

研究報告

惠蓀林場三種林分枯落物養分迴歸量之季節變化¹

顏江河² 陳佳慧³

【摘要】 本研究以南投縣惠蓀林場關刀溪生態系相鄰的三種不同林型（天然林、次生林、杉木林）為調查試區，自 1988 年 9 月至 1999 年 8 月利用收集網收集枯落物，探討枯落物養分濃度與迴歸量之季節性變化。三種林分枯落物碳濃度平均在 40.27~43.07 %，氮濃度在 0.86~2.29 %，磷濃度在 0.06~0.26 %，鉀濃度在 0.47~1.31 %，鈣濃度在 0.25~1.00 %，鎂濃度在 0.18~0.27 % 間。全年枯落物養分迴歸量碳為 1.93~2.88 t/ha；氮為 41.48~104.30 kg/ha，磷為 3.40~8.93 kg/ha；鉀為 21.36~66.55 kg/ha；鈣為 20.89~61.45 kg/ha；鎂為 9.02~18.04 kg/ha。枯落物養分迴歸量以天然闊葉林最多，次生闊葉林次之，杉木人工林最少。

【關鍵字】 枯落物、養分濃度、養分迴歸量、季節變化

Research paper

Seasonal Variation of Litterfall Nutrient Recycling Amount in Three Forest Stands at Hue-Sun Forest Station¹

Chiang-Her Yen² Jia-Huey Chen³

【Abstract】 The seasonal variation of litterfall nutrient concentration and nutrient recycled amount of three different stands (natural hardwood, NS; secondary hardwood, SS; and China-fir plantation, CPS) in the Hui-Sun Experimental Forest were monitored monthly by using littertrap approach from September 1988 to August 1999. During the investigation period, the litterfall nutrient concentration of carbon was 40.27 - 43.07 %, nitrogen 0.86-2.29 %, phosphorus 0.06-0.26 %, potassium 0.47-1.31 %, calcium 0.25-1.00, and magnesium 0.18-0.27 %. Annual amounts of these recycled nutrients in litterfall were 1.93-2.88 t/ha C, 41.48-104.30 kg/ha N, 3.40-8.93 kg/ha P, 21.36-66.55 kg/ha K, 20.99-61.45 kg/ha Ca, and 9.02-18.04 kg/ha Mg. Total annual nutrient input from litterfall were NS> SS> CPS.

【Key words】 litterfall, nutrient concentration, nutrient recycled amount, seasonal variation.

1. 本研究為行政院國科會補助之專題研究計畫

This project was sponsored by the National Science Council, R.O.C. Grant number.

2. 國立中興大學森林系助理教授，通訊作者

Assistant Professor, Department of Forestry, NCHU. Corresponding author.

3. 國立中興大學森林系研究生

Graduate student, Department of Forestry, NCHU.

一、前言

森林枯落物 (litterfall) 定義為死亡的植物器官, 包括葉片、枝條、花、果實及種子等組成份, 死亡的地下部雖會造成土壤環境的改變, 但一般枯落物的探討並不包括此部份。未經人為干擾之森林地表枯落物主要由兩種因素造成: 一為老化及季節性凋落, 這類枯落物在凋落前經植物體進行養分轉移 (nutrients translocation), 尤其是氮、磷、鉀、鎂等可移動性元素, 其含量會低於新鮮落葉 (Vogt *et al.*, 1986); 另一因素則是較大型的干擾 (disturbance), 如颱風及倒樹, 造成大量的植物器官脫離植物體之凋落現象。此類突然掉落的植物體未經養分轉移, 含有較高濃度的養分, 且可能縮短養分被微生物固定的時間, 此類枯落物被認為可能是森林受到干擾後, 在林相恢復初期重要的養分來源 (Whigham *et al.*, 1991)。由不同因素所產生的枯落物, 其養分組成比例不同, 在地表分解的情形及對森林的影響亦不甚相同, Meentemeyer 和 Tompson (1982) 指出森林枯落物可作為估計生產力的重要指標, 同時為土壤動物和微生物重要棲息場所, 易影響森林植群的更新與幼苗的生長 (Facelli *et al.*, 1991), 因此枯落物對森林社會與族群動態的研究具有重要的角色。

國內有關於森林枯落物及其養分循環之研究尚屬少數, 且每一研究的試驗樣區均只有單一林型 (張峻德與徐正鍾, 1987; 高毓斌, 1985; 姜家華與劉興旺, 1989; 林世宗, 1998; 劉湘搖, 1994; 林國銓, 1997)。本試驗地位於惠蓀林場第三林班, 惠蓀林場海拔由 454 m 到 2,419 m, 垂直落差達 1,965 m, 兼含亞熱帶、暖溫帶、溫帶等氣候型, 極能代表台灣中部之森林植物組成 (呂金誠和歐辰雄, 1996)。試驗地海拔約在 1,100 m 到 1,600 m 間, 屬暖溫帶區, 張華洲 (1997) 亦曾在本試驗地進行一年的枯落量調查。本報告延續上一篇研究 (顏江河與陳佳慧, 1999), 探討惠蓀

林場第三林班三種相鄰林分, 枯落物組成養分濃度與養分迴歸量的季節變化。試驗結果可瞭解本生態系中不同林分間的養分循環, 作為該生態系養分輸出及林分吸收的闡釋基礎。

二、材料與方法

(一) 樣區概況

本試驗地詳如顏江河與陳佳慧 (1999) 所述之概況。

(二) 不同林分之枯落物養分分析

枯落物的收集同顏江河與陳佳慧 (1999), 即分別在試驗地架設收集網, 每月收集枯落物, 經烘乾秤重後, 將同一重複的 3 個收集網的樣本, 依不同枯落物組成 (葉部、枝條、繁殖體、其他) 混合均勻, 從每一重複取出約 0.25 g 樣本, 再混合四個重複的樣本進行養分分析, 包括有機碳、凱氏氮、磷、鉀、鈣、鎂等, 每一混合樣本重複分析 4 次, 分析方法如下。

1. 有機碳的測定

取 0.1 g 乾燥樣本, 置於 500 mL 錐瓶內加入 15 mL 1 N $K_2Cr_2O_7$ 與 20 mL 濃硫酸, 於 150 °C 沙盤中 10 分鐘, 冷卻後, 加入 150 mL 純水及 85 % H_3PO_4 10 mL 與 3~4 滴 Ferroin 指示劑, 以 0.2 N $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ 滴定 (MacDonald, 1977)。

2. 凱氏全氮、磷、鉀、鈣、鎂的測定

取約 0.2 g 乾燥樣本, 以 Moore 與 Chapman (1986) 方法消化後定積至 100 mL。凱氏全氮分析取 50 mL 樣液經凱氏氮蒸餾裝置蒸餾定量。剩餘的 50 mL 樣液經過濾後 (whatman no.42), 分別進行磷、鉀、鈣、鎂的測定。磷含量的測定以鉬藍 (molybdenum blue) 法測定 (Olsen and Sommers, 1982)。鉀、鈣和鎂含量的測定以原子吸收光譜儀 (Hitachi Z-5300 polarized zeeman atomic absorption spectrophotometer) 測定。

(三) 數據處理

養分測定後的濃度換算成重量百分比，用這些標準化數據進行統計分析，以 SPSS 視窗 8.0 版分析軟體，進行不同林分間枯落物組成成分的養分含量的變方分析 (ANOVA) 與多變域分析，再以 Duncan 多域性檢定判定兩者間的是否達顯著水準差異。

三、結果

惠蓀林場三種林分枯落物的養分濃度如表 1 至表 3。枯落物碳濃度在月份間的變動，因林分不同而有差異，天然闊葉林在 12、8 月濃度較高，10、4 月較低；杉木人工林 7、8 月較高，10、5 月較低；次生闊葉林 3、8 月較高，4 月時最低。枯落物氮濃度在月份間的變動，除了 1、2 月之外，天然闊葉林的氮濃度皆高於另二林分，天然闊葉林在 3、4 月濃度較高，1 月較低；杉木人工林則在 9、1 月濃度較高，10 月濃度較低；次生闊葉林在 1、2 月濃度較高，10、4 月濃度較低。枯落物磷濃度在月份間的變動，天然闊葉林磷濃度皆高於另二林分，天然闊葉林在 4、8 月濃度較高，1、2 月濃度較低；杉木人工林則在 9、12 月濃度較高，10、6 月濃度較低；次生闊葉林在 12、3 月濃度較高，10、6 月濃度較低。枯落物鉀濃度月份間的變動，除了 1 月之外，鉀濃度為天然闊葉林 > 次生闊葉林 > 杉木人工林，在天然闊葉林 2 月濃度較高，5~7 月濃度較低；杉木人工林則在 1 月濃度較高，5~6 月濃度較低；次生闊葉林 1~2 月濃度較高，6、8 月濃度較低。枯落物鈣濃度月份間的變動，在天然闊葉林 2 月濃度較高，7 月濃度較低；杉木人工林則在 9 月濃度較高，7 月濃度較低；次生闊葉林整年間變動較少。枯落物鎂濃度月份間的變動，除了次生闊葉林外，另二林分的鎂濃度濃度全年變化量少，在次生闊葉林以 10 月濃度較高，其餘月份差異不大。

