

研究報告

奧萬大天然闊葉林枯落物與養分迴歸量之季節變化

洪淑芬¹ 顏江河^{1, 2}

【摘要】自 2001 年 8 月至 2003 年 3 月止為期 20 個月，以枝葉袋收集網調查奧萬大天然闊葉林之枯落物，探討每月枯落物量及養分迴歸量的季節性變化。結果顯示本試驗地的年枯落總量為 9.14 t/ha/yr，各組成分以葉部為最大量 6.05 t/ha/yr，依序為枝條 1.78 t/ha/yr 與其他 0.82 t/ha/yr，繁殖體為最小，僅有 0.45 t/ha/yr。枯落物總量的季節性變化，主要受葉部影響而變動，呈 5 至 7 月為最高量的單一高峰凋落類型。試驗期間枯落物量因受當年娜克莉颱風的影響，使得此月無論是在枯落物總量或枯落物養分含量均達最高，尤其枝條枯落物顯著高於其他月份，可達 5-114 倍之多。枯落物各組成成分的養分濃度以其他部位濃度最高，繁殖體次之。養分濃度高低呈 C > N > Ca > K > Mg > P > Na > Fe > Mn 濃度，各組成成分養分濃度的月變動情形，大致呈現 4-6 月及 10-1 月為養分濃度較高的時期。枯落物養分年迴歸量，均以葉部顯著高於其他各個組成分，顯然本試驗地以葉部為林地養分迴歸主要來源。

【關鍵字】枯落物、養分濃度、養分迴歸量

Research paper

Seasonal Variation on Litterfall and Nutrient Recycling Amount of Natural Hardwoods Stands in Ou-Wan-Ta

Shu-Funm Hung¹ Chiang-Her Yen^{1, 2}

【Abstract】The purpose of this study was to explicate how the seasonal variation of litterfall and nutrient recycling amount of the natural hardwoods in Ou-Wan-Ta. The content and concentration of litterfall were investigated monthly from August 2001 to March 2003 by using littertrap method. The results showed that the amount of litterfall in this site was 9.14 t/ha yearly. Most of the litterfall were composed of leaves (6.05 t/ha/yr), followed by branch (1.78 t/ha/yr), others (0.82 t/ha/yr) and reproduction (0.45 t/ha/yr). The seasonal variability of litterfall showed a uni-modal distribution pattern. In this study period, the litterfall variability was due to the strong typhoon, Nakri, which might have led to increased more than 5 to 114 times branch litter compared with other months. Nutrient concentration of litterfall was in the order as C > N > Ca > K > Mg > P > Na > Fe > Mn, and the concentration of litterfall was highest in other component, followed by reproduction component. The seasonal concentration of nutrients was the highest during April-June and October-January. In addition, nutrient returned to the soil through litterfall was greatest in leave component.

【Key words】litterfall, nutrients concentration, nutrient recycling amount.

1. 國立中興大學森林系

Department of Forestry, NCHU.

2. 通信作者

Corresponding author.

一、前言

森林生態系與農業生態系最大的差異在於森林生態系具自肥的功能，其中以枯落物為林地養分主要來源，枯落物(litterfall)或稱凋落物指生態系中所脫落的樹葉、細枝、花、果實、樹皮、碎片、苞、芽等等植物器官的總稱(Facelli and Pickett, 1991)，具維持森林土壤肥力、促進養分循環、涵養水源和水土保持等功能，更是森林生態系中養分循環的一個物質庫，為林地土壤有機質的主要來源(蚊佛民等, 1994；吳仲民等, 1994；馬祥慶等, 1997)，可見其重要性。

前人研究報告顯示，影響枯落物量及枯落物分解速率因子的研究，早已廣為眾人所討論，甚至延續至近幾年亦為如此。如 Vogt 等於 1986 年即曾發表彙整世界各類森林枯落物量的文獻，雖至今已大量的研究資料，但整個森林生態系中養分循環的機制，由於受許多複因子所影響，仍尚未完全被了解，特別是位處亞熱帶地區的台灣，對於此方面的研究起步較晚，了解亦少，而亞熱帶雨林與熱帶雨林或溫帶森林又有相當大的差異，例如最顯著的即為季風的影響，所導致組成結構及其他多種特性的差異。倘若我們能針對這些潛在性的作用現象做長期的研究，將有助於我們對整個森林生態系養分循環機制的了解。

本研究以奧萬大天然闊葉林為試驗地，該地屬南投林區管理處濁水溪事業區第 22 林班地，調查每月林地枯落物量及其養分迴歸量，探討林地養分由枯落物迴歸至林地的動態變化。

