

出國報告（出國類別：研究）

執行 112 年度「加強大豆與玉米作物 生長模式交流」計畫

服務機關：農業部農業試驗所

姓名職稱：陳柱中副研究員

派赴國家：美國

出國期間：112 年 11 月 2 日至 112 年 11 月 16 日

報告日期：113 年 1 月 17 日

摘要

氣候變遷對於農業部門的維續形成挑戰，升溫情境伴隨降雨型態改變與極端災害增加，對耕作環境、作物反應、產量、作物營養價值都造成相當程度的衝擊，在氣候變遷調適的研究中，風險分析與調適對策的研擬和執行皆佔有相當的角色，而作物生長模式是農業部門變遷風險分析主要工具之一。本次的研習拜訪美國農業部貝茨維爾研究中心調適栽培系統研究室 (adaptive cropping system laboratory)，進行作物生長模式應用研習，該研究室是美國進行作物生長模式開發歷史悠久的研究室之一，從 1980 年代應用棉花模式開發最早的田間管理系統，並發展大豆生長模式 (GLYCIM)，啟發許多類似模式發展與應用如 CROPGRO、TOMGRO 等系列模式等，以土壤模式 SWMS-2D 為基礎，自行發展土壤水分與養份傳輸的土壤模式 2DSOIL，強化土壤表面現象的模擬。近年發展玉米模式 MAZSIM、馬鈴薯模式 SPUDSIM。本次研習取得最新版的玉米與大豆模式原始碼，並研習透過 CLASSIM 程式實驗整合作物模式與土壤模式，分析輪作系統間養分與水分平衡，並探討土壤有機碳的動態。

水稻模式目前由 David Fleisher 博士負責，Fleisher 過去曾比較兩個主要的水稻模式 CERES-Rice 和 ORYZA 對於加州地區梗稻的模擬，並指出 ORYZA 模式是以籼稻為基礎進行發展，若應用於梗稻的模擬，則需進行更進一步的模式參數調整，Fleisher 博士團隊以 FvCB 光合作用機制取代原本 ORYZA 模式內的同化作用模擬，提升模式在不同環境濕度下的光合作用模擬。近期水稻模式發展的重點在於夜溫對於產量的影響，溫度對於米質的反應。在模式的田間決策上，應朝透過雲端計算的方向發展，並增加計算服務的即時性與便利性；簡化模式輸入檔，包括土壤、氣象與作物參數輸入簡化，田間管理套組化、輸出資料圖示，與其他田間決策系統結合，提供生產者田間管理作為的成本與收益分析。作物模式可應用或結合的技術包括遙測技術、作物表型體學、AI 運算。在遙測技術的整合，目前尚未建立一致的調參方法學，需持續投入研究。透過表型體分析技術取得葉面積指數動態、葉型、生物量，建立高通量非破壞性分析資訊，提供模式參數建立或驗證使用，而螢光光譜取得植物生理參數也是表型體學的發展方向之一，生成式 AI 與作物模式進行學習，以機制模式作為主架構，機器學習處理細部運算的混合模型、AI 演算法進行決策分析，對於科學研究與應用將會有新的影響。

拜訪美國農業部農業研究署位於北卡羅萊納州的植物研究單位 (Plant Research Unit)，透過 Ripley Tisdale 博士參訪該研究單位在氣候變遷的相關研究設施，包括開頂式生長箱、空氣去除系統、連續式擾動反應箱、與溫度梯度溫室，應用於升溫、二氧化碳濃度提高、臭氧濃度提高等情境模擬，以探討環境變遷對於作物生理反應與產量，以及植物地下部反應、根分泌物對於土壤微生物族群以及土壤化學性質的影響，透過不同精密密度與分析通量的研究設施整合，加速作物

對於環境變遷反應與品種篩選的研究。

建議我國應持續投入於作物模式的本土化應用，包含本土化參數建立與驗證，以強化對於氣候變遷風險分析與大尺度田間決策作為。在農業資料庫應用，後續應強化資料庫到資料分析端的推動，透過結合演算法與資料庫的，加速田間資訊的應用；並建議持續強化國際合作研究，強化夥伴關係與技術交流外，可找尋共同興趣的議題進行合作，支持雙方合作模式在於基礎科學的發展與應用。

目錄

| | |
|---------------|----|
| 摘要..... | 2 |
| 本文..... | 5 |
| 一、 目的..... | 5 |
| 二、 過程..... | 5 |
| 三、 心得與建議..... | 18 |

本文

一、目的

氣候變遷對於位於亞熱帶地區的台灣，有相當大的挑戰，風險評估是氣候變遷調適當中相當重要一環，以釐清氣候變遷可能衝擊項目，在風險評估的過程應包含現況與未來情境分析，模式與未來情境氣候資料應用，是作物生產系統最主要的評估方法之一。為強化我國農業部門對於氣候變遷的調適能力，透過本計畫執行，參訪美國農業部農業研究署在氣候變遷研究的研究議題與設施，在模式的交流上，研習作物生產環境評估系統 CLASSIM 的操作，了解如何疊加模式輸入與輸出檔，分析土壤-作物系統中的養分、水分與有機質動態，研習作物模式發展方向，交流應用作物模式於田間管理決策分析的經驗，以強化田間生產管理應用、評估氣候變遷對農業服務系統之衝擊、分析不同耕作制度對碳匯增加之效益。

