

出國報告（出國類別：研究）

# 臺美雙邊合作 - 農業重要害蟲防治新 技術的開發與應用

服務機關：農業部農業試驗所

姓名職稱：許北辰副研究員、江明耀助理研究員

派赴國家：美國（美國農業部 Parlier 科學中心）

出國期間：113 年 4 月 26 日至 113 年 5 月 6 日

報告日期：113 年 7 月 2 日

## 目錄

摘要.....	3
目的：.....	4
前言.....	4
行程摘要.....	6
過程（重要研習行程）.....	8
心得及建議.....	11
附錄.....	12

## 摘要

害蟲防治技術在農業中至關重要，有效控制害蟲的繁殖和擴散，不僅能提高作物的產量和質量，還能降低病害傳播的風險，從而保證農民的經濟收益和消費者的食品安全。

這次前往美國農部深入了解最新的害蟲防治技術，特別是聲波偵測干擾技術和性費洛蒙研發等新穎性防治技術與思維，希望減少使用化學物質，降低對環境的污染和對非目標生物的影響。建議可將這些知識引入並應用於臺灣的農業害蟲防治中，建立物理防治的新面向以及防治方法，並透過製劑製程技術提升費洛蒙防治技術的應用效率，後續可建立相關昆蟲的聲紋資料庫，以及導入費洛蒙製劑的化學製程更新思維，並且傳承這些分析技術及方法，以及延續臺美夥伴的合作關係。

**關鍵字：**物理防治技術、性費洛蒙、溝通訊號

## 目的：

研習最新物理防治技術和防治思維，包含昆蟲溝通訊號之監測技術，以及昆蟲性費洛蒙之製劑調和與製程技術，期望引入這些技術，提供我國新興的害蟲防治方案，從而更有效地保護作物，提高農業生產效益。

## 前言

### 拜訪機關及當地特色作物簡介

美國農業部 Parlier 農業科學中心位於加州聖華金谷 (San Joaquin Valley) 的弗雷斯諾縣 (Fresno County, 佛市) 帕利爾市 (Parlier)，氣候為夏乾冬雨溫帶地中海型氣候，全年氣候主要分為濕熱的雨季，與乾爽的旱季。區域大宗作物主要為柑橘、葡萄，還有其他水果如杏桃、水蜜桃、油桃和草莓以及堅果類的杏仁、開心果及腰果等。

柑橘和葡萄的產量佔了當地農業生產的一大部分，其中柑橘產量在全美佔據重要地位，柑橘主要為以網罩控制授粉之無子柑橘栽培系統，柑橘無果籽，肉質細嫩。而葡萄產量佔美國九成以上，風味濃郁，不僅供應鮮食市場，還是釀製高品質葡萄酒的重要原料。這兩種水果的產量和品質直接影響了加州農業的經濟效益，對當地產業有相當的貢獻及重要性。

### 害蟲防治技術的重要性：

病蟲害防治為農作物栽植過程的重要環節。半翅目 (Hemiptera) 家族的昆蟲，如蚜蟲、粉蝨、木蝨、葉蟬等，為柑橘跟葡萄的重要病蟲害。其中特定的種類為媒介昆蟲 (Vector insects)，可攜帶細菌或病毒，造成嚴重的作物病害問題，例如柑橘黃龍病，和葡萄皮爾斯病。而致病病原的傳播過程，與媒介昆蟲的族群數量相關，這些重要的傳播作物病害的昆蟲，被視為關鍵害蟲。控制這些關鍵害蟲的族群密度，將直接影響病害擴散速度與傳播效率。從而提高果品品質，提升產量。

害蟲防治手段，常見為化學防治、生物防治、物理防治和農業防治等。化學防治是利用化學農藥來殺滅害蟲，是目前最普遍使用的方法，長期大量使用容易產生抗藥性問題，並有農藥殘留及對生態環境破壞較大等缺點。

