

銀合歡人工林生物量估算方法之比較

劉宣誠 高毓斌

摘要

本研究係以實際生物量為比較依據，探討5種常用之生物量估算方法，應用於銀合歡人工林之可行性，期能尋求最理想之測定技術，以解析銀合歡物質生產之特性。試區設定於三民與南澳之5年生銀合歡林分，各達機設置3處0.01公頃(10×10m)之樣區，樣區內所有立木經逐一伐倒並實測其生長及各部位重量，以求獲其實際生物量。所有樣木資料復以平均木法，分層平均木法，底面積比率法，材積比率法及迴歸估算法，分別求取各部位生物量之估值，藉以比較各方法之相對精確度。

以平均木法估算三民試區之葉部、枝部、幹部、可利用幹部及地上部等各部位生物量(乾重)時，各較實際值低估45.5%、29.3%、44.1%、73.9%及43%；對南澳試區之幹部與可利用幹部生物量則各低估23.8%及27.5%。若改以分層平均木法為估算依據，上述低估現象可獲改善，對三民試區各部位生物量之低估率僅在0.6%~1.9%之間；對南澳試區之幹部及可利用幹部生物量則各低估2.4%及2.7%。若改用底面積比率法或材積比率法，其估值與實際生物量之差額率將較分層平均木法為大。

銀合歡各部位之重量與胸徑間具存強烈之曲線關係，故簡單線型迴歸模式不宜為重量生長之解析；二次曲線式之適合指數較相對生長式為大，且其估值與實測值之差額率較相對生長式者為小。以分層平均木法所選取之樣木，經二次曲線式配置各部位重量與胸徑之迴歸關係，若據此以估算三民試區之葉部、枝部、幹部、可利用幹部及地上部生物量時，各低估7.0%、0.1%、4.2%、3.0%及3.7%；對南澳試區之幹部及利用幹部生物量則各低估0.2%及0.5%。除可利用幹部外，各部位重量與胸徑之關係式，在三民與南澳試區間均顯呈差異，未能導出其共同迴歸式；然而，幹部生物量與地上部生物量係與(林分底面積×平均樹高)呈極顯著正相關，變異係數僅各為3.2%及4.9%，藉此生物量預測式之導出，將可擴大迴歸估算法之應用價值，並供為地區性生物量調查之基礎。

壹、前言

薩爾瓦多型銀合歡(*Leucaena leucocephala*)自引進本省後，以其初期速生且兼具萌芽更新之能力，曾廣受各界所重視，尤其是對纖維用材需求頗為殷切之業者為然，迄今所造林之面積已達

13,000公頃(任憶安1985)。然經數年之觀察，其生產量則未若推廣初期所期望者。今後除應設法降低育林及採運之成本外，如何提高其生產力則屬當急之務。

人工林生產力(plantation productivity)之改良，首需探討其生產力之本質與特性，並建立

生產力評估之方法，方能數量化解析諸育林施業與生育地因子對生產力之影響效應，進而預估及改良生產量。銀合歡人工林之生產力有以材積表示（胡大維等 1980; Bonita 1981; Kanazawa *et al.* 1982; Lu and Hu 1981; Revilla 1983; Semana and Leano 1977; Van Den Beldt 1983），惟以其伐期短暫，樹形非呈通直，甚或多為分岔，由固定形數（form factor）以估算材積時，不僅易致偏誤，且未能符合實際產銷以重量為主之計量單位。對此種短伐期以纖維生產為主之經濟林，由生物量生產量（biomass production）以評估其生產力之優劣，自然較材積之估算依據為理想（王子定等 1984a）。

銀合歡人工林生物量之研究，迄今仍屬少數。本省學者對此之探討，皆著眼於不同栽植密度對其生物量之效應評估，然而所採行之估算方法均未相同，或取具平均胸徑之中央木為重量估算之依據（呂錦明等 1984; Lu and Hu 1981）；或導出樣木各部位重量與胸徑之相對生長式（allometric equation）後，將所有立木之胸徑值代入以求其總和（王子定等 1984b；陳財輝 1984）；或是將所有立木伐倒後，直接求其重量生長量（沈秀雀等 1984）。國外之研究僅見於菲律賓所建造之銀合歡人工林，由底面積比率法（basal area ratio method）估算其生物量（Kanazawa *et al.* 1982）。何種測定方法所得估算值足以信賴，實屬未知。

基本上，森林生物量測定最為精確之方法，即就目標林分內所有立木全予伐倒，以求獲實際之鮮重、乾重；但是受限於人力、物力與時間，且所獲結果亦缺乏應用於其他林分之可行性，故全伐法罕被學者用於實際之調查。然而，若未能以全伐法所獲之實際生物量（actual biomass）為其他測定方法比較之依據，則各種測定法之估算值是否值得信賴，頗值置疑（Madgwick 1981, 1983）。

本研究即以二處林分生長全屬相異之銀合歡人

工林為探討對象，以全伐法所獲之實際生物量為比較依據，分析 5 種生物量調查法之優劣；並就最常被採用之迴歸估算法，探討其有關之應用技術，期能供為評估銀合歡人工林生產力之基礎。

貳、材料與方法

本研究係於東部之三民與南澳之 5 年生銀合歡人工林進行野外調查，即於上述二試區分別選取 10 處與 5 處樣區，各樣區之面積為 100 公尺²（10×10 公尺），迨樣區設定後，即調查其林分組成狀況。依據每木調查之結果，各再選取其中 3 樣區以為生物量調查之施行。

樣木之選取係以分層平均木法（stratified mean tree method）（王子定、高毓斌 1979）行之，即將各樣區內所有立木依胸徑之多寡，每隔 1 公分區分為 1 胸徑階，復依各胸徑階株數之相對率，各取 1~4 株具平均胸徑之樣木，三民試區共取 60 株樣木，南澳試區則取 33 株樣木。為比較平均木法（mean tree method）估值之變異，另外於各樣區內取具林分平均胸徑之樣木 3 株，三民及南澳試區各取 9 株平均木。

上述樣木經選定後，即自地際處伐倒並直接測其樹高，再區分樹體為 3 部份，即葉部、枝部及幹部。幹部自地際處截斷後，由 1.3 公尺處始，每隔 2 公尺截成一段，另取各段基部 5 公分厚之圓盤，以供估測含水率之用。葉及枝部則各取 100 公克及 300 公克之樣本以測定其含水率。各部位及樣本之鮮重均於取樣後立即秤量，迨攜回實驗室後，即置於 100°C±3°C 之大型電氣爐乾器，爐乾至恒重止。各伐倒樣木各部位乾重即以樣本之鮮重/乾重率換算之。

地上部生物量之估算分別由平均木法、分層平均木法、底面積比率法、材積比率法及迴歸估算法行之，分述如次：

一、平均木法 由具林分胸徑均值之 3 株平均木，求出葉、枝及幹部之平均鮮、乾重後，以各樣

區之株數直接乘之，其值即為林分生物量；

二、分層平均木法 由各胸徑階所選取之平均木，求出各直徑階之平均葉、枝及幹部鮮重或乾重後，再以各直徑階之株數直接乘之，並求其總和，其值即為各樣區之林分生物量；

三、底面積比率法 由所選取之樣木求出其葉、枝及幹部鮮重或乾重之總和後，再以樣區內所有立木之底面積與所有樣木之底面積之比率乘之，其值即為各樣區之林分生物量；

四、材積比率法 先由次式求出樣木之估算材積： $v = DBH^2 \times H_t \times 0.5$ ，其中 DBH 及 H_t 各為胸徑及樹高 (Kanazawa *et al.* 1982)。各樣木葉、枝及幹部之鮮重或乾重予以合計後，再以樣區內所有立木材積與樣木材積之比率乘之，其值即為林分生物量；

五、迴歸估算法 由樣木各部位之鮮、乾重與胸徑導出各部位之重量預測式後，再以樣區內所有立木之胸徑資料代入，以求出各立木之理論鮮、乾重，再求其合計即為材分生物量。其中，重量與胸徑迴歸關係式之配置，係採用次列 3 種迴歸模式：

1. 線型迴歸式 $w_i = a + bDBH$

2. 相對生長式 $w_i = aDBH^b$

3. 二次曲線式 $w_i = a + bDBH + cDBH^2$

其中 w_i 表示各部位之鮮、乾重 (公斤)，DBH 為胸徑 (公分)。因對數轉換所產生之系統性偏誤，則以次式修正之 (Baskerville 1972)：

$$\log w_i = \log a + b \cdot \log DBH + S^2 y \cdot x / 2$$

$S^2 y \cdot x$ 即為由相對生長式求出之離差均方，文中所示之相對生長式均已包括此修正值。上述之迴歸分析，係採用 BMDP 統計軟體之 P1R 程式 (Dixon 1981)。

為比較上述 3 種迴歸模式，何者最適於銀合歡各部位重量與胸徑關係之解析，本研究遂採用 Schlaegel (1981) 所推薦之 3 種改良之取決指標 (improved selection criteria)，即適合指數 (Fit index, FI)、估值標準誤差 (Standard

error of estimate, Se) 及變異係數 (Coefficient of variation, C. V.)，各如次式所示：

$$FI = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \right]$$

$$Se = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{(n-p)} \right]^{1/2}$$

$$C.V. = [Se / \bar{Y}] \times 100$$

其中 Y_i 即第 i 個觀測數之實際值， \bar{Y} 為各觀測數之實際平均值， \hat{Y}_i 為第 i 個觀測數以實際單位表示之預測值， n 為樣木之觀測數目， p 為迴歸模式中所需估算之係數之數目。

