

研究報告第460號  
BULLETIN No. 460

根瘤菌接種及氮磷鉀肥對  
東部河川砂壤土銀合歡苗木生長之影響

程煒兒 胡大維 沈慈安

The Effect of Rhizobium Inoculation, Fertilizer  
Nitrogen, Phosphorus and Potassium on the  
Growth of *Leucaena leucocephala* in an Alluvial  
Sandy Loam Soil of Eastern Taiwan

Wei-Er Cheng Ta-Wei Hu Tse-An Sheng

台灣省林業試驗所

臺灣臺北

中華民國七十五年一月

TAIWAN FORESTRY RESEARCH INSTITUTE

Taipei, Taiwan, Republic of China

Jan, 1986

# 根瘤菌接種及氮磷鉀肥對 東部河川砂壤土銀合歡苗木生長之影響

程煒兒 胡大維 沈慈安

## 摘 要

本試驗目的在(一)比較施用化學氮肥與根瘤菌接種對銀合歡 (*Leucaena leucocephala*) 苗木生長之影響。(二)不同磷鉀肥用量對施化學氮肥與根瘤菌接種銀合歡苗木生長之影響。經四個月盆栽試驗結果顯示：(一)施化學氮肥與接種根瘤菌較不施肥不接種根瘤菌能提高銀合歡苗木生長量。(二)接種根瘤菌可促進銀合歡苗木之生長量，其效果與每公頃施用 100 公斤氮素肥料相當。(三)接種之根瘤菌，其固氮能力較原生根瘤菌高。(四)每公頃施用 100 公斤磷、鉀肥對銀合歡苗木生長較施 50 公斤效果為佳。(五)經接種根瘤菌之銀合歡不僅可增加產量及土壤氮量，且可增加林農收益，故利用根瘤菌與銀合歡共生固氮以替代部分化學氮肥是可行的。

**關鍵詞：**根瘤菌接種，化學氮肥，共生固氮，原生根瘤菌、銀合歡。

## 一、緒 言

世界人口不斷成長與生活品質逐漸提高的結果，對林木產品之需求亦隨之增加。為配合此種需要，部分林地已趨向集約經營，增加自林地移除收穫生質之量，以及縮短林木輪伐期。然此方法必導致自林地移出之養分量增加。亦即增加林木生質量之利用，將導致生育地因養分之耗減而肥力衰退(Melillo and Aber 1979)。尤其是氮素，木材收穫會自林地移走相當份量之氮素(Jurgenson et. al. 1979)。

Aber et. al. (1978, 1979) 曾證實，林業實施集約經營計畫的潛在問題是氮素耗損量大，木材產量隨之降低。Cromack et. al. (1979) 亦指出，若要維持農業與林業生態系之永續生產力，經由生物的固氮與化學氮肥途徑恢復氮量是絕對必要的。但由於能量資源有限，迫使人們將氮素化學肥料

優先使用於糧食生產上，因而限制了化學氮肥在林業上之使用。因此尋求化學氮肥之代用品實有必要，而經由豆科與根瘤菌共生固定空氣中氮素，即為可行方法之一。

以生物固氮替代化學氮肥之經營方法有固氮樹種與非固氮樹種輪植、固氮樹種與非固氮樹種混植，以及僅以經濟固氮樹種單作栽培等數種。

近年來，林試所已先後成功地引進豆科樹種如銀合歡、直幹相思樹等。其中銀合歡為生產纖維與木材之經濟樹種，已被廣泛栽植，且為增加產量亦施加化學肥料。然而銀合歡為固氮樹種，具有能與根瘤菌共生，獲得空氣中氮素的潛能。若銀合歡能因共生固氮自給氮肥，並增加土壤肥力，則可減少化學氮肥用量以增加林農收益；而將化學氮肥留給其他需要氮肥的林木使用。

據 Jones et. al. (1983) 試驗結果，在沒有雜草競爭情況下，施加氮肥之銀合歡苗木高生長，

植體與根瘤乾重，以及根瘤數目均比對照為高。施肥對銀合歡之高生長較對照呈顯著差異（孔繁熙和張添榮，1982）。早在 1981 Pathak 試驗結果顯示，接種根瘤菌之銀合歡苗木乾物重較不接種為高。而趙震度（1984）之試驗結果亦顯示接種根瘤菌之銀合歡地上部乾重較對照組為高。Moreno-Quiroz（1983）曾分離出 24 種根瘤菌菌株，分別接種至銀合歡苗木，結果其中九種最具有效性。經接種該九種根瘤菌菌株之銀合歡，其植體及根瘤乾重，以及根瘤數量，均比每公頃施用 100 斤氮素肥料之銀合歡為高。據筆者於民 72 年 4 月在北部華林所進行之銀合歡根瘤菌接種與施化學氮素肥料試驗之初步結果顯示：根瘤菌接種之銀合歡高生長較施化學氮肥高 18%，比對照高 16%。而存活率則接種根瘤菌者為 76.4%，施化學氮肥者僅 62.2%，對照 67.9%。

綜合前述研究，施肥與接種根瘤菌均可增加銀合歡之生質量，而銀合歡接種經過篩選之高固氮效率根瘤菌菌株，其效果更好，可與施化學氮肥相當。

又，除氮素外，其他主要礦質元素亦為植物生長所需。豆科植物之生長及其固氮作用主受土壤肥力及施肥作業之影響，而土壤通常最缺乏磷、鉀與硫（Munns 1977, Cited by Henzell 1981）。故在磷、鉀含量低土壤施肥補充，是促進豆科生長及其固氮作用最普通的方法。

本試驗先以盆栽施行，其目的在（一）比較施用化學氮肥與根瘤菌接種對銀合歡苗木生長之影響。（二）

不同磷鉀肥用量對施化學氮肥與根瘤菌接種銀合歡苗木生長之影響。

研究結果可獲知銀合歡與根瘤菌共生固氮用替代部分化學氮肥，以增加林地肥力，維持或提高生產量之可行性。供為銀合歡或其他固氮樹種如直幹相思樹、木麻黃、赤楊等合理經營之參考。

