

出國報告（出國類別：研究）

臺美雙邊合作-人工智慧在防檢疫處理之應用研究(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、國立臺灣大學生物機電工程學系

姓名職稱：黃毓斌副研究員、張淑貞副研究員、江昭皚特聘教授

派赴國家：美國夏威夷州 (USDA-ARS Daniel K. Inouye U.S.
Pacific Basin Agricultural Research Center)

出國期間：113年6月15日至113年6月25日

報告日期：113年8月28日

內容

摘要.....	3
目的：.....	4
前言.....	4
行程摘要.....	7
過程（重要研習行程）.....	8
心得及建議.....	16

摘要

本次前往美國農部夏威夷太平洋盆地農業研究中心(PBARC)，主要學習的害蟲研究技術，包括應用電腦模擬害蟲田間族群消長技術、實蠅類害蟲管理技術、諧波雷達追蹤害蟲技術、外銷鳳梨的新型燻蒸劑應用技術、蟲害整合管理(IPM)以及微生物防治技術。交流議題包括地中海果實蠅的入侵防治、陷阱網路模型、雄性滅絕技術、果實蠅與椰子犀牛甲蟲的諧波雷達追蹤、外銷鳳梨的新型燻蒸劑與物聯網管控運輸過程環控條件、咖啡果小蠹蟲的綜合防治策略、夏威夷豆害蟲綜合管理、害蟲腸道微生物群與其影響害蟲環境適應力研究。具體內容含應用這些技術進行更精確的監測和控制，以及新技術對害蟲管理的影響。據此，未來研究建議加強電腦模擬技術的研究、引進輕量化諧波雷達偵測技術，深入了解不同害蟲的行為特性，以期提高害蟲監測與防治精度，並探索降低陷阱密度對害蟲監測的效能；研究咖啡果小蠹蟲的綜合防治及數位服務平台系統；進行害蟲腸道微生物群研究，探索微生物與害蟲適應性之關聯，發展新的生物防治方法；有害生物檢疫處理技術如新型燻蒸劑之應用開發；人工智慧與物聯網導入研究，強化農產品移動與後續產品安全，降低防檢疫風險。本次研習台美雙方各自提升當地蟲害整合管理策略、生物防治技術及人工智慧與物聯網應用之精進與技術交流，未來將可延續臺美農業技術合作關係。

關鍵字： 模擬技術、檢疫處理、人工智慧、物聯網

目的：

研習最新果實蠅研究和防治思維，包含監測工具及模擬技術，引進檢疫處理技術，導入先進物聯網及人工智慧之應用，技術交流蟲害整合管理策略，提供我國新興的害蟲防治方法及決策，從而有效率保護農產品損失，提高我國農業生產產量與提升品質。

前言

拜訪機構及當地特色作物簡介

夏威夷氣候的屬熱帶海洋性氣候，四季如春，年平均溫度約 24~28°C。由於受到海洋影響，夏威夷的氣溫相對穩定，且降雨集中在冬季，夏季較為乾燥，主要農作物為熱帶果樹如鳳梨、木瓜、咖啡.....等經濟作物。

本次參訪機構為美國農部太平洋盆地農業研究中心(Daniel K. Inouye U.S. Pacific Basin Agricultural Research Center)，此機構有三個研究部門 (1)熱帶作物及其產品保護研究 (Tropical Crop and Commodity Protection Research)(2) Tropical Plant Genetic Resources and Disease Research (3)Tropical Pest Genetics and Molecular Biology Research Unit。本次行程主要參訪熱帶作物及其產品保護研究部門，研究人員含博士後計有 33 人，部門主要任務為開發採前與採後處理及入侵有害生物蟲害管理策略，作為准許市場開放與風險評估，藉此提高當地熱帶水果、蔬菜及其他觀賞植物的產量與品質，目前由 Dr. Manoukis, Nicholas 領導該部門，為本次參訪的主要聯絡管道，Dr. Liang, Peishih 則為此次安排所有研習事宜窗口。

出發前研習資料之準備：

檢疫處理技術：由於國際貿易全球化，農產品輸入輸出極為頻繁，對農產品有害生物進行防檢疫處理的研究與應用愈重視，每個國家希望擴展農產品外銷市場，亦為防堵重要檢疫有害生物傳播與蔓延。現有檢疫處理技術之研發方向主要有(1)燻蒸處理：目前於港口檢疫滅蟲處理，使用最多的仍為溴化甲烷(methyl bromide)，惟該藥劑會對大氣層造成不良影響，全球貿易協定在 2005 年後已被限制使用範圍，目前檢疫上尚未尋找出有效的替代藥劑時，仍可使用。然可行的替代方案，如以磷化氫(phosphine)、甲酸乙酯(ethyl formate)、乙醛(acetaldehyde)等藥劑取代或配合少量溴化甲烷使用。(2)溫度逆境處理熱處理如熱水浸泡、蒸熱、或熱風處理已廣範應用於殺蟲處理，應用簡便，且無藥劑殘毒問題，惟缺點則可能對農產品造成損傷且設備昂貴。低溫處理已被廣範應用於果實蠅的檢疫處理上，通常條件為 0~1°C 10 天以上，由於溫度要求嚴苛且時間長，容易對農產品造成傷害，尤其熱帶蔬果，許多水果類都對低溫敏感，常有寒害損害發生。(3)輻射處理：應用於檢疫理具有相當潛力，劑量在 1.8~2.4K Gy 之間可殺死標的害蟲或使其不孕，部分水果的輻射檢疫條件已(2)是在否符合我國農產品食品安全規範及消費者的可接受性等。來美研習之前，本

所研究人員已完成東方果實蠅及瓜實蠅在低溫下忍受性試驗資料，將與美方專家交換心得。

一、訪美前研究中心資深研究員 Dr. Peter Follett 提供了最近發表演講的 webinar:

YouTube link for the recording: [Comprehensive Generic Doses for Phytosanitary Irradiation | PsIP Webinar \(youtube.com\).](https://www.youtube.com/watch?v=exZZeKCr6uQ)
<https://www.youtube.com/watch?v=exZZeKCr6uQ>

