

出國報告(出國類別：研究)

農業長期生態研究資訊應用與國際
交流計畫赴英國參加國際研討會

服務機關：農業部農業試驗所

姓名職稱：張仁育 助理研究員

派赴國家/地區：英國

出國期間：112年6月18日至112年6月26日

報告日期：112年8月22日

目錄

壹、	摘要.....	2
貳、	目的.....	3
參、	概要行程.....	4
肆、	過程.....	6
伍、	心得建議.....	14
陸、	行程照片.....	16

壹、 摘要

全世界歷史最悠久也最知名的農業長期試驗(long-term experiments, LTEs)莫過於英國洛桑研究中心(Rothamsted Research)的布羅巴克冬小麥試驗(the Broadbalk winter wheat experiment)，該試驗自 1843 年開始至今已有 180 年歷史，並為全世界農業發展帶來卓越的貢獻。為紀念此，英國應用生物學家學會(Association of Applied Biologists, AAB)於洛桑研究中心舉辦「長期試驗：迎接未來的挑戰」研討會，廣邀全世界投入農業長期試驗的研究人員與會交流、促進彼此合作。我國自 2006 年起推動農業長期生態研究計畫，冀能在本次會議了解國際相關農業長期研究發展脈絡與成果、參與國際研究網絡。本次行程亦參訪列為聯合國教科文組織世界遺產的英國皇家植物園邱園(Royal Botanic Gardens, Kew; Kew Garden)，該園現為全世界最知名的異地保種中心、景觀與生態保育機構，提供多面向社會價值也引領學術發展。此次出國見證英國自維多利亞時代迄今，在農學、園藝學與植物學的成就，及其背後文化底蘊。借鏡其成功經驗，有助於我方在長期研究推動過程思考方針，以凝聚長期發展策略。

貳、 目的

農業試驗所自 2006 年推動農業生態系長期生態研究(long-term ecological research, LTER)，該研究為跨領域、長時間，且具有在地、系統性特色的研究計畫，除為我國農業永續研究發展提供重要的學術參考，也在促進我國農業人才培育、技術研發與國際學術交流與合作創造機會。雖然我國在農業 LTER 有 17 年的執行經歷，但相較於國際在農業的長期研究實屬短暫。英國洛桑研究中心(Rothamsted Research)是全世界最具代表性的農業長期試驗(long-term experiments, LTEs)，在當地進行的布羅巴克冬小麥試驗(the Broadbalk winter wheat experiment)始於 1843 年，迄今已 180 年、且當地試驗仍持續進行。洛桑研究中心的長期試驗保留了自 19 世紀以來的數據與樣本，為全球農業研究帶來極為重要的貢獻，不僅是肥料施用對土壤及作物生產的長期效應，農業統計理論的發展、殺草劑與殺菌劑及抗藥性研究等，均是洛桑研究中心深刻影響後世的成就。為紀念布羅巴克冬小麥試驗執行 180 周年，英國應用生物學家學會(Association of Applied Biologists, AAB)於洛桑研究中心舉辦「長期試驗：迎接未來的挑戰」研討會，探索 LTEs 如何促進科學發展以支持保障糧食安全、營養需求與環境維護；此外，該研討會另一目的，則是著眼於促進全球 LTEs 研究者間合作、新資料平台與分析技術的應用，以數據回應並支持趨向永續發展目標。

本次行程亦造訪英國皇家植物園邱園(Royal Botanic Gardens, Kew; Kew Garden)，該園為聯合國教科文組織世界遺產(UNESCO World Heritage Site, UNESCO WHS)之一，始建於 18 世紀中葉，並在 1840 年後對公眾開放。該植物園收藏大量圖書、手稿、標本於活體植物，包含 30 萬冊藏書、20 萬件藝品（如手稿與繪畫）、700 萬件乾燥維管束植物標本（約 18 萬 7,500 個物種）、125 萬件真菌、地衣與類似生物樣本、10 萬份經濟植物收藏（包含 4 萬 2,000 份木材收藏，約 2 萬個物種）、千禧種子庫中 20 億個種子收藏（約 3 萬 8,600 個物種）、4 萬 8,000 個植物基因組 DNA 低溫保存樣本與 1 萬個常溫矽膠乾燥樣本（共約 3 萬 5,000 個物種）、6,000 份離體或宿主培養微生物（包含 5,000 份菌根菌），活體植物部分則約 6 萬 8,000 份（約 2 萬 2,000 個分類群）。該植物園在景觀、藝術、植物學與生態學等均為全球帶來進步與斐然的影響力，自原先皇家冶遊庭園、至國家植物園與園藝庭園、到當代的生態與景觀保育機構，值得實地走訪瞭解其現貌與發展。

參、 概要行程

日期	所在地時間	行程內容	備註
6 月 18 日 星期日	19:25	抵達英國倫敦希斯洛機場 (Heathrow Airport)	Flight: BR67 Accommodation: Hilton Garden Inn London Heathrow Airport
6 月 19 日 星期一	08:30	離宿，搭乘計程車至地鐵 Kew Gardens 站寄放行李	
	10:00	入園參觀	
	17:30	離園用餐，餐後搭乘地鐵 自 Kew Gardens 站至 West Hampstead 站轉車	
	20:25	自鐵路 West Hampstead 站 轉乘列車至 Luton Airport Parkway 站	
	21:20	抵達旅館	Accommodation: Hampton by Hilton London Luton Airport (主辦單位合作住宿旅 館)
6 月 20 日 星期二	09:00	離宿，自鐵路 Luton Airport Parkway 站搭乘列車至 Harpenden 站，步行至 Rothamsted Research	
	10:00	研討會開幕	
	17:00	海報展示	會場 18:30 供餐
	20:00	研討會第一日活動結束， 離開會場	

