

六龜試驗林台灣杉人工林蓄積量及生長估測之研究

陳麗琴^{1,3)} 黃進睦¹⁾ 林俊秀²⁾ 邱祈榮¹⁾

摘要

台灣杉是台灣省林業試驗所六龜試驗林最重要的造林樹種，本研究於其600公頃造林地內設置臨時樣區調查其樹高、胸徑及株數等生長與環境資料，估算各齡級蓄積量及生長量，以提供森林經營決策之參考。台灣杉人工林10-14年生林分有173.6公頃，佔28.5%，每公頃蓄積量為67.1 m³/ha，15-19年生林分有170.7公頃，佔28.0%，每公頃蓄積量為155.5 m³/ha，20-24年生林分有264.6公頃，佔43.5%，每公頃蓄積量為282.8 m³/ha，總蓄積量為113,022 m³，每公頃總平均蓄積量為185.6 m³/ha。材積較好的多半集中在北部高海拔1200 m~1700 m地區，而中低海拔820 m至1200 m地區生長並不好。本研究調查100個臨時樣區生長資料其栽植密度均為2500株/ha，經分析發現，高海拔林齡大的地區枯死率很低，反之則高，此等資料顯示無法將全調查樣區視為均質的齡級延續，以為預測未來株數變化。因此今將全林分分12, 17, 22等三齡級，應用陳麗琴等(1996)所研究之六龜地區台灣杉栽植密度永久樣區單位株數預測模式及單株材積與林齡之關係式，估算各齡級五年後蓄積量，進而總計全林分五年後蓄積量，五年後蓄積量為150,930 m³，五年生長量為37,908 m³，連年生長量為12.5 m³/ha，年生長率為5.8%，在林分10-24年生間，齡級愈大年生長量愈大，並應用機率模式(stochastic model)的觀念，以株數變異係數及常態機率分佈估算出各齡級五年後林分材積級生長潛能。

關鍵詞：台灣杉、蓄積量、生長量、機率模式。

陳麗琴、黃進睦、林俊秀、邱祈榮 1997 六龜試驗林台灣杉人工林蓄積量及生長估測之研究。台灣林業科學 12(3) : 319-327。

Growing Stock and Growth Estimation of *Taiwania* Plantations in the Liukuei Area

Lih-chin Chen,^{1,3)} Gin-mu Huang,¹⁾ Jiunn-shiow Lin²⁾ and Chyi-rong Chiou¹⁾

[Summary]

Taiwania (*Taiwania cryptomerioides*) is one of the most important native conifers for planting. It occupies 600 ha of the total 1,560 ha plantation area in the Liukuei Experimental Forest. In order to provide a reference base for making forest management decisions, we need to know the levels of stock and growth by age class. A systematic sampling scheme was carried out to measure the average height, dbh, and tree density for each of the 100 temporary plots. The environmental factors were also recorded. Each plot was 0.5 ha in size.

-
- 1) 台灣省林業試驗所林業經濟系，台北市南海路 53 號 Divison of Forest Economics, Taiwan Forestry Research Institute, 53 Nan-Hai Rd., Taipei, Taiwan, ROC.
 - 2) 台灣省林業試驗所六龜分所，高雄縣六龜鄉中興村中庄 198 號 Liukuei Station, Taiwan Forestry Research Institute, 198 Chungchuang, Chunghsing Village, Liukuei, Kaoshiung County, Taiwan, ROC.
 - 3) 通訊作者 Corresponding author
1996 年 8 月送審 1997 年 4 月通過 Received August 1996, Accepted April 1997.

Results show that the total stand volume of all plantations was 113,021 m³, and their average volume was 185.6 m³/ha. When we divided the total stock into 3 classes, age-class 12 (10-14 y old) stands occupied 173.6 ha, or, 28.5% of the total Taiwania plantation area. The average stand volume was 67.1 m³/ha. Age-class 17 (15-19 y old) and 22 (20-24 y old) stands occupied 170.6 ha and 264.6 ha, and stand volume averaged 155.5 m³/ha and 264.6 m³/ha, respectively.

Growing stock was better in the northern part of the Liukuei area. The higher elevation here may provide better environment for the growth of Taiwania. Mortality was low in the high elevations among older stands, while high mortality was found mainly at low elevations among younger stands. Hence, tree density correlated positively with age. Because the correlation contradicts the general principle of pure plantation stand development, the 3 age classes were treated separately in the growth prediction model. Results of the 5 y prediction show that the total volume will increase to 150,930 m³, the average CAI (Cumulative Annual Increment) to 12.5 m³/ha, and annual growth rate to 5.8%. We also tabulated the area of different volume classes by using the variance coefficient of tree density and normal probability density distribution function.

Key words: *Taiwania cryptomerioides*, growing stock, growth, stochastic model.

Chen, L. C., G. M. Huang, J. S. Lin, and C. R. Chiou. 1997. Growing stock and growth estimation of Taiwania plantations in the Liukuei area. *Taiwan J. For. Sci.* 12(3): 319-327.

