

出國報告(出國類別：研究)

農業環境資訊網絡建立與國際交流 參訪

服務機關：農業部農業試驗所

姓名職稱：張仁育 副研究員、張翊庭 副研究員

派赴國家/地區：加拿大、美國

出國期間：113年8月13日至113年8月24日

報告日期：113年10月22日

壹、摘要

本次前往加拿大與美國進行國際交流，目的是學習當地的環境資訊網絡和決策支援系統，以期提升臺灣農業面對氣候變遷的韌性和資源利用效率。此次參訪涵蓋了多個機構，包括英屬哥倫比亞大學、薩默蘭研究發展中心、華盛頓州立大學灌溉農業研究與推廣中心，以及阿帕拉契果樹研究站。在英屬哥倫比亞大學學習了 ClimateAP 氣候模型的應用及不同尺度之取樣方法，該模型有助於臺灣的森林和農業氣候管理；薩默蘭研究發展中心則分享了果樹管理和病蟲害防治的技術；華盛頓州立大學的 AgWeatherNet 提供了智慧農業環境資訊系統的實例；阿帕拉契果樹研究站則展示了果樹各領域研究以及果樹地下生物量和根系動態合作研究成果，這些技術皆有助於我國淨零減碳和氣候韌性策略的推動。此次交流不僅提升了跨域氣候模型和智慧農業技術的理解，也為臺灣未來的農業研究成果落地發展提供創新想法，有助於我方在智慧農業及長期生態系研究推動中做為參考，提升臺灣農業技術創新與永續發展。

目錄

| | | |
|----|------------|----|
| 壹、 | 摘要 | 2 |
| 貳、 | 目的 | 4 |
| 參、 | 概要行程 | 5 |
| 肆、 | 過程 | 6 |
| 伍、 | 心得建議 | 15 |
| 陸、 | 附錄 | 17 |

貳、 目的

農業作為一個高度依賴自然資源的產業，正面臨著極端天氣事件頻發、農作物生產不穩定及生態系統功能減退等多重壓力。完善的環境資訊網絡與決策系統，可結合氣候監測數據和決策支援系統，以提升農業韌性與資源利用效率，同時促進農業部門的淨零排放目標。本次行程涵蓋多個參訪目標，了解美國和加拿大相關資訊網絡與決策系統。首先參訪英屬哥倫比亞大學林學院，學習其在森林管理及氣象預測、碳循環及相關管理策略的研究成果，以促進臺灣農業部門碳匯與淨零政策的推動。接著參訪加拿大薩默蘭研究發展中心(Summerland Research and Development Centre)，以了解其高經濟價值果樹的數據驅動管理、農業生態系韌性、氣候調節及新型節水技術等方面的研究成果，這些知識和技術可應用於臺灣果樹管理。隨後拜訪美國華盛頓州立大學的 AgWeatherNet 團隊學習其開發的結合感測器、模型及決策支援系統的環境資訊網絡建設經驗，這對於提升臺灣智慧農業及環境資訊網絡的發展具有重大參考價值。最後，參訪美國阿帕拉契果樹研究站(Appalachian Fruit Research Station, AFRS)，重點是了解其在果樹地下生物量、根系動態及水分逆境適應方面的研究進展，並學習其根箱(Rhizobox)試驗設計與應用，以推動臺灣果樹碳平衡計算及氣候變遷調適策略的發展。本次出國不僅旨在學習國際先進技術與經驗，亦實現第 15 屆臺灣與加拿大農業合作會議決議：加強雙邊科研交流，促進在農業領域的協作與知識分享。

參、 概要行程

| 日期 | 所在地 | 行程內容 | 備註 |
|------------|---------------|--|--|
| 8/13 (Tue) | Vancouver | 臺灣 → Vancouver | 搭乘長榮 B10 班機 |
| 8/14 (Wed) | Vancouver | 拜訪英屬哥倫比亞大學林學院 | |
| 8/15 (Thu) | Penticton | Vancouver → Penticton | 搭乘 Pacific Coastal Airlines 8P1307 班機 |
| 8/16 (Fri) | Penticton | 拜訪 Summerland Research and Development Centre | |
| 8/17 (Sat) | Penticton | 拜訪 Oliver 的 K&C Silviculture Ltd. 苗圃 | |
| 8/18 (Sun) | Prosser | Penticton → Prosser 參觀 Coulee Dam 及 Banks Lake 下游灌區 | Dr. Ben-Min Chang 駕車陪同跨境 |
| 8/19 (Mon) | Prosser | 拜訪華盛頓州立大學參觀 Smart Orchard、瞭解 AgWeatherNet | |
| 8/20 (Tue) | Prosser | 美西行程綜合討論 | |
| 8/21 (Wed) | Frederick | Prosser → Frederick | |
| 8/22 (Thu) | Kearneysville | 拜訪 Appalachian Fruit Research Station、參加 Wine grape research open house 活動 | |
| 8/23 (Fri) | Kearneysville | 參觀 Appalachian Fruit Research Station 果園、美東行程綜合討論 | |

| | | | |
|------------|----|---------|--|
| 8/24 (Sat) | 抵台 | 行程結束/返程 | |
|------------|----|---------|--|

