

行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列102-01-5-01

臺灣東北部地區海岸林更新技術之研究 (2/2)

The Studies of Recovery Methods of Coastal
Windbreak in Northeastern Area of Taiwan (2/2)



委託機關：行政院農業委員會林務局羅東林區管理處

執行期間：102 年 7 月 10 日至 103 年 6 月 30 日

執行機關：國立宜蘭大學森林暨自然資源學系

中華民國 103 年 5 月

摘要

為改善現存海岸林，維持海岸林健康及完整性，於五結防風海岸林進行直播試驗與調查於大坑罟營造之海岸複層林栽植幼苗適應性，並彙整歷年之序列研究，從海岸林變遷、海岸林社區認知、參與意願及海岸林建造技術等探討防風海岸林復育之模式。

由歷年的航空照片圖判釋宜蘭南澳及蘇澳地區防風林林相變遷，以木麻黃防風林面積有逐漸減少，且林分結構破裂，顯示該防風林受干擾劣化嚴重亟需營造復育與維護防風功能。同時由社區訪談與問卷探討防風林旁的南澳海岸社區及蘇澳大坑罟等社區居民對防風林逐漸受破壞亦感到擔憂。蘇澳四個社區則對防風林的參與有不同程度的認知與意願，社區居民對防風林共同參與維護則需要林務局提供補助，進而與社區形成夥伴關係營造與維護海岸防風林。

大坑罟劣化海岸林以行列整理伐配合栽植造林營造複層林，栽植苗木以苦楝、水黃皮、黃槿三樹種有較佳之存活及生長表現，可形成複層海岸木麻黃之混合林相，栽植初期應加強初期撫育。比較三樹種苗木之光適應性，苦楝在全光下生長佳，但光適應幅度小，不宜於低光下；水黃皮則光適應幅度大，以全光下為佳，福木則適於局部遮光環境；而苦楝有良好的耐旱性，福木在全光下耐旱性差，水黃皮則受到乾旱影響最大。於 2013 年 11 月進行之五結鄉海岸林林冠孔隙區播種試驗，以水黃皮發芽率最高，發芽苗存活率及幼苗初期高生長於孔隙位置並無顯著差別；木麻黃發芽率以高光環境較高，但發芽苗存活率甚低，建議木麻黃播種造林採大量播種造林，劣化木麻黃林適宜以水黃皮及苦楝播種形成混合林。

建立宜蘭地區海岸樹種開花結實等資訊，建議本地採種育苗與造林規畫需連貫，栽植造林應注意栽植季節與苗木品質篩選，大苗盤根嚴重影響存活適應；水黃皮則以裸根苗之存活率高；黃槿實生苗與扦插苗初期成活率與生長無顯著差別，但生長與形質較一致。

關鍵字：海岸防風林，復育造林，複層林，苗木適應性，社區參與

Abstract

For maintaining the integrity and health of the existing coastal *Casuarina* forest in I lan County. The objectives of plan were to explore potential of seeding plantation and replanting to form multi-storied forest in the destructed coastal windbreaks area in I lan, and compiled full information from series projects of the temperal change of coastal windbreaks, percept of community residents near the windbreaks and cooperate planning for reservation practice of coastal windbreaks.

By interpretation of aerial photography of target area over the years and survey of stands. These windbreaks were broken and degraded by serious disturbance. The opinion of community near coast about windbreaks that residents worried about the gradual damage and have solis community percept for participating in the maintenance of windbreaks and required to subsidize by government.

For recovery the degraded windbreak near DaKenGu community in Suao town, replant seedlings of some coastal tree species after row salvage cutting to establish multi-storied, mixed *Casuarina* forest. surveyed results showed that seedlings of *Melia azadarch*, *Pongamia pinnata* and *Hibiscus tiliaceus* have good performance, but need intensive weeding as initial planting time. *Melia azadarch* was only suited in open site and nice drought tolerance. *Pongamia pinnata* was suited over broad light environment, but limited by water deficiency, *Garcinia subelliptica* was suited in partial light intensity. as the results of the seedling adaptation studies. Seeding test under canopy site were set up on nov.2013, that showed *Melia azadarch* and *Pongamia pinnata* may make mixed *Casuarina* forest by seeding plantation.

Information of fruit and seed inventory of costal tree species in I Lan area were set and supply for seedling cultivation and reforestation reference.

Keywords: Coastal windbreak, degradation, restoration, community cooperation

目錄

摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
目錄.....	III
圖目錄.....	V
表目錄.....	VII
壹、 前言.....	1
貳、 本年度目標.....	2
參、 研究區域概述.....	3
一、 海岸防風林孔隙地直播造林試驗.....	3
二、 海岸樹種不同品質苗木之栽植試驗.....	3
三、 大坑崙海岸複層林營造與栽植樹種苗木適應試驗.....	4
四、 氣候概述.....	4
肆、 材料與方法.....	5
一、 直播造林.....	6
二、 海岸防風林劣化地栽植造林.....	7
三、 海岸相關資料彙整.....	8
伍、 結果.....	10
一、 海岸林變遷調查.....	10
二、 海岸附近社區對防風林的認知與參與.....	19
三、 海岸防風林復育造林.....	24
五、 海岸林樹種幼苗環境逆壓抗性試驗.....	51

陸、參考文獻.....76

圖目錄

圖一、海岸防風林直播試驗地位置.....	3
圖二、大坑罟海岸林營造複層林位置.....	4
圖三、蘇澳氣象站 2008 年至 2012 年之月平均降雨量及月均溫.....	4
圖四、宜蘭地區海岸林復育序列研究架構圖.....	5
圖五、直播試驗樣帶示意圖.....	7
圖六、1983 年至 2006 年之南澳 2727 海岸防風林林相變遷判釋.....	12
圖七、南澳 2727 海岸防風林 1983-2008 年各屬性林地類型面積的變化.....	13
圖八、防風林內幼木於不同時間下的株數密度變化.....	15
圖九、南澳 2727 號海岸防風林林內天然更新木麻黃幼苗存活株數變化.....	16
圖十、大坑罟海岸林研究區域內及四個社區位置.....	18
圖十一、大坑罟海岸林研究區 1986、1996、2005、2009 年疏林與密林面積變動	18
圖十二、2010 年 7 月調查 3 條林分結構樣帶之林木數量及分佈位置.....	25
圖十三、3 條林分結構樣帶組成樹種之數量分佈.....	26
圖十四、林分樣帶樹高分佈.....	26
圖十五、大坑罟海岸防風林苗木栽植樹種配置.....	28
圖十六、2011 年 7 月各栽植樣帶之栽植苗平均存活率.....	30
圖十七、五種栽植苗之存活率變化趨勢與月降雨量比對.....	30
圖十八、五結地區海岸防風林林冠孔隙.....	36
圖十九、直播試驗樣區光度示意圖.....	37

圖二十、直播試驗樣帶光量及 R/FR 比值.....	38
圖二十一、光度與種子發芽率關係(由上而下為木麻黃、水黃皮及苦楝).....	40
圖二十二、光度與樹種死亡率關係.....	41
圖二十三、光度與幼苗高度關係.....	42
圖二十四、各樹種發芽率曲線圖.....	44
圖二十五、播種試驗地木麻黃天然下種更新苗發芽、死亡曲線.....	45
圖二十六、木麻黃物候豐度.....	47
圖二十七、水黃皮物候豐度.....	48
圖二十八、苦楝物候豐度.....	48
圖二十九、欖仁物候豐度.....	49
圖三十、海欖果物候豐度.....	49
圖三十一、林投物候豐度.....	50
圖三十二、黃槿物候豐度.....	50
圖三十三、三種鹽分處理之土壤電導度變化.....	52
圖三十四、三種鹽分溶液處理二個月之苗木.....	53
圖三十五、三種鹽分溶液處理下葉片脯胺酸量.....	55
圖三十六、各樹種在不同光度環境下之光合作用曲線.....	61

表目錄

表一、2012 年海岸林造林試驗概述.....	3
表二、七種海岸樹種母樹觀測樣木基本資料.....	9
表三、南澳海岸地區海岸防風林地景類型變遷表.....	10
表四、南澳防風林內主要樹種數量及生長變化.....	14
表五、1978 年至 2009 年大坑罟海岸防風林之變遷.....	19
表六、林分組成樹種數量變動.....	27
表七、大坑罟海岸木麻黃林更新造林樹種苗木資料.....	29
表八、各樹種栽植苗之生長型態性狀值.....	29
表九、五種樹種於不同季節之平均死亡率.....	31
表十、2010 年 7 月-2011 年 7 月三種栽植苗各季相對生長率	32
表十一、2011 年 1 月-2013 年 7 月六種栽植苗相對生長率與存活率	32
表十二、不同育苗方式木麻黃栽植苗生長比較.....	33
表十三、不同培育方式木麻黃栽植苗受害情形.....	33
表十四、各樹種苗木受害情形.....	34
表十五、不同培育方式苗木栽植生長比較(2012.11~2013.4).....	34
表十六、不同培育方式苗木栽植生長比較(2012.11~2013.8).....	35
表十七、直播試驗地林分調查.....	36
表十八、直播試驗地林分組成.....	36
表十九、木麻黃、苦楝、森氏紅淡比種子品質(質量、體積等).....	43
表二十、各樹種於各冠層環境、地被處理的發芽、存活率.....	46

表二十一、宜蘭地區海岸樹種開花採種期與果實種子資料.....	51
表二十二、三種鹽水處理之林投苗木生長和存活率.....	53
表二十三、林投苗總乾重、各部位絕乾重與 T/R 率之比較.....	54
表二十四、鹽水處理 2 個月後置於苗圃 6 個月之林投苗木生長.....	55
表二十五、各樹種光適應後生長形態表現(一).....	58
表二十六、各樹種光適應後生長形態表現(二).....	58
表二十七、各樹種在不同光度下之光合作用參數.....	60
表二十八、苦楝苗木乾旱下光合作用參數.....	62
表二十九、水黃皮苗木乾旱下光合作用參數.....	64
表三十、福木苗木乾旱下光合作用參數.....	65
表三十一、苦楝苗木斷水處理螢光參數.....	67
表三十二、水黃皮苗木斷水處理螢光參數.....	69
表三十三、福木苗木斷水處理螢光參數.....	71

壹、 前言

臺灣四面環海，沿海砂丘之海岸防風林帶具重要國土保安功能，由於以往臺灣海岸林建造多以木麻黃採建造同齡級純林，長年處於濱海環境，至 20~30 年生時已漸衰老，又受東北季風及颱風侵襲等干擾，林木枯倒致林分生長劣化，成熟林分孔隙不斷擴大、林相破碎化現象日益嚴重，對國土保安造成重大威脅。因此為維護木麻黃林分的健康完整與促進更新，發揮海岸林保安功效。

目前海岸防風林建造林樹種中，仍以木麻黃為主。如經由劣化木麻黃純林逐漸整理建造為複層林之林分結構，以多種海岸樹種與木麻黃混植建造之海岸防風林，除對林地有效養分的提供有所助益，提高海岸林抵抗惡劣環境的能力，以減緩海岸林的老化速度。對海岸防風林採行複層林營造，於林分孔隙以塊狀、帶狀、列狀補植，或於林下混植多種原生多樣的闊葉樹種以改善林相。

過去台灣海岸林更新均以木麻黃栽植造林為主，就已劣化之木麻黃林，嘗試以直播造林方式，模擬殘存之成熟木麻黃林木下種更新之可行性。同時栽植造林時，受苗木品質影響及栽植時根系易受到擾動或損傷，下種苗則於生長適應較佳。因此可選擇直播作為海岸林復育建造方法之一，於海岸木麻黃林下直播造林，雖具作業簡便且可避免林分過度破壞等優點，但直播種子受氣候及林地環境綜合影響林地實際發芽率及成苗率，包括水分、高溫逆境、林下光度、雜草競爭、地被枯枝落葉層及土壤斥水層障礙等，因此以人工進行林床擾動如翻土、除草、移除枯落物，或覆土或覆稻草處理及各干擾處理之強度等因素，均會影響直播造林之成效。

本計畫以宜蘭縣五結鄉之海岸木麻黃防風林劣化形成之孔隙區，採用直播復育造林進行更新，調查比較海岸樹種種子發芽率及成苗率表現；並由海岸複層林之追蹤調查，並將自 2008 年至 2014 年系列計畫結果整合討論，作為後續海岸復育造林作業之參考。

貳、 本年度目標

本計畫以宜蘭縣境內壯圍鄉至蘇澳鎮沿海一帶，勘選海岸防風林生長不良之林分、收回地與墾地等為造林預定地，調查林分現況，規劃現有林分復育建造方式，造林苗木則以現地海岸苗圃，包括木麻黃、苦楝、水黃皮、黃槿與林投等海岸適生樹種，就苗木培育方式與形質進行篩選分級作為造林材料，經造林適應調查分析，檢討苗木品質等。進而建構本區之育苗作業程序與造林作業程序，提供本區海岸林育苗造林計畫與施作參考。

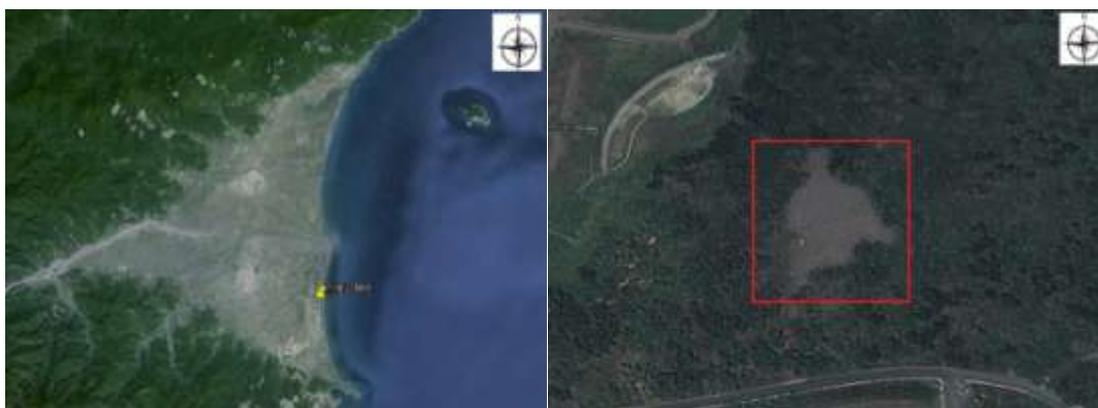
重要工作項目：

1. 海岸林複層林更新造林區之設樣調查林分組成結構與林冠空間結構。
2. 定期調查收回林地設置混植試驗區，各造林材料之存活與生長。
3. 於海岸林內進行不同環境下海岸樹種直播造林試驗與調查分析。
4. 觀察本區海岸樹種之開花結實，並且調查整理育苗造林資訊，建構育苗造林程序。

參、 研究區域概述

一、海岸防風林孔隙地直播造林試驗

本試驗區位於宜蘭縣五結鄉濱海，為利澤工業區北端，東經 121°50'04"，北緯 24°40'06.5"，試驗面積約 0.8 ha，現存海岸林帶主要為人工營造之苦楝、木麻黃防風林及黃槿、林投混生其中，為利澤工業區之防風屏障。



圖一、海岸防風林直播試驗地位置

二、海岸樹種不同品質苗木之栽植試驗

於宜蘭縣壯圍鄉至蘇澳鎮沿海一帶之海岸林，選取 3 個造林預定地作為試驗地點，如表一，並於 2012 年 11 月栽植不同品質苗木進行試驗。

表一、2012 年海岸林造林試驗概述

位置	面積 (ha)	栽植苗木	海岸線 距離(m)	現存主要樹種
壯圍鄉大福路一段 (A 區)	1	林投、草海桐	10~20	草海桐、林 投、黃槿
壯圍鄉壯濱路一段 (B 區)	4.13	水黃皮、苦楝、 黃槿、木麻黃	50~80	林投、欖仁
五結鄉清水苗圃(C 區)	0.68	木麻黃	100~150	黃槿、棟樹

三、大坑罟海岸複層林營造與栽植樹種苗木適應試驗

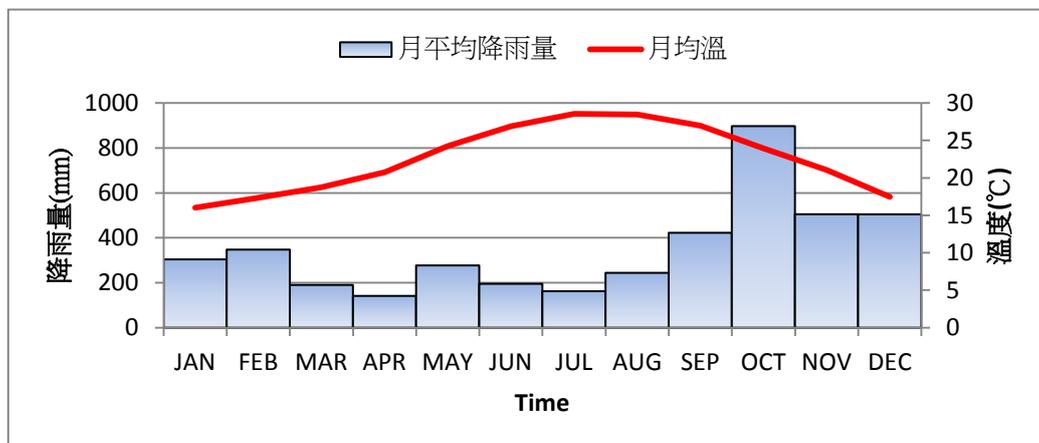
本試驗區域位於宜蘭縣蘇澳鎮大坑罟社區，為無尾港水鳥保護區北端海岸，東經 121°51'6"，北緯 24°37'33.5"，試驗區面積約 6.00 ha，現存海岸林帶主要為人工營造之木麻黃防風林，為蘇澳大坑罟社區之防風屏障，本區於 2010 年，以黃槿、水黃皮、棟樹、瓊崖海棠、木麻黃為材料進行海岸複層林營造，如圖二。



圖二、大坑罟海岸林營造複層林位置

四、氣候概述

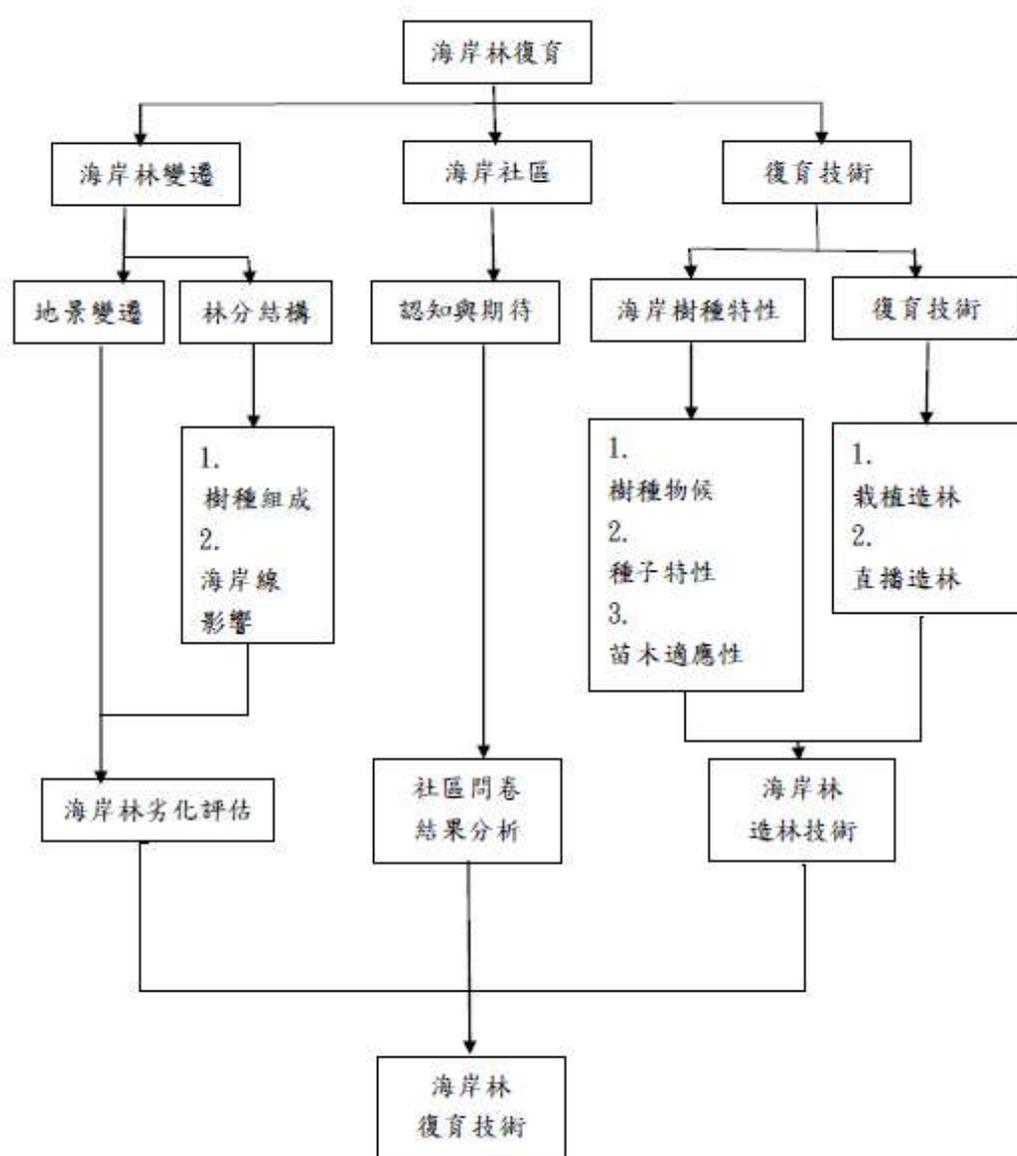
依照鄰近試驗區之中央氣象局蘇澳氣象站的歷史氣象資料顯示(圖三)：2008 年至 2012 年之平均降雨量為 4197 mm，每年以 9~11 月降雨最多，每月平均降雨量均在 500 mm 以上，其次為 12 月至翌年 2 月，每月平均降雨量亦在 300 mm 以上，3~8 月降雨量偏低，年平均降雨日數達 209 天。年平均溫度約為 22.5°C，以夏季月的溫度最高 28.6(°C)，冬季 1 月的溫度最低 16.0(°C)



圖三、蘇澳氣象站 2008 年至 2012 年之月平均降雨量及月均溫

肆、 材料與方法

為建構台灣東北部宜蘭地區海岸林復育技術與評估，本研究結合民國 97 年至 103 年所進行之造林試驗成果，並於宜蘭縣五結鄉進行直播試驗，作為台灣東北部地區海岸林復育技術之參考，序列研究架構如圖四，試驗主題與材料方法分述於下。



圖四、宜蘭地區海岸林復育序列研究架構圖

一、直播造林

1. 供試種子活力檢定

以發芽檢定為種子之活力，木麻黃於濕潤濾紙的加蓋培養皿中進行發芽，種子 100 粒為重複，共 5 重複。並置於 30/20°C、25/15°C 及 20/15°C (12hr 光照) 條件的發芽生長箱中進行試驗。胚根突出 5 mm 視為發芽，每 3 天紀錄，至連續 2 週已無發芽種子時，視其發芽截止，結束試驗；苦楝與水黃皮種子與濕潤細水苔均勻混合(1:2)於夾鏈袋中進行試驗，袋內需保留 2/3 的空氣供種子發芽所需，每 50 粒為重複，共 5 重複。包括流水處理(不處理)及熱水處理，熱水處理起始溫度為 80°C 熱水，浸泡 24hr。各以 30/20°C、25/15°C 及 20/15°C (12hr 光照) 條件的發芽生長箱中進行試驗。胚根突出 5 mm 視為發芽，每一週紀錄，加入適當水分及翻動水苔供新鮮氧氣，連續 2 週已無發芽種子時，視其發芽截止，結束試驗。

