

研究報告

應用 Hegyi 競爭指數規劃針闊葉混淆林林相改良之研究

孫正華¹ 蘇泓銘² 顏添明³

【摘要】本研究的目的是在於探討以擇伐作業為基礎之林相改良方案，研究區域位於臺灣中部地區之惠蓀林場，林分為香杉 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. var. *konishii* (Hay.) Fujita form. *Konishii*.) 與闊葉混淆林，分別以胸高斷面積為基準，採用擇伐度為20%、40%及60%等不同方案進行林相改良方案之規劃，並考慮林木空間配置的排列，應用Hegyi競爭指數選取擇伐木。研究結果顯示株數、材積、樹冠競爭情形隨擇伐強度增加而有降低趨勢，而林木生長空間及孔隙率則隨擇伐強度增加而提升。另外本研究以 Weibull 機率密度模擬林分之直徑分布，發現各處理皆呈左偏歪之鐘型分布。經評估各方案後，以擇伐40%之林相改良效果較佳。

【關鍵詞】香杉、林相改良、Hegyi 競爭指數

Using Hegyi Competition Index to Plan the Timber Stand Improvement Operation in a Conifer-hard Wood Forest

Cheng-Hua Sun¹ Hung-Ming Su² Tian-Ming Yen³

【Abstract】The purpose of this study was to plan timber stand improvement operation based on selection cutting. This study was conducted on a mixed *Cunninghamia lanceolata* (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. var. *konishii* (Hay.) Fujita form. *Konishii*.) and hard wood forest in Hue-Sun Experimental Forest of central Taiwan. We designed different alternatives of selection cutting, i.e., selection cutting 20%, 40%, and 60%, respectively, based on basal area. We used the Hegyi competition index to select trees which should be cut that can consider spatial distribution. The result of this study showed the number, volume and crown competition declined while tree growth space and gap rate enhanced with increasing cutting rate. In addition, the Weibull function was used to model diameter distributions, and showed a left-skewed distribution for the all stands after treatments. Moreover, we found that the selection cutting 40% is suitable for timber stand improvement after evaluating different alternatives of selection cutting.

【key words】*Cunninghamia lanceolata*, timber stand improvement, the Hegyi competition index.

1. 國立中興大學森林學系博士候選人

Ph.D. Candidate, Department of Forestry, NCHU.

2. 國立中興大學森林學系學生

Student, Department of Forestry, National Chung Hsing University.

3. 國立中興大學森林學系副教授，通訊作者

Associate Professor, Department of Forestry, NCHU, Corresponding author. E-mail: tmyen@nchu.edu.tw

一、前言

林相改良 (timber stand improvement) 的目的在於維持原林中生長良好的林的品質，並藉由擇伐 (selection cutting) 作業的方式伐除被壓木及劣勢木，在經營作業上屬於較緩和的一種作業方式 (洪良斌，1974；劉慎孝，1984)。就森林經營的概念而言，林相改良也屬於一種人為干擾，但為較正向的干擾，因可藉由此干擾達到預期的經營目標 (劉一新、高毓斌，1994；Bender, *et al.*, 1997；Yanai, *et al.*, 1998；蔡錦文，2000)。但此種作業方式應慎重考慮及擇伐木的選擇、擇伐強度的決定等因素，因這些因子將會影響林相改良作業的成效 (洪良斌，1983；1984)。

擇伐作業在實際操作上必需考量林分結構及空間配置的問題，林分結構 (stand structure) 為森林組成狀態的重要表示方法，常以樹種組成及胸高直徑 (DBH) 分布表示之 (Husch *et al.*, 1982)，因為 DBH 容易量測且能用以推估林木蓄積量，若配合時間尺度，則不同時期林分結構可表示林分生長狀況 (Bailey and Dell, 1973)。而林分直徑分布的描述及數量化可用 Weibull 機率密度函數 (Weibull probability distribution function) 來模擬，此函數具彈性可有效反應林分結構，模擬分析不同伐木作業強度對林分生長的影響 (Bailey and Dell, 1973；李久先、陳朝圳，1985；1990；李久先、顏添明，1994；顏添明，1997；Lin, *et al.*, 2007)。實施擇伐或疏伐的主要目的是釋放林木的生長空間，即降低競爭壓力，因此競爭指數 (competition index; CI) 常作為決定伐採作業時的指標 (馮豐隆等，2001；林金樹，2008；李隆恩、顏添明，2010)。競爭指數是一種數學指數，可用以評估及預測林木 (目標木) 遭遇競爭壓力之程度，並在時間與空間上的變化，其中 Hegyi 競爭指數為常用而簡單的一種 (Spurr, 1962；Heygi, 1974；Daniels, 1976；Martin and Ek, 1984；汪大雄等，2004；李隆恩、顏添明，2010)。傳統擇伐作業多是建立伐木準則後，

在野外以經驗法則來選擇被伐木，缺乏系統的規劃設計。而林木位置圖除了可表現林木在空間分布的相對位置，亦能計算林木間的距離及競爭情形，是選擇被伐木及評估林分伐採前後狀態的有效規劃工具 (馮豐隆等，2001；林金樹，2008)。

因此本研究的目的在利用林木位置圖及林木屬性資料，以 Hegyi 競爭指數規劃不同擇伐強度之林相，探討不同擇伐強度對林分的影響，作為研究區域林相改良規劃參考。研究區位於惠蓀林場第3林班通往湯公碑之步道旁，平時遊客眾多，原為香杉人工林於1964年栽植後受闊葉樹入侵，形成針闊葉混淆林，由於香杉生長情況不良，因此計劃以擇伐作業進行林相改良，去劣留優使林分品質提高。研究區為遭其他樹種入侵之混淆林，而這些樹種大多為本土樹種，具生態上的意義，所以在擇伐的規劃上擬保留多數本土樹種，以擇伐香杉為主，利用胸高斷面積計算研究區內之擇伐率，以擇伐度20%、40%、60%為例，探討其對林相改良的影響，以做為擇伐作業之參考。

