

綠葉分解速率在三處生育地的比較

黃菊美¹，杜清澤¹，林國銓^{2,3}

¹行政院農業委員會林業試驗所育林組；²行政院農業委員會林業試驗所副所長室；³通訊作者

E-mail: kuolin@tfri.gov.tw

[摘要] 葉的分解在陸域生態系的碳和養分循環中，扮演極重要的腳色。選擇南仁山、關刀溪、福山三個楠櫛林帶，進行 6 種樹種綠葉 3 年的分解研究，以瞭解氣候因素和葉片的化學性質對分解速率的影響。經 3 年分解，此三生育地葉片之平均剩餘重量在各分解期間皆呈顯著差異，可能主要受到溫度影響。南仁山溫度最高，葉片分解速率最快；關刀溪海拔最高，溫度最低，分解速率最慢；福山介於其間。經 3 年分解在南仁山各樹種平均剩餘重量為 1.6%，在關刀溪為 8.2%，在福山為 2.9%。同一生育地葉片之剩餘重量在分解第 1 年期間，各樹種在各分解期間皆呈顯著差異。分解 1 年以後，剩餘重量下降速率減緩，樹種間剩餘重量大都已無顯著差異。同一生育地樹種間分解速率之差異在葉片化學性質方面主要受到原始氮或木質素濃度的影響。在南仁山剩餘重量在分解前 2 年與氮原始濃度呈負相關，在關刀溪分解第 1 年剩餘重量與木質素呈顯著正相關，福山則在第 1 年與碳氮比呈顯著正相關。故控制臺灣同區域內分解速率的主要化學因素，各生育地不同，尚未有定論，應該是葉片主要養分(主要是氮)與木質素綜合作用的結果。

關鍵字：剩餘重量、溫度、氮原始濃度、木質素

Intersite Comparison of Decomposition Rate of Green Foliage among Three Sites

Chu-Mei Huang¹, Chin-Tzer Duh¹ and Kuo-Chuan Lin^{2,3}

¹Division of Silviculture, Taiwan Forestry Research Institute; ²Deputy Director Office, Taiwan Forestry Research Institute; ³Corresponding author E-mail: kuolin@tfri.gov.tw

ABSTRACT Leaf litter decomposition is widely recognized as a key process in the carbon and nutrient cycle of terrestrial ecosystem. Green foliage decomposition processes of six tree species were examined for a period of three years in the Fagaceae and Lauraceae forests of Nanjenshan, Guandaushi and Fushan sites in order to understand the influences of climate factors and litter chemical qualities on decomposition rates. All mean remaining mass of the species differed among sites during the three-year decomposition, which were probably affected by temperature. The decomposition rates at Nanjenshan with the highest temperature were the fastest. The decomposition rates at Guandaushi with the highest elevation and lowest temperature were the lowest, and the decomposition rates at Fushan were in-between. The mean remaining mass of all species at Nanjenshan, Guandaushi and Fushan sites after the three-year decomposition were 1.6%, 8.2% and 2.9%, respectively. The remaining mass during the first-year decomposition differed significantly among species at all three sites.

After one year the decomposition rates slowed down, and most remaining mass was not significantly different among species. In respect of leaf chemical properties the decomposition rates among the species at the same site were mainly affected by initial N or lignin concentrations. The remaining mass was negatively correlated with the initial N concentration at Nanjenshan during the first two-year decomposition, positive relationship with the initial lignin concentration at Guandaushi during the first-year decomposition and positive relationship with the initial C/N ratio at Fushan during the first two years of decomposition. Therefore, the major chemical factors affecting the decomposition rate at a site are still inconclusive, but should be affected by a combination of effects by the nutrients (mainly N) and lignin.

Keywords: remaining mass, temperature, original N concentration, lignin

前言

枯落物的產生和分解為森林生態系重要的過程，因為此兩過程可提供土壤有機質和影響營養分循環。枯落物的分解因樹種和生育地不同而有很大的差異，主要受到枯落物化學性質、氣候條件和微生物等 3 類因素的影響 (Gholz *et al.* 2000)，分解速率的不同，對森林生態的結構和功能也會造成相當程度的影響，尤其是葉的分解在陸域生態系的碳和營養分循環中，扮演極重要的腳色。

不同氣候帶落葉的分解主要受氣候因素的影響 (Meentemeyer 1978)，熱帶分解速率快，溫帶分解速率慢。而枯落物化學性質，一般以氮和木質素濃度對分解速率影響最大 (Melillo *et al.* 1982, Taylor *et al.* 1989, Prescott *et al.* 2004)。為瞭解不同區域和樹種的分解過程，可利用跨生育地的分解試驗，監測分解過程。美國長期生態研究 (Long-term ecological research) 網，集合 27 個生育地組成了長期跨生育地分解試驗團隊 (Long-term Intersite Decomposition Experiment Team, LIDET) 進行研究，這些生育地分佈在不同氣候區，以溫帶為主，但也包含熱帶和寒帶氣候區。每個生育地利用相同的枝葉包 (litterbag) 法進行分解試驗，且至少選擇相同的 6 種落葉和 3 種細根做為分解材料，使這些材料能涵蓋最大範圍的原始化學性質 (主要為氮和木質素)，以便探討葉片化學性質對分解速率的影響 (Harmon *et al.* 2009)。

臺灣雖位於亞熱帶，但受海拔差異的影響，各地氣候也不同，氣候是否影響分解速率尚未有系統性的研究。對不同的生態系葉片的分解已有許多報告發表 (顏江河、陳佳慧 1999, 何淑玲 2003, 林國銓等 2007, 許佳雯 2007, 林國銓等 2011, 黃菊美等 2013)。但同為天然闊葉林或次生林不同樹種分解速率之比較，也只有零星的報告 (孫義方 2000, 林國銓等 2002, 2003)。因此，選擇北、中、南林相相近的三個天然闊葉林 (或次生林)，依照 LIDET 的方法進行葉片分解研究，以瞭解氣候因素對分解速率之影響，以及在同一生育地，不同樹種葉片的化學性質是否會造成分解速率之差異。

材料與方法

一、生育地

本研究由南到北選擇 3 個生育地，南部選擇屬於墾丁國家公園的南仁山自然保護區，其轄內的天然闊葉林。保護區位於北緯 22°05'，東經 120°50'，屬屏東縣滿州鄉。中央山脈南段延伸至保護區內，其海拔由 50 至 540 m，年平均溫度 24.8°C，年降雨量 2164 mm (中央氣象局恆春氣象站)。所選定的南仁山生育地 (簡稱南仁山) 位於宜蘭湖附近，海拔約 300 至 400m，區內天然闊葉林屬亞熱帶雨林楠櫨林帶，喬木以單刺苦槠 (*Castanopsis cuspidata* var. *carlesii* f. *sessilis*)、台灣八角 (*Illicium arborescens*)、茄苳 (*Bischofia javanica*)、白榕

