

恒春地區三至五年生銀合歡林分 地上部養分聚積與循環

程 煒 兒 沈 慈 安

摘 要

本研究旨在探討3至5年生銀合歡林分地上部主要養分之聚積量及循環，供為銀合歡林分施肥之養分種類及其施肥量以及維護林地長期生產力之參考。以3年試驗資料分析結果顯示：(一)銀合歡3至5年生林分養分聚積量最高的部分為土壤，其次是立木地上部，枯枝落葉層和地被層植物。土壤所聚積之養分(N, P, Ca, Mg)量佔林分養分聚積量之77%~95%，僅K例外。(二)葉部聚積養分N自3年生佔立木地上部之29.5%降至5年生之14.2%，而幹部則自53.5%增加至63.5%。(三)隨幹部收穫所移除之養分量，不足以影響生育地生產力之降低，因土壤所聚積之養分量與收穫殘留於林地有機物養分之總和高於栽植前土壤所聚積之養分。(四)銀合歡經由共生固氮使林分聚積大量氮素，5年生林分所增添氮量為栽植前土壤氮素含量之34.5%，故毋需再施用氮素肥料。(五)根據年養分需要量與年再循環量，以及年再轉移量相差之不足部分需由土壤提供之養分量($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$)為：第4年生：P7.29, K52.49, Ca129.89, Mg18.88；第5年生：Ca9.6, Mg13.52。

關鍵詞：養分循環、聚積量、需要量、吸取量、回歸量、再轉移

程煒兒、沈慈安，1987，恒春地區3至5年生銀合歡林分地上部養分聚積與循環，林業試驗所，研究報告季刊，2(4)：253—276

Aboveground Nutrient Accumulation and Cycling of 3 to 5-Year-Old *Leucaena* Ecosystems in Heng-Chun, Southern Taiwan

Wei-Er Cheng Jse-An Shen

[Summary]

The purpose of this study was to investigate the nutrient accumulation and cycling rates.

According to the results, the following conclusions can be drawn:

1. Soil is the largest nutrient pool in *Leucaena* ecosystem through age 3 to 5. Its accumulation of N, P, Ca and Mg are ranging from 77 to 95% of *Leucaena* ecosystem,

except K which only about 40%.

2. Nitrogen percentage of aboveground tree accumulation is 29.2% in foliage at age 3 and reducing to 14.17% at age 5; and 53.5% in stem at age 3 but to increasing 63.5% at age 5.
3. The *Leucaena* ecosystem accumulates large quantity of nitrogen through the process of biological fixation, and increased 34.5% over the preplanting soil.
4. Stem only harvest will remove nutrients which are: N 7.4%, P 11.7%, K 27.5%, Ca 3.6%, and Mg 6.3% of the ecosystem at age 4; and N 10.3%, P 10.6%, K 32.4%, Ca 4.4%, and Mg 12.2% of the ecosystem at age 5.
5. Litterfall is the major aboveground transfer pathway in N, P, Ca and Mg cycle; while in K cycle, canopy leaching is the major transfer pathway through age 2 to 5.
6. Retranslocation of nutrients of annual requirement are: N 39.7%, P 12.6%, and K 10.1% at age 4; and N 53.4%, P 52.1%, and K 23.6% at age 5.

Key word: Nutrient cycling, Nutrient accumulation requirement, uptake, return, retranslocation.

Cheng, W. E. and J. A. Shen. 1987 Aboveground nutrient accumulation and cycling of 3 to 5-year-old *Leucaena* ecosystems in Heng-Chun, Southern Taiwan, Bull. Taiwan For. Res. Inst. New Series, 2(4) : 253—276

一、緒 言

本省推廣栽植銀合歡已有若干年，其用途以紙漿用材為主。為配合需求，多藉施肥及縮短輪伐期等方式集約經營，以期增加其產量。銀合歡為生長快速之固氮樹種，除經由共生固氮方式提供本身氮素外，尚需吸取而聚積大量其它養分如磷、鉀、鈣、鎂等以增加其生物量生產。若土壤養分短缺，則林木生長受阻或產量降低，施肥有其必要，但施肥不當不僅造成環境污染，亦會改變數種重要途徑之養分循環，如土壤之淋溶過程及其量，以及落下枝葉回歸之減少等 (Cole, 1981)。同時施肥投資能否由所增加之生產量得以抵償亦應考慮。林木所需養分量因林分發展階段之不同而異，土壤貯存養分量因林木生長之吸取而相對減少所能容忍之程度，以及養分回歸再循環能及時補充土壤養分供應以持續土壤生產力，在在問題均需先檢定林分內所聚積

養分量 (包括最大養分資源之土壤)，以及明瞭循環過程中養分之吸取，需要，與回歸間之一般關係會影響到森林生產抑或受森林生產之影響等 (Cole and Rapp, 1980) 均需瞭解，始能合理施肥。至於因林木收穫所移除之養分量是否會影響到將來生育地生產力，可根據不同樹齡各部位養分聚積量資料，採決收穫方式，以減少養分自林分移除，以維持林分養分之平衡。本研究旨在探討 3 至 5 年生銀合歡林分內各主要組成分 (立木地上部、地被層植物、枯枝落葉層、土壤) 養分之聚積及循環，俾供施肥及收穫作業參考。

本研究分別在恒春龍水及里德舉行，同一地區之關山、大坪頂、港口等亦有民間種植之銀合歡約 500 公頃，所得結果當可提供彼等參考。

二、材料與方法

(一) 供試地概況：

試區於1980年7月設置，位於恒春龍水。原為瓊麻園廢耕後轉作銀合歡，總面積 2,264公頃；除設置養分循環試驗外，尚有不同栽植密度，不同品系以及造林等試驗。養分循環栽植密度為每公頃10,000株。3年生林分現存株數估值為每公頃10,200株，平均胸高直徑為 5.00±2.50cm，平均高度為 7.9±2.4m。4年生林分現存株數估值為每公頃9,500株，平均胸高直徑為5.52±2.62cm，平均高度為8.8±2.4m。5年生林分現存株數估值為每公頃8,300株，平均胸高直徑為6.36±2.70cm，平均高度9.3±2.4m。栽植品系為薩爾瓦多型銀合歡 K₂₈。試驗地屬紅棕色紅壤（陳春泉和陳宗軒，1984），含石量低之砂質壤土；容重垂直分佈範圍在1.24-1.42gm/cc之間。土壤反應隨土壤深度而變，自表層（0—7.5cm）之中酸性至底層（30—60cm）之

弱酸性反應，其pH值自5.71漸增至 6.17。土壤有機碳，全氮，有效性磷及可抽出性鉀含量均以上層0至7.5cm土壤為最高，並隨土壤深度而下降。有機碳與全氮含量低，分別自表層 0.52%與0.072%降至底層之0.29%與 0.046%；碳氮比亦很低，在 10：1 以下。有效性磷含量屬中等級，自表層之 42.75ppm至底層28.94ppm。可抽出性鉀則含量高，自9.82mg/100gm soil降至8.82mg/100gm soil。可抽出性Ca與 Mg之垂直分佈均隨土層深度而增加。可抽出性Ca含量高自141.77 漸升至167.24mg/100gm soil。可抽出性 Mg 含量低範圍在7.29至 8.62mg/100gm soil之間（詳見表1）。

恒春地區之年雨量1983年為1,772.1mm，1984年為2,194.0mm；月平均溫度分1983年為 24.9°C和1984年為24.5°C。

表1. 栽植前銀合歡造林地土壤性質

Table 1. Soil properties of Leucaena plantation before planting

Depth cm	Soil PH	Organic carbon %	Total Nitrogen %	C/N	NH ₄ -N	NO ₃ -N ppm	Available phosphorus	Extractable cation		
								K	Ca mg/100gm soil	Mg
0—7.5	5.71	0.56	0.072	7.78	11.8	11.2	42.75	9.85	141.77	7.29
7.5—15	5.84	0.46	0.058	7.93	10.6	10.2	28.88	8.66	155.69	7.76
15—30	6.12	0.31	0.050	6.20	11.6	9.6	28.94	8.82	167.24	8.62
30—60	6.17	0.29	0.046	6.30	—	—	—	—	—	—

Depth cm	Sand	Silt %	Clay	Texture	Volume weight gm/cc	Stone content %v/v
0—7.5	71.59	19.78	8.65	Sandy Loam	1.241	5.23
7.5—15	71.08	19.38	9.54	Sandy Loam	1.228	4.58
15—30	72.10	20.03	7.87	Sandy Loam	1.419	5.55
30—60	70.99	18.20	10.81	Sandy Loam	1.343	5.39