二、研究材料與方法

(一) 研究區概況

本研究區位於惠蓀林場第3林班之香杉人工林，香杉 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. var. *konishii* (Hay.) Fujita form. *Konishii*)，又稱巒大杉，屬於杉科 (*Taxodiaceae*)，杉木屬 (*Cunninghamia*)，為台灣主要經濟樹種。該林分於1964年栽植，全林面積為1.02 ha，1977年實施疏伐作業，目前受其他針、闊葉樹種入侵成為針闊葉混淆林。入侵樹種包含台灣二葉松 (*Pinus taiwanensis* Hayata)、台灣五葉松 (*Pinus morrisonicola* Hayata)、台灣肖楠 (*Calocedrus formosana* (Florin) Florin)、杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 等4種針葉樹，以及香楠 (*Machilus zuihoensis* Hay. Var. *zuihoensis*)、木荷 (*Schima superba* Gard. et Champ. var. *superba*)、

山紅柿 (*Diospyros morrisiana* Hance)、杜英 (*Elaeocarpus sylvestris* (Lour.) Poir. var. *sylvestris*)、楊梅 (*Myrica rubra* Sieb. & Zucc.)、細葉鰻頭果 (*Glochidion rubrum* Blume)、薯豆 (*Elaeocarpus kobanmochi* Koidz.)、三叉虎 (*Melicope pteleifolia* (Champ. ex Benth.) T. Hartley)、大頭茶 (*Gordonia axillaris* (Roxb.) Dietr.)、山漆 (*Rhus succedanca* Linn.)、天臺烏藥 (*Lindera aggregata* (Sims) Kosterm.)、台灣黃杞 (*Engelhardtia roxburghiana* Wall.)、白杞子 (*Mallotus paniculatus* (Lam.) Muell-Arg.)、大葉石櫟 (*Pasania kawakamii*)、埔里杜鵑

(*Rhododendron breviperulatum* Hayata)、大葉桃花心木 (*Swietenia macrophylla* King)、烏皮九芎 (*Styrax formosana* Matsum.) 等16種闊葉樹種，據該林分每木調查的結果，林地內總株數為617株，其中香杉占408株，為66.13%，其他樹種有209株，占總株數的33.87% (蘇泓銘、顏添明，2010)，本研究採用表1之材積式推估立木材積，林分之特性則以每木調查及材積式推估結果如表2所示。而本研究計算林分內之擇伐率，係以胸高斷面積百分比為基準，並依擇伐強度進行擇伐20%、擇伐40%、擇伐60%及未處理之對照組等四種處理進行規劃。

表1. 本研究採用之材積式

Table 1. The volume equations in this study.

樹種	材積式	參考文獻
香杉	$V = -0.022780 + 0.000746 \text{ DBH}^2$	劉宣誠等 (1974)
松類	$V = 0.487986 - 0.003504 \text{ DBH} + 0.000905 \text{ DBH}^2$	楊寶霖、石子材 (1963)
杉木	$\log V = 0.71300 + 1.34335 \log(\text{DBH}/100)$	劉慎孝 (1969)
其他闊葉樹	$V = 0.2072 - 0.013181 \text{ DBH} + 0.000642 \text{ DBH}^2$	楊寶霖、石子材 (1963)

備註：V為材積(m³)，DBH為胸高直徑(cm)

表2. 研究區之林分特性

Table 2. Stand characteristics of study area

株數密度 (Number / ha)	枯死率(%)	平均DBH (cm)	單位材積 (m ³ / ha)	樹種組成(%)	
				香杉	其他樹種
604.90	20.75	22.63 ± 0.90	215.60	66.13	33.87

(二) 研究方法

1. 建立林木屬性資料及製作林木位置圖

本研究於林分內進行每木調查，調查項目包括樹種、胸徑、樹高、立木是否已枯死，所有立木無論是否枯死，皆將其編號並標定位置，並利用地理資訊系統 (geographic information system, GIS) 軟體將已標定之座標位置製為林木位置圖，以瞭解林木之空間分布狀況。此外，利用相關材積式 (表1) 推估林分之蓄積量。

2. 擇伐木選擇

研究區為香杉人工林受闊葉樹入侵所形成之針闊葉混淆林，該林分位於遊客眾多的步道旁，由於地位較低，林木生長不良、枯死率高，而入侵樹種多為本土樹種，具生態上的意義，因此在擇伐的規劃上擬保留本土樹種，僅擇伐香杉，由於本研究區域位於步道旁，不適合進行皆伐，即不宜全面變更林相，而是以擇伐方式進行林相改良。

本研究採用之擇伐木選擇標準為：

- (1) 枯死木先行伐除。
- (2) 選取香杉為主要擇伐對象。

(3) 以空間位置計算Hegyi競爭指數，擇伐木的選取依競爭程度由高至低。

本研究主要考慮空間配置選取擇伐木，著重於提升現有混濶林林相品質，擇伐之標準以胸高斷面積為計算基礎，以對照組、20%、40%及60%之胸高斷面積擇伐度，進行林相改良規劃模擬。

3. Hegyi競爭指數

Hegyi 於1974年提出 Hegyi 競爭指數，用以計算林木之競爭，原始公式因分母可能為 0，為避免此情形，其後學者將公式改良，有關改良後之Hegyi競爭指數如(1)式所示 (Hegyi, 1974；汪大雄等，2004；李隆恩、顏添明，2010)。

$$CI_j = \sum_{i=1}^n \left[\frac{D_i}{D_j} \times \frac{1}{L_{ij} + 1} \right] \dots\dots\dots(1)$$