## 二、材料與方法

### （一）供試材料

1. 種子：供試種子為薩爾瓦多型銀合歡 K28 種子。

2. 根瘤菌接種粉劑：供試根瘤菌接種粉劑兩種。

(1) 由美國夏威夷大學熱帶農業豆科固氮計畫中心 (NifTAL) 所提供之銀合歡根瘤菌混合菌種、包含 TAL82, TAL1145, TAL582 三菌株。

(2) 由中興大學土壤系提供之銀合歡根瘤菌混合菌種、包含 Lu15, Lu66, Lu193 三菌株。該根瘤菌系及分離株係經篩選自本省土壤（趙震度 1984）。

3. 肥料：參試肥料為尿素、過磷酸石灰、氯化鉀。

4. 土壤：取自花蓮平林兆豐公司銀合歡施肥試驗試區附近，其理化性質如表一。

### （二）試驗設計：

四種不同氮素來源與二等級磷鉀肥，共計  $4 \times 2 = 8$  處理組合之複因子試驗，五重複共 40 盆，完全逢機區集排列。

表一：供試土壤性質

Table 1: Properties of the Soil used in experiment

pH	Organic matter	Total nitrogen	Available phosphorus	Extractable Cations			sand	silt	clay	Texture	CEC
	— % —	ppm	— meq/100gm soil —	K	Ca	Mg					
7.91	0.95	0.053	6.4	0.063	27.244	0.616	51.58	44.3	4.12	Sandy loam	1.37

四種不同氮素來源分別是施化學氮肥（每公頃用量為 100kgN，相當每公頃 217.4kg 尿素），接種夏威夷大學 NifTAL 提供之銀合歡根瘤菌接種粉劑（以 R. TAL 表示之），接種中興大學提供之銀合歡根瘤菌接種粉劑（以 R. Lu 表示之），以及對照（不接種、不施化學氮肥）。磷鉀肥二等級，分別是每公頃施  $P_2O_5$ 、 $K_2O$  各 50kg 與 100kg。

(二)試驗過程：

1984年4月23日盛土，每盆盛風乾供試土壤 6.5kg，相當於烘乾土 6.1kg，加水調整土壤水分含量為22%。

1984年4月24日播種每盆播銀合歡 K28 種子 8粒。接種根瘤菌者，於播種前以 50gm 種子加 10gm 根瘤菌接種粉劑比例混合後始播種。

1984年5月15日疏苗每盆留三株，並按照試驗設計施化學氮肥處理每盆施尿素 0.5652gm；四種不同氮來源處理，施用低量磷鉀肥者（每公頃施  $P_2O_5$  與  $K_2O$  各 50kg）每盆施過磷酸石灰 0.8125 gm 與氯化鉀 0.2167gm，施用高量磷鉀肥者（每公頃施  $P_2O_5$  與  $K_2O$  各 100kg）則每盆施過磷酸石灰 1.625gm 與氯化鉀 0.4333gm。

自1984年6月19日開始苗木高生長調查，每月調查一次。

1984年9月17日試驗結束。苗木自播種至收穫、生長期共4個半月，收穫後立即分別秤取每盆苗木之葉、幹、根及根瘤鮮重，然後置於 65°C 烘箱烘至恒重。

(三)樣品及試驗資料分析

1. 植體分析：分析不同處理各重複苗木之葉、幹及根部之 N、P、K、Ca 與 Mg 含量，並分析根瘤 N 含量。植體經乾灰法 (Dry ashing method) 灰化後，磷以分光光譜儀測定，K、Ca、Mg 以原子吸收光譜儀測定，全氮則以 Kjeldahl 方法測定。

2. 土壤分析：土壤於栽植前分別測定其 pH、

全氮、有機物、有效性 P、K、Ca、Mg、CEC 及土壤質地。栽植後除後兩項即 CEC 與土壤質地外，各項分析與栽植前相同，所用方法是，以 Kjeldahl 方法定全氮，Walkley-Black 法定有機物、有效性磷以 Bray No. 1 法測定、K、Ca、Mg、CEC 以中性醋酸鈉 (IN) 抽取 K、Ca、Mg 以原子吸收光譜儀測定、CEC 以蒸餾法。

3. 統計分析：銀合歡生長量（高生長、地際直徑、以及葉、幹、地上部（葉+幹）、地下部（根）與根瘤等之乾物重量）及養分積聚量等數據進行變異數分析，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

(一)施化學氮肥與接種根瘤菌對四個半月生銀合歡生長量之影響：不同處理對銀合歡苗木高生長及地上部乾重之影響經變異數分析結果呈極顯著差異（1%）（表二）。以施氮肥處理之銀合歡苗木高生長平均 118.2cm 最高，依次為接種 R·Lu 處理平均 113.6cm，對照平均 111.8cm 及接種 R·TAL 處理平均 111.2cm；經鄧肯氏新多變域檢定結果，施氮肥處理除與接種 R·Lu 處理之差異不顯著外，與其他兩處理則呈顯著差異。銀合歡苗木地上部乾物重以接種 R·Lu 處理最高，平均每盆乾重 65.8gm，而對照組最低，平均每盆乾重為 60gm，經以鄧肯氏法檢定結果，對照組之苗木地上部乾物重與其他三處理間之差異顯著，而其他三處理間則無顯著差異。又將苗木地上部之葉部與幹部分別經變異數分析結果，葉部各處理間差異不顯著（5%），平均每盆乾重，以接種 R·Lu 最高為 24.6 gm，對照組最低 22.1gm；而幹部各處理間則呈顯著差異，平均每盆乾重亦以接種 R·Lu 最高 41.2 gm，對照最低 37.8gm，以鄧肯氏法檢定結果，對照組除與接種 R·TAL 差異不顯著外，而與其他兩處理呈顯著差異，對照組除外之其他三處理間則

