

# 壹、計畫緣起

臺灣地區位處於熱帶與亞熱帶季風氣候帶上，夏季常面臨豪雨及颱風，冬季則有東北季風及水源枯竭等危害，濱臨沿海地區則因強風、飛砂、鹽霧及海潮等環境逆壓，導致位居沿海第一線之防風林分易遭受其危害。過往日據時代即有營造防風定砂之保安林，對於濱海地區之農田保護與作物增產功不可沒，海岸防風林分更是捍衛沿海居民生命財產安全，因此海岸防風林分的功能更顯重要。

然而近年來沿海地區的快速發展，大量的開發使得地下水的超限利用，以及海岸防風林分的大面積開發，使得林分的破碎及地層下陷等危機，導致林分的生長勢出現提早衰退，甚至枯萎、死亡，間接影響林分對於防風等功效。林分健康程度與林木的適應性為森林生態系經營與管理之重要因素，林分健康與否對於造林的成效具有顯著性之影響，藉由規劃完善之森林健康監測與評估可掌握森林變化的過程、概況與未來之趨勢，並且針對森林健康狀態進行適宜之改善工作，以維持森林生態系的多樣性。

鑑於海岸防風林分所面臨之問題，不僅有賴相關主管單位的完善經營管理策略，更需要考慮未來林分的永續發展之因應策略，因此本研究主要針對台灣西南沿海的地層下陷區之防風林分作為監測調查對象，藉由林分生長及受害指標變數之評估與調查，藉由指標變數分析及樣區土壤性質與土壤的狀況，進行林分適應性狀況的探討，以作為探討林分適應性及未來面臨危害的處置措施，進行相關之分析及研究，探討林分的變化趨勢及提出改善建議。

本研究針對嘉義林區管理處所管轄之地層下陷區海岸防風林帶，藉由林木受害評估與環境生育因素等項目進行調查與評估，探討地層下陷對於海岸防風林帶影響，同時提出適當改善建議，以供未來防風林的樹種選擇與經營管理政策訂定之參考。

## 貳、前人研究

海岸防風林分因其生育環境特殊，常因飛砂、強風、強日照及高鹽分等不利生長的环境因素，加上其生育地土壤屬貧瘠且缺乏養分，導致一般常見的植物無法於此生育環境下生長，因此位於本區的物種通常具耐環境逆壓之特性。

### 一、台灣西南海岸環境概況

#### (一)海岸防風林分栽種樹種

台灣西海岸地區的主要造林樹種以木麻黃類、黃槿(*Hibiscus tiliaceae*)、苦楝(*Melia azedarach*)、水黃皮(*Pongamia pinnata*)及草海桐(*Scaevola sericea*)等，但由於環境逆壓與物種適應性等因素，導致主要樹種仍以木麻黃類為主。但近年來由於大面積及單一種的栽培木麻黃，使得大面積的木麻黃林分出現病蟲的危害，其中以黑角舞蛾(*Lymantria xyliana*)、星天牛(*Anoplophora macularia*)及褐根腐病(*Phellinus noxius*)的危害甚為嚴重，使得生態複層林營造顯得重要，尤其是以雲嘉南沿海地層下陷區的海岸防風林分，木麻黃林分易因淹浸而遭受危害，所以利用多樹種營造的複層林分，不僅可以降低單一林分所引發之大面積病蟲危害，更可以營造多樣性的生育環境。

#### (二)海岸防風林的種類

廣義的海岸防風林是指位於沿海地區，且由人工栽植或天然下種所建構而成的林分，因此稱之為海岸防風林分。濱臨沿海地區因容易遭受風害、潮害、飛砂危害及鹽害等為害，所以於海岸地區編定適當之保安林地，以人為栽植方式建立適當面積的防風林分，藉由林分進行砂丘的固定，並且建立防風林分，用來保護沿海地區免直接遭受海浪侵蝕、阻絕海風挾帶鹽霧侵襲內陸、阻擋飛砂，確保沿

海地區之農作生產和其他設施安全為主要目的。郭寶章(1993)進一步將海岸防風林依用途歸類成防風保安林、飛砂保安林、潮害防備保安林及漁業保安林等：

### 1.防風保安林

防風保安林的功能係可降低風速、阻滯風力、阻止鹽分飛沫及阻絕海風的直接吹襲，藉此保護濱海地區之作物及農田，增加濱海地區的農作物產量與農田面積，並維持居民與交通安全。

### 2.飛砂防止保安林

飛砂防止保安林係用於安定濱海地區的飛砂，保護農田及耕地免於遭受飛砂之掩埋，並且制止海岸地區砂丘遷徙與移動，藉此用以保護濱海鄰近地區之安全。

### 3.漁業保安林

漁業保安林的功能主要為增加繁殖魚類之食餌、遮蔽陽光及調節水源以利魚類棲息，並且提供漁類產卵場所，誘集魚類以利漁業生產。

濱海地區之防風林分主要以林木構築為屏障，藉此阻擋來自海洋之強風、鹽分之侵襲，以達到防護的效果；在防風林的經營管理計劃，需有詳細的現況資料作為未來經營之輔助依據。因此，防風林是否維持良好狀況以發揮其保安功能，就需清查、檢訂與設置永久樣區以進行健康監測，並擬訂妥善防風林經營施業方針，方得以發揮防風林之功能(李威震，2005)。

海岸防風林屬於多面性的功能效益，不僅具有消極性防災作用，亦具備積極之建設功能；江永哲(1987)將海岸保安林功能以兩方面來詮釋，一方面於環境機能上具有防風、防止飛砂、防止鹽霧及潮水之功能；另一方面則是於生態功能具有改善地力、改善微氣候及提供生物之棲息地的功能。

## (三)臺灣地區海岸防風林的現況

根據林務局(2004)統計(表 1)目前所編定之海岸保安林面積，以飛砂防止保安林面積達 5,510.20 ha，佔所有編定之保安林總面積的 38.47 %，為海岸保安林中

面積為最大之；其次為漁業保安林，總編定面積達 4,696.27 ha，佔保安林總面積的 32.79 %；防風保安林編定之面積為 3,478.02 ha 約佔 24.28 %；而潮害防備保安林與衛生保健保安林之面積分別為 326.5909 ha 與 311.07 ha 約佔 2.2 %。若再以飛砂防止保安林面積最多來看，桃園及苗栗共有 42.25 % 為比率最高；漁業保安林則以宜蘭及屏東兩縣市所編定之面積最廣，而宜蘭縣所編定的面積幾乎為屏東縣的 3.5 倍；防風保安林最多之縣市以屏東縣所佔面積最大；而潮害防備保安林和衛生保健保安林僅分佈於屏東、台東、雲林和高雄。

表 1 台灣地區海岸保安林面積統計(林務局，2004)

種類 縣市	面積(ha)					合計
	飛砂防止保安林	防風保安林	潮害防備保安林	漁業保安林	衛生保健保安林	
台北縣	507.47	23.27		159.06		689.81
宜蘭縣	550.40	19.01		3,336.49		3,905.93
基隆市						0.00
桃園縣	1,095.47					1,095.47
新竹縣	141.15	19.63				160.78
新竹市	90.06					90.06
苗栗縣	1,232.91	26.60				1259.51
台中縣		265.36				265.36
台中市						0.00
彰化縣	85.41	202.44				287.86
南投縣						0.00
雲林縣	664.98	68.15		19.75	303.97	1056.87
嘉義縣	120.48	38.12				158.61
嘉義市						0.00
台南縣	223.76	9.42		114.34		347.54
台南市	316.41	4.25				320.66
高雄縣					7.09	7.10
屏東縣		1840.49	290.82	922.78		3054.11
台東縣	402.85	429.29	35.76	57.86		925.78
花蓮縣	58.00	190.17		43.53		291.71
澎湖縣	20.79	341.75		42.41		404.97
合計	5510.19	3478.01	326.59	4696.26	311.07	14322.14

針對本研究樣區範圍北起雲林縣麥寮鄉，南至台南市安平區(海口段)的海岸防風林分，其中雲林縣編定之保安林面積為 1,056.87 ha；嘉義縣編定之保安林面積為 158.60 ha；台南縣編定之保安林面積有 347.54 ha；而台南市所編定之保安林面積有 320.64 ha，總計雲嘉南四縣市所編定保安林總面積為 1,883.68 ha，各縣市編定之保安林分資料如表 2 所示。

表 2 雲嘉南四縣市編定之海岸保安林面積(林務局，2004)

縣市	飛砂防止 保安林	防風 保安林	漁業 保安林	衛生保健 保安林	合計
雲林縣	664.98	68.15	19.75	303.97	1,056.87
嘉義縣	120.48	38.12			158.60
台南縣	223.76	9.42	114.34		347.54
台南市	316.41	4.25			320.66
合計	1,325.65	119.95	134.10	303.97	1883.68

## 二、影響海岸防風林林木健康之因子

海岸防風林主要遭受的危害因子有強風、飛砂、鹽分及鹽霧等危害，上述的因素對林木造成直接或間接的危害，其中以位於沿海第一線木麻黃防風林分的受害程度最為劇烈，然而危害的發生主要是遭受到氣象條件與地質環境的影響所支配，影響林木的健康因子則可區分成自然危害及人為破壞等兩種危害因素(劉玲華，2005)。

### (一)風害

木麻黃通常位於濱海地區，風害為主要常見的為害因素，危害木麻黃防風林分的風害主要以夏、秋兩季的颱風，以及冬季的東北季風為主要因素；夏、秋季颱風之危害屬暫時性的風害，當颱風來襲所挾帶的強風、暴雨，容易對於林木造成嚴重的危害；相較於颱風的危害，冬季的東北季風對於林木健康的影響卻是長期，且是持續的累加效應(劉玲華，2005)。

朱德民(1990)針對濱海地區的風害歸納出多項具體的危害，分別為：當作物遭受機械性的破壞或生理的影響，導致其生長不良或枯萎死亡；由於風對於表土產生風蝕作用，導致表土與肥分的流失，降低土壤的生產力；另外，砂丘的內移與侵蝕，覆蓋農田等生育地，進而影響作物的生產與人文活動；強風挾帶鹽分與鹽沫附著於林木葉部、幹部，使得林木健康受到影響甚至枯萎，造成林木與土壤的鹽害；強風對於林木的授粉具影響，並且造成葉部枯萎、葉片撕裂、植株矮化、林木風倒及偏倚生長等危害。

根據陳財輝(1987)針對苗栗地區木麻黃林分的研究，曾表示當林木因遭受強風的侵襲，容易導致樹冠呈現偏冠的現象，且光合作用枝葉量在地上部生物量比例嚴重偏低，甚至嚴重影響林木的健全生長。每年的10月到翌年3月為東北季風的興盛期，風速通常介於7~10 m/s間，但在部份地區風速則有高達20 m/s以上。依據台灣的地形條件，雲林縣等地之沿海地區是東北季風主要侵襲的區域，風害的情況較其他地區則更為顯著且嚴重；甘偉航、陳財輝(1987)針對雲林縣四湖鄉林厝寮地區的海岸木麻黃防風林進行風害的監測，當年度東北季風的瞬間最大風速可高達38 m/s、最大平均風速為20 m/s，針對當地5年生的木麻黃防林分樹梢平均枯損為1.3 m、樹冠的平均枯損達直徑1.8 m，其當年度當地的枝葉鮮重約減少45~60%。由此可知，風害對於沿海的林木為害甚大，除了影響其林木的健康狀態外，甚至導致林木的枯萎與死亡。

## (二)鹽害

濱海地區由於土壤易受到海水之影響而引起鹽化，形成所謂的鹽土；鹽土之成因有以下數項，包括鄰近濱海區域、乾旱氣候條件、地下鹵水位高、地勢低窪導致排水不良或海水倒灌淹沒等因素，導致土壤累積大量的可溶性鹽類，使林木生長受到限制。

濱海地區除了風害外，鹽害也是另一個影響林木生長與健康的因素；因為風

吹動海水的泡沫而形成鹽霧(salt spray)的亂流，積聚於樹冠的頂部或突出的退化小枝，導致鹽霧對於林木葉部細胞因滲透壓而產生危害。另外，由海面吹向陸地的常態海風，因鹽霧、鹽沫隨海風的吹襲，易造成植株葉部、幹部表面之角質摩擦或飛砂擦傷葉表面，因此增加植株鹽害的受害程度(郭寶章，1993)。鹽霧對林木所產生的危害，多因林木遭受暴風侵襲後立即放晴，林木積聚於表面且尚未藉降雨或露水降低林木所附著之鹽分，使得鹽分積聚於林木葉部、幹部，造成鹽害；或是藉由滲透作用進入林木組織的鹽分增加，再加上林木本身的蒸散作用，使得組織內部鹽分濃度增高，因此導致林木枯萎死亡(劉玲華，2005)。

根據郭寶章於1993年的研究指出，在自然情況下鹽分並不容易直接對於林木產生傷害，鹽分的為害主要可歸納為以下數項，初次直接危害：鹽分藉由滲透作用破壞細胞的細胞膜，使得細胞膜失去作用；初次間接傷害：鹽分藉由滲透作用進入組織內部，不僅干擾生理的代謝作用、鹽分反應及改變細胞活性，導致林木生長受到阻滯；滲透危害：鹽分會改變細胞膜的滲透壓，導致細胞內部滲透壓高於土壤滲透壓，阻礙細胞的水分滲透與擴散，造成植株的缺水或脫水現象，稱之為生理乾旱；養分缺乏：林木直接或間接吸收鹽分，導致林木組織內部其他元素的缺乏，例如：鈉鹽會阻滯林木對於鉀元素的吸收，另外氯化物和硫酸鹽容易導致林木對於其他養分的吸收。

### (三)飛砂為害

飛砂的主要來源因颱風挾帶的豪雨，將位於山區的泥沙大量沖刷至下游堆積，出海口因河川流速減緩，使得泥沙堆積而形成淺灘或沙洲；當冬季時強烈東北季風的吹襲，飛砂隨風向內陸移動，構成台灣西部海岸地區常見之沙岸地形，在海岸飛砂嚴重堆積處的林木常因飛砂的侵襲，造成枝葉的損傷及埋沒的情況發生(甘偉航，1988)；因此，飛砂對於西海岸的防風林分的危害也是其影響林木生長與健康狀態的主要因素之一。

#### (四)病害與昆蟲為害

早期西海岸地區的防風林分栽植密度多以 5,000~6,000 株/ha，經過數年的生長，林分易呈現過密的情況，林木容易因為競爭效應而產生衰退的現象，甚至單純化的林分易因劣勢木、枯立木的病蟲害，進而感染其他健康的林木，加上林木的競爭效應，使得林木幹型多為細長而易風折(陳財輝、呂錦明，1988；陳財輝等，1990)，其中以下為常見之病蟲害，且對於木麻黃的生長影響最為顯著(張玉珍、翁永昌，1985；張東柱、趙榮台，1998)。

##### 1.根腐病

褐根腐為擔子菌，子實體易引發林木地上部初期呈現黃化現象，染病甚久則易導致全株枯萎。大面積感染褐根腐病的現象，通常由病株像週遭健康林木進行擴散，目前國內仍無有效的藥劑或方法可以防治此病的感染(邱柏瑩，2003；劉玲華，2005)。

##### 2.黑角舞蛾

黑角舞蛾為木麻黃林分常見且影響最大之蟲害，黑角舞蛾為台灣固有種，屬於鱗翅目(Lepidoptera)毒蛾科(Lymantridae)，其幼蟲主要攝食木麻黃幼嫩之退化小枝及鞘齒狀小葉，其受害的徵兆主要為枝葉多數遭其幼蟲啃食，導致林木冠層呈現光禿現象，導致林木不僅失去防風、固砂之作用，更影響林木生長及生理的發育；黑角舞蛾的食性廣泛，至少有數十種闊葉樹種皆為其食草，遭黑角舞蛾幼蟲啃食之林木多呈現樹冠光禿，不僅影響林木生長，更對於整體景觀造成破壞。目前，黑角舞蛾的防治方式不僅可透過藥劑防除，也可以利用白殭菌進行生物防治，不僅可有效控制黑角舞蛾的族群數量，更可以達到有效的防治。

##### 3.星天牛(*Anoplophora macularia*)

星天牛為鞘翅目(Coleoptera)天牛科(Cerambycidae)，成蟲體長約 2.5~3.5 cm，成蟲全體黑色且具光澤，其前胸、背板及翅鞘皆具有白色星狀斑點；幼蟲羽化一週後即可開始攝食幼嫩的枝葉及樹皮，遭受啃食受害的林木，因樹液無法



上升，容易造林木冠層枯萎而折裂，受害嚴重則會造成全株枯萎死亡。

### (五)地被植物的入侵、纏勒植物與蔓藤的危害

森林於建造後，由於林木的受害或枯萎，導致林冠產生空隙，因此當地被植物、纏勒植物及蔓藤危害的產生，往往會對於防風林分產生嚴重的危害。海岸防風林於幼齡、中齡林分較為鬱閉，相對於地被物種較少，但隨著林分的林齡增長，林分逐漸出現孔隙，具入侵性的馬纓丹(*Lantana camara*)、大花咸豐草(*Bidens pilosa*)及長穗木(*Stachytarpheta jamaicensis*)等植物則隨之增加，對於林木的危害也因此提高；纏繞植物與蔓藤會因其生長特性，易將林木的枝葉遮蓋，進而影響其光合作用；當林分為老齡時，纏勒植物、蔓藤則會攀緣至冠層，影響林木的健康(朱木生，1994)。

### (六)人為破壞

海岸防風林分多位於交通便利之沿海地區，且與民眾生活極具相關，因此容易導致濱海地區的防風林分遭到人為破壞。根據林務局 1992~1999 年針對全國區外保安林進行調查的結果，總計遭非法佔用面積為 4,330.28 ha，佔清查總面積的十分之一，可見海岸防風林遭非法佔用的情況相當嚴重，其中包括濫倒垃圾、濫墾、濫建、濫葬及濫採砂石等，其中以濫墾情況為最嚴重，使得區外海岸保安林面積逐漸減少(林務局，2000)，並且使海岸防風林分破碎化。其他如鋸斷林木、攀折枝條及火燒等，直接或間接影響林木健康情形(劉玲華，2005)。