日期	所在地時間	行程內容	備註
	20:30	抵達旅館	Accommodation: Hampton by Hilton London Luton Airport
6月21日 星期三	08:00	離宿	
	09:00	研討會第2日	
	16:00	Rothamsted Research 導覽	
	18:30	研討會晚宴	
	20:00	離開會場	
	20:30	抵達旅館	Accommodation: Hampton by Hilton London Luton Airport
6月22日 星期四	08:00	離宿	端午連假
	09:00	研討會第3日	
	16:00	研討會閉幕式，離開會場	返回 Luton 提領行李， 搭乘列車至 St. Pancras 站
	18:30	抵達旅館	Accommodation: The California Hotel
6月23日 星期五	-	私人行程(休假)	端午連假
6月24日 星期六	-	私人行程(休假)	端午連假
6月25日 星期日	21:35	私人行程(休假) 搭機返回臺灣	端午連假 Flight: BR68
6月26日 星期一	21:15	返抵桃園機場	

肆、 過程

參觀英國皇家植物園邱園

英國皇家植物園邱園(Royal Botanic Gardens, Kew; Kew Garden)位於倫敦里奇蒙(Richmond)泰晤士河右岸，作為世界遺產站點，Kew Garden 的發展與管理計畫須維持其傑出普世價值(Outstanding Universal Value, OUV)。根據聯合國教科文組織標準，Kew Garden 之 OUV 包含以下：(1) Kew Garden 自 18 世紀以來緊密地和科學與經濟交流相連，其地景與建築特色深刻地影響歐洲與全世界；(2) Kew Garden 大大地促進科學進展，尤其在植物學與生態學領域；(3) 庭園景觀開創後世英式景觀風格。

自希斯洛機場飯店搭乘計程車約 30 分鐘可抵達地鐵（此處位於地上）邱園站(Kew Garden Station)，並步行自維多利亞門(Victoria Gate)進入 Kew Garden。Kew Garden 佔地約 132 公頃，由於晚間尚需至盧頓(Luton)下榻，有限時間以參訪園區東北側區域為主，包含棕櫚屋(Palm House)、威爾斯王妃溫室(Princess of Wales Conservatory)、睡蓮溫室(Waterlily House)及該區庭園，如 Kew Garden 極具盛名的玫瑰園(Rose Garden)、Agius 演化庭園(Agius Evolution Garden)、學生菜園、水生植物園、岩石庭園、草園、……等，本報告整理重要參觀紀事如下。

棕櫚屋建成於 1848 年，為園區最古老的曲線金屬框架溫室，保留維多利亞時代建築風格。館內收藏 19 世紀以來全球各地熱帶經濟植物與樹種，在溫帶國家構築熱帶雨林風貌。館藏種植如吾人熟知的薑、過溝菜蕨、檳榔、日日春等，抑或來自非洲、亞太地區或美洲作為食用、藥用、纖維或其他用途植物。棕櫚屋後方即是玫瑰園與直指泰晤士河與錫永公園(Syon park)的錫永景觀道(Syon Vista)，玫瑰花為英格蘭國花，在其歷史與文化中意義非凡；玫瑰園自 1920 年代起開始種植玫瑰花，迄今收藏 170 種不同物種與品種之玫瑰花。筆者到訪時適逢夏日玫瑰季，園中百花爭妍、各綻姿色、馥郁縈繞，頗有「唯有牡丹真國色，花開時節動京城」滋味，只是在英格蘭換作玫瑰罷了。玫瑰園、棕櫚屋及其所面向的水池也因為備受到訪者喜愛，而被視為是 Kew Garden 的蜜罐(honey pot)。

連接棕櫚屋並貫穿玫瑰園的錫永景觀道是園中 3 條主要景觀道之一，與其他內向性設計不同，錫永景觀道保留了向外開闊的視野與展望，盡頭展望展現 18 世紀英國庭園大師「萬能布朗(‘Capability’ Brown)」的景觀風格。在 Kew Garden，庭園邊際由樹冠交織而成的天際線及內向性，是使其與外圍城市在景觀上隔離，

支持其作為獨立的世界遺產站點維持傑出普世價值及群眾對其認知的效果；作為例外的錫永景觀道，卻恰好維繫了天際線的特色並彰顯英式庭園風格。

棕櫚屋東北側有一條筆直的道路稱為「大步道(Broad walk)」，兩側花壇種植對比鮮明、錯落有致花卉直至橘屋(the Orangery)。橘屋是在 17 至 19 世紀歐洲國家用以種植柑橘樹，藉供暖設施使其度冬的設施，以法國凡爾賽橘屋(Versailles Orangerie)最具盛名，後來 19 世紀嶄新的溫室取代橘屋而成為更多元的植物保育設施。Kew Garden 的橘屋建於 1761 年，幾經改造及用途轉換，在 1989 年成為園中熱門的橘屋餐廳。在大步道的東側的多斜面的溫室則是威爾斯王妃溫室(Princess of Wales Conservatory)，該溫室為紀念 18 世紀創立該皇家植物園的威爾斯王妃 Augusta 為名。

