

## 玉里地區酸性土壤之改良對銀合歡 生長之效應

孔繁熙 高毓斌 楊武俊

### 摘 要

為改良銀合歡在酸性貧瘠土壤之低劣生產力，本研究在探討pH值調整與化學肥料施用，對其生長及生產力之影響。分析結果顯示，此二種改良作業均有助於初期之生長，僅施用pH改良劑，底面積連年生長量之促進，可持續至造林後3年內，僅施用化學肥料，則可持續至處理後4年內，混合施用時，此二種作業間具顯著之交互作用。銀合歡生產力之改良，應以化學肥料之施用，優先於pH值之調整。若經費允許，可以基量磷粉調整pH值，並分期施用化學肥料，生物量平均年生產量為14.1ton/ha，較未經任何改良者增加166%之生產量。

關鍵詞：土壤改良，交互作用，生物量、生產量。

孔繁熙、高毓斌、楊武俊，1990，玉里地區酸性土壤之改良對銀合歡生長之效應，林業試驗所研究報告季刊。5(2):111-120。

### The effects of the amelioration of the acid soils on the growth of *Leucaena leucocephala* in Yu-Li, eastern Taiwan

Kung, Fan-Hsi, Yu-Ping Kao, Wu-Jiunn Yang

### [Summary]

To improve the poor productivity of *Leucaena leucocephala* grown on inferior soils with low pH, the growth response of the species to lime, rock phosphate (GRP) and composite fertilizer were examined. The growth data combined from 2 to 5-year old trials showed that both the treatments of pH adjustment and fertilizer and their interaction effects were very significantly in current annual increments of stand basal area (CAI). By applying lime or GRP only, CAI were significantly promoted within three years after the treatments, however, the promotion lasted four years when composite fertilizer were applied solely. Nutrients supply directly by fertilization were more effective compared to soil pH adjustment in improving the productivity of *leucaena*. The best growth response in a five-year old stand was treated with the combinations of 1375 kg/ha GRP and composite fertilizer at three different stages. The mean annual production of above-ground biomass was estimated as 14.1

ton/ha for the above operation, which is about 166% of the biomass, as compared to the trial without any amelioration practices.

**Key Words:** soils amelioration, interaction, biomass production.

Kung, Fan-shi, Yu-ping Kao, Wu-jiunn Yang. 1990. The effects of the amelioration of the acid soils on the growth of *Leucaena leucocephala* in Yu-Li, eastern Taiwan. Bull. Taiwan For. Res. Inst. New Series. 5(2):111-126.

## 一、緒 言

銀合歡 (*Leucaena leucocephala*)，自引進國內後，由民國 69 年始，即大面積推廣造林，在短短 5 年期間，全省之造林面積達 12,000 公頃。木蝨危害之發生，雖使此樹種之造林意願大幅低落，然而，依蟲害發生前之經濟分析結果，全省約有 56% 之林地，其年收穫量(鮮重)僅在 12ton/ha 以下，由於初期速生之特性未能發揮，造林投資多屬虧損(任德安 1986)。歷經數年，木蝨危害有漸消沉之跡象，有關抗蟲品系之研究，亦漸有所成(Pan 1987)。銀合歡之造林意願，若漸再復甦，仍面臨生產力低劣之困境。

銀合歡在酸性土壤中，生長甚為低劣之現象，在此樹種引進之初，曾有國內、外學者提出警告(王子定等 1982，NAS 1977)。然而，造林熱潮一旦興起，對林地之需求過於殷切，往往忽視銀合歡特定之生育地條件。在此情況下，銀合歡於本省之造林，即使木蝨危害未發生，亦將因低產之生產力而蒙受損失。

本省東部氣候屬高溫多雨，坡地土壤多呈酸性，嚴格而論，適合銀合歡造林之林地並不多。在此限制之下，可否藉由土壤改良作業，包括 pH 值調整與化學肥料之施用，誘發此樹種初期速生之特性，以充裕本省之纖維資源，實為本研究當初進行之目的。目前之研究結果，雖已無助於已栽植並遭蟲害人工林之生產力改良。但是，除銀合歡外，許多熱帶豆科樹種，亦有不適宜酸性土壤生育之限制(Munns *et al.* 1977)。對可能

引進之速生固氮樹種，或是發展中之抗蟲品系之銀合歡而言，土壤改良作業能突破多少酸性土壤之限制，本報告可供作生物性評估 (biological evaluation) 之參考。

## 二、材料與方法

本研究所設之試驗地，位於花蓮縣玉里之一處耕鳳梨園，海拔高約 200 公尺，為粘性之紅色土壤，坡度約 5~10%。試驗地內由隨機選取 8 處樣點，深度至 30 公分之土壤樣本，經分析後，其重要之土壤性質，如表 1 所示。

