

公開  
 不公開

執行機關識別碼：020301e108

# 行政院農業委員會林務局九十三年度科技研究計畫研究報告

資訊庫編號：932446

計畫名稱：**台灣產竹種竹稈生物量與碳蓄積推估 (1)**

計畫編號：**93農科-2.3.1-務-e1(8)**

執行期限：**93年1月1日至93年12月31日**

計畫主持人：**王義仲**

研究人員：**施惠萍、林志欽**

執行機關：**私立中國文化大學**

[摘要]本研究以孟宗竹、桂竹為材料，探討不同竹齡(1-5年生)竹稈之生物量及碳蓄積效益，同時並加以瞭解生立竹之生長特性並分析各竹種之齡級結構，每一竹種設立 $5 \times 5 \text{ m}^2$ 的樣區各10個，進行每木調查並記錄之，每樣區中選1-5年生的竹材各2株伐下以為含水率與密度之測試，由調查資料來計算出材積，由材積來估算出生物量與碳蓄積量。比較同一竹種不同齡級生長量之差異與單位面積生物量在不同竹種的產出，同時亦比較不同竹種之間的差異，研究結果得知孟宗竹每公頃之株數8760株，產出之材積共 $190.3 \text{ m}^3$ ，每年之平均材積約 $38 \text{ m}^3$ ，每公頃林地產生之碳吸存共52.5ton，每年約可吸存10.5ton之碳，桂竹每公頃之株數18,000產出之材積共 $45.5 \text{ m}^3$ 每年之平均材積約 $9.1 \text{ m}^3$ 每公頃林地產生之碳吸存共16.6ton每年約可吸存3.3ton。

【關鍵詞】孟宗竹、桂竹、竹稈、生物量、竹材積、蓄積量。

[Abstract] *Phyllostachys pubescens* and *Phyllostachys makinoi* were selected as experimental materials for investigating benefits of biomass stock and carbon sequestration at bamboo stems of age 1-5. Growth characteristics and age constitution were further analyzed. Ten  $5 \times 5 \text{ m}^2$  experimental plots were set up for each species to examine the diameter at breast height and height of bamboo stem. Two medium growth bamboo of each age (from age 1 to age 5) would be cut down for testing moisture content and basic density so as to estimate biomass stock and carbon sequestration. Growth volume of different ages were also estimated and compared by inventory information. This study attempts to compare the growth volume and carbon sequestration between two bamboo species. Experimental results revealed that the numbers of *Phyllostachys pubescens* and *Phyllostachys makinoi* in a hectare are 8760 and 18,000, volumes of two bamboo species in unit area are  $190.3 \text{ m}^3$  and  $45.5 \text{ m}^3$ , biomass amounts are estimated at 105.1 and 33.2 ton/ha, and the carbon sequestration is 52.5 and 16.6 ton/ha respectively.

【Keywords】*Phyllostachys pubescens*, *Phyllostachys makinoi*, Bamboo stem, Biomass stock, Bamboo volume, Carbon sequestration.

## 一、前言

### (一) 研究背景

氣候變遷與全球暖化問題日趨嚴重，主要肇因於溫室效應。(林青宏，1998)而國際間對於氣候變化所造成大環境產生重大變遷之危機，感到恐慌，因此在1992年在巴西里約熱內盧召開的「地球高峰會」，一百八十多個國家在該會中簽署了「氣候變化綱要」。其內容為原則是希望管制各國在引發溫室效應之氣體排放量，以減少在大氣中累積導致氣候改變。因此為了將氣體排放減量具體化，1997年在日本東京召開氣候變化綱要公約第三次會員國大會中，簽訂了「京都議定書」，其內容規劃了38個工業化國家在2008年至2012年之溫室氣體排放之減量標準。

二氧化碳之議題在國際間已引起各國的重視，而林木之碳吸存能力更受到大眾之肯定；另外各國為了厚植各種工商業活動之基礎，無不開發其他再生能源，並提昇能源效率。因此若能研發出新的再生能源，且又具有對於空氣中之碳有吸存之效果，減少空氣中溫室氣體的含量。而竹子生長快速，成林時間短等特性，是具相當潛力之樹種。由於工業上竹林之採伐已可完全替代木材之所有用途，本研究主要探討竹稈之生物量在單位面積的產量，且竹材若可經各種利用方法的改善達到延長其使用之生命週期，而竹稈之產量大於木材，在保護地球環境之碳減量的議題上應甚具貢獻。

全球竹類1250種。主要分佈地區為亞洲、中美洲及非洲。台灣一地，得天獨厚，溫帶單桿型竹(Hardy running-type)與熱帶叢狀型竹(Tropical clump-type)均可種植(江濤，1971)。而台灣的竹類約18屬，58種，4變種，11栽培種(呂錦明、高毓斌，1993)。主要分佈地區以中部及北部為主，次之為南部，東部甚少。