一、緒言

台灣杉(*Taiwania cryptomerioides*)是台灣地區重要造林樹種之一，樹形通直豐滿，主要分布於中央山脈一帶，海拔約1,800 m至2,600 m之間，喜好生長於較濕潤之山谷低窪地區，在天然林中常與紅檜、扁柏、香杉與雲杉等混生(姚榮鼎等, 1995)，台灣省林業試驗所六龜分所自1972年起開始大量栽植台灣杉，為六龜試驗林最重要之造林樹種，其造林地點在海拔高820 m至1800 m左右。為能有系統的了解台灣杉各種生長試驗方法對林木生長的影響，林試所於1993年起開始設置永久樣區，調查相關生長資料，此種方式需長期觀測始能評估其生長及收穫狀況。為能快速了解目前該樹種二十餘年來造林地之生長蓄積情形，本研究計畫於六龜試驗林台灣杉造林地設置臨時樣區調查其樹高、胸徑及株數等相關生長與地理環境資料，估算各齡級蓄積量及生長量，以提供森林經營決策之參考。依據六龜試驗林經營計畫(1989年7月至1998年6月)，六龜試驗林面積9,616.19 ha，立木地佔全試驗林面積97.87%，計9,411.46 ha，依據六龜分所1992年造林台帳資料統計，人工林為1560.4 ha，台灣杉人工林約800 ha左右，可見得台灣杉在六龜試驗林的重要性，從幼齡林至24年生各齡級均分布有造林地，其中約600 ha為以台灣杉為主之10年生以上之林地，其餘200 ha則為台灣杉與其他樹種混淆造林及林分已經處理過之試驗地(自民國75年以後，林試所

造林政策改變，甚少建造台灣杉純林)，本研究為針對前者600ha為調查對象，共設有100個樣點，估算各齡級面積與材積之分佈狀況及其材積年生長量，應對六龜試驗林台灣杉經營狀況會有所瞭解。有關六龜地區台灣杉人工林的研究，以洪良斌(1974)及林維治(1975)較早，前者主要在單株生長研究，後者為栽植距離試驗，後有劉宣誠等(1984)著重於單株生長及材質研究，林照松與洪富文(1991)強調多項生長變數間之關係之研究，這些研究均提供了一些有關台灣杉一般性的生長的資訊。最近劉浚明等(1991, 1993, 1995)在六龜試驗林設置了65個永久樣區及針對113棵樣木進行樹幹解析，進行詳細的林木生長，林分結構的推估及預測，並企圖建立決策支援系統，以達推估林分生長及蓄積量之目的；由於樣區林齡小且長期林分枯死資料不易取得，目前研究重心似乎較傾向為具有生物生長解釋能力的生長模式及推估方式的推演，較為進步但方法複雜。馮豐隆和林子玉(1992)已完成林分結構生長模式系統(Stand & Tree Growth Simulated Modeling System, STGMS)可說是支援決策系統的核心，模式庫內主要包括Weibull函數來描述直徑分佈，及以生物觀點發展的Schnute、Richards、Bertalanffy、及Gompertz生長模式等。其他姚榮鼎(1993)及陳麗琴等(1996)分別分析了溪頭地區及六龜試驗林台灣杉人工林與林分密度關係，主要強調生長量與栽植密度的關係，羅卓振南等(1991)於老濃事業

區進行17年生之疏伐試驗。上述各種研究方法均屬於確定性模式(deterministic model)的應用，其研究結果對於各種不同生長環境所產生生長變異極大的全面性生長研究並不合適，Tanaka (1986, 1988, 1993)曾應用迴歸方式及胸徑階與樹高階本身的變異狀況，估測未來胸徑階與樹高階轉移機率，以編製未來可能的林分結構，Tanaka所發展直徑轉移機率模式(diameter transition probability matrix)為：

$$\Delta x_i = \alpha x_i + \beta + \epsilon_i$$

$$Se = k \cdot \Delta x$$

Δx_i : 各林木在某段生長期間之直徑增加量

i : 每一林木

x_i : 各林木之起始直徑

ϵ_i : 誤差

α, β : 係數

Se: 直徑增加量之標準差

k: 比例常數

Δx : 各 Δx_i 的平均值

假設 Δx_i 與 x_i 呈直線關係，Se值會隨 Δx 的大小呈正比例關係如 Fig. 1 及Fig. 2 所示，將數個林分在不同生長期間，重覆調查直徑生長，經迴歸分析及一些計算，可求得不同生長期間內之不同k值及Se值，由Se值可得出在此段生長期間直徑轉移的機率狀況，進而可求得未來可能直徑分布。因此本研究目的除調查及推估目前六龜試驗林台灣杉人工林蓄積量外，並使用此種具有風險性或不確定性之機率模式(stochastic model)觀念，以所調查橫向資料，在不同齡階下各樣區株數標準差及其常態機率密度方式來

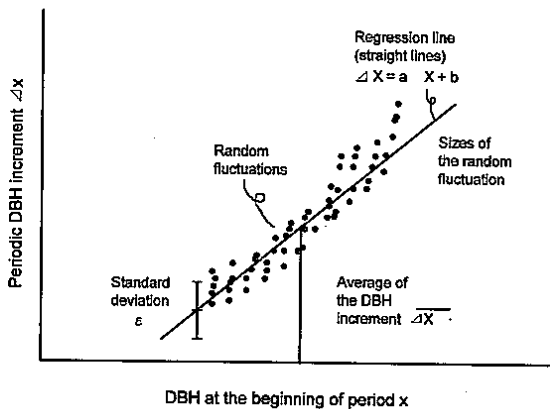


Fig. 1. Illustration of the model of diameter growth at a given forest age (from Tanaka, 1986).

