



公開
 密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：140401e101

農業部林業及自然保育署112年度科技計畫研究報告

計畫名稱：**國產木竹材碳盤查計畫** (第1年/全程1年)
(英文名稱)**The project for The carbon inspection of domestic wood and bamboo materials**

計畫編號：**112農科-14.4.1-務-e1(1)**

全程計畫期間：自 112年5月1日 至 112年12月31日

本年計畫期間：自 112年5月1日 至 112年12月31日

計畫主持人：**李士畦**
研究人員：**黃盈賓、張景輝**
執行機關：**社團法人台灣生態材料產業發展協會**



1123802



一、執行成果中文摘要：

1. 本計畫完成國產木竹材碳足跡計算數據，於伐材階段之碳排數據分別為柳杉8.7~24.6 Kg-CO₂e/m³，及桂竹0.03 Kg-CO₂e/支及0.000582 Kg-CO₂e /支。相較之下，國產柳杉伐材階段之碳排放遠低進口材。此外，疫情期間進口木材成本已高於國產疏伐木，若加上碳排放量之計算，在未來國產材推動上將更有說服力。從桂竹的砍伐碳排放對比於生長期間碳吸存量，可說是相當低，甚至可以忽略不計，徒先竹材生長數度快，固碳量高，伐材碳排放低，完全符合負碳材料的條件。

2. 本計畫所完成之國產材-柳杉和桂竹，接露於伐材階段之作業碳排放量，不僅為消費者提供了選擇參考客觀數據，同時也讓下游企業更有效評估原料材的碳排放，進而在生產和採購決策中更注重環境永續性，選擇低碳排放的原料材和製造方式不僅是環保選擇，更是提升國產材競爭力的一環。

二、執行成果英文摘要：

1. This project has completed the calculation of the carbon footprint of domestically produced wood and bamboo. The carbon emission data during the logging stage are 8.7~24.6 Kg-CO₂e/m³ for cryptomeria, 0.03 Kg-CO₂e/branch and 0.000582 Kg-CO₂e/branch for Makino Bamboo. In comparison, the carbon emissions during the logging stage of domestically produced cedar wood are much lower than those of imported wood. In addition, during the epidemic, the cost of imported timber has been higher than that of domestically produced thinned timber. If the calculation of carbon emissions is included, the promotion of domestically produced timber will be more convincing in the future. Compared with the carbon sequestration during growth, the carbon emissions from felling Makino Bamboo can be said to be quite low, or even negligible. Bamboo grows several times faster, has a high carbon sequestration capacity, and has low carbon emissions from felling, which is completely in line with the requirements of carbon-negative materials. condition.

2. The domestic timber produced in this project - cryptomeria and Makino Bamboo - is exposed to the carbon emissions of the logging stage. This not only provides consumers with objective data for reference, but also allows downstream companies to more effectively assess the carbon emissions of raw materials. , and then pay more attention to environmental sustainability in production and procurement decisions. Choosing low-carbon emission raw materials and manufacturing methods is not only an environmentally friendly choice, but also a part of improving the competitiveness of domestic materials.

三、計畫目的：

本（112）年度目標

本計畫將選擇兩項(柳杉、桂竹)之木竹材料為案例，依據本計畫規劃即可展開數據盤查之規劃與執行作業。為了使碳盤查的計算結果更具有代表性，在這個階段將循國內柳杉、桂竹之相關場域及單位參與配合進行盤查作業；若無場域或廠商願意配合，則將以木竹材之理論值、經驗值或文獻資料來替代實際的盤查數據，但此將降低碳足跡計算的數據品質。



1123802



四、重要工作項目及實施方法：

台灣政府近年來，積極地推動產品碳足跡，因為產品碳足跡就是一種有效追蹤碳排放量的工具，能夠提供消費者及下游廠商作為參考，這將是未來市場競爭中必要的考量因素。

1. 國產木竹(原料材)之碳盤查

112年將先以柳杉、桂竹作為國產木竹(原料材)之碳盤查項目進行計算，其階段分別如下：

• 柳杉(原料材)碳盤查流程說明：

1. 育苗階段相關活動係數蒐集
2. 原料材現地(包含砍伐)
3. 砍伐後現場初步整理等狀態
4. 集中運至集散地分配與派送各地/存放定點

• 桂竹(原料材) 碳盤查流程說明：

1. 原料材現地(包含砍伐)
2. 砍伐後現場初步整理等狀態
3. 集中運至集散地分配與派送各地/存放定點

等上述程序及相關這期間所產生的相關能耗進行蒐集與盤查，以從中得出柳杉及桂竹至原料材階段之碳排放數據為何提供給需求之業者，在取得其原料材時即可得知其碳排放量資訊。然而一般進行產品碳足跡計算之流程必須確定欲進行產品碳足跡計算之標的產品，並界定產品碳足跡計算之目的與範疇。其次，進行產品生命週期盤查分析作業。蒐集而來之數據必須經過數據確認和處理作業，以進行產品碳足跡計算作業。

五、結果與討論：

如附件。

六、結論：

1. 本計畫完成國產木竹材碳足跡計算數據，於伐材階段之碳排數據分別為柳杉8.7~24.6 Kg-CO₂e/m³，及桂竹0.03 Kg-CO₂e/支及0.000582 Kg-CO₂e /支。相較之下，國產柳杉伐材階段之碳排放遠低進口材。此外，疫情期間進口木材成本已高於國產疏伐木，若加上碳排放量之計算，在未來國產材推動上將更有說服力。從桂竹的砍伐碳排放對比於生長期間碳吸存量，可說是相當低，甚至可以忽略不計，徒先竹材生長數度快，固碳量高，伐材碳排放低，完全符合負碳材料的條件。

2. 本計畫所完成之國產材-柳杉和桂竹，接露於伐材階段之作業碳排放量，不僅為消費者提供了選擇參考客觀數據，同時也讓下游企業更有效評估原料材的碳排放，進而在生產和採購決策中更注重環境永續性，選擇低碳排放的原料材和製造方式不僅是環保選擇，更是提升國產材競爭力的一環。

七、參考文獻：

1. 【森林之寶】見晴懷古步道－柳杉
<https://hiking.biji.co/index.php?q=news&act=info&id=17333>





1. 柳杉

<http://kplant.biodiv.tw/%E6%9F%B3%E6%9D%89/%E6%9F%B3%E6%9D%89.htm>

1. 中華林學季刊-溪頭台灣杉人工林之林分特性與發展

<file:///D:/533137/Downloads/A15007865.pdf>

1. 台灣主要造林樹種之創新利用及展望

<file:///D:/533137/Downloads/27181411171.pdf>

1. 南投縣政府文化局

https://www.nthcc.gov.tw/B3_2/content/727

1. 臺灣竹會-臺灣特色竹生態

<https://www.taiwan-bamboo.org/tw/taiwan-bamboo-ecosystem/>

1. 臺灣竹會-桂竹協會

<https://www.taiwan-bamboo.org/tw/partner/taiwan-makino-bamboo/>

1. 桃園市非營利組織發展中心-桃園市復興桂竹產業發展協會

https://npo.tycg.gov.tw/News_Content.aspx?n=249&s=331544

1. 從黑心柳杉看台灣的林業

<https://e-info.org.tw/against/2002/ag02032201.htm>

1. 林務局-臺東林區管理處-柳杉

<https://taitung.forest.gov.tw/0000132>

1. 林務局-第四次森林資源調查報告

卓志隆. (2013). 對環境友善之森林收穫作業與技術開發成果報告. 行政院農委會林務局委託計劃 106 頁





中文名稱：國產木竹材碳盤查計畫

英文名稱：The Project for the Carbon Inspection of Domestic
Wood and Bamboo

期末報告

計畫主持人：李士畦 理事長

研究期間：112年5月1日至112年12月31日

執行單位：社團法人台灣生態材料產業發展協會

中 華 民 國 一 一 二 年 十 二 月 八 日





期中審查委員意見回覆

審查委員	審查委員意見	意見回覆	頁數
一、林俊成	1.本計畫最後會回歸至第二個計畫做後續的延伸，因此，建議兩個計畫後續須進行資料的整合。	謝謝委員意見，兩個計畫資料將會統整為一份。	
	2.建議期末報告進行國產材及進口材之差異性分析，以利彰顯國產材的優勢。	謝謝委員意見，經計算後，進口之柳杉碳排放量多了海上運輸，因此碳排放量較高，以碳排放為考量則有利於國內廠商採用國產柳杉。	
	3.建議範疇、定義及規範須界定清楚，不同的疏伐方式，產出及效能皆不同。	謝謝委員意見。 柳杉及桂竹碳盤查範疇為原料材砍伐到運送至分料廠。	P. 14
	4.未來盤查結果與碳匯對接，可藉由本計畫，找出 HWP 台灣木竹林產品碳貯存量相關係數，提升計畫價值。	謝謝委員意見。 已將 HWP 納入期末報告裡論述。	P.6
	5.關於邊界範圍，請確認育苗作業是否要納入計算。	謝謝委員意見。 否，本盤查範疇並無育苗相關計算，因已無數據可考，本計畫僅就砍伐階段進行盤查。	
二、柳婉郁	1.請釐清本計畫是以計算碳盤查或是碳足跡為主，碳盤查為計算組織型碳排放量，碳足跡為計算產品碳排放量為主，以本計畫來看，應是以計算碳足跡為主。	謝謝委員意見，本計畫確實是以計算產品碳排放量之碳足跡為主，將會再內容中針對碳盤查論述調整為碳足跡，謝謝。	