三種林分不同枯落物碳濃度在 40.27~43.07 % 之間，天然闊葉林枯落物碳濃度是繁殖部 > 葉部 > 枝條 > 其他，杉木人工林為葉部 > 其他 > 繁殖部 > 枝條，在次生闊葉林則為繁殖部 > 其他 > 葉部 > 枝條；氮濃度在 0.86~2.29 % 之間，磷濃度在 0.06~0.26 % 之間，三個林分枯落物氮與磷濃度都是其他 > 繁殖部 > 葉部 > 枝條；鉀濃度在 0.47~1.31 % 之間，三個林分枯落物鉀濃度皆是繁殖部 > 葉部 > 其他 > 枝條；鈣濃度在 0.25~1.00 % 之間，天然闊葉林鈣濃度其他 > 葉部 > 枝條 > 繁殖部，杉木人工林為葉部 > 其他 > 枝條 > 繁殖部，次生闊葉林則為葉部 > 枝條 > 其他 > 繁殖部；鎂濃度在 0.18~0.27 % 之間，三個林分枯落物鎂濃度都是葉部 > 其他 = 繁殖部 > 枝條。

不同月份間的養分迴歸量則如表 4 至表 6。全年枯落物碳迴歸量以天然闊葉林 2.89 t/ha yr 為最高，杉木人工林 1.93 t/ha yr 最低，三個林分枯落物的碳迴歸量皆以葉部 > 枝條 > 繁殖部 > 其他。碳迴歸量一年有雙高峰期，一在 10 月，另一在 6 月，以杉木人工林的 10 月份碳迴歸量最高達 1068 kg/ha，為該林分最低迴歸量 (11 月) 的 188 倍；天然闊葉林則在 3 月有最高碳迴歸量達 400.5 kg/ha，為該林分最低迴歸量 (11 月) 的 3.4 倍；次生闊葉林在 6 月份有最高碳迴歸量達 661.6 kg/ha，為最低迴歸量 (1 月) 的 11.1 倍。全年枯落物氮迴歸量以天然闊葉林 104.3 kg/ha yr 為最高，杉木人工林 41.5 kg/ha yr 最低，氮的迴歸量則以葉部 > 枝條 > 繁殖部 > 其他。三個林分枯落物氮迴歸量，一年間同樣有雙高峰期，一在 10 月，另一在 3、6 月，以杉木人工林的 10 月氮迴歸量 19.8 kg/ha 最高，為該林分最低迴歸量 (11 月) 的 115 倍；天然闊葉林在 3 月有最高氮迴歸量達 15.5 kg/ha，為該林分最低迴歸量 (11 月) 的 3.8 倍；次生闊葉林在 6 月有最高氮迴歸量達

表 1. 惠蓀林場天然闊葉林不同月份（1998/9~1999/8）枯落物的養分濃度

Table 1. The nutrient concentration of litterfall collected from natural hardwood stand at Hue-Sun forest station .(1998/9~1999/8)

	98/09	98/10	98/11	98/12	99/01	99/02	99/03	99/04	99/05	99/06	99/07	99/08	平均	
天然闊葉林														
	N%	1.443± 0.008	1.498± 0.032	1.429± 0.103	1.519± 0.053	1.462± 0.015	1.307± 0.016	1.419± 0.058	1.376± 0.008	1.301± 0.004	1.458± 0.024	1.305± 0.003	1.636± 0.032	1.429
	P%	0.113± 0.009	0.096± 0.003	0.111± 0.021	0.123± 0.001	0.088± 0.003	0.065± 0.001	0.105± 0.006	0.132± 0.003	0.117± 0.001	0.121± 0.000	0.122± 0.000	0.137± 0.001	0.111
	C%	41.030± 0.033	40.673± 3.372	40.698± 1.409	41.107± 0.542	41.138± 1.831	41.195± 0.335	41.534± 0.437	39.871± 2.187	39.318± 0.314	41.087± 0.942	39.101± 2.257	41.629± 0.574	40.698
葉部	K%	1.116± 0.106	1.031± 0.015	0.961± 0.172	0.927± 0.023	1.189± 0.001	1.283± 0.016	0.875± 0.006	0.807± 0.040	0.739± 0.043	0.860± 0.014	0.800± 0.009	0.943± 0.009	0.961
	Ca%	0.969± 0.284	0.897± 0.046	0.969± 0.257	0.967± 0.261	1.291± 0.065	1.270± 0.230	1.201± 0.020	0.962± 0.029	0.771± 0.210	0.730± 0.253	0.568± 0.013	1.033± 0.209	0.969
	Mg%	0.271± 0.034	0.278± 0.001	0.270± 0.027	0.297± 0.013	0.288± 0.006	0.303± 0.012	0.244± 0.041	0.275± 0.000	0.238± 0.009	0.233± 0.004	0.259± 0.002	0.287± 0.014	0.270
	C/N	28.436± 0.184	27.188± 2.829	28.587± 1.888	27.091± 1.306	28.128± 0.962	31.532± 0.652	29.296± 1.510	28.972± 1.425	30.210± 0.156	28.187± 0.186	29.966± 1.666	25.449± 0.140	28.587
	N%	0.924± 0.238	1.304± 0.005	1.107± 0.181	1.135± 0.156	0.882± 0.001	0.937± 0.101	1.261± 0.069	1.060± 0.045	1.232± 0.001	1.093± 0.003	0.966± 0.025	1.381± 0.091	1.107
	P%	0.087± 0.005	0.072± 0.004	0.081± 0.023	0.081± 0.001	0.046± 0.003	0.054± 0.004	0.077± 0.001	0.109± 0.030	0.092± 0.001	0.079± 0.001	0.070± 0.000	0.126± 0.005	0.081
	C%	41.343± 0.365	38.293± 0.187	40.479± 1.193	41.177± 0.433	41.365± 1.790	39.659± 0.415	39.949± 0.709	40.641± 0.185	40.953± 0.458	40.551± 0.253	39.285± 1.170	42.053± 0.379	40.479
枝條	K%	0.872± 0.000	0.620± 0.033	0.764± 0.335	0.374± 0.017	0.598± 0.006	1.629± 0.095	0.664± 0.036	1.055± 0.010	0.663± 0.008	0.555± 0.010	0.527± 0.017	0.845± 0.057	0.764
	Ca%	0.951± 0.071	0.694± 0.085	0.845± 0.181	0.832± 0.137	0.597± 0.094	1.265± 0.124	0.822± 0.027	0.788± 0.118	0.964± 0.111	0.785± 0.008	0.812± 0.041	0.784± 0.071	0.845
	Mg%	0.237± 0.008	0.222± 0.007	0.235± 0.039	0.196± 0.021	0.160± 0.002	0.295± 0.010	0.260± 0.009	0.231± 0.006	0.283± 0.005	0.226± 0.001	0.205± 0.004	0.264± 0.006	0.235
	C/N	46.351± 12.344	29.371± 0.258	37.582± 6.739	36.587± 4.637	46.888± 2.079	42.576± 5.035	31.724± 1.175	38.372± 1.806	33.248± 0.349	37.095± 0.126	40.661± 0.180	30.530± 2.282	37.582

(接下頁)

表 1. 惠蓀林場天然闊葉林不同月份 (1998/9~1999/8) 枯落物的養分濃度

Table 1. The nutrient concentration of litterfall collected from natural hardwood stand at Hue-Sun forest station. (1998/9~1999/8)

	98/09	98/10	98/11	98/12	99/01	99/02	99/03	99/04	99/05	99/06	99/07	99/08	平均
天然闊葉林													
N%	2.149± 0.116	1.945± 0.052	1.791± 0.440	1.464± 0.071	0.893± 0.044	1.710± 0.153	2.384± 0.087	2.458± 0.078	1.760± 0.055	1.690± 0.049	1.463± 0.022	1.786± 0.177	1.791
P%	0.173± 0.002	0.186± 0.001	0.207± 0.054	0.234± 0.008	0.102± 0.000	0.153± 0.004	0.262± 0.017	0.276± 0.001	0.194± 0.005	0.239± 0.001	0.179± 0.003	0.273± 0.011	0.207
C%	39.132± 0.102	39.306± 0.974	40.853± 1.185	42.044± 0.060	41.797± 0.199	40.789± 1.423	41.921± 0.405	39.688± 0.069	41.036± 0.883	41.491± 1.300	40.609± 1.145	41.568± 0.381	40.853
繁殖體 K%	1.643± 0.004	1.235± 0.006	1.305± 0.482	1.223± 0.020	1.366± 0.002	2.197± 0.000	1.702± 0.029	1.789± 0.055	0.698± 0.006	0.632± 0.002	0.832± 0.000	1.039± 0.055	1.305
Ca%	0.969± 0.192	0.761± 0.072	0.489± 0.248	0.271± 0.002	0.171± 0.021	0.307± 0.033	0.347± 0.045	0.507± 0.014	0.439± 0.014	0.582± 0.166	0.333± 0.008	0.696± 0.211	0.489
Mg%	0.297± 0.010	0.235± 0.002	0.248± 0.043	0.221± 0.004	0.194± 0.009	0.234± 0.001	0.246± 0.005	0.351± 0.006	0.221± 0.001	0.230± 0.001	0.222± 0.006	0.273± 0.008	0.248
C/N	18.239± 1.028	20.208± 0.044	24.617± 8.257	28.750± 1.347	46.834± 2.065	23.908± 1.307	17.599± 0.810	16.157± 0.482	23.339± 1.228	24.577± 1.485	27.773± 1.197	23.401± 2.533	24.617
N%	2.067± 0.131	2.195± 0.058	2.294± 0.230	2.291± 0.088	1.946± 0.010	2.442± 0.060	2.408± 0.143	2.781± 0.003	2.479± 0.070	2.130± 0.022	2.285± 0.002	2.209± 0.069	2.294
P%	0.232± 0.016	0.188± 0.005	0.255± 0.054	0.256± 0.000	0.228± 0.002	0.256± 0.009	0.297± 0.020	0.349± 0.003	0.337± 0.007	0.221± 0.007	0.196± 0.074	0.245± 0.001	0.255
C%	38.821± 0.334	38.819± 1.592	40.274± 1.565	42.187± 0.103	39.131± 1.587	39.013± 0.018	40.764± 0.794	38.903± 1.029	40.318± 0.327	41.538± 0.727	41.002± 1.907	42.512± 0.464	40.274
其他 K%	1.262± 0.024	0.824± 0.008	0.938± 0.282	0.723± 0.024	1.212± 0.015	1.300± 0.043	0.911± 0.018	1.353± 0.038	0.779± 0.010	0.626± 0.050	0.752± 0.052	0.579± 0.006	0.938
Ca%	0.999± 0.058	0.908± 0.095	1.002± 0.265	1.138± 0.021	1.261± 0.143	1.631± 0.220	0.754± 0.049	0.911± 0.092	0.974± 0.143	0.832± 0.020	0.752± 0.059	0.861± 0.109	1.002
Mg%	0.276± 0.007	0.227± 0.005	0.260± 0.035	0.245± 0.003	0.263± 0.001	0.229± 0.002	0.253± 0.006	0.352± 0.007	0.276± 0.005	0.230± 0.004	0.234± 0.006	0.275± 0.001	0.260
C/N	18.818± 1.029	17.697± 1.194	17.720± 1.834	18.424± 0.660	20.107± 0.915	15.979± 0.403	16.949± 0.673	13.989± 0.355	16.268± 0.329	19.499± 0.141	17.942± 0.822	19.248± 0.388	17.72
N%	1.645	1.736	1.655	1.602	1.296	1.599	1.868	1.919	1.693	1.593	1.505	1.753	1.655
P%	0.151	0.136	0.164	0.174	0.116	0.132	0.185	0.217	0.185	0.165	0.142	0.195	0.163
C%	40.081	39.272	40.576	41.629	40.858	40.164	41.041	39.776	40.406	41.167	39.999	41.941	40.576
平均 K%	1.223	0.928	0.992	0.812	1.091	1.602	1.038	1.251	0.720	0.668	0.728	0.851	0.992
Ca%	0.972	0.815	0.826	0.802	0.830	1.118	0.781	0.792	0.787	0.732	0.616	0.844	0.826
Mg%	0.270	0.241	0.253	0.240	0.226	0.265	0.251	0.302	0.254	0.230	0.230	0.275	0.253