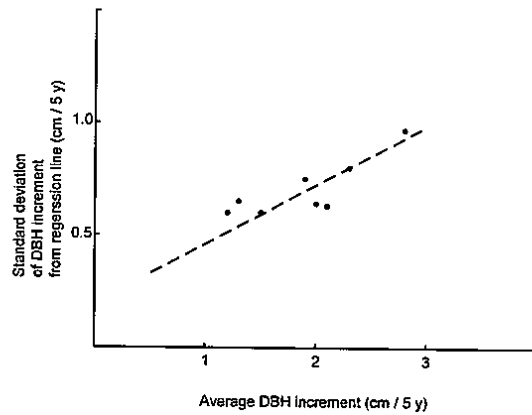


Fig. 2. Relationship between the standard deviation and the average of DBH increments (from Tanaka, 1993).

預測株數機率分布以估算未來五年材積生長潛能。

二、材料與方法

(一)供試林地

本研究之台灣杉造林地係位於林業試驗所六龜分所轄內之試驗。試驗林位於台灣南部，荖濃溪以東，中央山脈西側之狹長地帶，在北緯22° 2'至23° 3'及東經120° 39'59"至120° 45'2"之間，屬高雄縣茂林鄉境內。六龜林區之地質岩層，除南端海拔2,000 m以上嶺線屬中生代之下部粘板岩外，絕大部份屬中生代上部粘板岩層。六龜試驗林境內地形複雜，海拔高相差有2,000 m以上者，區內局部氣候差異極大。北半部嶺線東側及南面之日照量較多，故較乾燥，西側及北面之區域則較濕潤。南半部三面高山，中央為谷地，故較其他地區潮濕。就海拔而言，高海拔地區雨量多，濕度較大，低海拔地區則溫度較高(劉宣誠等，1984)。

(二)研究方法

1. 調查及推估目前台灣杉人工林蓄積量

- (1) 依據六龜試驗林造林台帳及航空照片，統計及判釋台灣杉人工林各齡級之造林面積及位置，並於造林地上，以系統取樣方法設置100個臨時樣區，每樣區為0.05 ha，調查其位置、樹高、胸高直徑、株數、海拔高、方位與坡度等生長與環境資料，並分析環境與材積生長及株數之關係。
- (2) 應用劉宣誠等(1984)所研究之台灣杉人工林材積式

$$V = 0.063 - 0.0237D + 0.0007D^2 + 0.0012D \times H$$

$$R^2 = 0.98 \quad (1)$$

D: 胸徑 (cm)

H: 樹高 (m)

V: 單株材積 (m³)

與所調查株數，求算各樣區之每公頃材積，計算各造林地的蓄積狀況，並以100 m³/ha為一等級，繪製台灣杉材積級圖。同時將各林分分類為12 ± 2、17 ± 2、22 ± 2等三個齡級，計算各齡級林分面積、林分材積、單位材積及其分佈狀況。有關上述立木材積公式係由劉宜誠等以六龜地區30年生以上，胸徑在40cm以下之樣木建立而成，且在本研究所調查樣區資料中發現，由於林分株數密度不高，對胸徑生長並未有明顯競爭之影響，故認為使用該公式為本研究材積計算式尚屬可行。

2. 估測未來五年材積生長潛能

(1) 求算各齡級樣區平均單株材積、單位株數及三個齡級平均單位株數及其標準差與變異係數，應用迴歸分析，預測單株材積與林齡之關係，其模式為Bruce及Schmacher (1950)所提：

$$\ln V = a + b(1/A) \quad (2)$$

A: 林齡

a, b: 迴歸係數

V: 平均單株材積 (m³)

(2) 應用陳麗琴等(1996)所研究之栽植密度對六龜地區台灣杉存活株數之預測模式：

$$N = 1314.8028 e^{\left[\frac{-1204894}{PD^2} + \frac{4.835693}{A} \right]}$$

$$R^2 = 0.94 \quad (3)$$

N: 單位存活株數

PD: 單位栽植密度

A: 林齡

將已知齡級及平均單位株數代入此模式，求得相對應之栽植密度，再以此模式推估各齡級相對應之五年後存活株數，以為預測五年後蓄積量之用，求算步驟如下：

①(-) 首先由各齡級A_i之單位存活株數No_i推估單位栽植密度PD_i：

$$PD_i = \left\{ \frac{1}{1205894} \left[\frac{4.835693}{A_i} - \ln \left(\frac{No_i}{1314.8028} \right) \right] \right\}^{-\frac{1}{2}} \quad (4)$$