威爾斯王妃溫室於 1982 年開始建造，1986 年種植植物並在 1987 年由當時的威爾斯王妃－黛安娜王妃(Diana, princess of Wales)開放，建築風格與維多利亞時期溫室大相逕庭，更具現代感。1985 年施工期間，英國自然史學家艾登堡爵士(Sir David Attenborough)在溫室內埋下存有作為糧食與瀕危植物種子的時間膠囊，預計在 100 年後開啟。即便我們不一定能見證那一刻，但探索新知與保育的薪火在其燃起後便不曾間斷。例如，進入熱帶雨林區(zone 1: rainforest)，綠松石(turquoise)色的綠玉藤(jade vine, *Strongylodon macrobotrys*)花懸垂在前莫不引人注目，該植物在野外由夜行性蝙蝠傳粉，直到 1995 年園藝學家在 Kew Garden 模擬蝙蝠行為成功在綠玉藤授粉使其得以產生種子。世界最小的睡蓮：侏儒盧安達睡蓮(*Nymphaea thermarum*)則是另一個知名案例，現今該植物因原生地農業發展而於野外滅絕；2009 年 Kew Garden 的園藝學家 Carlos Magdalena 破解其種子萌發之謎，讓侏儒盧安達睡蓮在當地留下一線生機。威爾斯王妃樓地板面積約 4,500 平方公尺，內部劃設為 10 個氣候區，從面向棕櫚屋一端進入會先進到熱帶沙漠區，仙人掌與多肉植物的主場；與之相鄰的是有開放水域環境的熱帶雨林區，該區周邊則有溫帶與熱帶的食蟲植物區、蘭花區與蕨類區。園中豐富的鳳梨科植物(bromeliads)、秋海棠(*Begonia*)等收藏亦令人嘆為觀止。

相較於威爾斯王妃溫室，一側相鄰的岩石庭園(the Rock Garden)景致讓到訪者走過世界、身歷其境的體驗。該園區建於 1882 年，佔地面積超過 4,000 平方公尺，蒐集歐洲（阿爾卑斯與庇里牛斯）、亞洲（中亞草原與喜馬拉雅草原）、北美洲、南美洲（巴塔哥尼亞）、地中海與非洲、以及紐澳等從山峰至岩岸的植被。夏季岩石花園因植被點綴而色彩繽紛，入園可見遍地金黃的花菱草(*Eschscholzia*

californica)與嬌豔的百合水仙(*Alstroemeria hookeri* subsp. *hookeri*)等，官方稱該庭園超過 70% 植物由 Kew Garden 園藝工作者培育後種植於此，令人讚嘆園方在如此多樣物種需求下的高超植物繁殖與栽培技術；研究人員亦在園中以解說牌方式呈現研究成果，例如帚石楠(*Calluna vulgaris*)的花蜜中的 callunene 使蜂類寄生蟲 *Crithidia bombi* 失去鞭毛進而抑制其感染能力，以保護熊蜂的健康，而野外帚石楠棲地的流失也為蜂群健康帶來隱患。

岩石庭園另一側是 Agius 演化庭園(Agius Evolution Garden)，該庭園於 2019 年建成開放，為植物學家與園藝學家依植物親緣關係所設計，筆者作為學習歷程跨足發育演化背景的園藝研究人員，對該庭園設計倍感親切。Kew Garden 是全世界最重要的植物與真菌收藏場所之一，支持研究人員以當代分子生物學工具探索逾 10 萬屬生物其特徵與演化途徑的「生命之樹(the Tree of Life)」，Kew Garden 於 Kew Tree of Life Explorer (<https://treeoflife.kew.org/>)發布研究資料（2023 年 4 月發布 3.0 版）使研究人員可以公開取得，該計畫也促進分類與演化研究的推動及相關人才培育，而 Agius 演化庭園不僅實體化科展示成果，也提供公眾參與與科普的機會。指向棕櫚屋一側小山丘上的裝飾建築(folly)旁風神廟(Temple of Aeolis)，可俯瞰 Agius 演化庭園全貌：由一條玫瑰長廊貫穿其中，不同品種玫瑰形色各異、芬芳宜人；在長廊左右兩側分別是薔薇類群(Rosids)及單子葉植物，與菊類群(Asterids)、被子植物基群、裸子植物及蕨類。

參加長期試驗研討會紀要

自盧頓機場站搭乘泰晤士連線(ThamesLink)列車向南 1 站即抵達哈彭登(Harpندن)，自哈彭登站向西南步行約 15 分鐘即可抵達洛桑研究中心。此次會議為混成會議，據會議文件所列名冊，來自全世界的到場會議人數共約 126 人；就筆者觀察，來自東亞、東南亞與會者約 5-6 人。會議一共舉辦 3 天，除了 9 項主題研討會，亦包含 4 場工作坊、實地參訪與晚宴、海報展（共 84 組海報參展）與海報競賽。筆者與國內農業生態系長期生態研究團隊夥伴於本次研討會以「Harvest index is reduced by high nitrogen application in monocropping paddy rice」為題發表海報 1 篇。

研討會的 9 項主題依次為：

1. 永續耕作系統(sustainable cropping system)
2. 長期試驗中的數位農業(digital agriculture in LTEs)

3. 為未來(重新)設計長期試驗((Re)designing LTEs for the future)
4. 土壤碳(soil carbon)
5. 創新方法(innovative methods)
6. 土壤健康(soil health)
7. 氣象與氣候變遷的反應(response to weather and climate change)
8. 長期試驗網絡與平台(LTE networks and platforms)
9. 長期試驗更廣泛的影響(the wider impact of LTEs)

