

出國報告（出國類別：其他）

赴美進行「低溫室氣體排放之農耕方式」 技術交流

服務機關：行政院農業委員會 農業試驗所

姓名職稱：陳琦玲 研究員

派赴國家：美國

出國期間：104年8月2日至104年8月8日

報告日期：104年11月 日

摘要

為加強我國在因應氣候變遷之農業耕作模式調適技術與策略之研究，奉派拜訪美國農部農業研究署 (Agricultural Research Service, ARS) 農業研究中心 (Agricultural Research Center, ARC) 作物系統與氣候變遷研究室 (Crop systems and climate change lab) 主持人 Dr. Vangimalla R. Reddy 及其研究團隊，洽談台美農業科技合作「低溫室氣體排放之農耕方式」計畫事宜。期望藉由台美雙方相關研究經驗交流與合作，提升我國在作物生長模擬與預測之能力，以應用於未來氣候變遷下農業耕作調適及農業溫室氣體排放管理等技術。本次行程亦參觀其模擬研究之相關研究設備，包括戶外日光照射環境控制室-SPAR (Soil Plant Atmosphere Research), 戶外開頂式 (Open top) 生長箱、戶外 FACE (Free-air CO₂ Environment) 設備、戶內植物生長箱等，應用於評估植物對關鍵環境變化的反應並修正模式重要參數。經本次訪問，台美雙方正研擬提出作物生長模擬研究之合作計畫。

目錄

摘要.....	2
目錄.....	3
本文.....	4
目的.....	4
行程.....	4
心得及建議.....	8
附錄.....	9

本文

目的

依據政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2007)資料顯示，全球農業溫室氣體排放量約佔總量的 14%，我國因經濟結構差異，農業溫室氣排放量約佔全國總溫室氣體排放量 1~2%左右。全球溫室氣體濃度的增加，預期將提高全球均溫，引起全球氣候的變化。氣候變遷與農業操作之間有相互的影響，過度或不適切的農業操作可能造成更高的溫室氣體排放；而全球暖化造成的非預期氣候變化，會造成農業的損失。

為精準預測全球暖化、氣候變遷之環境變化與作物生長之反應，選擇最佳耕作模式與調適策略，確保足量與高品質之糧食提供，因此歐美等國，皆在發展作物模擬系統，以電腦程式模擬作物生長及發育。其透過氣象、土壤性質、作物管理等參數資料，預測作物產量、成熟日期、肥料利用率以及其它作物生產相關之因子。此類模式運算架構，是基於作物對環境之反應因子，包括物理學、生理學及生態學等知識所建立。在模式建構初期，需建立與了解作物生長、作物對環境反應等龐大的資訊，此類研究常透過精確的環境控制進行。藉由精準的作物生長、氣候變遷預測，將調適、選擇最佳的耕作模式。

本次訪美行程之目的，是拜會美國農部農業研究署(Agricultural Research Service, ARS)農業研究中心(Agricultural Research Center, ARC)的 Dr. Vangimalla R. Reddy，盼能建立台美科技合作計畫。藉由美方相關研究經驗與研究合作，提升我國在農業溫室氣體排放管理、及對於未來氣候變遷下農業耕作調適、氣候與作物生長預測等技術。

行程

參訪行程

時 間	行 程	內 容
8 月 2 日	啟 程	由台北搭機前往美國
8 月 3 日	華盛頓特區	抵達華盛頓特區，下午拜訪馬理蘭大學 (蜜蜂團行程)
8 月 4 日	華盛頓特區	拜訪環境保護署 (Environmental Protection Agency, EPA) (蜜蜂團行程)
8 月 5 日	華盛頓特區	拜訪農業研究署 (Crop Systems and Global Change Lab)
8 月 6 日至 7 日	返 程	由美國返台

本次行程承蒙許桂森副組長之安排與陪同，在 8/5 與美國農部研究署之 Ms. Marcella Witting 與 Dr. Reddy 研究團隊共同討論台美合作的可能性，經討論與交換意見後，獲得以下之共識：

