



國立臺灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系

碩士論文

School of Forestry and Resource Conservation

College of Bio-Resources & Agriculture

National Taiwan University

Master's Thesis

竹產業鏈永續經營可行性分析－以越南某公司為例

Feasibility Study for Sustainable Management System of Bamboo

Industry Chain A Case Study for A Company in Vietnam

柯象森

Hsiang-Shen Ko

指導教授：邱祈榮 博士

Advisor: Chyi-Rong Chiou, Ph.D.

中華民國 114 年 2 月

February, 2025

國立臺灣大學碩士學位論文

口試委員會審定書

MASTER'S THESIS ACCEPTANCE CERTIFICATE
NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY

竹產業鏈永續經營可行性分析－以越南某公司為例

Feasibility Study for Sustainable Management System of Bamboo Industry Chain
A Case Study for A Company in Vietnam

本論文係 柯象森 (學號: R12625054) 在國立臺灣大學森林環境暨資源學系完成之碩士學位論文，於民國 114 年 1 月 20 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明。

The undersigned, appointed by the School of Forestry and Resource Conservation on 20th January 2025 have examined a Master's Thesis entitled above presented by Hsiang-Shen Ko (student ID: R12625054) candidate and hereby certify that it is worthy of acceptance.

口試委員 Oral examination committee:

(指導教授 Advisor)

邱新

李以誠

林俊成

系(所、學位學程)主管 Director:

丁宗

誌謝



終身學習不是夢，夢想成真卻奇妙發生在我身上！「飲水思源」首先要感謝廖院士一久博士的推薦及道杰老師、義根「學長」的引薦及宗蘇主任和甄試教授們的考核與接納，讓我有機會晉身「台大森林環境暨資源學系」這崇高學術殿堂，實踐理論與實務相結合，再次深度學習林業科學與生態環境管理新知。

最重要及值得感念的是邱老師祈榮博士在初次見面即慨然應允擔任我的指導教授，給予提攜與教導，邱老師豐富的各項「碳管理」專業學養及靈活的「產、官、學」實踐結合能力令人感佩，獲益良多，永銘在心！

豐丞和舒婷老師在研究過程中即時提供了許多寶貴意見和有效建議，加上蔡博後的超強統計分析能力，使我如虎添翼，節省許多時間與精力，感激在心，不會忘記。

與淳涵老師的「專討課程 II」失之交臂甚感遺憾，但仍獲得熱心協助轉由家斌老師指導，令人倍感森林系辦和師長們的敦厚與溫暖。

在此論文陷入「小題大作或是大題小作」天人交戰反覆修改編輯之際，幸有學弟小欣及學妹馨惠不辭辛勞協助，也要一併感謝！

同時要感謝我的家人，尤其是兒孫們的鼓勵，促使我可能打破紀錄成為「台大最高齡碩士畢業生」，完成一座人生重要里程碑。

滿懷感恩的心，想起聖經箴言書：「你所做的，要交託耶和華，你所謀的就必成立。」我將為此做見證。

最後，誠摯感謝各位口試委員們的寶貴時間及細心指教及所有關心支持我的貴人們。

柯象森 2025.01

摘要



COP28 / UAE 2023 UNFCCC 杜拜年會首次要求國際社會逐步擺脫化石燃料 (Fossil Fuel) 的依賴藉以減少溫室氣體排放 (GHG)，期以達成「巴黎議定書 (Paris Agreement 2015)」,「2050 淨零排放目標」已是全球共識。

竹類 (Bambusoideae) 屬於禾本科植物 (Poaceae)，具有生長快速、再生能力強、短週期熟成 (3~5 年) 即可利用之特性，碳吸存功能 CCS (Carbon Capture and Storage, Sequestration) 是一般闊葉樹 1~3 倍，主要分佈於赤道南北周邊亞洲、非洲、南美洲、東南亞地區，竹子與當地居民傳統生活、歷史文化、社會經濟、初級加工業發展息息相關，也是重要生質再生能源 (Renewable Bio-energy) 之一。

越南屬發展中國家「Developing Country」，擁有豐富的竹類天然資源和充裕的勞動力。在國際援外組織贊助「生態補償基金 (Eco-Compensation Fund)」及當地政府積極政策鼓勵下有利於發展「原料密集 (Raw Material Intensive)」,「勞力密集 (Labor Intensive)」,「資本密集 (Capital Intensive)」之竹產業垂直整合永續經營之「規模經濟」商業模式，含「上游原料供應竹林集約經營」、「中游竹產品加工清潔生產節能減碳」及「下游高附加值產品銷售」，同時執行森林認證 (FM & CoC) 以及 LCA 全生命週期碳足跡盤查認證取得碳信用 (Carbon Credit) 或 VCU (Verified Carbon Unit)，保障原料合法供應及竹產品履歷可溯來源。本專案綜合效益包括竹林基地碳信用額度 208,000 tCO₂e/年、30,000 ton/年竹顆粒 (Bamboo Pellet) 生質燃料 (Biomass Fuel) 負碳排可抵換 (Substitute / Offset) 中質煙煤碳排量約 73,500 tCO₂e/年，以 15 年營運週期，10 年直線折舊，通膨 3.5%，銀行利率 8%，所得稅 17%，總投資金額 USD 608 萬，用 Excel 財務軟體測算得：淨現值 USD 3,466 萬，內部報酬率 IRR 為 37%，BCR 為 1.43，現金流穩定 USD 371 萬，還本期約 3 年。綜上若無外部重大政經事件干擾，本專案應為可行性極高。

關鍵字：竹顆粒、生質再生能源、森林認證、碳信用認證、垂直整合、
規模經濟、永續經營

Abstract

COP-28 / UAE 2023, UNFCCC requires countries for the first time to gradually wean their dependence on fossil fuels and reduce the (GHG) greenhouse gas emissions to comply with the “Paris Agreement 2015” to curb global warming and reduce atmospheric emissions year by year. The goal is to keep temperatures 1.5 to 2.0 degrees Celsius below pre-industrial period levels.

Bamboo (Bambusoideae) belongs to the (Poaceae) plants that grow quickly, it can be used after a short period of maturation (3-5 years) and have strong carbon sequestration capabilities. They are mainly distributed in Asia, Africa, South Americas, and Southeast Asia. Bamboo is closely linked to the lives of residents, history and culture, social economy, and primary industry development.

Vietnam is a “Developing Country” with rich bamboo natural resources and abundant labor force. It has been long-term support from the G-7 Industrial Countries and International foreign aid organizations such as the World Bank by sponsoring the “Eco-Compensation Fund” and under the conditions encouraged by local government policies. Depends on these advantages, Vietnam is standing on a good position to conduct “labor intensive”, “Raw Material intensive” and “Capital intensive” bamboo fully integrated industry business, furthermore can be combine with “Forest Certification” & “Full Life Cycle Assessment (LCA)” to match the Sustainable Development Goals (SDGs).

This paper conducts a “pre-feasibility analysis” of the “Bamboo Pellet” project based on domestic and international research reports and post practical work experience try to formulate a sustainable ideal business model. The financial CAPEX calculation is based on a 15-year operating cycle. Result showing: The present value NPV is USD 34.66 millions, and the internal rate of return IRR is 37%, the Back-cost ratio is 1.43 years, Payback period 3 years. In summary, this project which in technology aspect is workable, in economic aspect is profitable, and in feasibility aspect is feasible.

Key words: Bamboo pellet, Carbon Sequestration, Carbon Credit, Life Cycle Assessment (LCA), Forest Certification (FM/CoC), SDGs.

目次



口試委員會審定書	i
誌謝	ii
摘要	iii
Abstract.....	iv
目次	v
圖次	viii
表次	xi
第 1 章 緒論	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	1
1.3 研究流程.....	2
第 2 章 文獻回顧	3
2.1 世界竹類資源及其特性.....	3
2.1.1 竹資源分佈及屬種	4
2.2 竹產業之金字塔結構 (路線圖) (圖 5)	5
2.2.1 竹林及其加工層次	5
2.3 竹類生態系統碳庫 (Bamboo Total Ecosystem Carbon Pool).....	6
2.3.1 主要經濟竹類地下莖 (Rhizome) 型態及生長特徵	8
2.4 竹類「單桿散生」與「合軸叢生」之生物量及碳貯存概述.....	9
第 3 章 文獻回顧：「A」公司「竹產業」專案規劃	16
3.1 越南「A」公司企業基本狀況.....	16
3.2 越南國情簡介.....	16
3.3 專案所在地「Dak Lak 多樂省」簡介	19
3.4 越南竹類資源及特性.....	22
第 4 章 竹產加工業永續經營規劃	25
4.1 「A」公司 Bamboo Pellet Project Concept	25
4.1.1 上游 (原料端)	25
4.1.2 森林認證 (Forest Certification FM/CoC)	30

4.1.3 中游(生產端).....	34
4.1.4 下游(終端產品).....	34
4.1.5 竹產品全生命週期碳足跡.....	35
4.2 生質顆粒燃料生產原理及特性.....	36
4.3 竹顆粒之應用及特性.....	37
4.4 生產設備.....	39
4.5 管理組織架構、產能設計、生產設備.....	40
第 5 章 碳足跡認證及方法學	45
5.1 LCA 方法學及其應用程序.....	45
5.2 VCS VM0047 methodology version 1.0 (28/Sep/2023) Afforestation / Reforestation & Revegetation procedure and criteria 基本要求及程序	46
5.3 VM0047 基本要求執行方法	47
5.3.1 Applicability Condition / Project Description (PD) 申請者資格條件及 專案說明	47
5.3.2 Project Applicability Condition 專案適用範圍及條件.....	47
5.3.3 Project Boundary 專案邊界定位	48
5.4 Baseline Scenario 基線情景描述	51
5.4.1 基線情景描述	51
5.4.2 VCS 碳庫基線生物量類別基線選擇.....	51
5.4.3 「A」公司集約經營事前專案分層表(範例).....	52
5.5 Additionality (碳匯) 附加量	53
5.6 Quantification of Estimated Carbon Removals / Sequestration 量化估算碳移 除或碳吸存量	53
5.7 Leakage 碳洩漏	55
5.8 Monitoring 監測 / 紀錄	56
5.9 Reporting of Project Implementation 專案執行報告.....	60
5.10 Validation / by Authorized Third Party	61
5.11 國際知名碳信用認證單位及其認證費用標準 (2020)	61
第 6 章 財務分析	66

6.1 投資財務及成本分析.....	66
6.2 國際市場策略、需求及價格趨勢.....	68
6.3 敏感度分析與 SWOT.....	76
第 7 章 結論與建議.....	77
7.1 結 論.....	77
7.2 建 議.....	79
英文參考文獻.....	81
中文參考文獻.....	83
附錄：Abbreviations.....	85

圖次



圖 1、研究流程圖	2
圖 2、一般竹類生長階段及其適當利用途徑	3
圖 3、放大竹種生理解剖及其化學徵分子分級結構展示圖	4
圖 4、世界竹類分佈圖	4
圖 5、竹產業之金字塔結構(路線圖).....	5
圖 6、叢生竹有無撫育之比較	7
圖 7、直立型地下莖(竹).....	8
圖 8、孟宗竹林及筍	8
圖 9、地下莖合軸叢生型	8
圖 10、叢生竹(麻竹).....	8
圖 11、桂竹林作業(桃園復興鄉).....	9
圖 12、孟宗竹林作業(南投竹山鎮).....	9
圖 13、荊竹林(叢生竹)實驗區(±27 HA)採伐強度試驗規劃地圖	12
圖 14、荊竹疏伐前狀態	15
圖 15、疏伐強度為 50%.....	15
圖 16、叢生竹疏伐作業示意圖	15
圖 17、越南 A 公司簡介.....	16
圖 18、2023 年越南人口年齡結構.....	17
圖 19、越南人口、勞動力及就業率分析圖	17
圖 20、越南政府結構	18
圖 21、越南 DAK LAK 多樂省地理位置圖	19
圖 22、越南 DAK LAK 多樂省月平均降雨天數統計及年平均降雨量分佈圖	19
圖 23、多樂省人口密度 2012~2023 年趨勢圖	20
圖 24、多樂省 2023 年人口密度圖.....	21
圖 25、越南主要竹屬及林業科學院認證相關單位	22
圖 26、越南十大主要竹種	22
圖 27、粗放經營(多樂省 KOTAM 竹林遊樂區).....	24
圖 28、集約經營(日本京都嵐山竹林風景區).....	24

圖 29、「A」公司竹產業永續發展經營構想	25
圖 30、原料供應比例圖	25
圖 31、越南竹材人工伐運永續作業系統	26
圖 32、「A」公司原料供應鏈社區林業發展 SDGs 工作圖	26
圖 33、中國及印尼人力＋水利運輸系統	27
圖 34、台灣孟宗竹伐運作業系統	27
圖 35、「A」公司上游產業鏈符合 UN SDGs 8 項目標.....	28
圖 36、適應「自然解方 NBS」7 項目標	28
圖 37、ESG 可永續經營「社會、環境、經濟」均衡發展圖	29
圖 38、執行森林認證 (FM&CoC) 流程圖.....	30
圖 39、發展 PEFC 森林認證國際認可體系之三項主要步驟.....	31
圖 40、PEFC 國家森林認證系統路徑程序	31
圖 41、國家認證體系與國際 PEFC 認證體系相互認可制度流程圖	32
圖 42、「A」公司竹產品全生命週期碳循環過程碳足跡	35
圖 43、竹產品轉換成能源全生命週期碳循環	35
圖 44、竹顆粒生產流程圖	36
圖 45、歐盟 EU HOUSEHOLD HEAT SYSTEM.....	37
圖 46、竹顆粒應用功能圖	38
圖 47、地下螺旋式輸送方式技術示意圖	39
圖 48、「A」公司竹顆粒專案組織架構圖	40
圖 49、竹材原料生產過程中得率、水分及成本之變化圖	41
圖 50、竹顆粒生產線設計佈置圖	41
圖 51、竹顆粒生產設備圖示	43
圖 52、常用零配件	44
圖 53、VCS 確證執行流程圖	45
圖 54、VCS 專案計畫流程圖	45
圖 55、越南多樂省邊界界定圖	48
圖 56、專案小班圖	50
圖 57、樣區邊境小班圖	50

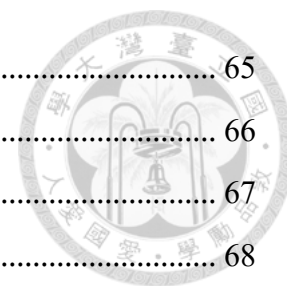
圖 58、基線情景描述圖	51
圖 59、永續收穫模式圖	53
圖 60、碳洩漏比例圖	56
圖 61、現場監測紀錄作業圖	57
圖 62、分段取樣作業圖	57
圖 63、土壤取樣檢測圖	58
圖 64、土壤有機質含量檢測儀器圖	58
圖 65、碳儲存量計算公式	59
圖 66、第三方認證公司正式查驗報告 (案例).....	60
圖 67、碳盤查證書樣本	63
圖 68、越南碳盤查市場挑戰	64
圖 69、越南碳盤查市場機遇	64
圖 70、竹顆粒每噸成本比例	67
圖 71、熱帶特殊風味竹顆粒產品	70
圖 72、活性碳產品及藥物應用	71
圖 73、印尼家庭式小作坊生產竹顆粒及活性碳示意圖	71
圖 74、麻瘋樹產業鏈金字塔路線圖	72
圖 75、竹類混合農林廢棄物生產流程	72
圖 76、2030 年工業用木顆粒燃料市場需求預測圖.....	74
圖 77、2023~2033 年工業用木顆粒市場產值預測圖	75
圖 78、SWOT 分析圖	76

表次



表 1、世界竹林平均總生態碳統計表	6
表 2、世界指標性竹林平均碳吸存量情景參考表	7
表 3、毛竹碳分佈測試分析結果表	9
表 4、孟宗竹樣區選擇分區表	10
表 5、不同經營強度之林分性態值分析	10
表 6、不同年齡孟宗竹各部位碳濃度分析	11
表 7、不同經營強度之林分生物量及碳貯量	11
表 8、薊竹伐採前、後及不同伐採強度在樣竹高度之比較	12
表 9、薊竹伐採前、後及不同伐採強度在樣竹胸徑之比較	13
表 10、薊竹伐採前、後及不同伐採強度在樣竹鮮重之比較	13
表 11、薊竹伐採前、後及不同伐採強度在樣竹乾重之比較	13
表 12、薊竹不同伐採強度伐採 7 個月後幼竹、成竹及老竹數量之差異	14
表 13、多樂省 15 市縣人口普查表	20
表 14、DAK LAK 省少數民族統計表	21
表 15、多樂省適宜實施造林 / 再造林專案區域統計表	23
表 16、多樂省永久林地所有權屬團體統計表	24
表 17、竹顆粒與木質顆粒成分含量特性比較表	38
表 18、竹顆粒主要生產設備明細表	42
表 19、生產耗電量統計表	44
表 20、「A」公司竹林碳匯認證專案設計文件 (範例)	47
表 21、VCS VM0047 方法學適用性 (範例)	48
表 22、PROJECT BOUNDARY 專案統計表 (範例)	49
表 23、專案作業區地理坐標 (範例)	49
表 24、VCS 碳庫基線選擇 (範例) BASELINE SCENARIO	52
表 25、集約經營事前專案分層表	52
表 26、竹林總生態系碳吸存參考指標	54
表 27、2024 年碳足跡認證基本費用國際標準	62
表 28、碳認證碳信用 VCU 收費標準	62

表 29、迄止 2023 年全球執行竹林碳盤查項目統計表.....	65
表 30、「A」公司竹顆粒專案投資財務分析表	66
表 31、「A」公司竹顆粒專案 CAPEX 財務分析表.....	67
表 32、歐盟木顆粒燃料消耗國別統計表	68
表 33、歐盟木顆粒燃料供應國別統計表	69
表 34、越南木顆粒出口日本韓國統計表	69
表 35、生活使用木顆粒 ISO 17829-2015 品質標準檢驗表	73
表 36、燃煤鍋爐改燒生質燃料單位蒸氣碳排放量比較表	78





第 1 章 緒論



1.1 研究動機

竹類屬於「速生豐產 (Fast growth and High yield)」生質料源 (Biomass Feedstock)，已被世界公認為優質可靠的可再生能源 (Renewable Energy) 之一。

竹類產業鏈極長且廣，可依市場需求投資規模及生產技術層次規劃生產各種「生質燃料 (Biofuel)」、「生物碳 (Biochar)」、「竹顆粒 (Bamboo Pellet)」等生質能源 (Bioenergy) 可代替部分化石燃料 (Fossil fuel) 成為負碳能源。

如何有效「永續經營利用 (Sustainable Management Utilization)」整合竹產的上、中、下游形成相互依存、共生共榮的綠色循環經濟產業鏈模式、節能減碳、清潔生產、降減溫室氣體排放，依據國際認可之方法學，協助發展中國家 (越南) 落實執行竹產業垂直整合構建「規模經濟」，使「經濟、社會、環境」均衡發展，達成聯合國永續發展目標 UN Sustainable Development Goals (UN SDGs) 是為本研究主要動機與願景。

1.2 研究目的

竹產業鏈之永續發展案例經查證目前仍缺乏完整「上、中、下游」垂直整體規劃之研究，包括森林 (竹) 認證 (Forest/Bamboo Certification) 及碳足跡全生命週期 LCA (Carbon Footprint Life Cycle Assessment) 的實際操作案例及系統研究。本研究擬根據個人過往推動執行大面積 (10,000 ha/yr) 植樹造林、集約經營、大規模 (年產百萬噸級) 製漿造紙「林、漿、紙一體化」履行「森林認證 (FM & CoC)」及自願減碳認證 (Volunteer Carbon Reduction Assessment) 的實際工作經驗模擬從「技術、經濟及社會」層面論證越南「竹產業」專案永續經營森林認證 (FM & CoC) 及其生命週期碳足跡評估認證，在保障竹材原料合法、長期穩定供應的同時並取得碳信用發揮竹產業垂直整合多角化資源配置形成「規模經濟」，以期達成「經濟、社會、環境」綜合效益最大化之可行性分析。

1.3 研究流程

本研究流程首先查閱參考國內外有關世界竹類資源分佈、竹產業結構及主要經濟竹種，包括具有經濟價值的叢生竹與散生竹在不同立地環境及不同經營強度情境下林分性態，包括生長量、生物量、碳含量之差異分析。由於越南本身及國際間目前專門針對越南竹林碳足跡研究、竹林經營方式及竹產業結構和相關之森林認證、碳信用認證仍缺乏有系統性的研究數據，故本研究多採用亞洲、東南亞及其他國家地區（中國大陸、台灣、馬來西亞、印尼、南美洲...）之相關研究文獻，以最保守平均數據作為參考值比對模擬。

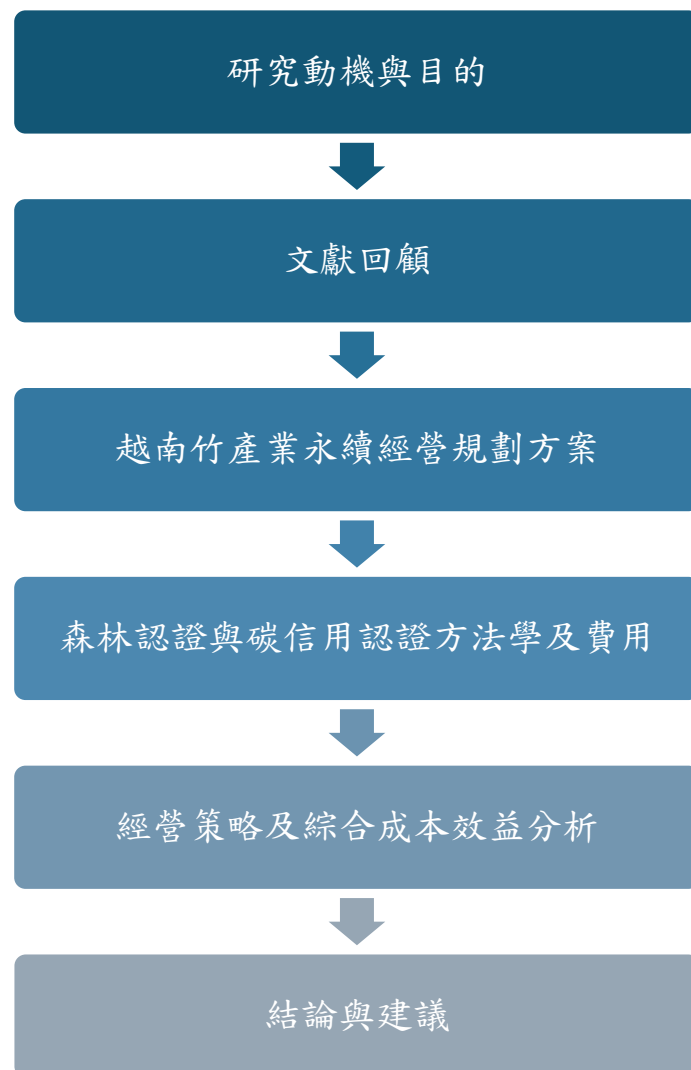


圖 1、研究流程圖

第 2 章 文獻回顧



2.1 世界竹類資源及其特性

竹類 (Bambusoideae) 在植物分類學上歸類於「禾本科 (Poaceae)」，是多年生的木本植物，但竹子的維管束不具有形成層，因此自發筍出土後約在 50 天左右即已完成高生長及徑生長，其後只是生物質 (Biomass) 的擴充生長，包括大分子纖維素 (Cellulose)、半纖維素 (Hemicellulose)、木質素 (Lignin) 及小分子化學元素等 (Claudia Daza Montano, Jan E.G. Von Dam, 2021)。一般竹類 3~5 年即達熟成期，生物量不再增長，枯老竹在林分中造成鬱閉度過密，不但影響新筍出土且易造成火災及病蟲害 (林信輝、翁書敏，2011)，故有本省民間諺語稱竹仔「存三去四不留七」及「歹竹出好筍」的民俗傳統智慧 (張彬、林慧貞，農傳媒，2018)，同時國內外多項試驗證明有效的經營管理、適當疏伐 (擇伐) 可促進竹林健康生長、單位面積蓄積及儲碳功能 (林裕仁、呂錦明，2021)，如圖 2、圖 3。

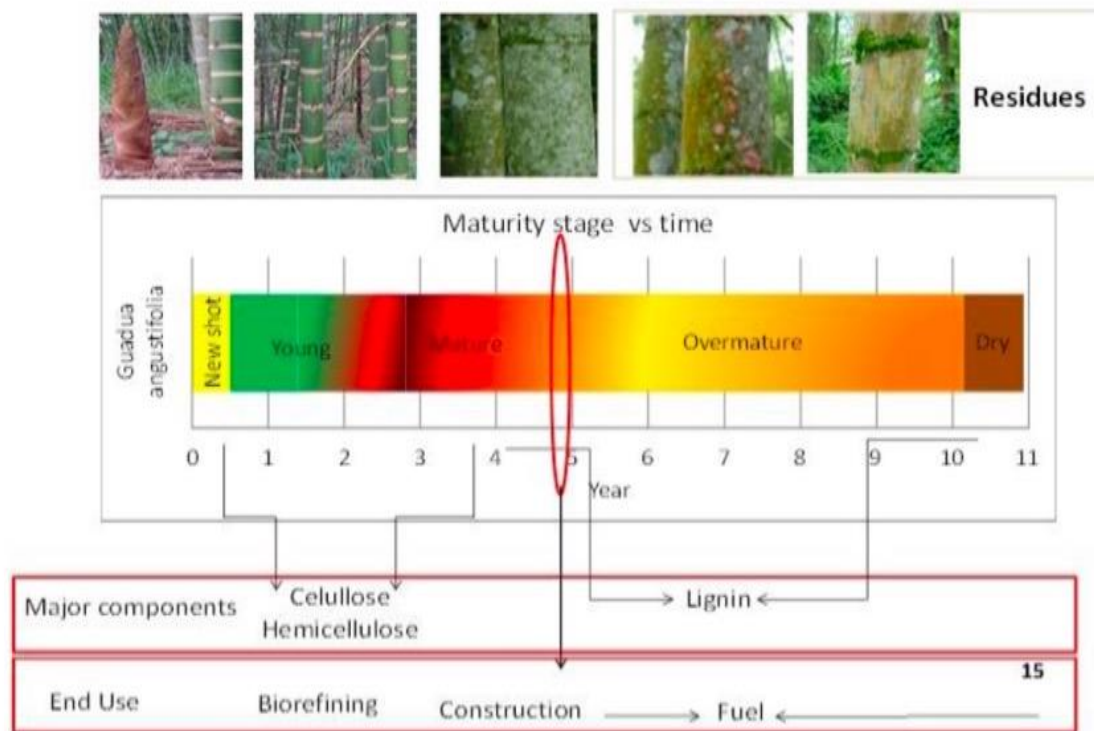


圖 2、一般竹類生長階段及其適當利用途徑

(Gangwar and Schillinger, 2019)

