

# 兩樹種綠葉在塔塔加與福山地區分解作用之比較

黃菊美<sup>1</sup>，杜清澤<sup>1</sup>，林國銓<sup>2,3</sup>

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

E-mail: kuolin@tfri.gov.tw

**[摘要]** 於海拔不同的塔塔加和福山地區分別進行綠葉分解作用之研究，以瞭解兩地區不同樹種(短尾葉石櫟和臺灣雲杉)，分解速率與養分動態變化。兩樹種綠葉在福山地區的分解速率比塔塔加地區快，剩餘重量較低，可能是因福山海拔較低，氣溫較高有利於分解。綠葉經 2 或 4 年分解，兩地區兩樹種僅在分解初期的 6 個月或 1 年間剩餘重量有差異，以臺灣雲杉分解較快，其餘期間無顯著差異。但分解 1 年以後，塔塔加仍以臺灣雲杉分解略高於短尾葉石櫟，福山則以短尾葉石櫟分解速率略高於臺灣雲杉。臺灣雲杉綠葉在春季或秋季放置，其分解速率差異不大。兩樹種的原始養分含量及木質素皆呈顯著差異，僅鈣無差異，其中氮、磷、鉀以臺灣雲杉含量較高，碳、鎂、木質素、碳氮比以短尾葉石櫟較高。分解期間各養分含量之動態變化不同，氮在兩地區兩樹種皆呈上升趨勢，鉀和碳氮比則是下降趨勢，其餘養分卻升降不定或保持平穩。塔塔加地區此兩樹種碳和氮剩餘量在同一分解期間皆高於福山者，顯示塔塔加枝葉層能累積更多的碳和氮。

**關鍵字：**分解作用、短尾葉石櫟、臺灣雲杉、木質素、碳氮比

## Decomposition of Fresh Leaves of Two Species at Fushan and Tatachia Forest Sites

Chu-Mei Huang<sup>1</sup>，Chin-Tzer Duh<sup>1</sup> and Kuo-Chuan Lin<sup>2,3</sup>

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

**ABSTRACT** Decomposition processes of fresh leaves in Fushan (a lower elevation site) and Tatachia (a higher elevation site) forests were studied to gain a better understanding of the variation in decomposition rate and nutrient dynamics between tree species and sites. Foliage of *Pasania harlandii* and *Picea morrisonicola* were collected in spring and fall, processed, and placed at both sites for 4 years. With the exception of Ca, the initial concentrations of nutrients and lignin differed significantly between the leaves of the two species. N, P, and K concentrations were higher in *Picea morrisonicola* samples than in *Pasania harlandii* samples, while reversely C, Mg, and lignin concentrations and C/N ratios were higher in *Pasania harlandii* samples than in *Picea morrisonicola* samples. The remaining mass of the same species differed between sites in the first 2 years. The decomposition rates in Fushan were higher than those in Tatachia, and the remaining mass of both species in Fushan was lower than that in Tatachia. It was possibly due to the annual temperature difference between the two sites, it being higher in Fushan than in Tatachia. Regardless of 2- or 4-year- decomposition,

the remaining mass differed between species at both sites during the initial 6 months and the rest of the first year. The decomposition rates of *Picea morrisonicola* leaves were higher than those of *Pasania harlandii*. But the decomposition rates of *Picea morrisonicola* leaves were slightly higher than those of *Pasania harlandii* in Tatchia after the first year, while the decomposition rates of *Pasania harlandii* in Fushan were slightly higher. The leaf samples collected in spring or fall showed little difference in decomposition rate. Nitrogen concentrations of the species increased at both sites during decomposition, but K and C/N ratio decreased. The dynamics of other nutrients during decomposition were irregular, either increasing or decreasing, or staying stable. In terms of the percentage of nutrient in the remaining mass during decomposition, C and N were higher in Tatchia than in Fushan, showing that the forest litter layer in Tatchia accumulated more C and N mass than that in Fushan.

**Keywords:** decomposition, *Pasania harlandii*, *Picea morrisonicola*, lignin, C/N ratio

## 前言

枯落物的分解為森林生態系養分循環的重要過程，分解作用提供有機質和礦質養分，影響微生物活動、枝葉層養分的釋出、土壤有效養分的量(Swift *et al.* 1979)，故欲瞭解森林生態系的養分循環，必須對分解過程加以監測。枯落物中以落葉占最大量(Waring and Schlesinger 1985, Lin *et al.* 2003)，故對落葉分解過程的瞭解十分重要。落葉分解為一極為複雜的過程，受許多因素影響，不同氣候帶的分解速率主要受氣候因素影響(Meentemeyer 1978)，尤其是氣溫及降水量。同一區域不同樹種中則以落葉性質影響較大，尤其以落葉化學性質最具影響(Swift *et al.* 1979, Berg and Staaf 1980)。臺灣位於亞熱帶，在中低海拔的闊葉林其落葉分解已有許多研究發表(顏江河、陳佳慧 1999，周育如 2003，林國銓等 2002，2003，2007，許佳雯 2007)，部分針葉樹如臺灣二葉松(*Pinus taiwaniensis*) (何淑玲 2003)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*) (周育如 2003，林國銓等 2003)、柳杉(*Cryptomeria japonica*) (林國銓等 2011)等，其落葉的分解亦有初步的瞭解。但對中高海拔天然林其落葉分解的了解卻很少。尤其中高海拔地區氣溫較低，與溫帶地區相近，落葉分解過程是否與中低海拔不同？不同樹種在不同海拔的分解速率是否不同？這些問題都有待釐清。故選擇臺灣東北部海拔約 600-700 m 福山地區闊葉林，

及中部隸屬玉山國家公園，海拔 2,500-3,000 m 的塔塔加地區天然針葉林中較主要的臺灣雲杉(*Picea morrisonicola*)林為對象。比較此兩林分較優勢樹種落葉長期的分解過程，希望能解答下列問題，1. 低海拔與高海拔地區落葉的分解速率是否有差異？2. 不同樹種其長期分解速率是否有差異？3. 分解過程中主要養分含量和其釋出量如何變化？是否受海拔和樹種影響？由於天然林中收取單一樹種的落葉，十分困難，故取綠葉進行研究，同時亦可模擬受颱風干擾時，大量綠葉脫落(Lin *et al.* 2003) 時的分解過程。

## 材料與方法

### 一、試驗地

本研究高海拔試驗地以位於玉山國家公園境內的塔塔加地區為對象。該試驗地位於北緯 23°28'，東經 120°52'，即南投縣信義鄉同富村，接近嘉義縣阿里山鄉。所選定的臺灣雲杉林海拔約 2,550-2,650 m，分解期間(2006-2010)年平均溫度 11.5°C，年降雨量 4,369 mm (中央氣象局阿里山觀測站)。喬木以臺灣雲杉為主，混生少量臺灣華山松(*Pinus armandii* var. *masteriana*)、紅檜(*Chamaecyparis formosensis*)、臺灣鐵杉(*Tsuga chinensis* var. *formosana*)、南洋紅豆杉(*Taxus sumatrana*)等樹種。