非農藥化學的防治技術具有多項優勢，包括：減少環境污染風險，保護生態系統、降低對非目標生物的傷害，降低害蟲抗藥性的風險。其中，物理性防治技術的優點包括：環保、無化學農藥殘留污染，對人體健康無害，且適用於有機農業，符合永續農業發展的理念。

## 昆蟲溝通訊號類型，及對農業害蟲防治的重要性

昆蟲的生物訊號的傳遞有物理傳遞和化學傳遞兩大類。物理傳遞例如透過視覺即顏色，或是聽覺或觸覺，即聲音或振動；而化學傳遞在昆蟲綱中主要以各種費洛蒙訊號的傳遞為主。

害蟲族群增長繁殖需要一連串的生物學行為，例如種間辨識，族群聚集，雌雄辨識、媒合、交尾等步驟，為一連串繁雜的訊號溝通過程。而干擾昆蟲的溝通訊號可以有效干擾它們的生物行為，例如交配、聚集、取食等，從而達到干擾害蟲行為及控制害蟲族群增長的目的。昆蟲在交配過程中依賴各種溝通訊號，包括化學費洛蒙、聲音和振動信號等。這些信號負責確認物種、吸引異性、和性別辨識、以及促進交配行為。如果我們通過技術手段干擾或模仿這些訊號，就可以打亂昆蟲的正常交配流程，導致繁殖失敗或顯著降低繁殖率。因此，了解並干擾這些關鍵的傳遞機制，可以為病害和害蟲的防治技術提供重要策略。

**物理性聲波干擾偵測技術**在美洲和非洲均有廣泛研究。研究報告指出，利用聲波干擾技術防治害蟲是一種高效且節約經費的方式。這種技術不依賴化學物質，從而減少了環境污染和對非目標生物的影響，並降低了農民對化學農藥的依賴。

**費洛蒙害蟲防治技術**歷史悠久，臺灣在 70 年代開始針對重要害蟲性費洛蒙進行相關研究，成功開發數種誘引劑，提供作為監測及防治使用，目前在臺灣廣泛應用於農業害蟲的密度監測，特別是蛾類害蟲。然而，製劑的配方、佐劑應用、製程及載體特性等因素均會影響費洛蒙的專一性、誘引效果、儲放時間、化學分子釋放效率以及耐候性等，這些特性都對其商業化應用有重大的影響。

**物理及化學訊號傳遞**，為昆蟲族群溝通的重要過程及因子，鑒於以上，本次參訪美國農業部 Parlier 中心，即為學習該中心的兩種昆蟲重要防治技術，包含振波監測技術（物理訊號傳遞），以及費洛蒙製劑技術（化學訊號傳遞），希望能為臺灣的農業關鍵害蟲，提供重要的新穎性防治技術研發參考。

## 行程摘要

### 行程及工作內容（當地時間）

#### 4月27-28日（六、日）

- 抵達舊金山並轉機至 Fresno。
- 拜訪 Dr. Krugner，由 Dr. Krugner 介紹美國農部 USDA Parlier 農業科學中心外圍環境，並確認本次行程規劃內容。
- 導覽 Fresno 當地重要作物生產環境，觀察及調查田間害蟲及天敵蟲相。
- 參觀 USDA Parlier 農業科學中心外圍試驗設施及 USDA 與加州大學之合作試驗設施場域，以及當地鄰近花市、園藝商、生鮮超市，了解當地重要作物、特色蔬果、食用昆蟲，以及天敵昆蟲的商品化販售情形。

#### 4月29日（一）

- 美國農部 San Joaquin Valley Agricultural Sciences Center 病蟲害研究室以及化學試驗部門之成員介紹。拜訪 Dr. Krugner 和 Dr. Xiao。
- 進行實驗室安全規範介紹，通過實驗室安全規範檢定後進行實驗室參觀及參與試驗操作。
- 參觀 USDA 病蟲害防治研究中心的植物溫室，以及各項對應研究目標昆蟲，如害蟲及天敵昆蟲等的養殖環境，參與害蟲大量飼養作業流程。
- 參與化學分子分析工作，及導覽化學氣味分析研究室等。
- 參與斑翅果蠅化學誘引氣味選擇性試驗，及粉介殼蟲性費洛蒙誘引室內試驗操作。
- 參與並研習雷射振動儀之振動偵測及長時間監測試驗，共同協助訊號干擾排除、穩定訊號連接線路等試驗作業。

