

# 櫟木人工林造林木碳貯存量和吸存量之估算

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

<sup>1</sup>農業委員會林業試驗所；<sup>2</sup>通訊作者(kuolin@tfri.gov.tw)

**[摘要]** 櫟木(*Zelkova serrata* (Thunb.))為台灣最重要的闊葉樹造林樹種之一。本研究以苗栗約 46 年生和台東約 25 年生兩林人工林為對象，估算其造林木之生物量和生長量，建立根莖比和擴展係數等參數和迴歸式，以估算其碳貯存量和吸存量。結果顯示，櫟木根莖比苗栗為 0.240，台東為 0.250，兩林分相近，且與熱帶闊葉林平均值相似。地上部擴展係數台東為 1.528 Mg m<sup>-3</sup>，只略高於苗栗的 1.328 Mg m<sup>-3</sup>。兩林分地上部生物量連年生長和平均生長皆隨年齡呈上升趨勢，在 24 年生後上升趨勢才減緩。苗栗林分櫟木生物量為 252.3 Mg ha<sup>-1</sup>，高於亞洲熱帶地區闊葉林的平均值，台東林分為 108.4 Mg ha<sup>-1</sup>，則偏低。櫟木植體的地上部碳平均濃度，苗栗為 49.0%，台東為 49.6%。以此換算成林分櫟木碳吸存量，苗栗地上部平均量為 1.95 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>，全株平均量為 2.40 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>；台東地上部為 1.81 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>，全株為 2.25 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>。櫟木能長期貯存大量的碳，可減緩溫室效應。

**關鍵詞：**人工林，碳貯存量，碳吸存量，根莖比，擴展係數

## Study on Estimate of Carbon Storages and Sequestration of Planted Trees in *Zelkova serrata* Plantations, Taiwan

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

<sup>1</sup>Taiwan Forestry Research Institute; <sup>2</sup>Corresponding author (kuolin@tfri.gov.tw)

**ABSTRACT** *Zelkova serrata* (Thunb.) is one of the most important commercial broadleaf species for tree plantation in Taiwan. Two stands of *Zelkova serrata* plantations were selected to study carbon storage and sequestration; one was approximately 46 years old located in Miaoli Hsian and the other 25 years old in Taidung Hsien. Estimations were based on regressions among biomass, volume growth, and parameters such as root/shoot ratios and expansion coefficients. The root/shoot ratios were 0.240 and 0.250 for trees at Miaoli and Taidung sites, respectively, and similar to that of tropical broadleaf forests. The expansion coefficient of aboveground biomass of trees at the Taidung site was 1.528 Mg m<sup>-3</sup>, just slightly higher than the Miaoli site's 1.328 Mg m<sup>-3</sup>. The current and mean annual increments of trees increased with age at both sites, although the rates leveled off at age 24. Comparing to the average aboveground biomass of broadleaf forests in tropical regions in Asia, the Miaoli site's 252.3 Mg ha<sup>-1</sup> was higher while the Taidung site's 108.4 Mg ha<sup>-1</sup> was lower. The average aboveground carbon concentration was 49.0% at the Maoli site and 49.6% at the Taidung site. Based on these figures, the carbon storage and biomass of the entire tree would be 1.95 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> and 2.40 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> for the Maoli site, respectively; and 1.81 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> and 2.25 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> for the Taidung site, respectively.

**Keywords:** plantation, carbon storage, root/shoot ratio, expansion coefficient.

## 前言

「溫室效應」已成為全球性的議題，林木具有固定二氧化碳，減緩溫室效應的效用，因此森林對碳吸存的功能，也成為林業經營的重要目標。在聯合國氣候變化綱要公約中，要求締約國訂定管制溫室氣體排放的數量，並建立國家溫室氣體清冊。在此清冊中，森林的碳庫也包含在其中。未來林業經營將以人工林為固定二氧化碳的主要場所；精確的估算人工林的碳吸存量，便顯得格外重要。由於人工林受到年齡、地理位置、氣候等因素影響，林木生物量累積和年平均生長狀況變化極大，如果各林分要實際去測量，有其困難度，故常用生物量或材積迴歸式、擴展係數、根莖比等迴歸式或參數，做大面積的估算。因此各樹種基本迴歸式和參數的建立便有其必要性。

根據第三次台灣森林資源調查的結果，國有林地人工林面積達 295,500 ha，針葉林佔 171,800 ha，闊葉林佔 74,700 ha (林務局 1995)。但 1996 年行政院推動「全民造林運動」，10 種主要造林樹種中有 7 種為闊葉樹 (林俊成等 2002)。未來闊葉樹人工林可能成為日後提供木材生產和大氣減碳的最重要森林之一。同時國內針葉樹主要造林樹種如柳杉 (*Cryptomeria japonica* (L.F.) D.)、杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.))、檜木 (*Chamaeyparis* spp.) 等都已建立生物量的資料 (林國銓、何淑玲 2005)。闊葉樹人工林的資料較少，僅樟樹 (*Cinnamomum camphora* (L.)) 有較完整的資料 (羅紹麟、馮豐隆 1987)，相思樹 (*Acacia confusa* Merr.) 和木油桐 (*Aleurites Montana* (Lour.)) 也有部分資料 (林國銓等 2007)。故闊葉林有必要加強生物量方面的研究。

櫟木 (*Zelkova serrata* (Thunb.)) 為台灣本土樹種，材質優良，為台灣闊五木之一，1995 年時國有林造林面積已達 4,400 ha (林務局 1995)。櫟木林分曾估算過其材積年淨生長率為 2.12% (林務局 1982)。在「全民造林運動」

時期全省櫟木造林面積達 1730 ha，為第三大造林面積的樹種 (林俊成等 2002)，這些林分之林木尚未達成成熟階段，未來生物量和碳的累積有待估算，其對碳吸存量亦有待評估。故選擇櫟木人工林進行研究，並以已鬱密的林分為主，以瞭解櫟木人工林造林木的生物量及生長量，建立根莖比、擴展係數等參數及迴歸式，供日後大面積推估櫟木人工林造林木生物量及碳的貯存量和生長量的依據。

## 材料與方法

### 一、生育地

櫟木人工林台灣中部選擇位於苗栗縣泰安鄉的林分，屬大湖事業區 61 林班，造林年度約在 1960 年。台灣東南部林分則選擇位於台東縣延平鄉的林分，屬成功事業區 7 林班，造林年度約為 1981 年。