(二)測定項目與方法：

1.生長量測定：

在林分內設置10m×10m樣區一處，自1983年至1985年每年10月份調查胸高直徑及高生長一次。

2.生物量測定：

以每年樣區內所調查之胸徑資料為取樣根據，在樣區外選伐不同胸徑級樣木各一株砍伐，於1983，1984及198510月份分別砍伐樣木14株，7株及8

株。樣木自地面起每 1m 長鋸為 1 段，並將各段之幹、枝、葉各部分開，秤其鮮重。每株樣木之枝、葉分別秤重後，混合均勻，再各採取次樣品 200gm。幹部是由第 2，5，8 及 11 段鋸取次樣品約 200 gm，再精確秤其鮮重。地下部生物量之測計，係將所砍伐樣木根部挖起，秤其鮮重後，分別由主根，側根鋸取次樣品約 200gm，再精確秤其鮮重。葉、枝條、幹及根之次樣品，以 65°C 烘至恒重為止，以其乾重對鮮重之比（乾／鮮比）分別計算各該段幹、枝條、葉及根之乾重（呂錦明等，1984）。另將烘乾次樣品粉碎處理後，分析其養分含量。1983 年生物量測定資料由呂錦明提供。

3. 落下枝葉量：

落下枝葉量之收集始自 1982 至 1985，每月定期收集一次，於樣區外邊機設置五個面積 1m² 之收集網，將所收集之樣品按葉、枝、花、果莢及種子分類，並分別秤其鮮重，以 65°C 烘至恒重，經粉碎處理後，分析其養分含量。

4. 冠層淋洗及雨水收集：

收集始自 1982 至 1985，定期每月收集一次（颱風雨天收集次數增加），收集容器為容量 9 公斤，圓型塑膠筒，上置 25cm 直徑漏斗，並於漏斗上放置紗網之收集瓶，於林內樣區外邊機設置五個收集冠層淋洗液，以及林外兩個收集雨水，並量測收集液體積及分析其養分含量。

5. 分解枝葉之收集：

自伐倒之樣木採集新鮮材料，將 >5cm 枝條，<5cm 枝條，和果莢各 50gm，以及葉部 60gm，分別裝入 30cm × 30cm 網目 15meshes/in 相當 1.7mm per opening 之網袋中，各 12 份，邊機放置於土壤表層，葉部每月收集一次，枝條，果莢隔月收集一次，以 65°C 烘至恒重並秤其重量，分析其養分含量；於設置同時，分別取各項樣品一份做對照用，烘至恒重並分析其養分含量。

6. 地被層、枯枝落葉層及土壤樣品之採集：

自 1983 至 1985，每年 10 月於生物量測定同時在

樣區外邊機設置面積 1m² 小區 10 個，分別剪取地被層植物秤其鮮重，以及檢取枯枝落葉層（L, F 層）有機物，將其按 >5cm 枝條，<5cm 枝條，果莢分開，並分別秤其鮮重，將 10 小區之地被層，及枯枝落葉層各類有機物分別混勻，並取次樣品携回實驗室以 65°C 烘至恒重，求其乾鮮重比。於同一小區採取包含 H 層在內之土壤樣品，自地表垂直向下 0—7.5, 7.5—15, 15—30, 30—60cm 深度，各取一土樣，並同時採取圓筒定總體密度。以同樣方法，於 1980 年 7 月栽植前採集 25 個土壤剖面。

(三) 養分分析：

1. 植物體養分分析：

包括葉、枝、幹、根、脫落枝葉，地被層植物，以及枯枝落葉層有機物之養分分析。植體經乾灰法灰化後，磷以釩酸鉍法測定，K, Ca, Mg 分別以原子吸收光譜儀測定，全氮以克氏法測定。

2. 土壤養分分析：

K, Ca, Mg 及 CEC（陽離子交換能量）以 1N 中性 NH₄OAC 交換後，K, Ca, Mg 分別以原子吸收光譜儀測定；CEC 再以 NaCl 交換後，由蒸餾 NH₄-N 測定；磷以 Bray 氏 No. 1，全氮以克氏法，鉍態氮以 1N 中性 KCl 抽出再蒸餾。

冠層淋洗及雨水養分分析：有機態氮，鉍態氮，硝酸態氮以克氏法測定；K, Ca, Mg 以原子吸收光譜儀測定；磷以鉍藍法測定。

(四) 生物量、養分含量與循環量之估算：

1. 生物量：

樣區內立木各部位葉、枝條、幹、根之生物量估計，參據王子定等（1984）之銀合歡生物量估算，及洪富文等（1985）杉木生物量估算方法。將第 3、4、5 年生所採集樣木各部位葉，枝條、幹、根的乾重分別與其樣木之胸徑配置相對生長關係式（表 2）。再以樣區內之胸徑代入此關係式推算樣區內各部位的乾重。

2. 養分：

養分含量是將樣木各部位生物量與各該養分濃

度相乘求出。

(1)樣區內立木各部位(葉、枝、幹、根)各類養分(N, P, K, Ca, Mg)含量之估計。其方法與生物量相同,亦即將第3、4、5年生樣木各

部位之各類養分含量分別與其樣木之胸徑配置對數相關迴歸式(附表1、2、3)。再以樣區內之胸徑代入相關迴歸式推算樣區內各部位的養分含量。

(2)落下枝葉,地被層植物及枯枝落葉層有機

表2. 估計銀合歡各部位乾重與胸徑之迴歸方程式

Table 2. Regression equations for estimating the dry weight of components for leucaena tree using DBH as independent variable

	Y	Regression equation (X=DBH)	R ²	F
3yr	Stem	$\ln Y = -2.20721 + 2.29659 \ln X$	.9914	1,155.74
	Branch	$\ln Y = -4.58775 + 2.53197 \ln X$	.9239	121.32
	Foliage	$\ln Y = -5.33472 + 2.46717 \ln X$	.9825	561.36
	Root	$\ln Y = -3.32868 + 2.14711 \ln X$	.9936	1,563.81
4yr	Stem	$\ln Y = -2.43061 + 2.43247 \ln X$	.9985	3,316.20
	Branch	$\ln Y = -5.43838 + 2.94006 \ln X$	.9720	173.48
	Foliage	$\ln Y = -5.57321 + 2.53855 \ln X$	.9940	821.81
	Root	$\ln Y = -3.63252 + 2.30951 \ln X$	.9989	4,535.43
5yr	Stem	$\ln Y = -2.63252 + 2.49236 \ln X$	.9299	79.56
	Branch	$\ln Y = -4.52832 + 2.33387 \ln X$	.9271	76.32
	Foliage	$\ln Y = -6.06643 + 2.19994 \ln X$	.9267	75.89

物養分含量,是以1m²內以上各項乾物量分別乘各養分之濃度,再換算成kg. ha⁻¹。

(3)冠層淋洗及雨水養分含量為按月收集樣品中各項養分之濃度分別乘其樣品收集時之體積;該量即代表收集樣品容器面積(0.049m²)所含之養分量(kg),再換算成每公頃含養分量(kg. ha⁻¹)

。綜合12個月之結果即為每年每公頃養分含量(kg. ha⁻¹. yr⁻¹)。

(4)養分再轉移量之估算:養分再轉移量係由青葉之養分含量減落下葉養分量及自冠層淋洗損失量(Pastor and Bockheim, 1984, 高毓斌, 1985)。

(5)養分吸取量之估算:年養分吸取量是年養分需要量扣除年養分再轉移量(Turner et. al. 1977)。

(6)養分需要量之估算:年養分需要量係指立木現年增加之生物量所需補充之養分量,再加落下枝葉養分量及冠層淋洗養分量(Lage, 1977. Pastor et. al. 1984)。

三、結果與討論

(一)林分內生物量與養分之聚積:

1. 林分內各主要組成分(components)生物量與養分之聚積量分佈:林分內各組成分之生物量與養分聚積量分佈隨林分發展而改變(表3)。立木地上部生物量自3年生之每公頃75.49ton逐年增加至5年生為每公頃92.11ton。而立木地上部養分N, Ca, Mg聚積形式與其生物量相似亦隨樹齡增加;養分P與K則隨3年生立木漸增加至4年聚積量最高分別是38.78與478.76kg. ha⁻¹之後到5年

生則下降。

枯枝落葉層之生物量以 4 年生林分內聚積量最高為每公頃 5.51ton；枯枝落葉層 N, P, Ca 聚積趨勢與其生物量類似，而 K 與 Mg 則隨林分年齡之增加而下降。

地被層植物生物量聚積之型式與枯枝落葉層之生物量相同，亦以 4 年生林分內聚積最多為每公頃 0.52ton；地被層植物所聚積之養分量除 P 之形式與其生物量相似外，N 與 Ca 則以 4 年生林分聚積

量少，而養分 K 與 Mg 則隨林分年齡之增加而上升。

林分地上部組成分 3 至 5 年生之養分聚積量型式相似均以 N 聚積最多，依次為 K, Ca, Mg 與 P，僅 5 年生之枯枝落葉層 Ca 聚積較 N 為高。

土壤所聚積之 N, P 量隨樹齡增加而減少，而 K, Ca, Mg 却在 4 年生林分聚積量較多；又，土壤養分聚積之趨勢與林分總養分聚積量之趨勢相同，以 Ca 最高，依次為 N, K, Mg 與 P。