(*Ficus benjamina*)等樹種較為優勢(謝宗欣 1990)。

中部選擇屬於中興大學實驗林的蕙蓀林場，位於北緯 24°04'，東經 121°01'，即南投縣仁愛鄉新生村。年平均溫度為 17.2°C，年降雨量為 2320 mm (資料來源：實驗林氣象觀測站)。所選定的關刀溪生育地(簡稱關刀溪)屬林場的第三林班，海拔約 700 至 1300 m。區內主要植群為天然闊葉林，屬暖溫帶雨林楠櫛林帶，主要樹種為黃杞 (*Engelhardtia roxburghiana*)、香桂 (*Cinnamomum subavenium*)、變葉新木薑子(*Neolitsea aciculata* var. *variabilima*)、單刺苦槠等(呂金城、歐辰雄 1996)。另外，生育地有部分因 1958 年伐木形成的次生闊葉林，主要樹種為長葉木薑子 (*Litsea acuminata*)等，以及有部分人工造林地，以杉木(*Cunninghamia lanceolata*)為主。

北部選擇屬於林業試驗所福山研究中心轄內的天然闊葉林為對象。該林地位於北緯 24°34'，東經 121°34'，即台北縣烏來鄉福山村和宜蘭縣員山鄉湖西村交界處。地形上則屬於雪山山脈北段主支稜，海拔高度由 400 至 1400 m，年平均溫度 18.2°C，年降雨量 4516 mm (2000-2009) (陸象豫等 2009)。所選定的福山生育地(簡稱福山)係屬亞熱帶雨林的楠櫛林帶。海拔約 600-700 m。喬木以單刺苦槠、豬腳楠 (*Machilus thunbergii*)、黃杞、綠樟 (*Meliosma squamulata*)、長葉木薑子、短尾葉石櫟(*Pasania harlandii*)等樹種較為優勢。

二、綠葉分解

1. 樹種選擇

跨生育地之分解試驗除了比較生育地間環境因素之差異外，也希望瞭解葉片化學性質對分解的影響，因此於此三生育地各選擇 10 種優勢樹種，分析其影響分解之主要化學性質氮和木質素，於每生育地由 10 種樹種中各選擇其中 2 樹種，共計 6 樹種，使其氮和木質素的濃度能涵蓋最大範圍。由此選出之樹種南仁山為台灣八角、嶺南青剛櫟(*Cyalobalanopsis*

championii)、關刀溪為黃杞和薯豆 (*Elaeocarpus japonicus*)，福山為單刺苦槠和山紅柿(*Diospyros morrisiana*)，其氮濃度範圍為 13.3-24.8 mg/g，木質素為 22.2-41.3% (附表 1)。

2. 枝葉包的製作

上述 6 樹種分別在其生育地，於選定的林分中選取胸徑大於 10 cm 的喬木 5 至 10 株為樣木，分別於 2003 年 2-3 月期間，截取枝條，於室內採集其完全展開的成熟葉，進行氣乾。氣乾期間定期將同樹種之葉片均勻混合，以保持葉片含水率的一致。氣乾後，各樹種分別製作枝葉包，其方法為：取 20 g 之葉片，分裝於 20×20 cm 的枝葉包中。枝葉包上層以尼龍網為材料，平均網孔為 1.3 mm，下層為尼龍布，以減少細根穿入。另以此 6 樹種葉片取等重量混合，混合後再製作混合樹種枝葉包(簡稱為混合)。每樹種各製作 180 個枝葉包，混合則只製作 60 個，且每裝 30 包(混合每裝 10 包)留取 1 包供做初期含水率、木質素、主要養分、灰分等之測定。合計共製作 1182 個枝葉包。

3. 枝葉包放置及收集

各樹種枝葉包於 2003 年 12 月底分別放置回三林地。南仁山樣區為瞭解落山風對分解速率之影響，於宜蘭湖附近之迎風林分選擇 6 塊樣地，每塊樣地為 5 m×5 m，其中 3 塊周邊以 1.5 mm 厚、180 cm 高之透明塑膠布包圍四周以阻擋風吹入，樣區中間又以同高之透明塑膠布將樣地分為兩半，以避免樣區中央部份受風影響(阻風樣區)。另 3 塊樣區則不設檔風屏幕為控制組(迎風樣區)。阻風樣區之防風塑膠布於 2003 年 11 月 24 日架設完成，12 月底於每樣區逢機選取 10 樣點，樣點間至少相距 2 m，每樣點各放置六種樹種之枝葉包。關刀溪和福山放置方式則為於天然林內選擇二塊林地，兩林地至少相距 1 km 以上，於每塊林地橫坡方向設置 3 條大致平行的 20 m 樣線，2 樣線相距至少 10 m。每樣線每隔 2 m 設一樣點，共計 10 樣點。每樣點放置 6 種枝葉包各 1 個，

福山則增加混合枝葉包，故南仁山共計放置 360 包(2 處理×3 樣區×10 樣點×6 樹種)；關刀溪 360 包(2 林分×3 樣線×10 樣點×6 樹種)；福山則為 420 包(2 林分×3 樣線×10 樣點×7 樹種)。枝葉包放置於枝葉層表面，儘量不干擾枝葉層。各枝葉包並插上旗子，以標示位置。放置後約於 1 個月、2 個月、3 個月、6 個月、9 個月、1 年、1.5 年、2 年、2.5 年、3 年在每樣線逢機選取 1 個樣點，將該樣點全部枝葉包取回，故南仁山和關刀溪各取 36 包和福山取 42 包，帶回實驗室。帶回實驗室之枝葉包經清除表面和內部土壤、其它雜質如昆蟲糞便等及侵入的細根後，以 65°C 烘乾，測定所含葉片的烘乾重，以計算其剩餘重量。

4. 化學分析

原始枝葉包之葉片經烘乾稱重，測定其原始含水率後將之磨粉(< 0.5 mm)，磨粉後之樣本進行化學分析。取 1.00 g 樣本以 450°C 灰化 4 小時，測定其灰分含量。化學分析則以約 4.000 mg 樣本以元素分析儀(ELEMENTAR vario EL 型)，分析碳和氮含量。另以 0.50 g 樣本用 2N HCl 以濕消化法，配成溶液以感應耦合電漿光譜分析儀(ICP, JY2000, Johin Yvon Emission)測定磷、鉀、鈣、鎂含量(Harmon and Lajtha 1999)。至於木質素含量則以 Klason 木質素表示，取 2.00 g 樣本以 benzene 和 ethanol 混合液(benzene 和 ethanol 體積比 2:1 混合)萃取可溶物後，再以 72% H₂SO₄ 溶解全纖維素等物質，剩下的不溶物即為 Klason 木質素(TAPPI 1974)。所有的剩餘重量及養分含量的計算，皆以無灰分的烘乾重為準，以減少枝葉包受土壤的干擾(House and Stinner 1987)。

