

行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列 98-00-5-06

柳杉疏伐示範區疏伐效益評估
Evaluating Thinning Effects on Thinning
Demonstration Zone of Japanese cedar
(*Cryptomeria japonica* D. Don) Plantation



委託機關：行政院農委會林務局

執行機關：國立中興大學森林學系

中華民國九十八年十二月

中文摘要

【摘要】本計畫目的在於評估柳杉人工林伐五年後之效益。研究地區位於台灣中部巒大事業區第74林班，林務局於2003年為推廣疏伐作業，在此區域設置為疏伐示範區，採用四種處理，即上層疏伐35%、下層疏伐45%、下層疏伐35%及不處理之對照區。本計畫在2009年進行調查並分析疏伐後5年之效益，研究所得之結果顯示，林分經疏伐過後，可以促進其生長率及樹冠發展，其中上層疏伐35%之林分，能夠有效促進小徑木的生長；下層疏伐45%則能有效的促進大徑木之生長。所得結果將可提供作為柳杉人工林疏伐作業之參考。

【關鍵字】柳杉、林分結構、樹冠面積、疏伐

英文摘要

【Abstract】 This study aimed to evaluate thinning effects on Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantation 5 years after thinned. The study area was located in central Taiwan, at compartment no.74, Luan-Da working circle. In 2003, for the purpose of implementing thinning operation by Taiwan Forestry Bureau, 'Thinning Demonstration Zone' was built in this area, and four treatments, i.e., 35% and 45% thinning from below, 35% thinning from above and no thinning, were used to operate simultaneous. Our study was investigated and analyzed the stand 5 years after thinned. The results showed that thinning will promote growth rate (%) and crown development. It also found that the growth rate of the lower DBH trees were promoted in the stand with 35% of above thinning treatment, and the larger DBH trees were promoted in the stand with 45% of below thinning treatment. Furthermore, the results can provide foundational thinning information for Japanese cedar plantation management.

【Keywords】 Japanese cedar, Crown area, Stand structure, Thinning

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顏添明副教授，負責計畫之規劃、工作項目之研擬、人員分配及調度、計畫進度之控管。研究團隊成員為博士班研究生：黃凱洛；碩士班研究生：李隆恩、陳敬儒、陳涓婷、林奕志、林智芬及劉俊志等，負責樣區維護、樣木調查及相關資料建檔等工作。

一、前言

林務局為推展疏伐業務，於 2004 年在台灣設置了四個疏伐示範區，其中之一位於南投林區管理處所轄之巒大事業區 74 林班之柳杉人工林，為本計畫所設定之研究區域，該疏伐示範區共計有四種不同處理，採用株數百分比進行疏伐，分別為：下層疏伐 35%、下層疏伐 45%、上層疏伐 35% 及對照組。在進行疏伐示範區規劃之初，即著手進行永久樣區之設置，以長期監測疏伐後林分之發展，於各種處理分別設置 4 個 0.05 公頃之永久樣區，共計 16 個永久樣區，以監測疏伐後之各項變化，疏伐後迄 2009 年，疏伐已達五年的時間，為瞭解疏伐之效益需再進行調查分析，以評估疏伐之效益。本計畫的目的在於蒐集林分疏伐後之變化，藉由永久監測樣區相關資料之蒐集，包括林分與單木各項性態值之分析，以瞭解疏伐之效益，尤其著重在競爭指標對於單木之影響，所得之結果將可做為柳杉疏伐林分發展之參考。

二、計畫目標

本計畫主要是針對林務局過去於台灣中部地區所設置之柳杉人工林疏伐示範區進行監測，過去本疏伐示範樣區之相關基本資料皆已完成建檔，且由於疏伐示範區內之永久樣區已設置五年之久，需再進行整理，本計畫的主要目標為蒐集相關林分資料，進行整理分析，以評估柳杉人工林疏伐示範區由於疏伐作業所產生的效益，以做為往後林務局推廣疏伐業務之參考。

三、相關文獻回顧

(一) 柳杉樹種特性

柳杉 (*Cryptomeria japonica* D. Don) 又名日本杉，為日本主要造林樹種之一，台灣也廣為引種栽植於海拔 1,000~2,000 m，根據第三次全國性森林資源調查結果顯示，台灣人工林面積約為 422,600 ha，其中柳杉人工林即佔 39,100 ha，僅次於松類人工林，位居人工林面積排名的第二位 (林務局，1995)。柳杉，又名日本杉為常綠大喬木，係屬陽性樹種，其山之北者較南向為佳，性喜濕潤，雖冬季嚴寒亦無大礙，但在衝風地或孤立狀

態下，則不適生長，常與馬尾松、杉木、樟、櫟等樹種混生，抗風力尚強；其生長量在本省 20 年者，可與日本之 30 年者相等（劉業經等，1994）。

（二）疏伐作業

疏伐，為林木經營重要撫育方法之一，其可增加留存木的生長空間，亦可減少林分之競爭，同時也促進林木之生長。疏伐的意義係強調促進林木生長，維持並增進其林分質量的提升，而伐採未成熟之林木，其目的主要為促進保留木之生長空間、增加材積生產、促進形質、提高中間過程的收穫、維持適當蓄積及增進林分景觀等(顏添明，1993)。然而，一般將疏伐種類分成定性疏伐與定量疏伐二大類，其中定性疏伐主要依樹冠級或幹級區分為下層疏伐、上層疏伐、機械疏伐或選擇性疏伐。而定量疏伐主要為配合定性疏伐來決定疏伐之量與質，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(劉慎孝，1976)。

（三）疏伐與林分結構之關係

林分結構為林分特性的重要表示方法，以 DBH 的分布情形來描述，是一種較為簡單的方式(顏添明，1993)。而林分結構主要為探討林分性態值隨時間變化的情形。一般而言，人工林在生長過程中，因樹種組成較為單純，通常則以林分性態值的分布即可表示林分結構(李久先、陳朝圳，1990)。而林分結構會受到撫育作業的影響，如疏伐會造成林分結構形成偏態分布，且隨著疏伐方式及種類的不同其影響程度也會有所差異(李久先、陳朝圳，1985；李久先、陳朝圳，1990；李久先、顏添明，1992；顏添明，1993；李久先等，1997；Husch *et al.*, 1972)。

（四）疏伐之效益

1. 林木生長

疏伐為林木撫育作業之重點工作之一，適當的疏伐可以減少林木的競爭，增加保留木的相對生長空間，並可改良林木的品質，降低枯死率，而

疏伐最主要的功效為增進林木胸高直徑生長。其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)。疏伐之主要效用除增進林木胸高直徑生長外，其社會之歧異度指數會隨疏伐強度之提高而增加(張勝傑，2002)，如為改進造林地景觀，可採用選擇疏伐，惟需較高之作業成本(郭寶章等，1991)。此外，有關於柳杉人工林之生長情形，楊榮啟等(1976)柳杉林分生長至30~40年生時，因林分密度增大，林木直徑生長趨緩。故若能適時予以實施疏伐，將有利於柳杉材積持續之成長，並可藉由多次疏伐而在輪伐期內有數次林木收穫，且增加林地生物歧異度，並於疏伐後所造成之間隙，提供原生樹種天然下種更新。

