

出國報告（出國類別：研究）

植物基因體及 **GBS** 技術研習

服務機關：行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所

姓名職稱：李柔誼 助理研究員

派赴出國/地區：美國

出國期間：民國 107 年 11 月 10 日至 108 年 09 月 11 日

報告日期：民國 108 年 12 月 09 日

摘要

本次出國研習前往美國喬治亞大學植物基因體定位研究室（PGML, UGA），參與棉花育種試驗、GBS 技術學習及多倍體作物基因體研究，以應用於基因體較為複雜及栽培歷程較長的園藝作物。藉由參訪農業相關研究機關及學術單位，瞭解鳳梨種原保存、基因體研究及產業現況。透過參與研討會及鳳梨研究發表與各國研究人員交流比較基因體學及生物資訊發展趨勢，提升我國鳳梨遺傳育種研究研發創新力量，並掌握世界鳳梨產業脈動。

目次

目的.....	3
研習內容及過程.....	4
心得及建議事項.....	31

目的

「後基因體時代」的來臨，突顯生物遺傳研究發展、基因技術演進、資料庫利用與管理以及科學倫理等觀念的重要性及挑戰性，隨著定序與基因型分析技術發展，能以更低的時間及財力成本，提升基因體研究的應用層面及研究效率。在栽培氣候條件的變化及對於產品安全性的重視下，基因體研究不只是遺傳序列的解碼，更是包含品種純化與鑑定、品種改良、育種材料開發、病原昆蟲檢定及演化分析等，對農業發展具有關鍵性地位。為瞭解當今植物基因體研究典範，如何透過模式作物研究方法的建立，以導入基因體較大或者更為複雜以及世代較長的作物，以及大量的基因資訊經有效分析去蕪存菁，執行 107 年度科發基金「國際化跨域創新與科研產業化人才培育」計畫，前往美國喬治亞大學（**University of Georgia**）進行植物基因體及 **GBS** 技術研習，學習簡化基因體定序技術，將定序成本投入基因體中各特定的資料點分析上，結合較大規模的試驗田規劃及育種規模，以提供鳳梨等果樹育種流程策略參考。同時，藉由參與研討會及訪問各研究室在鳳梨栽培、採收後處理、基因體、粉介殼蟲危害及線蟲管理等相關研究方法與成果，思考我國鳳梨在大面積栽培管理、國際採收後處理之包裝集貨流程及品質管理等產業技術發展方向，並維持國際合作促進研究發展。

研習內容及過程

本次研習執行「植物基因體與 GBS 技術研習」計畫，於 107 年 11 月 10 日至 108 年 9 月 11 日赴美國進行植物基因體研習及技術應用交流。主要研習機構為喬治亞大學植物基因體定位研究室（Plant Genome Mapping Laboratory, PGML）、德州農工大學農業生命研究與推廣中心（Texas A&M AgriLife Extension）、伊利諾大學厄巴納香檳分校（University of Illinois at Urbana Champaign, UIUC）、夏威夷大學（University of Hawaii, UH）、美國農業部美國太平洋盆地研究中心（Daniel K. Inouye U.S. Pacific Basin Agricultural Research Center, USDA ARS DKI-US-PBARC），亦赴動植物基因體國際研討會（The Plant and Animal Genome XXVII Conference, PAG）、美國園藝學會年會（American Society for Horticultural Science, ASHS）、美國植物生物學會（American Society of Plant Biologists, ASPB）等學術研討會，瞭解國際基因體、園藝及植物生物學研究趨勢。

美國喬治亞大學植物基因體定位研究室

喬治亞州（Georgia, GA）位於美國東南部，別名為桃州（Peach State），在美國農業經濟中，喬治亞州農牧業具重要地位，桃子、花生、胡桃、松樹以及家禽被稱為該州農畜業 5 P's（Peaches, Peanuts, Poultry, Pecans, Pine Trees），此外棉花、玉米、大豆、菸草等亦為該州重要產業。

喬治亞大學（University of Georgia, UGA）主要校區位於喬治亞州東北部的雅典-克拉克郡（Athens-Clarke County），與首都亞特蘭大相距 1.5 小時車程。喬治亞大學植物基因體定位研究室位於應用遺傳技術中心（Center for Applied Genetic Technologies, CAGT），由 Andrew Paterson 教授主持研究作物遺傳訊息及生物資訊分析，透過應用植物遺傳技術合作，提供分子遺傳工具以鑑定作物性狀之遺傳特性，如抗病性及產量等，並對植物發育、演化以及與農園藝重要性狀相關的基因，進行基因功能鑑定，結合作物育種方法，促進作物的改良，以因應人類的需求及喬治亞州農業發展。

目前植物基因體定位研究室以高粱、棉花及甘藍研究為主，由基因和基因體層次解釋各個物種之遺傳歧異度，建立了高粱基因體分子遺傳圖譜、物理圖譜及基因體線上資料庫，可作為馴化研究及品種改良參考依據，為重要育種材料建構完整的外表性狀及遺傳分析系統。在水資源逐漸匱乏之全球氣候變化趨勢下，更加突顯旱地作物的重要性，以比較基因體學的概念，進一步瞭解與高粱親緣關係較近、基因體研究尚未透徹、多倍體或基因體更為複雜的物種，例如甘蔗及強生草，嘗試以高粱生長與發育研究為基礎，開發低耗能草種以抵禦具侵略性之雜草發展，達到環境友善目標。該實驗室之棉花研究與喬治亞州產業息息相關，作為棉花生產三大州之一，喬治亞州每年投入可觀的農藥、肥料以及水等天然資源，研究人員遂從棉花基因體層次著手，探討棉花纖維發育遺傳機制，目標以較低的成本進行品種改良，達到棉花產量及品質提升，並在栽培過程中友善對待生態系統。

