

# 馬告山地區檜木天然下種更新林養分貯存量之估算

杜清澤<sup>1</sup>，黃菊美<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](mailto:kuolin@tfri.gov.tw)

**[摘要]** 馬告地區有大面積的檜木天然下種更新林，本研究在馬告的檜木天然下種更新林進行調查，以瞭解其林分的生物量和養分貯存量。結果顯示檜木林分中檜木全株生物量可達 235.9 Mg/ha，2003 至 2010 年間生物量平均增加 5.92 Mg/ha/yr，低於國內主要針葉人工林。地上部生物量和碳集中在樹幹，占地上部生物量之 73.5%。但是氮、磷、鈣、鎂皆以葉和著葉枝最大，其占地上部各養分貯存量的 50.3-53.7%，僅鉀貯存量葉和著葉枝與樹幹大致相近。以全株養分貯存量而言，碳最高，達 124.0 Mg/ha，其次為鈣的 497.8 kg/ha，再其次為鉀的 234.8 kg/ha，鎂和磷最低分別為 61.6 和 28.9 kg/ha。林分生長量就全株林木而言，碳增加 3,110 kg/ha/yr，其餘養分的量以鈣的 12.3 kg/ha/yr 最高，其次依序為氮、鉀、鎂，磷最低，僅 0.72 kg/ha/yr。一般人工林隨樹齡增加，生物量向樹幹集中，但是檜木更新林隨樹齡增加，地上部各植體所占百分比，在此期間保持穩定。主要係檜木天然下種更新形成複層林，不像人工林具較一致的鬱閉樹冠，限制枝葉的生長。

**關鍵字：**檜木、天然下種更新林、生物量、養分貯存量

## Biomass and Nutrient Content of a Hinoki Natural Seedling Regeneration Stand in the Makau Area of North-eastern Taiwan

Chin-Tzer Duh<sup>1</sup>, Chu-Mei Huang<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](mailto:kuolin@tfri.gov.tw)

**ABSTRACT** The Hinoki natural seedling regeneration stand in the Makau area of northeastern Taiwan, where there is a very large area of Hinoki stand, were investigated in order to estimate the distribution and accumulation of biomass and nutrient content of the stands. The results show that the entire-tree biomass of Hinoki was 235.9 Mg/ha and the average biomass increment was 5.92 Mg/ha/yr from 2003 to 2010. The increment rate was lower than those of major coniferous plantations in Taiwan. The aboveground biomass and carbon were predominated in the bole, comprising 73.5% of the total aboveground amount, while N, P, Ca, and Mg were in the leaf and twig, comprising 50.3-53.7% of the total aboveground content, and K was similar in both bole and leaf and twig. The largest nutrient storage for the entire tree of the stand was C, 124.0 Mg/ha, followed by Ca, 497.8 kg/ha, K, 234.8 kg/ha, and Mg and P, 61.6 and 28.9 kg/ha, respectively. For the entire tree of the stand the C increase rates was 3,110 kg/ha/yr. For the rest of the nutrients the highest increase rate was Ca, 12.3 kg/ha/yr, followed by N,

K, and Mg, and the lowest one was P with only 0.72 kg/ha/yr. In general the biomass in plantation concentrated in the bole with increasing stand age. But the percentage of aboveground biomass for the tree components in the Hinoki stand remained stable during the study period, since the Hinoki stand was a multiple-level stand. However, the plantations had uniformly closed canopy, which inhibited leaf and branch growth.

**Keywords:** Hinoki, natural seedling regeneration, biomass, nutrient storage

## 前言

臺灣的檜木指臺灣扁柏 (*Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*)和紅檜 (*Chamaecyparis formosensis*)兩種樹種的合稱，為臺灣的原生種。臺灣地區檜木的壽命相當長，能使檜木林長期保持穩定狀態，進而維持生態系的穩定。臺灣檜木天然林主要分佈在海拔 1,200-2,600 m 的山區，據第三次臺灣森林資源及土地利用調查報告，臺灣國有林檜木天然林面積為 4 萬 8 千公頃，檜木人工林約 2 萬 4 千 8 百公頃(林務局 1995)。但由於檜木木材經濟價值很高，從日據時代其天然林即遭到大量伐採，目前以馬告地區一帶的分布較為完整(蘇鴻傑 1984)，此地區目前由退輔會森林保育處管轄，位於宜蘭縣、新竹縣、桃園縣等三縣之交界處，檜木天然林總面積約 9,135 ha，其中包含鴛鴦湖自然保護區內大面積檜木天然林。森林保育處為恢復原有的森林面貌，在保護區周圍原有檜木遭砍伐之生育地進行大面積的復育工作。由於檜木林以天然更新方式復育可達到良好的效果，故 1960 年起的復育造林大多以天然更新方式執行。馬告地區至 1995 年止共復育檜木天然更新造林地 856 ha (黃進和 1999)。目前雖然有相當多的學者針對檜木林進行研究，大多偏向紅檜人工林的林分構造、林木生長性狀及撫育對林木生長影響等項目(邱志明等 1993, 1995, 羅卓振南等 1999, 邱志明、羅卓振南 2002, 邱志明等 2007)。但就檜木林保育的觀點，必須對其林分的生物量累積和養分動態建立基礎資料，才能瞭解檜木林生長和演替的狀況。目前檜木林的生長和生物量的資料很少(邱志明等 2011, 黃菊美等

