



公開
 密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：1802010200

農業部林業試驗所113年度科技計畫研究報告

計畫名稱：**提升林地碳匯之森林管理技術** (第2年/全程4年)

(英文名稱) **Forest management techniques for increasing forest land carbon sinks**

計畫編號：113前瞻-18.2.1-森-02

全程計畫期間：自 112年1月1日 至 115年12月31日

本年計畫期間：自 113年1月1日 至 113年12月31日

計畫主持人：杜清澤

研究人員：王巧萍、黃菊美、李俊佑、林冠穎、楊淑華、葉芝芸、蘇德忠

執行機關：農業部林業試驗所



1132423



一、執行成果中文摘要：

林分生物質產量通常隨著林分密度的增加而增加，造林初期，依不同造林密度的幼林生物量、主幹生物量及喬木層碳密度隨造林密度的增大先增加後減小（邱鳳英等，2019）。密度控制可以通過影響森林中光照、溫度和水分等因素的分佈，從而影響枯枝落葉的形成、生物量和林下植被的物種多樣性，進而影響森林中的土壤養分。土壤有機碳的儲量是進入土壤的植物殘體量及其在土壤微生物作用下分解損失量二者之間平衡的結果，故一方面取決於枯落物和根際沉積的碳輸入與另一方面分解過程中碳的釋放之間的平衡，直接或間接受到森林管理的影響。

本研究目前已在林業及自然保育署台中分署八仙山事業區 118林班（裡冷林道13.5K、16K、23K）及第38林班（大雪山林道 30.5 K）分別設置台灣杉4種不同密度試區及香杉3種不同密度試區，得知伐木後殘材堆置現場，在砍伐 1 年或 2 年後之土壤碳儲量下降幅度分別在5% ~ 15%間；造林初期不同密度林分之土壤呼吸及苗木生長並未呈現一定之規律性。

二、執行成果英文摘要：

The biomass yield of forest stands generally increases with forest density. In the early stages of afforestation, the biomass of young forests, stem biomass, and carbon density in the tree layer initially increase with higher planting densities, but later decrease. Density control can affect the distribution of factors such as light, temperature, and moisture in the forest, thereby influencing litter formation, biomass, and understory plant species diversity, which subsequently impacts soil nutrients. Soil organic carbon storage results from the balance between the amount of plant residues entering the soil and their decomposition loss due to microbial activity. Thus, it depends on the balance between carbon inputs from litter and root deposits and the carbon release during decomposition, which is directly or indirectly influenced by forest management.

This study has been conducted in the Taichung District Office of the Forestry and Nature Conservation Bureau, at the Baxianshan area, 118th Forest District (Li Leng Forest Road 13.5K, 16K, 23K), and 38th Forest District (Daxueshan Forest Road 30.5K). *Taiwania cryptomerioides* (4 densities) and *Cunninghamia konishii* Hayata (3 densities) trial plots with different planting densities were established. The results showed that, at the logging residue sites, soil carbon storage decreased by 5% to 15% after one to two years. In the early stages of afforestation, soil respiration and seedling growth did not follow a consistent pattern across the different forest densities.

三、計畫目的：

進行香杉不同密度造林，比較各密度栽植對森林碳庫之影響，以期縮短新植造林初期碳排放期，並快速增加新植林地之碳匯。

四、重要工作項目及實施方法：

1. 規劃試驗地之育苗及造林作業：依取得試驗地大小，規劃不同栽植密度所需之苗木培育及造林作業。
 - (1) 依取得試驗地大小，規劃不同栽植密度所需之苗木培育；原則上分分1m×1m、1m×2m、2m×2m、2m×3m之不同栽植密度。





