

行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列

# 桂竹林經營作業法對林分動態變化 之研究



委託機關：林務局新竹林區管理處

執行機關：國立中興大學森林學系

中華民國 一〇二 年 十二 月

## 目 錄

一、計畫緣由.....	1
二、文獻回顧.....	3
三、計畫目標.....	11
四、重要工作項目 .....	12
五、計畫執行程序 .....	13
六、研究項目及方法 .....	15
七、結果與討論 .....	22
八、結論與建議 .....	50
九、研究團隊說明 .....	53
十、參考文獻.....	53
附錄.....	59

## 圖目錄

圖 1. 桂竹林經營作業法對林分動態變化之研究架構圖 .....	14
圖 2. 研究區域位置 .....	15
圖 3. 司馬庫斯地區之氣候資料 .....	16
圖 4. 桂竹不同年齡之外觀 .....	18
圖 5. 不同年齡之桂竹外觀(紀怡嘉, 2008).....	19
圖 6. 生物量之測定(A)自基部伐採樣竹(B)樣竹搬置空地以便量取各部位 鮮重(C)量取樣竹各部位之鮮重(D)量取稈外徑及稈厚.....	20
圖 7. 1-12 樣區之林分結構圖 .....	27
圖 8. 竹稈分段示意圖 .....	29
圖 9. 各齡級桂竹於各部位生物量所佔比例 .....	31
圖 10. 全樣木桂竹之葉部(A)、枝部(B)、稈部(C)生物量與胸徑之相對生長 關係式.....	32
圖 11. 全樣木桂竹之葉部(A)、枝部(B)、稈部(C)及全株(D)碳含量與胸徑 之相對生長關係式.....	37
圖 12. 帶狀擇伐樣區之新竹生長情況.....	40
圖 13. 地表土壤沖蝕調查之示意圖 .....	43
圖 14. 2012-2013 年經不同處理後之土壤沖蝕表現 .....	43
圖 15. 本試驗各處理樣區之土壤水入滲速率 .....	45
圖 16. 土壤入滲速率調查之示意圖 .....	46
圖 17. 各小區之桂竹林地下根莖表示圖 .....	47
圖 18. 桂竹林經營作業研習會講習 .....	49

## 表目錄

表 1. 本試驗地之土壤資料概況 .....	16
表 2. 12 樣區之座標位置、坡度及海拔高度 .....	17
表 3. 各處理樣區之物種重要值 .....	23
表 4. 各樣區經處理 2 年後之物種重要值 .....	24
表 5. 各樣區處理方式及密度 .....	26
表 6. 各樣區之桂竹竹齡結構 .....	27
表 7. 各齡級桂竹之平均高度與胸高直徑 .....	28
表 8. 各齡級桂竹在不同高度之含水率變化 .....	29
表 9. 全樣區桂竹於地上部之生物量估算 .....	31
表 10. 各齡級桂竹之生長及地上部之生物量 .....	31
表 11. 全樣區桂竹於地上部及地下部之碳濃度 .....	35
表 12. 全樣區桂竹於地上部及地下部之碳含量估算 .....	35
表 13. 各齡級桂竹於地上部之碳濃度 .....	36
表 14. 各齡級桂竹之生長及地上部之碳含量 .....	36
表 15. 全樣區之各齡級桂竹於地上部之碳含量 .....	36
表 16. 本試驗處理前及處理後之樣區桂竹基本資料 .....	39
表 17. 本試驗經擇伐處理 1 年後之桂竹生長情形 .....	40
表 18. 本試驗經擇伐處理 2 年後之桂竹生長情形 .....	40
表 19. 2013 年不同處理間之地被植物生物量 .....	41
表 20. 2013 年不同處理間之發筍量 .....	49

# 桂竹林經營作業法對林分動態變化之研究

中興大學森林學系 廖天賜

## 一、計畫緣由

2001年7月的桃芝颱風、9月的納莉颱風、2004年7月2日敏督莉颱風及8月25日艾利颱風，由於颱風挾帶超大豪雨引發中部地區山坡地嚴重崩塌及土石流，致使國土遭受重創及流失。尤其敏督莉及艾利颱風更造成新竹縣五峰鄉、尖石鄉、苗栗縣泰安鄉及中部地區山坡地等竹林前所未有的崩塌與破壞，部份團體人士便歸罪係竹林地所惹的禍(陳耀榮，2006)，而引起各界議論和撻伐，當前林業政策之造林樹種中桂竹(*Phyllostachys makinoi*)等多種竹類仍在列，因此，竹林地崩塌與造林政策間似有相互矛盾之處，更造成民眾及環保團體等單位對政府林業政策存疑，且政府機關亦無法適時解惑及採取因應對策，加上對竹林資源亦無整體區域規畫，因此現況尚須對竹林造林有更詳盡之瞭解及完善之永續經營方針。

桂竹在台灣各地廣泛栽培，其蓄積量在國內主要竹種中佔最多，栽培面積逾44,000 ha，以中部及北部最多，南部則較少，且多為純林狀態分佈，分佈海拔為10-1,550 m(林維治，1962；戴廣耀等，1973；林維治，1976)。早期桂竹為國有造林及獎勵造林的指定樹種，近幾年來，桂竹林的經濟價值大不如前，大部分呈荒廢狀況。由於長期缺乏持續疏伐老齡竹稈，因此造成現存桂竹林呈現倒竹及枯死竹充斥之過密林分，桂竹林的生產力大為降低，是否因此而造成地下莖生長停滯，連帶造成竹林防止地滑及崩塌等天然災害的能力降低等，有待深入研究(呂錦明，2001)。

往昔國內外有關竹類之研究，較偏重桂竹之生長，與利用生育地評估之調查研究。而對竹林水土保持及國土保安之功能效益之研究雖有部分學者進行觀察研究，但未有做深入之探究。然而根據林信輝等(2007)的試驗結果，其認為竹類對抗地表之沖蝕能力佳，且在日本傳統上亦多將竹類作

為河濱帶防止沖刷的選用植物，即利用其密集之地下莖根系來穩定邊坡土壤(Toko and Takayuki, 2001)，因此竹類生長對於穩固山坡地土壤移動有一定之貢獻。但是竹林若未進行適當之撫育經營，林分會呈現稠密且竹稈較小的狀態(高毓斌，1987)，反而會使得林分生產力下降，此外，竹林若未進行經營管理，竹林內透光率亦會降低，造成散生型竹林呈現純林狀態，降低林分的生物多樣性(Toko and Takayuki, 2001)，並會減低邊坡崩塌防止等公益性機能(林信輝等，2007)。因此，竹林必須適度進行伐採撫育及地下莖整理作業，藉以保持林地的高生產力，並使新生竹能有較佳的生長空間，擇伐時常選擇4年生以上之成熟竹稈進行伐採(呂錦明，2001)。因此適度的疏伐逾齡老竹或枯死竹等之林相整理工作，有助於改善以上諸多竹林劣化的情況。

外加竹類由於生長快速，於短時間即可利用並累積一定的生物量，因此在碳貯存量上相當具有潛力，因此測定台灣地區重要經濟竹種之比重與碳含量，建立其轉換係數之基本資料，可提高推估台灣經濟竹林之碳吸存能力之準確性。

惟桂竹林在經營作業之過程中對其林分之動態變化，包括林分結構、生長、碳吸存、水分滲透能力及林地崩塌之影響等仍無完整之資料可參考，本計畫乃在彌補此一資訊之缺憾。

## 二、文獻回顧

### (一)竹林之特性

竹林在臺灣分布泛廣，自平地以至高山地帶幾乎皆可見到其蹤跡。其生長環境喜歡穩定之氣候，惟由於耐性甚強，太冷或太熱雖仍可生長，但必非良林。竹類為森林的一群，但竹類與一般林木生長情形差異甚大，是屬於在森林裡較為特別的一類，茲將竹類特殊之生長特性概述如下(呂錦明，2001；顏添明，2006；紀怡嘉，2008)：

- 1.竹類之生長速度快，可用天數來計算。由於竹類可在短期間生長完成，因此竹類之經營短期即可收穫，而林木之生長期需經數十年方可有收穫，兩者相較之下林木收穫期遠較竹類為長。
- 2.竹類不具形成層故無年輪，且不論何種竹種，竹類均於發筍後三個月內完成生長，且其直徑及樹高並無明顯的加粗及增加。而林木樹幹為實心，並具有年輪，且隨著齡級增加，樹幹直徑有逐漸增大之現象。
- 3.竹類主要以地下莖進行營養系繁殖，與林木之不同處為即使其為人工林，於成林之後即成為由不同齡級立竹構成之異齡林，可進行連年伐採。一般林木經營有喬林、中林及矮林等作業方式，所營建之林分可分為同齡林與異齡林，此與竹類經營皆不相同。
- 4.以經營模式而言，竹林經營的時間短，一般在 3-5 年即可成林隨即可進行連年伐採，且可取採小面積之集約經營模式。而林木經營時間較長，輪伐期可能需要數十年，故需面積廣大之林地以求永續收穫。
- 5.竹類的生長與發育的活力可由兩個層面來觀察，一為地下莖的擴展、蔓延，地下莖能由其節萌生芽往水平方向延伸，擴展竹林面積，

尤以單稈散生型竹類最為明顯，另一為往上延伸之筍體，筍體則生長發育成竹。

- 6.一般竹筍的筍體與往後生長的竹稈徑有密切的相關性，筍體大則稈徑亦大，所以竹稈的大小可在筍期時推測。
- 7.竹筍在發育過程中，若遇逆境(如氣候因素、營養不足、病蟲害、人為損傷等)，則會造成竹筍無法健全發育成竹，此現象稱為「退筍」。
- 8.竹類開花的問題為竹林經營上重大的困擾，由於竹類開花後即會造成同一營養系全部死亡，然而目前仍然無法找出一合理解答，此有待進一步突破。

## (二)桂竹之生態習性

桂竹之地下莖橫走於表層土壤，一般分佈之深度為 15-25 cm，係屬淺鞭類之竹種。竹鞭通常為實心，罕有空心，其直徑約 1.5-2.5 cm，節間長 2-5 cm，環節上生有 8-12 鞭根，以行水分與養分之吸收。各節均具 1 側芽，呈交互排列狀，大多數之側芽係呈暫時或永久性休眠。值環境適宜之際，活力側芽中之一部分，開始萌發分化，逐漸膨大，或出土成筍，或生成其他竹鞭。由於筍芽進行分化之時間較孟宗竹為晚，多屬初冬之際，故罕生成冬筍。

竹筍萌發之期間需視氣候條件、地下莖之地中位置及其他生育地特性而定，基本上，氣溫及水分為最重要之因子(王子定、高毓斌，1986)。桂竹之發筍期通常始自 3 月中、下旬，終於 5 月上旬(李伯年，1980)。

筍於生長過程，由於氣候、病蟲害或養分供應不足，均使部分竹筍未能成稈而中途枯損，此謂為退筍。有關退筍發生之機制及過程之研究，有助於成竹率之提高，且可及早採收生理性退筍，以供食用，惟對桂竹發生退筍之現象，研究殊少；惟究由何種原因所促成，尚不瞭解，或因



伐採破壞竹株之頂端優勢，致處於休眠狀態，且具分生能力之側芽得以萌發，產筍量雖告增加，然幼竹細小瘦弱，致養分分配得獲調整，退筍率因而降低；或因強度伐採後，林內受光量及地溫均增加，而有利於竹筍之生長，仍有待進一步之探討。

### (三)竹林資源利用與管理

竹林係人類的重要再生資源，竹林可提供竹筍、竹材等民生利用，同時可提供紙漿纖維材料，竹材亦可供打樁編柵之材料。

然因桂竹林培育之經濟效益極低，因此業者不肯收購林道下邊坡竹林且為減少集材架線之障礙，桂竹林幾乎採小面積皆伐方式，即使此種皆伐會損失 1-2 年生未成熟竹材(細胞腔壁不穩定，竹材無工藝利用價值)，以及會延後桂竹林再次收穫的時間。

由於伐採強度之不同，致改變桂竹林之胸徑分佈，尤以強度伐採者為然。由於所生成幼竹多為細稈而密生，小徑竹株之比率因而增大(黃崑崗，1975)。就桂竹林之立竹分佈而言，初為不規則之分佈，呈群落狀，隨地下莖之萌發新竹而漸次擴張其範圍，終成逢機發生所達至之均質分佈，生長愈屬旺盛之竹林，其立竹之分佈益為均質(李久先，1983)。

李久先(1977)曾指出桂竹林新竹生成量與林分密度無一定關係，然陳耀榮(2006)將其所附之林分資料再予分析，結果顯示：其所調查 25 處試驗區伐採後 1 年所萌生之新竹數，確與伐採前之母竹株數無關；第 2 年新竹生成株數亦與伐採前或第 1 年發筍後之林分密度無關；但第 3 年新竹株數則與第 1 年發筍後或第 2 年發筍後之母竹株數具顯著之相關性，此結果未能盡符原調查者之判斷。事實上，新竹生成株數與母竹林分密度間具極顯著正相關之現象，亦見於孟宗竹(高毓斌，1985)。惟桂竹林因何於伐採後第 3 年之新竹數，始與母竹林分密度具相關之現象？據高毓斌之推論：或為桂竹林經擇伐後，暫時解除高林分密度所導致之

競爭力，迨歷經 2 年生長期後，競爭再度發生，故高林分密度者乃趨向於稈細密生之新竹，此對竹林有機物之生產結構而言，係呈一負回饋效應(negative feedback effect)，稈細低矮之新竹不斷構成竹林之一部，林分光合生產量降低，尤促成新生竹株細小，單株平均乾重遂因林分密度而逐漸以  $-3/2$  之斜率減少。此種過程可能為控制竹林遵循“自然疏伐之  $-3/2$  次方定律”( $-3/2$  power law of self thinning)之主要機制(高毓斌，1985)。如深入探討並數量化解析其自然疏伐進行之軌跡，將可供為控制桂竹林分密度之實質基礎。

#### (四)竹類之碳貯存量

自從工業革命以來，人類活動對生物圈的影響已從區域擴展到全球，特別是大氣中的  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  以及其他溫室氣體濃度逐年在增加。許多研究已證明，由於人類的活動，森林的破壞造成生物圈固碳能力不斷的在減弱，煤炭、石油等化石燃料的燃燒，使得大氣中的  $\text{CO}_2$  含量逐漸升高。

全球暖化與氣候異常之現象已經越來越明顯，一般民眾已經可以感受到氣候變遷對於日常生活的影響。科學家們也不斷提出相關證據來證明，大氣持續升溫的現象不是自然週期變化的一部份，而是人類行為活動所導致。根據 IPCC 於 2003 年公布的土地利用、土地利用改變與林業報告指出，現存的大氣中，約有 7,750 億噸的碳量，海洋中的碳量約為大氣的 50 倍，而陸域生態系中約為大氣碳量的 3.5 倍，相對來說，海洋吸收碳的能力有限，只能吸收少量溶解於水中的二氧化碳，反之，陸域的植被和生物體因為進行光合作用和呼吸作用，使碳素一直保持循環的節奏。如果溫室氣體以目前排放速率持續下去，2100 年大氣中的  $\text{CO}_2$  濃度可能會增加到 540-970  $\text{mg/kg}$ ，全球平均溫度則可能增加 1.3-5.5  $^\circ\text{C}$ 。如果任由  $\text{CO}_2$  和其他溫室氣體的含量持續升高，其勢必會引起全球變暖和氣候變遷，甚至使氣候變化的幅度超出生物圈的自動調節範圍，

最終則會導致生物圈的崩潰(邱祈榮等，2010)。

碳匯是指森林吸收並儲存 CO<sub>2</sub> 的能力，森林碳匯是指森林生態系統吸收大氣中的 CO<sub>2</sub> 並將其固定在植被和土壤中。而林業碳匯是指通過實施造林再造林和森林管理，減少毀林等活動，吸收大氣中的 CO<sub>2</sub> 並與碳匯交易相結合的過程或機制。森林是陸地生態系統中最大的有機碳貯存庫，佔整個陸地生態系統碳庫的 56%，是陸地生態系統中重要的碳匯和碳源。

森林對碳貯存量的研究大都著重於林木，但對於竹類之研究則較為有限，然而台灣竹林面積 152,300 ha，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，且生長之生物量大於林木，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。因其生長快速、產量高，於短時間即可利用並累積一定的生物量，利用擇伐經營之方式，不僅可以獲得竹筍、竹材等經濟效益，而且是發揮竹林經濟及生態效益的必要措施，在維持固碳方面亦發揮著重要之效用，其實際固碳能力明顯大於碳貯存力(李正才等，2010)，顯示竹林對於緩和溫室氣體之提高具有相當潛力。

竹類在台灣被使用已有 350 年之歷史；雖然造林面積自 129.48 ha/Yr(1994 年)，已減至 39.09 ha/Yr(2003 年)(林業統計，2004)，不再像以往會大量造林；但近年來竹類又再一次受到大家的重視，被加工製成竹酢、竹碳等，進而製成洗髮乳、或用來改善淨水質等。

生物量乃生物於其生命過程中所產乾物之累積量(amounts of accumulation)，可為決定生物資源生產力及生產潛力之有效指標，亦是

研究森林生態系統碳貯存量之方式之一，所以瞭解生物量及其分布在瞭解生態系的構造和功能上具有其重要性(游麗玉，1995；王燕等，2008)。藉由生物量結構之解析可供評估育林及經營措施對生長及生產之效應，進而選擇及促其生產結構介於最適之狀態，且其屬於最大生產力之施業，故會因樹種之選擇、種源間之差異、栽植距離、生育地之環境、齡級及施肥等而產生變化。

然而，生物量之調查實相當耗時費力，若基於精確定量生產結構之觀點而言，最好是能就各特定林分或生育地予以解析，但限於經費、人力及物力，常無法進行全面性的調查及分析，因此測定台灣地區重要經濟竹種之比重與碳含量，建立其轉換係數之基本資料，可提高推估台灣經濟竹林之碳吸存能力之準確性。提供國內各經濟竹林碳吸存能力之科學數據，有助於國內未來實施碳交易或碳稅政策時之交易憑據。瞭解竹林對大氣環境暖化現象之貢獻度，有助於農林與環境保護等決策管理者制訂國內未來竹產業及環境發展策略參酌之用。

#### (五)竹林崩塌之探討

土壤是林地最基本的資源之一，土壤一旦流失，在短期內是很難回復。新的土壤乃由母岩長期風化而形成的，要生成 5 cm 的土壤需經過百年至千年，但是在幾小時或幾天即可被沖蝕，所以了解土壤沖蝕的過程，實為當今要務。土壤沖蝕乃指地表經由雨滴、水流、風和重力的作用而被移動之現象、移動的過程包括物理性的分散和搬運不可溶之土壤顆粒(砂礫、粉粒、粘粒和有機質)和化學性的帶走可溶性物質。沖蝕過程和土壤流失將使土壤的生產力降低並造成不可彌補的災害。而引起土壤沖蝕最主要的影響因子為氣候、土壤、水文、地形和人類的活動。

對於植物體而言，因地表逕流引起之土壤沖蝕或大量積水皆會造成植物體本身生長不良，甚至倒塌枯死之現象。由於地表逕流造成了洪水

和土壤侵蝕的威脅，更從而影響到了植群生存的根本(郭魁士，1997)。

水在入滲的過程中，會因降雨特徵、土壤種類、土壤含水量、土壤孔隙率、土壤質地、土壤結構、有機質含量...等不同而影響土壤本身之入滲速率(林俐玲等，2008a)。而這些影響因子之間又有許多是會互相交互影響，因此一地區之土壤入滲速率基本上是一動態變化，隨著當時微環境的變動時時刻刻的在改變(王慧芳和邵明安，2006；郭魁士，1997；Woods *et al.*, 1997)。

學者亦提出植物之根系生長型態於邊坡穩定或水土保持存有相當程度之影響。深根型根系，就力學特性而言，於土壤之錨定力較高，等邊坡穩定之功效較佳；淺根型根系，其網結作用可使表層土強化，對表層之沖蝕能力上之表現較佳。植物根系之基本型態，對邊坡穩定能提供較佳之樹種，宜採深根、根域廣且密集之外，最重要根系存在覆蓋層而穿入土層量之多寡，根系才能有效發揮補強作用(顏正平，2000)。宋煦辰於2008試驗結果指出，桂竹、九芎、山鹽菁根多多且深、根域面積廣，山芙蓉垂直根系較發達但側根分布稀疏，構樹、山黃麻主根及側根多分布於土壤表層，推測在植被完整覆蓋下之林地，桂竹、九芎、山鹽菁根系對邊坡穩定之功能較大。

桂竹地下莖橫走於表層土壤，一般分布之深度為15-25 cm，係屬淺鞭之竹種。桂竹根系隨地下莖向外擴充，上半部是非常堅韌竹稈，下半部為網狀系統，根部韌性強，竹叢範圍藉由地下莖的生長向外擴充，盤根錯節相互連結成緊密網狀，就如建築物構造中的基礎結構鋼筋網一樣。且桂竹根系生長速度快，能有效的網結表層土壤固定於坡面上產生錨定及拱壁之作用，增加坡面下滑抵抗力(宋煦辰，2008)。桂竹因其淺根性及所生長位置常位於人為利用之道路旁或河岸之水流攻擊岸，以致讓人感覺桂竹林極易崩塌，但事實上不然，林信輝等(2007)調查發現桂竹林再次崩塌之機率很低，陳本康(2005)調查艾莉颱風造成石門水庫集

水區中之六大類土地利用顯示，竹林崩塌面積與人工林在六大類中同屬最低，中華民國環境綠化協會(2007)統計石門水庫集水區崩塌地，分析結果為石門水庫集水區崩塌地發生與否與竹林無顯著的影響。

由石門水庫集水區崩塌地周邊植物來看，崩塌地上方常看到竹林，且崩塌地時常停止桂竹林下方，然桂竹林根系錯綜複雜有如天然之地下加勁材料，管理完善之桂竹林具有良好之連續性，不易破壞，抵抗沖蝕之能力強。但也因桂竹為淺根性之影響，造成土壤與根系形成自由端，水分常由此處滲出，降低土壤之剪力強度，導致坡面溯源侵蝕的發生；另外因近年來竹林經濟效益的降低。常可見缺乏管理的荒廢竹林，長期缺乏管理之竹林，會造成竹倒及枯死竹充斥之過密林分，使竹林產力降低，造成地下莖生長停滯、老化，使得土壤剪應力增加或土壤抗剪強度下降，造成竹林之地滑或崩塌之發生。

謝明廷(2009)現場調查發現，桂竹林發生崩塌之原因，有以下幾點：

- 1.原坡面不穩定(因人為之施工如道路工程挖掘坡腳導致坡面不穩定，或者是人為過度開發及不當的土地利用如濫墾、濫伐，造成坡面呈現不穩定之狀況)。
- 2.降雨導致下邊坡發生沖蝕(由於大量之降雨，使得下邊坡產生土壤沖蝕之現象)。
- 3.地震力產生張力裂縫(受到外力或地震力作用後，使得地下莖受拉剪力破壞，造成邊坡產生張力裂縫，如又遇超大豪雨，大量雨水貫注裂縫土層時，造成桂竹林地土壤剪應力增加或抗剪強度降低，使得坡面安定係數降低而導致崩塌)。

一般竹林之經營管理，需持續擇伐4年生以上之老竹，藉以促使竹林之年輕化，並提高竹林之生產力與防災機能(高毓斌，1987)。但近年來，桂竹竹材之經濟效益大幅降低，農民經營意願低落，導致桂竹林長

期缺乏管理，桂竹林呈現倒竹及枯死竹充斥之過密林分，使得竹林預防天然災害之功能大為降低。

水庫集水區之竹林地常因崩塌或降雨沖蝕，使土砂流入庫區中造成淤積，減少水庫壽命，影響庫區水資源的保育。因此，如何提高竹材之經濟效益與防止竹林崩塌持續發生是目前重要之課題。

### 三、計畫目標

#### (一) 全程目標

經由文獻蒐集、現場調查分析現有桂竹林林分之現況，再配合不同桂竹林經營作業法之試驗結果，做為經營作業對桂竹林環境影響之科學證據，並擬定桂竹林之林分最佳經營作業模式。

#### (二) 第 1 年

1. 文獻蒐集及現場林分現況基礎調查與分析。
2. 經營作業法規劃及試驗設計。
3. 提供委託單位相關試驗設計及基礎資料做為試驗經營之作業基準。
4. 配合委託單位之作業進度設置試驗樣區。

#### (三) 第 2 年

依第 1 年之試驗設計，進行下述工作：

1. 不同經營作業方式之桂竹林林分動態調查，包括：竹筍萌發量、生物量、林分密度及地被植物等之監測調查。
2. 不同經營作業方式之桂竹林林分對水分滲透之影響。
3. 監測桂竹林之崩塌情形並調查其影響因子。

#### (四)第3年

延續前1年度之試驗與調查工作，並分析以下之資料：

- 1.不同經營作業方式對桂竹林林分結構之影響。
- 2.不同經營作業方式對桂竹林之產筍量、生物量及碳吸存之影響。
- 3.歸納出桂竹林之最佳經營作業模式。
- 4.舉辦桂竹林經營作業講習會，進行技術轉移。

#### 四、重要工作項目

##### (一) 100 年度工作項目

- 1.文獻蒐集及現場林分現況基礎調查與分析。
- 2.經營作業法規劃及試驗設計。
- 3.提供委託單位相關試驗設計及基礎資料做為試驗經營之作業基準。
- 4.設置不同經營作業方式之試驗樣區。
- 5.不同經營作業方式之桂竹林林分動態調查。
- 6.不同經營作業方式之桂竹林林分對水分滲透季節變化之影響。
- 7.選定桂竹林樣點，供監測可能影響崩塌之因子。

##### (二) 101 年度工作項目

- 1.延續前一年之試驗及調查工作並分析以下資料。
- 2.不同經營作業方式對桂竹林林分結構之影響。
- 3.不同經營作業方式對桂竹林之產筍量、生物量及碳吸存之影響。
- 4.不同經營作業方式之桂竹林林分對水分滲透之影響。



5.持續監測桂竹林樣點之可能影響崩塌因子。

(三) 本(102)年度工作項目

1.延續前 1 年度之試驗與調查工作，並完成全部資料之分析。

2.歸納出桂竹林之經營作業基本模式。

3.桂竹林對水土保持影響。

4.舉辦桂竹林經營作業講習會，進行技術轉移。

## 五、計畫執行情序

本年度計畫擬進行的重要工作項目及流程如圖 1 所示；期藉由 100 年度所調查之資料及設置不同經營作業方式之試驗樣區供 101 及 102 年度所試驗及監測，並搭配所舉辦桂竹林經營作業講習會之各專家學者意見以訂定建立桂竹林分經營模式。

