

行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列 100-00-5-17

臺灣南部地區平地造林分氣象危害調查及 改善之研究

The study of meteorological damage investigation and improvement in forest
stands on plains of southern Taiwan



委託機關：行政院農業委員會林務局

執行機關：國立嘉義大學

中華民國 101 年 10 月

【摘要】

本研究針對台灣南部地區所轄 19 處農場平地造林栽植之葉桃花心木 (*Swietenia macrophylla*)、印度紫檀(*Pterocarpus indicus*)、苦楝(*Melia azedarach*)林分進行氣象危害調查，經由嘉義、臺南、高雄及屏東各地樣區直接調查其林分受害情況，藉由林分適應性之指標評估法，利用林木的胸徑、樹高、樹冠幅、樹冠密度和樹冠透視度等 15 項林木表現特徵，評估林木遭受氣象危害時，環境壓力促使外觀適應特徵變化，藉由因素分析歸納出：大葉桃花心木包括土壤與氣溫因素、生長形質、氣象因素、樹冠活力、風害因素、存活率等六項指標解釋總變異數 89.27% 以上；印度紫檀有生長形質、生育地環境、氣象因素、形質與樹冠活力等四項指標，而這四項指標解釋總變異數 86.55% 以上；苦楝則以土壤性質、生長形質、氣象因素、樹冠活力、風害等五項指標解釋總變異數 88.62% 以上；三種樹種再依因素轉軸後之特徵解釋量為評估權重，以加權的方式計算出加權因素分數，做為林分適應性之評估依據，結果顯示目前林分適應性介於持平至良好間，林木生長發育則持續生長間，轄下平地造林林分林木適應性之差異，需配合不同程度之育林撫育，以促進林木持續發育。

【關鍵字】平地造林、氣象危害、適應性指標、因素分析

【Abstract】

In this study of meteorological damage investigated species of *Swietenia macrophylla*, *Pterocarpus indicus* and *Melia azedarach* planting in 19 farms of in forest stands on plains of southern Taiwan. Avoid planting and growth efficiency of age class differences, by investigated their variable adaptation assessment, adaptation assessment of 15 variables from the DBH, TH, crown width, crown diameter, crown density, crown transparency by the appearance of the assessment, the factor analysis to large amounts of data together into the following main factors, *S. macrophylla* grouped into six main indicators of adaptability, edaphic, quality increm, meteorological damage, crown form, wind dam, and livability, and that six components of the total variance of 89.276% or more ; *P. indicus* grouped into four main indicators of adaptability, quality increm, site factor, meteorological damage, and crown form, and that four components of the total variance of 86.55% or more, *M. azedarach* grouped into five main indicators of adaptability, Edaphic, quality increm, meteorological damage, crown form and wind dam, and that five components of the total variance of 88.62% or more, explain to the ground planting trees affected the ability of the new plant is very high, could stand by factors of adaptability indicators eigenvalues explained after the shaft to assess the amount of weight, the weighted way to calculate the weighted factor scores, results indicate the adaptability of forest stands around middle to good, the trees ranged from stagnation to sustained growth and development growth. To find the differences of Nanjing sugar plantation forest stand under the adaptability of the plains, with different levels of tending to promote sustainable forest development.

【 Key words 】 Plains afforestation, meteorological damage, Forest monitoring, Adaptive indicators, Factor analysis

目次

摘要	I
Abstract	II
目次	IV
表目次	VI
圖目次	VIII
I.前言	1
II.前人研究	3
(I)平地造林計畫執行與探討	3
(II)氣象為害	4
(III)森林健康監測	7
III.材料與方法	14
(I)研究材料	14
(II)造林地氣象資料蒐集	17
(III)樣區設置	18
(IV)林木生長調查	21
(V)土壤含水率調查	21
(VI)健康性分析	22
(VII)風害調查	24
IV.結果	26
(I)氣象資料蒐集與彙整	26
(II)林木生長調查	29

(III) 土壤含水率	32
(IV)健康性評估	34
(V)風害調查	48
V.討論	64
(I)選拔適合南部平地造林之樹種及抗風性較強之苗木種類	64
(II)因應氣象危害，建立南部地區平地造林育林作業法	65
(III)改善南部平地造林育林技術，建構優質林相	66
VI.結論	69
VII.參考文獻	71
VIII.附錄	78
審查意見辦理情形表	84

表目次

表 1	嘉義地區 2004 年至 2011 年之氣象資料	17
表 2	臺南地區 2004 年至 2011 年之氣象資料	17
表 3	高雄地區 2004 年至 2011 年之氣象資料	18
表 4	屏東地區 2004 年至 2011 年之氣象資料	18
表 5	臺灣南部地區平地造林樣區現況	19
表 6	大葉桃花心木生長資料表	29
表 7	印度紫檀生長資料表	30
表 8	苦楝生長資料表	31
表 9	各樣區含水率表	32
表 10	大葉桃花心木氣象危害主成分分析之成分變異量	33
表 11	大葉桃花心木氣象危害主成分分析轉軸後因素矩陣結構	34
表 12	大葉桃花心木各樣區適應等級	37
表 13	健康分級之依據	38
表 14	各地區樣區大葉桃花心木健康等級株數	38
表 15	印度紫檀氣象危害主成分分析之成分變異量	39
表 16	印度紫檀氣象危害主成分分析轉軸後因素矩陣結構	40
表 17	印度紫檀各樣區適應等級	42
表 18	各地區樣區印度紫檀健康等級株數	42
表 19	苦楝氣象危害主成分分析之成分變異量	43
表 20	苦楝氣象危害主成分分析之轉軸後因素矩陣結構	44
表 21	苦楝各樣區適應等級	46

表 22 各地區樣區苦楝健康等級株數 ----- 46

圖目次

圖 1	大葉桃花心木造林地外觀	14
圖 2	大葉桃花心木林分內開闊孔隙	14
圖 3	印度紫檀樣區	15
圖 4	印度紫檀造林地外觀	15
圖 5	苦楝造林地外觀	16
圖 6	苦楝造林下林下	16
圖 7	樣區位置圖	20
圖 8	傾斜木測量情形	25
圖 9	風倒木測量情形	25
圖 10	嘉義地區歷年降雨量分佈圖	27
圖 11	臺南地區歷年降雨量分佈圖	27
圖 12	高雄地區歷年降雨量分佈圖	28
圖 13	屏東地區歷年降雨量分佈圖	28
圖 14	生長速度快、樹冠濃密易於風害	47
圖 15	幼齡期之樹幹柔軟抗風能力弱	47
圖 16	大葉桃花心木造林地林下	48
圖 17	大葉桃花心木基部傾斜情形 a	48
圖 18	大葉桃花心木根部生長情形 b	48
圖 19	風倒後遺留在樣區的樹頭	48
圖 20	10 年生大葉桃花心木生長情況	49
圖 21	大葉桃花心木傾斜情形	49

圖 22	大葉桃花心木根部生長情形	-----	49
圖 23	大葉桃花心木風折處	-----	49
圖 24	風倒之大葉桃花心木根部情形	-----	50
圖 25	風倒之大葉桃花心木根部情形 a	-----	50
圖 26	風倒之大葉桃花心木根部情形 b	-----	50
圖 27	風倒之大葉桃花心木根部情形 c	-----	50
圖 28	風倒之大葉桃花心木根部情形 d	-----	51
圖 29	大葉桃花心木天然更新	-----	51
圖 30	林下更新小苗	-----	51
圖 31	林木傾斜遭截幹後萌蘖	-----	51
圖 32	林木傾斜遭伐除後萌蘖基部情形	-----	52
圖 33	風倒後遭截斷後萌蘖	-----	52
圖 34	風倒遭截斷後萌蘖基部情形	-----	52
圖 35	風倒遭截斷後萌蘖又傾斜	-----	52
圖 36	風倒遭截斷後萌蘖又傾斜基部情形	-----	53
圖 37	大葉桃花心木風折之主幹	-----	53
圖 38	風倒之大葉桃花心木	-----	54
圖 39	大葉桃花心木傾斜情形	-----	54
圖 40	傾斜之大葉桃花心木	-----	55
圖 41	大葉桃花心木林分內開闢孔隙	-----	55
圖 42	風折之印度紫檀 a	-----	56
圖 43	風折之印度紫檀 b	-----	56
圖 44	印度紫檀風折情形 a	-----	56

圖 45	印度紫檀風折情形 b	56
圖 46	風倒之印度紫檀 a	57
圖 47	風倒之印度紫檀 b	57
圖 48	傾斜之印度紫檀	57
圖 49	印度紫檀傾斜情形(高雄)	57
圖 50	印度紫檀風折之枝條	58
圖 51	印度紫檀林下風折之枝條	58
圖 52	印度紫檀傾斜情形(屏東)	59
圖 53	傾斜之印度紫檀根部情形	59
圖 54	風倒之印度紫檀根部情形 a	59
圖 55	風倒之印度紫檀根部情形 b	59
圖 56	苦楝風折之枝條	60
圖 57	遭修枝之苦楝枝條	60
圖 58	樣區種植其他樹種的情形	61
圖 59	樣木遭伐除而種植其他樹種	61
圖 60	印度紫檀枝條生長情形	62
圖 61	苦楝枝條生長情形	62

I.前言

林務局自西元 2002 年起全面推動平地造林，目前南部地區之造林林分已發育至快速生長之階段，惟本區因地跨亞熱帶及熱帶氣候區，具明顯乾旱季節及受熱帶氣流之影響，導致此範圍內之林木，飽受氣象因素之危害，因此如何有效解決氣象危害為目前平地造林重要的課題。

臺灣地區常見的氣象災害可概分為風害、雨害、旱害、及寒害等四大類(Yang, 1995)。南部地區林木生長過程中無不受風的影響，微風有助於林木的生長，促進蒸散作用及水分、養分的吸收，但是夏季的颱風、冬季的東北季風等，常導致林木生長不良、樹形傾斜、風折，甚至產生風倒。當風力達到樹木承受的風害極限時，樹木的特定部位無法抵抗風害就會產生風害(Gardiner and Quine, 1994)。導致樹木風害的作用力主要由兩部分組成：風的水平作用力和樹木本身重量產生的重力(主要是地上部之重量)(Fraser, 1962)。水平作用力樹冠中心形成水平壓力使樹幹傾斜，樹幹傾斜則導致樹幹和樹冠的重心偏移，重力作用加劇了樹幹偏移程度。如果風速進一步增加，將造成風倒、風折及樹幹彎曲等危害(孫洪剛等，2010)，因此，臺灣南部地區氣象危害因子以風的影響最為顯著。

風害是導致森林生態系統結構和功能發生變化的重要非生物因素，並對林業生產、社會經濟及人民生命安全造成重大損失。而由於風害的復舊作業耗時費工，顯著增加管理經營之壓力，因此如何有效解決風害為目前平地造林育林技術所需努力的重要方向。本區域經先前之調查，主要造林樹種計有大葉桃花心木(*Swietenia macrophylla*)、印度紫檀(*Pterocarpus indicus*)、苦楝(*Melia azedarach*)、光蠟樹(*Fraxinus formosana*)、茄冬

(*Bischofia javanica*)及水黃皮(*Pongamia pinnata*)等 30 餘種樹種。經現況初勘評估後，發現臺灣南部地區以大葉桃花心木、印度紫檀及苦楝等 3 種樹種，最易受風倒之危害，這些造林植栽受幼齡期之風倒後，雖經扶正，然扶正過程中由於截幹或斷根，導致後期形質生長及易受二次風倒之壓力。

若充分了解平地造林相關之氣象環境，將能使其轉為一項氣候資源並加以利用，除可進一步探究氣象災害損失與風險評估、開發相關防護與栽培管理措施，亦可因應異常氣象災害以減輕損失，同時使林業經營上符合適地適作及適時適作之要求。而前述氣候資源意指林木發育過程之自然狀態，可由各種如日照、氣溫、降水與風等氣象因子，然該等氣象因子常會隨地域不同對平地造林造成不同限制，如高緯度、高海拔地區與中、低緯度、低海拔地區分以氣溫與降雨為主要限制因素(Hsu, 1989)，因此臺灣林木受寒(霜)害、風害、積水害之頻率很高，具有地域性及季節性(Tseng et al., 1986)。Yang(1995)指出從 1945 至 1993 年間，臺灣地區農業災害的估計損失高達新台幣九百餘億元，其中農業氣象災害所佔比例達 97 % 以上，因此農政單位及各試驗單位，亟需針對農業氣象災害問題進行研究，採行有效的管理策略或防治措施，以降低農業氣象災害的損失。

由於平地造林計畫成效卓著，政府將持續推動平地造林政策，因此為避免氣象危害持續影響林分生長發育，本研究擬於臺灣南部地區平地造林林分受氣象危害之受害現況調查，包括乾季與雨季，影響林木生長遲滯之生理表現，颱風侵害之受害現況，復舊作業及其恢復後與風害適應可能的關係。本研究成果為基礎，提供相關單位有關平地造林之建造、撫育等措施，並建立平地造林育林作業之作業體系。

II. 前人研究

(I) 平地造林計畫執行與探討

政府自 2002 年起開始推動「平地景觀造林及綠美化方案」，該方案之重點工作即為「平地造林」，過去台灣並不重視平原地區之造林工作，使得平地綠資源十分缺乏（陳阿興、陳麗美，2001），若平地造林工作推動順利，未來將能提供各界綠化造林之需，而藉由妥善規劃綠地空間，積極植樹綠化，再結合產業、人文與景觀，發展休閒農業，亦能為農民與農村帶來新的契機。「平地造林」的觀念並非我國獨創，歐洲早已盛行；以德國為例，往昔德國境內的森林分布甚廣，平地森林很普遍。至十六、十七世紀，森林逐漸被開發利用，至十八世紀德國森林大部分被破壞殆盡後，許多有志人士才開始鼓吹保護森林大自然之思想，並成功昇華成國家級的森林復育運動（林文鎮，1997a）。而在 1990 年代，歐洲最引人注目之林業發展趨勢為農地的森林化（即農地造林），在德國境內處處可見草地、旱田栽植闊葉樹之情景，而非將森林開發成社區建築、渡假區或其他超限利用的情形，德國不僅森林區的伐木跡地必須復舊造林，在都會區也必須確保相當比例的森林綠地（Romm, 1994；林文鎮，1997b）。

政府透過「平地造林」之政策設計來降低作為農業生產之農地面積，以減輕農業生產潛能，並穩定農產品價格，另外，透過平地造林政策亦能達到休耕與荒廢農地面積之降低。另一方面，平地造林政策亦增加平原地區之森林面積以改善生態環境，並可同時增加景觀綠地。平原地區綠資源覆蓋率若能增加將能創造好的休閒農業的環境，以及創造好的優質環境，而提升農民的生活品質（行政院農業委員會，2001）。平地造林政策的構

想就是在這樣的背景下產生，輔導農地調減生產並推動轉作造林，是我國加入 WTO (World Trade Organization)後符合國際規範可採行的綠色措施之一。政府推動平地造林政策之實施，將能有效提升對農地之需求，降低休耕及廢耕的面積，有效提升農地利用效率，減輕加入 WTO 農產品產量過剩與產銷失衡的問題。

台灣近四十年來，因平原地區人口集中，都市及鄉鎮土地過度開發與不當違規使用，周遭農田亦逐漸消失，導致嚴重空氣及水質污染、地層下陷、野生動物棲地破壞、水資源耗竭等，致生態環境日漸惡化，對國家永續發展造成負面之效應（林國慶等，1998）。關於平地造林計畫之主要政策目標包括如下：第一主動規劃並輔導農民及農企業造林，配合給予獎勵與補助，提高其造林意願，藉以減少農地休耕面積，並紓解農產品產銷失衡的現象；第二增加平地造林綠化面積，發揮森林公益性之效能，改善生活品質，增加民眾戶外休閒空間。平地造林政策之預期效益共分三項，包括維護生態環境、提升農民所得及提供未來國內市場木材之供給。綜合上述之政策目標與預期效益，平地造林政策之預定目標為減少農地休耕面積、紓解農產品產銷失衡現象、維護自然生態增加平地綠色面積、維護農民所得、與提升未來木材自給率(林國慶，2003)。

(II) 氣象為害

臺灣南部地區農業氣象災害發生潛勢影響臺灣地區氣候變化的重要天氣系統可概分為東北季風、鋒面、大陸冷氣團、華南雲雨區東移、颱風(含其外圍環流)、熱帶性低壓、低壓帶及西南氣流等(Liao, 2002)，而當此等天氣系統通過臺灣全境區域，常於全境或局地出現短暫或持續數天之天

氣驟變情形，致風害、積水危害、寒害等農業氣象災害時有發生，或部分焚風亦使區域林木生長受阻。臺灣南部地區之各類農業氣象災害中，以強風、雨害、寒害、旱害、焚風害等最為常見(Kuo et al., 2004)。

近十年間，中南部縣市颱風害和雨害發生率皆超過 70%，臺灣南部地區農業氣象環境受地形、季風、海洋及大陸相關位置之交互影響，使其局部地區變異甚大，而由農業經營進行區分，本地區氣象環境應以西南部氣候區域為主，即冬季期間為乾旱、低溫、多風及偶發寒潮，夏季期間為多雨、高溫及數次颱風侵襲。唐琦與徐森雄(2007)初步以致災指標評估臺灣南部地區常見之農業氣象災害發生潛勢：強風為平均風速達 $4\sim 5\text{ ms}^{-1}$ 以上者；雨害為單場降雨達 100 mm 者；寒害為氣溫低於 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之持續時間達 5 小時者；旱害為逐月降雨量與其平均年雨量之值比例低於 50% 以下者；焚風害為颱風路徑沿臺灣西岸或臺灣海峽北上，且氣溫高於 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 者。