試驗結果所得數據，以發芽率(指以發芽總數對全供試種子粒數之比)，如式子(1.1)、平均發芽日數如式子(1.2)，比較各樹種予以不同處理及不同發芽環境，發芽率及發芽日數等相關數值是否有影響。

$$\text{發芽率} = \frac{\text{發芽種子總數}}{\text{供試種子總數}} \times 100\% \quad (1.1)$$

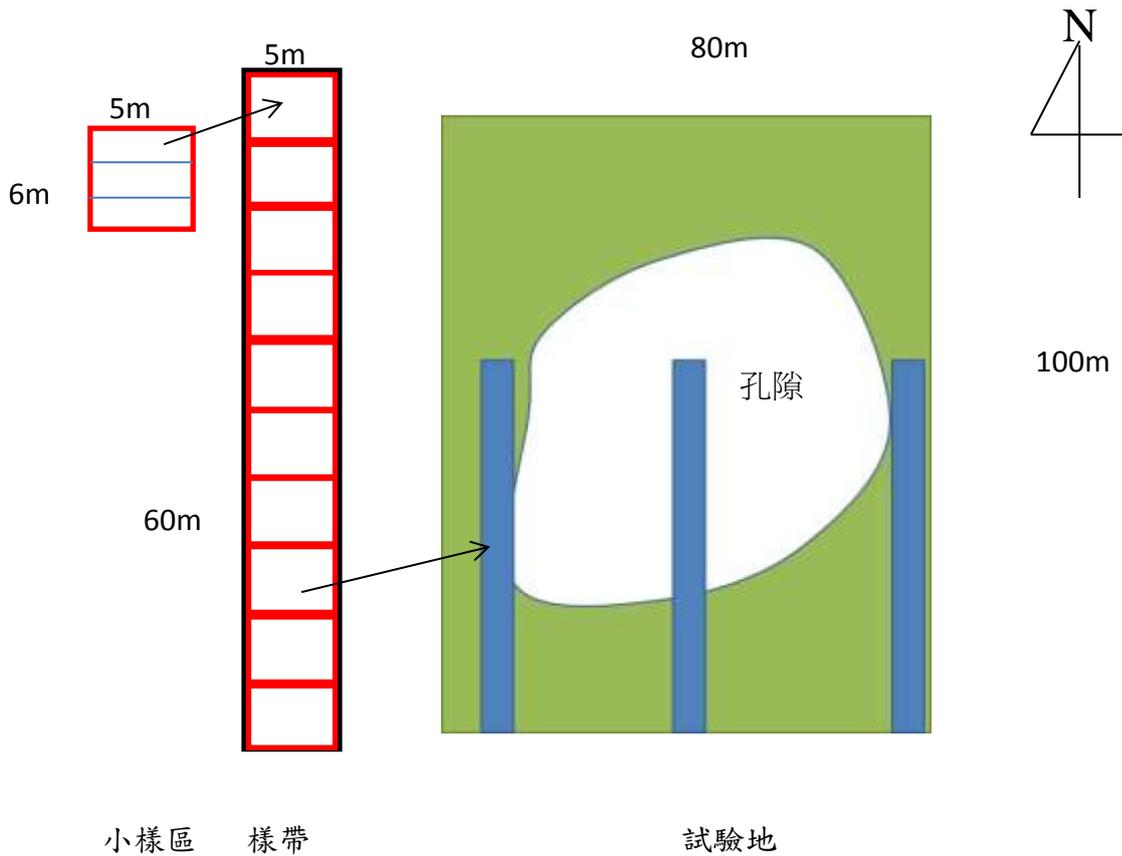
$$\text{平均發芽日數} = \frac{\sum(\text{當日發芽粒數} \times \text{發芽天數})}{\text{總發芽種粒數}} \quad (1.2)$$

2. 直播試驗

(1). 樣區設置

於五結鄉海岸林防風林內，以 3 種樹種播種在三條 5 m × 60 m 樣帶中；以完全隨機排列分為 10 個 5 m × 6 m 樣區，每個樣區內 3 重複，每重複 5 m × 2 m。

(圖五)



圖五、直播試驗樣帶示意圖

於 2013 年 11 月進行整地作業，每個小樣區每重複播種木麻黃 1500 粒種子，以撒播方式播種；苦楝及水黃皮每重複 300 粒種子以條播方式播種，並於每 3-4 天記錄。探討木麻黃、苦楝、水黃皮於不同冠層環境及地被處理下，發芽率、幼苗存活率之相關性，並與實驗室之發芽檢定、溫室之幼苗存活調查相比較。

(2) 試驗地環境監測

環境監測以 WatchDog 1000 系列記錄大氣溫濕度，各樣帶測量三點，其中大氣溫濕度假設於 1 m 高遮陰通風處，土壤感應器置於距表土 3 cm 處，皆於每 30 分鐘紀錄。以鬱閉度計於每樣帶中每隔 5m 測量冠層鬱閉度。

二、海岸防風林劣化地栽植造林

1. 不同品質苗木栽植試驗

於 2012 年 11 月以不同品質苗木進行栽植試驗，定期調查苗木生長、存活及

受害情形，建立不同栽植方式苗木生長資料；另外比較栽植於 B 區及 C 區木麻黃之生長差異。

2. 大坑罟海岸複層林追蹤調查

為了解海岸複層林於栽植帶苗木長期生長及存活率，以 2010 年 6 月於蘇澳鎮大坑罟海岸林，進行林分整理與整地進行栽植造林適應調查，包括造林後一年及三年的造林成效，有助於了解海岸複層林建造之林分生長。並於複層林之樣帶進行冠層鬱閉度分析，了解林分結構變化及冠層變動。

三、海岸相關資料彙整

1. 本區海岸樹種結實與育苗調查

為建構適宜本區海岸造林樹種以利後續營造海岸混合林之造林材料，選擇適生本區之樹種，如水黃皮、棟樹、林投、黃槿及欖仁等選定母樹於不同地點各取 3 株(如表二)，觀測開花結實習性及建立採種育苗配合造林之技術作業程序。由海岸樹種母樹開花結實習性建立採種時期，彙整苗圃調查資料，建立海岸樹種採種、育苗、出栽時期之資料。

表二、七種海岸樹種母樹觀測樣木基本資料

樹種	位置	樹高(m)	胸徑(cm)
木麻黃	宜蘭縣蘇澳鎮岳明新村	11.4	29.1
	宜蘭縣蘇澳鎮大坑畧社區	10.7	22.9
	宜蘭縣蘇澳鎮頂寮生態公園	12.3	30.2
苦楝	宜蘭縣蘇澳鎮岳明新村	9.1	32.7
	宜蘭縣蘇澳鎮頂寮生態公園	8.4	37.5
	宜蘭縣五結鄉蘭陽溪河堤	10.7	35
水黃皮	宜蘭縣蘇澳鎮岳明新村	3.7	20.3
	宜蘭縣蘇澳鎮頂寮生態公園	4.1	16.7
	宜蘭縣五結鄉蘭陽溪河堤	5.9	23.5
欖仁	宜蘭縣宜蘭市文化局圖書館	7.0	29.4
	宜蘭運動公園	3.5	18.2
	宜蘭縣五結鄉蘭陽溪河堤	4.3	21
黃槿	宜蘭縣蘇澳鎮大坑畧社區	4.8	14.7
	宜蘭縣頭城鎮大福村	3.8	10.9
	宜蘭縣壯圍鄉	3.2	14.2
林投	宜蘭縣蘇澳鎮大坑畧社區	3.2	17.3
	宜蘭縣蘇澳鎮岳明新村	3.7	16.2
	宜蘭縣蘇澳鎮頂寮生態公園	4.2	20.7
海欖果	宜蘭縣頭城鎮大福村	3.6	18.4
	宜蘭縣壯圍鄉	3.9	17.9
	宜蘭縣蘇澳鎮大坑畧社區	4.4	20.3

伍、 結果

一、海岸林變遷調查

(一)以歷年航照判釋南澳地區防風林變動

以 1983 年區域航照資料判釋，南澳地區編號 2727 號海岸防風林面積約 10.87 ha，與過去栽植資料大致相符，於 1975 年時曾栽植約 11 ha 木麻黃 (*Casuarina spp.*)，航空照片的解析該林分也以木麻黃為主要樹種；至 1993 靠近河口處有新植木麻黃林木，其他闊葉樹混合林的面積也增加，但在該時期的草生地與裸露地面積比例亦增加，使混合林於防風林內的面積比例下降；2003 年的航照資料中，混合林的面積下降 10%，而裸露地的面積比例增加 10%；在 2006 年的航照資料中，混合林的面積明顯下降，取而代之的是草生地有明顯上升（表三），但在 2006 年度的航照資料中部份草生地內尚留存零星木麻黃喬木。在南澳防風林內的地景變化於 1983 年至 2006 年間，混合林的面積比例隨著時間而下降的比例逐漸增加，至 2006 年已減少了 44.37%，而草生地面積比例有明顯的上升（36.99%），裸露地與建築用地也有略為增加（6.72%與 0.74%）；特別是在 2003 年至 2006 年間，各地景類型的變化最為明顯。

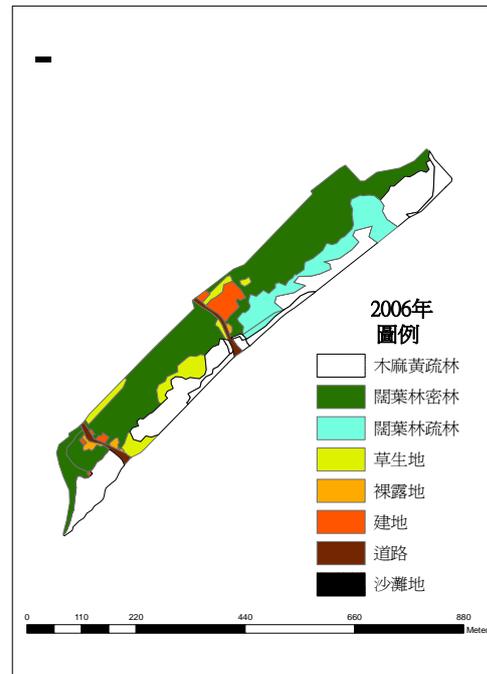
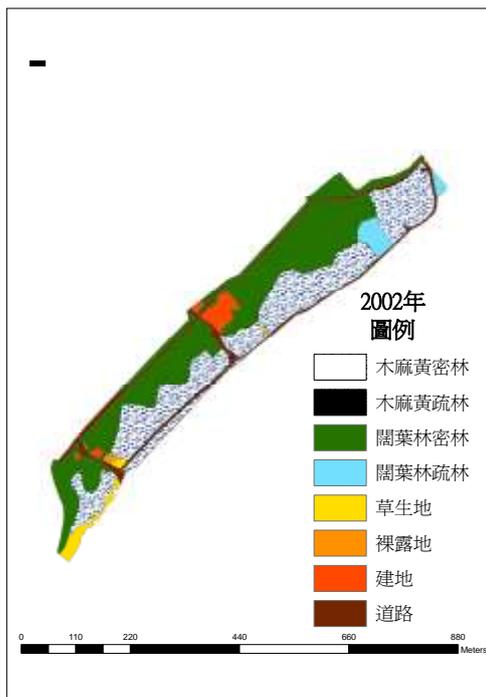
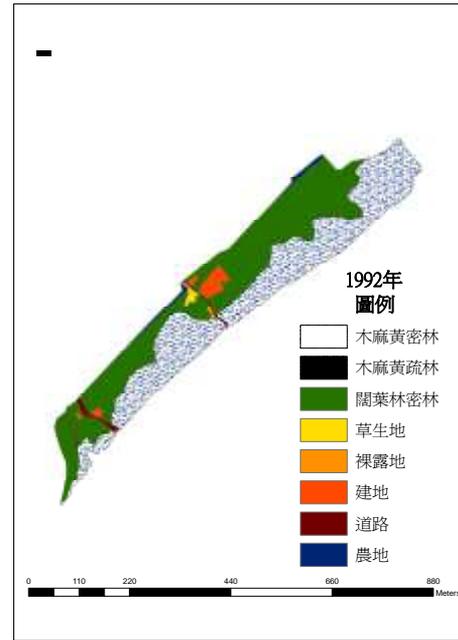
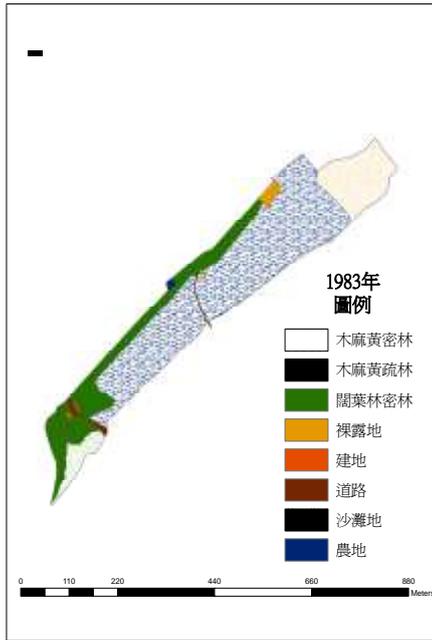
表三、南澳海岸地區海岸防風林地景類型變遷表

時間 \ 屬性類型	1983		1993		2003		2006	
	面積(ha)	比例(%)	面積(ha)	比例(%)	面積(ha)	比例(%)	面積(ha)	比例(%)
闊葉樹混合林	10.53	96.90	11.18	89.16	10.91	78.97	6.39	52.53
草生地	0.11	0.98	0.70	5.58	0.79	5.73	4.62	37.97
裸露地	0.22	2.04	0.59	4.72	2.06	14.90	1.07	8.76
人為用地	0.01	0.09	0.07	0.54	0.06	0.40	0.09	0.75
總計	10.87	100	12.54	100	13.82	100	12.17	100

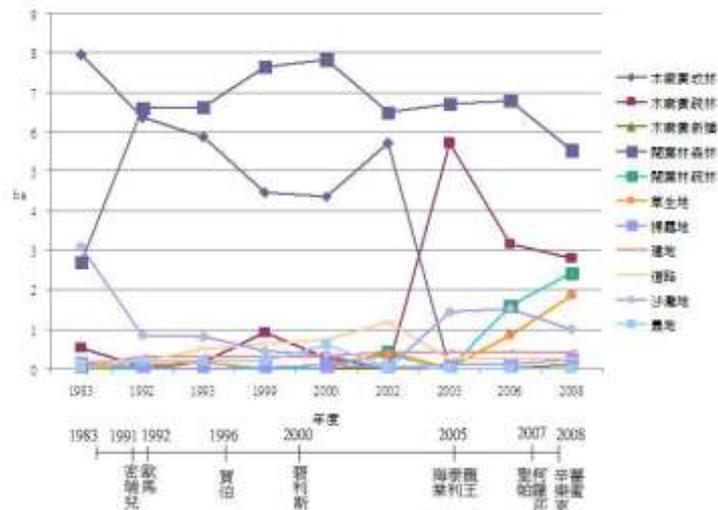
當闊葉樹混合林內的孔隙面積逐年擴大，需光量強的草本物種如芒草 (*Miscanthus sinensis* Anderson) 即會佔領該區域，故草生地被會隨之增加，而

此現象亦發生於花蓮德燕海岸林內（邱祈榮等，2007）。而草地與裸露地的面積可能會受到該時期是否有受到較大的干擾如颱風的影響而有所變動，如 2006 年的航照資料顯示受 2005 年龍王強烈颱風侵襲，颱風所帶來強風及豪雨會造成潮水高漲，高潮線往內陸推進，而位於高灘地上的地被植物可能因此接收過量的水與鹽分而死亡造成裸露地面積增加，而草本植物的繁殖與生長速度快，於短期內即可快速佔領孔隙地而增加覆蓋面積比例，此外，颱風對迎風面的喬木所帶來的衝擊應該更大，故在颱風過後造成的較大面積孔隙地即為草本植物取代。

在相同的環境下，於防風林內的靠近北邊與靠近南邊的木麻黃防風林有明顯不一樣的變化(圖六)，於 1983 年至 2003 年間，靠近北邊的闊葉樹混合林出現孔隙，且隨著時間的變化，孔隙面積逐漸增加，而靠近南邊的闊葉樹混合林則於 2003 年後，經歷颱風的侵襲，2006 年的航空照片圖可以明顯看到靠近北邊的闊葉樹混合林面積減少，而在靠近南邊之闊葉樹混合林則無明顯的面積變化。



圖六、1983年至2006年之南澳2727海岸防風林林相變遷判釋



圖七、南澳 2727 海岸防風林 1983-2008 年各屬性林地類型面積的變化

(二) 南澳海岸防風林內植物組成變化

自 2008 年 9 月至 2009 年 6 月間各樹種之喬木存活率皆下降(表四)，其中以木麻黃的下降比例最高 (25.6%)，其次為構樹 (*Broussonetia papyrifera*) (22.1%) 與銀合歡 (*Leucaena leucocephala*) (19.4%)。木麻黃喬木無論在歷經颱風過境時期 (2008/09 至 2009/01)，亦或是在外界環境干擾因子較少的狀況下

(2009/01 至 2009/06)，存活率下降程度皆大於 10%，木麻黃林木逐漸減少的原因，不僅為外界的環境壓力，木麻黃林木生長已老化所致。生長於台灣海岸地區的木麻黃壽命約 20~30 年，而該地區的木麻黃最早栽植於 1975 年，已逐漸老化的現象。構樹的存活率下降主要是出現在 2008/07 至 2009/01 間，即經歷颱風侵襲之時，而該樹種平均樹高比相同環境下的其他樹種來的高，故推測該樹種受影響程度大於其他樹種，使其存活率較低。銀合歡的存活率變化亦是在歷經颱風期間擁有較大的下降率，而銀合歡雖不是內部主要喬木中存活率變化最大者，在現場觀察到的銀合歡有出現林木明顯受害後又萌櫟及種苗新生，繁殖能力強形成密集而樹形細小之銀合歡林(表四)，除防風效果差外，亦阻礙其他樹種更新生長，建議清除栽植其他闊葉樹或木麻黃苗木，維持防風林的功能。

表四、南澳防風林內主要樹種數量及生長變化

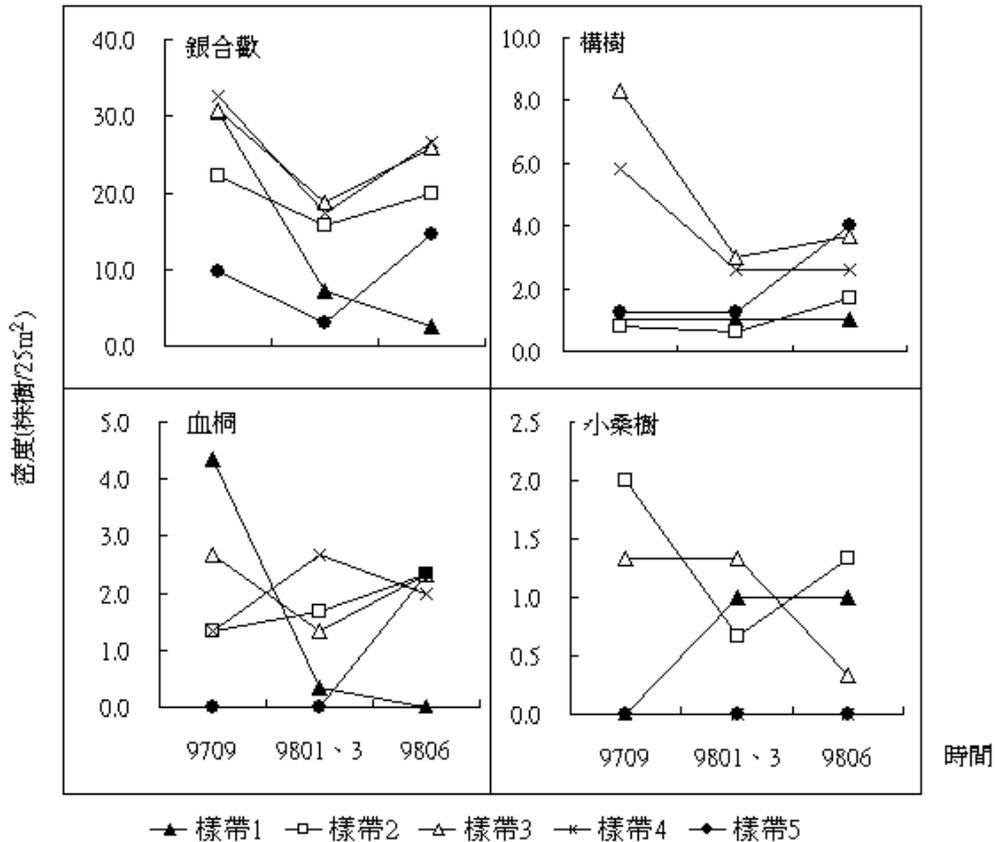
	時間	存活株數	死亡株數	存活率 (%)	平均胸徑 (cm)	平均樹高 (m)	平均冠幅 (m)	平均樹冠透視度 (%)
銀合歡	9709	425	106	80.0	4.8±3.4	4.4±1.9	0.9±0.5	61.9±26.9
	9801、3	362	169	68.2	5.0±3.4	4.5±1.8	0.7±0.4	77.2±19.2
	9806	322	209	60.6	5.2±2.7	4.7±2.0	0.8±0.5	80.1±18.8
血桐	9709	83	4	95.4	6.8±4.9	5.5±2.6	1.3±0.8	42.4±28.1
	9801、3	77	10	88.5	7.2±5.5	5.2±2.2	1.3±0.8	59.0±24.0
	9806	70	16	81.4	7.9±5.4	5.8±2.4	1.7±1.1	63.6±25.4
構樹	9709	72	4	94.7	7.5±5.9	6.5±3.0	1.3±0.9	51.3±26.4
	9801、3	60	15	80.0	8.5±6.2	6.6±2.9	1.2±0.6	61.3±20.2
	9806	56	19	74.7	9.9±7.0	6.9±3.2	1.5±0.6	70.3±18.0
小桑樹	9709	31	2	93.9	4.2±3.0	4.2±1.4	1.1±0.5	45.2±30.6
	9801、3	27	6	81.8	5.1±2.4	4.4±1.4	1.1±0.5	48.4±29.2
	9806	24	8	75.0	5.5±2.7	4.6±1.5	1.4±0.8	55.1±28.3
木麻黃	9709	30	9	76.9	23.1±10.9	8.0±4.8	2.0±1.0	49.4±26.5
	9801、3	26	13	66.7	23.5±11.4	8.3±5.1	1.4±0.6	65.4±22.8
	9806	20	19	51.3	24.0±12.2	8.4±5.4	1.6±0.5	59.7±22.8

在該防風林內主要樹種的胸徑大小、平均樹高、冠幅、密度及枯梢率的變化大，主要除了不同樹齡所造成的差異外，亦有可能因為林木位置不同，受到環境危害的強度不同而有差異。

(三) 南澳 2727 號海岸防風林樣帶內幼木數量變化

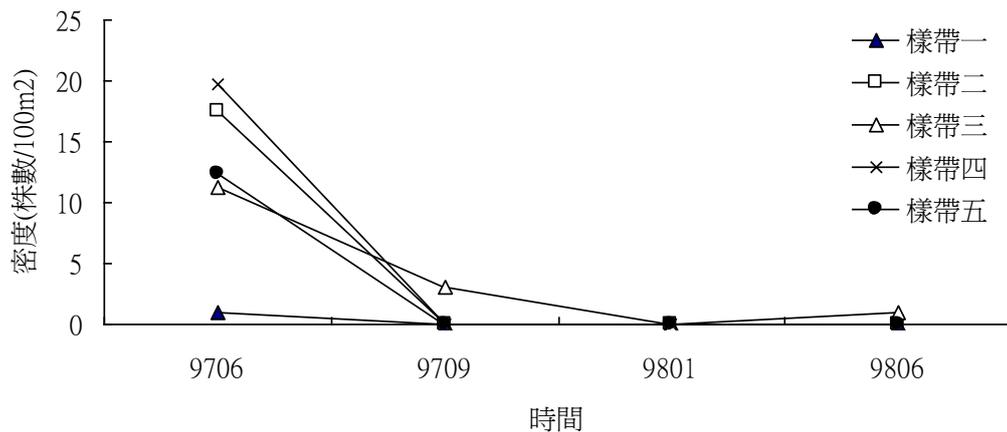
防風林內幼木的數量在 2008 年 9 月至 2009 年初間皆下降，而至 98 年 6 月調查時總數量有略為增加。造成幼木數量下降的原因應該是該時期經歷了颱風的侵襲，使數量有明顯下降外；除此之外，也可能是幼木在經過環境內部的壓力所導致死亡。在 2009 年 6 月調查時，於現場有發現當年度的新生幼木，然而數量明顯較去年度低，且總數量低於上一年度的總數。影響幼木數量的因子，除了颱風之外，應該還有其他因素造成此種結果。在呂福原等 (1992) 的報告中表示，

銀合歡葉對於胚根之生長則是極具毒性與抑制之效，對於其他植物有毒他作用的情形產生。亦可解釋在防風林內部的其他闊葉樹樹種之幼木數量明顯少於銀合歡的原因(圖八) 可能導致防風林內的林相單一，降低防風林的功能。



圖八、防風林內幼木於不同時間下的株數密度變化

木麻黃的天然更新幼苗於南澳防風林內，於2008年6月調查僅曾在中部(58株)與外部(248株)區域調查到，在內部則無發現木麻黃幼苗存在；木麻黃幼苗平均基徑 0.85 ± 1.77 mm，苗高 12.4 ± 10.6 cm，幼苗多集中且形質相似，無發現已木質化之木麻黃幼木，初步推測應為當年生之天然更新木麻黃。該防風林陸續經歷颱風的侵襲，於同年9月再次調查時，木麻黃幼苗數量從306株減少至3株，且在2009年初調查時，防風林內已無木麻黃幼苗存在；在2009年6月時，防風林內的木麻黃幼苗僅調查到一株，顯示木麻黃種子更新阻礙受發芽苗度過第一生長季環境條件影響甚大(圖九)。



圖九、南澳 2727 號海岸防風林林內天然更新木麻黃幼苗存活株數變化

颱風帶來的瞬間陣風會導致防風林內的砂土劇烈移動，特別是大部分木麻黃更新苗所出現的外部區域，多無植被覆蓋，土壤穩定度較低，而颱風挾帶的豪雨以及高漲的潮水，可能致靠近海岸高潮線的木麻黃幼木遭沖刷，在 2008 年 9 月調查時，木麻黃幼木數量明顯減少。2008 自 7 月颱風對宜蘭地區造成嚴重的損失，而此時正是木麻黃種子成熟散播的時間，故颱風除了對當年度的幼木數量造成明顯的影響外，也可能對留存之母樹結實產生造成負面影響。

