



☐ 公開  
☒ 密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：070404e101

## 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：應用高性能林業機械改善木材收穫作業生產性 (第2年/全程2年)  
(英文名稱) Application of high performance forest machine for improving timber harvesting productivity

計畫編號：112農科-7.4.4-務-e1(1)

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

計畫主持人：卓志隆  
研究人員：羅盛峰、郭佩鈺、張敏玲、曾冠語、劉政諺、許碧娟  
執行機關：國立宜蘭大學



1122622



農業部林業及自然保育署 112 年一般科技計畫  
研究報告

應用高性能林業機械改善木材收穫作業生產性  
Application of high performance forest machine for  
improving timber harvesting productivity

計畫編號：112 農科-7.4.4-務-e1(1)

計畫主持人：卓志隆 教授

執行機關：國立宜蘭大學 森林暨自然資源學系

中華民國 112 年 12 月





## 目錄

摘要	1- I
Abstract	1- II
一、前言	1-1
二、期中期末評核標準	1-3
三、文獻回顧	1-5
四、重要工作項目與實施方法	1-13
五、結果與討論	1-19
六、結論	1-83
七、參考文獻	1-85
附錄一 期中審查意見回覆	1-89
附錄二 期中審查意見回覆	1-91
附錄三 TST Junior 3T 型塔式集材機操作人員使用過程中遇到的問題與障礙排除整理表單	1-93





## 摘要

本計畫導入塔式集材機及裝載式運材拖車分別進行針葉樹原木與桂竹竹材集材；柳杉原木裝運材及卸材整堆作業效率、生產成本與集運材過程中之二氧化碳排放量研究；編撰符合現代化林業生產技術培力教材與辦理教育訓練並開發林木收穫生產成本之試算系統。研究結果顯示 Koller K301-2H 與 TST Junior 3T 塔式集材機之平均集材作業效率分別為  $8.960 \text{ m}^3/\text{人日}$  與  $12.953 \text{ m}^3/\text{人日}$ ；集材生產成本分別為  $482.1 \text{ 元}/\text{m}^3$  與  $454.9 \text{ 元}/\text{m}^3$ ，較國內傳統集材效率高且生產成本低。每人日桂竹生產量為  $720 \text{ kg}$ ，每生產  $60 \text{ kg}$  桂竹竹材成本為  $319 \text{ 元}$ 。BMF6T2 拖車式裝運材車之柳杉原木的平均裝運材與卸整作業效率為  $14.124 \text{ m}^3/\text{人日}$ ，生產成本為  $147 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。Koller K301-2H 與 TST Junior 3T 塔式集材機之原木集材作業過程  $\text{CO}_2$  排放量分別為  $1.304 \text{ kg}/\text{m}^3$  與  $2.751 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。以 BMF6T2 拖車式裝運材車進行原木裝運材與卸材整堆作業過程之  $\text{CO}_2$  排放量為  $2.416 \text{ kg}/\text{m}^3$ ，明顯較國內傳統集材整堆過程集材會產生  $16.80 \text{ kg}$  的  $\text{CO}_2$  排放量為低。

本計畫於花蓮分署辦理一場次的 TST Junior 3T 塔式集材機集材作業訓練，完成附抓鉤之原木拖車裝運材作業教材、塔式集材機集材作業與無線電控制系統手冊的現代化林業生產技術培力教材編撰。同時應用 Excel 試算功能完成容易操作使用之「林木收穫生產成本評估系統 1.0」系統開發。







## Abstract

This project introduces tower yarders and a loading trailer with a grapple to investigate the productivity and cost of softwood logs and makino bamboo culms yarding operation and those of Japanese cedar logs loading, transportation, and unloading operations. The carbon dioxide emissions according to logging operation was evaluated. The objects of the project also including the edition of training manual on logging and hosted a training seminar in line with modern forestry production technology. The timber harvesting costs determined by excel spread sheets was also developed.

The research results showed that the mean yarding productivity using Koller K301-2H and TST Junior 3T tower yarder were 8.960 m<sup>3</sup>/person-day and 12.953 m<sup>3</sup>/person-day, respectively; the yarding costs were 482.1 Taiwan dollar/m<sup>3</sup> and 454.9 Taiwan dollar/ m<sup>3</sup>, respectively. Those productivity were more efficient and with lower cost than those of conventional yarding operation in Taiwan. The daily yarding productivity of makino bamboo culm per person was 720 kg, and the cost of producing 60 kg of makino bamboo culm was 319 Taiwan dollars. The average loading, transportation and unloading productivity of the BMF6T2 trailer 1 for Japanese cedar logs was 14.124 m<sup>3</sup>/person-day, and the cost was 147 Taiwan dollar/m<sup>3</sup>. The CO<sub>2</sub> emissions of Koller K301-2H and TST Junior 3T tower yarding operations were 1.304 kg/m<sup>3</sup> and 2.751 kg/m<sup>3</sup>, respectively. The CO<sub>2</sub> emission of Japanese cedar logs loading, transportation and unloading operation using the BMF6T2 trailer was 2.416 kg/m<sup>3</sup>, which is significantly lower than the 16.80 kg CO<sub>2</sub> emissions produced by the traditional timber yarding operation.

This project hosted a training seminar on TST Junior 3T tower yarder at the Hualien Branch, Forestry and Natural Conservation Agency. The manual of log trailer loading operation with grapple, the manual of yarding operation of tower skidder skidding operation and radio control system were compiled. The Excel software was applied to develop the "Forest Harvest Cost Evaluation System 1.0" system, that is easy to use.





## 一、前言

因應我國自民國 40-50 年間開始建造之針闊葉樹人工林木已逐漸達主伐期之可收穫利用階段，收穫作業後，透過森林更新作業，撫育措施等，使國內人工林資源可逐步達成永續經營的循環經濟之目標，並配合農業部淨零碳排政策，預計將國產材自給率目標在 2040 年可提高至 10%，預估每年可提供之國產材原木材積為 50-60 萬  $\text{m}^3$  供產業界生產利用，即伐採國產材製品（Harvest wood product, HWP）可貢獻國內之每年碳貯藏量，有關 HWP 之碳貯藏量的評定方法會採用京都議定書第二約束期（2013~2020 年）之生產量法（production approach for Kyoto protocol：PAKP），係將產業用原木為其他國家之 HWP 生產目的而被輸出者，是不計算在任何國家之碳貯藏量，而國產木竹材製品，在國內使用消費，其碳儲藏量可計算在我國之減碳額度，此可說明推動國產木竹材應用之重要意義。

近年林業及自然保育署透過消費端之國產材利用，進而帶動上游林業合理經營，建造成健康永續之人工林，可提高林木蓄積量及森林碳匯。因森林不健康，而荒廢時，不但林木蓄積量偏低；林內草生植物生長不佳；小動物、微生物繁殖不良；土壤變硬，下雨時雨水不易滲入土壤中，而成洪水流入海中，無法發揮「涵養水源」之功能，一般認為「森林是水的銀行」，乾旱時，水源會枯竭，供給水庫之水源不足，當然下游之民生用水，進而農業用水，工業用水均會發生很大問題。此由森林之多樣性機能可理解，又國產材利用衍生的碳貯藏增加效益，與材料替代，或石化燃料替代引起碳排出削減效果亦被期待。在國內森林面積之擴大，似乎已沒有空間，惟有加強現有人工林之永續經營，建造成健康永續林業，增加林地面積之林木蓄積量，不但可增大林地碳匯，並可增加林木收穫量。依第四次台灣森林資源調查結果顯示森林覆蓋面積為 219.7 萬公頃，森林覆蓋率達 60.7%。按森林經營使用類別區分結果，原生林、經改造天然林、生產性人工林及保護性人工林之面積比例分別為 50%、28%、13%及 8%，整體推估之森林蓄積量為 5 億 2 百萬  $\text{m}^3$ ，全國平均每公頃蓄積量為 228  $\text{m}^3$ ，與 2015 年 FAO 全球森林資源評估報告之 234 個國家及區域平均每公頃蓄積量為 129  $\text{m}^3$  相較，台灣森林蓄積量皆較全球及各大洲的平均值為高（邱立文等，2015），應具有擴大林木收穫並提升木材自給率之潛力。

近年來台灣地區所進行的林木收穫作業時間幾乎為歐、美及日本等國家的 3-4 倍（卓志隆，2015），主要關鍵瓶頸為集材作業效率低、工資成本高、人力短缺及現階段國內人工林林木收穫除考量生產成本與市場銷售外，亦需考慮收穫作業對森林生態與環境及當地社會等影響關係，使得台灣地區原木生產成本太高，導致國產材價格在市場





很難與進口材競爭。國內傳統集材作業採用固定式集材機架線作業，相關架線作業複雜；固定式集材機機械操作複雜且機器移轉費時，每人每日最高的集材生產量約為  $4 \text{ m}^3$ 。怪手配合絞盤的集材作業方式簡單，但集材過程對林地的干擾非常大且僅適用於林道旁約 50 m 範圍內之短距離集材，相對是對森林環境較不友善的作業方式。塔式集材優點包括可顯著地降低主柱架設時間；可使用搬器無線電自動控制系統，節省集材人力需求；具有自走功能，集材機移轉非常迅速；可配合單面式搬器與中間柱鞍座等進行多徑間長距離原木集材作業；適合於窄小森林作業道執行集材作業等，每人每日的集材生產量至少  $8 \text{ m}^3$ ，因此若能順利導入塔式集材機集材技術，將可明顯促進台灣林木收穫作業過程中集材作業效率之提升，降低原木生產成本，提高國產材與進口材的競爭力。此外，竹材收穫主要因林地現況無通直且足夠高度的立木作為主尾柱進行架線集材作業，塔式集材機具有進行長距離多段式集材作業之優點，應非常適合竹材收穫作業上。

國內原木運材於一般道路主要為卡車運材，只要依相關運輸規定進行作業，不會有任何困難之處。但在林道或作業道運材時，常常因路幅狹小，卡車無法進入作業，需採用鐵牛車進行運材作業，惟鐵牛車為拼裝車輛，不是正規合法的運輸車輛，作業安全性較無法確保，因此需導入適用林道與作業道之合法裝運材之車輛，解決目前面臨之原木裝運材問題。歐洲山地地區常採用具有原木夾持功能之附起重機械臂原木拖車，可適合林道與作業道之原木或竹材的運輸，相關機械設備與技術應值得引進國內進行木竹材裝卸作業與於森林作業道的運材作業。

本計畫之高性能林業機械探討 Koller K301-2H 拖車式塔式集材機、TST Junior 3T 曳引機式塔式集材機及 BMF 6T 裝載式運材拖車分別進行集材與運材作業效率研究。由標準工時法分析集材與裝運材及卸材作業效率與單位材積之集材與運材生產費用，並就燃料消耗量計算每單位材積原木集材與運材之  $\text{CO}_2$  排放量。此外木竹材收穫作業生產費用的有效評估，可確保作業的經濟效益，目前國內尚未開發相關軟體系統供林業機關與產業界利用，導致較缺乏客觀的分析資料供效益評估，故本計畫透過 Excel 試算功能，研發可普及化之木竹材收穫作業生產費用評估系統，評估收穫作業中各項生產費用，確保收穫作業之經濟效益。





## 二、期中期末評核標準

### (一)期中評核標準

- 1.集運材作業區選定及其林分資源與林地資源調查。
- 2.附抓鉤之原木拖車裝運材作業與無線電控制系統之塔式集材機集材作業教材細部章節擬定。
- 3.林木收穫生產成本評估系統版面與試算巨集編寫。

### (二)期末評核標準

- 1.塔式集材機之集材作業效率及生產成本分析。
- 2.原木裝運材與卸整作業效率及生產成本分析。
- 3.集運材作業過程之二氧化碳排放量分析。
- 4.辦理一場次教育訓練。
- 5.附抓鉤之原木拖車裝運材作業與無線電控制系統之塔式集材機集材作業教材完稿。
- 6.完成林木收穫生產成本評估系統開發。







### 三、文獻回顧

#### (一) 國內集材作業效率

吳順昭等（1981）研究結果中作業區深度在100 m範圍內，平均立木材積 $0.04 \text{ m}^3$ ，材積疏伐率9.7%時，以人力集材方式每人每日可集材 $0.877 \text{ m}^3$ ，隨著作業區深度增加，工作量明顯下降，至300 m作業深度時，每人每日的工作量為 $0.375 \text{ m}^3$ 。使用橈式集材機進行架線集材作業，在作業區深度100 m內進行點狀疏伐作業，每人每日集材工作量為 $1.058 \text{ m}^3$ 。湯適謙等（1997）研究柳杉人工林行列疏伐研究結果中，疏伐帶列數三行、四行、五行及六行之集材標準作業量，在平均每迴次集材材積 $0.48 \text{ m}^3$ 情況下，疏伐帶三行、四行、五行及六行的集材日標準作業量以一組6位作業人員計，分別為 $7.46 \text{ m}^3$ 、 $7.62 \text{ m}^3$ 、 $7.81 \text{ m}^3$ 、 $7.96 \text{ m}^3$ 。平均每人日集材標準作業量約 $1.5 \text{ m}^3$ 。湯適謙（2007）採用行列疏伐作業方式，柳杉立木平均材積 $0.23 \text{ m}^3$ ，疏伐帶寬度10 m，疏伐率25% ~ 50%，集材架線系統採循環泰勒式，地面平均坡度 $22^\circ$ ，平均縱向集材距離107 m，平均橫向集材距離50 m，平均每迴次集材材積 $0.5 \text{ m}^3$ ，作業人員6人的情況下，平均每人每日集材材積為 $1.97 \text{ m}^3$ 。卓志隆與胡子恒（2018）探討林業及自然保育署自2013年至2015年所執行的6個針葉樹人工林疏伐收穫作業區之作業時間、標準作業量及木材收穫過程中 $\text{CO}_2$ 排放量。整體6個疏伐作業之每人日平均伐木造材作業量為 $11.037 \text{ m}^3$ ；集材整堆作業量為 $2.352 \text{ m}^3$ ；整體伐造與原木集材整堆之每人日平均可生產 $1.839 \text{ m}^3$ ，近年來主要木材收穫瓶頸為集材作業效率低、次要需克服問題為造材及去枝時間偏高。所引進之遙控式搬器應用於架線集材作業與原木整堆之每人日工作量为 $4.077 \text{ m}^3$ ，較國內傳統集材效率高出很多。整體6個疏伐作業合計每生產出 $1 \text{ m}^3$ 原木時整堆於林道旁之 $\text{CO}_2$ 排放量為18.37 kg。在約相同的作業深度規劃下，採怪手附絞盤直線集材及關聯作業之 $\text{CO}_2$ 排放量為固定式架空索集材的1.2倍。卓志隆與曾冠語（2022）研究探討人工林塊狀疏伐收穫過程中集材作業之生產量及生產費用。試驗地點為羅東林區管理處和平事業區第62、65林班，作業面積為21 ha。集材作業以Koller K-301 2H塔式集材機架線系統進行全木集材，造材主要規格為3.6 m，研究結果顯示使用塔式集材機進行集材作業之日標準作業為每人每日之生產量為 $8.746 \text{ m}^3$ ，生產效率明顯優於國內傳統之集材作業方式。平均單位生產材積集材費用為620.3元/ $\text{m}^3$ 。相關國內集材作業效率比較如表1。







表1 國內集材作業效率比較

文獻來源	收穫方式	集材方式	集材機械	集材作業效率 ( $\text{m}^3/\text{人日}$ )
吳順昭等 (1981)	下層疏伐作業	人力集材		0.375
	下層疏伐作業	架線集材	橇式集材機	1.058
湯適謙等 (1997)	行列疏伐	架線集材	橇式集材機	1.50
湯適謙等 (2007)	行列疏伐	架線集材	橇式集材機	1.97
卓志隆與胡子恒(2018)	疏伐作業	架線集材	橇式集材機	2.352
卓志隆與曾冠語(2022)	塊狀疏伐	架線集材	塔式集材機	8.746

## (二) 塔式集材機集材作業

### 1. 集材作業效率

塔式集材機 (Tower yarder) 又稱為機動塔式集材機，裝設有支柱用之集材塔與集材捲筒。由於具備自走功能，可在林道上行走且容易設置集材機，作業深度以集材道路兩側 100-200 公尺範圍內之作業效率高，適合陡峭之地形之架線集材作業。LeDoux 及 Starnes (1986) 以 THIN 模擬模式，以平均集材距離，原木平均材積及單位面積採伐材積三種參數建立 10 種架線模式之每小時集材生產量的預測模式。若採用 Koller K300 型曳引機式塔式集材機進行集材作業，作業人員 3 人，捆材索 3 條，進行定張式集材作業時，若平均集材距離為 120 m，平均每迴次集材原木材積為  $0.351 \text{ m}^3$ ，每英畝疏伐採伐材積為  $108 \text{ m}^3$  時之估測塔式集材機每小時在沒有任何時間延遲下的集材生產量為  $11.41 \text{ m}^3$ ，轉換為有時間延遲之每小時集材生產量為  $9.01 \text{ m}^3$ 。時間延遲包含作業延遲（如換集材線），機械延遲（如故障排除）、人為延遲（如商討、休息）、環境延遲（如氣候停止作業），若每日作業時間為 6 小時，則每日集材生產量為  $54.06 \text{ m}^3$ ，平均每人日生產量為  $18.02 \text{ m}^3$ 。Nitteberg (2007) 研究指出挪威森林 10% 木材收穫量來自陡峭的地形。採用車載式塔式集材機並具備一部造材加工機，工作人員為 3 人，整體集材合併造材收穫作業生產量為  $42 \text{ m}^3/\text{日}$ ，平均每人日生產量為  $14 \text{ m}^3$ 。卓志隆與曾冠語 (2022) 探討針葉樹人工林塊狀疏伐收穫過程中集材作業之生產量及生產費用，經由標準工時法所推估之集材之日標準作業為每人每日之生產量為  $8.746 \text{ m}^3$ 。

Spinelli 等 (2015) 探討中型塔式集材機 Valentini V600 M3 在義大利阿爾卑斯山挪威雲杉林分孔隙伐採作業之集材生產量研究，林地坡度約 60%（約  $31^\circ$ ），集材方向包括上下坡集材。原木造材長度 3-6 m，作業人員 3 人，集材總材積為  $628 \text{ m}^3$ ，集材水平距離約 350 m，集材工作經驗為 5 年以上之 35-45 歲工作人員。結果顯示不包括架設與撤除之集材生產量為  $8.5\sim 10.0 \text{ m}^3/\text{h}$ ，影響集材生產量的因子包括集材距離、橫向集材距





離，每迴次集材原木數量及平均原木材積。Spinelli 等 (2021) 探討以 Valentini V600/M3 拖車式塔式集材機及單掛式與雙掛式搬器集材效率與成本比較，結果顯示雙掛式搬器之捆材時間會高出 14%，但原木捆材後搬器拉回塔柱速度會增加 15%，整體兩者間之集材效率相當，均  $10\text{--}11\text{ m}^3/\text{PMH}$ ，工作機組為 3 人一組。Spinelli 等 (2017) 採用 Valentini V1000 型車載式塔式集材機及二種搬器探討義大利東部地區約 100 年生冷杉雲杉混合林塊狀皆伐作業時之集材效率及生產成本。發動機型搬器與制動型搬器平均集材生產效率分別為  $26.2\text{ m}^3/\text{PMH}$  與  $19.4\text{ m}^3/\text{PMH}$ ，發動機型搬器較制動型搬器可提高約 30% 集材效率。Campbell (2016) 比較 Active 70, Koller 507 及 Koller 602 h 三種塔式集材機於紐西蘭及奧地利 4 個林地之集材效率，結果 Active 70 在機器稼動率 65% 時，包括有時間延遲的每機械工作小時 (Schedule machine hour, SMH) 生產量為  $23.5\text{ m}^3$ ，在機器稼動率為 76% 時之每 SMH 生產量為  $24.5\text{ m}^3$ ，Koller 602 h 在稼動率 55% 時之 SMH 生產量為  $21.0\text{ m}^3$ 。Koller 507 每 SMH 生產量為  $7.9\text{ m}^3$ 。Baek 等 (2020) 評估奧地利 Koller K301-4 型與 HAM 300 型塔式集材機於南韓落葉松林分皆伐作業後之全幹集材作業生產效率，結果顯示奧地利 Koller K301 型塔式集材機集材效率在不包括任何時間延遲的每機械工作小時為  $10.2\text{--}12.5\text{ m}^3/\text{PMH}$  (Productive machine hour)；HAM 300 型塔式集材機集材效率較 Koller K301 型低 26%。Lee 等 (2018) 以曳引機連結的 HAM 300 型塔式集材機進行日本落葉松林分皆伐作業之全幹材 (10m) 之上下坡集材效率調查，結果顯示上下坡集材效率分別為  $9.04\text{ m}^3/\text{PMH}$  及  $7.87\text{ m}^3/\text{PMH}$ ； $6.29\text{ m}^3/\text{PMH}$  及  $4.65\text{ m}^3/\text{PMH}$ ，上坡集材較下坡集材的平均作業效率高約 15%。Schweier 等 (2020) 探討 Koller K507 與 Valentini V400 兩種型式塔式集材機於 2013-2018 年共 6 年期間，於德國西南部黑森林地區進行集材作業效率與生產成本的分析，結果顯示 Koller 507 的平均集材效率為  $13.3\pm 2.6\text{ m}^3/\text{PMH}_{15}$ ；Valentini V400 為  $8.9\pm 2.1\text{ m}^3/\text{PMH}_{15}$ ， $\text{PMH}_{15}$  為有 15 min 時間延遲容許的每機械工作小時。其研究結果亦顯示利用絞盤輔助集材系統適合坡度 30%-50% ( $16.7^\circ\text{--}26.6^\circ$ ) 的集材作業，但集材距離會受限，且隨著集材距離愈長，留存林木的損傷比例會愈高。採用地面集材系統會明顯干擾林地土壤性質，如土壤被壓實等。塔式集材機集材效率主要受原木材積、集材距離、收穫強度、側向集材距離的影響。除此之外，地形坡度、林分密度、集材方向 (上坡、下坡) 對每迴次集材材積也會有影響。

