

土壤pH值對異葉銀合歡苗木生長 及養分含量之影響

程煒兒 潘富俊

摘 要

為探討異葉銀合歡 (*Leucaena diversifolia* K156) 最宜生長之土壤pH值範圍, 以及土壤pH值對苗木與土壤養分含量之影響。特以施用石灰之方式, 將土壤 pH 值自4.35調整至 5.0、6.0、7.0 及 8.0進行栽植試驗, 結果顯示: 1. 4個月生異葉銀合歡苗木在土壤 pH 為 5.5—7.0 範圍亦即強酸性至中性土壤生長最適宜。2. 提高土壤pH可增加土壤養分N, P, K, 之有效性及Ca含量, 減少Mn毒害, 從而促進根系之生根力及地上部之生長。3. 生長在 pH4.35 土壤之異葉銀合歡苗木葉部, 含低濃度Ca(0.92%)及高濃度Mn(390ppm), 致造成養分不平衡與毒害, 抑制異葉銀合歡苗木之生長。若提高土壤pH值, 則可改善上述情況。4. 土壤pH值提高後, 異葉銀合歡苗木對養分吸取量除pH8.0例外, 均顯著增加, pH5.0、6.0與7.0平均吸取量較對照(pH4.35)超出(%)N130、P172、K79、Ca249、Mg114和Si147。5. 根瘤乾重, 固氮酶活性, 以及固氮量等均隨土壤pH值之提高而增加; 至6.0達最高。pH值為6.0時, 其固氮量為對照(pH4.35)之20倍。

關鍵詞: 土壤 pH 值, 異葉銀合歡, 有效性養分, 養分吸取。

程煒兒、潘富俊 1988 土壤 pH 值對異葉銀合歡苗木生長及養分含量之影響, 林業試驗所研究報告季刊, 3(3):133—146.

Effect of Soil pH on the Growth and Nutrient Levels of Seedling of *Leucaena diversifolia*

Wei-Er Cheng, Fuh-Jiunn Pan

[Summary]

In order to detect the effect of soil pH on the growth and nutrient levels of *Leucaena diversifolia* seedling over 4 months, and nutrient availability of the soil, a greenhouse pot test was conducted in May 1987.

Soil pH was adjusted from its indigenous pH values of 4.35 to 5.0, 6.0, 7.0, and 8.0, by using CaCO_3 . There were 5 levels of soil pHs with 10 replications, and the pots were arranged in randomized block design. One month after germination, seedlings were thinned to one plant per pot. Data of growth and chemical analysis were gathered after harvesting in September, 1987. The results showed:

1. *Leucaena diversifolia* (K156) grew better in strongly acid to neutral soil, and the optimum soil pH range for its growth was from 5.5 to 7.0.
2. As the soil pH increased, available nutrient N, P, K and calcium levels of soil increased, but manganese levels decreased.
3. Growth of *Leucaena diversifolia* in soil pH 4.35 was retarded because of nutrient unbalance and toxicity which were caused by low concentration of Ca (0.92%) and high concentration of

1988年4月送審

1988年8月通過

主審委員: 楊政川
洪富文

Mn (390 ppm) in the leaves of *Leucaena diversifolia*. However, this situation could be improved if the pH value of the soil is increased.

4. Nutrient uptake increased significantly with increasing soil pH values, except at soil pH 8.0. The difference between the average of pH levels 5.0, 6.0 and 7.0 and control were N 130%, P 172%, K 79%, Ca 249%, Mg 114% and S 147%.
5. Dry weight of nodules, nitrogenase activity, and increments of nitrogen level of *Leucaena diversifolia* increased with increasing soil pH value, and the highest rate is at soil pH 6.0. And increments of nitrogen level from nitrogen fixation at soil pH 6.0 was twenty times over the control (pH 4.35).

Key words: Soil pH value, *Leucaena diversifolia*, Available nutrient, Nutrient uptake.

W. E. Cheng and F. G. Pan. 1988. Effect of Soil pH on the Growth and Nutrient Levels of Seedling of *Leucaena diversifolia*. Bull. Taiwan For. Res. Inst. New Series. 3(3):133-146.

一、緒 言

由於薩爾瓦多型銀合歡 (*Leucaena leucocephala*) 可適植之土地有限，故近年來許多學者致力於抗寒耐酸銀合歡類之選育，以解決目前銀合歡推廣造林之困境。Hutton(1982, 1984), Sorensson and Brewbaker(1986), 以及Pan(1987)所發表之報告咸認為異葉銀合歡 (*Leucaena diversifolia*) 不僅能抗寒耐酸，對木蝨之抗力亦遠大於薩爾瓦多型銀合歡，是值得重視之樹種。台灣林地多屬酸性，甚至農耕用地近年來亦因收穫與淋溶致土壤鹽基之連續性移除，肥料與農藥之過量使用，工業污染等等，導致土壤 pH 值普遍下降，若能選育出抗寒耐酸銀合歡類，不僅可增加栽植面積，同時亦可增加木材生產。Hutton (1982, 1984) 僅提供異葉銀合歡具耐酸性，然酸性土壤涵蓋範圍頗廣，可自超強酸 (<pH4.5) 至微酸性(pH6.5)；又施等(1986)

) 研究結果認為異葉銀合歡在 pH值4.29—4.41之生育地生長表現極佳，但是否已達到理想或最佳生長量，以及其最宜於生長之土壤 pH 值範圍等資料，目前尚付闕如；加之土壤 pH 值對植物生長效應並非直接影響，而是與土壤 pH 值有關如土壤有效養分之供應，養分之吸取，微生物之活動（包括固氮微生物之活性）等因子均有關連。因此在解決異葉銀合歡生長量問題之同時，亦應對控制其長生之諸多因子有所瞭解。本研究旨在探討不同土壤 pH 值對異葉銀合歡苗木生長，養分含量，以及土壤養分變化之影響，所得結果供作育苗、造林之參考。

二、材料與方法

供試材料：樹種為異葉銀合歡 (*Leucaena diversifolia* k156) 種子；供試土壤係屬超強酸性之砂質壤土，其理化性質如表一。

表 1 供試土壤性質

Table 1 Properties of the soil used in experiment

Soil pH value	Organic matter ----- %	Total nitrogen -----	Available phosphorus ---ppm---	Extractable cation				Soil Texture
				K	Ca	Mg	Mn	
				----- mg/100 gm soil -----				
4.35	1.10	0.104	15.96	47.30	14.81	2.04	2.14	Sandy loam

試驗設計：每盆盛風乾土 6.5kg (相當烘乾土 5.93kg)，分別加入石灰石粉 2.6, 7.8, 15.6 與 52.0gm 矯正其 pH 值，使原 pH 值 4.35 (對照) 之土壤分別依次提高為 pH 5.0, 6.0, 7.0 與 8.0 共 5 處理，重複 10 次之盆栽試驗，採逢機完全區集排列。

