

行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列 99-00-5-20

漂流木對森林生態系碳和營養源的輸出

Exporting of driftwoods from forest ecosystem and
nutrient source



委託機關：行政院農委會林務局

執行機關：國立中興大學森林學系

中華民國九十九年十二月

目錄.....	1
一、中文摘要.....	2
二、英文摘要.....	3
三、計畫目的.....	5
四、重要工作項目及實施方法.....	7
(一) 漂流木樣本蒐集.....	7
(二) 漂流木之碳與養份含量測定.....	11
1. 漂流木 P、K、Ca、Mg 含量之測定.....	11
2. 漂流木 C、N、S 含量之測定.....	13
(三) 林管處漂流木總量估算資料蒐集.....	14
(四) 各林管處漂流木碳和營養源輸出估算.....	15
五、結果與討論.....	16
六、結論.....	22
七、參考文獻.....	23
八、期中簡報審查意見回覆表.....	24
九、期末簡報審查意見回覆表.....	27

一、中文摘要

台灣位於太平洋熱帶與亞熱帶交界處，是全球颱風發生頻率較高的地區之一。於近 20 年間，平均每年遭受 3.7 個颱風侵襲，惟近年溫室效應連帶造成冰川融化、海洋暖化、海洋面積擴大、海平面上升，更進一步影響大氣環流與洋流，引起全球氣候變遷，預測將帶來更多極端氣候，且目前有越來越多研究認為，全球暖化使海洋表面平均溫度上升，將使颱風生成的頻率與強度大幅增加，亦由於極端氣候發生之頻率增加，土石流與漂流木氾濫的頻度亦增大。故本研究之目的，係針對前人鮮少關注之漂流木對於森林生態系碳素與養分輸出量做初步之研究與估算，以供未來關於台灣森林的碳和養分之輸出有更深入之了解。重要工作項目有漂流木樣本蒐集、漂流木之碳與養分含量測定、林管處漂流木總量估算資料之彙整及推估各林管處漂流木碳和營養源輸出量。各林區管理處漂流木生物量由高至低依序為屏東林區管理處 (889,058 Mg)、台東林區管理處 (153,864 Mg)、嘉義林區管理處 (74,271 Mg)、花蓮林區管理處 (16,789 Mg)、羅東林區管理處 (3,012 Mg)、南投林區管理處 (2,192 Mg)、新竹林區管理處 (980 Mg)、東勢林區管理處 (401 Mg)，全臺灣林地產生漂流木生物量共 1,140,567 Mg；而各林區管理處林地單位面積輸出碳量由高至低依序為屏東林管處 ($1,358.94 \text{ kg ha}^{-1}$)、嘉義林管處 ($269.22 \text{ kg ha}^{-1}$)、台東林管處 ($253.53 \text{ kg ha}^{-1}$)、花蓮林管處 (22.38 kg ha^{-1})、羅東林管處 (4.31 kg ha^{-1})、南投林管處 (3.15 kg ha^{-1})、東勢林管處 (1.76 kg ha^{-1}) 和新竹林管處 (1.65 kg ha^{-1})，全臺灣林地平均單位面積輸出碳量為 $261.61 \text{ kg ha}^{-1}$ ，其中以屏東林管處轄區的漂流木生物量與林地單位面積輸出碳量最高。本次莫拉克颱風侵襲台灣期間，森林生態系共輸出 1,140,567 Mg 之漂流木生物量；碳 550,010 Mg；氮 1,308 Mg；磷 4,350 Mg；鉀 3,326 Mg；鈣 6,315 Mg；鎂 1,907 Mg；硫 120 Mg。森林單位面積平均約輸出碳 261 Mg ha^{-1} ，氮 622.60 g ha^{-1} ；磷 2069 g ha^{-1} ；鉀 $1,582 \text{ g ha}^{-1}$ ；鈣 $3,004 \text{ g ha}^{-1}$ ；鎂 907 g ha^{-1} ；硫 57.10 g ha^{-1} 。故本研究已針對前人鮮少關注之漂流木對於森林生態系碳素與養分輸出量做初步之研究與估算，供未來關於台灣森林的碳和養分之輸出有更深入之了解。

【關鍵字】 漂流木、碳、養分、森林生態系

二、英文摘要

Taiwan is located at the junction of the tropical and subtropical Pacific Ocean, is the world's high frequency of typhoons in the world. In the past 20 years, suffered an average of 3.7 typhoons each year, but in recent years the greenhouse effect and induce the glaciers melt, ocean warming, ocean expansion, sea level rise, and further affect the atmospheric circulation and ocean currents, causing global climate change is projected to take more extreme weather, and there are more and more studies suggest that global warming makes ocean surface temperature, the typhoon will generate a substantial increase in the frequency and intensity, but also the increasing frequency of occurrence of extreme weather, landslides and driftwood the frequency of flooding has increased. The purpose of this study, the Department of driftwood for the former rarely concern for forest ecosystem carbon and nutrient output of research and a preliminary estimate for the future of carbon and nutrients cycle, have a deeper understanding of the output. Important work of the project has collected samples of driftwood, driftwood of carbon and nutrient content determination, estimation of total forest management at the driftwood and compiled data to estimate driftwood output of carbon and nutrient sources. The Forest District Office in descending order of driftwood biomass Pingtung Forest District Office (889,058 Mg) ; Taitung Forest District Office (153,864 Mg) ; Chiayi Forest District Office (74,271 Mg) ; Hualien Forest District Office (16,789 Mg) ; Luotung forest area management office 3,012 Mg) ; Nantou Forest District Office (2,192 Mg) ; Hsinchu Forest District Office (980 Mg) ; Dongshih Forest District Office (401 Mg) , forest produce in Taiwan Driftwood total biomass of 1,140,567 Mg. and the Forest District Office, the output of carbon per unit area of forest land in descending order of Pingtung Forest District Office (1,358.94 kg ha⁻¹) , Chiayi Forest District Office (269.22 kg ha⁻¹) , Taitung Forest District Office (253.53 kg ha⁻¹) , Hualien Forest District Office (22.38 kg ha⁻¹), Luotung forest bureau (4.31 kg ha⁻¹) , Nantou Forest District Office (3.15 kg ha⁻¹) , Hsinchu Forest District Office (1.65 kg ha⁻¹) and Dongshih Forest District Office (1.76 kg ha⁻¹) , the average unit area of forest land in Taiwan, the output of carbon content of 261.61 kg ha⁻¹, which the Pingtung Forest District Office area of driftwood biological the amount of forest land per unit area and the highest output of carbon. Morakot hit Taiwan this period, the forest ecosystems of the total output of 1,140,567 Mg driftwood biomass; Carbon 550,010 Mg; Nitrogen 1,309 Mg; Phosphorous 4,350 Mg; Potassium 3,326 Mg; Calcium 6,316 Mg; Magnesium 1,907 Mg; Sulfur 120 Mg. Average output per unit area of forest Carbon 261 Mg ha⁻¹, Nitrogen and 623 g ha⁻¹; Phosphorous 2,069 g ha⁻¹; Potassium 1,582 g ha⁻¹; Calcium

