

出國報告（出國類別：進修）

研習美加森林遺傳與育林技術因應氣候 變遷之計畫

A visiting program to study forest genetics
and silviculture techniques in response to
climate change in North America

服務機關：行政院農業委員會林業試驗所

姓名職稱：吳副研究員家禎、林助理研究員冠穎

派赴國家/地區：加拿大、美國

出國期間：112年7月8日至7月21日

報告日期：112年9月25日

摘要

本次研習參加了 2023 年加拿大英屬哥倫比亞大學主辦的森林遺傳學研討會以及訪問美國的世界森林研究中心、奧勒岡州立大學和華盛頓州自然資源部的專家學者。此次研習計畫旨在培育我國森林遺傳研究的年輕學者，開啟未來長期訪問的機會，並了解北美森林遺傳相關的研究課題、急迫議題和研究趨勢。

2023 森林遺傳學研討會主題是「氣候變遷中的發現與創新」，匯集了來自世界各地的 100 多名與會者。研討會討論了多個森林遺傳學領域的重要議題，包括林木種子資源管理、森林健康、遺傳資源保育、種源試驗等。此外，還介紹了跨學科研究、基因組學工具的應用以及森林遺傳學在應對氣候變遷方面的潛力。與會者之間的討論促進了知識交流和跨國合作。研習還包括實地考察，參觀了卡拉馬爾卡林業中心、貝利種子園和 PRT 阿姆斯壯苗圃，這些實地考察提供了寶貴的實務經驗，使參與者更加了解林木種源管理和種子育種。

研習的另一部分是訪問美國的研究機構和學者，包括世界森林研究中心、奧勒岡州立大學和華盛頓州自然資源部。這些訪問加強了我們對氣候變遷下森林管理的認識，並建立了國際專家網絡，為未來的合作提供了機會。綜而言之，此次研習為我們提供了寶貴的學習機會，並強調了氣候變遷對林木育種和管理的重要性。我們建議加強國內相關研究工作，並促進國際合作，以應對共同面臨的環境挑戰。

目次

摘要.....	P.2
本文.....	P.4
壹、 計畫目的.....	P.4
貳、 過程.....	P.5
1. 行程：.....	P.5
2. Forest Genetics 2023 研討會：.....	P.6
3. 參訪奧勒岡州波特蘭世界林業中心：.....	P.8
4. Meridian Seed Orchard 參訪：.....	P.12
5. 參訪奧勒岡州立大學林木基因編輯實驗室.....	P.13
參、 心得及建議.....	P.15
肆、 附錄-參訪照片.....	P.17
伍、 附錄-研討會議程.....	P.23

本文

壹、計畫目的

本出國研習計畫，希望能夠藉由參加「2023 森林遺傳研討會——在氣候變遷下森林遺傳研究的發現與創新」，瞭解國際在森林遺傳領域上研究的最新趨勢，並且在會議中積極參與學術研討交流之工作，此外也將在該研討會中參與林木改良相關的實地考察行程，預期可使我們更瞭解如何在氣候變遷下調適林業現場工作。研討會行程也包含加拿大森林遺傳學協會 (Canadian forest genetics association, CFGA) 舉辦的林木種子工作坊，將在其中分享該協會及有關學者專家超過 30 年以上的種子研究工作經驗。藉由參加本次研討會，預期將使我們有很大的收穫，預估認識至少 20 名專家學者 (交換名片與介紹臺灣研究工作)，並與至少 5 個以上的研究團隊建立鏈結，裨益未來國際合作的機會。

另一方面，除參加森林遺傳研討會，也規劃前往拜會美國奧勒岡州拜會世界森林研究中心 (Director, Sara Wu)，訪談近 10 年來，民眾、政府、公司、學者面對氣候變遷的態度、以及如何因應，具體措施為何。也預計拜會奧勒岡州立大學森林遺傳相關的教授 (Dr. Steven Strauss, Dr. Sky Lan 等) 以及美國西北研究站。探討如何藉由林木基因編輯工作改良林木對於氣候變遷的適應性，及在美國如何使 DNA 分子條碼成為木材溯源鑑定的實用工具。藉由此等對於外國專家、學者的拜訪及交流，期可建立更多的學術網絡，進一步提升我國在林木改良與森林遺傳研究的人才實力，以及增益將來我國森林遺傳的研究成果，並在未來進一步促進森林碳匯。主要工作目標如下：

(1)參加 2023 森林遺傳研討會，建立國際交流以及取得最新國際森林遺傳研究的趨勢，也希望將方法學帶回來台灣進行分享交流與實踐。

(2)拜會美國奧勒岡州世界森林研究中心、奧勒岡州立大學與美國林務署太平洋西北林業研究站，研商有關基因分子在森林遺傳學的研究與應用，建立國際學術網絡。

貳、過程

1. 行程：

本次獲農業部教育訓練費之計畫補助，前往美加進行育林與分子育種相關研討會主要行程如下：(1)參加 2023 森林遺傳研討會，(2)拜會美國奧勒岡州世界森林研究中心、奧勒岡州立大學、華盛頓州的自然資源部，研商有關基因分子在森林遺傳學的研究與應用，建立國際學術網絡。行程紀要如下：