(1)式中，CI_j 為第j株林木的競爭指數，D_i 為競爭林木i之 DBH，D_j 為留存林木之DBH，L_{ij} 為留存木與競爭林木間之距離 (m)，n為以留存木為中心，用搜尋半徑繞測一周所測得的競爭木總數。

而競爭木的界定，本研究採用 Filipescu and Comeau (2007) 的建議，依照留存木胸徑比例來設定，當留存木之 DBH<8 cm 時，競爭木之搜尋半徑採用3.04 m(0.005 ha)；DBH介於 8-16 cm 時，搜尋半徑採用3.99 m(0.01 ha)；DBH> 16 cm 時，搜尋半徑採用5.65 m (0.02 ha)。

模擬時先將枯立、病死木伐除，再由競爭指數最大的林木開始擇伐，直到達到預定之擇伐量。

3. 林分結構模擬及Weibull參數求解

為模擬不同擇伐強度的林相改良作業對林分結構的影響，本研究採用 Weibull 機率密度函數模擬林分直徑分布，其公式如(2)式所示 (Bailey and Dell, 1973)。

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

(2)式中，x為胸高直徑，a、b、c是Weibull機率密度參數。

本研究以最大似法求解該函數之參數。計算所得結果以 Kolmogorov- Smirnov (K-S) 適合度測驗檢測林分直徑分布理論值與期望值之差異 (Sokal and Rohlf, 1981)，其假設為：

H₀：直徑分布之理論值與觀測值無顯著差異

H₁：當D_n>D_n(α)時，則推翻H₀

D_n：各組間理論值和觀測值之差，取絕對值後之最大值，以(3)式表示之。

$$D_n = \frac{Max|F(x) - F_n(x)|}{n} \dots\dots\dots(3)$$

(3)式中，F(x)為 Weibull 函數之累積分布函數，F_n(x)：觀測值之累積直徑分布機率。D_n(α) 為K-S 檢定之臨界值，以(4)式表示之。

$$D_n(\alpha) = \sqrt{\frac{-\ln\left(\frac{1}{2\alpha}\right)}{2n}} \dots\dots\dots(4)$$

(4)式中，α 為顯著水準；n是樣區林木株數。

4. 不同擇伐強度對林相改良效果之評估

本研究模擬不同擇伐強度林分改良的結果，並以樹冠競爭指數 (Crown Competition Factor, CCF) 及林分性態值的變化來評估不同擇伐強度對林分的影響。其中CCF之計算式如(5)式 (楊榮啓、林文亮，2004)。

$$CCF(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n MCA_i}{Area} \times 100 \dots\dots\dots(5)$$

另外，為模擬不同擇伐強度之林分孔隙變化情形，利用樹冠直徑推估模式計算林木樹冠投影面積如(6)式 (焦國模，1970)，並與林木位置圖整合，計算不同擇伐強度之林分孔隙所佔之面積百分比率。

$$Y = 8.5891 + 2.0432 DBH^2 - 0.2259 DBH^3 \dots\dots\dots(6)$$

(6)式中Y為樹冠直徑 (m)，DBH 為胸高直徑 (cm)。

三、結果與討論

(一) 不同擇伐強度之林分改良結果

本研究區為香杉人工林，因林木生長不良且有多數林木枯死木，因此為改良林相、提高林分品質，以擇伐方式進行林相改良，其優點為：(1)可以保留林分原有之優良特性，淘汰不良者；(2)生長良好的香杉仍可以受到保留；(3)可以讓適合，本區域生長的本土樹種或原生

樹種獲得較為寬闊的生長空間；及(4)可在長期監測下，進行後續研究以探討樹種入侵機制的基礎。為瞭解不同擇伐強度對林分改良的影響，本研究計算樹冠競爭指數 CCF、林分孔隙率及林分性態值如表3，並利用樹冠直徑推估模式計算林木樹冠投影面積，與林木位置圖整合結果如圖1。

由表3可知，擇伐強度對株數密度、單位

表3. 林分進行不同處理之林分性態值

Table 3 The stand characteristics of different treatments

擇伐強度	株數密度 (Number/ha)	平均DBH (cm)	單位材積 (m ³ / ha)	CCF (%)	林分孔隙 (%)	樹種組成(%)	
						香杉	其他
對照組	604.90	22.63 ± 0.90	279.01	360.76	8.58	66.13	33.87
擇伐20%	467.65	22.84 ± 1.07	224.07	279.18	11.49	57.86	42.14
擇伐40%	390.20	21.76 ± 1.10	165.32	232.26	12.51	57.29	42.71
擇伐60%	290.20	20.32 ± 1.27	107.34	172.25	16.41	52.36	47.64

材積、樹冠競爭與林分孔隙率部份有明顯的改變，尤其以最大擇伐強度（擇伐60%）與對照組的比較可知，在大幅伐去林木後，樹冠競爭指數降低188.51%，林分孔隙率也增加近一倍，由圖1可明顯看出強度擇伐的林相改良可大幅降低林分冠層擁擠程度與樹冠鬱閉度，即能有效汰劣存優增加林內受光，促進留存木生長達到林相改良目的。表3亦顯示，進行不同擇伐強度的林相改良作業對林分平均DBH、樹種組成影響不顯著，而當擇伐強度到達60%時，則留存林木之平均DBH則有顯著降低。

依據洪良斌(1983、1984)研究，林相改良之擇伐數量以總蓄積量之1/3為宜，如過量擇伐易引起留存木風倒。而以本研究為例適宜之擇伐強度應介於20%~40%間，且由表3顯示擇伐20%與40%之林分性態值差異幅度較其他處理組別為小，即林相改良效果較為接近；另一方面，研究區林木枯死率高於20%，因此以林分性態值之比較而言，本研究建議擇伐強度以40%之處理較為適宜。

