

出國報告（出國類別：研究）

台美農業科技合作- 研究雜草型紅米防治策略之研究

服務機關：行政院農業委員會農業試驗所

姓名職稱：吳東鴻（助理研究員）

派赴國家：美國（戴爾-邦珀斯國家水稻研究中心）

出國期間：中華民國107年10月01日至10月16日

報告日期：中華民國107年10月22日

目次	
一、摘要.....	2
二、研究行程.....	3
三、研究內容	
1. 美國農部貝爾茲維爾農業研究中心(Beltsville agricultural research center)人員簡介	4
2. 應用作物生理參數全期評估與參數模式建構	4
3. 美國農部戴爾邦伯斯國家水稻研究中心(Dale Bumpers National Rice Research Center, DBNRRC)人員簡介	6
4. 台灣雜草型紅米研究成果的增修	7
5. 雜草型紅米的防除策略交流	8
四、研究建議.....	8
五、交流影像紀錄.....	9

一、摘要

目前在美國農部貝爾茲維爾調適作物栽培系統實驗室(adaptive cropping systems labatory)中，聯邦研究人員配置 8 位研究人員，技術研究人員 11 位、訪問學者 10 位。其中以 David Fleisher 農業工程學家為首，負責應用作物生理參數全期評估、光合作用特徵與參數模式建構，並協助引薦 Jinyoung Barnaby (原在戴爾邦伯斯水稻中心，因任務轉調至 Beltsville 研究中心)生理學家、Dennis Timlin 土壤科學學家、Lewis Ziska 生理學者 (是雜草型紅米因應氣候變遷計畫的主要主持人，也是首篇綜論文獻的第一作者，Dr. Gealy 則為第二作者)。Dr. Fleisher 導覽目前小型人工氣候室，每間氣候室均可獨立控制生長溫度、土壤根溫、水分變化、二氧化碳濃度與日長等變化，目前已在玉米、大豆與馬鈴薯等作物上均收集極詳細性狀特徵變化以供建構作物模式，今年開始嘗試建立水稻相關作物模式建立，初次收集超過 15000 份水稻樣品，調查規模相當龐大。在水稻作物模式上目前僅具雛形，Dr. Fleisher 導覽 Oryza 2000、CropWat、AquaCrop 與 DD50 軟體/生長模式，除了 Orzya 2000 係由 IRRI 研究團隊開發並廣為人知外，CropWat、AquaCrop 均由聯合國農糧組織(FAO)所開發，DD50 指標則是美國稻米生產區推廣生產農民簡易預測收穫期等。

另「雜草型紅米的防治」係緣起 2014 年臺美農業科技合作的決議中，由美國農部農業署(USDA-ARS)轄下的戴爾邦博斯國家水稻研究中心(DBNRRC)與台方水稻研究人員共同合作(水稻推動小組成員)。2018 年，執行「臺美農業科技合作-研習雜草型紅米防治策略之研究」，今年 3 月已將美國雜草型紅米透過種原交流引入國內進行性狀評估與遺傳分析，10 月赴美前往該中心交流雜草型紅米後續研究成果與防除技術研習；在阿肯色州的稻作生產區中，主要是以直播、單期作與大面積生產水稻，因此阿肯色大學農業推廣中心主任 Dr. Bob scott(雜草學家)，建議在大面積生產系統中，有些商業公司在夏天正常水稻生產季節中會推薦種植耐除草劑品種，在冬季或休耕期間噴溼除草劑清除田間自生苗以減少族群密度，也透過水稻與大豆等水旱輪作控制雜草紅米的繁殖周期。

