

研究報告

台灣中部天然闊葉林細根之動態研究

黃筱茜¹ 劉瓊霏^{1,*}

【摘要】本試驗從2011年6月至2012年5月，於台灣中部南投地區（北東眼山、惠蓀林場及蓮華池），不同海拔天然闊葉林進行細根生物量之動態調查。細根月平均生物量以惠蓀林場最高 (2.02 Mg ha^{-1})，其次是蓮華池 (1.81 Mg ha^{-1})，最低則是北東眼山 (1.52 Mg ha^{-1})。細根置換速率也以惠蓀林場最高 (0.91 year^{-1})，其次為蓮華池 (0.76 year^{-1})，最低為北東眼山 (0.68 year^{-1})。本試驗結果顯示，細根產量增加，置換速率提高，細根分解時間減少，將使得惠蓀林場森林生態系養分循環加速。

【關鍵詞】海拔、細根、細根置換、養分循環

Research paper

Fine Root Dynamics of Natural Hardwoods in Central Taiwan

Siao-Cian Huang¹ Chiung-Pin Liu^{1,*}

【Abstract】The purpose of this study was to investigate fine root dynamics of three natural hardwoods, Mt. Peitungyen; Hui-sun experiment forest and Lienhauchi in central Taiwan from June 2011 to May 2012. Fine root biomass was the highest in Hui-sun experiment forest (2.02 Mg ha^{-1}), following in Mt. Peitungyen (1.81 Mg ha^{-1}) and the lowest in Lienhauchi (1.52 Mg ha^{-1}). Fine root turnover rate was the highest in Hui-sun experiment forest (0.91 year^{-1}), and the lowest in Mt. Peitungyen (0.68 year^{-1}). Results showed that increased fine root production and biomass resulted in fine root turnover increased, accelerated nutrient cycling in Hui-sun experiment forest.

【Key words】elevation, fine root, fine root turnover, nutrient cycling.

一、前言

森林生物量及土壤被認為具有短期及長期的碳儲存的能力 (Houghton, 2005)。在森林生態系中，地上部生物量通常被認為是林木生

物量組成 (樹幹、枝條及葉部) 最大儲存碳潛能的部位。而林木地下部生物量、地被植群、枯立木和木質殘體，也同樣能提供相當大的碳儲存能力，如果忽略這些次要的生物量及碳

1. 國立中興大學森林學系。

Department of Forestry, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan,

* 通訊作者，台中市國光路250號。

Corresponding author, 250, Kuo Kuang Rd., Taichung, Taiwan.

E-mail: cpliu@nchu.edu.tw

庫，可能會嚴重低估森林生態系總碳儲存量。其中林木地下部生物量部份組成爲細根，細根將水分及養分自土壤吸收至植物體，爲植物生理極爲重要的組成 (Fogel, 1983)。以生態角度觀看，細根是生態系統中碳及養份循環的重要組成部分 (Matamala *et al.*, 2003)。細根生命週期短、尚未木質化、直徑小且會與菌根共生，爲森林生態系地下部碳匯重要的組成，每年有75%以上的淨初生產力分配至細根 (Gill and Jackson, 2000)。樹種不同，根系發展的特質也不同，就功能而言，細根指具有根尖 (root tip)、直徑小且尚未有次級生長的根 (Berg and McClaugherty, 2003)。但在野外不易區分細根是否已具有次級生長，通常將細根定義爲直徑小於或等於 2 mm 的根，而大於 2 mm 者則爲粗根 (Vogt *et al.*, 1996)。

全球細根研究顯示，細根產量與細根置換速率皆隨環境因子而改變，細根產量隨年均溫與年雨量增加，細根置換速率也從寒帶至熱帶增加 (Gill and Jackson, 2000; Finér *et al.*, 2011)。森林生態系林木細根有很高的年輸入量及置換速率，因此細根置換及生產是森林生態系養分循環中非常重要的過程。近20年的細根動態相關研究資料指出，溫帶地區森林生態系的細根置換過程，形成的土壤有機質貢獻量比地上部枯落物高。Vogt等 (1996) 指出在部分溫帶森林生態系中，細根分解釋放到土壤中的

