

研究報告

臺灣中部地區孟宗竹林不同經營強度林分性
態值、地上部生物量及碳貯存量之比較孫百寬¹ 陳涓婷² 顏添明³ 李隆恩²

【摘要】本研究目的在於推估不同經營強度孟宗竹 (*Phyllostachys pubescens*) 之林分性態值、地上部生物量及碳貯存量，研究地區位於台灣中部南投地區，所調查之林分可分為集約經營和粗放經營兩類，本研究依據年齡、胸高直徑採取樣竹25株伐倒後進行葉、枝、稈等生物量測定，並以allometric模式進行生物量推估。在碳貯存量的推估上，以元素分析儀分別測定葉、枝、稈之碳含量百分比 (percent carbon content, PCC) 以計算貯存量。所得結果顯示在林分胸高斷面積方面，集約經營林分 (35.8-56.8 m² ha⁻¹) 較粗放經營林分 (18.4-24.3 m² ha⁻¹) 為高。在地上部生物量方面，集約經營和粗放經營林分別為62.0-124.3 Mg⁻¹ ha⁻¹和38.6-47.1 Mg⁻¹ ha⁻¹。地上部碳貯存量的趨勢和生物量相同，集約經營林分和粗放經營林分分別為30.5-61.1 Mg⁻¹ ha⁻¹和19.0-23.2 Mg⁻¹ ha⁻¹，由此結果亦可得知集約經營之孟宗竹林具有較高的生物量和碳貯存量。

【關鍵詞】孟宗竹 (*Phyllostachys pubescens*)、相對關係式、生物量、碳貯存量

Research paper

Stand characteristics, aboveground biomass and carbon storage of moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) stands under different management levels in central TaiwanBai-Kuan Sun¹ Yu-Ting Chen² Tian-Ming Yen³ Long-En Li²

【Abstract】The purpose of this study was to predict stand characteristics, aboveground biomass and carbon storage for moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) stands with management levels. The study area was conducted in Nantou county of center Taiwan. The management intensity of stands included intensive management (IM) and extensive management (EM). A total of 25 bamboos were sampled and felled based on age and diameter at breast height (DBH) to measure biomass. The relationships between

1. 國立中興大學森林學系研究生。

Graduate Student, Department of Forestry, National Chung Hsing University.

2. 國立中興大學森林學系博士學生

PH. D student, Department of Forestry, National Chung Hsing University.

3. 國立中興大學森林學系副教授，通訊作者，40227台中市南區國光路250號。

Associate Professor, Department of Forestry, National Chung Hsing University.

Corresponding Author. No.250, kuo-kung Rd., South Dist., Taichung City, 40227, Taiwan (R.O.C).

DBH and biomass (leaves, branches and culms) were built by allometric model in order to widely predict aboveground biomass at stand level. Moreover, percent carbon content (PCC) was determined for different sections (leaves, branches and culms) of sample bamboos by the elemental analyzer. We predicted carbon storage based on biomass and PCC. The results showed that the IM stands ($35.8\text{-}56.8\text{ m}^2\text{ ha}^{-1}$) had higher basal area than the EM stands ($18.4\text{-}24.3\text{ m}^2\text{ ha}^{-1}$). The aboveground biomass was predicted to be $62.0\text{-}124.3\text{ Mg ha}^{-1}$ and $38.6\text{-}47.1\text{ Mg ha}^{-1}$ for IM and EM stands, respectively. A same trend was displayed in carbon storage and biomass that the aboveground carbon storage of IM and EM stands were $30.5\text{-}61.1\text{ Mg ha}^{-1}$ and $19.0\text{-}23.2\text{ Mg ha}^{-1}$, respectively. The results implicated that the IE stands had a high biomass and carbon storage.

【Key words】Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*), allometric model, biomass, carbon storage.

