

研究報告

孟宗竹林伐採後二年間地上部生物量與碳吸存量動態

王 仁¹ 陳財輝² 陳信佑³ 鍾欣芸³ 劉恩妤³ 李宗宜¹ 劉瓊霖⁴

【摘要】本研究係以惠蓀林場孟宗竹林分為樣區，調查樣區現有孟宗竹之DBH、竹齡，再依皆伐、擇伐和未處理等3組試驗處理，並於處理後連續調查2年，利用模式估算其林分年生長生物量，並配合碳含量，進而比較不同試驗處理對於孟宗竹碳吸存量之差異。研究結果顯示，處理後第1年，對照組孟宗竹林分碳吸存量为 $4.1 \pm 2.7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ 、擇伐區為 $6.7 \pm 1.0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ 、皆伐區則為 $2.2 \pm 0.4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ；第2年對照組孟宗竹林分碳吸存量为 $1.7 \pm 0.5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ 、擇伐區為 $1.5 \pm 2.9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ 、皆伐區則為 $5.8 \pm 2.0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ 。對照組和擇伐處理的樣區，其單位時間內碳吸存量將隨時間增長而趨緩；皆伐處理將使次年碳吸存量大幅減少，但卻於隔年又漸恢復。擇伐處理並不會對新生孟宗竹胸徑造成顯著的影響，但卻會對年生長生物量與碳吸存量影響顯著。且擇伐處理後，隔年單位面積之竹林總生物量及碳吸存量會超越對照組。經營孟宗竹林分，應以連年擇伐成熟竹稈為主，若擇伐之竹可加以利用作為竹製產品將碳保存於其中，對碳替代的效果是正面的。而人工竹林適當經營，可使碳吸存量提升。

【關鍵詞】孟宗竹、生物量、碳吸存量、擇伐、皆伐

Research paper

ESTIMATING ABOVEGROUND BIOMASS AND CARBON SEQUESTRATION OF MOSO BAMBOO GROWN UNDER SELECTION CUTTING AFTER TWO YEARS

Jen Wang¹ Tsai-Huei Chen² Shin-You Chen³ Hsin-Yun Chung³ En-U Liu³
Tsung-I Li¹ Chiung-Pin Liu⁴

【Abstract】The effect of cutting treatments on the aboveground biomass and carbon sequestration of Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) was studied by investigating diameter at breast height (DBH) for 2 years. The multiple regression model and carbon content were used to estimate aboveground

1. 國立中興大學森林學系大學部學生。

Undergraduate student, Department of Forestry, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan.

2. 行政院農委會林業試驗所研究員。

Researcher, Taiwan Forestry Research Institute, Council of Agriculture.

3. 國立中興大學森林系碩士。

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

4. 國立中興大學森林系副教授，台中市國光路250號，通訊作者。

Associate Professor, Department of Forestry, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, Corresponding Author.

Tel.: +886-4-22850134; E-mail: cpliu@nchu.edu.tw

biomass and carbon sequestration of Moso bamboo. The carbon sequestration in the first year after three treatments showed the following trend: selection cutting ($6.7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) > control ($4.1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) > clear cutting ($2.2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$); after 2 years of treatments showed the following trend: clear cutting ($5.8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) > control ($1.7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) > selection cutting ($1.5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$). Varying selection cutting were no significant difference to the DBH of newborn bamboo, but actually attracted the net gross biomass and the carbon sequestration. And after selection cutting, the carbon sequestration of the Moso bamboo stand would exceed the control stand demonstrating that the Moso bamboo stand need suitable management to promote the carbon sequestration.