②再推估各齡級5年後之單位存活株數N_i

$$N_i = 1314.8028 e^{\left[\frac{-1204894}{PD_i} + \frac{4.835693}{A_i + 5} \right]} \quad (5)$$

(3) 應用Tanaka直徑轉移機率模式上以標準差為分析未來生長潛能的觀念進行分析，發現各齡級單位存活株數之變異係數極為接近，故假設(1)步驟所求得各齡級單位存活株數之變異係數五年後維持不變，且單位株數呈常態機率分布，於是在已知各齡級五年後N_i及CV_i下，應用下列變異係數公式，反推五年後之STD_i，進而使用常態機率分佈，求算不同株數機率分佈下之單位材積，以估算各齡級五年後林分蓄積分佈及其生長量，其求算步驟如下：

$$\textcircled{1} STD_i = N_i \cdot CV_i \quad (6)$$

CV_i: 第i齡級五年後單位存活株數變異係數

STD_i: 第i齡級五年後單位存活株數標準差

N_i: 第i齡級五年後平均單位存活株數

i: 各齡級

②設以100 m³為材積級之間距，如材積級為200 m³時，其範圍為150 m³~249 m³，各齡級各材積級上限之單位存活株數為：

$$N_{ij} = VHA_j / V_i \quad (7)$$

N_{ij}: 第i齡級第j材積級上限之單位存活株數

VHA_j: 第j材積級上限

V_i: 第i齡級之單位材積

③求算i齡級j材積級上限之單位存活株數標準常態機率分布Z_{ij}：

$$Z_{ij} = (N_{ij} - N_i) / STD_i \quad (8)$$

經使用SAS統計軟體內常態機率分布函數(PROBNORM)，求算N_{ij}之累積機率PU_{ij}，同理可求出該材積級下限累積機率分佈PL_{ij}。

④求算該材積級機率PL_{ij}：

$$PL_{ij} = PU_{ij} - PL_{ij} \quad (9)$$

⑤求算i齡級j材積級之分布面積AREA_{ij}及材積VOL_{ij}：

$$AREA_{ij} = AREA_j \times PL_{ij} \quad (10)$$

$$VOL_{ij} = (VHA_j - 49) \times AREA_{ij} \quad (11)$$

AREA_j: 第i齡級之分布面積

⑥合計各齡級五年後林分蓄積分佈。

三、結果與討論

(-) 目前台灣杉人工林蓄積量及生長分析

1. 各齡級林分蓄積量及生長狀況

本研究係屬六龜試驗林台灣杉人工林全面性林木生長調查，各齡級生長差異甚大，且比前人研究結果降低很多，主要是前人研究所選定樣區大都屬立木度完整、未受災害、交通便利等生長狀況良好之林地，其研究結果未必能適用於全面性生長狀況。因此本研究針對林分不同環境包括海拔高、方位、坡度、受害情形、可到達狀況及管理等因素所產生不同生長狀況，使用具有風險性或不確定之機率模式的觀念，即利用林分株數變異狀況及機率密度分布方式來預測株數分布狀況，以估測未來五年材積生長潛能。本研究所調查100個臨時樣區生長資料其栽植密度均為2500株/ha，經分析發現，六龜地區高海拔地區較適合台灣杉生長，其枯死率較低，反之則枯死率較高，但因恰好高海拔地區多屬高齡林分，因此造成林齡較高地區存活株數卻比低海拔林齡低的存活株數高，但由於造林時間久，原因可能更複雜，如早期造林地好，災害少、交通便利、管理容易或實際栽植密度更高，均是早期留存株數較多的原因之一，此問題值得再作進一步探討。此等資料顯示已無法將全調查樣區視為均質的齡級延續來預測未來株數變化，為解決生長預測的問題，今將全林分分為12, 17, 22等三齡級，將環境單純化，以利於分析與預測。六龜試驗林台灣杉從10年生到24年生間隔為15年，Fig. 3為台灣杉海拔分布位置，北部地區海拔比中南部高，前者愈趨上方海拔愈高，後者愈趨下方海拔也愈高。從Fig. 4及Table 1可分析出10-14年生林分大多分布在較低海拔從820 m以上，即有造林，平均為1180 m，且其方位集中於東北與東南向，日照多，較乾燥且土壤貧瘠，因此林分在此多半生長不好。而15年~19年生及20~24年生林分地況較為接近，多分布在1200 m以上之較高海拔，平均為1450 m左右，各方位均有造林，溼度較高，生長較好，因此將之分為三個齡級，各自有較相近的海拔高及造林方位等環境，分別加以探討。