上述取決指標之求出與比較係具有特殊之意義，蓋不同迴歸模式間，欲以其決定係數 (r^2) 及迴歸離差均方 ($S_{y \cdot x}$) 比較資料配置後之適合性 (fitness)，毫無意義 (Furnival 1961)，將各觀測數之估算值轉換成實際單位後，自可基於同一標準相互比較，就線型迴歸式而言，適合指數即相當於其決定係數。

為比較不同試區間所導出之重量與胸徑關係式，或由所有立木與選取樣木所各導出之關係式間，是否具有差異，遂以共變數分析檢定之，亦採用 BMDP 統計軟體之 P1V 程式 (Dixon 1981)。

上述 5 種生物量估算法之優劣，係以樣區之實際生物量為比較依據，即在三民及南澳所設定之 6 處樣區中，將所有立木全部予以伐倒，依相同之步驟以求出各立木之鮮、乾重，惟因限於時間，南澳試區僅實測所有立木之幹部鮮重，而未包括葉部及枝部。各部位乾重之換算，則以各胸徑階所求出之平均含水率為依據。

叁、結果與分析

一、調查試區之林分組成

各個樣區調查之結果，其林分組成及生長狀況列如表 1。

表 1. 三民及南澳試區之林分組成

試 區	胸 徑 (公分)	樹 高 ⁽²⁾ (公尺)	材 積 ⁽³⁾ (公尺 ³ /公頃)	底 面 積 (公尺 ² /公頃)	林 分 密 度 (株/公頃)	區 樣 數 目
三 民 ⁽¹⁾	2.92	5.17	56.88	11.47	13960	10
	2.28~3.72	5.17~7.00	36.17~97.82	9.17~16.08	9000~18300	
南 澳	6.31	9.73	90.35	11.72	2980	5
	5.67~7.12	8.94~10.84	62.98~118.97	8.43~14.32	2600~3800	

(1)橫線上方數值為平均值，橫線下方為其變域；

(2)由表 6 之樹高曲線式求出各立木之預測樹高後再求其平均值；

(3)單木材積 (v)=DBH²×Ht×0.5

依表 1 所示，三民試區屬密植之小徑林，南澳試區則為疏植之中徑林，二試區之底面積雖然相似，然因樹高之變異，故其材積差異甚大。

在三民及南澳試區中各選定之 3 處生物量調查樣區，其由分層平均木法所選取之樣木與所有立木之生長參數均值與變域，則如表 2 所示。

表 2. 三民與南澳試區所選取樣木及所有立木之生長狀況*

生 長 參 數	三 民 試 區		南 澳 試 區	
	所 有 立 木	樣 木	所 有 立 木	樣 木
胸 徑 (公分)	2.83	3.82	6.79	7.37
	0.5~11.8	0.8~11.8	2.7~15.60	2.7~15.6
樹 高 (公尺)	5.95	6.79	10.31	10.79
	1.90~14.42	2.50~14.42	6.30~15.20	6.30~15.20
可利用樹高 (公尺)**	4.34	5.96	6.93	7.48
	1.30~12.50	2.20~12.50	1.50~13.20	2.20~13.20
鮮 重 (公斤)	0.426	0.870		2.139
	0.004~7.551	0.013~7.551		0.125~12.200
	0.834	1.848		3.783
	0.002~14.470	0.007~14.470		0.440~14.450
可 利 用 幹 部**	8.771	16.025	27.220	34.329
	1.150~70.680	2.700~70.680	1.240~157.301	1.975~157.301
	4.355	8.893	29.220	35.579
	0.050~71.790	0.120~71.790	2.160~166.501	2.160~166.501
乾 重 (公斤)	0.117	0.245		0.573
	0.001~2.265	0.004~2.265		0.025~3.294
	0.362	0.779		1.793
	0.001~6.367	0.008~6.367		0.198~6.647
可 利 用 幹 部**	4.386	8.011	14.944	18.776
	0.575~35.340	1.350~35.340	0.595~84.943	1.146~84.943
	2.171	4.439	16.006	19.462
	0.024~35.895	0.058~35.895	1.037~89.911	1.037~89.911
株 數	425	60	88	33

*橫線上方數值為其平均值，橫線下方數值為其變域

**可利用樹高或幹部係指直徑大於 3 公分之部份，文中所述及可利用部份均指此標準。

各樣區經伐倒所有立木後，實測之樹高、胸徑、底面積生長及各部位生物量如表 3 所示。三民試區之平均年材積生產量為 13.24 公尺³/公頃，幹部生物量之平均年生產量為 12.335 公噸/公頃，各為

南澳試區之 66% 及 74%；若以直徑 3 公分以上為可利用部份，則三民與南澳試區之幹部生物量之可利用率各為 77% 及 93%。

表 3. 銀合歡人工林之林分組成與地上部生物量實測值

生長參數	三民試區				南澳試區			
	I 區	II 區	III 區	平均	I 區	II 區	III 區	平均
林分生長								
樹高 (公尺)	7.00	5.17	6.09	6.09	10.84	10.70	9.16	10.23
胸徑 (公分) ⁽¹⁾	3.58	2.28	2.94	2.93	7.07	7.12	5.93	6.71
估算材積 (公尺 ³ /公頃)	97.82	36.17	64.63	66.21	118.97	114.91	68.40	100.76
底面積 (公尺 ² /公頃)	16.08	9.17	12.53	12.59	14.32	14.18	9.89	12.80
林分密度 (株/公頃)	11400	17800	13200	14133	2900	2900	3000	2933
林分鮮重 (公噸/公頃)								
葉部	7.136	5.198	5.742	6.025	— ⁽³⁾	—	—	—
枝部	15.356	9.292	10.811	11.820	—	—	—	—
幹部	85.078	39.192	60.760	61.677	98.409	94.671	57.622	83.567
可利用幹部 ⁽²⁾	73.337	20.625	49.010	47.657	93.527	87.515	53.050	78.031
地上部	107.570	53.682	77.313	79.522	—	—	—	—
林分乾重 (公噸/公頃)								
葉部	1.972	1.531	1.478	1.660	—	—	—	—
枝部	6.737	4.165	4.462	5.121	—	—	—	—
幹部	42.157	20.221	29.872	30.750	54.914	52.537	32.441	46.631
可利用幹部	36.415	10.805	24.278	23.833	50.175	48.504	29.842	42.840
地上部	50.866	25.917	35.812	37.531	—	—	—	—

(1) 估算材積係由次式求出 $v = DBH^2 \times Ht \times 0.5$ ， v 為單木之估算材積

(2) 直徑大於 3 公分以上之部位

(3) 試區內所有立木之測定未包括葉部及枝部之重量

二、銀合歡樹高或各部位重量與胸徑之迴歸關係

依據所設定之 3 種迴歸模式分析樹高或各部位重量與胸徑之迴歸式，所求出各迴歸模式之適合指數 (FI)、估值標準誤差 (Se) 及變異係數 (C.V.) 如表 4 及表 5 所示。

就銀合歡高生長與胸徑之迴歸關係而言，估值標準誤差及變異係數均以線型迴歸式較大於其他 2 種迴歸模式，而相對生長式及二次曲線式雖互有優

劣，惟其差距不大。可利用樹高與胸徑間之迴歸關係，則以相對生長式之估值標準誤差及變異係數為最大，線型迴歸式次之，而二次曲線式具最理想之適合性 (表 4, 5)。

就各部位重量與胸徑之迴歸關係而言，線型迴歸式所導出之估值標準誤差及變異係數均遠較其他 2 種迴歸模式為高，此即顯示出銀合歡重量與胸徑間之關係，乃具強烈之曲線傾向，而不宜以線型迴歸