研習期間向該研究室博士生 Jeevan Adhikari 以棉花為遺傳研究範例，學習簡化基因體定序技術（GBS）、序列分析方法及育種策略規劃與操作，透過兩個棉花品種雜交以改良獲得高產且高品質之棉花。2018 年 12 月初赴棉花試驗田，以機械及人工收穫試驗材料，測定棉鈴產量與纖維品質，收集棉籽，以瞭解作物遺傳資源開發至育種流程之科技應用。作物研究首先達到對產量的需求，進而兼顧品質，種植及採收棉花過去一直是勞力密集的工作，在機械收穫的操作模式下，探討高產、高品質及適合機械收穫的分枝數。透過將一個產量高的棉花與另一個品質優的棉花品種互交，探討控制優良農藝性狀是屬於細胞質遺傳抑或是細胞核遺傳，並從中獲得較優良的遺傳組合，經過多個世代的回交，依據外表性狀選擇及淘汰，配合定序技術對回交後代進行基因型鑑定，加速選種流程及確保回

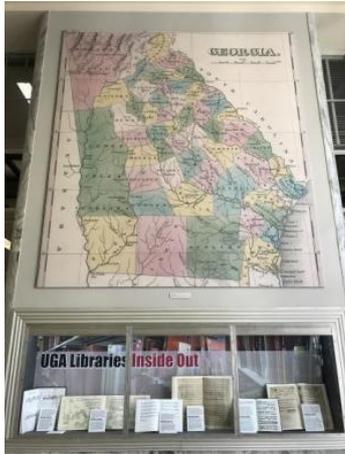
交代之遺傳背景。經過數代回交達到目標的遺傳組合，2019 年 5 月進行新一季的棉花種植，並在 7 月開始著手進行棉花葉片採樣及 DNA 萃取，以準備序列測定工作及基因型分析。

針對棉花回交族群進行簡化基因體定序，並建立測序文庫，以酵素酶切基因體，於測序片段接上寡核苷酸條碼（barcode），建構簡化圖書文庫（library）。透過編寫程式語言處理基因體定序序列除錯、排序及組裝，調整引子（primers）條件以利後續定序樣本製備。作物全基因體資訊之公開可提升遺傳資源利用效率，GBS 技術已然成為其中一種種原研究及基因體輔助育種工具，能突破遺傳背景較為複雜或尚未全基因體解序物種研究的限制。GBS 使用限制酶切技術以簡化基因體定序的複雜性，相較於針對作物全基因體解序更節省測序時間及經費投入，提升遺傳資訊探勘有效性，應用於不同品種遺傳特性評估及重要性狀基因瞭解上更有效率。

基於基因體測序技術發展，許多植物基因體數據資料庫得以建置，因而對植物遺傳機制及演化模式瞭解更加透徹，整合染色體複製及共線性等現象，能作為多倍化之數量性狀及分子遺傳研究基礎。生物資訊學早已成為基因體研究不可或缺的一環，程式語言作為工具協助從大量序列資料中篩選出有效的遺傳訊息，增加 DNA 序列組裝正確性。以 Linux 作為作業系統能大量取得並執行生物資訊軟體，其特性在於保留了 Unix 系統的開源性，容許多個使用者登入，能加以開發、編輯並執行程式。為數據分析技能需求，參與喬治亞高級計算資源中心（Georgia Advanced Computing Resource Center, GACRC）開設課程，專為缺乏 Linux 經驗的使用者進行基礎培訓，包括 Linux 系統工作環境、文件系統層次結構及路徑、Linux 常用命令字元與 Linux bash shell 的認識，以及腳本（shell script）製作並在 Linux 環境中執行腳本；配合 Python 語言概述，學習基本語法格式、程式設計控制結構；另外進行 R 語言處理文字及數字運算使用訓練，融合生物及資訊領域，更容易入門且更能與資訊研究人員對談，以掌握生物特性而探索分析數據策略與結果。

喬治亞大學學習資源豐富，由旁聽 Dr. Jason Wallace 所開設的 Genome-wide Association Plants（GWAS）及 Genomic Selection（GS）課程，學習其他試驗設計，並從矩陣及線性迴歸著手，瞭解基因體序列資料分析原理，Dr. Jason Wallace 於教授過程中建議透過 DataCamp 學習 R 語言，並於課堂提供各種研究範例，以實際演練操作建立處理數據能力。此外，應用遺傳技術中心（CAGT）、植物中心（Plant Center）及植物學系（P BIO）經常舉辦演講及工作坊，提供農園藝作物科學、遺傳研究與資訊處理相關研究人員積極討論的平台，邀請如 Dr. Nirav Merchant 致力於開發開放式且可擴展的數據平台，通過大規模處理、管理及傳遞使數據成為有效訊息，並突破數據和訊息層次以提高跨域團隊的研究效率；日本九州大學訪問教授 Dr. Koji Noshita 進行大豆表型體分