中央氣象局苗栗氣象站的統計資料顯示苗栗地區年平均溫度為 22.1°C，年平均降雨量為 1,625 mm，降雨量超過 150 mm 的月份為 5~9 月，10~2 月為乾季 (月平均降雨量低於 100 mm)。台東氣象站統計資料則顯示台東地區年平均溫度為 24.3°C，年平均降雨量為 1,856 mm，5-10 月為雨季，其餘月份為乾季。苗栗林分海拔高 820-870 m、坡度 20-26°，土壤為壤土，粘粒佔 31.4%、粉粒 41.2%、砂粒 27.6%，pH 值 4.6 (胡庭恩 2005)。台東地區海拔高 290~370 m、坡度 9-20°，土壤質地為粉質黏土，粘粒佔 45.2%、粉粒 36.7%、砂粒 18.1%，pH 值 5.4。

### 二、方法

#### 1. 樣區調查

於上述兩林分選擇林冠鬱閉，無明顯孔隙區域，各設立 3 個臨時樣區。每樣區面積為 0.09 ha (30×30 m)。以胸高直徑 (簡稱胸徑) 大於 10 cm 之林木定義為喬木，胸徑 1~10 cm 之林木為灌木。經調查兩林分樣區之胸徑、樹高、株數等資料，列如表 1。

苗栗林分其他喬木以日本槿楠 (*Machilus japonica* Sieb. et Zucc.)、江某 (*Schefflera octophylla* (Lour.) Harms)、山漆 (*Rhus succedanea* L.)等樹種最多;台東林分則以楓香 (*Liquidambar formosana* Hance)、黑星紫金牛 (*Ardisia virens* Kurz)、桑樹 (*Morus alba* L.)等樹種最多。

於上述兩林分之大樣區內四個角落各設立 5×5 m 之小樣區 1 個。調查其內之灌木及地被植物。就樹種而言,灌木部分苗栗林分以日本槿楠、黑星紫金牛、山香圓 (*Turpinia formosana* Nakai)等樹種為主;台東林分則以厚殼樹 (*Ehretia acuminata* R.)、桑樹、通脫木 (*Tetrapanax papyriferus* (Hook.))、九芎 (*Lagerstroemia subcostata* Koehne)等為主。地

被植物苗栗林分以冷清草 (*Elatostema lineolatum* Wight var. *majus* Wedd.)、玉山紫金牛 (*Ardisia chinensis* var. *morrisonensis* (Hayata))、蕨類等為主;台東林分以卷柏 (*Selaginella* spp.)、蕨類、弓果藤 (*Cyrtococcum patens* (L.))等為主。

2. 造林木選定與生物量之測定

以造林木樣區資料分析胸徑之分布,將胸徑依 5 cm 分為一級,苗栗林分由 10 cm 起至 50 cm 以上共分 8 級。台東林分則由 10 cm 起至 30 cm 以上分為 5 級。兩林分皆依據樣區內各胸徑級株數之比例選取樣木株數,每胸徑級內選取 1~11 株樣木(含粗根生物量和樹幹解析之 4 株樣木),測定其生物量,各林分喬木伐取樣木之性質和株數如表 2。

表 1. 兩林分樣區基本資料

林分	種類	胸徑(cm)	樹高(m)	株數(株/ha)
苗栗	造林木	24.8±1.2 <sup>1</sup>	20.2±0.5 <sup>1</sup>	440±10 <sup>2</sup>
	其他喬木	19.2±1.7	-	290±70
	灌木	3.2±0.5	-	3140±710
台東	造林木	17.5±0.4	13.2±0.2	580±80
	其他喬木	18.4±1.7	-	230±80
	灌木	4.8±1.4	-	1220±530

<sup>1</sup> 均數±標準差; <sup>2</sup> 均數±標準誤差

表 2. 兩林分伐取樣木基本資料(範圍)

林分	胸徑(cm)	樹高(m)	樹冠寬(m)	樹冠長(m)	株數
苗栗	10.4-46.7	12.2-26.7	3.3-18.2	4.5-15.4	29
台東	10.1-32.4	9.4-16.6	3.3-8.9	3.5-10.6	30

2006年10至12月間於此兩林分樣區內分別進行伐木取樣工作，將選定之樣木伐倒後，測定樹高、樹冠幅、活葉高(樹冠底部第一片活葉出現的高度)，並以活葉出現位置至樹冠頂端定義為樹冠長。伐倒木的植體區分為樹幹、死枝、葉、小枝條(著葉枝)、大枝條(除著葉枝外之枝條)、附生植物等6部分，分別稱其鮮重。樹幹於樹高1.3 m、樹冠底部及樹冠中央部位各取一約5 cm厚圓盤，稱其鮮重，帶回實驗室後測定其烘乾重(65°C)。再將樹冠依其中央部位區分為上、下兩層，分別稱取死枝、葉、小枝條、大枝條的小樣本(約400 g)，於實驗室中測定其烘乾重。各株樣木皆可由攜回實驗室樣本之烘乾重及其鮮重，推算出各樣本之烘乾重與鮮重比，並由烘乾重與鮮重比分別乘以各植體之鮮重，推算各單株林木之地上部生物量。

地下部生物量只測定粗根部分(直徑 $\geq 5$  mm)。於此兩林分造林木樣木中選取最接近平均胸徑之平均木4株，且其基部1 m半徑範圍無其他喬木存在。每株於測定地上部生物量後，在距基部1 m半徑範圍內之粗根全部挖取。取樣時，由外緣向內小心挖掘，收集粗根，並清除附著的土壤，粗根區分為造林樹種、其它樹種兩類，分別稱鮮重。根頭部份取圓盤1個，造林木粗根取小樣本3個，各約400 g，其餘樹種粗根取1個小樣本，攜回實驗室。於室內清洗後測定其烘乾重，以烘乾重和鮮重比推算單株林木粗根生物量，並以地上部生物量和粗根生物量推算根莖比。附生植物則收集苔蘚和膜蕨以外的附生植物，以單株樣木為單位，不分植株，植體只稱總重，再取小樣本攜回實驗室，烘乾稱重。