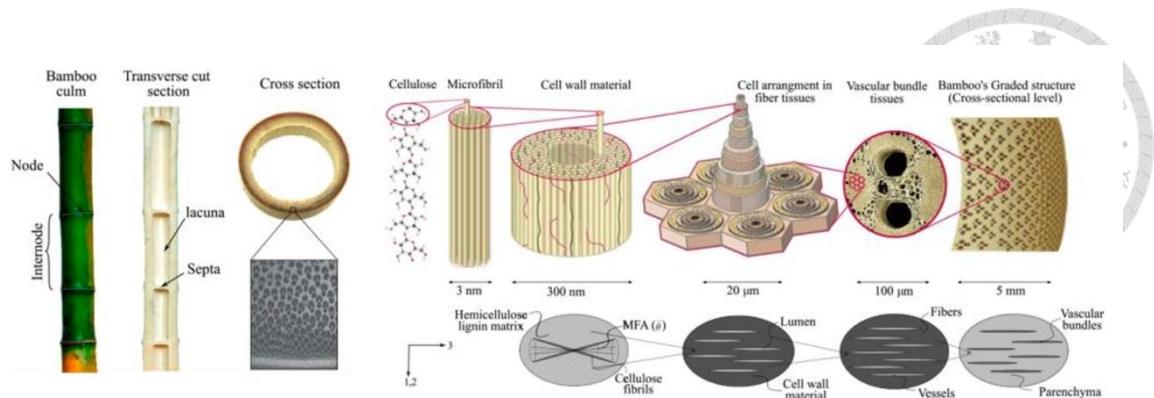


圖 3、放大竹種生理解剖及其化學微分子分級結構展示圖
(Gangwar and Schillinger, 2019)

2.1.1 竹資源分佈及屬種

根據聯合國糧農組織 (FAO) 2020 年全球森林資源調查報告，全球約共有 3,500 萬公頃竹林地，分佈以赤道為中心之帶狀區域，涵蓋熱帶、亞熱帶生物多樣性最豐富、碳含量最高的地區。全世界竹類資源 65% 分佈於亞洲，28% 在南美洲，7% 在非洲，歐洲無自然分佈，但根據 2023 最新數據統計，世界竹林總面積增加為 3,700 萬 hm^2 ，新竹屬增加為 123 屬，1,678 多個竹種，如圖 4。根據 Ohrnberger and Goerrings (1985~1990) 的研究整理，共 102~112 屬，約在 1010~1140 種之間。其中草本性竹類有 25~27 屬、130~160 種；木本性竹類 77~85 屬、880~980 種 (呂錦明，2010)。



圖 4、世界竹類分佈圖

Credit: INBAR (2022), Bamboo Info India (2023)

2.2 竹產業之金字塔結構 (路線圖) (圖 5)

2.2.1 竹林及其加工層次

第一層次：原料供應、生態旅遊、森林療癒、林下經濟...等無煙囪工業。

第二層次：(1) 竹林初級加工(工藝品、餐具等低附加價值)，如圖 5 Level 2 右 1。

(2) 竹家具、竹地板、抗壓模板(中等附加價值)。

(3) 室內裝修 (Interior Deco) 切片、複合、集成，高附加價值，例如以色列特拉維夫大學會議室，如圖 5 Level 2 右 2。

(4) 建築材料 (機場大廳、酒店 Lobby) 高附加價值，例如西班牙馬德里國際機場、法國波爾多火車站，圖 5 Level 2 左 1、左 2。

第三層次：製漿造紙、熱裂解生質燃油、高級生化竹炭、生質合成氣、能源發電...等(高價值)，其生產管理技術層次要求較高及投資成本較大。

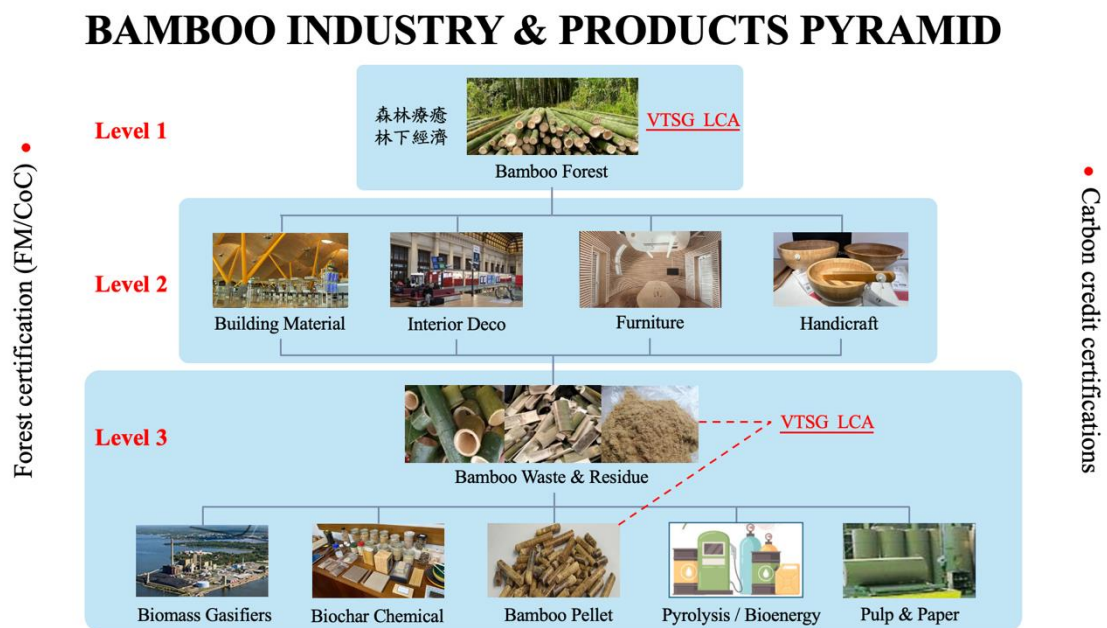


圖 5、竹產業之金字塔結構 (路線圖)

在金字塔產業鏈垂直方向各加工層次，可考慮同時執行森林認證 FM (Forest Management)、CoC (Chain of Custody)，以及碳足跡全生命週期認證 LCA (Life Cycle Carbon Assessment)，期以節約成本，增加產業整體效率及效益。本研究專注於 LCA，森林認證暫不論述。

2.3 竹類生態系統碳庫 (Bamboo Total Ecosystem Carbon Pool)

聯合國糧農組織 FAO (Food and Agriculture Organization) 與 UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change 2016) 研究證明：世界森林 (竹林) 及有林地碳吸存 (Carbon Sequestration) 及碳庫 (Carbon Pool) 有三種型態：存活的生物質 (Biomass) 佔 53%，枯枝葉掉落物佔 8%，林地土壤佔 39%，又根據 UN CDM A/R Forest 方法學將碳庫 (Carbon Pool) 位置細分為 AGC (Above Ground Carbon)、BGC (Below Ground Carbon) 及 SOC (Soil Organic Carbon)，以上三種合稱為 TEC (Total Ecosystem Carbon) 生態系統碳總和量。

INBAR 專家團隊 (Yuen et al, 2017) 在熱帶及亞熱帶地區挑選巨竹屬 (Giant Bamboo) 中 184 個竹種與一般森林 (General Forest)、人工林 (General Tree Plantation) 及 30 年生中國杉木人工林 (Chinese Fir Plantation)、草地 (Grassland)、牧場 (Pasture) 進行碳吸存、碳庫研究分析比較，結果顯示在不同立地條件 (溫度、降雨、土壤) 及經營模式下，存在明顯差異，並為此提供了可信的數據分析，其中特別列出孟宗竹屬 (毛竹 Moso，單桿散生) 及 Guadua (南美荊竹，合軸叢生) 作為典型比較案例。

詳如表 1，本研究參考此數據進行比對。

表 1、世界竹林平均總生態碳統計表

Species	AGC	BGC	SOC	TEC
Bamboo (general)	16 - 128	8 - 64	70 - 200	94 - 392 ●
Moso	33.2	14.8	120 (average)	168 ●
Guadua	69.9	7.5	79 (average)	156.4 ●
Forest (general)	40 - 400	11 - 74	75 - 225	126 - 699 ●
Tree plantations (general)	15 - 200	5 - 33	65 - 196	85 - 429 ●
Chinese fir plantation (after 30 years) (Kuehl et al. 2013; Yiping et al. 2010)	89		93.2 (including BGC)	182.2 ●
Grassland / pasture	2 - 35	2 - 4	66 - 198	70 - 237 ●

(INBAR Technical Report No.35)

Stimated ranges of mean values (unless otherwise stated). Estimated ranges of mean values (unless otherwise stated) of above ground carbon (AGC), below ground carbon (BGC), soil organic carbon (SOC), total ecosystem carbon (TEC = AGC + BGC + SOC) in tC/ha, based on Yuen et al. (2017).

Kuehl et al (2013) 根據以上研究在同樣的環境條件下進行分析比較「集約經營 (Intensive Management)」與「粗放經營 (No Management)」的竹林分「年碳吸存通量 (Annual Carbon Sequestration Flux tC/ha/yr)」，所得結果顯示「集約經營」竹林分 AGC 年碳吸存通量是「粗放經營」的 3 倍之多 ($5.1 : 1.65 = 3.09$)，詳如表 2。

表 2、世界指標性竹林平均碳吸存量情景參考表

Annual Carbon Sequestration Scenario (International index for reference)

Species	Annual carbon sequestration flux (tC/ha/yr)		Source
	No management	Intensive management	
Moso	1.65 (AGC)	(1:3) 5.1 (AGC)	(Kuehl et al. 2013)
<i>Bambusa bamboos</i>		24 (AGC)	(Nath et al. 2015)
<i>Bambusa oldhamii</i>		16 (AGC)	(Nath et al. 2015)
<i>Phyllostachys bambusoides</i>		13 (AGC)	(Nath et al. 2015)
Bamboo (general)		2.5 – 25 (AGC + BGC)	(Yuen et al. 2017)
Chinese fir (<i>Cunninghamia lanceolata</i>) plantation	2.67 (AGC)		



Non-Maintenance Clumping



Well Maintenance Clumping

圖 6、叢生竹有無撫育之比較

2.3.1 主要經濟竹類地下莖 (Rhizome) 型態及生長特徵

- 橫走側出單桿散生型 (Monopodial)：以孟宗竹屬 (*Pyllostachys*) 為主，適宜生長在溫帶及亞熱帶高海拔地區，例如台灣北部、桃園、新竹、苗栗及中部雲林、嘉義、南投高海拔地區 (呂錦明，台灣竹圖鑑，2010)。

■ 孟宗竹 (毛竹) (*Pyllostachys edulis*)

■ 桂竹 (*Pyllostachys makinoi*)

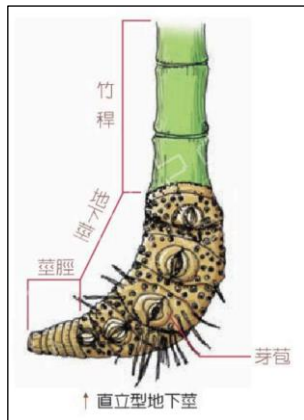


圖 7、直立型地下莖 (竹)



圖 8、孟宗竹林及筍

- 地下莖合軸叢生型 (Sympodial)：以蓬萊竹屬 (*Bambusa*) 及麻竹屬 (*Dendrocalamus*) 為主，適宜生長在熱帶地區，例如荊竹 (*Bambusa stenostachya*)、麻竹 (*Dendrocalamus latiflorus*)、長枝竹 (*Bambusa dolichoclada*)、綠竹 (*Bambusa oldhamii*) 生長於台灣台南、高雄、屏東，以及東南亞、南美洲、非洲等地區 (呂錦明，台灣竹圖鑑，2010)。



圖 9、地下莖合軸叢生型



圖 10、叢生竹 (麻竹)

2.4 竹類「單桿散生」與「合軸叢生」之生物量及碳貯存概述

- (1) 竹類由於生長快速、自我更新能力強，3~5 年即可完成植物生理熟成，透過光合作用吸收大氣中 CO_2 及體內水份形成生物質 (Biomass) 貯儲 CO_2 能力 (Sequestration Carbon Capability) 平均約是溫帶闊葉樹的 1~3 倍，被視為最具發展潛力的碳匯 (Carbon Sink) 之一 (INBAR Annual report, 2021)。
- (2) 竹類由於品種器官部位、生長環境及管理強度不同其生物量含碳量 (率) 不盡相同，一般而言立竹之含碳比例以孟宗竹 (毛竹) 為例：儲碳量以桿部比例最大，約為 50.97%，其次為竹根佔 19.70%，竹枝葉佔 4.87%，地下生物量 (竹根、竹鞭、竹筍) 佔總生物量的 37.75% (周國模、施擁軍，浙江農林大學，2013)。
- (3) 單桿散生之毛竹 (孟宗竹) 碳分佈測試分析結果，如表 3。

表 3、毛竹碳分佈測試分析結果表

Organ	Biomass /t :hm ⁻² (%)	Carbon storage/t :hm ⁻² (%)
Leaf	3.182±0.358 (5.25)	1.490±0.127 (4.87)
Branch	4.034±0.468 (6.65)	2.001±0.160 (6.54)
Trunk	30.539±3.290 (50.35)	15.587±1.357 (50.97)
Underground trunk	3.426±0.297 (5.65)	1.717±0.153 (5.62)
Underground stem	7.847±0.699 (12.94)	3.732±0.339 (12.21)
Root	11.619±1.034 (19.16)	6.053±0.520 (19.79)
Total	60.647 (100)	30.580 (100)



圖 11、桂竹林作業 (桃園復興鄉)



圖 12、孟宗竹林作業 (南投竹山鎮)

(4) 根據國立中興大學孫百寬、顏添明教授等 2013 年針對「臺灣中部地區孟宗竹(毛竹，單幹散生)不同經營強度林分性態值、地上部生物量及碳貯量進行實驗比較」，所得結果分析如下：

(4.1) 研究區(樣區)選擇自海拔 748 公尺至 1,500 公尺，其中包括 2 個國有林樣區及 4 個私有林樣區，集約經營與粗放經營樣區各 50% (各 3 個樣區，共 6 個樣區)；每樣區為 10m × 10m × 6 個，全部樣區共 36 個，詳如表 4。

表 4、孟宗竹樣區選擇分區表

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

(4.2) 不同經營強度之林分性態值分析：集約經營竹林胸徑略增 0.17%，桿高差異不大約 0.4%，每公頃株數增加 25%，胸高斷面積 (m²/ha) 增加 50%，代表單位面積生物量大幅增加，詳如表 5。

表 5、不同經營強度之林分性態值分析

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

株數 +25%，斷面積 +50%

(4.3) 不同年齡之孟宗竹各部位碳濃度分析：以 1~5 年為例，試驗證明孟宗竹碳濃度以桿部碳濃度最高，約佔 49%以上；枝部碳濃度隨年齡略有增加以 4 年生最高 (50.13%)；5 年生枝、桿碳濃度 (49.49%) 隨竹齡增加超過 5 年後反而有遞減現象；葉部碳濃度約 44%，以 3 年生略增 45.54%，詳如表 6。

表 6、不同年齡孟宗竹各部位碳濃度分析

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

¹⁾ 平均值±標準差

(4.4) 不同經營強度之林分生物量及碳貯存量：集約經營林分對比粗放經營之生物量 (mg/ha⁻¹) 及碳貯存量 (mg/ha⁻¹) 分別增加 51.1%及 51.29%，詳如表 7。

表 7、不同經營強度之林分生物量及碳貯量

項目 代碼	集約經營			粗放經營		
	IMa	IMb	IMc	EMa	EMb	EMc
● 生物量 (Mg ha ⁻¹)	<u>62.0±12.9</u> +51.1%	79.9±18.5	124.3±34.8	<u>43.7±9.7</u>	38.6±19.4	47.1±17.9
● 碳貯存量 (Mg ha ⁻¹)	<u>30.5±6.3</u> +51.29%	39.2±9.1	61.1±17.1	<u>21.5±4.8</u>	19.0±9.5	23.2±8.8

(5) 「合軸叢生」之蔴竹生物量及碳貯存試驗分析

2020 年屏東林管處與屏東科技大學森林系合作，針對屏科大校區蔴竹試驗林進行不同強度伐採 (100%、50%、0%)，分別對樣區「樣竹高度」、「樣竹胸徑」、「樣竹鮮重」、「樣竹乾重」及不同伐採強度 7 個月後之各項分析比較，分述如後：

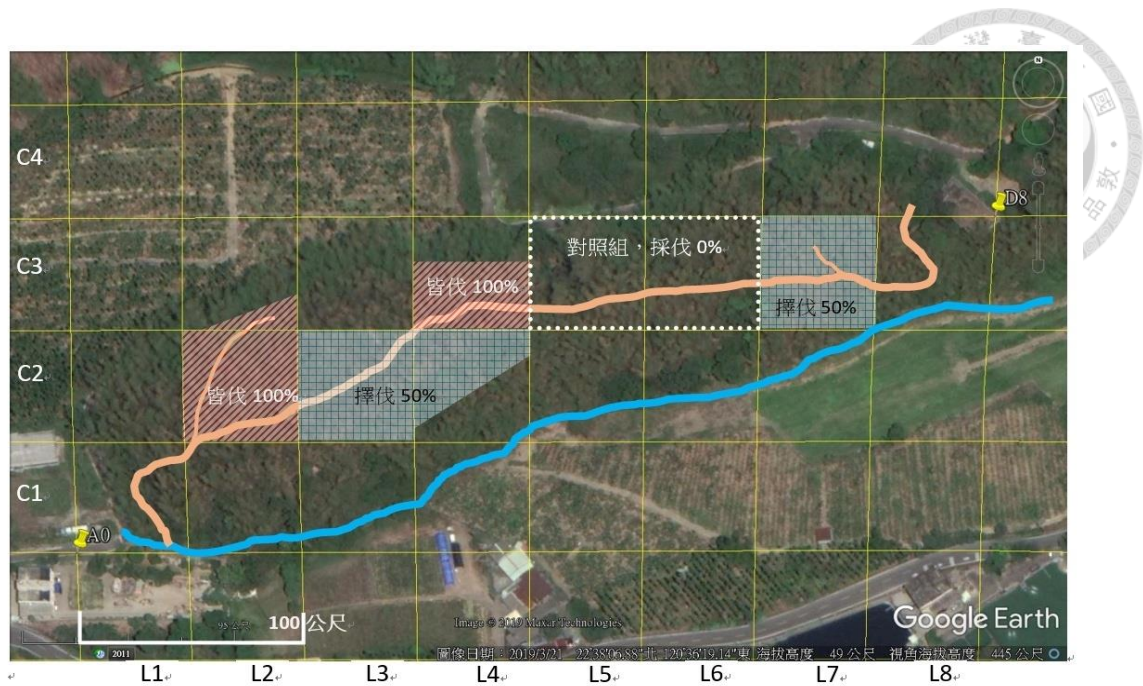


圖 13、蔴竹林(叢生竹)實驗區(±27 ha)採伐強度試驗規劃地圖
(屏東林管處、屏東科技大學，2020)

(5.1) 樣竹高度：伐採強度 50%，7 個月後樣竹高度 13.5：13.2 m 差異不大，均在標準誤差範圍內。由此可證明蔴竹在出筍 50 天後達到高生長上限，不受伐採強度影響而改變，詳如表 8。

表 8、蔴竹伐採前、後及不同伐採強度在樣竹高度之比較

伐採前	樣竹數	平均值 (m)	平均值 標準誤(SE)	不同伐採率 ANOVA檢定p值	伐採前後 均值差(m)	伐採前後 t 檢定 p 值
伐採100%	4	14.9	1.76	0.7869	-12.213	0.0065
伐採50%	4	<u>13.5</u>	1.55		-0.230	0.9000
伐採0%	4	14.5	0.90		-1.998	0.1470
<u>伐採後</u>						
伐採100%	12	2.70	0.34	0.0000		
伐採50%	8	<u>13.2</u>	0.79			
伐採0%	8	12.5	0.86			

(5.2) 樣竹胸徑(外徑)：伐採強度 50%，7 個月後樣竹胸徑比較為 6.9：7.2，證明胸徑(外徑)差異不大(0.3cm)，不受伐採強度干擾而變動，內徑會因生物量之增加而縮小(竹管壁厚度向內增長)，如表 9。

表 9、薊竹伐採前、後及不同伐採強度在樣竹胸徑之比較

伐採前	樣竹數	平均值 (cm)	平均值 標準誤(SE)	不同伐採率 ANOVA檢定p值	伐採前後 均值差(cm)	伐採前後 t 檢定 p 值
伐採100%	4	9.1	0.75	0.3236	-3.209	0.0253
伐採50%	4	<u>7.2</u>	1.08		-0.325	0.7913
伐採0%	4	8.0	0.58		-1.188	0.1308
<u>伐採後</u>						
伐採100%	12	5.9	0.17	0.0186		
伐採50%	8	<u>6.9</u>	0.40			
伐採0%	8	6.8	0.31			

(5.3) 樣竹鮮重：伐採強度 50%，7 個月後樣竹鮮重 51.0 kg，對比伐採前鮮重 14.7 kg，增加率為 47.8%，如表 10。

表 10、薊竹伐採前、後及不同伐採強度在樣竹鮮重之比較

伐採前	樣竹數	平均值 (kg)	平均值 標準誤(SE)	不同伐採率 ANOVA檢定p值	伐採前後 均值差(kg)	伐採前後 t 檢定 p 值
伐採100%	4	37.7	9.66	0.5434	-31.442	0.0475
伐採50%	4	<u>26.6</u>	7.12		24.406	0.0324
伐採0%	4	29.9	2.31		-2.989	0.3206
<u>伐採後</u>						
伐採100%	12	6.3	0.56	0.0000		
伐採50%	8	<u>51.0</u>	4.29			
伐採0%	8	26.9	1.43			

(5.4) 樣竹乾重：伐採強度 50%，樣竹乾重 29.0 kg，對比伐採前乾重 14.7 kg，增加率為 49.3%，生物量增幅明顯，富有經濟價值，如表 11。

表 11、薊竹伐採前、後及不同伐採強度在樣竹乾重之比較

伐採前	樣竹數	平均值 (kg)	平均值 標準誤(SE)	不同伐採率 ANOVA檢定p值	伐採前後 均值差(kg)	伐採前後 t 檢定 p 值
伐採100%	4	21.7	5.10	0.4227	-18.172	0.0378
伐採50%	4	<u>14.7</u>	3.86		14.308	0.0205
伐採0%	4	16.3	1.41		-1.284	0.5215
<u>伐採後</u>						
伐採100%	12	3.6	0.30	0.0000		
伐採50%	8	<u>29.0</u>	2.47			
伐採0%	8	15.1	1.30			

(5.5) 幼竹、成竹及老竹數量之差異：試驗證明無論採取何種伐採強度 (100%、50%、0%)，50%強度幼竹數量 154 株、成竹 263 株、老竹 51 株，均相較 100%及 0%伐採強度為多，如表 12。

表 12、蔴竹不同伐採強度伐採 7 個月後幼竹、成竹及老竹數量之差異

採伐率	Block	幼竹				成竹				老竹			
		伐前	伐後	差異	%	伐前	伐後	差異	%	伐前	伐後	差異	%
100%	L2C2	110	123	28	25.5	305	0	-305	-100.0	52	0	-52	-100.0
50%	L3C2	99	<u>154</u>	55	55.6	270	<u>263</u>	-7	-2.6	48	<u>51</u>	3	6.3
0%	L5C3	77	126	49	63.6	230	250	20	8.7	35	38	3	8.6

另根據 2012/09 (陳財輝、汪大雄、鐘欣芸) 針對台南市左鎮地區 60 年生蔴竹林之生長特性 (合軸叢生型) 過去為泥岩地區復舊造林主要樹種，調查分析結果發現蔴竹林竹叢密度從造林初始之每公頃 625 株竹，最後繁殖成為 300 叢 (Clumps ha^{-1}) 佔林地面積之 37.1%，竹桿密度可達 24,533 支 (Clumps ha^{-1})，竹桿密度極高，林分生物量乾重：地上部竹桿生物量 280.0 $\text{ton}/\text{ha}^{-1}$ ，竹枝乾重量 17.5 $\text{ton}/\text{ha}^{-1}$ ，竹葉乾重為 18.3 $\text{ton}/\text{ha}^{-1}$ ，地上部乾重總共為 243.8 $\text{ton}/\text{ha}^{-1}$ ，蔴竹地上部生物量乾重較國產其他竹種 (麻竹、綠竹、長枝竹、孟宗竹、桂竹) 生物量乾重為高，蔴竹林地下部林分生物量乾重量為 318.7 $\text{ton}/\text{ha}^{-1}$ ，合計蔴竹林地上部及地下部總生物量乾重為 562.5 $\text{ton}/\text{ha}^{-1}$ ，由此證明蔴竹 (叢生竹) 現存生物量極高。

竹桿生物量乾量	280.0 $\text{ton}/\text{ha}^{-1}$	43.29%
竹枝生物量乾量	17.5 $\text{ton}/\text{ha}^{-1}$	
竹葉生物量乾量	18.3 $\text{ton}/\text{ha}^{-1}$	
竹根、地下莖、竹鞭	318.7 $\text{ton}/\text{ha}^{-1}$	56.8%
	562.5 $\text{ton}/\text{ha}^{-1}$	100%

蔴竹地上生物量佔 43.2%，地下部生物量佔 56.8% 有機土壤生物含碳量尚未計入。熱帶及東南亞地區包括越南 70% ~ 80% 以上屬叢生竹，單桿散生竹類約佔 20 ~ 30% (INIBAR Report 2021)。

綜上，可以證明無論叢生竹或單桿散生竹，若以集約經營及適當擇伐、疏伐強度，除了竹高度、外胸徑不受影響外，其他如乾重（生物量），幼竹、成竹及老竹之存活率均有明顯增加，間接可以增加竹林之碳匯量。



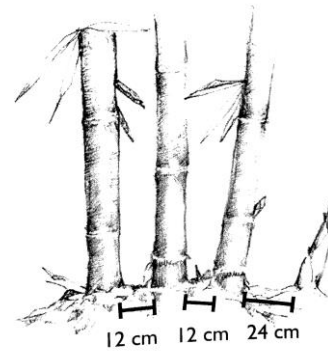
圖 14、蔴竹疏伐前狀態



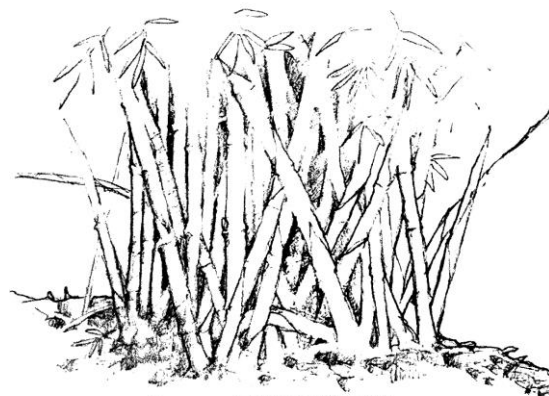
圖 15、疏伐強度為 50%



Before spacing adjustment for *G. atroviolacea*



After spacing adjustment for *G. atroviolacea*



Over crowded *Gigantochloa apus*

圖 16、叢生竹疏伐作業示意圖

第 3 章 文獻回顧：「A」公司「竹產業」專案規劃

3.1 越南「A」公司企業基本狀況

「A」公司是一家位於胡志明市（西貢）的綜合農林企業集團民營公司，其業務包涵：水稻種植及食品加工，大面積水果種植（火龍果）及水產養殖（蝦），均獲得 USDA 認證出口，該公司在越南中部高原（Central high land）Dak Lak 多樂省擁有約 30,000 公頃竹林地，與當地政府合作欲發展符合 UN SDGs 標準的竹產業鏈，其中包括「竹顆粒」加工及竹林原料基地永續經營森林認證與全生命週期碳認證，並取得碳信用（Carbon Credit），同時協助政府發展偏鄉經濟增加少數民族收入，改善民眾生活條件，以期達成「社會、經濟、環境」均衡發展達成國家目標，如圖 17。



圖 17、越南 A 公司簡介

3.2 越南國情簡介

越南民主共和國採行社會主義政治制度，是東協 (ASEAN) 10 個會員國之一，享有歐美多國貿易關稅優惠待遇，國土面積達 173,809 平方公里，境內 75% 為山地丘陵，2023 年人口總數為 1.03 億，平均年齡 32.7 歲，人口年齡分布如圖 18 所示。全國共設 63 個行政省份，首都河內位於北部，是主要的政治中心，近年來致力於發展電子高科技產業；南部的胡志明市位於湄公河三角洲，是傳統農業及商業中心，經濟相對發達；中部則以高原地形為主，為少數民族聚居區，經濟相對落後，以農林業為主要產業。