### 三、森林健康之研究

#### (一)森林健康的定義

根據美國森林署( USDA Forest Service, USFS)於 2002 年針對森林健康的定義：「森林在提供人類所需之餘，仍維持一定的複雜性、多樣性和生產力的狀況。」森林健康的定義也包含恢復的能力概念，即一個健康的森林是個可容忍改變的森林，也代表森林生態系的生產力及處在逆境後有恢復的能力，或森林健康可定義為森林恢復自然和人為所引起的逆境之能力( Kolb *et al.*,1994)。

森林生態系經營所強調的永續性維持生態系的健康( ecosystem health)或完整性( integrity)，其定義目前仍無法有效使用科學數據去定論，且國際上對於森林健康的概念仍處於值萌芽階段的觀念。在不同尺度下所定義的森林健康程度，則詳細說明森林健康的概念，但是目前對於森林健康卻仍難以釐清且不具標準化的測量依據，若由數量法定義森林健康程度，則仍需要許多長期的研究和監測計劃(陳家玉，2003)。

#### (二)林木健康監測之重要性

Ferretti(1997)認為森林健康的監測與評估對於環境政策與環境資源經營具有正面性的價值，在面對社會經濟等重大的變遷，以及地球溫室暖化效應的影響，如何有效掌握森林變化的過程、概況與未來之趨勢並維持生物多樣性，建立長期林生態系健康的監測系統有其重要性。森林永續之經營準則與未來發展過程、經營觀念的改變等，均講求資源在空間和時間上的規劃，以達成森林永續的生態經營。

近年來，許多國家及國際組織對於森林健康狀態的監測，積極投入許多相關的研究計畫，例如歐洲執行委員會( European Commission)、聯合國歐洲經濟委員會( UN/ ECE)及許多歐美國家等皆針對國際或國內的大面積林地進行調查與

監測計劃的執行；但是，由於森林健康程度無法藉由精密儀器與專業的判斷來定論，歐美國家提出相關研究替國內的大面積森林進行健康性的監測研究，並且針對疾病的爆發進行有效監控，甚至提早預防與預估初期病徵，以利管理單位適時進行有效性或全面性的防治或控制，進而達成森林的永續。

### (三)綜合比較

綜觀各國的調查模式，國內主要仍採用美國監測方式為主要參考依據，近程的研究仍以「檢核監測」所需的技術為主，尤其是有關樹冠變數的量測與評估，以便建立林木健康指標現況的基準線。

表 3 國際上主要 FHM 施行情形比較(李威震，2005)

國家	初始 時間	施行 機構	調查方式	研究內容	研究目的
歐 洲	1980 年代	歐洲 各國	對空觀測的樹冠透視度視覺比較與標準照片的查看。	1.森林中大氣污染沉降物取樣監測。 2.樹冠落葉與褪色直接觀測評估。 3.森林土壤與土壤抽樣分析。 4.葉片抽樣對樹木營養狀態的監測。	進行大面積的森林健康狀況調查，以瞭解其受空氣污染的影響情形。
美 國	1990 年	森林 署與 環境 保護 署	全國廣設 FHM 調查樣區。	1.檢核監測。 2.評估監測。 3.密集立地生態系監測。 4.監測技術。	透過監測指標評量森林健康狀況、變化與未來趨勢。
台 灣	2001 年	農委 會林 務局	現階段仍採用美國「檢核監測」技術為主。	針對特定地區、林型進行監測調查分析。	建立基礎資料，提供未來經營方針。

中程目標則以「評估監測」所需技術為主，針對健康指標異常變化的林木，

再進一步調查研究其嚴重程度，以及是否有快速衰退而需要特別關注的情形；長程研究目標則以「集約監測」的技術為主，針對各區域異常變化嚴重的林木，建立一個跨區域的網絡，結合氣候、土壤、酸雨等環境因子，研究與其變化要素相關的生態程序，表 3 針對國際上主要相關調查研究彙整。

## 參、工作項目

### 一、西南沿海地層下陷區海岸防風林現況分析

#### (一)海岸新植生態造林林分調查

針對嘉義林管處轄區之海岸林西南沿海地層下陷地區於 2004 年後之新植海岸生態造林林分，進行全面性之普查工作，分析主要之造林樹種，及新植海岸生態造林林分現況。

#### (二)土壤環境因子調查

每一樣區選定 1 處土壤取樣點，利用土壤取樣器，分別挖取深度 0-30 cm(表土層)及 30-60 cm(底土層)土壤製備為樣本。各樣區的土壤樣本充分混合均勻，將土壤樣本置於陰涼處陰乾後，經過孔徑 20 mesh (0.84 mm)的篩網過篩備用。

##### 1.土壤鹽度( soil salinity)

土壤樣本以 1: 2(土壤：蒸餾水)比例製備成土壤飽和溶液，經 48 hr 靜置過濾其溶液，使用鹽度計測土壤飽和溶液之導電度值；土壤導電度等級的分級則依據 USDA Salinity Laboratory (1954)所發表之結果作為分級參考，如表 4。

表 4 土壤鹽度級與林木生長之關係( USDA Salinity Laboratory, 1954)

土壤導電度( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	鹽度級	對林木生長之影響
200 以下	極低鹽度	對一般林木生長無鹽害影響
200-400	低鹽度	敏感林木生長可能受限制
400-800	中鹽度	多數林木生長受限制
800-1600	高鹽度	僅耐鹽林木能生長或正常生長
1600 以上	極高鹽度	僅少數最耐鹽林木能生長或正常生長

## 2. 土壤 pH 值( soil reaction)

將土壤樣本以 1: 2(土壤：蒸餾水)比例製備成土壤溶液，48 hr 靜置過濾其土壤飽和溶液，使用酸鹼測定儀測量土壤飽和溶液之 pH 值。土壤 pH 值分級的分級則依據 USDA Salinity Laboratory (1954)所發表之結果作為分級參考，如表 5。

表 5.土壤酸鹼性分級( USDA Salinity Laboratory, 1954)

pH 值範圍	土壤反應
<4.5	極酸性
4.5-5.0	極強酸性
5.1-5.5	強酸性
5.6-6.0	中酸性
6.1-6.5	微酸性
6.6-7.3	中性
7.4-7.8	弱鹼性
7.9-8.4	中鹼性
8.5-9.0	強鹼性
>9.0	極強鹼性

### (三)林木受害葉部組織觀察

林木受害易表現於外觀徵兆，針對氣孔形態、密度及葉部組織構造之掃描式電子顯微鏡(SEM)觀察受害葉部之細微組織構造。葉片受風害後，取受風害葉片以 2.5 % 戊二醛(glutaraldehyde, GA)固定，再以 0.1 M 磷酸緩衝溶液清洗，再經酒精及 100 % 丙酮脫水後，進行臨界點乾燥和真空鍍金，以掃描式電子顯微鏡(HITACHI S-3500N scanning electron microscope)觀察其葉片受害情況，並照相紀錄之。

#### (四)林木生理特性之研究

選擇不同地區水黃皮、海欖果、木麻黃等優良建造海岸混合林之樹種，進行其生理特性之研究。

##### 1.葉綠素濃度測定

於各處理組內逢機選取各樹種 3 展開成熟之葉片，選取之苗木取梢頂下第 3 或第 4 片以完全展開成熟之葉片，稱取鮮重( 約 0.05 g )後置於研鉢中，加入液態氮磨碎，再以 80 % 丙酮萃取，用 1 號濾紙過濾後，定積至 15 ml，取上層澄清液，以日立 U-2000 型雙光束分光光譜儀( spectrophotometer )測定其在波長 645 nm、652 nm、663 nm 時之吸光度。

##### 2.植物體養分濃度測定

將苗木根、莖、葉等 3 部位，分別烘乾、研磨，取 0.4 g 樣本加入 15 ml 濃硫酸，再放進消化裝置( 2020 Digestor )緩慢加熱至 375°C 三小時，後加入 10 ml  $H_2O_2$ ，直到呈透明澄清液後過濾之，並以蒸餾水定量至 100 ml，取 40 ml 至自動凱氏氮蒸餾裝置( 2200 Kjeltac auto distillation )內蒸餾，加入適量之 40 % NaOH 溶液，以 30 ml 4 % 硼酸為接收劑，再以 0.1N  $H_2SO_4$  溶液滴定之，並進行空白試驗及計算含氮量，並使用感應耦合電漿原子發射光譜儀( ICP )，進行分析苗木各組織之含磷、鉀、鈣、鎂、鈉之含量。

## 二、海岸新植生態造林林分健康性評估

本研究針對台灣西南部地區防風林作為評估監測對象，樣區分別設置於嘉義縣布袋鎮(新塭及布袋)、東石鄉(鰲鼓)、台南縣將軍鄉(將軍)和台南市安平區(安平)及安南區(城西)，共 6 處新植林分，樣區位置如圖 1。樣區位置位於沿海地區，普遍皆有地層下陷問題及夏季易淹浸，樣區的設置以該處具整體代表性之防風林為設置和評估的參考依據，新塭以及城西採用 100 m × 10 m，每一樣區的面積為 0.1 ha，另外又增加了鰲鼓、布袋、安平及將軍，樣區大小採用 20m × 10m，樣區的面積為 0.02 ha 做為比較，樣區資料如表 6 所示。

表 6 樣區基本資料

樣區	縣市	座標位置	樣區面積 (ha)	臨海 與否	是否具海 堤
鰲鼓	嘉義縣東石鄉	23° 29'; 120° 09'	0.02	Y	Y
布袋	嘉義縣布袋鎮	23° 22'; 120° 09'	0.02	Y	N
新塭	嘉義縣布袋鎮	23° 21'; 120° 07'	0.10	N	Y
將軍	台南縣將軍鄉	23° 12'; 120° 04'	0.02	Y	N
城西	台南市安南區	23° 02'; 120° 05'	0.10	Y	N
安平	台南市安平區	22° 59'; 120° 08'	0.02	Y	N



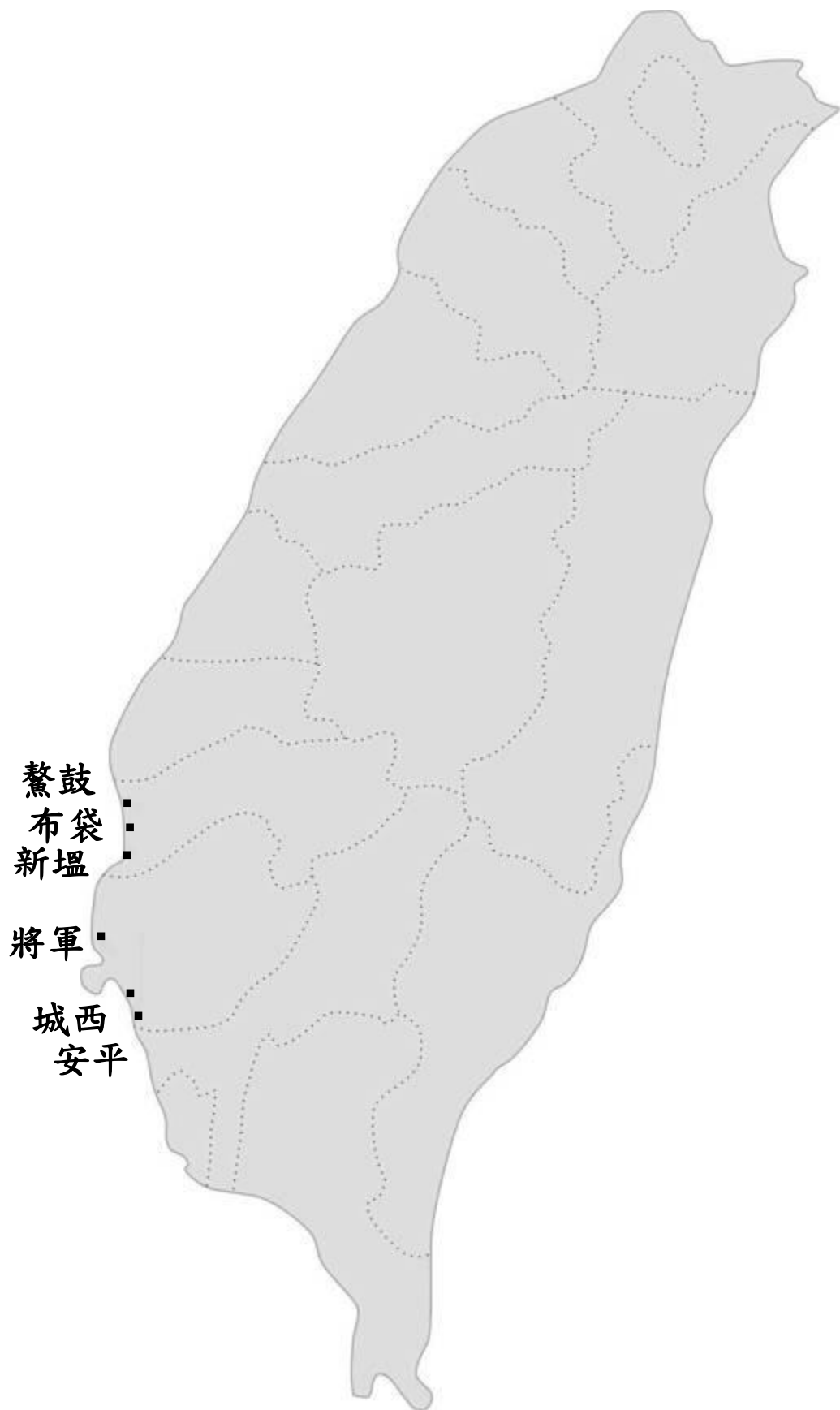


圖 1 樣區位置圖

## (一)林木生長現況調查

台灣西海岸地區，主要以防風樹種類作為栽植的物種，海岸保安林於防風、定砂及保安等所扮演的角色非常重要。海岸保安林的健康判定較難定義，可行之法為初期允許某些人為的主觀判斷，再利用指標(Indicator)來指引調查方向，後續可利用長期監測資料，加以修正並產生新的指標。調查林分基本生長性態值(樹高、基徑、胸高直徑)，調查項目有下列 6 項：

### 1.樹高(H)

測量樣木高度，於樣木四方位進行樹高的測量，求其樹高之平均值，降低人為測量誤差。

### 2.基徑

利用遊標卡尺及皮尺測量樣區內林木之基徑，基徑測量標準以林木與土壤接觸之處作為測量林木基徑的位置。

### 3.胸高直徑(DBH)

利用遊標卡尺及皮尺測量樣區內林木之胸高直徑。胸高直徑測量標準以林木 1.3 m 處作為測量胸高直徑之位置。

### 4.枝下高(HCB)

枝下高係指林木開始有主要活枝之高度，枝下高以測量該株林木第一活枝高度。

### 5.樹冠直徑(crown diameter)

樹冠直徑亦稱冠幅，冠幅係指由側枝組成之樹冠寬，以量測林木各方向樹冠直徑之平均數。樹冠幅之測量以面海方向為第一測量冠幅之方向面，接續以順時鐘方向分別測量其他方向之樹冠幅，以便求得較準確之冠幅數據，樹冠直徑測量依據如圖 2 所示。

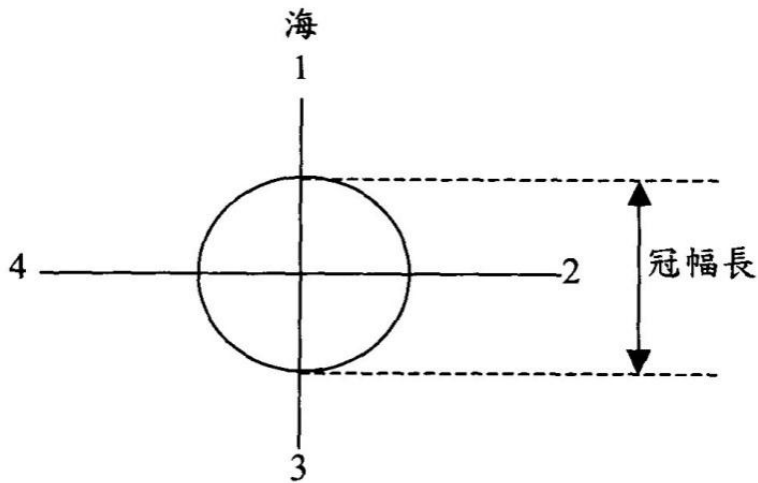


圖 2 樹冠直徑(冠幅)測量

### 6. 樹冠比 (live crown ration)

樹冠比為活樹冠佔樹高之比率 (USDA Forest Service, 2002)，樹冠比 = (樹高 - 枝下高) / 樹高，如圖 3。

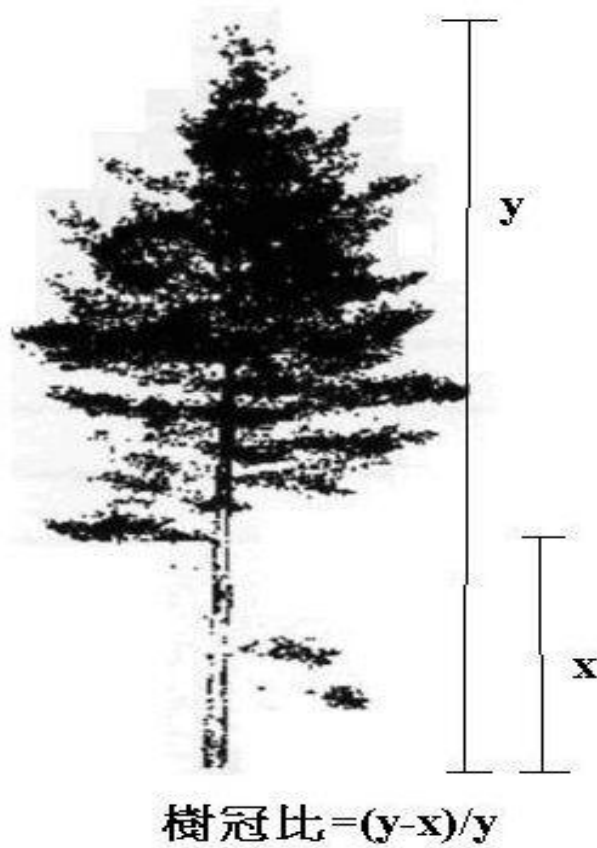


圖 3 樹冠比示意圖

## (二) 視覺輔助健康性評估因子

參考歐美國家對於森林健康監測通常使用外觀形態變異評估，利用樹冠、退化小枝、枝條、樹皮和根部的實際變異狀況，所顯現林木遭受壓力的指標之外觀形態變異評估。林木適應性普遍使用視覺判定的調查林木遭受壓力的指標。觀測變數有下列 9 項：