2.空間效益

林木之樹冠大小、形態會受到生長空間的影響，而林木栽植距離受制於經營目的，如林木樹冠形態會因林分密度管理與撫育作業而產生影響。隨著密度的增大，樹冠直徑會受到抑制，而影響到樹冠的體積(彭方仁、黃寶龍，1997)。樹冠之發展受制於林木生長空間，當林木在生長之初期，林木未受任何空間與養分之競爭，樹冠全為陽樹冠，而生長到某一時期時，相對生長空間逐漸減小導致由於樹冠的擴張，樹冠間相互發生影響，使得樹冠鬱閉，林木互相競爭產生後，此時陽樹冠生長受阻，而陰樹冠長則開始增加。由於枝條生長機能減退，在樹冠下部呈圓柱體，樹冠上部能充分受到陽光照射，故枝條活力較佳；而樹冠下部之圓柱體部分，因受到陽光照射較緩，故枝條活力較衰弱，此二部分之樹冠活力有著明顯的不同(陳朝圳，1984；梶原幹弘，1975)。此外，許多學者研究指出，樹冠大小與林木之生長有著密切關係(梶原幹弘，1976；李鳳日，2004；Paul, 1998)。梶原幹弘(1975)針對日本三個不同地區柳杉人工同齡林之樹冠形態變化研究指出，樹冠在生長過程中，會受到生長空間的限制。Wilson and Leslie (2008)研究指出不同林齡之林木，因生長空間不同，其樹冠大小及形狀亦有所差異

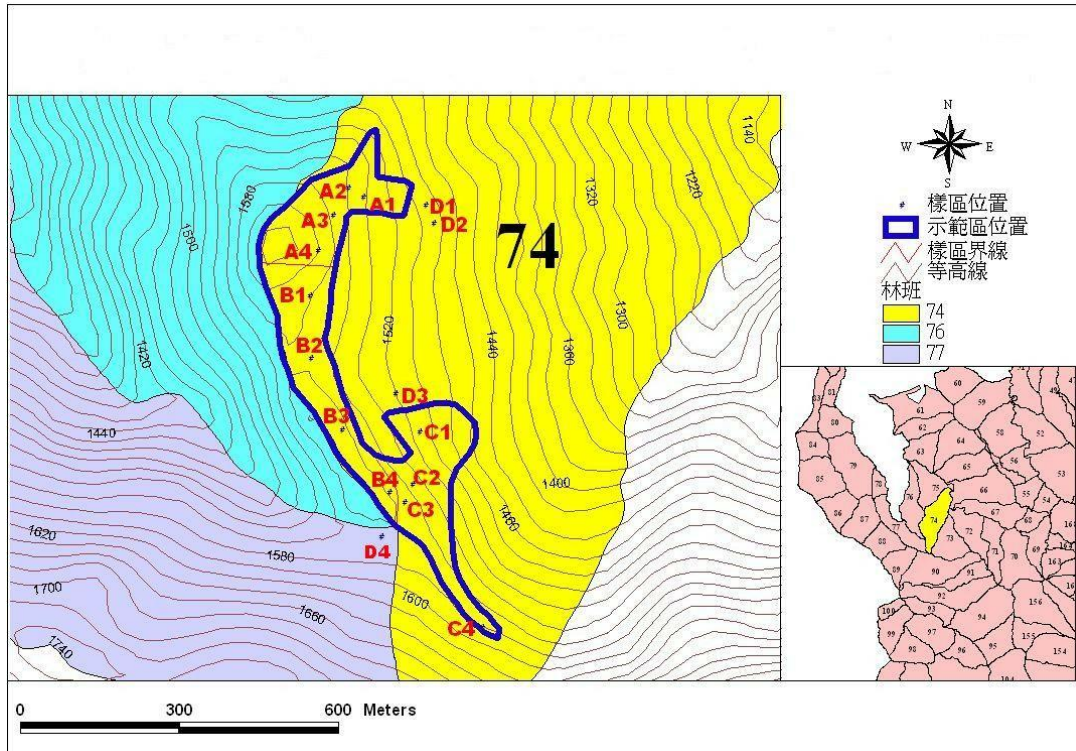
(五) 其他柳杉相關研究

過去國內外柳杉人工林的相關研究很多，著重於生長收穫（楊榮啟、吳振揚，1954；楊啟榮，1975；李訓煌，1976；魯先智，1982；顏添明等，2008）、生物量及碳貯存量（王子定，1978；李國忠等，2004；Mizunaga and Umeki, 2001; Maleque *et al.*, 2007；Yen *et al.*, 2009）等領域。柳杉之其他相關研究包括不同栽植距離對於林木生長的影響（王子定，1952；施慶芳等，1997；Chuang and Wang, 2001；Hiroaki *et al.*, 2008）；不同疏伐的成本效益計算（吳學平，2001；紀儀芝，2004）；及不同疏伐程度對於林木競爭之影響（Masaki *et al.*, 2006）等相關之研究。

四、研究區域與方法

（一）研究區域

本計畫之實施地區位於林務局南投林區管理處所轄之巒大事業區第74林班區內之柳杉人工林。巒大事業區位於南投縣，行政轄界跨南投縣信義鄉、水里鄉及魚池鄉三個鄉。本事業區介於東經120°48′至121°09′，北緯23°28′至23°55′之間，行政轄區屬南投縣信義鄉、水里鄉、魚池鄉。東北與埔里及丹大事業區相鄰，東接秀姑巒事業區，南與台大實驗林及原住民山坡地保留地相接。全區地形以中央山脈為高點向西傾斜，西北向較平坦。山系由巒大山山系組成，主要溪流巒大溪、郡大溪及陳有蘭溪（顏添明，2005）。本示範區之造林地係於1971年造林之巒大事業區林更1（原林更102-2）號造林地，造林樹種為柳杉，其間亦栽植少數香杉，位於巒大事業區第74林班人倫苗圃旁，可由人倫林道直達造林地。本示範區面積為10公頃，於2004年進行疏伐試驗，以株數百分比進行疏伐，下層疏伐35%、下層疏伐45%、上層疏伐35%及對照組，各區域內選擇4個具代表性樣區，每樣區0.05公頃，共計16個樣區，如圖1所示（顏添明，2004）。



樣區代號：A-下層 35%；B-下層 45%；C-上層 35%；D-對照組

圖1. 疏伐示範區及監測樣區之分布位置圖(顏添明，2004)

(二)研究方法

1.野外調查

(1) 疏伐示範區永久樣區之整理

疏伐示範區內所設置之永久樣區自 2004 年設置迄今已有 5 年的時間，有些林木號碼標示牌漸趨模糊或脫落，且部份樣區界線也因日久而損壞，需重新再進行整理，以維護永久樣區之功能。

(2) 林況調查

本計畫於 2009 年 9 月 11 日~15 日期間，於本疏伐示範區進行每木調查，並以 GARMIN 60CSx 重新進行樣區定位。

2.資料分析

(1) 材積量及碳吸存量

針對永久樣區進行每木調查，量測每木之胸高直徑，應用相關模式推估材積量及碳吸存量。有關本區域已建立之樹高曲線式及材積式，分別如(1)式及(2)式所示(顏添明, 2008)，而碳吸存量之推估模式如表 1 所示(Yen et al., 2009)。

$$H = (D/0.6751 + 0.2086D)^2 \quad (1)$$

$$V = -0.0903 + 0.00042313D^2 + 0.00559H + 0.000002126D^2H \quad (2)$$

(1)式及(2)式中，V:為材積、H:為樹高、D:為胸徑。

表 1. 柳杉胸徑與不同部位之相對關係式 $Y = aX^b$ (Yen et al., 2009)

部位	Parameter a	Parameter b	RMS ¹⁾	R ²
幹	0.1290	1.9631	171.25	0.88
枝	0.0129	1.8331	13.33	0.78
葉	0.0154	1.7949	3.27	0.65
地上部	0.1565	1.9427	201.14	0.89