Picchio 等 (2020) 結果顯示以 Savall 及 Maxwald 兩種小型集材系統之薪材集材生產效率分別為  $6.1\text{ m}^3/\text{SMH}$  及  $5.7\text{ m}^3/\text{SMH}$ ，透過員工正確技術訓練，減少延遲時間則可分別提高集材生產效率 27% 及 25%。Munteanu 等 (2019) 以 Wyssen W30 撬式集材機配合無線電控制搬器 HY4 探討羅馬尼亞 60 年生山毛櫸老齡林塊狀傘伐作業時之集材







效率，研究結果顯示集材生產效率平均為  $8.80 \text{ m}^3/\text{PSH}_{15}$ ，影響每迴次集材時間為集材距離、側向集材距離及側向集材之坡度，多元迴歸之決定係數為 0.57。

Hoffmann等（2016）採用Koller K303H塔式集材機探討初次使用人員之集材作業效率，結果顯示平均集材效率為 $5.23\text{--}6.40 \text{ m}^3/\text{PSH}_0$ （Productive system hour,  $\text{PSH}_0$ ） $\text{PSH}_0$ 為排除任何時間延遲的每作業系統工作小時或 $1.91\text{--}2.24 \text{ m}^3/\text{SSH}$ （Schedule system hour,  $\text{SSH}$ ）為有時間延遲的每作業系統工作小時，整體機器稼動率只有31%，集材生產量低的主要因冗長的架線程序、缺乏組織性運作，作業人員技術不純熟。作業現況為沒有充分的作業計畫，作業系統執行經常不連續等因素。Hoffmann 等（2016）比較中國廣西壯族自治區馬尾松林分皆伐作業且採全木集材方式與擇伐作業且採短材集材方式之Koller K303H型塔式集材機作業效率與生產成本比較，皆伐作業區與擇伐作業區之集材效率分別為 $9.9 \text{ m}^3/\text{SSH}$ （Schedule system hour）及 $5.1 \text{ m}^3/\text{SSH}$ 。全木集材之每迴次集材作業時間較短，材積量較大，導致有較高的生產效率；擇伐作業主要缺點為有顯著較長的橫向集材時間，除造成較長時間外，亦常發生工作延遲的機會，如懸掛木處理。Munteanu等（2019）以Wyssen W30橇式集材機配合無線電控制搬器HY4探討羅馬尼亞60年生山毛櫸老齡林塊狀傘伐作業時之集材效率，研究結果顯示集材生產效率平均為 $8.80 \text{ m}^3/\text{PSH}_{15}$ ，影響每迴次集材時間為集材距離、側向集材距離及側向集材之坡度，多元迴歸之決定係數為0.57。

Bohm與 Kanzian（2023）收集70篇架線集材作業研究資料，透過整合分析架線集材之平均生產量為 $9.8 \text{ m}^3/\text{PSH}_{15}$ ，其中上坡集材作業效率較高，平均為 $10.2 \text{ m}^3/\text{PSH}_{15}$ ，下坡集材為 $8.5 \text{ m}^3/\text{PSH}_{15}$ 。經多元迴歸分析，集材生產量會受到每迴次集材材積、集材距離及上下坡集材方法的顯著影響。相關塔式集材作業效率比較如表2。

依Bohm與 Kanzian（2023）資料，目前塔式集材機每小時的生產量為 $9.8 \text{ m}^3$ ，每日作業時間以8 h計，集材作業人員以3人計，則每人每日的集材生產量為 $26.1 \text{ m}^3$ ，與前一章節國內集材作業效率比較，可知塔式集材機可大幅提升集材作業生產效率，間接可降低原木集材生產成本，可增加與進口木竹材市場價格競爭力。因此在提升國產材自給率至10%目標下，應適度引進塔式集材機，透過教育訓練與職能檢定，讓林業合作社、伐木業者、林農等具備以塔式集材機進行集材作業的知識與技術能力。逐步改善集材技術，擴大國產材生產規模，活絡山區林業經濟。

## 2.收穫與集材作業生產成本

Baker 等（2014）調查分析美國南方地區木材收穫的生產成本，結果顯示成本比例最大為薪資，佔 32.8%，依序為燃料 22.8%，及機器折舊 19.3%。成本分析項目如表 3





Favreau and Gingras (1998) 研究分析結果顯示全木作業系統與短材作業系統的原木收穫之直接成本分別為 13.48 美元/m<sup>3</sup> 與 17.04 美元/m<sup>3</sup>。整體勞工薪資成本比例佔 62-67%，燃料成本低於 11%。增加 10%機器稼動率時，全木作業成本可節省美元 1.40 元/m<sup>3</sup>，短材作業 1.80 元/m<sup>3</sup>。Munteanu 等 (2019) 研究顯示集材生產成本平均為 7.38 歐元/m<sup>3</sup>，其中固定成本 1.59 歐元/m<sup>3</sup>、變動成本 0.75 歐元/m<sup>3</sup>、人力成本最高為 4.27 歐元/m<sup>3</sup>、管理費用為 0.77 歐元/m<sup>3</sup>。卓志隆與曾冠語 (2022) 以 Koller K-301 2H 塔式集材機架線系統進行全木集材，平均單位生產材積集材費用為 620.3 元/m<sup>3</sup>，其中薪資、機具費用、物料動力費用與附屬作業費用比例分別為 44.6%、19.2%、4.3%與 31.9%，薪資同樣為最大的生產費用支出。

表2 塔式集材機集材作業效率比較

文獻來源	收穫方式	塔式集材機機型	集材作業效率
Ledoux and Starne (1986)	疏伐	Koller K300	18.02 m <sup>3</sup> /人日
卓志隆與曾冠語 (2022)	塊狀疏伐	Koller K301-2H	8.746 m <sup>3</sup> /人日
Nitteberg (2007)	皆伐	車載式	14 m <sup>3</sup> /人日
Spinelli等 (2015)	孔隙疏伐	Valentini V600 M3	8.5-10 m <sup>3</sup> /h
Spinelli等 (2017)	皆伐	Valentini V1000 (發動機型搬器)	26.2 m <sup>3</sup> /PMH
		Valentini V1000 (制動型搬器)	19.4 m <sup>3</sup> /PMH
Spinelli等 (2021)	皆伐	Valentini V600 M3 (單掛式搬器)	10-11 m <sup>3</sup> /PMH
		Valentini V600 M3 (雙掛式搬器)	10-11 m <sup>3</sup> /PMH
		Active 70	23.5 m <sup>3</sup> /SMH
Campbell (2016)	皆伐	Koller K602H	21.0 m <sup>3</sup> /SMH
		Koller K507	7.9 m <sup>3</sup> /SMH
Baek等 (2020)	皆伐	Koller K301-H	10.2-12.5 m <sup>3</sup> /PMH
		HAM-300	7.55-9.25 m <sup>3</sup> /PMH
Lee等 (2018)	皆伐 (上坡集材)	HAM-300	9.04 m <sup>3</sup> /PMH
	皆伐 (下坡集材)	HAM-300	7.87 m <sup>3</sup> /PMH
Schweier (2020)	皆伐	Koller K507	13.3±2.6 m <sup>3</sup> /PMH <sub>15</sub>
		Valentini V400	8.9 ±2.1 m <sup>3</sup> /PMH <sub>15</sub>
Hoffmann (2016)	皆伐		9.9 m <sup>3</sup> /SSH
	擇伐	Koller K303H	5.1 m <sup>3</sup> /SSH
Hoffmann (2016)	皆伐	Koller K303H (初次使用)	1.91-2.24 m <sup>3</sup> /SSH
Picchiod等 (2020)	疏伐 (薪材)	Savall	6.1 m <sup>3</sup> /SMH
		Maxwald	5.7 m <sup>3</sup> /SMH
Munteanu (2019)	傘伐	Wyssen	8.80 m <sup>3</sup> /PSH <sub>15</sub>
Bohm and Kanzian (2023)	上坡集材	各式塔式集材機	10.2 m <sup>3</sup> /PSH <sub>15</sub>
	下坡集材		8.5 m <sup>3</sup> /PSH <sub>15</sub>

註：PMH(Productive machine hour): 不包括任何時間延遲的每機械工作小時。

SMH(Schedule machine hour): 有時間延遲的每機械工作小時。

PMH<sub>15</sub>: 有 15 min 時間延遲容許的每機械工作小時。

SSH(Schedule system hour): 有時間延遲的每作業系統工作小時。

PSH<sub>15</sub>(Productive system hour): 有 15 min 時間延遲容許的每作業系統工作小時。





表3 林木收穫成本分析項目（Baker等，2014）

主要項目	細項
1.薪資	(1)薪水及獎金 (2)個人所得稅 (3)退休金 (4)非運輸的約聘人員
2.機器設備	(1)折舊
3.燃料	(1)非公路使用之柴油 (2)油脂 (3)汽油 (4)液壓油
4.保險	(1)機器保險 (2)勞工保險 (3)健保 (4)一般責任險
5.維修和保養	(1)維修 (2)零件 (3)供應之耗材 (4)輪胎及輪胎維修
6.利息費用	(1)貸款利息 (2)銀行規費
7.行政費用	(1)電信費 (2)水電費 (3)廣告費 (4)員工訓練費 (5)稅捐及證照費 (6)辦公用品 (7)會計費用 (8)租金

Hoffmann 等(2016)比較皆伐作業與擇伐作業之集材生產成本差異，集材機器採用 Koller K303H 型塔式集材機，皆伐作業與擇伐作業之集材生產成本分別為 9.3 歐元/m<sup>3</sup> 及 18.86 歐元/m<sup>3</sup>。Baek 等(2020)評估 Koller K301H 與 HAM 300 型塔式集材機之全幹集材作業生產成本。奧地利 Koller K301-4 型塔式集材機集材生產成本 12.6-15.4 美元/m<sup>3</sup>，南韓 HAM 300 型集材成本較 Koller K301-4 型高約 30%。Lee 等（2018）探討以 HAM 300 型小型塔式集材機進行上坡及下坡集材作業之生產成本。結果顯示上坡集材與下坡集材生產成本為每 m<sup>3</sup> 分別為 9.06 美元與 10.04 美元。Dag Rutherford（1996）研究結果顯示採用較寬的架線寬度及較多作業人員會較有效率，採皆伐作業之生產效率較疏伐作業高且集材生產成本較低。顯示不同集材方式會明顯影響集材生產成本。

Spinelli 等（2017）採用 Valentini V1000 型車載式塔式集材機，比較 Hochleiter BW4000 型 3t 負載能力之制動型搬器及 SEIK Skybull 30/60 型 3t 負載能力之發動機





搬器之集材生產成本，其平均單位材積生產費用為 14.5 歐元/m<sup>3</sup> 與 10.5 歐元/m<sup>3</sup>。Spinelli 等（2021）探討以 Valentini V600/3M 拖車式塔式集材機配合單掛式與雙掛式搬器集材生產成本比較，結果顯示集材費用依集材距離而定，50-250 m 集材距離下之單掛式集材生產成本從 9 歐元/m<sup>3</sup>-19 歐元/m<sup>3</sup>，雙掛式從 12 歐元/m<sup>3</sup>-22 歐元/m<sup>3</sup>。顯示搬器性能也會明顯影響集材生產成本。目前國內進行一般集材作業費用為 900 元/m<sup>3</sup>，與本節文獻之集材作業生產成本比較，可知塔式集材機因有明顯省工效益，可大幅降低集材作業生產成本。

### 3.裝材作業效率

Ghaffariyan（2021）研究顯示影響裝材效率因子包括原木直徑、原木材長、車輛裝載容積、裝載原木數量，每捆原木束緊安全帶數量等。裝材效率由人力作業之3.4 m<sup>3</sup>/PMH<sub>0</sub>到機械化作業之168.9 m<sup>3</sup>/PMH<sub>0</sub>，針對11年生桉樹原木，平均原木材積0.2 m<sup>3</sup>，使用前端抓鉤式裝載機（CAT320C）的裝材效率為86.2 m<sup>3</sup>/PMH<sub>0</sub>，PMH<sub>0</sub>為排除和時間延遲的每機械工作小時，表4為不同裝材機械的裝材效率。

表 4 不同裝材機械的裝材效率比較

國家	原木材積(m <sup>3</sup> )	機械型號	裝材效率(m <sup>3</sup> /PMH <sub>0</sub> )
印尼	4.3	Caterpillar 966F	22.2
伊朗	2.78	Volvo BM4500	41.9
澳大利亞	0.2	CAT320C	80.2
	0.7	Komatsupc300	100.8
	0.7	CAT322B	45.3
土耳其	0.29	電動絞盤	4.25
	0.38	Liebherr L514	34.3
美國	NA	Sterco 300	95-168.9
巴西	0.66	Komatsu P300	138.4
	NA	Komatsu PC200	144.7

### 4.收穫作業燃料消耗與CO<sub>2</sub>排放量

卓志隆與胡子恒（2018）研究顯示伐木造材作業平均每生產 1m<sup>3</sup> 原木須消耗 0.63 公升的 92 無鉛汽油，機油為 0.03 公升；集材整堆過程中，每生產 1m<sup>3</sup> 原木須消耗 5.80 公升的柴油，機油為 0.22 公升。每生產出 1m<sup>3</sup> 原木時，伐木造材會有 1.57 kg 的 CO<sub>2</sub> 排放；集材整堆過程產生 16.80 kg 的 CO<sub>2</sub> 排放，合計每生產出 1m<sup>3</sup> 原木時整堆於林道旁之 CO<sub>2</sub> 排放量為 18.37 kg。Oyier and Visser（2016）調查紐西蘭 17 個地面集材系統與 28 個架線集材系統的年度燃料消耗，地面與架線系統平均每生產 1m<sup>3</sup> 原木之燃料消耗分別







3.04 L/m<sup>3</sup> 及 3.18 L/m<sup>3</sup>，單位材積生產所須之燃料成本約佔 15%，地面與架線分別為 16% 及 14%。隨著生產量增大，單位材積燃料消耗量呈乘冪函數遞減。Varch 等（2021）以 Konrad Forsttechnik GmbH Mounty 4000 型塔式集材機進行上坡全木集材研究，研究結果顯示在平均集材距離 58.4 m，平均立木材積 0.89 m<sup>3</sup> 下使用傳統柴油搬器之燃料消耗為 1.27±0.97 L/m<sup>3</sup>，電力驅動搬器則較節省燃料為 0.88±0.561 L/m<sup>3</sup>，燃料消耗則尚受到搬器種類的影響。Picchio 等（2020）以 Savall 及 Maxwald 兩種小型集材系統之薪材生產過程中，CO<sub>2</sub> 排放量分別為 1735 g/m<sup>3</sup> 及 1772 g/m<sup>3</sup>。Nordfjell 等（2003）調查 27 部裝運材車（forwarder）的燃料消耗為 8.3-15.7 L/PMH，運材距離 360-412 m 下，裝載製材用原木之燃料消耗為 0.28-0.36 L/m<sup>3</sup>；裝載漿材，運輸距離 458-518 m 下之燃料消耗為 0.43-0.66 L/m<sup>3</sup>，61-62% 燃料用於裝載及裝載時之運輸，每 100 m 裝材運輸距離消耗 0.23-0.38 L/100m。

Bergkvist 等（2007）指出林業收穫自動化是提升生產效率的一種方法，瑞典透過自動化與省工機械來減少林木收穫的作業單元，同時亦可減少能源的消耗，目標要達成瑞典林木收穫及運輸使用之柴油燃料減低 50%。瑞典自 1985-2005 年原木運輸過程之燃料消耗從 5.41 L/m<sup>3</sup> 降低至 3.71 L/m<sup>3</sup>，期望 2015 年達到 2 L/m<sup>3</sup> 之目標。近年來，全球逐漸引進高性能且低燃料消耗的省工機械在木材收穫作業上，可知塔式集材機與裝運材車輛有較低的燃料消耗與 CO<sub>2</sub> 排放。

## 5. 塔式集材機作業之最適道路間距

森林道路網的整備是林業經營必須的基本設施，Ghaffariyan 等（2010）研究結果顯示以 Wanderfalke 車載式塔式集材機（含 Woody 50 造材加工機）進行全木集材作業，透過 591 次的上坡集材迴次的調查，平均疏伐集材效率為 6.70 m<sup>3</sup>/PSH，生產成本為 27.60 歐元/m<sup>3</sup>。塔式集材機的機械成本以 185 歐元/h 計，道路建設成本為 15-18 歐元/m，道路維護成本 1-4 歐元/m，道路壽命以 50 年計。道路僅進行單方向集材之每生產 1 m<sup>3</sup> 木材的道路成本為 42.88 歐元/m<sup>3</sup>，最適之道路網密度為 38.3 m/ha；道路間距為 261 m。可進行上下坡集材之每生產 1 m<sup>3</sup> 木材的道路成本為 38.48 歐元/m<sup>3</sup>，最適之道路網密度為 26.8 m/ha；最適的道路間距為 373 m/ha。整體含集材、道路建設及維護成本之總成本與每公頃收穫量呈乘冪式下降關係，隨每公頃收穫量增加，最適的道路間距減低。台灣目前林木經營區的林道密度為 3.1 m/ha（卓志隆，2015），與上述最適之道路網密度為 26.8 m/ha 或 38.3 m/ha 比較，應積極考慮提升國內森林道路網密度，進行更有效率的林業經營。





## 四、重要工作項目與實施方法

### （一）集材機之作業效率及生產成本調查分析

塔式集材機之集材作業效率就工作單元（空吊索上升及空搬器運行、空吊索下降及捆材、吊索載重側向移動及搬器負載運行、搬器制動與解索）；塔柱與尾柱架設與撤除等附屬作業進行相關作業時間、障礙排除、生理休息等工時調查。由工時調查結果分析塔式集材集材作業效率與單位材積之生產費用。生產費用包括直接費用與間接管理費用，直接費用分為主要作業費用（薪資）、附屬作業費用、機具使用費用與物料動力費用；間接管理費用分為作業現場管理所需人事費用、雜項費用、房舍設施費用、稅捐（5%）、勞健保費與職業災害保險費用。依目前國產材市場價格，評估各不同集材作業之收益。本年度採用奧地利 Koller 公司生產之 K301-2H 拖車式塔式集材機與奧地利 TST 公司生產之 Junior 3T 曳引機式塔式集材機進行木竹材集材作業效率調查與分析。

#### 1. 工時調查紀錄

集材工作時間的調查紀錄利用數位式計時器依連續測時法進行，就各作業區分成數個工作單元分別予以觀測紀錄。作業員之工作勤務時間是指到達工作場地後之準備與收拾善後時間、實際作業時間及寬裕時間等三項，實際作業時間分為主體作業（空吊索上升及空搬器運行、空吊索下降及捆材、吊索載重側向移動及搬器負載運行、搬器制動與解索）與附帶作業（集材柱架設）時間；寬裕時間以疲勞及生理之人為寬裕及機械障礙排除、整修等工作上之等待寬裕。作業時間研究的目的之一是為了作業的標準化，特別是具有反覆性質或週期性之工作，若有太大或太小異常值出現，會使得研究結果產生偏差，由於一般作業時間的分佈形式較符合  $\beta$  分配的關係，其作業時間的標準差以上限時間與下限時間之差值的六分之一來估計，因此本研究採用在三個標準差（ $\pm 3\sigma$ ）內視為正常值，超過此範圍之資料則捨棄不用。

#### 2. 標準作業量分析

標準作業之推算依「標準工時法」求算，標準作業時間必須考慮作業之評比因素及寬放因素，可依下式推算：

$$\text{標準作業時間} = \text{觀測值平均作業時間} \times (1 + \text{評比}) \times (1 + \text{寬裕率})$$

評比是一種判斷或評價的技術，其目的在使實際的操作時間，調整至「平均工人」之「正常速度」的基準上。本研究將各項作業時間依最大值與最小值分為 5 個級距，即級距之前 20%；20-40%；40-60%；60-80% 及最後 20%，前 20% 代表工作效率優良，依平準化法，給予 +0.12 之評比值。20-40%、40-60%、60-80% 及最後 20%，則分別代表工作效率良好、普通、尚可及欠佳；評比值分別為 +0.045、0、-0.075、-0.19。依各級距





測值之機率乘以各項評比值，即為各作業之評比。寬裕率則以作業過程中人體疲勞及生理需求之人為寬裕及機械整修等工作上之等待寬裕時間除以實際作業時間。

### 3.集材生產費用分析

生產費用分為生產工資、機件使用費、物料動力費及附屬作業費等 4 項。

#### a.生產工資

以每人每日之日標準作業量為計算基礎，依此計算 1 m<sup>3</sup> 原木所需之集材工資單價。

#### b.機件使用費

集材之機件使用費包括塔式集材機、集材鋼索、搬器、滑車、鉤環夾箍等折舊費，依機件折耗率乘以購置價格，本研究之機件價格如表 5 所示；折耗率為實際生產原木材積除以機件耗竭量（機件使用壽命中共計之生產量），耗竭量標準依文獻與林務局林產處分實務之規定，如表 6。

#### c.物料動力費

物料動力費包括生產過程消耗之燃料、油脂及機械零件更換所需費用。集材機集材之機械零件費依單位材積機件使用費的 10% 計算，集材機使用之燃料為柴油。

#### d.附屬作業費

集材作業相關必要之附屬作業，包括塔柱固定、架設中間柱、尾柱；架設架空索與集材作業索；集材機移轉；撤除架線與附件等。

表 5 機件購置價格（元）

主機	塔式集材機	塔式集材機	搬器	架空索 φ18 mm (400 m)	集材作業索 φ12 mm (500 m)	滑車 (元/個)	鉤環夾箍 (元/個)
規範	TST Junior 3T	Koller K301	SKA1				
購置 價格 (元)	10,060,000	5,000,000	500,000	200,00	100,000	12,000	600