一、前言

竹林為臺灣重要的森林資源，是以森林法將群生於林地之木本竹類歸類於森林的一類，即「森林係指林地及其群生竹、木之總稱」。根據林務局(1995)「第三次全國森林資源及土地利用型調查」顯示，臺灣地區竹林面積超過150,000 ha，約佔臺灣全島森林面積之7%。過去竹類資源對臺灣的貢獻很大，包括傳統的竹產業經營，竹筍的外銷皆對臺灣的經濟發展有著相當貢獻(呂錦明，2001；顏添明，2003；顏添明等，2003a；2003b；王義仲，2006；紀怡嘉，2008；Yen *et al.*, 2010; Lin, 2011)，然而隨著工商業的發展，經濟條件改變致工資高漲及傳統竹類製品被塑膠及其它替代品的取代，也讓竹林經營漸趨勢微，導致目前有大面積的竹林呈現荒蕪狀態(呂錦明，2001；顏添明，2011)。

竹林資源在經營上具有許多優點，除生長快速，其材積收穫期短，且該竹林能同時生產竹材與竹筍。由於竹林經營大部份採用無性繁殖，可以節省一般造林之栽植成本，故適合於小規模之私有林經營(李久先，1983；呂錦明、陳財輝，1992；Shanmughavel and Francis, 1996；Singh and Singh, 1999; Fu, 2000; Scurlock *et al.*, 2000；呂錦明，2001；胡曉瑯，2002；顏添明，2003；顏添明等2003a；2003b；王義仲，2006；紀怡嘉，2008；Yen *et al.*, 2010)。孟宗竹 (*Phyllostachys pubescens*) 為臺灣主要

六種經濟竹種之一，分布於海拔高度約在700-1,600 m，其為臺灣主要六種經濟竹種海拔分布較高的竹種，該竹種可兼生產竹材與竹筍，在良好的經營下其生產力相當可觀(劉業經等，1994；呂錦明，2001)。

由於氣候變遷問題受到國際間的重視，世界各國簽署「京都議定書(Kyoto Protocol)」以期減少溫室氣體的排放，由於木本植物能吸收空氣中的CO₂，並將C素固定於體內，也讓國際間對於不同種類木本植物或不同尺度森林的固碳能力加以重視，並評估其碳吸存能力(Gifford, 2000; Lamolom and Savidge, 2003; Smith *et al.*, 2006; Kindermann *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2009; Yen *et al.*, 2009, 2010; Yen and Lee, 2011)。本研究旨在探討孟宗竹不同經營強度林分之林分結構及碳貯存量，所得之結果將可瞭解不同經營程度之竹林對於碳吸存的貢獻。

二、材料與方法

(一) 研究區域

孟宗竹主要分布於臺灣中部地區，本研究區域位於中部地區，包括中興大學實驗林惠蓀林場轄區、林務局南投林區管理處人倫地區、臺大實驗林清水溝營林區及南投縣鹿谷鄉。本研究計選擇6個林分，並依不同經營程度加以分類，包括集約經營(intensive management, IM)和粗放經營(extensive management, EM)等兩種方式，前者包括疏伐與施肥；後者則僅疏

伐但不施肥，其詳細資料如表1所示。

(二) 研究方法

有關本研究之方法詳述如下：

1. 樣區設置

各林分設置0.01 ha之正方形樣區6個，針對樣區內之樣竹進行每木調查，並對樣區之環境屬性如位置、海拔高等進行記錄。

2. 林分結構與年齡之調查

於樣區設置後，隨即進行每木調查，主要調查立竹株數、竹稈之胸徑及年齡，將立竹分為1-5年生 (5年生包含5年生以上)，共 5 個齡級，再依據不同齡級與不同直徑級進行分層取數，進行樣竹之解析，以測定生物量及碳貯存量。

3. 生物量之調查

本研究於2011年8月底到9月初進行取樣，共選取樣竹25株，在野外伐採後將各樣竹以分層割取法 (Stratified clip technique) 量測其地上部不同高度各分段之稈、枝及葉部等之鮮重。各部位稱重完成後再行取樣回實驗室測其乾重，即將樣本置於105 °C烘箱烘乾至恆乾重，採用各部位之乾溼比率 (wet-to-dry ratio)，以推算其生物量。

