



公開
 密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：070404e201

行政院農業委員會林務局111年度科技計畫研究報告

計畫名稱：**竹林收穫之模組化生產技術評估 (2/3) (第2年/全程3年)**
(英文名稱) **Evaluation of modular production technology for bamboo harvesting (2/3)**

計畫編號：**111農科-7.4.4-務-e2(1)**

全程計畫期間：自 110年1月1日 至 112年12月31日
本年計畫期間：自 111年1月1日 至 111年12月31日

計畫主持人：**羅凱安**
研究人員：**葉政翰、賴云琳、陳姿靜**
執行機關：**國立屏東科技大學**



1111664



一、執行成果中文摘要：

本計畫今年四項工作皆已完成，評估竹林收穫作業中引進機械化之作業項目與可行性之規劃，伐竹機頭已和林務局另一計畫經費之配合購買成一組之伐竹及挖掘機械，也整合小型貨車、支架及絞盤，研發出林間小型集材作業車，也可作為竹材、竹屑太空包及相關作業工具之運輸。並至少完成四場次竹林收穫的教育訓練。

二、執行成果英文摘要：

三、計畫目的：

以南部叢生狀竹(莿竹)為對象：

1. 與產業需求、實際伐採、機械開發設計之專家、學者共同研討竹林收穫作業中引進機械化之作業項目與可行性
2. 採購或研發一項機械化竹林收穫作業機具
3. 於試驗樣區實際進行竹林收穫作業，收集分析比較人工與機械作業之時間、數量、效率及成本
4. 竹林收穫作業機械化之教育訓練

四、重要工作項目及實施方法：

五、結果與討論：

1. 由國外經驗可知適當的機械化有利於作業人員安全及效率提升，Axelsson (2013) 分析瑞典在1960年代時的林木收穫效率僅有 $2.3\text{ m}^3/\text{人日}$ ，但在機械化不斷地發展之後，1980年代小型間伐作業機械的推動，1990年提升到 $12.5\text{ m}^3/\text{人日}$ (如圖10)。雖然就業人口只剩10%，但由於個人安全護具以及高性能作業機械的改良，林木收穫作業的百萬人時意外率也由90降至35。
2. 竹林以人工收穫之效率而言，平均每工每日(8 hr)作業能量為72支，收入1,800元/人日(以25元/支計價)。就工序時間占比而言，以D(去枝、分段)45.0%最多，E(集材、分堆)19.7%、C(砍伐、放倒)15.5%次之，B(清叢基)10.5%及R(休息、整備)9.3%較少。
3. 本研究搭配伐採工序流程，已擬定出莿竹機械化之構想(如圖11)，主要可引入之機具說明如下：
 - (1) 空拍機：協助竹資源調查、地形、道路及收穫規劃。
 - (2) 挖掘機：兼顧馬力與地形限制，以7-9噸大小最適，可搭配MSE-25FGZX或ナカミチBC25機頭以及臂上絞盤(winch)，除作為作業道整修及竹叢基與雜灌清理，亦進行伐竹、放倒、部分集材之作業。
 - (3) 造材機：由Kubota MR70帶動，以Hypro 450XLProcessor進行去枝、分段。
 - (4) 林間作業車：以ALSTOR 840 PRO或臺製4輪驅動小貨車加裝吊桿及絞盤來進行。
4. 新採購機具伐採42支之結果，推估每日作業效能為273支，在95%信賴水準下，為211~388支/日(每支26kg算，5.5~10.1噸；每支25元計，為5,279~9,694元/日)。然需注意的是，目前在機具操作上仍未純熟，竹稈常有破損情形(幾乎全破26%、少部分破撰57%、完整僅18%)，將影響竹稈使用價值，有待機械熟練手法細膩或將機頭油壓力道加以調整，來加以改善。





六、結論：

本計畫今年四項工作皆已完成，評估竹林收穫作業中引進機械化之作業項目與可行性之規劃，伐竹機頭已和林務局另一計畫經費之配合購買成一組之伐竹及挖掘機械，也整合小型貨車、支架及絞盤，研發出林間小型集材作業車，也可作為竹材、竹屑太空包及相關作業工具之運輸。並至少完成四場次竹林收穫的教育訓練。

七、參考文獻：

- 王瀛生、吳孟玲 (2010) 台灣竹材替代木質材料展現竹之美。林業研究專訊17 (4):54-60。
- 竹内叔雄 (1932) 竹の研究。養賢堂。
- 行政院農業委員會林務局 (2018). 林務局107年報，7-8頁。
- 呂錦明 (2011) 材林之培育及經營管理。行政院農業委員會林業試驗所出版，204頁。
- 卓志隆 (2015) 對環境友善之森林收穫作業與技術開發(3/3)。農委會林務局科技計畫。
- 林俊成、陳溢宏、林裕仁 (2017) 竹材加工業之國內原竹需求與流向分析。林業研究專訊24 (4):62-64。
- 林信輝、翁書敏 (2011) 桂/莿竹林生育特性與環境保育問題。林業研究專訊18 (1):23-29。
- 林務局 (2015) 第四次森林資源調查報告。
- 林裕仁、潘薇如 (2016) 臺南地區竹加工業概況。林業研究專訊23(5):70-73。
- 林維治 (1976) 台灣竹亞科植物之分類(續)。臺灣省林業試驗所試驗報告第271號。
- 林慧貞 (2018) 竹子做為國產材，除了固碳一級棒，還有哪些你不知道的應用？農傳媒 <https://www.agriharvest.tw/archives/23252>。
- 邱祈榮 (2011) 竹林面積知多少？林業研究專訊18 (1):16-18。
- 許玲瑛、李文昭 (2011) 六種臺灣常見竹材之型態特徵及熱解產物。林業研究專訊18 (1):37-42。
- 陳合進、葉政翰、朱雅梵. 2014. 森林管理委員會(FSC)驗證的天然林森林 收穫流程：前置作業。林產工業33(1)
- 陳財輝 (2011) 泥岩地區老化莿竹林之更新調查。林業試驗所100年度自辦科技計畫。
- 陳嶸 (1987) 竹的種類及栽培利用。中國林業出版社。
- 湯適謙 (2014) 木、竹材採運技術提昇與小型機械應用之研發。林業試驗所103年度自辦科技計畫。
- 黃裕星 (2011) 臺灣竹類資源調查、利用及新技術開發。林業研究專訊18 (1):1-2。
- 溫太輝(主編) (1993) 中國竹類彩色圖鑑。淑馨出版社。
- 羅凱安 (2018) 私有林經營與產業振興對策研究(2/2)。行政院農業委員會林務局106年科技計畫(106農科-11.6.3-務-e1)成果報告書，140頁。
- 日本森林技術協會，平成29年度特用林產振興総合対策事業のうち 特用林產物の供給力の向上のうち 効率的な竹林施業体系の構築報告書，平成30年3月
- Axelsson, S.-A. (2013) The Mechanization of logging operations in Sweden and its effect on occupational safety and health. Journal of Forest Engineering 9(2):25-31.
- Guerra, S. P. S., G. Oguri, H. de J. Eufrade Junior, R. X. de Melo, R. Spinelli (2016) Mechanized harvesting of bamboo plantations for energy production: Preliminary tests with a cut-and-shred harvester. Energy for Sustainable Development 34:62-66.
- ITTO (2019) Reduced impact logging. https://www.itto.int/sustainable_forest_management/logging/。





Kenya Forestry Research Institute (2012) Training Manual on Bamboo Propagation and Management. Kenya's Water Towers Protection and Climate Change Mitigation and Adaptation (WaTER) Programme, 31pp.

Kittredge, D. B. (2005) The cooperation of private forest owners on scales larger than one individual property: International examples and potential application in the United States. *Forest Policy and Economics* 7(4):671-688.

Liese, W. (1998). The Anatomy of Bamboo Culms. Volume 18 of INBAR technical report, 208pp. BRILL. Retrieved from <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=dIVAGsXNPSSsC&pgis=1>

Liese, W., and G. Weiner (1996) Ageing of bamboo culms. A review. *Wood Science and Technology* 30:77-89.

Lo, K.-A. (2013) Private forest owners' willingness to participate in cooperative management in Taiwan. IUFRO 3.08 & 6.08 Joint Conference- Future Directions of Small-scale and Community-based forestry. Fukuoka, Japan

Othman, A.R., N. Lokmal, M.G. Hassan and M.Z. Abdullah (2012) Culms and above-ground biomass assessment of *Gigantochloa scorchedinii* in response to harvesting techniques applied. *J. Agrobiotech* 3: 23-33.

Rabik, A., B. Brown (2003) Towards resilient bamboo forestry. A reference guide for improved management of clumping bamboo for timber bamboo. Environmental Bamboo Foundation, Ubud, Bali, 316pp.

Texas Forestry Association and Texas A&M Forest Service (2014) Texas forestry best management practices. 112pp.

Wästerlund, I. and A. E. Hassan (1995) Forest Harvesting Systems Friendly to the Environment. The Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Operational Efficiency. Paper No. 947512, Garpenberg, Sweden, 30pp.

Yale school of Forestry & environmental studies (2019) Logging Conservation Practices. <https://globalforestatlas.yale.edu/forest-use-logging/logging/logging-conservation-practices>.





行政院農業委員會林務局主管一般科技計畫

竹林收穫之模組化生產技術評估 (2/3)

Evaluation of modular production technology for
bamboo harvest (2/3)

期末報告

委辦機關：行政院農業委員會林務局

執行機關：國立屏東科技大學 森林系

計畫主持人：羅凱安 副教授

研究助理：葉政翰

計畫編號：111農科-7.4.4-務-e2(1)

執行期間：110年1月1日至112年12月31日(全程)

111年1月1日至111年12月31日(本年度)

中華民國111年12月10日





目錄

目錄	I
圖目錄	III
表目錄	IV
壹、擬解決問題	5
一、問題分析	5
二、擬解決問題重點	5
貳、前人研究概況（含近三年已完成之重要計畫成果摘要）	7
一、竹的生長特性與使用竹材的優點	7
二、臺灣竹的分類及分布	9
(一) 竹的分類	9
(二) 竹的分布與數量	9
(三) 莉竹的生長特性	12
三、臺灣森林採伐與收穫相關法規	14
四、叢生型竹類的收穫	16
(一) 叢生型竹子的生長與形態	16
(二) 竹桿年齡與成熟度	16
(三) 竹林收穫模式	18
(四) 收穫後處理	20
五、木竹收穫作業成本	22
六、近三年已完成之重要計畫成果	25
參、工作項目與研究方法	28
一、與產業需求、實際伐採、機械開發設計之專家、學者共同研討竹林收穫作業中引進機械化之作業項目與可行性	28
二、採購或研發一項機械化竹林收穫作業機具	28





三、 於試驗樣區實際進行竹林收穫作業，收集分析比較人工與機械作業之時間、數量、效率及成本	28
四、 竹林收穫作業機械化之教育訓練.....	28
肆、期末執行成果	29
一、 竹林收穫作業中引進機械化之作業項目與可行性	29
(一) 竹林收穫引進機械化作業之必要性.....	29
(二) 叢生狀竹林收穫作業工序.....	33
(三) 叢生狀竹林人工收穫作業效率與成本	37
(四) 叢生狀竹林收穫作業可機械化項目	39
(五) 莖竹機械化伐採構想.....	42
二、 竹林收穫作業機械化採購或開發	45
(一) 竹材集運車主體-中華菱利 4 輛驅動小貨車	48
(二) 竹材集運車加裝部分.....	48
三、 新採購機械作業效能	49
四、 竹林收穫作業機械化之教育訓練.....	51
伍、結論	53
陸、參考文獻	54





圖目錄

圖 1 竹林生長與碳足跡.....	8
圖 2 第四次森林資源調查竹類分布圖.....	11
圖 3 莖竹(<i>Bambusa Blumeana</i>)之地理分布.....	12
圖 4 叢生型竹之生長的型態.....	16
圖 5 叢生型竹之齡最適比率.....	17
圖 6 馬蹄形收穫模式.....	19
圖 7 通道收穫模式.....	19
圖 8 歐洲製造曳引機搭配切碎機 AHWI H600 Bioharvester.....	22
圖 9 臺灣 1970~2030 年三階段年齡人口結構比率.....	29
圖 10 瑞典 1950~1990 年林木收穫效能提升趨勢).....	32
圖 11 瑞典 1957~1995 年林木收穫作業的百萬人時意外率.....	32
圖 12 叢生狀竹林收穫之必要及可能作業工序流程圖.....	34
圖 13 內門實驗區之竹林收穫現場施業照片.....	38
圖 14 莖竹機械化伐採之整體構想.....	44
圖 15 本案採購之挖掘機及挖掘伐採機頭	47





表目錄

表 1 臺灣各縣市竹林面積及竹材桿數.....	10
表 2 臺灣森林採伐與收穫相關法規.....	15
表 3 莖竹林採運試做重要產品與工項單價.....	23
表 4 莖竹林不同生長狀況下每支竹桿收穫成本分析.....	31
表 5 內門區私有林伐竹實驗區人工伐竹工作效率與成本分析.....	39
表 6 本案採購之挖掘機及挖掘伐採機頭之主要規格.....	46
表 7 本案採購之挖掘機及伐竹機頭之作業效能.....	50





壹、擬解決問題

一、問題分析

由竹子的生長特性來看，國際上因為竹林生長快，竹材成熟期短，固碳能力比木材還強，被視為相當良好的綠色環保材料，國際進出口貿易總額由2000年的5.18千萬增加至2015年為1.36億。出口國的部份，中國持續為主要出口國，而南亞、東南亞、中南美地區國家近年也積極投入竹材料的生產及出口。進口的部分，2006年以前，日本、美國、香港為主要進口地區、西歐的進口量也持續增加；2006年後，美國、義大利、荷蘭為主要進口國；2013年後，印度則逐漸成為最主要進口國，其次為美國、荷蘭。可以發現竹子的生產以及現代性的利用，在越來越多地區開始受到關注。

臺灣竹林資源豐富約25萬7千餘公頃(單桿狀竹林46,928公頃、叢生狀竹林85,644公頃、竹闊混生林123,995公頃)，占森林覆蓋面積11%(邱立文等，2015)。依臺灣植物誌紀錄，臺灣地區竹類共有15屬、40種、3變種及10栽培種，其中6種較具經濟價值的竹類分屬單桿散生型(桂竹、孟宗竹)及合軸叢生型(綠竹、麻竹、莿竹、長枝竹)，竹材有彈性、輕量的特性，過去各有其用途及輝煌歷史，但近30年來因為人力老化、工資及作業成本高，法令法規的限制，目前竹材加工產業鏈已外移或消失。

臺灣的竹林資源堪稱豐富，其特用林產品的經濟價值潛力發展不亞於一般林木。未來，國際性林產品及森林認證若全面實施，林產品的原料材輸入成本勢必增加；為填補林產品的使用量，國內竹材原料利用之新技術開發應未雨綢繆、提早準備(黃裕星，2011)。若能實施以竹代木政策，合理利用竹材資源，可取代部份木材的需用量，間接提高我國木材的自給率。竹的利用相當廣泛與多元，也是絕對值得投資的綠色環保產業，臺灣竹產業振興雖經常被提及，但事實上整個產業鏈因沉寂20餘年，已逐漸消失當中，目前卻又沒有利基的利用方式出現，需政府、企業、學術及民間通力合作，才能渡過艱辛的產業鏈重建起步過程。