#### 4月30日（二）

- 參與聲音訊號輸出時的雜訊排除工程作業。
- 參與多節點間，音訊訊號的繞射及諧振波排除，校正工作。
- 研習聲音資料庫的自動化操作，如檔案前處理及格式化輸出的後處理作業。
- 參訪 Dr. Bruks 研究室，研習 Navel Orange worm(臍橙蛾) IPM 管理技術，包含清園、密度監測、交尾干擾、不孕性防治技術與適時收穫策略等。
- 參與不孕性防治及評估、性費洛蒙監測、害蟲自動監測等議題討論會及臍橙蛾不孕性防治田間試驗調查作業。

### 5月1日(三)

- 參訪 Dr. Spencer 研究室，研習高靈敏度化學分子檢測儀器操作及昆蟲揮發性化學物質收集純化技術。
- 參觀試驗昆蟲飼育環境溫溼度控制設備等重要設備儀器導覽。
- 參與植株間振動傳遞試驗，以及檢測株間特定峰值訊號。
- 研習音訊資料庫處理步驟，含自動檔案排程處理及分類等。
- 研習音訊檔案時頻轉換與分離，及圖形繪製輸出。

### 5月2日(四)

- 聽取 Dr. Spencer 針對性費洛蒙化學製程簡報，並分享臺灣應用性費洛蒙進行重要害蟲監測及防治之作法。
- 參與性費洛蒙提取分析技術、性費洛蒙載體特性及檢疫燻蒸技術等主題之試驗操作。
- 進行訊號產生器應用於田間防治之相關田間試驗工作。
- 進行雷射震動儀應用於葡萄植株間聲波訊號傳遞試驗，訊號隔離試驗

### 5月3日(五)

- 研習作物株間訊號傳遞網路測試，以及傳送距離及訊號強度測試。
- 參觀聲音訊號試驗之 USDA 環境，以及田間蟲相調查
- 研習性費洛蒙固態製劑製程製作方法，以及佐劑調整技術。
- 參訪 Dr. Lindsey 之植物病毒研究室，研習植物病毒 PCR 檢測技術、微流體基因分析技術等。

### 5月4-6日(六、日、一)

- 進行 Fresno 境內如 Parlier, Fowler, Sanger, Clovis 等城市的重要作物如柑橘、杏仁、開心果等田間栽培管理作業導覽。含蟲害管理、灌溉、防寒措施等。
- 性費洛蒙、音訊回放防治技術之試驗場域參觀，參訪協力園藝資材行。
- 從 Parlier 啟程經 Fresno 轉機至 San Francisco 國際機場返回臺灣。

## 過程（重要研習行程）

### 雷射振動儀技術及操作簡介

雷射振動儀為精密光學儀器，透過一連串光學稜鏡轉換，及內部類比及數位訊號間的轉換，以光學將目標物振動轉換為光學位移，經時頻轉換為位移及加速度參數，紀錄為數位訊號，再轉換為聲音訊號，輸出至設備後端作進一步處理。整個訊號傳遞的過程，從機械端到電子端，最後輸出至數位設備，牽涉類比及數位訊號交換，需外部供電恆定且與外界電氣干擾隔絕。常見的問題為設備以類比訊號輸出至外部時，訊號丟失變形、相變，以及外部雜訊干擾。因此從事人員常同時具備跨領域學術知識及設備操作經驗。

取得乾淨的訊號，為一項需要多次操作經驗且耗時的工作。這類問題排除程序，工業界稱為校正 Calibration，意即讓設備正確運作的校正流程。在眾多日常作業的一環。本次遇到最多除錯便是訊號共接地(ground)對設備造成雜訊，因此排除錯誤(debug)與問題解決(trouble shooting)的過程中便包含金屬與非金屬等絕緣體，而干擾也可能是因為各線路材質純度所導致差異。