表 3：3 至 5 年生銀合歡林分生物量與養分之聚積量

Table 3. Accumulation of biomass and nutrients of *Leucaena* stand through age 3 to 5 years

Age (yrs)	Component	Biomass tons · ha ⁻¹	N	P	K kg · ha ⁻¹	Ca	Mg
3	Tree (above-ground)	75.49	498.29	29.89	392.54	253.64	42.57
	Understory vegetation	0.34	11.09	0.71	7.31	3.24	0.69
	Forest floor	4.50	53.30	2.31	38.33	25.85	12.65
	Soil (0-30cm)		3,845.93	162.65	318.46	5,163.74	287.43
	Total		4,408.61	195.56	756.64	5,446.47	343.34
4	Tree (above-ground)	89.65	498.79	38.78	478.76	343.26	60.83
	Understory vegetation	0.52	8.04	0.74	7.81	3.03	0.71
	Forest floor	5.51	73.54	3.73	24.66	57.92	9.81
	Soil (0-30cm)		2,935.39	145.89	370.81	6,221.38	420.41
	Total		3,515.76	189.14	882.04	6,625.59	491.76
5	Tree (above-ground)	92.11	491.30	34.16	457.69	368.25	74.08
	Understory vegetation	0.46	9.99	0.29	8.88	5.54	1.10
	Forest floor	4.21	37.73	2.10	7.70	40.89	6.58
	Soil (0-30cm)		2,481.89	140.54	305.14	5,627.48	334.80
	Total		3,020.91	177.09	779.41	6,042.16	416.56

銀合歡林分地上部組成分聚積之生物量以立木佔優勢，所佔比例自3年生之93.7%升至5年生之95.17%，地被層植物所佔比例在0.42~0.54%之間，枯枝落葉層所佔比例低於6%，在4.4%~5.8%。與針葉樹德達松 (Loblolly Pine) 林分各組成分聚積之生物量比較，在5年生之前，林分以地被層植物佔優勢，生物量聚積在40%以上，而立木在40%以下，5年後則地被層植物生物量聚積相對減少，而立木則急速增加，至於其枯枝落葉層聚積之變化，係隨林分年齡緩慢增加，至10年生林分達最高約20%左右，之後又緩慢下降 (Switzer and Nelson, 1972)。另又與臺灣中部蓮花池杉木林分比較，杉木層所佔比例由造林初期之11%，增至6年生之82%後維持於86%~90%間，地被層由初期之21%減少至6~30年間之1~4%，枯枝落葉層則由初期之68%降至6~11% (洪富文等, 1985)；而銀合歡林分內各組成分生物量聚積之相對分佈隨林分年齡變化之趨勢相似，但並不若德達松或杉木之顯著。由表3資料計算其生物量平均年聚積量顯示，3年生已達最高量為25.16 ($\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$)，而3至4年生所增加之生物量僅14.16 ($\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$) 已開始下降。可見銀合歡為生長快速樹種，林分發展快，樹冠鬱閉較早之故，且落下枝葉易於分解，或因銀合歡對其他植物具毒他作用 (Chou, 1982) 故前者影響及枯枝落葉層聚積，後者影響及地被層聚積原因之一。

銀合歡立木地上部生物量聚積量自3年生之75.49 $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ 增加至5年生之92.11 $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ 與6年生之杉木每公頃30ton左右比較 (洪富文等, 1985)，若環境與營林作業等其它因子不予考慮，單就樹種而言，在一定時間內銀合歡聚積生物量較高。赤楊 (*Alnus rubra*) 幼年 (10~15年生) 天然林分之地上部生物量為15~25 $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ (Zavitkovski and Stevens, 1972. Smith and DeBell, 1974; cited by Haines and DeBell, 1979)。

而本林分3至5年生銀合歡立木地上部生物量之平均年聚積量依次為25.16、22.41和18.42 $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ ，與赤楊之平均年聚積量相若。大部份固氮樹種生長非常迅速，尤其是在幼齡階段，銀合歡生長情況亦如是。

養分聚積量與生物量生產量有密切之關係，就3至5年生林分養分N之聚積量而言，各組成分所佔之比例，立木地上部為85.9%~91.2%枯枝落葉層為7.0~12.7%，地被層為1.4~2.0%。地上部組成分所聚積之養分，仍以養分N量最高，5年生立木地上部所聚積氮量為491.30 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ，較美國華盛頓州 Cedar River 試驗地之38年生赤楊 (*Alnus rubra*) 地上部聚積養分N 590 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Cole et al, 1977) 為低，但高於同一試驗地之47年生花旗松 (*Douglas fir*) 地上部養分N聚積量。高量氮之聚積乃因赤楊與銀合歡同為固氮樹種之故。自第3、4、5年生林分所聚積之總氮養分量分別為4,408.6、3,515.8和3,020.9 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (表3) 與栽植前所分析之土壤 (0—30cm) 總氮量2,246.4 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 之差為氮增加量，則第3、4、5年生林分所增加總N量分別為2,162.2、1,269.4, 774.6 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ，其中第3、4年所增加N量之50%以上聚積於土壤。30年生赤楊林分所增加3,240 ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) 總N量中之2.180 ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) 亦有50%以上聚積於土壤中 (Cole and Rapp, 1980)

。林分N因礦質化作用，雨水輸入及固氮作用等而增加，若以固氮作用為主，則由上結果獲知，銀合歡能與根瘤菌共生固氮，添增林分N素，但其添增量隨樹齡遞降，其原因有待探討。根據資料顯示，赤楊屬林分增加40—325 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ (DeBell and Radwan, 1979. cited by Haines and DeBell, 1979)。木麻黃屬林分可增加50—200 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ (Silvester, 1976, 1977 cited by Haines and DeBell, 1979)。綜合以上資料可知，固氮樹種對森林養分循環最顯著有利者為添增氮素。立木地上部除N聚積量高外，其它養分 (P、

K、Ca、Mg) 所佔地上部組成分比例均在 85% 以上, 尤以 5 年生立木地上部 N、P、K、Mg 佔 90% 以上。以 5 年生立木地上部所聚積之養分量 N 為 $491.3\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, P 為 $34.2\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, K 為 $457.7\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, Ca 為 $368.3\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, Mg 為 $74.1\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, 與平均樹齡在 30 年生以上之潤葉樹立木地上部養分聚積量為 N $442\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, P 為 $35\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, K 為 $224\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, Ca 為 $557\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, Mg 為 $57\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, 或 30 年生赤楊立木地上部養分聚積量 N 為 $240\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, P 為 $23\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, Ca 為 $170\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, Mg 為 $60\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Cole and Rapp, 1980) 相比, 銀合歡立木地上部聚積大量養分; 聚積量高對林木收穫造成的養分損失亦大。3 至 5 年生銀合歡立木地上部聚積量最高之養分是 $N > K > Ca > Mg > P$ 。

地被層植物主為天然下種之銀合歡, 在第 3 年生林分銀合歡佔重量百分率為 99.2%, 尚有金腰剪 (*Synedrella nodiflora*) 佔 0.8%, 而第 4 與第 5 年生林分地被層植物 100% 均為天然下種之銀合歡。自第 3 至 5 年生林分生物量聚積均以地被層植物最低, 因此養分聚積量亦低, 但以單位重量所聚積養分 N 計算, 所聚積 N 量每噸生物量在 $15.5 \sim 32.6\text{kg}$ 之間, 較之立木地上部及枯枝落葉層均高。

枯枝落葉層: 除立木及地被層植物生物量與養分聚積外, 枯枝落葉層亦有相似的生物量與養分的聚積, 枯枝落葉層聚積在 3~5 年間無顯著差異, 僅 4 年生生物量聚積略高為 $5.51 (\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1})$, 乃因 3 年生林分回歸落下枝葉量為 $7.0 (\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1})$, 較 2、4、5 年生之 $5.0 \sim 6.0 (\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1})$ 為高之故; 另因落下枝葉之葉部佔 64~66%, 其分解時間或停留在枯枝落葉層時間少於 9 個月, 其餘 29% 包括 $<5\text{mm}$ 及 $>5\text{mm}$ 枝條, $<5\text{mm}$ 枝條在枯枝落葉層經 9 個月停留, 其乾物重損失 72%, 而 $>5\text{mm}$ 枝條損失 42%, 因此聚積在枯枝落葉層難於分解部份生物量平均在 $0.84 \sim 1.5 (\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1})$ 故差異不大。由於銀合歡落下枝葉分解時間

