雙重接種對銀合歡生長和養分吸取量之影響

潘富俊　程煒兒

摘　要

本研究觀察不同 pH 值土壤和不同接種處理對 4 個月大銀合歡（K 28）苗木之影響，結果顯示：雙重接種，接種菌根菌之銀合歡苗木的高生長，地際直徑，乾重均比單獨接種根瘤菌和不接種者爲佳。土壤 pH 值也影響苗木之生長，各種生長均隨 pH 值增加而增加，但 pH 7.0 以後則生長下降，銀合歡最適生長之 pH 值爲 6.0—7.0，雙重接種之生長比未接種之銀合歡在酸性土壤之生長優良。接種處理亦影響養分之吸取量，其中 N 與 Ca 之吸取量以雙重接種者最高，單獨接種菌根菌者次之，接種根瘤菌和完全不接種者最少。P, K, Mg, Mn, Zn 之吸取量則雙重接種和接種菌根菌者差異不顯著，唯高於接種根瘤菌和不接種者。土壤 pH 值亦影響苗木養分吸取，N, P, K, Mg, Mn, Zn 之吸取隨 pH 值遞升而增加，至 pH 6-7 達最高點，超過 pH 7.0 則吸取量下降。Mn 吸取量隨土壤 pH 值之升高而下降，Ca 則隨土壤 pH 值提高而增加。銀合歡苗木生長量和養分吸取量都受到銀合歡 pH 值和不同接種處理之交感效應。苗木之葉面積雙重接種者爲不接種對照之 17 倍；菌根感染率則在 pH 5.0-6.0 時最高。

關鍵詞：銀合歡，雙重接種，菌根菌，根瘤菌，pH 值效應，養分吸取量，葉面積，根感染率。

潘富俊，程煒兒，1988，雙重接種對銀合歡生長和養分吸取量之影響。林業試驗所研究報告季刊。3(4)：209—223，

EFFECT OF DUAL INOCULATION ON GROWTH AND NUTRIENT UPTAKE IN *LEUCAENA LEUCOCEPHALA.*

Fuh-Jiunn Pan and Wei-Er Cheng

〔SUMMARY〕

A pot culture experiment was conducted to study the effect of soil pH value and different

1988 年 4 月送審
1988 年 10 月通過

主審委員：黃瑞祥　洪富文

inoculation treatments on growth of 4-month old seedlings in *Leucaena leucocephala* (K28).
The results are showed as follows: Dual inoculation and mycorrhiza inoculation alone increased height growth, root collar and dry weight in leucaena seedlings. The increase was highly significant over the treatment of rhizobium inoculation alone and control. Soil pH value also affected seedling growth. Every growth component was increased accordantly with the increasing soil pH to 7. The most suitable pH values for leucaena growth were 6 to 7. Leucaena seedlings with dual inoculation were observed to adapt acid soils. Inoculation treatments also influened nutrient uptake in leucaena seedlings. Dual inoculated seedlings had highest N and Ca uptake. The content of P, K, Mg, Mn and Zn in dual inoculated and mycorrhiza-alone seedlings had no significant difference, but both were higher than the rhizobium-alone and control ones. The effect of soil pH values on the nutrient uptake was also prominent. There was a pronounced increase in tissue concentrations of N, P, K, Mg, Zn and Ca with increasing soil pH(4.2 to 7). On the contrary, Mn reduced in correlation with gradients in soil pH. Interaction between soil pH value and inoculation treatment was observed in both growth and nutrient uptake of leucaena seedlings. Leaf area of dual inoculated seedlings was obsearved to be 17 time of the control ones. Seedlings in pH 5.0-6.0 soils had highest root infection.

Key words：*Leucaena leucocephala*, dual inoculation, mycorrhiza, rhizobium, effect of soil pH, nutrient uptake, leaf area,root infection.

Pan, F.J. and W.E. Cheng. 1988. Effect of dual inoculation on growth and nutrient uptake in *Leucaena leucocephala*. Bull. Taiwan For. Res. Inst. New Series 3. (4)：209—223,

一、緒　　言

銀合歡 *(Leucaena leucocephala)*爲生長迅速伐期短之速生樹種，但其最適生育範圍侷限在土壤pH 值5.5-7.0 及熱帶或亞熱帶之低海拔地區，（Brewbaker and Hutton, 1979）。對於本省及世界其他熱帶或亞熱帶，酸性土壤佔多數（pH<5.0）之地區而言，銀合歡可以適應的土地有限，何況低海拔之平坦地區，多數已開發成農田，栽植經濟性較高之作物。以本省而言，只有低海拔之邊際地及生產力不高之河灘地栽植銀合歡，銀合歡的推廣因此大受限制。

在酸性土壤之中，Al 和Mn 的濃度高，會毒害根部，抑制植物生長，使銀合歡植株葉部變黃，根瘤結瘤少（Halliday, 1981），生長因而受阻，因之需要有耐酸之根瘤菌與之共生。根據 Halliday（1981）之研究，從酸性土壤分離出之根瘤菌可在 pH<4.5 的環境中生長。選用耐酸之根瘤菌接種，可增加銀合歡在酸土中之生長量（Date and Halliday,1979）。另外，在不含 N 之蛭石介質生長的銀合歡，不但葉片因缺乏營養之黃色症狀變綠，38 天之幼苗鮮重還增加 140%（Luyindula and Karabaranga,1986）。Pathak 和 Patil（1981）認爲銀合歡早期生長必須接種根瘤菌，在 pH 值 7.0 的盆栽試驗接種根瘤菌，苗木高生長，根瘤量和全株乾重都有顯著增加，野地的試驗，亦有同樣的結果（Dutt and Pathania, 1983;Young and Chap,1983）.Halliday（1981）更分離出可忍受 pH 8.5 之根瘤菌。

