

研究報告

疏伐與修枝對臺灣扁柏天然更新林生長效應之研究

邱志明^{1,2)} 唐盛林¹⁾ 彭炳勳¹⁾ 蔣華蕾¹⁾

摘要

本研究地區位於棲蘭山100線14.5 km附近扁柏天然更新林分，於1993年當林齡32年生時進行不同程度疏伐與修枝處理，並於疏伐修枝後7、12、17和20年，調查量測胸徑與樹高生長。結果發現臺灣扁柏天然更新林在疏伐後12年(林齡44年生)、17年(林齡49年生)及20年(林齡52年生)時，胸徑及樹高淨生長有顯著差異，但斷面積及材積無顯著差異；修枝處理後7年，雖修枝1/2之樹高>2/3之樹高>未修枝之趨勢，但修枝後20年(52年生)，各項生長性狀如胸徑、樹高和材積仍無顯著差異。疏伐後20年株數枯死率，中度疏伐株數為3.1%，弱度疏伐為6.3%，對照區未疏伐為9.6%。扁柏生長緩慢，疏伐後20年，中度疏伐胸徑平均一年生長0.31 cm，弱度疏伐0.30 cm，而未疏伐之對照區僅生長0.26 cm；材積生長，中度疏伐 $5.80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，弱度 $6.46 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，對照區 $6.09 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 。本研究以Weibull機率密度函數，分析扁柏天然林分不同疏伐處理及不同林齡林分直徑分布之配置，其結果理論值和實測值差異，皆小於 $p = 0.01$ 之K-S測驗值，顯示其配置良好，且其參數與林分構成因子具有明顯之相關性，可解釋不同處理、不同林齡之各項生長性狀之林分動態狀況，以推測未來林分之構成狀況及碳吸存變化。

關鍵詞：臺灣扁柏、疏伐、修枝、生長、林分結構。

邱志明、唐盛林、彭炳勳、蔣華蕾。2017。疏伐與修枝對臺灣扁柏天然更新林生長效應之研究。台灣林業科學32(1):31-42。

¹⁾ 林業試驗所森林經營組，10066台北市南海路53號 Division of Forest Management, Taiwan Forestry Research Institute, 53 Nanhai Rd., Taipei 10066, Taiwan.

²⁾ 通訊作者 Corresponding author, e-mail:cmchiu@tfri.gov.tw

2016年3月送審 2016年5月通過 Received March 2016, Accepted May 2016.

Research paper

Effects of Thinning and Pruning on the Growth of Naturally Regenerated Yellow Cypress (*Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*) Stands

Chih-Ming Chiu,^{1,2)} Sheng-Lin Tang,¹⁾ Ping-Hsun Peng,¹⁾ Hua-Lei Chiang¹⁾

[Summary]

Naturally regenerated yellow cypress (*Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*) stands were located at Chilán Mountain, northern Taiwan, on Hwy. 100 near the 14.5-km marker. Thinning and pruning treatments were carried out in 1993 when the stands were 32 yr old. This study reports the results of diameter at breast height (DBH) and tree height growth 7, 12, 17, and 20 yr after thinning and pruning. Data of DBH and net height growth of yellow cypress showed a significant increase 12 yr or longer periods after thinning compared to the no-thinning stand. However, the basal area and timber volume showed no difference among thinning treatments. Pruning treatment showed a trend of net height growth, i.e., pruning 1/2 of tree height > 2/3 of tree height > no pruning (control), but tree growth traits such as DBH, tree height, and volume showed no differences at 20 yr after pruning. Tree mortality percentages of yellow cypress with medium thinning, light thinning, and control treatments were 3.1, 6.3, and 9.6%, respectively, at 20 yr after thinning. Since yellow cypress trees grow very slowly, the average annual growth increments of DBH 20 yr after treatment for medium thinning, light thinning, and control treatments were 0.31, 0.30, and 0.26 cm, respectively, and of volume were 5.80, 6.46, and 6.09 m³ ha⁻¹, respectively. We used the Weibull probability density function with thinning, pruning, and age as parameters to estimate the diameter distribution. Results showed the goodness of fit was $p = 0.01$ by the Kolmogorov-Smirnov test. Furthermore, the parameters and elements of stand structure had significant relationships. These results can explain the dynamics of stand growth based on the diameter distribution and can be used to estimate the structure of the stand and carbon sequestration in the future.

Key words: *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*, thinning, pruning, growth, stand structure.

Chiu CM, Tang SL, Peng PH, Chiang HL. 2017. Effects of thinning and pruning on the growth of naturally regenerated yellow Cypress (*Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*) Stands. Taiwan J For Sci 32(1):31-42.

緒言

森林之永續經營是國人所熱切探討的議題，而永續經營除了在經濟面外，尚有生態層面需要加以考量。所以未來復育之檜木林除部分以木材生產之經濟功能為主外，應考量保育生物多

樣性之生態功能。但不論檜木林生態系經營的目標為何，「監測」是非常重要的工作。在森林生態系經營的時程中，瞭解林木生長原本的生態特性，及其變化後的狀況，甚至是未來生態系演

替的趨勢，皆為林業經營管理者所應瞭解(Oliver and Larson 1996, Fujimori 2001)。藉由一段時間的監測，才能由時間序列上瞭解各項生長性狀及生態的變化，可提供生長緩慢的檜木林檢視或是調整未來的經營方針。

