

出國報告（出國類別：訪問）

## 樹種選育、智慧自動化育苗系統及機械 化作業

服務機關：行政院農業委員會林業試驗所

姓名職稱：鍾振德 研究員兼組長、蔡佳彬 副研究員兼主任

派赴國家/地區：美國

出國期間：112年7月25日至8月4日

報告日期：112年10月2日

## 摘要

為台灣林木的選育、苗木自動化與機械化伐採等項目，參訪美國路易斯安那州、密西西比州與北卡羅萊納州等三州，深入瞭解美國南方主要的造林樹種火炬松(*Pinus taeda*)之選育，種子園的建置，毬果的收穫、處理與儲藏，智慧自動化育苗系統，機械化的伐採作業以及造林地的整治等等。

台灣人工林建造投入的成本太高，影響到往後伐採獲利，人工林涉及到造林地的整治與除草撫育、苗木的篩選與栽植、成林的撫育與疏伐等等費用的支出。造林地的整治與除草撫育，台灣以人工或怪手整地以及機械鋤草，一開始的支出每公頃常常超過 10 萬元，本次美國參訪路易斯安那州與密西西比州的火炬松造林地，它們採用引火與殺草劑除草撫育，兩種類型各有優缺點，但苗木栽植後可以成長擺脫雜草的競爭而其成本非常的低。苗木的篩選都選自育種改良的苗木，苗木分成容器苗與裸根苗兩種類型，每株苗木的購置價格裸根苗約 4 美分，容器苗則約 6 美分，大約在台幣 2 元以下，台灣的苗木成本超過 10 倍以上，如何將育苗成本下降需要認真面對。人工林成林後的撫育與疏伐，介入的時間與成本的控制，最後的收穫則採標售方式，都值得台灣借鏡在人工林的建造需要以獲利為優先考量，也許我們的造林地沒有那麼的平坦，但最終的獲利一定得大於投資的成本，否則人工林將無法永續的經營下去。

參訪路易斯安那州與密西西比州的火炬松現地後，造訪北卡羅萊納州立大學的林木改良育種計畫中心，此中心為美國南方松育種計畫的大腦，以此了解大學研究機構與產業之間的連結與支援協助，同時參訪北卡羅萊納州如何利用分子育種選育技術，加速南方松育種計畫往前推到第五代育種循環。北卡羅萊納州立大學的育種計畫所扮演的角色，應該是林業試驗所對於台灣人工林所要扮演的，但與產業間的連結與協助，則是我們所需要強化之處。

## 目次

摘要.....	p2
本文.....	p4
壹、計畫目的.....	p4
貳、過程.....	p4
1. 林場經營.....	p4
(1). 新植造林與經營.....	p4
(2). 伐採與全材運輸.....	p5
2. 自動化育苗系統.....	p6
(1). 整齊一致的育苗系統.....	p6
(2). 自動化苗木修剪.....	p7
3. 路易斯安那州立大學實驗林.....	p7
4. 樹種選育及種子園設置與經營.....	p8
(1). 種源後裔試驗林選育.....	p8
(2). 種子園的經營與種子收穫儲藏.....	p9
5. 美國南方松的育種改良計畫.....	p10
(1). 第五代的火炬松育種改良計畫.....	p11
(2). 分子育種研究.....	p11
參、心得及建議.....	p12

# 本文

## 壹、計畫目的

本次參訪美國路易斯安那州、密西西比州與北卡羅萊納州等三州，為美國南方松人工林的最活躍的區域，林業為這幾個州非常重要的產業，主要的造林樹種為火炬松(*Pinus taeda*)，本次參訪路易斯安那州與密西西比州，目的了解火炬松之選育，種子園的建置，毬果的收穫、處理與儲藏，智慧自動化育苗系統，機械化的伐採作業以及造林地的整治等等。現地訪問後，造訪北卡羅萊納州立大學的育種計畫核心，從南方松育種的指揮中心，了解大學研究機構與產業之間如何的連結與支援協助，同時參訪北卡羅萊納州如何利用分子育種選育技術，加速南方松育種計畫往前推到第五代育種循環。