無顯著差異(表二)。平均地際直徑, 地下部平均乾重, 以及根瘤平均乾重各處理間均無顯著差異(5%) ; 但地下部平均乾重以接種 R·TAL 處理最高, 每盆為 26.5gm, 根瘤乾重則以接種 R·Lu 處理最高, 平均每盆重 0.5605gm (表二)。

據以上結果, 接種根瘤菌可促進銀合歡苗木之生長量(高生長, 以及幹、地上部)其效果可與每公頃施 100kg 氮素肥料相當, 只有接種 R·TAL 之高生長例外。雖然葉、地際直徑、地下部及根瘤乾重變異數分析結果不顯著, 但就試驗結果資料(數據)比較, 接種根瘤菌者均高於每公頃施用 100kg 化學氮肥, 尤其是地下部乾重及根瘤乾重, 若以施氮肥為 100, 則前者接種 R·TAL 為 110, R·Lu 為 104, 後者接種 R·TAL 為 127, R·Lu 為 152, 正如前人所提, 施加氮肥會減少植物對地下部碳水化

合物之供給, 在此情況下根瘤所受影響較根部更為嚴重(Pate 1977, cited by Henzell 1981)。也有學者報導, 使用高濃度 (>1mM) NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 與尿素會抑制根瘤之形成(Raggio [1962] subba-Rao 與 Vasantha [1965] cited by Mengel 1979)。再者, 欲施氮肥以增進銀合歡生長同時亦促進雜草生長, 故會得到反效果(Jones al. et. 1983)。筆者另行進行之銀合歡直播造林試驗初步顯示施氮肥者似受到雜草抑制; 故接種根瘤菌之存活率為 76.4%, 而施氮肥者僅 62.2%。至於本盆栽試驗則因易於管理, 並無雜草問題發生。惟若有之其結果亦當對接種根瘤菌更較有利。

就本試驗結果證實, 銀合歡與根瘤菌共生固氮作用以替代化學氮素肥料應屬可行, 只要選用高固

表二: 根瘤菌接種與氮肥對銀合歡苗木生長之影響

Table 2: Effect of Rhizobium inoculation and fertilizer nitrogen on the growth of *Leucaena leucocephala* seedling

	Control	Fertilizer nitrogen	Rhizobium Inoculation		F-value
			R·TAL <sup>3/</sup>	R·Lu <sup>4/</sup>	
	b	a	b	ab	
Height (cm) <sup>1/</sup>	111.8±7.0	118.2±5.7	111.2±7.7	113.6±8.1	4.025**
Diameter at root collar (mm)	10.8±0.4	10.8±0.3	10.8±0.4	10.9±0.3	NS <sup>2/</sup>
Dry weight of (gm pot <sup>-1</sup> )					
Foliage	22.1±2.6	23.4±1.9	23.9±3.1	24.6±2.2	NS
	b	a	ab	a	
Stem	37.8±4.5	40.6±3.0	40.1±4.4	41.2±2.3	3.351*
	b	a	a	a	
Seedling top	60.0±6.3	64.0±4.3	64.0±6.9	65.8±3.1	4.920**
Seedling root	25.0±3.7	24.2±2.1	26.5±1.9	25.1±2.3	NS
Nodule	0.402±0.13	0.368±0.09	0.469±0.21	0.561±0.25	NS

1/ 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.

2/ Difference not significant at 0.05 level.

3/ R·TAL: TAL82, TAL1145, TAL582, from NifTAL, USA.

4/ R·Lu: Lu15, Lu66, LU193, from CHUNG-HSING Univ. Taiwan.

氮效率之根瘤菌株接種。Moreno- Quiroz. et. al. (1983) 在墨西哥境內分離能感染及具有有效性之根瘤菌株24種，其中九種最具有有效性根瘤菌株分別接種於銀合歡苗木，結果其生長量均高於每公頃施用 100kg 化學氮肥，同樣，證實生物固氮至少可替代部份化學氮肥之可行性。

又從本試驗結果獲知，每公頃施 100kg 氮素肥料或接種根瘤菌對銀合歡生長量之影響較不施氮和不接種根瘤菌效果為佳。此顯示，雖然土壤中存有原生 (indigenous) 根瘤菌，亦可與銀合歡共生固定空氣中氮素，但所固定氮量低於接種 R·TAL 和 R·Lu 之量。故該對照組之銀合歡苗木生長量較差。Dreyfus et. al. (1981) 也曾指出，土壤中存有原生根瘤菌株，亦可與銀合歡共生形成根瘤，若原生根瘤菌具有有效性，則不需接種，但在某些情

況下原生根瘤菌株與接種之有效根瘤菌株相比之下，似缺乏有效性。Dutt, et. al. 曾於 1982 及 1983 分別以盆栽及田間進行銀合歡接種根瘤菌試驗結果證實：一般接種根瘤菌之銀合歡生長量，根瘤形成及氮含量均較不接種者增加。該結果與本試驗結果相同，是故栽植銀合歡欲得高產量可施行根瘤菌接種。

(二)自土壤與苗木之氮素積聚量比較各處理之固氮能力：

固氮能力測定方法有 Kjeldahl 法，乙炔還原法與放射性同位素<sup>15</sup>N等方法。因限於設備，僅以 Kjeldahl法測定土壤與苗木之全氮量以計算之。