2012)，生物量的資料多出現在幼齡林(葉青峯 2004, 陳凱欣 2005)，林分養分的資料尤其缺乏(朱慧君 2005)。2002 年起，東華大學在馬告地區太平山及大溪事業區檜木天然下種更新林設立樣區進行長期監測，以瞭解林分的養分循環(張世杰、夏禹九 2006)。本研究配合其監測，針對該林分經天然下種形成的檜木更新林進行調查，以瞭解其林分的生物量和養分貯存量，以及檜木林的生長量和養分的累積，做為復育檜木林的基礎資料。

## 材料與方法

### 一、生育地

馬告檜木天然下種更新林(簡稱檜木林)是指太平山事業區 32 林班，屬行政院退除役官兵輔導委員會森林保育處管轄，位於宜蘭縣大同鄉太平村，鄰近桃園復興鄉華陵村，位置約在北緯 24°34'至 24°37'，東經 121°24'至 121°26'間。於 1961 及 1972 至 1979 年間，進行天然下種更新，天然下種方式分為上方或側方兩種方式。上方下種指母樹均勻分布於更新造林地，種子由上方母樹供應；側方下種指保留造林地一側或兩側母樹，種子由側方母樹供應。各林分共區分為 16 個更新林區，總面積約 311.67 ha(黃進和 1999)。由於天然下種更新時常有跨越區塊的情形產生，且時間長達 18 年以上，各區塊資料已不易查證。至 2014 年，這些更新林分年齡可能介於 30 年至 50 年左右。

本研究選擇之檜木林位於森林保育處 100 線林道 14-15 k 附近，為更新作業最密集且地形變化較小之林地。本區域受東北季風影響，

冬季潮濕多雨，夏季有區域性對流雨和颱風降雨，無明顯乾濕季之分。年平均溫度為 12.7°C，年雨量為 3,400 mm (Lai *et al.* 2006)。本區地質以石英岩和板岩為主，土壤多為礫質土，石塊極多，土壤深度約在 20-50 cm 間，約 1/3 地區土壤深度在 20 cm 以下。

東華大學於 2002 年在該林地設立一塊面積 1 ha 的方形樣區，進行養分貯存量與通量長期監測。2003 年又在此樣區內逢機選取 20 個 10×10 m 的小樣區，調查胸高直徑(簡稱胸徑)1 cm 以上林木之種類、胸徑、樹高等資料，並將每株檜木編號，掛上鋁牌。調查結果顯示此更新林共有木本植物 33 種，以臺灣扁柏為最優勢種，平均胸徑 15.9 cm，樹高 10.1 m，每公頃 1,820 株(表 1)(陳耀德 2003)。

## 二、研究方法

### 1. 樣區調查及生物量估算

本研究於 2010 年在上述東華大學設立的 20 個小樣區，再進行一次檜木的調查，記錄每株檜木之胸徑。利用 2010 年的複查資料，配合 2003 年更新林的每木調查資料(張世杰未發表)，可瞭解由 2003 年至 2010 年間更新林內林木之生長狀況。除胸徑和株樹外，林分內檜木樹高與生物量亦加以估算，其計算方式為以黃菊美等(2012)所發表之迴歸式加以推估。該報告係以該 1 ha 樣區鄰近更新林內所伐取 39 株樣木，實際測定每株樣木各部位植體之生物量後，由胸徑與樹高和各植體生物量建立自然對數迴歸式(附表 1)。生物量包括地上部和地下部兩部分，地上部區分為葉和著葉枝、枝條、死枝、樹幹等 4 種部位；地下部區分為 0.5-5 cm 根、> 5 cm 根、死根、根頭等 4 種部位。各部位生物量以各單株胸徑代入迴歸式計算單株各部位生物量，單株加總後推估單位面積之生物量。附表中地上部未有死枝的資料，上述 39 株樣木中之 20 株係於 2010 年伐取(黃菊美等 2012)，此 20 株樣木具有死枝之資料(黃菊美等 未發表)，可計算其死枝占樣木其它地上部部位總和的平均比例(3.24%)，以

此比例乘以樣木地上部其它各部位生物量總和，即為死枝之生物量。由此可推估單位面積死枝之生物量。此外，死根與胸徑不具相關性(附表 1)，亦以 23 株樣木死根占地下部其它部位總和的平均比例(8.78%)乘以樣木地下部其它部位生物量總和，計算死根生物量，再加總後推估地下部生物量。另外，附表中延伸根指延伸至樹幹基部半徑 1 m 以外的根，這類根大部分屬於 0.5-5 cm 根，計算後納入 0.5-5 cm 根，不單獨分類。