(2) 疏伐對林分直徑分布之影響

本研究係以三參數的 Weibull 機率密度函數模擬各處理強度及疏伐後、疏伐五年後之胸高直徑分布，有關 Weibull 函數如(3)式所示。

$$f(x) = (c/b)[(x-a)/b]^{c-1} \exp\{ -[(x-a)/b]^c \} \quad (3)$$

(3)式中 x 為林木之胸高直徑；a、b、c 為模式參數。

求解模式分別以百分位數法及最大概似法進行。

(3) 疏伐之空間效益分析

本研究於 2008 年分別測量不同疏伐程度樣區的柳杉樹冠八方位，以 ArcGIS 繪製樹冠投影圖，並計算單木之樹冠面積，以 One-way ANOVA 進行分析，以瞭解不同疏伐程度的空間效益。

(4) 研究流程圖

本研究藉由搜集相關文獻，以了解國內外柳杉之相關研究，其研究流程圖如圖 2 所示。

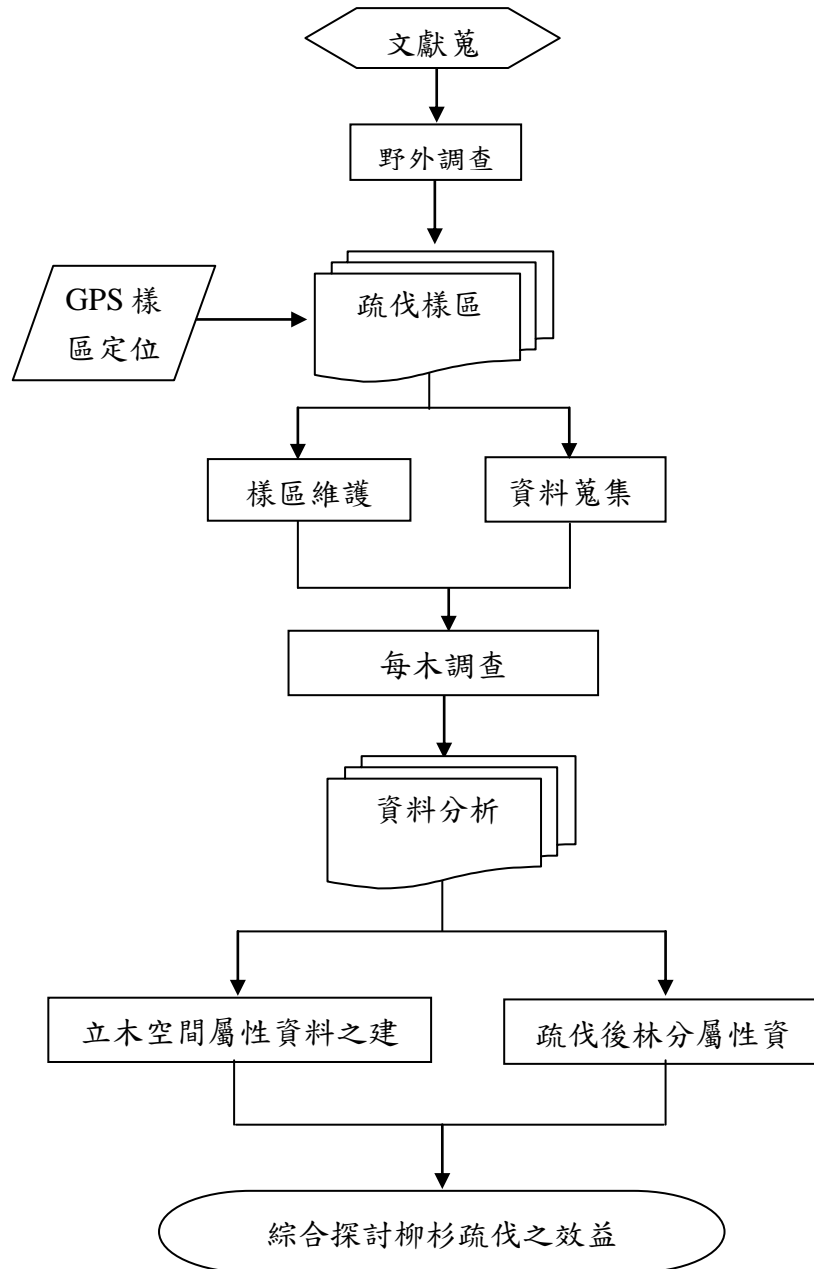


圖2 研究流程圖

(三) 研究進度

有關研究進度如表 2 所示。

表 2. 本計畫之研究進度

重要工作項目	工作 比重 %	預定進度	98 年				備註
			1-3 月	4-6 月	7-9 月	10-12 月	
架構研擬	20%	工作量 或內容	架構研 擬				已完成
		累計 百分比	100%				
資料蒐集(相 關參考資料及 文獻)	30%	工作量 或內容	資料蒐 集	資料蒐 集	資料蒐 集		已完成
		累計 百分比	20%	80%	100%		
林分資料蒐集	20%	工作量 或內容			林分 資料 蒐集		已完成
		累計 百分比			100%		
資料分析	30%	工作量 或內容				資料分析	已完成
		累計 百分比				100%	
累計總進度		百分比	26%	50%	80%	100%	已完成

五、結果與討論

(一) 疏伐示範區永久樣區之整理

本計畫於 2009 年 5 月 12 日會同南投林區管理處及水里工作站人員至疏伐樣區，以瞭解樣區需維護之情形。初勘發現原樣區部份繩索呈現斷裂，需進行整理與修復。並於 2009 年 9 月 11 至 15 日期間，至現場進行樣區修復，樣區全面改採用林務局第四次森林資料調查之永久樣區設置辦法進行樣區的修復。樣區繩則採用 PE 塑膠繩，使其增加耐久性，相關情形如圖 3 至圖 6 所示。



圖3 原樣區繩斷裂(2009/5/12)



圖4 原樣區繩斷裂(2009/5/12)



圖5 修復樣區中間線(2009/9/12)



圖6 以PE樣區繩增加耐久性

此外，原標示樹號之蘭花牌，也因長時間暴露野外，導致字跡模糊判釋困難。樹號標示牌則全面汰換成鋁牌，以增加長期環境影像之承受能力。而過去林木胸徑因逐年生長，造成許多號碼牌皆已斷裂掉落，或過緊的現象。因此，本次計畫除重新進行編號外，在鋁牌之綁置部分，將鋁牌置於於靠近地徑處，並預留生長空間將魔帶加長後，再進行綁置，相關情形如圖 7 至圖 10 所示。



圖7 樹號標示牌掉落(2009/5/12)



圖8 樹號標示牌過緊(2009/5/12)



圖9 鋁牌之綁置(2009/9/12)



圖10 預留生長空間(2009/9/13)

(二) 林分性態值分析

1. 林木基本性態值分析

本年度計畫主要為探討柳杉人工林經疏伐五年後林分結構與林分生長各性態值之變化情形，結果如表3所示。

表3 四種疏伐程度 2004年及2009年林分性態值

性態值	年度	下層35%	下層45%	上層35%	對照組
平均胸徑(cm)	2004	27.23	27.65	25.11	27.76
	2009	30.02	30.13	27.88	30.27
平均材積(m ³ /株)	2004	0.37	0.39	0.32	0.39
	2009	0.45	0.46	0.39	0.47

表 3 結果顯示，疏伐五年後(2009 年)之林分性態值的平均 DBH 及平均材積以對照組最大，其次分別為下層 45%、下層 35%、上層 35%。上層疏伐之值為最小，因其伐除優勢木，導致其性態值在平均值會較其他樣區來得小。