臺灣南部地區全年氣流均受季風及區域局部環流盛行影響，根據氣象局統計 1996~2005 年於嘉義、臺南及高雄三個氣象站之平均風速、最大風速及最多風方向，得知南部地區夏季期間有西南季風盛行，晚秋至翌年初春期間則有風向為北之氣流盛行，各月平均最大風速均大於 6 ms^{-1} 。且時有熱帶低氣壓或颱風侵襲，或遇強烈大陸冷氣團過境，則於濱海區域亦會出現強風，此可由嘉義、臺南及高雄三個氣象站於 1996~2005 年內之最大陣風風速分為： 31.7 、 34.7 及 31.4 ms^{-1} 得知。南部地區之強風出現會直接造成林木倒伏、折枝、落葉與落果，濱海區域會出現鹽霧及飛沙直接使林木受損與生長受阻，因此若能對強風進行防護，將有利於農業經營。臺灣全境於夏季期間所出現之熱帶低氣壓或颱風中心附近平均風速多逾

17.2 ms⁻¹，冬季期間之東北季風平均風速則常達 10 ms⁻¹，瞬間風速有時可達 30 ms⁻¹。當風速愈大即表氣流所產生之風害愈大，林木幾乎無法避免受損。加上瞬間風向多變化，使強風防護困難。幸臺灣南部地區東有中央山脈屏障，使得該區域內東北季風、熱帶低氣壓與颱風環流之風速顯著降低，僅當臺灣東北部受颱風環流影響會誘導臺灣西南部出現旺盛西南氣流(Chen, 1990)與颱風路徑為 7~9 之颱風會直接侵襲臺灣南部外，餘者雖偶有強風出現，但因林木輪作及產期調整，風害並不明顯。

積水危害係指林木生長發育期間因多雨而引發災患者，如梅雨期間即因持續降雨與農地過度浸水而引起林木根部泡水腐爛。又當積水過久則隨之發生根腐立枯，此係受臺灣南部地區乾濕期明顯，及濱海區域地層下陷排水不順暢區域，致發生豪雨時常無法順暢排除積水因而產生雨害，並造成嚴重的農業損失。依中央氣象局對豪雨定義為：每小時的雨量超過 15 mm 的連續性大雨，且日雨量超過 130 mm 以上者。而臺灣南部地區常於梅雨期間滯留鋒面，或因華南雲雨區東移、颱風環流及西南氣流而引發前述之豪雨，進而形成雨害。Hsu and Hsieh (1993)指出臺灣西南部地區之降雨，於入春之 4 月雨量稍有增加，平均最多可達 100 mm，5 月進入梅雨期雨量最多可達 530 mm，6~9 月為梅雨後半期及受到颱風或海洋性西南氣流影響，雨量豐沛，平均單月最多可達 1,169 mm，而入秋之 10 月雨量銳減至 300 mm 以下。再就臺灣南部地區受緯度偏低之影響，當西南氣流盛行時，山區造成之地形雨在年降雨中所佔份量最大(Hsu, 1984)，故夏雨期間出現豪雨頻率最高，尤以 6 月之危害最多(Chi, 1964)。臺灣地區於 1959~2001 年期間有 82.9 %之致災豪雨發生在 5~9 月間，25 %發生於 6 月，平均延時為 3.4 天(Wu et al., 2002)，顯示 5~9 月期間應加強防範雨害。

台灣西南部夏季平地高溫可以超過 35 °C，冬季低溫平地 and 山區可能分別低於 5 °C 和 -5 °C 以下。日夜溫差夏季平均約 7-9 °C，冬季平均約 8-11 °C，沿海地區整年約維持在 6 °C。夏季受天空雲量增多之影響，山區日射量顯著低於平地。各地最大瞬間陣風風速皆有可能會超過 8 級風(輕度颱風標準)。依災損金額區分，本地區主要氣象災害依序為颱風害、雨害、寒害、冰雹害、旱害、以及焚風害。主要致災因素仍是因為雨量過大所造成。臺灣西南部地區全年降雨多集中於 5 月至 9 月間，5-6 月以梅雨為主，7-9 月之間則以熱雷雨、地形雨和颱風雨為主。長期降雨或瞬間大雨對於林木生長影響甚大，除了可能因雨點打擊葉片和淹沒及沖毀田地而造成直接損害之外，也會導致土壤過濕而對作物產生傷害。降雨時表土中的水分若無法迅速導入較深的土層，或進入地下排水層中，導致土壤中存在過多的水分，林木根部因土壤中氧氣濃度不足而受到傷害，葉片將不易得到足供蒸散的水分而萎凋(Gliński and Stepniewski, 1985; Iwata et al., 1990; Yang et al., 2002)，進而因遭受淹水逆境傷害 (Ismail and Noor, 1996; Grichko and Glick, 2001; Liao and Lin, 2001)。

(III) 森林健康監測

關於森林健康一詞，由於研究切入的觀點及使用方法上的差異，致使我們常常可以看到的包括有林木健康(Tree health)、森林健康(Forest health)和生態系健康(Ecosystem health)等名詞，三者由字面上看來，意思近乎雷同並且息息相關。森林健康是源自於生態完整性的概念 (Kenneth et al., 2009)，在生態系經營中所強調的是生態系的永續經營及其健康性或完整

性，並保持森林良好的特性和更新的狀態，一個能夠稱為完整且健康的生態系中，一定包含整座森林的健康，而其中林木的健康與否，直接的影響到了森林整體的健康。而一個健康的生態系不應該長時間存在某些特徵，像是森林生產力降低、生育地養分流失、林分遭受嚴重病蟲害及生物多樣性減少等(Kolb et al., 1994)。所以關於森林健康與否應考慮到整個生態系統的完整性而非就單一面向去判別，如果只就單一面向下去定義，就無法完整解釋生態系本質是否健康。

然而，森林健康的定義也包含自我恢復能力的概念在內，一個被稱作是健康的森林是能夠容忍改變的，也包含了森林本身的生產力及森林環境改變後可以恢復的能力。森林本身對外界的壓力具有一定程度的抵抗能力，且能滿足人類社會所要求的具有涵養水源、提供木材和野生動物棲息環境、自我更新及其他多樣化需求 (邱祈榮、聶齊平，2000)。而美國林務署(USDA Forest Service, USFS)則是將森林健康定義為「森林在提供人類所需之餘，仍維持一定複雜性、多樣性和生產力的狀況」(USDA Forest Service, 2002)。

森林健康的概念雖然被廣泛的使用，但在不同尺度下所定義的健康，在應用上卻沒有一個統一完整的定義及作法 (劉玲華，2005)。會因為所調查之不同林分狀況而採取不同的調查方式。採取單木監測背景 (小尺度)，單木的枯死是林分健康的關鍵，針對單株林木有無嚴重衰退情形進行調查；而以林分監測背景，其關鍵在調查林分整體死亡和生長是否維持在正常穩定範圍內，是否能夠達成林木生長、更新與林木死亡間的平衡。

林業發達後，天然林或原生林逐漸減少，取而代之的是依經濟原則施業經營的人工林，其結果單純林、同齡林逐漸增加，致破壞天然平衡的作

用，對於風、雷、火災、病蟲害的抗力薄弱，增加災害發生的嚴重性。森林保護係在防除足以造成林木生長及發育上的各種災害。各種自然因子，對於植物生長有著密不可分的關係，若氣候不正常，顯現出非屬林木生長所需的氣候條件，則林木自幼苗至成熟的生育過程中，常有遭受氣象為害之慮，使林木生長受阻、衰萎、甚至死亡。氣象造成林木的損失最大莫過於風害。林木的風害有季風與颱風。颱風來襲可為害山區林木，而季風則以為害沿海防風林。另外溫帶地區發生的空氣污染，會使得大氣中存在著多種有害物質，如二氧化硫(SO₂)、氮氧化物(NO_x)可以和水混合而成酸雨的酸性氣體，二氧化硫、二氧化氮溶於空氣中的水份，形成酸雨、酸霧、酸雪，或直接溶於水體（湖泊、溪澗），降低水土酸鹼度，使植物和水中生物死亡。降於土壤中則會溶出土壤中的重金屬元素，聚集在樹木根部妨礙林木的生長，使種子發芽與苗木生長受害，酸雨的污染氣體造成葉面的腐蝕作用，損害葉綠素，產生壞疽與斑點等。

Jurskis (2005)表示任何因素造成林木受害或是損傷的情形都可稱為林木劣化，以美國林務署將其定義為林木長時間處於受害條件下稱之。羅時凡(2007)整理文獻歸納相關的林木劣化的理論：(1)生育地中不利的氣候或不適宜的土壤為造成林木易感染的因素；(2)當林木發生劣化時，影響了適合林木生長的基因；(3)菌類植物及昆蟲會促成林木劣化；(4)林木根部的衰退較林木的冠層早；(5)林木易在幼齡期生長至成熟期時漸漸開始劣化。林木受到長期的逆境導致生育環境的變化由原本適合該林木之環境漸漸轉化成適合逆境生物的成長，生育地改變誘發生物反應使得該林木根部活力降低而增加無法負擔的葉子之淘汰，逆境持續性地作用使剩餘的葉子取得之能量無法負擔根部的需求，導致逆境的影響更加劇烈，造成更多

的落葉至林木死亡。其中逆境包涵非生物逆境(強風、森林火災、人為設施與空氣汙染等)和生物逆境(真菌寄生、昆蟲啃食莖葉及木材鑽孔等)，可知逆境的發生常為多種因素同時影響所產生的結果，涉及多個層次面向。

在現今的社會，在地生存條件與生活形式越來越受到來自外地因素的影響。當前為人所熟知的溫室效應、各式傳染病毒、經貿活動等現象或問題不再是侷限於一個特定的時空，而是以全球的範圍在不斷發生。現今社會經濟結構的轉變，加上地球溫室效應日漸趨於嚴重，要如何有效掌握森林變化的過程、概況與預測森林未來發展方向並同時間維持生物多樣性，建立長期林生態系健康的監測系統有其重要性，Ferretti (1997)認為建立森林健康監測與評估對於環境政策與環境資源經營具有其正面性的價值。監測一個尚未遭受汙染或是破壞以前的森林生態系對於森林健康來說是相當的重要的，它可以提供基礎資料(Baseline data)以便察覺現況的變化及推測未來的趨勢，但是必須要是長期並且持續性，利用大尺度的監測計畫去紀錄。在監測計畫中的所有測量因子，全部必須是可以被數據化的，而最理想的情況就是利用儀器去測量所有可能會有影響的因子，並且客觀的歸納出當地的指標因子。指標必須要具有可以被測量或評估的特性，才能用來推估目標環境所含資源的狀態及趨勢(陳家玉，2003)。

健康監測指標發展的過程，主要由森林生態系整體社會及環境著手，這些評估議題主要依賴概念上的模式，來鏈結森林健康指標，此方法是評估生態系典型的方法之一，而指標資料的整合，為森林健康監測評估，重要及複雜的構成要素，其結果可進一步瞭解森林健康狀態，森林健康普遍使用的指標是視覺判定(Visual Estimator)，葉、樹枝、樹幹和根的視覺調查(Visual Inspections)可顯現出林木遭受壓力所反應出來的指標，其中樹冠

判釋較其他視覺指標廣泛的使用(王兆桓、陳子英, 2002)。健康指標的建立未來極有潛力成為研究林木健康及了解衰退現象的最佳工具, 以建立森林健康指標, 並為林木健康預警提供更多元化之資訊來源。

指標是一種參數或由參數所導出的數值, 作為提供資訊、描述現象、環境、地區的狀態, 並促使複雜現象得以經由簡單的資訊量化, 建立溝通的管道與數值的分析, 對某種狀況給予數據或判斷, 藉以顯示該狀況的水準, 此外指標亦是一種簡化資訊的產物, 可以將繁雜的資訊簡化成有用的資訊, 方便決策者進行決策分析(林裕強, 2001)。森林健康監測所選用的指標中, 無任何指標在初期階段就可達到核心階段, 所考量的指標取決於自身的經驗, 及在野外一再的進行試驗, 將指標進行修改, 並精確的修正指標, 有助於建立指標評估的有效性。而指標的選定和評估是經由文獻回顧、野外試驗及專家意見作為選訂指標的重要依據(陳家玉, 2003)。

林木健康狀態的程度, 可以用不同的指標變數來描述, 歐洲與北美森林健康監測在評估林木健康所使用的變數, 是以樹冠狀態指標為主, 包括樹冠透視度、樹冠密度及樹冠梢枯等指標變數, 作為不同健康程度的分類(Alexander and Palmer, 1999)。美國國家森林健康監測 (Forest Health Monitoring, FHM) 計畫, 將林木的胸徑及樹冠狀態分成苗木(Seedling)、幼木(Sapling)及林木(Tree)三個階級來做不同的監測調查(Conkling and Byers, 1993): 調查指標有 8 項: 樹冠狀態(Crown condition)、臭氧損害(Ozone Injury)、樹木傷害(Tree damage)、樹木死亡(Tree mortality)、地衣群落(Lichen communities)、林地木質殘體(Down woody debris)、植被歧異度與結構(Vegetation diversity and structure)及土壤狀況(Soil condition)。利用森林土壤、林地木質殘體和樹木生物量, 以估算碳吸存量和模擬不同經營策

略。林業經營人員則利用森林結構和林地木質殘體資料，以鑑定高危險度林火地區和預先處理減少林火發生的機會。土地經營者則利用下層植生資料以追蹤入侵植物種類可能增加的機會。利用地衣群落組成、樹木傷害和樹冠狀況的資料來呈現森林健康的概況、空氣品質與酸雨沉降的可能影響 (Stolte et al., 2002)。

林木健康狀況程度可以用不同的變數來描述，歐洲與北美 FHM 在評估林木健康所使用的變數以樹冠狀況為主，有的以樹冠密度 (Crown density)、樹冠透視度 (Crown transparency) 或樹冠梢枯 (Crown dieback) 等單一變數作為不同程度之分類 (Alexander and Palmer, 1999)。同時以樹冠密度大於 50%、樹冠透視度小於 30% 及樹冠梢枯小於 20% 作為林木健康之門檻。然而樹冠密度及樹冠透視度兩者精確測量困難度高，許多因素影響分類，包括觀測者經驗、觀測者偏見及林木外觀等，因此目前實際技術並無精確的測定方法，容易受人為主觀而造成測量的誤差，這些因素可藉量化而降低其影響性 (Metzger and Oren, 2001)。

歐洲林業先進國家自 1984 年開始進行大面積的森林健康狀況調查，主要目的在於瞭解森林遭受空氣污染的影響情形，而美國在 1990 年則由林務署與環保局共同發展森林健康監測計畫，採取大規模系統取樣，進行國家層級之森林生態系健康監測，其目的在於獲得森林生態系現況、變化和長期趨勢的資訊，以了解環境變遷對森林生態系的影響 (Smith, 2002)。目前國內雖未像歐洲及美國等進行大規模的樣區調查，且在臺灣森林永久樣區大多屬於個別性，通常調查項目僅針對森林蓄積、土地民用、野生動物、遊憩、森林土壤等方式，並無類似國外整體性之樣區，如森林資源調查與森林健康監測共同執行 (羅時凡等, 2009)。研究大多是針

對個別的特​​定林分來做監測。採用方法則是依照美國 FHM 進行森林健康調查的方式，測量並利用可能影響林分之因子來進行健康性評估。而永久樣區內的調查監測指標參數，可能環境區域之不同，而不能全面引用國外之調查模式及指標項目。

國內研究最早由陳子英(2000)學者調查臺灣油杉成熟木健康狀況及小苗更新狀況，採用鑑別分析(Discriminate analysis)篩選解釋變數進行林木健康分級，透過因素分析(Factor analysis)給予林木較客觀的健康分級，由此慢慢發展至今。往後已有研究報告開始在健康性評估中加入了有調查相關的樹冠因子，例如陳家玉(2003)調查棲蘭山老熟檜木健康狀況，調查檜木群之樹冠變數、視覺輔助變數及主體木競爭指數等，利用因素分析及鑑別分析，以期建立目前棲蘭山神木園區中老熟檜木巨木群之健康監測的基準線。而邱柏瑩(2003)則是針對南臺灣四縣市木麻黃防風林進行健康調查，此為首次將健康性評估研究應用在臺灣沿海之防風保安林林木上，對防風林分歸類了五項健康活力因子(葉部活力指數、根部損傷指數、葉部蟲蛀指數、樹冠活力指數及樹冠的損傷指數)，於分析上進一步使用逐步鑑別分析(Stepwise discriminate analysis)探討各解釋變數的重要性。

劉玲華(2005)學者則對於往後臺灣森林健康調查有著以下的建議：其中近程研究以檢核監測所需技術為主，尤其是有關樹冠變數的測計與評估，以建立林木健康指標現況的基準線；中程研究目標以評估監測所需技術為主，針對健康指標異常變化的林木，再進一步調查其嚴重程度及是否有快速衰退而需要特別關注的情形；長程研究目標以密集監測所需技術為主，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、土壤及酸雨等環境因子，討論和其變化相關要素的生態過程。

III.材料與方法

(I) 研究材料

臺灣南部地區經先前之調查，主要造林樹種計有大葉桃花心木、印度紫檀、苦楝、光蠟樹、茄冬及水黃皮等 30 餘種樹種。經現況初勘評估以大葉桃花心木、印度紫檀及苦楝等 3 種樹種最易遭受氣象危害。

1.大葉桃花心木

大葉桃花心木 (*Swietenia macrophylla*)，楝科常綠喬木，因木材呈現桃紅色紋路，而得名。樹高一般在 25 m 以上，互生偶數羽狀複葉，花序頂生或腋生圓錐，花期 3~4 月，開花後一年結蒴果，每顆果實約含 45~70 粒種子，種子呈深褐色，具有長翅。原產於拉丁美洲，廣泛分布於墨西哥至巴西東部的大西洋沿岸。台灣最早於 1901 年由日本植物學家田代安定引進，試種於林試所恆春分所，生長良好(圖 1)。因此，在台灣中南部低海拔地區大量推廣造林，成為台灣主要造林樹種，分布面積為 3,110.5 ha，生長快速但易受氣象危害，林間已發生孔隙現象，部分入侵雜草蔓藤叢生，影響林分之健康發育(圖 2)。



圖 1. 大葉桃花心木造林地外觀



圖 2.大葉桃花心木林分內開闢孔隙

2. 印度紫檀

印度紫檀(*Pterocarpus indicus*)為蝶形花科，落葉大喬木，高 20-25m，樹皮黑褐色，樹幹通直而平滑。葉為奇數羽狀複葉，小葉互生。總狀花序；花黃色，蝶形；莢果扁圓形，中央肥厚內藏種子，周緣為薄翅，為高級傢俱和裝飾用材，其材質紋理殷紅高雅俗稱紅木，常栽植為景觀樹或行道樹。