低海拔試驗地以林業試驗所福山研究中心轄內未受人為干擾的天然闊葉林為對象。該

林地位於北緯 24°34'，東經 121°34'，即臺北縣烏來鄉福山村和宜蘭縣員山鄉湖西村交界處。年平均溫度 18.2°C，年降雨量 4516 mm (2000-2009) (陸象豫等 2009)。所選定的原生天然闊葉樹林係屬暖溫帶雨林的樟櫟群叢。海拔約 600-700 m。喬木以鋸葉長尾栲 (*Castanopsis cuspidata* var. *carlesii* f. *sessilis*)、豬腳楠 (*Machilus thunbergii*)、黃杞 (*Engelhardtia roxburghiana*)、綠樟 (*Meliosma squamulata*)、長葉木薑子 (*Litsea acuminata*)、短尾葉石櫟 (*Pasania harlandii*) 等樹種較為優勢。

## 二、綠葉分解

### 1. 枝葉包的製作

選擇塔塔加地區的臺灣雲杉及福山的短尾葉石櫟為對象。於選定的兩林分中選取胸徑大於 10 cm 的喬木 5 至 10 株為樣木，於 2005 年 12 月，截取枝條，於室內採集其完全展開的成熟葉，將兩樹種葉片分別氣乾，製作枝葉包，其方法為：取 20 g 之葉片，分裝於枝葉包中。短尾葉石櫟葉片遠大於臺灣雲杉的葉片，故短尾葉石櫟用 25 x 30 cm 的枝葉包，臺灣雲杉用 20 x 20 cm 的枝葉包。枝葉包的材料為尼龍布(50 μm 網孔)。短尾葉石櫟製作 60 個枝葉包，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。臺灣雲杉由於葉片取樣較多，製作 120 個枝葉包，每裝 20 包亦留取 1 包供做初期性質測定之用。合計共製作 192 個枝葉包。

### 2. 枝葉包放置及收集

由於 3 月為福山闊葉林落葉高峰期的開始(林國銓 1997)，因此兩樹種枝葉包於 2006 年 3 月初分別放置回兩林地，模擬春季落葉。由於兩地區海拔不同，年平均溫度差異很大，故採用不同分解期間進行試驗。塔塔加地區進行 4 年，福山地區進行 2 年。且分解初期各項性質變化可能較大，故採取初期較密集回收的方式取樣。放置方式為於橫坡方向設置 5 條大致平行 20 m 樣線，2 樣線相距至少 10 m。每

樣線每隔 2 m 設一樣點，塔塔加設 8 樣點，福山設 7 樣點。每樣點放置短尾葉石櫟和臺灣雲杉各 1 個枝葉包。由於臺灣雲杉製作的枝葉包較多，故增設 1 條樣線，每樣點僅放置 1 個臺灣雲杉枝葉包。總計塔塔加放置短尾葉石櫟 32 (4 樣線×8 樣點)包，臺灣雲杉 40 (5 樣線×8 樣點)包；福山則為短尾葉石櫟 28 (4 樣線×7 樣點)包，臺灣雲杉 35 (5 樣線×7 樣點)包。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。塔塔加於放置後第 3 月、6 月、1 年、1.5 年、2 年、2.5 年、3 年、3.8 年；福山於放置後第 1 月、3 月、6 月、9 月、1 年、1.5 年、2 年，在每樣線逢機選取 1 個樣點的枝葉包，故每試驗地短尾葉石櫟取 4 包和臺灣雲杉取 5 包，帶回實驗室。另外，臺灣雲杉於 2006 年 9 月初再放置回塔塔加一次，模擬秋季落葉。放置方式與春季相同，於臺灣雲杉春季樣點各放置 1 個枝葉包，共 40 包。放置後第 3 月、6 月、1 年、1.5 年、2 年、2.5 年、3.3 年、4.1 年，每樣線逢機選取 1 個樣點的枝葉包，故共取 5 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，計算其剩餘重量。

### 3. 化學分析

原始枝葉包的葉片經烘乾稱重，測定含水率後，將之磨粉(<0.5 mm)進行化學分析。取回枝葉包的葉片稱重後亦磨粉，進行化學分析。分析時取 1.00 g 樣本以 450°C 灰化 4 小時，測定其灰分含量。並以約 4.000 mg 樣本以元素分析儀(ELEMENTAR vario EL 型)，分析碳和氮含量。木質素含量以 Klason 木質素表示，僅測定其原始含量，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% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶解全纖維素等物質，剩下的不溶物即為 Klason 木質素(TAPPI 1974)。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, John Yvon Emission)測定磷、鉀、鈣、鎂含量(Harmon and Lajtha 1999)。

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)。

#### 4. 統計分析

綠葉分解以綠葉剩餘重量表示，即以原始剩餘重量轉化為 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%。

各養分之計算，亦設定原始量為 100%，每次回收枝葉包時，各養分剩餘量計算如下：  
養分剩餘量(%) = (當次養分濃度×當次葉片重量) / (原始養分濃度×原始葉片重量)×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，另以迴歸式建立剩餘重量與時間的關係。

## 結果

塔塔加地區春季放置之兩樹種經約 4 年的分解，短尾葉石櫟剩餘重量為 31.2%，臺灣雲杉為 28.2%。在分解第 3、6、12 個月時，皆以臺灣雲杉剩餘重量較短尾葉石櫟低，分解速率較快，此後兩樹種剩餘重量則無顯著差異，但仍以臺灣雲杉剩餘重量略低(圖 1)。至於塔塔加地區秋季放置之臺灣雲杉，經約 4 年的分解，剩餘重量為 26.2%。比較臺灣雲杉春秋兩季放置時間綠葉剩餘重量的差異，發現僅在分解至第 1 年時有差異( $p < 0.01$ )，其餘期間無顯著差異(圖 2)。在福山地區兩樹種經 2 年分解短尾葉石櫟剩餘重量為 26.1%，臺灣雲杉為 31.0%，分解期間兩樹種只有在第 1 和 3 個月時剩餘重量有差異( $p < 0.01$ )，以為臺灣雲杉剩餘重量顯著較低，分解速率較快，其餘期間無顯著差異。但在 6 個月後，以短尾葉石櫟剩餘重量較低，分解速率較臺灣雲杉略快(圖 3)。比較同一樹種放置在兩地區的剩餘重量，發現所有期間皆呈顯著差異( $p < 0.05$ )，經 2 年分解兩樹種皆以福山地區剩餘重量顯著較塔

塔加地區低。經 1 年分解，短尾葉石櫟在福山及塔塔加剩餘重量分別為 43.6 及 77.9%；臺灣雲杉在福山及塔塔加則分別剩餘 49.1 及 65.7%。短尾葉石櫟在福山地區剩餘重量僅為塔塔加地區之 56.1%，臺灣雲杉在福山之剩餘重量則為塔塔加之 74.8%。經 2 年的分解，福山地區兩樹種的剩餘重量為塔塔加地區的 49.3-63.0% (圖 1 和 3)。