長久以來，已知有許多種植物（包括豆科植物

）具有菌根，缺乏根毛的植物如銀合歡尤需菌根菌共生。Nalini et al.（1986），Yost（1981）認爲銀合歡之早期生長，非常需要菌根菌，植物體依賴菌根吸收並轉運移動性低的養分（Mosse,1981），特別是在貧瘠土壤，菌根菌可增進 P 的吸收，原因是菌絲增加植物體根之吸收面積，銀合歡接種菌根菌，除如上述可增加吸收 P 外，尚增進根瘤形成，固氮作用（Yost and Fox, 1979; Manjunath et al,1984）及水份吸收（Allen et al.1981;Yost and Smith,1981），因而促使苗木乾重增加（South and Habte,1985;Lara-Fernandez and Ferrera-Cerrato,1986）。菌根菌可促進銀合歡苗木生長，根據 Huang,Yost and Fox（1983）的結論是因爲菌根菌能促使氣孔開放，促進水份之蒸發，而增加光合作用能力的緣故。此外，Huang,Yost and Smith（1983）發現菌根菌除改善 P 和 Zn 的吸收之外，在所測試的 3 種菌根菌中，*Glomus aggregatum* 可使銀合歡在 pH 5.2 到 7.4 之土壤中生長良好。

至於雙重接種（菌根菌和根瘤菌接種，以下同）對苗木生長之影響，有張（1984）之耳莢相思樹、直幹相思樹試驗，雙重接種對苗木之生長量及養分吸收方面有顯著之效應。銀合歡之雙重接種試驗，則鮮有報告問世。僅 Sivaprasad et al.（1983）在印度以 K 340 接種 TAL 82 和 *Glomus aggregatum*，用低肥紅土作盆栽試驗，結果是雙重接種比單獨接種菌根菌或根瘤菌，顯著增加結瘤量、生長量和 P 之吸收量。本試驗之目的是觀察：(1)雙重接種後，是否可拓展銀合歡對土壤 pH 值之適應性。(2)不同接種對銀合歡苗木生長的效應。(3)各種接種法和土壤 pH 值對銀合歡苗木養分吸取量的影響。

二、材料與方法

(一)供試材料

1. 供試種子爲薩爾瓦多型銀合歡（*Leucaena leucocephala*）K 28。

2. 供試土壤爲砂質壤土，有機質含量 1.10%，pH 4.2 之砂質壤土，其化學性質詳如表 1.。

3. 根瘤菌接種粉劑：由美國夏威夷大學熱帶農業豆科固氮計畫中心（NifTAL）所提供之耐酸性根瘤菌菌株 TAL 1145。

4. 內生菌根菌：由美國夏威夷大學提供之內生菌根菌（*Glomus aggregatum*）。

(二)試驗設計

四種接種處理分別是根瘤菌接種、菌根菌接種、雙重接種、不接種等。與 5 等級之土壤 pH 值分別是 4.2、5.0、6.0、7.0、8.0；4×5 共 20 處理組合，重複 5 次之盆栽試驗，採用完全逢機區集排列。

(三)試驗過程

1. 供試土壤每盆 2.2 kg，分別加入 1.80、4.18、7.08 與 17.6 gm 石灰石粉，以提高其 pH 值依次至 5.0、6.0、7.0 與 8.0 後，以高溫（121℃）高壓（1.06 kg/cm²）殺菌 2 小時。

2. 1987 年 5 月播種，同時接種根瘤菌菌株 TAL 1145，其用量爲每 50 gm 銀合歡種子加 10

1. 供試土壤性質

Table 1. Properties of the soil used in experiment.

Soil pH	Total nitrogen (%)	Available phosphorus (%)	Extractable cation			
			K (mg/100 gm)	Ca (mg/100 gm)	Mg (mg/100 gm)	Mn (mg/100 gm)
4.2	0.1	16.63	43.77	20.24	1.79	6.91

gm 根瘤菌接種粉劑，以及接種內生菌根菌（*Glomus aggregatum*），每盆接種含菌根孢子菌砂土 60 gm；孢子菌土係夏威夷大學提供之內生菌根菌接種於高粱，經 4 個月繁殖後之孢子菌土用爲本試驗之接種源。1987年 9 月結束，其中逢機選取 3 重複用以測定土壤與植體之養分分析，另 2 重複測定其葉面積與菌根感染率。

3. 養分分析

植物體分析：苗木各部位（葉、幹、根）經濕灰法（Allen,1986）灰化後，除磷以鉬黃法測定外，K、Ca、Mg、Mn、Zn 以原子吸收光譜儀（IL 257 型）測定，氮以克氏法測定（Allen,1986）。

土壤分析：氮以克氏法測定，有效性磷以 Bray No. 1。

鉬藍法測定。K、Ca、Mg 以 1 N pH 7.0 醋酸銨液抽出，Mn 以 DTPA 抽出（Cambrell and Patrick,1982），抽出之 K、Ca、Mg、Mn 以原子吸收光譜儀測定。

4. 葉面積：分別採取各處理組合之葉片置於面積儀中測定，並收回葉片於 65℃ 烘至恆重。

5. 菌根感染率之測定：分別採取各處理組合之直徑 2 ㎜以下細根，以 10% KOH 加溫（90℃）處理 1 小時，並以 H_2O_2 漂白 10—20 分鐘，洗淨加 1%HCI 浸 3 分鐘後，倒出再加入 0.05%Cotton blue 煮沸後 2—3 分鐘染色，以水洗淨剪 1 cm長一段，貯存於 Lactophenol 中。將染色之根段排列於載玻片上，每片放置 5 段，上置蓋玻片，每一 pH 值處理共製 5 片，共 5×5=25 小段，於立體顯微鏡下觀察，若每段出現囊狀體（Vescile）、叢枝體（Arbuscule）及菌絲即表示感染。其感染率爲：感染數／25×100%（周文能，1986 張焜標，1984）。

6. 資料整理：除葉面積與菌根感染率外，所有數據經變異數分析；接種處理之生長量及養分吸取量差異顯著者，再以鄧肯氏新多變域檢定法檢定。

三、結果與討論

㈠根瘤菌與菌根菌雙重接種對 4 個月生銀合歡苗木生長量之影響

4 個月生之銀合歡（K 28）苗木之高生長、地際直徑、地上部乾重，地下部乾重在雙重接種、菌根菌接種、根瘤菌接種和不接種對照等 4 處理間之差異經變異數分析，結果呈極顯著效應（表 2）。

表 2.　根瘤菌與菌根菌雙重接種對 4 個月生銀合歡苗木生長量之影響

Table 2. Effect of dual inoculation with rhizodium and mycorrhizal fungi on the growth of 4-month old *Leucaena leucocephala* seedlings.