二、擬解決問題重點

竹林經營若以過去之作業及經營方式，已不能滿足當前環保及經濟上之要求與社會之期待，竹林資源若要朝向永續經營，勢必需要以符合新的竹林經營規劃及標準，開發更有效率的作業機具以及作業技術，降低原料成本，方可解決





前經營上之困境。

- (一) 採運設備研發：未來勢必以機械取代人力，而當前伐竹機械仍屬起步階段，伐竹機具可朝以下三大類研發：伐竹機具、集材(竹)設備、產地初步加工機械(如剖竹、切片、磨粉機)。
- (二) 竹林產業後繼專業人材與人力培育：政策振興及鼓勵竹產業發展、投資與新產品開發，營造竹產業經營利潤，吸引更多人才投入，恢復台灣竹林經營模式。
- (三) 研擬竹林收穫模式：整合新機械設備之應用，重新規劃生產流程，開發具潛力的竹林商業生產模式。





貳、前人研究概況（含近三年已完成之重要計畫成果摘要）

一、竹的生長特性與使用竹材的優點

竹類(bamboo)屬於單子葉植物之禾本科，單子葉植物不具形成層，故無年輪，同時不論竹種為何？或是竹體大小，竹類均於發筍後3個月內完成生長(所謂完成生長是指展枝開葉)，其後不再長高，直徑也不再增大，所以竹林的年生長量係以每年萌發之新竹來估算，和一般林木之每年長高增大，並以直徑與樹高所計算出來的材積來評估者有很大的不同。由此，吾人也可推知萌發新竹之原點--地下莖(rhizome)的重要性(呂錦明，2011)。

竹類的生長，主要分成「叢生型」及「散生型」兩大類，叢生型竹種多分佈在熱帶地區；散生型竹種則多分佈在溫帶地區，台灣得天獨厚，兼具叢生型及散生型兩大類。竹類在生長季節裡，平均只需要5~11週即長大成材，爾後無論直徑和高度就不再增長，它的生長速度，比生長最快速的樹木(如銀合歡、桉樹、楊樹等樹種，最快一年約2~3 m)快約100~150倍，竹林之生長與更新，遠較林木所需的時間短(黃裕星，2011)。

竹子受到重視的另一個重要原因是生長快，吸存二氧化碳的效率也高。林試所曾研究國內主要竹子的碳吸存能力，一根五年生的桂竹，可固定6.2kg二氧化碳，每年每公頃固定22.32ton二氧化碳（以每公頃栽培1萬8千支計算），一根五年生的孟宗竹可固定29.6kg二氧化碳，每年每公頃固定47.36ton二氧化碳（以每公頃栽培8千支計算）。一般林木每年每公頃二氧化碳吸附能力是7.45到14.9ton，相較之下，竹子固碳能力比木材還強，加工製成品也有固碳功能，所以在全球致力改善氣候暖化的問題，竹林經營管理是相當重要的議題(農傳媒，2018)。

假設已開發國家的一個人為維持正常的生活方式，每年需向大氣中排放 5.6 噸CO₂，而一叢竹子每年可吸收 337.5 公斤的CO₂，平均每公頃 200 叢竹子，則一公頃竹子每年可以吸收 67.5 噸CO₂，相當可以提供於一個已開發國家12個人一年生活的碳排放量(Rabik and Brown, 2003)(如圖1)。



BAMBOO AND THE CARBON FOOTPRINT

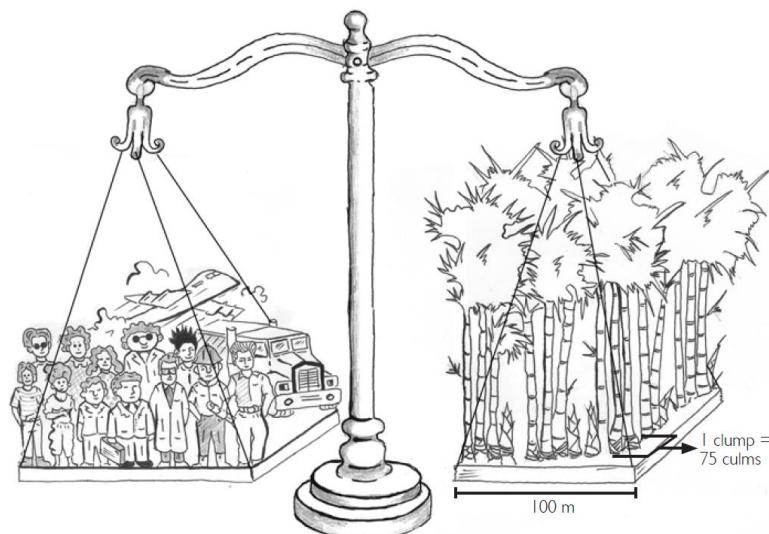


圖 1 竹林生長與碳足跡(Rabik and Brown, 2003)

對開發中國家而言，竹與藤(rattan)是令人驚奇的資源，具有消除貧困和自然資源挑戰的獨特潛力。國際竹藤聯盟(International Network for Bamboo and Rattan, INBAR)是一個多邊發展組織，利用竹、藤促進環境可持續發展。竹材更具備生長快速、繁殖力強、生生育期短、更新容易等許多優點，因此為提供此生物性資源之極佳來源(許玲瑛、李文昭，2011)。

一般竹稈生命週期大致不超過10年，前述竹材成熟時若不使用，竹材過熟即會在林地自然腐敗。竹林若在4~5年內無擇伐利用，不僅竹林呈現老竹充斥之荒廢狀態，大幅降低竹林的生態防災機能，同時造成可再生性生物資源的浪費(黃裕星，2011)。以臺灣地狹人稠的土地環境，如欲在有限的土地上大量且迅速提升森林中二氧化碳吸收之淨值，則應利用更高效率之碳吸存樹種造林：竹類植物，進而達到在有限的空間裡，強化碳減量之效率(邱祈榮，2011)。

綜合前述，臺灣的竹林資源堪稱豐富，其特用林產品的經濟價值潛力發展不亞於一般林木。未來，國際性林產品及森林認證若全面實施，林產品的原料材輸入成本勢必增加；為填補林產品的使用量，國內竹材原料利用之新技術開發應未雨綢繆、提早準備(黃裕星，2011)。若能實施以竹代木政策，合理利用竹材資源，可取代部份木材的需用量，間接提高我國木材的自給率。相較於其他木材資源，竹材收縮膨脹率小，靜力彎曲強度、彈性係數、順紋抗張強度及順紋抗壓強度較多數材種為高，應用於生活中之用途極廣，具有穩定的生長量，可廣為人們利用的重要綠色環保天然資源(王瀛生、吳孟玲，2010)。





二、臺灣竹的分類及分布

(一)竹的分類

竹林之分類主要是看竹子之地下莖是為直立型或匍匐型(或兩種型都有)，匍匐型地下莖會橫向蔓延於地下，又俗稱竹鞭，此外又是以地下莖或是莖脰之延伸分成橫走莖或走出莖(呂錦明，2001)。

由於臺灣位處北迴歸線和中央山脈之故，使得臺灣同時具有溫帶產之單稈散生型(monopodial)竹類及熱帶產之叢生型(sympodial)竹類。臺灣之竹子就地下莖之類型有主張分成3大類者(陳嶸，1987)和分成4大類者(竹內叔雄，1932；林維治，1976；溫太輝，1993)。依據臺灣目前普遍採用之林維治(1976)之分法，臺灣竹子可分成四類，依序為地下莖合軸叢生(如麻竹*Dendrocalamus latiflorus*)、橫走莖側出單稈散生(如孟宗竹*Phyllostachys pubescens*)、橫走莖側出合稈叢生(如包籜矢竹*Pseudosasa usawai*)和走出莖合稈叢生(如梨果竹屬*Melocanna* spp.)。

(二)竹的分布與數量

依林務局根據林務局(2015)第四次森林資源調查報告，臺灣本島之各縣市均有竹林之分布，以本次調查之林型分類結果，竹類純林(竹類佔80%以上)有112,549 ha，及竹木混生林(竹類佔20%以上)有114,900，合計227,449 ha，惟本小節將竹類資源獨立討論，爰比照林業統計之分類方式，以竹類佔林分50%以上者均視為竹林，如此臺灣全島竹林面積計有183,330 ha，推估竹材的蘊藏量約有15.8億支。

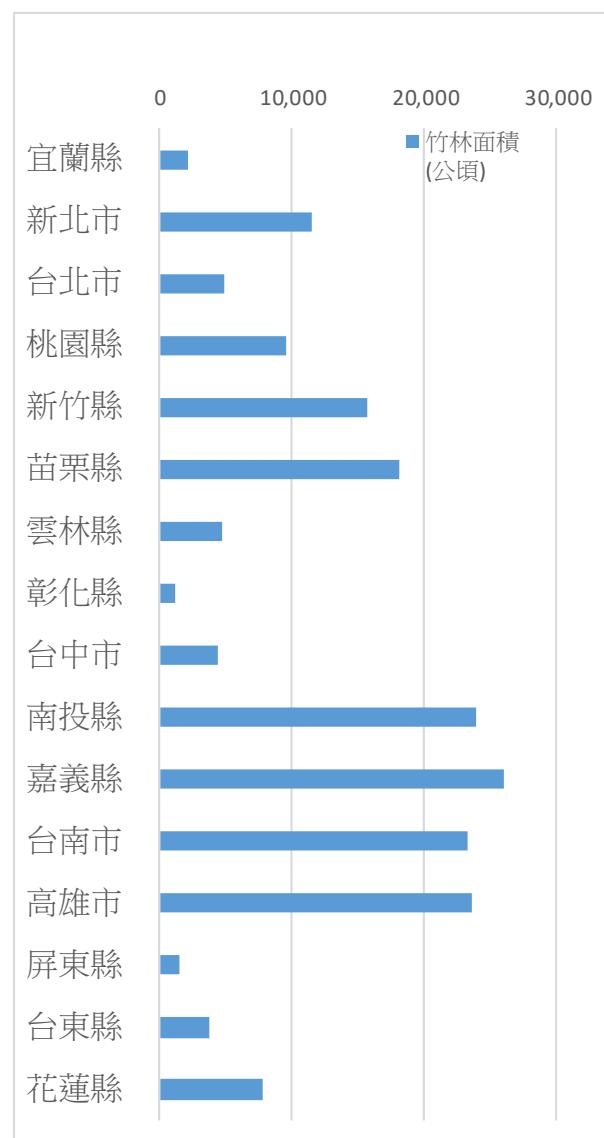
而竹林在臺灣各縣市之分布，亦以南部居多。根據第四次森林資源調查報告(2015)，南部竹林面積：嘉義縣25,971ha、臺南市23,307ha、高雄市23,584ha、屏東縣1,518ha合計74,380ha(如表1)。屏東林區範圍不只有屏東縣尚包含高雄市及西部外島，而竹林分布以高雄市為主，主要在旗山、田寮、內門、杉林、美濃及甲仙等區分布相當多。





表 1 臺灣各縣市竹林面積及竹材桿數

縣市別	竹林面積 (公頃)	竹材桿數 (支)
宜蘭縣	2,203	19,001,260
新北市	11,562	99,726,916
台北市	4,892	42,198,746
桃園縣	9,495	81,898,025
新竹縣	15,758	135,923,894
苗栗縣	18,123	156,324,919
雲林縣	4,778	41,213,554
彰化縣	1,125	9,707,394
台中市	4,359	37,597,591
南投縣	23,952	206,596,225
嘉義縣	25,971	224,014,087
臺南市	23,307	201,037,969
高雄市	23,584	203,425,614
屏東縣	1,518	13,095,539
台東縣	3,808	32,849,369
花蓮縣	7,813	67,391,016



資料來源：林務局第四次森林資源調查報告(2015)