3,003 g ha⁻¹; Magnesium 907 g ha⁻¹; Sulfur 57 g ha⁻¹. Therefore, this research has rarely concerned about the driftwood for the previous forest ecosystems for carbon and nutrient output of research and a preliminary estimate for the future of carbon cycle and nutrients have a deeper understanding of the output.

【Keywords】 Driftwoods, Carbon, Nutrient, Forest ecosystem

三、計畫目的

台灣位於太平洋熱帶與亞熱帶交界處，是全球颱風發生頻率較高的地區之一（林登秋，2006），於近 20 年間，平均每年遭受 3.7 個颱風侵襲（Wu *et al.*, 1999），惟近年溫室效應連帶造成冰川融化、海洋暖化、海洋面積擴大、海平面上升，更進一步影響大氣環流與洋流，引起全球氣候變遷，預測將帶來更多極端氣候（IPCC, 2008），且目前有越來越多研究認為，全球暖化使海洋表面平均溫度上升，將使颱風生成的頻率與強度大幅增加（Emanuel, 2005; Webster *et al.*, 2005; Hoyos *et al.*, 2006）。2009 年 8 月，台灣遭受莫拉克（Morakot）侵襲，造成南部地區近 50 年來最大水患，中央氣象局紀錄指示此颱風累計雨量達到 2,900mm，比當地平均年雨量高出些許（中央氣象局，2009），由於此等暴雨過於大量，土壤在降雨開始後不久即達到飽和，後續的降雨則多以地表與次地表逕流的方式迅速進入溪流。當流量大增時，勢必對河岸基腳造成沖刷，而飽和的土壤使坡面負荷增加（陸象豫等，2010），加上台灣脆弱陡峻之地質結構的雙層作用力之下，將造成嚴重的林地崩塌，致使漂流木氾濫、土石流等問題。但近年來亦有研究結果指出，熱帶氣旋（熱帶形成之颱風）亦可影響間熱幅合帶（Intertropical Convergence Zone, ITCZ）的山林，而 Webster (2005) 等，亦認為全球極端氣候頻率與強度加劇，有可能是整個地球生態系統對於近年人為大量開採石化燃料，導致過量的碳排放於大氣之中的正向回饋（positive feedback）機制，可使大氣中的 CO₂ 固定於有機體中，迅速埋藏於海底，以利於碳封存，並非全然為負面影響。

成熟的森林生態系可產生穩定的枯落物量，使枯枝落葉層和土壤養分供給保持穩定。但台灣的森林生態系易受颱風擾動，對於植物之分布（斯煒，1947）、常態化差異植生指數（normalized difference vegetation index, NDVI）（康若蘭等，2000）、森林枯落物量（林國銓，2000；林國銓，2006）、林內穿落雨之空間分布（盧惠生，2006）、生態系結構與功能（林登秋，2006）及林下光量與小苗之生長（郭耀綸等，2007）等，皆產生變異，以致存在於生物體大量養分元素 C、N、P、K、Ca、Mg、S 循環的速率、輸入與輸出亦隨之改變。

森林生態系內部的碳及養分循環，通常係由枯落物的分解與植物根部和土壤微生物吸收所形成。在穩定的狀態下，大部份由枯落物分解所釋出的養分會再度被植群社會、微生物及土壤所吸收，進而達成一穩定的平衡狀態；僅有少量的養分，將隨土壤水之滲

流而被帶離生態系。惟台灣近年極端氣候頻繁，導致狂風暴雨經常發生，而遭颱風擊落的新鮮枝葉較隨季節更迭回歸林地的枯黃老葉，有更高的養分濃度 (林國銓, 1997)，因此，在分解過程中所釋放的大量養分，可能超出整個森林生態系所能吸附的量，特別在降雨量高之地區，礦物離子型態的養份將隨土壤水、地表與次地表逕流流失。或者，颱風亦會促使森林土壤中的氮，以氣體方式逸失 (Erickson and Ayala, 2004)。

亦由於極端氣候發生之頻率增加，土石流與漂流木氾濫的頻度亦增大。但目前對於森林生態系因為漂流木使養份輸出於整個養份內循環的研究鮮少。故本研究之目的，係針對前人鮮少關注之漂流木對於森林生態系碳素與養分輸出量做初步之研究與估算，以供未來關於台灣森林的碳和養分之輸出有更深入之了解。

四、重要工作項目及實施方法

本計畫重要工作項目有漂流木樣本蒐集、漂流木之碳與養分含量測定、林管處漂流木總量估算資料之彙整及推估各林管處漂流木碳和營養源輸出量，其詳細實施辦法如下列所示：

(一) 漂流木樣本蒐集

本試驗對象為莫拉克颱風後的漂流木樣本蒐集，依序於南、東、中與北臺灣四地區各省道可及處之中央管河川(圖 1) 與南、東部主要縣市管河川沿岸或集材廠，以手鋸(照片 1) 或鏈鋸(照片 2)，隨機採取全台各林管處集水區流域之漂流木圓盤。取得途徑於下列所示：

1. 南臺灣

沿台 21 線(高屏溪流域)(照片 3、4)、台 27 線(東港溪流域)、台 17 線(林邊溪流域)、台 9 線(楓港溪流域)、台 6 線(保力溪流域)、屏東縣道 199 號(四重溪流域)、屏東縣道 200 號(港口溪流域)、台 1 線(鹽水溪、二仁溪、率芒溪、枋山溪流域)、台 3 線(曾文溪流域)、台 61 線西濱快速道路(急水溪流域)、嘉義縣道 163 號(八掌溪流域)、嘉義縣道 166 號(朴子溪、北港溪流域)等主要幹道搜集台灣南部地區各主要河川沿岸漂流木樣本。