5. 統計分析

綠葉片分解以綠葉片剩餘重量表示，即以原始剩餘重量為 100%，每次回收枝葉包時，葉片剩餘重量計算如下：

剩餘重量(%) = 當次重量/原始重量×100%。

綠葉年分解速率以單一負指數分解模式 $\ln(X_t/X_0) = -kt$ ，求出年分解常數(k)，式中 X_0 為初期重量， X_t 為 t 年時的重量(Olson 1963)。

除指數分解模式外，另以迴歸式模式建立各生育地剩餘重量與時間的關係。

結果

各樹種葉片在分解初期剩餘重量皆快速下降，同一地區各樹種下降速率不同，每一生育地剩餘重量在分解第 1 年期間各樹種在各分解期間皆呈顯著差異($p < 0.01$) (附表 2)。

南仁山由於迎風樣區與阻風樣區，各樹種之剩餘重量在各分解期間皆無統計上的差異，顯示季風對分解作用影響輕微，故將 2 樣區之數據合併計算，代表南仁山的分解速率。南仁山在第 1 年分解期間，皆以台灣八角和嶺南青剛櫟剩餘重量較高，分解較慢。在分解 6 個月時(約 177 天)剩餘重量分別為 54.8% 和 40.2%，到分解 1 年時(約 360 天)剩餘重量分別為 23.4% 和 21.4% (附表 2)。剩餘重量下降較快的樹種為薯豆和山紅柿，在分解 6 個月時剩餘重量分別為 25.7% 和 24.2%，分解 1 年時分別為 11.4% 和 7.8%，此時黃杞亦降至 7.4%，三者統計上無顯著差異($p > 0.05$)。分解 1 年以後，剩餘重量下降速率減緩，在 1.5 年以後(約 546 天)各樹種剩餘重量皆在 12% 以下，剩餘重量下降極慢，樹種間剩餘重量已大都無顯著差異($p > 0.05$)，僅分解至 2 年時(約 730 天)，嶺南青剛櫟的剩餘重量為 6.4% (圖 1)，明顯地高於其它樹種。至第 3 年(約 1087 天)剩餘重量皆降至 3.5% 以下。

關刀溪各樹種第 1 年的分解，在各分解期間以嶺南青剛櫟剩餘重量最高，台灣八角次之。經 6 個月分解(約 200 天)嶺南青剛櫟和台灣八角之剩餘重量分別為 70.7% 和 66.8%，至 1 年時(約 360 天)，此兩樹種分別為 47.9% 和 52.6% (附表 2)。剩餘重量減少最快的是薯豆，其次為單刺苦楸。薯豆在分解 6 個月時剩餘重量為 37.7%，至 1 年時為 28.1%。1 年以後各樹種剩餘重量持續下降，但下降趨勢略為減緩。分解至 1.5 年時(約 548 天)，以黃杞和山紅柿剩餘重量較高(38.6~39.2%)，薯豆較低

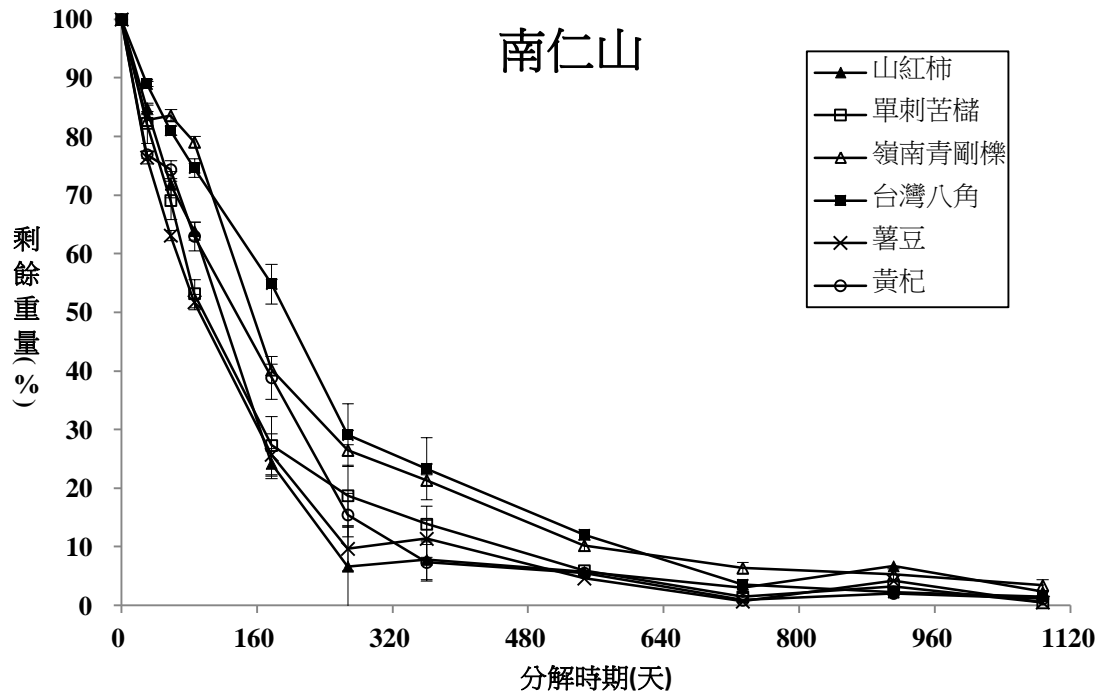


圖 1. 南仁山各樹種各分解時期之剩餘重量

(20.9%) (圖 2)。此後各樹種剩餘重量無差異，僅分解至 3 年時(約 1090 天)，山紅柿的剩餘重量(22.8%)明顯地高於其它樹種(3.9~7.7%)。

福山在第 1 年內各分解期間，亦以嶺南青剛櫟剩餘重量最高，台灣八角次之，經 6 個月分解(約 180 天)，嶺南青剛櫟和台灣八角的剩餘重量分別為 67.4%和 58.2%，兩者無顯著差異($p > 0.05$)，卻高於其它樹種(附表 2)。至分解 1 年時(約 364 天)，此兩樹種分別為 41.7%和 36.1%。在此 1 年期間剩餘重量最低者亦為薯豆，分解 1 年時剩餘重量為 14.0%，尚不及嶺南青剛櫟和台灣八角者的一半。分解 1 年以後，各樹種剩餘重量下降趨勢減緩，樹種間在各期間亦無差異。僅嶺南青剛櫟和單刺苦楮在 2.5 年時(約 909 天)剩餘重量分別為 7.5%和 4.4%，明顯地高於其它樹種(皆在 3%以下) (圖 3)。