### 3. 造林木材積及生長量之測定

上述4株平均木除測定粗根生物量外，於樹幹0.3 m、1.3 m處，以及1.3 m以上每2 m間隔如3.3 m、5.3 m...等，取一厚約5 cm之圓盤進行樹幹解析，探討胸徑和樹高與樹齡的關係。用Smalian公式以區分求積法計算林木材積，由生物量與材積推估生物量擴展係數，

並推估地上部生物量之連年生長(current annual increment of aboveground biomass, CAIAB)和平均生長(mean annual increment of aboveground biomass, MAIAB)，再建立生物量連年生長和平均生長與樹齡的關係。

### 4. 林分生物量之估算

兩地區之喬木及灌木分別以單株林木地上部各部位生物量，或總量生物量與胸徑配置迴歸方程式，選擇最常用的自然對數式 $\ln Y = a + b \ln(\text{dbh})$ ，以估算單株各部位生物量及總生物量，式中Y為地上部各部位或總量之生物量(kg)，dbh為胸徑(cm)，a和b為迴歸係數。同時，以上述迴歸式推算，胸徑與樹高之關係。另外，迴歸式經過自然對數的轉換，常數a必需經校正係數校正(Baskerville 1972)。單株林木的迴歸式選出後，以各樣區之造林木資料估算出樣區之地上部生物量，再換算成單位面積之地上部各部位生物量。地下部生物量則以各林分造林木平均粗根根莖比為基礎，推估各林分不同組成之地下部生物量及總生物量。

### 5. 含碳與氮量估算

以植體小樣本供碳與氮濃度分析之用，兩林分各取11株樣木(含4株挖根之樣木)，使其涵蓋大部分樣木之樹種及胸徑級，進行含碳與氮量分析。各植體之樣本磨成細粉(<0.5 mm)，以乾燒法用元素分析儀(elementor vario EL型)測定其碳與氮濃度(Sollins et al. 1999)。由迴歸法估算出造林木單位面積各部位之生物量乘以各部位之平均碳與氮濃度，可估算出造林木碳與氮總貯存量。

## 結果與討論

### 一、林分組成

經調查苗栗林分造林木的胸徑和樹高明顯地高於台東林分者，但株數以台東林分較高。其它喬木亦以苗栗林分胸徑和株數較高；灌木部分則以台東林分胸徑較高，苗栗林分株數較多(表1)。由於苗栗林分造林木樹齡遠超過台東林分者，故其胸徑和樹高較高，株數較

低。台灣中部南投信義鄉 9 年生檫木林其造林木平均胸徑為 8.1 cm，樹高為 6.5 m，株數為 920 tree ha<sup>-1</sup>(柯淑惠 2006)，顯示其株數明顯地高於台東林分。人工林隨年齡增加，胸徑增大，樹冠鬱閉，由於競爭及天然災害等因素，株數會逐漸降低，以致其它植物有機會入侵或生長成喬木。苗栗林分其它喬木株數佔林分株數約 39.7%，遠高於台東林分的 28.4%，其灌木株數亦遠超過台東林分。顯示苗栗林分其它樹種經長期生長已形成喬木，可能對造林木生長造成影響。由造林木胸徑級的分佈可看出苗栗林分胸徑級分佈較分散，胸徑 14 cm 以下造林木約佔 20.8%，胸徑 35 cm 以上造林木合計亦約佔 20.8%。台東林分造林木其胸徑則集中在 10-14 和 15-19 cm，合計約佔造林木 70.8%(圖 1)。故人工林成熟後，有逐漸形成混合林的趨勢，但優勢木的生長似乎不受其它樹種的影響，被壓木生長可能受到壓抑，株數比例偏高，此由苗栗林分胸徑級分佈較均勻，而

非集中在平均胸徑之胸徑級，可獲得證實(圖 1)。

## 二、檫木生長及生物量

以 4 株平均木估算林木之生長和材積，苗栗林分平均木胸徑較高，單株生物量和材積皆明顯地較高 ( $p < 0.05$ )。兩地樣木相比，苗栗者之胸徑為台東的 1.4 倍，地上部生物量為 2.5 倍，粗根生物量為 2.4 倍，材積為 2.9 倍(表 3)。由此顯示隨胸徑增加，生物量和材積能更快速地累積。至於根莖比兩林分相近。兩種擴展係數則以台東林分略高，但統計上無差異 ( $p > 0.05$ )。本研究的根莖比與上述信義鄉 9 年生檫木林胸徑相近，檫木的根莖比 (0.234) 亦相近(柯淑惠 2006)，略高於同為苗栗地區的相思樹 (0.204) 和木油桐 (0.209)(林國銓等 2007)，卻低於台灣東北部福山天然闊葉林的 0.27(Lin et al. 2006)。在熱帶地區平均根莖比為 0.24(Cairn et al. 1997)，本研究的結果與其