表 6 各機件耗竭量

機件種類	耗竭量 (m <sup>3</sup> )
塔式集材機	83,720
檜式集材機主機	27,000
架空索	15,000
搬器	12,000
滑車	12,000
鉤環夾箍	6,000
集材作業索	6,000





## (二) 附抓鉤之原木拖車裝運材之作業效率及生產成本調查分析

就附抓鉤之原木拖車裝運材主要工作單元之空車移動、車輛固定、原木裝車、載重車輛移動、原木卸整等進行時間調查。由標準工時法分析運材作業效率與單位材積之林道或作業道運材生產費用，並就燃料消耗量計算每單位材積原木集材之  $\text{CO}_2$  排放量。本研究之附抓鉤之原木拖車為愛沙尼亞 BMF 公司製造之 6T2 設備，可透過曳引機動力分導裝置(PTO)連結 BMF 6T2 原木裝運材拖車(trailer for loading and transporting logs)之油壓系統之連結孔，供其起重臂與抓鉤裝置進行原木裝車作業，如圖 1；亦可與原木裝運材拖車的拖眼(towing eye)機械穩固連結後進行原木的運材作業如圖 2。

原木裝運材拖車由起重臂、原木抓鉤、拖車架組合而成，主要規格為起重臂最大伸長尺寸為 5.4 m，抓鉤最大開口距離 1.15 m，拖車架載重能力 6,000 kg，車寬 2050 mm，載重區長度 2970 mm。相關生產成本分析分為生產工資、機件使用費、物料動力費等 3 項。

### (1) 生產工資

以每人每日之作業量為計算基礎，依此計算  $1 \text{ m}^3$  原木所需之裝運材與卸材整堆工資單價，平均每日之工資以 2,500 元計。

### (2) 機件使用費

裝運材與卸材整堆之機件使用費包括附抓鉤之原木拖車與曳引機等折舊費，依機件折耗率乘以購置價格，本研究之機件價格如表 7 所示；折耗率為實際生產原木材積除以機件耗竭量（機件使用壽命中合計之生產量）。

表 7 機件購置價格（元）

主機	附抓鉤之原木拖車	曳引機
廠牌型號	BMF 6T2	John Deere 5055E
購置價格（元）	780,000	800,000

### (3) 物料動力費

物料動力費包括生產過程消耗之燃料及機械零件更換所需費用。機械零件費依單位材積機件使用費的 10% 計算，所使用之燃料為柴油。







圖 1 John Deere 5005 型曳引機結合 BMF 6T2 之裝材作業



圖 2 John Deere 5005 型曳引機結合 BMF 6T2 之運材作業

### （三）辦理現場塔式集材機集材作業訓練

預計於林業及自然保育署花蓮分署竹南華工作站辦理 TST Junior 3T 塔式集材機集材作業實務訓練課程，學員以林業機關員工與各級學校師生及具有基礎集材作業能力之林業生產合作社現場作業員工、私有林林農、原住民團體等為訓練對象。課程內容包括作業計畫與架線計畫、架線安全評估與檢查、平坦地形塔式集材機集材架線作業示範與實務操作、無線電控制系統之集材解說與實務操作、裝載式原木拖車裝運材解說與實務操作等。





#### （四）擬訂附抓鉤之原木拖車裝運材作業教材一冊

手冊內容包括簡介、安全事項、結構基本組成、附屬配件、技術規格、起重機械臂組裝、操作說明、儲放說明與維護保養等共 9 個主要章節。

#### （五）擬訂無線電控制系統之塔式集材機集材作業教材一冊

教材內容包括提高林木收穫生產力、塔式集材機構造與架線方式、作業計畫與架線計畫、塔式集材機架線作業、架線安全評估與檢查、TST Junior 3T 塔式集材機架線方式、TST Junior 3T 塔式集材機無線電控制等共 7 個主要章節。

#### （六）開發林木收穫生產成本評估系統

本系統主要依林木收穫過程中有關作業規劃設計、作業道開設與維護、伐木作業、造材作業、轉材作業、集材作業、木材整堆作業、裝材運材卸整作業，依勞務費用、機械費用、保險與稅捐費用、物料動力費用、機械運輸費用、行政管理費用等，以 Excel 試算功能設計林木收穫生產成本評估系統供林業從業人員使用。







## 五、結果與討論

### (一) 塔式集材機之作業效率及生產成本調查分析

本年度塔式集材機之作業效率及生產成本調查分析之作業區共選定兩處人工林木材生產，一處桂竹生產，人工林木材生產調查區域包括台東分署關山事業區第 45 林班 1.55 ha 皆伐與擇伐作業區（圖 3）；新竹分署竹東事業區第 86 林班租地造林之皆伐作業區（圖 4），桂竹竹材生產調查區域為桃園市復興區義盛里原住民保留地桂竹林地（圖 5）。

關山事業區第 45 林班 0.78 ha 皆伐作業區 2 條集材路線（圖 3）中 A2 皆伐作業區採用 Koller K301-2H（圖 6）進行上坡架線集材作業；A1 皆伐作業區採用傳統三捲筒橇式集材機（圖 7）進行下坡架線集材作業，合計要集材搬出的材積為 480.718 m<sup>3</sup>。竹東事業區第 86 林班收穫作業區之 1 號區域為上坡集材的範圍，面積為 1.97 ha，採用 Koller K301-2H 與 TST Junior 3T（圖 8）塔式集材機進行集材生產效率比較，2 號區域為下坡集材的範圍，面積為 1.96 ha，採用 TST Junior 3T 塔式集材機進行集材作業，合計要搬出之立木材積為 1823.756 m<sup>3</sup>。義盛里原住民保留地桂竹林地作業面積 2.03 ha，採用 TST Junior 3T 塔式集材機進行下坡集竹材作業。



圖 3 關山事業區第 45 林班作業區與集材路線





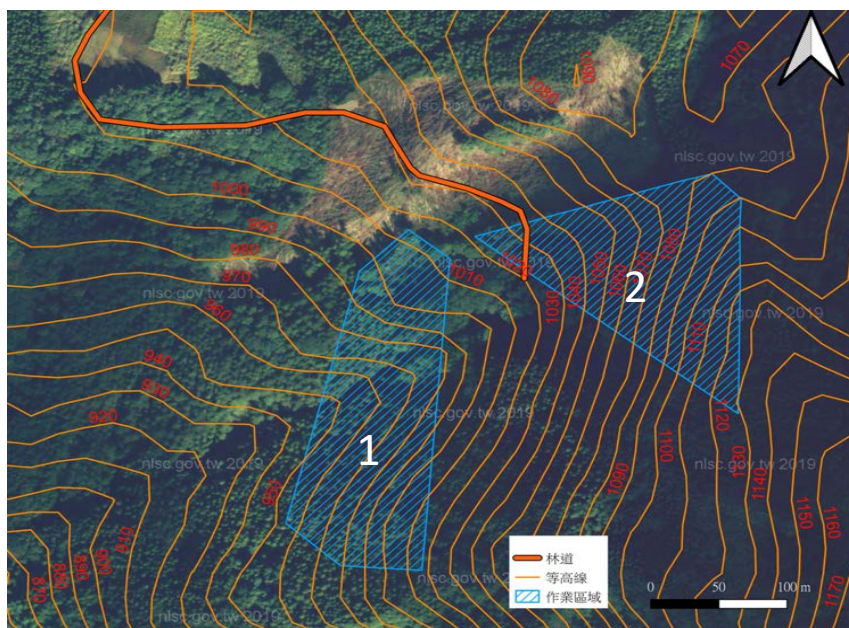


圖 4 竹東事業區地 86 林班收穫作業區，1 號區域為上坡集材的範圍，2 號區域為下坡集材的範圍

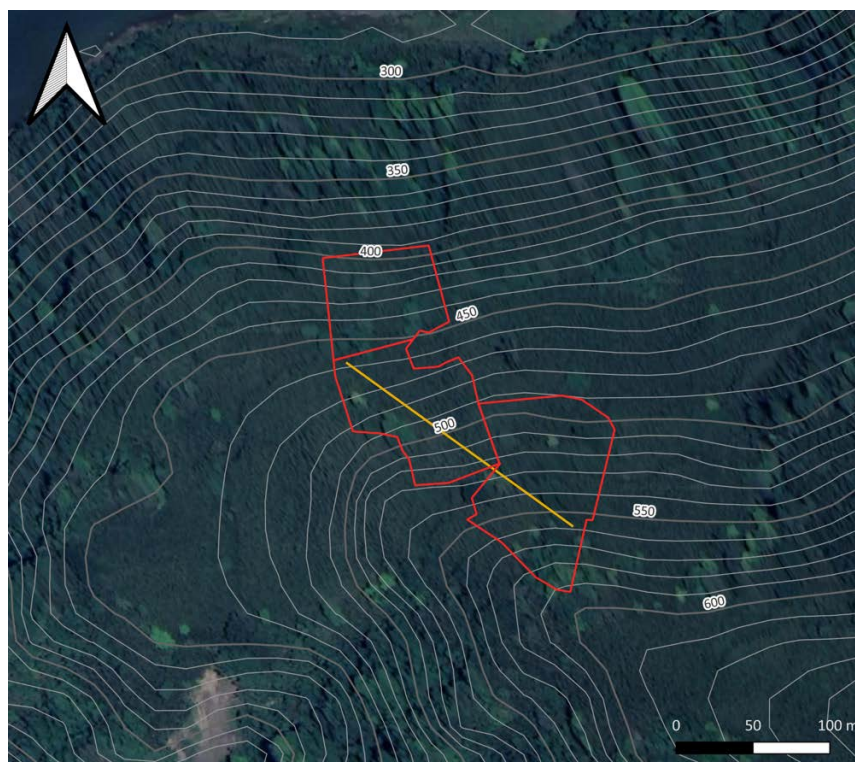


圖 5 義盛里原住民保留地桂竹林地，棕色線為架線路徑





圖 6 Koller K301-2H 塔式集材機



圖 7 三捲筒橈式集材機







圖 8 TST Junior 3T 塔式集材機

## 1. 木材收穫作業區資源調查結果

關山事業區第 45 林班收穫作業區為民國 51 至 53 年間新植柳杉、杉木造林地，皆伐作業區 0.78 ha 進行樣區調查分析所得之每公頃株數、每公頃蓄積量、胸徑、樹高與平均每木材積結果如表 8 所示。本區組成樹種為柳杉與杉木，柳杉平均胸徑、平均樹高與平均每木材積分別為 41.4 cm、23.0 m 與 1.45 m<sup>3</sup>；杉木則分別為 35.5 cm、16.2 m 與 0.92 m<sup>3</sup>，本區柳杉的每木材積明顯較杉木高。原木造材主要規格為 4.2 m，次要規格視現場狀況調整，希望立木材積可以充分轉換為原木資源。

竹東事業區第 86 林班進行樣區調查分析所得之每公頃株數、每公頃蓄積量、胸徑、樹高與平均每木材積結果如表 9 所示。本區主要組成樹種為柳杉與杉木，造林年度為民國 66-70 年，收穫作業採皆伐作業，預計主要造材規格為 3.6 m。

## 2. 關山事業區第45林班塔式集材機集材作業效率與生產成本分析

### (1) 關山事業區第45林班塔式集材機集材作業工時分析與生產量

集材作業人員編組共 3 人一組，集材作業分工包括塔式集材機操作兼解索作業人員一名、拉吊材索橫向移動與捆材兼造材工二名，集材路線如圖 3 A2 區藍色線所示。採用奧地利 Koller K301 2H 之拖車式塔式集材機（圖 6）進行上坡全木集材作業，集材作業距離為 100 m，橫向集材距離為 0-20 m。





表 8 關山事業區第 45 林班收穫作業區林分資源分析結果

	全區	柳杉	杉木
每公頃株數 (株/ha)	597	425	172
每公頃蓄積量 (m <sup>3</sup> /ha)	856.64	635.92	202.72
胸徑 (cm)	39.4(12.0)	41.4(11.2)	35.5(12.6)
樹高(m)	20.6(4.4)	23.0(2.0)	16.2(4.4)
每木材積 (m <sup>3</sup> /株)	1.32(0.95)	1.45(0.79)	0.92(0.90)

註：括號內數值為標準偏差。

表 9 竹東事業區第 86 林班林分資源分析結果

	全區	柳杉	杉木
每公頃株數 (株/ha)	1160	660	500
每公頃蓄積量 (m <sup>3</sup> /ha)	464.06	292.71	171.35
胸徑 (cm)	23.6(4.3)	24.6 (4.4)	22.2 (4.0)
樹高(m)	20.3(2.1)	20.8 (2.3)	19.6 (1.8)
每木材積 (m <sup>3</sup> /株)	0.4(0.17)	0.44 (0.23)	0.34 (0.14)

註：括號內數值為標準偏差。

每迴次集材作業時間分為準備收拾、實際作業及寬裕時間等三大項。準備時間為每日開始工作時，準備集材機、鏈鋸、整修工具、油料、穿戴工作服等時間；收拾時間為每日工作後，收拾作業器具等時間。實際作業時間包括拉上吊索、搬器下行至林內集材處並放下吊材索、拉吊材索橫向移動與捆材、原木橫向集材、原木縱向集材、放下原木與解索；寬裕時間則紀錄集材機等待（即配合怪手夾持原木之作業時間）、集材機障礙排除及鋼索架線等障礙排除與作業商討。附屬作業包括架設塔柱、架設尾柱、架設搬器、架空索與作業索、撤除架線與附件等。

經統計分析結果，以 Koller K301-2H 塔式集材機集材路線每迴次集材作業使用手動解材設備與使用自動解材設備裝置之平均各作業單元時間分析結果分別如表 10 及表 11 所示，每迴次平均集材時間分析結果分別為 604.0 s 與 568.4 s，每迴次集材作業時間以橫向集材之拉索、捆材之工作時間所佔比例最高，原木橫向移動與負載上升至搬器之工作時間次之，使用一般手動捆材索進行原木卸載、解索、空索上升的平均時間為 52.1 s，使用自動解材裝置進行原木卸載、解索、空索上升的平均時間為 16.3 s，平均縮短







68.7%，解材作業時間明顯會降低，同時現場觀察到當迴次集材較多立木時，亦不會造成解材的困難，且在作業人員熟悉自動解材捆材索後，解索速度會進一步加快。Howard 等(1993)調查以塔式集材機與可通過中間柱之搬運設備使用於陡峭地形上之集材效率，結果顯示在平均集材距離 160 m 的條件下，每迴次平均集材時間為 470 s。McNeel and Dodd (1997) 以北歐式直線架空索系統進行疏伐木集運時間研究，結果顯示集材距離 0-160m、60-120m、120-180m、180-240m 時之每迴次平均集材時間分別為 235 s、275 s、310 s 及 360 s。

使用手動解材設備與使用自動解材設備裝置之集材作業量分析結果如表 12，使用手動解材設備進行集材作業者，每日實際工作時間以 8 h 計，每日可集材迴次為 47 次，每迴次平均集材材積為  $0.830 \text{ m}^3$ ，即每日可集材  $39.010 \text{ m}^3$ ，每組工作人員為 3 人，即每人每日之集材作量平均為  $13.003 \text{ m}^3$ ；使用自動解材設備進行集材作業者，每日實際工作時間以 8 h 計，每日可集材迴次為 50 次，每迴次平均集材材積為  $0.875 \text{ m}^3$ ，即每日可集材  $43.750 \text{ m}^3$ ，每組工作人員為 3 人，即每人每日集材作量平均為  $14.583 \text{ m}^3$ ，使用自動解材設備進行集材作業者較使用手動解材設備進行集材作業者可提升約 12% 的生產效率。

以 Koller K301-2H 塔式集材機配合使用手動解材設備與使用自動解材設備裝置之平均完成每迴次全木集材作業之平均時間分別為 604.0 s 與 568.4 s，標準偏差分別為 187.2s 與 155.7 s，即 95%信賴區間 237.1 s-970.9 s 與 263.2 s-873.6 s。就配合使用手動解材設備之信賴區間每迴次作業上限時間為 970.9 s，約 0.27 h，平均每迴次集材材積為  $0.83 \text{ m}^3$ ，以每日工作時間 8 h 計，即可完成 29 迴次集材作業，換算每人每日之作業材積量為  $8.023 \text{ m}^3$ 。就信賴區間每迴次作業下限時間 237.1 s，約 0.066 h，平均每迴次集材材積為  $0.83 \text{ m}^3$ ，以每日工作時間 8 h 計，即可完成 121 迴次作業，換算每人每日之作業材積量為  $33.477 \text{ m}^3$ 。就配合使用自動解材設備之信賴區間每迴次作業上限時間 873.6 s，約 0.24 h，平均每迴次集材材積為  $0.875 \text{ m}^3$ ，以每日工作時間 8 h 計，即可完成 33 迴次集材作業，換算每人每日之作業材積量為  $9.625 \text{ m}^3$ 。就信賴區間每迴次作業下限時間 263.2 s，約 0.073 h，平均每迴次集材材積為  $0.875 \text{ m}^3$ ，以每日工作時間 8 h 計，即可完成 96 迴次作業，換算每人每日之作業材積量為  $28.000 \text{ m}^3$ 。

與全球塔式集材機（3 人 1 組）每日集材生產量約  $60-90 \text{ m}^3$ ，每人每日集材作業量約  $20-30 \text{ m}^3$  相較下，國內塔式集材機集材作業應持續發展生產效率高的集材技術，跟上世界的一般水準，國內生產的原木才會有真正的市場競爭力。





表 10 關山事業區第 45 林班塔式集材機使用手動解材設備每週次各工作單元之平均時間及所佔比例

項目		平均時間(s)	所佔比例(%)
準備收拾	準備	28.3	4.7
	收拾	11.3	1.9
	小計	39.6	6.6
實際作業	空索上升及空搬器移動至林內下降吊索	37.0	6.1
	拉索及捆材	256.1	42.4
	吊索載重橫向移動上升及搬器載重運輸	135.4	22.4
	卸載、解索	52.1	8.6
	小計	480.7	79.6
寬裕	障礙排除	74.4	12.3
	機械加油	9.3	1.5
	小計	83.7	13.9
總計		604.0(187.2)	100





表 11 關山事業區第 45 林班塔式集材機使用自動解材設備每迴次各工作單元之平均時間及所佔比例

項目		平均時間(s)	所佔比例(%)
準備收拾	準備	30.5	5.4
	收拾	21.8	3.8
	小計	52.4	9.2
實際作業	空索上升及空搬器移動至林內下降吊索	51.1	9.0
	拉索及捆材	245.5	43.2
	吊索載重橫向移動上升及搬器載重運輸	103.4	18.2
	卸載、解索	16.3	2.9
	小計	416.4	73.3
寬裕	障礙排除	36.8	6.5
	集材機等待	62.9	11.1
	小計	99.7	17.5
總計		568.4(155.7)	100





表 12 關山事業區第 45 林班收穫作業區塔式集材機集材作業分析結果

項目	使用手動解材設備	使用自動解材設備
縱向集材距離(m)	100	100
橫向集材距離(m)	0-20	0-20
集材迴次(次)	53	110
集材材積(m <sup>3</sup> )	44.010	96.250
平均每迴次集材時間(s)	604.0	568.4
平均每迴次集材材積(m <sup>3</sup> )	0.830	0.875
每組平均集材作業量(m <sup>3</sup> )	39.010	43.750
每人日平均集材作業量(m <sup>3</sup> )	13.003	14.583

註：每日工作時間以8 h計，每組工作人員為3人。

## (2) 關山事業區第 45 林班塔式集材機集材作業標準作業量分析

本計畫關山事業區第 45 林班塔式集材機集材作業標準作業量，相關使用手動解材設備與使用自動解材設備裝置之集材作業方式下之每迴次集材實際作業時間的次數分配表與評比計算結果分別如表 13 與表 14 所示，由評比資料顯示使用手動解材設備與使用自動解材設備裝置之作業評比分別為 4.47%與 4.90%，顯示這組集材機組人員作業態度比一般狀況稍微努力。依表 10、表 11 結果可知關山事業區第 45 林班採用皆伐之塔式集材機依使用一般手動捆材索與自動解索裝置每迴次集材作業平均時間及寬裕率分別為 520.3 s（準備收拾 39.6 s+實際作業 480.7 s）、16.1%及 468.8 s（準備收拾 52.4 s+實際作業 416.4 s）、21.3%，依此計算本收穫作業區以塔式集材機架線使用一般捆材索與自動解材裝置進行集材作業之每迴次標準作業時間分別為 631.1 s（520.3x1.0447x1.161）及 596.5 s（468.8x1.049x1.213），若以每日實際作業時間 8 小時計，則每 3 人為一組的集材作業團隊使用一般手動捆材索進行集材作業，每日可集材 45 次，平均每迴次集材機為 0.830 m<sup>3</sup>，1 日標準集材作業量為 37.350 m<sup>3</sup>，相當於每人每日集材材積為 12.450 m<sup>3</sup>/人日，如表 15 所示；使用自動解索裝置進行集材作業，每日可集材 48 次，平均每迴次集材機為 0.875 m<sup>3</sup>，1 日標準集材作業量為 42.000 m<sup>3</sup>，相當於每人每日集材材積為 14.000 m<sup>3</sup>/人日，如表 15 所示。





表 13 關山事業區第 45 林班塔式集材機使用手動解材設備之集材作業評比

作業時間(s)	機率(%)	評比係數	評比(%)
150-362	41.0	0.12	4.92
363-574	32.8	0.045	1.48
575-786	13.1	0	0.00
786-998	4.9	-0.075	-0.37
999-1211	8.2	-0.19	-1.56
合計	100		4.47

