

惠蓀林場三種不同林分枯枝落葉量與枝葉層分解速率 之季節性變化

顏江河^{1,3} 陳佳慧²

【摘要】自1998年9月至1999年8月利用收集網及枝葉袋探討南投縣惠蓀實驗林場中相鄰的三種不同林分(天然闊葉林、次生闊葉林、杉木人工林)之枯枝落葉量的季節性變化與其分解速率。結果顯示杉木人工林枯枝落葉量在季節上有顯著的變異，僅在10月份(262.1 g/m²/mo)顯著高於另二林分，及6月份高於次生闊葉林，其餘皆遠低於另二林分，枯枝落葉量在0.8-262.1 g/m²/mo之間；次生闊葉林的枯枝落葉量除了10、5、6、8月份高於天然闊葉林以外，其餘時間都低於天然闊葉林，其量在14.3-160.3 g/m²/mo之間；而天然闊葉林枯枝落葉量在27.1-86.4 g/m²/mo之間較為穩定。若以整年枯枝落葉總量計算，則以天然闊葉林6,782.6 kg/ha/yr最高，次生闊葉林6,658.8 kg/ha/yr次之，杉木人工林4,512.6 kg/ha/yr最低。枝葉層的分解速率，在試驗初期(1998/10-1998/12)以天然闊葉林最快，次生闊葉林次之，杉木人工林最慢，其中杉木人工林在2個月時重量反而有增無減，極為反常，但在8個月後杉木人工林枝葉層分解速率加快，超過其他二種林分。

【關鍵詞】枯枝落葉、枝葉袋、分解速率

Seasonal Changes of Litterfall and Litter Layer's Decomposition Rates of Three Stands in Hui-Sun Experimental Forest

Chiang-Her Yen^{1,3} Jia-Huey Chen²

【Abstract】The amount of litterfall and litter layer's decomposition rate of three different stands (namely, natural hardwood stand, NS; secondary hardwood stand, SS; and China-fir plantation stand, CPS) in the Hui-Sun Experimental Forest were monitored from Sept. 1988 to Aug. 1999 by using littertrap and litterbag approaches, respectively. The results showed that the litterfall of CPS(0.8-262.1 g/m²/mo) varied significantly with season. Except in October (which amounts to 262.1 g/m²/mo) and in June the litterfall of CPS was, in general, significantly lower than that of NS and SS through out the year. In October, however, it was higher than both NS and SS whereas in June it was higher than SS but lower

1 國立中興大學森林系助理教授

Assistant Professor, Department of Forestry, NCHU, Taichung, Taiwan

2 國立中興大學森林系研究生

Graduate student, Department of Forestry, NCHU, Taichung, Taiwan

3 通信聯絡員 Corresponding author

than NS. During the study period the amount of litterfall of SS (14.3-160.3 g/m²/mo) was lower than that of NS except for the months of October, May, June and August. The litterfall collected from NS varied from 27.1 to 86.4 g/m²/mo and was relatively stable. When estimated on yearly basis the amount of litterfall of NS (6,782.6 kg/ha/yr) was the highest followed by SS (6,658.8 kg/ha/yr) CPS which amounts to 4,512.6 kg/ha/yr was the lowest. With respect to the decomposition litter collected from NS showed the highest rate during the initial stage (1998/10-1998/12) which was followed by that collected from SS and CPS. A rather unusual result was observed for the decomposition of litter collected from CPS at 2 months: the weight of litterbag was increasing instead of decreasing. Nevertheless, eight months later, its rate accelerated and was higher than that of litter samples collected from NS and SS.