表 2. 惠蓀林場杉木人工林不同月份 (1998/9~1999/8) 枯落物的養分濃度

Table 2. The nutrient concentration of litterfall collected from China-fir plantation at Hue-Sun forest station. (1998/9~1999/8)

	98/09	98/10	98/11	98/12	99/01	99/02	99/03	99/04	99/05	99/06	99/07	99/08	平均
杉木人工林													
N%	1.022± 0.012	0.808± 0.001	1.156± 0.176	1.255± 0.013	1.180± 0.019	1.289± 0.098	1.386± 0.002	1.320± 0.027	1.232± 0.001	0.969± 0.024	1.004± 0.021	1.249± 0.016	1.156
P%	0.089± 0.005	0.066± 0.003	0.087± 0.015	0.097± 0.014	0.061± 0.000	0.074± 0.026	0.097± 0.002	0.088± 0.001	0.087± 0.001	0.093± 0.001	0.099± 0.002	0.104± 0.002	0.087
C%	42.424± 0.286	42.273± 2.449	43.070± 1.331	43.210± 0.930	43.460± 0.203	43.585± 2.977	42.829± 0.422	44.818± 1.256	41.906± 1.135	41.833± 0.189	44.322± 0.356	43.108± 0.176	43.070
葉部 K%	0.432± 0.043	0.451± 0.006	0.566± 0.250	0.464± 0.025	1.290± 0.001	0.665± 0.139	0.587± 0.001	0.531± 0.093	0.393± 0.021	0.435± 0.025	0.504± 0.010	0.471± 0.005	0.566
Ca%	0.469± 0.004	0.503± 0.069	0.612± 0.164	0.513± 0.026	0.838± 0.199	0.862± 0.081	0.634± 0.044	0.575± 0.046	0.687± 0.132	0.468± 0.013	0.419± 0.023	0.766± 0.023	0.612
Mg%	0.187± 0.008	0.200± 0.003	0.211± 0.048	0.203± 0.008	0.344± 0.002	0.199± 0.034	0.217± 0.000	0.169± 0.001	0.179± 0.003	0.187± 0.002	0.189± 0.010	0.243± 0.008	0.211
C/N	41.528± 0.751	52.346± 3.125	38.149± 6.291	34.430± 0.373	36.841± 0.436	33.832± 0.255	30.893± 0.348	33.940± 0.263	34.004± 0.897	43.161± 0.869	44.153± 0.585	34.506± 0.305	38.149
枝條													
N%	0.835± 0.115	0.601± 0.001	0.856± 0.212	0.953± 0.005	1.308± 0.082	0.627± 0.076	0.933± 0.017	0.898± 0.024	1.057± 0.001	0.633± 0.001	0.686± 0.026	0.889± 0.004	0.856
P%	0.061± 0.001	0.042± 0.000	0.070± 0.017	0.083± 0.000	0.090± 0.010	0.051± 0.021	0.078± 0.001	0.076± 0.001	0.083± 0.001	0.056± 0.000	0.065± 0.002	0.088± 0.003	0.070
C%	42.746± 0.247	37.821± 0.436	41.435± 1.608	43.194± 0.000	41.146± 0.831	41.146± 0.831	41.281± 0.896	41.232± 0.796	41.358± 0.100	40.191± 0.999	42.220± 0.980	43.455± 0.758	41.435
K%	0.404± 0.009	0.418± 0.003	0.469± 0.178	0.333± 0.017	0.848± 0.082	0.359± 0.067	0.795± 0.014	0.342± 0.016	0.400± 0.021	0.341± 0.039	0.452± 0.020	0.468± 0.016	0.469
Ca%	0.282± 0.019	0.369± 0.005	0.370± 0.105	0.262± 0.030	0.484± 0.056	0.397± 0.117	0.530± 0.010	0.472± 0.065	0.354± 0.021	0.340± 0.049	0.192± 0.013	0.390± 0.044	0.370
Mg%	0.148± 0.007	0.185± 0.001	0.178± 0.028	0.152± 0.013	0.149± 0.004	0.199± 0.016	0.205± 0.008	0.153± 0.007	0.154± 0.003	0.197± 0.003	0.186± 0.006	0.231± 0.005	0.178
C/N	51.674± 7.412	62.917± 0.614	50.981± 11.312	45.321± 0.257	31.544± 2.620	66.195± 9.378	44.255± 0.171	45.904± 0.355	39.134± 0.150	63.445± 1.443	61.537± 0.891	48.871± 0.643	50.982

(接下頁)

表 2. 惠蓀林場杉木人工林不同月份 (1998/9~1999/8) 枯落物的養分濃度

Table 2. The nutrient concentration of litterfall collected from China-fir plantation at Hue-Sun forest station (1998/9~1999/8)