碳與氮，較地上部枯落物多出18-58%，若忽略細根的生長、死亡與分解，土壤有機質與養分循環將被低估 20-80%。因此，對於森林生態系的養分循環與碳收支而言，細根的養分貯存量與分解作用是不可忽略的重點。因此，本試驗以臺灣中部的蓮華池、惠蓀林場及北東眼山天然闊葉林爲研究對象，進行爲期一年的細根生物量動態調查，三試驗地點分別位於不同海拔，氣候條件不同，可藉以評估在不同環境條件下，天然闊葉林之年細根生物量、年細根產量、細根置換速率及細根養分含量等之差異，將有助於瞭解比較不同海拔天然闊葉林的養分循環機制。

二、材料與方法

(一) 樣區概況

三處試驗地的氣候資料如表1所示，其中北東眼山天然闊葉林屬於中興大學高冷地園藝試驗場管轄，爲惠蓀林場內東峰溪集水區東側稜線的最高點，位於東經121°07'42"，北緯24°04'24"，海拔高度約爲2,098 m。試驗期間2011年年均溫11.9°C，年雨量2,100 mm；2012年年均溫12.9°C，年雨量2,438 mm。列屬於山地常綠闊葉林群系，林木優勢科主要爲殼斗科 (Fagaceae)、樟科 (Lauraceae)、茶科 (Theaceae)、杜鵑花科 (Ericaceae)、杜英科 (Elaeocarpaceae) (邱祈榮等, 2009)。

表1. 台灣中部不同海拔天然闊葉林試驗地氣候資料

Table 1. The climate of natural hardwoods among three elevations in central Taiwan

試驗地	緯度	經度	海拔 (m)	年 (year)	年均溫 (°C)	年雨量 (mm)
北東眼山	24°04'24"N	121°07'42"E	2,098	2011	11.9	2,100
				2012	12.9	2,438
惠蓀林場	24°04'31"N	121°02'05"E	1,066	2011	19.9	2,357
				2012	19.9	1,570
蓮華池	23°55'51"N	120°53'34"E	782	2011	19.8	1,582
				2012	20.3	1,981

惠蓀林場天然闊葉林位於關刀溪水源地，中興大學惠蓀實驗林場之第三林班，東經121°02'5"，北緯24°04'31"，海拔高度約為1,066 m。試驗期間2011年氣象資料年均溫19.9°C，年雨量2,357 mm，2012年氣象資料年均溫19.9°C，年雨量1,570 mm。列屬於下部山地常綠闊葉林群系，林木優勢科主要為樟科、殼斗科、茶科、紫金牛科、茜草科 (Rubiaceae) (邱祈榮等，2009)。

蓮華池天然闊葉林樣區位於林業試驗所蓮華池分所第五號試驗集水區內，東經120°53'34"，北緯23°55'51"，海拔高度約為782 m。試驗期間2011年氣象資料年均溫19.8°C，年雨量為1,582 mm；而2012年氣象資料年均溫為20.3°C，年雨量為1,981 mm。列屬

於下部山地—低地次生常綠闊葉林群系，主要為樟科、殼斗科、五加科、茶科、茜草科 (邱祈榮等，2009)。

(二) 土壤化學性質

表2為呂淑瑋 (2010) 於三試驗地進行土壤化學性質之比較，土壤有效性磷 (15.61 mg kg⁻¹) 及鹽基飽和度 (12.4%) 皆以北東眼山較高，而總氮 (3.84 mg g⁻¹)、總碳 (45.32 mg g⁻¹) 及碳氮比 (11.74) 皆為三試驗地中最低。惠蓀林場陽離子交換容量 (20.43 meq 100g⁻¹)、總氮 (5.56 mg g⁻¹)、總碳 (97.32 mg g⁻¹) 及碳氮比 (17.37) 皆為三試驗地中最高。蓮華池土壤鹽基飽和度 (4.4%) 及土壤有效性磷 (10.53 mg kg⁻¹) 皆較低。

表2. 台灣中部南投地區不同海拔天然闊葉林試驗地土壤化學性質 (呂淑瑋，2010)

Table 2. The soil chemistry characteristics of natural hardwoods among three elevations in central Taiwan

	深度 (cm)	pH		CEC ¹ (meq/100g)	BS ² (%)	交換性陽離子 (meq/100g)				有效性磷 (mg/kg)	Total N (mg/g)	Total C (mg/g)	C/N
		(KCl)	(H ₂ O)			Ca	K	Mg	Na				
北東眼山	0-15 cm	3.51	4.17	18.05	12.4	0.33	0.40	1.37	0.14	15.61	3.84	45.32	11.74
惠蓀林場	0-15 cm	3.20	3.81	20.43	6.7	0.53	0.28	0.50	0.07	12.55	5.56	97.32	17.37
蓮華池	0-15 cm	3.09	3.69	19.37	4.4	0.27	0.21	0.20	0.17	10.53	4.94	68.43	13.81