### 2. 化學分析與養分累積量估算

於 2010 年伐取之樣木中選取 10 株樣木，以其攜回實驗室測定生物量之各植體樣本進行化學分析，包含上述地上部和地下部各 4 種植體。其中樹幹和根頭係取厚約 5 cm 之圓盤為植體樣本(黃菊美等 2012)。各植體樣本先分別取樣切割成 3 cm 以下之片段，再磨成 < 0.5 cm 之細粉進行化學分析。取約 4.00 mg 樣本以乾燒法用元素分析儀(Vario EL III 型，Elementar Analysensysteme GmbH)，分析碳和氮濃度(Sollins *et al.* 1999)。另以 0.50 g 樣本用 2N HCl 以濕消化法(wet digestion method)，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、鎂濃度(Harmon and Lajtha 1999)。

各植體樣本化學分析的結果，計算其平均濃度。以各養分平均濃度乘以各小樣區各植體之生物量，可估算小樣區各養分之貯存量，再換算成單位面積各養分之平均貯存量。假設 2003 年各植體之養分平均濃度與 2010 年者相同，用同樣方法估算當年各養分貯存量。由此 2 年各養分貯存量之差異，估算養分之平均年累積量。

## 結果

檜木林經過 7 年時間，胸徑和樹高皆增加，株數則下降(表 1)。胸徑增加 3.0 cm，平均每年生長 0.43 cm；樹高則增加 1.6 m，平均每年增加 0.23 m；株數則每公頃減少 240 株，

表 1. 不同時期檜木林之基本資料 (mean  $\pm$  standard error)

年	胸徑(cm)	樹高(m)	株數(trees/ha)
2003	15.9 $\pm$ 0.8	10.1 $\pm$ 0.3	1,820 $\pm$ 160
2010	18.9 $\pm$ 0.9	11.7 $\pm$ 0.4	1,580 $\pm$ 140
差異	3.0 $\pm$ 0.3	1.6 $\pm$ 0.3	-240 $\pm$ 40

平均每年枯死 34 株, 平均每年枯死率為 1.9%。

分析所有樣區檜木的胸徑, 由 0 至 35 cm 以上以 5 cm 為一級共分 8 級。15-20 cm 胸徑級所占檜木之比例為 2003 年林分最大量, 亦為 2010 年林分次大量。2010 年最大量已右移至 20-25 cm 胸徑級(圖 1)。整體而言, 胸徑 10 cm 以下之林木, 在兩時期仍占有 20% 以上之比例, 係因林分由天然更新形成, 天然更新需要的時間較長, 較晚天然下種之林木, 不易與早期更新林木競爭, 只能在樹冠層下存活, 形成被壓木, 胸徑較小的被壓木所占比例偏高。

檜木植體經化學分析以碳濃度最高, 約在 560.0-520.7 mg/g 間, 鈣和氮次之, 其次依序為鉀、磷(表 2)。各植體間養分濃度皆有顯著差異( $p < 0.05$ )。地上部植體各種養分皆以葉和著葉枝濃度高, 樹幹各養分濃度皆最低, 枝條和死枝介於其間。而各營養元素中葉和著葉枝磷濃度為樹幹者之 14.0 倍相差最大。地下部各植體中大致上以 0.5-5 cm 根養分濃度最高, 根頭和死根養分濃度較低, 但死根的氮濃度高於根頭和 > 5 cm 的根, 可能係因死根大小差異很大, 細小的死根其氮濃度仍高於根頭和 > 5 cm 的根。

經以迴歸式估算單株生物量再加總為林分生物量, 地上部生物量集中在樹幹, 占地上部生物量之 73.5%, 其餘枝條、葉和著葉枝各占 12.8 和 10.6%, 死枝極低占 3.1%。地下部則以 > 5 cm 根占最大量為 47.7%, 根頭次之, 占 27.0%; 0.5-5 cm 根占 7.2%, 死根占 8.1%。檜木的生物量大都位於地上部, 占全株生物量的 71.1%。林分根莖之生物量比為 0.40。檜木林分中檜木全株生物量可達 235.9 Mg/ha(表 3)。至於林分碳貯存量檜木為 124.0 Mg/ha, 其各植體所占比例大致上與生物量所占比例相

近。其餘各養分則因各植體養分濃度差異較大, 故養分貯存量為生物量與養分濃度的綜合影響。氮、磷、鈣、鎂皆以葉和著葉枝貯存量最大, 占地上部各養分貯存量的 50.3-53.7%, 其次為樹幹, 僅鉀貯存量為葉和著葉枝與樹幹大致相近, 各占地上部養分貯存量的 40% 左右。地下部各植體養分貯存量則與生物量相似, 皆以 > 5 cm 根最高, 但其占地下部各養分貯存量的比例, 除碳和鉀外, 皆下降到 39.1-42.9% 間。而 0.5-5 cm 根因其養分濃度除碳外皆高於根頭, 故各養分貯存量皆高於根頭, 僅碳低根頭。以全株養分貯存量而言, 碳最高, 達 124.0 Mg/ha, 其次為鈣的 497.8 kg/ha, 鉀的 234.8 kg/ha, 鎂和磷最低分別為 61.6 和 28.9 kg/ha。其中 71.1-87.3% 的養分貯存在地上部。