表 4. 三民試區不同迴歸模式之適合指數 (FI)、估值標準誤差 (Se) 及變異係數 (C.V.) 之比較

部 位	相 對 生 長 式			二 次 曲 線 式			線 型 迴 歸 式		
	FI	Se (公尺或 公斤)	C.V. (%)	FI	Se (公尺或 公斤)	C.V. (%)	FI	Se (公尺或 公斤)	C.V. (%)
樣 木									
樹 高 (公尺)	0.952	0.58	8.54	0.945	0.63	9.28	0.933	0.69	10.16
可 利 用 樹 高 (公尺)	0.890	0.86	14.43	0.933	0.68	11.41	0.924	0.72	12.08
鮮 重 (公斤)									
葉 部	0.878	0.480	55.17	0.935	0.353	40.57	0.796	0.621	71.38
枝 部	0.920	0.835	45.18	0.921	0.837	45.29	0.788	1.356	73.38
可 利 用 幹 部	0.974	2.466	15.39	0.994	1.230	7.68	0.941	3.705	23.12
幹 部	0.995	0.921	10.36	0.995	0.958	10.77	0.865	4.877	54.84
乾 重 (公斤)									
葉 部	0.840	0.161	65.71	0.932	0.106	43.27	0.772	0.193	78.78
枝 部	0.892	0.411	52.76	0.890	0.420	53.92	0.758	0.616	79.08
可 利 用 幹 部	0.973	1.245	15.54	0.993	0.635	7.93	0.941	1.857	23.18
幹 部	0.996	0.442	9.96	0.995	0.488	10.99	0.865	2.440	54.97
所 有 立 木									
樹 高 (公尺)	0.910	0.61	10.25	0.900	0.65	10.92	0.879	0.71	11.93
可 利 用 樹 高 (公尺)	0.750	1.08	24.88	0.888	0.72	16.59	0.869	0.78	17.97
鮮 重 (公斤)									
葉 部	0.841	0.278	65.26	0.903	0.218	51.17	0.746	0.351	82.39
枝 部	0.876	0.523	62.71	0.875	0.526	63.07	0.706	0.807	96.76
可 利 用 幹 部	0.874	3.197	36.45	0.984	1.142	13.02	0.919	2.565	29.24
幹 部	0.983	0.910	20.90	0.989	0.743	17.06	0.826	2.915	66.94
乾 重 (公斤)									
葉 部	0.789	0.092	78.63	0.888	0.067	57.27	0.710	0.108	92.31
枝 部	0.856	0.245	67.68	0.853	0.248	68.51	0.698	0.355	98.07
可 利 用 幹 部	0.880	1.559	35.55	0.984	0.571	13.02	0.918	1.288	29.37
幹 部	0.986	0.420	19.35	0.989	0.373	17.18	0.826	1.458	67.16

表 5. 南澳試區不同迴歸模式之適合指數 (FI)、估值標準誤差 (Se) 及變異係數 (C.V.) 之比較

部 位	相 對 生 長 式			二 次 曲 線 式			線 型 迴 歸 式		
	FI	Se (公尺或 公斤)	C.V. (%)	FI	Se (公尺或 公斤)	C.V. (%)	FI	Se (公尺或 公斤)	C.V. (%)
樣 木									
樹 高 (公尺)	0.928	0.73	6.77	0.943	0.67	9.27	0.894	0.89	8.25
可 利 用 樹 高 (公尺)	0.840	1.44	19.25	0.931	0.96	12.83	0.880	1.25	16.71
鮮 重 (公斤)									
葉 部	0.845	1.144	53.48	0.912	0.877	41.00	0.769	1.397	65.31
枝 部	0.918	1.079	28.52	0.934	0.984	26.01	0.877	1.321	34.92
可 利 用 幹 部	0.966	7.273	21.19	0.987	4.649	13.54	0.917	11.349	33.06
幹 部	0.983	5.344	15.02	0.984	5.169	14.53	0.911	12.160	34.18
乾 重 (公斤)									
葉 部	0.872	0.292	50.69	0.925	0.227	39.61	0.765	0.396	69.11
枝 部	0.909	0.535	29.84	0.918	0.518	28.89	0.875	0.627	34.97
可 利 用 幹 部	0.966	3.941	20.99	0.988	2.342	12.47	0.923	5.903	31.44
幹 部	0.983	2.867	14.73	0.986	2.648	13.60	0.917	6.340	32.58
所 有 立 木									
樹 高 (公尺)	0.899	0.84	8.15	0.910	0.79	7.66	0.866	0.95	9.21
可 利 用 樹 高 (公尺)	0.802	1.57	22.66	0.927	0.91	13.13	0.869	1.27	18.33
鮮 重 (公斤)									
可 利 用 幹 部	0.963	6.182	22.71	0.986	3.872	14.23	0.918	9.265	34.04
幹 部	0.984	4.273	14.62	0.985	4.196	14.36	0.915	9.751	33.37
乾 重 (公斤)									
可 利 用 幹 部	0.994	2.547	17.04	0.986	2.106	14.09	0.921	4.950	33.12
幹 部	0.995	2.388	14.92	0.984	2.315	14.46	0.917	5.231	32.68

模式供為資料分析之依據。進一步比較之結果顯示，無論是在三民或南澳試區，均具有一共同之傾向，即枝部或幹部重量與胸徑之迴歸分析，以由相對生長式或由二次曲線式配置其關係式，其適合指數、估值標準誤差或變異係數均未具明顯之差異；然而葉部或可利用幹部重量與胸徑間迴歸關係式之導

出，則以二次曲線式為最適宜，即具最高之適合指數，或最低之估值標準誤差及變異係數。

依據以上選擇之結果，在三民及南澳試區將所有立木或是由分層選取平均木後之資料，以相對生長式及二次曲線式所導出之關係式，乃如表 6 所示，此即為迴歸估算法測定各部位生物量之依據。

表 6. 銀合歡樹高或各部位鮮、乾重與胸徑之迴歸關係式

部 位	所 有 立 木					樣 木				
	相對生長式		二 次 曲 線 式			相對生長式		二 次 曲 線 式		
	a	b	a	b	c	a	b	a	b	c
三 民										
樹 高 (公尺)	3.6366	0.5190	2.3285	1.5218	-0.0606	3.4805	0.5413	2.4509	1.3432	-0.0370
鮮 重 (公斤)										
葉 部	0.0310	2.0549	0.1167	-0.1182	0.0567	0.0254	2.1943	0.2117	-0.1953	0.0659
枝 部	0.0363	2.4312	0.2789	-0.3080	0.1258	0.0381	2.4329	0.3966	-0.3883	0.1376
幹 部	0.0252	2.2491	0.8808	-1.0942	0.5792	0.2270	2.3165	1.4477	-1.4764	0.6135
可利用幹部	0.0710	2.9499	-0.0483	-1.2407	0.6013	0.1082	2.6804	1.7372	-1.8665	0.6444
乾 重 (公斤)										
葉 部	0.0088	2.0195	0.0465	-0.0447	0.0174	0.0069	2.1915	0.0337	-0.0734	0.0207
枝 部	0.0144	2.5023	0.1009	-0.1172	0.0523	0.0152	2.4722	0.1874	-0.1704	0.0583
幹 部	0.1198	2.2814	0.4297	-0.5452	0.2895	0.1075	2.3466	0.7076	-0.7357	0.3067
可利用幹部	0.0360	2.9393	0.0327	-0.6413	0.3024	0.0538	2.6825	0.8460	-0.9274	0.3219
南 澳										
樹 高 (公尺)	3.9879	0.5036	2.6608	1.5570	-0.0516	4.0955	0.4998	2.9996	1.4667	-0.0449
鮮 重 (公斤)										
葉 部			*			0.0102	2.4499	1.7916	-0.6979	0.0820
枝 部			*			0.0724	1.8768	0.6175	-0.1803	0.0670
幹 部	0.1688	2.5067	6.3765	-3.6873	0.8430	0.1695	2.4910	5.5179	-3.4119	0.8241
可利用幹部	0.0828	2.7926	4.8174	-3.4265	0.8061	0.0885	2.7499	4.0464	-3.2289	0.7922
乾 重 (公斤)										
葉 部			*			0.0016	2.6681	0.5565	-0.2196	0.0244
枝 部			*			0.0317	1.9119	0.0451	-0.0102	0.0272
幹 部	0.0971	2.4759	3.1644	-1.8578	0.4493	0.0951	2.4825	2.2997	-1.5908	0.4312
可利用幹部	0.0477	2.7720	2.2233	-1.7062	0.4290	0.0516	2.7229	1.5081	-1.4999	0.4145

*未測定

**相對生長式為 H_t 或 $w_i = aDBH_b$; 二次曲線式曲線式為 H_t 或 $w_i = a + bDBH + cDBH^2$, H_t 及 w_i 為樹高及各部位重量 ; 所有迴歸式均呈極顯著之正相關。

三、迴歸關係式間之比較

為比較由各胸徑階取平均木後所導出之迴歸關係式，是否與由所有立木導出者具差異，遂以共變數分析檢定其斜率或截距之均質性，結果如表 7 所示。

依表 7 所示，由各胸徑階取平均木後導出之迴

歸關係式，與由所有立木所導出之結果相比較，除三民試區之幹部或可利用幹部重量與胸徑之相對生長式以外，其餘各迴歸式均未於 2 資料組呈顯著差異，即由上述取樣法所擇出之樣木或由所有立木所配置之預測式，係屬共同迴歸式 (Common regressions) (Crow 1978)。

表 7. 不同資料來源由不同迴歸模式檢定之共變數分析 (胸徑為自變數)

來 源	樹 高	鮮 重				乾 重				
		葉 部	枝 部	幹 部	可利用幹部	葉 部	枝 部	幹 部	可利用幹部	
三 民 試 區										
相 對 生 長 式										
變 異	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
斜 率	N.S.	N.S.	N.S.	*	**	N.S.	N.S.	*	**	**
截 距	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	*	N.S.	N.S.	N.S.	*	*
二 次 曲 線 式										
變 異	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
斜 率	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
截 距	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
南 澳 試 區										
相 對 生 長 式										
變 異	**			**	**			**	**	**
斜 率	N.S.			N.S.	N.S.			N.S.	N.S.	N.S.
截 距	N.S.			N.S.	N.S.			N.S.	N.S.	N.S.
二 次 曲 線 式										
變 異	**			**	**			**	**	**
斜 率	N.S.			N.S.	N.S.			N.S.	N.S.	N.S.
截 距	N.S.			N.S.	N.S.			N.S.	N.S.	N.S.