主要研究方向有:

1. 擴大夏威夷甘藷的生產與出口: 對甘藷進行 150 Gy 的高劑量輻照處理。
2. 制定夏威夷芒果出口程序: 用 300 Gy 的最小吸收劑量來控制芒果籽象甲蟲。
3. 推廣通用照射治療以保護美國農業: 2003 年，建議對所有實蠅類採取 150 Gy 的植物檢疫劑量，對所有昆蟲（鱗翅目昆蟲的蛹和成蟲除外）採取 400 Gy 的植物檢疫劑量。最近，印度、泰國、越南和墨西哥開始使用通用輻照處理 (400 Gy) 向美國出口水果。
4. 幾種熱帶水果品質處理效果: 從夏威夷出口的紅毛丹、龍眼和荔枝作物 100% 採用了輻照處理。
5. 確保白桃介殼蟲(peach scale)入侵後夏威夷木瓜的持續出口: 木瓜蒸熱和輻照檢疫處理可以控制果實蠅，也可以防除介殼蟲。利用寄生蜂雙葉小恩卡氏菌 (*Encarsia diaspidicola*) 來幫助減少 peach scale 之田間族群數量及降低檢疫風險。
6. 生物防治的非目標效應評估: 針對夏威夷南部綠椿像天敵的研究在與 T. Johnson 合作計畫中，指出引入的寄生蜂和多面性捕食者螞蟻、蜘蛛可能比引入的生物防治對本土族群產生更大的影響。
7. 以 Probit 9 風險基礎替代方案，維護出口安全: 對於小於機率 9 的檢疫安全方法適用於較少受侵染或寄主差的園藝商品中的檢疫害蟲，因此，可以透過使用以下方法測試 10,000 隻或更少的昆蟲來產生檢疫處理的數據：與 93,613 隻昆蟲相比，沒有倖存者，以證明傳統的 probit 9 功效（死亡率為 99.9968%）。基於風險的替代防治方法應用於很少受感染或寄主的害蟲將減少開發檢疫處理所需的測試昆蟲的數量，節省時間和資源，並幫助農民更及時地出口作物。Dr. Peter Follett 博士已將此方法應用於隱蠅屬 (*Cryptophlebia*)，這是一種很少侵染夏威夷荔枝和龍眼的檢疫害蟲，APHIS 在對大約 11,000 種昆蟲進行測試後，接受了此項數據，顯示熱和輻射檢疫處理對隱蠅屬的有效性。
8. 評估果實蠅園藝作物非寄主狀態的改良方法: 美國要求果實蠅等高風險害蟲的檢疫處理在 95% 的信賴水準下達到 99.9968%（機率 9）的死亡率。為了在 95% 的信賴水平下達到 99.9968%，必須測試至少 93,613 隻昆蟲，且無一倖存。其他國家則要求進行 99.99% 死亡率水準的檢測，即需要檢測

29,956 隻昆蟲。因此建議，在水果及蔬菜的實蠅類進行非寄主狀態測試時，應要求進行類似水平的寄主測試，以便證明其與採後處理的等效性。樣本量將取決於接觸水果的昆蟲數量或收集用於檢查昆蟲的水果數量。此建議已被納入美國農業部動植物檢疫署，目前正在確認果實蠅寄主狀態的標準。將樣本量和信賴度與效能一起納入寄主狀態測試方案中，將使管控決策者在解釋結果時更加一致，從而就寄主狀態做出技術上更合理的決策。

二、另外同一部門 Dr. Dong H. Cha 則提供一篇利用甲酸乙酯 (ethyl formate, EF) 試驗中於 8°C 下使用 70 (g/m³) EF 進行燻蒸 4 小時，鳳梨負載比(w/v)為 20%，可完全防除鳳梨介殼蟲，且對其品質無有明顯的負面影響。此部分已應用美國與韓國鳳梨進口檢疫上之基礎處理上。

三、與同行張淑貞副研究員準備我國果實蠅防治現況及研究室近期研究資料，與美方人員交流。

行程摘要

行程表

**Official Itinerary for
Dr. Yu-Bin Huang & Dr. Shu-Chen Chang
Taiwan Agricultural Research Institute
& Joe-Air Jiang (National Taiwan University)**

Date: 06/15/2024~06/25/2024

Location: Honolulu and Hilo, HI

Hosts: Dr. Nicholas Manoukis, Dr. Peter A. Follett,.

Instructors: Dr. Liang, Peishih and Dr. Dong Cha

Date	workshop schedule	City
15 th June (Sat.)	<ul style="list-style-type: none">● Depart Int. Taoyuan airport to Japan Tokyo International Airport (CI 104 12:40)● Depart International Tokyo Airport to Int. Honolulu airport (CI9552) 08:25	Honolulu
16 th June (Sun.)	<ul style="list-style-type: none">● Int. Honolulu airport to Kahului airport HA216 0930	Hilo
17 th June (Mon.)	<ul style="list-style-type: none">● Visit USDA-ARS, U.S. Pacific Basin Agricultural Research Center : Dr. Nicholas Manoukis, Dr. Peter A. Follett, Dr. Liang, Peishih, Dr. Dong Cha	
18 th June (Tue.)	<ul style="list-style-type: none">● IPM program & Quarantine treatment program<ul style="list-style-type: none">• Dr. Angelita Acebes-Doria, Dr. Melissa Anne Johnson	
19 th June (Wed.)	<ul style="list-style-type: none">● Quarantine treatment program<ul style="list-style-type: none">• Dr. Liang, Peishih● Visit University of Hawaii at Hilo	
20 th June (Thu.)	<ul style="list-style-type: none">● AI application in agriculture & IPM program<ul style="list-style-type: none">• Dr. Charles Mason, Dr. Matthew Siderhurst	
21 th June (Fri.)	<ul style="list-style-type: none">● Fruit fly Program & Quarantine treatment<ul style="list-style-type: none">• Dr. Dong Cha	
22 th June (Sat.)	<ul style="list-style-type: none">● Final discussion● Kahului airport to Int. Honolulu airport	Honolulu
23 th June (Sun.)	<ul style="list-style-type: none">● Visit pineapple field	
24-25 th June (Mon, Tue)	<ul style="list-style-type: none">● Depart Honolulu to Tokyo International Airport (CI 9551 1240)● Depart International Tokyo Airport to Int. Taoyuan airport (CI109)	