由 2003 年和 2010 年間林分生物量和養分貯存量之差異, 估算出此 7 年期間林分養分之增加。地上部生物量平均每年增加 4,230 kg/ha/yr, 碳增加 2,220 kg/ha/yr。兩者增加的量主要集中在樹幹, 占 70% 以上(表 4)。其餘養分, 鈣增加最多為 10.9 kg/ha/yr, 其次依序為氮、鉀、鎂, 磷最低, 僅 0.62 kg/ha/yr。地上部各植體, 此 5 種養分除鉀外, 皆以葉和著葉枝增加量最大, 占地上部養分增加量的 48.2-51.2%。而鉀其葉和著葉枝量僅略低於樹幹。由此顯示檜木林在這段期間隨林分生長, 地上部碳貯存量仍集中在樹幹, 但其餘養分以葉和著葉枝增加較快, 養分的分佈可能為樹幹所占比例將逐漸下降, 葉和著葉枝的比例逐漸上升。

地下部生物量的增加以 > 5 cm 根的量最大, 養分增加量亦以 > 5 cm 根最大, 其生物量和養分增加量占地下部增加量的 47.5-57.8%, 其次為根頭, 其生物量和養分增

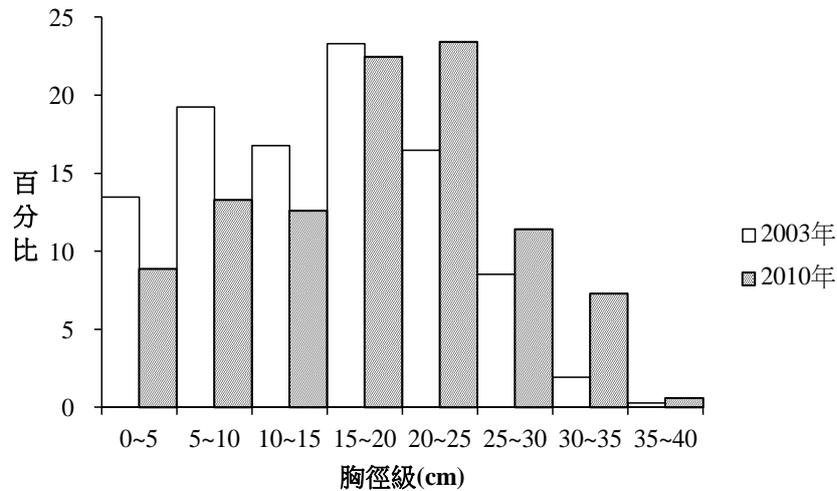


圖 1. 檜木林不同年度(2003 和 2010 年)檜木胸徑之分佈

加量占地下部增加量的 28.2-33.3%(表 4)。就全株林木而言，生物量平均增加 5,920 kg/ha/yr，碳增加 3,110 kg/ha/yr，其餘養分的量以鈣的 12.3 kg/ha/yr 最高，其次依序為氮、鉀、鎂，磷最低，僅 0.72 kg/ha/yr，而生物量和養分的增加量亦以地上部為主，占 71.3-86.2%。

## 討論

棲蘭山檜木林由 2003 至 2010 年間，檜木的胸徑平均生長為 0.43 cm/yr，樹高為 0.23 m/yr (表 1)，皆高於高雄六龜地區紅檜人工林於 45 至 50 年生時之胸徑平均生長 0.23 cm/yr，樹高生長 0.06 m/yr(邱志明等 2011)。但枯死率以檜木更新林的 1.9% 高於六龜紅檜人工林的 1.0%。顯示棲蘭山檜木林胸徑及樹高生長優於六龜紅檜人工林，但由於其密度達 1,820 trees/ha 遠高於紅檜人工林的 731 trees/ha，故其枯死率較高。

本研究檜木植體碳和其它養分的濃度，大致上以碳最高，其次依序為鈣、氮、鉀、鎂、磷(表 2)。但同在棲蘭山的鴛鴦湖附近，臺灣扁柏林地上部植體和粗磷濃度較鎂高(朱慧君 2005)。比較兩林分植體養分濃度，地上部植

體兩林分大致相近，僅磷濃度在本研究檜木林之各植體皆較低。地下部植體亦以檜木林的磷濃度較低。與南投縣溪頭地區 35 年生的柳杉林相較，檜木葉與著葉枝養分濃度以氮、鉀、鈣接近其下緣，磷和鎂則較低(柳杉葉氮濃度 9.4-12.2 mg/g，磷 1.5-1.7 mg/g，鉀 4.7-5.4 mg/g，鈣 14.1-14.8 mg/g，鎂 2.4-2.5 mg/g)(林世宗 1989)。南投縣惠蓀實驗林的 28 年生杉木林 (*Cunninghamia lanceolata*)，其葉養分濃度分別為氮 10.5-16.5 mg/g，磷 2.06-2.86 mg/g，鉀 17.8-33.8 mg/g，鈣 4.4-12.6 mg/g，鎂 3.8-4.3 mg/g(吳儀生 1994)。檜木葉和著葉枝養分濃度除鈣與其相近外，其餘養分濃度皆較低，但檜木枝條與杉木枝條相比，則各養分濃度互有高低。此外，高雄六龜地區臺灣杉 (*Taiwania cryptomerioides*)其地上部植體的氮濃度亦高於本研究之檜木者(林國銓等 2004)。本研究的檜木植體養分濃度較國內針葉樹主要造林樹種低，可能是樹種或年齡不同所造成，或與分析方法有關。但亦可能與本研究檜木林生育地土壤性質有關。本區域的土壤石礫多，土壤淺薄(朱慧君 2005)，且土壤可交換性陽離子總存量極低(張世杰、夏禹九 2006)。與國內中、低海拔天然闊葉林葉片相較，檜木林葉和著葉枝各養分除鈣外，皆在各