*表示具顯著差異, **表示具極顯著差異, N.S. 表示不具顯著差異。

三民與南澳試區間迴歸關係式之比較, 則如表 8 所示。結果顯示: 此二試區經相同取樣步驟所選取之樣木資料, 除可利用幹部乾重以外, 其餘各部 位重量或樹高與胸徑之迴歸關係式, 其截距或斜率均於二試區間呈顯著或極顯著差異, 此種現象亦未因所採用之迴歸模式而異。

表 8. 不同試區間以不同迴歸模式檢定之共變數分析 (胸徑為自變數)

來 源	樹 高	鮮 重				乾 重				
		葉 部	枝 部	幹 部	可利用幹部	葉 部	枝 部	幹 部	可利用幹部	
相 對 生 長 式										
變 異	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
斜 率	N.S.	N.S.	**	**	N.S.	N.S.	**	**	**	N.S.
截 距	**	**	**	**	**	**	*	**	**	N.S.
二 次 曲 線 式										
變 異	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
斜 率	N.S.	**	**	**	N.S.	**	**	**	**	N.S.
截 距	**	**	**	**	**	**	**	**	**	N.S.

*表示具顯著差異, **表示具極顯著差異, N.S. 表示不具顯著差異。

四、各生物量估算法之比較

表9所示即平均木法、分層平均木法、底面積比率法、材積比率法及迴歸估算法之比較，所列數值係各測定法之估算值與實際生物量（表3）之差額比率。就樹高之估算值而言，4種非迴歸估算法均不理想，對三民試區實際樹高之低估率為17.1~37.8%，對南澳試區實際樹高之低估率則為8.3~13.6%；若以選取各胸徑階平均木後所導出之樹高曲線為估算依據，對三民試區之實際樹高僅低估2.4~2.5%，南澳試區則高估0.8~1.2%，實足以信賴。

就各部位生物量而言，平均木法所得估算值於三民及南澳試區均呈嚴重之低估，三民試區之低估率為29.3~73.9%，南澳試區之低估率為23.8~27.2%；分層平均木法則可相當精確地估算各部位之生物量，與實際生物量相比較之結果，對三民及南澳試區之生物量僅各低估0.5~2.5%及2.0~2.7%；底面積比率法對三民試區之生物量約高估5.0~17.2%，惟對南澳試區僅低估2.0~3.2%；材積比率法對三民試區之葉部及枝部生物量將高估0.2~5.6%，對幹部、可利用幹部及地上部生物量約低估0.1~5.4%，惟對南澳之幹部及可利用幹部生物量則高估2.4~2.7%。若以重量~胸徑之迴歸關係式為估算依據時，對三民試區之各部位生物量均呈一致性之低估；惟對南澳試區則或呈高低，或為低估。一般而言，以所有立木資料導出之相對生長式為估算依據時，對三民試區之各部位生物量將低估0.7~10.7%，若改用二次曲線式為分析之模式，則能使枝部、幹部、可利用幹部及地上部生物量估算值與實際生物量之差額率，減少0.7~3.3%，此種統計利益對葉部生物量之估算尤為明顯，其差額率更可減少9.6~11.8%。若以各胸徑級取平均木所導出之迴歸關係式為估算依據，所損失之精確度不大，與由所有立木資料導出關係式所得之估算值相比較，因取樣所增加之差額率約在0.3~5.9%之間。對南澳試區之幹部及可利用幹部生物量而言

，以二次曲線式替代相對生長式所能減少之差額率約在1.1~1.8%之間，因取樣所增加之差額率則非常有限。

基於以上分析之結果，遂選定二次曲線式為各樣區生物量估算之依據，即以各樣區每木調查所得之胸徑資料，逐一代入三民或南澳所導出之重量預測式，結果如表10所示。三民試區由達機設定10個樣區所求獲之材積平均年生產量為11.4公尺³/公頃，幹部生物量之年平均生產量為10.8公噸/公頃（鮮重）或5.4公噸/公頃（乾重），幹部之可利用率約為73%；南澳試區之5處樣區之平均值顯示其材積平均年生產量為18.1公尺³/公頃，幹部生物量之年平均生產量為14.9公噸/公頃（鮮重）或8.3公噸/公頃（乾重），幹部之可利用率達93%。

肆、討 論

一、非迴歸估算法之應用

平均木法係假定林分中具平均尺寸（如胸徑）之平均木，其各部位乾重亦為林分各部位乾重之平均值。實際上，在現實林分中罕能符合此種推論，以三民試區為例，各胸徑級之株數及地上部鮮重之分佈頻度，即屬二不相同之式樣（圖1）；在全林分中株數具最大分佈頻度之胸徑級為1~2公分，惟地上部鮮重具最大分佈頻度之胸徑級為6~7公分，故其低估乃屬必然。以本法估算三民試區之葉部、枝部、幹部及地上部生物量（乾重）時，將較實際生物量各低估45.5%、29.3%、44.1%及43%；對南澳試區之幹部生物量（乾重）則低估23.8%（表9），由上列數值而言，林分密度較高之林分由平均木法所可能導致之低估尚較低密度者為著。相同之論點亦曾見於陳財輝（1984）之研究，在解析不同栽植密度銀合歡之生產結構時，渠即指出，由平均木以估算林分生物量之精確性頗值懷疑，尤以密植林為然。由平均木法估算森林生物量所產生低估之現象，亦見於其他林型或樹種之研究，如香冷杉（*Abies balsamea*）（Baskerville 1965）及

表 9. 不同方法對綜合人工林生物量估價值之比較 (%)

地區	估算法	樹高	林分總重						林分總乾重					
			葉部	枝部	幹部	可利用幹	地上部	葉部	枝部	幹部	可利用幹	地上部		
三	平均木法	-17.09	-37.26	-31.79	-43.57	-73.89	-41.34	-45.50	-29.31	-44.10	-73.89	-43.00		
	分層平均木法	-18.96	-1.46	-2.51	-0.61	-1.57	-0.54	-1.91	-0.59	-0.68	-1.64	-0.56		
	底面積比率法	-31.62	10.85	17.15	5.20	9.91	7.41	13.41	13.81	5.71	10.25	7.15		
	材積比率法	-37.83	0.19	5.60	-5.43	-0.07	-3.37	2.48	2.55	-4.94	-0.28	-3.59		
	迴歸估算法*													
	相對生長式(I)	-0.52	-10.67	-2.30	-4.11	-2.25	-4.34	-12.82	-0.70	-3.65	-2.27	-3.65		
民	相對生長式(II)	-2.45	-9.13	-1.66	-3.73	-3.92	-3.34	-10.79	-0.21	-4.06	-4.12	-3.84		
	二次曲線式(I)	-0.55	-1.05	-1.22	-1.03	-1.56	-1.06	-1.04	-0.88	-1.04	-1.57	-1.02		
	二次曲線式(II)	-2.41	-5.70	-1.55	-4.01	-2.93	-3.31	-6.96	-0.05	-4.18	-2.99	-3.73		
南	平均木法	-13.64	**	-	-24.62	-26.03	-	-	-	-23.84	-27.15	-		
	分層平均木法	-8.33	-	-	-2.03	-2.29	-	-	-	-2.37	-2.68	-		
	底面積比率法	-11.38	-	-	-2.25	-3.16	-	-	-	-1.99	-2.84	-		
	材積比率法	-8.96	-	-	2.41	2.38	-	-	-	2.49	2.68	-		
	迴歸估算法*													
	相對生長式(I)	0.02	-	-	1.88	2.01	-	-	-	1.39	2.17	-		
澳	相對生長式(II)	0.82	-	-	-0.33	-0.92	-	-	-	-0.27	-0.70	-		
	二次曲線式(I)	0.13	-	-	0.30	0.42	-	-	-	0.31	0.41	-		
	二次曲線式(II)	1.17	-	-	-0.09	-0.40	-	-	-	-0.20	-0.54	-		