	<p>2.本計畫未來主要目的為將國產材與進口材進行碳足跡的差異性，可以彰顯國產材的碳足跡遠比進口材的碳足跡少很多，是非常有意義的計畫，因此，碳足跡的計算必須確認產出的部分，終端的利用可能會影響前端的處理，請團隊確認最終端的產品是以何為單位，及計算的數量。</p>	<p>謝謝委員意見。 柳杉碳足跡計算結果以材積單位表示；桂竹以支為單位表示。</p>	
	<p>3.期中報告尚未看見碳排放係數數據收集的呈現，若目前團隊還在收集數據階段，以碳足跡計算來說，建議透過訪談業者來取得相關數據，前提是必須先確認產品、單位及重量，訪談重點為伐材的機具、能源、人力、用電量、及運輸交通工具。</p>	<p>謝謝委員意見。 本計畫碳足跡計算範疇包含伐材的機具、能源、人力、及運輸距離之排放量，數據收集階段除了至伐竹場域實地查訪，同時，也現場與伐竹工班及業者進行訪談，以確保數據可信度。</p>	
<p>三、李堅明</p>	<p>1.本計畫目的是計算柳杉與桂竹原料材階段的碳盤查，建議本計畫應界定原材料階段的碳盤查邊界，以利碳盤查計算。</p>	<p>謝謝委員意見。 柳杉及桂竹碳足跡計算範疇為原料材砍伐到運送至分料廠。</p>	<p>P.14</p>
	<p>2.建議依據柳杉與桂竹製造之商品，建立盤查的功能單位，計算單位功能單位的碳排放量，柳杉與桂竹原材料階段之排放係數。</p>	<p>謝謝委員意見。 柳杉碳足跡計算結果以立方公尺為單位表示；桂竹以支為單位表示。</p>	



	<p>3.建議本計畫可考慮建立柳杉與桂竹原材料的「碳匯標籤」，做為未來計算柳杉與桂竹製造的商品碳足跡之抵扣量，彰顯木竹製品的低碳價值。</p>	<p>謝謝委員意見。 產品碳標籤是針對 B2C 的產品方可獲證，本計畫僅完成柳杉及桂竹的「原料材」碳足跡計算，可供後端產品加工碳排數據參考。 由於目前國內僅推動「產品碳足跡標籤」尚未有「碳匯標籤」之作法。產品碳足跡標籤即是為了緩解氣候變化、減少溫室氣體排放、推廣低碳排放技術，把商品在生命週期中所排放的溫室氣體排放量在產品標籤上用量化的指數標示出來，以標籤的形式告知消費者產品的碳信息，故本計畫冀於未來業者須進行產品碳足跡認證並申請產品碳標籤時，可參考本計畫之原料材(柳杉、桂竹)之碳排數值運用。</p>	
<p>四、汪處長</p>	<p>1.本計畫名稱為碳盤查，但其他委員有提到本計畫應是以碳足跡為主，是否會影響本計畫後續進行的方向與原設定該完成的計畫目標，或許將兩者皆納入本計畫執行。</p>	<p>謝謝委員意見，本計畫確實是以碳足跡為主，將會糾正報告內容的論述，將碳盤查修正為碳足跡，因此將不會影響本計畫後續進行之方向。</p>	
<p>五、張偉顛</p>	<p>1.關於團隊設計的柳杉及桂竹的數據收集表格，尚未能看出是否將育苗及撫育階段</p>	<p>謝謝委員意見。 本盤查範疇並無育苗相關計算，因已無數據可考，本</p>	



	也納入計算，請團隊再確認計算的範疇。	計畫僅就原料材砍伐階段進行盤查。	
	2.請團隊確認本計畫是個案或是通案的盤查，並釐清在數據收集上，如何因應不同類型的伐材使用機具及作業方式。	謝謝委員意見。 本計畫主要建立柳杉及桂竹砍伐生命週期流程，提供相關業者做為原料取得碳盤查計算依據。	
六、王芳	1.建議團隊可參考國外碳足跡計算之文獻，以綠建材為例，木竹材的原料取得碳排放量計算為零，若本計畫將原料取得碳排放量納入計算，是否會影響國產木竹材的碳排放量數據。	謝謝委員意見。 本計畫經由伐竹場域實地查訪，並與伐竹作業人員當面進行訪談，收集第一手資料，故經本計畫計算較近實際狀況。	
	2.本計畫後續可以提供給林業署的應用為高性能機具的部分，因此，建議本計畫機具使用要做詳細比較，以利未來說明高性能機具具有良好的減碳效益。	謝謝委員意見。 透過碳足跡計算可獲得碳排放量的熱點，以供未來廠商伐材階段減碳參考依據	
七、(副組長)	請團隊確認伐材的運輸工具的耗損及保養是否也要納入計算，如:保養油。	謝謝委員意見。 柳杉及桂竹伐材業者皆無提供保養油相關數據，且保養油對碳排放量影響不大，故不納入計算。	



目 錄

期中審查委員意見回覆.....	I
摘要.....	1
一、前言.....	2
二、擬解決問題.....	4
三、前人研究概況.....	6
四、計畫目標.....	13
五、實施方法.....	14
六、重要工作項目預定進度.....	15
七、期中及期末評核標準.....	15
八、執行成果.....	16
(一) 柳杉.....	16
(二) 桂竹.....	29
九、結論.....	47
十、成果效益.....	48
十一、參考文獻.....	49
十二、附件.....	50





圖目錄

圖 1、伐木作業之程序圖.....	9
圖 2、打枝造材作業之程序圖.....	10
圖 3、集材作業之程序圖.....	10
圖 4、裝車運材作業之程序圖.....	11
圖 5、溪頭森林遊樂區_柳杉場域.....	16
圖 6、請益中興大學廖天賜教授.....	18
圖 7、阿里山事業區第 10 林班地疏伐後狀況.....	22
圖 8、阿里山事業區第 10 林班地疏伐後狀況.....	22
圖 9、阿里山事業區第 5 林班地碳排占比分析圖.....	25
圖 10、阿里山事業區第 10 林班地碳排占比分析圖.....	25
圖 11、桂竹協會伐竹場域.....	29
圖 12、現地伐材後集中放置區.....	30
圖 13、伐材後運至集材場整理/配送場域.....	30
圖 14、請益中興大學顏添明教授.....	31
圖 15、榮華企業公司現地伐材後集中放置區.....	32
圖 16、榮華竹葉公司伐材鏈鋸機.....	32
圖 17、三鈴竹材現地伐材後集中放置區.....	33
圖 18、三鈴竹材伐材砍刀.....	33





圖 19、榮華竹葉公司碳排占比分析圖.....40

圖 20、三鈴竹材碳排占比分析圖.....40



表目錄

表 1、人工林針葉樹林型主要樹種單位面積蓄積.....	8
表 2、六大竹種單位面積支數.....	12
表 3、111 年至目前宜蘭分署轄區執行柳杉伐材案件列表.....	17
表 4、柳杉桂竹伐材調查表.....	20
表 5、柳杉伐材碳盤查數據收集彙整資料表.....	21
表 6、建富工程行 (阿里山事業區第 5 林班地)碳足跡計算項目.....	23
表 7、閎誌木業有限公司(阿里山事業區第 10 林班地)碳足跡計算項目.....	23
表 8、阿里山事業區第 5 林班地柳杉伐材能源投入量.....	24
表 9、阿里山事業區第 10 林班地柳杉伐材能源投入量.....	24
表 10、建富工程行(阿里山事業區第 5 林班地)各階段碳足跡.....	26
表 11、閎誌木業有限公司(阿里山事業區第 10 林班地)各階段碳足跡.....	26
表 12、國產材與進口材比較.....	28
表 13、榮華桂竹有限公司和三鈴竹材碳盤查數據對照表.....	34
表 14、桂竹伐材碳盤查數據收集彙整資料表.....	36
表 15、榮華竹業公司碳足跡計算項目.....	37
表 16、三鈴竹材碳足跡計算項目.....	38
表 17、榮華竹業公司各階段碳足跡.....	41
表 18、三鈴竹材各階段碳足跡.....	41





表 19、柳杉 阿里山事業區 第 10 林班查驗單.....	43
表 20、柳杉 阿里山事業區 第 5 林班查驗單.....	44
表 21、榮華竹葉公司查驗單.....	45
表 22、三鈴竹材查驗單.....	46





摘要

由於台灣政府近年來，積極地推動產品碳足跡，因為產品碳足跡就是一種有效追蹤碳排放量的工具，能夠提供消費者及下游廠商作為參考，這將是未來市場競爭中必要的考量因素。為因應未來林業產品碳足跡在原料材數據取得之需求，又因目前國內仍缺乏林業原料材之碳排數據，故本計畫以柳杉、桂竹原料材階段相關流程羅列與確認其程序準確，以利在資料蒐集與計算做為參考依據，將所產生的相關能耗進行蒐集與盤查，獲得出柳杉及桂竹至原料材階段之碳排放數據。

關鍵字： 柳杉、桂竹、碳盤查、產品碳足跡



一、前言

聯合國的共同願景是對世界上所有類型的森林和森林以外的樹木進行可持續管理，為可持續發展作出貢獻，成為今世後代可提供經濟、社會、環境和文化益處的世界。聯合國的共同使命是推動可持續森林管理，將森林和森林外樹木於《2030年可持續發展議程》有所貢獻，包括各級之加強合作、協調、一致性，協同效應和政治承諾與行動。全球森林目標和指標是自願性和普遍性的，支持國際森林配置的目標，主旨在為實現可持續發展目標，愛知生物多樣性指標，《聯合國氣候變化框架公約》通過的《巴黎協定》，對於氣候變化和其他與森林有關的國際文書、程序、承諾和目標做出貢獻。

隨著節能減碳議題持續發燒，產品碳足跡計算與碳足跡資訊揭露也已發展成為國際碳管理的顯學之一。近年來，國內製造業在國際大廠或消費者的壓力與要求之下，逐漸了解進行產品碳足跡計算與碳足跡資訊揭露已是不可抵擋的趨勢。國內進行產品碳足跡計算與碳足跡資訊揭露者，大都以工業製品或食品業相關產品為主。相較於工業或農業產品而言，林產品一向被視為碳足跡較低的產品，然而林業相關產品的碳足跡資訊則相當匱乏。

2050淨零轉型是全世界的目標，也是臺灣的目標。我國2050淨零排放路徑將以「能源轉型」、「產業轉型」、「生活轉型」、「社會轉型」等四大轉型，及「科技研發」、「氣候法制」兩大治理基礎，輔以「十二項關鍵戰略」，就能源、產業、生活轉型政策預期增長的重要領域制定行動計畫，落實淨零轉型目標。2017-2030年森林策略計畫核心包括6個森林目標和26個副目標，並納入聯合國永續發展議程之一。這個森林策略計畫從不同層級採取行動，關切所有類型尚未納入永續管理的森林和樹木，呼籲各國停止森林砍伐和防止森林退化。全球現有