表 2. 檜木植體之養分濃度 (mg/g) (mean ± standard error)

項目	C	N	P	K	Ca	Mg
地上部						
葉和著葉枝	560.0±2.3a <sup>1</sup>	9.35±0.32a	0.72±0.03a	3.99±0.18a	12.85±0.63a	1.59±0.13a
枝條	522.2±2.3c	1.75±0.14c	0.21±0.02b	1.45±0.12b	3.03±0.13c	0.28±0.03b
死枝	532.2±2.4b	2.60±0.25b	0.13±0.02c	0.45±0.04c	4.01±0.20b	0.28±0.04b
樹幹	520.7±1.1c	0.91±0.05d	0.05±0.01d	0.58±0.02c	0.98±0.09d	0.14±0.01c
地下部						
0.5-5 cm 根	523.0±2.4y	1.62±0.10x	0.13±0.01x	1.44±0.14x	1.79±0.21x	0.21±0.03x
> 5 cm 根	526.8±3.9y	0.95±0.02y	0.06±0.00y	0.89±0.25y	0.78±0.10y	0.12±0.01y
死根	539.5±9.5x	1.59±0.21x	0.05±0.01y	0.16±0.03z	0.27±0.05y	0.06±0.01y
根頭	524.2±1.5y	0.93±0.07y	0.05±0.01y	0.67±0.07y	0.79±0.07y	0.12±0.01y

<sup>1</sup>每行字母相同者為鄧肯氏多邊檢定無差異( $p < 0.05$ )

表 3. 2010 年檜木林生物量及養分貯存量 (mean ± standard error)

	生物量 (Mg/ha)	碳 (Mg/ha)	氮 (kg/ha)	磷 (kg/ha)	鉀 (kg/ha)	鈣 (kg/ha)	鎂 (kg/ha)
地上部							
葉和著葉枝	17.70±4.92	9.91±2.75	165.6±46.0	12.8±3.6	70.7±19.6	227.5±63.2	28.2±7.8
枝條	21.51±6.56	11.24±3.43	37.7±11.5	4.4±1.4	31.2±9.5	65.2±19.9	6.1±1.9
死枝	5.27±1.48	2.80±0.79	13.7±3.9	0.7±0.2	2.4±0.7	21.1±6.0	1.5±0.4
樹幹	123.40±34.46	64.25±17.94	112.0±31.3	6.4±1.8	71.0±19.8	120.8±33.7	16.7±4.7
合計	167.88±47.28	88.20±24.84	329.0±92.3	24.3±6.9	175.3±49.4	434.6±122.3	52.5±14.7
地下部							
0.5-5 cm 根	11.73±3.16	6.13±1.65	19.5±5.3	1.6±0.4	17.4±4.7	21.7±5.9	2.6±0.7
> 5 cm 根	32.46±9.36	17.10±4.93	31.0±8.9	1.8±0.5	28.9±8.3	25.5±7.3	3.9±1.1
死根	5.49±1.54	2.96±0.83	8.7±2.4	0.3±0.1	0.9±0.3	1.5±0.4	0.3±0.1
根頭	18.37±5.59	9.63±2.93	17.1±5.2	0.9±0.3	12.3±3.7	14.5±4.4	2.3±0.7
合計	68.05±19.10	35.82±10.06	76.3±21.0	4.6±1.3	59.5±16.3	63.2±17.2	9.1±2.5
總計	235.93±66.38	124.02±34.89	405.3±113.4	28.9±8.1	234.8±65.7	497.8±139.4	61.6±17.2

表 4. 檜木林 7 年期間生物量及養分之平均累積量(kg/ha/yr) (mean±standard deviation)