台灣竹林面積152,300ha，佔全島林地面積之7.2%。在今日之社會林木幾乎皆禁伐之狀況下，由於竹類具有生長快速、輪伐期短等之特性，且生長之生長量大於林木，3~5年即可砍伐，故被大量使用，且伐採竹類較被一般大眾所接受，不論是建築、工藝創作、食用等方面，及有相關之利用，供為建築、家具、器具以及編織、膠合等之工藝用；園藝造景方面，樹形優美，生長快速，被大量使用，筍味美可供食用，亦可供製筍乾或罐頭。故在台灣竹類被使用已有350年之久了；雖然造林面積自129.48ha/Yr(1994年)，已減至39.09ha/Yr(2003年)(林業統計，2004)，不再像以往會大量去造林；但近年來竹類又再一次受到大家的重視，被加工製成竹酢、竹炭等，進而製成洗髮乳、或用來改善淨水質等。

竹林之林分構成，與其他樹種所構成林分之最大不同點，是在：縱使其為人工林，於成林之後，即成為由不同齡級立竹所構成之異齡林，故碳生物量之推算方法，亦應有別於一般人工林之推算方式(呂錦明、陳財輝，1992)。本研究之主要目的，主要是在探討桂竹現存林林分之生長特性，利用含水率、比重之估算與材積之估算，來推估林分之生物量及竹齡與材積之相關性，分析其林分之生物

量及碳蓄積量之數據，作為未來生態材料推廣之用。

## 二、材料與方法

探討桂竹(*Phyllostachys makinoi*)與孟宗竹(*Phyllostachys pubescens*)不同年齡(1-5年生)之單位面積生長量，由生長量換算成碳積存量，並比較各值，主要之研究方法如下：

### (一) 試驗地之概況

本試驗地於雲林縣古坑鄉草嶺村一帶，桂竹採於於北緯 23°3，東經 120°4，之處，本試驗地海拔高約 874m，年雨量 1981.9mm，年均溫 22.6°C，平均相對溼度 82%孟宗竹產於北緯 23°36'，東經 120°41'，海拔高度約在 1032 公尺~1090 公尺間，年雨量約為 1981.9mm，平均相對濕度約為 82%，年均溫 22.6 度，主要地被植物為竹葉草、姑婆芋、長梗紫芋麻、雞屎藤等..。詳見表 1。

表 1、日月潭氣象站氣候統計資料 (1971/01~2004/08)

Table : Climate information of experimental site.

日期(月)	平均氣溫 (°C)	最高氣溫 (°C)	最低氣溫 (°C)	降雨量 (mm)	降雨日數 (天)	相對濕度 (%)
一月	14.0	23.4	7.9	52.0	8	76
二月	15.3	24.2	9.0	40.3	5	78
三月	16.8	26.1	10.2	81.8	10	81
四月	19.5	27.8	14.1	145.2	13	83
五月	21.3	28.8	16.6	269.4	17	84
六月	22.2	30.1	18.4	326.6	20	85
七月	24.0	30.6	18.8	492.8	19	85
八月	22.8	29.9	18.8	329.9	19	86
九月	21.8	28.5	18.0	152.2	13	85
十月	20.4	27.3	16.1	40.1	7	83
十一月	18.0	26.2	11.4	15.9	4	79
十二月	15.3	24.3	8.9	35.7	6	76
合計	22.6	27.3	14.0	1981.9	140	82

### (二) 試驗材料

桂竹隸屬竹亞科(*Bambusoideae*)之毛竹屬(*Phyllostachys*)，為本省固有種，地下莖呈橫走側出，大部分為實心，屬單稈散生型之竹類；稈高 6~16m，胸徑 2~10cm；竹籜表面及邊緣均無毛；出筍期 3~5 月。分佈在海拔 10~1,550 處(林

維治，1961)。

孟宗竹隸屬竹亞科(*Gramineae*)之孟宗竹屬 (*Phyllostachys*)地下莖單稈散生，桿高約6~16公尺，直徑2~12公分，稈籜格質，淺褐色且具深褐色斑紋，全圓無毛，引進種，廣泛栽植於全島中低海拔地區，竹筍可食。本研究之竹材量測與伐採季節為7~8月間進行。

### (三) 試驗方法

#### 1. 樣區之設定

孟宗與桂竹屬地下莖橫走，單稈散生型，由於試驗地為山坡地，地貌差異大，若樣區設置過大，則生立木差異會越明顯，影響試驗之因素也會變多，故本試驗以5m×5m作為樣區設置之大小，共設置10個樣區供日後計算之用，並避開竹林內小徑易達到之林份，進行每木調查並紀錄其DBH，而各樣區間距離間隔需達20公尺以上，以減少試驗誤差。