以單一負指數分解模式計算之分解常數(k 值)，塔塔加地區短尾葉石櫟第 2 年略高於第 1 年，此後保持穩定。臺灣雲杉不論春或秋季放置，第 1 年 k 值皆最高，此後亦大致穩定(表 1)。福山地區兩樹種 k 值第 1 年皆高於第 2 年。前 2 年的分解福山地區兩樹種 k 值皆高於塔塔加。以樹種而言，兩樹種 k 值無顯著差異，但短尾葉石櫟在福山地區第 1 和 2 年 k 值皆略高於臺灣雲杉，顯示短尾葉石櫟在福山分解較快。塔塔加地區則相反，以臺灣雲杉 k 值在第 1、2、4 年略高，分解速率較短尾葉石櫟快。臺灣雲杉在塔塔加地區不論春季或秋季放置，剩餘重量與時間的關係都可以用一次迴歸式表示，決定係數皆為 0.86 (圖 2)；臺灣雲杉在福山地區則可用三次迴歸式表示( $p < 0.01$ )，決定係數為 0.91 (圖 3)。對短尾葉石櫟而言，其分解過程剩餘重量與時間在塔塔加地區可用三次迴歸式表示( $p < 0.01$ )，在福山地區可用二次迴歸式表示( $p < 0.01$ )，兩者的決定係數皆大於 0.9 (圖 1 和 3)。

兩樹種綠葉之原始養分含量及木質素，除鈣外皆呈現顯著差異( $p < 0.01$ )，氮、磷、鉀以臺灣雲杉含量較高，碳、鎂、碳氮比和木質素含量則以短尾葉石櫟較高(表 2)。分解期間養分含量的動態變化方面，在不同期間養分含量大都呈顯著差異，但各養分含量之變化趨勢不同。兩樹種氮含量在兩地區皆呈上升趨勢，短尾葉石櫟由 12.6 mg/g 上升至 21.0-21.2 mg/g，臺灣雲杉由 16.0 mg/g 上升至 24.5 mg/g (圖 4a 和 5a)。塔塔加地區臺灣雲杉的氮含量皆顯著高於短尾葉石櫟(圖 4a)，福山地區臺灣雲杉僅在第 1、6、24 個月期間顯著高於短尾葉石櫟(圖

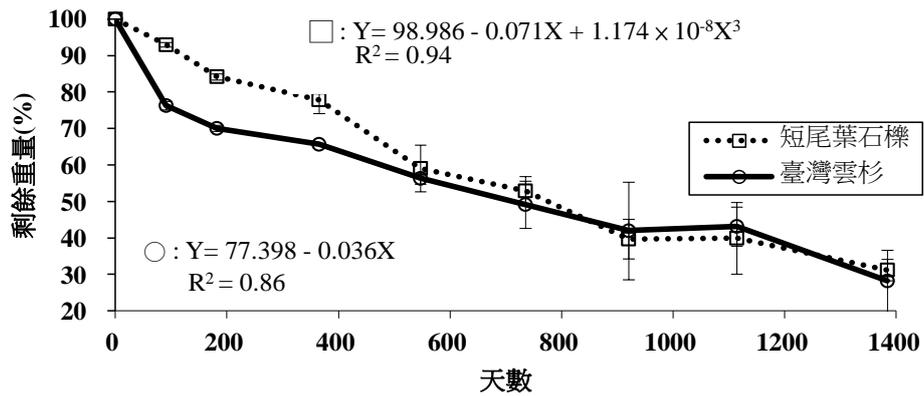


圖 1. 塔塔加地區兩樹種綠葉分解期間剩餘重量之動態變化(春季放置；各點的垂直線為標準差)

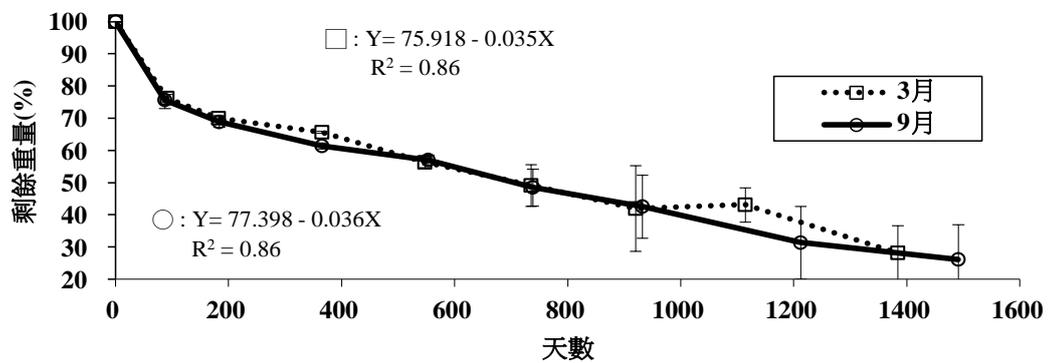


圖 2. 塔塔加地區臺灣雲杉綠葉不同放置時間分解期間剩餘重量之動態變化(各點的垂直線為標準差)

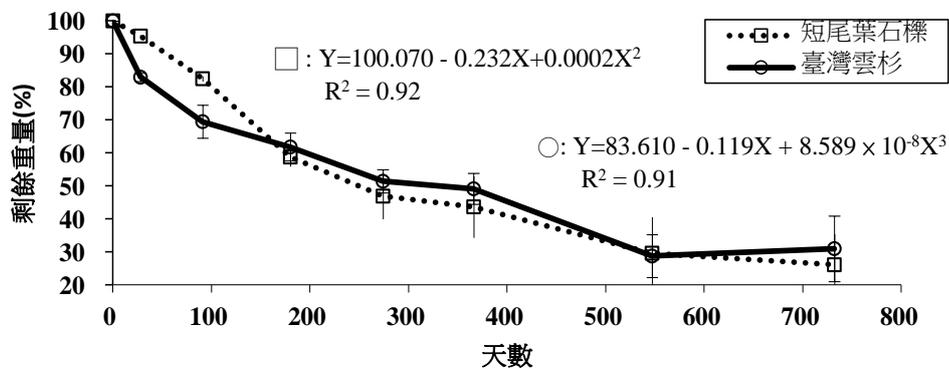


圖 3. 福山地區兩樹種綠葉分解期間剩餘重量之動態變化(各點的垂直線為標準差)

表 1. 在塔塔加及福山地區兩樹種綠葉於不同分解期間的分解常數(k)

生育地	樹種	1 年	2 年	3 年	4 年
塔塔加	短尾葉石櫟	0.25	0.32	0.31	0.31
	臺灣雲杉(春季)	0.42	0.35	0.27	0.34
	臺灣雲杉(秋季)	0.48	0.36	0.37	0.35
福山	短尾葉石櫟	0.84	0.69	-	-
	臺灣雲杉	0.71	0.60	-	-