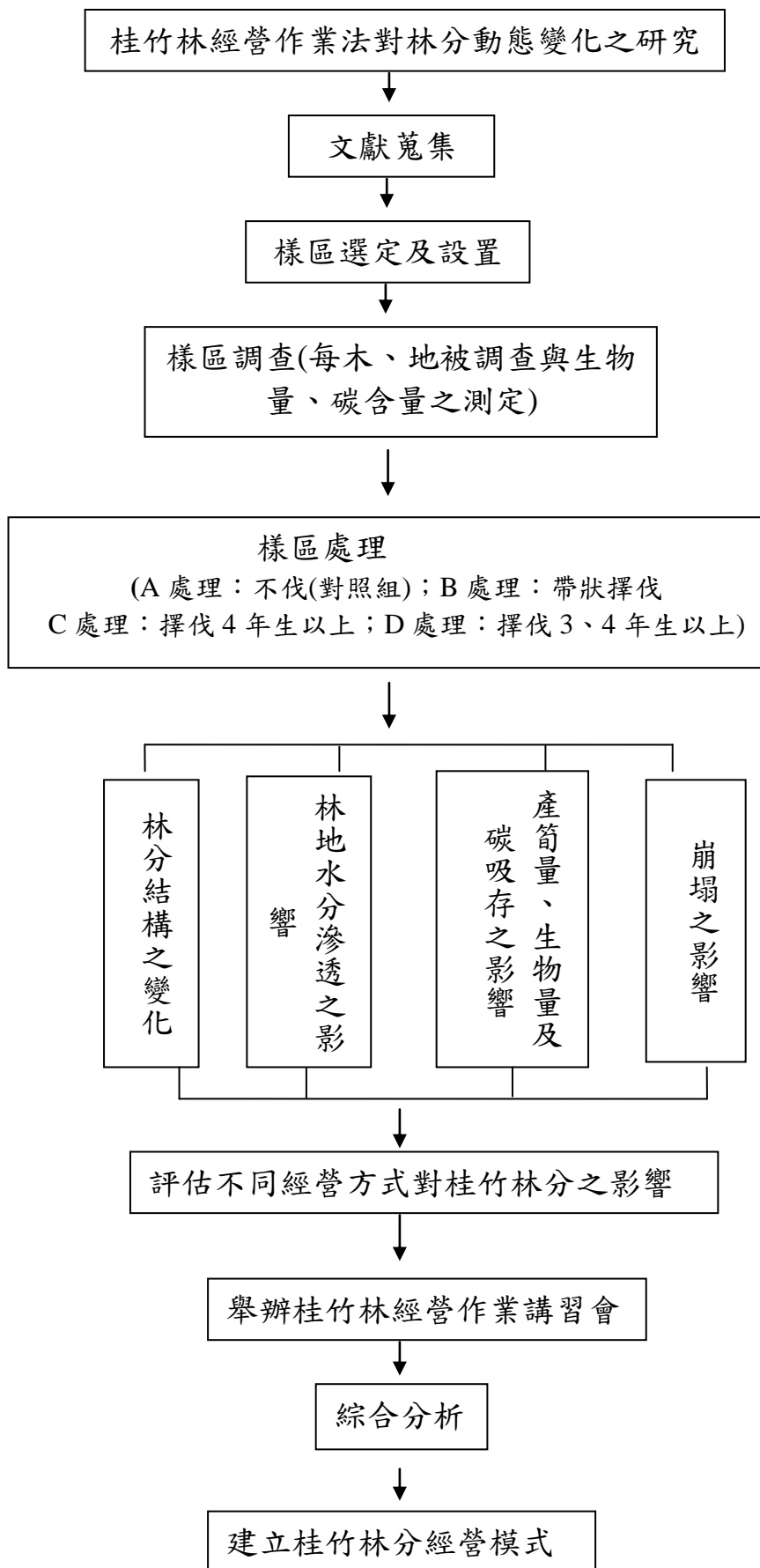


圖 1. 桂竹林經營作業法對林分動態變化之研究架構圖。

## 六、研究項目及方法

### (一)研究地位置

本計畫以行政院農業委員會林務局新竹林區管理處所轄之大溪事業區第 81 林班內(圖 2)為試驗區。海拔 1,249-1,304 m 之間，年平均降雨量約在 2,200-2,800 mm，各地雨量分佈情況呈現西南向東北漸增之趨勢，區域內降雨分佈不均，雨季多集中於 5-9 月期間，其主要原因乃梅爾及西南氣流所造成之雷陣雨所造成，另外尚有颱風及熱帶性低氣壓所帶來之豪雨；年平均氣溫約為 20°C(圖 3)，年平均濕度約在 84%，氣候型態屬亞熱帶重濕氣候，冬季少量缺水。

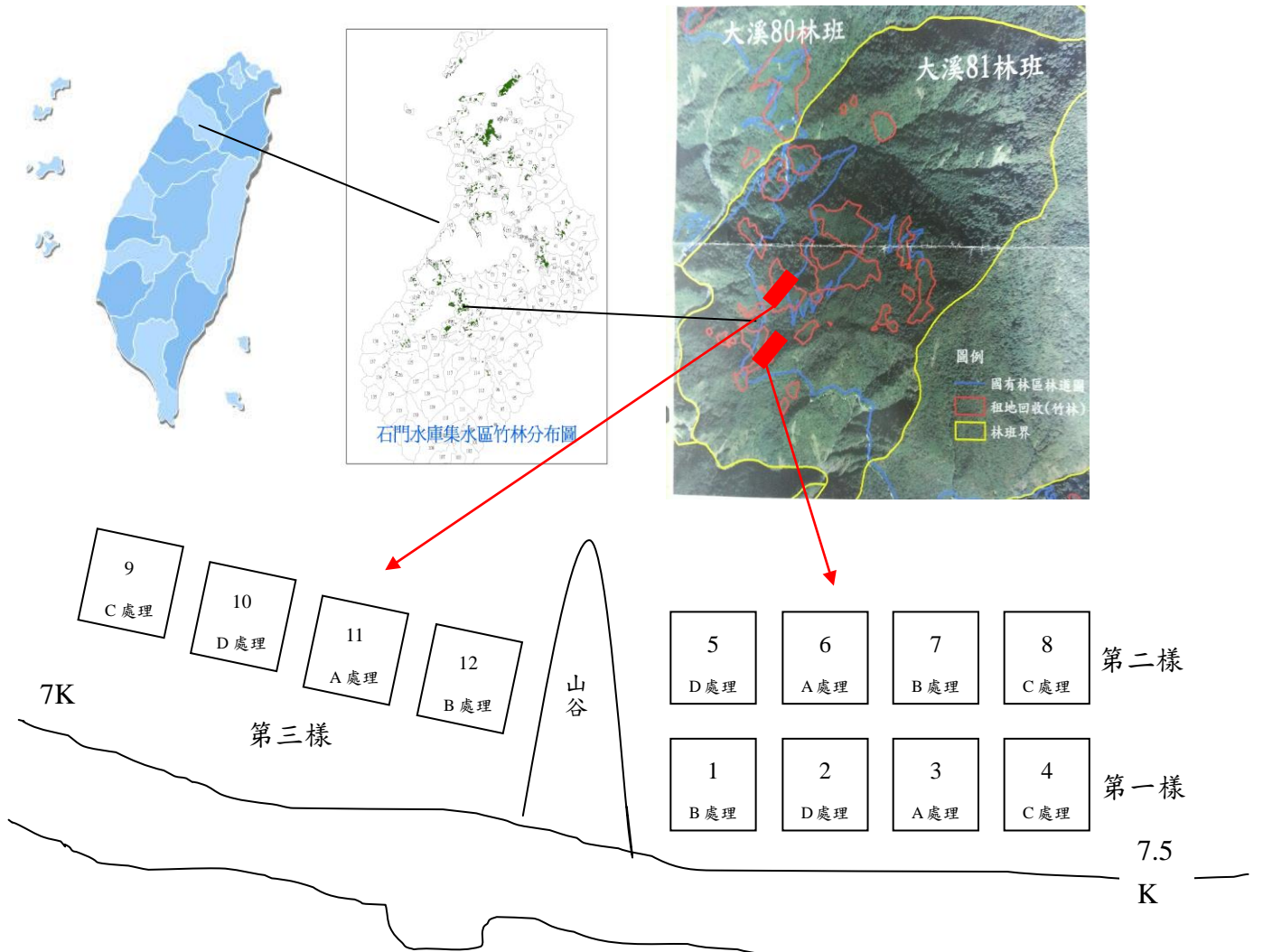


圖 2. 研究區域位置。

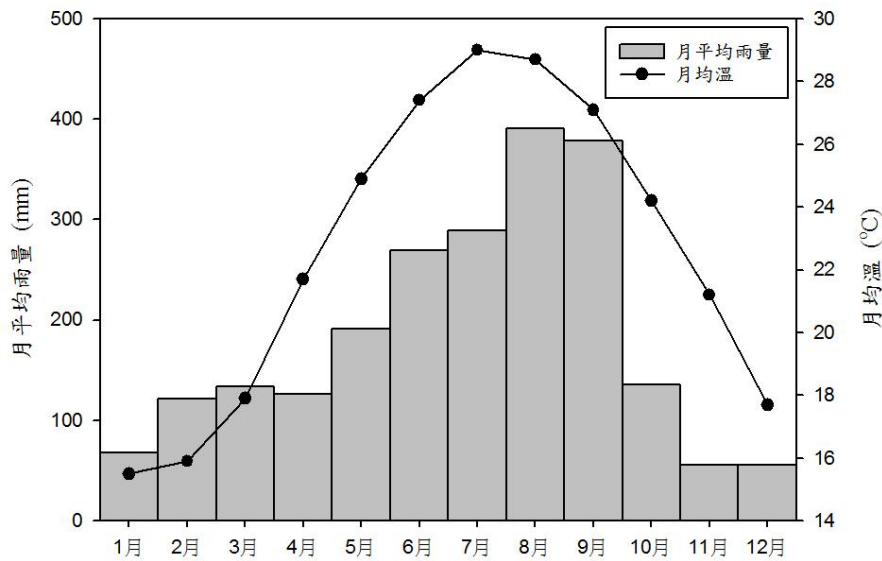


圖 3. 司馬庫斯地區之氣候資料(中央氣象局統計資料 2000-2010 年)。

另外，為瞭解本試驗地桂竹林之土壤狀況，於各個樣區內取中央土壤 0-10 cm 與 10-20 cm 各 1,000 g 為樣本，進行土壤養分調查。本試驗地之竹林土壤分析結果則如表 1 所示。

表 1. 本試驗地之土壤資料概況

土壤剖面	pH	全氮(%)	有效磷(mg/kg)	有機質(%)	質地
0-10 cm	5.34	0.71	7.84	18.93	壤土
10-20 cm	5.54	0.68	5.92	18.87	壤土

## (二)樣區設置與樣本調查

於新竹林區管理處所轄之大溪事業區第 81 林班內逢機選擇 3 條樣帶之桂竹林地為調查樣區。依據高毓斌(1987)指出，一般竹林之經營管理，需擇伐 3、4 年生以上之老竹竹稈，藉以促使竹林的年輕化，並提高竹林之生產力，故本試驗於每條樣帶中再予以逢機設置 A 處理：不伐(對照組)；B 處理：帶狀擇伐；C 處理：擇伐 4 年生以上；D 處理：擇伐 3、4

年生以上等 4 種處理，共建立 12 個 20 × 20 m 的樣區，以觀察處理後竹林生長變化之情況。樣區建立後，隨即進行林分調查，將樣區內立竹子以編號，並量取其胸徑，並分為 1-4 年生(4 年生包含 4 年生以上)4 個齡級，按不同竹齡分別註記標示，並調查其地被植物。2012 及 2013 年 9 月及再次進行各樣區經處理後之當年新生竹之調查，並記錄各樣區內每竹之生長變化。

表 2. 12 樣區之座標位置、坡度及海拔高度

樣區編號	座標(N)	座標(E)	海拔(m)	坡度(°)	誤差(±m)
1	N24° 36' 21.59"	E121° 18' 44.78"	1,260	28.5	13
2	N24° 36' 21.31"	E121° 18' 44.89"	1,273	29.4	12
3	N24° 36' 20.60"	E121° 18' 44.53"	1,284	31	13
4	N24° 36' 19.93"	E121° 18' 44.40"	1,286	26	12
5	N24° 36' 21.46"	E121° 18' 46.21"	1,284	28.5	7
6	N24° 36' 20.98"	E121° 18' 45.66"	1,290	31	9
7	N24° 36' 19.83"	E121° 18' 45.27"	1,300	32	11
8	N24° 36' 18.73"	E121° 18' 44.81"	1,304	33.5	10
9	N24° 36' 28.50"	E121° 18' 44.67"	1,249	41	7
10	N24° 36' 27.60"	E121° 18' 44.95"	1,249	34.5	6
11	N24° 36' 26.44"	E121° 18' 45.96"	1,262	37.5	5
12	N24° 36' 24.61"	E121° 18' 46.24"	1,267	35	5

### (三)研究項目與方法

#### 1.竹齡判別法

在此說明竹齡之判別法，竹齡之判別主要可依稈色、竹皮及枝葉生長等外觀判識之。以各項因素綜合判斷其年齡，樣竹齡級之判定依據為(林維治，1961)：

(1)稈色：稈幼年時粉綠，而後變深綠，老時黃綠色或棕綠色。

(2)竹籜：一年生幼稈基部之籜當年宿存；隨著年齡萎縮腐爛。

(3)竹節：竹節下部幼年環生白色粉末，隨著時間變淡而漸漸消失。

(4)竹皮：幼稈附生之苔蘚或黴菌較少，表面較光滑；而老稈之附生之苔蘚或黴菌較多，表面較粗糙。

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

竹齡之判別主要依其外觀而判定之，因此於野外調查時，必須綜合以上各項外觀特徵為基礎，作為判斷齡級之主要判識依據，各齡級之外觀如圖 4、圖 5 所示。另參照紀怡嘉(2008)於南投縣竹山地區桂竹之研究，其判釋桂竹年齡之方法：一年生之桂竹，竹籜完整宿存，稈色為粉綠色，有明顯白粉存在；二年生之桂竹，竹籜開始腐爛，竹稈尚未有黴菌入侵，稈色為淺綠色；三年生之桂竹，竹籜快消失不見，竹稈底部已有黴菌入侵，稈色為深綠色；四年生以上之桂竹，竹籜已完全消失不見，竹稈有黴菌及青苔，稈色為黃綠色。綜合上述之方法以便研究人員至現場調查，而得精確之結果。

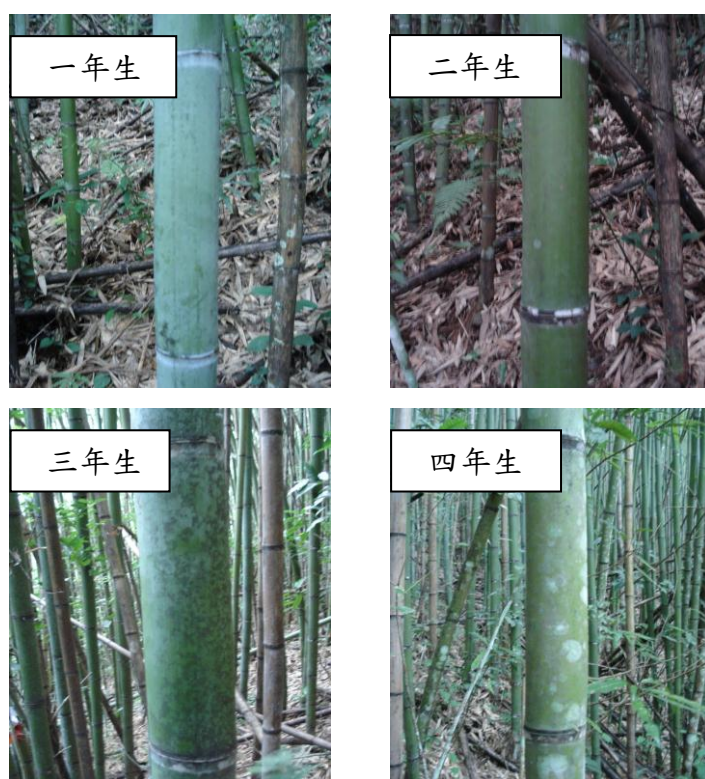


圖 4. 桂竹不同年齡之外觀。

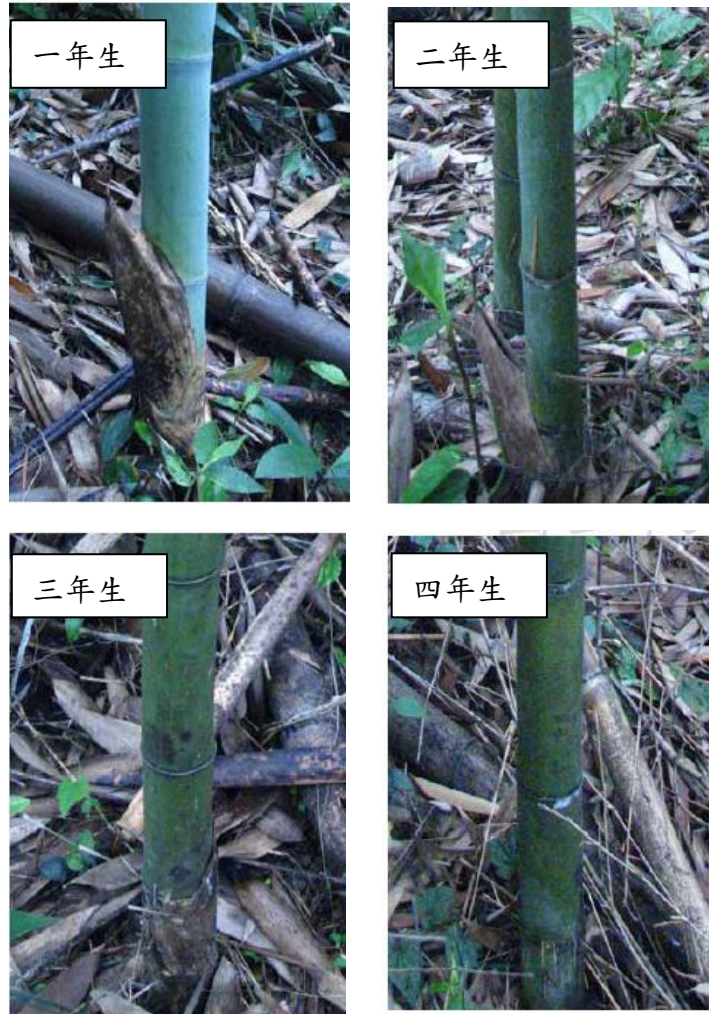


圖 5. 不同年齡之桂竹外觀(紀怡嘉，2008)。

## 2. 桂竹生物量之測定

依竹林生長調查結果，根據竹林年齡與竹林胸徑大小頻度分佈式樣，以分層平均木法依比例選擇預定伐採之樣竹，各選定 1-4 年生並分竹林胸徑 2-4 cm、4-6 cm、6-8 cm 以及 8-10 cm 之徑級各 4 株(各徑級中若有株數不足時則予以缺失值代替)，共 60 株桂竹，進行桂竹林生物量之測定作業(圖 6)。

### (1) 葉

將樣竹上所有葉之部分，自枝條上取下後，隨即量其鮮重，並採取葉試樣約 100-200 g，作為葉乾重估算之用。所得到之數值便可

以用公式計算，得到葉部之含水率、生物量及含碳量。

### (2)枝條

樣竹中扣除葉及主稈部份，即所謂枝條部份，枝條取下後，隨即測量鮮重，並採取枝試樣約 100-200 g，作為枝條乾重估算之用。所得之數值可推導出枝條部分的含水率、生物量及含碳量。

### (3)主稈

樣竹中扣除葉及枝條部份，即所謂主稈部份，葉與枝條去除後，隨即測量鮮重，並分段採取竹稈約 100-200 g，作為竹稈乾重估算之用。所得之數值可推導出主稈部分的含水率、生物量及含碳量。

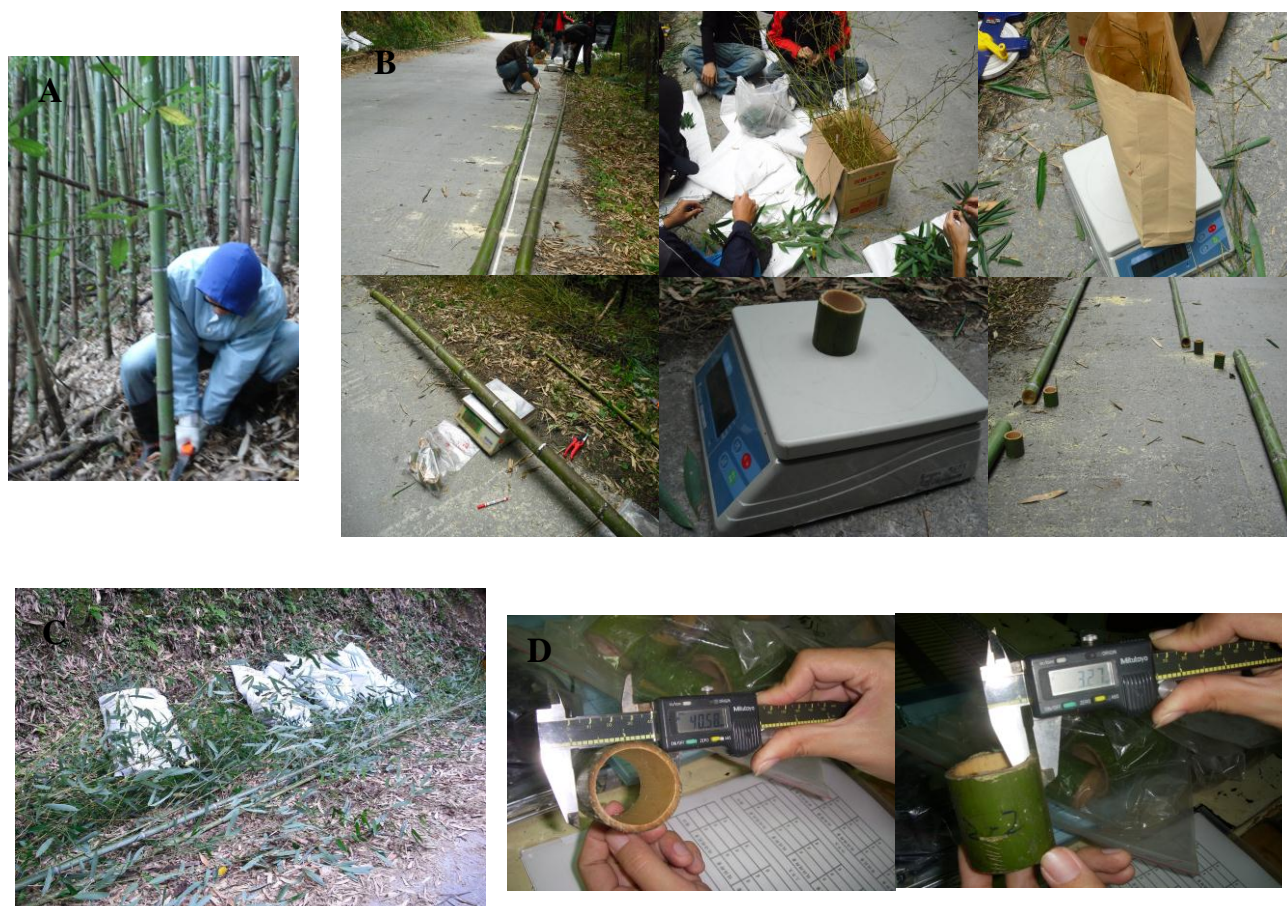


圖 6. 生物量之測定(A)自基部伐採樣竹(B)樣竹搬置空地以便量取各部位鮮重(C)量取樣竹各部位之鮮重(D)量取稈外徑及稈厚。



#### 4. 地被植物生物量之測定

於 12 個 20 × 20 m 的樣區內拉對角線，分別在對角線的兩端及中點設置 50 × 50 cm 的小樣區，以全刈法收取小樣區內的地被植物，攜回實驗室以 70 °C 烘 96 hrs 至絕乾，記錄其乾重。

#### 5. 地表土壤沖蝕調查

設立沖蝕測量樣區 1\*10 m 共計 8 個，每個樣區內間隔 1 m 分成 1 個斷面，共計 9 個斷面(李錦育，1992、1993)。以自行設計的紋溝銹鐵測定架，寬約 1 m，中間串插直徑 0.5 cm，長度 60 cm 之活動塑膠棒共 37 支。測定沖蝕深度時，將該板跨小區置於兩側木樁上，讓活動塑膠棒自然垂落，下端停於地面上，以定點照相後，再攜回室內讀取各塑膠棒之刻度；在同一地點上，沖蝕前後測得之平均地面高度差(以第一次觀測值為基準值(background value)，即為該樣區中土壤沖蝕深度(李錦育，1992、1993))。

#### 6. 入滲率試驗

入滲率測定採用單筒式入滲計，入滲鋼筒長 30 cm、桶徑為 22 cm，於選定的試驗地將入滲計垂直打入土中約 2/3 筒長。實驗過程以人工供水方式，每 5 L 為一次單位注水量，開始注入單筒的同時開始計時；礙於試驗地之地形及取水不便之因素，故本試驗設計供水量以 200 L 為其上限。記錄所得之數據，以下式計算土壤入滲率。

$$F = 10 Q / A t$$

F 為土壤水之入滲速率(mm / min)

Q 為入滲量(cm<sup>3</sup>)

A 為圓筒斷面積(cm<sup>2</sup>)

t 為時間

## 7. 桂竹根系型態調查

為深入探究桂竹林地下部之根系，於樣區 1 與 5 間選取樣區 1 m\* 1 m\* 0.6 m，共 3 塊樣區，挖除地下部土壤，觀察其地下根莖與鬚根之生長型態。

## 七、結果與討論

計畫執行已達成相關資料蒐集、現場調查、分析與規劃不同強度之經營模式以及持續監測樣區經不同強度之經營作業後之變化情況。因先前所設置之樣區(大溪事業區第 85 林班)涉及司馬庫斯部落傳統領域，該部落會議表示該林班為祖靈地不能干擾而反對試驗地之設置，為尊重該部落之傳統文化，故於 2012 年 2 月另擇大溪事業區第 81 林班為本計畫之試驗地。

本試驗所規劃樣區之作業模式，新竹林區管理處已於 2012 年 5 月協助完成，並於 2012 年 8 月調查桂竹林地下莖之分佈狀況(包含調查地下部生物量及碳含量)、2012 年 9 月完成調查當年生之新竹量、2013 年 4-5 月調查當年度發筍量，2013 年 11 月完成新竹之數量調查、桂竹林經不同強度經營作業後其地被之情形、地表土壤沖蝕調查及入滲率試驗。