【Key words】 Litterfall, Litter bag, Decomposition rate

一、前言

森林枯枝落葉是有機物質流動及養分循環的重要路徑，在土壤表層形成一養分輸出與輸入系統，此為養分循環之重要環節(Burghouts *et al.*, 1998)。枯枝落葉的堆積和分解為植物生長主要養分的供源，並維持生態系之營養動態平衡。Meentemery and Tompson (1982)指出森林枯枝落葉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，因此枯枝落葉在森林社會與族群動態的研究中扮演極重要的角色(劉湘搖，1994)。

森林生態系中，枯枝落葉之分解在養分聚積與循環中扮演極重要的角色，主因林木養分的來源為枯枝老葉之脫落及其分解(Fisk *et al.*, 1998)。林地枯枝落葉之分解因素，因其成分之不同可分為兩大類，一為有機物之分解，一為礦質養分之分解，兩者分解速率截然不同(Gholz *et al.*, 1985)。有機物之分解是指其重量之減少，如濕地松(*Pinus elliotii*)落葉之年平均分解速率為15% (Gholz *et al.*, 1985)，太平洋銀冷杉(*Abies amabilis*)在兩年內之重量減少卻達45% (Edmonds, 1984)。然而礦質養分之含量卻可能增加或減少，例如太平洋銀冷杉其落葉含氮量在兩年後達原含氮量的兩倍以上(Edmonds, 1984)，濕地松其落葉之重量雖然減少，含氮量卻仍保持不

變(Gholz *et al.*, 1985)。落葉之含氮量增加，其原因不外乎固氮作用，菌絲吸收附近落葉的氮，昆蟲的糞便等(Berg and Cortina, 1995)。因此各樹種間分解速率相異，即使相同樹種內亦有不同的分解速率，礦質養分含量之變化與重量之減少，兩者變動速率雖不相同，彼此卻相互影響，極具相關性(Gholz *et al.*, 1985)。

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林型單一，如亞熱帶雨林(劉湘搖，1994)、柳杉人工林(劉興旺，1985；林世宗，1989；徐正鍾，1981)、孟宗竹林(高毓斌，1985)、暖溫帶雨林(林國銓，1997)以及楠儲櫟林(林世宗，1998)，雖然張華洲(1997)亦曾在本試驗地進行枯枝落葉量的調查，但所取樣本與時間皆不夠長遠，同時也未進行分解速率測定。本研究探討三種相鄰但不同林分的枯枝落葉量在季節性的變化差異外，同時以枝葉袋的方式探討枝葉分解速率是否有所不同。

二、材料與方法

(一) 樣區位置

本試驗地位於中興大學惠蓀實驗林場第三林班，關刀溪水源地集水區，在長期生態研究區之內，樣區海拔700-1,300 m，該樣區內主要植群可分為杉木人工林，於1964年栽植，1977年實施疏伐作業之35年生杉木林，每ha約1,220株。天然闊葉林，未經人為干擾，每ha約1,980株，

其林相組成達極盛相社會之原始天然林，主要優勢樹種包括台灣山龍眼、豬腳楠、台灣黃杞、鴨腳木、柏拉木等。次生闊葉林，於 1958 年實施砍伐後未經造林，任由其根株萌蘖與種子萌芽而成，迄今已達 40 年，其組成已近於原生林，每 ha 約 7,600 株，優勢木包括柏拉木、竹葉楠、山紅柿、台灣黃杞、茜草樹、香桂、薯豆、大丁黃等(呂金誠、歐辰雄，1996)。

(二)不同林分之枯枝落葉量調查

以網孔為 1 mm 尼龍網做成直徑為 52 cm 之圓形網袋，深約 50 cm。以三根長約 120 cm 的細竹竿架起尼龍網並固定之，且使網底離地約 50 cm，避免處及地面影響收集物分解。綁上標籤。每 3 個收集網為 1 重複，每個林分設 4 重複，共 12 個收集網，設置地點隨機分佈。3 個林分共設 36 個收集網。1998 年 9 月 1 日架設，之後每月 1 日將收集網內枯枝落葉帶回實驗室，在烘箱中以 65°C 連續烘乾 7 天後進行秤重，計算每月的枯枝落葉量。