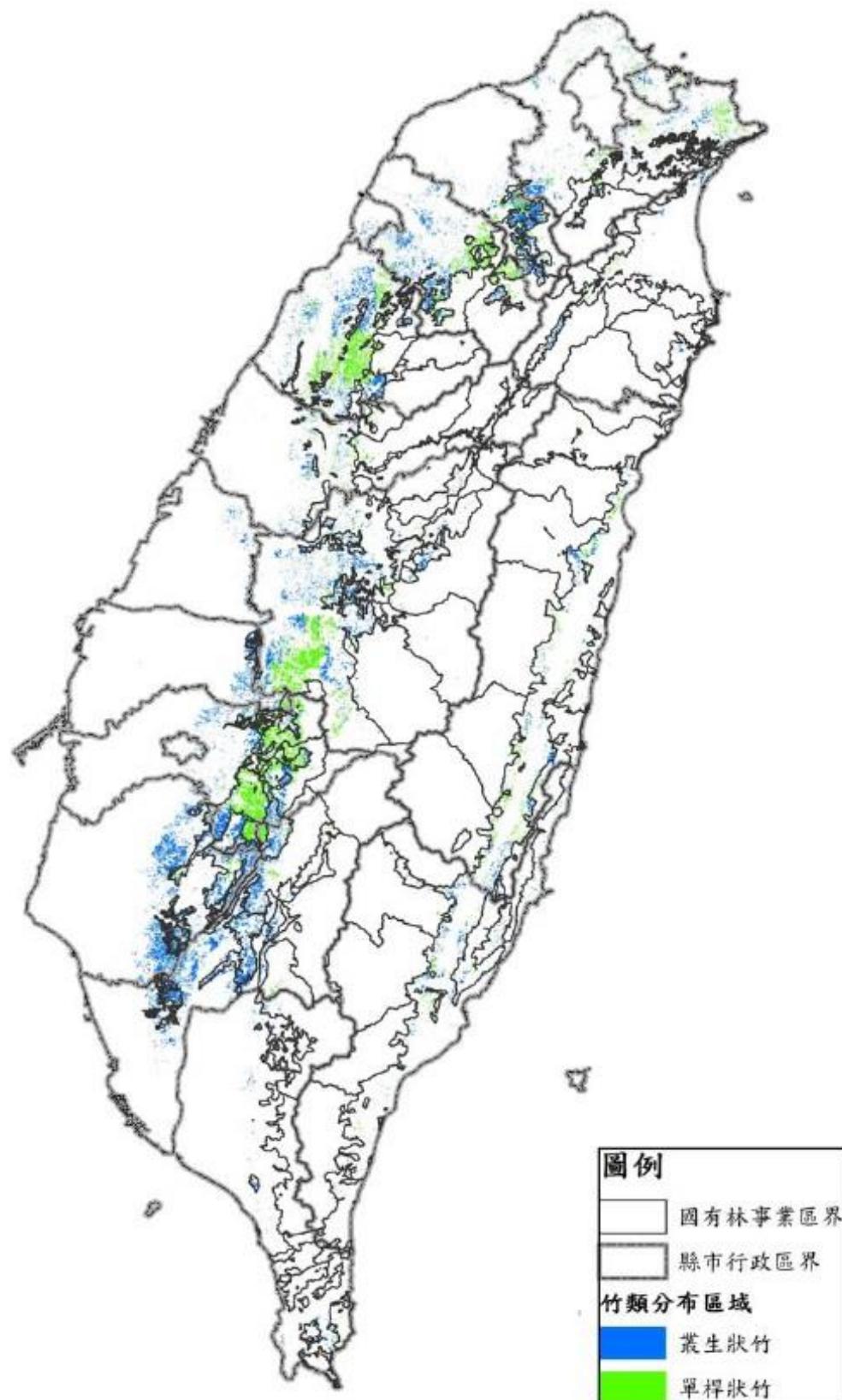


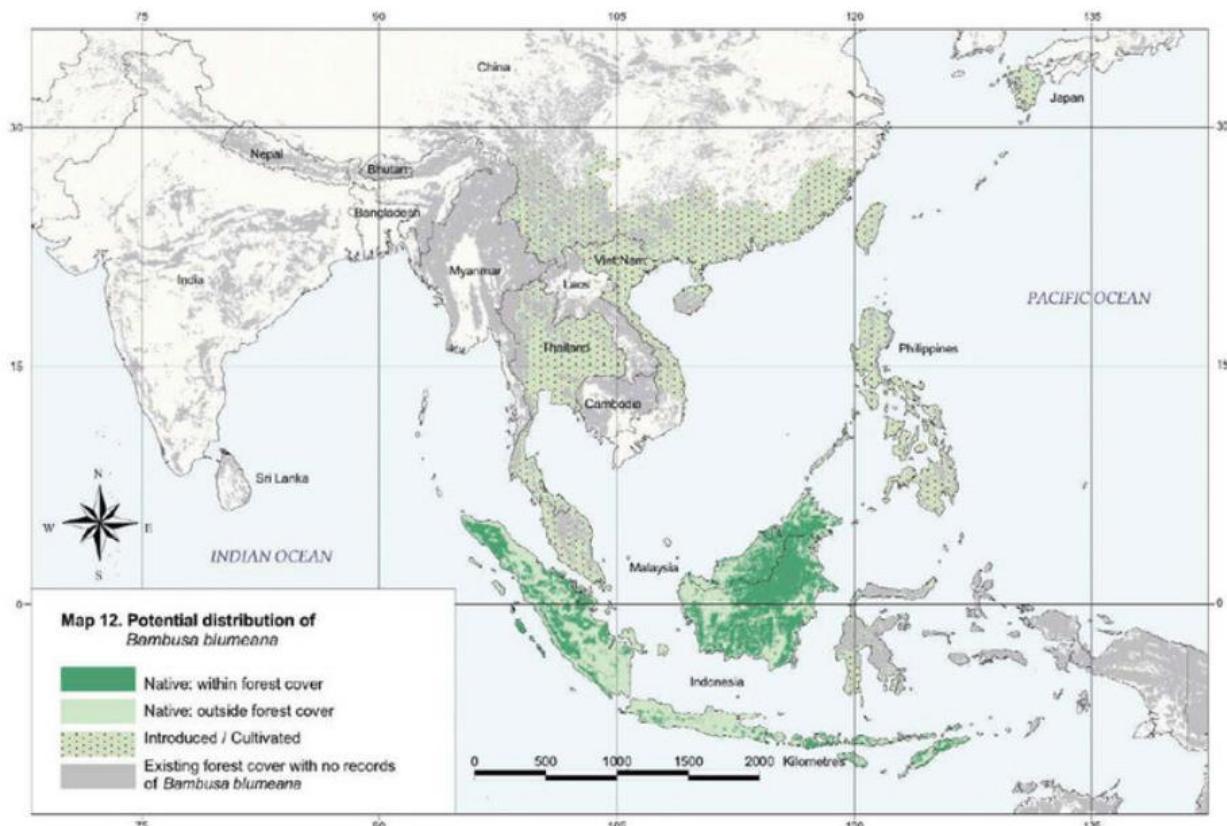
圖 2 第四次森林資源調查竹類分布圖(林務局, 2015)





(三) 蓼竹的生長特性

蓼竹(*Bambusa Blumeana*、*Bambusa stenostachya*)英文稱為Spiny Bamboo或Thorny Bamboo，印尼稱為**bambu duri**(Indonesian)，**haur cucuk**(Sundanese)；馬來西亞稱**buluh duri**、**buluh sikai**；菲律賓稱**kawayan tinik**(Tagalog)，**batakan**(Bisaya)；東埔寨稱**riüssèi rolièk**；寮國稱**phaix ba:nz**；泰國稱**mai si suk**、**phai-sisuk**；越南稱**tre gai**、**tre lá ngǎn**；日本稱**Shi chiku**。分布在熱帶與亞熱帶，叢狀(clumping)密生，高約15-25m，桿徑8-15cm。雖有國內學者認為蓼竹是原生種，甚至是臺灣特有種，但國際上一般咸認為原產印尼及馬來西亞，很早就引進中國、臺灣甚至到日本之民俗植物(如圖3)。



資料來源：<https://www.guaduabamboo.com/blog/bambusa-blumeana>

圖 3 蓼竹(*Bambusa Blumeana*)之地理分布

蓼竹性耐旱、耐貧瘠，於惡劣之地形環境亦能生長，主要生長在臺灣海拔0~500 m之區與泥岩地區，以臺灣南部(臺南、高雄)分布較多。蓼竹竹稈可供建築材料，竹材攢碎後為紙漿製材，且可於泥岩地區立地生長，因此早期蓼竹為臺灣南部主要之經濟與造林樹種之一。而今竹製品多可為塑膠製品所取代，且蓼竹





竹材採收不易，逐漸失去經濟價值；除部分仍供作木材與紙漿材料之用，目前多數莿竹林已失去人為管理，成為荒廢竹林地(林信輝、翁書敏，2011)。

莿竹為地下莖合軸叢生型，竹叢之間距約10~15 m，其地下莖連接於稈之基部，屬於直立型地下莖。莿竹根系之範圍隨地下莖的拓展向外分布，根量多且分布於覆蓋層與母岩之間，能提供邊坡穩定的能力。莿竹根系於泥岩地區生長情形形態變化不大，根系生長範圍隨時間增大，深度可達1~3 m，大都分布於0~100 cm，表層(0~10 cm)為細密網狀根系，接近地表面之鬚根較細。

但因叢生的特性，莿竹立地生長後就不會改變其生長，且具高鬱閉度及排他之特性，易造成純林化與單一化之現象。由於莿竹母竹主要根系密度較高區域在1~2公尺左右，莿竹為鬚根系植物，根群無法產生樁柱作用，而莿竹林各叢間距離甚大，竹叢間無根群部分土體缺乏拱壁作用支撐，易受降雨逕流侵蝕產生沖蝕溝；降雨沖刷致莿竹坡面裸露，持續的降雨將淘刷莿竹底下之土壤，導致莿竹林根系露出而整體滑落現象。而崩塌、滑落至坡面下方之莿竹叢，因竹叢根域土壤不易流失，常見崩滑後，繼續於坡面下方生長與擴張。

新筍萌發時會由母竹根部向外擴張，接近母竹根部處為彎曲狀，當竹叢新筍不斷萌發生長，莿竹根部會呈現嚴重彎曲變形，而老化母竹根系鬚根較少且分布深度淺，缺乏抗沖蝕固土之功能。莿竹竹稈高莖根淺，又竹材採收不易較少人為利用，若遇強風吹襲易導致竹枝攔腰折斷，倒伏於道路周邊除影響交通外，若於道路排水系統將會影響其排水效益，造成二次災害問題。

莿竹之枯枝落葉常覆滿林下，於乾旱季節時，風搖之磨擦與人為之星火，易導致竹林中之火災。火災對於森林植被之組成及構造具有一定之影響力，係為生態系中的一巨大擾動(disturbance)，森林植被若受火災侵害，往往難以控制其影響範圍，且對水源涵養與水土保持有所影響。莿竹之排他性高，林下少有其他物種入侵，莿竹火災時火勢易於竹頭處迅速蔓延，造成大規模火災；一旦發生火災，火燒通常可持續延燒長達4~5天；且火燒後林相無法快速恢復，雨季時缺乏冠層減低雨滴衝擊力及截流降雨量，加快林下沖蝕溝之產生。

莿竹林因近來缺乏管理，多為荒廢之竹林，竹林若未加以疏伐，老化的竹根與地下莖於土壤中形成空隙使水分無法停留，相較於一般森林土壤水源涵養能力低。莿竹因其具有對地表的覆蓋保護、土體的握裹固結及土壤化育等功能，莿竹林之林相單純且因竹葉不易腐化會大面積覆蓋於土壤表面，導致水分不易滲入至土壤。由於排他性而缺乏地被遮蔽保護，水分容易流失，於涵蓄水源、調節水





量、延遲洪峰等作用上遠不及原生林。而地下莖老化將使竹林整體生產力下降，因此竹林進行疏伐時通常會將其一併挖掘出。

陳財輝(2011)亦曾於臺南市左鎮區泥岩地區調查老化莿竹林之更新情形，發現其竹叢面積越大其每叢密度越低，枯死比例越高，且胸徑及竹高亦隨竹叢面積之增加而增加。竹叢與林地面積之比例平均為37.1%，較麻竹高，在竹稈密度可達 $24,533 \text{ culm ha}^{-1}$ 。在生物量調查部分，平均竹稈生物量為 $208.0 \text{ ton ha}^{-1}$ ，竹枝為 17.5 ton ha^{-1} ，竹葉為 18.3 ton ha^{-1} ，地上部總量為 $243.8 \text{ ton ha}^{-1}$ ，其地上部生物量之累積較其他竹種高。莿竹林地下部之平均生物量為 $318.7 \text{ ton ha}^{-1}$ ，總計莿竹之上部及地下部總生物累積量為 $562.5 \text{ ton ha}^{-1}$ 。

綜合前述，臺灣竹林分布以南部居多，而南部竹以叢生竹為大宗。根據葉銘哲等 (2016) 以臺南市山坡地(不含國有林事業區)為範圍，整合林務局第四次全國森林資源調查及水土保持局山坡地利用調查成果，再經自行現地調查與航攝影像補充判釋，設置94處樣區進行林分密度與結構調查，結果顯示莿竹林平均密度為 $5,700 \text{ culm ha}^{-1}$ 。而根據羅凱安(2019)在荒廢20年以上的國立屏東科技大學莿竹林範圍 $4,079 \text{ m}^2$ 普查，有269叢、5,680支(含幼、成、老竹)，平均密度才為 $1,393 \text{ culm ha}^{-1}$ 。可知目前南部莿竹林多數因荒廢多年致生產潛力減少，同時公益效能也會降低，又增加災害發生的風險，林分急需要整理更新改良。

三、臺灣森林採伐與收穫相關法規

臺灣除了經濟因素以及輿論的壓力之外，主要是由於目前社會對木材收穫或林木砍伐的影響相當緊張且負面，林主在營林生產上，需面對許多森林領域以外重要的相關法規，其均對林木之伐採有嚴格的限制與規範(如表2)，例如：原住民族保留地禁伐補償、環境影響評估法之皆伐面積上限、林業勞工安全、伐採限制、水保與作業道路申請、林業設施規範等。森林所有人或承包業者，在森林採伐與收穫作業前，需瞭解相關法令規定。





表 2 臺灣森林採伐與收穫相關法規

法規名稱	主要規範事項
森林法	森林主要法規
森林法施行細則	森林主要法規
林產物伐採查驗規則	森林主要法規
國有林林產物處分規則	森林主要法規
國有人工林疏伐作業規範	森林主要作業規定
行政院農業委員會辦理國有林林產物處分作業要點	森林主要作業規定
森林登記規則	林地及竹木登記
原住民保留地禁伐補償及造林回饋條例	原住民保留地禁伐補償與造林獎勵
開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準	皆伐面積上限
職業安全衛生法、職業安全衛生設施規則、職業安全衛生管理辦法	職業災害之預防與避免、職業安全衛生管理
職業安全衛生標示設置準則	安全衛生標示用途種類及告知事項
重體力勞動作業勞工保護措施標準	勞工安全
林場安全衛生設施規則	伐採作業之安全規定
保安林經營準則	伐採限制
森林遊樂區設置管理辦法	伐採限制
文化資產保存法	伐採限制
野生動物保育法	伐採限制
風景特定區管理規則	伐採許可
水土保持法	山坡地範圍、開挖申請、水保規範
水土保持法施行細則	山坡地範圍、開挖申請、水保規範
水土保持計畫審核監督辦法	作業道路、開挖申請、水保設施及計畫



四、叢生型竹類的收穫

(一)叢生型竹子的生長與形態

臺灣同時具有溫帶產之單稈散生型(monopodial)竹類及熱帶產之叢生型(sympodial)二種竹類，叢生型竹子會生長成為叢狀(clumping)，如南部常見的莿竹、綠竹、麻竹及長枝竹。叢生型竹之生長的型態(如圖4)，其是由肥短的地下莖(rhizome)上的芽(bud)，發育成為筍(shoot)，筍上交叉包裹著籜(sheath)，後長出根(root)快速發育成竹，伸長為桿(culm)，桿由許多節(node)間隔，竹節與竹節之間為節間(internode)，桿上部長出枝條(branch)及竹葉(leaf)進行光合作用。

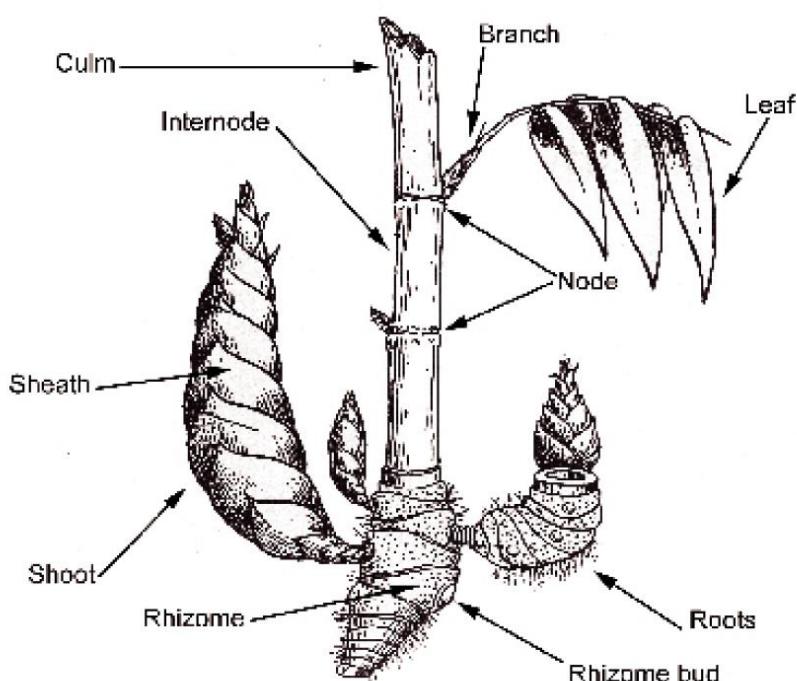


圖 4 叢生型竹之生長的型態(Kenya Forestry Research Institute, 2012)

(二)竹桿年齡與成熟度

竹稈可用於多種用途，每個用途對強度和其他特性有其自身的要求，所以稈可以在不同的年齡收穫，用於不同的用途。例如：1歲以下的稈水分含量非常高，而且收穫後容易枯萎，2-3 歲的稈用可於工藝和墊子製作的應用或製漿，4-5年生竹稈強度最高，可應用在需要機械強度高的結構應用。而年輕的竹稈澱粉含量高，使它們暴露在收穫和使用時蛀蟲和白蟻，木質化的過程是在幼稈中也不完整，導致強度和機械性能較差特性，隨著稈的老化，澱粉含量降低，木質素含量增強，