	生物量	碳	氮	磷	鉀	鈣	鎂
地上部							
葉和著葉枝	423±220	237±123	3.95±2.06	0.31±0.16	1.69±0.88	5.43±2.83	0.67±0.35
枝條	660±345	345±181	1.16±0.61	0.14±0.07	0.96±0.50	2.00±1.05	0.19±0.10
死枝	133±69	70±37	0.34±0.18	0.02±0.01	0.06±0.03	0.53±0.28	0.04±0.02
樹幹	3,011±1,565	1,568±815	2.74±1.42	0.15±0.08	1.73±0.90	2.95±1.53	0.41±0.21
合計	4,227±2,195	2,220±1,153	8.19±4.26	0.62±0.32	4.44±2.31	10.91±5.67	1.31±0.66
地下部							
0.5-5 cm 根	117±106	61±55	0.19±0.18	0.01±0.00	0.17±0.16	0.22±0.20	0.02±0.02
> 5 cm 根	878±453	463±239	0.84±0.43	0.05±0.03	0.78±0.40	0.69±0.36	0.11±0.05
死根	137±59	74±39	0.22±0.12	0.01±0.00	0.02±0.01	0.04±0.02	0.01±0.00
根頭	561±294	294±154	0.52±0.27	0.03±0.01	0.38±0.20	0.44±0.23	0.07±0.04
合計	1,693±905	892±477	1.77±0.97	0.10±0.06	1.35±0.74	1.39±0.77	0.21±0.11
總計	5,920±3,099	3,112±1,629	9.96±5.22	0.72±0.38	5.79±3.05	12.30±6.44	1.52±0.79

樹種之下緣或更低(林國銓等 1996, 吳佳其 2002, Hsiue *et al.* 2012)。在法國花旗松

(*Pseudotsuga menziesii*)人工林 40 和 60 年生時,其當年針葉的養分濃度以氮最高(15.3-15.8

mg/g)，鉀(5.6-6.2 mg/g)和鈣(2.6-3.8 mg/g)次之，磷(1.3 mg/g)和鎂(0.11-0.12 mg/g)最低(Ranger *et al.* 1995)，其針葉各養分濃度之高低次序與本研究檜木的葉和著葉枝者不同，且其氮、磷、鉀濃度高於檜木，但鈣和鎂較低。

檜木林由 2003 至 2010 年間各植體生物量和養分累積量皆呈現增加的趨勢(表 4)，前述六龜紅檜人工林由 45 至 50 年生平均生物量增加量為 2.72 Mg/ha/yr，碳吸存量為 1.26 Mg/ha/yr(邱志明等 2011)，皆低於本研究生物量增加量(4.23 Mg/ha/yr)和碳吸存量(2.22 Mg/ha/yr)。但上述溪頭 35 年生柳杉林生物量之增加可達 3.8-8.0 Mg/ha/yr，隨密度上升而增加。密度高於 550 trees/ha 之柳杉林分其生物量皆高於本研究之檜木林，其各養分累積量亦較高(林世宗 1989)。溪頭地區另一 40 年生柳杉林地上部生物量為 168.8 Mg/ha，與本研究檜木林相近，但其 40 年生之淨生長量仍達 9.4 Mg/ha/yr(游漢明 1981)，高於檜木林 7 年期間之平均生長量(表 4)。故檜木林在本研究期間生物量平均增加量低於國內主要針葉人工林。

在法國生長的花旗松人工林，由 36 至 54 年生地上部生物量增加 168.5 Mg/ha，平均每年增加 9.36 Mg/ha/yr (Ponette *et al.* 2001)，故其生物量累積速率高於本研究之檜木林。但就養分而言，在此期間，其磷、鈣、鎂累積量上升，但氮和鉀的累積量並未增加，主要因為花旗松在此期間樹幹生物量雖大量增加，其氮和鉀濃度卻明顯下降，加上針葉生物量下降，其氮和鉀累積量亦下降，故此兩養分地上部之總量並未增加。而本研究檜木林各植體生物量皆上升，且僅以一次植體的養分濃度加以推估，故各養分累積量皆上升(表 4)。事實上林木各植體的養分濃度可能隨年齡而變動(Ponette *et al.* 2001)，本研究假設此兩年度之養分濃度相同，故與檜木林實際上養分的累積可能不同。

另一個在法國 40 至 60 年生的花旗松林分地上部平均生長量達 7.79 Mg/ha/yr，亦高於本研究的檜木林，其林分的氮和鈣仍持續累積，其餘養分則增加量有限，甚至鉀貯存量反而減

少，呈下降趨勢(Ranger *et al.* 1995)。生長在加拿大的花旗松由 33 至 42 年生，由於樹冠已鬱閉，葉生物量及養分累積量呈下降趨勢，樹幹生物量上升，枝條和死枝生物量則無規律性(Mitchell *et al.* 1996)。故各樹種生長量及養分累積量不同，甚至同樹種在不同生育地亦有差異。

計算檜木林各植體生長量占地上部或地下部生長量之百分比(表 4)，與各植體生物量占地上部或地下部生物量之百分比相比較(表 3)，生長量和生物量兩者所占百分比大致相近。顯示隨樹齡增加，地上部各植體所占百分比，在此生長階段保持穩定。一般人工林隨樹齡增加，生物量向樹幹集中(游漢明 1981，Kadeba 1991)，但在某一生長階段生物量分佈可能會保持穩定(高清等 1986)。對樹冠而言，人工林在樹冠鬱閉後，樹冠生物量常保持穩定，不再增加。本研究檜木林各植體生物量皆呈上升趨勢，與人工林不同，係因林分由天然更新形成，天然更新需要的時間較長，較晚下種產生之林木，不易與早期更新林木競爭，生長受壓抑，胸徑較小的林木所占比例達 20% 以上(圖 1)，形成複層林。林分密度雖高，樹冠層高低起伏，優勢木在 40 年生後樹冠仍具空間，以致枝條所占地上部比例為 12.8%，但枝條生長量更占地上部生長量之 15.6%(表 3、表 4)，枝條隨年齡增加，其所占之比例上升。