2. 東臺灣

沿台 9 線(卑南溪、秀姑巒溪、和平溪流域)、台 11 丙(花蓮溪流域)等主要幹道搜集台灣東部地區各主要河川沿岸漂流木樣本。

3. 中臺灣

沿台 1 線(濁水溪、烏溪、大安溪、中港溪流域)、台 8 線(大甲溪流域)、台 6 線(後龍溪流域)等主要幹道搜集台灣中部地區各主要河川沿岸漂流木樣本。

4. 北臺灣

沿台 68 東西向快速道路(頭前溪流域)、新竹線道 118 號(鳳山溪流域)、台 15 線和台 2 線(淡水河流域)、台 7 線(蘭陽溪流域)等主要幹道到達台灣北部地區各主要河川沿岸漂流木樣本。



照片 1 使用手鋸於高屏溪邊採取漂流木之樣本。



照片 2 以鏈鋸於木工廠採取漂流木樣本。



照片 3 高屏溪雙園大橋因莫拉克颱風侵襲沖毀，現今重建中。



照片 4 漂流木採集現場水量豐沛。

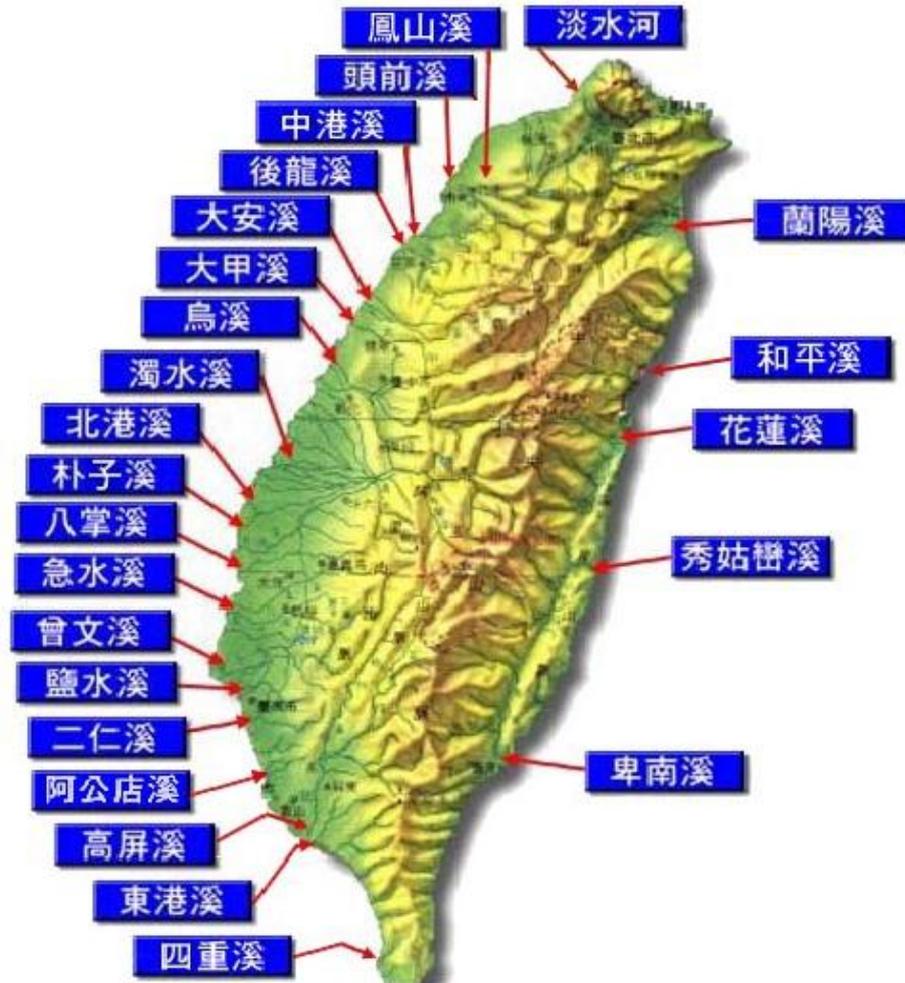


圖 1 經濟部水利署訂定之中央管河川示意圖 (經濟部水利署, 2008)。

(二) 漂流木之碳與養份含量測定

1. 漂流木 P、K、Ca、Mg 含量之測定

參考 Allen 等人 (1986) 所提出的消化方法，並加以改良，將固態之漂流木粉之養分離子溶於高溫強酸之中，再以感應偶合電漿-原子發射光譜法測定樣本中 P、K、Ca、Mg 的含量，其詳細步驟如下列所示：

- (1) 取得之樣本，利用研磨機磨成粉末，再以網目為 0.149 mm (mesh NO.100) 之標準篩過篩。
- (2) 而後秤取已過篩之粉末約 0.1 g 於 50 ml 消化管中，依序加入 10 ml 65% $\text{HNO}_3(\text{aq})$ 、2 ml 96% $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ 搖晃，使樣本初步降解後，再加入 2 ml 60% $\text{HClO}_3(\text{aq})$ ，使之充分混合均勻。

- (3) 利用已先預熱 200°C 之電器加熱板，加熱 2 hr，再升溫至 375°C 1.5 hr，而後再次降溫至 200°C，煮至液體澄清 (照片 5)。



照片 5 將消化管內樣本混和強酸溶液煮至澄清。

- (4) 消化後所得澄清液，先以去離子水約略稀釋 (防止濾紙因酸蝕破裂)，並使用 Whatman 42 號濾紙過濾，濾液定量至 50 ml (照片 6)，以 100 ml 之塑膠罐盛裝 (照片 7)，所得溶液，即可以感應偶合電漿質譜層析儀 (Inductively Coupled Plasma-atomic emission Spectrometry, ICP-AES, Leeman Labs. U.S.A.) 分析樣本。



照片 6 以濾紙過濾消化完成之樣本。



照片 7 使用 100 ml 塑膠瓶盛裝已定量之樣本。

2. 漂流木 C、N、S 含量之測定

參造上述樣本磨粉之步驟，將漂流木樣本破碎化後，使用微量天平精秤過篩之漂流木樣品粉末約 5-12 mg 於儀器專用小錫盒內 (照片 8)，摺疊包裝後送入元素分析儀 (CHNOS Elemental Analyzer, vario EL, Germany)，此儀器原理係利用 WO_3 作為催化劑，將分析樣本燃燒氧化成氣體，利用不同管住的吸附與脫附，使二氧化碳及氮氣分離，再利用熱導偵測器 (thermal conductivity detector, TCD) 進行偵測，即可得樣本 C、N、S 的濃度。



