因風浪而流失，導致栽植於近水側的紅海欖有許多棵遭浪沖走或因根系裸露曝曬而死亡，其所造成的影響明顯大於不同集約度的影響，雖分析上具有顯著差異，是否為施肥處理所造成仍需進一步試驗探討。遠水側的欖李則因土壤結構完整(欖李快速生長且完整的根系亦對土壤有很好的保護作用)而有很高的存活率。

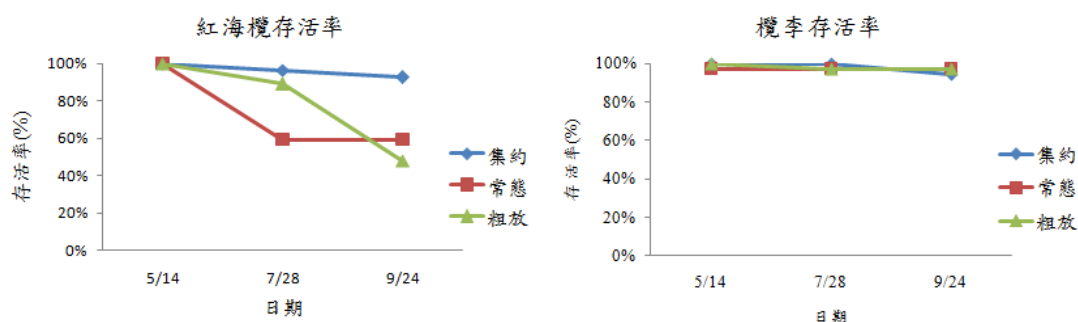


圖 27 常態人工浮島植栽存活率統計圖。

表 7 常態配置人工浮島各施肥及約度之存活率。

樹種	日期	存活率(%)			F	p
		集約	常態	粗放		
紅海欖	5/14	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	-	-
	8/28	96.30±19.25 ^{a1}	59.26±50.07 ^b	88.89±32.03 ^a	7.97	0.00 *
	9/24	92.59±26.69 ^a	59.26±50.64 ^b	48.15±50.92 ^b	7.83	0.00 *
欖李	5/14	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	-	-
	8/28	100.00±0.00	100.00±0.00	97.22±16.67	1.00	0.37
	9/24	91.67±28.03	97.22±16.67	94.44±23.23	0.52	0.60

¹: 數值後之字母不相同，表示有顯著差異($P<0.05$)。

*: $p<0.05$ 。

b. 施肥集約度對苗木生長之影響

由圖28表現出有施肥的紅海欖及欖李有較佳的生長情形，集約施肥處理區的平均苗高在栽植初期皆較粗放處理者低，栽植4個半月後(9/24)平均苗高已為3種處理中最高者；平均基徑亦為集約施肥區有最多生長量，然而統計上僅欖李基徑具有顯著差(表8、表9)。程煒兒等(1996)指出，施肥有助於海岸苗木生長，然而過量施肥亦有可能產生肥害。就目前生長情形來看，尚未有肥害發生，或可增加施肥量以提高肥料之影響。

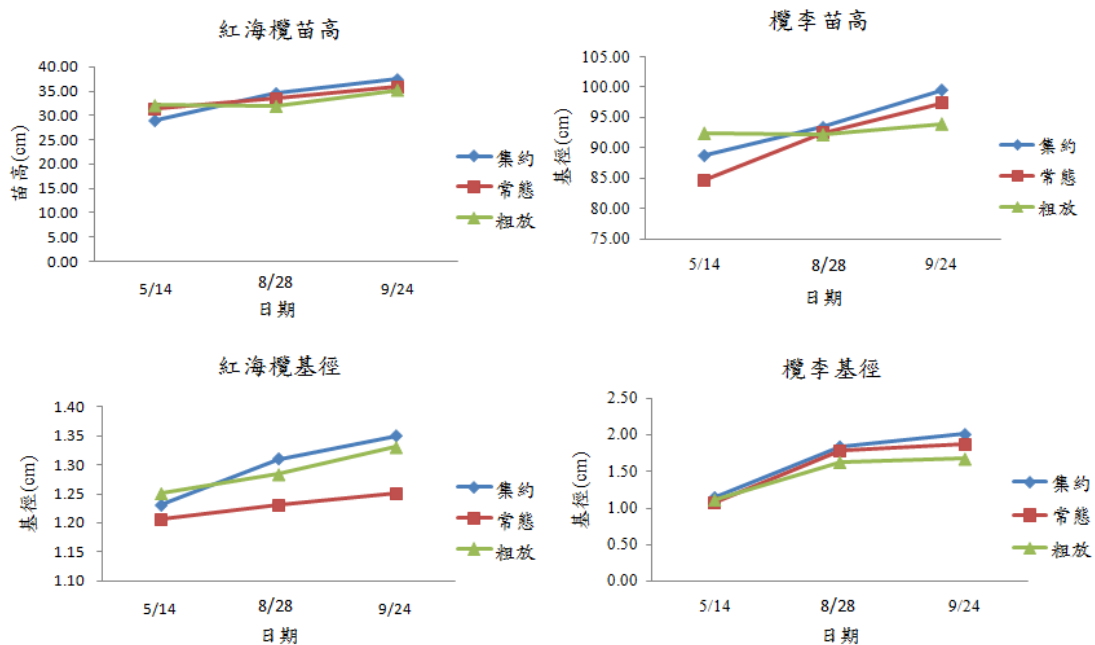


圖 28 常態人工浮島苗高及基徑統計圖。

表8常態配置人工浮島平均苗高。

樹種	日期	平均苗高(cm)			F	P
		集約	常態	粗放		
紅海欖	5/14	28.94±7.35	31.25±4.80	32.04±4.25	2.21	0.12
	8/28	34.54±7.40	33.31±4.50	31.90±5.49	1.16	0.32
	9/24	35.80±6.32	35.83±6.77	35.18±4.53	0.05	0.95
欖李	5/14	88.78±23.19	84.77±20.70	92.43±17.49	1.23	0.30
	8/28	93.42±19.85	92.57±20.42	92.19±18.85	0.04	0.96
	9/24	99.56±20.67	97.39±20.37	93.90±16.52	0.76	0.47

表9常態配置人工浮島平均基徑。

樹種	日期	平均基徑(cm)			F	P
		集約	常態	粗放		
紅海欖	5/14	1.23±0.29	1.21±0.25	1.25±0.21	0.24	0.79
	8/28	1.31±0.23	1.23±0.22	1.28±0.23	0.56	0.57
	9/24	1.36±0.15	1.33±0.23	1.33±0.35	0.10	0.91
欖李	5/14	1.14±0.21	1.07±0.20	1.11±0.17	1.29	0.28
	8/28	1.84±0.37	1.77±0.35	1.63±0.37	3.14	0.05
	9/24	2.02±0.41 ^{a1}	1.87±0.42 ^{ab}	1.67±0.34 ^b	6.88	0.00 [*]

1：數值後之字母不相同，表示有顯著差異($P<0.05$)。

*： $p<0.05$ 。

c. 施肥集約度對苗木生長之相關性。

將施肥處理依集約度由高至低分成3個等級進行相關性分析，分級如下列所示：3-集約處理、2-常態處理及1-粗放處理。

由相關性分析結果(表10)顯示，施肥處理對人工浮島栽植之苗木皆有顯著性的低度正相關。適量施肥能促進苗木生長，增加對海岸環境逆境之抗性。

表10常態配置人工浮島施肥處理方法與苗木生長之相關性。

	處理方法	苗高生長	基徑生長
處理方法	1.000		
苗高生長	.165 [*]	1.000	
基徑生長	.216 [*]	.323 [*]	1.000

控制變數:樹種。

*： $p<0.05$ 。

本次試驗期間，樣區遭逢 7 月尼伯特颱風、9 月中至 9 月底接連馬勒卡及莫蘭蒂颱風以及 10 月初梅姬颱風危害，人工浮島皆遭風浪沖至岸邊擱淺，其中水筆仔與紅海欖有不少苗木因此遺失池中。然而欖李、黃槿及土沉香因根系發育完整，將土壤穩固於人工浮島上，受到的損害也相對較低，甚至於 8 月調查時，欖李已在人工浮島上出現天然更新小苗。由實驗結果得知，透過混合栽植的方式及適當的施肥，可以促進苗木生長，並提高其適應性。為將颱風危害降至最低及避免冬季寒害，栽植季節可選在 2-3 月冬末春初時，栽植後假植岸邊半年期間，透過混合栽植及施肥促進苗木生長，以提高颱風季節的抵抗能力。此外需注意苗木發根情形(圖 29)，避免苗木根系深入塹岸，導致無法移動人工浮島。

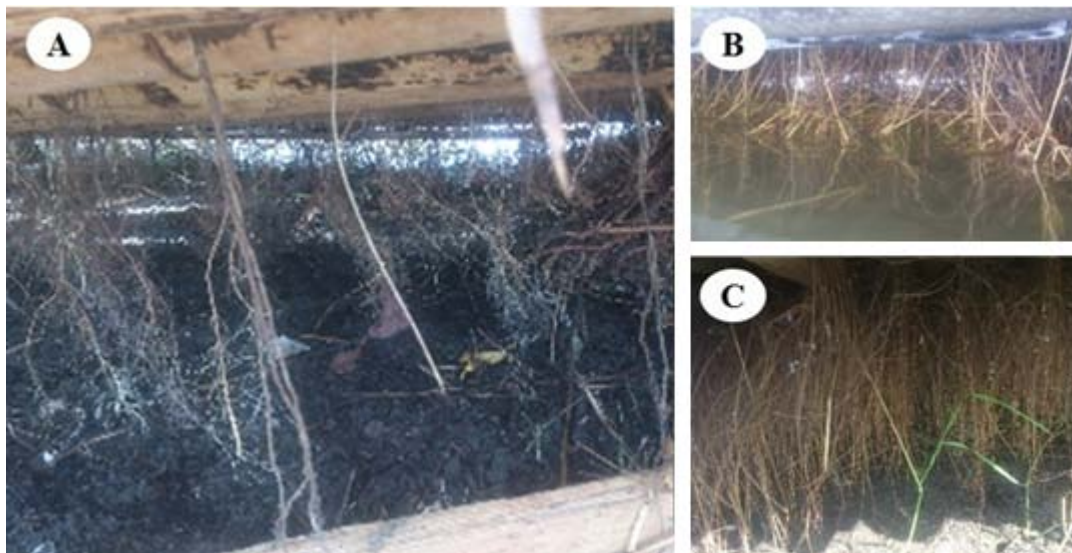


圖 29 人工浮島之植栽根系生長情形。(A)為土沉香 7 個月時之根系，長約 10-20 cm；(B)為欖李 7 個月時之根系長約 15-30 cm；(C)為欖李栽植約 2 年之根系，為 103 年度試驗之舊浮島，根系已達約 30-50 cm。

人工浮島常用於河川、湖泊、都市人工濕地等，作為水源淨化的工具，也有用在增加耕地面積、綠化環境等多元效益，在海岸造林方面則少有研究。近年來，海岸濕地復育也趨向多元化，透過結合不同造林作業提高環境多樣性，強化濱海地區生態功能。人工浮島應用在海岸林地復育的角色，

較接近輔助者而非造林主體，在造林地初期林冠未鬱蔽之時，有效快速增加整體綠覆蓋度和淨化水源等環境改善；俟防風林相大致恢復後，即拖至淺灘使浮島上的苗木定根陸化。

在試驗期間，樣區受到7-9月連續颱風影響，造成人工浮島擱淺至岸邊，造成浮島結構稍微受損，苗木受到的危害則較輕，對實驗數據調查無太大影響。然而也凸顯人工浮島固定的問題，魚塭底泥鬆軟且富有機質，以竹竿固定的方式不足以穩固浮島位置，需在未來進行其他浮島定位嘗試。

(三)管柱栽植試驗

Dr. Riley 在 1995 年發展了管柱栽植法技術，組裝 PVC 管在傳統栽植技術無法成功的地區，有效率地建立紅樹林苗木。PVC 管內栽植之苗木因受管柱保護免受波浪與水流影響，而有高存活率與生長率。屏東科技大學於台南市安平港紅樹林保護區內，以 PVC 管進行紅海欖胎生苗直插栽植。2 年後長出支持根並深入定錨於土壤中；第 6 年樹高達 4 m 左右；第 8 年即成相當完整之森林景觀。本項試驗經期中報告陳財輝委員建議，將於管口添加椰纖，藉以增加土壤保水能力。

1. 使用長度為 1 m 4 inch PVC 管，應用耐水淹之紅海欖苗木以換植於 PVC 管，計 90 株。為免初期水域生育環境變化影響，1 月底栽植完成，先行於塭岸進行假植栽培，俟其恢復生活勢後，8 月底後移植至魚塭中央(圖 30)，間距約 1.5 m。未來操作時將以機械打樁固定，加強此移植作業之細節。
2. 補植原管柱紅海欖 30 株，自 104 年 1 月新植目前適應良好，存活率約 70%，除少部分鳥踏死亡外，大部分為乾枯死亡，隨氣溫逐漸升高，陽光輻射增強，將使得乾枯死亡增加。



圖 30 (A)西側堤岸管柱，1 月完成栽植並假植於岸邊之情形；(B)管柱 8 月移植完成之景觀。

3. 管柱栽植法成果：

管柱栽植存活率調查中，假植於岸邊的紅海欖在栽植初期有較高的存活率，但在 8 月第 2 次存活率的調查結果中，假植於岸邊的紅海欖存活率呈現快速下降(表 11、圖 31)。

表 11 管柱栽植存活率。

處理方式	1/28	5/14	8/24
無假植	100%	70%	57%
假植	100%	82%	44%

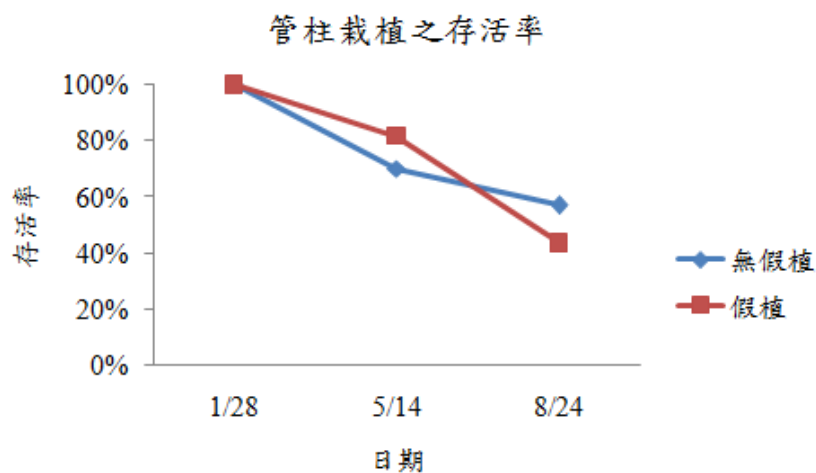


圖 31 管柱栽植調查結果統計圖。

紅海欖存活率呈現快速下降主因為受到夏季強烈日曬影響，表層土壤容易乾裂，且水分供應遠不及直接栽植於水中的管柱。為避免岸邊容易乾燥的問題以提高管柱栽植存活率，假植區域選在水深約 2/3 管柱高處，俟其恢復能於適應環境與健化植株生活勢，再引植於池面，並於管柱底端管口處覆蓋椰子纖維，用以隔絕日曬並減少表層土壤的水分蒸發。然而本次試驗因受寒流與颱風影響，無論直接栽植於水中或假植於岸邊的紅海欖存活率皆低於 6 成，需做部分補植，假植於岸邊則有利於養護作業進行。或者，管柱直接假植於水深約 1 m 處，即集中假植於水中，可避免苗木乾燥。

(四)親水植栽試驗

1. 利用東側塭岸淺水區間(圖 32)，規劃試驗栽種塭岸上之土沉香，淺水區黃槿與苦林盤等親水植物，形成挺水植生帶，以增進綠覆蓋。
2. 利用南側塭岸淺水區(圖 33)，規劃完成紅樹類如欖李、水筆仔、海茄苳及半紅樹類如苦林盤及土沉香等苗木之美植袋換盆(圖 34)，約 280 盆。
3. 利用西側塭岸際淺水區間(圖 35)，避免栽植初期水域生育環境變化，增加植栽之初期逆境影響初期存活率，於塭岸斜坡處進行假植栽培，俟其苗木恢復生活勢後以增進苗木適應與健化，當充分恢復生長後，切開美植袋底層使其根系自然開展予以定植。



圖 32 東側塭岸淺水區規劃試驗。



圖 33 南側塭岸淺水區規劃試驗。



圖 34 南岸淺水區栽種土沉香。



圖 35 西側塭岸淺水區進行假植。

4. 選擇 30-45 cm 寬美植袋，栽植行距 1.5 m。西側間植黃槿 60 株、苦林盤 45 株，紅海欖 45 株。南側間植苦林盤 48 株、紅海欖與水筆仔各 24 株、土沉香、欖李與海茄苳各 72 株，並進行生長適應調查。東側混植海茄苳 35 株、黃槿 15 株。美植袋於 2 月完成栽植，假植岸邊至 8 月與人工浮島一同進行移植及定位(圖 36 B)。