(二) 不同擇伐強度之林分結構模擬

為瞭解不同擇伐強度對林分結構的影響，本研究求得不同處理之Weibull機率密度函數模擬擇伐後之林分結構變化如表4，依據表4參數值將對照組及擇伐20%、40%、60%之林分直徑做圖，比較不同擇伐強度之直徑分布差異如圖2所示。

由表4可知，經 K-S 適合度測驗檢測結果，對照組與各處理之 D_n 值皆小於 $D_n(\alpha)$ 值，顯示直徑分布之理論值與觀測值無顯著差異，即 Weibull 機率密度函數可有效模擬擇伐林分之直徑分布。

由表4及圖2可知，b參數隨擇伐強度而降低，與表3情形相同，雖然林分胸徑平均值隨擇伐強度有降低情形，但其變化並不顯著，且在擇伐20%與40%之林分直徑分布差異幅度較其他處理組別為小。

由前人研究指出，Weibull 機率密度模型的形狀參數c值 ≤ 1 時，呈現倒J型曲線；當 $1 < c < 3.6$ 為正偏歪 (positively skewed) 分布；

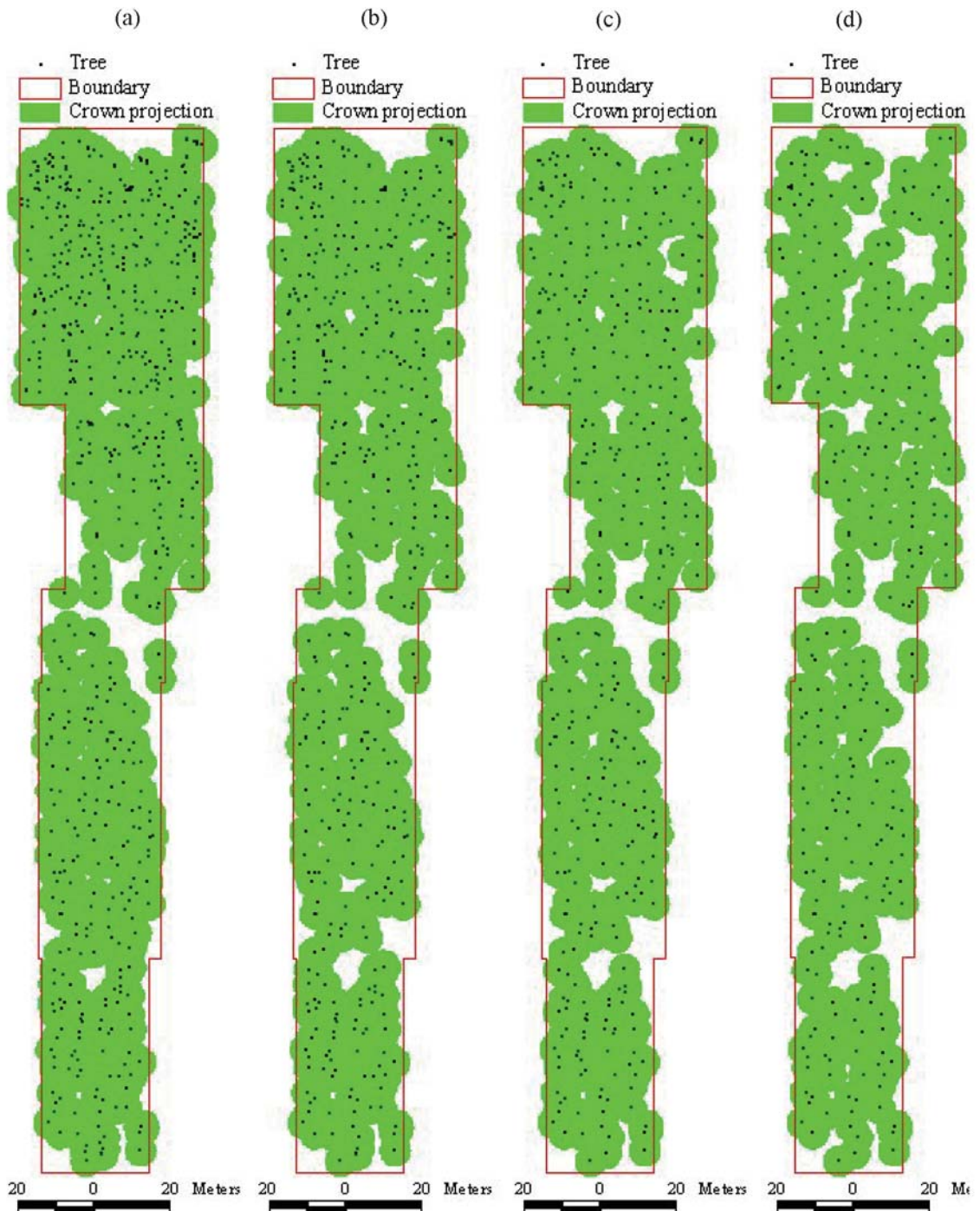


圖1 對照組與擇伐20%、40%、60%之樹冠投影圖

(a) 對照組、(b) 擇伐20%、(c) 擇伐40%、(d) 擇伐60%

Fig. 1. The crown projection map of control group, selection cutting 20%, 40% and 60%

(a) Control group, (b) Selection cutting 20%, (c) Selection cutting 40%, (d) Selection cutting 60%

表4. 不同處理方式之Weibull機率密度函數參數及適合度檢定結果

Table 4. The Weibull parameters and K-S test of different treatments

擇伐強度	b參數	c參數	Dn(α)	Dn	檢定結果
對照組	25.65	2.11	0.04	0.00	Dn < Dn(α)
擇伐20%	25.88	2.04	0.05	0.00	Dn < Dn(α)
擇伐40%	24.68	2.08	0.05	0.00	Dn < Dn(α)
擇伐60%	23.05	1.96	0.06	0.00	Dn < Dn(α)