肆、 過程

一、 參訪英屬哥倫比亞大學林學院

英屬哥倫比亞大學 (UBC) 林學院是全球最好的林學院之一，也是北美頂尖的林業教學單位，其研究領域包含森林資源管理、木材加工、森林經營、自然資源保護、林木遺傳育種等方面。其所在之加拿大英屬哥倫比亞 (British Columbia, BC) 省是加拿大林業大省，UBC 林學院除校本部亦包含木材加工中心及兩個試驗林地分別為 Malcolm Knapp 及 Alex Fraser。此次行程主要拜訪 Dr. Tongli Wang、Dr. Guangyu Wang 以及 Dr. TzengYih Lam 了解氣候模型如何支持生態系統管理，甚至預測未來生物氣候範圍的變化。

首先由 Dr. Guangyu Wang 簡介 UBC 以及林學院目前的各項研究主題，接著由 Dr. Tongli Wang 介紹其團隊開發的 ClimateAP (Climate Asia-Pacific) 模型，這是專為亞洲與太平洋地區設計的氣候數據模型，可產生特定位置的無尺度 (scale-free) 氣候資料。研究者使用的資料主要來自 1961-1990 年 PRISM 和 WorldClim 的網格化氣候數據，以及使用 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 的 general circulation models (GCM) 搭配，套用 2011-2100 年的不同情境 (RCP 4.5 和 RCP 8.5)，經演算後可得 2011-2100 年的不同情境下溫度、降雨量等關鍵之氣候參數。該研究團隊亦有研發針對不同的地區研發 ClimateBC 及 ClimateNA 提供加拿大 BC 省及北美地區之氣候模型，使用者可以切換氣候地圖、物種地圖或不同情境下的氣候預測覆蓋層，為管理者提供預測其所在地區未來的氣候狀態，將有助決策者制定更適合的森林管理策略。如研究團隊利用本模型之氣候資料結合物種 climate niche models (CNMs)，探討兩種重要的森林樹種：黑松和花旗松目前全球的生態區位分布，亦利用溫室氣體排放情境 SSP 2-4.5 預測了 2050 年代黑松和花旗松全球生態區位分布情形。

森林面積廣大且分布位置垂直調查費力，由森林尺度之科學研究較筆者農田坵塊的調查研究方式不同，但兩者間仍有許多研究成果及概念可互相借鑒。Dr. TzengYih Lam 和其學生利用光達 (LiDAR) 技術進行森林全覆蓋體積估算的樣本選擇方法和估算技術對樣本規模要求的影響。研究評估了 10 種樣本選擇方法 (包括四種等機率和六種

變方機率選擇方法)及六種估算技術，目的是比較不同的樣本設計和估算方法在混合樹種森林中的效率。研究中提到的不同樣本設計(如系統取樣、排序取樣及局部樞紐方法等)可靈活應用於農田監測，以便適應不同的地理條件和農作物類型。例如，對於種植面積廣大的作物，可以選擇系統取樣或排序取樣；而對於高價值作物，可以採用變方機率取樣，以提高監測的精準度。

二、 拜訪加拿大農業及農業食品部薩摩蘭研究發展中心(AAFC Summerland Research and Development Centre)

Summerland 研究發展中心(Research and Development Centre)隸屬於加拿大農業及農業食品部，該中心以其在果樹育種和遺傳多樣性研究方面的卓越貢獻而聞名，該站進行了多種農作物、果樹和葡萄的育種及栽培技術研究，涉及食品加工、土壤營養和灌溉、病蟲害防治等領域。上午抵達研究中心後，由該中心 Dr. Ben-Min Chang 初步介紹中心環境，以及相關主要研究領域。接著由本所張仁育副研究員報告「Multifaceted Approaches to Sustainable Agroecosystem Management: Insights from TARI's Long-Term Ecological Research on Litchi」介紹本所組織架構及關鍵計畫，其中包括自 2006 年起的農業生態系長期生態研究(LTER)。該計畫目標在深入了解亞熱帶農業生態系中社會-生態因素對生態系服務的影響，如水稻、茶葉和荔枝等。荔枝因全球暖化導致的開花數量減少而受損嚴重，成熟荔枝葉片需感受低溫以啟動開花信號。為解決此問題，TARI 通過監測荔枝物候期，建立開花誘導模型，以評估不同時空尺度上的風險。改善果園管理的關鍵在於適時的樹冠重建和生長抑制，以積累足夠的開花信號。此外，低溫需求與荔枝遺傳性相關，適應熱帶氣候品種可作為現代育種的改良候選者。最近，研究也關注荔枝開花失敗對蜜蜂產業的影響，並與當地利益相關者合作，尋求維持授粉者群體和相關生態功能的方法。

第二場報告由張翊庭副研究員分享「Assessing Agricultural Land Ecosystem Services Using Taiwan Agricultural Soil Survey and Land Cover Data」，說明農業系統在提供多樣化的生態功能和效益方面具有關鍵作用，特別是土壤在調節碳、水和養分循環中扮演重要角色。臺灣的農地覆蓋和土壤調查產生了寶貴數據，為農業生態系的多重效益(包括支持性、供給性、調節性和文化性服務)的評估提供框架。然而，生態系服務評估面臨多重挑戰，包括本地需求、方法選擇和模型工具的能力限