二、過程

1. 會議行程概述

| 日期 | 地點 | 行程 |
|--------------------|-------------|--|
| 112 年 11 月 2 日 | 臺灣-美國北卡羅萊納州 | 由臺灣出發至美國北卡羅萊納州，拜訪美國農業部農業研究屬的植物研究單位 (Plant Research Unit) |
| 112 年 11 月 4-14 日 | 北卡羅萊納州-馬里蘭州 | 從北卡羅萊納州移動至馬里蘭州，拜訪貝茨維爾研究中心調適栽培系統研究室進行作物生長模式研習，並訪問該中心的水資源與遙測研究室，並馬里蘭大學學習智慧農業在農業田間風險管理的應用 |
| 112 年 11 月 14-16 日 | 馬里蘭州-臺灣 | 由華盛頓杜勒斯機場(IAD) 經舊金山轉機返回臺灣 |

112 年 11 月 2 日

11 月 2 日上午由桃園機場出發，至美國舊金山轉機，抵達北卡羅萊納州

Raleigh and Durham 機場。

112 年 11 月 3 日

拜訪美國農業部農業研究署位於北卡羅萊納州的植物研究單位 (Plant Research Unit)，主要的接待者為 Ripley Tisdale 博士。參訪該研究單位在氣候變遷相關研究設施，包括開頂式生長箱 (open top chamber, OTC)、空氣去除系統 (Air exhaustion system, AES)、連續式擾動反應箱 (Continuous stir tank reactor, CSTR)、與溫度梯度溫室(Temperature gradient greenhouse, TGG)，了解如何應用相關設施模擬升溫、二氧化碳濃度提高、臭氧濃度提高，對於作物生理反應、產量、與土壤栽培系統的影響。

112 年 11 月 4-14 日

拜訪位於馬里蘭州的貝茨維爾農業研究中心 (Beltsville Agricultural Research Center, BARC) 下調適栽培系統研究室 (Adaptive cropping system laboratory)，主要拜訪 Dennis Timlin 博士，研習美國農業部新發展的模式應用介面 CLASSIM，整合土壤與作物模式模擬輪作系統間水分與養分平衡，學習該研究室玉米和大豆模式發展動態，取得最新的模式程式與原始碼。並與實驗室同仁分享台灣如何進行美國發展的作物模式本土化，並結合氣象預報與未來氣候進行氣候變遷分析等工作。加入調適栽培系統研究室作物模式團隊會議，討論將模式結合雲端服務，提供田間決策輔助的可能性。另外參訪 Christine Chang 博士進行表形體研究的設施，目前實驗室是以自行開發的方式建立表形體研究設備，包括影像擷取、分析，以及硬體控制等。

拜訪水資源與遙測研究室 Gregory McCarty 博士，了解該實驗室在遙測、水文模式、近端遙測、光達應用於水文分析等研究成果，McCarty 博士團隊從光達影像上擷取精密的數位高程資訊，應用機器學習方式進行水文分析，取得詳細小區域水分流向資訊，可進一步的結合水文模式如 SWAT，分析養分或污染物在流域內的散佈。

拜訪馬里蘭大學的 John Lea-Cox 教授，研習 Lea-Cox 教授團隊透過田間感監測裝置、資訊系統、人工智慧等技術，建立智慧農業應用方案，Lea-Cox 教授分享模型在水分灌溉、病害預警的經驗，並強調智慧農業技術在風險管理應用的潛力與可能性。

112 年 11 月 14-16 日

上午與 Dennis Timlin 博士進行台美合作計畫未來執行工作，下午從杜勒

斯機場(IAD)搭機返回台灣，於舊金山轉機後，16日上午抵達桃園國際機場。

2. 重要的研習成果

(1) 植物研究單位 (Plant Research Unit)

美國農業部長期投入於升溫、高二氧化碳對於植物與栽培環境的研究，建立不同的系統例如 FACE (Free-air concentration enrichment)、SPAR chamber (Soil plant air chamber)，透過研究設施建立未來的環境，例如高溫或高二氧化碳，以探討升溫與高二氧化碳濃度，對於植物的生理反應如碳氮平衡、氣孔導度、蒸發散、光合作用等之影響。

除了溫度與二氧化碳，美國近年來也留意工業發展伴隨地表臭氧 (ground level ozone) 濃度升高，對於植物生理與作物產量可能造成的衝擊。地面臭氧主要透過氣孔進入植物葉片內部，形成氧化壓力降低光合作用，進而減少植物的生質量與產量，高臭氧濃度下，葉片會出現危害徵狀的斑點，大豆是臭氧耐受性低的作物品項，在 50 ppb 以上即會造成產量的下降。Ripley Tisdale 博士的團隊，對於臭氧的影響機制進行探討外，也從美國的種原庫當中，篩選出臭氧敏感與抗性品系。