二、材料及方法

(一) 樣區概況

本研究以南投林區管理處濁水溪事業區第 22 林班地之集水區為試驗地，該林地位

於東經 121° 8' 至 121° 11'，北緯 23° 57' 至 23° 58' 間。行政區域隸屬於南投縣仁愛鄉，海拔高度由 1,200 m 至 1,600 m 之間。試驗期間，經本研究於樣區內所架設的森林氣象站所收集之資料，顯示年平均氣溫為 17.2℃，最高溫為 7 月份的 20.9℃，最低溫為 1 月份的 10.5℃；年平均相對溼度為 78.3%；年雨量約 1,260 mm；10 月至隔年的 2 月為乾季。區內主要溪流有萬大北溪與萬大南溪，以及兩溪會流而成的萬大溪，支流則有清水溪、腦寮溪及瑪谷溪均注入萬大溪，全區屬濁水溪上游之一，會合之方位主要屬於南向和西南向，向陽的坡面及陡峭的坡度，使得本區之光線充足，有利於植物之生長，林相屬天然闊葉混合林。

(二) 枯落物量調查

枯落物量的調查由 2001 年 7 月底開始架設枯落物收集網，同年 8 月收集第一筆數據至 2003 年 3 月底，為期 20 個月。收集網的設置主要是利用網孔為 1 mm 的尼龍網做成一面積 2,500 cm²之圓型網袋，深約 50 cm，以三根長膠管架起收集網使其固定住，並避免觸及地面。樣區內設 6 重複，每 3 個收集網為 1 重複，共 18 個收集網，設置地點隨機分佈。每隔 1 個月，將收集網內枯枝落葉帶回實驗室以 65℃ 烘乾 7 天，進行分類秤重，分為葉部、枝條、繁殖體及其他(包含無法辨認的碎片、昆蟲及其糞便等雜物)四部分。另外，取自 2001 年 8 月至 2002 年 7 月所收集的枯落物行養分分析，每一重複內分不同組成分，經每三個樣本混合磨粉後，取乾燥樣本進行。

(三) 枯落物養分分析

枯落物養分元素氮及碳含量的測定方式，均是秤取約 15 mg 的植體乾燥樣本，以元素分析儀(Element Analysis, elementar vario EL)測定。其餘養分元素均採硫酸 - 過氧化氫

分解法(Moore and Chapman, 1986)分解，再將濾液以感應耦合電漿光譜分析儀(Inductively-Coupled Plasma Emission Spectrophotometer, ICP-AES)測定其鉀、鈉、鈣、鎂、磷、錳及鐵含量。

(四)數據處理

本研究所有數值均以統計軟體 SPSS 視窗 8.0 版進行資料分析。首先以描述性統計針對問題研究進行初步瞭解，再以單因子變方分析(One-way ANOVA)進行各項假設檢定。多重比較則以鄧肯(Duncan's)事後檢定法做檢定，而以 Pearson 雙尾檢定法行各種相關性檢定。

三、結果

(一)枯落物量及其組成

試驗期間奧萬大天然闊葉林枯落物量的月變化情形如圖 1，全年枯落總量為 9,143.9 kg/ha/yr，其中以葉部為最大量 6,054.7 kg/ha/yr (佔總量 64.5%)，依序為枝條 1,779.5 kg/ha/yr (佔總量 20.9%)與其他 816.9 kg/ha/yr (佔總量 8.9%)，繁殖體為最小量 450.3 kg/ha/yr (僅佔總量 5.7%)。不同月份間枯落物量的變化，以 2002 年 7 月的枯落物總量最高(2,589.1 kg/ha)，最小量則出現在冬季時，2002 年 11 月的枯落物量僅 256.8 kg/ha，與最大量相差 10 倍之多，枯落物量呈規律的季節變動，且屬單一高峰的凋落類型。

枯落物組成分間的枯落物量月變化，葉部的枯落物量最大量出現在 2002 年 7 月(1,101.1 kg/ha)，最小量在 2003 年 1 月(195.0 kg/ha)；枝條的枯落物量最大量出現在 2002 年 7 月(1,080.0 kg/ha)，最小量於同年的 11 月(9.4 kg/ha)；繁殖體的枯落物量月變化，最大量出現在 2002 年 4 月