有助於提高稈的硬度。7-8年後竹稈逐漸變脆變弱，直至死亡。

竹稈的老化與薄壁組織和纖維組織的顯著化學和結構變化有關，包括水分含量降低、細胞壁增厚、全纖維素和 α -纖維素和糖的百分比降低、矽的積累以及增加或減少在某些營養離子中 (Othman, et. al., 2012)。與樹木相反，竹子沒有次生分生組織，即形成層，因此它們缺乏特殊的組織來遮蔭或積累代謝殘留物。因此，竹子傳導電組織必須在不形成任何新組織的情況下運行多年 (Liese, 1998)。它們在後木質部導管(metaxylem vessels)中積累代謝殘留物質，逐漸降低木質部對水和養分的傳導性以及韌皮部對同化物的傳導性，最終導致運輸系統崩潰和莖稈死亡 (Liese and Weiner, 1996)。

竹齡之鑑別一般係用外觀憑經驗判別，種植或經營者可以區分幼竹和老竹。一些明顯的跡象是稈上地衣和苔蘚的數量、稈鞘竹籜的有無、節上氣生根的數量和顏色。中國浙江及有些竹林集約生產的地區會在竹稈上作竹齡之辨識記號，另外開發中國家亦有使用回音測試法(Resonance Test)，取一段直徑6-8cm，長50-75cm的竹子，將竹子的一端放在耳朵上，將另一端放在要測試的竹稈上，再敲擊要測試的竹子，較老的竹子產生的聲音因為共振，在耳朵中持續時間更長，可以在已知年齡的竹子上進行測試，訓練耳朵聆聽共振。

由於多種原因，竹叢會變得擁擠(over-congested)，一個主要原因可能是該叢已經多年沒有工作或收穫了，竹叢擁擠將導致質量和數量的下降。一個健康的叢生竹1~4年生最好的比例，應是4:3:2:1(Rabik and Brown, 2003，如圖5)。在這種情況下，伐竹意味著是選擇性收穫(擇伐)，每年只砍伐3-4年生的竹子，這在工資便宜的國家或是少量數量的利用上較有可能。

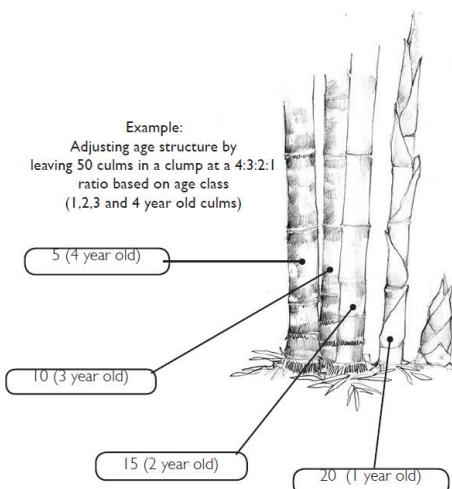


圖 5 叢生型竹之齡最適比率(Rabik and Brown, 2003)





(三)竹林收穫模式

為進行收穫獲得竹桿利用，或是因為竹叢擁擠，為在竹叢內提供一個健康、通風的環境，在生長的第二年和第三年應進行輕度修剪，並且從第四年開始密集修剪。應該在之前完成乾季休眠期結束在竹筍出現之前，進行修剪的好月份是12月和1月。

而且竹子能長出很多枝條，如果不注意，會深深扎進去糾纏，因為它們使舊桿進入到叢中心中，也阻礙了新桿的自由垂直生長，如果它們被纏在一起，形成的新桿就會扭曲和轉動，超過一定階段，就會無法找回竹叢的自然結構（又直又高的桿）。畸形的竹叢需要盡快伐採，除了這些類型的竹桿是沒有價值的，且畸形的桿使較好的桿的收穫變得困難，導致經濟損失。

因此，重要的是儘早整理竹叢並清除所有死的和畸形的桿。通風良好的竹叢才會出現健康生長的竹桿。枯死的桿不僅容易受到病原體的侵害，而且乾枯快，是一種潛在的火災危險。在低濕度和高溫條件下，眾所周知，在特定條件下，莖桿相互摩擦會引起「火花」並起火造成災害。擇伐是去除竹桿或竹筍以避免過度密集的竹叢。這可以通過去除年輕的新竹（竹筍）來完成，或者也可以選擇成熟的莖桿進行砍伐，以保持竹叢所需的密度。

在一個竹叢中，新的桿通常向外長出新桿在叢的外圍，而舊的桿留在中心，因此，竹子的收穫應該從中心而不是在叢的兩側，故有二種收穫模式：

1. 馬蹄形收穫模式(The Horse-shoe System of Harvesting)：該系統提供了進入竹子內部的入口叢。該系統的主要概要如下：

- (1) 竹叢以馬蹄形或倒V形進入收穫，先在最密集的部分開一個開口，為馬蹄鐵的開口端，從叢中心切下，以方便未來的收穫。
- (2) 在最初創建開口時，可能需要切割一些年輕的竹子（1-2歲），將舊的、乾枯的、腐爛的莖桿全部摘除，僅剩1歲竹桿，使其茁壯成長桿。此外，適當數量的均勻間隔和健康的老莖也被保留。



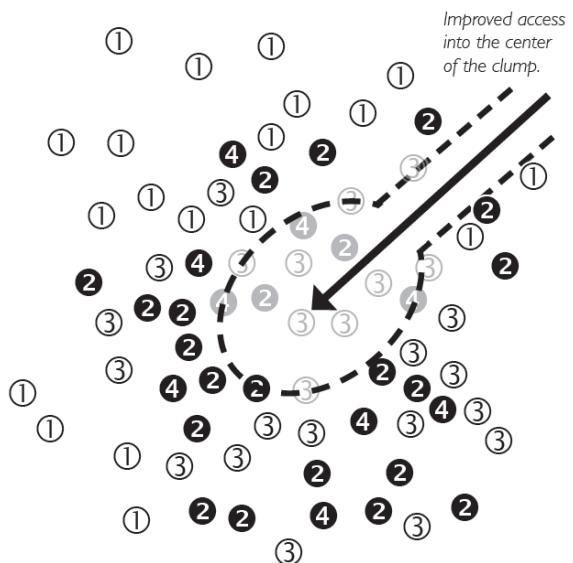


圖 6 馬蹄形收穫模式(Rabik and Brown, 2003)

2. 通道收穫模式(The Tunnel System of Harvesting)：對於過度擁擠的團塊，建議清理一條穿過團塊的收割通道，然後進行定期收割。
 - (1) 也可以用兩條通道穿過竹叢中心，有效地將其分為四個部分。
 - (2) 通道提供進入內部的通道結構並允許輕鬆工作。
 - (3) 從每個部分選擇收穫足夠成熟的稈。
 - (4) 從叢的外圍去除虛弱和發育遲緩的，只有保留健康的。

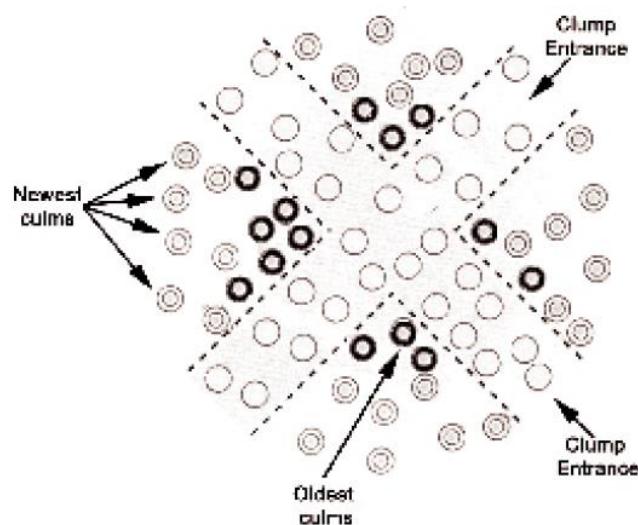


圖 7 通道收穫模式(Kenya Forestry Research Institute, 2012)



雖然這些收穫方法涉及高昂的初始成本，並可能導致去除一些成熟和未成熟的稈，它們可以防止擁擠並提供芽和稈的適當生長的空間，確保在隨後的幾年裡輕鬆工作。對於成熟的竹區，一個定期管理的叢可以保持100個以上的稈，竹叢在伐採時應遵循一些規則(Kenya Forestry Research Institute, 2012)：

1. 不應伐採生長在叢外圍的稈。
2. 伐採、修剪應僅限於叢中心最老的稈。
3. 所有枯死和乾燥的稈都應該被切割和移除。
4. 嚴重擁擠的竹叢可能無法恢復到生產狀態，應該清除。
5. 千萬不要伐採當年和1歲的稈，除非它們彎曲並纏繞在其他稈上，或者受到疾病或昆蟲的侵擾。
6. 保留的舊稈數不應少於當年的稈數。
7. 不應挖出根狀地下莖(rhizome)。
8. 稈應在距地面 15 至 45 cm的地方進行切割，但不得低於地面上方的第一個突出節。
9. 應使用鋒利的鋸進行切割，以免竹稈基部裂開。
10. 在生長季節(即下雨期間)，不應切割莖稈，稈切割只能在旱季進行。
11. 在零星或群生開花的情況下，所有已脫落種子的竹叢都應清除。

(四)收穫後處理

竹子收穫後，會進行分段、分堆、搬運及儲放，並根據某些特性對它們進行分級。這種分級對於用正確的原料提供不同的竹產業需求非常重要。常用於評量的一些標準有：

1. 節間距離(Internodal distance)：通常定義在竹稈的中空區域的直徑和壁厚，兩者之間節點，即節間長度。
2. 機械性能(Mechanical property)：它是相關聯的竹子的可測量屬性兼具稈幾何和竹材特性，可代表竹稈在外加載荷或應力作用下的行為。
3. 含水量(Moisture content)：稈中的含水量非常重要特性，表示為烘箱乾重佔水組成的稈重量的百分比。
4. 物理特性(Physical properties)：描述竹子對外部影響做出反應的應力或





應變等可測量特性，通常如密度、水分等。

竹桿伐採後，需要臨時竹儲存，是在竹子進入加工廠之前將其儲存起來，避免因儲存不當而失去價值的階段。儲存不當會帶來以下風險：

1. 竹子受到白蟻和粉蠹蟲的攻擊。
2. 直接放置在陽光下會導致翹曲和開裂。
3. 直接放置在雨中會導致翹曲、開裂和真菌損壞。
4. 放置在不通風的環境中會導致真菌感染。

可能改善的方法有：

1. 浸泡

- (1) 將竹子浸泡在淡水中，有效地降低了竹子的澱粉含量。
- (2) 將竹子切成所需的長度。六米桿通常是運輸問題的最大長度。
- (3) 如果浸泡整根竹竿，可能需要在整個竹子的所有隔膜上打一個孔，但請先與您的購買者確認。
- (4) 可分開浸泡，將竹子分成所需的長度。
- (5) 一定要完全淹沒竹子。用大石頭或乾淨的、裝滿水或沙子的回收油桶壓重竹子。
- (6) 您可以將竹子浸入流水或積水中，以便臨時存放。鹽水或微鹹水也可以，可能會引入幾種海洋鹽和離子，它們可以保護竹子，但海洋蛀蟲可能會開始侵擾竹子。

2. 煙熏

- (1) 用竹子搭建成一個平台，很像一張桌子，離地面 75 cm 到 1m。
- (2) 堆竹（劈開或整株竹子到平台上）。
- (3) 用防水油布或編織竹片蓋住竹子。
- (4) 開小火，竹下小火，繼續抽 2 天。使用濕木柴有助於吸煙/悶燒。
- (5) 吸煙兩天後，火最多 5 天可以熄滅。竹子儲存的每個星期，火應該被點燃大約兩天，直到竹子被運輸出售。
- (6) 小心保持低火，尤其是在旱季。不要讓火無人看管。



- (7) 吸煙可能會改變竹子的外觀顏色，並會在一些竹子上塗上一層焦油，這可能需要在銷售前清潔。
- (8) 正在開發改進的吸煙方法，可以將竹子保存更長時間，但還沒有方法可以廣泛傳播。

五、木竹收穫作業成本

Guerra, *et al.* (2016) 在以歐洲製造曳引機(276 kW Valtra S353 four-wheel drive tractor)搭配切碎機(AHWI H600 Bioharvester, cut-and-shred harvester)於巴西聖保羅州(São Paulo State)的Tatui市鎮所進行的青竿竹(*Bambusa tuldaoides*)收穫試驗中所估算，二台機械購置總價為41萬歐元(折合目前新臺幣1,329萬元)，在以1台卡車運送下的生產力方面：平均值為4.6噸/小時，成本為38.7歐元(折合目前新臺幣約1,250元)/噸；在以2台卡車運送下的生產力方面：平均值為6.32噸/小時，成本為33.7歐元(折合目前新臺幣約1,090元)/噸。在成本方面，把折舊、保險、油料、修理包括進來約108歐元(折合目前新臺幣約3,500元)/小時，再加上勞力及管理費，總成本為143歐元/小時(折合目前新臺幣約4,600元)。雖然當地工資仍然便宜，人工伐竹仍有其競爭力，但考量工人安全及未來短缺、一貫化生產，機械化收穫只考量生產成本降低，也要注重其社會及物流的效益。



圖 8 歐洲製造曳引機搭配切碎機 AHWI H600 Bioharvester (Guerra, *et al.*, 2016)

由於竹林收穫作業成本研究甚少，過早的或外國的研究也難以援用，參考羅凱安(2020)屏東林管處轄區竹林資源永續經營與收穫作業技術改進之研究報告，各項單價如下表：



表 3 莖竹林採運試做重要產品與工項單價(羅凱安, 2020)

No	工項類別	金額	作業量	平均 單價	單位	說明
1	收入					
2	竹桿(到廠價)			120 元/支	集成材廠收購	
3	竹屑(到廠價)			5 元/kg	FSC 竹顆粒用	
4	竹屑(到廠價)			3 元/kg	堆肥、生質炭用	
5	工資水準					
6	一般工資			1,600 元/日	高屏地區	
7	專業人力			2,500 元/日	高屏地區	
8	面積變動成本					
9	竹林伐採調查	43,059	3.665 ha 29 工	7.9 工/ha 1,264 m ² /工 11,749 元/ha	每公頃工數 每工效率 每公頃單價	
10	作業道整理	24,250	480 m	50.5 元/m 131 m/ha 6,617 元/ha	大型機具整理、新開 原有竹林作業道。	
11	防火線整理	11,000	400 m	3,001 元/ha	大型機具整理、新開 原有防火線。	27.5 元/公尺*105.3 公尺/公頃
12	水保植生處理	4,290	0.1 ha	11,705 元/ha	撒百慕達草籽。	
13	撫育管理費			10,000	以 6 工/年估算	
14	產量變動成本					
15	人力伐竹作業日數			9 日 26 工	雇工作業，2 人為一組，含造材	
16	人力伐竹竹數		346 支	38.4 支/日 13.3 支/工	人力伐竹作業效率	
17	人力伐竹人工成本	39,529		114.2 元/支	108 年 12 月 2 日至 10 日，按件計酬，50 元/支。工人所得過少而改計日工。	
18	人力伐竹餐費	2,260		6.5 元/支		
19	人力伐竹油料費	302		0.9 元/支		
20	人力伐竹耗材費	1,080		3.1 元/支		
21	機械伐竹作業天數			18 日 59 工	雇工作業，1 人機具 +2 鍊鋸手為一組(含造材)	
22	機械伐竹竹數		757 支	42.1 支/日 12.8 支/工	機械伐竹作業效率	