表 2. 短尾葉石櫟及臺灣雲杉綠葉之原始養分含量比較(均數±標準差, n=6)

項目/樹種	短尾葉石櫟	臺灣雲杉
C(mg/g)	519.8±3.3* <sup>1</sup>	504.3±3.9
N(mg/g)	12.59±0.31*	16.03±0.18
P(mg/g)	0.55±0.05*	1.89±0.07
K(mg/g)	2.88±0.35*	8.73±0.10
Ca(mg/g)	8.86±1.20 <sup>ns</sup>	9.26±0.18
Mg(mg/g)	1.32±0.05*	0.84±0.01
C/N ratio	41.28±1.23*	31.52±0.18
lignin (%)	42.77±2.08*	25.25±0.40

<sup>1</sup> ns:  $p > 0.05$ ; \*:  $p < 0.01$

5a) ( $p < 0.05$ )。磷含量的變化視其原始含量而異，短尾葉石櫟原始含量較低，在分解期間呈上升趨勢，經 2 或 4 年分解，磷含量達 1.01-1.09 mg/g；臺灣雲杉磷原始含量較高，分解期間呈下降趨勢，經 2 或 4 年分解降至 1.01-1.12 mg/g (圖 4b 和 5b)。鉀含量兩樹種在兩地區皆呈明顯下降(圖 4c 和 5c)，短尾葉石櫟由 2.88 mg/g 降至 0.63-0.91 mg/g，臺灣雲杉由 8.73 mg/g 降至 0.42-0.59 mg/g。兩樹種鈣含量則在塔塔加地區大致呈上升趨勢，至 1.5 年後呈穩定狀態，維持在 12.1-14.8 mg/g 間；在福山地區則上升至 3-6 個月後開始下降，2 年後降至 3.92-4.84 mg/g (圖 4d 和 5d)。鎂含量在塔塔加地區兩樹種皆呈下降趨勢，但臺灣雲杉偶有上升，至 2.5 年後大致保持平穩；福山地區短尾葉石櫟鎂含量在分解前 6 個月呈上升趨勢，此後下降，保持在 0.90-1.24 mg/g 間；臺灣雲杉則在第 1 年保持平穩，此後上升，至 1.5 年後下降(圖 4e 和 5e)。

碳氮比方面，在塔塔加地區分解各期間兩樹種皆有顯著差異，短尾葉石櫟碳氮比快速下降，至 2.5 年後保持在 24.8-26.2 間，臺灣雲杉則在 3 個月內快速下降，此後保持平穩至 1.5 年，再緩慢下降至 20.6 (圖 4f)。福山地區短尾葉石櫟碳氮比在分解期間持續下降，至 2 年

時達 20.2；臺灣雲杉則不同，大致維持在 23.0-28.1 間，至 2 年時才降至 20.7 (圖 5f)。在塔塔加地區秋季放置的臺灣雲杉葉片養分含量和碳氮比的變化趨勢，與春季放置大致相似，僅有少數期間有差異，在 1、2.5、4 年時春季放置葉片的氮含量明顯地高於秋季放置者，故其碳氮比明顯較低(圖 6)。

養分剩餘量方面，分解期間兩樹種碳剩餘量皆持續下降(圖 7)，氮剩餘量則皆在前 1 或 3 個月上升，之後才下降，氮剩餘量甚至有超過 100%的情況(圖 8)。在同一分解期間，此兩樹種在塔塔加地區碳和氮剩餘量皆明顯高於福山地區者，顯示塔塔加地區碳和氮釋出的速率較慢。

## 討論

枯落物的分解速率受到許多因素影響，這些因素主要可分為三大類即環境、枯落物性質、土壤微生物(Waring and Schlesinger 1985)。就大面積的區域而言，氣候為主要的環境因素。臺灣雖地處亞熱帶，但塔塔加地區海拔超過 2,500 m，年平均溫度 11.5°C，已類似溫帶地區，與屬於亞熱帶的福山地區，年平均溫度 18.2°C 有明顯的差異。因為在相同的兩