試驗採裂區設計，即以土壤酸度之調整為主區，施肥處理為副區。對主試區而言，在整地之際，於各植穴(徑及深均為 30cm) 施加預定之土壤改良劑，充分與植穴內土壤混合，計有 4 種處理，各 pH 調整處理，包括每穴施用石灰石粉 100 公克(500 公斤/公頃)，磷礦粉 275 公克(1375 公斤/公頃，甚量磷粉)，磷礦粉 514 公克(2750 公斤/公頃，倍量磷粉)及不調整。施肥處理之副試區，係以每公頃施用 1250 公斤之硝酸銨鈣、750 公斤之過磷酸鈣及 250 公斤之氯化鉀為基準量，採用植穴施肥，所對應之各植穴施肥量，即為該比率之混合肥料 450 公克。此數量之肥料，有於造林後即全部施用，或是分期施用，先以 1/3 量(150 公克)為基肥，餘者於造林後第 6 及第 10 個月，各追加 1/3。包括不施肥之對照區，共有 3 種處理。

上述 12 種處理組合，採隨機區排列，重複數為 5，共有 60 小區。各小區種植 20 株苗木，各

表 1 試驗地重要之土壤性質

土壤深度 (cm)	土壤 pH 值	有機物 (%)	全氮量 (%)	有效態 磷(ppm)	土壤 質地
0~15	4.3	2.19	0.09	0.64	粘質壤土
15~30	4.5	1.43	0.07	0.57	粘質壤土

區外緣尚有相同處理之2行苗木，以為緩衝帶，株行距為1m×2m，相當於5000st/ha之栽植密度。在完成整地1個月後，將磨破種皮浸水12小時之銀合歡K28種子，直接播種於各植穴，各植穴之播種量為3。試區造林工作於民國69年12月間完成。

直播造林後第3個月時，實施成活率調查，各植穴僅留存1株健壯之苗木，餘者則移植至相同處理而缺株之植穴。自造林後滿1年，即於每年12月間，就試區內樣木調查直徑及樹高。在民國74年12月時，除進行最後一次生長調查外，另就參與試驗之12種處理組合，各隨機選取15株樣木，由地際處伐倒後，測其樹高及胸徑，分別秤量葉、枝及幹部鮮重，並由樣本於100℃±3℃所測之含水率，以估算單株各部位乾重。在求出各處理各部位乾重與胸徑之相對生長式後，以每木合計法求出各試區之預測生物量，詳細之分析步驟如劉宣誠及高毓斌(1987)所採用者。

造林後2~5年生間之林分生長對處理之反應，係以底面積連年生長量為探討對象，採用裂區

設計年度資料之併合分析(Gomez and Gomez 1984)，以明瞭此生長特性在各處理組合與林齡間之交感作用。對胸徑、林分底面積或生物量而言，此二種生長參數，均將因林齡而發生系統性之變動，交感作用之分析，並不具太多實質之意義(McIntosh 1983)，故僅以5年生時之林分狀態，為處理效應之分析對象。

處理間均數之比較，則採用鄧肯氏新多變域檢定法，依據交感作用之顯著性，選取適當之均數差異標準誤差(Standard error of mean difference)，進行檢定(Gomez and Gomez 1984)。

### 三、結果與分析

生育於酸性土壤之銀合歡，在經土壤改良作業後，2~5年生間之底面積連年生長量，於pH值調整，施肥及林齡間，均呈極顯著差異；施肥與pH值調整未具顯著之交感效應，然而，與林齡有關之交感效應，均呈極顯著(表2)。此即說明；pH值調整對銀合歡底面積連年生長量之影響，

表2 2~5年生銀合歡底面積連年生長量(m<sup>3</sup>/ha/yr)之雙方分析

變異來源	自由度	均方	F值
區集	4	2.91	
pH調整	3	12.68	9.75**
機誤	12	1.30	
施肥	2	41.23	48.51**
施肥×pH調整	6	1.49	1.75NS
機誤	32	0.85	
林齡	3	77.35	209.05**
林齡×pH調整	9	2.54	6.86**
林齡×施肥	6	4.16	11.24**
林齡×pH調整×施肥	18	1.79	4.84**
機誤	144	0.37	

NS表示不具顯著差異，\*\*表示極顯著差異(P≤0.01)。

未因施肥處理而顯著改變作業之優劣效應，反之亦然；而此二種改良作業之互動關係，在年度間將呈極顯著之變動。

依據交感效應之檢定結果，各pH值調整作業之效應比較，如表3所示。當僅調整pH值而未施肥時，處理後3年內之底面積連年生長量，均顯著

優於未調整pH之處理，而基質磷粉優於石灰石粉之現象，僅見於2年生時之生長反應；4~5年生間之底面積連年生長量，則不因pH值之調整而異。若配合化學肥料之施用，在一次施肥之作業方式時，各pH調整作業間均未見差異，在分期施肥時，亦僅2年生之生長量顯著受到促進。