圖 3. 印度紫檀樣區



圖 4. 印度紫檀造林地外觀

印度紫檀幼苗期生長不需要全日照，對大氣污染的敏感性反應，提供大氣污染的環境進行園林綠化，生態公益林營造提供參考。南部平地造林之幼林生長表現良好(圖 3)，提高造林措施和加強幼林的撫育管理可提高幼林的成活率和適存率，印度紫檀有較強的適應能力，能適應雲南熱帶的氣候與立地條件(張燕，2009；史鴻飛等，2010)(圖 4)。

3. 苦楝

苦楝 (*Melia azedarach*，又稱 China berry)，楝科植物中的著名樹，又稱苦苓，其果實川楝子可入藥。落葉喬木，高可達 20 m，2-3 回羽狀複葉，互生；卵形或橢圓狀卵形小葉多數，邊緣有缺齒或粗鋸齒；苦楝的樹皮呈暗褐色，有淺縱裂紋；春夏之交開淡紫色花，圓錐狀聚繖花序，花絲合成細管，花芳香；10 月果熟，核果球形熟時橙黃色。



圖 5. 苦楝造林地外觀



圖 6. 苦楝造林下林下

生長期喜全日照，對大氣污染的敏感性反應，提供大氣污染的環境進行園林綠化，生態公益林營造提供參考。南部平地造林之幼林生長快速(圖 5)，提高造林措施和加強撫育管理可提高成活率和適存率(圖 6)。何坤益與柯乃瑛(2010)研究苦楝族群遺傳多樣性。發現台灣各氣候區之族群間已有分化趨勢，其氣候區之影響已達 19.30 %。顯示族群遺傳變異與氣溫、日照時間與地理距離有顯著關係，表現各地區族群的遺傳變異受氣候區之影響。綜言之，氣候區之族群繁殖與散佈受到氣候環境之影響，而表現族群遺傳多樣性。

(II) 造林地氣象資料蒐集

本研究將蒐集自 2004 年以來，南部地區之日照、溫度、風、降雨、乾濕季節等氣象資料(表 1-4)，採用之氣象站的基本資料如下：

- 1.嘉義：嘉義氣象站(嘉義市北新里海口寮路 56 號)。
- 2.臺南：臺灣南區氣象中心(臺南市中西區公園路 21 號)。
- 3.高雄：高雄氣象站(高雄市前鎮區漁港南二路 4 號)。
- 4.屏東：恆春氣象站(屏東縣恆春鎮天文路 50 號)。

表 1.嘉義地區 2004 年至 2011 年之氣象資料(中央氣象局，2012)

年份	年雨量(mm)	年均溫(°C)	年均日照時數(hr)
2004	1411.00	23.22	199.25
2005	2985.60	23.20	169.00
2006	2317.80	23.76	174.53
2007	2063.90	23.83	176.45
2008	1610.00	23.86	173.48
2009	1826.50	23.71	177.73
2010	1532.50	23.58	175.02
2011	1021.70	23.13	156.41

表 2.臺南地區 2004 年至 2011 年之氣象資料(中央氣象局，2012)

年份	年雨量(mm)	年均溫(°C)	年均日照時數(hr)
2004	1107.90	24.61	195.51
2005	3148.50	24.57	168.56
2006	1867.20	24.98	170.11
2007	2207.30	24.94	178.43
2008	1950.00	24.52	174.46
2009	1366.60	24.83	192.61
2010	1779.20	24.63	177.30
2011	1218.80	23.98	164.43

表 3. 高雄地區 2004 年至 2011 年之氣象資料(中央氣象局，2012)

年份	年雨量(mm)	年均溫(°C)	年均日照時數(hr)
2004	1439.50	25.19	214.51
2005	2821.40	25.03	194.11
2006	2045.50	25.67	188.43
2007	2194.00	25.45	197.08
2008	2591.30	25.13	190.21
2009	1756.30	25.36	210.26
2010	2160.70	25.41	198.20
2011	1796.70	24.91	178.06

表 4. 屏東地區 2004 年至 2011 年之氣象資料(中央氣象局，2012)

年份	年雨量(mm)	年均溫(°C)	年均日照時數(hr)
2004	1549.50	25.12	199.30
2005	2339.10	25.03	181.19
2006	1690.19	25.89	191.14
2007	2139.80	25.75	190.13
2008	2004.50	25.36	180.43
2009	1854.30	25.39	184.83
2010	2421.20	25.35	169.68
2011	2597.00	24.67	152.89

(III) 樣區設置

樣區位於台糖公司所轄嘉義南靖(嘉義縣水上鄉，嘉義區處)、臺南白河(臺南縣白河鎮，臺南區處)、高雄九鬮(高雄市阿蓮區，高雄區處)、屏東新赤(屏東縣萬巒鄉，屏東區處)及屏東四林(屏東縣潮州鎮，屏東區處)等農場(表 5，圖 7)，每處樣區(同一造林案號)隨機選取具代表林分 3-5 處 10 m × 20 m 之小區(面積 0.02 ha)。

表 5.臺灣南部地區平地造林樣區現況

樣區編號	樣區座標(x,y)	造林樹種	所屬農場
嘉義 1	(183428,2591285)	大葉桃花心木	嘉義南靖農場
嘉義 2	(186271,2590317)	印度紫檀	嘉義南靖農場
嘉義 3	(178942,2592002)	苦楝	嘉義南靖農場
臺南 4	(192264,2580267)	大葉桃花心木	臺南白河農場
臺南 5	(191223,2580525)	大葉桃花心木	臺南白河農場
臺南 6	(192264,2580442)	印度紫檀	臺南白河農場
臺南 7	(191578,2580476)	印度紫檀	臺南白河農場
臺南 8	(191339,2581189)	苦楝	臺南白河農場
高雄 9	(181459,2528857)	大葉桃花心木	高雄九鬮農場
高雄 10	(180450,2525917)	大葉桃花心木	高雄九鬮農場
高雄 11	(181291,2528929)	印度紫檀	高雄九鬮農場
高雄 12	(180674,2528673)	印度紫檀	高雄九鬮農場
高雄 13	(180683,2528507)	苦楝	高雄九鬮農場
屏東 14	(210963,2496504)	大葉桃花心木	屏東新赤農場
屏東 15	(210354,2492621)	大葉桃花心木	屏東四林農場
屏東 16	(210963,2496504)	印度紫檀	屏東新赤農場
屏東 17	(210220,2500413)	印度紫檀	屏東新赤農場
屏東 18	(210963,2496504)	苦楝	屏東新赤農場
屏東 19	(210354,2492621)	苦楝	屏東四林農場



圖 7.樣區位置圖

(IV) 林木生長調查

本研究針對林木的生長表現及現況評估進行調查，林木生長活力通常表現於直徑生長、高生長及冠幅生長，利用測量工具(直徑尺、測高桿及皮尺)進行單株林木基本資料調查，測量項目如下：

- 1.胸高直徑(DBH)：使用直徑尺於胸高 1.3 m 處測量之。
- 2.樹高(TH)：使用伸縮測高桿測定之。
- 3.樹冠直徑(crown diameter)：使用皮尺量測其樹冠距林木中心點之東西南北四個方向之長度平均。

(V) 土壤含水率調查

土壤基本資料之蒐集，為了解土壤中水分含量之多寡，故於每一樣區隨機選定 4 處土壤取樣點，利用土壤取樣器進行土壤樣本的取樣，分別挖取深度 0-10 cm(表土)及 20-30 cm(底土)土壤製備為樣本 (陳仁炫、鄒裕民，2009)。各監測樣區之土壤含水率皆進行 3 重複。

土壤樣本取回後，即秤取 10 g 土壤，置入乾淨附蓋秤量瓶中，並置於烘箱內，以 105 ± 5 °C 乾燥至恆重。含水率計算公式如下：

$$\text{土壤含水率} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100\%$$

m_0 ：含蓋秤量瓶重(g)

m_1 ：含蓋秤量瓶及原土重(g)

m_2 ：含蓋秤量瓶及烘乾土重(g)

(VI)健康性分析

1.健康性調查

依加拿大林木生長形態之評估調查方法 (USDA Forest Service, 2002)，以視覺辨識協助輔助判視：

- (1)樹冠直徑(crown diameter)：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。
- (2)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(main stems)、側枝(tree branch)及樹冠葉片部分，亦為葉密度(foliage density)。本研究以目視法判定林木樹冠密度之百分比。
- (3)樹冠透視度(crown transparency)：觀測方式為活樹冠且具有葉片透光部分之百分比，扣除林木側枝及主幹。觀測方式需 2 位觀測者站在距離樣木 1/2 樹高以上之距離，且與林木相交之角度約 90°，利用樹冠透視表作為辨識標準之依據。簡而言之，樹冠透視度為光線穿透部分之樹冠面積的百分比。
- (4)南向樹冠(S)之長度：主風偏倚方向，以皮尺量測其南向樹冠距林木中心點之長度。
- (5)北向樹冠(N)之長度：主風迎風方向，以皮尺量測其北向樹冠距林木中心點之長度。

2.統計分析

將調查變數使用 SPSS 12 統計套裝軟體進行統計分析：

- (1)主成分分析：各變數求相關矩陣以估計共通性。保留特徵值大於 1 之共同因素、特徵值大於 0 之共同因素及抽取之因素能解釋 75 %之變

異量，決定因素的數目。

$$X'=(X_1, X_2, \dots, X_k)$$

$$E(X)=\mu, \quad V(X)=\Sigma=\begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} \dots & \sigma_{1k} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} \dots & \sigma_{2k} \\ \sigma_{k1} & \sigma_{k2} \dots & \sigma_{kk} \end{pmatrix}$$

(2)因素分析：降低變數數目並分析影響原始資料的共同因素，其函數如下所示。

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

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

$$\varepsilon'=(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_k) \quad A=\begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} \dots & \sigma_{1k} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} \dots & \sigma_{2k} \\ \sigma_{k1} & \sigma_{k2} \dots & \sigma_{kk} \end{pmatrix}$$

因素分析隸屬於探索性因素分析 (exploratory factor analysis)，其目的是希望能夠降低變數的數目，在一群具有相關性的資料中，找出幾個影響原始資料的共同因素。由這些彼此相關的變數中找出其中真正影響結果的主要因素，而抽取變項中的共同因素，對因素的萃取、因素的數量、因素的內容，以及變項的分類，研究前都沒有事先的預期(勞泰生，2006)。

(3)鑑別分析

林分適應分級依據因素轉軸後之特徵值解釋量為權重，以加權的方式計算加權因素分數(x)，再將 x 值標準化後得到 x' 值，將每個樣區樣木的 x' 值加總後，除以樣區株數就等於適應指標平均值(y)，而 y 值再乘以 \sqrt{n} ，得到 Z_0 值； Z_0 減 \sqrt{n} 為 Z_1 值； Z_1 值減 \sqrt{n} 為 Z_2 值，即 Z_0 減 $2\sqrt{n}$ 。最後進行林分健康單尾檢定，以 Z_0 小於 1.645 者為林木健康； Z_0 大於 1.645 者為輕度不健康； Z_1 大於 1.645 者為中度不健康； Z_2 大於 1.645 者為重度不健康。

鑑別分析之數關係式如下所示： $A=f(X_1, X_2, \dots, X_k)$

A：林分健康程度 $X_1 \dots X_k$ ：k 個分析性解釋變數

(VII)風害調查

導致林木發生風害的因素很多(圖 8-9)，主要有以下幾個方面：

- 1.樹種特性：不同樹種的生長速度、樹冠特徵、樹幹物理性質及根系生長特性不同，其抗風能力也有所差異(Noda, 1993)。
- 2.林齡：隨林齡的增長，樹木抗風能力逐漸增強，幼齡林風害多數為樹幹彎曲，發生折幹和風倒的可能性較小，這是由於幼樹之樹幹木質化比例較小，柔韌度較高之故；中齡林和成熟林的風害類型主要為風倒和折幹/冠，主要取決於樹幹抗折斷能力與根系土壤固著力。當樹幹抗折斷能力低於根系土壤固著力時，風害表現為折幹/冠之形式；當樹幹抗彎折能力大於根系土壤固著力時，風害表現則為風倒。
- 3.根系的深淺：強風下，深根系樹種(直根系長度超過 80 cm)的抗風能力大於淺根系樹種(直根系長度小於 80 cm)。當林分密度過大時，林木側根的生長由於相鄰木的競爭而受到限制，根系的土壤固著力降低，易發生風倒之害。
- 4.樹冠形態、葉面積指數、樹高：Chen 等於 1999 年指出，一般而言，樹冠寬大的樹種比樹冠窄小的樹種抗風能力弱。葉面積指數越小，樹種的抗風能力越強。同一樹種之樹高越小、冠幅之重心越低，其抗風能力越強；胸徑越大者，表示其林齡較高，因此一般來說其抗風性越強。
- 5.非生物因素：土壤類型決定根系結構及根系生物量，進而影響樹木的風害穩定性(Wang and Xu, 2009)，或其土壤含水高低也會影響樹種抗風能

力。



圖 8.傾斜木測量情形



圖 9.風倒木測量情形

本研究針對南部區域之風害成因、危害情況及復原作業等進行調查，分析這些因素對林分之影響，提供改進之育林方法與措施，期將風害的影響降至最低，以建構優質林分。如於風災發生前持續監測樣區，風災發生後參卓風倒木與未受害之林木其地上部地下部比值、根系狀況之比較並調查土壤狀況，藉多項變量分析之主成分分析與因素分解，以推估受害木之受害原因，並針對受害原因提出預防措施與策略。

IV. 結果

(I) 氣象資料蒐集與彙整

透過中央氣象局取得臺灣南部地區(北起嘉義，南迄屏東)自 2004 年以來之各項氣象資料，包含年雨量、年均溫、平均日照時數、各月風速及風向等基本資料(圖 10-13、附錄 1-12)。

由中央氣象局提供之 2004 年以來的氣象資料，可以發現臺灣南部地區之降雨明顯集中在夏季之 6~9 月期間，降雨的來源主要為颱風，在夏季期間內所降下之雨量超過年雨量之一半以上，因此氣候上有明顯的乾、濕季節之分(圖 10~圖 13)。在風向方面，在夏季由於受到熱帶季風影響，風向主要為東南風及南風；冬季則受到東北季風影響，主要的風向為東北風及北風。風速方面，由於冬季受到東北季風影響，夏季受到颱風的影響，可以明顯看出冬、夏兩季之平均風速較春、秋兩季來得高。

長期降雨或瞬間大雨對林木的影響，除了可能因樹冠攔截過多的雨水導致枝條無法支撐重量而折斷，或是更嚴重者產生主幹風折的現象；也可能枝幹承受的住雨水的重量但根部無法緊緊抓住土壤而風倒。除了造林地遭水淹沒及沖毀的直接損害之外，也會導致土壤過濕而使林木受到傷害。降雨時表土中的水分若無法迅速導入較深的土層，或進入地下排水層中，導致土壤中存在過多的水分，林木根系因土壤中氧氣濃度不足而受到傷害，葉片將不易得到足夠的蒸散水分而萎凋，因而遭受淹水逆境受到傷害。