依各林齡所調查樣區胸徑資料，經統計分析，除21年生以上之胸徑隨單位株數增加而有下降趨勢外，其餘均不顯著，顯示株數過於稀疏，而生長並無競爭現象。樹高並未隨單位株數變化而變化，因此整體而言，樹高與胸徑，經迴歸分析，二者關係式為：

$$Ht = 1.54481 \times 0.7197D \quad R^2 = 0.7147 \quad (12)$$

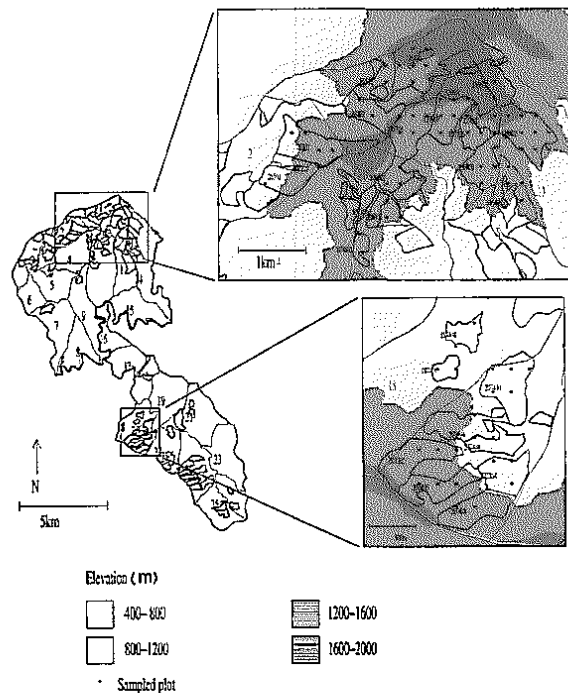


Fig. 3. Elevation distribution of Taiwania plantations in the Liukuei area.

並依劉宣誠等(1984)所研究之台灣杉人工林材積式及所調查單位株數，計算各樣區之單位材積，Table 1為各齡級各樣區所調查生長變項及環境變項之觀測平均值及變異狀況表，因係採系統取樣，少數樣區無林木狀況，故表內各生長項目最小值會有0數值狀況產生，12齡級林分其方位主要集中於0~200°，大部份樣區之海拔分布在820 m~1200 m之間，比17齡級與22齡級林分海拔低，後二者坡度、方位與海拔高分布相似，四個方位均有分布，海拔高主要在1200 m~1700 m之間。各齡級間單位株數差異極大，齡級愈小株數愈少，12齡級者低於(不含)500株/ha之樣區占40%，17齡級者佔30%，22齡級者佔20%，但三者株數變異係數很接近，分別為70%、69%及67%。可見造林失敗地不在少數，齡級愈低者，失敗率愈高，值得造林者注意造林地點的選擇。各齡級林分面積、林分材積、單位材積如Table 2所示，12與17齡級林分面積相近，22齡級林分面積約前二者合計之0.77倍，但蓄積量則高出甚多，約為前者的2倍，尤其是12齡級林分蓄積相當低，為67.1 m³/ha，一般而言，生長狀況不好，單位株數很低。劉俊明等(1991)在六龜試驗林所調查平均13年生221 m³/ha，單位株數1784株/ha，林照松等(1991)查10年生為112 m³/ha，

Table 1. Characteristic values of growth parameters and environmental factors for *Taiwania* plantation plots in the Liukuei area

Age class	Variable	Unit	Mean	Minimum	Maximum	Std Dev	CV (%)
12	DBH	cm	13.01	0.00	19.36	5.14	39.53
	Tree height	m	9.42	0.00	12.96	3.29	34.96
	Volume/ha	m ³	63.00	0.00	188.49	56.75	90.07
	Tree/ha	tree	608.00	0.00	1660.00	428.13	70.42
	Age	year	11.47	10.00	13.00	0.94	8.17
	Slope	deg	28.50	14.00	45.00	8.25	28.94
	Aspect	deg	122.32	0.00	315.00	91.11	74.49
	Elevation	m	1180.00	820.00	1686.00	231.77	19.63
17	DBH	cm	17.34	0.00	25.26	7.47	43.09
	Tree height	m	11.43	0.00	15.73	4.76	41.67
	Volume/ha	m ³	197.63	0.00	447.18	149.59	75.69
	Tree/ha	tree	796.67	0.00	2100.00	549.18	68.94
	Age	year	16.43	15.00	18.00	1.10	6.72
	Slope	deg	33.23	10.00	50.00	7.96	23.95
	Aspect	deg	192.60	40.00	323.00	73.61	38.22
	Elevation	m	1473.07	1218.00	1705.00	130.00	8.83
22	DBH	cm	18.45	0.00	27.85	8.33	45.14
	Tree height	m	11.87	0.00	16.70	5.22	43.94
	Volume/ha	m ³	285.69	0.00	639.47	172.40	60.35
	Tree/ha	tree	1011.00	0.00	2640.00	674.94	66.76
	Age	year	21.83	20.00	24.00	1.62	7.40
	Slope	deg	31.16	0.00	60.00	11.25	36.10
	Aspect	deg	216.50	0.00	355.00	95.07	43.91
	Elevation	m	1440.27	1045.00	1730.00	171.80	11.93

單位株數為1600株/ha，及其他研究(羅卓振南等，1991；林維治，1975)等調查均高出甚多，17齡級部份亦然，林照松等(1991)調查為224 m³/ha，羅卓振南等(1991)所調查為423 m³/ha，22齡級以上研究較少(羅卓振南等，1991)，但亦有相同狀況。全林分單位蓄積量為185.6 m³/ha，林分則有113,022 m³之蓄積量。將各造林地號之林分材積級分類，並繪製成材積級圖如 Fig. 5 所示，材積較好的多半集中在北部高海拔1200 m到1700 m且林齡較大地區，中南部林齡小且海拔低為820 m到1200 m之地區屬生長不好之林地。