短可加速養分回歸再循環利用。

土壤: 在林分 4 主要組成分中, 一般均以土壤聚積養分量最高 (表 3)。本試驗所指之土壤養分, 除 N 素係以全氮表示外, 其餘 P、K、Ca、Mg 均為有效態。3 至 5 年生林分土壤, 自地表至深度 30cm 之土體內所含之 N、P、K、Ca、Mg 佔林分總養分量分別是 N 82—87%, P 77—83%, K 39.2—42.1%, Ca 93.1—94.8%, Mg 80.3—85.6%, 養分 N、P、Ca、Mg 之聚積量範圍在 77%~95% 左右, 聚積量則均低於立木地上部, 僅佔林分 40% 左右。於栽植前土壤 (0—30cm) 聚積各養分量 ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) 分別為全氮 2,246.36, 有效性 P 126.78, 可抽出性 K 357.49, Ca 6,286.88, Mg 321.24。土壤養分 N 與 P 之含量依樹齡增加而遞減, 但其含量仍高於栽植前, 如 N 因固氮作用結果, 第 3、4、5 年生土壤所添加 N 素為栽植前土壤 N 之 71.2%, 30.7% 與 10.5%, 相當尿素肥料 3,477.3, 1,497.9 與 512.0kg; 土壤中 K、Ca、Mg 則在第 3 年生顯著下降, 其含量較栽植前分別降低 K 10.9%, Ca 17.9%, Mg 10.5%, 或因為林冠鬱閉對養分吸取量增加之故。土壤中 K、Ca、Mg 在第 4 年生土壤只有 Ca 較栽植前降低 1.04% 外, K 與 Mg 則較栽植前為高。至第 5 年生土壤除 Ca 較栽植前減少 10.5% 外, K 亦減少 14.6%; 但由林分總養分聚積量計算, 則只有 Ca 減少 3.9%。土壤養分之減少, 部份原因為脫氮揮發或淋溶流失外, 大部份聚積於地上部生物量中; 如為增加, 其原因與前述林分總養分量增加相同, 由雨水輸入, 落下枝葉回歸, 固氮作用所添加外, 土壤風化作用所釋放養分均為養分補充源; 如 3 年生土壤養分 K、Ca、Mg 含量之短暫性短少, 不足以影響地力之衰退, 由 3、4、5 年生立木地上部生物量生產結果即可反映。本樣區 3、4、5 年生之幹部生物量 ($\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$) 分別為 62.5, 72.1, 81.95 與相同栽植密度之佳林 3 年生林分幹部生物量 ($\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$) 48.36 (呂錦明, 1984), 斗六 4 年生幹部生物量 ($\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$)

49.8，以及臺東5年生約50—60 (ton、ha⁻¹) 相比，說明本試區生物量生產甚佳。

2. 立木各部位生物量與養分聚積量分佈：立木各

部位包括葉、枝、幹與根部位生物量與養分之聚積量亦隨樹齡的增加而異，立木葉部與枝部生物量之聚積隨樹齡之增高而相對減少（圖1），3年生葉

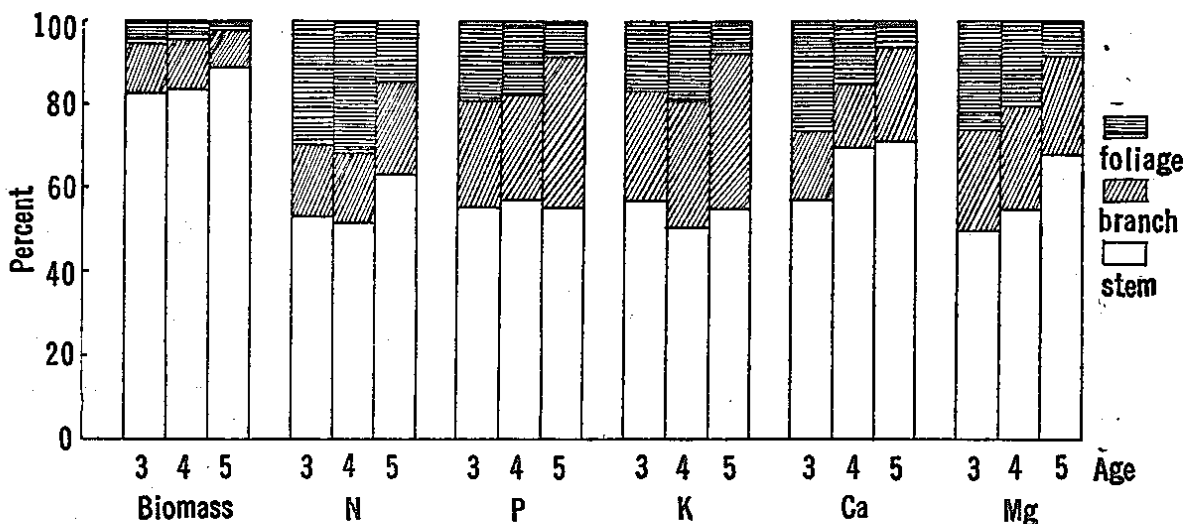


圖1. 3至5年生銀合歡立木地上部（葉、枝、幹）生物量與養分之分佈

Figure 1. Distribution of aboveground biomass (foliage, branch, stem) and nutrients of *Leucaena* tree through age 3 to 5 years.

部聚積生物量佔立木地上部5.08%，而至5年生減少為1.53%，枝部亦由3年生之12.19%減少至5年生之9.5%，幹部則自3年生之82.73%增加至5年生之88.97%。葉、枝、幹各部位養分之聚積與其生物量聚積形式並不完全一致。葉部養分P、Ca、Mg聚積與其生物量趨勢一致隨樹齡增高而減少，養分N與K聚積趨勢與其生物量也大致相同，僅4年生所聚積量較3年生略高，而所有養分在5年生立木葉部聚積量則驟降，與其生物量相同；幹部Ca與Mg聚積情況與幹部生物量相似，隨樹齡而增加，N與K在4年生立木幹部相對減少，而5年生幹部N則驟增。

至於根部生物量與養分聚積量因欠缺5年生資料未列表4中，而3、4年生根部所聚積之生物量 (ton、ha⁻¹) 分別為15.18和17.84；所聚積之養分 (N、P、K、Ca、Mg) 量 (kg、ha⁻¹)，3年生是104.06，5.29，48.58，49.69，9.59；4年生是118.14，7.42，53.42，72.99，26.40。

立木各部位生物量與養分之聚積，却因立木各部位間之養分濃度變化大，所以養分聚積型式與生物量有很大差別，例如3年生葉部生物量僅佔立木地上部5.08%，但其養分N聚積量却佔立木地上部之29.5%，而幹部生物量佔立木地上部82.73%，其養分N聚積所佔比例為53.5%（圖1），換言之，幹部生物量為葉部之16.3倍，而養分N僅為葉部之1.8倍。葉部4年生聚積之生物量及養分N量所佔立木地上部比例分別為4.5%和31.43%，5年生則分別降至1.53%和14.17%；幹部則相反，由4年生所聚積之生物量與養分N量分別佔立木地上部之83.8%和51.91%，增加至5年生之88.97%和63.47%；以上結果如Pritchett, (1979) 報告，在早期生長大部分養分聚積在葉部，在生長後期則幹部及枝部養分增加。又，生長快速樹種總養分聚積量相當大，林木各部位養分聚積之比例因樹種，經營作業，以及林分年齡而異 (Pritchett, 1979)。以上結果可影響到年養分需要量，以及林木收穫所移除

之養分量。

至於根部，雖然其生物量與養分聚積量佔立木相當比例，但由於根部自土壤吸取養分即回歸土壤，與地上部因收穫被移出林分情況不同；加之因根部死亡回歸土壤養分之測定困難，故將其歸併入土壤養分中計算，而不另加以討論。

綜合上述，銀合歡樹齡不同，部位不同所聚積之養分量亦不同。以何種方式收穫可使養分有效利用，也就是養分移除到何種程度方能使得森林土壤體系不致或僅少量降低其生產力 (Stone, 1979)

據 Hansen and Baker, (1979) 報告，收穫僅限於含養分濃度低之部位，如幹及枝。葉部與樹皮則留存於生育地。以 4 年生銀合歡分析結果為例，若所收穫部位僅限於樹幹，則移出之養分 N 佔立木地上部 51.9%，即枝葉仍留存於生育地可減少 49.1% 養分 N 之損失。若為 5 年生銀合歡，則隨幹部收穫移出林分 N 素佔立木地上部 63.5%，僅 36.5% N 素聚積枝葉留存於生育地。收穫 4 年生幹部較 5 年生可減少 11.5% 養分 N 之損失。Hansen and Baker, (1979) 對養分經營更有效判斷是以每單位重量養分所能生產之木材重量，謂之利用效率 (Utilization Efficiency)，其單位為乾物量 (kg)/養分 (kg)。目的是收穫時應考慮其利用效率，以減少養分之移除。以 3~5 年生銀合歡幹部所聚積之乾物重與其養分 N 重計算其利用效率，則 3 年生為 234.39kg/kgN，4 年生為 290.2kg/kgN，5 年生為 262.8kg/kgN，以利用效率計算亦以 4 年生之幹部收穫利用效率最高。再者，若枝葉部位保留於生育地，隨幹部收穫所移除之養分佔林分養分聚積量之百分率分別是：4 年生林分為 N7.4%，P11.7%，K27.5%，Ca3.6%，Mg6.8%，5 年生林分為 N10.3%，P10.6%，K32.4%，Ca4.4%，Mg12.2%，亦以收穫 4 年生幹部所移除之養分量較 5 年生為低。