過程 (重要研習行程)

6月15-16日(六、日) - 抵達夏威夷檀香山後，隔日搭飛機到大島，進行相關研習活動。其中6/19為夏威夷州當地的節慶，農業研究中心沒有安排課程，但安排參訪夏威夷大學實驗農場，包括蜜蜂養殖農場、果園、牧場。

6月17日(一) - 座談及研習課程簡介: 與 Dr. Nicholas Manoukis, Dr. Peter A. Follett(on line), Dr. Liang, Peishih, Dr. Dong Cha 一同座談，討論這幾天研習的內容，以及未來潛在性合作項目，會中江昭皚教授以簡報報告了臺灣在物聯網及 AI 人工智慧的成果展現，尤其是利用物聯網天敵飼養自動化平台，很受大家的讚賞(如附件一)。張淑貞副研究員與黃毓斌副研究員也分享在國內研究成果與心得交流。會中 Dr. Nicholas 建議台美雙方持續進行實質合作計畫，由於 Dr. Nicholas 2024 年將奉派赴法國，與法國合作推動生物防治，2 年後再回夏威夷，積極尋求未來建立法國、美國與臺灣的學術研究合作計畫，目前此項合作構想仍持續保持電郵往來。

本次研究中心研習課程依性質分成三大面向

一、應用電腦模擬及實蠅類管理技術: 由 Dr. Nicholas Manoukis 分享其研究成果，目前的研究重點是實蠅類及其它威脅美國農業的害蟲的生態和行為。它由兩個部分組成：(1) 電腦建模與模擬，(2) 實地試驗，應用新穎的感測或電腦輔助方法，應用於害蟲監測及根除計畫，包括採用昆蟲不孕技術 (SIT) 及其它新興遺傳防治技術的計畫。

- 1. 研擬估計入侵地中海果實蠅(*Ceratitis capitata*)的滅絕時間:** 在已無法再偵測到地中海果實蠅 Medfly 後，隔離還要維持多久?目前，依靠傳統的確定性及積溫日模型來估計，根據過往積溫曲線，地中海果實蠅經過三代後需要多長時間，根據實地發現地點的不同，隔離可能會持續 9 個月或更長時間。他的研究開發了一種基於 Agent-Based Simulation (ABS)，可以在估計隔離長度時提高其特異性、真實性和統一的安全邊際。此模型在軟體 MED-FOES 中可以達到，並授權可供下載使用。
- 2. 陷阱網路模型的開發與參數化:** 基於利用誘引劑的誘捕網路是入侵害蟲偵測、害蟲防治及基礎研究計畫的重要部分。Nicholas 領導團隊開發了一個 landscale 及空間明確的陷阱物聯模型，重點是在監測，此模型結合了陷阱的動態誘引力及昆蟲擴散的運動模型。此模型透過進一步優化陷阱網路：(1)引入單一陷阱操作的存取且實際數學特徵，使其易於透過現場實驗進行參數化；(2)允許直接量化及陷阱網路之間的靈敏度。TrapGrid 是此模型的軟體實作。美國農業部動植物防疫檢疫署(USDA-APHIS) 使用 TrapGrid 為針對地中海果蠅的系統方法生成族群大小估計值，並為佛羅裡達州的陷阱密度決策提供相關資料，以及用於紐約州櫻桃果實蠅的風險分析。最近(USDA-APHIS) 廣泛使用 TrapGrid 來改善果實蠅及其它物種(包括蛾及甲蟲)的定界。基於此網路的實施是由國際原子能機構 (IAEA) 委託澳洲聯邦科學與工業研究組織

(CSIRO)的研究人員已對其進行了修改，做為大農場面向的害蟲族群流行情況偵測依據。這也使其成為很多國家正在進行核心資料的研究項目，提供給其它國家如以色列、模里西斯、澳大利亞、南非、阿根廷等參考。

3. **改進雄性滅絕技術:** 雄性滅絕技術 (Male Annihilation Technique, MAT) 是管理和消滅一些實蠅的關鍵技術。MAT 是世界各地利用強效雄性引誘劑及殺蟲劑的來誘殺大部分雄性，從而降低族群增長率，甚至消滅族群。一般的觀點是，施用密度 (每單位面積的點) 越高，對雄性的撲滅效果越高。Dr. Nicholas 設計一系列實地試驗，這些試驗結果指出，顯示東方果實蠅 (*Bactrocera dorsalis*) MAT 的最佳施用密度要比原先設定得低，約不到加州和世界其他地區目前使用的密度的一半。東方果實蠅的設置陷阱顯警密度研究，試驗顯示誘捕效果: 100 > 200 個(traps /km²)，Nick 正要測試瓜實蠅(*Zeugodacus cucurbitae*)的 trap 密度研究，目前建議 1600 traps/km²，數量還是太多了。較低密度的應用陷阱比較高密度的應用點更有效的發現是反直覺且出乎意料的，儘管它可以通過陷阱擾原理來解釋，該原理在文獻中已有數十年的歷史，但從未在上下文中考慮或測試過。這項工作的結果，美國農業部動植物防疫檢疫署已將其應用密度指南從 2023 年 1 月起修訂為先前建議值的一半，海外機構也是如此(例如，澳洲在馬來西亞的區域性計畫)。施用密度的降低將提高生物安全性，可節省較多材料的成本及入侵區域施用所需的勞動力，甚而減少與 MAT 中的引誘劑結合使用的殺蟲劑對環境的影響。以當初加州對於實蠅類的高偵測年份 (例如 2015 年)，這項變更預計將直接節省 38 萬美元。
4. **咖啡農業生態系及咖啡果小蠹害蟲的模型建置:** 夏威夷與波多黎各的咖啡種植者最近面臨著一種新的入侵性害蟲的挑戰，即咖啡果小蠹 (coffee berry borer, CBB, *Hypothenemus hampei*)，該害蟲於 2007 年在波多黎各及 2010 年在夏威夷島上首次報告。它的生活史在咖啡漿果中受到高度保護，不受控制措施的影響。每個攻擊的雌性可能會在一個咖啡漿果中產生許多後代，在單一咖啡豆中增加 1-2 代，然後出現數十個後代來攻擊更多的咖啡豆。2017 年至 2022 年，Dr. Nicholes 是 USDA-ARS 區域性 IPM 計畫的首席專家。他領導團隊建立一個綜合監測系統，該系統由感測器網路與 GIS 點位數據收集，並整合三個島嶼的四個咖啡種植區農場的地面資料收集。此監測計畫架構是透過以下方式進行研究、技術轉移及評估：(1)附近農場 IPM 變化作為比較的基準；(2)用於進行開發的模型參數化，以產生生態多樣化地點的 CBB 預測；(3)作為自然狀況下試驗，了解環境因素如何影響 CBB 族群動態。
5. **將寄生蜂 *Fopius arisanus* 引進到巴西:** 由於東方果實蠅複合種(complex spp.) 已入侵巴西，可能造成嚴重損害，引進果實蠅天敵 *Fopius arisanus* 的寄主特異性研究進入巴西，經飼養後於巴西北部釋放 *F. arisanus* 以防治楊桃果實蠅 (*Bactrocera carambolae*)
6. **量化實蠅類 tephritid 行為的新方法:**實蠅類在田間移動的方式及原因，以及它們對化學信息素的吸引力的信息行為表現。透過使用電腦視覺方法，利用行為檢測儀成功地研究了瓜實蠅 (*Zeugodacus cucurbitae*) 對誘餌的吸引時間。