近 40 億公頃森林，占陸地面積 30%，森林策略計畫的具體目標要到 2030 年將森林面積增加 1.2 億公頃，即提高全球土地面積 3% 的森林覆蓋率，以滿足未來對林產品和服務的需求。

然而台灣擁有豐富的森林資源，森林覆蓋率超過 60%，但國內的木材需求卻相當仰賴國外進口。國內林產業因國產材市場萎縮，以致林業經營收益低落，居民難以仰賴林木（竹）為生。近年，林業試驗所更發現已有相當數量日本柳杉輸入臺灣市場，其價格甚至低於臺灣本土生產的柳杉木材，顯示有業者看好其加工性質及利用性而大量進口，台灣自日據時期即引進柳杉進行造林，現存柳杉造林面積達 4 萬公頃，卻缺乏支持國產造林木的利用之林業政策。且生長在台灣の木竹，有最短的「碳足跡」，樹木成材需要 30 年，竹子只要 4 年就能砍伐利用，竹子生長速度快，不但可以代替木材，還能代替鋼材，近年林務局亦鼓勵消費者支持國產木竹材製品，不只優質耐用，更能提振山村經濟、促進林地林用，也減少進口木材跨海長程運輸製造的碳足跡。因此，使用國產木竹材是節能減碳、有助於保護環境、減緩全球氣候變遷的「綠色消費」。



二、擬解決問題

在全球保育天然林和有效經營利用人工林的共識下，使用合法國產材是趨勢，也是一種責任，透過永續森林管理、森林保護和復育，促使生產和消費合乎永續原則，達到減碳及維護生物多樣性的目的。

根據第六次全國農業會議總結論，國內木材自給率期能於 10 年內朝達 5% 之目標，因此林務局近年來已經推動許多林業振興與推廣措施，以加強森林永續經營、促進林產業發展及資源永續之利用，並宣示 2017 年為「國產材元年」，透過於生產端提升國有人工林疏伐量能與輔導公私有林經營，以及市場端推廣國產材、品牌行銷及鞏固林業產業鏈等方案，將國產材生產與市場做連結，希望能逐步提升國產木材自給率。

在 2000 年後，臺灣竹產業也開始與國際趨勢接軌，將竹子重新定位成「環保」媒材，臺灣也將竹子的應用廣、竹子生長快速，4 年就可以成材利用，且竹子繁殖力強，砍伐老竹越多，越有利新筍萌發與竹材品質提升，並可營造出健康竹林，增進國土保安效益。竹林在全世界分佈廣泛，被稱為「世界第二大森林」，以竹子資源利用發展的竹產業已成為全球公認的綠色產業，擁有巨大的經濟價值、生態價值和文化價值，作為一項重要的非木質資源，成為一種戰略性自然資源，運用竹類資源優勢，改善生計消除貧窮，營造具有安全、韌性及永續性的生活環境，為亟具發展潛力的綠色資材。

目前國內外對木/竹資源之研究，以探討其生物量和碳吸存能力居多。實際進行產品碳足跡計算的，則集中在木質或木漿產品，例如造紙工業之紙漿、紙張、紙箱、木質建築/家具...等，在木竹材相關原料材方面，並無實際進行碳足跡計算





的案例。為滿足業者對木竹材(原料材)相關產品碳足跡資訊之需求，實有必要進行相關研究。

本計畫目標為以柳杉/桂竹作為本年度碳足跡之計算示範案例，針對國產木竹材進行碳足跡計算，獲得碳排放係數資訊。期望藉由本計畫之執行，除了可以達到向下游使用者揭露該竹炭相關材料或產品之碳足跡資訊外，亦逐步達成建立我國木竹相關材料和產品之碳足跡資料庫的目的。





三、前人研究概況

隨著國際溫室效應的影響，氣候暖化已成為地球所需要面臨的巨大挑戰。因此，國際組織在 2018 年正式公告制定 ISO 14067 規範，並以該標準生命週期架構碳足跡量化流程。目前 ISO 14067 為產品或服務於生命週期階段之碳排放量計算與溝通的方法。對於產品而言，這包括各種生命週期階段的分析，從原料的提取和加工、製造、配銷，到產品使用階段和產品壽命終止階段之處理方式。根據經濟部工業局說明，國際標準組織 ISO，在 2018 年 8 月正式公告「ISO 14067」條文規範：2018 溫室氣體—產品碳足跡—量化之要求事項與指導綱領（Greenhouse gases — Carbon footprint of products —Requirements and guidelines for quantification）。此條文是以符合國際標準 ISO 14040、ISO 14044 與「生命週期評估（Life Cycle Assessment, LCA）」，而制定了碳足跡的量化與產品報告，並以二氧化碳當作單位計算，讓產品（原料、製造、運輸、使用與處置／回收）生命週期之溫室氣體排放情況完整被量化紀錄，作為碳足跡減量的對應措施。

產品碳足跡係指產品由原料取得、生產製造、配銷、使用、及廢棄處置等過程所產生的溫室氣體排放量總和，故碳足跡數據除了有資訊揭露的意義外，尚有發掘減碳熱點的積極性作用。碳足跡標籤(Carbon Footprint Label)，又稱碳標籤(Carbon Label)或碳排放標籤(Carbon Emission Label)，是一種用以顯示公司、生產製程、產品（含服務）及個人碳排放量之標示方式。計算方式是由盤查一個產品從原料取得，經過工廠製造、配送銷售、直至消費者使用到最後廢棄回收等產品生命週期各階段中，所產生的溫室氣體，經換算成二氧化碳當量的總和，用以呈現產品碳足跡。透過碳標籤制度的施行，能使產品各階段的碳排放來源透明化，



促使企業調整其產品碳排放量較大的製程，也能促使消費者正確地使用產品，以達到減低產品碳排放量的最大效益。

目前包括英國、美國、加拿大、日本、韓國、泰國、澳洲等國家皆展開碳足跡相關政策與工作的建置，從已實施產品碳標籤的經驗可見，許多國家正朝著低碳社會的道路邁進，並且也為企業帶來碳排放減量的機會與強化公司品牌的聲譽。在臺灣則是以碳標籤作為在減碳議題上，提升消費者對產品購買意願，與企業形象之形塑與呈現。然而，由於產品碳標籤於目前屬各國自訂，尚無國際統一規範，故國外市場上仍以國際組織在 2018 年正式公告制定之 ISO 14067 規範為主要查驗文件。因此，在申請碳標籤流程中，先行取得的 ISO 14067 查驗證書，即可作為未來產品外銷時，碳排相關之佐證文件，供出口國參閱；後續向環境部提出申請，取得碳標籤則可供國內銷售時使用。

根據林務局第四次森林資源調查統計，森林蓄積的推估，係經由 3,648 個地面樣區取樣調查資料計算而得，採用第三次森林資源調查相同之材積式，估算各樣區蓄積，再依樣區面積換算成各林型單位面積(每公頃)蓄積，再乘以各林型面積累計而得。天然針葉樹林型平均每公頃蓄積 499.65 立方公尺，其中以檜木林每公頃 746.63 為最高立方公尺、雲杉林 657.48 立方公尺次之；人工針葉林平均每公頃蓄積 318.05 立方公尺，以柳杉每公頃 388.89 立方公尺最高，詳如表 1。

隨者木材的伐採轉製成木製產品，也讓原本固定於樹幹的碳，轉移至木製產品加以使用，形成所謂「收穫林產品」(Harvested Wood Products, HWP) 碳庫形式。當木製產品棄置後，並非短時間就可分解，往往需耗費數十年。





表 1、人工林針葉樹林型主要樹種單位面積蓄積

	樣區數	材積(m ³ /ha)	標準誤差(m ³ /ha)
檜木人工林	26	320.43	49.64
肖楠人工林	4	86.18	32.35
松類人工林	29	296.31	25.26
杉木人工林	17	222.57	25.99
柳杉人工林	72	388.89	37.43
臺灣杉人工林	3	258.11	56.92
其它人工針葉林	2	230.71	111.09



全國柳杉造林面積共 41,390 公頃，且柳杉生長快速且具有良好的加工性等特點，深受日本人的重視與喜愛。台灣於 1906 年首度引入，曾經是中海拔 500-1,800 公尺主要的造林樹種之一。柳杉目前在臺灣主要分布於阿里山、溪頭、太平山、觀霧等地，但因為臺灣的緯度比日本低，生長地的溫度不夠冷，濕度又比較高，導致柳杉木心變黑且硬度不足，無法作為建材使用。現在多提供作為水土保持及遊樂觀賞。

吳（2001）研究中提到，柳杉伐採作業可分為伐木、打枝造材、集材與裝車運材等階段（圖 1 至圖 4），本計畫依據四個階段中之流程盤點出伐材過程所用燃料、運輸等數據，再運用產品碳足跡資訊網所包含的碳排放係數進行運算，初步計算結果。