【Key words】 Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*), Biomass, Carbon sequestration, Selection cutting, Clear cutting

一、前言

近年二氧化碳排放之主因為大量燃燒石化燃料，林地用途變更為次，儲存林木中的碳素釋放於大氣層中，使二氧化碳濃度迅速上升 (Elliott *et al.*, 1985)，可能造成地球溫室效應增強及引發氣候變遷等問題，若持續目前二氧化碳排放之速率，預估至 2100 年，全球平均溫度將比工業化前增加 1.9 至 4.6°C (IPCC, 2007)，全球氣候異常的情況將更為劇烈。欲減緩大氣中二氧化碳濃度增加所產生的全球氣候變遷，首要者為調整產業及能源結構，由高耗能或高二氧化碳排放的產業移往低耗能、低污染、高附加價值產業，並積極增加能源使用效率、抑制能源消耗 (IPCC, 2007)，即碳減量；其次亦可藉由加強造林與促進森林永續發展的经营管理策略以增加大氣中二氧化碳之吸存量。此二法皆為重要可行之減碳方法。

聯合國氣候變化綱要公約第三次締約國大會通過「京都議定書」(Kyoto protocol) 明訂 1990 年後所進行之非林地造林 (afforestation)、跡地造林 (reforestation) 及毀林 (deforestation) 之二氧化碳排放量 (carbon emissions) 和碳移除量 (carbon removals)，可併入排放減量值計算，更確認碳排放權交易制度，即由造林吸存之二氧化碳可納入國家的二氧化碳抵減量，並建立「清潔發展機制」(clean development mechanism, CDM)，此機制之設立，為另一種形式的共同減量，使森林資源所吸存的碳量，將成

為一種可交易的產品，亦有其買賣之價格 (IPCC, 1998)。面對全球暖化現象，林業活動可藉由碳保存 (carbon conservation)、碳吸存 (carbon sequestration) (IPCC, 2005) 和碳替代 (carbon substitution) (IPCC, 2007) 等三個策略施行，達到大氣中二氧化碳減量的目的。

通常，森林生態系最後會維持平衡系統到達極盛相，其碳素的保存與釋放會趨近平衡狀態 (Thorney and Cannell, 2000)，如欲促進森林吸收與固定二氧化碳，應維持林地的適當活化。台灣目前竹林面積約 17 萬公頃，占全島森林面積 7%，其中孟宗竹 (*Phyllostachys pubescens*) 為東亞地區之特產，占總竹類面積 1.88% (戴廣耀等, 1973)，但其記錄上最大的高度與最大的直徑各可逾 20 公尺與 20 公分，株幹挺拔 (Liu *et al.*, 1994)，且生長迅速與豐美 (杜大治等, 2003)，其對二氧化碳之固定效益頗值得重視。

在竹林的经营措施中，如欲使竹林地單位面積生物量 (biomass) 與碳吸存量增加，擇伐 (selection system) 係簡便且重要的竹林经营作業法，但擇伐後的竹桿如不加以利用，而棄置在林地內，短期將會被分解而釋出 CO₂。就長期而言，待竹林林分鬱閉後，並不能增加林地的碳保存量；但是，倘若把擇伐後的竹桿加以利用，如以竹材取代鋼鐵及水泥等高耗能材料，或者做為碳薪材取代石化燃料，藉以提升其碳替代之功能，對於溫室氣體的減量是有助

益的。

緣於上述原由，本研究針對惠蓀林場孟宗竹林進行擇伐作業，其目的在於了解擇伐是否會對孟宗竹林分生物量與碳吸存量有所助益，比較擇伐後 2 年間的影響，結果可作為將來孟宗竹林經營評估和如何增進二氧化碳吸存量之應用與參考。

二、材料與方法

(一) 試驗地概況

本試驗地設置樣區位於惠蓀林場第 50 林班地，位於南投縣，海拔 667 m，年均溫約 20.3°C，年雨量 3,389 mm，平均相對濕度 85.2%，土壤 pH 值為 4.6 (王仁等，2009)。

(二) 樣區設置與樣本調查

在試驗林地分別設置 9 個 10 m × 10 m 之樣區。樣區設置後，進行每竹調查，樣區內樣竹共 796 株，並分別對樣區內之樣竹做竹高、胸高直徑及竹齡之調查並選取 3 個樣區作擇伐處理，而擇伐之依據首先係考量密度過高之地區，伐除 4、5 年生熟齡竹及胸徑細小和生長羸弱之劣竹，藉以增加留存竹生長所需之空間；另 3 個樣區皆伐處理，其餘 3 個樣區為對照組不做處理。於伐採後第 1 年 (2008) 與第 2 年 (2009) 再次調查其新生竹之株數並量測其胸高直徑和竹高。