	Control	Inoculation treatment			F-value
		Rhiz.	VAM	Rhiz.+VAM	
Height (cm)	21.0 c	21.3 c	56.0 b	61.8 a	521.26**
Diameter at root collar (cm)	0.27 b	0.28 b	0.70 a	0.73 a	534.95**
Dry weight (gm/pot) of					
seedling top	0.36 b	0.38 b	6.15 a	7.08 a	1010.48**
seeding root	0.38 b	0.23 b	2.88 a	2.82 a	1105.44**

(1) Value in the same horizontal column followed by the same letter (s) are not statistically different ($p>0.05$) by Duncan's multiple range test.

(2) Rhiz.: Rhizobium TAL 1145; VAM: VA mycorrhiza *Golmus aggregatum;* Rhiz.+VAM: Rhizobium TAL 1145 plus *Glomus aggregatum.*

(3) Theoretical F value (0.01, 3&38)=4.51, (0.05,3&38)=2.95

高生長以雙重接種最高，並且與其他 3 處理差異顯著；菌根菌接種次之，亦與其他 2處理呈顯著性差異；但根瘤菌接種和不接種對照間則差異不顯著。地際直徑則單獨接種菌根菌和雙重接種者無差異，但皆大於單獨接種根瘤菌和不接種對照者。而地上部及地下部乾重，在雙重接種與菌根菌接種，及根瘤菌接種與不接種對照間均無顯著差異，前 2 者均高於後 2 者。

4 個月生銀合歡苗木接種根瘤菌之生長量幾與不接種對照相似，此與 Duguma 和 Okali（1987）在 Eastern Nigeria 之銀合歡接種根瘤菌盆栽試驗結果相同。經接種 12 週之銀合歡苗木，其根瘤形成，高生長及全株乾重與不接種對照幾相等。Jautigul 與 Habeta（1985）認爲菌根菌顯著增加銀合歡在殺菌過的土壤中之生長，亦與本試驗結果相同，另一原因，根瘤菌與宿主植物之共生，尙須宿主植物提供能量，若宿主植物本身不能充份供應養分，則不僅共生效果不彰，甚至宿主植物生長量亦受不利影響。而接種菌根菌或雙重接種其生長量則顯著增加，苗木最大生長量較之不接種對照增加倍數爲高生長 2.9 倍，地際直徑 2.7 倍，地上部 19.5 倍，地下部 9.4 倍。Sivaprasad et al.（1983）曾研究銀合歡（K 340）雙重接種栽植 5 個半月後，所得結果雙重接種較不接種地上部增加 3.2 倍，地下部增加 2.0 倍，由上結果獲知，雙重接種確可增加銀合歡苗木之生長量。

㈡土壤 pH 值對 4 個月生銀合歡苗木生長之影響

4 個月生銀合歡苗木之高生長、地際直徑、地上部與地下部乾重經變異數分析，結果均呈極顯著差異（表 3，表 5）。高生長、地際直徑隨土壤 pH 值遞升而增加，至pH 6.0 最高，之後隨 pH 值之上升而下降。而地上部及地下部乾重至 pH 7.0 達最高後始下降。

4 個月生銀合歡苗木，包括雙重接種、菌根菌接種、根瘤菌接種、以及不接種對照等處理在內，其生長量仍受到土壤 pH 值之影響，生長最優異之範圍在土壤 pH 6.0—7.0 之間，地上部乾重在 pH 7.0 時爲 pH 4.2 時之 3 倍弱，而地下部則爲 4.6 倍。此結果和胡等（1981）之報導薩爾瓦多型銀合歡（K 28）宜生長於 pH 6.0—7.0 之土壤情形相符合。

㈢雙重接種與土壤 pH 值對 4 個月生銀合歡苗木生長量之影響

4 個月生銀合歡苗木在雙重接種、菌根菌接種、根瘤菌接種與不接種對照等各處理個別在不同土壤 pH 值之 4.2、5.0、6.0、7.0、8.0 間之高生長、地際直徑、地上部及地下部乾重之差異經變異數分析，結果分別呈顯著與極顯著，僅雙重接種之高生長例外，不同 pH 值其生長差異不顯著（表 5）。相同土壤 pH 值之不同接種處理間之各項生長量經變異數分析，結果呈極顯著差異（表 4）。處理前

表 3. 土壤 pH 值對 4 個月生銀合歡苗木生長量之影響

Table 3. Effect of soil pH on the growth of 4-month old *Leucaena leucocephala* seedlings.

	Soil pH value					F-value
	4.2	5.0	6.0	7.0	8.0	
Height (cm)	29.9	42.6	44.8	41.9	41.0	29.33**
Diameter at root collar (cm)	0.32	0.55	0.56	0.55	0.52	68.14**
Dry weight (gm/pot) of						
seedling top	1.46	3.63	4.27	4.28	3.76	83.41**
seedling root	0.43	1.58	1.95	1.99	1.84	168.11**

(1) Theoretical F value (0.01, 4&38)=4.02, (0.05, 4&38)=2.60

和處理後土壤 pH 值的變化列在表 6。除不施石灰之土壤 pH 值高於栽植前外，其餘施石灰處理之土壤 pH 值均較栽植前減少 0.1－0.7 pH 單位。

4 個月生銀合歡苗木各項生長量隨土壤 pH 值之變化趨勢分別是：不接種處理以土壤 pH 5.0－7.0 之生長較佳，而以 6.0 最好；單獨接種根瘤菌者則隨土壤 pH 值之提高而增加，到 pH 6.0 最高，之後隨 pH 值上升而下降，只地際直徑在 pH 6.0 時略降；菌根菌接種與雙重接種除 pH 4.2 之各項生長量特別低外，其餘各項生長量在土壤 pH 值 5.0、6.0、7.0、8.0 時差異不大（表 5）。

表 4.　相同pH值不同接種處理對4個月生銀合歡苗木生長之影響

Table 4. Effect of dual inoculation with rhizobium and mycorrhizal fungi on the growth of 4-month old *Leucaena leucocephala* seedlings at the same soil pH value.