### 1. 樹冠密度(crown density)

為光線無法穿透部分之樹冠面積的百分比，包括林木主幹、側枝及樹冠葉片部分(USDA Forest Service, 2002)，亦稱葉密度(foliage density)。樹冠密度的目視評估以參照美國森林署提供之參考對照示意圖，作為樹冠密度評估的參照，如圖 4。

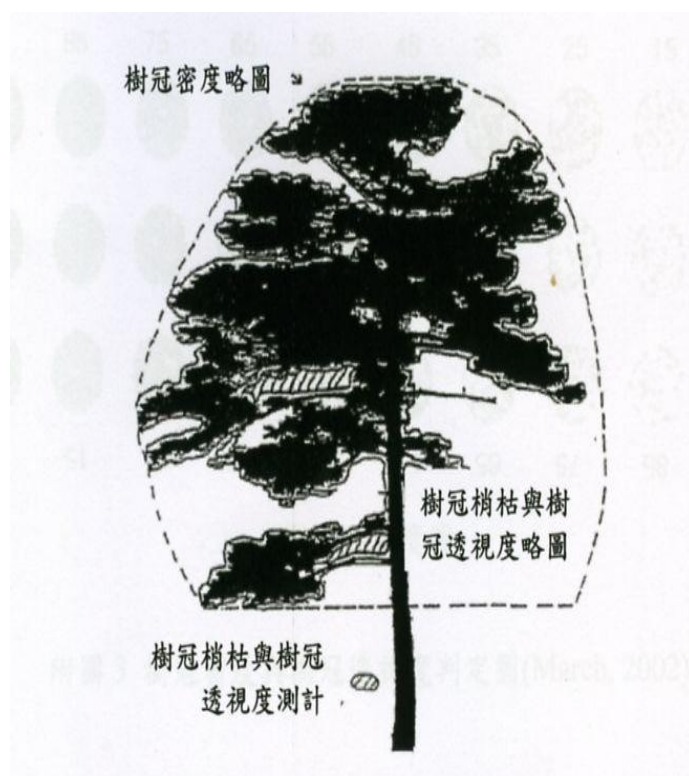


圖 4 樹冠密度圖(Conkling and Byers, 1993)

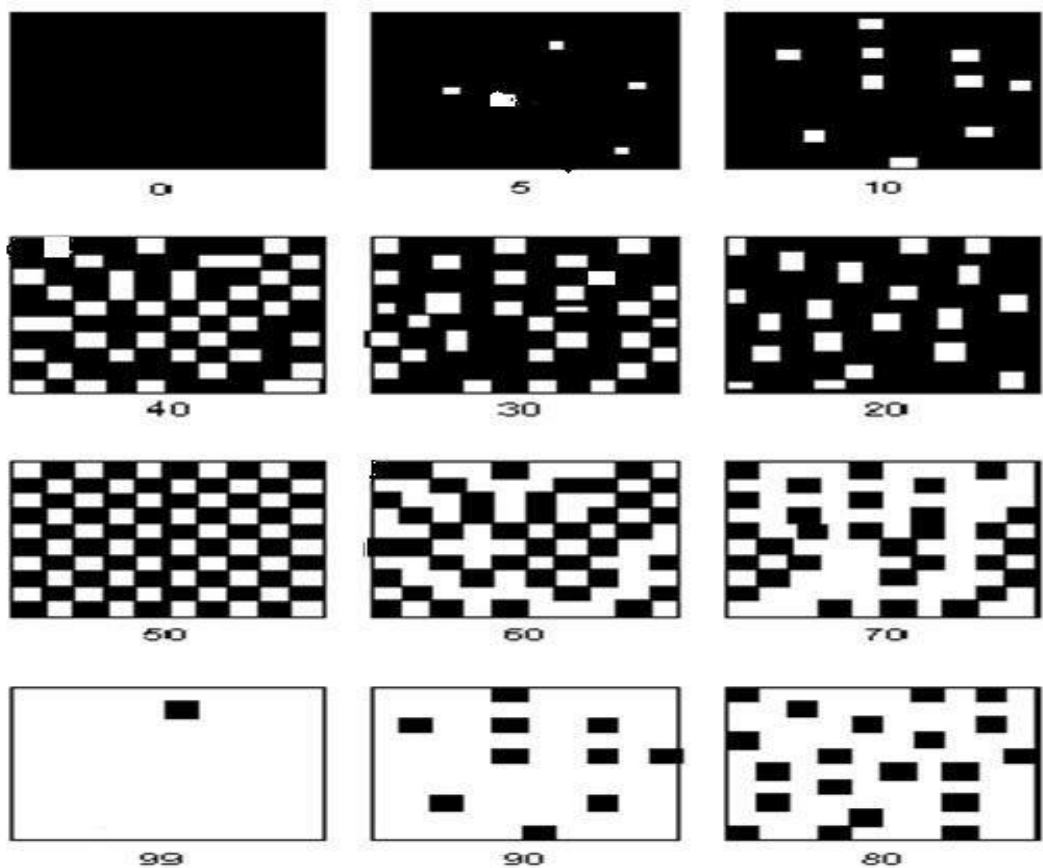


圖 5 樹冠密度與透視度對照圖( March, 2002)

## 2. 樹冠透視度(crown transparency)

樹冠透光度為光線穿透部分之樹冠面積的百分比。樹冠透光度的目視評估以參照美國森林署提供之參考對照示意圖，作為樹冠密度評估的參照，如圖 5。樹冠透視度並非樹冠密度的補數，兩者相加並非百分之百。

## 3. 樹冠梢枯

樹冠梢枯以林木樹冠梢枯程度佔林木樹冠的百分比為評估之依據，如圖 6 所示。評等依據參考為 0：梢枯程度 0%；1：梢枯程度 1-10%；2：梢枯程度 11-20%；3：梢枯程度 21-30%；4：梢枯程度 31-40%；5：梢枯程度 41-50%；6：梢枯程度 51-60%；7：梢枯程度 61-70%；8：梢枯程度 71-80%；9：梢枯程度 81-90%；10：梢枯程度 91-100%。

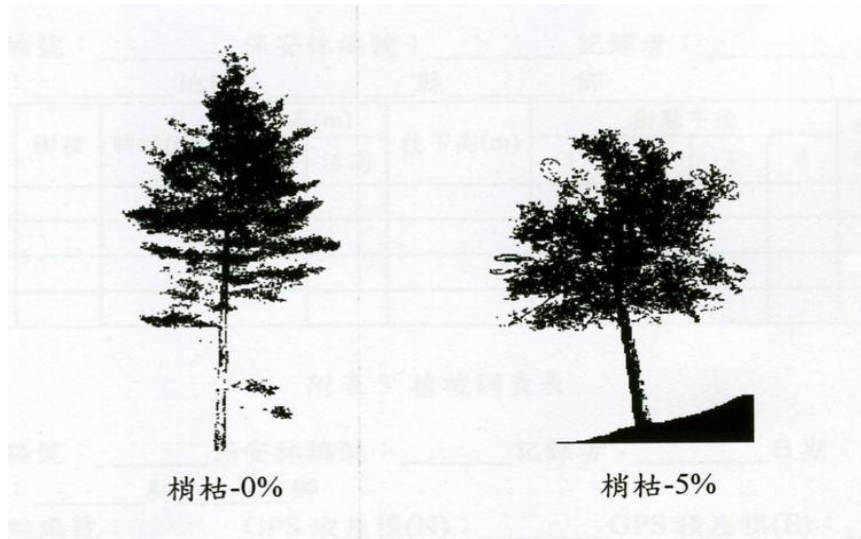


圖 6 樹冠梢枯程度百分比之測計( March, 2002)

#### 4.葉枯程度

觀察林木枝梢的枯萎程度，0 為枝梢無枯萎；1 表示全部枝條末稍枯萎為 1-10%的面積，其他則類推之，共分成十等級。

#### 5.葉掉落率

葉片掉落佔樹冠全部之百分比率，0 表示葉片掉落率佔全樹冠體積 0%，1 表示葉片掉落率佔全樹冠體積 1-10%，其他則以此類推之，共區分為十等級。

#### 6.根部損傷

觀察根部損傷狀態，以 0 表示根部正常，1 為樣木裸根無害，2 代表樣木裸根且受到傷害。

#### 7.樹皮損傷

第一活分枝以下的部分樹皮作為目視調查，根據樹皮受損傷害程度區分成十等級，分別為 0：受損程度 0%；1：損傷程度 1-10%；2：損傷程度為 11-20%；其他依此類推之，共分成十級。

8.開花：以肉眼觀察林木是否有開花現象，並紀錄之。

9.結實：以肉眼觀察林木是否有結實現象，並紀錄之。

### (三)林分健康性評估分析

森林健康監測最早源起於歐洲，西元 1984 年歐洲已經有許多國家陸續進行森林健康狀況調查，藉以瞭解空氣中污染物質對於林木褪色、落葉程度和森林健康之關係(陳家玉，2003)。歐洲所發展的森林健康測評估，主要是以絕對參照樹 (absolute reference tree)和當地參照樹(local reference tree)作為評估之參考基準，以參照樹對照試驗樣區中林木之樹冠落葉率及葉片顏色來評估林木之健康狀態 (Redfern and Boswell, 2004)。

美國於西元 1990 年代，由森林署與環境保護署共同推動國內森林的全面性的健康監測評估，FHM 計劃包括檢核監測、評估監測、集約立地生態系監測及監測技術研究等 4 個部分( Burkmanet, 1992; Rogers, 2002)，檢核監測係依據大規模的調查資料，建立目前的基準線，以時間序列的變化來評估其長期趨勢，再進一步決定森林的變遷是否正常；如果檢核到有重要無法解釋的變化，再以評估監測做進一步調查研究此異常變化的嚴重程度及是否有快速衰退而須特別關注合深入研究；集約立地生態系監測方式則是建立一立地樣區，針對特定生態型式研究與其變化因素相關的生態程序；第 4 部分為監測技術研究，其目的在發展可靠的森林健康指標 (Rogers *et al.*, 2001)。

目前主要採取採用林木的檢核計劃，透過林木樹冠相關之變數指標評估，透過因素分析結果進行篩選解釋變數，藉由變數加權推估林木健康分級(李威震，2005)，但由於變數間關係錯綜複雜，很難直接由變數中客觀的分類健康程度與適應性等級，而且綜合指標之評估與權重估算的周延性與客觀性極具其爭議性。因此本研究應用因素分析，建立適合之型態因素以協助評等，並且藉由鑑別分析進行驗證，挑選出具鑑別力強的變數，提高林木健康評估之鑑別程度，增加預測的準確性。

#### 1. 因素分析(factor analysis)

因素分析係降低變數數目，於一群具相關性的資料中，找出其影響原始資料

的共同因素，其函數如下所示。

$$X'=(X_1, X_2, \dots, X_k), \mu'=(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k)$$

$$Y'=(Y_1, Y_2, \dots, Y_k)$$

$$\varepsilon'=(e_1, e_2, \dots, e_k)$$

$$A = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} \dots & \sigma_{1k} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} \dots & \sigma_{2k} \\ \sigma_{k1} & \sigma_{k2} \dots & \sigma_{kk} \end{pmatrix}$$

## 2. 鑑別分析(discriminant analysis)

利用鑑別分析探討影響林木適應性的因素，並且找出林木死亡或衰退的相關因素，函數關係式如下所示(邱柏瑩，2003)。

$$A = f(X_1, X_2, \dots, X_k)$$

A：林分健康程度，

$$A = \begin{cases} \text{I：林木健康} \\ \text{II：林木輕度不健康} \\ \text{III：林木中度不健康} \\ \text{IV：林木重度不健康} \\ \text{V：林木枯死} \end{cases}$$

$X_1, \dots, X_k$ ：k 個分析性解釋變數

式中，A為反應變數，屬於人為判釋歸類，進而推估各單株及林分之鑑別函數、鑑別機率與預測歸類(predicted classification)，鑑別分析目的是用圖形或代數方式描述組別差異的特性，以尋找一組區別函數使組間差異相對組內差異極大化，估計鑑別函數，由函數探討反應變數與解釋變數間之關係，並預測事件發生率，由鑑別函數求得反應變數的歸類，用於產生樣本內預測，評估出模式之良窳及樣本外預測，探討觀測值最適的歸類(沈明來，2007)。

林木健康狀況可利用不同的變數來描述，歐洲與美國使用的變數以樹冠狀況為主，Alexander and Palmer(1999)則以樹冠密度大於 50%、樹冠透光度小於 30%及樹冠稍枯小於 20%作為健康之門檻植。於藉由分析與歸納結果，再將篩選的自變數，進行因素加權之權重值及標準化，將所獲得的單株樣木之加權因素分數(X')，進行林木的健康狀態分析。依據所獲得之林木健康程度平均值，最後由所有林木的加權因素分數(X')累加平均後，推論各樣區林分的健康狀態。



## 肆、結果與討論

### 一、新植海岸生態造林林分普查

#### (一)主要造林樹種

目前台灣西南沿海主要造林樹種有欖仁、繖楊、黃槿、海欖果、白千層、木麻黃、水黃皮、欖李等。

##### 1.欖仁

屬於使君子科大喬木，轉紅後的葉子會落光，別稱「琵琶樹」或「雨傘樹」。枝條常呈水平狀輪生，葉子大多聚集在枝端，葉身相當大，長度超過二十五公分，輪廓倒卵形，基部較狹，葉柄很短，常在兩公分以下。

##### 2.繖楊

常綠喬木，樹皮富纖維質。葉具長柄，互生，革質，富光澤，心型，先端尾尖長，全緣。花單一腋生，具長梗，初黃色，逐漸轉淡紫紅色而凋，萼淺杯狀，先端截斷，平滑。梨形蒴果，熟黑褐色，不開裂。

##### 3.黃槿

常綠大喬木，高可達4-7公尺。葉子大呈心形，有長柄；花黃色，花冠鐘形，蒴果。鄉間其葉做為包裹糕餅之用，故又名「糕仔樹」，為台灣海邊防風防潮的重要樹種。國外學者將其歸為廣義紅樹林。

##### 4.海欖果

常綠小喬木，枝幹有明顯皮目，全株含豐沛之白色乳汁。葉有柄，叢生枝端，倒披針形或倒卵形，全緣；聚繖花序頂生，花冠長漏斗形，先端5裂，白色，冠喉部呈淡紅色而有毛；雄蕊5枚，心皮2枚；橢圓狀球形果，其大如雞卵，先端尖，外果皮富含纖維質。別稱 山樣仔、猴歡喜、海樣仔。

## 5. 白千層

常綠喬木。淺褐白色的多層樹皮，薄薄的，疏鬆如海棉質，可以一層層剝下來；花淡黃色，像個小小瓶刷狀的模樣；互生葉，葉小、葉形細長如柳葉（披針形）樹葉的形狀、質感和相思樹相似。

## 6. 木麻黃

以木賊葉木麻黃及銀木麻黃兩種為主(陳振榮，1980)。木賊葉木麻黃為木麻黃科木麻黃屬(*Casuarina*)之常綠喬木，其枝條略輪生，樹冠大而疏開，樹幹非圓形具凹凸，樹皮呈現粗糙狀，側枝易擴張。枝上著生小葉，為尚未分枝且具葉綠體組織(chlorenchyma)之枝條，稱為退化小枝；小枝為淡綠色，斷面成圓柱狀，小枝長約 13~20 mm，具肋(rib)與溝(furrow)，節間長約 4~8 mm；葉輪生，退化成鞘狀齒裂，圍繞於小枝節上，鞘齒約 6~8 個，毬果成長橢圓狀，長約 14~20 cm，徑長 11~15 mm，種子長約 5.5 mm，呈淡褐色。氣孔及表皮絨毛位於小枝之溝側，氣孔成兩行排列(劉業經等，1988)；銀木麻黃樹冠茂密且成圓錐狀，樹幹通直且圓，樹皮厚且具縱溝。上側枝直立非屬過密，下側枝略下垂，小枝顏色為深綠色，粗且長，小枝長度約 30~60 cm，節間長約 10mm，鞘齒數約 12~17。毬果成圓形，長約 11~15 mm，果徑約為 10~13 mm，種子小且呈灰褐色(陳振榮，1980；劉業經等，1988)。

## 7. 水黃皮

為半落葉喬木，樹高 6~12 公尺。奇數一回羽狀複葉，小葉 3~7 片，有柄，對生，革質，長橢圓形，長 6~12 公分。葉面濃綠油亮潔淨，嫩葉成淺紅色。開淡紫色花，腋生，總狀花序，花邊開邊凋落，春、秋兩季開花，一年花期兩次，4~5 月、9~11 月開花。果實為刀狀扁平的莢果，夏季成熟時黑褐色。抗風、耐鹽性特強，為台灣特有之優良海岸樹種。