試驗過程：1987 年 4 月底供試土壤與石灰先經混合潤濕處理 (soil-lime incubation) (Bengston, 1968) 5 月 10 日分盛於內套塑膠袋之直徑 7.5in，高 9.5in 塑膠盆中，每盆盛風乾土 6.5kg，5 月 16 日每盆播異葉銀合歡 K 156 種子 5 粒，6 月 15 日疏苗，每盆留小苗 1 株。7 月 13 日開始生長調查，每月定期調查一次。9 月 10 日收穫，隨即將苗木之葉、幹、根，以及根瘤分別秤其鮮重，再以 65°C 烘至恆重。逢機選取每一處理之根部 4 盆，在風乾前測定其固氮酵素活性。植體經粉碎，以及土壤經風乾處理後，留待養分分析。

苗木養分分析：植物體經濕灰法 (acid digestion method) (Allen, 1986) 灰化後，除 P 以鉬黃法，S 以比濁法測定外，K, Ca, Mg, Mn, Zn, Fe 以原子吸收光譜儀 (Instrument Laboratory 257) 測定，氮以克氏法測定。

土壤養分分析：氮以克氏法測定，有效性磷以 Bray No. 1 鉬藍法測定，K, Ca, Mg 以 INpH7.0 醋酸銨液抽出，Mn 以 DTPA 抽出 (Gambrall and Patrick, 1982)，抽出之 K, Ca, Mg, Mn 以原子吸收光譜儀測定。

固氮酵素活性以 Perkin-Elmer Sigma 300 型

之氣相層析儀 (gas chromatograph) 分析其乙烯生成量；所用之層析柱管係內填 80-100 篩目之 Porapak N，檢測器為火焰離子 (FID) 檢測器；分析條件如后，溫度：層析柱管 50°C，檢測器 120°，注入口 90°C；氣體流速：載運氣體 N₂ 30ml/min，H₂ 25 ml/min，air 250 ml/min (鄭仁祥 1983, 丁慧娟 1987)。

資料分析：生長量及植體養分吸取量均經變異數分析。並分別將各生長量，以及各養分吸取與土壤 pH 值配置迴歸方程式。

三、結果與討論

(一) 土壤 pH 值對生長之影響

4 個月生之異葉銀合歡，因施石灰提高其土壤 pH 值自 pH 4.35 (對照) 遞升至 pH 5.0, 6.0, 7.0 與 8.0 等 5 處理，對其生長量包括高生長，地際直徑，地上部及地下部乾重之影響，經變異數分析結果均呈極顯著差異 (表 2)。各項生長量因土壤 pH 值提高顯著增加，以在土壤 pH 6.0—7.0 之間最高。經邵肯氏新多變域檢定法檢定結果，高生長與地下部乾重，在 pH 5.0, 6.0 與 7.0 各處理間之差異不顯著；地際直徑在 pH 6.0 處理分別與 pH 5.0，以及 pH 7.0 之差異不顯著，而 pH 5.0 與 7.0 則呈顯著差異；地上部及全株乾重除在 pH 6.0 與 pH 7.0 間差異均不顯著外，在 pH 4.0, 5.0, 8.0 均呈顯著差異。

表 2 土壤pH值對 4 個月生異葉銀合歡苗木生長量之影響

Table 1 Growth of 4-month old *Leucaena diversifolia* seedling as affected by soil pH value

Soil pH value	Q'ty of lime gm.pot ⁻¹	Height cm	Diameter at root collar cm	Dry weight (gm.pot ⁻¹) of		Top/Root ratio
				seedling top	seedling root	
4.35 (check)	0.0	52.7 b	0.515 c	4.20 d	1.62 b	2.70 b
5.00	2.6	72.3 a	0.765 b	8.75 b	4.03 a	2.19 c
6.00	7.8	79.5 a	0.845 ab	12.13 a	4.21 a	2.90 b
7.00	15.0	71.3 a	0.858 a	13.82 a	4.45 a	3.14 b
8.00	52.0	59.7 b	0.560 c	6.27 c	1.57 b	4.10 a
F-value (1)		14.11**	30.17**	46.69**	47.24**	10.50**
MSE		81.63	0.01	3.51	0.44	0.47

(1)Theoretical F value (0.01, 4&36)=4.02, (0.05, 4&36)=2.69

(2)means within a column with the same letter(s)are not significantly different (α=0.05) by Duncan's test

4 個月生異葉銀合歡苗木各項生長量與土壤pH4.0, 5.0, 6.0及7.0所配置之迴歸方程式如下:

Regression equations of the growth of 4-month old *Leucaena diversifolia* seedlings at soil pH 4.0, 5.0, 6.0 and 7.0

項 目	迴 歸 方 式	R ²	F
高 生 長 (cm)	Ht=-167.2500+82.7500pH-6.9500pH ²	0.6361	35.083
地 際 直 徑 (cm)	D=-1.5825+0.7627pH-0.0593pH ²	0.7420	57.081
苗 木 乾 重 (mg.pot ⁻¹)			
全 株 Dw(seedling)	=-45.6487+17.9156pH-1.2568pH ²	0.8142	86.457
地 上 部 Dw(top)	=-28.7195+11.0807pH-0.7143pH ²	0.8280	94.877
地 下 部 Dw(root)	=-16.9292+6.8349pH-0.5425pH ²	0.6921	44.838

上列方程式之配置，經將pH8.0處理去除後，不僅其決定係數 (R²) 得以提高，如全株乾重自 R²=0.7466 提升為 0.8142；而且依據以上各迴歸方程式分別繪製各項生長量與土壤 pH 值之關係圖 (圖 1, 圖 2) 顯示，其與實測值較為吻合；故上列之方程式將不預測 pH 8.0 之各項生長量，但自表 2 實測值可知 pH 8.0 處理之各項生長量與 pH 7.0 相比係顯著下降，且經鄧肯氏檢定亦呈顯著差異。

自圖 1, 2 顯示，4 個月生異葉銀合歡之高生

長，地際直徑，以及地下部乾重隨土壤 pH 值之遞升而增加分別至 pH 6.0 或 pH 6.5 達最高量，超過 pH 6.0 或 pH 6.5 則隨 pH 之升高而下降。地上部及全株乾重亦隨土壤 pH 之提高而增加至 pH 7.0 達最高量，超過 pH 7.0 亦隨 pH 之升高而下降。而各項生長量之決定數係以高生長最低 R²=0.6361，而地上部乾重最高為 R²=0.8280，此表示地上部乾重之變異有 82.80% 與土壤 pH 值有關連。