二、研究行程

日期	行程及工作內容	地點
107/10/01- 107/10/06	出發 抵達馬里蘭州貝爾茲維爾(Beltsville, MD) 研習應用「作物生理參數全期評估、光合作用特徵與參數模式建構」於雜草型紅米之競爭優勢，及其實務操作。	美國農部貝爾茲維爾農業研究中心(Beltsville Agricultural research center)
107/10/08- 107/10/14	抵達阿肯色州的戴爾-邦珀斯國家水稻研究中心 (Dale Bumpers National Rice Research Center) 商討雜草型紅米基因體分析與分享國際團隊成果，確認發表計畫與分工，至州內農業推廣中心研習雜草型紅米防治經驗。	阿肯色州斯圖加特市 (Stuttgart, Arkansas)

三、研究內容

(1)美國農部貝爾茲維爾農業研究中心(Beltsville agricultural research center)人員簡介

目前在調適作物栽培系統實驗室(adaptive cropping systems laboratory)中，聯邦研究人員配置 8 位研究人員，技術研究人員 11 位、訪問學者 10 位。其中以 David Fleisher 農業工程學家為首，負責應用作物生理參數全期評估、光合作用特徵與參數模式建構，並協助引薦 Jinyoung Barnaby (原在戴爾邦伯斯水稻中心，因任職轉調至 Beltsville 研究中心)生理學家、Dennis Timlin 土壤科學學家、Lewis Ziska 生理學者 (是雜草型紅米因應氣候變遷計畫的主要主持人，也是首篇綜論文獻的第一作者，Dr. Gealy 則為第二作者)。Dr. Fleisher 導覽目前小型人工氣候室，每間氣候室均可獨立控制生長溫度、土壤根溫、水分變化、二氧化碳濃度與日長等變化，目前已在玉米、大豆與馬鈴薯等作物上均收集極詳細性狀特徵變化以供建構作物模式，今年開始嘗試建立水稻相關作物模式建立，初次收集超過 15000 份水稻樣品，調查規模相當龐大。

(2)應用作物生理參數全期評估與參數模式建構

在水稻作物模式上目前僅具雛形，Dr. Fleisher 導覽 Oryza 2000、CropWat、AquaCrop 與 DD50 軟體/生長模式，除了 Orzya 2000 係由 IRRI 研究團隊開發並廣為人知外，CropWat、AquaCrop 均由聯合國農糧組織(FAO)所開發，DD50 指標則是美國稻米生產區推廣生產農民簡易預測收穫期等。

CROPWAT 8.0 是一項支援 Window 系統下的統計軟體，可依據土壤、氣候與作物資料計算作物需水量與灌溉需求，因此這個程式可以依照不同栽培條件擬定灌溉計畫，合併計算不同作物模式的用水量，並可支援評估不同灌溉模式下，在看天栽培與灌溉栽培下的作物產量差異。在初始設定時，可使用內建作物模式與土壤資訊進行預估分析，如果沒有地區性氣候資料，也可從氣候資料庫 CLIMWAT 取得全球 5,000 多個站點的資料便於分析。CROPWAT 8.0 灌溉計劃的擬定係基於每日土壤-水平衡關係，可點選各種供水與灌溉管理條件，並已經建有水稻等 20 種作物，當本地資料可用時，可以輕鬆修改這些資料文件，也可以創建新資料文件。同樣，如果沒有當地的氣候資料，可以從相關的氣候資料庫 CLIMWAT 獲得全球 5,000 多個站點的資料。CROPWAT 8.0 灌溉計劃的製定基

於每日土壤 - 水平衡，使用各種用戶定義的供水和灌溉管理條件。方案供水根據用戶定義的種植模式計算，最多可包括 20 種作物。軟體內建逐年、逐月與每日的氣候資料用以計算參考蒸散量，以及計算水稻與陸稻的作物需水量、灌溉模式。