木麻黃種子天然更新出現的地方主要出現在外部的開闊處，木麻黃林下的中部區域出現的數量較小，其主要造成的原因可能是林下光度不足所導致，或地被條件不利種子發芽，故在進行木麻黃栽植復育時，建議栽植重點放在較開闊的空隙地，林下部份則可以栽植較耐陰的樹種，如黃槿、海欒果及水黃皮等海岸樹種來進行栽植形成複層混合林來復育防風林。

植物為適應環境會進行形態與生理調整。適應環境有非為遺傳變化的調整級為馴化(acclimation)，為植物在進化過程由遺傳變異經環境篩選適生，稱為適應(adaptation)。不同環境同種物種可藉由存活、生長、覆蓋度、受損程度（如樹冠透視度、樹幹形態）來判別其馴化能力，相同環境不同樹種的表現可判釋其適應性。

在防風林內部區域，以人工栽植的木麻黃喬木為主，而現存木麻黃的生長形質不佳，多數有頂折狀況，根據歷年航照判釋結果，木麻黃數量逐漸減少，以木麻黃現況來看，該物種對環境的適應狀況不佳；但現存木麻黃已約 30 年生，林象組成結構呈現劣化。不過位於南澳防風林內的木麻黃具有下種更新之能力，但更新幼苗死亡率高，阻礙更新生長成林。目前在南澳防風林中亦有進行木麻黃苗木的栽植，然而多數枝葉都成枯黃，除了天氣乾熱外，外在環境如海風或鹽害等因子的影響，而在該區域內栽植灌木與草本植物除了有定沙的功效外，亦可攔截並削弱外在環境的干擾，應能增加栽植苗木的存活率，提高復育工作的有效性。在樣帶中部靠近內部區域多有大面積的禾本科植物與大花咸豐草覆蓋，隨著逐漸往高潮線移動，覆蓋度明顯下降，取而代之的是平均高度低（約 5-10 cm）的濱豇豆與馬鞍藤兩種匍伏性草本植物。定砂工作是海岸復育作業的基礎，穩定的土壤介質才能讓後續栽植的植物有生長的機會，而選擇適應該環境的樹種則能夠增加作業的成功率。

結果顯示該木麻黃防風林經建造 35 年過後，現存防風林以銀合歡 IVI 值最高，為 41.1 %，已以銀合歡為優勢，是防風林內側闊葉樹混合林之主要組成樹種，株數密度高，但林木生長細長，平均胸徑與樹高為 4.8 ± 2.9 cm 與 4.4 ± 1.8 m；木麻黃僅存於防風林外側近海之地區，林木多零星分布，平均胸徑 22.5 ± 11.5 cm，林木形質狀況不佳，多有頂折，平均樹高僅 7.9 ± 4.9 m。銀合歡可利用種子及萌芽繁殖更新，木麻黃雖有種子生產，但幼苗卻無法順利更新。顯示木麻黃與銀合歡對颱風干擾之適應性不同，南澳地區以木麻黃為主的海岸防風林已劣化，樹種組成已由木麻黃轉變為銀合歡為主之闊葉林林相(吳若宣、林世宗，2010)，亟需復育更新建造，維護防風林功能。

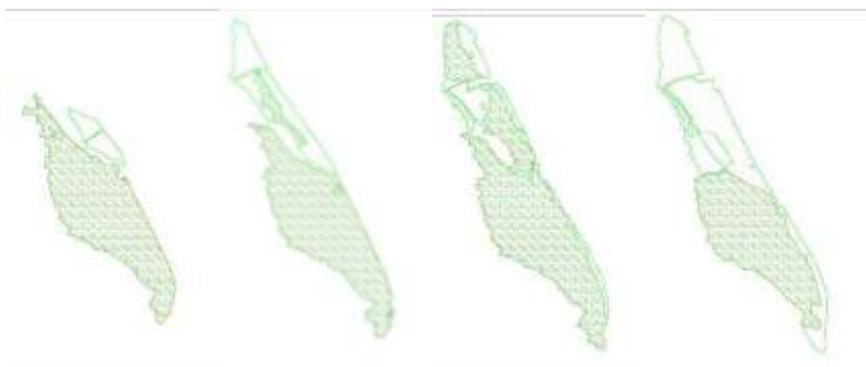
(四)、蘇澳鎮大坑罟地區海岸防風林變遷

以宜蘭縣蘇澳鎮大無尾港地區(新城溪口到澳仔腳海岸林地帶)為範圍，為編號第 2702 號保安林(圖十)，宜蘭縣政府代管區外保安林期間，曾進行木麻黃林栽植，其後則未有栽植或撫育之記錄。現存 30 年生左右之人工木麻黃防風林，因林木已有老化及更新不良之情形，林相逐漸破碎並有大小不同之孔隙形成，一旦遭遇颱風侵襲，將衝擊海岸沙丘破壞生態，海岸林呈現破碎化情形越趨嚴重。

大坑罟海岸防風林研究區塊，從 1978、1986、1996、2005 年及 2009 年航空照片及正射影像圖利用 CAD 2003 數化，並計算海岸林疏林及密林面積，經數化後判釋分析(陳佳玫，2012)。



圖十、大坑罟海岸林研究區域內及四個社區位置



圖十一、大坑罟海岸林研究區 1986、1996、2005、2009 年疏林與密林面積變動

表五、1978 年至 2009 年大坑畧海岸防風林之變遷

年代	疏林面積 (公頃)	密林面積 (公頃)	總面積 (公頃)	疏林與密林 比例
1978	18.81316	1.5759	20.4075	0.92 : 0.08
1986	2.3711	22.5507	24.8684	0.09 : 0.91
1996	6.8077	23.7950	30.6027	0.22 : 0.78
2005	6.4813	30.6955	37.1768	0.17 : 0.83
2009	17.1236	18.4154	35.5390	0.48 : 0.51

二、海岸附近社區對防風林的認知與參與

海岸防風林與當地民眾之生活密切息息相關其經營之良窳悠關海岸地區居民之利益及安全，因此民眾是否參與海岸防風林森林利用與經營方式成為發揮海岸防風林公益功能關鍵因素之一。因此如何讓民眾瞭解防風林之功能與其設置目的有其必要性，從而建立互利共生的夥伴關係，是為民眾與公部門的雙贏策略。

(一)、南澳鄉海岸社區

以宜蘭縣蘇澳鎮海岸社區為研究個案，從環境識覺相關研究，先以資料蒐集與深度訪談方式，建構對防風林的環境識覺，了解居民參與社區活動動機及集體行動操作方式，而後再以質性研究訪談的結果作為量化問卷設計之依據。聚焦在居民對「防風林看法」、「社區居民參與社區的集體行動」及「參與社區林業看法」(鄧江山等，2009)。

因南澳鄉海岸社區居民年齡以老年人口為主，60 以上歲最多佔 38% ，說明老年化的問題相當嚴重。南澳鄉各村落教育程度普遍偏低，絕大多數都在國小程度，受其背景知識上的侷限，無法做更深入的提問，很多時候必須做逐戶詢問和解說，才能得到有效問卷。再就職業而論農漁佔 45% ，最直接體會到大自然氣候惡化的影響力。

由先前調查之海岸防風林變遷資訊與社區居民背景資料，以社區發展協會理

事長、總幹事、協天廟廟祝及當地耆老，並另選定當參與社區組織運作幹部 1 名及未曾參與社區組織 40 歲以下居民 1 位為代表等 6 位，訪談時間分為二階段，第一階段為 2007 年 8 月間，第二階段為 2008 年 3 月間。

綜合訪談有以下幾點結論：

1. 居民很擔心憂慮海岸防風林一但消失這樣的變化，造成養殖業和農作物、生命財產的損失。
2. 社區公共事務透過公工制度的延續帶動整個社區每個人公平的付出參與。海岸社區在社會結構、產業、宗親意識的交互影響之下，建構了居民間緊密的互動關係。
3. 社區領導者積極主動參與及固有社會組織運作維繫社區參與這兩大關鍵因素是海岸社區組織能夠順利運作並且具有高度參與、認同、向心力的原因。
4. 海岸社區民眾對參與社區林業想法：林務局能提供他們樹苗種樹認養綠美化及撥錢辦活動。就參與社區林業跟社區營造，建立夥伴營造海岸林的部分希望直接補助經費。

依深入訪談結論要項設計社區問卷，在 2008 年 7 月先進行問卷的預試，經過修改之後，修訂問卷調查內容後成為正式問卷。復依戶政機關所提供海岸社區人口數名冊，依分層比例分成五個取樣層即(20~30 歲)、(31~40 歲)、(41~50 歲)、(51~60 歲)、(61 歲以上)來做隨機問卷調查調查工作。累計發出問卷 70 份，取得有效問卷調查數計 55 份，回收率 78%。

社區問卷分析結果，對海岸防風林最深刻的印象：颱風過後防風林消失很多佔 72.73%防風林漸漸老化佔 58.18%，樹長的又高又直佔 36.36%，可以保護社區安全佔 36.36%。假設海岸防風林消失了是否會對您個人那些財產有重要影響：土地佔 87.27%，房舍佔 69.09%，農田佔 67.27%，個人生命佔 63.64%，漁塭佔 58.18%。對海岸防風林的維護是否可以透過目前社區林業的方式來參與：可以佔總比例 76.36%，不知道共佔總比例 14.55%，有條件加入佔總比例 9.09%。

綜合深入訪談與社區問卷分析結果，海岸社區居民大部份從事農、漁業，不僅感受到居住在沿海地區防風林的重要性，更因為職業的關係，他們更加能夠體會到防風林其他重要之功效。98.1%居民同意海岸防風林是保護社區生命財產的重要屏障，而 92.7%居民同意認為海岸防風林數量每年逐漸減少及老化。擔心若海岸防風林消失會對個人生命財產有重要影響有 90.9%。海岸社區土地面積資源有限，使海岸社區居民憂慮海岸林跟土地變遷與影響。特別是海岸居民對防風林變遷產生環境的衝擊，防風林消失對生命財產的影響均產生疑慮。

參與森林經營與運用是發揮森林公益功能關鍵因素之一。海岸社區有 85.4%願意參與整理社區的環境清潔整理活動及樂意參加社區的各項志願性服務。會積極參與維護海岸防風林的各项活動亦為 85.4%。因此如何因勢利導將鼓勵居民參與防風林資源經營，捍衛家園並從中發展社區產業，要讓海岸社區環境能夠永續發展，社區民眾所關切之防風林保育意識益形重要，就必須要加強防風林的環境教育工作，從參與「社區林業」計畫由林業專業人員協助社區居民培養自然保育的觀念及經營能力，達到社區自主管理、永續經營的目標，以達活絡社區經濟發展與生態保育雙贏的目的。

（二）蘇澳鎮大無尾港社區

針對宜蘭縣蘇澳鎮大坑罟地區（無尾港水鳥保護區北端海岸）之木麻黃海岸防風林，為蘇澳大坑罟社區之防風屏障，後方即為宜蘭縣無尾港水鳥保護區。先調查其結構現況及生育地特性，並規畫於現有林帶孔隙及林下栽植以營造複層林，自樹種選定、造林苗木之選擇、培育、社區參與等面向，建立適於當地營造複層林之育林技術，並藉由辦理社區說明會，瞭解社區對於樹種選定及造林作業方式之意見，期透過政府機關之努力並結合社區居民參與協助，共同建構一套海岸防風林營造復育及維護管理之模式(陳佳玫，2012)。

大無尾港社區位於宜蘭縣蘇澳鎮新城溪口到澳仔角地帶行政區域屬蘇澳鎮存仁里及港邊里，訪談社區包含港邊社區、港口社區、大坑罟社區及存仁社區。

1. 辦理社區說明會

於 2010 年 10 月及 2011 年 6 月各舉辦一場社區說明會，舉辦說明會主要目的為直接與社區進行雙向溝通，讓社區瞭解政府目前所做的努力及海岸林作業方法，並瞭解社區民眾對海岸林的需要及期盼，以利日後政府部門及地方能相互配合後續造林撫育作業。

(1) 說明會的目的為：

- a. 藉由各社區對公共事務參與度，以瞭解各社區的凝聚力。
- b. 社區對海岸林之認知程度。
- c. 瞭解社區期望海岸林營造的方式。
- d. 水鳥保護區與海岸林之間的關係。

(2) 社區說明會大綱為：

- a. 說明海岸林之重要性，為何要進行海岸林營造。
- b. 由航空照片圖瞭解海岸林變遷。
- c. 說明目前試驗中的海岸林施做方法。
- d. 詢問社區居民對海岸林營造之意見。

2. 深入訪談

進行深入訪談工作對象則以社區中意見領袖，如社區發展協會理事長、社區理事或重要幹部等。訪談主軸為居民參與發展社區林業之想法及颱風對生活上的影響，進一步瞭解參與社區參與防風林營造之意願及可行性。於 2010 年 11 月中旬前訪談人數共 9 位(大坑罟社區 3 位、存仁社區 3 位、港口社區 1 位、港邊社區 1 位、促進會 1 位)，以社區的里事長、里(監)事、重要人士或意見領袖為主。

綜合初步訪談結果有以下看法：

1. 對海岸防風林林相逐漸破壞，可能造成生命財產的損失，大坑罟社區的居民顯得較為擔心憂慮。存仁、港口及港邊社區居民覺得他們離海岸尚有一段距

離，也較感受不到海岸林衰退對他們造成的影響。

2. 四個社區藉由參與廟的事務，建構了居民間緊密的互動關係，即便出錢、出力又沒有得到任何物質上的回報，社區居民也很願意參與，他們相信神明會因此而得到保佑。
3. 大坑罟社區因離海岸較近，對於海岸林衰退較有明顯感受，社區比較有意願參與海岸林營造的活動。存仁及港口社區居民對社區所舉辦的活動參與度並不高，如果政府有補助下比較願意去參與所舉辦的活動。

透過深度訪談及問卷調查方式，探討當地居眾對參與海岸林營造的看法，比較存仁社區、大坑罟社區、港口社區及港邊社區居民參與海岸林營造的態度差異、深度訪談與問卷調查之異同，與參與意願及期望海岸林未來發展方式，期能提供未來社區林業計畫中民眾參與海岸林營造推動之參考。

大坑罟海岸防風林圖程判釋變遷，雖然海岸林面積增加，海岸林破碎化情形越趨明顯。由 2 次社區說明會結果，社區期望政府能撥給社區經費，也希望用僱工方式讓社區居民參與，並與學校教育合作。大無尾港社區居民對海岸防風林的看法與南澳鄉的海岸社區居民有相似的觀點。他們對無尾港過去的海岸防風林印象與現今看到的景象相比，高潮線明顯的內縮、大喬木逐漸枯死，最讓他們明顯感受到海岸防風林有衰退的現象是出現在 2006 年龍王颱風過後，海岸沙丘的沙石明顯被掏刷減少，也因此讓居民開始擔心，防風林的變遷是否會影響到他們的生命財產安全。對大無尾港社區居民而言，防風林進行建立及維護的主要機關是林務局，而社區在面對防風林逐漸衰敗、高潮線逐漸內縮的現象，希望能夠求助的對象亦是林務局。這是起因於林務局過去對無尾港地區的防風林進行維護的動作，讓社區居民感受到復育作業的成效，包括喬木、林投及地被植物的栽植。社區居民對防風林的復育工作擁有高度的熱誠，態度也很積極，並希望藉由社區林業的機會與林務單位一同進行防風林的復育工作，該社區目前有進行海岸復育材料的栽植，包括木麻黃、相思樹及苦楝，未來有關無尾港大坑罟地區之復育造

林方式，原則上方向可以實生苗穴植方式，密度 2500-3000 株/公頃，撫以肥料、撫育方式進行，實際作法將再與林管處人員現場勘察討論。但是社區居民要與林務單位形成夥伴關係，目前仍是有許多的問題需要解決，包括合作的方式、社區居民可以執行的行動與程度、林務單位能夠提供的資源等。

深度訪談結果，皆認為大坑畧社區離海岸最近，對海岸林營造最具迫切性。問卷調查結果，四個社區中以大坑畧社區居民參與海岸林維護及管理之意願最高。

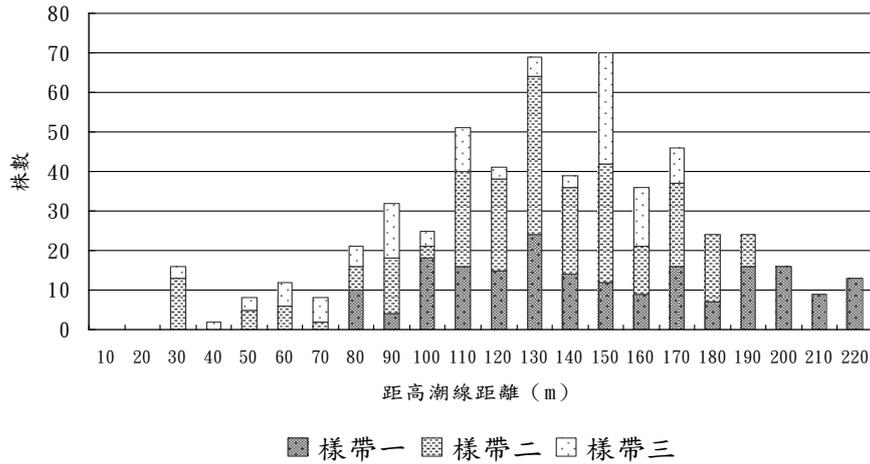
三、海岸防風林復育造林

(一)、劣化之木麻黃林更新營造複層林--大坑畧海岸防風林

以宜蘭縣蘇澳鎮無尾港水鳥保護區北端之海岸防風林帶，主要為人工營造之木麻黃防風林，為蘇澳大坑畧社區之防風屏障。現存約 30 年生木麻黃防風林林木已有老化現象，樹梢皆有枯梢情況，木麻黃林冠下更新苗木大多以樹根萌芽，但多有乾枯現象，無法成為更新之苗木，形成更新不良情形，林相逐漸破碎並有大小不同之孔隙形成，且防風林內小喬或灌木型之原生闊葉樹種，小葉桑、黃槿等逐漸佔優勢，但防風效果未如木麻黃的防風功能；一旦遭遇颱風侵襲，將衝擊海岸沙丘造成海岸線退縮，必會使現存防風林帶劣化程度加劇(蔡明哲，2012)。

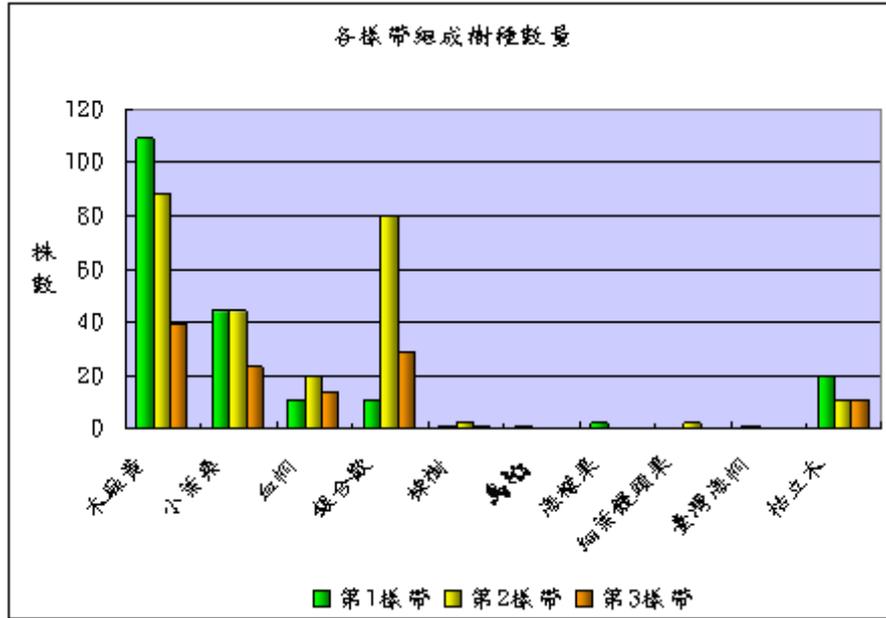
1. 原林分性態現況調查

2010 年 7 月以 3 條林分樣帶調查本區海岸林分組成結構，總計胸徑 1cm 以上林木計 562 株 (含枯立木 34 株)，以生立木株數推算全林分現存林木密度為 910 株 ha^{-1} 。依距離高潮線之遠近區分，林木在距高潮線 80m~190m 之間數量最多，平均林木密度為 1327 株 ha^{-1} (圖十二)。3 條樣帶之組成樹種及數量比例大致類似，但在第二樣帶有較多數量之銀合歡，且主要出現中在距高潮線 130m 後之區域，且於造林整地作業除去地被後，栽植帶內可觀察到銀合歡有大量小苗發生 (胸徑未達 1cm 未列入調查)。

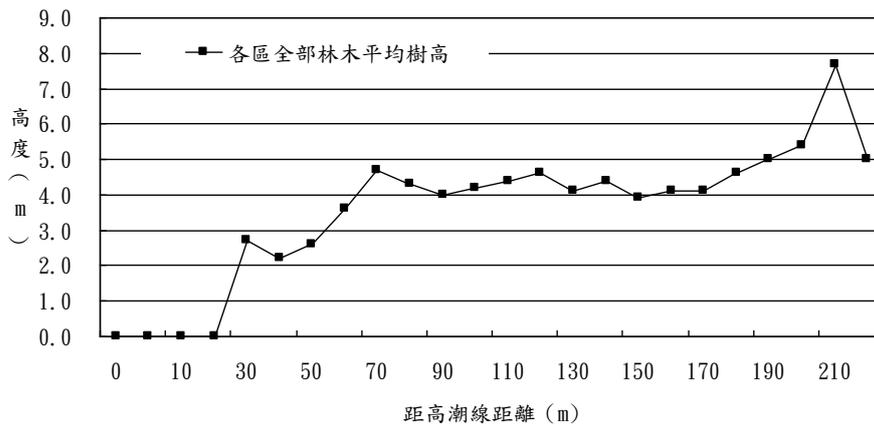


圖十二、2010年7月調查3條林分結構樣帶之林木數量及分佈位置

林分組成樹種(含枯立木)僅10種,且多屬先驅型樹種,其中木麻黃、小葉桑、銀合歡、血桐4樹種合計佔全林分結構總株數91.6%,加計枯立木則佔全林分比例達97.7%。主要組成樹種之平均胸徑為木麻黃8.8cm,小葉桑5.3cm,血桐6.5cm,銀合歡4.3cm;且4種樹種之平均樹高均在5m以下,全林分平均樹高為4.3m。本區原為木麻黃造林地,但木麻黃僅佔全林分結構41.6%,且其中形質不良木(被壓、傾斜、傾倒、折損、基部叢生等)比例高達29.5%。



圖十三、3 條林分結構樣帶組成樹種之數量分佈



圖十四、林分樣帶樹高分佈

自 2010 年 7 月至 2011 年 8 月經 3 次調查，林分組成樹種之數量變動如表五。1 年間 2011 年 8 月調查林分密度已降低至 805 株 / ha，木麻黃佔全林比例由 41.6% 降至 37.9%，其它主要樹種小葉桑、血桐、銀合歡亦均減少；而 1 年間全林林木枯死比例增加 11%，防風林枯死劣化情形嚴重，亟需以人為造林進行復育。

表六、林分組成樹種數量變動

調查 時間	2010年7月		2011年3月			2011年8月		
	株數	佔林分 比例	株數	佔林分 比例	增減 比例	株數	佔林分 比例	增減 比例
木麻黃	234	41.6%	224	39.8%	-1.8%	213	37.9%	-3.7%
小葉桑	116	20.6%	113	20.1%	-0.5%	103	18.3%	-2.3%
血桐	47	8.4%	46	8.2%	-0.2%	44	7.9%	-0.5%
銀合歡	118	21.0%	106	18.9%	-2.1%	94	16.7%	-4.3%
枯立木	34	6.1%	60	10.7%	4.6%	95	16.9%	10.8%
其它	13	2.3%	13	2.3%	0.0%	13	2.3%	0.0%
合計	562	100.0%	562	100.0%		562	100.0%	

註：增減比例為調查當月與2010年7月比較。

2. 更新作業林分調查與施作規畫

調查該木麻黃林原有樹種組成、林相結構資料(圖十一至十四，表六)，自海岸第一線砂丘往內陸方向至道路為止。更新建造作業區面積約6.00 ha，沿平行海岸線方向，以行列整理伐方式將林相破碎劣化區塊清除枯萎、受害林木及灌草叢為栽植帶，林相健全區域保留為保護帶。於2010年5月發包進行整地造林。

3. 造林整地作業

於此麻黃防風林，沿平行海岸線方向，於林分孔隙及林相不良區塊，進行帶狀整理作為栽植帶，平均寬度10 m左右，刈除栽植帶內之雜草及藤蔓，林地內枯死木、枯枝、入侵植物等如有礙苗木栽植、生長者也予以砍除，但林相較鬱閉良好區帶則完全保留作為保護帶。

編號	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
樣帶 A	水黃皮	黃槿	木麻黃	瓊崖	棟樹	黃槿	水黃皮	木麻黃	瓊崖	棟樹
樣帶 B	林相良好					水黃皮	瓊崖	棟樹	黃槿	木麻黃
樣帶 C	黃槿	水黃皮	瓊崖	木麻黃	棟樹	木麻黃	棟樹	黃槿	水黃皮	瓊崖
樣帶 D	木麻黃	棟樹	黃槿	瓊崖	水黃皮	林相良好				
樣帶 E	林相良好					水黃皮	木麻黃	棟樹	黃槿	瓊崖
樣帶 F	林相良好					棟樹	瓊崖	黃槿	木麻黃	水黃皮
樣帶 G	林相良好					木麻黃	瓊崖	黃槿	棟樹	水黃皮
樣帶 H	林相良好					木麻黃	黃槿	棟樹	水黃皮	瓊崖

