

## 紅檜人工林單木生長之研究(二)

### - Chapman-Richards生長模式在疏伐林分之應用

李久先<sup>(1)</sup> 顏添明<sup>(2)</sup>

【摘要】本研究以大雪山地區紅檜人工林疏伐林分為材料，採用三個參數的Chapman-Richards生長模式模擬不同疏伐強度林分之單木胸高斷面積生長，模擬結果以Kolmogorov-Smirnov適合度測驗檢測理論值和觀測值間的差異，結果顯示模擬效果良好，並以同化作用及異化作用為基礎探討不同疏伐強度間林木胸高斷面積生長速率之差異，由本研究的結果可知，不論以生長量或生長速率的觀點而言，Chapman-Richards生長模式可以有效的解釋疏伐對單木胸高斷面積生長所造成的影響。

【關鍵詞】Chapman-Richards、同化作用、異化作用

## Studies on Individual Tree Growth of *Chamaecyparis formosensis* Plantations( II)

### - The Application of Chapman-Richards Growth Model on Thinning Stand

Jou-Shian Lee<sup>(1)</sup> Tain-Ming Yen<sup>(2)</sup>

【Abstract】The study explored data collected from thinning plantations of *Chamaecyparis formosensis* in Ta-Hsueh-Shan, in the central part of Taiwan. In

---

(1)國立中興大學森林學系教授

Professor, Department of Forestry, NCHU.

(2)國立中興大學森林學研究所研究生

Graduate student, Research Institute of Forestry, NCHU.

this study three parameters Chapman-Richards growth model was applied in individual tree basal area growth of thinning stand. Data set by Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit, the result well. Growth rate by anabolic and catabolic rate are also be discussed. The results of this study shows that the applicability of Chapman-Richards growth model is well, it can be applied in individual tree basal area growth of thinning stand.

【Key words】Chapman-Richards, Anabolic, Catabolic.

## 一、前言

根據林務局第二次全省森林資源調查資料，本省林地面積為1,864,700公頃，佔全島土地面積的52.12%，而生產林地佔林地面積的96%，非生產林地佔林地面積的4%，其中人工林之面積為437,200公頃，約佔生產林地的四分之一(林務局，1991)。人工林在生長的過程中撫育作業常扮演著重要的角色，如疏伐、修枝、除草等。林木栽植成林後草本植物對其所產生的影響漸小，林木彼此間相對的競爭作用漸增，因此如何有效的控制林分密度使其生成有用的良材，為林分密度管理研究人員所重視的重要問題，而疏伐作業能有效的控制林分密度，促進保留木的生長，在人工林的生長應用上已有一段優良的歷史。人工林在森林經營上常以提供林木收穫等經濟目的為其重點，故在發揮經濟功能效用人工林佔有重要的地位，因此疏伐作業不但能提供輪伐期中間的林木收穫且可培養良材，日本林學家安藤(1980)在「林分の密度管理」一書中曾提到保育形式的疏伐，此即含有合理利用林木資源的意思，並可由此觀念延伸，其實疏伐和保育的觀念並不相互衝突。

紅檜為本省固有之優良樹種，有關其生長之研究如黃(1977)曾調查本省不同地區紅檜人工林的生長情形，而疏伐方面的研究，周、王(1967)曾探討溪頭地區紅檜人工林的生長與疏伐，之後有關此樹種的疏伐作業亦有陸續的研究(如李，1985；羅等，1985；1987；顏，1993)，在林木的胸高直徑分布方面，陳(1985)曾以Weibull機率密度函數探討疏伐對林分直徑分布的影響，這些研究不但能有效的提供林分生長的資訊，也為紅檜人工林的經營提供了初步研究的基礎。有關生長模式的研究方面，李、陳(1988)曾以Mitscherlich、Logistic和Gompertz等生長模式模擬單木的生長並比較其中的優劣，疏伐方面的生長研究，顏(1993)曾以二次方程式模擬林分疏伐後的生長情形，李、顏(1994b)則採用Chapman-Richards生長模式模擬不同疏伐強度的單木胸徑、樹高和材積的生長，有關這類生長模式的研究大都只探討到模擬情形的優劣而已，並未對生長機制做一深入的探討，本研究基於此一觀點擬以Chapman-Richards生長模式探討不同疏伐強度對紅檜人工林單木胸高斷面積生長之影響。