註：1. 陽離子交換容量
2. 鹽基飽和度

(三) 細根生物量調查

細根生物量的調查由2011年6月開始，每月收集至2012年5月。採樣前先將枯落物層移除，採樣深度為0-10 cm，因試驗地土壤含石率較高，因此採樣深度不均一。每個月以內圈直徑約4.8 cm，長約5.5 cm之鋼管，進行土圓筒採樣。各試驗地分別採樣6個樣本，每個月三試驗地共有18個樣本。將土壤及根的混和樣本風乾後以孔徑 2.00 mm (Mesh No. 10)、0.42 mm (Mesh No. 40) 之篩網過篩，為了避免少量的細根 (≤ 2 mm) 因過篩而流失，因此需要檢視過篩後的樣本，並揀選其中的細根，再用蒸餾

水震盪清洗，使附著於根上的砂土分離。由於本實驗只探討細根 (直徑 ≤ 2 mm)，因此須將直徑 > 2 mm 的根挑出，僅收集位於兩層篩網上的細根，置於65°C烘箱7日，進行秤重、磨粉 (通過2 mm 孔徑) 及後續養分分析。

(四) 養分分析

將磨粉 (通過2 mm 孔徑) 後之細根，秤取約4.8-5.2 mg乾燥樣本，置入4 × 4 × 11 mm 的專用錫盒 (tin boat) 內，摺疊包裝後以元素分析儀 (CHNOS Elemental analyzer, vario EL, Germany) 分析樣本碳和氮含量。另秤取約0.1 g 乾燥植體樣本，置於100 ml 凱氏燒瓶，接著

加入1 ml H₂SO₄ (96%)、5 ml HNO₃ (65%) 及 1 ml HClO₄ (60%) 緩慢加熱至375°C進行濕性灰化，約2小時至溶液澄清，再以濾紙過濾後定積50 ml。取出之濾液以感應耦合電漿-原子發射光譜儀 (Inductively Coupled Plasma-atomic emission Spectrometry, ICP-AES, Leeman Labs. USA) 進行磷、鉀、鈣及鎂之測定。

(五) 數據整理及分析

細根生物量 (Fine root biomass, FRB) (kg ha⁻¹)：將每月3處各樣點採樣細根乾重 (g) ÷ (core口徑半徑)² (m²) × π × 10加總後之平均值。

細根年產量 (Fine root production, FRP) (kg ha⁻¹ year⁻¹)：將一年內之最大細根生物量減去最小細根生物量即得之 (Edwards and Harris, 1977; McClaugherty *et al.*, 1982)。

細根置換速率 (Fine root turnover rate, FRT) (year⁻¹)：FRP / FRB。

細根壽命 (Longevity)：1 / FRT。

本研究以SAS 9.2，進行t Test's (LSD) 檢定，檢測各試驗地月份間細根生物量、細根養分含量，並將試驗地各月細根生物量、細根之碳、氮、磷、鉀、鈣及鎂養分濃度與環境因子進行Pearson相關係數檢定。

三、結果

(一) 細根生物量季節變化

台灣中部南投地區天然闊葉林 (北東眼山、惠蓀林場和蓮華池) 於2011年6月至2012年5月間細根生物量變化情形 (圖1)，試驗期間三試驗地在不同月份間皆沒有顯著差異，除了2011年7月惠蓀林場細根生物量 (2,200.00 kg ha⁻¹) 比蓮華池 (1,161.91 kg ha⁻¹) 及北東眼山 (1,261.41 kg ha⁻¹) 高。試驗期間，北東眼山細根生物量介於1,161.91-2,192.91 kg ha⁻¹，惠蓀林場介於1,264.77-3094.46 kg ha⁻¹，蓮華池則介於1,124.30-2501.88 kg ha⁻¹。