制。目前模型輸出成果與田野調查結果之間的差異以及經濟評估方法的選擇也是持續挑戰中，因此，本研究著重於結合模型、土地覆蓋數據、土壤調查數據及田野調查來評估臺灣的農地和土壤生態系服務，目標是土壤提供的多重服務，並視覺化關鍵服務（如碳儲存、水分保持和養分保存）。最終目的是促進當地參與永續農業，並為土地規劃提供參考。

位於歐肯納根湖(Okanagan Lake)上方丘陵上的 Summerland 研究發展中心，始建於 1914 年，最初被稱為 Dominion 實驗農場，目的是解決當地農業發展的問題。此研究站在加拿大葡萄酒業的發展中扮演了關鍵角色，特別是在開發適合寒冷氣候的葡萄品種和推動果酒生產方面。研究工作還包括病蟲害管理、氣候變化對農業的影響，以及與水資源管理相關的創新技術。該中心設有獨立的病毒果園，以及專門用於昆蟲學和病害研究的果園。此外，其擁有研究溫室、環境生長室和冷藏室、食品研究與萃取試驗廠、品評室、生物安全微生物實驗室、小批量釀酒廠、分生研究室等，以及展示園展示了本土植物種的多樣性，其中筆者有幸聞到具豆漿味的玫瑰，著實記憶深刻。

加拿大的冬天對釀酒葡萄樹來說不易生存，一次極端寒流就會損害葡萄藤蔓並使產量減少 50%。過低氣溫損害葡萄芽眼，亦使葡萄藤的組織和根系受損，若凍害嚴重，甚至會導致整株葡萄藤死亡。Dr. Ben-Min Chang 的研究主要是針對加拿大英屬哥倫比亞的歐肯納根(Okanagan)山谷地區之葡萄在低溫、高溫和乾旱等多種環境下的變化。研究目的主要是提高葡萄種植的適應性和抵抗力，透過深入了解葡萄在不同環境下的反應，種植者可以採取更有效的管理策略，減少環境變化對葡萄產量和品質的負面影響，從而促進當地釀酒葡萄產業發展。該研究中心也研究數值土壤繪圖和氣候地圖，範圍主要是該省的主要農業區域，透過此資料研究人員能夠分析氣候變化對水資源供需、溫室氣體排放、土壤碳封存、生物多樣性和病蟲害分佈的影響，並考量可能導致作物受損的環境風險（如冬季損害）。此工具不僅提高了研究的精確度，也提供科學依據來制定更加有效的氣候調適策略。

三、 參觀歐肯納根谷地(Okanagan Valley)與哥倫比亞高原(Columbia Plateau)以及拜訪 Oliver 的 K&C Silviculture Ltd. 苗圃

Okanagan Valley 為更新世冰河期冰川活動遺留下的谷地與湖泊，冰河活動為當地帶來肥沃的沉積土壤，使其在冰川消融後成為重要的農業活動區域。該谷地氣候較西岸更為溫暖、乾爽，以盛產釀酒葡萄聞名；而自 Penticton 沿 97 號公路南下，環境逐漸乾燥、鬱鬱蔥蔥的樹林益漸稀疏，取而代之的是黃澄澄的乾草原，時而發生的森林野火也持續擾動當地的生態系統。

途中我們拜訪了位於 Penticton 南方約 40 公里處 Oliver 小鎮的 K&C Silviculture Ltd. 育苗場，當地每年供應著北美西岸 40 萬以上株林木種苗，如花旗松與三葉松等。除育苗外，育苗場也提供種子檢定、發芽與苗木生長檢測、苗木販售與運輸業務。任職於該公司的客戶關係經理暨資深育苗專員 Henry Yang 為我們介紹育苗場的運作與管理，當地育苗場平日由 1 位主管與 2 位技術人員、9 位協助灌溉人員維護 100 多間溫室及溫室內苗木栽培維護，10 月底至 12 月中旬左右為苗木收成期，時值農閒、農場會雇用約 80 幾人協助收穫包裝等作業。由於苗木數量眾多，如何在有限空間內最有效率地利用資源與生產是育苗場經營的關鍵。K&C 使用 Styroblock 苗箱作為育苗環境，保麗龍製的苗箱可重複使用節省成本；透過加溫器導流與噴灌設施調節與熱顯影監控，則可幫助管理者維持苗木生長適溫。而在育苗過程中，地錢(liverwort) 是常見且麻煩的雜草。此外，園區部分區域設置高壓鈉燈，以調節苗木生長環境光周，促進松樹苗葉形轉換以具備較佳環境耐性。

越過 Osoyoos 南面的美加邊境進入美國，河谷逐漸開闊。我們約莫在在歐肯納根河(Okanagan River)與哥倫比亞河(Columbia River)匯流地左轉進入 17 號公路，目標駛向古力壩(Coulee Dam)。Coulee 是大峽谷的意思，萬年前的冰河消融引發密蘇拉大洪水(Missoula floods)，於是在大地上留下深壑、玄武岩柱，時而出現在山頭的黑色岩石，時而又可見如波紋般柔軟的地貌— rolling hills (該地形是華盛頓州 Palouse 地區研究土壤沖蝕的經典案例)。

Coulee Dam 是美國歷史上經典的工程成就，並為後來經濟與農業發展帶來卓越的貢獻。該大壩始建於 1933 年，時值美國歷經經濟大蕭條，政府祈盼透過大規模工程帶來的就業機會振興經濟。Coulee Dam 建成歷時約 10 年，彼時又逢第二次世界大戰，水壩無疑為美國帶來雄厚的生產與後勤資本；而在 1974 年，當址擴建第三座水力發電機組，迄今該大壩仍為美國最大、世界前十的水力發電站，裝機容量達到 8,600 兆瓦，