二、蟲害整合性管理之應用技術

6月18日(二)與 Dr. Angelita Acebes-Doria 和 Dr. Melissa Anne Johnson 會面討論，6月20日(四)與 Dr. Charles Mason 和 Dr. Matthew Siderhurst 會面討論。

(一) Dr. Angelita 研究火山豆(Macadamia Nut)的蟲害防治，火山豆主要有2種害蟲，一種為蠹蟲(Macadamia nut borer)，另一種為蛾類。整合生物及生態資料，制定基於生態的、有效的、友善環境的農業害蟲管理策略。目前的研究重點是木本堅果之綜合害蟲管理，重點是為制定有效的監測及管理策略，並尋找多年生木本堅果系統中害蟲種群調節的長期可持續手段(例如生物防治、耕技術)。另外也進行了

1. 夏威夷蚜蟲(*Aphis gossypii*)的傳統生物防治：此蚜蟲經常入侵一個沒有天敵來調節其族群數量的新地區，傳統的生物防治涉及從害蟲的原生地引入天敵，以使害蟲與其天敵重新結合，但成功往往取決於對寄生蜂的生物學和生態學的了解。作為碩士論文研究的一部分，將一種寄生蜂 *Binodoxys communis* 引入夏威夷，對入侵性蚜蟲進行生物防治，並用進口黃蜂進行了寄主範圍測試。評估了現有寄生蜂物種及新引入的寄生蜂之間的超級寄生蜂的攻擊偏好。研究顯示共產雙歧桿菌只攻擊蚜蟲，而且由於夏威夷沒有本土蚜蟲物種，非目標效應應該很小。這種生物防治技術隨後在夏威夷釋放，以幫助防治棉蚜 (*Aphis gossypii*)，部分原因是這項研究的結果。對 *B. Communis* 進行田間釋放，結果顯示在田間有短期寄生蜂。這為夏威夷蔬菜及芋頭生產中的棉蚜蟲害綜合防治計畫提供了可持續的策略。在該領域開展的有關蚜蟲過度寄生的工作是最早研究超級寄生蜂對經典生物防治計劃的潛在影響的研究之一，有助於為後續和未來的生物防治研究計劃提供信息，以將過度寄生視為天敵建立的因素之一。

2. **Brown marmorated stink bug (*Halyomorpha halys* , BMSB)** 的傳播生態學來改善其管理:研究指出 BMSB 在不同時間點果實成熟過程中，若蟲和成蟲對蘋果及桃子的取食造成的傷害，並確定野生及寄主樹果對發育和存活的適宜性，顯示了混合寄主取食對 BMSB 發育和存活的重要性。開發一種新型 BMSB 陷阱來研究寄主樹上若蟲的向上及向下活動，並且是第一篇探討若蟲整個季節果園及林地界面活動並評估利用費洛蒙誘餌作為監測的材料。BMSB 具有高度雜食性，寄主植物超過 170 種，是大西洋中部地區最具破壞性的害蟲之一，尤其是果園作物。2010 年，大西洋中部的蘋果種植者，遭受 3,700 萬美元的損失，而核果種植者報告中作物損失超過 50%。對蘋果和桃子 BMSB 危害特徵之研究有助於提高種植者正確評估作物損失的能力。我的博士研究是關於寄主植物對 BMSB 發育、健康及整個季節活動的影響，提高了對 BMSB 的認識。種群動態的理解，並有助於制定空間和時間上精確的害蟲管理策略。我對基於陷阱的 BMSB 監測的完善研究促進了物候模型研究，並為美國 BMSB 入侵地區的 BMSB 監測和生物監測工作提供了實用操作技術。

3. 為山核桃制定了全面的 IPM 計畫

美國東南部種植的山核桃遭受多種害蟲嚴重的侵害，包括豚草甲蟲、蚜蟲、蟎蟲及象鼻蟲。山核桃中豚草物候學的開創性工作，完善豚草甲蟲監測技術，並評估各種管理策略，特別是針對新種植的果園。此工作促成了山核桃害蟲（包括豚草甲蟲和山核桃蚜蟲）管理的製定，這些建議透過推廣出版物和 My IPM 應用程式提供官方種植者建議。山核桃蚜蟲管理現在強調輪換具有多種作用方式的殺蚜材料，這些材料對山核桃蚜寄生蜂 *Aphelinus perpallidus* 無害，並減少抗性的產生。