No	工項類別	金額	作業量	平均單價	單位	說明
23	機械伐竹人工成本	113,500		149.9	元/支	
24	機械伐竹餐費	4,442		5.9	元/支	
25	機械伐竹油料費	7,835		10.4	元/支	
26	機械伐竹耗材費	642		0.8	元/支	
27	機械伐竹維修費	12,995		17.2	元/支	
28	機械伐竹租金	36,000		47.6	元/支	Yanmar 30 月租金 5 萬，工作 25 日/月，實際作業 18 日。(5 萬 /25)*18=3.6 萬
29	外包機械伐竹作業日數		3 日 9 工			外包廠商作業，僅做 3 天，廠商虧錢撤出。
30	外包機械伐竹竹數		125 支	41.7 支/日 13.9 支/工		外包機械伐竹作業效率
31	外包機械伐竹費用	7,875		63.0	元/支	
32	上車及運費(竹段)	17,420	695 段	25 元/段		每段 2.5 公尺。 非專業運輸，費用多耗於準備工作。
33	上車及運費(竹桿)	4,500	300 支	15.0 元/支		10.5 ton 卡車短距運輸 4500 元，300 支/車
34	上車及運費(竹屑)	長距 短距	11,000 4,500	6,500 kg 6,500 kg	1.7 元/kg 0.7 元/kg	10.5 號卡車裝載 6.5 噸

該研究嘗試三種伐竹模式：人力、機械、外包機械，原本預期工作效率是外包機械>機械>人力，但事實上是三者沒有顯著的差異，人力伐竹是13.3支/工，機械是12.8支/工、外包機械是13.9支/工。可看出即使是有伐竹經驗的外包團隊亦沒有顯著的工作效率，其主要的原因是本校荔枝林地形環境多變且多年未整理所導致，大部分人力花費在竹叢清雜與整理，可用之竹不多，工作效率難以提升。

在林業經營收穫成本中以採伐生產成本最主要，過去租地造林時期有利可圖之原因在於工資低、有技術性的勞動力、作業的與持續性與規模、沒有嚴苛的環保要求，所以採伐收穫成本不高，加上當時匯率低進口材昂貴，可保障國產材價。反之當前由於臺灣匯率較高，進口外材反而便宜，故國產材價也受到壓抑，而 1990 年之後經營收穫成本的持續高度成長，造成多數租地造林屆伐期因無法獲利而不收穫，最後放棄了經營。

湯適謙(2014)於苗栗地區應用輕型集材機及小型怪手集材機(swing yarder)





於桂竹林間伐作業，分別採用人工作業及機械作業進行比較，所得結果：在作業效率方面以3人一組之日工作量則分別為人工作業45 m為1,061支/日最高，人工作業45-90 m為631支/日最低，機械作業為1,023支/日 次之。平均人工作業成本75,516元/公頃，機械作業成本為67,113元/公頃，整體而言機械作業之成本較人工作業之成本低。在機械能源效率部分，能源效率為0.11噸/升(柴油)。另外砍伐作業與林地坡度具有正相關；集材作業與集運距離為正相關，可分別進行回歸分析。

Wästerlund and Hassan (1995)即有建議將友善環境作業加入林木收穫規劃中。卓志隆(2015)在研究對環境友善之森林收穫作業與技術開發發現，疏伐作業之每人日平均(柳杉)伐木造材標準作業量為11.037 m³；集材整堆為2.352 m³；每人日平均可生產1.839 m³原木。採用定張式架線集材與怪手配合絞盤集材，伐木造材採用鏈鋸，林道兩側進行原木整堆使用抓鉤式怪手，二者單位材積生產費用分別為2,765元及2,020元。合計每生產出1m³原木時整堆於林道旁之CO₂排放量為18.37 kg。在約相同的作業深度規劃下，採怪手直線集材及關聯作業之CO₂排放量為架空索集材的1.2倍。

六、近三年已完成之重要計畫成果

(一)在高屏地區國(公)有林之租地造林人或私有林竹農之調查顯示，竹林經營者已老化，竹林經營只是部分的事業，已無法依賴農林業為生，且竹林經營對家計影響甚少。保有竹林地之目的以保有承租地使用權最多(88%)，或是當成家戶之財產。竹林大部分(67%)已半放棄到無經營狀態，經營意願並不高，意願高者僅佔3%。近5年內無竹材伐採計畫者佔94%，不願生產的原因有：無銷路(76%)、砍伐成本高(76%)、價格不好(70%)。由於竹林經營者自認為在經營竹林的知識、技術與能力上不足者佔67%，顯示本計畫中對林主竹林經營能力培力的迫切需要性。

(二)在竹產業面調查：竹之利用上仍以傳統使用為主，目前少有更具創新或高附加價值之利用型式的廠商。可分為：1.生活用品、2.家具(桌椅、竹簾、竹蓆)、3.建材與製材、4.工藝品、5.其他(醋液、竹炭、奈米、紙)、6.食品(筍加工廠)等六大類。本次受訪之竹產業多屬於原料產地導向的加工模式，成立時間以60年代居多，近10年大型竹加工廠投資不多。2/3為小規模(資本額<300萬)經營，小規模者主要是零售商或是原竹、粗加工業為主，大規模者主要以製材、





地板、防腐、竹片、竹筷為主。

(三)竹產業不願採用國產竹材的原因有：1.臺灣竹林老化造成問題、2.竹材易被其他材料取代、3.國產竹材市場日益縮小、4.供貨不穩、備貨太久、5.國產竹材成本高(作業不易、人力不足)、6.竹林生產及加工廢棄物處理困難、7.政府未支持竹產業發展、法規限制。

(四)將莿竹林經營設定成三種模擬狀況，若以現況荒廢退化之竹林來看，無論經營何種產品、何種作業方式，都是虧損，即使經過5年短期的收穫及撫育改善，仍然未能獲利，其主要的原因在於伐採作業的成本太高(總成本的64~78%)，未來獲利要獲利需要：1.擴大合作經營面積並以機械化的作業方式降低成本，在伐竹作業效率上，若未來1組人力(2人)伐竹作業效率要能提升至60支/日以上，1個機械小組(3人)伐竹作業效率至少要能至160支/日以上才能獲利。2.開發高價值竹材利用，確保竹材到廠單價5元/kg以上。3.竹林有良好的撫育管理與經營改善。

(五)與實際伐採作業專家、學者研討叢生狀竹林收穫之必要及可能作業工序，且實際在實驗樣區進行叢生狀竹林收穫作業工序之時間分析。作業工序因作業人數、地形及伐竹者習慣，可能彈性調整增加效率。不同作業人員有不同作業習慣，影響效率差異快1倍，可見以績效導向的薪資設計(以伐竹支數計算工資)，為承包商最佳且為當地作業人員可接受的計薪模式。

(六)當前人力伐竹工作人力短缺，工作辛苦又要自負作業安全健康之風險，惟有改善工作環境並藉由機械化提升生產力及待遇，才吸引更多年輕人投入產業。竹林人工收穫作業分析，結果顯示人工伐竹D(去枝、分段)所花費時間最多在42~54%，E(集材、分堆)18~24%次之，C(砍伐、放倒)9~18%，B(清叢基)8~11%。由竹林收穫成本來看，初期在收穫管理不善竹林的情形下，重機具所占的成本比率較大，故此時以考量可以引入協助道路整修及清雜的重機具種類為宜；而在管理較佳竹林的情形，則會需要協助引入伐竹機具替代人力短缺，最好能有去節分段，再加上捲揚集材之功能之種類，似應較能更具效率。

(七)由竹林收穫人力結構、農林政策趨勢來看，竹林收穫引進機械化作業有其必要性，惟需注意環境保育與坡地水土保持的問題，盡可能採用小規模或低強度的環境友善方式來進行。除伐竹機具外，所搭配的挖掘機亦相當重要，大小以7-9 ton(輪距<2,500mm)比較合適臺灣地形，因日本、芬蘭、瑞典或奧地





利在林業機械發展較成熟，建議挖掘機與機具一起搭配好油壓機電系統，再由廠商代購回台灣為宜。





參、工作項目與研究方法

111年度將以南部叢生狀竹(莿竹)為研究對象，進行以下之相關試驗：

一、與產業需求、實際伐採、機械開發設計之專家、學者共同研討竹林收穫作業中引進機械化之作業項目與可行性

本研究在研討適用於叢生狀竹林機械化收穫上，主要與以下幾個機關與團體合作，共同討論與分享資訊：

(一)竹林生產業者：永茂林業生產合作社(高雄市左營區)。

(二)伐竹承包業者：飛鷹竹行(臺南市關廟區)、建陽林業(花蓮市)。

(三)竹材加工業者：元宇生技股份有限公司(屏東縣長治鄉)。

(四)重機械公司：臻禾興業有限公司(彰化市)、順鑫租賃有限公司(高雄市左營區)。

(五)公部門：林務局、林試所之專家學者。

二、採購或研發一項機械化竹林收穫作業機具

參考過去研發的經驗，國內自行開發伐竹作業機械在機電與油壓系統之整合較難以克服，且本年度受限於預算，將以採購一項機械化竹林收穫作業機具(資本門約180萬)，會先收集相關資料再進行分析比較決定採購類型。

三、於試驗樣區實際進行竹林收穫作業，收集分析比較人工與機械作業之時間、數量、效率及成本

本年度在南部除了在本校區莿竹與長枝竹可供試驗外，永茂林業生產合作社也有社員申請伐採2ha，目前正在現勘中，此外，屏東處及嘉義處今年底伐採季均編有伐採竹林之計畫，會與他們合作選擇合適進行機械與人工伐採作業之比較的樣區。伐竹試驗區主要比較以下項目：伐竹作業能率(支或kg/人.日)、伐竹成本(元/支或kg)、下層植生與作業道路之衝擊，以及作業限制與特別需求等。

四、竹林收穫作業機械化之教育訓練

在進行伐竹試驗之同時，搭配所新購置之新式機具，會同時招募林業合作社、農企業有願組成伐竹工班之團體，以及對伐竹有興趣之公私或學校部門之有興趣成員，預計進行2天1夜有關伐竹之職業衛生安全、相關法規申請、伐採技術與各種機具演練之研習課程。



肆、期末執行成果

一、竹林收穫作業中引進機械化之作業項目與可行性

(一) 竹林收穫引進機械化作業之必要性

首先就當前政策、產業需求、實際伐採、機械開發設計上，經由與專家、學者共同討論後整理之相關論述如下：

1. 竹林收穫人力結構

國家發展委員會推估臺灣生育率逐年降低(2021年粗出生率6.9%，1970年為27.2%)，人口結構上2013年之後青壯年(15-64歲)人口即逐漸減少，2021年老齡化(65歲以上)人口已占16.8%(如圖9)。由當前竹林收穫之人力減少及老齡化可茲印證，未來鄉村、山村地區的年青人口外流更為嚴重，與農產品不同，林產品通常是具有相當重量的材料，年長者力氣有限，而年青人沒有相關營林經驗，無論是繼承林地或從事林業工作事業，沒有相關重機具的協助，只有閒置放棄收穫或轉行一途。

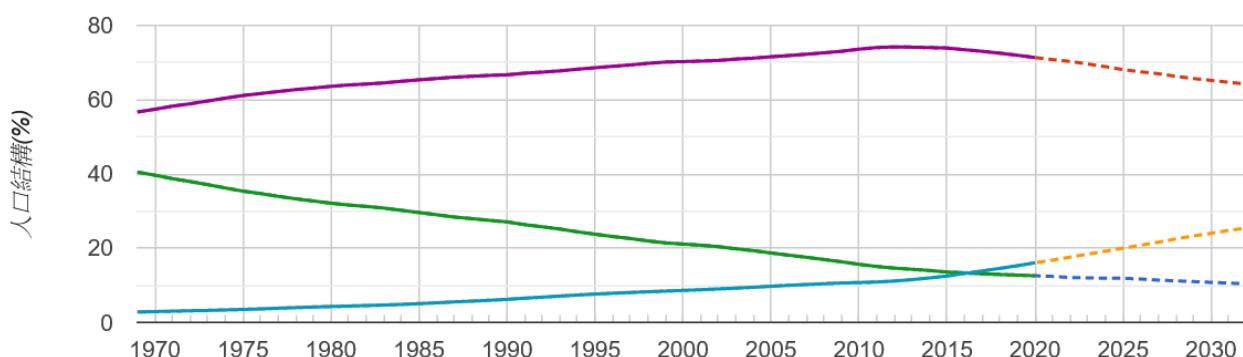


圖 9 臺灣 1970~2030 年三階段年齡人口結構比率(國家發展委員會推估)

2. 環境保育與坡地水土保持

以環境保育與坡地水土保持來看，林業引入重機具有利有弊，尤其以臺灣的地型及雨量特性來說，根據水土保持法第8條：農、林、漁、牧地之開發利用均需要進行水土保持的處理與維護，因此林業的經營尤其在收穫時仍需注意是否對水土資源有顯著之負面影響，盡可能採用小規模或低強度的環境友善方式來進行。

根據水土保持法第12條、水土保持計畫審核監督辦法第3條，於山坡地或森





林區內從事本法第12條第一項各款行為，且挖方及填方加計總和或堆積土石方分別未滿二千立方公尺，其水土保持計畫得以簡易水土保持申報書代替之種類及規模如下：

- 一、從事農、林、漁、牧地之開發利用所需之修築農路：路基寬度未滿四公尺，且長度未滿五百公尺者。
- 二、從事農、林、漁、牧地之開發利用所需之整坡作業：未滿二公頃者。
- 三、修建鐵路、公路、農路以外之其他道路：路基寬度未滿四公尺，且路基總面積未滿二千平方公尺。
- 四、改善或維護既有道路：拓寬路基或改變路線之路基總面積未滿二千平方公尺。

因此，林業在引入重機械機具主要考量是在機具的作業能量與林地之衝擊規模之間作一平衡。機具的作業能量大，通常機具之重量(或輪寬)及高度也比較大，造成林地負面衝擊也比較大。考量目前森林內作業道路的寬度不大於3m的設定標準來看，在引進重機械(如挖掘機、曳引機)的輪寬似以不大於2,500mm為原則，亦可以在造林行株距大於2.5m的內部行走及作業。

3. 農林政策趨勢

由前述臺灣林業從業人口結構趨勢，以及為提升生產力，目前農林政策上對於有意從事農林業之機具購買者均有提供對等補助，加上近來Covid-19疫情不但影響國際基礎勞動力之流動，造成林產品的國際商品與期貨價格高漲，再加上為2050年碳中和目標及2023年歐盟邊境碳稅開徵而實現出林業碳權的環境價值，在在喚起臺灣竹木自主供應意識，對臺灣木竹材收穫數量有一定的推升。

4. 竹林收穫成本

根據本計畫及前期計畫之研究，竹林因不經營導致劣化，老竹、枯死、折、斷竹比率增加，會造成每公頃可用竹桿數(支數/ha)減少，所收穫莿竹林的生長狀況影響成本甚巨，所以吾人可藉由模擬計算莿竹林不同生長狀況下，分析每支竹桿收穫成本(如表4)，管理良善且適度收穫的竹林，每公頃可用竹桿數(支數/ha)較多，造成每支竹桿收穫成本的差異(由1,000支/ha的194元到4,500支/ha的98元)。