表3 2—5年生銀合歡底面積連年生長量(m<sup>3</sup>/ha/yr)在不同pH值調整作業間之比較

施肥 作業	林齡 (yr)	pH 值 調 整			
		未調整	石灰石粉	基量磷粉	倍量磷粉
未 施 肥	2	1.1 <sup>a</sup>	2.6 <sup>b</sup>	4.0 <sup>a</sup>	3.2 <sup>ab</sup>
	3	2.1 <sup>a</sup>	4.1 <sup>1a</sup>	4.3 <sup>a</sup>	4.2 <sup>a</sup>
	4	3.1 <sup>a</sup>	3.4 <sup>a</sup>	4.1 <sup>a</sup>	4.0 <sup>a</sup>
	5	1.3 <sup>a</sup>	1.6 <sup>a</sup>	1.8 <sup>a</sup>	1.9 <sup>a</sup>
一 次 施 肥	2	4.6 <sup>a</sup>	4.5 <sup>a</sup>	4.9 <sup>a</sup>	4.4 <sup>a</sup>
	3	4.7 <sup>a</sup>	4.9 <sup>a</sup>	5.1 <sup>a</sup>	5.0 <sup>a</sup>
	4	4.1 <sup>a</sup>	4.3 <sup>a</sup>	5.0 <sup>a</sup>	4.9 <sup>a</sup>
	5	1.9 <sup>a</sup>	2.3 <sup>a</sup>	2.6 <sup>a</sup>	2.8 <sup>a</sup>
分 期 施 肥	2	3.6 <sup>a</sup>	5.2 <sup>b</sup>	6.2 <sup>a</sup>	5.6 <sup>ab</sup>
	3	4.8 <sup>a</sup>	5.3 <sup>a</sup>	5.2 <sup>a</sup>	4.7 <sup>a</sup>
	4	4.4 <sup>a</sup>	4.2 <sup>a</sup>	4.9 <sup>a</sup>	4.7 <sup>a</sup>
	5	2.0 <sup>a</sup>	1.8 <sup>a</sup>	2.4 <sup>a</sup>	2.3 <sup>a</sup>

在相同林齡與施肥作業內，比較各pH調整之效應時，凡英文字母相同者，表示其間不具顯著差異( $p > 0.05$ )，凡字母相異者，表示其間具顯著差異( $p \geq 0.05$ )

各施肥作業間之效應比較，如表4所示。僅施用化學肥料而未調整pH值時，施用後4年內之底面積連年生長量，均顯著優於未施肥者；若配合pH改良劑之處理，施肥與不施肥間之差異，僅見於造林後2—3年之生長反應。

在5年生之林分中，由12種處理組合各達機選取15株樣木，所導出之葉、枝及幹部乾重預測式，均呈極顯著相關，以胸徑為預估變數時，經共變數分析檢定之結果，預測式之斜率或截距，在各處理組間，呈顯著差異，故各試區生物量之估算，乃以表5所示之相對生長式，為估算之依據。

5年生林分之胸徑、底面積及生物量生產量，在各改良作業間比較後之變方分析，如表6所示。林分平均胸徑、底面積及幹部生物量，在各pH值調整作業間，或是施肥方式間，均具極顯著或顯著差異；葉部及枝部生物量僅在施肥方式間，具極顯著差異，然未因pH調整作業而異。就pH調整及施肥方式間之交感作用而言，在所探討之林分生長特性中，均未具顯著效應。

依據變方分析之結果，各pH調整作業對5年生林分生長之效應比較，如表7所示。就胸徑而言，基量磷粉與倍量磷粉間未具顯著差異，倍量磷粉與石灰石粉或是石灰石粉與對照區間亦未具顯

著差異，僅基量磷粉優於石灰石粉及對照區。林分底面積以基量磷粉為最高，顯著優於石灰石粉或未調整者；倍量磷粉與基量磷粉間，或是與石灰石粉間，均未具顯著差異。生物量生產量則視部位而異；葉部或枝部生物量在各處理間均未具差異，幹部及地上部生物量不因pH調整之材料而異，然均優於未調整之作業。

施肥作業對5年生林分生長之效應比較，則如表8所示。無論是胸徑、底面積或是各部位生物量，一次施肥與分期施肥間，並無顯著差異，然均顯著優於未施肥之處理。

#### 四、討 論

銀合歡人工林之生產力，將因生育地而呈變動，在弱酸性或肥沃之土壤，幹部生物量之平均年生產量可達13—18ton/ha(呂錦明等1984，程煒兒、沈慈安1987，陳財輝1984，劉宜誠、高毓斌1987)，若為強酸性或貧瘠之土壤，僅及5—8ton/ha(于子定、高毓斌1984，任德安1986，高毓斌等1989，劉宜誠、高毓斌1987)。酸性土壤之所以不利銀合歡之生長，主要原因包括：與根部分形成根瘤之rhizobium，其族群活性降低(Ahmad and Ng 1981)；磷之有效性降低，