AquaCrop 是國際糧農組織土地和水資源司開發的另一個作物生長模式軟體，雖然主要在解決糧食安全問題，評估環境和管理對作物生產的影響。但 AquaCrop 模擬禾本科作物對水的產量反應，特別適用於以用水量為作物生產中關鍵限制因素下，探討產量變化。在模式開發中以簡單、準確與穩健性取得最佳平衡為目的，只需要輸入相對比較少量的必要參數與大部分直觀的性狀參數，計算基本且通常複雜的生物物理過程，並確認模擬作物在植物-土壤系統之間的相互回饋關係。AquaCrop 可用來規劃、協助灌溉與降雨等栽培管理；諸如了解作物對環境變化的反應，比較不同農地(栽培環境)間的產量潛力與實際產量，確定作物與灌溉用水的生產力限制，或擬訂灌溉計畫以達到最佳化產能，以及調整種植日期，品種選擇，施肥管理，覆蓋物的使用和雨水收集等處理影響。AquaCrop 的限制在於僅能模擬一年生草本作物的每日生物量產量和最終作物產量，以及單一田間作物的產量模擬，且假設該田地是均勻，沒有作物發育、蒸散、土壤特性與管理空間差異，只考量單純進水（降雨，灌溉和毛細管上升）和滲漏作用（蒸發和深層滲透）等水通量情況。

AquaCrop 以四個步驟模擬最終作物產量，並透過（在每個逐日時間增量中連續運行），如下所述。這四個步驟易於理解，從而確保建模方法的透明度。

- (1)綠色冠層覆蓋的發展狀況：在 AquaCrop 中，葉片發育是藉由綠色冠層覆蓋率而不是葉面積指數來表達。綠色冠層覆蓋率是樹冠覆蓋的土壤表面的一部分；它的播種範圍為零（即冠層覆蓋的土壤表面的 0%），如果達到完全冠層覆蓋，則在季節中期達到最大值（即 100%的土壤表面覆蓋在樹冠上）。通過每天調整土壤剖面中的含水量，AquaCrop 可以跟踪根區可能產生的應力；土壤-水分逆境會影響葉片，從而影響樹冠的膨脹；如果嚴重，它可以觸發早期冠層衰老。
- (2)作物蒸散作用：在水分充足的條件下，通過將參考蒸發蒸散量（ E_{To} ）乘以作物係數（ $K_c Tr$ ）計算作物蒸散量（ Tr ）。作物係數與綠色冠層覆蓋率成比例，因此根據模擬的冠層覆蓋物在作物的整個生命週期中變化。水分逆境不僅會影響冠層的發育，還會誘發氣孔關閉，從而直接影響作物的蒸散作用。

(3)地上生物量：產生的地上生物量(B)的數量與作物蒸散累積量成正比(ΣTr)；比例因子稱為生物質水生產力(WP)。在 AquaCrop 中，WP 針對氣候條件的影響進行了標準化，使標準化的生物質水生產力(WP*)適用於不同的地點，季節和二氧化碳濃度。(4)作物產量：模擬的地上生物量整合了季節期間作物同化的所有光合產物。通過使用收穫指數(HI)從 B 獲得作物產量(Y) - 收穫指數(HI)是可收穫產物 B 的分數。通過調整參考收穫指數(HIo)和應力效應的調整因子，在模擬期間獲得實際 HI。

DD50 簡易水稻基溫模式，DD50 模式是美國常見預測水稻生育期模式，主要從水稻移植或是直播開始計算累積熱量單位，分別在幼穗分化期、抽穗期與成熟期等重要分化生育期進行預測估計，可做為施肥與水分管理的參考工具。DD50 指標累計每日最高氣溫與最低氣溫之平均值並減去華氏 50 度，但最高溫如果超過華氏 94 度則均視為華氏 94 度，最低溫如果超過華氏 70 度則均視為華氏 70 度。概念十分簡單且深具可行性，但不知對於非美國區域的品種與環境條件，該 DD50 模式是否仍可延伸使用，藉此利用 107 年第一期作在農業試驗所試驗田所收集的試驗資料進行初步計算，資料集涵蓋 1 個品種、2 種灌溉模式、5 次生育期性狀與 2 重複，每次生育期間隔 1 周。不同灌溉模式間的葉齡與產量均相近，經過計算可知幼穗分化期約需 1272 個 DD50 熱量單位、抽穗期則需 1676 個 DD50 熱量單位，每增加一片葉片則會增加 204-226 個 DD50 熱量單位，不同水分處理間的葉齡與 DD50 熱量單位回歸模式可達 0.99，可進一步確認該模式在台灣環境下的穩健性。