將各生育地在各分解時期，所有供試樹種之剩餘重量加以平均，以比較三生育地分解速率之差異，可發現各生育地間皆有明顯的差異 ($p < 0.05$)。大致上以南仁山剩餘重量最低，分

解最快(圖 4)；關刀溪剩餘重量最高，分解速率最慢；福山介於其間。經 3 年分解在南仁山各樹種平均剩餘重量為 1.6%，在關刀溪為 8.2%，在福山為 2.9%。各生育地分解期間剩餘重量與時間的關係都可以 1 次迴歸式表示，且呈顯著相關，決定係數(R^2)為 0.70-0.83，但以 2 次迴歸式表示，更能使其決定係數提高至 0.92-0.93。

以單一負指數分解模式求出之分解常數 k 值，經 3 年分解各樹種 k 值在南仁山為 1.09-1.79 間，關刀溪 0.50-1.09，福山 0.97-1.37(表 1)。各樹種在不同生育地和年度間變化很大。同樹種在不同生育地 k 值，大致上以南仁山最高，福山次之，關刀溪最低。但年度間的變化，則較不具規則性，一般而言，南仁山第 1 年至第 2 年 k 值上升，第 2 年至第 3 年下降；關刀溪第 2 年 k 值較第 1 年上升，但至第 3 年則各樹種有上升，亦有下降；福山則相反，第 1 年至第 2 年 k 值大致下降，至第 3 年又呈上升趨勢。