日期	行程內容
7/8	抵達並夜宿溫哥華
7/9-7/13	參加 Forest Genetics 2023 研討會： 1. 林木種子工作坊。 2. 參與遺傳資源保育、森林健康、種原試驗等相關議程。 3. 參觀奧肯拿根地區林木種子園及苗圃。
7/14-7/15	從加拿大至美國波特蘭之交通行程： 搭乘長途火車自溫哥華赴西雅圖，再由西雅圖駕駛租賃車輛赴波特蘭。
7/16-7/19	建立北美森林遺傳學研究領域的科研專家聯繫資訊與管道： 1. 線上訪談美國奧勒岡州立大學博士後研究員藍永翔博士。 2. 參訪世界森林中心及林業博物館，拜會計畫總監 Sara Wu，交流氣候變遷下林業管理調適方針。 3. 參訪華盛頓州自然資源部林木種子園，觀摩矮化種子園(Meridian Seed Orchard)管理及育種作業。 4. 拜訪奧勒岡州立大學 Steve Strauss 教授，分享彼此研究成果，針對林木基因編輯領域深入探討，並參訪該校基因改良試驗田。
7/20-7/21	駕駛租賃車赴西雅圖還車，搭乘長途客運抵溫哥華，搭機返台，並於飛機上跨日。

2. Forest Genetics 2023 研討會：

本次研討會在文化豐富、環境優美的不列顛哥倫比亞省弗農地區舉行，研討會主題是「氣候變遷中的發現與創新」，是第三次由加拿大森林遺傳學協會和西部森林遺傳學協會共同主辦的會議，匯集了國際森林遺傳學研究人員、從業人員及學生。參與者來自世界各地，共有 100 多位與會者（其中有 32 名為學生），分別來自加拿大、美國、墨西哥、英國、冰島、瑞典、波蘭、台灣、韓國和澳洲等國家。來自世界各地的與會者為討論增添了豐富的觀點和經驗。

研討會議以口頭報告和海報展示方式進行。主題涵蓋廣泛，論及森林遺傳學的最新研究和創新。包括後裔檢定資料的收集和分析、遺傳資源保護策略、林木種子園設計和管理技術以及種子轉移和種源測試綜合分析。此外有關跨學科研究報告內容，展現出跨領域合作的重要性。關於森林健康、種子研究和幼苗繁殖的討論為我們的森林面臨的挑戰提供許多實用的建議。基因組工具的引入以及族群遺傳學的探索為森林遺傳學的未來奠定重要基礎。除了原定議程之外，與會者還提出了其他與森林遺傳學相關的話題，並展開相關討論。

本次研討會共請來 5 位主題講者 (keynote speaker)，分別為 Jennifer Grenz、Brian Cullis、Sean Hoban、Laura Leites 及 Jeffrey Ross-Ibarra。

Jennifer Grenz 為北美原民學者，提到學習原住民語言並與長者和植物知識守護者共度時光已經清楚地表明，植物育種和植物遺傳保育工作對於不列顛哥倫比亞省原住民土地管理實踐非常重要。許多植物物種在原住民語言中都有多個名稱，所有名稱均根據植物特徵、用途和生長地點進行區分。現代遺傳工具正在填補知識空白，並描繪了某些樹種的重要性和可取性，展示了隨著植物和種子隨著原住民遷徙而進行的有目的的引入。Grenz 分享她的保育工作，例如與 St'at'imc 和 Tsimshian 社區以及 Cowichan 部落一起開墾和振興原民糧食系統，以及恢復野火等重大氣候事件，如何帶來強調地方植物的重要性。隨著本土植物苗圃的興起，人們開始質疑將「外部」植物和樹木引入具有重要文化意義的植物關係譜系的潛在影響。

Brian Cullis 為澳洲頂尖統計學家，為許多涉統計分析及試驗設計領域的基礎研究做出重大貢獻。他說明植物改良計畫的成功取決於其維持高水平遺傳增益的能力。從純粹的統計角度來看，遺傳增益的維持依賴於使用接近最優的實驗設計和適當的分析方法。在進階評估階段選擇的自然表型分析工具是多環境試驗

(multi-environment trial, MET)。MET 分析多年來受到廣泛關注，終使澳洲和其他地方的許多植物育種計畫使用了單步驟因子分析混合模型。然而，缺乏與單一和多重選擇實驗設計相關的文獻。固定處理效應的實驗設計由來已久，但這些設計並不適合育種選拔試驗。在本次演講中，Cullis 提出了一種基於模型的方法來設計單次和多次選拔實驗。透過基於模型的方法，允許在設計過程的每個階段使用遺傳相關性。並使用其團隊開發的 R 套件 ODW 建立最佳或接近最佳的設計。

Sean Hoban 是美國芝加哥莫頓林園 (Morton arboretum) 的林木保育生物學家。他提到快速評估大量受威脅樹種的遺傳多樣性狀況以及適應能力的喪失或維持是迫切需要的，然而基於 DNA 的研究仍然昂貴且耗時，而且研究者們缺乏絕大多數物種的遺傳數據。Hoban 針對這項挑戰提出幾種使用非基因數據的解決方案。第一種方法涉及遺傳多樣性的「指標」，基於最小有效族群規模和保育遺傳上獨特的族群，這些指標建立在林業已使用的原則之上。這些指標正在全國範圍內進行測試和改進，並在最近獲得生物多樣性公約 (convention on biological diversity, CBD) COP15 協議的應用建議。第二種方法涉及物種範圍在移地和就地保育程度的生態地理總結。這種方法已在種子庫和植物園使用了十年，以衡量保護遺傳多樣性以及優先考慮物種和種群的進展。最後他提到使用模擬來理解和改善遺傳多樣性的保護，包括其在種原收集規劃中的用途。儘管這些方法有許多缺陷，但 Hoban 認為它們至少有助於識別經歷遺傳侵蝕的物種，能夠協助規劃對此類物種的干預措施，也讓非遺傳學家可以理解遺傳概念和所涉重要問題。