因此，為瞭解林分性態值在疏伐五年後不同疏伐程度之對於林木生長的變化，分別進行計算林木之生長率，包括 DBH 及材積其結果分別如圖 11 - 12 所示。

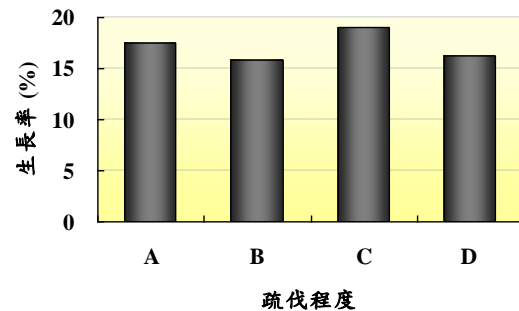
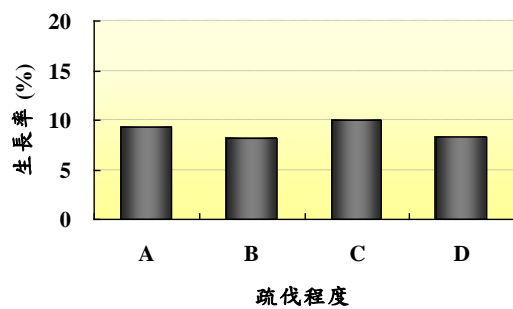


圖11 疏伐五年後之DBH生長率(A-下層35%；B-下層45%；C-上層35%；D-對照組) 圖12 疏伐五年後之材積生長率(A-下層35%；B-下層45%；C-上層35%；D-對照組)

由圖 11-12 結果顯示，不論於 DBH 或材積之林木生長率皆以上層疏伐 35%之林木的生長率為最高，其原因可能為林分經上層疏伐後，會因將優勢木去除，留存木能獲得較充足的陽光以促進其生長，所以上層疏伐 35%之生長率較高。

2. 林木碳吸存量分析

本研究以 2004 年所建立之模式，進行幹、枝、葉及地上部的推估，其結果如表 4 所示。

表 4 疏伐五年後幹、枝、葉及地上部之碳吸存量

性 態 值	年度	疏伐強度							
		下層35%		下層45%		上層35%		對照組	
		kg/ha	kg /株	kg /ha	kg /株	kg /ha	kg /株	kg /ha	kg /株
幹	2004	93268.02	84.68	83304.00	87.23	85789.48	72.19	136350.82	87.93
	2009	111562.39	102.55	96031.26	103.26	97194.10	88.69	157253.16	104.24
枝	2004	6020.71	5.51	5360.72	5.67	5593.05	4.75	8766.13	5.71
	2009	7114.20	6.59	6109.01	6.63	6249.10	5.75	9988.26	6.69
葉	2004	6320.93	5.80	5623.03	5.96	5889.16	5.01	9192.53	6.00
	2009	7442.16	6.91	6386.38	6.95	6553.14	6.05	10437.01	7.01
地 上 部	2004	105635.19	96.04	94302.65	98.89	97315.42	82.01	154330.73	99.69
	2009	126113.39	116.07	108513.65	116.87	110011.93	100.53	177650.73	117.97

將表 4 之結果以增加率表示，即計算 2004-2009 年之增加率，所得之結果如圖 13 及圖 14 所示。

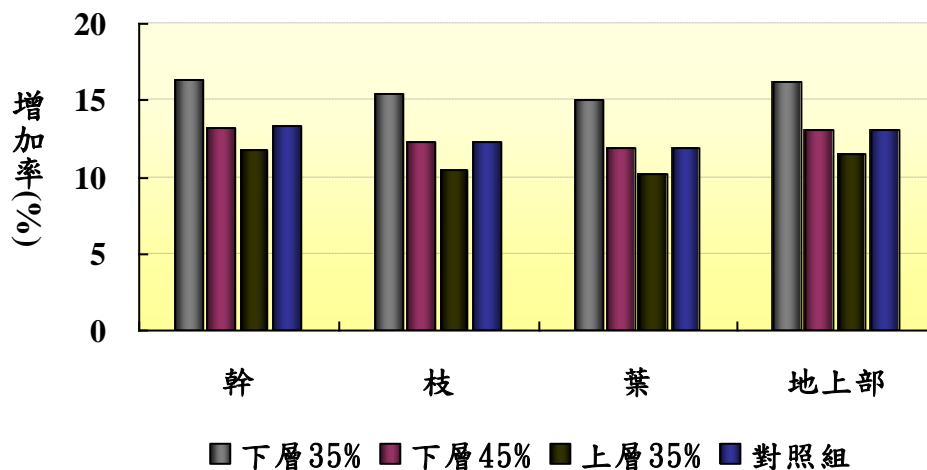


圖13 疏伐五年後之碳貯存量增加率(ton/ha)

圖 13 結果顯示，於疏伐五年後之林分每公頃碳貯存量，其增加率以下層疏伐 35% 為最高，其次為下層疏伐 45% 及對照組，以上層疏伐 35% 為最低。其趨勢和材積生長率相同(圖 12)。

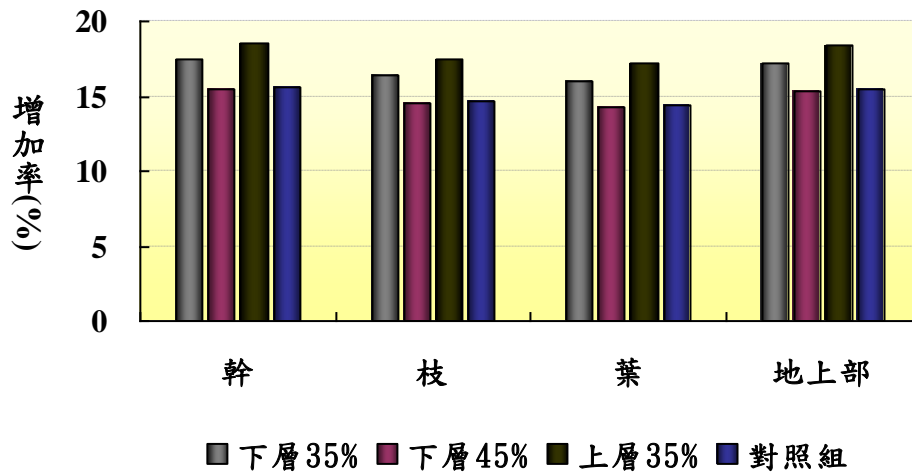


圖14 疏伐五年後之單木碳貯存量增加率(ton/株)

若以單株林木之碳貯存量，其增加率來而言(圖 14)，以上層疏伐 35% 的林分最高，其次為下層疏伐 35% 及下層疏伐 45%，以對照組最低。

(三) 林分結構模擬

本計畫針對不同疏伐林分，分別以 Weibull 機率密度函數進行模擬，並以一般常用之百分位數法及最大概似法進行參數值之求解。經各樣區之直徑分布累積頻度，分別推估 2004 年及 2009 年的林分直徑分布情形，其 Weibull 函數參數結果如表 5 所示。

表 5 二種方法在不同疏伐程度 Weibull 參數之模擬

疏伐程度	年度	百分位數法			最大概似法		
		a	b	c	a	b	c
下層 35%	2004	5.15	24.11	4.74	-	0.56	4.27
	2009	3.46	28.54	4.83	11.04	20.90	3.47
下層 45%	2004	16.42	12.58	2.13	13.09	16.05	2.77
	2009	17.63	13.87	2.04	16.83	14.75	2.18
上層 35%	2004	14.56	11.94	2.11	12.11	14.54	2.50
	2009	11.37	18.33	3.07	7.63	22.21	3.71
對照組	2004	15.38	14.02	2.11	13.32	16.24	2.41
	2009	14.26	18.04	2.36	13.10	19.37	2.44