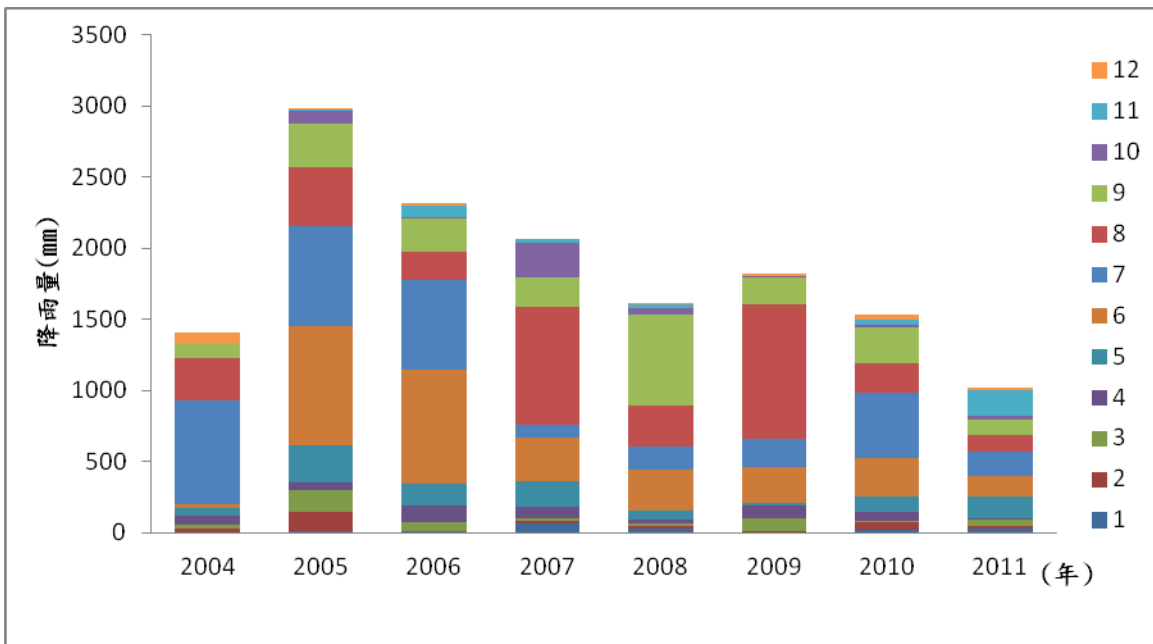


圖 10.嘉義地區歷年降雨量分佈圖

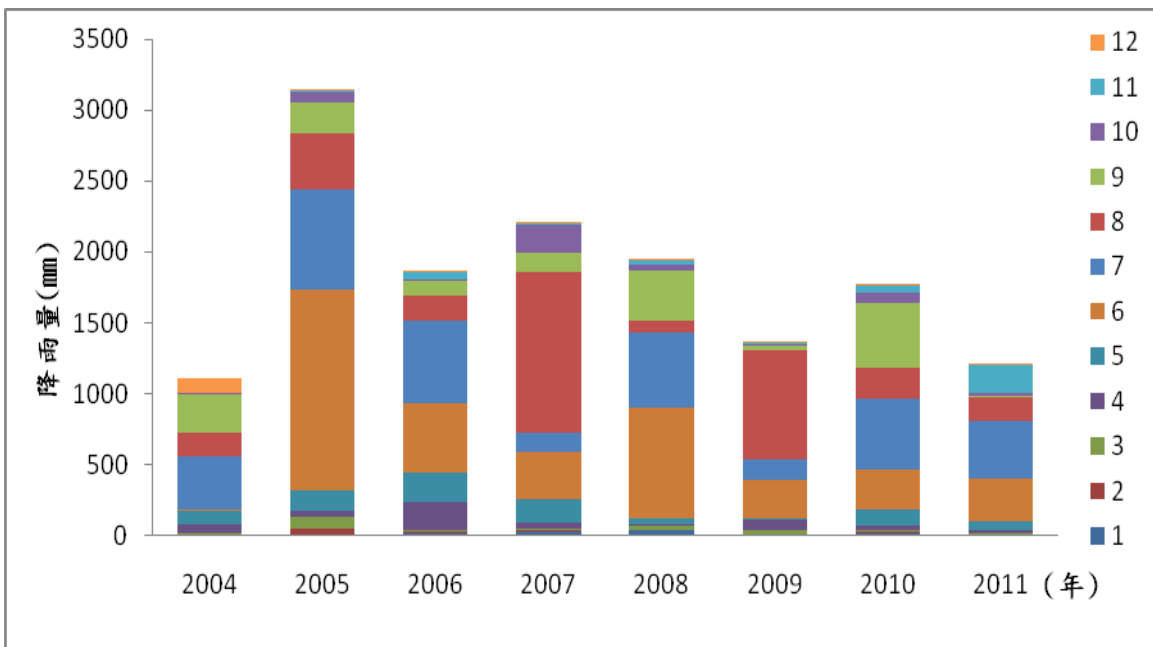


圖 11.臺南地區歷年降雨量分佈圖

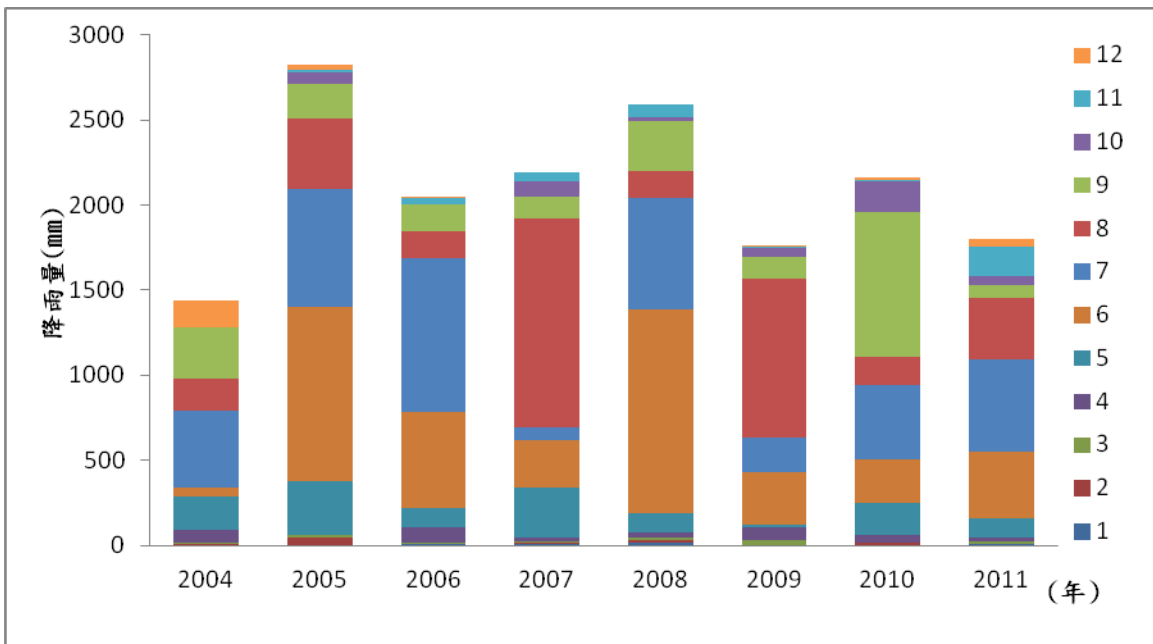


圖 12.高雄地區歷年降雨量分佈圖

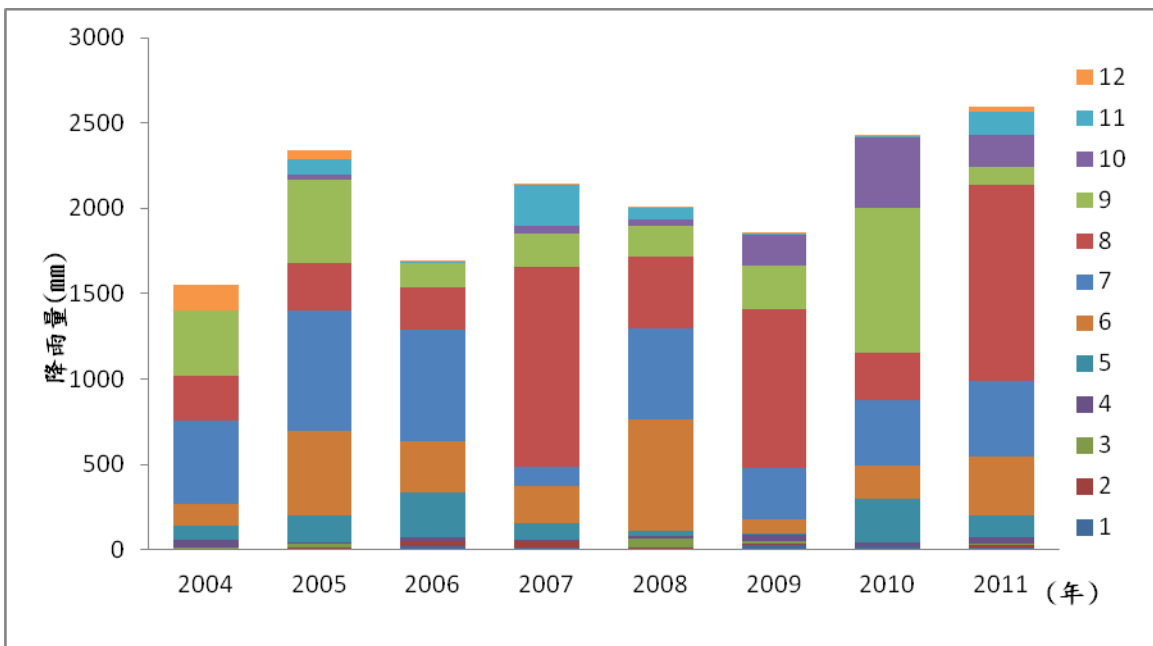


圖 13.屏東地區歷年降雨量分佈圖

(II) 林木生長調查

1. 大葉桃花心木

大葉桃花心木生長情形，經 2010-2011 年取樣調查結果 (表 6)，在存活率最高者為屏東樣區 14，最低者為臺南樣區 4；胸徑生長量最好者為臺南樣區 4，最低者為屏東樣區 14；樹高生長量最高者為屏東樣區 15，最低者為高雄樣區 10；冠幅生長量最好者為臺南樣區 4，最低者為高雄樣區 9。整體而言，生長情況最好者為臺南樣區 4，推測應為死亡率高，林分內孔隙較多，故存活下來之林木可快速生長。

表 6. 大葉桃花心木生長資料表

樣區地區	存活率	2010 年 9 月			2011 年 9 月			生長量		
		DBH(cm)	TH(cm)	樹冠直徑(cm)	DBH(cm)	TH(cm)	樹冠直徑(cm)	DBH(cm)	TH(cm)	樹冠直徑(cm)
嘉義 1	77%	9.12±2.4	6.27±1.8	2.08±0.5	11.54±2.9	8.47±1.6	2.94±0.3	2.42	2.2	0.86
臺南 4	33%	10.56±3.5	5.44±1.4	2.2±0.6	13.14±7.1	7.23±2.9	3.58±0.8	2.58	1.79	1.38
臺南 5	63%	13.18±3.1	9.97±2.3	2.92±0.8	15.53±5.4	12.05±2.4	4.12±0.5	2.35	2.08	1.20
高雄 9	87%	13.18±1.9	8.94±2.1	3.12±1.1	15.68±2.3	11.61±1.4	3.62±0.3	2.5	2.67	0.50
高雄 10	70%	14.12±2.9	11.42±3	2.94±0.7	15.83±4.8	12.28±2.9	3.66±0.4	1.71	0.86	0.72
屏東 14	90%	13.97±2.4	10.67±2.8	3.34±1.2	14.08±4.2	11.8±2.1	4.34±1	0.11	1.13	1.00
屏東 15	57%	8.97±1.4	6.12±2.4	2.12±0.4	11.17±1.6	8.92±0.6	3.06±0.2	2.20	2.80	0.94

2011 年於臺南白河農場樣區之大葉桃花心木造林地，風害情形極為嚴重，造林地雖經現場工作人員復舊或補植其他樹種，但是造林地上仍可發現風倒木遺留的根株或是風倒後再萌蘖的現象，而該地位處河階地帶，鄰近南二高白河收費站，地形開闊無遮蔽，推測強風容易直接侵襲林木，造成林木風害現象。桃花心木適於生長在熱帶的濕潤或潮濕的森林地區，如台灣南部地區會有短暫地約 1 星期喪失葉子，但隨後即萌

發新芽。而在高雄九鬮農場所調查的 2 處大葉桃花心木造林地，在高雄地區各農場風倒情形嚴重，由其造林年齡及造林地點亦有所影響。

2. 印度紫檀

印度紫檀生長情形，經 2010-2011 年取樣調查結果 (表 7)，透過林木生長調查可表現林木生長活力，再藉由資料進行分析，以瞭解林木生長與氣象危害間之關係。

表 7. 印度紫檀生長資料表

樣區編號	存活率	2010 年 9 月			2011 年 9 月			生長量		
		DBH(cm)	TH(cm)	樹冠直徑(cm)	DBH(cm)	TH(cm)	樹冠直徑(cm)	DBH(cm)	TH(cm)	樹冠直徑(cm)
嘉義 2	63%	11.55±4.1	6.47±2.8	3.14±0.6	12.69±7.5	7.98±3.5	4.62±1.3	1.14	1.51	1.48
臺南 6	80%	7.77±3.3	4.45±1.2	2.78±0.9	8.74±3.5	5.41±1.6	3.38±0.6	0.97	0.96	0.60
臺南 7	73%	8.90±3.6	5.06±1.4	3.08±0.7	9.65±4.1	6.72±1.8	3.94±0.6	0.75	1.66	0.86
高雄 11	97%	8.62±3.4	5.76±1.3	3.14±1.2	9.59±3.1	6.96±1.5	3.86±0.5	0.97	1.20	0.72
高雄 12	83%	7.04±3	3.57±1.6	2.56±0.8	8.42±3	5.68±1.6	3.68±0.6	1.38	2.11	1.12
屏東 16	80%	7.92±3.1	6.02±1.9	3.46±0.5	8.98±4.3	6.96±2.6	4.06±0.9	1.06	0.94	0.60
屏東 17	97%	7.84±3.6	5.84±1.8	3.40±0.4	8.40±3.5	6.42±1.6	3.62±0.7	0.56	0.58	0.22

在印度紫檀的部分，存活率最高者為高雄樣區 11 及屏東樣區 17，最低者為嘉義樣區 2；胸徑生長量最好者為高雄樣區 12，最低者為屏東樣區 17；樹高生長量最高者為高雄樣區 12，最低者為屏東樣區 17；冠幅生長量最好者為嘉義樣區 2，最低者為屏東樣區 17。整體而言，生長情況最好者為高雄樣區 12，最差者為屏東樣區 17。

3. 苦楝

苦楝生長情形，經 2010-2011 年取樣調查結果 (表 8)，透過林木生長調查可表現林木生長活力，藉由取得這些資料進行分析，以瞭解林木生長與氣象危害間之關係。全球氣候變遷影響廣大，而藉植樹造林以減少碳排放量來降低溫室效應，可謂是現階段重要的策略之一。台糖公司於 2002 年起配合政府政策於屏東縣進行平地造林工作，本研究為了解林木之碳貯存量，研究結果顯示，幼齡林苦楝 ($8.5460 \pm 2.2363 \text{ MgCha}^{-1}$) 等碳貯存能力較佳，造林地整體已逐漸成林，不僅達景觀綠美化之效，亦收減少二氧化碳之功，惟各造林樹種之中後期生長、碳吸存量的大小是否會有變化，值得繼續研究。

表 8. 苦楝生長資料表

樣區編號	存活率	2010 年 9 月			2011 年 9 月			生長量		
		DBH(cm)	TH(cm)	樹冠直徑(cm)	DBH(cm)	TH(cm)	樹冠直徑(cm)	DBH(cm)	TH(cm)	樹冠直徑(cm)
嘉義 3	100%	8.26±2.9	5.71±1.6	3.82±0.4	9.80±3.2	7.78±1.6	4.50±0.6	1.54	2.07	0.68
臺南 8	60%	12.26±3.1	8.96±1.4	4.10±0.8	12.82±3	9.99±2.6	4.68±0.8	0.56	1.03	0.58
高雄 13	37%	10.90±2.7	5.21±1.7	2.88±0.7	12.60±3.9	7.13±1.5	5.32±0.8	1.70	1.92	2.44
屏東 18	93%	11.47±2.5	10.2±1.9	3.66±0.4	12.68±3.3	11.32±1.4	4.50±0.5	1.21	1.12	0.84
屏東 19	80%	8.56±2.8	7.83±1.3	2.82±0.6	9.24±2.6	8.63±1.7	3.60±0.4	0.68	0.80	0.78

在苦楝的部分，存活率最高者為嘉義樣區 3，最低者為高雄樣區 13；胸徑生長量最好者為高雄樣區 13，最低者為臺南樣區 8；樹高生長量最高者為嘉義樣區 3，最低者為屏東樣區 19；冠幅生長量最好者為高雄樣區 13，最低者為臺南樣區 8。整體而言，生長情況最好者應為高雄樣區 13，推測應為死亡率高，林分內孔隙較多，故存活下來之林木可快速生長，最差者應為臺南樣區 8。7 年生苦楝發現樹輪密度與樹木生長

特性之間沒有顯著性相關存在。樹輪寬度及樹輪密度在樹木之間、樹齡之間有不同的顯著性差異性存在。從1年生到7年生的直徑生長曲線，可由直線迴歸式加以表達，具有極顯著的正相關性。

(III) 土壤含水率

長期降雨或大雨對林木的影響，除林地遭水淹沒及沖毀的直接損害，也導致土壤過濕而使林木受到傷害，導致土壤中存在過多的水分，林木根系因土壤中氧氣濃度不足而受到傷害，葉片將不易得到足夠的蒸散水分而萎凋，因而遭受淹水逆境受到傷害。分析各地區樣區含水率(表9)所示。

表 9.各樣區含水率表

樣區編號	所屬農場	造林樹種	表土含水率(%)	底土含水率(%)
嘉義 1	嘉義南靖農場	大葉桃花心木	19.59±0.37	16.68±0.05
嘉義 2	嘉義南靖農場	印度紫檀	18.38±0.19	15.11±0.15
嘉義 3	嘉義南靖農場	苦楝	18.04±0.43	17.20±0.13
臺南 4	臺南白河農場	大葉桃花心木	15.01±0.23	14.59±0.09
臺南 5	臺南白河農場	大葉桃花心木	9.97±0.05	7.13±0.18
臺南 6	臺南白河農場	印度紫檀	18.57±0.10	15.98±0.15
臺南 7	臺南白河農場	印度紫檀	17.12±0.18	15.22±0.25
臺南 8	臺南白河農場	苦楝	19.17±0.78	16.90±0.30
高雄 9	高雄九闖農場	大葉桃花心木	11.43±0.09	11.42±0.07
高雄 10	高雄九闖農場	大葉桃花心木	10.29±1.86	7.54±0.29
高雄 11	高雄九闖農場	印度紫檀	11.06±0.04	11.3±0.040

高雄 12	高雄九鬮農場	印度紫檀	14.37±0.32	10.48±0.12
高雄 13	高雄九鬮農場	苦楝	14.07±0.12	13.28±0.40
屏東 14	屏東新赤農場	大葉桃花心木	12.85±0.05	10.49±0.35
屏東 15	屏東四林農場	大葉桃花心木	11.22±0.17	11.04±0.66
屏東 16	屏東新赤農場	印度紫檀	16.91±0.55	13.05±0.13
屏東 17	屏東新赤農場	印度紫檀	15.28±0.56	13.63±0.65
屏東 18	屏東新赤農場	苦楝	14.17±0.47	12.63±0.24
屏東 19	屏東四林農場	苦楝	10.64±0.89	9.84±0.58

(IV)健康性評估

1.大葉桃花心木主成分分析

本研究針對大葉桃花心木氣象危害狀態之相關形態性狀，藉由 SPSS 12.0 套裝軟體進行其主成分分析，將大量的形態與受害程度之因素，由因素分析法進行因素萃取，依據共同性低於 0.01 (相關係數低於 1 %)之因素將不予列入評估，並藉分析相關係數作為平地造林大葉桃花心木林分林木健康性調查之因素(表 10)。

表 10. 大葉桃花心木氣象危害主成分分析之成分變異量

成份	初始特徵質			
	特徵質	變異量%	累積特徵質	累積變異量%
1	4.197	27.979	4.197	27.979
2	2.671	17.808	6.868	45.787
3	2.073	13.818	8.941	59.605
4	1.833	12.222	10.774	71.827
5	1.429	9.527	12.203	81.354
6	1.187	7.916	13.390	89.270
7	0.711	4.737	14.101	94.007
8	0.401	2.676	14.502	96.683
9	0.265	1.765	14.767	98.448
10	0.088	0.59	14.855	99.038
11	0.058	0.384	14.913	99.422
12	0.047	0.311	14.96	99.733
13	0.028	0.186	14.988	99.918
14	0.012	0.082	15.000	100.000
15	-1.157E-15	-7.71E-15	15.000	100.000