(二) 林分各主要組成分養分之轉移或循環

1. 養分轉移或循環之過程：包括有吸取，回歸、

再轉移，以及輸入、損失等。今將銀合歡林分之養分轉移或循環過程分述於后：

(1) 養分之再轉移：養分再轉移為立木養分循環之重要過程，一般由行將離層之老葉轉移其部分養分至生長中之生活組織謂之再轉移。銀合歡立木第 4 年生自老葉轉移出 51.8% N, 46.95% P 與 24.15% K 至生活組織，而行將脫落之老葉却增加 18.82% Ca 與 39.09% Mg。第 5 年生則自老葉轉移出 56.75% N, 48.52% P 與 24.75% K 至生活組織，而脫落之老葉却增加 2.9% Ca 與 20.74% Mg。銀合歡立木第 4 和第 5 年生養分再轉移量分列於表 5 表 6。

由上結果獲知，僅養分 N、P、K 具有再轉移功能，而養分 Ca、Mg 則否；不論針葉樹或闊葉樹，只少量 K 再轉移，Ca、Mg 均不行再轉移 (Cole 1981)。例如闊葉樹 *Quercus Coccinea* (Scarlet oak) 葉子將發生離層時轉移出約 50% N, 80% P 和 55% K (Driessche, 1984)；又如 *Eucalyptus marginata* 自老葉轉移出 64.3% N, 75% P 和 54% K。同樣，以上兩樹種之 Ca 與 Mg 均不行再轉移，但 N、P、K 之再轉移量均大於本試驗之銀合歡。Driessche, (1984) 報導，不同樹種養分再轉移受遺傳，以及養分逆匯的影響程度尚未明瞭。Miller, (1984) 認為養分自將死亡之落葉再轉移而回收，而再轉移在養分供應最宜情況下最大，過於肥沃或缺乏均不大。不論再轉移量受樹種抑或土壤養分影響，主要養分有 60~85% 以此途徑得以保存。本試驗之銀合歡經由再轉移保存量最高為 N，次為 P、K 最少。

(2) 養分回歸：年養分回歸是指林木地上部吸取之養分，以落下枝葉與冠層淋洗，幹流等回至枯枝落葉層的量。

① 落下枝葉量：落下枝葉所回歸之乾物量幾與新鮮枝葉生長量成正比例，當樹冠鬱閉時急速增加隨後則下降，由第 2 年生林分之 6,141 (kg · ha⁻¹ · yr⁻¹) 增加至第 3 年生林分之 7,554 (kg · ha⁻¹ · yr⁻¹) 為量最高，然後隨樹齡增加而下降

落下枝葉所回歸之養分量與乾物量趨勢不完全一致，僅養分N與K亦在第3年生林分達最高量 (kg · ha⁻¹ · yr⁻¹) 分別為 267.11與66.09，第2年生林分除外，其它第3、4、5年生林分落下枝葉養

分含量中以N為最高，依次為Ca、K、Mg與P。

②冠層淋洗量：冠層淋洗回歸最高養分量為K，依次係Ca、N、Mg與P自2至5年生林分之情況皆類似。

表4. 2~5年生銀合歡林分落下枝葉，及落下枝葉與冠層淋洗養分之回歸量

Table 4. Return of litterfall, and nutrients in litterfall and canopy leaching of *Leucaena* stand through age 2 to 5 years

Age (yrs)	Nutrient sources	N	P	K	Ca	Mg
litterfall						
2	6,141 ⁽¹⁾	132.46	6.22	51.66	190.15	24.15
3	7,559	267.11	9.70	66.09	133.13	21.97
4	5,629	170.23	12.29	47.77	117.51	15.33
5	6,140	180.90	8.26	53.98	128.95	16.43
canopy leaching						
2	1,042.3 ⁽²⁾	13.07	—	72.46	35.80	10.23
3	882.5	13.79	3.06	74.41	15.91	6.46
4	860.9	12.97	2.75	64.30	26.88	5.47
5	989.2	16.85	3.36	67.32	20.30	5.60

(1) dry weight of litterfall (kg · ha⁻¹ · yr⁻¹)

(2) leachate of canopy washing (10⁴ L · ha⁻¹ · yr⁻¹)

落下枝葉養分含量在樹種間有差異；即使同一樹種在不同生育地亦有差異；落下枝葉品質，影響養分的固定，分解，以及礦質化作用 (Gosz, 1984)。就落下枝葉品質，本銀合歡林分之落下枝葉由63.5—66.2%葉，29%小枝，0.5—1.2%花，2.3—2.4%果與1.2—1.9%種子所組成，以濃度最高，且易於分解之葉片佔高比例，係回歸養分高原因之一。銀合歡3至5年生之落下枝葉量與養分 (N、P、K、Ca、Mg)量(kg · ha⁻¹ · yr⁻¹) 之範圍分別為5,629—7,559，170.23—267.11，8.26—12.29，47.77—66.09，117.51—133.13，15.33—21.97 (表4)，與美國華盛頓州 Cedar River 試驗地之30年生赤楊林分落下枝葉量及養分 (N、P、K

、Ca、Mg) 量 (kg · ha⁻¹ · yr⁻¹) 分別為15,972，87，6.2，39，67，10 (Cole and Rapp, 1980) 比較，雖銀合歡落下枝葉量僅赤楊之 $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ ，但銀合歡之養分量却為赤楊之1.2—3.1倍，與溫帶潤葉樹14個生育地 (Cole and Rapp, 1980) 平均落下枝葉量及養分 (N、P、K、Ca、Mg) 量 (kg · ha⁻¹ · yr⁻¹) 分別為 5,400，61，4，42，68，11比較，兩者落下枝葉量相若，但養分含量銀合歡較潤葉樹高1.1—4.4倍。銀合歡林落下枝葉含N量高，不但提供了土壤N素，同時也導致枯枝落葉層有機物加速分解。

冠層淋洗以K含量最高，其N、P、Ca、Mg含量則均低於落下枝葉，雖然較落下枝葉養分量低

，但其養分為有效性。

③回歸途徑：落下枝葉與冠層淋洗所含養分量之和稱之總養分回歸量。在 2 至 5 年生林分總養

分回歸量中，養分由落下枝葉途徑回歸所佔百分比，分別是 N91.5%—95.0%，P71%—82%，K41—47%，Ca81%—89%，Mg 70%—77%(圖 2)。

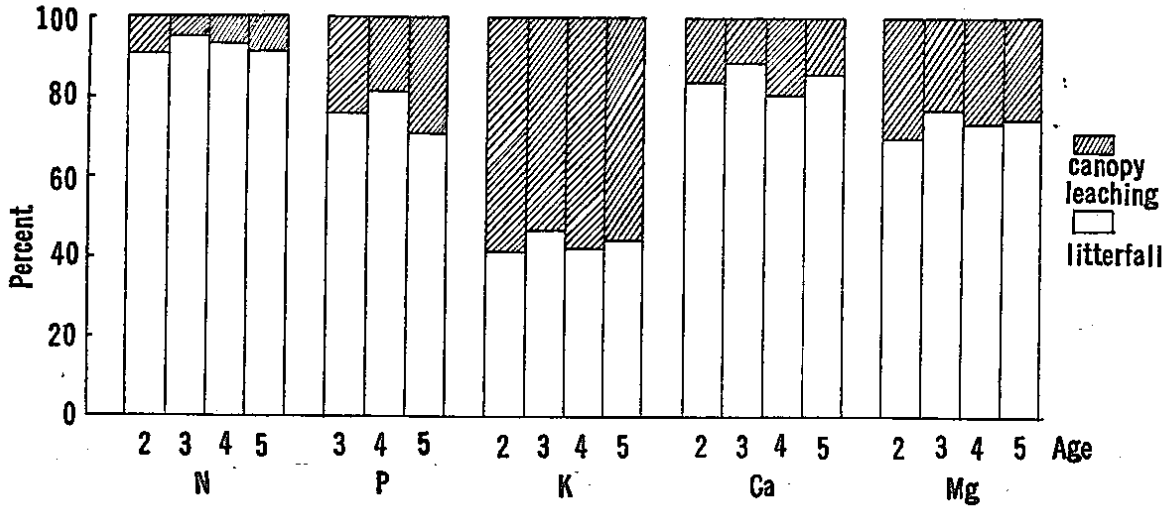


圖 2. 2 至 5 年生銀合歡林分落下枝葉與冠層淋洗年回歸養分之分佈

Figure 2. Distribution of annual return of nutrients in litterfall and canopy leaching of *Leucaena* stand through age 2 to 5 years.