自 2000 年起，越南效仿中國大陸實施經濟改革開放政策，近年 (2010~2023) 國內生產總值 (GDP) 每年增長約 5% 至 6%。截至 2023 年，國民平均月收入約為 300 美元，正處於「人口紅利」時期，適於發展傳統勞工密集產業。如圖 19 所示。

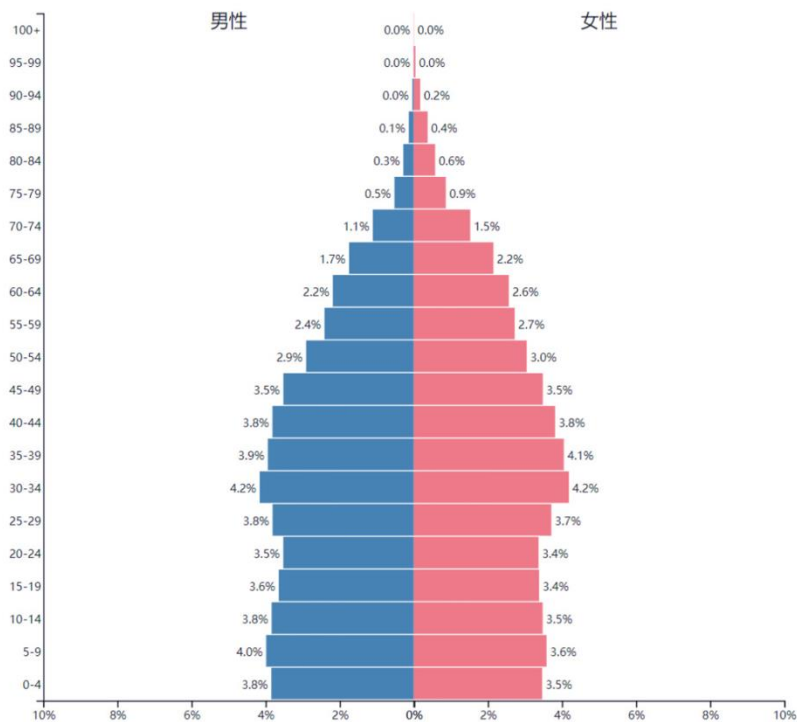


圖 18、2023 年越南人口年齡結構



圖 19、越南人口、勞動力及就業率分析圖



越南中央政府組織採取「四架馬車式」(2024 年)：

- (1) 越共中央總書記為首：蘇林
- (2) 國家主席：梁強
- (3) 政府總理：范明正
- (4) 國會主席：陳青敏

地方政府組織類似中央四架馬車，主管官員多係黨員，一條鞭式下至鄉、鎮、村基層組織架構相同。

The Structure of Vietnamese Government

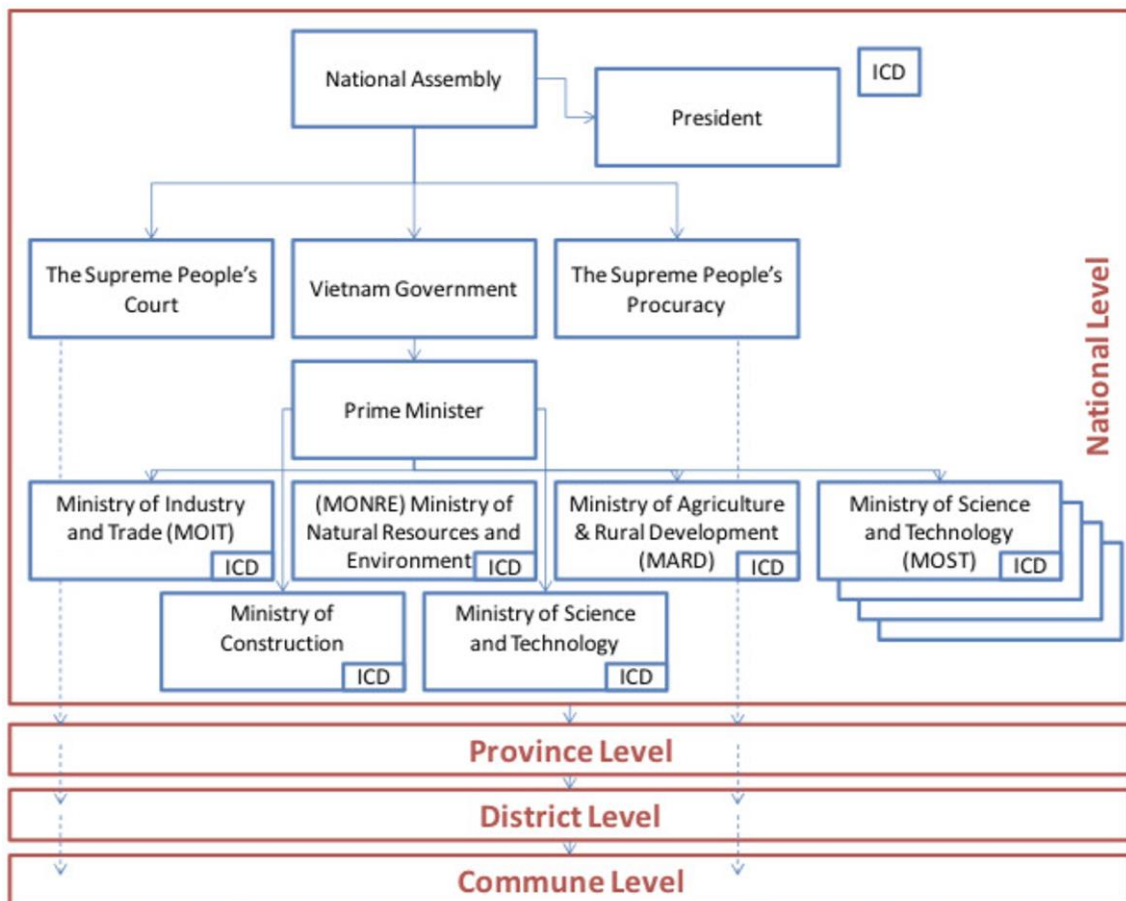


圖 20、越南政府結構

3.3 專案所在地「Dak Lak 多樂省」簡介

- (1) 多樂省位處越南中部內陸西南高原，平均海拔高度 700 公尺，西鄰柬埔寨，面積 13,062 平方公里，人口 241.8 萬 (2022)，省會為邦美蜀市，下轄 1 市社 13 縣，多係少數民族聚集村落，以農林業、水果、咖啡種植為主，如圖 21。

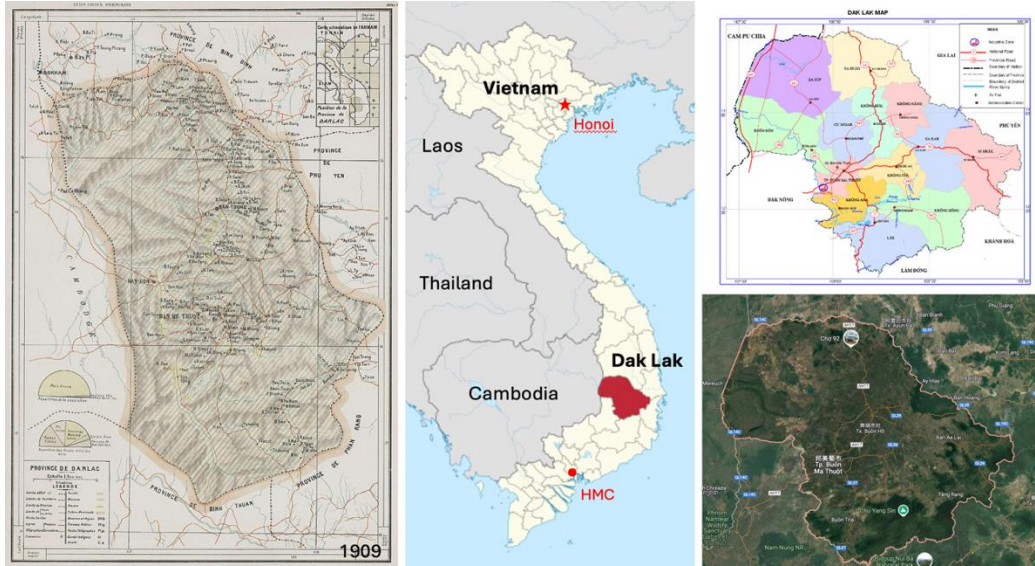


圖 21、越南 Dak Lak 多樂省地理位置圖

- (2) 多樂省年降雨量 2,200mm，年平均溫度攝氏 23 度，因受季候風帶 (Monsoon Season) 影響，旱雨乾濕季分明 (4~10 月雨季，11~3 月旱季)。

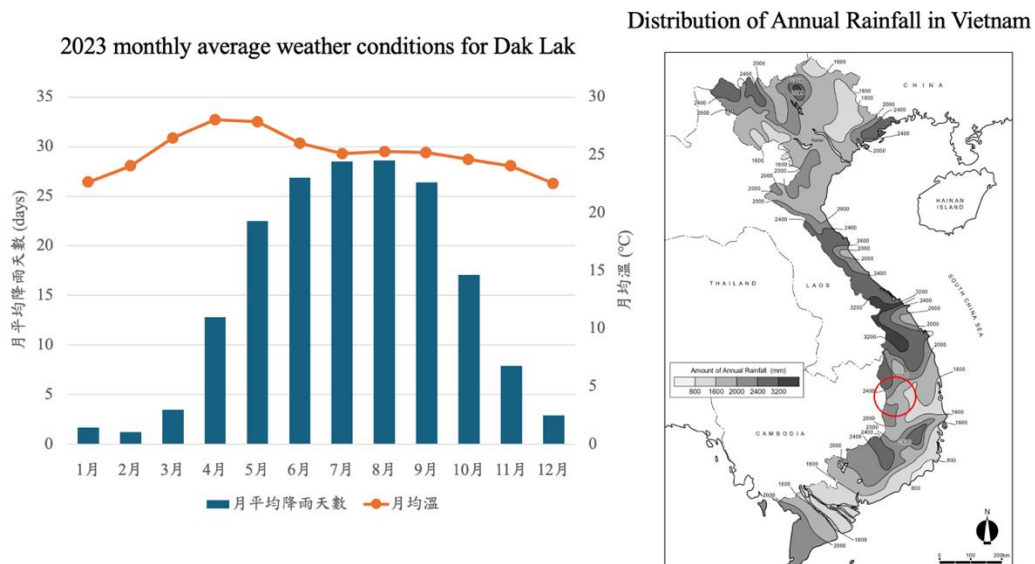


圖 22、越南 Dak Lak 多樂省月平均降雨天數統計及年平均降雨量分佈圖

(Vietnam National Transport Strategy Study, 2023)

表 13、多樂省 15 市縣人口普查表



No.	Districts (in VILG's project areas)	Population in 2016 (persons)	Population in 2009 (persons)	Number of Households in 2009	EM population in 2009 (persons)	EM proportion in 2009 (%)
1	Buon Ma Thuot city	360,018	326,135	82,295	55,631	17.00
2	Buon Ho town	103,647	96,985	21,637	20,880	21.56
3	Buon Don	64,496	59,959	13,790	39,692	66.12
4	Cu M'Gar	174,693	163,630	35,547	67,488	41.43
5	Cu Kuin	105,016	99,551	22,210	27,235	27.53
6	Ea H'Leo	129,651	120,968	28,328	42,326	35.00
7	Ea Sup	65,531	58,579	14,112	21,514	36.66
8	Ea Kar	152,684	141,331	34,558	19,709	13.93
9	Krong Bong	95,837	87,139	18,606	41,357	47.47
10	Krong Buk	63,702	57,387	13,213	22,085	38.50
11	Krong Nang	125,699	118,223	27,279	48,523	41.24
12	Krong Pac	208,846	198,009	45,644	66,013	33.55
13	Krong Ana	87,034	81,010	18,677	34,066	41.97
14	Lak	65,452	59,954	13,499	37,492	62.22
15	M'Drak	72,153	65,094	14,912	28,058	42.64
TOTAL		1,874,459	1,733,954	404,307	572,069	33.01

Source: EM census 2017 of Dak Lak.

View Vietnam's Vietnam Population Density: Dak Lak from 2011 to 2023 in the chart:

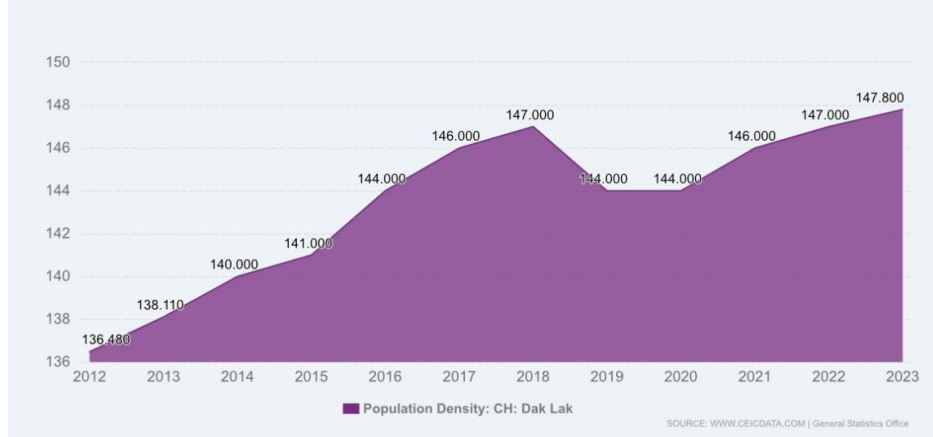


圖 23、多樂省人口密度 2012~2023 年趨勢圖

越南國土面積是台灣的 4.8 倍，人口為 4.1 倍。



圖 24、多樂省 2023 年人口密度圖

(3) 越南民族(種族)人口統計表

(3.1) 多樂省共 47 個民族，最大族群：京族 67%。

(3.2) 京族是越南最大民族，佔全國人口 87%。

(3.3) 多樂省地處偏鄉，西鄰柬埔寨，多原住民少數族群，是越南政府重點「扶貧」農林業發展地區。

表 14、Dak Lak 省少數民族統計表

(Census form for ethnic minority groups in Dak Lak after the 2017 census)

No.	Ethnic group	Population	No.	Ethnic group	Population
1	Kinh	1,161,044	25	Gie Trieng	78
2	Ede	298,534	26	Ngai	37
3	Nung	71,461	27	Ma	31
4	Tay	51,285	28	Cho Ro	25
5	M'ngong	40,344	29	La Chi	22
6	H'mong	22,760	30	Co	19
7	Thai	17,135	31	Co Tu	17
8	Jrai	16,129	32	Mang	15
9	Muong	15,510	33	Xtieng	15
10	Dao	15,303	34	Co Lao	14
11	Xo Dang	8,041	35	Lo	13
12	San Chay	5,220	36	Chu Ru	11
13	Hoa	3,476	37	Giay	11
14	Bru-Van Kieu	3,348	38	Ta Oi	05
15	Khmer	543	39	Ha Nhi	04
16	Tho	541	40	Pa Then	04
17	Chut	435	41	Kho Mu	03
18	Ba Na	301	42	Khang	02
19	Laos	275	43	Cong	01
20	Cham	271	44	La Ha	01
21	Hre	341	45	La Ho	01
22	San Diu	236	46	Si la	01
23	Co Ho	151	47	Xinh Mun	01
24	Ragla	98		Total	1,733,113

3.4 越南竹類資源及特性

根據越南國家林業科學院 (Vietnam Academy of Forest Sciences) 統計資料顯示越南全國竹林面積共約 135 萬公頃，大多粗放經營，計有 27 個竹屬、211 個竹種，具有經濟價值竹種以麻竹屬 (*Bambusa*) 叢生竹為主，約 62 個竹種，其平均碳含量 AGC : 23 tCO₂e/ha，BGC : 15 tCO₂e/ha，SOC : 14 tCO₂e/ha (INBAR Working Paper, 2021)。



VIỆN KHOA HỌC LÂM NGHIỆP VIỆT NAM

the Sustainable Forest Management Standards - VFCS/PEFC ST 1003:2019

1. Bamboo Resources of Vietnam
2. Vietnam Forest Certification Scheme (VFCS)
3. Vietnam Forest Certification Office (VFCO)
4. BV/ISO for Carbon Footprint Certification



	Genus name in Vietnamese	Scientific name	Number
I	Vầu xanh	Acidosasa	5
II	Trúc dầy	Ampelocalamus	4
III	Sắt	Arundinaria	8
IV	Tre	Bambusa	62 ★
V	Le Bắc Bộ	Bonia	2
VI	Cơm lam	Cephalostachyum	4
VII	Trúc vuông	Chimonobambusa	4
VIII	Sắt gai	Chimonocalamus	2
IX	Bạc mây	Dendrocalamus	3
X	Luồng	Dendrocalamus	29 ★
XI	Hào dử	Fargesia	2
XII	Mây lênh láng	Femocalamus	1
XIII	Le	Gigantochloa	17 ★
XIV	Vầu dểng	Indosasa	11 ★
XV	Tre lông	Kinabaluchloa	1
XVI	Giang	Maclurochloa	16 ★
XVII	Tre quả thịt	Melocalamus	9
XVIII	Nửa quả thịt	Melocanna	1
XIX	Lành anh	Oligostachyum	1
XX	Trúc	Phyllostachys	7
XXI	Nửa mọc tản	Pseudostachyum	1
XXII	Thia ma	Sasa	1
XXIII	Nửa	Schizostachyum	13 ★
XXIV	Sắt núi cao	Sinarundinaria	1
XXV	Vầu cục phương	Sinobambusa	1
XXVI	Tầm vông	Thyrastachys	2
XXVII	Le cò	Vietnamosasa	2

圖 25、越南主要竹屬及林業科學院認證相關單位
(Vietnam Academy of Forest Sciences, 2023)

越南十大主要竹種 (INBAR 2021)	
Top 10 Bamboo Species of Vietnam	
1.	小葉龍竹 (Dendrocalamus Barbatous Hsuch et D.Z.Li) 麻竹屬
2.	毛竹 (Phyllostachys pubescens. Magal ex H de heh) 孟宗竹(毛竹) 屬
3.	巴苦竹 (Bambusa balcooa) 籐竹屬
4.	粉單竹 (Bambusa aehungii)
5.	沙羅單竹 (Schizastachy umfunghomii) 大節竹屬
6.	田大節竹 (Indosasaang angustata)
7.	籐竹屬的一種 (Bambosa prosera A. Cheu V A. Carnus)
8.	泰竹 (Thyras tachys siamensis)
9.	黃竹 (Dendrocalamus membranaceus munro)
10.	越南特有籐竹屬新種 (Bambusa longissimamov. sp)
11.	青萬竹屬 / 大節竹屬新竹種 (Arundinaniasp V Indosasasp)
12.	隱花竹屬新種 (maclurochloasp) (Dendrocalamus Vuletinus)

圖 26、越南十大主要竹種

根據 CIFOR 2022 調查資料顯示 Dak Lak 省適宜發展 A/R CDM 竹林資源在距離主要公路 0~5 km 約 9,544 ha，5~11 km 約 8,778 ha，> 11 km 約 7,444 ha，共約 25,766 ha (CIFOR, Forest carbon market in Vietnam, 2022)。

表 15、多樂省適宜實施造林 / 再造林專案區域統計表

Region	Province	Area suitable for A/R CDM projects (ha)			
		Distance from main road			Total
		0-5 km	5-11 km	>11 km	
South Central	Da Nang	2,184	659	225	3,068
	Quang Nam	110,151	53,902	15,006	179,059
	Quang Ngai	41,959	13,012	1,340	56,311
	Binh Dinh	60,125	25,044	7,622	92,791
	Phu Yen	36,796	11,612	2,736	51,144
	Khanh Hoa	37,999	25,044	10,587	74,183
	Total	289,214	129,826	37,516	456,556
Central Highlands	Lam Dong	4,926	966	212	6,104
	Gia Lai	68,815	50,881	12,138	131,834
	Dak Lak	9,544	8,778	7,444	25,766
	Dak Nong	7,154	2,867	742	10,763
	Kon Tum	49,287	18,188	3,256	70,731
	Total	139,726	81,680	23,792	245,198
Southeast	Binh Duong	27,878	10,530	4,088	42,496
	HCM city	167	655	415	1,237
	Ninh Thuan	24,779	14,934	3,631	43,344
	Binh Thuan	26,408	15,744	6,524	48,676
	Đồng Nai	7,787	3,761	4,028	15,576
	Binh Phuoc	259	656	692	1,607
	Tay Ninh	11,759	5,544	399	15,702
	Ba Ria Vung Tau	5,416	1,811	0	7,227
	Total	104,453	51,635	19,777	175,856
Mekong River Delta	Long An	0	0	0	0
	Dong Thap	56	839	3,325	4,220
	An Giang	0	0	0	0
	Can Tho	0	0	0	0
	Kien Giang	921	625	583	2,129
	Tien Giang	0	0	0	0
	Ben Tre	0	0	0	0
	Vinh Long	0	0	0	0
	Tra Vinh	0	0	0	0
	Hau Giang	0	0	0	0
	Soc Trang	0	0	0	0
	Bac Lieu	0	0	0	0
	Ca Mau	0	0	0	0
	Total	977	1,464	3,908	6,349
Total		2,436,806	804,411	160,257	3,401,474

越南多樂省 Dak Lak, Kotam Community Resort



圖 27、粗放經營

(多樂省 Kotam 竹林遊樂區)

日本京都嵐山竹林風景區



圖 28、集約經營

(日本京都嵐山竹林風景區)

(CIFOR Forest carbon market in Vietnam, 2022)

多樂省森林 (竹) 面積，所有權屬 38%係國有林，公社集體 37%，地方黨社 11.6%，「A」公司除自有林場外另與國有林場、公社林場合作開發經營。

表 16、多樂省永久林地所有權屬團體統計表

distribution of Forest Area by Tenure groups in Hoa binh and dak Lak

Tenure Groups	Hoa Binh		Dak Lak	
	Forest Area (ha)	Number of Actors	Forest Area (ha)	Number of Actors
1. Households	167,890 (79%)	75,846	4,740 (0.8%)	1042
2. Communities	887 (0.4%)	1	12,942 (2.1%)	106
3. People's Committees	3,735 (1.8%)	67	71,653 (11.6%)	100
4. MB-PFs	6,639 (3.1%)	n/a	34,686 (5.6%)	2
5. MB-SUFs	9,416 (4.4%)	n/a	233,582 (37.9%)	5
6. State-owned companies	8,799 (4.1%)	n/a	235,334 (38.2%)	15
7. Joint-venture companies	4,152 (2.0%)	n/a	5,830 (0.9%)	2
8. Armed forces	11,132 (5.2%)	n/a	17,643 (2.9%)	1
Total	212,650 (100%)		616,410 (100%)	

[†] numbers in parentheses represent the percentage of forest owned by the group over the total forest area
Source: Dak Lak Forest Sub-Department, Nguyen and Working Group Members (2007)

第 4 章 竹產加工業永續經營規劃

4.1 「A」公司 Bamboo Pellet Project Concept

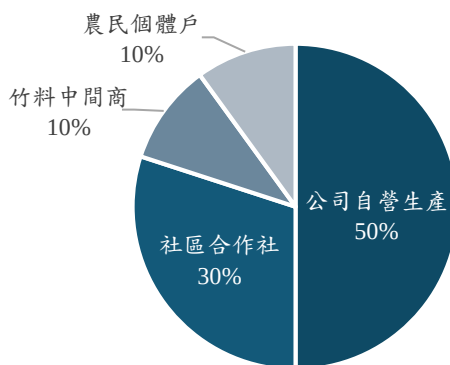
「A」公司「竹顆粒」產業鏈上、中、下游分工整合永續經營計畫如圖 29。



圖 29、「A」公司竹產業永續發展經營構想

4.1.1 上游(原料端)

長期穩定的料源供應是生產加工事業的成敗關鍵，根據成功案例，在發展中國家採取「社區林業合作模式 (Community Forest Development Collaboration)」，通過公平合理的協商達至共識目標簽訂長期合作契約，取得共贏模式，協助繁榮地方經濟，增加居民日常收入，同時執行「森林認證生態環境保育永續經營」及實踐 SDGs、ESG 目標要求，建立竹材原料供應鏈比例如圖 30，經營面積 20,000 公頃，年供應竹原料 12 萬噸。上游竹林經營作業將盡量使用「人力」採伐、撫育及小搬運集材，增加在地就業機會，同時減少對環境破壞的壓力，以符合 SDGs / NbS 永續經營目標。所需竹林經營面積以擇伐強度 30%、輪伐期 5 年，測算如下：



設定：

100 GT/ha 輪伐期 (5 年生) 蓄積量

$100 \text{ t} \times 30\% \text{ 擇伐} = 30 \text{ t/ha}$

$400 \text{ t/天} \div 30 \text{ t} = 13.3 \text{ ha/天}$ 作業面積

$13.3 \text{ ha} \times 300 \text{ 天} \times 5 \text{ 年輪伐期}$

$= 19,950 \text{ ha/5yrs}$ 作業面積

圖 30、原料供應比例圖

以上供應比例可依實際運作情況靈活調整，現場操作模式如圖 31、圖 32 所示。

Vietnam Bamboo Sustainable Supply Chain (Community forest system development training)

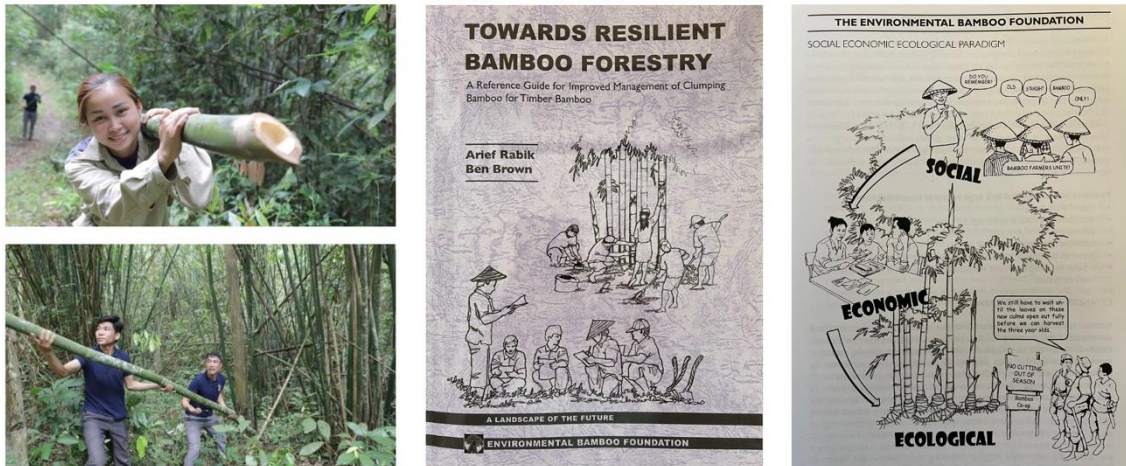


圖 31、越南竹材人工伐運永續作業系統

(Community forest system works)



圖 32、「A」公司原料供應鏈社區林業發展 SDGs 工作圖

- (1) 為降低陸上運輸成本及減少碳排，宜盡量使用人力獸力（牛、馬、螺），執行近距離搬運集材。
- (2) 使用水運其運輸成本往往只有路上運輸的 30%~50%。

Bamboo Hauling and Transportation

China



Indonesia

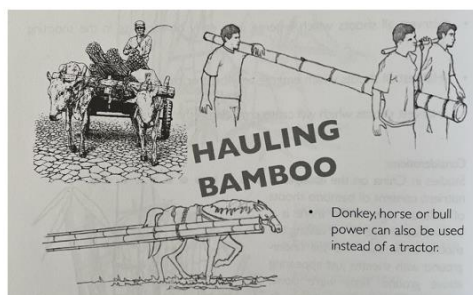


圖 33、中國及印尼人力+水利運輸系統

臺灣、南投、嘉義地區緩坡丘陵地孟宗竹擇伐、人工集材、卡車運輸模式。

Gentle Slope Bamboo Harvesting by Manual



圖 34、台灣孟宗竹伐運作業系統

全人工上游產業鏈符合 UN SDGs 8 項目標。



Bamboo Plantation and SDG



- SDG 1: End poverty in all its forms
- SDG 7: Affordable and clean energy
- SDG 9: Industry innovation and infrastructure
- SDG 11: Access to adequate and affordable housing
- SDG 12: Efficient use of natural resources
- SDG 13: Address climate change
- SDG 15: Protect and restore terrestrial ecosystems.
- SDG 17: Partnerships for the goals

Source: SDG business hub, INBAR Working Paper

圖 35、「A」公司上游產業鏈符合 UN SDGs 8 項目標

適應自然解方NbS 7項標準
Adaptation with UN SDGs / IUCN
Nature-based Solutions (2020)

- ① Climate Change
- ② Nature Disaster
- ③ Economic Improved
- ④ Well Being
- ⑤ Food Security
- ⑥ Clean Water
- ⑦ Environmental



© IUCN

圖 36、適應「自然解方 NbS」7 項目標

專案之「社會、經濟、環境」平均發展，為「A」公司日後進行 ESG 認證打好基礎。

CSR / ESG Management Philosophy UN SDGs

Relationships between Social, Environmental and Economic Sustainability Source: Wanamaker (2018), cited in Mesah (2019, p. 8).