- (一).Dr. Reddy 願意和台灣共同執行因應氣候變遷之相關合作計畫，將以我方提出之“低溫室氣體排放之農耕方式”為主軸，經雙方藉 e-mail 作細部修正後，再開始執行。由於 Dr. Reddy 研究團隊主要之研究係藉利用精準控制設備及量測作物生長環境與生長情形，建立作物生長模式，以評估氣候變遷下作物之反應；而該研究團隊僅有一個研究人員涉及溫室氣體量測研究，因此兩方的合作計畫將可能先著重在作物生長模擬方面之研究。
- (二).Dr. Reddy 研究團隊之作物生長模式研究發展，係以 EPIC (Environmental Policy Integrated Climate) 模式理論架構作為作物反應機制基礎，再依作物特性，發展不同作物模式，目前已發展之模式包括棉花、大豆、玉米、馬鈴薯、哈密瓜等模式，而國內已往已進行 CERES-Rice 與 DNDC (DeNitrification-DeComposition) 模式之水稻生長模擬測試與氣候變遷對水稻之衝擊分析，但較少進行旱作之模擬研究，可藉此機會加速旱作之模擬研究，以分析氣候變遷對旱作之衝擊及因應對策。
- (三).美方為因應氣候變遷對農業生產與環境的衝擊，一直都有相關研究計畫在進行，近年美國農部更規劃氣候變遷研究規畫(USDA Climate Change Science Plan)包括影響(Effect)、調適(Adapt)、減量(Mitigation)與決策輔助(Decision Support)等四方面，作為參與研究計畫單位之研究指南，而 Dr. Reddy 為氣候變遷計畫之領導人。今年正是改良場所共同執行“因應氣候變遷及糧食安全之農業創新研究計畫(101-104)”政策型計畫之最後一年，預定今(104)年 11 月將舉辦成果發表研討會，建議可藉此邀請 Dr. Reddy 來演講美方在此方面之研究成果，也可互相交流兩方之成果，思考更多元之因應策略，並提出未來可再加強之研究方向。也完成盧處長在去年台美科技合作會議中研提舉辦氣候變遷相關研討會之規劃。美方亦同意人員互訪計畫之執行。

考察參觀活動

參觀 Dr. Reddy 主持之作物系統與氣候變遷研究室(Crop systems and climate change lab, CSGCL)之研究設備，包括戶外日光照射環境控制室-SPAR (Soil Plant Atmosphere Research), 戶外開頂式(Open top)生長箱、戶外 free-air CO₂ Environment (FACE)設備、戶內植物生長箱等，用於評估植物對關鍵環境變化的反應。SPAR 可精準地控制和監測環境變化包含大氣 CO₂、溫度、濕度和土壤濕度，並容許於自然陽光下生長；同時自動控制、收集重要生理和物理資訊，例如罩頂開合、水分利用、土壤水分含量、光合作用、蒸散作用和呼吸作用，其目標為實行基礎和應用研究，以發現和改進種植和經營的方法。研究包含系統理論應用到複雜的農業問題、模式發展、專家系統，以及促進園藝、農藝作物生長、產量和品質的研究。

CSGCL 使用 SPAR 生長室研究之原因係因農業產物管理、自然資源管理、策略擬定者需要準確、即時、有效的資訊，以提供國民和世界高品質的食物、纖維。CSGCL 發展作物模擬模式預測作物的發育、生長和產量。這些結構學(Mechanistic)、程序階層的作物模式被利用在判斷支援系統、資源管理、政策擬定和全球氣候變遷。日光控制環境生長室，即所謂的 SPAR 生長室，已經利用於評估植物對關鍵環境變化的反應。

參訪內容

(一).農場資源管理之作物模擬模式

作物模擬模式係以電腦程式模仿作物生長及發育，氣象、土壤性質、作物管理等資料被處理用以預測作物產量、成熟日期、肥料利用率以及其它作物生產相關之因子。模式運算基於作物對環境之反應因子，包括物理學、生理學及生態學等已知之知識。CSGCL 實驗室已經發展並正在發展模擬模式，係針對協助農民於作物之管理決策建議，以期改善資源利用效率與增加盈收，並可藉此解答研究上之疑惑，包括全球環境變遷、精緻農業、土壤水文以及植物生理學等。