本研究以 Weibull 機率密度函數模擬柳杉人工林不同疏伐強度處理在疏伐後一年及五年之直徑分布情形，本研究依不同疏伐程度之直徑分布情形分述如下，其結果分別如圖 15 - 22，分述如下。

1. 下層疏伐 35%

以百分位數法及最大概似法模擬 2004 及 2009 年下層疏伐 35% 的林分 (圖 15 及圖 16)，結果顯示其 c 值皆大於 3.6，表示該林分之直徑分佈為負偏歪型。而在最大概似法 2004 年之 c 值皆大於 3.6，但 2009 年之 c 值則介於 1~3.6 之間，則為正偏歪分布。

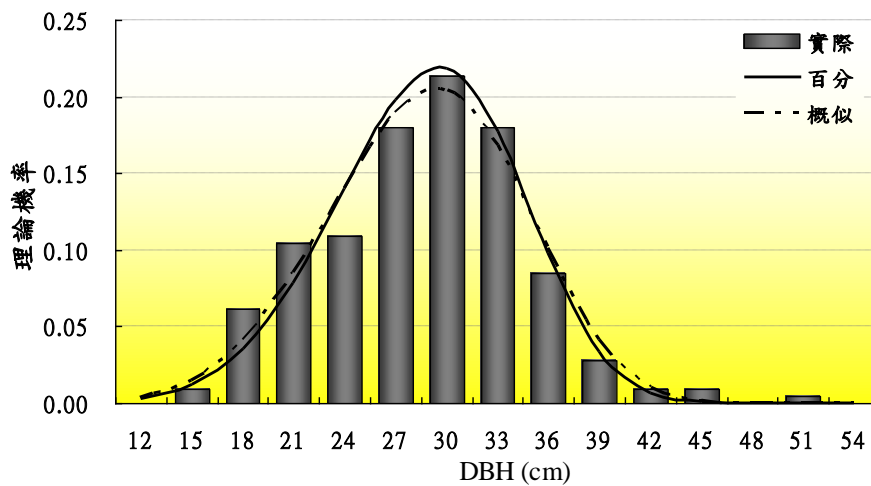


圖 15 2004 年下層疏伐 35% 之直徑分布

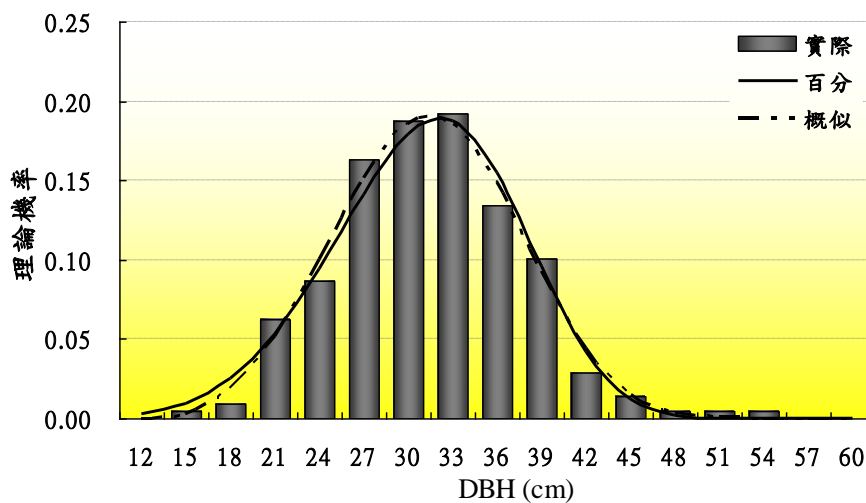


圖 16 2009 年下層疏伐 35% 之直徑分布

由圖 15 及圖 16 結果顯示，在 2004 年時，DBH 較小之累積量明顯較 DBH 大之累積量多因此會呈現負偏歪的分布。相反的，經過疏伐五年後 DBH 於大徑級開始逐漸增加累積量，其分布則會逐漸的向右偏移。

2. 下層疏伐 45%

在下層疏伐 45% 的林分中，以百分位數法及最大概似法分別模擬 2004 及 2009 年之直徑分布情形(圖 17 及圖 18)，其結果顯示 c 值介於 2.04 - 2.77，表示為正偏歪分布。

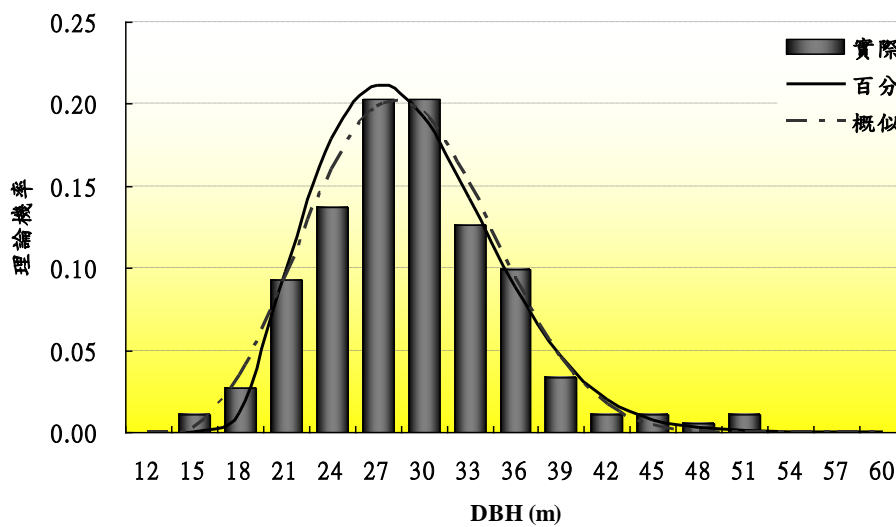


圖 17 2004 年下層疏伐 45% 之直徑分布

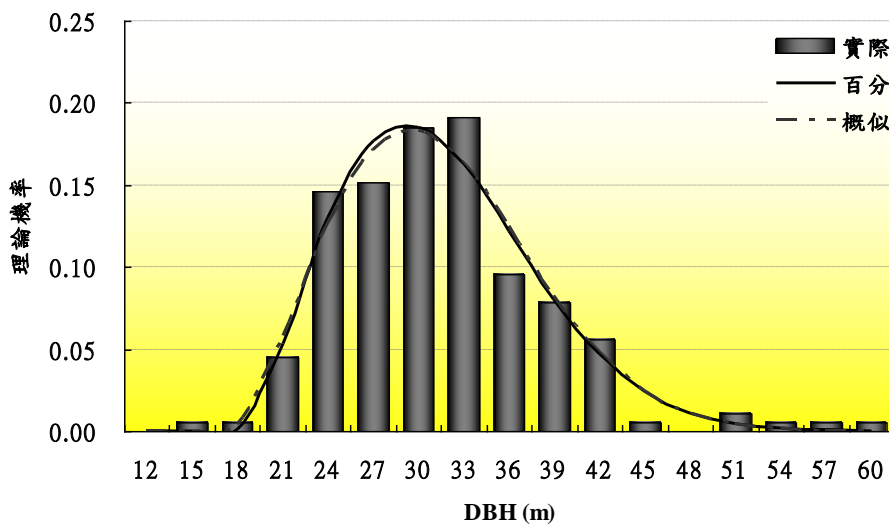


圖 18 2009 年下層疏伐 45% 之直徑分布

圖 17 及圖 18 結果顯示，2009 年大徑級之林木累積數量明顯增加。此外，表 5 中顯示，林分在 2009 年之 c 值開始減小，表示在下層疏伐 45% 林分的直徑分布會逐漸的朝向鐘型之常態分布。

