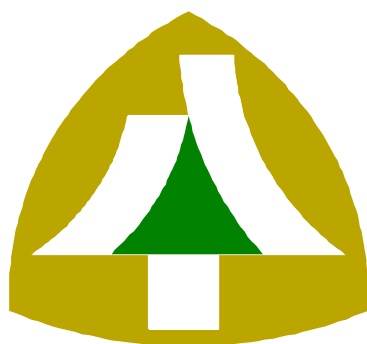


行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列 99-00-5-18

疏伐對柳杉林分生長、結構及冠層下植群之影響

Effects of thinning on growth and structure of overstory and understory vegetation of a Japanese fir plantation in northern Taiwan



委託機關：行政院農業委員會林務局

執行機關：國立臺灣大學

中華民國 九 十 九 年 十 二 月



目 次

目 次	-----	I
研究人力	-----	III
審查意見表	-----	V
摘 要	-----	01
Abstract	-----	02
I、前 言	-----	03
II、材料與方法	-----	05
(I) 試驗地概述		
(II) 疏伐處理		
(III) 永久樣區設置		
(IV) 冠層開闊度測量		
(V) 林況及冠層林木之生長反應		
(VI) 冠層林木結構之變動		
(VII) 下層木本植物之調查		
III、結 果	-----	07
(I) 疏伐後之林分狀況		
(II) 疏伐後冠層開闊度之變動		
(III) 冠層開闊度與林分密度的關係		
(IV) 留存木之生長表現		
(V) 林分立木材積之總生產量		
(VI) 各徑級之生長		

(VII)	疏伐對 DBH 及 BA 效應之年序列變化	
(VIII)	林分結構的反應	
(IX)	下層木本植物之表現	
IV	、 討 論	----- 20
V	、 結論及育林作業建議	----- 23
VI	、 引用文獻	----- 24
	附 錄	----- 27

行政院農業委員會林務局暨所屬機關
九十九年度委託研究計畫研究人力

一、計畫序號、名稱及經費

- (一) 計畫編號：99-00-5-18
- (二) 計畫名稱：疏伐對柳杉林分生長、結構及冠層下植群之影響
- (三) 計畫經費：695 千元

二、計畫執行機關及執行人

計畫執行機關：國立臺灣大學
計畫執行人及職稱：李 嗣 洵 校 長
電話：02-33662500

三、計畫主辦人

機關名稱：國立臺灣大學森林環境暨資源學系
姓名：郭幸榮 職稱：教授 電話：02-33664618
傳真：02-23637403 電郵：srkuo@ntu.edu.tw

四、計畫聯絡人

機關名稱：國立臺灣大學森林環境暨資源學系
姓名：郭幸榮 職稱：教授 電話：02-33664618
傳真：02-23637403 電郵：srkuo@ntu.edu.tw

五、執行期限

本年度計畫：99年04月22日至 99年12月20日

六、研究人員 (如僅個人則此欄免填)

<u>序號</u>	<u>機關名稱</u>	<u>單位名稱</u>	<u>研究人員</u>	<u>職稱</u>
1.	國立臺灣大學	森林環境暨資源學系	郭幸榮	教授
2.	國立臺灣大學	森林環境暨資源學系	梁秀蓮	助理
3.	國立臺灣大學	森林環境暨資源學系	姚曉文	研究生
4.	國立臺灣大學	實驗林	翁世豪	技士
5.	國立臺灣大學	實驗林	游啟皓	技士
6.	國立臺灣大學	實驗林	沈介文	助理研究員

一、 期中簡報委員意見回覆表

審查委員	審查意見	審查回覆
<p>(一) 行政院林業 試驗所邱研 究員志明</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 人工林林分鬱閉後，因生長競爭產生樹冠分級，一般區分優勢木、次優勢木、中勢木、劣勢木，報告中「倒壓木」是否即為中勢木，不知此稱呼是否有特別意義。 2. 表 1 及表 4 顯示 2001 年不同疏伐度之材積不相同，如表 1 強度 396.5 m³/ha、中度 236.9 m³/ha、弱度 201 m³/ha，而表 4 強、中、弱分別為 439.4、262.5、212 m³/ha，不知原因何在。 3. 表 5 對照組，第 I、II 級直徑級之變化，表示有錯，請修正。 4. 本報告藉由觀霧 28 年生柳杉四種不同強度之疏伐，經 8 年之生長調查其林分組成及結構之變化，結果顯示林份採取疏伐強度株數疏伐率，至少需大於 35% 以上，並宜採中強度疏伐，並延長輪伐期，以減少對環境干擾之頻度，並可減輕成本及增進效益。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 為側壓木之誤，已刪除本段敘述 2. 計算錯誤，已修正 3. 已修正 4. 略
<p>(二) 中興大學顏 副教授添明</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫探討柳杉人工林疏伐八年對林分生長、結構及冠層下植群之影響。 2. 本計畫所得之結果具體，而在林分直徑分布上以 Weibull 機率密度函數模擬，可有效表現疏伐前、疏伐後及疏伐後八年之直徑分布。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 略 2. 略
<p>(三) 臺灣大學邱 助理教授祈 榮</p>	<p>不同疏伐強度的株數徑級分布，建議強調成材(例如大於 30 或 40)的株數總數，在疏伐地的疏伐效益，以凸顯其養成大材的效果。建議如有坡向(坡度、方位)、試驗地之植被覆蓋狀況，可補充，以提供空氣相對濕度、土壤溫度、土壤水勢變化說明之參考。</p>	<p>已呈現在圖 5</p>

二、 期末簡報委員意見回覆表

審查委員	審查意見	審查回覆
<p>(一) 行政院林業 試驗所邱研 究員志明</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究株數疏伐率強度達 78%·材積疏伐率高達 61%·弱度疏伐率株數亦達 46%·材積疏伐率達 26%·另由表 4·各疏伐處理林分之立木總材積生產量之變化得知·林分總生產量(疏伐量+留存木生長量)以對照區為 1.0·強度為 0.9·中度為 1.02·弱度 1.13·可知以林分總生產量·以中弱度較佳。 2. 由表 6 疏伐後級下層木本植物之動態·不論喬木或灌木皆強 > 中 > 弱 > 對照之勢·以多樣性而言·以強度最佳。 3. 由此可知·不同經營目標·決策者有不同決策·需視林分現地狀況及目標而定。 4. 配合數次疏伐將柳杉輪伐期延長·生產大徑高品質之林木·又能增進生物多樣性·符合森林生態系永續經營理念。 5. P.10 材積總生產量以弱度疏伐區最大 107m³/ka·應為 1052.8 m³/ka 之誤·請修正。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 疏伐率的定義依留存木的胸高斷面積來區分可能較為理想。 2. 略 3. 略 4. 略 5. 已修正
<p>(二) 中興大學顏 副教授添明</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫在於探討疏伐對於林分生長、結構及冠層下植群之影響·所得結果顯示·疏伐對於優勢木的效果為佳。另外·在各疏伐度樣區 2003 及 2010 年之植被進行調查所得之結果可作為疏伐對地被多樣性的影響。 2. 圖 3.胸高斷面積平均生長量顯示·強度疏伐可以延長林木的伐期齡·此對育林策略很重要·尤其是在林木吸存 CO₂ 的貢獻。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 略 2. 略

<p>(三) 臺灣大學 邱 助理教授 祈 榮</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 表 1.平均胸徑於強度疏伐前平均為 20.5 ± 1.4 疏伐後變成 28.2 ± 3.1，理論上強度下層疏伐應讓胸徑變異縮小，還請再檢核相關數據，相對地於圖 5.亦應連帶修正，同時建議，可強化對於胸徑變異的變化說明。 2. 表 5.表現不同徑級的生長表現，建議可增列各徑級總株數的變化表，另外亦可用疏伐後(2001)年的胸徑在不同處理之下分別作生長量的迴歸模式，以便更能掌握其生長量的變化。 3. 表 5.與圖 3.一為整體生長表現，一為單株表現，因有生長量的差異，建議還請再核對資料並予說明。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 因疏伐前立木並非定距離及冠層已分級，疏伐後樣區間的均勻度可能會擴大。 2. 不同直徑級的變動在圖 5 已示出，不再重複列圖或表。 3. 已核對修正
--	---	--

摘 要

在臺灣，日本柳杉經營之首要目標為木材生產，惟由本樹種所建造的同齡純林其結構通常缺乏變化。本研究嘗試探討疏伐 8 年後對林分之生長、結構及下層植群重建的效應，研究對象為位於竹東事業區的 28 年生林分，採用 4 種不同強度的疏伐，即強度（留存 515 ± 75 株/ha）、中度（留存 660 ± 36 株/ha）、弱度（留存 995 ± 41 株/ha），及未疏伐之對照組（留存 $1,463 \pm 312$ 株/ha）。疏伐後 8 年，主要的結果為：①疏伐增強冠層林木的高度及直徑生長，尤以對優勢木的效果最佳；②在強度及中度疏伐區優勢木年輪在疏伐後 8 年的年生長量呈現增加之反應；③冠層開闊度在 8 年期間縮小量在強度疏伐區最為明顯，約為 8%；④在強度疏伐區因各徑級林木在疏伐後之生長量不同，冠層林木依直徑大小的株數頻度分布樣式逐漸趨向常態分布；⑤強度疏伐可重建活性及複雜的下層植群。

【關鍵詞】林分結構、林木生長、冠層開闊度、徑級分布、年輪。

Abstract

The management of Japanese fir was for timber production as primary objective in Taiwan. Most of the monoculture stands composed of the species frequently lack structure diversity. We examined lowing thinning effects on growth and structure of the overstory and understory vegetation 8 years after treatment. A 28-year-old plantation in northern Taiwan were thinned with 4 intensities respectively: heavily (515 ± 75 tree/ha), moderately (660 ± 36 tree/ha), lightly (995 ± 41 tree/ha), and unthinned ($1,463 \pm 312$ tree/ha). After 8 years, major results from this study are

- ① thinning enhanced the height and diameter growth of residual overstory, especially of dominant trees;
- ② the annual increment of stem diameter of residual dominant trees with stand ages was enhanced in heavily and moderately thinned stands;
- ③ the openness of overstory canopy was decreased by approximately 8% in stand with heavy thinning treatment which was more significant than other 3 treatments;
- ④ due to the difference of growth rate among tree sizes, the clumped pattern of frequency structure of tree sizes in heavily thinned stand was shifted toward normal distribution;
- ⑤ stands with heavy thinning offer the opportunity to restore vigorous and complex understory vegetation.

【Keyword】 Stand structure, tree growth, canopy openness, frequency distribution of tree sizes, annual ring.