而 $c=3.6$ 時為常態分布的型態； $c>3.6$ 時為負偏歪 (negatively skewed) 分布 (Bailey and Dell, 1973；李久先、陳朝圳, 1985、1990；李久先、顏添明, 1994；顏添明, 1997；Lin, et al., 2007)。而表4及圖2則顯示本研究各擇伐處理

結果之 c 值隨擇伐強度而降低，但各處理結果之 c 值仍介於 $1 < c < 3.6$ 屬正偏歪分布，顯示研究區對照組及各擇伐處理結果之林分屬於樹種入侵、競爭，形成林分內小徑木分布多、大徑木少之林分結構。

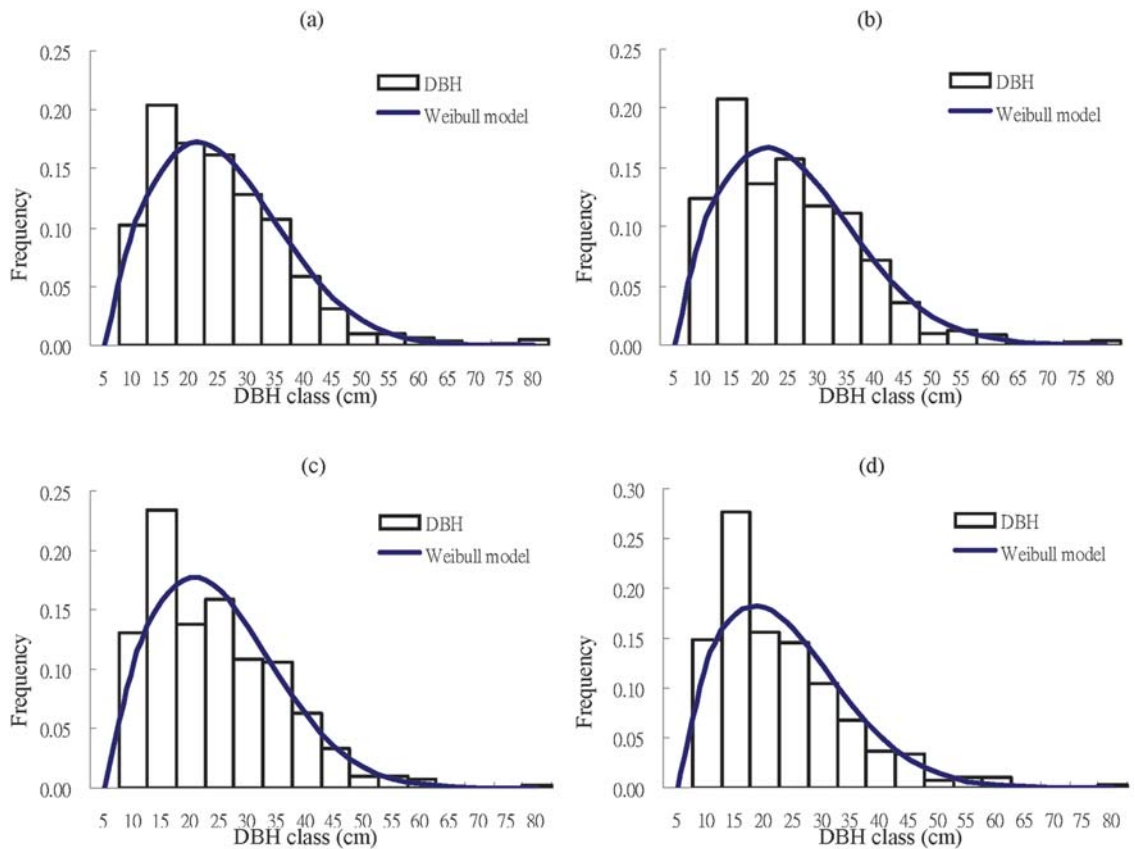


圖2 不同擇伐強度之林分直徑分布圖

(a)對照組、(b)擇伐20%、(c)擇伐40%、(d)擇伐60%

Fig. 2. The stand diameter distributions of different selection cutting

(a) Control group, (b) Selection cutting 20%, (c) Selection cutting 40%, (d) Selection cutting 60%