Chapman-Richards生長模式係Richards(1959)將von Bertalanffy生長模式一般

化故又稱之為von Bertalanffy生長模式之一般化模式，本模式隨即被廣泛的應用在生長的研究上，大到族群，小至細胞的生長都可以得到合理的解釋，然在人工林的生長研究上 Pienaar and Turnbull(1973)將本生長模式應用在德達松(Slash pine)人工林不同栽植密度之林分胸高斷面積生長上。研究人工林的生長必須要能掌握林分的各項動態資訊，以提供森林經營者參考。而林木之生長乃促成林分隨時間變化之主要原因，如能將林木生長現象數量化，則能更進一步的提供林木經營的重要資訊。因此選擇一合乎生物生長特性的生長模式來提供量化的基礎，並做為生長估測和預測的標準有其必要性，本研究基於此一觀點，以Chapman-Richards生長模式模擬不同疏伐強度林分之單木胸高斷面積的生長，並由同化作用和異化作用的觀點來闡釋不同疏伐強度對單木生長所造成的影響。

## 二、材料及方法

### (一)、試驗材料

本研究之試驗地位於本省中部，屬林務局東勢林區管理處大安溪及八仙山事業區，東經 $120^{\circ}$ 、北緯 $24^{\circ}$ ，海拔1500~2500公尺，為中央山脈之一部分，係經第三紀始新世之造山運動及漸新世之褶曲運動而形成，主要母岩為粘板岩、頁岩，砂岩副之，或為粘板岩與砂岩之互層，結構不堅，岩石排列鬆弱，易受風化崩離，降水易滲入岩層中，抗侵蝕力弱，土壤屬灰壤，地表混有腐質，表土層頗深厚，排水良好〔其他有關本研究區之特性請參考李、顏(1994b)〕。

有關疏伐樣區之單木生長資料，疏伐試驗設定樣區之林分概如次：

大雪山林場210林道距35K管制站2公里路旁，海拔1800~2000公尺，坡度 $20^{\circ}$ ~ $25^{\circ}$ ，為十八年生之紅檜人工林，屬於大安溪事業區，於七年生時實施疏伐作業。

試驗林分為0.6公頃(0.05公頃 $\times$ 12個)。其疏伐試區之疏伐度、試區排列、疏伐木之排列、疏伐木之選定及樣木解析分述如下：

#### 1. 疏伐度

本研究係以不同疏伐度為處理因子，各試驗林分之疏伐度採平均每公頃胸高斷面積保留量為基準：強度疏伐之疏伐度為45%，中度疏伐之疏伐度為30%，弱度疏伐之疏伐度為15%。

#### 2. 試區排列

各試驗林分係採用逢機完全區集設計，四種不同處理(三個不同疏伐強度及一個對照區)三個區集，試驗林分共十二個試區，每一試區0.05公頃，總試區面積為0.6公頃。

#### 3. 疏伐木之選定

疏伐木的選定係依照下層疏伐的原則實施疏伐作業，疏伐時疏伐木之選定順序為：

(1) 枯死木、頻死木；(2) 被害木、被壓木；(3) 形質不良木；(4) 樹冠過度擴張，壓迫鄰接優勢木之生長者；(5) 生長過密之中庸木或優勢木。

#### 4. 樣木解析

本研究於紅檜人工林疏伐後十一年(即十八年生)，各處理伐除標準木三株，四種不同處理共計樣木十二株，將伐除之樣木進行樹幹解析。

## (二)、方法

### 1. Chapman-Richards生長模式

本研究各疏伐樣區之單木生長採用處理為單位，將相同處理所求得的資料，計算各年間胸高斷面積的生長量，以Chapman-Richards生長模式模擬各年間的胸高斷面積生長，有關三個參數的Chapman-Richards生長模式如(1)所示。