工作坊因活動安排，與會者僅能擇其 2 參加，4 場工作坊主題如下：

1. 於長期試驗網絡產生新研究問題(generating research questions for LTE networks)
2. 長期試驗的數據管理(data management for LTEs)
3. 長期試驗的統計方法(statistical approach for LTEs)
4. 使長期試驗應對新議題(adapting LTEs to new challenges)

研討會中，多國研究團隊報告其各自的長期試驗場域及新發展的數據平台，前者如於非洲南部的保育是農業研究（馬拉威、莫三比克、尚比亞），蘇格蘭鄉村學院(Scotland's Rural College, SRUC)的 Aberdeen pH 試驗、農牧輪作試驗(ley/arable rotation)、Tulloch 有機農業試驗，有機農業研究所(Research Institute of Organic Agriculture, 德文簡稱 FiBL)的熱帶（肯亞、印度、玻利維亞）農業系統比較試驗(Farming Systems Comparison in the Tropics, SysCom)，洛桑研究中心的大尺度輪作試驗(Large Scale Rotation Experiment, LSRE)等；在數據平台部分，研討會中亦介紹德國主導的土壤及農業數據資料庫 BonaRes Repository (<https://www.bonares.de/research-data>)與由英國生物技術和生物科學研究委員會(Biotechnology and Biological Sciences Research Council, BBSRC)國家生物科學研究基礎建設補助資助的全球農業長期試驗網絡(Global Long-term Agricultural Experiments Network, GLTEN; <https://glten.org/>)等。GLTEN 於 2018 年在洛桑研究中心研討會成立，目的在於建立與支持國際農業長期試驗社群的合作網絡，並改善使獨特且有價值的資料更易取得俾於地應對時下社會議題。

洛桑研究中心實地參訪

實地參訪於 6 月 21 日 16 時採分組方式進行，內容包含：(1) 洛桑研究中心電子資料庫 e-RA 介紹；(2) 參觀布羅巴克冬小麥試驗(the Broadbalk winter wheat

experiment)與大規模輪作試驗田(Large Scale Rotation Experiment, LSRE)區；(3) 參觀洛桑中心樣本儲藏庫；(4) 參觀洛桑研究中心博物館。

一、洛桑研究中心電子資料庫 e-RA

洛桑研究中心電子資料庫全名為 the electronic Rothamsted Archive，簡稱 e-RA (網址：<https://www.era.rothamsted.ac.uk/index.php>)，由 e-RA 團隊負責人、洛桑研究中心生態資訊主管 Richard Ostler 簡介該系統、及如何操作系統內資料與數據存取及應用。作為永久維護的資料庫，e-RA 存有洛桑研究中心自 19 世紀中以來的長期試驗數據與氣象數據及支援文件，並且符合 FAIR 原則。目前 e-RA 營運經費由英國政府生物技術和生物科學研究委員會(Biotechnology and Biological Sciences Research Council, BBSRC)資助，維繫系統運作與資料資源發展。e-RA 維護團隊至少 5 人成員，其中有 1 人專司詮釋資料(metadata)、另 1 人負責網站維護。

二、洛桑研究中心經典長期試驗田

結束 e-RA 介紹後，學員搭乘由曳引機拉的「特色接駁車」至洛桑莊園(Rothamsted Manor)下車，該莊園為 John Bennet Lawes 爵士出生處，也是後來開發磷肥生產處；肥料收入成為日後 John Bennet Lawes 在洛桑推動長期試驗的經費來源。經步行約 300 公尺即抵達 Broadbalk 試驗田，由 Paul Poulton 名譽教授介紹 Broadbalk 冬小麥試驗的沿革與重要成果。該經典的研究於 1843 年開始執行田間試驗，迄今 180 年，為全世界歷史最悠久的農業連續試驗，「維持」一詞則是該試驗的靈魂。Broadbalk 冬小麥試驗比較一系列無機肥料與廐肥(manure)對小麥生產、土壤有機碳(soil organic carbon, SOC)含量與元素利用等的影響。試驗設計及管理的變化，如樣區劃分、耕作制度與肥料投入、殺草劑投入等改變均可自 e-RA 查閱詳實記載。

在 Broadbalk 冬小麥試驗田東北側，為大尺度輪作試驗 (Large Scale Rotation Experiment, LSRE) 田區。該址由 Jonathan Storkey 教授介紹 LSRE 試驗背景與目標：LSRE 研究旨在討論多種農業生產系統（如輪耕、有機投入、耕犁與覆蓋作物等）及其複合投入，對作物產量、土壤有機碳、生物多樣性等多項反應變量的影響，以策應當代農業議題需求。LSRE 試驗於 2017 年在 Broom's Barn、與 2018 年在 Harpenden（即本

次參觀試驗田) 開始運作，由 Lawes 農業信託基金(Lawes Agricultural Trust)支持該長期試驗。LSRE 設計可進行跨站區比較，並作為提供不同領域專家學者投入研究與示範的學術平台。