照片 8 EA 專用之小錫盒盛裝樣本粉末。

(三) 林管處漂流木總量估算資料蒐集

在莫拉克颱風造成漂流木大量輸出森林期間，依據林務局莫拉克颱風漂流木清理一般地區統計資料表，全台各林管處漂流木總量估算如圖 3 所示。屏東林區管理處轄屬範圍共有漂流木 826,142 公噸，台東林區管理處轄屬範圍有 205,276 公噸，嘉義林區管理處轄屬範圍 90,809 公噸，花蓮林區管理處轄屬範圍 18,003 公噸，南投林區管理處轄屬範圍 2,350 公噸，羅東林區管理處轄屬範圍 2,085 公噸，新竹林區管理處轄屬範圍 1,019 公噸，東勢林區管理處轄屬範圍 430 公噸，全台共計 1,146,114 公噸。

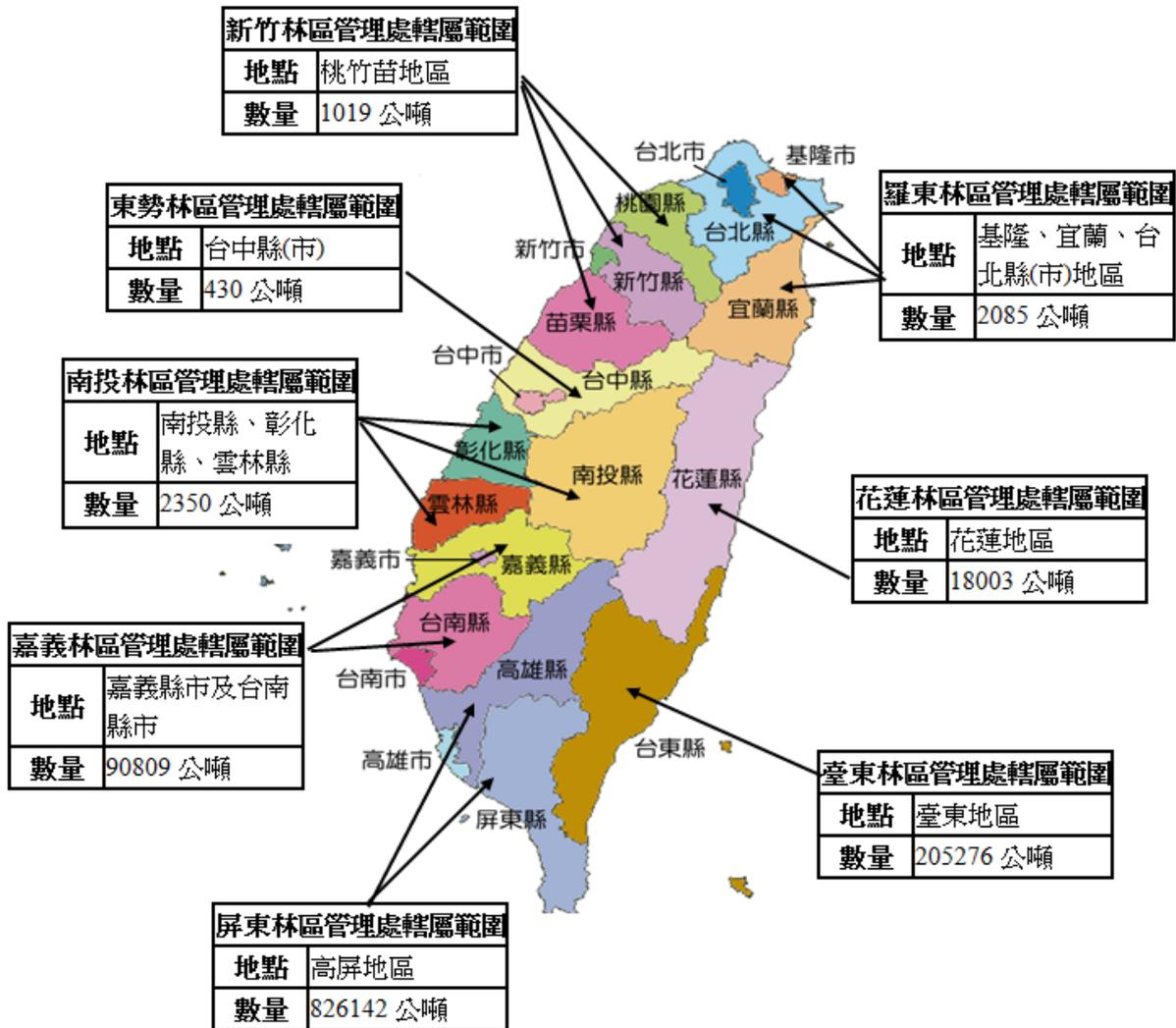


圖 3 莫拉克颱風漂流木清理一般地區統計圖。

(四) 各林管處漂流木碳和營養源輸出估算

各林管處漂流木碳和營養源輸出量之估算，係以各林區管理處轄屬範圍統計資料之常態漂流木重量，經長時間之放置而趨近氣乾 (air dry) 重 (W_n)，乘以樣本漂流木粉 105°C 爐乾/漂流木樣本氣乾重(C)，再乘上各養分元素含量 (E_r %)，如式 (1) 所示，即可求出各林管處漂流木碳和營養源從森林生態系輸出總量。而求得之總輸出量，再除以各林管處森林地面積，即可求得單位面積養分輸出量。

$$W_e = W_n \times C \times E_r \% \dots \dots \dots (1)$$

$$C = W_{ds} / W_{ns} \dots \dots \dots (2)$$

W_e ：碳或養分元素總重量 (Mg)

W_n ：漂流木氣乾重 (Mg)

C ：樣本 105°C 漂流木粉爐乾重/漂流木樣本氣乾重(g/g)

E_r ：碳或養分元素含量 (%)

W_{ds} ：漂流木樣本 105°C 爐乾重 (g)

W_{ns} ：漂流木樣本氣乾重 (g)