表 4 2—5年生銀合歡底面積連年生長量(m<sup>2</sup>/ha/yr)在不同施肥作業間之比較\*

pH值調整作業	林齡(yr)	施肥作業		
		未施肥	一次施肥	分期施肥
未調整	2	1.1 <sup>a</sup>	4.6 <sup>a</sup>	3.6 <sup>b</sup>
	3	2.1 <sup>b</sup>	4.7 <sup>b</sup>	4.8 <sup>b</sup>
	4	3.1 <sup>b</sup>	4.1 <sup>a</sup>	4.4 <sup>b</sup>
	5	1.3 <sup>a</sup>	1.9 <sup>a</sup>	2.0 <sup>a</sup>
石灰石粉	2	2.6 <sup>b</sup>	4.5 <sup>a</sup>	5.2 <sup>b</sup>
	3	4.1 <sup>b</sup>	4.9 <sup>ab</sup>	5.3 <sup>a</sup>
	4	3.4 <sup>a</sup>	4.3 <sup>a</sup>	4.2 <sup>b</sup>
	5	1.6 <sup>a</sup>	2.3 <sup>a</sup>	1.6 <sup>a</sup>
基量磷粉	2	4.0 <sup>b</sup>	4.9 <sup>b</sup>	6.2 <sup>b</sup>
	3	4.3 <sup>a</sup>	5.1 <sup>a</sup>	5.2 <sup>b</sup>
	4	4.1 <sup>a</sup>	5.0 <sup>a</sup>	4.9 <sup>b</sup>
	5	1.8 <sup>a</sup>	2.5 <sup>a</sup>	2.4 <sup>a</sup>
倍量磷粉	2	3.2 <sup>b</sup>	4.4 <sup>b</sup>	5.6 <sup>b</sup>
	3	4.2 <sup>a</sup>	5.0 <sup>a</sup>	4.7 <sup>b</sup>
	4	4.0 <sup>a</sup>	4.9 <sup>a</sup>	4.7 <sup>b</sup>
	5	1.9 <sup>a</sup>	2.8 <sup>a</sup>	2.3 <sup>a</sup>

\* 在相同之林齡及pH調整作業內,比較各施肥作業之效應時,凡英文字母相同者,表示其間不具顯著差異(p < 0.05),英文字母相異者,表示其間具顯著差異。

表 5 5年生銀合歡單株乾重(kg)與胸徑(cm)之相對生長式(W=a DBH<sup>b</sup>)<sup>+</sup>

pH值調整	施肥處理	葉部乾重			枝部乾重			幹部乾重		
		a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>
未調整	未施肥	0.0041	2.4876	0.93	0.0377	2.0357	0.95	0.1123	2.3846	0.99
	一次施肥	0.0044	2.2290	0.90	0.0236	2.2117	0.90	0.0836	2.5513	0.99
	三次施肥	0.0049	2.1319	0.94	0.0243	2.1176	0.97	0.1013	2.4557	0.99
石灰石粉	未施肥	0.0058	2.1212	0.88	0.0256	2.0959	0.90	0.1146	2.3610	0.99
	一次施肥	0.0014	2.7814	0.89	0.0079	2.7106	0.97	0.0621	2.7097	0.98
	三次施肥	0.0014	2.6788	0.97	0.0223	2.1772	0.97	0.1105	2.4394	0.98
基量磷粉	未施肥	0.0026	2.4482	0.95	0.0054	2.8906	0.97	0.0931	2.4590	0.99
	一次施肥	0.0019	2.6498	0.91	0.0209	2.1751	0.97	0.1043	2.4563	0.99
	三次施肥	0.0045	2.0835	0.91	0.0641	1.6195	0.90	0.0822	2.5707	0.99
倍量磷粉	未施肥	0.0032	2.3558	0.99	0.0164	2.3270	0.97	0.0818	2.5549	0.99
	一次施肥	0.0026	2.4052	0.96	0.0155	2.3391	0.94	0.0880	2.4773	0.99
	三次施肥	0.0007	3.1398	0.95	0.0134	2.4455	0.95	0.0714	2.5142	0.98

