

荷蘭高通量表型體中心介紹

文／圖 ■ 李杏芳

前言

荷蘭是全球第二大農業輸出國，擁有全球最大蔬菜育種研發量能。氣候變遷下不斷出現極端氣候，衝擊糧食安全，凸顯出耐逆境作物育種的重要性；有鑑於作物在育種過程中，外表型的記錄往往易受到觀察者的主觀意識影響，常常造成分析結果的偏差降低育種效益，且記錄的過程需要大量時間與勞力，當面對大量的植物外表型數據時，傳統的人工分析方法常出現難以負荷的窘境。因此，近年來荷蘭為進一步提高耐逆境育種效率，由荷蘭科學研究組織 (Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek, NWO) 資助瓦赫寧根農業大學研究中心 (Wageningen University & Research) 及烏得勒支大學 (Utrecht University)，設立荷蘭植物-環境表型體中心 (Netherlands Plant Eco-phenotyping Centre, NPEC)。

高通量 (High Throughput) 是指在相對較短的時間內，能夠進行大規模實驗，並分析所產生的資訊，這些模組整合植物學、育種學、作物生理學、影像辨識技術以及環境控制溫室等專業技術，運用各種感測器和偵測器，透過這種高通量的影像

擷取，快速捕捉大量的植物外觀及生理資訊，分析植株的外觀特徵等植生指數。比較人工紀錄與高通量表型平台的試驗結果，經驗證兩者相關係數達0.85以上，顯示以高通量表型平台確實可替代手動測量外表型，以達到節省人力、客觀且精準的篩選種原或選拔育種材料的目標。本場執行113年科發基金計畫，由王聖善副研究員、劉依昌助理研究員及李杏芳助理研究員前往荷蘭參訪，藉由實地觀摩及與研究學者討論，汲取經驗，做為未來制定育種方向及方法之參考。

參訪烏得勒支大學

烏特勒支為荷蘭第4大城，烏特勒支大學位於烏特勒支市東側，因鄰近市區，三個高通量表型模組都是室內類型，早期以阿拉伯芥作為模式材料，目前已開始進行水稻、馬鈴薯等重要作物的試驗。由專長於植物與微生物相互作用及生物資訊的Valerian Meline博士接待，以下為該校3個不同的表型模組簡介：

土壤與植物互動的密閉生態系模組

第1個模組是由NPEC與德國環保裝置技術公司 (Umwelt Geräte Technik, UGT) 一



烏特勒支大學的第1個模組為完全封閉且受控的生態系統組成。可直接由上方壓克力透明窗觀察內部植物生長



烏特勒支大學的第3個模組為環控生長箱，右上方箭頭所指的植株在軌道上正等待進入影像掃描區，上方為可獨立控制的生長燈

起研發。此模組由一系列完全封閉且精密控制的生態系統組成，可精確調節地上與地下溫度、濕度等氣候控制，此外還可抽取地下土壤中的液體，進行詳細的水質變化等分析，同時精細監測各項環境參數，並進行生長中植物與土壤生態系統變化的即時分析與紀錄。此系統可模擬不同氣候條件，適合研究乾旱、淹水等不同逆境下作物生長情形，亦可應用於碳排減量的研究。

高通量自動化根部 與微生物交互作用觀測平台

第2個模組為專門設計用於監測幼苗



第1個模組可抽取地下部土壤的液體進行各項水質分析



烏特勒支大學的第2個模組完全自動化運作



生長箱內的植物採潮汐灌溉法，生長架下的藍色桶子盛裝養液

階段根部與微生物的相互作用，此模組以含瓊脂培養基的培養皿方式培養，自灌注瓊脂培養基、種子播種、種子春化、每日定時掃描紀錄…等，皆以機械手臂每日定時進行全自動化運作。幼苗根部可接種微生物螢光蛋白，透過高通量植物培養與先進的影像擷取相結合，每日定時進行影像掃描紀錄及分析幼苗和根部的結構特徵變化。此模組每次可處理2,000個培養皿，高達10,000個根部系統。培養基內添加不同的微生物、植物賀爾蒙或是營養元素，即



瓦赫寧根大學的第1個模組為環控生長室，上方有移動感測器，定時掃描植物生長狀態



高通量根部表型系統，以土壤為介質，觀察根系生長

可探討各種微生物、植物賀爾蒙或營養元素與根部之間的相互作用，強化植物與微生物共生機制的研究，可應用於推廣友善農業、減少化學肥料使用。

環境可控的生長箱系統

第3個模組是溫度、濕度和光強度方面具有高度均勻性的小型生長箱。每個生長箱均採潮汐灌溉法，每日定時灌溉，回收的灌溉水過濾後再重新使用，不斷的循環使用，儘量減少排放，以達到節能減碳的

目的。9個生長箱可提供溫度 $10\sim 40^{\circ}\text{C}$ 、相對濕度 $35\sim 90\%$ 及可達 $500\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 光強度。在荷蘭關注的議題是作物低溫的耐受性，因此有3個生長箱可設定低至 -5°C 的溫度，另有3個生長箱配備光強度($2000\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)和9個不同波長且可獨立控制的生長燈，可模擬各種陽光光譜。光質及光強度的研究成果可應用於植物工廠，或提供都市型農業設施參考。