析，以大規模樹冠 3D 量測系統，控制外表型測定的準確性與穩定性；國際農業日（International Agriculture day）由加納大學西非作物改良中心（WACCI）主任 Dr. Eric Danquah 說明撒哈拉以南地區非洲的糧食和營養安全，呼籲透過國際合作共同培訓下一代育種家，以因應糧食缺乏及安全問題，期望通過提升高等教育改變非洲的農業現況；Plant Center 研討會集結植物學、病理學、遺傳育種學、基因體學、作物與土壤科學教授及研究生，從細胞到生態系統討論植物科學的演進。在 PGML 育種遺傳研究學習過程中，逐步建立基因體技術應用及育種策略規劃，加以 UGA 所提供的學習資源，建立資訊處理能力，並拓展國際合作及國際研究發展視野。

	
<p>喬治亞大學及其吉祥物 Bulldog</p>	<p>喬治亞大學校區包含 Athens, Tifton 及 Griffin</p>
	
<p>應用遺傳技術中心（CAGT）</p>	<p>Davison Life Sciences Complex （Life Science Building） GACRC 上課地點</p>



Andrew Paterson 教授及 PGML 成員
合影



PGML 成員聚餐討論分享合影



棉花試驗田



棉花田機械收穫



棉花收穫與產量量測



Jeevan Adhikari 說明
棉花外表性狀特性



人工收穫棉花



兩品種棉花種子與纖維比較



機械分離棉花與種子操作



棉花溫室試驗材料



有機酸分解棉花纖維操作



棉花自交示範



棉花自交操作



兩個棉花品種葉片及花



棉花自交成功後花瓣掉落情形



未成熟棉鈴內部危害觀察



棉花田種植



棉花 DNA 萃取



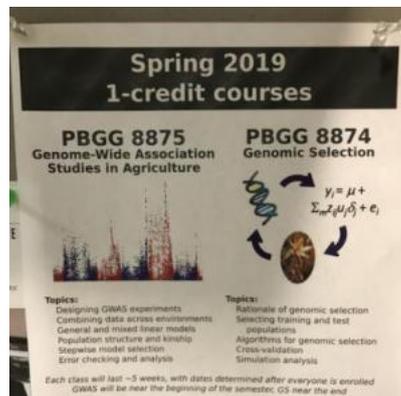
棉花 DNA 片段選擇示範



以電泳分離並選擇 DNA 片段



喬治亞大學園藝系



春季旁聽 GWAS 及 GS 課程



Plant Center 邀請 CyVerse (iPlant)
Dr. Nirav Merchant 演講



九州大學 Dr. Koji Noshita 進行
“3D field phenotyping of canopy
development in soybean”專題討論



國際農業日演講



加納大學 Dr. Eric Danquah 演講



Plant Center Spring Symposium

SCHEDULE				
Time	Speaker	Affiliation	Topic	Lab Title
8:00am			Registration & Breakfast	
8:00am	Brian Gentry	University of Georgia	Bioreactor - Graduate Student Organizing Committee	
8:10am	David Lee	University of Georgia	Welcome - Vice President of Research	
8:20am	Jean Rauscher	CORTIVA Agriculture	Welcome - CORTIVA Agriculture	
8:30am	Jed Rhee	CORTIVA Agriculture	SA elongation rate response to water deficit mediated by ARID1B influences on ethylene sensitivity in Arabidopsis	
10:00am			Morning Break (Coffee)	
10:30am	Armin Datta	Real Gardens	Coffee Farming & Climate Change: Options and Opportunities	
11:00am	Barth Heide	University of California, Berkeley	Methods to assess plant biomass, immunity and drought	
11:30am	Wen Zhang	University of Georgia	Synergistic and antagonistic interactions of DTP-1 gene in DTP1-associated corns full crop response	
12:00pm			Lunch Break (Salads & Sandwiches)	
1:30pm	Tim Bernier	Virginia Tech	WTRM: Genome Editing of Genevee (Rice) and sorghum during Phase of Substrate	
2:00pm	Wen Zhang	University of Georgia	Determining the role of transcription factors essential for in vitro culture of rice embryos	
2:30pm	Jennifer Lewis	University of California, Berkeley	Expanding diversity in grain maize inbred lines to prevent against bioterrorist pathogens	
3:00pm			Afternoon Break (Coffee & Pastries)	
3:30pm	Jorge Ramirez	University of Florida	Analysis of polyphenolic TE inhibitors of rice: methyl feruloyl esters influence on membrane permeability and spreading of DNA methylation	
4:00pm	Yves Heuvelink	University of Florida	Polymorphism and genetic patterns of basal resistance in rice	
5:00pm			Social & Study Center - Full bar & food (if available)	
7:00pm			Event Concludes	

"Advancing Plant Sciences: From Cells to Ecosystems." 研討會

德州農工大學農業生命研究與推廣中心 (Texas A&M AgriLife Extension) 及伊利諾大學厄巴納香檳分校 (UIUC)