### (一) 樣區林分狀況

#### 1. 地被植物覆蓋情況

大溪事業區第 81 林班內逢機設置的 12 個樣區中，主要地被植物為風藤(*Piper kadsura*)、華八仙(*Hydrangea chinensis*)、牛奶榕(*Ficus erecta* var. *beeheyana*)、烏心石(*Michelia compressa*)、山肉桂(*Cinnamomum insularimontanum*)、山香圓(*Turpinia formosana*)、台灣糊樗(*Ilex ficoidea*)等，次要為長葉木薑子(*Litsea acuminata*)、狗骨仔(*Tricalysia dubia*)、紅孢鱗毛蕨(*Dryopteris subintegriloba*)、石葦

(*Pyrrosia lingua*)、三葉五加(*Acanthopanax trifoliatum*)、樓梯草(*Elatostema involucratum*)等，各樣區詳細之地被植物及處理 2 年後之地被植物如表 3 及表 4。

表 3. 各處理樣區之物種重要值(IVI)

	A 處理	B 處理	C 處理	D 處理
樟樹	0.312905	0	0	0
華八角楓	0.056481	0	0.117348	0
小葉桑	0.085802	0.258863	0	0.069447
香葉樹	0.228554	0	0	0
烏欵梅	0.052512	0	0	0.264414
疏果海桐	0.093895	0	0	0
羅氏鹽膚木	0	0	0	0.298172
昭和草	0	0.694961	0	0.152534
野桐	0	0.148066	0	0.235399
台灣青木香	0	0.091296	0	0.063975
鐵線蓮	0.051125	0	0	0
食茱萸	0.04664	0.058281	0	0.091513
台灣山香圓	0.06875	0.085714	0.338403	0.220062
糙莖菝契	0	0.109046	0.347067	0
擬烏蘇里瓦委	0	0	0.067821	0
藤壺顏子	0	0	0.155159	0
三葉崖爬藤	0.072663	0.028649	0.087876	0.079351
火炭母草	0	0.031738	0	0.079163
台灣藤漆	0.238648	0	0	0
細葉複葉耳蕨	0.274366	0.030665	0.161691	0
長葉木薑子	0	0.104565	0	0
棟樹	0	0.174704	0	0.085431
日本山桂花	0.155839	0.150131	0	0.069531
山胡椒	0.155031	0	0.642841	0
雀梅藤	0	0	0.081794	0.032044
糙葉樹	0	0	0	0.098622
光臘樹	0	0.033321	0	0.041566
臺灣敗醬	0.056742	0	0	0.067484
台灣澤蘭	0.050049	0	0	0.051293

表 4. 各樣區經處理 2 年後之物種重要值(IVI)

	A 處理	B 處理	C 處理	D 處理
樟樹	0	0	0	0
華八角楓	0	0	0	0
小葉桑	0	0.105336	0	0.063695
香葉樹	0	0	0	0.03268
烏欽梅	0.113555	0.062157	0	0.045604
疏果海桐	0	0	0	0
羅氏鹽膚木	0	0	0	0
昭和草	0	0.025504	0	0.257092
野桐	0	0.020993	0	0.025569
台灣青木香	0	0.104141	0	0.052102
鐵線蓮	0	0.020966	0	0.024692
食茱萸	0	0.104848	0.067646	0.180434
台灣山香圓	0	0	0.509925	0
糙莖菝契	0	0	0.051838	0
擬烏蘇里瓦委	0	0	0	0
藤壺顏子	0.53698	0	0	0
三葉崖爬藤	0	0.022384	0	0.034326
火炭母草	0	0.028159	0	0.050561
台灣藤漆	0	0	0	0
細葉複葉耳蕨	0.110872	0.029106	0	0
長葉木薑子	0	0	0	0
棟樹	0	0.031299	0.106166	0.051304
日本山桂花	0.116847	0.09579	0	0
山胡椒	0	0.028463	0.209656	0
雀梅藤	0	0	0	0
糙葉樹	0.121745	0	0	0
光臘樹	0	0	0	0.024886
臺灣敗醬	0	0.198495	0	0.135063
台灣澤蘭	0	0.122359	0.054769	0.021992

## 2. 林分密度及竹林生長

此 12 個調查樣區，其密度介於 10,100-18,400 culms ha<sup>-1</sup> 間(表 5)，平均密度為 15,250 ± 2,530 culms ha<sup>-1</sup>，樣區內枯死竹約 6,208±1,855 culms ha<sup>-1</sup>。此調查數值與 99 年度所調查之結果差異不大，平均密度為 15,025 ± 1,738 culms ha<sup>-1</sup>。此結果與陳財輝等(2009)調查石門水庫桂竹林密度主要介於 15,700-18,767 culms ha<sup>-1</sup> 間及王義仲(2006)所調查之桂竹林現況為 18,000 culms ha<sup>-1</sup> 類似。

各樣區之林分結構為圖 7 所示，由圖中可得知除少數樣區外，大多竹林平均胸徑大多落在 6-8 cm 間。各樣區之竹齡分佈則表示於表 4 中，可得知樣區中大多以 3 年生之竹齡為居多(佔 49.95%)。

本試驗地桂竹林分之平均密度為 15,250 culms ha<sup>-1</sup>，各齡級株數比例以 3 年生為最多(表 6)，佔全林之 50%，其中 1、2 年生之新生竹株數約佔全林之 23.8%。此結果與呂錦明、陳財輝(1992)調查桶頭地區桂竹林分平均密度為 10,271 culms ha<sup>-1</sup>，以 3 年生佔全林之 43.5% 為最多，1、2 年生之新生竹株數比例僅 16% 類似；由此可得知上述之試驗研究區域皆為久未撫育或砍伐之竹林，導致竹林之新生竹比例較低，顯示竹林之生產力下降，全林可能呈現衰退老化的趨勢。

本研究之桂竹平均高度與直徑如表 7 所列，其高度與直徑之變化趨勢相似，均以 2 年生為最大值，分別為 14.57 m 與 6.03 cm，而 4 年生之直徑又較為小，為 5.41 cm。

在竹徑生長方面，因新竹在幾個月內即能完成生長，直徑及樹高不會再明顯加粗及增加，因此於 4 年生之桂竹有較小直徑應是受生長當年養分的供應多寡所致，如降雨量之影響。另竹徑之大小亦與株數有關，當單位面積之株數越多時，則竹徑會較小(呂錦明、陳財輝，1992)。而造成在 4 年生之高度下降的情況推測可能係因隨年份增加，

竹木會有失水情形，致頂部梢乾枯成斷枝所致(王義仲，2006)。胸徑之逐年增加，顯示竹叢地下莖趨於發達，竹類在幼竹生成之際，生長所需養分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莖粗高。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)。

李久先(1983)於桂竹生長型式之研究中，認為在竹林施業中，各齡級之株數比例均勻，以維持竹林經營之永續，因此年齡構成為評價竹林施業之重要基準。故在竹林經營上，需做適度之疏伐，方可提高竹林之生產力。

桂竹林分雖為異齡林，惟因胸徑自成竹後即不再增加，故各齡級或全林分各胸徑級之株數分布，仍相當接近常態(李久先，1983)，由於正常竹林在發育過程中，當林分未達鬱閉或立竹密度尚未達過密狀態，個體之生長應屬逢機，即呈常態分布(呂錦明、陳財輝，1992)，因此正常之竹林經營，當林分生產力屆至最大值，應即伐採老竹，調整林分密度，留存適齡之健壯母竹，以紓解高林分密度所引起之劇烈競爭(高毓斌、張添榮，1989)，維持適當的林分密度，並誘導林分胸徑分布朝向正規分布型。

表5. 各樣區處理方式及密度

樣區	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
處理方式	B處理	D處理	A處理	C處理	D處理	A處理	B處理	C處理	C處理	D處理	A處理	B處理
林分密度(株 ha <sup>-1</sup> )	18,400	16,400	16,100	12,600	15,900	15,000	14,600	19,000	15,900	17,200	10,100	12,800

※：A處理：不伐(對照組)；B處理：帶狀擇伐；C處理：擇伐4年生；D處理：擇伐3、4年生

表 6. 各樣區之桂竹竹齡結構(%)

Age(Year)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Average
1	21.2	17.1	7.5	5.6	10.1	9.3	3.4	5.8	5	5.2	12.9	10.2	9.442
2	22.8	29.3	12.4	9.5	14.5	11.3	7.5	10	8.2	8.1	23.8	15.6	14.417
3	39.1	42.1	60.9	61.1	53.5	56.7	51.4	58.9	56	48.8	24.8	46.1	49.95
4	16.8	11.6	19.3	23.8	22	22.7	37.7	25.3	30.8	37.8	38.6	28.1	26.208

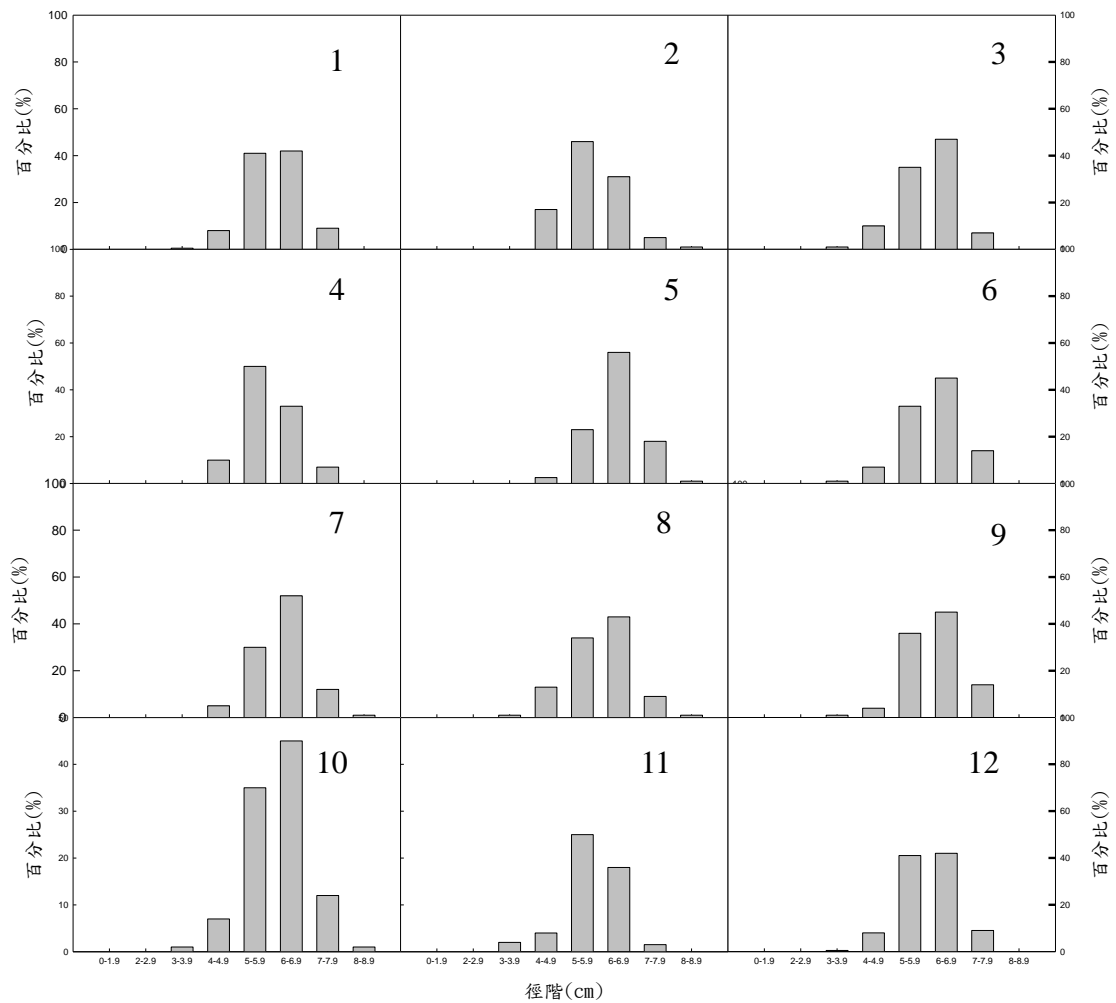


圖 7.1-12 樣區之林分結構圖。

表 7. 各齡級桂竹之平均高度與胸高直徑

Age(year)	Height(m)	Diameter(cm)
1	13.31±1.17	5.83±0.71
2	14.57±1.67	6.03±1.43
3	12.18±1.90	5.23±1.28
4	13.00±1.51	5.41±1.51

竹材含水率是反應竹材含水量的指標，當含水率過高或偏低時會造成竹材產品的乾裂或發霉等現象。各年生竹稈含水率又以基部為高，向上則漸減。竹齡愈增者，含水率因竹子材質成熟度漸增加而減少(呂錦明等，1982)。本試驗之桂竹含水率在各不同高度與不同齡級的變化情形如表 8 及圖 8 所示，由表中數值可得知不同年生之竹材皆以基部之值最大，急速的遞減至梢部，如 1 年生之基部含水率為 149%，至梢部則減為 92%，此現象是因竹材基部之厚壁細胞較少，主司生理作用的薄壁細胞較多，含有較多量的水份，因而其含水率較高，而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。

含水率在不同年齡的變化方面，則由 1 年生開始遞減至 4 年生，由 111%，下降至 51%，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(謝榮生，1997；Embaye *et al.*, 2003)。而由前人採竹的經驗法則中亦可得知：三年以下的竹子太嫩、含水率高，並不適合加工且容易腐壞，故於竹材利用上應砍伐 3 年生以上之竹材。因此在竹林經營上可利用擇伐經營之方式，不僅可以獲得竹筍、竹材等經濟效益，且可發揮竹林經濟及生態效益的必要措施，且在固碳方面亦發揮著重要之效用(陳寶昆等，2007；王仁等，2010)。



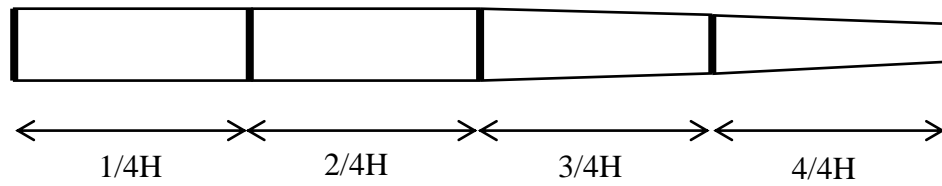


圖 8. 竹稈分段示意圖。

表 8. 各齡級桂竹在不同高度之含水率(%)變化

Height	1	2	3	4
1/4H	149±24	109±10	77±18	65±17
2/4H	102±14	70±12	67±18	50±8
3/4H	99±5	70±8	60±10	46±9
4/4H	92±10	72±5	58±7	45±8
Mean	111±13	80±9	65±13	51±10

### 3. 生物量與碳濃度之測定

在竹林的經營措施中，如欲使竹林地單位面積生物量與碳吸存量增加，實施擇伐作業係簡便且重要的竹林經營方法，但擇伐後的竹稈如不加以利用，而棄置在林地內，短期將會被分解而釋出  $\text{CO}_2$ 。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；但倘若把擇伐後的竹稈加以利用，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(王仁等，2010)。因此，本研究為探討桂竹林在不同經營作業後，其林分動態之變化；即針對桂竹林進行不同擇伐作業方式，來了解不同擇伐作業方式是否會對桂竹林分生物量與碳吸存量有所助益，比較作業前後之影響，結果可作為將來桂竹林經營評估和如何增進二氧化碳吸存量之應用與參考；本試驗作業前之生物量與碳吸存量之數據如下所示。

本試驗樣區之桂竹地上部生物量及不同齡級與不同胸徑階之立竹

生物量如表 9、表 10 所示。由表 10 中顯示除了葉部生物量有隨齡級之增加而有明顯增加的趨勢外，其稈部與枝部之變動則未依齡級順序而有所明顯之變化，其樣木之地上部生物量以 2 年生最高為  $8.42 \text{ kg culm}^{-1}$ 。

另外，為瞭解桂竹不同部位之生物量所佔立木之比例，將樣竹各部位生物量資料繪製成圖 9，顯示桂竹不同齡級其稈部、枝部、葉部所佔之比例，各器官所佔立竹之比例並不因齡級而有顯著之變化，大致而言，桂竹之稈部、枝部、葉部所佔立竹之比例約為 84：11：5。

本試驗之桂竹林枝部生物量約為  $8,980 \text{ kg ha}^{-1}$ ，佔全林分地上部生物量之 8%，不同齡級間以齡級 4 年生以上佔量為最高。相較於呂錦明、陳財輝(1992)研究桶頭地區桂竹林之枝部生物量為  $6,740 \text{ kg ha}^{-1}$ ，佔全林分地上部生物量之 24% 為高，而佔全林生物量之比例則較低之結果，推測可能是因本試驗之桂竹林林分密度較高(表 5)，林內相對光度較低，導致植物分配較多生物量於葉部，使得枝部生物量佔全林分生物量比例下降之緣故(紀怡嘉，2008)。

本試驗桂竹林竹稈部位之生物量約  $98,890 \text{ kg ha}^{-1}$ ，佔全林分地上部生物量之 87%，在不同齡級之單稈生物量方面是以 3 年生為最高；本試驗之結果較呂錦明、陳財輝(1992)研究桶頭地區桂竹林與游麗玉(1995)研究惠蓀林場之桂竹林竹稈之數值為高，另由表 9 中可知本試驗地之桂竹林未進行擇伐作業前，地上部生物量乾重累積約  $113,000 \text{ kg ha}^{-1}$ ，高於石門水庫地區桂竹林地上部生物量(陳財輝等，2009)、東勢地區之桂竹生物量(林信輝等，2007)及王義仲(2006)之桂竹林試驗結果，推測是因本試驗地區竹林株數較多，且林地生長狀況較佳所致，此現象之背景及環境因子等有待更進一步探討。

圖 10 為全樣木之各部位生物量與胸徑的關係，可以看出本研究結

果桂竹林稈部生物量與胸徑之相關性較高；枝部與葉部則相關性較低，此與高毓斌(1980)、游麗玉(1995)之研究結果相同。此外，由表 10 之桂竹不同齡級之單稈生物量可知 3 年生以上之地上部生物量明顯下降，顯示在竹林經營中，應適當伐除生理活動較弱之老齡竹，以提高竹林地之生產力。

表 9. 全樣區桂竹於地上部之生物量估算(kg ha<sup>-1</sup>)

	葉部	枝部	稈部	地上部
伐採處理前 之生物量	5,430±970	8,980±1,080	98,890±13,430	113,300±15,430

表 10. 各齡級桂竹之生長及地上部之生物量(kg culm<sup>-1</sup>)

齡級	DBH(cm)	H(m)	葉部	枝部	稈部	地上部
1	5.86±0.57	13.24±1.33	0.06±0.00	0.40±0.13	4.37±1.45	4.83±1.46
2	6.18±0.19	14.77±0.44	0.46±0.10	0.59±0.14	7.37±2.07	8.42±2.26
3	5.75±0.40	12.57±1.38	0.38±0.20	0.65±0.19	4.88±3.02	5.91±3.38
4	6.08±0.21	13.36±0.65	0.48±0.30	0.66±0.33	5.72±3.41	6.86±3.98

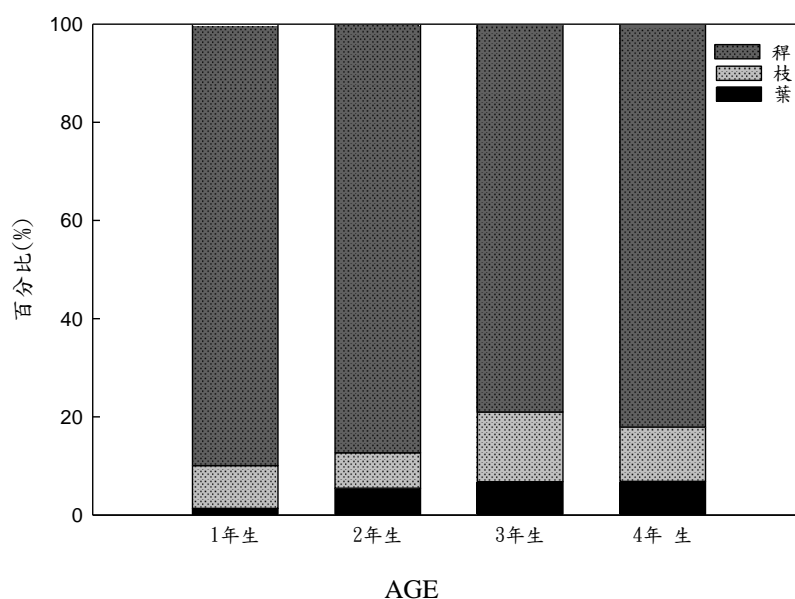


圖9. 各齡級桂竹於各部位生物量所佔比例。

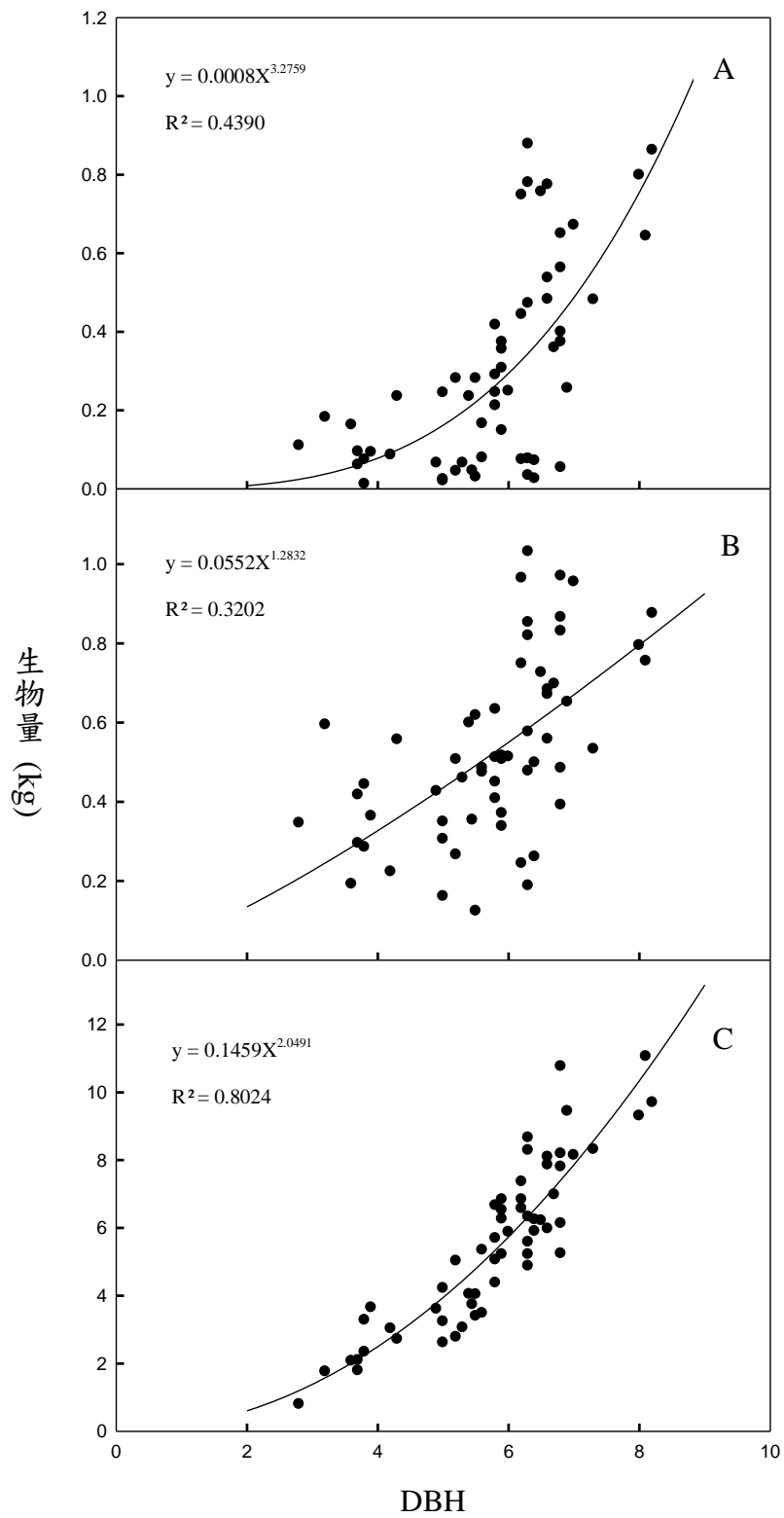


圖 10. 全樣木桂竹之葉部(A)、枝部(B)、稈部(C)生物量與胸徑之相對生長關係式。

本試驗乃以 1 m\* 1 m\* 0.6 m，共 3 區，共砍伐 12 株樣竹，並進行地下部挖掘工作，將其竹頭、地下莖部與根部整株挖起，以測定桂竹地下部之生物量(圖 16)。依據本試驗地內之立竹株數資料，推算出本桂竹林之地下部生物量為 54,790 kg ha<sup>-1</sup>，佔全林分總生物量的 33 %。

森林對碳貯存量的研究大都著重於林木，但對於竹類之研究則較為有限，然而竹類由於生長快速，於短時間即可利用並累積一定的生物量，因此在碳貯存量上相當具有潛力。本試驗研究顯示(表 11)各部位平均碳濃度葉部為 44.35 %，枝部為 46.04 %，稈部為 47.26 %，地下莖為 46.67 %，根部為 46.88 %，竹頭為 42.37 %，其結果與 Yen 等(2010)以中部地區之桂竹所做出來的結果類似，其葉、枝、稈部的碳含量百分比(percent carbon content, PCC)分別為 38.12-44.78 %、45.66-46.23 %、47.49-47.82 %，此和林木略有差別，林木的 PCC 接近 50 %，但由上列百分比可得知，桂竹各部位的 PCC 有偏低的趨勢，此研究結果有助於提昇臺灣竹林碳吸存量估計之準確性。

而本試驗竹頭的碳濃度僅 42.37 %明顯低於肖復明(2007)以孟宗竹為材料所做出來的結果，其竹頭碳濃度平均為 44.78 %，這可能是因而竹頭常包含密集之鬚根，其中密集竹根所包含的體積難以估算，且在分離鬚根與土石之過程困難，常有土石黏附緊密，甚至須使用十字鎬破壞，其處理過程常有誤差之產生，故對於竹頭的部分，本試驗僅約評估取竹子往下延伸至土表下的部分計算之，故以竹頭部位估算則有低估地下部碳量之風險。

而竹林的碳貯存量的計算很容易，只要將生物量×PCC 即可以獲得碳貯存量，本試驗之桂竹林分之碳貯存量可達 72,680 kg ha<sup>-1</sup>，其中地上部碳貯存量為 47,180 kg ha<sup>-1</sup>，地下部則為 25,500 kg ha<sup>-1</sup> (表 12)。其地下部碳貯存量皆比 Isagi 等(1997)以日本地區之孟宗竹為試驗材料之 18,700 kg ha<sup>-1</sup> 及周國模與姜培坤(2004)探討中國大陸浙江省孟宗