(3)美國農部戴爾邦伯斯國家水稻研究中心(Dale Bumpers National Rice Research Center, DBNRRC)人員簡介

目前在水稻中心的研究人員共有 9 位，分別針對稻作育種(Anna McClung, Center Director and Research Leader)、遺傳分析(Shannon Pinson, Research Geneticist)、野生稻擴大遺傳變異(Georgia Eizenga, Research Geneticist)、稻熱病抗病基因(Yulin Jia, Research Plant Pathologist)、生物資料庫建置(Jeremy Edwards, Res Molecular Geneticist Plants)、耐旱育種(Jai Rohila, Research Agronomist)、米質研究(Ming-Hsuan Chen, Research Chemist)與雜草生理(David Gealy, Research Plant Physiologist & Facility Manager)。

近三年雙方研究交流歷程回顧：

「雜草型紅米的防治」係緣起 2014 年臺美農業科技合作的決議中，由美國農部農業署(USDA-ARS)轄下的戴爾邦博斯國家水稻研究中心(DBNRRC)與台方水稻研究人員共同合作(水稻推動小組成員)；2014 年由科技處盧虎生處長前往美國會談初步合作意願，由科技處推動並採研提二階計畫補助或其他人員培訓計畫支援，無例行公務預算支持，該中心 DBNRRC 是農部轄下主要水稻專責單位也是水稻種原中心，已中斷 10 多年未有實質交流合作計畫。

2015 年科技處再派水稻推動小組前後任執行台中場秘書楊嘉凌課長與農試所賴明信研究員前往位於阿肯色州 DBNRRC 洽談合作計畫與人員培訓，返台後推薦農試所吳東鴻助研員前往該中心進行短期研究與人員培訓，並以爭取 2016 年菁英培訓計畫補助作為人員培訓經費；2016 年順利取得農業菁英培訓計畫「研究臺灣雜草型紅米演化起源以強化田間管理技術」(105 年)，原定配合美方種植期程於 4-10 月前往交流，但因訪問學者簽證遲至 7 月獲得豁免背景審查才得以啟程，僅完成全台雜草型紅米族群之遺傳結構分析；同時在台舉辦 2016 年臺美農業科技合作會議，決議持續針對水稻研究加強合作，除了雜草型紅米議題外，未來再滾動針對水稻耐旱等相關逆境研究與 DBNRRC 進行人員培訓。

2017 年因為年初二階計畫補助額度不足，科技處知會所內主管持續推動該項紅米防除議題，簽核機關內計畫統籌款支應該中心 DBNRRC 研究人員 6 月來台旅費，邀請雜草型紅米議題研究人員進行北、中、南產業參訪，同時邀請該中心耐旱育種計畫主持人來台與桃園場研究人員、水稻推動小組賴明信執行秘書與科技處台美合作議案承辦人湯技正一同商討 2018 年人員派員赴美短期研習與合作規劃；同年 3 月在國際合作領域爭取 2018 年赴美短期交流之教育訓練費，經審查後核可前往美國研習雜草型紅米防除技術與拜訪相關推廣站。

2018 年，執行「臺美農業科技合作-研習雜草型紅米防治策略之研究」(107 農科-4.2.1-農-C2)，今年 3 月已將美國雜草型紅米透過種原交流引入國內進行性狀評估與遺傳分析，10 月赴美前往該中心交流雜草型紅米後續研究成果與防除技術研習；國內紅米防除推廣已於高雄市美濃地區進行多次講習涵蓋 1200 多公頃，並與高雄市政府、地區農會與農糧署一同針對產業問題，將台美合作成果立論國內防除技術。