I、前 言

人工林經營的傳統目標係以生產木材為主，致建造同齡純林（monoculture plantation）為首選，二樹種以上之混植林（mixed stand）為少數案例，全世界皆然（Sands, 2007）。為達木材的最大生產，人工林通常採取高栽植密度，期望冠層早期鬱閉，以減少除草及切蔓的工作量，林木也充分利用林地資源以生長。高密度林分也可供為控制枝條大小、數量以及主幹形狀的模式，尤以闊葉樹種為然。但其缺點為在生長空間受限制下，林木的直徑生長受影響，而未能生產大徑主伐木；且冠層下植群的種類及生長受抑制，缺乏老齡森林（old-growth forest）之特性（Ishii and McDowell, 2001）。近代森林經營，則以森林生態系整體為對象，且要考量全球氣候變遷趨勢下極端事件對森林的衝擊，期望人工林導向老齡林，以維持長期穩定（Franklin and Van Pelt, 2004），在水土資源維護及生物多樣性的保育功能也與天然林相近似，且發揮紓減大氣 CO₂ 濃度之功能。因此，在林分建造初始及發育期間，必須藉育林作業之操控使樹種組成多樣化且林分結構複雜化，以提高森林的多樣性功能（Bauhus *et al.*, 2009），及強化對乾旱及高溫逆境抵抗能力（Allen *et al.*, 2010）。

在臺灣，過去大量砍伐天然林及林相變更的時代，在伐木跡地皆建造高密度的同齡純林。各樹種中，以松類人工林的面積 40,900ha 為最大，柳杉 39,100ha 為次；但若以蓄積量來排序，則以柳杉林為最多（林務局，1995），可見其在人工林的重要性。在 1950 及 1960 年代，柳杉林分曾進行系列性下層疏伐試驗，以探倒留存林木之生長反應（洪，1965；1966；1967；王，1966），惟最近 15 年來，人工林經營作業因停滯不前，不僅在林分發育期未有修枝、疏伐作業之實施，屆輪伐期的林分也不得伐木更新。因為林分未予更新，其材積年平均生產量（mean annual increment, MAI）已越逾高峰期者，隨林齡增大而大幅下降（Sands, 2007）。

疏伐為各種木材生產作業中對林地微環境衝擊最為緩和的作業（Fujimori, 2001），也可用以強化林分結構的複雜度以及增加林分的樹種組成（Deal and Tappeiner, 2002; Zhu *et al.*, 2003; Lindh and Muir, 2004; Chan *et al.*, 2006），而使林分逐步趨近於老齡林分的林況（Bauhus *et al.*, 2009）。這些效果乃緣於疏伐降低冠層

密度，增加陽光的入射量 (Thysell and Carey, 2001; Chan *et al.*, 2006 ;Wang *et al.*, 2008)，林地的其他微環境因子如氣溫、土溫、空氣相對濕度等也隨之改變 (Weng *et al.*, 2007)，促進土壤種子庫 (seed bank) 的發芽及幼苗生長，增加下層植群的種類及上冠層樹種的更新 (Chan *et al.*, 2006; Zhu *et al.*, 2003)，也可能促進灌木的開花、結實，而提供種子的來源 (Wender *et al.* 2004)。疏伐也因為擴大留存木的生長空間而有較多的林地資源可資利用，已遲緩的生長速率可以再提高，林分材積生產量因疏伐而減少之幅度可縮小，且主伐木可生產大形幹材，故為近代延長輪伐期的配套作業 (Fujimori, 2001)，也是近代森林經營者所重視的連續冠層林業 (continuous canopy forestry) 的方案 (Sands, 2007)。在過去，柳杉林分疏伐效果的評估以總木材的生產為主，晉級生長為輔 (洪, 1965; 1966; 1967; 王, 1966)。目前因社會經濟條件的改善及氣候的變遷，長輪伐期且非皆伐更新導引林分趨向自然林化的經營模式漸成主流 (Schüz, 2002; Bauhus *et al.*, 2009)，因此，本研究乃以 28 年生將屆輪伐期但仍未經疏伐之柳杉林分為對象，以生產近於老齡林分之 大徑木及促進林下木本植物重建為前提，擬訂不同強度之下層疏伐作業，探討下列反應：①冠層開闊度在強度疏伐之後是否有自行鬱閉的能力，以減少冠層覆蓋度下降對材積總生產量之衝擊？②留存木各直徑級的晉級生長表現為何？③各疏伐處理林分的優勢木之生長表現在 8 年期間之年度變化趨勢是否與疏伐前有所不同？④疏伐後 8 年的林分結構變化為何？及⑤冠層下木本植物重建的可能性。

II、 材料與方法

(I) 試驗地概述

試驗林分屬新竹林管處竹東事業區 29 及 34 林班，位於東經 121°07'30"、北緯 24°30'42"。該林分在 1974 年以苗木栽植建造，面積 28.18ha，主要樹種為柳杉，小比例的臺灣杉及香杉。林地的海拔高度範圍為 1,900~2,100m，坡面西北向，坡地在 20°至 30°之間。土壤質地為壤土或粉壤土，年均溫約 17°C，年降雨量約 2,200mm，有乾雨季之別。

林分在疏伐前的密度在 1,500~2,300 株/ha 之間，樹高為 15~16m (表 1)，冠層開闊度在 20%左右 (表 2)，下層枝條已因陽光入射量不足而逐漸向上枯萎脫落，冠層林木的高度已明顯分層，被壓木枯死，地表植群稀少、柔弱，林況已達應予疏伐之發育階段。

(II) 疏伐處理

2001 年 12 月進行下層疏伐，強度分強、中、弱及未疏伐之對照組 4 級。為了工作者的作業方便及水文、動物研究之需要，各疏伐度處理以林地內之小稜線作為區隔，即以集水系統為單元，致各疏伐處理的面積不相同，惟面積最小者尚在 5 ha 以上。疏伐方式為單株下層疏伐，2001 年 10 月進行，直徑大而形狀優良的疏伐木截短後大部分堆放在林地，小徑木、不良木、殘材及枝葉則散布於地表。

(III) 永久樣區設置

在 4 種不同強度的疏伐區之約略等同海拔高度林帶分別設置 4 個 0.05 ha 的圓形永久樣區，共 16 個樣區，以 GPS 定位標示，樣區內立木及界木也皆以油漆標示編號，以供後續調查。

(IV) 冠層開闊度測量

調查時間為 2002 年 11 月及 2010 年 6 月，在每樣區內設置 16 個觀測點，以數位相機所附之魚眼鏡頭在高度約 1.8 m 向上拍攝冠層 180°全景相片，以 GLA 軟體程式計算各樣點的冠層開闊度，並進一步求取樣區平均值。

$$\text{冠層開闊度(canopy openness, \%)} = \frac{\text{半球形內空域面積}}{\text{半球形視野全部面積}} \times 100\%$$

(V) 林況及冠層林木之生長反應

1. 量測時間

2001 年 8 月疏伐前、2001 年 12 月疏伐後當年及 2009 年 10 月疏伐後 8 年。

2. 量測項目

(1) 樹高：在 4 種疏伐強度區在 3 次測量時間共取樣木 128 株，調查其樹高(H)及胸高直徑(DBH)以建立樹高曲線，作為疏伐前後林分平均樹高、材積、疏伐材積，材積生長之計算依據。

$$H(m) = a (1 - \exp^{(b*DBH)}) + c$$

a,b,c 為常數

(2) 胸高直徑：每處理每樣區的所有林木皆量測其 DBH，作為計算平均胸徑、胸高斷面積(basal area, BA)、材積之依據。

3. 優勢木生長趨勢分析

自各疏伐處理之 4 個樣區各選取 10 株優勢木 (dominant trees) 為樣木，在主幹 1.3m 高度之水平方向兩側以生長錐 (increment borer) 各鑽取 1 支穿越或近於樹芯之木條，經乾燥、表面磨光後在顯微鏡下量測各年輪之寬度，計算年輪之平均生長量 (mean annual increment)，再計算胸高斷面積。

(VI) 冠層林木結構之變動

將林分各直徑及株數轉換成頻率而進行 Weibull 氏之徑級分析(Zenner and Hibbs, 2000)。另將疏伐後留存的林木依直徑大小平分成 5 級，比較各級之生長表現。

(VII) 下層木本植物之調查

在 2001 年疏伐後當年、2003 年疏伐後 2 年及 2010 年疏伐後年各調查 1 次，對象為下層之喬木及灌木之種類及株數。2010 年增加量測各植株之高度。

III、 結 果

(I) 疏伐後之林分狀況

本試驗林分在疏伐前的株數密度在 1,560~2,360 株/ha，平均樹高在 16.5~18.3m，平均胸徑為 20.5~25.7cm (表 1)。經疏伐處理之後，強度疏伐區留存木為 515±75 株/ha，中度疏伐區留存木為 660±36 株/ha，弱度疏伐區株數為 1,000±36 株數/ha。自株數疏伐率觀之，強度至弱度疏伐區分別為 78±2%，55±16%，46±3%。因為株數疏伐率最高者達 78±2%，疏伐對象已包括一部分生長有望但株距密集的次優勢木，已達冠層疏開的預期目標，確已達極強度下層疏伐的標準，而中度 (C 度) 及弱度 (B 度) 疏伐處理有不同比例有繼續生長希望的側壓木被留存下來。

計算林分密度時，以胸高斷面積及冠層開闊度為參數，較能瞭解林分的競爭程度。強度疏伐區在處理後的胸高斷面積為 32.6±3.7m²，約為對照區 82.3±11.6m² 之 40%，密度差異甚大。經核算斷面積疏伐率在強至弱度處理間為 62.7%~27.6%，低於株數的疏伐百分率。若以材積疏伐率則在 60.8%至 25.9%之間 (表 1)，為典型的下層疏伐之結果。再自留存木的平均樹高及平均胸徑觀之，各疏伐處理的增加率自強度至弱度疏伐而遞減，即強度疏伐後冠層高度趨於相近似。

材積的核算，係採用本試驗地所自行建立的樹高曲線 ($H=5.3678+24.5035(1-\exp^{-0.0308DBH})$, $R^2=0.7501$)，樹幹形數以林務局所規定的 0.45 為依據。

表 1、觀霧柳杉林分疏伐前、後之狀態

Table 1 Stand conditions before thinning and changes immediately after thinning of a Japanese fir at Guan-Wu.

性 狀		處 理 別			
		強 度	中 度	弱 度	對 照 組
株 數	疏伐前(株/ha)	2365±222	1655±690	1845±120	1560±335
	疏伐後(株/ha)	515±75	660±36	1000±36	—
	疏伐率(%)	78±2	55±16	46±3	—
斷 面 積	疏伐前(m ² /ha)	87.9±9.5	86.61±10.96	100.4±8.5	82.3±11.6
	疏伐後(m ² /ha)	32.6±3.7	53.88±11.98	72.7±6.0	—
	疏伐率(%)	62.7±4.1	37±16	27.6±3.7	—
材 積	疏伐前(m ³ /ha)	650.9±81.9	667.7±89.9	774.0±72.1	635.6±81.1
	疏伐後(m ³ /ha)	254.4±33.8	430.7±104.9	573.0±50.3	—
	疏伐率(%)	60.8±4.4	35±15	25.9±3.7	—
平 均 樹 高	疏伐前(m)	20.5±1.4	25.7±4.8	25.2±1.4	24.8±1.6
	疏伐後(m)	28.2±3.1	31.6±4.2	29.8±1.0	-
	變動率(%)	37.4±8.4	24.1±7.7	18.6±2.7	-
平 均 胸 徑	疏伐前(cm)	15.0±0.4	16.2±1	16.3±0.3	16.2±0.3
	疏伐後(cm)	17.1±0.4	17.4±0.5	17.3±0.1	—
	變動率(%)	13.7±2.6	8±3.3	9.4±1.5	—

註：各疏伐處理數值以 mean±s 表示

(II) 疏伐後冠層開闊度之變動

各疏伐處理區的冠層開闊度只有強度疏伐區高於 30%，為 34.6±2.7%，其餘各處理皆低於 30%，即縱使經中、弱度疏伐，尚維持在適度的鬱閉狀態。在疏伐後 8 年，即 2009 年，所有處理區及未疏伐之對照區，冠層開闊度皆明顯的比 2001 年為小，且皆在 30% 以下，尤以強度疏伐區減少 7.7±4.4% 而成為 26.9±3.3%，平均每年約減少 1%，變動量最大，8 年的變動率為 21.8±11.8%。冠層開闊度最小者為對照區，只有 17.±3%，但在 2001 至 2009 年間，變動率最小者卻為弱度疏伐區，只減少約 -11.1±13.2% (表 2)。

表 2、觀霧柳杉林分在疏伐後當年及 8 年之冠層開闊度變化

Table 2 Changes of stand canopy openness between immediately after thinning and 8 year after thinning.