(二) Dr. Matthew Siderhurst 簡報其研究項目：研究主要集中在昆蟲的化學和行為生態學上。這包括對害蟲的 semichemical 防治應用、昆蟲追蹤、活動參數化及建置模型、植物-昆蟲相互作用以及植物與昆蟲天然產物的鑑定與合成。目前的專案計畫包括使用諧波雷達追蹤 tephritid 果實蠅，合成多種潛在的昆蟲引誘劑，以及分析咖啡和茶中的揮發物。

1. Tephritid 果蠅的諧波雷達追蹤 (Harmonic Radar Tracking of Tephritid Fruit Flies)，已開發微小天線，可黏在果實蠅背上，每隻標上不同顏色(如指甲油)，一次放 20 隻，再以雷達偵測器偵測訊號，追蹤 5 分鐘，劃出風向、軌跡圖。由於果實蠅是世界上許多熱帶、亞熱帶及溫帶種植地區的主要園藝害蟲。若能確定果實蠅的活動分散參數，未來應用於提高監測及防治策略有效性的模型開發至關重要。Dr. Matthew 領導的團隊一直在追蹤危害各種葫蘆科的害蟲如 *B. tryoni*、*B. jarvisi* 及 *Zeugodacus cucurbitae*。它們開發了帶有超彈性鎳鈦合金線天線的諧波雷達標籤，此鎳鈦合金的優點是重量輕（有些標籤重量小於 350 μg ）、柔韌且不易纏結。在大型戶外田間網籠、木瓜田及寬闊的草地上進行了追蹤試驗。這些研究的數據指出，實蠅類的活動受到風，植被（草與樹木以及樹內或樹間）的影響，結果並顯示其方向與高度的持久性。這些研究中確定的飛行方向性與步距數據參數，這些參數模型未來有助於強化當前的監測、防治及根除方法，例如優化陷阱放置及殺蟲劑應用，確定實蠅類天敵的釋放地點，以及在入侵後檢疫邊界的陷阱設置。

2. 害蟲的無線電遙測追蹤：在野外追蹤單一害蟲既可以提高我們對昆蟲移動的理解（導致更好的控制方法），在某些情況下也可以直接用於防治策略。在與美國農業部 APHIS、關島大學及昆士蘭 DAF 的合作計劃中，使用無線電標籤來追蹤水果刺穿蛾椰子犀牛甲蟲（*Oryctes rhinoceros*, CRB）和斑點燈籠蠅（*Lycorma delicatula*, SLF）。對於 SLF，在野外季節期間跟蹤成蟲和四齡若蟲。觀察到單個 SLF 移動超過 400 m，雌性在第一次交配現場觀察和發現第一個新鮮卵塊後兩周之間移動的距離最長。在研究期間發現 SLF 在樹木的高度間會發生變化。通過 CRB，證明了追蹤技術可以用作控制程式的一部分。追蹤同種到隱藏或神秘的害蟲族群，已被用於控制大型動物。通過天線標籤小型化，將這種技術應用於大型昆蟲。Dr. Matthew 目前在關島的兩個地點進行追蹤試驗證明使用“猶大技術”的可行性，釋放帶有無線電標記的成蟲，可以發現神秘的繁殖地點，以防治潛在的椰子犀牛甲蟲。在被帶有無線電標記釋放的 33 隻的甲蟲中，有 19 隻被成功追

蹤到著陸點，其中 11 隻被認為是活躍或潛在的繁殖地，分佈在五個不同的 microhabitat 中。

(三) Dr. Melissa Anne Johnson:介紹了咖啡果小蠹蟲害整合管理

咖啡病蟲害管理之微生物防治工作，自 2011 年引入蟲生真菌白殭菌 *Beauveria bassiana*，防治咖啡果小蠹 *Hypothenemus hampei*，並輔以農藥防治。另由 Colombia 引入寄生蜂防治咖啡果小蠹。咖啡果小蠹 (CBB, *Hypothenemus hampei* Ferrari) 是全球最具破壞性的咖啡害蟲，每年造成超過 5 億美元的損失。CBB 於 2010 年首次在夏威夷被發現，並迅速蔓延到島上所有咖啡產區。2016 年，在夏威夷島的 14 個商業咖啡農場啟動了對這種害蟲的大範圍監測，收集有關咖啡樹物候、CBB 飛行活動、漿果侵染、白殭菌死亡率、管理實踐和天氣的信息。透過這項研究，我們已經實現了許多目標，以改善這種全球咖啡害蟲的 IPM，包括：(1) 制定 CBB 的科學監測方式，全世界的研究人員可以使用該技術來標準化數據收集並增強我們進行研究比較的能力，(2) 顯示野生、未管理和管理不善的咖啡在 CBB 侵染週期中的作用，(3) 此說明新季作物感染的 CBB 收穫後儲存庫，(4) 描述季節性物候和天氣影響的特徵 CBB 飛行活動的變量，(5) 將 CBB 侵染與咖啡樹物候學相關聯，並提供對管理實踐的成功組合的見解，(6) 自然田間條件下的 CBB 發育時間，以及(7) 測試新穎且可持續的 CBB 防治方法(例如，排除網、地被作物)。Dr. Dr. Melissa Anne Johnson 分享了幾篇文章的發表

Johnson, M.A., Manoukis, N. 2024. Coffee berry borer (Coleoptera: Scolytidae) population dynamics across Hawaii Island's diverse coffee-growing landscape: optimizing location-specific pesticide applications. *Journal of Economic Entomology*. <https://doi.org/10.1093/jee/toae061>.