4. 碳含量百分比之測定

樣竹不同部位之碳含量百分比 (percent carbon content, PCC)，又稱為碳濃度，係以元素分析儀 (elemental analyzer, EA) 測定，此部份委由國立中興大學貴重儀器中心進行分析，各部位之PCC測得後，乘上該部位之生物量，即可求得此部位之碳貯存量，再將葉、枝和稈部的碳貯存量加總即為立竹地上部之碳貯存量。

5. 生物量模式之建立

一般推算林分立竹之胸高直徑 (diameter at breast height, DBH) 和生物量之關係，以係由上述經伐採後經測得乾重之樣竹為基礎，先以 allometric 模式建立DBH和各部位生物量的關係。本研究採用兩種不同的模式建立，其一主要以DBH為自變數；另一種則是同時採用DBH和樹高 (H) 為自變數，模式如 (1)、(2) 式所示。

$$Y = a \times DBH^b \tag{1}$$

$$Y = a \times (DBH^2 \times H)^b \tag{2}$$

(1)、(2)式中，Y為各部位之生物量(包括葉、枝、稈及地上部)，DBH為胸高直徑；H為稈高；a、b分別為模式參數。

表1. 本研究區域之竹林基本資料

Table 1. The attributions of bamboo stands of this study.

經營強度	概述	取樣數 (10 m×10 m)	海拔高 (m)	代號
集約經營	林分位於南投縣鹿谷鄉小半天，為私有之竹林	6	748	IMa
集約經營	林分位於臺大實驗林清水溝營林區放租之竹林，屬私人經營	6	914	IMb
集約經營	林分位於南投林區管林處人倫地區，為國有林	6	1500	IMc
粗放經營	林分位於中興大學實驗林惠蓀林場第3林班內，為國有林	6	837	EMa
粗放經營	林分位於南投縣鹿谷鄉，為臺大實驗林區放租之竹林，屬私人經營	6	1031	EMb
粗放經營	林分位於臺大實驗林清水溝營林區放租之竹林，屬私人經營	6	1360	EMc

6. 林分生物量及碳貯存量之推估

根據上列之推估模式，分別對樣區進行推估，以獲得樣區之生物量再依各部位之PCC計算林分之碳貯存量。

三、結果

(一) 林分性態值

本研究區域不同林分之胸徑、稈高、株數及胸高斷面積等性態值如表2所示。

由表2可知，在林分之平均胸徑項目中，集約經營林分為7.2 -9.9 cm，粗放經營為7.1 -7.9 cm，集約經營之平均值高於粗放經營林分，但由於胸徑在林分的變異量較大，所以無顯著差異 (T-value=1.474; p-value=0.214)；在林分之平均稈高項目中，集約經營林分為6.9-8.4 cm，粗放經營為7.8 -8.6 m，兩者稈高之差異不顯著 (T-value=0.682; p-value=0.533)；在每公頃株數項目中，集約經營林分為4783-8400 culms ha⁻¹，粗放經營為3967-5967 culms ha⁻¹，集約經營之平均值高於粗放經營林分，但由於每公頃株數之變異量較大，所以差異不顯著 (T-value=1.424; p-value=0.228)；最後，在每公頃胸高斷面積項目中，集約經營林分為35.8-56.8 m² ha⁻¹，粗放經營為18.4-24.3 m² ha⁻¹，集約經營之平均值顯著高於粗放經營林分 (T-value=3.086; p-value=0.036)。