竹林之為 8,680 kg ha<sup>-1</sup> 還高，這可能是因 Isagi 等(1997)與周國模與姜培坤(2004)之試驗地孟宗竹密度分別為 7,100 株 ha<sup>-1</sup> 與 3,000-4,500 株 ha<sup>-1</sup> 所導致其地下部生物量分配量較少間而影響其碳貯存量，而較本試驗地低之原因。

表 13 中可得知，桂竹之葉部碳濃度值介於 43.66-45.51 % 之間，以 1 年生為最高，3、4 年生最低；枝部碳濃度值介於 45.55-46.76 % 之間，以 1 年生為最高；稈部碳濃度值介於 46.92-47.57 % 之間，以 4 年生為最高，1 年生為最低；整體而言，以葉部平均碳濃度最小，稈部具最大值。

將樣竹依 1-4 年予以區分，並由所測得之各部位碳濃度乘以各部位之乾重，即可得知樣木各齡級與各部位之碳貯存量，將所推估之結果列為表 14 所示。由表中可得知，桂竹不同齡級之葉部碳貯存量介於 0.03-0.21 kg；枝部碳貯存量介於 0.19-0.30 kg 之間；稈部碳貯存量介於 2.05-3.49 kg；地上部碳貯存量介於 2.26-3.97 kg 之間。地上部之碳貯存量以 2 年生達最大值，之後則隨年齡增加而逐漸下降。此外，可由所調查之 12 樣區中，利用竹齡與生物量，推算地上部之碳貯存量(kg ha<sup>-1</sup>)(表 15)，亦可得知，不同齡級之碳貯存量以 3、4 年生為最高。故在竹林經營中，必須適當伐除生理活動較弱之老齡竹，除了可提高竹林地之生產力，亦可提升林分之碳貯存力。

目前在進行大面積林木碳貯存量推估時，多以每公頃平均生物量乘以碳濃度理論值 50 %，然而在推估大面積人工林碳貯存量時，若是一貫採用理論值換算，恐有失準確之可能，所以如果能實際量測該樹種各部位之碳濃度再加以計算，應可提高推估林木碳貯存量之準確性。

圖 11 為樣木之各部位碳貯存量與胸徑的關係，可以看出稈部碳貯存量與胸徑的相關性較高，相關係數為 0.815，而枝部、葉部碳貯存量

與胸徑的相關性則較低，若以全株碳貯存量與胸徑之相關性來看，兩者亦具有高度相關性(0.815)。

由以上之數值可知，胸徑之大小可影響桂竹稈部生物量與碳含量之多寡，因此以胸徑即可準確推估桂竹之稈部生物量與碳含量。此與呂錦明、陳財輝(1992)與游麗玉(1995)之研究結果相同。

根據林裕仁等(2002)推估臺灣主要林型之生物量與碳貯存量，人工林之針葉樹林型、闊葉樹林型及混交林型等之碳含量介於22,690-32,070 kg ha<sup>-1</sup>，而本研究之桂竹林分之碳貯存量為 47,180 kg ha<sup>-1</sup>(表 12)，顯示桂竹林每公頃之碳貯存量尚高於其他人工林型。一般竹林大約 3-5 年即可成林，隨即可進行連年伐採，使得收穫量增加，換言之碳貯存量亦為增加，所以竹類之碳吸存效益實具有其重要性，若未來國際間發展出碳交易市場，竹類應可扮演 CO<sub>2</sub> 減量之重要角色。

竹林生物量因竹種、調查方法的不同差異頗大，惟單純計算竹林地地上部之生物量與碳貯存量對於整體竹林生態系的碳吸存、保存和排放，僅能片面的了解，並無法得知確切的情況，故如欲定量竹類林分的碳吸存，應以整個竹林生態系之碳循環之吸存與排放著手探討之，但可以確定的是竹林的生物量及碳含量累積的速度必優於林木。

表 11. 全樣區桂竹於地上部及地下部之碳濃度(%)

葉部	枝部	稈部	地下莖	竹頭	鬚根
44.35±0.98	46.04±0.56	47.26±0.28	46.67±0.27	42.37±2.42	46.88±1.01

表 12. 全樣區桂竹於地上部及地下部之碳含量估算(kg ha<sup>-1</sup>)

葉部	枝部	稈部	地下莖	鬚根	竹頭	地上部	地下部
240±40	410±50	46,530±6,630	160±60	24,820±7,820	520±70	47,180±6,700	25,500±6,700

表 13. 各齡級桂竹於地上部之碳濃度(%)

齡級(age)	葉部(foliage)	枝部(branch)	稈部(culm)
1	45.51±0.85	46.76±1.18	46.92±0.68
2	44.78±0.80	46.20±0.69	47.38±1.13
3	43.43±0.78	45.66±0.69	47.17±0.50
4	43.66±0.75	45.55±0.65	47.57±0.59

表 14. 各齡級桂竹之生長及地上部之碳含量(kg culm<sup>-1</sup>)

齡級	DBH(cm)	H(m)	葉部	枝部	稈部	地上部
1	5.86±0.57	13.24±1.33	0.03±0.00	0.19±0.06	2.05±0.68	2.26±0.69
2	6.18±0.19	14.77±0.44	0.20±0.05	0.27±0.07	3.49±0.98	3.97±1.07
3	5.75±0.40	12.57±1.38	1.17±0.09	0.30±0.09	2.30±1.42	2.76±1.59
4	6.08±0.21	13.36±0.65	0.21±0.13	0.30±0.15	2.72±1.62	3.23±1.88

表 15. 全樣區之各齡級桂竹於地上部之碳含量(kg ha<sup>-1</sup>)

齡級	葉部	枝部	稈部	地上部
1	220±190	400±330	4,180±3,560	4,800±4,060
2	200±140	370±260	3,810±2,690	4,380±3,080
3	620±400	1,200±990	11,900±7,360	13,720±8,640
4	1,200±420	2,220±860	23,250±8,040	26,670±9,170



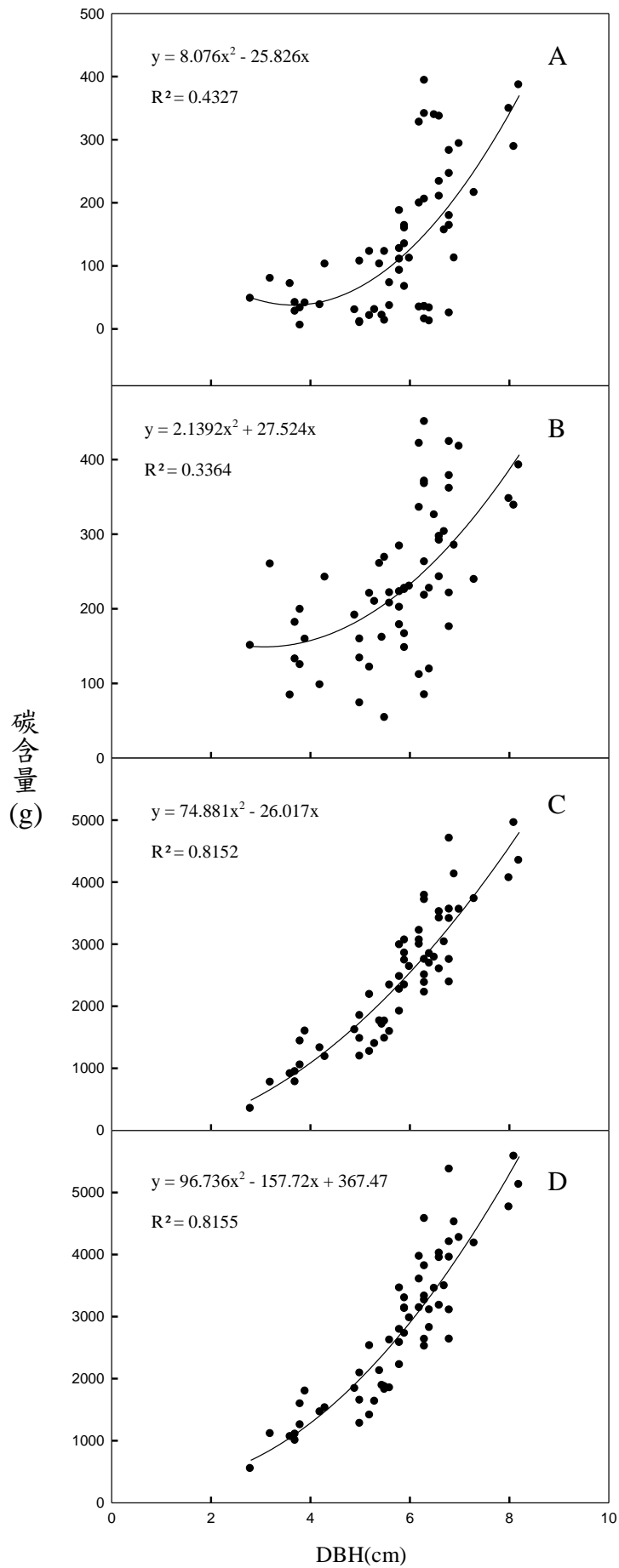


圖 11. 全樣木桂竹之葉部(A)、枝部(B)、稈部(C)及全株(D)碳含量與胸徑之相對生長關係式。

桂竹林分經過伐採處理前後之樣區基本資料為表 16 所示。桂竹林伐採處理後，林分密度受到立即影響，樣區經擇伐處理過後之林分密度有顯著的差異，而擇伐處理過後的總平均胸徑與擇伐前並無顯著差異(表 16)。由於擇伐之原則係採伐除衰老之 3、4 年生之桂竹，且其 B 處理(帶狀擇伐)於伐採後之新生竹，於第一年時其胸徑已可達 5.8 cm，故致其胸徑於伐採前後並無差異現象，此結果與王仁(2010)於惠蓀林場以孟宗竹為試驗材料所得之結果一致。而在枯死率表現方面(表 17,18)，因 A 處理(對照組)之林分密度有漸增加情形，其林分極為鬱閉、日照不足，以致樣區之枯死率有持續增加趨勢，其次為 C 處理(伐 4 年生)林分密度較高，因此至第 2 年時其枯死率的增加比例也較 D 處理(伐 3,4 年生)為高。

桂竹林疏伐處理後隔年之樣區密度，以帶狀擇伐(B 處理)樣區之  $9.6 \pm 17$  株  $ha^{-1}$  最低，對照組  $161 \pm 39$  株  $ha^{-1}$  最高，隨伐採強度增強，林分密度明顯變低(表 16)，經處理 1-2 年後，以對照組之樣區密度成長率較高，且密度依舊顯著高於其他種處理。由於桂竹為散生型竹類之生長方式與一般林木不同，其主要以地下莖繁殖，稈不具形成層，不會進行肥大生長(呂錦明、陳財輝，1992)，所以桂竹林經伐採處理後，直接影響林分整體表現之主要因子為新生竹的數量與生長情況。

本試驗將桂竹林進行不同強度伐採後，理論上各處理新生竹株數應隨著伐採強度增加而增多，因短期內疏伐處理會使土壤中氮素礦化量顯著提高，增加土壤有效性養分來源(莊舜堯等，2005；Pothier, 2002)，或是強度伐採可提供新生竹較多的生長空間，而促使其新生竹量較多，相對而言，桂竹林密度太高則會抑制新生竹的萌發生長(李久先，1983)。然於本試驗中密度最低之帶狀擇伐樣區並沒有相對較高的新生竹量，目前推測是因桂竹林伐採時間之選擇，除發筍期或是新生

竹生長之 3-7 月不宜外，其他時間皆可實施，惟以每年 10 月後翌年 2 月之乾燥時期最佳(林維治，1979)，然本試驗之伐採期因當初試驗地更改，而導致伐採發包延至 2012 年 5 月才執行完畢，間而影響本年度桂竹之生長情況，另於所設置之第三樣帶的各處理樣區，其新竹生長狀況皆較第一、二樣帶之樣區處理者佳，推測是因其樣帶坡度較另二樣帶大(表 2)，其所接受之陽光較多，所導致之。因立地環境不同，故第一、二樣帶之 B 處理者，其新生竹都以著細稈型式生長(如圖 12)所示，在經營上，其竹稈大小是無法利用，大多會將其直接砍除，故於本試驗中亦無將其列入所量取之數值中，這是因為竹子的頂端優勢很強，控制了整株植物體的生長調節和養分分配，因強度砍伐、切斷鞭根都足以破壞此種優勢，而使得處於休眠狀態而具分生能力之側芽予以萌發，因而大量發筍，長成細小之竹子。

表 16. 本試驗處理前及處理後之樣區桂竹基本資料

處理\項目	密度(株 ha <sup>-1</sup> )	胸徑(DBH)	年齡(y)	枯死率(%)
伐採前				
A 處理	13,700±3,100	5.9±0.16	2.9±0.02	31±1.73
B 處理	15,200±2,800	6.0±0.15	2.9±0.36	27±4.93
C 處理	15,800±3,200	6.1±0.37	3.1±0.05	28±1.13
D 處理	16,500±700	6.0±0.33	2.8±0.36	28±9.54
伐採後				
A 處理	13,700±3,100	5.9±0.16	2.9±0.02	31±1.73
B 處理	0	0	0	0
C 處理	11,600±2,300	6.3±0.47	2.7±0.01	0
D 處理	4,600±2,700	6.4±0.39	1.6±0.02	0

表17. 本試驗經擇伐處理1年後之桂竹生長情形

處理\項目	密度(株 ha <sup>-1</sup> )	胸徑(DBH)	年齡(y)	枯死率(%)
A 處理	16,100±3,900	6.03±0.17	3.51±0.12	29±1.8
B 處理	960±1,700	5.8	1	0
C 處理	13,000±2,800	6.27±0.47	3.47±0.37	1.6±1.5
D 處理	5,900±2,300	6.40±0.32	2.24±0.43	0.7±1.2

表18. 本試驗經擇伐處理2年後之桂竹生長情形

處理\項目	密度(株 ha <sup>-1</sup> )	胸徑(DBH)	年齡(y)	枯死率(%)
A 處理	16,000±4,000	6.03±0.17	4.49±0.10	39.7±4.3
B 處理	1,600±1,100	3.22±2.24	1.33±0.58	0
C 處理	12,800±2,900	6.27±0.48	4.47±0.37	10.8±5.2
D 處理	5,900±2,100	6.16±0.19	3.13±0.36	1.7±2.0



圖 12. 帶狀擇伐樣區之新竹生長情況。

高毓斌(1987)曾提出當竹林密度過高、會使得竹材漸趨纖細之說法，而優良桂竹林的標準密度為 12,500 culms ha<sup>-1</sup>(李久先，1983)，然而在本試驗中對照組處理者密度皆高於標準密度，但其新生竹胸徑並未特別小，是否因其林地尚可提供足夠的養分所致，或是另有其他原

因造成如此之現象，有待更進一步探討。可以確定的是對照組之新生竹株數比例較低(表 6)，未來對照組之竹林將會日趨老齡化。

#### 4. 地被植物生物量之測定

林下植被會受到林分密度和人為經營作業影響，林分越鬱閉，地被植物和灌木植物的覆蓋度也會降低，而一林分的林下植被和枯枝落葉層具有雨水截流的作用，可保護表土免受雨水直接沖蝕，進而影響水分入滲土壤之量(鄭郁善和洪偉，1998；林信輝，2010)。本試驗樣區伐採 2 年後之地被植物生物量如表 19，以 B 處理(帶狀擇伐)有明顯較高的地被植物生物量，A 處理(對照組)則較低，陳禹弘(2011)調查臺大實驗林水里營林區，其更新造林 1 年生之林分地被植物生物量也會大於蔓生竹類之林分，與本研究結果有相符之情形，顯示林分過密會影響林下植物的生長致其生長量過低，因而提高地表沖蝕之機會。

表 19. 2013 年不同處理間之地被植物生物量(kg ha<sup>-1</sup>)

	A 處理	B 處理	C 處理	D 處理
地被植物生物量	43.53±5.04	345.78±101.52	92.44±25.07	116.42±31.81

#### 5. 地表土壤沖蝕調查

以自行設計的紋溝鉻鐵測定網，高約 45 cm，寬約 1 m，中間串插直徑 0.5 cm，長度 60 cm 之活動塑膠棒共 37 支。測定沖蝕深度時，將該板跨小區置於兩側木樁上，讓活動塑膠棒自然垂落，下端停於地面上，以定點照相後，再攜回室內讀取各塑膠棒之刻度(圖 13)；在同一地點上，沖蝕前後測得之平均地面高度差，以第一次觀測值為基準值，即為該樣區中土壤沖蝕深度(李錦育，1992、1993)。

試驗樣區雖於 2012 年 5 月初完成不同作業法之處理，此項試驗也於 5 月 25 日取得樣區經不同作業法處理後之第一次觀測值，然因野外現場因子變化極大，而此試驗器材為自行設計之，導致一些小細節得再次修正之，故確切數據於 2012 年 8 月起予以監測之。其數據表現方式為本月觀察值減上月之觀察值，其數值越小，表示坡度沖蝕越嚴重。

一般而言，皆伐會使林地裸露，增加地表逕流及提高土壤沖蝕之機會(Michelle and Walsh, 2007)，而地表若有枯落物枝覆蓋將有效的降低地表逕流量，減少土壤沖蝕之機會(Adekalu *et al.*, 2006)。本試驗之土壤沖蝕結果(圖 14)顯示，沖蝕量的增減較明顯受雨量多寡而影響，而 B 處理(帶狀擇伐)在伐採處理完至 11 月期間，土壤高度仍可達淨增加，意即沖蝕程度小於堆積程度，變化明顯隨後也無顯著低於其他處理者，推測可能是因本試驗所採取之 20\*20 m 之帶狀擇伐並不會產生上述之問題。自 2013 年 3 月開始，降雨量明顯提升許多，各處理間之土壤沖蝕量亦呈現下降之趨勢，A 處理(對照組)及 C 處理(伐 4 年生)雖有較少的地被植物量覆蓋表土，但竹林密度也相對較高，因此樹冠層也較為鬱閉，具有較高之林冠截留量可減少落入林地之雨水，因此沖蝕量並不致過高(鄭郁善和洪偉，1998)，與 Dung 等(2012)探討日本扁柏林疏伐 2 年後有類似之情形，其調查未疏伐林地之逕流量也會較疏伐過之林地為低。

陳明杰(2007)提到隨樹冠結構之不同(鬱閉度、高度、樹冠種類等)，對於沖蝕將有不同之影響。此種現地調查變異因子多，常受限於空間尺度和時間尺度之影響(Bui *et al.*, 2012)，需要長時序之統計資料方可達成相關性與顯著性之比較，未來期望能以整體土體的變化量與穩定性做探討會更為精確。



圖 13. 地表土壤沖蝕調查之示意圖。

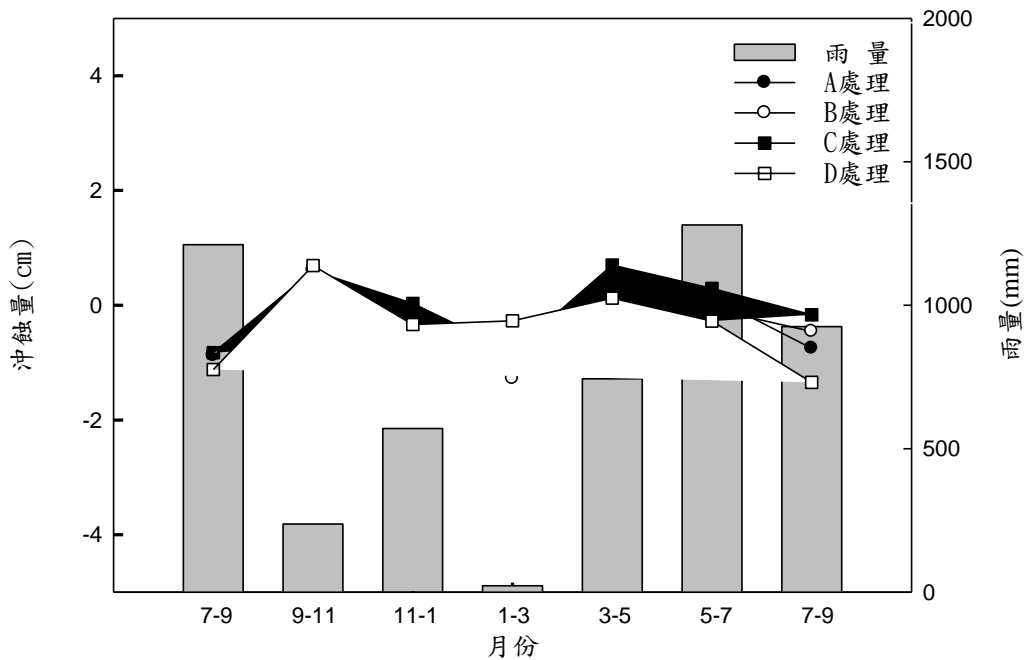


圖 14. 2012-2013年經不同處理後之土壤沖蝕表現。A處理：不伐(對照組)；B處理：帶狀擇伐；C處理：擇伐4年生；D處理：擇伐3、4年生。

## 6. 入滲率試驗

入滲是指水分由土壤表面進入土壤內之過程；影響水分入滲的因素包括土壤特性、土壤起始水分含量、土壤表面水分供給情況、地表覆蓋型態、溫度以及水質等。

一般野外土壤水入滲速率的測定裝置，因時地物之不同，裝置型態也各異，並沒有統一的方法；在本試驗中是採用單筒滲透筒法，其測量筒的樣式很多，但大體上皆為一圓柱狀的筒型裝置。此法之優點為操作簡單與製作成本低，且易取得數據。然實驗過程中會因，如地況、取水、灌水及維持筒內水位高度...等等因素而出現誤差；此外將圓筒打入土壤的過程，常會破壞土壤本身的結構，而改變水分的入滲速率(陳一兵，1997)。

因 2012 年 9 月-12 月間，礙於時間、人力與工具上之缺乏，故每次只求得一樣區之土壤入滲量，然因每月之氣候狀況變化不一，若放為一同比較，略顯粗糙。於 2013 年起，經由新竹林區管理處竹東工作站之協助，提供馬達抽水機，大大減輕試驗現場之時間及人力上之調度，故由 2013 年 3 月起每次上山皆同步打取各處理之土壤入滲筒，以便同時比較之。

圖 15 為截至 2013 年 9 月分至現場試驗地所得之各處理間初步土壤水入滲速率之結果，由圖中可得知無論是何月分之數據曲線皆呈現反 J 狀，其合乎一般土壤水入滲之試驗結果(顏江河，2010)。不少學者認為植物覆蓋可以增加土壤的入滲作用，這是因為當植物的根系發展進入土壤內，會增加土壤的孔隙，因此，明顯可提高土壤的滲透性與其他物理性質(Krishn *et al.*, 2008；She *et al.*, 2009)。Michelle 和 Walsh(2007)研究中指出在平均降雨強度相近的情況下，沒有森林植被覆蓋的地表其產生的地表逕流會比有森林植被覆蓋來的大，且當植群發生干擾現象時，不同程度的干擾會導致土壤入滲速率的改變，其在闊葉林中有林木覆蓋之入滲速率較伐採完後林地之入滲速率高。鄭郁善和洪偉(1998)也指出毛竹林根系對土壤的影響很大，可使林地土壤具有較高的滲透率，其竹鞭發達，使表土層大孔隙增多，有利土壤水分下滲，因此水分滲透速度很大。



本試驗之結果(圖 16)，於 2013 年 3 月分時，各處理間沒有明顯之差異，推測是因當月分降雨較少；5 月分之 C 處理(伐 3 年生)初始入滲率遠高於其他處理( $202.35 \text{ mm min}^{-1}$ )，推論當時現地測量之打桶位置下方可能有較大之孔洞，造成水流快速入滲所致。整體而言自 5 月分降雨量開始增加時，多數處理之初始入滲率在  $12.33\text{-}82.21 \text{ mm min}^{-1}$  間，接近林信輝(2010)測定石門水庫北橫桂竹林樣區之初始入滲率( $22.36\text{-}98.98 \text{ mm min}^{-1}$ )，各處理間以竹林株數較多之 A 及 C 處理有相對較高之初始入滲率，這可能是因樣區內林分密度較高，土表下地下莖與根系較為發達，致表土層土壤容積密度較小，因而明顯提升其滲透性(邱志明，2012；She *et al.*, 2009)；B 處理林地較為裸露，雨水易直接衝擊土體，使土壤的孔隙堵塞造成入滲量降低，因此較後期月分之入滲率也較為低(李土生，1994)，一般而言即表示可能有相對較高的土表逕流，然對照至沖蝕結果可看出 B 處理並無相對較高之沖蝕量，因此無明顯土壤流失之疑慮。

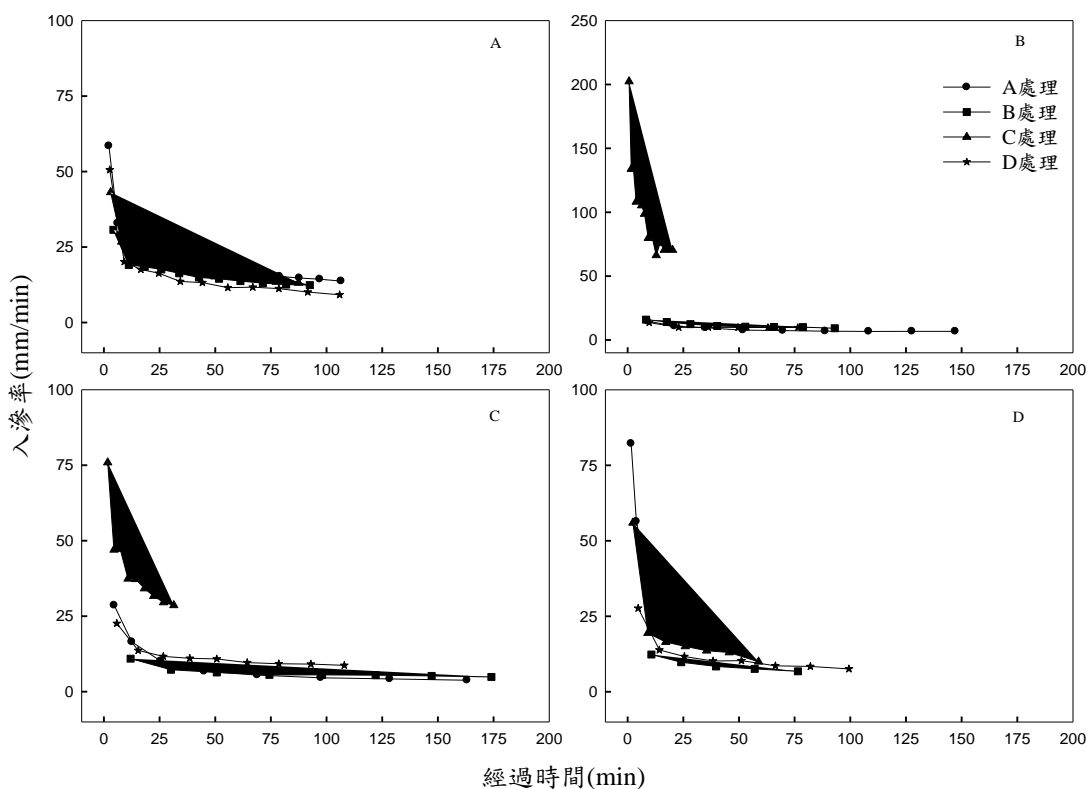


圖 15. 本試驗各處理樣區之土壤水入滲速率。(A：三月分；B：五月分；C：七月分；D：九月分)。

另土壤水入滲率與土壤含水率有關(李泓，2010；林信輝，2010)，當土壤含水率高時，其初始土壤入滲率亦較緩慢，本試驗於初期調查結果亦表現此相關性，然由 2012 年 9 月之後所得之結果綜合觀之，卻不見其相關性，顯示各樣區之土壤入滲率會隨樣區之環境與當日之氣候而有所變化，此結果仍需更長期之持續監測才能精確定論。本試驗之土壤水入滲值較林信輝(2010)以石門水庫東眼山之桂竹林試驗地稍低，推測是因本試驗地之桂竹林分密度相當高(表 3)，致不同試驗地點其地下莖密度會有所不同，故導致此結果。