3. 上層疏伐 35%

以百分位數法及最大概似法模擬 2004 及 2009 年上層疏伐 35% 的林分 (圖 19 及圖 20)，結果顯示其 c 值介於 2.04-2.50，表示該林分之直徑分佈為正偏歪分布。相反的，在最大概似法 2009 年之 c 值大於 3.6，為負偏歪型。

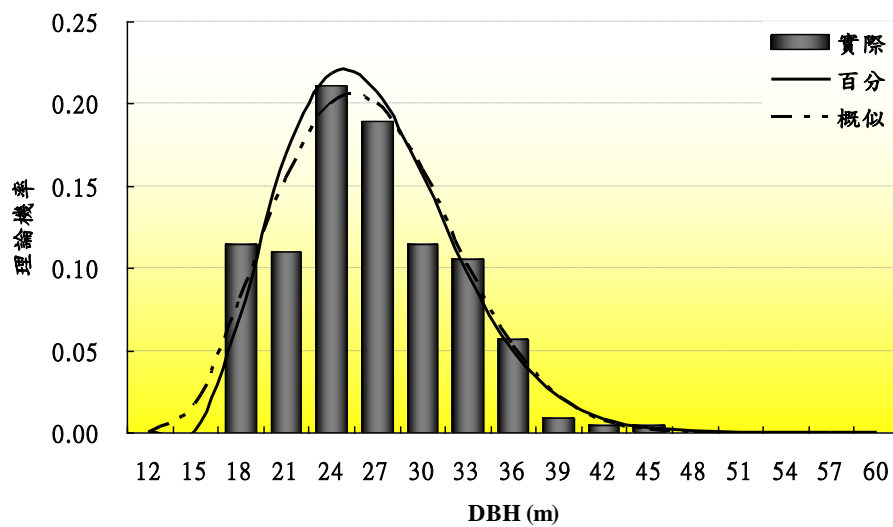


圖19 2004年上層疏伐35%之直徑分布

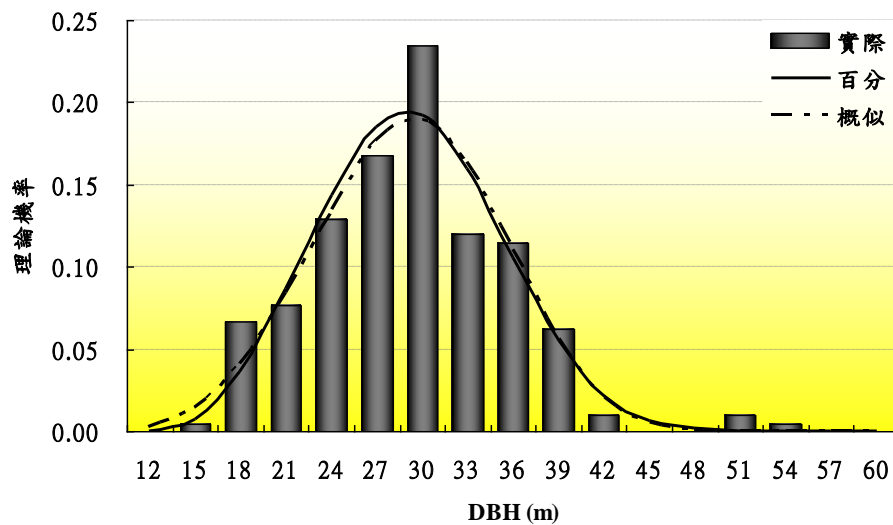


圖20 2009年上層疏伐35%之直徑分布

4. 對照組

在下層疏伐 45% 的林分中，以百分位數法及最大概似法分別模擬 2004 及 2009 年之直徑分布情形(圖 21 及圖 22)，其結果顯示 c 值介於 2.11-2.44，表示為正偏歪分布，其值於疏伐五年後並無明顯的改變。

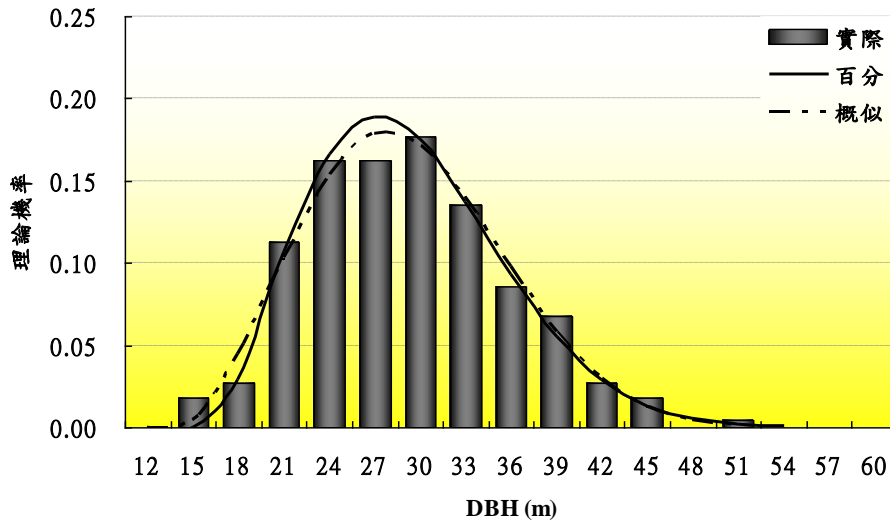


圖21 2004年對照組之直徑分布

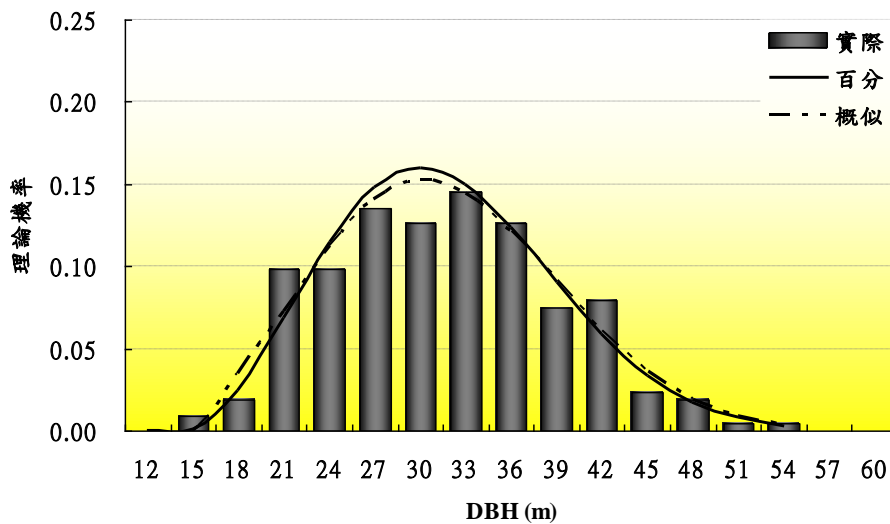


圖22 2009年對照組之直徑分布

林分直徑分布之預測有助於瞭解疏伐後株數在各徑級之消長及動態變化，而藉由 Weibull 模式的模擬可將此資訊量化，以探討其與疏伐之關連性。

(四) 疏伐之空間效益分析

本研究為瞭解不同疏伐程度之林木生長空間效益情形，於 2008 年於不同疏伐程度的樣區中分別選取 1 個樣區，進行樹冠八方位及立木位置之量測，如圖 23-26 所示，另以 ANOVA 分析，進行瞭解不同疏伐程度之樹冠面積之差異情形，其結果如表 6 所示。