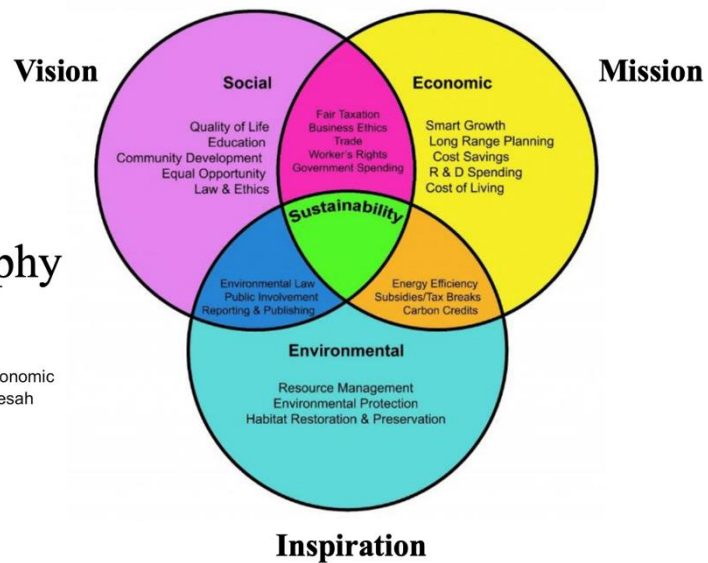


圖 37、ESG 可永續經營「社會、環境、經濟」均衡發展圖

預估本專案社會經濟效益 (採人工伐運集材)

(1) 增加地方政府稅收，促進地方繁榮，全年投入竹材原料採購資金 USD 200 萬。

(2) 增加當地居民工作機會及日常收入：

$400 \text{ GT/日} \div 0.5 \text{ 噸/人/日} = 800 \text{ 人/工/日}$ (就業機會)；

竹桿平均濕重 (GT)：12 kg ~ 15 kg/Pcs 支；

$1,000 \text{ kg/t} \div 15 \text{ kg} = 66.6 \text{ Pcs/人/日}$ (基本工作量/日/人)；

$66 \text{ 支} \times \text{USD } 0.1 / \text{支} = \text{USD } 6.6 / \text{人/日} \times 30 \text{ 天} = \text{USD } 198 / \text{月}$ ；

超額生產獎金：USD 0.13 / Pcs $\times$ 34 支 = USD 4.08 / 日；

基本工資 + 超額獎金 = USD 6.6 + USD 4.08 = USD 10.68 / 日/人；

$30 \text{ 工作日} \times \text{USD } 10.8 / \text{日/人} = \text{USD } 324 / \text{月/人}$ ；

已超過越南全國平均工資 USD 300 / 月的 8%。

4.1.2 森林認證 (Forest Certification FM/CoC)



Sustainability COC Certifications

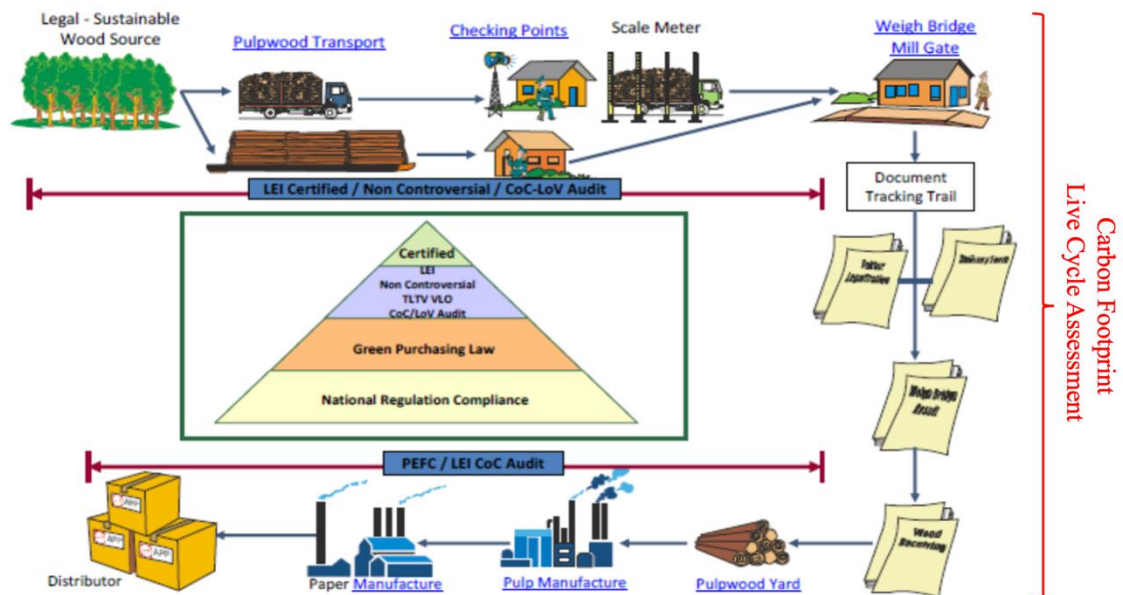


圖 38、執行森林認證 (FM&CoC) 流程圖

森林認證包括「森林經營管理 FM (Forest Management)」以及「林產品產銷監管鏈 CoC (Chain of Custody)」兩部分，本研究方案依規定採取越南政府與 PEFC 森林認證體系 (Programme for the Endorsement of Forest Certification) 互認合作法令依據 VFCS / PEFC ST 1003:2019，認證體系流程如下：

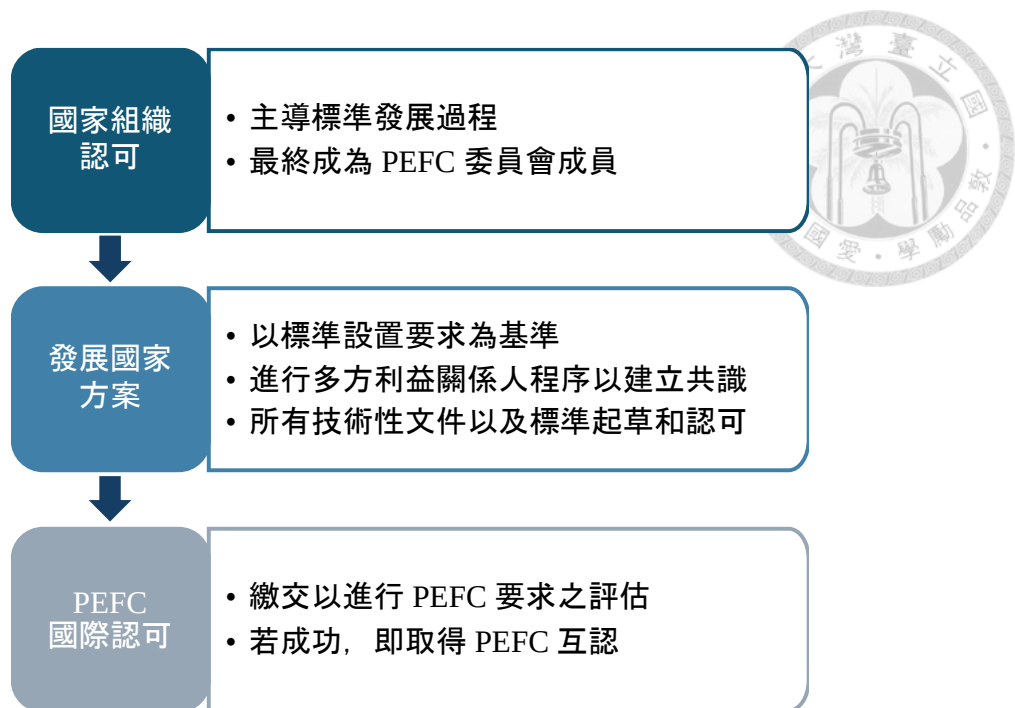


圖 39、發展 PEFC 森林認證國際認可體系之三項主要步驟

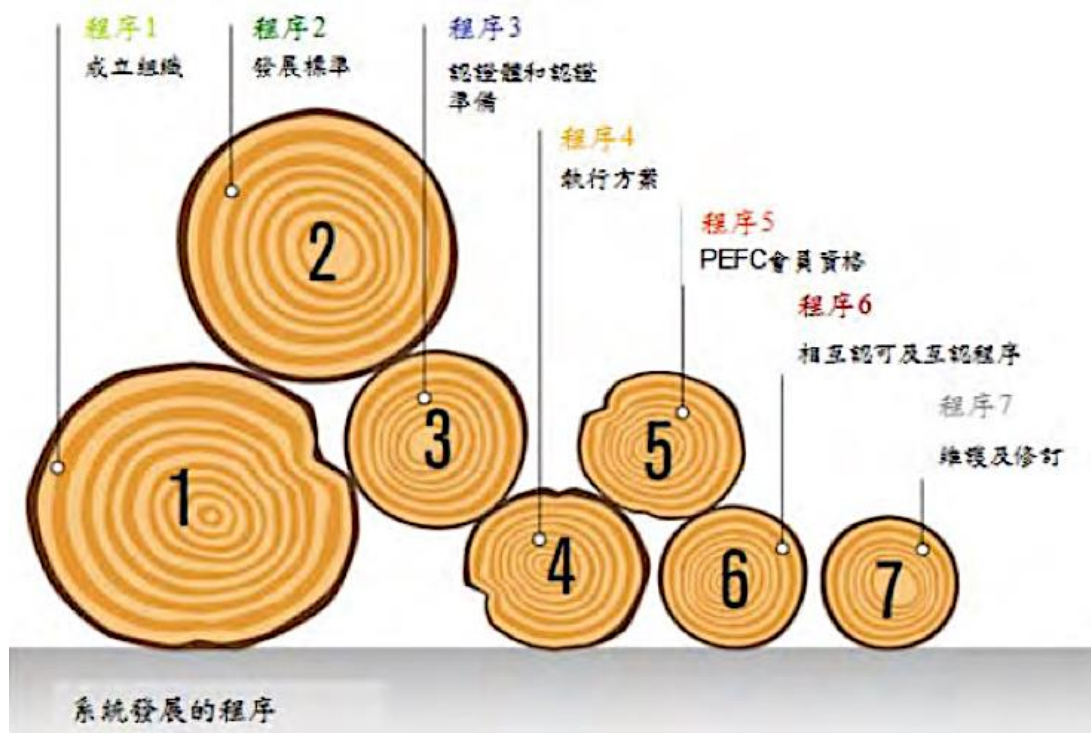


圖 40、PEFC 國家森林認證系統路徑程序

(吳俊賢、林俊成、林裕仁，102 年，農委會林試所 PEFC 國外考察報告)



圖 41、國家認證體系與國際 PEFC 認證體系相互認可制度流程圖

(吳俊賢、林俊成、林裕仁，102 年，農委會林試所 PEFC 國外考察報告)

(1) 森林認證收費標準 (參考 CFCC 北京認證公司)

收費項目 (匯率：@ USD 1.00 = RMB 7.00)

序號	收費項目	收費標準 (以人民幣 RMB 合計)	收費標準 (以美金 USD 合計)	備註
1	申請費	2,000 元	285 元	複評及擴大申請不收取申請費
2	審核費	3,000 元/人日	428 元	根據行業差異，按實際工作人*日數計算
3	審定與註冊費 (含證書費)	2,000 元	285 元	如需加印證書，每張加收 200 元 (最多加印 10 張)
4	監督審核費	審核費的 1/3	142 元	認證註冊的有效期限為五年，在有效期限內，認證中心將對其森林認證體系進行不少於四次的監督審核，兩次監督審核

				的間隔期不超過 12 個月，第一次監督在初次認證 12 個月內進行，每次監督審核費是初次審核費的 1/3。
5	再認證審核費	審核費的 2/3		證書有效期滿前三個月內繳納，是初次審核費的 2/3，註冊費、申請費不變。對審核中不符合項的糾正措施的現場驗證不再另收取收費，對審核中沒有通過現場審核而重新提出認證申請時，免收申請費，審核費按原費用 60%收取，其他費用不變。

(2) 森林經營 (FM) 認證收費標準

經營單位經營林地面積區間 (萬公頃)	每公頃收費 (元)	工作人日數總計	實際收費金額 (萬元)
0.5 萬公頃以下	0.3	17	5-10
0.5-2 V	0.5	17-30	5-10
2-5	2.0	30-45	10-15
5-10	2.5	45-60	15-20
10-20	1.5	60-80	20-25
20-30	1.2	80-100	25-30
30-50	1.0	100-120	35-40
50 以上	1.0	120-170	40 以上

(3) 產銷監管鏈 (CoC) 認證收費標準 (認證所需人日數 × 3,000 元)

職工人數 (人)	工作人日數總計	實際收費 (萬元)
100 以下	10	3
101-1,000	10-17	3-5
1,001-2,000	17-23	5-7
2,000 以上	23 以上	7 以上

(4) 本專案「A」公司森林認證費用試算

序號	收費項目	收費標準 (以人民幣 RMB 合計)	收費標準 (以美金 USD 合計)
1	申請費	2,000 元	285 元
2	審核費	3,000 元/人日	428 元
3	審定與註冊費 (含證書費)	2,000 元	285 元
4	監督審核費 (2~5 年複查)	審核費的 1/3	142 元
5	FM 森林認證		8,571 元
6	CoC	30,000 元	4,285 元
總計	(以美金 USD 計價)	人民幣供作參考值	15,274 元

本專案「A」公司竹林面積 20,000 公頃及竹顆粒年生產量 30,000 噸，其森林認證 FM 加上竹產品 CoC 等認證費用總和為 USD 15,274 元。

計算方式詳細說明如後：

(4.1) 初次認證 (FM 認證)：

申請費 + 審查費 + 審定與註冊費 + FM 認證費

= 285 + 428 + 285 + 10,000 = USD 10,988

CoC 認證：(RMB 30,000 ÷ 7) = USD 4,286 (以工廠員工 100 人內計)

FM + CoC = USD 15,274

(4.2) 複審 (年審 2~5 年)：USD 428 / 人 / 日 × 1/3 × 10 天 = USD 1,420

(4.3) 公司內部費用：人員培訓、作業流程改善等相關費用另計。

4.1.3 中游 (生產端)

碳轉移 (Carbon Remove / Transfer) 「竹顆粒」生產線主軸是「機械物理」加工沒有加熱分解及化學處理等化工過程，只是將竹材「生物質 (Biomass)」中的碳元素 (Carbon) 「轉移」至「竹顆粒」產品中，除了水份 MC (Moisture Content) 逐步減少，其他元素幾乎沒有消滅，屬於碳轉移 (Carbon Remove transfer) 的狀態。

4.1.4 下游 (終端產品)

碳儲存 (Carbon Stock / Sink) 竹產品無論手工藝品、傢俱、建築材料等均具有一定的使用週期，在使用週期間可視為碳儲存 (Carbon Stock)。



4.1.5 竹產品全生命週期碳足跡

竹顆粒 (Bamboo Pellet) 屬生質能源之一可供工業燃料氣電共生及生活取暖供熱之使用，燃燒過程不會增加額外 CO₂ 排放，只是還原釋放固有 CO₂ 中的碳元素，且可取代 (Substitute) 化石燃料 (Fossil Fuel) 如煙煤、LNG 減少碳排，可視為「負碳排放」，詳如圖 42。

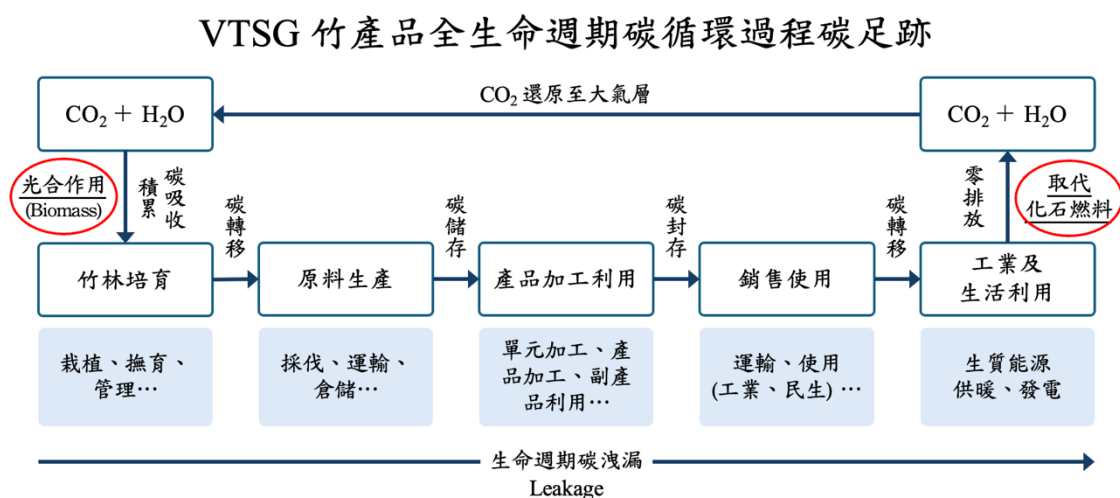


圖 42、「A」公司竹產品全生命週期碳循環過程碳足跡

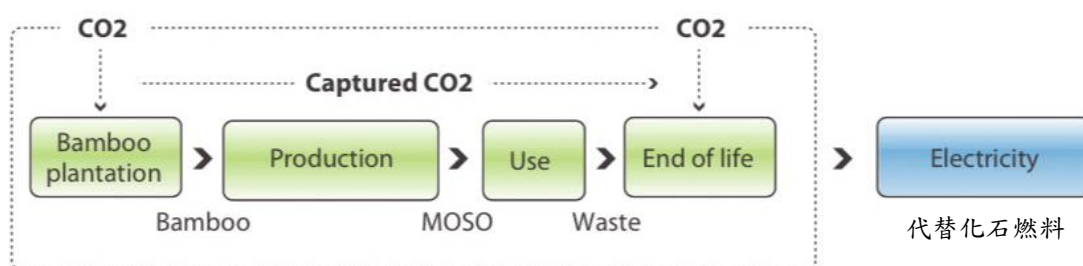


圖 43、竹產品轉換成能源全生命週期碳循環

4.2 生質顆粒燃料生產原理及特性

生質顆粒燃料 (Bio-Pellet) 包括竹顆粒 (Bamboo Pellet) 及木顆粒 (Wood Pellet)，生產原理是指在一定的溫度及壓力作用下，利用木質素充當粘合劑，將鬆散的竹(木)屑、結桿、樹枝等農林生質物壓縮成棒狀、塊狀或顆粒狀等成型燃料，能量密度與中質煙煤相當，高位發熱值可達 4,190 ~ 4,266 kcal / kg (工業污染防治，第 140 期 (AUG, 2017) 129)，生質顆粒燃料具儲存、運輸、使用方便、清潔環保及燃燒效率高等優點，且在鍋爐燃燒應用上與煤炭相比，NO_x、SO₂ 和 PM 2.5 等污染物排放低，實現高效、清潔衛生有效利用的途徑之一，目前在歐洲已廣泛使用於生活用途，包括冬季取暖、日常休閒燒烤、戶外活動等。

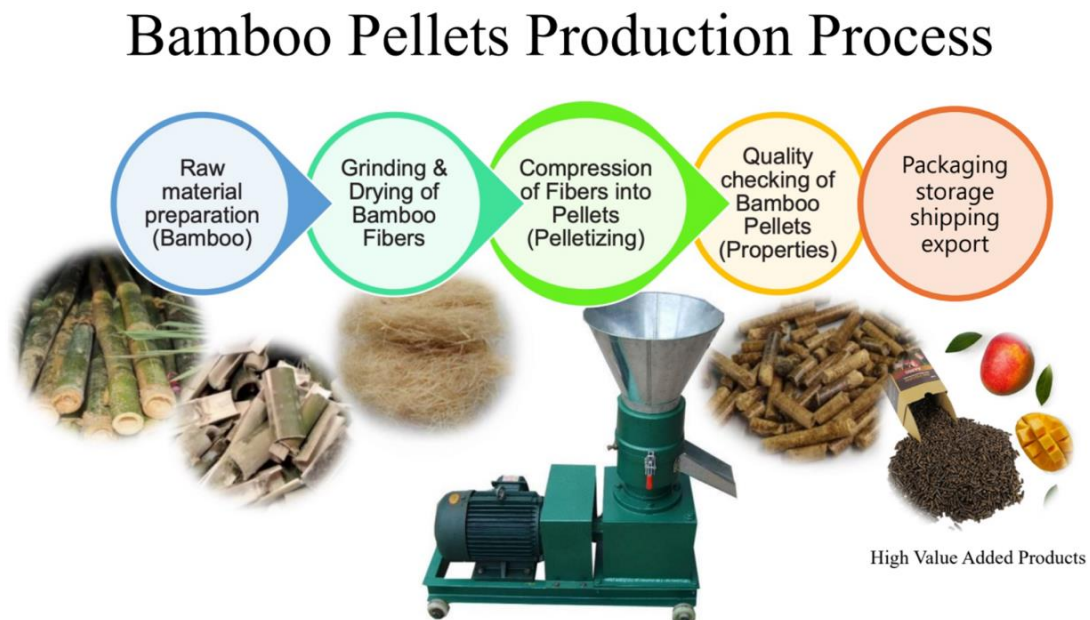


圖 44、竹顆粒生產流程圖

(FRIM Timber technology bulletin No: 108, 2021)

4.3 竹顆粒之應用及特性

竹顆粒之應用範圍甚廣，主要可區分為「工業用途」及「生活用途」，其燃燒功能與效果與木顆粒(wood pellet)相當。家庭供暖(自 2021.2 俄烏戰爭爆發以來，歐盟各國家庭供暖生質燃料 Wood/Bamboo pellets 需求量驟增)，燒烤休閒，馬廄鋪墊(Bedding)，工業用途可直接代替煤炭、天然氣等化石燃料(Fossil fuels)，供熱及汽電共生 (FRIM TIMBER technology Bulletin No.108.2021)，如圖 45、圖 46。

目前歐盟家庭供暖多採用木竹生質燃料 (Wood Pellet)，配置數位自動控制系統，可有效利用燃料及溫度調節，歐美建築隔熱功能 (Thermal Insulation Function) 設計良好，冬季 (4 個月) 僅需 4 噸木顆粒燃料，若以每噸價格 USD 250，則每月僅需 NTD 8,000 左右，以 EU 國民所得水平足以負擔。

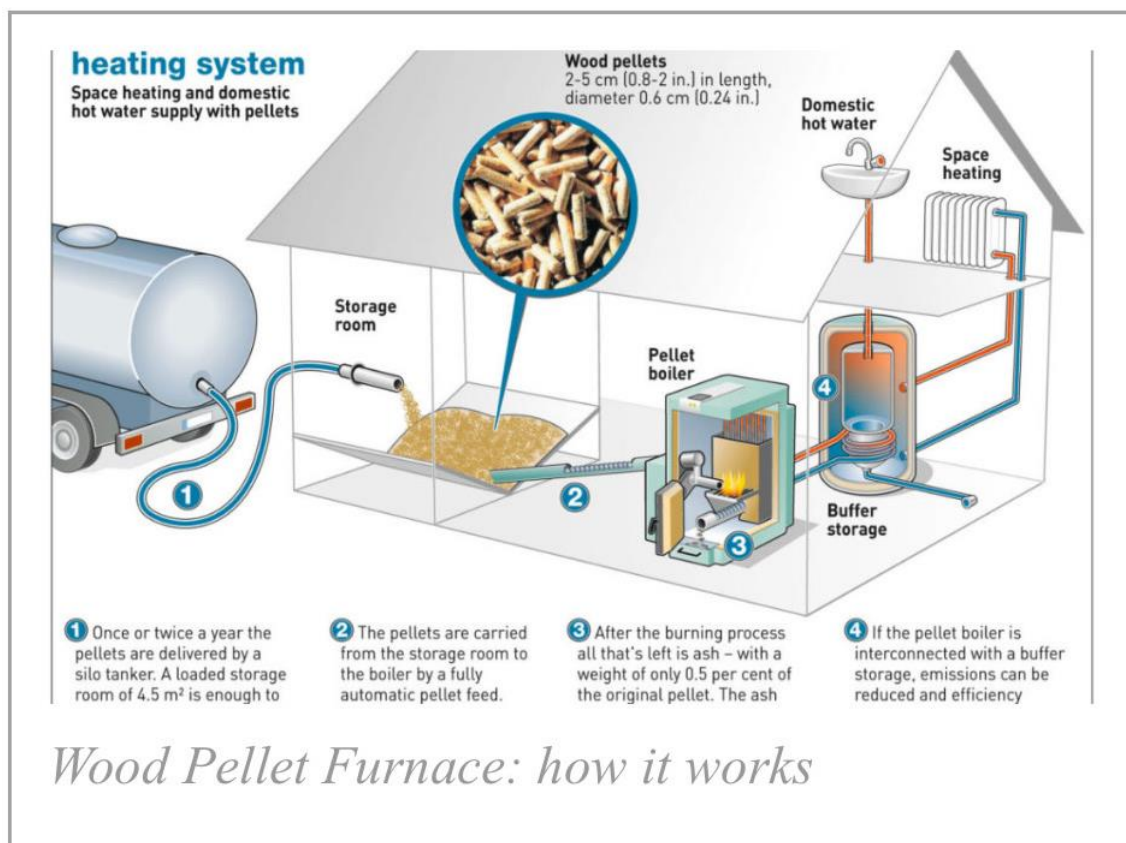


圖 45、歐盟 EU household heat system

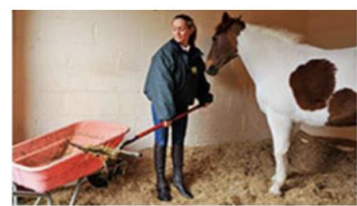
Credit: Bamboo pellets applications (Anon. 2021)



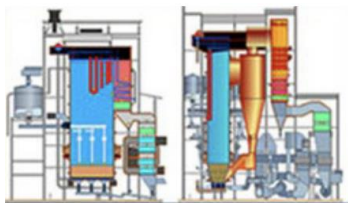
Home heating



Grilling



Horse bedding



Industrial boilers



Biomass gasifiers



Power station

圖 46、竹顆粒應用功能圖

Credit: Bamboo pellets applications (Anon. 2021)