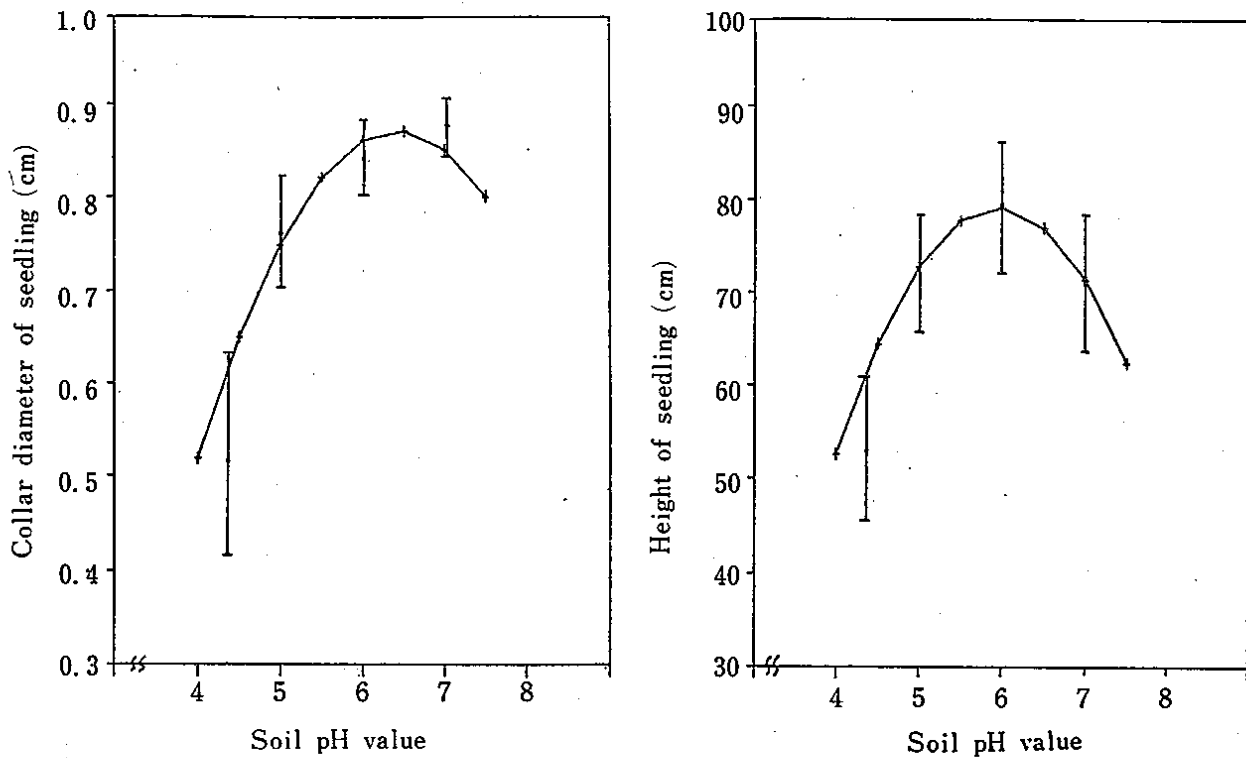


圖1.土壤 pH 值對四個月生異葉銀合歡苗木高生長及地際直徑之效應

Fig. 1. Effect of soil pH value on the height growth and collar diameter of 4-month old *Leucaena diversifolia* seedling.

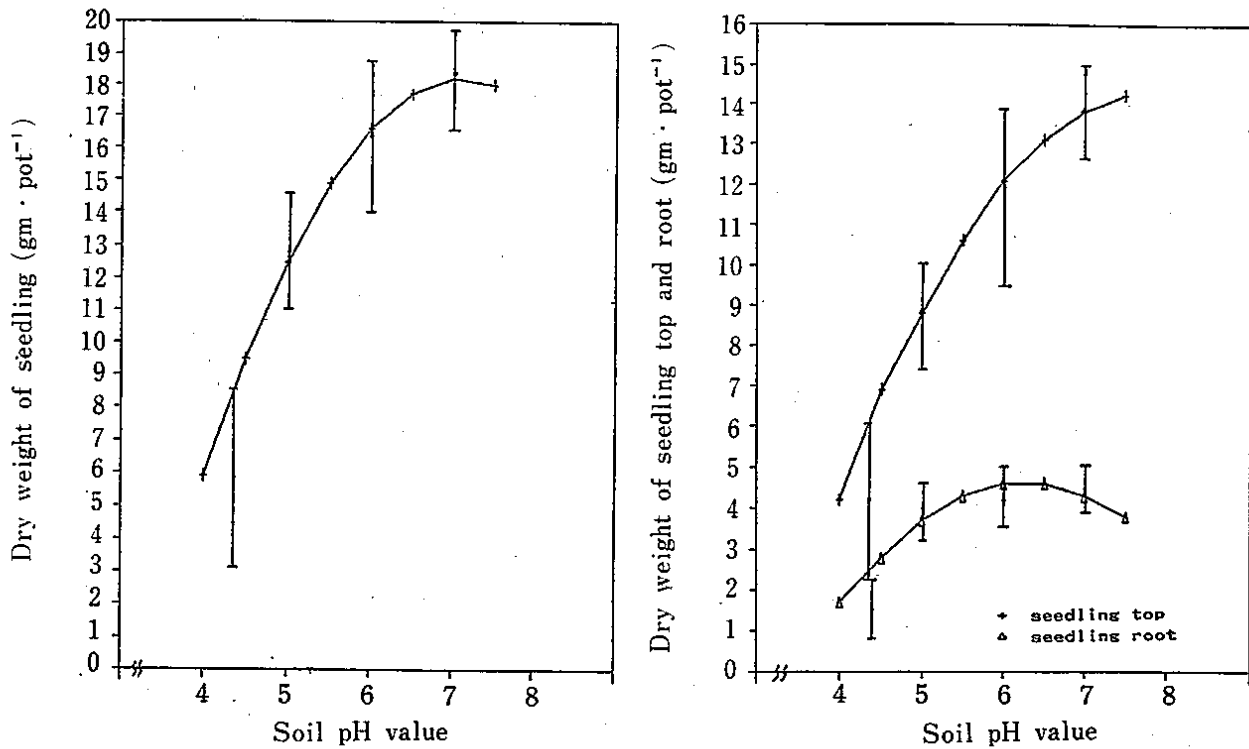


圖2.土壤 pH 值對四個月生異葉銀合歡乾重之影響

Fig. 2. Effect of soil pH value on the dry weight of 4-month old *Leucaena diversifolia* seedling

異葉銀合歡 (K145, K146, K157, K186) 在土壤pH值 4.29—4.41 之生育地生長表現極佳 (施等1985), Hutton (1982, 1984)亦曾報導, 異葉銀合歡不但耐酸性土壤, 且其根系能有效吸收 Ca。由於酸性土壤範圍頗廣, 故本試驗設計自超強酸性至弱鹼性等之連續性土壤反應, 測試異葉銀合歡 (K156) 在各不同反應土壤之生長情形; 所得結果是 4 個月生之異葉銀合歡 (K156) 苗木生長在施石灰提高土壤 pH 值 5.0, 6.0, 7.0 與 8.0 較不施石灰之對照 (pH4.35) 分別依次增加之高生長為 37%, 51%, 35% 與 13%; 地際直徑為 49%, 64%, 67% 與 8.7%; 地上部乾重為 108%, 189%, 229% 與 49%; 地下部乾重為 149%, 160%, 175% 與 -2.7%, 可見異葉銀合歡苗木在超強酸性 (pH4.35) 土壤之生長不若甚強酸性 (pH5.0) 與中酸性 (pH6.0) 為佳。由根部發育情形可知其生長欠佳原因之一, 不施石灰之對照 (pH 4.35) 根系 (附圖 1) 除主根外只有稀疏之側根, 而 pH 5.0—7.0 之根系 (附圖 2—4), 除主根外, 尚有小分枝與細根, 且根系生長較茂密, 根之表面積亦增加。因在酸性土壤 pH 低 (<4.0), 植物根系受到抑制, 變得短粗, 數量減少, 並變為棕色或暗灰色 (Arnon et al., 1942. cited by Foy 1984)。在酸性土壤銀合歡根系表面之 Al 對 Ca 具阻礙作用 (Hutton, 1982), 而 Ca 是根系生長之重要元素; 故施用石灰不但可增加 Ca 量, 提高 pH 值, 同時也減少 Al, Mn 之毒害, 從而促進根系之生根力及地上部之生長 (附圖 6)