	98/09	98/10	98/11	98/12	99/01	99/02	99/03	99/04	99/05	99/06	99/07	99/08	平均
杉木人工林													
N%	2.225± 0.072	0.864± 0.026	1.281± 0.353	1.549± 0.054	1.228± 0.004	1.348± 0.000	1.134± 0.046	1.272± 0.000	1.191± 0.042	1.007± 0.022	1.216± 0.026	1.059± 0.054	1.281
P%	0.206± 0.069	0.052± 0.001	0.126± 0.059	0.233± 0.004	0.184± 0.001	0.107± 0.000	0.104± 0.006	0.124± 0.000	0.102± 0.002	0.056± 0.007	0.119± 0.000	0.101± 0.003	0.126
C%	42.002± 2.055	40.406± 4.870	41.955± 1.654	42.044± 0.060	40.812± 1.293	40.812± 1.293	42.750± 0.131	42.750± 0.131	40.812± 1.293	42.971± 1.071	42.817± 0.198	43.322± 0.881	41.954
繁殖體 K%	1.005± 0.013	0.415± 0.022	0.605± 0.299	0.484± 0.041	0.703± 0.014	1.202± 0.000	0.457± 0.036	0.926± 0.000	0.295± 0.001	0.403± 0.016	0.354± 0.020	0.410± 0.017	0.605
Ca%	0.645± 0.010	0.147± 0.003	0.246± 0.150	0.302± 0.012	0.224± 0.060	0.115± 0.000	0.337± 0.067	0.090± 0.000	0.211± 0.026	0.172± 0.006	0.248± 0.003	0.215± 0.014	0.246
Mg%	0.228± 0.004	0.141± 0.002	0.185± 0.051	0.195± 0.000	0.165± 0.014	0.296± 0.000	0.219± 0.019	0.218± 0.000	0.117± 0.005	0.148± 0.001	0.153± 0.002	0.159± 0.005	0.185
C/N	18.871± 0.310	46.681± 4.220	34.605± 7.554	27.154± 0.908	33.235± 1.170	30.272± 0.959	37.731± 1.648	33.609± 0.103	34.261± 0.132	42.682± 0.141	35.209± 0.597	40.949± 1.258	34.605
其他													
N%	1.863± 0.004	1.254± 0.025	1.717± 0.220	1.774± 0.075	2.098± 0.025	1.920± 0.029	1.794± 0.022	1.667± 0.021	1.688± 0.052	1.477± 0.049	1.640± 0.020	1.716± 0.067	1.717
P%	0.159± 0.001	0.108± 0.001	0.139± 0.025	0.158± 0.002	0.120± 0.013	0.133± 0.042	0.173± 0.005	0.168± 0.005	0.127± 0.005	0.109± 0.001	0.127± 0.002	0.148± 0.005	0.139
C%	43.534± 0.000	41.383± 0.416	42.133± 1.702	39.227± 5.003	41.191± 0.184	41.191± 0.184	42.562± 0.068	42.562± 0.068	42.038± 0.426	43.781± 0.120	42.767± 0.513	43.227± 0.476	42.133
K%	0.713± 0.043	0.475± 0.011	0.543± 0.123	0.449± 0.009	0.636± 0.005	0.712± 0.096	0.546± 0.026	0.686± 0.130	0.430± 0.010	0.454± 0.003	0.468± 0.049	0.408± 0.003	0.543
Ca%	2.982± 3.487	0.342± 0.017	0.584± 1.091	0.260± 0.004	0.276± 0.017	0.388± 0.129	0.466± 0.127	0.475± 0.124	0.375± 0.005	0.322± 0.011	0.206± 0.008	0.335± 0.032	0.584
Mg%	0.248± 0.094	0.342± 0.017	0.180± 0.067	0.134± 0.003	0.157± 0.002	0.153± 0.026	0.153± 0.029	0.197± 0.037	0.130± 0.006	0.143± 0.001	0.141± 0.000	0.185± 0.001	0.180
C/N	23.368± 0.056	32.995± 0.326	24.969± 3.713	22.076± 1.893	19.631± 0.148	21.460± 0.422	23.729± 0.252	25.531± 0.280	24.918± 0.517	29.650± 0.896	26.086± 0.636	25.220± 1.264	24.969
平均													
N%	1.486	0.882	1.253	1.383	1.454	1.296	1.312	1.289	1.292	1.022	1.137	1.228	1.253
P%	0.129	0.067	0.106	0.143	0.114	0.091	0.113	0.114	0.100	0.079	0.103	0.110	0.106
C%	42.677	40.471	42.148	41.919	41.652	41.684	42.356	42.841	41.529	42.194	43.032	43.278	42.148
K%	0.639	0.440	0.546	0.433	0.869	0.735	0.596	0.621	0.380	0.408	0.445	0.439	0.546
Ca%	1.095	0.340	0.453	0.334	0.456	0.441	0.492	0.403	0.407	0.326	0.266	0.427	0.453
Mg%	0.203	0.217	0.189	0.171	0.204	0.212	0.199	0.184	0.145	0.169	0.167	0.205	0.189

表 3. 惠蓀林場次生闊葉林不同月份 (1998/9~1999/8) 枯落物的養分濃度

Table 3. The nutrient concentration of litterfall collected from secondary hardwood stand at Hue-Sun forest station .(1998/9~1999/8)

	98/09	98/10	98/11	98/12	99/01	99/02	99/03	99/04	99/05	99/06	99/07	99/08	平均
次生闊葉林													
N%	1.311± 0.001	1.240± 0.000	1.202± 0.115	1.278± 0.062	1.258± 0.034	1.190± 0.055	1.257± 0.030	0.951± 0.050	1.005± 0.023	1.233± 0.001	1.252± 0.025	1.244± 0.042	1.202
P%	0.081± 0.002	0.061± 0.004	0.070± 0.016	0.087± 0.005	0.050± 0.000	0.037± 0.005	0.079± 0.007	0.072± 0.002	0.072± 0.000	0.061± 0.002	0.083± 0.001	0.090± 0.001	0.070
C%	40.863± 0.072	41.312± 1.161	40.625± 1.620	42.258± 0.470	39.837± 0.501	41.640± 0.279	42.457± 1.308	36.993± 0.428	39.743± 0.253	40.349± 0.519	39.806± 1.785	41.613± 0.091	40.625
葉部 K%	0.775± 0.012	0.740± 0.003	0.822± 0.173	0.725± 0.013	1.116± 0.007	1.228± 0.055	0.727± 0.012	0.761± 0.035	0.705± 0.000	0.790± 0.018	0.735± 0.008	0.741± 0.057	0.822
Ca%	0.408± 0.010	0.379± 0.005	0.383± 0.050	0.440± 0.013	0.379± 0.013	0.389± 0.032	0.397± 0.002	0.338± 0.006	0.381± 0.054	0.445± 0.001	0.271± 0.042	0.384± 0.008	0.383
Mg%	0.313± 0.007	0.379± 0.005	0.285± 0.013	0.282± 0.002	0.253± 0.003	0.249± 0.002	0.256± 0.001	0.231± 0.008	0.234± 0.001	0.246± 0.003	0.253± 0.008	0.285± 0.013	0.272
C/N	31.177± 0.077	33.313± 0.948	34.058± 2.883	33.102± 1.227	31.677± 1.255	35.038± 1.395	33.808± 1.847	38.955± 1.618	39.559± 1.150	32.725± 0.398	31.818± 2.060	33.468± 1.064	34.058
枝條													
N%	1.106± 0.004	0.882± 0.001	0.992± 0.380	0.849± 0.047	1.180± 0.026	0.766± 0.148	0.795± 0.026	0.722± 0.025	2.082± 0.052	0.776± 0.004	0.880± 0.000	0.879± 0.008	0.992
P%	0.064± 0.015	0.034± 0.004	0.063± 0.049	0.056± 0.000	0.073± 0.032	0.033± 0.008	0.048± 0.011	0.047± 0.001	0.208± 0.005	0.031± 0.008	0.051± 0.000	0.050± 0.002	0.063
C%	41.461± 0.483	38.967± 1.585	40.909± 1.488	42.159± 1.320	39.789± 0.612	42.239± 0.592	41.002± 1.746	39.541± 1.315	42.085± 0.673	41.833± 1.413	39.389± 1.712	41.529± 0.418	40.909
K%	0.621± 0.021	0.450± 0.006	0.650± 0.243	0.575± 0.039	0.967± 0.026	1.141± 0.101	0.510± 0.001	0.723± 0.002	0.872± 0.010	0.390± 0.005	0.509± 0.006	0.396± 0.012	0.650
Ca%	0.373± 0.016	0.490± 0.001	0.375± 0.074	0.422± 0.070	0.424± 0.013	0.337± 0.012	0.275± 0.025	0.344± 0.046	0.236± 0.009	0.425± 0.003	0.385± 0.023	0.413± 0.023	0.375
Mg%	0.206± 0.007	0.490± 0.001	0.209± 0.015	0.223± 0.004	0.226± 0.005	0.225± 0.010	0.186± 0.010	0.235± 0.005	0.253± 0.005	0.170± 0.002	0.269± 0.001	0.209± 0.015	0.242
C/N	37.501± 0.558	44.179± 1.765	44.893± 10.878	49.690± 1.179	33.735± 0.217	56.233± 11.597	51.552± 0.521	54.782± 0.068	20.215± 0.183	53.933± 1.574	44.781± 1.962	47.224± 0.041	44.893

(接下頁)

表 3. 惠蓀林場次生闊葉林不同月份 (1998/9~1999/8) 枯落物的養分濃度

Table 3. The nutrient concentration of litterfall collected from secondary hardwood stand at Hue-Sun forest station .(1998/9~1999/8)