\* 表列各相對生長式均具極顯著相關,各處理所取之樣木數均為15株,W為各部位乾重,DBH為胸徑。

表6 5年生銀合歡林分胸徑(cm)、底面積(m<sup>2</sup>/ha)及生物量(ton/ha)之變方分析

變異來源	自由度	胸 徑		底 面 積		葉 生 物 量		枝 生 物 量		幹 生 物 量	
		均方	F 值	均方	F 值	均方	F 值	均方	F 值	均方	F 值
區集	4	0.30		11.63		0.16		3.35		201.47	
pH調整	3	1.36	7.31**	48.37	13.32**	0.05	0.83 <sup>NS</sup>	2.15	2.01 <sup>NS</sup>	503.46	5.73*
主區機誤	12	0.19		3.63		0.06		1.07		87.88	
施肥	2	4.84	28.03**	164.91	38.41**	0.51	12.75**	23.71	27.25**	2,375.35	43.31**
施肥×pH調整	6	0.07	0.40 <sup>NS</sup>	6.44	1.50 <sup>NS</sup>	0.07	1.75 <sup>NS</sup>	1.90	2.18 <sup>NS</sup>	81.44	1.48 <sup>NS</sup>
副區機誤	32	0.17		4.29		0.04		0.87		54.85	

NS表示不具顯著差異(P>0.05)；\*表示具顯著差異(P≤0.05)；\*\*表示具極顯著差異(P≤0.01)。

表7 5年生銀合歡林分胸徑、底面積及各部位生物量在各pH調整作業間之比較\*

pH 調 整	胸 徑 (cm)	底 面 積 (m <sup>2</sup> /ha)	生 物 量(ton/ha)			
			葉	枝	幹	地上部
未調整	5.8 <sup>c</sup>	12.6 <sup>c</sup>	1.16 <sup>a</sup>	5.49 <sup>a</sup>	38.63 <sup>b</sup>	45.27 <sup>b</sup>
石灰石粉	5.9 <sup>bc</sup>	14.7 <sup>b</sup>	1.21 <sup>a</sup>	6.07 <sup>a</sup>	48.12 <sup>a</sup>	55.41 <sup>a</sup>
基量磷粉	6.4 <sup>a</sup>	16.8 <sup>a</sup>	1.29 <sup>a</sup>	6.34 <sup>a</sup>	52.50 <sup>a</sup>	60.13 <sup>a</sup>
倍量磷粉	6.2 <sup>ab</sup>	15.7 <sup>ab</sup>	1.26 <sup>a</sup>	6.22 <sup>a</sup>	46.79 <sup>a</sup>	54.27 <sup>a</sup>

\*字母相同者，表示不具顯著差異(P>0.05)，字母相異者，表示具顯著差異(P<0.05)。

表8 5年生銀合歡林分胸徑、底面積及各部位生物量在各施肥方式間之比較\*

施 肥 方 式	胸 徑 (cm)	底 面 積 (m <sup>2</sup> /ha)	生 物 量(ton/ha)			
			葉	枝	幹	地上部
未施肥	5.3 <sup>b</sup>	11.7 <sup>b</sup>	1.06 <sup>b</sup>	4.77 <sup>b</sup>	33.88 <sup>b</sup>	39.81 <sup>b</sup>
一次施肥	6.3 <sup>a</sup>	16.5 <sup>a</sup>	1.37 <sup>a</sup>	6.67 <sup>a</sup>	51.73 <sup>a</sup>	59.77 <sup>a</sup>
分期施肥	6.4 <sup>a</sup>	16.7 <sup>a</sup>	1.26 <sup>a</sup>	6.66 <sup>a</sup>	53.82 <sup>a</sup>	61.73 <sup>a</sup>

\*英文字母相同者，表示不具顯著差異(P>0.05)，英文字母相異者，表示具顯著差異(P<0.05)。

供應將呈不足(Koffa 1983, Naidu 1986)；鋁及錳之溶解度增加，導致直接之毒害(Koffa and Mori 1987, Munns and Fox 1977, Munns *et al.* 1977)；高濃度鋁之發生，尚會妨礙鈣(Franco and Munns 1982)或磷(Koffa 1983)之吸收。

為改良銀合歡在酸性土壤生產力低劣之現象，利用土壤改良劑以調整pH值，令趨於弱酸性或中性，或直接施以化學肥料，供應生長所需養分

，乃成為近年來所探討之要題。

就土壤pH值調整之效應而言，由盆栽或造林後初期之生長反應，學者之研究，均已肯定此種作業對銀合歡生長改良之實效(胡大維、程熾兒 1980, 胡大維等1981, Fox and Whitney 1981, Munns *et al.* 1977, Naidu 1986)。然而，隨著調整後時間之增加，土壤仍將漸回復至酸性(孔繁熙、張添榮 1984)，生長之促進，是否得以持續，