成分 1-15 為指標組合之情形，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。

大葉桃花心木主成分分析因素萃取結果(表 11)。

表 11.大葉桃花心木氣象危害主成分分析轉軸後因素矩陣結構

	成份					
	1 土壤氣溫	2.生長形質	3.氣象因素	4. 樹冠活力	5.風害因素	6.存活率因素
含水率(表)	-0.976	-0.067	-0.013	0.021	-0.062	0.104
含水率(底)	-0.905	-0.069	-0.002	0.048	-0.144	0.069
溫度	0.878	0.041	0.091	0.010	-0.029	0.271
DBH	0.243	0.891	-0.080	0.071	0.181	0.172
TH/DBH	0.177	-0.832	0.057	0.031	0.128	0.149
S	0.099	0.830	0.040	0.061	0.122	0.018
TH	0.466	0.791	-0.081	0.080	0.286	0.414
風速	0.194	-0.001	0.941	0.096	0.086	-0.157
日照	0.482	0.082	-0.842	0.012	-0.035	0.029
雨量	0.507	-0.040	0.705	0.037	-0.030	0.376
樹冠透視度	-0.020	-0.066	-0.010	0.979	-0.005	-0.046
樹冠密度	-0.056	0.074	-0.086	0.973	-0.041	-0.028
N	0.053	-0.079	0.045	0.019	0.959	0.038
樹冠直徑	0.118	0.473	0.064	0.031	0.843	0.098
存活率	0.005	0.013	-0.034	0.002	0.073	0.962

藉由轉軸後因素矩陣結構之結果，將加權分數值較高的部份分為一組，分析影響平地造林桃花心木林分健康性的六大指標，包括土壤與氣溫因素、生長形質因素、氣象因素、樹冠活力因素、風害因素、存活率因素，而且 6 項主要影響林木健康性的因素，佔總變異數的 89.27 % 以上，代表這 6 項適應性因素具有相當的解釋力，足以代表且解釋 15 項林木健康性因素。因此可推估影響南部平地造林大葉桃花心木氣象危害林分健康

性，可透過上述的 6 指標來代表。

(1) 土壤與氣溫因素

代表土壤與氣溫因素變數有含水率(表)、含水率(底)及溫度等因素，土壤含水率會影響土壤本身固結狀態，及土壤養分動態之變化，於土壤中可置換性陽離子，亦為土壤中可利用之有效養分利用的阻礙；平地景觀林木生長監測所蒐集土壤調查結果，土壤質地並無顯著差異，土壤固結有助於林木穩定，且影響林木之抗壓力等氣象危害，這可能是因為根系結構及根系生物量，進而影響樹木的風害穩定性。同時溫度亦為大葉桃花心木林分生長之重要因素，表現於林分之健康性，以因應氣象危害。

(2) 林木生長因素

代表林木生長因素的變數有 DBH、TH/DBH、S(南向冠幅長度)及 TH 等 4 項因素。林木直徑生長、高生長、南向冠幅長度等林木基礎資料，可直接呈現林木之生長情況。大葉桃花心木樹冠形態濃密、葉面積指數高、樹高生長最為快速，同時，其樹高越小冠幅之重心越低，其抗風能力越強；胸徑越大者，表示其林齡較高。

(3) 氣象因素

代表氣象因素變數有風速、日照及雨量等因素，於不同環境變數下，林木生長情形有所不同。長期降雨或瞬間大雨對林木的影響，除了可能因樹冠攔截過多的雨水導致枝條無法支撐重量而折斷，若在加上強風危害，使更嚴重者產生主幹風折的現象；也可能是因為枝幹承受得住雨水的重量，但超過根部固結土壤之能力而使林木風倒。除了造林地遭水淹沒及沖毀的直接損害之外，也會導致土壤過濕而使林木受到傷害。李新鐸等(1993)

也提到其在澎湖試驗地的氣候狀況，除 6 月份外，蒸發量均高於降雨量，尤其在東北季風期間情形更加嚴重，平均風速以 10 月至 3 月較高。因此將此因素命名為氣象因素。

(4)樹冠活力因素

代表林木樹冠生長活力的變數有樹冠透視度及樹冠密度因素，表現林木樹冠的生長活力與變化，林木生長狀況常可直接或間接的在樹冠生長情形上表現。樹冠密度與樹冠透視度狀態，常出現於樹冠上部或外部之形態等徵兆，甚至是樹冠生長活力的降低，導致樹冠面積百分比的減少。李載鳴(2006)也利用樹冠覆蓋率因子做為造林木生長狀況之重要性指數。

(5)風害因素

代表風害的變數有 N(北向冠幅長度)及樹冠直徑因素，表現臺灣南部地區風害之影響，本區東有中央山脈屏障，使得該區域內東北季風、熱帶低氣壓與颱風環流之風速顯著降低，僅當臺灣東北部受颱風環流影響會誘導臺灣西南部出現旺盛西南氣流與颱風路徑為 7~9 之颱風會直接侵襲臺灣南部外，餘者雖偶有強風出現。林國銓及唐盛林(1999)中調查發現，在東北季風的影響下，迎風區各樹種的地際直徑及樹高皆比背風區差，且累積的生物量也以迎風區較差。因此林木的基礎生長狀況也是重要指標。

(6)成活率因素

代表成活率的變數只有成活率因素，表現臺灣南部地區大葉桃花心木於南部地區成活率差異，表現於其早期鬱閉與單株之競爭壓力，加諸於環境與氣象之危害，表現其於臺灣南部地區影響之重要指標。

推論各樣區林分及樹種的適應狀態及各樣區適應等級。由表 12 可知南部平地造林大葉桃花心木林分的健康狀態在各地樣區中，林分的適應狀

態介於林木適應良好至輕度適應不良等級。高雄樣區 10 及屏東樣區皆屬輕度適應不良；其餘樣區適應情形良好。另外屏東新赤樣區之死亡率為整體樣區最低。

表 12.大葉桃花心木各樣區適應等級

樣區編號	株數(n)	死亡率	加總 X'	Y	\sqrt{n}	Z ₀	Z ₁	Z ₂	結果
1	23	0.23	-37.19	-1.62	4.80	-7.755	-12.550	-17.346	1
4	10	0.67	-10.12	-1.01	3.16	-3.199	-6.361	-9.523	1
5	19	0.37	3.63	0.19	4.36	0.832	-3.527	-7.886	1
9	26	0.19	4.42	0.17	5.10	0.867	-4.232	-9.331	1
10	21	0.30	8.73	0.42	4.58	1.904	-2.678	-7.261	2
14	29	0.03	22.41	0.77	5.39	4.162	-1.223	-6.609	2
15	16	0.47	8.12	0.51	4.00	2.030	-1.970	-5.970	2

註：(1) Y 為適應指標平均值；(2) n 為樣木株數；(3) Z₀<1.645 為適應良好；Z₀>1.645 為輕度適應不良；Z₁>1.645 為中度適應不良；Z₂>1.645 為重度適應不良。

由於林木健康是綜合表現的結果，不是少數指標就能夠代表，為瞭解所建立林木健康指標間，各指標的貢獻程度，常會面臨權重(weighting)的周延性與主觀性的爭議，因素間有其個別的特徵向量與解釋力，將林木健康指標進行因素分析提出個體因素得點(x_i)與該因素之相對權重(a_i)相乘後再加以總和得到加權因素分數(X)，計算方法如下式。

$$X = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_ix_i$$

計算加權因素分數之平均值與標準差後，再將其匯入 STATISTICA 計算出標準化後的標準化加權因素分數(X')，再把標準化加權因素分數藉由分數高低落差分為 5 個健康等級，健康分級之標準如表 13 所示。

表 13.健康分級的依據

健康等級	標準化加權因素 分數落點	健康活力分級
5	$1 \leq X'$	非常健康
4	$0 \leq X' < 1$	健康
3	$-1 \leq X' < 0$	普通
2	$-2 \leq X' < -1$	不健康
1	$X' < -2$	非常不健康

依照計算林木健康等級之方式算出林木之健康等級，於各地樣區中列出林木的健康狀況(表 14)。嘉義地區之植株較為不健康，臺南、高雄及屏東樣區之植株較為健康。

表 14.各地區樣區大葉桃花心木健康等級株數

樣區 健康級	嘉義 1	臺南 4	臺南 5	高雄 9	高雄 10	屏東 14	屏東 15	總和
1	3	2	1	0	0	0	0	6
2	19	4	0	1	1	0	0	25
3	1	2	5	5	31	2	0	18
4	0	2	11	20	15	17	18	81
5	0	0	2	0	2	10	0	14

2. 印度紫檀主成分分析：

本研究針對印度紫檀氣象危害狀態之相關形態性狀，藉由 SPSS 12.0 套裝軟體進行其主成分分析，將大量的形態與受害程度之因素由因素分析法進行因素萃取，依據共同性低於 0.01 (相關係數低於 1 %) 之因素將不予列入評估，並藉分析相關係數作為平地造林印度紫檀林分林木較康性調查之因素(表 15)。

表 15. 印度紫檀氣象危害主成分分析之成分變異量

成份	初始特徵值			
	特徵質	變異量%	累積特徵質	累積變異量%
1	5.332	35.550	5.332	35.550
2	3.979	26.525	9.311	62.075
3	2.498	16.651	11.809	78.726
4	1.174	7.826	12.983	86.551
5	0.577	3.850	13.560	90.401
6	0.380	2.533	13.940	92.934
7	0.312	2.078	14.252	95.012
8	0.250	1.668	14.502	96.680
9	0.188	1.255	14.690	97.934
10	0.145	0.969	14.836	98.903
11	0.060	0.399	14.895	99.302
12	0.054	0.359	14.949	99.662
13	0.038	0.252	14.987	99.913
14	0.010	0.070	14.997	99.983
15	0.003	0.017	15.000	100.000

將因素分析法之共同性高於 0.01(因素分解最高相關係數高於 1 %)結果，再採用鑑別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因素

上，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，突顯因素與潛在因素之相關性。轉軸後的矩陣結果如表 16 所示，根據轉軸矩陣共歸納出 5 個主要且與林木適應性相關性高的指標。因此，可將原先所設定之外觀形態與受害程度因素，簡化為 4 項主要的指標。因素萃取結果如表 16 所示。包括生長形質因素、生育地環境因素、氣象因素、樹冠活力因素。

表 16. 印度紫檀氣象危害主成分分析轉軸後因素矩陣結構

	成份			
	1 生長形質	2 生育地環境	3 氣象因素	4 樹冠活力
TH	0.906	0.005	0.047	0.109
樹冠直徑	0.897	-0.047	-0.016	0.224
DBH	0.878	-0.152	-0.086	0.336
N	0.848	-0.117	-0.009	0.176
S	0.841	0.031	0.055	0.200
溫度	-0.111	0.955	-0.009	0.065
存活率	-0.158	0.880	0.100	0.148
含水率表	-0.011	-0.845	0.450	0.019
含水率底	-0.025	-0.801	0.514	0.042
雨量	0.026	0.742	0.621	-0.074
風速	-0.089	0.029	0.965	0.073
日照	-0.114	0.334	-0.889	0.128
樹冠密度	0.334	0.120	0.019	0.891
樹冠透視度	-0.353	-0.159	-0.051	-0.880
TH/DBH	-0.431	0.248	0.245	-0.752

藉由轉軸後因素矩陣結構之結果，將加權分數值較高的部份分為一組，可發現影響平地造林印度紫檀林分健康性的四大因素，包括生長形質因素、生育地環境因素、氣象因素、樹冠活力因素；而此 4 項主要影響林

木健康性的因素，佔總變異數的 86.55 % 以上，代表這 4 個適應性因素具有相當的解釋力，足以代表且解釋 15 個林木健康性因素。因此可推估影響南部平地造林印度紫檀林分健康性，透過上述的 4 個主要因素來代表。

(1) 林木生長因素

代表林木生長狀況的變數有樹高、胸徑及樹冠直徑生長等因素。林木生長、直徑生長、冠幅生長等林木基礎資料，可直接呈現林木之生長情況。

(2) 生育地環境因素

代表生育地環境變數有溫度、存活率、土壤含水率、平均雨量等因素，於不同環境變數下，印度紫檀生長情形有所不同，尤其是生育地環境變數有溫度、存活率、土壤含水率及雨量等因素影響最為顯著。因此將此因素命名為生育地環境。

(3) 氣象因素

代表氣象因素變數有風速及日照等因素，於不同環境變數下，林木生長情形有所不同。

(4) 樹冠活力因素

代表印度紫檀樹冠生長活力的變數有樹冠密度、樹冠透視度因素及 TH/DBH，表現林木樹冠的生長活力與變化，林木生長狀況常可直接或間接的在樹冠生長情形上表現。樹冠密度與樹冠透視度之狀態，常出現於冠層上部或外部之形態等徵兆，甚至是樹冠生長活力的降低，導致樹冠面積百分比的減少。李載鳴(2006)也利用樹冠覆蓋率因子做為造林木生長狀況之重要性指數。林國銓及唐盛林(1999)調查發現，在東北季風的影響下，迎風區各樹種的地際直徑及樹高皆比背風區差，且累積的生物量也以迎風

區較差。因此林木的基礎生長狀況也是重要指標。

推論各樣區林分及樹種的適應狀態及各樣區適應等級。由表 17 可知南部平地造林印度紫檀林分的健康狀態，在各地樣區中，林分的適應狀態介於林木適應良好至輕度適應不良等級。屏東樣區皆屬輕度適應不良；其餘地區之樣區適應情形良好。另外臺南樣區 11、屏東樣區 17 之死亡率為整體樣區較低。

表 17. 印度紫檀各樣區適應等級

樣區編號	株數(n)	死亡率	加總 X'	Y	\sqrt{n}	Z ₀	Z ₁	Z ₂	結果
2	19	0.37	-12.84	-0.68	4.36	-2.946	-7.305	-11.664	1
6	24	0.20	-22.91	-0.95	4.90	-4.677	-9.576	-14.475	1
7	22	0.27	-11.81	-0.54	4.69	-2.518	-7.208	-11.899	1
11	29	0.03	8.00	0.28	5.39	1.486	-3.899	-9.284	1
12	25	0.17	-3.45	-0.14	5.00	-0.691	-5.691	-10.691	1
16	24	0.20	19.31	0.80	4.90	3.942	-0.957	-5.856	2
17	29	0.03	23.71	0.82	5.39	4.403	-0.982	-6.367	2

註：(1) Y 為適應指標平均值；(2) n 為樣木株數；(3) Z₀<1.645 為適應良好；Z₀>1.645 為輕度適應不良；Z₁>1.645 為中度適應不良；Z₂>1.645 為重度適應不良。

依照計算林木健康等級之方式算出林木之健康等級，於各地區樣區中列出林木的健康狀況(表 18)。嘉義與臺南地區之植株較為不健康，高雄及屏東樣區之植株較為健康。

表 18. 各地區樣區印度紫檀健康等級株數

樣區健康級	嘉義 2	臺南 6	臺南 7	高雄 11	高雄 12	屏東 16	屏東 17	總和
1	4	1	0	0	0	0	0	5
2	4	10	6	0	1	0	0	21
3	3	11	10	8	12	8	3	55
4	5	1	6	20	12	8	13	65
5	3	0	0	1	0	8	13	25

3. 苦楝主成分分析：

本研究針對苦楝氣象危害狀態之相關形態性狀，藉由 SPSS 12.0 套裝軟體進行其主成分分析，將大量的形態與受害程度之因素由因素分析法進行因素萃取，依據共同性低於 0.01 (相關係數低於 1 %) 之因素將不予列入評估，藉分析相關係數作為平地造林苦楝林分林木健康性調查因素(表 19)。

表 19. 苦楝氣象危害主成分分析之成分變異量

成份	初始特徵值			
	特徵質	變異量%	累積特徵質	累積變異量%
1	4.958	33.051	4.958	33.051
2	3.375	22.502	8.333	55.553
3	2.582	17.210	10.914	72.763
4	1.326	8.837	12.240	81.600
5	1.053	7.018	13.293	88.618
6	0.876	5.841	14.169	94.459
7	0.357	2.380	14.526	96.839
8	0.229	1.528	14.755	98.367
9	0.095	0.633	14.850	99.000
10	0.082	0.547	14.932	99.547
11	0.043	0.286	14.975	99.833
12	0.025	0.167	15.000	100.000
13	0.000	0.000	15.000	100.000
14	0.000	0.000	15.000	100.000
15	0.000	0.000	15.000	100.000

因素萃取結果如表 20 所示。藉由轉軸後因素矩陣結構之結果，將加權分數值較高的部份分為一組，可發現影響平地造林苦楝林分健康性的五項指標，包括土壤與氣象因素、生長形質因素、耐旱因素、樹冠活力因素、

風害因素。而且 5 個主要影響林木健康性的指標，佔總變異數的 88.62 % 以上，代表這 5 個適應性指標具有相當的解釋力，足以代表且解釋 15 個林木健康性因素。因此，可推估影響南部平地造林苦楝林分之健康性。

表 20. 苦楝氣象危害主成分分析之轉軸後因素矩陣結構

	成份				
	1.土壤氣象	2 生長形質	3 耐旱因素	4.樹冠活力	5 風害因素
雨量	0.959	0.016	0.165	-0.132	-0.055
含水率底	-0.957	0.131	0.006	0.117	0.010
溫度	0.939	0.130	-0.259	0.033	-0.044
含水率表	-0.899	0.198	0.035	0.167	-0.007
風速	0.835	0.085	0.409	0.020	-0.079
DBH	0.089	0.876	-0.049	-0.069	0.339
N	-0.159	0.790	-0.208	-0.108	-0.198
樹冠直徑	-0.164	0.736	-0.202	-0.020	0.479
TH	0.325	0.636	0.515	0.045	-0.009
TH/DBH	0.230	-0.516	0.499	0.142	-0.454
日照	-0.169	0.161	-0.889	0.240	0.042
存活率	-0.274	-0.137	0.833	-0.301	-0.028
樹冠密度	0.104	0.097	0.152	-0.948	0.004
樹冠透視度	-0.163	-0.069	-0.201	0.931	-0.016
S	-0.032	0.146	-0.017	0.010	0.957