圖 16. 土壤入滲速率調查之示意圖。

## 7. 桂竹地下莖之調查

竹類地上部型態非常近似，但在地下莖發育形式、根系分布型態等有很大差異，使得根系與土壤崩塌間顯得相當複雜。為深入探究桂竹林地下部之根系，於樣區 1 與 5 附近選取樣區  $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 0.6\text{ m}$ ，共 3 區，共計有 12 株桂竹，地下根莖數量計有 52 根段，根莖走向平均分布於各方向，地下莖網狀交錯，形成強勁的防護網(圖 17)。

經現場調查地下根莖為趨圓形實心，直徑介於 1.6-2.6 cm 間，地下根莖自地表土層向下深分在於 15-40 cm 間，根莖節與節間介於 2.5-3.5 cm，根莖節周邊長出鬚根向外伸展。桂竹根系基本型態主要是以水平主根為主，並無垂直主根型態，且其鬚根皆由地下根莖之節所

延長擴散之，多而密集，數量約一般植物之 3 倍，並隨土層深度增加而遞減，但於本試驗中，表層之根系量為  $16 \text{ kg m}^{-3}$ ，低於 30 cm 深之  $19.2 \text{ kg m}^{-3}$  量，推估這可能是因我們只各取 6 個 core 做為樣本推算，而僅只由此小樣本而要推估大面積時，略顯不足，而此部份會再進一步探討之。於自地表深至 35 cm 間，其鬚根生物量為每公頃  $1,763 \pm 542 \text{ kg}$ ，顯示竹林之地下部，不僅其地下根莖網狀交錯，其鬚根量亦相當可觀，因此能有效覆蓋表層土壤並延遲雨水沖蝕作用，初步判斷桂竹對於抗地表沖蝕能力應具不錯之效果。

另為推估不同地下根莖與根拉張力之關係，可引用宋煦辰(2008)所做之結果，當桂竹地下根徑介於 1.35-2.4 cm 間，其拉張力可藉由  $y=1.85x^{2.03}$  之方程式得之。本試驗區桂竹根段拉力試驗，我們取得 7 根地下根莖，其平均值為  $858.27 \text{ kgf cm}^{-2}$ ，其值較宋煦辰(2008)於桃園縣復興鄉之桂竹林根徑抗拉強度  $253.3 \text{ kgf cm}^{-2}$  大，並且也高於陳耀榮(2006)在中部地區桂竹林所得之結果，本試驗之結果與中拉力鋼筋比較，約為中拉力鋼筋強度( $2,800 \text{ kgf cm}^{-2}$ )之 30.1 %。另因桂竹根系為匍匐根系、生長間距密集，植株與植株間根系相連，亦會使其根系抵抗力發揮團結之作用，故其抵抗力較一般林木大，而由上述之結果中，則可得知桂竹之地下根莖的確是具有穩定邊坡之功能。



圖 17. 各小區之桂竹林地下根莖表示圖。

## 8.新筍生長調查

目前森林及竹林經營著重其各項功能的發揮，而竹林具生產竹材、生產竹筍以及庭園造景之功能，倘若能善加經營管理竹林，則能使其林分發揮最大之效用。竹子的生長可分成三個階段：1.竹筍的生長；2.竹筍-幼竹的生長；3.成竹的生長，在各階段中都可發揮其功用，如竹筍可食用，風味絕佳，成竹可做為建材、工藝用品...等。

竹林的發筍會因竹種、氣候、土壤和經營管理的不同而有差別。竹筍在發育過程中，若遇逆境(如氣候因素、營養不足、病蟲害、人為損傷等)，則會造成竹筍無法健全發育成竹，此現象稱為「退筍」。在立地條件佳、集約經營的竹林，其發筍量並不多，退筍率也相當低，但其筍體粗壯，生長旺盛。而不論何種竹子，在經強烈砍伐後，都會出現大量弱小的竹筍，大部分也會都衰退死亡，小部分長成細小之竹子，顯示竹子的頂端優勢很強，控制了整株植物體的生長調節和養分分配，因強度砍伐、切斷鞭根都足以破壞此種優勢，而使得處於休眠狀態而具分生能力之側芽予以萌發，因而大量發筍。至於退筍率的多寡，成竹的大小，則取決於竹林地上部與地下部之養分的協調分配。

桂竹竹筍盛產期於 3-6 月，竹筍外表有黑色斑紋、光滑無毛、筍較長可達 50-70 cm，筍約高 30-40 cm 為最佳採收期，大部分發筍期為清明節前後要看雨季的多寡才知道竹筍的數量。本試驗於 2013 年 4 月及 5 月至現場調查桂竹發筍之情況，其結果如表 20 所示，顯示各處理間以 B 處理(帶狀擇伐)之發筍率為最高，然 B 處理間之變異極大，這是因第一、二樣帶與第三樣帶間之坡度、方位有所不同(表 2)，因立地環境的不同而導致其差異。經 B 處理(帶狀擇伐)雖可提高竹林之發筍率，但若沒有及時採筍集約經營管理，仍是無法提高其竹筍生產這區塊之經濟效益，此於 5 月再觀察 4 月所記錄之發筍量可發現其枯死率達 9 成 5 以上，由此區氣候資料推測其或許受降雨量所影響。

表 20. 2013 年不同處理間之發筍量(支)

	A 處理	B 處理	C 處理	D 處理
4 月	1.33±0.58	15.67±19.14	1.00±1.00	4.67±5.51
5 月	0.00±0.00	8.33±7.64	0.00±0.00	0.00±0.00

### 9. 召開桂竹林經營作業法研習會

本計畫於 102 年 10 月 28 日假國立中興大學森林系視聽教室辦理「桂竹林經營作業研習會」，邀請各林業先進，包括國立中興大學顏副教授添明及林業試驗所陳研究員財輝作專題及案例報告，以針對桂竹林的特性及經營方式，以及現今台灣桂竹林經營現況等等作探討。

藉由此次研習會與各林業單位相關負責人共同討論桂竹林經營之模式與理念，以期對於竹林可提供之公益功能，如水土保持及國土保安等效能更為深究。本次研習會參加者為林區管理處業務人員、林業試驗單位研究人員及森林系學生等 (圖 18)，議程與講習內容如附件一。



圖 18. 桂竹林經營作業研習會講習。

## 八、結論與建議

### (一)結論

本研究於大溪事業區第 81 林班之桂竹純林進行為期 3 年試驗，依試驗結果得到下述結論：

1. 本試驗林地土壤肥力不高，需靠落葉養分回歸土壤，若適當採取伐採作業增加林內透光度，可幫助促進有機物之分解以提高土壤養分。
2. 本試驗地桂竹林分之平均密度為  $15,250 \text{ culms ha}^{-1}$ ，1、2 年生佔全林 23.8 %，可得知此試驗研究區域為久未撫育或砍伐之竹林，導致竹林之新生竹比例較低，顯示竹林之生產力呈衰退老化的趨勢。
3. 本研究結果桂竹林稈部生物量與胸徑之相關性較高，枝部與葉部則相關性較低。3 年生以上之地上部生物量明顯下降。
4. 依生物量推估結果顯示，桂竹林分地上部生物量為  $113,300 \text{ kg ha}^{-1}$ ，其中葉部為  $5,430 \text{ kg ha}^{-1}$ ，枝部為  $8,980 \text{ kg ha}^{-1}$ ，稈部為  $98,890 \text{ kg ha}^{-1}$ ，葉部、枝部與稈部生物量的比例為 5：11：84。而桂竹林地下部生物量經推估為  $54,790 \text{ kg ha}^{-1}$ ，佔全林分總生物量的 33 %。
5. 桂竹不同部位之平均碳濃度皆有所差異，分別為：葉部 44.35 %，枝部 46.04 %，稈部 47.26 %，地下莖 46.67 %，根部 46.88 %，竹頭 42.37 %，桂竹各部位的 PCC 與林木比較有偏低的趨勢，故此研究結果有助於提昇臺灣竹林碳吸存量估計之準確性。
6. 桂竹林碳貯存量推估結果顯示，地上部碳貯存量為  $47,180 \text{ kg ha}^{-1}$ ，其中稈部為  $46,530 \text{ kg ha}^{-1}$ ，枝部為  $410 \text{ kg ha}^{-1}$ ，葉部為  $240 \text{ kg ha}^{-1}$ ，而地下部碳貯存量為  $25,500 \text{ kg ha}^{-1}$ ，桂竹全林分之碳貯存量為  $72,680 \text{ kg ha}^{-1}$ 。顯示桂竹林每公頃之碳貯存量尚高於其他人工林型。一般竹林大約 3-5 年即可成林，隨即可進行連年伐採，使得收

穫量增加，換言之碳貯存量亦為增加，所以竹類之碳吸存效益實具有其重要性，若未來國際間發展出碳交易市場，竹類應可扮演 CO<sub>2</sub> 減量之重要角色。

7. 本試驗桂竹林分經不同伐採處理 2 年後，其中未伐採樣區(對照組)之新生竹株數比例遽減，顯示不經營之竹林將會日趨老化。
8. 未伐採樣區(對照組)有較低之地被植物生物量，顯示其林分過密致林下植物生長不良。
9. 本試驗土壤沖蝕量的增減較明顯受雨量多寡而影響，一般而言，皆伐會增加地表逕流及提高土壤沖蝕之機會，然在本試驗中 B 處理(帶狀擇伐)至 11 月時土壤高度仍可達到淨增加且無顯著低於其他處理者，顯示本試驗所採取之 20\*20 m 之帶狀擇伐並不致有土壤沖蝕之可能；整體而言，經處理 1 年後各樣區之沖蝕量也未顯著降低，可表示林地土壤並無明顯流失之情形。
10. 桂竹林分覆蓋可以增加土壤的入滲作用，這是因為當竹林的地下莖與根系發展進入土壤內，會使土壤容積密度較小，提高土壤的滲透性；本試驗於降雨量較高時以 B 處理(帶狀擇伐)有較低入滲率，然其並無相對較高之土壤沖蝕量。
11. 目前本試驗地之桂竹發筍情況，顯示 B 處理(帶狀擇伐)可提高竹林之發筍率，然 B 處理間之變異極大，發筍經一月後，其枯死率達 9 成 5 以上，主為樣區之立地環境不同所致。

## (二)建議

綜合上述本研究之結果，前人研究及研習會專家學者之見解，提出下述建議以彌補本研究試驗期間不足之缺憾：

### 1. 經營模式

竹林生長快速，更新期短，應適時伐除老弱之老竹以提高竹林之健康及生產力。經營妥善之竹林其維護林地安定性高，不易產生崩塌或再崩塌，無須過度改正造林，亦能減低經營成本。竹林經營的時間短，一般在 3-5 年即可成林隨即可進行連年伐採，且可取採小面積之集約經營模式。而林木經營時間較長，輪伐期可能需要數十年，故需面積廣大之林地以求永續收穫。

然目前桂竹林培育之經濟效益極低，因此業者不肯收購林道下邊坡竹林且為減少集材架線之障礙，桂竹林幾乎採小面積皆伐方式，即使此種皆伐會損失 1-2 年生未成熟竹材(細胞腔壁不穩定，竹材無工藝利用價值)，以及會延後桂竹林再次收穫的時間。參酌目前經營困境，本研究研提經營實務改善之方式為將林分採小面積帶狀更新，以水平 150 m 林帶為一單位規劃(亦可視林地彈性規劃)，劃分成五水平帶，即每次更新以 30 m 帶寬砍伐，利於小型索道集、運材之作業又減輕對土壤之衝擊，每隔 4 年即可輪迴一次，每次更新伐時於年底施行伐採作業，順次循環施行，以兼顧定期更新之利及水土保持之疑慮。

## 2.加強竹林經營，發揮竹林碳匯效益

此區桂竹林分雖位於石門水庫集水區，水土保持之公益功能是首要目標，應朝向水源區保護之保安林概念經營，然如第一點建議所提，竹林具有生長快速、輪伐期短等之特性，且生長之生物量大於林木，3~5 年即可砍伐，若不適時伐採，反而致使竹林衰退而降低林保護功能。

因竹林之生長快速、產量高，於短時間即可利用並累積一定的生物量，根據概研究之結果及其他學者的研究，竹林確實較其他人工林累積的生物量快，本研究之桂竹林分之碳貯存量即可達 47,180 kg ha<sup>-1</sup>，高於其他人工林型(22,690-32,070 kg ha<sup>-1</sup>)(林裕仁等，2002)，在



在顯示竹林在碳匯能力優於其他人工林，以此前提下作定期有限度之砍伐更新，以維持林分健全亦可兼具碳吸存之生態功能，不僅可以獲得竹筍、竹材等經濟效益，而且是發揮竹林經濟及生態效益的必要措施，在維持固碳方面亦發揮著重要之效用，顯示竹林對於緩和溫室氣體之提高具有相當潛力。

## 九、研究團隊說明

<u>機關名稱</u>	<u>單位名稱</u>	<u>主持人</u>	<u>稱謂</u>
國立中興大學	森林系	廖天賜	副教授
<u>機關名稱</u>	<u>單位名稱</u>	<u>研究人員</u>	<u>稱謂</u>
國立中興大學	森林系	廖天賜	副教授
國立中興大學	森林系	陳宜敏	助理
國立中興大學	森林系	洪淑婷	助理
國立中興大學	森林系	陳奐存	研究生
國立中興大學	森林系	蔡承恩	研究生
國立中興大學	森林系	蕭彧	研究生
國立中興大學	森林系	蔡育宸	研究生
國立中興大學	森林系	陳芳全	研究生
國立中興大學	森林系	詹鈞皓	研究生

## 十、參考文獻

- 中華民國環境綠化協會 2007 石門水庫集水區崩塌地調查監測暨植生保育對策方案之研究計畫。經濟部水利署北區水資源局。
- 王子定、高毓斌 1986 竹類之生長與發育。現代育林 2(1)：27-66。

- 王仁、陳財輝、陳信佑、鍾欣芸、劉恩妤、李宗宜、劉瓊霏 2010 孟宗竹林伐採後二年間地上部生物量與碳吸存量動態。林業研究季刊 32(3)：35-44。
- 王義仲 2004 麻竹稈之生物量與碳蓄積量推估。林產工業 23(1)：13-22。
- 王義仲 2006 竹林生物量調查回顧與展望。2006 年森林碳吸存研討會論文集。167-188 頁。
- 王義仲 2011 竹林經營對減緩溫室效應之助益。林業研究專訊。18(1)：8-11。
- 王慧芳、邵明安 2006 含碎石土壤水分入滲試驗研究。水科學進展 17(5)：604-609。
- 呂錦明 2001 竹林之培育及經營管理。行政院農業委員會林業試驗所林業研究叢刊第 135 號。
- 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。
- 宋煦辰 2007 石門水庫集水區桂竹林根系型態與引拔力學關係之研究。國立中興大學水土保持學系碩士論文。
- 李土生、姜志林 1994 蘇南丘陵主要森林類型保持水土效益的研究。長江流域資源與環境 3(1)：55-59。
- 李正才、楊校生、蔡曉邵、孫嬌嬌、格日東圖、孫雪忠、傅懋毅 2010 竹林培育對生態系統碳儲量的影響。南京林業大學學報 34(1)：24-28。
- 李泓 2010 惠蓀林場不同林分土壤入滲速率研究。國立中興大學森林學系碩士論文。
- 李錦育 1992 台灣杉人工林土壤沖之調查分析(二)。行政院農業委員會林業處森林科。
- 李錦育 1992 台灣杉人工林土壤沖之調查分析(三)。行政院農業委員會林業處森林科。
- 李久先 1977 桂竹林施業に関する研究。日本東京大學博士論文。345 頁。
- 李久先 1983 桂竹林生長型式之研究。科學發展月刊 11(9)：861-867。
- 李伯年 1980 竹筍。台灣農家要覽(上) P.885-889。

- 肖復明、范少輝、汪思龍、熊彩雲、張池、劉素萍、張劍 2007 毛竹 (*Phyllostachy pubescens*)、杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 人工林生態系統碳貯量及分配特徵。生態學報 27(7)：2794-2801。
- 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。
- 林信輝 2010 水庫集水區竹林棲地環境調查暨保育對策之研究(1/2)。經濟部水利署。
- 林信輝、賴俊帆、陳耀榮 2007 桂竹林崩塌地根系型態與其後續崩塌之調查研究。水土保持學報 39(2)：173-187。
- 林俐玲、蔡義誌、游韋菁 2008a 礫石敷蓋與混合對土壤沖蝕影響之研究。中華水土保持學報 39(2)：195-206。
- 林俐玲、蘇煒哲、蔡義誌 2008b 不同土地利用下土壤飽和水力傳導度與粗孔隙之探討。水土保持學報 40(2)：195-204。
- 林裕仁、李國忠、林俊成 2002 以生物量與材積關係式推估台灣地區森林林木碳貯存量之研究。台大實驗林研究報告 16：71-79。
- 林裕仁、劉瓊霖、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。
- 林維治 1976 台灣竹亞科植物之分類(續)。林試所試驗報告 No. 271。75 頁。
- 林維治 1976 台灣竹亞科植物之分類。台灣省林業試驗所試驗報告第 271 號。
- 邱志明 2012 平地造林疏伐標準作業程序芻議。台灣林業 38(3)：43-50。
- 紀怡嘉 2008 台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系碩士論文。
- 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。
- 高毓斌 1987 桂竹之生長與培育。現代育林 2(2)：54-64。

- 高毓斌 1991 巨竹與馬來麻竹物質生產之比較研究。林業試驗所研究報告季刊 6(3)：249-282。
- 高毓斌、張添榮 1989 馬來麻竹人工林之生長與生物量生產。林業試驗所研究報告季刊 4(1)：31-42。
- 郭忠生、吳欽孝 1996 森林植被對土壤入滲速率的影響。陝西林業科技 3：27-31。
- 郭魁士 1997 土壤學。中國書局。P.486-507。
- 陳一兵 1997 紫色土滲透性的對比研究。水土保持學報 17(2)：11-13。
- 陳本康 2005 石門水庫集水區崩塌特性及潛勢評估研究。國立中興大學水土保持學系碩士論文。
- 陳明杰 2007 疏伐作業對人工林林地水土保持影響。林業研究專訊 14(1)：10-13。
- 陳禹弘 2011 更新造林地上部生物量與碳吸存之估算。國立中興大學森林學系碩士學位論文。
- 陳寶昆、楊宇明、張國學、孫茂盛、石明 2007 大型叢生竹的培育技術及其綜合利用研究。西部林業科學 36(2)：1-9。
- 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。
- 陳耀榮 2006 桂竹林崩塌機制動態之調查研究。國立中興大學水土保持學系碩士論文。
- 游麗玉 1995 惠蓀實驗林場桂竹林生物量與養分聚積。國立中興大學森林研究所碩士論文。
- 黃崑崗 1975 桂竹林作業法之研究。林業試驗所試驗報告第 260 號。
- 鄭郁善、洪偉 1998 毛竹經營學。廈門大學出版社。
- 戴廣耀、楊寶霖、沈榮江 1973 台灣之竹林資源。農復會、林務局、航測隊、屏東農專合作計畫。
- 謝明廷 2009 桂竹林土根系統調查與其引拔力學關係之研究。國立中興大學水土保持學系碩士論文。

- 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。p161-172。
- 鍾欣芸、劉瓊霏、陳財輝 2010 不同伐採強度對蓮華池桂竹林生長與生物量的影響。中華林學季刊 43(2)：223-231。
- 顏添明 2006 竹林經營學。國立中興大學竹林經營學講義。
- 顏添明 2011 竹林碳吸存潛力之探討。林業研究專訊 18(1)：19-22。
- 顏正平 2000 根系型在水土保持適用效能之研究。水土保持植生工程研討會論文。p127-137。
- Bui, X. D., G. Takashi, M. Shusuke, R. C. Sidle, K. Kosugi and O. Yuichi 2012 Runoff responses to forest thinning at plot and catchment scales in a headwater catchment draining Japanese cypress forest. *J. of Hydrology* 444-445:51-62.
- Cusack, D. F., W. W. Chou, W. H. Yang, M. E. Harmon and W. L. Silver 2009 Controls on long-term root and leaf litter decomposition in neotropical forests. *Global Change Biology* 15:1339-1355.
- 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.
- Krishn, R. T., B. K. Sitaula, B. M. Roshan and B. Trond 2008 Runoff and soil loss responses to rainfall, land use, terracing and management practices in the Middle Mountains of Nepal. *Agriculturae Scandinavica Section B Soil and Plant Science* 1-11.
- Michelle, A. and R. P. D. Walsh 2007 A portable rainfall simulator for field assessment of splash and slopewash in remote location. *Earth Surf. Process. Landforms* 32:2052-2069.
- Pothier, D. 2001 Twenty-year results of pre-commercial thinning in a balsam fir stand. *Forest Ecology and Management* 168:177-186.

- She, D. L., M. A. Shao, L. C. Timm, I. Placentis, K. Reichardt and S. E. Yu  
2009 Impacts of land-use pattern on soil water-content variability on the  
Loess Plateau of China. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B Soil  
and Plant Science* 1-12.
- Suzaki, T. and T. Nakatsubo 2001 Impact of the Bamboo *Phyllostachys  
bambusoides* on the light environment and plant communities. *J. Forest  
Research* 6:81-86.
- Woods, E., M. Sivapalan and J. Robinson 1997 Modeling the spatial variability  
of subsurface runoff using a topographic index. *Water Resources Research*  
33(5):1061-1073.