- (2) 試驗地測量、苗木配置及樣區設置：依試驗地大小，於同一區域取得3個以上造林地為試驗區，依試驗地大小，每一造林地設4個不同密度之處理樣區。原則每1樣區為0.05 ha，進行2個重複，合計24個子樣區。
2. 新植造林地土壤性質及土壤碳量調查：
 - (1) 新植林地造林前之土壤性質及土壤碳量調查。
 - A. 林地土壤性質及土壤碳量調查每一子樣區於樣區4個角落及中間等5個區域進行土壤採樣。原則上採樣依枯落物層及0-10cm、10-20cm、20-30cm、30-45cm、45-60cm等5個不同深度進行土壤採樣，採樣深度依現場土壤厚度決定。
 - B. 土壤採樣分土壤容積採樣及分析樣本採樣，土壤容積以直徑9.5cm之圓筒進行採樣，另每層各採約500 g之土壤樣本。
 - C. 枯落物層則以直徑20 cm之圓筒分層將範圍內之枯落物皆取回。取回之枯落物分O1、Of、Oh，分別以45°C風乾並稱重，同時取次樣品以105°C烘乾供校正絕乾重。已風乾之樣品以球磨機研磨後，用乾燒法進行碳濃度分析。
 - D. 取回之土壤容積樣本除進行土壤容積測定外，另進行細根量之計算及其碳濃度分析。
 - E. 取回之土壤樣本進行各土壤性質及碳濃度之測定分析。
 - (2) 土壤呼吸監測
 - A. 於每0.25ha的三種不同種植密度之小樣區內，設立間隔至少5m 的土壤呼吸監測點5個，每一個測點打入高4.5 cm、厚0.5 cm、內徑10.5 cm的PVC塑膠環約1~2 cm。
 - B. 每月以土壤二氧化碳通量分析儀量測土壤呼吸CO₂一次，同時以土壤溫度及土壤含水率感應器量測土溫與即時土壤含水率。測量前拔除PVC環內新長出之植物。
 - C. 以連續土壤呼吸建立日變化及迴歸模式：以長期監測箱(long-term chamber)，每隔30分鐘測定地表CO₂釋出通量(R_s)的日變化，同時監測土壤5cm處之土壤溫度(T)及土壤水分(H)。以迴歸式(R_s) = a e^(b+cT+dH)取得a、b、c、d各個係數，再由各小樣區各月分的土溫與土壤含水率測值回歸，估算樣區內一日土壤呼吸量的總量，累計加總出全年的CO₂釋出總量，即可得各小樣區一年土壤呼吸所釋出的總碳量。
3. 新植林地之生物量及土壤碳庫調查：
 - (1) 新植林地苗木之地上部及地下部生物量調查及林地土壤碳庫調查。
 - A. 新植造林後1個月進行成活率調查並進行補植。
 - B. 造林後每季進行根徑及苗高之生長調查，並於每一子樣區於樣區4個角落及中間等5個區域以1m之方框進行地被植物調查，記錄方框內地被覆蓋度及灌木種類。
 - C. 造林1年後，如同工作項目(二)進行土壤性質及土壤碳量調查。
 - (2) 新植造林後進行土壤呼吸監測，方法同上。
4. 不同造林密度之林地碳匯效益分析：各不同密度造林之碳量計算及效益分析。依據蒐集之資料，計算各不同密度造林之碳量計算並不同之作業成本評估其效益。

五、結果與討論：

一、試驗地之設置及造林

於林業及自然保育署台中分署八仙山事業區38林班大雪山林道 30.5 K進行1.63公頃香杉造林；分為一般造林區（面積約1.27公頃）及試驗區（面積約0.36公頃）；試驗區為9個0.04 ha（20×20 m）之長方形區，分為3種處理，3個重複，如圖1，每一樣區英文字母代表不同之栽植密度，A栽植密度為2×2 m，B栽植密度為1×2 m，C栽植密度為1×1 m；餘為一般造林區，栽植密度為2×2 m。

二、新植造林地造林前土壤性質及土壤碳量調查



1132423



新植造林地的3個重複區之土壤深度、土壤容積、土壤反應 (pH)、含石量及土壤有機質含量如表1。土壤深度在10~50 cm 間，pH在3.19~4.15，質地為SL~SCL~CL間，含石量在3.6~19.7%。計算各區之土壤碳量含枯落物層如圖2，在125.08~175.89 Ton C/ha。

三、土壤呼吸監測

4月份完成裡冷林道13.5K及23K台灣杉密植區依不同處理A為1×0.8 m、B為1×1.25 m、C為2×1.25 m、D為2×2.5 m等四區及未砍伐區設置土壤呼吸監監測樣點，5月15及16日進行第一次之監測。土壤二氧化碳排放通量日變化如表2，日平均 $2.07 \pm 0.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，隨時間逐漸減少，早上比下午高約 $0.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。而在不同海拔樣點資料監測如表2，以平均值來看，在較低海拔的13.5K樣區，未砍伐區 ($5.005 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) >C ($3.785 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) >B ($3.305 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) >A ($3.17 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) >D ($3.01 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)，而海拔較高的24K樣區則是B ($3.685 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) >未砍伐區 ($3.59 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) >C ($2.715 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) >D ($2.385 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) >A ($2.285 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)，呈現不規律之狀態。

四、裡冷林道台灣杉密植區造林地之生物量調查

前一年度於裡冷林道台灣杉密植區之造林地，在2月、5月及7月進行了3次的樣區生長量調查如表4，在13.5K處苗高生長最佳的是處理C1(28.9 cm)，而地徑生長最佳的是B1(5.1 cm)；在16K處苗高生長最佳的是處理A1(24.6 cm)，而地徑生長最佳的是B1(4.9 cm)；而24K處苗高生長最佳的是處理A2(22 cm)，而地徑生長最佳的是B2((4.8 cm))；結果顯示不同密度林分之苗木生長並未呈現一定之規律性。

五、造林前後碳庫量之變化

裡冷林道13.5 K、16 K及23 K處三塊伐採跡地(造林地)與其旁之柳杉林之碳量分析結果如下，雖各有不同之增減，但除了16K處0~10 cm深度伐採跡地比其旁之柳杉林之礦質土壤碳儲存量減少27%呈顯著外，其餘皆未達顯著水準：

(一) 枯落物層

枯落物層之生物量及碳含量平均值及標準偏差及T test如表5

1. C含量：三塊伐採跡地及其旁之柳杉林枯落物層之碳含量，13.5K處伐採跡地($47.21 \pm 5.91\%$)比柳杉林($45.69 \pm 8.34\%$)增加了3%，而16K及23K處2塊伐採跡地($43.38 \pm 5.35\%$ ， $48.58 \pm 7.45\%$)比柳杉林($44.69 \pm 5.43\%$ ， $51.18 \pm 3.37\%$)各減少了3%及5%。