Aristizabal, L., Johnson, M.A., Marino, Y., Bayman, P., Wright, M. 2023. Establishing an integrated pest management for coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in Hawaii and Puerto Rico: Achievement

(四) Charles Mason, charles.mason@usda.gov

果實蠅腸道菌相研究:主要研究為植食性昆蟲如何利用食物資源以及與其取食相關的障礙。許多取食可能含有有害的植物化學物質，或有巨大的營養挑戰。昆蟲如何利用取食資源的一方面是利用其腸道內的微生物群。正在進行的研究探索昆蟲-取食-微生物組不同方面的相互作用，目的是要確定微生物群可以改善植食性昆蟲適應性的機制，以及在一種良性微生物情況下如何影響取食有害中的病原體。研究團隊目前正以果實蠅為標的進行相關研究。

(1).微生物組介導植物對植食性昆蟲的防禦: 昆蟲會遇到不同類型的植物防禦，昆蟲取食系統中尚未充分研究的，一方面是腸道中天然存在的拮抗微生物的存在，以及它們如何成為機會性病原體。利用多食性秋行軍蟲(*Spodoptera frugiperda*)，建立無菌飼養技術來評估植物抗性如何促進病原體的出現。植物防禦為細菌病原體的入侵創造了途徑。對抗植物防禦和對弱病原體產生免疫反應的綜合壓力，使

昆蟲死亡率增加。然而，相互作用的強度取決於系統中存在的細菌，而某些細菌的作用更強。利用玉米探討這些相互作用，並擴展到番茄及大豆。並非所有微生物交互作用都是負面的，有些可能有助於消化具有挑戰性的飲食。不同的細菌分離株或補體對植食性昆蟲有獨特的影響。

(2)腸道微生物群落的特徵：

為了更了解昆蟲-微生物-植物的相互作用，對相關參與者的表徵至關重要。透過結合基於培養的微生物管理及下一代定序，建立指導未來研究及群落操縱所必需的基線資訊。與合作夥伴一起評估各種鱗翅目和鞘翅目物種相關的微生物群落。這些簡單的腸道微生物群落如何響應宿主環境而變化的重要趨勢。透過使用不同的鱗翅目物種，證明了取食在群落的結構和維護中起著關鍵作用。具體來說，當秋行軍蟲(*Spodoptera frugiperda*)、玉米穗蟲 (*Helicoverpa armigera*)和舞毒蛾 (*Lymantria dispar*)遇到不同的取食時，它們的群落會做出反應而改變。當我們比較亞洲長角天牛(*Xenolea asiatica*)生命週期中的群落時，發現成蟲和幼蟲之間存在不同的群落，反映了不同的生活方式和食物來源。我們目前的努力是了解驅動這種變化的潛在機制，以及食品化學和新的微生物入侵如何改變這些動態。

(3).測定植物對樹木害蟲的抗性：植物對昆蟲攻擊有動態反應，對攻擊物的防禦可能是生死攸關的。透過研究系統的結合，描述樹木針對甲蟲攻擊所採用的防禦成分和策略。正在進行的研究涉及不同植物化學物質的表徵以及它們在植物物種和基因型之間的差異，透過研究針葉樹和樹皮甲蟲，確定了多個化學基團如何表達以及如何相互關聯以及樹木的營養組成。我們也評估了徑向樹脂管特性如何整合到化學防禦反應中。評估樹木的防禦能力如何變化以及對入侵的亞洲長角甲蟲的不同生命階段產生不同的影響。亞洲天牛成蟲無法食用某些樹種，也無法產生後代。然而，成蟲不能食用的植物，幼蟲卻可以利用。這些模式與植物中有害毒素的位置有關，因此成蟲遇到的濃度很高，但幼蟲消耗的量很少。

(三)檢疫處裡技術與採後處理

6月21日(五)

(一) **Dr. Dong Ho Cha:** 主要專長係應用具功能的觸角、EPG、GC-MS，進行害蟲誘引劑的研究。研究室有3位博士後研究員協助開發應用技術。主要研究興趣是瞭解介導植物、植食性害蟲、天敵及最近的微生物之間物種相互作用的化學信息，其目標是研發使用 **semichemical** 來對抗害蟲。計畫工作中利用許多不同的研究工具，例如氣相層析法與電溫圖檢測 GC-EAD 及 GC 層析儀、風洞和其他行為實驗室生物測定法相結合，以及現場規模的實驗來實現這些目標。目前的重點是開發熱帶觀賞作物的害蟲管理和採收後檢疫處理的新方法，計畫中還與其他國際夥伴保持著廣泛的合作，開展基礎和應用研究專案，涉及樹木和小果害蟲的化學生態學。研究成果包含有：

(1)斑翅果蠅(*Drosophila suzuki*)引誘劑的開發與技術轉移(**Development and technology transfer of a spotted wing drosophila attractant**)

(2)蘋果果實蠅(*Rhagoletis pomonella*): 嗅覺介導的宿主種族形成和宿主種族特異性監測(Apple maggot fly: Olfactory mediated host-race formation and host-race specific monitoring)

(3)葡萄漿果蛾(*Eupoecilia ambiguella*)雌性引誘劑成分的鑑定 (Identification of female attractant for grape berry moth)

(4)一種新型引誘劑的蘋果蠹蛾(*Cydia pomonella*)誘殺系統 (Attract-and-kill system for codling moth using a novel attractant)

(5)開發一種針對入侵蠅類寄生於拉帕戈斯鳥類的微生物引誘劑 (Development of a microbial attractant for *Phiornis downsi*, a parasitic invasive fly on Galapagos birds)。

除此之外，Dr. Dong 正執行果實蠅雌性誘引配方之開發與開發新型替代燻蒸劑之研究，小型燻蒸設備及研究儀器非常齊全，目前亦極力與我國學術界進行合作交流。他本人認為我國在外銷鳳梨的燻蒸劑可以考慮施用 EF 燻蒸試驗，先進行小規模測試比較其差異性，並且期盼檢疫處理導入我國 AI 人工智慧系統，應用物聯網管控運輸過程環控條件。