三、參觀洛桑中心樣本儲藏庫

洛桑研究中心自 1843 年進行試驗即建立樣本儲藏庫，並於 2009 年遷至現址。儲藏庫內保存自 19 世紀中迄今試驗田採樣之土壤、麥穀、麥梗及試驗用之肥料等，迄今總樣本量超過 30 萬件，為全球提供極具價值的長期研究材料。相關研究材料歡迎全球提出申請，惟須具備充分理由與規劃避免浪費樣本。參訪洛桑中心樣本儲藏庫行程由 Margaret Glendining 介紹，由於空間限制，入內參訪者人數受限且不得攜帶附掛的包包。倉庫運作由 1 人管理，未另設調節溫度與濕度之空調設施，各類樣本多以玻璃瓶保存（外地或民間採樣樣本則有以鐵罐形式），土壤樣本入庫保存前經過風乾程序。不同年代玻璃瓶標示有樣本資訊，如 19 世紀樣本可見完整的描述資料，後亦有將資料紙製入瓶中者，現今則以條碼管理。樣本保存最大的挑戰是倉儲害蟲，可能是菸甲蟲(*Lasioderma serricorne*)，該害蟲入侵麥穀等樣本造成損害，蟲體並可見於樣本庫內的黃色黏蟲紙。

四、參觀洛桑研究中心博物館

洛桑研究中心博物館位於羅素大樓(the Russell Building 西北側，為一 L 形建物，建於 1889 年，原先作為存放作物及土壤樣本之用，故稱舊樣本屋(the Old Sample House)；1949 年時，樣本移往羅素莊園旁的建物，該處便成為研究院區圖書館的一部分直至 2013 年；迄今，舊樣本屋不僅是洛桑研究中心最老的建築物，也是存放自 19 世紀以來各類文物（包含研究紀錄簿、氣象預報資料、實驗儀器與器材、計算機等）、歷史與成果的展示博物館。

美國農業生態系統長期研究網絡介紹

本次研討會亦有多位農業部農業研究署(USDA-ARS)研究人員與會，並介紹該國農業部農業生態系統長期研究網絡(Long Term Agroecosystem Research Network, LTAR network)。LTAR network 在 2011 年由美國農業部農業研究署(USDA-ARS) . Mark R. Walbridge 與 Steven R. Shafer 發起，整合農業部既有研究

資源、建立類似美國科基金會(National Science Foundation, NSF)的長期生態研究網絡(Long-Term Ecological Research network, LTER network)，分享作業指南(protocols)以應對區域性及全國性尺度議題，在農業發展過程除生產與經濟收入外，向社會提供傳遞有關農產品安全、環境永續、社會責任等知識，促進農業永續發展。自 2012 年建立迄今共有 18 個監測站，包含 8 個農耕地(cropland)站、5 個畜牧地(grazingland)站與 5 個複合系統(integrated system)站，並約有 500 位美國農業部農業研究署(USDA-ARS)與大學的研究人員、教授、學生參與其中。部分研究站由學校主導，如密西根州立大學(Michigan State University)的 Kellogg Biological Station。LTAR 的核心精神包含：科學產出(scientific outcomes)、溝通(communication)與偕同研究(coordinated research)，偕同研究依站區需求使用共同的指標與試驗或觀測的共同量測方法，並形成工作小組(working groups)在全方位合作以確保具相互操作性(interoperable)的資料集、工具、詞彙與目標。

來自美國農業部農業研究署的研究人員 Lindsey Witthaus 於演講中闡述網絡發展中所面對的挑戰與對策，包含：(1) 數以百計的人參與研究，可透過如 Basecamp 專案管理軟體、Zoom 遠距會議軟體、舉辦年度會議及工作坊等應對；(2) 如何取得量測目標的共識，則採用工作小組並由分組就指標與共同方法作業；(3) 專業術語的差異(different jargon)以建立共同詞彙(common vocabulary)及數據字典(data dictionary)改善；(4) 研究涉及多樣的系統，以度量指標(metrics)及評量指標(indicator)方法，並確立站屬的基準線。在 LTAR 中，研究團隊持續演進對社會科學觀點的定義與討論，如在永續中的鄉村繁榮轉化為促進人類福祉作為永續農業的一環，並持續促進以站屬與合作研究的發表。自 2020 至 2022 年間，美國 LTAR 研究團隊共達成超過 400 篇以上的學術發表，成果可謂相當豐碩。

Lindsey 指出，網絡(network)實現了構想(ideas)與資料集(datasets)在 LTAR 的存在；網絡也創造乘載性，透過組織化形成新思維，可為帶來影響力建構路徑。除此之外，多元性、資訊與溝通亦為組織化的基礎。多元性是平等、具包容且可被檢視的，並應留意作業指南(protocols)、訓練與檢驗。其次，資訊的基礎建立在妥善管理的資訊與資料科學系統，具備管理及分享準則與作業指南。而溝通須能有效地宣傳成果並與權益關係人結合，藉此產生共創成果的策略。在具備組織化基礎後，發展發展影響力的第二步是理性、科學，確立指標有助於引領在農業議題上的創新。過程中可階層方式建構思維系統性地闡明研究標的：以農業永續而言，自核心的 3 大領域(domain)(經濟、環境、社會)細究其下特定議題(attribute)，

如土地與水的健康、人類健康、經濟穩定等，發展從屬評量指標如水的品質、生物多樣性、工作者的成就感與安全、穩定的獲益等，在自議題建立度量指標以計算各相應評量指標表現。科學為策應問題帶來認知與解決方案，如在氣候智慧農業(climate-smart agriculture)中尋求減緩、調適與韌性兼顧。採納創新與解決方案是實踐影響力的最後一段，試驗與數據蒐集、權益關係人參與以及社會科學導入使網絡在科學與帶來影響力形成持續轉動的循環。