2. C儲存量：三塊伐採跡地及其旁之柳杉林之枯落物層之碳儲存量，13.5K及16K二塊伐採跡地(45.9 ± 18.38 、 $122.08 \pm 65.07 \text{ ton CO}_2\text{e /ha}$)比其旁柳杉林(53.52 ± 21.98 、 $154.29 \pm 56.98 \text{ ton CO}_2\text{e/ha}$)各減少了14%及21%，而23K之伐採跡地($85.42 \pm 43.5 \text{ ton CO}_2\text{e/ha}$)較其旁柳杉林($69.5 \pm 70.66 \text{ ton CO}_2\text{e/ha}$)增加了23%。

(二) 礦質土壤層

礦質土壤層之碳含量平均值及標準偏差及T test 如表6

1. C含量：三塊伐採跡地及其旁之柳杉林礦質土壤層之碳含量如下：

(1) 13.5K處僅在5~10cm深度伐採跡地($50.4 \pm 20.6 \text{g/kg}$)比柳杉林($55.03 \pm 9.86 \text{g/kg}$)減少了8%，其餘0~5cm、10~20cm深度的土壤碳含量伐採跡地(117.11 ± 71.01 、 $37.3 \pm 10.16 \text{g/kg}$)皆比柳杉林(113.69 ± 18.18 、 $34.77 \pm 16.88 \text{g/kg}$)為高，各增加了3%及7%；

(2) 16K處則在較表層土壤0~5cm、5~10cm深度伐採跡地(72.93 ± 33.88 、 $45.24 \pm 24.63 \text{g/kg}$)比柳杉林(93.69 ± 11.39 、 $50.97 \pm 19.41 \text{g/kg}$)各減少22%及11%，而10~20cm及20~30cm深度伐採跡地(40.3 ± 20.54 、 $34.63 \pm 14.69 \text{g/kg}$)比柳杉林(34.56 ± 6.84 、 $31.05 \pm 2.73 \text{g/kg}$)呈增加狀況(17%、12%)；

(3) 23K處在較表層土壤0~5cm及30~40cm深度伐採跡地(263.63 ± 117.32 、 $28.54 \pm 15.78 \text{g/kg}$)比柳杉林(249.37 ± 91.01 、 $25.69 \pm 4.49 \text{g/kg}$)增加了6%及11%，其餘5~10cm、10~20cm、20~30cm深度伐採跡地(75.91 ± 52.49 、 41.87 ± 23.85 、 $34.28 \pm 22.67 \text{g/kg}$)比柳杉林(89.95 ± 46.1 、 60.85 ± 13.1 、 $37.12 \pm 6.46 \text{g/kg}$)皆呈現減少狀況，分別為16%、31%、8%。



1132423



礦質土壤層之儲存量平均值及標準偏差及T test 如表7

2. C儲存量：三塊伐採跡地及其旁之柳杉林各土壤層之碳儲存量，僅23K處0~5cm、5~10cm深度伐採跡地(91.56±16.9、153.71±30.51 t CO₂e/ha)比柳杉林(68.9±17.93、140.25±65.93 t CO₂e/ha)各高了33%及10%，其餘深度及13.5K、16K處各深度之C儲存量伐採跡地皆比柳杉林低。

裡冷林道13.5 K、16 K及23 K處三塊伐採跡地採小面積皆伐，雖然枝葉及殘材皆棄置現場，但砍伐1年或2年後之土壤碳儲量與其旁之未砍伐柳杉林之土壤碳儲量皆有下降，幅度分別為14%、22%及11%，其土壤總碳存量如圖3。

六、結論：

一、去年度在裡冷林道13.5 K、16 K及23 K處三塊進行台灣杉密植造林的試驗地，在造林1年後調查其生長量調查，結果顯示不同密度造林之林分苗木生長並未呈現一定之規律性。此應是造林初期苗木根系尚未發展，且其受光量尚未因栽植密度而變化。

二、台灣杉密植造林的試驗地的土壤呼吸量測亦未如預期的密植區土壤呼吸作用會較大，反而呈現不規律之狀態，可能原因為新造林地上的枯落物量尚影響土壤中的微生物量，而造林木根系尚未發展。

三、去年度造林之裡冷林道13.5 K、16 K及23 K處，在造林前的伐採作業雖然枝葉及殘材皆棄置現場，但在砍伐1年或2年後之土壤碳儲量會下降幅度分別在5%~15%間；此應是皆伐後土壤裸露、土溫升高、土壤有機碳的分解速率加快的結果。

四、森林土壤碳儲量的測量結果往往具有很高的時空變異性(Homann et al., 2001, 2008; Magrini et al., 2000)，目前雖然造林初期不同密度林分之土壤呼吸及苗木生長並未呈現一定之規律性仁尚需持續量測。

七、參考文獻：

1. 丁貴傑. (2003). 馬尾松人工林生物量和生產力研究-- I . 不同造林密度生物量及密度效應. 福建林學院學報, 23(1), 34-38.
2. 邱鳳英, 楊海寬, 劉新亮, 章挺, 符潮, & 周誠. (2019). 不同密度樟樹幼林生物量和碳密度研究. 江西農業大學學報, 5.
3. Arias-Aguilar, D., Valverde, J. C., & Campos, R. (2020). Effect of planting density and tree species selection on forest bioenergy systems: tree growth, nutrient storage and wood chemical properties. *Greenhouse Gases: Science and Technology*, 10(6), 1165-1175.
4. Bashkin, M.A., Binkley, D., 1998. Changes in soil carbon following afforestation in Hawaii. *Ecology* 79, 828-833.
5. Bolin, B., Sukumar, R., Ciais, P., Cramer, W., Jarvis, P., Kheshgi, H., Nobre, C., Semonov, S., Steffen, W., 2000. Global perspective. In: Watson, R., Noble, I., Bolin, B., Ravindranath, N., D.J., V., Dokken, D. (Eds.), *Land Use, Land Use Change, and Forestry*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 23-52.
6. Brunet, J., Fritz, Ö., & Richnau, G. 2010. Biodiversity in European beech forests-a review with recommendations for sustainable forest management. *Ecological Bulletins*, 77-94.