臺灣之檜木主要由臺灣扁柏(*Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*)及紅檜(*Chamaecyparis formosensis*)組成，均為臺灣特有鄉土珍貴樹種，材價昂貴，品質良好，材價每立方公尺超過10萬元。根據林務局(TFB 1995)第三次森林資源調查的結果，顯示現存的天然檜木林主要分佈在北部及東部，面積約為48,000 ha，棲蘭山檜木林的面積最大，主要為扁柏存於山脊，但亦有少量紅檜存在山腹。棲蘭山地區在植物地理氣候區上位於東北區與西北區交會處，特殊的氣候環境蘊藏著相當高的物種多樣性與特有性。此外，棲蘭山地區更擁有臺灣最優良的原生檜木林，並保有最完整的雲霧林，亞熱帶山區之雲霧林係陸域生態系最為特殊的林型，其保留許多地質年代以來孑遺的古老物種，如檜木屬植物(*Chamaecyparis* spp.)、臺灣杉(*Taiwania cryptomerioides*)及巒大杉(*Cunninghamia konishii*)等(Su 1985, 1992, Wei and Chen 2007)，基於自然資源保育及經營觀點，宜對此區天然檜木林及不同程度干擾之檜木人工林進行林分組成、結構、健康及多樣性等評估。有關棲蘭林區檜木林經營試驗及多樣性調查，已有許多報告發表(Hung 1975, 1977, Lo-Cho et al. 1989, 1999, Chiu et al. 1993, 1995, Yuan et al. 2004, Yang and Lin 2007)，可見大家對此檜木林保育經營之重視，而疏伐及修枝對紅檜生長效應亦有甚多學者發表，李久先、陳朝圳、顏添明等研究團隊針對大雪山地區(Lee and Chen 1990, Lee et al. 1997, Yen 1999, Yen 2002)，洪良斌、羅卓振南、邱志明等團隊針對棲蘭山、阿里山及六龜試區(Hung 1977, Hung and Chou 1980, Lo-Cho et al. 1995, 1997, 1999, Chiu et al. 2011)。而對天然更新林分之臺灣扁柏不同林齡之林分密度控制及疏伐修枝問題，目前資料甚為缺乏，因此，本報告之目的為探討檜木天然更新地臺灣扁

柏(因試驗地天然更新樹種90%以上均為臺灣扁柏、紅檜僅佔少數)之不同疏伐和修枝處理，對於其林分生長與構造之影響，以期作為將來天然更新臺灣扁柏之撫育經營管理之參據，以保育此臺灣之國寶檜木林。

材料與方法

一、試驗林分概況

棲蘭山行政區域橫跨宜蘭縣、新竹縣、桃園縣等三縣市，位於中央山脈西翼的雪山山脈支稜，蘭陽溪與淡水河的分水嶺之一，平均高度約為海拔2000 m，地處東亞熱帶季風氣候之迎風帶，山脈大多呈東北至西南走向，西南高東北低的地形，因此直接面臨東北季風與來自海上的太平洋暖風，所以雨量豐沛且環境濕潤(FDA 1993)。根據宜蘭大學棲蘭山160林道測候站資料，此區年平均溫度11~15°C，平均年雨量3477 mm。稜線與上坡以檜木類臺灣扁柏樹種的針葉樹為主，溪谷與下坡部份則以針葉樹之檜木類樹種(主要以紅檜為主)與闊葉樹種形成針闊葉混生林(Wei and Chen 2007)。

試驗地天然更新檜木林位於100線14.5 km，此林分於1960年曾進行傘伐更新，每公頃留存3~5株母樹，屬太平山事業區第32林班，此林分組成90%以上均為臺灣扁柏，於1993年林分32年生時，為促進天然更新扁柏之形質生長，進行不同疏伐、修枝處理。

- (一) 疏伐處理：中度疏伐，每公頃保留900~1000株；弱度疏伐，每公頃保留1300~1400株；對照區，未疏伐。
- (二) 修枝處理：修枝高度，強度修枝：樹高2/3；中度修枝：樹高1/2；對照區：未修枝。
- (三) 以複因子規劃，每小區面積0.04 ha，重複2次，共18區。
- (四) 疏伐後7、12、17、20年進行胸徑、樹高、形狀比等生長性狀及枯死率調查。枯死率%為((32年生林木成活株數－疏

伐後某一年成活株數) / 32年生成活株數)) × 100；形狀比「為立木樹高與胸高直徑之比值，其值愈小代表樹幹形狀愈尖削，值愈大，代表樹幹愈圓滿；其和胸高形數和形率皆可代表樹幹形狀之指標，做為計算材積和製材利用率之指標。此外，形狀比或胸高形數皆有隨林齡之增加而減少之勢。」(Larson 1963, Yang and Lin 2003, Nyland 2002)。

二、Weibull機率密度函數模擬直徑分佈

林分構造是指林地、樹種、樹木各種屬性大小、分布，亦即受樹種生長習性、環境條件和經營的綜合成果。林分構造可以樹木各種屬性如胸徑、樹高、樹冠長、樹冠幅、材積等大小分布加以說明，故直徑分佈為林分構造之一種表示法，因胸徑資料最容易精確獲得，故常被使用，其中以Weibull機率密度函數使用最廣(Bailey and Dell 1973, Lee and Chen 1990, Fen 1990, Newton et al. 2005)。故本試驗利用此法，來分析林分構造。

(一) Weibull機率密度函數模擬直徑分佈

Weibull機率密度函數式，一般表示方法如下：

$$F(x) = \left(\frac{c}{b}\right) \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} \exp\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right] \dots \dots (1)$$