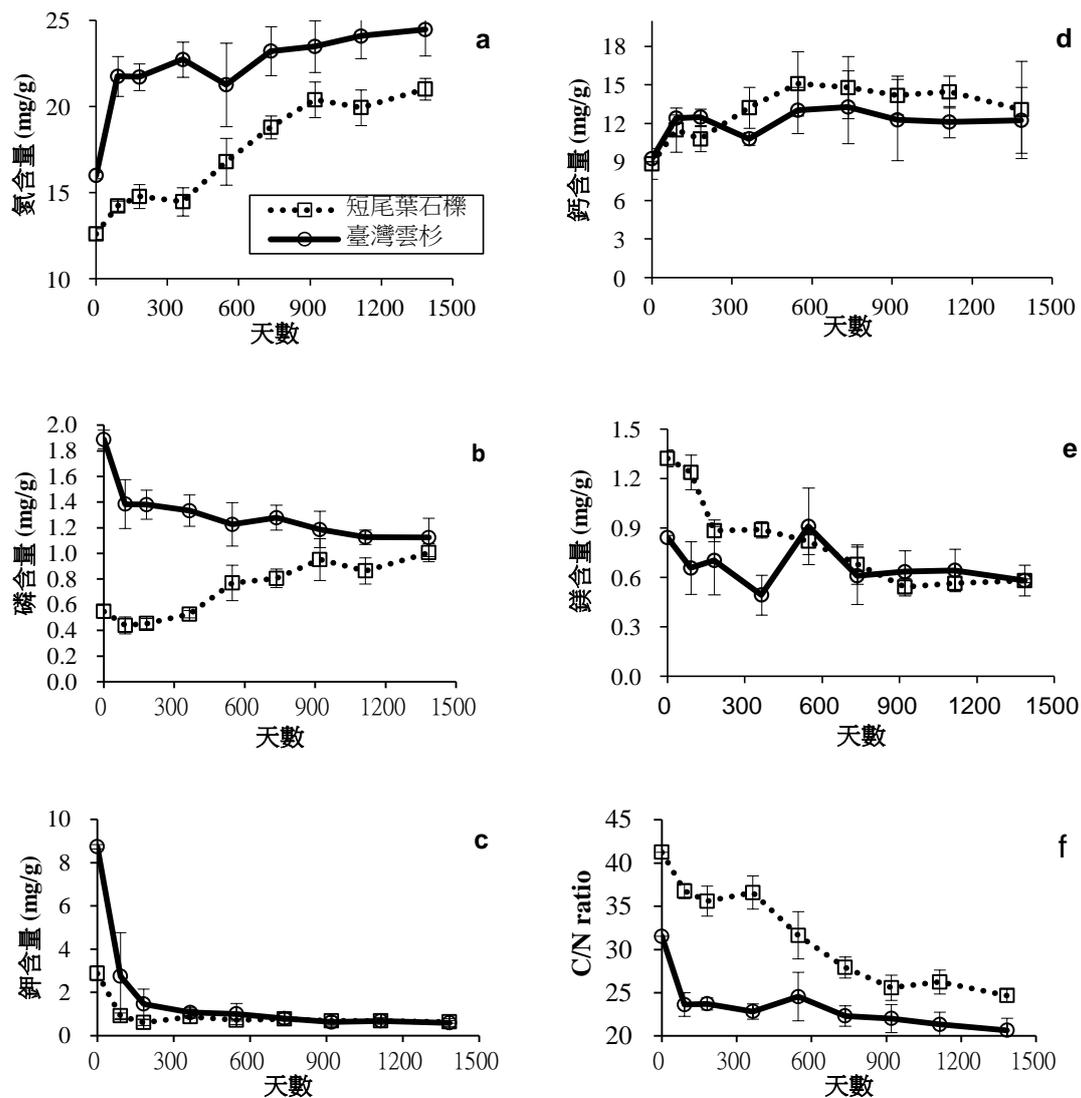


圖 4. 塔塔加地區兩樹種綠葉分解期間之氮、磷、鉀、鈣、鎂含量與碳氮比之動態變化(各點的垂直線為標準差)

量下，枯落物的分解率與溫度呈正相關，故在塔塔加的兩樹種，其 2 年分解期間的剩餘重量皆高於福山地區者(圖 1 和 3)，k 值則皆較低(表 1)，顯示塔塔加地區綠葉分解速率較慢，主要受溫度較低，降低微生物活動的影響。

位於加拿大 Alberta 省，冷溫帶的 *Picea glauca* 其針葉分解 3 年，k 值為 0.18 (Prescott *et al.* 1993) 低於塔塔加臺灣雲杉的 0.27-0.37 (表 1)，應與其溫度較低有關，當地 1 月平均溫度為 -10°C，遠低於塔塔加的 7.1°C。美國 Wisconsin 州中南部 2 種針葉樹落葉經 2 年分

解剩餘重量為 46.8-54.9% (McClougherty *et al.* 1985)，本研究塔塔加的臺灣雲杉剩餘重量(49.2%)與其相近。美國 Washington 州西部，年平均溫度為 5.4-9.4°C，其 4 種針葉樹之針葉經 2 年的分解剩餘重量為 41.5-54.7% (Edmonds 1980)，此量與塔塔加的臺灣雲杉剩餘重量相近。在紐西蘭氣候與塔塔加類似的地區，*Eucalyptus globulus* 落葉經 1 年分解剩餘重量為 33.1-46.1% (Guo and Sims 2001)，低於塔塔加臺灣雲杉的剩餘重量(圖 1)。在臺灣位於海拔約 1,600 m 的巒大事業區柳杉林(南投

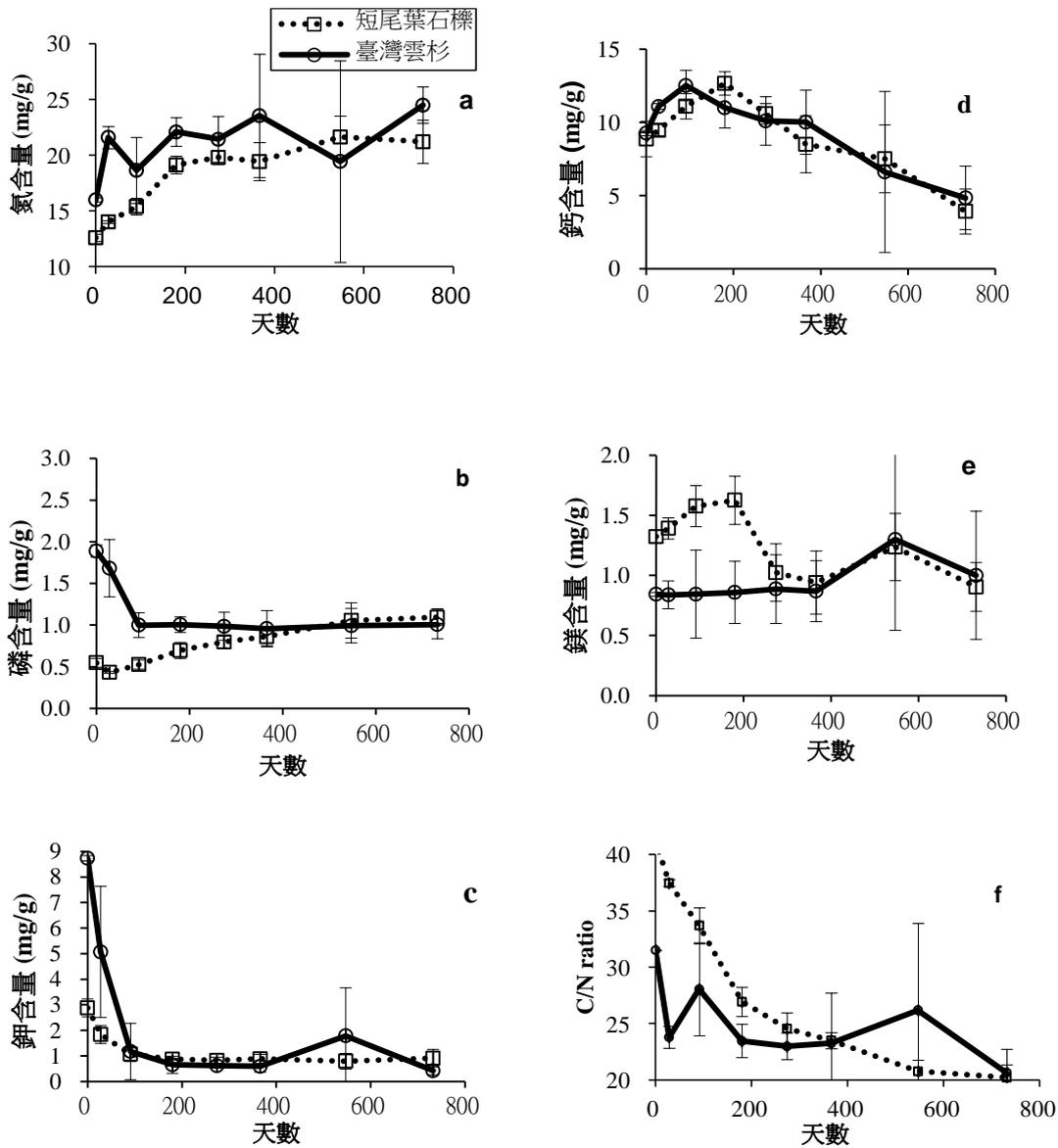


圖 5. 福山地區兩樹種綠葉分解期間之氮、磷、鉀、鈣、鎂含量與碳氮比之動態變化(各點的垂直線為標準差)