賓州州立大學森林生態學副研究教授 Laura Leites 在她的演講中提到，當基因組學和先進的新技術推動我們對森林樹種適應氣候的了解時，數百年的基因學研究遺產仍然為有關物種在不斷變化的情況下的潛在命運的緊迫新問題提供了堅實的知識基礎和答案。她總結這項遺產如何導致對跨生物群落和全球範圍內的舊起源試驗數據進行重新分析，以預測物種對氣候變遷的反應。Leites 討論與氣候反應的種內變異相關的主要發現，並強調未來對舊種源試驗數據的重新分析可能有助於填補的知識差距。除此之外，Leites 也針對溫帶闊葉落葉和分佈於北美洲東部的針葉樹種提供重新分析的範例。演講的最後，討論到種源試驗資料如何為氣候智慧型種子區的劃分及其相關挑戰提供資訊。

本次研討會的最後一為主題講者 Jeffrey Ross-Ibarra 是加州大學戴維斯分校的演化遺傳學家，具有民族植物學和族群遺傳學背景。他的研究團隊致力於研究植

物演化的歷程，使用玉米及其野生近緣植物作為模型系統來研究從基因組結構到區域適應和演化的問題。該團隊最近的工作範圍包括研究遺傳多樣性背景選拔的非平衡動力學 (nonequilibrium dynamics)、檢測轉座子選擇的方法以及基因流在區域適應和趨同演化中的作用。

除了學理交流討論外，主辦單位為參加人員組織了三處實地考察行程，提供有關森林遺傳學和管理上諸多重要的實踐經驗。參觀卡拉馬爾卡林業中心 (Kalamalka Forestry Centre) 及貝利種子園 (Bailey Seed Orchard) 讓我們學習分子標誌研究成果如何應用於苗木生產場域，以及觀摩採種、嫁接及植物賀爾蒙添加在育種工作上的實際操作情形，另外也學習當地是如何透過系統化管理維護林木健康。而在 PRT 阿姆斯壯苗圃 (PRT Armstrong Nursery) 的參觀行程，則讓我們了解規模化苗圃管理技術，以及苗木供需兩端如何進行聯繫並確保產品品質。這些實地考察提供了寶貴的實務經驗，並加深了我們與育種工作實踐的連結。

研討會在傳統與創新相遇的 Syilx Okanagan 地區的中心地帶展開和結束，本次不僅是學術會議，更是行動號召，提醒研究者及從業人員在保護森林遺傳資源和永續利用尋求創新解決方案方面，及解決氣候變遷及其對森林遺傳學影響的迫切需求，都有共同的責任。分享的知識、建立的連結和所獲得的見解為未來維持森林資源永續經營的努力奠定重要基礎。我們很感激有機會參與 Forest Genetics 2023 研討會，並期待運用本次的收穫，對臺灣林業發展的未來做出貢獻。

3. 參訪奧勒岡州波特蘭世界林業中心：

美國西北部，華盛頓州與奧勒岡州為北美重要的林木生產重鎮，農業部林業試驗所於新冠肺炎疫情爆發前，每年皆有林業研究人員前往奧勒岡州進行國際性的林業從業研究與交流，都是世界林業中心(world forestry center)擔任接待，並且提供優質的管理以及訪問資源，幫助國際上前來奧勒岡州學習林業研究的人員，可以充分了解美國西岸的林業發展。

簡介如下，世界林業中心是位於美國俄勒岡州波特蘭的非營利性教育機構。實際位於華盛頓公園的奧勒岡動物園附近，成立於 1964 年。

世界林業中心的使命是”創造與激勵可持續性之森林”(Create and inspire champions of sustainable forestry.)並且朝向重視森林的經濟、生態和社會效益並採取行動支持公益功能的森林環境。該中心有探索博物館，可以對外開放，教育與展示森林的功能、世界的森林，以及森林的收穫循環；並且有一個林場(Magness tree

farm)，和世界森林研究所，該研究所主要的工作就是以國際獎學金項目，吸引來自世界各地的年輕林業和林產品專業人士在世界森林研究所工作 6 至 12 個月。研究員通常由其雇主、政府機構、林業或非政府組織贊助，並開展其贊助者感興趣的應用研究項目(林業試驗所至少已有 13 個研究人員曾經參與此項計畫)。除了完成實際研究項目外，該計畫還致力於讓研究員廣泛接觸美國的自然資源管理，以便當他們返國時，他們對土地和資源的所有者和管理者有基本的了解，但很可惜的是這項計畫在新冠肺炎疫情全球爆發時停止了。

由於本所與世界森林中心具有深厚的長期關係，本次參訪和中心主任 Sara Wu 相約，主要是從民眾與商業視角，來瞭解美國在氣候變遷議題的看法，有別於專業環境人士的視角。我們準備了數個問題，總共訪談了 2 個多小時，將問題重點節錄，並整理如下：

- (1) What is obvious affection of climate change in US which people feel it is serious and affect the life? (美國氣候變遷有哪些明顯影響，使人們感覺嚴重並影響生活?)

主要在美國西岸近年來森林野火發生頻率不斷增加，造成居民空氣品質惡劣、交通因野火而管制，或相關生活受到影響，絕大部分西岸，尤其是加州居民感受最為強烈。據耶魯氣候變遷資料網站統計(<https://climatecommunication.yale.edu/>)，2012 年到 2022 年，人們感到震驚或擔憂的比例從 38% 上升至 53%，但那些對氣候變遷議題沒有什麼擔憂，甚至這些人(大約 10%)，在這 10 年來並沒有改變他們的觀點，表示相信者恆相信，不相信者依舊不相信此氣候變遷之議題。

- (2) What do people think about the function of forest can do for climate change? (人們如何看待森林對氣候變化的作用?)