Weibull三參數之求法有直接推估模式，即最大概數法先將Weibull函數偏微分後，再以牛頓疊代法(Newton-Raphson iteration)求解；間接推估法，有2種(百分位數(I)和百分位數(II)方法)，百分位數(II)為先求a參數後，再以24th、93rd二組百分數求解，惟以百分位數(I)最為簡便，但有可能負值(Lee et al. 1997, Yen 1999, Huang et al. 2015)。因此，本研究將相同林齡相同處理樣區合併，以三組(24th、63rd、93rd)百分位數，先求算林分直徑之特定百分位數，再以參數回復法將百分位數還原為Weibull參數，a、b、c三參數，式中 $\infty > X \geq a$, $b > 0$, $c > 0$, x為林木之胸徑值，a為決定曲線開始位置，稱之為位置參數(location parameter)，b為決定曲線尺度大小，稱之為尺度參數(scale parameter)，

c為決定曲線之形狀，稱之為形狀參數(shape parameter)，若配置直徑分布上時，三個參數皆為正，且其累積機率函數可由下列簡式求得：

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right] \dots \dots \dots (2)$$

式中 $\infty > x \geq a$, $b > 0$, $c > 0$

(二) 直徑分布之配合適度測驗

Bliss和Reinker (1964)曾用 χ^2 (Chi-squared) 測驗之理論值和觀測值去測試直徑分布之適合性，但 χ^2 測驗需要有常態分布做為前提，因此Bailey和Dell (1973)，建議用K-S (Kolmogorov-Smirnov (K-S) test)去測驗，可獲得較佳之直徑分布之配合適度，且對連續變數資料(continuous variable)及較大樣本資料，用K-S測驗所獲得之結果更為適合，故本試驗使用K-S test進行理論分布之適合度測驗，若樣區之株數分布和經由所得模擬株數分布差異不顯著則擬說成立，當 $D_n > D_n(\alpha)$ 則否定擬說，亦即不能以Weibull機率函數模擬其直徑分布。

結果與討論

一、林分生長

(一) 林分結構

臺灣扁柏天然更新林分疏伐前林分結構如表1所示，林齡32年生，林分每公頃平均株數約1450株，平均胸徑12.7 cm，平均樹高10.1 m，材積每公頃約100 m³，由於為天然更新林分，且因林地佈滿殘存之扁柏之樹頭及岩石，因此林分分佈及生長並不很均勻，疏伐後，中度疏伐每公頃留存929株，平均胸徑14.2 cm，樹高10.7 m，材積84.26 m³ ha⁻¹；弱度疏伐每公頃留存1313株，留存木平均胸徑13.1 cm，樹高10.3 m，每公頃留存材積98.52 m³ ha⁻¹；對照區(未疏伐)每公頃之株數1483株，平均胸徑12.5 cm，樹高10 m，每公頃留存材積101.22 m³ ha⁻¹ (Table 1所示)。

(二) 疏伐

經過疏伐後7年之生長，林齡39年生時，

Table 1. Stand structure of yellow cypress in naturally regenerated stands with different thinning treatments at Chilan Mountain

Treatment	Time	Age (yr)	Trees (trees ha ⁻¹)	DBH (cm)	Tree height (m)	Form ratio	Basal area (m ² ha ⁻¹)	Volume (m ³ ha ⁻¹)	Mortality (%)
Medium thinning	before	32	1213	13.1	10.2	84.3	17.82	91.30	
	after	32	929	14.2	10.7	79.4	16.10	84.26	
	after 7 yr	39	929	16.9	11.6	72.1	22.70	128.25	0.0
	after 12 yr	44	917	18.5	12.1	68.9	26.82	158.05	1.3
	after 17 yr	49	917	19.9	12.5	66.4	30.98	189.01	1.3
	after 20 yr	52	900	20.5	12.7	65.4	32.33	200.10	3.1
Light thinning	before	32	1621	12.4	10.0	86.7	21.25	105.70	
	after	32	1313	13.1	10.3	83.4	19.47	98.52	
	after 7 yr	39	1300	15.8	11.2	75.1	27.59	150.90	1.0
	after 12 yr	44	1263	17.3	11.7	71.7	32.08	182.96	3.8
	after 17 yr	49	1242	18.5	12.1	68.9	36.47	215.13	5.4
	after 20 yr	52	1229	19.0	12.2	68.0	38.07	227.60	6.3
Control	before	32	1483	12.5	10.0	86.0	20.29	101.22	
	after	32	1483	12.5	10.0	86.0	20.29	101.22	
	after 7 yr	39	1471	14.7	10.8	78.7	27.62	148.05	0.8
	after 12 yr	44	1425	15.7	11.2	75.5	31.77	177.33	3.9
	after 17 yr	49	1379	17.0	11.6	72.5	36.02	209.12	7.0
	after 20 yr	52	1342	17.6	11.7	71.0	37.77	222.89	9.6

DBH, diameter at breast height.