## 8. 欖李

是四種紅樹林植物中最耐鹽的樹種，主要分布於台南四草鹽呈區的堤岸、溝

渠邊。欖李的花期在五月到七月之間，滿樹的小白花朵相當醒目；果實是核果，是四種紅樹林植物成熟最快的樹種。外果皮具海綿組織，有助於水力傳播。台灣的欖李開白色花，婆羅洲則有另一種葉型較大、開紅色花的欖李。常綠喬木或灌木，無呼吸根，單葉，互生，螺旋排列，略密集生長於枝端，多肉的革質，無托葉，匙形或倒卵形，長達 6.5 cm，寬達 2.2 cm，全緣或具波狀小齒，先端圓形或凹形，基部楔形。兩性花，腋生總狀花序，基部小苞片 2 枚，宿存。萼短鐘狀，萼片 5 裂，裂片三角形，宿存；色，卵狀長橢圓形；雄蕊 10 枚；子房下位；子房 1 室。核果長橢圓狀，長約 1.5 cm。

## (二)新植海岸生態造林林分普查

針對台灣西南沿海地層下陷地區，於 2004 年以後之新植海岸生態造林林分，進行全面性之普查工作，詳細普查結果如表 7 所示，樣區照片如附錄 1。

表 7 雲嘉南沿海海岸防風生態造林普查

位置	年度； 編號	樹種	查核現況
雲林縣麥寮鄉許厝寮段	94；海 字 9 號	木麻黃、白千層、繖楊	本造林地僅約 0.4 ha，栽種木麻黃及繖楊。
雲林縣崙背鄉草湖段	94；海 字 10 號	木麻黃、繖楊	造林地距海較遠，本造林地未列於普查範圍。
雲林縣台西鄉台興段	95；海 字 12 號	木麻黃、欖李、白千層	本造林地因開溝整地，林地土壤具洗鹽之效果；本造林地現存之造林苗木多以木麻黃及欖李為主，其餘造林苗木則少見。
雲林縣台西鄉旭安段	95；海 字 16 號	木麻黃、台灣海桐、 枯里珍、白千層	本造林地已於民國 97 年 7 月撥交雲林縣政府管轄，未於本次調查。
嘉義縣東石鄉鰲鼓段	96；海 字 19 號	木麻黃	本區因地層下陷嚴重，導致造林地夏季(颱風季)多淹浸，苗木生長狀況不佳。

嘉義縣布袋鎮鰲港段	97；海 字 25 號	木麻黃、白千層、黃 槿、水黃皮	造林地採用開溝整地之方式進行 苗木栽植，分區栽種加上維護管理 良好，苗木生長情況較佳。
嘉義縣布袋鎮新塭段	93；海 字 3 號	木麻黃、黃槿、水黃 皮、白千層	本造林為舊有之新塭林務所後方 造林地，主要為木麻黃林下之補 植，成活率較高之樹種有木麻黃、 水黃皮及黃槿。
台南縣北門鄉雙春段	93；海 字 2 號	木麻黃、黃槿、水黃 皮	本區造林地位於地層下陷地區，造 林苗木易因海水倒灌等危害，導致 苗木生長情況不佳。
台南縣將軍鄉山仔腳段	93；海 字 4 號	木麻黃、黃槿、水黃 皮	造林地位於木麻黃防風林分後方 形成屏障保護，加上造林地位居 2-3 m 高之沙堤，不容易有淹浸等 危害，苗木生長良好。
台南市安南區港西段	95；海 字 14 號	木麻黃、繖楊、海欖 果、白千層	本區造林地位居沙灘後方，雖有防 風籬的屏障保護，但由於防風籬已 損毀，對於造林苗木效益不大；本 區苗木生長狀況不佳，但少數位於 後方的苗木生長情況仍可；在造林 樹種方面，木麻黃、繖楊、海欖果 的生長情況較佳。
台南市安平區四草段	97；海 字 30 號	木麻黃、水黃皮、白 千層	本造林地為木麻黃林下補植之造 林，在造林的樹種中以木麻黃、繖 楊的生長狀況較佳。
台南市安平區海口段	95；海 字 17 號	木麻黃、海欖果、繖 楊	本區為木麻黃林分之複層林營造 栽植，栽植共計有木麻黃、水黃 皮、黃槿、海欖果及繖楊等樹種； 本區位居海濱第一線，多數樹種在 本年度七月初蓮花乾颶的影響 下，葉部多呈現枯黃之現象。本區 造林木由於上層有木麻黃，降低下 層的造林樹種遭受風害、鹽霧等危 害，生長情況較佳，人為干擾大。
台南市安平區漁光段	97；海 字 32 號	木麻黃、白千層、水 黃皮	本造林地為木麻黃林下補植之造 林，為木麻黃林下補植；生長情況 以水黃皮為多，白千層在此地區的 生長受到限制，僅存數棵存活。

### (三) 新植的海岸林分伴生植群多樣性調查

本研究主要調查台灣西部沿海地區於2004年後進行新植的海岸林分，進行演替植物的調查且建立其名錄(如附錄2)，並依生育地類型進行取樣調查。地被植物調查紀錄樣區內地被植物之種類，包含外來及原生樹種之木本、草本植物之幼苗或植株，以觀察法推估樣區內族群數量，討論其豐富度。木本植物則記錄樣區內胸徑 $\geq 1\text{cm}$ 之存活木本植物，於胸高處(1.3m)測量其胸徑。利用套裝軟體計算、比較外來樹種與原生樹種(包含已馴化樹種)之優勢度。並利用各樣區之外來樹種及原生樹種之胸徑比率，推算目前外來樹種族群與原生樹種族群之結構變化。

調查結果顯示共有 16 科 33 屬 35 種植物，其中外來入侵種有 16 種，佔 45 %。以菊科、豆科及禾本科為主。顯然外來雜草於海岸地區及不良環境下有較高之出現比例，其具有較高之適應力。除了最近新植造林之區段，因為有事先整地，剩下的樣區幾乎都有被入侵的現象產生。其中以大白花鬼針、菟絲子、印度田菁、大黍和蒺藜草入侵程度最為嚴重。新植造林地樣區內除了造林樹種外，幾乎都遍布了馬鞍藤、龍爪茅。海埔姜及濱刺麥也都大量出現在樣區內。甚至出現馬鞍藤纏勒上較矮小之苗木的情況。

### (四) 土壤性質

#### 1. 土壤鹽分

土壤鹽分是根據土壤飽和抽出溶液經由土壤鹽度計測定之導電度結果而評定，且土壤鹽分多以導電度( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )表示(洪富文、程煒兒，1993)，土壤鹽度依據 USDA Salinity Laboratory(1954)鹽度分級，由表 8 土壤導電度測定結果可知，在本區 6 處樣區的土壤鹽度多以無鹽度至低鹽度等級為主，其中以安平地區的土壤導電度值為最高，表土及底土的土壤導電度值分別為  $317.0 \mu\text{S}/\text{cm}$  及  $350.0 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，為西南沿海地層下陷地區中土壤導電度值最高之樣區，結果如圖 7。

表 8 西南沿海地層下陷地區土壤基本資料

樣區	土層	土壤導電度( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	鹽度級	土壤 pH 值
鰲鼓	表層土	144.2	無鹽度	8.52
	底層土	170.5	無鹽度	8.61
布袋	表層土	135.1	無鹽度	8.41
	底層土	163.9	無鹽度	8.52
新塭	表層土	136.2	無鹽度	8.45
	底層土	167.3	無鹽度	8.55
將軍	表層土	161.8	無鹽度	8.42
	底層土	127.1	無鹽度	8.63
城西	表層土	182.5	無鹽度	9.10
	底層土	207.0	低鹽度	8.73
安平	表層土	317.0	低鹽度	8.31
	底層土	350.0	低鹽度	8.24

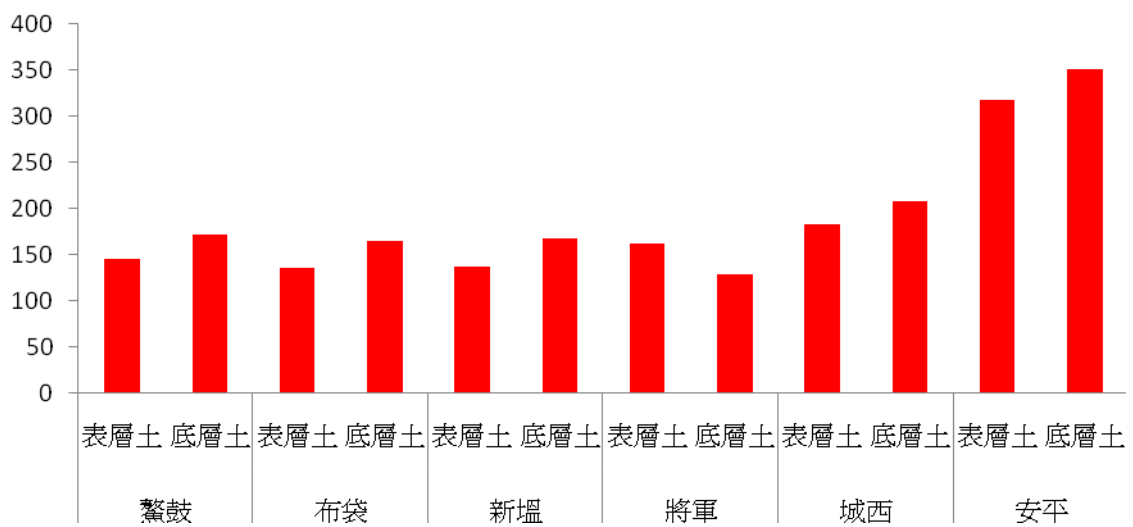


圖 7 西南沿海地層下陷地區土壤導電度值

## 2. 土壤 pH 值

土壤 pH 值即以土壤之飽和抽出溶液，利用酸鹼測定儀進行酸鹼測定之結果，通稱之為土壤反應，主要以土壤 pH 值來表示之。土壤 pH 值一般被視為土壤的重要性質，且與土壤 pH 值相關尚有土壤離子之交互作用(曲仲湘等，1989)。根據圖 8 本區土壤 pH 值測定結果，各樣區的土壤 pH 值測定依據 USDA Salinity Laboratory(1954)所發表之分級，本區 6 處監測的樣區之土壤 pH 值為中鹼性至強鹼性的分級，顯示本區土壤含有較多量之水溶性鹽離子，加上本區的土壤腐植質(O 層)較少，導致土壤 pH 值測定結果偏高。

根據陳財輝等(1998)於四湖當地海岸林土壤養分量調查結果，發現當地表層之枯枝落葉堆積量逐漸增多，林地有機物礦質化分解過程中，所產生的有機酸影響表層土壤，而導致土壤 pH 值降低，但對照西南沿海 6 處樣區土壤 pH 值分析之結果，可發現 6 處樣區土壤 pH 值仍偏鹼性，甚至仍有強鹼性的土壤性質，顯示本區生態複層造林林分的土壤腐植質層較為缺乏，甚至鮮少有土壤腐植質層的產生，因此較不利於造林苗木的高生長及直徑生長，且對於造林地表層土壤的保水、保肥功能較差。

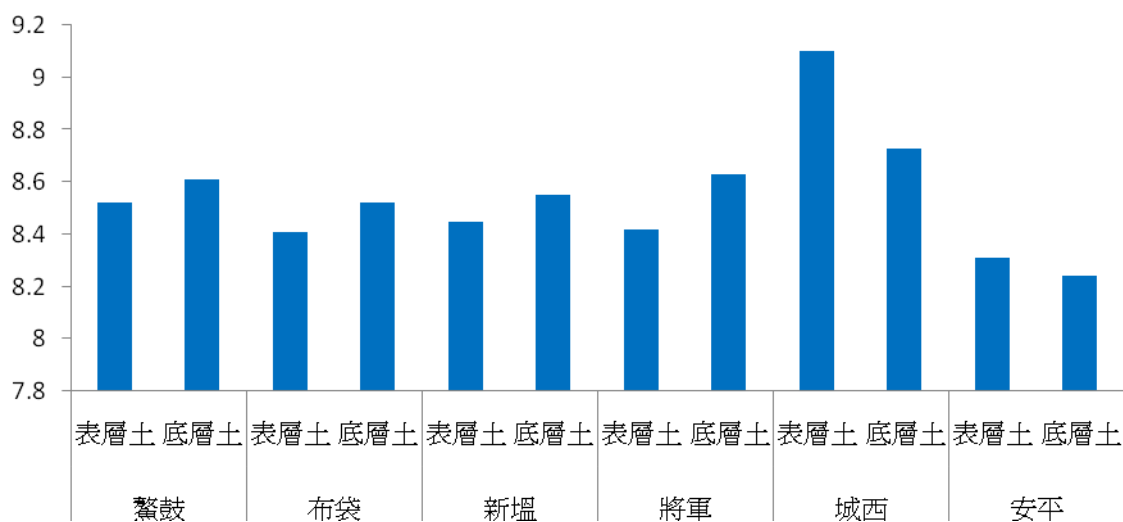


圖 8 西南沿海地層下陷地區土壤 pH 值

## (五)片掃描式電子顯微鏡之觀察

藉由採集受風害樹種葉片進行電子顯微鏡觀察，並與未受風害與遭受風害葉部的差異性，進行探討與比較。由圖 9 及圖 10 可以看出分別為未受風害及遭受風害的差別，未遭受到風害的繖楊葉片表面的較光滑，而遭受風害危害的繖楊葉表面則是出現不規則的皺褶，甚至在受害的葉表面則產生許多不規則的損傷。

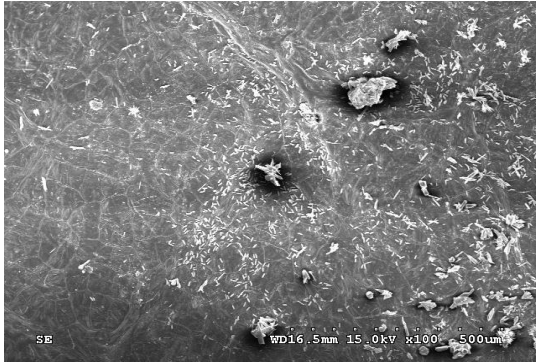
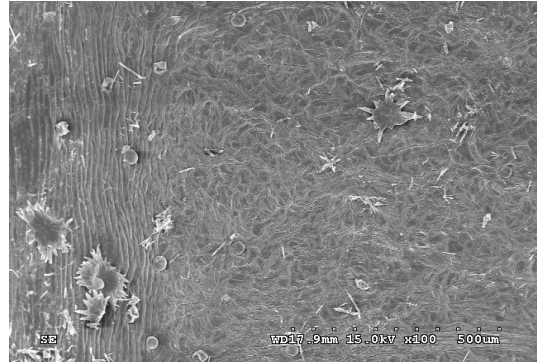


圖 9 繖楊未遭受風害之葉表面圖



10 繖楊遭受風害之葉表面

在圖 11 及圖 12 可以看出水黃皮葉片在電子顯微鏡下葉部型態的觀察，圖 56 是羅漢松未遭受風害為害的葉肉組織，其葉肉組織排列整齊且規則；但由圖 57 是葉片遭受到風害對於葉肉組織產生之為害，由圖可明顯發現遭受風害的葉肉組織產生不規則的排列，並且有較明顯的空洞產生。

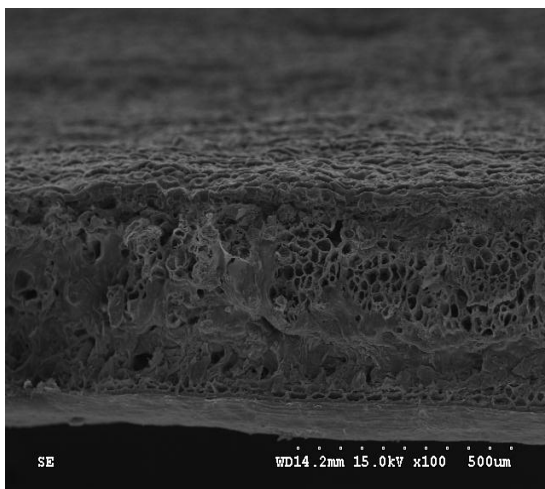


圖 11 水黃皮葉片組織(未受害)

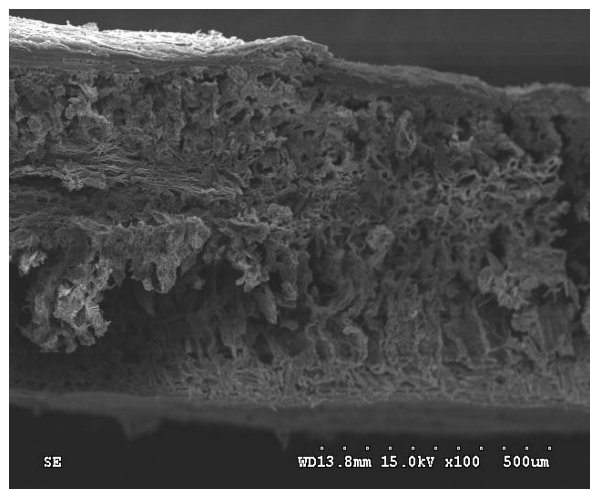


圖 12 水黃皮葉片組織(遭受風害)



欖李為常見之伴紅樹類樹種，常伴生於鹽水或半鹽水的濕地或河口泥灘地，對於鹽分具有一定的抗性，但對於濱海的抗風效果則較不佳。由圖 13 及圖 14 分別對於未受害及遭受風害的欖李葉片的葉肉組織進行觀察比較發現，未受風害的欖李葉肉組織排列較遭受風害的葉片完整且整齊，另外再觀察遭受風害的葉肉組織其排列較緊密。