2. 材積生長、單位株數與環境因子之關係

本試驗林因高海拔地區較適合台灣杉生長，而又多屬高林齡林分，其株數枯死率低，因而產生高海拔及林齡高之林分單位株數均較低海拔及林齡低之株數來得高，而單位株數與坡度及方位相關度低。同林齡下單株材積與單位株數、坡度、方位、海拔高等相關係數甚低，因此單位株數成了單位材積大小的重要因素。單位材積與林齡、單位株數、坡度、海拔高等有迴歸關係，坡度雖與單位材積大小有反比關係，但影響甚小，其他因素皆與單位材積大小成正比，但因單位株數與海拔高有相關，又正巧高海拔地區有高

林齡林分存在，產生了林齡高單位株數也高之現象，因此不適用此種不正常迴歸關係來預測未來材積，而改用單位株數預測模式及單株材積預測模式來預測。單株材積與林齡之關係式如下所示：

$$\ln V = -0.02464 - 26.9716 (1/A) \\ R^2 = 0.43 \quad (13)$$

由於總生長量與林齡關係一般都是拉長S型，但本研究所用資料的林齡範圍為10-24年生，以整個台灣杉生命週期來看，仍屬幼齡狀態，其生長非常旺盛，生長趨勢隨林齡仍呈直線持續增加。由於樣區間生長變異大，上述之R²僅為0.43，但經檢定仍為顯著，故仍使用之，將來應對環境因子進一步進行分級及測試，或可得到較佳預測模式。

Table 2. Current area and current growing stock of *Taiwania* plantation for each age class in the Liukuei area

Age class (y)	Area (ha)	%	Growing stock (m ³)	Growing stock/ha (m ³)
12	173.6	28.5	11,649	67.1
17	170.7	28.0	26,544	155.5
22	264.6	43.5	74,829	281.5
Total	608.9	100	113,022	185.6

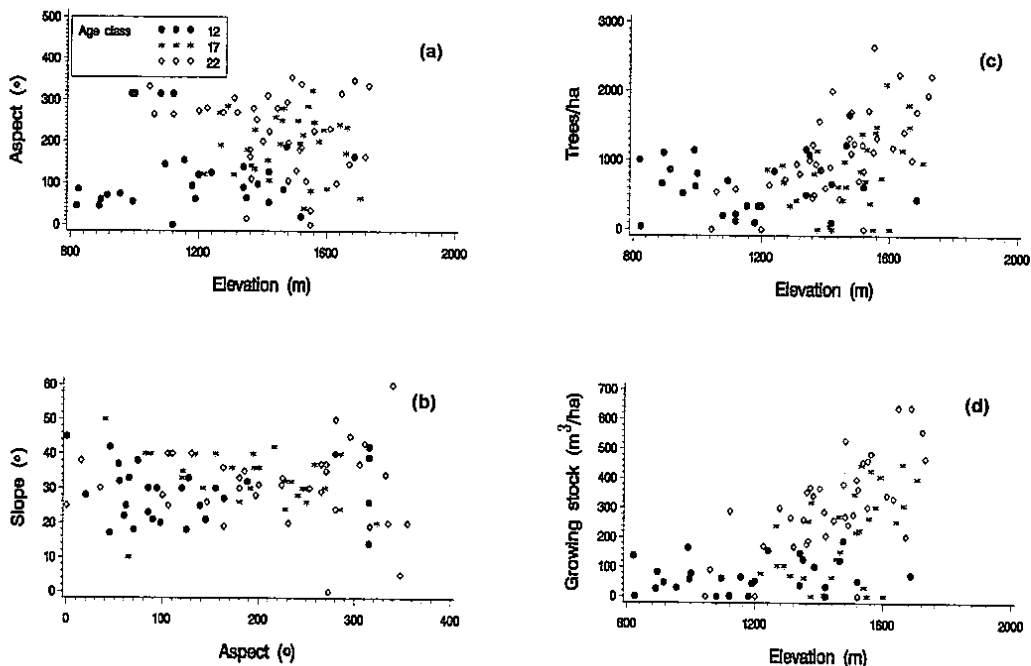


Fig. 4. (a) Location of aspect and elevation of plots with different age classes, (b) Location of slope and aspect of plots with different age classes, (c) Location of trees/ha and elevation of plots with different age classes, (d) Location of growing stock/ha and elevation of plots with different age classes.