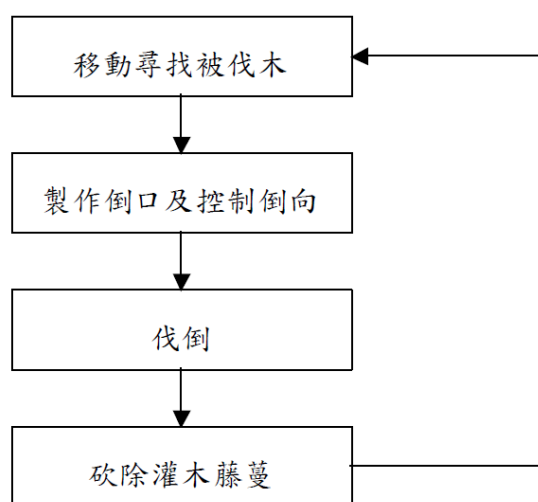


圖 1、伐木作業之程序圖



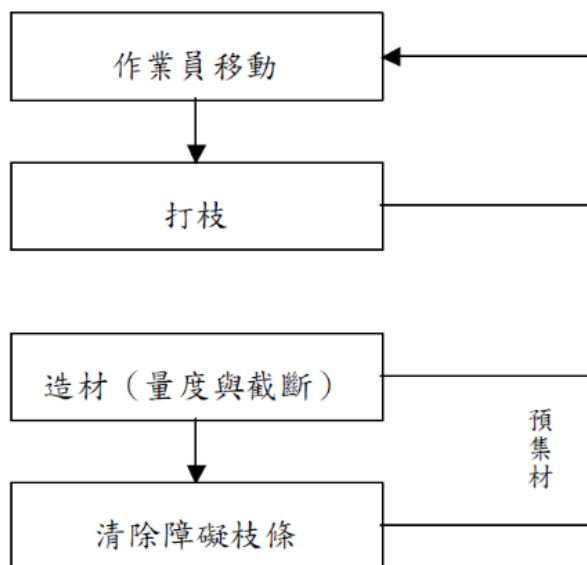


圖 2、打枝造材作業之程序圖

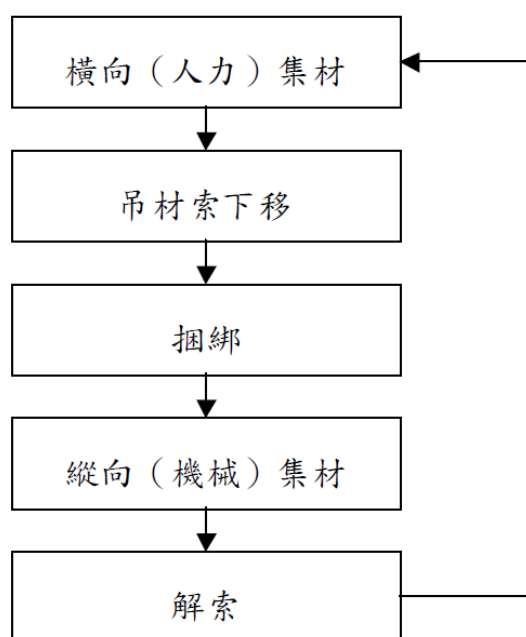


圖 3、集材作業之程序圖



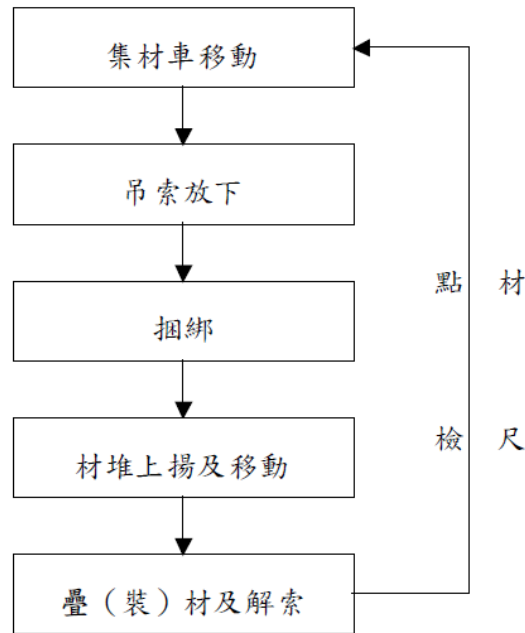


圖 4、裝車運材作業之程序圖

林務局第四次森林資源調查統計，竹林面積約 18.3 萬公頃，占森林覆蓋面積 8%，推估竹材蘊藏量約 15.8 億支，臺灣六大竹種單位面積支數說明如表 2，其中以嘉義縣 2.6 萬公頃、竹材桿數約 2.2 億支，以分佈而言，主要分為兩大區塊，最大區塊集中在中南部區域(南投縣、嘉義縣、高雄市、臺南市等縣市)，其中位於桃園市、新竹縣、苗栗縣一帶，多為單桿狀竹，主要竹種為桂竹、綠竹等，竹材品質優良且資源豐富。

當中，桂竹是台灣特有的竹種，主要生長在北、中部海拔 100-1500 公尺的地區，常形成大片竹林。它對氣候適應性廣泛，偏愛溫暖潮濕的環境，因此，除了南部低海拔地區外，在台灣的其他地區都有栽種。尤其在北部、中部以及花蓮台東之間的縱谷地帶，桂竹種植最為普遍。桂竹的壽命約為十年左右，有一句諺語「存三去四不留七」，表示保留三年以下的讓其繼續生長，四年以上的可採收使用，而超過七年的則宜淘汰。在六大經濟竹種中，桂竹是台灣產量最高的一種。



相較於其他竹子，桂竹的質地更嫩且高雅，因此，被台灣的竹工師傅廣泛使用於編織工藝中。甚至連日本的竹劍也要求使用台灣的桂竹，而非中國大量生產的孟宗竹。桃園市復興區是台灣目前桂竹最主要的產地，也是泰雅族族人的聚落，至今也有不少泰雅族人從事伐竹工作。

中興大學顏添明教授提出，一個竹林永續經營之模式，以5年為收穫期，當林分達此期間必須進行收穫採收，理想的伐採數量為全林的1/5，此為假設1~5年生的竹稈留存數量皆均等。此外，由於初生之竹筍數量可能超過留存株數，因此超出之數量應在竹筍時期即行採收，所以一個健全的竹林應包括竹材及竹筍收穫(顏添明，2011)。

表 2、六大竹種單位面積支數

	小樣區數	單位面積支數(桿/公頃)	標準差
桂竹	1,239	16,148	2,873
孟宗竹	249	8,864	1,285
長枝竹	226	21,500	7,065
荊竹	136	10,344	2,071
綠竹	376	7,088	3,640
麻竹	292	6,872	1,206





四、計畫目標

本計畫基於人工林中柳杉樹種之單位面積蓄積屬之最，以及桂竹為台灣特種亦在六大經濟竹種中，是臺灣生產量最高的竹種的條件下，為落實提升國產材應用，因此選擇蓄積高的木材-柳杉為例；以及在竹種中為生產量最高的竹材-桂竹為例，展開數據盤查與相關蒐集等執行作業，得以獲得柳杉與桂竹之原材料取得之碳排放數據。





五、實施方法

本計畫在柳杉及桂竹的碳足跡計算中，涵蓋了三個主要範疇。1.原料材在現地伐材作業階段，此階段需要考慮伐材期間所使用機具及相應能源的碳足跡計算；2.砍伐後的竹材進行現場初步整理，這包括捆綁原料材所需的塑膠繩等相關耗材，皆須納入碳足跡計算；3.原料材的集中運輸至分料場和各地存放點，這階段涉及運輸所需的能源，例如汽油及柴油，同樣也需要計算其碳足跡。

為了使碳盤查的計算結果更具有代表性，在本年度柳杉伐材之碳足跡計算場域，國內所轄面積較多的嘉義分署為主要對象；桂竹伐材之碳盤查場域，考量伐材方式是否符合永續經營，因此，以分布面積較大的桃園市復興區為主要代表性數據蒐集之場域，並仍詢其他相關場域/單位協助進行盤查作業，若相關階段中遇實際情境無法順利蒐集取得情形，則將以木竹材之理論值、經驗值或文獻資料來替代實際的盤查數據。





六、重要工作項目預定進度

重要工作項目	工作 比重 %	預定進度	112 年		
			4-6 月	7-9 月	10-12 月
國產木竹材_柳杉/ 桂竹(原料材)之碳 盤查報告	80	工作量或 內容	產品碳排 數據蒐集 確認	產品碳 足跡計 算	第三方 查驗
		累計 百分比	30	60	100
期中期末報告撰 寫	20	工作量或 內容	期中報告 撰寫及報 告產出	資料蒐集 彙整	期末報告 撰寫及報 告產出
		累計 百分比	30	60	100
累計總進度	百分比		30	60	100

七、期中及期末評核標準

期中評核標準：

(一)國產木竹材_柳杉/桂竹(原料材)碳排數據蒐集確認

(二)期中報告產出

期末評核標準：

(一)國產木竹材_柳杉/桂竹(原料材)碳盤查報告第三方查驗

(二)期末報告產出





八、執行成果

柳杉及桂竹實地訪查及各階段碳足跡數據收集場域及細節分別說明如下：

(一) 柳杉

有鑑於林務局第四次森林資源調查統計，以及目前資料得知國內柳杉分布地理位置，大多落在嘉義、宜蘭、苗栗，尤其嘉義更甚，因此本計畫向嘉義分署進行探詢目前柳杉資訊，表示於轄內場域阿里山和溪頭(圖 5)，因考量溪頭為民眾休憩造訪之處，近期較無砍伐之規劃；則阿里山仍有伐材或標售之作法，因此本計畫將以阿里山作為數據蒐集場域，並將依對應之場域進行柳杉原料階段之碳盤查數據蒐集與計算；另亦有與林業署宜蘭分署洽詢近兩年轄內有委包之相關資訊與承包廠商資訊(表 3)，以及向中興大學廖天賜教授請益(圖 6)，有關柳杉從生長階段至砍伐後運至集散地之相關流程確立，以利綜整盤點其蒐集與方法建立。



圖 5、溪頭森林遊樂區_柳杉場域





表 3、111 年至目前宜蘭分署轄區執行柳杉伐材案件列表

	事項	單位/窗口
1	伐材面積:25.35 公頃(作業區 3.97 公頃) 區域:和平事業區第 4 林班 數量:契約搬運圓材材積 1041.6 立方公尺、實際執行搬運材積刻正辦理驗收中 執行期間:111 年 9 月中旬至 112 年 3 月中旬	業者名稱:合億工程行 業者聯繫窗口(姓名/電話): 陳慧萍/0988119274
2	伐材面積:5.08 公頃 區域:和平事業區第 62、65 林班 數量:契約搬運圓材材積 1415.25 立方公尺、枝梢材材積 120 立方公尺；契約執行中 執行期間:111 年 11 月下旬至 112 年 5 月中旬	業者名稱:宏育林業行 業者聯繫窗口(姓名/電話): 張宏文/0938113418
3	伐材面積: 2.21 公頃 區域:新北市坪林區文山事業區第 41 林班 數量:契約搬運圓材材積 66.685 立方公尺 執行期間:111 年 11 月 30 日至 111 年 12 月 23 日	業者聯繫窗口(姓名/電話): 張宏文/0938113418 標售案:112 年 4 月 25 日開標，區域:四堵苗圃旁、標售材積 66.724 柳杉與紅檜、投標廠商:原益企業有限公司/(尚未決標公告)02-24563311