(二) **Dr. Peishih Liang**: 該單位唯一的機械工程人員，目前進行 E-gan (似 X-ray) 對檢疫害蟲的防除效果研究。正嘗試應用光譜儀辨認昆蟲來源位置，因為昆蟲吃得食物不同，或許會有影響，如果實蠅。最近研究利用放射性同位素輻照器（使用銫 137 或鈷 60）用作電離輻射源，以調控國際貿易新鮮商品中的檢疫或植物檢疫害蟲，以及對昆蟲不孕釋放計畫中使用的昆蟲進行絕育。由於消費者對放射性的擔憂以及對放射性同位素移動的日益嚴格的監管，一些機構採取了用低能量 X 射線機取代同位素輻照器（產生 γ 射線）的措施。由於 X 射線能量水平和劑量率的差異可能具有不同的功效，因此 X 射線的生物效應是否與 γ 射線具有可比性仍存在疑問。Dr. Liang, 比較東方果蠅的成蟲羽化、飛行能力和成蟲存活率，在 20 °C 下用 100 kV 或 5 MeV (5,000 kV) X 光照射第三齡幼蟲後。在 20 Gy 時，與 5 MeV X 射線相比，100 kV 照射後的成蟲羽化率顯著降低，顯示在較低能量水平下的功效更高。在使用 100 kV X 射線的後續研究中，使用慢劑量率(0.24 Gy min⁻¹) 施加 20 Gy 導致成蟲羽化率顯著高於快速劑量率(3.3 Gy min⁻¹)，成蟲羽化率較低。然此研究表示低能量 100 kV X 射線的功效更高，但使用電離室測量 100 kV 下運行的 X 射線管的劑量存在不確定性；我們討論這種不確定性如何改變結果的解釋。使用 100 kV X 射線輻照器開發植物檢疫處理可能會低估使用商業高能量 γ 射線或 X 射線系統控制昆蟲所需的劑量。

(三) **Dr. Xiuxiu Sun** : Dr. Sun 具有園藝採後處理專長，近幾年與 Dr. Peter Follett 共同開發物理性檢疫處理技術，例如從果實的品質透過巴西棕櫚蠟塗層和適當劑量的 X 射線照射來確定用於檢疫害蟲的滅殺。有或沒有巴西棕櫚蠟塗層的水果以 0、150、300 或 450 Gy 的輻照劑量處理，並保存 14 天 13°C 和 20°C 6 天，模擬商業運輸和行銷從夏威夷到美國本土的條件。在 7、14、以及照射後 14+6 天。塗蠟可顯著延緩果皮變色，果實色澤、失重與未塗蠟相比，減少果實失重 7%

以上。第 14 + 6 天時，輻照不會影響包衣水果果皮。有塗層或無塗層的輻照均不影響肉色、失重。蠟塗層與石灰劑量輻照處理相結合#450 Gy 確保通路的視覺品質和化學成分，同時應用光譜儀近紅外線波段，分析食物品質，非破壞性檢測，如馬鈴薯、柿子、麵包果。Dr. Sun 研習時現場也請博士後研究員展示最新採後處理技術，延長果品鮮度，此部分已獲得技術性突破，本所將會有另一位研究成員來此研習相關技術交流。

心得及建議

果實蠅研究工作日益精進：我國與美國農部太平洋盆地農業研究中心學術合作多年，因受 COV-19 疫情影響及研究人員退休，技術交流方面與美方新進研究人員有些斷層，本次參訪藉由 Dr. Manoukis, Nicholas 及台大教授江昭皚的協助，讓學術交流重新熱絡，美方新進研究人員對於與我國研究能量抱持正面看法，有助於台美雙方合作進展。害蟲的諧波雷達追蹤技術 (Harmonic Radar Tracking of pests) 隨著科技的進展，設備體型越來越小，適用於更多害蟲種類的研究。此技術能在野外追蹤害蟲的移動模式，有助於優化監測、控制與根除害蟲的方法。例如，通過改善陷阱放置、提高殺蟲劑應用的精準度、確定天敵的釋放地點，並在害蟲入侵後設置檢疫邊界等。美國目前已開發出帶有超彈性鎳鈦合金天線的輕量化諧波雷達標籤，具備柔韌性且不易纏結。

(1)建議引進諧波雷達技術不僅能改善害蟲管理的精度，還能協助深入了解不同害蟲的行為特性，從而提高防治策略的科學性和有效性。建議我國未來引進此技術，並將其應用於害蟲移動模式的研究中，以提升費洛蒙與其他陷阱防治技術的效能。小型天線追蹤技術，將可應用於目前要進行的果實蠅飛行能力的試驗，監測點數量模擬將可做為未來集團產區防檢疫限界之技術參考。

(2)果實蠅雌蟲誘引劑開發為全球目前研究上瓶頸，Dr. Dong 目前已開始進行誘引劑開發，並尋求管道與我方研究人員進行異地研究，共同開發新產品，目前此聯繫管道仍暢通。

害蟲整合性蟲害管理：

當前已經廣泛應用在農業害蟲防治，但其技術發展台美雙方仍有相當合作潛力。我方在生物天敵飼養設備及大量生產技術有多年技術心得，尤其是導人物聯網與自動化設備可提供美方研究人員參考。

(1)咖啡果小蠹 (*Hypothenemus hampei*) 是全球最具破壞性的咖啡害蟲，每年造成超過 5 億美元的損失，亦為臺灣咖啡上的主要害蟲。夏威夷在 2010 年首次發現咖啡果小蠹，並迅速蔓延到島上所有咖啡產區，2016 年，美國在夏威夷島全面啟動咖啡果小蠹的大範圍監測，收集有關咖啡樹物候、咖啡果受害狀況、並引入白殭菌與寄生蜂進行防治、建立咖啡害蟲的綜合病蟲害管理系統 (IPM)，並建立網站，輔導農民管理咖啡病蟲害。

建議可借鑑美國這些做法，結合本地的氣候與種植環境，設立系統性的監測與防治計劃，並建立類似的 IPM。合作方面，建議加強與美國相關農業科研機構及病蟲害專家之間的技術交流，並引進適應本土環境的防治手段。此外，建議建立數位平台，為我國咖啡農提供實時病蟲害管理的技術指導，提升咖啡產業的韌性與可持續發展能力。這將有助於提升臺灣咖啡產業的競爭力並降低因病蟲害導致的經濟損失。提升我國咖啡病蟲害管理效率在咖啡產業中影響最大的害蟲咖啡果小蠹(CBB)，有關在微生物防治技術我方在此已有些進展，未來在台美合作計畫可與美國農部轄屬研究中心進行雙方技術合作及訊息交換。