表 14 關山事業區第 45 林班塔式集材機使用自動解材設備之集材作業評比

作業時間(s)	機率(%)	評比係數	評比(%)
159-317	37.0	0.12	4.44
318-476	38.9	0.045	1.75
477-635	13.9	0	0.00
636-794	5.6	-0.075	-0.42
795-953	4.6	-0.19	-0.88
合計	100		4.90

表 15 塔式集材作業標準作業量

解材方式	實際作業與準備收拾平均時間(s)	寬裕時間(s)	寬裕率(%)	評比(%)	標準作業時間(s)	平均每迴次集材材積(m <sup>3</sup> )	每人日標準作業量(m <sup>3</sup> /人日)
手動	520.3	83.7	16.1	4.47	631.1	0.830	12.450
自動	468.8	99.7	21.3	4.90	596.5	0.875	14.000

### (3)關山事業區第 45 林班塔式集材機集材作業集材生產費用評估

就林產物處分實務中規定之集材作業生產費用包括集材工資、機件使用、物料動力及附屬作業等 4 個項目。依序說明如下：

#### (1)集材工資

以每人每日工作時間 8 小時為計算基礎，相關關山事業區第 45 林班使用手動解材設備與使用自動解材設備裝置之集材作業方式下之每人每日之標準集材材積量分別為 12.450 m<sup>3</sup> 與 14.000 m<sup>3</sup>。依目前集材之平均每工工資為 3000 元，則關山事業區第 45 林班皆伐收穫作業區，以使用手動解材設備與使用自動解材設備裝置之塔式集材機集材 1 m<sup>3</sup> 原木所需之集材工資費用分別為 241 元與 215 元。





## (2)機件使用費

塔式集材機原木集材之機件使用費包括集材機主機、架空索之機具主體與搬器滑車等耗件折舊費，依機件折耗率乘以購置價格，機具主體與集材耗件價格如表 5 所示；折耗率為實際生產原木材積除以機件耗竭量如表 6 所示（機件使用壽命中合計之生產量）。塔式集材機耗竭量依  $11,960 \text{ m}^3/\text{年}$ （每年生產量） $\times 7$  年（使用壽命）為  $83,720 \text{ m}^3$  計。集材作業索材質因與架空索相同，且不會與地面摩擦，故耗竭量設定與架空索相同。依集材作業所使用之機具與耗件，使用手動解材設備與使用自動解材設備裝置之塔式集材機集材  $1 \text{ m}^3$  原木所需之單位材積原木集材之機件使用費用分別為 123 元與 128 元，如表 16 所示。

表 16 塔式集材機集材機件使用費

	機件 種類	實 際 生 產 材 積 (m³)	耗 竭 量 (m³)	折 耗 率 (%)	購置價格(元)	機件 使用費 (元)
主機	集材機	480.718	83,720	0.57	5,000,000	28,500
	架空索	480.718	15,000	3.2	200,000(400 m)	6,400
	小計					<b>34,900</b>
耗件	搬器	480.718	12,000	4.0	500,000	20,000
	滑車	480.718	12,000	4.0	12,000 (尾柱滑車 1 個)	480
	鉤環	480.718	6,000	8.0	36,00(6x600)	288
	集材索	480.718	15,000	3.2	100,000 (500 m)	3,200
	小計					<b>23,968</b>
合計						<b>58,868</b>
1. 單位材積機件使用費(使用手動解材設備) <b>122.5 元/ m³ (58868/480.718)</b> 2.單位材積機件使用費(使用自動解材設備)127.5 元/ m³ ((58868+2404)/480.718) 自動解材裝置購置費用為 300,000 元，耗竭量為 60,000 m³，故本項機件使用費為 2404 元。						





### (3) 物料動力費

塔式集材機原木集材之物料動力費包括集材機集材過程之柴油燃料、機油等油脂及機械零件更換維修所需費用，本計畫集材所消耗之燃料與油脂用量、單位材積之物料費用計算結果如表 17，使用手動解材設備與使用自動解材設備裝置之塔式集材機集材 1 m<sup>3</sup> 原木所需之單位材積原木集材之物料動力費用分別為 26.3 元與 25.3 元。就實際燃料消耗調查結果，本計畫單位材積原木所需燃料消耗量平均為 0.43 L/ m<sup>3</sup>，明顯較林產物處分實務中集材機採用 0.66 L/ m<sup>3</sup> 數值低，可能因塔式集材機引擎效率高，相對造成集材單位材積原木所需燃料較低。Johansson (1997) 針對農用牽引機用於中小徑木收穫所消耗的油料的研究結果顯示，皆伐作業時，每收穫 1 m<sup>3</sup> 的原木須消耗 0.57 公升油料，疏伐作業所消耗用油則約為皆伐作業的兩倍，為 1.22 公升。卓志隆與胡子恒 (2018) 研究分別統計竹東事業區第 88 林班柳杉疏伐作業、巒大事業區第 114 林班柳杉及第 114-116 林班杉木疏伐作業、八仙山事業區第 118 林班柳杉疏伐作業、和平事業區第 4 林班柳杉疏伐作業及大安溪事業區第 121 班紅檜疏伐作業過程中立木伐木造材、原木集材與整堆作業所消耗的汽油及柴油用量。結果顯示竹東事業區第 88 林班柳杉疏伐作業、巒大事業區第 114 林班柳杉及第 114-116 林班杉木疏伐作業、八仙山事業區第 118 林班柳杉疏伐作業、和平事業區第 4 林班柳杉疏伐作業及大安溪事業區第 121 班紅檜疏伐作業等集材整堆過程中，每生產 1m<sup>3</sup> 原木須消耗 5.80 公升的柴油，機油為 0.22 公升。集材整堆因採用大型怪手機具或卡車引擎改裝之固定式集材機集材，其燃料與機油消耗量因機械效率較低，相對較塔式集材機高出許多。

表 17 原木集材物料動力費用

解材方式	原木材積 (m <sup>3</sup> )	消耗量(L)		單位材積消耗量(L/m <sup>3</sup> )		單位價格(元/L)		單位材積費用(元/ m <sup>3</sup> )			
		燃料	油脂	燃料	油脂	燃料	油脂	燃料	油脂	機械零件	合計
手動	44.010	20	0.60	0.45	0.014	27.4	120	12.3	1.7	12.3	26.3
自動	96.250	40	0.76	0.42	0.008	27.4	120	11.5	1.0	12.8	25.3
合計	140.260	60	1.36	0.43	0.010	27.4	120	11.8	1.2	12.6	25.6

註：機械零件費依集材單位材積機件使用費之 10%計。







#### (4) 附屬作業費用

集材作業之附屬作業包括架設塔柱、架設尾柱、架設主索與作業索、撤除架線與附件等，本計畫依集材方式統計各集材路線之平均時間如表 18 所示，附屬作業人員為 3 人。結果顯示架設約 100 m 之塔式集材機集材附屬作業時間平均為 5.5 h，若以每日工作時間為 8 h 計，則完成一段塔式集材附屬作業須 2.06 工，平均單位材積之塔式集材機集材附屬作業費用為 58.8 元。卓志隆（2013）研究調查一段式固定式集材機集材架線作業包括架設一根主柱與一根尾柱，集材機一部與盤台設施一處，集材機移轉一次，架設一條主索、一條集材索與一條回控索；二段式集材架線包括架設一根主柱、一根息木柱與一根尾柱，集材機二部與盤台設施二處，集材機移轉二次，架設二條主索、二條集材索與二條回控索；附屬作業人員為 6 人。結果顯示架設約 100 m 之一段式集材附屬作業，平均為 8.6 h，若以每日工作時間為 6 h 計，則完成一段式集材附屬作業須 8.6 工。架設約 200 m-310 m 之二段式與三段式集材附屬作業，平均為 26.8 h，若以每日工作時間為 6 h 計，則完成一段式集材附屬作業須 26.8 工。塔式集材機優點包括可顯著地降低主柱架設時間與集材人力需求，集材機移轉非常迅速，因此較傳統固定式集材機集材架線附屬作業時間少，特別是多徑間作集材作業。

表 18 集材附屬作業各工作單元之平均時間

工作單元	集材路線
架設與撤除合計時間(h)	5.5
需求工數	2.06
作業費用(元)	6,180
原木材積(m <sup>3</sup> )	140.260
單位材積集材附屬作業費用(元/m <sup>3</sup> )	44.0

\*:附屬作業編組為 3 人一組。每日工作時間 8 h，每工工資依 3000 元計。

使用手動解材設備與使用自動解材設備裝置之塔式集材機集材 1 m<sup>3</sup> 原木所需之單位材積原木集材之單位材積所需之集材工資、機件使用費、物料動力費及附屬作業費用統計結果如表 19，平均使用手動解材設備與使用自動解材設備裝置之塔式集材機集材單位材積生產費用（元/m<sup>3</sup>）分別為 433.8 元與 411.8 元，較卓志隆（2013）採一段式下層疏伐之單位材積之集材費用 864 元為低，塔式集材機雖然購置成本較高，但整體生產費用有顯著較低的結果。若可減低附屬作業次數與提高集材路線可收穫的作業量，應可更降低塔式集材機的集材生產費用。





表 19 單位材積(m<sup>3</sup>)集材生產費用

解材 方式	集材 工資	機件 使用費	物料 動力費	附屬作業費用	合計
手動	241	122.5	26.3	44.0	433.8
自動	215	127.5	25.3	44.0	411.8

### 3. 竹東事業區第 86 林班塔式集材機集材生產作業效率與生產成本分析

配合竹東事業區地 86 林班現場林木收穫作業，導入 Koller K301-2H 與 TST Junior 3T 塔式集材機進行上坡集材作業與下坡集材作業，調查分析生產作業效率及生產成本，塔式集材機集材主要工作單元包括空吊索上升及空搬器運行、空吊索下降及捆材、吊索載重側向移動及搬器負載運行、搬器制動與吊索載重下降、解索；附屬作業包括塔柱與尾柱架設與撤除等進行相關主要工作單元、集材機等待時間、障礙排除、商討、每日作業前準備與作業後收拾等工時調查。由工時調查結果分析塔式集材集材作業效率與單位材積之生產費用。集材生產費用分為生產工資、機件使用費、物料動力費及附屬作業費等 4 項。依目前國產材一般集材作業費用，評估兩種塔式集材機不同集材作業之收益。

#### (1) 收穫作業區與集材方式

本研究之收穫作業區為新竹分署竹東事業區第 86 林班 1.97ha 與 1.96 ha 兩處皆伐作業區（圖 4），樣區 1 採用 Koller K301-2H 與 TST Junior 3T 塔式集材機進行上坡集材效率比較，集材路線之縱剖面地形分別如圖 9 與圖 10 所示。樣區 2 採用 TST Junior 3T 塔式集材機進行下坡集材效率調查，集材路線之縱剖面地形分別如圖 11。

#### (2) 竹東事業區第 86 林班塔式集材機集材作業工時分析與生產量

##### a. 集材作業規劃

集材作業人員編組共 3 人一組，集材作業分工包括塔式集材機操作兼解索作業人員一名、拉吊材索橫向移動與捆材作業人員一名、原木整堆處理作業人員一名；於 112 年 5 月 25 日至 6 月 7 日期間，採用 Koller K301-2H 塔式集材機進行上坡全木集材作業調查；於 112 年 8 月 9 日至 8 月 17 日期間，採用 TST Junior 3T 塔式集材機進行上坡全木集材作業調查；於 112 年 8 月 14 日至 8 月 24 日期間，採用 TST Junior 3T 塔式集材機進行下坡全木集材作業調查，作業時之縱向集材平均距離與橫向集材平均距離如表 23 所示。Koller K301-2H 與 TST Junior 3T 塔式集材機進行上坡集材作業之縱向集材平均集材距離分別為 158.4 m 與 157.8 m，橫向集材平均距離分別為 19.9 m 與 10.5 m。TST Junior 3T 塔式集材機進行下坡集材作業之縱向集材平均集材距離分別為 78.5 m，橫向集材平均距離分別為 16.7 m。



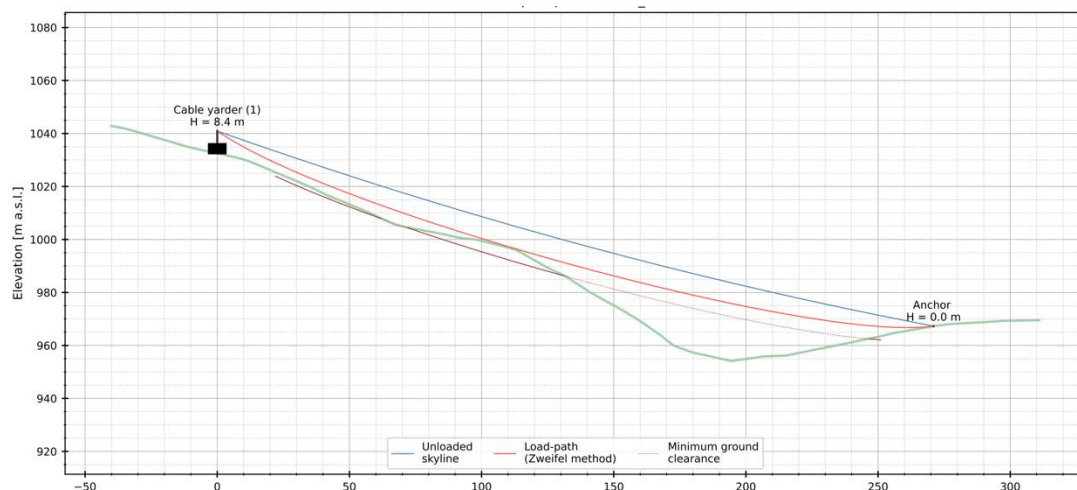


圖 9 Koller k301-2H 上坡集材路線之縱剖面地形

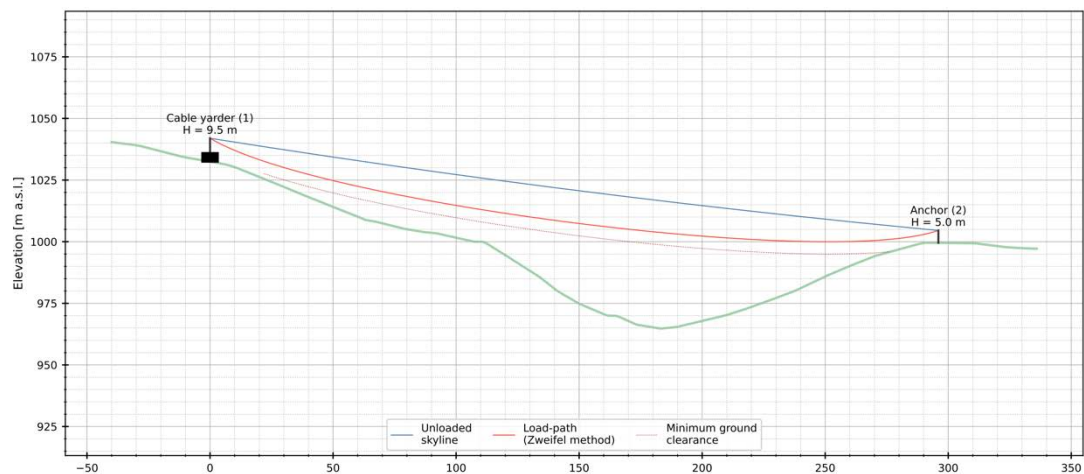


圖 10 TST Junior 3T 上坡集材路線之縱剖面地形

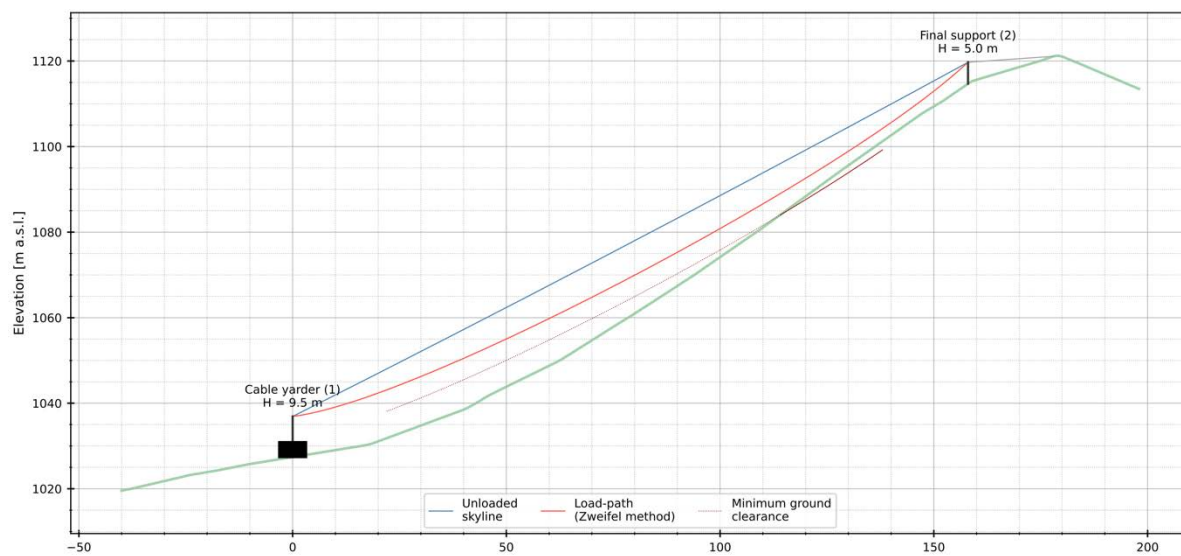


圖 11 TST Junior 3T 下坡集材路線之縱剖面地形





## b.塔式集材機集材作業時間與生產量分析

經統計分析結果，Koller K301-2H 與 TST Junior 3T 塔式集材機上坡集材作業合計之收穫原木材積分別為  $136.850 \text{ m}^3$  與  $80.852 \text{ m}^3$ ；調查之集材迴次分別為 220 迴次與 98 迴次；平均每迴次集材材積分別為  $0.622 \text{ m}^3$  與  $0.825 \text{ m}^3$ ；平均每迴次集材作業各工作單元之平均時間如表 20 與表 21 所示。TST Junior 3T 塔式集材機下坡集材作業合計之收穫原木材積分別為  $110.880 \text{ m}^3$ ；調查之集材迴次為 128 迴次；平均每迴次集材材積為  $0.622 \text{ m}^3$  與  $0.866 \text{ m}^3$ ；平均每迴次集材作業各工作單元之平均時間如表 22 所示。主要影響集材作業時間因子包括人員體力、作業熟悉度、地面坡度、搬器的性能、立木大小、橫向集材距離及立木倒向與交纏狀況。整體而言，橫向集材之拉索、捆材、原木橫向移動與負載上升至搬器之工作時間所佔比例最高，另 Koller K301-2H 塔式集材機上坡集材作業時的集材機等待、障礙排除、商討等寬裕時間比例為 21.5%；TST Junior 3T 塔式集材機上坡集材作業之寬裕時間比例僅為 3.9%；TST Junior 3T 塔式集材機下坡集材作業之寬裕時間比例為 8.3%，寬裕時間比例差異的主要原因為 Koller K301-2H 塔式集材機在較長的集材距離時，搬器因受主索拉力關係，重鏈與吊材索常常無法順利降下去進行捆材作業，使得障礙排除時間增加很多。整體 TST Junior 3T 塔式集材機集材作業中實際作業時間比例（稼動率）為 87.1%與 82.7%；Koller k301-2H 塔式集材機集材作業之稼動率為 58.9%，顯示新購置的 TST Junior 3T 整體集材作業過程中之機器效率較高且有無線電控制功能，可減少許多通信及集材機等待時間。

Koller K301-2H 與 TST Junior 3T 塔式集材機上坡集材作業之平均每迴集材時間分析結果如表 20 與表 21 所示，分別為 743.4 s 與 608.5 s；依平均每迴次集材材積，每日工作時間 8 h 計算之每人日之集材作業量結果如表 23，Koller K301-2H 與 TST Junior 3T 塔式集材機上坡集材作業效率分別為  $8.033 \text{ m}^3/\text{人日}$  與  $13.015 \text{ m}^3/\text{人日}$ ，TST Junior 3T 塔式集材機上坡集材作業之每人日之集材作業效率較使用 Koller K301-2H 高 62%。TST Junior 3T 塔式集材機下坡集材作業之平均每迴集材時間分析結果如表 22 所示，為 682.6s；依平均每迴次集材材積，每日工作時間 8 h 計算之每人日之集材作業量結果如表 23，TST Junior 3T 塔式集材機下坡集材作業效率分別為  $12.179 \text{ m}^3/\text{人日}$ ，TST Junior 3T 塔式集材機上坡集材作業之每人日之集材作業效率較下坡集材作業效率稍高。Bohm 與 Kanzian（2023）收集 70 篇架線集材作業研究資料，透過整合分析架線集材之平均生產量為  $9.8 \text{ m}^3/\text{PSH}_{15}$ ，其中上坡集材作業效率較高，平均為  $10.2 \text{ m}^3/\text{PSH}_{15}$ ；下坡集材為  $8.5 \text{ m}^3/\text{PSH}_{15}$ 。