7. Duan, A., Lei, J., Hu, X., Zhang, J., Du, H., Zhang, X., ... & Sun, J. 2019. Effects of planting density on soil bulk density, pH and nutrients of unthinned Chinese fir mature stands in south subtropical region of China. *Forests*, 10(4), 351.
8. Fan, J. B., & He, Y. Q. 2012. Effects of stand density on soil nutrients and enzyme activities in *Pinus massoniana* plantation. *Soils*, 44(2), 297-301.
9. Farooq, T. H., Wu, W., Tigabu, M., Ma, X., He, Z., Rashid, M. H. U., ... & Wu, P. 2019. Growth, biomass production and root development of Chinese fir in relation to initial planting density. *Forests*, 10(3), 236.
10. Giardina, C.P., Ryan, M.G., 2002. Total belowground carbon allocation in a fastgrowing *Eucalyptus* plantation estimated using a carbon balance approach. *Ecosystems* 5, 487-499.
11. Goodfriend, W. L., Olsen, M. W., & Frye, R. J. 2000. Soil microfloral and microfaunal response to *Salicornia bigelovii* planting density and soil residue amendment. *Plant and soil*, 223(1), 23-32.
12. Guo, L.B., Gifford, R.M., 2002. Soil carbon stocks and land usechange: a meta analysis. *Global Change Biology* 8, 345-360.
13. Johnson, D.W., Curtis, P.S., 2001. Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. *Forest Ecology and Management* 140, 227-238.
14. Johnson, D., Knoepp, J., Swank, W., Shan, J., Morris, L., van Lear, D., Kapeluck, P., 2002. Effects of forest management on soil carbon: results of some long-term resampling studies. *Environmental Pollution* 116, 201-208.
15. Lal, R. (2005). Forest soils and carbon sequestration. *Forest ecology and management*, 220(1-3), 242-258.
16. Farooq, T. H., Wu, W., Tigabu, M., Ma, X., He, Z., Rashid, M. H. U., ... & Wu, P. 2019. Growth, biomass production and root development of Chinese fir in relation to initial planting density. *Forests*, 10(3), 236.
17. Lie, Z., Wang, Z. and Xue, L. 2017. Effect of density of *Tephrosia candida* stands on soil characteristics. *Legume Res.* 40(3): 551-555.
18. Loades, K. W., Bengough, A. G., Bransby, M. F., & Hallett, P. D. 2010. Planting density influence on fibrous root reinforcement of soils. *Ecological Engineering*, 36(3), 276-284.
19. Markewitz, D., Sartori, F., Craft, C., 2002. Soil change and carbon storage in longleaf pine stands planted on marginal agricultural lands. *Ecological Applications* 12, 1276-1285.
20. Ming, A., Yang, Y., Liu, S., Nong, Y., Li, H., Tao, Y., ... & An, N. 2019. The impact of near natural forest management on the carbon stock and sequestration potential of *Pinus massoniana* (Lamb.) and *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. plantations. *Forests*, 10(8), 626.
21. Nicoll, B., Connolly, T., Gardiner, B., 2019. Changes in spruce growth and biomass allocation following thinning and guying treatments. *Forests* 10, 253.
22. Miyawaki, A. (1999). Creative ecology restoration of native forests by native trees. *Plant Biotechnology*, 16(1), 15-25.
23. Paul, K., Polglase, P., Nyakuengama, J., Khanna, P., 2002. Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecology and Management* 168, 241-257.