縣信義鄉)，年平均溫度 15.2°C，年雨量 2,660 mm，柳杉綠葉分解 1 年剩餘重量為 48.1-50.0%，2 年為 32.3-36.7% (林國銓等 2011)，其量高於塔塔加的臺灣雲杉者。比較塔塔加與上述地區分解作用的研究結果，可以看出塔塔加臺灣雲杉之分解速率大致與溫帶地區之樹種相近。

在闊葉樹方面，福山地區闊葉樹葉部分分解速率因樹種而不同，第 1 年分解 k 值為

0.40-0.97，第 2 年 k 值為 0.34-0.67(林國銓等 2002 和 2007)。本研究在福山分解的短尾葉石櫟在其範圍內之上緣(表 1)，故短尾葉石櫟屬分解較快的闊葉樹。氣候與臺灣相近的琉球地區，位於沖繩島北部 4 種樹冠上層主要喬木的落葉經 2 年分解剩餘重量為 20.1-44.9% (Xu and Hirata 2005)，福山地區短尾葉石櫟的剩餘重量在其範圍內(圖 2)。而臺灣屏東縣墾丁高位珊瑚礁自然保護區其落葉經 1 年分解剩餘

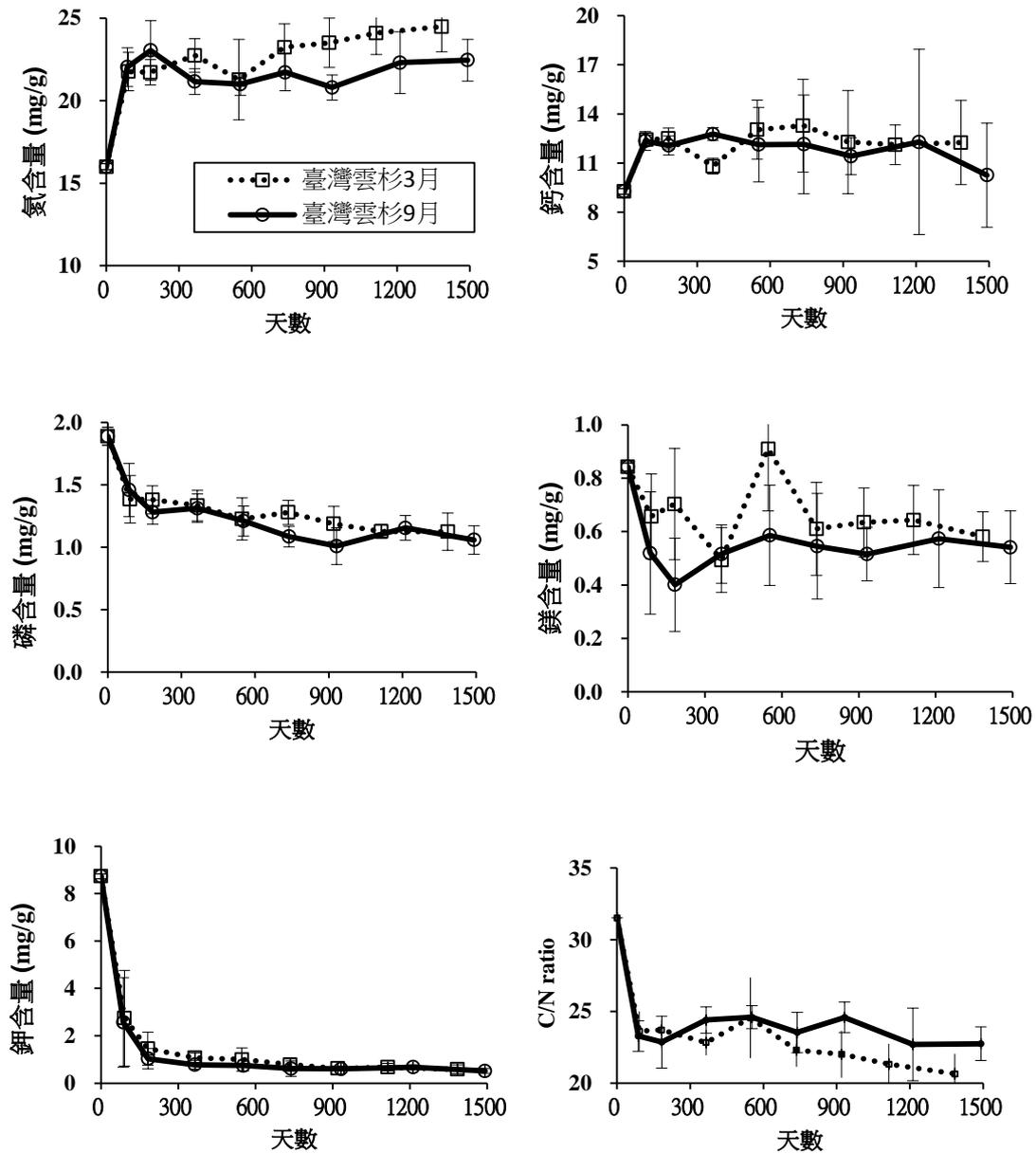


圖 6. 塔塔加地區臺灣雲杉綠葉不同放置時間分解期間之氮、磷、鉀、鈣、鎂含量與碳氮比之動態變化(各點的垂直線為標準差)

重量為 50.0-54.4%，因地形而異(Liao *et al.* 2006)。鄰近的中國大陸有大面積地區屬於亞熱帶氣候，在東部常綠次生闊葉林各樹種分解速率差異很大，經 1 年分解剩餘重量可由 0.3-50.2% (Huang *et al.* 2007)，如屬殼斗科的 *Castanopsis chinensis*，k 值為 0.62 (Liu *et al.* 2005)，本研究的短尾葉石櫟在福山的分解速

率不出上述範圍。綜合言之，亞熱帶地區各樹種的分解速率差異極大，固然受到各地區局部氣候因素的影響，其它因素如樹種間枯落物特性的差異等，也會影響到其分解速率。屬地中海型氣候的義大利南部其 *Cistus incanus* 落葉經 1 年分解剩餘重量約為 70% (Fioretto *et al.* 2001)。屬同一氣候區南歐的兩種常綠灌木落