(二) 生物量模式之建立

本研究以兩種不同型態之allometric模式建立生物量之推估式，所得之結果如表3所示。由表3之結果可得知，以 allometric 模式推估不同部位生物量之效果，稈部的效果較佳 (R²較高)，葉與枝部之 R² 值一般較稈部為低，地上部生物量是葉、枝及稈部之合計，由於稈部佔地上部大部份，因此地上部推估之效果和稈部相近。另外，以表3兩種 allometric 模式推估生物量的結果發現，單獨採用 DBH 為自變數之模式〔(1)式〕的推估效果良好，當加入稈高為自變數之模式〔(2)式〕對生物量推估的促進效果仍屬有限，應用此模式進行分析需考量野外調查時要量測全林的稈高較費時間，且提昇推估生物量的能力較為有限，因此本研究採用 (1) 式做為後續生物量推估的基礎。茲將不同部位生物量DBH的關係以圖1表示之。由圖1可得知模式理論值和觀測值之配適情形，其中葉部和枝條在變異上較大，而稈部及地上部之配適情形則較佳，由所得之結果亦可得知以 DBH 和地上部之生物量具有很高的相關性，以 DBH 可有效地進行地上部生物量推估。

(三) 孟宗竹各部位碳含量百分比(PCC)

本研究以元素分析儀所測得孟宗竹不同部位之碳含量百分比(PCC)，所得之結果以表4表示之。

由表4可知，PCC在各部位內的差異較小，在各部位之間的差異則較大，其中以葉部

表2. 不同經營強度之林分性態值

Table 2. Stand characteristics of different management intensities.

項目 代碼	集約經營			粗放經營		
	IMa	IMb	IMc	EMa	EMb	EMc
胸徑 (cm)	7.2±0.2	9.7±0.3	9.9±0.8	7.1±0.2	7.9±0.6	7.8±0.6
稈高 (m)	6.9±0.2	8.4±0.4	8.3±1.5	8.6±0.5	8.3±1.2	7.8±0.5
株數 (culms ha ⁻¹)	8400±1318	4783±891	7183±1577	5967±1078	3967±1424	5250±1003
胸高斷面積 (m ² ha ⁻¹)	35.8±6.5	36.5±8.1	56.8±13.8	24.3±5.2	20.7±10.2	18.4±11.9

表3. 孟宗竹各部位生物量之相對關係式

Table 3. The allometric models for predicting biomass of different sections of moso bamboo.

竹齡	部位	$Y = a \times DBH^b$				$Y = a \times (DBH^2 \times H)^b$			
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i> ²	<i>RMSE</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i> ²	<i>RMSE</i>
1年生	葉	0.002	2.242	0.886	0.077	0.001	1.228	0.836	0.089
	枝	0.047	1.369	0.790	0.212	0.020	0.855	0.790	0.230
	稈	0.084	2.106	0.850	2.326	0.017	1.388	0.933	1.745
	地上部	0.109	2.050	0.879	2.293	0.024	1.343	0.953	1.582
2年生	葉	0.001	3.278	0.828	0.354	0.000	1.793	0.833	0.348
	枝	0.005	2.739	0.910	0.513	0.002	1.503	0.915	0.499
	稈	0.007	3.338	0.984	1.145	0.003	1.818	0.986	1.067
	地上部	0.011	3.230	0.970	1.997	0.004	1.763	0.972	1.780
3年生	葉	0.003	2.625	0.976	0.095	0.001	0.454	0.981	0.084
	枝	0.023	2.142	0.903	0.520	0.011	1.194	0.910	0.501
	稈	0.030	2.682	0.966	1.433	0.012	1.491	0.971	1.310
	地上部	0.050	2.572	0.962	1.956	0.022	1.430	0.968	1.800
4年生	葉	6.1×10^{-9}	8.143	0.802	0.330	2.2×10^{-5}	2.267	0.745	0.374
	枝	0.025	1.989	0.896	0.400	0.011	1.139	0.891	0.410
	稈	0.086	2.203	0.994	0.539	0.034	1.267	0.994	0.532
	地上部	0.098	2.249	0.990	0.863	0.038	1.292	0.989	0.919
5年生	葉	0.001	2.775	0.755	0.190	0.000	1.820	0.776	0.179
	枝	0.001	3.558	0.772	0.646	0.000	1.804	0.779	0.635
	稈	0.008	3.152	0.977	1.195	0.004	1.699	0.979	1.139
	地上部	0.009	3.193	0.958	1.971	0.004	1.717	0.961	1.894
全部 (1-5年生)	葉	0.001	2.788	0.575	0.329	0.000	1.652	0.627	0.315
	枝	0.018	2.080	0.615	0.709	0.006	1.276	0.701	0.638
	稈	0.036	2.553	0.910	1.848	0.012	1.490	0.954	1.343
	地上部	0.051	2.499	0.878	2.661	0.016	1.468	0.931	2.042