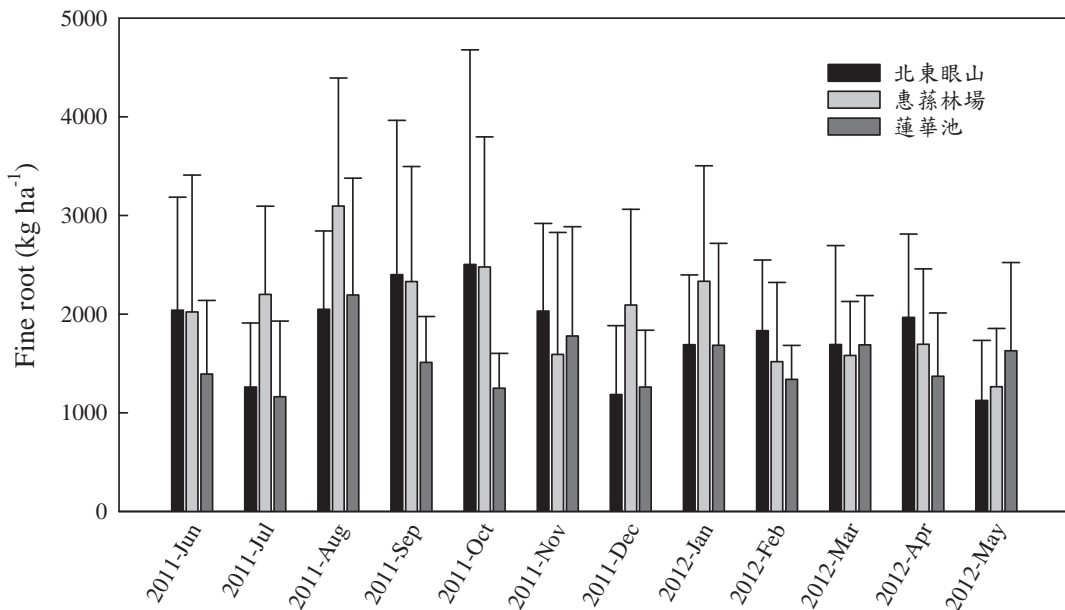


圖1. 台灣中部南投地區天然闊葉林 (北東眼山、惠蓀林場和蓮華池)，於2011年6月至2012年5月細根生物量季節變動。

Fig. 1. Dynamics of fine root biomass at three natural hardwoods, Mt. Peitungyen, Hui-sun experiment forest and Lienhauchi in central Taiwan from June 2011 to May 2012.

(二) 細根置換速率

2011年6月至2012年5月試驗期間，北東眼山、惠蓀林場及蓮華池細根最大月生物量 (表3) 分別為2,192.91、3,094.45及2,501.88 kg ha⁻¹，最小月生物量分別為1,161.91、1,264.77及1,124.29 kg ha⁻¹，以最大月細根生物量減去最小月細根生物量所求得之值為細根年產量，分

別為1,031.00、1,829.67及1,377.58 kg ha⁻¹ y⁻¹，將其除以平均年生物量即得置換速率。置換速率最高為惠蓀林場 (0.91 year⁻¹)，其次為蓮華池 (0.76 year⁻¹)，最低為北東眼山 (0.68 year⁻¹)。相反地，細根分解時間最長為北東眼山 (1.48年)，其次為蓮華池 (1.32年)，最短為惠蓀林場 (1.10年)。

表3. 台灣中部南投地區天然闊葉林 (北東眼山、惠蓀林場和蓮華池) 2011年6月至2012年5月細根之年產量 (kg ha⁻¹ year⁻¹)、置換速率 (year⁻¹) 及細根壽命 (year)

Table 3. The fine root production (kg ha⁻¹ year⁻¹), fine root turnover rate (year⁻¹) and longevity (year) of natural hardwoods among three elevations (Mt. Peitungyen, Hui-sun experiment forest and Lienhauchi) in central Taiwan

時間 \ 地點	北東眼山	惠蓀林場	蓮華池
Jun-2011	1391.22	2021.04	2039.58
Jul	1161.91	2200.00	1261.41
Aug	2192.91	3094.46	2049.11
Sep	1511.34	2329.68	2399.70
Oct	1248.91	2477.28	2501.88
Nov	1777.32	1590.22	2030.82
Dec	1261.50	2092.74	1184.41
Jan-2012	1684.13	2332.08	1689.09
Feb	1339.73	1518.01	1832.93
Mar	1688.18	1580.81	1691.12
Apr	1369.70	1695.27	1967.13
May	1627.65	1264.77	1124.30
細根年產量 (kg ha ⁻¹ year ⁻¹)	1031.00	1829.67	1377.58
平均月細根生物量 (kg ha ⁻¹)	1521.21	2016.36	1814.29
置換速率 (year ⁻¹)	0.68	0.91	0.76
細根壽命 (year)	1.48	1.10	1.32