$$B = A(1 - e^{-kt})^{1/(1-m)} \quad \text{-----}(1)$$

(1)式中之B:因變數(一般代表生物的生長量，在本研究中表示胸高斷面積的生長量);t:自變數(代表時間);e:自然指數;A,k,m為模式之參數。

本模式係以同化作用和異化作用的理論為基礎如(2)式所示，該式代表生長速率，而生長速率可認為是同化作用( $\eta B^m$ )和異化作用( $\gamma B$ )的結果，將(2)式積分則可得到生長量〔即(1)式〕，其重要的其他特性如生長速率之最大值( $b_{max}$ )、生長速率最大值的發生時間( $t_{max}$ )及此時的生長量( $B_{max}$ )，如(3)~(5)式所示(Richards,1959;Pienaar and Turnbull,1973)。

$$dB/dt = \eta B^m - \gamma B \quad \text{-----}(2)$$

(2)式中之 $\eta$ 為同化作用參數； $\gamma$ 為異化作用參數

$$b_{max} = Akm^{m/(1-m)} \quad \text{-----}(3)$$

$$t_{max} = [-\ln(1-m)]/k \quad \text{-----}(4)$$

$$B_{max} = Am^{1/(1-m)} \quad \text{-----}(5)$$

### 2. 模式的求解

有關三個參數的Chapman-Richards生長模式求解係採用非線性最小平方法(Nonliner least squares method)求解A、k、m三個參數。