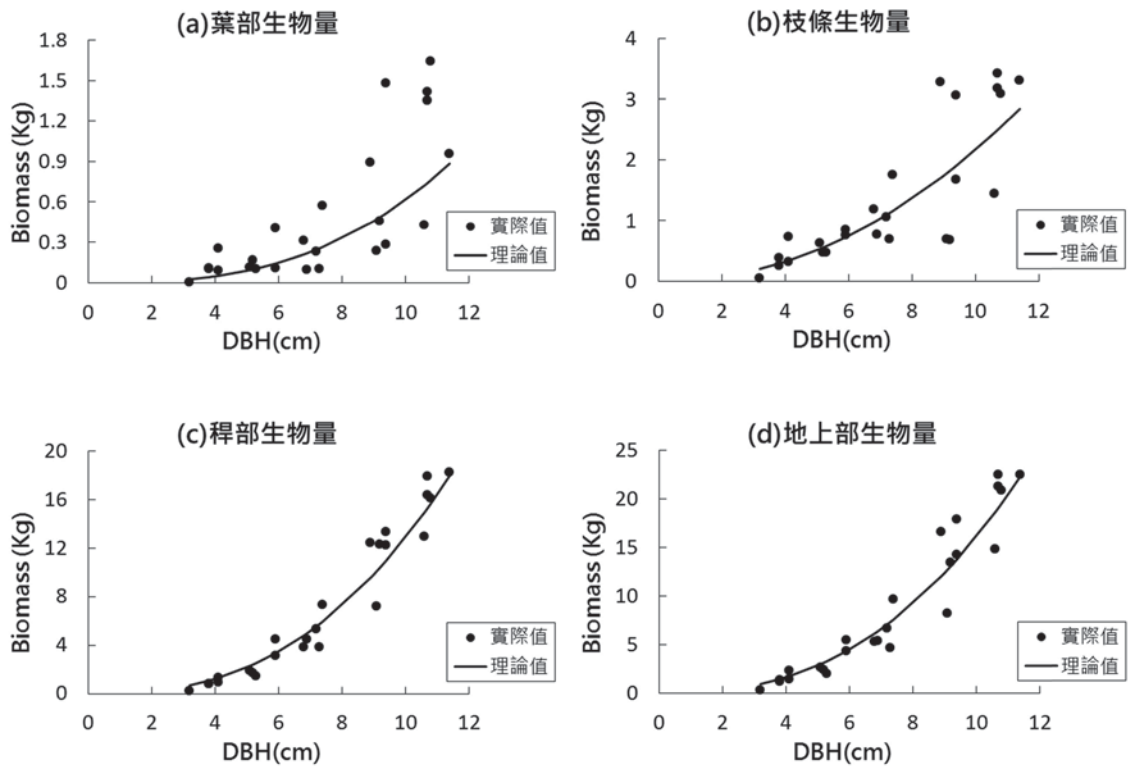


圖1. 不同部位生物量 DBH 的關係

Fig. 1. The relationships between the biomass of different sections and DBH for moso bamboo.

表 4. 不同年齡之孟宗竹各部位之碳濃度

Table 4. The percent carbon content among different sections in each age of moso bamboo.