一般非環境相關人員，不見得會直接聯想到森林的功用，只能大概了解森林似乎對環境有好，對於遠方雨林森林砍伐，以及大面積毀林並沒有大多的感觸，美國當地的森林砍伐是具有規模、充分有法規管控，加上地點偏遠，不見得是一般城市都會區民眾知道的感受，所以，在生活上並沒有直接衝擊，進而

感受到森林對氣候變遷的減緩作用。

- (3) What WFC do effort for climate change? And how to industries think about climate change, and carbon zero. (WFC 針對氣候變化做了哪些努力？以及各行業如何思考氣候變化和零碳)

根據 pew trust 機構調查：美國人認為企業和聯邦政府可以採取更多措施來應對氣候變遷的影響。調查數據中，有 67%的民眾認為大型企業(Large business and corporations)對於氣候變遷所作太少，而 58%民眾也認為聯邦政府所作不足。極端的是：僅有 35%民眾認為環境相關機構(environmental advocacy organization)對氣候變遷議題投注太少。整體而言，94% 的受訪者在政策上肯定了氣候變遷是具有科學性。有趣的是：越來越多的公司認識到氣候變遷對其業務構成的風險。其中，93% 的公司承認氣候變遷帶來的重大風險。這些公司中有 92%的董事會正式負責監督氣候變遷，而 50%的公司直接就氣候政策議題進行政府或各方進行遊說(lobby directly on climate policy)。在 104 家接受評估的公司中，有一半在過去三年中(2021 年的前三年)為符合巴黎協定的氣候政策進行了遊說，但這些公司也遊說需要反對氣候政策的商業(How Companies Are — and Aren't — Leading on Climate Policy)。

- (4) In school, do school put climate change as an important issue and how does textbook teach for students for this issue, including the role of forest in global climate change. (在學校裡，是否把氣候變化作為一個重要問題，教科書如何向學生教授這個問題，包括森林在全球氣候變化中的作用。)

美國是一個聯邦政府，各地包含州郡市都有各自的教育方針，因此，沒有國家學校或科學標準，也就是說：「每個州政府決定學生學什麼，每個老師都決定他們教什麼」，只有三分之二的受訪教師表示氣候變遷主要是人類活動造成的。超過 86%的教師和 84%的家長支持目前美國學校氣候變遷教育。大約 20 個州自願同意下一代希望針對氣候變遷有一套科學標準的教學，這是一套關於每個學生在科學方面，應該了解氣候變遷議題，並且能夠了解自身可以做到或對氣候變遷有貢獻的期望為何。(Climate Education in the U.S.: Where It Stands, and Why It Matters. Renee Cho. Feb 9th, 2023)

- (5) As I know most of IT companies in Taiwan are requested for planting tree or use natural energy (no carbon emission) for carbon sink. How is the situation in US company? (據我所知，台灣大多數 IT 公司都要求植樹或使用自然能源（無碳排放）作為碳匯。美國公司的情況如何？)

碳補償(Carbon Offsets)是目前在企業中十分熱門的策略與話題，但當中的問題仍然存在，許多非政府組織批評這些碳補償品質低下，因為抵消是對森林和土地的重複購買，也就是說：而在大多數情況下，這些森林和土地早已經受到某種程度的保護(這裡筆者聽起來似乎是：許多碳補償抵銷的森林或土地，企業界選擇避重就輕，僅框圈容易處裡的土地、或是目前也是保存或較不易受脅的土地區域。)。美國最大的公司都做出了淨零承諾，但只有 3 家(微軟、百事可樂、藝康集團)取得了最高評價的進展程度(A grade)(3rd, Mar, 2022., A large number of big corporations just flunked an assessment of their net-zero progress. FASTcompany website report.)。

- (6) Is any government policy/regulation/action to encourage people or company to plant the tree, or vehicle device to reduce the climate change including federal or city government. (是否有任何政府政策/法規/行動鼓勵人們或公司種植樹木或車輛裝置以減少氣候變化，包括聯邦或市政府。)

植樹造林是所有美國人(包含共和黨人和民主黨人)都是一個流行的價值觀念。有許多的種樹計畫正在執行：像是，俄勒岡州樹木之友 (Friends of Trees Oregon) 個以個人和企業間進行種樹，或是：「5000 萬棵樹為我們的森林」運動(50 Million For Our Forests campaign)，期望到 2025 年底，在國家森林上種植 5000 萬棵樹。該活動邀請個人和企業捐款，若以個人名義，可以用 1 美元在國家森林內種植一棵。因此，全美各地都有相關的種樹獎勵計畫在進行。

- (7) For further reducing climate change, do you know any apart about silviculture to do effort in this issue. Such as the operation adjusts in nursery, planting skills, management concepts, and so on... (為了進一步減少氣候變化，您知道造林方面還有哪些方面可以在這個問題上做出努力嗎？比如苗圃的操作調整、種植技術、管理理念等等……。)

針對種植技術，並沒有明確技術課程，然而世界林業中心從 2023 年開始，進行「非環境專業人士」的溝通與教育，所謂非環境專業人士像是：電腦工程師、律師等，主要的轉變想法是：社會議題(氣候變遷)，只能從社會中來尋求解答，因此，如果永遠只守在環境人事中呼喊(同溫層)，永遠只是看到掌聲。世界林業中心，從疫情開始結束國際人員交流的計畫，轉而朝向線上課程(預錄)，可以永遠倉儲，提供給各方人士隨時觀看；另外，針對非環境專業人士，從經過篩選的 30 名名單中，再挑選最後剩下 10 個人，進入專業討論課程，讓這些在各行各業領域的人才，了解氣候變遷與森林專業領域的面向，在他們的工作職場影響其他的人，這樣對於「環境重視的效應」其效果才會大。