頗令人困惑。

由本研究在處理後2~5年間之生長反應證實：在所探討之強酸性貧瘠土壤上(表1)，土壤pH調整作業對底面積連年生長量，確具有極顯著之促進效果(表2)，但是，作業效果之持續性，僅及於造林後之2~3年內，視土壤改良之種類及施肥作業之配合而定(表3)。在未施肥之情況下，無論是石灰石粉或磷礦粉，在施用後第3年始，對林分生長即無顯著之促進效應；若採用分期施肥，則pH值調整之效應，僅及於處理後之2年內；若於栽植時施以全量之化肥，無論是石灰石粉或磷礦粉，對2~5年間之底面積連年生長量，均無顯著之促進效果。上述資料顯示：化學肥料之添加與pH值調整間，確具有強烈之交感效應(表3)。土壤pH值之調整，旨在改善土壤之物理及化學性質，尤其是磷及鈣之供應(胡大維、程煒兒 1980, Fox and Whitney 1981, Naidu 1986)；化學肥料之施用，將可直接供應生長所需之養分。因此，貧瘠之酸性土壤，對pH值之調整，具有顯著之生長反應；而在配合施肥以改善土壤之化學性質後，由pH值調整所獲得之生長改良，並不如前者為著。由此或可推論，在土壤肥沃之生育地，pH值調整的利益，可能並不十分突出。

在未施肥或分期施肥之情況下，基量磷粉之施用，對2年生之底面積生長量之促進，顯著優於石灰石粉，惟在3年生之後，其間即未見差異(表3)。此可能歸因於磷礦粉除了可調整pH值外(Russell 1973)，尚可供應磷及若干微量元素，對多種熱帶豆科植物而言，磷礦粉對生長之促進，往往較優於石灰石粉之施用(張仲民 1988)。倍量磷粉與基量磷粉間，雖不具顯著差異，然依2~3年生間之底面積年生長量觀之，倍量磷粉仍屬較遜者，此是否涉及在短期內，供應過量之磷，生長收受抑制，尚待探討。

在歷經5年之生長累積後，無論是石灰石粉或磷礦粉之施用，其胸徑、底面積或幹部生物量，均與未調整者，具顯著或極顯著之差異(表6)。尤以基量磷粉之施用，其底面積及幹部生物量較未調整者，各增加33%及36%；石灰石粉亦可增加17%及25%(表7)，生產力之改良乃相當明顯。

除了由pH值調整以改善土壤養分之供應狀態外，直接施用化學肥料，亦有助於銀合歡生產力之改良。基本上，氮、磷、鉀肥之施用，對銀合歡均有助益，惟需視土壤性質而定。在氮供應不足之處，氮肥有助於苗高、苗徑及根系之生

長(Jones *et al.* 1983)。在貧瘠之強酸性土壤，氮與磷單獨施用之效果，不如二者之混合；但在肥沃之弱酸性土壤中，磷肥單獨施用效果，優於僅施氮肥或是氮磷肥之混合(De la Garza *et al.* 1977)。鉀肥對高、徑及重直生長，或是結瘤量，均有所助益(Hussain *et al.* 1988)。本試驗地係屬強酸性之貧瘠土壤(表1)，已經亂墾之連作多年，故在試驗進行時，乃採用混合之化學肥料，以充分供應生長所需養分。

對2~5年生間之底面積連年生長量而言，施肥作業所引致之生長差異相當顯著(表2)，惟其反應仍視土壤pH調整作業之配合而異(表4)。當化學肥料與石灰石粉混合施用時，分期施用與一次施用對2~5年生間之生長，並未具顯著差異；肥料在施用2~3年後，已無顯著改良生長之實效。化學肥料若與磷礦粉混合施用，無論是基量或倍量磷粉，均以分期施用之效果，顯著優於一次施肥者；肥料在施用2年後，施肥與否所引致之生長差異，即已不顯著。若單獨使用化學肥料，一次施肥對2年生底面積生長之促進，顯著優於分期施肥，自2年生以後，二種作業間之差異，即不顯著；肥料對生長之促進，則能持續至施用後4年時。如同前述，此種強烈交感作用之發生，仍歸諸於施肥及土壤pH值調整，均經由土壤化學性質之改善，以促進銀合歡之生長，若採用其中之一種改良作業，均能顯著提升其生產力，在pH值既經調整之狀況下，施肥作業間所引致之差異，自然趨小。

就5年生林分之胸徑、底面積或生物量生產量而言，施肥與未施肥間之差異，均呈極顯著(表6)，惟分期施肥與一次施肥間之差異，並不顯著(表8)。事實上，本試驗區在施肥後3個月時，採用一次施肥之成活率僅54%，因肥料過量所引致之毒害，相當明顯；若以3月用量充為基肥時，成活率達81%，均低於未施肥區之100%(孔繁熙、張添榮 1982)。追經補植後，肥料過量之毒害即未再發生，至5年生時，曾遭施肥或pH值調整之試區，成活率在94~98%間。反之，未經任何改良之試區，苗木初期連生之特性，未能被誘發，生長亦緩慢，造林後1年之成活率僅餘81%，隨著林齡之增加，競爭趨於激烈，生長衰退之個體漸被淘汰，至5年生時之成活率，僅餘62%。依據上述，栽植時即施用全量之肥料，全充為基肥，並不可取，或應在造林後3~6個月內，始分期施用為宜，或是採用控制釋出肥料(control-released fertilizer)，以減少初期大量