### 3. 適合度測驗(Sokal and Rohlf,1981)

以Kolmogorov-Smirnov適合度測驗，測驗各樣本的模擬結果，其方法為：

擬說( $H_0$ )：若經由模擬所得之理論值和觀測值間差異不顯著，則擬說成立。

對立擬說( $H_1$ )：當 $D > D(\alpha)$ 則推翻 $H_0$

$D$ ：各組間理論值和觀測值之差取絕對值後之最大值，再除以生長累積量( $n$ )，以(6)式表示之。

$$D = \text{Max of } |F - F'| / n \text{ -----(6)}$$

$F$ ：經模擬所得之理論值

$F'$ ：觀測值

$D(\alpha)$ 的定義如(7)式所示。

$$D(\alpha) = \sqrt{\frac{-\ln[(1/2)\alpha]}{2n}} \text{ .....(7)}$$

$\alpha$ ：顯著水準

$n$ ：生長累積量

#### 4. 研究流程

有關本研究之流程如圖一所示。

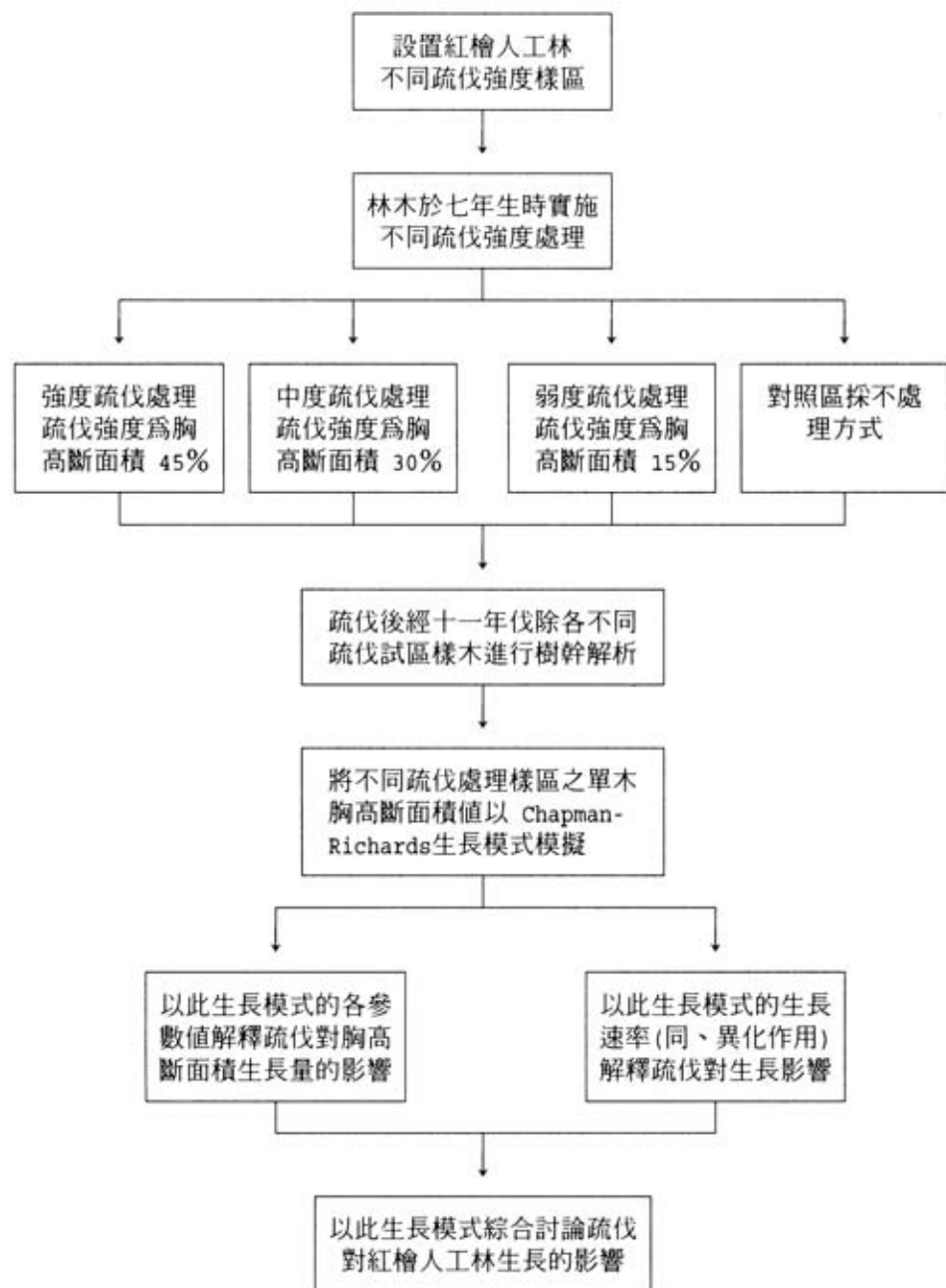


圖 1. 本研究流程圖

Fig.1. The flow chart of this research

### 三、結果與討論

#### (一)疏伐林分之單木生長模擬

本研究係應用 Chapman-Richards 生長模式模擬疏伐林分之單木胸高斷面積生長，所得之參數如表1所示。

表1. 單木胸高斷面積生長之參數推估值

Table 1. Parameter estimates of Individual tree basal area growth model.

疏伐強度	模 式 參 數			RSS
	A	k	m	
強度疏伐	497.5374	0.06572	0.6148	231.0587
中度疏伐	390.3042	0.06654	0.5976	94.0591
弱度疏伐	320.1316	0.07321	0.6058	82.1734
對 照 區	216.3037	0.06966	0.4969	225.7895

註：A、k、m為模式參數；RSS為殘差平方和

各不同疏伐強度林分之單木胸高斷面積生長之殘差分布圖如圖2所示。

#### (二)適合度測驗

以K-S適合度測驗檢測理論值和觀測值的結果如表2所示。

表2. 生長曲線之適合度測驗

Table 2. Test of goodness of fit for growth curve equations.

疏伐強度	檢定統計量	D(α)值	
		α = .05	α = .01
強度疏伐	0.03771	0.0931	0.1190
中度疏伐	0.03445	0.1093	0.1396
弱度疏伐	0.02809	0.1140	0.1366
對 照 區	0.05803	0.1285	0.1537