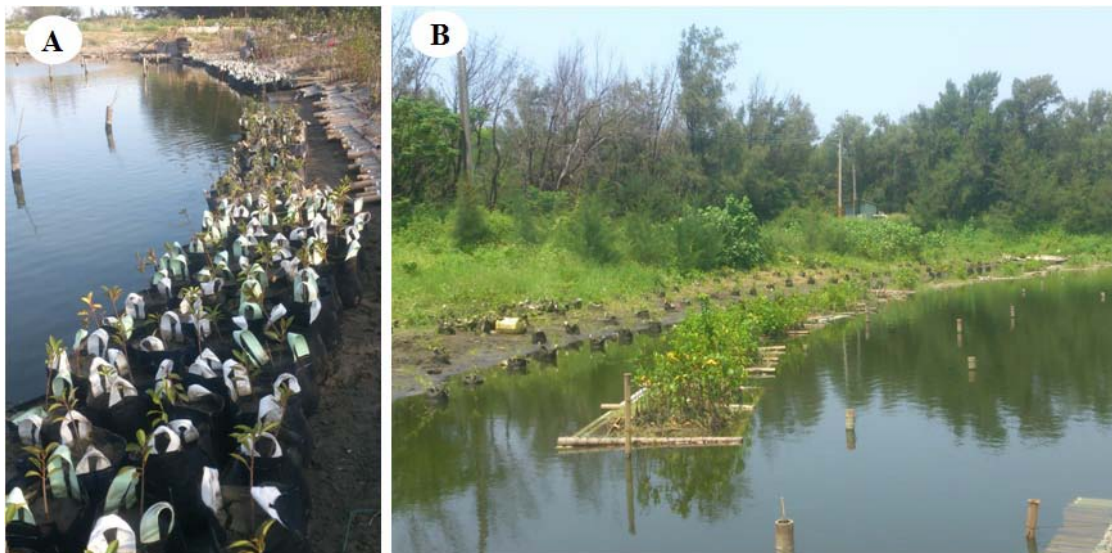


圖 36 (A) 西側堤岸假植期美植袋放置於人工浮島前端；(B) 8 月假植結束並移至定位完成。

5. 調查結果：

親水植栽之存活率調查中，以土沉香、欖李 95% 的存活率最高；苦林盤則在 8 月的調查中只剩近五成的存活率，大量死亡的原因為蘇迪勒颱風造成樣區水位提升，多數親水植栽遭水淹沒，相對其他樹種，苦林盤明顯較不耐水淹浸而在短期內大量死亡。

表 12 親水栽植存活率。

樹種	1/28	5/14	8/28
土沉香	100%	100%	96%
欖李	100%	100%	95%
海茄苳	100%	85%	75%
苦林盤	100%	96%	52%
紅海欖	100%	86%	86%
水筆仔	100%	92%	83%

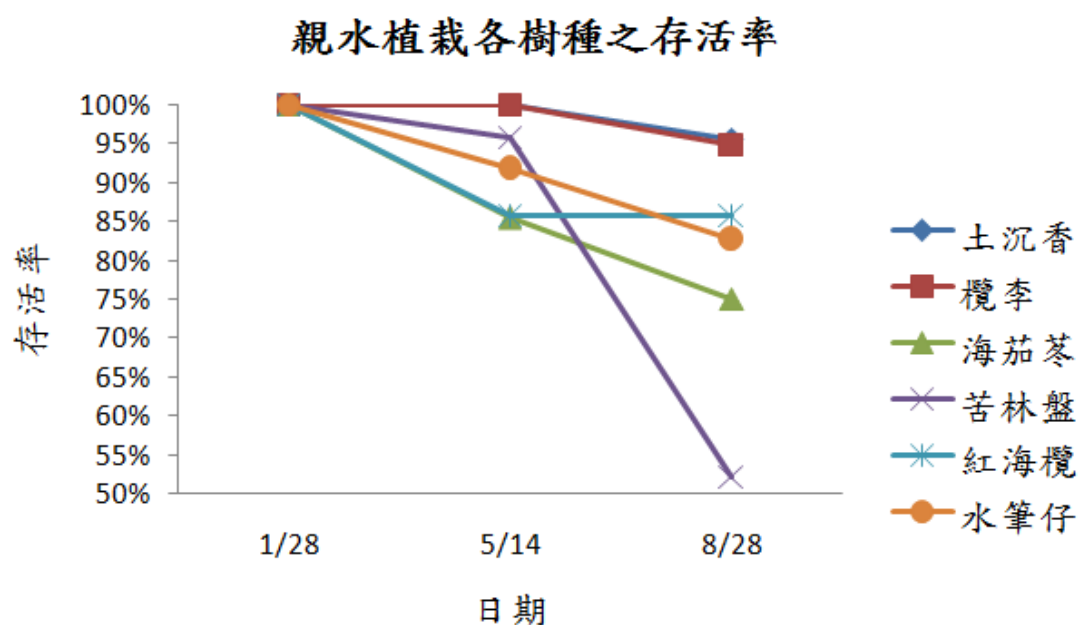


圖 37 親水植栽調查結果統計圖。

(五)自然植被復育觀察區

利用東、南及西側堤岸整治作業，將所形成塹岸生育環境，於堤岸整治作業成果，已規劃東南與西北角落，將所形成塹岸生育環境，規劃寬度 10 m 作為自然植被復育觀察區(圖 38)，持續選擇周邊廢養塹岸自然恢復植被之優勢植物，依其生活型配植於區域內，觀察適應情形，比較於自然植生或人工復育之栽植方式，以提供多元復育之效益評估(圖 39)。研究期間之遭臨之天然災害，自然植被復育觀察區受害嚴重，將推回演替初期階段，即植被流失與土壤裸露(如附錄 2)。



圖 38 規劃東南與西北角落作為自然植被復育觀察區。



圖 39 周邊廢養塹岸自然恢復植被優勢植物。

(六)研究期間之遭臨之天然災害

1. 寒流

試驗區第 1 期復育作業為 1 月 20-28 日，期間正逢霸王寒流襲台，導致許多苗木遭受寒害，葉片枯落品質不佳，低溫也迫使復育工作中斷，部分施業延至 2、3 月分進行。當氣候低溫嚴寒時，可以尼龍塑膠布搭設防風棚架，並減少澆水及停止施肥，避免新生枝芽遭受寒害。

2. 颱風

105 年 7 月遭受尼伯特颱風危害，9 月更接連遭受莫蘭蒂、馬勒卡及

梅姬等颱風重創，試驗區所在地臺南安南區整區淹水危害嚴重，試驗區本身淹水則持續約 1 個月未退，導致前期試驗成果災情慘重。原完成之人工浮島邊緣土壤及苗木流失，部分浮島擱淺於岸邊，亦造成親水植栽區及堤岸栽植區前緣土沉香壓傷。管柱栽植之紅海欖完全沒入水面之下，並有近半數苗木連帶固定用之竹竿遭水沖走。本期計畫又陸續於 10-11 月進行海岸林栽植試驗之補植，包括木麻黃(約 120 株)、黃槿(約 100 株)、苦楝(約 60 株)、水黃皮 (約 100 株)及土沉香(約 110 株)、海茄苳 20 株、苦林盤 80 株、紅海欖 300 株、水筆仔 80，並進行造林設施修復，林地清理，撿除漂流拉圾，割蔓撫育作業等盡早恢復林帶覆蓋。

(七)操作作業手冊

考量管理處轄屬各樣態之占用收回魚塭特性，撰寫作業手冊利於推廣。規劃魚塭多元復育策略分析，做為操作作業手冊編製架構(如附件 1)。

肆、討論

一、占用收回魚塭已恢復生物多樣之海岸林

過往海岸林皆採用木麻黃單一純林的建造，然單採木麻黃容易產生病蟲害，且木麻黃難以自然更新，須不斷進行補植作業。本研究透過多元造林的方式，建立高歧異度的海岸林相，改善原本木麻黃林所面臨的問題，故特別在樹種選擇上皆以適合濕地原生種為優先，期望能復育占用收回魚塭，建立高生物多樣性之海岸保安林，及提供占用收回魚塭生育區栽植選育等效益。發育成為海岸保安之永續林相，恢復原本環境生態功能，並減緩台灣海岸遭受氣候變遷之危害。

試驗透過多元造林方式，建立三層不同功能之林分，由最外層堤岸栽

植區建立複層防風林帶，減少沿岸風沙、鹽霧等逆境危害。堤岸栽植區向內之第二層淺水區直接栽植試驗所建立 3 種紅樹林區，俟其成林後，能減緩侵蝕。第三層為人工浮島與 PVC 管相連形成之綠帶，栽植植物的根系纏繞人工浮島與 PVC 管栽植紅海欖支持根，產生大片高密度結構系統，具有形成種子庫的作用，而木本植物的根系深入魚塭底泥後，可加強整區結構強度。

(一) 塭堤整治與複層林植栽作業

以廢棄蚵殼竹架等為填充材料，減少養殖業所產生的廢棄物，蚵殼分解後也有助於土壤改善，提高植物存活率及生長量。透過堤岸防風複層林的建立，降解挾帶鹽分的海風對內陸環境的破壞，保護農業之生育環境。木麻黃為主體的複層林防風網，降低海岸嚴峻的環境逆境(何坤益、程俊堯，2010)，並提供更多樣性的環境給各種生物使用。海岸多為砂質地，蒸發旺盛且易受風雨侵蝕，而地表草本植被可加強保濕與砂質地穩定，因此復育時無須進行除草，為避免造林目標苗木與草本間發生競爭，苗木選擇以 1-2 年生苗木為佳，因其已具有優勢苗高(約 1 m)，較不受競爭影響。栽植行距設定 1.5 m 密植，加速樹冠鬱蔽。

(二) 人工浮島栽植與管柱造林試驗

透過人工浮島栽植，有效且快速的增加魚塭綠覆蓋，在其他造林尚未成林前，即先達到環境改善與綠化作用。根系初期懸浮於水中能吸收水中污染物改善水質。植物生長累積生物量，承載重量會逐漸增加，因此調整人工浮島浮力及補強人工浮島損毀結構，至根系深入魚塭底泥中。

利用管柱提高局部土壤高度，避免苗木初期遭水淹的壓力，方能達成淹水區造林目的。估計約 2 年紅海欖支持根即可深入魚塭底泥中，此外，紅海欖支持根向周圍擴張時，將與人工浮島相連結形成具層次之綠帶。

(三)親水植栽試驗

淺水區的淹水壓力相對於其他淹水試驗區(除堤岸栽植區)小，因此以紅樹科植物嘗試建立紅樹林區，試驗 4 種紅樹科植物於低水淹環境之生長情形並進行比較。植栽設計以 30-45 cm 美植袋，填入魚塭堤岸砂土與 100 g 有機肥，樹種選擇以紅樹科耐鹽耐淹植物為主。美植袋可提供苗木較穩定的環境，並提高土壤高度，以減少水淹壓力。初期集中栽植約 6 個月，待苗木較適應當地環境時割除美植袋底部，再與美植袋一併下種於預定地點。相較於堤岸栽植，親水植栽選用紅樹科植物可彌補魚塭淺灘地淹水逆境較強、一般海岸樹種無法生長的地點，減少堤岸裸露地與增加林相豐富度。

張云生(2012)比較帶土球地栽苗與容器苗木麻黃在感潮型濕地的生長情形，發現容器苗木麻黃初期生長量已明顯高於地栽苗，存活率與保存率更分別高出 36、61 個百分點。每株容器苗栽植成本比地栽苗低 2.4 元人民幣，具成本低、存活率高、生長量大、耐鹽鹼強等特點，是一種經濟、安全、高效的造林方法。岳龍等(2010)指出組成美植袋的聚丙烯不織布粗糙特性，可阻斷根尖營養供應，進而促進側根生長，達到增加根系體積、鮮重與表面積的效果。根系體積與田間存活率有正相關性，根系表面積則與根系的吸收能力有正相關性。美植袋使用約 3 年後，材質會有一定程度的老化，產生透根的現象，有利於根系向美植袋外的擴張。

二、海岸魚塭生態復育之策略

樹木有效防風區域約為樹高 5-10 倍，5 倍樹高距離內的風速可減少 80%，而最有經濟效益之栽植寬度為 10 行。然魚塭分佈常呈現大量魚塭集中相連的狀態，相連塭堤寬多在 10 m 左右，難以建立 10 行寬防風林，故本作業流程所依據防風有效距離以上述最低值 5 倍樹高為標準，保護目標為魚塭本身。塭岸栽植防風複層林以木麻黃為主體，設定木麻黃樹高

15m(邱祈榮等, 2007), 5 倍樹高 75 m 為樹木有效防風區, 意即魚塭兩岸最遠距離小於 75 m 時, 魚塭受到防風林完全保護, 魚塭兩岸最遠距離大於 75 m 時, 部分魚塭未受到防風林保護。



圖 40 各型態魚塭示意圖。

塭岸栽植防風複層林能否有效保護魚塭, 決定於魚塭本身大小、形狀、防風林建立區域以及栽植方式。就過往造林經驗, 收回魚塭主要可以面積 0.5 ha 為標準, 分成大型魚塭與小型魚塭, 而透過有效防風距離的保護範圍, 又可將魚塭再各分為 2 型, 故共有大-I、大-II、小-I、小-II 4 種類型(圖 40、41), 必須採取不同栽植方式才能有效達到保護的作用。魚塭依鹽度可分為鹹水魚塭與淡水魚塭, 然沿海收復魚塭多出於地層下陷與土壤鹽化嚴重區域之非法占用魚塭, 故皆為鹹水魚塭, 本文亦只在鹹水魚塭復育上進行討論。依據收回魚塭之條件分別進行下列作業：

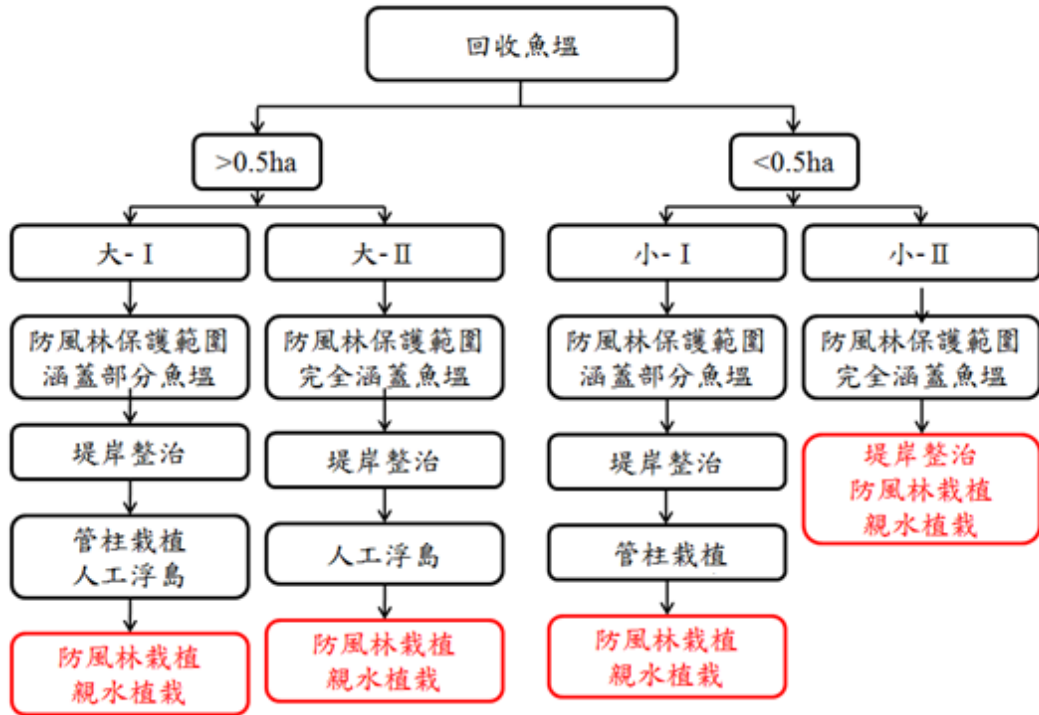


圖 40 收回魚塭復育作業流程圖(紅框為基本造林完成)。

(一)魚塭面積 0.5 ha 以上

大型魚塭池面面積較大，以堤岸複層林與親水植栽達到的綠覆蓋有限，因此在復育方法選擇上，除了考量防風保安效益外，也要將增加整體綠覆蓋列為重要目標。因此無論堤岸複層林有效防風面積覆蓋魚塭情形如何，魚塭池面邊緣都必須以至少單排以上的人工浮島進行栽植，並於池面中央設置管柱栽植，有效防風面積覆蓋魚塭情形則是作為防風減浪設施需求的依據。

1.大型魚塭- I：

由於面積廣闊，堤岸防風林無法給予足夠的保護，須以完整的復育方式作業。首先以堤岸整治建立堤岸防風林栽植緩坡區域，以利營造木麻黃複層林帶以及濱水的紅樹林親水栽植，因應管柱栽植與人工浮島製作需要大量空間進行製作與搬運，緩坡建成後立即著手製作管柱與人工浮島，並

將完成品暫時假植於親水植栽預定栽植之淺灘地，親水植栽苗木則先栽植於美植袋中集中放置於人工浮島間之空隙，最後再進行堤岸複層林栽植作業。俟假植後管柱與人工浮島均放入水中，人工浮島放置於親水植栽前緣的水域。最後將美植袋底部割除，種植於原預定位置，大型魚塭- I 復育作業即完成。

利用人工浮島作為陸地延伸，增加魚塭池面綠蔽度；數個人工浮島於池中相連成一防風消浪林帶，其防風消浪能力會大於單一設施，在強風地區亦可以雙排或以上之人工浮島建立池中防風林帶，增加防護效果。