(三)枝葉層分解速率測定

分解袋之設置以網孔為 1 mm 尼龍網做成 30 cm × 30 cm 的分解袋。於 1998 年 10 月 19 日，在每一林分中隨機選取 3 m × 3 m 樣區 4 個，將此樣區內之地表上所有枝葉層收集，混和均勻後，隨機取出 50 g 裝入分解袋，共 14 袋，其中 9 袋再放回樣區內，另 5 袋帶回實驗室，供測定初期水分含量，剩餘之枝葉層再均勻放回樣區內。每 9 個分解袋為 1 重複，每個林分 4 重複，共 36 個分解袋，設置地點隨機分佈。3 個林分共設 108 個分解袋。每兩個月自每一樣區取回一分解袋至實驗室，在烘箱中以 65°C 連續烘乾 7 天後進行秤重，累計枝葉袋減少之重量計算出分解速率。

(四)土壤溫度監測

於 1998 年 10 月分別在 3 種林分各架設資料收集器(Delta T, Logger)一台，長期收集土溫，包括枝葉層(0 cm)、土深 10 cm 與 20 cm 共三處，每隔 15 分測溫一次，每小時計算平均溫度

一次並記錄，每一測點一天有 24 筆資料。每一林分兩點，三個林分共計 18 支溫度棒。

三、結果與討論

表 1 所示為 1998 年 9 月至 1999 年 8 月惠蓀林場三種林分的枯枝落葉量變化，杉木人工林枯枝落葉量在季節上有顯著的變異，10 月枯枝落葉量高達 262.1 g/m²，顯著高於其他二種林分，在其他月份除了 6 月(96.2 g/m²)與天然闊葉林相近外，其餘月份都顯著低於另二種林分，且平均大多低於 10 g/m² 以下(7, 8 月除外)，全年間每月的枯枝落葉量在 0.8-262.1 g/m² 之間。次生闊葉林的枯枝落葉量(14.3-160.3 g/m²)除了在 10, 5, 6, 8 月高於天然闊葉林以外，其餘都較天然闊葉林為低，6 月時的枯枝落葉更高達 160.3 g/m² 為三個林分最高者，顯著高於另二種林分。全年間天然闊葉林每月的枯枝落葉量在 27.1-86.4 g/m² 之間呈現較為穩定的狀態。若以全年枯枝落葉總量計算則以天然闊葉林 6,782.6 kg/ha/yr 最高，次生闊葉林 6,658.8 kg/ha/yr 次之，杉木人工林僅 4,512.6 kg/ha/yr 最低。此結果與張華洲(1997)所測結果雖然趨勢一致，即天然闊葉林略高於次生闊葉林，杉木人工林枯枝落葉量最少，但是本試驗結果與張華洲(1997)者比較，全年總量差異極大，在天然闊葉林與次生闊葉林部份為 1995 年 7 月至 1996 年 6 月的 1.8 倍，杉木人工林則為 1.3 倍。一個成熟穩定的林分，其年枯枝落葉量在年度之間應無大差異，此枯枝落葉量差異現象是特殊年度間產生的現象，抑或採樣誤差所造成，尚待更多數據來證實。惟若相較於福山闊葉林的 5,460-11,840 kg/ha/yr (林國銓，1997)與棲蘭山闊葉林的 5,047 kg/ha/yr (林世宗，1998)，以及亞熱或熱帶雨林的年枯落物量 6,000-11,500 kg/ha/yr (Whitmore, 1984)，本試驗所得枯落量屬正常範圍。比較同一林分在不同月份上的枯枝落葉量，顯見天然闊葉林呈現較穩定的變化，最高量(3 月)為最低量(11 月)的 3.1 倍，次生闊葉林最高量(6 月)為最低量(1 月)的 11.8 倍，杉木人工林則高達 327 倍(表 1)，10 月份在杉木人工林與次生闊

表 1. 惠孫林場三種不同林分於 1998 年 9 月至 1999 年 8 月間之枯枝落葉量 ($\text{g}/\text{m}^2 \text{ month}$) 變化情形
 Table 1. Temporal distribution of litterfall ($\text{g}/\text{m}^2 \text{ month}$) of three stands in Hui-Sun Experiment Forest from Sep. 1998 to Aug. 1999.