註：各月份平均細根生物量 (n=6)。

(三) 細根碳及其它養分含量及現存量

試驗期間細根碳及其它養分含量平均值如表4，其中以碳含量最高，試驗地細根養分含量皆以碳 > 氮 > 鉀 > 鈣 > 鎂或磷，碳含量以惠蓀林場 (41.64%) > 蓮華池 (37.11%) 及北

東眼山 (37.07%)，氮及磷含量於三試驗地無差異；鉀含量以北東眼山 (0.34%) 最高，蓮華池 (0.23%) 次之，惠蓀林場 (0.16%) 最低；鈣含量以北東眼山 (0.13%) 最高，惠蓀林場 (0.08%) 最低；鎂含量則以蓮華池 (0.05%) 最高，惠蓀

林場 (0.03%) 最低。碳氮比以惠蓀林場 (25.73) > 北東眼山 (24.35) > 蓮華池 (23.48)。

表4. 台灣中部南投地區天然闊葉林 (北東眼山、惠蓀林場和蓮華池) 於2011年6月至2012年5月細根養分含量 (%) 與每公頃現存量 (kg ha^{-1})

Table 4. The total nutrient (kg ha^{-1}) and nutrient content (%) at natural hardwoods among three elevations (Mt. Peitungyen, Hui-sun experiment forest and Lienhauchi) in central Taiwan

元素	北東眼山		惠蓀林場		蓮華池	
	含量 (%)	現存量 (kg ha^{-1})	含量 (%)	現存量 (kg ha^{-1})	含量 (%)	現存量 (kg ha^{-1})
C	37.07 ± 2.49^y	658.45 ± 176.97^{ab}	41.64 ± 1.84^x	834.84 ± 40.42^a	37.11 ± 2.49^y	593.98 ± 30.30^b
	1.52 ± 0.13^x	27.13 ± 7.59^{ab}	1.62 ± 0.13^x	31.94 ± 9.67^a	1.57 ± 0.17^x	25.26 ± 6.00^b
P	0.04 ± 0.01^x	0.74 ± 0.15^a	0.04 ± 0.01^x	0.79 ± 0.24^a	0.04 ± 0.01^x	0.66 ± 0.24^a
K	0.34 ± 0.1^x	5.88 ± 1.45^a	0.16 ± 0.04^z	3.03 ± 1.17^b	0.23 ± 0.03^y	3.74 ± 0.88^b
Ca	0.13 ± 0.08^x	1.96 ± 1.31^a	0.08 ± 0.03^y	1.47 ± 0.91^a	0.09 ± 0.04^{xy}	1.28 ± 0.49^a
Mg	0.04 ± 0.02^{xy}	0.67 ± 0.31^a	0.03 ± 0.01^y	0.67 ± 0.36^a	0.05 ± 0.01^x	0.86 ± 0.27^a
C/N		24.35^x		25.73^x		23.48^x

註：1. 橫列平均數後之字母 (x, y, z) 若不同表3地點LSD test檢定結果含量間具顯著差異 ($p < 0.05$)。

2. 橫列平均數後之字母 (a, b) 若不同表3地點LSD test檢定結果現存量間具顯著差異 ($p < 0.05$)。

細根碳現存量以惠蓀林場最高 ($834.84 \text{ kg ha}^{-1}$)，蓮華池最低 ($593.98 \text{ kg ha}^{-1}$)；氮養分現存量以惠蓀林場最高 (31.94 kg ha^{-1})，蓮華池最低 (25.26 kg ha^{-1})；磷、鈣及鎂養分現存量於三試驗地間無差異；鉀養分以北東眼山現存量最高 (5.88 kg ha^{-1})，惠蓀林場及蓮華池各別為 3.03 及 3.74 kg ha^{-1} 。

四、討論

(一) 細根生物量

本研究在台灣中部南投地區不同海拔天然闊葉林進行細根生物量調查，平均細根生物量以惠蓀林場細根生物量最高 ($2016.36 \text{ kg ha}^{-1}$)，北東眼山次之 ($1814.29 \text{ kg ha}^{-1}$)，蓮華池平均細根生物量最低 ($1521.21 \text{ kg ha}^{-1}$)。比較其他地區之細根生物量，臺灣福山闊葉林細根生物量估算為 $6,800 \text{ kg ha}^{-1}$ (Lin *et al.*, 2005)，鴛鴦湖保留區臺灣扁柏細根生物量為 $6,200 \text{ kg ha}^{-1}$ (朱慧君, 2005)，此二處試驗地細根生物量皆明顯