	98/09	98/10	98/11	98/12	99/01	99/02	99/03	99/04	99/05	99/06	99/07	99/08	平均
次生闊葉林													
N%	1.442± 0.128	1.097± 0.004	1.571± 0.268	1.760± 0.008	1.757± 0.055	2.109± 0.219	1.558± 0.062	1.391± 0.027	1.780± 0.022	1.464± 0.026	1.425± 0.026	1.492± 0.068	1.571
P%	0.138± 0.000	0.104± 0.002	0.149± 0.035	0.201± 0.003	0.193± 0.002	0.159± 0.010	0.199± 0.005	0.134± 0.003	0.160± 0.003	0.104± 0.003	0.121± 0.001	0.125± 0.005	0.149
C%	42.044± 0.144	41.991± 0.154	41.508± 1.345	42.029± 0.130	40.965± 1.710	41.509± 1.384	42.688± 1.655	38.651± 0.790	40.406± 0.930	41.940± 0.146	41.497± 0.989	42.866± 0.310	41.508
繁殖體 K%	0.637± 0.029	0.829± 0.016	0.854± 0.258	0.774± 0.004	1.185± 0.001	1.337± 0.044	1.150± 0.037	0.861± 0.002	0.610± 0.023	0.490± 0.027	0.732± 0.004	0.789± 0.002	0.854
Ca%	0.510± 0.103	0.221± 0.007	0.286± 0.094	0.186± 0.011	0.311± 0.017	0.338± 0.043	0.314± 0.046	0.223± 0.026	0.214± 0.007	0.266± 0.005	0.238± 0.038	0.327± 0.062	0.286
Mg%	0.269± 0.002	0.221± 0.007	0.243± 0.005	0.207± 0.001	0.219± 0.002	0.285± 0.003	0.278± 0.015	0.263± 0.010	0.292± 0.003	0.204± 0.001	0.234± 0.003	0.243± 0.005	0.247
C/N	29.276± 2.508	38.269± 0.263	27.184± 4.853	23.873± 0.028	23.311± 0.248	19.823± 2.714	27.441± 2.159	27.794± 1.114	22.701± 0.800	28.657± 0.619	29.127± 0.165	28.750± 1.099	27.184
其他													
N%	1.757± 0.025	1.725± 0.098	1.875± 0.450	2.139± 0.064	1.923± 0.031	2.533± 0.313	2.321± 0.012	1.831± 0.054	0.757± 0.024	1.926± 0.020	1.674± 0.073	2.039± 0.067	1.875
P%	0.123± 0.002	0.115± 0.004	0.152± 0.053	0.191± 0.010	0.128± 0.004	0.241± 0.030	0.220± 0.005	0.183± 0.000	0.047± 0.005	0.142± 0.002	0.134± 0.001	0.153± 0.003	0.152
C%	42.100± 0.748	41.343± 0.181	41.082± 2.320	41.034± 0.627	38.981± 4.518	39.661± 2.877	43.289± 0.296	36.688± 1.143	41.572± 0.116	42.480± 1.367	41.380± 1.161	43.371± 0.530	41.082
K%	0.634± 0.035	0.662± 0.008	0.773± 0.272	0.695± 0.014	1.246± 0.034	1.326± 0.140	0.765± 0.020	0.804± 0.026	0.583± 0.010	0.764± 0.194	0.549± 0.011	0.475± 0.002	0.773
Ca%	0.315± 0.030	0.310± 0.082	0.370± 0.071	0.451± 0.066	0.415± 0.014	0.506± 0.008	0.351± 0.004	0.373± 0.012	0.342± 0.029	0.354± 0.008	0.285± 0.010	0.372± 0.084	0.370
Mg%	0.212± 0.004	0.310± 0.082	0.231± 0.003	0.221± 0.000	0.330± 0.004	0.229± 0.001	0.225± 0.006	0.255± 0.011	0.247± 0.004	0.233± 0.007	0.235± 0.005	0.231± 0.003	0.247
C/N	23.967± 0.768	24.005± 1.255	24.091± 10.370	19.195± 0.864	20.251± 2.021	15.850± 3.093	18.649± 0.223	20.042± 0.029	54.955± 1.596	22.052± 0.479	24.762± 1.773	21.275± 0.442	24.091
N%	1.404	1.236	1.410	1.507	1.530	1.650	1.483	1.224	1.406	1.350	1.308	1.414	1.410
P%	0.102	0.079	0.109	0.134	0.111	0.118	0.137	0.109	0.122	0.085	0.097	0.105	0.109
C%	41.617	40.903	41.031	41.870	39.893	41.262	42.359	37.968	40.952	41.651	40.518	42.345	41.031
K%	0.667	0.670	0.775	0.692	1.129	1.258	0.788	0.787	0.693	0.609	0.631	0.600	0.775
Ca%	0.402	0.350	0.354	0.375	0.382	0.393	0.335	0.320	0.293	0.373	0.295	0.374	0.354
Mg%	0.250	0.350	0.242	0.233	0.257	0.247	0.236	0.246	0.257	0.213	0.248	0.242	0.252

表 4. 惠蓀林場天然闊葉林不同月份 (1998.9~1999.8) 的枯落物之養分迴歸量 (kg/ha)

Table 4. The monthly nutrient recycled amount (kg/ha) of litterfall collected from natural hardwood stand at Hue-Sun forest station .(1998/9~1999/8)

	98/09	98/10	98/11	98/12	99/01	99/02	99/03	99/04	99/05	99/06	99/07	99/08	Total
N	3.522	5.594	2.534	2.978	2.765	3.260	8.694	6.338	5.349	5.763	4.454	4.607	55.859
P	0.277	0.358	0.197	0.240	0.167	0.161	0.644	0.606	0.482	0.480	0.415	0.386	4.414
葉部 C	100.155	151.914	72.158	80.611	77.792	102.781	254.440	183.644	161.598	162.456	133.490	117.227	1598.265
K	2.725	3.851	1.704	1.818	2.248	3.200	5.360	3.718	3.039	3.401	2.730	2.657	36.450
Ca	2.366	3.352	1.718	1.897	2.442	3.170	7.357	4.433	3.168	2.886	1.940	2.910	37.637
Mg	0.662	1.039	0.479	0.582	0.545	0.756	1.492	1.268	0.979	0.919	0.883	0.808	10.413
N	0.689	2.767	0.820	2.904	0.897	1.549	1.867	0.756	0.667	3.026	2.060	0.825	18.826
P	0.065	0.152	0.060	0.208	0.047	0.089	0.114	0.078	0.050	0.219	0.149	0.075	1.305
枝條 C	30.834	81.257	30.003	105.330	42.069	65.517	59.164	28.977	22.184	112.244	83.755	25.114	686.448
K	0.651	1.317	0.566	0.957	0.608	2.690	0.983	0.752	0.359	1.535	1.124	0.504	12.047
Ca	0.710	1.472	0.626	2.127	0.608	2.090	1.218	0.562	0.522	2.172	1.732	0.468	14.307
Mg	0.177	0.471	0.174	0.501	0.163	0.487	0.386	0.165	0.153	0.626	0.438	0.158	3.898
N	3.176	3.316	0.337	0.894	0.662	0.770	4.039	2.976	1.670	0.743	0.522	1.060	20.164
P	0.256	0.317	0.039	0.143	0.076	0.069	0.444	0.334	0.184	0.105	0.064	0.162	2.193
繁殖體 C	57.837	67.016	7.693	25.659	30.946	18.363	71.015	48.062	38.947	18.248	14.494	24.666	422.946
K	2.428	2.107	0.246	0.746	1.012	0.989	2.883	2.166	0.662	0.278	0.297	0.617	14.430
Ca	1.432	1.297	0.092	0.165	0.127	0.138	0.588	0.614	0.417	0.256	0.119	0.413	5.657
Mg	0.438	0.400	0.047	0.135	0.144	0.106	0.417	0.425	0.210	0.101	0.079	0.162	2.664
N	0.991	1.046	0.411	0.353	0.296	0.350	0.938	0.557	0.792	1.354	1.269	1.090	9.447
P	0.111	0.090	0.046	0.039	0.035	0.037	0.116	0.070	0.108	0.141	0.109	0.121	1.021
其他 C	18.615	18.497	7.221	6.493	5.948	5.583	15.886	7.788	12.878	26.410	22.764	20.976	169.058
K	0.605	0.393	0.168	0.111	0.184	0.186	0.355	0.271	0.249	0.398	0.418	0.286	3.625
Ca	0.479	0.433	0.180	0.175	0.192	0.233	0.294	0.183	0.311	0.529	0.417	0.425	3.850
Mg	0.132	0.108	0.047	0.038	0.040	0.033	0.098	0.070	0.088	0.146	0.130	0.136	1.067
N	8.378	12.723	4.102	7.129	4.620	5.929	15.538	10.627	8.478	10.886	8.305	7.582	104.296
P	0.709	0.917	0.342	0.630	0.325	0.356	1.318	1.088	0.824	0.945	0.737	0.744	8.933
月總量 C	207.441	318.684	117.075	218.093	156.755	192.244	400.505	268.471	235.607	319.358	254.503	187.983	2876.717
K	6.409	7.668	2.684	3.632	4.052	7.065	9.581	6.907	4.309	5.612	4.569	4.064	66.552
Ca	4.987	6.554	2.616	4.364	3.369	5.631	9.457	5.792	4.418	5.843	4.208	4.216	61.451
Mg	1.409	2.018	0.747	1.256	0.892	1.382	2.393	1.928	1.430	1.792	1.530	1.264	18.042

表 5. 惠蓀林場杉木人工林不同月份 (1998.9~1999.8) 的枯落物之養分迴歸量 (kg/ha)
 Table 5. The monthly nutrient recycled amount (kg/ha) of litterfall collected from China-fir plantation stand at Hue-Sun forest station. (1998/9~1999/8)