檜木林地下部生物量的累積卻與地上部不同，其 0.5-5 cm 根之生長量僅占地下部生長量之 6.9%(表 4)，明顯地低於該種類根占地下部生物量的 17.2%(表 3)。而 > 5 cm 根和根頭生長量占地下部生長量的百分比高於兩者生物量地下部生物量占百分比，且分別高出 4.1 和 6.1%。故隨年齡增加，檜木林地下部生物量向 > 5 cm 根和根頭集中。各養分貯存量亦有類似的狀況。

在加拿大魁北克(Quebec)屬寒帶，其 *Picea glauca* 林分 50 年生時，碳平均累積量為 1.9 Mg/ha/yr(Tremblay *et al.* 2006)低於本研究檜木林的 2.2 Mg/ha/yr(表 4)。同屬寒帶美國密西

根州 *Pinus resinosa* 林分由 22 至 32 年生地上部和地下部碳和氮累積量皆明顯上升，地下部碳累積量為 4.1 Mg/ha/yr，氮為 22.9 kg/ha/yr(King *et al.* 2007)，皆高本研究之檜木林者(表 4)。但該林分由 32 年生至 55 年生林木大量枯死，林分碳和氮貯存量明顯下降。且生物量的分佈亦產生變化，根基比由 0.47 降至 0.30。本研究檜木林之根基比為 0.40(表 3)，介於該林分 32 至 55 年生者期間。

## 結論

檜木天然更新林經過 7 年時間(2003-2010)，胸徑和樹高皆增加，株數則下降。整體而言，胸徑 10 cm 以下之林木，在兩時期仍占有 20% 以上之比例，被壓木所占比例偏高。各植體間養分濃度皆有顯著差異。地上部植體以葉和著葉枝各養分濃度皆最高，樹幹各養分濃度皆最低；地下部各植體中大致上以 0.5-5 cm 根養分濃度最高。地上部生物量集中在樹幹，占地上部生物量之 73.5%，地下部則以 > 5 cm 根占最大量為 47.7%。林分生物量，地上部生物量集中在樹幹，占地上部生物量之 73.5%；地下部則以 > 5 cm 根占最大量為 47.7%。養分貯存量皆以葉和著葉枝貯存氮、磷、鈣、鎂量最大，其占地上部各養分貯存量的 50.3-53.7%，僅鉀貯存量葉和著葉枝與樹幹大致相近。7 年期間林分養分之增加。地上部生物量平均每年增加 4.2 Mg/ha/yr，碳增加 2.2 Mg/ha/yr。其餘養分，鈣增加最多為 10.9 kg/ha/yr，其次依序為氮、鉀、鎂，磷最低，僅 0.62 kg/ha/yr。故檜木林在本研究期間生物量平均增加量低於國內主要針葉人工林者，但各植體各養分平均增加量則與其他針葉人工林相比互有高低。因林分由天然更新形成，被壓木所占比例達 20% 以上，形成複層林，樹冠層高低起伏，枝條仍具空間，不像一般人工林樹冠鬱閉後，隨樹齡增加，生物量向樹幹集中。

## 引用文獻

- 朱慧君。2005。臺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，83 頁。
- 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。國立臺灣大學森林學研究所博士論文，113 頁。
- 林國銓、洪富文、游漢明、馬復京。1996。福山試驗林闊葉林生態系地上部養分之聚集與分布。台灣林業科學 11(1):29-42。
- 林國銓、黃菊美、王巧萍、張乃航。2004。六龜臺灣杉人工林碳和氮的累積和分布。台灣林業科學 19(3):225-235。
- 林務局。1995。第三次臺灣森林資源及土地利用調查。農委會林務局。258 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。國立臺灣大學農業化學研究所碩士論文，121 頁。
- 吳儀生。1994。惠蓀實驗林場不同密度杉木林生物量與養分含量之研究。國立中興大學森林學研究所碩士論文，77 頁。
- 邱志明、羅卓振南。2002。紅檜幼齡人工林密度試驗。台灣林業科學 17(2):205-217。
- 邱志明、唐盛林、林振榮。2007。疏伐對臺灣杉及紅檜人工林生長與材質效應。人工林之生態系經營研討會論文集。邱志明編輯。行政院農業委員會林業試驗所、林務局，第 151-181 頁。
- 邱志明、唐盛林、鍾智昕、林振榮。2011。紅檜人工林生物量和不同疏伐策略對二氧化碳吸存之效應。中華林學季刊 44(3):385-400。
- 邱志明、羅卓振南、鍾旭和。1993。棲蘭山檜木天然更新林地林分構造之研究。林業試驗所研究報告季刊 8(4):389-402。
- 邱志明、羅卓振南、鍾旭和。1995。棲蘭山檜木天然更新地-臺灣扁柏幹形與樹冠構造之研究。林業試驗所研究報告季刊 10(1):121-130。