	處 理 別			
	強 度	中 度	弱 度	對 照 組
疏伐後當年	34.6±2.7 ^{a*}	27.6±5.8 ^a	20.9±3.2 ^a	21.5±3.3 ^a
疏伐後 8 年	26.9±3.3 ^b	21.0±3.5 ^b	18.4±3.1 ^b	17.2±3.0 ^b
變動量	-7.7±4.4	-6.6±6.6	-2.5±3.0	-4.3±4.4
變動率(%)	-21.8±11.8	-20.6±21.2	-11.1±13.2	-18.2±19.4

*：同一疏伐強度在 2 個期別的平均值以不同英文字母標示者表差異顯著

(III) 冠層開闊度與林分密度的關係

冠層覆蓋度受林分密度的影響，而林分密度以林木株數及胸高斷面積 (BA) 較為常用。惟因株數的效應尚需視林齡及生長狀況而異，故乃試建立 BA 與冠層開闊度間之關係，二者呈線性關係， $R^2=0.5806$ (圖 2)，可由林分的 BA 間接推定冠層開闊度的大小，供為柳杉林分密度經營的參考。例如在疏伐林分，以留存木的 BA 來估算冠層開闊度，進一步評估冠層開闊度所構成的林內微環境是否可達到預期的目標。

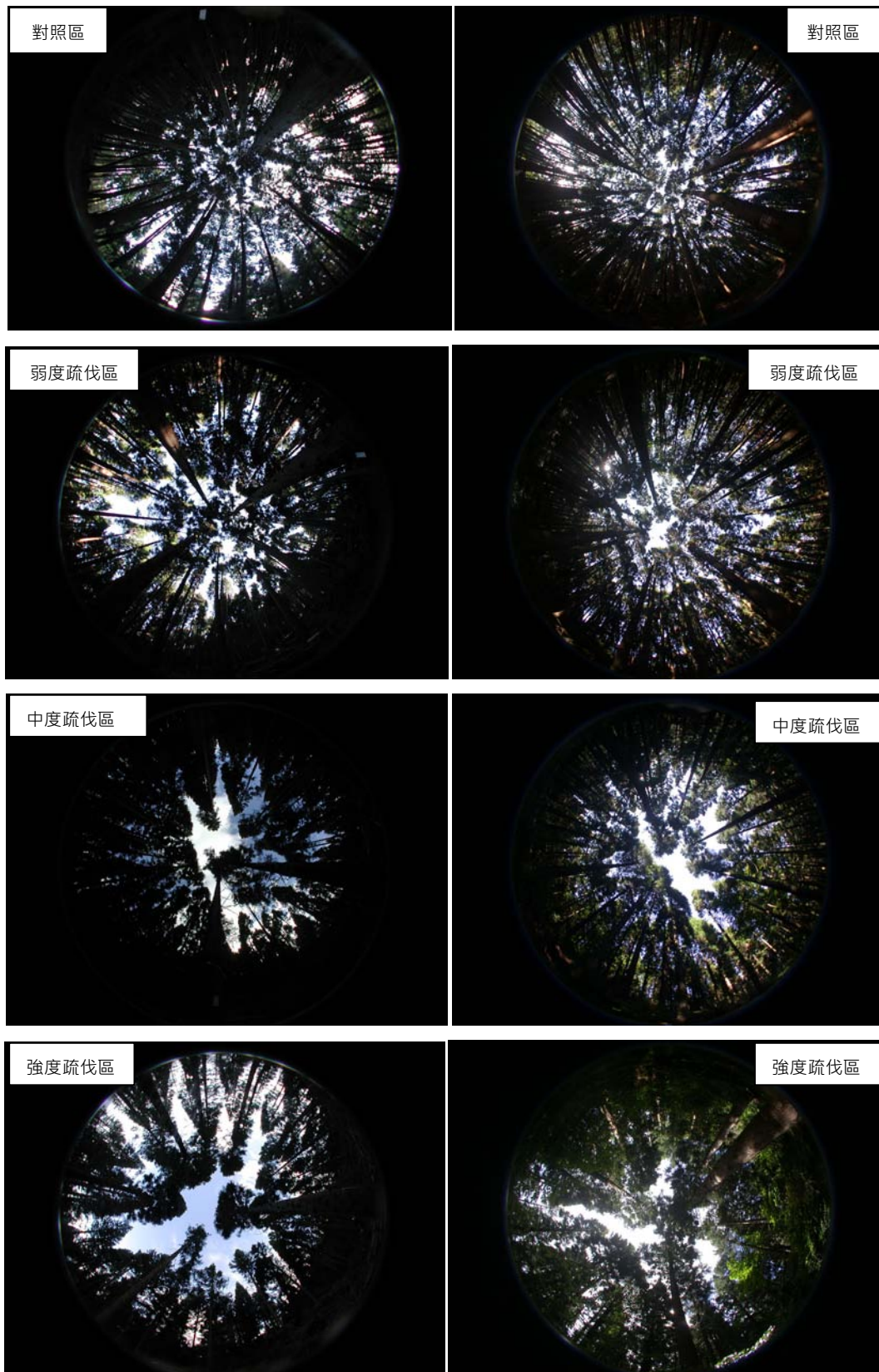


圖 1、柳杉林分各疏伐強度區冠層之影像變化。左：2002 年，右：2010 年。
 Fig.1 Canopy images in various thinning intensities of a Japanese fir plantation, left:2002 ; right:2010.

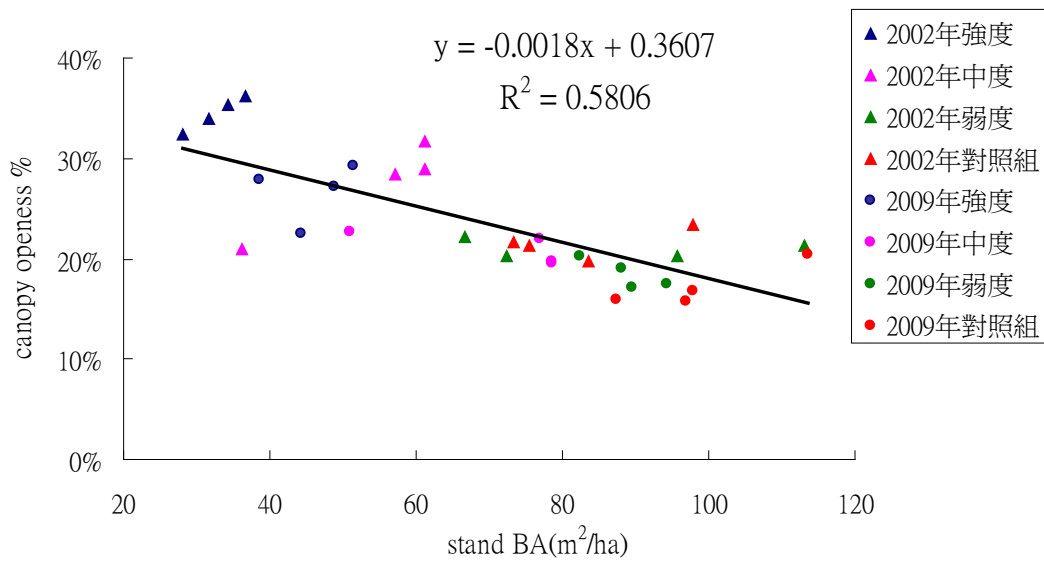


圖 2、冠層開闊度與林分胸高斷面積之關係。

Fig.2 Relationship between canopy openness and basal area of stand.

(IV) 留存木之生長表現

強度及中度疏伐區在處理後 8 年期間，未有林木枯死，致其立木株數維持不變，弱度疏伐區只有 5 ± 1 株/ha 死亡，占全試區株數之 0.5%，對照組則有 95 ± 41 株/ha 死亡，占 $6 \pm 2\%$ 為最高（表 3）。再從留存林木的生長表現予以比較，強、中度疏伐區的胸徑、樹高、斷面積、材積等之生長量或生長率皆比弱度及對照組有更好的表現，即這些生長參數對強、中度疏伐有較佳的反應。

表 3、冠層林木在疏伐後 8 年之生長反應

Table 3 Growth responses of overstory trees 8 years after thinning.

性 狀		處 理 別			
		強 度	中 度	弱 度	對 照 組
株 數	2009(株/ha)	515±75	660±36	995±41	1465±312
	減少數(株/ha)	0	0	-5±1	-95±41
	減少率(%)	0	0	-0.5±0.1	-6±2
平 均 胸 徑	2009(cm)	33.4±4.0	36.4±4.1	33.1±0.7	28.3±2.7
	生長量(cm)	5.2±0.9	4.8±0.6	3.3±0.4	3.4±1.3
	生長率(%)	18.3±1.2 ^{a*}	15±3 ^{b^{ab}}	11±1.8 ^c	13.7±4.6 ^{bc}
斷 面 積	2009(m)	45.8±5.6	71.2±13.56	88.5±4.8	98.9±10.9
	生長量(m)	13.1±2.0	17.33±2.96	15.9±1.9	16.6±6.0
	生長率(%)	40.0±2.0 ^a	33.0±7.0 ^a	16.0±3.0 ^b	20.8±9.8 ^b
平 均 樹 高	2009(m ² /ha)	21.4±1.0	22.1±1	21.4±0.2	19.9±0.8
	生長量(m ² /ha)	4.4±0.6	4.7±0.5	4.1±0.1	3.7±0.5
	生長率(%)	25.5±2.7 ^{ab}	27.0±2.0 ^a	23.5±0.4 ^b	23.2±2.8 ^b
材 積	2009(m ³ /ha)	452.1±72.9	731.5±163.9	851.8±49.9	945.9±101.5
	生長量(m ³ /ha)	197.7±39.4	300.8±62.88	278.9±11.0	310.3±62.7
	生長率(%)	77.2±5.9 ^a	71.0±7.0 ^a	49.0±4.6 ^b	49.4±12.6 ^b

*：疏伐後間以不同字母標示者表差異顯著

(V) 林分立木材積之總生產量

緣於各疏伐區於疏伐前後的生長表現並不相同，乃將林分自建造起始至 2009 年立木材積的總生產量彙整於表 4。至 2009 年為止，全生長期的材積總生長量以弱度疏伐區為最大 1,07 m³/ha，其次為中度疏伐區約 968.5 m³/ha，再次為對照區 945.9 m³/ha，最少者為強度疏伐區之 848.6 m³/ha。對照組與強度疏伐區在疏伐之前，立木材積前者較少 28 m³/ha (表 1)。疏伐後 8 年，各疏伐區木材總產量皆減少，其中強度疏伐區減少約 120 m³/ha 為最多。

表 4、各疏伐處理林分之立木材積總生產量 (m³/ha)

Table 4 Timber production of different thinning treatment stands.