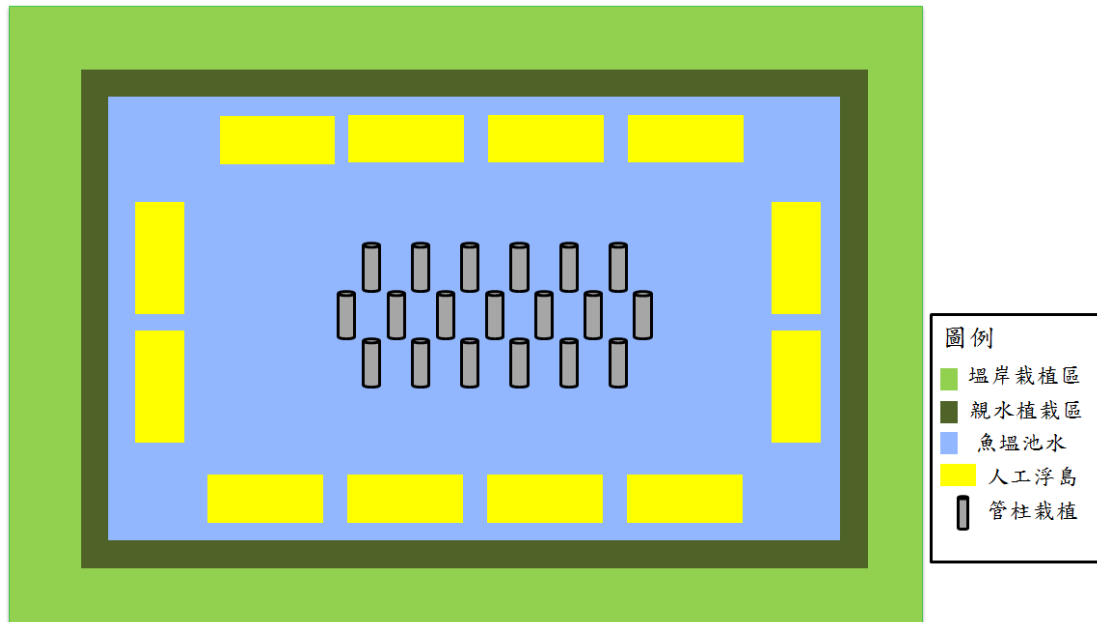


圖 41 大型魚塭- I 復育作業配置示意圖。

2.大型魚塭- II:

由於魚塭範圍完全在堤岸防風林的有效防風距離內，魚塭池水受風力影響較小，是故濕地栽植設施不易受到風浪侵蝕損毀。大型魚塭- II 由於仍具有較大的面積，進行堤岸整治、堤岸防風林栽植與親水植栽後，以人工浮島栽植作業延淺灘外緣建立綠帶，減少魚塭裸露面積，其作業方式皆與大型魚塭- I 相同，人工浮島與親水植栽皆須經過 6 個月的假植後，再做最後定位的動作。

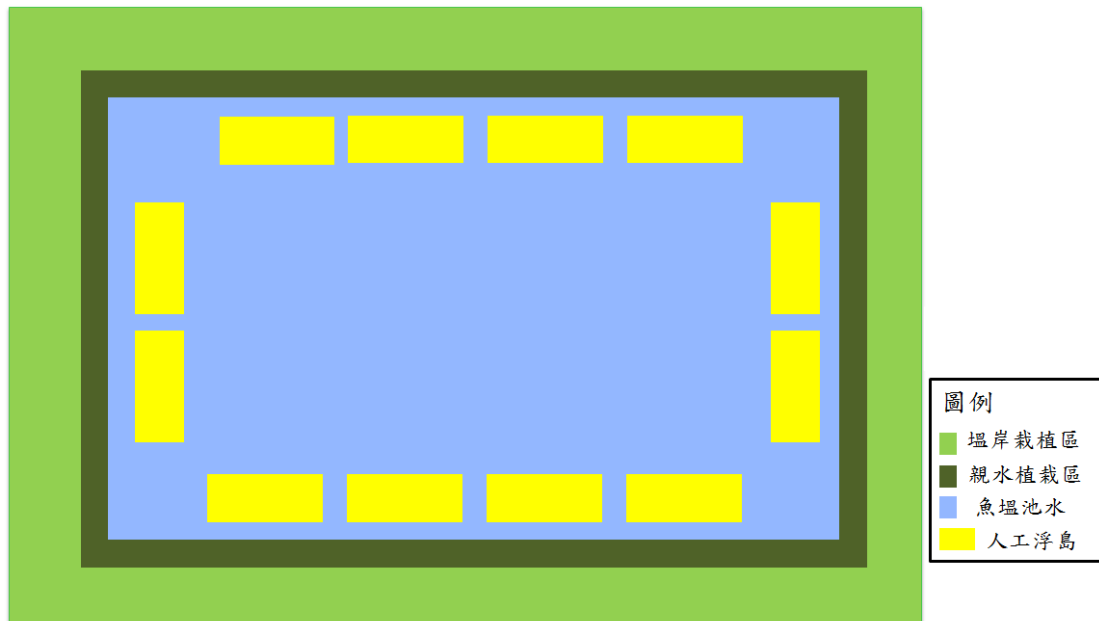


圖 42 大型魚塭-II 復育作業配置示意圖。

(二) 魚塭面積 0.5 ha 以下

1. 小型魚塭- I :

雖屬於小型魚塭，然而因為形狀特殊(如狹長型)而導致部分魚塭區域未受到防風林保護，故需要在未受防風林保護區域進行濕地造林，建議以管柱栽植提升魚塭濕地功能，促進生態恢復。小型魚塭- I 即使部分區域未在防風林保護範圍內，但因面積較小的緣故，一般風浪仍難以形成危害，僅須在特殊氣候事件，如颱風、豪雨過後檢視損毀程度並予以修復即可。

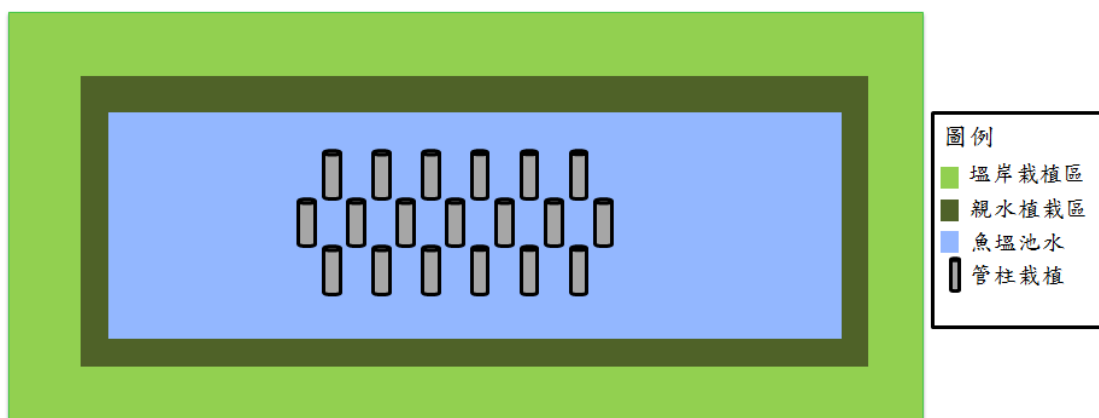


圖 43 小型魚塭- I 復育作業配置示意圖。

2. 小型魚塭-II：

由於面積過小，不宜在水中進行太多的干擾，且魚塭池水受風浪的影響情形遠低於前 3 種類型的魚塭，環境相對穩定，因此僅由堤岸整治、防風林栽植與親水植栽等陸域作業即可有效保護復育魚塭。若期望增加環境多樣性，可以選擇性配合少量的管柱栽植作業，人工浮島則因面積過大，可能造成魚塭池面過度覆蓋而不建議使用。



圖 44 小型魚塭-II 復育作業配置示意圖。

綜合上述作業方式，收回魚塭依照不同的大小，需要使用的復育方法的數量也不一樣(如表 13)，以大型魚塭-I 需要搭配的復育方式最多；大型魚塭-II 與大型魚塭-I 只差別在管柱栽植的有無，主要是因大型魚塭-II 有防風林完全的保護，較不受風害的影響，或可少量搭配管柱栽植。小型魚塭-I 常見情形多為狹長型魚塭或偶有不規則形狀，因應風向並不固定，塭岸距離大於 75 m 的兩端皆須設置人工浮島；小型魚塭-II 則不需要進行水中的栽植作業，或可少量搭配管柱栽植，即可達成復育之目標。

表 13 不同魚塭大小選擇栽植作業表。

栽植作業	魚塭大小			
	大-I	大-II	小-I	小-II
堤岸整治	✓	✓	✓	✓
堤岸防風林栽植	✓	✓	✓	✓
親水植栽	✓	✓	✓	✓
管柱栽植	✓	(✓)	✓	(✓)
人工浮島	✓	✓		

伍、結論

隨著沿海過度開發，水源汙染、地層下陷、海岸線侵蝕等問題日漸嚴重，恢復與保持生態原有之淨化、保護功能，才是永續利用之道。在河川輸砂日益減少、地層下陷日趨嚴重的情況下，無論大小工程開發均可能加劇海岸侵蝕，衝擊當地生態，因此海岸林的復育策略亦從單一木麻黃造林轉為複層林造林，到近年更走向濕地多元造林的方式，企圖避免對復育地地貌造成過大的干擾。回收魚塭復育主要考量的重點為恢復防風林保安功能、保持魚塭濕地功能及以最小的環境干擾完成復育三點，經由前人經驗，分析各型態魚塭最合適之復育方式，以期提升魚塭地在濕地功能上的功效與重要性，作為自然濕地消失時，一個供給生物暫時利用的棲地選擇。

就目前復育經驗，魚塭復育面臨最大災害為颱風所造成，特別是人工浮島對風浪的抵抗力較低，常有擱淺的情形出現。為避免颱風帶來的強烈危害，可將假植期拉長避過颱風季，並做定期的維護管理，減少栽植首年的損失。同時透過樹種混合栽植及施加有機肥料促進苗木快速生長，提高環境抗力。人工浮島做為魚塭復育之輔助角色，造林初期快速增加魚塭綠蔽度，改善生態功能；當栽植 5-6 年成林後，與親水栽植區結合成具有多層次的混合林相。

非法占用魚塭經多元復育後，不僅具有環境與生態上的貢獻，適度干擾過的魚塭也可避免再度遭人復養、惡意傾倒廢料、以及閒置魚塭引發的衛生及輿論壓力等社會問題，並可作為環境教育的材料，提升國人對脆弱的海岸地的重視。本研究結果也作為林務局在濕地造林相關作業之參考依據，期望能提升臺灣海岸環境品質，發展永續經營。

陸、參考文獻

- 毛冠貴 (2002) 臺灣西部沿海養殖地區轉型使用機制之研究。農業經濟半年刊 72(12):1-43。
- 王劼、劉陽、王澤民、胡筱敏 (2008) 人工浮島技術應用前景。環境保護科學 2008(5):23-25。
- 田雄、葛大兵、袁博、任森華、蘇暢、徐麗、黃子豪、歐陽鏜 (2014) 不同植物人工浮島在淨化富營養水體中氮磷的效果研究。湖南農業科學 2014(03):50-52。
- 石栢岡、張文亮 (2006) 水生植物在人工浮島生長狀況與水質淨化之分析。中華民國環境保護學會學刊 29(2):1-13。
- 何坤益、程俊堯 (2010) 環境林、海岸林永續經營。林業研究專訊 17(5):21-25。
- 李明仁、王明光、王亞男、王鴻濬、王兆桓、李桃生、何政坤、何坤益、邱志明、林壯沛、林信輝、林世宗、林朝欽、卓志隆、范貴珠、陳財輝、徐政競、郭幸榮、許原瑞、張東柱、莊鈴木、黃裕星、馮豐隆、詹明勳、廖宇賡、廖天賜、劉瓊霖、劉一新、簡慶德、顏添明、顏江河 (2010) 育林實務手冊。行政院農業委員會，台北市。349 頁。
- 李培芬、吳采諭、柯智仁 (2008) 以鳥類作為生態指標-鳥類監測計畫簡介。全球變遷通訊雜誌 60:25-35。
- 李震威 (2006) 臺灣東北部海岸保安林木麻黃林分健康監測之研究。國立宜蘭大學自然資源學系碩士論文，92 頁。
- 岳龍、徐迎春、張煒、王秀琴、董鳳祥 (2010) 美植袋物理控根容器培育對玉蘭苗根系構型的影響。林業科學研究 23(6):883-888。
- 林國銓、唐盛林 (1999) 西部沿海地區臺灣海桐、榕樹、夾竹桃之幼年期生長。臺灣林業科學 14(3):247-54。

- 林睿思、陳宜敏、王經文、廖天賜、楊凱愉、陳忠義、許立勳、陳財輝 (2009) 臺中港區木麻黃天然更新之研究。林業研究季刊 31(2):47-59。
- 邱祈榮、潘孝隆、葉媚媚、黃愷茹(2007) 金門地區防風保安林劃設之研究。中華林學季刊 40(2):229-240。
- 唐旭日、張法琴 (2007) 鹽鹼地改良及園林綠化施工技術。安徽農業科學 35(5):708-709。
- 國立宜蘭大學森林暨自然資源學系 (2013) 宜蘭縣竹安濕地之廢棄魚塭再活化營造計畫，17 頁。
- 張云生 (2012) 沿海河口感潮帶灘塗濕地木麻黃林帶營建試驗。防護林科技 1:20-87。
- 張向寬、權順忠、賴進松、談義績 (2013) 魚塭區域之排洪特性與防止溢提方案。農業工程學報 59(1):15-25。
- 張志勇、馮明雷、楊林章 (2007) 浮床植物淨化生活污水N、P的效果及N₂O的排放。生態學報 27(10):4333-4341。
- 陳麗美 (2003) 國有海岸防風林之營造。海岸防風林營造研討會論文集，22-25 頁。
- 程煒兒、洪富文、陳財輝 (1996) 施肥對澎湖四種防風林樹種造林的初期效應。台灣林業科學 11(3):303-313。
- 馮杏、何松、陳升華、林開方、李廣翹、符杰雄、吳至平、黃文明 (2009) 海口地區混交海防林造林成效淺析。熱帶林業 37(4):28-32。
- 黃志豪 (2013) 人工浮島於鹽沼型人工濕地對水質淨化效果之研究。國立中山大學海洋環境及工程學系碩士論文，108頁。
- 黃俊元、謝漢欽、朱木生 (2014) 台東海岸木麻黃天然更新及直播造林之探討。林業研究專訓21(6):25-29。
- 黃振文 (2007) 利用農業廢棄物研製植物保護製劑產品。農業暨自然資源學院

56(2):99-106。

黃書彥、薛美莉 (2014) 涉禽對晒池魚塭之利用—以七股地區虱目魚及文蛤養殖為例。臺灣生物多樣性研究 16(4):339-354。

廖天賜 (2012) 永續海岸林防災機能-探討海岸林之孔隙更新。林業研究專訊 19(6):27-30。

廖宜緯、郭聖平、陳羽康、鐘玉龍 (2011) 臺灣五種海岸防風林樹種根系之研究。華岡農科學報 26:113-128。

漁業署 (2015) 全國養殖魚種放養量累計表，2頁。

蔡明哲(2011) 蘇澳大坑罟海岸複層林營造之探討。國立宜蘭大學森林暨自然資源學系碩士論文，88頁。

鄧書麟、沈勇強、何坤益、呂福原、張怡萱、李玟樑 (2007) 四湖海岸木麻黃林下海欖果天然更新特性之研究。中華林學季刊 40(4):519-534。

鄭紹良 (2011) 利用可資源化之鹼性材料做為污染土壤中鎘的穩定劑。屏東科技大學環境工程與科學系所學位論文，67。

蘇惠珍、周佳賢、陳逸儒、陳永松 (2014) 沿海低地區養殖魚塭濕地化研究。濕地學刊 2(1):31-40。

Cherry, J. A. and L. Gough (2006) Temporary floating island formation maintains wetland plant species richness: the role of the seed bank. Aquatic Botany 85:29-36.

Hoeger, S (1988) Schwimmkampen-Germany's artificial floating islands. Journal of Soil and Water Conservation. 43(4):304-306.

Riley, R. W. and C. P. S. Kent (1999) Riley encased methodology: principles and processes of mangrove habitat creation and restoration. Mangroves and Salt Marshes 3:207-213.

Yeh, N., P. Yeh, Y. -H. Chang (2015) Artificial floating islands for environmental improvement. Renewable and Sustainable Energy Reviews 47:616-622.

Yong, L (1998) The importance to ardeids of the deep bay fishpond, Hong Kong.
Biological Conservation 84:293-300.

柒、附件

附件 1. 海岸林收回魚塭多元復育之作業手冊

附件 2. 莫蘭蒂颱風試驗地損害及復舊規劃報告

附件 3. 計畫期初簡報

附件 4. 計畫期中簡報

附件 5. 計畫期末簡報

附件 1.