本試驗之莖根率隨土壤 pH 值之提高而增加 (表 2), 僅 pH5.0 例外, 低於 pH 4.35。據胡等 (1980, 1984) 試驗結果, 薩爾瓦多型銀合歡 (*Leucaena leucocephala*) 之莖根率亦隨土壤 pH 之遞增呈增加趨勢; 而其它豆科樹種, 如鈍葉粉樸樹 (*Calliandra calothyrsus*) 却因土壤 pH 值之升高, 其莖根率則下降; 耳莢相思樹 (*Acacia auriculiiformis*) 自 pH4.0—8.0 間其莖根率變化無一定趨勢, 平均在 2.62—3.45 之間。綜合以上結果, 莖根率是受土壤 pH 值之影響抑或受樹種影響則有待探討, 又如同一樹種之 3+0 年生 White spruce 苗木在不同栽植密度, 15 株/ft² 與 30 株/ft² 之莖根率, 却因栽植於不同地點苗圃, 其差異有顯著與不顯著之別 (Duryea, 1984)。莖根率用以作為苗木品質評估中形態評估之一項參數。地上部大則需有

大的根系供應水分與養分, 故以測定莖根率之平衡作為指標, 但以根之重量或體積作為根系提供水分與養分之能力並非很好之指標, 應以根系之總表面積, 纖維性根系, 或根之吸附容量較妥 (Ritchie, 1984)。亦有學者認為莖根率在評估苗木品質方面, 不若苗高, 地際直徑等參數更有效用 (Racey, et al. 1982)。

由於土壤 pH 值具有連續性, 故以內插法由關係圖選擇適宜於異葉銀合歡生長之土壤 pH 值範圍較適合, 由圖 1、2 顯示高生長, 地際直徑, 以及地下部乾重之最高生長量分別在 pH 6.0 或 pH 6.5 之土壤, 而地上部及全株乾重之最高生長量則在 pH 7.0, 但經鄧肯氏新多變域檢定法檢定結果, 各該生長量在 pH 6.0 與 pH 7.0 之間差異不顯著, 是故綜合實測值與配置迴歸方程式所得之結果係 4 個月生異葉銀合歡苗木最高生長量在土 pH 6.0 與 pH 7.0, 而其適宜生長範圍則在 pH 5.5—7.0, 亦即強酸性至中性反應之土壤。

綜合以上結果, 異葉銀合歡雖能適應酸性土壤, 為耐酸性銀合歡, 但宜栽植於 pH 5.5 至 7.0 亦即強酸性至中酸性反應之土壤, 以獲得高生長量。上述適於栽植之 pH 範圍, 可作為育苗介質選用或造林擇地之參考。若在低於 pH 5.5 之土壤栽植, 為維持異葉銀合歡之高生長量, 施石灰提高土壤之 pH 值是有其必要, 但施石灰矯正土壤 pH 至 5.5 或 6.0 即可, 超施石灰會造成減產, 本試驗在 pH 8.0 處理結果即如此。

至於造林地石灰施用量與頻度, 或一次石灰施用後土壤保持 pH 5.5—6.5 能持續多久等等問題, 則端視石灰石粉之種類, 有效率, 用量, 混合程度, 土壤性質, 降雨量, 降雨強度, 坡度, 溫度, 以及隨落下枝葉回歸土壤之 Ca 量等諸因子而定。據胡等 (1981) 於台北碧山施行之薩爾瓦多型銀合歡 (*Leucaena leucocephala*) 施石灰試驗結果, 16 個月後土壤之 pH 值仍高於不施石灰之對照區, 且 0—15cm 之 pH 值高於 15cm 以下。又據 Hutton (1987) 於南美洲銀合歡施石灰試驗結果, 1 年後測定不同深度土壤之 Ca 含量, 於 50cm 深之 Ca 量較不施石灰對照高 68%, 100cm 深高 37%, 2 年後測定結果仍較不施石灰對照為高, 以上試驗結果顯示, 石灰向下移動緩慢, 至少兩至三年內尚可維持, 詳確答案應以不同樹種, 不同環境, 以及不同樹齡

經試驗後始可解答。

(二) 土壤pH值對土壤養分之影響

供試土壤於播種前經施石灰處理，除其 pH 值因施石灰提高外，其他養分含量亦因 pH 值而異。土壤全 N，有效性 P，可抽出性 k, Ca 與 Mg 含量均比不施石灰之對照 (pH 4.35) 為高，可抽出性 Mn 則例外。土壤全 N 量以 pH 7.0 時最高，有效性

P 與可抽出性 K 隨土壤 pH 值上升而增加，至 pH 6.0 最高，然後隨 pH 值之升高而下降。所應注意者為可抽出性 K 在 pH 7.0—8.0 之含量比不施石灰之對照 (pH 4.35) 還低。可抽出性 Ca 與 Mg 則隨 pH 值而增加。增加量 (mg/100gm soil) 為 Ca 自 14.81 增至 354.37, Mg 自 2.04 增至 6.03, 可抽出性 Mn 則隨 pH 值增加而下降 (表 3)

表 3 土壤 pH 值對供試土壤養分含量之影響

Table 3 Effect of soil pH value on nutrient levels of the soil used in experiment

Soil pH value	Q'ty of lime gm.pot ⁻¹	Total nitrogen %	Available phosphorus ppm	Extractable cations			
				K	Ca mg/100	Mg gm soil	Mn
4.35	0.0	0.104	15.96	47.30	14.81	2.04	2.14
5.00	2.6	0.104	16.34	47.67	35.94	2.95	1.88
6.00	7.8	0.105	17.71	47.74	65.30	3.16	1.35
7.00	15.6	0.108	16.18	46.37	112.58	6.41	0.82
8.00	52.0	0.106	16.17	46.71	354.37	6.03	0.68

