

行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列 94-03-05-03

疏伐示範區監測計畫

A Monitoring Plan for Thinning Contrast Zone



委託單位：林務局東勢林區管理處

執行單位：國立中興大學森林學系

計畫主持人：李久先

中華民國九十四年十二月

中文摘要

【摘要】本計畫為配合疏伐示範區建立，對林分進行監測，以瞭解疏伐之效益並作為評估疏伐作業之參考。該示範區位於大雪山林場 200 林道旁，屬大安溪事業區第 121、123 林班，並於該兩林班內設置強度、中度兩種疏伐處理與對照區，以進行疏伐效益之監測與比較。本計畫延續去年計畫將疏伐樣木進行樹冠解析，且就調查資料統計其林分生長量及林分結構之分析，並計算樹冠競爭指標及瞭解不同疏伐樣區內光度之比較。目前就兩年度之分析結果與預期相符，就生長率而言，經疏伐處理比不處理其生長率還高，而樹冠競爭指數亦會隨疏伐之強度增加而減少，該研究結果可供紅檜人工林經營之參考。

【關鍵字】紅檜人工林、疏伐、監測、樹冠競爭指數

英文摘要

【Abstract】 The purpose of this study was to monitor dynamics of stand on thinning demonstration zone, in order to know the benefit after thinned. The study area is located in the 121 and 123 compartment of Da-An Shi working circle which belong to Dong-Shih forest district office. The two thinning intensities, heavy thinning and intermediate thinning which were accomplished by treatment of reserving stems as 800 and 1000 per hectare. There was also a contrast zone reserving stems by 1500-1800 per hectare. We monitored and compared three kinds of zone to estimate benefit. This study was extended from last year (2004), we had completed the stem analysis, and tree crown characteristics analysis was finished in this year, then according the investigate data to statistic the growth ratio and structure of the stand. Crown competition faction(CCF) and irradiance was calculated to know the difference between thinning stand. As regards of growth ratio, thinning was better than unthinning, but CCF was decrease in thinning intensity. The results will provide basis information of thinning for *Chamaecyparis formosensis* plantation management.

【Keywords】 *Chamaecyparis formosensis* plantation, thinning, monitoring, crown competition faction(CCF)

研究團隊說明

本研究計畫之主持人為國立中興大學森林學系李久先教授，負責計畫之規劃、工作項目之研擬、人員之分配及調度、計畫進度之控管及報告之撰寫。研究團隊成員包括助理教授顏添明老師，負責計畫進度之控管、資料之分析；博士班研究生黃凱洛、研究助理張維仁、許哲維、紀儀芝、吳景揚負責樣木調查、光度量測、樹幹解析及資料建檔分析等工作。

一、前言

根據第三次全省森林資源調查結果顯示，人工林面積約佔林地面積的五分之一，且以針葉林為多數，其面積為人工林之 59%(林務局，1995)。隨著天然林全面禁伐，人工林之經營顯得格外重要，過去台灣雖曾積極推動造林，目前大部份皆已成林且林冠呈鬱閉狀態，進入了林木中後期撫育時期，需進行疏伐作業，以促進林木的生長並保持林分的活力及健康狀態。疏伐作業在歐美及日本皆有相當的歷史及完整的體系，其中日本經營計畫對於各重要樹種皆有建構「林分密度管理圖」以指導疏伐作業之實施。

過去我國疏伐的研究大都僅具小規模之試驗性質，隨著環境資源日益受到重視，疏伐作業為目前政府所重視的重要政策之一，林分實施疏伐作業具相當多的優點，諸如：(1)促進保留木之生長；(2)改良林木品質；(3)減少林木相對死亡率；(4)增加經營過程中之木材收穫；(5)保持林分的活力及健康狀態；(6)增加林內之生物歧異度。因此實施疏伐作業有其必要性。林務局為能推廣疏伐作業乃選擇東勢林區管理處大安溪事業區之中高海拔造林之主要樹種紅檜(*Chamaecyparis formosensis* Matsum.)為示範樹種，並成立疏伐示範區，讓一般民眾具體瞭解疏伐的意義，以期民眾能對林業的專業知識有所認同，體認疏伐作業的重要性，未來推動在林木中後期撫育的過程中，將可獲得大眾的支持與肯定。

本研究案係配合疏伐示範區的建立，對林分進行監測，以瞭解疏伐之效益，做為評估疏伐作業之參考。所謂監測的意義係「長期計量環境特性，以確定環境品質在某些方面的現況或趨勢」(Suter, 1993)。去年(93)疏伐作業及基本林分屬性調查已經完成，為能建立較為完整相關之基本資料，及持續進行監測工作，本計畫乃延續去年度計畫繼續進行基本資料建構及林分監測，以期能進一步瞭解疏伐之效益。

二、計畫目標

(一) 全程目標：

本計畫針對疏伐示範區內紅檜人工林進行監測，主要目標在於建立疏伐林分的基本資料，包括疏伐前後林分各項性態值、林分結構、地表植群、林地環境屬性資料之建立，所設置之監測樣區係配合東勢林區管理處之疏伐作

業，進行疏伐林分之監測，以比較疏伐前後各項性態值的差異及監測疏伐後林分之變化，以評估疏伐作業之效益，俾供往後林務局推廣疏伐作業的參考。

(二) 本年度目標

1. 林分生產力解析
2. 疏伐後林分樹種組成及生長變化
3. 疏伐後林分各介量之變化
4. 林分植群之監測

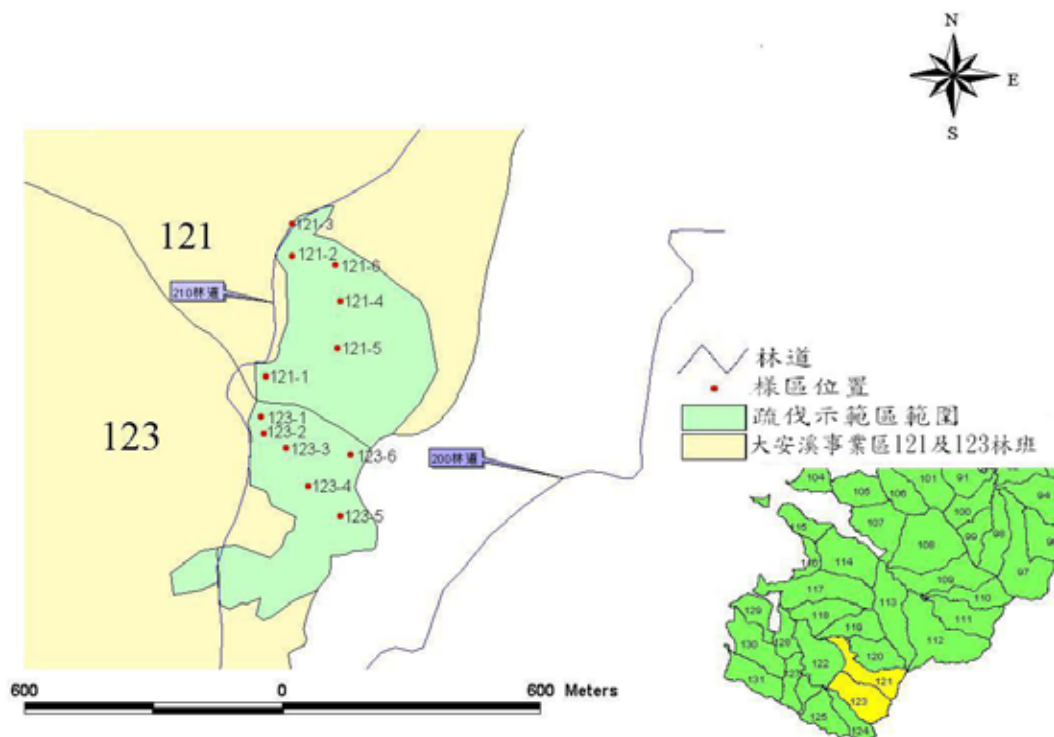
三、研究地點

本研究之試驗地位於本省中部，屬林務局東勢林區管理處大安溪事業區，本事業區地處台中縣和平鄉及苗栗縣泰安鄉，位於東經 120°54'07" 至 121°15'21"，北緯 24°14'21" 至 24°28'38" 之間，東以大溪、大甲溪事業區為界，南及西皆與八仙山事業區為界，總面積 55,536.06 公頃，全事業區共劃分為 131 林班(林務局，2001)，本示範區位於第 121、123 林班。本區域之海拔以 1,500 ~ 2,500 公尺佔大多數，為中央山脈之一部分，係經第三紀始新世之造山運動及漸新世之褶曲運動所形成，山系屬雪山地壘西南側兩個分歧中之西分歧，呈北東—南西走向，起自雪山經鞍馬山、船型山至稍來山為嶺線，山區之溪流多呈峽谷，形成險峻起伏山地。本區域主要母岩為粘板岩、頁岩，砂岩副之，或為粘板岩與砂岩之互層，結構不堅，岩石排列鬆弱，易受風化崩離，降水易滲入岩層中，抗侵蝕力弱，地表混有腐植質，表土層頗深厚，排水良好。

依林務局(1992)資料顯示，本區域土壤種類之分布砂壤土佔 67.25%、壤土佔 25.07%、粘壤土佔 0.24%、石礫土佔 5.22%、其他僅佔 2.22%，而本區域之植物資源豐富涵蓋許多林相，如中海拔之樟楠、槲櫟類，高海拔之紅檜、台灣扁柏(*Chamaecyparis obtuse* var. *formosana* (Hay))、鐵杉(*Tsuga chinensis* Pritz.) 等，其中包含人工造林，且樹種繁多，如紅檜、台灣扁柏、台灣肖楠(*Calocedrus formosana* (Florin))、台灣二葉松(*Pinus taiwanensis* Hay.)、台灣赤楊(*Alnus japonica*

(Thunb.)等。

示範區位於大雪山林場 200 林道距 35K 管制站 2 公里路旁，海拔 1,800~2,000 公尺，坡度 20~25°，屬於大安溪事業區第 121、123 林班，林分於民國六十四年開始栽植，李久先於民國七十年起於本地區進行疏伐作業，林分於七年生時實施不同強度之疏伐作業，曾發表相關研究報告十餘篇，也證實疏伐作業能促進保留木生長，改變林分結構，唯該疏伐迄今已達二十餘年，林分早已呈鬱閉，有待再次進行疏伐作業。為實際瞭解目前林分之現況，曾於 92 年至現場調查，取臨時樣區，其株數約為 900~1800 株/公頃，胸高斷面積約為 25~55 平方公尺/公頃，而蓄積量則為 120~240 立方公尺/公頃。93 年度東勢處實施疏伐試驗於該兩林班設置強度(保留 825 株/公頃)、中度(保留 1000 株/公頃)兩種疏伐處理與對照區進行疏伐效益之監測，下圖 1 為研究區域樣區位置圖。



樣區代號：強度疏伐：121-1,121-3,121-4,121-6；中度疏伐 123-1,123-2,123-3,123-6；
對照區：121-2,121-5,123-4,123-5

圖 1.研究區域樣區位置圖

四、疏伐之相關研究

(一)、紅檜樹種簡介

1.一般概述

紅檜(*Chamaecyparis formosensis* Matsum.)，土名薄皮、水古杉，亦有與台灣扁柏通稱松梧者，日名ベニヒ，英文名 Formosan Red Cypress，屬柏木科(*Cupressaceae*)扁柏屬(*Chamaecyparis*)，為台灣固有，全島蓄積量豐富，僅次於鐵杉，居第二位；分佈較台灣扁柏稍低，並同為溫帶林，北部插天山海拔 1,050m 處已有發現，阿里山平遮那 1,800m、二萬坪 2,000m 間即見此樹，太平山、八仙山以及太魯閣、林田山等處均分佈甚多，以海拔 1,500~2,150m 為最盛，每居台灣扁柏稍下部，或與鐵杉、華山松、紅豆杉、台灣杉等形成混交林(劉業經等，1979)。

2.性狀

本樹種為常綠大喬木，大枝稍疏生而略下垂，樹皮薄而平滑，淡赤褐色，成條狀或片狀剝落。葉幼時為針葉老為鱗葉，與台灣扁柏極相似，近三角形，表面綠色，內面灰白色，鱗片葉互生，先端尖銳(約 15°)，中央有白色氣孔溝。毬果長橢圓形，徑 7-9mm，果鱗 10-13 枚，每果鱗具種子 2 枚，當年成熟。

3.木材性質及用途

紅檜木材心材帶淡紅色，無辣味，材質細密而稍軟，負擔力較差，但耐濕性及耐蟻性則較台灣扁柏為大，少割裂、具芳香，可供建築、橋樑、高級枕木、家具樽桶、雕刻、造船、合板、精細木工、裝飾貼片、鉛筆桿材等多種用途。

(二)、疏伐作業

1.疏伐之意義

疏伐，亦可稱為間伐，為林分撫育的一種方式。疏伐者，其目的以撫育為主，

蓋將林分加以疏開，以利留存木的生長；間伐者，目的在於主伐前過程中的收益。所以稱之為疏伐，乃著眼於林木及林分的生長，以伐採未成熟木或是被壓木為主，以促進留存木的生長與發育，並具有增加材積、促進優良形質、提高整體產能、維持適當蓄積以及抵抗各式為害等益處（顏添明，1993）。

2.疏伐的種類

疏伐的方式主要可分為定性疏伐與定量疏伐二大類，如下述之(參考劉慎孝，1976；顏添明，1993；林明進，1995；吳學平，2001)。

(1)定性疏伐

所謂定性疏伐乃先決定應伐除何種型態之林木，再決定伐除量，主要是依據樹冠級或幹級而實行之疏伐法。依被疏伐木選定方法之不同而區分為以下四種。

a.下層疏伐(Low thinning)

由樹冠級之最低者優先伐除，如枯死木、瀕死木、被壓木、傷害木等。再繼續伐其較高者，迄達疏伐需要之強度為止。

b.上層疏伐(Thinning from above)

亦稱高層疏伐或優勢木疏伐。係伐採中部及上部樹冠級與直徑級之林木，疏開其樹冠以促進生長健全之被壓木及大部份中庸木之生長。(在執行上，被壓木亦應予伐除)

c.選擇疏伐(Selective thinning)

乃伐除生長旺盛之優勢木及至下次疏伐可能枯死之瀕死木，以促進較低樹冠級林木之發育。

d.機械疏伐(Mechanical thinning)

此法係基於預定之樹間距離，而選擇被伐採或保留之樹木，以每隔一列或一定間隔疏伐全部林木之方法。

(2) 定量疏伐

定量疏伐為配合定性疏伐而決定疏伐之量與質而實施疏伐，而疏伐林木之數量可以依照株數、胸高直徑及樹間距離、樹高、胸高斷面積決定留存林木之數量

(三)、疏伐的效益

1.疏伐對生長之影響

疏伐為林木撫育作業之重點工作之一，經由適當的疏伐可減少林木的競爭，並增加保留木的相對生長空間，可改良林木的品質，降低枯死率。在育林上，其主要功能在於調節林分密度：密度小，林木直徑生長快；密度大，直徑生長則趨於減緩。疏伐最主要的功效為增進林木胸高直徑生長，但對於優勢木平均樹高生長及留存林木總材積的影響則不顯著(陳重銘，2003)。