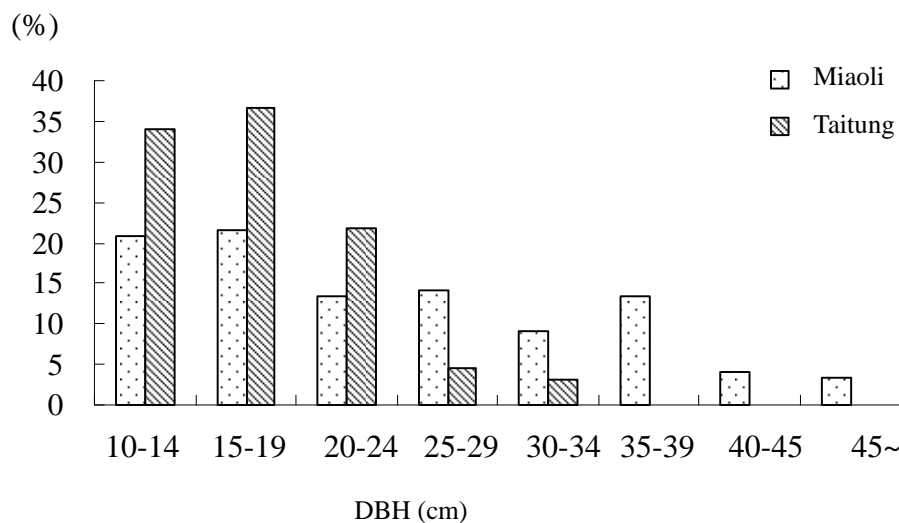


圖 1 兩林分造林木胸徑級之分佈圖

表 3. 粗根生物量與樹幹解析之樣木性質

項目	苗栗	台東
胸徑 (cm)	25.2±1.8 <sup>1</sup> (22.5~26.6) <sup>2</sup>	17.7±0.6 (17.2~18.5)
樹高 (m)	22.5±1.6 (21.6~24.9)	14.3±0.5 (13.8~15.0)
地上部生物量 (kg tree <sup>-1</sup> )	409.3±54.6 (333.4~449.4)	166.4±22.7 (141.6~195.3)
粗根生物量 (kg tree <sup>-1</sup> )	99.1±32.9 (73.3~144.1)	41.4±8.3 (29.9~49.7)
材積 (m <sup>3</sup> tree <sup>-1</sup> )	0.315±0.073 (0.259~0.414)	0.110±0.018 (0.086~0.124)
根莖比	0.240±0.059 (0.181~0.321)	0.250±0.051 (0.190~0.294)
地上部生物量擴展係數 (Mg m <sup>-3</sup> )	1.328±0.201 (1.083~1.565)	1.528±0.232 (1.316~1.837)
全株生物量擴展係數 (Mg m <sup>-3</sup> )	1.638±0.178 (1.431~1.848)	1.901±0.210 (1.703~2.185)

<sup>1</sup> 均數±標準誤差

<sup>2</sup> 範圍

相近。熱帶地區成熟天然林林木地上部擴展係數約為 1.5-2.0 Mg m<sup>-3</sup> (Brown et al. 1989)，檫木的擴展係數在其範圍的下緣。一般闊葉樹無明顯的主幹，擴展係數較高，檫木亦如此，其與苗栗相思樹林擴展係數（地上部：1.240 Mg m<sup>-3</sup>；全株：1.533 Mg m<sup>-3</sup>）相近，而具明顯主幹的苗栗木油桐之擴展係數（地上部：0.524 Mg m<sup>-3</sup>；全株：0.652 Mg m<sup>-3</sup>）則偏低（林國銓等 2007）。

由樹幹解析資料可知胸徑和樹高皆隨樹齡增加而上升。胸徑生長在 5 年生前十分緩慢 (0.27-0.39 cm yr<sup>-1</sup>)，5 年生後生長較快 (0.69-0.78 cm yr<sup>-1</sup>)，直至 30 年生後生長才趨緩 (0.10 cm yr<sup>-1</sup>) (圖 2)。兩林分的胸徑在各年齡皆無明顯差異 ( $p>0.05$ )，樹高生長則在 10 年生前以苗栗檫木生長較快，5 年生時苗栗者已達 4.2 m，明顯地高於台東者 (3.0 m) ( $p<0.05$ )；10 年生時苗栗檫木已達 8.5 m，也明顯地高於台東的 6.1 m ( $p<0.05$ )。12 年生後苗栗檫木樹高生長趨緩，至 15 年生與台東者無差異。此後台東檫木高生長亦趨緩，在 24 年時苗栗檫木已達 17.0 m，明顯地高於台東的 13.9 m (圖 3)。由此可知隨年齡增加，樹高生長速度減緩。24

年生時，苗栗檫木平均胸徑生長為 0.69 cm yr<sup>-1</sup>，台東為 0.65 cm yr<sup>-1</sup>，平均樹高生長苗栗為 0.69 m yr<sup>-1</sup>，台東為 0.58 m yr<sup>-1</sup>。至 44 年生時苗栗檫木平均胸徑生長為 0.50 cm yr<sup>-1</sup>，平均樹高為 0.50 m yr<sup>-1</sup>。胸徑和樹高皆可用年齡以二次迴歸式推估 (圖 2 和 3)。

至於地上部生物量連年生長與平均生長在 24 年生前，兩地區檫木皆呈上升趨勢，且兩曲線並未相交。25 至 30 年生期間苗栗檫木實測平均連年生長快速下降，此後，連年生長保持在 7.0-10.5 kg tree<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> 之間，平均生長亦在 30 年生後保持穩定 (圖 4 和 5)。兩地區連年生長和平均生長在 20 年生前，統計上大都無差異 ( $p>0.05$ )。24 年生時兩者皆呈顯著差異 ( $p<0.05$ )。苗栗檫木平均生長為 8.54 kg tree<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> 台東為 6.30 kg tree<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>。在 44 年生時苗栗檫木平均生長為 9.22 kg tree<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>。以二次或三次迴歸式可用年齡推估連年生長或平均生長，決定係數皆大於 0.8 (圖 4 和 5)。苗栗檫木的平均生長低於年齡相近苗栗相思樹的 13.1 kg tree<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>，但兩地檫木卻皆高於年齡相近的苗栗木油桐的 4.5 kg tree<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> (林國銓等 2007)。