土壤中大部份植物養分之有效性均受到 pH 值之影響，如供作高等植物養分之有機物的礦質化作用，以及其所釋放之有效性 N, P, S 與微量元素等有關之微生物活動 (Sommers and Biederbeck, 1973, Alexander, 1980 cited by Foy 1984)。雖然礦質化作用可發生在土壤之任何 pH 值，但其速率在土壤 pH 6.0 至 pH 6.5 以下則逐漸下降 (Adams, 1984)。本供試土壤之 N, P 亦如是，在施石灰之高 pH 值土壤中其含量增加；可抽出性 K 在 pH 6.0—8.0 土壤之減少，或因高 pH 值之下，陽離子交換能量增加，亦或由於試驗誤差之故。可抽出性 Mn 却因土壤 pH 升高而溶解度降低。可抽出性 Ca 與 Mg 隨土壤 pH 提高而增加之原因或因施用石灰所使然。土壤中其他可抽出性陽離子如 Fe, Al, Zn 亦隨土壤 pH 值之遞升而下降 (胡等, 1984)。故土壤施石灰不僅是生長量，養分含量亦同時受到影響。施加石灰之利益，除減少因低 pH 土壤所產生之 Al、Mn 毒害外，並維持較高 pH 值下土壤養分之有效性，促使植物達到最高生長量。

(三) 土壤 pH 值與葉部養分濃度之關係

4 個月生異葉銀合歡葉部養分濃度因土壤 pH 值與養分種類而異。葉部 Ca 濃度隨土壤 pH 值之

提高而增加，但 Mg, Mn, Zn 濃度變化之趨勢則相反，隨土壤 pH 值之遞升而減少。Fe 濃度在 pH 5.0—6.0 達最高，隨之下降。N, P, K 之濃度却隨 pH 值之升高而減少至 pH 5.0 或 7.0 濃度最低，之後隨 pH 值之提高而增加。S 變化則無一定趨勢 (附表一)。

4 個月生異葉銀合歡葉部在不施石灰對照 (pH 4.35) 之 N, P, K 濃度較 pH 6.0 為高，但其生長量比 pH 6.0 時低三倍弱，生長欠佳乃因缺 Ca 所導致之養分不平衡；在 pH 6.0 時因施石灰而葉部 Ca 濃度增加，S 亦因施石灰加速土壤有機物分解而增加 S 之有效性，故在 pH 6.0 時養分間有一適當比例致生長良好。另一原因是 pH 4.35 (對照) 異葉銀合歡葉部 Mn 之濃度為 390 ppm，因施石灰至 pH 5.0 時葉部 Mn 降至 60 ppm，不施石灰之葉部 Mn 濃度為 pH 6.0 之 6.5 倍，致造成 Mn 毒害，生長欠佳。Mn 毒害與 Al 毒害不同，Al 毒害為植物根部，而 Mn 為葉部 (Adams, 1984)。雖在 pH 6.0 處理除 Ca 外其他養分濃度均降低，此乃因 Ca 在低 pH 值 (4.35) 土壤成為異葉銀合歡之生長限制因子，經施石灰改良後其生長量顯著增加，結果造成其他養分濃度之降低，此之謂生長稀釋，但各養分間仍

維持平衡；故本試驗4個月生之異葉銀合歡葉部最適宜於生長之各養分N,P,K, Ca, Mg,S濃度(%) 在生長最佳之pH6.0處理，分別是3.14,0.16,1.20, 1.19, 0.22, 0.47。但超過pH 6.0後，葉部Ca濃度仍續增加，K,Mg却減少，生長量開始遞降，或許由於過量Ca抑制植物對K與Mg之吸收而致濃度下降。由以上結果顯示，Ca之缺乏或過剩均會造成養分不平衡，使異葉銀合歡生長受到障礙。

(四)土壤pH值對養分吸取量之影響

4個月生異葉銀合歡苗木養分吸取量分地上部與地下部，前者是由葉部與幹部乾重分別與各該養

分(N,P,K,Ca,Mg,S,Mn,Zn,Fe)濃度相乘積之總和，而後者是由根部乾重與其各養分濃度之相乘積。地上部與地下部養分吸取量經變異數分析結果具有極顯著效應(表四)。苗木全株養分吸取量與土壤pH值分別配置迴歸方程式，據方程式所繪之關係圖(圖三)顯示，土壤pH值除與Mn吸取量呈直線下降外，與其他養分吸取量則呈二次曲線下降。各養分吸取量均以施石灰較不施石灰為高，除Mn吸取量例外，以不施石灰對照(pH 4.35)高於施石灰者，由圖中顯示各養分吸取量最高範圍在pH6.0—7.0之間。

表4 土壤pH值對4個月生異葉銀合歡苗木養分吸取量之影響

Table 4 Effect of soil pH value on the nutrient uptake of 4-month old *Leucaena diversifolia* seedling

Soil pH value	mg pot ⁻¹									
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn	Fe	S	
-----seedling top-----										
4.35(check)	80.52 ^c	5.01 ^c	4.18 ^c	25.97 ^e	8.44 ^c	0.92 ^a	0.46 ^c	1.18 ^c	9.47 ^{d(2)}	
5.00	105.43 ^c	14.03 ^a	78.09 ^{a,b}	53.91 ^d	13.70 ^b	0.54 ^b	0.87 ^b	2.35 ^b	22.53 ^b	
6.00	189.19 ^b	14.54 ^a	84.88 ^a	88.43 ^b	19.53 ^a	0.45 ^b	1.04 ^a	3.51 ^a	27.43 ^a	
7.00	254.14 ^a	16.42 ^a	80.00 ^a	112.94 ^a	19.74 ^a	0.45 ^b	1.06 ^a	4.09 ^a	21.71 ^b	
8.00	172.70 ^b	9.11 ^b	68.22 ^b	74.15 ^c	7.24 ^c	0.21 ^c	0.48 ^c	1.90 ^b	14.65 ^c	
F-value ⁽¹⁾	38.68 ^{**}	25.52 ^{**}	17.70 ^{**}	52.75 ^{**}	62.66 ^{**}	16.02 ^{**}	25.93 ^{**}	17.25 ^{**}	32.61 ^{**}	
MSE	1238.95	8.544	148.45	208.16	5.58	0.04	0.03	0.81	15.37	
-----seedling root-----										
4.35	17.19 ^d	1.71 ^b	10.16 ^c	4.19 ^d	2.43 ^b	0.43 ^a	0.29 ^b	2.04 ^b	3.72 ^b	
5.00	34.85 ^b	3.61 ^a	23.70 ^a	13.24 ^c	5.52 ^a	0.40 ^a	0.53 ^a	7.16 ^a	9.38 ^a	
6.00	38.22 ^b	3.41 ^a	14.44 ^b	18.46 ^b	5.72 ^a	0.28 ^b	0.50 ^{a,b}	5.59 ^a	9.20 ^a	
7.00	50.95 ^a	2.74 ^a	10.29 ^c	28.56 ^a	5.63 ^a	0.28 ^b	0.46 ^{a,b}	5.75 ^a	7.59 ^a	
8.00	24.83 ^c	1.63 ^b	7.60 ^c	10.40 ^c	2.01 ^b	0.10 ^c	0.16 ^c	2.08 ^b	3.19 ^b	
F-value ⁽¹⁾	31.83 ^{**}	7.53 ^{**}	26.13 ^{**}	41.99 ^{**}	53.19 ^{**}	14.28 ^{**}	11.35 ^{**}	19.27 ^{**}	21.32 ^{**}	
MSE	52.58	1.14	15.38	20.06	0.66	0.01	0.02	2.82	4.15	