## 貳、過程

### 1. 林場經營

拜訪路易斯安那州 Soterra 林業公司，由該公司現場負責人 Benjamin Guarisco 帶領我們參訪新植造林與成林後造林地之經營，該公司在林地的整治主要以殺草劑控制雜草。現場僅五個人負責上萬公頃的林地，大部分的業務外包給其他公司協作，包括苗木培育、造林地整治、新植造林、疏伐與撫育、伐採與木材收穫等等，都有相關的公司可以協助，整個森林的相關產業鏈建構非常的完整。

#### (1). 新植造林與經營

新植造林苗木來源為苗木公司提供，每英畝新植800株(換算每公頃約2000株)，新植造林後到成林約撫育1~2次，除草撫育以殺草劑為主。新植後會有天然下種苗木出現，這些都會予以伐除。新植所用的苗木，都是經過育種改良所生產的苗木，在造林地成長過程中，因為所處的立地差異，仍然會有一些生長欠佳的，這些會在後續的經營過程中透過疏伐予以伐除。原則上到收穫伐採，每英畝的株數會控制在400株左右(換算每公頃約1000株)。從造林地的整治到最終的伐採收穫，所需花費的成本每公頃控制在1200美金左右，約合台幣38,000，投資成本花費低確保將來的收穫可以達到預期。



火炬松新植造林地



新植造林地天然下種苗出現，這些將予以伐除。



火炬松 31年生造林地



火炬松造林地疏伐



火炬松15年生



火炬松 31年生造林地經營方式

## (2). 伐採與全材運輸

Soterra 林業公司主要在經營林地，因此森林收穫採標售方式，木材業者伐採運送，標售的價格受到國際木材價格波動，但最終公司以扣掉投資成本，每公頃的獲利超過1萬美金以上。參觀 Soterra 林業公司的林木伐採作業，他們以全材收穫為主，因此看到的運送木材的貨車非常的長，但也在公路之間奔馳，可以得知林業在這個區域的活躍程度。台灣的伐木成本每立方公尺超過800元，由於 Soterra 林業



公司的森林採用標售的方式，因此無法獲知其承包公司的伐木成本，大部分砍伐森林的業者大都為製材業者，因此伐採的原木採全材運送，載運到製材廠後再依照商業的規格製材，以此獲得最大的利益。



火炬松伐採裁剪



火炬松全材運送

## 2. 自動化育苗系統培育

拜訪密西西比州 Weyerhaeuser 公司 Pearl River 苗圃，了解苗圃培育火炬松 (loblolly pine) 苗木的管理與運作，平常員工僅約 10 人可以培育超過 5000 萬株苗木，實際看他們在自動化育苗系統的運作方式，以及穴植管苗木售價 6 美分，裸根苗苗木售價 4 美分，每株苗木仍能有 2 美分的獲利，究竟是如何做到的？

### (1). 整齊一致的育苗系統

Weyerhaeuser 公司 Pearl River 苗圃主要培育火炬松，除了提供其林地新植造林之外，也將苗木賣給其他林主造林。苗圃培育火炬松的種子來自經過後裔檢測過的種子園，種子清楚的交代其親本的資料，火炬松的種子經過精選，因此種子的發芽率超過98%，意味著每一盤穴植管的缺株控制在1-2株之間。



火炬松穴植管苗木培育



火炬松裸根苗苗木培育





穴植管介質裝填自動化系統



火炬松種子冷藏庫，每一桶種子清楚記載親本種源與採集日期

## (2). 自動化苗木修剪

參觀 Weyerhaeuser 公司 Pearl River 苗圃時，心中有個疑問，為甚麼所有的苗木可以生長得如此一致整齊?除了上述種子來自種子園之外，同時苗木管理時，自動化的苗木修剪扮演關鍵的腳色。苗圃至少每2個星期需要修剪，讓所有出栽的苗木高度一致，同時確保苗木的莖/根高度的比率控制在2以下，如此的苗木新植到造林地時，大家的起跑點一致，對於後續的造林地經營影響巨大，這部分是值得台灣借鏡的地方。