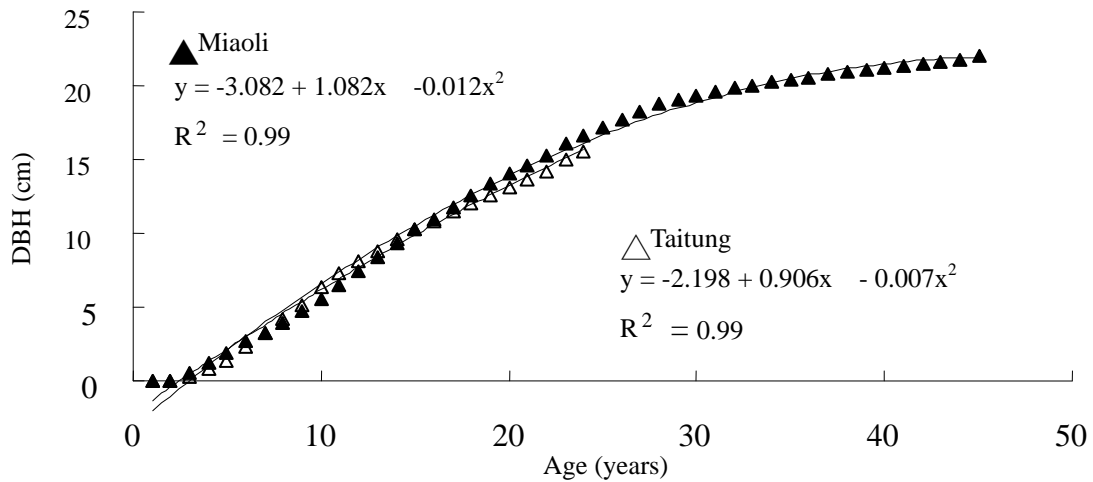


圖 2 苗栗和台東檫木胸徑與年齡關係圖

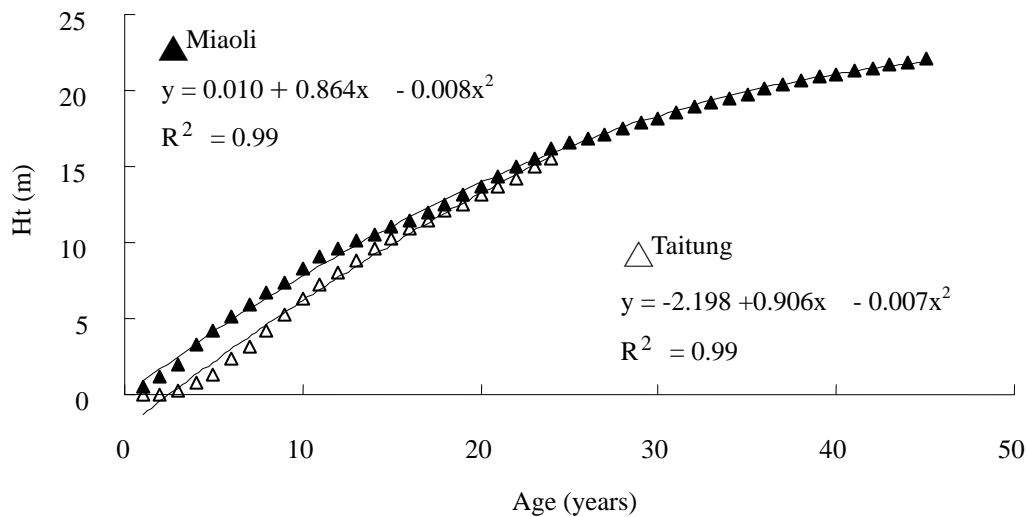


圖 3 苗栗和台東檫木樹高與年齡關係圖

### 三、林分檫木生物量

以兩林分造林木分別建立自然對數迴歸式，胸徑與各植體生物量、總生物量、樹高皆呈極顯著相關 ( $p < 0.01$ )，僅苗栗附生植物呈顯著相關 ( $p < 0.05$ )，台東附生植物相關性不顯著

( $p > 0.05$ )。除上述附生植物外，苗栗檫木葉片及兩林分枯死枝，其迴歸式雖具極顯著相關性，但其修正決定係數很低 ( $< 0.5$ ) (表 4)。此 4 項植體不適合用迴歸式推估林木的生物量，其餘植體可用所建迴歸式估算林分造林木生物

量。而此 4 項植體另以樣木的平均值乘以株數推估林分生物量。地下部生物量亦以樣木粗根生物量乘以株數推算。兩林分造林木生物量，苗栗遠高於台東者(表 5)，全株生物量苗理造林木為台東的 2.30 倍，顯示檫木林 20 年生後，胸徑和樹高仍明顯增加，生物量平均生長仍上升，株數雖減少，林分生物量仍明顯增加。兩林分生物量的分佈則大致相似，樹幹佔地上部生物量的 52.6-56.5%，為最大量，其次為枝條，佔 40.8-42.9%。兩者合計佔地上部生物量的 95% 以上。要注意的是取樣伐木時已進入秋季，檫木已有落葉現象，但對林木總生物量影響不大。

全球熱帶闊葉林平均地上部生物量為 192.2 Mg ha<sup>-1</sup>，亞洲地區為 214.7 Mg ha<sup>-1</sup> (Brown et al. 1989)，苗栗檫木地上部生物量高於此數據。東南亞柬埔寨熱帶常綠闊葉林地上部生物量為 256 Mg ha<sup>-1</sup>(Top et al. 2004)，苗栗檫木與之相近。在南亞及東南亞潮濕林平均地

上部生物量為 225 Mg ha<sup>-1</sup> (Brown et al. 1991)，但實測地上部生物量其範圍在 160 到 538 Mg ha<sup>-1</sup>，有極大差異(Brown and Lugo 1982)，苗栗檫木高於此平均值，但台東檫木則未達其範圍的下限。顯示苗栗檫木已趨於成熟，年生長亦趨於穩定(圖 4)，林分生物量的累積也可能趨向動態平衡。反之台東檫木生物量累積仍低，年生長仍在上升(圖 5)，林分生物量則仍有較大潛能繼續增加。至於地下部生物量，全球熱帶常綠闊葉林平均值為 49 Mg ha<sup>-1</sup> (Jackson et al. 1996)，苗栗林分高於此平均值，台東林分則較低(表 5)。但是本研究僅估算造林木的生物量，林分內其它喬木、灌木等亦累積生物量，如上述苗栗相思樹林其它喬木和灌木合計佔全林分地上部生物量的 15.3%，木油桐林更高達 33.1%(林國銓等 2007)，故若以檫木林分全部植物合計估算，林分應累積更高的生物量。

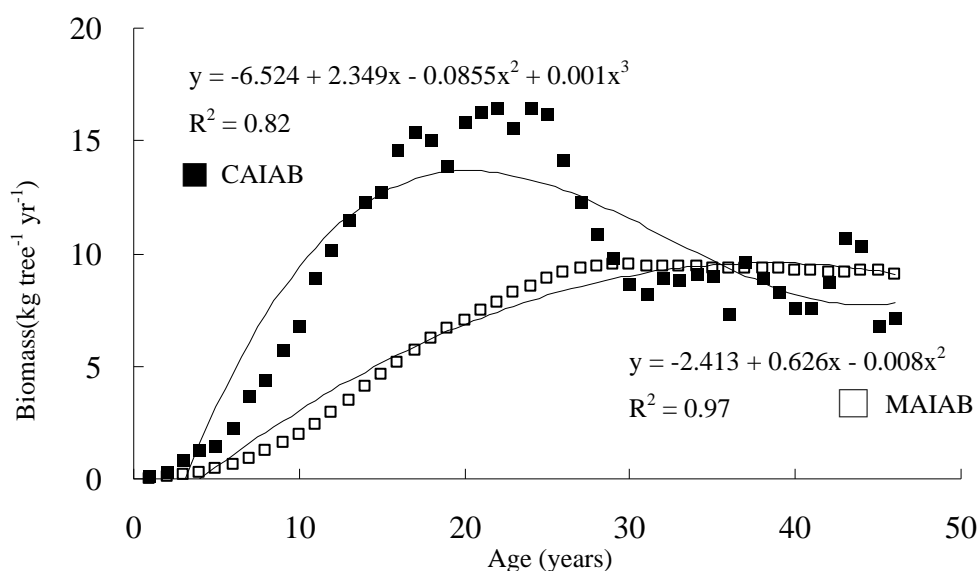


圖4. 苗栗檫木地上部生物量連年生長(CAIAB)和平均生長(MAIAB)