五、結果與討論

本計畫研究結果如表 1 所示，各林區管理處漂流木生物量由高至低依序為屏東林區管理處 (889,058 Mg)、台東林區管理處 (153,864 Mg)、嘉義林區管理處 (74,271 Mg)、花蓮林區管理處 (16,789 Mg)、羅東林區管理處 (3,012 Mg)、南投林區管理處 (2,192 Mg)、新竹林區管理處 (980 Mg)、東勢林區管理處 (401 Mg)，全臺灣林地產生漂流木生物量共 1,140,567 Mg；而各林區管理處林地單位面積輸出碳量由高至低依序為屏東林管處 ($1,358.94 \text{ kg ha}^{-1}$)、嘉義林管處 ($269.22 \text{ kg ha}^{-1}$)、台東林管處 ($253.53 \text{ kg ha}^{-1}$)、花蓮林管處 (22.38 kg ha^{-1})、羅東林管處 (4.31 kg ha^{-1})、南投林管處 (3.15 kg ha^{-1})、東勢林管處 (1.76 kg ha^{-1}) 和新竹林管處 (1.65 kg ha^{-1})，全臺灣林地平均單位面積輸出碳量為 $261.61 \text{ kg ha}^{-1}$ ，其中以屏東林管處轄區的漂流木生物量與林地單位面積輸出碳量最高。

根據台灣中央氣象局 (central weather bureau, ROC) 建立的 TDB 防災颱風資料庫系統，配合表 1 結果顯示，各林區管理處林地單位面積輸出碳量與單日累計最大降雨量呈現顯著正相關 (圖 4)，又由於台灣地勢險峻陡峭且位處歐亞板塊與菲律賓板塊交接處，本即屬地震頻繁之地區，地層極不穩定，倘遇颱風帶來豪大雨，雨量遠超過森林植

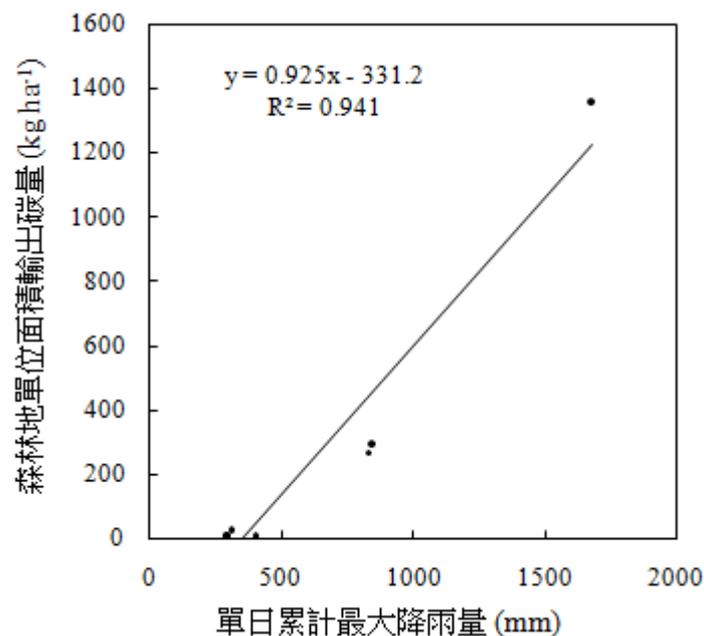


圖 4 莫拉克颱風期間森林地單位面積輸出碳量與單日累計最大降雨量相關曲線。

表 1 各林管處轄區內各縣市林地輸出碳量

林管處	縣市別	森林地面積 (ha)	漂流木			林地單位面積 輸出碳量 (kg ha ⁻¹)
			常態重 (Mg)	爐乾生物量 ¹⁾ (Mg)	碳量 (Mg)	
屏東	高雄縣市	172,900	764,530	712,981	348,303	2,014.48
	屏東縣	146,700	188,808	176,077	86,014	586.33
	小計	319,600	953,338	889,058	434,317	1,358.94
台東	台東縣	279,900	164,988	153,864	70,962	253.53
	小計	279,900	164,988	153,864	70,962	253.53
嘉義	嘉義縣市	83,500	13,215	12,324	5,584	66.87
	台南縣市	41,500	66,426	61,947	28,068	676.34
	小計	125,000	79,641	74,271	33,652	269.22
花蓮	花蓮縣	359,500	18,003	16,789	8,046	22.38
	小計	359,500	18,003	16,789	8,046	22.38
南投	南投縣	298,000	2,350	2,192	1,007	3.38
	彰化縣	6,000	—	—	—	—
	雲林縣	15,800	—	—	—	—
	小計	319,800	2,350	2,192	1,007	3.15
羅東	宜蘭縣	163,700	2,085	1,944	899	5.49
	台北地區	159,500	1,145	1,068	493	3.09
	小計	323,200	3,230	3,012	1,393	4.31
新竹	桃園縣	42,200	1,049	978	436	10.33
	新竹縣市	100,700	1	0.9	0.4	0.00
	苗栗縣	122,000	0.6	0.6	0.3	0.00
	小計	264,900	1,051	980	436.7	1.65
東勢	台中縣市	110,500	430	401	195	1.76
	小計	110,500	430	401	195	1.76
總計		2,102,400	1,223,031	1,140,567	550,010	261.61