資料來源：林業署宜蘭分署提供





圖 6、請益中興大學廖天賜教授

嘉義分署表示，目前雖阿里山地區仍有伐材或標售之作法，但伐材後的林地後續再造林時，但因國內已無進行柳杉之育苗作業(柳杉造林的來源有兩種，以種子育苗稱「實生苗」，以枝條插枝稱「插條苗」)，亦無再以柳杉樹種進行造林之意，如今留下的數萬公頃的柳杉林，目前林務單位正在部分林區進行所謂「砍三留六」疏伐後補植本土樹種的作業，以台灣杉之樹種進行造林，故本計畫以嘉義阿里山作為主要場域之一，並酌以宜蘭分署場域為輔，為使資料能更具完善除了文獻資料蒐集外，亦與學術單位請益以利確立育苗階段、伐材、造林、集運...等各階段之碳排數據可用性。





1. 資料表格製作與紀錄

本團隊擬定柳杉及桂竹伐材程序相關盤查資料表格，並提供碳盤查表格(表 4)給予廠商了解，包含作業地基本資料、伐採數量、使用機具及能源等項目，且召集相關單位與資訊填寫之窗口人員，進行表格填寫說明會。

團隊於 10/11 前往阿里山事業區第 10 林班地，阿里山事業區第 10 林班地於民國 25 年種植、今年(112)首次進行疏伐作業，此次作業採擇伐方式進行(圖 7 及圖 8)，由於工作進度推進至伐材，後續仍有造、集、運、貯等作業流程，因此先以目前實際數據及實地工作經驗推估數值。

又於 11/9 前往奮起湖、光華一帶拜訪另一廠商，在 111 年 7 月至 112 年 4 月在阿里山事業區第 5 林班地進行柳杉疏伐作業，阿里山事業區第 5 林班地約於民國 58 年種植、今年(112)首次疏伐，訪查時已經結束該地柳杉疏伐作業，因此就廠商仍有印象之資料進行收集。

2. 資料整理

伐材調查表顯示，柳杉有兩家廠商回饋作業相關投入，調查表回收整理後如表 5，從表格得知、阿里山事業區第 5 林班地伐材案之產量為 1,700 m³，原料投入部份包含雨鞋、手套、安全帽、防割褲、耳罩等個人防護用具，現場備有救災用水、滅火器、沙包與急救箱等環境安全配備，工作機具有鏈鋸、集材機、挖土機、四腳車及滑輪等，消耗品則有鍊條...等資訊；阿里山事業區第 10 林班地伐材案之產量為 2,612.12 m³，原料投入部份包含雨鞋、手套、安全帽、防割褲、耳罩等個人防護用具，現場備有救災用水、滅火器、沙包與急救箱等環境安全配備，工作機具為鏈鋸等資訊，關於此作業執行至伐材階段，後續作業之投入相關資訊，以訪談估算方式取得相關數據。





表 4、柳杉桂竹伐材調查表

國產木竹材碳盤查調查表		
1.	填表人	
2.	單位/公司	
3.	電話/手機	
4.	竹種	
5.	伐材作業期間	
6.	伐材地點 (地址/地號)	
7.	伐材面積	
8.	伐材地點概況說明	
9.	伐材方式 (例如: 管伐、擇伐)	
10.	所需人力 (請說明伐材需要多少人力及工作時數)	
11.	採收數量	
12.	伐材 器具	伐材器具名稱 (例如: 鐮刀、雨鞋、手套...等)
		使用頻率
		替換頻率
13.	伐材	伐材機具名稱

14.	機具	(例如: 鏈鋸...等)	
		使用頻率	
		替換頻率	
		機具所需能源 (例如: 柴油、汽油、電)	
14.	運輸	能源使用量	
		運輸工具 (例如: 卡車或是其他運輸設備)	
		運輸工具使用能源 (例如: 柴油、汽油、電)	
		運輸方式 (幾輛車、趟次數)	
		運輸工具出發地點	
		採收存放地點	

15.	伐材流程 (請盡可能詳述各階段流程, 或是以流程圖表示)	
16.	紀錄 (例如: 實材秤重數據照片、科單)	





表 5、柳杉伐材碳盤查數據收集彙整資料表

國產木竹材碳盤查基本資料

標的產品	柳杉							
公司名稱	建富工程行				閱誌木業有限公司			
場域地址/地號	阿里山事業區 第5林班				阿里山事業區 第10林班			
場域面積	21公頃				3.18公頃			
宣告/功能單位	立方公尺				立方公尺			
生命週期範圍	搖籃到大門				搖籃到大門			
總產量	1700立方公尺				2612.12立方公尺			
伐材作業期間	111/07-112/04				112/04/20-113/06/30			
伐材方式	皆伐				疏伐 / 擇伐			
投入人力/時間	6人 10月				3人			
伐材器具	器具名稱	使用頻率	替換頻率		器具名稱	使用頻率	替換頻率	
	鐮刀	每次伐材作業皆會使用	一個禮拜		無	無	無	
伐材機具	機具名稱	使用頻率	機具使用能源	機具能源使用量	機具名稱	使用頻率	機具使用能源	機具能源使用量
	怪手、鏈鋸機	每次伐材作業皆會使用	汽油	600公升	鏈鋸機、手持式鏈鋸	每次伐材作業皆會使用	汽油	95 25公升汽油2桶
運輸	運輸工具	運輸頻率	運輸能源	運輸工具出發地點	運輸工具	運輸頻率	運輸能源	運輸工具出發地點
	17噸及21噸卡車	共66趟次	柴油	阿里山事業區 第5林班	尚未進行運輸作業，故無資訊			
竹材分料廠 (採收後存放地點)	觸口貯木場				目前存放於阿里山事業區 第10林班現場 (主要以穎昌木業工廠為主)			





圖 7、阿里山事業區第 10 林班地疏伐後狀況



圖 8、阿里山事業區第 10 林班地疏伐後狀況





阿里山事業區第 5 林班地及地 10 林班地碳足跡計算項目分別說明如表 6 及表 7，而又如表 8 及表 9 所示，柳杉伐材蒐集數據包含汽油、柴油以及運送柳杉之大貨車類型，柳杉原材之能源投入量，有鑑於具不確定性因此以不同場域應產出不同數據，而地域性之能資源供應碳排放數值並不完整或未予揭露，資料庫僅能就已揭露資訊進行分析計算。

表 6、建富工程行 (阿里山事業區第 5 林班地)碳足跡計算項目

建富工程行 (阿里山事業區第 5 林班地)					
原料材取得階段(含能源)					
項目名稱	投入量	單位	運輸方式	起點至伐材場域之運輸距離	運輸距離單位
伐採機具用之汽油	600	公升	陸運	20.3	公里
配銷階段(運輸)					
項目名稱	配銷總數量	單位	運輸方式	伐材場域至配銷地點之運輸距離	運輸距離單位
柳杉	1700	立方公尺	陸運	53.8	公里

表 7、閱誌木業有限公司(阿里山事業區第 10 林班地)碳足跡計算項目

閱誌木業有限公司(阿里山事業區第 10 林班地)					
原料材取得階段(含能源)					
項目名稱	投入量	單位	運輸方式	起點至伐材場域之運輸距離	運輸距離單位
伐採機具用之汽油	50	公升	陸運	32.7	公里
怪手用柴油	9000	公升	陸運	32.7	公里
配銷階段(運輸)					
項目名稱	配銷總數量	單位	運輸方式	伐材場域至配銷地點之運輸距離	運輸距離單位
柳杉	2089.7	立方公尺	陸運	63.5	公里





表 8、阿里山事業區第 5 林班地柳杉伐材能源投入量

柳杉伐材階段	能源投入項目	數值
伐木作業	汽油	600 公升(含其他作業) 材積 1700 m ³
打枝造材、集材作業	柴油	未有數據
裝車運材作業	17 噸/21 噸大貨車	66 趟次 材積 1700 m ³

表 9、阿里山事業區第 10 林班地柳杉伐材能源投入量

柳杉伐材階段	能源投入項目	數值
伐木作業	汽油	50 公升 材積 2612.12 m ³
打枝造材、集材作業	柴油	(推估)9000 公升 材積 2612.12 m ³
裝車運材作業	20 噸大貨車	(推估)60 趟次 材積 2612.12 m ³



阿里山事業區的第 5 林班地和第 10 林班地生產的柳杉原材，其碳排放數據分別為 $8.7 \text{ Kg-CO}_2/\text{m}^3$ 和 $24.6 \text{ Kg-CO}_2/\text{m}^3$ ，各階段碳排放數據說明如表 10 及表 11，透過圖 9 和圖 10 的階段占比分析，發現第 5 林班地的排放熱點位於配銷階段（ $7.6\text{E}+0 \text{ Kg-CO}_2\text{e}/\text{m}^3$ ），第 5 林班地缺乏柴油使用數據，因此，製造生產階段有數據不完整之情形，進而影響排放熱點，而第 10 林班地的排放熱點則在製造生產階段（ $1.56\text{E}+1 \text{ Kg-CO}_2\text{e}/\text{m}^3$ ），故未來可優先針對熱點項目進行減碳策略之研擬與評估，並依據此碳排的貢獻度分析結果，作為該產品碳足跡數值降低之改善目標。