供應美國西部 9 個州、約 200 萬戶電力使用需求。此外，Coulee Dam 的建造也將哥倫比亞河盆地灌溉計畫(Columbia Basin Irrigation Project)化為可能：將水引進西南向的 Banks Lake，並透過一系列運河、抽水站與渠道滋潤在冰河退卻後留下廣袤且乾燥的 Columbia Basin。該計畫活化約 100 萬公頃的農業用地資源（自 Soap Lake 至 Passco），使其成為美國西部糧食生產（如小麥、玉米、馬鈴薯、苜蓿等）的重鎮。

在往目的地的路上，沿路看見中心軸灌溉系統（Center Pivot Irrigation System），是一種應用於大面積農田的自動化灌溉技術。該系統通過精準的水量控制以提升水資源利用率，且可系統控制自動化操作大幅降低了人力需求，成為美國大田中不可或缺的灌溉工具。此技術特別適用於種植面積廣大、地形平坦的農田，如穀物、玉米、豆類等大宗作物的生產。隨著物聯網和數據分析技術的應用發展，中心軸灌溉系統還可整合感測器、無人機和大數據分析功能，進一步提升灌溉效率和農業生產力。

四、 拜訪華盛頓州立大學灌溉農業研究與推廣中心(Washington State University, Irrigated Agriculture Research and Extension Center; WSU-IAREC)

華盛頓州立大學灌溉農業研究與推廣中心位於華盛頓州的普羅瑟（Prosser），成立於 1919 年，成立目標為支持華盛頓州的農業灌溉發展。該中心專注於研究灌溉技術、土壤管理、作物生產和病蟲害防治等領域。它不僅提供試驗農場和技術開發，還積極推廣先進的農業技術和管理方法，以提高生產效率和可持續性，是該州農業創新與教育的重要基地。本次參訪主要目的是想了解 AgWeatherNet (AWN) 如何持續運作各地區之氣象站，收集和提供整個華盛頓州及周邊地區之天氣數據，進而推動預報。為不同的利害關係人群體提供準確和精確的天氣觀測，以及一套決策支援工具，來改善農業生產（產量和品質）、農民效率以及收益估計，並盡量減少對環境影響。

首先 Dr. Lav Khot 介紹 AWN 目前擁有 360 個自動化氣象站，分為三種等級的站點 (Tier 1、Tier 2 及 Tier 3)。Tier 1 構成了華盛頓州中尺度天氣圖 (WA Mesonet) 的核心，是符合世界氣象組織 (WMO) 標準氣象站。這些站點採用先進的感測技術，以確保數據的高準確度和精確度，並且每 5 分鐘更新一次數據，滿足高頻率的氣象監測需求。Tier 2 由一站式感測器組成，來收集在 Mesonet 覆蓋不到的基本氣象數據。Tier

3 屬於私人擁有和維護，AWN 從這些站點獲取數據，讓用戶透過其個人設備的數據存取決策支援工具。雖然 AWN 提供安裝建議，但用戶可以根據自己的需求，自行決定設備的安裝方式和位置。透過專家系統在平台上提供使用者灌溉管理、病蟲害預測、霜凍風險預警等，協助農業經營者做出更精準的資源分配和風險預防措施，從而提高生產效率和作物品質。接著由 Srikanth Gorthi 與 Dattatray Bhalekar 帶領筆者參觀實際工廠感測器裝設及應用，以及氣象站與相關田間試驗。在試驗葡萄園中，研究團隊使用 LoRa-WAN 技術整合傳感器網絡，對葡萄園進行即時觀測和數據收集。以及開發用低成本方法來監測果園霜凍條件。利用裝載熱顯影的無人機，繪製果園之溫度分布圖，以辨別溫度之風險區域，亦可協助栽培者加強田間管理如防霜工具（如風機）佈置和使用，提高作物保護的效率。

AWN 的成功運作仰賴於多元化經費來源，其資金來源包括州政府經費、聯邦資金、公共和私人合作，以及用戶費用。州政府每年提供運營經費，聯邦資金支持數據收集，公共與私人機構資助特定項目，而用戶費用則作為於維護和技術升級。這些多方資助確保 AWN 為農業生產者提供精確的天氣數據和決策支持工具，維持系統之品質與服務。

在 WSU 有幸拜訪 Dr. Markus Keller 博士，他是華盛頓州立大學（WSU）葡萄栽培學的教授，在瑞士獲得博士學位，隨後在德國和美國的研究機構從事葡萄栽培研究，積累了豐富的國際經驗。研究專注於葡萄的生長發育、生理學和環境適應性等方面的研究，如葡萄發育與水分關係，研究葡萄在不同生長階段的水分需求，探討水分對葡萄品質的影響。以及研究接穗與砧木的相互作用，搭配精準的營養管理策略，提升葡萄園的生產力和果實品質。與葡萄酒產業建立了密切的合作關係，並將研究成果應用於實際生產，提升了葡萄酒的品質和產量。現今美國國內消費者對葡萄酒的偏好也發生了改變，近年來年輕消費者對啤酒、烈酒、硬蘋果酒及其他低酒精或非酒精飲料的興趣增強，導致葡萄酒的消費人群相對老齡化，需求量逐漸減少。儘管一些高端酒莊依然保持著市場吸引力，但整體市場呈現出消費量下降的趨勢。此外，國際市場競爭加劇，特別是來自智利、阿根廷、澳大利亞和歐洲其他國家的葡萄酒品牌競爭，對美國葡萄酒產業也構成了一定的挑戰。