4. Meridian Seed Orchard 參訪：

訪問華盛頓州奧林匹亞市(Olympia)的 Meridian 種子園(Meridian Seed Orchard)，該種子園隸屬於華盛頓州的自然資源部(WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES, DNR)，本次參訪是由該種子園的 Jeff DeBell 接待，帶領我們參觀園區。

首先聽到 Jeff 整體介紹華盛頓州的概況，目前美國人越來越認識到太平洋西北地區的更新造林的數量需要增加，以幫助美西地區從更大規模和更頻繁的森林火災中恢復過來或進行調適。任何重新造林工作都需要從最基礎開始，並且需要可靠且適合基因的種子供應來源。美國農業部林務署 (US USDA Forest service) 在華盛頓州有 25 個種子園，可以幫助滿足這項需求。然而，經過數十年的預算限制，這些園區需要進行恢復工作，以減少因火災和蟲害爆發造成的森林或環境損失，並將其恢復到有利於種子生長的條件生產。

美國林務署和華盛頓州自然資源部(DNR)具有遺傳學和種子生產專業知識的工作人員，一直在合作制定一項計劃，希望將這些種子園恢復到更有生產力的狀態，以便能獲得更可靠的資源種子供應。

種子園的恢復活動包括：(1)間伐樹木以保持樹冠充分分離，並精心規劃以保持遺傳多樣性。(2)修剪樹木並清除高灌木，以盡量減少植被上生物的燃料能量。(3)盡量減少地面植被生物燃料能量的濃度。每個種子園周圍 300 英尺，或更大範圍的管理區將被關注處理撫育，以創建或維持遮蔭、並且減少林火生成的燃料中斷。(由於美國大陸森林區相對濕度低，如果環境中可燃燒的生物資材過多，容易

在乾季變成火災產生的能量，故在當地有效降低生物能量是十分重要的工作)，目前初步工作項目已經於 2023 年夏季開始在種子園陸續實施。

接著去參觀該種子園的機械設備，美國由於幅員廣闊，人工昂貴，大多可以進行機械化的話，就會以機械化施作。像是：首先介紹 Douglas fir 的矮化種子園，種苗全部都是超過百年的母樹的嫁接苗，來自經過篩選的四面八方的私人公司或苗圃。在美西，矮化的林木種子園並不常見，他們也在大約 2008 年左右開始這樣子矮化施作。照片中的種子園，從北到南，分成 3 個區塊，每一年處理一個區塊的四周，修剪後，讓他生長恢復 2 年，之後再不斷重複這樣的操作方式。因此，他們帶我們看自動化的大型機具，講解如何修剪種子園母樹，以及自動化收集母樹花粉的卡車式載負設備，這是收集花粉的第一種方式。但這必須看環境濕度是否合適，當車子移動時，會振動枝條與花，花粉就開始掉落，再透過吸引氣，吸入花粉。

第二種方式是人工最傳統的方式，使用篩子的容器，人工拍打枝條，進行收集。第三種方式是使用背負式的半自動吸引花粉。這三種方式都必須看環境的濕度進行選擇。第一種卡車的方式，移動速度很慢，但是也許可以收集大量。另外兩種，移動非常方便。

也接著介紹種子園在操作控制授粉、或是促進開花的設備，許多設備是自行設計，但是很適合於現場使用。尤其是在單獨收集花粉的時候，如果要很精細的花粉收集，可以採用人工收集花粉的方式，這邊也有簡易的花粉、毬果乾燥室和簡易儲藏設備，如果在正確的溫濕度下儲藏花粉，一般 Douglas fir 的花粉可以壽命達 5-7 年。

在控制授粉時，為了要讓每個雌花盡可能的授粉，並且產生大量種子，會採用自製的人工授粉器授粉，以避免周圍的其他大樹搶得先機。另外，Douglas fir 在花芽分化前，也會使用 GA 進行注射、催花，而 Western red Cedar 則是用噴灑，進行催花。

這次的參訪介紹了該種子園生產種子的過程與經營方式，一個種子園須要具備生產優良種子的功能，一開始需要進行良種種原收集(嫁接特定營養系作為母樹或父本)、管理母樹、催花與收集花粉、再來就是控制授粉(特定父母本雜交與套袋)、結實與種子採收。

5. 參訪奧勒岡州立大學林木基因編輯實驗室

本次和奧勒岡州立大學森林環境學院的 Steven Strauss 教授相約，Steven 教授

是奧勒岡州立大學林學院的卓越研究者和教育家。擁有廣泛的林業和生物技術專業知識和經驗，本次訪問其主持的森林生物技術實驗室。與會當下該實驗室連同 Steven 教授，總共有 5 名成員參與。由我們林試所林冠穎助理研究員先進行介紹本所與我們的目的和工作。同樣他們也介紹他們的成員，這邊發現，實驗室除了主持人為核心人物，重要的實驗室技術研究夥伴，更是促成傑出實驗室的必要條件。森林生物技術實驗室主要的研究領域包括：

- (1) 森林生物技術：實驗室以著名的以森林生物技術而聞名，該技術涉及應用基因工程技術(基因編輯與基因轉殖工程)來增強森林樹木的生長、抵抗力和可持續性。多項研究致力於開發基因改造樹木，用於不同用途，包括木材生產、生物能源和環境保護。
- (2) 樹木基因工程：研究室在樹木的基因改造方面進行了具有開創性的研究，旨在改善它們的特性和適應能力以應對不斷變化的環境條件。他的工作探討了基因工程樹木的潛在好處和風險。
- (3) 環境和倫理考慮：除了他的科學研究外，實驗室還探討了圍繞使用基因改造樹木的道德和環境考慮。他的工作涉及與生態影響、監管政策和公眾對基因工程林業的看法相關的問題。