有關疏伐對林木生長的影響相關研究甚多，如：林子玉等(1972)調查 14 年生疏伐後經 4 年之杉木人工林生長情形，研究結果顯示，疏伐對樹高平均單株生長無顯著差異，但對材積總生長量、胸高斷面積總生長量、樹高平均單株生長量均有顯著差異，且生長量與疏伐強度成正比。林木的生長隨林齡而異，若錯過最適當時間，即使施行疏伐給予留存林木更多空間及養分，也不易利用這些資源，增加林木直徑生長的疏伐效應會隨著林齡增加而減少，如柳杉分生長至 30-40 年生時，其直徑生長便會逐漸減緩(楊榮啟等，1976)。疏伐可藉由移除生長緩慢、受害木或病木，以增進留存林分之品質，對未來之林分，能產生更大、品質更佳之林木(Amateis *et al.*, 1996)。

2.疏伐對生態的影響

(1)疏伐對植被的影響

張勝傑(2002)研究中興大學新化林場內大葉桃花心木造林地經不同疏伐強度後對林下植被之影響，研究結果顯示，實施疏伐作業能增加喬木層植物種類之

多樣性；然地被層植物總種數差異則不顯著，且植物社會之歧異度指數會隨著疏伐強度之提高而增加。儘管疏伐作業對地被層植物種數影響不大，但研究中亦發現，疏伐度較高之樣區其地被層中之小花蔓澤蘭重要值偏高，顯示疏伐後林冠之疏開有利小花蔓澤蘭之生長。

郭寶章等(1991)探討溪頭森林遊樂區 25 年生柳杉人工林實施疏伐作業對景觀造林地植被的影響，疏伐度之決定為伐採後林分密度為 400、700、1,000 及 1,500 株/ha，於疏伐前後對植被進行變化的調查，結果指出，疏伐之施行並未引起地被植物之顯著變動，植物種類並無變化，僅植物種類優勢分布的變動而已。另外，為改進造林地景觀，疏伐方法宜採用選擇疏伐，惟選擇疏伐所須花費之人工多，以致增加作業成本。

邱曉東(2002)研究福建省尤溪縣常綠闊葉林疏伐後前期(疏伐後 7 年)植群恢復之動態變化。調查結果顯示，疏伐後因透光度增加，陽性及中性樹種佔據上層空間成為喬木之優勢種，7 年後，部分陽性或中性樹種逐漸被擠出優勢地位。且疏伐後喬木層、灌木層及草本層群落多樣性指數有增高的趨勢。

Bailey *et al.* (1998)探討美國 Oregon 西部的花旗松(*Pseudotsuga menziesii*) 和鐵杉(*Tsuga heterophylla*)以下層疏伐減少 8-60%的材積，經 10 年到 24 年後，疏伐林分之草本植物覆蓋程度大於未疏伐者，且物種豐富度(Species richness)亦以疏伐者較高。部份新增物種係存在於林分內的外來物種，而較多特有種草類及固氮物種(Nitrogen-fixing)在疏伐林分較易出現。

(2)疏伐對景觀的影響

林分實施疏伐作業可以增加空間的開放性及林內的明亮度，使視線能夠更深入(江菊美，1997)。鄭欽龍、陳重銘(2001)以問卷方式調查觀霧地區遊客對疏伐前後林內景觀之認知態度，調查結果顯示，民眾對於疏伐後之林內景觀喜好程度較高，約佔受訪者之 59.1%。然多數受訪者認為林道旁不疏伐的景觀好，因此，疏伐時可於林道兩側設緩衝帶，不予疏伐，以免造成造成景觀的負面衝擊。

(3)疏伐對野生動物的影響

對於野生動物物種的影響並不會因為疏伐規模的大小而改變，而會受到疏伐過後森林留存的樹種組成結構、分布和恢復狀況之影響，另外，疏伐對野生動物干擾亦受其活動範圍大小及需求棲地不同程度而影響(Potvin *et al.*, 1999)。

蔡錦文(2000)以台大實驗林內茅埔營林區 20 及 25 年生之杉木林為研究區域，結果顯示輕度疏伐(27%)作業後對鳥類群聚產生之影響為疏伐後以林下植被為食之鳥類平均密度較疏伐前高；然就整體鳥類密度而言，疏伐後 1 個月較疏伐前低，分別於疏伐後 4、7 及 10 個月後調查鳥類密度，結果顯示其密度與疏伐前無異。而對刺鼠族群之影響，於疏伐前後月平均族群變化量不大。

謝欣怡(2002)調查觀霧地區 29 年生柳杉人工林經弱度、中度、強度及未疏伐(留存林木分別為 900、700、500 及 1,500 株/ha)處理後一年內鳥類、小型哺乳類、以及地表無脊椎動物之物種組成、豐富度及生態同功群的變化情形，研究結果顯示，以中度疏伐處理之林分內其濕度和土壤水勢均較其他疏伐區為高，而使林內下層植物覆蓋度相對提高，因此鳥類的物種歧異度、豐富度及地表無脊椎動物生物量皆為最高。

3.疏伐對經濟的影響

台灣過去之疏伐研究大部份以疏伐對林木生長收穫以及林分結構之改變為主要研究對象。就經濟上而言，疏伐所需考量的因子包括栽植密度、疏伐類型、疏伐林齡、疏伐量及主伐林齡(Optimal clear-cutting age)，而使疏伐的淨現值最大(陳重銘，2003)。然而這些因子大多著重於疏伐的實施技術，而未考量投資之成本效益，若以經濟分析來瞭解疏伐之實施與否，並根據成本效益分析成果，決定是否實施疏伐及如何實行，則可謂經濟疏伐(楊榮啟等，1976)。因此，疏伐之考量因子除了樹種、地位級、林分密度及疏伐類型等生物因子外，經濟因素中之利率、伐木費用、木材價格等亦應一併考量(Klemperer, 1996)。

就疏伐的成本因子而言，首先應考量的因子為疏伐所需之工時，吳學平(2001)

研究新竹林區 25 年生柳杉人工林，利用下層(商業性)疏伐作業各項工作及時間的測計分析，以推算標準工作量及作業生產成本。依研究分析結果顯示，疏伐作業可分為伐木、打枝造材、集材及裝車運材等四階段勤務，各工作組之日標準工作量分別為伐木 8.89 m³/day、打枝造材 7.16 m³/day、集材作業 15.85 m³/day、裝車運材 19.95 m³/day，經推算疏伐成本及收益後，疏伐作業仍有 18.1%之利潤。

湯適謙(1993)以棲蘭山柳杉人工林疏伐作業所需工時為研究對象，在研究中將疏伐工作分為伐木作業、造材作業、集材作業、裝材作業、運苗作業與打枝作業等 6 項工作項目，各項工作所需之時間分別為伐木作業 317.77 秒、造材作業 134.52 秒、集材作業上下坡平均時間為 503.20 秒、裝材作業每趟 562.40 秒、運苗作業每迴次 882.40 秒、打枝作業人工打枝每株平均 107.14 秒、機械打枝平均 459.04 秒。

任憶安、陳宛君(1996)研究六龜試驗林台灣杉疏伐作業採運成本，並比較直營作業與發包作業疏伐效率。分析結果顯示，疏伐木為新台幣 11,144 元/m³，而發包作業不論在伐除木株數或材積，其疏伐效率均較直營作業為高。

Keegan III *et al.* (1995) 探討 1991 年美國蒙他那州(Montana)廠商以不同作業方式之成本及其影響之因子，將伐木成本分為營運管理、伐倒作業、除枝及造材作業、集材作業及裝材作業，其中以集材作業費用最高，而營運管理費用最少。

(四)、紅檜相關研究

1.生長量方面

過去對於紅檜之研究以探討生長情形之文獻居多，其中又以疏伐對於生長量之影響佔大多數。周楨、王德春(1967)探討不同疏伐處理對溪頭紅檜人工林之生長影響，研究結果顯示經多次疏伐後，紅檜人工林疏伐以強度下層疏伐，對林木生長促進、改良林木品質、減少死亡率與增加林業收益最有利。

陳朝圳(1985)以大雪山林區之大安溪及八仙山兩事業區紅檜人工幼齡林(5-20 年生)為研究範圍，調查未疏伐及疏伐林分之生長狀況，結果顯示於 10-14

年生時，林木之胸徑、樹高生長有減緩之勢，而材積生長則於 20 年生時達最高頂點；而以二個介量與三個介量之 Weibull 分布進行模擬，均具良好配適效果，故可經由介量之變化，瞭解疏伐對直徑分布之影響。

羅卓振南等(1987)探討不同疏伐度對六龜地區 22 年生紅檜人工林生長之影響，結果指出，中度疏伐(胸高斷面積保留量 $29 \text{ m}^2/\text{ha}$)對紅檜人工林之樹高、每公頃立木材積定期生長量、材積生長率影響最大；而強度疏伐(胸高斷面積保留量 $24 \text{ m}^2/\text{ha}$)對林木之胸徑生長影響最大。

楊文琪(1992)以大雪山 16 年生紅檜人工林為材料，比較不同疏伐強度之疏伐前與疏伐後 2 年、6 年及 9 年後之生長量變化，並利用管束模式探討不同疏伐強度及疏伐後不同期間內對立木品質之影響。研究結果顯示，在單木連年胸徑、樹高及材積生長方面，疏伐林分均優於對照區，且依據管束模式，以胸高斷面積及胸高處之邊材面積，估測林木之葉量及葉面積，其效果均為良好。

顏添明(1993)以大雪山地區 7 年生、15 年生與 21 年生紅檜人工林為材料，探討間伐後之全林分材積變化量、間伐後平均單木材積變化量及間伐後之直徑分布，以了解間伐度與生長之關係，研究採三個參數的 Weibull 機率密度函數，模擬間伐林分之直徑分布以探討間伐之效果。研究結果顯示：1. 以每公頃林分材積之定期生長量而言，疏伐較未疏伐者為佳。2. 林分於七年生時實施強、中度間伐對林分材積的促進效果最佳。3. 各齡級林分間伐後九年，單木平均材積之定期生長量，皆隨間伐強度之增加而增加。4. 以三參數的 Weibull 機率密度函數模擬，可算出不同間伐強度各直徑階材積之分布情形。

李久先、顏添明(1994、1995)以四種生長模式(Mitscherlich, Logistic, Gompertz 和 Chapman-Richards)模擬疏伐林分與未疏伐林分之單木生長情形，結果顯示 Richards 模式用於疏伐林分與未疏伐林分皆獲得良好配置效果。另以 Richards 模式模擬不同疏伐強度單木之胸徑、樹高及材積生長，結果顯示胸徑與材積生長有隨疏伐強度增加而上升的趨勢。

羅卓振南等(1997)於南投林管處阿里山事業區第 104 林班 14 年生紅檜人工

林施行疏伐試驗，結果顯示當每公頃保留木胸高斷面積為 25 m² 時，可提高林分材積生長量，與羅卓振南等(1987)於六龜地區之研究結果相似，此結果均顯示適度的疏伐可以提高材積之生長量。

另疏伐對紅檜直徑分布之影響(李久先、陳朝圳，1985；李久先、陳朝圳，1990；李久先、顏添明，1992；李久先等 1997)皆指出，當林分實施下層疏伐時，因伐除小徑木會促使林分之平均直徑增加，而致使林分結構形成偏態分布。

2. 生物量之研究

張志誠(1992)以大雪山地區紅檜人工幼齡林為研究對象，對 9、17、23 等三個林齡之林分施以四種疏伐處理，6 年後調查並探討不同疏伐處理對生物量及樹形之影響，研究結果顯示：(1)疏伐可促進紅檜葉部及幹部生物量的累積，枝部生物量則隨林齡增加而增加。(2)為提高紅檜人工林全林之總生物量，以施行弱度疏伐較佳。(3)在弱度疏伐區及對照區估算紅檜葉部生物量，以採用斷面積為參數較佳，在中及強度疏伐區則以採用樹冠寬為參數較佳。

陳俊文(1993)探討大雪山地區之 14、21 及 29 年生紅檜人工林地上部生物量及養分聚積，研究結果獲悉，14 年生林分生物量為 61.79 ton / ha；21 年生林分生物量為 105.02 ton / ha；29 年生林分生物量為 84.19 ton / ha。樣木之生產構造中，枝及葉量之垂直分佈顯示葉量集中在樹冠之上、中部位，樹冠下層留存大量之枯枝，亟須實施修枝作業以提高林木品質。Weibull 機率密度函數能有效配置林分之直徑分佈，並可以此推測林分各組成分生物量。

3. 其他方面研究

張弘毅(1994)應用模糊集合理論中之隸屬函數建立樹種生理特性及環境因子之間的適存程度，並透過數值高程資料推導空間性之森林立地物理環境資訊，配合具整合性資料功能之地理資訊系統，進行紅檜造林適地之分析。結果顯示應用模糊集合理論評判樹種適地，並配合地理資訊系統之空間性資料庫資料，將可

提供大面積林業經營時，尋求造林適地之參考。

江菊美(1997)以美質評估模式—Scenic Beauty Estimation(SBE)法探討其在森林遊樂區之應用，並由此法瞭解大眾的偏好及環境品質，以作為規劃設計者與經營管理者之依據。其以大雪山森林遊樂區紅檜人工林為研究對象，由學生團體進行美質評估，結果顯示景觀美質可以透過景觀美質評估法作合理、客觀的數量化評估，以作為森林遊樂區景觀美質評估之參考。森林遊樂區在景觀美質之經營上應維持適中的林分密度，增加林分的光度，創造吸引遊客的景觀。

鄭奮壬(1999)探討檜木地上部與地下部關係，以棲蘭山林區台灣扁柏與紅檜為調查樹種，欲從地上部與地下部特徵因子之分析，找出決定地下部特徵變異之地上部因子。結果以地際直徑具有最高解釋地下部總和性變異之能力。

五、去年度研究成果

93 年度之監測內容，係配合東勢林區管理處疏伐示範區之作業，示範區內採取強度與中度疏伐兩種作業方式，另設對照區以進行比對，示範區內各處理分別設置 4 個 0.05 公頃之監測樣區，並選取 20 株樣木進行樹幹解析及幹、枝、葉等生物量之分析，藉由樣木所得資料以數學模式建立胸徑、樹高、材積等相關介量之關係式，主要研究成果如下：

(一)疏伐監測樣區之設置與定位。

設置之樣區，除進行每木調查及環境屬性資料之蒐集外，並將疏伐林分之範圍予以數化，而樣區之位置以 GPS 定位，而 GPS 定位之詳細座標如表 1 所示。

表 1.人工林疏伐示範區各監測樣區之詳細座標

| | 樣區代碼 | 經度 | 緯度 |
|------|-------|--------|---------|
| 強度疏伐 | 121-1 | 247192 | 2683632 |
| | 121-3 | 247252 | 2683986 |
| | 121-4 | 247363 | 2683988 |
| | 121-6 | 247353 | 2683890 |
| 中度疏伐 | 123-1 | 247179 | 2683537 |
| | 123-2 | 247186 | 2683497 |
| | 123-3 | 247238 | 2683466 |
| | 123-6 | 247388 | 2683448 |
| 對照區 | 121-2 | 247253 | 2683913 |
| | 121-5 | 247357 | 2683890 |
| | 123-4 | 247289 | 2683377 |
| | 123-5 | 247364 | 2683306 |

(二)完成樣木生物量之分析。

(三)完成疏伐林分林分結構之分析。

(四)單木樹高曲線式及材積式之建立。採下列幾組模式進行模擬，表 2.為紅檜材積式為樹高曲線式模擬結果；表 3 為紅檜材積式模擬結果，本研究以式(1)、式(2)為推估之依據。