	98/09	98/10	98/11	98/12	99/01	99/02	99/03	99/04	99/05	99/06	99/07	99/08	Total
N	0.707	12.478	0.089	0.106	0.186	0.587	0.961	0.644	0.621	5.542	1.573	1.662	25.154
P	0.062	1.020	0.007	0.008	0.010	0.034	0.067	0.043	0.044	0.531	0.155	0.139	2.119
葉部 C	29.361	653.120	3.317	3.634	6.841	19.857	29.672	21.871	21.116	239.119	69.452	57.333	1154.694
K	0.299	6.967	0.044	0.039	0.203	0.303	0.407	0.259	0.198	2.484	0.791	0.627	12.621
Ca	0.325	7.769	0.047	0.043	0.132	0.393	0.439	0.281	0.346	2.674	0.657	1.018	14.124
Mg	0.129	3.092	0.016	0.017	0.054	0.091	0.150	0.083	0.090	1.070	0.297	0.323	5.413
N	0.068	4.982	0.008	0.039	0.051	0.176	0.157	0.210	0.102	1.878	0.706	0.363	8.739
P	0.005	0.348	0.001	0.003	0.004	0.014	0.013	0.018	0.008	0.165	0.067	0.036	0.681
枝條 C	3.463	313.426	0.377	1.750	1.600	11.574	6.956	9.615	3.989	119.168	43.444	17.738	533.101
K	0.033	3.460	0.004	0.014	0.033	0.101	0.134	0.080	0.039	1.012	0.465	0.191	5.565
Ca	0.023	3.061	0.003	0.011	0.019	0.112	0.089	0.110	0.034	1.007	0.198	0.159	4.826
Mg	0.012	1.533	0.002	0.006	0.006	0.056	0.035	0.036	0.015	0.586	0.192	0.094	2.571
N	2.024	1.801	0.015	0.050	0.077	0.125	0.085	0.021	0.039	0.703	0.103	0.287	5.330
P	0.187	0.109	0.002	0.008	0.011	0.010	0.008	0.002	0.003	0.039	0.010	0.027	0.416
繁殖體 C	38.210	84.206	0.504	1.363	2.542	3.779	3.191	0.707	1.340	30.007	3.618	11.723	181.188
K	0.914	0.866	0.007	0.016	0.044	0.111	0.034	0.015	0.010	0.282	0.030	0.111	2.439
Ca	0.587	0.306	0.003	0.010	0.014	0.011	0.025	0.002	0.007	0.120	0.021	0.058	1.163
Mg	0.207	0.294	0.002	0.006	0.010	0.027	0.016	0.004	0.004	0.104	0.013	0.043	0.731
N	0.198	0.521	0.060	0.073	0.065	0.194	0.149	0.056	0.102	0.392	0.212	0.234	2.254
P	0.017	0.045	0.005	0.007	0.004	0.014	0.014	0.006	0.008	0.029	0.017	0.020	0.183
其他 C	4.636	17.195	1.475	1.604	1.271	4.160	3.529	1.419	2.530	11.602	5.526	5.888	60.834
K	0.076	0.197	0.019	0.018	0.020	0.072	0.045	0.023	0.026	0.120	0.061	0.056	0.733
Ca	0.318	0.142	0.020	0.011	0.009	0.039	0.039	0.016	0.023	0.085	0.027	0.046	0.773
Mg	0.026	0.142	0.006	0.006	0.005	0.015	0.013	0.007	0.008	0.038	0.018	0.025	0.309
N	2.997	19.782	0.172	0.268	0.379	1.082	1.352	0.931	0.864	8.515	2.594	2.546	41.477
P	0.271	1.522	0.015	0.026	0.029	0.072	0.102	0.069	0.063	0.764	0.249	0.222	3.399
月總量 C	75.670	1067.947	5.673	8.351	12.254	39.370	43.348	33.612	28.975	399.896	122.040	92.682	1929.817
K	1.322	11.490	0.074	0.087	0.300	0.587	0.620	0.377	0.273	3.898	1.347	0.985	21.358
Ca	1.253	11.278	0.073	0.075	0.174	0.555	0.592	0.409	0.410	3.886	0.903	1.281	20.886
Mg	0.374	5.061	0.026	0.035	0.075	0.189	0.214	0.130	0.117	1.798	0.520	0.485	9.024

表 6. 惠蓀林場次生闊葉林不同月份 (1998.9~1999.8) 的枯落物之養分迴歸量 (kg/ha)
 Table 6. The monthly nutrient recycled amount (kg/ha) of litterfall collected from secondary hardwood stand at Hue-Sun forest station .(1998/9~1999/8)

	98/09	98/10	98/11	98/12	99/01	99/02	99/03	99/04	99/05	99/06	99/07	99/08	Total
N	2.337	5.268	1.528	1.970	1.451	2.911	6.181	3.736	5.760	8.974	5.347	3.556	49.018
P	0.145	0.258	0.090	0.134	0.058	0.092	0.386	0.284	0.414	0.446	0.356	0.256	2.919
葉部 C	72.858	175.492	51.675	65.162	45.932	101.893	208.844	145.383	227.764	293.661	170.011	118.931	1677.607
K	1.381	3.145	1.046	1.119	1.287	3.006	3.574	2.990	4.038	5.747	3.141	2.118	32.590
Ca	0.727	1.609	0.487	0.678	0.437	0.953	1.955	1.328	2.186	3.242	1.156	1.097	15.855
Mg	0.558	1.609	0.362	0.434	0.292	0.610	1.261	0.909	1.344	1.793	1.081	0.813	11.067
N	0.510	3.469	0.284	0.168	0.135	0.123	0.726	0.317	2.507	5.823	1.305	1.078	16.446
P	0.029	0.134	0.018	0.011	0.008	0.005	0.044	0.021	0.250	0.233	0.076	0.062	0.892
枝條 C	19.130	153.257	11.712	8.339	4.544	6.796	37.451	17.347	50.670	314.085	58.453	50.915	732.700
K	0.286	1.770	0.186	0.114	0.110	0.184	0.466	0.317	1.050	2.925	0.756	0.486	8.650
Ca	0.172	1.928	0.107	0.084	0.048	0.054	0.252	0.151	0.285	3.189	0.572	0.506	7.348
Mg	0.095	1.928	0.060	0.044	0.026	0.036	0.170	0.103	0.305	1.275	0.399	0.256	4.697
N	0.344	1.988	0.165	0.405	0.352	0.162	0.175	0.693	1.008	0.735	0.312	0.582	6.922
P	0.033	0.188	0.016	0.046	0.039	0.012	0.022	0.067	0.091	0.052	0.027	0.049	0.641
繁殖體 C	10.044	76.088	4.354	9.662	8.214	3.190	4.794	19.252	22.886	21.050	9.092	16.718	205.344
K	0.152	1.503	0.090	0.178	0.238	0.103	0.129	0.429	0.346	0.246	0.160	0.308	3.881
Ca	0.122	0.400	0.030	0.043	0.062	0.026	0.035	0.111	0.121	0.133	0.052	0.128	1.263
Mg	0.064	0.400	0.026	0.048	0.044	0.022	0.031	0.131	0.166	0.102	0.051	0.095	1.179
N	0.354	0.803	0.361	0.178	0.056	0.175	0.339	0.220	0.142	1.489	0.543	0.633	5.293
P	0.025	0.054	0.029	0.016	0.004	0.017	0.032	0.022	0.009	0.110	0.043	0.047	0.408
C	8.492	19.254	7.900	3.419	1.132	2.737	6.329	4.399	7.803	32.841	13.428	13.454	121.187
其他 K	0.128	0.308	0.149	0.058	0.036	0.092	0.112	0.096	0.109	0.591	0.178	0.147	2.004
Ca	0.064	0.144	0.071	0.038	0.012	0.035	0.051	0.045	0.064	0.273	0.093	0.115	1.005
Mg	0.043	0.144	0.044	0.019	0.010	0.016	0.033	0.031	0.046	0.180	0.076	0.072	0.713
N	3.545	11.528	2.338	2.721	1.994	3.371	7.421	4.966	9.417	17.021	7.507	5.549	77.679
P	0.232	0.634	0.253	0.207	0.109	0.126	0.484	0.394	0.764	0.841	0.502	0.414	4.860
C	110.524	424.091	75.641	86.582	59.822	114.616	257.418	186.381	309.123	661.637	250.984	200.018	2736.838
月總量 K	1.947	6.726	1.471	1.469	1.671	3.385	4.281	3.832	5.543	9.509	4.235	3.059	47.125
Ca	1.085	4.081	0.695	0.843	0.559	1.068	2.293	1.635	2.656	6.837	1.873	1.846	25.471
Mg	0.760	4.081	0.492	0.545	0.372	0.684	1.495	1.174	1.861	3.350	1.607	1.236	17.656

17.0 kg/ha，為該林分最低輸入量（1 月）的 8.5 倍。全年枯落物磷迴歸量以天然闊葉林 8.93 kg/ha yr 為最高，杉木人工林 3.40 kg/ha yr 最低。三個林分枯落物迴歸量，一年間同樣有雙高峰期，一在 10 月，另一在 3~6 月，以杉木人工林的 10 月磷迴歸量最高達 1.52 kg/ha，為該林分最低迴歸量（11 月）的 101 倍；天然闊葉林在 3 月有最高磷迴歸量達 1.32 kg/ha，為該林分最低迴歸量（1 月）的 4 倍；次生闊葉林在 6 月有最高磷迴歸量達 0.84 kg/ha，為該林分最低迴歸量（1 月）的 7.7 倍。三個林分枯落物鉀迴歸量，一年間同樣有雙高峰期，一在 10 月，另一在 3、6 月，以杉木人工林的 10 月鉀迴歸量最高達 11.49 kg/ha，為該林分最低迴歸量（11 月）的 155 倍；天然闊葉林在 3 月有最高鉀迴歸量達 9.58 kg/ha，為該林分最低迴歸量（11 月）的 3.6 倍；次生闊葉林在 6 月有最高鉀迴歸量達 9.51 kg/ha，為該林分最低迴歸量（1 月）的 6.5 倍。三個林分枯落物鈣迴歸量，一年間同樣有雙高峰期，一在 10 月，另一在 3、6 月，以杉木人工林的 10 月氮迴歸量最高達 11.28 kg/ha，為該林分最低輸入量（11 月）的 154 倍；天然闊葉林在 3 月有最高鈣迴歸量達 9.46 kg/ha，為最低輸入量（11 月）的 3.6 倍，次生闊葉林 10 月有最高鈣迴歸量達 4.08 kg/ha，為該林分最低迴歸量（1 月）的 5.8 倍。三個林分枯落物鎂迴歸量，同樣在 10 月與 3、6 月有雙高峰期，以杉木人工林的 10 月份鎂迴歸量最高達 5.06 kg/ha，為該林分最低迴歸量（11 月）的 195 倍；天然闊葉林在 3 月有最高鎂迴歸量達 2.39 kg/ha，為該林分最低輸入量（11 月）的 3.2 倍；次生闊葉林 10 月有最高鎂迴歸量達 4.08 kg/ha，為該林分最低迴歸量（1 月）的 11 倍。