Soil pH value	Control	Inoculation treatment			F-value*
		Rhiz.	VAM	Rhiz.+VAM	
		Height (cm)			
4.2	15.0 c **	15.3 c	36.0 b	53.7 a	59.03**
5.0	21.0 b	23.0 b	63.0 a	63.3 a	231.38**
6.0	24.3 c	25.0 c	62.7 b	67.3 a	620.67**
7.0	24.0 b	23.7 b	58.7 a	61.3 a	70.69**
8.0	21.0 b	20.0 b	59.7 a	63.3 a	151.56**
		Diameter at root collar (cm)			
4.2	0.20 c	0.18 c	0.38 b	0.50 a	23.26**
5.0	0.32 b	0.32 b	0.77 a	0.77 a	116.11**
6.0	0.28 b	0.28 b	0.82 a	0.85 a	256.71**
7.0	0.30 b	0.33 b	0.78 a	0.77 a	64.57**
8.0	0.27 b	0.27 b	0.75 a	0.77 a	290.25**
		Dry weight of seedling top (gm/pot)			
4.2	0.21 c	0.26 c	1.99 b	3.36 a	47.95**
5.0	0.45 b	0.35 b	6.47 a	7.23 a	188.69**
6.0	0.43 c	0.51 c	7.39 b	8.76 a	436.36**
7.0	0.45 b	0.46 b	7.86 a	8.33 a	172.01**
8.0	0.22 b	0.29 b	7.05 a	7.48 a	799.90**
		Dry weight of seedling root (gm/pot)			
4.2	0.14 b	0.09 b	0.68 a	0.82 a	21.46**
5.0	0.46 b	0.30 b	2.64 a	2.91 a	81.38**
6.0	0.33 b	0.31 b	3.70 a	3.45 a	569.10**
7.0	0.32 c	0.27 c	3.80 b	3.58 a	307.10**
8.0	0.23 b	0.20 b	3.57 a	3.33 a	309.53**

* Theoretical F xalue (0.05, 3&6)=4.76,(0.01, 3&6)=9.78

** Values in the same horizontal column followed by the same letter (s) are not statistically different ($p>0.05$) by Duncan's multiple range test.

表 5. 雙重接種與土壤pH值對4個月生銀合歡苗木生長量之影響

Table 5. Effect of dual inoculation and soil pH on the growth of 4-month old *Leucaena leucocephala* seedlings.

Inoculation treatment	Soil pH value	Q'ty of lime (gm/pot)	Height growth (cm)	Collar diameter (cm)	Dry weight of seedling top (gm/pot)	Dry weight of seedling root (gm/pot)
Control	4.2 (check)	0.0	15.0±0.8 c	0.20±0.00 b	0.21±0.06 b	0.14±0.02 c
	5.0	1.8	21.0±1.4 b	0.32±0.02 a	0.45±0.04 a	0.46±0.09 a
	6.0	4.2	24.0±0.5 a	0.28±0.02 a	0.43±0.10 a	0.33±0.06 b
	7.0	7.1	24.0±1.4 a	0.30±0.04 a	0.46±0.10 a	0.32±0.04 b
	8.0	17.6	21.0±0.8 a	0.27±0.02 a	0.22±0.02 b	0.23±0.02 b
	F-value		21.39**	5.85*	5.78*	11.78**
Rhizobium	4.2 (check)	0.0	15.3±2.1 c	0.18±0.02 b	0.26±0.04 c	0.09±0.01 c
	5.0	1.8	23.0±2.2ab	0.32±0.02 a	0.35±0.04bc	0.30±0.02 a
	6.0	4.2	25.0±0.8 a	0.28±0.02 a	0.15±0.03 a	0.31±0.05 a
	7.0	7.1	23.7±3.3ab	0.33±0.05 a	0.46±0.14ab	0.27±0.07ab
	8.0	17.6	20.0±0.8 b	0.27±0.02 a	0.29±0.01 c	0.20±0.01 b
	F-value		11.53**	7.45*	5.99*	15.20**
ΛAM	4.2 (check)	0.0	36.0±6.5 b	0.38±0.05 c	1.99±0.57 b	0.68±0.18 c
	5.0	1.8	63.0±1.6 a	0.77±0.05ab	6.47±0.48 c	2.64±0.34 b
	6.0	4.2	62.7±0.5 a	0.82±0.02 a	7.39±0.40ab	3.70±0.24 a
	7.0	7.1	58.7±1.7 a	0.78±0.02ab	7.86±0.35 a	3.80±0.08 a
	8.0	17.6	59.7±4.5 a	0.75±0.00 b	7.05±0.39bc	3.57±0.20 a
	F-value		21.01**	79.31**	101.06**	59.06**
Rhiz.+VAM	4.2 (check)	0.0	53.7±6.9 b	0.50±0.07 b	3.36±0.40 c	0.82±0.17 c
	5.0	1.8	63.3±2.5ab	0.77±0.03 a	7.23±0.54 b	2.91±0.18 b
	6.0	4.2	67.3±2.6 a	0.85±0.04 a	8.76±0.44 a	3.45±0.12 a
	7.0	7.1	61.3±5.6ab	0.77±0.05 a	8.33±0.93ab	3.58±0.02 a
	8.0	17.6	63.3±2.1ab	0.77±0.02 a	7.48±0.16 b	3.33±0.20 a
	F-value		NS	14.29**	35.55**	133.53**

(1) Theoretical Fvalue (0.01, 4&8)=7.0, (0.05, 4&8)=3.84.

(2) Difference not significant at 0.05 level.

(1) Value in the soil pH treatment followed by the same letter (s) are not statistically different ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test.

銀合歡苗木各項生長量在單一 pH 值不同接種處理（表 4）與綜合 pH 值之不同接種處理（表 2）相似，即接種處理間差異均呈極顯著。在 pH 值 4.2—8.0 之苗木高生長、地際直徑及地上部乾重，以雙重接種最高。而其各項生長量與根瘤菌接種，以及不接種對照間呈顯著差異，而與菌根菌接種，則分別呈顯著與不顯著差異；而根瘤菌接種與不接種對照在 pH 值 4.2—8.0 時，各項生長量之差異即不顯著。

由上結果得知，各接種處理在不同土壤 pH 值下對銀合歡苗木之生長均呈顯著差異，今就同一土壤 pH 值 4.2 之各接種處理比較，銀合歡苗木乾重（gm/pot）以雙重接種最高，較單獨接種菌根菌、根瘤菌、以及不接種對照，地上部生長分別爲