*以試區內所有立木資料導出之相對生長式及二次曲線式(表6)為(I),以試區內經取樣後之樣木資料導出之相對生長式及二次曲線式(表6)為(II)。

**葉部及枝部之實際總鮮重(乾重)未予測定。

表 10. 三民及南澳各樣區之林分生長與生物量積聚量

地 區	試 區	林 分 組 成					林 分 鮮 重 (公噸/公頃)					林 分 乾 重 (公噸/公頃)				
		樹 高 (公尺)	胸 徑 (公分)	材 積 (公尺 ³ /公頃)	底 面 積 (公尺 ² /公頃)	林分密度 (株/公頃)	葉 部	枝 部	幹 部	可 利 用 幹 部	地 上 部	葉 部	枝 部	幹 部	可 利 用 幹 部	地 上 部
三 民	1	7.00	3.58	97.82	16.08	11400	7.136	15.356	85.078	73.337	107.570	1.972	6.737	42.157	36.415	50.866
	2	5.17	2.28	36.17	9.17	17800	5.200	9.292	39.192	20.625	53.682	1.531	4.165	20.221	10.805	25.917
	3	6.09	2.94	64.63	12.53	13200	5.742	10.811	60.760	49.010	77.313	1.478	4.462	29.872	24.278	35.812
	4	6.11	2.96	51.46	9.94	10600	4.707	9.221	48.337	37.376	62.265	1.294	4.014	24.102	18.694	29.410
	5	5.53	2.40	46.12	10.44	18100	4.522	8.410	45.475	27.241	58.407	1.216	3.695	22.613	13.626	27.524
	6	6.97	3.72	63.40	11.95	9000	5.718	11.335	59.401	50.184	76.454	1.569	4.940	29.653	25.089	36.162
	7	5.57	2.41	39.58	9.25	16800	3.858	7.045	38.762	20.860	49.665	1.023	3.115	19.267	10.444	23.405
	8	6.03	2.81	61.67	13.47	18300	5.791	10.865	59.275	37.619	75.931	1.541	4.799	29.522	18.823	35.862
	9	6.28	3.05	50.44	10.30	11600	4.607	8.834	47.451	33.362	60.892	1.240	3.882	23.655	16.681	28.777
	10	6.20	3.00	57.46	11.55	12800	5.294	10.245	54.442	41.180	69.981	1.438	4.483	27.143	20.586	33.064
	平均	5.17	2.92	56.88	11.47	13960	5.258	10.141	53.817	39.079	69.216	1.430	4.429	26.821	19.544	32.680
南 澳	1	10.84	7.07	118.97	14.32	2900	5.249	10.008	98.409	93.527	113.666	1.373	4.743	54.914	50.175	61.030
	2	10.70	7.12	114.91	14.18	2900	5.140	9.900	94.671	87.515	109.711	1.341	4.689	52.537	48.504	58.567
	3	9.16	5.93	68.40	9.89	3000	3.307	7.175	57.622	53.050	68.104	0.824	3.373	32.441	29.842	36.698
	4	9.01	5.75	62.98	8.43	2600	2.837	6.028	51.515	47.289	60.380	0.715	2.837	28.377	25.984	31.929
	5	8.94	5.67	86.51	11.79	3800	3.905	8.468	70.806	64.432	83.179	0.976	3.980	39.016	35.463	43.972
	平均	9.73	6.31	90.35	11.72	2980	4.088	8.316	74.605	69.163	86.829	1.046	3.924	41.457	37.988	46.427

閉果松 (*Pinus banksiana*) (Crow 1971) 及歐洲赤松 (*Pinus sylvestris*) (Attiwill and Ovington 1968)。

若改以其他之生長參數 (如底面積) 為平均木選取之依據, 則可望減少低估之比率, 表11所示即以三民試區所設定之 3 樣區為例, 由各樣區選取 3 株具林分平均底面積之樣木, 以為生長及生物量估算之依據, 結果顯示: 以底面積均值所求取之平均木, 其樹高及胸徑雖然已較實際值大17%, 然仍低估各部位之生物量; 低估之比率雖已比由胸徑均值取平均木所引致之差額率為小, 然仍較其他方法之差額率為大 (表 9, 表11)。

上述之結果均在在顯示, 平均木法實不宜供為銀合歡生物量估算之依據。

若以各胸徑級之平均木替代林分平均木以為生物量估算時, 則已顯著降低尺寸分佈所可能產生之偏差, 故其低估率亦因而顯著降低, 依比較之結果而言, 由分層木平均法以估算三民試區之葉部、枝部、幹部、可利用幹部及地上部生物量 (乾重) 時, 僅較實際生物量各低估 1.9%、0.6%、0.7%、1.6%及0.6%; 對南澳之幹部及可利用幹部生物量則各低估 2.4%及2.7% (表 9), 相當接近實測之生物量, 因此, 若囿於調查條件之限制, 則本研究所採用之方法可於野外有效且精確地估算目標樣區

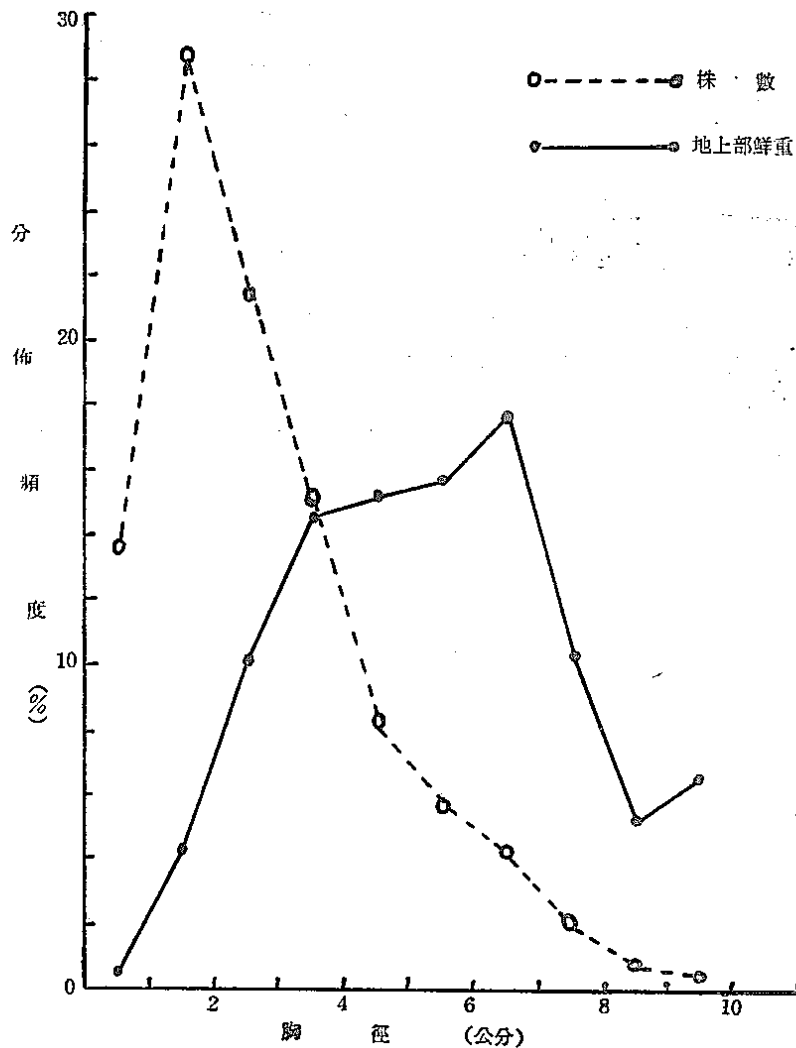


圖 1. 三民試區各胸徑級之株數與地上部乾重之分佈頻度。

之生物量。底面積比率法及材積比率法則是以樣木之底面積或是材積在全林分中所具之比率為估算依據，而略異於分層平均木法直接以株數比率為估算依據。惟依據分析結果顯示，由底面積比率法估算三民試區之葉部、枝部、幹部、可利用幹部及地上部生物量時，將較實際生物量（乾重）各高估13.4%、13.8%、5.7%、10.3%、7.2%，其差額率尚較分層平均木法為大；而對南澳試區之幹部及可利用幹部生物量則各低估2.0%及2.8%，略同於分層平均木法。材積比率法僅對三民試區之可利用幹部生物量之估算略優於分層平均木法，對其他部位生物量估算所產生之差額率均較分層平均木法為大；對南澳試區而言，其差額率亦極為類似（表9）。上述之資料遂顯示實無必要以材積比率法或底面積比率法替代分層平均木法。

然而，分層平均木法或其他之非迴歸估算法有其缺陷，若採用上述諸法固然可簡易地於野外操作，然僅限於對目標樣區生物量之測定，所得資料無法重覆地應用於同林分內其他樣區，或是其他林分

生物量之估算；亦無法有效解析各部位生長間之關係。故目前森林生物量之研究，絕大多數仍以迴歸估算法為基礎（王子定、高毓斌1979; Madgwick 1976; Pard'e 1980）。

二、迴歸估算法之應用

迴歸估算法即是由林分選取調查樣木，精確測定樣木之生長及各部位重量後，由迴歸分析以導出各部位重量與易測定生長參數間之關係式，以供為各立木估算其生物量之基礎。

(一)迴歸估算值與實際生物量之比較

本研究曾比較以試區所有立木或以各胸徑級所選取之平均木，導出各部位重量預測式後，其估算值之差異。

以試區內所有立木資料以導出其重量預測式時，若採用相對生長式為分析模式，對三民試區各部位生物量均呈低估，尤以葉部生物量（乾重）之低估率達12.8%，而其他部位之低估率為0.7~3.7%；對南澳試區之幹部及可利用幹部生物量雖略呈高估，然其差額率僅各為1.4%及2.2%，仍相當接近

表 11. 由具林分底面積均值之平均木以估算三民試區之生長與生物量

生長參數	I 區	II 區	III 區	平均	差額率 (%)
樹 高 (公尺)	8.50	5.88	7.04	7.14	17.24
胸 徑 (公分)	4.2	2.6	3.5	3.4	17.18
林分鮮重 (公噸/公頃)					
葉 部	5.016	5.370	5.148	5.178	-14.06
枝 部	11.400	4.050	9.614	8.355	-29.32
幹 部	71.136	37.069	56.672	54.959	-10.89
可利用幹部	58.862	0	45.056	34.639	-27.32
地 上 部	87.552	46.489	71.434	68.492	-13.87
林分乾重 (公噸/公頃)					
葉 部	1.288	1.435	1.333	1.352	-18.55
枝 部	4.906	2.790	4.136	3.944	-22.98
幹 部	34.147	18.534	27.205	26.629	-13.40
可利用幹部	28.253	0	21.630	16.628	-30.23
地 上 部	40.341	22.759	32.674	31.925	-14.94