表 4 薊竹林不同生長狀況下每支竹桿收穫成本分析

可用竹桿數 (支數/ha)	項目	總成本	管理費	人工 伐竹成本	重機具 道路清雜	竹桿山價
1,000	元/支	194	19	24	111	40
	(%)	(100)	(10)	(12)	(57)	(21)
1,500	元/支	153	15	24	74	40
	(%)	(100)	(10)	(16)	(48)	(26)
2,000	元/支	132	13	24	55	40
	(%)	(100)	(10)	(18)	(42)	(30)
2,500	元/支	120	12	24	44	40
	(%)	(100)	(10)	(20)	(37)	(33)
3,000	元/支	112	11	24	37	40
	(%)	(100)	(10)	(21)	(33)	(36)
3,500	元/支	106	11	24	32	40
	(%)	(100)	(10)	(23)	(30)	(38)
4,000	元/支	102	10	24	28	40
	(%)	(100)	(10)	(24)	(27)	(39)
4,500	元/支	98	10	24	25	40
	(%)	(100)	(10)	(24)	(25)	(41)

表4中可以看出，初期在收穫管理不善竹林的情形下，重機具所占的成本比率較大，故此時以考量可以引入協助道路整修及清雜的重機具種類為宜；而在管理較佳竹林的情形，則會需要協助引入伐竹機具替代人力短缺，最好能有去節分段，再加上捲揚集材之功能之種類，增加重機具伸入無法到達作業的地區，對於降低人工伐竹成本更具有效果。

除成本之外，由國外經驗可知適當的機械化有利於作業人員安全及效率提升，Axelsson (2013) 分析瑞典在1960年代時的林木收穫效率僅有 $2.3\text{ m}^3/\text{人日}$ ，但在機械化不斷地發展之後，1980年代小型間伐作業機械的推動，1990年提升到 $12.5\text{ m}^3/\text{人日}$ (如圖10)。雖然就業人口只剩10%，但由於個人安全護具以及高性能作業機械的改良，林木收穫作業的百萬人時意外率也由90降至35(如圖11)。



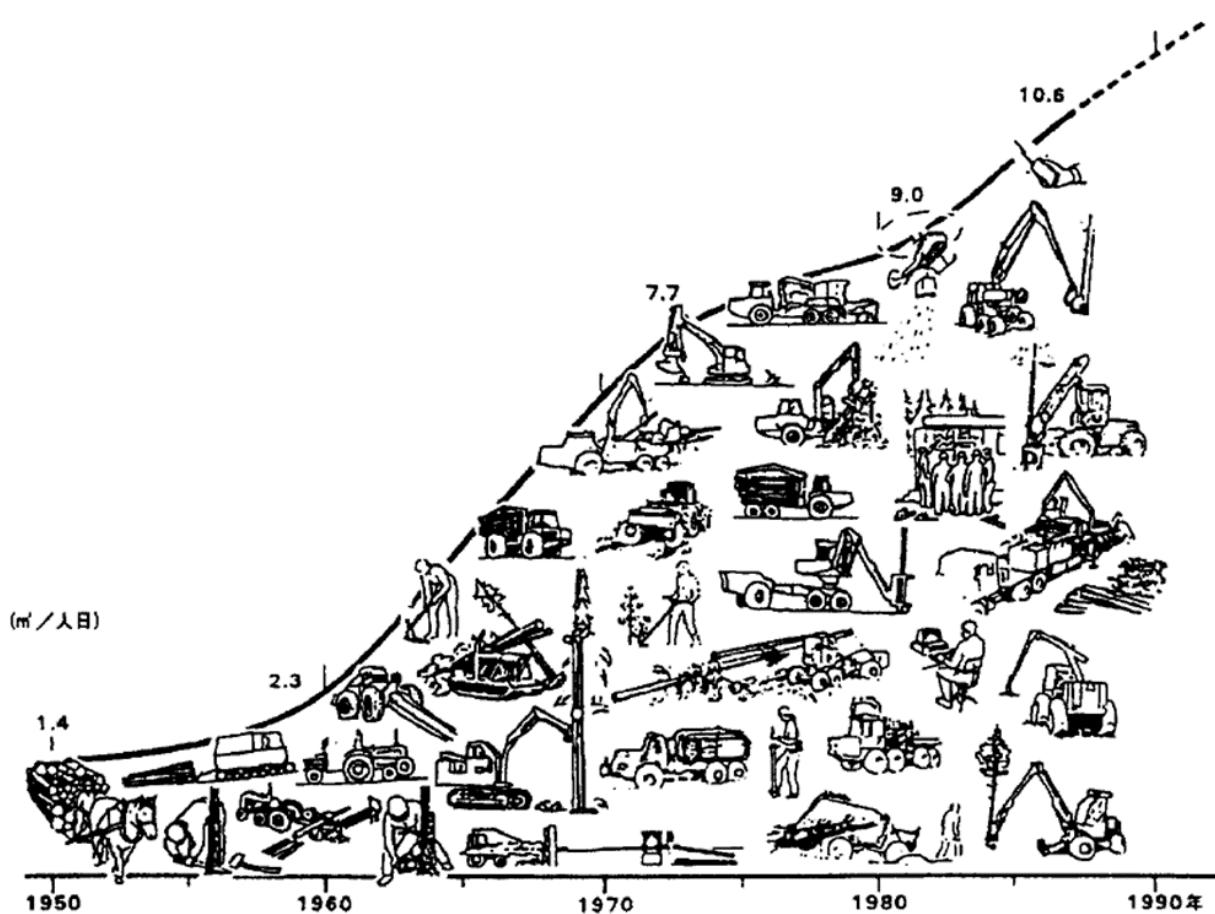


圖 10 瑞典 1950~1990 年林木收穫效能提升趨勢(Axelsson, 2013)

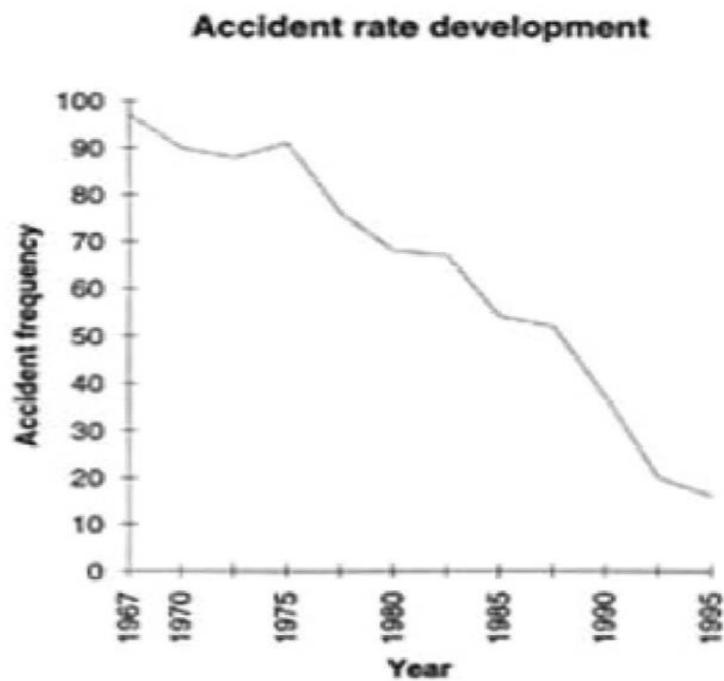


圖 11 瑞典 1957~1995 年林木收穫作業的百萬人時意外率(Axelsson, 2013)





(二) 叢生狀竹林收穫作業工序

本計畫由去年開始即與下列竹林收穫相關廠商、專家合作：

1. 竹林生產業者：永茂林業生產合作社(高雄市左營區)。
2. 伐竹承包業者：飛鷹竹行(伐竹作業承包與工班，臺南市關廟區)、建陽林業(伐木機伐木作業承包商，花蓮市)。
3. 竹材加工業者：元宇生技股份有限公司(竹集成材加工廠，屏東縣長治鄉)。
4. 重機械公司：臻禾興業有限公司(農、林用機械設備工具類，彰化市)、順鑫租賃有限公司(重型機械設備租用與維修，高雄市左營區)。

討論目前可用之叢生狀竹林收穫之必要及可能作業項目與工序如下圖：



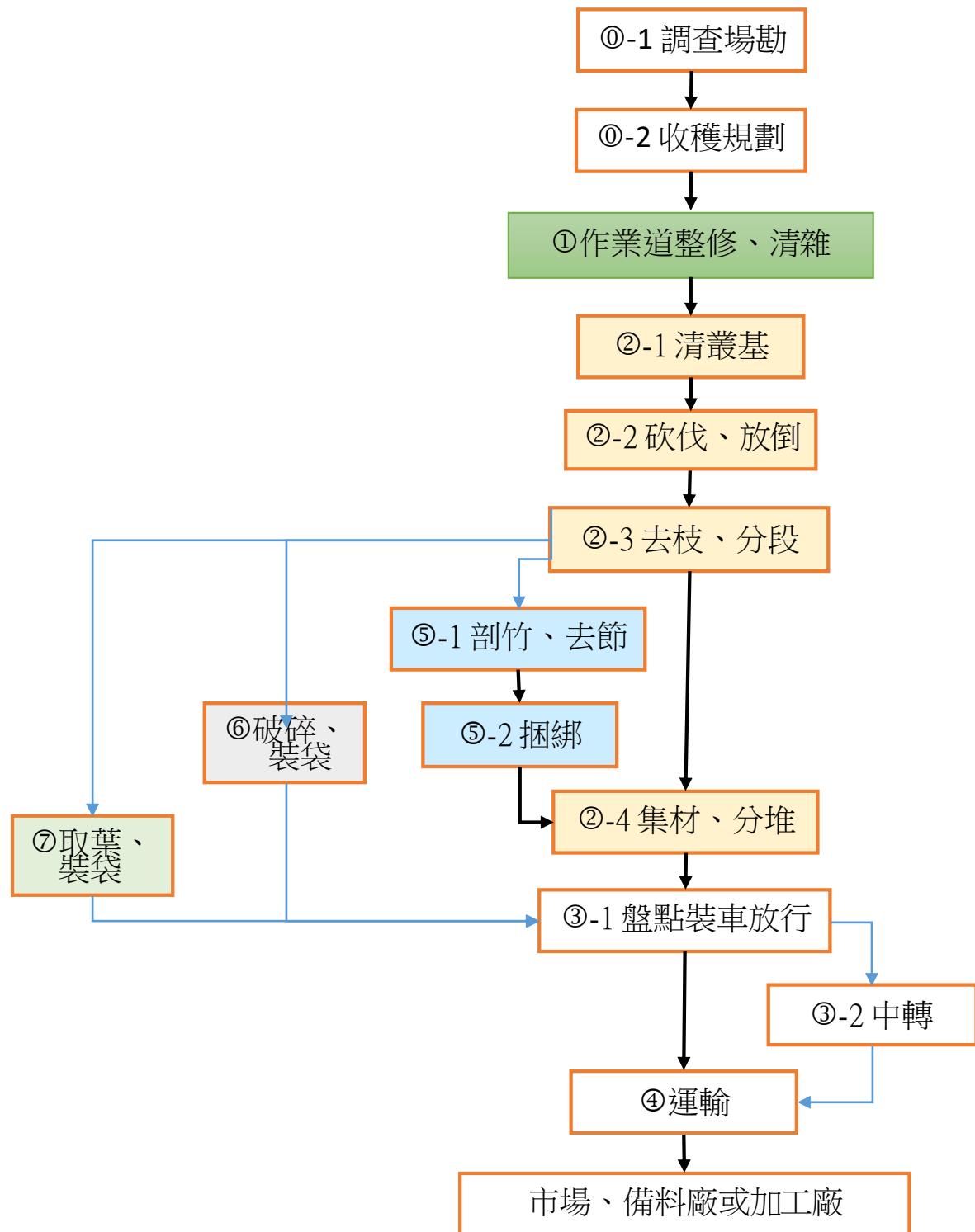


圖 12 叢生狀竹林收穫之必要及可能作業工序流程圖

圖 12 之叢生狀竹林收穫之必要及可能作業工序說明如下：





① -1 調查場勘

竹林現場勘查，包含界址、地形、現有林道狀況、竹林蓄積、周邊道路及村舍等。



①-2 收穫規劃

規劃採伐作業方式，包含林道修復、採伐區塊劃分、作業機具、採伐人工等。

① 作業道整修、清雜

- (1) 舊作業道修整、防火線開闢等，當前民間多用怪手作業。
- (2) 雜灌砍除、莿竹叢側枝枯竹清除等，當前民間多用怪手作業。

②-1 清叢基

將竹叢基部雜灌清除，以便採伐工人接近竹叢伐竹。怪手進行清雜時，會同時清理竹基大部分的雜灌及側枝，民間人工伐竹前，伐竹師傅也會再用長柄割刀，將側枝清理乾淨。



②-2 砍伐、放倒

砍伐：分人工與機械，伐竹人力日減，須以機械取代人工。

放倒：叢狀竹在竹基部砍斷後，竹梢會糾結，須靠外力拉扯，才能倒地，可用人工或機械。





②-3 去枝、分段

對伐倒的竹材，用鍊鋸或砍刀清除側枝、尾端、頭部，再裁成所需長度，或對過彎曲處切斷，以利取得較直之竹材。



②-4 集材、分堆

將分段好的竹材，移到路邊，按尺寸或上下段歸堆。



③-1 盤點裝車放行

由採伐工班主管進行盤點，再由貨車開到竹堆處進行裝車，裝車至少須3名

人力，相當辛苦。

③-2 中轉

採伐林班內所採竹材不足一車時，需中轉至指定地點，集中裝載。常用2-5噸小貨車中轉。

④運輸

裝車後，再盤點裝車數量，被妥林木運輸證，即開往買家指定處。常用15-20噸貨車承運



⑤-1 剖竹、去節

做竹層積材之竹桿，可於伐竹現場進行剖開、去內外節，變成竹片。以節省運輸空間。

⑤-2 捆綁

將剖好之竹片，按數量或重量進行捆綁，以便裝車及點數。





⑥破碎、裝袋

如有竹屑買家，可於伐竹現場使用粉碎機進行破碎，再按重量裝袋。或將無用竹材進行破碎，留置林地內。



⑦取葉、裝袋

如有竹葉買家，可於現場利用人工或採葉機進行採葉。如萃取竹葉黃酮做為香料或飲料。



(三) 叢生狀竹林人工收穫作業效率與成本

我們除應用前述圖9之叢生竹作業工序，根據南部常見之每5-7年皆伐之莿竹林經營收穫模式，以去年本研究在高雄市內門區所調查之伐竹業商承包私有竹林之民間買賣伐採案所採用之伐竹方法，即由重機具先整修作業路線、清除竹基雜灌後再由人工伐竹。透過設計工序記錄表並使用縮時攝影進行人工伐竹作業工時監測，增加休息及整備工序項目，將工序區分為以下代號，方便即時記錄：