1.7，12.9 及 16 倍，而地下部則爲 1.2、9.1 及 5.9 倍；圖 1–5 顯示各接種處理在不同土壤 pH 值下之銀合歡苗木生長比較。經接種菌根菌者，其根系生長顯著增加，生根力高，地上部生長亦佳，故銀合歡在極酸土壤予以雙重接種，可增加其對酸性土壤之耐性，本試驗結果亦顯示，無論是雙重接種或接種菌根菌，可增加銀合歡對土壤 pH 值之耐性至 5.0–7.0（圖 6），至於對 pH 8.0 以上及 pH 4.2–5.0 的土壤，其眞正的忍受極限，則有待進一步探討。由於眞菌在土壤中之成長受到環境因子如 pH 值、通氣性、溫度及微生物之間的競爭等之影響（Mosse, 1981; Bowen and Jheodorou, 1973; cited by Bowen, 1984）。是故菌根菌接種或雙重接種在栽缽試驗的結果，雖可提高銀合歡苗木之生長量，但是在林地之實際效應則有待進一步之研究。

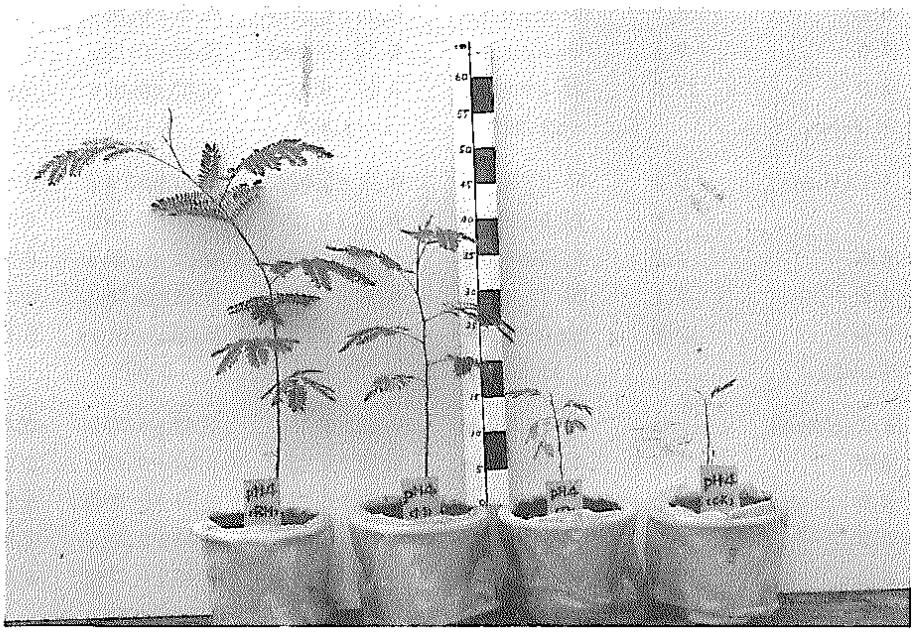

圖1.不同接種處理之銀合歡幼苗在pH4土壤之生長情形。
Fig. 1. Effect of different inoculation treatments on growth of leucaena seedlings in pH 4 soil.

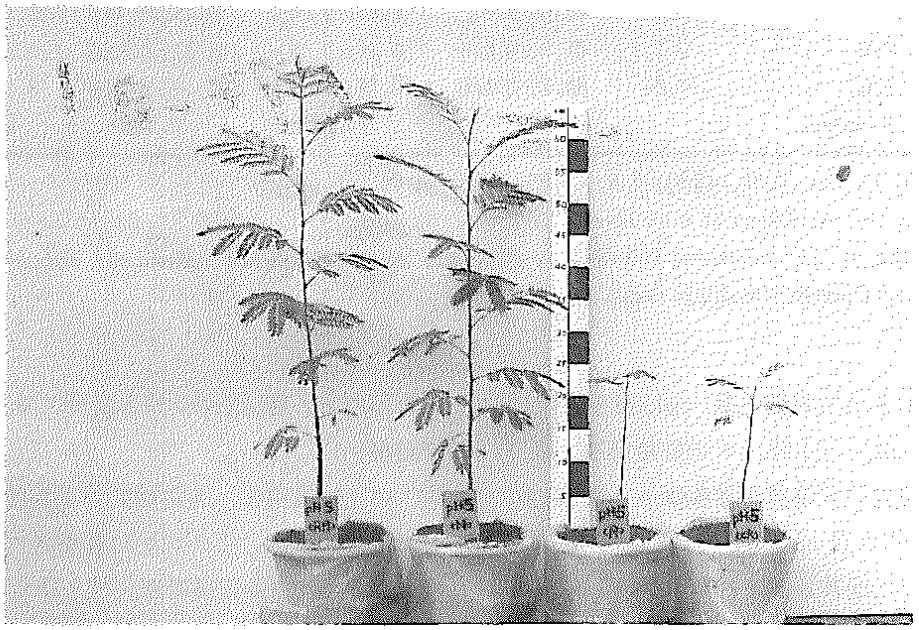

圖2.不同接種處理之銀合歡幼苗在pH5之生長情形。
Fig. 2. Effect of different inoculation treatments on growth of leucaena seedlings in pH 5 soil.