圖十五、大坑畧海岸防風林苗木栽植樹種配置

4. 栽植帶苗木配置及栽植方式

栽植帶由海岸往陸地方向依序共設置 8 條，每條栽植帶按長度分為 5 或 10 個小區（每區 10 m × 20 m），每小區栽植一樹種，每條帶栽植 5 種闊葉樹種苗，形成塊狀混植(圖十五)。栽植帶內栽植密度 3,000 株 ha⁻¹，行距 2 m、株距為 1.66 m；栽植前掘植穴寬 40 cm、深 30 cm 以上；每一植穴內施放充分腐熟之樹皮堆肥 2 kg，充分與土壤均勻混合攪拌後栽植苗木。於 2010 年 3 月 5 月下旬栽植完成，並於栽植 1 年後（2011 年 2 月）全面補植 30% 木麻黃苗木。

5. 栽植樹種苗木

選用樹種有木麻黃、水黃皮、黃槿、苦楝、瓊崖海棠等 5 種，苗木來源為羅東林區管理處海岸苗圃，所選用造林苗木中(表七)，黃槿為扦插袋苗，水黃皮為裸根苗，而木麻黃於苗圃中培育 1 年期間經過 2 次修剪，出栽前再經過修剪及切根，但 T/R 比仍高達 3.93，因生長快速、容器過小及留床育苗時間過長所致；瓊崖海棠苗木亦有相同情形，於苗圃培育達 2 年以上，T/R 比為 2.11 且有盤根情形(表八)，此二樹種均為適宜的海岸造林樹種，卻因材料品質差而降低栽植存活率及生長。

表七、大坑罾海岸木麻黃林更新造林樹種苗木資料

栽植樹種	苗木類型	培育時間	苗木高度 (cm)	苗圃位置	備註
木麻黃	12 cm 容器 實生苗	1 年 2 個月	80~150 (修剪後)	頂寮苗圃	自 2009 年 4 月開始培育 高 15cm 以上移植苗
黃 槿	12 cm 容器 扦插苗	1 年 2 個月	40~70	頂寮苗圃	自 2009 年 4 月開始培育 高 15cm 以上移植苗
瓊崖海棠	12 cm 容器 實生苗	2 年 2 個月	60~80	北區樹木 銀行	自 2008 年 4 月開始培育 高 15cm 以上移植苗
苦 楝	12 cm 容器 實生苗	1 年 2 個月	60~100	頂寮苗圃	自 2009 年 4 月開始培育 高 15cm 以上移植苗
水黃皮	裸根 實生苗	7 個月	20~30	頂寮苗圃	2009 年 11 月 3 日於苗圃 直播育苗

表八、各樹種栽植苗之生長型態性狀值

樹 種	苗高(cm)	插穗高		主根長(cm)	基徑(mm)	T/R
		苗高(cm)	(cm)			
水黃皮	19.6± 5.3	-	-	21.1± 5.0	5.7±0.8	1.53
木麻黃	97.2±23.4	-	-	16.5± 3.8	8.4±1.9	3.93
黃 槿	57.9± 6.6	7.0±2.8	-	33.5± 8.6	10.1±1.7	1.65
瓊崖海棠	46.6± 7.2	-	-	36.7±14.9	10.8±1.0	2.11
苦 楝	63.2± 4.8	-	-	15.7± 4.9	7.4±0.7	1.34

6. 撫育維護措施：

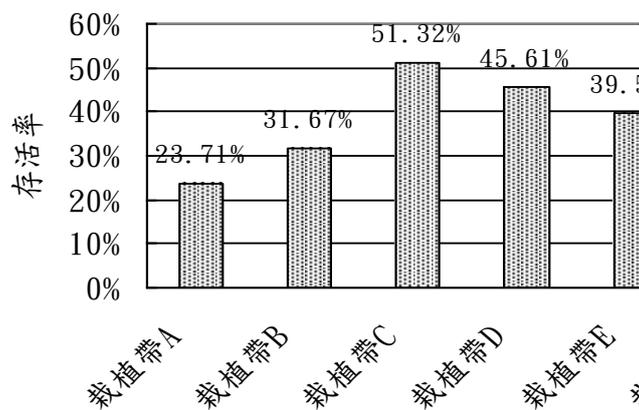
造林地前緣近高潮線處，曾於 2009 年 12 月設置長度 2,000 m 竹材堆砂籬作第一線砂丘之定砂保護。栽植時再於每條栽植帶前緣均設置高度 2 m、透風度約 50% 之竹材防風籬作防風保護。栽植後於定期刈草撫育工作，將栽植帶內雜草全面刈草至 20 cm 以下，有礙林木生長之藤蔓一併予以割除。

7. 海岸樹種苗木栽植造林比較

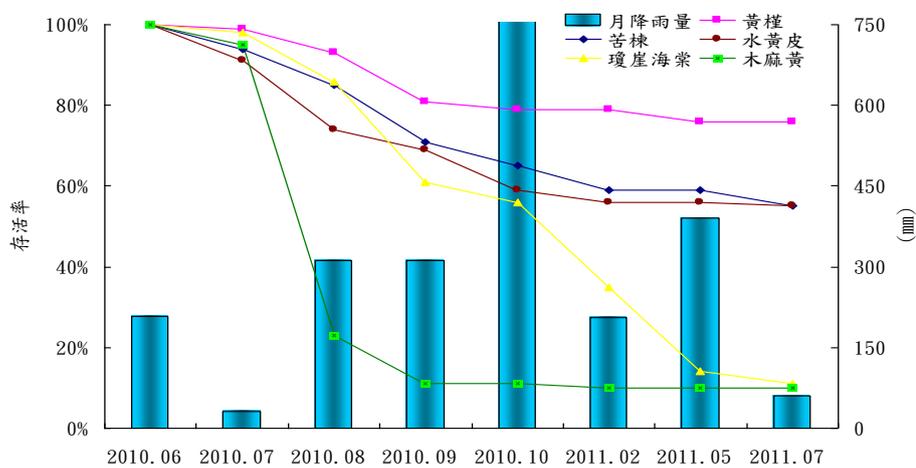
(1). 苗木存活率

5 種樹種栽植後之整體存活率，以面海岸線之前二栽植帶存活率較低(圖

十六)，且均隨時間減少，其中水黃皮、瓊崖海棠、棟樹、黃槿存活率均逐步下降，但於 2010 年 10 月後死亡率趨緩。而木麻黃苗木於 2010 年 7 月份大量死亡，存活率由 7 月 12 日之 95%，至 7 月 31 日急遽降至 23%。可能與苗木品質不良及當月份降雨量少之影響有關，僅 31.4 mm，遠低於年平均降雨量 192.3 mm (圖十七)。至 2011 年 7 月即栽植 14 個月後，各栽植帶內苗木平均存活率，仍以栽植帶 A 之 23.71%、栽植帶 B 之 31.7% 最差。



圖十六、2011 年 7 月各栽植樣帶之栽植苗平均存活率



圖十七、五種栽植苗之存活率變化趨勢與月降雨量比對

以栽植後每季 (第 1 季 2010 年 7~10 月；第 2 季 2010 年 11 月~2011 年 2 月；第 3 季 2011 年 3~5 月；第 4 季 2011 年 6~8 月) 調查之存活率進行比較。5 樹種的季節死亡率，均以初栽植後首臨第 1 季即夏季時最高，其中以木麻黃死

亡率顯著高於其它樹種 ($p < 0.01$)，於第 2、3 季時即冬春之際，瓊崖海棠的死亡率顯著高於其它樹種 ($p < 0.01$)，於第 4 季時各樹種間當季死亡率沒有顯著差異 ($p > 0.05$)，就樹種苗木初始栽植之適存而言，木麻黃及瓊崖海棠差，應與其苗木品質有關，因二者均為宿存苗圃之大苗，TR 值高，容器小，根系生長受限且盤根。再加上第一季 7~10 月降雨量少，使海岸造林地遭遇乾旱逆境，因此木麻黃在第一季死亡率高達 84.7%；瓊崖海棠死亡率亦有 44.3%，每季死亡率都在 20% 以上，直至第四季第二年春夏季節，才漸適應。

表九、五種樹種於不同季節之平均死亡率

樹種	當季死亡率%			
	第 1 季	第 2 季	第 3 季	第 4 季
黃槿	19.4±20.0	1.1±2.8	0.9±1.5	2.0±2.6
水黃皮	37.8±24.1	2.2±3.2	1.1±1.9	3.9±5.8
棟樹	32.3±16.8	5.8±6.2	1.4±1.8	4.1±6.3
瓊崖海棠	44.3±30.8	20.5±15.2	20.8±13.1	3.0±2.7
木麻黃	84.7±6.5	1.2±2.1	1.0±1.3	6.9±6.0

(2). 苗木生長

於 2010 年 5 月 20 日全部苗木栽植完成，2010 年 7 月確定苗木存活後進行形質調查。以月平均地徑相對生長率 (RGR)、月平均苗高相對生長率 (RHG) 數據進行檢定，評估各栽植苗適生情形。2011 年 7 月進行生長調查時，因木麻黃、瓊崖海棠 2 樹種存活率偏低，樣本數較少，此 2 樹種之生長率不進行分析。以每季調查所得相對生長率資料，3 樹種苗木均在栽植後第 1 季 (2010 年 7 月~10 月) 有最佳之相對生長率表現 (表十)。在栽植後二至三年生長及存活變化可見到 (表十一)，苦楝、黃槿及水黃皮樹高皆已超過 200 cm，而瓊崖海棠在基徑與苗高皆為最低，水黃皮生長率雖不如被認為是陽性樹種之苦楝、黃槿及水黃皮高，

但亦有 86.1% 之基徑相對生長率、120.1% 之苗高相對生長率，存活率亦達 89%，顯示生長情形良好；補植之木麻黃在第一季存活率不佳，顯示木麻黃在栽植初期死亡率較高，但留存之木麻黃在栽植後第二至第三年間有 66% 之存活率。

造林作業通常需配合於雨季進行，而臺灣東北部地區之造林適期約在 11 月至翌年 3 月。但本次營造複層林作業，實際造林工作受預算核准、發包執行等程序影響，已延遲至 3 月下旬開工，實際完成栽植工作已於 5 月下旬，栽植後即進入高溫之春夏及宜蘭地區往往梅雨不明顯，造林苗存活生長受影響，建議海岸造林要事先規劃好，育苗及出栽造林作業需具連慣性，且於秋冬至早春期間造林為宜。

表十、2010 年 7 月-2011 年 7 月三種栽植苗各季相對生長率

季節	黃槿		水黃皮		棟樹	
	RGR %	RHG %	RGR %	RHG %	RGR %	RHG %
1	13.4 ± 7.5 ^a	17.7 ± 9.2 ^a	15.5 ± 6.1 ^a	19.1 ± 11.0 ^a	30.6 ± 16.5 ^a	20.9 ± 17.5 ^a
2	5.8 ± 2.3 ^b	3.2 ± 3.1 ^b	3.7 ± 2.3 ^b	2.5 ± 1.8 ^b	3.4 ± 2.2 ^b	2.1 ± 1.8 ^b
3	4.7 ± 2.3 ^{bc}	7.5 ± 3.6 ^b	2.9 ± 3.2 ^b	7.0 ± 4.5 ^b	5.2 ± 3.0 ^b	8.5 ± 5.0 ^b
4	1.4 ± 1.8 ^c	6.2 ± 2.7 ^b	4.2 ± 5.2 ^b	13.4 ± 6.9 ^a	5.4 ± 4.5 ^b	8.1 ± 4.3 ^b

(不同英文字母標示者為不同處理差異達 5% 顯著水準 p<0.05)

季節 1, 2, 3 及 4 代表 2010 年 7 月、11 月及 2011 年 1 月、4 月

表十一、2011 年 1 月-2013 年 7 月六種栽植苗相對生長率與存活率

	2013/01	基徑相對生長%	2013/01	苗高相對生長%	存活率%
	基徑(cm)	(2011-2013)	苗高(cm)	(2011-2013)	
苦楝	5.2±2.7	100.2±42.5	370.3±131.3	67.9±24	74.1±31.6
水黃皮	1.9±0.8	86.1±36.9	145.3±59.2	120.1±45.1	86.2±9.6
黃槿	4.1±1.8	114.6±37.3	278.3±118	123.2±30.1	89±10.8
瓊崖海棠	1.9±0.6	39.6±37.3	141.8±60.2	73.2±54.4	51.2±24.5
木麻黃	2.5±1.8	121.6±95.3	217.2±102.6	59.4±45.6	66.7±40.8
補植木麻黃	1.6±0.7	90.6±81.4	165.8±60.7	62.4±65.1	30.1±14.6

(3)、不同類型苗木之栽植試驗

1.木麻黃裸根苗與袋苗栽植適應比較

在清水廢棄苗圃所栽植之不同品質木麻黃已產生顯著差異，於2013年8月調查資料顯示，裸根苗之苗高與基徑大小雖顯著低於袋苗，但就基徑與苗高相對生長已超越袋苗且呈現顯著差異，表現裸根苗生長適應較帶苗為佳（表十二），但裸根苗栽植第一年之存活率並不高，死亡率遠大於袋苗（表十三）。

表十二、不同育苗方式木麻黃栽植苗生長比較

	苗高(cm)	苗高生長%	基徑(cm)	基徑生長%
袋苗	179.1±51.8a	61.6±78.1b	2.1±0.7a	91.3±69.6b
裸根	139.6±41.2b	90.0±69.1a	1.5±0.6b	131.8±191.3a
P	P<0.001	P=0.007	P<0.001	P=0.003

表十三、不同培育方式木麻黃栽植苗受害情形

	正常木%	死亡率%	受害木%	傾斜木%
袋苗	68.5	14	8	9.5
裸根苗	31.8	62.9	3.5	1.8

2.不同樹種及育苗方式之栽植適應

不同栽植方式進行栽植苗木試驗，發現不同樹種在不同培育方式下死亡率有差異，水黃皮之袋苗存活率低於裸根苗，苦楝則是以袋苗之存活率較佳，黃槿之扦插苗存活率高於種子苗，木麻黃則是以袋苗存活率較佳；然而在人為受害方面，苦楝受到人為破壞最為嚴重，木麻黃之袋苗受到人為破壞最小，但有18%之苗木出現傾斜狀況，應持續觀察。

表十四、各樹種苗木受害情形

樹種	培育方式	正常木(%)	死亡率(%)	受害木(%)	傾斜木(%)	人為受害之比率(%)
水黃皮	袋苗	51.2	25.6	22.1	1.2	36.8
	裸根苗	71.1	10	18.9	0	29.4
苦楝	袋苗	60.6	13.1	25.3	1	64.0
	裸根苗	26.7	57.3	15.7	2.2	28.6
黃槿	種子苗	53.5	26.8	16.2	6.5	26.1
	扦插苗	66.3	16.3	15.1	2.3	30.8
木麻黃	袋苗	86	7	53	18	0
	裸根苗	39.3	49.6	9.4	1.7	18.2

木麻黃裸根苗與袋苗生長已無顯著差異，結合表十五與表十六可發現，木麻黃裸根苗在栽植一年後相對生長率提高，顯示裸根苗栽植後進入生長季後，相對生長率顯著提高，苦楝與黃槿則是維持與4月調查類似之情形，分別以袋苗及扦插苗較佳。

表十五、不同培育方式苗木栽植生長比較(2012.11~2013.4)

苗木種類		苗高(cm)	相對苗高生長%	基徑(cm)	相對基徑生長%
木麻黃	袋苗	115.0±3.4 ^a	11.9±3.7 ^{ns}	1.3±0.1 ^a	31.9±12.2 ^{ns}
	裸根苗	44.9±14.4 ^b	7.7±3.16 ^{ns}	0.7±0.1 ^b	29.9±14.0 ^{ns}
水黃皮	袋苗	47.5±4.2 ^a	10.3±3.3 ^{ns}	0.7±0.2 ^{ns}	35.8±5.1 ^{ns}
	裸根苗	34.0±6.2 ^b	7.4±4.1 ^{ns}	0.4±0.1 ^{ns}	30.5±8.1 ^{ns}
苦楝	袋苗	47.5±4.2 ^a	10.3±3.3 ^{ns}	0.7±0.2 ^{ns}	35.8±5.1 ^{ns}
	裸根苗	34.0±6.2 ^b	7.4±4.1 ^{ns}	0.4±0.1 ^{ns}	30.5±8.1 ^{ns}
黃槿	實生苗	48.03±5.1 ^b	1.982.0±4.5 ^{ns}	0.9±0.1 ^b	22.0±89 ^{ns}
	扦插苗	61.1±0.8 ^a	0.8±4.8 ^{ns}	1.2±0.0 ^a	11.2±3.4 ^{ns}

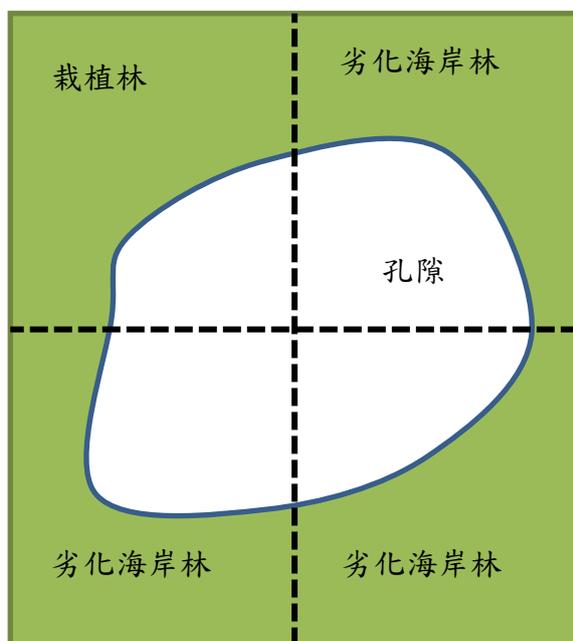
表十六、不同培育方式苗木栽植生長比較(2012.11~2013.8)

		苗高(cm)	相對苗高生長 (%)	基徑(cm)	相對基徑生長 (%)
木麻黃	袋苗	166.5±42.5 ^{ns}	61±44.7 ^{ns}	2.0±0.6ns	105.8±79.2ns
	裸根苗	163.6±72.0 ^{ns}	80.6±51 ^{ns}	1.8±0.9ns	101.4±86.3ns
水黃皮	袋苗	51.6±22.7 ^{ns}	54.7±73.7 ^{ns}	1.0±0.3ns	20.9±40.7ns
	裸根苗	54.4±20.4 ^{ns}	35±46.5 ^{ns}	1.0±0.3ns	18.7±32.0ns
苦楝	袋苗	76.0±45.4 ^a	84.4±130.8 ^{ns}	0.9±0.4a	80.2±95.6ns
	裸根苗	54.6±26.7 ^b	66.0±86.2 ^{ns}	0.5±0.2b	53.8±62.7ns
黃槿	實生苗	52.6±25.7 ^b	8.1±51.9 ^{ns}	0.9±0.3b	18.6±36.0ns
	扦插苗	72.7±38.7 ^a	27.3±101 ^{ns}	1.3±0.5a	21.1±46.6ns

(二)、劣化之木麻黃林直播試驗-五結地區海岸防風林樣區

1. 試驗地林分結構調查

於五結鄉海岸林防風林直播試驗地於民國 102 年 10 月進行每木調查，依林分上木性質區分為劣化海岸林及栽植林(圖十八)。次生林原為木麻黃造林地，已為其他闊葉樹取代，林下亦有零星孔隙出現，株數密度低於栽植林。由表十七得知，劣化林在樹種組成較栽植林複雜，平均胸徑與樹高雖無顯著差異，但劣化林之標準差皆較栽植林大，胸徑變化較大；與表十八作比對，發現栽植林於樹總組成較單一，而劣化林以由下層小葉桑及血桐入侵，從上述資料顯示栽植林林分較次生林結構較一致，苦楝及山黃麻栽植三年後平均樹高已達 6.07 m 超過劣化林分之 5.60 m。



圖十八、五結地區海岸防風林林冠孔隙

表十七、直播試驗地林分調查

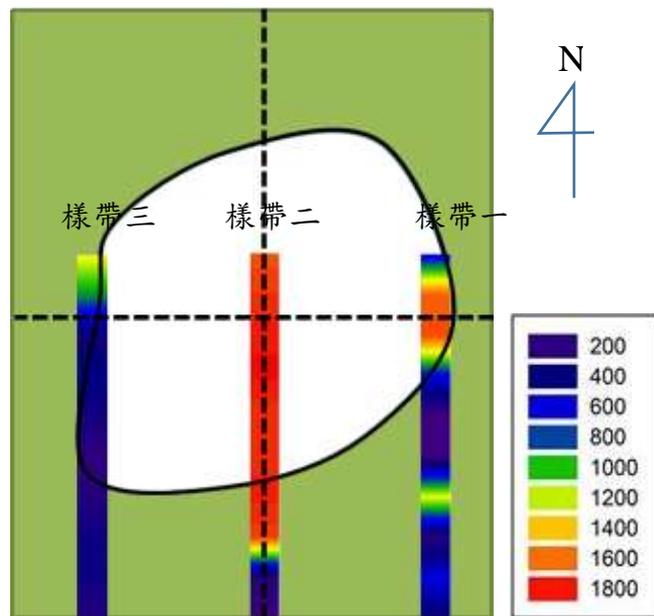
	主要樹種	平均樹高(m)	平均胸徑 (cm)	密度(株/ha)
劣化海岸林	苦楝、小葉桑 山黃麻、野桐	5.60±2.43	11.9±8.3	203
栽植林	苦楝、山黃麻、 相思樹	6.07±2.00	9.0±4.2	295

表十八、直播試驗地林分組成

	劣化海岸林	栽植林
苦楝	22.2%	46.6%
山黃麻	9.1%	36.2%
血桐	18.9%	5.2%
小葉桑	12.6%	5.2%
構樹	5.7%	-
相思樹	7.4%	-

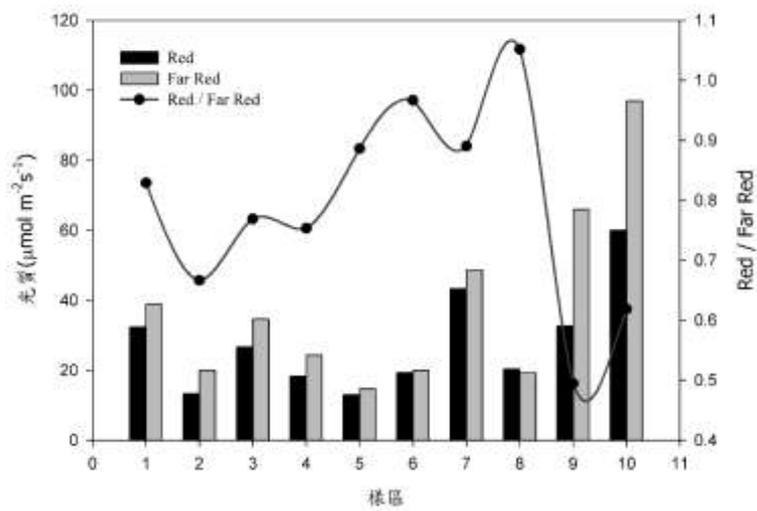
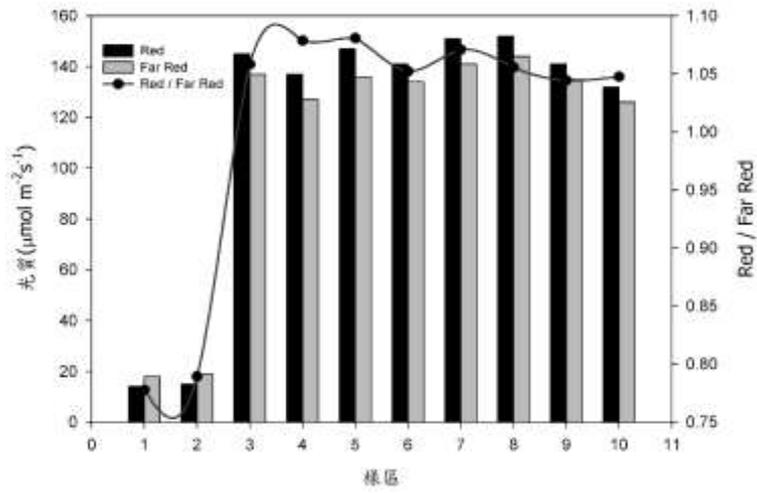
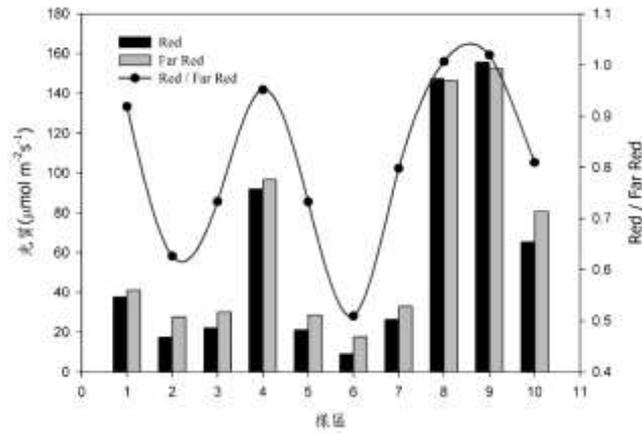
由圖十九可表示，三條樣帶分別設置在孔隙邊緣、中央與林下，在正午光度亦有相當大的差異，樣帶二於孔隙中央處在晴朗天氣下中午光度可達到 $1800 \mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，但林下之樣帶三均在 $1000 \mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 甚至 $500 \mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以下，顯示三條樣帶間環境差異大。