高於本研究，推測應是臺灣東北部雨量明顯比中部高所導致結果。愛沙尼亞60年生挪威雲杉試驗地0-40 cm 小於2 mm細根生物量，以連續採樣法1年的結果為 $1,420 \text{ kg ha}^{-1}$ ，在嵌入生長環法1年生及2年生細根分別為 525 及 700 kg ha^{-1} (Ostonen *et al.*, 2005)。Jha和Mohapatra (2010) 在印度研究4種樹種土壤30 cm深度的細根生物量，分別為97、189、175及235 g m^{-2} ，本試驗之結果有較高之現象，這可能和現地樹種、氣候條件及採樣估算方法不同有關。

細根研究的方法可依採樣方式、估算方式不同，會造成結果上的差異。採樣方式可分為連續採樣法、嵌入生長環法、氮收支法、微根管法等，估計方式中，連續採樣法即包含最大一最小生物量估計、細根的活根及死根平均改變生物量差異、動態細根比較法。也有學者針對不同採樣方式，比較細根估計，發現嵌入生長環法對細根的估計具低估的可能，在估計細根生物量時應該更審慎評估 (Finér *et*

al., 2011)。本研究係以連續採樣法採取北東眼山、惠蓀林場及蓮華池土壤表層0-10 cm左右之細根，只針對表層土壤中細根生物量、養分含量及現存量進行估算，未來可進一步對亞熱帶森林生態系中林木細根垂直分布做深入探討。Schenk 和Jackson (2002b) 指出全球細根生物量的垂直分布，在寒帶森林98%分布於58 cm土壤層內，溫帶森林分布於104-121 cm土壤層以上，熱帶森林分布於91-94 cm土壤層以上，而細根生物量主要有50%會分布於寒帶森林土壤12 cm以上，溫帶森林的土壤21-23cm以上，熱帶森林的土壤14-19 cm 以上。

三試驗地土壤表層0-10 cm左右之細根，若與同年地被枯枝落葉層、枯落物量之研究相較(黃筱茜, 2012)，惠蓀林場樣區土壤含石率高，雨量與另外2處地點相比也較高，易發生淋洗作用，使土壤養分較低，2010年9月受颱風侵襲後，造成枯落物量遽增，這些因子皆可能導致本樣區中所含的養分降低，使樣區中林木增加細根生物量，以獲取充足的養分供應生長之所需(朱慧君, 2005)。Sayer等(2006)曾針對不同厚度枯落物層覆蓋，研究土壤中細根生物量分布情形，發現枯落物層越厚，能被分解之養分越多，由於整株林木細根生物量之比例不會改變，細根為獲取養分，分布於枯落物層的細根生物量比例會增加，相對於土壤中的細根生物量則會減少。

在季節性變化方面，北東眼山細根生物量月變化以10月最高，5月最低；惠蓀林場細根生物量月變化以8月最高，同樣5月最低；蓮華池細根生物量月變化同樣以8月最高，而最低則是出現在7月，雖然三試驗地細根沒有明顯的季節變化。但仍有一些較乾旱地點的研究指出細根產量與土壤含水率具有明顯正相關(Numa and Oscar, 2000; Carolyn *et al.*, 2004)。枯落物與細根的生長在森林中皆具有明顯季節性，土壤中細根產量在雨季開始時產量最高，維持至雨季前半期，乾季開始後則逐漸減少(Yavitt and Wright, 2001)。雖然乾季間細根的生

長主要受到水分限制，值得注意的是，細根在雨季增加的產量與枯落物分解的時期接近，推測枯落物養分釋放期間與細根生長量具強烈的相關性(Sayer *et al.*, 2006)。