为了更好的研究不同的臭氧情境對於植物的反應，植物研究單位自行發展不同尺度的研究設備，包括開頂式生長箱 (open top chamber, OTC)、空氣去除系統 (Air exhaustion system, AES)、連續式擾動反應箱 (Continuous stir tank reactor, CSTR)。由於植物研究單位僱有專屬的工程師，上述設備的硬體與軟體皆是自行裝設。其中開頂式生長箱與空氣去除系統，進行臭氧去除或臭氧添加的控制，以產生比大氣更高或更低的臭氧濃度環境。

在農業研究單位自製的開頂式生長箱或空氣去除裝置除了可應用臭氧研究外，可以進行加熱或增加二氧化碳等處理，做為我國探討升溫情境對於作物品種篩選的平台，Tisdale 博士也與國立臺灣大學大氣系合作，提供開頂式生長箱的設計圖，經臺灣大學團隊洽國內廠商獲悉設備成本並不高，我國應可評估導入的可行性。另外 Tisdale 博士也建議，我方可以先採購相關的硬體或元件，未來有機會我方可邀請該單位的工程師來台，協助我方直接建立系統，並導入該單位開發的軟體系統。



圖 1. 溫度梯度溫室運作情形，透過壓克力箱達到氣體平穩流出的效果



圖 2. 連續式攪動反應箱 (Continuous stir tank reactor, CSTR)



圖 3. 空氣去除系統 (Air exhaustion system, AES)

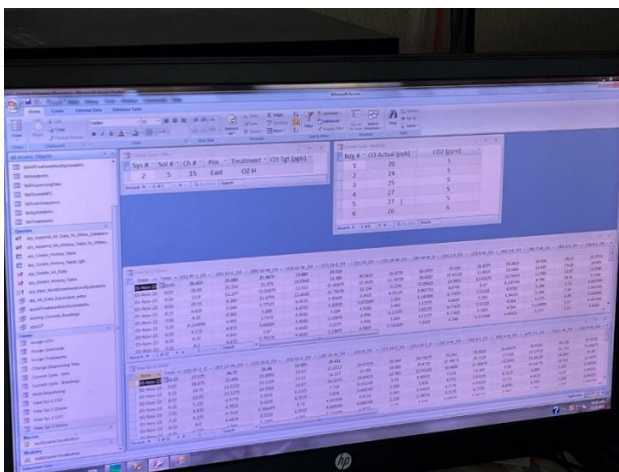


圖 4. 開頂式生長箱與控制系統，田間運作情形(上圖)、控制系統(下圖)

(2) 調適性栽培系統研究室

貝茨維爾農業研究中心調適栽培系統研究室，是美國作物生長模式開發歷史悠久的研究室之一，從 1980 年代應用棉花模型建立最早的田間管理決策系統，並開發大豆生長模式 (GLYCIM)，大豆 GLYCIM 模式對於模式機制發展影響包括：(1) 以小時為時步 (time step) 單位，並發展每日溫度與日射量解析為小時方法、(2) 透過雙曲線方程式建立簡潔但具有生理意義的光合作用模型、(3) 結合光合作用與蒸散作用，模擬不同水分條件下作物的動態、(4) 考慮行列種植方式分析光擷取。其中 GLYCIM 模式所使用的光擷取與光合作用機制影響到許多相關的模式，如 TOMGRO, CROPGRO 等模式。

除了在作物模式的努力外，調適栽培系統研究室的 Dennis Timlin 博士以土壤水文模型 SWMS-2D 為基礎，發展二維土壤水分與養份傳輸土壤模式 2DSoil。近年發展玉米模式 MAZSIM、馬鈴薯模式 SPUDSIM，其中馬鈴薯模式的開發者 David Fleisher 博士是國際作物模式比對計畫(AgMIP)馬鈴薯模式的召集人，顯見該團隊在模式發展上的影響力。Fleisher 博士於近年投入水稻模式研究，以 ORYZA 模式為基礎，針對稈稻特性進行模式調整。主要的研習內容如下

A. 輪作系統內的水與養分收支 - CLASSIM 程式應用

氣候變遷的影響日益嚴重，對於作物生產與糧食安全形成嚴峻的挑戰，因此最適田間管理 (Best management practice, BMP) 日益重要，其主要概念是最適宜投入(水、養分或其他田間管理活動)，以確保糧食合理生產並減少環境負面效益。作物模式是最適田間管理分析重要工具之一，透過模式分析不同期作間，氮素與水分在土壤和植物內收支，有助於擬定不同土壤和氣象條件下的最佳田間管理。

本次研習調適性栽培系統研究室開發的 CLASSIM 程式，該程式以 python 語言進行開發，是整合作物生長模式的圖形化介面 (Graphic user interface, GUI)。統合大豆模式 GLYCIM、玉米模式 MAZSIM、馬鈴薯模式 SPUDSIM、棉花模式、二維土壤模式 2DSoil 等模式輸入與輸出檔案，主要輸入參數為土壤、氣象、田間管理參數。另外程式連結美國公開的土壤與氣象資料庫，若目標田區位於美國，點選位置後可透過程式建立土壤與氣象資料檔。

為了分析輪作系統間養分與水分變化，程式持續在不同的作物或土壤模式間串接模擬結果，程式將每一個模擬結果的最後一日，轉成下一期作的初始狀態設定檔，土壤模式 2DSoil 則負責模擬大氣-土壤系統