以 Koller K301-2H 塔式集材機之平均完成每迴次全木集材作業之平均時間為 743.4s，標準偏差為 343.5 s，即 95%信賴區間為 70.1 s-1416.7 s。就信賴區間每迴次作業上限時 1416.7 s，約 0.39 h，平均每迴次集材材積為  $0.622 \text{ m}^3$ ，以每日工作時間 8 h 計，即可完成 20 迴次集材作業，換算每人每日之作業材積量為  $4.147 \text{ m}^3$ 。就信賴區間每迴次作業下限時間 70.1 s，約 0.019 h，平均每迴次集材材積為  $0.622 \text{ m}^3$ ，以每日工作時間 8 h 計，即可完成 421 迴次作業，換算每人每日之作業材積量為  $87.287 \text{ m}^3$ 。以 TST Junior 3T 塔式集材機之平均完成每迴次上坡與下坡全木集材作業之平均時間分別為 608.5 s 與 682.6 s，標準偏差分別為 249.5 s 與 296.9 s，即 95%信賴區間分別為 119.5 s-1097.5 s 與 100.7 s-1264.5 s。就信賴區間上坡全木集材每迴次作業上限時 1097.5 s，約 0.30 h，平均每迴次集材材積為  $0.825 \text{ m}^3$ ，以每日工作時間 8 h 計，即可完成 26 迴次集材作業，換算每人每日之作業材積量為  $7.150 \text{ m}^3$ ，就信賴區間每迴次作業下限時間 119.5 s，約 0.033 h，平均每迴次集材材積為  $0.825 \text{ m}^3$ ，以每日工作時間 8 h 計，即可完成 242 迴次作業，換算每人每日之作業材積量為  $54.904 \text{ m}^3$ 。就信賴區間下坡全木集材每迴次作業上限時間 1264.5 s，約 0.35 h，平均每迴次集材材積為  $0.866 \text{ m}^3$ ，以每日工作時間 8 h 計，即可完成 22 迴次集材作業，換算每人每日之作業材積量為  $6.351 \text{ m}^3$ ，就信賴區間每迴次作業下限時間 100.7 s，約 0.028 h，平均每迴次集材材積為  $0.866 \text{ m}^3$ ，以每日工作時間 8 h 計，即可完成 285 迴次作業，換算每人每日之作業材積量為  $82.270 \text{ m}^3$ 。





表 20 Koller K310-2H 每週次各工作單元之平均時間及所佔比例

項目		平均時間(s)	所佔比例(%)
準備收拾	準備	75.4	10.1
	收拾	70.6	9.5
	小計	146.0	19.6
實際作業	拉上吊索及空搬器移動至林內處及放下吊索	89.3	12.0
	拉索及捆材	192.7	25.9
	吊索載重移動上升及搬器載重運輸	122.4	16.5
	卸載	13.3	1.8
	解索	19.8	2.7
	小計	437.5	58.9
寬裕	集材機等待	25.9	3.5
	障礙排除	122.5	16.5
	商討	11.5	1.5
	小計	159.9	21.5
總計		743.4(343.5)	100







表 21 TST Junior 3T 上坡集材每迴次各工作單元之平均時間及所佔比例

項目		平均時間(s)	所佔比例(%)
準備收拾	準備	25.0	4.1
	收拾	30.0	4.9
	小計	55.0	9.0
實際作業	拉上吊索及空搬器移動至林內處及放下吊索	113.8	18.7
	拉索及捆材	159.1	26.1
	吊索載重移動上升及搬器載重運輸	211.3	34.7
	卸載	23.9	3.9
	解索	22.1	3.6
	小計	530.1	87.1
寬裕	集材機等待	1.6	0.3
	障礙排除	18.4	3.0
	商討	4.0	0.6
	小計	23.4	3.9
總計		608.5(249.5)	100





表 22 TST Junior 3T 下坡集材每迴次各工作單元之平均時間及所佔比例

項目		平均時間(s)	所佔比例(%)
準備收拾	準備	32.8 (1.8)	4.8
	收拾	28.4 (1.8)	4.2
	小計	61.2	9.0
實際作業	拉上吊索及空搬器移動至林內處及放下吊索	95.5 (26.1)	14.0
	拉索及捆材	201.7 (76.8)	29.5
	吊索載重移動上升及搬器載重運輸	170.4 (68.1)	25.0
	卸載	39.1 (33.4)	5.7
	解索	57.8 (55.2)	8.5
	小計	564.5 (196)	82.7
寬裕	集材機等待	36.4 (16.1)	5.3
	障礙排除	18.9 (16.3)	2.8
	商討	1.6 (0.1)	0.2
	小計	56.9 (10.5)	8.3
總計		682.6 (296.9)	100





表 23 塔式集材機集材作業分析結果

項目	Koller k301-2H	TST Junior 3T 上坡集材	TST Junior 3T 下坡集材
縱向集材平均距離 (m)	158.4	157.8	120.0
橫向集材平均距離 (m)	19.9	10.5	7.6
集材迴次 (次)	220	98	128
集材材積 (m <sup>3</sup> )	136.850	80.852	110.880
平均每迴次集材時間 (s)	743.4	608.5	<b>682.6</b>
平均每迴次集材材積 (m <sup>3</sup> )	0.622	0.825	0.866
每組平均集材 作業量 (m <sup>3</sup> )	24.100	39.046	36.538
每人日平均集材作業量 (m <sup>3</sup> )	8.033	13.015	12.179

註：每日工作時間以8 h計，每組工作人員為3人。

由前述文獻探討可知塔式集材機可大幅提升集材作業生產效率，間接可降低集材原木生產成本，可增加與進口木竹材市場價格競爭力。因此在提升國產材自給率目標下，應適度引進塔式集材機，逐步改善集材技術，擴大國產材生產規模。本研究採用 Koller K301-2H 與剛引進到國內的 TST Junior 3T 塔式集材機進行集材作業效率之每人日集材作業量，與全球目前塔式集材機（3 人 1 組）每日集材生產量約 60-90 m<sup>3</sup>，每人每日集材作業量約 20-30 m<sup>3</sup> 相較下，國內塔式集材機集材作業還有許多需要加強之處，特別是塔式集材機障礙排除之技能與操作熟練度，建議林業及自然保育署多辦理塔式集材機集材作業之實地訓練，強化集材技能與熟練度。

### (3) 竹東事業區第86林班塔式集材機集材作業標準作業量分析

竹東事業區第 86 林班相關採用 Koller K301-2H 與 TST Junior 3T 塔式集材機進行上坡集材作業之每迴次集材實際作業時間的次數分配表與評比計算結果如表 24 與表 25 所示，由評比資料顯示作業評比分別為 2.47%與 1.26%，顯示這兩組集材作業態度比一般狀況稍微努力。依表 20 結果可知 Koller K301-2H 塔式集材機上坡集材每迴次集材作業平均時間及寬裕率分別為 583.5 s 及 27.4%；依表 21 結果可知 TST Junior 3T 塔式集材機上坡集材每迴次集材作業平均時間及寬裕率分別為 585.1 s 及 4.0%，依此計算本





穫作業區以 Koller K301-2H 塔式集材機架線集材之每迴次標準作業時間為 761.7 s，若以每日實際作業時間 8 小時計，則每 3 人為一組的集材作業團隊，每日可集材 37.8 次，平均每迴次集材機為  $0.622 \text{ m}^3$ ，1 日標準集材作業量為  $23.518 \text{ m}^3$ ，相當於每人每日集材材積為  $7.839 \text{ m}^3$ ，如表 27 所示。以 TST Junior 3T 塔式集材機架線集材之每迴次上坡集材標準作業時間為 610.9 s，若以每日實際作業時間 8 小時計，則每 3 人為一組的集材作業團隊，每日可集材 47.1 次，平均每迴次集材機為  $0.825 \text{ m}^3$ ，1 日標準集材作業量為  $38.893 \text{ m}^3$ ，相當於每人每日集材材積為  $12.964 \text{ m}^3$ ，如表 27 所示。

竹東事業區第 86 林班相關採用 TST Junior 3T 塔式集材機進行下坡集材作業之每迴次集材實際作業時間的次數分配表與評比計算結果如表 26 所示，由評比資料顯示作業評比分別為 3.33%，顯示這組作業人員集材作業態度比一般狀況稍微努力。依表 22 結果可知 TST Junior 3T 塔式集材機下坡集材每迴次集材作業平均時間及寬裕率分別為 625.7 s 及 8.3%，依此計算以 TST Junior 3T 塔式集材機架線集材之每迴次下坡集材標準作業時間為 642.2 s，若以每日實際作業時間 8 小時計，則每 3 人為一組的集材作業團隊，每日可集材 44.8 次，平均每迴次集材材積為  $0.866 \text{ m}^3$ ，1 日標準集材作業量為  $38.797 \text{ m}^3$ ，相當於每人每日集材材積為  $12.945 \text{ m}^3$ ，如表 27 所示。

表 24 Koller K301-2H 塔式集材機作業評比

集材時間(s)	次數	機率 (%)	評比係數	評比 (%)
200-330	29	13.2	+0.12	1.58
331-460	96	43.6	+0.045	1.96
461-590	68	30.9	0	0
590-720	24	10.9	-0.075	-0.82
720-850	3	1.4	-0.19	-0.26
合計	220	100		2.47

表 25 TST Junior 3T 上坡塔式集材機作業評比

集材時間(s)	次數	機率 (%)	評比係數	評比 (%)
250-390	18	18.4	+0.12	2.20
391-530	44	44.9	+0.045	2.02
531-670	12	12.2	0	0
671-810	18	18.4	-0.075	-1.38
811-950	6	6.1	-0.19	-1.59
合計	98	100		1.26





表 26 TST Junior 3T 下坡塔式集材機作業評比

集材時間(s)	次數	機率 (%)	評比係數	評比 (%)
300-480	35	27.3	+0.12	3.28
481-660	45	35.2	+0.045	1.58
661-840	28	21.9	0	0
841-1020	16	12.5	-0.075	-0.94
1021-1200	4	3.1	-0.19	-0.59
合計	128	100.0		3.33

表 27 塔式集材機集材標準作業量

塔式集材機	實際作業				標準作業 時間 (s)	每人日標準 作業量 (m <sup>3</sup> /日)
	與準備收 拾平均時 間 (s)	寬裕時間 (s)	寬裕率 (%)	評比 (%)		
Koller K301- 2H	583.5	159.9	27.4	2.47	761.7	7.839
TST Junior 3T 上坡集材	580.1	23.4	4.0	1.26	610.9	12.964
TST Junior 3T 下坡集材	564.5	56.9	10.1	3.33	642.2	12.945

註： Koller K301-2H 塔式集材機集材作業一組之人員數為 3 人。每日作業時間以 8 h 計。每迴次平均集材材積為 0.622 m<sup>3</sup>。TST Junior 3T 塔式集材機上坡集材作業一組之人員數為 3 人。每日作業時間以 8 h 計。每迴次平均集材材積為 0.825 m<sup>3</sup>。TST Junior 3T 塔式集材機下坡集材作業一組之人員數為 3 人。每日作業時間以 8 h 計。每迴次平均集材材積為 0.866 m<sup>3</sup>。

#### (4) 竹東事業區第 86 林班塔式集材機集材作業生產費用分析

就林產物處分實務中規定之集材作業生產費用包括工資、機件使用、物料動力及附屬作業等 4 個項目。依序說明如下：

##### a.工資

以每人每日工作時間 8 小時為計算基礎，相關 Koller K301-2H 塔式集材機與 TST Junior 3T 塔式集材機上坡集材作業之每人每日之標準集材材積量分別為 7.839 m<sup>3</sup> 與 12.964 m<sup>3</sup>，依目前集材之平均每工工資為 3000 元計，則以 Koller K301-2H 塔式集材機與 TST Junior 3T 塔式集材機集材 1 m<sup>3</sup> 原木所需之集材工資費用分別為 383 元與 232 元。TST Junior 3T 塔式集材機下坡集材作業之每人每日之標準集材材積量為 12.945 m<sup>3</sup>。







依目前集材之平均每工工資為 3000 元計，則以 TST Junior 3T 塔式集材機下坡集材  $1\text{m}^3$  原木所需之集材工資費用為 232 元。

#### b. 機件使用費

塔式集材機原木集材之機件使用費包括集材機主機、架空索之機具主體與滑車等耗件折舊費，依機件折耗率乘以購置價格，機具主體與集材耗件價格如表 5 所示；折耗率為實際生產原木材積除以機件耗竭量如表 6 所示（機件使用壽命中合計之生產量）。塔式集材機耗竭量依  $11,960\text{m}^3/\text{年}$ （每年生產量） $\times 7$  年（使用壽命）為  $83,720\text{m}^3$  計。集材作業索材質因與架空索相同，且不會與地面摩擦，故耗竭量設定與架空索相同。依集材作業所使用之機具與耗件，計算 Koller K301-2H 塔式集材機與 TST Junior 3T 塔式集材機上坡集材  $1\text{m}^3$  原木所需之機件使用費分別為 85.9 元/ $\text{m}^3$  與 142.3 元/ $\text{m}^3$ ，如表 28 與表 29 所示。計算 TST Junior 3T 塔式集材機下坡集材  $1\text{m}^3$  原木所需之機件使用費為 146.8 元/ $\text{m}^3$ ，如表 30 所示。

#### c. 物料動力費

塔式集材機原木集材之物料動力費包括集材機集材過程之柴油燃料、機油等油脂及機械零件更換維修所需費用，本計畫集材所消耗之燃料與油脂用量、單位材積之物料費用計算結果如表 31，合計 Koller K301-2H 塔式集材機與 TST Junior 3T 塔式集材機上坡集材作業及 TST Junior 3T 塔式集材機下坡集材作業集材  $1\text{m}^3$  原木所需之物料動力費用分別為 24.5 元/ $\text{m}^3$ 、32.7 元/ $\text{m}^3$  與 50.8 元/ $\text{m}^3$ ，就實際燃料消耗調查結果，本計畫單位材積上坡集材原木所需燃料消耗量平均為  $0.48\text{L}/\text{m}^3$  與  $0.61\text{L}/\text{m}^3$ ，明顯較林產物處分實務中集材機採用  $0.66\text{L}/\text{m}^3$  數值低，可能因塔式集材機引擎效率高，相對造成集材單位材積原木所需燃料較低。Johansson（1997）針對農用牽引機用於中小徑木收穫所消耗的油料的研究結果顯示，皆伐作業時，每收穫  $1\text{m}^3$  公尺的原木須消耗 0.57 公升油料，疏伐作業所消耗用油則約為皆伐作業的兩倍，為 1.22 公升。





表 28 Koller K301-2H 塔式集材機集材機件使用費

	機件 種類	實 際 生 產 材 積 (m <sup>3</sup> )	耗 竭 量 (m <sup>3</sup> )	折耗率 (%)	購置價格(元)	機件 使用費 (元)
主機	集材機	136.850	83,720	0.16	5,500,000	8,800
	架空索	136.850	15,000	0.91	200,000	1,820
	小計					<b>10,620</b>
耗件	滑車	136.850	12,000	1.14	12,000 (尾柱滑車 1 個)	137
	鉤環	136.850	6,000	2.28	36,00(6x600)	83
	作業索	136.850	15,000	0.91	100,000	910
	小計					<b>1,130</b>
	合計					<b>11,750</b>
單位材積機件使用費用（元/m <sup>3</sup> ）(11750/136.850=85.9)						<b>85.9</b>

表 29 TST Junior 3T 上坡集材集材機件使用費

	機件 種類	實 際 生 產 材 積 (m <sup>3</sup> )	耗 竭 量 (m <sup>3</sup> )	折耗率 (%)	購置價格(元)	機件 使用費 (元)
主機	集材機	80.852	83,720	0.097	10,060,000	9,759
	架空索	80.852	15,000	0.54	200,000	1,080
	小計					<b>10,839</b>
耗件	滑車	80.852	12,000	0.67	12,000 (尾柱滑車 1 個)	81
	鉤環	80.852	6,000	1.35	36,00(6x600)	49
	作業索	80.852	15,000	0.54	100,000	540
	小計					<b>670</b>
	合計					<b>11,509</b>
單位材積機件使用費用（元/m <sup>3</sup> ）(11509/80.852=142.3)						<b>142.3</b>





表 30 TST Junior 3T 下坡集材集材機件使用費

	機件 種類	實 際 生 產 材 積 (m <sup>3</sup> )	耗 竭 量 (m <sup>3</sup> )	折耗率 (%)	購置價格(元)	機件 使用費 (元)
主機	集材機	110.880	83,720	0.132	10,060,000	13,280
	架空索	110.880	15,000	0.74	200,000	1,480
	小計					<b>14,760</b>
耗件	滑車	110.880	12,000	0.92	12,000 (尾柱滑車 1 個)	111
	鉤環	110.880	6,000	1.85	36,00(6x600)	666
	作業索	110.880	15,000	0.74	100,000	740
	小計					<b>1,517</b>
合計						<b>16,277</b>
單位材積機件使用費用（元/m <sup>3</sup> ）(16277/110.88=146.8)						<b>146.8</b>

表 31 塔式集材機集材物料動力費用

集材機	原木材積 (m <sup>3</sup> )	消耗量(L)		單位材積消耗 量(L/m <sup>3</sup> )		單位材積費用(元/ m <sup>3</sup> )			
		燃料	油脂	燃料	油脂	燃料	油脂	機械 零件	合計
Koller	136.850	65.7	3.2	0.48	0.023	13.1	2.8	8.6	24.5
TST 上坡集材	80.852	46.3	1.2	0.61	0.015	16.6	1.8	14.3	32.7
TST 下坡集材	110.880	134.9	3.5	1.217	0.032	33.0	3.8	14.7	50.8

註：燃料以柴油 27.1 元/L，油脂以 120 元/L 計；機械零件費依集材單位材積機件使用費之 10%計。

#### d. 附屬作業費用

集材作業之附屬作業包括架設塔柱、架設尾柱、架設主索與作業索、撤除架線與附件等，依集材機架線集材方式統計各集材路線之平均時間如表 32 所示，附屬作業人員為 3 人。結果顯示架設約 280 m 之 Koller K301-2H 塔式集材機上坡集材附屬作業時間平均為 7.67 h（27624/3600），若以每日工作時間為 8 h 計，則完成一段式集材附屬作業須 2.88 工，平均單位材積之塔式集材機集材附屬作業費用為 52.7 元；架設約 280 m





之 TST Junior 3T 塔式集材機上坡集材附屬作業時間平均為 9.17 h (33000/3600)，若以每日工作時間為 8 h 計，則完成一段式集材附屬作業須 3.44 工，平均單位材積之塔式集材機集材附屬作業費用為 106.4 元，架設約 160 m 之 TST Junior 3T 塔式集材機下坡集材附屬作業時間平均為 9.72 h (35000/3600)，若以每日工作時間為 8 h 計，則完成一段式集材附屬作業須 3.65 工，平均單位材積之塔式集材機集材附屬作業費用為 65.8 元。卓志隆 (2013) 研究顯示架設約 200 m-310 m 之橇式集材機集材附屬作業，平均為 26.8 h，塔式集材機優點包括可顯著地降低主柱架設時間與集材人力需求；集材機移轉非常迅速，因此較傳統固定式集材機集材架線附屬作業時間少，特別是多徑間作集材作業。

表 32 集材附屬作業各工作單元之平均時間與作業費用

項目	集材機		
	Koller K301-2H	TST Junior 3T 上坡集材	TST Junior 3T 下坡集材
架設與撤除合計時間(s)	27624	33000	35000
需求工數	2.88	3.44	3.65
作業費用(元)	7,200	8,600	7,300
原木材積(m <sup>3</sup> )	136.850	80.852	110.880
單位材積集材附屬作業 費用(元/m <sup>3</sup> )	52.7	106.4	65.8

\*:附屬作業編組為 3 人一組。每日工作時間 8 h，每工工資依 2500 元計。

#### e.集材生產費用與毛利

合計以 Koller K301-2H 塔式集材機進行集材作業之單位材積所需之集材工資、機件使用費、物料動力費及附屬作業費用統計結果如表 33，平均單位材積生產費用（元/m<sup>3</sup>）為 482.1 元；以 TST Junior 3T 塔式集材機進行上坡與下坡集材作業之平均單位材積生產費用（元/m<sup>3</sup>）分別為 473.4 元與 436.4 元，較卓志隆 (2013) 採橇式集材機集材之單位材積之集材費用 864 元為低，塔式集材機雖然購置成本較高，但整體生產費用有顯著較低的結果。若可減低附屬作業次數與提高集材路線可收穫的作業量，應可更降低塔式集材機的集材生產費用。

目前國內給付之集材費用平均為 2.5 元/才，即給付集材 1 m<sup>3</sup> 原木的費用為 900 元，由塔式集材機集材 1 m<sup>3</sup> 原木的生產費用約為 480 元，現況業者以塔式集材機進行集材勞務生產應約有 47% 的毛利。





表 33 原木集材生產費用

集材作業機械	單位材積生產費用(元/m <sup>3</sup> )				
	集材工資	機件使用費	物料動力費	附屬作業費用	合計
Koller K301-2H	383	85.9	24.5	52.7	482.1
TST Junior 3T 上坡集材	232	142.3	32.7	106.4	473.4
TST Junior 3T 下坡集材	232	146.8	50.8	65.8	436.4







#### 4. 桂竹竹材收穫生產作業效率與生產成本分析

作業區位於桃園市復興區義盛里大利段 1431 地號及 1433 地號之原住民保留地桂竹林地，面積 2.03 公頃，海拔高度 460-560 m，為桂竹林，每公頃平均 18,006 支。桂竹林採疏伐作業，收穫對象為 4 年生以上之成熟竹，集材線開設的目的係為了讓伐倒的竹桿材能夠集中到路邊土場並提供伐倒竹轉向使用，因此集材線中的竹子需進行皆伐，才不會在集材過程中形成障礙物，本研究集材線之縱剖面地形如圖 12，平均坡度 28°。本集材線寬度為 6 m，可提供左右兩側的竹桿進行集材。竹材收穫作業流程依序為伐竹、去枝、捆材、集材、卸材、裝材整理。伐竹去枝人員 3 名，使用小型鏈鋸作業；捆材採用布質繩帶將去枝後竹材捆束為一把；集材作業方式為利用 TST Junior 3T 之塔式集材機進行下坡集材作業，集材作業水平距離為 150 m，集材作業人員編組為 2 人，分別為塔式集材機端操作手兼卸材解索工 1 名，林地端搬運器控制兼捆材人員 1 名，裝材整理作業人員 2 名。合計桂竹收穫作業人員 7 名。