(二) 細根養分含量及現存量

地下部養分含量受到許多因子所影響，養分現存量則會隨土壤養分狀況而改變，當土壤的養分現存量降低時，根系所含的養分含量會隨之下降(Burk and Raynal, 1994)，也有研究指出不同植被覆蓋，會影響土壤有機碳的含量，進而影響根系的碳含量(Mendoza-Vega *et al.*, 2003)。另採樣方式不同，也會造成估算結果差異，如本研究與福山地區(Lin *et al.*, 2005)與鴛鴦湖保留區臺灣扁柏天然針葉林(朱慧君, 2005)所估算出的細根生物量具差異，因本研究只採取森林地表0-10 cm範圍內之細根做估算，與整棵挖掘或挖坑計算深層土壤中根系，推估出的粗根與細根濃度當然不同。本試驗結果碳含量皆低於福山地區(Lin *et al.*, 2005)與鴛鴦湖保留區(朱慧君, 2005)，氮現存量則是相似，磷現存量與其他研究(表11)比則是相對低，鉀存量與國內研究(0.16-0.17%)相比較高(0.17-0.34%)，甚至高於印度不同樹種之鉀現存量(0.20-0.24%)，鈣現存量則是比國內其它地區低，鎂現存量與鴛鴦湖保留區(朱慧君, 2005)之結果相近，而低於福山地區(Lin *et al.*, 2005)。細根碳及其他養分現存量與含量及細根生物量有關，由於福山地區(Lin *et al.*, 2005)與鴛鴦湖保留區臺灣扁柏天然針葉林(朱慧君, 2005)之細根碳養分含量及現存量皆較本研究高，因為採樣方式不同，估計的深度都會造成結果差異。本試驗磷、鉀現存量與印度地區4種不同樹種相比有較相似之含量(Jha and Mohapatra, 2010)。

(三) 細根置換速率

細根的置換是碳及養分回歸至土壤的一個重要途徑(Norby and Jackson, 2000)，另土壤養分及有機物經由根輸入，是維持土壤肥力及碳封存的重要條件(Jha and Mohapatra, 2010)。

調查不同樹種的細根生物量、產量、置換速率及養分動態，可以提供更新造林或恢復荒地造林較適宜樹種之條件選擇。森林生態系林木細根有很高的年輸入量及置換速率，因此細根置換及生產是森林生態系養分循環中非常重要的過程。Gill和Jackson (2000) 指出，陸域生態系的根系置換速率，0-3 mm的細根介於0.02-2.64 year⁻¹，平均0.52 year⁻¹，本研究的細根置換速率介於0.68-0.91 year⁻¹。Jha 和Mohapatra (2010) 在印度，針對4種不同樹種進行細根研究，其置換速率介於0.56-0.97 year⁻¹，與本研究三試驗地置換速率皆相近。Ostonen等人 (2005) 在愛沙尼亞，研究挪威雲杉細根生物量，結果置換速率介於1.4-2.0 year⁻¹之間，比本研究及印度 (Jha and Mohapatra, 2010) 的置換速率高，相對分解年數即非常低。由全球的研究數據顯示，細根產量會隨著年均溫及年降雨量的增加而增加，細根置換速率自寒帶到熱帶森林上升，皆與環境因素相關 (Gill and Jackson, 2000)。Finér 等人 (2011) 統計過去10年細根研究報告之資料，發現置換速率會隨溫度 (°C) 提高而增加 ($R^2 = 0.15$; $p < 0.001$)，也會隨著雨量增加而增加 ($R^2 = 0.21$; $p < 0.001$)，並會隨緯度的增加而下降 ($R^2 = 0.09$; $p < 0.001$)。置換速率在不同直徑細根間會不同，而不同估算方法，若再將細根依不同直徑分類，結果常不具一致性 (Strand *et al.*, 2008)。

五、結論

2011年6月至2012年5月細根生物量變化情形，三試驗地在不同月份間皆沒有顯著差異，除了2011年7月北東眼山細根生物量比惠蓀林場及蓮華池低。平均月生物量以惠蓀林場最高 (2.01 Mg ha⁻¹)，其次是蓮華池 (1.81 Mg ha⁻¹)，最低則是北東眼山 (1.52 Mg ha⁻¹)。細根置換速率以惠蓀林場最高 (0.91 year⁻¹)，其次是蓮華池 (0.76 year⁻¹)，最低為北東眼山 (0.68 year⁻¹)。細根碳現存量以惠蓀林場最高 (834.84 kg ha⁻¹)，蓮華池最低 (593.98 kg ha⁻¹)；氮養分現存量

以惠蓀林場最高 (31.94 kg ha⁻¹)，蓮華池最低 (25.26 kg ha⁻¹)；磷、鈣及鎂養分現存量於3地點間無顯著差異；鉀養分以北東眼山現存量最高 (5.88 kg ha⁻¹)，惠蓀林場及蓮華池分別為3.03及3.74 kg ha⁻¹。