(二).CSGCL 實驗室所發展之模式

1. **圖形化用戶界面作物模擬器(GUICS)**：CSGCL 實驗室所發展之 GUICS 模擬器可提供農民容易上手之作物模擬模式，GUICS 協助使用者選擇土壤、天氣、作物品種以及針對不同情況之管理方式，以及自動自氣象站下載資料並以圖或文本呈現模式化之成果。
2. **棉花生產模式(CPM)**：CPM 模式以模組化、通用性以及物件導向設計為其特點，並以 C++語言編譯。CPM 與 GUICS 串聯，目前正通過 ARS、大學研究人員以及來自全國各地棉花生產帶推廣人員之獨立團體之驗證。
3. **動態與機械大豆作物模式(GLYCIM)**：大豆作物模擬模式 GLYCIM 自 1991 年來即已被使用以作為協助農田決策，目前已於九個州之農田施行，農民透過 GUICS 模式與 GLYCIM 進行互動，農民使用 GLYCIM 可選擇不同作物品種與不同土壤樣式之組合、種植日期、行距、灌溉時程、收穫時間以及產量預測。
4. **二維土壤處理模式(2D SOIL)**：2DSOIL 為一有限單元模式，是第一個全面性、模組化及二維之土壤模式，主要可模擬土壤物理、化學及生物過程。模組化使其易於修正及合併入植物模式中，圖形化用戶界面發展有限單元網路(2DSOILMESH)亦已被開發完成。
5. **馬鈴薯模擬模式(SPUDSIM)**：SPUDSIM 模式乃基於 ARS 所開發之馬鈴薯作物模式 SIMPOTATO 以及使用 2DSOIL 以模擬土壤過程，此模式提供土壤氮素動態及淋洗之詳細表現，SPUDSIM 已於 Minnesota 州之馬鈴薯田施行，用以評估氮素管理方式之可行性。
6. **簡易哈密瓜物候模式(MelonMan)**：一個簡易且品種專一之哈密瓜物候模式，使用標準之天氣數據及預測葉片之外觀、作物發育階段及最後收穫日期，模式的使用允許哈密瓜生產者準確預測收穫日期，以及作為提供管理作物生產階段所需肥料量、病蟲害以及灌溉之工具。
7. **玉米基礎處理作物模擬模式(MaizeSim)**：MaizeSim 為一個模組化的玉米模擬模式，此模式已建構在玉米生理及生態上之已知知識之上，目前之版本重點模擬其潛在生長及發育隨著關鍵環境變化，包含光線、溫度、二氧化碳、濕度等，最終之版本將與 GUICS 及 2DSOIL 進行串聯，以期貫徹植物與土壤間之水份及養份平衡。
8. 其它可用之模式：

- (1) 2DLEAF：關於葉片氣體交換之新模式
- (2) GOSSYM：亦為棉花模擬模式

(三).全球環境變遷

全球變遷起因於數種環境因子，諸如發生中的大氣二氧化碳濃度與對流層臭氧濃度變化，此外，還有預期中的全球暖化。預期此變化可能會對農業造成嚴重性之後果，為確保豐富與高品質之食物與纖維提供，預期將需要適應性之作物品種與作物管理策略，以改變環境之情形。

試驗系統以露天作物與雜草配合環境狀態變化進行，包括室外研究，稱之 SPAR 的戶外日光照射環境控制室，其提供了影響作物生長相關之環境因子精準控制，包括溫度、濕度及二氧化碳濃度，SPAR 可全自動測量樹冠氣體交換，包括光合作用、呼吸作用與水份之使用，地下部有窗口可監測根部之生長。另一個試驗系統係利用「自然實驗室」，包含三個輻射釋出之試驗站，地點位於 Baltimore 市中心到靠近 Buckeystown 與 Maryland 的鄉村間，研究反應出溫度提升與二氧化碳濃度之組合與都市化以及全球變遷有關，並模擬未來 50 年從鄉村到市中心二氧化碳濃度與溫度之整體大氣狀態改變。其他還有臭氧濃度監測試驗使用頂端開放式之生長室，此生長室可利用木炭過濾器移除臭氧，或增加以創造高濃度狀態，在不同的臭氧濃度間進行大豆品種間之耐受程度試驗，以確定植物透過維生素 C 代謝以對抗臭氧對植物體之破壞。以及利用人工照明生長櫃以允許作物進行全年性生長試驗，這些生長室亦允許研究人員純化單一之環境因子對植物之反應，以便更加了解在複雜的環境中，諸如 SPAR 生長室、頂端開放式之生長室以及野外所觀測到之反應。