在森林生物技術實驗室中，研究團隊使用現代植物生物技術，包括基因組學和基因工程，來幫助創造環保可持續的生物技術，以協助生產樹木作物，包括可再生能源、木材、紙張、觀賞植物和水果(最近在進行啤酒花的轉殖研究)。此外，研究團隊使用 DNA 方法進行基礎研究，以幫助理解樹木的生理和演化，以跨學科團隊相互合作，教授與社會相關的生物技術知識，並促進制定既促進創新又安全使用基因工程植物於森林和農田中的規定。

接著，Steven 教授又帶我們前往他的基因轉殖田區，這邊看到裝飾用的紅葉楊樹，目前確認這是不稔性的，只要在法規上有所突破，有十分多的業者對此基因轉殖品種十分有興趣。一旁種植著 6 年生的基因編輯(gene editing)楊樹，這些楊樹作為不稔性之試驗，將持續觀察，未來如果可以成功，這片森林將是具有林木生物技術上具有重要意義的試驗田區。

最後，Dr. Steven 建議我們若要開始從事林木的基因編輯工作，可以從楊樹開始著手，因為楊樹是十分成熟可基因編輯的樹種，除了基因編輯的序列位點設計之外，轉殖系統、組織培養系統等都需要建立起來。

參、心得及建議

此次研習，我們透過參與森林遺傳研討會及實地參訪，瞭解北美及世界各地林業學術及產業機構，面對氣候變遷所進行的各類研究專案，其中許多研究思路及研究成果都能作為我國未來林木育種及管理研究工作方向的重要參考。後續參訪及交流心得及成果可作未來我國相關研究研擬之重要參考：訪問世界森林研究中心，瞭解在氣候變遷下，美國林業工作與社會認知的互動；拜訪奧勒岡州立大學，學習基因編輯應用於林木育種之研究方法及困難突破經驗；至華盛頓州自然資源部，參觀改良後的種子園經營模式。

本次參訪了解國際森林遺傳研究的最新趨勢以及研究團隊，在研討會中，尤其是在面對氣候變遷的環境下，科學家如何藉由森林遺傳的新科技與技術，因應困境與挑戰。更建立北美重要的森林遺傳領域的研究學者網絡，增加未來持續性合作的機會，並且培養，為我國森林遺傳領域之年輕學者可以開啟一扇學習的窗。

這次我們認識了至少 20 名以上相關的研究學者，並且和美國、加拿大、韓國的學者到目前已經在洽談合作，以及樣本交換之工作。在氣候變遷議題上，針對美加學者目前趨勢使用機械學習、結合物種、地理和基因型相關資料，可以因應氣候變遷，政府需要的調適作為，和造林種植、育種的相關的應對方式。值得我國學習。

藉由實地走訪參觀美加種子園，觀摩林木育種的操作流程，更可以使得新進的研究同仁了解林木育種的漫長，以及為來我國需要更紮實的投注人力、資源及創新思維，因為森林與木材是國家安全的重要自然資源，未來國際木材市場價格只會上升，不會有下跌之可能，因為全球重要的林地主(財團)式控制全世界的木材市場，也只有森林造林地是不砍伐，放置還可以繼續生長的生物資源：只要全球木材市場價高，才去進行伐採，價低可以選擇繼續放在森林中生長。當全球面對追求淨零的碳中和行動時，在我國，失去活力、或是未投入育種、撫育、經營的老熟林，需要趕緊逐步更新，才可以在未來國際碳排下，免受責難，並且提升國際環境保育之形象，因此，林木育種與培育健康永續之森林，是十分重要的工作。

氣候變遷同時在各個層面上影響生物與環境，林木育種及管理工作者亦無法置身事外，我們透過本次研習，深切瞭解先進國家政府及企業對此議題之重視及已陸續開展之各項研究工作，在族群遺傳學、森林健康、種原及後裔試驗及種子園經營等諸面向上，學習到學理研究及實務工作的眾多新知，並與多位學者建立聯繫網絡及未來交流之機會。鑒於在可預期的未來，氣候變遷對林木育種及管理工作的影響恐日益增大，建