(4)台灣雜草型紅米研究成果的增修

回顧過去台灣的紅米防除歷史與栽培型態變遷，推論可能是與雜草型紅米近

年逐漸蔓延相關，臺灣早期水稻栽培種因技術、設施與資材均較缺乏，主要係以具環境競爭力較強的高株秈稻為主，當時臺灣稻米品種混雜紅米、烏米、茶米及稗等情形嚴重，影響商品品質與外觀，1906-1921 年間進行系統性紅米防除才讓混雜得以控制。1953 年秈稻栽培面積普查時，「低腳烏尖」已是秈稻領先地方品系，但秈型紅米具有耐旱與耐鹽等逆境耐性，農民仍會在裡作或貧脊地種植紅米地方品系，當時仍有 10 個適於陸稻栽培的秈型紅米地方品系的紀錄；1959 年高產半矮性秈稻品種「臺中在來 1 號」育成與水利設施改善後，才讓紅米地方品系絕跡，可見早期紅米品系在臺灣稻作栽培史上曾綿延近 50 年以上，但除了品種變遷外，近年南秧北調的機械育苗模式提供了一項長距離稻種傳播，而共同使用聯合收穫機也造就短距離稻種傳播，而極少部分則是秈粳稻間的花粉基因流布。這些都是提供了台灣雜草型紅米可能起源至傳統紅米品系或是田野調查中所見的返祖異型株。

(5) 雜草型紅米的防除策略交流

在阿肯色州的稻作生產區中，主要是以直播、單期作與大面積生產水稻，因此阿肯色大學農業推廣中心主任 Dr. Bob Scott(雜草學家)，建議在大面積生產系統中，有些商業公司在夏天正常水稻生產季節中會推薦種植耐除草劑品種，在冬季或休耕期間噴溼除草劑清除田間自生苗以減少族群密度，也透過水稻與大豆等水旱輪作控制雜草紅米的繁殖周期。然在移植體系中，是採事先育苗、多期作連作與小面積生產，在移植前會先進行整地與殘株移植作業，相較於直播系統應該已有雜草控制的效益，因此在移植系統中，除了使用檢定合格的秧苗外，可朝向積極強化移植後田間自生苗發生率的控制，不論是採取清除土壤種子庫或是延後自生苗發生期避免雜草型紅米與栽培品種的成熟期重疊，藉此打破其繁殖周期。

四、建議事項

1. 加強宣導雜草型紅米的危害樣態與其生產風險，供生產者與管理者均有其正確背景知識對於田間異型株的辨識能力。
2. 藉由台美農業合作平台，落實人才培育、短期研究與團隊合作後，已經在第一階段達成建立雙方實質合作關係，然諸多農業研究均須長期累積資料與跨國合作，建議我方第二階段延伸雙方夥伴關係，相互參與彼此研究計畫形成國際研究聯盟，繼續支持雙方農業合作模式加強基礎研究與產業應用。

五、交流圖片



附圖 1. 貝爾茲維爾農業研究中心



附圖 2. 貝爾茲維爾研究中心建築外觀



附圖 3. 大豆溫室生長室



附圖 4. 大豆根系觀察根箱



附圖 5. 溫室二氧化碳控制管線組



附圖 6. 光合作用效率測定調查



附圖 7. 導覽作物生長模式調查溫室



附圖 8. 訪談 Lewis Ziska 雜草生理學者



附圖 9. 戴爾邦伯斯水稻研究中心



附圖 10. 訪談 Dr. Gealy 雜草紅米專家



附圖 11. 雜草型紅米成果發表簡報



附圖 12. Dr. Jai 導覽田間耐旱篩檢圃



附圖 13. Dr. Jia 導覽田間稻熱病病圃



附圖 14. DBNRRC 田間導覽。