附錄一

## 桂竹林經營作業法研習會

日期：民國 102 年 10 月 28 日(星期一)

地點：台中市國光路 250 號森林系 V111 視聽教室

時間	桂竹林經營作業研習會		
0900-0920	簽到、分發研習會資料、領餐券		
0920-0930	開幕式 貴賓致詞		
議 程			
主持人：廖天賜教授			
時間	主 講 人	服 務 單 位	講 題
0930-1020	顏添明教授	國立中興大學	桂竹林的培育與經營
1020-1040	TEA TIME		
1040-1130	陳財輝研究員	行政院農委會林業試驗所	散生竹與叢生竹的生長特性及生物量生產
1130-1220	廖天賜教授	國立中興大學	桂竹林經營對林地沖蝕之探討
1220-1300	午餐時間		
1300-1350	綜合討論(所有講師)		

# 桂竹林之培育與經營

顏添明

## 一、前言

森林法第3條對森林的定義為「森林係指林地及其群生竹、木之總稱。依其所有權之歸屬，分為國有林、公有林及私有林。森林以國有為原則。」此係依構成要素來定義森林，即森林由「林地」及著生於林地上的「竹類或林木」兩大要素所構成，由林木所構成的森林為眾所周知，然而由竹類所構成的森林則被視為較特殊的一類，因為林木和竹類不論在形態、生態、培育或經營方式上皆有很大的差異，但在部份特性或功能上卻有相似之處，因此瞭解兩者之特性有助於森林的培育及經營。

臺灣森林面積高達2,102,400 ha，全島將近有60%的土地擁有森林覆蓋，在所有林地面積中如以天然林、人工林及竹林進行分類，各種森林的面積分別佔全島森林面積的73%、20%及7%（林務局，1995）。由過去森林資源調查的資料可知竹林面積佔大約佔150,000 ha（戴廣耀等，1973；林務局，1995；呂錦明，2001），近年來的調查也發現竹林的面積有擴大的趨勢，有關竹類林型的判定係根據航空照片判釋竹類林冠面積佔50%以上之經濟竹類，即可歸類為竹類林型。而臺灣之主要經濟竹類包括：桂竹、孟宗竹、麻竹、刺竹、長枝竹及綠竹，這些竹類大多以生產竹材或竹筍為主要的經營目標（林維治，1996；呂錦明，2001）。

本文在探討臺灣經濟竹類中相當重要的竹種桂竹，桂竹學名為 *Phyllostachys makinoi* Hayata，為臺灣地區的原生種，分佈於海拔1,500 m以下，面積超過44,000 ha（呂錦明，2010），為臺灣相當具有代表性的竹種，該竹種不論在竹材或竹筍均具有經濟價值，近年來由於著重森林的公益性，讓竹類的碳吸存受到了重視（Yen *et al.*, 2010），本文先介紹竹類與林木在形態與經營特性上的差異，再探討竹類的生態特性，並以桂竹為例，探討其培育與經營。



## 二、竹類與林木之差異及其生態特性之探討

### (一) 竹類與林木在形態上的差異

竹類和林木在外觀形態上有著明顯的差別，由於竹類的花在平時並不常見，因此就葉、莖及根等部位和林木進行比較，如表 1 所示。

表1. 竹類與林木在外觀形態上差異之比較（顏添明，2011）

部位	竹類	林木
葉	葉為單葉互生，多數為披針形、葉脈為平行狀、除葉片外，具有葉舌、葉鞘、葉耳等構造。	葉在形態及大小上有很大的變異，有單葉複葉之分。此外可分為互生、對生及輪生等多種排列方式。
莖	竹類的莖（地上部）特稱為「稈」，一般為中空無形成層，稈部具有節與箨是其重要特徵。此外，單稈散生竹類具有明顯的地下莖，其結構和稈相類似。	林木的莖常以「樹幹」稱之。具有形成層，可以不斷的擴展，林木由於季節的差異造成細胞生長分化速度差別，而形成年輪構造。
根	竹類為虛根系	具主根系與虛根系

### (二) 竹類與林木經營之比較

有關竹類與林木在經營上之特性，茲列舉下列各項比較之（參考呂錦明，2001；顏添明，2011）。

- 1.經濟竹類之繁殖大部份以無性繁殖為主要培育模式；林木在大徑材的培育以有性繁殖的方式為主，少數小徑材或特殊用材方採用無性繁殖的方式進行培育。
- 2.經濟林木的利用主要以木材為主，而竹類除竹材收穫外，尚可以採收竹筍為主要經營目標。
- 3.林木的永續經營需相當廣大面積的林地；竹林因採用擇伐作業所以僅需小規模面積即能達到恆續收穫。
- 4.竹筍的產銷方式和一般農產品相同，此和林木需於木材市場販售有很大的差

別。

5. 不論林木或竹類皆可形成植群中的優勢種，也可以用以建造保安林，再者在使用上也皆可以用以製造傢俱或造紙，是其相同處。

### (三) 竹類的生態特性

竹類在生態上具有相當的多樣性，可構成植物族群之優勢種，或與林木共同形成優勢種，或形成植群中之次要植被。呂錦明（2001）指出，由竹類所構成的植群大致可分為三類：(1) 以純林方式形成竹林；(2) 竹類和林木混生，共同構成第一層林冠的優勢種；(3) 著生於林木所構成的優勢木下方，形成下層或地被植物。

此外，竹類大部份出現於原始植群遭破壞（如火災、人為開發等）後入侵，因此其出現和次生演替有關，但一般在森林呈現極盛象時竹林則會被林木所取代（呂錦明，2001）。

## 三、桂竹林之培育

### (一) 特性及分布

桂竹（*Phyllostachys makinoi*）為孟宗竹屬（毛竹屬）之重要竹種，屬於單稈散生型竹類，植體較孟宗竹為小，籜為革質淺棕色，具有褐色斑點，為臺灣之原生種（劉業經等，1994；呂錦明，2001；Yen *et al.*, 2010）。桂竹之竹材品質優良，具多種用途，早期之竹材傢俱或大部份為桂竹所製，此外也包括農俱或農業用的支架等。由於桂竹除了可提供竹材外，竹筍亦為美味佳餚，所以過去栽植面積很廣泛，根據戴廣耀等（1973）對竹林資源調查結果顯示，桂竹林之面積高達 44,906 ha，分佈範圍可遍及臺灣各地，其中以南投縣、苗栗縣、嘉義縣為最多。此外，戴廣耀等（1973）以海高度區分，發現海拔 500 m 以下分布最多，其次為 500-1000 m。一般而言在臺灣地區，桂竹的適生海拔為 1500 m 以下。在株數分布上，桂竹每頃之株數可高達萬株以上，林維治（1958）之調查結果桂竹平均為 13,136 culms ha<sup>-1</sup>；而戴廣耀等（1973）之調查則為 14,932±1,342 culms ha<sup>-1</sup>。

## (二)生育地(參考劉業經等，1979；呂錦明，2001)

- 1.氣候：溫度自暖帶至熱帶均適宜，雨量在 2,000 mm 以上。
- 2.土壤：土層深厚而且排水良好的砂質壤土。
- 3.立地：海拔高度 1,500 m 以下為其適生地，但在沿海地區則生長不佳。

## (三)造林法(參考劉業經等，1979；呂錦明，2001)

- 1.造林地之整治：竹類之造林地整治可分為：(1)全壟法、(2)帶狀法、(3)塊狀法。  
一般單稈散生竹類以全壟法較適合。
- 2.竹苗之準備：桂竹的竹苗可分為兩大類：(1)地下莖帶有母竹、(2)地下莖不帶母竹。
- 3.竹苗搬運：竹苗在搬運過程最忌風吹及日晒，應置於陰涼處。
- 4.包裝：地下莖帶母竹者，最好採單株包裝；地下莖不帶母竹者，可以 20~50 為一捆。
- 5.栽植時期：可分為秋植及冬植。另外單稈散生竹類可採用「地下莖誘導法」誘導其加快成林。

## (四)撫育及管理

包括除草、數草及施肥等。林文鎮（1973）之研究顯示，施肥能有效提昇新竹株數及竹稈高度及胸徑等。李久先（1977）之研究亦顯示，施肥對新竹的萌發有正面的效果，可提昇 18% 的新竹數量。雖施肥對竹類生長具正面效果，但竹農主要係以投入產出的概念考量是否進行施肥。

## (五)生長

一般竹類生長自無性繁殖開始計算，即自地下莖萌發筍開始，約 2-3 個月其胸高直徑及稈高即已完成生長，在此期間包括枝條萌發葉部展開，此階段稱為竹類生長的第一階段，但根據臺灣地區桂竹林的相關研究，約月餘即可完成此階段（李久先，1977）；自胸高直徑及稈高生長完成後，竹類的稈高即不再增加，但竹稈的乾物質仍會不斷的累積，就利用的觀點而言，約 4-5 年在竹稈的強度為最適合人類利用，此階段為竹類生長的第二階段，過此階段竹類雖仍會繼續累積

乾物質，但過度累積乾物質易造成竹稈縱裂，在利用也會失去價值，因此必需在第二階段完成其收穫（呂錦明，2001；Yen *et al.*, 2010）。

#### (六)竹林收穫及永續經營模式

桂竹林的經營主要需考量以(1)竹材或竹筍為主要收穫的經營方式、(2)連年或隔年的收穫模式、(3)集約或粗放式的經營(顏添明，2011)。有關竹林的收穫和竹林的生長特性有著密切相關，因此可就竹林的無性繁殖特性規劃其收穫模式，竹林由於每年均可萌生新竹，因此形成異齡林的結構，如以5年為其收穫期，即竹稈至5年時需進行伐採，且在新竹發生時保留一定的數量，即形成竹林永續收穫的模式（Yen *et al.*, 2010; Yen and Lee, 2011; Yen and Wang, 2013）。有關竹林經營之永續模式如圖1所示。

#### 四、結語

竹林的經營只要在合理的規劃下，小面積即可以達到永續收穫，其伐採方式係採用擇伐進行收穫，桂竹林早期之經營方式係以竹材收穫為主要的經營目標，迄今因竹材利用勢微，目前桂竹林的經營主要以採收竹筍為主要的經營目標，雖臺灣有大面積的桂竹林，有大部份因獲利低或無可圖而呈荒蕪實為可惜，由於目前在環境上強調森林碳吸存的功能，國際上也有些文獻指出，在適度經營管理的條件下竹林的碳吸存能力不亞於林木，甚至可以超越林木，因此竹類可視為碳吸存的重要植物之一。另外若要振興竹林，有賴政府投入輔導，除在竹筍產銷方面，尚需加強竹材利用，對於碳吸存才能有具體的貢獻。

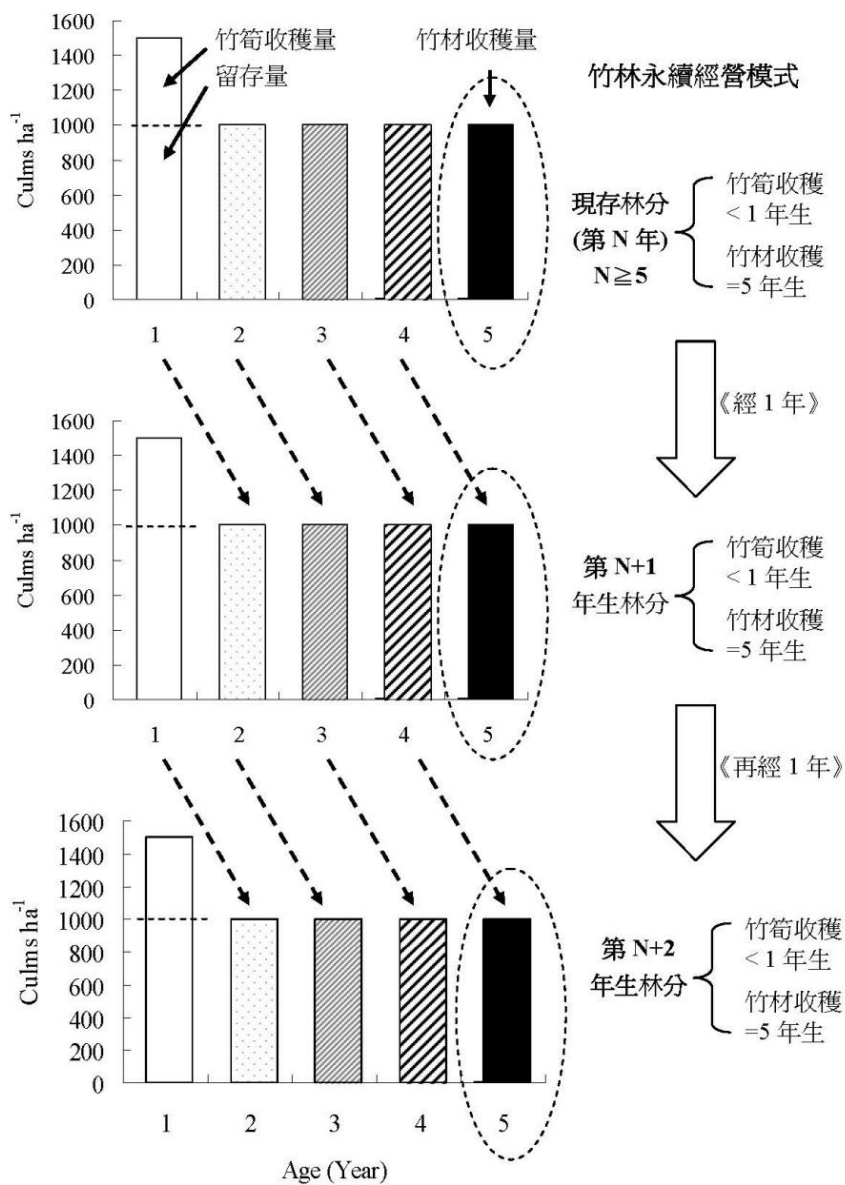


圖1.竹林之永續經營式圖 (顏添明, 2011)

## 五、參考文獻

- 王子定、高毓斌 (1986) 竹類之生長與發育。現代育林 2(1): 27-66。
- 江濤 (1971) 台灣之竹類資源及其經營。中華林學季刊 4(4): 77-107。
- 呂錦明 (2001) 竹林之培育及經營管理。行政院農業委員會林業試驗所 林業研究叢刊第 135 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。

- 林文鎮 (1973) 桂竹 (經濟木竹之栽培)。中國農村復興聯合委員會印行:49-53。
- 林維治 (1958) 台灣竹類生長之研究。台灣省林業試驗所試驗報告第 54 號。
- 林維治 (1976) 台灣竹亞科植物之分類。台灣省林業試驗所試驗報告第 271 號。
- 林維治 (1996) 竹類論文集 (台灣省林業試驗所出版林業叢刊第 69 號)。 P.42, 67-68, 135。
- 林維治、康佐榮、黃松根、江濤 (1962) 台灣主要竹林資源之調查。林試所/農復會合作報告第四號。
- 徐火權 (1981) 竹山地區桂竹林經營之分析。中興大學森林研究所碩士論文, 59 頁。
- 高毓斌 (1987) 桂竹之生長與培育。現代育林 2(2): 54-64。
- 劉必先 (1987) 竹類的栽培與利用 五洲出版社發行。
- 劉業經、林文鎮、林維治 (1979) 台灣經濟樹木育林學 國立中興大學教務處出版。
- 劉業經、歐辰雄、呂金誠 (1994) 臺灣樹木誌 國立中興大學農學院叢書第 7 號。
- 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。
- 豐年社 (1982) 竹書 豐年社。
- 顏添明 (2011) 竹林經營法講義。50 頁。
- 李久先 (1977) 桂竹林施業に関する研究。日本東京大學博士論文, 345 頁
- Nath, A. J., Das, G., Das, A. K. (2009) Above ground standing biomass and carbon storage in village bamboos in North East India. *Biomass and Bioenergy*, 33, 1188-1196.
- Scurlock, J. M. O., Dayton, D. C., Hames, B. (2000) Bamboo: an overlooked biomass resource? *Biomass and Bioenergy*, 19, 229-244.
- 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., Wang, C. T (2013) Assessing carbon storage and carbon sequestration for natural forests, man-made forests, and bamboo forests in Taiwan. International Journal of Sustainable Development & World Ecology 20(5): 455-460.

Yen, T. M., Y. J. Ji, and J. S. Lee (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.

# 散生竹與叢生竹的生長特性及生物量生產

陳財輝

## 一、前言

竹子是重要的森林資源，約佔全球森林面積之 3.2%。竹子在地球分佈廣，遠從北緯 46°到南緯 47°之熱帶和亞熱帶地區，橫跨非洲、亞洲和中南美洲。世界有竹類植物 70 餘屬，1200 餘種，主要分佈於熱帶和亞熱帶地區，少數種類分佈於溫帶和寒帶。全球竹林面積約 2200 萬公頃，年生產竹材約 1500~2000 萬噸。根據聯合國世界糧農組織 (FAO) 及國際竹藤組織 (INBAR) 2005 年的調查報告，全世界的竹類資源有 65% 分佈在亞洲，其次為美洲 28% 和非洲 7%。；在亞洲主要竹類生產國中，印度的竹類資源面積佔最大 (約 1,140 萬公頃)，中國超過 540 萬公頃居次。

台灣的竹林面積達 175,638 ha，其中麻竹 (*Dendrocalamus latiflorus*) 90,865 ha (佔 51.7%，但純林僅 14,911 ha，其餘為木竹混生林)，桂竹 (*Phyllostachys makinoi*) 43,774 ha (佔 24.92%)、荊竹 (*Bambusa stenostachya*) 30,658 ha (其中純林 17,280 ha，其餘為木竹混生林)、綠竹 (*Bambusa oldhamii*) 4,459 ha (佔 2.5%) 及孟宗竹 (*Phyllostachys edulis*) 3,296 ha (佔 1.9%) 等，竹林佔台灣林地面積 2,101,719 ha 之 8.35% (戴廣耀等，1973)。

20 世紀以來，竹類的快速繁殖及利用方式極廣，竹類資源的永續利用，在全球各地多受到高度重視。熱帶及亞熱帶地區一直重視竹子造林工作。人工竹林取代原始竹林的 1/3，竹林面積增加了 1 倍，竹材產量提高了 1~2 倍。過去竹材主要作為農業用具、建築工業、造紙工業、竹材加工業及日常生活用品。

## 二、臺灣竹類植物之特性

### (一) 臺灣的主要竹種

臺灣主要竹類約有六種，分別為散生型桂竹 (*Phyllostachys makinoi* Hayata)、孟宗竹 (*Phyllostachys pubescens* Mazel)，及叢生型麻竹 (*Dendrocalamus latiflorus* Munro)、荊竹 (*Bambusa stenostachya* Hackel)、長枝竹 (*Bambusa dolichoclada* Hayat) 及綠竹 (*Bambusa oldhamii* Munro)，其分佈略有區域性差別，桂竹主要分佈於北部之新竹縣、苗栗縣及中部南投縣之部份地區，孟宗竹主要分佈於中部之南投縣及嘉義縣等地區，麻竹以中部為主要產地，荊竹及長枝竹以南部為主要產地 (劉正宇、李文昭，2002)。

在資源利用上，桂竹、孟宗竹以生產竹材為主要經營方式，兼作竹筍生產；孟宗竹又稱為毛竹、南竹、江南竹、茅竹、茅茹竹...等、稈面平滑，節低肉厚，表皮堅韌容易劈裂，傳統的竹圍仔、竹籠皆以此編製，亦可供建築鷹架、竹材雕刻、膠合地板、球棒、層積竹材或其他工藝品等使用。；桂竹又稱為台灣桂竹、



桂竹仔、筴竹、棉竹...等，為台灣特有種，主要生長在台灣北、中部海拔150~1500公尺的山區，表皮深綠色，經除油後色澤優美，材質細緻堅韌，富彈性，是編織藝品的上等材料；筴竹呈褐色，在各類竹材中抗彎強度最大。農業時代常用來製作農漁及生活用具，如搖籃、竹篾門扇、椅轎、米籬、菜籃...等。今用於建築、竹劍、包管傢俱、編織藝品、竹蓆、竹簾、竹炭等，用途極廣。

麻竹、綠竹則以採筴為主，兼作竹材生產；麻竹又稱為甜竹、大葉烏竹、大頭典竹..等，材質柔軟、粗糙肉厚，唯節較硬，不易劈裂，且甜份較高，容易蟲蛀，竹材可供編織、竹編膠合板、竹排等之用；綠竹又稱為毛綠竹、烏藥竹、甜竹等，表皮厚呈深綠色，主要以供筴為目的，經濟價值高，竹材亦可供農業搭棚架及造紙原料之用。另一種變種的綠竹筴，筴枝形狀和綠竹筴相似，但卻比綠竹筴來的大些，其筴有多數黑毛，呈淡綠黑色，為烏殼綠竹筴。

荊竹、長枝竹專供生產竹材，兼作防護林栽植，用於防風定砂等保安功能；荊竹又稱為鬱竹、筴竹、大筴竹..等，表皮粗糙，強韌耐磨，早期農戶用來製作各種傳統耐用的農家器物，今為編織、雕刻工藝用材；長枝竹又稱為枝竹仔、桶仔竹，材質富韌性，可作為編織工藝用材，唯表皮色澤較差，使用時常須去皮，且容易蟲蛀是其缺點，竹材亦可供香蕉支柱之用。

## (二) 竹類的生長特性

晉代(265-420)戴凱之先生撰寫《竹譜》為世上最早之竹類專書，緒論中：「植物之中，有物曰竹，不剛不柔，非草非木，.....」，由此可知竹類特性與草本、木本植物有極大的差異，竹秆中空、有節，與林木樹幹不同，且部分叢生竹種枝條具銳刺，竹箨在竹子幼年期，提供保護作用，待竹子開始展葉後，竹箨即會脫落，不同竹種之竹箨略有不同，有些會被毛(如烏腳綠竹)，有些則呈光滑狀(如綠竹)。

竹類自出筴後，脫箨成秆，生長迅速，數十日間高達數公尺乃至二十餘公尺，其一日間最大生長量，亦達一公尺(林維治，1958)。竹類胸徑大小通常在1~3個月內，就可生長完成，之後秆徑並不會隨著年齡增加而繼續生長。竹類生長快速的原因是其各分節均有細胞分裂區及細胞伸長區，故當其他植物唯有頂端的分生組織在生長時，竹子卻每節都在同時生長。但隨著竹材不斷長大，竹節外面包裹的箨就會脫落，竹的高度就停止生長了，但其內部的組織依然在不斷進行生長中。

竹類的地下莖分為四種型態，橫走側出單秆散生型、地下莖合軸叢生型、橫走莖側出合秆叢生型、走出莖合秆叢生型：

1. 橫走側出單秆散生型：地下莖屬於匍匐型地下莖，地下莖蔓延土中，成波浪狀前進，地下莖芽苞可以萌出地面發育成竹，或在地中匍匐發展新的地下莖系統。代表竹種：桂竹、孟宗竹。

2. 地下莖合軸叢生型：竹稈基部之稈基部位即為地下莖，每節各具一芽苞，緊接母稈出筍成竹，其下方芽苞待上方芽苞發育成長後，相繼膨大繼續發育成竹次年再由新竹之直立型芽苞，以相同模式萌發成新竹。代表竹種：麻竹、綠竹、蔴竹、長枝竹。
3. 橫走莖側出合稈叢生型：散生中之叢生，第一年由匍匐性橫走之地下莖芽苞萌發成稈，形成散生狀態，第二年再由稈之基部芽苞發筍成稈，而成為合稈叢生。代表竹種為包籜矢竹 (*Pseudosasa usawai*)。
4. 走出莖合稈叢生型：叢生中的散生，地下莖同樣位於稈基部，當芽苞開始發育伸長時，先延伸其有節無芽之莖脛部分，而其先端則直接出土發育成竹初為單稈散生，次年再從稈基之直立型地下莖上之芽苞，一面萌發新竹為叢生狀，另一面再延伸其芽苞之莖脛部分。代表竹種為梨果竹。

### 三、竹材發展概況及面臨的問題

臺灣在民國70~80年代的竹林產業曾經相當昌盛(Tai, 1985)，政府輔導民間業者設廠，協助業者採購機器設備、出口，鼓勵相關單位及學校進行竹材的物理加工、防腐防蛀、塗裝技術等研究工作，且因膠合劑技術進步，使得層積竹材研製成功，產業環境優渥，竹加工出口值大幅成長。過去因為竹稈及竹筍具有很高的經濟價值，林農通常以集約方式經營管理各種竹林，藉以增加竹林或竹筍的生產量與經濟收益，而定期實施竹林伐採更新作業，保持竹林的高生產力及竹林之年輕齡級狀態(Kao et al., 1989)。

但近年來工業發展迅速，臺灣受到社會經濟、工業發展、產業轉型，竹材替代品出現，如塑膠、金屬及複合材料等替代產品，逐漸取代竹製品，竹工業競爭力衰退，竹類產品之市場佔有率萎縮，以及中國大陸和東南亞大量廉價品的進口衝擊下，使得竹相關產業經營困難，造成國內竹產業每況愈下，由於竹材傳統利用量大幅滑落，故竹農也放任竹子任意生長，大多竹林成為荒廢放棄管理狀態，長期缺乏伐採管理之竹林，造成現存竹林常呈現傾倒竹及枯死竹充斥之過密林分，促使竹林生產力降低、地下根系生長停滯，由於土壤剪應力增加或抗剪強度降低，間接造成竹林地崩塌情形(林信輝、翁書敏，2011)，除此之外，荒廢放棄管理的竹林地日益擴張亦對森林生態系產生不利之影響。

邱祈榮等(2008)利用林務局第三次森林資源及土地利用調查，以其航照樣點調查資料估算竹林面積分布，結果顯示竹林面積在北部地區有面積越來越大的現象，無持續進行經營管理的竹林，對於自然環境保護及人為竹材利用皆有不良影響。

### 四、竹林調查及生物量估算

#### (一) 竹林調查

近年來由於颱風挾帶豪雨，引發中部山區山坡地嚴重崩塌及土石流，致國土嚴重受創及流失，尤其民國 93 年敏督莉及艾利颱風更造成新竹縣五峰鄉、尖石鄉、苗栗縣泰安鄉及中部地區山坡地等竹林前所未有的崩塌與破壞，部分環保團體人士歸罪竹林地所造成的影響（陳耀榮，2006）。

然而根據林信輝等（2007）的試驗結果，其認為竹類對抗地表之沖蝕能力佳，且在日本傳統上亦多將竹類作為河濱帶防止沖刷的選用植物，即利用其密集之地下莖根系來穩定邊坡土壤（Toko and Takayuki, 2001），因此竹類生長對於穩固山坡地土壤移動有一定之貢獻。但是竹林若未進行適當之撫育經營，反而會使得林分生產力下降，進而導致竹林防止地滑及崩塌等天然災害發生的能力下降（林信輝等，2007）；此外，未經適當經營管理之竹林的林分透光率會降低，以致竹林內生物多樣性隨之下降（Toko and Takayuki, 2001），因此適度的疏伐逾齡老竹或枯死竹等之林相整理工作，有助於改善以上諸多竹林劣化的情況，故希望藉由調查桂竹林分之生長狀況、估算其生物量累積，來瞭解竹林之生長現況，以作為未來竹林經營管理之參考資料。

## （二）生物量計算

地上部生物量計算主要根據林地之每竹調查結果，依胸高直徑階進行分層取樣，於樣區外大致按調查樣區林分胸徑與各層分布比例，依不同胸徑大小，選擇 15 株樣竹，每樣竹從基部伐倒，量測樣竹總長度，再將樣竹之枝葉與竹稈分離，分別秤量竹稈、竹枝及竹葉之鮮重並記錄之，之後，每樣竹需取竹稈、竹枝及竹葉之小樣本約 200 ~ 500 g 帶回實驗室，放入烘箱烘至絕乾，再秤其絕乾重及計算各部位之含水率，並依上述各數據建立胸高直徑與生物量（絕乾重）之迴歸方程式，並利用此方程式進行生物量之計算。

## （三）各竹種調查

### 1. 桂竹-石門水庫集水區

本試驗於石門水庫集水區內選擇 6 個林班，分別為行政院農業委員會林務局新竹林區管理處所轄之大溪事業區第 42、80、145 及 167 林班，和竹東事業區第 119、124 林班，以進行桂竹之生物量調查。

將所獲得之現場調查資料，代入所建立之迴歸式中，求得該樣區單位面積之竹稈、枝條、葉及地上部總乾重。地下部之生物量則以樣區為單位，利用平均法進行推算，最後合計地上部及地下部之總生物量。

由圖 1 可知不論是竹稈、枝條或是葉子之生物量皆以大溪 42 林班為最高，分別是  $63.45 \pm 4.88$ 、 $10.02 \pm 0.80$ 、 $8.07 \pm 0.52 \text{ ton ha}^{-1}$ ，竹東 124 林班為最低，分別為  $33.70 \pm 4.58$ 、 $3.53 \pm 1.05$ 、 $3.76 \pm 0.99 \text{ ton ha}^{-1}$ ，其他各樣區間差異不大，地上部生物量累積變化與竹稈生物量一致，以大溪 42 林班之  $81.68 \pm 6.19 \text{ ton ha}^{-1}$  為最高，竹東 124 林班之  $40.99 \pm 6.63 \text{ ton ha}^{-1}$  為最低，地下部生物量累積多數在  $164.37 \pm 11.66 \sim 190.10 \pm 15.75 \text{ ton ha}^{-1}$ ，唯獨在竹

東 124 林班顯著低於其他樣區，其地下部生物量累積為  $130.53 \pm 3.49 \text{ ton ha}^{-1}$  (圖 2)。另外，可發現地下部所佔之生物量遠較地上部為多。

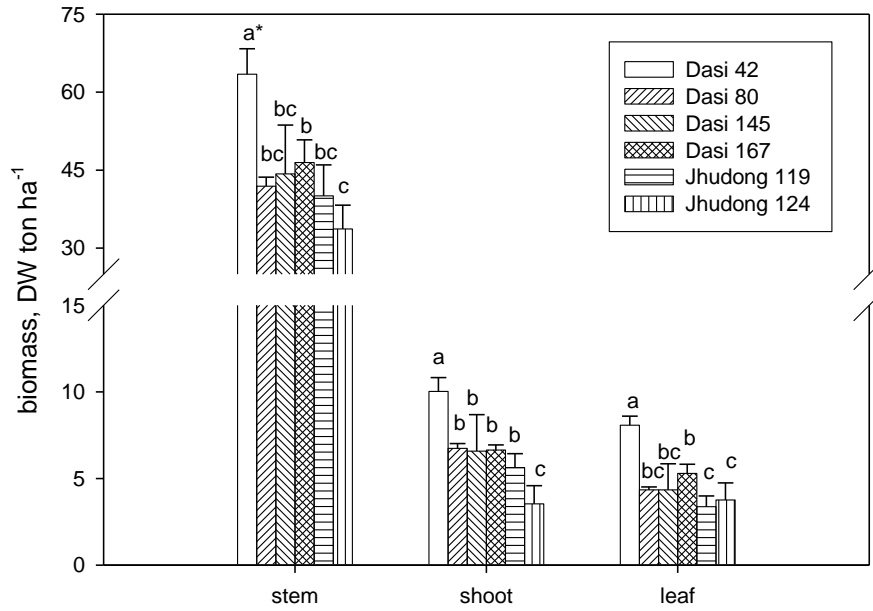


圖 1. 桂竹林竹稈、枝條及葉量乾重

(\* 使用最小顯著差異測驗法進行分析，英文字母不同，表示差異顯著 ( $p < 0.05$ ))