#### 2. 伐採樣株之選擇

伐採樣竹將其年齡分成一至五年生，依各個齡級，隨機選取每一齡級各2株，進行試驗，合計孟宗竹與桂竹各取100株。

而樣竹齡級之判定方法是根據下列主要特徵來判定之。(林維治，1961)

(1) 一年生幼稈基部之籜當年縮存；而隨著年齡而萎縮腐爛。

(2) 稈幼年時粉綠，後變深綠，老時黃綠色或棕綠色。

(3) 竹節下部幼年環生白色粉末，隨著時間變淡而漸漸消失。

(4) 頂部枝葉生長之狀況，幼桿枝葉未完全展開，隨著時間漸漸伸展開，至4-5年生後竹葉漸漸凋落，剩下枝條。

(5) 幼稈附生之苔蘚或黴菌較少，表面較光滑；而老桿之附生之苔蘚或黴菌較多，表面較粗糙。

#### 3. 樣竹之處理

樣竹選定後，隨即自根部將樣竹伐除，留下主稈並量取竹高，再依竹高鋸切成4等份長，分別記錄每段樣竹之重量及直徑(含外徑及稈厚)，而直徑的量測則以首末段之平均。再自每段樣竹之基部切下10公分長之竹材，並記錄下其稈厚、鮮重及直徑，以作為後續測定分析之用。

#### 4. 樣竹之分析與計算

各節樣竹切鋸下記錄後，將樣竹陰乾，後置入實驗室之烘箱內(105±1°C)至恆量止，並紀錄絕乾重。

##### (1) 比重之計算

最大含水率比重：以下式計算，主要原因系本法與絕乾密度相關性高，且本法方便又快速，同時準確性高。

$$Rm = \frac{1}{(Wg - Wo / Wo) + (1 / Rh)}$$

Rm：竹材最大含水率法比重

Wg：試材之生材質量

Wo：試材之絕乾質量

Rh：試材之真比重(1.5)

(2) 含水率之計算

利用絕乾含水率法來估算求得竹稈之含水率(u)。

$$\text{含水率 } u (\%) = (Wg - Wo) / Wo \times 100$$

Wg：試材之生材質量

Wo：試材之絕乾質量

(3) 材積之估算

$$V = (D^2 - d^2) / 4 \times \pi \times L$$

由竹齡與材積間估算出迴歸式，再以迴歸式去估算全林材積。

D：首末平均外徑

d：首末平均內徑

L：樣竹的長度

(4) 碳蓄積量之估算

利用下列的運算式推算之：

$$C_{\text{bamboo}} = V_{\text{culm/ha}} \times V_w \times C_{\text{con}}$$

Cbamboo：竹林每公頃碳吸存量

Vculm/ha：每公頃竹稈之材積

Vw：質量與材積之轉換係數

Ccon：碳含量轉換係數

### 三、結果與討論

#### (I) 試驗竹之直徑、高度與齡級結構

表 2、試驗竹之平均高度與直徑

Table 2 : The mean height and diameter of experimental bamboo at different ages.

Age (year)	<i>P. pubescens</i>		<i>P. makinoi</i>	
	Height (m)	Diameter (cm)	Height (m)	Diameter (cm)
1	11.9	7.96	8.8	4.02
2	12.0	8.25	10	4.53
3	12.4	8.19	9.3	4.30
4	12.8	8.50	9.7	4.44
5	12.2	7.82	9.6	4.40

本研究之孟宗竹與桂竹平均高度與直徑如表 2 所列，孟宗竹之高度與直徑似有隨著 1-4 年生時逐漸增大，第 5 年生時又稍減小，如高度由 11.9m 增加至 12.8m，直徑則由 7.96 cm 增大至 8.50 cm，第 5 年生時又降為 7.82 cm。桂竹所得

之變化趨勢與孟宗竹相似，5年生時呈稍下降的情況，造成研究的二竹種在五年生時不論高度或直徑皆減小的情況可能係留存之竹木的含水率減少，造成竹高度彎曲且下降，本研究之樣區皆經人為撫育每年將所需之目的竹種伐採，此一研究的結果與麻竹相似（王義仲，2004）。胸徑之逐年增加，可反映出竹叢地下莖趨於發達，竹類在幼竹生成之際，生長所需養份主要由儲存在地下莖者供應，稈基越肥大，著生之筍芽越飽滿，所生成之新竹自然成稈粗高。當地下莖之活力趨於老化，無發筍能力亦為腐朽之稈基，充斥於地中之生育空間時，新竹之生長可能將呈衰退（高毓斌，1991）。竹徑的大小亦與株樹有關，當單位面積之株樹越多時，則竹徑會較小（呂錦明、陳財輝，1992）。新竹自出筍後其胸徑仍越趨於固定，隨著年份之增加，則因失水情形，至第5年後胸徑成下降的情形，孟宗竹下降之情形最明顯，由此推估孟宗竹老化的情形較桂竹為甚。另一個造成5年生的竹子高度下降可能係由於含水率減少以致於造成頂部稍乾枯成斷枝之現象。