各樹種葉片之原始養分濃度皆有顯著差

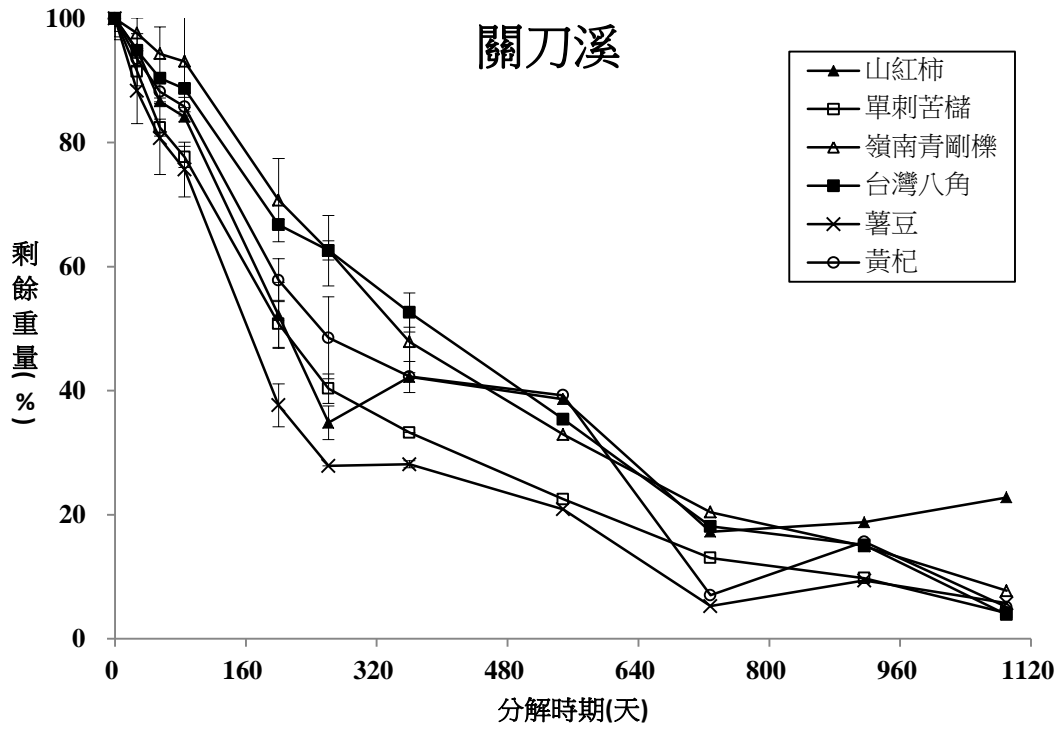


圖 2. 關刀溪各樹種各分解時期之剩餘重量

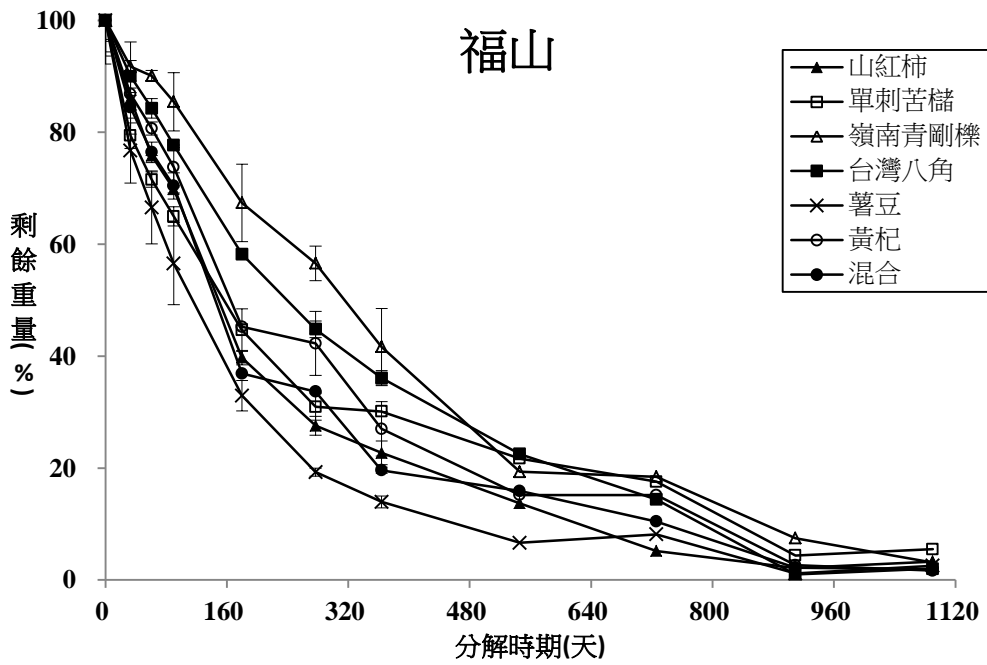


圖 3. 福山各樹種各分解時期之剩餘重量

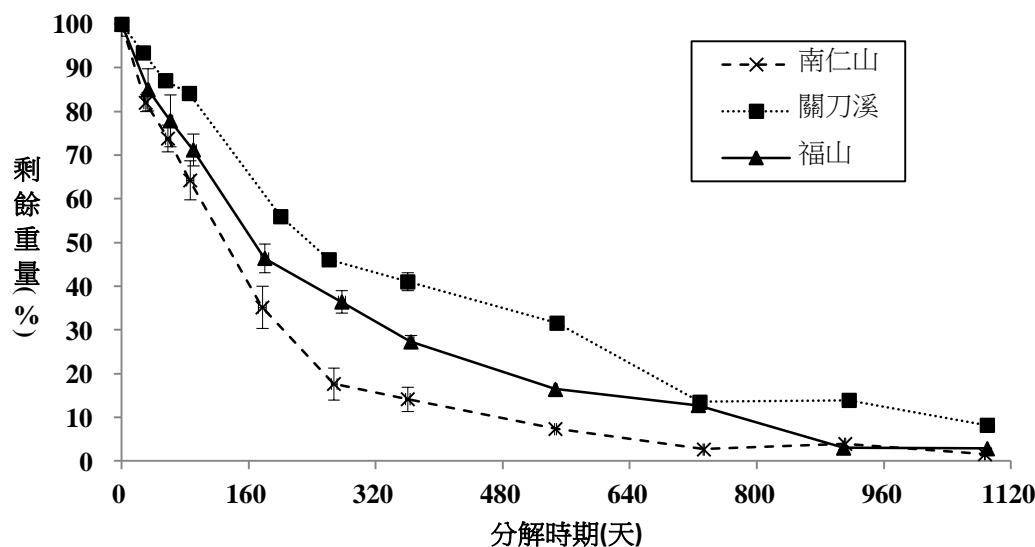


圖 4. 三生育地所有供試樹種在各分解時期之平均剩餘重量

異($p < 0.05$)，碳以嶺南青剛櫟和台灣八角最高，山紅柿和薯豆最低(表 2)。氮以黃杞的 18.0 mg/g 最高，單刺苦楸次之，薯豆再次之。此後依序為山紅柿和混合，台灣八角、嶺南青剛櫟最低(10.3 mg/g)。磷濃度亦涵蓋較大範圍，由單刺苦楸最高的 1.15 mg/g 至最低的嶺南青剛櫟(0.47 mg/g)。鉀以山紅柿最高，台灣八角最低；鈣以薯豆和黃杞最高，嶺南青剛櫟最低；鎂以單刺苦楸最高，嶺南青剛櫟最低。碳氮比則以嶺南青剛櫟最高達 49.7，黃杞最低僅 27.8。至於木質素含量最高是嶺南青剛櫟，台灣八角與其相近，黃杞次之，再其次依序為混合、山紅柿、單刺苦楸，而薯豆最低。

分析分解期間剩餘重量與主要原始化學性質之相關性，顯示南仁山在分解第 1 和 2 年與氮濃度具顯著負相關，碳氮比具顯著正相關(表 3)。即隨氮濃度增加，剩餘重量變低，分解速率較快。碳氮比則相反，其值越高，分解速率越慢。關刀溪僅分解第 1 年與木質素呈顯著正相關，剩餘重量隨木質素上升而變大，分解變慢。福山則第 1 年與碳濃度和碳氮比，第 2 年與碳氮比呈顯著正相關，隨碳濃度或碳氮比增加，分解速率下降。

討論

葉片分解受許多因素影響，就大面積區域而言，主要影響因素為氣象因子，其中又以溫度和降水最重要(Meentemeyer 1978)。本研究的 3 個生育地，福山年降雨量最大，南仁山和關刀溪相近，各地年降雨量皆達 2,100 mm 以上，不易限制葉片分解。在溫度方面，以南仁山位於臺灣南端，海拔最低，年平均溫度最高；福山位於東北部，海拔高於南仁山，年平均溫度次之；關刀溪位於中部，因海拔最高，溫度最低。因此，同一生育地各樹種的平均剩餘重量，以南仁山最低，福山次之，關刀溪最高(圖 4)，故可推斷溫度為造成此三生育地葉片分解速率有差異的主要因素之一。

同在南仁山進行監測，本研究葉片前 3 個月分解剩餘重量為 51.8~79.1% (圖 1)。高於其它研究的 45.0~66.7% (孫義方 2000)，主要因為放置時間不同。本研究枝葉包於 12 月底放置，正好進入冬季低溫期，後者於 9 月放置，秋季溫度較高，故初期分解速率較快。而位於中部海拔 2500 m 以上的塔塔加地區(南投信義鄉同富村)，年平均溫度僅 11.5°C，其短尾葉石櫟和台灣雲杉(*Picea morrisonicola*)分解 1 年

表 1. 各樹種在各生育地 3 年分解期間之分解常數(k)

樹種	南仁山			關刀溪			福山		
	1 年	2 年	3 年	1 年	2 年	3 年	1 年	2 年	3 年
山紅柿	2.72	1.64	1.09	0.87	0.88	0.50	1.49	1.49	1.14
單刺苦楸	1.76	1.93	1.79	1.12	1.02	1.07	1.20	0.87	0.97
嶺南青剛櫟	1.40	1.34	1.45	0.75	0.80	0.86	0.88	0.84	1.16
台灣八角	1.56	1.93	1.66	0.65	0.86	1.09	1.02	0.97	1.31
薯豆	1.91	2.60	1.69	1.29	1.48	0.96	1.97	1.26	1.23
黃杞	2.28	2.42	1.66	0.87	1.33	1.00	1.31	0.95	1.37
混合	-	-	-	-	-	-	1.63	1.14	1.32

表 2. 各樹種養分及木質素原始濃度(mean ± standard error)

項目	山紅柿	單刺苦楸	嶺南青剛櫟	台灣八角	薯豆	黃杞	混合
碳(mg/g)	483.6±1.7c ¹	501.8±1.6b	510.9±1.5a	511.8±1.3a	478.1±3.0c	498.7±2.2b	498.0±1.6b
氮(mg/g)	15.11±0.09d	17.30±0.10b	10.28±0.14f	11.25±0.13e	15.95±0.23c	17.96±0.31a	14.73±0.20d
磷(mg/g)	0.94±0.00c	1.15±0.01a	0.47±0.01f	0.74±0.01e	0.91±0.01c	1.03±0.01b	0.87±0.02d
鉀(mg/g)	15.38±0.19a	10.20±0.09b	6.44±0.14e	5.54±0.04f	6.29±0.25e	7.23±0.14d	8.09±0.15c
鈣(mg/g)	6.54±0.08c	7.16±0.10b	4.17±0.11e	5.00±0.06d	8.06±0.25a	8.45±0.32a	6.76±0.15bc
鎂(mg/g)	2.35±0.02c	3.21±0.04a	1.21±0.03e	2.60±0.06b	2.17±0.06d	2.45±0.05c	2.37±0.06c
碳氮比	32.02±0.22d	29.01±0.16e	49.73±0.55a	45.52±0.42b	29.99±0.39e	27.81±0.42f	33.84±0.48c
木質素(%)	31.35±0.28c	23.55±0.30d	35.46±1.16a	34.09±0.25ab	18.69±0.38e	33.47±0.54b	31.49±0.36c