五、 參訪美國農業部阿帕拉契果樹研究站 Appalachian Fruit Research Station

阿帕拉契果樹研究站位於西維吉尼亞州北部，距離華府約 1.5 小時車程距離。該研究站佔地約 200 公頃，其中 20 公頃左右為果園；研究站專責發展蘋果、桃、梨、李、葡萄等溫帶果樹等基礎及應用研究，以從遺傳、環境多面向提升作物產量品質，確保消費者獲取穩定、安全與營養的果品。研究站中共有 9 位正職研究人員（計畫主持人）與數位博士後研究員，涉足包含土壤環境、作物遺傳、作物生理、病蟲害管理與果園生態等多面相研究議題。此次到訪由 Dr. Lisa Tang 帶領，活動包含參訪各研究室與田間、參加該研究站釀酒葡萄研究開箱日(Wine Grape Research Open House)等。

根箱試驗是目前本所與阿帕拉契果樹研究站交流合作項目之一，目前研究人員對木本植物根系結構發展，包含根的伸長、分支與角度等所悉尚少，藉由根箱收集影像資料用以分析，將有助於提升對木本植物根生長發育及其與環境交互作用的瞭解。Dr. Tang 分享關於該研究站在根箱試驗上面臨的挑戰，包含支架載重、根箱材質（如壓克力材料易有刮損問題）與影像品質（如箱壁上的水氣、反光等問題）等問題，未來雙方將在探索研究方法上交流影像蒐集與分析技術，共同推動模式化果樹根生長發育的合作進展。

在溫室中最讓人注目的是選育中的蘋果，時值 8 月仍然看得到蘋果花與小果，係因該蘋果為 *FRUITFUL* (*FUL*)過量表現(overexpression, OE)轉殖株。藉由挾帶具有促進開花表現的 *FUL* 基因，可縮短蘋果選育世代與創造花期重疊，以異質(heterozygous)結合選拔的後裔則可再以分子標誌篩選剔除轉殖基因，產生未攜帶外來基因的單株。這樣的研究方式可望大幅改善果樹育種的效率，以更快速地應對氣候與市場的變動。

果樹構形(fruit tree architecture)是 AFRS 經典研究議題之一，矮化密植有助於提升果園產量及降低生產成本，該作法廣泛地應用在如蘋果等薔薇科果樹的生產，了解果樹構形的遺傳機制因而被視為重要課題。AFRS 研究人員研究指出桃中的柱狀樹(‘pillar’)遺傳系分支角度小，使枝條有向上生長態勢，係與 *TILLER ANGLE CONTROL 1* (*TAC1*)基因表現缺失有關；進一步在李的 *TAC1* RNAi 轉殖株及 OE 株的功能性檢測顯示出 *TAC1* 調控枝條向外生長特性：*TAC1* RNAi 轉殖株呈現直立生長的柱狀樹形、而 OE 株的樹枝分支角度則比對照大而呈現開張樹形。同屬 *IGT* 基因家族的另一支同源基因 *LAZY* 基因亦與枝條與側生器官角度有關，具備與 *TAC1* 相對的功能性：在 *LAZY* RNAi 轉殖李出現垂枝性狀。除了 *IGT* 基因家族，與 auxin、strigolactone (SL)

調節分支性的 *MORE AXILLARY GROWTH (MAX)* 基因也是 AFRS 研究人員關注的對象，目前在楊樹(*Populus*)的交叉功能性研究持續在進行中。

蟲害研究部分由 Dr. Laura Nixon 介紹，Dr. Nixon 表示美東地區果園環境多為小面積丘陵，面對的蟲害問題與西部地區相異。研究站主要針對的害蟲如蘋果蠹蛾(codling moth)、蘋果果實蠅(apple maggot)、茶翅蝽(brown marmorated stink bug)與李象鼻蟲(plum curculio weevils)等害蟲。在蘋果蠹蛾的研究議題上，考慮賀爾蒙交配干擾(matting interruption)進行防治，此外也透過螢光標放瞭解成蛾的飛行距離。原生於東亞的茶翅蝽則是入侵美國的害蟲，本土性寄生蜂被視為防治該害蟲的手段之一，並採用蜂蜜塊培養寄生蜂族群。在象鼻蟲部分，由於其蛹期在土壤中渡過，因此研究站的團隊試圖尋找線蟲作為其天敵用以防治象鼻蟲危害發生；費洛蒙亦被視為該害蟲有潛力的防治手段之一，惟現添加李子香味的未能表現出比蘋果更好的誘引效果，研究團隊正嘗試開發新的配方。