¹⁾ 常態重 (Wns) 乘以本試驗 C = 0.9326 即可得爐乾生物量。

表 2 各林管處轄區內各縣市林地 N、P、K、Ca、Mg、S 養分輸出總量

林管處	縣市別	漂流木養分總量 ¹⁾ (Mg)					
		N	P	K	Ca	Mg	S
屏東	高雄縣市	753.86	2,691.31	2,153.05	3,933.70	1,204.91	49.20
	屏東縣	186.17	664.64	531.72	971.47	297.56	12.15
	小計	940.03	3,355.95	2,684.77	4,905.17	1,502.47	61.35
台東	台東縣	174.33	597.26	480.54	748.48	273.74	36.47
	小計	174.33	597.26	480.54	748.48	273.74	36.47
嘉義	嘉義縣市	27.69	50.73	15.94	89.28	13.87	3.20
	台南縣市	139.20	255.00	80.12	448.76	69.71	16.11
	小計	166.89	305.72	96.06	538.03	83.58	19.31
花蓮	花蓮縣	19.18	64.92	48.74	90.27	28.43	2.27
	小計	19.18	64.92	48.74	90.27	28.43	2.27
南投	南投縣	2.60	8.33	5.20	11.13	3.86	0.25
	彰化縣	—	—	—	—	—	—
	雲林縣	—	—	—	—	—	—
	小計	2.60	8.33	5.20	11.13	3.86	0.25
羅東	宜蘭縣	2.11	7.58	5.55	11.06	3.41	0.19
	台北地區	1.16	4.16	3.05	6.08	1.87	0.11
	小計	3.26	11.75	8.60	17.14	5.28	0.30
新竹	桃園縣	2.24	4.04	0.95	3.12	0.90	0.08
	新竹縣市	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
	苗栗縣	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
	小計	2.24	4.05	0.95	3.13	9.01	0.08
東勢	台中縣市	0.42	1.55	1.23	2.22	0.69	0.03
	小計	0.42	1.55	1.23	2.22	0.69	0.03
總計		1,308.95	4,349.52	3,326.10	6,315.57	1,907.06	120.04

¹⁾ 漂流木各項養分含量分別由表 4 而得

²⁾ 量過稀少無法測得。

表 3 各林管處轄區內各縣市林地單位面積 N、P、K、Ca、Mg、S 養分輸出量

林管處	縣市別	林地單位面積漂流木養分輸出量 ^{1,3)} (g ha ⁻¹)					
		N	P	K	Ca	Mg	S
屏東	高雄縣市	4,360.08	15,565.70	12,452.60	22,751.33	6,968.81	284.53
	屏東縣	1,269.07	4,530.64	3,624.52	6,622.13	2,028.38	82.82
	小計	2,941.27	10,500.48	8,400.41	15,347.84	4,701.10	191.94
台東	台東縣	622.82	2,133.82	1,716.84	2,674.11	977.99	130.28
	小計	622.82	2,133.82	1,716.84	2,674.11	977.99	130.28
嘉義	嘉義縣市	331.64	607.54	190.88	1,069.19	166.09	38.37
	台南縣市	3,354.10	6,144.47	1,930.54	10,813.40	1,679.76	388.10
	小計	1,335.10	2,445.80	768.45	4,304.27	668.63	154.48
花蓮	花蓮縣	53.35	180.58	135.59	251.10	79.08	6.30
	小計	53.35	180.58	135.59	251.10	79.08	6.30
南投	南投縣	8.73	27.95	17.45	37.33	12.94	0.84
	彰化縣	— ²⁾	—	—	—	—	—
	雲林縣	—	—	—	—	—	—
	小計	8.14	26.04	16.26	34.79	12.06	0.78
羅東	宜蘭縣	12.87	46.32	33.93	67.59	20.83	1.17
	台北地區	7.25	26.11	19.12	38.09	11.74	0.66
	小計	10.10	36.35	26.62	53.03	16.34	0.92
新竹	桃園縣	53.03	95.73	22.44	73.95	21.31	1.85
	新竹縣市	0.02	0.04	0.01	0.03	0.09	0.00
	苗栗縣	0.01	0.02	—	0.01	0.04	0.00
	小計	8.46	15.28	3.58	11.80	34.01	0.29
東勢	台中縣市	3.78	14.03	11.14	20.13	6.27	0.29
	小計	3.78	14.03	11.14	20.13	6.27	0.29
總計		622.60	2,068.84	1,582.05	3,003.98	907.09	57.10

¹⁾ 由表 2 各養分之總量配合表 1 之各林管處單位面積換算而得。

²⁾ 量過稀少無法測得。

³⁾ 上述皆為 96 小時內之輸出量。

表 4 各林管處轄區內樣本碳與養分比例 (%)

	N	C	S	Ca	Mg	K	P
屏東林管處	0.11 a ¹⁾	48.85 a	0.01 a	0.55 a	0.17 a	0.30 a	0.38 a
台東林管處	0.11 a	46.12 a	0.02 a	0.49 a	0.18 a	0.31 a	0.39 a
嘉義林管處	0.22 a	45.31 a	0.03 a	0.72 a	0.11 a	0.13 a	0.41 a
花蓮林管處	0.11 a	47.93 a	0.01 a	0.54 a	0.17 a	0.29 a	0.39 a
南投林管處	0.12 a	45.94 a	0.01 a	0.51 a	0.18 a	0.24 a	0.38 a
羅東林管處	0.11 a	46.25 a	0.01 a	0.57 a	0.18 a	0.29 a	0.39 a
新竹林管處	0.23 a	44.62 a	0.01 a	0.32 a	0.09 a	0.10 a	0.41 a
東勢林管處	0.10 a	48.55 a	0.01 a	0.56 a	0.17 a	0.31 a	0.39 a

¹⁾ 數字後英文字母相同者代表無顯著差異 (使用 HSD、LSD 和 Duncan's 多變域分析)

群所能負載的範圍，地表逕流流量大增，即可能產生坡地崩塌與土石流洪水氾濫之現象 (張獻仁等，2009)，導致大量漂流木產生，而漂流木中主成分大都為纖維素 (cellulose)、半纖維素 (hemicelluloses) 和木質素 (lignin)，綜合之碳濃度約占總漂流木絕乾重 50%，此正意味著，降雨強度越大之地區，其林地平均單位面積輸出碳量亦高。

台灣森林生態系統單位面積平均約輸出養分 261.61 Mg C ha⁻¹；氮 622.60 g ha⁻¹；磷 2,068.84 g ha⁻¹；鉀 1,582.05 g ha⁻¹；鈣 3,003.98 g ha⁻¹；鎂 907.09 g ha⁻¹；硫 57.10 g ha⁻¹。

通常，森林生態系內之養分與有機物質 (organic matter, OM) 會藉由山區降水的林洗作用 (leaching)，以滲流的土壤內形成的地下水和地表逕流匯流而成之溪流水形式，輸出森林生態系統 (Aber *et al.*, 1989)。但最近30年間的氣象資料指出，因為全球暖化增加海洋表面的平均溫度，導致熱帶氣旋的破壞力與出現頻率大幅上升 (Emanuel, 2005; Webster *et al.*, 2005; Hoyos *et al.*, 2006)，將對低緯度地區的陸域生態系統有更多衝擊與運輸。而全世界颶風密度最高的地區是東亞的菲律賓、台灣、中國、日本一帶，尤以台灣為最。颱風遇陸地或往北緯移動後，因水汽與海洋表面溫度不足而減弱，高山更會破壞颱風的結構，常使颱風消散。因此，台灣相較於中國和日本更易受颱風衝擊。