(145.8 kg/ha)，最小量則出現於同年的 1 月(5.3 kg/ha)；其他物質的枯落物量，最大量出現在 2002 年 7 月(209.7 kg/ha)，最小量則大多出現於冬季。枯落物量各組成分百分比，顯示葉部以冬季 11 月至 3 月間的所佔的百分比比較高，均約達 80%以上，百分比最低則出現在夏季 2002 年 7-9 月間；枝條所佔的百分比變動情形，則與葉部呈相反的趨勢，即當葉部於夏季所佔百分比最低時，正好是枝條所佔百分比最高；繁殖體所佔的百分比最高出現在春季開花期 3-4 月間，最低則出現於 2002 年 2 月僅佔 1.2%；其他物質所佔的百分比以 2002 年 6 月 19.8%最高，冬季出現最低如 2002 年 2 月僅佔 2.3%。整體而言，各月份的枯落物組成所佔百分比皆以葉部佔枯落物量極高的比例，顯見葉部在林地中養分流動上，較枝條、繁殖體及其他物質更具代表意義，為林地養分迴歸的主要來源。表 1 所示為枯落物量與雨量及溫度間之相關分析結果，顯示無論是雨量或溫度，均與枯落物總量及其他物質有密切關係，而繁殖體的枯落量只受溫度(季節變化)影響，葉部則受雨量影響較大。

(二)枯落物養分濃度

枯落物組成分之每月養分濃度間的變化呈頗大的差異(圖 2)，而各個組成分間亦有不同的養分濃度變化(表 2)。表 2 為 2001 年 8 月至 2002 年 7 月枯落物組成分之年平均養分濃度與年養分迴歸量，表中顯示年平均養分濃度無論在葉部、枝條、繁殖體或其他物質均是以碳及氮的濃度最高，鈉、錳及鐵的濃度最低。碳濃度於各部位間的變化介於 50.52-51.67%間。氮濃度於各部位間的變化介於 1.204-2.565%間，葉部及繁殖體部位的氮濃度於月份間的變動呈單一高峰期，有春夏季高冬季低的明顯趨勢，枝條的氮濃度於月份間的變動則呈不規則變動。磷濃度於各部位間的變化介於 0.135-0.291%

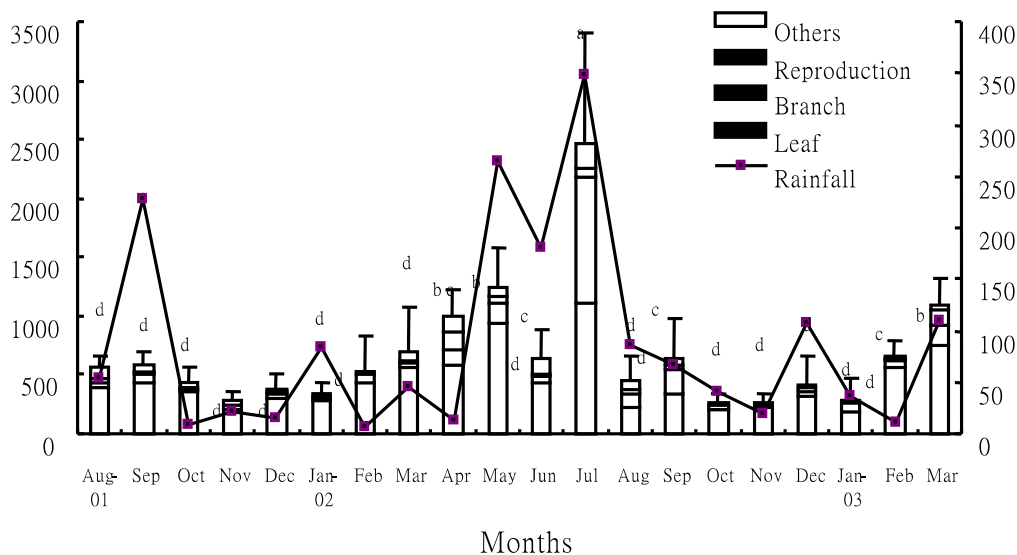


圖 1. 奧萬大天然闊葉林枯落物量之月變動情形

Fig. 1. Monthly variation of litterfall of Natural Hardwoods in Ou-Wan-Ta.