年齡	葉部 (%)	枝部 (%)	稈部 (%)
1	44.44 ± 0.23 ¹⁾	48.69 ± 0.09	49.25 ± 0.13
2	44.61 ± 0.01	48.59 ± 0.05	49.38 ± 0.18
3	45.54 ± 0.12	49.72 ± 0.11	49.76 ± 0.06
4	44.27 ± 0.08	50.13 ± 0.05	49.28 ± 0.03
5	44.78 ± 0.09	49.32 ± 0.04	49.49 ± 0.09

¹⁾ 平均值 ± 標準差

的PCC為最低，其值介於44.27-45.54%；其次為枝部，其值介於48.59-50.13%；最高者為稈部，49.59-49.76%，唯在4年生之枝部的PCC較稈部為高。

(四) 孟宗竹之生物量及碳貯存量

應用表3之推估模式推估林分之地上部生物量，再將各部位所得之生物量換算為碳貯存量（各部位之碳貯存量=各部位之生物量×PCC），所得之結果如表5所示。

表5. 不同經營強度林分生物量及碳貯存量

Table 5. Aboveground biomass and carbon storage of different management intensities.

項目 代碼	集約經營			粗放經營		
	IMa	IMb	IMc	EMa	EMb	EMc
生物量 (Mg ha ⁻¹)	62.0±12.9	79.9±18.5	124.3±34.8	43.7±9.7	38.6±19.4	47.1±17.9
碳貯存量 (Mg ha ⁻¹)	30.5±6.3	39.2±9.1	61.1±17.1	21.5±4.8	19.0±9.5	23.2±8.8

在地上部生物量方面，集約經營和粗放經營林分別為62.0-124.3 Mg ha⁻¹和38.6-47.1 Mg ha⁻¹，集約經營林分明顯著高於粗放經營林分。地上部碳貯存量的趨勢和生物量相同，集約經營和粗放經營林分粗放分別為30.5-61.1 Mg ha⁻¹和19.0-23.2 Mg ha⁻¹，由此結果亦可得知集約經營之孟宗竹林具有較高的生物量和碳貯存量。

四、討論

傳統的竹林經營著重於經濟性的生產，以竹材及竹筍為主要的經營目標 (林文鎮、江濤，1963；呂錦明等，1982；李久先，1983；高毓斌，1987；顏添明等2003a；2003b；Lin, 2011)。隨著臺灣經濟發展、工資上揚及竹類相關替代品的產生，整個竹產業逐漸勢微 (顏添明，2011；Lin, 2011)。近年來由於國際間重視碳吸存的議題，竹林因生長快速具有高碳吸存的潛力，竹林之碳吸存能力之評估也變得相當重要 (Yen *et al.*, 2010; Yen and Lee, 2011)。

以林分為單元之生物量或碳貯量評估方式，大都先以分層取樣的方式進行取樣，之後建立DBH與相關屬性 (樹高、生物量或碳貯存量) 的關係式，將該模式應用於於全林之推估，以求得生物量與碳貯存量，此方法已被廣應用於人工林及竹林之推估 (Zianis and Mencuccini, 2004; Zianis, 2008; 王仁等，2009；陳財輝等，2009；Yen *et al.*, 2010；孫正華、顏添明，2011；孫正華等，2011)。本研究採

用兩種allometric模式進行建立DBH與生物量之關係式，兩種推估模式之效果皆呈現良好 (有高的R²及小的RMSE)，其中稈部的效果較佳 (R²較高)，葉及枝部次之，此結果顯示孟宗竹之稈部生物量與DBH之相關性較高，過去竹類的相關研究亦曾發現此現象 (e.g., 高毓斌，1985；游麗玉，1995；紀怡嘉，2008；Yen *et al.*, 2010)。由於地上部生物量是葉、枝及稈部的合計，而稈部佔地上部的主要部份，所以模式的推估地上部生物量的整體效果和稈部相近似。此外，在兩種推估模式的效果比較上，加入稈高為自變數後對推估效果有稍微的提昇，但對於推估能力的提昇仍屬有限，所以在一般竹類的推估模式仍僅以DBH為自變數，不將稈高因子納入 (Yen *et al.*, 2010；孫正華、顏添明，2011；孫正華等，2011)。