孟宗竹之年齡結構百分比列於表3中，由表中可看出年齡結構隨著竹齡的增加而比例增多，由1年生佔11.3%增至5年生的35.8%，桂竹之變化情形由1

表3、樣區中孟宗竹竹齡結構百分比

Table3: Age constitution of ten experiment plots for *Phyllostachys pubescens*. (%)

Age (Year)	Experimental plot										Average
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	6.9	9.7	11.1	7.4	13.3	17.4	13.6	12.5	11.8	9.5	11.3
2	10.3	9.7	16.7	7.4	6.7	8.7	13.6	12.5	11.8	33.3	13.1
3	20.7	16.1	22.2	14.8	13.3	8.7	27.3	25.0	11.8	9.5	16.9
4	24.1	9.7	27.8	25.9	20.0	26.1	22.7	31.3	17.7	23.8	22.9
5	37.9	54.8	22.2	44.4	46.7	39.1	22.7	18.8	47.1	23.8	35.8

年生所佔比例7.4%逐漸增加比例至5年生之49.9%，詳如表4所列，桂竹的情形與孟宗竹稍有不同，桂竹主要以採筍為主，故幼年生的比例最低，即大部分新產出的竹筍被採伐了，留下較多比例較高齡級的竹稈主要係供做母竹，這些地下莖在來年會產出更多新竹。孟宗竹則可供應在建築或傢俱等工業用途上故，最佳之利用齡級係3-5年生，故此一齡級的比例較少，齡級結構將隨著對此竹林利用方式的不同而改變，或由齡級的結構可判斷出本林地之利用方式。

表 4、樣區中桂竹竹齡結構百分比

Table4 : Age constitution of ten experiment plots for *Phyllostachys makinoi*.  
(%)

Age (Year)	Experimental plot										Average
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	3.5	2.9	13.3	11.9	8.2	9.1	5.6	10.8	4.4	4.1	7.4
2	6.9	20.6	13.3	19.1	18.0	6.1	11.1	5.4	13.3	9.5	12.3
3	13.8	20.6	6.7	19.1	18.0	6.1	19.4	21.6	8.9	17.6	15.2
4	20.7	8.8	13.3	11.9	19.7	6.1	16.7	18.9	22.2	13.5	15.2
5	55.2	47.1	53.3	38.1	36.1	72.7	47.2	43.2	51.1	55.4	49.9

(II) 密度與含水量

表 5、不同齡級與高度竹材密度之變化

Table5 : The variation of bamboo density at different heights and ages.  
(g/cm<sup>3</sup>)

Height	<i>P. pubescens</i> Age(year)					<i>P. makinoi</i> Age(year)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0/4H	0.46	0.53	0.56	0.63	0.64	0.51	0.65	0.69	0.74	0.71
1/4H	0.51	0.60	0.65	0.69	0.70	0.54	0.70	0.72	0.73	0.75
2/4H	0.57	0.70	0.76	0.75	0.79	0.55	0.75	0.76	0.77	0.81
3/4H	0.69	0.82	0.68	0.91	0.85	0.55	0.84	0.80	0.84	0.87
Average	0.56	0.66	0.66	0.74	0.75	0.54	0.74	0.74	0.77	0.78

本研究不同齡級及不同高度之密度變化如表 5 所列，孟宗竹之變化情形皆以基部之密度最小逐漸增大至梢部，如 5 年生係由基部的 0.64g/cm<sup>3</sup> 增大至梢部 (3/4H) 之 0.85 g/cm<sup>3</sup>，造成此現象係由於愈上部之支持性細胞較多，為使竹稈抵抗外力之侵襲，故造成上方的密度大。不同竹齡的變異情形則由一年生的 0.56 g/cm<sup>3</sup> 逐漸增大至 5 年生的 0.75 g/cm<sup>3</sup>，造成此一現象之原因根據 Weiner & Liese (1990) 之研究認為竹齡愈大則纖維細胞 (fiber cell) 之壁層有加厚的現象，即當細胞壁層加厚即會增加單位容積的重量故密度增加，桂竹之變化趨勢則與孟宗竹相同，如 5 年生由基部 (0/4H) 之 0.71 g/cm<sup>3</sup> 增加至梢部 (3/4H) 之 0.87 g/cm<sup>3</sup>，不同齡級的變化由 1 年生之 0.54 g/cm<sup>3</sup> 增大至 5 年生的 0.78 g/cm<sup>3</sup>，桂竹之平均密度 0.71 g/cm<sup>3</sup> 稍高於孟宗竹之平均 0.67 g/cm<sup>3</sup>。