- 高濤、顧濤、王銘鐘。1986。杉木人工林生物量及養份積聚之研究。台大實驗林研究報告 168:1-13。
- 陳凱欣。2005。鴛鴦湖臺灣扁柏森林生物量與冠層結構。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文，78 頁。
- 陳耀德。2003。鴛鴦湖森林生態系大氣養分輸入之探討。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文，108 頁。
- 黃進和。1999。森林開發處之檜木林分布與經營。枯立木與資源保育研討會論文集。陳信雄編輯。國立臺灣大學森林學系，第 165-185 頁。
- 黃菊美、杜清澤、張世杰、林國銓。2012。棲蘭山地區檜木林其林木生物量及生長量之估算。中華林學季刊 45(2):137-150。
- 葉青峯。2004。臺灣扁柏森林的生物量及雲霧沈降量估算。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文，84 頁。
- 張世杰、夏禹九。2006。棲蘭山臺灣扁柏更新林的養分循環研究。棲蘭山森林生態與經營研究會論文集。林世宗編輯。國立宜蘭大學生物資源學院自然資源學系，第 17-43 頁。
- 游漢明。1981。不同齡級柳杉林分地上部之生物量與淨生產量。國立臺灣大學森林學研究所碩士論文，60 頁。
- 羅卓振南、邱志明、陳燕章。1999。除伐與修枝對檜木天然更新林之效應。台灣林業科學 14(3):315-321。
- 蘇鴻傑。1984。臺灣天然林氣候與植群型之研究(II)山地植群帶與溫度梯度之關係。中華林學季刊 17(4):57-73。
- 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.
- Hsiue MT, BH Sheu and CP Liu. 2012. Nutrient accumulation and distribution of the aboveground biomass in a secondary subtropical forest in central Taiwan. *Taiwan Journal of Forest Science* 27(2):131-142.
- Kadeba O. 1991. Above-ground biomass production and nutrient accumulation in an age sequence of *Pinus caribaea* stands. *Forest Ecology and Management* 41:237-248.
- King JS, CP Giardina, KS Pregitzer and AL Friend. 2007. Biomass partitioning in red pine (*Pinus resinosa*) along a chronosequence in the Upper Peninsula of Michigan. *Canadian Journal of Forest Research* 37:93-102.
- Lai IL, SC Chang, PH Lin, CH Chou and JT Wu. 2006. Climatic characteristics of the subtropical mountainous cloud forest at the Yuanyang Lake Nature Reserve, Taiwan. *Taiwania* 51(4):317-329.
- Mitchell AK, HJ Barclay, H Brix, DFW Pollard, R Benton and R deJong. 1996. Biomass and nutrient element dynamics in Douglas-fir: effects of thinning and nitrogen fertilization over 18 years. *Canadian Journal of Forest Research* 26:376-388.
- Ponette Q, J Ranger, JM Ottorini and E Ulrich. 2001. Aboveground biomass and nutrient content of five Douglas-fir stands in France. *Forest Ecology and Management* 142:109-127.
- Ranger J, R Marques, M Colin-Belgrand, N Flammang and D Gelhaye. 1995. The dynamics of biomass and nutrient accumulation in a Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* Franco) stand studied using a chronosequence approach. *Forest Ecology and Management* 72:167-183.
- Sollins P, C Glassman, EA Paul, C Swanston, K Lajtha, JW Heil and ET Elliott. 1999. Soil carbon and nitrogen: pools and fractions. pp 89-105. In Robertson GP, DC Coleman, CS Bledsoe and P Sollins (eds.) *Standard soil methods for long-term ecological research*, Oxford University Press, New York.
- Tremblay S, C Périé and R Ouimet. 2006. Changes in organic carbon storage in a 50 year white spruce plantation chronosequence established on fallow land in Quebec. *Canadian Journal of Forest Research* 36:2713-2723.

Harmon ME and K Lajtha. 1999. Analysis of detritus

附表 1. 檜木之自然對數迴歸式( $\ln Y = a + b \ln(\text{dbh})$ )的係數和統計資料(式中 Y: 各植體或總生物量(kg)、樹高(m)、dbh: 胸徑(cm))<sup>1</sup>

種類	Y	a	b	修正決定係數	估算值標準差	樣本數
地上部						
葉和著葉枝		-4.2218	2.2148	0.90** <sup>2</sup>	0.343	39
枝條		-5.8891	2.7988	0.96**	0.275	39
樹幹		-2.4156	2.2576	0.98**	0.157	39
小計		-2.3723	2.3385	0.98**	0.133	39
樹高		1.1220	0.4624	0.80**	0.105	39
地下部						
死根		1.9602	0.1640	-0.05 <sup>ns 3</sup>	2.187	20
0.5-5 cm 根		-0.8478	0.8122	0.64**	0.262	23
≥ 5 cm 根		-4.4406	2.4746	0.83**	0.441	20
根頭		-6.0108	2.7875	0.92**	0.333	20
延伸根		-5.3793	2.1720	0.59**	0.714	20

<sup>1</sup>: (黃菊美等 2012), <sup>2</sup>\*\* :  $p < 0.01$ , <sup>3</sup>ns :  $p > 0.05$