表 2.樣區紅檜樹高曲線式模擬結果

| 模式 | 參數 | | S _{y,x} |
|---|--------|---------|------------------|
| | a | b | |
| $H = a + b \log D$ | 7.0147 | 506025 | 18.0638 |
| $H = aD^b$ | 8.5853 | 0.1699 | 18.0247 |
| $H = 1.3 + aD^b$ | 7.4163 | 0.1869 | 18.0217 |
| $H = \left(\frac{D}{a + bD}\right)^2$ | 0.4451 | 0.2413 | 18.4043 |
| $H = 1.3 + \left(\frac{D}{a + bD}\right)^2$ | 0.5146 | 0.2507 | 18.3852 |
| $H = 1.3 + aD + bD^2$ | 1.1031 | -0.0212 | 28.4546 |
| $H = e^{a+b \log D}$ | 2.1500 | 0.3913 | 18.0247 |

表 3 紅檜材積式

| Equation | $S_{y,x}$ | R^2 |
|--|------------------------|--------|
| $V = 0.00003149D^2H$ | 8.796×10^{-3} | 0.9817 |
| $V = 0.00003157D^2H - 0.00094$ | 8.791×10^{-3} | 0.9817 |
| $V = -0.3046 + 0.0004328D^2 + 0.02185H + 0.0000009056D^2H$ | 7.065×10^{-3} | 0.9853 |
| $V = 0.0000329D^{1.9496}H^{1.0460}$ | 8.661×10^{-3} | 0.9820 |
| $V = 0.00028D^{1.5245}H^{0.8387} - 0.0663$ | 7.189×10^{-3} | 0.9850 |
| $V = D^2 / (11.3626 + 31582.0227H^{-1})$ | 8.795×10^{-3} | 0.9817 |

$$H = 1.3 + 7.4163D^{0.1869} \quad (1)$$

$$V = -0.3046 + 0.0004328D^2 + 0.02185H + 0.0000009056D^2H \quad (2)$$

(五)樣區內植物種類之調查—樣區內樹種共計 57 科 112 種。

(六)完成疏伐樣區資料庫之建置。

六、重要工作項目及實施方法

(一) 重要工作項目

1. 本計畫相關資料與文獻之蒐集

搜集紅檜及疏伐相關之研究報告及論文。

2. 疏伐樣木解析

依樣區調查之結果，於各直徑階內，選擇平均木為測定材積與生物量之樣木。選定之樣木自地際處以鏈鋸伐倒，隨即以皮尺量測伐倒木之地際直徑、枝下高與全樹高，樹幹經去除枝葉部份後，依分段截取，自地面 0.3m 處起每隔 1m 截取厚約 5~10cm 之圓盤，分段編號後置於麻布袋內，妥善包裝攜回實驗室，經刨平及砂光圓盤斷面，即進行樣木樹幹解析，計數每一部分圓盤斷面上之年輪數目、年輪寬，量測不同齡階之直徑，並以 Smalian 分段求積式計算材積，供推斷林木生長之用。

3. 林分生長量調查

調查計算林木性態值（包括胸徑、樹高、材積等介量）於疏伐後及疏伐後一年之增加量。

4. 林分結構調查

林分中林木大小之分佈，乃受樹種習性、環境條件、經營撫育等之不同所造成，表示林分結構之指標，常用胸高直徑之株數分佈。本研究探討林分結構之目的在於瞭解疏伐後及疏伐後一年各直徑階之林木分布，並能進而求算蓄積量。

5. 樹冠競爭指標

樹冠競爭指數(Crown Competition Factor,CCF)(Krajieck *et al.*, 1961、楊榮啟、林文亮，2004)，反應林分的相對最大值可用生長空間指標，利用與其相同胸高直徑孤立木之平均樹冠投影面積代表，稱做最大樹冠面積(Maximum Crown Area)。由於單株林木所利用之生長發育空間測定困難，實際應用時則改為由多數林木所構成之群體為基準，所以樹冠競爭指數為表示一群林木最大樹冠投影面積總和及其可能利用之林地面積的比率。

調查孤立木之平均樹冠直徑 CW 與胸高直徑 D 間具有下列之直線回歸關係：

$$CW = a+bD \quad (3)$$

上式兩邊平方則得：

$$(CW)^2 = a^2+2abD+b^2D^2 \quad (4)$$

林分中一株林木之最大樹冠投影面積，如以樹冠垂直投影面積佔一公頃面積之百分率表示時，即等於用 10,000 除樹冠投影面積，如下所示：

$$MCA = \frac{\frac{\pi}{4} CW^2}{10,000} = 0.007854 CW^2 \% \quad (5)$$

以(4)代入(5)則得：

$$MCA = a' + b' D + C' D^2$$

為使避免單株與多株之 MCA 互相混淆，特將多株之 MCA 換算為每一公頃之樹值，並以 CCF 代表而由下列公式計算：

$$CCF = \frac{1}{A} \left[a' \sum_{i=1}^k Ni + b' \sum_{i=1}^k Di Ni + C' \sum_{i=1}^k Di^2 Ni \right] \quad (6)$$

式中之 A：樣區面積

D_i ：第 i 級之胸高直徑

N_i ：第 i 級之株數

k ：樣區之直徑級數目

$a'b'c'$ ：實驗式之常數

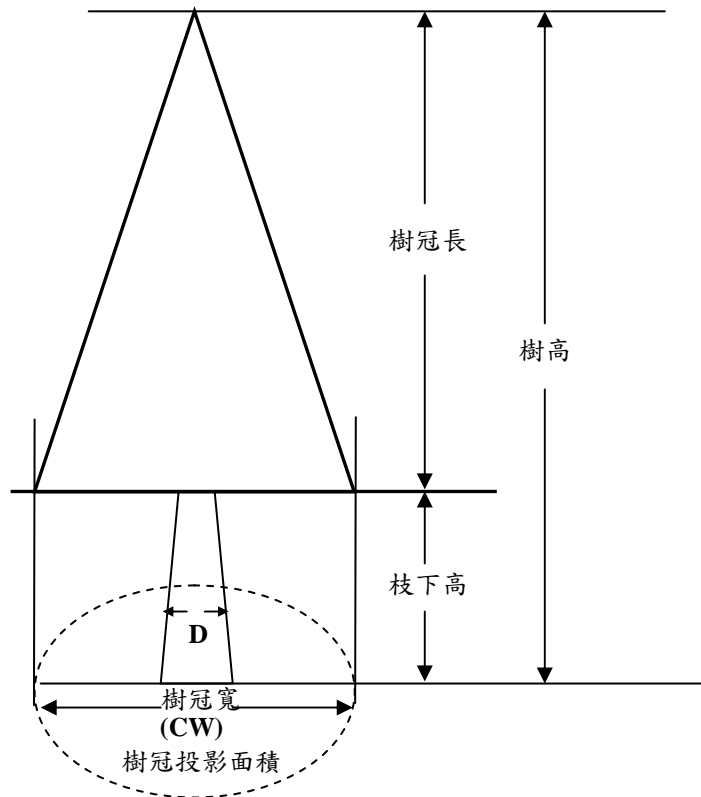


圖 2. 樹冠各因子及測定部位示意圖

6.林內光度調查

於疏伐樣區與對照區內以系統取樣方式選取測點，再利用光度測量儀器定期測定林內及林外之光度量。

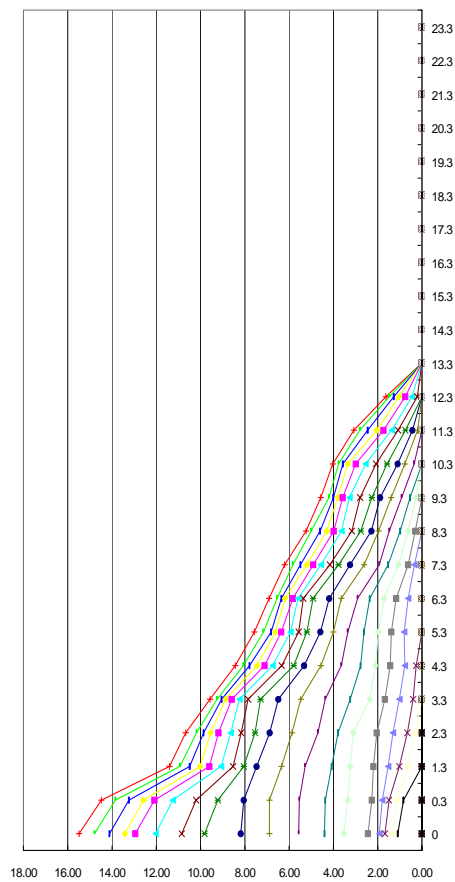
(二) 實施方法與步驟

1.樣木樹幹解析：

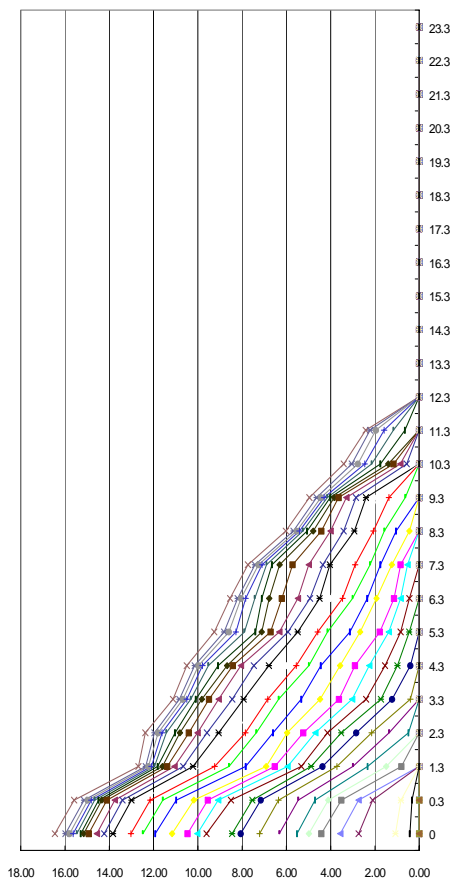
將去年度砍伐之 20 株樣木進行分析，分析方法為利用各樣木各段圓盤量測每一年之年輪寬度大小，並計算各樣木材積之年生長量。