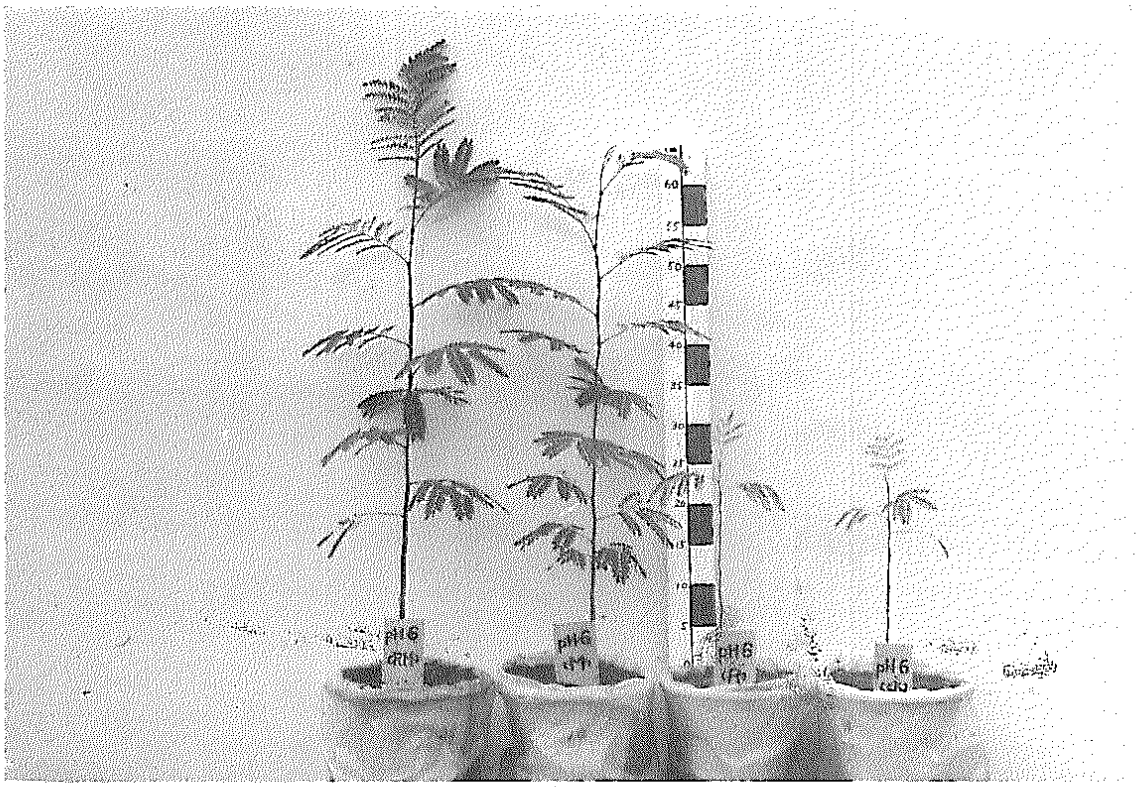

圖3.不同接種處理之銀合歡幼苗在pH6土壤之生長情形。

Fig. 3. Effect of different inoculation treatments on growth of leucaena seedlings in pH 6 soil.

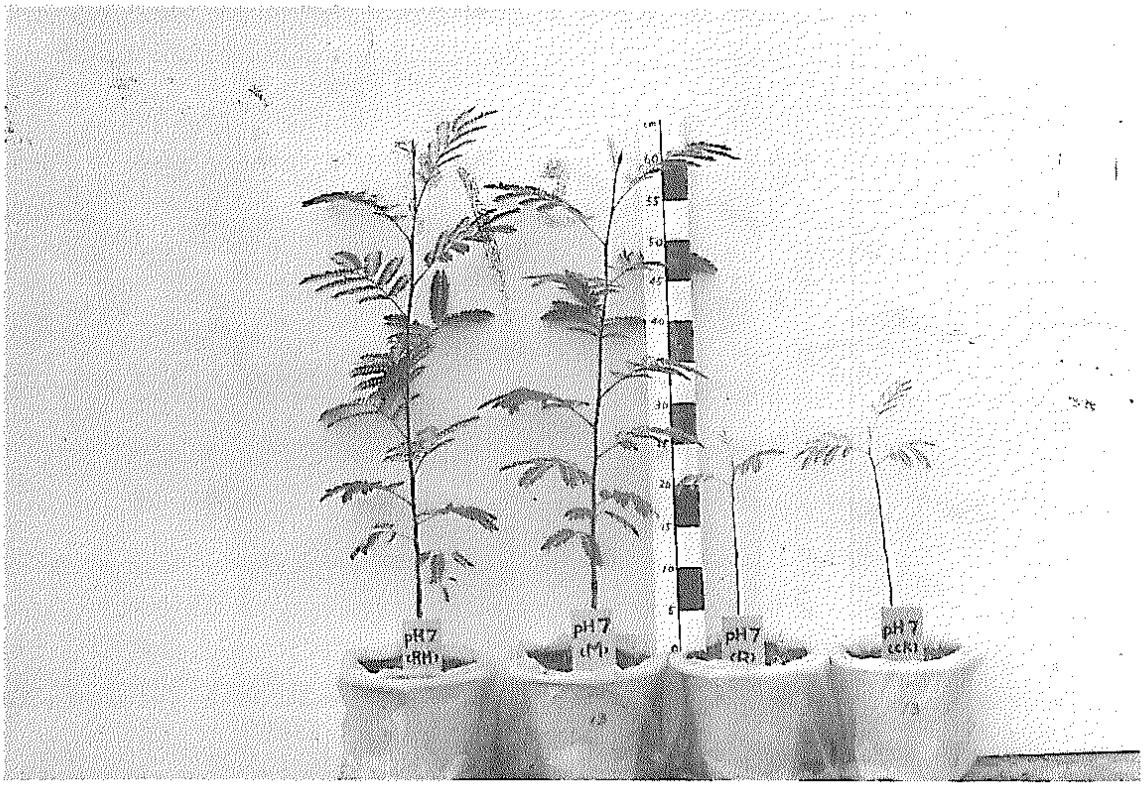

圖4.不同接種處理之銀合歡幼苗在pH7土壤之生長情形。

Fig. 4. Effect of different inoculation treatments on growth of leucaena seedlings in pH 7 soil.

圖5.不同接種處理之銀合歡幼苗在pH8土壤之生長情形。
Fig. 5.　Effect of different inoculation treatments on growth of leucaena seedlings in pH 8 soil.

圖6.雙重接種可增加銀合歡對不同pH值土壤之適應性。
Fig. 6.　Effect of dual inoculation on leucaena growth in different pH soils.

㈣雙重接種對 4 個月生銀合歡苗木養分吸取量之影響

4 個月生銀合歡苗木全株養分（N、P、K、Ca、Mg、Mn、Zn）吸取量在雙重接種、菌根菌接種、根瘤菌接種及不接種對照間差異均呈極顯著。再以鄧肯氏新多變域檢定結果，N 與 Ca 之吸取量以雙重接種最高，並且與菌根菌接種、根瘤菌接種，以及不接種對照呈顯著差異。菌根菌接種僅次於雙重接種，與根瘤菌接種及不接種對照亦呈顯著差異。P、K、Mg、Mn、Zn 之吸取量於雙重接種與菌根菌接種間之差異不顯著，卻與根瘤菌接種及不接種間呈顯著差異。所有養分（N、P、K、Ca、Mg、Mn、Zn）之吸取量在根瘤菌接種與不接種間差異均不顯著（表 7）。