除了樣帶光量差異，樣帶光質也會對種子發芽及幼苗生長產生影響，如圖二十所顯示，對比圖十九，樣帶在高光度之地區 R/FR 比值亦會提升，光質數量也有顯著上升，因此影響幼苗對於光的可利用性。



藍色為低光度紅色為高光度

圖十九、直播試驗樣區光度示意圖

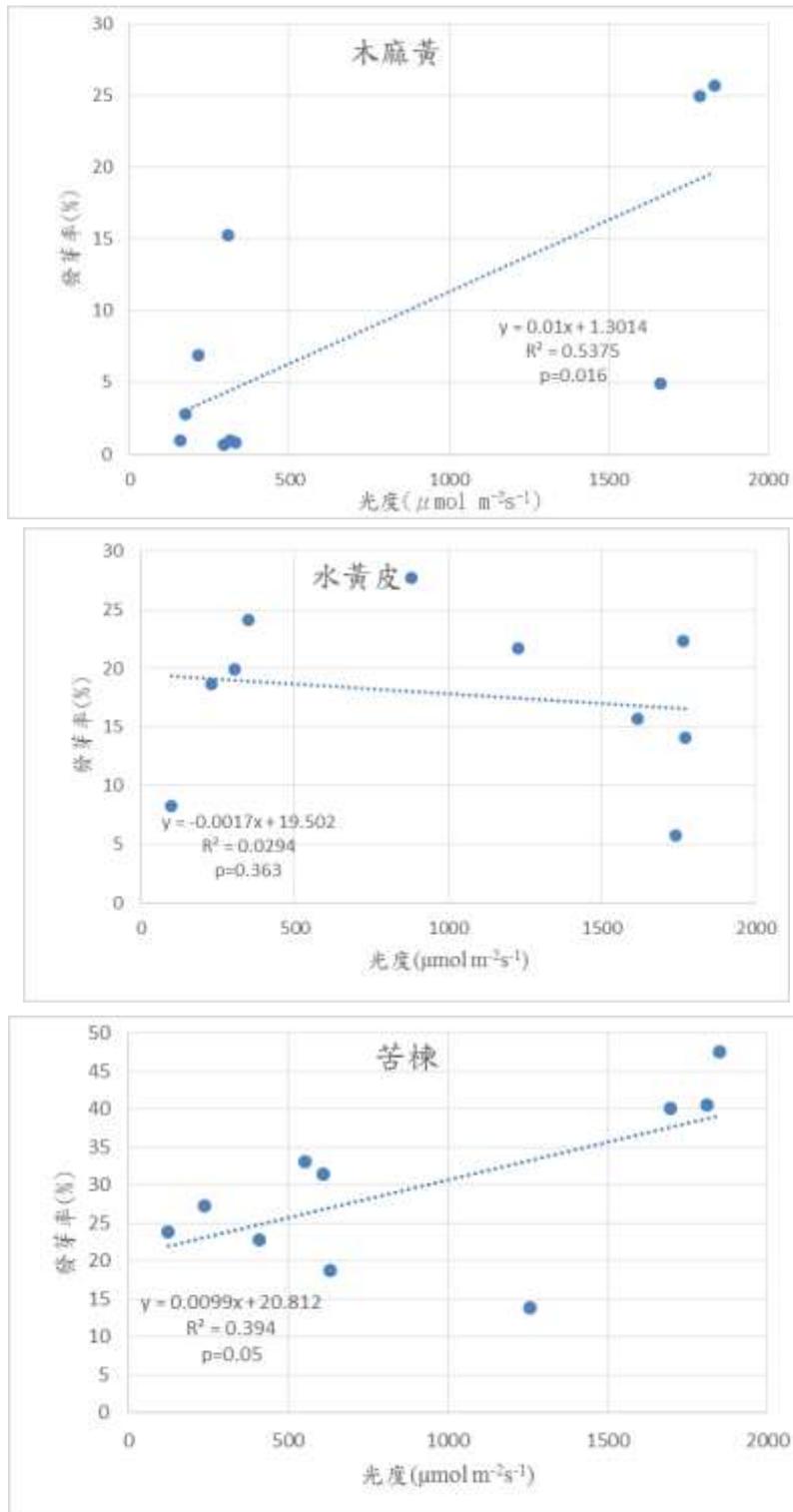


(由上而下為樣帶一、樣帶二、樣帶三)

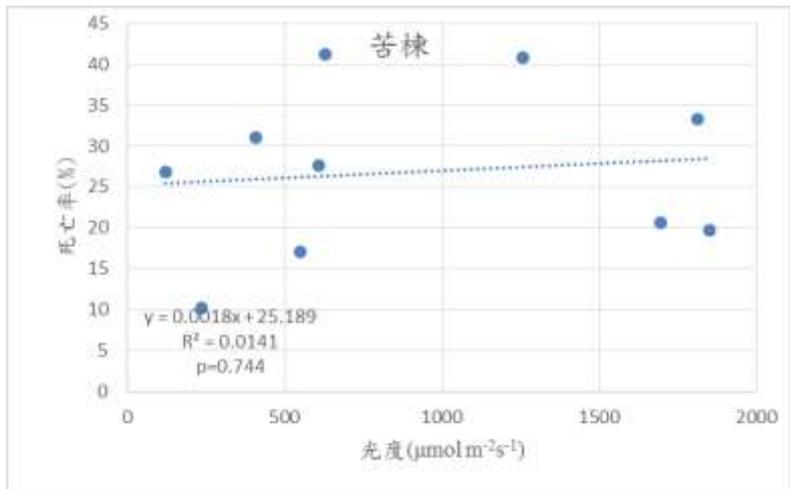
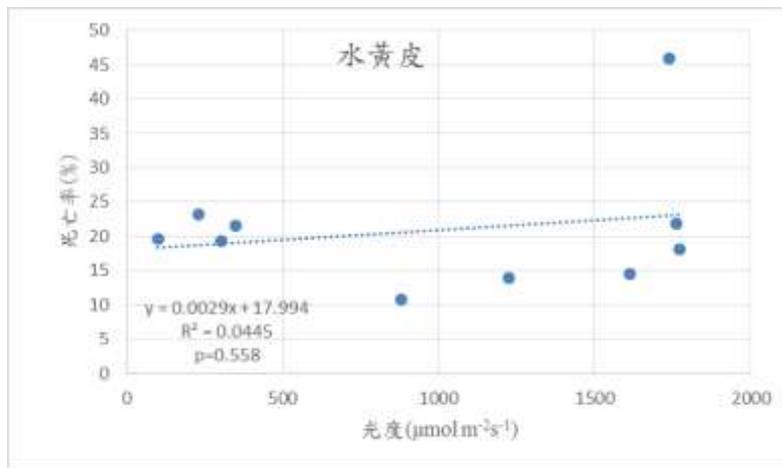
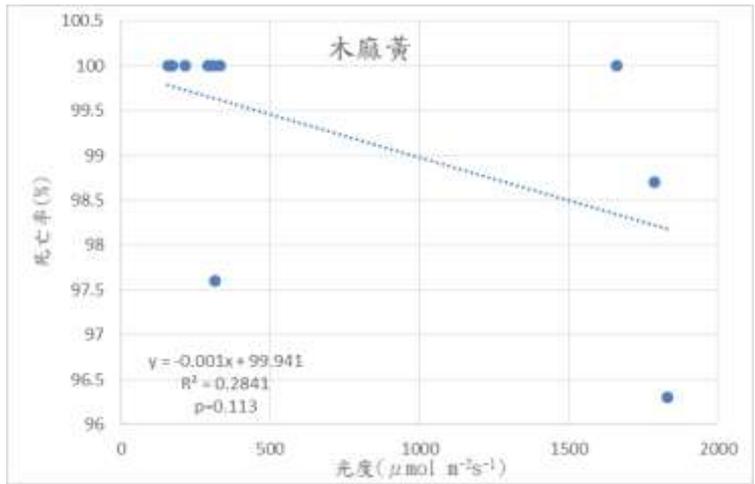
圖二十、直播試驗樣帶光量及 R/FR 比值

由圖二十一所示，試驗地光度對木麻黃與苦楝有顯著影響，黃隆銘(2012)研究指出光度對木麻黃發芽率有顯著影響，在此試驗亦顯示如此，在高光試驗地有接近 30% 發芽率，但在低光區域，木麻黃發芽率僅不到 3%；洪淑婷(2012)研究指出耐陰性海岸樹種如瓊崖海棠在不同光度並無顯著差異，本試驗水黃皮亦有類似情形，無論試驗地光度水黃皮發芽率集中在 15%-30%，可能是因水黃皮種子較大，在不同光度下可維持發芽能力；苦楝種子發芽率亦受到光度影響，在高光下苦楝發芽率約在 50%，隨著光度下降而降低發芽率，在低光度下發芽率約為 5%。

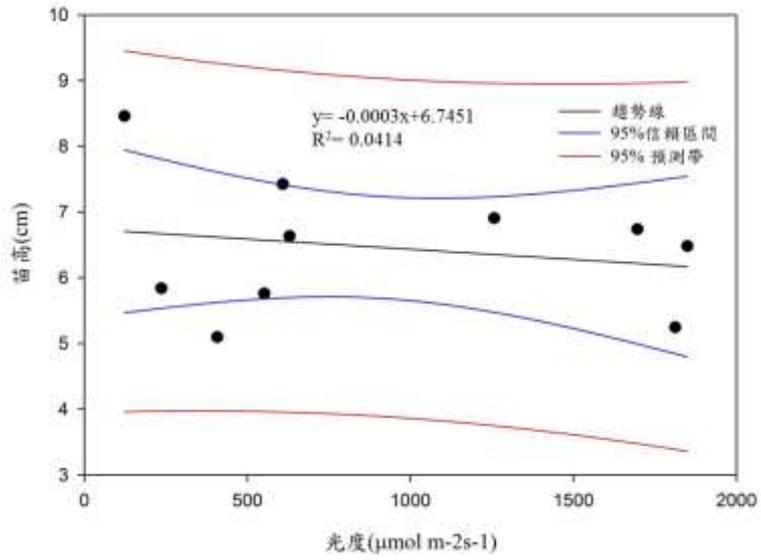
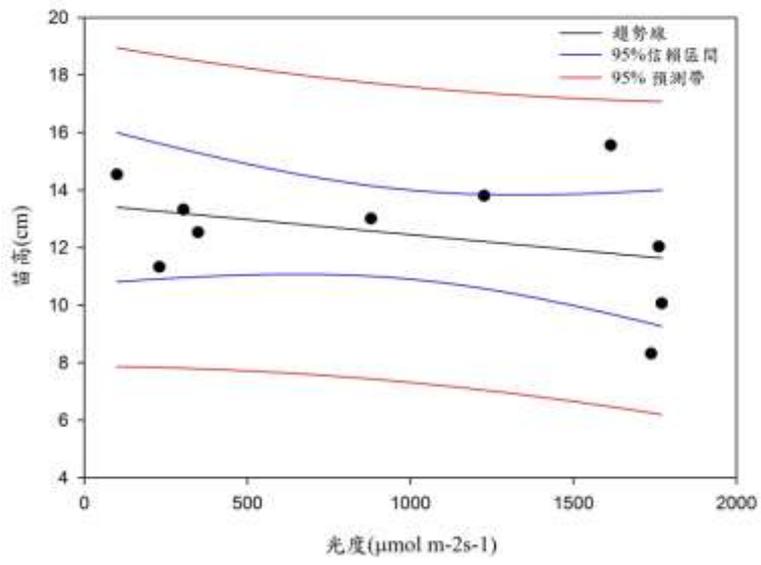
然而死亡率在苦楝、水黃皮、木麻黃在不同光度下皆無顯著影響(圖二十二)，木麻黃無論在何種光度下，死亡率皆高達 95% 以上，三種樹種中水黃皮平均死亡率 17.9% 為最低，顯示無論在何種光度下水黃皮都有較佳的存活能力，苦楝死亡率集中在 20%-30% 之間，賴靖陽(2013)研究指出，苦楝幼苗在低光下適應不良，而水黃皮在低光下可以藉由改變生理及形態來適應逆境，因此若長時間下，苦楝在低光下可能會提高死亡率；光度對幼苗生長從圖二十三所示平均幼苗皆在 15 cm 以下，因此尚未表現出差異。



圖二十一、光度與種子發芽率關係(由上而下為木麻黃、水黃皮及苦楝)



圖二十二、光度與樹種死亡率關係



圖二十三、光度與幼苗高度關係

(四)直播試驗-大坑罟海岸防風林林隙樣區

於蘇澳大坑罟社區之防風林以不同上層環境、不同下層地表處理，進行種子直播試驗。上層環境的依據以凹面鬱閉度計所測出，樹冠鬱閉度值分成3個等級，分別為70-50%(開闊地)，50-25%(半鬱閉地)與25%以下(林下鬱閉)來分析，下層地被處理以清除地上物之裸地方式，以清除地上物後覆稻草方式，未清除地上物之未整理方式，與對照組四種處理。播種方法，以試驗地介質與種子混合，均勻播種後覆土2cm。覆蓋稻草之處理以厚度以不阻礙種子發芽生長為標準。

1. 直播種子之形質

所採集3種直播試驗供試種子之形質資料如表十八。

表十九、木麻黃、苦楝、森氏紅淡比種子品質(質量、體積等)

基本資料	平均質量	平均體積	平均長(mm)	平均寬(mm)
	(100 粒/g)	(粒/1000ml)		
木麻黃	0.138±0.873	148,000±5292	-	-
苦楝	0.460±0.138	1,430±95	14.1±2.4	7.9±1.0
森氏紅淡比	0.256±0.028	216,667±9019	-	-

2. 供試種子活力檢定：

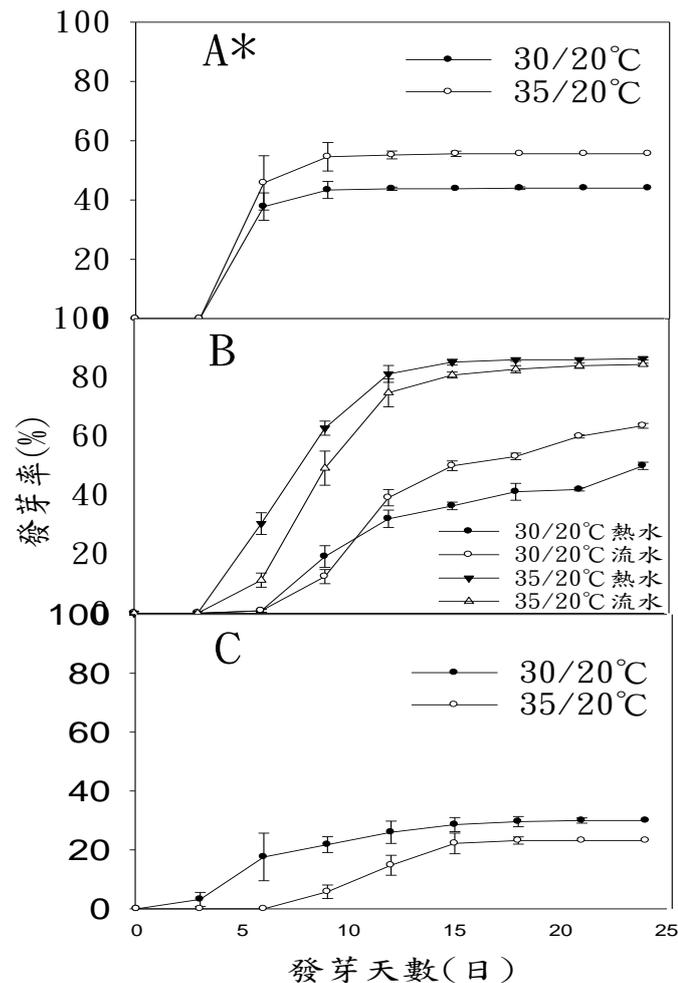
以發芽檢定表現供試種子之活力，木麻黃兩種處理皆於第6天開始發芽，30/20°C平均發芽率及發芽日數分別為44±2.9%及6.5±0.2日，21天後已無種子發芽。35/20°C變溫處理下，平均發芽率及發芽日數55.6±6.8%及6.6±0.4日，14天後已無種子發芽。以35/20°C的發芽環境下可顯著提高發芽率($p < 0.05$)。

苦楝所有試驗皆於14天開始發芽，流水處理後以30/20°C及35/20°C變溫處理平均發芽率分別為66±7.1%及84±11%，平均發芽日數分別為34.1±1.8及24±1.5日。經熱水處理之30/20°C及35/20°C平均發芽率分別為57±10%及88.4±5.6%，平均發芽日數分別為36±4及98日，皆在第15週後已無種子發芽。

兩種處理均以 35/20°C 的發芽環境下可顯著提高發芽率及減短平均發芽日數 ($p < 0.05$)，處理間對平均發芽率及發芽日數無顯著的影響。

森氏紅淡比於 30/20°C 下，第 3 天開始發芽，平均發芽率及發芽日數分別為 $30 \pm 7.1\%$ 及 8.4 ± 2.2 日，第 21 天後已無種子發芽。於 35/20°C 下，第 9 天開始發芽，平均發芽率及發芽日數分別為 $23.2 \pm 5.6\%$ 及 12.3 ± 0.8 日，第 21 天後已無種子發芽。發芽率在處理間無顯著差異，30/20°C 的環境發芽下可縮短平均發芽日數 ($p < 0.05$)。

種子發芽後於溫室中培育，3 樹種均屬地上發芽型，子葉 2 片。木麻黃、苦楝及森氏紅淡比均在第 1 個月形成真葉期苗，存活率分別達到 61%、53%、100%，至第 3 個月分別為 43%、48%、100%，此時存活率已趨於穩定。



圖二十四、各樹種發芽率曲線圖 (*: A-木麻黃、B-苦楝、C-森氏紅淡比)

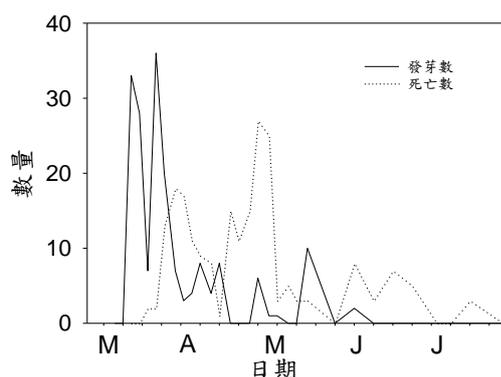
3. 林地直播試驗

直播試驗樣區已於 2011 年 3 月設置完成，調查資料：

a. 天然下種苗調查

比較各樣區冠層鬱閉度、相對光度及魚眼所拍攝之覆蓋度，相關性均極顯著 ($p < 0.01$)，以鬱閉度與魚眼所計算之覆蓋度為正相關，相對光度與上述兩者為負相關。

於 2011 年 3-7 月樣區調查天然下種苗數量，3 月中旬至 4 月初為幼苗出現之高峰期，開闢地、孔隙及林下累積數量分別為 4 ± 0.7 、 178 ± 37 及 92 ± 17.8 株。死亡高峰期為 4~5 月，而後變動較小趨於穩定，至 7 月調查後僅存活於孔隙 60 株（圖二十五）。



圖二十五、播種試驗地木麻黃天然下種更新苗發芽、死亡曲線

b. 直播試驗發芽率比較

木麻黃、苦楝及森氏紅淡比分別在 15、35 及 18 天後發芽，在 33、59 及 22 天後已無種子發芽。總平均發芽率各為 $2.5 \pm 2.6\%$ 、 $57.6 \pm 20.2\%$ 及 $0.9 \pm 1.0\%$ 。比較各樹種在冠層環境、地被處理間及交感項，木麻黃均無顯著差異，苦楝僅地被處理間具顯著差異 ($p < 0.05$)，以裸土>覆稻>未處理。森氏紅淡比交感項達顯著 ($p < 0.05$)，林下覆稻處理下有最高發芽率。

c. 存活率比較

木麻黃、苦楝及森氏紅淡比總平均存活率分別為 0.5 ± 0.9 、 30.3 ± 17.5 及 $1.4 \pm 1.7\%$ ，比較各樹種在冠層環境、地被處理間及交感項，木麻黃交感項達顯著 ($p < 0.05$)，以開闊覆稻處理最佳。苦楝交感項亦達顯著 ($p < 0.05$)，於開闊地下裸土處理最佳，森氏紅淡比僅在林下有幼苗存活(表二十)。

表二一、各樹種於各冠層環境、地被處理的發芽、存活率

	木麻黃		苦楝		森氏紅淡比	
	發芽率	存活率	發芽率	存活率	發芽率	存活率
開闊地	$0.8 \pm 1.3\%$	$1 \pm 1.7\%$	$50 \pm 26.0\%$	$56.7 \pm 30\%$	$0.2 \pm 0.4\%$	0%
孔隙	$1.6 \pm 2.8\%$	0%	$56.9 \pm 24.2\%$	$19 \pm 6.1\%$	0%	-
林下	$5.1 \pm 3.8\%$	$0.6 \pm 1.0\%$	$66 \pm 10.3\%$	$15.3 \pm 16.5\%$	$2.6 \pm 2.8\%$	$2.1 \pm 3.4\%$
裸土	$1.5 \pm 2.5\%$	0%	$74.3 \pm 4.3\%$	$34.0 \pm 38.2\%$	$0.6 \pm 1.1\%$	$3.3 \pm 4.7\%$
覆稻	$5.4 \pm 3.5\%$	$1.6 \pm 1.5\%$	$63.2 \pm 6.7\%$	$26.8 \pm 6.5\%$	$2.1 \pm 3.1\%$	$0.9 \pm 1.3\%$
未處理	$0.6 \pm 1.0\%$	0%	$35.4 \pm 17.1\%$	$30.2 \pm 35.2\%$	$0.1 \pm 0.2\%$	0%

4. 幼苗死亡趨勢

以 Kaplan meier 法檢測不同冠層環境、地被處理下死亡趨勢，木麻黃以孔隙環境下死亡趨勢較緩 ($p < 0.05$)，於 5 月底趨於穩定，開闊地及林下則在 5 月初。苦楝在開闊地死亡趨勢較快 ($p < 0.05$)，各冠層均在 7 月初趨於穩定。森氏紅淡比則在 5 月初已大部分死亡。地被處理間檢測結果，均以未處理死亡趨勢較快 ($p < 0.05$)。

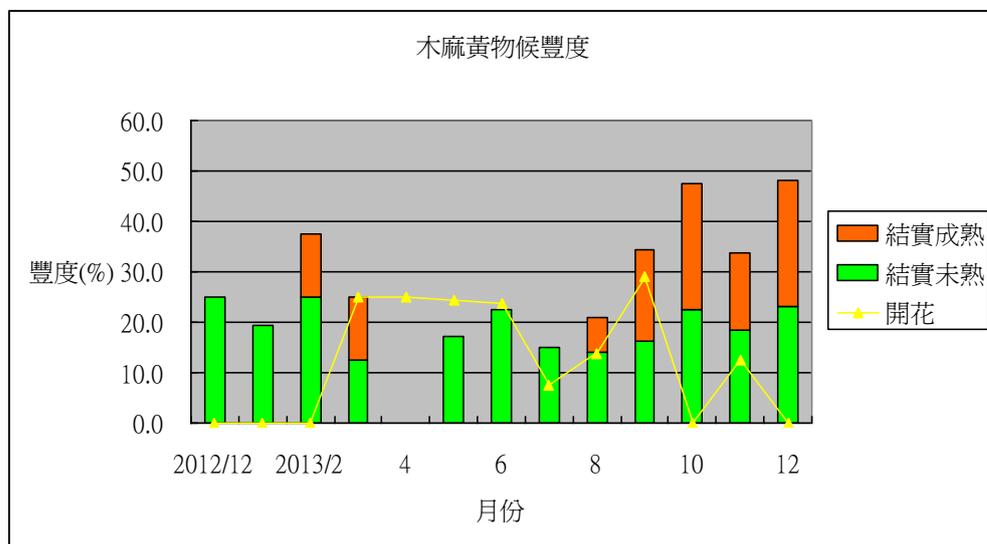
四、海岸樹種特性調查

(一)本區海岸樹種物候調查

1.木麻黃

木麻黃物候記錄中並沒有葉候，因為木麻黃為高大喬木，即使用上望遠鏡仍看不清展葉狀況；以高枝剪採集則怕次數過多會影響物候表現，故不做記錄。

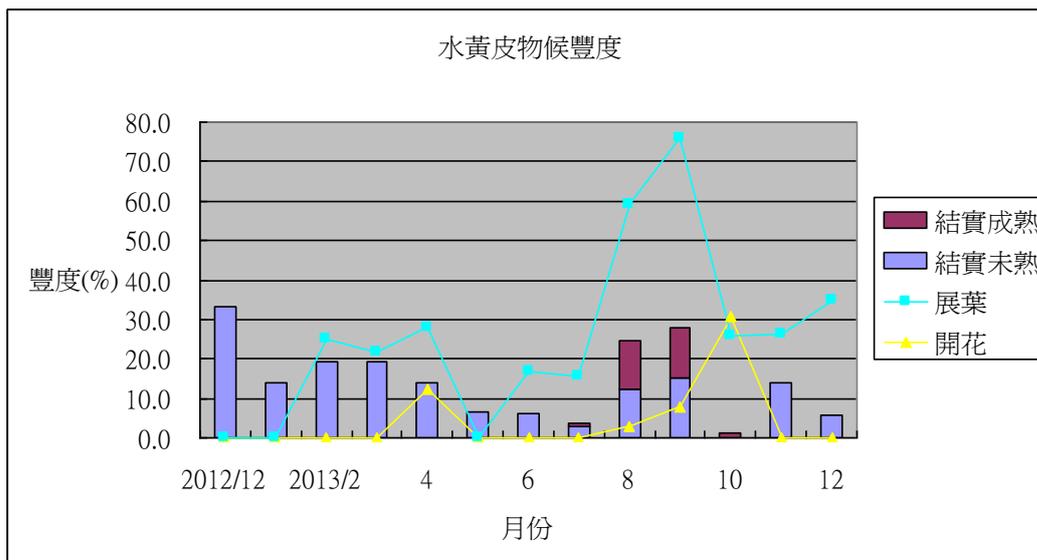
由圖二十六，木麻黃開花期集中於 3-7 月，果實成熟開裂則是在 2-3 月跟 8-12 月。木麻黃的果實成熟開裂並釋放出種子後，仍會宿存於枝頭，這時就不算是結實。