枯落物碳的迴歸量在三種林分皆以葉部>枝條>繁殖部>其他。氮的迴歸量在次生闊葉林和杉木人工林以葉部>枝條>繁殖部>其

他，天然闊葉林則以葉部>繁殖部>枝條>其他。磷的迴歸量在次生闊葉林和杉木人工林以葉部>枝條>繁殖部>其他，天然闊葉林則以葉部>繁殖部>枝條>其他。鉀的迴歸量在次生闊葉林和杉木人工林以葉部>枝條>繁殖部>其他，天然闊葉林則以葉部>繁殖部>枝條>其他。鈣迴歸量在三種林分皆以葉部>枝條>繁殖部>其他。鎂迴歸量三種林分皆以葉部>枝條>繁殖部>其他。六種檢測的養分全年迴歸量都以天然闊葉林>次生闊葉林>杉木人工林。

以 Pearson 相關雙尾檢定養分濃度和月降雨量及三種林分不同枯落物組成成分的枯落量間的相關分析（表 7），結果顯示月降雨量和枯落物的鉀、鈣養分濃度有顯著的負相關（ $R^2 = -0.735$ 和 $R^2 = -0.582$ ），即當降雨量高時，枯落物所含的鈣和鉀濃度有下降的趨勢。氮濃度和杉木人工林的葉與枝條枯落量有極顯著的負相關（ $R^2 = -0.712$ 和 $R^2 = -0.733$ ），以及次生闊葉林的枝條與繁殖體枯落量有顯著的負相關（ $R^2 = -0.694$ 和 $R^2 = -0.612$ ）；磷濃度則和杉木人工林的葉、枝條、繁殖體枯落量有顯著的負相關（ $R^2 = -0.678$ 、 $R^2 = -0.694$ 和 $R^2 = -0.637$ ）；鎂濃度和杉木人工林的繁殖體枯落量有顯著的負相關（ $R^2 = -0.584$ ）。枯落物養分濃度間的相關檢定（表 8），氮濃度和磷、鈣濃度有顯著的正相關（ $R^2 = 0.759$ 和 $R^2 = 0.581$ ）；鉀濃度和鈣濃度有顯著的正相關（ $R^2 = 0.580$ ）。

四、討論

枯落物各組成分的養分濃度，通常以葉部最高，枝條部分次之（林世宗，1998），唯獨在開花結果時，氮、磷、鉀才有堆積在生殖器官的現象（Scott *et al.*, 1992），本試驗地的三種林分皆有此現象，即繁殖體的氮、磷、鉀濃度高於葉和枝條。天然闊葉林的葉部、繁殖體與

表 7. 養分濃度與月降雨量 (mm) 及枯落成分枯落量間 (kg/ha mo) 相關分析結果

Table 7. The correlation matrix of nutrient concentration with monthly precipitation (mm) and litterfall amount. (kg/ha mo)

	月降雨量	天然闊葉林			杉木人工林			次生闊葉林		
		葉	枝條	繁殖體	葉	枝條	繁殖體	葉	枝條	繁殖體
N	-0.498	0.330	-0.488	0.170	-0.712**	-0.733**	-0.549	-0.391	-0.694*	-0.612*
P	-0.126	0.200	-0.364	0.078	-0.678*	-0.694*	-0.637*	-0.147	-0.527	-0.497
C	0.186	-0.660	0.069	-0.265	-0.366	0.392	-0.290	-0.026	0.027	-0.489
K	-0.735**	-0.222	-0.274	0.051	-0.295	-0.285	-0.208	-0.512	-0.512	-0.325
Ca	-0.582*	-0.221	-0.474	0.346	-0.245	-0.272	0.103	-0.450	-0.374	-0.205
Mg	-0.331	0.002	-0.324	0.559	0.493	0.482	-0.584*	-0.297	-0.200	0.575

註：*表示達 0.05 顯著水準；**表示達 0.01 顯著水準

表 8. 養分濃度 (%) 間相關分析結果

Table 8. The correlation matrix of nutrient concentration.

	C	N	P	K	Ca	Mg
C						
N	0.334					
P	0.319	0.759**				
K	-0.321	0.469	0.079			
Ca	-0.032	0.581*	0.146	0.580*		
Mg	-0.445	0.005	-0.253	0.367	0.421	

註：*表示達 0.05 顯著水準；**表示達 0.01 顯著水準

杉木人工林的枝條、繁殖體和次生闊葉林的所有部位組成分的養分濃度皆為 $C > N > K > Ca > Mg > P$ ，但天然闊葉林的枝條、其他成分以及杉木人工林的葉部與其他成分的養分濃度則為 $C > N > Ca > K > Mg > P$ 。三種林分的繁殖體濃度與棲蘭山闊葉林的繁殖體濃度（林世宗，1998）和霧社、溪頭杉木林的毬果濃度（張峻德和徐正鍾，1987；姜家華和劉興旺，1989），皆有鉀濃度高於鈣濃度的情形，在植物體中，鉀多位於生長旺盛之部位，尤以花粉管、幼芽、幼葉及根尖等部分生組織（易希道，1996），且鉀為可移動性

之離子態，當有結果的情形時，葉部的鉀會被輸送至果實，造成葉部濃度降低，果實中的鉀濃度升高的現象。

本研究結果與棲蘭山森林（林世宗，1998）相比較（表 9），天然闊葉林的繁殖體及其他部位的磷濃度以及葉部的鉀濃度呈較高趨勢，但枝、葉的鈣濃度則較低，其餘的養分濃度皆與棲蘭山闊葉林相近，再與福山闊葉林（林國銓，1997）比較，除了葉部的氮濃度較低之外，其餘養分濃度皆高於福山闊葉林。本研究結果養分濃度也顯著高於南仁山亞熱帶雨林（劉湘搖，1994）。杉木人工

表 9. 本研究結果與不同試驗地枯落物的養分濃度比較

Table 9. The compare of litterfall nutrient concentration in this study to other sites.

地點	林型	區分	枯落物量 t/ha yr	枯落物養分濃度(%)					資料來源	
				C	N	P	K	Ca		Mg
棲蘭山	闊葉林	葉	3.94	1.561	0.080	0.484	1.153	0.303	林, 1998	
		枝	0.56	1.131	0.087	0.534	1.134	0.281		
		花	0.13	1.989	0.116	1.205	0.833	0.317		
		果	0.12	1.916	0.110	0.917	0.621	0.215		
		其他	0.29	2.069	0.114	0.547	1.140	0.225		
霧社	杉木林	葉	3.10-1.79	0.87-1.01	0.09-0.12	0.34-0.16	0.81-0.92	0.22-0.14	張和徐, 1987	
		毳果	0.94-0.84	0.52-0.62	0.07-0.11	0.79-0.57	0.25-0.26	0.14-0.12		
		種子	0.18-0.09	1.55-1.72	0.42-0.65	0.50-0.31	0.55-0.88	0.28-0.24		
		樹皮	0.06-0.08	0.97-1.47	0.11-0.19	0.31-0.25	0.34-0.63	0.11-0.12		
		枝	0.29-0.24	0.24-0.34	0.02-0.04	0.09-0.05	0.41-0.43	0.06-0.08		
		其他	0.94-0.69	1.35-1.67	0.16-0.23	0.77-0.67	0.86-1.57	0.31-0.31		
福山	闊葉林	葉		1.791	0.092	0.330	0.734	0.154	林, 1997	
		小枝		0.947	0.063	0.122	0.474	0.095		
		大枝		0.710	0.051	0.101	0.479	0.063		
		其他		1.879	0.091	0.368	0.788	0.129		
南仁山	亞熱帶雨林	葉	4.10	0.860	0.039	0.430	0.530	0.240	劉, 1994	
惠蓀林場	天然闊葉林	平均值		40.64	1.454	0.126	0.962	0.871	0.258	本研究
		葉	3.93	40.70	1.429	0.111	0.961	0.969	0.270	
		枝	1.73	40.48	1.107	0.081	0.764	0.845	0.235	
		繁殖體	1.03	40.85	1.791	0.207	1.305	0.489	0.248	
		其他	0.41	40.27	2.294	0.255	0.939	1.002	0.260	
	杉木人工林	平均值		42.19	1.052	0.083	0.530	0.492	0.196	
		葉	2.45	43.07	1.156	0.087	0.566	0.612	0.211	
		枝	1.86	41.08	0.857	0.070	0.469	0.370	0.178	
		繁殖體	0.30	41.96	1.281	0.126	0.605	0.246	0.186	
		其他	0.06	42.13	1.717	0.139	0.543	0.584	0.180	
次生闊葉林	平均值		40.79	1.199	0.077	0.775	0.373	0.261		
	葉	4.11	40.63	1.202	0.070	0.822	0.383	0.271		
	枝	1.84	40.91	0.992	0.063	0.650	0.375	0.245		
	繁殖體	0.49	41.51	1.571	0.149	0.854	0.286	0.247		
	其他	0.28	41.08	1.875	0.152	0.733	0.370	0.248		

林的養分濃度與霧社杉木林相比較（張峻德和徐正鍾，1987），枝條部位的鈣濃度較低，其他養分濃度皆高於霧社杉木林，其他成分的養分濃度則有或高或低的差異。次生闊葉林的養分濃度和其他闊葉林相較，氮和鈣濃度有較低的現象，而鉀濃度有較高的情形。

冬末春初時，養分濃度呈現一高峰，可能與此時為植物生長季，進行換葉萌芽與開花，其生理機制旺盛，植物體可能會含有較高的養分濃度。但在 5~7 月時，養分濃度有降低的現象，推測與此時月降雨量較高有關（表7），養分易被雨水淋溶，造成濃度降低的現象。夏末秋初時養分濃度則有另一高峰出現，此時為植物的高覆蓋度時期（周文鄧，1999），漸進入林木生長緩慢期與林木果實發育成熟階段，植體內儲存較高養分濃度，棲

蘭山闊葉林也有相同的情況（林世宗，1998）。

林木聚積的養分，會以落葉和樹冠淋溶方式迴歸，其中氮、磷、鈣、鎂迴歸途徑以枝葉掉落為主，鉀則以冠層淋洗佔高百分比。因為鉀在整個養分循環過程中，不與有機化合物相結合，故不經由礦質化作用自有機物釋放，因此冠層淋洗迴歸之養分移動性高，其循環速率亦較落下枝葉所含之養分快速（程焯兒、沈慈安，1987；吳仲民等，1994；Lovett and Lindbreg, 1984）。將本研究綜合劉瓊霏與許博行（1999）在同一試驗地所測穿落水及幹流水的年輸入量，可得知天然闊葉林中，枯落物的鉀每年迴歸量為 66.55 kg/ha（表10），穿落水及幹流水（以下以淋溶表示）的鉀每年輸入量 46.91 kg/ha，

表 10. 惠蓀林場三種林分枯落物不同組成份輸入量佔養分輸入量的比例

Table 10. The ratio of different litterfall to total nutrient input in three stands at Hue-Sun forest station.