### 多重訊號發生及特定點訊號接收校準

本試驗旨在測試多個點發生訊號後，經由揚聲器產生相同能量的震動訊號，最終於中央接收點是否可讀取到完全相同的訊號強度。希望確定多重訊號發生後，能在特定點由雷射儀器接收，並校準為標準訊號，以作為未來數據標準。

試驗過程中遇到的主要問題是目標偵測點位偵測到的訊號存在浮動和飄移現象。起初懷疑此為訊號干擾所致，後發現可能為共振現象，導致訊號協波(harmonic)，造成訊號強度以對數方式斜坡遞減，最後造成波型圖(waveform)上的分貝數據(decibel graph)上產生肉眼可視的訊號衰減。

為解決此問題，對樹枝進行修剪，使其長度符合目標震波的諧振頻率，並移除接觸地面與箱體的部分，以及與震動器接觸的樹葉。經過多次試驗，最終獲得較一致的測試訊號強度。

### 田間作物株間的訊號傳遞與接收測試

此試驗為測試振波訊號發射後，透過地下埋設網路，在不同地質，以及大型木本作物組織間的訊號傳遞效率。野外試驗涉及田野實際情況，植株間情況複雜，流程繁複，因此試驗環境設定即佔用較多時間。此試驗早些年即開始開始進行跨單位間的資源互助及技術交流；而之所以要先埋設網路，原因為若在作物成長後才鋪設，可能會破壞土壤結構及根系，造成潛在的病害感染問題。

## 聲音資料庫前處理以及後處理

**雷射振動儀**為單純的訊號測量設備，雖然已內建嵌入式作業系統(Embedded)，但以檔案輸出來說，即便是數位輸出為數位檔案，對於檔案的數位管理並沒有太多著墨。在 ARS 研究室中，他們建立一套流水作業流程，透過時間序列，先做檔案名稱及日期的第一次校對，再建立為 csv 文字清單，來描述如試驗次數、批號、目的，訊號來源等註解資料，以利於下一個聲音軟體銜接時取得對應資訊。再利用如 R code 或 Python 等軟體提取檔案中的聲音訊號，依照如音訊強度或頻率進行時頻轉換，並加上可人為控制之視覺化顏色如紅黃漸層色，最後排列為可對應發表格式所需之樣式。未來也將嘗試以單片電腦(Mono-Chip Computers)從外部協助訊號的自動化處理，

## 農業害蟲的大量飼養作業及環境

USDA Parlier 農業科學中心在害蟲大量養殖技術中，已建立標準化流程，在操作環節上設計有完善且明瞭的制度，以及管理方法，**可確保飼養流程的精確性，和研究的可重複性**。嚴格要求遵守步驟流程，如溫度、濕度和光週期的環境設置，使用妥善處理的飼料和飼養設備，以防止交叉污染。大量飼養作業流程涵蓋了害蟲卵的收集與孵化、幼蟲的分階段飼養、成蟲的交配與產卵，以及定期清潔和消毒飼養設備，以維持高質量的試驗昆蟲。

## 柑橘蛾類 IPM 防治技術及果蠅及粉介殼蟲誘引技術

蛾類的 IPM (綜合病蟲害管理) 防治技術包括一系列綜合措施，如**清園、密度監測、交尾干擾、不孕性防治技術**與適時收穫策略。這些措施還包括**性費洛蒙監測和害蟲自動監測系統**，通過這些技術的協同作用，有效降低害蟲密度，保護作物健康，提高柑橘的產量和品質。

**果蠅誘引技術**利用分析鑑定自天然果實氣味成分，以合成化合物，模擬水果的氣味，吸引果蠅到捕捉裝置。**粉介殼蟲性費洛蒙誘引技術**則利用合成的**性費洛蒙模擬雌蟲發出的化學訊號**，精確誘捕雄蟲或大量釋放干擾標的害蟲的交尾行為。這些技術不僅環保且有效降低農藥使用量，有助於保護生態環境和提升農業生產效益。