徑級 10-15cm

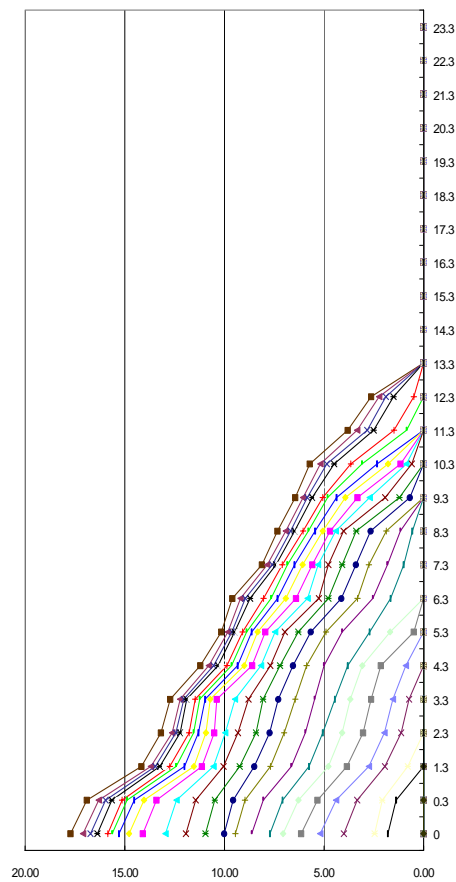
胸徑：12cm



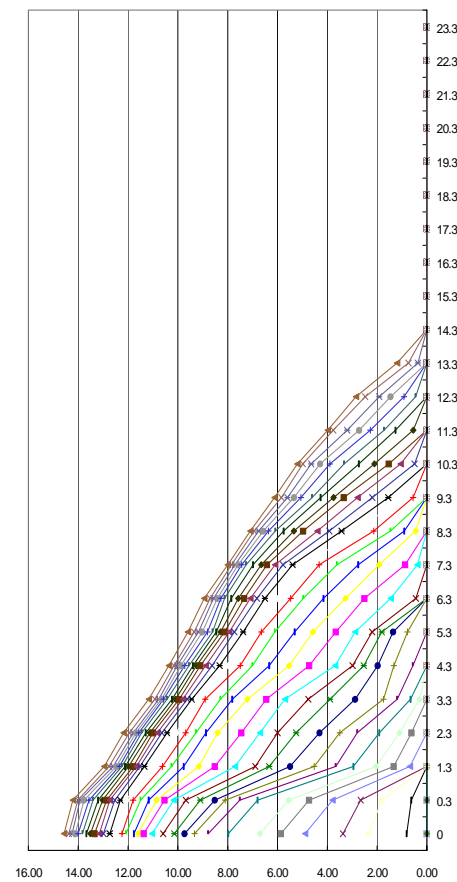
胸徑：13.7cm



胸徑：14cm

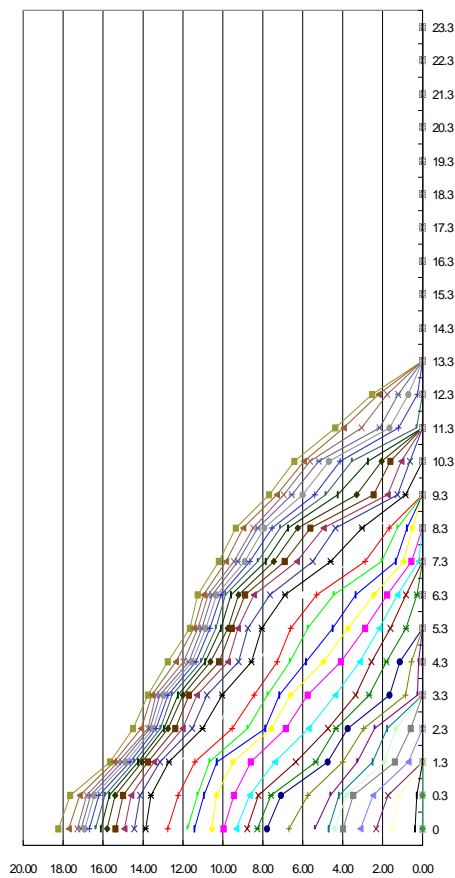


胸徑：14cm

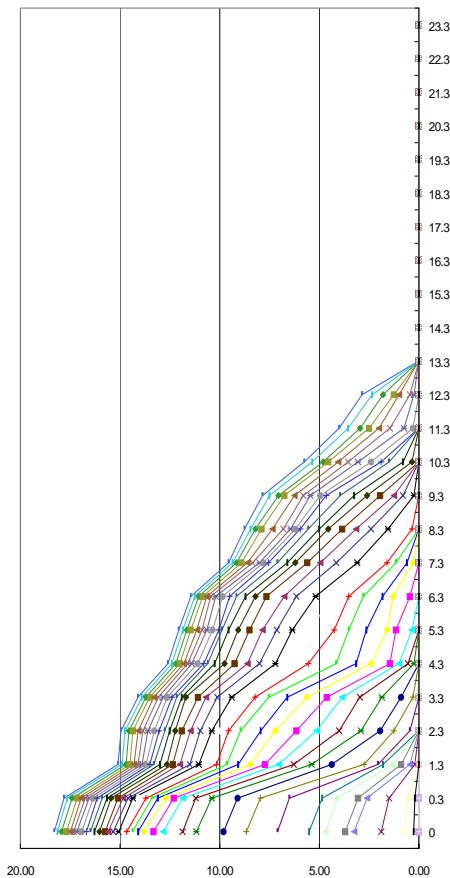


徑級 15-20cm

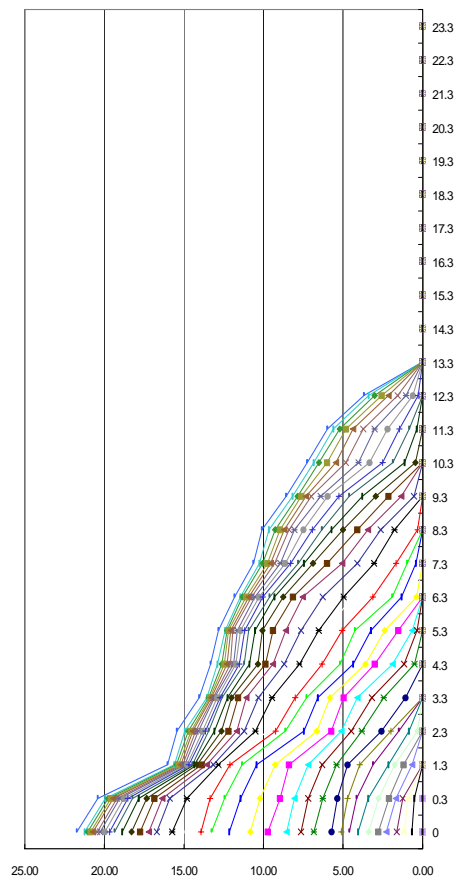
胸徑：16cm



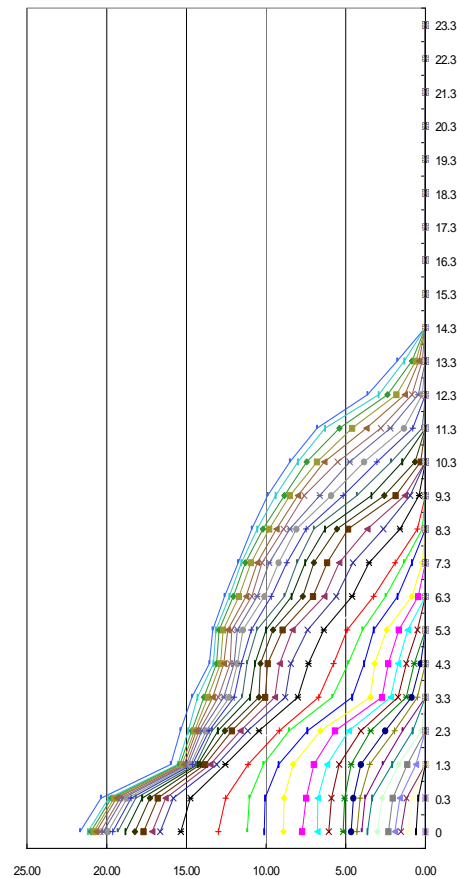
胸徑：17.0cm



胸徑：17.0cm

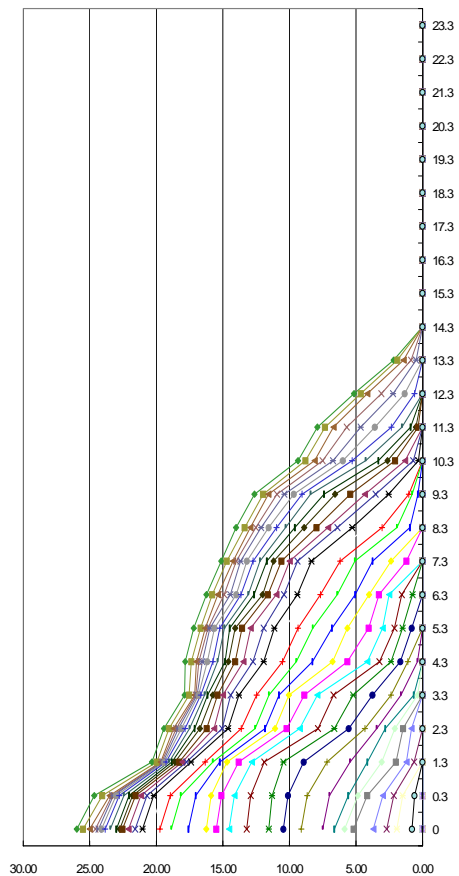


胸徑：17.0cm

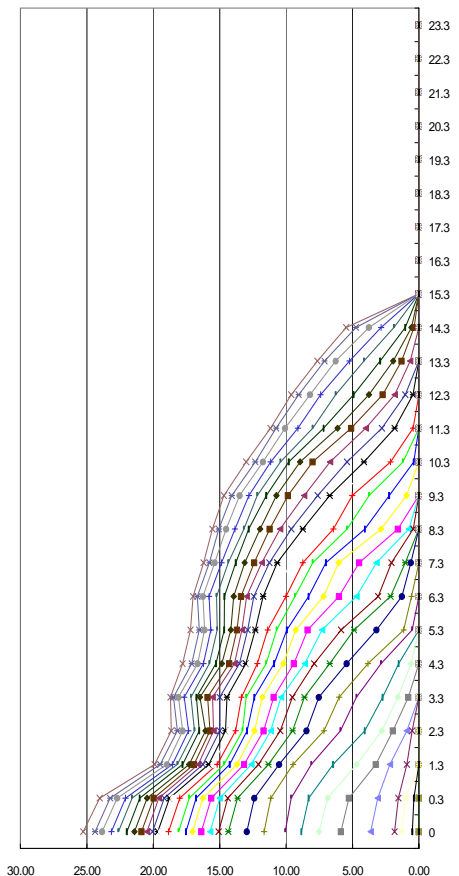


徑級 20-25cm

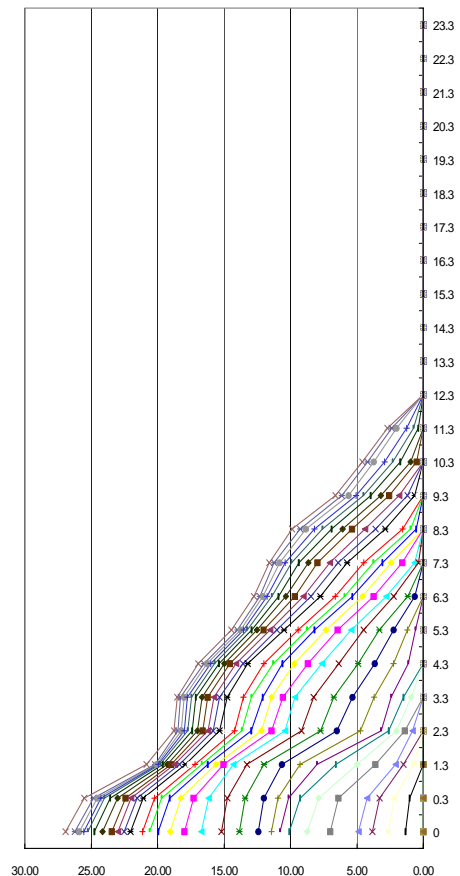
胸徑：21cm



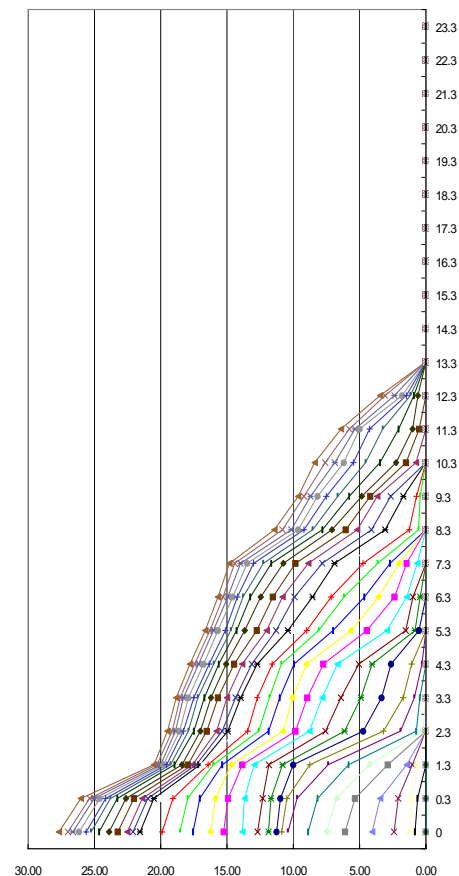
胸徑：21.1cm



胸徑：21.8cm

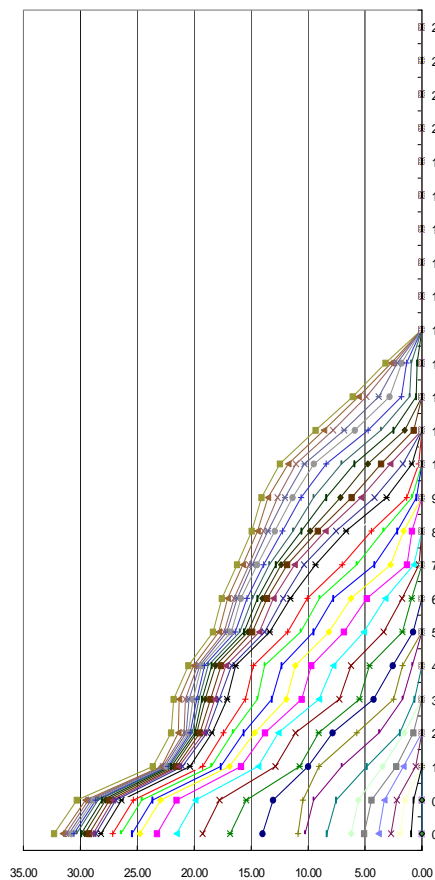


胸徑：22cm

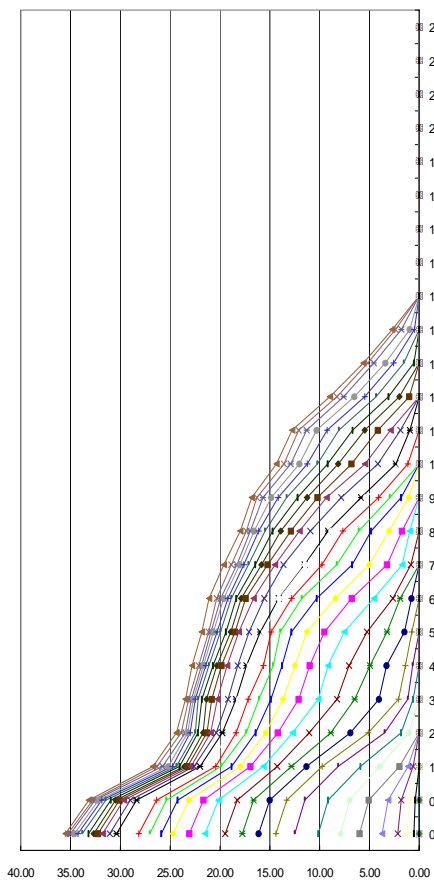


徑級 25-30cm

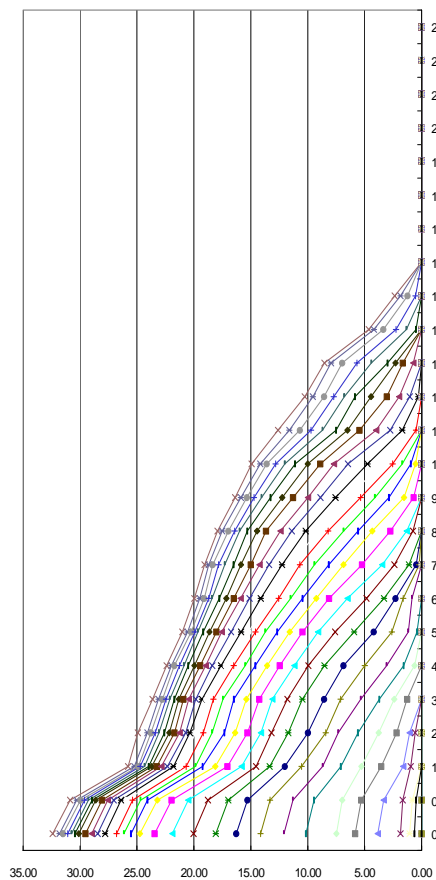
胸徑：25.5cm



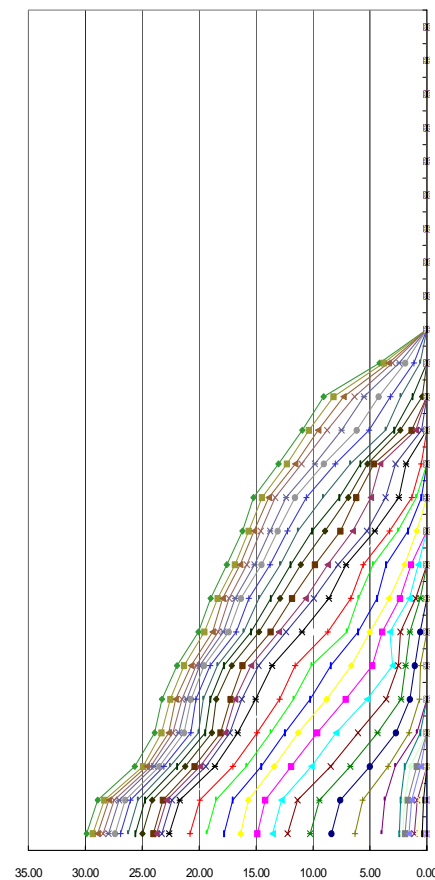
胸徑：26.5cm



胸徑：26.8cm

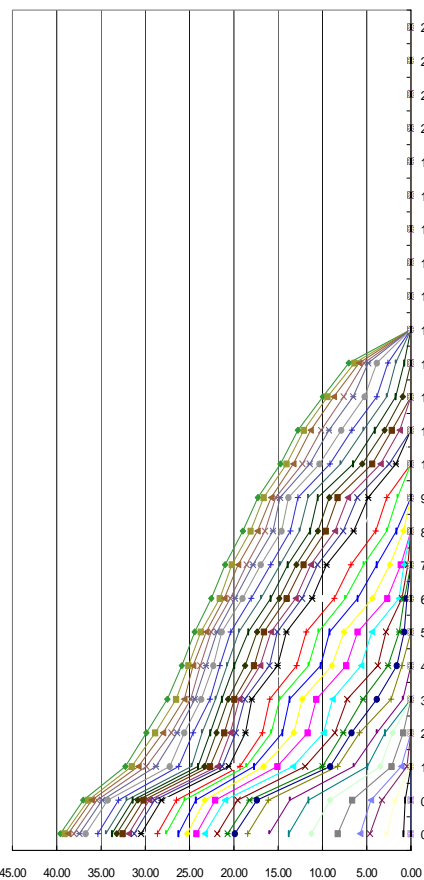


胸徑：27.2cm

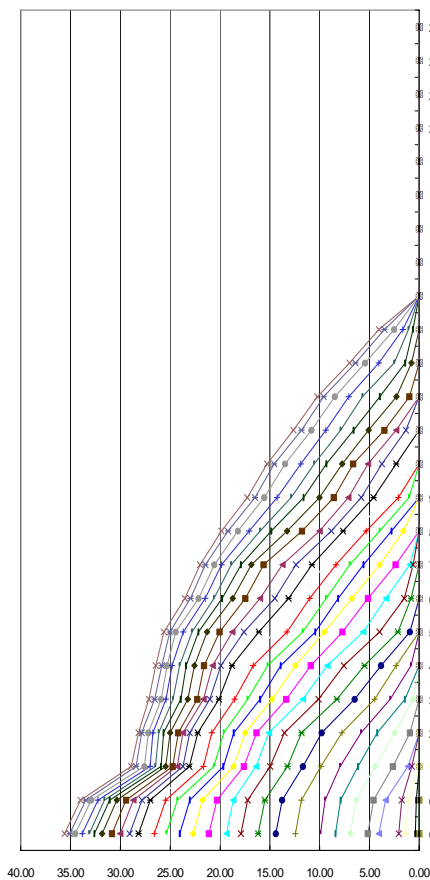


徑級 30-35cm

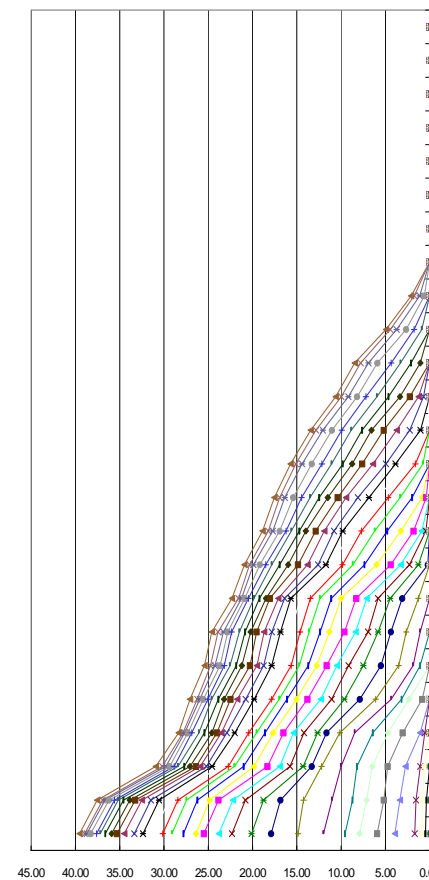
胸徑：30.5cm



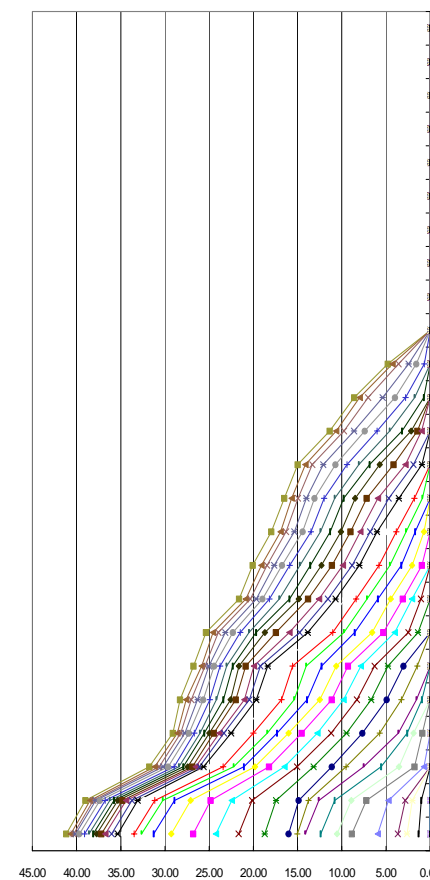
胸徑：30.8cm



胸徑：32.8cm



胸徑：33.2cm



2.樣區每木調查：

於各疏伐處理樣區進行疏伐後林分調查，包括：

- (1) 林木調查：調查樣區內留存林木之胸高直徑基本性態值。
- (2) 植被調查：調查樣區內下層草本植物及 DBH < 1cm 之木本植物之種類。

3.疏伐後林冠覆蓋度調查：以樹冠競爭指數(CCF)表示。

4.疏伐後林內光度測量：於疏伐樣區與對照區內以系統取樣選擇測點，並利用光度測量儀器(LI-COR Model LI-189 Q10062)定期測定林內及林外之光度量。

七、本年度計畫執行成果

本年度計畫主要探討紅檜人工林經疏伐一年後林分結構與林分生長各性態值之變化情形。

(一) 三種疏伐處理 93、94 年度林分性態值如表 4 所示。

表 4. 93、94 年度三種疏伐處理林分性態值一覽表

| 項目 | 強度疏伐 | | 中度疏伐 | | 對照區 | |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 93 | 94 | 93 | 94 | 93 | 94 |
| 保留株數(株數/公頃) | 825 | 825 | 1,000 | 1000 | 1565 | 1565 |