調查時間	天然闊葉林			杉木人工林			次生闊葉林		
1998/09	40.5 (13.4)	x	bcd	8.6 (3.0)	y	cd	30.2 (4.2)	xy	def
1998/10	70.8 (13.4)	y	ab	262.1 (15.5)	x	a	101.9 (17.9)	y	b
1998/11	27.1 (8.1)	x	d	0.8 (0.1)	y	d	17.6 (1.9)	x	ef
1998/12	50.2 (9.2)	x	bcd	1.7 (0.3)	z	d	20.3 (0.7)	y	ef
1999/01	34.5 (4.9)	x	cd	2.6 (0.6)	z	d	14.3 (1.3)	y	f
1999/02	44.6 (11.4)	x	bcd	6.8 (2.1)	y	cd	25.7 (7.2)	xy	ef
1999/03	86.4 (17.6)	x	a	9.0 (1.2)	y	cd	59.3 (9.1)	x	cd
1999/04	67.2 (6.2)	x	abc	7.0 (1.9)	z	cd	48.1 (6.1)	y	cde
1999/05	61.7 (7.7)	x	abcd	7.0 (1.4)	y	cd	77.7 (16.1)	x	bc
1999/06	77.8 (9.6)	y	ab	96.2 (17.2)	y	b	160.3 (15.7)	x	a
1999/07	64.4 (16.5)	x	abcd	28.0 (9.7)	y	c	62.8 (6.4)	x	c
1999/08	44.9 (15.5)	x	bcd	21.2 (4.8)	y	cd	47.7 (7.5)	x	cde

註：1. 每一數值為 4 個重複每重複 3 個調查值之平均。 2. 括弧內之數值為標準偏差。
 3. 每列平均值後之字母(x, y, z)若不同表顯著差異($p < 0.05$)。
 4. 每行平均值後之字母(a, b, c, d, e, f)若不同表顯著差異($p < 0.05$)。

表 2. 惠孫林場三種林分枯枝落葉之累積分解速度
 Table 2. The litter layer's accumulation decomposition rates of three stands in Hui-Sun Experiment Forest.

分解時間	天然闊葉林	杉木人工林	次生闊葉林
第二個月	5.0 (11.5) a	-10.8 (3.8) b	2.1 (6.9) a
第四個月	20.4 (5.0) a	1.4 (4.3) c	11.7 (3.3) b
第六個月	21.9 (6.8) a	12.9 (3.3) b	15.9 (3.4) b
第八個月	31.3 (6.0) a	30.5 (1.1) a	29.5 (1.0) a
第十個月	33.5 (3.7) b	44.1 (5.6) a	38.1 (1.4) b

註：1. 每一數值為 4 調查值之平均。 2. 括弧內之數值表標準偏差。 3. 每列平均值後之字母(a, b, c)若不同表顯著差異($p < 0.05$)。

葉林的大量枯枝落葉量應歸因於當年 10 月的連續颶風，6 月份的大量枯枝落葉量則應可歸因於當時的大量降雨所致，顯然天然闊葉林的枯枝落葉量較不受特殊氣候因子所影響。

枝葉層分解速率為土壤養分迴歸的重要因子，影響生態系的天然更新與演替。表 2 所示為三種林分枯枝落葉量的累積分解速率，其中杉木人工林在初期(2 個月時)重量反而有增加的趨

勢，且重量增加高達 10.8%，極為反常，推估原因是初期 2 個月，杉木人工林有大量枯枝落葉掉落，部份細小枯落物可能隨雨水進入枝葉袋中，因而造成重量不減反增的現象，此外取樣誤差亦有可能造成，尤其水分含量不容易精準測得。三種林分中枝葉層分解速率初期(2-8 個月)以天然闊葉林最快，累計每隔兩個月的分解速率分別為 5.0%，20.4%，21.9%，31.3%，次生闊葉林次

表 3. 惠蓀林場三種林分中不同土壤深度在不同月份的溫度(°C)變化

Table 3. The different soil depth temperature (°C) of three stands in Hui-Sun Experiment Forest with different months.