24. Post, W. M., King, A. W., & Wullschleger, S. D. (1996). Soil organic matter models and global estimates of soil organic carbon. In Evaluation of soil organic matter models (pp. 201-222). Springer, Berlin, Heidelberg.
25. Potter, K.N., Jones, O.R., Torbert, H.A., Unger, P.W., 1997. Croprotection and tillage effects on organic carbon sequestration in the semiarid southern great plains. *Soil Sci.* 162, 140e147
26. Shao, Y. N., Liu, Y. K., Li, Y. H., Chen, Y., & Tian, S. Y. 2017. Soil nutrient characteristics in *Larix olgensis* plantation with different stand densities. *Journal of Central South University For Technology*, 37, 27-31.
27. Subedi, S., Kane, M., Zhao, D., Borders, B., & Greene, D. 2012. Cultural intensity and planting density effects on aboveground biomass of 12-year-old loblolly pine trees in the Upper Coastal Plain and Piedmont of the southeastern United States. *Forest ecology and management*, 267, 157-162.
28. Sun, H., Zhang, J., Duan, A., & He, C. 2011. Estimation of the self-thinning boundary line within even-aged Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) stands: Onset of elfthinning. *Forest Ecology and Management*, 261(6), 1010-1015.
29. Truax, B., Fortier, J., Gagnon, D., & Lambert, F. 2018. Planting density and site effects on stem dimensions, stand productivity, biomass partitioning, carbon stocks and soil nutrient supply in hybrid poplar plantations. *Forests*, 9(6), 293.
30. Turner, J., Lambert, M., 2000. Change in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia. *For. Ecol. Manag.* 133, 231e247.
31. Vesterdal, L., Ritter, E., Gundersen, P., 2002a. Change in soil organic carbon following afforestation of former arable land. *Forest Ecology and Management* 169, 137-147.
32. Vesterdal, L., Rosenqvist, L., Johansson, M.-B., 2002b. Effect of afforestation on carbon sequestration in soil and biomass. In: Hansen, K. (Ed.), *Planning Afforestation on Previously Managed Arable Land - Influence on Deposition, Nitrate Leaching, and Carbon Sequestration*, pp. 63-88. <http://www.fsl.dk/afforest>.
33. Vesterdal, L., Rosenqvist, L., van der Salm, C., Groenenberg, B.- J., Johansson, M.-B., Hansen, K., 2006. Carbon sequestration in soil and biomass following afforestation: experiences from oak and Norway spruce chronosequences in Denmark, Sweden, and the Netherlands. In: Heil, G., Muys, B., Hansen, K. (Eds.), *Environmental Effects of Afforestation. Field Observations, Modelling and Spatial Decision Support*. Springer, Berlin, p. 999-999
34. Wang, C., Xue, L., Dong, Y., Wei, Y., & Jiao, R. 2018. Unravelling the functional diversity of the soil microbial community of Chinese fir plantations of different densities. *Forests*, 9(9), 532.
35. Xiang, W., Chai, H., Tian, D., & Peng, C. 2009. Marginal effects of silvicultural treatments on soil nutrients following harvest in a Chinese fir plantation. *Soil science and plant nutrition*, 55(4), 523-531.
36. Yu, S., Wang, D., Dai, W., Li, P., 2014. Soil carbon budget in different-aged Chinese fir plantations in south China. *J. For. Res.* 25, 621e626.





37. Zhang, J.G.; Duan, A.G.; Sun, H.G.; Fu, L.H. 2011. Self-thinning and Growth Modelling for Even-aged Chinese Fir (*Cunninghamia Lanceolata* (Lamb.) Hook.) Stands; Science Press: Beijing, China.





表 1：各重複區之土壤深度、土壤容積、土壤反應 (pH)、含石量及土壤有機質含量

分區	深度 cm	土壤容積 BD(gcm ⁻³)	含石量 %	pH	OM %	質地
1	0-5	0.39±0.20	5.27±3.63	3.25±0.39	44.56±14.17	
	5-10	0.85±0.01	19.74±5.39	3.19±0.28	17.11±3.10	SL
	10-20	0.95	13.97	3.5	13.10	
2	0-5	0.54±0.18	3.55±3.55	3.38±0.27	29.21±15.9	
	5-10	0.75±0.16	5.08±1.32	3.47±0.17	8.58±2.88	SL~SCL~CL
	10-20	0.87±0.14	5.74±3.64	3.65±0.02	7.33±1.84	
	20-30	0.55	0.88	3.8	12.78	
3	0-5	0.64±0.07	5.45±1.75	3.69±0.12	17.46±0.34	
	5-10	0.65±0.08	4.85±2.33	3.70±0.07	13.61±1.40	
	10-20	0.59±0.14	6.59±3.06	3.77±0.07	11.69±0.9	SL~SCL~L
	20-30	0.67±0.10	8.43±3.65	3.81±0.15	10.89±1.59	
	30-40	0.71±0.05	5.29±1.25	4.09±0.25	10.57±1.12	
	40-50	0.70±0.15	6.58±1.82	4.15±0.23	10.09±2.19	

表 2：裡冷林道 13.5K 及 24K 二處造林地之土壤二氧化碳排放通量日變化

日期	AM	PM	日平均	最大值	最小值
5月15日	2.48 ± 0.5	1.94 ± 0.2	2.15 ± 0.4	3.5	1.4
5月16日	2.29 ± 0.3	1.64 ± 0.1	1.95 ± 0.3	3.4	1.7
平均	2.39 ± 0.6	1.83 ± 0.1	2.07 ± 0.5		