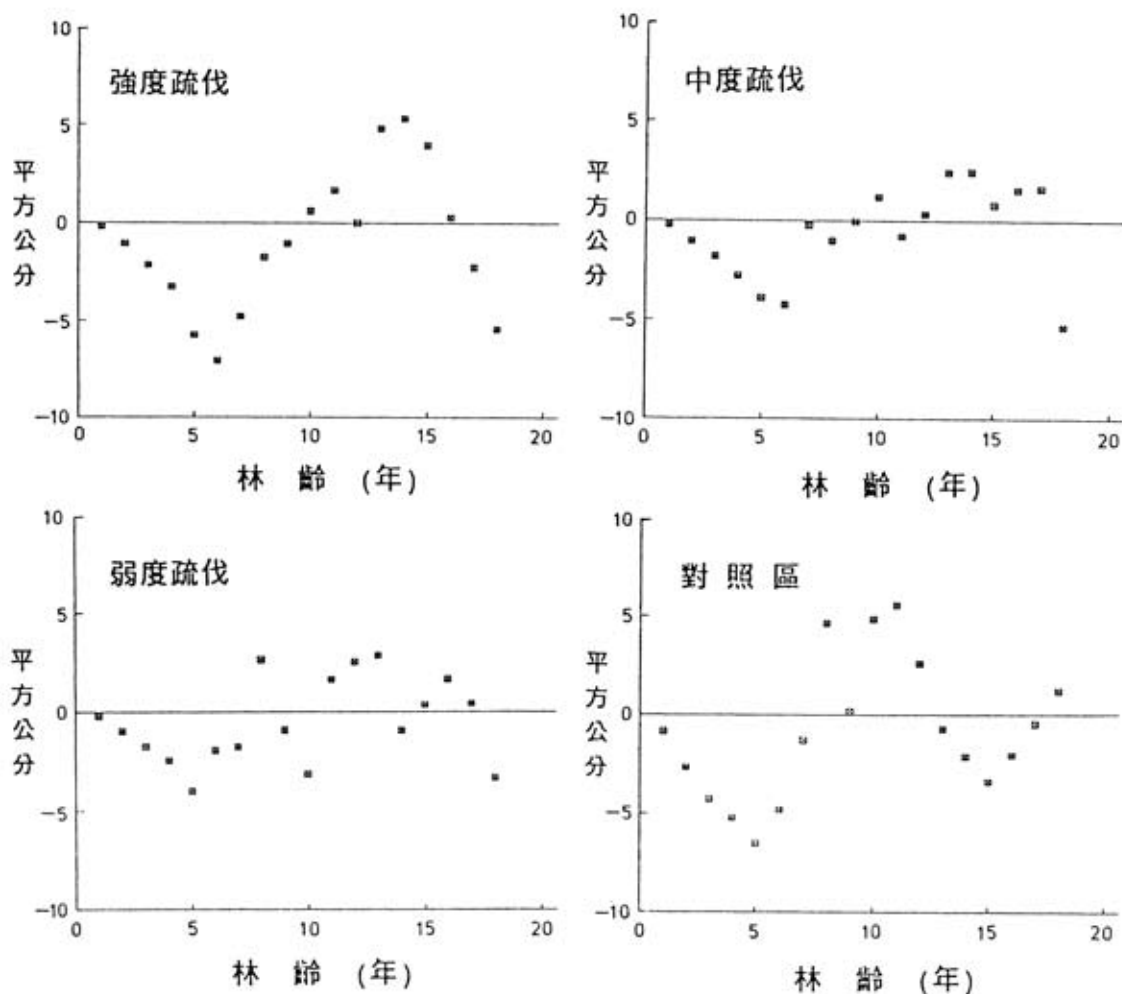


圖 2. 不同疏伐強度林分單木胸高斷面積之殘差分布圖

Fig. 2. Residuals distribution of Individual tree basal area by different thinning intensity

由表2之適合度測驗顯示Chapman-Richards生長模式不論在 $\alpha = 0.05$ 或 $\alpha = 0.01$ 的統計尺度上，各不同疏伐強度的檢定統計量皆小於 $D(\alpha)$ 值，表示本生長模式的模擬效果良好。