1. 土壤與氮素積聚量：如表三，栽植前土壤每盆 (6.5kg 風乾土) 積聚氮量 3.445gm。苗木收穫後不同氮源處理間之土壤積聚氮量經變異數分

表三：土壤與銀合歡苗木之氮素積聚量

Table 3: Nitrogen accumulation of the soil and *Leucaena leucocephala* seedling

	Control	Fertilizer nitrogen	Rhizobium Inoculation		F-value
			R·TAL	R·Lu	
Nitrogen accumulation of (gm pot <sup>-1</sup> )					
Soil before planting	3.445	3.445	3.445	3.445	
Fertilizer-N 1/ applied	—	0.26	—	—	
Foliage	0.628	0.667	0.670	0.702	3.173*
Stem	0.259	0.278	0.286	0.294	3.443*
Root	0.259	0.263	0.307	0.261	4.340*
Soil at harvest	3.868	3.920	3.920	4.00	N.S.
Nitrogen increment of Soil					
(gm pot <sup>-1</sup> )2/	0.423	0.215	0.475	0.555	5.225**
(kg ha <sup>-1</sup> )4/	162	82	183	215	
(%)	12.27	6.24	13.79	16.1	
Soil plus whole seedling <sup>3/</sup>					
(gm pot <sup>-1</sup> )	1.568	1.420	1.737	1.816	6.049**
(%)	45.22	41.22	50.42	52.71	

1/ Applied fertilizer-N. 0.26gm per pot equal 100kg N per hectare.

2/ Nitrogen accumulation of soil at harvest minus the N content before planting, except fertilizer nitrogen treatment, soil nitrogen accumulation at harvest minus the N content before planting and minus fertilizer-N added to the soil.

3/ Nitrogen increment of soil plus the whole seedling is the total increment.

4/ Estimated figure based on 2,500,000 kg ha<sup>-1</sup> soil weight.

析結果差異不顯著。苗木收穫後每盆所積聚氮量平均為對照3.868gm,較栽植前增加 0.422gm·pot<sup>-1</sup>,若以每公頃土重2,500,000kg 計算,則約等於每公頃增加162kg 氮素。施化學氮肥處理土壤,每盆所積聚氮量平均為3.920gm,因栽植前每盆原積聚氮3.445gm,又該氮肥處理於播種後每盆施加氮素0.26gm,故其土壤原實際氮積聚量為每盆 3.705 gm,亦即實際增加僅0.212gm·pot<sup>-1</sup>,相當每公頃增加 82kg。接種 R·TAL 處理土壤,每盆所積聚氮量平均為 3.920gm,較栽植前增加 0.475 gm·pot<sup>-1</sup>,相當每公頃增加183kg 氮素。而接種 R·Lu 處理土壤,每盆所積聚氮量平均為 4.00gm,較栽植前增加 0.559gm·pot<sup>-1</sup> 相當每公頃增加 215kg 氮素。

2. 苗木之氮素積聚量:不同氮源處理間苗木各部位(葉幹根)積聚氮量均呈顯著差異(表三),F 值依次為3.173, 3.443與 4.340,均大於理論 F 值(3&28, 05)=2.95。而苗木全株平均每盆積聚氮量分別是對照 1.146gm,施氮肥 1.208gm,接種 R·TAL 1.263gm,以及接種 R·Lu 1.257gm。

3. 氮素增加總量:收穫後每盆土壤所增加之氮量與每盆苗木全株所積聚氮量之和,即為自播種至收穫所增加氮素總量。土壤所增加之氮量,以及氮素總增加量之不同氮源處理間均呈極顯著差異(表三),F 值分別為 5.225 與 6.049 大於理論 F 值(3&28, .01)=4.57。而平均每盆所增加之氮素總量分別是對照組 1.568gm,施氮肥處理 1.420gm,接種 R·TAL 處理 1.737gm,接種 R·Lu 處理為 1.816gm。所增加氮素總量之百分率分別為:對照 45.52%, 施氮肥 41.22%, 接種 R·TAL 50.42%, 接種 R·Lu 52.71% (表三)。

土壤氮素來自雨水、枝葉回歸、土壤蓄積,施化學氮素肥料,以及經由共生固氮與非共生固氮之生物性肥料。本試驗是在溫室施行,不受雨水氮素之影響,而盆栽所用定量土壤中所積聚全氮量可用 Kjeldahl 法測得,而所施加之氮肥量亦為已知;因

此,分析土壤栽植後增加之全氮量,與苗木自土壤移除而積聚於植體之全氮量之和,即為增加之總氮量,在接種處理所增加之總氮量,應是銀合歡與根瘤菌共生固氮作用結果所獲得之空氣中氮量;而施化學氮肥處理扣除施加氮肥量以外所增加之氮量,則可視為由於原來存在土中之原生根瘤菌與銀合歡共生所固定空氣中之氮量;而對照組所增加之總氮量亦可視為原生根瘤菌與銀合歡具共生固氮能力而固定空氣中氮素。雖然各處理均具固氮能力,但所固定氮量之多寡則不同,以接種 R·Lu 處理固氮量最高。每盆 1.816gm,依次是接種 R·TAL,對照組,而以施化學氮肥每公頃 100kg 者最差(表三)。

由上述結果顯示,銀合歡接種根瘤菌,不僅銀合歡苗木生長量與每公頃施用 100kg 化學氮肥相當,甚至更好。而且土壤氮積聚量之增加也較施氮肥處理及對照組為高。而對照組却又較施氮肥為高。施化學氮肥影響到固氮作用常久以來已為人所知,其存在直接干擾控制固氮酵素合成與活動之調節機構,亦干擾固氮微生物與非固氮微生物之競爭能力(Jensen 1981),故其氮固定量較接種根瘤菌,甚至對照組還低。對照組固氮量雖高於施氮肥,但低於接種 R·TAL 或 R·Lu 處理,該結果顯示,無論對銀合歡之生長量及固氮量,花蓮平林地區土壤之原生根瘤菌比接種之根瘤菌效果差。本試驗試土之所以未經殺菌處理目的為證實,經篩選之根瘤菌菌株,其競爭性及固氮能力均比原生根瘤菌為高,該結果與 Materon 和 Hageclorn (1983) 試驗結果吻合,彼等指出、接種有效根瘤菌株與適量施肥會增加 Red clover 之乾物量與固氮量,而原生根瘤菌雖亦施加肥料,但其效果不如接種根瘤菌株為佳。是故接種根瘤菌可增加銀合歡產量及土壤肥力。