USDA-ARS 的 Lori Abendroth 介紹在農耕系統跨站研究中執行共同試驗的經驗，在確認兼具時間與空間條件的複雜研究議題，網絡中的科學家們需要：(1) 統一站區處理；(2) 識別科學數據的主要度量指標；(3) 發展標準化的作業指南；(4) 發展數據字典與相關基礎建設。在「處理」的定義上分成慣行(business as usual, BAU)，即維持當地主要(prevaling)耕作系統的操作，與理想(aspirational, ASP)，即傳遞站區主要生態系服務的變通操作。建立度量指標與作業指南前，首要工作是設定跨站共同適用之評量指標，而後依評量指標類別與跨站適用情形分主次要建立度量指標，最後再依度量指標撰寫對應的作業指南。

Lori 所舉 LTAR 農業站農地共同試驗(cropland common experiment, CCE)的案例中，度量指標共分成生產力、環境、人類維度(human dimension)等三大類，且須能回應處理間的研究議題，並具備下列特質：(1) 對現在及未來具科學價值、(2) 本於證據、(3) 對變化敏感、(4) 邏輯上可行、(5) 準確與精確、(6) 可廣泛適用（如跨作物、區域或氣候環境）、(7) 有助於模型建立、(8) 成本合理、(9) 可與眾多權益關係人闡釋並彰顯其價值。研究執行過程則務必使團隊保持對名詞的相同理解以避免溝通落差，執行面亦須明確制定數據的蒐集和利用途徑以確保研究考慮周到。

研討會會議結論

會議最後由 2 位主持人以 3 分鐘快閃形式為研討會作結論：本次會議揭櫫的永續共同價值，在生產力與環境取得平衡，並且考量社會科學參與使行動得以實踐；長期研究的交流，也使得人們藉此一同工作並形成網絡，使其價值傳承發展。

伍、心得建議

本次行程參訪英國的皇家植物園邱園(Kew Garden)與洛桑研究中心(Rothamsted Research)，係自維多利亞時代(Victorian era)迄今，為全球科學研究與學術發展帶來極為重要的影響，親臨現場更能感受其魅力與令人欣賞處：英國人保存並傳承 19 世紀以來（或者更早）的地景、建築、文物，以致於後世自歷史遺產產生珍貴的價值，而這些歷史遺產的價值也隨時間而加值。

Kew Garden 作為大英帝國時代的知名植物園，收羅了來自世界各地的物種，無論是對世界的探索或是對殖民版圖擴張的證據，種原蒐集的進展相互促進了庭園景觀、溫室建築以及藝術的發展。我們或許很難想見當時人們初見這些奇花異卉的心情，例如以維多利亞女王所命名的亞馬遜王蓮(*Victoria amazonica*，時稱 *Victoria regia*) 在溫帶的大不列顛盛開、在藝術家 Walter Hood Fitch 筆下綽約多姿，對 19 世紀的人來說，可是多麼魔幻的場景。而今，Kew Garden 名聞寰宇，是全世界最大的異地保育(*ex situ conservation*)地點之一，為植物生態與演化研究提供珍貴地材料；我們均能體驗與體會其多元而飽滿的成就，並自其歷史脈絡與收藏理解其成為聯合國教科文組織世界遺產的價值。即使現今交通與物種保存技術已較昔日大幅提升，但來自資本、制度與國際關係的壁壘使其成就難以被複製，遑論若干材料與資料在當代猶如穿越時空的存在。

好奇心或許是推動一切的根本，驅使自帝國時代的植物獵人至當代的學術研究人員在陌生的領域探索新知；歷史的材料與資料則是通往過去的鑰匙，也因為這些遺產受到重視與保存，後世得以自遺傳至地景，多層次地窺見過去、瞭解現在與認知其間變化，這樣的感受在作為農業長期研究濫觴的洛桑研究中心更顯具體。在 1843 年，2 個時年未及 30 歲的年輕人 John Bennet Lawes（29 歲）與 Joseph Henry Gilbert（26 歲），懷揣理想展開了 Broadbalk 冬小麥試驗，「這些調查的目的不是把錢放進我的口袋，而是提供你們具備把錢放進自己口袋的知識」。我們知道了後來的故事：洛桑研究中心在過去 180 年為全球農業發展帶來卓越且獨特的貢獻，無論是發展出變異數分析(*analysis of variance, ANOVA*)或植物生長調節劑 2,4-D (2,4-dichlorophenoxyacetic acid)，在土壤碳匯與元素循環建立模型、培養出眾的研究人才等，筆者相信當今的影響必然遠超當年所想、亦或在 1893 年 Broadbalk 冬小麥試驗歷經 50 年時，2 位發起人在晚年獲得皇家藝術學會艾伯特獎章(Albert Medal)時所受表揚的成就。