### (三)疏伐林分之單木胸高斷面積生長

將表1之參數值以生長曲線表示如圖3所示。



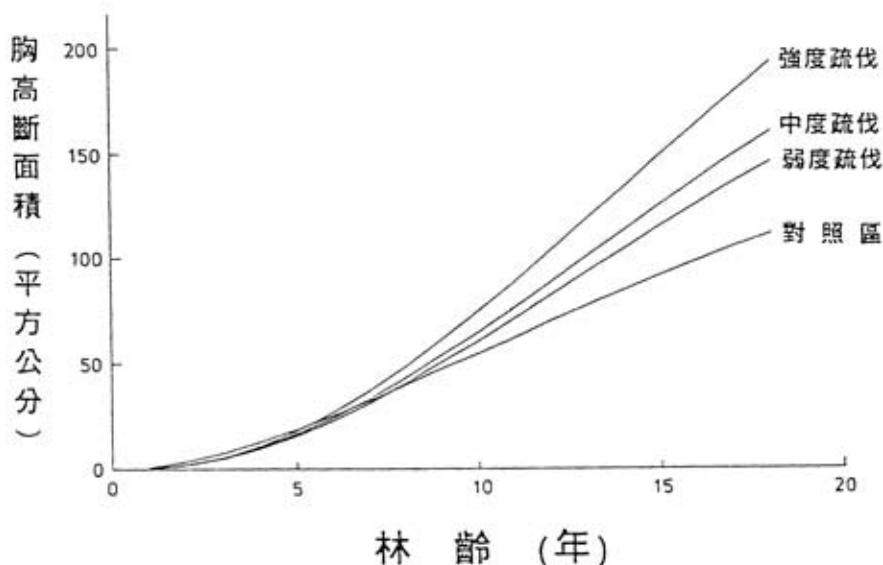


圖3. 不同疏伐強度之單木胸高斷面積生長曲線

Fig. 3. Individual tree basal area growth curve by different thinning intensity.

由圖3的生長曲線圖可知，林分的胸高斷面積生長隨疏伐強度的增加而增加，本試驗林分於七年生時實施疏伐，林分的相對生長空間隨疏伐強度的增加而增加，由本生長模式的模擬結果可有效的解釋疏伐強度對林木胸高斷面積生長所造成的影響。

然本生長模式係以同化作用及異化作用的理論為基礎，將本模式所得結果，反推(2)~(5)式的各參數及介量，其結果如表3所示。

表3. 數學式(2)~(5)式之  $\eta$ 、 $\gamma$ 、 $B_{max}$ 、 $t_{max}$ 、 $b_{max}$  值

Table 3. Values of  $\eta$ 、 $\gamma$ 、 $B_{max}$ 、 $t_{max}$ 、 $b_{max}$  of equations (2) to (5).

疏伐強度	參 數 及 介 量				
	$\eta$	$\gamma$	$B_{max}(cm^2)$	$t_{max}(年)$	$b_{max}(cm^2/年)$
強度疏伐	1.8654	0.1706	140.7267	14.5180	15.0415
中度疏伐	1.8245	0.1654	108.5865	13.6808	12.0908
弱度疏伐	1.8048	0.1857	89.7734	12.7159	10.8486
對照區	2.0705	0.1385	53.8693	9.8621	7.5516

由表3可知，單木胸高斷面積生長曲線發生最大生長速率時間之生長量( $B_{max}$ )隨著疏伐強度的增加而增加，此和林木的生長空間有關，林木相對生長空間大，則林木的生長潛力較大，而疏伐強度的大小可決定林木相對生長空間的大小，由此生長模式的漸近值和疏伐強度間的關係可得到合理的解釋。