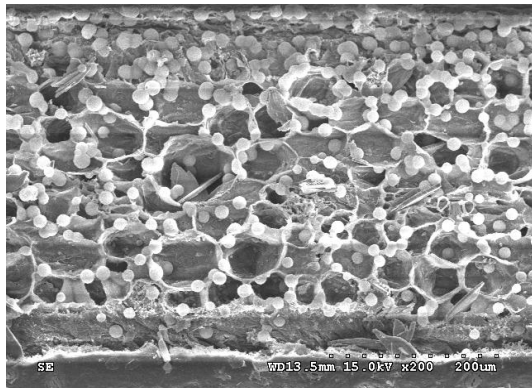


圖 13 欖李葉片組織(未受害)

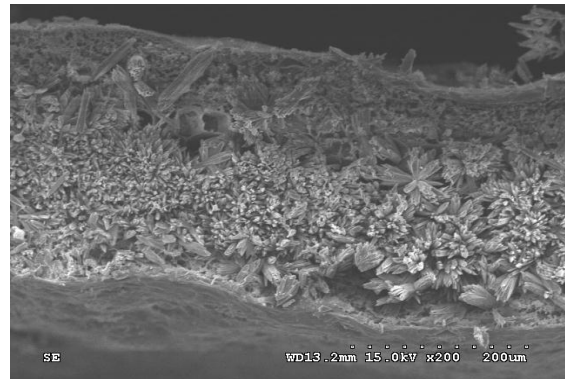


圖 14 欖李葉片組織(遭受風害)

欖仁主要為海岸生態造林樹種，由圖 15 及圖 16 可觀察發現，土沉香對於風的為害所產生的傷害較不明顯，在圖 15 與圖 16 中，其葉表面的保衛細胞及其周圍的組織接無明顯受到危害的症狀或特徵產生，推估欖仁對於風害的影響較不明顯。

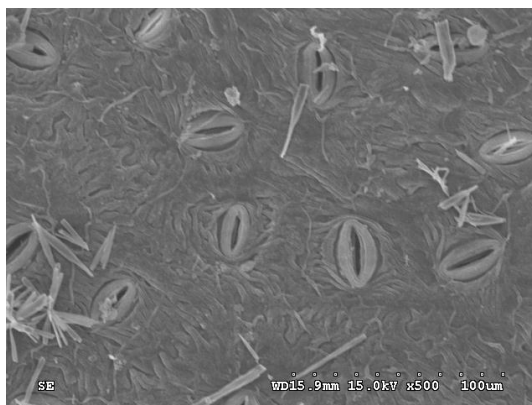


圖 15 欖仁葉片組織(未受害)

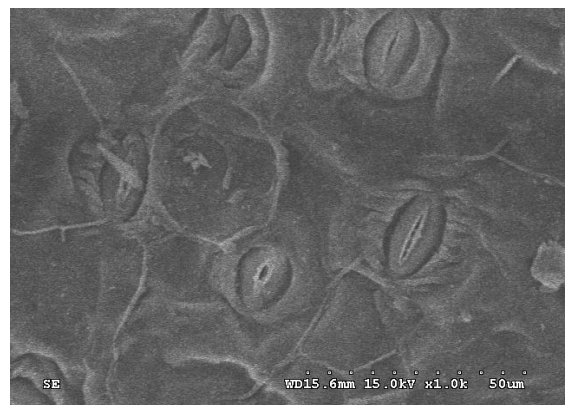


圖 16 欖仁香葉片組織(受害)

海欖果為常見的鹽水或半鹽水的濕地，由於海欖果常生長於濱海或河口的濕地，對於抗風的能力亟待評估，分別選取海欖果未受害及遭受風害的葉片進行電子顯微鏡的觀察，藉此評估風害是否對於海欖果的葉部組織產生不同之變化。選取未遭受風害及遭受風害的海欖果葉部組織進行觀察，結果如圖 17 及圖 18，由此 2 張圖片並未發現明顯遭受風害的特徵或症狀，在未受害及受害的葉肉組織仍完整且排列未產生不規則變化，推估海欖果此種海岸的伴生樹種對於風害的影響較不顯著。



圖 17 海欖果葉肉組織(未受害)

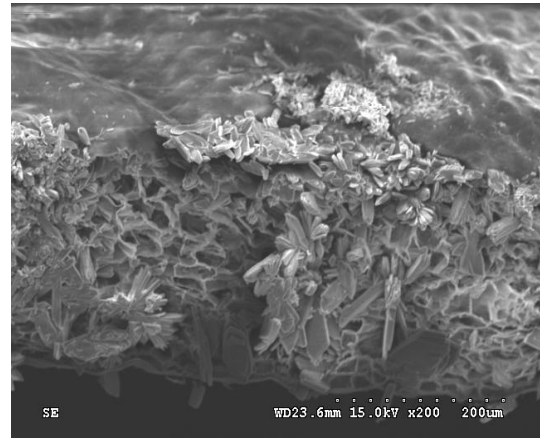


圖 18 海欖果葉肉組織(受害)

## (五)林木生理特性之研究

### 1.葉綠素濃度測定

表 9 變方分析 F 值得知，海欖果葉綠素濃度具顯著性差異，而水黃皮及木麻黃之葉綠素濃度則無顯著性差異。

表 9 不同樹種苗木葉綠素濃度之變方分析

樹種	F 值		
	葉綠素 a	葉綠素 b	葉綠素 a+b
水黃皮	0.18 <sup>ns1</sup>	0.41 <sup>ns</sup>	0.22 <sup>ns</sup>
海欖果	4.52 <sup>*2</sup>	4.82 <sup>*</sup>	4.68 <sup>*</sup>
木麻黃	0.12 <sup>ns</sup>	0.47 <sup>ns</sup>	0.13 <sup>ns</sup>

由表 10 檢驗結果顯示不同地區海欖果葉綠素 a、葉綠素 b 及葉綠素 a+b 之濃度是新塢葉綠素 a  $2.72 \pm 0.18$  mg/g、葉綠素 b  $1.04 \pm 0.08$  mg/g、葉綠素 a+b  $3.76 \pm 0.26$  mg/g 最大，城西最小。水黃皮及木麻黃之葉綠素 a、葉綠素 b 及葉綠素 a+b 之濃度均以新塢較高於城西，但無顯著性差異。

表 10 不同地區之不同樹種苗木葉綠素濃度之 Tukey 分析

樹種	處理	葉綠素(μg/g)	葉綠素(μg/g)	葉綠素(μg/g)
水黃皮	城西	$2.74 \pm 0.62^{a2}$	$1.04 \pm 0.24^a$	$3.78 \pm 0.87^a$
	將軍	$3.04 \pm 0.11^a$	$1.12 \pm 0.03^a$	$4.17 \pm 0.15^a$
	新塢	$3.07 \pm 0.34^a$	$1.24 \pm 0.12^a$	$4.32 \pm 0.47^a$
海欖果	城西	$1.81 \pm 0.21^b$	$0.64 \pm 0.08^b$	$2.45 \pm 0.29^b$
	安平	$2.44 \pm 0.25^{ab}$	$0.93 \pm 0.11^{ab}$	$3.37 \pm 0.36^{ab}$
	新塢	$2.72 \pm 0.18^a$	$1.04 \pm 0.08^a$	$3.76 \pm 0.26^a$
木麻黃	城西	$1.94 \pm 0.11^a$	$0.69 \pm 0.03^a$	$2.63 \pm 0.14^a$
	將軍	$2.05 \pm 0.12^a$	$0.72 \pm 0.03^a$	$2.77 \pm 0.16^a$
	新塢	$1.97 \pm 0.20^a$	$0.75 \pm 0.04^a$	$2.72 \pm 0.25^a$

由試驗結果可知，不同地區對海欖果葉綠素濃度具顯著性差異（表 10），其對葉綠素 a、葉綠素 b 及葉綠素 a+b 之濃度是以新塢最大，城西最小。而水黃皮及木麻黃之葉綠素濃度雖無顯著性差異，但葉綠素 a、葉綠素 b 及葉綠素 a+b 之濃度亦均以新塢較高於城西（表 23）。葉綠素為植物光合作用之主要場所，葉綠素為植物吸收太陽輻射能之色素，其含量之多寡影響光合作用之進行，其比例含量常隨環境應力而改變，在低光環境生長之陰性植物則將有更多的能量轉移於光捕捉色素的合成上( Maxwell *et al.*, 1995 )，故有好的光量子收率( quantum yield )。

葉綠素含量為苗木品質評估的重要依據( Sutton, 1980 )。( 姜家華等, 1994 )研究指出葉綠素總量、葉綠素 a 與葉綠素 b 為預測台灣欖苗木高生長很好的指標。而葉綠素濃度則隨樹種、環境、葉齡及光度強弱而異( Kramer and Kozlowski, 1979 )。光度強弱不僅改變苗木葉部形態，而且對苗木體內葉綠素之含量及可溶性蛋白質之活性及綠色植物內集光複合體( light-harvesting complex, LHC )之葉綠素 a、葉綠素 b 具有密切之關係，其中葉綠素 a 為植物行光合作用中主要色素之一。當植物處在極低光量下，為捕捉較多的光子，以維持本身生理所需之能量，其低光量生長的植株葉綠素總量比高光度時增多，以利提高其光合效率，此乃對光環境所產生的反應( Elias and Ciamporova, 1986 ; Barcikowski, 1996 ; Rajendrudu *et al.*, 1996 )。

鹽分通常會造成敏感性植物葉綠體腫脹、變形、細微結構受損，亦或使葉綠素酵素(chlorophyllase)活性增加而使葉綠素崩解，導致葉綠素合成減少及影響光合作用速率(Iyengar and Reddy, 1996)。范貴珠等(2001)指出欖李在低鹽分處理時苗木光合色素濃度較高，但鹽度增加時會明顯降低。許多種植物其單位重量或單位葉面積之葉綠素含量，隨光度之減弱而增加，直到相當低之光度為止，若再降低光度則其葉綠素含量將減少( 林安秋, 1991；鄭丕堯, 1992 )。全光之環境下，因苗木葉綠素合成與崩解破壞間失衡，使得葉綠素總量較低，因此，雖相對光度降低，苗木葉綠素濃度則增加( 楊玫玲, 2000 )。

## 2.植物體養分濃度測定

### (1) 氮濃度

由表 11 變方分析 F 值得知，不同地區對林下更新苗木水黃皮、海欖果及木麻黃之根、莖、葉各部位氮濃度的變化並無顯著性差異。

表 11 不同地區不同樹種苗木氮濃度之變方分析

樹種	F 值		
	根	莖	葉
水黃皮	0.53 <sup>ns1</sup>	1.90 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>
海欖果	0.21 <sup>ns</sup>	3.85 <sup>ns</sup>	1.35 <sup>ns</sup>
木麻黃	1.62 <sup>ns</sup>	1.58 <sup>ns</sup>	1.72 <sup>ns</sup>

由表 12 結果顯示水黃皮、海欖果及木麻黃根之氮濃度均以新塢較高（水黃皮  $3.35 \pm 0.25$  %、海欖果  $2.23 \pm 0.12$  %、木麻黃  $6.29 \pm 1.35$  %），城西較小。莖之氮濃度亦均以新塢較高（水黃皮  $3.18 \pm 0.12$  %、海欖果  $2.09 \pm 0.11$  %、木麻黃  $7.87 \pm 0.80$  %），城西下較小。葉之氮濃度在水黃皮及海欖果也是以新塢較高（水黃皮  $4.60 \pm 0.12$  %、海欖果  $4.33 \pm 0.27$  %）城西較小，但木麻黃則以城西較高（ $6.82 \pm 0.37$  %），將軍（ $5.51 \pm 0.44$  %）較小。

表 12 不同地區對不同樹種苗木氮濃度之 Tukey 分析

樹種	處理	N ( % )		
		根	莖	葉
水黃皮	城西	2.94 ± 0.41 <sup>a 2</sup>	2.66 ± 0.31 <sup>a</sup>	4.52 ± 0.30 <sup>a</sup>
	將軍	3.07 ± 0.06 <sup>a</sup>	2.77 ± 0.05 <sup>a</sup>	4.57 ± 0.15 <sup>a</sup>
	新塹	3.35 ± 0.25 <sup>a</sup>	3.18 ± 0.12 <sup>a</sup>	4.60 ± 0.12 <sup>a</sup>
海欖果	城西	2.09 ± 0.24 <sup>a</sup>	1.41 ± 0.27 <sup>a</sup>	3.81 ± 0.44 <sup>a</sup>
	安平	2.07 ± 0.17 <sup>a</sup>	1.93 ± 0.11 <sup>a</sup>	3.65 ± 0.07 <sup>a</sup>
	新塹	2.23 ± 0.12 <sup>a</sup>	2.09 ± 0.11 <sup>a</sup>	4.33 ± 0.27 <sup>a</sup>
木麻黃	城西	4.06 ± 0.48 <sup>a</sup>	6.16 ± 0.68 <sup>a</sup>	6.82 ± 0.37 <sup>a</sup>
	將軍	6.23 ± 0.94 <sup>a</sup>	6.82 ± 0.53 <sup>a</sup>	5.51 ± 0.44 <sup>a</sup>
	新塹	6.29 ± 1.35 <sup>a</sup>	7.87 ± 0.80 <sup>a</sup>	6.29 ± 0.65 <sup>a</sup>

(2) 磷濃度

不同地區對林下更新苗木水黃皮、海欖果及木麻黃之根、莖、葉各部位磷濃度的變化，由表 13 變方分析 F 值得知，不同地區對水黃皮葉部磷濃度的變化有顯著性的差異；根及莖則無顯著性的差異。海欖果及木麻黃於不同地區下，二者在根部磷濃度的變化皆有顯著性的差異；而在莖部及葉部則皆無顯著性的差異。

表 13 不同地區對不同樹種苗木磷濃度之變方分析

樹種	F 值		
	根 Root	莖 Stem	葉 Leaf
水黃皮	0.64 <sup>ns1</sup>	0.16 <sup>ns</sup>	6.82 <sup>*2</sup>
海欖果	83.45 <sup>**</sup>	0.97 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>
木麻黃	9.65 <sup>*</sup>	3.82 <sup>ns</sup>	3.37 <sup>ns</sup>

由表 14 結果顯示水黃皮葉部磷濃度以相對光度 62 % 處理較高 (8484.25 ± 127.83 ppm)，並呈顯著性差異，根部及莖部之磷濃度則幾無差異。海欖果及木麻黃根部磷濃度以相對光度 48 % 低光處理最高(8669.73 ± 210.22 ppm)(11599.80 ± 1942.51 ppm) 並呈顯著性差異，莖及葉部磷濃度則無顯著性的差異。

表 14 不同地區對不同樹種苗木磷濃度之 Tukey 分析

樹種	處理	P (ppm)		
		根	莖	葉
水黃皮	城西	5511.61 ± 82.65 <sup>a2</sup>	8761.77 ± 427.80 <sup>a</sup>	6745.34 ± 433.69 <sup>a</sup>
	將軍	5130.09 ± 412.42 <sup>a</sup>	8571.58 ± 298.20 <sup>a</sup>	8484.25 ± 127.83 <sup>b</sup>
	新塹	5415.73 ± 85.82 <sup>a</sup>	8870.75 ± 383.27 <sup>a</sup>	7137.12 ± 401.94 <sup>ab</sup>
海欖果	城西	5524.29 ± 167.63 <sup>b</sup>	5764.91 ± 104.27 <sup>a</sup>	8956.09 ± 242.71 <sup>a</sup>
	安平	5696.53 ± 200.29 <sup>b</sup>	5903.53 ± 78.03 <sup>a</sup>	8978.03 ± 262.52 <sup>a</sup>
	新塹	8669.73 ± 210.22 <sup>a</sup>	5061.00 ± 780.15 <sup>a</sup>	8926.17 ± 5.41 <sup>a</sup>
木麻黃	城西	4654.32 ± 255.44 <sup>b</sup>	10698.19 ± 375.04 <sup>a</sup>	12135.71 ± 758.73 <sup>a</sup>
	將軍	10010.43 ± 526.56 <sup>a</sup>	12621.43 ± 702.96 <sup>a</sup>	9728.47 ± 901.82 <sup>a</sup>
	新塹	11599.80 ± 1942.51 <sup>a</sup>	11626.01 ± 301.26 <sup>a</sup>	9329.73 ± 813.43 <sup>a</sup>

### (3) 鉀濃度

不同地區對林下更新苗木水黃皮、海欖果及木麻黃之根、莖、葉各部位鉀濃度的變化，由表 15 變方分析 F 值得知，三種更新苗木根、莖、葉各部位鉀濃度的變化皆無顯著性差異。

表 15 不同地區之不同樹種苗木鉀濃度之變方分析

樹種	F 值		
	根 Root	莖 Stem	葉 Leaf
水黃皮	0.59 <sup>ns1</sup>	3.78 <sup>ns</sup>	0.44 <sup>ns</sup>
海欖果	1.24 <sup>ns</sup>	1.35 <sup>ns</sup>	0.15 <sup>ns</sup>
木麻黃	1.52 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	3.51 <sup>ns</sup>

由表 16 Turkey 顯著差異法檢驗結果顯示，水黃皮及海欖果各部位鉀濃度以新塹較高（水黃皮根  $15432.50 \pm 810.26$  ppm、莖  $11819.37 \pm 2554.77$  ppm、葉  $20495.00 \pm 2167.15$  ppm，海欖果根  $13137.50 \pm 3077.62$  ppm、莖  $15918.75 \pm 3777.32$  ppm、葉  $28157.50 \pm 2595.01$  ppm），城西較小。木麻黃根部鉀濃度在城西較高（ $17648.12 \pm 890.92$  ppm）、莖部將軍較高（ $18605.00 \pm 2928.89$  ppm）、葉部則以新塹之  $7121.87 \pm 810.26$  ppm 最高。