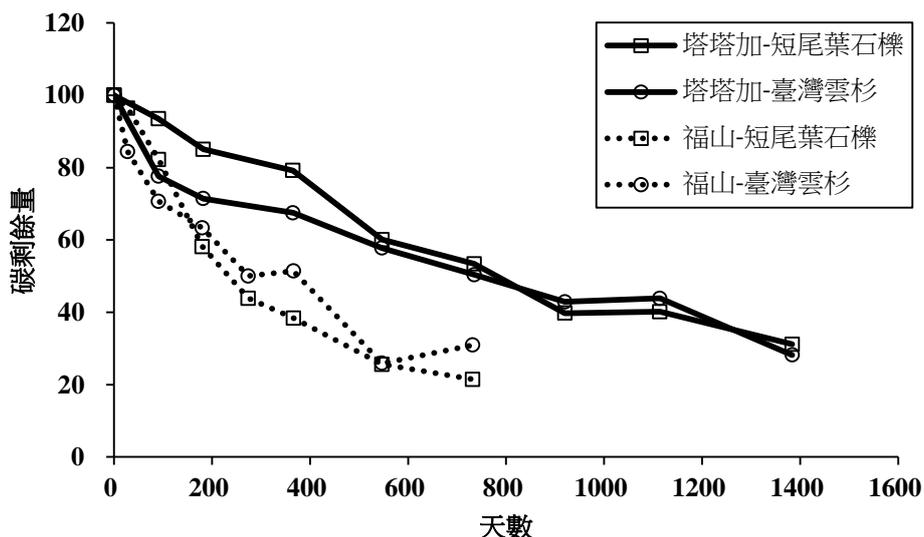


圖 7. 塔塔加與福山地區兩樹種綠葉分解期間碳剩餘量之動態變化

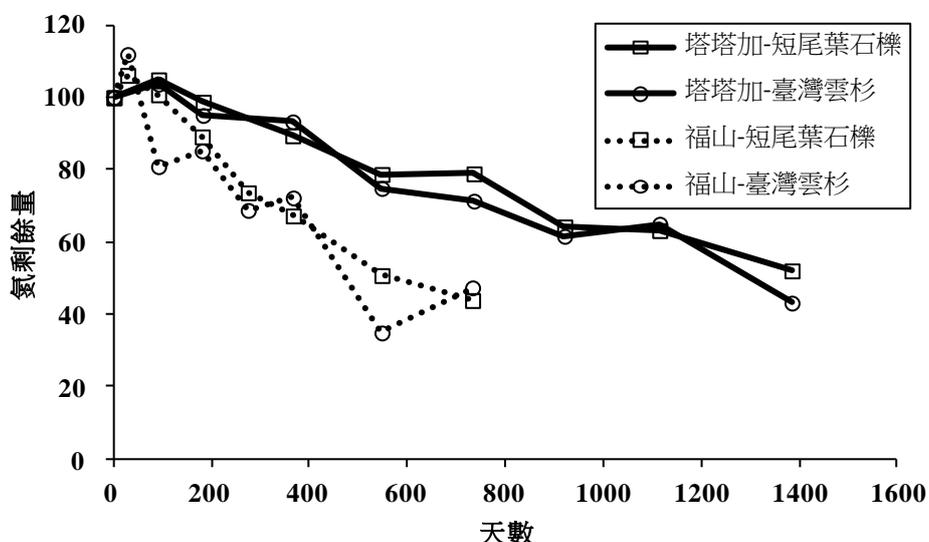


圖 8. 塔塔加與福山地區兩樹種綠葉分解期間氮剩餘量之動態變化

葉則大致在 62-70%間(Arianoutsou 1993)，兩地區年平均溫度與福山相似，但年雨量僅為 680 mm，遠低於福山者。而福山的短尾葉石櫟分解 1 年的剩餘重量為 44%，分解速率高於地中海氣候區者，應與降雨量較高有關。

落葉的養分含量因淋溶和礦化作用，使養分釋出，反之生物固定作用和外在環境的輸入會使落葉累積養分(Berg and Staaf 1980)。就氮含量而言，若枯落物碳氮比超過 30，生物固

定作用較旺盛易使氮在枯落物累積(Sinha 1997)。短尾葉石櫟和臺灣雲杉的碳氮比皆高於 30，故分解期間氮含量上升(圖 4-6)。即使碳氮比降至 30 以下，兩樹種氮含量仍保持上升趨勢，顯示氮流失的速率低於乾重的流失。但臺灣雲杉在福山分解 1 個月後及在塔塔加分解 6 個月後，其氮含量增加趨勢已較緩和，不若短尾葉石櫟上升的趨勢，此即可能因臺灣雲杉原始氮含量即較高所造成。由於氮含量的

上升，故碳氮比在分解期間持續下降，或保持穩定。短尾葉石櫟碳氮比較高，故下降趨勢較明顯。磷含量的動態變化更受其原始含量的影響，臺灣雲杉磷原始含量高，故礦化作用高於生物固定作用，磷含量持續下降；短尾葉石櫟則相反，磷原始含量低，微生物需由環境吸收磷以維持其生理作用，故生物固定作用旺盛，磷含量持續上升。鉀元素則因淋溶作用旺盛，在分解初期即快速下降。臺灣雲杉的鉀原始含量雖然較短尾葉石櫟高，但在福山分解 3 個月，塔塔加分解 6 個月後，兩樹種鉀含量大部分皆無差異( $p > 0.05$ )。鈣和鎂含量在分解期間的動態變化則較不具規律性，上升、下降或保持平穩。

同一地區不同樹種的分解速率，在分解初期有較大的差異，待分解速率減緩時，各樹種分解速率則相近(Edmonds 1980, McClagherty and Berg 1987, Berg and Ekbohm 1991)。本研究亦有類似的現象，兩樹種的剩餘重量在塔塔加僅分解初期的第一年，在福山僅前 3 個月有差異，此後即差異不顯著。本研究兩樹種在兩地區的初期分解皆以臺灣雲杉分解較快(圖 1 和 3)，可能受到臺灣雲杉具較高氮含量和較低木質素含量影響(表 2)。琉球沖繩島北部主要喬木落葉分解速率與氮含量呈正相關，與木質素含量呈負相關(Xu and Hirata 2005)，及阿根廷中部 20 種主要樹種分解前 70 天受木質素含量影響，含量較高者分解速率較低(Vaieretti *et al.* 2005)，都顯示氮含量高可促進分解，而木質素含量高則可能抑制分解速率。但是在福山地區分解至 6 個月後，臺灣雲杉氮含量與短尾葉石櫟相近(圖 5a)，氮含量有利臺灣雲杉分解的因素可能已消失，短尾葉石櫟此後分解速率已略高於臺灣雲杉(圖 3)，或者因福山地區的其他環境或生物因素，有利於短尾葉石櫟的分解所造成。但在塔塔加地區的環境或生物因素不同，臺灣雲杉的分解速率在分解 1 年後仍略高於短尾葉石櫟。由於樣本不足，無法分析木質素在分解期間的含量變化，以及土壤微生物資料尚不足，這些影響因素有待進一步釐清。

通常綠葉的分解速率高於枯葉，也是因為綠葉氮含量較高，木質素含量較低所造成(Fonte and Schowalter 2004)，故本研究兩樹種其枯葉在林地實際的分解速率可能較慢。臺灣地區颱風干擾頻率很高，常造成大量綠葉脫落(Lin *et al.* 2003)，綠葉的快速分解，可能會增加枝葉層養分的釋出。至於不同放置時期的影響，只能在分解第 1 年時產生，顯示春季放置後，夏季的高溫對分解速率的促進並不明顯，此與前述 *Cistus incanus* 在春季和秋季放置，分解速率無差異相似(Fioretto *et al.* 2001)。