間的質量與能量平衡。例如探討大豆-休耕-玉米輪作制度中水分與氮素平衡，以及土壤有機質變動，則須設定大豆收穫後啟動 2DSoil 模擬休耕期間土壤有機質分解，氮礦化、固定化、硝化作用，氮與水分在土壤剖面內移動，再接續以玉米模式模擬玉米生長。此概念不僅適應於 CLASSIM 程式，若欲使用其他作物模式如 DSSAT、APSIM 或 DNDC 進行輪作系統探討，須確認模式在期作間無作物生長時啟動土壤模組模擬土壤-大氣系統質能平衡，或設定此階段土壤管理模式為休耕或裸露地，以確保模式能反應休耕期間土壤環境的變動。

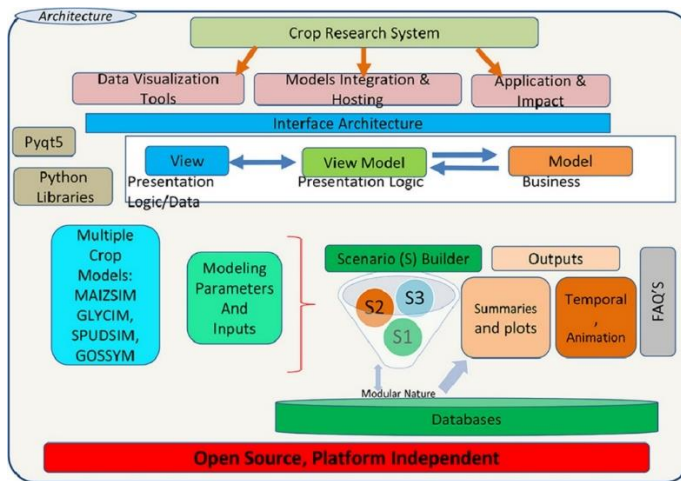


圖 3. CLASSIM 程式架構

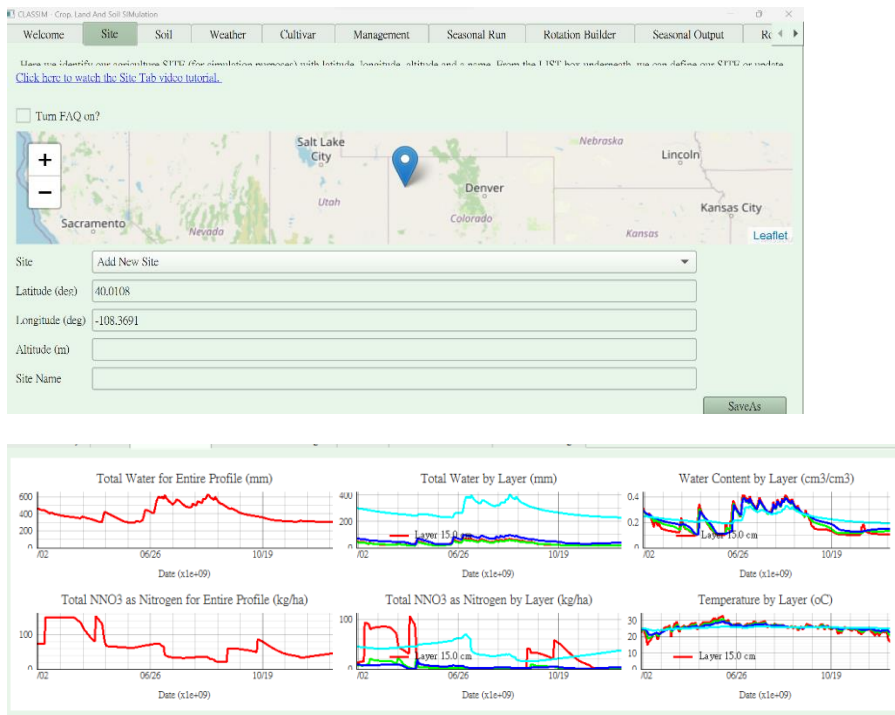


圖 4. 應用 CLASSIM 程式模擬栽培間土壤水分收支與養分狀態。

B. 水稻模式發展

水稻模式目前由 David Fleisher 博士負責，Fleisher 過去曾比較兩個主要的水稻模式 CERES-Rice 和 ORYZA 對於加州地區粳稻的模擬，並指出 ORYZA 模式是以秈稻為基礎進行發展，若應用於粳稻，則需針對植物發育參數進行調整，調整後的 ORYZA 模式較 CERES-Rice 準確度更佳。由於 ORYZA V3 並無公布原始碼，Fleisher 博士以 ORYZA 2000 為基礎進行模式發展，以 FvCB 光合作用機制取代原本模式的光合作用模擬，提升模式在不同環境濕度下光合作用模擬準確性。近期水稻模式發展重點在於夜溫對於產量的影響，以及充實期間高溫對米質影響。

C. 作物模式於應用於田間決策

作物模式在田間管理應用包括：種植前最適行株距擬定、播種/移植期決定、栽種期間施肥或灌溉決策、栽培區域定址養分管理、收穫前產期與產量預測與擬定最適田間管理...等，利用模式模擬不同播種時期、施肥與灌溉對於產期或產量的影響，再據以選擇最適管理操作。