實際值。若改用二次曲線式為分析模式，則對三民試區各部位生物量之低估率僅為0.9%~1.6%，差額率之降低尤以葉部為最著；對南澳試區之幹部與可利用幹部生物量亦僅高估0.3~0.4%，較相對生長式之差額率為小(表9)。上述之分析資料遂顯示以二次曲線式配置銀合歡單株重量與胸徑之關係，並供為生物量估算時，較優於相對生長式之運用。

若以各胸徑級所選取之平均木資料為重量預測式導出之依據，並採用相對生長式為分析模式時，對三民試區各部位生物量亦均呈低估，葉部生物量(乾重)之低估率為10.8%，其他部位之低估率為0.2~4.1%，略大於由所有立木資料所導出者，惟其差距甚微；對南澳試區之幹部及可利用幹部生物量則各低估0.3%與0.7%，相當接近實際值。若改以二次曲線式為分析模式，則對三民試區約低估0.1%~7.0%，對南澳試區約低估0.2%~0.5%，均相當接近實際生物量，惟除葉部生物量外，其他部位生物量之估算時，以二次曲線式替代相對生長式所獲致之統計利益不若前者為著。基本上，以各胸徑級平均木或所有立木資料為估算依據所導致之差額率仍極類似，此現象乃同於共變數檢定之結果(表7)。上述之推論乃肯定本研究採用之取樣法於迴歸估算法應用時之適宜性。

(二) 迴歸模式之選擇

在探討單株重量與生長參數間之關係時，欲選擇最適宜之迴歸模式，實令人困擾。蓋迴歸式之優越性常以決定係數之高低視之，因為決定係數可顯示隨變數之變異成份可為自變數解釋之比率，但是，不同之迴歸模式間，若隨變數之單位不同，則決定係數之比較將毫無意義，雖採用之自變數及隨變數完全相同亦然(Furnival 1961)。如簡單線型迴歸式及二次曲線式可以決定係數為取決標準，而相對生長式係以隨變數之對數值為分析基礎，自然無法比較。為解決上述困難，本研究乃以Schlaegel (1981)所薦用之取決指標，即適合指數(FI)、估值標準誤差(Se)及變異係數(C.V.)供為迴歸

模式選擇之依據；事實上，此三種指標即Crow (1971)所採用之適合度標準係數(standard coefficient of fitness)、估值標準誤差(standard error of estimate)及估值相對誤差(relative error of estimate)。

就分析之結果(表4,表5)而言，若以線型迴歸模式為重量預測式分析之基礎，其適合指數較相對生長式或二次曲線式為低，而估值標準誤差及變異係數均為高，並不適宜應用於銀合歡人工林生物量之解析。究其原因，主要是銀合歡單株乾重與胸徑間，具有相當強烈之曲線關係所致。就相對生長式及二次曲線式而言，在三民及南澳試區均具有共同之現象，即葉部或可利用幹部重量預測式之導出，係以二次曲線式較優於相對生長式；而枝部或幹部與胸徑之適合指數、估值標準誤差及變異係數，在二種迴歸模式間之差異並不明顯(表4,5)。此種現象大致類似於以實際生物量所比較之結果(表9)，此即顯示了上述3種取決指標在迴歸模式選擇上之實用價值。

(三) 試區間重量預測式之比較

迴歸估算法之應用目標，即在將所導出之重量預測式擴及至未曾施行破壞調查之林分，以圖構成區域性生物量調查(regional biomass inventory)之基礎。然而，若未能慮及不同地區或林分結構對重量預測式之可能效應，即冒然引用為生物量估算依據，可能會產生較大之偏差。

就某些樹種而言，由樣木所導出之重量預測式確僅能代表所取樣之林分，尤以葉部及枝部之重量為然(依田 1971, Tadaki 1966)。本研究雖僅探討三民與南澳試區，未能獲致確定性之結論，然就所比較之2試區而言，其葉部或枝部重量與胸徑關係式之斜率或截距呈極顯著差異(表8)，亦說明其生育地特定性(site specificity)之存在；王子定等(1984b)及陳財輝(1984)亦曾指出，銀合歡葉部或枝部重量之相對生長式，在不同之栽植密度間顯呈分離。

就幹部重量而言，其截距與斜率亦於此2試區間顯著差異(表8)，此種差異之發生並非由樹高所引致，蓋導入樹高為第2自變數亦未能消除此變異。基本上，屬同一胸徑之立木，於較佳生育狀況或低密度之南澳試區，其幹部重量較三民試區為高，Van den Belt(1983)曾指出銀合歡材部比重係與林分密度呈負相關，因植栽密度增加致使比重下降之趨勢尤以4年生以上者為著，此結果與本文所描述之現象相符合；但陳財輝(1984)的研究則未見有此種變異。Koerper與Richardson(1980)對大齒楊(*Populus grandidentata*)之研究，曾指出該樹種在較佳生育地時，屬同一胸徑之立木其幹部乾重較貧瘠地者為大；然而，如紅槭(*Acer rubrum*)則不因生育地指數(site index)而影響其幹部重量與胸徑間之相對生長式(Crow 1983)。若能解析重量預測式在不同生育地或林分發生變異之原因，從而建立某一類型之林分結構或生育地級之共同預測式，將可供為銀合歡人工林生產力評估之實際依據，此乃屬今後亟待努力之重點。

三、銀合歡林分生長與生物量關係之解析

在上述目標尚未達成之前，若囿於重量預測式具存生育地特定性之事實，則迴歸估算法在生物量研究之應用價值，自然受到限制。然而，其他之方法如生物量預測式(biomass predicated equation)之導出，亦曾被學者所使用，以供為區域性調查之實用依據。此即解析林分生長與林分生物量間之數量化關係，並藉由所測定之林分生長參數如林分胸徑、林分樹高，材積或底面積，以估算其生物量生產量。若資料來源之林分構成或生育地之變域愈大，所導出之生物量預測式愈具代表性，其適用之範疇及估值確度亦愈增。

目前已導出此類關係者，僅見於維吉尼亞松(*Pinus virginiana*) (Madgwick and Kreh 1980)、顛楊(*Populus tremuloides*) (Liefers and Campbell 1984)、灌木林(Connolly-McCarthy and Grigal 1985)及菲律賓栽植之

銀合歡(Kanazawa *et al.* 1982)，均獲致令人滿意之結果。

本研究遂以三民與南澳試區所獲之資料(表10)，配合其他試區或地區之調查結果(表12)，解析本省銀合歡人工林各部位生物量與林分底面積及平均樹高之關係，結果如表13所示。其中，表12所列數值多來自作者尚未發表之資料，如知本試區係屬5年生之人工林調查結果，三民試區則為集植試驗及施肥試區之資料，亦均為5年生之人工林；三民之密度試驗(王子定等 1984b)亦一併予以分析。

就葉部及枝部生物量而言，在本研究所調查之南澳與三民試區間，並未能成功地導出其關係式；以其他試區之資料為分析依據時，決定係數亦相當低，不足以信賴。究其原因，在同一試區內，葉部及枝部生物量雖將因平均樹高或林分底面積之增加而趨大，但是，此二部位生物量在不同試區間却具甚大之變異，以南澳及三民試區為例，其冠部生物量反而因樹高之增加而趨小(表10)，相同之現象亦見於三民集植試驗及密度試驗之葉部生物量比較，或是三民施肥試驗、斗六密度試驗及知本人工林枝部生物量比較(表12)。據此推論，銀合歡葉部及枝部生物量之生產量，僅由此二種林分變數探討其變異，尚屬不足，可能生育地之等級對冠部生物量之生產較具影響，惟此仍有待證實。

就幹部生物量而言，其分析結果相當令人滿意，無論是本研究所設定之試區或其他研究之資料，幹部生物量與此2林分變數之相關係數均高達98%以上；即令合併予以分析，適合度指數(F.I.)亦高達0.97，而變異係數(C.V.)僅為7.3%(表13)，實足以供為生物量估算之依據。由於幹部生物量為構成地上部生物量之主體，地上部生物量與林分底面積及平均樹高之關係，亦具極高之相關性，適合度指數高達0.98，變異係數(C.V.)亦僅6.2%而已。

進一步之比較將可察覺，由本研究所設定試區

表 12. 本省銀合歡人工林生物量之生產 (資料來源：其他研究)