由上結果顯示，養分在回歸途徑上有其差異；N、P、Ca、Mg 回歸途徑以落下枝葉為主，而 K 則以冠層淋洗為主，據 Cole and Rapp, (1980) 所搜集 32 生育地資料平均，由落下枝葉回歸 N 佔 83%，P 85%，K 41%，Ca 71%，Mg 60%，以及 Edwards (1982) 所報導 New Guinea 高山熱帶雨林四生育地資料平均，由落下枝葉回歸 N 佔 75.83%，P 67.11%，K 28.28%，Ca 83.33%，Mg 63.33% 等資料顯示 N、P、Ca、Mg 回歸途徑亦以落下枝葉為主，而 K 與上述資料相似，均以冠層淋洗佔高百分比，由於 K 不與植物中有機化合物相結合，故不經由礦質化作用自有機物釋放，因此自冠層淋洗回歸之養分移動性高，其再循環速率亦較落下枝葉所含之養分快速。

(3) 養分吸取：第 4 年生銀合歡年養分吸取量 ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$) 以養分 Ca 最高為 242.22，依次為 K 178.22, N 110.75, Mg 43.16, P 20.91 (表 5)，第 5 年生仍以養分 Ca 吸取量最高為 175.58，

依次為 N 88.73, K 76.62, Mg 38.16, P 3.35 (表 6)。由第 4 和第 5 年生銀合歡養分年吸取量結果可見，N、P、K 之吸取量均低於年養分需要量，而 Ca 與 Mg 則高於年養分需要量。

(4) 養分需要量：銀合歡立木第 4 和第 5 年地上部年養分需要量 ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$) 是分別將第 4 年減第 3 年，以及第 5 年減第 4 年地上部聚積各養分 (表 5, 表 6) 所增加之量，分別加以第 4 年生，及第 5 年生之落下枝葉及冠層淋洗中之各養分量而求得。年養分需要量 ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$) 第 4 年生為 N 183.71, P 23.92, K 198.28, Ca 234.02, Mg 39.05 (表 5)，第 5 年生為 N 190.26, P 7.0, K 100.24, Ca 174.23, Mg 35.3 (表 6)。

(5) 雨水輸入及損失：2 至 5 年生銀合歡林分自雨水輸入各養分 (N、P、K、Ca、Mg) 之年平均量 ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$) 分別是 N 32.44, P 2.76, K 36.08, Ca 45.06, Mg 9.6，至於因淋溶或脫氮等養分損失，因欠缺設備是項資料無法收

集。本試區自雨水輸入之各養分較之畢祿溪試驗集水區 (金恆鑣和楊炳炎1984) 森林測候站降水離子濃度 (mg/l) 分別是NH₄⁺-N 0.14, NO₃⁻-N 0.24, K⁺ 0.28, Ca²⁺ 0.68, Mg²⁺ 0.15 約高 13—50 倍左右。而本試區雨水養分含量高, 或因受南部工業

地區高量落塵, 海水飛沫, 以及試區四周農田土壤塵土污染等之影響。例如, 屬於農業區之密西西比州自雨水輸入養分量 (kg · ha⁻¹ · yr⁻¹) 依次是 N 114, P 12, K 43, Ca 68, Mg 18 (Francis and Baker, 1982) 均較本試驗地自雨水輸入之養分為

表3. 4年生銀合歡林分之養分循環

Table 3. Nutrient cycling within a *Leucaena* stand at age 4

Process	Nutrients				
	N	P	K kg. ha ⁻¹ . yr ⁻¹	Ca	Mg
Requirement	183.71	23.92	198.28	234.02	39.05
Uptake	110.75	20.91	178.22	242.22	43.16
Retranslocation	72.96	3.01	20.06	- 8.20	- 4.11
Return	183.20	15.04	112.06	144.39	20.80
Forest floor ⁽¹⁾ nutrients change	+ 20.24	+ 1.42	- 13.67	+ 32.07	- 3.47
Soil nutrients ⁽²⁾ change (0—30cm)	+ 52.21	- 7.29	- 52.49	-129.89	- 18.88
Recycled	162.96	13.62	125.73	112.33	24.28

(1) (+) represents accumulated, (-) represents transfer.

(2) (+) represents total return to the soil include transfer from forest floor,

(-) represents uptake from the soil.

高。

年養分吸取量：溫帶闊葉樹平均資料，年養分吸取量(kg · ha⁻¹ · yr⁻¹)亦以養分 Ca最高為 85.0 (Cole of Rapp, 1980)，其次為N 75.4, K 50.7, Mg 13.2, P 5.6，而Ca, Mg 之年吸取量亦高於其年養分需要量 (kg · ha⁻¹ · yr⁻¹) 之55.6與10.4。除 Ca 年吸取量高，且高於年需要量，此點與銀合歡相似。養分Ca 雖為主要元素，但Ca 年吸取量並不呈現與林木生長量有密切相關，故大於其年需要量而聚積於老組織中，在大部份闊葉樹種中，Ca 之吸取量大於N，而Mg與Ca形式相同 (Pritchett 1979. Cole, 1981)。

依上述結果，年養分吸取量隨樹齡升高而降低

；第5年生較第4年生為低，如養分P降低6倍，養分K 2倍。但仍比上述之闊葉樹種為高。由於闊葉樹種枝葉每年置換結果，5種主要養分 (N、P、K、Ca、Mg) 之年吸取量，需要量、回歸量均大於針葉樹 (Cole and Rapp, 1980)，即供養分循環速率較快。

立木地上部年增加生物量之年養分需要量，隨樹齡增加而減少。除此，年養分需要量亦隨養分元素而異，第4年生銀合歡年養分需要量 (kg · ha⁻¹ · yr⁻¹) 最多之養分為Ca，其順序為 Ca > K > N > Mg > P；第5年生年養分需要量 (kg · ha⁻¹ · yr⁻¹) 之順序則為 N > Ca > K > Mg > P，可見年需補充之養分元素以Ca、N最多，P最少。

赤楊需要養分 N119, P8.1, K77.5, Ca56, Mg12.8; 其他潤葉樹平均需養分 N94, P7.0, K46, Ca54, Mg10, 除養分 P 之年養分需要量與此林分大致相似外, 銀合歡 N、K、Ca、Mg 之年養分需要量較赤楊及其他潤葉樹高; 生長及循環速率快樹種其年養分需要量亦高。

2. 養分循環量: 年養分需要量之養分是由再轉移, 落下枝葉與冠層淋洗回歸, 以及土壤所提供。以養分 N 為例說明 4 年生銀合歡立木地上部年養分需要量(表 5)所需之養分 N183.71kg 中, 由再轉移所提供 72.96kg 佔年養分需要量 39.7%; 年吸取 N 量為 110.75kg 佔年養分需要量之 60.3%; 年回歸養分 N183.20kg 中, 聚積於枯枝落葉層 20.24kg, 實際上已分解可供再循環利用之養分 N 為 162.96kg。此乃根據 Switzer and Nelson, (1972) 報告, 枯枝落葉有機物分解所衍生之養分量測定自年落下枝葉所添加之乾物量及養分含量, 減去枯枝落葉層年增加之乾物量及養分量, 由此等添加與增加之相差, 假設相等於自分解所得之養分。由表 5 顯示 N 回

歸再循環量高出吸取量 52.21kg, 此剩餘養分 N 移入而貯存於土壤。立木年養分 N 需要量為 183.71 kg, 其中 162.96kg 回歸再循環利用, 故有 20.75kg N 聚積在立木。養分 N、P、K 吸取量均小於年養分需要量, 是因為部分年養分需要量由再轉移提供。養分 Ca 與 Mg 適其反, 其吸取量大於年養分需要量, 是由於老葉脫離立木時, Ca、Mg 含量反而增加, 其增加量 ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$) 為 Ca8.2, Mg4.11。

4 年生年養分需要量中, 最高為 Ca, 依次為 $K > N > Mg > P$, 養分吸取量與留存量式樣與年養分需要量相同; 回歸量順序為 $N > Ca > K > Mg > P$; 再循環量則以 $N > K > Ca > Mg > P$; 枯枝落葉層只有養分 N、P、Ca 聚積、而 K 與 Mg 均被釋放自枯枝落葉層轉移至土壤。

第 5 年生銀合歡立木地上部年養分需要量(表 6)亦以養分 N 為例說明, 其需要之養分 N 為 190.26kg 中, 由再轉移所提供 101.53kg, 佔年養分需要量 53.4%, 年吸取養分 N 量為 88.73kg 佔年養分

表 6. 5 年生銀合歡林分之養分循環

Table 6. Nutrient cycling within a *Leucaena* stand at age 5

Process	Nutrients				
	N	P	K $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$	Ca	Mg
Requirement	190.26	7.00	100.24	174.23	35.30
Uptake	88.73	3.35	76.62	175.88	38.16
Retranslocation	101.53	3.65	23.62	1.65	2.86
Return	197.75	11.62	121.30	149.25	22.03
Forest floor ⁽¹⁾ nutrients change	- 35.81	-1.62	- 16.96	- 17.03	- 2.60
Soil nutrients ⁽²⁾ change (0—30cm)	+144.83	+9.89	+ 61.64	- 9.60	- 13.52
Recycled	233.56	13.24	138.26	166.28	24.64

(1) (+) represents accumulated, (-) represents transfer.