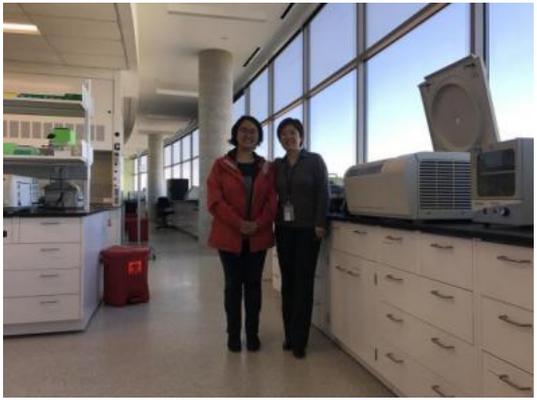
2019 年 3 月拜訪德州農工大學農業生命研究與推廣中心 (Texas A&M AgriLife Extension) 及伊利諾大學厄巴納香檳分校 (UIUC)。德州農工大學農業生命研究與推廣中心位於德州農工大學達拉斯分校，其基因體研究團隊致力於將基因體學、分子遺傳學及生物資訊學技術應用於熱帶及亞熱帶作物改良，近年來，投入熱帶型草種非生物性逆境之基因體研究、鳳梨 CAM 光合作用機制下的基因調控網絡、多倍體甘蔗基因體剖析、甘蔗生質能源與蔗糖產量提升以及木瓜性染色體演化研究。

由 Dr. Qinyi Yu 所帶領的研究團隊致力於木瓜、鳳梨、甘蔗及草坪草基因體研究，草坪草 (turfgrass) 可見於美國家家戶戶，也是都市市容的展現，估計美國草坪草總面積約有 5000 萬英畝，年產值達 579 億美元，栽培面積大於棉花、高粱、大麥和燕麥等農藝作物。草坪草也是美國最大的灌溉作物和第二大種子作物，水資源日益減少下，開發需水較少、耐汙水或鹹水的草種，找到調節 *Zoysia matrella* 對鹽分耐受性的調控機制。

Dr. Qinyi Yu 及伊利諾大學 Dr. Ray Ming 兩位研究學者投入鳳梨研究多年，並於 2015 年首度發表鳳梨全基因體序列，著重於鳳梨調控景天酸代謝 (CAM) 光合作用機制之基因研究，欲將鳳梨建立為 CAM 模式作物，以作為相關作物如蘭花、火龍果等研究範例，並改進 C3 及 C4 作物光合作用效率。由於特殊的光合作用途徑，鳳梨將水分轉化為乾物質的效率較水稻及玉米等傳統作物高，2015 年鳳梨基因體解序後，尚缺乏對重要園藝性狀及其遺傳控制的認識，因此，其研究策略以開發及運用分子遺傳工具鑑定並利用種質資源，加速作物改良，同時探索乾旱條件下鳳梨適應性的生理基礎，以提高其他作物對水份逆境的耐受性。於 2019 年再度發表鳳梨無性繁殖研究，比對三個鳳梨品系 CB5、F153 和 MD2 基因體在鳳梨纖維、顏色形成、糖積累以及果實成熟的遺傳特性，渴望透過遺傳研究突破鳳梨自交不親和的限制，降低品種改良的難度，促進鳳梨產業發展。

Dr. Ray Ming 長期投入木瓜、鳳梨及甘蔗的研究，並始終保持對木瓜研究的熱愛，其研究動力源自於木瓜的性別遺傳的特殊性，木瓜由三種性別，包括雌性、雄性和雌雄兩性組成，並會受到環境影響而轉換，這驅使 Dr. Ray Ming 探究木瓜性別染色體起源，以改變木瓜性別為目標，將雌雄兩性的雌性分離出來，從分子層次鑑別木瓜性別，以及瞭解遺傳控制性別染色體形成與分化的演化機制。

美國熱帶果樹栽培及其病蟲害研究仍以夏威夷地區為主，上述兩位教授著重在鳳梨基因體研究，除了介紹其所在研究中心及鳳梨、木瓜、草坪等作物相關研究成果外，也提供進一步拜訪美國農業部位於夏威夷希洛 USDA-PBARC 研究中心的機會，觀摩美國熱帶及亞熱帶物種作物繁殖及保存的遺傳資源應用及永續生產系統，提供我國遺傳資源管理及未來研究合作之參考。

	
<p>德州農工大學農業生命研究與推廣中心 (Texas A&M AgriLife Extension)</p>	<p>與 Dr. Qingyi Yu 合影</p>
	
<p>Dr. Qingyi Yu 解說木瓜性別遺傳研究</p>	<p>培養室試驗材料介紹</p>



鳳梨基因體研究材料



草坪草基因體研究材料



伊利諾大學厄巴納香檳分校 (UIUC)



與 Dr. Ray Ming 及赴 UIUC 攻讀碩
博士學長姐合影



於溫室培養鳳梨基因體研究材料



Dr. Ray Ming 團隊木瓜性別研究成果



UIUC 植物科學溫室與保護區



UIUC 圖書館

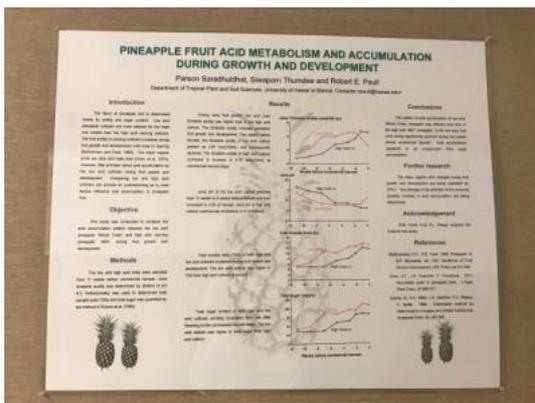
夏威夷大學 (University of Hawaii, HI)