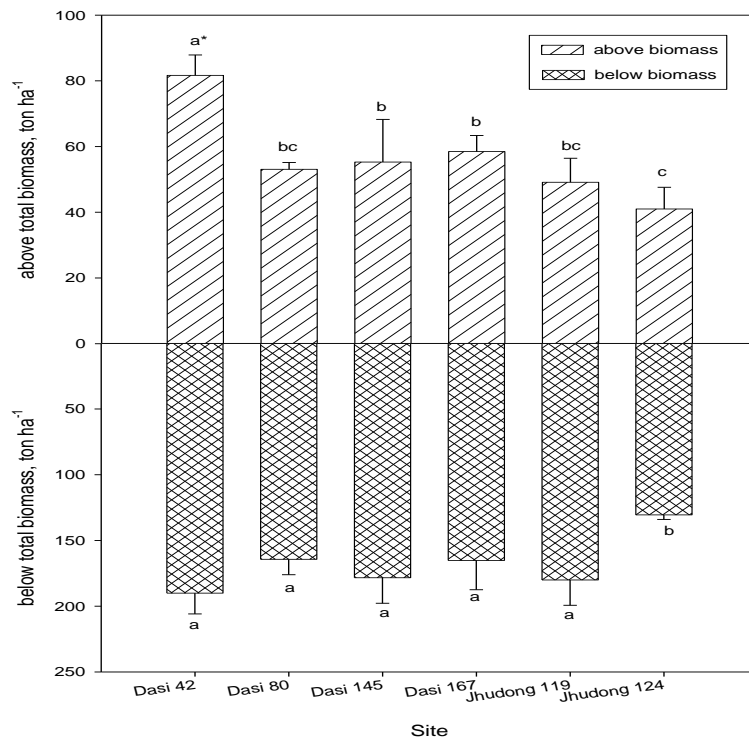


圖 2. 桂竹林地上部及地下部生物量

(\* 使用最小顯著差異測驗法進行分析，英文字母不同，表示差異顯著 ( $p < 0.05$ ))

## 2. 孟宗竹-南投縣鳳凰山

本試驗於南投縣鹿谷鄉之線浸林道內，分為 5 種處理進行觀察，分別為施用有機肥  $0.6 \text{ kg m}^{-2}$ (A)、施用黃豆殼  $0.6 \text{ kg m}^{-2}$ (B)、竹闊混合林(C)、對照組(D)及坡向西北(E)，以進行孟宗竹之生物量調查。

由結果發現新生竹比例在竹闊混和林高達 16.4%，而純竹林及坡向西北則分別為 13.2、12.0% (表 1)，枯死率部分則是以坡向西北死亡比例最多，為 18.9%，最終林分平均密度以純竹林之  $6,300 \text{ culms ha}^{-1}$  為最高，坡向西北 ( $5,500 \text{ culms ha}^{-1}$ ) 次之，竹闊混和林 ( $4,900 \text{ culms ha}^{-1}$ ) 再次之 (表 1)。

孟宗竹地上部生物量除西北向 ( $43.2 \pm 5.2 \text{ ton ha}^{-1}$ ) 之外，大多介於  $73.2 \sim 91.6 \text{ ton ha}^{-1}$  之間(表 2)。將此地之孟宗竹林生物量與其他地點相比較，南投縣惠蓀林場之生物量累積為  $57.9 \text{ ton ha}^{-1}$ 。

表 1. 孟宗竹之林分基本資料

林分立地	林分密度 (culms ha <sup>-1</sup> )	新生竹密度 (culms ha <sup>-1</sup> )	新生率 (%)	枯死率 (%)
純竹林	$6,300 \pm 464$	$756 \pm 274$	$13.2 \pm 3.4$	$6.3 \pm 4.9$
竹闊混和林	$4,900 \pm 872$	$667 \pm 58$	$16.4 \pm 2.1$	$2.2 \pm 2.2$
坡向西北	$5,500 \pm 265$	$667 \pm 306$	$12.0 \pm 6.6$	$18.9 \pm 3.4$

表 2. 孟宗竹之地上部生物量

處理	地上部生物量 (ton ha <sup>-1</sup> )			
	稈生物量	枝生物量	葉生物量	地上部生物量
施有機肥	$61.0 \pm 17.0$	$9.7 \pm 3.2$	$2.5 \pm 1.0$	$73.2 \pm 21.2$
施黃豆殼	$69.9 \pm 9.1$	$10.8 \pm 1.4$	$2.8 \pm 0.4$	$83.5 \pm 10.8$
對照組	$75.7 \pm 20.2$	$12.4 \pm 4.0$	$3.4 \pm 1.3$	$91.6 \pm 25.4$
闊竹混合林	$60.6 \pm 13.8$	$10.1 \pm 2.5$	$2.8 \pm 0.7$	$73.5 \pm 17.0$
西北向	$36.5 \pm 4.4$	$5.5 \pm 0.7$	$1.2 \pm 0.2$	$43.2 \pm 5.2$

## 3. 麻竹-台南市白河區

本試驗於台南市白河地區麻竹林，調查麻竹於集約經營和粗放經營下之生物量差異，而生物量之分析則是依據之前調查所建立之迴歸式進行計算，並將 100 ~ 102 年度之歷年調查結果加以比較。

本次調查結果顯示集約經營麻竹林之胸高直徑平均為 7.4 cm，竹高平均為 11.8 m，枝下高平均為 5.4 cm，年齡平均為 2.0 年生 (表 4.)。在粗放經營方面，本次調查結果顯示麻竹林之胸高直徑平均為 7.0 cm，竹高平均為 9.7 m，枝下高

平均為 5.2 cm，年齡平均為 3.2 年生（表 3.），由結果可知集約經營之麻竹林各生長性狀皆高於粗放經營之麻竹林。進一步比較 2011 至 2013 年粗放經營之麻竹林地上部生物量變化，根據分析結果可發現，地上部生物量之各部分皆有逐年下降的趨勢，竹稈乾重從 62.5 ton ha<sup>-1</sup> 下降到 60.2 ton ha<sup>-1</sup>，竹枝乾重從 17.1 ton ha<sup>-1</sup> 降低到 16.7 ton ha<sup>-1</sup>，竹葉乾重從 14.9 ton ha<sup>-1</sup> 降低到 10.9 ton ha<sup>-1</sup>，總乾重從 94.5 ton ha<sup>-1</sup> 下降到 87.9 ton ha<sup>-1</sup>（圖 3.）。

綜合上述各項資料比較可知，不同經營作業方式對麻竹林之生長性狀和生物量之累積皆有一定的影響，若能選用適當之經營方式不僅麻竹林之生長性狀表現較良好，亦能增加麻竹林生物量之累積，有助於 CO<sub>2</sub> 之固定。

表 3. 粗放經營之麻竹生長性狀

項目	胸徑 (cm)	竹高 (m)	枝下高 (m)	年齡 (year)
平均	7.0 ± 0.3	9.7 ± 0.5	5.2 ± 1.0	3.2 ± 0.2

表 4. 集約經營之麻竹生長性狀

項目	胸徑 (cm)	竹高 (m)	枝下高 (m)	年齡 (year)
平均	7.4 ± 0.2	11.8 ± 0.2	5.4 ± 0.6	2.0 ± 0.3

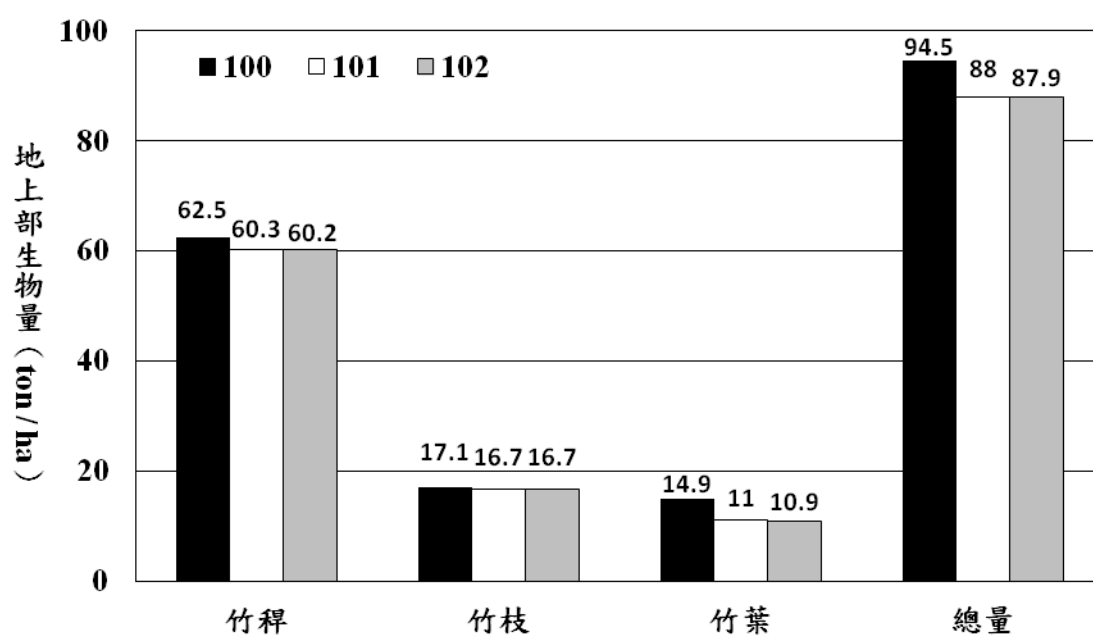


圖 3. 粗放經營之歷年麻竹地上部生物量

#### 4. 綠竹-台南市龍崎區

本試驗於於台南縣龍崎鄉 (E: 120°23.514', N: 22°58.679')，調查一處約一年為進行管理之綠竹林分，調查項目主要為樣區內綠竹之生物量調查及林分基本資料。

根據調查結果顯示綠竹之叢密度約為 $550 \pm 50$  clump  $ha^{-1}$ ，竹稈密度為 $10,766 \pm 1,159$  culms  $ha^{-1}$ ，枯死率為 $3.9 \pm 5.1$  % (表5)。

生物量方面是依據之前調查所建立之迴歸式，依稈、枝、葉各部分進行推估，再將各估值加總，以取得綠竹之總乾重，結果如表6所示，其中稈、枝、葉佔總乾重比例分別為50.9、36.2、12.9%，平均總乾重為 $52.8$  ton  $ha^{-1}$ 。

表 5. 綠竹之林分基本資料

項目	叢密度(clump $ha^{-1}$ )	竹稈密度(culms $ha^{-1}$ )	枯死率(%)
平均	$550 \pm 50$	$10,766 \pm 1,159$	$3.9 \pm 5.1$

表 6. 綠竹之地上部生物量

項目	地上部生物量 (ton $ha^{-1}$ )			
	稈乾重	枝乾重	葉乾重	總重
平均	$26.9 \pm 2.2$	$19.1 \pm 1.7$	$6.8 \pm 0.6$	$52.8 \pm 4.4$
佔總重比例	50.9%	36.2%	12.9%	100%

## 5. 蔴竹-台南市左鎮區

本試驗地位於台南市左鎮區內 (E:  $120^{\circ}24'55''$ , N:  $23^{\circ}0'16''$ )，海拔高度 64.8 m，屬於林務局嘉義林區管理處玉井事業區內，主要調查樣區內綠竹之生物量調查及林分基本資料。

根據本試驗調查 60 年生之竹叢面積平均約為  $12.4$   $m^2$ ，竹叢密度為  $300$  clumps  $ha^{-1}$ ，平均竹稈密度 (含枯死竹稈) 達  $24,533$  culms  $ha^{-1}$  (表 7)，竹叢內竹稈的枯死比例為 49.5%，高於桂竹枯死率 8% (鍾欣芸等, 2010)。

利用竹叢大小推測單位林地上之刺竹林分生物量，可得平均竹稈生物量為  $208.0$  ton  $ha^{-1}$ ，竹枝量為  $17.5$  ton  $ha^{-1}$ ，竹葉量為  $18.3$  ton  $ha^{-1}$ ，共計地上部總生物量為  $243.8$  ton  $ha^{-1}$  (表 8)

表 7. 蔴竹之林分基本資料

項目	竹叢面積 ( $m^2$ clump $^{-1}$ )	竹叢密度 (clumps $ha^{-1}$ )	竹稈密度 (culms $ha^{-1}$ )	枯死率 (%)
平均值	$12.4 \pm 3.9$	300	$24,533 \pm 124$	$49.5 \pm 1.1$

註：竹稈密度包含枯死竹稈。

表 8. 蔴竹林分地上部生物量

項目	地上部生物量 (ton $ha^{-1}$ )			總生物量 (ton $ha^{-1}$ )
	竹稈	竹枝	竹葉	

平均值	208.0 ± 12.2	17.5 ± 1.0	18.3 ± 0.8	243.8 ± 47.4
-----	--------------	------------	------------	--------------

## 6. 長枝竹-台南市龍崎區

本試驗於台南縣龍崎鄉（E：120°23'944”，N:22°58'871”），為一荒廢竹林地，主要調查樣區內長枝竹之生物量調查及林分基本資料。

根據調查結果顯示長枝竹之竹叢密度為 566.67 ± 115.47、竹稈密度為 13,233 ± 2,079 culms ha<sup>-1</sup>，新生率為 48.88 ± 1.90 %，枯死率為 12.29 ± 6.12 %（表 9.）

將林分資料套用之前調查所建立之迴歸式，依稈、枝、葉各部分進行推估，再將各估值加總，以取得長枝竹之總乾重，結果如表 10 所示，其中稈、枝、葉佔總乾重比例分別為 78.7、17.1、4.2%，平均總乾重為 52.8 ton ha<sup>-1</sup>。

表 9. 長枝竹之林分基本資料

項目	竹叢密度 (clumps ha <sup>-1</sup> )	竹稈密度 (culms ha <sup>-1</sup> )	枯死率 (%)	新生率 (%)
平均	566.67 ± 115.47	13,233 ± 2,079	48.88 ± 1.90	12.29 ± 6.12

表 10. 長枝竹之地上部生物量

	地上部生物量 (ton ha <sup>-1</sup> )			
	稈乾重	枝乾重	葉乾重	總重
平均值	65.4 ± 16.3	14.2 ± 3.1	3.5 ± 0.8	83.1 ± 20.2
佔總重比例	78.7%	17.1%	4.2%	100%

## 五、竹材新的研究方向

近年來，我國為提升竹製品及其相關產業的競爭力，積極研發新的技術及找尋新的研究方向，以提升我國竹產品之價值及國際競爭力，以下針對幾種目前現行方向及研究作介紹：

### （一）精緻竹工藝

精緻竹工藝係將傳統工藝結合創新理念，生產符合現代生活空間風貌之產品。80年代以後，因傳統竹加工業競爭力衰退，未外移之廠家面臨市場競爭危機，為與大量進口之低廉竹製品有市場與產品區隔，提高產品附加價值與競爭力，除在技術與品質上提昇外，乃結合美學創意，創作具特色之竹工藝製品，另闢發展領域。現代竹工藝製品中，以高品質層積竹材所開發精緻竹家具、生活器皿、裝潢用品，及具藝術品味價值之竹編與竹雕竹藝品，及竹劍等竹工藝品最具有代表性（林裕仁，2011）。

近年來，臺灣竹工藝廠商與竹工藝家所創作之竹編或竹雕等工藝作品除具實用性外，外觀精緻典雅，深受國內消費群喜愛及國外市場賞識，因此，竹工藝品



店如雨後春筍般林立，竹工藝商業活動以南投縣竹山鎮周邊區域為彙集重心。竹山竹工藝之生產單位，主要以「竹工藝工坊」及「竹工藝工廠」兩種形式呈現，其經營性質，係經營者本身多有其工作室，少量多樣化生產及彈性之外包生產制度，以因應市場變化，可零售兼批發，此乃竹山竹工藝能持續、不被其它地方替代之關鍵（林裕仁，2011）。

在價值體驗日趨重要的時代潮流中，共同啟動帶動產業的變革與新貌，地方產業的轉型再生，除了產業本身應在內容向度上應注入更多的創意，更要能夠創造開發出「高質感」的創意商品，此時空間呈現的高質美感與場域情境，讓人離開時能有回味再三或受益良多的感動，就能發揮空間再造於體驗經濟年代中的成效，創造提昇地方產業轉型再生的新風貌（陳文亮、王惠君，2007）。

## （二）綠建築

由於地球暖化，減少石化材料，增加綠色環保材料於建築材料之應用，以降低二氧化碳排放已成為提倡綠建築觀念之最佳利基，再加上法規之規範與加工技術之進步，使用竹材製品應用於室內外裝潢建材已蔚為潮流（林裕仁，2011）。

竹材於國內產地分布極廣，價格相對於其他建築材料也較便宜，屬易取得之建材，建築材料經濟效益，包括材料供給豐富、材料價格低廉、材料處理容易，而以竹材而言，栽植到成長時間僅需3-5年，相較於其它自然建材，循環速度較快，是利用性極高的天然素材。此外，竹材具有強度高、彈性好、密度小的特點。平行竹纖維方向所能承受之抗拉強度大於木纖維，高於混凝土強度。經過適當的結構與設計，可應用於竹構建築物相關構造物，及相關建築工程上（穆寶貴，2007）。

竹材生長快速，3至5年內即達建築構造物所需尺寸，年齡不同，所適用範圍也隨之改變，1到2年之幼竹，柔軟富彈性，但不適用於建築物之搭建，較適宜為編織；3到5年之成竹，材料及特性趨穩定成熟，韌性佳，力學的強度足夠，適合應用於建築物構造；5年生之老竹，竹材的材料質地變硬，肌理老化，不適宜為建造之使用。竹材的比重與強度性質，隨著竹材之生長年齡而變化，一般而言，比重、縱向壓縮及抗彎強度，生長的3-5年間，達最大值，此時也是最適宜為建築使用之際（穆寶貴，2007）。

## （三）竹炭與竹醋液

近幾年來在政府單位、學術界及產業界共同努力下，將傳統木材製炭技術經改良後應用於竹材炭化，所獲得之竹炭材及竹醋液等產物具備許多優異之特殊性能，並開發出甚多高價值之衍生產品，進而為台灣竹林帶來新的生機（劉正宇，2007），而農委會更於2002年起推動「竹產業轉型與振興計畫」，訂定「以竹代木」政策，擬定竹林培育、伐採加工與生態旅遊等全方位發展策略；在產官學研各界專家學者的努力下，將日本發展已十餘年的竹炭燒製技術引進到台灣。初期輔導重建區居民蓋炭窯，經過不斷的燒製研究，並進行製程上的改良，經過短短

三、四年內就得以燒製出比日本還要優質，且成本更為低廉的竹炭。透過技術的移轉，由輔導廠商進行進一步的產品開發量產，所生產的竹炭除了提供國內消費使用外，相關產品並已經成功打入日本市場，未來以行銷全世界為目標（行政院農委會，2006；王孟平，2007）。

目前，獲得CAS台灣優良林產品標章驗證之產品以竹炭及其加工衍生物——竹醋液為最大宗，依據「優良農產品林產品項目驗證基準」，廠商必須選用產自台灣及竹齡達4年以上，且未經防腐劑、防蟻劑、膠合劑、塗料或其他藥劑處理過的成熟竹材為材料，以炭化窯（土窯、磚窯等）、機械爐等設備，經高溫炭化技術，精煉而成，再依燒製出之產品特點加工成筒炭、片炭、粒炭等不同造型之竹炭製品，供應不同之需求；而竹醋液之製程，則是收集燒製竹炭所產生溫度達80°C~140°C時的煙，經冷凝過後所得之初級液體，靜置6個月後，去除上層的輕質油及下層的沉澱焦油，所得之中層的液體。倘再經蒸餾及安全性檢測後即成為優良蒸餾竹醋液（圖4.）。CAS林產品除原驗證竹炭、竹醋液產品外，應產業需求，爰於96年度增加木炭及木醋液之驗證，而林務局刻正研訂「竹炭加工品之驗證標準」，期望能藉由政府及民間之力量將林產品產業推向另一高峰（吳佩珊，2008）。

我國CAS標章台灣優良林產品一般用途竹品質規格標準及標示規定，一般用途竹炭依用途區分為（1）調濕用（2）保鮮用（3）水處理用（4）飲用水用（5）除臭用（6）洗滌用（7）保健用（8）纖維紡織用（9）其他（劉正字，2007）。

竹醋液中所含的多種成其作用各不相同，因此竹醋液的用途也很多。目前竹醋液可開發的使用領域主要有（1）食品加工（2）衛生保健（3）農業生產（4）觀賞園藝（5）飼料添加劑（6）食用菌生產添加劑等方面（蔣新龍，2004）。

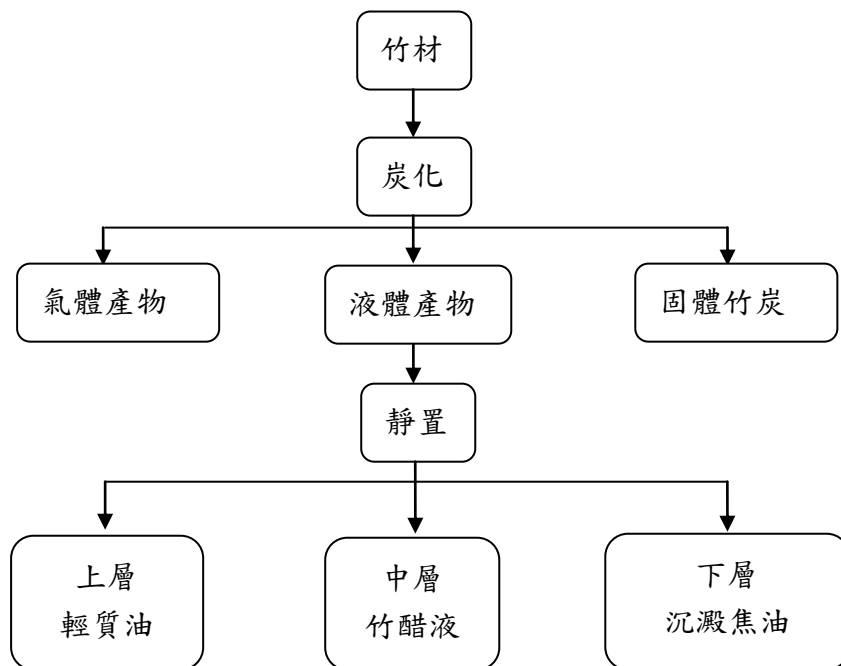


圖 4. 竹材炭化示意圖

#### (四) 竹材能源燃料開發

近年來由於二氧化碳排放量的提高產生溫室效應所帶來的威脅，以及石油資源日漸減少，故為減緩地球暖化速率，以及降低對石油等能源的依賴，因此積極研發及利用生質能源取代石化能源為全球共同的目標。

生質能是指利用生質作物經轉換所獲得的電與熱等可用的能源，而生質物則泛指由生物產生的有機物質，例如木材與林業廢棄物如木屑等；農作物與農業廢棄物如黃豆莢、玉米穗軸、稻殼、蔗渣等；畜牧業廢棄物如動物屍體；廢水處理所產生的沼氣；都市垃圾與垃圾掩埋場與下水道污泥處理廠所產生的沼氣；工業有機廢棄物如有機污泥、廢塑橡膠、廢紙、造紙黑液等（蔡詩珊，2008）。由上述定義可知，竹材屬生質能源中的生質物，而竹材具生長快速、生育期短等特性，且其作為能源之燃燒能源效率，根據美國農業部植物研究站對孟宗竹、桂竹與紫竹所做燃料分析之研究報告指出，該等竹子之燃燒熱值高於大多數草本生質能源作物燃料，是發展綠色生質能源燃料之理想材料（林裕仁，2011）。

生質能利用的技術範圍相當廣泛，其轉換為能源的方式可概分為直接燃燒技術、物理轉換技術、熱轉換技術與化學／生物轉換技術，概述如下（吳耿東、李宏台，2004）：

(1) 直接燃燒技術：是把廢棄物直接燃燒以產生熱能與電力，例如現有的大型垃圾焚化廠，以焚化垃圾發電。

(2) 物理轉換技術：是把廢棄物經破碎、分選、乾燥、混合添加劑及成型等過程，製成易於運輸及儲存的固態衍生燃料，作為鍋爐、水泥窯的燃料，例如紙廠把廢棄物製成錠型的固態燃料，作為燃煤鍋爐的輔助燃料。

(3) 熱轉換技術：是指把廢棄物利用氣化與裂解（液化）等熱轉換程序產生合成燃油或燃氣（瓦斯），作為燃燒與發電設備的燃料。例如從廢保麗龍或廢塑膠可回收燃油作為鍋爐的燃料；又如稻殼、能源作物或廢紙渣可產製合成燃氣，進行燃氣發電。

(4) 化學／生物轉換技術：是指經醱酵、轉酯化等生物化學轉換程序以產生沼氣、酒精、生質柴油、氫氣等，作為引擎、發電機與燃料電池的燃料。例如垃圾掩埋場廢棄物、工業或畜牧廢水經醱酵產生的沼氣可以發電；又如廢食用油經轉酯化反應可產製生質柴油，作為汽車的替代燃料等。

將生質物轉化為類似煤、油、天然氣的衍生燃料，易於儲運並可提高能源效率，降低污染，同時可與資源回收系統結合，節省廢棄物處理成本，使生質能技術極具市場競爭力。

臺灣目前因無充裕之木質材料資源可資運用，然有供應不缺之豐富竹材資源，因此若政府能提供政策支持配合，強化推廣利用以替代石化燃料某些比例，將可大量提昇竹材資源之利用，同時也達到減少二氧化碳排放與提高生質能源利

用比例之效益（林裕仁，2011）。

### （五）竹林碳吸存機能之利用

竹子快速生長、用途極廣，自古以來與人民生活息息相關，是極具東方文化特色的植物，其減碳功能及特殊防幅機能等，日益受到重視。台灣因地理位置及海拔分布，全球主要竹種都有分布，故成為溫帶散生型及熱帶叢生型等竹類的研究中心。目前台灣竹林面積估計約有 20 萬公頃以上，佔台灣人工造林面積之半，是具有經濟生產規模的可再生性資源（林業試驗所新聞稿，2012）。