(三) 不同擇伐強度對留存木之影響

為瞭解不同擇伐作業強度對留存木之影響，將原人工造林之香杉樹種與入侵之其他樹

種分群，不同擇伐作業強度之林分性態值之計算結果如圖3所示。

由圖3可知，隨著擇伐強度的增加林木

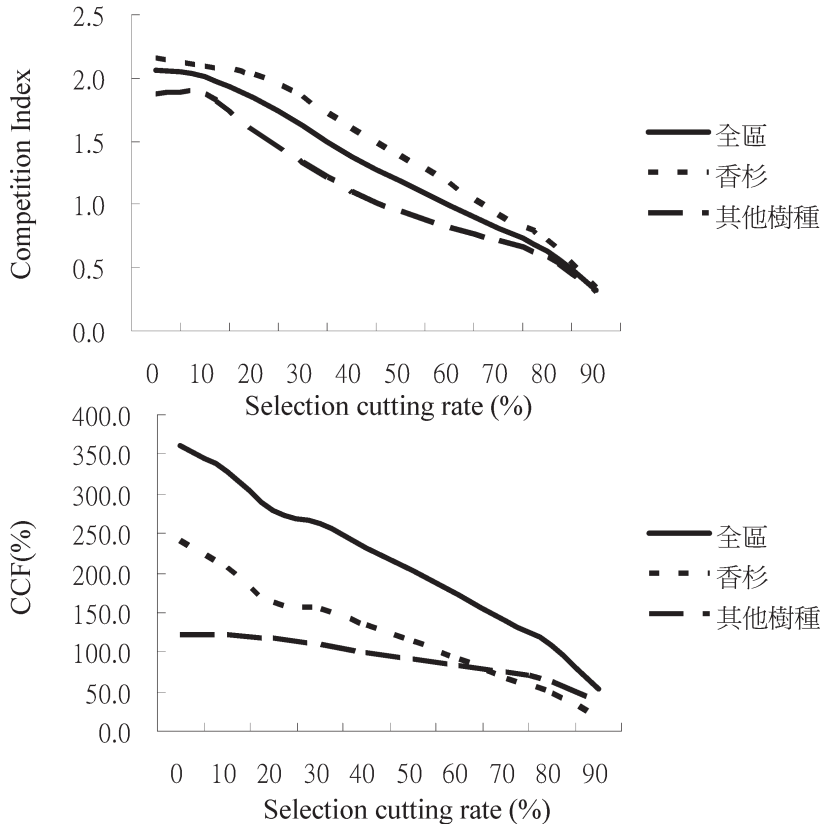


圖3 留存木林分性態值分布圖

Fig. 3. The stand characteristics of retain trees

競爭指數有逐漸下降的趨勢，尤其在擇伐率30%~50%之間降低幅度最大，且香杉之外的入侵樹種降低幅度較大，表示擇伐能有效降低林木競爭，然而對留存木未來生長而言，原人工造林之香杉樹種競爭壓力較其他入侵樹種為大；而在樹冠競爭指數CCF的部份，隨著擇伐強度的增加，CCF有逐漸下降的趨勢，尤其在擇伐率20%以下降低幅度最大，且香杉降低幅度較大，表示擇伐後香杉樹冠疏開程度較大，對留存木而言是增加其他樹種的樹冠生長空間。

為了解不同擇伐作業強度對留存木空間分

布之影響，自研究區中選取0.1 ha小區進行擇伐強度的空間變化模擬如圖4所示。

為進一步了解不同擇伐作業強度對留存木林分結構之影響，將香杉與其他樹種分群，並進行Weibull機率密度函數之計算及林分結構之模擬如表5及圖4所示。由表5可知，經K-S適合度測驗檢測結果，Weibull機率密度函數可有效模擬香杉或其他樹種林分之直徑分布。香杉之b參數隨擇伐強度而降低，雖然林分胸徑平均值隨擇伐強度有降低情形，但其變化並不顯著；而其他樹種之b參數隨擇伐強度而有明顯降低。

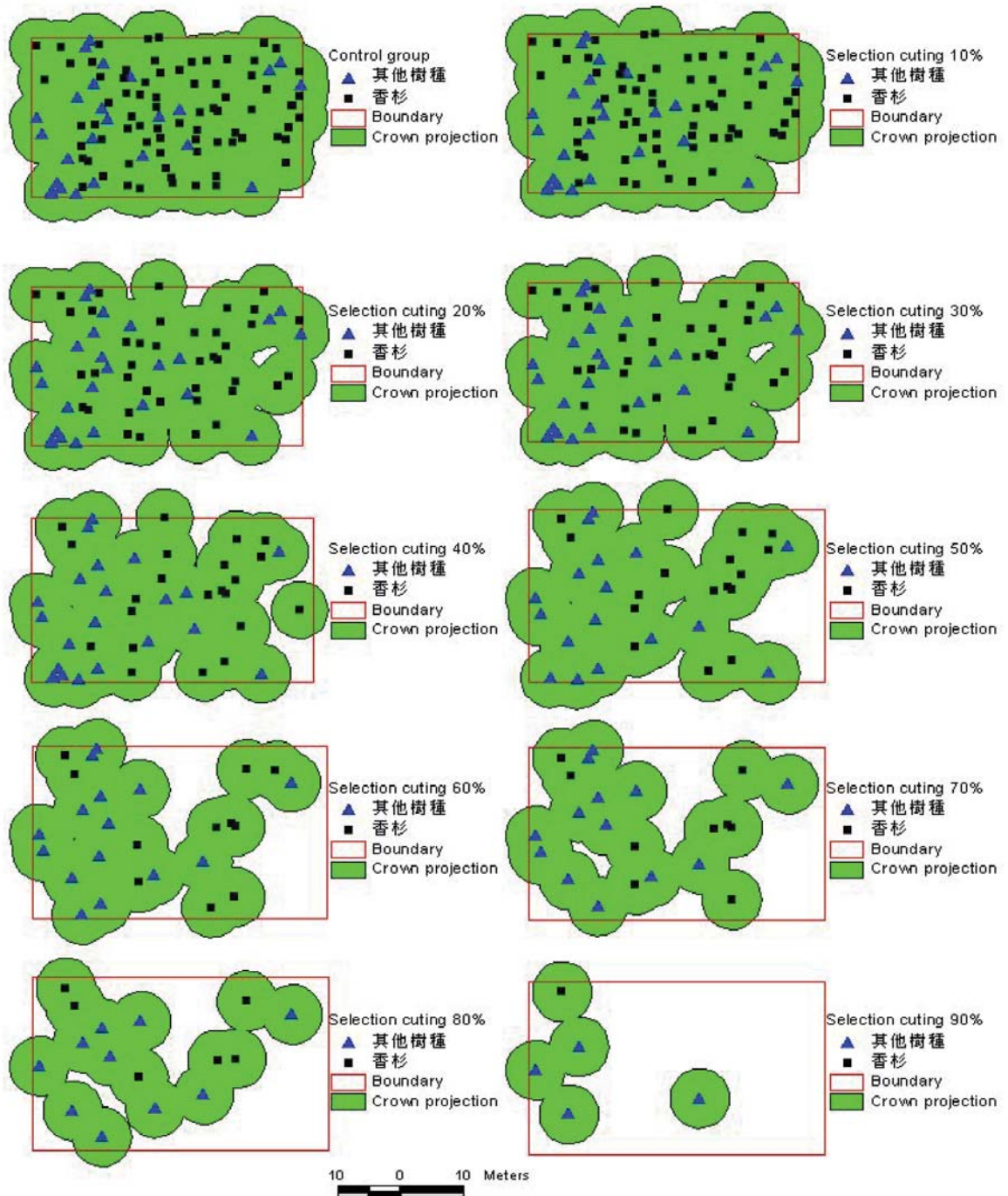


圖4 留存木空間分布圖

Fig. 4. The spatial distribution of retain trees

表5. 不同處理方式之留存木，Weibull機率密度函數之參數及適合度檢定結果

Table 5. The Weibull parameters and K-S test of different treatments to retain trees