議增加相關議題的育林研究工作，以前瞻的角度設計試驗，同時不忘與國際研究夥伴溝通及交流，借鑒寶貴經驗，使研究成果最終能在增加森林的氣候韌性上有所裨益。

本次出國研習，建議以下各點：

1. 林木為長期工作，更需要鼓勵相關人員投入：由於我國林業，並未真正有效以商業驅使的產業鏈形成，我國林地劃分，雖有林木生產區，但是蓄積量以及伐採成本可能十分的昂貴，加上無法到位的撫育措施，造成林木蓄積低下；加上木材被國際視為重要戰略物質，國家應該以更高視野的角度來培育鼓勵新人，甚至鼓勵相關研究，保持森林育林、育種的基本經費，以維持足夠的人才。
2. 森林不只是保育，而是要兼顧林木生產：在禁伐天然林之後，森林保育的政策「矯枉過正」已出現相關的文章中多次，森林保育固然重要，但是，維持森林永續可利用，在所謂的「利用」則是希望有木材的生產，當全球氣候變遷的議題與聲浪越來越大，臺灣在國際各國中，如何利用森林資源、經營森林的知識，作為碳匯或碳吸存的重要工具，就掌握在政府林業機關的手中。在這次訪問中，育林或遺傳學者都將森林當作重要資源，希望透過新的技術、加速林木生長(增加蓄積量)、或是抵抗病蟲害，幾乎沒有學者是以「保育」為主導，進行研究，而是以「利用」作為研究導向。因此，我國林業若要面對未來全球氣候變遷，針對林木生產確實需要更努力，2017 年林業署喊出國產材元年，直到 2022 年突破國產材自給率 1%，距離 2027 年要到 5% (30 萬立方米)，還很有挑戰。因此，建議林業署需要大力的支持鼓勵所轄分署經營企劃科 (前作業課)，投注經費、人力，在苗圃育林技術的培育、種子園、母樹林的更新與經營，紮實在林木可持續利用的「根本」之上。
3. 多增加我國林業從業人員國際的視角：我國林業從業人員，應該多往美加等先進國家的林業經營多學習，建議每年林業機關可以鼓勵未滿 45 歲以下的人員出國交流，增加國際網絡、引進新的概念與技術。加上臺灣從 1990 年禁伐天然林後，林業技術已停滯 30 年，持續鼓勵新進同仁出國，增加國際視野，更有可能更多的創新。
4. 增加非林業或環境類專業人員的課程活動：從美國奧勒岡世界林業中心的案子中，我們發現，我國林業的聲音不能僅能在我們的同溫層，而是可以的話，從各行各業，透過獎勵或補助的形式，帶這些人進入森林中，了解森林的可持續利用的價值，而非永遠秉持著「砍樹就是錯誤」的觀念。

肆、附錄-參訪照片



參訪加拿大 Trees Outside Forests (TOF) in BC Project Plan Option 2 試驗地 (照片正中為計畫負責人 David Derbowka)。



PRSI 公司將都市廢水灌溉的速生樹種楊樹(Poplar)製成生物炭及木醋液等產品。



參觀卡拉馬爾卡林業中心 (Kalamalka Forestry Centre)種原栽植示範區。



學習卡拉馬爾卡林業中心嫁接技術實務。



觀摩貝利種子園 (Bailey Seed Orchard)嫁接操作實務。



卡拉馬爾卡林業中心林木健康野外檢驗及管理示範。



PRT 阿姆斯壯苗圃 (PRT Armstrong Nursery) 規模化的育苗場地。



PRT 阿姆斯壯苗圃育成苗木的流水線包裝說明。



於弗農種子園 (Vernon Seed Orchard) 舉辦的交流活動。



參觀弗農種子園公司種子乾燥設備。



美國奧勒岡州世界林業中心-探索博物館。



世界林業中心辦公室。



美國奧勒岡州世界林業中心-探索博物館內部：常設展。



美國奧勒岡州世界林業中心-探索博物館內部：林火藝術展。



美國奧勒岡州世界林業中心-探索博物館內部：常設展。



美國奧勒岡州世界林業中心-探索博物館內部：Sara 主任為我們進行展區介紹。



Jeff 和其夥伴一行人在 Meridian Seed Orchard 合影。



Meridian Seed Orchard 種子園的矮化母樹。



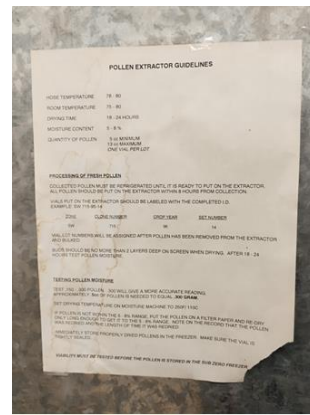
Meridian Seed Orchard 種子園大型機具設備。透過曳引機載掛不同功能的器械，圖為曳引機庫房。



Meridian Seed Orchard 種子園大型機具設備。透過曳引機載掛不同功能的器械，圖為種子原母樹矮化修剪使用工具。



Meridian Seed Orchard 種子園花粉收集間。



Meridian Seed Orchard 種子園花粉收集間作業文件。



Meridian Seed Orchard 種子園花粉儲藏冰箱。



Meridian Seed Orchard 種子園自製的操作育種之工具：自動激素注射器，使用電鑽作為動力，十分客製化與創意。



Meridian Seed Orchard 種子園自製的操作育種之工具：個別母樹花粉授粉裝置，左方前頭可以電動控制花粉噴出。



Meridian Seed Orchard 種子園嫁接優良營養系之母樹穗條，以及正在進行嫁接作業。



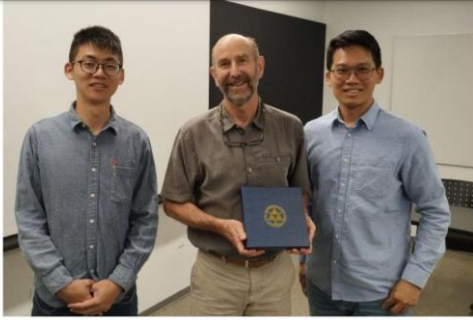
Meridian Seed Orchard 種子園嫁接優良營養系之母樹穗條，以及正在進行嫁接作業。



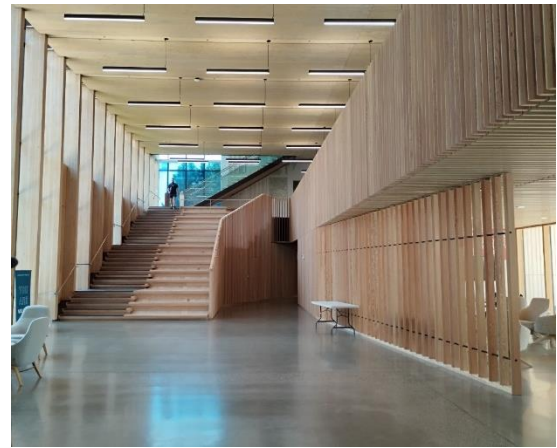
Meridian Seed Orchard 種子園自製的操作育種之工具。圖為背載式自動花粉吸引器，可以個別母樹大量吸引花粉，在田區可行走方便。