| 平均胸徑(cm) | 22.43 | 22.68 | 21.61 | 21.84 | 19.52 | 19.68 |
| 平均樹高(m) | 14.20 | 14.53 | 13.68 | 14.44 | 12.37 | 14.18 |
| 蓄積量(m ³ /ha) | 204.17 | 208.74 | 229.93 | 235.14 | 290.70 | 296.71 |
| 樹冠競爭指數 CCF | 123.78 | 124.39 | 142.11 | 143.25 | 191.54 | 193.21 |
| 幹重(Mg/公頃) | 93.02 | 94.87 | 105.63 | 107.73 | 137.62 | 139.84 |
| 枝重(Mg/公頃) | 25.65 | 26.42 | 28.22 | 29.07 | 33.91 | 34.70 |
| 葉重(Mg/公頃) | 11.29 | 11.61 | 12.50 | 12.85 | 15.25 | 15.58 |
| 地上部合計(Mg/公頃) | 129.98 | 132.92 | 146.29 | 149.61 | 186.27 | 189.63 |

(二) 疏伐前後林分結構變化

有關各疏伐處理疏伐後迄疏伐後一年之直徑分布變化如圖 3 所示。

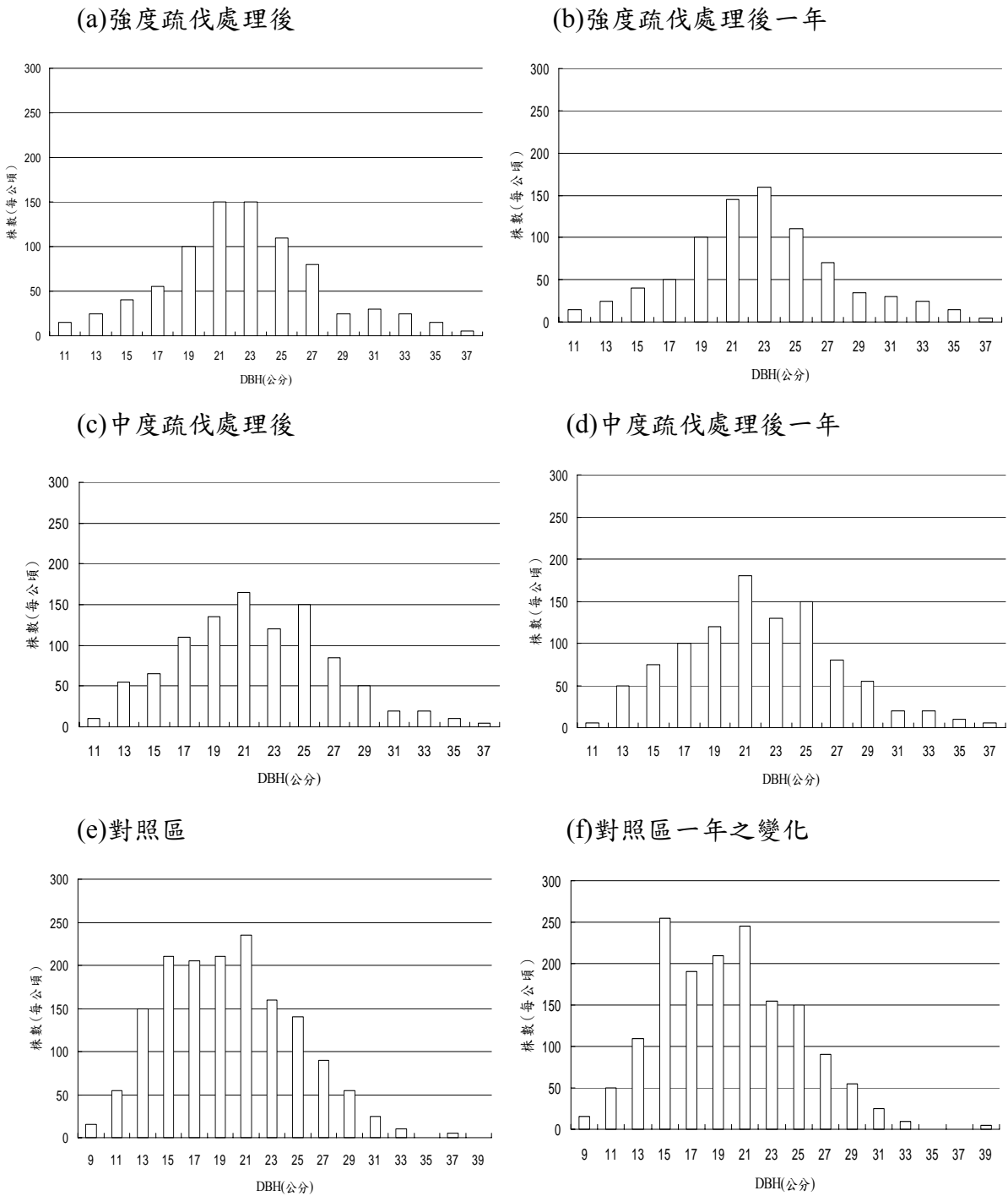
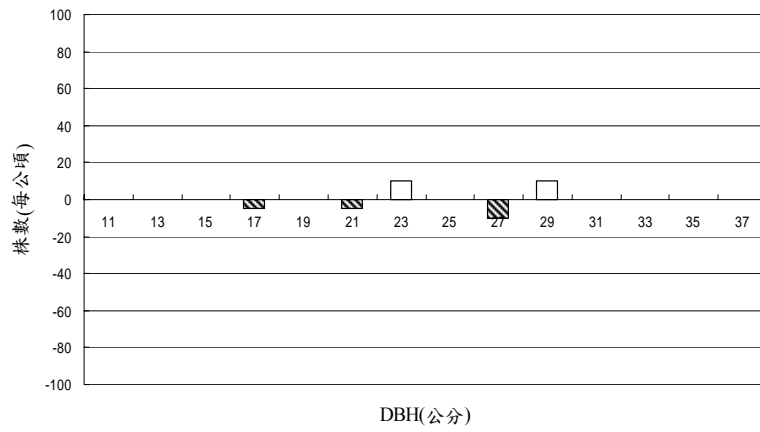


圖 3. 各處理一年期間直徑階株數分布圖

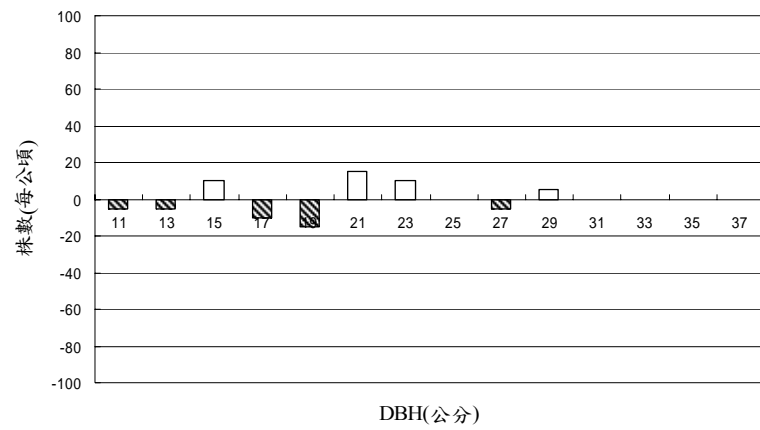
(三) 疏伐後迄疏伐後一年各直徑階之消長

有關疏伐後一年各處理直徑階株數之消長如圖 4 所示。

(a) 強度疏伐



(b) 中度疏伐



(c) 對照區

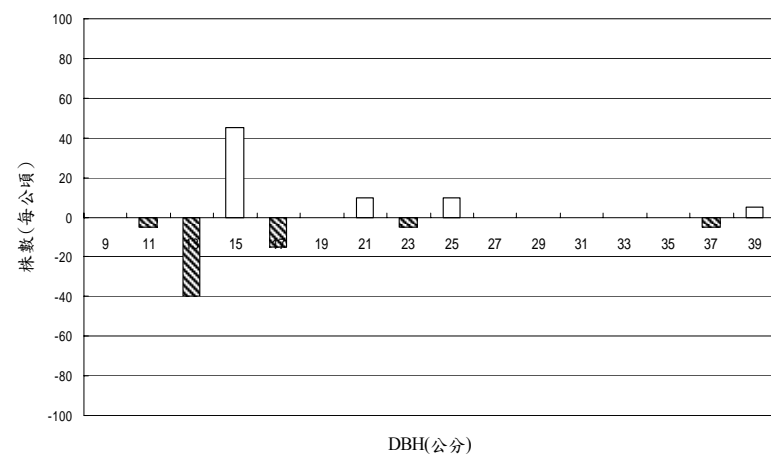


圖 4. 疏伐後一年各處理直徑階株數之消長

(四) 疏伐後迄疏伐後一年材積之變化

由上所推估之材積，比較、整理強度、中度、對照區疏伐後迄疏伐後一年每公頃增加之材積量及生長率，如圖 5、表 5 所示，可知經疏伐過後之生長率將有所增加。

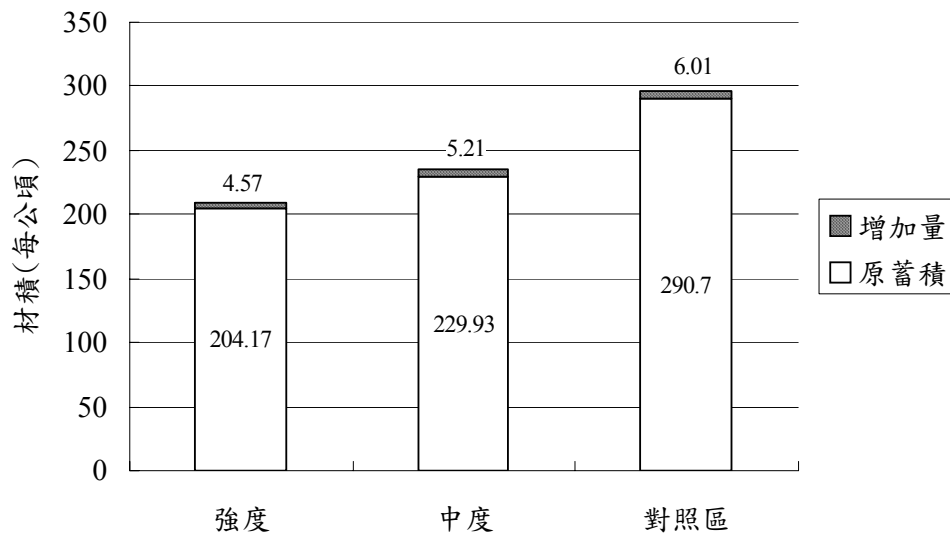


圖 5. 三種處理樣區疏伐後一年之材積生長量

表 5. 三種處理樣區疏伐後迄疏伐後一年之材積生長率

| | 疏伐後(材積量/公頃) | 增加量(材積量/公頃) | 生長率(%) |
|-----|-------------|-------------|-------------|
| 強度 | 204.17 | 4.57 | 2.24 |
| 中度 | 229.93 | 5.21 | 2.27 |
| 對照區 | 290.70 | 6.01 | 2.07 |

(五) 三種處理生物量分析

本計畫 94 年度幹、枝、葉生物量之計算是以 93 年度所取得樣木經分析後建立模擬度較佳之模式推估而得如表 6.所示。

表 6. 幹、枝、葉生物量模式

| | 推估式 | R ² |
|-----|----------------------|----------------|
| 幹 | $Y=0.2989D^{1.8948}$ | 0.9114 |
| 枝 | $Y=0.0033D^{2.8961}$ | 0.7595 |
| 葉 | $Y=0.0028D^{2.7013}$ | 0.8783 |
| 地上部 | $Y=0.1750D^{2.1680}$ | 0.9284 |