釋出養分所產生之毒害。

儘管底面積連年生長量之反應，在林齡、pH值調整及施肥間，具有極顯著之交互效應(表2)，然因pH值調整及施肥均具有改良生長之效果；同時，在有施肥作業配合時，無論是石灰石粉或磷礦粉，其對生長促進之效應，在3年生以後，即與未調整pH者未具顯著差異(表3)，而在有pH值調整作業配合時，施肥之效果亦僅及於最初2~3年內(表4)。上述綜合作用之結果，導致5年生之胸徑、底面積或生物量生產量，在pH值調整與施肥間，並不具顯著之交互作用(表6)。Duguma及Okalis(1987)曾由盆栽試驗證實，同時施用石灰及磷肥，無論是苗木生長或

根部結瘤量，均顯著優於僅施石灰或磷肥之效果。胡大維等(1981)由處理後16個月生雜樹之生長反應，亦曾推薦應同時採用石灰及磷肥以謀改良。然經作者等就文中所列示之資料再予比較，發現pH值在4.7~7.0之範圍內，種植於強酸性土壤之銀合歡，確因磷肥或石灰之施用，生長獲得改良，但是，當石灰與磷肥併合施用時，並未明顯地優於單獨施用之效果，即此二者間之交互作用，並不強烈。

綜合以上所述，無論是施用化學肥料或是調整pH值，均能發揮銀合歡初期速生之特性，因而顯著改良林分生產力。由5年生林分之生物量平均年生產量之比較結果而言(圖1)，在未施肥亦未調

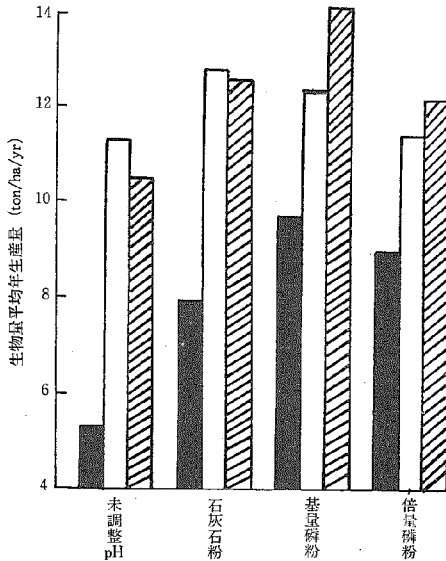


圖1. 各處理組合之地上部生物量平均年生產量之比較 (黑實心為未施肥，空白為一次施肥，黑條紋為分期施肥)。



整pH之狀況下, 年生產量僅5.3ton/ha, 相當低劣; 僅調整pH值時, 年生產量為7.9~9.7ton/ha, 尚遜於僅施用化學肥料之10.5~11.3ton/ha; pH值改良劑與化學肥料混合施用時, 以基量磷粉及分期施用化肥之生產力為最高, 可達14.1ton/ha, 其餘之處理組合則位於11.4~12.8ton/ha間。就此觀點而言, 在本試驗地之土壤條件下, 欲改良銀合歡之生產力, 應以化學肥料之施用, 較優先於土壤pH值之調整; 若經費允許, 欲混合施用pH值改良劑及化學肥料時, 亦應選擇基量磷粉並分期施用化肥, 最有利於生產力之改良。

## 五、結 論

在貧瘠之酸性土壤所種植之銀合歡, 生長相當不良, 底面積連年生長量在4年生時, 始屆至最大值, 僅3.1m<sup>2</sup>/ha, 5年生地上部生物量之平均年生產量, 僅及5.3ton/ha。若於栽植之際, 進行適當之土壤pH值調整及(或)施用化學肥料, 均能使銀合歡初期速生之特性, 得以發揮, 有助於生產力之改良。當單獨施用pH值改良劑時, 對底面積生長之促進, 可持續至處理後3年內; 單獨施用化學肥料時, 生長之促進, 可持續至處理後4年內, 5年生時之林分生長, 亦優於單獨施用pH值改良劑者。當pH值改良劑與化學肥料混合施用時, pH調整作業或施肥對生長之促進, 僅及於造林後之2~3年內。銀合歡生產力之改良, 應以化學肥料之施用, 優先於pH值之調整, 前種作業之生物量平均年生產量, 可達10.5~11.3ton/ha, 較未改良者, 增加98~113%之生產力。若經費允許, 可同時以基量磷粉調整pH值, 及分期施用化學肥料來改良, 生物量平均年生產量可達14.1ton/ha, 較未改良者, 增加166%之生產力。