(三) 化學氮肥與根瘤菌接種粉劑之成本費比較:  
每公頃施化學氮肥 100kg 相當每公頃施用尿素 217.4kg。按尿素一噸出廠價格為 8,400 元計算,

則217.4kg 尿素需花 1,830元。根瘤菌接種粉劑、根據熱帶農業豆科固氮計畫中心(NifTAL)資料分析，每公頃施用銀合歡種子 5 公斤，所需之接種粉劑費用為 US\$·ha<sup>-1</sup>0.60，約合臺幣 240元；又據提供本試驗根瘤菌接種粉劑(R·Lu)之趙震慶極其保守之估算，以接種大豆20磅需使用 100元粉劑，推算 100元粉劑可接種至少三磅銀合歡種子。若每公頃栽植密度為10,000株之直播造林，需 6—7 磅銀合歡種子，約花200—250元粉劑，若是塑膠袋造林，則需三磅銀合歡種子，約花 100元粉劑。雖接種粉劑費用視作業方式而定，但其費用較施化學氮肥為低。今以每公頃固定氮素量所需之接種費用與施用相當量化學氮肥之費用計算其投資獲益率，根據表三，收穫後單就土壤部份所增加氮量粗略估計，接種 R·Lu 為 215kg·ha<sup>-1</sup>，接種 R·TAL 為 183kg·ha<sup>-1</sup>，而 100kg 氮素相當於 217.4kg 尿素需 1,830元。若依次推論，每公斤氮素需 18.30元，則接種 R·Lu 之獲益/投資=15.74:1 (215 kgN·ha<sup>-1</sup>×18.3\$·kg<sup>-1</sup>/250\$·ha<sup>-1</sup>=15.74:1)，而接種 R·TAL 之獲益/投資=13.95:1 (183 kgN·ha<sup>-1</sup>×18.3\$·kg<sup>-1</sup>/240\$·ha<sup>-1</sup>=13.95:1)。故接種當可增加林農收益。

若再以根瘤菌接種、及施氮、磷、鉀肥之成本與收益估算，其結果為：(一)接種根瘤菌、施化學氮肥、以及磷鉀肥之成本費用 (NT\$·ha<sup>-1</sup>) 分別是在低磷用量：對照為1,970，化學氮肥為3,800，接種 R·TAL 為 2,210，R·Lu 為 2,220；在高磷鉀用量則對照為 3,939，化學氮肥為 5,769，接種 R·TAL 4,179，R·Lu 4,189。若以高低磷鉀用量成本費 (NT\$·ha<sup>-1</sup>) 平均，分別為對照2,955，化學氮肥 4,785，接種 R·TAL, 3,195，R·Lu 3,205 (見附表)。(二)收穫後土壤部份所增加氮量 (kg·ha<sup>-1</sup>) 分別是對照162，施化學氮肥82，接種 R·TAL 183，R·Lu 215；若按每公斤N換算成尿素為 NT\$18.3 元計算，則每公頃由土壤N之增加所獲利為對照2,965，化學氮肥1,501，R·TAL

3,349，R·Lu 3,935 (見附表)。(三)將接種、施化學氮肥、以及磷鉀肥所需之成本費 (NT\$·ha<sup>-1</sup>) 與因栽植後所增加N量所獲利 (NT\$·ha<sup>-1</sup>) 相抵，則實際支出僅施化學氮肥處理為 3,284外，其餘所獲利均高於支出，如對照為10接種 R·TAL 為 155，接種 R·Lu 為731。

綜合以上苗木之生長量，氮素固定量，以及施化學氮肥與根瘤菌接種粉劑費用比較結果，接種根瘤菌之銀合歡不僅可增加產量，提高土壤肥力，同時亦可增加林農收益；是故利用接種根瘤菌與銀合歡共生固氮以替代部份化學氮肥似為可行之途徑。

(四)不同磷鉀肥用量對四個半月生銀合歡生長之影響：

每公頃施用 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 與 K<sub>2</sub>O各 100kg之高量磷鉀肥對銀合歡苗木生長量 (高生長、地際直徑、地上部乾重、地下部乾重及根瘤乾重)，均較每公頃施用 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 與 K<sub>2</sub>O 各 50kg之低量磷鉀肥效果佳，不論是施化學氮肥處理、或根瘤菌接種處理，甚至對照組皆如是，經變異數分析結果，除地下部乾重及根瘤乾重外，對其它生長量之影響呈極顯著差異 (表四)。

由上結果顯示磷鉀肥施用對銀合歡苗木生長具有極顯著效應，或許是本供試土壤有效磷 6.4ppm 與有效性鉀 24.38ppm含量低，故施肥效果顯著或又因銀合歡為豆科樹種對磷鉀特別需要。磷在能量代謝 (energy metabolism) 中扮演重要角色，缺磷影響 ATP 產生 (Esptine 1972)。又由於磷會影響到根瘤細菌活性，所以磷對豆科植物是特別重要 (Mengel 1979). Lynd *et. al.* (1981)以豆科 Hairy Vetch 施用鉀肥結果，地上部乾重，以及固氮酵素活性 (Nitrogenase activity) 均隨鉀肥用量增加而增加。綜合各學者意見皆認為磷鉀有助於豆科之生長，尤其是貧瘠林地土壤，不施肥料 (如磷鉀) 則不足以支持飼料型豆科植物之生長，以顯著地改進生育地氮素經濟。在肥力高排水



表四：磷鉀肥對銀合歡苗木生長之影響

Table 4: Effect of phosphorus and potassium on the growth of *Leucaena leucocephala*