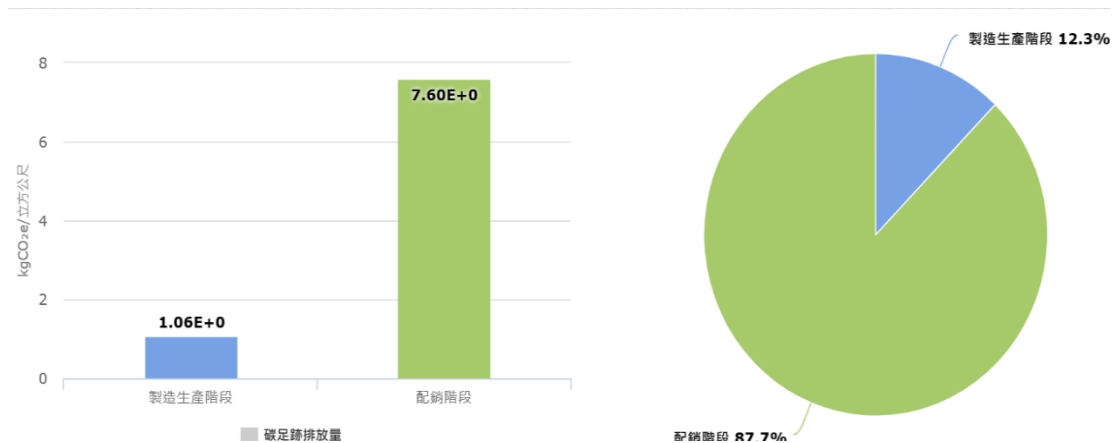


圖 9、阿里山事業區第 5 林班地碳排占比分析圖

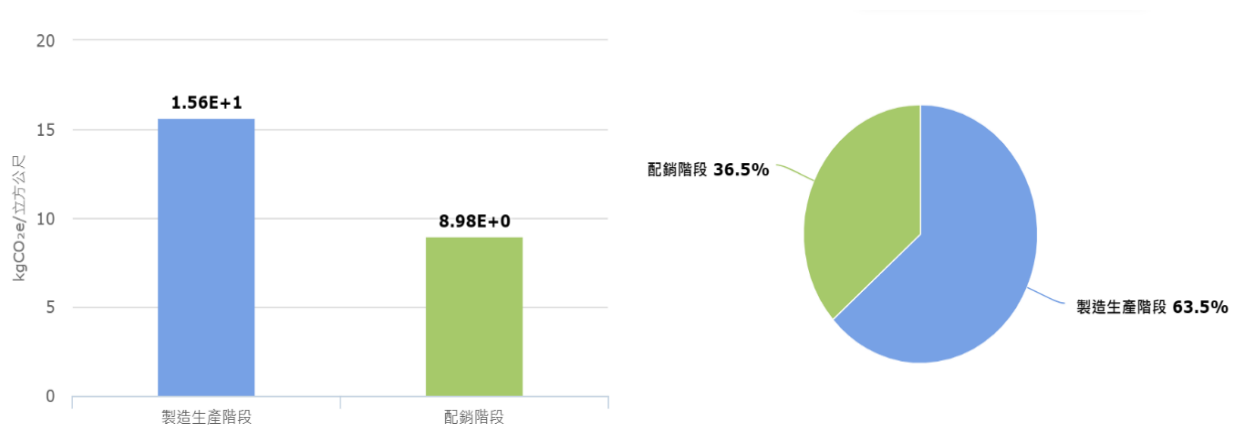


圖 10、阿里山事業區第 10 林班地碳排占比分析圖





表 10、建富工程行(阿里山事業區第 5 林班地)各階段碳足跡

階段	碳足跡
伐、造、集材作業階段	1.06E+000
配銷階段(運輸)	7.60E+000

表 11、閱誌木業有限公司(阿里山事業區第 10 林班地)各階段碳足跡

階段	碳足跡
伐、造、集材作業階段	1.56E+01
配銷階段(運輸)	8.98E+000





本計畫旨在國產木竹材的原料取得上提供碳排放數據，由於臺灣每年木材資源使用量約為 600 萬立方公尺，但木材自給率僅約 1%，大部分是仰賴進口，而在淨零政策推動之下，選用碳排放低的產品優勢將會越趨顯現。因此以表格呈現國產材與進口材比較表格如表 12，使用國產材之優勢在於較短之運輸距離，而運輸距離將連動碳排放量，前人研究(卓志隆，2013)中提到以對環境友善之森林收作業方式進行伐木和集材時，因所使用機械所消耗汽油或柴油，而排放之 CO_2 量於伐材過程為 $1.10 \text{ Kg-CO}_2\text{e}/\text{m}^3$ ，集材過程為 $13.1 \text{ Kg-CO}_2\text{e}/\text{m}^3$ ，裝車作業 $13.1 \text{ Kg-CO}_2\text{e}/\text{m}^3$ ，共計 $27.3 \text{ Kg-CO}_2\text{e}/\text{m}^3$ 。對照本計畫依據訪調得到結果 $24.6 \text{ Kg-CO}_2/\text{m}^3$ 有些微差異，推測原因為 1. 雖為相同樹種，但相異之林班地具不同的環境條件，亦影響管理及森林狀況，2. 不同的實地操作人員存在相異伐採方式，3. 在數據收集上具不確定性等因素，因此，建議應收集足量資訊後視不同情況進行計算，將更貼近真實碳排放數據。

另研究顯示(林等，2017)臺灣進口的實木產品於航運過程的 CO_2 排放量平均每年為 6.7 萬公噸(散裝船)及 30.9 萬公噸(貨櫃船)。假設進口材與國產材之伐採階段趨同，碳排影響因子即以運輸距離為考量重點，若以柳杉最大進口國日本做為運輸計算起點，運輸至台灣的距離約 1900.07 公里， CO_2 排放量則多出 $3.16 \text{ Kg-CO}_2\text{e}/\text{m}^3$ ，而文獻指出受到新冠肺炎疫情的影響，2020 至 2021 上半年，國際木材大漲價。國外鋸木廠員工可能因染疫等問題，勞力投入大幅短缺，若要恢復以往的生產水準尚需一段調整時間。國內業者普遍認為，未來國際木材價格易漲難跌，短期內、國際間許多鋸木廠與運輸業停擺，木材加工生產停滯，國內木棧板業者多數使用進口木材原料，





自每立方公尺 7,000 元上漲至 13,000 元，市場報價開始出現不穩狀態，進口木材成本已高於國產疏伐木。

表 12、國產材與進口材比較

	國產材	進口材
運輸距離	<1000 公里	>1000 公里
伐採成本	高，國內人工工資高且坡地 伐採不易	低，國外伐採人力便宜、或是使用專業機具 進行伐採
相關產業	發展活絡國內上下游產業	易壓縮國內林產業發展





(二) 桂竹

桃園市復興區是台灣目前桂竹最主要的產地之一，因此本計畫以桃園地區為目標地進行桂竹碳足跡計算，並初步至「桂竹產業發展協會」現地進行勘查以了解砍伐階段作法、人員、機具...等情況(如圖 11~圖 13)，以及後續將其竹材集運至集材場或運至下游業者過程，另，為更加了解桂竹的伐材、集運等相關流程，團隊向中興大學顏教授請益其流程階段之程序(如圖 14)，繼而後續本計畫在蒐集相關數據時可依此流程進行盤查與計算。



圖 11、桂竹協會伐竹場域





圖 12、現地伐材後集中放置區



圖 13、伐材後運至集材場整理/配送場域





圖 14、請益中興大學顏添明教授

原先選定由「桂竹產業發展協會」為主要碳足跡計算數據收集對象，但因伐材工班於作業期間受傷，因而暫緩伐竹作業，故改由同樣位於桃園市復興區之「榮華竹業股份有限公司」為主要桂竹碳足跡數據收集業者，並由其他正進行桂竹伐竹作業之相關廠商協助進行盤查數據收集作業。團隊於 10 月中旬至榮華竹葉公司探訪正在進行伐竹作業之 727 地號場域，實地查看及了解完整砍伐桂竹流程(如圖 15~圖 16)，同步與伐竹工班進行訪談，請益伐竹流程之相關問題及討論碳盤查表格，收集第一手資料，以利桂竹碳盤查數據資料整理及計算作業。同時，團隊訪查三鈴竹材正在進行桂竹伐竹作業之場域，不同於榮華竹葉公司，三鈴竹材以人工方式進行伐竹作業，並無使用任何伐竹機具(如圖 17~圖 18)。因此，團隊依據對榮華竹葉公司和三鈴竹材不同的伐竹方式製作一份對照表(詳如表 13)，以呈現兩者在伐竹作業上的差異。





藉由對榮華竹葉公司和三鈴竹材的實地訪查與伐材人員訪談，使團隊得以深入了解桂竹伐竹流程，與其伐竹流程的不同之處，有助於確保碳盤查數據的全面性及可靠性。



圖 15、榮華企業公司現地伐材後集中放置區



圖 16、榮華竹葉公司伐材鏈鋸機





圖 17、三鈴竹材現地伐材後集中放置區

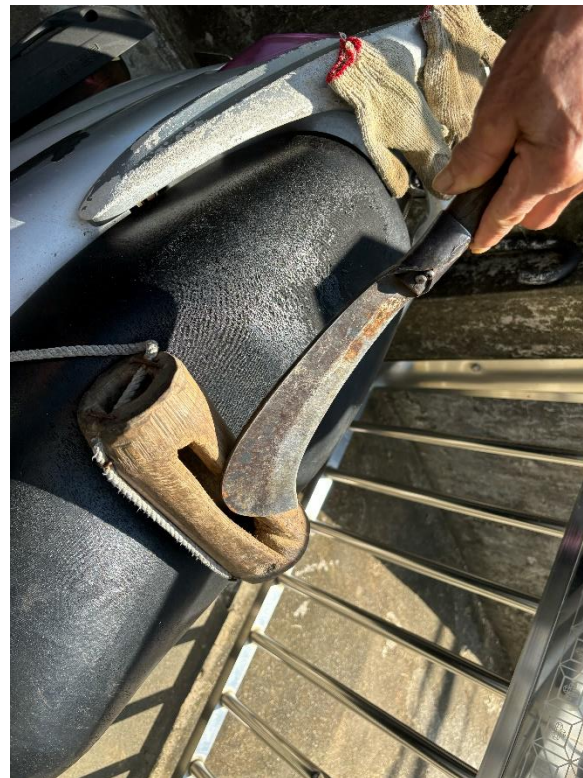


圖 18、三鈴竹材伐材砍刀





表 13、榮華桂竹有限公司和三鈴竹材碳盤查數據對照表

專案項目	榮華桂竹有限公司	三鈴竹材
公司名稱	榮華桂竹有限公司	三鈴竹材
伐材場域地址/ 地號/座標	桃園市復興鄉 727 地號 座標 24.725973, 121.346850	座標 24.5736964, 120.8603793
伐材場域面積	8,940 平方公尺	10,000 平方公尺
宣告/功能單位	公斤	公斤
生命週期範圍	搖籃到大門	搖籃到大門
總產量	23,760 公斤	5,000 公斤
伐材作業期間	約 2 個禮拜	約 3-4 個禮拜
伐材方式	擇伐	擇伐
投入人力/時間	一個工班約 3 人，一天 8 小時	一人作業，一天 8 小時
伐材器具	砍刀	砍刀
伐材機具	鏈鋸機	無
機具使用能源	汽油	無
運輸	17 噸貨車	8 噸 8 貨車
運輸能源	柴油	柴油
竹材分料場	桃園市復興區羅馬路一 段 301 之 6 號旁	苗栗縣頭份市中華路 182 號