過去我國主要應用模式於毛豆收穫期預測，將模式與氣象預報結合，進行產期產量模擬，並比較本年度與歷史年度氣象差異，並分析其對產期造成之提前或延後程度影響(圖 5)。本次針對模式應用於灌溉決策進行討論，Timlin 博士分享過去應用 GLYCIM 模式在密西西比州協助大豆農民灌溉決策的經驗，在大豆生長期間應用預報與歷史資料進行模擬，觀察模式輸出檔在未來 5 天內是否有缺水逆境指標，若觀察到短期內有缺水指標，則進一步在模式中模擬增加灌溉對於作物生長與產量影響。Timlin 博士指出過去密西西比農民透過模式協助，改變灌溉頻率增加黃豆產量，農民並於模式指出缺水時觀察田間土壤水分狀態，建立個人觀察土壤水分狀態方式。

Timlin 博士團隊觀察到，建立模式輸入檔需耗費大量時間蒐集土壤物理、化學與氣象資料，並根據程式需求進行轉換建檔，此過程對於使用者形成障礙，有鑒於此，他們在 CLASSIM 程式開發過程中積極應用美國既有的土壤與氣象資料庫，減少初學者實作門檻。但也指出 CLASSIM 程式預設使用者是具備農業科學訓練的研究人員，目前團隊與農民合作，探索如何更進一步簡化模式輸入，包括田間管理(種植、灌溉、施肥、採收) 模組化設定，並搭配雲端計算，增加程式應用的便利與即時性。

另外，模式輸出檔轉譯也是作物模式於應用田間決策的重點，如何依

據田間管理需求，將作物模式輸出檔，從科學性描述轉譯為現場操作人員容易接受的說明方式，以作為田間管理（如播種、灌溉或施肥）參考依據，此過程包括輸出檔資訊簡化、文字描述口語化和圖示應用。Tmilin 博士與 Fleisher 博士也指出，我方過去應用 GLYCIM 模式輸出檔，將科學化的語言轉換為農民能理解描述方式，提供毛豆農民重要生育期，如開花(R2)、預計結莢(R3)、鳳尾莢飽滿(R5)、採收期以及氣象分析圖示(圖 5)，是大豆模式於田間應用的良好範例。

D. 其他發展方向

可應用或結合的技術包括遙測技術、作物表型體學、AI 運算。透過遙測技術取得空間變異性，作為模式初始狀態，或進行模擬過程中校正使用，目前已有區域產量預測的成功案例，但是，此部分尚需持續投入研究，包括應用遙測資訊作為模式調參方法學建立，以及自動化流程 (pipeline) 建立。表型體分析技術 (phenotyping) 與模式的結合是目前備受重視的研究之一，應用影像分析方式取得作物型態資訊，作為模式建立的依據，發展方向包括應用影像分析取得葉面積指數動態、葉型、生物量，建立高通量且非破壞性分析資訊，以提供模式參數建立或驗證使用，圖 6 為調適性栽培系統研究室建立的表型體研究設施。另外螢光光譜取得植物生理參數也是表型體學發展方向之一(圖 7)。機制型模式與機器學習或 AI 演算法整合，是目前各界探索目標之一，包括應用生成式 AI 與作物模式進行學習；以機制模式為主架構，如溫室內熱平衡，使用機器學習方式取代部分難以從量測的參數或公式；模仿現行決策方式，以作物模式計算不同環境與田間管理組合對於產量的影響，AI 演算法進行決策分析。

毛豆生長模式模擬預測結果

地點：高雄旗山

製表日期：111 年 11 月 21 日

| 播種日期 | 鮮莢重 (g/株) | 預測產量 (Kg/ha) | 多 | 少 | 預計開花 | 預計結莢 | 鳳尾莢 飽滿 | 預計收穫 |
|--------|--------------|-----------------|--------|---|------------|------------|------------|--------------------|
| 09月28日 | 32.43 | 10810 | 多 159 | | 2022/10/26 | 2022/11/09 | 2022/11/24 | 少 1 2022/12/07 少 2 |
| 10月01日 | 34.70 | 11567 | 多 237 | | 2022/10/29 | 2022/11/12 | 2022/11/27 | 少 1 2022/12/11 少 1 |
| 10月04日 | 30.64 | 10212 | 多 298 | | 2022/11/02 | 2022/11/15 | 2022/11/30 | 少 1 2022/12/15 |
| 10月07日 | 29.87 | 9957 | 多 817 | | 2022/11/06 | 2022/11/18 | 2022/12/03 | 少 1 2022/12/18 少 1 |
| 10月10日 | 27.34 | 9115 | 多 445 | | 2022/11/10 | 2022/11/20 | 2022/12/07 | 少 1 2022/12/22 |
| 10月13日 | 23.59 | 7864 | 少 1456 | | 2022/11/13 | 2022/11/23 | 2022/12/11 | 少 1 2022/12/25 少 1 |
| 10月16日 | 25.53 | 8509 | 少 994 | | 2022/11/17 | 2022/11/26 | 2022/12/14 | 少 1 2022/12/29 少 1 |