發現胸徑疏伐後7年之定期生長，中度疏伐>弱度疏伐>對照區，材積則為弱度疏伐>對照區>中度疏伐。但經變異分析發現不同疏伐處理胸徑及材積之淨生長差異均不顯著，*p*值分別為0.188、0.336、0.287及0.525，而樹高及胸高斷面積亦有同樣趨勢。疏伐後20年，林齡52年時，經變異分析，發現胸徑定期生長差異極顯著，*p*值為< 0.01，*F*值16.2，樹高*P*值為0.019，*F*值6.38，差異顯著(Table 2)。經進一步Tukey's測驗，發現中、弱度疏伐差異不顯著，但和對照區差異顯著，樹高亦有同趨勢(Table 3)；但斷面積和材積差異均不顯著。由此可知，扁柏生長速度緩慢，對疏伐之反應亦甚緩慢，疏伐後7年，胸高及樹高之定期生長量不同疏伐間差異均不顯著，至疏伐後12、17及20年胸徑及樹高累積之淨生長量，不同疏伐度間差異才顯著，胸高斷面積和材積差異仍然不顯著。經進

一步分析，以本試驗而言，疏伐後20年，中度每年之平均生長量為0.31 cm、弱度為0.30 cm，而對照0.26 cm，樹高中度及弱度均為0.10 m、而對照0.08 m。又胸高斷面積及材積淨生長至20年生，以材積年平均生長量而言，每年之生長量5.79~6.45 m³。由此可知其生長速度緩慢，另Chiu et al. (1995)對天然更新之扁柏進行樹幹解析發現，至林齡8年生時始達樹高1.3 m (胸高)部份。由此結果，亦得知疏伐對單木之生長反應和單位面積之生長反應是不同的，中度疏伐每公頃留存較少株數之生長量，可和對照區留存較多株數(為中度疏伐留存株數之1.6倍)材積生長量不相上下。此亦顯示疏伐對留存木形質提升之重要(Smith 1986, Hoshino et al. 2001, Nyland 2002)。本研究因為棲蘭山地區每年幾乎都遭受颱風襲擊且立地滿佈岩石及倒木，為了避免風害，因此以較保守之下層疏伐進行，

Table 2. ANOVA and *p* values of periodic increments of yellow cypress after different treatments

Age (yr)	Treatment	DBH	Tree height	Basal area	Volume	Form ratio	Mortality
39 (7 yr after thinning)	T ¹⁾	0.188	0.336	0.287	0.525	0.191	0.181
	P ²⁾	0.681	0.784	0.870	0.807	0.917	0.527
	T×P	0.604	0.548	0.821	0.899	0.918	0.552
44 (12 yr after thinning)	T	< 0.010	< 0.010	0.500	0.688	0.156	< 0.010
	P	0.168	0.892	0.950	0.913	0.928	0.248
	T×P	0.550	0.682	0.734	0.813	0.847	0.097
49 (17 yr after thinning)	T	< 0.010	0.036	0.464	0.695	0.147	0.032
	P	0.202	0.616	0.816	0.759	0.897	0.855
	T×P	0.931	0.887	0.694	0.811	0.920	0.932
52 (20 yr after thinning)	T	< 0.010	0.019	0.498	0.726	0.136	0.021
	P	0.113	0.403	0.862	0.796	0.840	0.950
	T×P	0.901	0.925	0.654	0.827	0.926	0.828

T, thinning; P, pruning; DBH, diameter at breast height.

Table 3. Comparison of the periodic diameter at breast height (DBH) and volume increments of yellow cypress after different treatments

Treatment	After thinning							
	7 yr		12 yr		17 yr		20 yr	
	DBH (cm)	Volume (m ³)	DBH (cm)	Volume (m ³)	DBH (cm)	Volume (m ³)	DBH (cm)	Volume (m ³)
Thinning								
medium	2.70 ^{a 1)}	43.99 ^a	4.36 ^a	73.79 ^a	5.72 ^a	104.8 ^a	6.29 ^a	115.9 ^a
light	2.65 ^a	52.39 ^a	4.15 ^a	84.44 ^a	5.43 ^a	116.6 ^a	5.92 ^a	129.1 ^a
control	2.24 ^a	46.84 ^a	3.21 ^b	76.11 ^a	4.54 ^b	107.9 ^a	5.13 ^b	121.7 ^a
Pruning								
2/3 H	2.40 ^a	46.61 ^a	3.97 ^a	77.84 ^a	5.22 ^a	106.8 ^a	5.80 ^a	119.3 ^a
1/2 H	2.61 ^a	50.50 ^a	4.04 ^a	80.96 ^a	5.46 ^a	115.9 ^a	6.09 ^a	128.6 ^a
control	2.58 ^a	46.11 ^a	3.73 ^a	75.55 ^a	5.00 ^a	106.5 ^a	5.86 ^a	118.7 ^a

¹⁾ Means within a given column with the same letter do not significantly differ ($p > 0.05$) as determined by Tukey's HSD test.

株數疏伐率25%，材積疏伐率10%以下，故疏伐度以中、弱度稱之。

(三) 修枝

本試驗修枝高度依樹高之大小，採用樹高1/2及2/3，但歷經修枝後7、12、17年生長調查，其趨勢均有修枝高度，1/2樹高大於2/3樹高

大於對照區之趨勢，但統計上差異均不顯著，樹高、胸高斷面積及材積亦和胸高直徑一樣，有相同趨勢。而疏伐和修枝之交感效應，不同林齡差異皆不顯著 (Tables 2, 3)。