完成桂竹伐材作業實地訪查及與伐材作業人員進行訪談後，所得數據資料彙整如表 14，並以收集之數據計算碳足跡，榮華竹業公司與三鈴竹材計算項目分別說明如下(如表 15 及表 16)：

(一)榮華竹業公司

1. 伐材作業階段：計算包括捆綁砍伐後竹材所需的捆繩及運送捆繩所產生的碳足跡。
2. 現地竹材處理：以伐材鏈鋸機使用之汽油及其運送所導致的碳足跡進行計算。
3. 配銷階段(運輸)：運輸部分以計算從伐材場域配送竹材至分料場及存放地點所產生的碳足跡。

(二)三鈴竹材

1. 伐材作業階段：計算包括捆綁砍伐後竹材所需的捆繩及運送捆繩所產生的碳足跡。
2. 現地竹材處理：因由人工伐竹，故製造階段無碳足跡計算。
3. 配銷階段(運輸)：運輸部分以計算從伐材場域配送竹材至分料場及存放地點所產生的碳足跡。





表 14、桂竹伐材碳盤查數據收集彙整資料表

國產木竹材碳盤查基本資料										
標的產品	桂竹									
公司名稱	榮華桂竹有限公司					三鈴竹材				
伐材場域地址/地號	桃園市復興鄉727地號 (座標 24.725973, 121.346850)					座標 24.5736964, 120.8603793				
伐材場域面積	8,940 平方公尺					10,000 平方公尺				
宣告/功能單位	支					支				
生命週期範圍	搖籃到大門					搖籃到大門				
總產量	2750枝, 29700公斤					1000枝, 5000公斤				
竹子直徑	3~7 cm					4~4.5 cm				
伐材作業期間	10/17-10/31 約2個禮拜					約3~4個禮拜				
伐材方式	擇伐					擇伐				
投入人力/時間	一個工班約3人, 一天8小時					一人作業, 一天8小時				
伐材器具	器具名稱	使用頻率	替換頻率			器具名稱	使用頻率	替換頻率		
	砍刀	每次伐材作業皆會使用	砍刀不太需要替換, 只要磨刀即可			砍刀	每次伐材作業皆會使用	砍刀不太需要替換, 手工磨刀即可		
伐材機具	機具名稱	使用頻率	機具使用能源	機具能源使用量	加油站地點	機具名稱	使用頻率	機具能源使用量	機具使用能源	機具能源使用量
	鏈鋸機	每次伐材作業皆會使用	汽油	25公升	復興加油站 (桃園市復興區中正路267號)	無	無	無	無	無
運輸	運輸工具	運輸頻率	運輸能源	運輸工具出發地點		運輸工具	運輸頻率	運輸能源	運輸工具出發地點	
	17噸貨車	一趟	柴油	桃園市復興鄉7-11羅浮門市 (桃園市復興區羅浮119-1號)		8噸8貨車	一趟	柴油	苗栗縣頭份市中華路182號	
耗材	耗材名稱	本次伐材作業使用數量	捆繩重量	購買地點		耗材名稱	本次伐材作業使用數量	捆繩重量	購買地點	
	塑膠捆繩	3捆	3公斤	大溪振德五金行 (桃園市大溪區慈湖路82號)						
竹材分料廠 (採收後存放地點)	500支-桃園市復興區羅浮里羅馬路一段301之6號旁 2200支-南投縣竹山鎮前山路二段220號					苗栗縣頭份市中華路182號				





表 15、榮華竹業公司碳足跡計算項目

榮華竹業公司					
原料材取得階段					
項目名稱	投入量	單位	運輸方式	起點至伐材場域之運輸距離	運輸距離單位
捆繩	9	公斤	陸運	36.9	公里
製造階段(能源)					
項目名稱	投入量	單位	運輸方式	起點至伐材場域之運輸距離	運輸距離單位
鏈鋸機之汽油	25	公升	陸運	21.8	公里
配銷階段(運輸)					
項目名稱	配銷總數量	單位	運輸方式	伐材場域至配銷地點之運輸距離	運輸距離單位
桂竹	2200	支	陸運	225	公里
桂竹	500	支	陸運	17.6	公里





表 16、三鈴竹材碳足跡計算項目

三鈴竹材					
原料材取得階段					
項目名稱	投入量	單位	運輸方式	起點至伐材場域之運輸距離	運輸距離單位
捆繩	3	公斤	陸運	15.7	公里
製造階段(能源)					
項目名稱	投入量	單位	運輸方式	起點至伐材場域之運輸距離	運輸距離單位
無					
配銷階段(運輸)					
項目名稱	配銷總數量	單位	運輸方式	伐材場域至配銷地點之運輸距離	運輸距離單位
桂竹	1000	支	陸運	14	公里





社團法人台灣生態材料產業發展協會
Taiwan Eco-Materials Industry Development Association

榮華企業公司及三鈴竹材的三個階段之碳足跡計算結果如下



表 17 及表 18，最終碳足跡計算總和分別為 0.03 Kg-CO₂e/支及 0.000582 Kg-CO₂e/支，透過圖 19 及圖 20 可以清楚辨認出兩家公司在伐竹作業中碳排放的熱點，也就是產生最多碳排放的階段，可以觀察到在榮華企業公司與三鈴竹材地的伐竹作業中，皆是在配銷階段產生了最大的碳排放量。由此可知，運輸是導致碳排放增加的關鍵因素，因此，未來在運輸方面上可以使用更節能及低碳的交通運輸工具，例如：混合動力貨車或卡車，降低燃料消耗，進而減少碳排放。

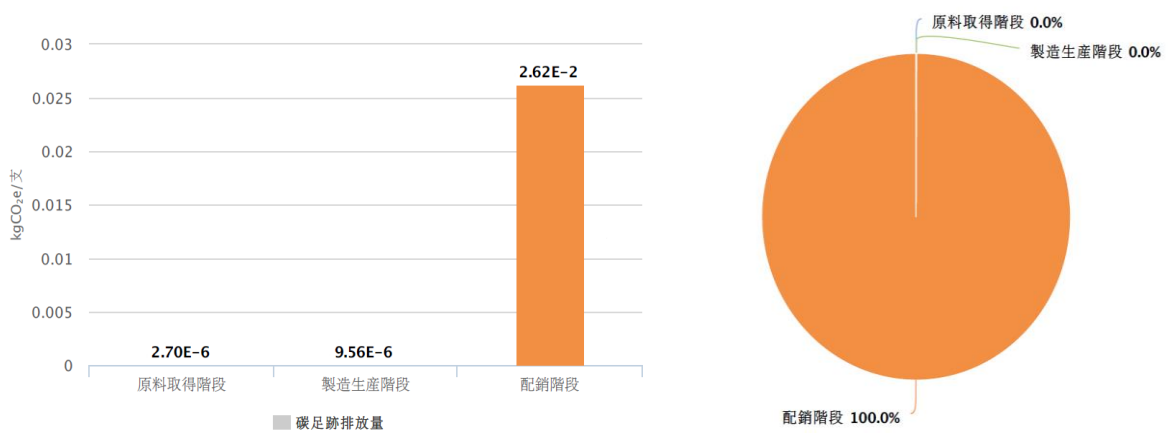


圖 19、榮華竹葉公司碳排占比分析圖

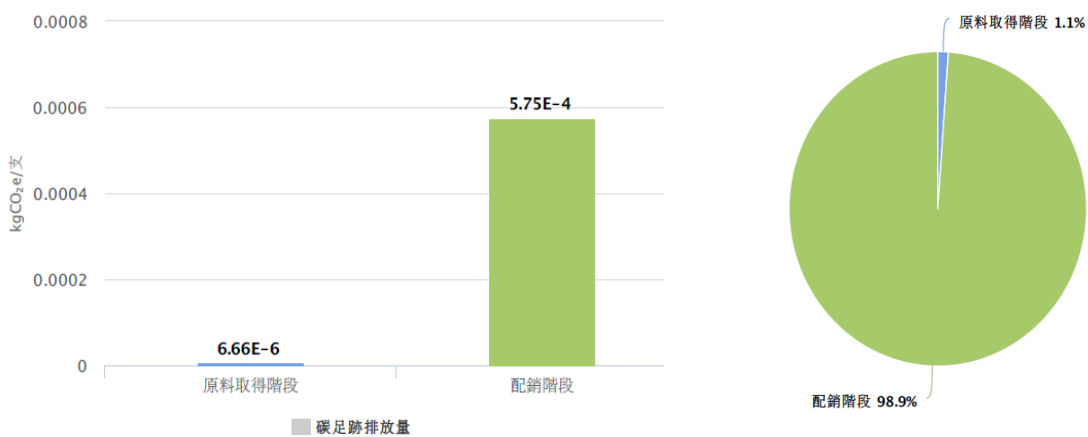


圖 20、三鈴竹材碳排占比分析圖





表 17、榮華竹葉公司各階段碳足跡

階段	碳足跡
伐材作業階段	2.70E-6
現地竹材處理階段	9.56E-6
配銷階段(運輸)	2.62E-2

表 18、三鈴竹材各階段碳足跡

階段	碳足跡
伐材作業階段	6.66E-6
現地竹材處理階段	
配銷階段(運輸)	5.75E-4

經由計算後發現榮華竹業公司和三鈴竹材在伐竹方式、作業時間和使用工具上的差異影響了碳排放情況。榮華竹業公司使用鏈鋸機伐竹，需使用汽油，因此，碳排放較高，此外，榮華竹業的竹材配銷地點也比三鈴竹材多，進一步增加了碳足跡，相較之下，三鈴竹材主要採用人工砍伐方式，僅使用簡單的砍刀，無需任何額外的燃料能源機具，故碳排放量較低，然而，以人工伐竹的方式需要較長的時間來完成伐竹作業。在伐竹作業過程中，機械化和人工化的選擇不僅影響了碳排放，還涉及生產效率和成本的折衷，而重要的是要在生產效率和環境負擔之間找到平衡點。