	Treatment <sup>1)</sup>	Control	Fertilizer nitrogen	Rhizobium Inoculation		F-value
				R. Lu	R. TAL	
Height (cm)	Lpk	108.7±4.3	113.5±1.2	106.9±6.8	111.9±8.1	15.963**
	Hpk	114.9±7.8	122.9±4.4	115.4±5.9	115.3±7.7	
Diameter at root collar (mm)	Lpk	10.5±0.3	10.7±0.3	10.5±0.3	10.8±0.3	10.060**
	Hpk	11.1±0.4	10.8±0.4	11.0±0.3	10.9±0.2	
Dry weight of (gm pot <sup>-1</sup> )						
Foliage	Lpk	20.9±2.6	22.7±2.2	21.5±1.7	23.5±1.3	18.894**
	Hpk	23.4±1.9	24.0±1.0	26.3±2.1	25.6±2.4	
Stem	Lpk	35.2±1.0	39.0±2.5	36.8±2.3	40.6±2.3	25.539**
	Hpk	40.5±4.9	42.1±2.7	43.3±3.4	41.8±2.1	
Seedling top	Lpk	56.1±2.4	61.8±4.0	58.3±2.4	64.1±1.6	37.530**
	Hpk	63.8±6.6	66.2±3.4	69.6±5.0	67.4±3.4	
Seedling root	Lpk	24.0±2.2	23.6±0.98	25.9±1.2	23.4±2.5	NS <sup>2)</sup>
	Hpk	26.0±4.5	24.8±2.7	27.1±2.2	25.8±1.9	
Nodule	Lpk	0.313±0.06	0.308±0.06	0.382±0.09	0.466±0.26	NS
	Hpk	0.491±0.13	0.428±0.08	0.556±0.25	0.655±0.18	

1) Lpk: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 50kg ha<sup>-1</sup>, K<sub>2</sub>O 50kg ha<sup>-1</sup>  
Hpk: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 100kg ha<sup>-1</sup>, K<sub>2</sub>O 100kg ha<sup>-1</sup>

2) Analysis of variance tests revealed no significant differences treatments (at 0.05 level).

良好之土壤，飼料型豆科生產良好，不需施肥亦可固定大量氮素 (Jorgensen 1978)。本試驗結果與上所說相符，銀合歡苗木對磷鉀肥極需要，且在高用量下較低用量效果好。

(iv) 不同磷鉀肥用量與不同氮源處理對四個半月生銀合歡生長量之交感作用經變異數分析結果呈不顯著差異，今分項討論於后，銀合歡之高生長，幹部乾重，以及地上部乾重 (葉和幹) 均同時受到 N 與 PK 兩因子之影響，分別影響著與極顯著差異，然其交互作用經統計分析之 F 值依次為 0.605, 2.18 與 2.906 均小於理論 F 值 (3&28, .05) = 2.95，故呈不顯著；至於地際直徑以及葉部乾重，僅 PK 因子對其生長呈極顯著外，N 因子則呈不顯著差異，故其交互作用亦呈不顯著。

雖然變異數分析差異不顯著，但就試驗結果略

作說明，不論高低磷鉀肥用量、對照組之銀合歡苗木生長量均低於其他三處理，而接種 R. Lu 之銀合歡苗木生長量均可與施化學氮肥者相當，而接種 R. TAL 則不然，僅在高磷鉀肥用量下之銀合歡苗木生長量始與施化學氮肥者相當。銀合歡苗木之生長量，在低量磷鉀施用下，以接種 R. Lu 較接種 R. TAL 為優，在高量適其反，就土壤肥力觀點而言，在低磷鉀肥土壤以接種 R. Lu 為優。尤其是花蓮平林兆豐公司栽植銀合歡之農林牧場，藉施肥以提高產量，不妨在尚未施肥或尚未栽植地區，試以根瘤菌接種銀合歡代替化學氮肥證實田間之可行性。

(v) 根瘤菌接種與氮肥處理之銀合歡苗木養分吸收量：

銀合歡苗木養分氮之吸收量，對照組較根瘤菌接種與氮肥處理為低，每盆 1.146 gm 且呈顯著差

異，而接種與氮肥處理之間差異不顯著(表五)。養分磷之吸取量亦以對照組最低為 0.0366gm·pot<sup>-1</sup>，接種 R. Lu 吸取最多0.040gm·pot<sup>-1</sup>，而施化學氮肥與接種 R. TAL 均為0.038gm·pot<sup>-1</sup>，但差異不顯著。養分鉀之吸取量則相反，以對照及施化學氮肥最高為 0.272gm·pot<sup>-1</sup>，接種 R. Lu 最低為 0.263gm·pot<sup>-1</sup>。

據 Jones *et. al.* (1982) 試驗結果，大豆於栽植前接種根瘤菌，不但增加產量，且可增加氮之吸取量，本試驗接種根瘤菌之氮吸取量確較不接種增加，氮吸取量之增加可增加蛋白質含量。

(D)不同磷鉀肥用量對銀合歡苗木養分吸取量之影響：

不同磷鉀肥用量對銀合歡苗木養分氮磷鉀吸取量之影響，均以每公頃施用 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>與 K<sub>2</sub>O 各100kg 之高量磷鉀肥之銀合歡苗木養分吸取量高於每公頃施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 與 K<sub>2</sub>O 各 50kg之低量磷鉀肥，且經變異數分析結果呈顯著差異 (表六)。

據 Sivaprasad *et. al.* (1983)試驗結果，銀合歡單獨接種根瘤菌或菌根菌，在施用磷肥與不施磷肥處理下，其根瘤形成，生長以及磷之吸取與對照相比呈顯著差異。而本試驗結果顯示，根瘤菌接

表五：根瘤菌接種與氮肥處理之銀合歡苗木養分吸取量

Table 5: Nutrient uptake of *Leucaena leucocephala* seedling in Rhizobium inoculation and fertilizer nitrogen treatment

Nutrient uptake	Fertilizer nitrogen		Rhizobium Inoculation		F-value
	Control		R. TAL	R. Lu	
	gm pot <sup>-1</sup>				
N <sup>1)</sup>	b 1.146	a 1.207	a 1.262	a 1.257	5.583**
P	0.037	0.038	0.038	0.040	NS
K	0.272	0.272	0.267	0.263	NS

1) Values in the same horizontal column followed by the same letter(s) are not statistically different P<0.05) by Duncan's test.