在PCC上，本研所得之結果以葉部之PCC為最低 (44.27-45.54%)；其次為枝部 (48.59-50.13%)；最高者為稈部 (49.59-49.76%)。其中葉部的PCC明顯地低於枝及稈部，此結果和王仁等 (2009) 調查惠蓀林場和石棹地區之孟宗竹相近似，其葉部的PCC明顯較其它部位為低 (惠蓀林場孟宗竹葉部之PCC為45.44%；石棹地區葉部之PCC為45.67%)。本研究進行孟宗竹碳貯存量的推估，係於求得生物量後，再計算各部位PCC，以推估全林之碳貯存量。由回顧過去孟宗竹之文獻發現不同地區竹林碳貯存量之差異頗大，林分之碳貯存量介於19-83 Mg ha⁻¹ (e.g., Isagi *et al.*, 1997; 林益

明、林鵬，1998；周國模、姜培坤，2004；王仁等，2009；Yen *et al.*, 2011)，由於竹林經營受到很多因素的影響，包括經營模式，立地環境等因子，本研究主要係探討經營方式對孟宗竹林生物量及碳貯存量的影響，結果發現集約經營之林分具較高的生物量及碳貯存量，由於碳貯量係由生物量所導出，所以在各林分的變化的趨勢兩者呈現相同。

五、結論

本研究以中部南投地區之孟宗竹林為研究對象，探討集約經營與粗放經營對林分性態值、地上部生物量及碳貯存量之影響。在林分性態值方面，林分之胸高斷面積呈顯著性差異，集約經營高於粗放經營林分。經由DBH所建立之allometric模式推估林分地上部生物量，集約經營高於粗放經營林分。此外在單株層級，不同部位之PCC以稈>枝>葉。最後經由以上關係式推估所得之地上部碳貯存量亦為集約經營高於粗放經營林分。本研究所得之結果可供作為竹林經營與碳吸存關係之參考。