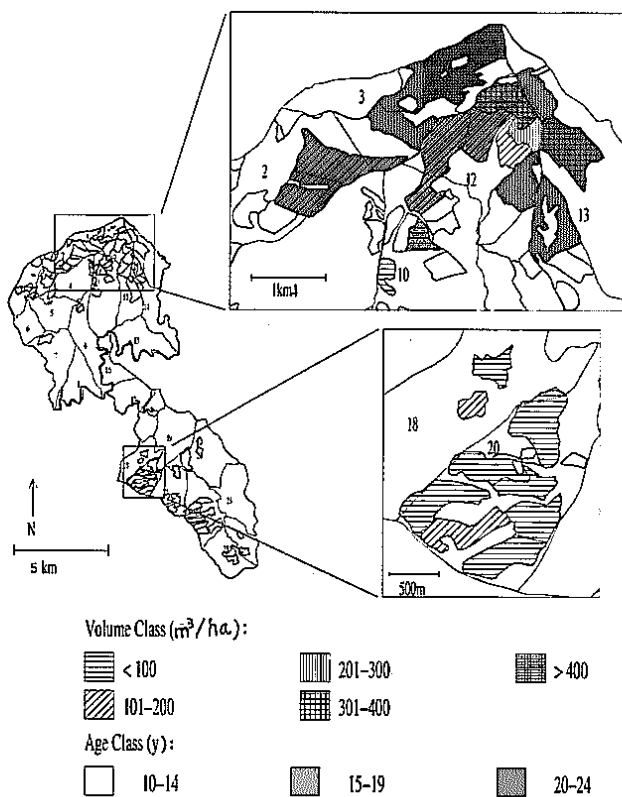


Fig. 5. Location of current volume classes of Taiwan plantations in the Liukuei area.

(二)未來五年生長潛能之估測

應用陳麗琴等(1996)所研究之栽植密度對六龜地區台灣杉存活株數預測模式及單株材積與林齡之關係式，估算各齡級五年後蓄積量，進而總計全林分五年後蓄積量，所預測結果如 Table 3 所示，五年後蓄積量為150,930 m³，五年生長量為37,908 m³，連年生長量為12.5 m³/ha，年生長率為5.8%。由於所研究台灣杉林分尚屬幼林齡，所以齡級愈大年生長量愈大，與前人對台灣杉的研究(劉宜誠等, 1984; 陳麗琴等, 1996; 姚榮鼎, 1995)一致，台灣杉在二十餘年生時，生長並未停滯，仍繼續往上竄昇。

假設各齡級林分單位株數為常態機率分布，以上述所預測單位存活株數及其標準差，與單株材積，求得不同株數機率分佈下之單位材積，可估算出各齡級五年後林分材積級分布狀況，如 Table 4 所示，200 m³/ha以下面積佔有50%，201 m³/ha~500 m³/ha面積佔38%，501 m³/ha以上面積佔12%，顯示有一半的造林面積蓄積並不太高，從 Fig. 6可看出五年後單位材積在300 m³以下的造林地面積減少了60ha，而

Table 3. A prediction of the growing stock of *Taiwania* after 5 y for each age class in the Liukuei area

Age class (y)	Growing stock (m ³)	Increment 5 years (m ³)	Growing stock/ha (m ³)	CAI/ha (m ³)	Annual growth rate (%) ¹⁾
12	21,118	9,469	116	9.8	10.6
17	38,096	11,552	223	13.5	7.1
22	92,716	17,887	350	13.7	4.3
Total	150,930	37,908	248	12.5	5.8

¹⁾ The calculation of annual growth rate used the Pressler equation.

單位材積301 m³至500 m³之面積仍保持不變，501 m³以上的面積多半來自原22齡級造林地，此結果可提供經營者決策之參考。因樣區不足，機率模式不易檢定，因此本研究結果是假定林分株數為常態機率分布狀況下而求得。我們亦可以相同的方式，求算各齡級林分及全林分之直徑分佈狀況，供將來作經濟經營考量之用，本文目前不作此研究。

四、結論

(一)本研究係屬六龜試驗林台灣杉人工林全面性林木生長調查，因具有各種不同生長環境所產生生長變異極大之特性，並不適宜應用一般確定性模式推估未來生長狀況，本研究使用具有風險性或不確定性機率模式觀念及機率密度方式來預測未來五年後之蓄積分布，並將全林分分12, 17, 22等三齡級，將環境單純化，以利

分析與預測。

(二)本試驗林高海拔地區多有林齡高的林分存在，其枯死率較低，反之枯死率高，與一般正常原理呈相反結果，其原因頗複雜，可能早期立地好及高海拔地區較適合台灣杉生長，或是災害少，交通便利，管理容易，可能是早期造林木存活株數較多的原因之一，此問題值得再作進一步分析。

(三)全面性生長調查因環境變化大，生長差異也就大。就整體而言，因為單位株數不高，導致與多人研究結果落差極大，12齡級林分生長最差，為67.1 m³/ha，22齡級林分較好，為281.5 m³/ha，材積較好的多半集中在北部高海拔地區之3,13林班，10, 18, 20林班屬生長不好之林地，全林分蓄積量為113,022 m³，每公頃蓄積量為185.6 m³/ha。

Table 4. Prediction of distribution of area and growing stock after 5 y for each volume class and age class of *Taiwania* plantation in the Liukuei area