註：本表為 GLYCIM 模式模擬之結果，未來氣候資料利用中央氣象局 7 天預報(05/30-06/05)及 2015-2019 平均資料填補。

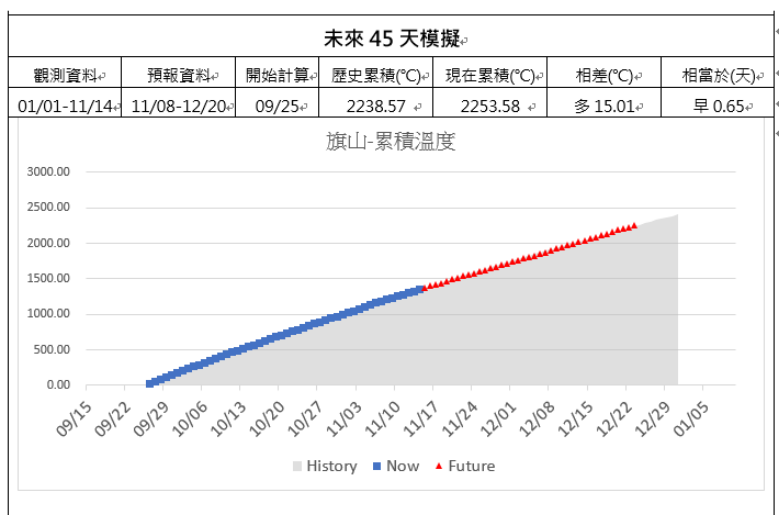
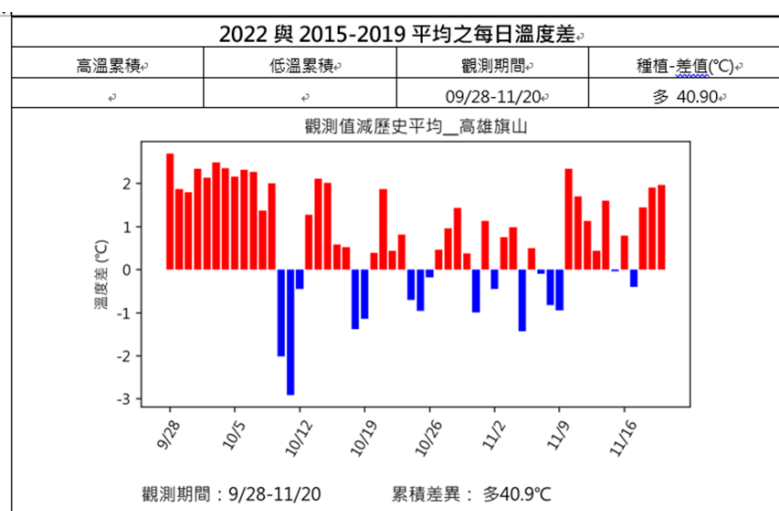


圖 5. GLYCIM 模式結合氣象資料預測毛豆生預期與產量，分析觀測與預報積溫與過去 5 年平均差異，以及對於作物產期影響。



圖 6. 調適栽培系統研究室表型體研究設施

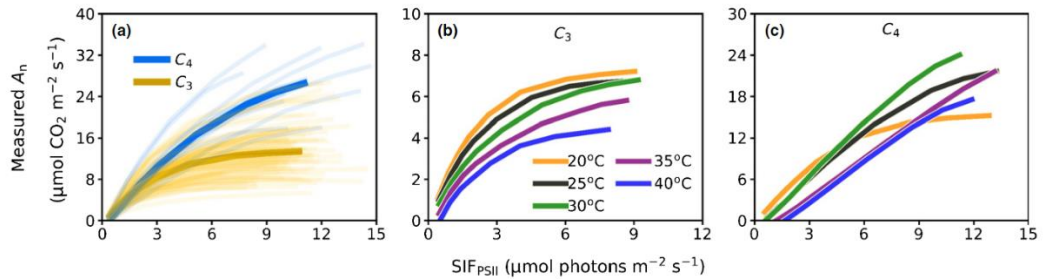


圖 7. 跨植物功能類型、環境的淨光合作用 (A_n) 與光反應系統 II (SIFPSII) 的螢光之間的動態關係，引用自 *New Phytologist* (2022) 234: 1206– 1219m。

(3) 馬里蘭大學植物科學與景觀建築系在智慧農業上的發展

馬里蘭大學是美國的贈地大學 (land grant university)，除了須負擔教學與研究工作，也須分擔該州農業發展與推廣，植物科學與景觀建築系 (Department of Plant Science and Landscape Architecture) 在馬里蘭州農業推廣上扮演著重要角色，教職人員需協助州政府進行農民輔導、病蟲害診斷，並協助發展馬里蘭州農民組織，因此該系的教職人員皆累積了豐富學識與田間經驗。植物科學與景觀建築系在農業相關議題的研究包含作物科學、土壤學、病蟲害、循環農業、農業生態等；在地景研究上，主要致力於城市或鄉村的地景再造，透過水文、綠帶設計，減少都市的熱島效應，並致力水分與養分循環再利用。