##### (1) 竹材收穫生產作業效率分析

經統計分析結果，每迴次竹材收穫作業各工作單元的平均時間及所佔比例如表 34 所示。共調查 136 迴次，每迴次平均收穫之桂竹支數為 32 支，共收穫竹材重量為 32,540 kg。由表 34 資料可知平均每迴次收穫作業時間為 1327.5 s（平均支數為 32 支，平均重量為 239 kg），其中準備收拾比例佔 12.1%，實際作業比例 84.9%，寬裕時間比例為 1.9%，由於伐竹與集材工作時，可利用工作輪換的空檔休息，故表 34 不再記錄個人疲勞或生理上休息時間。若以每日工作時間 8 小時為計算基礎，則 7 人為一組的竹材收穫機組，每日可完成約 21 迴次的竹材收穫作業，平均可生產 672 支桂竹。平均每人日作業量為 96 支，每支平均重量以 7.5 kg 計算，每人日作業量為約 720 kg。假設每工工資為 2,500 元，不包含運材作業時，生產 100 台斤(60 kg)桂竹桿所需之工資費用為 209 元。卓志隆（2020）於大溪事業區第 6 林班地桂竹林疏伐收穫研究中，以 Koller K301-2H 塔式集材機進行之桂竹平均每迴次收穫作業時間為 1366 s，兩者間之作業時間差異很小。

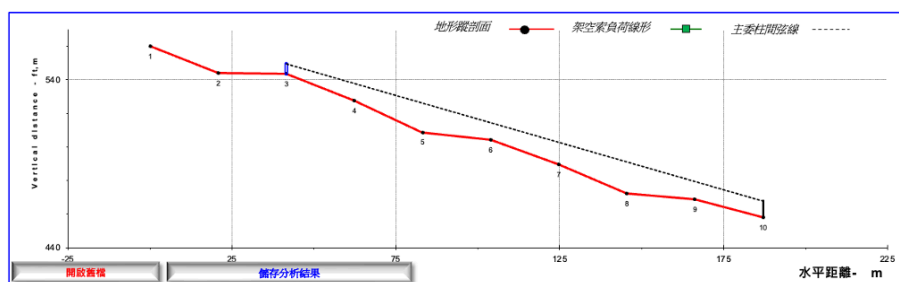


圖 12 桂竹竹材下坡集材路線之縱剖面地形





表 34 桂竹竹材以 TST Junior 3T 下坡集材每迴次各工作單元之平均時間及所佔比例

項目		平均時間(s)	所佔比例(%)
準備收拾	準備	129.2 (7.8)	9.7
	收拾	45.0 (3.8)	3.4
	小計	174.2 (11.3)	12.1
實際作業	伐竹去枝	445.2(192.1)	33.5
	拉上吊索及空搬器移動至林內處及放下吊索	68.6 (29.5)	5.2
	拉索及捆材	227.4 (150.8)	17.1
	吊索載重移動上升及搬器載重運輸	85.3 (32.7)	6.4
	卸載	38.1 (23.6)	2.9
	解索	89.2 (37.2)	6.7
	裝材整理	173.7(156.4)	13.1
	小計	1127.5 (473.6)	84.9
寬裕	集材機等待	6.6 (1.1)	0.5
	障礙排除	5.6 (0.8)	0.4
	商討	13.6 (1.5)	1.0
	小計	25.8 (23.7)	1.9
總計		1327.5 (513.7)	100





## (2) 桂竹收穫作業生產成本基礎分析

本作業費用分析項目包括工資、機具使用費、物料動力費及運費等 4 個項目。依序說明如下：

### a. 工資

依前述桂竹作業效率分析結果，平均每人日可生產作業量約 720 kg。假設每工工資為 2,500 元，則生產 100 台斤(60 kg)桂竹稈所需之作業費用為 209 元。採用台斤計算係依當地市場交易習慣。

### b. 機具使用費

塔式集材機及配件生產單位材積之機具使用費以塔式集材機及其主要附件之購置價格除以耗竭量標準為生產單位材積之機具使用費。塔式集材機機具主體及其主要附件之規定耗竭量標準如表 6，購置價格如表 5。作業機具之機械零件更換(含維護工資)所需費用，以塔式集材機使用費之 10%計算，桂竹竹材 1 公噸以 1 m<sup>3</sup>計。

#### (a) 塔式集材機

每集材 1 公噸之集材機使用費= $10,060,000/83,720=120.2$ (元/公噸)。

#### (b) 滑車

每集材 1 公噸之滑車之使用費用= $12,000/12,000=1.0$ (元/公噸)。

#### (c) 架空索

每集材 1 公噸之架空索使用費用= $200,000/15,000=13.3$ (元/公噸)。

#### (d) 作業索

每集材 1 公噸之作業索使用費用= $100,000/6,000=16.7$ (元/公噸)。

#### (e) 鉤環夾箍

每集材 1 公噸之鉤環夾箍使用費= $3,600/6,000=0.6$ (元/公噸)。

(g) 合計塔式集材機每集材 1 公噸竹材之機具費用為 151.8 (元/公噸)，換算為生產 100 台斤(60 kg)桂竹竹材所需之機具費用為 9.1 元。

### c. 物料動力費

合計收穫 32,540 kg 竹材過程之柴油燃料與機油等油脂及機械零件更換維修所需費用結果如表 35，每集材 1 公噸竹材之物料動力費用 89.9 (元/公噸)，機械零件更換費用以塔式集材機使用費之 10%計，即  $120.2 \times 0.1 = 12.0$ (元/公噸)。換算為生產 100 台斤(60 kg)桂竹稈所需之物料動力費用為 5.4 元。





#### d. 運費

以平均每趟運竹18,000 kg，運費20,000元估算之運費為1111(元/公噸)，換算為生產100台斤(60 kg)桂竹稈所需之運費為66.7元。

表 35 物料動力費

竹材 重量 (公噸)	消耗量(L)		每公噸消耗量 (L/公噸)		每公噸費用(元/ 公噸)			
	燃料	油脂	燃料	油脂	燃料	油脂	機械 零件	合計
32.54	79	3.4	2.43	0.10	65.9	12.0	12.0	89.9

註：燃料與油脂每公升價格分別為 27.1 元與 120 元。

#### e.合計費用

每生產100台斤桂竹竹材之工資、機具使用費、物料動力費及運費合計為290.2(209+9.1+5.4+66.7=290.2)元，若加上必要行政管理費用10%，整體每生產100台斤桂竹稈之生產費用為319元，當地市場目前每100台斤平均售價為330元，即毛利率僅有3.3%，主要原因為工資占整體成本比例達66%，應針對作業人員技術與工作時程安排進行檢討，以減低工資的成本。





## （二）附抓鉤之原木拖車裝運材之作業效率及生產成本調查分析

原木裝運材與卸材整堆作業之作業效率及生產成本調查樣本為宏晟菇業行之柳杉原木材堆，裝運材與卸材整堆作業人員編組為 1 人一組，作業人員為新手。作業採用愛沙尼亞 BMF 6T2 之拖車式裝運材車與德國 John Deere 5055E 曳引機連結後，進行原木裝運材與卸材整堆作業，曳引機可透過曳引機動力分導裝置 PTO 連結 BMF 6T2 原木裝運材拖車（trailer for loading and transporting logs）之油壓系統之連結孔，供其起重臂與抓鉤裝置進行原木裝車作業（如圖 1）；亦可與原木裝運材拖車的拖眼（towing eye）機械穩固連結後進行原木的運材作業（如圖 2）。BMF6T2 拖車式裝運材車由起重臂、原木抓鉤、拖車架組合而成，主要規格為起重臂最大伸長尺寸為 5.4 m，抓鉤最大開口距離 1.15 m，拖車架載重能力 6000 kg，車寬 2050 mm。曳引機額定馬力為 55 hp，引擎排氣量為 2900 cc，傳動方式為四輪驅動；具有三點鏈接系統；動力分導裝置之迴轉速度 (rpm) 包括 540/540E；車身長/寬/高為 4010 /1840/ 2480 mm。

本次調查之運材作業距離為 3400 m，每迴次原木裝運材與卸材整堆作業時間分為準備收拾、實際作業及寬裕時間等三大項，調查分析結果如表 36。準備時間為每日開始工作時，準備油料、穿戴工作服等時間；收拾時間為每日工作後，收拾作業器具與裝運材車輛停妥等時間。實際作業時間包括空車移動固定、原木裝車（圖 13）、裝載原木運輸、卸材整堆（圖 14）、空車返回；寬裕時間則紀錄障礙排除及生理休息，共調查 60 迴次的作業時間。平均每迴次準備收拾時間為 62 s，所佔比例為 2.0%；實際作業時間為 2731 s，所佔比例為 89.2%，其中以原木裝車時間所需時間最高，為 1074 s（35.1%），依序為卸材整堆、裝載原木運輸、空車返回與空車移動固定時間分別為 594 s（19.4%）、564 s（18.4%）、469 s（15.3%）、30 s（1.0%），在 3400 m 運輸距離之作業時間中，以原木裝車與卸材整堆工作單元所佔時間比例較高；寬裕時間包括障礙排除及生理休息為 270 s，所佔比例為 8.8%，以 BMF 6T2 之拖車式裝運材車與 John Deere 5055E 曳引機連結後，完成每迴次原木裝運材與卸材整堆作業之平均時間為 3063 s，標準偏差為 690 s，即 95% 信賴區間為 1683 s-4443 s。

就平均每迴次之作業總時間為 3063 s，約 0.85h，平均每迴次運材材積為 2.354 m<sup>3</sup>，以每日工作時間 8 h 計，即可完成 9 迴次作業，換算每人每日之作業材積量為 21.186 m<sup>3</sup>。就信賴區間每迴次作業上限時間 4433 s，約 1.23 h，平均每迴次運材材積為 2.354 m<sup>3</sup>，以每日工作時間 8 h 計，即可完成 6 迴次作業，換算每人每日之作業材積量為 14.124 m<sup>3</sup>。就信賴區間每迴次作業下限時間 1683 s，約 0.47 h，平均每迴次運材材積為 2.354 m<sup>3</sup>，以每日工作時間 8 h 計，即可完成 17 迴次作業，換算每人每日之作業材積量







40.068 m<sup>3</sup>。本機械設備作業人員為第一次使用，隨作業人員裝材經驗次數得累積，每小時的裝材生產量會提升，如圖 15。

表 36 柳杉原木裝運材與卸材整堆作業每迴次各工作單元之平均時間及所佔比例

項目		平均時間(s)	所佔比例(%)
準備收拾	準備	30(4)	1.0
	收拾	32(5)	1.0
	小計	62	2.0
實際作業	空車固定	30(5)	1.0
	原木裝車	1074(399)	35.1
	裝載原木運輸	564(102)	18.4
	卸材整堆	594(139)	19.4
	空車返回	469(85)	15.3
	小計	2731	89.2
寬裕	生理休息	180(20)	5.9
	障礙排除	90(12)	2.9
	小計	270	8.8
總計		3,063(690)	100

\*運輸距離3400 m







圖 13 BMF 6T2 原木裝車作業



圖 14 BMF 6T2 原木卸材整堆作業





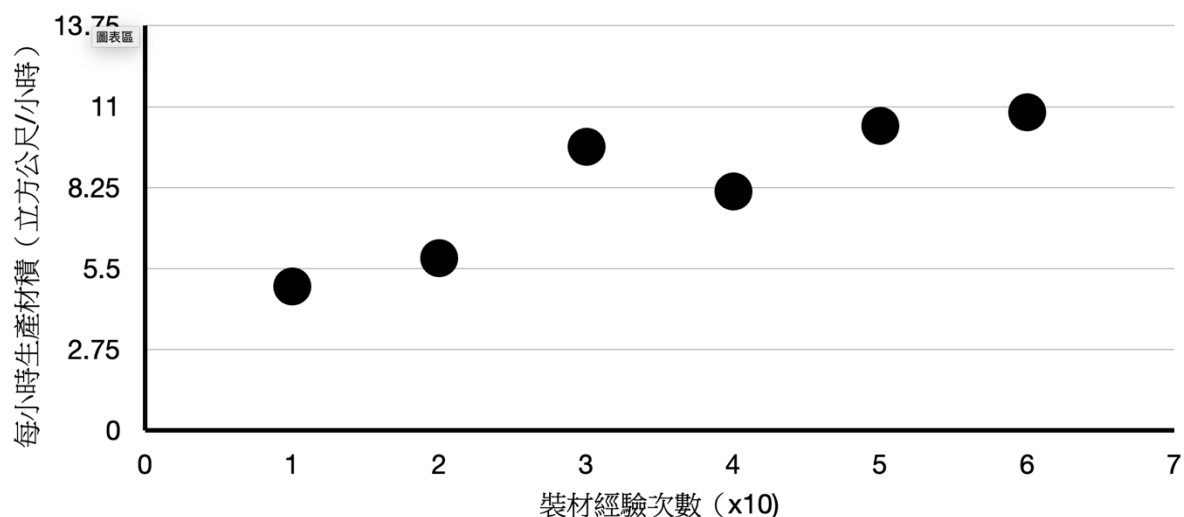


圖 15 裝材經驗與生產材積的關係

就原木裝運材與卸材整堆作業生產成本包括工資、機件使用、物料動力等 3 個項目。依序說明如下：

#### (1)工資

以每人每日工作時 8 小時為計算基礎，相關針葉樹原木裝運材與卸材整堆作業之每人每日之作業材積量為  $21.186 \text{ m}^3$ 。依目前之平均每工工資為 2500 元，則針葉樹原木裝運材與卸材整堆作業  $1 \text{ m}^3$  原木所需之工資費用為 118 元。

#### (2)機件使用費

原木裝運材與卸材整堆作業之機件使用費包括 John Deere 5055E 型曳引機、BMF6T2 原木裝運材拖車等機件折舊費，依機件折耗率乘以購置價格，機件價格如表 37 所示；折耗率為實際生產原木材積除以機件耗竭量如表所示(機件使用壽命合計之生產量)。原木裝運材車輛耗竭量為  $70,560 \text{ m}^3 / \text{年}$ 。依原木裝運材與卸材整堆作業所使用之機件，計算其單位材積原木集材整堆之機件使用費為元，如表 37 所示。

表 37 機件使用費

機件 種類	實際生產 材積(m³)	耗竭量(m³)	折耗率 (%)	購置價格 (元)	機件 使用費(元)
曳引機	141.240	423,360	0.0333	700,000	233.1
BMF6T2	141.240	423,360	0.0333	780,000	259.7
合計		492.8			
單位材積機件使用費					
3.5 元/ m³ (=492.8/141.240)					





### (3) 物料動力費

原木裝運材與卸材整堆作業之物料動力費包括作業過程之柴油燃料及機械零件更換維修所需費用，本調查 60 迴次作業中，原木裝材、運材與卸材整堆所消耗之柴油燃料分別為 18.9 L，91.2 L，10.3 L，合計 120.4 L，所消耗油脂合計為 2.276 L，即本研究每裝運材與卸材 1 m<sup>3</sup> 需消耗 0.85 L 柴油與 0.016 L 油脂。每裝運材與卸材整堆 1 m<sup>3</sup> 原木材積之柴油燃料費用為 25.0 元 $((120.4 \text{ L} \times 27.1 \text{ 元/L} + 2.276 \text{ L} \times 120 \text{ 元/L}) / 141.24 \text{ m}^3)$ ，機械零件費依單位材積機件使用費的 10% 計算，結果為 0.35 元，合計原木裝運材與卸材整堆 1 m<sup>3</sup> 所需之物料動力費用為 25.4 元。Johansson (1997) 針對農用曳引機用於中小徑木收穫所消耗的油料的研究結果顯示，皆伐作業時，每收穫 1 m<sup>3</sup> 的原木須消耗 0.57 公升油料，疏伐作業所消耗用油則約為皆伐作業的兩倍，為 1.22 公升。

### (4) 裝運材與卸材整堆作業之生產成本

合計共生產 141.24 m<sup>3</sup> 之柳杉原木裝運材與卸材整堆作業中，相關單位材積所需之工資、機件使用費、物料動力費統計結果如表 38，合計原木裝運材與卸材整堆作業之平均單位材積生產費用為 147 元/m<sup>3</sup>。

表 38 柳杉原木裝運材與卸材整堆費用

單位材積生產費用(元/m <sup>3</sup> )			
工資	機件使用費	物料動力費	合計
118	3.5	25.4	147





### (三) 集運材作業過程之二氧化碳排放量分析

本計畫分別統計關山事業區第45林班皆伐作業竹東事業區、第86林班皆伐作業與桂竹疏伐作業以Koller K301-2H與TST Junior 3T塔式集材機進行集材作業之柴油與機油消耗量如表39，依加權平均計算Koller K301-2H塔式集材機進行人工林針葉樹全木集材作業之柴油與機油消耗量分別為0.45 L/m<sup>3</sup>與0.016 L/m<sup>3</sup>；TST Junior 3T塔式集材機進行人工林針葉樹全木集材作業之柴油與機油消耗量分別為0.96 L/m<sup>3</sup>與0.025 L/m<sup>3</sup>。集材作業過程之CO<sub>2</sub>排放量位為1.304 kg可能因Koller K301-2H塔式集材機引擎效率高，相對造成集材單位材積原木所需燃料較低。而TST Junior 3T 須透過John Deere曳引機PTO提供動力，相對造成集材單位材積原木所需燃料較低，相對介面的能源使用效率會較Koller K301-2H為低。桂竹集材作業之柴油與機油消耗量分別為2.43 L/公噸與0.10 L/公噸，相對較木材的能源消耗高，主要因每迴次桂竹的集材重量為木材的1/4-1/3，因此單位材積或重量的桂竹集材能源消耗為木材集材的3-4倍。

以BMF6T2拖車式裝運材車進行原木裝運材與卸材整堆作業60迴次作業中，原木裝材、運材與卸材整堆所消耗之柴油燃料分別為為18.9 L、91.2 L、10.3 L，合計120.4 L，所消耗機油合計為2.276 L，即本研究每裝運與卸材1 m<sup>3</sup>需消耗0.85 L柴油與0.016 L機油。

依據環境部公告資料，每消耗 1 公升柴油及機油各會排放出 2.78 kg 及 3.13 kg 的二氧化碳(含 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 等溫室氣體)，故本計畫採用 Koller K301-2H 塔式集材機進行人工林針葉樹全木集材作業過程之 CO<sub>2</sub> 排放量為 1.304 kg/m<sup>3</sup>。採用 TST Junior 3T 塔式集材機進行人工林針葉樹全木集材作業過程之 CO<sub>2</sub> 排放量為 2.751 kg/m<sup>3</sup>。採用 TST Junior 3T 塔式集材機進行桂竹集材作業過程之 CO<sub>2</sub> 排放量為 7.085 kg/公噸。以 BMF6T2 拖車式裝運材車進行原木裝運材與卸材整堆作業過程之 CO<sub>2</sub> 排放量為 2.416 kg/m<sup>3</sup>，結果如表 40。

卓志隆與胡子恒（2018）研究結果指出集材整堆過程中，每生產 1 m<sup>3</sup> 原木須消耗 5.80 公升的柴油，機油為 0.22 公升。集材整堆因採用大型機具，其燃料與機油消耗量相對高出許多，採用固定式集材機集材作業之燃料消耗量平均較採附絞盤怪手集材為低。每生產出 1 m<sup>3</sup> 原木時，集材整堆過程產生 16.80 kg 的 CO<sub>2</sub> 排放。此結果顯示塔式集材機集材作業之單位材積之燃料與機油消耗量與 CO<sub>2</sub> 排放量低很多。

Johansson（1997）針對農用曳引機用於中小徑木收穫所消耗的油料的研究結果顯示，皆伐作業時，每收穫 1m<sup>3</sup> 的原木須消耗 0.57 公升油料，疏伐作業所消耗用油則約為皆伐作業的兩倍，為 1.22 公升。Oyier and Visser（2016）調查紐西蘭 28 個架線集材系統







的年度燃料消耗，平均每生產 1 m<sup>3</sup> 原木之燃料消耗為 3.18 L/m<sup>3</sup>，隨著生產量增大，單位材積燃料消耗量呈乘冪函數遞減。

表 39 不同集材作業區之燃料使用量統計

作業區	集材機器	集材方式	搬出材積 (m <sup>3</sup> )	燃料消耗量 (L/m <sup>3</sup> )	機油消耗量 (L/m <sup>3</sup> )
關山事業區 第 45 林班	Koller K301-2H	上坡集材	140.260	0.43	0.010
竹東事業區 第 86 林班	Koller K301-2H	上坡集材	136.850	0.48	0.023
竹東事業區 第 86 林班	TST Junior 3T	上坡集材	80.852	0.61	0.015
竹東事業區 第 86 林班	TST Junior 3T	下坡集材	110.880	1.22	0.032
桂竹林地	TST Junior 3T	下坡集材	32.54	2.43	0.10

表 40 集運材作業之 CO<sub>2</sub> 排放量統計

作業區分	集運材機器	二氧化碳排放量
集材	Koller K301-2H	1.304 kg/m <sup>3</sup>
集材（木材）	TST Junior 3T	2.751 kg/m <sub>3</sub>
集材（桂竹）	TST Junior 3T	7.085 kg/公噸
裝運材	BMF6T2	2.416 kg/m <sup>3</sup>