## 引用文獻

- 王子定、戴廣權、江濤、胡大維, 1982. 銀合歡之培育與生產。農發會林業特刊No.2, 54頁。  
 王子定、蘇學波、陳堅強、高毓斌, 1984. 各栽植密度銀合歡之生長與地上部生物量。中華林學季刊17(4):13-25。  
 孔繁熙、張添榮, 1984. 施肥對酸性土壤銀合歡生長之研究。林試所試驗報告No.415, 10頁。  
 孔繁熙、張淑玲、洪富文、程兆熊, 1986. 薩爾

- 瓦多型銀合歡巨量元素缺乏的症狀及對苗木生長的影響。中華林學季刊19(1):15-30。  
 任德安, 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。  
 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。  
 程煒兒、沈慈安, 1987. 恆春地區三至五年生銀合歡林分地上部養分積累與循環。林試所研究報告季刊2(4):253-272。  
 張仲民, 1988. 普通土壤學。549頁。  
 胡大維、程煒兒, 1980. 施用石灰對銀合歡生長與養分之效應。中華林學季刊13(4):89-99。  
 胡大維、程煒兒、沈慈安, 1981. 石灰與磷肥對銀合歡之生長與養分的影響。中華民國農學團體70年度聯合年會特刊: 17-29。  
 高毓斌、張添榮, 1989. 馬六甲麻竹人工林之生長與生物量生產。林試所研究報告季刊4(1):31-42。  
 高毓斌、施文君、胡大維, 1989. 群栽種植對銀合歡生長與生物量生產之效應。中華林學季刊22(4):55-63。  
 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。  
 劉宣誠、高毓斌, 1987. 銀合歡人工林生物量估算方法之比較。林試所研究報告季刊2(1):63-64。

- Ahmad, N., and F. S. P. Ng. 1981. Growth of *Leucaena leucocephala* in relation to soil pH nutrient levels and *Rhizobium* concentration. LRR 2:5-7.  
 Duguma, B., and D. U. U. Okli. 1987. Effect of liming, phosphorus application and *Rhizobium* inoculation of seeds and seedlings on early performance of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit grown on acid soils. LRR 8:50-51.  
 Fox, R. L., and A. S. Whitney. 1981. Response of *Leucaena leucocephala* to lime applications in Hawaii. LRR 2:69-70.  
 France, A. A., and D. N. Munns. 1982. Acidity and aluminum restraints on nodulation, nitrogen fixation and growth of *Phaseolus vulgaris* in solution culture. J. soil. Sci. sx. Amer. 46:296-301.

- Gomez, K. A., and A. A. Gomez. 1984. Statistical procedures for agricultural research. John Wiley & Sons, Inc. p.350-355.
- Hussain, A., A. Hussain, F. A. Chughtai and M. Javed. 1988. Effect of macro and micro nutrients on the growth of *Leucaena leucocephala*. LRR 9:80-81.
- Hutton, E. M., and F. B. de Souza. 1986. Degeneration of Cunningham leucaena in an acid oxisol. LRR 7:28-30.
- Jones, R. J., G. Villamizar and S. J. Cook. 1983. The effects of nitrogen fertilizer, Weed competition and CCC spray on seedling growth and nodulation of leucaena. LRR 4:8-9.
- Koffa, S. N. 1983. Amino acid analysis in the determination of nutrient (NPK) deficiency in *Leucaena leucocephala*. Sylvatrop 7:107-138.
- Koffa, S. N., T. Mori. 1987. Effects of pH and aluminum toxicity on the growth of four strains of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit-- LRR 8:58-62.
- McIntosh, M. S. 1983. Analysis of combined experiments. Agron. J. 75(1):153-155.
- Muns. D. N., and R. L. Fox. 1977. Comparative lime requirements of tropical and temperate legumes. Plant and Soil. 46:533-548.
- Munns, D. N., R. L. and B. L. Koch. 1977. Influence of lime on nitrogen fixation by tropical and temperate legumes. Plant and Soil. 46:591-601.
- Naidu, R. 1986. A glasshouse study of the effect of lime and phosphorus on the growth of *Leucaena leucocephala* in an oxisol. LRR 7:31-33.
- National Academy of Science (NAS) 1977. *Leucaena*: Promising forage and tree crop for the tropic. Washington, D. C.
- Pan, F. J. 1987. Psyllid resistance of *leucaena* species in Taiwan. LRR 7(2):35-38.
- Russell, E. W. 1973. Soil conditions and plant growth. Longman Press, p.587-p.588.
- Siregar, C. A. 1986. Growth responses of *Leucaena leucocephala* Cv. K28 to Soil pH and plant density. LRR 7:79-81.