疏伐處理	疏伐材積 (m ³)	2009 林分 材積	林分總生 產量(m ³)	相對值	
				疏伐前	疏伐後 8 年
強 度	396.5	452.1	848.6	1.03	0.90
中 度	236.9	731.5	968.5	1.06	1.02
弱 度	201.0	851.8	1,052.8	1.22	1.13
對照組	--	945.9	945.9	1.0	1.0

(VI) 各徑級之生長

為了進一步探討不同直徑級留存木的生長表現，將全林分依直徑大小的分布範圍均分成 5 級，來分析各直徑級的生長表現 (表 5)。在強度疏伐區，缺少直徑 42cm 以上的林木，疏伐後 8 年其 4 直徑級的生長量以小徑木為最低，為 1.75±1.1cm，且依徑級的增大而有更大的生長量，分別為 5.3±2.1cm 及 4.9±3.3cm，在最大徑級有 6.0±2.4cm。中度及弱度疏伐區皆以最大徑級的林木有最大的生長量，但其他 4 徑級之生長表現低於強度疏伐區的同徑級林木。就最小徑級林木的生長而言，3 種疏伐度的效應皆不佳，因此，就本林分而言，藉疏伐作業來改善小徑木生長的效果最低。在對照區，生長量最少者為最小及最大二徑級，即大、小徑木在此期間的生長表現皆不佳。

表 5、林分疏伐後 8 年各直徑級之胸高直徑之生長表現

Table 5 Growth responses of DBH in different stem diameter classes 8 years after thinning.

直徑範圍 (cm)	強度疏伐			中度疏伐		
	疏伐後平 均胸徑 (cm)	疏伐 8 年 後平均胸 徑 (cm)	平均生長 量 (cm)	疏伐後平 均胸徑 (cm)	疏伐 8 年 後平均胸 徑 (cm)	平均生長 量 (cm)
I X < 18	15±0	16.8±1.1	1.75±1.1 ^a	15±0	17±0	2±0 ^a
II 18 ≤ X < 26	23.3±1.9	27.6±2.9	4.3±2.2 ^a	22.7±2.0	27±3.0	4.5±2.6 ^a
III 26 ≤ X < 34	28.8±2.1	34.4±3.0	5.6±2.1 ^a	29.7±2.3	34.7±3.8	5.0±2.9 ^a
IV 34 ≤ X < 42	36.9±2.0	42.9±2.9	6.0±2.4 ^a	37.6±3.0	42.4±3.5	4.8±2.5 ^{ab}
V X ≥ 42	—	—	—	44±3.4	49.3±4.3	5.3±2.1 ^a

直徑範圍 (cm)	弱度疏伐			對照組		
	疏伐後平 均胸徑 (cm)	疏伐 8 年 後平均胸 徑 (cm)	平均生 長量 (cm)	疏伐後平 均胸徑 (cm)	疏伐 8 年 後平均胸 徑 (cm)	平均生長 量 (cm)
I X < 18	18.0±0	19.0±1.4	1.0±1.4 ^a	13.1±2.8	14.5±	1.5±3.9 ^a
II 18 ≤ X < 26	23.3±1.9	26.7±2.4	3.4±2.0 ^{ab}	22.3±2.4	24.5±3.4	2.3±2.5 ^b
III 26 ≤ X < 34	29.5±2.4	32.8±3.1	3.2±1.9 ^b	28.7±2.1	31.8±3.3	3.2±2.2 ^b
IV 34 ≤ X < 42	36.5±1.9	39.6±2.4	3.1±1.7 ^c	36.4±2.0	40.6±3.4	4.1±0.7 ^{bc}
V X ≥ 42	42.9±1.4	47.8±2.1	4.9±3.3 ^a	45.8±3.1	47.7±5.9	1.8±3.2 ^a

* 強度疏伐區無胸徑大於 42cm 之立木。

* 不同疏伐間以不同字母標示者表差異顯著

(VII) 疏伐對 DBH 及 BA 效應之年序列變化

自各疏伐處理林分的優勢木樹幹高度 1.3m 所取得之木芯，經辨識、篩選未受枝節干擾、未過度偏心、未受病蟲害，可資代表林分發育過程者當為樣本，測其生長歷程的各年的年輪寬度及經核算年輪的連年平均生長量 (MAI)。在 2001 年疏伐之前，年輪之寬度均已呈現下降的趨勢，但各處理林分因受生育地及林分密度的影響，下降的幅度有所差異。在疏伐第 1 年後，強度疏伐區呈現下降之現象，但第 2 年之後即上昇，至 2009 年尚未衰退；在中度疏伐區，則自疏伐後第 1 年即增加生長量，至 2009 年也未衰退；弱度疏伐區及對照區則維持原來下降的趨勢(圖 3a)。此種變化趨勢也影響年輪的 MAI，使強度及中度疏伐區在 2001 年疏伐之後，MAI 下降的趨勢較為緩和(圖 4a)。若以胸高斷面積來檢視，因受每年直徑生長的減緩，而 BA 的增加也受影響(圖 3b)，致在強度疏伐區 BA 的 MAI 在 1982 年即林齡 10 年生左右即呈現生長緩和趨勢。弱度疏伐區生長緩和的年齡稍晚，在 1985

年；中度疏伐區及對照區林分約同在 1988 年，MAI 達到最高，隨後下降。在 2001 年疏伐之後，強度及中度疏伐區呈現上昇趨勢，弱度及對照區則呈現持平現象（圖 4b）。顯示疏伐的效應直迄 8 年為止，仍有加速 BA 生長效果。

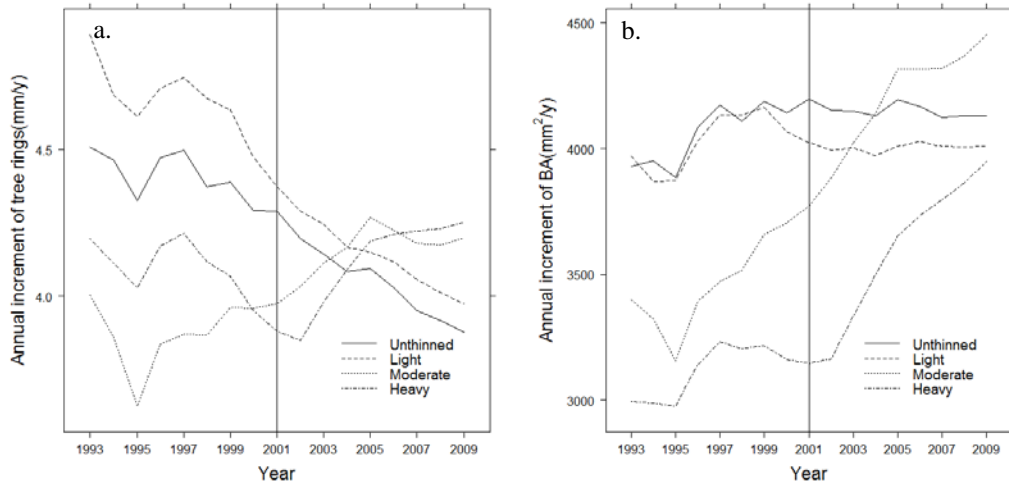


圖 3、各疏伐處理優勢木在疏伐前後各 8 年的年輪生長量的變化 (a) 及 BA 生長量 (b)。2001 年疏伐。
 Fig.3 Changes of annual ring (a) and BA (b) of dominant trees in various treatment stands from 8 year before thinning to 8 year after thinning.

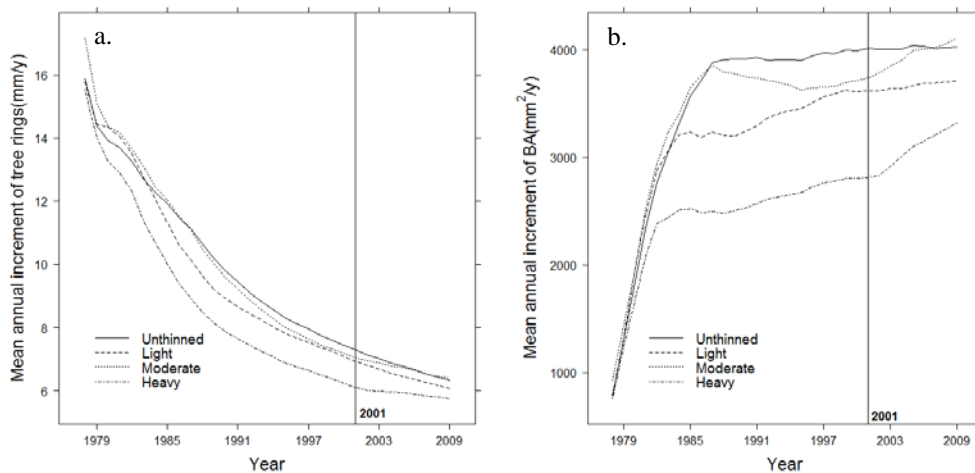


圖 4、年平均生長量 (mean annual increment) 的變化。左：年輪寬度；右：胸高斷面積。
 Fig.4 Changes of mean annual increment of annual ring (a) and BA (b) of dominant trees in various treatment stands after establishment.