- A：作業道整修、清雜
- B：清叢基
- C：砍伐、放倒
- D：去枝、分段
- E：集材、分堆
- F：盤點裝車放行
- R：休息、整備

團隊於110年12月10日至12月16日進行工時監測記錄，為更清楚瞭解本實驗區之現場施業狀況，除了R(休息、整備)之外，將各工序之作業照片列於圖10中，資料收集來自內門區私有林實驗區現場作業，有分為2人1組(李氏夫妻，夫52歲、妻48歲)及單人(林氏，男73歲)作業，均為居住在內門當地的居民。所採伐竹叢均在作業道上方15 m內，2人1組伐竹人員是一對夫婦，本次共伐竹28株，在單人作業組共伐竹32株。二組在伐採工序主要差別是單人組D(去枝、分段)與E(集材、分堆)是分開的，但雙人組則是合併D與E之工序。





A：作業道整修、清雜



C：砍伐、放倒



B：清叢基



E：集材、分堆



D：去枝、分段



F：盤點裝車放行



F：盤點裝車放行

圖 13 內門實驗區之竹林收穫現場施業照片





茲將所得資料分析人工伐竹之工作效率如下表：

表 5 內門區私有林伐竹實驗區人工伐竹工作效率與成本分析

工序	代碼	作業效率(秒/支)		平均作業效率 (秒/支)	工序時間 占比(%)	每支竹稈 收穫成本 (元)
		雙人組	單人組			
清叢基	B	66	17	42	10.5	2.6
砍伐、放倒	C	105	18	62	15.5	3.9
去枝、分段	D	254	106	180	45.0	11.3
集材、分堆	E	112	46	79	19.7	4.9
休息、整備	R	65	9	37	9.3	2.3
合計		602	196	400	100.0	25.0

說明：雙人組：一對夫婦(52、48歲)，共伐竹28支，D與E合併
單人組(73歲)，共伐竹32支。

由表5可知，竹林以人工收穫之效率而言，平均每工每日(8 hr)作業能量為72支，收入1,800元/人日(以25元/支計價)。就工序時間占比而言，以D(去枝、分段)45.0%最多，E(集材、分堆)19.7%、C(砍伐、放倒)15.5%次之，B(清叢基)10.5%及R(休息、整備)9.3%較少。這邊需補充的是B(清叢基)在竹林純人工收穫上是相當困難費時的，主要本次伐採是有先請怪手進行竹叢基及雜灌之清除作業，大幅減輕人工伐竹者在伐竹前的清叢基作業時間。當然在收穫成本上，愈花費時間的工項代表所分攤之工資也愈多。綜合言之，未來伐竹機具開發上，除了伐竹、清叢基，若能有去節分段，再加上捲揚集材之功能者，似應較能更具效率。

(四) 叢生狀竹林收穫作業可機械化項目

就目前可運用於竹林收穫之相關機械化的工具及機具，進行資料的收集如下：

1. 伐採工具

(1) 背負式電動剪竹機 立豐科技 <https://youtu.be/uP1QMRN6Wt8>

(2) 背負式電動伐竹~剪+鋸=雙效合一

<https://www.youtube.com/watch?v=5yNB0w4AS04>





- (3) 清雜灌鋸片 Clearing Saw (Musou): Weeding and Cutting trees for Forest management <https://www.youtube.com/watch?v=IWr9BMJ9kcl>

2. 集材、搬運

1. 中華 A190 A210 小貨車 簡易式吊桿 <https://youtu.be/fhrXbVhQTdc>
2. 中華 A210 貨車 吊桿 吊 250 公斤 履帶式搬運機
<https://www.youtube.com/watch?v=lcsgsHPrCqc>
3. コマツ美作 株式会社 林内搬運集材履帶車
<https://www.facebook.com/kmimasaku/photos/pb.2129545440415258/2129528620416940/>
4. “拖竹神器”解决竹子下山難問題 | CCTV 「我愛發明」20210108
<https://www.youtube.com/watch?v=HBogLXxfdHU>
5. 小型 Forwarder Alstor 840 Pro https://www.youtube.com/watch?v=q_3hzms0YIE

3. 收穫機(刀具)

1. Tiger Cut 竹の伐採夾臂刀具伐木機
<https://www.youtube.com/watch?v=4CGBSmmzhaY>
2. オートエース建機 3本爪 グラップルカッター 伐採夾臂刀具伐木機
https://www.youtube.com/watch?v=8TFYZo_Lfxk
3. オートエース建機 2トンユンボにも着く、グラップルカッター 伐採夾臂刀具伐木機(第一人稱視角)
<https://www.youtube.com/watch?v=0X0Bq0B6IkC>
4. グラップルカッター(MG3) フローテック SRS 伐採夾臂刀具伐木機
https://www.youtube.com/watch?v=HTfY_u_f2vs
5. プロマックスで取り扱うグラップルカッターのご紹介です SRS 網頁
https://www.srscorp.co.jp/pmproducts/item-att_30/
6. TMK 300 TREE SHEAR ON JCB 130 伐採夾臂刀具伐木機(可續抱)
<https://www.youtube.com/watch?v=juN6yfNFgrA>
7. フェラーバンチャザウルスロボによる作業道開設 挖斗夾臂刀具伐木機
<https://www.youtube.com/watch?v=VwyOlyztsy0>

4. 收穫機(鏈鋸)





1. 九州ナカミチ株式会社 竹林整備機械網頁 http://www.kyushu-nakamichi.com/info_bamboo
2. イワフジ GP-25V プロセッサ IWAFUJI Processor 可造材鏈鋸伐木機 <https://www.youtube.com/watch?v=tvcISyxsLV0>
3. 南星機械 グラップルソーでの竹切断 夾臂鏈鋸伐木機 <https://www.youtube.com/watch?v=5f0rWhWcRXA&t=133s>
4. バンブーカッター 竹伐採機械 伐採、片付け、玉切りを1台で バックホーのアタッチメント 夾臂鏈鋸伐木機 <https://www.youtube.com/watch?v=WpVPiYLHINo&t=332s>
5. 收穫機(鏈鋸可去節)
 1. コマツ美作 株式会社 PC78US-8+ プロセッサ GP25V <https://www.facebook.com/kmimasaku/posts/850509401652208/>
 2. トリケラ】パート2 松本システムエンジニアリング(株) 高性能林業機械 ハーベスター 間伐 可除節造材鏈鋸伐木機 <https://www.youtube.com/watch?v=3fYQ6YjYhxg&t=544s>
 3. KESLA社 ストロークハーベスター 20SH 可除節造材鏈鋸伐木機 <https://www.youtube.com/watch?v=jUAIwfBP9Ps>
 4. Malwa 560C Combi (Combined Forwarder/Harvester) Compact Forest Machine <https://www.youtube.com/watch?v=BSo3QpIfQ1U&t=3s>
6. 造材機
 1. Hypro 450 xl <https://www.youtube.com/watch?v=Ne82cPH72nc>
7. 破竹機
 1. 广西牛人发明破竹机，高效又实用，这是蔗农们的福音！ <https://www.youtube.com/watch?v=7FKYkJ9d1ml>
 2. 精準測量！快速破竹！全自動破竹機大幅度提高效率，農民增收不是夢！ 「我愛發明」 20211117 <https://www.youtube.com/watch?v=Oxjp-G8Bu0A>
8. 碎竹機
 1. 履帶自走式粉碎機(型號 KDC 1102) 10 馬力，最大粉碎直徑 12.5 公分 <https://www.youtube.com/watch?v=8IUQ3x-rdTc>





2. [農業改革看臺灣]綠竹桿循環再利用技術 桃園區農業改良場 #履帶式綠竹粉碎機 <https://www.youtube.com/watch?v=yb1KdhcEWac>
3. [竹下農機]-日本大橋牌 GS151GHB 履帶型自走式粉碎機 (粉碎竹子篇) <https://www.youtube.com/watch?v=E1anImjsHN8>
4. 高雄市 100 種省工方法 樹木粉碎機 粉碎你的田間惡夢 <https://www.youtube.com/watch?v=Z2ywq9kI6Xw>
5. 金超耘 SB2 23HP 竹子粉碎機 Bamboo Chopper <https://www.youtube.com/watch?v=GhUb19i-B4c>

(五) 莖竹機械化伐採構想

1. 現有莿竹林地形發展機械化收穫之限制

南部莿竹林之地形有以下特色影響機械化收穫，可以現有竹林地形照片來說明：

- (1) 竹叢久未整理，竹叢大，無用倒竹多，叢基刺長影響可及性，故需要有先整理叢基之機具(具長臂、容易去除老竹、枝刺及雜灌)。
- (2) 惡地下雨作業泥濘，或部分地形有陡坡、溝谷，水塘，需要有四輪傳動，適用各種地形或履帶式具有自走式之機具，並需要有絞盤功能延伸至道路未及之處。
- (3) 舊有道路不寬，雜灌叢生，曲率半徑小，需要能重新整理作業道路之機具，協助將作舊有道路為山邊溝及防火線之功能。



▲舊有道路



▲久未整理之竹叢





▲▲陡坡及曲率半徑小 ▲雜灌



▲山邊溝寬度小

▲雜灌多



▲人工修叢基枝條



▲雜灌多



▲整理好之山邊溝



▲叢基枝條未修

2. 莖竹機械化伐採之整體構想

綜合上述之討論，本研究搭配伐採工序流程，已擬定出莿竹機械化之構想（如圖11），主要可引入之機具說明如下：

- (1) 空拍機：協助竹資源調查、地形、道路及收穫規劃。
- (2) 挖掘機：兼顧馬力與地形限制，以7-9噸大小最適，可搭配MSE-25FGZX或十力三千BC25機頭以及臂上絞盤(winch)，除作為作業道整修及竹叢基與雜灌清理，亦進行伐竹、放倒、部分集材之作業。
- (3) 造材機：由Kubota MR70帶動，以Hypro 450XLProcessor進行去枝、分段。
- (4) 林間作業車：以ALSTOR 840 PRO或臺製4輪驅動小貨車加裝吊桿及絞盤來進行。



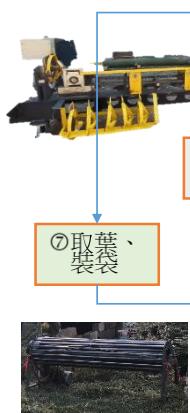


伐採工序流程

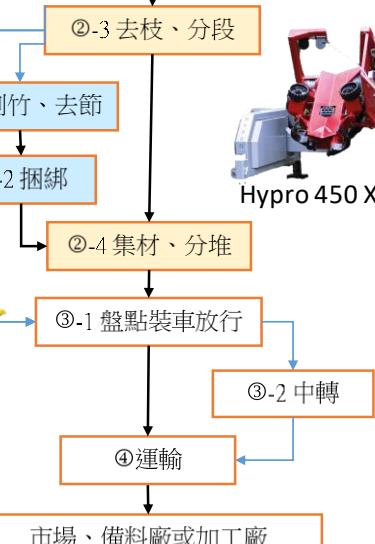
可使用機械



7-9t 主機+
MSE-25FGZX



ナカミチ BC25



Hypro 450 XLProcessor



Kubota MR70



ALSTOR 840 PRO



圖 14 莎竹機械化伐採之整體構想



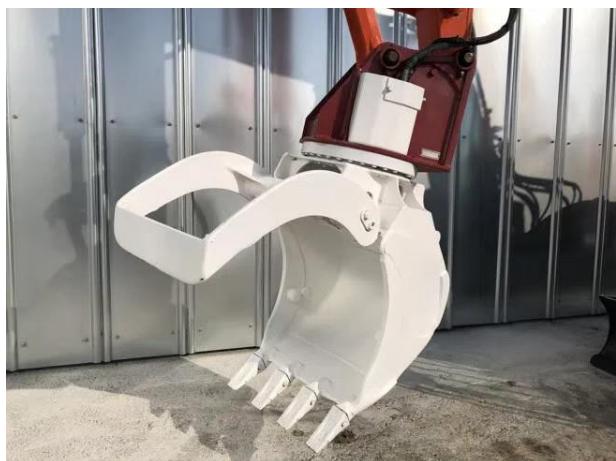


二、竹林收穫作業機械化採購或開發

鑑於林業高性能機具採購金額編在同一年過於龐大，本案原先規劃在今年度係第二年，先購置伐竹機頭，於資本門編有188萬元整，俟明(112)年度第三年度計畫再編資本門預算購置挖掘機，112年二者再進行機電及油壓之整合工程。然而考量伐木(竹)機頭與挖掘機之機電及油壓之整合，在同一時間採購時進行比較整體好用，除可縮短半年採購期程，亦可減少未來額外另外一筆整合工程費用支出，本次擬採購之機型如以下之照片。由於今年度現有資本門預算188萬，故擬整合挖掘主機與伐機頭成同一採購案(約300萬)，不足部分112萬擬向農委會林務局另案申請經費(已申請)，俟核定後於今(111)年度8月辦理招標採購。



▲擬購置挖掘機主機及 MSE-25FGZX 機頭



▲擬購置 MSE-25FGZX 機頭



▲擬購置挖掘機主機及附屬嫉盤



▲擬購置挖掘機主機及 MSE-25FGZX 機頭

由於經費核撥及辦理採購問題，遲至111年底始辦理完成，本計畫已進口





HITACHI 挖掘機一部(型號：ZX75US)，並隨機裝備5條油壓管線及AI操控器控制挖掘及伐竹機頭(型號：RH250X)，兩者之規格主要如下：

表 6 本案採購之挖掘機及挖掘伐採機頭之主要規格

機具名稱	挖掘機(HITACHI ZX75US)	挖掘伐採機頭(RH250X)
主要規格	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 工作重量：7,360-8,680kg ➤ 發動機額定功率：34.1KW (45.7 HP) ➤ 履帶式，高速行走速度在4.5 km/h 以上 ➤ 爬坡能力 30°以上 ➤ 尺寸：機身全長 6,370 mm、全寬 2,320 mm、機頂至地面高度 2,690mm ➤ 柴油噴射水冷式引擎 3L 以上，油箱 135L，外部聲級符合 ISO 6395 和歐盟指令 2000/14/EC. LwA 97 dB(A)。 ➤ 駕駛艙採玻璃帷幕清楚視野，前方具保護柵欄，具冷氣空調，符合歐盟認證翻滾保護結構駕駛室(ROPS)標準 ➤ 主要附帶裝備：推土刀、捲揚機(winch)及鋼索、防盜系統、燈光 2 個以上。捲揚機電壓為 24V，鋼索 50m 以上，鋼索與捲筒應完整，捲揚機最少可吊掛 800kg 以上 ➤ 挖掘機液壓 3 個主泵最大油流量合計 200 L/min(含)以上，須配置 5 條油管 ➤ 在原挖掘機操縱桿上以 AI 電磁閥控制撥鈕控制挖掘機、伐木機頭及捲揚機之各項動作及功能 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 適用機種：0.25m³(6-9T) ➤ 挖斗容量：0.22m³ ➤ 最大開幅：878mm ➤ 挖斗寬度：639mm ➤ 旋轉方式：左右旋 360 度 ➤ 作業方式：可挖掘/可夾具開合 ➤ 旋轉速度：12(rpm) ➤ 刀刃最大壓力值：27.4MPa ➤ 油量最大值：100~110L/min ➤ 電壓：12~24V ➤ 本機重量：740KG