## 長碳鏈分子分析技術及揮發控制技術

化學分析研究室配備包括高效液相層析儀(HPLC)、氣相色層分析儀(GC)、串聯質譜儀(MS-MS)、核磁共振(NMR)以及紅外光光譜儀(FTIR)。可提供**高靈敏度**和

高解析度的分子分析，快速精確地鑑定和定量化學物質。此外，**自動化樣品處理系統**和先進的**數據分析軟體**大幅提升實驗效率和數據準確性，可支持多樣且跨領域的研究需求。

氣體揮發性分子，如**長碳鏈分子的化學產品**，在揮發過程中具有較低的蒸氣壓和較高的穩定性，這些化學特性使其在環境中可持續釋放活性成分。研究部門許多先進設備和技術，如高靈敏度化學檢測儀器，能精確監測揮發速度和成分；**合成技術經驗**可協助調整適當的分子官能基結構；**溫溼度控制設備**，確保且模擬出各種野外田間環境條件，測試揮發特性。這些技術和設備提高了長碳鏈分子化學成分應用於費洛蒙製劑的開發效率和提升誘引效力及安定性。

### 長碳鏈分子提取分析、釋放、佐劑調整技術

長碳鏈分子的**提取分析技術**與載體控制型釋放技術是化學和材料科學領域的重要研究方向。其中，提取分析技術方面，透過高分子吸附材料進行長碳鏈分子的提取方法，提高提取效率和純度，並確保試驗分析材料充足供應，以利重複試驗與驗證試驗結果。

載體控制型**釋放技術**方面，研究人員正在探索各種可控制釋放的載體材料，如特殊膠體、微球載體，或奈米材料，以溫和釋放和持續性釋放特定目標分子。

佐劑**調整技術**方面，有許多待開發製程領域。例如提高長碳鏈分子的產量和純度；開發更為經濟和環保的佐劑，以改善其溶解性、穩定性和釋放性能，此有助於未來應用在醫藥和農業等新領域，擴大應用範圍和市場前景。

### 檢疫燻蒸技術開發

檢疫燻蒸技術開發方面，透過不同大小規格的壓力調控設備進行**燻蒸劑成分及燻蒸條件測試**，在確保農產品品質的前提下，達到殺滅檢疫害蟲或病原體的目的，從而建立檢疫處理規範。

### 邀請領域學者參與農試所主辦之 2025 國際研討會

邀請相關重要試驗研究人員，參與本機關主辦之 2025 年國際研討會，其中 蟲害防治部門主管 Krugner 博士、病害防治部門研究人員 Lindsey 及 Chen 博士，以及化學部門主管 Xiao 博士等，已經暫定將**出席研討會**，並擔任**講者及專題主持人**等，並將參與會後技術試驗及研究討論活動。

## 心得及建議

**雷射訊號偵測技術**為重要的物理訊號偵測方法，雖然已經廣泛應用於工業上之振動偵測，但在生物領域特別是**害蟲防治技術**上，為一個具有發展潛能的新興領域。此為 2023 年臺美雙邊討論會議的未來合作研究項目之一，臺美雙方將以葡萄皮爾斯病的各自媒介昆蟲為研究目標，進行合作研究及未來田間應用之測試。農業試驗所透過 2023-2024 年的交流，已在 2025 年編列雷射振動儀之設備預算，希望以此作為關鍵害蟲之溝通訊號監測利器，作為技術基礎以開發干擾害蟲交尾之物理防治技術。

**性費洛蒙防治技術**，當前已經廣泛應用在農業害蟲防治，但其技術發展仍有巨大潛力。雖然性費洛蒙在誘捕和干擾害蟲交配方面已取得成效，但在儲放及釋放效率方面，仍有值得開發之處。此次交流內容包括配方設計以及釋放速率模型等，可作為我國未來防治秋行軍蟲及粉介殼蟲等重要害蟲之性費洛蒙防治技術的重要參考方向，例如使用非液態之配方，以及耐環境高溫之長效型釋放配方等，可大幅提徵未來性費洛蒙製程技術，並且做為區域防治策略之改進方向。