表 3：裡冷林道 13.5K 及 24K 二處造林地不同處理之土壤二氧化碳排放通量

SITE	監測 次數	海拔 m	平均 氣溫 °C	最大土壤 含水率 m ³ /m ³	最大土壤 電導度 (S/m)	平均土壤二 氧化碳通量 $\mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	R ²	土壤二氧化 碳最大值 $\mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
13.5K	234	1451.9	26.0	0.271	0.011	2.59	0.9944	547.1
柳 1	9	1472.7	22.8	0.087	0.004	5.01	0.9988	499.7
柳 2	9	1482.7	18.4	0.103	0.005	5.00	0.9982	547.1
A1	3	1474.8	29.4	0.046	0.004	3.49	0.9979	477.5
A2	3	1489.7	34.5	0.184	0.011	2.85	0.9972	479.1
B1	3	1471.6	29.4	0.080	0.005	2.50	0.9977	472.3
B2	3	1477.8	30.2	0.054	0.004	4.11	0.9984	476.7
C1	3	1465.4	29.9	0.093	0.004	3.62	0.9979	475.4
C2	9	1481.9	27.3	0.039	0.003	3.95	0.9987	482.1
D1	183	1445.2	25.9	0.199	0.010	2.17	0.9933	479.7
D2	9	1465.1	30.0	0.271	0.007	3.85	0.9980	481.1
24K	57	2044.6	19.8	0.407	0.020	2.85	0.9969	516.1
柳	9	2068.6	15.8	0.278	0.008	3.59	0.9980	516.1
A1	9	2063.5	19.0	0.215	0.007	2.27	0.9956	504.4
A2	3	2042.3	18.3	0.232	0.009	2.30	0.9967	490.7
B1	3	2052.5	19.5	0.209	0.012	4.45	0.9991	487.7
B2	9	2027.7	21.4	0.378	0.019	2.92	0.9971	495.1
C1	3	2050.8	18.8	0.338	0.012	2.05	0.9972	495.1
C2	9	2034.1	22.7	0.341	0.015	3.38	0.9974	499.1
D1	3	2045.9	18.4	0.275	0.012	2.74	0.9987	496.8
D2	9	2024.5	21.2	0.407	0.020	2.03	0.9951	493.8
總計	291	1568	24.8	0.407	0.020	2.64	0.9949	547.1





表 4：裡冷林道不同處理間三次調查之苗高及地徑

(單位：cm)

樣區	調查時間	對照 1		A1		B1		C1	
		苗高	地徑	苗高	地徑	苗高	地徑	苗高	地徑
13.5K	113.02.28	57.2±15.5	7.1±1.3	67±14.1	9.0±1.5	65.6±13.2	8.9±1.5	65.1±14.7	8.8±1.8
	113.05.08	64.8±12.6	-	69.9±14	-	72.5±15.7	-	73.4±15.6	8.8±0.7
	113.07.03	83.7±21.4	10.2±2.4	92.2±20.9	11.0±2.8	93.6±19.7	14±3.6	94±21.7	13.7±3.3
	2~7 月生長量	26.5	3.1	25.2	2.0	28.0	5.1	28.9	4.9
16K	113.02.28	64.4±17.5	7.0±1.7	60.6±12.6	7.3±1.1	63.4±13.2	7.0±1.2	65.2±14.3	8.0±1.3
	113.05.08	72.6±17.5	-	68.9±13.4	-	71.0±13.9	-	73.1±16.2	-
	113.07.03	80.1±20.3	11±2.4	85.2±23.1	10.3±1.8	81.7±22.8	11.9±17.7	87.2±22.2	9.9±2.1
	2~7 月生長量	15.7	4.0	24.6	3.0	18.3	4.9	22.0	1.9
23K	113.02.28	59.2±10.5	6.7±1.4	55.2±10.4	6.5±0.7	56.5±10.8	6.7±1.0	53.6±11.0	6.2±0.9
	113.05.08	62.0±13.5	-	59.3±10.4	-	59.5±11.3	-	59.5±11.9	-
	113.07.03	73.8±15.9	10.0±2.8	69.4±14.3	9.4±2.1	66.9±14.9	8.0±1.6	72.3±17.6	9.1±2.2
	2~7 月生長量	14.6	3.3	14.2	2.9	10.4	1.3	18.7	2.9
樣區	調查時間	對照 2		A2		B2		C2	
		苗高	地徑	苗高	地徑	苗高	地徑	苗高	地徑
13.5K	113.02.28	59.8±11.9	8.6±1.2	64.9±11.3	8.0±1.5	66.1±11.5	8.2±1.5	64.9±13.1	7.5±1.0
	113.05.08	65.4±13.5	-	70.0±14.5	-	69.6±11.3	-	65±14.6	-
	113.07.03	85.9±17.0	12.3±3.0	93.2±23.2	13±2.3	90.1±22.1	11.9±2.6	83.2±18.8	9.7±1.8
	2~7 月生長量	26.1	3.7	28.3	5.0	24.0	3.7	18.3	2.2
16K	113.02.28	67.0±12.5	7.9±1.1	63.7±13.3	7.8±1.3	60.9±13.8	7.2±1.4	64.3±12.8	7.2±1.2
	113.05.08	69.7±13.5	-	68.5±14.8	-	70.4±15.7	-	69.7±13.4	-
	113.07.03	81.2±17.2	9.3±1.8	73.6±19.1	9.3±1.4	84.1±19.5	9.9±1.6	79.2±16.9	9.3±1.6
	2~7 月生長量	14.2	1.4	9.9	1.5	23.2	2.7	14.9	2.1
23K	113.02.28	62.0±7.5	6.9±1.9	55.8±11.7	6.6±1.0	59.1±11.1	6.8±1.1	57.9±10.4	6.6±1.1
	113.05.08	67.8±8.2	-	62.8±10.0	-	65.4±11.2	-	62.1±11.7	-
	113.07.03	83.4±11.2	10.7±2.7	77.8±12.2	10.2±1.9	81.1±14.0	11.6±2.0	78.1±14.7	11.1±2.4
	2~7 月生長量	21.4	3.8	22.0	3.6	22.0	4.8	20.2	4.5