樹種	擇伐強度	b參數	c參數	Dn (α)	Dn	檢定結果
香杉	對照組	28.54	3.16	0.05	0.00	Dn < Dn (α)
	擇伐20%	30.82	3.50	0.06	0.00	Dn < Dn (α)
	擇伐40%	30.15	3.37	0.07	0.00	Dn < Dn (α)
	擇伐60%	29.05	3.05	0.09	0.00	Dn < Dn (α)
其他樹種	對照組	19.00	1.47	0.07	0.00	Dn < Dn (α)
	擇伐20%	18.09	1.51	0.08	0.00	Dn < Dn (α)
	擇伐40%	16.52	1.65	0.08	0.00	Dn < Dn (α)
	擇伐60%	15.94	1.65	0.09	0.00	Dn < Dn (α)

由圖5可知，無論香杉或其他樹種，皆能以Weibull機率密度函數有效模擬。香杉胸徑分布與一般同齡之人工林相同多為鐘形分布，表示目前雖為針闊葉混淆林，香杉仍保有人工林的林分結構特性，林分中多數為胸徑生長情形相當的香杉林木。其他樹種則為倒J型分布，林分內之林木直徑分布擁有多數小徑木，且隨直徑增大其株樹有遞減的趨勢，顯示林分結構接近天然林的穩定狀態。

四、結論

本研究區為香杉人工林，因林木生長不良且有多數林木枯死木，因此為改良林相、提高林分品質，藉由競爭指數選取擇伐木，規劃不同強度擇伐作業，探討不同擇伐度對林分的影響，所得結果顯示擇伐強度對株數密度、單位材積、樹冠競爭與林分孔隙率部份有明顯的改善，但對平均DBH則改變較不明顯。採用Hegyi競爭指數選取擇伐木之擇伐作業，有效考量到空間配置的問題，讓留存木能獲得較均質的生長環境。在林分直徑分布上，不論以Weibull 機率密度函數模擬香杉或其他樹種，所得之效果均相當良好。由於研究區枯死木之數量已達20%，必需悉數伐除，然若擇伐強度太大，恐有風害之虞，因此本研究建議以擇伐

40%之處理較為適宜。此外，本研究所建立的林木位置圖及不同擇伐強度對林分影響之相關資訊，可一併做為林相改良作業之參考。

五、參考文獻

- 李久先、陳朝圳 (1985) 大雪山地區紅檜人工林幼齡人工林之疏伐—疏伐對直徑分布的影響。中華林學季刊, 18(1):19-28。
- 李久先、陳朝圳 (1990) Weibull機率密度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 (1994) 人工林林分生長之探討—疏伐對林分結構及其生長的影響。中興大學實驗林研究報告, 16(1):103-113。
- 李隆恩、顏添明 (2010) 紅檜人工林疏伐後4年對林分及單木層級之影響。中華林學季刊, 43(2):247-258。
- 汪大雄、王兆桓、高毓斌、吳楊浚 (2004) 多納地區台灣杉與台灣赤陽人工混淆林生長競爭之研究。台灣林業科學19(4):337-351。
- 林金樹 (2008) 疏伐強度對平地造林林分蓄積及地上部生物量影響之研究。行政院農委會林務局, 62頁。
- 洪良斌 (1974) 談臺灣天然林林相改良。今日造林, 55:38-46。