**購置成本及設備導入方面**：雷射振動儀的購置及性費洛蒙的製程開發設備等，除了成本較高，設備相對複雜，相關儀器操作分析與數據分析都需要一定學習時間，對研究人員的培訓需求較高。建議未來可培養重點研究人員，並透過回國之見習研究人員，成立訓練課程，傳承儀器設備在農業害蟲防治技術的應用，達到機關單位間技術擴散應用之目的。

**美國**在航太及**電子產業**發展歷史悠久，而**臺灣**在電子技術發展亦歷史久遠，眾多專業院校培養許多技術人才，也促成許多行業發展，如電子零件商、音響器材設備、視訊監測儀器設備業等；因此在臺灣取得零件材料更加方便，也容易尋求協力廠商的技術援助，可省下大量尋覓時間和經濟成本，為試驗和研究提供了絕佳的環境和條件。

**化學工業**方面，**美方**受到過去化學製藥及軍火工業的產業鏈影響，具有深厚的人才培訓經驗，對其在藥劑製程及佐劑開發上有著相當的優勢，助於開發化合物分子的揮發和緩釋型劑型。而**臺灣**在化工產業亦有產學配合，在化學分子前驅物的生產、生物科技和醫學設備等皆有人才培訓，技術實力堅強。未來若可借鑑美方的佐劑開發經驗，並通過見習交流來提升自身的研發能量，相信可在農業害蟲防治等領域取得突破。