(三) 資料蒐集與相關分析

本試驗係參照先前已分析植物體之碳含量，和建立之林分生長參數與生物量關係模式，用以推估新生竹單位面積之生物量和碳保存量 (王仁等，2009)，再推估連年淨生物生長量和碳吸存量。

1. 林分單位面積生物量和碳保存量

進行每竹調查後，將資料代入先前已建立的生物量回歸模式，各立竹推估之生物量明瞭後，遂加總推估全竹林分單位面積之生物量。換算單位面積的碳保存量時，係以各部位生物量回歸模式，求得各部位生物量和總生物量之比例，再乘以各部位之碳含量，加總，即

可得知單位面積的碳保存量。

2. 林分連年淨生物生長量和碳吸存量

連續 2 年進行每竹調查，同步驟 1. 將各年度之單位面積生物量和碳保存量，以上年度減去本年度 (如 2009 年度減去 2008 年之生物量和碳保存量)，即可求得單位面積之連年淨生物生長量和碳吸存量。

三、結果與討論

(一) 擇伐處理前後林分的結構和生物量的改變

孟宗竹林分經過伐採處理前後各齡級林分密度和生物量的改變如圖 1 所示，擇伐處理過後的樣區，其 1、2 齡級的林分密度有顯著的差異，而擇伐處理過後的總平均胸徑和總平均竹高顯著高於擇伐前的水準 (表 1)。由於擇伐之原則係採先伐除衰老與發育不良之劣竹，致 1、2 齡級的林分密度雖然有顯著的差異，但地上部生物量並沒有顯著差異，且完全沒有五年生以上的老竹存在 (圖 1)。

孟宗竹林分經過伐採處理前和處理後的第 1 年 (2008 年) 和第 2 年 (2009 年)，竹林林分內總平均竹高、胸徑、密度和地上部生物量改變如表 1 所示。孟宗竹林分在處理後的二年之間，林分整體平均胸徑、竹高並不會因為進行擇伐作業而有明顯增加。2008 年間，單位面積內的株數密度大幅度增加，連帶影響單位面積生物量增加的幅度，擇伐後，翌年單位面積之株數，從 5,533 clums ha⁻¹ 增加至 9,933 clums ha⁻¹，生物量從 42.9 Mg ha⁻¹ 提升至 57.1 Mg ha⁻¹；相較於對照組的單位面積株數 (7,600 clums ha⁻¹ 增加至 10,833 clums ha⁻¹) 與生物量 (50.3 Mg ha⁻¹ 增加至 59.2 Mg ha⁻¹)、皆伐處理的單位面積株數 (0 clums ha⁻¹ 增加至 2,600 clums ha⁻¹) 和生物量 (0 Mg ha⁻¹ 增加至 4.7 Mg ha⁻¹)，明顯增加較多；然而，2009 年間，情況與 2008 年截然不同，皆伐之 2008 年新生竹株數雖與擇伐處理組 2008 年之間增長新生竹株數相當，但整體平均胸徑提升，從原本 4.2 cm 提升至 4.8 cm，而生物量亦大幅度增加，從 4.7