六、謝誌

本計畫承蒙 行政院國科會提供經費補助(100-2313-B-005-018-)，謹致謝忱。

七、引用文獻

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

王義仲 (2006) 竹林生物量調查回顧與展望。森林碳吸存研討會論文集。台北：國立臺灣大學森林學系、行政院農委會林務局。

呂錦明 (2001) 竹林之培育及經營管理。行政院農委會林業試驗所。林業叢刊第135:1-204。

呂錦明、陳財輝 (1992) 桂竹之林分構造及生物量—桶頭—桂竹林分之例。林業試驗所研

究報告季刊7(1):1-13。

呂錦明、劉哲政、林文鎮 (1982) 孟宗竹林分更新及改良栽培實驗(1)—孟宗竹單株立竹之生長特性。林業試驗所研究報告第367號。

李久先 (1983) 桂竹林生長型式之研究。科學發展月刊11(9):861-867。

周國模、姜培坤 (2004) 毛竹林的碳密度和碳貯量及其空間分布。林業科學40(6):20-24。

林文鎮、江濤 (1963) 竹林之經營。中國農村復興聯合委員會。

林益明、林鵬 (1998) 華安縣綠竹林能量的研究。廈門大學學報 37(6): 908-914。

林務局 (1995) 第三次台灣全島森林資源及土地利用調查報告。

紀怡嘉 (2008) 臺灣中部地區桂竹林生物量與碳貯存量之研究。國立中興大學森林學研究所碩士論文。105頁。

胡曉瑯 (2002) 竹山地區孟宗竹林經營成本及其生長之研究。國立中興大學森林所研究所論文。

孫正華、顏添明 (2011) 應用相對關係式推估桂竹及孟宗竹生物量。林業研究季33(3):1-8。

孫正華、顏添明、李久先 (2011) 不同相對關係式推估針葉樹及竹類地上部生物量之比較。林業研究季刊 33(1):1-8。

高毓斌 (1985) 臺灣孟宗竹林之生產力與生物性養分循環。國立臺灣大學森林學研究所博士論文。191頁。

高毓斌 (1987) 桂竹之生長與培育。現代育林 2(2): 54-64。

陳財輝、鍾欣芸、汪大雄、林信輝 (2009) 石門水庫集水區桂竹林之生長及生物量 中華林學季刊 42(4):519-527。

游麗玉 (1995) 惠蓀實驗林場桂竹林生物量與養分聚積。國立中興大學森林學研究所碩士論文。87頁。

劉業經、呂福原、歐辰雄 (1994) 台灣樹木誌。

- 國立中興大學農學院出版委員會。925 頁。
- 顏添明 (2003) 三種生長模式應用於孟宗竹稈高生長之探討。中華林學季刊36(3):285-296。
- 顏添明 (2011) 竹林碳吸存潛力之探討。林業研究專訊18(1):19-22。
- 顏添明、胡曉琅、李久先 (2003a) 竹山地區孟宗竹林竹材之經濟分析。林業研究季刊25(1):25-36。
- 顏添明、胡曉琅、李久先 (2003b) 竹山地區孟宗竹竹筍經營之探討。林業研究季刊25(2):43-54。
- Chen, X., Zhang, X., Zhang, Y., Booth, T., He, X. (2009) Changes of carbon stocks in bamboo stands in China during 100 years. *Forest Ecology and Management* 258: 1489-1496.
- Fu, J. (2000) "Moso Bamboo" in China. *Abs Magazine* 21(6):12-17.
- Gifford, R. M. (2000) Carbon contents of above-ground tissues of forest and woodland trees. National Carbon Accounting System Technical Report no. 22. Australian Greenhouse Office, Canberra, 17 pp.
- Isagi, Y., Kawahara, T., Kamo, K., Ito, H. (1997) Net production and carbon cycling in a bamboo *Phyllostachys pubescens* stand. *Plant Ecology* 130:41-52.
- Kindermann, G.F., I. McCallum, S. Fritz and M. Obersteiner (2008) A global forest growing stock, biomass and carbon map based on FAO statistics. *Silva Fennica* 42(3):387-396.
- Lamolom, S. H. and R. A. Savidge. (2003) A reassessment of carbon in wood: within and between 41 North American species. *Biomass and Bioenergy* 25: 381-388.
- Lin, Y. J. (2011) Review, current status, and prospects of the bamboo industry in Taiwan. *Taiwan Journal Forest Science* 26: 99-111.
- Scurlock, J. M. O., Dayton, D. C., Hames, B. (2000) Bamboo: an overlooked biomass resource? *Biomass and Bioenergy* 19:229-244.
- Shanmughavel, P., Francis K. (1996) Above ground biomass production and nutrient distribution growing bamboo (*Bambusa bambos* (L.) Voss). *Biomass and Bioenergy* 10:383-391.
- Singh, A. N., Singh, J. S. (1999) Biomass, net primary production and impact of bamboo plantation on soil redevelopment in a dry tropical region. *Forest Ecology and Management*, 119:195-207.
- Smith, J. E., L. S. Heath, K. E. Skog and R. A. Birdsey (2006) Methods for calculating forest ecosystem and harvested carbon with standard estimates for forest types of the United States. General Technical Report NE-343. USDA Forest Service, Washington, DC, p. 222.
- Yen, T. M. and J. S. Lee (2011) Comparing aboveground carbon sequestration between moso bamboo (*Phyllostachys heterocycla*) and China fir (*Cunninghamia lanceolata*) forests based on the allometric model. *Forest Ecology and Management* 261:995-1002.
- Yen, T. M., Ji, Y. J., Lee, J. S. (2010) Estimating biomass production and carbon storage for a fast-growing makino bamboo (*Phyllostachys makinoi*) plant based on the diameter distribution model. *Forest Ecology and Management* 260:339-344.
- Yen, T. M., L. M. Ai., C. L. Li., J. S. Lee., and K. L. Huang (2009) Aboveground carbon contents and storage of three major Taiwanese conifer species. *Taiwan Journal of Forest Science* 24(2):91-102.
- Zianis, D. (2008) Predicting mean aboveground

forest biomass and its associated variance. Forest Ecology and Management 256:1400-1407.

Zianis, D. and M. Mencuccini (2004) On

simplifying allometric analyses of forest biomass. Forest Ecology and Management 187:311-332.