(2)昆蟲腸道微生物群與其食物之間關係密切，且微生物群會影響害蟲的環境適應能力。美國藉由研究草地貪夜蛾、玉米穗蟲和舞毒蛾接觸到不同飲食時，其微生物群落結構會發生變化，亦說明取食在群落維護和結構中的關鍵作用。此研究方向不僅揭示了取食與微生物群之間的互動，更提供了我們對昆蟲生態學的深刻理解，尤其是在害蟲控制方面。這種動態變化可能為生物防治帶來新的契機，通過改變害蟲的飲食或引入特定微生物群來削弱其繁殖或適應能力。這也讓我們認識到生態系統中的食物鏈和微生物之間的複雜互動，並突顯了環境管理中需要多方位綜合考量的必要性。

建議可合作的研究如下: (1)深入機制研究：更深入地研究食物化學成分如何影響昆蟲腸道微生物群的動態，特別是微生物群的多樣性和功能的具體變化，從而了解這些變化如何影響昆蟲的適應能力。(2)微生物組學研究：進行昆蟲腸道微生物的基因組學研究，以探索不同微生物種群在特定飲食下的基因表達變化，可揭示微生物與宿主之間更精細的互動機制。(3)環境與氣候因子考量：考慮到不同環境和氣候條件下，這些微生物群如何隨著昆蟲的地理遷移或環境變化而動態改變，這對於跨區域的害蟲控制策略設計具有指導意義。(4)應用於生物防治：進一步研究是否可以通過調節害蟲的食物或直接改變其微生物群來有效地控制害蟲的繁殖和擴散，這可能成為一種新型的生物防治方法。(5)跨物種比較研究：擴展此類研究至其他昆蟲物種，尤其是那些與農業或公共健康相關的重要害蟲，藉此找出微生物群對昆蟲適應性的普遍規律。

物理性檢疫處理技術發展：此方面技術係美方強項，為全球技術開發受矚目之機構，與來自全球研究機構交流頻繁，我方研究工作需納入園藝採後處理研究人員，使得檢疫技術開發與果品處理品質能夠兼顧，此方面人才培育需積極進行。

邀請領域學者參與農試所主辦之 2025 國際研討會

邀請相關重要研究人員，參與本所主辦之 2025 年國際研討會，其中邀請 Dr. Peter A. Follett 檢疫處理技術專家等，出席研討會，並擔任講者並將參與會後技術試驗及研究討論活動。

附件一、參訪前簡報資料(江昭皚教授、張淑貞副研究員、黃毓斌副研究員)



2024

**Towards a new era of smart agriculture
— Case studies in Taiwan**

Visiting of TARI & NTU to Agricultural Research Service
(ARS), US Department of Agriculture (USDA) at Hilo

June 17 – June 21, 2024

Speaker: Joe-Air Jiang, Distinguished Professor, Ph.D., P.Eng. Department of
Biomechatronics Engineering, National Taiwan University



Recent Achievements on Developing Microbial Pesticides in TARI

Shu-Chen Chang, Ming-Yao Chiang, Feng-Chyi Lin, Pei-Chen Hsu

Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taiwan, ROC

<http://www.tari.gov.tw/>



Occurrence and management strategies of fruit flies in Taiwan

Dr. Huang Yu Bing

**Taiwan Agricultural Research Institute ,
Ministry of Agriculture**

Taiwan Agricultural Research Institute
Ministry of Agriculture



附件二、參訪研習行程中照片



圖 1. 參訪 PBARC 研習課程會議與討論分享



圖 2. 台大江昭皚分享人工智慧與物聯網的研究成果



圖 3. PBARC 研究人員試驗設備



圖 4. 商業運轉之檢疫 X 光設備



圖 5. Dr. Nicholas Manoukis 介紹期最近陷阱數量的研究成果



圖 6. Dr. Angelita Acebes-Doria 介紹夏威夷豆受蠹蟲為害狀



圖 7. Matthew Siderhurst 介紹微型天線與諧波雷達追蹤研究



圖 8. Dr. Melissa Anne Johnson 介紹咖啡果小蠹整合性害蟲管理

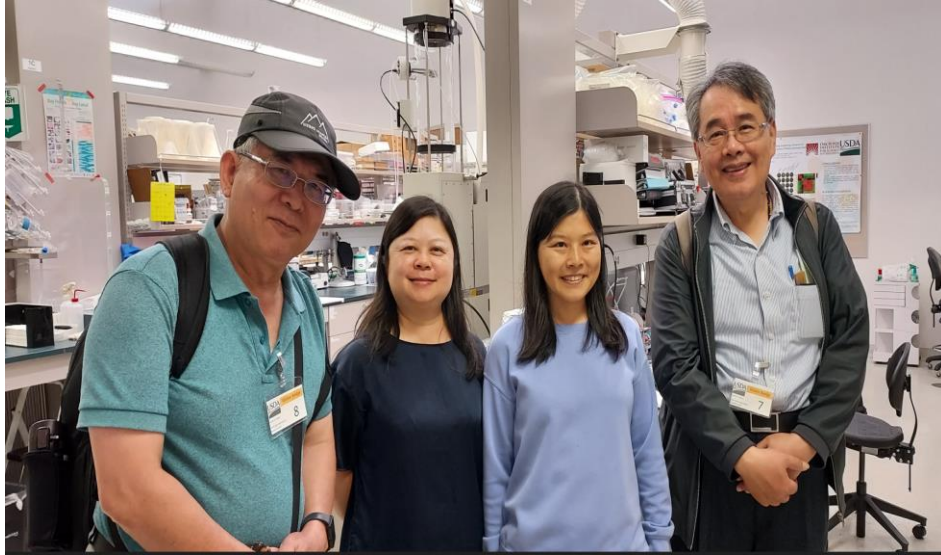


圖 9. Dr. Xiuxiu Sun 介紹採後處理與檢疫處理技術，背後為奈米級乾燥機



圖 10. Dr. Charles Mason 介紹果實蠅腸道共生菌之應用研究



圖 11. Dr. Pei Liang 介紹如何利用 X-ray 進行殺蟲試驗



圖 12. Dr. Dong Ho Cha 分享其最新檢疫處理燻蒸技術成果