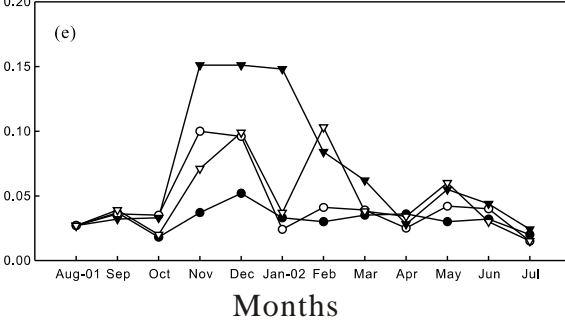
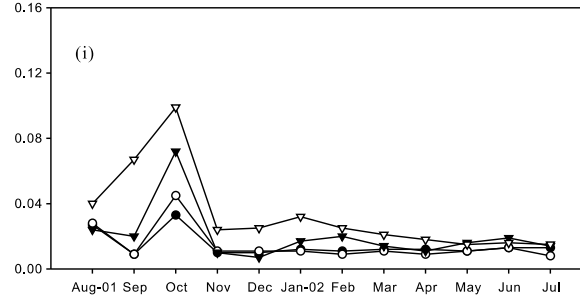
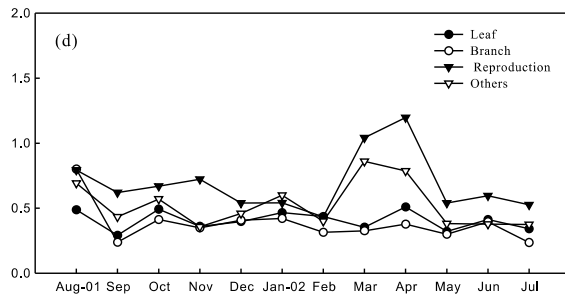
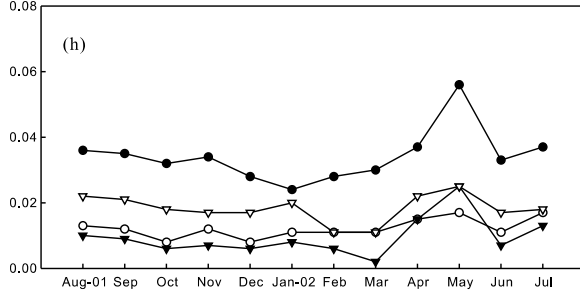
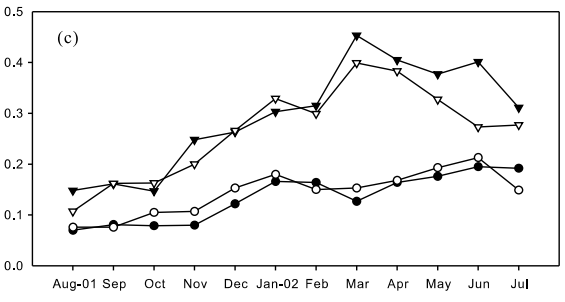
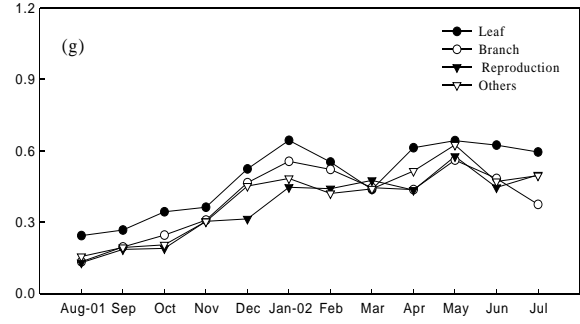
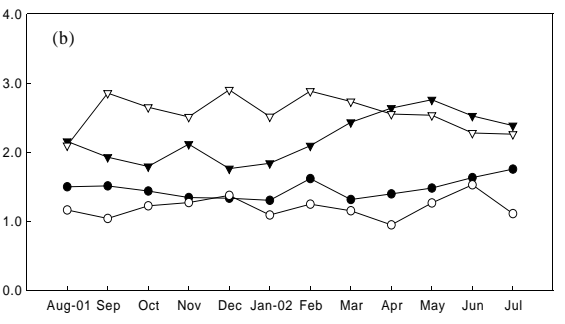
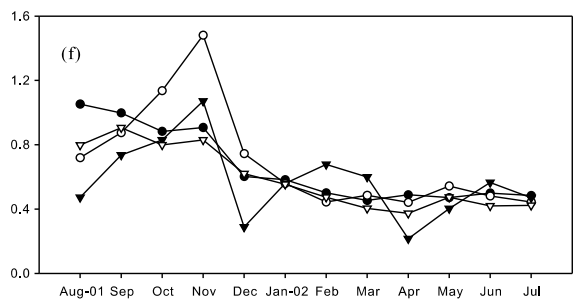
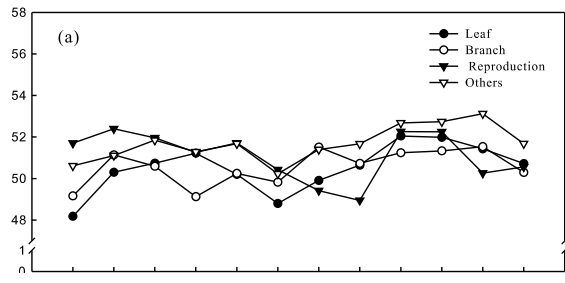
表1. 奧萬大天然闊葉林枯落物量與雨量及溫度間之相關分析

Table 1. The relationship between rainfall, temperature and litterfall of natural hardwoods stands in Ou-Wan-Ta.