	N		P		K		Ca		Mg	
	(kg/ha)	%	(kg/ha)	%	(kg/ha)	%	(kg/ha)	%	(kg/ha)	%
天然闊葉林										
葉	55.86	53.56	4.41	49.32	36.45	54.77	37.64	61.25	10.41	57.71
枝	18.83	18.05	1.31	14.65	12.05	18.11	14.31	23.29	3.90	21.62
繁殖體	20.16	19.32	2.19	24.50	14.43	21.68	5.66	9.21	2.66	14.75
其他	9.45	9.06	1.02	11.41	3.63	5.45	3.85	6.27	1.07	5.93
合計	104.30	100.00	8.94	100.00	66.55	100.00	61.45	100.00	18.04	100.00
杉木人工林										
葉	25.15	60.63	2.12	62.35	12.62	59.08	14.12	67.59	5.41	59.98
枝	8.74	21.07	0.68	20.00	5.57	26.08	4.83	23.12	2.57	28.49
繁殖體	5.33	12.85	0.42	12.35	2.44	11.42	1.16	5.55	0.73	8.09
其他	2.25	5.42	0.18	5.29	0.73	3.42	0.77	3.69	0.31	3.44
合計	41.48	100.00	3.40	100.00	21.36	100.00	20.89	100.00	9.02	100.00
次生闊葉林										
葉	49.02	63.11	2.92	60.08	32.59	69.15	15.86	62.27	11.07	62.68
枝	16.45	21.18	0.89	18.31	8.65	18.35	7.35	28.86	4.70	26.61
繁殖體	6.92	8.91	0.64	13.17	3.88	8.23	1.26	4.95	1.18	6.68
其他	5.29	6.81	0.41	8.44	2.00	4.24	1.01	3.97	0.71	4.02
合計	77.68	100.00	4.86	100.00	47.13	100.00	25.47	100.00	17.66	100.00

表 11. 惠蓀林場三種林分枯落物和淋溶的養分年輸入量

Table 11. Annual nutrient input of litterfall and precipitation in three stands at Hue-Sun forest station.

	K		Ca		Mg	
	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
天然闊葉林						
枯落物	66.55	58.65	61.45	81.81	18.04	66.18
淋溶	46.91	41.35	13.66	18.19	9.22	33.82
總輸入量	113.46	100.0	75.11	100.0	27.26	100.0
杉木人工林						
枯落物	21.36	44.97	20.89	62.19	9.02	65.60
淋溶	26.14	55.03	12.70	37.81	4.73	35.43
總輸入量	47.50	100.0	33.59	100.0	13.75	100.0
次生闊葉林						
枯落物	47.13	45.67	25.47	67.45	17.66	71.93
淋溶	56.06	54.33	11.29	32.55	6.89	28.07
總輸入量	103.19	100.0	37.76	100.0	24.55	100.0

枯落物鉀的迴歸量占該林分的 58.65 % (表 11) ; 杉木人工林枯落物的鉀每年迴歸量為 21.36 kg/ha, 淋溶為 26.14 kg/ha, 枯落物占該林分的 44.97 % ; 次生闊葉林枯落物的鉀迴歸量為 47.13 kg/ha, 淋溶為 56.06 kg/ha, 枯落物占該林分的 45.67 % 。天然闊葉林枯落物鈣的年迴歸量為 61.45 kg/ha, 淋溶為 13.66 %, 枯落物占該林分的 81.81 % ; 杉木人工林鈣的枯落物年迴歸量為 20.89 kg/ha, 淋溶為 12.70 kg/ha, 枯落物占該林分的 62.19 % ; 次生闊葉林枯落物的鈣迴歸量為 25.47 kg/ha, 淋溶為 11.29 kg/ha, 枯落物占該林分的 67.45 % 。天然闊葉林枯落物鎂的年迴歸量為 18.04 kg/ha, 淋溶為 9.22 kg/ha, 枯落物占該林分的 66.18 % ; 杉木人工林枯落物鎂的迴歸量 9.02 kg/ha, 淋溶為 4.73 kg/ha, 枯落物占該林分的 65.60 % ; 次生闊葉林枯落物鎂的迴歸量為 17.66 kg/ha, 淋溶為 6.89 kg/ha, 枯落物占

該林分的 71.93 % 。三種林分的鉀、鈣年迴歸量為天然闊葉林高於另二林分 ; 鎂年迴歸量則杉木人工林低於另二林分。

本試驗枯落物中葉部的養分輸入量所占比率高於其他組成分, 是本生態系林木養分迴歸的主要途徑, 其次為枝條、繁殖體和其他。全年養分迴歸量為天然闊葉林 > 次生闊葉林 > 杉木人工林。三種林分的養分迴歸量皆以氮最多, 其次為鉀、鈣、鎂、磷。

五、參考文獻

呂金誠、歐辰雄 (1996) 關刀溪長期生態研究區森林植群之初步研究(1)。中興大學實驗林報告 18(1) : 77-108。

吳仲民、曾慶波、李意德、周光益、陳步峰、杜志鵠、林明獻 (1997) 尖峰嶺熱帶森林土壤 C 儲量和 CO₂ 排放量的初步研究。植物生態學報 21(5) : 416-423。

- 周文鄧 (1999) 關刀溪森林生態系孔隙更新之研究。中興大學森林學研究所碩士論文。
- 易希道 (1996) 最新植物生理學。環球書社。58-102頁。
- 林世宗 (1998) 棲蘭山闊葉林枯落物及其養分之變動。中華林學季刊 31(2) : 115-130。
- 林國銓 (1997) 福山闊葉林枯落物及枝葉層之動態變化。台灣林業 12(2) : 135-144。
- 姜家華、劉興旺 (1989) 樹齡與季節對柳杉枯枝落葉量及養分含量之影響。台大實驗林研究報告 3(1) : 1-20。
- 高毓斌 (1985) 台灣孟宗竹林乾物生產與生物性養分循環。台灣大學森林學研究所碩士論文。
- 張華洲 (1997) 惠蓀實驗林場三種林分枯枝落葉量及其養分含量之季節變動。中興大學森林學研究所碩士論文。
- 張峻德、徐正鍾 (1987) 柳杉、杉木林脫落枝葉量及養分含量之季節變化。中華林學季刊 20(4) : 47-64。
- 程煒兒、沈慈安 (1987) 恆春地區三至五年生銀合歡林分地上部養份聚積與循環。林業試驗所研究報告季刊 2(4) : 253-272。
- 劉湘搖 (1994) 南仁山區亞熱帶雨林凋落物量及其養分含量之研究。國立台灣大學植物學研究所碩士論文。
- 劉瓊霖、許博行 (1999) 幹流水和穿落水的水量及水質在三種林分的變化。林業研究季刊 21(2) : 51-59。
- 顏江河、陳佳慧 (1999) 惠蓀林場三種不同林分枯枝落葉量與分解速率之季節性變化。林業研究季刊 21(4) : 65-72。
- Facelli J. M., Steward and T. Pickett (1991) Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure. Bot. Rev. Vol. 57: 1-32.
- Lovett, G. M. and S. E. Lindberg (1984) Dry deposition and canopy exchange in a mixed oak forest as determined by analysis of throughfall. J. Appl. Ecol. 21: 1013-1027.
- MacDonald, C. C. (1977) Methods of soil and tissue analysis used in the analytical laboratory. Canadian Forestry Service Information Report. MM-X-78.
- Meentemeyer, E. O. B. and R. Tompson (1982) World patterns and amounts of terrestrial plant litter production. Bioscience 32: 125-128.
- Morre, P. D. and S. B. Chapman (1986) Methods in plant ecology. Blackwell Scientific Publication. Oxford London. pp.589.
- Olsen, S. R. and L. E. Sommers (1982) Phosphorus. In: Page *et al.* (eds.) Methods of soil analysis. Part II. Chemical and microbiological properties second edition. ASA. CSSA. SSSA. Madison, Wisconsin.
- Scott, D. A., J. Proctor and J. Thompson (1992) Ecological studies on a lowland evergreen rain forest on Maraca Island, Roraima, Brazil. II. Litter and nutrient cycling. J. Ecol. 80: 705-717.
- Vogt, K. A., C. C. Grier and D. J. Vogt (1986) production, turnover and nutrient dynamics of an above-ground detritus of world forests, Adv. Ecol. Res 15:303-377.
- Whigham, D. F., I. Olmsted, E. C. Cano and M. E. Harmon (1991) The impact of hurricane on trees, litterfall, and woody debris in a dry tropical forest in the northeastern Yucatan Peninsula. Biotropica 23(4a): 434-441.