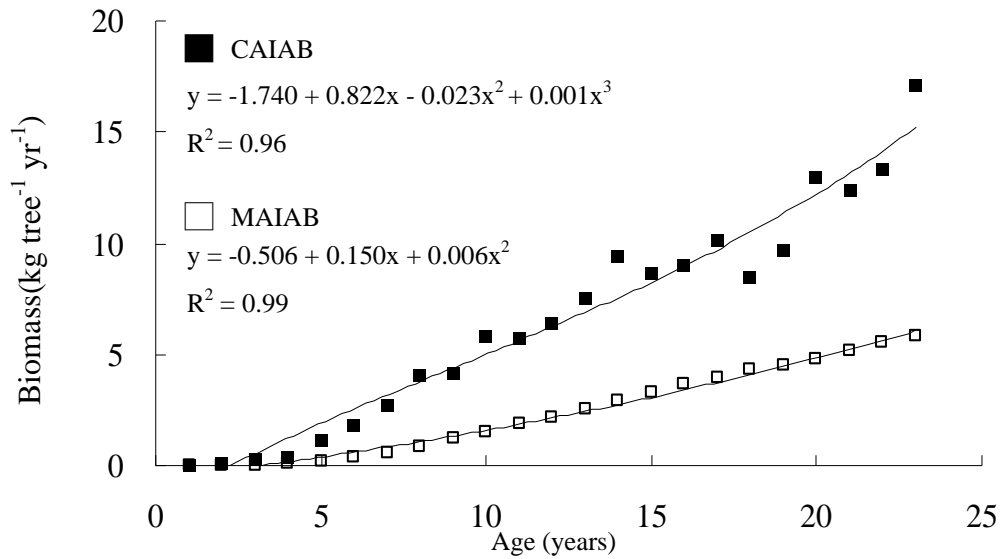


圖5 台東檫木地上部生物量連年生長(CAIAB)和平均生長(MAIAB)

表 4. 各林分造林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)，或樹高(m)，dbh：胸徑(cm))

林分	Y	a	b	修正決定係數	SEE <sup>1</sup>
苗栗	葉片	-4.4595	1.7684	0.30 <sup>**2</sup>	1.128
	小枝	-5.9993	2.0202	0.65 <sup>**</sup>	0.640
	大枝	-7.0203	3.6404	0.87 <sup>**</sup>	0.640
	枯死枝	-7.8695	3.1530	0.38 <sup>**</sup>	1.702
	附生植物	-4.7432	1.7532	0.16 <sup>*</sup>	1.595
	樹幹	-1.3606	2.1574	0.95 <sup>**</sup>	0.221
	總生物量	-2.3002	2.5721	0.99 <sup>**</sup>	0.131
	樹高	1.4196	0.5008	0.77 <sup>**</sup>	1.119
台東	葉片	-6.4733	2.5796	0.64 <sup>**</sup>	0.552
	小枝	-4.9999	2.0936	0.70 <sup>**</sup>	0.393
	大枝	-5.5284	3.3506	0.83 <sup>**</sup>	0.443
	枯死枝	-8.6481	3.3206	0.39 <sup>**</sup>	1.164
	附生植物	-2.5628	1.2232	-0.01 <sup>ns</sup>	2.075
	樹幹	-1.6928	2.1566	0.91 <sup>**</sup>	0.195
	總生物量	-2.3234	2.5715	0.95 <sup>**</sup>	0.171
	樹高	1.2517	0.4675	0.64 <sup>**</sup>	0.100

<sup>1</sup> 估算值標準誤

<sup>2</sup> \* 0.01 < p < 0.05, \*\* p < 0.01, ns: p > 0.05

## 四、林分碳和氮貯存量

林木植體碳和氮濃度經分析，地上部體間碳和氮皆有顯著差異 ( $p < 0.01$ )。苗栗檫木以樹幹碳濃度最高，其餘地上部植體大致相近；台東則以樹幹和大枝碳濃度最高，附生植物最低。氮濃度兩林分皆以葉或附生植物最高，樹幹和大枝最低 (表 6)。林分間碳和氮濃度的差異則各植體不同，如樹幹碳濃度林分間無差異 ( $p > 0.05$ )，氮濃度卻有顯著差異 ( $p < 0.05$ )。以植體各部位生物量所佔百分比 (表 5)，加權後估算林木平均碳濃度，苗栗林分地上部為 49.0%，台東為 49.6%。以同樣方法估算造林木地上部平均氮濃度，苗栗林分為 0.26%，台東為 0.29%。一般植體碳濃度以 50% 為標準，本研究的結果極為接近。台灣常見的 15 種闊葉樹用材碳濃度在 46-48% 間 (林裕仁等 2002)，本研究樹幹的濃度與此範圍差距不明顯 (表 6)。

以各樣區造林木各植體生物量和其平均碳和氮濃度，可推估林分造林木碳和氮的貯存量。苗栗林分檫木碳貯存量全株達 153 Mg

$\text{ha}^{-1}$ ，為台東的 2.3 倍 (表 7)。檫木 80.0-80.7% 的碳集中在地上部。至於氮貯存量，苗栗林分檫木達 786  $\text{kg ha}^{-1}$ ，為台東的 2.0 倍。檫木 79.6-82.2% 的氮集中在地上部。