(2) (+) represents total return to the soil include transfer from forest floor,

(-) represents uptake from the soil.

需要量46.6%，由已分解之落下枝葉及冠層淋洗之年再循環量 233.56kg 提供，由於再循環量大於吸取量，所多餘之 144.83kgN 素移入土壤而貯存。同樣第5年生銀合歡N、P、K之吸取量小於年養分需要量，而Ca、Mg則相反。

第5年生之年養分需要量中，最高為N，依次是Ca>K>Mg>P，養分回歸量與再循環量型式與年養分需要量相同；而吸取最高養分量仍然以Ca居首，依次N>K>Mg>P；養分N、P、K、Ca、Mg之年養分需要量與吸取量以第4年生銀合歡林分大於第5年生；養分N、P、K之再轉移量亦以第4年生銀合歡林分大於第5年生；隨老葉脫離而增加之Ca、Mg量亦以第4年生大於第5年生；而年回歸量，再循環量，以及枯枝落葉層釋放養分移入貯存於土壤量則均以第5年生銀合歡大於第4年生，只養分P之回歸量例外。

由上結果顯示，銀合歡養分之各種循環量均較上述其他樹種為高。

由養分回歸佔提供養分源在50%以上之結果可

知，回歸量大吸取量亦增大，隨之生產量亦增加，尤其是養分N，回歸量大於其年養分需要量，不但必由土壤移出養分，反而大量養分N移入而貯存於土壤，是故養分回歸為養分循環之控制系統（Well and Jorgensen, 1975）。

根據Cole and Rapp, (1980) 報告，養分N年吸取量，以及年養分需要量分別與生產量（地上部年增長量）之關係以迴歸式表示如下：

$$\text{潤葉林生產量 (kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}) = 4242 + 85 \times \text{年吸取量}。$$

$$\text{潤葉林生產量 (kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}) = 1069 + 114 \times \text{年養分需要量}。$$

由上迴歸式，年養分需要量或吸取量愈大，則林木生產量愈高。雖然其迴歸相關較弱，其相關係數不若年吸取量或年養分需要量與針葉樹生產量為高，但其趨勢却相同。由前循環過程曾述及銀合歡之吸取量，以及年養分需要量較赤楊及潤葉樹種為高，由此亦可看出，銀合歡之生產量較上述兩樹種為高。

表7. 養分源對4~5年生銀合歡林分需要量之相對提供量

Table 7. The relative contribution of nutrient sources to the requirement of Leucaena stand through age 4 to 5 years

Age (yrs)	Nutrient sources	Contributoin to requirement of				Mg
		N	P	K %	Ca	
4	Litter decomposition	81.7	45.4	31.0	35.3	43.6
	Canopy washing	7.0	11.5	32.4	11.1	12.7
	Retranslocation	39.7	12.6	10.1	0.0	0.0
	Soil	0.0	30.5	26.5	53.6	43.7
	Total*	128.4	100.0	10.00	100.0	100.0
5	Litter decomposition	113.9	141.1	70.8	83.0	49.9
	Canopy washing	8.9	48.0	67.2	11.5	14.7
	Retranslocation	53.4	52.1	23.6	0.0	0.0
	Soil	0.0	0.0	0.0	5.5	35.4
	Total*	176.2	241.2	161.6	100.0	100.0

*Value greater than 100 indicate soil accretions

由再轉移量提供年養分需要量第4年生養分佔39.7%，第5年生養分N佔53.4%（表七）。所以養分之再轉移被視為供給樹木生長之重要養分源（Fife and Nambiar, 1982）。同時養分之再轉移亦為保存養分途徑之一。

有關年循環之再循環量與聚積量之多寡、因各養分之特性而異，養分N、P、K循環再利用量較養分Ca、Mg為高，例如4年生之養分N再循環量為其年養分需要量之88.7%，5年生則為100%，相對地其年聚積量減少。4年生之養分Ca年聚積量佔年養分需要量之52%，多量Ca聚積在立木永久組織中，由養分循環可明瞭，養分N循環量高，可以不斷再利用，而養分Ca部分被聚積立木，致使年養分需要量中之養分Ca需由土壤提供養分，而養分N却有多餘之養分回歸貯存於土壤。

綜合以上第4第5年生林分內養分循環資料，用以分析林分內養分之收支：由養分循環明瞭年養分需要量之4養分源雖屬於同一林分，但每一養分源之重要性及貢獻因養分而異，其相對提供養分量亦因樹齡不同。而由年養分需要量與已分解之落下枝葉，冠層淋洗，以及再轉移量相差之不足部份養分由土壤提供，多餘部份則貯存於土壤（表7）。

今就4養分源對第4年生之年養分需要量提供之養分N說明之，已分解之落下枝葉佔81.7%，冠層淋洗佔7.0%，再轉移39.7%，以上3養分源所提供之養分已超過年養分需要量之28.4%，換言之，多餘之28.4%N素移入並存於土壤中，又如第4年生之養分Ca，其年養分需要量由已分解落下枝葉提供35.3%，冠層淋洗提供11.1%，而土壤則需提供53.6%，依同樣方法計算不同樹齡，不同養分如P、K、Mg於林分內之收支。第4年生除養分N外，其它P、K、Ca、Mg均需由土壤提供養分以平衡其養分收支。而第5年生僅Ca、Mg需自土壤提供養分以平衡養分收支。

由以上養分收支結果，第4第5年生銀合歡生物量增長部分養份需自土壤移出，所移出之養分是

否會導致土壤肥力之減退，以及應否施肥予以補充，端視土壤養分聚積量而定。第4年生由土壤提供養分量 ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$) 為 P7.29, K52.48, Ca129.9, Mg18.88（表5）佔4年生土壤所聚積養分（P、K、Ca、Mg）量之百分率分別是 P5.0%，K14.2%，Ca2.09%，Mg4.5%；由第5年生土壤提供養分量 ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$) 為 Ca9.6 和 Mg13.52（表6），分別佔5年生土壤聚積養分（Ca, Mg）量之0.2%和4.0%。由養分循環收支獲知，銀合歡立木地上部年增長生物量所需之養分量，由土壤提供者為量極少。

四、結論與建議

(一) 銀合歡3至5年生林分養分聚積量以土壤為最高，其次為立木地上部，枯枝落葉層及地被層；土壤養分N、P、Ca、Mg之聚積量範圍佔林分聚積量之77%—95%左右，僅土壤養分K其3至5年生聚積量為40%左右。土壤仍為林分主要養分源。

(二) 立木地上部各部位養分N之聚積佔立木地上部百分率分別為葉部自3年生之29.5%減少至5年生之14.17%，而幹部則自53.5%增加至63.5%，養分聚積量隨樹齡與立木部位之不同而異。

(三) 銀合歡經由共生固氮使3至5年生林分聚積大量N素；5年生林分所增添N量為栽植前土壤N素含量之34.5%，相當1,683.8公斤尿素肥料，而5年生土壤所添增氮素為栽植前土壤N素含量之10.5%，相當512公斤尿素肥料。銀合歡造林地聚積有大量N素，故毋需再施用N素肥料。

(四) 隨幹部收穫將移除之養分量不足以影響生育地生產力之降低，因土壤所聚積之養分量和因收穫殘置於林地有機物養分之總和高於栽植前土壤所聚積之養分量。

(五) 2至5年生銀合歡林分總養分回歸量中，養分N、P、Ca、Mg以落下枝葉為其回歸主要途徑，而養分K主由冠層淋洗途徑回歸。

(六) 養分再轉移為供給樹木生長之重要養分源，

所提供之養分佔年養分需要量之百分率分別為：第4年生N39.7%，P12.6%，K10.1%；第5年生N為53.4%，P52.1%，K23.6%。養分再轉移亦為保存養分途徑之一。

(c)由已分解之落下枝葉及冠層淋洗回歸之養分量，佔年養分需要量之百分率：第4年生分別為N88.7%，P56.9%，K63.4%，Ca46.4%，Mg56.3%；第5年生分別為N122.8%，P189.1%，K138%，Ca94.5%，Mg64.6%。由於養分回歸佔提供養分源之50%以上，故回歸量大，吸取量亦大，生產量亦隨之增加，超過100%部份則轉移而貯存於土壤。

(d)根據年養分需要量與年再循環量，以及年內轉移量相差之不足部份需由土壤提供之養分量 (kg

• ha⁻¹ • yr⁻¹)：第4年生為 P7.29, K52.49, Ca129.89, Mg18.88。第5年生為 Ca9.6, Mg13.52。以上結果可作為所需施肥之養分元素及其施肥量之參考。

(e)栽植銀合歡5年後土壤聚積養分量 (kg • ha⁻¹) 較栽植前減少養分 K14.6%，Ca10.5%，而林分聚積養分量 (kg • ha⁻¹) 較栽植前只減少養分 Ca3.9%。