據Lo-Cho et al. (1989)對大溪事業區94林班擇伐後下種更新之檜木發現，於林齡15年生時林木樹高約3 m，胸徑約3.2 cm。將林木修枝至

樹高1/2，經過5年後，其和未修枝處理之生長進行比較，發現修枝高度達樹高1/2對生長並無不良影響。臺灣以往對紅檜人工林所進行之修枝研究(Hung 1971, Hung and Chou 1980, Lo-Cho et al. 1995, 1997)，均指出修枝高度可達樹高之1/2。再者，扁柏經除伐和修枝處理後5年，其胸高形數和形率(form quotient, 形率=中央直徑和胸高直徑之比值)無明顯之差異，亦即樹幹尖削度無明顯變化(Lo-Cho et al. 1999)。其原因可能留存林分密度較高，且天然更新幹形通直，分岔少，林木幼齡生長緩慢，又試驗期間僅5年之故。Lo-Cho et al. (1995, 1997) 研究指出，9年生紅檜修枝至1/2樹高經過6年以及14年生紅檜修枝至1/2樹高，5年後，均能提高樹幹之完滿度。惟9年生臺灣杉修枝至1/2樹高經5年後(Lo-Cho et al. 1988)和5年生臺灣檫修枝至樹高1/2，經4年後(Lo-Cho et al. 1995)樹幹尖削度無明顯之變化。

據Fujimori (1984, 2001)及Nyland (2002)修枝可提升樹幹之圓滿度，但其和林分密度有關，林分密度愈高者，修枝效果愈不明顯。許多學者對林木之幹形研究發現，疏伐可促進林木樹冠之發育，枝下高降低，枝條變粗變長，生長速率加快，會使幹形完滿度降低(Larson 1963, Shepherd 1986, Smith 1986, Nyland 2002)。Chiu et al. (1993, 1995)指出棲蘭地區天然更新臺灣檜木林，由臺灣扁柏樹幹解析可知，扁柏生長緩慢，8年生樹高僅達胸高部位。Lo-Cho et al. (1997)對阿里山事業區104林班對14年生紅檜(胸徑平均15 cm，樹高8 m，林分密度1500株/ha)進行樹高1/2、2/3及未修枝之處理，5年後發現修枝處理及胸高形數差異皆極顯著。修枝後1/2 H，DBH每年生長0.63 cm、2/3 H 0.48 cm、對照區0.56 cm，1/2 H修枝高度，胸高形數為0.53，2/3 H修枝高度，胸高形數為0.52，對照區未修枝，胸高形數為0.47。扁柏不同處理、大小趨勢變化雖然和紅檜趨勢一致，但統計上差異不顯著，其原因綜上討論可知因扁柏生長速度緩慢，其生長速率約為紅檜之1/2，另部分效應受到疏伐因素互相抵銷。此外，天然更新地扁柏分岔率甚低10.5%，大部分樹幹皆為通直，而紅檜人工造林地，樹幹

分岔率在60%左右，差異極大(Chiu et al. 1993, 1995)。另一原因為修枝後林分，間隔時間太長，未繼續進行修枝處理，以致造成此差異(Fujimori 2001)。

(四) 形狀比

本試驗林齡32年生時，疏伐前形狀比在85左右，疏伐後形狀比平均約81，而後隨林齡之增加而降低。疏伐後20年林齡52年生時，中度疏伐為65.4，弱度疏伐為68.0，對照區71.0 (Table 1)，但經變異分析顯示，不同疏伐、修枝處理及交感效應，疏伐、修枝後20年差異皆不顯著 (Tables 2, 3)，原因如前述。

(五) 枯死率

扁柏在32年生時，林分樹冠已經鬱閉，因此進行疏伐，經過疏伐後20年期間，中度疏伐枯死率僅3.1%、弱度為6.3%、對照區9.6% (Table 1)。經變異分析結果，不同疏伐處理，在疏伐後7年差異不顯著，但疏伐後12年(44年生)、17年(49年生)及20年(52年生)時，差異顯著，中度疏伐率枯死率最低，而弱度疏伐及對照區差異不明顯(Table 4)，而修枝處理，不同林齡枯死率差異皆不顯著。據Lo-Cho et al. (1999)年調查大溪事業區94林班檜木擇伐更新林發現，其未除伐之天然更新檜木15年生時每公頃達11,040株，至20年生時存活10,230株，5年枯死率7.3%，一年平均枯死率為1.5%，而經除伐之林分皆未發現枯死現象，此趨勢和本研究相符。但枯死率較本研究高，主因林分林齡及立木密度不同所致(Hennon et al. 1990)。

此亦顯示林分若能經過疏伐撫育經營則可減少林木之競爭而枯死，若進行疏伐，將疏伐木搬出利用，將林木轉化為林產品，以有機碳固定於林產品中，減少枯死林木腐朽將CO₂釋放至大氣，由此可知，林分之經營對碳吸存具有正面效益(Hara 1984, Franklin et al. 2002, Newton et al. 2005, Chiu et al. 2011)。

二、林分結構動態

天然更新扁柏林，32年生時進行不同疏伐

處理後，歷經7、12、17、20年之定期每木調查，林分胸徑、樹高、材積及枯死率之分析，各處理林分直徑級、株數分布以Weibull機率密度函數加以配置，結果如Table 5所示，其結果理論值和實測值，以K-S測驗，發現皆小於0.01顯著水準，因此接受理論與實際直徑分布頻度無顯著差異的擬說。亦即Weibull機率密度函數配置臺灣扁柏不同疏伐處理、不同林齡，林分直徑分布之動態變化相當理想，此和Lee et al. (1997)及Yen (1999)對紅檜人工林之研究有相同結果。本研究使用a、b、c三參數，因a受b、c參數影響，此百分位數在還原過程之順序，先還原c參數，再還原b參數，最後還原a參數，故a參數可能為負值，若a為負值，即和林分之最小值不符。由Table 5知，32年生疏伐後，a值為位置參數皆大於零，有中度疏伐大於弱度疏伐大於未疏伐之勢，隨著疏伐強度增加，林分最小徑級有向右移之勢，如Fig. 1；b值為曲線尺度，中度疏伐小於弱度疏伐小於未疏伐。b值愈大，代表曲線之尺度愈大，亦即形狀愈扁平，最大頻度愈小，曲線分布愈廣，而疏伐度愈強，以下層疏伐方式進行，徑級較小之林木伐除較多，林分徑級變異較小，且徑級較集