本示範區各處理林分幹枝葉量如表 7 所示。

表 7. 三種疏伐處理幹枝葉重量

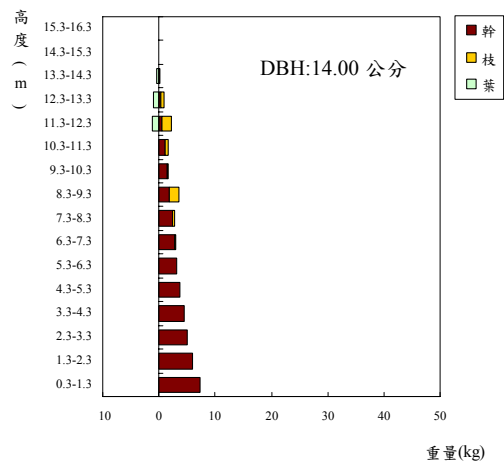
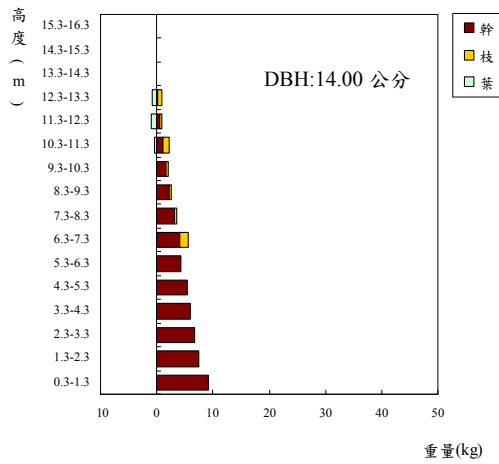
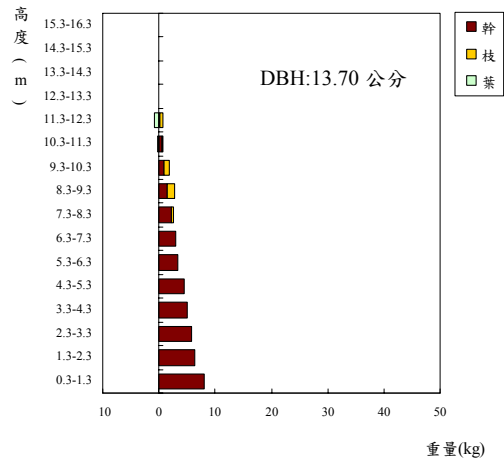
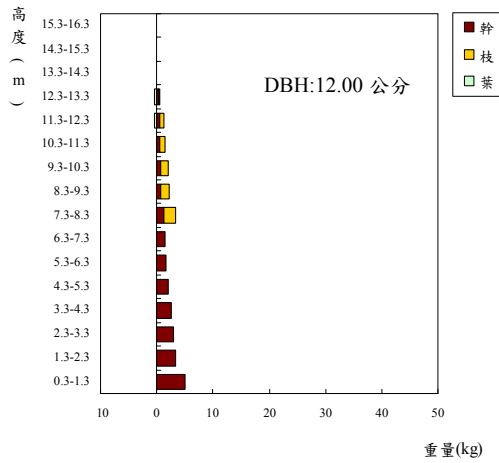
| | 年度 | 幹重(Mg/ha) | 枝重(Mg/ha) | 葉重(Mg/ha) | 地上部合(Mg/ha) |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| 強度疏伐 | 93 | 93.02 | 25.65 | 11.29 | 129.98 |
| | 94 | 94.871 | 26.42 | 11.61 | 132.92 |
| 中度疏伐 | 93 | 105.63 | 28.22 | 12.50 | 146.29 |
| | 94 | 107.73 | 29.07 | 12.85 | 149.61 |
| 對照區 | 93 | 137.62 | 33.91 | 15.25 | 186.27 |
| | 94 | 139.84 | 34.70 | 15.58 | 189.63 |

※93 年度為疏伐前量測之資料，94 年度為疏伐後一年量測之資料。

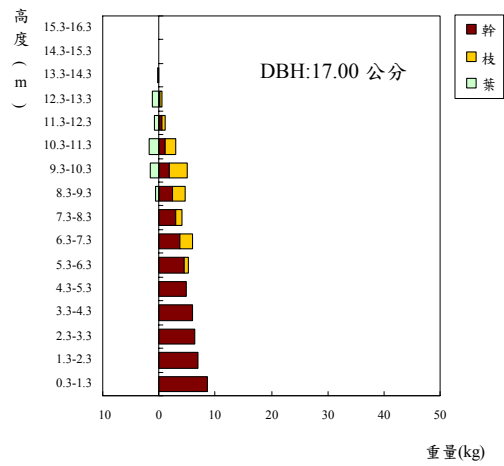
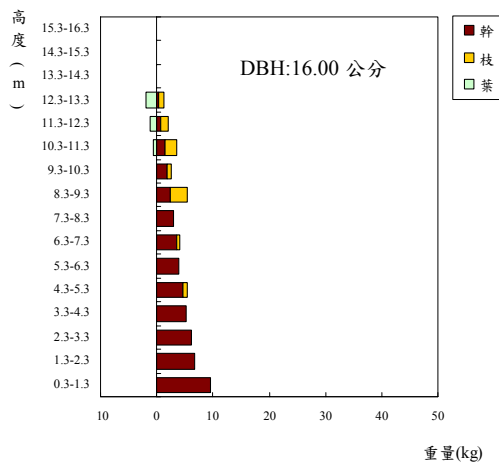
(六) 紅檜生產構造

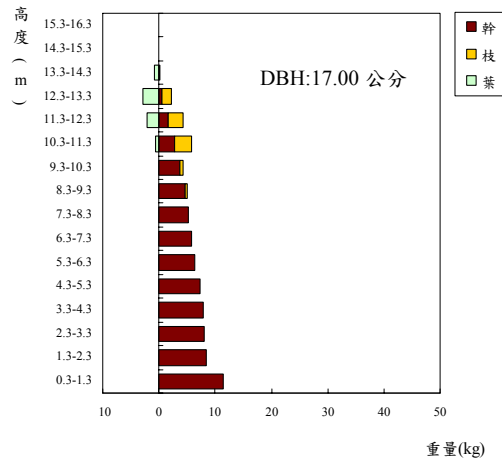
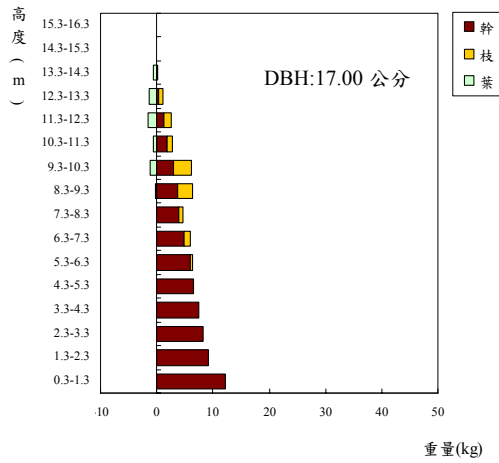
本研究乃將伐取之樣木，依分層割取法，量測其幹、枝、葉之鮮重量，再依幹、枝、葉的乾鮮比，以換算林木各部位之生物量，並繪製生產構造圖，如圖 6 所示，目的為瞭解林分內立木各部位生物量之垂直分佈情形，並探討光合作用器官葉部與非同化作用器官之幹與枝部間的關係，使能更瞭解林木之生產構造。

直徑級：10 x < 15

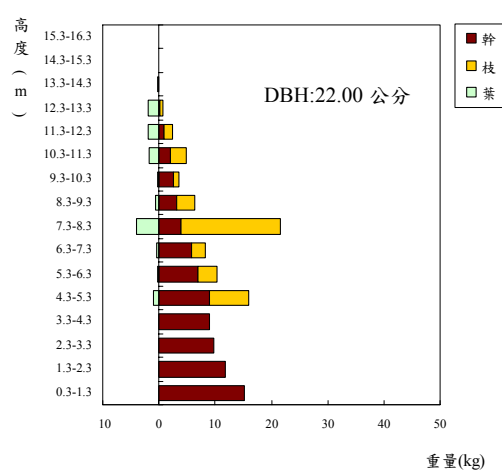
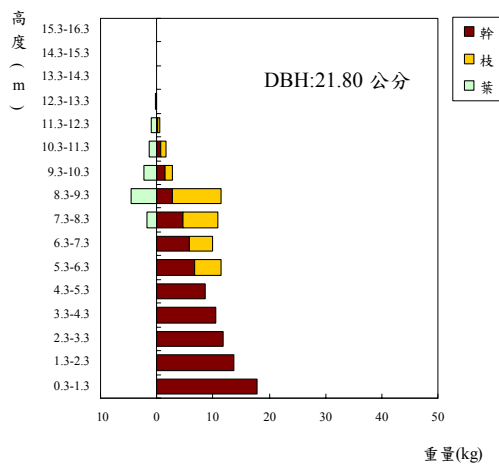
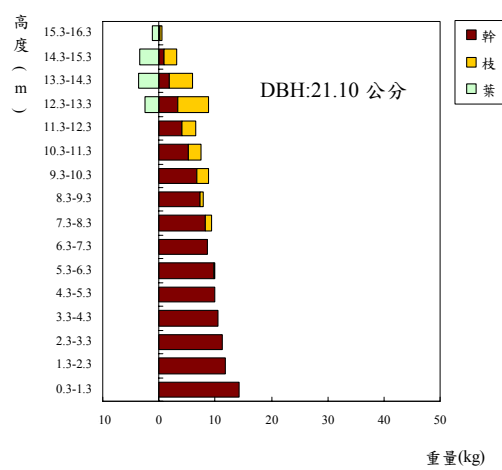
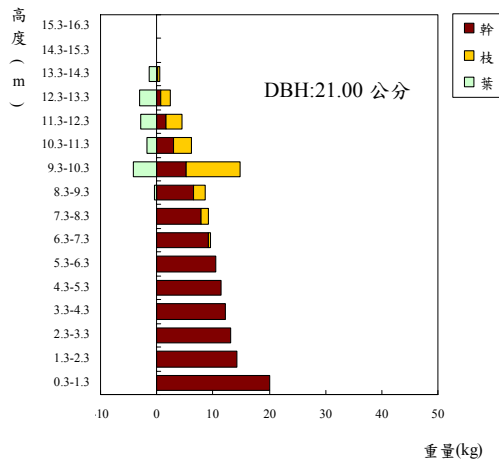


直徑級：15 x < 20

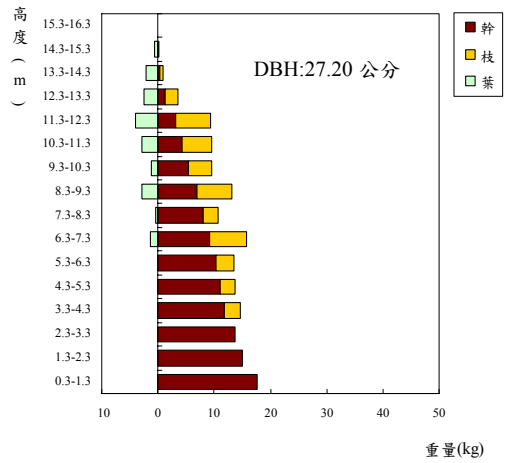
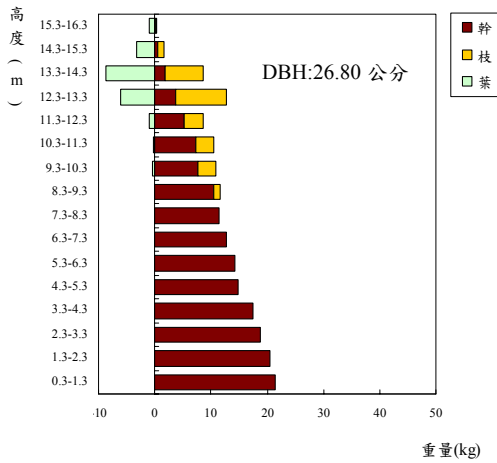
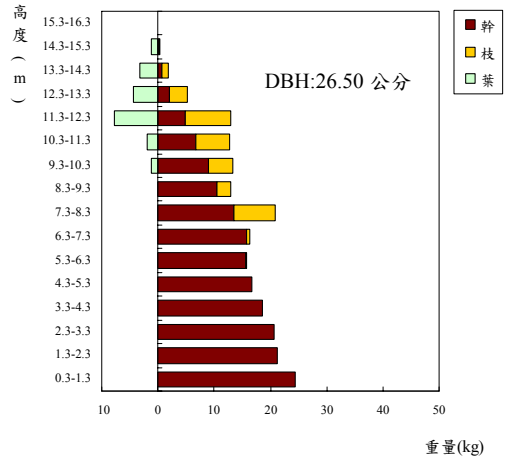
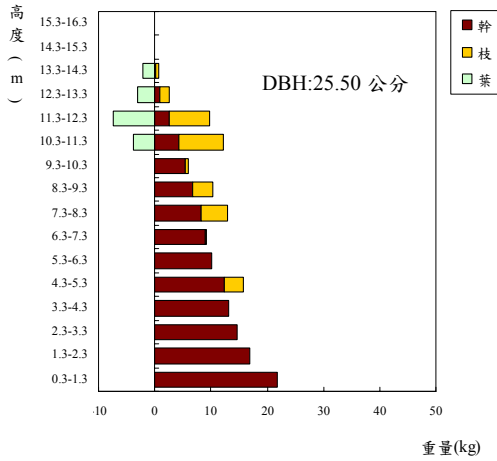




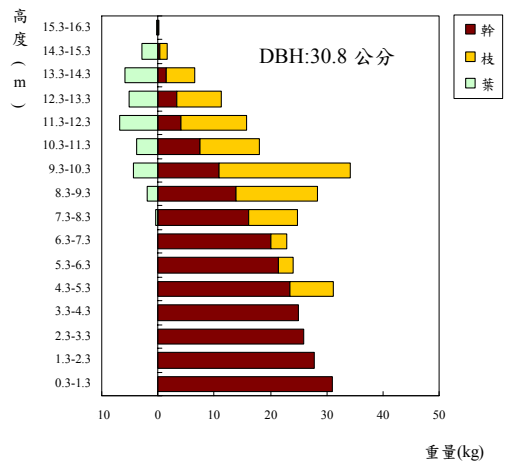
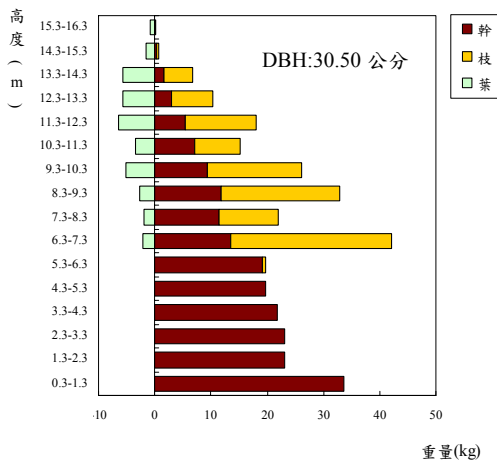
直徑級 : 20 x < 25