海岸林收回魚塭多元復育之作業手冊

The guideline of the fishpond reforested by multiple plants imposing of the coast forest

摘要

海岸地區在人為開發、環境污染與氣候變遷下，逐漸受到破壞。其中海岸濕地雖十分脆弱，卻具有重要的生態價值；在自然濕地大量消失時，人工濕地更顯為重要。近年來林務局開始積極收回沿海非法占用防風林所開闢之魚塭，再恢復防風林保安價值及增加魚塭濕地生態功能的考量下，遂改以多元復育的方式復育收回的魚塭。多元復育之作業包含堤岸整治、堤岸複層林栽植、親水植栽、人工浮島、X型栽植堤、管柱栽植法等。透過回顧現今海岸環境及其復育現況，以探討多元復育之重要性，再詳細介紹各作業之方法與成本，以及各樣態魚塭之作業流程，期望提供林務局及其他單位進行相關海岸環境復育之參考依據。

目錄

壹、簡介.....	- 54 -
一、現今海岸造林困境及未來發展趨勢.....	- 54 -
二、魚塭生態價值.....	- 55 -
貳、海岸魚塭生態復育之多元栽植作業.....	- 56 -
一、魚塭復育作業選擇標準.....	- 56 -
二、魚塭復育作業流程.....	- 57 -
參、多元復育生態設施作業說明.....	- 62 -
一、堤岸整治.....	- 62 -
二、堤岸複層林栽植.....	- 63 -
三、親水植栽.....	- 64 -
四、人工浮島.....	- 65 -
五、管柱栽植法.....	- 68 -
肆、案例分析.....	- 71 -
一、堤岸整治.....	- 71 -
二、堤岸複層林栽植.....	- 72 -
三、親水植栽.....	- 73 -
四、人工浮島.....	- 74 -
五、管柱栽植法.....	- 75 -
六、撫育及管理.....	- 76 -
七、總成本.....	- 79 -
伍、結論.....	- 79 -
陸、參考文獻.....	- 81 -

圖目錄

圖 1 各型態魚塭示意圖。.....	56 -
圖 2 收回魚塭復育作業流程圖。.....	57 -
圖 3 美植袋與浮島間隔放置情形。.....	58 -
圖 4 大型魚塭-I 復育作業配置示意圖。.....	59 -
圖 5 大型魚塭-II 復育作業配置示意圖。.....	59 -
圖 6 小型魚塭-I 復育作業配置示意圖。.....	60 -
圖 7 小型魚塭-II 復育作業配置示意圖。.....	60 -
圖 8 塭堤回填剖面圖。.....	62 -
圖 9 堤岸複層林及親水植栽配置圖。.....	63 -
圖 10 土沉香美植袋苗集中假植情形。.....	65 -
圖 11 人工浮島栽植配置。.....	66 -
圖 12 人工浮島介質。.....	67 -
圖 13 人工浮島固定示意圖。.....	67 -
圖 14 竹製浮島景觀，及紅冠水雞作為繁殖棲所與魚類利用之情形。.....	68 -
圖 15 REM栽植法。.....	69 -
圖 16 假植岸邊之管柱。.....	70 -
圖 17 採集蚵殼來源之堆積場；搬運海岸堆積蚵殼等回填材料；展開南側塭堤整地作業；採集蚵殼後之堆積場整地。.....	72 -
圖 18 堤岸複層林 4 月 13 日栽植完成之景觀；堤岸 6 月已恢復地被植生。.-	73 -
圖 19 西側堤岸假植期美植袋放置於人工浮島前端；8 月假植結束並移至定位完成。.....	74 -
圖 20 西側堤岸人工浮島，1 月完成栽植並假植於岸邊之情形；人工浮島介質上層覆蓋海砂。.....	75 -
圖 21 西側堤岸管柱，1 月完成栽植並假植於岸邊之情形；管柱 8 月移植完成之景觀。.....	76 -

表目錄

表 1 不同魚塭大小選擇栽植作業表。.....	61 -
表 2 堤岸複層林栽植撫育之成本。.....	76 -
表 3 親水植栽撫育之成本。.....	77 -
表 4 人工浮島撫育之成本。.....	77 -
表 5 管柱栽植法管撫育之成本。.....	78 -

壹、簡介

一、現今海岸造林困境及未來發展趨勢

海岸保安林因早期農業、養殖業與近年工業發展、公共設施建設等需求而陸續解編(陳明義, 2006; 陳財輝, 2008), 現今海岸保安林多剩以木麻黃(*Casuarina spp.*)為主的人工純林(廖天賜, 2012)。依據漁業署統計, 臺灣 2015 年魚塭養殖面積為 44,211.35ha, 而非法占用保安林之魚塭面積達 279.60 ha, 嘉義林管處轄管區外保安林即占 198.31 ha, 將近 71%(李震威, 2006)。近年受環境保育意識提升的影響, 林務局開始積極收回海岸占用地, 進行海岸保安林復育。

木麻黃自 1897 年引入台灣迄今已逾百年之歷史, 因具有與固氮菌種共生之特性, 故可生長在土壤貧瘠的地區(林睿思等, 2009)。木麻黃生長快速容易成林, 在海岸林佔有重要的地位; 但因抗蟲害能力差、無法天然更新等因素, 在栽植 20-30 年後會有衰退之現象(鄧書麟等, 2007), 透過複層林的方式營造木麻黃防風林可以解決這種需要不斷補植的窘境(黃俊元等, 2014)。相較於木麻黃單一純林, 複層林在增加生物量、土地肥力、生物多樣性以及景觀美化上更具優勢(馮杏等, 2009)。

然木麻黃為耐乾旱之陽性樹種(李明仁, 2010), 並不適合種植於濕地, 故以傳統木麻黃復育魚塭之方式, 需進行土方回填, 此法除成本高昂, 亦可能對取土區產生破壞。近年有學者提出, 人工埤塘有保育鳥類的作用(Yong, 1998), 尤其在自然濕地遭受破壞的情形下, 人工濕地更顯為重要(黃書彥、薛美莉, 2014)。綜合上述結果, 尋求如何維持魚塭原本濕地特性, 並恢復防風保安林功能, 被提出為新的思考方向, 進而開啟魚塭多元復育之相關研究, 並用作制定占用魚塭復育保安林之方法流程。

不同形態的魚塭所具有的生態功能亦不相同, 在魚塭復育作業開始前, 應充分對環境及生態進行探討, 做為復育手段選擇之依據, 以達最大環境保育效益。

透過魚塭樣態分類，及分析各樹種與造林手段之功能效益，訂定收回占用魚塭復育之標準流程，提供林務局未來復育相關海岸林之指南，期望能建立多樣性環境、增加生物多樣性與綠覆率，在環境保護與生態功能上達到最佳效益。

二、魚塭生態價值

廢棄魚塭多屬鹹化沼澤或泥灘地，具有高生產力的潛能(宜蘭縣竹安濕地之廢棄魚塭再活化營造計畫，2013)。魚塭造成海岸環境破壞主因為養殖業超抽地下水造成的地層下陷、水質汙染與海水倒灌等(毛冠貴，2002)，魚塭收回或轉型即為減緩這些災害首要條件。在環境保護能力上，魚塭具有顯著的防洪防溢與水質淨化功能(張向寬等，2013; 蘇惠珍等，2014)。魚塭形成之淺灘地有益於鳥類利用(黃書彥、薛美莉，2014)，且不同時間與條件的魚塭，會吸引不同的鳥類前來。鳥類多位於食物鏈較高位階，可用來解釋透過食物鏈累積的環境資訊(李培芬等，2008)，作為環境評估的指標。

魚塭生態功能可透過濕地造林來強化，以紅樹類(Mangrove)為栽植樹種，在長期淹水地區，則可配合管柱栽植法(Riley Encased Methodology, 簡稱 REM)、人工浮島(Artificial Floating Islands)等方式的輔助，亦有不錯的成效。人工浮島提供野生動物棲息地，並阻擋盛行季風，避免強風對野生動物巢穴的為害(Yehet *al.*, 2015)。此外人工浮島還能美化景觀與提高環境的綠覆率，雖然景觀美化功能是以人的角度出發，卻仍舊有顧及他種生物的需要，此為生態工程與景觀美化工程的差異之處。

貳、海岸魚塢生態復育之多元栽植作業

一、魚塢復育作業選擇標準

樹木有效防風區域約為樹高 5-10 倍，5 倍樹高距離內的風速可減少 80%，而最有經濟效益之栽植寬度為 10 行。然魚塢分佈常呈現大量魚塢集中相連的狀態，相連塢堤寬多在 10 m 左右，難以建立 10 行寬防風林，故本作業流程所依據防風有效距離以上述最低值 5 倍樹高為標準，保護目標為魚塢本身。堤岸栽植防風複層林以木麻黃為主體，設定木麻黃樹高 15 m(邱祈榮等, 2007)，5 倍樹高 75m 為樹木有效防風區，意即魚塢兩岸最遠距離小於 75 m 時，魚塢受到防風林完全保護，魚塢兩岸最遠距離大於 75 m 時，部分魚塢未受到防風林保護。

堤岸栽植防風複層林能否有效保護魚塢，決定於魚塢本身大小、形狀、防風林建立區域以及栽植方式。農委會水產試驗所統計指出，台灣魚塢多為面積 0.3-1 ha 的矩形設計，當邊長為 75 m × 75 m 時面積接近 0.5 ha，綜合過往造林經驗，收回魚塢大致可以面積 0.5 ha 為標準，分成大型魚塢與小型魚塢；而依據魚塢兩岸最遠距離是否大於 75 m，又可將魚塢再各分為 I (大於 75 m)、II 型(小於 75 m)，故共有大-I、大-II、小-I、小-II 4 種類型(圖 1)，必須採取不同栽植方式才能有效達到保護的作用。



圖 1 各型態魚塢示意圖(圖中大型魚塢-I 即為成本案例分析之魚塢)。

二、魚塭復育作業流程

魚塭依鹽度可分為鹹水魚塭與淡水魚塭，然沿海收回魚塭多出於地層下陷與土壤鹽化嚴重區域之非法占用魚塭，故皆為鹹水魚塭，本文亦只在鹹水魚塭復育上進行討論。依據收回魚塭之條件分別進行下列作業：

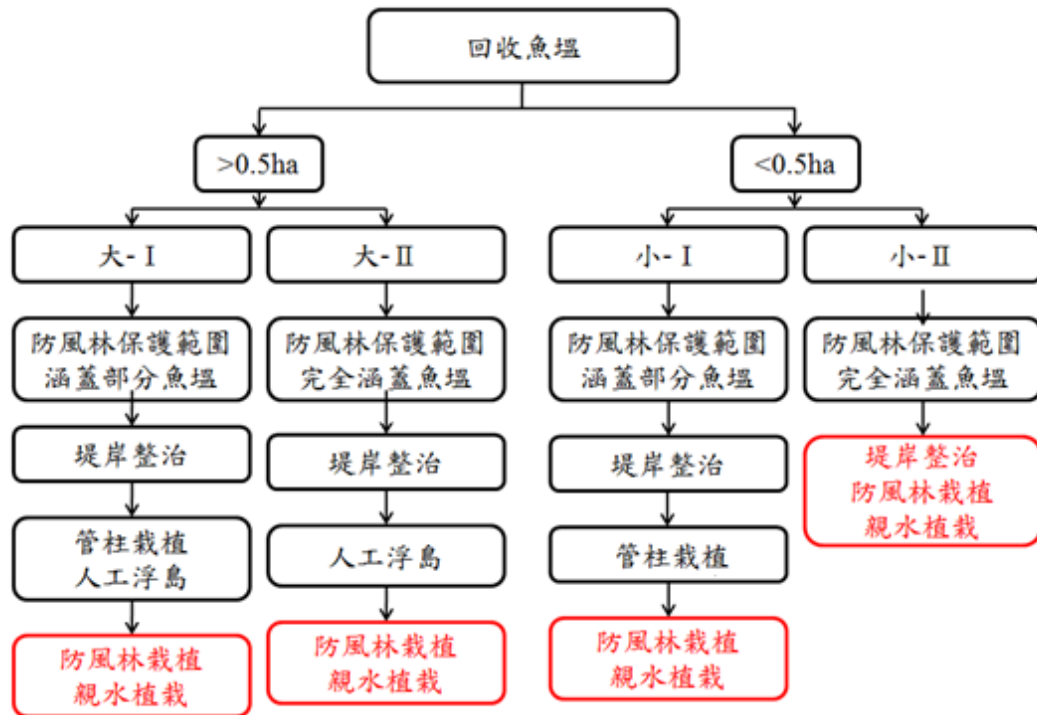


圖 2 收回魚塭復育作業流程圖(紅框為造林作業完成)。

(一)魚塭面積 0.5 ha 以上

大型魚塭池面面積較大，以堤岸複層林與親水植栽達到的綠蔽度有限，因此在復育方法選擇上，除了考量防風保安效益外，也要將增加整體綠蔽度列為重要目標。因此無論堤岸複層林有效防風面積覆蓋魚塭情形如何，魚塭池面邊緣都必須以至少單排以上的人工浮島進行栽植，並於池面中央設置管柱栽植，有效防風面積覆蓋魚塭情形則是作為防風減浪設施需求的依據。

1.大型魚塭- I：

由於面積廣闊，堤岸防風林無法給予足夠的保護，須以完整的復育方式作業。首先以堤岸整治建立堤岸防風林栽植緩坡區域，以利營造木麻黃複層林帶以及濱水的紅樹林親水栽植，因應管柱栽植與人工浮島製作需要大量空間進行製作與搬運，緩坡建成後立即著手製作管柱與人工浮島，並將完成品暫時假植於親水植栽預定栽植之淺灘地，親水植栽苗木則先栽植於美植袋中集中放置於人工浮島間之空隙(圖 3)，最後再進行堤岸複層林栽植作業。俟假植後管柱與人工浮島均放入水中，人工浮島放置於親水植栽前緣的水域。最後將美植袋底部割除，種植於原預定位置，大型魚塭- I 復育作業即完成。



圖 3 美植袋與浮島間隔放置情形。

利用人工浮島作為陸地延伸，增加魚塭池面綠蔽度；數個人工浮島於池中相連成一防風消浪林帶，其防風消浪能力會大於單一設施，在強風地區亦可以雙排或以上之人工浮島建立池中防風林帶，增加防護效果。

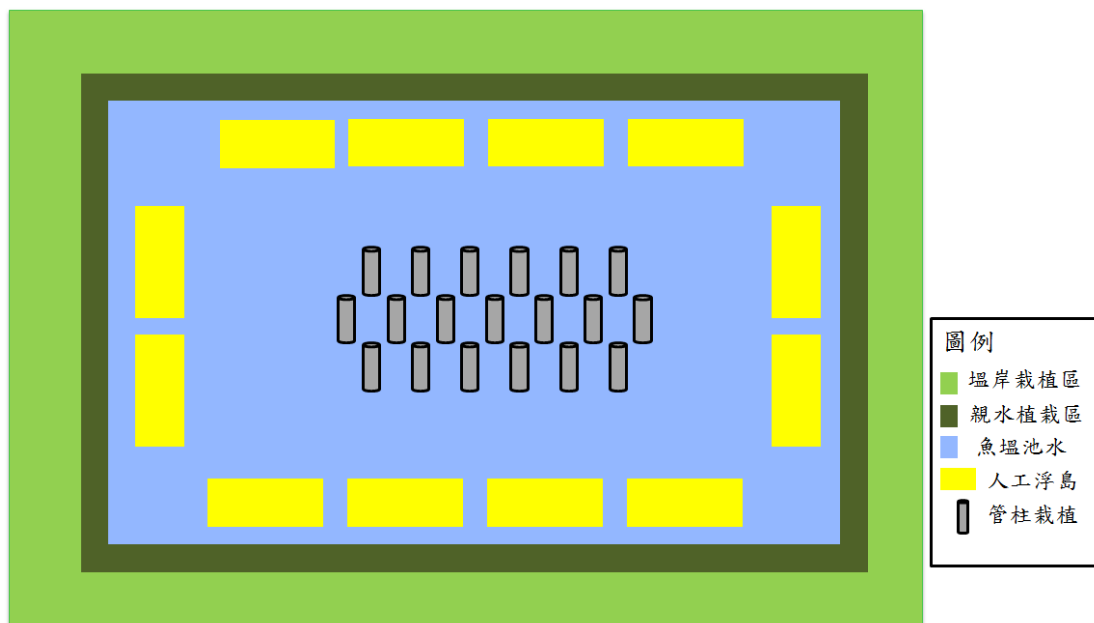


圖 4 大型魚塭- I 復育作業配置示意圖。

2.大型魚塭-II:

由於魚塭範圍完全在堤岸防風林的有效防風距離內，魚塭池水受風力影響較小，是故濕地栽植設施不易受到風浪侵蝕損毀。大型魚塭-II 由於仍具有較大的面積，進行堤岸整治、堤岸防風林栽植與親水植栽後，以人工浮島栽植作業延淺灘外緣建立綠帶，減少魚塭裸露面積，其作業方式皆與大型魚塭- I 相同，人工浮島與親水植栽皆須經過 6 個月的假植後，再做最後定位的動作。

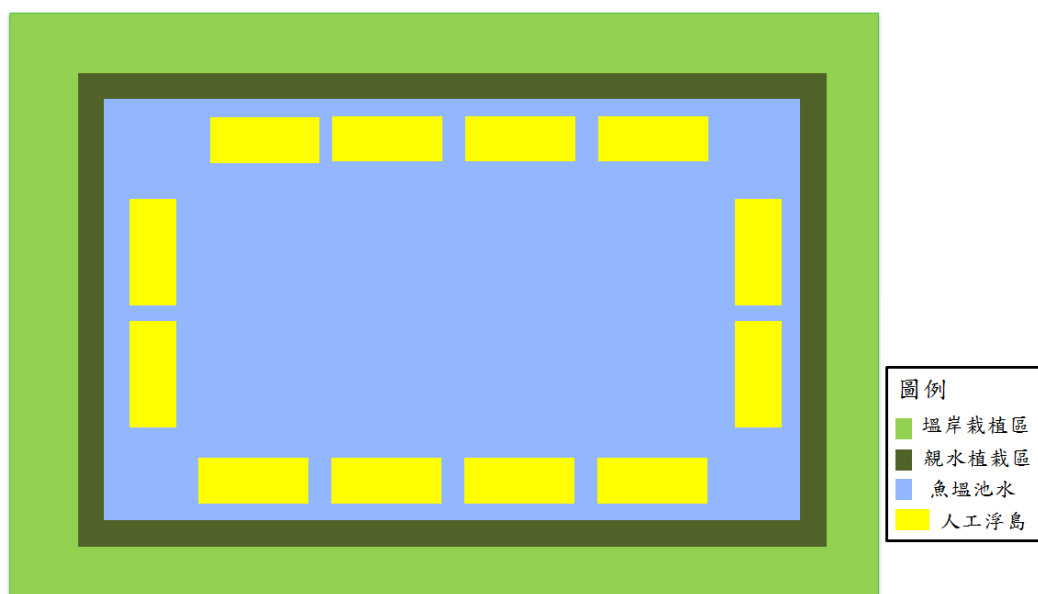


圖 5 大型魚塭-II 復育作業配置示意圖。

(二)魚塭面積 0.5 ha 以下

1.小型魚塭-I：

雖屬於小型魚塭，然而因為形狀特殊(如狹長型)而導致部分魚塭區域未受到防風林保護，故需要在未受防風林保護區域進行濕地造林，建議以管柱栽植提升魚塭濕地功能，促進生態恢復。小型魚塭-I 即使部分區域未在防風林保護範圍內，但因面積較小的緣故，一般風浪仍難以形成危害，僅須在特殊氣候事件，如颱風、豪雨過後檢視損毀程度並予以修復即可。