(1)土壤與氣象因素

本項因素結果土壤含水率與雨量、溫度、風速等氣象因素共同形成之指標，土壤含水率會影響土壤本身固結能力狀態，以及苦楝生長後樹體之穩定；其中以積水危害對林木生長發育影響最大而引發災患者，如長期降雨或瞬間大雨對林木的影響，除了可能因樹冠攔截過多的雨水導致枝條無法支撐重量而折斷，或是更嚴重者產生主幹風折的現象；也可能枝幹承受

的住雨水的重量但根部無法緊緊抓住土壤而風倒。除造林地遭水淹沒及沖毀的直接損害，也會導致土壤過濕而使林木受到傷害，臺灣南部地區乾濕期及濱海區域地層下陷排水不順暢區域尤為明顯，造成林木損失。

(2) 林木生長因素

代表苦楝生長狀況的變數有樹高、胸徑及樹冠直徑等生長形質因素。林木高生長、直徑生長、冠幅生長等林木基礎資料，可直接呈現林木之生長情況。

(3) 耐旱因素

代表耐旱因素的變數有日照、存活率等因素，於不同環境變數下，苦楝生長情形有所不同。因此將此因素命名為耐旱因素。

(4) 樹冠活力因素

代表苦楝樹冠生長活力的變數有樹冠密度及樹冠透視度因素，表現林木樹冠的生長活力與變化，林木生長狀況常可直接或間接的在樹冠生長情形上表現。樹冠密度與樹冠透視度狀態，常出現於樹冠上部或外部之形態等徵兆，甚至是樹冠生長活力的降低，導致樹冠面積百分比的減少。李載鳴(2006)也利用樹冠覆蓋率因子做為造林木生長狀況之重要性指數。

(5) 風害因素

代表風害變數只有 S 南向偏倚生長之樹冠平均長度因素，林國銓及唐盛林(1999)調查發現在東北季風的影響下，迎風區各樹種的地際直徑及樹高皆比背風區差，且累積的生物量也以迎風區較差。因此林木南向偏倚生長之樹冠平均長度狀況，尤其苦楝為易受風折危害，表現遭各地區風害後適應差異，也是重要特別指標。

推論各樣區林分及樹種的適應狀態及各樣區適應等級。由表 21 可知

南部平地造林苦楝林分的健康狀態，5 個樣區中，林分的適應狀態介於林木適應良好至輕度適應不良等級。屏東樣區皆屬輕度適應不良；其餘各地樣區適應情形良好。另外嘉義樣區之死亡率為整體樣區最低。

表 21. 苦楝各樣區適應等級

樣區編號	株數(n)	死亡率	加總 X'	Y	\sqrt{n}	Z ₀	Z ₁	Z ₂	結果
3	36	0.00	-36.77	-1.02	6.00	-6.128	-12.128	-18.128	1
8	18	0.40	0.73	0.04	4.24	0.172	-4.071	-8.313	1
13	12	0.63	-7.07	-0.59	3.46	-2.041	-5.505	-8.969	1
18	28	0.07	29.29	1.05	5.29	5.535	0.244	-5.048	2
19	24	0.20	13.82	0.58	4.90	2.821	-2.078	-6.977	2

註：(1) Y 為適應指標平均值；(2) n 為樣木株數；(3) Z₀<1.645 為適應良好；Z₀>1.645 為輕度適應不良；Z₁>1.645 為中度適應不良；Z₂>1.645 為重度適應不良。

依照計算林木健康等級之方式算出林木之健康等級，於各地區樣區中列出林木的健康狀況(表 23)。嘉義地區之植株較為不健康，臺南、高雄及屏東樣區之植株較為健康。

表 22. 各地區樣區苦楝健康等級株數

樣區健康級	嘉義 3	臺南 8	高雄 13	屏東 18	屏東 19	總和
1	1	1	1	0	0	3
2	16	0	0	0	0	16
3	17	9	10	0	2	38
4	2	7	3	14	19	43
5	0	1	0	13	4	18

(V)風害調查

經調查危害較嚴重之受害木，發現3種樹種相比，以桃花心木最易風折及風倒，印度紫檀次之，苦楝無發現風倒木只有枝條風折而已。導致各樹種林木發生風害的因素，主要有以下幾個方面：

(1)大葉桃花心木風害調查

大葉桃花心木特性為生長速度快、樹冠濃密(圖 14)，幼齡期之樹幹物理性質柔軟，因此其抗風能力也有所差異 (圖 15)。



圖 14.大葉桃花心木生長速度快、樹冠濃密



圖 15.大葉桃花心木幼齡期之樹幹柔軟

大葉桃花心木林分競爭強烈，自然修枝明顯，林下常有缺株或孔隙產生(圖 16)，且有較多傾斜(圖 17)及風倒後遭伐除的樹頭(圖 18、19)和風折的樹幹。



圖 16. 大葉桃花心木造林地林下



圖 17. 大葉桃花心木基部傾斜情形



圖 18. 大葉桃花心木根部生長情形



圖 19. 風倒後遺留在樣區的樹頭

調查樣區多為 10 年生齡期(圖 20)，隨林齡的增長，樹木抗風能力逐漸增強，幼齡林風害多數為樹幹彎曲，發生折幹和風倒的可能性較小，這是由於幼樹之樹幹木質化比例較小，柔韌度較高之故。中齡林和成熟林的風害類型主要為風倒和折幹/冠，主要取決於樹幹抗折斷能力與根系土壤固著力。大葉桃花心木具主根與側根(圖 21)，往往亦形成根張。且大葉桃花心木的主根粗大，屬中淺根性植物，深達 1.55 m。幼林木(DBH 10 cm 以下)根部可分為主根與側根兩部分，特別的是大葉桃花心木幼林木在表層有上層側根，隨著徑階級越大而越明顯。當樹幹抗折斷能力低於根系土

壤固著力時，風害表現為折幹/冠之形式(圖 22)；當樹幹抗彎折能力大於根系土壤固著力時，風害表現則為風倒。



圖 20.10 年生大葉桃花心木生長情況



圖 21.大葉桃花心木根部生長情形



圖 22. 大葉桃花心木風折處



圖 23.風倒之大葉桃花心木根部情形

側根系發達幾乎沒有主根，強風下易於風倒(圖 23)。當林分密度過大時，林木側根的生長由於相鄰木的競爭而受到限制，根系的土壤固著力降低，易發生風倒之害(圖 24)。Chen 等於 1999 年指出，一般而言，樹冠

寬大的樹種比樹冠窄小的樹種抗風能力弱。葉面積指數越小，樹種的抗風能力越強。發生風倒的大葉桃花心木有一個特點就是其根部的生長皆為平鋪地面的側根而無向下生長的主根(圖 25-28)，風倒之大葉桃花心木的側根雖和胸徑一樣粗但仍無法抵抗氣象危害而風倒，所以無向下生長的主根應是容易風倒的最主要原因。



圖 24.風倒之大葉桃花心木



圖 25.風倒之大葉桃花心木根部情形 a



圖 26.風倒之大葉桃花心木根部情形 b



圖 27.風倒之大葉桃花心木根部情形 c



圖 28.風倒之大葉桃花心木根部情形 d



圖 29.大葉桃花心木天然更新

在林下有發現天然更新的現象(圖 29)，其小苗是具有向下生長的主根(圖 30)，故其無主根的原因應為人為所造成。



圖 30.林下更新小苗



圖 31.林木傾斜遭截幹後萌蘖

桃花心木萌蘖性強，常見因傾斜或風倒而遭伐除的根株發生萌蘖(圖 31-34)，但亦發現有萌蘖後的植株又在傾斜有風倒的傾向(圖 35、36)；這些造林植栽受幼齡期之風倒後，雖經扶正，然扶正過程中由於截幹或斷根，導致後期形質生長及易受二次風倒之壓力。。



圖 32.林木傾斜遭伐除後萌蘖基部情形



圖 33.風倒後遭截斷後萌蘖



圖 34.風倒遭截斷後萌蘖基部情形



圖 35.風倒遭截斷後萌蘖又傾斜



圖 36.風倒遭截斷後萌蘖又傾斜基部情形



圖 37. 大葉桃花心木風折之主幹

土壤類型決定根系結構及根系生物量，進而影響樹木的風害穩定性。不同疏伐強度之苗木，其產生的更新數量間差異，提供大葉桃花心木更新與冠層鬱閉的關係，在 55% 疏伐強度下，更新苗木數量反而減少，因為此樹種在初期生長階段需要遮蔭所致。依波多黎各大葉桃花心木生長資料發現 DBH 年平均生長為 1.20-2.07 cm，生長快速可以幫助吸收空氣中 CO₂，適合大量栽植來吸附 CO₂ 量，以達到節能減碳功用。大葉桃花心木的生命週期富季節變化特色，生長快速與光合作用旺盛，有助於降低空氣中的二氧化碳量。大葉桃花心木樹形優美，已成為台灣主要的行道樹和造林樹種。目前大葉桃花心木單位面積株數多，早期鬱閉使得生長受到限制，惟 DBH 生長較其他樹種快速，故適合短時期大量栽植。未來大葉桃花心木可藉由適當的撫育經營，來提高其單位面積內的蓄積量，來提升其價值與利用。

調查結果以屏東大葉桃花心木受害最為嚴重，多是主幹風折(圖 37)和整株風倒(圖 38)或傾斜(圖 39、40)，故調查 60 棵受害的大葉桃花心木，調查期間適逢南部地區雨季，所以發現較多的風倒木、風折木做為調查的對象，並針對大葉桃花心木提出其樹高與胸徑的比值，得到值為 0.8 以上即容易發生風折風倒，但能需繼續觀測比較得到夠準確的數字。發現發生風折及風倒的大葉桃花心木幾乎都是在林緣地帶或位於林分內孔隙的邊緣(圖 41)，且將其樹高除以胸徑的比值的平均值大於 0.8。

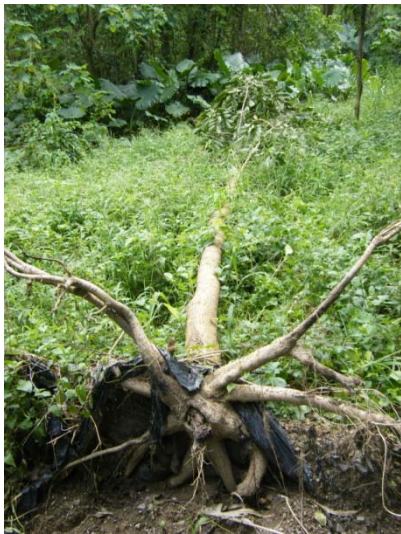


圖 38. 風倒之大葉桃花心木

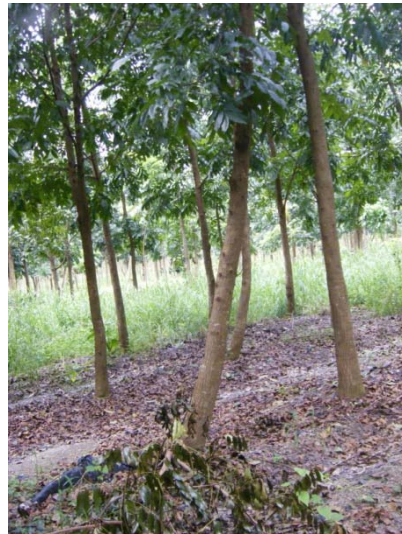


圖 39. 大葉桃花心木傾斜情形



圖 40. 傾斜之大葉桃花心木



圖 41. 大葉桃花心木林分內開闢孔隙

2. 印度紫檀風害調查

印度紫檀生長速度亦快速，且為開張之扇形樹冠特徵，樹幹及側枝具韌性，根系除發達之側根外，或多或少具有主根，因此其抗風能力較強，印度紫檀主幹風折(圖 42、43)和枝條風折(圖 44、45)的情形皆有，亦有風倒(圖 46、47)和傾斜(圖 48、49)的情形。



圖 42. 風折之印度紫檀 a



圖 43. 風折之印度紫檀 b



圖 44. 印度紫檀風折情形 c



圖 45. 印度紫檀風折情形 d



圖 46.風倒之印度紫檀 a



圖 47.風倒之印度紫檀 b



圖 48.傾斜之印度紫檀



圖 49.印度紫檀傾斜情形(高雄)

隨著印度紫檀林齡的增長，抗風能力逐漸增強，幼齡林風害多數為樹幹彎曲，調查發生折幹和風倒的可能性較小，這是由於幼樹之樹幹木質化比例較小，柔韌度較高之故；中齡林和成熟林的風害類型主要為風倒和折幹/冠，推測取決於樹幹抗折斷能力與根系土壤固著力。當樹幹抗折斷能力低於根系土壤固著力時，風害表現為折幹/冠之形式；當樹幹抗彎折能

力大於根系土壤固著力時，風害表現則為風倒。

強風下，印度紫檀因為深根系的樹種，所以抗風能力較大。當林分密度過大時，林木側根的生長由於相鄰木的競爭而受到限制，根系的土壤固著力降低，易發生風倒之害。印度紫檀樹冠為開放擴張形態、葉面積指數亦高、樹高達 8-10m，一般而言樹冠寬大的樹種比樹冠窄小的樹種抗風能力弱。葉面積指數越小，樹種的抗風能力越強。同一樹種之樹高越小、冠幅之重心越低，其抗風能力越強；胸徑越大者，表示其林齡較高。因此一般來說其抗風性越強，樣區土壤類型為砂質壤土，根系伸展良好且結構較為完整，根系生物量比例高，表現其風害之穩定性。



圖 50.印度紫檀風折之枝條



圖 51.印度紫檀林下風折之枝條



圖 52.印度紫檀傾斜情形(屏東)



圖 53.傾斜之印度紫檀根部情形



圖 54.風倒之印度紫檀根部情形 a



圖 55.風倒之印度紫檀根部情形 b

印度紫檀風倒受害木位於積水處或土壤潮濕的地方。在印度紫檀林下多為折斷的枝條，少部分為主幹風折的殘枝(圖 50、51)，傾斜(圖 52)和風倒的印度紫檀也有與大葉桃花心木相似點，其根部的生長皆為平鋪地面的側根而無向下生長的主根(圖 53-55)。

印度紫檀一般認為有較強的適應能力，能適應南部的氣候與立地條件，建議宜提高造林措施，加強幼齡林的撫育管理，以提高幼齡林的成活率，和存活率等造林早期表現，適當的施肥對幼齡林的生長具有促進作用，印度紫檀之生長期長，若以複層林經營方式，將提高林農的營林綜合效益。

3. 苦楝風害調查

苦楝生長快速、樹冠為傘形特徵、樹幹獨立而挺直，根系向四周放射生長特性，其抗風能力比較強。苦楝林下幾乎都是枝條。

苦楝隨著林齡的增長，其抗風能力逐漸增強，幼齡林風害多為樹幹彎曲，折幹和風倒的可能性較小，這是由於幼樹之樹幹木質化比例較小，柔韌度較高之故；中齡林和成熟林的風害類型主要為風倒和折幹/冠，主要取決於樹幹抗折斷能力與根系土壤固著力。當樹幹抗折斷能力低於根系土壤固著力時，風害表現為折幹/冠之形式；當樹幹抗彎折能力大於根系土壤固著力時，風害表現則為風倒。調查發現的苦楝斷枝上結滿種子(圖 56)，可能是種子太重加上下雨所導致的風折。並發現有人工修枝的痕跡(圖 57)。



圖 56.苦楝風折之枝條



圖 57.遭修枝之苦楝枝條

苦楝根系較深，強風下深根系樹種的抗風能力較大。比較與大葉桃花心木可發現大葉桃花心木林分密度過大，林木側根的生長由於相鄰木的競爭而受到限制，根系的土壤固著力降低，易發生風倒之害。一般而言，樹冠寬大的樹種比樹冠窄小的樹種抗風能力弱。葉面積指數較大，因此，樹種的抗風能力越強。同時苦楝樹高越小、冠幅之重心越低，其抗風能力增強；胸徑越大者，表示其林齡較高，因此一般來說其抗風性越強。

在此次調查中發現所設置的樣區內被補植了許多其他的樹種(圖 58)，推測應是有受到災害而遭伐除再補植其他的樹種(圖 59)。我們發現到易風倒的程度為大葉桃花心木>印度紫檀>苦楝；易主幹風折的也是大葉桃花心木>印度紫檀>苦楝，此一現象除了可能是樹種特性外，我們覺得也有可能是枝條生長的情形所造成的，因為枝條與主幹生長的角度為大葉桃花心木<印度紫檀(圖 60)<苦楝(圖 61)。



圖 58.樣區種植其他樹種的情形



圖 59.樣木遭伐除而種植其他樹種



圖 60.印度紫檀枝條生長情形



圖 61.苦楝枝條生長情形

IV. 討論

(I) 選拔適合南部平地造林之樹種及抗風性較強之苗木種類。

臺灣南部地區全年氣流均受季風及區域局部環流盛行影響，對照本區域 1996~2005 年於嘉義、臺南及高雄三氣象站之平均風速、最大風速及最多風方向，可知區域內夏季期間有西南季風盛行，晚秋至翌年初春期間則有風向為北之氣流盛行，各月平均最大風速均大於 6 m s^{-1} 。且時有熱帶低氣壓或颱風侵襲，或遇強烈大陸冷氣團過境，則於濱海區域亦會出現強風，此可由嘉義、臺南及高雄三氣象站於 1996~2005 年內之最大陣風風速分為： 31.7 、 34.7 及 31.4 m s^{-1} 得知。此區域之強風出現會直接造成林木倒伏、折枝、落葉與落果，濱海區域會出現鹽霧及飛沙直接使林木受損與生長受阻，因此若能對強風進行防護，將有利於林木生長。

對於大葉桃花心木易從主幹風折而印度紫檀和苦楝則不易的原因，推測是因為印度紫檀及苦楝的側枝生長皆會向四周平展，而大葉桃花心木則大多為向上方生長，即樹冠形態不同所導致。對於根部無主根向下生長，應為當初的出栽苗品質不好的緣故，可能是因為是盆栽苗導致盤根造成根系發育不良，或是在栽植時傷到苗木的根部所造成的。為減少因人為所導致的不良後果，應加以重視苗木培育的品質，以減少劣質苗的產生。