枯落物各養分剩餘量由剩餘重量和養分含量決定。氮含量在分解初期呈明顯的上升趨勢(圖 4 和 5)，氮的生物固定作用旺盛，即使綠葉重量減少，氮能在分解期間持續累積，使兩樹種在兩地區氮剩餘量皆有超過 100% 的情況發生(圖 8)。此外，由於塔塔加地區兩樹種剩餘重量較高，故其第 1 和 2 年碳和氮剩餘量皆高於福山地區者。短尾葉石櫟綠葉在塔塔加經約 4 年的分解碳剩餘量為 31.1%，高於在福山分解 2 年的碳剩餘量(21.4%)；臺灣雲杉在塔塔加經 4 年分解的碳剩餘量為 28.2%，則與在福山經 2 年分解的 30.9% 相近(圖 7)。氮剩餘量亦有類似的現象，短尾葉石櫟在塔塔加分解約 4 年的氮剩餘量為 52.1%，略高於在福山分解 2 年(47.4%)；臺灣雲杉在塔塔加的氮剩餘量為 43.9%，略低於在福山分解 2 年的 47.4% (圖 8)。在塔塔加兩樹種經相同分解期間，碳和氮剩餘量皆高於福山者，故其枝葉層的碳和氮釋出速率低於福山者。福山落葉 2 年釋出的碳和氮量，塔塔加需要約 4 年的時間，才能釋出。故塔塔加枝葉層能累積較大量的碳和其他養分，不利於土壤養分的補充，減緩生態系的養分循環，但卻能將碳固定在枝葉層，有利於減緩林地二氧化碳的釋出。

## 結論

短尾葉石櫟和臺灣雲杉的綠葉在海拔不同的兩地區進行分解，皆以海拔較高的塔塔加

地區分解較福山地區為慢。塔塔加已達海拔 2,500 m，高於福山的 700 m，故溫度較低，分解速率較慢，其分解速率與溫帶地區的樹種相近。在分解初期兩樹種葉片剩餘重量有差異，皆以臺灣雲杉的剩餘重量較低，顯示本樹種葉片分解較快。但約在分解 6 個月或 1 年後，兩樹種剩餘重量無明顯差異，但此後塔塔加地區仍以臺灣雲杉分解略快，福山地區以短尾葉石櫟分解速率略快。臺灣雲杉初期分解較快，可能受到其原始氮含量較高，木質素含量較低影響。春季和秋季放置的臺灣雲杉綠葉在分解期間剩餘重量差異不大，顯示不同時期的落葉，分解速率大致相近。分解期間養分含量的動態變化，各養分不同。氮含量呈上升趨勢，其剩餘量在分解初期上升，然後下降，鉀和碳氮比則保持下降，其餘磷、鈣、鎂含量則變化不具規律性。由於塔塔加地區分解速率較慢，其碳和氮的釋出量亦慢，約需要 2 倍的時間，才能釋出和福山地區相近的量。

## 引用文獻

- 何淑玲。2003。台灣二葉松針接種不同真菌對其分解之影響。中興大學森林學系碩士論文，79 頁。
- 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、劉瓊靄。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。
- 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 12:135-144。
- 周育如。2003。惠蓀林場枯落物養分迴歸量與分解速率之季節變動。中興大學森林學系碩士論文，64 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。
- 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。
- 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。
- Arianoutsou M. 1993. Leaf litter decomposition and nutrient release in a maquis (evergreen sclerophyllous) ecosystem of North Eastern Greece. *Pedobiologia* 37:65-71.
- 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* 76:1295-1304.
- Berg B and H Staaf. 1980. Decomposition rate and chemical changes of Scots pine needle litter. II. Influence of chemical composition. In: Persson T (ed.), Structure and function of northern coniferous forests- an ecosystem study. *Ecological Bulletin (Stockholm)* 32:373-390.
- Edmonds RL. 1980. Litter decomposition and nutrient release in Douglas-fir, red alder, western hemlock, and Pacific silver fir ecosystems in western Washington. *Canadian Journal of Forest Research* 10:327-337.
- Fioretto A, S Papa, G Sorrentino and A Fuggi. 2001. Decomposition of *Cistus incanus* leaf litter in a Mediterranean maquis ecosystem: mass loss, microbial enzyme activities and nutrient changes. *Soil Biology and Biochemistry* 33:311-321.
- Fonte SJ and TD Schowalter. 2004. Decomposition of greenfall vs. senescent foliage in a tropical forest ecosystem in Puerto Rico. *Biotropica* 36(4):474-482.
- Guo LB and REH Sims. 2001. Eucalypt litter decomposition and nutrient release under a short rotation forest regime and effluent irrigation treatments in New Zealand I. external effects. *Soil Biology and Biochemistry* 33:1381-1388.
- 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.
- 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.
- Huang J, X Wang and E Yan. 2007. Leaf nutrient concentration, nutrient resorption and litter decomposition in an evergreen broad-leaved forest in eastern China. *Forest Ecology and Management* 239:150-158.
- Liao JH, HH Wang, CC Tsai and ZY Hseu. 2006. Litter production, decomposition and nutrient return of uplifted coral reef tropical forest. *Forest Ecology and Management* 235:174-185.
- Lin KC, SP Hamburg, SI Tang, YJ Hsia and TC Lin. 2003. Typhoon effects on litterfall in a subtropical forest. *Canadian Journal of Forest Research* 33:2184-2192.
- Liu Q, SL Peng, H Bi, HY Zang, ZA Li, WH Ma and NY Li. 2005. Decomposition of leaf litter in tropical and subtropical forests of southern China. *Journal of Tropical Forest Science* 17(4):543-556.
- 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. Holocellulose, lignin and nitrogen levels 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.
- Olson JS. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* 44(2):322-331.
- Prescott CE, BR Taylor, WFJ Parsons, DM Durall and D Parkinson. 1993. Nutrient release from decomposing litter in Rocky Mountain coniferous forests: influence of nutrient availability. *Canadian Journal of Forest Research* 23:1576-1586.
- Sinha A. 1997. Release of nitrogen, phosphorus and potassium from the decomposing leaf litter of a tropical natural forest. *Journal of Tropical Forest Science* 9:431-433.
- Swift MJ, OW Heal and JM Anderson. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. Univ of California Press, Berkeley, CA. 372 pp.
- 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.
- Vaieretti MV, NP Harguindeguy, DE Gurvich, AM Cingolani and M Cabido. 2005. Decomposition dynamics and physico-chemical leaf quality of abundant species in a montane woodland in central Argentina. *Plant and Soil* 278:223-234.
- Waring RH and WH Schlesinger. 1985. *Forest ecosystem: concepts and management*. Academic Press, London. 340 pp.
- Xu X and E Hirata. 2005. Decomposition patterns of leaf litter of seven common canopy species in a subtropical forest: N and P dynamics. *Plant and Soil* 273:279-289.