表六：不同磷鉀肥用量對銀合歡苗木養分吸取量之影響

Table 6: Effect of different levels of phosphorus and potassium on nutrient uptake in *Leucaena leucocephala* seedling

Nutrient uptake	Treatment <sup>1)</sup>	Fertilizer nitrogen		Rhizobium Inoculation		F-value
		Control		R. TAL	R. Lu	
		gm pot <sup>-1</sup>				
N	Lpk	1.082	1.133	1.155	1.185	47.584**
	Hpk	1.209	1.281	1.369	1.329	
P	Lpk	0.032	0.034	0.034	0.037	47.336**
	Hpk	0.041	0.042	0.043	0.043	
K	Lpk	0.276	0.259	0.255	0.253	3.072*
	Hpk	0.268	0.285	0.278	0.274	

1) Lpk: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 50kg ha<sup>-1</sup>, K<sub>2</sub>O 50kg ha<sup>-1</sup>  
Hpk: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 100kg ha<sup>-1</sup>, K<sub>2</sub>O 100kg ha<sup>-1</sup>

種，施化學氮肥，甚至對照組，在高量磷鉀肥用量下均可增加其氮磷鉀養分吸取量。由此可知豆科與根瘤菌之共生固氮能力除決定於兩者間之良好共生關係外，尚受到環境因子如土壤肥力之影響。

#### 四、結論與建議

(一)施用化學氮肥與根瘤菌接種，較不施肥不接種根瘤菌能提高銀合歡之生長量。

(二)接種根瘤菌可促進銀合歡苗木之生長量，其效果可與每公頃施用 100kg 氮素肥料相當；而根部與根瘤乾重則均高於施用 100kg 氮素肥料。

(三)供試土壤於栽植銀合歡苗木四個月後，氮積聚量均增加，以接種由中興大學提供自本省篩選之根瘤菌混合菌株土壤增加量最高，為栽植前之 16.23%，其次為接種夏威夷大學熱帶農業豆科固氮計畫中心 (NifTAL) 提供之根瘤菌混合菌株土壤增加 13.79%。對照組增加 12.25%，施化氮肥增加 6.15%。

(四)根瘤菌與銀合歡共生固氮能力，以接種本省篩選根瘤菌所固定氮量最高，每盆 1.816 gm，其次是接種 NifTAL 根瘤菌，為每盆 1.737 gm，施化學氮肥為每盆 1.420 gm，不施氮肥不接種為 1.568 gm 每盆；以百分率計算，依次是固定氮 52.70%，50.42%，41.22%與 45.52%，顯示接種之根瘤菌株，其有效性較原生根瘤菌株高，故接種根瘤菌可增進銀合歡生長及土壤肥力。

(五)若以每公頃固定氮素量所需之接種費用與施用相當量化學氮肥之費用估算其投資獲益率，則接種本省篩選之根瘤菌，其獲益/投資=15.74/1，接種 NifTAL 根瘤菌，其獲益/投資=13.95/1。

(六)每公頃施用磷鉀肥 100kg 較 50kg 能增進銀合歡苗木之高生長，地際直徑，地上部乾重，不論是對照，施化學氮肥或接種根瘤菌皆如是，雖地下部（根）乾重與根瘤乾重均不顯著，但仍以施 100kg 磷鉀效果較 50kg 為佳。

(七)豆科與根瘤菌之共生固氮能力，除決定於兩

者間之良好共生關係外，尚受到其它環境因子，如土壤肥力之影響。故在貧瘠土壤接種根瘤菌同時施以磷鉀肥可提高其產量，或接種菌根菌亦可增加磷之吸取量。

(八)自銀合歡苗木生長量、氮素固定量，以及化學氮肥與根瘤菌接種粉劑費用比較結果，接種根瘤菌之銀合歡，不僅可增加產量，提高土壤肥力，且同時可增加林農收益，是故利用接種根瘤菌與銀合歡共生固氮以替代部份化學氮肥是可行之途徑。

(九)在貧瘠土壤而需施氮增加產量之銀合歡栽植區，或其他固氮樹種如防風林之木麻黃，而施肥易於淋溶而流失地區，接種固氮菌，或可增其收益。

#### 引用文獻 (Literature Cited)

- 孔繁熙、張添榮·1982·新品系銀合歡施肥效果之研究。臺灣省林業試驗所報告，370號，8頁。
- 趙震慶·1984·培養基質對銀合歡根瘤菌的持久性，移動及成瘤作用之影響。國立中興大學土壤學研究所碩士論文，90頁。
- Cromack, K. Jr., C. C. Delwiche and D. H. McNabb. 1979. Prospects and problem of nitrogen management using symbiotic nitrogen fixed pp. 210-223 In J. C. Gordon. et al. (eds) Symbiotic nitrogen fixation in the management of temperate forest. Univ. of Oregon. Corvallis Oregon. U. S. A.
- Drey fus. Bernard and Yvon Demmergues 1981. Relationship between Rhizobia of *Leucaena* and *Acacia* spp. *Leucaena* Research Reports 2:43-44
- Dutt, A. K., S. Kaul and S. D. Sumbria 1982. Effect of different Rhizobium inoculant on seedling growth in *Leucaena leucocephala* VAR. K8. *Leucaena* Research Report 3:26.