參與與我方合作計畫的研究站土壤學家 Dr. Andrew Bierer 展示了其開發的開源水分管理系統「Open_Irr」，單一組節點Open_Irr可以連結最多16個土壤感測裝置，紀錄土壤基質電位並實施自動灌溉。該開源裝置元件來自市售五金零件，因此成本低廉並可穩定實施，未來雙方可合作嘗試在臺灣的果園或茶園佈設該裝置藉以改善田間水分管理。其目前也在執行評估蘋果園之渦流協變系統監測計畫，與本所相關研究目標相似，未來有機會或許能比較異地之數據，了解臺灣與美國之差異。

病害部分參訪了 Dr. Surya Sapkota 主持的葡萄育種計畫，該計畫目標選育抗病葡萄，特別是露菌病(downy mildew)。研究人員使用一台得名為黑鳥（取名自 SR-71 黑鳥式偵察機）的小型表形體分析儀，量化分析直徑 1 cm 葡萄葉圓片的病害感受性，該高通量方式可快速、有效地幫助研究人員選拔抗耐病害的遺傳系統。田間的選拔株亦顯示由於當地釀酒葡萄有發展趨勢。

此次參訪剛好碰上釀酒葡萄研究開箱日，提供了豐富的葡萄育種、果樹生物科技及病蟲害管理的研究成果與技術分享，讓與會者深入了解葡萄相關的科研進展及實地應用。本活動由 USDA-ARS 的 Tracy Leskey 博士開場，介紹了此次活動的背景和主要目標。強調了葡萄產業的挑戰與機遇，並提出了研究站在改善果樹品種和提升葡萄質

量方面的努力。筆者印象最深刻的是病害管理方面的討論。Dr. Julie Urban 詳細解釋了斑衣蠟蟬對果園造成的嚴重威脅，在她的研究中，斑衣蠟蟬會大量取食果樹的汁液，導致植物健康受損，嚴重時可引起果樹死亡。其分泌之蜜露會在果實和葉片上易發展為煤煙病，影響果實品質和光合作用。而目前的防治措施包括監測斑衣蠟蟬的活動、使用適當的殺蟲劑，以及實施生物防治措施等。她強調，早期發現和快速反應是控制斑衣蠟蟬在果園中蔓延的關鍵。

伍、心得建議

本次參訪加拿大與美國之大學與研究中心，從森林到農業，尺度由跨洲到 DNA，對於跨域的氣候模型應用，可參考UBC的ClimateAP模式應用於臺灣及其他亞太地區，特別是針對不同的氣候情境（如 RCP 4.5 和 RCP 8.5）進行本地化調整。未來或許有機會可利用此模型與氣候棲位模擬模型(climate niche models, CNMs)結合，預測臺灣主要農作物（如水稻等）的生態區位變化，從而改善種植規劃與品種選育策略。另，應持續推進以臺灣農地覆蓋和土壤調查數據為基礎的生態系服務評估研究，特別是碳儲存、水分保持和養分循環的多重效益。透過視覺化工具，能更直觀地展示這些服務的空間和時間變化，為決策者和農民提供更有價值的參考。未來如何將農地與土壤的生態系服務評估方法與經濟分析相結合，進行農業政策和永續農業管理的成本效益評估，皆值得深入探究。

從 K&C Silviculture 公司學到商業化的林業育苗管理，提供了北美地區主要樹苗來源，在田間管理中採用動態調整的方式，根據不同樹種的生長需求、氣候條件和土壤特性，靈活調整栽植密度、施肥量與修剪方式，配合客戶的需求以及衡量自身的獲利模式，再透過科學化的工具輔助省工並標準化的生產模式，以及後續的物流串聯，此可作為臺灣林業以及育苗業的借鏡。透過 Summerland 研究中心和 AFRS 的研究人員分享荔枝、蘋果及葡萄的栽培管理和病蟲害防治策略，可作為研究人員對於不同氣候情境下果樹物候栽培管理之參考，並提供探索低溫需求的果樹品種育種策略之借鏡。值得注意的是，如在 AFRS 的果樹研究中相當重視對遺傳機制的瞭解，育種研究者認為這是瞭解與管理育種目標所需具備的知識，值得我方借鏡。兩研究人員分享之果園中應用自動灌溉系統與果園渦流協變系統，皆與臺灣目前執行的農業水資源綱要計畫與淨零減碳有著相同的目標，可作為提高水分管理效率和減少溫室氣體排放的潛力之參考。

對於筆者而言，這次農業環境資訊網絡建立與國際交流計畫擴展了自身的視野，也深刻認識到農業空間資料與技術整合以及人工智慧在農業領域的發展是未來不可逆轉的趨勢。跨領域合作在各參訪單位皆能看到，透過多元觀點的交流，互惠互利的合作，利用數位平台進行即時溝通和協作，確保資訊傳遞的即時性和正確性，可加速創

新成果的落地與應用。尤其若能綜合考量將使農作物用水監測及其他農業環境議題得到更有效率和全面性的解決之方，同時能為決策者提供量化之參考數據。故，建議農業部持續鼓勵並支持研究人員積極參與國際技術交流，推動農業技術的創新與進步，並提升臺灣在國際上之能見度。本次特別感謝 Summerland 研究中心 Dr. Ben-Min Chang 與 AFRS 的 Dr. Lisa Tang，在百忙之中抽出時間接待與安排，不僅讓我們更深入地了解了相關領域的前瞻研究與技術，也拓展了我們的視野和知識。