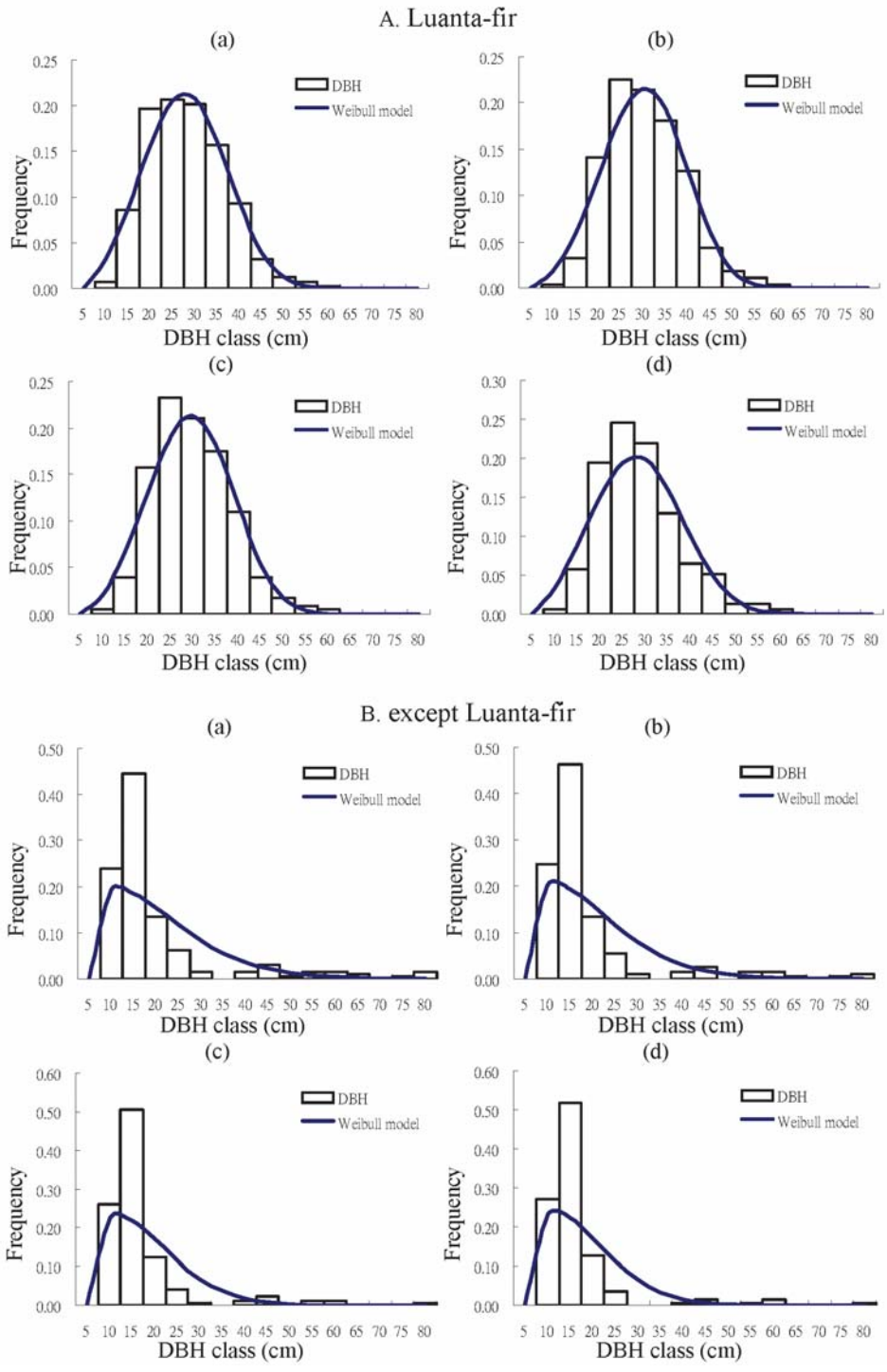


圖5 留存木林分直徑分布圖(A.香杉、B.其他樹種)

(a)對照組、(b)擇伐20%、(c)擇伐40%、(d)擇伐60%

Fig. 5. The stand diameter distributions of retain trees(A.Luanta-fir, B.except Luanta-fir)

(a) Control group, (b) Selection cutting 20%, (c) Selection cutting 40%, (d) Selection cutting 60%

- 洪良斌 (1983) 蓮華池天然闊葉林林相改良之效果。中華林學季刊16(4):411-420。
- 洪良斌 (1984) 臺灣高山地區天然生檜木林擇伐改良之效果。中華林學季刊17(4):47-56。
- 焦國模 (1970) 台大實驗林溪頭營林區航空判釋用柳杉區域性材積表之編製。中華林學季刊, 3(4) : 107-130。
- 馮豐隆、李宣德、林明進 (2001) 林木位置圖應用於香杉之疏伐業務。林業研究季刊, 23(2):77-88。
- 楊榮啓、林文亮 (2004) 森林測計學。國立編譯館出版。
- 楊寶霖、石子材 (1963) 空中照片判釋用林分材積表(二)。台灣省農林航空測量隊叢刊第十號。
- 劉一新、高毓斌 (1994) 林相改良作業對台灣南部低海拔闊葉林林分組成結構之影響。林業試驗所研究報告季刊, 9(4) : 317-329。
- 劉宣誠、鄭宗元、陳麗琴 (1974) 蓮華池變大杉造林木生長之研究。林業試驗所報告。
- 劉慎孝 (1969) 杉木林分適中立木度之查定研究。中華林學季刊, 2(4):122-133。
- 劉慎孝 (1984) 林相改良與林相變更。中華林學季刊, 17(4):93-94。
- 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。台灣大學森林學研究所碩士論文。63頁。
- 顏添明 (1997) 臺灣大雪山地區紅檜人工林生長收穫系統之研究。國立中興大學森林學研究所博士論文。178頁。
- 蘇泓銘、顏添明 (2010) 應用Weibull 機率密度函數探討針闊葉混淆林之直徑分布。中華林學會 99 年度學術論文發表會論文集。
- Bailey, R. L. and T. R. Dell (1973) Quantifying diameter distributions with the Weibull function. Forest Science. 19:97-104.
- Bender, L. C., D. L. Minnis., and J. B. Haufler. (1997) Wildlife responses to thinning red pine. Northern Journal of Applied Forestry. 14(3):141-146.
- Daniels, R. F. (1976) Simple competition indices and their correlation with annual loblolly pine tree growth. Forest Science. 22:454-56.
- Filipescu, C. N., and P. G. Comeau (2007) Competitive interaction between aspen and white spruce vary with stand age in boreal mixedwoods. Forest Ecology and Management. 247:175-184.
- Hegyi, F. (1974) A simulation model for management Jack-pine stand. Growth models for tree and stand simulation. Royal Coll. Res.no.30:74-87.
- Husch, B., C. I. Miller., and T. W. Beer. (1982) Forest mensuration. 3rd ed. The Roland Press Co., New York.
- Lin, C., M. H. Chan., F. S. Chen., and Y. N. Wang. (2007) Age structure and growth pattern of an endangered species, *Amentotaxus formosana* Li. Journal of Integrative Plant Biology. 49(2): 157-167.
- Martin, G. L and A. R. Ek. (1984) A comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth. Forest Science. 30(3):731-43.
- Rokal, R. R., and F. J. Rohlf (1981) Biometry. 2st ed. W. H. Freeman and Company, San Francisco. p. 691-778.
- Spurr, S. H. (1962) A measure of point density. Forest Science. 8:85-96.
- Yanai, R. D., M. J. Twery., and S. L. Stout (1998) Woody understory response to changes in overstory density: thinning in Allegheny hardwoods. Forest Ecology and Management. 102(1):45-60.