1132423



表 5：裡冷林道三塊造林地砍伐前及砍伐後之枯落物層生物量及碳量 T test

O 層		13.5 K		16 K		23 K	
		砍伐跡地	柳杉林	砍伐跡地	柳杉林	砍伐跡地	柳杉林
生物量 ton ha ⁻¹	mean	27.26	39.74	96.83	113.67	47.11	48.96
	S.D	8.65	3.59	54.42	21.98	16.88	58.24
	<i>p</i>	0.03		0.32		0.48	
碳含量 %	mean	47.21	45.69	43.38	44.69	48.58	51.18
	S.D	5.91	8.34	5.35	5.43	7.45	3.37
	<i>p</i>	0.39		0.38		0.30	
碳儲量 ton CO ₂ e ha ⁻¹	mean	47.38	67.23	156.18	189.15	87.21	87.78
	S.D	17.41	17.17	88.22	57.76	41.16	101.49
	<i>p</i>	0.31		0.25		0.35	

表 6：裡冷林道三塊造林地砍伐前及砍伐後之礦質土壤碳含量及 T test

礦質土壤	碳含量 g/kg	13.5 K		16 K		23 K	
		砍伐跡地	柳杉林	砍伐跡地	柳杉林	砍伐跡地	柳杉林
0~5 cm	mean	117.11	113.69	72.93	93.69	263.63	249.37
	S.D	71.01	18.18	33.88	11.39	117.32	91.01
	<i>p</i>	0.47		0.18		0.43	
5~10 cm	mean	50.40	55.03	45.24	50.97	75.91	89.95
	S.D	20.60	9.86	24.63	19.41	52.49	46.10
	<i>p</i>	0.37		0.37		0.36	
10~20 cm	mean	37.30	34.77	40.30	34.56	41.87	60.85
	S.D	10.16	16.88	20.54	6.84	23.85	13.10
	<i>p</i>	0.40		0.33		0.13	
20~30 cm	mean	—	—	34.63	31.05	34.28	37.12
	S.D	—	—	14.69	2.73	22.67	6.46
	<i>p</i>	-		0.38		0.42	
30~40 cm	mean	—	—	—	—	28.54	25.69
	S.D	—	—	—	—	15.78	4.49
	<i>p</i>	-		-		0.41	
Mean		68.27	67.83	48.28	52.57	88.85	92.60

p > 0.05 不顯著



1132423



表 7：裡冷林道三塊造林地砍伐前及砍伐後之礦質土壤碳存量及 T test

礦質土壤碳存量 ton CO ₂ e /ha		13.5 K		16 K		23 K	
		造林地	柳杉林	造林地	柳杉林	造林地	柳杉林
0~5 cm	mean	73.63	93.71	54.79	73.38	91.55	68.89
	S.D	27.65	10.12	21.74	12.10	16.90	17.93
	<i>p</i>	0.14		0.12		0.06	
0~10 cm	mean	116.76	152.75	91.63	125.03	153.71	140.25
	S.D	42.97	31.06	30.95	5.02	30.51	65.93
	<i>p</i>	0.13		0.04*		0.38	
0~20 cm	mean	193.84	224.50	165.80	196.99	251.17	262.25
	S.D	44.81	64.94	59.00	31.79	60.02	103.18
	<i>p</i>	0.23		0.22		0.43	
0~30 cm	mean	—	—	237.46	267.92	319.00	348.66
	S.D	—	—	94.01	37.40	77.51	127.01
	<i>p</i>	-		0.37		0.34	
0~40 cm	mean	-	-	-	-	368.43	406.74
	S.D						
	<i>p</i>	-		-		0.14	
土壤層 (含枯落物層)	mean	239.72	278.03	359.54	422.21	453.85	476.24
	S.D	30.25	86.86	67.98	71.17	88.04	138.67
	<i>p</i>	0.27		0.12		0.31	