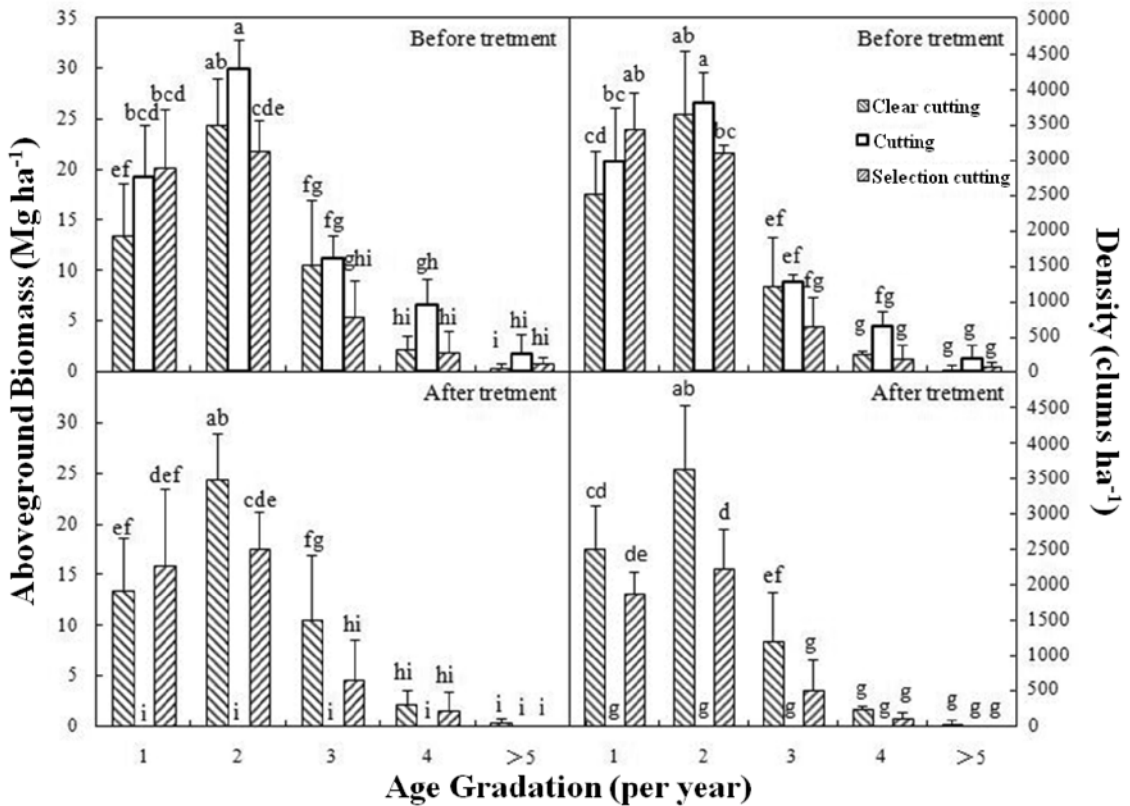


圖 1. 孟宗竹林分試驗處理前後地上部生物量與林分密度之差異

Fig. 1. The aboveground biomass and stand density difference of Moso bamboo stands between before and after these treatments. Values are mean \pm SD ($n=3$), and the upside with different letter (a, b, c, d, e, f, g, h, i) are significantly different at 5% ($p \leq 0.05$) significant level by LSD ($n=3$).

Mg ha^{-1} 增加至 17.1 Mg ha^{-1} ；但是擇伐處理與對照組平均胸徑仍持平（表 1），生物量增加則有急速趨緩的現象產生（表 2），可能已接近單位面積最大密度。

在 2008 年間，皆伐對於孟宗竹單竹的胸徑影響並不全然皆是正向的，甚至有可能產生負面影響，如小徑竹增加造成整體胸徑均值下降現象，但 2009 年時，卻對單位面積生長株數與生物量有明顯的提升作用；擇伐處理與對照組，因為林分漸趨於鬱閉，單位葉面積平均照射的光亮下降，各立竹間競爭加劇，使林分密度上升趨緩，間接影響生物量之增長，經營上須再度施行擇伐。以每公頃的留存木生物量看來，對照組的生物量較擇伐處理與皆伐者

高，此乃因施行擇伐作業時，使每公頃的立竹數目減少，換算成每公頃生物量時，會有較低的結果產生，對照組則因為單位面積留存株數較多，故有較高之生物量。伐除強度過大，林分若未能充分運用地力，則單位面積生物量將愈小（呂錦明、劉哲政，1982；呂錦明，2001）。

林分生產力若以試驗處理後隨時間變化來加以評估，竹林林分擇伐後如欲將竹材移出利用，如製成台灣杉/竹炭複合水泥板（尹華文等，2004）、或以竹炭微粉研磨與紡織原料結合，製成竹炭纖維，開發具有機能性之竹炭纖維紡織品（林裕仁和黃國雄，2005）等，因轉換為其它竹製產品，可保存碳於其中。惟孟宗竹

表 1. 孟宗竹疏伐處理前後林分之平均胸徑、竹高、林分密度和地上部生物量

Table 1. Structure and aboveground biomass of *Phyllostachys pubescens* stands under different treatments