Age class (y)		Volume class (m ³)							
		<100	101-200	201-300	301-400	401-500	501-600	601-700	>701
12	Area (ha)	79.7	74.3	19.5	-	-	-	-	-
		(46%)	(43%)	(11%)					
	Growing stock (m ³)	20,118	3,984	11,167	4,967	-	-	-	-
17	Area (ha)	37.6	41.4	44.0	30.0	13.2	4.5	-	-
		(22%)	(24%)	(26%)	(18%)	(8%)	(2%)		
	Growing stock (m ³)	38,096	1,877	6,210	11,006	10,525	5,936	2,542	-
22	Area (ha)	37.8	31.4	41.2	45.0	41.0	31.1	19.7	17.5
		(14%)	(12%)	(16%)	(17%)	(15%)	(12%)	(7%)	(7%)
	Growing stock (m ³)	92,716	1,890	4,718	10,299	15,747	18,439	17,115	12,809
Total	Area (ha)	155.1	147.2	104.7	75.0	54.2	35.6	19.7	17.5
		(26%)	(24%)	(17%)	(12%)	(9%)	(6%)	(3%)	(3%)
	Growing stock (m ³)	150,930	7,751	22,095	26,272	26,272	24,375	19,657	12,809

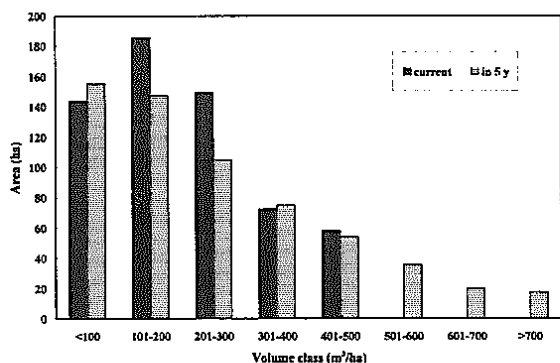


Fig. 6. Area distribution of each volume class of *Taiwania* plantations in the Liukuei area at present and 5y from now

(四)單位株數與坡度及方位相關不高，且同林齡下，單株材積與株數、坡度、方位、海拔高等相關係數甚低，因此株數成爲單位材積大小的重要因素，單株材積的預測也僅用林齡爲自變數的迴歸模式。

(五)應用單位株數預測模式與單株材積預測模式估測未來五年後材積生長潛力，以目前 10-24 年生全林分，估算五年後全林分蓄積量爲 150,930 m³，年生長量爲 37,908 m³，連年生長量爲 12.5 m³/ha，年生長率爲 5.8%，依研究報告顯示，生長應仍往上成長，並未停滯。應用株數常態機率分布，所求得未來五年後材積級分布狀況如 Table 4 所示，可提供經營決策參考。

引用文獻

台灣省林業試驗所 1992 台灣省林業試驗所六龜試驗林經營計畫。台灣省林業試驗所。86 頁。

林照松、洪富文 1991 六龜地區台灣杉人工林之生長。林業試驗所研究報告季刊 6(3): 229-248。

林維治 1975 台灣杉栽植距離試驗。中華林學季刊 8(4): 18-27。

洪良斌 1974 台灣杉人工林分生長之研究。林業試驗所試驗報告第 375 號。26 頁。

姚榮勳 1993 台灣杉人工林生長與林分密度關係

之研究。台大實驗林研究報告 7(4): 1-12。

姚榮勳、梁治文、謝祚元、劉金湧 1995 台灣杉及紅檜人工林形質生長與密度關係之研究。農委會造林與森林撫育之研究 83 年度研究彙報。27-52 頁。

馮豐隆、林子玉 1992 台灣林分結構生長模擬模式系統之建立。中興大學實驗林研究報告 14(2): 55-88 頁。

陳麗琴、黃進陸、張添榮、洪富文 1996 栽植密度對六龜地區台灣杉生長之影響。台灣林業科學 11(1): 1-11。

劉宣誠、林國銓、唐讓雷 1984 六龜地區台灣杉造林木之生長與材質之研究。林業試驗所研究報告 408 號。25 頁。

劉浚明 鍾旭和 1991 台灣杉生長與收穫之試驗研究。中華林學季刊 24(4): 9-14。

劉浚明 1993 建立決策支援系統以推估林分生長及蓄積量。農委會合作計畫報告。58 頁。

劉浚明 1995 台灣杉疏伐林分生長收穫模式之研究。農委會造林與森林撫育之研究 83 年度研究彙報。53-63 頁。

羅卓振南、鍾旭和、邱志明、周朝富、羅新興 1991 疏伐與修枝對台灣杉人工林生長之影響。林業試驗所研究報告季刊 6(2): 155-168。

Tanaka, K. 1986. A stochastic model of diameter growth in an even-aged pure forest stand. J. Jpn. For. Soc. 68: 226-236.

Tanaka, K. 1988. A stochastic model of height growth in an even-aged pure forest stand. Why is the coefficient of variation of the height distribution smaller than that of the diameter distribution? J. Jpn. For. Soc. 70: 20-29.

Tanaka, K. 1993. A simple method of estimating the diameter-transition probability-matrix in an even-aged pure stand from stand tables at the beginning and the end of a period. J. Jpn. For. Soc. 75: 139-144.