於 2019 年 7 月拜訪夏威夷大學馬諾阿分校熱帶農業與人力資源學院 (College of Tropical Agriculture & Human Resources, University of Hawaii at Manoa, UH Manoa)，所拜訪的四位教授分別為熱帶植物與土壤科學系 (Department of Tropical Plant & Soil Sciences) 的 Dr. Robert Paull，以及植物與環境保護科學系 (Department of Plant and Environmental Protection Sciences) 的 Dr. John Hu、Dr. Brent Sipes 及 Dr. Koon-Hui Wang。

Dr. Robert Paull 主要從事熱帶水果、蔬菜及花卉採收後處理研究，透過採收後植物生理特性變化，擴及對貯藏、包裝至運輸流程之病蟲害檢疫控制。在鳳梨採收前處理會影響糖代謝及鳳梨水浸狀組織之發生，採後必須設法減緩熱帶水果因低溫貯藏而造成的寒害徵狀，以及探討熱處理對水果成熟影響以延遲水果軟化。另一方面，透過化學藥劑處理以延遲鳳梨花芽分化，以減少收穫的損耗，透過突變體及其遺傳特性研究，瞭解果實成熟性狀的演化過程，對可能參與影響水果成熟的基因進行鑑定。Dr. Robert Paull 研究室每週固定前往 Dole 鳳梨園進行果實取樣及調查，前往果園當天正進行鳳梨採收，工作人員以人工採收後，將鳳梨吊掛至大型機械以運回果園旁的集貨場進行選別，由於有限的勞動力，七月份不見對鳳梨果實實施覆蓋處理，外觀受損的果實直接淘汰。一同前往果園的還有 Dr. Nancy J. Chen 及來自京都大學的訪問學者 Kana Murai，Kana Murai 在日本從事釋迦的採收前處理研究，提到日本將釋迦種植於溫室，也發現在氣候變遷影響之下，農作物的栽培緯度逐漸向兩極移動，所面臨的問題包含持續高溫及水資源失調逆境，各國學者都在投入廣適應性的品種，甚至是投入研究不同氣候帶的作物物種，及其採收前與採收後生理特性，如日本於溫室栽培釋迦、芒果、荔枝等，並其擴展栽培區域的可能性 (forcing culture)。

Dr. John Hu、Dr. Brent Sipes 及 Dr. Koon-Hui Wang 分別從事鳳梨萎凋病及線蟲研究工作，Dr. John Hu 專精香蕉萎縮病 (bunchy top disease of banana) 及鳳梨介殼蟲萎凋病 (pineapple mealybug wilt, MVP)。香蕉萎縮病由香蕉蚜蟲傳播 BBTV 病毒感染香蕉植株，導致發育遲緩及扭曲，失去生產價值，透過建立快速病毒檢測方法以控制 BBTV 傳播。鳳梨萎凋病使鳳梨葉片尖端枯萎，葉緣向下捲曲，最後導致整株凋亡，Dr. John Hu 於 2018 年已鑑定出數種相關的病毒 (PMWaV)，通過 siRNAs 研究瞭解 badnaviruses 與鳳梨萎凋病的關聯性。Dr. Brent Sipes 主要從事土壤傳播疾病的研究及管理，尤其是線蟲研究，他成功改善孟加拉國、印度及菲律賓等地土壤健康及線蟲寄生所造成的破壞，並與 Dr. Koon-Hui Wang 於今年共同發表夏威夷三個島上 25 種麵包果 (breadfruit) 的寄生線蟲研究，並持續透過生物性防治抑制線蟲危害，以及以有益微生物作為土壤健康管理策略。

都樂鳳梨園 (Dole Plantation) 位在歐胡島 (Oahu) 上，距離夏威夷大學馬諾阿分校 30 分鐘車程，園區內可以搭乘遊園小火車 (Pineapple Express Train Route)、鳳梨園主題花園 (Plantation Garden Tour) 及鳳梨迷宮體驗夏威夷人對於鳳梨的熱愛以及 Dole 如何把鳳梨推向國際的進程，園區內可見以鳳梨的生長、生產與市場貿易呈現鳳梨的不同面貌，品種展示區以商業品種開英、MG-3、野生種及 DOLE-30 等鳳梨品種述說 James Drummond Dole 看見鳳梨潛力並創建夏威夷鳳梨公司至今的歷史脈絡。當地火山土壤及溫暖的熱帶氣候適合種植鳳梨，而今夏威夷鳳梨產業規模逐漸縮小源於較高的勞力成本及土地利用的改變，Dole 因擁有自己的土地，而使夏威夷鳳梨傳奇能以繼續。

	
<p>夏威夷大學馬諾阿分校 (University of Hawaii Mānoa)</p>	<p>St John Hall (Tropical Plant & Soil Sciences)</p>
	