圖二十六、木麻黃物候豐度

2.水黃皮

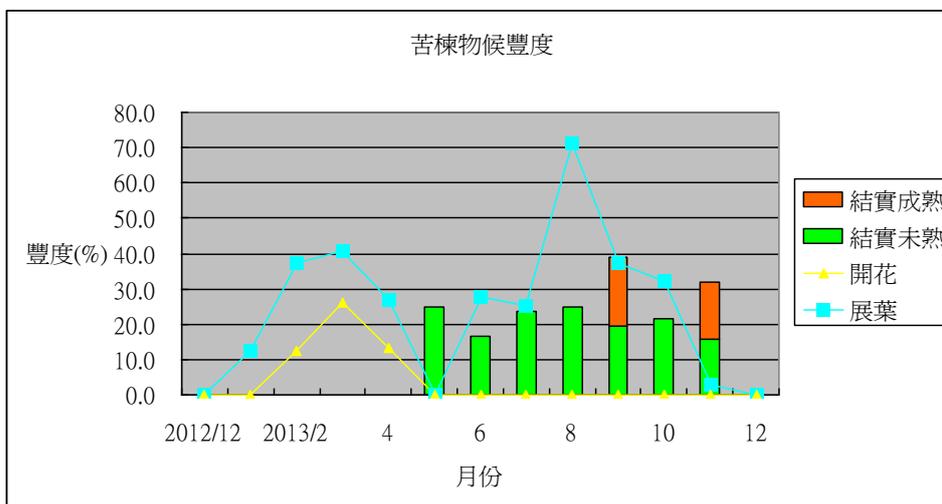
由圖二十七可知，水黃皮展葉期在一年中有兩個高峰：2-4 月和 7-10 月。開花期則是在展葉期高峰末期：4 月和 9-10 月。果實成熟期為 7-10 月。水黃皮果實有宿存現象，所以除了結實期以外的時期，也能見到極少數的果實存於枝頭。



圖二十七、水黃皮物候豐度

3. 苦楝

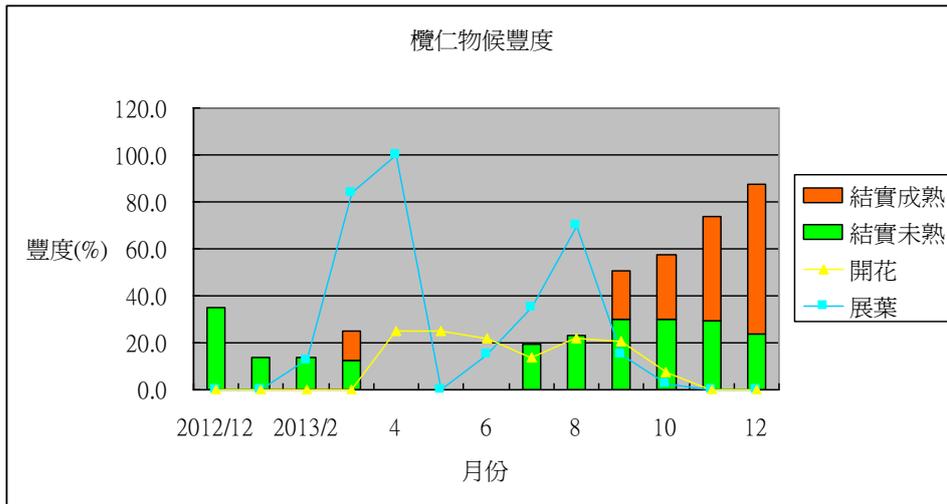
由圖二十八可知，苦楝的展葉期於一年中分為兩個高峰：1-4 月和 6-10 月；而開花期則是 2-4 月。5 月開始結實，9-11 月左右成熟；之後有部分果實會爛熟宿存於枝頭，爛熟宿存的果實並沒有算在結實期內。



圖二十八、苦楝物候豐度

4. 欖仁

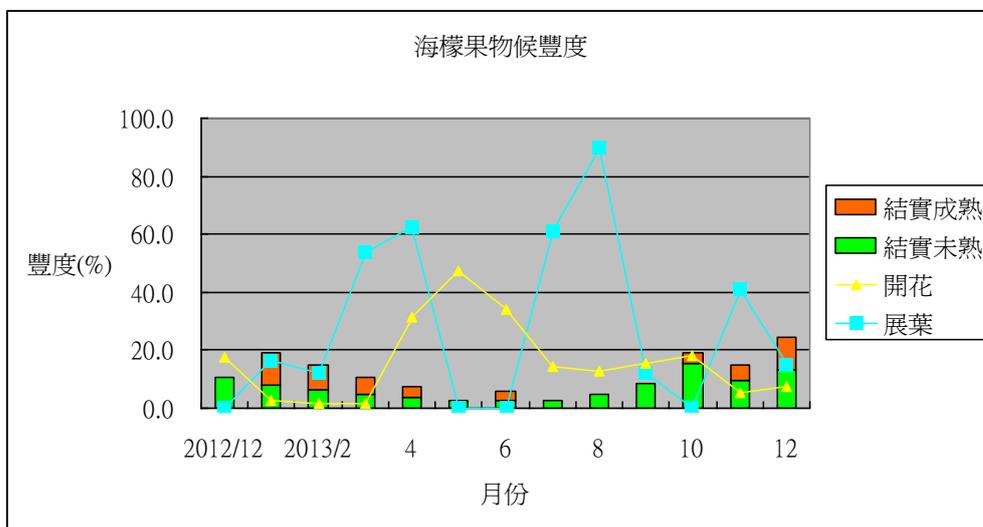
由圖二十九可知，欖仁展葉期於一年中有兩個高峰：2-4 月和 6-9 月。開花期則是 4-10 月。7 月起結果，於 9-12 月這段期間成熟。



圖二十九、欖仁物候豐度

5.海檬果

由圖三十可知，海檬果的展葉期於一年中有兩個高峰：2-4 月及 7-9 月。開花期主要是 4-7 月，其它時間也會開花，但量較不多。結實成熟期主要是 9 月到翌年 4 月，陸陸續續的結實並成熟，沒有明顯集中的果實成熟期。海檬果是個幾乎全年都能看到花果的樹種。

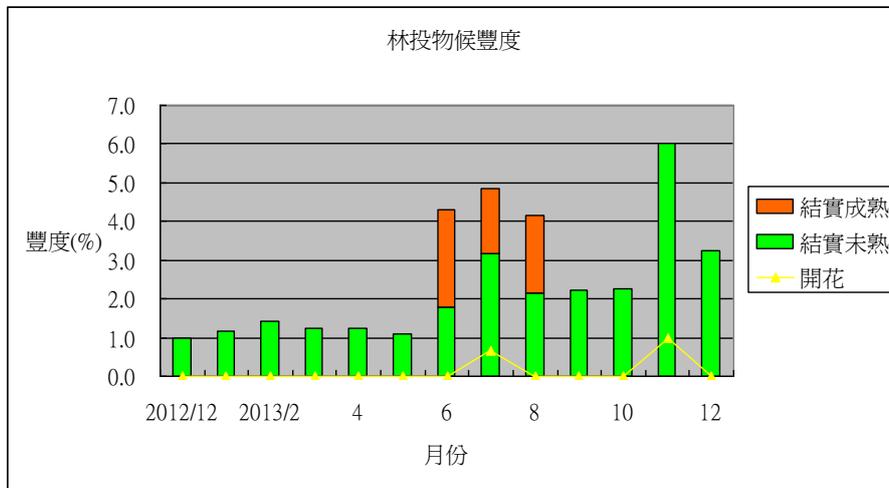


圖三十、海檬果物候豐度

6.林投

林投是持續展葉類型，全年皆有展葉，故不呈現在圖表中。開花很少見到，推測是因為其花開花落的期間很短而只觀察到少數花朵，花朵大多都在非觀察期

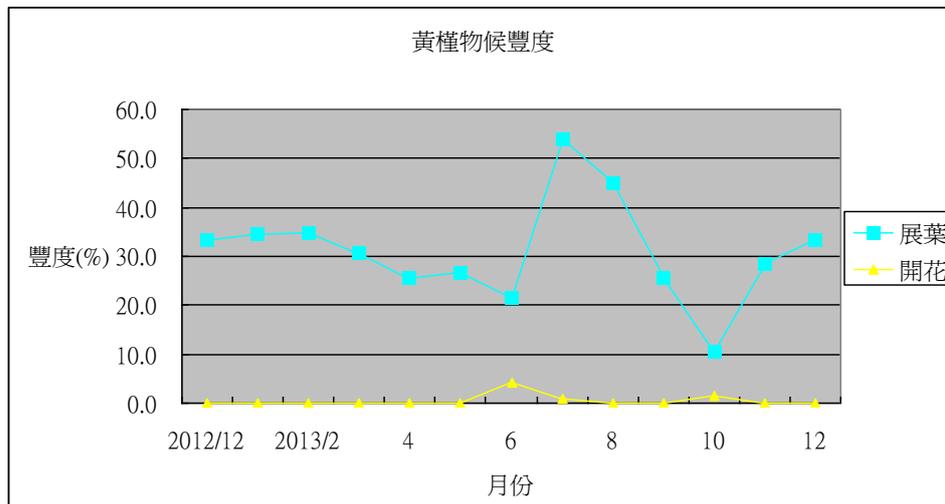
間開花、凋落。以少數見到的花朵來看（圖三十一），其開花期為 7 和 11 月。林投幾乎全年都能見到果實，大多時間是青綠未成熟的；在 6-8 月則會大量黃熟。



圖三十一、林投物候豐度

7. 黃槿

由圖三十二可知，黃槿幾乎全年都有展葉，但在 7-9 月最多。於一年的觀察中只見過兩朵花，因數量太過稀少，而且也沒有結果，故難以將這兩朵花出現期間視為正常花期。沒有觀察到結果。



圖三十二、黃槿物候豐度

經調查樣木後整理出海岸樹種物候資料，如表二十供本區海岸樹種採種、種實處理及苗木培育作業參考，除繼續調查其他樹種之物後資料外，並進一步就苗木生長資料，配合本區造林季節，提供育苗造林作業參考。

表二十一、宜蘭地區海岸樹種開花採種期與果實種子資料

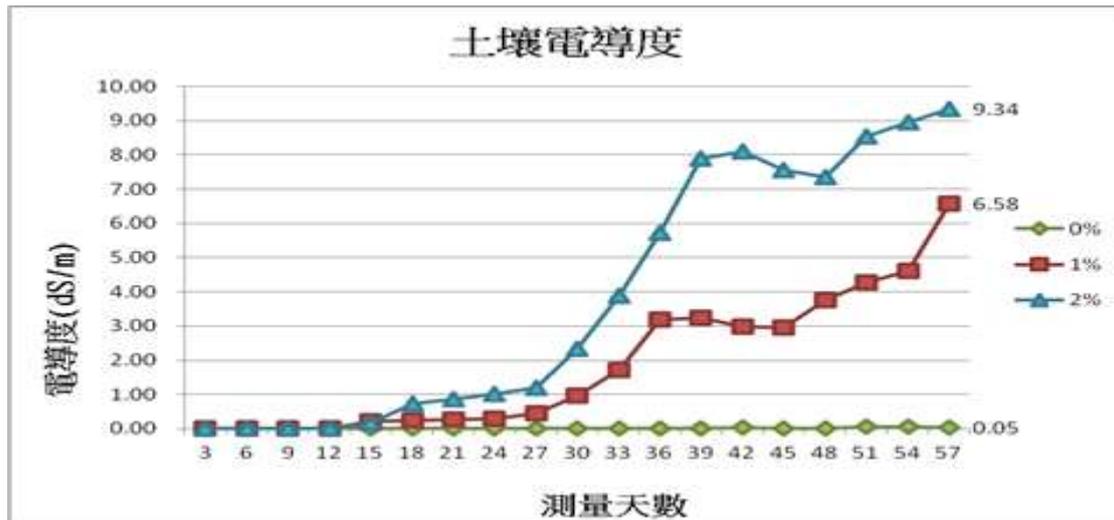
樹種	開花期	採種期	儲藏型	果實	休眠	發芽型
木麻黃	3~5 月	8~12 月	正儲	聚合果	無	地上型
苦楝	2~4 月	10~12 月	正儲	核果	無	地上型
水黃皮	8~10 月	10~12 月	異儲	莢果	無	地下型
黃槿	4~9 月	9~11 月	正儲	蒴果	無	地上型
福木	5~8 月	9~11 月	異儲	核果	無	地下型
林投	6~8 月	6~8 月	異儲	聚合果	無	地下型
海欖果	3~10 月	10~12 月	異儲	核果	無	地下型
欖仁	3~7 月	9~12 月	正儲	核果	無	地下型

五、海岸林樹種幼苗環境逆壓抗性試驗

(一)林投耐鹽性試驗

1.土壤電導度

經二個月的連續供應鹽水處理，除了對照組的土壤鹽度維持在在 0-0.1 dS/m 範圍，其餘隨著時間增加，土壤累積的電導度亦會增加。參考 USDA Salinity Laboratory (1954) 依飽和抽出液之電導度分級土壤鹽度，導電度為 2-4 (1 ds/m) 為低鹽度，4-8 ds/m 為中鹽度，8-16 ds/m 為高鹽度土壤。1% 鹽水處理之苗木土壤鹽度，至 36 天已達 3.0dS/m 之低鹽度土狀態，二個月則達 6.6dS/m 之中鹽度狀態；而 2% 鹽水處理之土壤鹽度，至 40 天時為 8.1dS/m，至二個月則為 9.34 dS/m 的土壤電導度，已屬高鹽度的狀態(圖三十三)。



圖三十三、三種鹽分處理之土壤電導度變化

2. 鹽分處理對苗木外觀的影響

林投苗木的外觀徵狀隨著不同的鹽分處理下而有所不同，出現的時間亦不同。隨著鹽分濃度的增加，苗木提早出現異常徵狀，在 2% 鹽分溶液處理的苗木最早出現徵狀，葉片綠色較其他兩種鹽分處理為淡色，葉背出現白色結晶物，並失去膨挺、軟化、葉片內捲，接著老葉轉變成黃褐色、枯萎，而頂芽也相繼枯黃，葉緣勾刺也有黃化，生長勢隨之衰退。1% 鹽分溶液處理者，僅出現一些白色結晶物，較無明顯衰退現象，葉片較厚，而對照組的苗木生長均保持旺盛。可見林投苗木葉子具泌鹽(salt-secreting)能力，將多餘的鹽分經由葉部特化的鹽腺排泄到莖葉表面，當蒸發時，水份從氣孔排走，多餘的鹽分會以結晶方式殘留，再被沖刷掉，此外有些植物將吸收的鹽分轉移到老葉中積累，最後脫落葉片以此來阻止鹽分在體內的過量積累會出現鹽害的徵狀，如植物生長於高鹽度土壤者，常因鹽分之影響，致葉形變小，危害嚴重者，全葉褐變，自葉基產生離層，終至落葉(陳燕章，1986)。



圖三十四、三種鹽分溶液處理二個月之苗木(由左至右 0%、1%、2%)

3. 苗木生長和存活率

二個月的鹽水處理的林投苗木生長如表二十二所示，在 0% 鹽分溶液處理與 2% 鹽分溶液處理下苗高與苗徑差異不顯著，苗高生長率亦無顯著差別，在 30-35% 間。而苗徑生長率在 3 種鹽分溶液處理下則呈顯著差異，在 1%、2% 鹽分處理下，苗徑生長率成負值，主要因為生長勢衰退，葉片變薄或呈現枯黃，測量時會將枯葉摘除所致。三種鹽分溶液處理下，為 0% 鹽分溶液處理者存活率最高，均存活，其次是 1% 鹽分溶液處理者，為 98.3%，2% 鹽分溶液處理者較低，為 91.7%。

表二十二、三種鹽水處理之林投苗木生長和存活率

處理	苗高 (cm)	苗徑 (cm)	苗高生長 (%)	苗徑生長 (%)	存活率(%)
0%	16.6±3.8 ^{ns}	1.2±0.3 ^{ns}	29.9±4.8 ^{ns}	0.01±0.06 ^a	100%
1%	15.3±3.2 ^{ns}	1.2±0.2 ^{ns}	34.9±7.8 ^{ns}	-10.9±4.1 ^b	98.3%
2%	15.1±2.6 ^{ns}	1.0±0.2 ^{ns}	34.8±5.1 ^{ns}	-24.1±4.9 ^c	91%

(不同英文字母標示者為不同處理差異達 5% 顯著水準 $p < 0.05$)

4.植物體乾重及 T/R 率

鹽分處理對林投苗木乾重之影響由鄧肯(Duncan)分析結果如表二十三。總乾重和葉乾重經不同鹽分溶液處理呈顯著效應，其中葉乾重為 2% 鹽分溶液處理者為最低，而根乾重在三種鹽分溶液處理無顯著差異。T/R 率則達顯著差異，以 2% 鹽水處理者較低。林如森(1999)曾對欖李進行鹽分試驗，亦發現隨著鹽分濃度增加，乾重會顯著的下降。

表二十三、林投苗總乾重、各部位絕乾重與 T/R 率之比較

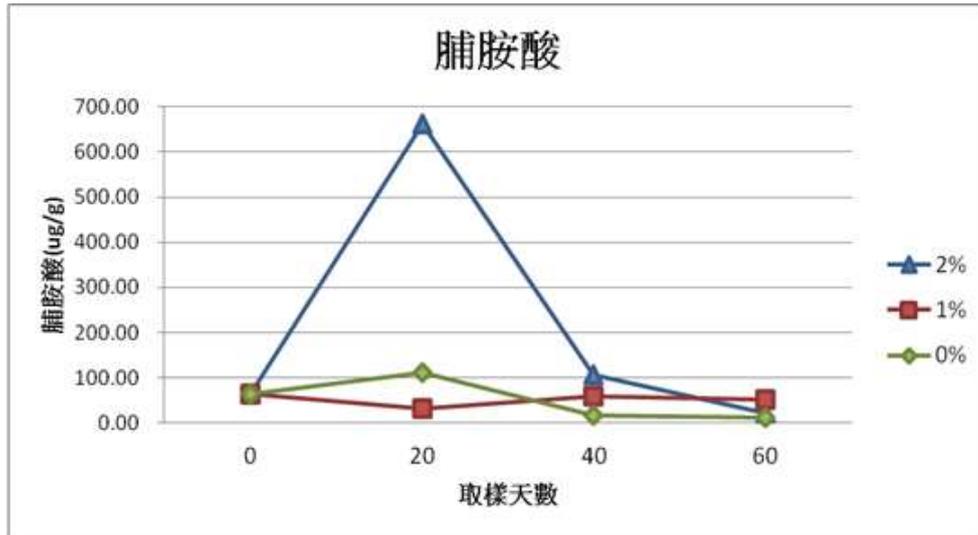
處理	總乾重(g)	葉乾重(g)	根乾重(g)	T/R 率	枯葉率(%)
0%	4.0±1.1 ^a	2.4±0.69 ^a	1.65±0.42 ^{ns}	1.55±0.45 ^a	21.6±0.1 ^b
1%	3.6±0.9 ^{ab}	2.01±0.43 ^a	1.58±0.5 ^{ns}	1.35±0.44 ^{ab}	29.0±0.1 ^b
2%	2.8±0.9 ^b	1.36±0.44 ^b	1.48±0.47 ^{ns}	1.21±0.48 ^b	53.9±0.1 ^a

(不同英文字母標示者為不同處理差異達 5% 顯著水準 $p < 0.05$ ，ns 代表無達到顯著水準 $p > 0.05$)

不同鹽分溶液處理下，林投苗木枯葉率具有顯著差異，以 2% 鹽分處理者為最高，達 53.9%，0% 鹽分溶液處理者最低。李威震(2006)曾對宜蘭各地海岸林進行健康性調查，發現木麻黃林木在低鹽度(EC 值:2~3.5 dS/m)即以產生嚴重之枝條枯萎及掉落(51~75%)，在中鹽度時枝梢枯萎率更高達 75~90%。

5.脯胺酸

結果顯示 2% 的鹽分溶液處理者，在第 20 天取樣時，脯胺酸量最高，但在第 40 天卻急速下降，可能是因生長勢嚴重衰退，以無法分泌脯胺酸來調節水分逆境，而 1%、0% 鹽分溶液處理者脯胺酸量都在 100 ug/g 範圍內，顯示在 1% 處理下對林投尚未形成逆境(圖三十五)。



圖三十五、三種鹽分溶液處理下葉片脯胺酸量

由本試驗結果得知，林投在低濃度鹽分溶液處理和無鹽分溶液處理者為佳，也就是在低鹽度和無鹽度環境生長會較良好，雖林投苗木在 2% 鹽分溶液澆灌二個月有少數死亡，但整體來說 3 種鹽分溶液處理下，存活率仍有在 90% 以上，但經鹽水處理二個月的林投苗木移出溫室，置於室外苗圃在自然供水狀態下經 6 個月調查苗木存活與生長，其中 2% 鹽水處理之苗木大多已枯死，存活率僅剩 2.7%，顯示苗木生理受損而無法恢復生機，苗木生長亦較差，1% 處理苗木存活率仍達 90%，而對照組苗木仍具有 98.3% 之存活率(表二十四)。李威震(2006)對台灣東北部海岸環境調查分析顯示，宜蘭海岸木麻黃林電導度大部分在 2~4 之間，少數在 5~6，結合圖三十四顯示，林投在電導度 6.58 下仍可存活解恢復，顯示林投耐鹽性佳，適宜做為第一線的造林樹種。

表二十四、鹽水處理 2 個月後置於苗圃 6 個月之林投苗木生長

處理	苗高(cm)	基徑(cm)	存活率(%)
0%	23.3±8.2	1.5±0.3	98.3
1%	24.5±12.1	1.6±0.4	90.0
2%	20.6±6.2	1.4±0.4	2.7

(二)海岸林樹種苗木光度適應性試驗

本研究以苦楝、水黃皮及福木三種海岸林造林樹種為試驗材料，探討各樹種在不同光度適應下 6 個月後，進行斷水處理之生理反應性狀及供水後恢復能力，測定苗木形質生長及螢光反應參數，藉以提供苗圃作業、海岸林造林樹種選擇。將 6-8 個月苗齡之苗木經三種不同程度的光度馴化，分別為全光(相對光度 100%，LF)、中等光度(相對光度約 50%，LM)、低光度(相對光度約 5%，LL)，再將適應後苗木進行斷水處理至土壤含水率 20%(W20)、10%(W10)及 5%(W5)，進一步探討受試驗樹種在各種環境下面對水逆境的適應潛力，除了在學理上可以了解受試驗樹種水分反應特性外，在海岸林造林實務上，則可以提供在不同狀況生育地選擇樹種之參考。

1. 苗木生長性狀

各種樹種苗木在遮陰試驗四個月後，惟有苦楝在低光度下存活率下降為 20%，其餘樹苗存活率皆為 100%，苗木形態生長在不同光度下之變化。在苗木生長部分(表二十五)苦楝各項生長參數在不同光度下皆有顯著差異，LL 處理皆為最低，而 LF 處理表現皆為最高，其中基徑及葉片數在全光下顯著高於其他兩種光度；在低光度下苦楝無論在生長表現或相對生長量都遠低於另外兩種光度，顯示苦楝在低光度下生長表現已受到影響而降低，甚至死亡。水黃皮與苦楝有類似的趨勢，除了基徑差異不顯著，皆以 LF 處理下數值最高，LL 處理最低，而 LF 下基徑生長及葉片數顯著高於其他兩種光度，水黃皮在 LL 處理下，苗高生長表現比基徑生長明顯，低光度下水黃皮馴化是藉由調整苗高生長與基徑生長，並減少葉片數量；相較於前面兩種樹種，福木的苗木呈現不同的結果，福木苗木在各項生長表現 LF 處理與 LM 處理皆無顯著差異，基徑與葉片數在光度處理間也無差異，苗高與苗高相對生長以 LL 最低，但基徑生長率最高，從表十九福木在全光與中等遮陰處理下差異皆不顯著，顯示福木在輕微遮陰下對生長並沒有影響。