將表3之  $\eta$ 、 $\gamma$  參數將其配合(2)式繪成生長速率曲線圖，如圖4所示。

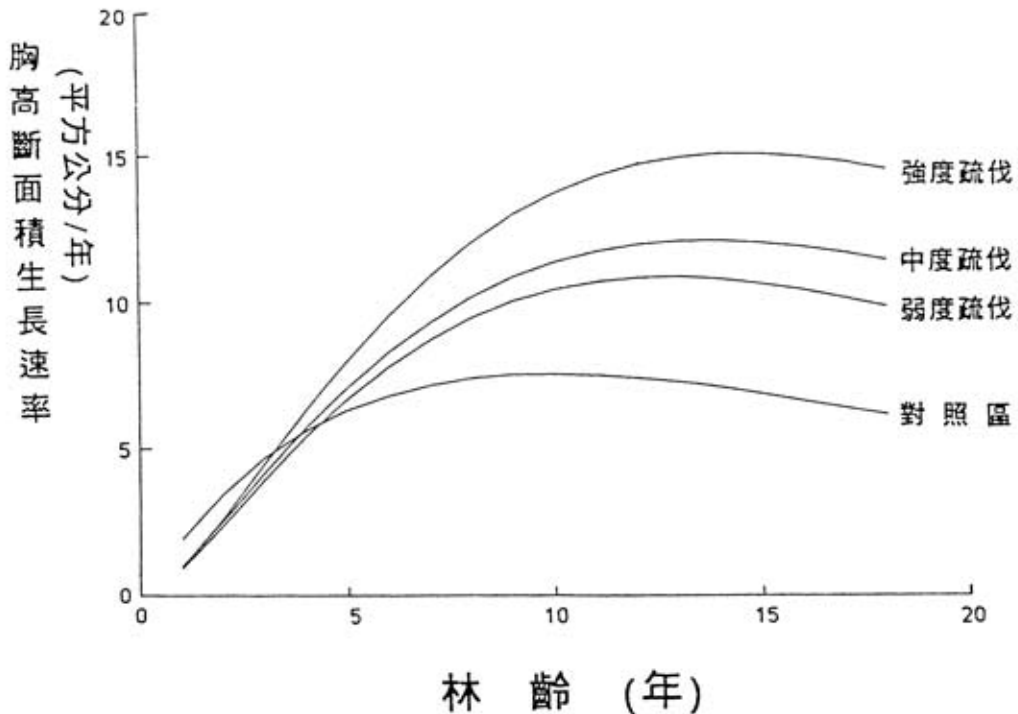


圖 4. 單木胸高斷面積之生長速率

Fig. 4. Growth rate of individual tree basal area

由圖4.及表3可知，林木胸高斷面積生長速率最大值的發生時間隨疏伐強度的增加而增加，此和林木的相對生長空間有關，林木的生長受空間的影響大，若於鬱閉的林分，生長空間效應對林木所發生的影響較早，反之則較晚。疏伐可增加保留木的相對生長空間，故可知  $t_{max}$  會隨疏伐度的增加而漸增。而其生長速率最大值發生的時間所對應之生長速率亦隨疏伐強度的增加而增加，此和上述的原理相同。

Chapman-Richards生長模式係 Richards(1959)將 von Bertalanffy生長模式一般化，Pienaar and Turnbull(1973)則將此生長模式應用在林木生長上，而國內亦有從事本

模式相關之研究(楊, 1985; 楊、馮, 1988; 1990), 李、顏(1994b)將其應用在疏伐及未疏伐林分的單木生長上, 而本研究乃將此生長模式應用在疏伐林分的胸高斷面積生長, 胸高斷面積生長為研究林木生長所常採用的性態值, 由本研究的結果可知Chapman-Richards生長模式可有效的模擬疏伐林分的單木胸高斷面積生長, 且由生長速率的觀點更可有效的來闡釋疏伐對林木生長所造成的效應。

#### 四、結論

本研究以大雪山地區紅檜人工林為材料, 研究疏伐林分之單木胸高斷面積生長, 所得之結果如下:

以Kolmogorov-Smirnov適合度測驗檢測Chapman-Richards生長模式模擬所得之理論值和觀測值間的差異, 顯示其差異不顯著, 表示此生長模式可有效的模擬疏伐林分之單木胸高斷面積生長。

由本模式的模擬結果可知, 疏伐後林木的胸高斷面積生長量隨疏伐強度的增加而增加, 且由模式推估之發生最大生長速率此時之生長量( $B_{max}$ )有隨疏伐強度之增而漸增之趨勢, 代表疏伐後保留木的生長會隨相對生長空間的增加而增加。