直徑級：25 x < 30



直徑級：30 ≤ x < 35



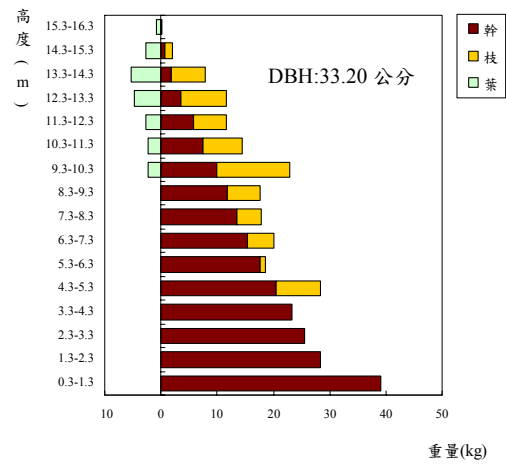
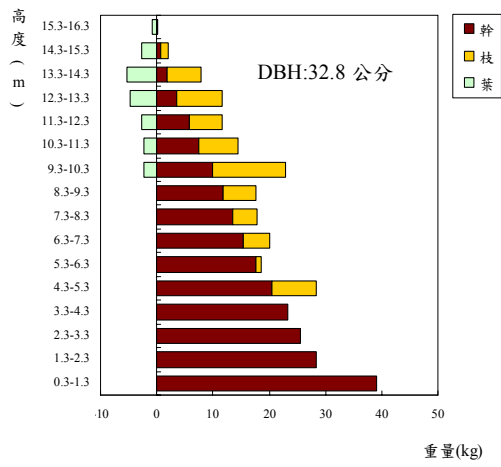


圖 6. 樣木之生產構造圖

(七) 三種處理葉面積量分析

有關三種處理樹冠之透光情形，如圖 7 所示。

(a) 強度疏伐



(b) 中度疏伐



(c) 對照區



圖 7.三種處理之林分透光情形

三種處理於疏伐後各處理之葉面積總量以對照區 13.31 為最多，中度疏伐 10.90 次之，強度疏伐 9.85 為最少，以圖 8 表示之。

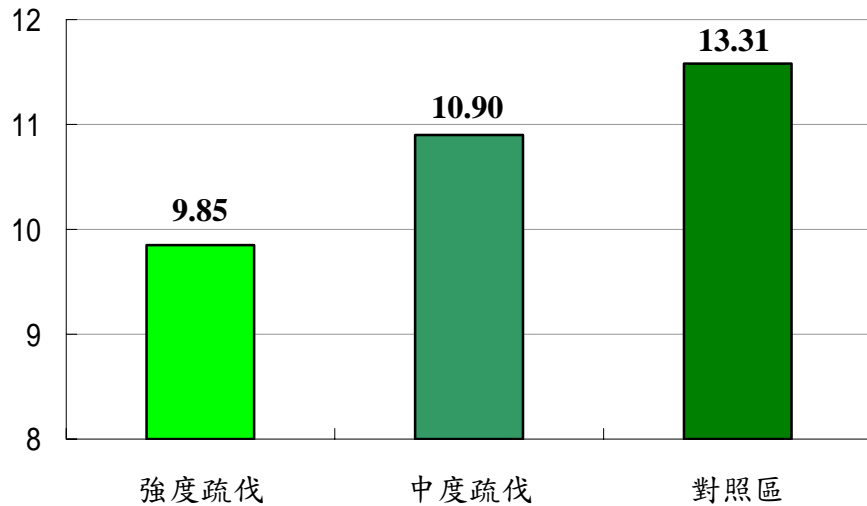


圖 8.三種疏伐處理後葉面積總量

(八)樹冠競爭指數(Crown Competition Factor, CCF)

樹冠競爭指數為表示一群林木最大樹冠投影面積與其可能利用之林地面積比率，各樣區之樹冠競爭指數可透過各徑級最大樹冠投影面積總和除以樣區面積而得，如式 6 所示，而後表 8~表 10 所列為每公頃之數量，故可以最大樹冠投影面積之總和表示樹冠競爭指數($CCF = \frac{1}{A} \sum \text{總}MCA$ ，A 表樣區面積，在此為 1 公頃)，樹冠競爭指數 < 100 林分為低立木度狀態；> 100 林分成擁擠狀態，表 8、表 9、表 10 分別為強度疏伐、中度疏伐、對照區，疏伐後及疏伐後一年樹冠競爭指數之數值比較，茲整理如圖 9。由未處理之對照區之樹冠競爭指數可看出該林分已呈擁擠之狀態。

表 8.強度疏伐後及後一年樹冠競爭指數之比較

| 胸徑級 | 株數(每公頃) | MCA | 各徑級總 MCA (疏伐後) | 各徑級總 MCA (疏伐後一年) |
|-----------|------------|------------|---------------------|---------------------|
| 9 | 0 | 0.04192424 | 0 | 0 |
| 11 | 15 | 0.05327289 | 0.79909337 | 0.799093 |
| 13 | 25 | 0.06597927 | 1.64948187 | 1.649482 |
| 15 | 40 | 0.08004340 | 3.20173580 | 3.201736 |
| 17 | 55 | 0.09546525 | 5.25058885 | 4.773263 |
| 19 | 100 | 0.11224485 | 11.2244845 | 11.22448 |
| 21 | 150 | 0.13038218 | 19.5573263 | 18.90542 |
| 23 | 150 | 0.14987724 | 22.4815864 | 23.98036 |
| 25 | 110 | 0.17073005 | 18.7803051 | 18.78031 |
| 27 | 80 | 0.19294059 | 15.4352469 | 13.50584 |
| 29 | 25 | 0.21650886 | 5.41272158 | 7.57781 |
| 31 | 30 | 0.24143488 | 7.24304630 | 7.243046 |
| 33 | 25 | 0.26771863 | 6.69296567 | 6.692966 |
| 35 | 15 | 0.29536011 | 4.43040171 | 4.430402 |
| 37 | 5 | 0.32435934 | 1.62179669 | 1.621797 |
| 39 | 0 | 0.35471630 | 0 | 0 |
| 合計 | 825 | | 123.78078104 | 124.386005 |

表 9.中度疏伐後及後一年樹冠競爭指數之比較

| 胸徑級 | 株數(每公頃) | MCA | 各徑級總 MCA (疏伐後) | 各徑級總 MCA (疏伐後一年) |
|-----------|-------------|------------|--------------------|---------------------|
| 9 | 0 | 0.04192424 | 0 | 0 |
| 11 | 10 | 0.05327289 | 0.5327289 | 0.26636446 |
| 13 | 55 | 0.06597927 | 3.6288601 | 3.29896375 |
| 15 | 65 | 0.08004340 | 5.2028207 | 6.00325463 |
| 17 | 110 | 0.09546525 | 10.501178 | 9.54652519 |
| 19 | 135 | 0.11224485 | 15.153054 | 13.4693814 |
| 21 | 165 | 0.13038218 | 21.513059 | 23.4687916 |
| 23 | 120 | 0.14987724 | 17.985269 | 19.4840415 |
| 25 | 150 | 0.17073005 | 25.609507 | 25.6095069 |
| 27 | 85 | 0.19294059 | 16.39995 | 15.4352469 |
| 29 | 50 | 0.21650886 | 10.825443 | 11.9079875 |
| 31 | 20 | 0.24143488 | 4.8286975 | 4.82869753 |
| 33 | 20 | 0.26771863 | 5.3543725 | 5.35437254 |
| 35 | 10 | 0.29536011 | 2.9536011 | 2.95360114 |
| 37 | 5 | 0.32435934 | 1.6217967 | 1.62179669 |
| 39 | 0 | 0.35471630 | 0 | 0 |
| 合計 | 1000 | | 142.1103375 | 143.24853173 |

表 10.對照區及一年後樹冠競爭指數之比較

| 胸徑級 | 株數(每公頃) | MCA | 各徑級總 MCA (疏伐後) | 各徑級總 MCA (疏伐後一年) |
|-----|---------|------------|--------------------|---------------------|
| 9 | 15 | 0.04192424 | 0.6288637 | 0.628864 |
| 11 | 55 | 0.05327289 | 2.930009 | 2.663645 |
| 13 | 150 | 0.06597927 | 9.8968912 | 7.25772 |
| 15 | 210 | 0.08004340 | 16.809113 | 20.41107 |
| 17 | 205 | 0.09546525 | 19.570377 | 18.1384 |
| 19 | 210 | 0.11224485 | 23.571418 | 23.57142 |
| 21 | 235 | 0.13038218 | 30.639811 | 31.94363 |
| 23 | 160 | 0.14987724 | 23.980359 | 23.23097 |
| 25 | 140 | 0.17073005 | 23.902206 | 25.60951 |
| 27 | 90 | 0.19294059 | 17.364653 | 17.36465 |
| 29 | 55 | 0.21650886 | 11.907987 | 11.90799 |
| 31 | 25 | 0.24143488 | 6.0358719 | 6.035872 |
| 33 | 10 | 0.26771863 | 2.6771863 | 2.677186 |
| 35 | 0 | 0.29536011 | 0 | 0 |
| 37 | 5 | 0.32435934 | 1.6217967 | 0 |
| 39 | 0 | 0.35471630 | 0 | 1.773581 |
| 合計 | 1565 | | 191.5365428 | 193.214508 |

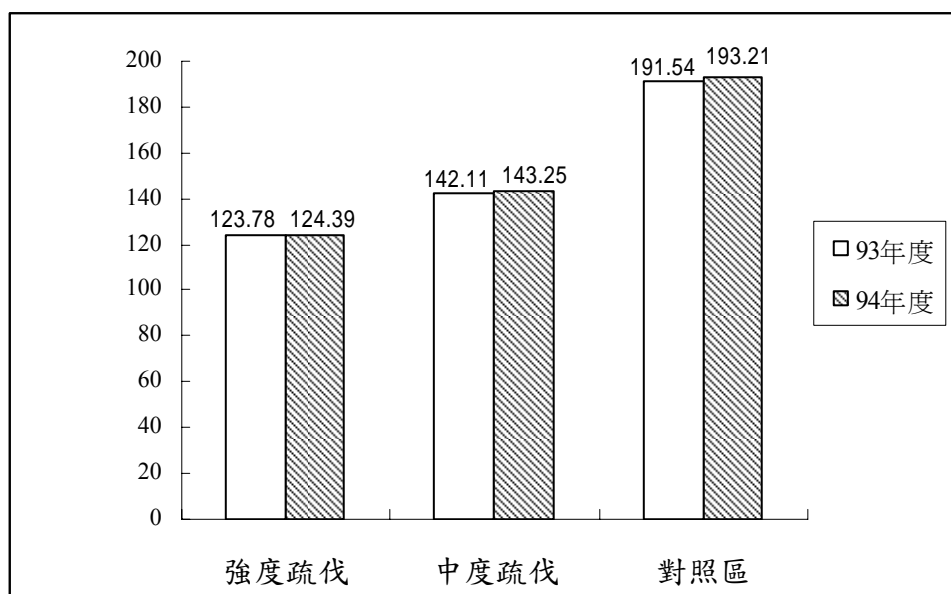
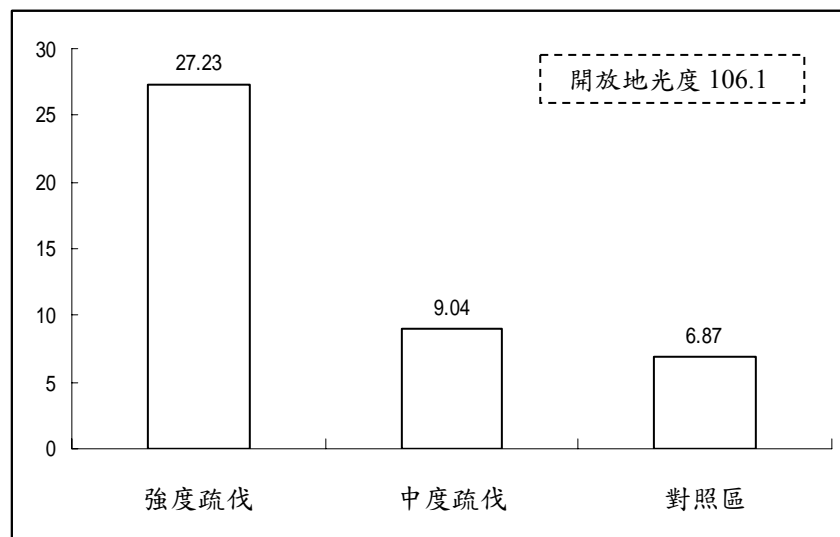


圖 9. 93、94 年度樹冠競爭指數之比較

(九)光度量測



| 樣區 | 天氣狀況 | 時間 | 平均光度 ($\mu \text{ mole s}^{-1} \text{ m}^{-2}$) |
|-------|------|--------------|---|
| 強度疏伐區 | 有雲霧 | PM 1:00~2:00 | 27.23 |
| 中度疏伐區 | 有雲霧 | PM 1:00~2:00 | 9.04 |
| 對照區 | 有雲霧 | PM 1:00~2:00 | 6.87 |

圖 10.三種不同處理之林內光度比較

(十)植相調查

本區域內之植相調查，調查結果如下：

蕨類植物：12 科 18 種

裸子植物：3 科 3 種

雙子葉植物：38 科 86 種

單子葉植物：4 科 7 種

有關詳細名錄部份，請參照附錄。

九、結語

森林環境監測是一長期而連續性的工作，疏伐後所造成林木性態值或環境介量的改變，必須要建立基本之資料，以瞭解其後續的變化，本計畫目前所蒐集的資料為疏伐後迄疏伐後一年期間，雖疏伐後所造成林分屬性可有著明顯的區別，但後續的變化仍有待持續進行監測，以瞭解其效益。

十、參考文獻

- 任憶安、陳宛君 1996 六龜試驗林疏伐作業個案採運成本及疏伐效率分析 台灣林業科學 11(4): 475-480。
- 江菊美 1997 景觀美質評估法在大雪山森林遊樂區紅檜人工林之研究 國立中興大學森林學研究所碩士論文。
- 吳學平 2001 新竹林區柳杉人工林疏伐之工作研究 國立台灣大學森林學研究所碩士論文。
- 李久先、陳朝圳 1985 大雪山地區紅檜幼齡人工林之疏伐—疏伐對直徑分布之影響 中華林學季刊 18(1): 19-28。
- 李久先、陳朝圳 1990 Weibull 機率函數應用於人工林疏伐作業之研究 中華林學季刊 23(2): 9-15。
- 李久先、顏添明 1992 間伐對大雪山地區紅檜人工林直徑分布的影響 中興大學實驗林研究報告 14(2): 89-101。
- 李久先、顏添明 1994 紅檜人工林單木生長之研究(一)—未疏伐林分及疏伐林分單木生長模式模擬效果分析 中興大學實驗林研究報告 16(2): 129-141。
- 李久先、顏添明 1995 紅檜人工林單木生長之研究(二)—Chapman-Richards 生長模式在疏伐林分之應用 中興大學實驗林研究報告 17(1): 125-136。
- 李久先、顏添明、鍾昇興、江菊美、羅義嵩 1997 紅檜人工林林分密度管理之研究—疏伐林分之基礎分析 中興大學實驗林研究彙刊 19(1): 101-111。
- 周楨、王德春 1967 溪頭紅檜人工林之生長與疏伐 台灣實驗林林業叢刊第 37 號: 1-13。
- 林子玉、賀主伯、林喻東 1972 杉木人工林疏伐試驗 中興大學實驗林研究報告第 4 號: 1-25。
- 林明進 1995 不同疏伐度與立地影響杉木生長之調查研究 國立中興大學森林學研究所碩士論文。
- 林務局 1995 第三次台灣森林資源及土地利用調查 行政院農委會林務局。
- 林務局 2001 東勢林區森林經營計畫草案 p.65-71。