表 16 不同地區對不同樹種苗木鉀濃度之 Tukey 分析

樹種	處理	K (ppm)		
		根	莖	葉
水黃皮	城西	$15278.75 \pm 1103.31$ <sup>a2</sup>	$5984.37 \pm 1183.36$ <sup>a</sup>	$18505.00 \pm 1345.45$ <sup>a</sup>
	將軍	$13068.12 \pm 2638.95$ <sup>a</sup>	$12426.25 \pm 1452.55$ <sup>a</sup>	$20370.62 \pm 1340.87$ <sup>a</sup>
	新塹	$15432.50 \pm 810.26$ <sup>a</sup>	$11819.37 \pm 2554.77$ <sup>a</sup>	$20495.00 \pm 2167.15$ <sup>a</sup>
海欖果	城西	$8443.12 \pm 1208.44$ <sup>a</sup>	$9067.50 \pm 2433.64$ <sup>a</sup>	$24548.12 \pm 6175.50$ <sup>a</sup>
	安平	$13090.00 \pm 2579.90$ <sup>a</sup>	$9266.87 \pm 3680.19$ <sup>a</sup>	$27247.50 \pm 4714.88$ <sup>a</sup>
	新塹	$13137.50 \pm 3077.62$ <sup>a</sup>	$15918.75 \pm 3777.32$ <sup>a</sup>	$28157.50 \pm 2595.01$ <sup>a</sup>
木麻黃	城西	$17648.12 \pm 890.92$ <sup>a</sup>	$18382.81 \pm 1811.19$ <sup>a</sup>	$4919.72 \pm 633.84$ <sup>a</sup>
	將軍	$15643.75 \pm 2073.68$ <sup>a</sup>	$18605.00 \pm 2928.89$ <sup>a</sup>	$6845.71 \pm 414.03$ <sup>a</sup>
	新塹	$13417.50 \pm 1933.46$ <sup>a</sup>	$17758.12 \pm 1345.01$ <sup>a</sup>	$7121.87 \pm 810.26$ <sup>a</sup>



### (3) 鈣濃度

不同地區對水黃皮、海欖果及木麻黃之根、莖、葉各部位鈣濃度的變化，由表 17 變方分析 F 值得知，水黃皮各部位鈣濃度的變化並無顯著性差異；海欖果根部鈣濃度有顯著性差異，莖、葉則無；木麻黃葉部鈣濃度有顯著性差異根、莖部位則無顯著差異。

表 17 不同地區對不同樹種苗木鈣濃度之變方分析

樹種	F 值		
	根	莖	葉
水黃皮	2.393 <sup>ns</sup>	0.097 <sup>ns</sup>	2.597 <sup>ns</sup>
海欖果	4.024 <sup>ns</sup>	1.029 <sup>ns</sup>	2.806 <sup>ns</sup>
木麻黃	0.552 <sup>ns</sup>	0.727 <sup>ns</sup>	19.323 <sup>*2</sup>

由表 18 結果顯示，水黃皮根、莖鈣濃度以新塹較高 ( $976.08 \pm 82.20$  ppm、 $2664.00 \pm 340.59$  ppm)，城西下較小，葉部鈣濃度則以將軍最高 ( $4873.24 \pm 455.95$  ppm)。海欖果根、莖部鈣濃度以城西較高 ( $1030.42 \pm 80.04$  ppm、 $1357.41 \pm 193.17$  ppm)，新塹較小；而葉部鈣濃度反而以新塹較高 ( $4403.21 \pm 201.05$  ppm)，城西較小。木麻黃根、莖、葉各部位鈣濃度均以新塹下較高 (根部  $2584.16 \pm 200.61$  ppm、莖部  $2108.33 \pm 184.74$  ppm、葉部  $4388.40 \pm 153.50$  ppm)，城西較小，並於葉部呈顯著性差異。

表 18 木麻黃林下不同地區對不同樹種苗木鈣濃度之 Tukey 分析

樹種	處理	Ca (ppm)		
		根	莖	葉
水黃皮	城西	916.24 ± 64.88 <sup>a2</sup>	2447.38 ± 367.48 <sup>a</sup>	3844.64 ± 287.07 <sup>a</sup>
	將軍	1165.07 ± 100.91 <sup>a</sup>	2533.78 ± 423.43 <sup>a</sup>	4873.24 ± 455.95 <sup>a</sup>
	新塹	976.08 ± 82.20 <sup>a</sup>	2664.00 ± 340.59 <sup>a</sup>	3566.50 ± 507.07 <sup>a</sup>
海欖果	城西	1030.42 ± 80.04 <sup>a</sup>	1357.41 ± 193.17 <sup>a</sup>	3912.88 ± 270.46 <sup>a</sup>
	安平	672.14 ± 79.40 <sup>b</sup>	1075.76 ± 40.97 <sup>a</sup>	3580.50 ± 263.74 <sup>a</sup>
	新塹	881.43 ± 106.94 <sup>ab</sup>	1161.40 ± 147.52 <sup>a</sup>	4403.21 ± 201.05 <sup>a</sup>
木麻黃	城西	2324.64 ± 209.39 <sup>a</sup>	1771.80 ± 209.99 <sup>a</sup>	2827.95 ± 0.71 <sup>b</sup>
	將軍	2324.80 ± 194.47 <sup>a</sup>	1993.53 ± 206.36 <sup>a</sup>	4388.40 ± 153.50 <sup>a</sup>
	新塹	2584.16 ± 200.61 <sup>a</sup>	2108.33 ± 184.74 <sup>a</sup>	4253.15 ± 304.10 <sup>a</sup>

#### (4) 鎂濃度

不同地區水黃皮、海欖果及木麻黃之根、莖、葉各部位鎂濃度的變化，由表 19 變方分析 F 值得知，不同地區對水黃皮葉部鎂濃度呈顯著性差異；對海欖果及木麻黃之根、莖、葉及水黃皮之根、莖部鎂濃度則無顯著性差異。

表 19 不同地區對不同樹種苗木鎂濃度之變方分析

樹種	F 值		
	根 root	莖 Stem	葉 Leaf
水黃皮	0.04 <sup>ns1</sup>	1.26 <sup>ns</sup>	5.87 <sup>*2</sup>
海欖果	1.29 <sup>ns</sup>	1.25 <sup>ns</sup>	0.33 <sup>ns</sup>
木麻黃	0.53 <sup>ns</sup>	3.24 <sup>ns</sup>	1.92 <sup>ns</sup>

由表 20.結果顯示，水黃皮葉部鎂濃度以將軍較高 (3055.62 ± 721.34 ppm)，

城西處理下較小，並呈顯著性差異。海欖果及木麻黃根、莖、葉各部位之鎂濃度均以新塭有較高含量，城西較低。

表 20 不同地區對不同樹種苗木鎂濃度之 Tukey 分析

樹種	處理	Mg (ppm)		
		根	莖	葉
水黃皮	城西	1146.87 ± 156.69 <sup>a2</sup>	1795.00 ± 368.17 <sup>a</sup>	951.25 ± 66.02 <sup>a</sup>
	將軍	1198.12 ± 129.30 <sup>a</sup>	1563.75 ± 70.74 <sup>a</sup>	3055.62 ± 721.34 <sup>b</sup>
	新塭	1148.75 ± 129.35 <sup>a</sup>	2163.75 ± 277.81 <sup>a</sup>	1827.50 ± 214.81 <sup>ab</sup>
海欖果	城西	8443.12 ± 1208.44 <sup>a</sup>	9067.50 ± 2433.64 <sup>a</sup>	24548.12 ± 6175.50 <sup>a</sup>
	安平	13090.00 ± 2579.90 <sup>a</sup>	9266.87 ± 3680.19 <sup>a</sup>	27247.50 ± 4714.88 <sup>a</sup>
	新塭	13137.50 ± 3077.62 <sup>a</sup>	15918.75 ± 3777.32 <sup>a</sup>	28157.50 ± 2595.01 <sup>a</sup>
木麻黃	城西	815.62 ± 40.06 <sup>a</sup>	779.68 ± 66.14 <sup>a</sup>	491.32 ± 63.49 <sup>a</sup>
	將軍	1110.62 ± 140.13 <sup>a</sup>	1147.81 ± 90.51 <sup>a</sup>	538.72 ± 49.38 <sup>a</sup>
	新塭	935.93 ± 318.39 <sup>a</sup>	747.50 ± 182.19 <sup>a</sup>	829.68 ± 214.34 <sup>a</sup>

#### (5) 鈉濃度

不同地區對林下更新苗木水黃皮、海欖果及木麻黃之根、莖、葉各部位鈉濃度的變化，由表 21 變方分析 F 值得知三種苗木根、莖、葉鈉濃度皆無顯著差異。

表 21 不同地區對不同樹種苗木鈉濃度之變方分析

樹種	F 值		
	根	莖	葉 f
水黃皮	0.37 <sup>ns1</sup>	0.13 <sup>ns</sup>	0.23 <sup>ns</sup>
海欖果	0.88 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	2.75 <sup>ns</sup>
木麻黃	1.45 <sup>ns</sup>	0.33 <sup>ns</sup>	1.20 <sup>ns</sup>

由表 22.結果顯示水黃皮各部位鈉濃度以將軍（根部 6763.12 ± 860.01 ppm、莖部 1966.87 ± 261.72 ppm、葉部 3535.62 ± 559.44 ppm），城西較小。海欖果根部鈉濃度以新塹較高（5248.12 ± 956.49 ppm），莖部及葉部則以安平較高（莖部 5413.75 ± 619.93 ppm、葉部 12913.33 ± 1902.49 ppm），城西下較小，但皆無顯著性差異。

表 22 不同地區對不同樹種苗木鈉濃度之 Tukey 分析

樹種	處理	Na (ppm)		
		根	莖	葉
水黃皮	城西	5525.62 ± 1321.33 <sup>a2</sup>	1750.00 ± 344.79 <sup>a</sup>	3280.62 ± 224.43 <sup>a</sup>
	將軍	6763.12 ± 860.01 <sup>a</sup>	1966.87 ± 261.72 <sup>a</sup>	3535.62 ± 559.44 <sup>a</sup>
	新塹	6067.50 ± 786.05 <sup>a</sup>	1931.87 ± 332.41 <sup>a</sup>	3188.12 ± 209.41 <sup>a</sup>
海欖果	城西	5089.37 ± 447.16 <sup>a</sup>	5369.37 ± 944.22 <sup>a</sup>	8539.37 ± 929.65 <sup>a</sup>
	安平	4090.00 ± 478.10 <sup>a</sup>	5413.75 ± 619.93 <sup>a</sup>	12913.33±1902.49 <sup>a</sup>
	新塹	5248.12 ± 956.49 <sup>a</sup>	5278.75 ± 949.34 <sup>a</sup>	10310.00 ± 883.85 <sup>a</sup>
木麻黃	城西	7416.56 ± 715.55 <sup>a</sup>	5043.43 ± 425.34 <sup>a</sup>	963.94 ± 135.84 <sup>a</sup>
	將軍	11747.81 ± 3002.9 <sup>a</sup>	4869.68 ± 522.09 <sup>a</sup>	1838.59 ± 456.42 <sup>a</sup>
	新塹	8453.12 ± 1022.08 <sup>a</sup>	5933.12 ± 1557.57 <sup>a</sup>	1175.60 ± 541.55 <sup>a</sup>

在沿海地區，由於風的作用，致成鹽害(salt injury)；或因海風吹襲海面，風

則攜帶鹽分，遂使構成風成鹽霧(wind-born salt spray)，對於若干敏感植物，亟呈為害效應。海水淹浸所以造成為害者，要因海水造成根系介質中之鹽水濃度過高，殊具毒害之作用。)海水淹浸促成土壤結構之退化，殊不利於林木之生育。不同的鹽分或水分逆境均會影響種子的發芽及苗木的生長(Schmidhalter and Oertli, 1991)。盧廷瑋(2002)以0%、1%、2%、3%等不同濃度的鹽水，分別處理繖楊、草海桐及台灣海桐苗木，發現土壤鹽分對繖楊、草海桐及台灣海桐之苗高、地徑生長量、植物體乾重、總葉面積、葉片數、葉綠素濃度及植物體水勢具明顯之抑制作用。嚴重時植物的生長會受到極端抑制甚至導致死亡(Francois, 1985)。當土壤溶液鹽分濃度增加時會影響作物生長，干擾光合作用、呼吸作用、蛋白質合成與分解、核酸代謝等，造成產量減少(Cheeseman,1988)。植物在高鹽環境下時會因為細胞間水分出現不平衡的現象，而導致植物的生長、產量受到抑制甚至枯死(Francois, 1985)。

鹽分不但影響植物生長與產量，也會因而改變土壤溶液滲透潛勢(osmotic potential)影響植物養分的吸收，造成養分之不平衡(鄔家琪、張喜寧，2004)。有些植物耐鹽能力很低，受害很大，有些耐鹽性植物可以生長，有些鹽生植物則可以長得很好。所造成之傷害包括，影響植物之生長及結實能力、傷害細胞膜系、影響離子間之交互作用、改變滲透調節、降低光合作用能力、影響植物體內激素平衡及阻礙代謝過程等(郭秀桃，1998)。

植物葉片的水分潛勢會因為鹽分逆境而下降，此時葉片內的滲透潛勢也會出現下降的情形，以維持細胞的膨壓。滲透調節包含了溶質之合成、離子運輸及細胞構造的修護等生理作用，故會消耗能量(Kozlowski, 1997)，降低組織的乾重。雖然植物均能對鹽分溶液作滲透調節，但調節能力因植物種類而異。同時植物需要耗費許多能量去調整細胞滲透勢，相對地減少用於生長所需能量，而使得植株的生長相當緩慢，甚至無法存活。

## 二、生態造林林分健康性評估分析

### (一) 林木生長表現

各樣區的平均樹高約 1~2 m 左右，僅將軍地區平均樹高約 0.11 m 較其他樣區低矮，由於該區位於出海口，有嚴重的風害以及沙丘堆積，導致林木生長速度較為緩慢。直徑生長方面，林木基徑生長以安平地區為最大，林分的平均基徑落於 1.79~5.93cm 之間，最小仍為將軍地區，本區域的林分生長的差異，可能因風害及砂危害影響其生長，結果如表 23。林木形狀比方面，以安平及城西地區形狀比較高，由於林木的形狀比會隨著胸高直徑的增加其形狀比反而會減少，林木形狀比可表現林木幹型尖削程度，另可作為評估林木抵抗災害之指標(陳財輝等，1990)。

表 23 西南沿海地層下陷區造林木生長量

樣區	平均樹高(m)	平均基徑(cm)	平均胸徑(cm)	平均枝下高(m)	平均冠幅(m)	平均樹冠比	平均形狀比(H/D)
布袋	1.12	2.56	1.21	0.49	0.28	1.41	0.85
鰲鼓	1.39	4.84	1.38	1.78	0.35	1.78	0.79
新塹	1.08	2.43	1.23	0.44	0.26	1.35	0.81
城西	1.64	3.42	3.02	3.7	0.37	0.76	1.23
將軍	0.11	1.79	0.61	0.49	0.21	3.23	0.82
安平	1.26	5.93	1.61	0.15	0.12	0.91	1.09

### (二) 林木適應性及健康程度評估

林木適應性及林分健康程度評估為抽象概念，必須採用多種不同之外觀形態或受害程度進行目視觀察，將其結果藉由因素分析及鑑別分析的結果進行歸納與加權，減少人為的主觀因素與異常，才可表現出林分的適應性狀況(王兆桓、陳

子英，2002)。

### 1. 因素分析

藉由 SPSS12.0 套裝軟體，將所調查之 9 個相關變數，分別為樹冠密度、樹冠透光度、樹冠枝枯、葉枯程度、葉片掉落率、根部損傷、樹皮損傷、開花及結實等變數進行因素分析，以作為未來針對海岸防風林分林木適應性調查之主要因素，因素萃取選擇依據其初始特徵值，值大於 1 以上為 1 個成分，共萃取出 4 個成分，結果如表 24。

表 24 因素個數萃取累積表

成分	初始特徵值		
	總和	變異數的 %	累積 %
樹冠密度	2.743	30.483	30.483
透光度	1.408	15.648	46.130
樹冠梢枯	1.117	12.413	58.543
葉枯程度	1.072	11.916	70.459
葉掉落率	0.972	10.298	80.757
根部損傷	0.768	8.539	89.296
樹皮損傷	0.569	6.318	95.613
開花	0.319	3.540	99.153
結實	0.076	0.847	100.000

接續採用因素分析中之最大變異數法(varimax)轉軸矩陣來增加因素間之解釋能力，使得轉軸後因素矩陣的每一個因素只歸屬於一個或少數的成分，以減少因素間的複雜性，讓因素的解釋量由繁雜趨於簡單化，顯示因素與潛在因素之相關性。轉軸後的矩陣結果如表 25，根據轉軸矩陣共歸納出 4 個主要且與林木適應性相關性高的因素。因此，可將原先所設定之外觀型態與受害程度因素，簡化為 4 個主要的指標，其因素指標命名分別為成分 1-樹冠活力、成分 2-樹冠透光度、成分 3-繁殖能力及因素 4-機械損傷。而且 4 個主要影響林木適應性的因素佔總變異數的 70.46% 以上。

表 25 轉軸後因素矩陣結構

	成分			
	1(樹冠活力)	2(樹冠透光度)	3(繁殖能力)	4(機械損傷)
樹冠密度	-0.197	-0.948	0.063	0.009
透光度	0.207	0.941	-0.053	-0.005
樹冠梢枯	0.873	0.171	-0.006	-0.047
葉枯程度	0.845	0.025	-0.019	0.005
葉掉落率	0.732	0.244	0.048	0.005
根部損傷	0.028	-0.078	-0.022	0.732
樹皮損傷	-0.055	0.068	0.031	0.735
開花	-0.073	0.117	0.828	-0.065
結實	0.096	-0.244	0.707	0.078

藉由轉軸後因素矩陣結構之結果，可發現影響西南沿海地層下陷區林木適應性的因素，分別為樹冠活力、樹冠透光度、繁殖能力及機械損傷等 4 個主要成分，底下就 4 種主要成分命名及歸納變數說明如下所述：