(四).作物系統與全球變遷研究室設備

在結構學(Mechanistic)的中心概念、程序階層上，作物模式是以速率方程式作為描述作物的對於環境變量的生理反應。為了發展這些速率方程式，實驗是在細心的環境控制下進行。戶外日光照射環境控制室被稱為 SPAR (Soil Plant Atmosphere Research)生長箱，其精確地提供主要對於作物生長的環境變數，包括溫度、濕度、大氣二氧化碳濃度。SPAR 單元為完全自動化量測作物冠層覆蓋氣體(crop canopy gas)交換，包含光合作用、呼吸、蒸散和水分利用效率。戶外研究設備，包含 6 個日照生長室，12 個土壤槽生長室，以及 6 個室內燈照生長室。

對於暴露於提升二氧化碳濃度下之基因表現之改變，使用基因差異展示(differential display, DD)和微陣列技術(micro array techniques,或稱之基因晶片)檢視之，這將使我們了解為何於部份作物品種長期暴露於二氧化碳下某些生理反應會有所表現，但其它卻否。確定哪些基因表現之改變是有利或不利的，此將有助於二氧化碳濃度提高後有較佳之適應性之新品種發展。



圖 1. SPAR 生長室

心得及建議

- (一). 明年(2016)是台美簽署合作備忘錄之第 30 年，可彙整 30 年來台美合作計畫之亮點或對台美雙方都有實質利益之研究成果，以作為下一階段台美合作之基礎，維持台美雙方實質合作關係。
- (二). 台美雙方每年應舉辦一次台美科技合作會議，今年因故尚未舉辦，建議若能在 11 月底同時邀請美國農部農業研究署行政人員與 Dr. Reedy 一同來台，一方面交換雙方氣候變遷研究方面之成果與心得，一方面也完成今年科技合作會議，維持雙方之合作氛圍。
- (三). 台美科技合作現由美國國外事務署(Foreign Affair Service, FAS)轉由農業研究署(Agricultural Research Service, ARS)負責，而農業研究署事實上只負責美國國內研究計畫，未來台美合作形態是否會有改變，我方也應能掌握與因應。
- (四). Dr. Reddy 研究團隊在作物模式發展上，以戶外日光照射環境控制室(Soil Plant Atmosphere Research, SPAR)精確地提供作物生長的環境變數與作物生長參數，並已建立完整之研究方法，包括控制室之環境監控與模式測試等，Dr. Reddy 歡迎國內年輕研究人員或大學研究生可申請在其研究室一年期之訓練。

附錄

美國農部氣候變遷研究參訪照片



1. 美國農部研究中心行政大樓。



4. 許桂森副組長與美國農部氣候變遷研究團隊合照。



2. 美國農部農業圖書館。



5. SPAR 生長箱之試驗說明。



3. 與美國農部氣候變遷研究團隊合照。



6. SPAR 生長箱外觀。



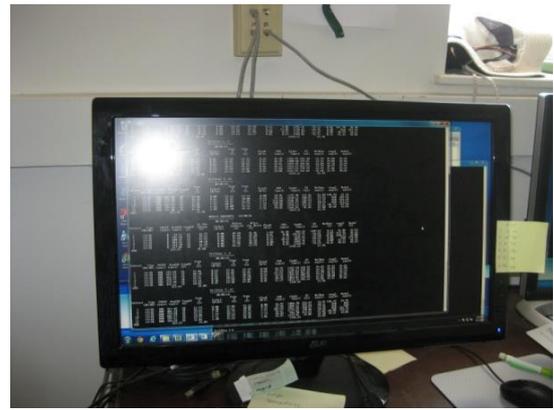
7. SPAR 之秤重系統。



10 SPAR 監測儀。



8. SPAR 內作物生長情形。



11 SPAR 即時監測儀。



9. SPAR 供電系統。



12. Open top chamber
(玻璃板移除維護中)。



13. 田間 FACE 設備



14. Open top chamber(玻璃板移除維護中)和 CO₂ 供應槽。