熱帶地區亞洲熱帶森林其碳貯存量約為 132-174  $\text{Mg ha}^{-1}$  (Dixon et al. 1994)，此量包含地下部的碳，苗栗林分在範圍的中間部分。但熱帶森林局部地區的地上部平均值亦可高達 217  $\text{Mg ha}^{-1}$  (Malhi et al. 1999)，非洲熱帶闊葉人工林的老齡林碳貯存量地上部為 200  $\text{Mg ha}^{-1}$ ，地下部為 51  $\text{Mg ha}^{-1}$  (Glenday 2006)。這些數據遠高於苗栗林分者。中國大陸浙江省亞熱帶常綠闊葉人工林碳貯存量為 2.7-161.5  $\text{Mg ha}^{-1}$ ，涵蓋極大的範圍 (Zhang et al. 2007)，苗栗林分位其上緣，台東林分則位於中、下部位。上述人工林碳貯存量的差異應該與年齡有密切的關係。本研究的台東林分也因樹齡偏低，故低於苗栗林分。森林碳貯存量變異極大，除樹種、年齡、生育地等因素外，估算方法的不同，也會造成極大的差異。一般以伐取樣木實際去估算，如所選樣區有限，用迴歸式

表 5. 兩林分造林木各植體生物量 ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) 之估算 (均數  $\pm$  標準誤差)

種類	苗栗	台東
地上部		
葉	1.53 $\pm$ 0.08 (0.6) <sup>1</sup>	1.71 $\pm$ 0.55 (1.6)
小枝	0.85 $\pm$ 0.14 (0.3)	1.73 $\pm$ 0.53 (1.6)
大枝	102.86 $\pm$ 42.45 (40.8)	46.57 $\pm$ 15.92 (42.9)
死枝	4.09 $\pm$ 0.22 (1.6)	1.37 $\pm$ 0.33 (1.3)
附生植物	0.41 $\pm$ 0.02 (0.2)	0.00 $\pm$ 0 (0.0)
樹幹	142.56 $\pm$ 26.17 (56.5)	57.04 $\pm$ 17.71 (52.6)
計	252.30 $\pm$ 67.03	108.42 $\pm$ 35.04
地下部	60.47 $\pm$ 16.07	27.12 $\pm$ 8.77
總計	312.77 $\pm$ 83.10	135.54 $\pm$ 43.80

<sup>1</sup> 小括號內的數字表示佔小計之百分比

法推估，則因所選樣區大多林相較完整，容易高估。如用平均木法推估，由於少數巨大喬木往往累積大量生物量(Cumming et al. 2002)，容易低估。本研究樣區數目有限，所估算的數據應屬林相較佳林分的表現。

以林木生物量平均生長量乘以林木地上部碳平均濃度，可推估林木地上部平均碳吸存量。一般粗根生長緩慢，但細根淨生長率遠高於粗根 (Helmisaari et al. 2002)，地下部生長速率佔全株生長速率在熱帶常綠林可達 49% (Vogt et al. 1996)。故可假設地下部的生長速率與地上部相同，則用根莖比和生物量平均生長量可推估地下部生長量，再推估全株林木碳吸存量。苗栗林分平均木的單株平均地上部碳吸

存量為  $4.5 \text{ kg tree}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，全株為  $5.5 \text{ kg tree}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ；台東林分地上部為  $3.1 \text{ kg tree}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，全株為  $3.9 \text{ kg tree}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 。以此數據再乘以各樣區單位面積株數，可推估林分櫟木的平均碳吸存量，苗栗林分地上部為  $1.9 \pm 0.1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  (均數 $\pm$ 標準誤差，以下同)，全株為  $2.4 \pm 0.1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ；台東林分地上部為  $1.8 \pm 0.4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，全株為  $2.2 \pm 0.5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 。

此數據與上述苗栗相思樹林(全株： $2.5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ )，或木油桐林(全株： $2.2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ )大致相近(林國銓等 2007)。但上述浙江地區常綠闊葉林由於正處於生長旺盛期，碳吸存量可達  $4.8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  (Zhang et al. 2007)，遠高於櫟木林分者。

表 6. 兩林分造林木各植體之碳與氮濃度(%) (均數 $\pm$ 標準誤差)

林分	植體	碳	氮
苗栗	葉片	47.4 $\pm$ 0.9	2.16 $\pm$ 0.23
	小枝	47.4 $\pm$ 0.7	1.27 $\pm$ 0.19
	大枝	48.1 $\pm$ 0.9	0.34 $\pm$ 0.16
	死枝	48.1 $\pm$ 1.2	0.45 $\pm$ 0.21
	附生植物	47.7 $\pm$ 1.9	1.71 $\pm$ 0.69
	樹幹	49.7 $\pm$ 0.9	0.16 $\pm$ 0.11
	粗根	48.9 $\pm$ 1.2	0.23 $\pm$ 0.16
	其它樹種根	49.4 $\pm$ 0.5	0.56 $\pm$ 0.35
台東	葉片	45.9 $\pm$ 1.5	1.73 $\pm$ 0.16
	小枝	47.9 $\pm$ 0.7	0.90 $\pm$ 0.12
	大枝	49.5 $\pm$ 0.7	0.28 $\pm$ 0.10
	死枝	47.8 $\pm$ 1.3	0.42 $\pm$ 0.28
	附生植物	44.5 $\pm$ 0.4	1.77 $\pm$ 0.07
	樹幹	50.0 $\pm$ 0.8	0.23 $\pm$ 0.11
	粗根	49.6 $\pm$ 1.0	0.29 $\pm$ 0.13
	其它樹種根	47.3 $\pm$ 1.1	0.54 $\pm$ 0.26

表 7. 兩林分造林木各植體之碳(Mg ha<sup>-1</sup>)與氮(kg ha<sup>-1</sup>)貯存量 (均數±標準誤差)

林分	項目		C (Mg ha <sup>-1</sup> )	N (kg ha <sup>-1</sup> )
苗栗	地上部	葉片	0.7±0.0 (0.6) <sup>1</sup>	33.1±1.8 (5.1)
		小枝	0.4±0.1 (0.3)	10.9±1.8 (1.7)
		大枝	49.5±20.4 (40.0)	349.2±144.1 (54.1)
		死枝	2.0±0.1 (1.6)	18.4±1.0 (2.8)
		附生植物	0.2±0.0 (0.2)	6.9±0.4 (1.1)
		樹幹	70.9±13.0 (57.3)	227.2±41.7 (35.2)
		計	123.7±32.7	645.7±182.3
		地下部	29.6±7.9	140.0±37.2
	總計	153.3±40.5	785.7±219.4	
台東	地上部	葉片	0.8±0.3 (1.5)	29.6±9.5 (9.5)
		小枝	0.8±0.3 (1.5)	15.6±4.8 (5.0)
		大枝	23.0±7.9(42.8)	131.6±45.0 (42.1)
		死枝	0.7±0.2 (1.2)	5.7±1.4 (1.8)
		附生植物	0.0±0.0 (0.0)	0.1±0.0 (0.0)
		樹幹	28.5±8.9 (53.0)	129.8±40.3 (41.6)
		計	53.8±17.4	312.4±101.0
		地下部	13.4±4.3	80.0±25.8
	總計	67.2±21.7	392.4±126.9	