#### 成分 1-樹冠活力指標

代表林木樹冠生長活力的變數有樹冠梢枯、葉枯程度及葉掉落率 3 項主要因素，藉此 3 項因素可以表示林木樹冠的生長活力及變化，由於地層下陷導致土壤淹浸及鹽化，直接或間接影響林木樹冠及葉片的生長，因此受害可明顯表現於樹冠活力的程度；樹冠梢枯枝狀態，常出現於樹冠上部或外部之橫向枝梢末端、葉片枯萎、葉片變色或提早落葉等徵兆，甚至是樹冠生長活力的降低，導致樹冠面積百分比的減少。

#### 成分 2-樹冠透光度指標

歐洲與美國在評估林木健康所使用的變數以樹冠狀況為主，這項指標變是林木健康性評估的重要依據，因素負荷量為 4 項指標中最高，其中樹冠密度為負值代表密度愈高林木愈健康。

#### 成分 3-繁殖能力指標



代表開花及結實程度，林木開花及結實主要是展現在退化小枝之末端，因林木受環境逆壓大，林木健康衰退或瀕臨死亡，林木有大量開花以繁衍後代之機制。

#### 成分 4-機械損傷指標

此因素代表林木根部及樹皮損傷程度，通常根部若遭受淹浸等危害，易造成林木養分及水分之吸收遭受影響，進而影響林木之適應性與健康程度。

## 2.健康等級評估

林分健康性評估採用林木外觀型態之綜合指標，並非使用簡單幾個評估指標即可辨別林木之健康性，故將林分健康指標依據因素轉軸後之特徵值解釋量為評估的權重，以加權的方式計算加權因素(X)，再將 X 值藉標準化得出加權因素分數(X')，最後由平均加權因素分數(X')進行各樣區之林木健康狀態分析評估，推估目前雲嘉南海岸地層下陷區之林分的健康狀態。利用 Alexander and Palmer (1999)評估準則，先訂出基準平均加權因素分數(X')之門檻值為-0.4792，故取-0.5為健康基準值，由於加權因素分數(X')標準化後標準差為 1，便將林木健康狀態區分成五等級，分別為等級 V： $x' > 2.5$  為死亡；等級 IV： $1.5 \leq x' < 2.5$  為重度不健康；等級 III： $0.5 \leq x' < 1.5$  為中度不健康；等級 II： $-0.5 \leq x' \leq 0.5$  為輕度不健康；等級 I： $x' < -0.5$  為健康級，最後由所有林木的加權因素分數(X')累加平均後，推論各樣區林分及樹種的健康狀態，各樣區健康等級及受害原因概述如表 26 所示。

如由表 26 可知雲嘉南沿海之木麻黃防風林帶的健康狀態，目林分的健康狀態介於林木健康及林木產生劣化之等級，其中布袋、新塢及將軍地區因管理佳及林木適應良好，生長狀況大致上良好。鰲鼓地區夏季因地層下陷會有淹水的情形，城西及安平地去也是受到颱風瞬間大量影響及乾颶的作用導致林木枯死高。而樣區內之木麻黃示普遍生長不佳，可能為在強風及海風帶來的鹽霧導致木麻黃呈半落葉性。

表 26 各樣區健康等級及受害原因概述

樣區	樹種	平均加權 因素分數	健康等級	受害原因概述
鰲鼓	白千層	0.282	II	本區因地層下陷嚴重，導致造林地 夏季(颱風季)多淹浸，苗木生長狀 況不佳。
	欖仁	-0.086	II	
	欖李	-0.108	II	
布袋	海欖果	-0.548	I	苗木栽植，分區栽種加上維護管理 良好，苗木生長情況較佳。
新塹	木麻黃	0.703	III	本造林地是採用開溝整地之方式 進行，苗木生長情形大致上佳。唯 木麻黃在整體監測樣區略顯受害 嚴重
	海欖果	-0.501	I	
	繖楊	-0.517	I	
將軍	木麻黃	-0.199	II	本造林地位於成熟木麻防風林後 方，對於風害及砂害的影響較小， 使此區生長情形較佳。
	水黃皮	-0.594	I	
城西	木麻黃	0.145	II	此區因受到颱風的影響，導致林木 普遍稍有生長不良的情況。但此區 之枯死率並不高，推測有可能為受 到颱風影響之過度期。
	海欖果	-0.012	II	
	水黃皮	0.257	II	
	白千層	0.928	III	
	繖楊	0.081	II	
安平	海欖果	0.974	III	受到颱風之影響，林木生長受到瞬 間大量鹽霧的影響，致枯死率偏 高。

此外枯死率部分，藉由樣區內(林木死亡數/總株樹)來得到死亡率，也可說明布袋、鰲鼓及城西之枯死率相較之下為低，可對應上述進行分析的結果。而其中比較不同的是城西的枯死率較低，則可能是颱風短暫影響林木後，林木處於恢復適應期，結果如表 27。

表 27 樣區林木枯死率

樣區	株數	立木枯死數	枯死率(%)
新塹	407	76	19
布袋	33	6	18
鰲鼓	35	5	14
將軍	73	6	8
城西	281	36	12
安平	54	17	31

### 3. 鑑別分析

依據因素分析之因素分數加權總合高低之，藉由 SPSS12.0 套裝軟體之鑑別分析進行判識歸類，利用典型鑑別法進行統計模式及解釋變量假說檢定，衡量各別解釋變數之鑑別力，並選取最具顯著解釋之變數，用以建構預測機率函數，交叉驗證鑑別函數的準確性，通常利用擊中率進行評估，擊中率愈高即代表預測能力愈高(表 28)。

利用 4 條函數所得之係數值帶入公式可得到值並將 4 條函數所得值平均，而即為評斷林分健康指標分級之值。以下介紹：

總架構： $y = a \times x_n + \text{常數}$

( $x_1$ ：樹冠密度； $x_2$ ：透光度； $x_3$ ：樹冠枝枯  $x_4$ ：葉枯程度； $x_5$ ：葉片掉落率； $x_6$ ：根部損傷； $x_7$ ：樹皮損傷； $x_8$ ：開花； $x_9$ ：結實)

CAN1

$$y_1 = -0.259 \times x_1 + 0.169 \times x_2 + 0.377 \times x_3 + 0.371 \times x_4 + 0.484 \times x_5 + 4.554 \times x_6 + 3.348 \times x_7 + 7.512 \times x_8 + 2.614 \times x_9 + (-2.944)$$

CAN2

$$y_2 = -0.131 \times x_1 + (-0.242) \times x_2 + (-0.182) \times x_3 + 0.024 \times x_4 + 0.043 \times x_5 + 2.142 \times x_6 + 2.984 \times x_7 + 7.493 \times x_8 + (-0.640) \times x_9 + 2.191$$

CAN3

$$y_3 = 0.013 \times x_1 + 0.279 \times x_2 + (-0.113) \times x_3 + 0.308 \times x_4 + (-0.424) \times x_5 + 0.006 \times x_6 + 2.984 \times x_7 + 7.493 \times x_8 + (-0.640) \times x_9 + 2.191$$

$$x_6+0.550 \times x_7+0.560 \times x_8+0.997 \times x_9+(-1.388)$$

CAN4

$$y_4= 0.206 \times x_1+0.197 \times x_2+0.261 \times x_3+(-0.036) \times x_4+(-0.194) \times x_5+(-0.869) \times x_6+(-0.452) \times x_7+5.829 \times x_8+(-2.950) \times x_9+(-2.037)$$

將四條函數之 y 值，y<sub>1</sub>-y<sub>4</sub> 值作平均。平均後之值為區別分數，即為健康等級評估，而再加以簡化後，林木健康區別原則可依下表作為評斷標準。

簡化評估指標	樹冠密度	透光度	樹冠枝枯	開花
評估依據	50%	30%	20%	開花與否

當樹冠密度高於 50%、樹冠透視度高於 30%、樹冠枝枯高於 20% 及無開花即可作為評斷區林木屬於較不健康等級；而相對樹冠密度低於 50%、透光度低於 30%、樹冠枝枯低於 20% 及無開花現象即可將樣區評為較健康之區域。

表 28 觀測變數篩選鑑別函數之 F 檢定

變數	F 值	P 值
樹冠密度	198.48	0.001
透光度	123.00	0.001
樹冠枝枯	95.49	0.001
葉枯程度	86.47	0.001
葉片掉落率	80.81	0.001
根部損傷	77.01	0.001
樹皮損傷	78.71	0.001
開花	81.11	0.001
結實	72.94	0.001

此用樹冠密度、透光度、樹冠枝枯、葉枯程度、葉片掉落率、根部損傷、樹

皮損傷、開花及結實等 9 個指標變數，配合先前建立之林木健康等級，採用逐步回歸判別方法，建立典型鑑別函數，首先於典型鑑別函數檢定方面，以 wilks' lambda 之 p 值來做檢定，9 個變數之 p 值皆小於 0.05，表示 9 個變數都具解釋能力，數據結果如表 29。接續利用 9 個變數建立典型鑑別函數，由於健康程度區分為 5 級，依鑑別分析方式共建立 4 個典型鑑別函數，如表 15 所示。

表 29 典型區別函數係數

	CAN1	CAN2	CAN3	CAN4
樹冠密度	-0.259	-0.131	0.013	0.206
透光度	0.169	-0.242	0.279	0.197
樹冠枝枯	0.377	-0.182	-0.113	0.261
葉枯程度	0.371	0.024	0.308	-0.036
葉片掉落率	0.484	0.043	-0.424	-0.194
根部損傷	4.554	2.142	0.006	-0.869
樹皮損傷	3.348	2.984	0.550	-0.452
開花	7.512	7.493	0.560	5.829
結實	2.614	-0.640	0.997	-2.950
(常數)	-2.944	2.191	-1.388	-2.037

由於所有指標變數皆有一定解釋能力，在此利用 fisher 線性區別函數來觀察個別變數區別健康性程度等級能力大小，結果如表 30，係數值愈高即為該變數解釋能力大，以開花變項係數值最高，樹冠密度、透光度及根部損傷亦有不錯解釋力。

本研究預測歸類與實際歸類如表 31 所示，平均擊中率為 89.6%，顯示所建立典型鑑別函數，能有效區別西南沿海地層下層區造林苗木之健康等級，透過鑑別函數的建立，建構西南沿海海岸林分健康性評估資訊，有助於日後主管機關針對林木生長適應性評估參考依據。

表 30 Fisher 線性區別函數係數

	健康	輕度不健康	中度不健康	重度不健康	死亡
樹冠密度	16.857	16.312	15.422	14.879	13.548
透光度	15.033	15.639	15.883	16.743	16.658
樹冠枝枯	0.339	1.210	2.186	3.819	4.432
葉枯程度	0.297	1.273	2.251	3.345	4.852
葉片掉落率	0.152	1.038	2.716	4.206	5.786
根部損傷	2.119	11.616	25.576	37.911	60.547
樹皮損傷	-0.348	6.526	16.934	25.082	46.944
開花	10.337	24.548	44.122	66.739	117.301
結實	-4.409	2.293	10.933	17.438	24.920
(常數)	-82.759	-87.856	-98.120	-125.576	-157.488

表 31 健康等級交叉驗證分類結果

健康等級		健康	輕度不健康	中度不健康	重度不健康	死亡
原始分級 機率(%)	健康	98.9	0.7	0	0.4	0
	輕度不健康	8.8	85.0	6.1	0	0
	中度不健康	2.2	2.2	84.4	10.0	1.1
	重度不健康	0	1.9	1.9	92.6	3.7
	死亡	0	0	0	35.0	65.0
健康等級		健康	輕度不健康	中度不健康	重度不健康	死亡
驗證分級 機率(%)	健康	98.5	1.1	0	0.4	0
	輕度不健康	8.8	84.7	6.5	0	0
	中度不健康	2.2	2.2	84.4	10.0	1.1
	重度不健康	0	1.9	3.7	88.9	5.6
	死亡	0	0	0	35.0	65.0

## 伍、改善建議

本研究利用台灣西南沿海地區，共選取 2 個大樣區及 4 個小樣區進行林木受害調查的情形，由於本區的防風林分多位於地層下陷區，土壤鹽化、土壤地下水位過高、地下水鹽化等環境逆壓，使得林木易因環境而影響林木的生長，甚至導致林木的受害，加上防風林分多濱海，風折等環境的危害也是造成林分衰退的主因，此外林木因受害後，引發大面積病蟲危害，亦導致林分的衰退。

首先針對防風林分土壤性質的分析，發現林地的土壤含鹽量的多寡對於林木的生長及健康趨勢具影響，並針對林木的生長指標量化與歸納及現地的土壤因子進行研究探討，透過林木外觀生長的形態及受害損傷的程度進行目視判釋評估，經由因素分析將原先所設定之 9 種外觀型態及受害程度，歸類成 4 種林木適應性因素指標，其分別為成分 1-樹冠活力、成分 2-樹冠透光度、成分 3-繁殖能力及因素 4-機械損傷。就樣區平均健康性而言，多數樣區屬輕度及中度不健康等級，亦有樣區林木生長健康，總括而言西南沿海地層下陷區經常遭受外在逆壓環境危害，樣區內林木亦有一定比例枯死率，顯示造林後相關後續補植及撫育管理相當重要，同時建構西南沿海地層下陷區鑑別函數，以作為日後林業主關機關對於海岸木林分生長適應性經營評估之參考依據。

綜合研究分析結果，建請相關單位應積極培育出更適合做為海岸第一線防風林之林木，甚至考慮營造混合林的造林方案，不僅可增加防風林的生態多樣性，且可降低純林的缺失。且地層下陷，導致林地長時間淹浸，不僅對於林木的生長受到影響，甚至積水退除後所留下的鹽分，大量積聚於林地土壤中，使得林木間接受到鹽害，因此如何防除土壤鹽分也是重要課題。底下就環境、生態及經營三個層面提出育林技術改善建議。

## 一、環境層面

西南沿海地區處長年受到東北季風或颱風侵襲，從海岸側吹送而來之強風、飛砂、濃鹽霧、大浪等自然災害，導致前線處林木大多無法健全生長，而本區的防風林分多位於地層下陷區，土壤鹽化、土壤地下水位過高、地下水鹽化等環境逆壓，使得林木易因環境而影響林木的生長，甚至導致林木的受害，加上防風林分多濱海，風折等環境的危害也是造成林分衰退的主因；甚至林木因受害後，引發大面積病蟲危害，導致林分的衰退，底下就土壤及氣候條件加以說明：

### (一)土壤條件

沿海土壤有低窪潮濕、乾燥、常年積水與時旱時澇之別，根據造林地土壤的水分條件，正確選擇造林樹種，是造林成敗的重要措施。大多數樹種適合較溼潤而又不過分乾旱和潮濕的土壤，也有一些樹種適應性較廣。一般來說深根性和根系發達的樹種抗旱能力較強，而淺根性的樹種則抗旱能力較差。沿海新闢的海埔地以及淡水資源短缺的地區，土壤含鹽量高、鹼性強，成為長期未能開墾利用的重鹽鹼土。沿海鹽鹼地植樹造林應選用耐鹽鹼性極強的樹種。過去選用烏柏、苦楝等樹種進行試驗，發現成效不佳，後來引種了木麻黃樹種，才使得沿海防風林建造取得成效。

### (二)氣候條件

不同樹種其喜溫耐寒的特性亦不同，對外界氣候條件的要求也不相同。如木麻黃、桉樹、相思樹等樹種喜歡溫暖的氣候，倘若氣溫低到一定的限度，樹木就會凍傷。樹種在一定的氣候範圍內，便能生長發育良好，如超出這個範圍，往往生長不良，甚至不能生長。有些樹種對溫度的範圍適應較廣，亦有一些樹種適應範圍較窄。所以在確定造林樹種時，必須十分慎重。



沿海地區與內陸地區的氣候條件相比較，溫度、光度等條件差異並不十分明顯，而以風力的差異最大。根據相關氣象資料，海岸的風力比內陸地區大 5-8 倍，因此，大風就成為沿海地區綠化造林的條件因子。尤其是生態條件較差之強風海岸，強風危害是影響造林成敗的重要因素。因此強風海岸植栽必須選擇抗風力極強的樹種為先驅樹種，才可能使沿海綠化獲得成功。

綜合土壤及氣候條件依陳財輝(2007)建議，海岸地區因冬季東北季節強勁，必須架設高度2公尺左右之防風籬，以保護新植苗木。防風籬以刺竹幹為主柱及支柱最理想，以桂竹桿及粗枝編紮成籬，密度以50~60%為最適宜。也可以塑膠網構造防風網，防風及防鹽效果良好。就濱海地區鹽漬地的特性，建議以滲洗法為原則，並透過有效的增設排鹽溝來進行鹽漬土的改良。

## 二、生態層面

選擇防風造林樹種條件，因具備擇常綠喬木、樹冠茂密及深根性者，短期內生長快速，兼備防風功能，繁殖容易、衰退較慢及具天然下種更新能力。進行濱海適生樹種之優良品系選拔，要有別於經濟林樹種選定之模式，利用栽植耐鹽性、耐淹性較佳的樹種，不儘可降低環境造成的衝擊，對於生態多樣性也有極大助益，並且可使雲嘉南地層下陷區之防風林分得以永續。

要做到因地制宜，適地適樹，就必須詳細調查了解造林地的氣候、土壤等條件及其與樹木生長的關係，通過各方面的分析研究，必要時可做一些對比試驗，選擇最能適宜於當地環境生長的樹種來造林，使之能達到預期的目的。

根據長期觀察，以下幾個方面可以做為選擇抗風樹種的依據：

(一)一般長綠樹種抗風性能比落葉樹種強。因為大多數樹種的落葉期恰是沿海地區的大風與乾燥期。風大、空氣相對濕度小，造成樹木的蒸散強度大。常綠樹種冬季仍繼續生長，樹液尚正常流動，枝和頂芽又有葉片保護，不易出現枯芽、枯枝和枯梢。落葉樹在落葉期間樹液基本停止流動，樹梢裸露，由於風大、天氣乾