陸、 附錄



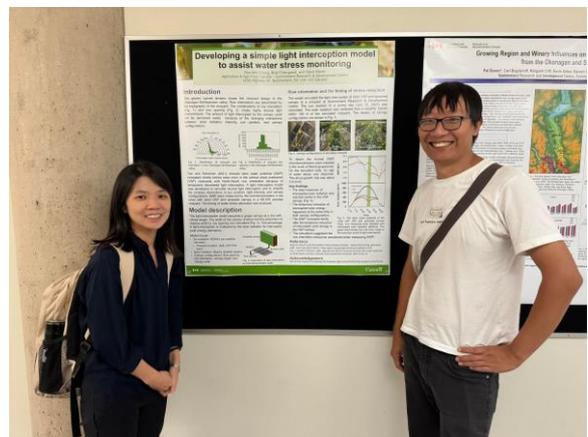
筆者與 Dr. Guangyu Wang (左一)、Dr. Tongli Wang (左二)以及 Dr. TzengYih Lam (中)在 UBC 林學院前合影



Dr. Tongli Wang 介紹 ClimateAP



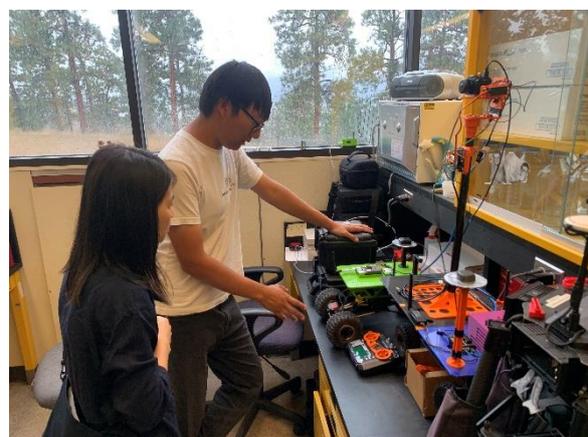
筆者在 Summerland 研究中心前合影



Dr. Ben-Min Chang 與其光截取模型在葡萄水分逆境應用的研究



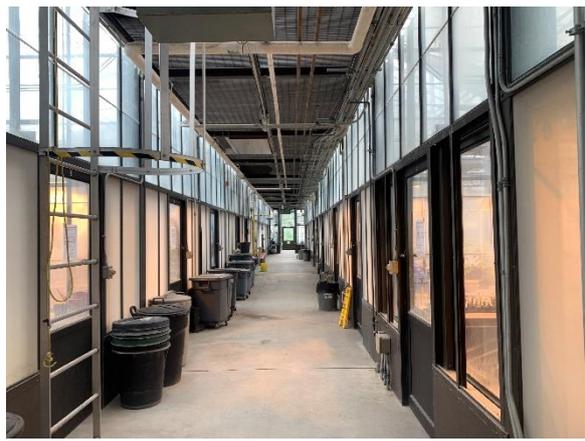
筆者簡介農業試驗所及相關長期生態系研究報告分享



Dr. Ben-Min Chang 介紹研究室開發環境與植物生理參數收集的裝置



Summerlan 研究中心地下室的步入室生長箱群



Summerlan 研究中心溫室與主建物相鄰



病蟲害試驗田(左)位於 Summerland 研究中心山角下的獨立區域



具豆漿味的玫瑰 ‘Party Hardy’



Summerland 研究中心果園標示用藥紀錄



Summerland 研究中心果園中使用木條整枝架開櫻桃樹側枝以增加其角度



Summerland 研究中心葡萄水分生理試驗



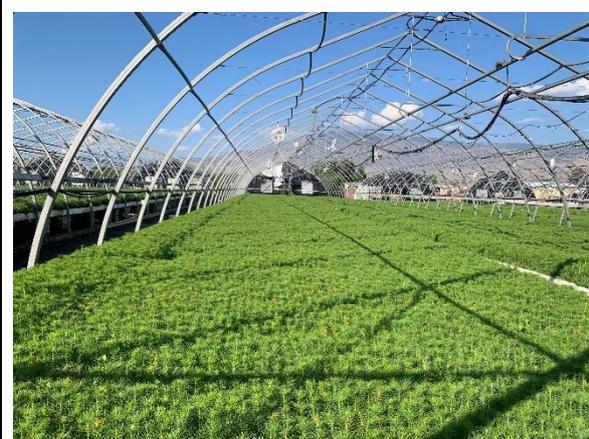
Okanagan 谷地冰河遺留下來的冰磧壩 (moraine dam)



參訪葡萄有機莊園，原訂機器人展示但因運輸問題故取消



葡萄有機莊園中顯見 'Merlot' 葡萄 (左)耐寒性較 'Syrah' (右)較佳



K&C Silviculture 育苗場田間實景



與經理暨資深育苗專員 Henry Yang 及 Dr. Ben-Min Chang 合影



Coulee Dam 遠景



Dry Fall - 冰河消融後大洪水在哥倫比亞地區留下的乾瀑布地形



在 Columbia Basin 隨處可見灌溉設施 (中心軸灌溉系統, Center Pivot Irrigation System)