p > 0.05 不顯著



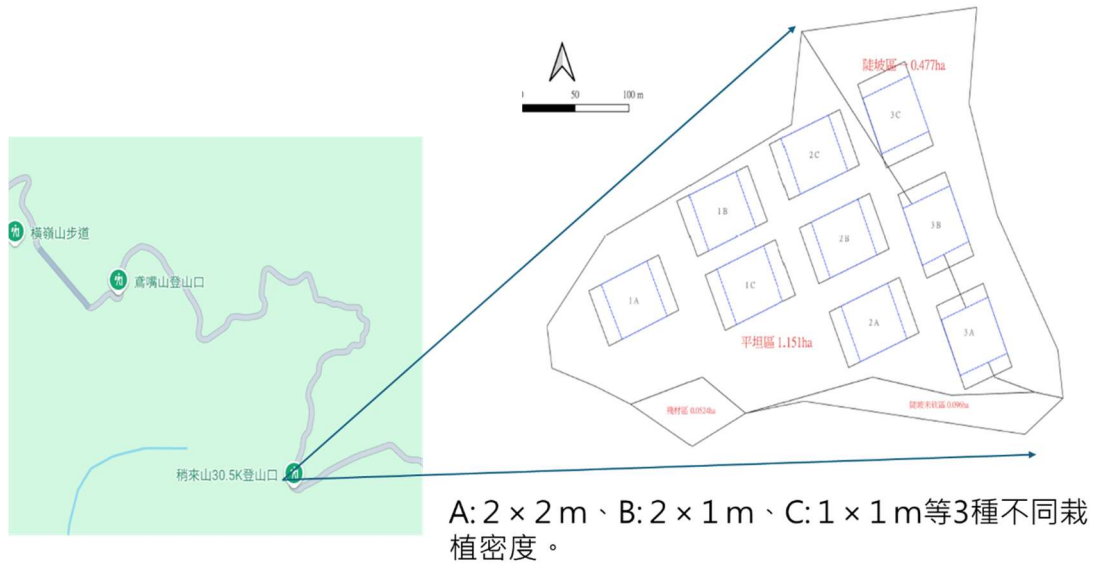


圖 1：八仙山事業區 38 林班大雪山林道 30.5K 香杉 3 種不同密度試區

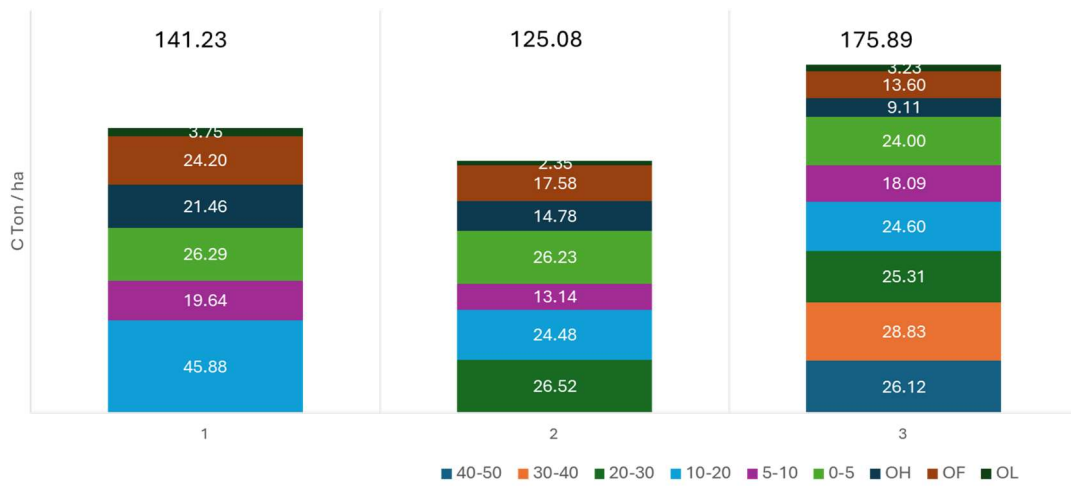


圖 2：新植造林地的 3 個重複區之含 O 層之土壤碳含量



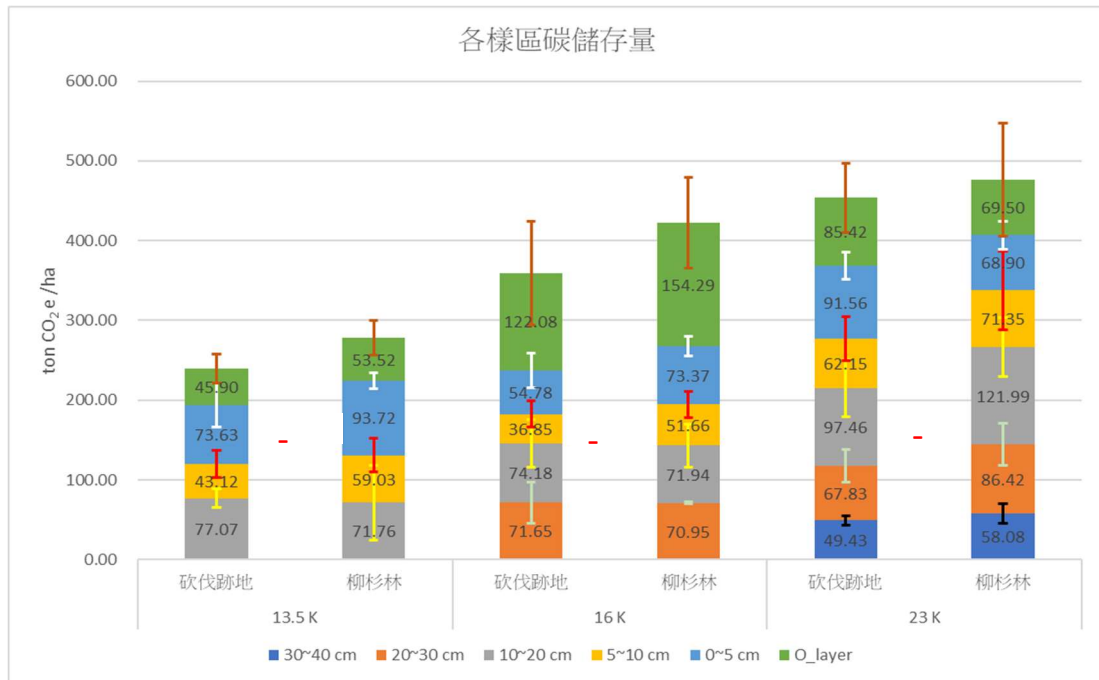


圖 3：裡冷林道 13.5 K、16 K 及 23 K 處三塊伐採跡地(造林地)與其旁之柳杉林之碳存量