註¹: 同列字母不同者代表鄧肯氏多邊檢定有顯著差異($p < 0.05$)

表 3. 分解期間剩餘重量與葉片原始化學性質之皮爾森(Pearson)相關係數(N=6)

養分	年	南仁山	關刀溪	福山
碳	1	0.76	0.73	0.89**
	2	0.59	0.59	0.83*
	3	0.36	-0.48	0.01
氮	1	-0.86* ¹	-0.71	-0.64
	2	-0.90*	-0.79	0.22
	3	-0.73	-0.01	0.20
碳氮比	1	0.89*	0.75	0.76*
	2	0.91*	0.78	0.40
	3	0.73	-0.11	-0.17
木質素	1	0.34	0.94**	0.64
	2	0.67	0.66	0.29
	3	0.74	0.18	-0.42

註¹: * $0.01 < p < 0.05$, ** $p < 0.01$

時剩餘重量分別為 77.9 和 65.7% (黃菊美等 2013), 遠高於本研究關刀溪葉片分解 1 年的 28.1~52.6% (圖 2), 且經 3 年分解此兩樹種在塔塔加的 k 值為 0.27~0.31, 遠低於關刀溪葉片 k 值的 0.50~1.09。塔塔加地區葉片分解較慢, 亦主要受溫度影響。臺灣位於亞熱帶地區, 因溫度的差異造成不同海拔地區分解速率之不同。

除不同生育地其平均剩餘重量有差異外, 同生育地內各樹種之剩餘重量亦有顯著差異, 且與生育地間亦有交互作用。在潮濕的亞

熱帶地區, 葉片的化學性質為控制同一區域葉片分解的主要因素(Bargali *et al.* 1993)。本研究大致上在分解初期, 同生育地內樹種間剩餘重量差異較大, 如南仁山在分解至 6 個月時(約 177 天), 6 樹種剩餘重量為 24.2~54.8% (圖 1)。1.5 年以後(約 546~548 天)樹種間剩餘重量已大多數無差異, 南仁山各樹種剩餘重量已在 10.2% 以下, 關刀溪在 35.4% 以下, 福山在 22.5% 以下 (圖 1、2、3)。

就樹種而言, 在南仁山第 1 年分解期間, 以台灣八角或嶺南青剛櫟剩餘重量最大, 分解

最慢(圖 1)，在關刀溪和福山亦有類似的情況(圖 2 和 3)。以原始養分濃度分析，此兩樹種的氮、磷、鉀都低於其它樹種及混合，木質素則高於其它樹種和混合(表 2)。氮等元素為微生物所需之基本元素，氮濃度高可促進葉片分解，尤其在分解初期(Edwards 1977, Melillo *et al.* 1982, Taylor *et al.* 1989, Krashevska *et al.* 2012)。反之，木質素為一複雜的複合物，較難分解，木質素含量高的葉片，分解較慢，尤其在分解的後期為控制分解速率的主要因素(Perry *et al.* 1987, Aber *et al.* 1990, Berg and Ekbohm 1991, Berg 2000)。故台灣八角和嶺南青剛櫟因含較低濃度的養分和較高含量的木質素，分解較慢，其剩餘重量在分解第 1 年期間，在三個生育地皆高於其它樹種。

氮原始濃度在分解第 1 年與剩餘重量呈負相關，但僅南仁山統計上具相關性($p < 0.05$)，其餘 2 生育地之相關性在統計上皆不顯著(表 3)。至分解 2 年時僅南仁山具顯著負相關，其餘生育地及分解第 3 年皆不具相關性。碳氮比亦有類似的結果，因碳氮比高，則氮濃度相對較低，不利微生物活動，分解變慢，剩餘重量變高，故南仁山在分解第 1 和 2 年，福山在第 1 年呈顯著正相關，其餘年度不具相關性。

而關刀溪則受木質素影響較大，分解第 1 年剩餘重量與木質素呈顯著正相關($p < 0.01$)，木質素含量高則分解較慢。就各樹種而言，第 1 年分解期間剩餘重量較低的樹種為單刺苦槠和薯豆，其分解速率最快。此二樹種的木質素含量較其它樹種低(表 2)，極可能是造成分解速率較快的主要原因。

在關刀溪曾以 5 個樹種研究葉片分解速率，其第 1 年剩餘重量與原始氮濃度呈負相關，與碳氮比呈正相關(林國銓等 2003)，顯示氮濃度為控制第 1 年分解的主要因素。此結果與本研究在關刀溪的結果不同，卻與本研究福山的結果相似。但在福山以往的研究卻曾得到僅第 1 年剩餘重量與木質素呈顯著正相關(林國銓等 2002)，或與原始氮濃度呈負相關(林國

銓等 2007)的結果。這些結果與本研究的結果有相似者，也有不同的，顯示分解過程的複雜性。

基本上，同一生育地的分解速率主要受葉片性質和微生物的影響。微生物不在本研究範圍，本研究主要討論葉片的化學性質。有機碳和氮皆為微生物能量或養分的主要來源，故其濃度或相對的比例(即碳氮比)都會對分解造成影響(表 3)，此與溫帶或熱帶地區所得到的結果大致相近(McClagherty *et al.* 1985, Heal *et al.* 1997, Prescott *et al.* 2004)。溫帶地區葉片分解較慢，分解初期主要受氮濃度影響，到中後期則主要受木質素影響，因木質素在中後期才開始明顯分解。但臺灣位於亞熱帶，除高海拔地區外，分解速率大都比溫帶地區快，木質素對分解的影響可能不若溫帶地區明顯或僅在分解末期會影響分解(Berg *et al.* 1984, McClagherty and Berg 1987)，而是在分解初期(約 2 個月)就會分解，但木質素分解速率較其它有機質慢(林國銓等 2002)，故其含量高對分解速率在分解初期就會有影響。總之，控制臺灣同區域內分解速率的主要化學因素，以本研究的資料分析，尚未有定論，應該是葉片主要養分(主要是氮)與木質素綜合作用的結果。