在生物量部分(表二十五)，苦楝與水黃皮皆隨著光度下降而減少生物量，苦

棟與水黃皮在 LF 下生物量都最高，苦棟在 LM 下生物量累積即已顯著下降；水黃皮各項乾重直到 LL 下才產生顯著下降，而福木於 LM 處理無論在根、莖、葉皆有最大的生物量，LF 及 LL 處理在總生物量顯著低於 LM。從乾重變化可以看出三種樹種在遮蔭下乾重分配並無顯著改變，主要是生物量的生長上產生差異。

葉部形態改變部分(表二十六)，苦棟與福木葉面積於各光度處理間皆未達顯著差異($p>0.05$)，水黃皮則以 LM 處理最高、其次為 LF，LL 之葉面積則顯著低於前兩者。

苗木的各項指標參數顯示苦棟雖然會隨著光度減少而略為增加 SLA 與 LAR，但並無顯著差異，纖弱指數以 LM 中較高，但與 LF 沒有顯著差異，高徑比在 LL 下顯著高於其他兩處理，LM 次之，LF 最低；綜合與表二十四苦棟基徑之生長素質，可看出在 LL 下苦棟的基徑生長明顯低於其他兩項處理，造成高徑比的改變，因此形質已經受到影響而產生顯著改變。

水黃皮則是在 LAR 三種處理皆無顯著差異，但 SLA 在 LL 下顯著高於其他兩種處理，顯示水黃皮的葉片在 LM 中變化尚不明顯，但在 LL 處理下因遮蔭效果而改變葉片組織厚度，纖弱指數在 LM 顯著高於其他兩種處理，顯示在莖部的乾重與莖部高生長受到光度而改變分配，但在 LL 下纖弱指數降低，結合表十九之相對生長資料，可能是因為在 LL 下相對生長率皆不高，使苗高及基徑皆無改變，莖部形態因此無太大改變。福木之 SLA 在各處理間無顯著差異，顯示遮蔭並未影響福木葉片厚度，在 LAR 上福木則產生了顯著差異，在 LL 下會福木之 LAR 顯著高於其他兩種處理，顯示主要是藉由增加全株之葉面積比例來適應遮蔭的環境，福木纖弱指數 LL 中明顯低於其他兩種處理，在表十九中提到福木在 LL 下苗高的相對生長最低，因而無改變莖部形態，如此結果也可以從高徑比中有類似的結果，福木高徑比在 LL 下數值最低，最高為 LM 處理，顯示福木在 LL 下苗高生長並未特別旺盛，在 LM 下，福木有較高的苗高生長比例，使幼苗莖部形態較為細長。

表二十五、各樹種光適應後生長形態表現(一)

樹種	光度	基徑 (cm)	苗高 (cm)	RGR(%)	RHG(%)	葉片數
苦楝	LF	0.4±0.2 ^a	28.9±9.5 ^a	222.5±20.0 ^a	142.1±82.0 ^a	7.5±4.1 ^a
	LM	0.2±0.1 ^b	26.7±6.8 ^a	184.3±18.7 ^a	150.7±69.1 ^a	4.4±2.4 ^b
	LL	0.1±0.1 ^c	21.3±3.4 ^b	18.2±3.7 ^b	70.1±32.5 ^b	3.4±1.6 ^b
水黃皮	LF	0.9±0.3 ^{ab}	29.8±11.5 ^{ns}	101.4±62.3 ^a	46.9±26.5 ^a	7.8±4.7 ^a
	LM	1.0±0.3 ^a	31.4±13.2 ^{ns}	78.2±69.7 ^b	48.4±20.1 ^a	5.9±4.4 ^b
	LL	0.9±0.2 ^b	27.0±9.9 ^{ns}	38.4±3.6 ^c	29.1±18.2 ^b	3.1±2.1 ^c
福木	LF	0.5±0.2 ^{ns}	18.9±4.8 ^a	49.2±48.2 ^{ab}	83.3±43.0 ^a	12.7±4.1 ^{ns}
	LM	0.4±0.2 ^{ns}	19.0±5.1 ^a	37.5±5.3 ^b	86.8±42.7 ^a	13.2±4.8 ^{ns}
	LL	0.5±0.1 ^{ns}	16.3±3.8 ^b	64.2±47.6 ^a	59.5±36.2 ^b	12.3±4.3 ^{ns}

(LF、LM、LL 分別代表全光、中等光度、低光度處理；不同音文字母標示者為不同光度處理差異達 5% 顯著水準，RGR 及 RHR 指光度馴化前後(六個月)之相對生長率。)

表二十六、各樹種光適應後生長形態表現(二)

樹種	光度	SLA(cm ² /g)	LAR(cm ² /g)	苗高/基徑	總乾重(g)	T/R 率	總葉面積(cm ²)
苦楝	LF	166.2±10.5 ^{ns}	25.8±4.7 ^{ns}	71.0±20.6 ^c	17.3±3.8 ^a	0.9±0.1 ^{ns}	455±173 ^{ns}
	LM	189.0±30.0 ^{ns}	33.6±12.6 ^{ns}	131.5±49.6 ^b	8.3±3.5 ^b	1.1±0.4 ^{ns}	256±57 ^{ns}
	LL	-	-	227.9±70.6 ^a	-	-	-
水黃皮	LF	126.1±11.6 ^b	33.1±8.1 ^{ns}	32.8±11.3 ^{ns}	46.1±8.7 ^a	1.3±0.3 ^{ns}	1484±199 ^{ab}
	LM	156.3±24.4 ^b	56.7±13.4 ^{ns}	31.1±10.8 ^{ns}	37.9±11.8 ^a	1.6±0.4 ^{ns}	2110±667 ^a
	LL	218.6±30.5 ^a	59.0±29.4 ^{ns}	30.5±8.8 ^{ns}	14.8±1.2 ^b	1.3±0.6 ^{ns}	855±361 ^b
福木	LF	60.6±7.4 ^{ns}	35.6±1.3 ^b	41.4±11.8 ^b	9.1±1.7 ^b	4.8±1.7 ^a	325±62 ^{ns}
	LM	100.6±74.2 ^{ns}	28.0±9.3 ^b	46.9±12.2 ^a	19.8±5.2 ^a	2.1±0.9 ^b	585±343 ^{ns}
	LL	106.7±8.3 ^{ns}	58.1±10.5 ^a	34.3±9.1 ^c	7.1±1.5 ^b	2.6±1.1 ^{ab}	374±1764 ^{ns}

(LF、LM、LL 分別代表全光、中等光度、低光度處理；- 註記代表苗株已死亡而無資料；不同音文字母標示者為不同光度處理差異達 5% 顯著水準)

2. 光合速率

從光合速率曲線的趨勢可以觀察三種樹種在不同光度環境的馴化反應，苦楝在 LF 下光合速率最高(A_{max} ， $16.9 \pm 1.2 \mu \text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)，隨環境光度下降，光合作用速率也顯著減低(LM: A_{max} ， 10.5 ± 1.1 ；LL: $4.7 \pm 1.3 \mu \text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)；水黃皮則是在 LF 下有最佳的光合速率(A_{max} ， $13.8 \times$ 光合速 $\mu \text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)，在 LM 下光合速率即顯著下降(A_{max} ， $7.2 \pm 1.6 \mu \text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)，在 LL 中光合作用速率亦無顯著下降(A_{max} ， $5.2 \times$ 速 8 $\mu \text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)；福木與前面兩種樹種展現不同的趨勢，福木在 LM 光度中有最佳的光合速率(A_{max} ， $6.2 \pm 2.1 \mu \text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)，在 LF 與 LL 環境中福木光合速率較低(A_{max} 3.4 ± 2.93 速 1 $\mu \text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (圖三十六)。

各項光合作用指標來比較各樹種之反應，苦楝在 LF 與 LM 下暗呼吸速率(R_d)、光量子效率(Q_y)與光補償點(LCP)並無顯著差異，主要差別在最大淨光合作用速率(A_{max})，苦楝 LL 環境中暗呼吸速率及光補償點雖然顯著下降，但光量子效率並未提升，導致最大淨光合速率低，結合前述的生長資料可知苦楝在低光下生長狀況較差。

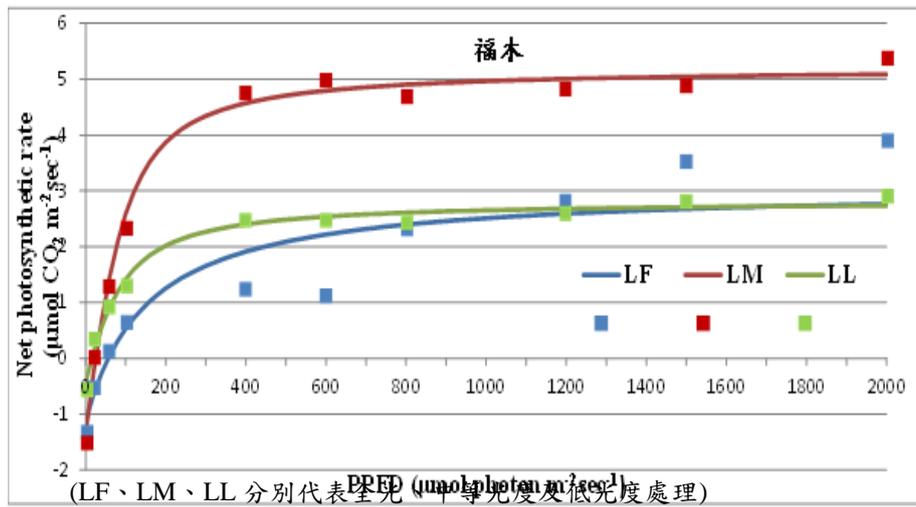
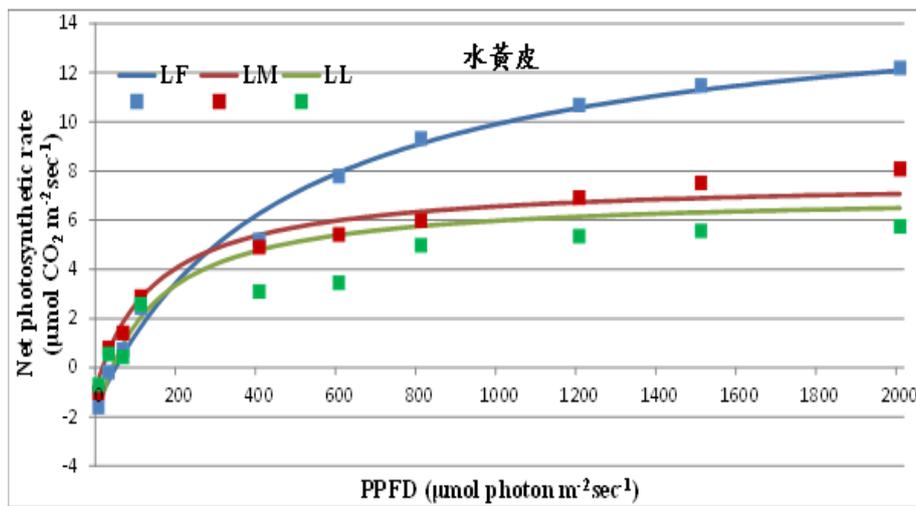
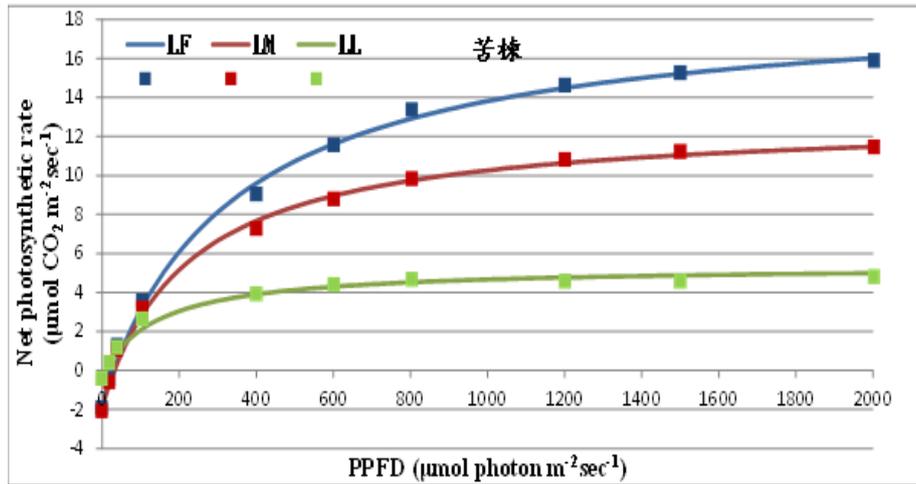
水黃皮暗呼吸速率隨著環境光度降低而降低，光量子效率則有增加之趨勢，但無顯著差異，光補償點則顯著隨環境光度下降而減低，顯示水黃皮的光合反應主要由降低光補償點來適應遮暗環境維持生長，最大淨光合速率在 LF 下顯著高於其他兩種光度環境。

福木在 LM 光度環境下，最大淨光合速率最高，並且有較低的光補償點及最高的光量子效率(表二十七)，在 LL 下，福木的光量子效益較低，但有較低的暗呼吸速率及光補償點。顯示福木在全光及低光下雖然降低暗呼吸速率減少呼吸作用的消耗，但光量子效益並無法提升，光合速率亦較差。

表二十七、各樹種在不同光度下之光合作用參數

樹種	光度	Rd ($\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	LCP ($\mu\text{molphotonm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Qy	Amax ($\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
苦楝	LF	1.9±0.4 ^a	28.4±0.8 ^a	0.07±0.01 ^a	16.9±1.2 ^a
	LM	2.0±0.2 ^a	30.8±2.1 ^a	0.06±0.00 ^a	10.5±1.1 ^b
	LL	0.4±0.2 ^b	12.5±8.9 ^b	0.03±0.01 ^b	4.7±1.3 ^c
水黃皮	LF	1.3±0.2 ^{ns}	30.6±7.2 ^a	0.05±0.01 ^{ns}	13.8±2.5 ^a
	LM	0.8±0.3 ^{ns}	15.5±7.1 ^{ab}	0.05±0.01 ^{ns}	7.2±1.6 ^b
	LL	0.6±0.6 ^{ns}	11.5±9.2 ^b	0.06±0.01 ^{ns}	5.2±1.8 ^b
福木	LF	1.2±0.2 ^b	41.4±8.7 ^a	0.03±0.00 ^b	3.4±0.3 ^b
	LM	1.3±0.5 ^b	23.8±10.5 ^b	0.06±0.00 ^a	6.2±2.1 ^a
	LL	0.4±0.2 ^a	14.2±0.4 ^b	0.03±0.02 ^b	2.9±1.1 ^b

(LF、LM、LL 分別代表全光、中等光度、低光度處理；不同英文字母標示者為不同光度處理差異達 5% 顯著水準)



圖三十六、各樹種在不同光度環境下之光合作用曲線

(三)、海岸林樹種幼苗乾旱試驗-光合參數

1. 苦楝

苦楝在 LF 下對乾旱反應明顯，當土壤水分降至 20% 時，光合速率就已顯著下降，蒸散速率也已經顯著降低，氣孔導度與水分利用效率也有下降趨勢，在 LM 光度下，苦楝在水分下降到 10% 時光合作用速率仍可維持，直至土壤水分下降至 5% 光合速率再次下降淨光合速率才趨近零，由水分利用效率可以看出，苦楝在 LF 下 WUE 在水分開始下降即受到顯著影響，但在 LM 中，苦楝在土壤水分降至 10% 時仍可維持較高的水分利用效率，因此 Pn 值仍可維持，但下至 5% 時 WUE 顯著下降，主要因在此乾旱程度下 Pn 值已受到限制(表二十八)。

表二十八、苦楝苗木乾旱下光合作用參數

光合參數	Pn	Tr	cond	WUE
土壤水分(v/v%)	($\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	($\text{mmolH}_2\text{Om}^{-2}\text{s}^{-1}$)	($\text{molH}_2\text{Om}^{-2}\text{s}^{-1}$)	($\mu\text{molCO}_2/\text{mmolH}_2\text{O}$)
LF				
斷水前	9.83±1.23 ^a	1.93±0.62 ^a	0.24±0.04 ^{ns}	5.30±1.01 ^a
W20	1.28±0.03 ^b	0.45±0.01 ^b	0.003±0.002 ^{ns}	2.86±0.10 ^b
W10	-0.05±0.50 ^b	0.01±0.02 ^b	0.004±0.002 ^{ns}	-
W5	0.31±1.24 ^b	0.005±0.04 ^b	0.06±0.03 ^{ns}	-
LM				
斷水前	7.56±0.13 ^a	1.39±1.47 ^{ns}	0.09±0.02 ^{ns}	5.49±0.70 ^a
W20	5.41±1.29 ^b	1.55±0.20 ^{ns}	0.16±0.10 ^{ns}	3.53±1.01 ^{ab}
W10	4.44±1.80 ^b	0.90±0.77 ^{ns}	0.07±0.06 ^{ns}	6.77±3.24 ^a
W5	0.75±0.08 ^c	1.48±3.89 ^{ns}	0.08±0.03 ^{ns}	0.53±0.16 ^b

(LF、LM、LL 分別代表全光、中等光度及低光度處理；W20、W10、W5 代表土壤含水率 20%、10% 及 5%，不同英文字母標示者為不同光度處理差異達 5% 顯著水準；- 註記代表因 Tr 及 Pn 過低造成 WUE 已失去常態意義)

2. 水黃皮

水黃皮在全光下受水分影響顯著，當土壤水分降至 20% 時光合速率已產生顯

著下降，雖然蒸散速率與氣孔導度有下降，但光合速率仍無法提升，因此水分利用效率也較為不一致，然而在中等光度下，隨土壤水分下降，光合速率即產生顯著影響，但在土壤水分 10% 淨光合速率仍可維持正值，水分利用效率也只有略為下降，直至土壤水分降至 5% 時水黃皮生理反應才產生障礙，在低光度下，水黃皮在土壤水分嚴重缺乏時仍可維持生理作用，蒸散速率隨著土壤乾旱程度而調整，氣孔導度也顯著下降，因此在水分利用效率有上升的趨勢(表二十九)。

表二十九、水黃皮苗木乾旱下光合作用參數

光合參數	Pn	Tr	cond	WUE
土壤水分(v/v%)	($\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	($\text{mmolH}_2\text{Om}^{-2}\text{s}^{-1}$)	($\text{molH}_2\text{Om}^{-2}\text{s}^{-1}$)	($\mu\text{molCO}_2/\text{mmolH}_2\text{O}$)
LF				
斷水前	4.67±1.63 ^a	0.35±0.29 ^{ns}	0.24±0.04 ^{ns}	8.35±0.78 ^{ns}
W20	-0.12±0.57 ^b	0.07±0.04 ^{ns}	0.003±0.002 ^{ns}	-
W10	0.46±0.26 ^b	0.07±0.04 ^{ns}	0.004±0.002 ^{ns}	6.40±2.15 ^{ns}
W5	-1.39±0.18 ^b	0.01±0.01 ^{ns}	0.06±0.11 ^{ns}	0.28±26.18 ^{ns}
LM				
斷水前	4.23±0.95 ^a	0.49±0.33 ^{ns}	0.04±0.03 ^{ns}	10.62±4.61 ^a
W20	1.95±1.90 ^b	0.37±0.11 ^{ns}	0.05±0.04 ^{ns}	6.02±3.54 ^{ab}
W10	2.16±0.56 ^b	0.40±0.11 ^{ns}	0.03±0.01 ^{ns}	5.55±1.24 ^{ab}
W5	-0.12±0.58 ^c	0.17±0.09 ^{ns}	0.06±0.11 ^{ns}	0.46±3.35 ^b
LL				
斷水前	3.02±0.91 ^{ns}	0.50±0.13 ^a	0.31±0.05 ^c	6.14±2.07 ^{ns}
W20	3.82±1.52 ^{ns}	0.58±0.06 ^a	0.40±0.04 ^a	6.61±2.04 ^{ns}
W10	1.92±0.78 ^{ns}	0.31±0.22 ^{ab}	0.15±0.09 ^b	7.64±4.96 ^{ns}
W5	2.02±1.11 ^{ns}	0.12±0.19 ^b	0.007±0.005 ^c	20.36±12.13 ^{ns}

(LF、LM、LL 分別代表全光、中等光度及低光度處理；W20、W10、W5 代表土壤含水率 20%、10%及 5%，不同英文字母標示者為不同光度處理差異達 5%顯著水準；-註記代表因 Tr 及 Pn 過低造成 WUE 已失去常態意義)

3.福木

在全光下土壤水分降至 20%時，福木光合速率已顯著降低，雖然蒸散速率及氣孔導度都有下降趨勢，但仍無法維持光合速率，在中等光度中，雖然也有類似情形，但是土壤水分在 20%及 10%時，福木仍可維持一定的光合速率，蒸散速

率也快速下降，因此福木在中等光度中水分利用效率也有上升的趨勢，但在嚴重乾旱影響下，福木光合速率也再次下降，顯示在中等光度下福木因土壤水分改變而調整生理反應，直至嚴重乾旱時才會影響生理反應，在低光度下，土壤水分降至 5% 時蒸散速率有下降之趨勢，且仍可維持一定之光合速率，顯示在低光下耐旱性較佳(表三十)。

表三十、福木苗木乾旱下光合作用參數

光合參數	Pn	Tr	cond	WUE
土壤水分(v/v%)	($\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	($\text{mmolH}_2\text{Om}^{-2}\text{s}^{-1}$)	($\text{molH}_2\text{Om}^{-2}\text{s}^{-1}$)	($\mu\text{molCO}_2/\text{mmolH}_2\text{O}$)
LF				
斷水前	1.78±0.81 ^a	0.51±0.53 ^{ns}	0.04±0.04 ^{ns}	5.23±2.62 ^{ns}
W20	0.06±0.07 ^b	-	-	-
W10	0.23±0.17 ^b	-	-	-
W5	0.15±0.41 ^b	-	-	-
LM				
斷水前	4.39±1.36 ^a	0.87±0.31 ^a	0.04±0.03 ^{ns}	5.50±2.41 ^{ns}
W20	1.45±0.74 ^b	0.55±0.13 ^a	0.05±0.04 ^{ns}	2.62±1.19 ^{ns}
W10	2.00±0.39 ^b	0.07±0.04 ^b	0.03±0.01 ^{ns}	35.65±22.07 ^{ns}
W5	0.89±0.63 ^b	0.16±0.14 ^b	0.06±0.11 ^{ns}	15.98±21.67 ^{ns}
LL				
斷水前	1.87±1.17 ^{ns}	0.52±0.36 ^{ns}	0.03±0.03 ^b	10.75±15.29 ^{ns}
W20	2.59±0.88 ^{ns}	0.50±0.06 ^{ns}	0.52±0.17 ^a	5.19±1.69 ^{ns}
W10	0.90±1.14 ^{ns}	0.39±0.26 ^{ns}	0.004±0.003 ^b	3.67±3.32 ^{ns}
W5	1.04±1.08 ^{ns}	0.18±0.29 ^{ns}	0.01±0.02 ^b	-

(LF、LM、LL 分別代表全光、中等光度及低光度處理；W20、W10、W5 代表土壤含水率 20%、10% 及 5%，不同英文字母標示者為不同光度處理差異達 5% 顯著水準；- 註記代表 Tr 及 cond 已低於儀器測量最小值，及因 Tr 及 Pn 過低造成 WUE 已失去常態意義)

(四)、海岸林樹種幼苗乾旱試驗-以光能量利用檢測

1. 苦楝

苦楝在 LF 下 F_v'/F_m' 及 qP 在任何乾旱程度下無顯著影響(表三十一)，因此 $\Phi PSII$ 也未受到影響，在任何乾旱程度下都無顯著差異，但是在 F_v/F_m 參數，在嚴重乾旱(W5)時已經產生顯著差異，而 ETR 在土壤水分降低到 10% 時也產生了顯著差異，可以推測在乾旱逆境壓力提高時，苦楝 PSII 系統雖然可以維持高效率的捕光作用及光能轉換，但其 PSII 潛能已受到影響，並且在電子傳遞速率已遭受阻礙。

在 LM 下苦楝經過斷水處理無論在何種乾旱程度皆無顯著差異(表三十一)，顯示苦楝葉綠素功能在 LM 下受到乾旱程度影響較少，PSII 系統未受到傷害，電子傳遞也未受阻礙。

在 LL 處理下，苦楝 qP 本就遠低於其他兩種光度處理，顯示其 PSII 系統效率已受影響，在土壤水分降低至 20% 以後 $\Phi PSII$ 及 ETR 就已顯著低於原始值並且無法適應而死亡(表三十一)，顯示在低光度下，苦楝遭受輕微乾旱程度就已出現嚴重的影響導致死亡。

綜合三個光度下苦楝對乾旱逆境的調節，苦楝在 LM 下對乾旱容忍性最大，無論在光能轉換效率、PSII 效率及電子傳遞速率都沒有明顯的下降；在 LF 下雖然光能轉換效率及 PSII 效率未受影響，但最大光量子效率與電子傳遞速率已受影響；在 LL 中，只要土壤水分降至 20% 苦楝光合作用的光反應系統就會受到嚴重影響並且死亡。