(f)綜合以上，若為維持地力及生物量生產，施肥與否，或該施用何種養分元素及其施用量，應由年養分需要量，年回歸量以及年再轉移量之收支，並考慮土壤所聚積養分之多寡而決定，以免因施肥不當造成嚴重後果。

附表1. 估計三年生銀合歡各部位養分含量與胸徑之迴歸方程式

Appendix I. Regression equations for estimating the nutrients of components for Leucaena tree of 3rd year using DBH as Independent variable

	Y	a	b	R ²	F
Stem	N	— 7.1249	2.0307	.9952	2,052.32
	P	— 9.8179	1.9740	.9808	510.50
	K	— 7.5401	2.1459	.9945	1,794.53
	Ca	— 7.8472	2.0785	.9867	739.57
	Mg	— 10.0383	2.2191	.9271	127.23
Branch	N	— 9.1442	2.4688	.9212	116.94
	P	— 11.6064	2.4945	.8350	50.61
	K	— 9.2513	2.6243	.9416	161.32
	Ca	— 9.5349	2.3135	.9116	103.11
	Mg	— 11.7509	2.6924	.9445	170.23
Foliage	N	— 8.8094	2.5757	.9854	673.82
	P	— 11.7027	2.3691	.9798	485.81
	K	— 8.9702	2.2547	.9773	430.74
	Ca	— 8.9793	2.2564	.9657	281.37
	Mg	— 10.9876	2.3575	.9782	448.75
Root	N	— 7.9680	1.9790	.9896	948.04
	P	— 10.5590	1.7668	.9029	93.02
	K	— 9.0986	2.1683	.9657	281.70
	Ca	— 9.1146	2.1795	.9883	846.16
	Mg	— 10.3564	1.9768	.9792	470.61

附表2. 估計四年生銀合歡各部位養分含量與胸徑之迴歸方程式

Appendix 2. Regression equations for estimating the nutrients of components for Leucaena tree of 4th year using DBH as Independent variable

	Y	a	b	R ²	F
Stem	N	— 7.4218	2.0978	.9962	1,185.52
	P	— 10.0342	2.1747	.9935	765.59
	K	— 7.4765	2.0927	.9905	523.18
	Ca	— 7.7217	2.2093	.9950	999.22
	Mg	— 9.9337	2.0331	.9742	188.69
Branch	N	— 10.0315	2.8156	.9758	201.46
	P	— 12.1853	2.8288	.9835	297.72
	K	— 9.4650	2.8632	.9725	176.64
	Ca	— 10.4385	2.7806	.9649	137.43
	Mg	— 12.0107	2.9510	.9745	191.01
Foliage	N	— 10.3735	3.2777	.9557	107.87
	P	— 13.4434	3.2426	.9545	104.77
	K	— 10.6414	3.1330	.9536	102.71
	Ca	— 11.7170	3.3825	.9438	83.94
	Mg	— 13.3609	3.4735	.9448	85.64
Root	N	— 8.4394	2.1378	.9955	1,112.73
	P	— 10.9781	2.1007	.9865	366.59
	K	— 9.6244	2.4055	.9894	467.20
	Ca	— 9.3292	2.4143	.9942	863.25
	Mg	— 10.5994	2.1976	.9952	1,028.24

附表3. 估計五年生銀合歡各部位養分含量與胸徑之迴歸方程式

Appendix 3. Regression equations for estimating the nutrients of components for Leucaena tree of 5th year using DBH as Independent variable

	Y	a	b	R ²	F
Stem	N	— 7.4352	2.1422	.9880	410.99
	P	— 10.3219	2.1712	.9839	306.25
	K	— 7.2816	1.9611	.9594	118.18
	Ca	— 7.8285	2.2399	.9872	385.42
	Mg	— 9.0461	2.0369	.9799	243.67
Branch	N	— 8.5366	2.1610	.9641	160.92
	P	— 11.2159	2.3884	.9610	148.00
	K	— 8.2052	2.2115	.9496	113.00
	Ca	— 9.2773	2.3723	.9753	236.94
	Mg	— 10.8117	2.3607	.9697	191.78
Foliage	N	— 8.5208	1.9290	.8987	53.23
	P	— 11.7254	1.9401	.8994	53.67
	K	— 8.9644	1.8206	.8701	40.18
	Ca	— 10.2479	2.2286	.9306	80.46
	Mg	— 11.1504	1.9722	.8992	53.54

引用文獻

- 王子定, 蘇學波, 陳堅強, 高毓斌. 1984. 各栽植密度銀合歡之生長及地上部生物量. 中華林學季刊 Vol. 17(4): 13-25.
- 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. 林業試驗所報告 No. 405.
- 洪富文, 孫正春, 黃松根. 1985. 蓮華池地區不同林齡杉木林地上部生物量之分佈. 林業試驗所報告 No. 444.
- 高毓斌. 1985. 臺灣省孟宗竹林之生產力與生物性叢分循環. 國立臺灣大學森林學研究所博士論文p191.
- 陳春泉, 陳宗軒. 1984. 山坡地土壤調查報告—屏東縣臺灣省農林廳地農牧局.
- 金恆鏡, 楊炳炎. 1984. 畢祿溪試驗集水區的降水及溪水化學. 林業試驗所報告 No. 427.
- Chou, C. H. 1982. Study of Allelopathy with Heng-Chun vegetation. Leuc. Res. Rept., 3: 57.
- Cole, D. W. 1981. Nutrient cycling in world forests. p. 139-160. In Proceedings of xvll IUFRO world-congress. Division I. Japan.
- Cole, D. W., S. P. Gessel, and J. Turner. 1977. Comparative mineral cycling in Red Alder and Dougled-fir. p. 327-227. In Utilization and Management of Alder. Portland, Oregon.
- Cole, D. W. and M. Rapp. 1980. Elemental cycling in forest ecosystems. p. 341-409. In D. E. Reichle (ed.), Dynamic Properties of Forest Ecosystems. Cambridge Univ. Press.
- Driessche R. van den 1984. Nutrient storage, retranslocation and relationship of stress to nutrition. p. 181-209. In Brown and Nambiar (ed.), Nutrition of plantation forests. Academic Press, New York.
- Edwards P. J. 1982. Studies of mineral cycling in a montane rain forest in New Guinea. Journal of Ecology. 70: 807-827.
- Francis J. K. and J. B. Baker. 1982. Potential for nutrient depletion by short rotation harvest of Sweetgum. Sci. Soil Soc. Amer. Jour. 46: 5.
- Fife, D. N. and E. K. S. Nambiar. 1982. Accumulation and retranslocation of mineral nutrient in developing needle in relation to seasonal growth of young Radiata Pine tree. Bot. 50: 817-829.
- Gosz J. R. 1984. Biological factors influencing nutrient supply in forest soils. p. 119-144. In Brown and Nambian (ed.), Nutrition of Plantation Forests. Academic Press, New York.
- Hansen, E. A. and J. B. Baker. 1979. Biomass and nutrient removal in short rotation intensively cultured plantations. p130-151. In Impact of Intensive Harvesting on Forest Nutrient Cycling. Proc. Symp. State Unvi. of New York, Syracuse, New York.
- Haines, S. G. and D. S. DeBell. 1979. Use of nitrogen-fixing plants to improve and maintain productivity of forest soils p. 279-303. In Impact of Intensive Harvesting on Forest Nutrient Cycling. Proc. Symp. Univ. of New York, Syracuse, New York.
- Lage, B. 1977. A bioelement budget of an old Scots Pine forest in central Sweden. p. 201-209. In Nutrient Cycle in Tree Stands-Nordic symp. Silva Fennica. Vol. 11: 3.
- Miller, H. G. 1984. Dynamics of nutrient cycling in plantation ecosystems. p. 53-76. In Brown and Nambiar (ed.), Nutrition of Plantation Forest. Academic Press, New York.
- Pritchett W. L. 1979. Nutrient cycling in forest ecosystems. p. 189-211. In Properties and Management of Forest Soil. John Wiley and Sons,
- Pastor, J. and J. G. Bockeim. 1984. Distri-

- bution and cycling of nutrients in an Aspenmixed-Hardwood-Spodosol ecosystem. Northern Wisconsin. Ecology. 65(2) : 339-353.
- Switzer, G. L. and L. E. Nelson. 1972. Nutrient accumulation and cycling in loblolly Pine (Pine taeda L.) plantation ecosystems: The first twenty years. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36 : 143-147.
- Stone, E. L. 1979. Nutrient removals by intensive harvest—some research gaps and opportunities. p. 366-386. In Impact of Intensive Harves-ting on Forests Nutrient Cycling. Proc. Symp. State Univ. of New York, Syracuse, New York, USA.
- Turner, J. D. W. Cole and S. P. Gessel. 1977. Method employed in forest nutrient cycling studies at Cedar River. Univ. of Washington, Seattle, Washington.
- Well, C. G. and J. R. Jorgensen. 1975. Nutrient cycling in Loblolly Pine plantation. p. 137-158. In Forest Soil and Forest Land Management. Proceeding of the Fourth NorthAmerican Forest Soil Conference. Quebec, Canada.