## 附錄

圖1、當地柑橘之紗網套袋無子栽種技術



圖2、我方 Pei-Chen Hsu 與 Rodrigo Krugner, Jessica 操作雷射振動儀器的作業環境及試驗情況



圖3、多點訊號回饋偵測試驗，環境設定，以及樹枝擺放，光源設置。

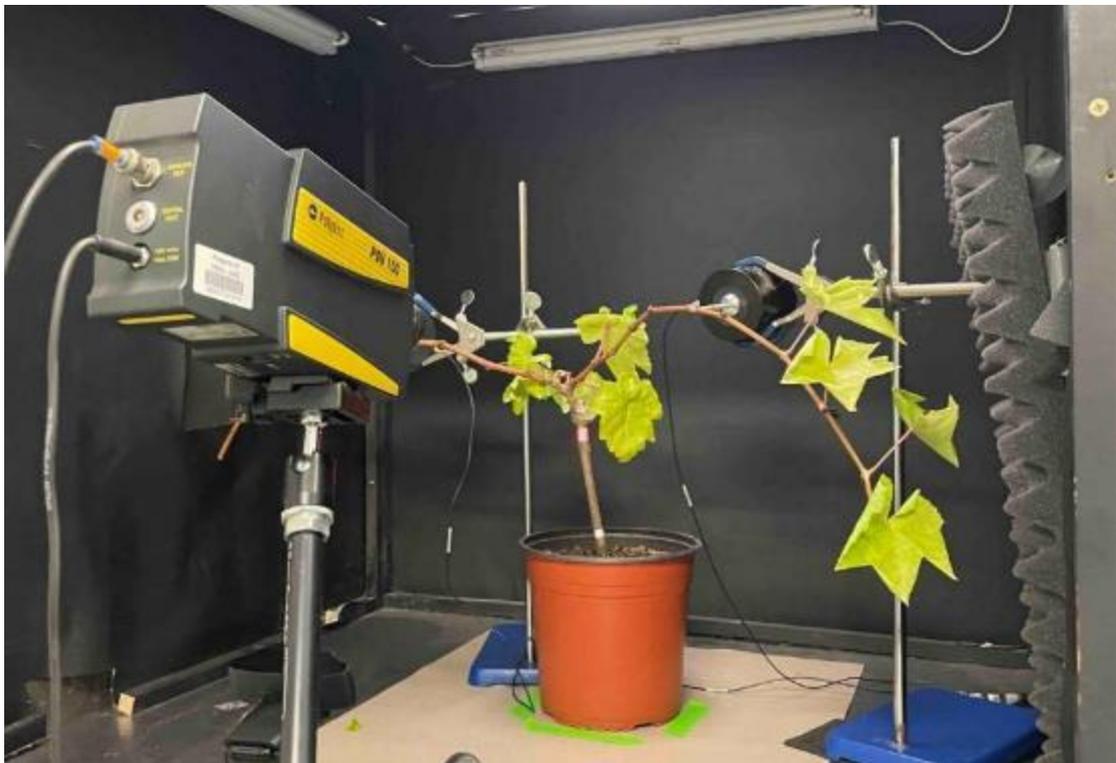


圖4、雷射振動儀器的田野試驗設置環境



圖5、訊號偵測點的特殊貼面釘



圖6、科學中心中田間訊號試驗之環境遠景以及葡萄之栽培環境



圖7、自動檔案設定清單畫面，以及工作場域設置環境

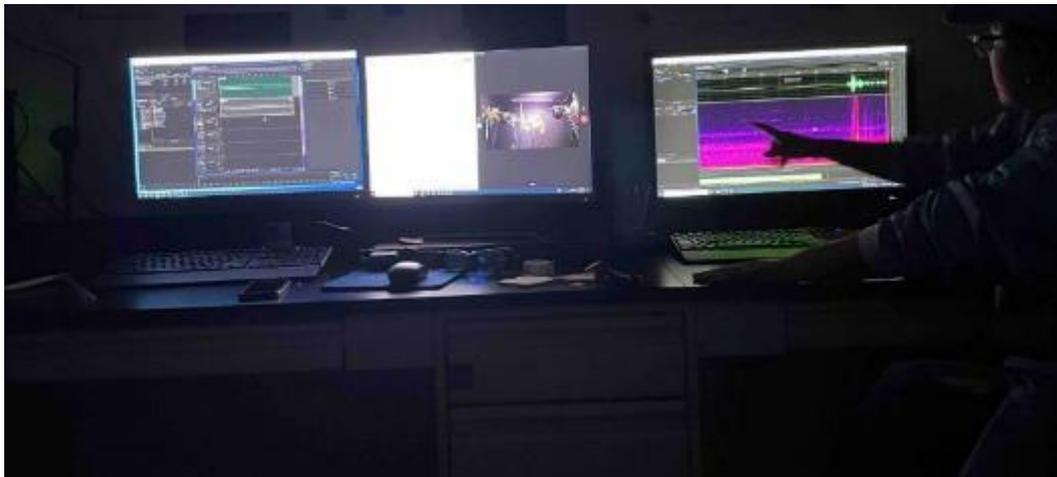


圖8、昆蟲養殖環境，以及植株單株操作設備