<p>Dr. Robert Paull 研究室團隊 鳳梨果實酸度代謝研究</p>	<p>與 Dr. Robert Paull 及研究室成員合影</p>



Dole 採收鳳梨情形



Dole 鳳梨果園栽培情形



鳳梨品種 'MG-03'



木瓜試驗田疏果及採收



與 Dr. Koon-Hui Wang
在植物線蟲非農藥防治研究室合影



與 Dr. John Hu 合影



與 Dr. Brent Sipes 合影



Dr. Brent Sipes
介紹夏威夷大學鳳梨研究室原址



都樂鳳梨園



夏威夷鳳梨公司創辦人 James Dole



MG-3



DOLE-30



MACGREGOR



野生鳳梨 BRACTEATUS



Pineapple Express Train Route



鳳梨園隨處可見食用及觀賞用鳳梨

美國農業部-美國太平洋盆地研究中心

美國農業部 (USDA) 總部設於華盛頓哥倫比亞特區，由 29 個機構和辦事處組成，其美國太平洋盆地研究中心 (USDA ARS DKI-US-PBARC) 位於夏威夷州大島的希洛 (Hilo, Island of Hawaii)，有熱帶作物暨商品保護研究部 (Tropical Crop and Commodity Protection Research Unit, TCCPRU) 及熱帶植物遺傳資源暨疾病研究部 (Tropical Plant Genetic Resources and Disease Research Unit, TPGRDRU)。主要從事熱帶作物遺傳資源保存、基因體研究、遺傳特性改良、分子檢定、病理學特性研究及永續性生產系統建置，所涵蓋的作物包括鳳梨、荔枝、可可、酪梨、夏威夷豆、咖啡等等。本次參訪行程主要由 Dr. Tracie Matsumoto 安排，與種質資源庫 (National Clonal Germplasm Repository)、USDA ARS DKI PBARC 及 UHM Komohana Research and Extension Center 等研究中心研究人員進行交流。Dr. Tracie Matsumoto 介紹種質資源中心種原保存現況，種原中心保存 186 個鳳梨收集系，以盆土栽培及組織培養繁殖，依據申請者需求提供組織培養材料繁殖服務，研究中心同時持續針對粉介殼蟲等鳳梨害蟲，進行性費洛蒙誘殺綜合防治，監測亞熱帶及熱帶作物、害蟲、天敵與微生物之間化學傳遞訊號的交互作用，加以防治。另外也建立鑑別鳳梨育種材料基因型之分子標幟，透過基因型與外表型的關聯性，排除環境對鳳梨重要園藝性狀表現之影響，以篩選合適的育種材料或達到品種純化，國際間對於鳳梨基因體研究正在起步，以農藝作物為研究範本時，仍須考慮果樹育種世代推進及改良目標性狀之遺傳力與選拔效率。Dr. Dong Cha 主要從事誘引劑合成及性費洛蒙研究，曾協助櫻桃、蘋果及葡萄等作物進行生物性防治，並準備投入熱帶作物有害生物管理方法。Dr. Jon Suzuki 也是從事木瓜及火鶴花遺傳研究專家，透過分子遺傳鑑定作物重要園藝及觀賞性狀，以開發生物技術或基因轉殖等方式，產生並推廣具有抗病性或觀賞用途的品種。Dr. Eli Isele 作為永續農業推廣研究人員，主要執行不同作物在夏威夷各島嶼間種植的適應性及應用性評估，針對種植地區進行訪談及調查，例如 2018 年火山爆發產生對夏威夷豆種植地區作物及栽培者的健康及安全危害風險時，往來不同地區調查危害發生頻率及嚴重性，並提出相應的對策，以維持作物生產及價格的穩定性，維護作物生產與農產品安全發展。

參訪完研究機構，研究人員建議我走訪鄰近的農夫市集，瞭解當地農產品販售情形。除了歐胡島的都樂鳳梨園外，夏威夷主要種植鳳梨的地區為可愛島 (Kauai) 及逐漸復興的茂宜島 (Maui)，並以開英種 "Smooth Cayenne" 為主要栽培品種，另外低酸度的白鳳梨 "Sugarloaf" 較為少見，為開英種變異，葉片光滑無刺且果肉呈白色，因具有糖漿的風味而得名，價格可達每磅 4.5 美元。在希洛所在的大島上，因為產量不高，僅限於夏季採收，星期四有更多的農夫集中到市集，7 月份市集可見到開英種鳳梨及白鳳梨，主要供應夏威夷州鮮食用，白鳳梨僅在

農民市集販售，是夏威夷人引以為傲的低酸度品種，在市場上甚至被稱為無酸鳳梨（Non-acid），一般開英種鳳梨為每磅 3 至 3.5 美元，白鳳梨每磅則可高出 1 至 1.5 美元，當天在農民市集購買一顆白鳳梨，粗估為 800 公克，售價為 10 美元，葉片外觀為全緣無刺，果肉白，但是還是有一定的酸度。