	葉 部	枝 條	繁殖體	其 他	總 量
雨 量(mm)	0.635**	0.555**	0.107	0.542**	0.711**
溫 度	0.264*	0.340**	0.327**	0.574**	0.431**

間，繁殖體及其他物質部位均呈春季高夏季低的趨勢，以 3、4 月為最高濃度。鉀濃度於各部位間的變化介於 0.687-0.381 %間，繁殖體的鉀濃度於月份間的變動呈單一高峰期，以4月為最高，2 月最低，其他物質的鉀濃度於月份間的變動，呈春季高冬季低的趨勢。鈉濃度於各部位間的變化介於 0.032-0.071 %間。鈣濃度於各部位間的變化小，介於 0.574-0.696 %間變動，枝條的鈣濃度於月份間的變動呈單一高峰期，且此

高峰期出現在冬季初期，以 10、11 月的濃度較高，4月的濃度較低。鎂濃度於各部位間的變化介於 0.368-0.488 %間。錳濃度於各部位間的變化介於 0.010-0.034 %間。鐵濃度於各部位間的變化小，介於 0.014-0.033 %間變動。另外，就枯落物各部位的碳氮比言，以枝條的部分最高達 44.47，其他物質最低僅 20.92，呈枝條 > 葉部 > 繁殖體 > 其他。經多變域分析結果顯示，除鈣濃度外，氮、磷、鉀、鎂、錳及鐵濃度於各部位的濃



Months

圖 2. 奧萬大天然闊葉林枯落物養分濃度月變化
Fig. 2. Monthly variation of nutrient concentration of natural hardwoods stands of Nao-Liao River in Ou-Wan-Ta.

表 2. 奧萬大天然闊葉林枯落物組成分之養分濃度(%)及其迴歸量(kg/ha/yr)

Table 2. The nutrient concentrations and nutrient recycling amount of natural hardwoods stands in Ou-Wan-Ta.

	養分	葉部	枝條	繁殖體	其他	總量
年 平 均 濃 度 (%)	C ^Y	50.515 ^b	50.562 ^b	51.108 ^{ab}	51.670 ^a	-
	N ^X	1.471 ^d	1.204 ^c	2.199 ^b	2.565 ^a	-
	P ^X	0.135 ^b	0.143 ^b	0.291 ^a	0.265 ^a	-
	K ^X	0.406 ^c	0.381 ^c	0.687 ^a	0.524 ^b	-
	Na ^Y	0.032 ^b	0.043 ^{ab}	0.071 ^a	0.048 ^{ab}	-
	Ca ^{ns}	0.660 ^a	0.696 ^a	0.574 ^a	0.589 ^a	-
	Mg ^X	0.488 ^a	0.394 ^b	0.368 ^b	0.397 ^b	-
	Mn ^X	0.034 ^a	0.012 ^c	0.010 ^c	0.018 ^b	-
	Fe ^X	0.014 ^b	0.015 ^b	0.020 ^{ab}	0.033 ^a	-
	C/N	35.176	44.471	25.298	20.918	-
年 迴 歸 量 (kg/ha/yr)	C	3,058.508	899.757	230.139	422.094	4,610.497
	N	89.072	21.425	9.903	20.953	141.353
	P	8.157	2.553	1.312	2.167	14.190
	K	24.566	6.785	3.094	4.280	38.725
	Na	1.953	0.771	0.319	0.391	3.434
	Ca	39.987	12.388	2.585	4.815	59.776
	Mg	29.524	7.017	1.659	3.243	41.444
	Mn	2.066	0.218	0.043	0.149	2.476
	Fe	0.870	0.259	0.092	0.271	1.492

註：1. 每行平均值後之字母 (a, b,) 不同表示達 1% 差異顯著

2. X, Y 分別表示養分濃度於各部位間達 0.1% 及 1% 顯著差異

度高低均呈極顯著差異 ($P < 0.001$)，而碳及鈉濃度則呈顯著差異 ($P < 0.01$)。整體言，春末 4-6 月及冬季 12-2 月常是養分濃度出現的高峰時期。

(三) 枯落物養分迴歸量

枯落物各組成分的養分年迴歸量(表 2)，無論何種養分含量均以葉部達最高，呈葉部 > 枝條 > 其他 > 繁殖體。所有部位均呈現以碳的年迴歸量達最高，氮次之；最低量為錳或鐵。若以枯落物總量來看各養分的迴歸量，呈碳 (4610.50 kg/ha/yr) > 氮 (141.35kg/ha/yr) > 鈣 (59.78 kg/ha/yr) > 鎂