<sup>1</sup> 小括號內的數字表示佔小計之百分比

檫木人工林在 45 年生以上其碳貯存量與亞洲熱帶地區森林的碳貯存量相近，且生長尚未明顯衰退，林分有潛力累積大量的碳。檫木林分如能延長期輪伐期，有助於二氧化碳的固定。且檫木材質優良，有潛力生產大徑木，可經營成長伐期林分，如能加強經營管理，進行疏伐和修枝等撫育工作，促進其形質生長，生長優質木材，讓林分長期吸存碳，對減緩溫室效應應有顯著的效果。

## 結論

苗栗檫木林由於年齡高於台東檫木林，故其胸徑、生物量累積量、碳貯存量皆明顯地較

高。但兩林分年齡相同時的生長量，除樹高外，胸徑生長、生物量連年生長和平均生長都沒有差異。而兩林分的根莖比和擴展係數亦相近，顯示不同地區檫木生物量估算參數差異不大。苗栗檫木雖已超過 45 年生，但生物量平均生長仍保持穩定，生物量連年生長自高峰下降後仍與平均生長相近，未持續下降，顯示林分仍持續累積生物量。

苗栗檫木林其碳貯存量不低於亞洲熱帶地區森林的碳貯存量。台東林分的碳貯存量則較低，乃因其年齡較低，但該林分生物量連年生長和平均生長並未相交，生長仍十分旺盛，可持續累積碳。檫木材質優良，生長速率不低於熱帶闊葉林，有潛力生產大徑木，讓林分長

期吸存碳，以減緩溫室效應。

## 引用文獻

- 林俊成、鄭美如、劉淑芬、李國忠，2002。全民造林運動二氧化碳吸存潛力之經濟效益評估，*台灣林業科學*，17(3): 311-321。
- 林裕仁、劉瓊霽、林俊成，2002。台灣地區主要用材比重與碳含量測定，*台灣林業科學*，17(3): 291-299。
- 林務局，1982。台灣林木資源之生長及枯死，農委會林務局，共 58 頁。
- 林務局，1995。第三次台灣森林資源及土地利用調查報告，農委會林務局，共 258 頁。
- 林國銓、杜清澤、黃菊美，2007。苗栗地區相思樹和木油桐人工林碳和氮累積量及生產量之估算，*中華林學季刊*，40(2): 201-218。
- 林國銓、何淑玲，2005。由生物量推估台灣不同林分之碳貯存量，森林經營對二氧化碳吸存之貢獻研討會論文集，第 97-108 頁。國立台灣大學森林環境暨資源學系，共 332 頁。
- 柯淑惠，2006。台灣櫟人工林生物量及碳儲存量之研究，國立中興大學森林學系碩士論文，共 58 頁。
- 胡庭恩，2005。台灣北部地區主要人工林土壤碳貯存量之估算，國立台灣大學農業化學系碩士論文，86 頁。
- 羅紹麟、馮豐隆，1987。生物量調查及分析方法在樟樹資源調查之應用，*興大實驗林研究報告*，8：67-87。
- Baskerville, G. L. 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. *Canadian Journal of Forest Research* 2: 49-53.
- Brown, S., A. J. R. Gillespie, A. E. Lugo. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35(4): 881-902.
- Brown, S., A. J. R. Gillespie and A. E. Lugo. 1991. Biomass of tropical forests of south and southeast Asia. *Canadian Journal of Forest Research* 21: 111-117.
- Brown, S. and A. E. Lugo. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. *Biotropica* 14: 161-187.
- Cairns, M. A., S. Brown, E. H. Helmer and G. A. Baumgardner. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111: 1-11.
- Cummings, D. L., J. B. Kauffman, D. A. Perry and R. F. Hughes. 2002. Aboveground biomass and structure of rainforests in the southwestern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management* 163: 293-307.
- Dixon, R. K., S. Brown, R. A. Houghton, A. M. Solomon, M. C. Trexler and J. Wisniewski. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263: 185-190.
- Glenday, J. 2006. Carbon storage and emissions offset potential in an east African tropical rainforest. *Forest Ecology and Management* 235: 72-83.
- Helmisaari, H. S., Makkonen, K., Kellomäki, S., Valtonen, E., Mälkönen, E. 2002. Below- and above-ground biomass, production and nitrogen use in Scots pine stands in eastern Finland. *Forest Ecology and Management* 165: 317-326.
- Jackson, R. B., J. Canadell, J. R. Ehleringer, H. A. Mooney, O. E. Sala and E. D. Schulze. 1996. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia* 108: 389-411.
- Lin, K. C., C. T. Duh, C. M. Huang and C. P. Wang. 2006. Estimate of coarse root biomass and nutrient contents of trees in a subtropical broadleaf forest in Taiwan. *Taiwan Journal of Forest Science* 21(2): 155-166.
- Malhi, Y., D. D. Baldocchi and P. G. Jarvis. 1999. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant, Cell and Environment* 22: 715-740.
- Sollins, P., C. Glassman, E. A. Paul, C. Swanston, K. Lajtha, J. W. Heil and E. T. Elliott. 1999. Soil carbon and nitrogen: pools and fractions. pp. 89-105 In G. P. Robertson, D. C. Coleman, C. S. Bledsoe and P. Sollins, eds. *Standard soil methods for long-term ecological research*. New York: Oxford University Press 462 pp.
- Top, N., N. Mizoue and S. Kai. 2004. Estimating forest biomass increment based on permanent sample plots in relation to

- woodfuel consumption: a case study in Kampong Thom Province, Cambodia. *Journal of Forest Research* 9:117-123.
- 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: 159-219.
- Zhang, J., Y. Ge, J. Chang, B. Jiang, H. Jiang, C. Peng, et al. 2007. Carbon storage by ecological service forests in Zhejiang Province, subtropical China. *Forest Ecology and Management* 245: 64-75.