在好奇心的實踐過程，Lawes 和 Gilbert 清楚地規劃和紀錄細節、保存數據和樣本，使之成為研究的傳統，這樣的「傳統文化」是我方遠遠不及的。即便部會機關亦或研究人員本身有推動長期研究或大尺度試驗的雄心壯志，自既有教育體制至於工作環境，根本上的文化差異限制世代傳承與成果發揚的可能，甚至成果在科學上無以公平公正地受到再次檢驗。另一方面，無論在參與長期試驗研討會的過程或其結論，「網絡(network)」一再被提及，恰如同今年 3 月美國農業部農業研究署(USDA-ARS)來台交流提及形成研究網絡是美方成就的關鍵。USDA-ARS LTAR 成果豐碩，自然與之脫不了干係。我方研究人員或其研究領域可能因職位分發、機關立場與業務需求、科技計畫與行政制度以及個人升遷績效等因素，而著重個人成就或是既有機關及業務需求，不易構成網絡關係與達成實質資源整合。因此，就見聞與現況思考我方個人能力、職場環境與文化建立的發展策略，綜合建議如下：

- (1) 加強農業研究人員職前（擔任農業研究職務或者承接特定計畫）訓練，使其熟稔資料管理的意義及其操作，令具備研擬與執行資料管理計畫能力成為農業研究人員的核心職能。
- (2) 提供在計畫、試驗及資料管理的有效工具與支持其運作的成員（如資料管理人員與工程師），降低操作與管理門檻，促進資料管理之可行性及資料、數據可取得性。
- (3) 將是否提供高品質資料提供與後續取得研究資源連結，確保資料與數據保存的執行品質，並使維護相關作業進行成為農業研究計畫執行過程可延續的日常行為。
- (4) 藉由行政系統鼓勵研究網絡的形成，以結果（如解決社會或自然挑戰、發表學術期刊論文等）為導向發展研究網絡，此可促進具包容性或跨域整合研究的創新與成果展現，並加強研究人員對學術研究、計畫設計與執行的認知，提升農業研究品質。
- (5) 支持研究人員參與國際研究計畫或國際學術交流活動，拓展研究視野及創造合作契機。

陸、 行程照片



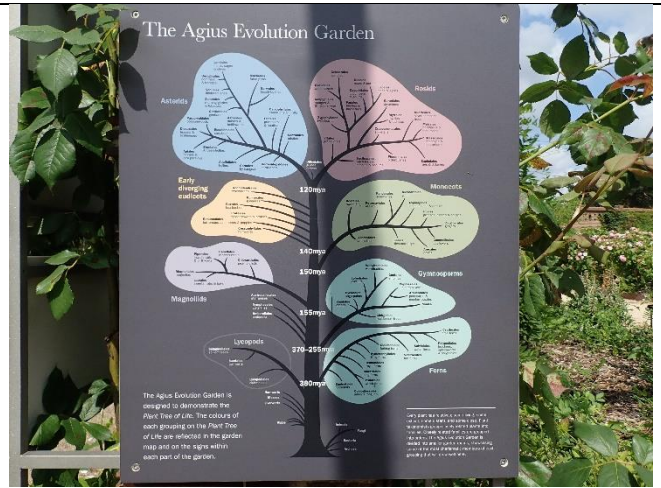
筆者自維多利亞門(Victoria Gate)進入植物園



棕櫚屋(Palm House)是園區第一座大型溫室，建於 1844 年，保存雨林與熱帶植物



棕櫚屋後方是植物園著名的玫瑰園與錫永景觀道(Syon Vista)，時值夏日玫瑰季，百餘種玫瑰綻放爭妍



Agius 演化庭園 (Agius Evolution Garden)以植物演化類群設計庭園佈置



貫穿 Agius 演化庭園的玫瑰長廊



學生菜園(Student Vegetable Plot)邊緣以果樹作為綠籬，圖中為結實累累的矮生蘋果樹



1909 年建立的水生植物園(Aquatic Garden)。池中睡蓮為「甲蟲媒(cantharophily)」植物，碗型花腔可以吸引甲蟲完成授粉



草園(Grass Garden)種植多樣草生植物，這些植物為人類帶來食物、纖維並保育土壤與生態



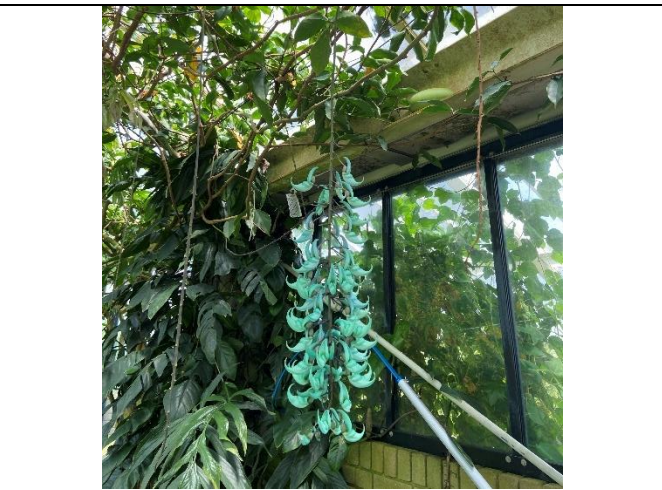
威爾斯王妃溫室(Princess of Wales conservatory)外觀，該溫室獨特的設計與控制將內部分隔出 10 種氣候區以保存不同氣候需求之植物。



在威爾斯王妃溫室中部份懸空的鳳梨收藏



威爾斯王妃溫室中的熱帶乾燥氣候區



威爾斯王妃溫室中熱帶雨林區的綠玉藤(jade vine)花色獨特而醒目，上方鋼骨可見其果莢



1882 年開始建造的岩石庭園(rock garden)，由園藝人員培育植栽並於戶外展示全球 6 個高山區域地景與植被



1852 年完工的睡蓮溫室(Waterlily House)內種植並展示亞馬遜王蓮(Amazon waterlily, *Victoria amazonica*)