#### (四) 辦理現場 TST Junior 3T 塔式集材機集材作業訓練

近年來我國林業之木材自給率希望在 10 年內朝 10% 的目標前進，且著重收穫對於環境保護及永續經營的概念，期盼可逐步擴大人工林林木經營區及私有林之林木收穫量。鑒於我國林木收穫技術已有 30 幾年的空窗期，從業人員的高齡化，收穫技術的停滯，都是造成我國木材生產成本較高的原因。農業部林業及自然保育署於本年度引進可進行全地形集材作業的 TST Junior 3T 型塔式集材機，其優點為塔式集材機主柱架設時間很短、集材機移轉容易、集材作業之人力需求較少，並可應用單面式搬器，克服多徑間長距離集材須設置息木柱與多部集材機需求之作業瓶頸，因此塔式集材機適合陡峭地形之木材收穫作業，且採用之架線集材方式對森林環境衝擊低；TST Junior 3T 型與曳引機連結後，可於窄小的森林作業道中運輸並進行集材作業，很適合台灣林道網路密度低的集材作業，可進行上下坡與平坦地形的集材作業。希望透過教育訓練讓林業合作社、伐木業者、林農等具備以塔式集材機進行集材作業的知識與技術能力，透過實際集材生產之訓練與後續作業效率調查，培育竹材發展合作社現代化集材技術及人力，解決其竹材收穫面臨之瓶頸，提高其生產效率及市場競爭力。本教育訓練於 11/9-11/10 假花蓮分署南華工作站辦理，共有 42 位學員報名參加，如表 41，相關課程表如表 42 所示，實施過程如圖 16 至圖 32，講義如附件一。

學員意見回饋如表 43，教學評量統計結果如表 44，整體而言，學員對本次活動滿意程度在滿意以上的比率為 100%(42/42)，未來課程安排方面主要建議意見是希望可增加現地架支持索各地形利用場地實務課程、機械維護保養故障排除課程及挖掘機實務訓練課程的安排及另外學員關切未來是否有技能訓練取得證照等管道。





表 41 「TST Junior 3T 塔式集材機架線集材實務訓練課程」學員名單

編號	姓名	服務單位
1	游○正	農業部林業及自然保育署森林產業組產銷輔導科
2	林○怡	農業部林業及自然保育署花蓮分署經營企劃科
3	呂○旺	農業部林業及自然保育署花蓮分署經營企劃科
4	陳○鵬	農業部林業及自然保育署花蓮分署經營企劃科
5	簡○萱	農業部林業及自然保育署花蓮分署經營企劃科
6	邱○升	農業部林業及自然保育署花蓮分署經營企劃科
7	蘇○婷	農業部林業及自然保育署花蓮分署經營企劃科
8	黎○瑞	農業部林業及自然保育署花蓮分署集水區治理科
9	蘇○翰	農業部林業及自然保育署花蓮分署經營企劃科
10	張○義	農業部林業及自然保育署花蓮分署經營企劃科
11	游○詩	農業部林業及自然保育署花蓮分署經營企劃科
12	曾○瑜	農業部林業及自然保育署花蓮分署萬榮工作站
13	柯○帆	農業部林業及自然保育署花蓮分署玉里工作站
14	謝○壽	農業部林業及自然保育署花蓮分署新城工作站
15	林○譯	農業部林業及自然保育署花蓮分署南華工作站
16	楊○珽	農業部林業及自然保育署花蓮分署南華工作站
17	洪○凌	農業部林業及自然保育署屏東分署企劃科
18	楊○雄	內政部警政署警察通訊所
19	彭○均	交通部民用航空局
20	許○宗	鴻奇工程行
21	張○明	西林部落
22	李○勳	有限責任臺東縣原住民哖奈哖奈友善環境農林生產合作社
23	宋○耀	有限責任臺東縣原住民哖奈哖奈友善環境農林生產合作社
24	游○萍	花蓮縣吉安鄉太魯閣族發展協會
25	劉○陽	建陽林業行
26	林○芳	建陽林業行
27	陳○嘉	鴻盛建設機械有限公司
28	謝○昕	鴻盛建設機械有限公司
29	吳○坤	有限責任水璉林業運銷合作社
30	吳○萍	鑫岳林業生產合作社
31	林○泰	鑫岳林業生產合作社
32	游○川	鑫岳林業生產合作社
33	游○郎	鑫岳林業生產合作社
34	吳○義	鑫岳林業生產合作社
35	陳○鋒	虎山林業有限公司
36	周○任	虎山林業有限公司
37	劉○廷	虎山林業有限公司
38	衛○竹	虎山林業有限公司
39	趙○成	國立中興大學森林學系
40	劉○諺	國立宜蘭大學森林暨自然資源學系
41	曾○語	國立宜蘭大學森林暨自然資源學系
42	留○豪	花蓮高農森林科





表 42 TST Junior 3T 塔式集材機架線集材實務訓練課程表

日期	時間	內容	講師	上課地點
11/9 (四)	08:40-09:00	報到		花蓮分署南華 工作站二樓會 議室
	09:00-10:00	作業計畫與架線計畫	卓志隆	
	10:00-10:10	休息		
	10:10-12:00	智慧型工具於林分資源 調查與實務練習	陳廷安 / 林珏	
	12:00-13:10	午餐		
	13:10-14:00	塔式集材作業安全設計	卓志隆	
	14:00-14:10	休息	卓志隆	
	14:10-17:00	TST Junior 3T 塔式集材 機具與架線方式介紹	卓志隆	
11/10 (五)	09:00-12:00	TST Junior 3T 塔式集材 機無線電控制系統與集 材系統說明示範與練習	黃爾偉 / 蕭宇 哲、吳沛縉	花蓮分署南華 工作站 南華林業園區
	12:00-13:00	午餐		
	13:00-15:00	TST Junior 3T 型塔式集 材機集材操作示範與練 習	黃爾偉 / 蕭宇 哲、吳沛縉	
	15:00-15:10	休息		
	15:10-17:00	裝材作業機械操作示範 與練習	曾冠語	





表 43 「TST Junior 3T 塔式集材機架線集材實務訓練課程表」意見回饋

一、希望未來可增加的課程類型：
1. 實地伐木或集材教學。 2. 卡車配合曲臂式抓夾原木。 3. 可增加現地架支持索各地形利用場地實習。 4. 怪手訓練課程，架線規劃實務課程。 5. 機械維護保養故障排除。 6. 實務操作及演練時數增加，未來是否有技能訓練取得證照等管道。
二、這次課程對您最有幫助的地方是：
1. 集材機使用原理及安全事項。 2. 了解集材機操作。 3. 現場實務有幫助。 4. 深入了解集材現場工作。 5. 對國產材利用伐採作業了解。 6. 機器說明。 7. 塔式集材規劃架設方法的了解。 8. 實務操作。 9. 多元的點心有助於提升體力面對紮實的實用課程。 10. 實際操作及課前教學都很詳細。 11. 認識現代化集材設備，伐採技術交流及餘資材利用。 12. 學習不同領域知識技能。
三、其它建議：
1. 若有其他適合林地作業的自動化機具，希望多了解。 2. 很棒。 3. 講師及助教們辛苦了！從原理到實務面都體驗到！







表 44 「TST Junior 3T 塔式集材機架線集材實務訓練課程表」教學評量統計結果

	壹、課程方面	非常滿意 人數	滿意 人數	尚可 人數	不滿意 人數	非常不滿 意人數
一	您對本課程主題安排之滿意程度	39	3	0	0	0
二	主題和內容之相關性	40	2	0	0	0
三	您對講師/助教整體表現的滿意程度	38	4	0	0	0
四	您對課程進行整體的滿意程度	39	3	0	0	0
五	本次研習中提供的資料充分且有用	37	5	0	0	0
	貳、活動整體安排方面	非常滿意 人數	滿意 人數	尚可 人數	不滿意 人數	非常不滿 意人數
一	課程時間的安排	38	4	0	0	0
二	場地與設備	39	3	0	0	0
三	工作人員的態度	41	1	0	0	0
四	課程對您未來工作（教學/學習）的幫助	37	4	1	0	0
五	整體而言，我對本次活動滿意程度	39	3	0	0	0





圖 16 卓志隆講師講授塔式集材機作業計畫與架線計畫



圖 17 學員實務操作羅盤儀







圖 18 陳廷安講師指導學員使用雷射測距儀



圖 19 陳廷安講師講解智慧捲尺之使用







圖 20 卓志隆講師講解 TST Junior 3T 塔式集材機現場架設實務作業流程



圖 21 卓志隆講師講解安全作業宣導之緊急救護資訊







圖 22 蕭宇哲講師講授 TST Junior 3T 塔式集材機無線電控制系統



圖 23 吳沛縉講師講授搬器安裝







圖 24 黃爾偉講師講授操作 TST Junior 3T 塔式集材機搖控器需注意事項



圖 25 學員實務操作 TST Junior 3T 塔式集材機







圖 26 學員實務操作 TST Junior 3T 塔式集材機







圖 27 示範捆材作業



圖 28 學員練習捆材作業







圖 29 曾冠語講師講授與示範裝材作業機械操作







圖 30 學員練習裝材作業機械操作







圖 31 吳沛縉講師指導學員攀樹練習







圖 32 學員分享在地從事集材經驗與面臨的問題





## （五）附抓鉤之原木拖車裝運材作業手冊

手冊內容包括簡介、安全事項、結構基本組成、附屬配件、技術規格、起重機械臂組裝、操作說明、儲放說明與維護保養等共 9 個主要章節，手冊內容詳如附件二。各章節之細部章節說明如下：

- 1.簡介
- 2.安全事項
  - (1)強烈禁止事項
  - (2)裝材前須確保事項
  - (3)作業安全距離
  - (4)液壓系統
  - (5)操作安全
- 3.結構基本組成
- 4.附屬配件
  - (1)輪軸煞車
  - (2)拖車信號燈架
- 5.技術規格
  - (1)拖車技術規格
  - (2)拖車尺寸
  - (3)起重機械臂技術規格
- 6.起重機械臂組裝
  - (1)將起重機械臂組裝到 BMF 拖車上
- 7.操作說明
  - (1)BMF 拖車與曳引機連結
  - (2)BMF 拖車進行運輸之前必須確保下列事項
- 8.BMF 拖車儲放說明
- 9.維護保養
  - (1)潤滑
  - (2)起重機械臂維護保養





## （六）塔式集材機集材作業與無線電控制系統手冊

手冊內容包括提高林木收穫生產力、塔式集材機構造與架線方式、作業計畫與架線計畫、塔式集材機架線作業、架線安全評估與檢查、TST Junior 3T 塔式集材機架線方式、TST Junior 3T 塔式集材機無線電控制等共 7 個主要章節，詳如附件三。各章節之細部章節說明如下：

### 第一章 提高林木收穫生產力

- 一、經營區域集約化
- 二、主要作業的効率化
- 三、適當的架線配置
- 四、副作業的効率化
- 五、減少非生產時間

### 第二章 塔式集材機構造與架線方式

- 一、塔式集材機構造
- 二、塔式集材機主要架線方式
- 三、鋼索構造與種類

### 第三章 作業計畫與架線計畫

- 一、作業計畫的必要性和程序
- 二、資料的收集
- 三、了解目標區域的現狀
- 四、作業系統的選擇
- 五、配置計畫
- 六、架線計畫

### 第四章 塔式集材機架線作業

- 一、架線作業的程序
- 二、準備作業
- 三、設置塔式集材機
- 四、架空索的鋪設與固定
- 五、集材支柱的架設
- 六、搬器之裝設及架空索緊張與中點下垂量檢定





七、檢查和試運轉

八、撤除作業

## 第五章 架線安全評估與檢查

一、塔式集材機的檢查

二、集材裝置的檢查

三、安全管理基礎

四、推動勞動安全衛生管理

五、架線安全設計計算

## 第六章 TST Junior 3T 塔式集材機架線方式

一、重力式上坡集材作業

二、平坦與緩坡地形上坡集材作業

三、下坡集材作業

## 第七章 TST Junior 3T 塔式集材機無線電控制

一、塔式集材機控制面板

二、控制面板主選單

三、操作作業程序

四、面板顯示信息

五、主機控制器操作

六、塔柱端無線電操作

七、捆材端無線電操作

八、中繼器







## (七) 開發林木收穫生產費用評估系統

本系統主要依林木收穫過程中有關作業規劃設計、作業道開設與維護、伐木作業、造材作業、集材作業、木材整堆作業、裝材運材卸整作業，依勞務費用、機械費用、保險與稅捐費用、物料動力費用、機械運輸費用、行政管理費用等，以 Excel 試算功能設計林木收穫生產成本評估系統供林業從業人員使用。

### 1. 林木收穫生產費用計算方法

#### (1) 勞務費用

包括薪資(含福利)、職災保險費用、勞健保費用等三項。合計三項費用後除以每日生產材積量後，即為生產單位材積之勞務費用。

##### a. 薪資(S)(元/日)

$$S = s_d \times (1 + f)(\text{元/日})$$

$s_d$ ：每日薪資(元/日)

F：附加福利比率

##### b. 職災保險費用(J)(元/日)

$$J = S \times RA$$

S：每日工作薪資

RA：職災保險費率(因林木收穫作業為一危險工作，故職災保險費率採計國內最高規定，0.99%)。

##### c. 勞健保費用(LH)(元/日)

$$LH = \frac{M}{30}$$

M：每月之勞健保投保費用(元/月)

#### (2) 機械費用

包含機械折舊費用、年利息支出、年稅額支出、年保險支出等四項。

##### a. 折舊費用(採直線法)

$$D = \frac{P - S}{N}$$

D：折舊費用(元/年)

P：機械購置成本(元)

S：機械殘值(元)(一般為機械購置成本率之 10% 至 25%)

N：機械使用壽命(年)





歐美日各國相關訂定之林木收穫機械使用壽命視機械種類不同，皆在 5-7 年間。每部機械每年作業時間為 2000 機械小時以上，相關林業機械年生產量如表 45。

表 45 林業機械年生產量

機械用途	機械種類	年生產量(m <sup>3</sup> /年)
伐木造材	林木收穫機	52320
	造材加工機	29510
集運材	拖拉機	19400
	裝載式集材車	70560
	塔式集材機	11960
原木裝載	裝載機	46410

b. 平均年投資額 (Average annual investment, AAI)

$$AAI = \frac{(P - S)(N + 1)}{2N} + S$$

c. 年稅額支出=AAI×稅率 (生產性之重型機械目前沒有使用之繳稅規定)

d. 年利息支出=AAI×利率 (資本利息年利息依台灣銀行公告之 1.07%計)

e. 年保險支出=AAI×保險費率 (機械保險費率以 3%計)

f. 機械費用 =  $\frac{\text{折舊費用} + \text{利息} + \text{稅金} + \text{保險費}}{\text{機械年生產量}}$  (元/m<sup>3</sup>)

### (3)物料動力費用

物料動力費用包括機械維修與零件更換費用、燃料及油脂等三項。合計燃料及油脂費用後除以每日生產材積量後，加上機械維修與零件更換費用即為生產單位材積之物料動力費用。

a. 機械維修與零件更換費用以機械費用的 10%計。

b. 燃料費用(F)(元/日)

$$F = GHP \times C \times CL$$

GHP：機械引擎馬力數(HP)，

C：係數值，柴油為 0.72，汽油為 1.05，

CL：每公升燃料費用(元/L)。

c. 油脂費用(G)(元/hr)

$$G = F \times 2.208$$

F：油脂費用(元/日)





#### (4)機械運輸費

依機械大小與數量、運送車種、運送距離而定。

#### (5)行政管理費用

合計勞務費用與物料動力費用之 10%計。

### 2. 林木收穫生產費用評估系統

本系統目前名稱設定為「林木收穫生產成本評估系統 1.0」，應用 Excel 試算功能來進行生產成本評估。設計之工作表單 (sheet) 包括訂 1.「林木收穫生產成本評估系統簡介」；2.作業方式選擇；3.成本計算結果；4.機械成本；5.作業系統生產性；6.資料輸入等共 6 個工作表單。相關 Excel 工作表之巨集以 Visul basic 語言編寫。

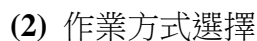
#### (1) 林木收穫生產成本評估系統簡介 (圖 33)

依簡要文字與林木收穫過程圖示說明本系統依林木收穫過程中所需之勞務費用、機械費用、保險與利息費用、物料費用、燃料費用、機械運輸費用、管理費用及原木運輸費用等，以 Excel 試算功能設計林木收穫生產成本評估系統供林業從業人員使用，並提供聯繫資訊供諮詢。



圖 33 林木收穫生產成本評估系統簡介版面





作業系統選擇					
伐木作業	集材作業	造材作業	整堆作業	裝材作業	卸整作業
Harvester	塔式集材機	造材鋸鋸	整堆挖掘機	裝材挖掘機	卸整挖掘機

圖 34 作業系統的下拉式選擇

### (3) 成本計算結果

本表單依林木收穫作業過程中，相關伐木作業、集材作業、造材作業、整堆作業、裝材作業與卸整作業所採用之機械種類計算勞務費用、機械費用、保險費用、機械搬運費用計算收穫過程之作業成本，同時再考慮木材運輸費用與作業道開設費用，評估整體林木收穫作業之成本，結果如圖 35 之範例。

#### (4) 機械成本

本表單依林木收穫作業過程中，相關伐木作業、集材作業、造材作業、整堆作業、裝材作業與卸整作業之勞務費、機械折舊費用、機械管理費、資本利息、保養維修費、機具消耗品費、燃料油脂費等計算每生產 1 小時或 1 m<sup>3</sup> 木材之機械成本。



工 程	伐木作業	集材作業	造材作業	整堆作業	裝材作業	卸整作業	工程計	木材運搬	作業道開設	合計
使用機械	Harvester	塔式集材機	造材鏈鋸	整堆挖掘機	裝材挖掘機	卸整挖掘機				
勞務費	7,200	110,700	138,600	25,830	70,560	97,020	449,910			
機械費	735,300	373,500	2,700	95,130	96,390	100,800	1,403,820			
保險費等	3,684	57,551	72,008	15,769	33,468	59,181	241,661			
機械運搬費	35,000	35,000	0	35,000	35,000	35,000	175,000			
費用合計	781,184	576,751	213,308	171,729	235,418	292,001	2,270,391	453,600	-	2,723,991
m <sup>3</sup> 單價	868	641	237	273	374	463	3,604	720	-	4,324

圖 35 林木收穫成本計算結果表範例

#### (5) 作業系統生產性

本表單依林木收穫作業過程中，相關伐木作業、集材作業、造材作業、整堆作業、裝材作業與卸整作業所採用之機械種類之每小時生產量、作業人員數、機器稼働率等計算整個收穫系統的每小時生產量、日生產量與每人每日之收穫生產量。

#### (6) 資料輸入

本表單依林木收穫作業過程中，相關伐木作業、集材作業、造材作業、整堆作業、裝材作業與卸整作業所採用之機械種類，輸入各機械每小時生產量、作業人員需求數、機械購置價格、機械折舊率、使用壽命時間、機械年管理費率、年稼働日數、日稼働時間、保養修理費率、零件消耗品費、燃料油脂費、機械日稼働率、機械運搬費等資料供相關表單項目之計算。









## 六、結論

- (一) 已完成 Koller K301-2H 與 TST Junior 3T 塔式集材機共 4 個人工林針葉樹原木集材生產效率與生產成本調查與分析及 1 處桂竹竹材採用 TST Junior 3T 塔式集材機集材生產效率與生產成本調查與分析。
- (二) Koller K301-2H 與 TST Junior 3T 塔式集材機之加權平均集材作業效率分別為  $8.960\text{m}^3/\text{人日}$  與  $12.953\text{m}^3/\text{人日}$ ；集材生產成本分別為  $482.1\text{元}/\text{m}^3$  與  $454.9\text{元}/\text{m}^3$ ，TST Junior 3T 塔式集材機較 Koller K301-2H 有較高的集材效率與較低的生產成本，約有 47% 毛利。
- (三) 含伐竹、塔式集材機集材與竹材裝車的每人日桂竹生產量為 720 kg，含竹材運輸費用之桂竹每生產 60 kg 成本為 319 元，只有約 3% 的毛利。
- (四) BMF6T2 拖車式裝運材車之平均針葉樹原木的裝運材與卸整作業效率為  $14.124\text{ m}^3/\text{人}$ ，生產成本為  $147\text{元}/\text{m}^3$ 。
- (五) Koller K301-2H 與 TST Junior 3T 塔式集材機之原木集材作業過程  $\text{CO}_2$  排放量分別為  $1.304\text{ kg}/\text{m}^3$  與  $2.751\text{ kg}/\text{m}^3$ 。以 BMF6T2 拖車式裝運材車進行原木裝運材與卸材整堆作業過程之  $\text{CO}_2$  排放量為  $2.416\text{ kg}/\text{m}^3$ 。
- (六) 於花蓮分署辦理現場 TST Junior 3T 塔式集材機集材作業訓練一場次。
- (七) 完成附抓鉤之原木拖車裝運材作業教材、塔式集材機集材作業與無線電控制系統手冊的編撰。
- (八) 應用 Excel 試算功能完成「林木收穫生產成本評估系統 1.0」系統的開發。









## 七、參考文獻

1. 吳順昭、鍾達雄、曹志毅、彭英藏、蔡鍾鎰、吳維新（1981）柳杉人工林疏伐木最適當集材方法之研究，國立台灣大學森林學系與行政院退輔會森林開發處合作試驗報告第 35 號，40pp。
2. 邱立文、黃群修、吳俊奇、謝小恬（2015）第四次全國森林資源調查成果概要，台灣林業 41(4): 3-13。
3. 卓志隆（2013）疏伐作業之多段式集材架線規劃及標準工作量之研究與疏伐木搬出示範計畫成果報告，林務局。72 頁。
4. 卓志隆（2015）對環境友善之森林收穫作業與技術開發(3/3)成果報告，林務局。148 頁。
5. 卓志隆、胡子恒（2018）針葉樹人工林疏伐作業之生產量與二氧化碳排放量分析比較。林產工業 37(1): 23-35。
6. 卓志隆（2020）高性能林業機械應用於竹東地區山村林業生產技術人力培力計畫第二次期中報告，林務局。116 頁。
7. 卓志隆、曾冠語（2022）塔式集材機集材作業之生產量與生產費用分析，林產工業 40 (1): 1-12。
8. 湯適謙、黃進和、周文彬、吳順昭（1997）高山地區柳杉人工林行列疏伐之作業效率，吳教授順昭榮退紀念論文集「木材利用與林產科技」，p.185-207。
9. 湯適謙（2007）棲蘭山柳杉人工林社會效益及決策策略之探討(2/4)期末報告，21pp。
10. Baek, S.A., K.H. Cho, and E. Lee (2020) Performance comparison for two cable extraction machine in Larix Kaempferi(Lamb.) Carr.Plantation, Sustainability 12.