表 6、不同齡級單竹各高度含水率之變化

Table 6: The variation of moisture content of bamboo culms at different heights and ages. (%)

Height	<i>P. pubescens</i> Age(year)					<i>P. makinoi</i> Age(year)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0/4H	157	126	119	99	92	131	88	80	74	72
1/4H	136	106	94	84	77	122	78	73	73	68
2/4H	114	82	77	71	63	122	67	67	68	60
3/4H	84	57	57	51	52	125	54	59	57	53
Average	123	93	87	76	71	125.3	71.8	69.9	67.9	63.2

含水率在各不同高度與不同齡級的變化情形如表 6 所示，不同高度的變化情形顯見皆由基部之值最大，急速的遞減至梢部，如孟宗竹之 1 年生的基部 157%，梢部即減為 84%，此一現象若配合上述密度的變化可明瞭產生之原因，基部之厚壁細胞較少，主司生理作用的薄壁細胞多，且含有較多量的水份，造成基部的含水率較高，愈往梢部則纖維細胞的比例多，細胞壁厚，故密度較大含水率較少。不同齡的變化則由 1 年生開始遞減至 5 年生，孟宗竹由 123%，下降至 5 年生之 71%，桂竹則由 1 年生的 125% 下降至 5 年生的 63%，此一現象係由於新竹形成時，木質化程度較低，竹材之早成木質部導管 (protoxylem vessel) 尚擔負著輸水功能，生理作用的薄壁細胞數量多故含水率增加，隨著竹齡增加，晚成木質部導管 (metaxylem vessel) 取代早成木質部導管的輸水功能，纖維細胞的增加擴張其細胞壁壓縮且減少了薄壁細胞之量，故含水率即因此減少。伐採竹材之含水率受竹齡、部位及伐採季節的影響甚大 (謝榮生, 1997; Embaye et al., 2003; Veblen et al., 1980)，由於計算生物量之獲得須將含水率扣除，故不同部位含水率的測試在進行生物量估算上甚為重要。

### (III) 材積

竹子屬單子葉植物，型態上屬中空有節，要實測體積實屬不易，本研究二竹種以取自 10 個樣區不同竹齡的樣竹各 100 株來進行材積估算，計算的方法即將竹桿分成四等份，每份竹桿皆量測首末端的外徑與首末端內徑，經濟算外桿的體積減去內徑的體積加總四個高度即可得到單桿之材積，習慣上才基的單位  $m^3$ ，但本研究所取樣之部分所得的結果較小，故以  $cm^3$  為單位，待估算全林材積時在以  $m^3$  為單位，將各齡級單桿之材積求出二者之關係式，可得  $V=A^n$  之迴歸式 (式中  $V$  為材積， $A$  為竹齡)，再以此迴歸式計算全林之材積，所得之結果列於表 7 中，

表 7、不同齡級單竹稈各高度材積之變異

Table7 ; The variation of bamboo volume at different heights and ages.

Height	(cm <sup>3</sup> )									
	<i>P. pubescens</i>					<i>P. makinoi</i>				
	Age(year)					Age(year)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0/4H	4507	5611	4958	5407	5213	1079	1353	1207	1247	1221
1/4H	2083	2193	2376	2501	2257	576	733	678	700	703
2/4H	1019	866	1105	1270	1147	373	490	413	431	416
3/4H	278	204	312	349	318	163	194	181	178	186
Total	7887	8874	8751	9527	8935	2190	2771	2479	2556	2525

由表中可知不同高度的變化情形則由基部往梢部急速的減少其材積，如孟宗竹 1 年生由基部的 4507 cm<sup>3</sup> 減少至梢部的 278 cm<sup>3</sup>，桂竹亦有相同的變化趨勢由 1 年生的基部 1079 cm<sup>3</sup>，減至梢部的 163 cm<sup>3</sup>，變化的幅度相當大。

不同齡級的變化情形亦如表 7 所示，孟宗竹與桂竹皆隨竹齡的增加增大材積，孟宗竹的 1 年生材積 7887 cm<sup>3</sup>，增大致 4 年生的 9527 cm<sup>3</sup>，5 年生則稍降為 8935 cm<sup>3</sup>，桂竹則由 1 年生的 2190 cm<sup>3</sup> 增大至 4 年生的 2556 cm<sup>3</sup>，5 年生稍降為 2525 cm<sup>3</sup>，雖然竹子的高生長在 3 個月即停止，但隨著竹齡的增加，細胞的增厚與直徑的稍加大，皆造成竹材積之增大，Shamnughavel & Francis (1996) 的研究針對 *Bambusa bambos* 研究 8 年生之竹稈，平均值徑 8.3 cm，平均高度 4250 株，所得之材積可達 218m<sup>3</sup>/ha，平均每年所產生之材積約 27 m<sup>3</sup>/ha，此值雖較一般林木高出甚多，其實此材積之生產尚比本研究之孟宗竹 5 年共 190.3 m<sup>3</sup>/ha，平均每年產生之材積 38 m<sup>3</sup>/ha 低，顯見竹子其實頗具栽植潛力，只是長久以來由於量測不易且產生誤差，故材積的產量較少被加以論述。

(IV) 生物量與含碳量

表 8、不同齡級單竹稈各高度生物量之變化

Table8 : The variation of biomass stock at different heights and ages.