(VIII) 林分結構的反應

評估林分在疏伐之後的表現，冠層林木結構的改變也應予重視，採用各疏伐處理區各直徑的 Weibull 氏徑級分布(Weibull's diameter distribution)樣式來描述(圖 5)。強度疏伐區在疏伐前呈反 J 形分布，株數分布曲線的波峰徑級在 18cm 左右，樣區的平均胸徑為 20.5 ± 1.4 cm，中度疏伐區的株數分布樣式相類似，所不同的為後者的大徑木較多，分布曲線波峰的徑級在 21cm 左右，全林分平均直徑為 25.7 ± 4.8 cm (表 1)。在弱度疏伐區，介於上述二處理之間，平均直徑為 25.2 ± 1.4 cm，Weibull 氏徑級分布近於常態分布，波峰的徑級為 24cm 左右。對照組的林分密度為 4 個處理中林分密度最低者，其徑級分布也近於常態分布，波峰徑級為 24cm 左右，林分平均直徑為 24.8 ± 1.6 cm。

林分疏伐後的徑級結構及疏伐後 8 年因生長效應而引起之結構變化也示於圖 5。強度疏伐作業為導致留存木之直徑分布最為集中的處理方式，在疏伐後 8 年期間，因大徑木的生長最大，致使各徑級的頻度分布向右推移而較為分散。中度及弱度疏伐所帶來的疏伐效應，因各徑級生長表現的差異，也導致株數分布較為分散。在對照區，由於林分冠層繼續進行鬱閉過程(表 1)，最大及最小二徑級林木的生長最小，故株數分布模式在 8 年間並沒有顯著的改變。

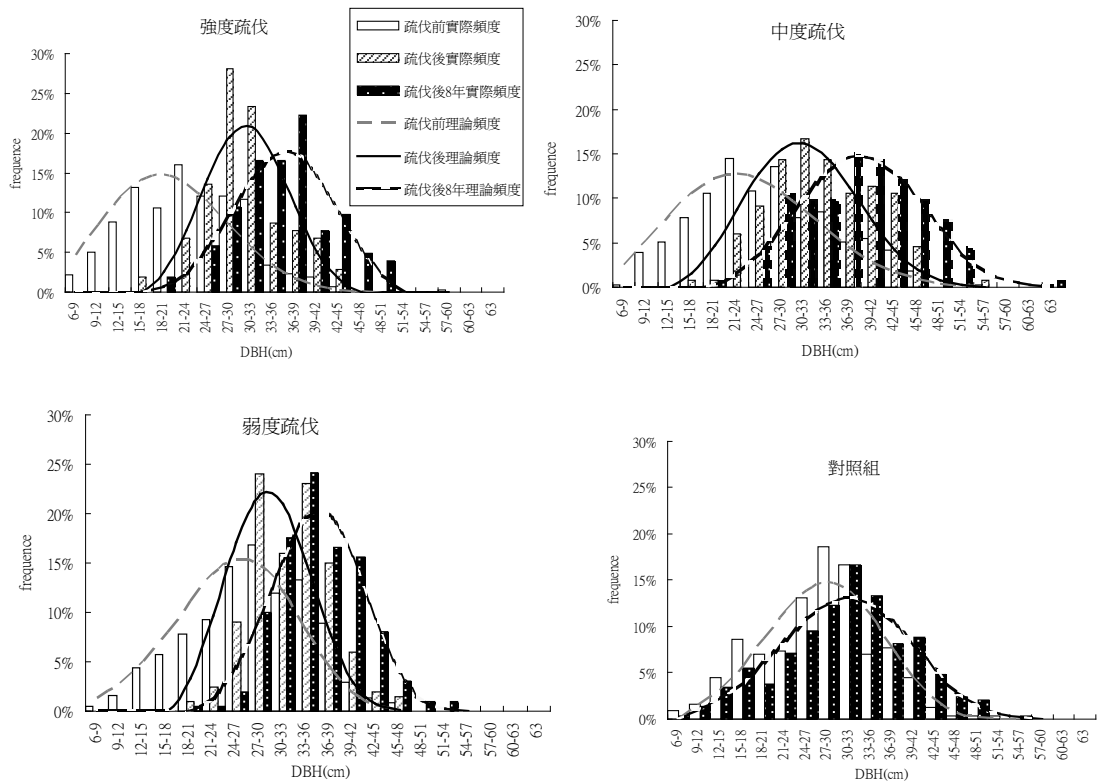


圖 5、林分在疏伐前、疏伐後當年疏伐後 8 年各胸高直徑頻度(%)之 Weibull 氏分布。

Fig.5 The Weibull's diameter distribution of different thinning treatments before thinning, immediately after thinning and 8 years after thinning.

(IX) 下層木本植物之表現

疏伐作業干擾之後，即 2001 年木本植物種類及株數在各疏伐處理區並不相同 (表 6)，最少者為中度疏伐區，喬木及灌木合計 16 種、36 株；種類最多者為未疏伐之對照區，共有 30 種，但株數以強度疏伐區之 171 株最多。在 2003 年，即疏伐後 2 年，各疏伐處理區的植物種類及株數皆有變動，如在未疏伐之對照區，木本植物減少 5 種，但株數卻增加。各植種增加的株數在不同疏伐度並不相同，在強度疏伐區，增加最多者為山胡椒自 0 株增加至 6,250 株/ha，其次為柳杉自 0 株增加至 1,125 株/ha，其他植種為零星發生。在中度疏伐區，增加株數最多者為柳杉自 0 株增加至 738 株/0.05ha，其次為山胡椒自 0 株增加至 125 株/0.05ha，其他植種零星發生。在弱度疏伐區，株數增加最多者是山胡椒，自 1 株增加至 3,184 株/0.05ha，其次是柳杉自 0 株增加至 2,668 株/0.05ha，對照區的柳杉小苗也增加，

但只有 76 株/0.05ha。至於消失的植種都是原來株數少的植種，各處理區皆然，新增及消失植種數及種名分別列於附表 2 及表 3。

2010 年調查結果，各植種在不同微環境下的動態已明顯的不同，但皆有大量苗木消失（表 6、附表 1）。強度疏伐度以柳杉小苗及山胡椒的消失量最多，分別剩下 142 株/0.05ha 及 29 株/0.05ha，但山胡椒卻有良好的生長表現，高度自 100-350cm 不等。其他植種雖仍維持零星株數，但生長優良者已高達 400cm 左右。在中度疏伐區，柳杉及山胡椒也大量消失，柳杉僅存 58 株/0.05ha，山胡椒只剩 2 株/0.05ha，其他植種只有零星株數，整體的生長表現，弱於強度疏伐區，植株高度較矮小。在弱度疏伐區山胡椒枯死率甚高，自 3,184 株/0.05ha 降到 3 株/0.05ha，生存比例不足 0.1%，生長表現也弱於強、中度疏伐區，表示此處理區的微環境條件已不適宜山胡椒的生存與生長，柳杉小苗的枯死率也高，自 2,688 株/0.05ha 降到 23 株；但柃木、高山麻木薑子、山羊耳、三樹種的表現甚佳，皆超過 10 株/0.05ha，高度有達 2mm 以上者，次優者為長葉木薑子及粗毛柃木各有 7 及 6 株/0.05ha。在未疏伐之對照區，變動最大者為柳杉小苗，2001 年疏伐後未發現小苗，2003 年出現 76 株/0.05ha，至 2010 年則為全部消失，可知其微環境雖可使種子發芽，但並不適宜小苗之生存；山胡椒則這 3 次調查期間也未出現，即非為種子發芽的微環境。其他木本植物小苗為零星出現，樣區內平均株數最多者只有 4 株/0.05ha，生長表現也不佳，高度較矮於上述 3 種疏伐區。

表 6、各疏伐度樣區下層木本植物之動態

Table 6 Dynamic of understory woody plants in various thinning plots.

		2001 (疏伐後)		2003(疏伐後2年)		2010 (疏伐後9年)	
		喬木	灌木	喬木	灌木	喬木	灌木
總種數	強度	19	5	29	4	31	1
	中度	9	7	19	7	22	2
	弱度	15	4	27	6	23	1
	對照區	22	8	19	6	19	4
總株數	強度	125	46	4825	101	400	134
	中度	29	7	6607	22	132	22
	弱度	69	17	11660	30	224	103
	對照區	73	34	435	45	98	12
平均 高度 (m)	強度	—	—	—	—	166	192
	中度	—	—	—	—	145	165
	弱度	—	—	—	—	75	81
	對照區	—	—	—	—	65	55

*種數及株數為出現在 4 個 0.05ha 永久樣區之總數

-：表示未測量

IV、討 論

本研究林分在 2001 年疏伐處理之前未曾進行疏伐作業，冠層鬱閉，林下植物稀少，各處理區的株數密度在 1,560 至 2,360 株/ha 之間，平均直徑在 20.5cm 至 25.7cm (表 1)，高於柳杉林分的適宜密度 (洪, 1965、1966、1967; 王, 1966; 楊、林, 1980)。在日本，柳杉的栽植密度在 3,000 株/ha 以上，樹冠鬱閉之後進行商業前疏伐 (pre-commercial thinning) 及數次商業性疏伐，以降低林分密度，致達此平均直徑時的密度以 600~800 株/ha 較為適宜，以作為延長輪伐期的配套措施 (Fujimori, 2001)。本林分在疏伐有效降低林分密度之後，強度疏伐區留存木為 515 ± 75 株/ha，中度疏伐區為 660 ± 36 株/ha (表 1)，近於以往的系列疏伐所留存的株數 (王, 1966)，然強度疏伐區已低於 Fujimori (2001) 所建議的密度，中度疏伐區則相近似。至於弱度疏伐區則留存株數尚高，即疏伐度稍嫌保守，林木間的競爭仍然存在，由疏伐後至 2009 年間各徑級的生長表現 (表 5) 也可予以佐證。疏伐強度的比較雖以林分株數的變動較為常用，惟因林分間 DBH 的平均大小可能互有差異，致雖然株數相近似，而林分的 BA 可能有顯著差異，以 BA 作為林分密度的基礎來比較疏伐強度較為妥適。

下層疏伐的強度受市場對各種大小圓木的需求及疏伐計畫所預定實施的次數之影響而變動，各疏伐度對留存林木的影響會有不同，如強度疏伐區因大幅度的降低林分密度 (如株數、胸高斷面積) 而疏開冠層 (表 2、圖 2)，而增加陽光的入射量 (翁, 2004; Jennings *et al.*, 1999; Chan *et al.*, 2006)，進而影響其他微環境條件 (Weng *et al.*, 2007)，通常可促進下冠層的葉片之光合作用能力，延後下層枝條的老化及促進側枝的生長 (Chan *et al.*, 2006) 及嫩枝 (epicormic branches) 的發生 (Ishii and McDowell, 2001, 2005; Franklin *et al.*, 2002)，致在疏伐之後會有逐漸縮小冠層開闊度的現象 (Chan *et al.*, 2006; Anderson, 2008)。本研究的柳杉林分，在疏伐之後也呈現冠層開闊度縮減之結果，其中以強度疏伐區為最多，8 年期間，每年平均約減少 1% (表 2)。可見柳杉林分在下層疏伐之後，9 年期間其微環境適宜枝葉的擴展，也未受颱風過境的強裂破壞而延遲修補的結果。

冠層開闊度的變動為林內微環境變化的作用因子 (郭等, 1999)，但在育林作

業實務方面，測計冠層開闊度尚嫌繁雜，因此，本研究嘗試探討林分 BA 與冠層開闊度間之關係，二者成高度線性關係，可藉林分的 BA 來間接推定冠層開闊度的大小，其決定係數 (r^2) 高達 0.5806 (圖 2)。

留存木的生長表現主要由葉面積的大小及其光合作用速率二因子來決定，在強度疏伐區，冠層的開闊度在 8 年期間皆大於其他處理區 (表 2)，即林分的葉面積指數 (leaf area index, LAI) 減少的幅度最多，光合作用的面積最小，致林分的木材生產量受影響最大 (Zeide, 2001)，與未疏伐區相比較，在 8 年中約減少 120 m^3/ha ，即約 10%；中度及弱度疏伐區損失量很少 (表 3、4)。因此，若自木材的總生產量觀之，強度疏伐區確實不宜，惟依留存木的胸高斷面積及材積所計算的疏伐後生長率，以強度疏伐區最高，中度疏伐區為次，高於對照區及弱度疏伐區 (表 3)，顯示中、強度疏伐區的留存木獲得較多的光照而有較多枝葉及較旺盛的光合作用速率，而使林分的單位胸高斷面積有較高的木材產能。不同強度疏伐區留存木的生長表現不同，除了光度 (翁, 2004)、溫度等改變 (Weng *et al.*, 2007) 之外，土壤加入新鮮的枝葉及養分的有效性提高，尤其是氮的礦質化作用速率增加，而使留存木間的競爭減少，也是可能另一重要原因 (Makinen and Isomaki, 2004)。