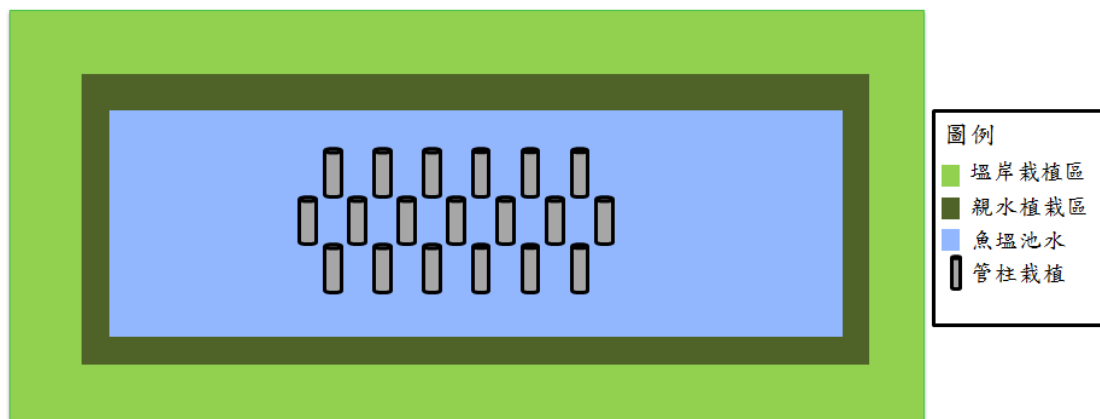


圖 6 小型魚塭-I 復育作業配置示意圖。

2.小型魚塭-II：

由於面積過小，不宜在水中進行太多的干擾，且魚塭池水受風浪的影響情形遠低於前 3 種類型的魚塭，環境相對穩定，因此僅由堤岸整治、防風林栽植與親水植栽等陸域作業即可有效保護復育魚塭。若期望增加環境多樣性，可以選擇性配合少量的管柱栽植作業，人工浮島則因面積過大，可能造成魚塭池面過度覆蓋而不建議使用。



圖 7 小型魚塭-II 復育作業配置示意圖。

表 1 不同魚塭大小選擇栽植作業表。

栽植作業	魚塭大小			
	大- I	大- II	小- I	小- II
堤岸整治	✓	✓	✓	✓
堤岸防風林栽植	✓	✓	✓	✓
親水植栽	✓	✓	✓	✓
管柱栽植	✓	(✓)	✓	(✓)
人工浮島	✓	✓		

綜合上述作業方式，收回魚塭依照不同的大小，需要使用的復育方法的數量也不一樣，以大型魚塭- I 需要搭配的復育方式最多；大型魚塭- II 與大型魚塭- I 只差別在管柱栽植的有無，主要是因大型魚塭- II 有防風林完全的保護，較不受風害的影響，或可少量搭配管柱栽植。小型魚塭- I 常見情形多為狹長型魚塭或偶有不規則形狀，因應風向並不固定，塭岸距離大於 75 m 的兩端皆須設置人工浮島；小型魚塭- II 則不需要進行水中的栽植作業，或可少量搭配管柱栽植，即可達成復育之目標。

參、多元復育生態設施作業說明

一、堤岸整治

沿海魚塭養殖密度高，塭堤常有過窄、坡度過大的問題，因此復育第一步為透過堤岸整治，拓寬堤岸成為一緩坡(圖 8)，作為防風林栽植區域。

1. 為避免回填時池水溢出，先行透過抽水設備將水位高度抽置水深 1-1.5 m，在堤岸埋設 2 支 5 inch PVC 排水管固定水位高度，排水管設置可以請堤岸整治的廠商一並作業。若因 2 地理位置、電力供應等問題無法使用抽水設備，則待乾季水位較淺時埋設排水管。
2. 回填大量土方容易造成取土區環境劇變而破壞生態，斜坡基層填充材料可利用沿海漂流木與農業廢棄物，如蚵殼、廢棄蚵棚竹架或稻梗等，同時能大幅減少施工成本；最底層以漂流木、竹材建構出斜坡雛型，再鋪上一層高約 30 cm 之蚵殼層或其他較小型養質廢棄物，最上層則回填約 30 cm 沿岸海砂或土壤。
3. 將塭堤回填建立出寬 10-15 m 以上、坡度 10°、離水面高度約 1 m 的淺灘。為減少堤岸與淺灘高度落差過大，容易導致堤岸遭受侵蝕或崩塌，因此將淺灘回填至與堤岸(或路面)齊高，若堤岸過高，則可將斜坡分成不同坡度，以坡度小於 45° 及 10° 斜坡寬度至少 10 m 為原則。



圖 8 塭堤回填剖面圖。

以蚵殼與漂流木為材料填充斜坡基層所形成的隔離層，可以使重力水順利滲入土壤，並阻斷鹽分上升(唐旭日、張法琴，2007)，改善魚塭嚴重土壤鹽鹼化的問題。蚵殼本身在土壤改良上有多方面功效，包含減少重金屬(鄭紹良，2011)、

增加土壤養分與強化植物抗病能力等(黃振文, 2007)。此外, 若造林完成後仍有大量蚵殼等農業廢棄物, 則可由承辦單位統一規劃持續回填增加堤岸複層林區寬度, 嚴禁私自傾到廢棄物置魚塭, 避免魚塭遭受汙染或造林設施損毀。

4. 成本(長 125 m、高 2 m 堤堤):

項目	規格	數量	單價(元)	總價(元)
挖土機	日	3 日	8000/日	24000
5 inch PVC 管	厚 4.5 m/m; 長 4 m	2 支	700 /支	1400
合計				25400

堤岸回填材料包括蚵殼、漂流木及海砂等, 可向主管機關提出簡易環評申請, 申請通過後即可直接由魚塭鄰近地區取得, 因此僅需負擔整地使用之挖土機費用。依照魚塭大小及現地情形設定整治範圍, 並請廠商評估堤岸整治費用, 以長約 125 m、高約 2 m 的堤岸為例, 大約需要花費 3 日的挖土機工資(24000 元)。

二、堤岸複層林栽植

透過木麻黃為主體的複層林形成防風網, 降低海岸嚴峻的環境逆境(何坤益、程俊堯, 2010)。

1. 建立 3 排木麻黃, 2 排濱海樹種(土沉香、苦楝、大葉欖仁或當地原生樹種等)以及 2-3 排較耐水淹之黃槿(如圖 9)。

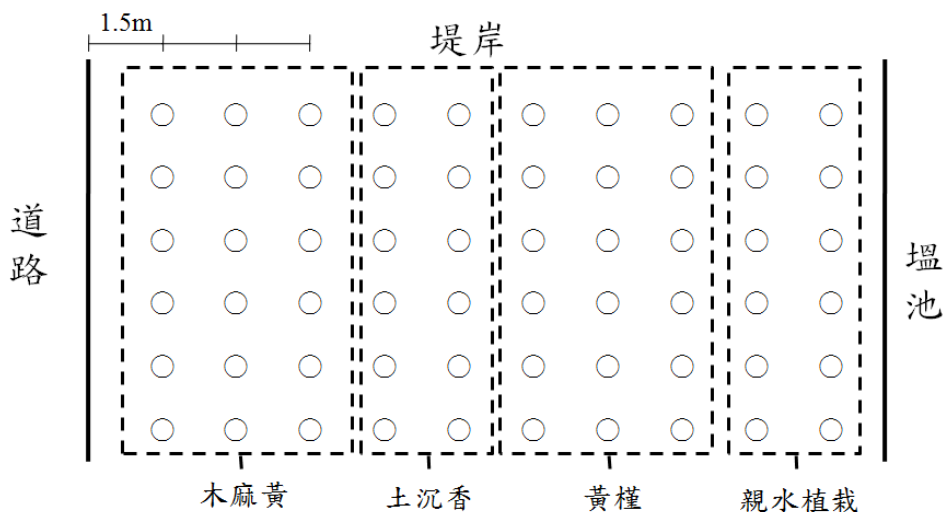


圖 9 堤岸複層林及親水植栽配置圖。

2. 植穴添加約 100 ml 有機肥，改善土壤質地；栽植行距設定 1.5 m 密植。
3. 栽植完後以細竹竿固定苗木。
4. 海岸多為砂質地，蒸發旺盛且易受風雨侵蝕，地表草本植被可加強保濕與砂質地穩定，因此復育時無須進行除草；為避免造林目標苗木與草本間發生競爭，苗木選擇以 1-2 年生苗木為佳，因其已具有優勢苗高(約 1 m)，較不受競爭影響。
5. 成本(長 125 m、寬 12 m 栽植帶)：

項目	規格	數量	單價(元)	總價(元)
竹子	直徑 1 inch×3 inch	640 支	3	1920
有機肥料	20 kg	10 包	250/包	2500
工資	人	12 日	1500/日	18000
合計				22420

以長 125 m、寬 12 m 栽植帶為例，栽植 3 排木麻黃，3 排黃槿與 2 排土沉香共 8 排之複層林，125 m 長的堤岸 1 排可栽植約 80 株 (間距 1.5 m)，8 排共可栽植約 640 株。

三、親水植栽

相較於堤岸栽植，親水植栽選用紅樹科植物可彌補魚塭淺灘地淹水逆境較強、一般海岸樹種無法生長的地點，減少堤岸裸露地與增加林相豐富度。美植袋可提供苗木較穩定的環境，並提高土壤高度，以減少水淹壓力，並較地栽苗具成本低、成活率高、生長量大、促進側根生長與耐鹽鹼強等特點，是一種經濟、安全、高效的造林方法(岳龍等，2010; 張云生，2012)。

1. 選擇 30-45 cm 寬美植袋，填入魚塭堤岸砂土後再添加 300 g 有機肥。
2. 樹種選擇以紅樹科或半紅樹科耐鹽耐淹植物，如黃槿、紅海欖、海茄苳、土沉香或苦林盤等。

3. 為方便管理及補植等作業進行，栽植初期集中假植於岸邊淺灘處約 6 個月，待苗木較適應當地環境時割除美植袋底部，下種於預定地點，植株間隔 1.5m。



圖 10 土沉香美植袋苗集中假植情形。

4. 成本(長 125 m、寬 3 m 栽植帶)：

項目	規格	數量	單價(元)	總價(元)
美植袋	直徑 35 cm × 高 35 cm 以上	160 個	50/個	8000
有機肥料	20 kg	1 包	250/包	250
初栽工資	1 人	5 日	1500/日	7500
移植工資	1 人	3 日	1500/日	4500
合計				20250

以長 125 m、寬 3 m 栽植帶約可栽植 80 株紅樹雙排，共 160 株。

四、人工浮島

人工浮島以四邊形居多，各單元之間留一定的間隔，相互間用繩索連接，可防止由波浪引起的撞擊破壞(戴文堅、江漢全，2008)。材料方面，若以景觀考量，竹製人工浮島(圖 11)可以達到美觀的效果；以耐用度來看，塑膠(PVC)製浮島用防水膠接合，相較於用塑膠繩綁的竹製浮島，能承受較多的風浪與日晒，兩者各有其優勢(石栢岡、張文亮，2006)，設置前應以設置的目的考量採用的材料。

1. 為兼顧景觀及耐用性，以混搭竹竿與 PVC 管為材料，竹竿：PVC 管比例 4：1 排列成 4 m × 2 m 長方形浮島，以白鐵線固定。
2. 樹種選擇以紅樹科植物或濱海樹種做搭配，以苗型較寬且根系生長快速，有助土壤固定之黃槿、土沉香或欖李配置於外側，苗型細長較易傾倒之紅海欖或水筆仔配置於內側(如圖 11)。

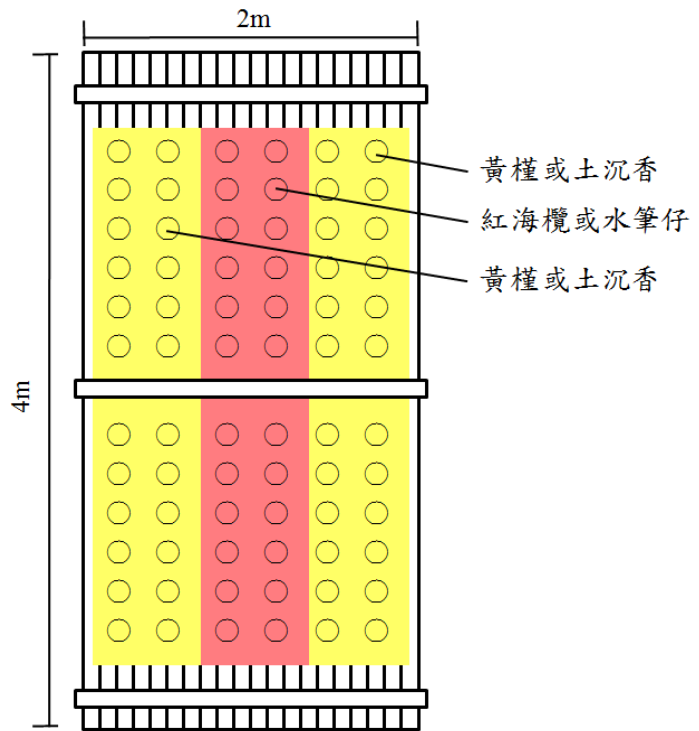


圖 11 人工浮島栽植配置。

3. 由浮島最底部依序鋪設(圖 12)：
 - A.草蓆以避免泥炭土等介質從浮島竹管間隙流失。
 - B.泥炭土(300 L)：植物經過分解而成的纖維素，為優良介質之材料。
 - C.椰子纖維 2 塊(10 kg)：椰子殼加工而成的產品，可與泥炭土介質混合，更加環保廉價。
 - D.有機肥料 0.5 包(約 10 kg)：為波卡西與牛糞之混合物。
 - E.網子：用來加強植株位置固定的塑膠網。



圖 12 人工浮島介質。

4. 為減少浮島受損機率，只將其沿淺灘邊緣放置，做為陸地的延伸，用來增加環境歧異度與淨化水質，樹種選擇紅樹科植物或海岸草本植物，栽植前 6 個月先放置於魚塭淺灘，減少環境逆境，假植 6 個月後再將浮島延淺灘環置池中，若浮島本身浮力不足可加墊保麗龍浮板，各浮島間隔 1-3 m。
5. 人工浮島固定：於人工浮島 4 個角各釘上 1 個鐵環，以 2 條長繩索各串連浮島左右邊，再綁於鐵竿上，釘魚塭岸兩對邊(如圖 13)。



圖 13 人工浮島固定示意圖。

6. 人工浮島大面積的特性，能快速增加造林地整體綠蔽度，並做為鳥類、魚類與其他小型動物躲避陸域略食者的避難所，對栽植初期之生物多樣性恢復有很大的貢獻；然也因其大面積的特性，假植期的浮島土壤容易蒸發乾裂，可暫覆上一層海砂保濕，下水前再做移除，減少浮島負重。人工浮島具有很高的生態效益，但造價也較高，若有經費上的限制，可改以管柱栽植做替代。

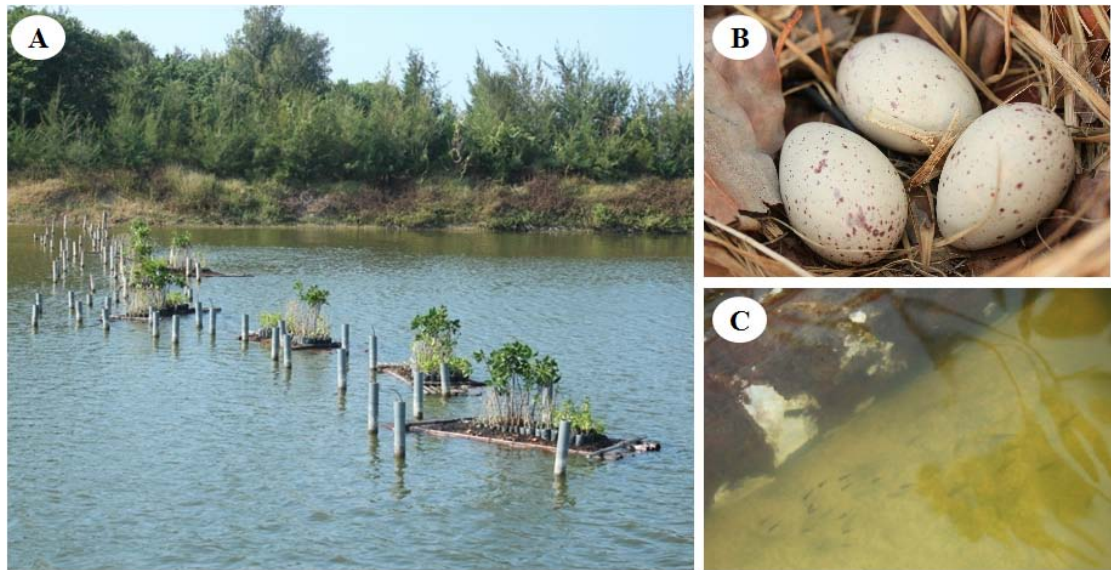


圖 14 (A)竹製浮島景觀，及(B)紅冠水雞作為繁殖棲所與(C)魚類利用之情形。

7. 成本(1 床)：

項目	規格	數量	單價 (元)	總價(元)
孟宗竹	管徑 4 inch × 長 4 m	11 支	150 /支	1650
4 inch PVC 管	厚 3.5 m/m; 長 4 m	4 支	380 /支	1520
白鐵線	BWG1.65 m/m (16 番)	1 斤	120/斤	120
泥炭土	300 L	1 包	1500/包	1500
有機肥料	20 kg	0.5 包	250/包	125
椰子纖維	5 kg	2 塊	200/塊	400
細網	網目 10 cm × 10 cm	9 才(2×4.5)	40/才	360
初栽工資	1 人	1 日	1500/日	1500
移植工資	1 人	1/3 日	1500/日	500
合計				7675