竹顆粒之特性較一般木顆粒為優，例如含水率 MC% (6.0 : 7.3)，灰份低% (1.1 : 1.2)，熱值高 MJ/kg (20.1 : 19.7)，密度大 kg/m³ (1102 : 1069)，詳如表 17。

表 17、竹顆粒與木質顆粒成分含量特性比較表

Comparison of properties of bamboo pellets with commercial wood pellets

Properties	Bamboo Pellets	Commercial Pellets	Guiding value DIN51731 (1996)
Length (mm)	35.0	28.7	<50
Diameter (mm)	6 - 8	8.0	4-10
● Moisture content (MC) (%)	<u>6.0</u>	<u>7.3</u>	<u><12</u>
Volatile Matter (VM) (%)	77.9	79.7	-
● Ash content (%)	<u>1.1</u>	<u>1.2</u>	<1.5
★ Fixed carbon (FC) (%)	14.2	14.9	-
Durability (%)	98.0	98.0	-
● Calorific value (MJ/kg)	<u>20.1</u>	<u>19.7</u>	<u>17-19</u>
● Density (kg/m ³)	<u>1102</u>	<u>1069</u>	-
Bulk Density (kg/m ³)	599	631	>600

(FRIM Timber technology bulletin No: 108, 2021)



4.4 生產設備

生產機械設備選型及生產線配置 (Layout)，經分別與歐洲、德國、奧地利及中國大陸廠商洽接比較，主要評量要素如下：

- (1) 機械設備整體效率及耐用度
- (2) 維修保養難易度
- (3) 控制系統(半自動)操作簡易度
- (4) 售後服務 / 人員培訓 / 零配件供應 / 組裝試車
- (5) 整體性價比 / 耗能比

經綜合評量以中國大陸「X」設備廠商「性價比」最佳設備性能條件相同情況下，「X廠商報價」價差達二分之一。同時願意配合以「Turn-Key Project」交鑰匙工程模式達致協議，對發展中國家、偏遠地區項目建設是一大優勢。

本專案生產廠房用地需約 5,000 平方公尺，另含倉儲用地 10,000 平方公尺，為因應越南雨季長達 6 個月，必須維持原料安全庫存及適度乾燥，同時竹原料倉庫宜選擇「地平面下螺旋輸送系統 (Underground Screw Conveyor System)」為佳，以保障原料「先進先出」品質新鮮度及防止堆料底部經久積壓腐朽自燃等安全隱憂。如圖 47。

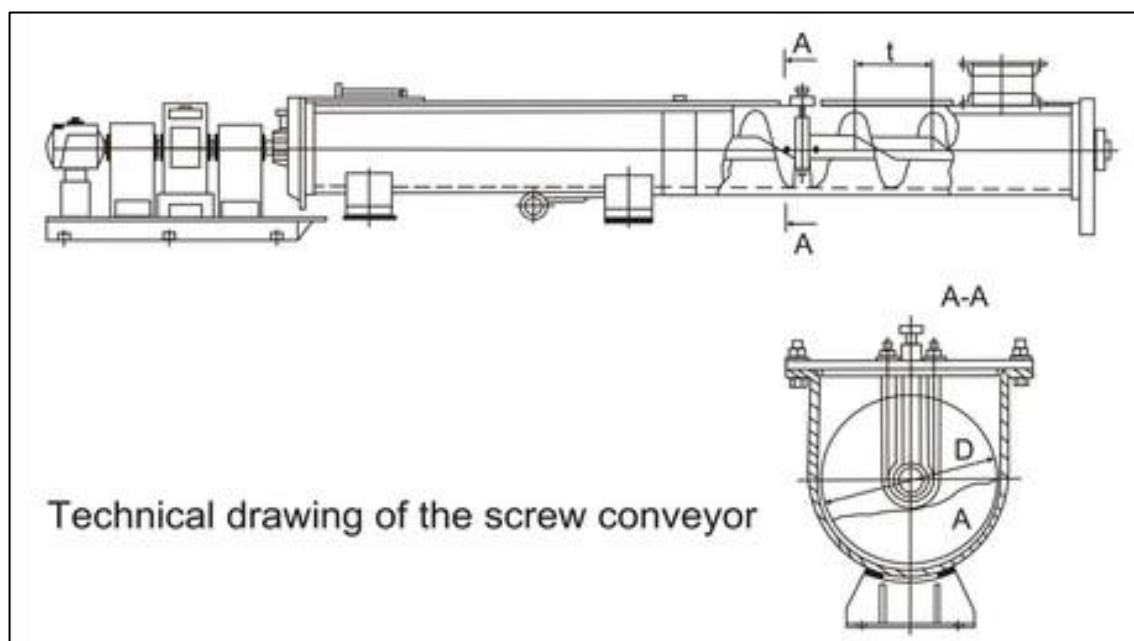


圖 47、地下螺旋式輸送方式技術示意圖

4.5 管理組織架構、產能設計、生產設備

「竹顆粒」生產工廠組織架構設有廠長兼永續長 1 人及 5 個功能部門(及主管 1 人)，(1) 林務 / 原料供應部；(2) 總務 / 法務 / 人事部；(3) 生產管理部；(4) 研發品管部；(5) 維修保養部。各部門工作職掌責任範圍詳如圖 48，人員配置視工作業務量可靈活調度增減，但需按照越南勞工法規定人工時 8 hrs/天、6 天/週、48 hrs/週。

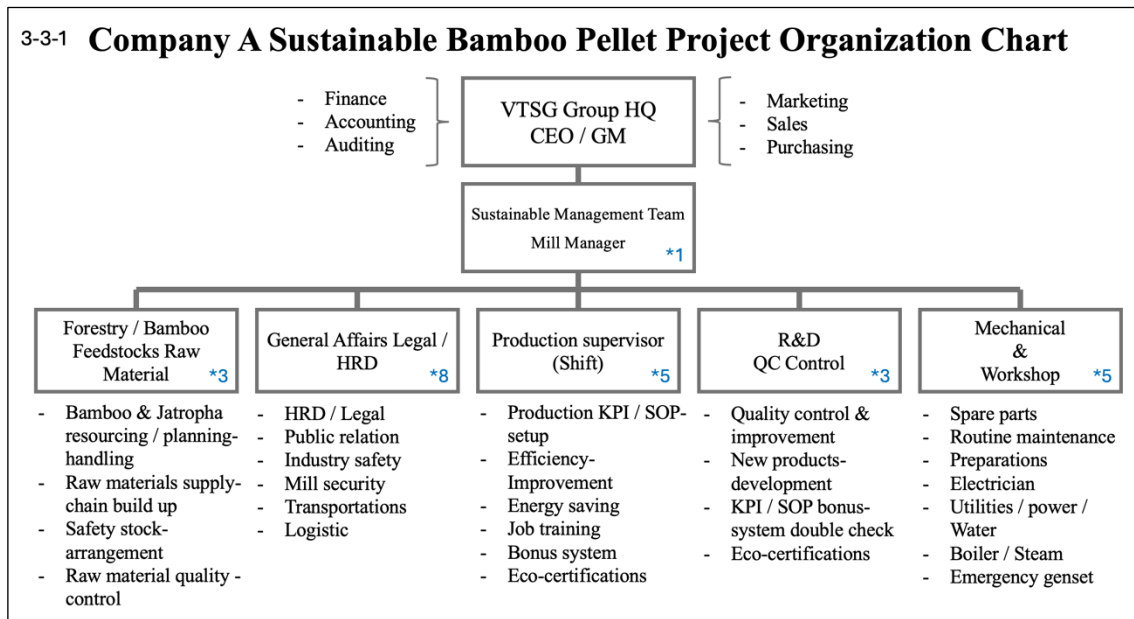


圖 48、「A」公司竹顆粒專案組織架構圖

(1) 產能設計：3 ton / hr × 8 hr / shift × 2 shifts / day

$$3.0\sim 4.0 \text{ T/hr} \times 2 \text{ production lines}$$

$$8 \text{ hrs / shift} \times 2 \text{ shifts} = 16 \text{ hrs} \times 6 \text{ tons / hr}$$

$$= 100 \text{ tons / day} \times 25 \text{ days / month}$$

$$= 2,500 \text{ tons/month} \times 12 \text{ months}$$

$$= 30,000 \text{ ton/ yr}$$

(2) 生產線流程

竹材原料切片 → 去磁、粉碎、貯存 → 去磁、乾燥 → 乾料貯存、備料 → 竹顆粒成型(加壓) → 冷卻靜置 → 分級、分類包裝 → 庫存、儲運 → 出口 / FOB

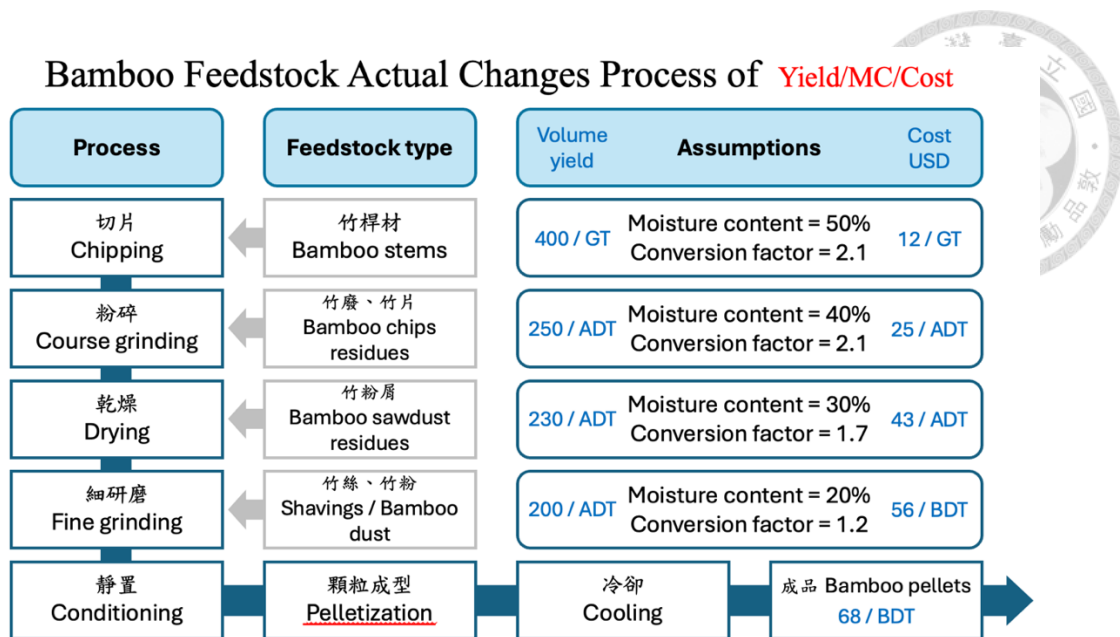


圖 49、竹材原料生產過程中得率、水分及成本之變化圖

(3) 生產線 (Production Line Layout)

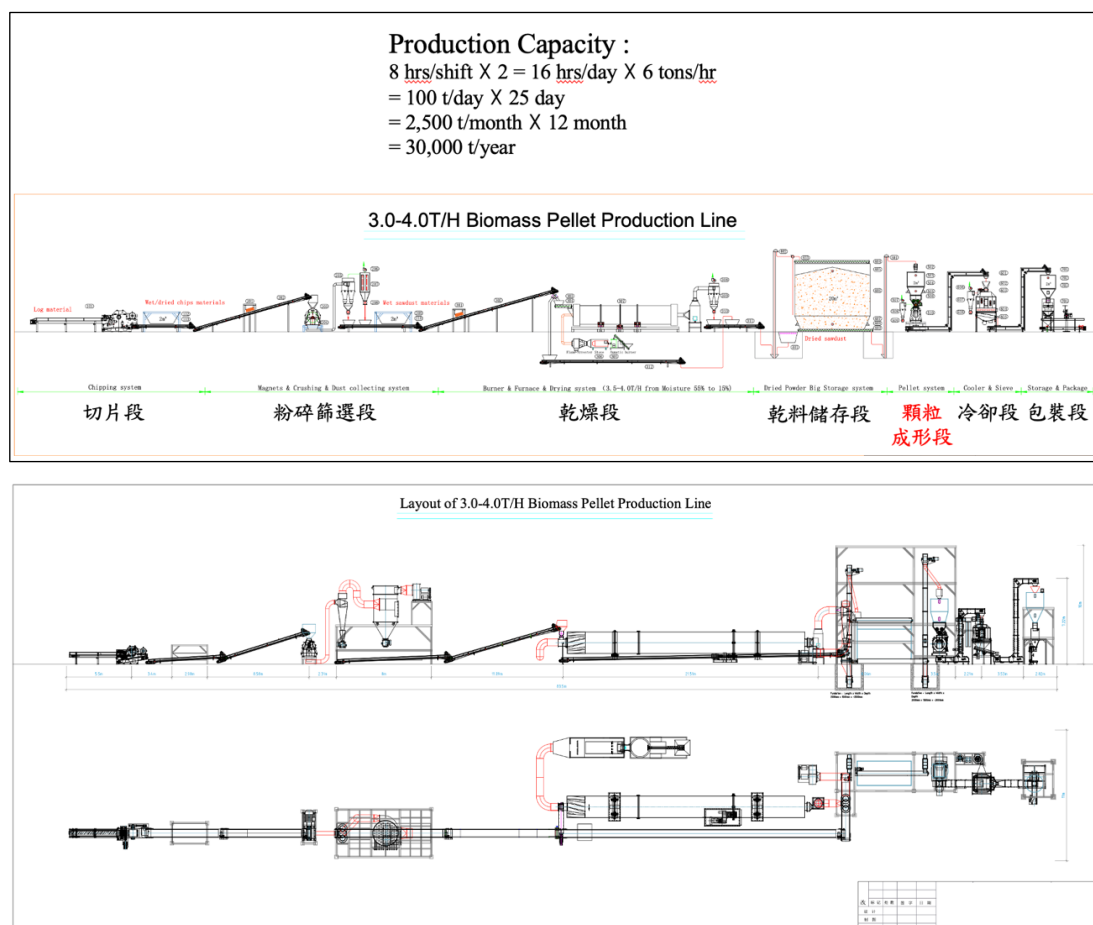


圖 50、竹顆粒生產線設計佈置圖

(4) 生產機械設備表

表 18、竹顆粒主要生產設備明細表



Main Production Equipments 3.0-4.0 T/hr (1/2)

- | | |
|--|---|
| 1. Chipping system | 3. Burner & furnace & drying system |
| 1-1 Inlet belt conveyor ① | 3-1 Chips & Biomass burner ⑧ |
| 1-2 Bamboo / Wood chipping ② | 3-2 Hot air stove furnace ⑨ |
| 1-3 Output belt conveyor with hanging magnet ③ | 3-3 Drum dryer ⑩ |
| 2. Crusher / Hammer mill | 4. Dried biomass power big storage system |
| 2-1 Crusher ④ | 4-1 Cyclone tank ⑤ |
| 2-2 Hammer mill ④ | 4-2 Belt conveyor ② |
| 2-3 Cyclone per chips storage ⑤ | 4-3 Screw conveyor ⑪ |
| 2-4 Dust collecting ⑥ | 4-4 Air lock |
| 2-5 U-screw conveyor feeder ⑦ | |

Main Production Equipments 3.0-4.0 T/hr (2/2)

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 5. Pelletizer system ⑫ | 7. Finished product storage bin |
| 5-1 Anti-arching feeder | 8. Packing system ⑮ |
| 5-2 Force / side feeder | 8-1 Auto packing machine |
| 5-3 Pellet machine ⑫ | 8-2 Height-adjustable belt conveyor |
| 6. Cooling & sieving system ⑭ | 8-3 Sewing (or heat sealing) machine |
| 6-1 Z-shaped chain bucket elevator ⑬ | 9. Mec control center, mimic control panel ⑰ ⑱ |
| 6-2 Air lock | 9-1 Cable & wire & bridge & tube ⑲ |
| 6-3 Cooling machine | 10. Equipment supporting steel structure ⑳ |
| 6-4 Vibrating sieve | |





圖 51、竹顆粒生產設備圖示

(5) 耗電量

最大耗電生產段係「竹顆粒成型段」佔 36%，其次為粉碎，貯存段佔 30%，原物料切片段佔 17%，以上應是能源管理，節能減碳重點工段。

表 19、生產耗電量統計表

3.0-4.0 T/H Biomass Pellet Production Line & Power Consumption

Main production equipments		Power (KW)
1	Chipping system	122.90
2	Magnets & Crushing & Dust collecting system	223.80
3	Burner & Furnace & Drying system	87.70
4	Dried Powder Big Storage system	9.00
5	Storage & Pelleting & Steam and dust collecting system	262.25
6	Cooling & Sieving system	18.70
7	Storage bin & Packing system	3.92
8	MCC Control Center ; Mimic control panel	
	Cables & Wire & Bridge & Tube	
Total power consumption : 728.27 Kwa/shift		

Fast Moving Spare Part List for 1-2 Year

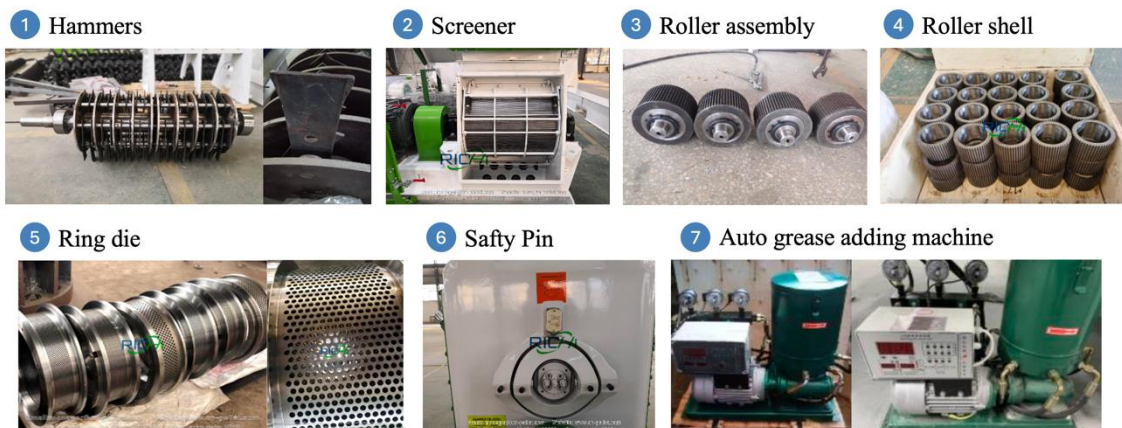


圖 52、常用零配件

第 5 章 碳足跡認證及方法學



5.1 LCA 方法學及其應用程序

LCA 全生命週期碳足跡評估方法學有數十種之多，本專案擬採用目前市場上應用最廣泛且被認可的「自願性減排 (Voluntary Emission Reduction VER Methodology)」是 Verra 機構參照 UNFCCC CDM 標準所制定的 VERRA VM0047 Version 1.0 (28/Sep/2023) for VCS of Afforestation, Reforestation and Revegetation 為主流。

竹林碳匯方法學是指通過管理竹林生態系統來測量和提升其吸收和儲存二氧化碳 (CO₂) 的能力，從而為碳減排和碳交易項目提供科學依據。竹林作為一種快速生長的植物類型，具有較高的二氧化碳吸收效率，因此在碳匯管理中具有很大的潛力。

VCS 確證執行流程圖

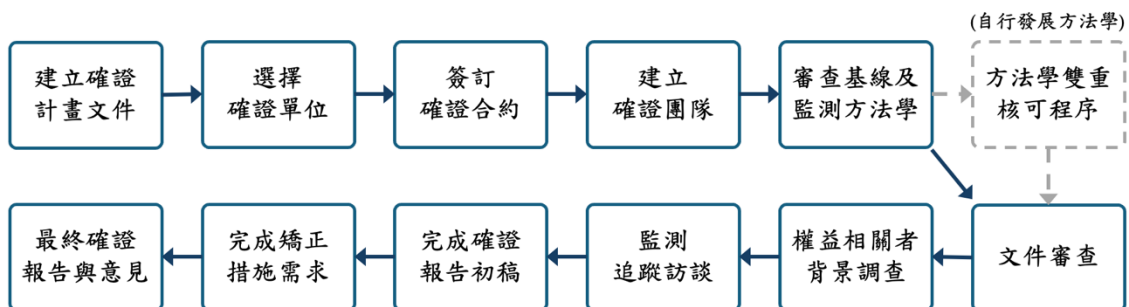


圖 53、VCS 確證執行流程圖

VCS 專案計畫流程圖

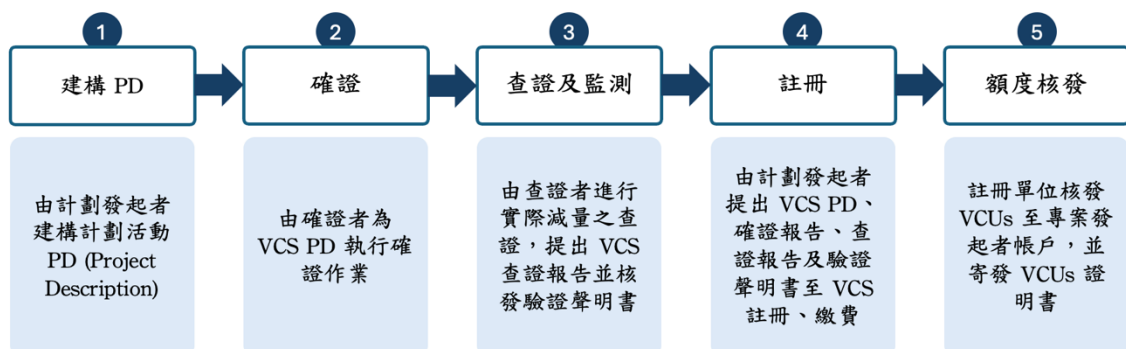


圖 54、VCS 專案計畫流程圖

5.2 VCS VM0047 methodology version 1.0 (28/Sep/2023)

Afforestation / Reforestation & Revegetation

procedure and criteria 基本要求及程序



- (1) Applicability Conditions / Project Description (PD) 申請資格條件及專案說明
- (2) Project Boundary 專案項目邊界定位
- (3) Baseline Scenario 專案執行基線情景描述
- (4) Additionality 附加性
- (5) Quantification of Estimated Carbon Removals / Sequestration 可量化碳移除或碳
吸存量
- (6) Leakage 碳洩漏
- (7) Monitoring 監測
- (8) Reporting of Project Implementation 專案執行報告書
- (9) Validation by Authorized Third Party 被認可及授權的第三方執行驗證
- (10) Verified Carbon Standard VCU Certified 被驗證合格的「碳信用單位」頒發。

逐項說明執行上述要求範例如後述。

5.3 VM0047 基本要求執行方法

5.3.1 Applicability Condition / Project Description (PD) 申請者資格條件 及專案說明

表 20、「A」公司竹林碳匯認證專案設計文件(範例)

A 公司竹林碳匯認證專案設計文件 (範例) Project Description Document

專案活動名稱	A 公司權屬竹林經營碳匯專案
專案類別	自願減碳 VCR (Volunteer Carbon Remove / Sequestration) 20,000 ha
專案設計實施及完成日期	2025 年 1 月 1 日～2045 年 1 月 1 日 (20年)
專案設計文件版本	V-01
申請專案備案的法人	A Company
專案業主 / 聯絡人	X X X 84-28-00000000
專案諮詢單位	ISO / BSI / TUV / BV / DNV (選一)
專案類型和選擇方法學	VCS VM0047 / CDM A/R
預計的溫室氣體年均吸存量	220,733 tCO ₂ e 當量 / 年

5.3.2 Project Applicability Condition 專案適用範圍及條件

- (1) 實施專案活動的土地為符合國家規定的竹林，鬱閉度大於 0.20，連續分佈面積大於 0.0667 hm²，成竹竹桿高度不低於 2m，竹桿胸徑不小於 2cm 的竹林。
- (2) 專案區不屬於濕地和有機土壤。
- (3) 專案活動不違反國家和地方政府有關森林經營的法律、法規以及有關強制技術性指標。如表 21。

國立臺灣大學

Project Applicability Conditions

5.3.3 Project Boundary 專案邊界定位

越南多樂省
Dak Lak Province
Bamboo Forest Area
座標：12° 40'N, 108° 3'E

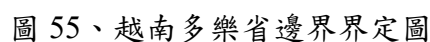


表 22、Project boundary 專案統計表 (範例)

A 公司設定竹林經營碳匯專案統計表 (範例)
Project Boundary

區 (Districts)	鄉鎮 (Communities)	統計單位村 (林班)	專案經營面積 (hm ²)	小班數量 (Compartments)
A	A1	A1-1	167.1	82
		A1-2		
	A2	A2-1	425	206
		A2-2		
		A2-3		
B	B1	B1-1	156.3	56
		B1-2		
==	==	==	==	==
合計	<u>15</u>	<u>133</u>	<u>20,000 ha</u>	<u>817</u>

表 23、專案作業區地理坐標 (範例)

A 公司專案作業區地理坐標 (範例)
Project Boundary

專案範圍	林班	四方位座標			
		東	南	西	北
A1	A1-1	118° 1' 28" 26° 51' 19"	118° 0' 42" 26° 50' 9"	117° 59' 10" 26° 51' 18"	118° 0' 17" 26° 52' 30"
	A1-2	118° 1' 51" 26° 53' 0"	118° 0' 47" 26° 54' 23"	117° 59' 42" 26° 55' 54"	118° 1' 1" 26° 57' 13"
A2	A2-1	118° 3' 39" 26° 51' 19"	118° 0' 56" 26° 53' 18"	118° 1' 6" 26° 54' 26"	118° 2' 16" 26° 55' 35"
	A2-2	118° 2' 51" 26° 54' 34"	118° 0' 56" 26° 53' 18"	118° 1' 6" 26° 54' 26"	117° 58' 29" 26° 53' 47"
B1	B1-1	117° 59' 13" 26° 52' 0"	117° 58' 22" 26° 51' 22"	117° 57' 17" 26° 52' 32"	117° 58' 289" 26° 53' 47"
==	==	==	==	==	==

運用 GIS、GPS 進行定位

Project Boundary

VCS 認證必備文件範例

林地經營
小班圖

Digitized compartment
maps for plantation
management and
monitoring.