Meridian Seed Orchard 種子園自製的操作育種之工具。圖為背載式自動花粉吸引器，可以個別母樹大量吸引花粉，在田區可行走方便。



放置於 OSU 大學森林生物技術實驗室網站的參訪合影。



OSU 森林系館(Peavy hall)為第一個北美大型的 CLT(cross laminated timber)木建築物。



轉基因裝飾用楊樹，葉片呈現紅色。且不會有花粉產生。具有商業價值。



使用基因編輯不稔性的轉殖楊樹。

伍、附錄-研討會議程

Forest Genetic 2023
Discovery & Innovation in Changing Climates
CFGA/WFGA Agenda

Monday, 10 July
Tree Seed Working Group (separate registration) 08:00 - 16:00
CFGA/WFGA Registration and Reception 16:00 - 19:00

Tuesday, 11 July	
8:00	Introductions
8:20	Keynote: Jennifer Grenz
8:40	
9:00	1.1 Jason Holiday (Population and Quantitative Genomics)
9:20	1.2 John MacKay (Population and Quantitative Genomics)
9:40	1.3 Alison Smith (Collection and analysis of progeny test data)
10:00	Break
10:20	2a.1 Yueru Zhao (Genetic Conservation) 2b.1 Dawei Luo (Forest Health)
10:40	2a.2 Hayley Tumas (Genetic Conservation) 2b.2 Colleen Fortier (Forest Health)
11:00	2a.3 Wenhuan Xu (Genetic Conservation) 2b.3 Barley Rose Collier Harris (Forest Health)
11:20	2a.4 Martin Williams (Genetic Conservation) 2b.4 Richard Sniezko (Forest Health)
11:40	Lunch
12:00	
12:20	

12:40	Plenary #1 Brian Cullis	
13:00		
13:20	3.a.1 Olivia Waite (Collection and analysis of progeny test data)	3b.1 Zhengyang Ye (Seed transfer and provenance test analyses)
13:40	3a.2 Vasyl Mohytych (Collection and analysis of progeny test data)	3b.2 Greg O'Neill (Seed transfer and provenance test analyses)
14:00	3a.3 Trevor Doerksen (Collection/analysis of progeny data)	3b.3 Mai Duong (Seed transfer and provenance test analyses)
14:20	Poster Session	
14:40		
15:00		
15:20		
15:40	Plenary #2 Sean Hoban	
16:00		
16:20	4a.1 Laura Guillardin (Genetic Conservation)	4b.1 Claire Ellwanger (Seed orchard design and management)
16:40	4a.2 Melissa Spearing (Genetic Conservation)	4b.2 Chae-Bin Lee (Seed research and propagation of seedlings)
	Bus departure from Vernon Lodge at 18:00	
	Banquet Dinner at Vernon Seed Orchard Company at 18:30	

Wednesday, 12 July
Field Tour meet in Vernon Lodge parking lot 9:00 - 17:00

Thursday, 13 July

8:00	Plenary #3 Laura Leites	
8:20		
8:40	5.1 David Butler (Other forest genetics related topics)	
9:00	5.2 Andreas Hamann (Seed transfer and provenance test analyses)	
9:20	5.3 Cuauhtémoc Sáenz-Romero (Seed transfer and provenance test analyses)	
9:40	5.4 Samuel Grubinger (Interdisciplinary research)	
10:00	Break	
10:20	6a.1 Charles Cartwright (Seed transfer and provenance test analyses)	6b.1 Sarun Khadka (Interdisciplinary research)
10:40	6a.2 Dennis Joyce (Seed transfer and provenance test analyses)	6b.2 Valerie Berseth (Interdisciplinary research)
11:00	6a.3 Marzena Niemczyk (Seed transfer and provenance test analyses)	6b.3 Keith Jayawickrama (Other forest genetics related topics)
11:20	6a.4 Beth Roskilly (Seed transfer and provenance test analyses)	6b.4 Adam Gilewski (Population and Quantitative Genomics)
11:40	6a.5 Deogratias Rweyongeza (Collection/analysis of progeny data)	6b.5
12:00	Lunch	
12:20		
12:40		
13:00	7a.1 Funda Ogut (Genomic tools)	7b.1 Trevor Walker (Other forest genetics related topics)
13:20	7a.2 Patrick Lenz (Genomic tools)	7b.2 Theodora Lo (Other forest genetics related topics)
13:40	7a.3 Dayoung Lee (Genomic tools)	7b.3 Shes Bhandari (Other forest genetics related topics)
14:00	7a.4 Akriti Bhattarai (Genomic tools)	7b.4 Irem Yecel (Other forest genetics related topics)
14:20	Break	

14:40	8a.1 Rafael Candido-Ribeiro (Population and Quantitative Genomics)	8b.1 Fleur Damen (Seed transfer and provenance test analyses)
15:00	8a.2 Laura Manerus (Population and Quantitative Genomics)	8b.2 Zihaoan Sang (Seed transfer and provenance test analyses)
15:20	8a.3 Tal Shalev (Population and Quantitative Genomics)	8b.3 Claudio Mura (Seed transfer and provenance test analyses)
15:40	Keynote #2 Jeffrey Ross-Ibarra	
16:00		
16:20	9.1 Tom Booker (Population and Quantitative Genomics)	
16:40	9.2 Melanie Zacharias (Population and Quantitative Genomics)	
17:00	Closing Remarks	
	Conference End	

Friday, 14 July
Optional Field Tour Meet in Vernon Lodge parking lot 9:00 - 17:00