National Clonal Germplasm
Repository



與 Dr. Tracie Matsumoto 合影



鳳梨種原保存



種原性狀調查及品質分析儀器



各階段組織培養苗介紹



可可種原於網室栽培



火龍果種原繁殖



酪梨種原保存



荔枝種原解說



形態各異的可可種原展現高歧異度



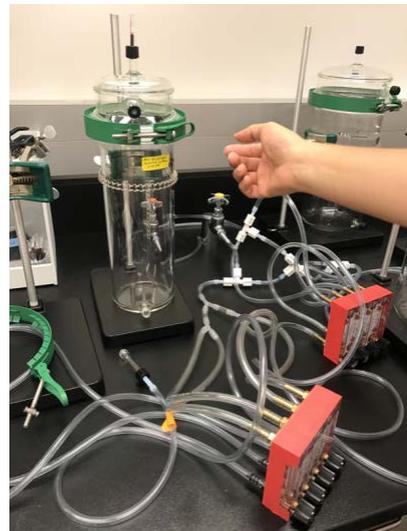
美國太平洋盆地研究中心
(USDA ARS DKI-US-PBARC)



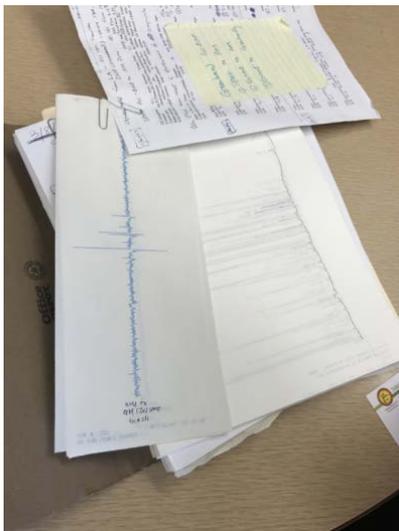
昆蟲性費洛蒙腺體研究及分析儀器



由 Dr. Dong Cha
講解昆蟲性費洛蒙腺體收集



性費洛蒙腺體在瓶中收集達一定數量
以有機溶劑溶出分析



分析儀記錄器呈現不同成份曲線



與 Dr. Dong Cha 合影



蘭花測色實驗示範



與 Dr. Eli Isele 及 Dr. Jon Suzuki 合影



農夫市集販售情形



白鳳梨及開英種鳳梨



農夫市集販售之鳳梨、荔枝、咖啡等
果醬及奶油產品



芒果及木瓜販售情形



農夫市集之鳳梨果實大，冠芽歪斜仍被市場接受，進行販售



販售之鳳梨果實成熟度不一，各家農民所定價格也有落差，並未確認是否會向觀光客提高售價



鳳梨與其他農產品比較



木瓜及荔枝販售情形



白鳳梨外觀



白鳳梨剖面

研討會觀摩實習

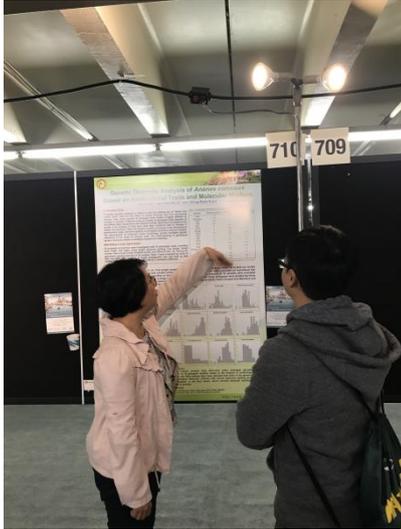
2019 年 1 月參與第 27 屆動植物基因體國際研討會 (The Plant and Animal Genome XXVII Conference, PAG, 聖地牙哥)，並發表鳳梨遺傳研究成果海報：Genetic Diversity Analysis of *Ananas Comosus* Based on Horticultural Traits and Molecular Markers，向與會人員分享台灣鳳梨研究現況。透過瀏覽現場展示海報與各國發表研究人員對談，促進對國際農業科學基因體研究之瞭解，共同討論當前基因體研究於園藝作物的發展性及應用性，進一步建立與鳳梨遺傳研究相關國際農研人員之交流及觀摩實習機會。參與 C4 及 CAM 作物光合作用功能性基因體、棉花基因體 (ICGI)、柑橘基因體 (Citrus Genome)、甘蔗研究 (Sugar cane) 等近 30 場次工作坊及專題演講，更新近期基因體發展及未來農研趨勢，如 Machine Learning、Database Resources (NRSP10)、JBrowse 等，瞭解各研究團隊如何因應後基因體時代，數據爆炸性發展之資訊處理。

期間參與 Dr. Ray Ming 所主持的甘蔗基因體工作坊，講授以高粱基因體作為研究甘蔗基因體的歷程，甘蔗基因體龐大，商業品種由高糖品種及野生種雜交，倍體數高達十二倍體，特異性雜交的和非倍體化增加甘蔗基因體研究的複雜性，透過與高粱基因體進行比對，該項研究指出甘蔗和高粱的基因體的大部分基因區域具有共線性，能以高粱基因體作為同源多倍體甘蔗基因體序列之比對及組裝的參考模板，以獲取高粱及甘蔗之染色體保守區域及重組現象研究。