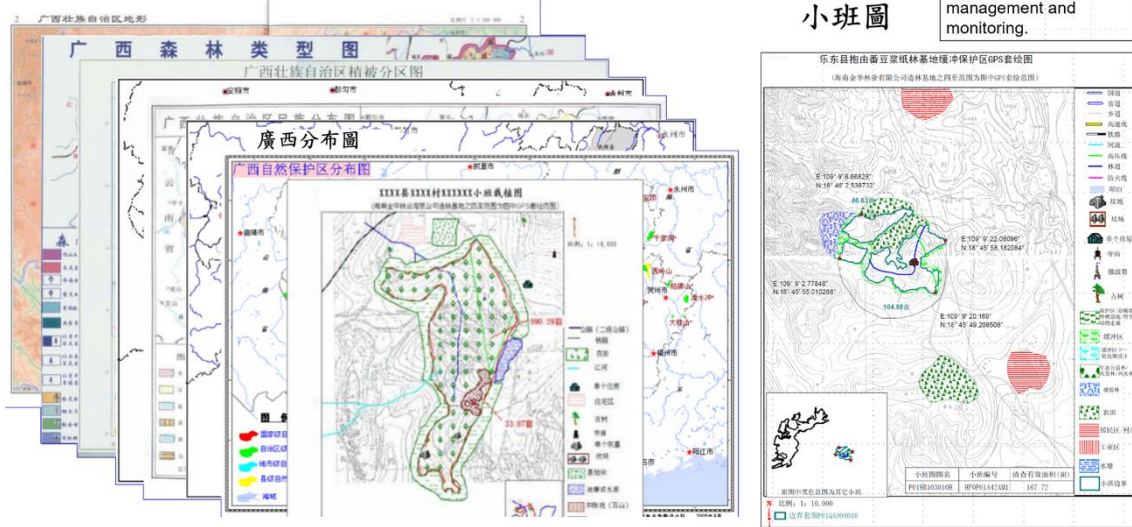


圖 56、專案小班圖

Project Boundary Pilot & Sampling Sites (Example)

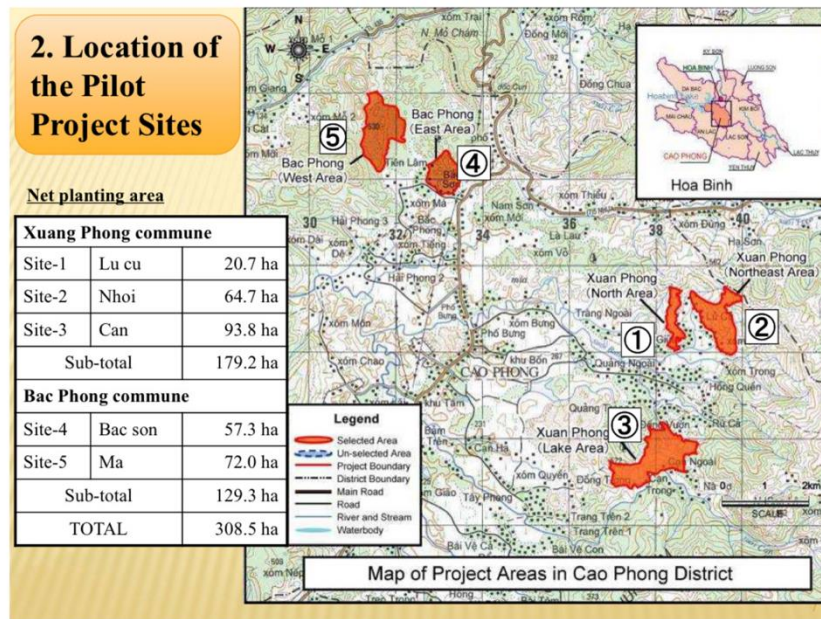


圖 57、樣區邊境小班圖



5.4 Baseline Scenario 基線情景描述

5.4.1 基線情景描述

根據本專案所採用的方法學，由於專案區內竹林屬於粗放經營無撫育管理，老竹枯損與新生竹生長之總生物量處於動態平衡狀態，因此竹林基線地上生物量及碳吸存變化量可視為「零」。如圖 58。

Baseline Scenario

1. 根據本專案所採用的《方法學》，由於專案區內竹林處於粗放管理，老竹枯損及新竹生長總生物量處於動態平衡狀態，因此竹林基線地上生物質碳儲變化量為零。
2. 圖 1，老竹(孟宗竹)未經砍伐之生長量在第 10 年即已停止增加。
(與中國杉木 30 年之比較)
圖 2，毛竹經適當砍伐(擇伐)其生長量有逐年增加之趨勢。
(與中國杉木 60 年之比較)

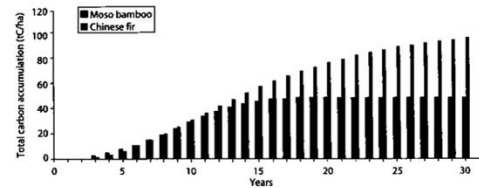


圖 1. Patterns of modelled aggregated carbon accumulation of newly established Moso bamboo - no harvest scenario - and Chinese fir plantations (Kuehl et al, 2013)

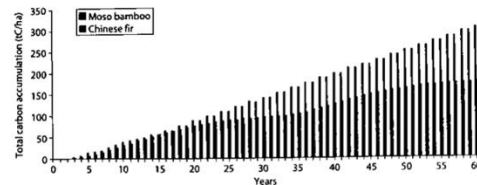


圖 2. Patterns of modelled aggregated carbon accumulation of a hectare of newly established Moso bamboo - regular harvest scenario - and Chinese fir plantations over 60 years. In a managed bamboo forest, where harvested bamboo is converted into durable bamboo products, a significantly higher amount of carbon is sequestered for the long term.

Credit: INBAR Technical Report No.35

圖 58、基線情景描述圖

5.4.2 VCS 碳庫基線生物量類別基線選擇

- (1) 地上生物碳儲量 (AGC)
- (2) 地下生物碳儲量 (BGC)
- (3) 土壤有機質碳儲量 (SOC)
- (4) 竹材產品碳庫 50% (竹顆粒)
- (5) 枯死竹及枯落物不計

表 24、VCS 碳庫基線選擇 (範例) Baseline scenario



VCS 碳庫基線的選擇 (範例) Baseline Scenario

碳庫	是否選擇	理由或解釋
地上生物量 (AGC) Above Ground Carbon	是	竹林桿枝葉經營專案活動影響的主要碳庫
地下生物量 (BGC) Below Ground Carbon	是	竹林根部經營專案活動影響的主要碳庫
枯死木 / 竹	否	根據成本有效性原則，選取忽略該碳庫
枯落物	否	根據保守性和成本有效性原則，選取忽略該碳庫
土壤有機碳 (SOC) Soil Organic Carbon	是	計算竹林土壤有機質含量及其碳庫
竹材產品碳庫 14% Pellet Carbon Content	是	供應竹顆粒生產及 LCA

5.4.3 「A」公司集約經營事前專案分層表 (範例)

為求專案碳足跡基線精確，計畫竹林分 5 年調整林齡結構為 1 年生：2 年生：3 年生：4 年生＝25%：25%：25%：25%，先設定試驗標準樣區，定期監測、紀錄、比較，如表 25、圖 59。

表 25、集約經營事前專案分層表

A 公司集約經營事前專案分層表 (範例) Baseline Scenario

事前專案 碳層編號	調整年限	平均胸徑	竹林密度 (公頃株數)	竹林結構 (度：林齡)	面積 (hm ²)
PROJ-1	5	11	2,700	1度：2度：3度：4度 ＝1：1：1：1	351.8
PROJ-2	5	12	3,000	1度：2度：3度：4度 ＝1：1：1：1	531.4
PROJ-3	5	11.5	3,200	1度：2度：3度：4度 ＝1：1：1：1	503.5
==	==	==	==	==	==
合計					2278.5

竹林永續經營之模式 (擇伐作業)

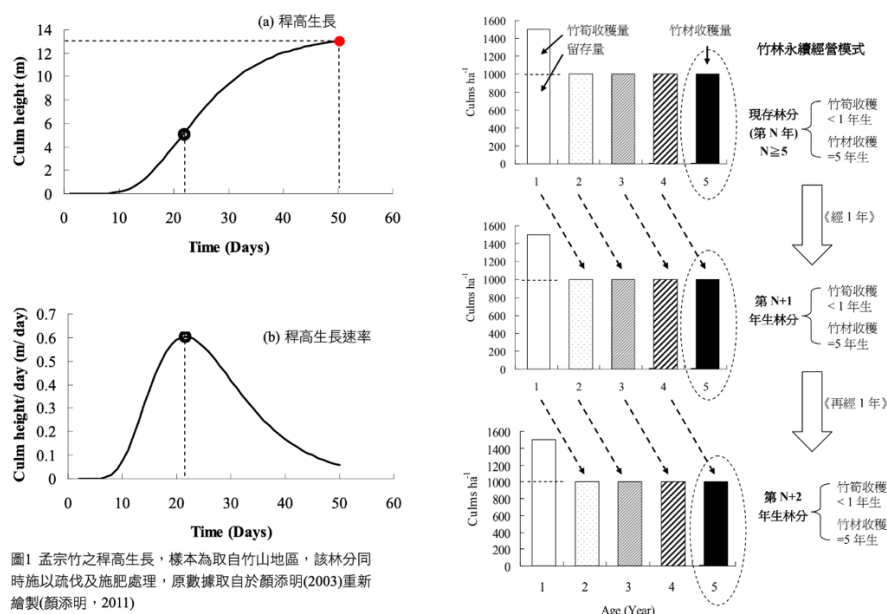


圖 59、永續收穫模式圖

5.5 Additionality (碳匯) 附加量

如第 2 章、第 2.3 節表 2 所述，國內外多項試驗證明無論是「單桿散生」如孟宗竹(毛竹)或「合軸叢生」蔴竹，「集約經營」比「粗放經營」之總生物量平均可增加 3 倍，專案實施中必須設定永久樣區及對比樣區，長期監測、紀錄、統計分析作為「增加量」之證據。

5.6 Quantification of Estimated Carbon Removals / Sequestration 量化估算碳移除或碳吸存量

- (1) 根據國際竹籐組織 INBAR Working Report 2021 估計國際間竹類在生態系統中枝碳吸存量與一般森林、普通人工林及中國杉木人工林及草地之 AGC、BGC、SOC、TEC 之比較，其中差異甚大，但可做為專案實施中之參考值，如表 26。

表 26、竹林總生態系碳吸存參考指標



Bamboo Forest Total Ecosystem Carbon (International index for reference)

Species	AGC	BGC	SOC	TEC
Bamboo (general)	16 - 128	8 - 64	70 - 200	94 - 392
Moso	33.2	14.8	120 (average)	168
Guadua	69.9	7.5	79 (average)	156.4
Forest (general)	40 - 400	11 - 74	75 - 225	126 - 699
Tree plantations (general)	15 - 200	5 - 33	65 - 196	85 - 429
Chinese fir plantation (after 30 years) (Kuehl et al. 2013; Yiping et al. 2010)	89		93.2 (including BGC)	182.2
Grassland / pasture	2 - 35	2 - 4	66 - 198	70 - 237

Table 1: Estimated ranges of mean values (unless otherwise stated) of above ground carbon (AGC), below ground carbon (BGC), soil organic carbon (SOC), total ecosystem carbon (TEC = AGC + BGC + SOC) in tC/ha, based on Yuen et al. (2017).

- (2) 台南左鎮地區蔴竹林之生長與生物量調查 (陳財輝、汪大雄、鍾欣芸，民國 101 年 6 月，中華林學季刊)，60 年生泥岩地 (月世界) 復舊造林每公頃母株 625 株，最後成為 300 叢 (Clumps ha⁻¹)，估林地面積 37.1%，竹桿密度可達 24,533 支 (Clumps ha⁻¹)，竹桿密度極高，林分生物量乾重：地上部竹桿生物量乾重為 208.0 ton / ha⁻¹，竹枝量為 17.5 ton / ha⁻¹，出筍量為 18.3 ton / ha⁻¹，地上部乾重總共為 243.8 ton / ha⁻¹，較其他國產竹為高，蔴竹地下部林分生物量乾重為 318.7 ton / ha⁻¹，合計蔴竹林地上部及地下部總乾重為 562.5 ton / ha⁻¹，蔴竹現存生物量極高。
- (3) 越南 Dak Lak 地區竹類量化碳吸存量 (生物量乾重 × 含碳率) 需作樣區調查，並做長期監測、紀錄、報告，並參考國內外同類屬竹種之碳吸存量做對比參照。本專案擬透過集約經營、擇伐及獎勵制度，初步預估其可量化碳吸存量，如第 3 章 3.4 節 INBAR Working Report 2021 所述。
- (4) Quantification of Estimated Carbon Sequestration Removals / Sequestration Sustainable Management
- 1-1. Select Cutting (Harvest System) : 30% ~ 50% / ha
- 1-2. Intensive Management



1-3. Life Cycle Assessment (LCA) Estimated (conservative)

1-3-1. Above Ground Carbon (AGC) : 23 tCO₂e/ha

1-3-2. Below Ground Carbon (BGC) : 15 tCO₂e/ha

1-3-3. Soil Organic Carbon (SOC) : 14 tCO₂e/ha

1-3-4. Total Ecosystem Carbon (TEC) :

$$\begin{aligned}(\text{AGC} + \text{BGC} + \text{SOC} = \text{TEC}) &= 1,040,000 \text{ tCO}_2\text{e}/5\text{yrs} \\ &= 208,000 \text{ tCO}_2\text{e}/\text{yr}\end{aligned}$$

5.7 Leakage 碳洩漏

本專案之碳洩漏 (Leakage) 可分上、中、下游三個部分核算。

(1) 上游 Supply Chain : 415.9 tCO₂e/year

- Transportation (400 GT/day) : 61.2%
 - $50 \text{ km} \times 20 \text{ t} / 20 \text{ trips} = 1,000 \text{ km}$
 - $1,000 \text{ km} \div 3.98 \text{ km/L} = 251 \text{ L/day}$
 - $251 \text{ L} \times 3.38 \text{ kg/L} = 848 \text{ kgCO}_2\text{e/day} \times 300 \text{ day}$
 $= 254,400 \text{ kgCO}_2\text{e/year} = \mathbf{254.4 \text{ tCO}_2\text{e/year}}$
- Cultivation & Harvesting : 38.8%
 - 肥料生產 (36.2%)
 - 有機肥碳排係數 : 28.95 kgCO₂e/t
 - $20,000 \text{ ha} \times 260 \text{ kg/ha} \times 28.95 \text{ kgCO}_2\text{e}$
 $= 150,540 \text{ kgCO}_2\text{e} = \mathbf{150.5 \text{ tCO}_2\text{e/year}}$
 - 肥料運輸 (2.6%)
 - $260 \text{ kg} \times 20,000 \text{ ha} = 5,200 \text{ t}$
 - $5,200 \text{ t} / 20 \text{ t} = 260 \text{ trips} \times 50 \text{ km}$
 $= 13,000 \text{ km} \div 3.98 \text{ km/L}$
 $= 3,266 \text{ L} \times 3.38 \text{ kgCO}_2\text{e}$
 $= 11,039 \text{ kg} = \mathbf{11.0 \text{ tCO}_2\text{e}}$

(2) 中游 Pellet Production Line : 1596.1 tCO₂e/year

- Production line 總用電量 : 99.2%
 - $11,652 \text{ kwh} \times 0.453 \text{ kgCO}_2\text{e/kwh}$
 $= 5,278 \text{ kgCO}_2\text{e/day} \times 300 \text{ day}$



$$= 1,583,400 \text{ kgCO}_2\text{e/year} = \mathbf{1,583.4 \text{ tCO}_2\text{e/year}}$$

- 廠內生產運輸：0.8%
 - $50 \text{ km} \div 3.98 \text{ km/L} \times 3.38 \text{ kg/L}$
 $= 42 \text{ kgCO}_2\text{e/day} \times 300 \text{ days}$
 - $= 12,738 \text{ kgCO}_2\text{e/year} = \mathbf{12.7 \text{ tCO}_2\text{e/year}}$

(3) 下游 Logistic：254.8 tCO₂e

- Transportation (FOB)
 - Mill → Harbour：200 km
 - 30,000 t / 20 t (Container)：1,500 (20') Containers / Trips
 - $200 \text{ km} \div 3.98 \text{ km/L} \times 3.38 \text{ kgCO}_2\text{e/L} \times 1,500$
 $= 254,774 \text{ kg} = \mathbf{254.8 \text{ tCO}_2\text{e}}$

Leakage G.Total：2,266.8 tCO₂e/year

- 3.98 km/L (公里/公升柴油)
 - 3.38 kgCO₂e/L (公升柴油碳排量)
 - 2.535 kgCO₂e/ton 中質煙煤碳排
 - 1.879 kgCO₂e/m³ LNG

經濟部能源局

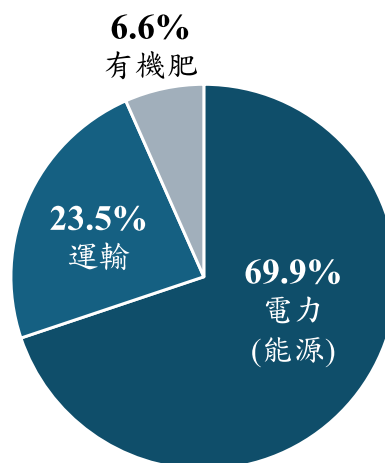


圖 60、碳洩漏比例圖

5.8 Monitoring 監測 / 紀錄

- (1) 本專案擬在每一區、鄉、鎮不同立地條件及竹種選擇設定「固定永久樣區」，此樣區必須為設在鄰近營林範圍之外及對比樣區 3~5 個 × 15 個行政區 = 45~75 個，每年執行樣區調查，樣區面積 10×10m，逢機取樣竹齡 3、4、5 年生樣竹分上、中、下段，各截取 10 公分樣本，立即秤鮮重編號、紀錄、密封，帶回試驗室低溫烘乾，並記錄乾重得到生物量 (Biomass) × 含碳率 CCP，可得碳吸存量，匯總、統計、分析、紀錄。

(2) 實際採樣包括 AGC、BGC、SOC 操作模式如圖 61、圖 62。

Bamboo LCA Monitoring & Assessment



圖1 桂竹林各部位生物量調查 (陳財輝 攝)

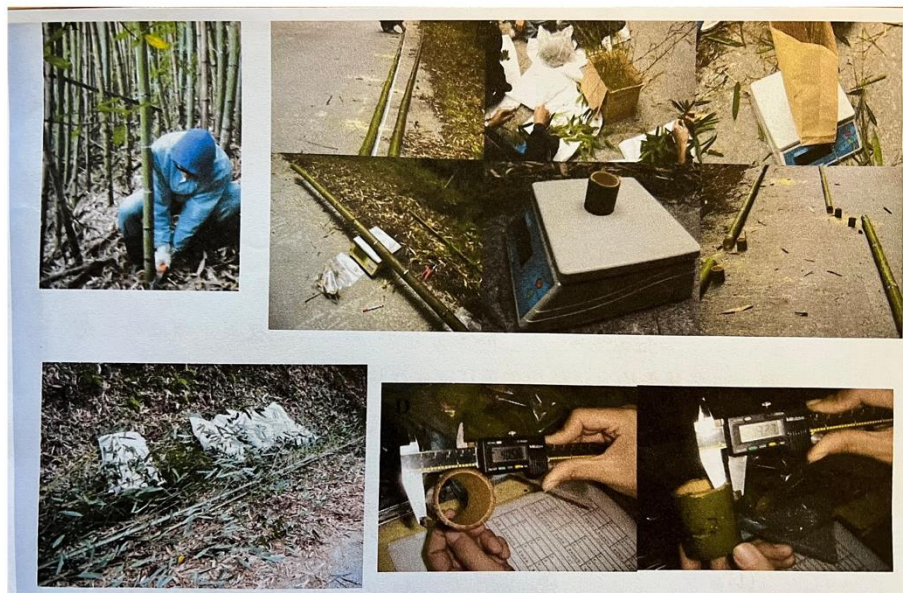
Above Ground Carbon (AGC)



圖2 桂竹林地下部根系生物量調查 (陳財輝 攝)

Below Ground Carbon (BGC)

圖 61、現場監測紀錄作業圖



Above Ground Carbon (AGC) Analysis

生物量之測定：自基部伐採樣竹，截取竹桿上、中、下部及枝葉樣本秤鮮重，並立即紀錄編號封存。

圖 62、分段取樣作業圖

Soil Organic Carbon



圖1 挖掘土壤剖面到 C 層或岩層，未能挖至 C 層或岩層者至少需挖120公分深度(杜清澤 攝)



圖2 利用土罐法採取3-5個土壤樣本進行土壤容積測定(杜清澤 攝)



圖3 樣本經前處理及風乾磨粉後壓錠以備進行碳、氮百分組成測定(杜清澤 攝)

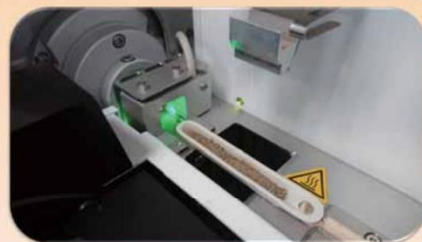
圖 63、土壤取樣檢測圖

竹林分土壤有機質含量檢測 (CO₂含量)

- 土壤檢測室可做土壤透析度、元素分析、重金屬...等檢測。
- 600g 竹林土壤樣品：五份 / 樣區。
- 經由高溫 600°C 裂解法，檢測可得 CO₂ 含量。
- PPC 經公式換算即可得土壤有機質含量數據。



土壤有機質含量快速檢測儀器



土壤樣品盛裝於陶瓷
進樣槽直接進樣分析

圖 64、土壤有機質含量檢測儀器圖

(桃園農業改良場)

(1) 植物碳吸存計算公式

(1) 植物碳吸存計算公式：

$$C_{\text{plant}} = V_{\text{stem}} \times V_{\text{wholestem}} \times W_g / V_g \times C_{\text{con}} \times (CO_2 / C)$$

C_{plant} ：單株CO₂儲存量
 V_{stem} ：幹材材積
 $V_{\text{wholestem}}$ ：全株材積與幹材材積轉換係數，亦稱擴展係數(Expansion Factor, EF)
 W_g / V_g ：重量與材積轉換係數，即幹材基礎密度(Density, D)
 C_{con} ：碳含量轉換係數(Carbon Fraction, CF(%))，一般以0.5計算
 CO_2 / C ：二氧化碳與碳轉換係數，CO₂分子量為44，C分子量為12

(2) 單桿竹 CO₂ 儲存量估算式

(2) 單桿竹CO₂儲存量估算式：

$$C_{\text{bamboo}} = ((W_{\text{culm}} \times C_{\text{con-culm}}) + (W_{\text{branch}} \times C_{\text{con-branch}}) + (W_{\text{leaf}} \times C_{\text{con-leaf}})) \times (CO_2 / C)$$

C_{bamboo} ：單桿竹CO₂儲存量
 W_{culm} ：竹桿絕乾重
 $C_{\text{con-culm}}$ ：竹桿含碳率
 W_{branch} ：竹枝條絕乾重
 $C_{\text{con-branch}}$ ：竹枝條含碳率
 W_{leaf} ：竹葉絕乾重
 $C_{\text{con-leaf}}$ ：竹葉含碳率
 CO_2 / C ：二氧化碳與碳轉換係數，CO₂分子量為44，C分子量為12

(3) 單桿散生竹林 CO₂ 儲存量估算式

(3) 單桿散生竹林CO₂儲存量估算式：

$$C_{\text{monopodial}} = C_{\text{bamboo-monopodial}} \times N_1 \times A$$

$C_{\text{monopodial}}$ ：單桿散生竹林CO₂儲存量(kg/ha)
 $C_{\text{bamboo-monopodial}}$ ：散生單桿竹平均CO₂儲存量(kg/culm)
 N_1 ：每公頃平均桿支數(culm/ha)
 A ：公頃數(ha)

(4) 叢生竹林 CO₂ 儲存量估算式

(4) 叢生竹林CO₂儲存量估算式：

$$C_{\text{sympodial}} = C_{\text{bamboo-sympodial}} \times N_1 \times N_2 \times A$$

$C_{\text{sympodial}}$ ：叢生竹林CO₂儲存量(kg/ha)
 $C_{\text{bamboo-sympodial}}$ ：叢生單桿竹平均CO₂儲存量(kg/culm)
 N_1 ：每叢平均桿支數(culm/clump)
 N_2 ：每公頃平均叢數(clump/ha)
 A ：公頃數(ha)

(林裕仁 製)

Source: 林業研究專訊 Vol.30 No.5 2023

圖 65、碳儲存量計算公式

森林土壤碳庫量的估算方法

土壤碳庫的估算方法依尺度的不同而有些差異，大致有整合文獻、土壤類型法、氣候與植群法、模型方法及GIS（地理資訊系統）估算法。雖然估算方法有所不同，但土壤剖面碳儲量大致上仍採用土壤的總體密度(Bulk Density)、有機碳含量及土壤深度的乘積獲得，公式如下：

此處：

SOC = 相關土壤的土壤有機碳儲量，百萬克碳 / 公頃 (Mg ha⁻¹)

[SOC] = 特定土壤重量中的土壤有機碳濃度 (來自實驗室分析)，克碳 / 千克土壤 (g kg⁻¹)

Bulk Density = 每樣本體積的土壤重量，百萬克 / 米³ (Mg m⁻³)

Depth = 抽樣深度或厚度或土壤層，米 (m)

Coarse Fragment = 1 - (粗碎屑體積 / 100%)

10 為將單位轉換為百萬克碳 / 公頃採用 10 的倍數。

$$SOC = [SOC] \times \text{Bulk Density} \times \text{Depth} \times \text{Coarse Fragment} \times 10$$

Source: 林業研究專訊 Vol. 29, No.2 2022，林試所育林組

5.9 Reporting of Project Implementation 專案執行報告

依照 VM0047 方法學執行重點要求，各林場必須具備「工作日報表」、「月報表」、「季度報表」、「年度報表」，均需以「數位方式 (Data Base)」記錄，以備隨時查驗。專案各級單位包括事業區、林場、小班工作站，報表內各依 VM0047 要求重點包括：

- (1) 專案項目邊境保護監測
- (2) 基線生長量 / 生物量監測報告
- (3) 量化生物量增減紀錄
- (4) 全生命週期碳洩漏盤查報告
- (5) 各事業區、林場、林班工作站氣象監測紀錄
- (6) 內部稽核報告 (包括缺失及改進記錄)
- (7) 專案方法學 VM0047 執行年報草案，以便第三方驗證單位查核參考

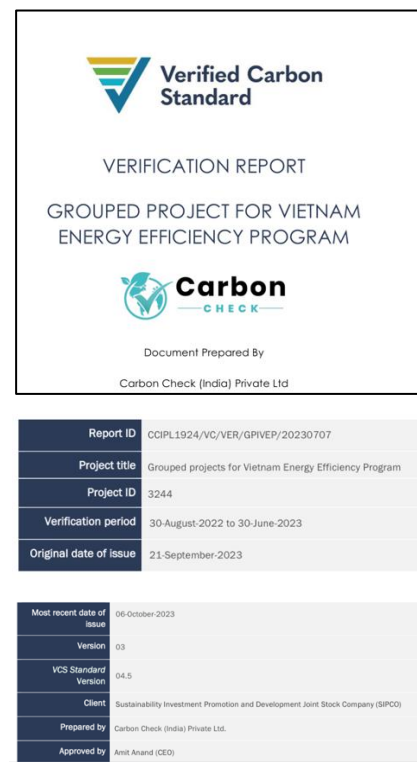
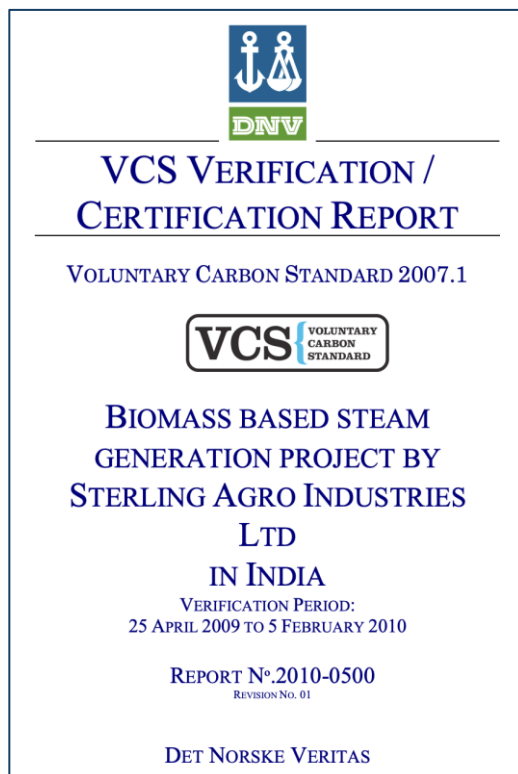


圖 66、第三方認證公司正式查驗報告 (案例)