Treatment	Phase	Mean DBH (cm)	Mean height (m)	Stand density (clums ha ⁻¹)	Aboveground biomass (Mg ha ⁻¹)
Clear cutting	Before treatment	6.8 ^a ¹⁾ (0.2) ²⁾	10.7 ^a (0.2)	8,867 ^a (567)	68.6 ^a (6.8)
	After treatment	—	—	0.0 ^c (0.0)	0.0 ^b (0.0)
	After 1 year	4.2 ^b (0.04)	7.0 ^b (0.1)	2,600 ^b (624)	4.7 ^b (0.9)
	After 2 years	4.8 ^b (0.3)	8.0 ^b (0.4)	5,567 ^b (1,724)	17.1 ^b (3.8)
	Before treatment	6.4 ^a (0.4)	10.1 ^a (0.5)	7,400 ^a (1,039)	49.9 ^a (14.7)
Selection cutting	After treatment	6.7 ^b (0.5)	10.6 ^b (0.5)	5,533 ^b (1,250)	42.9 ^a (15.3)
	After 1 year	5.9 ^a (0.4)	9.5 ^a (0.5)	9,933 ^a (1,258)	57.1 ^a (15.1)
	After 2 years	5.9 ^a (0.3)	9.5 ^a (0.4)	10,633 ^a (1,704)	60.4 ^a (13.7)
	Before treatment	6.4 ^a (0.3)	10.1 ^a (0.4)	7,600 ^a (985)	50.3 ^a (3.6)
Control	After 1 year	5.9 ^a (0.3)	9.5 ^a (0.4)	10,833 ^a (2,386)	59.2 ^a (5.4)
	After 2 years	5.9 ^a (0.3)	9.5 ^a (0.3)	11,467 ^a (2,303)	62.8 ^a (6.3)

¹⁾ Means within a given column with different letter (a, b) are significantly different at 5 % ($p \leq 0.05$) significant level by LSD (n=3)

²⁾ Number in parenthesis are standard deviation

枯死後若留存於林地，進而使原本迅速保存於竹材中的碳素重新釋回大氣之中。因此，竹材必須收穫且利用，如此，對於竹林經營碳保存利用之單位面積生產力，才有實質上的助益。
(二) 竹稈單位面積碳保存量及每年淨碳吸存量推估

由於竹稈的再生，而使竹林單位面積負載量趨近於上限，導致自然競爭而枯死竹增加，故必須擇伐生產力衰退之老竹，降低單位面積的竹稈數量，以騰出空間生長新竹，保持竹林之高生產力 (Embaye *et al.*, 2005)。孟宗竹林分伐採前後留存竹稈累積生物量與碳儲存量變方分析表如表 2 所示，在伐採後第 1 年和 2 年，

其留存木生物累積量和碳保存量大小依序為對照組 > 擇伐 > 皆伐，對照組與擇伐處理並未達顯著差異，且以擇伐處理及對照組較皆伐處理者高。呂錦明 (2001) 曾提出需注意其幼竹株數有逐漸下降之趨勢，如不加以伐除 4、5 年生老竹，則恐將有生產力衰退之虞。

本試驗林分單位面積淨生長量，伐採後結果如表 3 所示，皆伐後第 1 年增長較少，只有 4.7 Mg ha⁻¹ year⁻¹，係因為伐除之新生竹萌發的能量完全來自橫走鞭莖，導致孟宗竹之生產力減退，低於對照組的 8.9 Mg ha⁻¹ year⁻¹，但皆伐後第 2 年，因有新生竹行光合作用，生成碳水化合物，供給次年再萌發新生竹的能

表 2. 孟宗竹林分伐採處理前後留存木累積生物量與碳保存量之比較

Table 2. Comparison of biomass and carbon conservation of individual Moso bamboo in different periods with these treatments