燥，蒸散作用強，水分失去平衡而出現嚴重的枯枝和枯梢現象。如黑松、木麻黃等常綠樹種，極少有發現冬季枯梢的現象。

(二)枝梢粗壯與冬芽飽滿的樹種，其抗風力較強。

(三)根系發達，材質堅韌的樹種，其抗風力比根系淺、材質鬆軟的樹種強。因為根系淺的樹種容易出現風倒，也由於根系較淺，冬季表層土壤乾燥影響水分的吸收。材質鬆軟的樹種，刮大風時枝幹容易折斷。

### 三、經營層面

適合於建造海岸防風林的樹種，需具備耐風、耐旱、耐鹽及耐瘠等特性，以及容易繁殖、成活率高、生長快速、樹冠茂密及深根性的常綠喬木。目前台灣西海岸防風林的樹種不多，以木麻黃類為主，其中尤以木賊葉木麻黃分佈最廣、所佔的比例最高。複層林建構方式依鄧書麟等(2005)建議，先以木麻黃為先驅樹種先栽植，並利用木麻黃營造出來的防風林再陸續以濱海型原生樹種進行間植，形成木麻黃及闊葉樹種之混合林，再逐年將木麻黃汰除，以漸進的方式建成原生樹種混合林，但位於第一線最前緣的木麻黃林帶(約0~15m以內的林帶)，由於至目前為止依舊無法取代，因此間植時仍以木麻黃為主。至於第二線的造林方式，則可採多樹種混合栽植法，並以自然生態法配置，採多樹種之複層混交栽植方式，而且藉著地形及防風網來保護所栽植的原生樹種及地被植物。至於如位於河川出海口之潮間帶(濕地)，由於受潮汐影響較大，鹽分極高，故選擇水筆仔、海茄苳、欖李及五梨跤等紅樹林樹種栽植。此外建議不論採取何種栽植方式，均應實施適當之土壤改良以利苗木根系的生長，務須維持經常性的維護管理來配合。

海岸林建造初期，必須隨時進行補植，由於海岸地區由於環境惡劣，而造林季節又短，新植苗木枯死為不可避免之現象。因此及早補植極為重要已成林的防風林，某些林木可能會因病、蟲、鹽風或颱風危害而死亡，所形成的孔隙可用其他樹種補植而逐漸形成混合林，建請相關單位因針對健康程度不佳之林分予以新

植，延緩林分衰退的速度，並且積極培育出更適合做為海岸第一線防風林之林木，甚至考慮營造混合林的造林方案，不僅可增加防風林的生態多樣性，且可降低純林的缺失。此外由於地層下陷，導致林地長時間淹浸，不僅對於林木的生長受到影響，甚至積水退除後所留下的鹽分，大量積聚於林地土壤中，使得林木間接受到鹽害，因此如何防除土壤鹽分也是重要課題。

海岸林保護工作亦是現今林業經營面臨的重要課題，主要項目有下列3點：

- 1.加強防治病蟲害，作好林分病蟲害的通報，對主要林業病蟲害事先進行徹底防治，以防止擴散蔓延。
- 2.對容易發生的自然災害，如颱風、乾旱、霜凍、日灼等，要做好預防工作，使幼齡林能茁壯成長。
- 3.重視本區之森林火災的預防工作，尤其在防火季節禁止一切不必要的用火，在風景林區，要做好防火宣導，平時即有計畫地開設防火線和營造防火隔離林帶，同時宜建立森林防火組織和森林火災撲救隊伍，訂定森林救火計畫，使森林防火工作防患於未然。

短期內，相關單位須針對地層下陷區之木麻黃林分需進行相關撫育與防治工作，減緩木麻黃林分的衰退且積極進行造林和林相改良；長期計畫部分則是應實施複合式造林的可行性，甚至利用栽植耐鹽性、耐淹性較佳的樹種，不儘可降低環境造成的衝擊，對於生態多樣性也有極大助益，並且可使雲嘉南地層下陷區之防風林分得以永續經營。

## 陸、參考文獻

- 王兆桓、陳子英 (2002) 林木健康指標方法之建立-以棲蘭地區老熟檜木林為例。行政院農業委員會林務局保育研究系列第 91-6 號。
- 甘偉航 (1988) 海岸林枝籬堆砂功效評估及植物定砂功能調查。林業試驗所研究季刊 3(4): 225-240。
- 甘偉航、陳財輝 (1987) 台灣防風林之經營。現代育林 3(1):3-25。
- 曲仲湘、吳玉樹、金振洲、陳昌篤、楊邦順 (1989) 環境與植物生態學。科學出版社，台北。共 378 頁。
- 朱木生 (1994) 臺東海岸環境對木麻黃防風林生長與天然更新之影響。國立臺灣大學森林學研究所碩士論文，53 頁。
- 朱德民 (1990) 植物與環境逆壓。國立編譯館，台北市，380 頁。
- 江永哲 (1987) 臺灣現存防風林功效之探討。現代育林 3(1): 26-40。
- 李威震 (2005) 台灣東北部海岸保安林木麻黃林分健康性監測之研究。國立宜蘭大學自然資源學系碩士班碩士論文，94 頁。
- 沈明來 (2007) 實用多變數分析。九州圖書文物有限公司，台北市，608 頁。
- 林務局 (2000) 各縣市政府經營管理之區外保安林檢訂管理計畫執行報告，40 頁。
- 林務局 (2004) 臺灣地區林業統計。
- 邱柏瑩 (2003) 南臺灣四縣市木麻黃防風林健康監測。國立屏東科技大學森林學研究所碩士論文，76 頁。
- 洪富文、程煒兒 (1993) 澎湖造林環境調查-土壤調查。林業試驗所研究報告季刊 8(2):109-127。
- 范貴珠、許博行、張峻德 (2001) 土壤鹽度對欖李苗木光合作用之影響。林業研究季刊 23(3):47-62。
- 姜家華、王亞男、張國楨、周泰平 (1994) 不同種源臺灣檫葉綠素含量與苗

- 木生長關係之研究。中華林學季刊 27(3):23-28。
- 張玉珍、翁永昌 (1985) 黑角舞蛾之型態、生活習性、猖獗及防治法。中華林學季刊 18(1): 29-36。
- 張東柱、趙榮台 (1988) 木麻黃常見病蟲害防治手冊。經濟部工業局，253 頁。
- 郭寶章 (1993) 桃園海岸之消長、鹽霧為害與稻作生產相關文獻之析譯。中華林學叢書，中華林學會，台北市，100 頁。
- 陳家玉 (2003) 棲蘭山老熟檜木健康指標評估法。國立臺灣大學森林學研究所碩士論文，82 頁。
- 陳振榮 (1980) 臺灣木麻黃種類之鑑定、新種引進及其耐鹽性之比較研究。國立臺灣大學森林學研究所碩士論文，72 頁。
- 陳財輝 (1987) 臺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、呂錦明 (1988) 苗栗海岸砂秋木麻黃人工林之生長及林分生長量。林業試驗所研究報告季刊 3(1): 333-343。
- 陳財輝、呂錦明、沈慈安 (1990) 苗栗海岸地區不同齡級木麻黃防風林生長之調查。林業試驗所研究報告季刊 5(1): 17-24。
- 楊政川 (1998) 台灣地區濱海型工業區綠化實用圖鑑。經濟部工業局，251 頁。
- 劉玲華 (2005) 海岸保安林健康指標評估法之研究-以臺灣北中部為例。國立屏東科技大學森林學研究所碩士論文，68 頁。
- 劉業經、呂福原、歐辰雄 (1988) 台灣樹木誌。國立中興大學農學院出版委員會，台中市，1019 頁。
- Alexander, S. A., and C. J. Palmer (1999) Forest health monitoring in the United States : first four years. Environment Monitoring and Assessment 55: 267-277.
- Burkman, W. G. and G. D. Hertel (1992) Forest health monitoring: A national program to detect, evaluate and understand change. Journal of Forest Research 90(9): 26-27.

- Conkling, B. L. and G. E. Byers. (1993) Forest inventory and analysis national core field guide. USDA Volume1: Field Data Collection Procedures for phase 2 Plots. Ver: 1.6. 100pp.
- Ferretti, M. (1997) Forest health assessment and monitoring- Issues for consideration. Environment Monitoring and Assessment 48: 45-72.
- Kolb, M., J. L. Innes and E. Kaufmann (1994) Reliability of differing densities of sample grids used for the monitoring of forest condition in Europe. Environment Monitoring and Assessment 29: 201-220.
- March, G. T. (2002) Phase 3 field guide-crowns. Measurements and Sampling 21pp.
- Redfern, D. B. and R. C. Boswell (2004) Assessment of crown condition in forest trees: Comparison of methods, sources of variation and observer bias. Forest Ecological and Management 188: 149-160.
- Rogers, P. (2002) Using forest health monitoring to assess aspen forest cover change in the southern Rockies ecoregion. Forest Ecological and Management 155: 223-236.
- Rogers, P., Atkins, D., Frank, M. and Parker, D. (2001) Forest health monitoring in the interior west: A baseline summary of forest issues, 1996-1999. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-75. Rocky Mountain Research Station, in cooperation with USDA Forest Service, State and Private Forestry, Regions 1-4. pp.4-35.
- USDA Forest Service (2002) Forest inventory and analysis national core field guide. USDA1: Phase 3 Field Guide-Crowns: Measurements and Sampling. 21pp.
- USDA Salinity Laboratory (1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handbook p.160.

## 柒、附錄

### 附錄 1 樣區照片



圖 1. 鰲鼓水黃皮有病害的現象



圖 2. 鰲鼓生長情形



圖 3. 新塭開溝整地渠道有積水情形



圖 4. 新塭開溝整地渠道有積水情形



圖 5. 布袋海檬果生長情形



圖 6. 新塭水黃皮受病害影響



圖 7.城西林木受到乾颯之影響



圖 8.城西林木受到乾颯之影響



圖 9.將軍風砂危害相當嚴重



圖 10. 將軍風砂危害相當嚴重



圖 11.安平林木受鹽害影響



圖 12.安平林木受到乾颯影響



## 附錄 2 地表植物名錄

---

### Dicotyledons 雙子葉植物

---

#### Aizoaceae 番杏科

*Sesuvium portulacastrum* (L.) L. 海馬齒

*Trianthemum portulacastrum* L. 假海馬齒

#### Amaranthaceae 莧科

\* *Amaranthus spinosus* L. 刺莧

\* *Amaranthus viridis* L. 野莧菜

\* *Gomphrena celosioides* Mart. 假千日紅

#### Apocynaceae 夾竹桃科

*Cerbera manghas* L. 海檬果

#### Compositae 菊科

\* *Ageratum houstonianum* Mill. 紫花藿香薷

*Artemisia capillaris* Thunb. 茵陳蒿

*Bidens pilosa* L. 咸豐草

\* *Bidens pilosa* L. var. *radiata* Sch. 大白花鬼針

*Gnaphalium purpureum* L. 鼠麴舅

\* *Mikania micrantha* H. B. K. 小花蔓澤蘭

\* *Parthenium hysterophorus* L. 銀膠菊

#### Casuarinaceae 木麻黃科

*Casuarina equisetifolia* 木麻黃

#### Chenopodiaceae 藜科

*Atriplex nummularia* Lindl. 台灣濱藜

*Chenopodium acuminatum* Willd. ssp. *virginatum* (Thumb.) Kitamura 變葉藜

#### Combretaceae 使君子科

*Lumnitzera racemosa* Willd. 欖李

*Terminalia catappa* L. 欖仁

#### Convolvulaceae 旋花科

\* *Cuscuta australis* R. Brown 菟絲子

*Evolvulus alsinoides* (L.) L. 土丁桂

*Ipomoea stolonifera* (Cyrill) J. F. Gmel. 厚葉牽牛

*Ipomoea pes-caprae* (L.) Sweet subsp. *brasiliensis* (L.) Oostst. 馬鞍藤

#### Ehretiaceae 厚殼樹科

*Messersschmidia argentea* (L.) Johnston 白水木

#### Goodeniaceae 草海桐科

*Scaevola sericea* Vahl. 草海桐

#### Lauraceae 樟科

---

---

*Cassytha filiformis* L. 無根藤

**Leguminosae** 豆科

*Alysicarpus vaginalis* (L.) DC. 山土豆

\* *Leucaena leucocephala* (Lam.) 銀合歡

\* *Mimosa pudica* L. 含羞草

*Pongamia pinnata* (L.) Pierre ex Merr. 水黃皮

\* *Sesbania cannabiana* (Retz.) 田菁

\* *S. sesban* (L.) Merr 印度田菁

**Malvaceae** 錦葵科

*Hibiscus tiliaceus* L. 黃槿

*Thespesia populnea* (L.) Solad. Ex Correa 繖楊

**Portulacaceae** 馬齒莧科

*Portulaca oleracea* L. 馬齒莧

**Verbenaceae** 馬鞭草科

\* *Stachytarpheta jamaicensis* (L.) 長穗木

\* *Lantana camara* L. 馬纓丹

*Vitex rotundifolia* L. 海埔姜

---

**Monocotyledons** 單子葉植物

**Gramineae** 禾本科

*Arthraxon hispidus* (Thunb.) 蓋草

\* *Cenchrus echinatus* L. 蒺藜草

*Chloris barbata* Sw. 孟仁草

*Cynodon dactylon* (L.) Pers. 狗牙根

*Dactyloctenium aegyptium* (L.) P. 龍爪茅

*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. 升馬唐

*Eleusine indica* (L.) Gaertn. 牛筋草

\* *Panicum maximum* Jacq. 大黍

*Panicum repens* L. 鋪地黍

*Spinifex littoreus* (Burm. f.) Merr. 濱刺麥

---

符號說明：\* 入侵種

附錄 3 審查委員審查意見回覆表

審查委員	審查意見	意見回覆
陳博士財輝	1. p. 27~28, 造林樹木生長, 林下樹種選擇需考量適當樹種。	謝謝委員指正, 以於文中做修改。
	2. p. 29, $\mu\text{s/cm}$ 未修正 (應為 $\mu\text{S/cm}$ ), p. 30~31 縱橫缺單位。	謝謝委員指正, 已於文中做修改。
	3. p. 32, 風害定義為何? 是否需加上鹽害? (機械加上生理危害)	謝謝委員指正, 已於文中做修改。
	4. p. 33, 紅樹林與半紅樹林有無差異? p. 36, 姜家華等 (1994), 缺文獻。	兩者不同, 半紅樹林類, 非紅樹類另指示應鹽師環境而無紅樹類之長期浸水之生育表現, 如土沉香、黃槿等。
	5. p. 37, 表 12 不宜分頁, p. 38, 根不需加上英文	謝謝委員指正, 已於文中做修改。
	6. p. 41, 表 18 等有效數字? p. 45, 表 23「平均」可否省略或加於表頭; H/D 為何?	謝謝委員指正, 已於文中做修改。
	7. p. 50, 表 28, P 值是否需表示? p. 52, Fisher 字首宜大寫。	謝謝委員指正, 以於文中做修改。
	8. p. 54, 引種樹種紫穗槐...是否為引用文獻?	部分引用錯誤, 文中予以刪除。謝謝委員指正。
	9. p. 59~60, 部分文獻待修改。	謝謝委員指正, 以於文中做修改。
廖教授天賜	1. 新植生態造林調查之範圍, 在工作項目中要說明。	本研究係嘉義林管處轄屬之海岸林(嘉義及台南縣境內)2004年後之海岸生態造林林分。
	2. 鹽度計之型號為	型號為 G-301。謝謝委員指正。

	何。請說明。	
	3. 「林木生理特性」一詞請修正，木麻黃成熟葉之取樣，請補充說明。	配合原計畫書之調查工作，將配合委員修正。木麻黃係採新鮮為木質化之小枝。
	4. 6 個樣區之環境因子是否有差異？請補充說明。	此 6 個樣區主要以有地層下陷的現況做為設立樣區的標準。謝謝委員指正。
	5. 樹冠密度與透光度（透視度）間之相關性或差異，請說明。	樹冠密度包括林木側枝、主幹及葉子部分，而透光度則沒有，因此透視度並非樹冠密度的補數，兩者相加並非百分之百。謝謝委員指正。
	6. 文獻請再核對補齊。	謝謝委員指正。
	7. P. 38 提到光度對葉綠素含量之影響，樣區之光度環境為何？請補充。	樣區為新植 5 年內之造林地，尚未完全鬱閉，光照充足。謝謝委員指正。
	8. P. 46，因素萃取中簡化之主要指標是 4 個或 5 個？	主要指標為 4 個，謝謝委員指正。
	9. 表 25 如何轉軸成 4 個主成分？請補充。	轉軸利用最大變異數法，可參照 p. 46 之最大變異數法轉軸矩陣，謝謝委員指正。
	10. 建議將林木健康評估法簡化為林管處現場人員易懂易用之操作法，對現場管理才有幫助。	謝謝委員指正，以將簡易操作方法補充於內文中。
鄭技正美麗	1. p. 16 樣區有 100*10，也有 20*10m，為何不用標準（20*25）樣區。表 6 「臨海與否」，既為西南沿海，建議以離海岸高潮線距離來表示。	1. 因調查需要前者為調查樣區，後者為永久監測樣區。 2. 為釐清樣區現況影響因素與海岸間的差異。 3. 謝謝委員指正。

	<p>2. p. 39, (3) 不同地區對林下更新苗木...，才新植3年即有更新之可能性嗎？</p>	<p>本處之更新苗，係指為木麻黃林之更新而新植之造林木而樣木為3年生之造林。謝謝委員指正。</p>
	<p>3. p. 61, 附錄照片，僅指出病害，但未明確鑑定何種病害，如何防治？</p>	<p>本處照片為調查現況之實務照片，非病蟲害照片之圖版。謝謝委員指正。</p>