試 區	胸 徑 (公分)	樹 高 (公尺)	材 積 (公尺 ³ /公頃)	底 面 積 (公尺 ² /公頃)	林分密度 (株/公頃)	生 物 量 (乾重; 公噸/公頃)			
						葉 部	枝 部	幹 部	地 上 部
(1) 知 本 (造林地)	5.49	9.64	94.54	12.14	4100	0.969	3.043	41.032	45.044
	8.34	12.31	242.40	25.95	4000	2.226	6.919	100.657	109.802
	6.42	10.59	85.59	10.51	2700	0.855	2.697	36.769	40.303
	5.24	8.85	77.45	10.26	4200	0.809	2.547	33.910	37.266
	5.38	9.22	98.27	12.30	4200	0.991	3.109	42.365	46.465
	6.23	10.27	148.65	17.00	4200	1.418	4.426	62.553	68.397
	4.35	8.27	94.16	12.47	5900	0.982	3.089	41.151	45.222
	5.18	9.03	166.30	18.98	5900	1.583	4.939	69.875	76.397
	6.45	10.52	133.49	15.94	3900	1.311	4.100	56.920	62.331
	6.33	10.49	167.57	19.55	4900	1.618	5.056	70.871	78.545
(1) 三民 (巢植試驗)	3.89	7.60	73.17	12.58	8000	0.865	5.977	33.331	40.172
	4.06	7.70	77.07	13.18	7800	0.910	6.289	35.076	42.275
	4.32	7.90	88.48	14.81	8250	1.042	7.194	35.134	48.371
	3.97	7.70	68.61	11.99	7625	0.813	5.621	31.350	37.784
	3.99	7.60	68.20	11.64	7500	0.805	5.563	31.029	37.397
(1) 三 民 (施肥試驗)	6.10	9.30	98.88	16.04	5000	1.123	7.053	51.830	60.006
	5.90	8.10	88.77	14.47	4850	1.171	6.923	41.626	49.719
	4.70	7.40	29.43	5.01	2450	0.798	3.112	13.003	16.913
	6.90	9.80	127.03	19.55	4850	2.170	9.021	64.431	75.621
	6.40	9.70	105.41	16.92	4900	1.246	7.081	56.529	64.855
	5.40	9.00	70.96	12.09	4900	1.131	4.585	35.162	40.879
	6.00	9.30	101.18	16.11	5000	1.310	6.675	49.115	57.100
	6.80	9.70	117.80	18.54	4850	0.962	6.727	58.837	66.525
	5.70	9.30	86.12	14.04	4950	1.027	6.493	40.110	47.634
	6.80	9.00	112.65	17.82	4950	1.260	8.171	49.982	59.412
	6.40	8.70	107.81	17.23	4950	1.260	8.247	50.934	60.440
5.80	8.80	82.41	13.70	4850	1.039	5.737	39.024	45.801	
(2) 三民 (密度試驗)	4.92	8.46	23.56	4.38	2150	0.536	1.939	11.070	13.545
	4.07	8.08	28.50	5.54	4030	0.724	2.135	13.479	16.338
	3.43	7.31	41.72	8.71	8800	1.105	3.926	24.133	29.146
	2.98	6.96	60.05	13.59	16600	1.797	4.320	36.877	42.993
	2.43	6.35	77.74	19.30	32830	1.807	6.093	47.360	55.260

(1)高毓斌 (尚未發表資料) ; (2)王子定等 (1984 b)。

表 13. 鑄合歡人工林生物量(乾重)與林分底面積及平均樹高之關係

資料來源	生物量 (公噸/公頃)	$w = a(BA \times H_t)^b$						
		a	b	r^2	$S_{y \cdot x}$	F.I.	Se	C.V.(%)
本研究 (表10)	葉部			N.S.				
	枝部			N.S.				
	幹部	0.6075	0.8896	0.987	0.016	0.992	1.028	3.24
	地上部	1.0678	0.7996	0.969	0.023	0.977	1.832	4.92
其他研究 (表12)	葉部	0.0975	0.5132	0.564	0.094	0.593	0.261	22.03
	枝部	0.3056	0.5833	0.437	0.138	0.847	1.477	24.21
	幹部	0.3326	1.0068	0.971	0.036	0.959	3.556	8.15
	地上部	0.5160	0.9464	0.973	0.033	0.967	3.500	6.86
合併資料	葉部	0.2614	0.3217	0.238	0.118	0.312	0.320	26.27
	枝部	0.4375	0.5096	0.417	0.123	0.842	1.313	23.57
	幹部	0.4387	0.9532	0.968	0.036	0.970	2.918	7.26
	地上部	0.6899	0.8895	0.966	0.034	0.975	2.920	6.20

註：BA為林分底面積(公尺²/公頃)，H_t為平均樹高(公尺)；
N.S.為不具顯著相關，餘者均為極顯著相關。

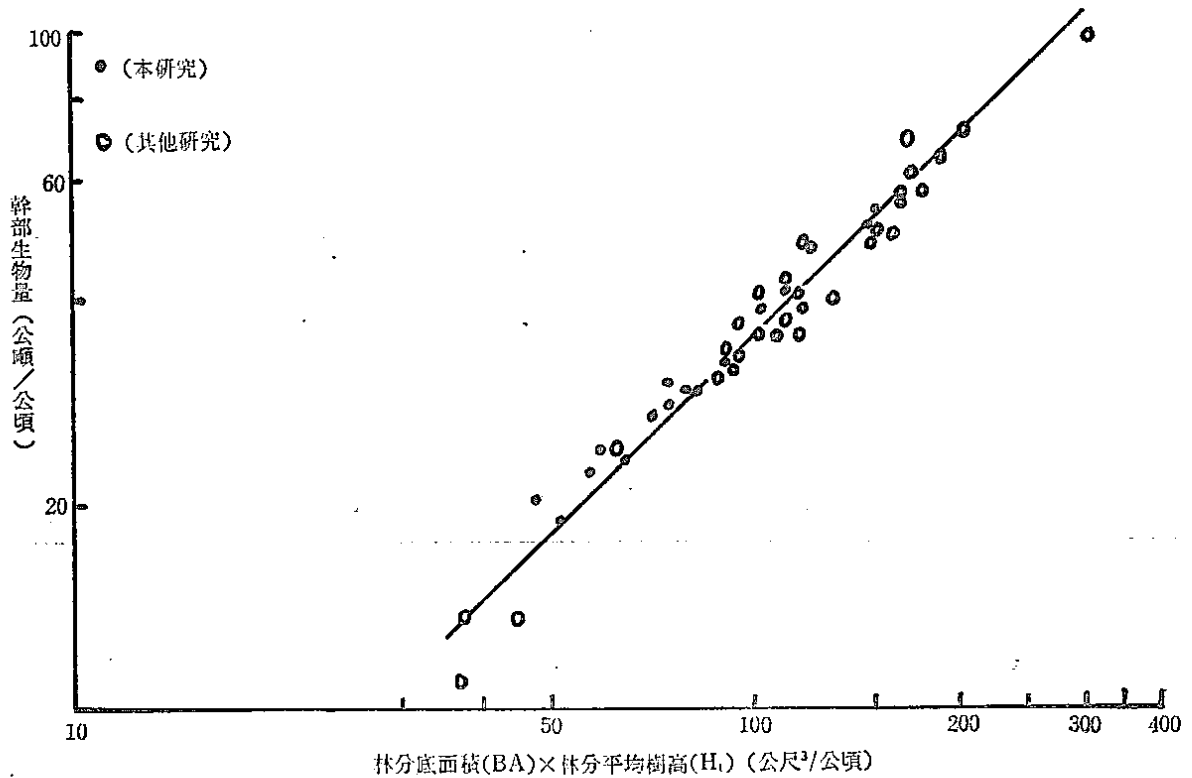


圖 2. 鑄合歡幹部生物量與林分底面積及平均樹高之關係

之調查資料而導出之生物量預測式，略異於其他試區之資料，差異之發生係源自三民試區之密度試驗，而此部份之觀測值較為偏低之故（圖 2，3）；惟其他試區中如三民試區之施肥試驗、巢植試驗或知本試區之調查資料則相同符合本研究資料組所導出之關係。變異發生究竟導因於生育地差異、林分密度過低或引用迴歸估算法可能會低估生物量之事實（表 9），仍有待解析。

伍、結 論

本研究係以平均木法、分層平均木法、底面積比率法、材積比率法及迴歸估算法等，以估算 5 年生銀合歡人工林之地上部生物量，並比較上述諸法所獲估值與實際生物量之差異。

就 4 種非迴歸估算法中，以平均木法最不可靠，對生物量之測定將產生重斂之低估，若以平均底面積替代胸徑均值為平均木選取之依據時，低估之缺陷雖可部份彌補，仍較其他方法所獲估值為不可

信賴。若以各胸徑級之平均木替代林分平均木為生物量估算依據，則可消除因尺寸分佈式樣相異所產生之偏差，其所獲之估值，將可相當接近實際生物量。由分析資料顯示，欲以材積比率法或底面積比率法取代分層平均木法，並無此必要。若囿於研究之條件，分層平均木法可供為目標林分生物量測定之依據，惟其結果未能重覆適用於其他林分，是其主要缺點。

上述缺陷可以迴歸估算法彌補之，且供為區域性生物量調查之基礎。以試區內所有立木資料所導出之相對生長式以估算生物量時，對三民試區將呈低估，葉部生物量之低估率為 12.8%，其他部位包括枝部，幹部及可利用幹部生物量則低估 0.7~3.7%；惟對南澳試區之幹部及可利用幹部生物量則高估 1.4~2.2%。若改用二次曲線式為分析模式，則三民試區各部位生物量之低估率降至 0.9~1.6%，南澳試區之高估率亦降至 0.3~0.4%。因擇用不同迴歸模式所能獲致之統計利益相當明顯，此種現象