中，因此b值較小，此狀況和實際符合；而c值為形狀參數，未疏伐之對照區大於弱度疏伐大於中度疏伐之勢。亦即其圖形大致為鐘形正偏歪分布，亦即小、中徑級較多，大徑級較少。a值除52年生對照區外，大致隨林齡之增大，而增大之勢，b值亦有隨林齡之增大而增大之勢，亦即林齡愈大，林分直徑之分布愈廣，最大之頻度會隨林齡之增大而變小。c值亦有隨林齡之增大而增大之勢(如Table 5, Fig. 1)。此和Hara (1984)和Lrecente et al. (2010)研究有相同結果，此乃因林分隨林齡之增加而產生競爭現象，致徑級較小之立木枯死，或因疏伐將較小徑級立木移除，留存較大徑級立木所致。林木之胸徑生長受生長空間之影響，而造成林分直徑分布之改變，因此如何調整林分直徑分布，增進單木之生長，可藉由疏伐作業加以改進。據Lee and Chen (1990)亦指出，疏伐可調整林分結構，使a值增加；而b值與每公頃株數呈負相關，而與林齡、平均胸徑及樹高成正相關。又據Bailey and Dell (1973)研究Weibull函數指出，當 $c \leq 1$ 時為倒J字型曲線，應用於直徑分布時，為異齡天然林之直徑分布；一般同林齡人工林c值大於1，而 $1 < c < 3.6$ 為鐘形正偏歪分

Table 4. Comparison of the periodic form factor and mortality ratio after different treatment regime

Treatment	After thinning							
	7 yr		12 yr		17 yr		20 yr	
	Ff ²⁾	M ³⁾	Ff	M	Ff	M	Ff	M
Thinning								
medium	72.1 ^{a1)}	0.92 ^a	71.9 ^a	1.42 ^b	66.4 ^a	1.42 ^b	65.4 ^a	1.42 ^b
light	75.1 ^a	0.95 ^a	71.5 ^a	3.88 ^a	68.9 ^a	5.45 ^a	68.0 ^a	6.40 ^a
control	78.7 ^a	0.00 ^a	75.5 ^a	3.88 ^a	72.5 ^a	6.57 ^a	71.0 ^a	8.83 ^a
Pruning								
2/3 H	75.4 ^a	0.58 ^a	71.9 ^a	2.95 ^a	69.2 ^a	4.87 ^a	68.0 ^a	5.73 ^a
1/2 H	74.6 ^a	0.33 ^a	71.5 ^a	2.55 ^a	68.7 ^a	3.95 ^a	67.4 ^a	5.15 ^a
control	76.0 ^a	0.95 ^a	72.7 ^a	3.68 ^a	70.0 ^a	4.62 ^a	68.9 ^a	5.77 ^a

¹⁾ Means within a given column with the same letter do not significantly differ ($p > 0.05$) as determined by Tukey's HSD test.

²⁾ Form factor.

³⁾ Mortality.

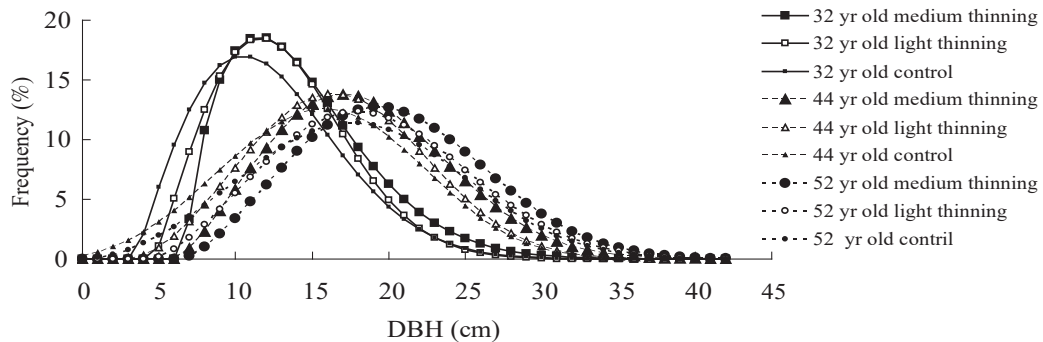


Fig. 1. Weibull diameter (DBH) distribution of yellow cypress from 32 to 52 yr old with different thinning treatments. DBH, diameter at breast height.