楊等（1984）報導，P在土壤中擴散甚慢，作物根羣不易吸收，故利用 VA 菌根菌以利作物吸收養分。許多文獻證實，接種菌根菌有助 P 之吸收（如 Mosse，1981）。除 P 外，菌根有利於植物對其他離子的吸收。本試驗結果，養分吸取量（mg/pot）以雙重接種最高，爲不接種者 N 8.1，P 15.3，K 7.4，Ca 25，Mg 17.7，Mn 14，Zn 12 倍。接種菌根菌不僅是 P 吸取量增加，所有養分吸取量亦增加，顯示菌根菌接種後能促進銀合歡苗木對土壤養分之有效利用。Lara—Ferandez and Ferrera—Cerrato（1986）認爲菌根可輔助 P 之吸收，而雙重接種能減少 N 肥及 P 肥之施用。

㈤土壤 pH 值對 4 個月銀合歡苗木養分吸取量之影響

土壤 pH 值對 4 個月銀合歡苗木養分吸取量之影響，經變異數分析，具極顯著效應（表 8）。養分N、P、K、Mg、Zn 隨土壤 pH 值之遞升而增加，N 至 pH 7.0 達最高量，其餘之養分吸取量以土壤 pH 6.0 時最高，超過時則吸取量下降。Mn 吸取量隨土壤 pH 值之升高而下降，Ca 則隨土壤 pH 值提高而增加。

植物養分吸取受土壤養分供應、根系養分吸收能力之影響，而土壤養分供應端視土壤養分之有效性和土壤 pH 值而定，本試驗說明了 pH 值對養分吸取量之影響。

㈥土壤 pH 值與接種處理對銀合歡苗木生長和養分吸取量之交感效應

土壤 pH 值（4.2，5.0，6.0，7.0，8.0）與接種處理（雙重接種，菌根菌接種，根瘤菌接種，不接種）對 4 個月生銀合歡苗木之高生長、地際直徑、地上部與下部乾重之交感效應呈極顯著差異（表 9）；與土壤 pH 值以及接種處理個別影響之趨勢相同。土壤 pH 值和不同接種處理對苗木養分吸取量之交感效應亦呈極顯著之差異，說明銀合歡苗木生長量和養分吸取量，並非僅受雙重接種或土壤 pH 值之影響，而是受兩者之綜合影響。

㈦雙重接種與土壤 pH 值對 4 個月生銀合歡苗木葉面積及菌根感染率之影響

葉面積與菌根感染率爲兩重複之平均數，並未參與統計分析。4 個月生銀合歡苗木之葉面積，菌根菌接種與雙重接種處理者大於根瘤菌接種與不接種對照。菌根菌接種與不接種影響 4 個月生銀合歡苗木葉面積之大小，其隨土壤 pH 值提高而增加，超過 pH 6.0—7.0 則下降，而雙重接種與菌根菌接種則無一定趨勢（表 10），經檢定後，根部受菌根菌感染的只有接種菌根菌及雙重接種的銀合歡苗木，其感染率則以 pH 5.0 與 6.0 最高（表 10）。葉面積雙重接種者，爲不接種對照之 17 倍。

表 6. 收穫前後各處理土壤pH值之變化

Table 6. Change of Soil pH values before and after harvest

Soil pH value	Control	Inoculation treatment		
		Rhiz.	VAM	Rhiz.+VAM
4.2	4.4±0.1	4.4±0.1	4.5±0.0	4.4±0.1
5.0	4.8±0.1	4.9±0.2	5.0±0.0	4.9±0.0
6.0	5.5±0.2	5.3±0.1	5.7±0.0	5.8±0.2
7.0	6.7±0.2	6.6±0.2	6.8±0.1	6.8±0.2
8.0	7.4±0.1	7.3±0.0	7.5±0.1	7.5±0.0

表 7. 雙重接種對4個月生銀合歡苗木養分吸取量之影響

Table 7. Effect of dual inoculation on the nutrient uptake of 4-month old *Leucaena leucocephala* seedlings.

Nutrients uptake	Control	Inoculation treatment			F-value
		Rhiz.	VAM	Rqiz.+VAM	
N	20.50 c	20.4 c	154.43 b	165.66 a	747.84**
P	0.68 b	0.58 b	8.91 a	10.40 a	309.21**
K	7.43 b	6.67 b	54.35 a	55.34 a	719.83**
Ca	3.69 c	3.39 c	67.93 b	91.45 a	1177.72**
Mg	0.90 b	0.79 b	16.06 a	15.94 a	957.97**
Mn	0.28 b	0.20 b	3.15 a	3.88 a	189.22**
Zn	0.05 b	0.05 b	0.64 a	0.58 a	570.43**

(1) Unit: mg/pot.

(2) Theoretical F value (0.01, 3&38)=4.51, (0.05, 3&38)=2.95

(3) Values in the same horizontal column followed by the same letter (s) are not statistically different ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test.

表 8. 土壤pH值對4個月生銀合歡苗木養分吸取量之影響

Table 8. Fffect of soil pH value on the nutrient uptake of 4-month old *Leucaena leucocephala* seedlings.

Nutrients uptake	Soil pH value					F-value
	4.2	5.0	6.0	7.0	8.0	
N	46.02	78.92	111.54	114.75	100.12	74.34**
P	1.98	5.33	6.50	6.10	5.79	29.66**
K	28.71	34.78	33.38	29.91	27.97	6.72**
Ca	8.77	35.96	48.92	66.56	77.33	263.98**
Mg	4.10	9.58	11.96	10.19	6.28	99.26**
Mn	2.81	3 33	1.87	0.83	0.54	60.72**
Zn	0.19	0.41	0.43	0.34	0.28	41.00**

(1) Unit: mg/pot.

(2) Theoretical F value (0.01, 4&38)=4.02 (0.05, 4&38)=2.69

表 9. 土壤pH值與接種對銀合歡生長及養分吸取量之交感效應

Table 9. Interaction effect of inoculation and soil pH value on the growth and nutrient uptake of *Leucanea leucocephala* seedlings.

Growth of seedling	F-value Soil pH × Inoculation	Nutrient of seeding	F-value Soil pH × Inoculation
Shoot height	3.49**	N	19.52**
Diameter at root collar	7.89**	P	8.18**
		K	3.20**
Dry weignt of seedling top	25.47**	Ca	81.36**
		Mg	28.58**
Dry weight of seedling root	45.41**	Mn	18.46**
		Zn	14.78**

(1) Theoretical F value (0.01, 12.38)=2.84.