(1)Theoretical F value (0.01, 4&36)=4.02, (0.05, 4&36)=2.69

(2)means within a column with the same letter(s) are not significantly different ($\alpha=0.05$) by Duncan's test

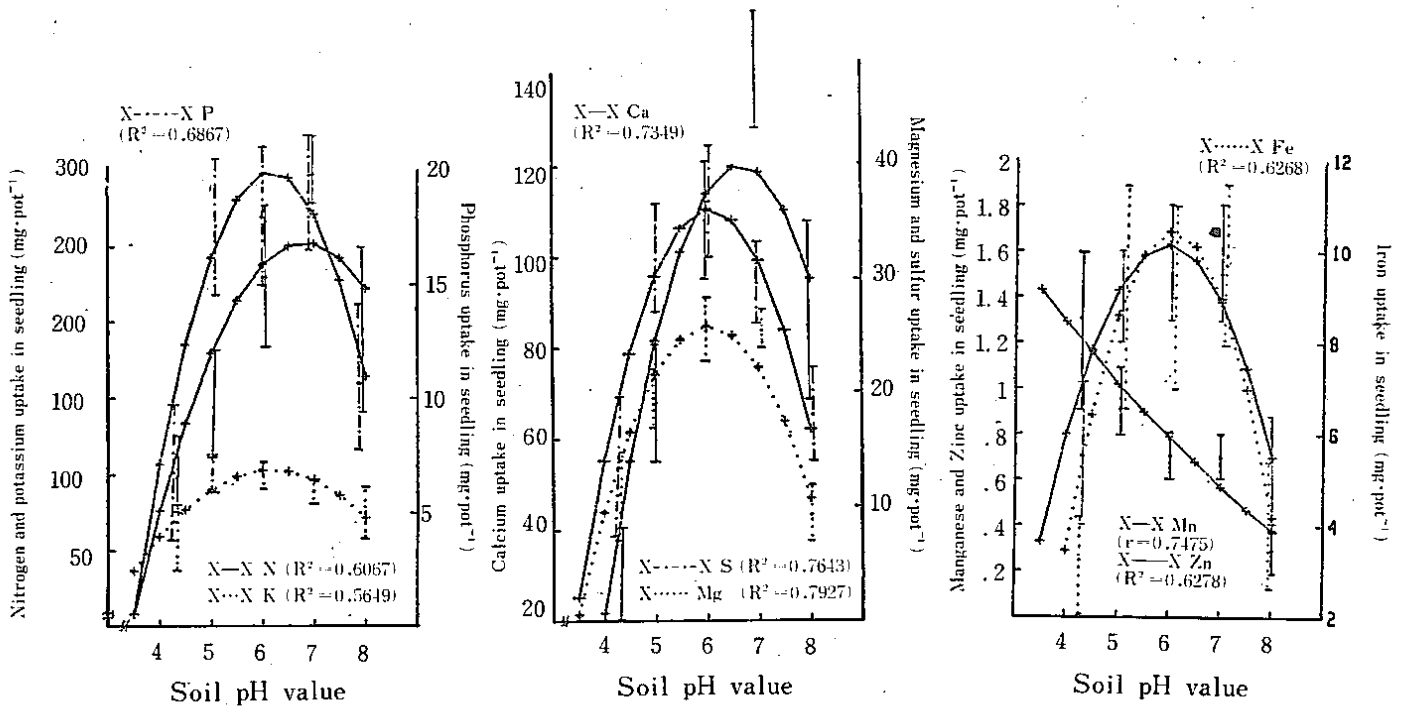


圖3.土壤 pH 值對四個月生異葉銀合歡養分吸取量之影響

Fig. 3. Effect of soil pH value on nutrients uptake in the seedling of 4-month old *Leucaena diversifolia*

養分吸取為維持植物生長所需，該吸取量受到土壤養分提供，土中養分移動，以及根部吸收能力等之影響 (Bowen G. D. 1984)。在 pH 4.35 (對照) 之養分吸取量甚低 (見圖三)，除因缺 Ca，土壤有效性養分含量低外，根系生長不良亦影響到養分之吸取。又據 Foy (1984) 報導，酸性土壤因過量 H⁺ 離子會影響到植物根部對養分吸取與留置，以致植物對生長介質中 Ca 及其他養分等之需求增加。本試驗 4 個月生異葉銀合歡苗木在施加石灰後，除 pH 8.0 例外對土壤養分之有效利用顯著增加，如 N, P, K, Ca, Mg, S 在 pH 5.0, 6.0 與 7.0 之平均吸取量較不施石灰對照 (pH 4.35) 超出 (%) 分別為 N 130, P 172, K 79, Ca 249, Mg 114, S 147。故施石灰確可增加養分吸取量，但超施石灰，吸取量亦下降。又由圖三顯示，除 Mn 外，各養分之吸取量趨勢與生長量相似隨土壤 pH 值升高至 pH 6.0—7.0 吸取量最大，之後，隨土壤 pH 值之上升而下降，由上結果可知，養分吸取量與生長量具高度相關。今就 4 個月生異葉銀合歡最高生長量

之苗木全株各養分吸取量結果，用以計算苗木栽種時所需各元素之適當組合比例 N : P : K : Ca : Mg : S = 12.7 : 1.0 : 5.5 : 6.0 : 1.4 : 2.0。以上結果可用於育苗及苗床施肥參考。

(四) 土 pH 值對根瘤量，固氮酶活性，以及氮素增加量之影響

本試驗之根瘤乾重，固氮酶活性，以及氮素增加量隨土壤 pH 值而異 (表五)。根瘤乾重隨 pH 值之升高而增加，自不施石灰對照 (pH 4.35) 之每盆 8.4mg 增加至 pH 6.0 之每盆 256 mg 為最高量，之後隨 pH 值之增加而下降，pH 8.0 處理之根瘤量甚微，其乾重無法求得。固氮酶活性以乙炔生成量表示，亦以 pH 6.0 最大，為每株每小時生成 8.24 umole C₂H₄，而 pH 4.35 (對照) 之乙炔生成量在氣相層析儀中未被測出。氮增加量係將栽植後土壤含 N 量與苗木全株 N 吸取量之總和減去栽植前土壤 N 含量是為所增加 N 量，亦即固氮量，其最高量在 pH 6.0 處理，每盆 375.4 mg，而 pH 8.0 處理 N 量不但未增加，反比栽植前少。

表 5 不同土壤pH值之平均根瘤乾重，固氮酶活性，以及氮素增加量

Table 5 Average dry weight of nodules, nitrogenase activity, and increments of nitrogen at various soil pH levels

	Soil pH value				
	4.35	5.00	6.00	7.00	8.00
Average dry weight of nodules (mg.pot ⁻¹)	8.4	87	256	77	—
Ethylene production (μ mole C ₂ H ₄ · plant ⁻¹ · hr ⁻¹)	—	8.05	8.24	5.51	—
Nitrogen increment ⁽¹⁾ of soil (mg.pot ⁻¹)	-79.5	193.5	148.0	-260.0	-320.0
Nitrogen uptake of seedling (mg.pot ⁻¹)	97.7	140.3	227.4	305.1	197.5
Total increment ⁽²⁾ of nitrogen: (mg.pot ⁻¹)	18.2	333.8	375.4	45.0	—
(kg.ha ⁻¹) ⁽³⁾	7.0	128.4	144.4	17.3	—

(1) Nitrogen content of soil at harvest minus the N content before planting

(+) Nitrogen increased, (-) Nitrogen decreased.