樹頂步道(Treetop walkway)



溫帶館(Temperate house)



洛桑研究中心入口



本次研討會於洛桑研究中心的國際會議室舉辦，此為會議廳建物外牆



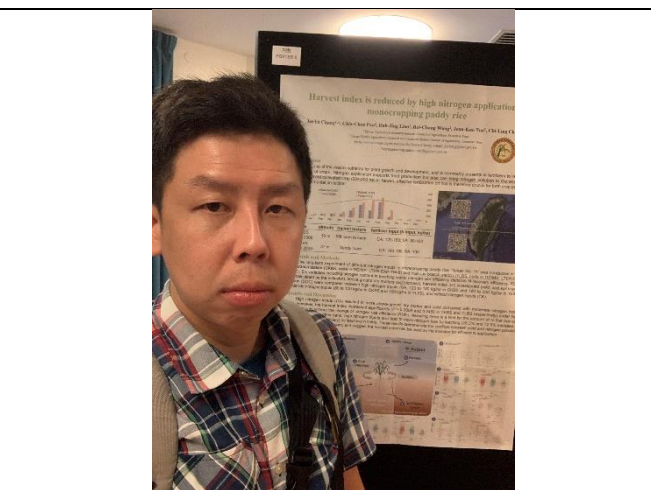
Rothamsted Research 執行長 Angela Karp 博士為本次研討會開場



長期試驗資料管理工作坊分組討論



研討會海報展共 84 篇海報發表



筆者與本次發表海報合影



研究中心安排與會者搭乘曳引機接駁至試驗田



Broadblak 冬小麥試驗田區入口的告示牌



自 1843 年起經營的冬小麥長期試驗田



Paul Poulton 名譽教授介紹 the Broadbalk Experiment



自 2018 年起建立的大尺度輪作試驗田(LSRE)



Jonathan Storkey 教授介紹 LSRE



樣本保存館 Rothamsted Sample Archive



由 Margaret Glendining 博士介紹樣本保存情形



自 1843 年起試驗保存了土壤、植體、肥料等樣品以供後世檢驗，圖中為 1846 年土壤樣本



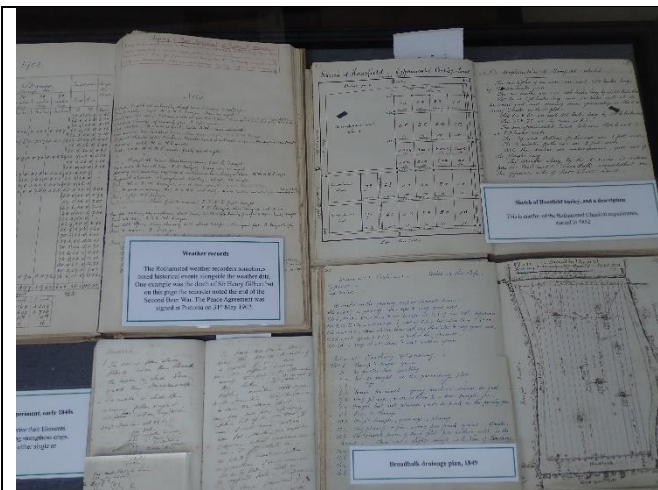
目前樣品已編列條碼管理，圖中為 1905 年植體樣本



倉儲害蟲是目前樣本保存館最大的挑戰之一



樣本保存館內以黃色黏板捕獲的菸甲蟲 (*Lasioderma serricorne*)



Rothamsted 博物館保存自 1840 年代起的試驗與數據紀錄簿



Rothamsted 博物館保留早年實驗桌陳設



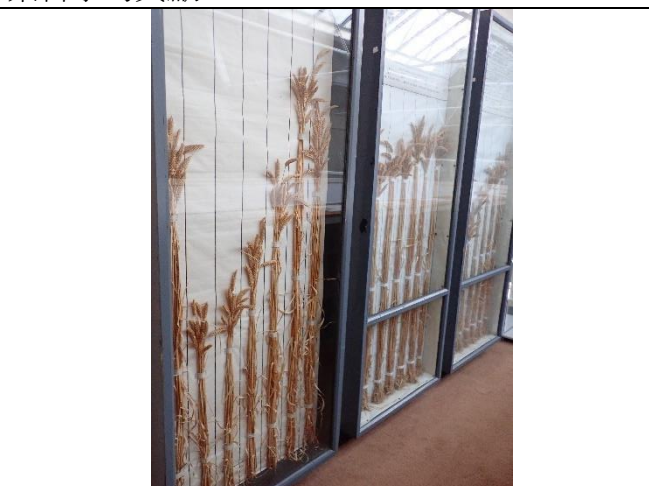
Rothamsted 博物館陳列各式傳統計算機



1893 年 Lawes 爵士與 Gilbert 爵士獲得艾伯特獎章(Albert Medal)，表彰 2 人在表彰他們對農業科學的貢獻



於 Broadbalk 試驗田取得的土壤樣本，A 為使用無機肥料、B 為未施用肥料、C 為施用有機廐肥(manure)，說明指出 C 於 0 cm 至 23 cm 表土碳含量約為 B 的 3 倍之多



不同年代自 Broadbalk 試驗田中不同處理的麥穗比較，畫面最近者為 1899 年收藏，其中廐肥處理者(左一)與自 1839 年起未用舊肥者(左二)麥穗外觀顯有差異