為了確保數據計算過程和結果的合理性與準確性，本次柳杉及桂竹碳足跡計算結果也委託給第三方單位(工研院)進行數據查驗，查驗單如





表 19~表 22，透過第三方的數據查驗可以協助我們發現數據潛在的錯誤或改進的空間，例如：在計算過程中，單位轉換上的疏忽，未將距離公里轉化為延頓公里等等……，因此，藉由第三方單位的查驗，提高數據的精準度。





表 19、柳杉 阿里山事業區 第 10 林班查驗單

國產木竹材碳足跡查驗單								
項目			內容					
中文名稱			柳杉					
英文名稱			Cryptomeria japonica					
數量			1					
宣告單位			立方公尺					
生命週期範疇(系統邊界)			搖籃到大門					
盤查起迄日			2023/04/20 ~ 2024/06/30					
活動數據來源			閱誌木業有限公司					
第三方查驗單位			工業技術研究院					
查證日期			2023/11/25					
碳足跡計算項目								
活動數據名稱	每單位數量	單位	排放係數名稱	數值	單位	數據來源	碳足跡	碳足跡占比
機具設備使用柴油	4.31E+000	公升(L)	柴油(於鐵路運輸與非道路運輸移動源使用, 2020)	3.61E+000	公升(L)	產品碳足跡計算服務平台	1.55E+001	63.21
配銷過程產品出廠運輸-陸運(TKM)	6.85E+001	延噸公里(tkm)	營業大貨車(柴油)	1.31E-001	延噸公里(tkm)	產品碳足跡計算服務平台	8.98E+000	36.49
無鉛汽油	2.39E-002	公升(L)	車用汽油(於移動源使用, 2020)	3.01E+000	公升(L)	產品碳足跡計算服務平台	7.20E-002	0.29
碳足跡數值：24.6							kgCO ₂ e/m ³	

查驗意見：

盤查期間為 2023/04/20 至 2024/06/30，目前數據尚含括估計值，請於完整期間後再更新本數值。

第三方查驗人： Alicia Wu (簽名)





表 20、柳杉 阿里山事業區 第 5 林班查驗單

國產木竹材碳足跡查驗單								
項目			內容					
中文名稱			柳杉					
英文名稱			Cryptomeria japonica					
數量			1					
宣告單位			立方公尺					
生命週期範疇(系統邊界)			搖籃到大門					
盤查起迄日			2022/07 ~ 2023/04					
活動數據來源			建富工程行					
第三方查驗單位			工業技術研究院					
查證日期			2023/11/25					
碳足跡計算項目								
活動數據名稱	每單位數量	單位	排放係數名稱	數值	單位	數據來源	碳足跡	碳足跡占比
配銷過程 產品出廠 運輸-陸運 (TKM)	5.81E+001	延噸公里 (tkm)	營業大貨車(柴油)	1.31E-001	延噸公里 (tkm)	產品碳足跡計算服務平台	7.60E+000	87.74
無鉛汽油	3.53E-001	公升(L)	車用汽油(於移動源使用, 2020)	3.01E+000	公升(L)	產品碳足跡計算服務平台	1.06E+000	12.26
碳足跡數值：8.7							kgCO ₂ e/m ³	

查驗意見：

建議將相關邊界範疇以及活動數據...等資訊，於報告書中完整呈現，如有排除項目亦須加入說明。

入說明。

第三方查驗人： Alicia Wu. (簽名)





表 21、榮華竹葉公司查驗單

國產木竹材碳足跡查驗單								
項目		內容						
中文名稱		桂竹						
英文名稱		Makino Bamboo						
數量		1						
宣告單位		支						
生命週期範疇(系統邊界)		搖籃到大門						
盤查起迄日		2023/10/17 ~ 2023/10/31						
活動數據來源		榮華竹葉公司						
第三方查驗單位		工業技術研究院						
查證日期		2023/11/25						
碳足跡計算項目								
活動數據名稱	每單位數量	單位	排放係數名稱	數值	單位	數據來源	碳足跡	碳足跡占比
配銜過程產品出廠運輸-陸運(TKM)	2.00E-001	延噸公里(tkm)	營業大貨車(柴油)	1.31E-001	延噸公里(tkm)	產品碳足跡計算服務平台	2.62E-002	99.95
鏈鋸機使用之汽油	3.31E-006	公升(L)	車用汽油(於固定源使用, 2021)	2.88E+000	公升(L)	產品碳足跡計算服務平台	9.52E-006	0.04
捆繩	1.19E-006	公斤(kg)	高密度聚乙烯(HDPE)	2.21E+000	公斤(kg)	產品碳足跡計算服務平台	2.63E-006	0.01

原料階段來料運輸-陸運(TKM)	9.78E-008	延噸公里(tkm)	自用小貨車(汽油)	7.39E-001	延噸公里(tkm)	產品碳足跡計算服務平台	7.23E-008	0.00
製程階段物料來料運輸-陸運(TKM)	5.42E-008	延噸公里(tkm)	自用小貨車(汽油)	7.39E-001	延噸公里(tkm)	產品碳足跡計算服務平台	4.01E-008	0.00
碳足跡數值：0.03 kgCO ₂ e/支								

查驗意見：

建議將相關活動數據蒐集資訊，於報告書中完整呈現，如有排除項目亦須加入說明。

第三方查驗人： Alicia Wu (簽名)





表 22、三鈴竹材查驗單

國產木竹材碳足跡查驗單								
項目		內容						
中文名稱		桂竹						
英文名稱		Makino Bamboo						
數量		1						
宣告單位		支						
生命週期範圍(系統邊界)		搖籃到大門						
盤查起迄日		2023/10/25 ~ 2023/11/01						
活動數據來源		三鈴竹材						
第三方查驗單位		工業技術研究院						
查證日期		2023/11/25						
碳足跡計算項目								
活動數據名稱	每單位數量	單位	排放係數名稱	數值	單位	數據來源	碳足跡	碳足跡占比
配銷過程 產品出廠 運輸-陸運 (TKM)	9.80E-004	延噸公里 (tkm)	營業小貨車(柴油)	5.87E-001	延噸公里 (tkm)	產品碳足跡計算服務平台	5.75E-004	98.85
捆繩	3.00E-006	公斤 (kg)	高密度聚乙烯(HDPE)	2.21E+000	公斤 (kg)	產品碳足跡計算服務平台	6.63E-006	1.14
原料階段 來料運輸-陸運(TKM)	4.71E-008	延噸公里 (tkm)	自用小貨車(汽油)	7.39E-001	延噸公里 (tkm)	產品碳足跡計算服務平台	3.48E-008	0.01
碳足跡數值：0.000582 kgCO ₂ e/支								

查驗意見：

建議將相關活動數據蒐集資訊，於報告書中完整呈現，如有排除項目亦須加入說明。

第三方查驗人： Alicia Wu (簽名)





九、結論

本計畫完成國產木竹材碳足跡計算數據，於伐材階段之碳排數據分別為柳杉 8.7~24.6 Kg-CO₂e/m³，及桂竹 0.03 Kg-CO₂e/支及 0.000582 Kg-CO₂e/支。相較之下，國產柳杉伐材階段之碳排放遠低進口材。此外，疫情期間進口木材成本已高於國產疏伐木，若加上碳排放量之計算，在未來國產材推動上將更有說服力。從桂竹的砍伐碳排放對比於生長期間碳吸存量，可說是相當低，甚至可以忽略不計，徒先竹材生長數度快，固碳量高，伐材碳排放低，完全符合負碳材料的條件。

本計畫所完成之國產材-柳杉和桂竹，接露於伐材階段之作業碳排放量，不僅為消費者提供了選擇參考客觀數據，同時也讓下游企業更有效評估原料材的碳排放，進而在生產和採購決策中更注重環境永續性，選擇低碳排放的原料材和製造方式不僅是環保選擇，更是提升國產材競爭力的一環。





十、成果效益

1. 建立柳杉和桂竹之原料材碳排數據資訊，促使後續加工廠商在取得原料材與計算相關製程之碳排放數據，促進業者進行加工產品碳盤查之意願，提昇國產木竹材利用之效益。
2. 使用國產材製造生產後端產品，降低原物料取得階段之排放，有利於終端產品出口時之碳關稅，可有效提升國產材之使用率。





十一、參考文獻

1. 【森林之寶】見晴懷古步道—柳杉

<https://hiking.biji.co/index.php?q=news&act=info&id=17333>

2. 柳杉

<http://kplant.biodiv.tw/%E6%9F%B3%E6%9D%89/%E6%9F%B3%E6%9D%89.htm>

3. 中華林學季刊-溪頭台灣杉人工林之林分特性與發展

<file:///D:/533137/Downloads/A15007865.pdf>

4. 台灣主要造林樹種之創新利用及展望

<file:///D:/533137/Downloads/27181411171.pdf>

5. 南投縣政府文化局

https://www.nthcc.gov.tw/B3_2/content/727

6. 臺灣竹會-臺灣特色竹生態

<https://www.taiwan-bamboo.org/tw/taiwan-bamboo-ecosystem/>

7. 臺灣竹會-桂竹協會

<https://www.taiwan-bamboo.org/tw/partner/taiwan-makino-bamboo/>

8. 桃園市非營利組織發展中心-桃園市復興桂竹產業發展協會

https://npo.tycg.gov.tw/News_Content.aspx?n=249&s=331544

9. 從黑心柳杉看台灣的林業

<https://e-info.org.tw/against/2002/ag02032201.htm>

10. 林務局-臺東林區管理處-柳杉

<https://taitung.forest.gov.tw/0000132>

11. 林務局-第四次森林資源調查報告

12. 卓志隆.(2013). 對環境友善之森林收穫作業與技術開發成果報告. 行政院農委會林務局委託計劃 106 頁.





十二、附件

無