(41.44 kg/ha/yr) > 鉀 (38.73 kg/ha/yr) > 磷 (14.19 kg/ha/yr) > 鈉 (3.43 kg/ha/yr) > 錳 (2.48 kg/ha/yr) > 鐵 (1.49 kg/ha/yr)。養分迴歸量的月變動，在葉部及枝條呈相似的月變動情形，每月枯落物組成分的養分迴歸量最低量大多出現在 10-12 月間，最高量則出現在 5 月及 7 月；繁殖體則與其他物質呈相似的月變動情形，最低量大多出現在 1、2 月，最高量出現在 4 月及 7 月，且各養分迴歸量間的月變動情形有幾近相似的變化趨勢。

四、討論

奧萬大闊葉天然林的年枯落物量為 9.14 t/ha/yr，介於亞熱帶或熱帶雨林的年枯落物量正常範圍 6.0-11.7 t/ha/yr 內 (McDonald and Healey, 2000)。若將其與台灣地區其他森林比較，顯示本試驗地的年枯落物量較棲蘭山區的 5.07 t/ha/yr、未經颱風干擾的惠蓀林場天然闊葉林 (3.63t/ha/yr)、經颱風干擾的惠蓀林場天然闊葉林 (7.10t/ha/yr) 及南仁山欖仁溪亞熱帶雨林 (5.16-5.81 t/ha/yr) 為高；而與經颱風干擾的南仁山樣帶低地雨林 (9.43-11.77 t/ha/yr) 較為接近；介於未經颱風干擾與受颱風干擾的福山地區天然闊葉林 (5.60-11.84 t/ha/yr) 間 (劉湘瑤, 1994；林國銓, 1997；林世宗, 1998；張正平, 1998；陳佳慧, 2000)。與國外其他地區的森林做比較，則顯示本試驗地的年枯落物量較印度 Kodayar 地區的常綠及半落葉闊葉林 (5.8-8.7 t/ha/yr)、雲南 Ailao Mountains 地區常綠闊葉林 (5.4-7.1 t/ha/yr)、西班牙地區的落葉林 (2.6-5.3 t/ha/yr) 及義大利 Colognole; BCala Violina 等地區的落葉林 (4.9-6.9 t/ha/yr) 森林枯落物量高 (Gallardo *et al.*, 1998; F Sundarapandian and Swamy, 1999 Liu *et al.*, 2002; F Bussotti *et al.*, 2003)；但較印度 Upper Shillong 地區 (11.9-17.5 t/ha/yr) 的亞熱帶溼地林及日本 Ryukyus 地區的混合林 (10.5 t/ha/yr) 為低；而與牙買加 Blue Mountain 地區 (7.2-9.5 t/ha/yr) 的森林枯落物量較相近 (Arunachalam *et al.*, 1998; F McDonald and Healey, 2000; F Xu and Hirata, 2002); C

奧萬大天然闊葉林枯落物總量的季節性變化，顯示 5 至 7 月是出現林地枯落物量最高的時期，呈單一高峰的凋落類型。推究

試驗期間此林地的枯落物量呈單一高峰凋落類型的原因主要有二：一是受每年春季 3-4 月時為植物生長季影響所致，且枯落物之主要組成植物為樟葉槭、殼斗科、香楠、長葉木薑子等植物所佔的比例最高；二是受 2002 年 7 月颱風“娜克莉”的延續性影響所致而呈明顯變化。若排除因颱風所導致枯落物量鉅增的月份來看此試驗期間的枯落物量月變動情形，則呈現 4-6 月及 8-10 月的雙高峰凋落類型，但仍以 4-6 月為枯落物出現凋落最高量的時期，此有待進一步研究方能證實。整體言，腦寮溪天然林各組成成分枯落量的季節性變動情形，各組成成分枯落量除繁殖體不受每月降雨量影響外，其餘組成成分包含葉部、枝條、其他及枯落物總量均會隨每月降雨量變化而有相似的變動趨勢，同時亦受每月月均溫的變動影響 (圖 1、表 1)。

Facelli 與 Pickett (1991) 指出一些偶發的環境因子，會致使枯落物量遽增，對林地內往後的生產力將會造成影響，如火災、暴風雨、乾旱、焚風和蟲害等災害。台灣地區受季風影響深，夏秋之季常有颱風吹襲影響林地的枯落物量，本試驗期間受娜克莉颱風的影響，使得 2002 年 7 月的枯落物總量達 2,589.1 kg/ha，佔年枯落物總量的 28.32%，對枯落物組成成分中的枝條影響尤深，造成此月的枝條達 1,080.0 kg/ha，佔各枯落物組成成分的 41% (其他月份枝條所佔百分比介於 3.7-15.2% 間變動)，顯著高於其他月份枝條的枯落量，達 5-114 倍之多。整體而言，各組成成分的凋落類型大致呈單一高峰型，葉部為影響總量的主要組成成分，其除了受颱風影響外，植物生長季亦為影響葉部枯落量變動的主要因子之一，枝條則受颱風影響至鉅，繁殖體則主要受開花期及落果期影響大，此可由植物物候學的觀點言之。若將枯落物不分組成成分，計算其平均養