依據農委會林業試驗所的研究，竹子生長模式不同於一般林木，竹類胸徑大小通常在 1~3 個月內，即告生長完成，之後稈徑不會隨著年齡增加，而再繼續肥大生長。同時，竹林皆為不同年生的異齡林組成，竹材利用大多伐採 3~4 年生以上成熟竹稈利用，因竹稈地上部重量輕，竹林擇伐作業對林地傷害極小，而留存在林地之 1~2 年生新生竹稈，因其生長空間獲得舒緩，新生竹的光合作用效應則大為增加，故竹林擇伐利用對二氧化碳減量效益也值得重視。

竹類於適當生育條件下，生長快速，連年發筍，繁殖力強，此意味具極佳之碳吸存效率。根據國際竹與藤組織(International Network for Bamboo and Rattan) 研究報告與其他學者對竹類生物量多項研究顯示，竹類之平均碳吸存效率優於熱帶森林和北半球溫帶森林。因此，在減緩全球暖化行動受到國際各國政府間最高重視之際，以竹類造林達到植林減碳提升森林中二氧化碳吸收淨值之觀念已愈來愈受到重視。而竹林經營與一般森林經營相較，生育期短，更新簡便，可恆續收穫，在資源利用過程中也不會發生如林木利用時砍伐林地所產生環境生態受到嚴重破壞之問題，更可彰顯在碳吸存與碳替代方面更具效率之功能。因此，增加竹林造林面積與加強竹林之經營管理，將有助增加臺灣在提昇縮減二氧化碳排放總量之成效（林裕仁，2011）。

## 六、結論

近年來，竹林伐採量顯著偏低，大多數竹林皆呈現荒廢放棄狀態。尤其是散生型竹林面積逐年擴大，在桃園石門水庫集水區等地之大面積桂竹純林，不僅竹林的生物多樣性低，而且竹林邊坡崩塌防止機能也逐漸衰退。因此，竹林必須適度進行伐採利用，藉以保持竹林的高生產力，使新生竹能有較佳的生長空間。林業試驗所黃裕星所長表示，雖然竹林更新伐採利用相關的研究不多，但因竹林快速生長的特性，短時間內可累積比一般林木更多的生物量。因此，若能協同各界執行竹林的伐採更新作業、間伐面積認證等，並加強研發竹材利用新途徑，不但能降低環境中的二氧化碳濃度，也能作為將來企業購買碳權的參考（林業試驗所新聞稿，2012）。

# 桂竹林經營對林地沖蝕之探討

廖天賜/中興大學森林學系

## 一、前言

竹林在臺灣分布泛廣，自平地以至高山地帶幾乎皆可見到其蹤跡。而桂竹之蓄積量在國內主要竹種中佔最多，栽培面積逾44,000 ha，在海拔100-1,500 m 範圍均有分布，以中部及北部最多，南部則較少，且多為純林狀態分布（戴廣耀等，1973；林維治，1976；劉業經等，1994；紀怡嘉，2008）。

早期桂竹為國有造林及獎勵造林的指定樹種，政府林業政策配合集水區經營與崩塌地治理，將桂竹作為主要造林及生物材料之一（賴俊帆，2007）。但近幾年來，桂竹林的經濟價值大不如前，大部分呈荒廢狀況。由於長期缺乏持續疏伐老齡竹稈，因此造成現存桂竹林呈現倒竹及枯死竹充斥之過密林分，桂竹林的生產力大為降低，是否因此而造成地下莖生長停滯，連帶造成竹林防止地滑及崩塌等天然災害的能力降低等，有待深入研究（呂錦明，2001）。

## 二、桂竹林之特性

竹類的生長與發育的活力可由兩個層面來觀察，一為地下莖的擴展、蔓延，地下莖能由其節萌生芽往水平方向延伸，擴展竹林面積，尤以單稈散生型竹類最為明顯，另一為往上延伸之筍體，筍體則生長發育成竹（呂錦明，2001；顏添明，2006；紀怡嘉，2008）。

桂竹地下莖屬橫走側出單稈散生，分布較淺，多分布於土層深度0-40 cm 之間，係屬淺鞭類之竹種。其根系特性為主根生長方式為水平生長，故於土層深度10-20 cm 之間主根會形成如網狀一般交錯生長，互相糾結在

一起；鬚根則藉由地下莖長出並向外擴散遍佈地表層，分布於土層深度 0-60 cm 內，根與根之間在破壞面形成非常密集網狀固結特性（林信輝和翁書敏，2011），如新竹林區管理處大溪事業區第 81 林班之桂竹林根系所示（圖 1），可清楚見其發展之特性。而桂竹之生產方式為經地下莖繁殖產生新竹，約 1 個月便能生長完成，通常自發筍開始，約 3-4 年即可達適當之收穫期（游麗玉，1995）。



圖 1. 新竹林區管理處大溪事業區第 81 林班，桂竹試驗林分之根系。

### 三、桂竹林作業法對林地水分滲透之影響

水在入滲土壤的過程中，會因降雨特徵、土壤種類、土壤含水量、土壤孔隙率、土壤質地、土壤結構、有機質含量...等不同而影響土壤本身之入滲速率（林俐玲等，2008a），而一林分的林冠及林下植被和枯枝落葉層則具有雨水截流的作用，進而影響水分入滲土壤之量（鄭郁善和洪偉，1998）。這些影響因子之間又有許多是會互相交互影響，因此一地區之土壤入滲速率基本上是一動態變化，隨著當時微環境的變動時時刻刻的在改變（王慧芳和邵明安，2006；郭魁士，1997；Woods *et al.*, 1997）。

Michelle and Walsh (2007) 指出沒有森林植被覆蓋的地表其產生的地表逕流會比有森林植被覆蓋來的大，而且植群發生不同程度的干擾，也會導致入滲速率有不同程度的改變。而在不同的土地利用下，各項人為活動也將會擾動土壤，地表一經擾動，土壤之總體密度、結構、孔隙率、水力傳導度等隨之變化，進而影響水分的入滲速率，土地利用一般為林地時水力傳導度為最大，裸露區為最小 (林俐玲等，2008b)，因此即使為同一林分在經不同經營作業方式後，也會對林地水分滲透有不同的影響。

鄭郁善和洪偉 (1998) 指出毛竹林的入滲性能比杉木人工林佳，但沒有闊葉林好。毛竹林根系對土壤的影響很大，可使林地土壤具有較高的滲透率，其竹鞭發達，綜橫交錯的活動能力很強，使表土層大孔隙增多，有利土壤水分下滲，因此水分滲透速度很大。

廖天賜 (2012) 於新竹林區管理處所轄之大溪事業區第81林班之桂竹林，試驗不同作業法對林地水分滲透之影響 (圖 2)，發現於 2013 年 5 月份時，各處理間沒有明顯之差異，推測是因當月份降雨頻繁故造成之，且皆快速達至飽和；然在 2013 年 3 月份時，各處理間是以不伐之對照組處理 (A 處理) 最高，帶狀擇伐處理 (B 處理) 為最低，這可能是因樣區內林分密度高，土表下地下莖與根系較為發達，故會增加其土壤孔隙度，因而明顯提升其滲透性；然帶狀擇伐處理則是因沒有上層林冠之覆蓋，其地表易因天然與人為之干擾、壓實，導致其土壤容重之增加，間而影響其入滲率 (邱志明，2012；She *et al.*, 2009)。

另土壤水入滲率與土壤含水率有關 (李泓，2010；林信輝，2010)，林信輝 (2010) 發現影響入滲率之因子是以土壤有機質與土壤含水率，對於入滲率影響相關性較高。本試驗桂竹林初期調查結果亦表現此相關性，當土壤含水率高時，其初始土壤入滲率亦較緩慢，然由 2012 年 9 月至 2013 年 5 月所得之結果綜合觀之，卻不見其相關性，顯示各樣區之土壤入滲率會隨樣區之環境與當日之天氣而有所變化，此結果仍有待持續監測之。而土壤

水入滲值較林信輝 (2010) 以石門水庫之桂竹林為試驗地還低，推測是因本試驗地之桂竹林分密度相當高，致不同試驗地點其地下莖密度會有所不同，故導致此結果。

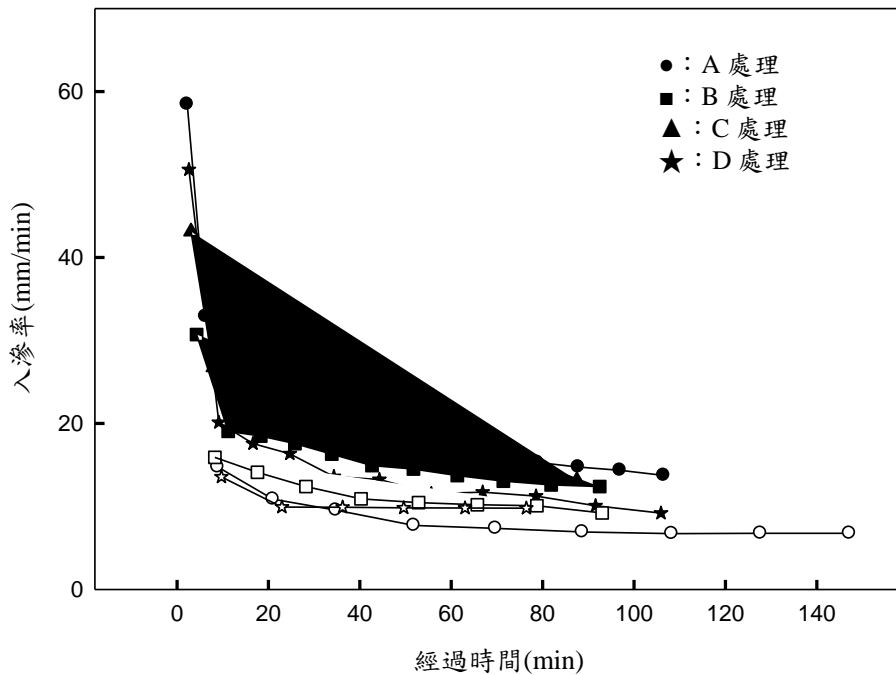


圖 2. 2013 年新竹林區管理處大溪事業區第 81 林班，桂竹試驗林分之各處理樣區的土壤水入滲速率。A 處理：不伐(對照組)；B 處理：帶狀擇伐；C 處理：擇伐 4 年生；D 處理：擇伐 3、4 年生。實心為 3 月份數據、空心為 5 月份數據。

#### 四、桂竹林對林地邊坡穩定之影響

土壤沖蝕乃指地表土經由雨滴、水流、風和重力的作用而被移動之現象。沖蝕過程和土壤流失將使土壤的生產力降低並造成不可彌補的災害。而引起土壤沖蝕最主要的影響因子為氣候、土壤、水文、地形和人類的活動。不同經營作業方式或是不同植群也會影響土壤的沖蝕程度，一般而言，皆伐會使林地裸露，增加地表逕流及提高土壤沖蝕之機會 (Michelle and Walsh, 2007)，而地表若有枯枝落物覆蓋將有效的降低地表逕流量，減少土壤沖蝕之機會 (Adekalu *et al.*, 2006)。



學者亦提出植物之根系生長型態於邊坡穩定或水土保持存有相當程度之影響。深根型根系，就力學特性而言，於土壤之錨定力較高，等邊坡穩定之功效較佳；淺根型根系，其網結作用可使表層土強化，對表層之沖蝕能力上之表現較佳。植物根系之基本型態，對邊坡穩定能提供較佳之樹種，宜採深根、根域廣且密集之外，最重要根系存在覆蓋層而穿入土層量之多寡，根系才能有效發揮補強作用（顏正平，2000）。

對於植物體而言，因地表逕流引起之土壤沖蝕或大量積水皆會造成植物體本身生長不良，甚至倒塌枯死之現象。由於地表逕流造成了洪水和土壤侵蝕的威脅，更從而影響到了植群生存的根本（郭魁士，1997）。

以桂竹林而言，其地上部是非常堅韌之竹稈，地下部的根部韌性強且生長速度快，能有效的網結表層土壤固定於坡面上產生錨定及拱壁之作用，增加坡面下滑抵抗力（宋煦辰，2008；林信輝和翁書敏，2011）。陳耀榮（2006）實際擷取桂竹根莖試驗抗拉剪結果，初步分析其強度約可達一般鋼筋之10%。林信輝等（2007）調查發現桂竹林再次崩塌之機率很低，陳本康（2005）調查艾莉颱風造成石門水庫集水區中之六大類土地利用顯示，竹林崩塌面積與人工林在六大類中同屬最低，中華民國環境綠化協會（2007）統計石門水庫集水區崩塌地，分析結果為石門水庫集水區崩塌地發生與否與竹林無顯著的影響。林信輝和翁書敏（2011）則指出桂竹林的根系較其他木本植物淺，在坡度平緩的區域，崩塌情形很少，但在濱水帶地形較陡峭的區域，則有較容易崩塌的趨勢。桂竹根系與土壤層間因滲水而形成自由端，若自由端之排水問題未妥善處理，又因降雨侵蝕導致坡面裸露，坡腳受到破壞，則容易造成崩塌之災害。

另外因近年來竹林經濟效益的降低。常可見缺乏管理的荒廢竹林，長期缺乏管理之竹林，會造成竹倒及枯死竹充斥之過密林分，使竹林產力降低，造成地下莖生長停滯、老化，使得土壤剪應力增加或土壤抗剪強度下降，造成竹林之地滑或崩塌之發生（中華民國環境綠化協會，2007）。

廖天賜 (2012) 桂竹林試驗中顯示 (圖3)，帶狀擇伐 (B處理) 在第四個月時到達最高的土壤高度增加量，其次為不伐之對照組處理 (A處理)，意即沖蝕程度小於堆積程度，推測可能是因本試驗所採取之10\*10 m之帶狀擇伐並不會造成林地裸露之問題產生，而不伐處理之竹林由於竹枝密度高，鬱閉的樹冠層，導致林內光照度不足，地被植物稀少甚至消失，進而減少枯枝落葉、腐植質的供應，降低土壤的團粒作用，間接造成土壤孔隙結構不良。降雨時樹冠層造成雨滴增大之衝擊動能增大的機會，地表土壤滲透不良而地表逕流增加，造成地表沖蝕的潛勢增加 (陳明杰，2007)，在2012年11月至2013年1月間，其雨量明顯提升許多，而各處理間之土壤沖蝕量亦呈現明顯下降之趨勢。此種現地調查變異因子多，常受限於空間尺度和時間尺度之影響(Bui *et al.*, 2012)，需要長時序之統計資料方可達成相關性與顯著性之比較。

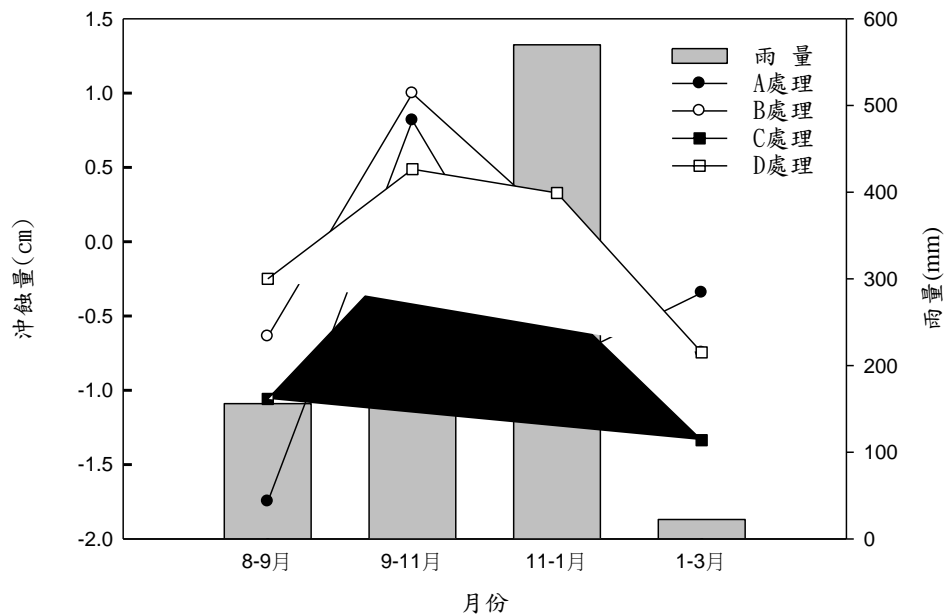


圖3. 2012年8月至2013年3月，新竹林區管理處大溪事業區第81林班，桂竹試驗林分經不同處理後之土壤沖蝕表現。A處理：不伐(對照組)；B處理：帶狀擇伐；C處理：擇伐4年生；D處理：擇伐3、4年生。

## 五、結論

林地有植物的覆蓋下可以增加土壤的入滲作用，當植物的根系發展進入土壤內，會增加土壤的孔隙，明顯提高土壤的滲透性，因此在未經擇伐作業的桂竹林所覆蓋之土壤入滲速率會較高，惟仍須適當進行撫育經營，使林分不致過密致竹林生長不良及生產力降低。

就林地邊坡固定而言，桂竹林根系發展速度快加上韌性強之特性，對於穩定土壤有一定效用，可防止林地崩塌之發生，實施其經營作業上，一般若採較大施行範圍之帶狀擇伐通常會使林地裸露，增加地表逕流及提高土壤沖蝕之機會，然擇伐面積若不致太大並非會造成沖蝕增加，若審慎評估及衡量疏伐程度，仍可在經營伐採管理作業的前提下，有效防止林地沖蝕。另外此種現地調查也常受限於空間及時間尺度之影響，需長期且持續的監測其變化情形以評估最適當之作業法。

## 六、參考文獻

- 中華民國環境綠化協會 2007 石門水庫集水區崩塌地調查監測暨植生保育對策方案之研究計畫。經濟部水利署北區水資源局。
- 王慧芳、邵明安 2006 含碎石土壤水分入滲試驗研究。水科學進展 17(5)：604-609。
- 呂錦明 2001 竹林之培育及經營管理。行政院農業委員會林業試驗所林業研究叢刊第 135 號。
- 宋煦辰 2007 石門水庫集水區桂竹林根系型態與引拔力學關係之研究。國立中興大學水土保持學系碩士論文。
- 李泓 2010 惠蓀林場不同林分土壤入滲速率研究。國立中興大學森林學系碩士論文。
- 林信輝 2010 水庫集水區竹林棲地環境調查暨保育對策之研究(1/2)。經濟部水利署。

- 林信輝、翁書敏 2011 桂/蔴竹林生育特性與環境保育問題。林業研究專訊 18(1)：23-29。
- 林信輝、賴俊帆、陳耀榮 2007 桂竹林崩塌地根系型態與其後續崩塌之調查研究。水土保持學報 39(2)：173-187。
- 林俐玲、蔡義誌、游韋菁 2008a 礫石敷蓋與混合對土壤沖蝕影響之研究。中華水土保持學報 39(2)：195-206。
- 林俐玲、蘇煒哲、蔡義誌 2008b 不同土地利用下土壤飽和水力傳導度與粗孔隙之探討。水土保持學報 40(2)：195-204。
- 林維治 1976 台灣竹亞科植物之分類。台灣省林業試驗所試驗報告第 271 號。
- 邱志明 2012 平地造林疏伐標準作業程序芻議。台灣林業 38(3)：43-50。
- 紀怡嘉 2008 台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系碩士論文。
- 郭魁士 1997 土壤學。中國書局 p486-507。
- 陳本康 2005 石門水庫集水區崩塌特性及潛勢評估研究。國立中興大學水土保持學系碩士論文。
- 陳明杰 2007 疏伐作業對人工林林地水土保持影響。林業研究專訊。14(1)：10-13。
- 陳耀榮 2006 桂竹林崩塌機制動態之調查研究。國立中興大學水土保持學系碩士論文。
- 游麗玉 1995 惠蓀實驗林場桂竹林生物量與養分聚積。國立中興大學森林研究所碩士論文。
- 廖天賜 2012 桂竹林經營作業法對林分動態變化之研究。行政院農業委員會林務局委託研究計畫。
- 鄭郁善、洪偉 1998 毛竹經營學。廈門大學出版社。
- 劉業經、呂福原、歐辰雄 1994 台灣樹木誌增補修訂版。國立中興大學農學院叢書第 7 號。
- 賴俊帆 2007 桂竹根系拉拔試驗及其坡面之穩定性評估。國立中興大學水土保持學系學士論文。

- 戴廣耀、楊寶霖、沈榮江 1973 台灣之竹林資源。農復會、林務局、航測隊、屏東農專合作計畫。
- 顏添明 2006 竹林經營學。國立中興大學竹林經營學講義。
- 顏平正 2000 根系型在水土保持適用效能之研究。水土保持植生工程研討會論文。P127-137。
- Adekalu K. O., D. A. Okunade and J. A. Osumbitan 2006 Compaction and mulching effects on soil loss and runoff from two southwestern Nigeria agricultural soils. *Geoderma* 137:226-230.
- Bui X. D., G. Takashi, M. Shusuke, R. C. Sidle, K. Kosugi and O. Yuichi 2012 Runoff responses to forest thinning at plot and catchment scales in a headwater catchment draining Japanese cypress forest. *J. of Hydrology* 444-445:51-62.
- Michelle, A. and R. P. D. Walsh 2007 A portable rainfall simulator for field assessment of splash and slopewash in remote location. *Earth Surf. Process. Landforms* 32:2052-2069.
- She, D. L., M. A. Shao, L. C. Timm, I. Plasentis, K. Reichardt and S. E. Yu 2009 Impacts of land-use pattern on soil water-content variability on the Loess Plateau of China. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B Soil and Plant Science* 1-12.
- Woods, E., M. Sivapalan and J. Robinson 1997 Modeling the spatial variability of subsurface runoff using a topographic index. *Water Resources Research* 33(5):1061-1073.

## 附錄二

### 樣區狀況

A 處理(對照組，不伐)



B 處理(帶狀擇伐)



C 處理(擇伐4年生)



D 處理(擇伐3、4年生)



### 附錄三

行政院農委會林務局新竹林區管理處  
桂竹林經營作業法對林分動態變化之研究  
第三次期中報告會議記錄

審查委員意見	辦理情形
建議各次期中、末簡報，報告書請執行機關提前送達，以利提早安排審查作業。	遵照辦理。
第 42 頁拉力試驗 $\text{kgf}/\text{cm}^2$ 單位之 f 是何意義？請補充說明。	$\text{kgf}$ 是力的單位， $\text{kg}$ 是質量單位，質量不受重力加速度的影響，但力量與重力加速度有關，在此是表示拉力的力量，故單位為 $\text{kgf}$
第 15 頁研究區域圖，圖中標示為何？請用區界及比例區隔。第 16 頁樣區分佈位置放入第 15 頁圖中。	遵照辦理。
第 24 頁 12 個樣區處理及表 3、4 應放在第 16 頁對照較為清楚。	遵照辦理。
第 15 頁圖 4.12 樣區分佈圖，請補充圖例說明。	遵照辦理。
第 17、18 頁 1-4 年生桂竹不同年齡之外觀辨別，第 17 頁為定性法、第 18 頁為定量法，如何將其重要特徵指標列出，並清楚定義將有助學習。	遵照辦理。
第 15 頁除溫度外亦有表現雨量，後面之試驗如何結合應用？未來可進行討論。	遵照辦理。
第 25 頁表 5 試驗竹之 1、2 年生高度較 3、4 年生大？此現象不甚合理，可能地位之影響，有無列入討論？請進行說明。	造成 4 年生竹子高度下降，係由於含水率減少以致於造成頂部梢乾枯成斷枝所致（呂錦明等，1982）。
第 30 頁圖 12 生長關係函數，較不建議二次式，建議宜用指數進行分析。	遵照辦理。
第 36 頁表 13 枯死率部分，伐採前、伐採後之調查之調查驗證竹齡及生長量之趨勢變化，請補充說明。	遵照辦理。
第 38 頁圖 15 土壤沖蝕調查(表 15 單位為何？請補充說明)。工具調查情形及調查變化宜考慮如何表示其變異情形。	遵照辦理。

<p>第 41 頁觀察根、地下莖、竹頭，建議以示意圖表示(含括為何?)請定義清楚。倘包含死竹部分，建議一併進行討論。</p>	<p>遵照辦理。</p>
<p>本報告第 35 頁第 2 段與表 14 應對應。</p>	<p>遵照辦理。</p>
<p>灌水做土壤入滲速率調查試驗，可向竹東站借用小型貨卡車載水，以減輕人力搬送之負擔。</p>	<p>遵照辦理。</p>
<p>本報告書建議增列結論，請對應四、重要工作項目並依 101 年階段之具體結果，以摘要結論方式呈現。</p>	<p>遵照辦理。</p>



## 附錄四

行政院農委會林務局新竹林區管理處  
桂竹林經營作業法對林分動態變化之研究  
第四次期末報告會議記錄

審查委員意見	辦理情形
文中碳的表示方法單位宜一致	遵照辦理。
圖例置於圖中	遵照辦理。
竹林入滲率大，是否等於不會崩塌，宜審慎推理	遵照辦理。詳見入滲率試驗。
入滲作用之高低建議再檢討	遵照辦理。詳見入滲率試驗。
此樣區竹林林分佳，建議適當經營利用，以小面積帶狀伐採促進林地更新	遵照辦理。詳見建議第 1 點。
圖 6-9 合併	遵照辦理。
表 3-5,9-13 統一標示清楚	遵照辦理。
p24 提及 4 年生桂竹高度或直徑皆變小，建議以本試驗結果作推論較恰當。	遵照辦理。以補於內文中。
請說明 p33 之 PCC	遵照辦理。以補於內文中。
統一”百株”及”株”	遵照辦理。
圖 16 縱軸範圍適當縮小	遵照辦理。
表 18 枯死率過高是否為乾旱影響?	以對照氣候推測並補於內文中。
竹子經營伐採建議留之帶狀約 20-30 m，即可利用旁邊母竹養分長出地下莖更新	遵照辦理。
建議加強論述本研究期間降雨量對試驗地之影響，即有無崩塌之疑慮	遵照辦理。以補於內文中。
建議加強論述經營作業之基本模式	遵照辦理。詳見建議第 1 點。
p19 之樣竹數量請確認	遵照辦理。以補於內文中。
p42 請釐清應以”處理後經幾個月”或”月分”較能具體顯示實驗結果	遵照辦理。以補於內文中。
新筍是否於後續有再次調查?新生竹筍受害原因尚待釐清	僅調查 4 及 5 月，其枯死率可能受氣候影響。後續之新筍對照新竹數量之結果推估，其存活率應有增高情形。
竹林後續生長趨勢應可再持續觀察	遵照辦理。
請再審視表格、圖示及單位之中英文標註	遵照辦理。
建議部分請再詳加斟酌論述	遵照辦理。以補於內文中。