調查發現所設置的樣區內被補植了許多其他的樹種，推測應是有受到災害而遭伐除再補植其他的樹種。易風倒的程度為大葉桃花心木>印度紫檀>苦楝；易主幹風折的也是大葉桃花心木>印度紫檀>苦楝，此一現象除

了可能是樹種風性外，可能是枝條生長的情形所造成的，因為枝條與主幹生長的角度為大葉桃花心木<印度紫檀<苦楝。

(II)因應氣象危害，建立南部地區平地造林育林作業法。

氣象是影響林木生長及品質重要因素之一，特別是生長發育季節受氣象影響顯著，尤其乾早缺雨時有立枯現象。氣象的不調和，亦可能嚴重影響林木的生長，例如 2002 及 2003 年發生的嚴重乾旱現象，導致部分中部地區許多人工造林木枯死，顯示氣象環境與樹木生長發育之關係相當密切(Tsai, 2005)。近年來氣象災害有日趨嚴重趨勢，宜警覺預防以減輕氣象災害，而良好的策略可帶來良性效果。

適當的育林作業常是造林成敗與否的重要關鍵。而由於目前平地造林尚欠缺一套標準的育林作業體系，使得相關單位在施業時，常常發生困擾。有鑑於此，擬以本研究成果為基礎，探討並建立適合平地造林使用的育林作業技術，針對修枝、疏伐、間伐等育林作業之施行建立適當之時程範圍，使林分擁有較佳的狀態，抵抗自然環境所帶來的各種氣象危害，並以建構永續的優質森林為目標。

1.培養健壯之苗木

要有良好的造林生產勢，就必要有健壯之樹苗，也才能耐受氣象災害之侵襲。而要有健壯之苗木，則須有良好之撫育管理，包括樹種選擇、灌溉、栽培、施肥、病蟲害及雜草防除、樹勢培養等，尤其要培養健壯之苗木，具有深根性來吸取深層水分，使之具有抗旱能力。

2.瞭解氣象災害之防護措施

對林農而言，瞭解氣象災害之防護措施，有利降低危害，進而減少經

濟損失。農委會林務局之網站建置有氣象災害之防護方法，及栽培技術手冊參考。颱風往往帶來強風與大量雨水，而長期間之降雨則帶來澇害。颱風一般發生於夏季生長期，事實上強風造成樹體動搖根系受損，可能影響生長量。而且颱風帶來雨水導致土壤氮素及其它養分流失，需適時補充肥料讓樹木恢復生機。

3.因應氣象預報

長期氣象危害，例如降雨對水土保持不良或新植造林地將造成土壤流失、根系裸露或長期浸水影響根系生長等問題。近年來，臺灣之颱風趨向於極端形態，特別是強風豪雨造成水土流失、風倒或風折等損壞。部份造林區則因農路崩塌損壞以致於無法即時復原。因應策略由於氣候變遷、溫室效應、地球溫暖化影響降雨分布，造成臺灣許多造林區遭遇旱象頻繁，部分造林木老化。廣由媒體如電視、平面媒體、網際網路等獲知氣象動態，推估可能發生之氣象災害，採取必要之防護措施。

(Ⅲ)改善南部平地造林育林技術，建構優質林相。

臺灣南部地區相關於農業生產之氣象環境，應以西南部氣候區域之氣象環境為主，即自臺南縣平原及部分東側丘陵地，延伸至高雄、屏東二縣止為範圍。該地區主要農業氣象災害包括強風、雨害、寒害、旱害、焚風害等。若能掌握農業氣象災害發生潛勢，則可協助林農因應以減輕可能招致的損失，更能使其轉為一項氣候資源並加以利用，再進一步探究農業氣象災害損失與風險評估、開發相關防護與管理措施。

平地造林常處在強風的狀態，且在環境逆壓的情況，因此，氣象危害對於平地造林適應性之影響，首先探討適應性評估，將因素分析法採用鑑

別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因素只歸屬於一個或少數的指標上，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，突顯指標與潛在因素之相關性。轉軸後的矩陣結果，根據轉軸矩陣共歸納出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形態與受害程度因素，簡化主要的指標。本研究分析所得之林分適應性指標，與劉玲華(2005)海岸保安林健康性指標評估法之研究-以台灣北中部為例之結果，有歸納出共同之因素樹冠活力因素，共同的變數有樹冠透視度與樹冠密度。而樹冠空間的結構易反應一般林木適應的情況，亦即林木樹冠愈大、鬱閉者則適應愈好，而林木愈狹小、稀疏者則適應愈不良，以利於現況之判視。

林分健康性評估採用林木外觀形態之綜合指標，並非使用簡單幾個評估指標即可辨別林木之適應性，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 值藉由標準化得出加權因素分數(X')，最後可得到加權因素分數(X')總和，進行各樣區之林木健康狀態分析評估。林木適應性評估結果顯示目前平地造林林木的適應性，大部分林木適應性介於適應能力持平至適應性良好之間，若進行適切的撫育工作，輔助林木持續生長發育，將能避免林分產生退化現象；其中顯示林木適應性發育良好，若能適度撫育即能建構優質林分；若為適應性輕度不良，需進行撫育以改善林木的適應能力，持續育林技術的介入，使林分恢復生長發育，是經營林業不可或缺的重要工作。

目前，台糖公司擁有大面積的平地造林，其中以位於南部地區的面積最為廣泛，本研究協助其林分幼齡期撫育管理，及時提醒與改善林地林木生長狀況。由此推測同期展開之平地造林林分已進入撫育期，當加強撫育

有助於林木的蓄積與造林成效維持。未來經營和管理需有長期的監測研究，因此建議相關單位在進行平地造林之經營管理時，宜設立不同地區之永久樣區，並進行長期觀察監測，以了解地區環境的變化，及天然和人為災害後對生態環境所產生的影響。

VI. 結論

本研究針對臺灣南部地區所轄 19 處平地造林栽植之大葉桃花心木 (*Swietenia macrophylla*)、印度紫檀(*Pterocarpus indicus*)、苦楝(*Melia azedarach*)林分進行氣象危害調查，經由嘉義、臺南、高雄及屏東各地樣區直接調查其林分受害情況，藉由林分適應性之指標評估法，利用林木的胸徑、樹高、樹冠幅、樹冠密度和樹冠透視度等 15 項林木表現特徵，評估林木遭受氣象危害時，環境壓力促使外觀適應特徵變化，藉由因素分析歸納出：

1. 大葉桃花心木包括土壤與氣溫因素、生長形質因素、氣象因素、樹冠活力因素、風害因素、存活率因素等六項指標，解釋總變異數 89.27 % 以上。
2. 印度紫檀有生長形質因素、生育地環境因素、氣象因素、樹冠活力因素等四項指標，而這四項指標解釋總變異數 86.55 % 以上。
3. 苦楝則以土壤與氣象因素、生長形質因素、抗旱因素、樹冠活力因素、風害因素等五項指標，解釋總變異數 88.62 % 以上。

三種樹種再依因素轉軸後之特徵解釋量為評估權重，以加權的方式計算出加權因素分數，做為林分適應性之評估依據，結果顯示目前林分適應性介於持平至良好間，轄下平地造林林分林木適應性之差異，需配合不同程度之育林撫育，以促進林木持續發育。

平地造林林分適應性評估，林分適應性介於適應能力持平至適應性良好之間，而林木生長發育介於停滯至持續生長間，由於林分林木適應性之差異，需配合各項撫育工作，以促進林木生長發育；尤其適應不佳之林分，

常遭受外在逆壓環境危害，樣區內林木有枯死情形，建議造林後應持續進行補植及加強撫育管理的工作；由於平地造林因造林齡級差異，生長效益可能有所變動而不宜直接比較，透過林分生長適應性評估以協助大面積的平地造林經營作業體系的建立。

VII. 引用文獻

- 中央氣象局 (2012) 氣象資料統計報表。
- 王兆桓、陳子英 (2002) 林木健康指標評估方法之建立-以棲蘭山地區老熟檜木為例。行政院農業委員會林務局保育研究系列第 91-6 號。
- 行政院農業委員會 (2001) 平地造林及綠美化方案 (核定本)。台北：行政院農業委員會。
- 何坤益、柯乃瑛 (2010) 臺灣不同氣候區苦楝族群之遺傳多樣性。作物、環境與生物資訊 7(3):195-211。
- 林文鎮 (1997a) 前瞻全民造林運動。現代育林 2(2):15-33。
- 林文鎮 (1997b) 綠色的希望--全民造林運動的世界觀。農政與農情 57:44-52。
- 林木連、謝靜敏、陳玄 (2007) 茶園農業氣象災害與因應策略。作物、環境與生物資訊 4:35-40。
- 林國慶 (2003) 平地造林政策之分析。農業經濟叢刊 8(2):111-140。
- 林國慶、顏愛靜、楊振榮 (1998) 台北市農民回饋措施之研究。
- 林裕強 (2002) 永續觀光發展標之建立-認知觀點。中國文化大學觀光事業研究所碩士論文，台北。
- 李新鐸、邱文良、王相華 (1993) 澎湖生態造林之研究-25 種恆春鄉土樹種在澎湖砂港的適應性研究。林業試驗所研究報告季刊 8(3):209-218。
- 李載鳴 (2006) 澎湖海岸防風林造林樹種生長勢監測。華岡農科學報 18: 1-14。

- 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。
- 林國銓、唐盛林 (1999) 西部沿海地區臺灣海桐、榕樹、夾竹桃之幼年其生長。臺灣林業科學 14(3):247-254。
- 史鴻飛、張勁峰、楊德軍、馬賽宇 (2010) 印度紫檀山地造林技術與苗木的早期生長表現。安徽農業科學 38(17):24-25。
- 張燕 (2009) 遮蔭對印度紫檀苗木成活率的影響。廣東林業科技 25(4):72-74。
- 邱祈榮、聶齊平 (2000) 美國森林健康監測評量體系之介紹。台灣林業 26(3): 46-58。
- 唐琦、徐森雄 (2007) 臺灣南部地區農業氣象環境與災害發生潛勢。作物、環境與生物資訊 4:11-22。
- 孫洪剛、林雪峰、陳益泰、張曉磊 (2010) 沿海地區森林風害研究綜述。熱帶亞熱帶植物學報 18(5): 577-585。
- 馮豐隆、張愷玲、張鈞媛 (2010) 大葉桃花心木的生物、生態與利用生物科學 52(2):15-24。
- 黃裕星、鍾智昕、邱志明、林振榮 (2010) 七年生欖木、苦楝、光臘樹在平地造林的林木樹輪特徵研究中華林學季刊 43(2):1201 -212。
- 廖宜緯、陳美光、陳羽康、鍾玉龍、吳守從 (2011) 台糖公司屏東縣平地造林碳貯存量調查中華林學季刊 44(3):56-66。
- 陳子英 (2000) 坪林臺灣油杉自然保留區植群監測。行政院農業委員會林務局保育研究系列第 89-1 號，94 頁。
- 陳仁炫、鄒裕民 (2009) 土壤肥料分析手冊(一)土壤化學與性質分析。中

- 華土壤肥料協會，153頁。
- 陳阿興、陳麗美 (2002) 推動平地造林--讓我們一起打造綠色新家園。台灣林業 28(1):18-21。
- 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。
- 勞泰生 (2009) SPSS與研究方法，二版。五南書局，台北。
- 顏正平 (1974) 台灣木本植物根系分布深度與密度形態調查。中華水土保持學報 5(1):105-123。
- 劉玲華 (2005) 海岸保安林健康指標評估法之研究-以台灣北中部為例。國立屏東科技大學森林學研究所碩士論文，68頁。
- 羅時凡 (2007) 遙測技術應用於森林健康監測。國立屏東科技大學森林系研究所碩士論文，85頁。
- 羅時凡、魏浚紘、李崇誠、陳朝圳 (2009) 遙測技術應用於溪頭地區柳杉人工林之森林健康調查。林業研究季刊 31(1):37-54。
- 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.
- Chen, Y. F. (1990) The interface crack problem in nonhomogeneous bonded materials of finite thickness. Ph. D. dissertation ME-MECH Department, Lehigh University.
- Chen S. Y., X. H. Yang and S. Z. Du (1999) Investigation and Analysis on the Yard Tree's Characteristic of Resilience to Wind. (in Chinese) Prot For Sci Techn 4:32-35.
- Chi, C. H. (1964) Plum rains in Taiwan. (in Chinese) Meteor. Bull. TPWB

10(2):1-12.

- 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.
- Fraser, P. A. (1962) The Scattering of Low Energy Ortho-positronium by Helium Atoms. *Proc. Phys. Soc.* 79 721.
- Gardiner, B. A., and C. P. Quine (1994) Wind Damage to Forests. *Biomimetics* 2: 139-147.
- Gliński, J., and W. Stępniewski (1985) Soil Aeration and Its Role for Plants. CRC Press, Florida. 229pp.
- Grichko, V. P., and B. R. Glick (2001) Flooding tolerance of transgenic tomato plants expressing the bacterial enzyme ACC deaminase controlled by the 35S rolD or PRb-1b promoter. *Plant Physiol. Biochem.* 39: 19-25.
- Hsu, S. H. (1984) The characteristics of rainfall distribution in Pingtung area. (in Chinese) *Chinese J. Soil Water Cons.* 15(1,2): 33-37.
- Hsu, S. H. (1989) A compendiums for the resources of agricultural climate and its prospect. (in Chinese) *J. Agric. Assoc China.* (new series) 148: 1-11.
- Hsu, S. H., and S. C. Hsieh (1993) Mesh climatological values of temperature and rainfall in southern Taiwan. (in Chinese) p.159-178. In: Sino-Japanese symposium on application of agrometeorology. September 22, 1993. Taichung, Taiwan ROC. Publish by Chinese Society of Agrometeorology Taichung Hsien, Taiwan ROC.

- Ismail, M. R., and K. M. Noor (1996) Growth and physiological processes of young startfruit (*Averrhoa carambola* L.) plants under soil flooding. *Sci. Hort.* 65: 229-238.
- Iwata, K., T. Inayama and T. Kato (1990) Effects of *Spirulina platensis* on plasma lipoprotein lipase activity in fructoseinduced hyperlipidemic rats. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 36:165-171.
- Jurskis, V. (2005) Decline of eucalypt forests as a consequence of unnatural fire regimes. *Australian Forestry* 68(4): 257–262.
- Kenneth, B. P. Jr., J. L. Ohmann, M. C. Wimberly, M. J. Gregory and J. S. Fried (2009) Mapping wildland fuels and forest structure forland management: a comparison of nearest neighbor imputation and other methods. *Canadian Journal of Forest Research* 39: 1901–1916.
- 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.
- Kuo, T. C., J. M. Lai, Y. Shen, C. Tang, C. H. Liao, P. H. Lee, C. S. Kuo, and J. J. Huang (2004) Agrometeorological disasters protection techniques for tropical fruit trees in southern Taiwan. (in Chinese) *Res. Bull. KDARES.* 15(1): 1-17.
- Liao, C. H. (2002) Climatic variation and agromeorological disasters occurred in Taiwamn in 2001. (in Chinese) p.53-68. In: *Agricultural Meteorology and Applications and Management of Aagricultural Water Resources.* CM Yang, FH Lin and CY Lin (eds.) Chinese Society of Agrometeorology, Taichung Hsien, Taiwan.
- Liao C. T., and C. H. Lin (2001) Physiological adaptation of crop plants to flooding stress. *Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(B).* 25(3): 148-157.

- Metzger, J. M., and R. Oren (2001) The effect of crown dimensions transparency and the assessment of tree health. *Ecological Applications* 11(6): 1634-1640.
- Noda, R. (1993) The Damages of Forests in Fukuoka Prefecture by Typhoon No.17 and No.19 in 1991. *Jornual For Environment*. 35: 50-59.
- Romm, J. (1994) Sustainable Forests and Suitable Forestry. *Journal of Forestry*. 92(7):35-39.
- Shen, Y., and S. W. Huang (1996) Estimation and application of potential evapotranspiration in south-west region of Taiwan. *Chinese J. Agromet*. 3(3): 141-149.
- Smith, W. B. (2002) Forest inventory and analysis: A national inventory and monitoring program. *Environment Pollution* 116: 233 -242.
- Snook, L. K. , V. A. Santos Jimenez, M. Carreón Mundo, C. Chan Rivas, F. J. May Ek, P. Mas Kantún, A. Nolasco Morales, C. Hernández Hernández and C. Escobar Ruíz (2003) Managing natural forests for sustainable harvests of mahogany (*Swietenia macrophylla*): experiences in Mexico's community forests. *Unasyuva* 54:68–73.
- Stolte, A., E. K. Grebel, W. Brandner and D. F. Figer (2002) The mass function of the Arches cluster from Gemini adaptive optics data. *Stellar clusters and associations* 349(2): 459 – 478.
- Tsai, C. H. (2005) Survey on tea drought damage and protection techniques. In: *Proceedings of Tea Meteorological Disaster and Protection Techniques*. C. K. Chang, J. M. Hsieh and S. Chen (eds.) Tea Research and Extension Press, Taoyuan.

- Tseng, W. P., C. Chu and C. Y. Young (1986) The study of influence of meteorological factors on the safety crop cultivation period in Taiwan. (in Chinese) Meteor. Bull. CWB 32(2):44-61.
- USDA Forest Service (2002) Forest Inventory and Analysis National Core Field Guide. USDA1: Phase 3 Field Guide-Crowns: Measurements and Sampling. 21pp.
- Wang, F., and Y. J. Xu (2009) Hurricane Katrina-induced Forest Damage in Relation to Ecological Factors at Landscape Scale. Environ. Monit. Assess. 156(1-4): 491-507.
- Wu, R. S., W. R. Su, W. M. Liao and C. C. Chang (2002) Quantitative analysis disasters of typhoons(1946-2000) and heavy storms (1959-2000) in Taiwan. (in Chinese) p.37-52. In: Agricultural Meteorology and Applications and Management of Agricultural Water Resources. CM Yang, FH Lin, CY Lin (eds). Chinese Society of Agrometeorology, Taichung Hsien, Taiwan.
- Yang, C. M. (1995) Agro-climatic disasters from 1945 to 1993 in Taiwan and the coupling research direction. (in Chinese) Chinese J. Agromet. 2(1): 31-35.
- Yang, C. M., F. M. Chang, R. K. Chen, Y. J. Lee and B. K. Shen (2002) Plant growth and water content of *Amaranthus mangostanus* in response to waterlogging. Chinese J. Agromet. 9: 37-48.