Phase	Biomass (Mg ha ⁻¹)			carbon conservation (Mg ha ⁻¹)			F value	P value
	Clear cutting	Selection cutting	Control	Clear cutting	Selection cutting	Control		
Before treatment	68.6 ^{a 1)} (6.8) ²⁾	49.9 ^a (14.7)	50.3 ^a (3.6)	32.2 ^a (3.2)	23.4 ^a (6.9)	23.6 ^a (1.7)	3.77	0.0869
After treatment	0.0 ^b (0.0)	42.9 ^a (15.3)	50.3 ^a (3.6)	0.0 ^b (0.0)	20.1 ^a (7.2)	23.6 ^a (1.7)	26.99	0.0010
After 1 year (2008)	4.7 ^b (0.9)	57.1 ^a (15.1)	59.2 ^a (5.4)	2.2 ^b (0.4)	26.8 ^a (7.1)	27.8 ^a (2.6)	33.30	0.0006
After 2 years (2009)	17.1 ^b (3.8)	60.4 ^a (13.7)	62.8 ^a (6.3)	8.0 ^b (1.8)	28.4 ^a (6.5)	29.5 ^a (2.9)	24.50	0.0013

¹⁾ Means within a given row with different letter (a, b) are significantly different at 5 % ($p \leq 0.05$) significant level by LSD (n=3)

²⁾ Number in parenthesis are standard deviation

表 3. 孟宗竹林分擇伐處理後留存木淨地上部生長生物量與碳吸存量

Table 3. ANOVA for net aboveground biomass and carbon sequestration of Moso bamboo treated of different period after these treatments

Phase	Net biomass groth (Mg ha ⁻¹ year ⁻¹)			Carbon sequestration (Mg ha ⁻¹ year ⁻¹)			F value	P value
	Clear cutting	Selection cutting	Control	Clear cutting	Selection cutting	Control		
After 1 year (2008)	4.7 ^{b1)} (0.9) ²⁾	14.2 ^a (2.2)	8.9 ^{ab} (5.8)	2.2 ^b (0.4)	6.7 ^a (1.0)	4.1 ^{ab} (2.7)	5.21	0.0489
After 2 years (2009)	12.4 ^a (4.6)	3.6 ^b (6.2)	3.3 ^b (1.0)	5.8 ^a (2.0)	1.5 ^b (2.9)	1.7 ^b (0.5)	4.19	0.0727

¹⁾ Means within a given row with different letter (a, b) are significantly different at 5 % ($p \leq 0.05$) significant level by LSD (n=3)

²⁾ Number in parenthesis are standard deviation

量，使生產力趨漸恢復，生物量增長至 12.4 Mg ha⁻¹ year⁻¹，反而比擇伐處理與對照組 (3.6 Mg ha⁻¹ year⁻¹、3.3 Mg ha⁻¹ year⁻¹) 增加更多。擇伐試區則於 2008 年，因林分鬱閉度降低，又以伐採老竹與劣竹為主，而增加較多 (14.2 Mg ha⁻¹ year⁻¹)，即達到最大生物量生長，隨後則林分漸趨鬱閉，各竹稈間相互遮蔽，光合作用淨初級生產量減少，生物量之增長亦趨緩，須再度進行擇伐處理，如未實行擇伐，即如擇伐後第 2 年，只增長 3.6 Mg ha⁻¹ year⁻¹ (表 3)。

換算單位面積的碳吸存量時，係以各部位生物量回歸模式，求得各部位與總生物量之比例，乘以各部位之碳含量 (王仁等，2009)，加總，即可得知單位面積的碳保存量，再經由連年調查林分之碳保存量，其和單位面積的生物量變化趨勢結果相似。皆伐處理後 1 年間，比擇伐處理和對照組有較低的碳吸存量。皆伐處理緣於林地無竹桿存在，須俟新生竹萌發後才行光合作用，無法充分運用地力，使碳吸存力相對較低落。對照組與擇伐處理單位面積留存

竹稈較多，較能充分運用地力，因此有較大的碳吸存效果。此外，竹林林分隨著伐採後期間之延長，第 1 年 F 值由 5.21 降至第 2 年的 4.19 (表 3)，顯示不同處理間差異有越來越小之趨勢，緣於伐採後林分又趨漸鬱閉，故仍有再度施行擇伐之必要。

估計伐採對留存竹的單位面積生物量與碳保存量時，一般往往忽略了單位面積中，伐採竹的利用與否，而伐採後之竹稈亦可製成產品，行碳替代之功能，故應給予計算較為合理 (Thorney and Cannell, 2000)。單位面積之立竹株數隨著增大後，接踵而來的便是漸強的競爭，而使枯死率上升，屆時，單位面積的碳保存