John Lea-Cox 教授為本次參訪的主要接待者，Lea-Cox 教授擅長使用田間感測裝置結合決策模型開發智慧耕作系統，Lea-Cox 教授使用田間水分含量監測設備監測土壤水分含量即時資訊，透過土壤水分特性曲線，換算為土壤水分勢能，應用土壤水分勢能作為灌溉依據，發展自動灌溉系統。Lea-Cox 教授也與該系 Mengjun Hu 教授合作，應用植冠溫濕度監測值，與病害孢子發育條件，開發草莓病害防護決策系統。

Lea-Cox 教授對於模式的研究與應用前景充滿信心，他以氣象預測為例，氣象預報在過去僅能提供具有趨勢參考價值的數據，到近年來，氣象預報提供的溫度值或發生時間，已有相當高準確度，田間防護應用價值極高，因此，Lea-Cox 教授認為其他模式發展，也可能如同氣象模式一般，以超乎預期的速度進行發展，而提供未來決策服務。Lea-Cox 以個人的田間推廣經驗，認為大部分農民對於氣候變遷調適概念認同度較低，但可透過氣象資訊進行氣象風險管理，提升農民應用氣象資訊於栽種、灌溉、噴藥等田間管理決策能力，逐漸擴展至短、中程氣象預報資訊，應用於強化災前防範或災後管理，透過此過程熟悉氣象資訊，逐漸用於田間防護管理作為，將提升農民氣候變遷調適能力。

在田間氣象風險決策上，Lea-Cox 教授建議應同時留意極端事件的強度與持續時間(1) 極端事件強度(intensity)：以不同顏色或燈號代表門檻值，伴隨對應的田間防護建議，提供管理者進行參考；(2) 極端事件持續時間(duration)：可用預報數值或時間序列方式進行呈現。過去田間管理系統著重於利用不同門檻值，呈現極端事件強度資訊，極端事件持續時間的重要性不亞於強度資訊，例如 5 小時低溫所造成的傷害遠高於 1 小時低溫，然而，Lea-Cox 教授觀察到目前農業氣象災害防護資訊，大多僅提供強度資訊，而未包含持續時間，建議發展災害事件持續時間的推播與應用。

在智慧農業應用方面，Lea-Cox 教授目前致力於資料自動建立、儲存、自動/即時分析等過程，並建議我方在開發資訊系統時可將此概念納入。他認為過去資訊系統著重於資訊收集到資料倉儲端，在此過常投入最多心力與時間；相對地，對於資料倉儲到分析、建模、應用等過程，所花費的時間與心力遠不及前者，造成使用者有資料但未進一步分析應用的情形，因此 Lea-Cox 教授建議應投入更多時間於資料檢視與分析，並致力於縮短資料取得到完成分析所等待的時間，因此他要求學生於裝設感測系統後，需時刻觀察數值變化趨勢，並進行初步判斷與分析，若觀察到特殊變化趨勢或異常值，即可在實驗期間增加觀察項目或排除問題，因此 Lea-Cox 教授認為資料即時分析對於科學研究或田間應用，都會有深遠影響。此外他建議應善用資訊系統減少

人力負擔，應用電腦程式協助資料清理、圖示化呈現或初步分析，這個概念值得我方納入農業資訊系統開發過程。

在病害分析與決策服務上，Hu 教授以草莓炭疽病、灰黴病孢子發育條件為基礎，再以葉片溫度、葉片濕度等資訊建立病害預測模型，同時建立大氣環境與葉片環境相關性，發展草莓病害防治專家系統，利用燈號與時間軸線分別提供災害強度與持續時間等訊息，提供預警與防治建議(圖 7)。Hu 教授也說明模式建立不僅可應用於目前作物栽培的風險預防，也可以結合氣候變遷情境資料，分析氣候變遷情境對於病害的影響。對於尚未建立預測模型的重要病害，可利用氣候區的變化推測病害的移動，例如葡萄皮爾斯病過去發生於美國南部，近年內可以觀察到發病區域往北移動的趨勢，因此建議在特定氣候帶危害的植物病害，可應用未來氣候變遷情境之氣候帶移動資訊，推測病害移動的趨勢，並強調多年生果樹較短期作物難以移動產地方式進行氣候變遷調適，因此更需針對多年生作物長期投入病害研究。