Table 5. Weibull diameter distribution parameter estimates and values of the K-S test for different thinning treatments at various regimes

Age (yr)	Treatment	X ₂₄	X ₆₃	X ₉₃	a	b	c	dn	d01	d05
32	Before thinning control	8.7	13.5	19.9	3.502	9.998	1.977	0.0312	0.0422	0.0506
32	After thinning medium	10.6	15.1	21.8	6.816	8.284	1.650	0.0323	0.0909	0.1090
32	light	9.8	14.2	19.9	4.682	9.518	2.084	0.0378	0.0765	0.0917
32	control	8.7	13.5	19.9	3.502	9.998	1.977	0.0312	0.0422	0.0506
39	medium	12.9	18.0	25.2	8.073	9.927	1.793	0.0351	0.0909	0.1090
39	light	11.8	17.0	23.7	5.668	11.332	2.105	0.0242	0.0769	0.0921
39	control	10.5	16.0	22.7	2.977	13.023	2.356	0.0304	0.0723	0.0866
49	medium	15.5	21.4	29.3	9.176	12.224	1.962	0.0510	0.0916	0.1097
49	light	14.0	20.2	28.0	6.224	13.977	2.206	0.0281	0.0787	0.0943
49	control	12.0	19.3	27.0	0.010	19.301	3.135	0.0527	0.0746	0.0895
52	medium	15.8	22.2	29.8	6.394	15.806	2.491	0.0376	0.0924	0.1108
52	light	14.3	20.9	28.7	4.465	16.435	2.518	0.0356	0.0791	0.0948
52	control	13.0	20.0	28.1	0.100	19.907	3.326	0.0498	0.0757	0.0907

布, $c = 3.6$ 時為常態分布, $c > 3.6$ 時則為負偏歪分布。由此可知本研究結果和前述學者有相同趨勢, Weibull機率密度函數可模擬臺灣扁柏人工林不同林齡及不同疏伐處理之林分直徑分布, 且其參數與林分構成因子有顯著之相關性, 可解釋林分動態狀況, 用來推測將來林分之構成狀況及各項生長性狀, 具有生物及數學之雙重意義(Bailey and Dell 1973, Feng 1990, Lee et al. 1997, Yen 2002); 並進一步可和樹高曲線配合, 而求出該林分之材積分布及蓄積量及碳貯存量(Newton et al. 2005), 為解析林分結構之利器。

結論

棲蘭山扁柏天然更新林分, 進行不同程度疏伐修枝之處裡, 歷經疏伐後7、12、17、20年定期觀測, 發現扁柏在疏伐後12年(林齡44年生)、17年(林齡49年生)及20年(林齡52年生)生時, 胸徑及樹高淨生長始有顯著差異, 但斷面積及材積仍無顯著差異, 而修枝處理, 至52年生(疏伐後20年), 各項生長性狀仍無顯著差異。而株數枯死率方面, 疏伐後20年, 中度疏伐株數枯死率為3.1%, 弱度疏伐6.3%, 對照區之未疏伐有9.6%。本研究並以Weibull機率密度函數, 配

置扁柏天然林分不同疏伐處理、不同林齡林分直徑分布，其結果理論值和實測值之差異，皆小於 $p = 0.01$ 之 K-S 測驗值，顯示其配置良好，且其參數與林分構成因子具有明顯之相關性，可解釋不同處理、不同林齡各項生長性狀林分動態狀況推測未來林分之構成狀況及碳吸存變化。

引用文獻

- Bailey RL, Dell TR. 1973.** Quantifying diameter distribution with the Weibull function. For Sci 19(2):97-104.
- Bliss CI, Reinker KA. 1964.** A lognormal approach to diameter distributions in even-aged stands. For Sci 10(3):350-60.
- Chiu CM, Lo-Cho CN, Chung HH. 1993.** The cypress stand structure of natural regeneration sites in Chi-Lan-Shan area. Bull Taiwan For Res Inst New Series 8(4):389-402.
- Chiu CM, Lo-Cho CN, Chung HH. 1995.** The stem form and crown structure of natural regeneration stands of *Chamaecyparis taiwanensis* in Chi-Lan-Shan area. Bull Taiwan For Res Inst New Series 10(1):121-30.
- Chiu CM, Tang SL, Chung CH, Lin CJ. 2011.** Effects of thinning strategies on carbon storage and biomass of Taiwan red cypress (*Chamaecyparis formosensis*) plantations. Q J Chin For 44(3):385-400.
- Fen FL. 1990.** Studies on the population on dynamics in man-made forest—an approach to the quantitative theory of forest stand structure and growth. Taipei, Taiwan: National Taiwan Univ. Graduate Institute of Forestry. 170 p.
- Franklin JF, Spies TA, Pelt RV, Carey AB, Thornburgh DA, Berg DR, et al. 2002.** Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using Douglas-fir forests as an example. For Ecol Manage 155:339-423.
- Forest Development Administration (FDA). 1993.** Sustainable management planning of forest resources in Chi-Lan-Shan area. Taipei, Taiwan: Forest Development Administration. 88 p. [in Chinese].
- Fujimori T. 2001.** Ecological and silviculture strategies for sustainable forest management. Tokyo: Elsevier Science. Tokyo 398 p.
- Fujimori T. 1984.** The pruning practices—basic and applications. city, Japan: The Forest Technical Association of Japan. 180 p. [in Japanese].
- Hara T. 1984.** Dynamics of stand structure in plant monocultures. J Theor Biol 110:223-39.
- Hennon PE, Hansen EM, Shaw CG. 1990.** Dynamics of decline and mortality of *Chamaecyparis nootkatensis* in southeast Alaska. Can J Bot 68:651-62.
- Hoshino D, Nishimura N, Yamamoto S. 2001.** Age, size structure and spatial pattern of major tree species in an old-growth *Chamaecyparis obtusa* forest, central Japan. For Ecol Manage 152:131-43.
- Huang KL, Wang CH, Yen TM, Li LE. 2015.** Evaluation of the applicability of the Weibull probability density function with different approaches for diameter distributions of plantations of four conifer species. Taiwan J For Sci 30(1):1-13.
- Hung LP. 1975.** Preliminary study on the methods of managing the protection forest of natural cypress on upper basin of Shin-Men reservoir. Agric Assoc China (New Ser) 92:87-111. [in Chinese with English summary].
- Hung LP. 1971.** A study on the stands' growth of red cypress plantation affected by different treatments of pruning. Sci Develop Monthly 3(5):26-44. [in Chinese with English summary].
- Hung LP. 1977.** Study on the effect of improving the natural second growth stand of red cypress on high mountain area in Taiwan. Agric Assoc of China (New Ser) 100:131-50. [in Chinese with English summary].
- Hung LP, Chou CF. 1980.** A study on the stands' growth of red cypress plantation af-