Height	(kg)									
	<i>P. pubescens</i>					<i>P. makinoi</i>				
	Age(year)					Age(year)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0/4H	2.09	2.99	2.80	3.41	2.72	0.56	0.89	0.83	0.92	0.90
1/4H	1.07	1.31	1.55	1.72	1.59	0.31	0.51	0.50	0.51	0.53
2/4H	0.58	0.60	0.84	0.95	0.90	0.21	0.37	0.32	0.33	0.33
3/4H	0.19	0.17	0.21	0.32	0.27	0.09	0.16	0.15	0.15	0.16
Total	3.94	5.07	5.39	6.40	5.47	1.18	1.94	1.79	1.92	1.92

本研究之生物量計算，即在樣區中針對所採之 200 株樣竹加以分別量測每竹四高度之重量 (0/4H、1/4H、2/4H、3/4H)，經由計算考量表 6 之含水率加以扣除即得到生物量之變異情形，結果如表 8，生物量與材積二者間應具有甚高的關聯性，孟宗竹及桂竹皆有相同的變異趨勢，即由基部的最大值往梢部減小，且二者之差距懸殊，會產生此一差異主要係由於細胞壁之量所造成，雖然梢部的密度高但量少，如孟宗竹 1 年生之基部達 2.09 kg，最上段之梢部僅 0.19 kg，桂竹 1 年生則由 0.56 kg 下降至梢部的 0.09 kg。不同年齡之變化差異由 1 年生逐漸增加至 4 年生再稍降至 5 年生，孟宗竹與桂竹之變化情形皆相似，孟宗竹由 1 年生之 3.94 kg 增至 4 年生之 6.40 kg 在稍降至 5 年生之 5.47 kg，桂竹由 1.18 kg 增至 1.92 kg，產生此一現象之原因乃由於新竹初形成，木質化的程度較低故材質較軟，在長出新葉以進行光合作用後光合作用產物由枝條及稈部向下輸送，移轉並儲存地下莖，在此過程中部分碳水化合物將轉化為細胞壁之組成物質，漸聚於細胞壁，使木質部之乾重因竹齡增加而趨大 (高毓斌、張添榮, 1989, 高毓斌, 1991, 游麗玉, 1995)，另外 Weiner & Liese (1990) 指出在竹材中之細胞成熟過程產生細胞層增加，其中尤以纖維細胞的壁層增加最明顯，竹材並無二次的增厚生長 (secondary thickening growth)，因此生物量的增加由直徑加大並不若增厚細胞壁層明顯。

將竹材之年齡 (A) 與生物量 (B) 在調查中所得之值經迴歸分析則可知二者間呈顯著的相關性，再以上列所得之迴歸式來估算生物量，則孟宗竹所得之生物量 5 年生共 105.1ton，桂竹則為 33.3ton，若以此值比較國內外研究所得之結果，如 Veblen et al.(1970) 針對智利產專門用在建築上之實心竹種 *Chusquea culeou* 其稈重每公頃可達 130ton，另針對同屬另一竹種的研究僅達 9.4ton，而 Isagi et al. (1997) 針對孟宗竹的研究每公頃達 116.5ton，顯然竹種間會產生變異，其原因除了竹種的差異外，尚受生長環境的影響，亦即竹材對環境敏感度大，不同環境影響竹材之產量。

表 9、不同齡級單竹稈高度含碳量之變化

Table9: The variation of carbon sequestration at different heights and ages. (kg)

Height	<i>P. pubescens</i> Age(year)					<i>P. makinoi</i> Age(year)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0/4H	1.01	1.54	1.36	1.66	1.32	0.27	0.43	0.40	0.45	0.44
1/4H	0.52	0.64	0.75	0.83	0.77	0.15	0.25	0.24	0.25	0.26
2/4H	0.28	0.29	0.41	0.46	0.44	0.10	0.18	0.16	0.16	0.16
3/4H	0.10	0.07	0.10	0.16	0.13	0.05	0.08	0.07	0.08	0.08
Total	1.90	2.46	2.62	3.11	2.66	0.57	0.84	0.87	0.94	0.94