- Esptein, E. 1972. Mineral nutrient of plants, Principles and Perspectives John Wiley and Sons, New York 412p.
- Halliday, J. and Padmanabhan. 1982. Nodulation, Nitrogen fixation and Rhizobium strain affinities in the Genus *Leucaena*. pp. 27-37. In *Leucaena Research in the Asian-Pacific Region* International Dev. Res. Ctre., Ottawa, Canada.
- Henzell, E. F. 1981. Forage legumes p. 255-286. In W. J. Broughton (ed.) Nitrogen Fixation Vol. 1 Ecology, Clarendon Press, Oxford, London.
- Jensen, V. 1981. Heterotrophic microorganisms p. 30-52. In W. J. Broughton (ed.) Nitrogen Fixation Vol. 1 Ecology, Clarendon Press, Oxford, London.
- Jurgensen, M. F., S. F. Arno, A. E. Harvey, M. J. Larsen and R. D. Pfisterl 1979. Symbiotic and non-symbiotic nitrogen fixation in northern rocky mountain forest ecosystem. pp. 294-308 In J. C. Gordon et al (eds) Symbiotic nitrogen fixation in the management of temperate forest. Univ. of Oregon. Corvallis Oregon. U. S. A.
- 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*. *Leucaena Research Report* 4:6-7
- Jacques, R. Jorgensen 1978. Growth of legumes on forest soil fertilized at low rates. Forest Service Research Note SE-251 U. S. Department of Agri.
- Lynd, J. Q., E. A. Hanlon Jr. and G. V. Odell, Jr. 1981. Potassium effects on improved growth, nodulation and nitrogen fixation of Hairy Vetch. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 45:302-306.
- Morene-Ouirog, A., R. Ferrera-Cerrato and R. Nunez-Escobar 1983. Effect of inoculation with different Rhizobium sp. strain in *Leucaena leucocephala*. *Leucaena Research Report* 4:57-58.
- Materon, L. A. and C. Hagedorn 1983. Competitiveness and symbiotic effectiveness of five strains of Rhizobium trifolii on Red clover. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 47(3):491.
- Mengel, K. and E. A. Kirkby 1979. Principles of plant nutrition. International Potash Institute Switzerland. pp592.
- Melillo, J. M. and J. D. Aber 1979. Symbiotic and non-symbiotic nitrogen fixation in forest ecosystems of the northeastern United States. pp 309-317. In J. C. Gordon et al(eds) fixation in forest ecosystems of the northeastern United States. Univ. of Oregon, Corvallis Oregon. U. S. A.
- Sivaprasad, P., S. V. Hegde and R. V. Rai. 1983. Effect of Rhizobium and Mycorrhiza inoculation on growth of *Leucaena*. *Leucaena Research Reports* 4:42.

## The Effect of Rhizobium Inoculation, Fertilizer Nitrogen, Phosphorus and Potassium on the Growth of *Leucaena leucocephala* in an Alluvial Sandy Loam Soil of Eastern Taiwan

Wei-Er Cheng   Ta-Wei Hu   Tse-An Sheng

### English Summary

A greenhouse pot trial was conducted to detect the effect of Rhizobium inoculation, fertilizer nitrogen, phosphorus and potassium on the growth of *Leucaena leucocephala* seedling.

Four nitrogen sources as fertilizer nitrogen, Rhizobium-TAL (TAL82, TAL1145, TAL 582), Rhizobium-Lu (Lu 15, Lu 66, Lu 193) and control, and two application amount of phosphorus and potassium (50 and 100 kg per hectare), were arranged to establish a 4×2 factorial experiment in randomized block design with 5 replications. Seeds were inoculated with Rhizobium peat inoculant before sown. Eight seeds were sown in each pot with 6.5 kg air dry soil. Fertilizer was applied after seedling were thinned to three in each pot. After four and half months, the seedlings were harvested, and soil and nutrient of seedlings were analyzed.

The results of this study indicated that:

- (1) The growth of *Leucaena leucocephala* seedlings were increased with the application of fertilizer nitrogen and Rhizobium inoculation.
- (2) Height and dry weight of *Leucaena leucocephala* seedling with Rhizobium inoculation were equal to that with applying 100 kg fertilizer nitrogen per hectare.
- (3) The nitrogen fixing capacity of the selected Rhizobium strains used in this experiment were higher than those indigenous Rhizobium in the soil.
- (4) Dry weight of stem, root, nodule, and height were improved significantly in high level treatment of phosphorus and potassium.
- (5) Inoculation of *Leucaena leucocephala* with Rhizobium instead of apply nitrogen fertilizer, increased growth yield and soil fertility, and also the income of the farmer.



附表：根瘤菌接種及施氮磷鉀肥之成本與收益估算表  
 Appendix: Estimation of the cost and benefit of Rhizobium inoculation  
 and fertilizer nitrogen, phosphorus and potassium.

	Control	Fertilizer Nitrogen	Rhizobium Inoculation	
			R. TAL	R. Lu
	.....NT\$. ha <sup>-1</sup> .....			
1. 接種劑	—	—	240	250
2. 尿素 (N 100kg ha <sup>-1</sup> )	—	1,830	—	—
3. 過磷酸石灰 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 50kg·ha <sup>-1</sup> )	1,328	1,328	1,328	1,328
4. 氯化鉀 (K <sub>2</sub> O, 50kg·ha <sup>-1</sup> )	642	642	642	642
5. 過磷酸石灰 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 100kg·ha <sup>-1</sup> )	2,656	2,656	2,656	2,656
6. 氯化鉀 (K <sub>2</sub> O, 100kg·ha <sup>-1</sup> )	1,283	1,283	1,283	1,283
	.....NT\$. ha <sup>-1</sup> .....			
7. 低量磷鉀肥成本費 <sup>1)</sup>	1,970	3,800	2,210	2,220
8. 高量磷鉀肥成本費 <sup>2)</sup>	3,939	5,769	4,179	4,189
9. 高低量磷鉀肥平均成本費	2,955	4,785	3,195	3,205
10. 收益 <sup>3)</sup>	2,965	1,501	3,349	3,935
11. 實際支出 <sup>4)</sup>	+10	-3,284	+155	+731

1) 1, 2, 3, 4 項之合計

2) 1, 2, 5, 6 項之合計

3) 收穫後土壤所增加N量，按每公斤N換算成尿素為 NT\$18.3 計算

4) 以收益與(9)項平均成本費之差額為實際支出。