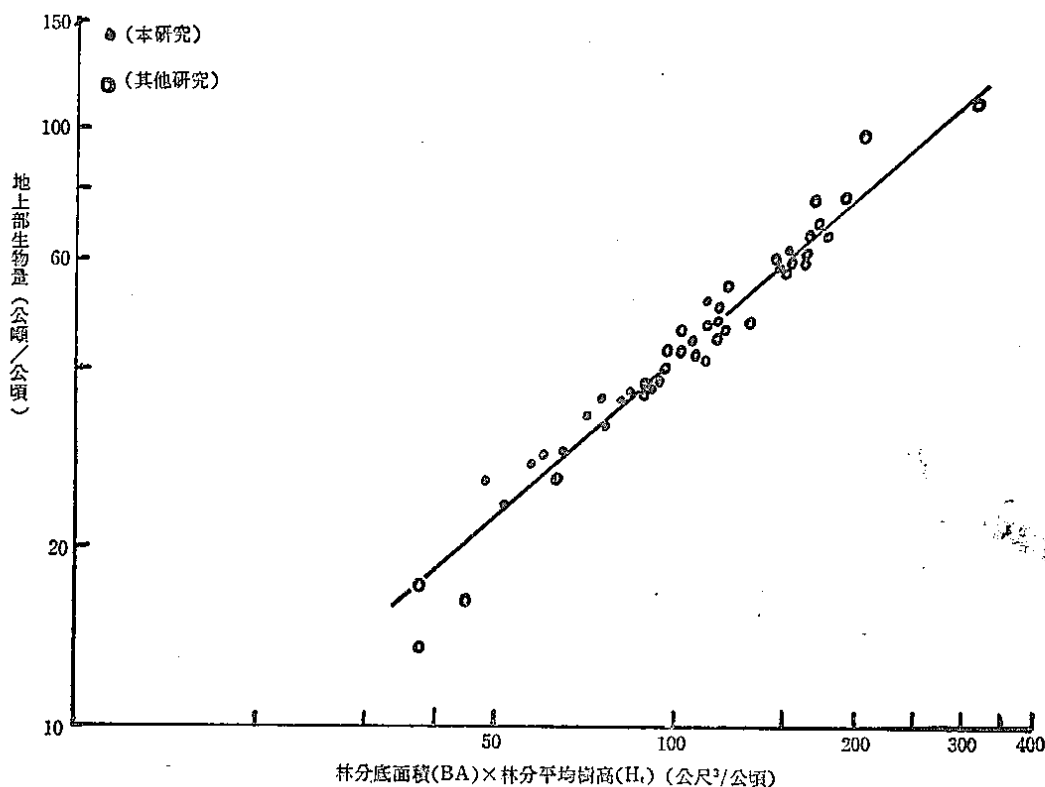


圖 3. 銀合歡地上部生物量與林分底面積及平均樹高之關係

由3種取決指標，即適合指數，估值標準誤及變異係數評估迴歸模式之適合性之結果相吻合。若以各胸徑級所取平均木為重量預測式之導出依據，其估值與實際生物量之差額率，將類似於由所有立木資料導出者，故此種取樣法係屬可接受者。

無論是葉部、枝部或幹部之重量預測式，其截距及斜率均於所設定之2試區間顯呈差異，未能導出其共同迴歸式。惟藉由林分生物量預測式之導出，將可精確且有效地由林分底面積及平均樹高以估算幹部或地上部生物量，對葉部及枝部生物量之估算則另需進一步探討。

陸、引用文獻

1. 王子定、高毓斌，1979。再論森林生物量 中華林學季刊12(3):1~30。
2. 王子定、蘇學波、高毓斌，1984a。短輪伐期林業 中國造林事業協會p.29頁。
3. 王子定、蘇學波、陳堅強、高毓斌，1984b。各栽植密度銀合歡之生長地上部生物量 中華林學季刊1(4):13~25。
4. 任憶安，1986。臺灣巨型銀合歡造林投資之經濟分析 林試所試驗報告 No.466 16頁。
5. 沈秀雀、陳明義、陳清義，1984。薩爾瓦多型銀合歡栽植密度與生長之關係 興大理工學報 No.21, p.81-87。
6. 呂錦明、胡大維、施文君，1984。銀合歡生長之研究——佳林密度試驗區3年生之生長及生物量 林試所試驗報告No. 405 18頁。
7. 胡大維、江濤、施文君，1980。銀合歡造林生產量之研究 林試所試驗報告 No. 335。
8. 陳財輝，1984。薩爾瓦多型銀合歡栽植密度試驗——斗六試驗地4年生之結果 林試所試驗報告 No. 434 54頁。
9. 依田恭二，1971。森林の生態學 築地書館 331頁。
10. Attiwill, P. M., and J. D. Ovington. 1967. Determination of forest biomass. For. Sci. 14:13-15.
11. Baskerville, G. L. 1965. Dry matter production in immatured balsam fir stands. For. Sci. Monogr. 9:1-42.
12. Baskerville, G. L. 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. Can. Jour. For. Res. 2:49-53.
13. Bonita, M.L. 1981. Timber management and harvesting criteria for mass selection of fuelwood. In: Proceeding of ERD/EWC Conference on Fixing criteria for Selection of Fuelwood Species UPLB, Los Banos, Philippines.
14. Connolly-McCarthy, B. J., and D. F. Grigal. 1985. Biomass of shrub-dominated wetlands in minnesota- For. Sci. 31:1011-1017.
15. Crow, T.R. 1971. Estimation of biomass in an even-aged stand—regression and mean tree techniques. In: (Young, H. E. ed.) Forest Biomass Studies: 35-48. University of Maine.
16. Crow, T. R. 1978. Common regression to estimate tree biomass in tropical stands. For. Sci. 24:110-114.
17. Crow, T. R. 1983. Comparing biomass regressions by site and stand age for red maple. Can. J. For. Res. 13: 283-288.
18. Dixon, W. J. 1981. BMDP statistical Software. university of California press, 726 pp.
19. Furnival, G. M. 1961. An index for comparing equations used in constr-

- ucting volume tables. For. Sci. 7:337-341.
20. Kanazawa, Y., A. Sato, and R. S. Orsolino. 1982. Above-ground biomass and the growth of giant ipil-ipil (*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit) plantations in Northern Mindanao Island, Philippines. JARO 15(3):209-217.
21. Koerper, G. J., and C. J. Richardson. 1980. Biomass and net annual primary production regressions for *Populus grandidentata* on three sites in northern lower Michigan. Can. J. For. Res. 10:92-101.
22. Lu, C. M., and T. W. Hu. 1982. Biomass production of two year old spacing trial plantation of *Leucaena* in Taiwan. *Leucaena Research Reports*. 3:53-54.
23. Madgwick, H. A. I. 1976. Measurement of forest biomass. In H.E. Young (ed.) OSLo Biomass Studies: 13-27., University of Maine.
24. Madgwick, H. A. I. 1981. Estimating the above-ground weight of forest plots using the basal area ratio method. N.Z.J. For. Sci. 11(3):278-286.
25. Madgwick, H.A.I. 1983. Above-ground weight of forest plots-comparison of seven methods of estimation. N. Z. J. For. Sci. 13(1): 100-107.
26. Madgwick, H.A.I., and R.E. Kreh. 1980. Biomass estimation for virginia pine trees and stands. For. Sci. 26:107-111.
27. Pardé, D, R., Jr. 1980. Forest biomass. For. Abst. 41(8): 343-362.
28. Revilla, A. V., Jr. 1983. Wood-yield production models for leucaena plantations in the Philippines. In: *Leucaena Research in the Asian-Pacific Region*.
29. Semana, J. A., and P. A. Leano. 1977. Determination of the volume of giant ipil-ipil at the Canlubang Sugar Estate Plantation. NSDB Tech. J. 2(3):46-52.
30. Schlaegel, B.E. 1981. Testing, reporting, and using biomass estimation models. Proceedings of Southern Forest Biomass Workshop. 1981, p. 95-112.
31. Tadaki, Y. 1966. Some discussions on the leaf biomass of forest Stands and trees. Bull. Gov. For. Exp. Stat. No. 184:135-159.
32. Van den Beldt, R. J. 1983. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de wit for wood production. Ph. D. Thesis, University of Hawaii, 148pp.

The comparison of different methods for estimating the biomass of *Leucaena leucocephala* plantations

Shen-Chen Liu Yu-Ping Kao

Summary

The above-ground biomass of two 5-year-old *Leucaena leucocephala* stands at San-Ming and Nan-Our was estimated by mean tree, stratified mean tree, basal area ratio, volume ratio and two regression methods. The accuracy of different methods in estimating the dry production was evaluated by comparing with the actual biomass production obtained from three study plots (10×10m) in each site where all the trees were felled and weighed. Lowest estimates were consistently obtained with the mean tree method with the component biomass being 24-74% underestimated. The stratified mean tree method was the best method among the four non-regression methods in estimating the leucaena biomass production with the component biomass were only 0.6-2.7% underestimated. The best regression method which being based on the quadratic equations relating the component weights and DBH gave an underestimation of 0.1-7.0% for the component biomass. The quadratic regression method is recommended for estimating the above-ground biomass in leucaena plantations for its accuracy and data transferability. However, if facilities are limited, the stratified mean tree method can also provide a simple and acceptable estimation.