- 邱曉東 2002 常綠闊葉林疏伐後前期群落的恢復特徵 林業科技開發 第 16 卷增刊：23-25。
- 張弘毅 1994 模糊集合理論應用於適地選擇之研究—以紅檜樹種為例 國立中興大學森林學研究所碩士論文。
- 張志誠 1992 大雪山地區紅檜人工幼齡林疏伐效果之研究 國立中興大學森林學研究所碩士論文。
- 張勝傑 2002 不同疏伐強度對大葉桃花心木人工林生長及林下植被之影響 國立中興大學森林學研究所碩士論文。
- 郭寶章、嚴玉鈴、周瑞龍 1991 景觀造林地疏伐之實施與植被變化 台大實驗林研究報告 5(3): 17-26。
- 陳俊文 1993 大雪山地區紅檜人工林地上部生物量與養分聚積 國立中興大學森林學研究所碩士論文。
- 陳重銘 2003 柳杉人工林疏伐之成本效益分析 國立台灣大學森林學研究所碩士論文。
- 陳朝圳 1985 大雪山地區紅檜人工幼齡林生長模式之研究 國立中興大學森林學研究所碩士論文。
- 湯適謙 1993 柳杉人工林疏伐作業之研究 國立台灣大學森林學研究所林產組碩士論文。
- 楊文琪 1992 管束模式理論應用於大雪山地區紅檜人工林疏伐作業之研究 國立中興大學森林學研究所碩士論文。
- 楊榮啟、林文亮 2004 森林測計學 國立編譯館。
- 楊榮啟、陳昭明、林文亮 1976 柳杉人工林之經濟疏伐 國立台灣大學農學院實驗林研究報告 118 號：39-94。
- 劉慎孝 1976 森林經理學 國立中興大學農學院森林經理學研究室。
- 劉業經、林文鎮、林維治 1979 台灣經濟樹木育林學(一) 國立中興大學 p.219-221。
- 蔡錦文 2000 杉木(*Cunninghamia lanceolata*)造林地疏伐對鳥類群聚及刺鼠

- (*Niviventer coxingi*)族群之影響 國立台灣大學森林學研究所碩士論文。
- 鄭欽龍、陳重銘 2001 人工林中後期撫育作業之社會經濟影響評估 行政院農委會林務局 90 年補助計畫成果報告：82-99。
- 鄭奮壬 1999 棲蘭林區天然生幼齡檜木地上部與地下部關係之探討 國立台灣大學森林學研究所碩士論文。
- 謝欣怡 2002 觀霧柳杉造林地疏伐對野生動物群聚之影響 國立台灣大學森林學研究所碩士論文。
- 顏添明 1993 不同間伐強度對紅檜人工林生長之影響 國立中興大學森林學研究所碩士論文。
- 羅卓振南、鍾旭和、邱志明 1997 疏伐與修枝對紅檜人工林生長之效應 台灣林業科學 12(2): 145-153。
- 羅卓振南、鍾旭和、羅新興、周朝富 1987 六龜地區紅檜人工林疏伐效果之研究 林業試驗所研究報告季刊 2(3): 187-198。
- Amateis, R. L., P. J. Radtke., and H. E. Burkhart. 1996 Growth and yield of thinned and unthinned plantation. *Journal of Forestry* 94(12): 19-23.
- Bailey, J. C., C. Mayrsohn., P. S. Doescher., E. St. Pierre., and J. C. Tappeiner. 1998 Understory vegetation in old and young Douglas-fir forests of western Oregon. *Forest Ecology and Management*, 112: 289-302.
- Keegan III, C. E., C. E. Fiedler., and D. P. Wichman. 1995 Costs associated with harvest activities for major harvest systems in Montana. *Forest Products Journal*, 45(7/8): 78-82.
- Klemperer, W. D. 1996 *Forest resource economic and finance*. N. Y.: McGraw-Hill., pp.551.
- Krajieck, J. E., K. A. Brinkman., and S. F. Gingrich. 1961 Crown competition factor, a measure of density. *Forest Science*, 7:35-42.
- Potvin, F., R. Courtois., and L. Belanger. (1999) Short-term response of wildlife to clear-cutting in Quebec boreal forest: multiscale effects and management

implication. *Canadian Journal of Forest Research*, 29:1120-1127.

Suter, G. W. (1993) Defining the Field. IN: G. W. Suter (ed.) *Ecological Risk Assessment*. pp.3-20. Lewis Publishers.

十一、附錄

疏伐樣區植物名錄

蕨類植物

1. LYCOPODIACEAE 石松科
 1. *Lycopodium cernuum* L. 過山龍
2. GLEICHENIACEAE 裏白科
 2. *Diplazium glaucum* (Houtt.) Nakai 裏白
3. PLAGIOGYRIACEAE 瘤足蕨科
 3. *Plagiogyria dunnii* Copel. 倒葉瘤足蕨
 4. *Plagiogyria euphlebia* (Kunze) Mett. 華中瘤足蕨
 5. *Plagiogyria glauca* (Blume) Mett. 台灣瘤足蕨
4. DENNSTAEDTIACEAE 碗蕨科
 6. *Monachosorum henryi* Christ 稀子蕨
5. DAVALLIACEAE 骨碎補科
 7. *Araiostegia parvipinnata* (Hayata) Copel. 小膜蓋蕨
6. OLEANDRACEAE 蓀蕨科
 8. *Nephrolepis cordifolia* (L.) C. Presl 腎蕨
7. BLECHNACEAE 烏毛蕨科
 9. *Woodwardia unigemmata* (Makino) Nakai 生芽狗脊蕨
8. DRYOPTERIDACEAE 鱗毛蕨科
 10. *Acrophorus stipellatus* T. Moore 魚鱗蕨
 11. *Arachniodes rhomboides* (Wall. ex Mett.) Ching 斜方複葉耳蕨
 12. *Polystichum parvipinnulum* Tagawa 尖葉耳蕨
9. THELYPTERIDACEAE 金星蕨科
 13. *Parathelypteris beddomei* (Baker) Ching 縮羽金星蕨
10. ATHYRIACEAE 蹄蓋蕨科
 14. *Diplazium kawakamii* Hayata 川上氏雙蓋蕨
11. ASPLENIACEAE 鐵角蕨科
 15. *Asplenium normale* D. Don 生芽鐵角蕨
12. POLYPODIACEAE 水龍骨科
 16. *Microsorium buergerianum* (Miq.) Ching 波氏星蕨
 17. *Polypodium formosanum* Baker 臺灣水龍骨
 18. *Pyrrosia sheareri* (Bak.) Ching 廬山石葦

裸子植物

13. PINACEAE 松科
 19. *Pinus armandii* Franchet var. *masteriana* Hayata 華山松
14. TAXODIACEAE 杉科
 20. *Cryptomeria japonica* (L. f.) D. Don 柳杉
15. CUPRESSACEAE 柏科

21. *Chamaecyparis formosensis* Matsum. 紅檜

雙子葉植物

16. BETULACEAE 樺木科

22. *Alnus formosana* (Burkill ex Forbes & Hemsl.) Makino 赤楊

17. FAGACEAE 殼斗科

23. *Cyclobalanopsis morii* (Hay) Schottky 森氏櫟

24. *Cyclobalanopsis stenophylloides* (Hayata) Kudo & Masam. ex Kudo

狹葉高山櫟

25. *Pasania harlandii* (Hance) Oerst. 短尾葉石櫟

18. URTICACEAE 蕁麻科

26. *Lecanthus peduncularis* (Wall. ex Royle) Wedd. 長梗盤花麻

27. *Oreocnide pedunculata* (Shirai) Masam. 長梗紫芋麻

28. *Pilea rotundinucula* Hayata. 圓果冷水麻

29. *Pilea melastomoides* (Poir) Wedd. 野牡丹葉冷水麻

30. *Pilea plataniflora* C. H. Wright 西南冷水麻

31. *Urtica thunbergiana* Sieb. & Zucc. 咬人貓

19. POLYGONACEAE 蓼科

32. *Polygonum chinense* L. 火炭母草

33. *Polygonum thunbergii* Sieb. & Zucc. 戟葉蓼

20. MAGNOLIACEAE 木蘭科

34. *Michelia compressa* (Maxim.) Sargent 烏心石

21. SCHISANDRACEAE 五味子科

35. *Schisandra arisanensis* Hayata 北五味子

22. LAURACEAE 樟科

36. *Litsea acuminata* (Bl.) Kurata 竹葉楠

37. *Litsea cubeba* (Lour.) Persoon 山胡椒

38. *Machilus zuihoensis* Hayata 香楠

39. *Neolitsea acuminatissima* (Hayata) Kanehira & Sasaki 高山新木薑子

23. RANUNCULACEAE 毛茛科

40. *Anemone vitifolia* Buch.-Ham. ex DC. 小白頭翁

41. *Clematis henryi* Oliv. 亨利氏鐵線蓮

24. BERBERIDACEAE 小檗科

42. *Dysosma pleiantha* (Hance) Woodson 八角蓮

43. *Mahonia oiwakensis* Hayata 阿里山十大功勞

25. LARDIZABALACEAE 木通科

44. *Stauntonia obovata* Hemsl. 六葉野木瓜

26. ACTINIDIACEAE 獼猴桃科

45. *Actinidia chinensis* Planch. var. *setosa* Li 臺灣羊桃

27. THEACEAE 茶科

46. *Eurya acuminata* DC. 銳葉柃木

47. *Eurya glaberrima* Hay. 厚葉柃木

48. *Eurya strigillosa* Hayata 粗毛柃木
 49. *Schima superba* Gard. & Champ. 木荷
28. SAXIFRAGACEAE 虎耳草科
 50. *Deutzia pulchra* Vidal 大葉溲疏
 51. *Hydrangea angustipetala* Hay. 狹瓣八仙花
 52. *Hydrangea integrifolia* Hayata ex Matsum. & Hayata 大枝掛繡球
29. PITTOSPORACEAE 海桐科
 53. *Pittosporum illicioides* Makino 疏果海桐
30. ROSACEAE 薔薇科
 54. *Eriobotrya deflexa* (Hemsl.) Nakai f. *deflexa*. 臺灣枇杷
 55. *Malus doumeri* (Bois.) Chev. C. R. Ac. Sc. 臺灣蘋果
 56. *Photinia niitakayamensis* Hayata 玉山假沙梨
 57. *Prunus campanulata* Maxim. 山櫻花
 58. *Rubus corchorifolius* L. f. 變葉懸鉤子
 59. *Rubus formosensis* Ktze. 臺灣懸鉤子
 60. *Rubus kawakamii* Hayata 桑葉懸鉤子
 61. *Rubus dolichocephalus* Hayata 長果懸鉤子
31. RUTACEAE 芸香科
 62. *Tetradium glabrifolium* (Champ. ex Benth.) T. Hartley 臭辣樹
 63. *Toddalia asiatica* (L.) Lam. 飛龍掌血
 64. *Zanthoxylum scandens* Bl. 藤崖椒
32. ACERACEAE 槭樹科
 65. *Acer morrisonense* Hayata 臺灣紅榨槭
 66. *Acer serrulatum* Hayata 青楓
33. CELASTRACEAE 衛矛科
 67. *Celastrus hindsii* Benth. 南華南蛇藤
 68. *Perrottetia arisanensis* Hayata 佩羅特木
34. VITACEAE 葡萄科
 69. *Ampelopsis brevipedunculata* (Maxim.) Traut. var. *hancei* (Planch.)
 Rehder 漢氏山葡萄
 70. *Cayratia japonica* (Thunb.) Gagnep. 虎葛
 71. *Tetrastigma umbellatum* (Hemsl.) Nakai 臺灣崖爬藤
35. THYMELAEACEAE 瑞香科
 72. *Daphne arisanensis* Hayata 臺灣瑞香
36. ELAEAGNACEAE 胡頹子科
 73. *Elaeagnus glabra* Thunb. 藤胡頹子
37. BEGONIACEAE 秋海棠科
 74. *Begonia formosana* (Hayata) Masam. 水鴨腳
38. MELASTOMATACEAE 野牡丹科
 75. *Sarcopyramis napalensis* Wall. var. *bodinieri* Levl. 肉穗野牡丹
39. ARALIACEAE 五加科

76. *Aralia bipinnata* Blanco 裡白蔥木
 77. *Aralia cordata* Thunb. 食用土當歸
 78. *Fatsia polycarpa* Hayata 臺灣八角金盤
 79. *Hedera rhombea* (Miq.) Bean var. formosana (Nakai) Li 臺灣常春藤
40. UMBELLIFERAE=APIACEAE 繖形科
 80. *Hydrocotyle sibthorpioides* Lam. 天胡荽
41. ERICACEAE 杜鵑花科
 81. *Gaultheria cumingiana* Vidal 白珠樹
 82. *Rhododendron leptosanctum* Hayata 西施花
42. MYRSINACEAE 紫金牛科
 83. *Ardisia crenata* Sims 珠砂根
 84. *Maesa japonica* (Thunb.) Moritzi ex Zoll. 杜莖山
 85. *Maesa peralaria* (Lour.) Merr. var. *formosana* (Mez) Yuen P. Yang 鯽魚膽
43. LOGANIACEAE 馬錢科
 86. *Buddleja asiatica* Lour. 揚波
44. APOCYNACEAE 夾竹桃科
 87. *Trachelospermum jasminoides* (Lindl.) Lemaire 絡石
45. RUBIACEAE 茜草科
 88. *Damnacanthus indicus* Gaertn. 伏牛花
46. VERBENACEAE 馬鞭草科
 89. *Callicarpa formosana* Rolfe 杜虹花
 90. *Callicarpa randaiensis* Hayata 巒大紫珠
 91. *Clerodendrum trichotomum* Thunb. 海州常山
47. LABIATAE =LAMIACEAE 唇形科
 92. *Clinopodium laxiflorum* (Hayata) Mori 疏花風輪菜
48. SCROPHULARIACEAE 玄參科
 93. *Digitalis purpurea* L. 毛地黃
49. ACANTHACEAE 爵床科
 94. *Strobilanthes flexicaulis* Hayata 曲莖蘭嵌馬藍
50. PLANTAGINACEAE 車前科
 95. *Plantago asiatica* L. 車前草
51. CAPRIFOLIACEAE 忍冬科
 96. *Lonicera japonica* Thunb. 忍冬
 97. *Sambucus chinensis* Lindl. 有骨消
 98. *Viburnum foetidum* Wall. var. *rectangulatum* (Graebner) Rehder 太平山
 英迷
52. CAMPANULACEAE 桔梗科
 99. *Peracarpa carnosus* (Wall.) Hook. f. & Thomson 山桔梗
53. COMPOSITAE=ASTERACEAE 菊科
 100. *Aster taiwanensis* Kitam. 臺灣馬蘭
 101. *Bidens pilosa* L. var. *radiata* Sch. 大花咸豐草

102. *Conyza canadensis* (L.) Cronq. 加拿大蓬
 103. *Crassocephalum rubens* (Juss. ex Jacq.) S. Moore 昭和草
 104. *Eupatorium formosanum* Hayata 臺灣澤蘭
 105. *Gnaphalium luteoalbum* L. subsp. affine (D. Don) Koster 鼠麴草
 106. *Senecio scandens* Buch.-Ham. ex D. Don 蔓黃苑
 107. *Pterocypsela indica* (L.) C. Shih 鵝仔草

單子葉植物

54. LILIACEAE 百合科

108. *Asparagus cochinchinensis* (Lour.) Merr. 天門冬

55. SMILACACEAE 菝契科

109. *Smilax discotis* Warburg 宜蘭菝契
 110. *Smilax elongato-umbellata* Hayata 細葉菝契
 111. *Smilax riparia* A. DC. 烏蘇里山馬薯

56. CYPERACEAE 莎草科

112. *Carex baccans* Nees 紅果薹

57. GRAMINEAE=POACEAE 禾本科

113. *Isachne albens* Trin. 白花柳葉箬
 114. *Miscanthus floridulus* (Labill.) Warb. ex K. Schum. & Lauterb. 五節芒