圖 火炬松裸根苗的修剪自動化作業



圖 火炬松容器苗的修剪自動化作業

## 3. 路易斯安那州立大學實驗林

拜訪美國路易斯安那州立大學實驗林時，美國還在被森林大火所困，當路易斯安那州立大學實驗林場長示範引火除草撫育時，內心忐忑不安怕引起另一場森林大火，雖然場長擁有引火整地的證照。美國南方松引火除草撫育，除了節省撫育費用之外，也藉此阻斷將來可能導致全面性的森林大火。路易斯安那州立大學實驗林給學生實習這類的課程，可以到現場立即的運用。台灣可以用這個方式除草撫育否?回到台灣與台灣造林業者討論此議題，台灣最常利用引火除



草撫育的是在墳區，在一個可控的環境是可以做得到，但我們的社會環境似乎不太能接受這樣的鋤草撫育方式，因此一個有效率又省錢的鋤草撫育方式是值得研究的議題。



#### 4. 樹種選育及種子園設置與經營

拜訪美國林務署南方研究站，由南方研究站負責樹種選育研究人員，陪同參觀南方研究站相關的種源後裔試驗地以及試驗地的維護。美國的商業化栽植主要以火炬松為主，但是其他如長葉松(*P. palustris*)、萌芽松(*P. echinata*)、濕地松(*P. elliotii*)等的研究就落在政府部門的研究單位在執行。

##### (1). 種園後裔試驗地選育

南方研究站帶領我們參觀60年生的長葉松種源後裔試驗林、火炬松種源後裔試驗林以及濕地松與長葉松雜交後裔試驗林，這些種源後裔試驗林的經營傳承非常的清楚，但由於這些樹種目前非商業推廣的主力，因此得到的關注也僅能維持現況，並無法大幅的擴張。參觀種源後裔試驗林之後，參觀南方研究站的分子遺傳研究室，



整個研究的人力非常的缺乏，由於南方研究站的地點太偏遠，設置這樣的研究室似乎無法吸引研究人員前往。



## (2). 種子園的經營與種子收穫儲藏

南方試驗研究站設置了第一代與第二代的火炬松種子園，種子園的標誌以鋁牌標示，並以鋁釘釘在樹上，定期的撫育與種子採集。南方研究站過去可能有一段興盛期，擁有的種子收穫、種子脫翅處理、種子乾燥、種子冷藏的設備非常的完善，但對照其現有的人力，顯然現況是在維持而已。對照前述的 Soterra 林業公司與 Weyerhaeuser 公司，政府部門的活躍程度顯得低迷。南方試驗研究站對於遺傳資源的守護仍非常盡力，並沒有將這些重要的資源給拋棄，因為沒有人能預期未來是否可以運用到這些遺傳資源。





南方試驗研究站火炬松第一代種子園



南方試驗研究站火炬松第二代種子園



鋁牌清楚記錄種源資料



1988年設立之火炬松種子園



南方松種子脫翅設備



南方研究站之種子冷藏庫

### 5. 美國北卡羅萊納州立大學南方松的育種改良計畫

拜訪美國北卡羅萊納州立大學南方松育種改良計畫中心，由中心主任 Dr. Trevor Walker 介紹整個美國南方松的育種，目前已經進入到第五代育種循環，我們在路易斯安那州、密西西比州所見到的火炬松造林，都是由這個育種計畫所衍生出來的。我們先到現場看整個育種改良的成果，然後再到北卡羅萊納州立大學了解整個育種改良計畫的經過與現況，得到一個非常清晰的輪廓。



### (1). 第五代的火炬松育種改良計畫

火炬松的育種改良計畫已進入第五代選育，Dr. Walker 介紹選育過程中，不同母樹的遺傳增益，不同地區所需使用的種源，也提及利用分子育種選育的技術，將育種改良計畫往第五代推進。Dr. Walker 詢問台灣的育種改良的項目為何？我們僅以生長量進行選育，他覺得這樣非常不足，他也示範非破壞性木材性質檢測，這套系統其實林業試驗所也有，只是我們在育種改良的過程中，沒有將林產木材性質分析納入，對於後續的商業性狀推廣是有疑慮的。