調查時間		天然闊葉林			杉木人工林			次生闊葉林		
1998/10	0 cm	19.12	b	x	18.62	b	y	18.94	b	x
	10 cm	19.43	a	x	18.96	a	y	19.19	ab	xy
	20 cm	19.55	a	x	19.11	a	y	19.26	a	xy
1998/11	0 cm	17.45	a	x	17.55	b	x	17.61	b	x
	10 cm	17.79	a	x	17.83	a	x	17.92	ab	x
	20 cm	17.99	a	x	18.03	a	x	18.04	a	x
1998/12	0 cm	15.29	a	y	15.26	b	y	15.68	b	x
	10 cm	15.95	a	x	16.07	a	x	16.28	a	x
	20 cm	16.39	a	x	16.45	a	x	16.60	a	x
1999/01	0 cm	13.37	a	y	13.39	b	y	13.77	b	x
	10 cm	13.92	a	x	14.11	a	x	14.30	ab	x
	20 cm	14.32	a	x	14.49	a	x	14.60	a	x
1999/02	0 cm	12.41	a	xy	12.62	b	x	12.82	b	x
	10 cm	12.96	a	x	13.23	a	x	13.36	ab	x
	20 cm	13.35	a	x	13.63	a	x	13.66	a	x
1999/03	0 cm	16.42	a	x	16.25	a	x	16.59	a	x
	10 cm	16.36	a	x	16.10	a	y	16.50	a	x
	20 cm	16.27	a	x	16.15	a	x	16.38	a	x
1999/04	0 cm	18.09	a	x	17.58	a	y	17.61	a	y
	10 cm	18.01	a	x	17.44	a	y	17.48	a	y
	20 cm	17.89	a	x	17.48	a	y	17.34	a	y
1999/05	0 cm	18.20	a	x	17.37	a	y	18.24	a	x
	10 cm	18.23	a	x	17.48	a	y	18.18	a	x
	20 cm	18.22	a	x	17.54	a	y	18.11	a	x
1999/06	0 cm	20.51	a	x	19.90	a	y	20.68	a	x
	10 cm	20.44	a	x	19.74	a	y	20.44	a	x
	20 cm	20.20	a	x	19.70	a	y	20.22	a	x
1999/07	0 cm	20.70	a	x	19.93	a	y	20.40	a	x
	10 cm	20.71	a	x	19.97	a	y	20.30	a	x
	20 cm	20.58	a	x	19.97	a	y	20.21	a	xy
1999/08	0 cm	20.50	a	x	--			19.80	a	y
	10 cm	20.65	a	x	--			20.03	a	y
	20 cm	20.63	a	x	--			20.10	a	y

註：1.每一數值為2個測點，一天24筆測值的月平均值。

2.每列平均值後之字母(x, y, z)若不同表同一月不同林分相同土深之溫度呈顯著差異(p < 0.05)。

3.同月相同林分不同土深溫度之平均值後之字母(a, b, c)若不同表顯著差異(p < 0.05)。

4.-- 表示未測得溫度。

之，分別為 2.1%、11.7%、15.9%、29.5%，杉木人工林最慢，分別為 -10.8%、1.4%、12.9%，但是 8 個月時杉木人工林枯枝落葉分解速率急速竄升到 30.5%，追過次生闊葉林的 29.5%，待 10 個月時更高達 44.1%，遠高於天然闊葉林的 33.5% 與次生闊葉林的 38.1%，此現象之原因尚無法得知。

枝葉層的分解是一個連續性的過程，有機物經由礦質化作用形成可供植物吸收之型態，在此分解過程中微生物扮演重要角色，而微生物的族群與活力控制著分解速率的進行，因此有機質所含能量及所釋出養分的有效性控制著整個分解過程 (Takeda, 1998)。對分解枯落物的微生物而言，氣候環境會對其活動力產生影響，因此在不同的生育地，有機物積聚與分解速率呈現很大的差異。學者認為環境因子是枝葉層分解與積聚間呈現差異的主要決定者，其中以降水及溫度影響最巨 (Taylor, 1998; Mesquita *et al.*, 1998)。表 3 為三種林分在試驗期間的土壤溫度變化，顯示本試驗地不同土壤層的溫度變化極為規則，在秋冬之際 (10 月 - 2 月) 土壤 20 cm 深處土壤溫度高於 10 cm 與地表溫度，但在春季開始則土表層溫度則高於 10 cm 與 20 cm 深處土壤溫度 (杉木人工林 8 月因數據收集器故障，缺當月土溫資料)。由表 3 溫度的變化情況可知，不同林分之間的溫度差異極微，因此不同林分之枯枝落葉分解速率不同應非溫度所造成。若是以每 2 個月的分解速率計算，天然闊葉林的分解速率分別為 5.0%、15.4%、1.5%、10.6%、3.2%，次生闊葉林為 2.1%、9.6%、3.8%、14.4%、9.4%，杉木人工林為 -10.8%、12.2%、11.59%、17.6%、13.6%，顯示天然闊葉林與次生闊葉林的分解速率極為不規則，杉木人工林則較具穩定的分解速率，因此每月的分解速率與溫度間同樣無相關性。