11. Baker S.A., B. Mei, T.G. Harris, W.D. Greene (2014) An index for logging cost changes across the US south. *J For.* 112(3):296-301.
12. Bergkvist I., B. Lofgren, C. Lofroth (2007) Emerging techniques and technologies to keep forestry profitable considering global environment impact. *Proceeding of the International mountain logging and 13<sup>th</sup> pacific northwest skyline symposium*, P.2-6. Corvallis, OR, USA, April 1-6, 2007.
13. Bohm S., C Kanzian (2023) A review on cable yarding operation performance and its assessment. *Inter. J. For. Eng.* 34(2): 229-253.
14. Campbell T. (2016) Assessment of the opportunity of Modern cable yarder for application in New Zealand, Master thesis, 86 P. New Zealand School of Forestry, University of Canterbury, New Zealand.
15. Dag Rutherford, R.P.F. (1996) Productivity, costs, and optimal spacing of skyline corridors of two cable yarding system in partial cutting of second-growth forests of coastal British Columbia. Master thesis, Univ. of British Columbia 91P.
16. Favreau J., and J.F. Gingras (1998) An analysis of harvesting costs in eastern Canada. Special report No. SR-129, Forest Engineering Research Institute of Canada 12pp.
17. Ghaffariyan M.R., K. Stampfer, J. Sessions (2010) Optimal road spacing of cable yarding using a tower yarder in Southern Austria. *Eur. J. For. Res.* 129:409-416.
18. Ghaffariyan M.R. (2021) Predicting productivity of timber loading operations: a literature review. *Silva Balcanica* 22(2):81-90.
19. Hoffmann S., D. Jaeger, M. Lingenfelder, S. Schoenherr (2016) Analyzing the efficiency of a start-up cable yarding crew in southern China under new forest management perspectives. *Forests* 2016, 7, 188, 33 pp.
20. Hoffmann S., D. Jaeger, S. Schoenherr, M. Lingenfelder, D. Sun, J. Zeng (2016) The effect of forest management systems on productivity and costs of cable yarding operation in Southern China. *For. Lett* No 109:11-24.
21. Howard A. F. and L. E. Coulthart (1993). Production equations for tower yarding in coastal British Columbia. *Int J For Eng* 4(2): 19-25.
22. Johansson J. (1997). Small tree harvesting with a farm tractor and crane attached to the front. *Int J For Eng* 8(1): 21-33.
23. LeDoux CB and LW Starnes (1986) Cable logging production rate equations for thinning young-growth Douglas-fir, *For. Prod. J.* 36(5):21-24.
24. Lee, E., S. Im, S.K. Han (2018) Productivity and cost of a small-scale cable yarder in an uphill and downhill area: a case study in South Korea. *For. Sci. Technol.* E-ISSN 2158-0715.





25. McNeel J. F. and K. Dodd (1997) Improving cable thinning system productivity by modifying felling phase operations. *Int J For Eng* 8(2): 47-56.
26. Munteanu C., M. Yoshida, E. Iordach, S.A. Borz, G. Ignea (2019) Performance and cost of downhill cable yarding operations in a group shelterwood system. *J. For Res.*  
<https://doi.org/10.1080/13416979/2010/1603577>.
27. Nitteberg M. (2007) From off-road to on-road harvesting in steep terrain in Norway (Can crew expenses be reduced with new system?) *Proceeding of the International mountain logging and 13<sup>th</sup> pacific northwest skyline symposium*, P.21-24. Corvallis, OR, USA, April 1-6, 2007.
28. Nordfjell T, D. Athanassiadis, B. Talbot (2003) Fuel consumption in forwarders. *Int. J. For. Eng.* 11-20.
29. Oyier P. ; R. Visser (2016) Fuel consumption of timber harvesting system in New Zealand, *Eur J Forest Eng* 2(2):67-73.
30. Picchio R., R. Vennzi, N.P. Marzio, D. Tocci, F. Tavankar (2020) A comparative analysis of two cable yarder technologies performing thinning operations on a 33 year old pine plantation: A potential source of wood for energy. *Energies* 2020,13,5376.
31. Schweier J., ML Klein, H. Kirsten, D. Jaegar, F. Brieger, and UH Sauter (2020) Productivity and cost analysis of tower yarder systems using the Koller 507 and the Valentini 400 in Southwest Germany, *Inter. Forest Eng.* 31(3):172-183.
32. Spinelli R., N. Magagnotti, R. Visser (2015) Productivity models for cable yarding in Alpine forests. *Eur. J Forest Eng.* 1(1):9-14.
33. Spinelli R., E. Marchi, R. Visser, H. Harrill, R. Gallo, M. Cambi, F. Neri, C. Lombardini (2017) The effect of carriage type on yarding productivity and cost. *Int. J. For. Eng.* 28(1):34-41.
34. Spinelli R., N. Magagnotti, G. Cosola, E. Labelle, R. Visser, G. Erber (2021) The effect of yarding technique on yarding productivity and cost: Conventional Single-hitch Suspension vs. horizontal double-hitch Suspension. *Croat J For. Eng.* 42(3):369-380.
35. Varch T., G. Erber, R. Spinelli, N. Magagnotti, K. Stampfer (2021) Productivity, fuel consumption and cost in whole tree cable yarding : conventional dissel carriage versus electrical energy-recuperating carriage. *Inter. J. For. Eng.* 32(S1):20-30.









## 附錄一 期中審查意見回覆

審查意見	意見回覆
1. 建議增加報告書中英文摘要，因應林務局的改制，建議封面 Logo 及機關名稱改為新制名稱及圖案。	期末報告已依委員意見撰寫編輯。
2. 第 1-1 頁，前言中所引用之數據資料，建議加入引用文獻。	謝謝委員意見。已依委員意見增列相關引用文獻。
3. 第 1-1 頁，部分句子長而複雜，建議簡化或分割，如「可配合單面式搬器與中間柱鞍座等克服多徑間長距離原木集材須架設息木柱與多部固定式集材機需同時作業之問題」，可以進一步分解為簡潔的敘述，內文中有多處相同現象，建議全文檢視修飾。	謝謝委員指正。已將內文中冗長文句修正。
4. 第 1-2 頁，文獻回顧之項目，建議與工作項目相呼應，目前僅針對集材作業效率進行文獻回顧，建議增加木材收穫之機械化及木材收穫之 CO <sub>2</sub> 項目的文獻回顧。	謝謝委員意見。已增列生產成本、裝材作業效率、收穫作業燃料消耗與 CO <sub>2</sub> 排放量等文獻回顧。
5. 第 1-2 頁，有關國內外集材作業效率之文獻回顧，建議以分段或採用表格方式來呈現一些研究結果之數據，如此整理將有助於比較與分析，且有助於研讀。	謝謝委員意見。已依委員意見修正。
6. 第 1-5 頁，重要工作項目建議增加「經由運材作業過程之 CO <sub>2</sub> 排放量調查，作為生產國產材碳足跡之評估依據」之執行方法的描述。	謝謝委員意見。於結果討論（三），就集運材燃料消耗情形探討集運材作業過程之二氧化碳排放量分析。
7. 第 1-10 頁，有關本研究所調查之各項作業效率，建議以統計方式呈現數據，建議以算術平均±信賴區間的方式呈現。	謝謝委員意見。已依委員意見修正。
8. 第 1-43 頁，參考文獻建議增加木材收穫之機械化及木材收穫之 CO <sub>2</sub> 排放量增加的研究文獻。	謝謝委員意見。以補充文獻探討。
9. 第 1-46 頁，附錄一建議未來以儲存裝置存放即可，以節省紙張。	謝謝委員意見。已將巨集內容燒錄至光碟供林業署參考。
10. 建議將過去委員審查意見條列，並進行回覆。	謝謝委員意見。已於期末報告附錄中，回覆委員意見。





11. 本計畫各項工作說明及分析均相當充實，惟建議文中宜說明本次期中評核標準。	謝謝委員建議。已增列本計畫期中與期末評核標準於期末報告內文中。
12. 計畫執行期限至 112 年 12 月 31 日，本案辦理塔式集材機之作業效率及生產成本調查分析之作業區計二處人工林、處桂竹生產，惟目前完成關山事業區，另二處規劃 8 月與 10 月實施，期程須請主持人掌握。	謝謝委員關心。以如期完成工作。
13. 以目前自動與手動解材設備之每迴次時間為 568.4 s-604.0 s，每人每日集材作業量為 9.683m <sup>3</sup> 與 11.083m <sup>3</sup> ，而每人每日標準作業量為 9.407m <sup>3</sup> /日與 10.500m <sup>3</sup> /日，差異是否明顯？是否尚屬人員不熟悉所致？可提出說明或後續建議方式。	謝謝委員建議。每人日的生產數值差異似乎不高，但轉換成差異百分率為12%，再有生產規模下，就會有明顯的差異。
14. 文中說明塔式集材作業每人日集材作業量為固定式集材架線作業量之 2-4 倍，文中數值為 4m <sup>3</sup> -8m <sup>3</sup> (第 1-1 頁)，表 11 則為 9.4-10.5 m <sup>3</sup> ，另生產費用不論手動或自動解材為 497.6-526.3 元/m <sup>3</sup> 、橇式為 1,000 元/m <sup>3</sup> ，差異約為 2 倍，未達 4 倍，應尚有進步空間，仍待團隊後續規劃訓練。	謝謝委員建議。因塔式集材機為剛引進至國內的機械，相關訓練人員技術有待更精進，作業思想也有待改變，國外塔式集材機平均集材效率約為國內現況的2倍。
15. 有關本計畫所列期中審查標準共有三項，經審查期中報告書內容，均有完成。	謝謝委員意見。
16. 內文中仍有需改進之處，如第 1-1 頁有許多半型之空格。第 1-23 頁第 8 行”每收穫 1m <sup>3</sup> 公尺的原木”，應修正為”每收穫 1m <sup>3</sup> 的原木”。	謝謝委員指正。以修改完成。
17. 第 1-15 頁圖 8，有一筆杉木資料 DBH 接近 30cm，但樹高只有 6m 左右，是否為斷梢？一般建立樹高曲線式的資料，應是健全生長林木的資料，如該筆資料為斷梢則應予去除。	謝謝委員指正。因本計畫皆為皆伐作業，相關胸徑樹高曲線較沒有必要性，因此期末報告將本部分討論刪除。







## 附錄二 期末審查意見回覆

審查意見	意見回覆
陳委員朝圳	
1. 期末報告已完成所有工作項目，符合期末審查標準，建議審查通過。	感謝委員肯定。
2. 未來可增加更多地區或不同林業環境的案例研究，以評估技術在不同條件下的適應性和效能。	感謝委員寶貴意見。未來希望林保署持續支持相關研究，提供資源及經費，經由研究增加更多地區或不同林業環境的案例資料，提供技術在不同條件下的適應性和效能評估。
3. 提供更詳細的成本效益分析，包括長期經濟回報和投資回收期的評估。	感謝委員意見。本計畫工作項目為集運材作業效率及生產成本分析，未來有更好的計畫，建議林保署可將長期經濟回報和投資回收期的評估納入，提供更詳細的成本效益分析報告。
4. 蒐集從業人員對新技術的使用感受和反饋，並根據這些回饋資料，改善培訓教材。	感謝委員寶貴意見。操作人員針對 TST 塔式集材機在架設、機器設定及操作時遇到狀況時均詳細紀錄問題與初步處理，蒐集之問題亦有與 TST 廠商技師請教提問，回應回饋資料整理於附錄三(P.1-93)，提供未來作業人員參考。
5. 如何與林業合作社合作，推廣相關技術，可列為未來的工作重點。	感謝委員寶貴意見。林保署為推動林業機具資源共享，擬定林業機具共享租賃辦法，另外也培育具備塔式集材機架線集材技術能力之服務團隊；未來可透過出借省工安全的作業機具及專業技術人員的指導，減低業者收穫作業機具的投資並能提高生產規模與收穫效率，增加收益，留住人才，持續經營林業。
楊委員德新	
1. 本案已如期末審查要求完成相關工作。	感謝委員肯定。
2. 本案完成各項工作項目與調查分析資訊，亦完成兩種塔式集材機之比較分析，最後完成單位材積生產費用為 436.4~482.1 元/m <sup>3</sup> ，且 TST Junior 3T 具有較高之集材效率與較低作業成本，從報告書中可見諸多比較，建議可綜整與現行狀態之差異，以作為採用塔式集材作業之利基，並可作為政策推動之依據。	感謝委員寶貴意見。相關國內現行集材作業效率狀態，請參考報告書之文獻回顧(一)國內集材作業效率(P.1-5-P.1-6)。
3. 另就二氧化碳排放量分析，下坡集材明顯較上坡集材為高，而 TST	於報告書 P.1-56 第一段已述明原因。「集材作業過程之 CO2 排放量位為





Junior 3T 較 Koller K301-2H 高約 1 倍，其原因為何?建議說明。	1.304 kg 可能因 Koller K301-2H 塔式集材機引擎效率高，相對造成集材單位材積原木所需燃料較低。而 TST Junior 3T 須透過 John Deere 曳引機 PTO 提供動力，相對造成集材單位材積原木所需燃料較低，相對介面的能源使用效率會較 Koller K301-2H 為低。」
4. 所引進之塔式集材機之每人每日集材作業量尚不如文獻與國外市場作業量，表示尚有許多不足需加強之處，如障礙排除技能與操作熟練度，由教育訓練意見回饋中亦可見期待後續辦理課程類型，特別是實務操作部分，建議團隊除結論外，增加建議一章節，提供林業署施政參考。	謝謝委員寶貴意見。TST Junior 3T 型塔式集材機操作人員使用過程中遇到的問題與障礙排除整理表單補充於附錄三(P.1-93)供作業人員參考。
顏委員添明	
1. 本計畫所列期末審查標準，紙本計畫書均有詳列對映之內容及頁數，符合期末審查標準之規定，另外文獻回顧章節將相關研究製成表格較容易進行比較，在此表示肯定。	感謝委員肯定。
2. 竹林的試驗地及林分的狀態在內文中描述較少，建議對於竹林試驗地之林況及地況可以稍微詳細敘述。	謝謝委員建議。已於 P.1-47 補充說明。
3. 第 1-23 頁，表 9 所列之兩種針葉樹之胸徑、樹高、材積的欄位是否有誤？因全區的數據皆大於此兩者，一般全區所得的數值應介於此兩樹種之間。	謝謝委員指正。表 9(P.1-23)柳杉及杉木之胸徑、樹高、材積的欄位誤植，已修正。
4. 研究所得的結果可以提供林業及自然保育署的建議，建議可以寫在結論處。	謝謝委員意見。於報告書 P.1-83 已詳列重要結果供林保署參考。





附錄三 TST Junior 3T 型塔式集材機操作人員使用過程中遇到的問題與障礙排除整理表單

收穫方式	簡要分類	狀況說明	初步處理與結果	TST 技師回覆	1015 狀況回報更新
下坡集材	機器設定	啟動時先發動曳引機和 PTO，再開塔式電腦，有按著綠色鍵(moto start)拉下開關，但機器熄火。重新以先開塔式再發動曳引機的方式啟動，塔式電腦順利開機，但曳引機液壓油顯示 0 格，無法發動。	關機重開，順一下&搖有線遙控器的線，液壓油會有機會跳回正常顯示，這時就能發動曳引機和 PTO。		1 號機還是偶爾會遇到，推斷原因：1. 有可能是主遙控器的訊號線接觸不良，2. 曳引機的電路控制系統有某種偵錯設定。
下坡集材	機器架設	1 號機基地很軟，一直往下沉的感覺，所以輪胎慢慢的開始吃力，支持索不確定是不是沒選好還是下沉影響，很常鬆掉。	檢查支持索重新拉緊，但效果有限，已經微偏支持索方向了，塔柱在集材過程還是很晃。原先切了一快墊木，但塔式一坐下就完全陷進土裡，也挖不出來，只好直接再切一塊墊木放上去(印象中好像有說中間的那塊墊木要完整，不能分段，但我們挖不出來)。	因為地基太軟陷下去，要再重新放一塊墊木這是正確的。陷下去的不用挖出來，就當穩固底盤。墊木沒有說一定要圓形一整塊，兩塊長條形的木材也行，要讓前後有牙齒的地方一定要墊到(待補奧地利式現場照片)。重點是要讓塔柱有彈性空間擺動，不能讓他整個面貼死(左右兩隻腳沒有觸地)，不然會容易損壞到前面的液壓系統。	機械架設相關問題，已向 TST 確認適當應變方式。





收穫方式	簡要分類	狀況說明	初步處理與結果	TST 技師回覆	1015 狀況回報更新
下坡集材	操作	集材過程中時，搬器剎車無法切換，搖桿撥 2 回塔柱，實際搬器架空索制動沒有解除，一直放捆材索的動作，然後捆才索會過度鬆弛。	檢查電子訊號盒，一開始有積水，後來塞除濕包後有改善，但之後還是很頻繁的發生。近期又發生搬器無法切換時有打開 1 號的訊號盒看，捆材端按 1 後面燈號亮 3，按 2 亮 4，跟之前錄給 Tina 的一樣，但盒內是乾的 有換搬器電池、補搬器液壓油沒什麼效果。		更換了搬器內的訊號控制盒之後，遙控訊號錯亂的問題就沒有再出現了。
下坡集材	操作	下坡集材在稜線"上"，但捆材端無法操控搬器只能交出控制權，理論上在稜線高點與塔柱間沒有障礙物，距離也不遠，塔柱端可以目視的範圍，應該還不至於會需要用到強波器。	按搬器喇叭。	搬器訊號問題 or 遙控器問題 遙控器訊號是走上面的天線接收器，強波器是增強遙控器訊號的這部分。 搬器訊號和塔柱端地接收是架空索旁邊那隻銀色像螳螂鬚的天線，以及搬器內的訊號盒。	更換了搬器內的訊號控制盒之後，遙控訊號錯亂的問題就沒有再出現了。







收穫方式	簡要分類	狀況說明	初步處理與結果	TST 技師回覆	1015 狀況回報更新
上坡集材	操作	有線遙控器很常沒反應或自己緊急停機 按兩綠動駕駛或是緊張架空索按 <b>SL</b> 鍵 都會把控制權丟出去。		可能是溼氣的問題，建議每一週拆下有線遙控器帶回家乾燥，週一上工再帶來。	近期內濕度低，控制盒內沒有濕氣，訊號傳輸也沒有異常;TST 有提議是否於控制盒上增設換氣的裝置。
上坡集材	機器設定	緊急停機（沒有 <b>PTO</b> 動力）回控索就會一直被抽出去，沒法剎車或是慢慢地洩壓，每次動力消失就要有鋼索亂掉的風險。	上下坡集材都會被抽出去，但上坡集材很嚴重，只能看著線抽出去沒法做什麼處理動作。	循環式的模式會比直接式的模式容易發生這個問題，所以循環式的在按緊急停機鈕前，回控索一定要先洩壓+開閥門再按，才不會亂掉。	機械設計上原本就沒有提供回控索的緊急煞車裝置，已向 TST 確認適當應變方式。
下坡集材	機器架設	下坡集材還有媽給到一半架空索突然垂下來一下，尾柱跟滑車都正常，懷疑是塔柱端的問題(架空索被從捲筒抽出)。	重新緊張時發現架空索壓力表從上工設定的 <b>200bar</b> 掉到 <b>160bar</b> (認為是塔柱端有事)，架空索剎車壓力也有掉( <b>140bar</b> )但不確定原本的壓力值，無法比較充新緊張後在架空索上做了記號，拉了幾趟發現有被抽出來一點（大概位移 <b>5 公分</b> ），但架空索煞車壓力還是在 <b>150bar</b> 。	理論上架空索緊張張力 <b>200bar</b> 會有 <b>6T</b> 的力(什麼力?再看影片確認)，架空索張力最大至 <b>400bar</b> 會有 <b>12T</b> ，如果重量超過(搬器+負載?)，架空索是會有被從捲筒抽出來的可能的。	機械設計上有架空索過載時的自動鬆弛機制，已向 TST 確認適當應變方式。





收穫方式	簡要分類	狀況說明	初步處理與結果	TST 技師回覆	1015 狀況回報更新
下坡集材	操作	換線時收架空索塔柱會晃是正常的嗎？想說下坡集材鋼索自己有重力，就沒有用夾線器+主索連結，先直接用架空索捲筒收架空索回來，這樣是可以的嗎？亦或是最後一顆轉角滑車不能綁在尾柱上？		塔柱晃的幅度 10~20 公分內是容許範圍;最後一顆轉角滑車可以跟尾柱同一棵，沒有不行。	架設相關問題，已釐清。
下坡集材	操作	有可以抬升架線時，主索與回控索的離地高度的方法？回控索與主索已從搬器拆下，以三角搬器做連接，因為回控索垂線在林地內太多+想要嘗試緊張增加高度，避免運送工具時拖地，所以先調回控索壓力到 90bar，然後讓三角搬器去林地（同時回控索收線），收到一半發現纏繞，又先把三角搬器拉回來解開。		同 Q12 一樣是回控索 4 種壓力調整的問題，在沒有設定路徑時，只有第 1 種壓力(H 控制器左邊旋鈕)可以進行調整，其他三種都不行。所以如果覺得離地線太垂想收緊 or 增加高度，增加張力，但仍要多次嘗試，依現場狀況調整試出一個合適的張力，不是只能 90bar 或是很刻意的什麼數字。	架設相關問題，已釐清。