VIII. 附錄

附錄 1. 嘉義地區 2004 年至 2011 年之每月雨量 (單位：mm)

月 \ 年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1	4.6	7	8.5	63.7	31.2	—	19.5	25.7
2	24.9	140.9	3.5	17.5	18.4	13	53.8	19.9
3	27.8	146.8	59.1	16.2	12.7	84.9	6.9	49.7
4	63.7	57.3	123.6	86.4	25.9	97	69	4.6
5	53.4	266.4	148.6	181.8	67.6	9.4	103.8	150
6	26.7	833.4	800	306.6	288.2	256.3	269.8	148.5
7	728.9	703.5	629.9	83.3	163.4	201	459.3	175.1
8	294.7	415.5	199	828.2	290	947.2	208.7	112.8
9	98.6	310.5	237	210.4	632	186.1	252.3	109.5
10	1.5	89.5	6	247.7	50.9	7.1	15.8	25.8
11	0	5.7	80.8	22.1	23.3	6.3	40.9	180.6
12	86.2	9.1	21.8	—	7	18.2	32.7	19.5
總計	1411	2985.6	2317.8	2063.9	1610.6	1826.5	1532.5	1021.7

附錄 2. 嘉義地區 2004 年至 2011 年之月平均風速資料 (單位：m/s)

月 \ 年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1	2.2	2.2	2.1	2.1	2.4	2.4	2.0	3.0
2	1.9	2.1	2.2	1.7	2.7	1.9	2.3	2.0
3	2.0	2.1	1.8	1.8	1.8	2.2	2.2	2.0
4	1.7	1.7	1.9	1.7	1.7	1.8	2.1	1.6
5	1.9	2.0	2.0	1.7	2.0	1.6	1.9	1.6
6	1.9	2.3	2.0	2.0	2.5	2.5	2.4	2.4
7	1.9	2.5	2.5	2.2	2.5	2.4	2.4	2.2
8	1.7	2.1	1.7	2.1	2.0	2.6	1.7	2.0
9	1.7	1.8	1.6	1.7	2.3	1.7	1.8	1.3
10	1.8	1.7	1.3	1.9	1.3	1.8	2.0	1.2
11	1.3	1.5	1.4	2.1	2.3	2.1	1.4	1.4
12	1.9	2.2	1.7	1.8	2.1	2.1	1.9	2.5

附錄 3. 嘉義地區 2004 年至 2011 年之月平均風向資料 (單位：degree)

月 \ 年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1	10.0	10.0	10.0	10.0	360.0	360.0	360.0	360.0
2	360.0	10.0	10.0	10.0	360.0	360.0	360.0	360.0
3	360.0	10.0	360.0	360.0	360.0	360.0	10.0	360.0
4	360.0	310.0	320.0	10.0	350.0	350.0	360.0	310.0
5	320.0	300.0	10.0	310.0	360.0	280.0	250.0	350.0
6	320.0	210.0	170.0	210.0	200.0	200.0	200.0	250.0
7	280.0	270.0	170.0	260.0	250.0	200.0	240.0	280.0
8	350.0	360.0	130.0	200.0	240.0	280.0	60.0	200.0
9	350.0	300.0	310.0	350.0	360.0	10.0	10.0	310.0
10	10.0	10.0	310.0	360.0	360.0	360.0	10.0	350.0
11	320.0	10.0	20.0	10.0	360.0	10.0	360.0	10.0
12	360.0	10.0	10.0	360.0	360.0	360.0	360.0	360.0

附錄 4. 臺南地區 2004 年至 2011 年之每月雨量 (單位：mm)

月 \ 年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1	3.1	2.9	27.5	25.6	32.7	0	11.5	6.7
2	14.1	48.1	1.2	17.5	9.5	5.5	32	7.7
3	6.9	89	11.4	10.5	25.5	39.1	0.3	4.7
4	61.7	35.1	199	36	13.7	76	28.1	26
5	86.5	141.7	211.7	167.4	41.5	5.8	114	55.2
6	16.9	1412.7	483.3	333.2	782.2	272	283.4	304
7	375.7	716.3	581.2	131.7	526.9	139.5	501.4	401.5
8	165.2	393.3	173.8	1138	84.5	765.9	210	172.3
9	275.7	210.8	114.6	135	356.5	39.5	461	5
10	0.1	75	4	194.7	33	15.8	69	27.8
11	0	16.5	55.5	17	42.9	4	54	203.5
12	102	7.1	4	0.7	1.1	3.5	14.5	4.4
總計	1107.9	3148.5	1867.2	2207.3	1950	1366.6	1779.2	1218.8

附錄 5. 臺南地區 2004 年至 2011 年之月平均風速資料(單位：m/s)

月 \ 年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1	4.2	4.1	3.7	4.0	4.0	4.0	3.6	4.5
2	3.4	3.6	3.8	3.2	4.6	3.0	3.6	3.3
3	3.6	3.6	3.1	3.0	3.2	3.4	3.2	3.4
4	2.8	2.8	2.6	3.0	2.9	3.1	3.2	2.6
5	3.0	2.6	2.8	2.7	2.8	2.7	2.8	2.6
6	3.0	3.1	2.7	3.2	3.4	3.4	2.9	3.1
7	3.1	3.5	3.6	2.9	3.4	3.2	2.6	2.7
8	3.2	3.4	2.3	3.4	2.9	3.5	2.3	3.0
9	3.1	2.8	2.4	2.6	3.0	2.7	3.3	1.9
10	3.4	3.1	2.3	3.1	2.4	3.1	3.1	2.3
11	2.6	2.8	2.9	3.6	3.9	3.6	2.9	2.3
12	3.6	4.0	3.6	3.6	3.3	3.7	3.4	3.9

附錄 6. 臺南地區 2004 年至 2011 年之月平均風向資料(單位：degree)

月 \ 年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1	10.0	360.0	10.0	20.0	30.0	50.0	20.0	10.0
2	10.0	360.0	30.0	30.0	30.0	50.0	70.0	10.0
3	360.0	10.0	30.0	30.0	30.0	10.0	20.0	10.0
4	360.0	10.0	180.0	20.0	20.0	10.0	20.0	20.0
5	360.0	300.0	20.0	20.0	20.0	30.0	10.0	10.0
6	360.0	190.0	190.0	190.0	130.0	190.0	10.0	180.0
7	10.0	130.0	150.0	200.0	160.0	190.0	250.0	130.0
8	350.0	350.0	20.0	130.0	200.0	310.0	130.0	190.0
9	360.0	360.0	20.0	250.0	10.0	140.0	310.0	10.0
10	10.0	10.0	70.0	30.0	10.0	10.0	10.0	10.0
11	10.0	10.0	30.0	30.0	10.0	10.0	10.0	10.0
12	360.0	10.0	20.0	20.0	20.0	10.0	10.0	10.0

附錄 7. 高雄地區 2004 年至 2011 年之每月雨量 (單位：mm)

月 \ 年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1	3	—	5.5	8	14.8	0	1.5	7.7
2	6.7	43	0	7.5	16.1	0.5	10.5	3.5
3	2.5	16.5	11	7.5	15.1	30	1	8
4	75	4.4	92.5	24	32.5	72.8	48	29.5
5	201.5	310	107	293.4	106.5	14	188	106
6	52.8	1030	568.5	276.8	1199.7	311.5	257	392
7	448.5	687	901.5	76	653.1	200.5	437	543
8	192	420	159	1229.3	162	934.5	164.7	367.5
9	297	202.5	161	125.5	293	134.5	853	71.5
10	1.5	63.5	1.5	92.5	26.5	48.5	175.5	55
11	1	21	36	53.5	72	9	13	172.5
12	158	23.5	2	0	—	0.5	11.5	40.5
總計	1439.5	2821.4	2045.5	2194	2591.3	1756.3	2160.7	1796.7

附錄 8. 高雄地區 2004 年至 2011 年之月平均風速資料(單位：m/s)

月 \ 年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1	2.4	2.4	2.1	2.3	2.0	2.2	1.9	2.4
2	2.1	2.1	2.4	2.3	2.5	1.9	1.9	2.1
3	2.3	2.4	2.3	2.2	2.0	2.0	1.8	2.0
4	2.2	2.3	2.2	2.1	1.8	1.9	2.1	1.9
5	2.3	2.2	2.4	2.1	2.0	1.9	2.1	1.9
6	2.3	2.4	2.4	2.3	2.2	2.3	1.8	2.6
7	2.4	3.0	3.0	2.5	2.6	2.1	2.0	2.0
8	2.3	3.1	2.3	2.6	2.1	2.7	1.8	2.5
9	2.4	2.4	2.1	1.9	2.3	1.8	2.8	1.5
10	2.3	2.2	1.9	2.0	1.6	1.7	1.9	1.3
11	1.9	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.9	1.4
12	2.3	2.2	2.2	1.9	1.9	1.9	2.0	1.7

附錄 9. 高雄地區 2004 年至 2011 年之月平均風向資料(單位：degree)

月 \ 年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1	360.0	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0	350.0
2	310.0	350.0	310.0	350.0	350.0	310.0	350.0	350.0
3	350.0	310.0	310.0	310.0	310.0	350.0	310.0	350.0
4	310.0	310.0	310.0	310.0	310.0	310.0	310.0	310.0
5	150.0	310.0	310.0	310.0	310.0	310.0	310.0	320.0
6	310.0	150.0	150.0	160.0	160.0	180.0	170.0	170.0
7	310.0	190.0	150.0	310.0	310.0	180.0	310.0	310.0
8	310.0	310.0	310.0	150.0	300.0	310.0	60.0	170.0
9	310.0	310.0	290.0	310.0	310.0	310.0	160.0	290.0
10	350.0	310.0	310.0	310.0	290.0	350.0	310.0	310.0
11	310.0	310.0	310.0	350.0	360.0	350.0	350.0	310.0
12	350.0	350.0	350.0	350.0	360.0	350.0	20.0	350.0

附錄 10. 屏東地區 2004 年至 2011 年之每月雨量 (單位：mm)

月 \ 年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1	9	8.5	20	12.5	4.5	29.5	19.3	12.4
2	1	7	30.7	38	7.3	9.9	0.2	18.5
3	3	24	4.1	2.2	57.9	13.8	4.1	5
4	47	5	20.8	2.7	8.3	38.8	19.5	40.3
5	78.5	155.5	260.3	104.3	31.5	2	253.7	127.4
6	129	494	302.5	215	653	87.4	196.8	339.4
7	488	704.5	650.7	108.7	532.4	298.6	381.7	443.2
8	261.5	280.5	244.6	1170.2	423.2	927.2	278.3	1154.7
9	383	492	144	198.7	181.1	258.6	847.6	101.9
10	0.5	27.5	4.6	46.4	35.1	181	413.4	190.2
11	—	85.5	4.9	240.8	65.5	3	5.4	134.1
12	149	55.1	2.9	0.3	4.7	4.5	1.2	29.9
總計	1549.5	2399.1	1690.1	2139.8	2004.5	1854.3	2421.2	2597

附錄 11. 屏東地區 2004 年至 2011 年之月平均風速資料(單位：m/s)

月 \ 年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1	4.1	3.6	4.2	4.8	5.3	4.3	4.2	5.4
2	4.2	3.4	5.1	3.4	4.4	3.1	2.3	3.0
3	3.7	4.3	3.8	3.3	3.7	3.4	3.4	5.3
4	2.9	2.9	2.9	3.2	2.8	4.4	3.4	3.3
5	2.9	2.1	3.1	2.3	2.8	2.9	2.5	2.2
6	3.1	2.9	2.8	1.8	1.6	2.4	2.4	2.4
7	3.2	2.5	2.9	1.8	1.8	2.5	2.5	2.2
8	2.5	3.3	2.2	2.3	1.6	2.7	2.1	2.4
9	2.3	3.3	2.9	3.0	2.7	3.4	2.6	2.7
10	4.7	4.2	3.9	5.2	3.1	4.1	4.2	4.5
11	4.9	4.7	4.1	6.6	4.5	4.3	5.0	4.4
12	4.6	5.1	5.5	3.9	4.8	4.0	4.4	5.7

附錄 12. 屏東地區 2004 年至 2011 年之月平均風向資料(單位：degree)

月 \ 年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1	40.0	40.0	40.0	40.0	50.0	40.0	40.0	40.0
2	50.0	40.0	40.0	40.0	50.0	50.0	350.0	40.0
3	40.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	40.0	50.0
4	40.0	40.0	300.0	50.0	50.0	50.0	40.0	40.0
5	100.0	290.0	300.0	70.0	50.0	50.0	90.0	90.0
6	30.0	270.0	100.0	290.0	110.0	90.0	290.0	290.0
7	80.0	100.0	100.0	300.0	290.0	360.0	290.0	90.0
8	290.0	70.0	80.0	80.0	290.0	320.0	100.0	100.0
9	60.0	70.0	50.0	50.0	290.0	40.0	100.0	40.0
10	40.0	40.0	40.0	40.0	50.0	40.0	40.0	40.0
11	40.0	40.0	50.0	50.0	40.0	40.0	40.0	40.0
12	40.0	40.0	50.0	50.0	40.0	40.0	40.0	30.0

100 年度委託研究計畫期末報告委員審查意見辦理情形表

計畫編號：100-00-5-17

計畫名稱：臺灣南部地區平地造林林分氣象危害調查及改善之研究

審查委員意見	辦理情形
<p>郭教授幸榮：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 建議將第 3 至 13 頁之前人研究與以簡化以便閱讀，並可免於失焦。另外，本研究 3 樹種之造林面積及占平地造林面積比例為何？ 2. 第 22 頁樹冠密度之測定方法無法明瞭實際測定過程，樹冠透視度測量法是否有其他研究之文獻採用？如何消除人為誤差？請補強。 3. 第 29 頁表 6、第 30 頁表 7、第 31 頁表 8 同一種樹種不同地區為何在 2010-2011 年之間有這麼大的差異？且直徑生長有 4 公分以上(即年輪寬 2 公分)、樹高有 5 m 以上的生長表現，是否有誤？請補強說明。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝委員指正，已於報告內修改。 2. 觀測者站立於樹冠下，觀測陽光無法穿透部分之樹冠面積的百分比；觀測者須先接受相關訓練，觀測時至少兩位以上之觀測這進行觀測。 3. 已於比對野帳資料後發現為人為輸入資料之錯誤，已於報告內修改。

<p>4. 在不同的土壤質地、結構下，相同的含水率其可用的水並不同，本研究測定含水率的原因何在?請補述。</p> <p>5. 第 33 頁表 10 成分 1 至 15 名稱為何?請予以敘明。</p> <p>6. 第 34 頁表 11 之樹冠活力所指為何?材料方法並無這一項。</p> <p>7. 第 26-62 頁之結果部分請避免引用其他文獻。</p> <p>8. 本研究對風倒雖有深入分析，但樹冠層之位置或直徑大小之分布，極可能與風倒有關的土壤深度、根系形狀(尤其變形)、根分布深度、樹冠形狀及密度等因子之影響風倒程度著墨不多，請予以補強。另外，文內對各種樹種性狀之描述，如第 47-48 頁所述，欠缺資料及文獻支持者，請予以補強。</p>	<p>4. 為土壤基本資料之蒐集，為了解土壤中水分含量之多寡。</p> <p>5. 成分是指指標組合之情形，例如表 10 成分 1 即指表 11 之土壤氣溫指標，以此類推。</p> <p>6. 樹冠活力指標為影響林木樹冠生長活力的變數之名稱。</p> <p>7. 謝謝委員指正，已於報告內修改。</p> <p>8. 謝謝委員指正，已於報告內修改。</p>
---	---

<p>9. 第 68-69 頁對氣象危害之敘述太薄弱，請予以補強。</p>	<p>9. 謝謝委員指正，已於報告內修改。</p>
<p>簡研究員慶德：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 摘要斟酌修正，讓讀者易於了解。 2. 表 6-8 樹木調查數量呈現，統計值請加上標準誤差(\pmSE)，調查時間請加上月份。 3. 第 32 頁表 9 土壤含水率數值所代表意義為何?請說明。 4. 第 33 頁表 10 成分 1 指 15 所代表的意義為何?請說明。 5. 請詳細說明總變異數或相關名詞之意義。 6. 請說明大葉桃花心木沒有主根的原因。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝委員指正，已於報告內修改。 2. 謝謝委員指正，已於報告內修改。 3. 為土壤基本資料之蒐集，為了解土壤中水分含量之多寡。 4. 成分是指指標組合之情形，例如表 10 成分 1 即指表 11 之土壤氣溫指標，以此類推。 5. 總變異量=組間變異量+組內變異量，組間的變異量，自變數造成的變異量，組內的變異量，誤差的變異量。 6. 對於根部無主根向下生長，應為當初的出栽苗品質不好的緣故，可能是因為是盆栽苗導致盤根造成根系發育不良，或

	<p>是在栽植時傷到苗木的根部所造成的。為減少因人為所導致的不良後果，應加以重視苗木培育的品質，以減少劣質苗的產生。</p>
--	--

計畫主持人： 何坤益 教授

研究人員：

序號	機關名稱	單位名稱	研究人員	職稱
1	國立嘉義大學	森林暨自然資源學系	何坤益	教授
2	國立嘉義大學	森林暨自然資源學系	張琮柏	博士生
3	國立嘉義大學	森林暨自然資源學系	徐一善	研究生
4	國立嘉義大學	森林暨自然資源學系	魏苡璿	研究生
5	國立嘉義大學	森林暨自然資源學系	歐書瑋	研究生
6	國立嘉義大學	森林暨自然資源學系	程俊堯	研究生
7	國立嘉義大學	森林暨自然資源學系	梁雁茹	研究生
8	國立嘉義大學	森林暨自然資源學系	吳彥逸	研究生