由於竹材中的成份 48.54% 係由碳 (carbon) 所組成 (Isagi et al., 1997), 以此值將生物量轉換為碳量, 則可得到不同竹齡與部位之含碳量變化, 如表 9 所示, 不同部位之變化情形仍由基部最大值往梢部遞減, 二竹種皆有相似的變化情形。孟宗竹則由 1 年生之 1.90 kg 增至 4 年生的 3.11 kg, 再稍減至 5 年生的 2.66 kg, 桂竹則由第 1 年生之 0.57 kg 增加至第 4 年與第 5 年之 0.94 kg, 孟宗竹中所含之碳量平均單稈 2.56 kg, 桂竹之單稈 0.83 kg, 顯然孟宗竹之含碳量較桂竹高了 3.1 倍, 若以碳蓄積的觀點則栽種孟宗竹對大氣中二氧化碳減量的效益是較佳的。

表 10、每公頃孟宗竹林所得之生物量、材積與含碳量

Table 10: Number, volume, biomass stock and carbon sequestration of bamboo culm in one hectare.

	Number (No./ha)	volume (m <sup>3</sup> /ha)	Biomass stock (ton/ha)	Carbon sequestration (ton/ha)
<i>P. pubescens</i>	8760	190.3	105.1	51.0
<i>P. makinoi</i>	18000	45.5	33.3	16.2

本研究由樣區推算所得之竹林密度, 即每公頃之株樹孟宗竹平均為 8760 株, 桂竹之平均株樹 18000 株, 詳如表 10 所列, 由所有株樹再分別計算各齡級所佔株數, 由迴歸式所得之單竹材積來估算出竹林的材積孟宗竹共 190.3m<sup>3</sup>, 本樣區為 5 年生, 故每年之平均材積將可達 38.1m<sup>3</sup>, 桂竹所得之總材積 45.5 m<sup>3</sup>, 每年之平均生長材積 9.1m<sup>3</sup>, 此一生長之材積與林木比較, 如台灣產針潤葉樹混合之平均材積生長量每年每公頃 4-8m<sup>3</sup>(王義仲, 2002), 桂竹之產量約為林木之 1-2 倍, 孟宗竹則約為林木生長的 5-10 倍, 若以環境保護的觀點來看, 竹林的種植伐採將可替代木材, 生物量亦比木材高出甚多, 孟宗竹 105.1ton, 桂竹 33.3ton, 碳蓄積的推估孟宗竹每公頃產生 51.0ton 的量, 桂竹則產出 16.2ton 的碳蓄積。

#### 四、結論

本研究以孟宗竹、桂竹為材料, 探討不同竹齡(1-5 年生)竹稈之生物量及碳蓄積效益, 同時並加以瞭解生立竹之生長特性並分析各竹種之齡級結構, 研究結果得知孟宗竹與桂竹之竹齡皆以 5 年生為最高, 此與利用伐採方式有關, 隨著竹高度的增加其含水率、材積、生物量及含碳量逐漸下降; 而材積、生物量及含碳量則隨竹齡增加上升, 含水率則因失水逐年下降, 最後推估出孟宗竹每公頃之株數 8760 株, 產出之材積共 190.3 m<sup>3</sup>, 每年之平均材積約 38.1 m<sup>3</sup>, 每公頃林地產生之碳吸存共 51.0ton, 每年約可吸存 10.5ton 之碳, 桂竹每公頃之株數 18,000, 產出之材積共 45.5 m<sup>3</sup>, 每年之平均材積約 9.1 m<sup>3</sup>, 每公頃林地產生之碳吸存共 16.2ton, 每年約可吸存 3.3ton。