留存的優勢木於疏伐之後有較佳的生長表現，為有利於大徑木生產的重要因素。將全試驗林分依直徑大小分成 5 級，分析各直徑級的生長表現，在強、中度疏伐區以大徑級林木的直徑生長最佳，在未疏伐之對照區則大徑級林木的直徑生長低於較中徑級的林木 (表 4)，可知強、中度疏伐處理較有利於在輪伐期內大徑級圓木之生產。因此，較為強度的疏伐處理，或以系列性的中、弱度疏伐來控制林分密度存在於合宜範圍為生產大徑木所必要的撫育作業，為林業發展國家將輪伐期延長的配套措施 (Smith *et al.*, 1996; Fujimori, 2001)。

從目前為優勢木歷年的生長表現，可獲悉其隨年齡而降低其年輪寬度的趨勢，也可鑑別在疏伐前後 8 年期間的生長表現究有何不同 (圖 4)。本柳杉林分由於各處理區土壤狀況及株數密度的差異，導致各處理區在疏伐之前，有不同的直徑及斷面積生長表現，但下降的變化趨勢則相近似。在疏伐之後，強度疏伐區的年輪寬度在第 1 年有略微下降之勢，可能因冠層大幅度疏開引起光合作用的光抑制現

象，即所謂疏伐衝擊 (thinning shock) (Ishii and McDowell, 2005)之故，在第 2 年之後，則呈增加之趨勢。中度疏伐區則在疏伐後第 1 年即有促進年輪寬度的趨勢，一直至第 8 年尚未轉趨緩和。此種反應可能與其冠層開闊度尚在繼續降低，即枝葉量增加 (表 2) 以及光合作用能力仍然較對照區為高有關。因此，就柳杉的 28 年生鬱閉林分而言，強度疏伐區的疏伐衝擊對留存木生長的負面效應，為期甚為短暫只有 1 年，且降幅也微小，不會長期影響生長表現。

下層疏伐係將弱小林木及形狀不佳之瑕疵木予以伐除，會使冠層的深度減小而較為淺薄，尤其強度疏伐區最為明顯 (Wang *et al.*, 2006)。本試驗林分在強度疏伐區確有此種現象 (圖 5)。因此，全林分在一致性的下層疏伐模式下將導致林分的均勻度上昇，且枯立倒木的來源減少，而使林內動物的微棲地的變化降低。惟因疏伐之後各直徑級林木生長表現的差異 (表 4)，各直徑級之株數分布及冠層長度會再逐漸擴大，而降低下層疏伐導致冠層單純化之不良效應。

疏伐由於疏開冠層開闊度，光資源得以到達地面，創造了新的微環境條件，林下植栽苗木成為可行的方式，也促進土壤種子庫發芽及前生樹之生長，甚或可促進灌木類之開花、結實，提供種子來源 (Wender *et al.*, 2004)，增加林分結構之複雜度 (complexity) 及植種多樣化 (Maas-Hebner *et al.*, 2005; Wilson and Puettmann, 2007; Wang *et al.*, 2008; Anderson, 2008)。本柳杉林分在疏伐干擾之後，確也促進灌木及闊葉喬木前生樹之生長及利於新樹種之出現，若此種微環境得以維持，這些林下樹種的旺盛生長將可能抵達冠層，使林分內的樹種組成增加，為未來應予持續調查的疏伐反應。

樹種及株數增多之反應，最多者為強度疏伐區。樹種中株數最多者為柳杉及山胡椒小苗 (附表) 1。但隨後這二樹種也有大量苗木死亡，以弱度疏伐區較為嚴重，至於未疏伐的對照區則這二樹種皆死亡消失。因此，弱度及未疏伐之對照區，其微環境條件顯然不適用於木本植物之長期長育，也證實疏伐所創造之微環境會衝擊下層樹種之活性，而具有篩選林下植種的功能 (Franklin *et al.*, 2002; Wilson and Puettmann, 2007)。

V、結論及育林作業建議

柳杉林分雖已有 28 年生，但在疏伐之後，留存木因生長空間擴大，光資源增加，使大徑木的生長表現較小徑木優良，而且可持續維持 8 年，即在林齡已屆 36 年生而尚未見衰退緩和，而利於生產大徑的主伐木，尤其強、中度疏伐區效果最佳，故可作為延長輪伐期的配套作業。從上層林木的結構而言，下層疏伐使林木大小的分散度減小，冠層長度減短，林分純化，尤以強度疏伐區最為明顯，但由於各徑級留存木的生長表現不同而逐漸異質化。強度的疏伐處理所創造的新環境，不僅適宜上層主林木的生長，也誘發新樹種的出現及促進苗木的生長，但也導致不適宜新環境的樹種之死亡。這些冠層下樹種在冠層再度鬱閉前具有生長抵達冠層之可能性，而有利於林分組成樹種之增加。因此，欲藉疏伐作業誘導柳杉人工林在短期內朝向老齡林分的特性發育，必須強度疏開冠層，或施以計畫性系列中度疏伐。弱度疏伐因冠層在短期內即再鬱閉而使林下苗木柔弱或死亡，將無法達到增加林分內樹種組成及結構複雜化的預期目標。強度疏伐因會減少林分的 LAI，而降低全輪伐期的木材產量，減損建造林分以木材生產之原始目標，但卻可生產大徑木而彌補其損失。綜合本柳杉林分經過不同強度疏伐之反應，正面效益符合近代森林生態系永續經營達到多功能之目標，尤其中、強度疏伐處理為然，可供未來擬訂柳杉人工林經營計畫之參考。

VI、引用文獻

- 王德春 (1966) 溪頭柳杉林之生長與疏伐。台大農學院研究報告 8(2):124-131。
- 林務局 (1994) 第三次臺灣森林資源及土地利用調查。
- 洪良斌 (1965) 不同度之疏伐撫育影響柳杉林分生長之研究 (一)。臺灣省林業試驗所報告 115 號。
- 洪良斌 (1966) 不同度之疏伐撫育影響柳杉林分生長之研究 (二)。臺灣省林業試驗所報告 130 號。
- 洪良斌 (1967) 竹東林區柳杉疏伐試驗效果之研究。臺灣省林業試驗所報告 146 號。
- 翁世豪 (2004) 觀霧地區柳杉人工林不同強度疏伐後微環境及植群之比較。國立臺灣大學森林學研究所碩士論文。88 頁。
- 郭幸榮、梁亞忠、許世宏 (1999) 軌道式測量系統於林下透光率測量之應用。中華林學季刊 32:183-198。
- 楊榮啟、林文亮 (1980) 臺灣北部柳杉人工林枝林分密度管理圖。台大與臺灣省林務局合作試驗報告 31 號。
- Allen, G.D., A.K. Macalady, H. Chenchouni, D. Bachelet, N. McDowell, M. Vennetier, T. Kitzberger, A. Rigling, D.D. Breshears, E.H. Hogg, P. Gonzalez, R. Fensham, Z. Zhang, J. Castro, N. Demidova, J-H. Lim, G. Allard, S.W. Running, A. Semerci, and N. Cobb (2010) A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forest. *For. Ecol. Manage.* 259:660-684.
- Anderson, P.O. (2008) Understory vegetation responses to initial thinning of Douglas-fir plantations undergoing conversion to uneven-age management. In: Deal, R.L. ed. 2008. Integrated restoration of forested ecosystems to achieve multiple-source benefits: proceedings of the 2007 national silviculture workshop. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-733. Forest Service, USDA.
- Bauhus, J., K. Puettmann and C. Messiu. (2009) Silviculture for old growth attributes. *For. Ecol. Manage.* 258:525-537.
- Chan, S.S., D.L. Larson, K.G. Maas-Hebner, W.H. Emmingham, S.R. Johnston and

- D.A. Mikowski. (2006) Overstory and understory development in thinned and underplanted Oregon Coast Range Douglas-fir stands. *Can. J. For. Res.* 36:2696-2711.
- Deal, R.L. and J.C. Tappeiner (2002) The effect of partial cutting on stand structure and growth of western hemlock-sitka spruce stands in southeast Alaska. *For. Ecol. Manage.* 159:173-186.
- Franklin, J.F., T.A. Spies, R. Van Pelt, A.B. Carey, D.A. Thornburgh, D.R. Berg, D.B. Lindenmayer, M.E. Harmon, W.S. Keeton, D.C. Shaw, K. Bible and J. Chen (2002) Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using Douglas-fir forests as an example. *For. Ecol. Manage.* 155:399-423.
- Franklin, J.F. and R. Van Pelt (2004) Spatial aspects of structural complexity in old-growth forests. *J. For.* 10(2):22-28.
- Fujimori, T. (2001) Ecological and silvicultural strategies for sustainable forest management. Elsevier, 398p.
- Ishii, H. and N. McDowell (2001) Crown structure of old-growth Douglas-fir in the western Cascade Range. *Can. J. For. Res.* 39:1259-1261.
- Ishii, H. and N. McDowell (2005) Age-related development of crown structure in coastal Douglas-fir trees. *For. Ecol. Manage.* 169:257-270.
- Jennings, S.B., N.D. Brown and D. Shell (1999) Assessing forest canopies and understory illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. *Forestry* 72(1):59-72.
- Lindh, B.C. and P.S. Muir (2004) Understory vegetation in young Douglas-fir forests: does thinning help restore old-growth composition. *For. Ecol. Manage.* 192:285-296.
- Maas-Hebner, K.G., W.H. Emmingham, D.J. Larson and S.S. Chan (2005) Establishment and growth of native hardwood and conifer seedlings underplanted in thinned Douglas-fir stands. *For. Eco. Manage.* 208:231-345.
- Makinen, H. and A. Isomaki (2004) Thinning intensity and long-term changes in increment and stem form of Scots pine trees. *For. Ecol. Manage.* 203:21-24.
- Sands, R. (2007) *Forestry in a global context.* CABI Publishing, 262p.
- Schütz, J-P. (2002) Silvicultural tools to develop irregular and diverse forest

- structures. *Forestry* 75(4): 329-337.
- Smith, D.M., B.C. Larson, M.J. Kelty, P.M.S. Ashton (1996) The practice of silviculture-Applied forest ecology. 9th ed. John Wiley & Sons, Inc, 537p.
- Thysell, D.R. and A.B. Carey (2001) Manipulation of density of *Pseudotsuga menziesii* canopies: preliminary effects on understory regetation. *Can. J. For. Res.* 31:1513-1525.
- Wang, D.H., S.C. Tang and C.M. Chiu (2006) Impact four years after thinning on the growth and stand structure of Taiwania plantation in the Liukuei Experimental Forest. *Taiwan J. For. Sci.* 21(3):339-51.
- Wang, D.H., S.C. Tang, and C.K. Liu (2008) Four-year monitoring of thinning effects on the microclimate and ground vegetation in a taiwania plantation in the Liukuei Experiment Forest, Taiwan. *Taiwan J. For. Sci.* 23(2):191-198.
- Weng, S.H., S.R. Kuo, B.T. Guan, T.Y. Chang, H.W. Hsu and C.W. Shen (2007) Microclimatic responses to different thinning intensities in a Japanese cedar plantation of northern Taiwan. *For. Ecol. Manage.* 241:91-100.
- Wender, B.W., C.A. Harrington, J.C. Tappeiner II. (2004) Flower and fruit production of understory shrubs in western Washington and Oregon. *Northwest Sci.* 78:124-140.
- Wilson, D.S. and K.J. Puettmann (2007) Density management and biodiversity in young Douglas-fir forests: challenge of managing across scales. *For. Ecol. Manage.* 246:123-134.
- Zeide, G. (2001) Thinning and growth. *J. Forestry* 95(1):20-25.
- Zenner, E.K. and D.E. Hibbs (2000) Do residual trees increase structural complexity in Pacific Northwest coniferous forests? *Ecol. Appl.* 10:800-810.
- Zhu, J.J., T. Matsuzaki, F.Q. Lee, and Y. Gonda (2003) Effect of gap size created by thinning on seedling emergency, survival and establishment in a coastal pine forest. *For. Ecol. Manage.* 182:339-354.