5.10 Validation / by Authorized Third Party

世界著名查證單位如下表，專案選擇第三方驗證單位依其在地信譽、工作能量、配合度及專業人員素質為主要考量因素，經雙方洽商相互瞭解達成共識後簽約執行，越南地區可優先考慮法國 BV 認證公司，因「法、越」曾有「殖民地」歷史背景，比較了解熟悉越南政治、社會、經濟之運作情形。

5.11 國際知名碳信用認證單位及其認證費用標準 (2020)

International Accreditation Institutes for Forest Certification and Carbon Credit Validation



1. SGS SA (Societe Générale de Surveillance 1878, Geneva)



2. TÜV Rheinland (Köln Germany, 1872)



3. BSI (British Standards Institution, 1901 LONDON)



4. BV (Bureau Veritas certification, 1828/PARIS)



5. DNV (Det Norske Veritas 1864 Norway)

(1) VCS (Verified Carbon Standard) 是 Verra 自願減碳方法學體系中的認證標準。

(2) VCU (Verified Carbon Unit) 是 Verra 體系內經過驗證的「碳移除」或「碳吸存」

計價單位，以每噸 CO₂ 當量當作一個 Unit (ton / unit)。

(3) VCS / VCU 的認證費用國際標準依據如表 27、表 28。

表 27、2024 年碳足跡認證基本費用國際標準

是否出具 認證報告	計畫年限	帳號開通費用	註冊費用	專家諮詢費用	計畫驗證費用
有	小於一年	500美元	到期前減排量 *0.1美元，上限 10,000美元	375美元/計畫	2,500美元/ 計畫/年
	超過一年	500美元	預期年度減排量 *0.1美元，上限 10,000美元	375美元/計畫	2,500美元/ 計畫/年
無	-	500美元	預期年度減排量 *0.1美元，上限 10,000美元	375美元/計畫	2,500美元/ 計畫/年

表 28、碳認證碳信用 VCU 收費標準

發行之VCU數量	美金/VCU
1-10,000	0.05
V 10,001-1,000,000	0.14
1,000,001-2,000,000	0.12
2,000,001-4,000,000	0.105
4,000,001-6,000,000	0.085
6,000,001-8,000,000	0.06
8,000,001-10,000,000	0.04
>10,000,000	0.025

(4) 本專案碳信用認證費試算

A. 竹林碳吸存量：

$$AGC + BGC + SOC = TEC$$

$$23 \text{ tCO}_2\text{e} + 15 \text{ tCO}_2\text{e} + 14 \text{ tCO}_2\text{e} = 52 \text{ tCO}_2\text{e} \times 20,000 \text{ ha/5yr}$$

$$= 208,000 \text{ tCO}_2\text{e} / \text{yr}$$

B. 竹顆粒產品：

$$30,000 \text{ ton} \times 50\% \text{ CCP} = 15,000 \text{ tCO}_2\text{e}$$

C. LCA Leakage：2,266.8 tCO₂e (全生命週期碳洩漏)

$$A + B - C = 220,733 \text{ tCO}_2\text{e} / \text{年 (VCU)}$$

D. VCU 認證費：

$$220,733 \text{ tCO}_2\text{e} \times \text{USD } 0.14 / \text{VCU} = \text{USD } 30,902$$

E. 本專案 LCA 及 VCU 總費用估計：

$$\begin{aligned} & \text{帳號開通費} + \text{專家諮詢費} + \text{驗證維護費} + \text{註冊費 (上限 USD 10,000)} \\ &= \text{USD } 500 + \text{USD } 375 + \text{USD } 2,500 + \text{USD } 10,000 + \text{USD } 30,902 \\ &= \text{USD } 44,277 \end{aligned}$$

F. 自第二年起如繼續執行，LCA 認證費用只減少帳號開通費 USD 500，其他費用不變。

G. 通過第三方正式碳盤查證書樣本如下圖 67：



圖 67、碳盤查證書樣本

Challenges for Forest carbon market in Vietnam

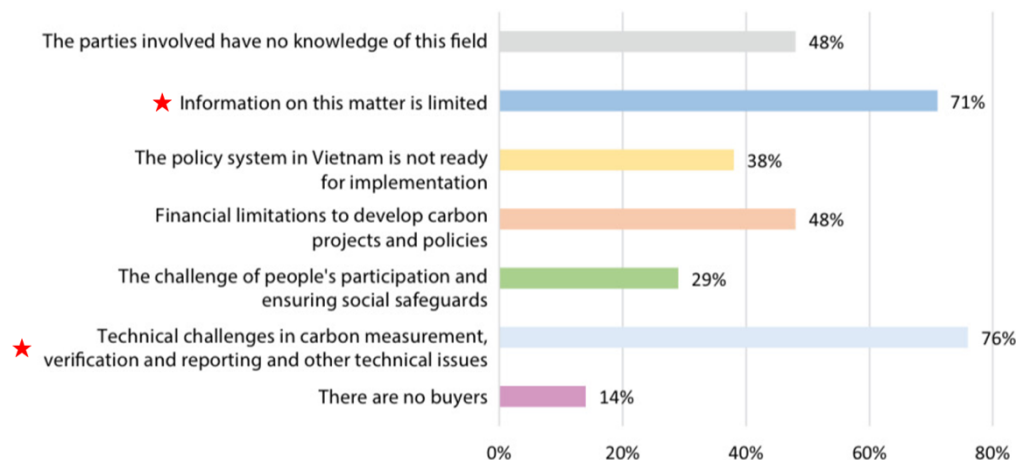


Figure 9. Surveyed provinces' views concerning challenges to operating a forest carbon market in Vietnam

Credit: Forest carbon market in Vietnam, CIFOR (2022)

圖 68、越南碳盤查市場挑戰

Opportunities for Forest carbon market in Vietnam

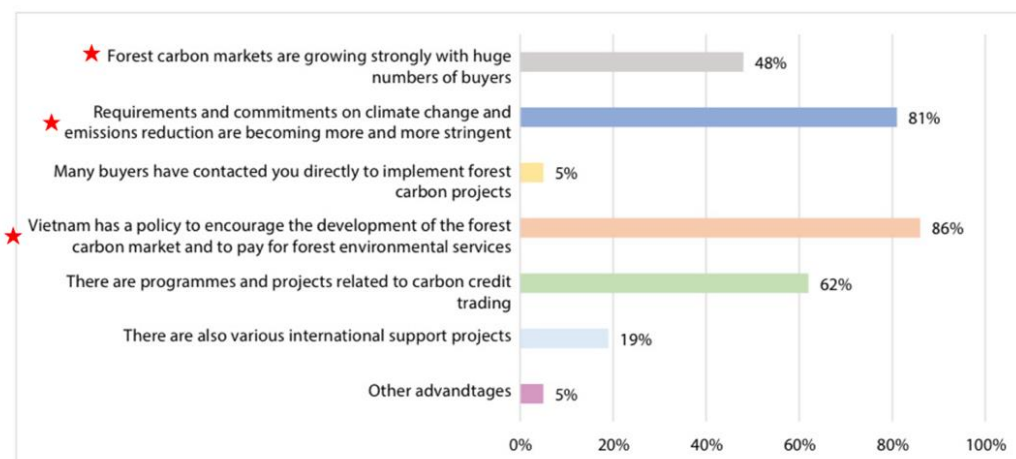


Figure 8. Surveyed provinces' views concerning forest carbon payment implementation in Vietnam

Credit: Forest carbon market in Vietnam, CIFOR (2022)

圖 69、越南碳盤查市場機遇

表 29、迄止 2023 年全球執行竹林碳盤查項目統計表

The Current Bamboo Forest Carbon Projects Worldwide
(International index for reference)

Name	Platform	Status	Country	Estimated Annual Emission Reduction (tCO ₂ e)	Crediting Period Start Date	Crediting Period End Date
Bamboo Plantations by Farmers and Community in the Country	VCS	Under development	India	61,126	09-07-2019	08-07-2049
Reforestation Project in Meghalaya by Shillong Bamboo	VCS	Under development	India	100,000	01-07-2017	30-06-2037
Bisignano and Mesoraca Project of Afforestation of the Agricultural Company	VCS	Under development	Italy	315,494	01-07-2022	30-06-2050
Gaia SRL Bamboo Plants	VCS	Under validation	Italy	2,430,904	17-09-2019	16-09-2051
Reforestation Project of the Agricultural Company Gaia SRL Bamboo Plant	VCS	Under validation	South Africa	460,404	N/A	N/A
Eastern Cape Bamboo Forestry Project, South Africa	VCS	Under validation	South Africa	211,721	01-10-2022	30-09-2062
Eastern Cape Restoration Project, South Africa—Somerset East	VCS	Under validation	South Africa	135,772	01-10-2022	30-09-2062
Eastern Cape Restoration Project, South Africa—Makhanda	VCS	Under validation	Philippines	297,917	01-06-2022	31-05-2042
Lanao del Sur Bamboo Reforestation Project	VCS	Under validation	Ghana	105,106	01-06-202	31-05-2041
North Bandai Bamboo Reforestation Project	VCS	Under validation	Ghana	157,858	01-06-2022	31-05-2032
Bandai Hills Bamboo Reforestation Project	VCS	Under validation	Rwanda	45,841	01-10-2022	30-09-2032
Rwanda Riparian Restoration Project	VCS	Registered	South Africa	16,000	01-03-2011	28-02-2031
Peri-urban Bamboo Planting around South African Townships	VCS	Registered	Nicaragua	40,815	01-06-2011	31-05-2031
EcoPlanet Bamboo Central America—Reforestation Project	VCS	Registered	China	6556	01-01-2015	31-12-2034
Bamboo Afforestation Carbon Project in Tongshan County, Hubei Province	CCER	Registered	China	8639	15-01-2010	14-01-2040
Shunchang County State-owned Forest Farm Bamboo Forest Management Carbon Project	FFCER	Registered	China	129,000	19-12-2012	31-10-2018
Fostering Sustainable Forest Management in Hunan Province	AFD	Completed	China	18,200	01-11-2010	31-10-2030
Bamboo Forest Carbon Project in Xishuangbanna, Yunnan	Panda	Withdrawn	China			

Credit: Climate 2023, 11, 175

如表 29 所示，迄止 2023 年全球執行竹林碳盤查的項目為數不多，其中僅中國大陸、湖南及菲律賓各完成一個碳認證項目，其餘南非三個項目正執行認證程序中，印度兩個項目正在推動發展中，義大利一個項目執行認證中，另一個項目發展推動中，非洲迦納兩個項目驗證中，盧旺達一個竹林項目驗證中。以上共 17 個碳認證項目使用 Verra VCS 碳認證標準的佔 76% (13 個) 其餘 4 個項目使用中國大陸碳認證標準包括：CCER、FFCER、AFD、PANDA。VCS 碳認證標準目前已是全球最普及的「森林碳信用認證」方法學。

第 6 章 財務分析



6.1 投資財務及成本分析

本專案總投資金額估計為 USD 608 萬，其中機械設備 USD 98 萬，輔助設備如地磅、堆高機、R&D 試驗室及 QC 儀器等約 USD 80 萬，專案籌備開發、環評、諮詢顧問、人事費用等約 USD 50 萬，土地廠房基礎設施 USD 150 萬，機械裝配啟動試車、零配件備份及維護費約 USD 30 萬，常年供應竹材原料成本 USD 200 萬，銀行利率 8%，政府稅務 17%，年通膨率 3.5%，固定資產直線折舊 10 年，專案存續 15 年。年營收入部分估計為竹顆粒年產 30,000 ton，單價 USD 250 / ton，約 USD 750 萬，竹林與竹顆粒認證 VCS 碳信用收入約為 USD 111.5 萬，年總收入為 USD 861.5 萬，詳如表 30 (Credit : World Bank + Vietnam, Forest Carbon Partnership Facility, FCPF 2024 VCU : USD 5 / tCO₂e)。

表 30、「A」公司竹顆粒專案投資財務分析表

(Estimated CAPEX) (OPEX) Company "A" Bamboo Pellet Investment Analysis USD 1,000 Revenue including carbon credit IRR : 37% BCR : 1.43 NPV : USD 34.66 million Depreciation : 10 years Credit : Work bank / Vietnam FCPF 2024 (Forest Carbon Partnership Facility)	1	Total investment amount (estimated)	100%	6,080
	2	Main production equipment *2 production lines	28%	980
	3	Auxiliary machinery, R&D/QC instruments	11%	800
	4	Project development, EIA / LCA-certifications, consulting, feasibility study, HRD training	7%	500
	5	Land cost, mill constructions, infrastructures	22%	1,500
	6	Project start up, machine erection, maintenance, spare parts	4%	300
	7	Feedstock raw materials bamboo	28%	2,000
	8	Banking interests annual rate 8%		
	9	Government taxes 17%		
	10	Inflation 3.5%		
	11	Project annual revenue (estimated) - Bamboo pellet : 30,000 MT * USD 250/MT = USD 7,500 - Carbon credits (VCU) : 220,733 / tCO ₂ e × USD 5 / t = USD 1,103,665 / year	Total	7,500 + 1,103 = 8,603

使用 Excel 財務軟件測算 CAPEX 所得結果：淨現值 NPV USD 3,466 萬，內部報酬率 IRR：37%，BCR 效益成本比 1.43，現金流 USD 371 萬/年，還本期約為 3 年，如表 31。

表 31、「A」公司竹顆粒專案 CAPEX 財務分析表

A公司 Bamboo Pellet Project Investment Analysis (CAPEX) - Revenue excluding carbon credit																		
AUG/23/2024																		
USD, 000 Thousand																		
Year	MPE	AM	PD	L & M	P & M	F & M	Banking Interest	Depr.	AE	PVAE	CPVAE	Annual Income	Taxes (17%)	ATI	PVATI	CPVATI	Cash Flow	PVCF
1	980	800	500	1500	300	2000	396	328	6804	6804	6804	0	0	0	0	0	-6804	-6804
2	0	0	0	0	300	2000	396	328	3024	2922	9726	7500	761	6739	6511	6511	3715	3589
3	0	0	0	0	300	2000	396	328	3024	2823	12550	7500	761	6739	6291	12802	3715	3468
4	0	0	0	0	300	2000	396	328	3024	2728	15277	7500	761	6739	6078	18881	3715	3350
5	0	0	0	0	300	2000	396	328	3024	2636	17913	7500	761	6739	5873	24753	3715	3237
6	0	0	0	0	300	2000	396	328	3024	2547	20460	7500	761	6739	5674	30428	3715	3128
7	0	0	0	0	300	2000	396	328	3024	2460	22920	7500	761	6739	5482	35910	3715	3022
8	0	0	0	0	300	2000	396	328	3024	2377	25297	7500	761	6739	5297	41207	3715	2920
9	0	0	0	0	300	2000	396	328	3024	2297	27594	7500	761	6739	5118	46325	3715	2821
10	0	0	0	0	300	2000	396	328	3024	2219	29813	7500	761	6739	4945	51269	3715	2726
11	0	0	0	0	300	2000	396	0	2696	1912	31725	7500	817	6683	4738	56007	3987	2826
12	0	0	0	0	300	2000	396	0	2696	1847	33572	7500	817	6683	4578	60585	3987	2731
13	0	0	0	0	300	2000	396	0	2696	1784	35356	7500	817	6683	4423	65008	3987	2638
14	0	0	0	0	300	2000	396	0	2696	1724	37080	7500	817	6683	4273	69282	3987	2549
15	0	0	0	0	300	2000	396	0	2696	1666	38746	7500	817	6683	4129	73410	3987	2463

NPV: main production equipments
AM: auxiliary machinery
PD: Project developments, certifications, feasibility study, enviromental, consulting
L & M: Land, mill construction, infrastructures
P & M: Project startup, maintenance, spareparts
F & M: Feedstock raw materials
Bank interest rate: 8%
Depr: Depreciation (MPE and L&M are depreciated over 10 years)
AE: Annual Expenditure
PVAE: Present Value of Annual Expenditure
CPVAE: Cumulative Present Value of Annual Expenditure
Government taxes: 17%
ATI: After-Tax Income
PVATI: Present Value of After-Tax Income
CPVATI: Cumulative Present Value of After-Tax Income
PVCF: Present Value of Cash Flow
NPV: Net Present Value
BCR: Benefit-Cost Ratio
IRR: Internal Rate of Return

Inflation 0.035

1. 淨現值 NPV：USD 3,466 萬
2. 內部報酬率 IRR：37%
3. 效益費用比 BCR：1.43
4. 現金流：USD 371 萬/年
5. 還本期：3 年

竹顆粒每噸單位成本為 USD 156 /MT，其中原料 USD 66，佔 42.3%；稅務 USD 31，佔 19.8%；能源電費 USD 15，佔 10%；銀行利息 USD 13，佔 8.4%；折舊為 USD 11，佔 7%，管理與人事費用 USD 15，佔 9.5%；基建 USD 5，佔 3.0%。

竹顆粒每噸成本比例

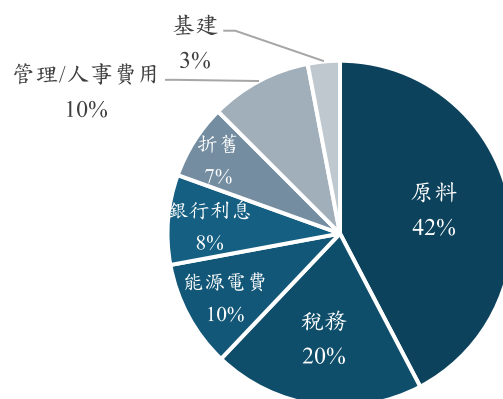


圖 70、竹顆粒每噸成本比例



6.2 國際市場策略、需求及價格趨勢

(1) 1970 年代初期因「中東以阿戰爭」引發全球石油危機，同時開啟了「生質能源 (Bioenergy)」的新紀元，1976 年第一件「木顆粒 (Wood Pellet)」專利在美國產生 (吳森榮、李文勇等，AUG / 2017)。隨著石化燃料 (Fossil Fuel) 價格節節高升，地緣政治及氣候變遷議題挑戰日益嚴峻，促使西方發達國家北美 (加拿大、美國)、北歐 (丹麥、瑞典)、歐盟諸國加速研究開發「生質能源 (Biomass)」的生產技術及應用方式。尤以 2022 春爆發「烏俄戰爭」以來，更加快促增歐洲「生質燃料」，包括「木顆粒」的工業發電、家庭供暖市場需求。

歐盟諸國 2022 年共消耗 2,480 萬噸木顆粒 (Wood Pellet)，美國與俄羅斯是供應大國，分別出口 315 萬噸及 102 萬噸，俄烏戰爭爆發後，俄木顆粒出口受到抵制，缺口由東歐國家補充，但供應量仍嚴重不足，因此造成歐洲民生使用能源價格大漲。歐盟木顆粒燃料最大消費國依次為義大利 340 萬 MT/yr，德國 320 萬 MT/yr，荷蘭 290 萬 MT/yr，丹麥 275 萬 MT/yr，法國 250 萬 MT/yr，瑞典 155 萬 MT/yr，奧地利 127 萬 MT/yr，比利時 125 萬 MT/yr，2022 年歐盟全年使用木顆粒共 2,480 萬噸，詳如表 32。

表 32、歐盟木顆粒燃料消耗國別統計表

Marketing Analysis & Strategy EU European Union

Table 2. EU27 Main Pellet Consumers (1,000 MT)							
Calendar Year	2016	2017	2018	2019	2020	2021 ^e	2022 ^e
Italy	3,200	3,400	3,300	3,400	3,400	3,400	3,400
Germany	2,000	2,085	2,195	2,190	2,240	2,900	3,200
Netherlands	200	360	615	1,240	2,560	2,915	2,950
Denmark	2,570	3,160	3,075	3,000	2,500	2,750	2,750
France	1,210	1,335	1,430	1,800	2,000	2,400	2,500
Sweden	1,605	1,530	1,785	1,730	1,350	1,500	1,550
Austria	880	920	955	1,000	1,050	1,130	1,270
Belgium	1,340	1,375	1,490	1,550	1,150	1,250	1,250
Total	15,808	17,190	18,513	21,728	22,252	22,951	24,800

Source: Bioenergy Europe and Member State sector organizations, e = estimate EU FAS Posts

歐盟 27 國 2022 年木顆粒燃料最大供應國依次如下：美國 312 萬 MT/yr，俄國 102 萬 MT/yr，烏克蘭 40.1 萬 MT/yr，加拿大 33.7 萬 MT/yr，巴西 26.8 萬 MT/yr，白俄羅斯 24.8 萬 MT/yr，土耳其 11.7 萬 MT/yr，全年進口量總共 588.8 萬 MT/yr。

表 33、歐盟木顆粒燃料供應國別統計表

Marketing Analysis & Strategy EU European Union

Table 5. Main Suppliers of Wood Pellets to EU27 (1,000 MT)						
Calendar Year	2017	2018	2019	2020	2021	2022
United States	940	1,259	1,295	1,247	1,781	3,125
Russia	1,148	1,186	1,475	1,510	1,881	1,021
Ukraine	213	380	431	441	411	401
Canada	222	330	80	517	292	337
Brazil	50	77	147	174	196	268
Belarus	212	262	375	524	594	248
Turkey	2	9	14	11	21	117
Total	3,012	3,906	4,191	4,679	5,318	5,888

Source: Trade Data Monitor (HS Code 440131)

- (2) 越南海關官方統計 2023 年，該國共出口 490 萬噸「木顆粒」，但其中只有 1.7% 約 87,400 噸竹顆粒，因受限於歐盟 CBAM「碳邊境關稅」、美國 CCA 嚴格的「清潔競爭法令」要求，因此 95% 木(竹)顆粒產品只能銷往日本、韓國等低價市場，同時引發削價競爭。

表 34、越南木顆粒出口日本韓國統計表

Export Market of Japan & S. Korea

Korea and Japan are the two largest markets importing wood pellet of Vietnam. Export volume and value of this item to Korea and Japan accounted for 97% of total export volume and value from Vietnam from all markets in 2022 (Table 1).

Table 1. Export volume and value of Vietnam's pellets by market, 2022 – 5M/2023

Market	Unit	2019	2020	2021	2022	5M/2023
Korea	Ton	1,923,725	1,981,416	1,962,910	2,264,725	652,273
	USD	192,780,086	193,457,090	212,045,543	377,136,572	96,114,147
Japan	Ton	856,171	1,216,777	1,534,926	2,495,123	871,356
	USD	116,643,997	157,569,776	200,113,784	384,296,452	151,059,458
Other markets	Ton	11,495	9,279	5,862	122,622	43,229
	USD	1,658,847	1,010,193	823,071	25,667,310	9,275,644
Total	Ton	2,791,391	3,207,472	3,503,698	4,882,470	1,566,859
	USD	311,082,930	352,037,059	412,982,398	787,100,333	256,449,249

USD
147 /ton

USD
173 /ton

USD
214 /ton

USD
163 /ton

Source: Data of the General Department of Vietnam Customs, calculated by the Research group of timber associations and Forest Trends

(3) 「A」公司竹顆粒市場策略

(3-1) LCA 碳足跡認證涵蓋上、中、下游，並取得國際認證 (VCS / VCU) 可以免除歐盟 CBAM 及北美 CCA 碳邊境關稅壁壘及北美高端市場。

(3-2) 同時策劃森林認證 (Forest Certification)，可選擇 FSC 或 PEFC 認證標準，為打進高端歐美市場錦上添花。

(3-3) 研究生產富有「熱帶風情」特色的「竹顆粒」產品，充分利用越南特色水果及香料廢棄物，如果樹修剪枝條、大蒜皮、香料桂皮，咖啡渣等具有自然香氣無毒無害附加混合配料，生產高附加價值特色「竹顆粒」，迎合近年歐美市場人士流行的「熱帶風情」消費心理風潮。並且透過知名跨境電商網路，如 Amazon、eBay、TEMU 等電商市場，並打入歐美亞地區，擴大銷售市場。

例：電商 Amazon 水果木竹顆粒零售價格約 USD 3~12 元/kg，相當於普通竹木顆粒價格的十倍以上。詳如圖 71。

FLAVOURS — of TROPICAL

BAMBOO
● Fresh ● Smooth
● Mild
Suitable for

LYCHEE
● Subtly ● Sweet
● Fruity
Suitable for

GARLIC
● Strong ● Spicy
● Full-bodied
Suitable for

MANGO
● Fresh ● Sweet
● Fruity
Suitable for

CAMELLIA SEED
● Robust ● Mellow
Suitable for

JUJUBE
● Mildly ● Sweet
● Light
Suitable for

High value-added pellet products for household & leisure
amazon
Retailers price USD 3~12/kg
Equaled USD 3000~12000/ Ton.
Credit: 瑩迪股份有限公司 & Amazon

圖 71、熱帶特殊風味竹顆粒產品

(3-4) 若每年計劃生產 10% (3,000 噸) 高附加價值熱帶特殊風味竹顆粒產品，
FOB 價格以 USD 1,000 /ton × 3,000 噸= USD 3,000,000 /yr。

(3-5) 高附加價值「生物炭 (Bio-char)」及「活性碳 (Activated Carbon)」簡介

由於竹顆粒生產原料純淨單一，使用熱裂解法 (Pyrolysis) 在缺氧高溫熱化學作用下可產生「生質合成氣 (Bio-syngas)」提供「氣電共生」設備產生熱能及發電，其副產品生物炭 (Biochar) 可進一步深加工研磨成奈米級活性碳 (Powdered Activated Carbon & Granular Activated Carbon)，可提供生產、防毒、除臭、淨水過濾等衛生保健器材，以及製藥如 NORIT 荷蘭世界知名殺菌消毒藥物。



圖 72、活性碳產品及藥物應用

Indonesia small holder bamboo pellet making & carbonization system



圖 73、印尼家庭式小作坊生產竹顆粒及活性碳示意圖

(3-5) 竹顆粒加麻瘋樹油脂增加熱值

「竹顆粒」生產過程中混配一定比例富油脂類農林廢棄物如豆類種子油渣，油餅、Seed Cake 可增加其黏合度、密度及熱值。印度、印尼已有成功案例混用麻瘋樹 (*Jatropha curcas*) 種子油渣糟粕油餅 (淨熱值 17.56 MJ/kg) 生產生質顆粒。「A」公司農林公司有計劃大面積種植麻瘋樹採籽生產 CJO (航空用原油) 供應新加坡 NESTE 加工生產 SAF (永續航空用油)。本專案可配合綜合利用其 Oil Cake 添加於竹顆粒生產高熱值產品。

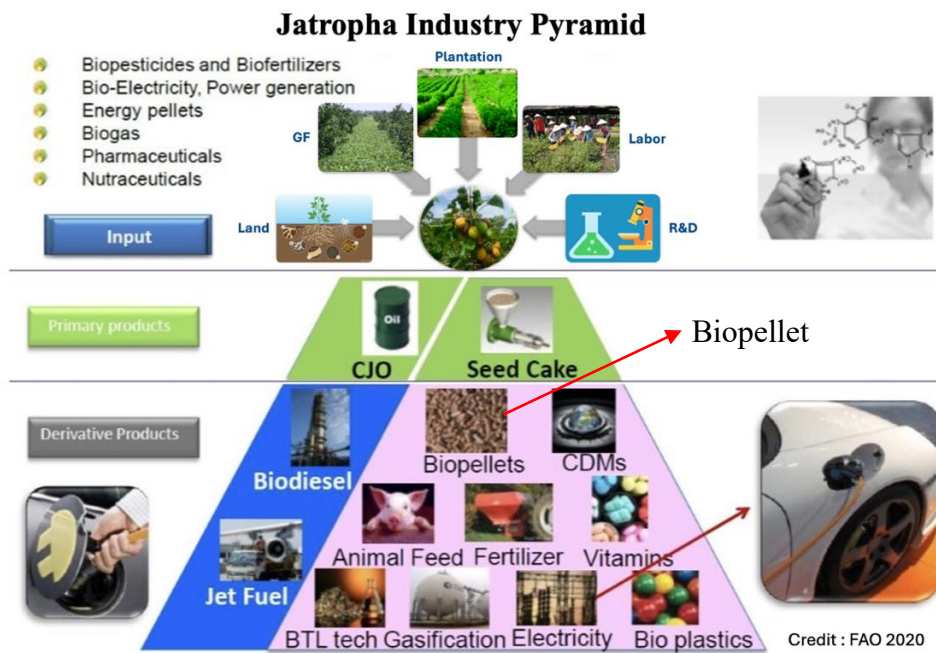


圖 74、麻瘋樹產業鏈金字塔路線圖

(Credit: FAO/IFAD, Integrated Crop Management Vol 8-2010)