2019 年 7 月參與美國園藝學會年會 (American Society for Horticultural Science, ASHS)，發表鳳梨栽培研究成果海報：Effects of Covering on Production of Pineapple Fruits in Cold Season in Taiwan，及口頭發表 Growth and Fruit Quality of Pineapple Varieties in Taiwan，雖與會人員多為美國國內園藝相關研究人員，鮮少有人從事鳳梨研究工作，但在熱帶果樹工作坊中，認識到夏威夷及佛羅里達等地的研究人員，對於熱帶作物進行多方討論，並展現對於台灣能在亞熱帶及熱帶種植鳳梨的極大興趣，非常值得進一步交流與合作。美國園藝學會年會與台灣園藝學會年會一樣，藉由在不同地區舉辦研討會提供當地農業栽培、地理環境及農業產業參訪，能以認識內華達州沙漠地區葡萄栽培及與與會研究人員觀察特殊的沙漠植物，在交流過程中，打破語言及地區限制，享受園藝科學成為共同語言的樂趣。

2019 年 8 月參與美國植物生物學會 (American Society of Plant Biologists, ASPB) 學術研討會，研討會內容與自身所熟悉的領域較為不同，透過植物細胞層次、免疫及器官分化，探討棉花纖維發育、CAM 作用機制及逆境生理等基礎

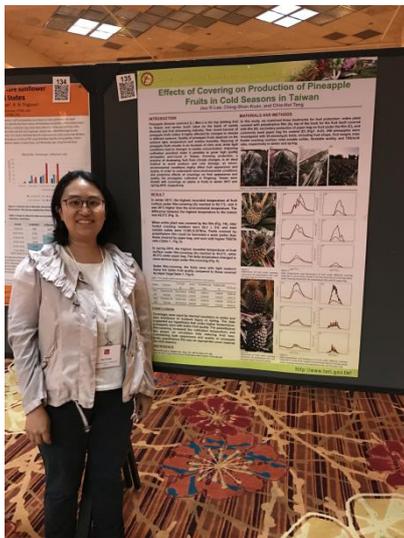
研究，對於植物研究發展未來在逆境研究及基因編輯等議題上，提供基礎研究的發想，雖在農業應用上還有一段距離，也帶給農業研究另一個新視野及思考面向。



PAG 研討會海報發表



Dr. Ray Ming 於 PAG 研討會
進行甘蔗基因體研究演講



ASHS 研討會海報發表



ASHS 研討會口頭發表



ASHS 研討會園藝研究人員與飯店管理者討論花卉之佈置及應用



內華達州沙漠地區葡萄栽培情形



內華達州沙漠植物特性講解



PB19 研討會

心得及建議事項

1. 在栽培環境因子劇烈變動的條件之下，基因體學增加對植物生長與發育的可預測性，使植物研究邁入新階段，基因體調控作物生長發育之結果能作為遺傳資源潛力分析的資訊。相較於傳統的研究方法，分子遺傳研究建置門檻較高，目標作物使用分子工具的必要性以及後續應用性，是考慮投入基因體研究的關鍵第一步。農業研究更著重於應用性，因此，分子技術必須設法推展到對產業有助益的區塊上才有實際效應。在美國研習期間，PGML 研究室所從事的棉花研究，對喬治亞州產業發展影響重大，在大規模田間栽培試驗中，基因型分析加速生育期間就對棉花植株進行選拔，然而，使用分子工具的研究人員都有所共識：田間的觀察及選種經驗才是根本，外表性狀更多受到環境因子與環境及遺傳因子交感作用的影響，因此，必須由外表型的驗證，反覆確認基因的效應。
2. 種質資源的遺傳歧異度如同品種改良的籌碼，無論生物工具發展到何階段，遺傳變異是選種的極限，因此對於種原的收集、維護與保存，以及變異的產生、評估與控制，都是遺傳研究非常重要的課題，國際間鳳梨種原的鑑別與整合及不同氣候條件下的適應性利用更顯得重要。
3. 現今基因體研究發展取決於獲取資料點的成本及資訊處理速度，育種家提供作物栽培經驗及重要性狀評估，配合生物資訊團隊整合各個研究成果，建置各種作物資料庫，促進基因體發展走向。我國基因體研究在實驗耗材及儀器設備成本都較美國高，對數據處理及生物資訊分析人員的培育又是一大課題，研究人員須兼顧田間試驗及遺傳研究實為不易，以美國為例，其資料庫建置皆組成團隊合作，專業的分析團隊投入有助於我國農業研究發展，使基因體研究建立在已知物種的資料庫上，提供親緣關係較近的作物參考使用。
4. 當各國研究人員聚集時，能夠暢談對於研究的看法，彼此激盪提供討論意見，實為非常寶貴的經驗，面對不同領域的專家學者，虛心請教且勇於討論總是會獲得意想不到的回饋。在這次研究過程中，都是藉由與研究人員討論交流，才能有參與程式語言編輯及許多課程與研討會的學習機會，在學習資源豐沛的環境底下，主動且有效的學習經驗是此次在研習的一大收穫。在研習過程中，儘管還是會因為語言及文化差異而限制與其他研究人員交流的機會，透過在研討會發表以克服此一限制，同時，獲得許多對於鳳梨研究的討論及迴響，是一次很珍貴的發表經驗，也結識到許多熱愛熱帶作物的研究夥伴。
5. 在美國研習期間也看見鳳梨產業發展的歷程，成為我國鳳梨產業的借鏡，在勞力缺乏及自然資源逐漸稀少的問題之下，從生產栽培管理及至產銷流程，自動化比例不斷提升，必須在每個研究及研發中，以生產者及市場銷售心理為考量，才能從先進農業技術中，找到最有利的做法。