結論

在南仁山、關刀溪、福山三個生育地葉片之平均剩餘重量在各分解期間皆呈顯著差異，主要是三生育地溫度不同所造成。經 3 年分解，南仁山溫度最高，葉片分解速率最快，各樹種平均剩餘重量為 1.6%；關刀溪海拔最高，溫度最低，分解速率最慢，平均剩餘重量為 8.2%；福山介於其間，平均剩餘重量為 2.9%。同一生育地葉片之剩餘重量，在分解第 1 年期間各樹種在各分解期間皆呈顯著差異。三生育地大致上以台灣八角和嶺南青剛櫟剩餘重量最高，分解最慢；薯豆剩餘重量最低，分解最快。分解 1 年以後，剩餘重量下降速率

減緩，樹種間剩餘重量大都已無顯著差異。在分解初期，樹種間剩餘重量的差異，在葉片化學性質方面以原始氮或木質素濃度的影響較大。但是在南仁山剩餘重量在分解前 2 年與氮原始濃度呈負相關，在關刀溪分解第 1 年剩餘重量與木質素呈顯著正相關，福山則在第 1 年與碳氮比呈顯著正相關。故控制臺灣同區域內分解速率的主要化學因素，各生育地不同，尚未有定論。

引用文獻

- 何淑玲。2003。台灣二葉松松針接種不同真菌對其分解之影響。中興大學森林研究所碩士論文，79 頁。
- 吳佳其。2002。南仁山亞熱帶雨林優勢樹種養分含量與環境因子之關係。臺灣大學農業化學研究所碩士論文，121 頁。
- 呂金城、歐辰雄。1996。關刀溪長期生態研究區森林植群之初期研究(1)。林業研究季刊 18(1):77-108。
- 林國銓、杜清澤、陳明杰、黃菊美。2011。柳杉葉和小枝之分解與疏伐關係之探討。中華林學季刊 44(2):145-156。
- 林國銓、黃菊美、杜清澤。2007。不同綠葉在福山闊葉林之分解和養分動態變化。臺大實驗林研究報告 21(1):15-27。
- 林國銓、顏江河、金恒鏞。2003。關刀溪試驗地五樹種綠葉第一年的分解和養分動態變化。林業研究季刊 25(4):21-34。
- 林國銓、張乃航、王巧萍、劉瓊霏。2002。福山闊葉林四樹種綠葉的分解及氮動態變化。台灣林業科學 17(1):75-85。
- 孫義方。2000。東北季風對南仁湖森林落葉量及落葉分解速率影響之研究。台灣長期生態研究：八十八年度專題研究計畫成果報告：137-140。
- 許佳雯。2007。太平山區溫帶針闊葉混合林下疏伐處理對於枯落物分解動態變化之影響。宜蘭大學自然資源研究所碩士論文，121 頁。
- 陸象豫、黃良鑫、黃惠雪。2009。林業試驗所福山研究中心氣象資料彙編。林業叢刊第 201 號，243 頁。
- 黃菊美、杜清澤、林國銓。2013。兩樹種綠葉在塔塔加與福山地區分解之比較。國家公園學報 23(1):50-62。
- 薛銘童。2003。關刀溪次生闊葉林地上部生物量與養分聚積之研究。中興大學森林研究所碩士論文，58 頁。
- 謝宗欣。1990。南仁山區亞熱帶雨林樹種的組成和分佈類型。臺灣大學植物研究所碩士論文，74 頁。
- 顏江河、陳佳慧。1999。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。林業研究季刊 21(4):57-64。
- Aber JD, JM Melillo and CA McClaugherty. 1990. Predicting long-term patterns of mass loss, nitrogen dynamics, and soil organic matter formation from initial fine litter chemistry in temperate ecosystems. *Canadian Journal of Botany* 68:2201-2208.
- Bargali SS, SP Singh and RP Singh. 1993. Patterns of weight loss and nutrient release from decomposing leaf litter in an age series of eucalypt plantations. *Soil Biology and Biochemistry* 25:1731-1738.
- Berg B. 2000. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *Forest Ecology and Management* 133:13-22.
- Berg B and G Ekbohm. 1991. Litter mass-loss rates decomposition patterns in some needle and leaf litter types. Long-term decomposition in a Scots pine forest VII. *Canadian Journal of Botany* 69:1449-1456.
- Berg B, G Ekbohm and C McClaugherty. 1984. Lignin and holocellulose relations during long-term decomposition of some forest litters. Long-term decomposition in a Scots pine forest IV. *Canadian Journal of Botany* 62:2540-2550.
- Edwards PJ. 1977. Studies of mineral cycling in a montane rain forest in New Guinea. II. The production and disappearance of litter. *Journal of Ecology* 65:971-992.
- Gholz HL, DA Wedin, SM Smitherman, ME Harmon and WJ Parton. 2000. Long-term dynamics of pine and hardwood litter in contrasting environments: toward a global model of decomposition. *Global Change Biology* 6:751-765.
- Harmon ME and K Lajtha. 1999. Analysis of detritus

- and organic horizons for mineral and organic constituents. pp. 143-165. In: *Robertson GP, DC Coleman, CS Bledsoe and P Sollins (eds.), Standard soil methods for long-term ecological research*, Oxford University Press, London.
- Harmon ME, WL Silver, B Fasth, H Chen, IC Burke, WJ Parton, SC Hart, WS Currie and Lidet. 2009. Long-term patterns of mass loss during the decomposition of leaf and fine root litter: an intersite comparison. *Global Change Biology* 15:1320-1338, doi: 10.1111/j.1365-2486.2008.01837.x
- Heal OW, JM Anderson and MJ Swift. 1997. Plant litter quality and decomposition: an historical overview. *Driven by nature: plant litter quality and decomposition*. CAB International, Wallingford, pp. 3-30.
- House GJ and RE Stinner. 1987. Decomposition of plant residues in no-tillage agroecosystems: influence of litter bag mesh size and soil arthropods. *Pedobiologia* 30:351-360.
- Krashevskaya V, D Sandmann, M Maraun and S Scheu. 2012. Consequences of exclusion of precipitation on microorganisms and microbial consumers in montane tropical rainforests. *Oecologia* 170:1067-1076.
- McClougherty CA, J Pastor, JD Aber and JM Melillo. 1985. Forest litter decomposition in relation to soil nitrogen dynamics and litter quality. *Ecology* 66(1):266-275.
- McClougherty CA and B Berg. 1987. Cellulose, lignin and nitrogen concentrations as rate regulating factors in late stage of forest litter decomposition. *Pedobiologia* 30:101-112.
- Meentemeyer V. 1978. Macroclimate and lignin control of litter decomposition rates. *Ecology* 59(3):465-472.
- Melillo JM, JD Aber and JF Muratore. 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology* 63:621-626.
- Olson JS. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* 44(2):322-331.
- Perry DA, C Choquette and P Schroeder. 1987. Nitrogen dynamics in conifer-dominated forests with and without hardwoods. *Canadian Journal of Forest Research* 17:1434-1441.
- Prescott CE, L Vesterdal, CM Preston and SW Simard. 2004. Influence of initial chemistry on decomposition of foliar litter in contrasting forest types in British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research* 34:1714-1729, doi: 10.1139/x04-040
- TAPPI. 1974. Acid insoluble lignin in wood and pulp. *Technical association of the pulp and paper industry*. Standard method no: T22205-74. TAPPI press, Atlanta, GA. 2 pp.
- Taylor BR, D Parkinson and WFJ Parsons. 1989. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: a microcosm test. *Ecology* 70:97-104.