(2) Nitrogen increment of soil plus seedling uptake is the total increment.

(3) Estimated figure based on 2,500,000 kg.ha⁻¹ soil weight.

本試驗除施石灰外，並未接種根瘤菌或施用N素肥料，故土壤N素之增加除由少量落葉回歸N素外，可能是存於供試土壤之原生根瘤菌與異葉銀合歡共生所固定之氮量。據文獻 (Andrew, 1978, cited by Foy, 1984) 報導，豆科植物生長在不施N肥情況下，H⁺離子濃度特別重要，其影響及土壤根瘤菌之生存與繁殖，根感染與根瘤之形成，與本試驗不施石灰對照 (pH4.35) 之情況相同，其根瘤乾重與固氮量比其他pH值處理為低，或因受H⁺離子濃度之影響。此外尚因土壤之低pH值，Al與Mn之毒害，以及Ca之缺乏等均會干擾豆科植物生長及固氮作用，但該種情況施石灰則可以改善 (Munn and France, 1981)。Duguma和Okali (1987) 之試驗結果是銀合歡之成瘤作用以單獨施石灰較之單接種根瘤菌效果為佳。本試驗經施石灰後，其根瘤乾重，乙烯生成量與固氮量均增加，並且隨土壤pH值提高而增加至pH 6.0達最高量然後下降，甚至pH 8.0時成瘤作用與固氮作用均受

到嚴重影響，或許由超施石灰所導致，因為最佳生長與固氮作用有賴各主要元素 (P,K,Ca,Mg,S,Fe, Mn,B,Zn,Cu,Co,Mo,) 之適當供應，而根瘤菌在根中只供應N素而已。

又各pH值所增加N量 (kg.ha⁻¹)，就pH6.0所增加N量係pH4.35 (對照) 之20倍。而pH6.0所增加之N量相當每公頃施用313.87kg尿素肥料，以出廠價格每噸尿素為NT\$7,800元計算，折合為NT\$3448.2元，不施石灰對照 (pH4.35) 所增加N量相當每公頃施用15.22kg尿素肥料，折合為NT\$118.72元。提高pH所獲收益之一是增加土壤N素；此經由固氮作用所添加之N可避免因施化學N肥會促進雜草生長，以及尿素，硫銨等化學N肥之施用會使土壤pH值變低之種種不良後果。

四、結論與建議

(一) 4個月生異葉銀合歡 (*Leucaena diversifolia* K156) 在施用石灰提高土壤pH值之苗木生長量，較不施石灰者 (對照pH4.35) 分別增加為

: 高生長13%—15%；地際直徑8.7%—67%；地上部乾重49%—229%；地下部乾重149%—175%；而適宜於異葉銀合歡生長之pH值範圍在5.5—7.0亦即在強酸性至中性反應之土壤。

(二)土壤pH值提高，可增加土壤養分N、P、K之有效性及Ca含量，減少Mn毒害，從而促進根系之生根力及地上部之生長。

(三)在pH4.35(對照)4個月生異葉銀合歡之葉部，Ca濃度為0.92%，Mn為390ppm。因低量Ca與過量Mn所造成之養分不平衡與毒害，抑制異葉銀合歡之生長。當土壤pH提高至6.0時，葉部Ca濃度增加至1.19%，Mn降低到60ppm，而其他N、P、K、Mg與S之濃度(%)分別為3.14, 0.16, 1.20, 0.22與0.47之情況下4個月生異葉銀合歡生長量最佳。

(四)土壤pH經施石灰提高後，異葉銀合歡對土壤養分之有效利用顯著增加，除pH8.0例外，pH5.0、6.0與7.0之平均吸取量較不施石灰之對照(pH4.35)超出(%)為N130, P172, K79, Ca249, Mg114與S147。

(五)由4個月生異葉銀合歡苗木全株各養分吸取

量之結果顯示，最宜於異葉銀合歡苗木栽培各元素N:P:K:Ca:Mg:S之組合比例為12.7:1.0:5.5:6.0:1.4:2.0，此量當可用於育苗及苗床施肥參考。

(六)4個月生異葉銀合歡之根瘤乾重，固氮酵素活性，及氮素增加量，因土壤pH值之提高而增加，至pH6.0達最高量，其固氮量為pH4.35(對照)之20倍，經此途徑所增加之N素，可避免因施化學N肥所導致之雜草生長，土壤pH值降低，以及提高林農成本等不良後果。

(七)綜合以上結果，所有影響異葉銀合歡生長之因子，如土壤有效養分，植體養分平衡，養分吸取量及固氮量等等皆因土壤pH值之提高而得以改善，從而增加異葉銀合歡之生長量。是故異葉銀合歡育苗或擇地造林之土壤pH值範圍以5.5至7.0為宜。然目前台灣林地或農用土地，因肥料與農藥過量使用，加之收穫與淋浴致土壤鹽基之連續性移除，導致土壤pH值普遍下降，pH5.5以上之林地面積有限。施加石灰提高土壤pH值至5.5或6.0，以維持異葉銀合歡之高產量，當為改進造林技術之可行途徑。

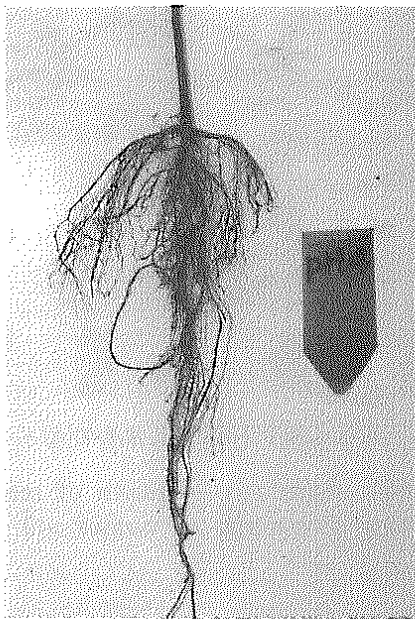
附表 1 不同土壤 pH 值之 4 個月生異葉銀合歡葉部養分濃度

Appendix 1: Nutrient concentration in the leave of 4-month old *Leucaena diversifolia* at various soil pH levels

Soil pH value	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn	Fe	
	%						ppm			
4.35 (check)	3.69±0.61	0.17±0.06	1.64±0.21	0.97±0.23	0.27±0.05	0.40±0.06	390±111	110±32	430±51	
5.00	2.77±0.32	0.19±0.04	1.63±0.34	1.03±0.15	0.22±0.01	0.54±0.08	120±16	100±38	510±74	
6.00	3.14±0.44	0.16±0.06	1.20±0.12	1.19±0.15	0.22±0.01	0.47±0.09	60±8	80±34	510±133	
7.00	3.53±0.33	0.16±0.03	0.99±0.08	1.25±0.06	0.21±0.03	0.32±0.04	50±6	70±38	480±86	
8.00	4.78±0.41	0.19±0.02	1.61±0.20	1.78±0.17	0.16±0.01	0.44±0.08	50±6	70±38	470±60	

Data are average of 10 replicates.