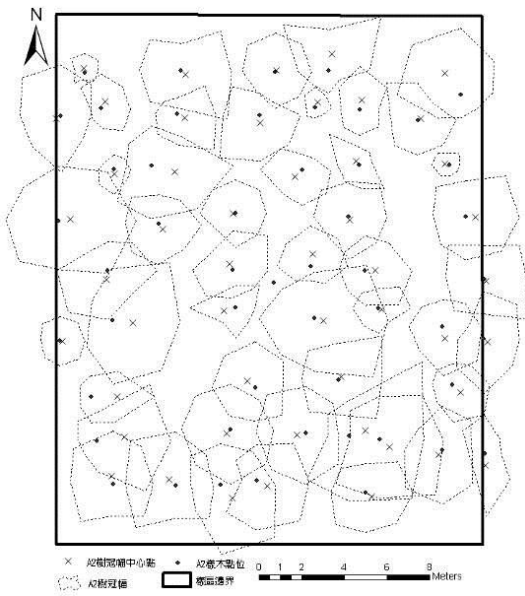


圖23 下層疏伐35%

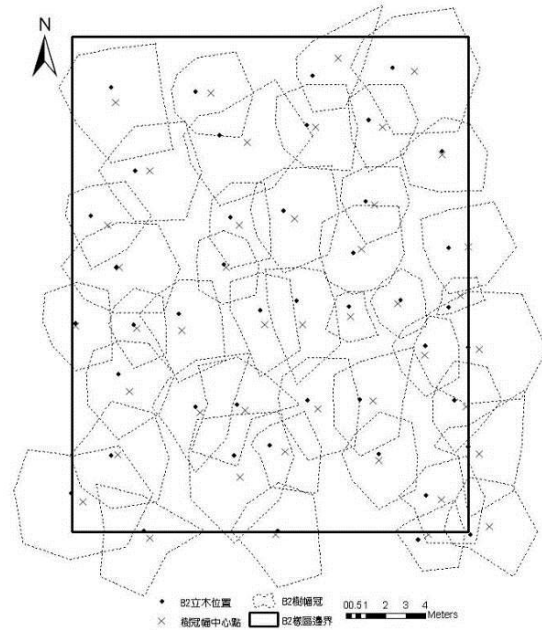


圖24 下層疏伐45%

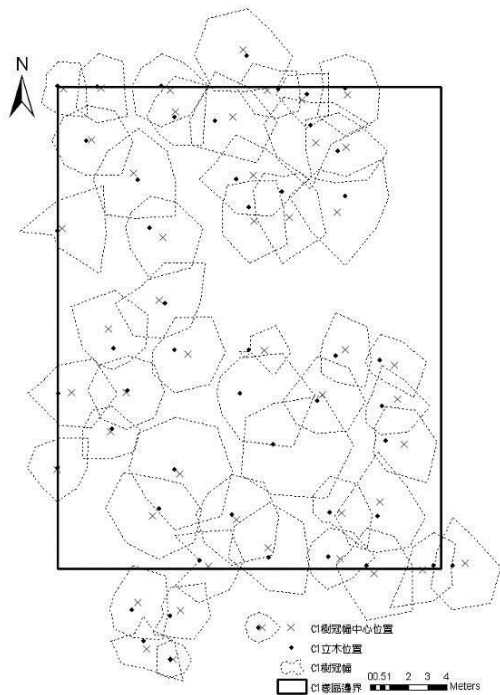


圖25 上層疏伐35%

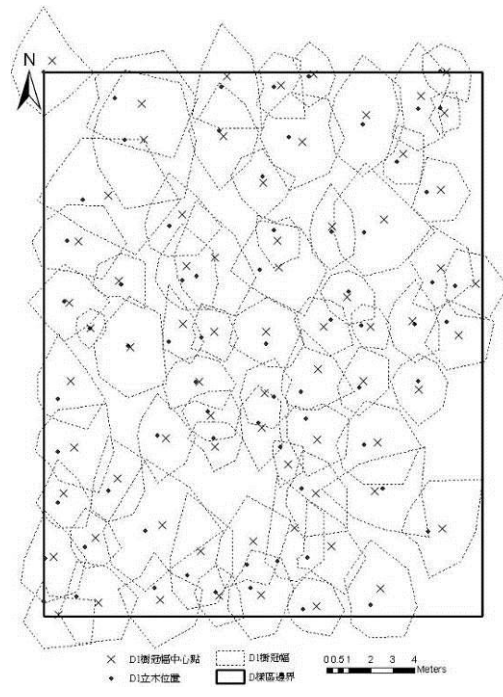


圖26 對照組

表 6 不同疏伐程度樹冠面積 ANOVA 分析 (m²/株)

疏伐程度	Mean ± S.D.
下層疏伐 35%	9.78 ± 5.57 ^b
下層疏伐 45%	15.09 ± 6.16 ^a
上層疏伐 35%	10.64 ± 4.49 ^b
對照組	7.82 ± 4.16 ^c

由表 6 結果顯示，下層疏伐 45% 之樹冠面積最大與其他疏伐程度之有顯著差異；其次為上層疏伐 35%、下層疏伐 35%，二者無顯著差異；其中未經疏伐處裡的對照組樹冠面積最小，具有顯著差異。

許多學者研究指出，林木之大小、優良會受到造林空間的影響，而林木栽植空間會受制於經營目的，如林木樹冠形狀會因林分密度管理與人工修枝而產生影響。隨著密度的增大，樹冠直徑會相對減小，樹冠體積也會減小(Wilson and Leslie, 2008；彭方仁、黃寶龍，1997；梶原幹弘，1976)。

由圖 22 - 25 中可明顯得知，下層疏伐 45% 樹冠面積最大，且與其他林木達顯著差異，其次為下層疏伐 35% 及上層疏伐 35%，對照組之樹冠面積最小，係因下層疏伐為將被壓木或枯死木伐除，留存優勢木及次優勢木，且林內生長空間變大，因此樹冠面積會較其它疏伐程度來得大。樹冠之發展受制於林木生長空間，當林木生長到某一時期時，相對生長空間逐漸減小，導致樹冠間相互發生影響，枝條橫向生長受阻，其生長機能減退(陳朝圳，1984；梶原幹弘，1975)。由於林木在未經過疏伐的情況下，其樹冠會互相壓迫，其樹冠形狀大小會隨著林木生長而產生差異，當生長空間足夠樹冠即能向橫向發展(Ishii and McDowell, 2002；梶原幹弘，1976)，因此樹冠面積會變大。

林木樹冠的發展，經疏伐過後之林分因其生長空間較大，其樹冠之發展空間重疊部分明顯較對照組來的少；而對未經疏伐的林分，林木樹冠之投影面積亦較小。因此，由此可見，林木經疏伐後，其生長空間變大，能促進留存林木的生長，亦能使林木活力增加，有助於林分健康度之提升。