參訪瓦赫寧根大學

瓦赫寧根大學是荷蘭著名的農業大學，位於瓦赫寧根市北方。接待我們的是專長於人工智慧、成像和機器人技術，研究中心自主栽培專案經理兼荷蘭植物生態表型中心首席技術官Dr. Rick van de Zedde。相較於烏特勒支大學，該校NPEC 3個不同的表型模組規模大許多，相關模組介紹如下：

環控+成像感測生長室模組

此模組建在瓦赫寧根校區的一座專用建築內。它有5個生長室，其中2個面積約15平方米，其餘3個約為20平方米。每個生長室可容納300至2,200株植物，使用一系列的成像系統和感測器記錄植物狀態及生長，進行表型分析。環境參數可以在大範圍的環境條件下進行均勻控制，因此研究人員能夠將環境差異控制到最低，來測量植物遺傳成分的表型差異。生長室內的作物主要以岩棉 (rockwood) 作為栽培介質，育苗時直接將苗株置於岩綿塊上，接上自動灌溉系統，能有效控制試驗作物的養液成分。生長室中均採用適合植物生長



瓦赫寧根大學的第2模組包括一個大型溫室，裡面隔成數間生長溫室



生長溫室裡養液自動澆灌及秤重系統，上方為掃描感測器

的LED照明，光強度可高達 $2000\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 。研究人員能夠配合試驗需求模擬自然日光、黃昏或黎明等狀態，調整光質量和光量。植物生長溫度可設定為 $-4\sim 42^{\circ}\text{C}$ ，相對濕度可在 $40\sim 85\%$ 之間調節，並且可依試驗需求適度調高環境的 CO_2 濃度。感測器用於測量生長室內的濕度、光強度、光譜特徵、溫度、二氧化碳濃度和氣流變化。表型分析技術包括可見光譜 (RGB)、不可見光譜、葉綠素螢光成像、熱成像和短波紅外線高光譜反射成像裝置的成像系統。比較特別的是有1間生長室是專門以土



溫室內植物等待取樣及進入影像掃描區



生長室外的設置有即時影像顯示，亦可查看環控資料

壤為介質，透過特殊設計的透明壓克力剖面結構，可每日進行自動化影像紀錄，提供根部系統研究。

高階溫室與三維影像分析技術

此模組包括一個大型溫室，裡面隔成數間生長溫室，每間生長溫室裝設熱像儀和3D攝影機，可由龍門移動到的植物上方進行記錄及分析大量植物。受分析植物可以放置在傳送帶上進行三維掃描，自動量測出植株莖的高度、葉子的大小、顏色和著生位置等，另外溫室內還配備了分析葉綠素螢光的感測器，測量植物光合作用效率，從而深入了解各種特性。

移動式自駕平台與無人機整合技術

此模組由CropTraits和Phenokey共同開發，由一輛自動駕駛表型平台和三架無人機組成，配備了最先進的感測器及傳送器，根據實驗需要，所有設備都可以運送到不同的田間地點使用，透過高解析度成像技術，精確測量植物的表徵，以追蹤記錄生長發育過程影像變化資料。此外，車輛配備2個高光譜感測器 (VIS-NIR/SWIR)、一個2D LiDAR感測器和一個高解析度可見光掃描感測器。擁有不受天氣條件影響的專門照明功能，所有量測、紀錄資料均可透過機載GPS/INS單元，進行位置和傾斜度地理自動矯正，進行精準的定位與分析。

總結與展望：荷蘭農業科技帶來的啟發

參訪NPEC的表型體模組讓我們對荷蘭農業科技有了更深入的理解。烏得勒支及瓦赫寧根大學的模組在規模、設備與技術應用上皆展現出高度的精細化與自動化，涵蓋了從生長室到溫室、田間測試的完整研究環境。特別是其高解析度成像、自動灌溉、環境參數控制及移動式表型分析技術，充分展現了荷蘭在農業研究上的領先地位。

目前農業部農業試驗所及世界蔬菜中心亦已建置溫室表型分析模組及具有自動化龍門露天表型分析平台，並累積初步成果，包含應用於大豆、甜瓜及小油菜的生長調查，水稻白葉枯病罹病植株偵測，以及辣椒、秋葵於高溫或淹水逆境條件下種原生育觀察等。本場可進一步透過與農業

試驗所或世界蔬菜中心合作，共同進行逆境下作物生長特性調查，藉此開發具氣候適應性選拔指標，應用於未來耐逆境品種的育種工作。此外，影像擷取所產生的大量數據，對於傳統研究人員而言是一大挑戰，因此跨領域的合作變得日益重要。整合農業科技與數據科學，將是推進未來智慧農業發展的關鍵。

透過本次參訪，我們對未來植物生長研究及精準農業的發展方向有了更清晰的藍圖，這些先進技術的導入，將有助於加速我國農業的智慧化及數位化轉型，不僅能提升作物產量與品質，並為未來農業永續發展提供更完善的解決方案。

行政院消費者保護處
http://www.cpc.ey.gov.tw/