附表 1. 三生育地十種樹種氮和木質素濃度

生育地	樹種	氮 (mg/g)	木質素 ¹ (%)
南仁山 ¹	茄苳 (<i>Bischofia javanica</i>)	15.7	29.1
	白榕(<i>Ficus benjamina</i>)	17.7	34.5
	紅果欖木(<i>Dysoxylum hongkongense</i>)	25.0	31.0
	咬人狗(<i>Dendrocnide meyeniana</i>)	33.3	26.5
	錐果欖(<i>Cyclobalanopsis longinux</i> var. <i>longinux</i>)	20.6	44.8
	嶺南青剛欖(<i>Cyclobalanopsis championii</i>)	13.3	39.6
	小葉木犀(<i>Osmanthus marginatus</i>)	12.1	32.4
	猴歡喜(<i>Sloanea formosana</i>)	20.5	34.3
	單刺苦槠(<i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>carlesii</i> f. <i>sessilis</i>)	18.2	33.7
關刀溪 ²	台灣八角(<i>Illicium arborescens</i>)	17.3	33.5
	杉木(<i>Cunninghamia lanceolata</i>)	19.5	29.3
	木荷(<i>Schima superba</i>)	24.3	34.5
	黃杞(<i>Engelhardia roxburghiana</i>)	24.8	41.3
	薯豆(<i>Elaeocarpus japonicus</i>)	23.4	26.1
	香桂(<i>Cinnamomum subavenium</i>)	19.0	41.8
	山紅柿(<i>Diospyros morrisiana</i>)	22.6	40.4
	長葉木薑子(<i>Litsea acuminata</i>)	24.1	37.4
	變葉新木薑子(<i>Neolitsea aciculata</i> var. <i>variabilima</i>)	19.3	40.9
	南投石欖(<i>Pasania aciculata</i>)	23.0	44.2
	反刺苦槠(<i>Castanopsis eyrei</i>)	17.6	30.1
福山 ³	短尾葉石欖(<i>Pasania harlandii</i>)	22.4	40.8
	單刺苦槠(<i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>carlesii</i> f. <i>sessilis</i>)	23.2	22.2
	錐果欖(<i>Cyclobalanopsis longinux</i> var. <i>longinux</i>)	22.2	31.0
	香楠(<i>Machilus zuihoensis</i>)	23.7	36.6
	豬腳楠(<i>Machilus thunbergii</i>)	19.4	34.9
	綠樟(<i>Meliosma squamulata</i>)	18.0	36.7
	烏皮茶(<i>Pyrenaria shinkoensis</i>)	22.1	25.7
	長葉木薑子(<i>Litsea acuminata</i>)	24.5	38.4
	黃杞(<i>Engelhardia roxburghiana</i>)	25.1	28.4
山紅柿(<i>Diospyros morrisiana</i>)	22.3	34.9	

註：¹吳佳其 2002；²薛銘童 2003；³林國銓 未發表

附表 2. 各樹種在三生育地分解 1 至 12 個月(1 年)期間之剩餘重量(mean ± standard error)

生 育 地	分 解 期 間 (月)	山紅柿	單刺苦楸	嶺南青剛櫟	台灣八角	薯豆	黃杞	混合
南 仁 山	1	84.9±2.6ab ¹	82.3±3.5b	82.8±0.5b	89.0±0.4a	76.4±1.1c	76.9±0.6c	-
	2	71.8±0.6b	69.1±3.3b	83.6±2.7a	81.1±0.7a	63.1±0.9c	74.4±1.5b	-
	3	63.9±0.8b	53.2±2.4c	79.1±1.7a	74.6±1.6a	51.8±1.3c	63.0±2.5b	-
	6	24.2±5.3c	27.3±5.0bc	40.2±7.2b	54.8±3.4a	25.7±3.6bc	38.9±3.6bc	-
	9	6.7±2.7b	18.8±5.2ab	26.5±7.0a	29.1±5.3a	9.7±3.7b	15.5±3.7ab	-
	12	7.8±2.5c	13.9±3.1abc	21.4±3.8ab	23.4±5.3a	11.4±3.2bc	7.4±3.1c	-
關 刀 溪	1	95.0±0.5b	91.4±1.1c	97.6±0.6a	94.8±0.6b	88.3±0.7b	93.5±0.7bc	-
	2	86.6±2.3bc	82.4±1.9cd	94.3±0.6a	90.4±0.9ab	80.7±1.3d	88.2±1.1b	-
	3	84.1±1.6c	77.7±2.1d	93.1±0.9a	88.7±1.3b	75.7±1.7d	85.8±1.0bc	-
	6	52.1±2.6b	50.8±2.5b	70.7±1.5a	66.8±1.9a	37.7±2.1c	57.8±5.2b	-
	9	34.8±7.0bc	40.3±4.3bc	62.6±3.1a	62.6±1.5a	27.9±3.4c	48.5±6.9ab	-
	12	42.2±3.4ab	33.2±7.5bc	47.9±3.0a	52.6±3.5a	28.1±2.3c	42.3±3.1ab	-
福 山	1	86.0±0.7bc	79.4±0.3d	91.7±0.1a	90.0±0.4a	76.7±1.1e	86.9±0.3b	84.4±0.9c
	2	75.9±1.5d	71.6±1.2e	90.1±0.5a	84.3±0.4b	66.6±0.4f	80.7±0.3c	76.4±1.1d
	3	69.8±1.3cd	65.0±3.5d	85.5±0.3a	77.7±2.1b	50.5±1.2e	73.8±1.6bc	70.4±2.2cd
	6	39.7±5.6b	44.6±0.5b	67.4±0.9a	58.2±2.7a	32.9±2.2b	45.2±2.3b	36.9±7.7b
	9	27.6±5.8de	30.9±5.7cde	56.6±4.3a	44.8±4.2ab	19.3±2.7e	42.3±3.5bc	33.7±1.6bcd
	12	22.7±6.5cd	30.1±4.9abc	41.7±2.6a	36.1±4.5ab	14.0±3.6cd	27.0±1.5bc	19.6±3.5cd

註¹：同列字母不同者代表鄧肯氏多邊檢定有顯著差異($p < 0.05$)