微生物在枝葉層活動需要有適當的水分及溫度，本試驗地為相鄰的三種不同林分，因此試驗期間全年降雨量相近約為 1,799 mm (游繁結，尚未發表數據)，另外劉瓊霏與許博行 (1999) 於 1996 年探討本試驗地三種林分的年穿落量與幹流

量在雖有差異，但不論降雨量、穿落量與幹流量與本試驗的枯枝落葉量及分解速率的相關係數都低於 0.35，顯示與本試驗所得之分解速率無相關，此外降雨量的分佈在本試驗地極為不均，每年 10 月至隔年 2、3 月間幾乎不降雨 (游繁結、鐘啓榮，1999)，但本試驗的分解速率是仍是持續進行，證實本試驗地的分解速率與雨量並無相關性，雖然研究證實林地內落葉之重量減少與降雨量成直線相關 (Wood, 1974)，但本試驗結果並非如此。枯枝落葉之性質則以化學成分中之木質素 (lignin) 及含氮量為最主要之控制因素 (Berg *et al.*, 1995)，木質素本身為一極難分解之有機物質，且其在結構上常與纖維素、半纖維素結合，具減緩此兩物質分解作用 (Smith *et al.*, 1998)。至於含氮量，由於微生物需要吸收氮以合成本身所需之蛋白質，故高含氮量有加速分解的作用 (Koopmans *et al.*, 1998)。此外因樹種的不同，會影響到枯落物的質、量、兩者或其它因子 (Gardenas, 1998)。但即使同一樹種因生育地氣候因素不同，枯落物量也會不同 (林國銓，1997)。總之，林地內枯枝落葉之分解是由環境因子及落葉層綜合作用而造成。

台灣林地地勢陡峭，夏季高溫與雨水可能造成落葉之急速分解，而夏秋季的颱風更會造成環境的急遽改變，影響落葉層的組成與分解。林木所需養分的 50% 以上，來自枯枝落葉之分解，尤以落葉量約佔其枯枝落葉量之 75% (Jorgensen and Wells, 1986)，因此其分解速率極具重要性。探討枯枝落葉的分解速率，以及進一步分析礦物質養分之分解速度，可以了解林地養分之供應量。測定林地上枯枝落葉分解速率的方法有很多，但以枝葉袋 (litterbag) 法廣泛的為人所利用 (Akanil and Middleton, 1997; Berg and Cortina, 1995; Berg and Laskowski, 1997; Chadwick *et al.*, 1998)，如果大型昆蟲及動物對分解速率的影響不太大，則一般以 1 mm 網孔的尼龍網進行實驗，本試驗利用此法經 10 個月野外觀察枝葉袋尼龍網仍相當完善，惟在次生林與天然林中，有

部份枝葉袋會有新生根系的穿入，日後之研究應設法改善。

四、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。

林世宗(1989)不同栽植距離下柳杉林分之生長及其養分動態之研究。台灣大學森林學研究所博士論文。

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。

徐正鍾(1981)柳杉、杉木枯落物量及養分含量季節變化之研究。中興大學森林學研究所碩士論文。

高毓斌(1985)台灣孟宗竹之乾物生產與生物性養分循環。台灣大學森林學研究所博士論文。

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。

游繁結、鐘啓榮(1999)關刀溪森林集水區降雨與逕流關係之研究。林業研究季刊21(2): 9-20。

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。

劉興旺(1985)柳杉枯落物量及養分含量之年齡及季節變化。台灣大學森林學研究所碩士論文。

劉瓊霏、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。

Akanil, N. and B. Middleton.(1997) Leaf litter decomposition along the Porsuk River, Eskisehir, Turkey. Can. J. Bot. 75: 1394-1397.