- ected by different treatments of pruning. Bull Taiwan For Res Inst 336:12.
- Larson PR. 1963.** Stem form development of forest trees. For Sci-Monogr 5:1-42.
- Lee JS, Chen CT. 1990.** Application of the Weibull probability function on thinning system of plantation forest. Q J Chin For 23(2):9-17. [in Chinese with English summary].
- Lee JS, Yen TM, Jong SS, Chiang JM, Lo YS. 1997.** Studies on stand density control of *Chamaecyparis formosensis* plantations - the basic analysis for thinning stands. J Expt For of NCHU 19(1):101-12.
- Lee JS, Yen TM, Chen CT. 1997.** The applicability of indirect estimation models to the stand structure of *Chamaecyparis formosensis* plantations. Q J Chin For 30(2):217-26.
- Lo-Cho CN, Chiu CM, Chen YC. 1999.** Effects of cleaning and pruning on natural-regenerated cypress stands. Taiwan J For Sci 14(3):315-21.
- Lo-Cho CN, Chung HH, Chiu CM. 1997.** Effect of thinning and pruning on the growth of Taiwan red cypress (*Chamaecyparis formosana* Matsum) plantations. Taiwan J For Sci 12(2):145-53.
- Lo-Cho CN, Chung HH, Chiu CM. 1995.** Effects of pruning on the growth and the branch occlusion tendency of Taiwan zelkova (*Zelkova serrata* Hay.) young plantations. Bull Taiwan For Res Inst New Ser 10(3):315-24.
- Lo-Cho CN, Chung HH, Chiu CM, Chou CF, Lo SS. 1989.** Natural regeneration of cypress old growth by selective cutting and intensive site preparation. Bull Taiwan For Res Inst New Ser 4(4):197-217.
- Lo-Cho CN, Chung HH, Chen YC. 1988.** Effects of pruning on the growth and the branch occlusion of Taiwan (*Taiwania cryptomerioides* Hayata) young plantation. Bull Taiwan For Res Inst New Series 3(4):241-53.
- Lrecente CF, Soares P, Tome M, Diegues AV. 2010.** Modeling annual individual-tree growth and mortality of Scots pine with data obtained at irregular measurement intervals and containing missing observations. For Ecol Manage 260:1965-74.
- Newton PF, Lei Y, Zhang SY. 2005.** Stand-level diameter distribution yield model for black spruce plantations. For Ecol Manage 209:181-92.
- Nyland RD. 2002.** Silviculture concepts and application. 2nd ed. New York: McGraw-Hill Higher. p 506-45.
- Oliver CD, Larson BC. 1996.** Forest stand dynamics, update edition. New York. Wiley & Sons. 520 p.
- Shepherd KR. 1986.** Plantation silviculture. Boston, MA: Martinus Nijhoeff Publisher. 322 p.
- Smith DM. 1986.** The practice of silviculture. New York: Wiley and Sons. 527 p.
- Su HJ. 1985.** Studies on the climate and vegetation types of the natural forests in Taiwan. (III). A scheme of geographical climatic regions. Q J Chin For 18(3):33-44.
- Su HJ. 1992.** Vegetation of Taiwan: altitudinal vegetation zones and geographical climatic regions. Taipei, Taiwan: Institute of Botany, Academic Sinica Monograph Series No. 11:39-53.
- Taiwan Forest Bureau. 1995.** The third forest resources and land use inventory in Taiwan. Taipei, Taiwan: Taiwan Forest Bureau. 258 p.
- Wei JT, Chen TY. 2007.** Study on vegetation classification in Chi-Lan Shan. Expt For Nat Taiwan Univ. 21(2):133-45.
- Yang YC, Lin WL. 2003.** Forest measurement. city, Taiwan: National Translation and Compilation Center. 309 p.
- Yang YC, Lin ST. 2007.** Crown structures of naturally regenerated *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana* in Chi Lan-Shan. Yilan, Taiwan: Department of Natural Resources, National Ilan Univ. 78 p.
- Yen TM. 1999.** Comparisons of direct and

indirect estimation methods for stand structure of *Chamaecyparis formosensis* plantations. Q J Chin For 32(3):347-56.

Yen TM. 2002. Stand density management of *Chamaecyparis formosensis* plantations. Q J

Chin For 35(1):55-67.

Yuan HW, Ding TS, Tsai JS. 2004. Effects of removing *Chamaecyparis* sp. snags and logs on bird communities in Chilan Mt. Q J Chin For 37(1):29-36.