分濃度，則呈碳 > 氮 > 鈣 > 鉀 > 鎂 > 磷 > 鈉 > 鐵 > 錳 (表 2)。各種不同養分濃度於枯落物不同組成分的濃度高低不一，會受樹種、環境因子 (例如乾濕季變化，雨量多寡) 及林地養分的多寡與否 (例如林地養分足夠，葉片於凋落前的養分回輸現象少) 等等因子而異，根據前人研究指出枯落物各組成成分的養分濃度，一般多以葉部最高，枝條次之 (姜家華、劉興旺，1989；林國銓，1997)，而林木於開花結果時，氮、磷及鉀濃度會有堆積在生殖器官的現象 (Scott *et al.*, 1992)。另外，亦有調查分析結果顯示枯落物養分濃度於其他部位的含量最高，繁殖體次之 (李芳婷，2002)。本試驗結果顯示碳、鐵及氮濃度在其他部位為最高，磷、鉀及鈉濃度在繁殖體的濃度最高，鎂及錳濃度以葉部最高，鈣濃度則以枝條部位最高。整體言，枯落物各組成分以其他部位濃度最高，繁殖體次之，推測其原因可能是其他部位含有如蟲體、糞便，及碎屑等養分濃度較高物質，而花器、果實為植物的繁殖體會貯藏較多養分之故。

枯落物各組成成分養分濃度的月變動情形 (圖 2)，大致呈 4 6 月或 10 1 月是養分濃度出現的高峰時期，呈現如前者趨勢的養分元素主要為氮、磷、鉀、鎂及錳濃度，此應是受氮、磷、鉀、鎂會貯積於繁殖體有關 (Scott *et al.*, 1992)，而錳雖與上述養分元素有相似的變動趨勢，但其機制如何尚未明瞭；呈現如後者趨勢的養分元素主要為鈣及鐵濃度，此係由於鈣及鐵於植體內移動困難，而秋冬之際多為自然脫落之老葉，因而累積有較高養分濃度。枯落物組成成分中葉部養分濃度的變化，碳濃度於月份間的變動呈雙高峰期；氮濃度以 7 月最高，此可能與 2002 年 7 月的颱風“娜克莉”有關，造成脫落葉多為鮮葉，以 1、3 月的落葉養分濃度最低，此結果與棲蘭山相似 (林世宗，

1998)；磷濃度以 6 月濃度最高，8 月最低；鉀濃度以 4 月濃度最高，9 月最低，此應與 8、9 月為林木結實期，養分被輸送至花果部位造成葉部磷濃度較低有關；鎂為葉綠素構成之元素，能與細胞原生質結合，會影響植物光合作用，而錳為植物體中主要之酵素活化劑，作用與鎂類似 (王銀波，1991)，此應是造成葉部鎂及錳濃度於各月份均有較枝條、繁殖體及其他物質高的原因。枝條各個養分除了鈉、鈣及鐵濃度於冬季有突然升高的趨勢外，其餘養分於月份間的變動不大。繁殖體各養分濃度於月份間的變動情形除鐵濃度呈無太大的變動，碳及鈣濃度呈不規則變動、鈉濃度呈冬季高夏季低外，其他養分濃度氮、磷、鉀濃度均呈單一高峰期，於春季開花或夏季結果時期均呈較高濃度，而冬季則出現較低濃度，繁殖體的鎂濃度於月份間的變動，以 5 月達最高，此應與其會貯存於油脂含量多的種子中有關 (王銀波，1991)，而錳濃度亦有相似的變化趨勢。其他物質各養分濃度於月份間呈不規則變動，但磷、鉀、鎂、錳及鐵濃度的變動趨勢與繁殖體部位相似。若將本試驗地之枯落物養分濃度與其他林地比較，奧萬大天然闊葉林枯落物的鎂濃度為 0.41%，顯著高於國內其他森林枯落物的鎂濃度，而鎂在植體中再移動性強，缺乏時可由老葉輸出至其他貯藏部位，但當植體本身的養分足夠時，則無須輸出，因而推測此林分的鎂應是不虞缺乏。