量會漸趨於穩定，達到一動態平衡。若不保持林地活化，擇伐立竹加以運用，則碳替代的功能將有所限制，亦無法增加竹林林分對碳的吸存量。

孟宗竹林地若定期施行擇伐，其碳吸存之效率皆比台灣之紅檜、柳杉、樟樹等樹種、北半球溫帶森林、非洲熱帶森林和美洲與亞洲熱帶森林整體平均碳吸存速率 (表 4)，高出數倍。以長期經營的眼光看來，亦為陸域碳吸存理想物種之一。惟需注意，一段時期過後，可有地力衰退之虞，應施肥於竹林地中，以保持其地力不減退。透過重複且適當的經營手段，碳素吸存量可以永續保持高水準的狀況 (Dewar and Cannell, 1992)。

表 4. 不同樹種和地區之碳吸存量

Table 4. The carbon sequestration between different species and regions

Species scale	Forest type	Treatment	Stand age	Carbon sequestration (Mg ha ⁻¹ year ⁻¹)	Reference
	<i>Cryptomeria japonica</i>	IPCC Model to estimate	uneven-aged stand	2.38	王和劉 (2006)
		40 % Thinning	51	0.61	林 (2006)
		25 % Thinning	51	0.69	林 (2006)
		Control	51	0.60	林 (2006)
	<i>Chamaecyparis formosensis</i>	IPCC Model to estimate	uneven-aged stand	2.35	王和劉 (2006)
		44 % Thinning	30	1.44	邱 (2009)
		34 % Thinning	30	1.00	邱 (2009)
		23 % Thinning	30	1.06	邱 (2009)
		Control	30	0.40	邱 (2009)
	<i>Cinnamomum camphora</i>	Process Model	uneven-aged stand	2.60	李和馮 (2008)
	<i>Phyllostachys pubescens</i>	Clear cutting	uneven-aged stand	2.2	This study (2010)
		Selection cutting	uneven-aged stand	6.7	This study (2010)
		Control	uneven-aged stand	4.1	This study (2010)
Global scale	Region		Carbon sequestration (Mg ha ⁻¹ year ⁻¹)		
	Africa tropical forests		0.63	Lewis <i>et al.</i> (2009)	
	Asia and America tropical forests		0.49	Lewis <i>et al.</i> (2009)	
	Northern forests		0.50	Myneni <i>et al.</i> (2001)	

四、結論

本研究利用先前已建立的孟宗竹生物量推估模式配合連年調查資料，推估擇伐處理對孟宗竹地上部生物量、碳保存量及碳吸存量的影響。在孟宗竹林分中，擇伐處理第1年後，其單位面積之立竹株數、淨增長生物量及碳吸存量，提升幅度分別為 $4400 \text{ clums ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ 、 $14.2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ 和 $6.7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ，較對照組和皆伐者高出許多。在試驗處理後第2年時，因為皆伐者生產力趨漸恢復，且擇伐處理已漸趨於鬱閉，而影響新生竹的萌發，甚至枯死率上升，所以皆伐試區單位面積年增長之立竹株數 ($2967 \text{ clums ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$)、每竹胸高直徑 (4.8 cm)、淨生長生物量 ($17.1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) 及碳吸存量 ($8.0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) 較擇伐處理大幅提升。自此觀之，經營孟宗竹林分，應以連年擇伐成熟竹稈為主，使生物量與碳吸存量有所增益，惟須注意地力之減耗以適時補充肥料。若擇伐之竹可加以利用作為竹製產品將碳保存於其中，對碳替代的效果是正面的。人工竹林適當經營，可使碳吸存量提升。

五、誌謝

本研究承蒙林業試驗所、中興大學森林學系林木生理與水化學和養分循環、森林土壤與林木菌根、森林經營暨林政學研究室等諸位老師、先輩與同儕，於試驗研究期間的協助與指導，和台灣大學森林環境暨資源學系林木生理生態學研究室郭老師幸榮指正，僅此致上無限之謝忱與感恩。