六、引用文獻

- 朱慧君 (2005) 台灣扁柏森林生態系養分存量與枯落物養分流量之研究。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文。
- 呂淑瑋 (2010) 不同海拔天然闊葉林林地養分累積及枯落物養分的輸入。國立中興大學森林學研究所碩士論文。
- 邱祈榮、陳子英、謝長富、劉和義、葉慶龍、王震哲 (2009) 臺灣現生天然植群圖集。行政院農業委員會林務局出版。
- 黃筱茜 (2012) 台灣中部天然闊葉林細根、枯落物及枯落物層之動態研究。國立中興大學森林學研究所碩士論文。
- Berg, B. & McClaugherty, C. (2003) *Plant litter*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York. pp338.
- Burke, M. K. & Raynal, D. J. (1994) Fine root growth phenology, production, and turnover in a northern hardwood forest ecosystem. *Plant and Soil* 162, 135-146.
- Carolyn, S. W., Joseph, W. F., George, C. J. F. & Robert, S. N. (2004) Fine root growth dynamics of four Mojave desert shrubs as related to soil moisture and microsites. *Journal of Arid Environments* 56, 129-148.
- Edwards, D. T. & Harris, W. F. (1977) Carbon cycling in a mixed deciduous forest floor. *Ecology* 58, 431-437.
- Finér, L., Ohashi, M., Noguchi, K. & Hirano, Y. (2011) Fine root production and turnover in forest ecosystems in relation to stand and environmental characteristics. *Forest Ecology and Management* 262, 2008-2023.

- Fogel, R. (1983) Root turnover and productivity of coniferous forests. *Plant and Soil* 71, 75-85.
- Gill, R. A. & Jackson, R. B. (2000) Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. *New Phytologist* 147, 13-31.
- Houghton, R. A. (2005) Aboveground forest biomass and the global carbon balance. *Global Change Biology* 11, 945-958.
- Jha, P. & Mohapatra, K. P. (2010) Leaf litterfall fine root production and turnover in four major tree species of the semi-arid region of India. *Plant and Soil* 326, 481-491.
- Lin, K. C., Wang, C. P. & Ma, F. C. (2005) Distribution and nutrient content of fine roots in the Fushan Subtropical Broadleaf Forest in Taiwan. *Taiwan Journal of Forest Science* 20(1), 1-11.
- Matamala, R., Gonzalez-Meler, M. A. & Jastrow, J. D. (2003) Impacts of fine root turnover on forest NPP and soil C sequestration potential. *Science* 302, 1385-1387.
- McClagherty, C. A., Aber, J. D. & Melillo, J. M. (1982) The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystem. *Ecology* 63, 1481-1490.
- Mendoza-Vega, J., Karlton, E. & Olsson, M. (2003) Estimations of amounts of soil organic carbon and fine root carbon in land cover classes, and soil types of Chiapas highlands, Mexico. *Forest Ecology and Management* 177, 191-206.
- Norby, R. J. & Jackson, R. B. (2000) Root dynamics and global change: seeking an ecosystem perspective. *New Phytologist* 147, 3-12.
- Numa, P. & Oscar, P. B. (2000) Root distribution, standing crop biomass and belowground productivity in a semidesert in Mexico. *Plant Ecology* 146, 131-136.
- Ostonen, I., Lohmus, K. & Pajuste, K. (2005) Fine root biomass, production and its proportion of NPP in a fertile middle-aged Norway spruce forest: Comparison of soil core and ingrowth core methods. *Forest Ecology and Management* 212, 264-277.
- Sayer, E. J., Tanner, E. V. T. & Cheesman, A. W. (2006) Increased litterfall changes fine root distribution in a moist tropical forest. *Plant and Soil* 281, 5-13.
- Schenk, H. J. & Jackson, R. B. (2002b) The global biogeography of roots. *Ecological Monographs* 72(3), 311-328.
- Strand, A. E., Pritchard, S. G., McCormack, M. L., Davis, M. A., Oren, R. (2008) Irreconcilable differences: fine-root life spans and soil carbon persistence. *Science* 319, 456-458.
- Vogt, K. A., Vogt, D. J., Palmiotto, P. A., Boon, P., O'Hara, J. & Asbjornsen, H. (1996) Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. *Plant and Soil* 187(2), 159-219.
- Yavitt, J. B. & Wright S. J. (2001) Drought and irrigation effects on fine root dynamics in a tropical moist forest, Panama 1. *Biotropica* 33, 421-434.