由生長速率(即同化作用和異化作用的關係)的觀點解釋林木的胸高斷面積生長速率, 可得強度疏伐林分單木胸高斷面積生長速率最大值所發生的時間為14.1580年, 其生長速率為15.0415平方公分/年; 中度疏伐為13.6808年, 生長速率為12.0980平方公分/年; 弱度疏伐為12.7159年, 生長速率為10.8486平方公分/年; 對照區為9.8621年, 生長速率為7.5516平方公分/年。由此結果可知生長速率最大值所發生的時間隨疏伐強度的增加而增加且此時的生長速率亦隨疏伐強度的增加而漸增。故由同化作用和異化作用的觀點可更進一步的闡釋本生長模式的生物性和合理性。

#### 五、參考文獻

- 李久先 1985 紅檜人工林疏伐之研究(第三年總報告) 國立中興大學森林學系研究報告第202號, 50頁。
- 李久先、陳朝圳 1988 大雪山地區紅檜人工幼齡林單木生長模式之研究 中華林學季刊, 21(2):25-43.
- 李久先、顏添明 1992 間伐對大雪山地區紅檜人工林直徑分布的影響 中興大學實驗林研究報告, 14(2): 89-101.
- 李久先、顏添明 1994a 人工林林分生長之探討—疏伐對林分結構及生長的影響 中興大學實驗林研究報告, 16(1):103-113.
- 李久先、顏添明 1994b 紅檜人工林單木生長之研究(一)-未疏伐林分及疏伐林分單木生長模式模擬效果分析 中興大學實驗林研究報告, 16(2):129-141.

- 林務局 1991 台灣森林經營管理概況, 30頁.
- 周禎、王德春 1967 溪頭紅檜人工林之生長與疏伐 臺灣實驗林林業叢刊第37號:1-13.
- 陳朝圳 1985 大雪山地區紅檜人工幼齡林生長模式之研究 國立中興大學森林學研究所碩士論文, 125頁.
- 黃崑崗 1977 紅檜人工林生長之調查研究 中華林學季刊, 10(2):95-109.
- 楊榮啓 1985 貝爾陀蘭斐生長模式在研究台灣樹木生長分析的適用性 中華林學季刊, 18(4):25-36.
- 楊榮啓、馮豐隆 1988 使用貝爾陀蘭斐模式研究台灣七種樹種生長之適用性探討中華林學季刊, 21(1):41-64.
- 楊榮啓、馮豐隆 1990 史納德、柴普曼—理查梓生長函數式在林木各性態值生長上之應用 國立臺大學農學院研究報告, 30(1):51-63.
- 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, 75頁.
- 羅卓振南、鍾旭和、羅新興、周朝富 1985 紅檜人工林疏伐效果之研究 林試所研究報告第448號, 9頁.
- 羅卓振南、鍾旭和、羅新興、周朝富 1987 六龜地區紅檜人工林疏伐效果之研究林業試驗所研究報告季刊, 2(3):187-189.
- 竹內公男 1980 間伐された林分の蓄積生長模式 日林誌, 62(8): 294-300.
- 安藤 貴 1982 林分の密度管理 農林出版株式會社, 126頁.
- Berry,G.J.,R.J.Cawood.,and R.G.Flood. 1988. Curve fitting of germination data using the Richards function. *Plant,Cell and Environment*,11:183-188.
- Bredenkamp,B.V.,and T.G.Gregoire. 1988. A forestry application of Schnute's generalized growth function. *For.Sci.*,34(3):790-797.
- 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,p.1-139.
- Davis,L.S.,and K.N.Johnson. 1987 *Forest management*. McGraw-Hill.New York,p.95-166.
- Husch,B.,C.I.Miller.,and T.W.Beer. 1982. *Forest mensuration*. 3nd ed.New York:The Ronald Press Co.,p.276-319.
- Richards,F.J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *J.Exp.Botany*, 10(29):290-300.
- Pienaar,L.V.,and K.J.Turnbull. 1973. The Chapman-Richards generalization of von Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even-aged stands. *For.Sci.*,19:2-22.
- Sokal,R.R.,and F.J.Rohlf. 1981. *Biometry*. 2st ed. W.H.Freeman and Company, San Francisco. p.691-778.