六、引用文獻

王仁、陳財輝、張華洲、鐘欣芸、李宗宜、劉瓊霏 (2009) 惠蓀林場和石桌孟宗竹林分結構及地上部生物量和碳儲存量。林業研究季刊 31(4) : 17-26。

王兆桓、劉知好 (2006) 森林蓄積量與生物量轉換式之建立。2006年碳吸存研討會論文集 pp. 200-216。

尹華文、鄒哲宗、林勝傑、湯適謙、藍浩繁 (2004) 二氧化碳噴壓法速凝研製台灣杉/竹炭複合水泥板。林業研究專訊 11(6) : 31-33。

杜大治、王亞男、蕭英倫 (2003) 孟宗竹在不同冠層二氧化碳固定效益。台大實驗林實驗報告 17(3) : 187-194。

李宣德、馮豐隆 (2008) 森林碳吸存資源調查推估模式系統—以台灣樟樹為例。台灣林業科學 23 (Supplement) : S11-22。

呂錦明 (2001) 竹林之培育及經營管理。206頁。行政院農委會林業試驗所。林業叢刊第135號。

呂錦明、劉哲政 (1982) 孟宗竹林分更新及改良栽培試驗(2)-林分構成與收長特性之研究。林業試驗所試驗報告第376號。

林世宗 (2006) 柳杉生物量調查回顧與展望。2006年碳吸存研討會論文集 pp. 130-146。

林裕仁、黃國雄 (2005) 竹炭應用—竹炭纖維。林業研究專訊 12(1) : 15。

邱志明 (2009) 疏伐對紅檜人工林碳吸存效益之評估。林業研究專訊 16(2) : 31-36。

戴廣耀、楊寶霖、沈榮江 (1973) 台灣竹林資源。農復會、林務局、航測隊、屏東農專合作計畫。82頁。

Dewar, R. C. and M. G. R. Cannell (1992) Carbon storage in the tree, products and soil of forest plantations: an analysis using UK examples. *Tree Physiology* 11: 49-71.

Elliott, W. P., L. Macha and C. D. Keeling (1985) An estimate of the biotic contribution to the atmospheric CO₂ increase based on direct measurement at Mauna Loa Observatory. *Journal of Geophys Reseach* 90: 3741-3746.

Embaye K., M. Weih, S. Ledin and L. Christersson (2005) Biomass and nutrient distribution in a highland bamboo forest in southwest Ethiopia: implication for management. *Forest Ecology and Management* 204: 159-169.

- IPCC (1998) Tokyo Protocol. IPCC, Tokyo, Japan, 21 pp.
- IPCC (2005) Carbon Dioxide Capture and Storage. Cambridge University Press, U.K., 431 pp.
- IPCC (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R. K. and Reisinger, A.(eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- Lewis, S. L., G. Lopez-Gonzalez, B. Sonké, K. Affum-Baffoe, T. R. Baker, L. O. Ojo, O. L. Phillips, J. M. Reitsma, L. White, J. A. Comiskey, D. K. Marie-Noël, C. E. N. Ewango, T. R. Feldpausch, A. C. Hamilton, M. Gloor, T. Hart, A. Hladik, J. Lloyd, J. C. Lovett, J. R. Makana, Y. Malhi, F. M. Mbago, H. J. Ndangalasi, J. Peacock, K. S. H. Peh, D. Sheil, T. Sunderland, M. D. Swaine, J. Taplin, D. Taylor, S. C. Thomas, R. Votere, and H. Wöll (2009) Increasing carbon storage in intact African tropical forests. *Nature* 457: 1003-1006.
- Liu, Y. C., F. Y. Lu and C. S. Ou (1994) Trees of Taiwan. (Monographic Publication No. 7). College of Agriculture, National Chung hsing University, Taiching, Taiwan.
- Myneni, R. B., J. Dong, C. J. Tucker, R. K. Kaufmann, P. E. Kauppi, J. Liski, L. Zhou, V. Alexeyev and M. K. Hughes (2001) A large carbon sink in the woody biomass of Northern forests. *PNAS* 98: 14784-14789.
- Thorney, J. H. M. and M. G. R. Cannell (2000) Managing forests for wood yield and carbon storage: a theoretical study. *Tree Physiology* 20: 477-484.