表三十一、苦楝苗木斷水處理螢光參數

螢光參數	Fv/Fm	Fv'/Fm'	qP	ΦPSII	NPQ	ETR
土壤水						
LF						
斷水前	0.80±0.06 ^a	0.58±0.05 ^{ns}	0.87±0.04 ^{ns}	0.49±0.06 ^{ns}	2.12±0.50 ^{ns}	59.83±10.7 ^a
W20	0.80±0.05 ^a	0.57±0.05 ^{ns}	0.84±0.02 ^{ns}	0.47±0.05 ^{ns}	2.08±0.26 ^{ns}	43.40±12.7 ^{ab}
W10	0.80±0.02 ^a	0.56±0.06 ^{ns}	0.91±0.17 ^{ns}	0.47±0.04 ^{ns}	2.33±0.50 ^{ns}	33.53±3.59 ^b
W5	0.76±0.05 ^b	0.48±0.06 ^{ns}	0.80±0.02 ^{ns}	0.36±0.06 ^{ns}	2.71±0.35 ^{ns}	40.27±0.35 ^b
LM						
斷水前	0.81±0.01 ^{ns}	0.50±0.03 ^{ns}	0.72±0.02 ^{ns}	0.36±0.04 ^{ns}	1.97±0.32 ^{ns}	30.07±2.61 ^{ns}
W20	0.82±0.01 ^{ns}	0.48±0.04 ^{ns}	0.73±0.11 ^{ns}	0.35±0.07 ^{ns}	2.1±0.10 ^{ns}	30.87±3.44 ^{ns}
W10	0.82±0.01 ^{ns}	0.51±0.04 ^{ns}	0.81±0.07 ^{ns}	0.40±0.02 ^{ns}	2.57±0.37 ^{ns}	35.42±3.75 ^{ns}
W5	0.80±0.09 ^{ns}	0.39±0.10 ^{ns}	0.71±0.10 ^{ns}	0.27±0.09 ^{ns}	2.28±0.48 ^{ns}	26.00±8.92 ^{ns}
LL						
斷水前	0.81±0.00 ^{ns}	0.36±0.08 ^{ns}	0.51±0.08 ^{ns}	0.19±0.07 ^a	1.13±0.15 ^{ns}	19.73±0.76 ^a
W20	0.80±0.03 ^{ns}	0.24±0.05 ^{ns}	0.36±0.09 ^{ns}	0.07±0.00 ^b	1.46±0.48 ^{ns}	10.43±2.32 ^b

(LF、LM、LL 分別代表全光、中等光度及低光度處理；W20、W10、W5 代表土壤含水率 20%、10%及 5%，不同英文字母標示者為不同光度處理差異達 5%顯著水準)

2.水黃皮

乾旱逆境對水黃皮之最大光量子效率皆無顯著影響(表三十二)，Fv'/Fm' 只有在水分降至 5% 以下時才有顯著改變，但 ΦPSII 在土壤水分降至 10% 時已產生明

顯下降，電子傳遞速率也在土壤水分降至 20% 時就產生顯著下降，顯示 LF 下乾旱對水黃皮影響主要在光能轉換效率影響，進而使 Φ PSII 降低，電子傳遞速率也受到影響。

在 LM 下乾旱影響水黃皮的螢光參數在土壤水分降至 20% 就有顯著差異(表三十二)，在土壤水分降至 20% 程度時， F_v'/F_m' 及 qP 就已經顯著降低，當土壤水分降至 5% 時， F_v'/F_m' 及 qP 又再次顯著下降，而 Φ PSII 已經產生極大之影響，電子傳遞速率也顯著降低，因此在中等光度下，乾旱對水黃皮的光系統的各项功能皆顯著影響。

水黃皮在低光度下無論 F_v'/F_m' 、 qP 及電子傳遞速率都低於其他處理，因此當土壤水分開始降低時， F_v'/F_m' 及 qP 都已產生影響(表三十二)，在 20% 時就產生顯著降低，電子傳遞速率也產生影響，而在水分降至 10% 時非光化學消散也顯著增加，顯示 PSII 系統對於光吸收利用產生阻礙。

表三十二、水黃皮苗木斷水處理螢光參數

螢光參數	Fv/Fm	Fv'/Fm'	qP	ΦPSII	NPQ	ETR
土壤水分						
LF						
斷水前	0.80±0.00 ^{ns}	0.55±0.07 ^a	0.88±0.08 ^{ns}	0.49±0.03 ^a	2.23±0.35 ^{ns}	49.13±16 ^a
W20	0.79±0.02 ^{ns}	0.46±0.03 ^a	0.87±0.08 ^{ns}	0.40±0.02 ^{ab}	2.28±0.25 ^{ns}	31.37±7.74 ^b
W10	0.80±0.07 ^{ns}	0.44±0.07 ^a	0.79±0.33 ^{ns}	0.36±0.09 ^b	3.18±0.29 ^{ns}	24.1±1.99 ^{bc}
W5	0.78±0.07 ^{ns}	0.26±0.08 ^b	0.62±0.22 ^{ns}	0.17±0.11 ^c	2.2±0.79 ^{ns}	9.6±3.46 ^c
LM						
斷水前	0.81±0.02 ^{ns}	0.54±0.05 ^a	0.79±0.06 ^a	0.42±0.02 ^a	1.93±0.9 ^{ns}	22.65±0.35 ^a
W20	0.82±0.01 ^{ns}	0.35±0.06 ^b	0.63±0.06 ^b	0.21±0.05 ^b	2.14±0.49 ^{ns}	16.13±5.95 ^a
W10	0.80±0.02 ^{ns}	0.34±0.07 ^b	0.58±0.1 ^b	0.21±0.07 ^b	2.01±0.74 ^{ns}	19.3±5.1 ^a
W5	0.81±0.01 ^{ns}	0.11±0.05 ^c	0.21±0.07 ^c	0.03±0.00 ^c	1.97±0.18 ^{ns}	7.03±2.58 ^b
LL						
斷水前	0.81±0.01 ^a	0.31±0.05 ^a	0.45±0.08 ^a	0.14±0.04 ^a	0.77±0.09 ^a	12.37±2.4 ^a
W20	0.81±0.02 ^{ab}	0.22±0.01 ^a	0.25±0.02 ^b	0.05±0.01 ^b	0.96±0.24 ^a	6.87±1.12 ^{ab}
W10	0.77±0.01 ^c	0.10±0.09 ^b	0.26±0.06 ^b	0.06±0.02 ^b	1.71±0.09 ^b	8.00±5.22 ^{ab}
W5	0.79±0.01 ^{bc}	0.10±0.04 ^b	0.19±0.07 ^b	0.02±0.01 ^b	1.90±0.34 ^b	3.43±1.10 ^b

(LF、LM、LL 分別代表全光、中等光度及低光度處理；W20、W10、W5 代表土壤含水率 20%、10%及 5%，不同英文字母標示者為差異達 5%顯著水準)

3.福木

在 LF 處理中，當土壤水分開始降低至 20% 時，福木就已經將 NPQ 降低來適應水分改變(表三十三)， F_v/F_m 及 F_v'/F_m' 並沒有受到影響，但是當土壤水分持續降低至 5%，福木在葉綠素螢光參數的各項數值就會顯著下降， F_v/F_m 與 F_v'/F_m' 降低顯示福木之葉片光能轉換能力下降， qP 顯著下降對 Φ_{PSII} 產生顯著影響， F_v'/F_m' 與 qP 顯著下降顯示葉綠素功能在光能捕捉與能量轉換效率下降，ETR 下降也顯示在電子傳遞速率上出現障礙。

福木在 LM 中，土壤水分降低至 20% 時，對螢光反應參數就已產生影響，雖然福木顯著提高了 F_v/F_m ，但 F_v'/F_m' 並無提升，且 qP 產生影響而顯著下降，顯示光化學轉換效率已經降低，因此 Φ_{PSII} 因光化學轉換顯著下降而產生下降，ETR 也顯著下降，可以推斷葉綠素反應已出現嚴重障礙；當土壤水分持續下降至 5%，乾旱壓力也使 F_v'/F_m' 顯著下降而影響光反應過程。

當福木在 LL 中，雖然 Φ_{PSII} 顯著低於其他兩光度之處理，但土壤水分下降程度直到降低至 5% 才對福木的 F_v'/F_m' 及 qP 都產生顯著的影響，使 Φ_{PSII} 顯著下降，在 ETR 也顯著下降，顯示在土壤水分下降至 5% 時，福木對光能利用的效率及轉換都有阻礙，在電子傳遞速率也產生阻礙。

表三十三、福木苗木斷水處理螢光參數

螢光參數	Fv/Fm	Fv'/Fm'	qP	ΦPSII	NPQ	ETR
土壤水分						
LF						
斷水前	0.76±0.02 ^{ab}	0.37±0.04 ^a	0.93±0.26 ^a	0.29±0.03 ^a	3.26±0.34 ^a	21.53±1.27 ^a
W20	0.79±0.02 ^a	0.39±0.16 ^a	0.85±0.24 ^a	0.29±0.13 ^a	1.79±0.15 ^b	24.2±13.17 ^a
W10	0.79±0.02 ^a	0.37±0.14 ^a	0.85±0.14 ^a	0.37±0.06 ^a	1.96±0.66 ^b	23.2±4.4 ^a
W5	0.74±0.03 ^b	0.15±0.00 ^b	0.43±0.07 ^b	0.06±0.01 ^b	1.90±0.21 ^b	7.13±0.40 ^b
LM						
斷水前	0.78±0.07b	0.45±0.10ns	0.79±0.07a	0.34±0.09a	1.64±0.73ns	17.27±4.76a
W20	0.83±0.01a	0.36±0.17ns	0.42±0.06b	0.11±0.04b	3.02±0.35ns	8.47±2.17b
W10	0.83±0.00a	0.20±0.03ns	0.39±0.06b	0.09±0.02b	2.43±1.06ns	10.07±2.06b
W5	0.74±0.00c	0.28±0.06ns	0.51±0.14b	0.13±0.06b	2.98±0.21ns	10.2±1.06b
LL						
斷水前	0.81±0.01ns	0.24±0.04a	0.34±0.65a	0.08±0.03a	0.96±0.52ns	14.33±4.05a
W20	0.81±0.02ns	0.31±0.07a	0.43±0.08a	0.14±0.06a	1.14±0.36ns	13.13±5a
W10	0.81±0.01ns	0.31±0.07a	0.46±0.08a	0.14±0.05a	1.54±0.33ns	11.23±0.32a
W5	0.80±0.01ns	0.08±0.03b	0.12±0.04b	0.01±0.01b	1.17±0.58ns	2.80±1.47b

(LF、LM、LL 分別代表全光、中等光度及低光度處理；W20、W10、W5 代表土壤含水率 20%、10%及 5%，不同英文字母標示者為不同光度處理差異達 5%顯著水準)

伍、結論與建議

一、海岸防風林變遷與劣化

由歷年的航空照片圖判釋宜蘭南澳及蘇澳地區防風林林相變遷，以木麻黃防風林面積有逐漸減少，且林分結構破裂，顯示該防風林受干擾劣化嚴重亟需營造復育與維護防風功能。主要受強烈颱風影響。防風林內的草本植被覆蓋面積逐漸增加，灌木與幼木在第二年度時會再恢復部分的覆蓋面積與數量，防風林內的幼木數量以銀合歡明顯較高，而銀合歡的毒他作用及繁殖力強，造成其他闊葉樹幼木數量明顯較低的原因。防風林中木僅存少量木麻黃林木，林冠多已破裂。

二、海岸防風林附近社區之認知與參與防風林維護之意願

(一) 海岸社區居民對防風林的環境識覺

沿海地區的居民更認同海岸林防風效果及海岸建立的重要性，也清楚海岸防風林的功效以及對於保障當地居民的生命財產安全是不容忽視的。面對防風林衰老的變化，會影響到社區的安全，擔憂生命財產的損失進而會去積極參與維護海岸防風林的各項活動。

(二) 海岸林之社區參與防風林為護行動之夥伴關係建立

南澳之海岸社區為居民對海岸防風林的管理認為林務局還要對海岸防風林投入更大的人力及經費。夥伴關係的進展需要經過磨合，而責任分配恰當與否和角色扮演的適切性及夥伴的能力培養等，並透過彼此的溝通與協調管道順暢與否，更是成功的夥伴關係的重要指標。藉由社區林業計畫融合環境價值與民眾需求，主動協助民眾、與民眾結合，讓民眾肯定林務單位，落實生產、生活與生態，以夥伴關係與社區民眾共同管理維護生態環境。蘇澳鎮大坑罟地區之木麻黃海岸防風林，對營造複層林由辦理鄰近四個社區說明會，瞭解社區對於樹種選定及造林作業方式之意見，期透

過政府機關之努力並結合社區居民參與協助，共同建構一套海岸防風林營造復育及維護管理之模式。社區居民要與林務單位形成夥伴關係，社區居民執行的行動與程度需林務單位能夠提供的資源等。其中大坑畧社區離海岸最近，對海岸林營造最具迫切性，四個社區中以大坑畧社區居民參與海岸林維護及管理之意願最高。

三、海岸複層林營造

蘇澳大坑畧海岸防風林，雖為 30 年生木麻黃造林地，但木麻黃僅佔全林 40%，其它主要組成樹種包括小葉桑、銀合歡、血桐。防風林劣化情形之嚴重，為儘速復育成複雜多樣性的健全林相，經以行列整理伐配合栽植造林形成複層林與混合林相。

本區造林作業通常需配合於雨季進行，以 9 月直至翌年 2 月雨量多，造林作業規劃與施作程序需配合造林季節，提高造林成效。

海岸苗圃培育海岸造林樹種苗，需有育苗作業規畫與苗木控管機制，提供初栽造林苗木亦需篩選苗木規格與品質，栽植試驗中木麻黃及瓊崖海棠均為留存逾齡帶苗，根部已有盤根現象，苗木品質不佳，致造林成活及生長差。對各海岸樹種於苗圃作業培育適合的時期，及配合造林季節提供適宜苗木栽植，需建立鬱苗及造林的連貫作業。位培育健壯苗木，建議應於各苗圃建立各海岸樹種育苗時程與選用適當容器與介質，供出栽苗木需篩選符合造林材料規格者，不良苗木須淘汰，小苗續留存培育以符合標準。海岸栽植試驗中苦楝、水黃皮、黃槿三樹種有較佳之存活及生長表現，此三樹種均為原生樹種，且在鄰近之濱海地區宜可常見生長健壯之大樹並生產大量種子，如能繼續撫育成林，有機會天然更新為海岸木麻黃混合林分。

四、不同類型苗木栽植試驗

宜蘭海岸林栽植試驗中木麻黃裸根苗無論在海岸林第一線後方與第二

線皆有相當高之死亡率，主要為木麻黃苗木均為大苗，苗木亦經截幹，而3吋育苗袋已影響根系生長，裸根苗則出栽時根系易受傷害或遭不當修剪，苗木品質差，現場亦發現相當多裸根苗枯死，在現有苗圃管理環境下建議以一年生木麻黃袋苗為栽植材料。大苗培育則需換較大之育苗袋，且需修剪根系。經截幹過後側枝常有斜長情形出現，應持續觀察，並檢討木麻黃苗木品質。苗木栽植初期容易因各項環境尤其雜草蔓藤影響存活與生長，於造林初期應加強撫育。

水黃皮苗，相較於木麻黃，初期生長慢，苗木存活率高。袋苗與裸根苗亦無顯著差異，顯示水黃皮適宜以裸根苗木為海岸木麻黃林混植之造林材料。苦楝袋苗栽植存活率高，也顯著高於裸根苗，初期生長表現苗木健化能力強，就栽植存活率及生長適應，苦楝亦是適當海岸木麻黃林混植之造林材料。黃槿扦插苗與實生苗，栽植生長表現無差異，初期生長以基徑生長較明顯。栽植四個月之存活率可達90%，二者間亦無顯著差異，因此黃槿均適用扦插苗與實生苗為海岸木麻黃林混植之造林材料。

由苗木TR率及栽植存活率比較，當苗木大小約30~50cm時若TR率升高至2以上會影響存活率，如苦楝及木麻黃之裸根苗在高TR率時存活率表現不佳，對後續生長適應與競爭等，亦仍需持續觀察。

五、本地海岸樹種結實與種子資訊與苗木抗性試驗

由海岸樹種苗木之光度試驗顯示苦楝與水黃皮苗木在全光下有較佳的生物量累積、光合速率及葉綠素光能轉換效率，在中等光度中亦可維持生長，但苦楝在低光中生長受阻，各項生理及生長皆無法適應。水黃皮對光度之適應幅度較大。福木則是以中等光度中有較佳的生物量累積、光合速率及葉綠素光能轉換效率，但對光度之適應幅度較小，在全光及低光中適應狀況較差。

苦楝表現良好的抗旱性，水黃皮在任何光度下皆受到缺水影響而降低光合作用速率，結合光度試驗可顯示，栽植水黃皮主要限制可能為水分，而苦楝之限制可能為光度，福木則不宜在強光下栽植，可栽植於小孔隙下。

林投採果播種發芽率高，育苗約一年即可供造林，苗木品質及均質性高，尤其容器育苗，且林投耐鹽性高，栽植初期存活率甚高，以林投實生苗為海岸林第一線適宜造林材料。

結合開花結實物候觀測與栽植情形，木麻黃、水黃皮、黃槿與林投可以在當年種子採收後即發芽育苗，福木則應視果實成熟，建議於春季時播種育苗，培育一年後之造林作業配合台灣東北地區雨季造林，達到最佳造林成效。

六、建議配合當地氣候環境與當地海岸樹種母樹開花結實及種實育苗等資訊，擬定海岸林復育造林計畫與規範造林育苗作業與程序，並就各項執行成果進行檢核與修訂，建構海岸防風林復育造林作業模式。

陸、 參考文獻

- 王相華、郭耀綸 (2009) 墾丁熱帶海岸林生態復舊研究及監測計畫。墾丁國家公園管理處委託辦理報告 250pp。
- 吳若宣、林世宗 (2010) 南澳防風林組成物種之適應性評估。2012 年中華林學會學術論文研討會。
- 呂福原、陳民安 (1992) 墾丁國家公園外來種植物對原生植群的影響_以銀合歡為例。保育研究報告第 112 號。48pp。
- 李威震、王兆桓 (2007) 東北部海岸保安林木麻黃林分調查分析。台灣林業 33 (5): 15-24。
- 林如森 (1999) 供水模式和土壤鹽分對欖李生長之影響。國立台灣大學農學院森林學研究所碩士論。
- 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、趙明君、林朝欽、陳財輝 (2007) 林分孔隙分佈圖之繪製及其應用探討：以花蓮德燕海岸林為例。台灣林業科學 22(2):159-72。
- 洪淑婷。2012。孔隙對海岸林樹種更新之影響。國立中興大學森林學系碩士論文。
- 鄧江山、林鴻忠、林世宗 (2009) 環境識覺與社區林業之研究-以宜蘭縣海岸社區防風林為例。第四屆環境保護林經營管理研討會論文集 p113-128，林業試驗所中埔研究中心。
- 張長義 (1977) 環境識覺與自然災害之研究。中國地理學會會刊 5: 57-60。
- 許博行 (2006a) 海岸木麻黃林分易衰老原因之探討。台灣林業 32 (2): 40-44。
- 許博行 (2006b) 木麻黃成熟林分天然下種更新的研究 (II)。行政院農業委員會林務局九十五年度科技計畫研究報告。
- 陳美惠 (2003) 社區林業-居民參與保育共生計畫推動實務。臺灣林業 29 (1): 53-55。
- 陳財輝 (1987) 台灣海岸林之生態環境與造林技術。現代育林 3(1):49-63。
- 陳財輝、黃隆明 (2006) 花蓮海岸防風保安林功能及營造對策。臺灣林業 32(1):

17-22。

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

陳財輝 (2008b) 海岸木麻黃林演替及人工更新技術之研究 (4 / 4)。行政院農業委員會林業試驗所九十七年度科技計畫研究報告。9 pp.

陳燕章。1986。木麻黃類耐鹽性之比較研究。林業試驗所研究報告季刊 1(1): 31-72。

陳佳玫 (2012) 社區參與海岸林營造與維護意願之研究-以宜蘭縣蘇澳鎮大無尾港地區為例。國立宜蘭大學森林暨自然資源學系碩士論文。120pp。

蔡明哲 (2012) 蘇澳大坑岸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。

葉韋欣 (2007) 六種殼斗科苗木之光度適應性研究。國立宜蘭大學森林暨自然資源學系碩士論文。

賴靖陽 (2013) 三種海岸樹種幼苗在不同光度下生理性狀對水分逆境之反應。國立宜蘭大學森林暨自然資源學系碩士論文。

劉永正、邱祈榮、陳財輝、林世宗 (2010) 宜蘭南澳海岸防風林分狀態變遷之解析。第五屆環境保護林經營管理研討會論文集 p91-106, 林業試驗所中埔研究中心。

鄧書麟、何坤益、陳財輝、王志斌、高銘發 (2005) 台灣西海岸防風林造林策略與樹種之選介。臺灣林業 31 (1): 62-67。

鄧書麟、沈勇強 (2006) 臺灣海岸林經營面臨之困境與對策探討。臺灣林業 32 (4): 3-8。

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。

Bantilan-Smith, M., G. L. Bruland, R. A. MacKenzie, A. R. Henry and C. R.

Ryder(2009)A Comparison of the vegetation and soil of natural, restored, and

- created coastal lowland wetlands in Hawaii. *Wetlands* 29(3) : 1023-1035.
- Duchesneaua ,R., I. Lesagea, C.Messierb, H. Morina (2001) Effects of light and intraspecific competition on growth and crown morphology of two size classes of understory balsam fir saplings. *Forest Ecology and Management* 140 : 215~225
- Knight, A. J. P., P. E. Beale and G. S. Dalton (1998) Direct seeding of native trees and shrubs in low rainfall areas and on non-wetting sands in South Australia. *Agroforestry Systems* 39: 225-239.
- Middleton, B. A. (2009)Effects of hurricane Katrina on tree regeneration in taxodium distichum swamps of the Gulf Coast. *Wetlands* 29(1):135–141.
- Meer , Peter J. Van Der , P. Dignan, A. G. Saveneh (1999) Effect of gap size on seedling establishment, growth and survival at three years in mountain ash (*Eucalyptus regnans* F. Muell.) forest in Victoria, Australia. *Forest Ecology and Management* 117: 33-42
- Tsvuura, Z., M. E. GriYths, R. M. Gunton, P. J. Franks and M. J. Lawes(2010) Ecological filtering by a dominant herb selects for shade tolerance in the tree seedling community of coastal dune forest. *Oecologia* 164(4) : 861-870.
- USDA Salinity Laboratory (1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *USDA Handbook* pp. 160.
- Zhu, Jiao-jun, T. Matsuzaki, F.Q. Lee, Y. Gonda(2003) Effect of gap size created by thinning on seedling emergency, survival and establishment in a coastal pine forest *Forest Ecology and Management* 182 : 339–354.

附錄：



南澳防風林於颱風前之木麻黃林相
(拍攝時間：2008年7月)



南澳防風林於颱風後之木麻黃林相
(拍攝時間：2008年10月)



南澳防風林內側的狀況
(拍攝時間：2008年6月)



南澳防風林內側的狀況
(拍攝時間：2008年5月)



南澳防風林中間區的狀況
(拍攝時間：2008年6月)



南澳防風林中間區的狀況
(拍攝時間：2008年6月)



大坑罾海岸防風林木麻黃林木受害
(拍攝時間：2009年3月)



大坑罾海岸防風林現況
(拍攝時間：2009年6月)



與大無尾港社區至防風林會勘
(拍攝時間：2009 年 3 月)



與大無尾港社區說明與訪談
(拍攝時間：2009 年 3 月)



與大無尾港社區至防風林會勘
(拍攝時間：2009 年 6 月)



無尾港社區自力培育海岸樹種苗木
(拍攝時間：2009 年 6 月)



大坑罟防風林栽植帶現場調查
(拍攝時間 2010 年 6 月)



栽植帶現場調查
(拍攝時間 2010 年 6 月)



大坑罟防風林栽植苗調查
(拍攝時間 2010 年 9 月)



栽植苗存活與生長調查
(拍攝時間 2010 年 9 月)



大無尾港社區第一次說明會
(拍攝時間 2010 年 10 月)



第一次說明會- 議題討論情形
(拍攝時間 2010 年 10 月)



第二次社區說明會
(拍攝時間 2011 年 6 月)



第二次說明會- 議題討論情形
(拍攝時間 2016 年 6 月)



水黃皮裸根苗
(2012 年 10 月)



苦楝裸根苗
(2012 年 10 月)



木麻黃大苗盤根
(2012 年 10 月)



A 區林投實生苗及草海桐栽植苗
(2012 年 12 月)



木麻黃栽植苗
(2012 年 12 月)



大坑罟海岸複層林水黃皮生長調查
(2013 年 6 月)



大坑罟海岸複層林苦楝生長調查
(2013 年 6 月)



大坑罟海岸複層林苦楝苗木
(2013 年 7 月)



大坑罟海岸複層林木麻黃苗木
(2013 年 7 月)



五結直播試驗區
(2013年11月)



五結直播試驗區
(2013年11月)



五結直播試驗區
(2013年11月)



五結直播試驗區
(2013年11月)



五結直播試驗區整地
(2013年11月)



五結直播試驗區整地
(2013年11月)



五結直播試驗區發芽情形
(2013 年 11 月)



五結直播試驗區發芽情形
(2013 年 11 月)



五結直播試驗區樣區設置
(2013 年 11 月)



五結直播試驗區樣區設置
(2013 年 11 月)