附 錄

1、各處理樣區之地被木本植物名錄

(a)、強度疏伐

喬木					
名稱	學名	2001 年	2003 年	2010 年	2010 年高度(cm)
柳杉	<i>Cryptomeria japonica</i>	0	1125(721)	142(96)	2-130
山胡椒	<i>Litsea cubeba</i>	0	6250(1594)	29(15)	100-350
柃木	<i>Eurya japonica</i>	3(3)	7(9)	16(5)	30-350
粗毛柃木	<i>Eurya strigillosa</i>	1(2)	7(4)	10(10)	50-350
西施花	<i>Rhododendron ellipticum</i>	4(4)	8(8)	7(9)	50-400
山羊耳	<i>Symplocos glauca</i>	1(1)	3(3)	6(3)	50-400
高山新木薑子	<i>Neolitsea acuminatissima</i>	0	0	4(3)	60-400
紅楠	<i>Machilus thunbergii</i>	2(1)	1(2)	4(3)	50-400
厚皮香	<i>Ternstroemia gymnanthera</i>	3(1)	5(6)	4(3)	100-350
杜英	<i>Elaeocarpus decipiens</i>	0	1(1)	4(7)	30-280
灰木	<i>Symplocos paniculata</i>	0	0	3(4)	120-300
火燒栲	<i>Castanopsis fargesii</i>	0	0	2(4)	200-600
刺蔥	<i>Securinega suffruticosa</i>	0	3(5)	2(3)	100-350
長葉木薑子	<i>Litsea acuminata</i>	1(1)	2(2)	2(2)	50-220
長尾柯	<i>Castanopsis carlesii</i>	2±1	1(1)	1(2)	250-800
鍵子櫟	<i>Cyclobalanopsis sessilifolia</i>	1(1)	1(2)	1(1)	300-400
糊櫟	<i>Ilex formosana</i>	0	0	1	320
能高山茶	<i>Camellia euryoides</i> var. <i>nokoensis</i>	0	2(2)	1(1)	200-400
山红柿	<i>Diospyros morrisiana</i>	0	0	1	250
玉山木薑子	<i>Litsea morrisonensis</i>	2(1)	3(3)	1(1)	200-220
台灣檫樹	<i>Sassafras randaiense</i>	0	2(2)	1(2)	180-220
台灣莢迷	<i>Viburnum taiwanianum</i>	0	0	1(1)	120-300
巒大香桂	<i>Cinnamomum subavenium</i>	1(1)	1(1)	1	200
圓葉冬青	<i>Ilex goshiensis</i>	1(1)	1(1)	1	200
香楠	<i>Machilus zuihoensis</i>	0	0	1	200

朱紅水木	<i>Ilex micrococca</i>	0	0	1(1)	160-200
變葉新木薑子	<i>Neolitsea variabilima</i>	0	0	1(1)	120-260
小芽新木薑子	<i>Neolitsea parvigemma</i>	1(1)	1(1)	1(1)	100-240
大青	<i>Clerodendrum cyrtophyllum</i>	0	0	1	100
高山英迷	<i>Viburnum propinquum</i>	0	0	1	100
尖葉槭	<i>Acer kawakamii</i>	0	1(1)	1	50
薄葉柃木	<i>Eurya leptophylla</i>	9 (10)	1(1)	0	-
巒大紫株	<i>Callicatpa randaiensis</i>	0	1(2)	0	-
大葉木犀	<i>Osmanthus matsumuranus</i>	1(1)	2(4)	0	-
台灣蘋果	<i>Malus formosana</i>	1(1)	1	0	-
烏心石	<i>Michelia compressa</i>	0	1(1)	0	-
臭辣樹	<i>Evodia meliaefolia</i>	0	1(1)	0	-
薯豆	<i>Elaeocarpus japonicus</i>	0	1(1)	0	-
山櫻花	<i>Prunus campanulata</i>	0	1(3)	0	-
昆蘭樹	<i>Trochodendron aralioides</i>	1(1)	0	0	-
枇杷葉灰木	<i>Symplocos stellaris</i>	1(1)	1(3)	0	-
青楓	<i>Acer serrulatum</i>	1(1)	0	0	-

灌木

名稱	學名	2001 年	2003 年	2010 年	2010 年高度(cm)
燈稱花	<i>Ilex asprella</i>	8(9)	20(25)	34(27)	80-300
疏果海桐	<i>Pittosporum illicioides</i>	1(1)	0	0	-
深紅茵芋	<i>Skimmia reevesuana</i>	1(1)	1(1)	0	-
珠砂根	<i>Ardisia crenata</i>	1(1)	1(2)	0	-
伏牛花	<i>Damnacanthus indicus</i>	1(2)	3(3)	0	-

() 內數值表示處理內之標準差

單位：株數/0.05 公頃

(b)、中度疏伐

名稱	學名	2001 年	2003 年	2010 年	2010 年高度(cm)
柳杉	<i>Cryptomeria japonica</i>	0	738(1476)	58(114)	5-70
大青	<i>Clerodendrum cyrtophyllum</i>	0	0	4(7)	120-400
鈴木	<i>Eurya japonica</i>	0	1(2)	4(7)	30-220
高山莢迷	<i>Viburnum propinquum</i>	0	0	3(3)	120-220
紅楠	<i>Machilus thunbergii</i>	1(2)	1(1)	3(4)	60-300
粗毛鈴木	<i>Eurya strigillosa</i>	0	1(1)	3(5)	50-300
高山新木薑子	<i>Neolitsea acuminatissima</i>	0	0	3(5)	50-180
山胡椒	<i>Litsea cubeba</i>	0	125(250)	2(4)	100-400
刺蔥	<i>Securinega suffruticosa</i>	0	1(1)	2(3)	30-600
長葉木薑子	<i>Litsea acuminata</i>	0	1(1)	2(4)	60-220
小葉莢迷	<i>Viburnum parvifolium</i>	0	0	2(2)	100-220
糊擲	<i>Ilex formosana</i>	0	0	2(3)	100-220
烏心石	<i>Michelia compressa</i>	1(1)	0	1(1)	260-300
灰木	<i>Symplocos paniculata</i>	0	0	1	220
珊瑚樹	<i>Viburnum odoratissimum</i>	0	0	1(2)	50-220
香葉樹	<i>Lindera communis</i>	0	0	1(1)	120-160
臭辣樹	<i>Euodia meliaefolia</i>	0	0	1	140
台灣莢迷	<i>Viburnum taiwanianum</i>	0	0	1	120
圓葉冬青	<i>Ilex goshiensis</i>	0	0	1	100
華山松	<i>Pinus armandii</i> var. <i>masteriana</i>	0	1	1	80
山羊耳	<i>Symplocos glauca</i>	0	0	1(2)	50
鐵杉	<i>Tsuga chinensis</i>	0	0	1	30
玉山木薑子	<i>Litsea morrisonensis</i>	1(1)	2(5)	0	-
假長葉楠	<i>Machilus japonica</i>	1(1)	1(1)	0	-
臭辣樹	<i>Evodia meliaefolia</i>	0	1(1)	0	-
山櫻花	<i>Prunus campanulata</i>	0	1(1)	0	-
能高山茶	<i>Camellia euryoides</i> var. <i>nokoensis</i>	0	1(2)	0	-
厚葉鈴木	<i>Eurya glaberrima</i>	3(5)	1(1)	0	-
巒大紫珠	<i>Callicatpa randaiensis</i>	0	2(2)	0	-
森氏楊桐	<i>Cleyera japonica</i> var. <i>morii</i>	0	1(2)	0	-
薄葉鈴木	<i>Eurya leptophylla</i>	0	1(2)	0	-
日本灰木	<i>Symplocos lucida</i>	0	1(1)	0	-

鏈子櫟	<i>Cyclobalanopsis sessilifolia</i>	1(1)	1(2)	0	-
小芽新木薑子	<i>Neolitsea parvigemma</i>	1(1)	0	0	-
白仔	<i>Phyllanthus multiflorus</i>	1(1)	0	0	-
厚皮香	<i>Ternstroemia gymnanthera</i>	0	1(1)	0	-
香楠	<i>Machilus zuihoensis</i>	1(1)	0	0	-
灌木					
燈稱花	<i>Ilex asprella</i>	1(1)	2(4)	5(10)	60-160
深山野牡丹	<i>Barthea barthei</i>	1	3(6)	2(3)	60-100
大葉溲疏	<i>Deutzia pulchra</i>	1(1)	0	1	200
小實女貞	<i>Ligustrum microcarpum</i>	1(1)	0	1	180
刺果衛茅	<i>Euonymus echinatus</i>	1(1)	2(4)	0	-
有骨消	<i>Sambucus chinensis</i>	1(1)	1(1)	0	-
伏牛花	<i>Damnacanthus indicus</i>	1(1)	0	0	-
大枝掛繡球	<i>Hydrangea integrifolia</i>	0	1(1)	0	-
水麻	<i>Debregeasia edulis</i>	0	1(1)	0	-
珠砂根	<i>Ardisia crenata</i>	0	1(1)	0	-

() 內數值表示處理內之標準差 單位：株數/0.05 公頃

附表 2、各疏伐度樣區在 2003 及 2010 年所增加的種數及種名

疏伐度	植物型	2003		2010	
		種數	種名	種數	種名
強度	喬木	12	柳杉、山胡椒、杜英、刺蔥、能高山茶、台灣檫樹、巒大紫株、尖葉槭、烏心石、臭辣樹、薯豆、山櫻花	11	高山新木薑子、灰木、火燒栲、糊樗、山紅柿、台灣莢迷、香楠、朱紅水木、變葉新木薑子、大青、高山莢迷
	灌木	0		0	
中度	喬木	15	柳杉、桧木、粗毛桧木、山胡椒、刺蔥、長葉木薑子、華山松、臭辣樹、山櫻花、能高山茶、巒大紫株、森氏楊桐、薄葉桧木、日本灰木、厚皮香	15	大青、高山莢迷、紅楠、高山新木薑子、小葉莢迷、糊樗、烏心石、灰木、珊瑚樹、香葉樹、臭辣樹、台灣莢迷、圓葉冬青、山羊耳、鐵杉
	灌木	3	大枝掛繡球、水麻、珠砂根	2	大葉溲疏、小實女貞
弱度	喬木	10	柳杉、桧木、長葉木薑子、粗毛桧木、灰木、台灣檫樹、刺蔥、長尾柯、台灣蘋果、毬子櫟、華山松	9	高山新木薑子、尖葉槭、狹瓣八仙花、錐果櫟、杜英、高山莢迷、糊樗、香葉樹、圓葉冬青
	灌木	2	珠砂根、大葉溲疏	0	
未疏伐	喬木	5	柳杉、香楠、圓葉冬青、毬子櫟、杜英	9	小葉莢迷、高山莢迷、糊樗、高山新木薑子、小芽新木薑子、瓊楠、大青、粗毛桧木、薄葉桧木
	灌木	2	臺灣山桂花、珠砂根	3	大葉溲疏、鄧氏胡頹子、日本女貞