五、管柱栽植法

管柱栽植法為組裝上下 2 部分的 PVC 管(如圖 15)，幼苗栽植於管柱中央，高度為平均水位高；上半段管柱管口須高於大潮水位，避免幼苗遭水淹。在傳統栽植技術無法成功的地區，利用此栽植方法能有效率地建立紅樹林苗木(Riley and Kent, 1999)。PVC 管內所栽植之苗木因受管柱保護免受波浪與水流影響，而有高存活率與生長率(Kent, 1999)。管柱栽植法的研發目的是為了要沿著具有高

肥力的海岸、護岸與護堤這些不再自然更新或傳統方式無法造林處建立紅樹林 (Riley and Kent, 1999)。紅樹林苗木對水深、潮汐及海浪的變動非常敏感，由於淹水區常缺乏苗木初期發育所需之適合環境，故無法應用傳統的栽植方式(陳正倫，2011)。管柱栽植法結果成功與否依管柱尺寸、繁殖體或小苗選擇，以及管柱和小苗高度訂定與潮汐機制決定(Riley and Kent, 1999)。管柱栽植相較於人工浮島，具有成活率高與成本低的優點，單株管柱栽植成本只需約 235 元。

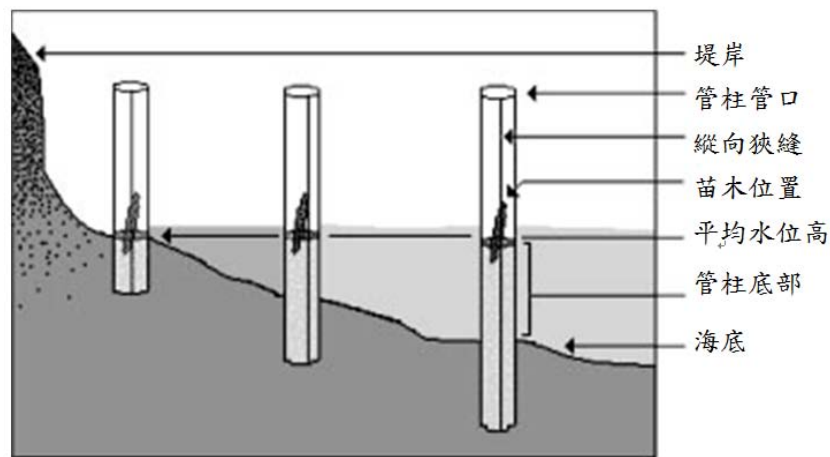


圖 15 REM 栽植法(Riley and Kent, 1999)。

1. 潮汐機制為管柱栽植法決定性因素(Riley and Kent, 1999)，管柱上半段目的即在避免幼苗再遭到淹浸，然臺灣多數養殖魚塭並無與海水連通，水位較不受潮系機制所影響，因此管柱不需要分成兩段組合，只需選擇寬度 4 inch 以上、長度範圍在 120 cm-170 cm 之間(高於水面 20 cm-30 cm)之 PVC 管，使管柱錨定於池水時能略高於水面即可。
2. 管柱內填入海砂或魚塭底泥至 8 分滿，栽植 1-2 年生紅海欖大苗，最後以海砂或魚塭底泥將管柱完全填滿。
3. 鑒於海岸環境逆境高與照顧便利性，初期先集中假植於岸邊 6 個月(圖 16)，以利澆水或死亡苗木補植作業。管柱直接集中假植於水深約 1 m 處；也可避免苗木乾燥。



圖 16 假植岸邊之管柱(照片中水位過低)。

4. 俟苗木穩定存活生長後再移植到水中，管柱間間隔 1.5 m。紅海欖約 6 年可成林，其支持根會由 PVC 管口以上的莖部向外與向下生長進魚塭底泥，增加整體穩固性。
5. 成本(100 個)：

項目	規格	數量	單價(元)	總價(元)
4 inch PVC 管	厚 3.5 mm; 長 1.5 m	100 支	190 / 支	19000
初栽工資	1 人	2 日	1500/日	3000
移植工資	1 人	1 日	1500/日	1500
合計				23500

肆、案例分析

地點：台南市安南區鹽田段第 2105 號飛砂防止保安林之占用收回魚塭

此魚塭為嘉義林管處之區外保安林，經排除非法占用後收回，堤岸可粗分為東、西、南、北 4 個方位，南北岸長 125 m、東西岸長 80 m；面積約 1 ha，高 2m，呈常見之矩形魚塭；乾季水深約 1 m，雨季水深則上看 1.6 m。復育作業前先行環境評估，結果顯示北側塭堤已具完整防風林相，故無須再進行整地與造林；東側塭堤則因相鄰魚塭仍有養殖虱目魚，顧及到整地作業可能會影響其魚塭養殖，再與漁民多次協商後達成共識，僅進行美植袋親水栽植。苗木來源為向台南及嘉義政府申請，僅支付運費。整治項目及成本如下：

一、堤岸整治

1. 試驗作業區屬於台江國家公園一般管制區範圍，於 105 年 3 月專案申請預先環境評估計畫，經該管以營將契字第 1059000804 號函同意，隨即展開塭堤整地作業。
2. 北側堤岸設置排水管，將水位高度固定於 1-1.5 m。
3. 堤岸整治僅回填西、南兩側，以漂流木建立斜坡基層，再鋪上 30 cm 蚵殼，最上層鋪上 30 cm 海砂後壓平，蚵殼及海沙取自鄰近海岸高灘地(圖 17)，寬 15 m，坡度在 10°-20°。105 年 3 月 30 日完成整地。



圖 17 (A)採集蚵殼來源之堆積場；(B)搬運海岸堆積蚵殼等回填材料；(C)展開南側塹堤整地作業；(D)採集蚵殼後之堆積場整地。

4. 成本：

項目	規格	數量	單價(元)	總價(元)
挖土機	日	7 日*	8000/日	56000
5 inch PVC 管	厚 4.5 m/m; 長 4 m	2 支	700 /支	1400
合計				57400

*西岸 3 日、南岸 3 日、北岸排水管設置 1 日。

二、堤岸複層林栽植

1. 西側已有完整木麻黃防風林，僅在內側混植黃槿 110 株、苦楝 70 株與木麻黃 20 株，共 200 株。南側以 3 排木麻黃、3 排黃槿與 2 排土沉香建立，單排 80 株，共栽植 640 株；栽植行距 1.5 m；為避免草本競爭，苗高應至少達 1 m 以上。
2. 栽植完後以細竹竿做為支架固定苗木，並用塑膠繩將苗木綁上竹架。

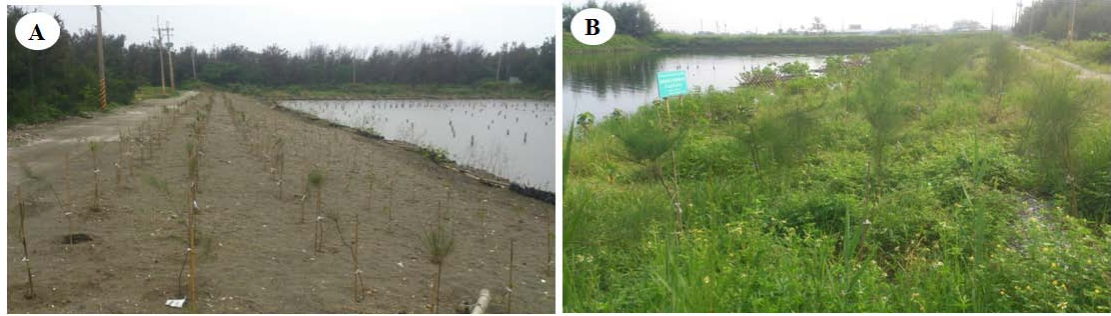


圖 18 (A)堤岸複層林 4 月 13 日栽植完成之景觀；(B)堤岸 6 月已恢復地被植生。

3. 成本：

項目	規格	數量	單價(元)	總價(元)
竹子	直徑 1 inch × 3 inch	640 支*	3	1920
有機肥料	20 kg	13 包	250/包	3250
工資	人	16 日	1500/日	24000
合計				29170

*僅南側 640 株有以竹竿固定。

三、親水植栽

1. 選擇 30-45 cm 寬美植袋，栽植行距 1.5 m。
2. 西側間植黃槿 60 株、苦林盤 45 株，紅海欖 45 株。南側間植苦林盤 48 株、紅海欖與水筆仔各 24 株、土沉香、欖李與海茄苳各 72 株。東側混植海茄苳 35 株、黃槿 15 株。為避免草本競爭，苗高應至少達 1 m 以上。
3. 美植袋於 2 月完成栽植，假植岸邊至 8 月與人工浮島一同進行移植及定位。

4. 成本：

項目	規格	數量	單價(元)	總價(元)
美植袋	直徑 35 cm × 高 35 cm	512 個	50/個	25600
有機肥料	20 kg	3 包	250/包	750
初栽工資	1 人	15 日	1500/日	22500
移植工資	1 人	9 日	1500/日	13500
合計				62350

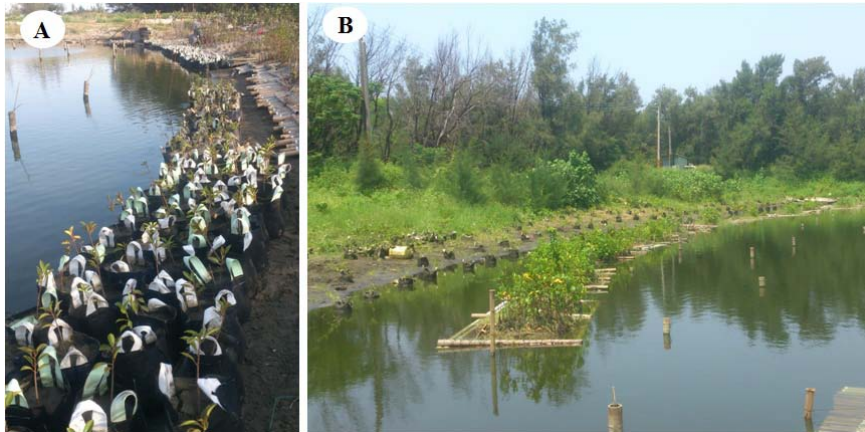


圖 19 (A)西側堤岸假植期美植袋放置於人工浮島前端；(B) 8 月假植結束並移至定位完成。

四、人工浮島

1. 苗木高度以 0.5-1.0 m 為佳
2. 尺寸為 4 m × 2 m，竹竿：PVC 管比例 16：4 共 20 支，以白鐵線固定。
3. 東側放置 8 床浮島，混植欖李、黃槿、土沉香；西側 13 床混植、水筆仔、黃槿、土沉香；南側 10 床混植欖李、紅海欖；北側 7 床混植、水筆仔、黃槿、土沉香，各浮島間隔 2-3 m，並以 1.5 m 竹竿及蚵線固定位置。
4. 2 月底栽植完成，假植至 8 月底後移植至定位處。
5. 成本：

項目	規格	數量	單價(元)	總價(元)
*孟宗竹	寬 10 cm × 長 4 m	456 支	150 / 支	68400
PVC 管	寬 4 inch × 長 4 m	152 支	380 / 支	57760
白鐵線	BWG1.65 m/m (16 番)	38 斤	120/斤	4560
泥炭土	300 L	38 包	1500/包	57000
有機肥料	20 kg	19 包	250/包	4750
椰子纖維	5 kg	76 塊	200/塊	15200
細網	網目 10 cm × 10 cm	342 才	40/才	13680
蚵線	2.8 mm	2kg	85/kg	170
初栽工資	1 人	38 日	1500/日	57000
移植工資	1 人	12 日	1500/日	18000
合計				296520

*孟宗竹包含製作人工浮島船身 304 支(裁成 2 m)，橫槓 57 支(裁成 1.5 m)，及定位用竹竿 38 支(裁成 1.5 m)。



圖 20 (A)西側堤岸人工浮島，1 月完成栽植並假植於岸邊之情形；(B) 人工浮島介質上層覆蓋海砂。

1 床人工浮島須以 2-4 根竹竿固定，並於假植期間即先完成定位，使竹竿因池中沉積現象能更加穩固。竹竿釘於人工浮島長軸兩端，相距至少 5 m。根系生長以欖李及黃槿最為快速，6 個月根系即已佈滿土壤，但未有穿透人工浮島之情形。

五、管柱栽植法

1. 以現地廢棄竹木材搭建臨時支架，增加管柱假植岸邊時的穩固性。
2. 管柱寬 4 inch、長度範圍在 120-150 cm，共栽植 100 支，苗木尺寸以苗高 1 m 以上為佳。
3. 將空管柱敲入西側岸邊，完成後填入周圍海砂至 8 分滿，在輕敲管口使海砂下沉，避免管柱中間產生空隙。栽植 1 株紅海欖後再將管柱填滿海砂。
4. 1 月底栽植完成，假植至 8 月底後移植至魚塢中央，間距約 1.5 m。
5. 成本：

項目	規格	數量	單價(元)	總價(元)
PVC 管	寬 4 inch × 長 1.5 m	100 支	190 / 支	19000
初栽工資	1 人	2 日	1500 / 日	3000
移植工資	1 人	1 日	1500 / 日	1500
合計				23500



圖 21 (A)西側堤岸管柱，1 月完成栽植並假植於岸邊之情形；(B)管柱 8 月移植完成之景觀。

六、撫育及管理

(一)堤岸複層林栽植

木麻黃生長快速，且因為密植栽種，約 2-3 年林冠即可能過度鬱蔽，容易產生病蟲害等威脅，需進行適當修枝或疏伐。前排之紅樹(或濱海植物)及黃槿則約 4-6 年需進行撫育作業，期間每年進行死亡苗木補植。撫育之成本約如下表：

表 2 堤岸複層林栽植撫育之成本(10 年)。

項目	規格	數量	單價(元)	總價(元)
竹子	直徑 1 inch×3 inch	200 支	3	600
工資	1 人	20 日	1500/日	30000
合計				30600

(二)親水植栽

親水植栽區約 5-6 年冠幅可鬱蔽，期間每年進行死亡苗木補植，美植袋可能因土壤流失而歪斜或塌陷，每年需進行補土及移正美植袋，水深不得超過袋身。

表 3 親水植栽撫育之成本(10 年)。

項目	規格	數量	單價(元)	總價(元)
美植袋	直徑 35 cm × 高 35 cm	50 個	50/個	2500
有機肥料	20 kg	2 包	250/包	1000
工資	1 人	12 日	1500/日	18000
合計				21500

(三)人工浮島

人工浮島之固定若因水位過深、土壤鬆軟等問題難以進行，可在浮島船身 4 個角各加釘 1 個鐵環，並以棉繩串連，綁於鐵竿敲定於岸上，並在颱風季節收至岸邊。人工浮島壽命約 5-10 年不等，其損害主要有土壤流失、船身破裂等，在颱風或豪雨季節時需特別留意。此外人工浮島栽植約 5 年時，堤岸及親水植栽區大致已成林，可將人工浮島拖置親水植栽區前方水深約 50-100 m 淺灘處，引導人工浮島栽植之苗木根系扎入土中，使其陸化，並與親水植栽區或管柱栽植區結合成大片親水紅樹林帶。

表 4 人工浮島撫育之成本(10 年)。

項目	規格	數量	單價(元)	總價(元)
*孟宗竹	寬 10 cm × 長 4 m	20 支	150/支	3000
PVC 管	寬 4 inch × 長 4 m	5 支	380/支	1900
白鐵線	BWG1.65 m/m (16 番)	10 斤	120/斤	1200
泥炭土	300 L	10 包	1500/包	15000
有機肥料	20 kg	10 包	250/包	2500
蚵線	2.8 mm	1kg	85/kg	85
工資	1 人	30 日	1500/日	45000
合計				68685

(四)管柱栽植法管

柱栽植法苗木存活率佳，僅需每年定期補質死亡苗木至約 6 年成林止。

表 5 管柱栽植法管撫育之成本(10 年)。

項目	規格	數量	單價(元)	總價(元)
工資	1 人	6 日	1500/日	9000
合計				9000

(五)颱風

就氣候變遷的條件下，颱風之強度逐年增高，嚴重威脅到魚塭復育之成果。於颱風來臨前，陸上之堤岸複層林、親水植栽區可加釘支撐竹竿，避免苗木遭風倒或風折；水上設施如人工浮島及管柱栽植，人工浮島主要遭受危害為土壤流失及擱淺，在颱風來臨前(或 8-10 月整個颱風季)將其收至岸邊減少損害；管柱栽植則可再管口增加支撐用竹竿綁定苗木，避免發生風折。颱風易導致水位劇烈變化，甚或溢至堤岸，若因地理位置等因素無法進行水位定位作業，則可考慮取消管柱栽植，避免定植於池中時遭淹浸。為降低颱風逆境壓力，苗木出栽時間可選於 2 初月，假植至 7、8 月颱風季之前約有 5-6 個月，透過混植及適當施肥促進苗木快速生長，尤其是根系之闊張，能增加苗木穩定性，增強環境逆境之抗力。

(六)施肥促進

海岸環境嚴苛、土壤貧瘠，適當施肥有助於苗木生長，並改善土壤質地。栽植前半年每 3 周進行全面施用益生菌有機肥 50-100 ml。後半年則延長至每 6 周全面施肥，同樣為 50-100 ml。

七、總成本

項目	數量	總價(元)
堤岸整治(挖土機)	7 日	57400
堤岸複層林栽植	840 株	27480
親水植栽(美植袋)	512 株	61720
人工浮島	38 床	295550
管柱栽植法	100 支	23500
撫育及管理	10 年	129785
合計		595435