## 五、參考文獻

1. 王義仲(2004)麻竹桿之生物量與碳蓄積量推估。林產工業 23(1)：11-20。
2. 王義仲(2002)林木對碳吸存效益評估。華岡農科學報 No.10：53-68。
3. 王義仲(1997)評估台灣產竹種之工藝利用價值(I)。林產工業 16(3)：363-374。
4. 台灣地區林業統計—中華民國 92 年年報(2004)。行政院農業委員會林務局。pp.32-33。
5. 江濤(1982)懷念馬來農村湯波浪。竹書。豐年叢書 HV# 821。pp.78-89。
6. 江濤(1974)竹類植物分類之研究。台灣竹類研究之發展。農復會特刊新十二號。pp.5-14。
7. 江濤(1971)台灣之竹類資源及其經營。中華林學季刊 4(4)：97-107。
8. 林青宏(1998)製程產業二氧化碳減量措施多目標規劃模式之建立。國立成功大學資源工程研究所碩士論文。61pp。
9. 李久先(1983)桂竹生長型式之研究。科學發展月刊 11(9)：861-867。
10. 李久先(1977)桂竹林施業に関する研究。日本東京大學林學研究所博士論文。345pp。
11. 呂錦明、高毓斌(1993)竹類栽培。中華民國台灣森林志。中華林學叢書 936 號。pp.374-387。
12. 呂錦明、陳財輝(1992)桂竹之林分構造及生物量—桶頭一桂竹林分之例。林業試驗所研究報告季刊 7(1)1-13。
13. 林維治(1996)林維治竹類論文集。林業叢刊第 69 號。台灣省林業試驗所。P.135。
14. 林維治(1982)竹之地理分佈。竹書。豐年叢書 HV# 821。pp.12-39。
15. 高毓斌(1991)巨竹與馬來麻竹物質產生之比較研究。林業試驗所研究報告季刊 6(3)：249-282。
16. 高毓斌、張添榮(1989)馬來麻竹人工林之生長與生物量生產量。林業試驗所研究報告季刊 4(1)：31-42。
17. 高毓斌(1979)孟宗竹林地之地上部生物量、淨生產量及氮積聚。國立台灣大學森林研究所碩士論文。121 頁。
18. 陳明義(1982)台灣民間竹藝品。竹書。豐年叢書 HV# 821。pp.142-189。
19. 蔡丕勳(1992)參加「聯合國環境與發展會議」紀要與感想。台灣林業 18(9)：2-6。
20. 劉宣誠、任憶安(1971)台灣主要竹林生育地與生長之研究(一)—桂竹。中華林學季刊 5(1)：18-26。
21. 潘富俊(2000)樹木學(下冊)。pp. 869-880。源。現代育林 14(2)：59-61。
22. 程連瑞(1968)桂竹林更新試驗。中華林學季刊 1(2)：146-159。
23. 游麗玉(1995)蕙蓀實驗林場桂竹林生物量與養分積聚。國立中興大學森林研究所碩士論文。79pp。

24. 謝榮生 (1997) 台灣與中國大陸竹材生產與利用。吳教授順昭榮退紀念論文集 pp.161-172。
25. Christanty, L., D. Maily and J. P. Kimmins (1996) Without bamboo, the land dies“ : Biomass, litterfall, and soil organic matter dynamics of a Javanese bamboo talon-kebun system”, *Forest Ecology and Management* 87 (1-3) : 75-88.
26. Embaye, K., L. Christersson, S. Ledin and M. Weith (2003) Bamboo as bioresources in Ethiopia : management strategy to improve seedling performance, *Bioresources Technology* 88 (1) : 33-39.
27. Hunter, I. R. and J. Wu (2003) Bamboo biomass, An INBAR Working Paper, 10pp.
28. Filho, P. A. and O. Badr (2003) Biomass resources for energy in North-Eastern Brazil, *Applied Energy* 77 (1) : 51-67.
29. Isagi, Y., T. Kawahara, K. Kamo and H. Ito (1997) Net production and carbon cycling in a bamboo *Phyllostachys pubescens* stand. *Plant Ecology* 130 (1) : 41-52.
30. Janssen, J. J. A. (1988) The importance of bamboo as a building materials, *Bamboo Current Research, Proceeding of the Intl'l Bamboo Workshop*, pp.235-241.
31. Lin, Y., H. Li, X. Xiao, Z. Ma (2000) Biomass structure and energy distribution of *Dendrocalamus latiforus* Munro population. *Journal of Bamboo Research*. 19 (4) : 36-41.
32. Lin, Y., P. Lin and W. Wen (1998) Studies on dynamics of carbon and nitrogen elements in *Dendrocalamopsis oldhami* forest, *Journal of Bamboo Research* 17 (4) : 25-30.
33. Okubo, K., T. Fujii and Y. Yamamoto (2003) Development of bamboo-based polymer composites and their mechanical properties, *Applied Science and Manufacturing* 20 : 65-72.
34. Scurlock , J. M. O., D. C. Dayton and B. Hames (2000) Bamboo : an overlook biomass resources? *Biomass and Bioenergy* 19 (4) : 229-244.
35. Shamnughavel, P. and K. Francis (1996) Biomass and nutrient cycling in bamboo (*Bambusa bambos*) plantation of tropical area. *Biology and Fertility of Soils*, 23 (4) : 431-434.
36. Veblen, T. T., F. M. Schlegel and B. R. Escobar (1980) Dry matter production of two species of bamboo (*Chusquea culeou* and *C. tenuiflora*) in south Central Chile. *Journal of Ecology* 68 : 397-404.
37. Weiner, G. and W. Liese (1990) Rattan stem anatomy and taxonomic implication. *IAWA Bulletin* 11 (1) : 61-70.

38. Zhou, S. and J. Huang (1997) A study on the clonal population biomass of young *Bashania fangi* after natural regeneration. Journal of Bamboo Research.16 (2) : 35-39.