Bamboo / Jatropha Pellet Production Concept

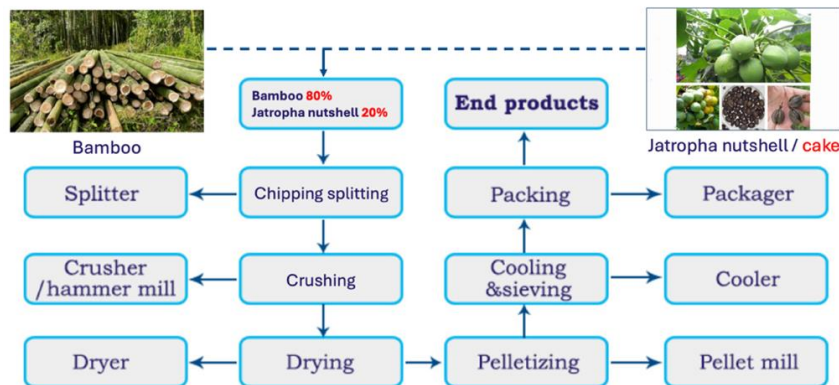


圖 75、竹類混合農林廢棄物生產流程

「竹顆粒」永續產品國際標準，主要以檢驗品質及化學元素成分為主，「生活休閒」使用之竹木顆粒高附加值產品必備證明，如表 35。

International Standard for Sustainable Bamboo Pellet Quality Requirement ISO-17829-2015...etc

表 35、生活使用木顆粒 ISO 17829-2015 品質標準檢驗表

Parameter(s)	Result(s) 001	Unit	Method	Remark
Diameter (ARB)	8.47	mm	ISO 17829:2015	A
Length <= 50 mm (ARB)	61.0	%wt	ISO 17829:2015	A
Length <= 40 mm (ARB)	78.2	%wt	ISO 17829:2015	A
Durability (ARB)	98.2	%wt	ISO 17831-1:2015	A
Fines content ≤ 3.15 mm (ARB) (Round)	0.6	%wt	ISO 18846:2016	A
Total Moisture_1 (DB)	6.9	%wt	ISO 18134-1:2022	A
Ash Content (DB)	3.51	%wt	ISO 18122:2022	A
Bulk density (ARB)	660	kg/m ³	ISO 17828:2015	A
Gross calorific (ARB)	4243	Kcal/Kg	ISO 18125:2017	A
Gross Calorific value (DB)	4556	Kcal/Kg	ISO 18125:2017	A
Net calorific constant pressure (ARB)	3929	Kcal/Kg	ISO 18125:2017	A
Net calorific constant pressure (DB)	4263	Kcal/Kg	ISO 18125:2017	A
N (Nitrogen) (DB)	0.45	%wt	ISO 16948:2015	A
S (Sulfur) (DB)	0.148	%wt	ISO 16994:2016	A
Cl (Chlorine) (DB)	0.170	%wt	ISO 16994:2016	A
As (Arsenic) (DB)	<0.3	mg/kg	ISO 16968:2015	A, Q (0.3 mg/kg)
Cd (Cadmium) (DB)	<0.2	mg/kg	ISO 16968:2015	A, Q (0.2 mg/kg)
Cr (Chromium) (DB)	1.7	mg/kg	ISO 16968:2015	A, Q (1 mg/kg)
Cu (Copper) (DB)	2.2	mg/kg	ISO 16968:2015	A, Q (2 mg/kg)
Pb (Lead) (DB)	2.0	mg/kg	ISO 16968:2015	A, Q (2 mg/kg)
Hg (Mercury) (DB)	<0.04	mg/kg	ISO 16968:2015	A, Q (0.04 mg/kg)
Zn (Zinc) (DB)	13.9	mg/kg	ISO 16968:2015	A, Q (3 mg/kg)

Sample Description: 001 - Bamboo pellets

Note(s):

1. **A:** ISO17025 accredited test; **Q:** Limit of quantification
2. **DB:** Dry basic; **AD:** Air dried basis; **ARB:** As received basis
3. All the test(s) was/were performed by TÜV SÜD Vietnam's subcontract lab which were accredited ISO 17025:2017 by VILAS.

(4) 2030 工業用木(竹) 顆粒市場需求預測

(4-1) 根據統計 2023~2030 年工業用 Wood Pellet 將以每年 448 萬噸的增長量成

長，主要進口使用國：英國、荷蘭、比利時、歐盟多國，亞洲、日本、

韓國，甚至包括台灣 (高雄興達電廠，燃煤發電改木質顆粒)，詳如圖 76。

以高雄興達電廠燃煤轉生質燃料為例 (煤 → Bioenergy)：

$$500,000 \text{ kva} / \text{機組} \div 3.333 \text{ kva} / \text{噸煤}$$

$$= 150 \text{ ton} / \text{煤} / \text{hr} \times 24\text{hr} \times 350 \text{ 天}$$

$$= 3,600 \text{ ton} / \text{煤} / \text{天}$$

$$= 126 \text{ 萬噸} / \text{煤} / \text{yr} (= 3,150 \text{ tCO}_2\text{e} / \text{yr}) \text{ 年碳排放量}$$

$$@ 2.50 \text{ kgCO}_2 / \text{噸煤}$$

Industrial Pellet Demand Forecast to 2030

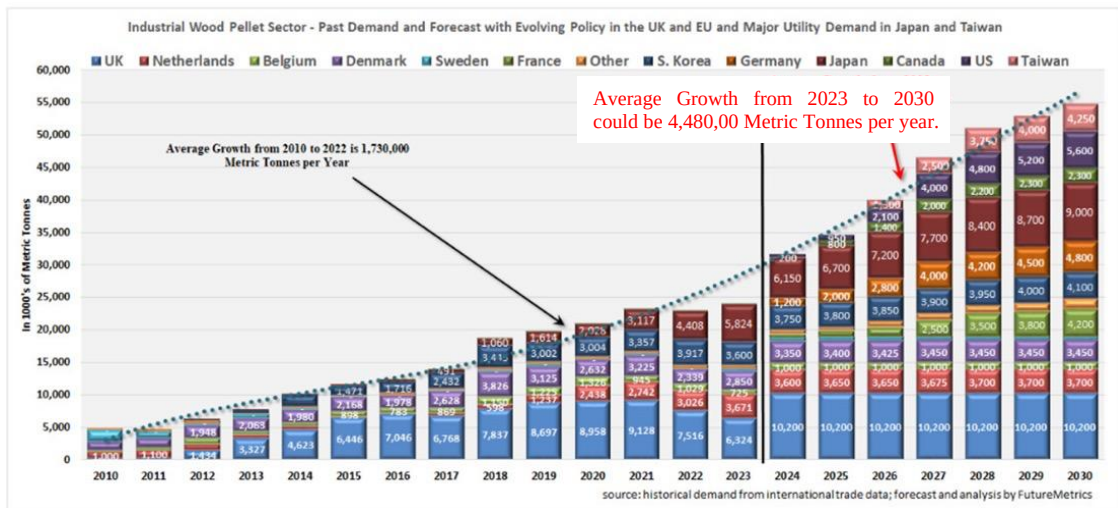


圖 76、2030 年工業用木顆粒燃料市場需求預測圖

(Historical Demand from International trade data forecast and analysis by Future metrics)

(4-2) New York, U.S., Globe Newswire (July 18, 2024) 發表統計分析，木質顆粒市場價值將從 2023 年的 USD 180.6 億 / 年上升至 2033 年的市場價值 USD 340.5 億 / 年，每年平均增長幅度 (GAGR) 為 6.70%。詳如圖 77。

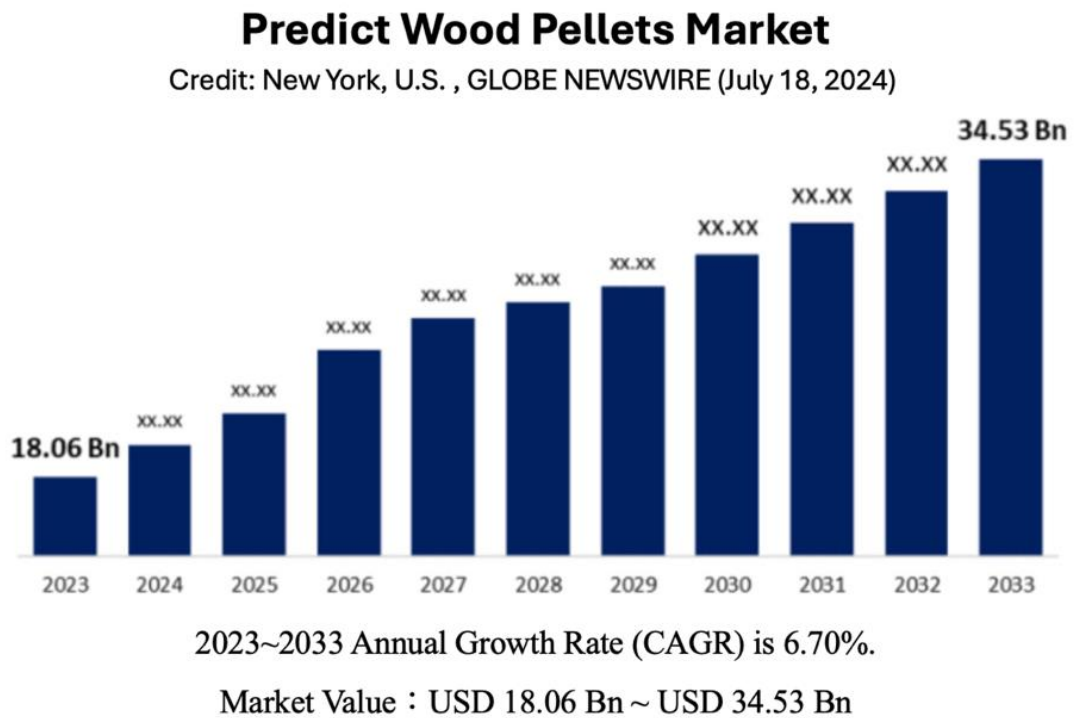


圖 77、2023~2033 年工業用木顆粒市場產值預測圖



6.3 敏感度分析與 SWOT

竹顆粒生產成本比重依次為「原料成本」、「能源成本」及「運輸成本」三項「變動成本」敏感度最大、最直接。

- (1) 竹材原料由於水份 (MC) 及得率 (Yield) 隨生產流程變化鉅大，通常上游每增加 USD 1.00 /ton，終端產品原料成本則增加 4.5 倍左右，上游原料供應端成本管控至關重要。
- (2) 能源電費成本：越南電力結構為水力 25.9%、燃煤 45.6%、燃氣 42.2%、風力太陽能及生質再生能源 15.4%、進口電 0.6%，工業用電平均 USD 0.18 / kwh (NT\$ 5.6 / kwh)，水力發電易受極端氣候水文影響，另近年外資湧入設廠導致越南全境供電緊張。
為萬全計，一般外資工廠均自備發電機，避免臨時停電造成停工廢料及機器設備損壞等意外損失。
- (3) 陸上運輸成本隨國際油價變動直接影響，為長遠計，「工廠選址」交通地理位置至關重要，一般「以廠就林」或優先選擇水運樞紐，以利長期節約成本。

A Company Bamboo Pellet Project SWOT Analysis

STRENGTHS 1. Well established group business model 2. Foresight corporate vision & mission 3. Rich of bamboo forest & Jatropha resources 4. Agroforestry system supporting 5. Local manpower supply 6. Sustainable management sense 7. Healthy financial situation	WEAKNESSES 1. Forest certifications (FM / CoC) & carbon footprint, carbon credit systems 2. Local transportation cost 3. Local utilities / infrastructure limited 4. High banking interest rate 5. Remote location of mill site 6. Skill technician / operator shortage
OPPORTUNITIES 1. Renewable energy policy encourage & incentive 2. Global market demand increase steady 3. Eco-certified pellet products for EU market 4. High value-added pellet products development 5. Environment friendly products branding for high-end market globally	THREATS 1. Environmental impacts & assessment 2. Remote area aboriginal stakeholder engagement 3. Community relationship / partnership development 4. Sensitivity of raw material & energy cost 5. Rain season raw material supply shortage

圖 78、SWOT 分析圖

第 7 章 結論與建議



7.1 結論

本研究綜合參考多種竹林不同強度經營管理模式及現場實驗結果及國內外成功案例經反覆諮詢論證，顯示「A」公司在越南 Dak Lak 開發建設「上、中、下游結合一體化」垂直整合竹產業鏈專案，多角化資源配置的「規模經濟」效益具有可行性，僅就「技術層面」、「經濟層面」及「社會層面」，分述如後：

A. 技術層面

- (1) 上游(原料供應端)：竹林基地以「集約經營」，「擇伐、撫育」結合「企業加社區農林合作」模式，協助發展地方經濟，增加在地居民工作機會及日常收入改善生活質量，秉持「自然解方 NbS」原則，兼顧「社會+經濟+環境」均衡發展，建立長期穩定的原料供應鏈，同時執行 PEFC 森林認證 FM / CoC 及森林自願減碳 VER 碳信用 (Carbon Credit) 認證，保證原料合法來源及竹產品履歷可溯源，增加市場競爭力，總體達成 SDGs 可持續發展目標。
- (2) 中游(生產製造端)：「竹顆粒 (Bamboo Pellet)」生產原料完全取自於經過「森林認證」可追溯合法來源的供應鏈，生產設備及工藝技術經不斷更新改進，目前已臻成熟，加以完善生產管理制度，遵守在地勞工法令，設定各生產部門 KPI 及 SOP，依生產績效及品質良率，勞資雙方議定獎勵制度「多做多得」、「賞罰嚴明」，上、中、下游同步掛鉤聯動明確各部門職責，總體目標一致，生產製造端同時執行林產品產業鏈監管認證 CoC (Chain of Custody) 及 LCA (Life Cycle Assessment) 搖籃到大門 (Cradle to Gate) 的碳足跡認證，以符合「碳中和」及碳抵換 (Carbon Offsetting)，竹產品(竹顆粒)可獲得歐美高端市場准入要求基本條件。
- (3) 依正規國際認可之方法學分別執行「森林認證」及「碳信用」認證，建立「A」公司內部認證系統，改善管理缺失，加快取得「森林認證」及「碳信用」認證認可，打開歐美高端市場，同時研發生產高附加價、具

有「熱帶風情」的生活取暖及休閒使用「竹顆粒」生質燃料，應屬致勝關鍵。



B. 經濟層面

在尚未計入「碳信用」效益的情況下，「竹顆粒」專案總投資金額 USD 608 萬，CAPEX 財務分析顯示淨現值 NPV USD 34.66 萬，內部報酬率 IRR 37%，效益費用比 BCR 1.43，稅後現金流充足 USD 371 萬/年，投資回收期約 3 年。

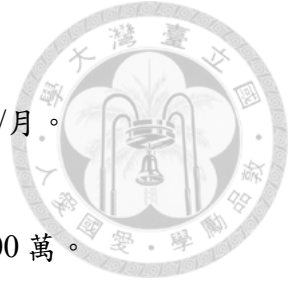
越南「A」公司本專案年收益主要分為三方面。

- (1) 20,000 公頃竹林基地「碳信用 (Carbon Credit, VCU)」在越南自願減碳市場交易： $220,733 \text{ tCO}_2\text{e} \times \text{USD } 5 / \text{tCO}_2\text{e} = \text{USD } 1,103,665 \text{ tCO}_2\text{e}/\text{年}$ 。
- (2) 年產 30,000 噸竹顆粒經合法認證 (FM & CoC + VCU) 若售于第三方充當生質能源燃料代替石化燃料煤 (中質燃煤每噸 CO_2 排放 2.45 kg/ton)，可中和 (Neutralize) 減碳 73,500 tCO_2e (經濟部台電公司 2023 立法院答詢)。
- (3) 2022~2023 國際燃料煤價格飆漲，電煤平均價在 USD 350~450 /ton 之間，台電公司長期合約價平均 USD 286 /ton，若改用部分生質燃料 (竹木顆粒) 則直接燃料成本每噸可節省 USD 36 /ton，越南供電系統以火力發電為主，與台電燃料結構相似，因此若改用生質燃料，也將有上述節能減碳的「經濟、社會、環境」綜合效益。工研院曾專案研究「生質能源助攻製造業達成淨零碳排」實驗證明如下表 36。

表 36、燃煤鍋爐改燒生質燃料單位蒸氣碳排放量比較表

鍋爐型式	碳排放量	鍋爐效率	產生蒸氣量 (公噸/小時)	單位蒸氣碳排放 (公斤二氧化碳當量/公噸蒸氣)
蒸發量15公噸/ 小時鏈排爐	91 公斤二氧化碳當量/小時 (每小時消耗2.6公噸木顆粒燃料)	88 %	15 公噸/小時	6
	3,212 公斤二氧化碳當量/小時 (每小時消耗煤炭1.1公噸無煙煤)			214

(徐英綺，生質能源助攻製造業達成淨零碳排，工研院)



C. 社會層面

- (1) 增加當地工作機會 800 人/工/日，人均收入 USD 324 /人/月。
- (2) 增加地方稅收，促進地方繁榮。
- (3) 「A」公司在多樂省全年竹材原料採購全年投入 USD 200 萬。
- (4) 竹顆粒工廠工作職位 25 人 × 2 班 = 50 個工作機會。
- (5) 全面培訓提升偏遠地區員工生產技術技能。
- (6) 日常培訓教育在地居民及利益相關方生態環境保育觀念。

綜上可簡略表明結論：

技術層面：Workable

經濟層面：Profitable

社會層面：Adaptable

可行性分析：Feasible

7.2 建議

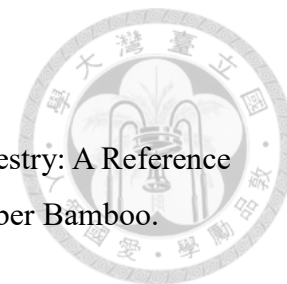
- (1) 依照國際減碳趨勢要求及越南政府鼓勵「再生能源」、「清潔能源」政策，
「A」公司應積極爭取「稅費減免」及「銀行利率」的優惠待遇，以期節省鉅額成本。
- (2) 積極研發利用越南熱帶水果及香料廢棄物如果樹枝條，大蒜桂皮，咖啡渣等具有自然香氣無毒附加配料。生產高附加價值特色「竹顆粒」產品增加高端市場競爭力及營收。
- (3) 專案啟動前，凡事預則立，應先做相關業務的員工培訓計畫，內容包括上游林地集約經營(林業管理)、中游(生產製造)、下游(市場及物流)、森林認證及 LCA 碳足跡認證相關課程。
- (4) 本專案竹產業鏈(竹顆粒)順利運轉一兩年後，待生產管理及員工技術趨已成熟穩定，即可考慮增設利用當地木竹廢棄原料，發展「熱裂解汽電共生」再

生能源系統，保障自給自足電力穩定供應，同時節省外購公共電力成本，減少總體碳排量。

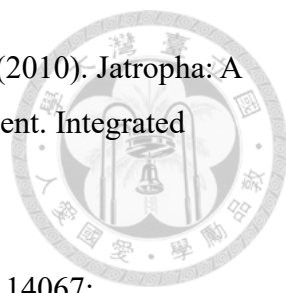


- (5) 越南「A」公司專案確定啟動前，必須落實設定樣區並執行竹林基地各項量測報告，包括不同立地環境條件、不同竹種的生長量、生物量、含碳率及吸碳功能，各林區林班必須設立基本台帳等森林經營管理基本資料庫。

英文參考文獻



1. Arief Rabik, Ben Brown (2004). Towards Resilient Bamboo Forestry: A Reference Guide for Improved Management of Clumping Bamboo for Timber Bamboo. Environmental Bamboo Foundation.
2. Claudia Daza Montano, Jan E.G. Van Dam (2021). Potential of Bamboo for Renewable Energy: Main Issues and Technology Options. CGIAR Research Program on Forest, Trees, and Agroforestry.
3. Dhruvi Malhotra (2024/3/27). Bamboo Pellets Manufacturing Plant Project Report 2024, Comprehensive Business Plan, Requirements & Cost. Digital Marketing Executive at IMARC Services.
4. Dr. Jianbang Gan, Dr. Guangyu Wang, Dr. Yoo-Chang Youn (2023). Bamboo as a Nature-Based Solution (NbS) for Climate Change Mitigation: Biomass, Products, and Carbon Credits. *Climate* 2023, 11(9), 175.
5. Glenting Carsten, Jakobsen Niels (2017). Converting Biomass to Energy: A Guide for Developers and Investors. IFC (International Finance Corporation), World Bank Group.
6. Pham Thu Thuy, Tang Thi Kim Hong, Nguyen Chien Cuong (2022). Forest Carbon Market in Vietnam: Legal Framework, Opportunities, and Challenges. CIFOR Occasional Report.
7. Tran, V. H. (2010). Growth and quality of indigenous bamboo species in the mountainous regions of northern Vietnam. Göttingen.
8. Van der Lugt, P., & Vogtländer, J. G. (2015). The environmental impact of industrial bamboo products: Life-cycle assessment & carbon sequestration (Technical Report No. 35). INBAR.
9. Vu Tan Phuong, Nguyen Viet Xuan (2020). Life Cycle Assessment for Key Bamboo Products in Vietnam. INBAR Working Paper.
10. Biomass Business Opportunities: Vietnam – Focus on Energy and Climate Change (2012). NL Agency Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation.
11. Bamboo Village Trust (2023). Bamboo village for restoration economy: Taiwan 2023 / Bali Indonesia.
12. Carbon Sequestration and Carbon Emissions Reduction through Bamboo Forest and Products (2018). INBAR Working Paper.

- 
13. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2010). *Jatropha: A smallholder bioenergy crop. The potential for pro-poor development. Integrated Crop Management*, Vol. 8.
14. IEA Bioenergy: Accelerating to Net Zero Annual Report (2022).
15. International Organization for Standardization (ISO) (2018). ISO 14067: Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification.
16. Sustainable Forest Management Standards (2019). Vietnam Forest Certification Office. VFCS/PEFC ST 1003:2019.
17. UN Environment Programme, Copenhagen Climate Centre (2024). Emissions gap report 2024.
18. VM0047: Afforestation, Reforestation, and Revegetation V1.0 (2023/9/28). Verified Carbon Standard, VCS Methodology.

中文參考文獻



1. 倪芮、陳維新 (2023)。生質物熱化學轉化以製造生質燃料特性描述統計評估和人工智慧分析。國立成功大學能源工程國際碩博士學位學程。
2. 吳俊德 (民國 102 年 12 月)。台灣六種主要焙燒竹林燃燒性質之研究，The fuel properties of six torrefied Taiwanese bamboos。碩士論文，國立臺灣大學森林環境暨資源學系研究所，台北市。
3. 吳森榮、李文湧、楊熾森、張瑩璽、萬皓鵬 (2017 年 8 月)。竹質顆粒燃燒的生產與能源應用評估。工業污染防治刊物，第 140 期，127。
4. 周國模、姜培坤、徐秋芳 (2010)。竹林生態系統中碳的固定與轉化。科學出版社。
5. 周國模、施擁軍 (2013 年 10 月)。竹林固碳功能研究。浙江農林大學。
6. 孫百寬、陳廷、陳涓婷、顏添明、李隆恩 (2013)。台灣中部地區孟宗竹林不同經營強度林分性態值地上部生物量及碳貯存量之比較。林業研究季刊，35(1)：23-32。
7. 汪浙鋒、沈月琴、王楓、鄭旭理、胡忠明 (2011)。毛竹碳匯造林經營模式及其效益分析。浙江農林大學學報，28(6)：943-948。
8. 汪軍 (2022)。碳管理—從零通往碳中和。中國公信出版集團電子工業出版社。
9. 王仁、劉瓊霖 (民國 101 年 8 月)。由生理生化性狀評估孟宗林材的砍伐與利用。國立中興大學森林系。
10. 王義仲 (民國 93 年)。台灣產竹種竹桿生物量與碳蓄積推估。中國文化大學。林務局九十三年度科技研究計畫研究報告。
11. 林維治、康佐榮、黃松根、江濤 (民國 51 年 11 月)。台灣主要竹林資源之調查。林業試驗所。
12. 羅凱安、葉政翰 (民國 109 年 9 月 20 日)。屏東林管處轄區竹林永續經營與收穫作業技術改進之研究 (結案報告)。國立屏東科技大學。
13. 蔡岳勳 (民國 103 年 12 月)。歐美生質燃料法治與永續性標準之發展。國立雲林科技大學科技法律研究所。歐美研究，第 44 卷，第 4 期。
14. 陳財輝、鍾欣芸 (2012)。台南左鎮地區蔴竹林之生長與生物量。中華林學季刊，45(3)。

- 
15. 顏添明 (2011)。竹林碳吸存潛力之探討。林業研究專訊，18(1)。
 16. 吳俊賢、林俊成、林裕仁 (民國 102 年 06 月 06 日)。參訪瑞士國際 PEFC 森林認證組織總部與驗證林地。
 17. 黃裕星、林俊成、林裕仁 (民國 103 年 06 月 16 日)。參訪奧地利木質生質能源政策與技術及國際森林認證組織 PEFC 總部。
 18. 111~114 年度新興竹產業發展綱要計畫 (民國 110 年 10 月)。行政院農委會。
 19. 2020 中國竹產業年報。中國竹產業協會。
 20. 世界竹籐協會年度報告 (2022)。
 21. 亞洲主要國家竹種資源與利用情況 (2020 年 11 月 12 日)。世界竹籐協會。熊貓全林。
 22. 竹林經營碳匯項目方法學 Vol (2015 年 10 月)。國家林業局。

附錄：Abbreviations



- AGC** : Above Ground Carbon
- A/R** : Afforestation / Reforestation
- BGC** : Below Ground Carbon
- CBAM** : Carbon Border Adjustment Mechanism of EU
- CDM** : Clean Development Mechanism
- Capex** : Capital Expenditure
- CCA** : Clean Competition Act of USA
- CCP** : Carbon Content Percentage
- CCS** : Carbon Capture and Storage, Sequestration
- CIFOR** : Center for International Forestry Research
- COP** : Conference of the Parties
- CJO** : Crude Jet Oil
- CoC** : Chain of Custody
- FAO** : Food & Agriculture Organization
- FM** : Forest Management
- FSC** : Forest Stewardship Council
- GHG** : Greenhouse Gases
- GT** : Green Ton
- ha** : Hectare
- hr** : Hour
- IEA** : International Energy Agency
- IFC** : International Finance Corporation
- INBAR** : International Bamboo & Rattan Organization
- LCA** : Life Cycle Assessment
- MC** : Moisture Content
- MT** : Metric Ton
- NbS** : Natural-based Solution

OPEX : Operating Expense

PEFC : Programme for the Endorsement of Forest Certification

RE : Renewable Energy

R&D : Research & Development

SAF : Sustainable Aviation Fuel

SDGs : Sustainable Development Goals

SOC : Soil Organic Carbon

TEC : Total Ecosystem Carbon

UNFCCC : United Nations Framework Convention on Climate Change

VCS : Verified Carbon Standard

VER : Voluntary Emission Reduction

VCU : Verified Carbon Unit

WB : World Bank

WWF : World Wild Fund for Nature

Yr : Year