六、結論與建議

本計畫的目的在於為瞭解疏伐對於柳杉林分之生長效益，雖為本年度申請之單一計畫，然於2004年疏伐示範區建立的同時已建立相關的基礎資料及模式，並於2005年持續進行監測，因此應視為疏伐計畫之延續性計畫，所得之結果顯示，林分經上層疏伐後，部份優勢木去除，而使保留能獲得充足的陽光，同時促進林木的活力，因此上層疏伐能夠促進小徑木的生長。相對地在下層疏伐的部份，則是對於大徑木於空間上有較大效益，尤其以下層疏伐45%的效果較為明顯。在樹冠特性上，可發現各種疏伐處理的樹冠面積皆大於對照區，此結果和生長率的趨勢相符合，此部份未來應予深入探討，由本研究的成果得知，柳杉人工林在疏伐5年後之相關效益已逐漸呈現，未來建議本疏伐示範區的監測仍應持續進行，以瞭解疏伐之中長期效益。此外，本研究所建立的相關推估式，係採用示範區建立當時(2004)所建構的模式，在短期內可能仍可適用，但若要進行中長的推估，應加入新的調查資料來建立相關模式，以增加其準確性。

引用文獻

- 王子定 (1952) 柳杉林之不同栽植距離對生物量生產之影響。國立臺灣大學農學院實驗林研究報告第119號。
- 王子定 (1978) 不同齡級柳杉林之生長與樹木生物量生產之研究 國立臺灣大學農學院研究報告 18:1-35。
- 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、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報告 19(1):101-111。
- 李訓煌 (1976) 不同齡級柳杉林之生長及樹木生物量生產之研究。國立台灣大學森林學研究所碩士論文。
- 李國忠、林俊成、賴建興、林麗貞 (2004) 臺大實驗林森林生態系不同林分經營策略之碳貯存效果。國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告18 (4) :261-272。
- 李鳳日 (2004) 長白落葉松人工林樹冠形狀的模擬。林業科學 40 (5) :16-24。
- 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。

- 林務局（1995）第三次台灣全島森林資源及土地利用調查報告。64-87。
- 紀儀芝（2004）大安溪事業區林木經營區針葉樹人工林疏伐計畫之評估。
國立中興大學森林學研究所碩士論文。90頁。
- 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。
- 陳朝圳（1984）針葉樹人工林林分樹冠底面積、投影面積之測計及其林分生長過程中之變化。國立屏東農專森林學會會報26: 34-45。
- 彭方仁、黃寶龍（1997）板栗密植園樹冠結構特徵與光能分佈規律的研究。南京林業大學學報：自然科學版21（2）：27-31。
- 楊榮啟（1975）台灣實驗林產柳杉之生長與收穫的研究。台灣大實驗林研究報告116:1-149。
- 楊榮啟、吳振揚（1954）溪頭營林區紅檜及柳杉之生長比較。國立台灣大學農學院實驗林研究報告第7號。
- 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 118：39-94。
- 劉業經、呂福原、歐辰雄（1994）台灣樹木誌。國立中興大學農學院出版委員會。925頁。
- 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。
- 魯先智（1982）柳杉疏伐林林分之生長模式。國立台灣大學森林學研究所碩士論文。
- 顏添明（2004）人工林疏伐示範區監測計畫。國立中興大學森林學系。45

頁。

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。73頁。

顏添明、李久先、黃凱洛 (2008) 台灣中部地區紅檜及柳杉人工林疏伐示範區生長收穫模式建立之研究。林業研究季刊 30 (3) : 31-40。

梶原幹弘 (1975) スギ同齡林における樹冠の形態と量に関する研究 (I) : 樹冠形。日本林學會誌57 (12) : 425-431。

梶原幹弘 (1976) スギ同齡林における樹冠の形態と量に関する研究 (III) : 樹冠の形態の生育段階的变化。日本林學會誌 58 (9): 313-320。

Abernerhy, N. C. (1981) Predicted and diameter distributions of thinned old-field slash pine plantation. Masters thesis, School of forest Res., Univ. of Georgia.

Chuang, S.T. and S. Y. Wang (2001) Evaluation of standing tree quality of Japanese cedar grown with different spacing using stress-wave and ultrasonic-wave methods. J Wood Sci 47:245-253.

Clutter, J. L., J. C. Fortson, L. V. Pienaar, G. H. Brister, and R. L. Bailey (1983) Timber management a quantitative approach. Wiley, New York. 139 pp.

Hiroaki, T. I., M. A. Maleque, and S Taniguchi (2008) Line thinning promotes stand growth and understory diversity in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantations. J For Res 13:73–78.

Ishii, H. and N. McDowell (2002) Age-related development of crown structure in coastal Douglas-fir trees. For. Ecol. Manage. 169:257-270.

Maleque, M. A., H.T. Ishii, K. Maeto, and S. Taniguchi (2007) Line thinning fosters the abundance and diversity of understory Hymenoptera (Insecta)

in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantations. J For Res 12:14–23.

Masaki, T., S. Mori, T. Kajimoto, G. Hitsuma, S. Sawata, M. Mori, K. Osumi, S. Sakurai, and T. Seki (2006) Long-term growth analyses of Japanese cedar trees in a plantation: neighborhood competition and persistence of initial growth deviations. J For Res 11:217–225.

Mizunaga, H. and T. Umeki (2001) The relationships between tree size and spatial distribution of foliage-mass within crowns of Japanese cedars (*Cryptomeria japonica*) in young plantations. Forest Ecology and Management 149:129-140.

Paul, F. D. (1998) Methods for Quantitatively Describing Tree Crown Profiles of Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.). Dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Forestry. 120pp.

Wilson E. R. and A. D. Leslie (2008) The development of even-aged plantation forests: an exercise in forest stand dynamics. Journal of Biological Education 42 (4) :170-176.

Yen T. M., L. M. Ai, C. L. Li, J. S. Lee., and K. L. Huang (2009) Aboveground carbon contents and storage of three major Taiwanese conifer species. Taiwan J For Sci 24(2): 91-102.

附錄



A2 樣區



A1 樣區



B3 樣區



B4 樣區



C2 樣區



C3 樣區



D1 樣區



D2 樣區

附圖1. 本計畫調查所拍攝之樣區林相



附圖2. 本計畫現場調查之工作情形

附表 1 2009 年 12 月 29 日期末簡報委員意見回覆表

審查委員	審查意見	意見回覆
<p>行政院林業試驗所 邱研究員志明</p>	<p>1.中文摘要上層疏伐 45%，或下層疏伐 45%，請查明。</p>	<p>感謝邱委員的意見，經查明應是「下層疏伐 45%」，已於成果報告中修正(第 I 頁)。</p>
	<p>2.下層、上層疏伐，5 年後，那一種疏伐，以單位面積之材積或碳吸存量表示較佳。</p>	<p>此項目已於成果報告中加以補充「圖 13 結果顯示，於疏伐五年後之林分每公頃碳貯存量，其增加率以下層疏伐 35%為最高，其次為下層疏伐 45%及對照組，以上層疏伐 35%為最低。其趨勢和材積生長率相同(圖 12)。」(第 12 頁)</p>
	<p>3.圖 11-12，疏伐程度 A、B、C、D 代表何種處理。</p>	<p>此項目已於成果報告中之圖 11-12 加註「A-下層 35%；B-下層 45%；C-上層 35%；D-對照組」(第 11 頁)</p>
<p>宜蘭大學 林教授世宗</p>	<p>1.由各種疏伐方法，可表現林分微環境的差異，因此可營造不同的林分類型，亦即由多元的育林措施，形成生態系之多樣化，由五年的資料表現組成、結構與生長量之變化，甚具參考。</p>	<p>感謝林委員對本計畫的評論與肯定。</p>
	<p>2.由樹冠表現，有疏伐效應下，對用原有相對或推估是否需修正，請說明。</p>	<p>此項目已於成果報告中之結論與建議中加以說明「本研究所建立的相關推估式，係採用示範區建立當時(2004)所建構的模式，在短期內可能仍可適用，但若要進行中長的推估，應加入新的調查資料來建立相關模式，以增加其準確性。」(第 20 頁)</p>