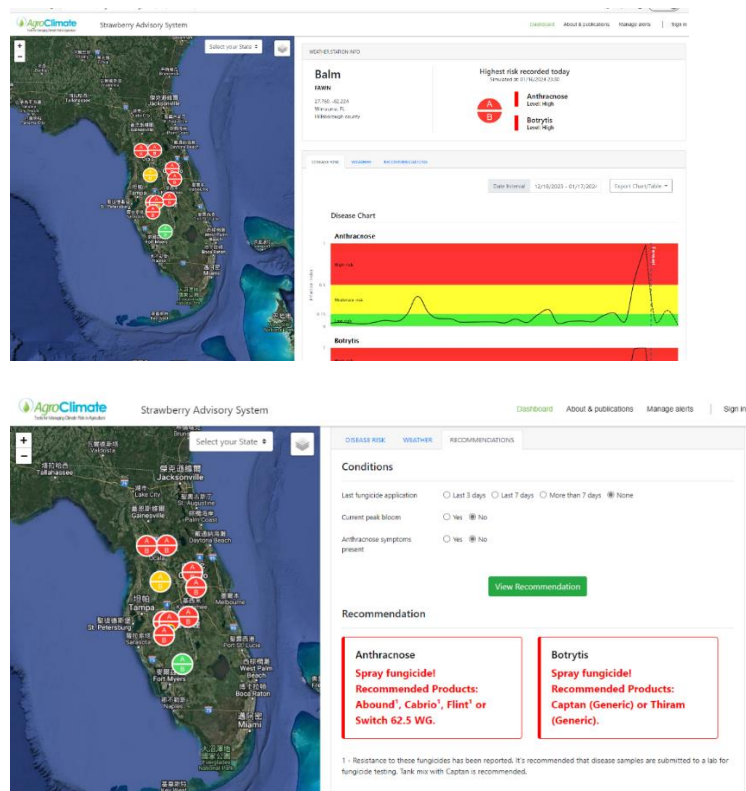


圖 7. 草莓決策系統網頁

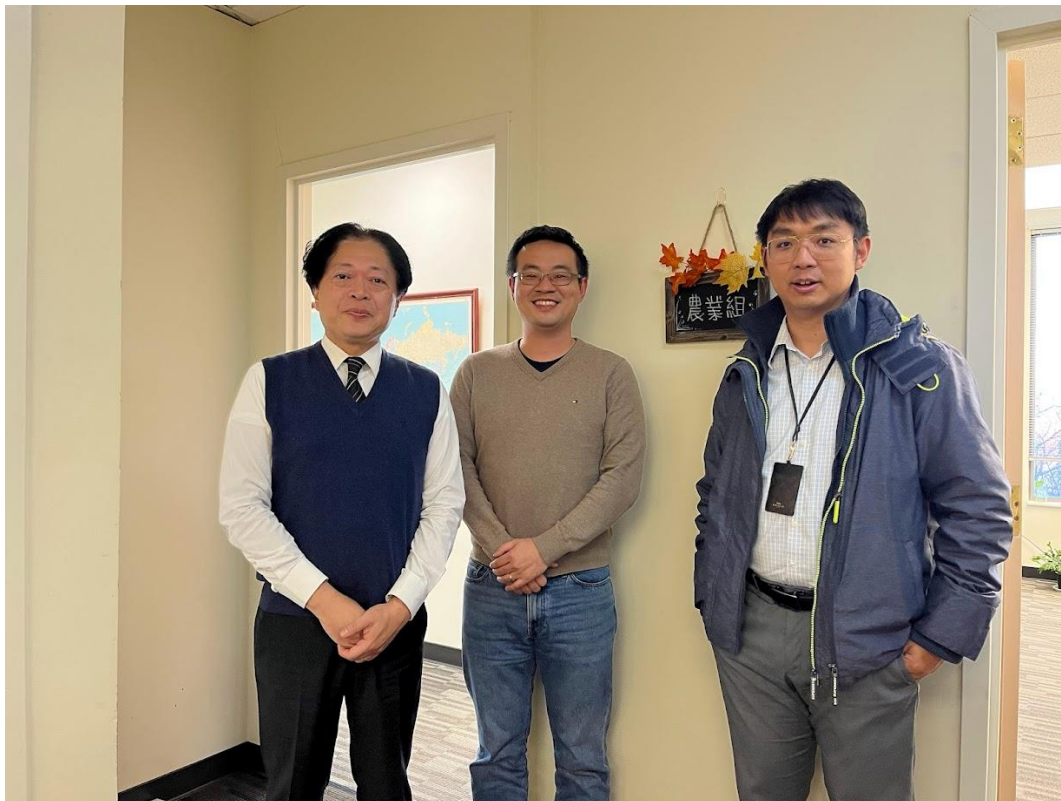
三、心得與建議

1. 美國農業部在氣候變遷研究自行開發研究設備、建立研究方法學、開發與應用模式進行決策分析輔助，從作物品種、田間管理、環境分析等面向強化農業生產系統的韌性，值得我方參考與借鏡。作物生長模式在是氣候變遷風險分析與田間決策的重要工具之一，應持續強化作物生長模式本土化應用研究，包含本土參數建立與驗證，並結合國內土壤與氣象資料庫，強化模式應用於田間管理決策輔助。
2. 近年來我國積極推動發展智慧農業，感監測系統資訊到資料庫端的方法學已逐漸成熟，後續應推動資料庫即時應用，發展資料清理、資料分析與圖示化自動流程，以加速資料應用於田間決策。
3. 藉由台美農業科技合作計畫的平台，落實人員互訪、短期研究，以達成建立雙方實質合作關係，建議我方除強化夥伴關係與技術交流外，可找尋共同興趣議題進行合作，支持雙方合作模式在於基礎科學發展與應用。

附錄



附圖 1. 訪談作物生長模式專家 Dr. Dennis Timlin (左圖)、遙測專家 Dr. Gregory McCarty (右圖)



附圖 2. 拜訪駐美國台北經濟文化代表處農業組