Berg, B. and J. Cortina. (1995) Nutrient dynamics in some decomposing leaf and needle litter type in a *Pinus sylvestris* forest. Scand. J. For. Res. 10: 1-11.

Berg, B. and R. Laskowski.(1997)Changes in nutrient concentrations and nutrient release in decomposing needle litter in monocultural systems of *Pinus contorta* and *Pinus sylvestris* - a comparison and synthesis. Scand. J. For. Res. 12: 113-121.

Berg, B., C. Mcclaugherty, A. V. De Santo, M-B. Johansson and G. Ekbohm. (1995) Decomposition of litter and soil organic matter-can we distinguish a mechanism for soil organic matter buildup? Scand. J. For Res. 10: 108-119.

Burghouts, T. B. A., N. M. Van Straalen and L. A. (1998)Spatial heterogeneity of element and litter turnover in a Bornean rain forest. J. Trop. Ecol. 14: 477-506.

Chadwick, D. R., P. Ineson, C. Woods and T.G. Pearce.(1998)Decomposition of *Pinus sylvestris* litter in litter bags: influence of underlying native litter layer. Soil Biol. Biochem. 30(1): 47-55.

Edomons, R. L.(1984) Long-term decomposition and nutrient dynamics in Pacific silver fir needles in western Washington. Can. J. For. Res. 14: 395-400.

Fisk, M. C., S. K. Schmidt and T. R. Seastedt. (1998)Topographic patterns of above- and belowground production and nitrogen cycling in alpine tundra. Ecology 79(7): 2253-2266.

Gardenas, A. I. (1998) Soil organic in European forest floors in relation to stand characteristics and environmental factors. Scand. J. For. 13: 274-283.

Gholz, H. L., C. S. Perry, W. P. Cropper and L. C. Hendry. (1985) Litterfall, decomposition and nitrogen and phosphorus dynamics in chronosequence of slash pine (*Pinus elliottii*) plantations. For. Sci. 31: 463-478.

Jorgensen, J. R. and C. G. Wells.(1986) A loblolly

-
- pine management guide- Foresters primer in nutrient cycling. USDA Forest Service General Technical Report SE-37. Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, North Carolina, USA.
- Koopmans, C. J., A. Tietema and J. M. Verstraten. (1998) Effects of reduced N deposition on litter decomposition and N cycling in two N saturated forests in the Netherlands. *Soil Biol. Biochem.* 30(2): 141-151.
- Meentemeyer, E. O. B. and R. Tompson.(1982) World patterns and amounts of terrestrial plant litter production. *Bioscience* 32: 125-128.
- Mesquita, R. De C. D., S. W. Workman and C. L. Neely. (1998) Slow litter decomposition in a Cecropia-dominated secondary forest of central Amazonia. *Soil Biol. Biochem.* 30(2): 167-175.
- Smith, C. K., H. L. Gholz and F. De A. Oliveira. (1998) Fine litter chemistry, early-stage decay, and nitrogen dynamics under plantations and primary forest in lowland Amazonia. *Soil Biol. Biochem.* 30(14): 2159-2169.
- Takeda, H.(1998) Decomposition processes of litter along a latitudinal gradient. *Environmental Forest Science*. Kluwer academic publishers. Kyoto University, Japan. pp. 197-206.
- Taylor, B. R. (1998) Air-drying depresses rates of leaf litter decomposition. *Soil Biol. Biochem.* 30(3): 403-412.
- Whitmore, T. C. (1984) Tropical rain forests of the Far East. Clarendon Press, Oxford, England. 498 pp.
- Wood, T. G. (1974) Field investigations on the decomposition of leaves of *Eucalyptus delegatensis* in relation to environmental factors. *Pedobiologia* 14: 343-371.