595435 元為基本作業加管理撫育成本，栽植初期苗木易受環境影響，尤其在假植之前半年因苗木多在堤岸上，容易因日曬與強風乾燥等作用而死亡，故前 1 個月若無降雨，則需每週全面澆水；前 2-6 個月澆水周期延長至每 2 周約 1 次。此外，加上作業前的環境調查工作，以及後續環境維護、苗木補植與損壞設施之修復等工作，可能增加總成本約 1-2 成，故 1 ha 之收回魚塭復育成本為 60-70 萬。

伍、結論

隨著沿海過度開發，水源汙染、地層下陷、海岸線侵蝕等問題日漸嚴重，恢復與保持生態原有之淨化、保護功能，才是永續利用之道。在河川輸砂日益減少、地層下陷日趨嚴重的情況下，無論大小工程開發均可能加劇海岸侵蝕，衝擊當地生態，因此海岸林的復育策略亦從單一木麻黃造林轉為複層林造林，到近年更走向濕地多元造林的方式，企圖避免對復育地地貌造成過大的干擾。收回魚塭復育主要考量的重點為恢復防風林保安功能、保持魚塭濕地功能及以最小的環境干擾完成復育三點，經由前人經驗，分析各型態魚塭最合適之復育方式，以期提升魚塭地在濕地功能上的功效與重要性，作為自然濕地消失時，一個供給生物暫時利用的棲地選擇。

就目前復育經驗，魚塭復育面臨最大災害為颱風所造成，特別是人工浮島對風浪的抵抗性較低，常有擱淺的情形出現。為避免颱風帶來的強烈危害，可將假植期拉長避過颱風季，並做定期的維護管理，減少栽植首年的損失，俟苗木根系深入土壤時，即可大幅增加人工設施的穩定度。

透過堤岸防風林的建立與濕地造林技術的搭配，收回魚塭不必排除池水即可進行造林，能避免造成環境過大的變動，並保持原有的生態功能。多元的造林方式營造出各區域不同的林相，有效增加環境歧異度，吸引更多物種前來利用，組成相對於原魚塭或木麻黃林更複雜的生態網絡，形成穩定的多樣生態系統。非法占用魚塭經多元復育後，不僅具有環境與生態上的貢獻，適度干擾過的魚塭也可避免再度遭人復養、惡意傾倒廢料、以及閒置魚塭引發的衛生及輿論壓力等社會問題，並可作為環境教育的材料，提升國人對脆弱的海岸地的重視。本研究結果也作為林務局在濕地造林相關作業之參考依據，期望能提升臺灣海岸環境品質，發展永續經營。

陸、參考文獻

- 毛冠貴 (2002) 臺灣西部沿海養殖地區轉型使用機制之研究。農業經濟半年刊 72(12):1-43。
- 石栢岡、張文亮 (2006) 水生植物在人工浮島生長狀況與水質淨化之分析。中華民國環境保護學會學刊 29(2):1-13。
- 何坤益、程俊堯 (2010) 環境林、海岸林永續經營。林業研究專訊 17(5):21-25。
- 李明仁、王明光、王亞男、王鴻濬、王兆桓、李桃生、何政坤、何坤益、邱志明、林壯沛、林信輝、林世宗、林朝欽、卓志隆、范貴珠、陳財輝、徐政競、郭幸榮、許原瑞、張東柱、莊鈴木、黃裕星、馮豐隆、詹明勳、廖宇賡、廖天賜、劉瓊霖、劉一新、簡慶德、顏添明、顏江河 (2010) 育林實務手冊。行政院農業委員會，台北市。349頁。
- 李培芬、吳采諭、柯智仁 (2008) 以鳥類作為生態指標-鳥類監測計畫簡介。全球變遷通訊雜誌 60:25-35。
- 李震威 (2006) 臺灣東北部海岸保安林木麻黃林分健康監測之研究。國立宜蘭大學自然資源學系碩士論文，92頁。
- 岳龍、徐迎春、張煒、王秀琴、董鳳祥 (2010) 美植袋物理控根容器培育對玉蘭苗根系構型的影響。林業科學研究 23(6):883-888。
- 林國銓、唐盛林 (1999) 西部沿海地區臺灣海桐、榕樹、夾竹桃之幼年期生長。臺灣林業科學 14(3):247-54。
- 林睿思、陳宜敏、王經文、廖天賜、楊凱愉、陳忠義、許立勳、陳財輝(2009) 台中港區木麻黃天然更新之研究。林業研究季刊 31(2):47-60。
- 邱祈榮、潘孝隆、葉媚媚、黃愷茹(2007) 金門地區防風保安林劃設之研究。中華林學季刊 40(2):229-240。
- 唐旭日、張法琴 (2007) 鹽鹼地改良及園林綠化施工技術。安徽農業科學

35(5):708-709。

國立宜蘭大學森林暨自然資源學系 (2013) 宜蘭縣竹安濕地之廢棄魚塭再活化營造計畫，17 頁。

張云生 (2012) 沿海河口感潮帶灘塗濕地木麻黃林帶營建試驗。防護林科技 1:20-87。

張向寬、權順忠、賴進松、談義績 (2013) 魚塭區域之排洪特性與防止溢提方案。農業工程學報 59(1):15-25。

陳正倫 (2011) 臺灣紅樹林復育現況探討-以台南市安平港紅樹林復育計劃為例。國立屏東科技大學森林系碩士在職專班專題討論報告，27 頁。

陳明義 (2006) 海岸及鹽濕地綠化。臺灣林業 32(1):27-32。

陳財輝 (2008) 人工海岸保安林復舊。林業研究專訊 15(1):18-21。

陳麗美 (2003) 國有海岸防風林之營造。海岸防風林營造研討會論文集，22-25 頁。

馮杏、何松、陳升華、林開方、李廣翹、符杰雄、吳至平、黃文明 (2009) 海口地區混交海防林造林成效淺析。熱帶林業 37(4):28-32。

黃俊元、謝漢欽、朱木生 (2014) 台東海岸木麻黃天然更新及直播造林之探討。林業研究專訊 21(6):25-29。

黃振文 (2007) 利用農業廢棄物研製植物保護製劑產品。農業暨自然資源學院 56(2):99-106。

黃書彥、薛美莉 (2014) 涉禽對晒池魚塭之利用—以七股地區虱目魚及文蛤養殖為例。臺灣生物多樣性研究 16(4):339-354。

廖天賜 (2012) 永續海岸林防災機能-探討海岸林之孔隙更新。林業研究專訊 19(6):27-30。

蔡明哲(2011) 蘇澳大坑畧海岸複層林營造之探討。國立宜蘭大學森林暨自然資源學系碩士論文，88 頁。

- 鄧書麟、沈勇強、何坤益、呂福原、張怡萱、李玟樑 (2007) 四湖海岸木麻黃林
下海欖果天然更新特性之研究。中華林學季刊 40(4):519-534。
- 鄭紹良 (2011) 利用可資源化之鹼性材料做為污染土壤中鎘的穩定劑。屏東科技
大學環境工程與科學系所學位論文，67 頁。
- 戴文堅、江漢全 (2008) 人工浮島對湖泊水質改善效益評估之分析。農業工程學
報 54(1):26-31。
- Kent, C. P. S. (1999) A comparison of Riley encased methodology and traditional
techniques for planting red mangroves (*Rhizophoramangle*). Mangroves and Salt
Marshes 3: 215-225.
- Riley, R. W. and C. P. S. Kent (1999) Riley encased methodology: principles and
processes of mangrove habitat creation and restoration. Mangroves and Salt
Marshes 3: 207-213.
- Yeh, N., P. Yeh, Y. -H. Chang (2015) Artificial floating islands for environmental
improvement. Renewable and Sustainable Energy Reviews 47:616-622.
- Yong, L (1998) The importance to ardeids of the deep bay fishpond, Hong Kong.
Biological Conservation 84:293-300.

附件 2.

莫蘭蒂颱風試驗地損害及復舊成果報告

一、本校森林暨自然資源學系接受貴處委託辦理「海岸林地占用魚塭收回多元復育之研究(2-2)」，執行期間進行順利，目前已完成期初、期中計畫執行簡報，應可如期達成預期目標，初步成果樣區擘畫了海岸林地占用魚塭收回多元復育之示範研究策略，其結果非常值得期待。

二、配合計畫之執行，8月下旬進入計畫完成階段，將各項多元復育之培育成果移植至魚塭內定植，包括：

(一)堤岸複層林栽植：本年度規劃南塭岸斜坡整治，堤岸整治後，以第一線3排木麻黃為塭岸保護林帶，持續2排黃槿及3排土沉香為臨水保護帶。栽植行距設定1.5 m，期以密植加速樹冠鬱蔽，發揮防風保護校果。

(二)親水植栽區：以袋高30-45 cm美植袋，填入砂土與有機肥，選擇紅海欖、黃槿、土沉香、水筆仔及欖李等樹種，計完成了686袋苗培育。先期集中栽植塭岸上坡，8月下旬時苗木已較適應魚塭環境後，定植於之西岸及南岸植栽預定地點，割除美植袋底部，導引期根系伸展，預期形成親水植栽區，緩和魚塭水岸與塭岸整治複層林帶而延伸至塭內水域，擴大綠覆蓋範圍。

(三)人工浮島設置：以廢棄蚵棚竹竿：PVC管比例4：1排列成4 m×2 m長方形(以維持浮島的浮力)，栽植紅海欖、黃槿、土沉香、水筆仔及欖李，初期先放置於魚塭淺灘，減少環境逆境，假植沿魚塭淺灘邊緣放置，本年度規劃設置38座浮島均已。由於浮島苗木已較適應魚塭

環境，亦於 8 月下旬時亦遷移於之東岸、西岸及南岸之魚塭內預定地點。

(四)管柱栽植法：使用長度為 1 m 之 4 inch PVC 管，設計 100 支，應用耐水淹之紅海欖(紅樹科，具支持根可固定土壤)之較大苗木(60-100 cm)以換植於 PVC 管。為免栽植初期水域變化之影響，將於塭岸斜坡進行栽培，其苗木恢復後 8 月時再引植於池岸邊，移於魚塭內預定地點予以定植。

9 月初上述各項多元復育培育成果，完成移植至塭內定植後，電商(Line)貴處計畫主辦人員前往現場勘驗指導。

三、惟 9 月 14 日起，強颱莫蘭蒂颱風侵襲臺灣南部，試區位於颱風路徑上，致原已定位完整試驗區，突受強風與暴潮夾擊損毀試區，災情慘重，包括西側堤岸新植之親水植栽區多日淹水，以土沉香遭受沒頂浸泡危害最甚，多數已有萎黃現象。木麻黃則因生長快速苗高伸展，卻受風害影響大量傾倒情形；人工浮島因水位高漲，使得定位用固定錨遭向上拔起，且遭暴潮沖散而四處擱淺，並壓損堤岸原有親水植栽；管柱遭受沒頂浸泡完全沉於水面下，數日後紅海欖始露出水面；X 型栽植堤因水為突漲，完全淹浸，且受颱風吹襲島置漂流池中，其上所栽植之苗木過半流失。

四、為期持續觀察，以恢復預期成果，以利試驗計畫持續進行：包括浮島修復及四散擱淺浮島引導至原地點，規劃野外技術工(可水中作業者)，進行搬移浮島及管柱扶正等，及苗木補植與撫育作業等，約需工資 5 萬元。復舊材料泥炭土、有機肥約需 2 萬元，及其他雜支(竹枝、鐵線等)1 萬元，合計約需共 8 萬元復舊經費。

五、災害照片

(一)堤岸複層林栽植淹水危害



圖 1 (A)堤岸複層林初期栽植未遭水淹；(B)強颱侵襲後，水位已升高至淹浸第一排黃槿；(C)離水近之第一、二排土沉香過半數完全在水面下。

(二)親水植栽淹水危害



圖 2 (A)西岸親水植栽初期完成之景觀；(B)颱風後植栽區完全沒入水中(紅線為原水陸交界線)，水位高度直達親水植栽區後方防風林帶前緣。

(三)人工浮島



圖 3 (A)東側堤岸人工浮島初期完成之景觀；(B)颱風過後，東側堤岸僅剩 1 座人工浮島仍保持在原定位處，其餘 7 座則受風吹至紅圈處。



圖 4 (A)西側堤岸人工浮島初期完成之景觀；(B)颱風過後，西側堤岸人工浮島皆受風吹至紅圈處(左方竹筏為攔淺工作船，非計畫之人工浮島)。



圖 5 (A)南側堤岸人工浮島初期完成之景觀；(B)颱風過後，南側堤岸人工浮島多受風吹擱淺岸邊，導致部分堤岸栽植之土沉香及使用美植袋栽植之親水植栽區受到損害。



圖 6 (A)南側堤岸因颱風擱淺在美植袋上，以及(B)擱淺至岸邊情形。

(四)管柱栽植淹水危害

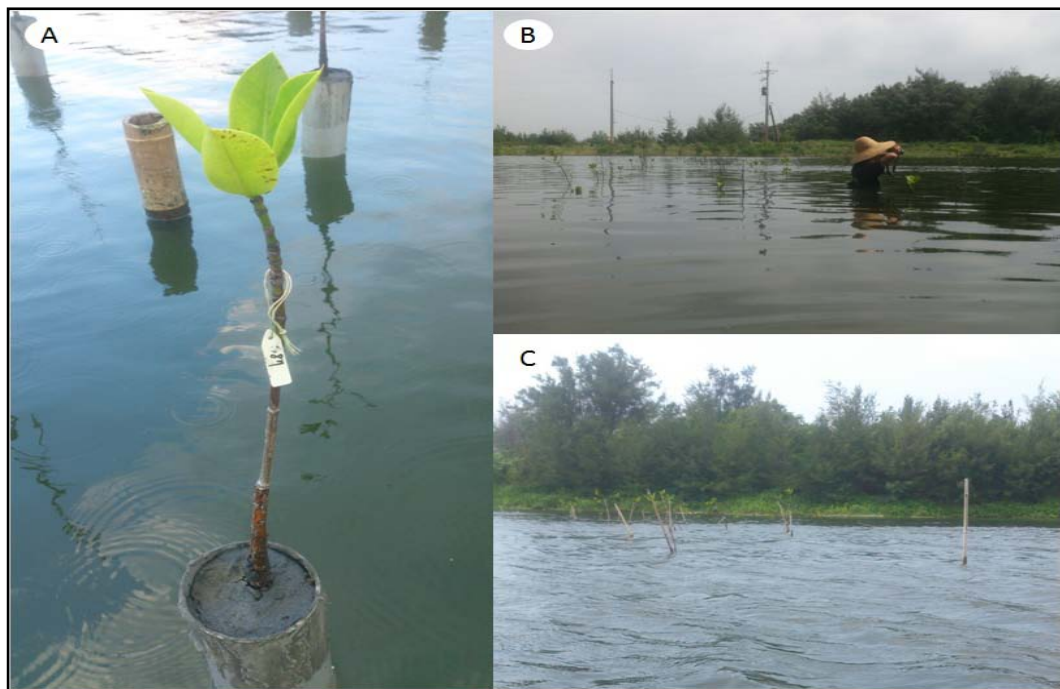


圖 7 (A)管柱栽植完成時，PVC 管口離水約 15 cm 以上；(B)、(C)水位上升後，PVC 管完全沒入水中。

附件 3.林務局嘉義林管處 104 年度委託研究計畫期初簡報

委員審查意見回覆說明

海岸林地占用魚塢收回多元復育之研究 2/2 期初審查會議紀錄

(一)時間：105 年 1 月 13 日上午 10 時 30 分紀錄：陳宜敏

(二)地點：本處 204 會議室

(三)主持人：楊副處長瑞芬

委員審查意見	回覆說明
<p>一、陳委員財輝</p> <p>(一)本研究工作相當辛苦，研究成果受颱風影響。</p> <p>(二)浮島僅為暫時措施，是否考慮回填廢土的可能性？廢土之上再回填砂土。</p> <p>(三)是否調查嘉義處轄區海岸砂地或垃圾之現況？可否配合實施淨灘活動將其運至試驗魚塢回填？</p> <p>(四)本試驗研究作為魚塢回收後之處理模式，避免復養之機會發生。</p>	<p>(一)謝謝委員指導，2015 年研究成果受蘇狄勒颱風嚴重影響。</p> <p>(二)該處保安林已列入一般海岸保護區受國家公園管制，浮島等多元作業希未破壞干擾下進行恢復綠覆蓋之研究。</p> <p>(三)同上</p> <p>(四)依指導建議，保留現已埋插塢池中之竹管柱，避免復養之機會發生。</p>
<p>二、鄧委員書麟(書面審查)</p> <p>(一)本計畫是否為延續去年之工作計畫？如為延續性計畫，建議增列去年已完成相關之重要成果摘要，以利計畫銜接。</p> <p>(二)p.14 主要工作項目如屬試驗性質，建議仍將相關試驗設計內容加以補</p>	<p>(一)已將前期完成相關之重要成果摘要，整理列於期初報告中。</p> <p>(二)本研究主要工作項目為作業方法之試驗研究，尚有需協調輔助，如國家公園簡要環評申請、高灘砂丘取土作業及人工浮島與管柱苗木適應篩選，待完成</p>