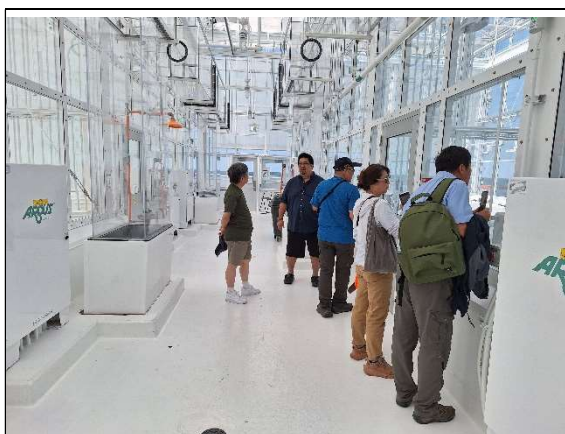
第五代育種改良計畫人工授粉套袋  
( from tree improvement program annual report 2023 in NC State Univ.)



Dr. Walker  
示範非破壞性木材  
性質檢測

### (2). 分子遺傳育種研究

美國北卡羅萊納州立大學林木分子遺傳研究，扮演非常重要的腳色，目前的領導者為 Dr. Jack Wang，他是我們之前林業試驗所保護組同事王維洋博士的公子，他熱心的介紹北卡羅萊納州立大學先進的智慧溫室，溫室可以調控氣體與溫濕度，與共同實驗室的運作，林木之遺傳工程改良楊樹、藍桉(*Eucalyptus globulus*)之相關研究。



智慧溫室光度與溫濕度及空氣可以調控



基因轉殖楊樹在智慧溫室內進行試驗



傳統的溫室栽植基因轉殖藍桉、洋樹等試驗木



共同實驗室支援校內所有的研究

## 參、心得與建議

### 1. 重要心得

此次參訪行程非常緊湊，對於南方松的育種、造林與伐採作業整個體系，有深刻的體會。美國南方松造林地大都為私有林，但私有林業者與路易斯安那州立大學以及北卡羅萊納州立大學密切合作，形成一個堅強與非常活躍的林業。由於私有林業者講究的效率與利潤，因此看到每公頃林地從整地栽植到 30 年後伐採，成本控制在 1000-1200 美元之間，因此一個林場面積約一萬公頃，僅需聘請 5 個員工，就可以經營整個林場。為了成本控制，林地的整治採用火燒與殺草劑，路易斯安那州立大學實驗林示範以火燒來控制雜草，讓我們驚訝不已。所有的造林地都採用經育種改良的苗木，分成裸根苗與容器苗，成本控制在每株 4-6 美分之間，這些都是未來台灣需要引用的作法。人工林可以永續的經營在於利益的永續，也才能活絡整個產業的運行。

### 2. 結論

台灣訂定 2027 年木材自給率要達到 5% 目標，但至 2022 年仍僅 1% 左右。我們投入的



成本太高影響到目標的達成，降低造林的成本，包括採用育種改良的種籽培育成苗，整地與除草的效率需提高，成本需下降，都是台灣人工林需要面對的課題。台灣的原生樹種的品質優於美國的南方松，我們只要能投入育種改良、自動化的育苗系統與機械化的伐採作業，應該可以扭轉台灣林業的困境。

### 3. 建議事項

- (1). 台灣現有的林木種子園建立的時間與美國南方松相近，但是都沒有充分的利用生產種子，未來應該從這些種子園裡獲取優質種子提供造林所需。
- (2). 引進自動化的育苗系統，降低育苗的成本，同時把目前林業界慣用的塑膠袋育苗予以更換為穴植管育苗，如此每株苗木的重量減輕到原本塑膠袋苗木的1/20，這可以讓後續造林的成本大幅的降低。
- (3). 機械化的伐採作業目前林業界已經陸續引進，但成本的管控應該給私人業者來執行，公部門只要發包給業者，以降低整個生產的成本。
- (4). 活絡整個產業提供誘因，應該可以將台灣林業的蕭條給帶動起來。