養分元素除因收穫木材及其他產物攜出部份外，其餘則迴歸土壤，礦質養分可經由林冠穿落水、幹流之淋洗及枯落物之掉落而進入林床，經微生物分解及礦質化作用而轉變為植物可再用型式，其會受樹種種類、地理環境不同，迴歸至土壤的量亦不相同。枯落物的養分年迴歸量於各組成成分間的變動，主要受各組成成分枯落物量的高低而變動，試驗地枯落物的養分年迴歸量，受 2002 年

7 月颱風及 4、5 月植物生長季影響，導致除鐵迴歸量外，其餘養分迴歸量最高量出現於此時期，葉部、枝條及其他物質均出現在 5 月及 7 月，而繁殖體則受物候影響各養分的年迴歸最高量均出現於 4 月，整體言之，養分年迴歸量於月份間的變動多呈現與枯落物量相似的變動趨勢。

五、參考文獻

- 王銀波 (1991) 植物營養學。中興大學教務處。
- 李芳婷 (2002) 台中港區木麻黃防風林固氮量與養分動態之研究。國立中興大學森林學研究所碩士論文。61 頁。
- 吳仲民、盧俊培、杜志鵠 (1994) 海南島尖峰嶺熱帶山地雨林及其更新群落的凋落物量與貯量。植物生態學報 18(4) : 306-313。
- 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。
- 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。
- 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。
- 蚊佛民、丁明懋、張祝平、廖藍玉、黃忠良 (1994) 鼎湖山黃果厚殼桂群落的凋落物及其氮素動態。植物生態學報 18(4) : 306-313。
- 馬祥慶、劉愛琴、何智英、俞立烜 (1997) 杉木幼林生態系統凋落物及其分解作用研究。植物生態學報 21(6) : 564-570。
- 陳佳慧 (2000) 關刀溪不同林分枯落物及土壤養分含量之動態變化。國立中興大學森林學研究所碩士論文。84 頁。
- 張正平 (1998) 南仁山低地雨林凋落物之研究。台灣大學植物研究所碩士論文。73 頁。
- 劉湘瑤 (1994) 南仁山山區亞熱帶雨林凋落量及其養分含量之研究。台灣大學植物研究所碩士論文。87 頁。
- Arunachalam, A., K. Arunachalam., H. N. Pandey and R. S. Tripathi (1998) Fine litterfall and nutrient dynamics during forest regrowth in the humid subtropics of north-eastern India. For. Ecol. Manage. 110: 209-219.
- Bussotti, F., F. Borghini., C. Celesti., C. Leonzio., A. Cozzi., D. Bettini and M. Ferretti (2003) Leaf shedding, crown condition and element return in two mixed holm oak forests in Tuscany, central Italy. For. Ecol. Manage. 176: 273-285.
- Facelli, J. M. and T. A. Pickett (1991) Plant litter: Its dynamics and effects on plant community structure. Bot. Rev. 57(1): 1-31.
- Gallardo, F. J., A. Martin and I. S. Regina (1998) Nutrient cycling in deciduous forest ecosystem of the Sierra de Gata Mountains: aboveground litter production and potential nutrient return. Ann. Sci. For. 55: 749-769.
- Liu, W., J. E. D. Fox and Z. Xu (2002) Biomass and nutrient accumulation in montane evergreen broad-leaved forest (*Lithocarpus xylocarpus* type) in Ailao Mountains, SW China. For. Ecol. Manage. 158: 223-235.
- McDonald, M. A. and J. R. Healey (2000) Nutrient cycling in secondary forests in the Blue Mountains of Jamaica. For. Ecol. Manage. 139: 257-278.
- Moore, P. D. and S. B. Chapman (1986)

- Methods in plant ecology. 2nd edition. Blackwell Scientific Publications. Oxford, London, Edinburgh.
- Scott, D. A., J. Proctor and J. Thompson (1992) Ecological studies on a lowland evergreen rain forests on Maraca Island, Roraima, Brazil. II. Litter and nutrient cycling. *J. Ecol.* 80: 705-717.
- Sundarapandian, S. M. and P. S. Swamy (1999) Litter production and leaf-litter decomposition of selected tree species in tropical forests at Kodayar in the Western Ghats, India. *For. Ecol. Manage.* 123: 231-244.
- Vogt, K. A., C. C. Grier and D. J. Vogt (1986) Production, turnover, and nutrient dynamics of Above-ground detritus of world forest. *Adv. Ecol. Res.* 15: 303-377.
- Xu, X. N. and E. Hirata (2002) Forest floor mass and litterfall in *Pinus luchuensis* plantations with and without broad-leaved trees. *For. Ecol. Manage.* 157: 165-173.