附表 3、各疏伐度樣區在 2003 年即 2010 年所減少的種數及種名

疏伐度	植物型	2003		2010	
		種數	種名	種數	種名
強度	喬木	2	昆蘭樹、青楓	9	薄葉桫欏木、巒大紫株、大葉木犀、台灣蘋果、烏心石、臭辣樹、薯豆、山櫻花、枇杷葉灰木
	灌木	3	疏果海桐、珠砂根、深紅茵芋	1	伏牛花
中度	喬木	4	烏心石、小芽新木薑子、白仔、香楠	12	玉山木薑子、假長葉楠、臭辣樹、山櫻花、能高山茶、厚葉桫欏木、巒大紫株、森氏楊桐、薄葉桫欏木、日本灰木、鍵子櫟、厚皮香
	灌木	3	大葉溲疏、小實女貞、伏牛花	5	刺果衛茅、冇骨消、大枝掛繡球、水麻、珠砂根
弱度	喬木	0		12	台灣檫樹、刺蔥、長尾柯、台灣蘋果、巒大紫株、小芽新木薑子、毬子櫟、假長葉楠、華山松、森氏楊桐、薄葉桫欏木、能高山茶
	灌木	0		5	深紅茵芋、珠砂根、伏牛花、大葉溲疏、刺果衛茅
未疏伐	喬木	8	小芽新木薑子、粗毛桫欏木、薄葉桫欏木、屏東木薑子、台灣蘋果、台灣沙櫟、西施花、森氏楊桐	9	柳杉、毬子櫟、杜英、巒大紫株、厚皮香、玉山木薑子、烏心石、山櫻花、圓葉冬青
	灌木	3	臺灣胡頹子、鐵雨傘、疏果海桐	6	珠砂根、刺果衛茅、深紅茵芋、深山野牡丹、大枝掛繡球、臺灣山桂花

(c)、弱度疏伐

名稱	學名	2001年 株數	2003年 株數	2010年 株數	2010年高 度(cm)
柳杉	<i>Cryptomeria japonica</i>	0	2688(1760)	23(6)	4-120
桫欏木	<i>Eurya japonica</i>	0	2(3)	11(11)	20-180
高山新木薑子	<i>Neolitsea acuminatissima</i>	0	0	10(14)	30-260
山羊耳	<i>Symplocos glauca</i>	1(1)	2(1)	10(7)	20-200
長葉木薑子	<i>Litsea acuminata</i>	0	1(1)	7(2)	30-260
粗毛桫欏木	<i>Eurya strigillosa</i>	0	1(1)	6(10)	50-200
山胡椒	<i>Litsea cubeba</i>	1(1)	3184(2139)	3(4)	50-80
厚皮香	<i>Ternstroemia gymnanthera</i>	1(1)	3(3)	3(4)	50-120
紅楠	<i>Machilus thunbergii</i>	1(1)	5(6)	2(3)	100-280
香楠	<i>Machilus zuihoensis</i>	1(1)	3(4)	2(4)	30-150
尖葉槭	<i>Acer kawakamii</i>	0	0	1	250
狹瓣八仙花	<i>Hydrangea angustipetala</i>	0	0	1	210
錐果櫟	<i>Cyclobalanopsis longinux</i>	0	0	1(1)	120-300
大葉木犀	<i>Osmanthus matsumuranus</i>	2(1)	2(2)	1(4)	180-200
杜英	<i>Elaeocarpus sylvestris</i>	0	0	1(2)	120-280
高山莢迷	<i>Viburnum propinquum</i>	0	0	1(1)	120-200
玉山木薑子	<i>Litsea morrisonensis</i>	3(2)	4(4)	1(1)	80-200
灰木	<i>Symplocos chinensis</i>	0	1(1)	1(1)	100-160
糊擗	<i>Ilex formosana</i>	0	0	2(3)	80-200
西施花	<i>Rhododendron ellipticum</i>	1(2)	3(3)	1(1)	30-160
香葉樹	<i>Lindera communis</i>	0	0	1	80
圓葉冬青	<i>Ilex goshiensis</i>	0	0	1(1)	60
巒大香桂	<i>Cinnamomum subavenium</i>	1(1)	1(1)	1(1)	30-50
台灣檫樹	<i>Sassafras randaiense</i>	0	1(1)	0	-
刺蔥	<i>Securinega suffruticosa</i>	0	1(1)	0	-
長尾柯	<i>Castanopsis carlesii</i>	0	1(1)	0	-
台灣蘋果	<i>Malus formosana</i>	0	1(1)	0	-
巒大紫珠	<i>Callicatpa randaiensis</i>	1(1)	3(3)	0	-
小芽新木薑子	<i>Neolitsea parvigemma</i>	1(1)	3(3)	0	-
毬子櫟	<i>Cyclobalanopsis sessilifolia</i>	0	2(2)	0	-
假長葉楠	<i>Machilus japonica</i>	1(1)	2(2)	0	-
華山松	<i>Pinus armandii</i>	0	1(1)	0	-

	<i>var.masteriana</i>				
森氏楊桐	<i>Cleyera japonica var. morii</i>	1(1)	1(1)	0	-
薄葉柃木	<i>Eurya leptophylla</i>	5(2)	4(2)	0	-
能高山茶	<i>Camellia euryoides var. nokoensis</i>	1(1)	1(1)	0	-
灌木					
燈稱花	<i>Ilex asprella</i>	1(1)	1(1)	26(10)	60-160
深紅茵芋	<i>Skimmia reevesuana</i>	1(2)	3(6)	0	-
珠砂根	<i>Ardisia crenata</i>	0	1(1)	0	-
伏牛花	<i>Damnacanthus indicus</i>	1(1)	1(1)	0	-
大葉叟疏	<i>Deutzia pulchra</i>	0	1(1)	0	-
刺果衛茅	<i>Euonymus echinatus</i>	1(1)	2(3)	0	-

() 內數值表示處理內之標準差

單位：株數/0.05 公頃

(d)、對照區

名稱	學名	2001 年	2003 年	2010 年	2010 年高度(cm)
長葉木薑子	<i>Litsea acuminata</i>	1(2)	5(3)	4(4)	20-120
小葉莢迷	<i>Viburnum parvifolium</i>	0	0	4(3)	30-100
香楠	<i>Machilus zuihoensis</i>	0	1(2)	3(3)	30-100
紅楠	<i>Machilus thunbergii</i>	2(2)	4(2)	3(3)	30-100
高山莢迷	<i>Viburnum propinquum</i>	0	0	2(1)	30-100
柃木	<i>Eurya japonica</i>	1(1)	1(2)	2(4)	20-80
糊擗	<i>Ilex formosana</i>	0	0	1(2)	40-300
大葉校栗	<i>Pasania kawakamii</i>	1(1)	1(1)	1(1)	120-240
巒大香桂	<i>Cinnamomum subavenium</i>	1(1)	1(2)	1	140
小芽新木薑子	<i>Neolitsea parvigemma</i>	1(1)	0	1	100
高山新木薑子	<i>Neolitsea acuminatissima</i>	0	0	1(1)	60-130
瓊楠	<i>Beilschmiedia erythrophloia</i>	0	0	1	80
大青	<i>Clerodendrum cyrtophyllum</i>	0	0	1	80
大葉木犀	<i>Osmanthus matsumuranus</i>	1(1)	1(1)	1	60
粗毛柃木	<i>Eurya strigillosa</i>	1(1)	0	1	60
長尾柯	<i>Castanopsis carlesii</i>	1(1)	1(1)	1	50
山羊耳	<i>Symplocos glauca</i>	1(1)	1(1)	1(1)	30-70
假長葉楠	<i>Machilus japonica</i>	1(1)	1(1)	1(1)	30-40
薄葉柃木	<i>Eurya leptophylla</i>	1(1)	0	1(1)	30
柳杉	<i>Cryptomeria japonica</i>	0	76(108)	0	-
鍵子櫟	<i>Cyclobalanopsis sessilifolia</i>	0	1(1)	0	-
杜英	<i>Elaeocarpus decipiens</i>	0	1(1)	0	-
巒大紫珠	<i>Callicatpa randaiensis</i>	7(8)	15(12)	0	-
厚皮香	<i>Ternstroemia gymnanthera</i>	1(1)	1(1)	0	-
玉山木薑子	<i>Litsea morrisonensis</i>	1(1)	1(1)	0	-
烏心石	<i>Michelia compressa</i>	1(1)	1(1)	0	-
山櫻花	<i>Prunus campanulata</i>	1(2)	1(2)	0	-
屏東木薑子	<i>Litsea akoensis</i>	1(1)	0	0	-
台灣蘋果	<i>Malus formosana</i>	1(1)	0	0	-
台灣沙櫟	<i>Alsophila spinulosa</i>	1(1)	0	0	-
西施花	<i>Rhododendron ellipticum</i>	1(1)	0	0	-
圓葉冬青	<i>Ilex goshiensis</i>	0	1(1)	0	-

森氏楊桐	<i>Cleyera japonica</i> var. <i>morii</i>	1(1)	0	0	-
灌木					
燈稱花	<i>Ilex asprella</i>	2(3)	4(5)	2(2)	30-110
大葉溲疏	<i>Deutzia pulchra</i>	0	0	1	60
鄧氏胡頹子	<i>Elaeagnus thunbergii</i>	0	0	1(1)	30
日本女貞	<i>Ligustrum liukiense</i>	0	0	1	30
珠砂根	<i>Ardisia crenata</i>	0	3(5)	0	-
刺果衛茅	<i>Euonymus echinatus</i>	2(2)	2(2)	0	-
台灣胡頹子	<i>Elaeagnus formosana</i>	1(1)	0	0	-
鐵雨傘	<i>Ardisia cornudentata</i>	3(4)	0	0	-
深紅茵芋	<i>Skimmia reevesuana</i>	1(1)	1(1)	0	-
疏果海桐	<i>Pittosporum illicioides</i>	1(1)	0	0	-
深山野牡丹	<i>Barthea barthei</i>	1(1)	1(1)	0	-
大枝掛繡球	<i>Hydrangea integrifolia</i>	1(1)	1(1)	0	-
臺灣山桂花	<i>Maesa tenera</i>	0	1(1)	0	-

() 內數值表示處理內之標準差 單位：株數/0.05 公頃