表 10. 接種與土壤pH值對4個月生銀合歡苗木葉面積及根感染率之影響

Table 10. Effect of inoculaton and soil pH value on leaf area and root infection of 4-month old *Leucaena leucocephala* seedlings.

Soil pH value	Control	Inoculation treatment		
		Rhiz.	VAM	Rhiz.+VAN
	Leaf area (cm^2)			
4.2 (check)	37	34	460	713
5.0	38	46	726	680
6.0	53	45	587	746
7.0	52	53	893	702
8.0	26	25	712	723
	mycorrhizal infection (%)			
4.2	—	—	44	40
5.0	—	—	88	68
6.0	—	—	88	80
7.0	—	—	64	48
8.0	—	—	20	44

"——" in the table means on infection.

誌　謝

本研究所用之內生菌根菌承夏威夷大學之黃瑞祥博士提供，文成又蒙斧正特誌謝意。土壤和植株養分分析由吳嘉明和許秋子兩位小姐幫忙，資料分析承邢麗雪小姐幫忙，一併誌謝。

參考文獻

周文能. 1986. 蓊叢枝內生菌根之基本研究方法。台灣林業 12(5)：14—18。

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 pp.17—29。

張焜標. 1984. 外來種相思樹之固氮作用與內生菌根之效應，國立台灣大學森林學研究所碩士論文 118 pp.。

楊秋忠，莊作權，郭鴻裕. 1984. 接種內生菌根對大豆生長，生產，固氮作用及礦物磷利用之效應。中華農學會報新 128：29—42。

Allen, S.E., H.M. Grimshan and A.P. Rowland. 1986. Chemical analysis. In "Method in Plant Ecology" pp.285—342. 2nd ed. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London

Allen, M.F., W.K. Smith, T.S. Moore, Jr. and M. Christensen. 1981. Comparative water relations and photosynthesis of mycorrhizal and nonmycorrhizal *Bouteloua gracilis* H.B.K. Lag ex Stend. New Phytol. 87 : 677—685.

Aquiahuatl, A. and D. Munoz. 1983. Inoculation of *Leucaena leucocephala* with *Rhizobium* strains adapted at high levels of aluminum. Leucaena Res. Rept. 4 : 54—55.

Bowen, D.G. 1984. Tree roots and the use of soil nutrients. In "Nutrient of Plantation" pp.147—81. Forests. Academic Press. New York.

Brewbaker J.L. and E.M. Hutton. 1979. Leucaena——Versatile tropical tree legume. In "New Agricultural Crops", pp.207—259. ed G.A. Ritchid. Amer. Assn. Adv. Sci.

Date, R.A. andj. Halliday. 1979. Selecting rhizobium for acid, infertile soils of the tropics. Nature 277 : 62—64.

Duguma, B. and D.U.U. Okali. 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. Leucaena Res. Rept. 8 : 50—51.

Dutt, A.K. and U. Dathania. 1983. Response of leucaena to rhizobial inoculation. Leucaena Res. Rept. 4 : 83—85.

Halliday, J. 1981. Nitrogen fixation by leucaena in acid soil. Leucaena Res. Rept. 2 : 71—72.

Huang, R.S., R.S. Yost, R.L. Fox, M. Habte and C.L. Murdoch. 1983. Effects of three mycorrhizal isolates on *Leucaena leucocephala* growth at three soil pH levels. Leucaena Res. Rept. 4 : 83—85.

Huang, R.S., R.S. Yost and W.K. Smith. 1983. Influence of VA mycorrhiza on growth nutrient absorption and water relations in *Leucaena leucocephala*. Leucaena Res. Rept. 4 : 86—87.

Lara-Fernandez, V. and R. Ferrera-Cerrato. 1986. Study of vesicular arbusculars endomycorrhizal—*Leucaena leucocephala* symbiosis. Leucaena Res. Rept. 7 : 94,

Luyindula, N. and L. Karabaranga. 1986. Preliminary studies on the symbiotic association between rhizobium and *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit in Zaire. Leucaena Res. Rept. 7 : 121—122.

Manjunath, A., D.J. Bagyaraj and H.S. Gopala Gowda. 1984. Dual inoculation with VA

mycorrhizae and rhizobium is beneficial to leucaena. Plant and Soil 78 : 445—449.

Mosse, B.. 1981. Vesicular—Arbuscular Mycorrhiza Research for Tropical Agriculture Res. Bulletin 194. Univ. of Hawaii. 82. pp.

Nalini, P.A., M.S. Byra Reddy and D.J. Bagyaraj. 1986. Selections of an efficient VA mycorrhizal fungus for Leucaena—a preliminary report. Leucaena Res. Rept. 7 : 61—62.

Pathak, P.S. and B.D. Patil. 1981. Nodulation and seedling growth in *Leucaena leucocephala* cultivars. Leucaena Res. Rept. 2 : 25.

Repert, P. and W.H. Patrick, Jr. 1982. Manganse. In "Methods of Soil Analysis, Part II. Chemical and Microbiological Properties" pp.313—322. 2nd ed. Amer. Soc. Agron. Madison, Wisconsin.

Sivaprasad, P., S.V. Hegde and P.V. Rai. 1983. Effect of rhizobium and mycorrhiza inoculation on growth of leucaena. Leucaena Res. Rept. 4 : 42.

South, W.T. and M. Habte. 1985. The influence of starter nitrogen and mycorrhizal inoculation on the post—transplanting performance of leucaena. Leucaena Res. Rept. 6 : 95—96.

Tautiqul, A. and M. Habte. 1985. Interaction of leucaena with *Glomus fassiculatum* in a typical Oxisol. Leucaena Res. Rept. 6 : 97—98.

Yost, R.S. 1981. Influence of VA mycorrhizae on early growth and P nutrition of leucaena. Leucaena Res. Rept. 2 : 84.

Yost, R.S. and R.L. Fox. 1979. Contribution of mycorrhizae of P nutrition of crops growing on an oxisol. Agron. J. 71 : 903—908.

Young, C.C. and C..C. Chao. 1983. Effect of liming and rhizobial inoculant on seedling growth of *Leucaena leucocephala* in the field experiment. Leucaena Res. Rept. 4 : 73—74.