圖9、美方人員 Spencer 介紹昆蟲養殖及性費洛蒙誘引技術



圖10、科學中心化學部門主管 Spencer 介紹試驗環境及揮發性化學成分分析設備



圖11、介殼蟲性費洛蒙誘引劑田間應用情形



圖12、費洛蒙長效釋放技術之測試設備機台

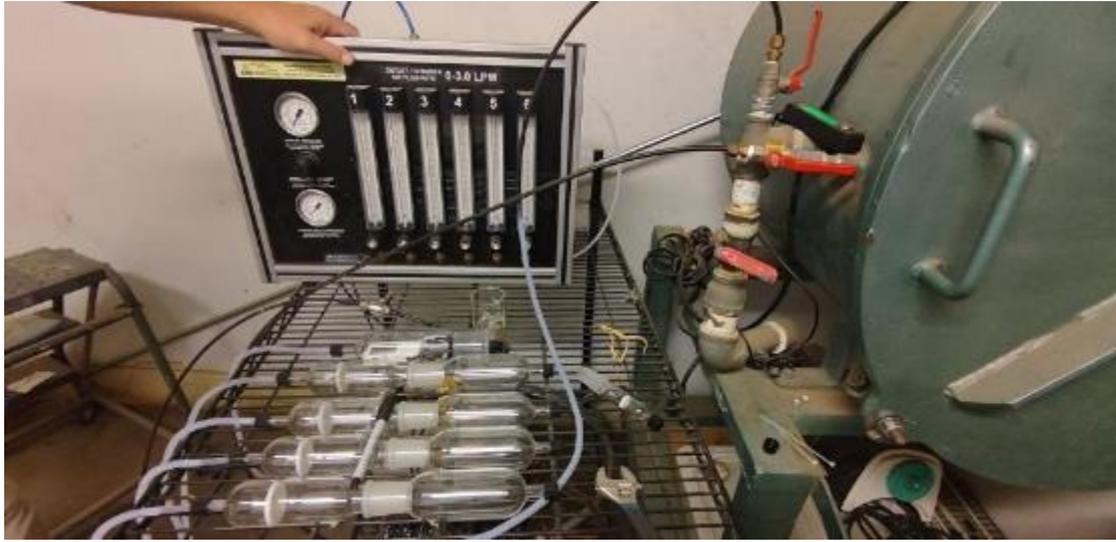


圖13、用於檢疫熏蒸技術開發之控制設備機台



圖14、我方人員 Peichen Hsu, Mingyao Chiang 與 Spencer Walse 等合影

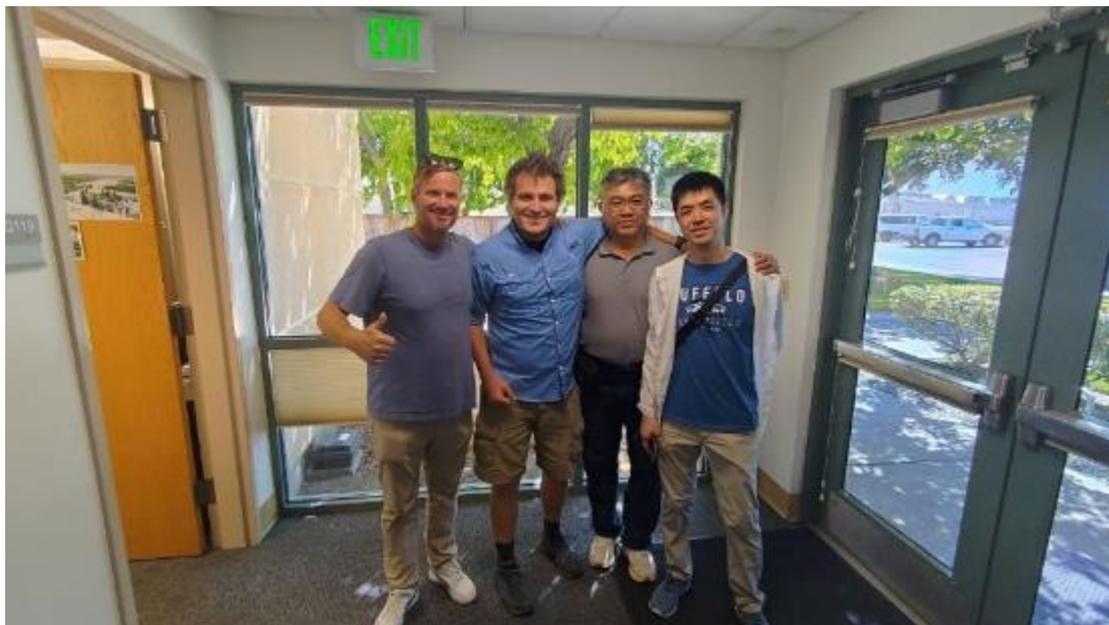


圖15、Mingyao Chiang 與 Rodrigo Krugner, Steve 於科學中心中央廣場之落成紀念碑合照