- Allen, S. E., H. M. Grimshaw and A. P. Rowland 1986. Chemical analysis p. 285-342. In Moore and Chapman. Method in Plant Ecology. (2nd ed). Blackwell Scientific publications, Oxford London.
- Adams, Fred 1984. Crop response to lime in the Southern United State. p. 211-259. In Fred Adams Soil Acidity and Liming. Madison, Wisconsin.
- Bowen, D. G. 1984. Tree roots and the use of soil nutrients. p. 147-181. In Bowen and Nambiar. Nutrient of Plantation Forests. Academic Press New York.
- Bengtson, G. W. ed. 1986. Forest Fertilization-Theory and Practice TVA National Fertilizer Development Center. p. 257.
- Duryea M. L. 1984. Nursery cultural practices: Impacts on seedling quality. p. 143-164. In Duryea and Landis (ed.), Forest nursery manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, Hague/Boston/Lancaster.
- 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 soil. *Leuc. Res. Rept.*, 8: 50.
- Foy, Charles D. 1984. Physiological effect of hydrogen, aluminum, and manganese toxicities in acid soil. p.57-96. In Adem, Fred. Soil Acidity and Liming.
- Hutton, E. M. 1982. Interrelation of Ca and Al in adaptation of *leucaena* to very acid soil. *Leuc. Res. Rept.* 3: 9.
- Hutton, E. M. 1984. Breeding and selecting *leucaena* for acid tropical soil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 19: 263-274.
- Munns, D. N. and A. A. Franco 1981. Soil constraints to legume production. p. 133-152. In Graham and Harris Biological Nitrogen Fixation. Technology for Tropical Agriculture. Centro Internacional de Agricultura Tropical Cali, Colombia.
- Pan, F. J. 1987. Psyllid resistance of *Leucaena* species in Taiwan. In "Proceeding of a Workshop on Biological and Genetic Control strategies for the *Leucaena* Psyllid." A special ed. of "*Leucaena Res. Rep.*" Vol. 7 (2): 35-38.
- Robert P. Gambrell and William H. Patrick, Jr. 1982. Manganese p. 313-322. In A. L. Page et al (eds). Methods of Soil Analysis, Part II. Chemical and Microbiological Properties (2nd ed). Amer. Soc. Agron. Madison, Wisconsin.
- Sorensson, C. T. and J. L. Brewbaker 1986. Resistance of *Leucaena* species and hybrids. *Leucaena Res. Rept.* 7: 13-15.
- Racey, G. D., C. Glerum and R. E. Hutchison. 1983. The practicality of top-root ratio in nursery stock characterization. *For. Chron.* 59: 240-243.
- Ritchie, G. A. 1984. Assessing seedling quality. p. 243-259. In Duryea and Landis (ed.), Forest nursery manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, Hague/Boston/Lancaster.

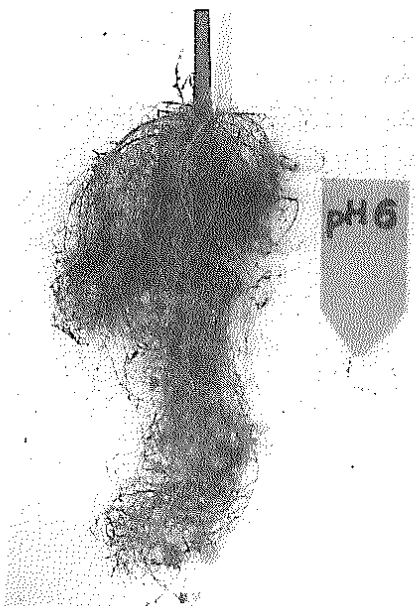


(1) pH=4.35

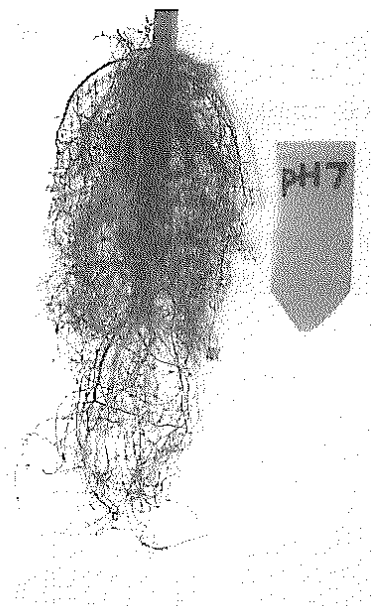


(2) pH=5.0

附圖(1)~(2): 土壤PH4.35~5.0異葉銀合歡之根系發育情形
Appendix figure (1) - (2): Development of seedling root of *Leucaena diversifolia* at soil pH 4.35-5.0

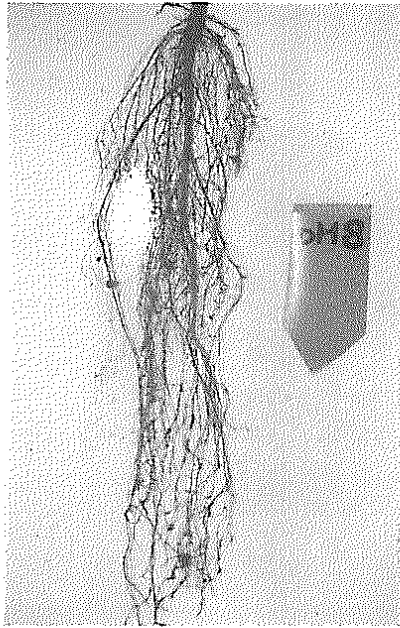


(3) pH=6.0



(4) pH=7.0

附圖(3)~(4): 土壤PH6.0~7.0異葉銀合歡之根系發育情形
Appendix figure (3) - (4): Development of seedling root of *Leucaena diversifolia* at soil pH 6.0-7.0



附圖(5)：土壤pH 8.0異葉銀合歡之根系發育情形

Appendix figure (5): Development of seedling root of *Leucaena diversifolia* at soil pH 8.0



附圖(6)：不同土壤pH值異葉銀合歡苗木生長情形

Appendix figure (6): Growth of seedlings of *Leucaena diversifolia* at various soil pH levels

引用文獻

- 丁慧娟，郭幸榮，李遠欽，1987. 木麻黃固氮效率之研究 (II) —— 影響根瘤形成及固氮效率之因子，P. 29-52. 中華林學季刊，Vol. 20: 1.
- 胡大維，程煒兒，沈慈安，1984. 土壤 pH 值對四種豆科樹種苗木生長及養分含量之影響，林試所

試驗報告，NO. 409.

- 施文君，胡大維，潘富俊，1986. 耐寒及抗酸性銀合歡種類五年之生長比較，林試所研究報告季刊，1(1): P 9-14.
- 鄭仁祥，1983. 酸性環境中大豆宿主與共生菌固氮作用之關係。國立台灣大學農業化學研究所。