而颱風高強度的降水，將使地層因無法承受突來的壓力，瞬間與地表植被一同輸出山區林地，故有大量的土石流與漂流木，即巨型有機物質 (giant organic matter, GOM)，

蘊含大量的養分，並從森林生態系統流失。本試驗結果 (表2、3) 與 Dise 和 Wright (1995) 的結果比較發現，一般正常的森林，每年約輸出N量為 1 至 75 kg N ha⁻¹，然而，單一莫拉克颱風在南部高雄地區，96 小時即以漂流木的形式輸出了至少 4.3 kg N ha⁻¹ (表3)，還未包括其它形式 (如以河流中的顆粒有機物或無機離子型態運輸)，即有如此輸出量，著實驚人。

漂流木亦為非森林的陸域生態系統之重要緩效性營養源之一，如埋藏於河床沖積扇成為營養鹽豐富沃土，臥躺河床孕育菌菇和昆蟲，翻滾溪裡創造的潭沼環境是魚蝦優良棲息場所，沖入大海成為海洋生態系統裡重要的營養鹽來源，亦附著藤壺等動植物並聚集小魚群，常成為遷徙鳥類的休息站 (Maser and Sedell, 1994)。而漂流木堆陳於海邊，亦有螃蟹挖地洞、昆蟲棲息、植物發芽，被風沙覆蓋，亦可促進沙丘堆積與養成海岸林之作用，故可彰顯其森林生態系服務之功能與價值。

六、結論

(一) 各林區管理處漂流木生物量由高至低依序為屏東林區管理處 (889,058 Mg)、台東林區管理處 (153,864 Mg)、嘉義林區管理處 (74,271 Mg)、花蓮林區管理處 (16,789 Mg)、羅東林區管理處 (3,012 Mg)、南投林區管理處 (2,192 Mg)、新竹林區管理處 (980 Mg)、東勢林區管理處 (401 Mg)，全臺灣林地產生漂流木生物量共 1,140,567 Mg。

(二) 各林區管理處林地單位面積輸出碳量由高至低依序為屏東林管處 (1,358.94 kg ha⁻¹)、嘉義林管處 (269.22 kg ha⁻¹)、台東林管處 (253.53 kg ha⁻¹)、花蓮林管處 (22.38 kg ha⁻¹)、羅東林管處 (4.31 kg ha⁻¹)、南投林管處 (3.15 kg ha⁻¹)、東勢林管處 (1.76 kg ha⁻¹) 和 新竹林管處 (1.65 kg ha⁻¹)，全臺灣林地平均單位面積輸出碳量為 261.61 kg ha⁻¹，其中以屏東林管處轄區的漂流木生物量與林地單位面積輸出碳量最高。

(三) 本次莫拉克颱風侵襲台灣期間，森林生態系共輸出 1,140,567 Mg 之漂流木生物量；碳 550,010 Mg；氮 1,308 Mg；磷 4,350 Mg；鉀 3,326 Mg；鈣 6,315 Mg；鎂 1,907 Mg；硫 120 Mg。

(四) 森林單位面積平均約輸出碳 261 Mg ha⁻¹，氮 622.60 g ha⁻¹；磷 2069 g ha⁻¹；鉀 1,582 g ha⁻¹；鈣 3,004 g ha⁻¹；鎂 907 g ha⁻¹；硫 57.10 g ha⁻¹。

故本研究已針對前人鮮少關注之漂流木對於森林生態系碳素與養分輸出量做初步之研究與估算，供未來關於台灣森林的碳和養分之輸出有更深入之了解。

七、參考文獻

- 林國銓 (1997) 福山闊葉林枯落物及枝葉層之動態變化。台灣林業科學 12(2): 135-144。
- 林國銓 (2006) 颱風干擾對福山闊葉林枯落物的影響。林業研究專訊 13(5): 29-31。
- 林裕仁、劉瓊霖、林俊成 (2002) 台灣地區主要用材比重與碳含量測定。臺灣林業科學 17(3): 291-9。
- 林登秋 (2006) 颱風與福山森林生態系結構及功能之變動。林業研究專訊 13(5): 6-9。
- 陸象豫、黃良鑫、謝漢欽 (2010) 何以莫拉克颱風重創扇平園區。林業研究專訊 17(1): 45-48。
- 郭耀綸、尤國霖、楊月玲、王相華 (2007) 颱風擾動對台灣南部墾丁森林林下光量及六種樹苗生長的影響。台灣林業科學 22(4): 367-80。
- 康若蘭、林登秋、詹進發、黃正良 (2005) 2000 年碧利斯颱風干擾前後福山試驗林 NDVI 變動之研究。台灣林業科學 20(1): 73-87。
- 斯煒 (1947) 颱風與台灣植物分佈之關係。台灣省林業試驗所研究報告 No.6 p1-14。
- 張獻仁、范家翔、林素惠、向韻如 (2010) 莫拉克風災漂流木形成原因之探討。台灣林業 35(5): 7-10。
- 盧惠生 (2006) 颱風干擾對天然闊葉林穿落雨空間分佈之影響。林業研究專訊 13(5): 32-35。
- Aber, J. D., K. J. Nadelhoffer, P. Streudler and J. Melillo (1989) Nitrogen saturation in northern forest ecosystems. *Bioscience* 39: 378-386.
- Allen, S. E., H. M. Grimshaw and A. P. Rowland (1986) Chemical analysis. *In*: P. D. Moore and S. B. Chapman (eds), *Methods in Plant Ecology*. 2nd Edition. Blackwell Scientific Publications, Oxford. pp. 285-344.
- Dise, N. B. and R. F. Wright (1995) Nitrogen leaching from European forests in relation to nitrogen deposition. *Forest Ecology and Management* 71(1-2): 153-161.
- Erickson, H. E. and G. Ayala (2004) Hurricane-induced nitrous oxide fluxes from a wet