<p>述，以利瞭解。如塹堤栽植選育試驗、管柱造林試驗及親水植栽試驗等，內容儘量予以量化，如樹種、數量等。</p> <p>(三)操作作業手冊是否於本計畫內出版？</p> <p>(四)p.15 執行程序第一階段於 104 年 12 月即應已執行，目前執行情形建議加以補充。</p> <p>(五)內文使用單位請統一，有用 800「m」、400「m」也有 1.5「公里」表示，面積有用「ha」也有用「公頃」...等。</p> <p>(六)內文部份錯別字請重新檢閱修改，如：</p> <p>P.1 衝擊或沖擊，用法請統一。</p> <p>P.2 第 7 行...「及」有 80...請修正為「即」。。「由」以..請修正為「尤」。第 2 段第 7 行..「為」害請修改為「危」。</p> <p>P.9 翠蘆「荊」請修改為「荊」、「280m2」請修改為「280m²」。</p> <p>P.10 第 13 行..以利「館」內....請修改為「管」。</p> <p>P.11-P.12 有關有效微生物群的英文專有名詞有多種型式請統一寫法。</p> <p>P.17 生長「輛」請修正為「量」。</p>	<p>作業即規劃相當試驗設計，試驗之樹種數量等予以量化；目前於主要工作項目已再列出其執行內容及目標。</p> <p>(三)操作作業手冊將於本計畫內出版。</p> <p>(四)已配合修訂目前執行情。</p> <p>(五)已統一修訂，謝謝委員。</p> <p>(六)已逐一修訂，謝謝委員。</p>
<p>三、楊副處長瑞芬</p> <p>(一)請就前期研究結果及所面臨之問題補充於報告中，以作為後續研究之延</p>	<p>(一)已將前期完成相關之重要成果摘要，整理列於期初報告中。</p>

<p>伸。</p> <p>(二)請補充原各試驗設計中之量化情形及未來執行之狀況。</p> <p>(三)操作作業手冊，應有具體性的操作性，請提供復育各樣態魚塭時之量化情形(ex 管柱、竹人工浮島之數量以及單價...等)，以供本處未來執行面使用。</p>	<p>(二)本研究為魚塭多元復育作業方法之試驗研究，尚需國家公園簡要環評申請核定、高灘砂丘取土作業數量及人工浮島與管柱苗木篩選等協調輔助與樹種適應培育，待完成作業即規劃，詳實量化設計(期中簡報); 目前列出其執行方法內容及目標。</p> <p>(三)操作作業手冊將於本計畫內出版，遵照指示辦理。</p>
<p>四、洪課長雅惠</p> <p>(一)本案為第 2 期計畫，請將第 1 期研究資料補充於本報告中，據以作為接續研究之延伸，亦可提供本處於今年辦理收回魚塭復育應用。包括：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.研究過程遭遇困難、問題，例如去年遇乾旱、颱風、無漂流木等所致狀況及因應等加以記述，並附加照片前後對照; 另臨水池邊坡苗木枯死係水質不佳或浸水?)。 2.堤岸、浮島、管柱等試驗地苗木配置圖、苗木來源、各種類苗木高度及地徑、介質、植穴深度、經費運用等。 3.試驗結果重點整理(對於氣候變遷，本研究之貢獻度及建議機關日後作為等)。 <p>(二)堤岸及浮島：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.104 年 5 月 20 日至現地勘查時，發現既有之草本植物—海馬齒、鹽定、馬鞍藤等生長良好，是否加以應用? 因本處去年在台南市北門區雙春以開溝造林時，對於每條溝側邊坡栽植海馬齒，每條平坦帶上栽植馬鞍藤搭配栽植木麻 	<p>(一)已於前期期末報告提供相關成果，另提供本試驗專題研究成果 2 項供參考，如附件 3 及 4。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.遵照指示辦理，將於本年度出版操作作業手冊，以案例詳實說明。 2.遵照指示辦理，將於本年度出版操作作業手冊，以案例詳實說明。 3.已將前期完成相關之重要成果摘要，整理列於期初報告中。 <p>(二)堤岸及浮島：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.遵照指示辦理，將於本年度之人工浮島試驗栽植，以確認是否適合人工浮島環境。

黃、欖李及土沉香，至今苗木生長良好。

2.另對於乾旱時是否考慮適時澆水，增加苗木成活？或建議栽植何種適合本區耐旱植物？(觀察本區範圍外臨西側草海桐生長良好、保安林內木麻黃亦未因去年颱風風倒或受災)

3.本次調整將浮島加入 PVC 管外，第 1 期試驗樹種選擇及介質是否需調整？或只要在堤岸旁先健化即可提高苗木存活率？

(三)管柱造林試驗：

1.報告中提到前人研究(Riley 研究管柱栽植法，說明其結果成功與否依管柱尺寸、繁殖體或小苗選擇，以及管柱和小苗高度訂定與潮汐機制決定。)請再詳加說明本試驗地係參考其那些研究內容？

2.請說明本期將竹管改換為 PVC 管主要原因為何？

(四)簡報中提出「購入土方」想法，應該是列入本案多元復育試驗方式之一，作法及費用亦可作為日後本處參考；另請附土方來源證明。

(五)塹堤整治：植穴內加入 100g 有機肥，50g 波卡西，及 100ml 5%EM 益生菌，透過益生菌之改良植穴，提高存活率，隨即進行植栽試驗。請問：若用於鹽田造林是否可行？基本上仍應需以蚵殼作為隔離層？

2.浮島與管柱試驗栽植時有供水，但水分散失快補充不易(水域中執行不易)，為免栽植初期水域生育環境變化影響，因此，將先行於將先行於塹岸斜坡進行假植栽培，俟其苗木恢復後再引植於池岸邊，以增進植栽苗木之適應，俟其恢復生活勢後，再引植於池面適當位置(約 4-6 個月)予已定植。

3.試驗樹種選擇及介質是採用前期試驗成果於以調整，如原有介質加標準量之有機肥料等。

(三)管柱造林試驗：

1.除 Riley 研究管柱栽植法，亦參考屏東科大於台南運河植栽試驗。

2.栽植於 PVC 管的紅海欖小苗存活率明顯高於竹管，以竹管為材料雖能利用廢棄竹管，然因竹管易有裂縫等產生空隙中斷管中毛細現象，使水源供應中斷而苗木缺水死亡，成效不如預期

(四)遵照指示辦理，將於本年度之漂流木不再運入，將購入土方補充，並附土方來源證明。

(五)前期執行鹽田造林試驗，即配合蚵殼作為隔離層，及 EM 益生菌施用改良植穴，效果良好。

附件 4.林務局嘉義林管處 104 年度委託研究計畫期中簡報

委員審查意見回覆說明

(一)時間：105 年 5 月 10 日上午 10 時

(二)地點：臺南市安南區鹽田段

(三)主持人：楊副處長瑞芬記錄：陳宜敏

(四)主辦單位報告：

本委託研究依契約書規定，期中報告應於 105 年 4 月 15 日前提出，國立嘉義大學於限期內函送 10 份期中報告書至本處，爰於今(10)日至試驗現地進行勘查並召開期中報告審查會議。

(五)國立嘉義大學報告：如附簡報

(六)審查意見：

審查意見	意見回覆
<p>一、陳委員財輝</p> <p>(一)本計畫執行良好，具研究參考價值，有抑止回復養殖機會。</p> <p>(二)本研究管柱造林方式，是否管柱基部加椰纖覆蓋，可增加土壤保水力及提高毛細管水吸收能力。</p> <p>(三)人工浮島是否需加以錨定？颱風危害每年皆有，未來維持管理不易，可在未來加以檢討。</p> <p>(四)西側及南側堤岸整治栽植成效良好，宜再持續監測觀察。</p>	<p>(一)謝謝委員</p> <p>(二)參照委員建議，添加管柱基部之椰纖，藉以增加土壤保水及提高毛細管水吸收能力等評估。</p> <p>(三)感謝委員建議將，加強此錨定作業之評估，以因應颱風之危害。</p> <p>(四)感謝委員建議，將再持續監測觀察評估，以因應颱風之危害。</p>
<p>二、鄧委員書麟</p> <p>(一)本計畫執行相當辛苦，研究團隊之努力值得肯定。</p> <p>(二)第 1 頁目次內所列各章節之頁數與實際內文頁數不相符，請修正。</p> <p>(三)水位穩定作業之 PVC 管口建議設置</p>	<p>(一) 謝謝委員</p> <p>(二)因裝訂排版作業疏忽，已再確認頁碼並修正內文。</p> <p>(三)參照委員建議，該 PVC 管口設</p>

<p>過濾網，避免枯枝落葉及垃圾淤塞。</p> <p>(四)人工浮島試驗，圖 24 試驗規劃是否過於複雜？後續恐不易比較分析。</p> <p>(五)管柱栽植試驗中，補植苗木目前採於塭岸斜坡處先假植，預計於 10 月再進行引植，惟需注意引植之困難度，屆時 PVC 管上面已有植栽生長，恐不易於打樁固定。</p> <p>(六)前期試驗因颱風造成人工浮島與管柱栽植試驗重大損害，本年度亦做了很多的工法改變，其成效值得期待！</p>	<p>置過濾網，以避免枯枝落葉及垃圾淤塞。</p> <p>(四)因配合植栽組成與覆蓋，及根系結構觀察，將謹慎評估與分析作業。</p> <p>(五)感謝委員建議，未來操作時將以機械打樁固定，加強此移植作業之細節。</p> <p>(六)前期颱風造成人工浮島與管柱栽植試驗之損害，本年度修訂工法改變于以因應。</p>
<p>三、楊副處長瑞芬</p> <p>(一)堤岸整治栽植成效不錯，惟部分植栽苗木受雨水逕流影響土球裸露，請改善並注意生長情形。</p> <p>(二)持續觀察及記錄第 1 年的試驗結果，並納入第 2 年報告中。</p> <p>(三)本案為本處的亮點計畫，其操作作業手冊，應有具體性的操作性，請提供復育各樣態之量化情形(ex 管柱、竹浮島之數量以及單價...等)，以供本處未來執行面使用。</p>	<p>(一)感謝委員建議，將加強堤岸整治栽植之逕流改善，裸露土球已培土改善恢復生長情形。</p> <p>(二)參照委員建議，持續觀測記錄前年試驗結果，納入第 2 年報告期末中。</p> <p>(三)感謝委員建議，加強操作作業手冊作業之細節內容等及各樣態之量化情形。</p>
<p>四、洪課長雅惠</p> <p>(一)p.6，第 1 段第 2 行「並配合嘉義管理處漂流木清理作業，因年度已無漂流木清理作業，故本年度由計畫自行進行試驗樣區基礎施作」，請增修為「並配合嘉義林區管理處漂流木清理作業，因 104 年度無漂流木，故 105 年度由計畫自行進行試驗樣區基礎施作」。</p> <p>(二)p.6 第 1 段及 p.9 第 1 段，皆僅敘述南側及東側塭岸整治方式，無西側；然 p.8 自然植被復育觀察區第 1 行「利用東、南及西側不同堤岸整治作業結果」、p.18、p.19 有西側之敘述？請問西側塭岸整治方式為何？</p> <p>(三)p.11，「親」水區則栽植土沉香，建議</p>	<p>(一)謝謝委員，已修正內文。</p> <p>(二)西側塭岸整治方式已於前期計畫完成，親水植栽試驗與自然植被復育觀察為本年度新增工作，其執行範圍包括前期完成整治之西側塭岸整治區域內。</p> <p>(三)謝謝委員建議，已遵照修訂。</p>

<p>將修改為「臨」水區，是否較貼近本試驗地點所栽植樹種？</p> <p>(四)p.15，圖 24.人工浮島試驗規劃與人工浮島排列，色塊表現方式不易閱讀(理解)，建議以照片對照呈現。</p> <p>(五)p.16，新增 X 型栽植堤，請問如何提供靜波穩浪效果？該段第 1 行「預計擺置最前緣」，請問放在何處最前緣？該段第 3 行「為免栽植初期逆境影響初期存活率，將於塭岸斜坡進行假植栽培．．．」，請問此段文字與「新增 X 型栽植堤」其關連性？</p> <p>(六)p.19，建議操作作業手冊增加工數及預算，俾日後參考。</p> <p>(七)報告書中錯漏字，例如：規「畫」請修正為規「劃」、「嘉義管理處」請修正為「嘉義林區管理處」、「覽」李請修正為「攬」李、自然植被「復觀察育區」請修正為自然植被「復育觀察區」。</p>	<p>(四)參照委員建議，納入期末報告以照片對照呈現。</p> <p>(五)參照委員建議，新增 X 型栽植堤，將擺置塭岸之最前緣處，之後再擺置人工浮島管柱等，惟避免直接設置新植苗木無法適應，將於塭岸斜坡進行假植栽培，此部分將納入期末報告以照片對照呈現。</p> <p>(六)感謝委員建議，加強操作作業手冊作業之細節內容等。</p> <p>(七)謝謝委員，已修正內文錯漏字。</p>
---	--

附件 5.林務局嘉義林管處 104 年度委託研究計畫期末簡報

委員審查意見回覆說明

(一)時間：105 年 11 月 11 日下午 3 時

(二)地點：臺南市安南區鹽田段

(三)主持人：周秘書恆凱

(四)審查意見：

審查意見	意見回覆
<p>一、陳委員財輝</p> <p>(一)建議刪除 p.13 圖 1、圖 2、圖 3。</p> <p>(二)p.15 人工浮島之效益及其長期管理問題辦法為何？</p> <p>(三)農業廢棄物回填建議主動且統一由管理單位處理。</p> <p>(四)p.25 第 1、2、3 線建議改為幾列。</p> <p>(五)調查統計圖宜用不同樣式的資料點，以利判讀。</p> <p>(六)p.52 結論補充對浮島的後續管理。</p>	<p>(一)謝謝委員建議，已將圖片刪除。</p> <p>(二)參照委員建議，已將人工浮島之效益分別補充於手冊 p.55 及本文 p.4、30-31。長期管理辦法分別補充於手冊 p.77-78、80 及本文 p.38、45。</p> <p>(三)謝謝委員建議，已補充於手冊 p.63。</p> <p>(四)謝謝委員建議，已做修改。</p> <p>(五)謝謝委員建議，已做修改。</p> <p>(六)謝謝委員建議，已補充於本文 p.45 及手冊 p.77。</p>
<p>二、鄧委員書麟</p> <p>(一)本計畫執行相當辛苦，研究成果具參考價值，值得肯定。</p> <p>(二)本研究執行期間，栽植與設施每年均受颱風影響，並造成嚴重損害，建議研究團隊於部分工法應加強設施穩定性。</p> <p>(三)人工浮島與 X 型栽植堤每座單價高，但受颱風影響卻很大，人工浮島的錨定方式建議加強？或設計成活動式，颱風季可回收拉至岸邊避颱？X 型栽植堤打樁入土深度只有 5 cm，是否不足以抗強風吹毀亦請考量。</p> <p>(四)堤岸埋設的 2 支 5 inch PVC 排水管於</p>	<p>(一)謝謝委員。</p> <p>(二)謝謝委員建議，已補充於手冊 p.78。</p> <p>(三)謝謝委員建議，人工浮島可改以繩索串連，再以鐵竿釘於岸上，颱風季時可收至水深較淺處，此部份已補充於作業手冊 p.67、78 中。X 型栽植堤因成效不彰，有待後續研究，暫不建議實施。</p> <p>(四)謝謝委員建議，因地理環境不易</p>

<p>颱風時是否發揮功能?是否需調整或修正?</p> <p>(五)總成本只羅列新設設施與植栽成本計算。惟後續撫育管理成本估算欠缺計算式，建議加以量化。</p> <p>(六)管柱假植位置建議可以在一定水深處，減少乾燥。</p> <p>(七)訂定淹浸高度對苗木規格，如高度、基徑之選擇準則，並編入手冊。</p> <p>(八)美植袋底部割除定根現後無法移動，對淹浸危害後的樹種選擇調整。</p>	<p>排水，此部分僅能促進苗木生長，提高其耐淹浸能力。</p> <p>(五)謝謝委員建議，已補充於手冊 p.76-79 中。</p> <p>(六)謝謝委員建議，已做修改並補充於手冊 p.69 中。</p> <p>(七) 謝謝委員建議，苗木選擇依據主要為苗高，較高之苗木受淹浸之危害較輕微，此部份已做修改並補充於手冊各作業中。</p> <p>(八)謝謝委員建議，已於作業手冊 p.64 對樹種選擇列舉數種做為參考。</p>
<p>三、康科長素菁</p> <p>(一)期末摘要調整。</p> <p>(二)p.27 土沉香資料補充。</p> <p>(三)苗木來源為向林務局申請或自行購買，並補充其成本說明。</p> <p>(四)各作業之經濟效益說明，是否有大量操做之價值。</p>	<p>(一)謝謝科長建議，已重新改寫摘要。</p> <p>(二)參照科長建議，已將土沉香資料補充於本文 p.16-17 中。</p> <p>(三)謝謝科長建議，苗木來源為向林務局申請，已補充於作業手冊 p.71。</p> <p>(四)謝謝科長提問，透過多元復育魚塢，可強化魚塢濕地功能，在海岸濕地受嚴重破壞之時，確實有保留魚塢濕地生態功能之必要性。此部分已補充於內文 p.5-7、45，並有詳細論述。</p>
<p>四、周秘書恆凱</p> <p>(一)告示牌之計畫年度為 105 年，應修改為 104 年度。</p> <p>(二)p.23 農業廢棄物除蚵殼竹架外有無其他材料。</p> <p>(三)漂流木及農業廢棄物若持續用於回填魚塢，對已完成之設施是否造成影響？</p> <p>(四)作業手冊應增加條列式施作方式及補充說明各情況之對應措施，並減少理論部分，理論部分可在期末報告中詳加討論。</p> <p>(五)說明魚塢大小以 0.5 ha 為標準之依據。</p>	<p>(一)謝謝秘書建議，將重新修改告示牌年度。</p> <p>(二)農業廢棄物如玉米稈及稻梗等皆可利用，為採收期未能配合。</p> <p>(三)謝謝秘書建議，農業廢棄物持續回填宜於底層處理時一併規劃施作，此部分已補充於作業手冊 p.63。</p> <p>(四)謝謝秘書建議，已做修改。</p> <p>(五)謝謝秘書建議，已於作業手冊 p.56 補充。</p>