圖 15 本案採購之挖掘機及挖掘伐採機頭

另考量一般林地之作業道曲率不大，而臺灣未像日本有林間作業車，反而以農用搬運車較常見，雖然亦可申請農用車牌，但行經高速或快速道路亦受限制。加上竹稈並未像圓木實木沈重，一般小貨車即可搬運，維修亦較方便。由於欲採購資本門之伐竹機頭仍在等待林務局另一計畫經費之配合，故目前先整合小型貨車、支架及絞盤，研發出林間小型集材作業車。





(一) 竹材集運車主體-中華菱利 4 輛驅動小貨車

以4WD型1.5L無鉛92汽油車型，規格全長4,190mm、高1,910mm、車重1,190kg，貨台車斗長2,306mm、寬1,481mm，可載重710kg，最小迴轉半徑5.2m，最大馬力93.1 PS/6,000rpm，最大扭力11.8kg-m/3,500rpm。

(二) 竹材集運車加裝部分

1. 防撞桿：裝於前方，保護駕駛安全。
2. 防護鐵網：裝設於駕駛室後方車斗上，防止木竹或機具打破駕駛室後方之玻璃。
3. 固定腳架：裝設車輛兩旁，在集材及吊掛作業時可穩定車身平衡。
4. 吊掛絞盤：固定裝設車斗前方，高1.4m臂長1.2m可伸長至2m。絞盤附控制箱，使用DV12V，可吊掛500kg，鋼索25m，可無線遙控絞盤前後捲動及停止。



▲竹材集運車之吊掛絞盤



▲竹材集運車之吊掛絞盤集材





▲竹材集運車正面



▲竹材集運車背面



▲竹材集運車吊掛



▲竹材集運車集材

三、新採購機械作業效能

前述新採購之機頭，除了可以作為挖掘機進行清雜及作業道開設，亦可作為伐竹機具。其最大寬度在2.5米以下，可以方便在竹叢中行走作業，機頭不用更換即可伐竹，亦可提高效能。

新採購機具在年底交機，目前經由3位不同級別之操作手已測試4日，其作業效率如下表7。初學者A君總共砍竹8支，作業效率以1日400分鐘計，推估每日作業效能為238支。同理怪手業者B君進行二次，共伐採20支，一次作業效能為332支/日，另一次為199支/日，造成差異為第二次伐採其中有1支之時間特別久。進口業商C君為最瞭解機械，但也需要時間練習，其推估每日作業效能最多有357支。合計共伐採42支之結果，推估每日作業效能為273支，在95%信賴水準下，為211~388支/日(每支26kg算，5.5~10.1噸；每支25元計，為5,279~9,694元/日)。

然需注意的是，目前在機具操作上仍未純熟，竹稈常有破損情形(幾乎全破26%、少部分破損57%、完整僅18%)，將影響竹稈使用價值，有待機械熟練手法





細膩或將機頭油壓力道加以調整，來加以改善。

表 7 本案採購之挖掘機及伐竹機頭之作業效能

日期	編號	花費時間 (mm:ss)	支數	時間/支 (mm:ss/culm)	是否破裂	操作手及統計參數
2022/12/23	1	00:19	1	00:19	1	初學者 A 君 合計時間 16:27 合計支數 8 每支秒數平均值 02:01 每支秒數標準差 01:56 推估作業效能(支/日) 238
2022/12/23	2	00:07	1	00:07	1	
2022/12/23	3	05:13	1	05:13	1	
2022/12/23	4	04:43	2	02:22	1	
2022/12/23	5	01:23	1	01:23	2	
2022/12/23	6	00:46	1	00:46	2	
2022/12/23	7	03:56	1	03:56	1	
2022/12/24	8	00:30	1	00:30	2	怪手業者 B 君 合計秒數 08:41 合計支數 6 每支秒數平均值 01:27 每支秒數標準差 00:48 推估作業效能(支/日) 332
2022/12/24	9	01:42	1	01:42	2	
2022/12/24	10	00:57	1	00:57	2	
2022/12/24	11	00:54	1	00:54	2	
2022/12/24	12	02:02	1	02:02	3	
2022/12/24	13	02:36	1	02:36	3	
2022/12/24	v1	01:16	1	01:16	2	
2022/12/24	v2	01:52	1	01:52	2	怪手業者 B 君 合計秒數 29:27 合計支數 14 每支秒數平均值 02:25 每支秒數標準差 02:27 推估作業效能(支/日) 199
2022/12/24	v3	02:16	1	02:16	1	
2022/12/24	v4	03:40	1	03:40	2	
2022/12/24	v5	09:25	1	09:25	3	
2022/12/24	v6	01:17	1	01:17	2	
2022/12/24	v7	02:29	3	00:50	3	
2022/12/24	v8	02:32	2	01:16	1	
2022/12/24	v9	01:52	1	01:52	3	進口業商 C 君 合計秒數 19:09 合計支數 14 每支秒數平均值 01:21 每支秒數標準差 00:34 推估作業效能(支/日) 357
2022/12/24	v10	01:35	1	01:35	2	
2022/12/24	v11	01:13	1	01:13	2	
2022/12/26	v12	01:13	1	01:13	2	
2022/12/26	v13	00:30	1	00:30	2	
2022/12/26	v14	01:10	1	01:10	1	
2022/12/26	v15	01:30	1	01:30	2	
2022/12/26	v16	00:39	1	00:39	2	
2022/12/26	v17	02:31	1	02:31	2	
2022/12/26	v18	01:37	1	01:37	2	
2022/12/26	v19	03:59	2	02:00	2	
2022/12/26	v20	02:05	2	01:02	2	
2022/12/26	v21	01:16	1	01:16	2	





2022/12/26	v22	00:59	1	00:59	2	
2022/12/26	v23	01:40	1	01:40	1	
合計		13:44	42	01:45	1:幾乎全破	11 26.2%
			標準差	01:40	2:少部分破	24 57.1%
			信賴區間	00:31	3:完整	7 16.7%
			推估作業效能(支/日)	273	合計	42 100.0%
			作業效能(支/日) 95% 信賴區間	211~388		

四、竹林收穫作業機械化之教育訓練

為進行竹林收穫作業之教育訓練，特地協助屏東林區管理處及永茂林業合作社進行竹林經營與收穫研習(111年11月14~15日)以及叢生竹林的收穫實務作業訓練班(111年11月16~18日)。此外為訓練新採購機械，111年12月24日也邀請永茂林業合作社一同來參與學習。

111年竹林收穫之模組化生產技術評估計畫(2/3)

竹林經營與收穫研習班

一.主辦機關：行政院農業委會林務局、行政院農業委會林務局屏東林管處
 二.承辦單位：國立屏東科技大學森林系
 三.日期：111年11月14日(一)至15日(二)
 四.對象：林業從業人員及有興趣人士，限20名(超過以林業從業人員優先)
 五.地點：屏科大環安衛中心階梯教室
 六.議程表：

日期	時間	課程	講師/主持人	
111年 11月14日 (一)	09:10-10:00	報到、開幕及大合照	國立屏東科技大學森林系 羅凱安 副教授	
	10:10-12:00	竹資源調查與測計	國立屏東科技大學森林系 陳建璋 教授	
	13:10-14:00	竹林土壤特性與調查方法	國立屏東科技大學森林系 吳羽婷 副教授	
	14:10-15:00	木竹採伐安全保護裝備	國立屏東科技大學森林系 羅凱安 副教授	
	15:10-17:00	竹林收穫計畫	國立屏東科技大學森林系 陳朝坤 名譽教授	
	09:10-11:00	竹林經營FSC驗證標準與程序	弘育林業管理顧問有限公司 陳威廷 負責人	
	11:10-12:00	職業安全與衛生管理	國立屏東科技大學農學院木材加工廠 賴顯文 專業行政助理	
	111年 11月15日 (二)	13:10-15:00	臺灣竹材特性、市場與通路	國立屏東科技大學木材科學與設計系 藍浩繁 名譽教授
		15:10-17:00	莉竹林經營與管理	林業試驗所(退休) 陳財輝 研究員
		17:00-17:10	結訓、賦歸	國立屏東科技大學森林系 羅凱安 副教授

行政院農業委員會林務局
屏東林區管理處

國立屏東科技大學

111年竹林收穫之模組化生產技術評估計畫(2/3)

叢生竹林的收穫實務作業訓練班

一.主辦機關：行政院農業委員會林務局、行政院農業委員會林務局屏東林管處
 二.承辦單位：國立屏東科技大學森林系
 三.日期：111年11月16日(三)至18日(五)
 四.對象：林業從業人員及有興趣人士，限20名(超過以林業從業人員優先)
 五.地點：屏科大南側竹林
 六.議程表：

日期	時間	課程	講師/主持人
111年 11月16日 (三)	09:10-10:00	山坡地作業道規劃與施作	國立屏東科技大學水土保持系 唐琦 副教授
	10:10-12:00	空拍機於森林經營之應用	國立屏東科技大學森林系 魏浚祐 助理教授
	13:10-15:00	水土保持申請實務	高雄市政府水利局水保科 許文鈞 股長
	15:10-17:00	外傷與急救實務	屏東縣紅十字會 徐玉容 教練
	09:10-12:00	竹材伐採作業實務 -機具、清雜	飛鷹竹行 陳憲明 負責人及其團隊
	13:10-17:00	竹材伐採作業實務 -去枝分段、運材	飛鷹竹行 陳憲明 負責人及其團隊
	09:10-12:00	竹材索道集材與絞盤機實作	伐竹業者 許耀郎 先生及其團隊
	13:10-15:00	竹材索道集材與絞盤機實作	伐竹業者 許耀郎 先生及其團隊
	15:10-16:00	綜合討論	國立屏東科技大學森林系 羅凱安 副教授
	16:00-16:20	結訓、賦歸	國立屏東科技大學森林系 羅凱安 副教授

行政院農業委員會林務局
屏東林區管理處

國立屏東科技大學

▲竹林經營與收穫研習課程

▲叢生竹林的收穫實務作業訓練班內容





▲竹材收穫應用索道集材實地操作



▲竹材收穫應用曳引機帶動之造材機實地演練





伍、結論

本計畫今年四項工作皆已完成，評估竹林收穫作業中引進機械化之作業項目與可行性之規劃，伐竹機頭已和林務局另一計畫經費之配合購買成一組之伐竹及挖掘機械，也整合小型貨車、支架及絞盤，研發出林間小型集材作業車，也可作為竹材、竹屑太空包及相關作業工具之運輸。並至少完成四場次竹林收穫的教育訓練。





陸、參考文獻

- 王瀛生、吳孟玲 (2010) 台灣竹材替代木質材料展現竹之美。林業研究專訊 17 (4):54-60。
- 竹內叔雄 (1932) 竹の研究。養賢堂。
- 行政院農業委員會林務局 (2018). 林務局 107 年報，7-8 頁。
- 呂錦明 (2011) 材林之培育及經營管理。行政院農業委員會林業試驗所出版，204 頁。
- 卓志隆 (2015) 對環境友善之森林收穫作業與技術開發(3/3)。農委會林務局科技計畫。
- 林俊成、陳溢宏、林裕仁 (2017) 竹材加工業之國內原竹需求與流向分析。林業研究專訊 24(4):62-64。
- 林信輝、翁書敏 (2011) 桂/莿竹林生育特性與環境保育問題。林業研究專訊 18 (1):23-29。
- 林務局 (2015) 第四次森林資源調查報告。
- 林裕仁、潘薇如 (2016) 臺南地區竹加工業概況。林業研究專訊 23(5):70-73。
- 林維治 (1976) 台灣竹亞科植物之分類(續)。臺灣省林業試驗所試驗報告第 271 號。
- 林慧貞 (2018) 竹子做為國產材，除了固碳一級棒，還有哪些你不知道的應用？農傳媒 <https://www.agriharvest.tw/archives/23252>。
- 邱祈榮 (2011) 竹林面積知多少？林業研究專訊 18(1):16-18。
- 許玲瑛、李文昭 (2011) 六種臺灣常見竹材之型態特徵及熱解產物。林業研究專訊 18(1):37-42。
- 陳合進、葉政翰、朱雅梵. 2014. 森林管理委員會 (FSC) 驗證的天然林森林收穫流程：前置作業。林產工業 33(1)
- 陳財輝 (2011) 泥岩地區老化莿竹林之更新調查。林業試驗所 100 年度自辦科技計畫。
- 陳嶸 (1987) 竹的種類及栽培利用。中國林業出版社。





湯適謙 (2014) 木、竹材採運技術提昇與小型機械應用之研發。林業試驗所 103 年度自辦科技計畫。

黃裕星 (2011) 臺灣竹類資源調查、利用及新技術開發。林業研究專訊 18(1):1-2。

溫太輝(主編)(1993) 中國竹類彩色圖鑑。淑馨出版社。

羅凱安 (2018) 私有林經營與產業振興對策研究(2/2)。行政院農業委員會林務局 106 年科技計畫(106 農科-11.6.3-務-e1)成果報告書，140 頁。

日本森林技術協会，平成 29 年度特用林産振興総合対策事業のうち 特用林産物の供給力の向上のうち 効率的な竹林施業体系の構築報告書，平成 30 年 3 月

Axelsson, S.-A. (2013) The Mechanization of logging operations in Sweden and its effect on occupational safety and health. *Journal of Forest Engineering* 9(2):25-31.

Guerra, S. P. S., G. Oguri, H. de J. Eufrade Junior, R. X. de Melo, R. Spinelli (2016) Mechanized harvesting of bamboo plantations for energy production: Preliminary tests with a cut-and-shred harvester. *Energy for Sustainable Development* 34:62-66.

ITTO (2019) Reduced impact logging.

https://www.itto.int/sustainable_forest_management/logging/。

Kenya Forestry Research Institute (2012) Training Manual on Bamboo Propagation and Management. Kenya's Water Towers Protection and Climate Change Mitigation and Adaptation (WaTER) Programme, 31pp.

Kittredge, D. B. (2005) The cooperation of private forest owners on scales larger than one individual property: International examples and potential application in the United States. *Forest Policy and Economics* 7(4):671-688.

Liese, W. (1998). The Anatomy of Bamboo Culms. Volume 18 of INBAR technical report, 208pp. BRILL. Retrieved from <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=dIVAGsXNPSsC&pgis=1>

Liese, W., and G. Weiner (1996) Ageing of bamboo culms. A review. *Wood Science and Technology* 30:77-89.





Lo, K.-A. (2013) Private forest owners' willingness to participate in cooperative management in Taiwan. IUFRO 3.08 & 6.08 Joint Conference- Future Directions of Small-scale and Community-based forestry. Fukuoka, Japan

Othman, A.R., N. Lokmal, M.G. Hassan and M.Z. Abdullah (2012) Culms and above-ground biomass assessment of *Gigantochloa scorchedinii* in response to harvesting techniques applied. *J. Agrobiotech* 3: 23-33.

Rabik, A., B. Brown (2003) Towards resilient bamboo forestry. A reference guide for improved management of clumping bamboo for timber bamboo. Environmental Bamboo Foundation, Ubud, Bali, 316pp.

Texas Forestry Association and Texas A&M Forest Service (2014) Texas forestry best management practices. 112pp.

Wästerlund, I. and A. E. Hassan (1995) Forest Harvesting Systems Friendly to the Environment. The Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Operational Efficiency. Paper No. 947512, Garpenberg, Sweden, 30pp.

Yale school of Forestry & environmental studies (2019) Logging Conservation Practices. <https://globalforestatlas.yale.edu/forest-use-logging/logging-conservation-practices>