- tropical forest. *Global Change Biology* 10, 1155-62.
- Emanuel, K. (2005) Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature* 436: 686-688.
- Hilton, R. G., A. Galy, N. Hovius, M. C. Chen and A. H. Chen (2008) Tropical-cyclone-driven erosion of the terrestrial biosphere from mountains. *Geoscience* 1: 759-762.
- Hoyos, C. D., P. A. Agudelo, P. J. Webster and J. A. Curry (2006) Deconvolution of the Factors Contributing to the Increase in Global Hurricane Intensity. *Science* 312, 94-97.
- IPCC (2008) *Climate Change 2007: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Maser, C. and J. R. Sedell (1994) *From the forest to the sea: the ecology of wood in streams, rivers, estuaries, and oceans*. St. Lucie Press, Delray Beach, Florida, USA.
- Webster, P. J., G. J. Holland, J. A. Curry and H-R. Chang (2005) Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science* 309: 1844-1846.
- Wu, C. C. and Y. H. Kuo (1999) Typhoon affecting Taiwan: Current understanding and future challenges. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 80, 67-80.
- 中央氣象局 (2009) <http://www.cwb.gov.tw/> °
- 林務局 (2005) <http://www.forest.gov.tw/mp.asp?mp=1> °
- 經濟部水利署 (2008) <http://www.wra.gov.tw/default.asp> °

一、期中簡報審查意見回覆表

審查意見	意見回覆
符合期中審查標準。	感謝審查委員
本計畫以漂流木對森林生態系碳和養份輸出總量之評估極具意義。	承蒙貴局經費之支持，本此呈敬無限之忱謝與感恩。
漂流木圓盤以烘箱70°C烘至恆重似有困難，因通常取木粉以105°C烘至絕乾恆重亦約需數小時，本試驗花多少小時烘至恆重，請加以說明。	本試驗原係以105°C (約378K) ，無論樣品大小，皆烘焙一週。經審查意見指正後，遂以0.1g粉末，以105°C烘焙，每隔30min秤量一次，直至恆重 (約4至6 hr)。
第1頁，前言第9列，而飽和的土壤”史”坡面，應為”使”之筆誤；第8頁，公式(1)應為 $We=Wn \times C \times Er / 100$ ，係因Er之單位為%，請查明修正。	已查明並修正之。
表1，生物量是否為文中漂流木之爐乾重，或另有其他意義，應加以說明；另表1中之碳量如何計算得來，宜在本文中舉實例說明，各林管	表1生物量確實為105°C (約378K) 之爐乾重，已於內文中加以說明；至於其碳量之計算已於式 (1) 和式 (2) 表述，且各林管處之樣本漂流

<p>處之樣本漂流木爐乾重應分別各取樣實測。</p>	<p>木爐乾重確實係各取樣實測而得。</p>
<p>本報告中未見碳以外之養分，如 P、K、Ca、Mg 等之測定結果，請加以說明。</p>	<p>當時為其中報告，故實驗內容約只完成樣本之蒐集，今已於內文完整補述之。</p>
<p>本計畫所蒐集漂流木樣本皆在河川沿岸，其他地區為何沒有採集，另漂流木之材種與碳吸存量有關，本研究所用樹種為何，請加以說明。</p>	<p>在計劃開始時，其它地區之漂流木實已將清除終了，故僅存河川沿岸之漂流木得已採取，惟海岸之漂流木無法斷定是否為台灣本地森林生態系統生產之，故暫不列入取樣範圍內。而漂流木之材種與碳吸存量實無顯著之關係，其肇因於木材三大主成分分別為纖維素 (cellulose)、半纖維素 (hemicelluloses) 和木質素 (lignin)，各約占一定比例，此類聚合物之各項元素之比例固定，故碳無論在何種植物之中，其碳比例皆趨近於 50%。</p>

<p>參考文獻，建議依中、日、英、 網路文獻之順序排列。</p>	<p>參考文獻已依中、日、英、網路 文獻之順序排列。</p>
--------------------------------------	------------------------------------

二、期末簡報審查意見回覆表

審查意見	意見回覆
符合期末審查標準。	感謝審查委員
<p>漂流木取樣時是否與樹種有關，因各區域之漂流木樹種有其差異性。又漂流木之樹種混雜，本計畫樣本如何選取，因將影響 Wds 與 Wns 之值，及其計算出的 C。又由各林區所收集漂流木之樹種不一，其氣乾含水率不儘相同，其 C 值應有些微差異，Wns 是否應為漂流木樣本氣乾重？因 Wn 乃漂流木氣幹重。另 C 之值有無取至小數點以下 9 位之必要？請查明修正。</p>	<p>各區域之漂流木樹種於各區域並沒有顯著差異 (表 4)。故本計畫隨機選取樣本木粉 24 包，並消除雙尾端共 32%，保留 68% 平均後，即得 C。也因於漂流木樹種過於繁雜，縱使各數種之氣乾含水率不同，故如欲求得如此龐大整體之氣乾，遂以上述之方式求得，則較為客觀。Wns 確實為漂流木樣本氣乾重，Wn 亦為漂流木氣乾重。另 C 改為取至小數點下 4 位。</p>
<p>圖 3、4、5 等應在文中做說明。結果與討論中所提數字與表一不符，請更正；表 3，單位 gh^{-1} 應修正為 gha^{-1}。</p>	<p>圖 3、4、5 已於文中說明，並改為照片。表 1 與表 3 已於內文更正之。</p>

<p>第 4 頁，英文摘要最後 2 行，森林單位面積平均輸出之各種元素之寫法建議一致性，不要有些元素使用代號，有些使用英文化學名稱。建請將文中照片以「照片 1, 2...」表示，以便與圖作區分。</p>	<p>已將第 4 頁英摘最後 2 行的各元素寫法一致化。並已將文中照片以「照片 1, 2...」表示，與圖區分。</p>
<p>第 19 頁，11.2 kg N ha⁻¹係 96 小時內之輸出量，應在表 3 註明；同頁有關颱風由來引用「劉炯錫,2009」之文獻，建請引用最原始文獻為宜。</p>	<p>已於表 3 註明 11.2 kg N ha⁻¹係 96 小時內之輸出量。且 19 有關颱風由來引用「劉炯錫,2009」之文獻，並非重點，故予以刪除。</p>
<p>N、P、K、Mg、Ca 等養分，計算基準模仿碳，惟有些木材並不合上述成分或僅含部分而已，請查明。</p>	<p>N、P、K、Ca、Mg 等養分，為所有植物體之大量元素，故所有木材皆合上述之成分。又試驗所取之樣本，亦皆有此 5 元素，故某些木材並不合上述成分或僅含之部分即便真有之，亦屬微量。</p>