拜訪華盛頓州立大學(WSU)灌溉農業研究與推廣中心



拜訪 Dr. Lav Khot (中) 及 AgWeatherNet 團隊



Dr. Lav Khot 介紹 AgWeatherNet



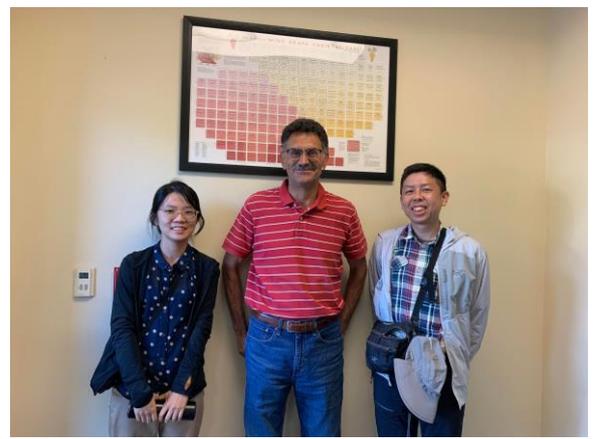
Mr. Srikanth Gorthi 介紹
AgWeatherNet 測站使用的儀器



Mr. Srikanth Gorthi 介紹 Smart
Orchard 中的各種田間感測器以及透過
LoRa 實現遠端資料傳輸



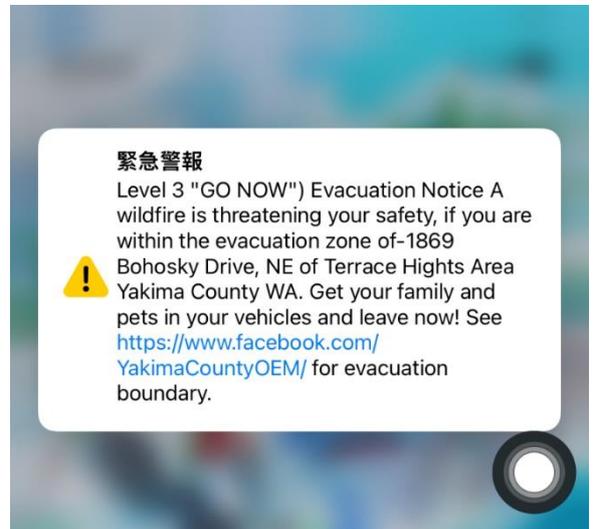
葡萄園中多功能物聯網監測系統 Arable
Mark 3 輔助影像辨識與物候追蹤



拜訪 Dr. Markus Keller 分享研究與生活



自動控制生長箱中進行的葡萄生理研究



在 WSU 考察期間手機一度收到野火警報



拜訪美國農業部阿帕拉契果樹研究站 (AFRS)



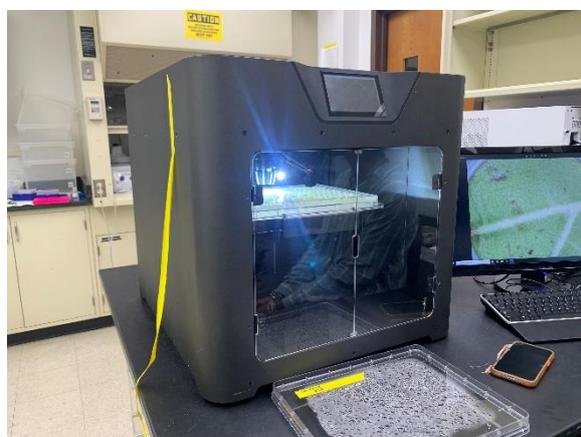
Dr. Lisa Tang 介紹以根箱影像紀錄蘋果根系發育



利用成花基因表現促進蘋果開花輔助育種，筆者所指處為蘋果花



釀酒葡萄研究開箱日由 AFRS Director Dr. Tracy Leskey 開場



Ms. Blair Turner 與 Dr. Surya Sapkota 介紹黑鳥表型分析儀應用於葡萄露菌病抗病育種



Dr. Surya Sapkota (後戴帽者)在釀酒葡萄研究開箱日介紹抗病育種田間成果：抗病株(左)與感病株(右)比較



斑衣蠟蟬為 AFRS 與果園常見入侵害蟲



Dr. Laura Nixon 與 Dr. Lisa Tang 葡萄園中斑衣蠟蟬的影響與管理



AFRS 蘋果園的 Eddy Covariance System



TAC1 knockout 使李樹枝條直挺挺地向上生長

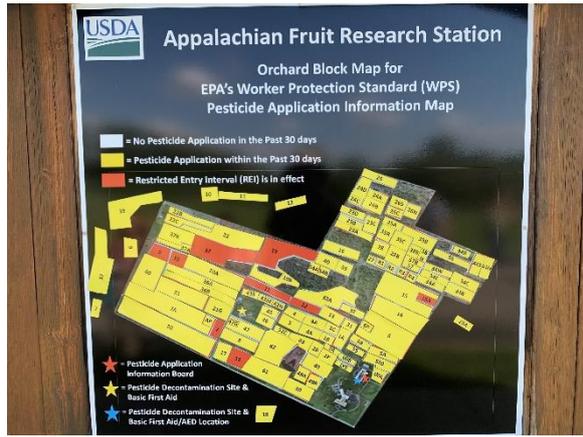


Dr. Andrew Bierer 介紹密閉罩法 (closed chamber method) 量測溫室氣



Dr. Andrea Kohler 介紹果樹構形相關基因在楊樹進行的功能性研究

體



AFRS 於果園入口放置分區噴藥情形圖

AFRS 保留各種不同構形的桃樹