農試所 自動化作物表型體設施簡介

農試所生技組 林思妤 林大鈞 楊佐琦

一、前言

表型體學（Phenomics）泛指相關外表形態的系統性研究。自古以來，人類就不斷觀察記錄植物的各種形態，作為生理研究或是作物育種選拔的重要依據，時至今日，「植物外表形態」已演變成一門科學，例如不同品種生物量（biomass）或產量的比較、同種作物於不同地區生長表現情形等，這些「植物長得怎麼樣」、「外表特性數據化的記錄分析」都涵蓋在植物表型體學的範疇。傳統的植物外表形態調查，多以肉眼觀察或以各種量測工具進行，需耗費大量的人力、時間，且調查結果較為主觀。因此，為節省人力、時間並提升調查的客觀性，農試所致力打造高通量的自動化表型體設施（圖一），結合植物學、育種、作物生理、影像辨識及環控溫室等專家，利用各式偵測器，高通量擷取各種植物影像，取得待測植株的外觀、生理參數加以分析，達到節省人力、客觀且精準地篩選種原或是選拔育種之目的。

作　　者：林思妤助理研究員
連絡電話：04-23317355

二、自動化作物表型體設施簡介

目前許多國家已致力於自動化表型體設施之開發與建置，這類設施依據掃描器及植物移動方式，可分為兩大類：一為龍門（Gantry）系統，也就是掃描器移動、植物不動的方式，此類系統利用龍門調整掃描器之高度及位置（x、y、z軸），掃描下方植株外表形態，較適用於大規模溫室、田間研究（圖二A）；另一則為輸送帶（Conveyor）系統，意即掃描器固定、植物移動的方式，將植物經由輸送帶送入裝有掃描器的箱體中進行掃描，此類系統優點為植物影像擷取的環境因子已最適化，可大幅降低拍攝環境不同所造成的誤差，但造價則相對高昂，較適用於小規模生長箱、溫室之研究（圖二B）。

自動化植物表型體設施中龍門所搭載之感測器（Sensors）亦相當重要，這些感測器皆屬非破壞性之感測，可依照實



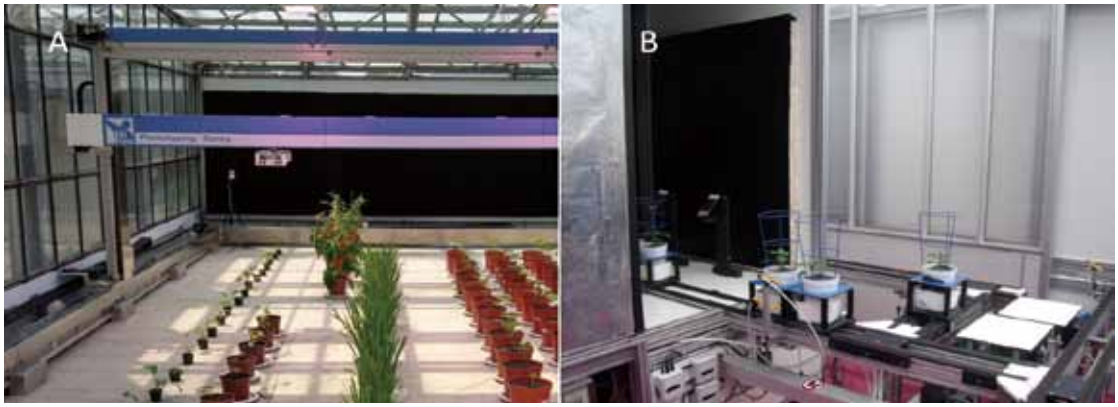
圖一、農試所溫室級高通量自動化作物表型體系統。

驗需求加以選擇。譬如，紅綠藍三原色光（RGB）感測器多用於產量相關的影像外觀性狀；多光譜感測器則能夠更詳細分析植物的生化特性，如重要色素的組成（如葉綠素、類胡蘿蔔素或異黃酮等）及葉片中的水分含量；高光譜感測器因包含完整的可見光及近紅外線區的連續光譜影像，可被用來進行較為複雜的色素形態、水分、病害檢測、產量及品質的研究；熱影像感測器可偵測冠層溫度及氣孔導度相關之葉面溫度，通常用於植物逆境研究。目前市面上已有許多感測器可用於影像及各式參數收集，但資料取得後，如何進行後續3D建模、影像分割、特徵擷取及機器學習等影像分析工作，亦須跨領域團隊的共同合作面對挑戰。

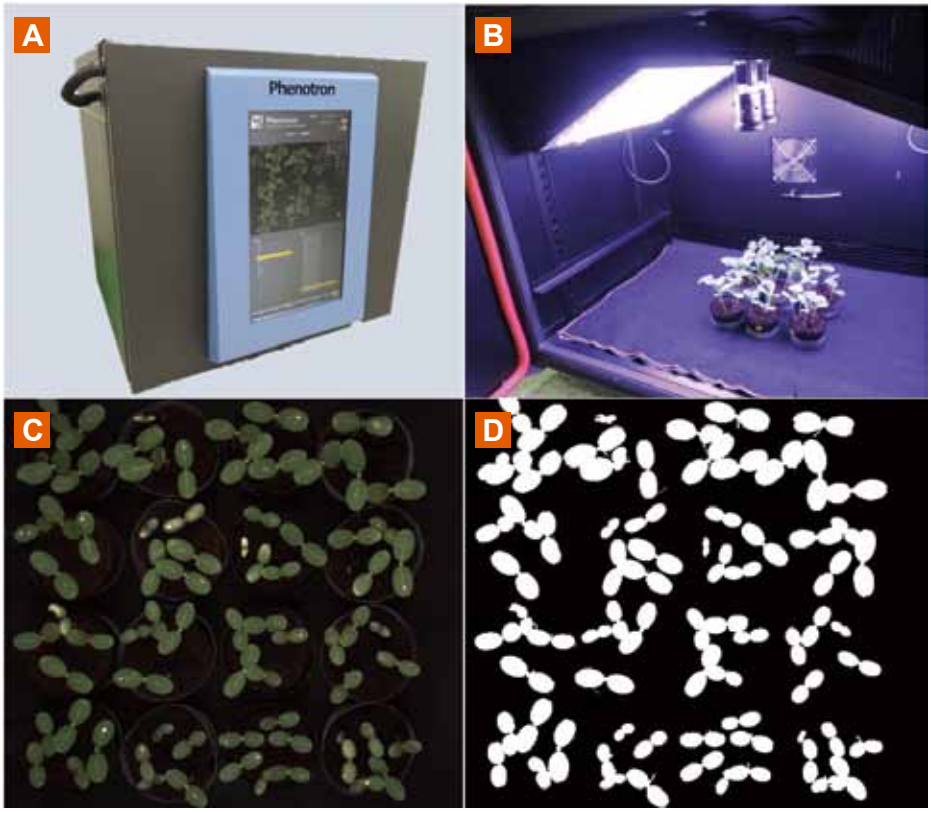
三、農試所之自動化作物表型體設施簡介

本所自民國106年開始進行自動化高通量植物表型體設施之建置，其中包含生長箱層級的自動化表型分析系統，可量測株高小於20公分植物之投影葉面積及株高（圖三）。同時，為提升參試作物的數量及大小，本所引入荷蘭Phenospex公司的PlantEye分析系統（圖四A）。此系統屬上述「龍門移動、植物不動」的設計方式，配備有4種波長（紅、綠、藍及近紅外光）雷射光感測器進行掃描偵測，並可自動演算葉面積、葉面曲度、株高、投影葉面積、葉面積指數、光投影深度、數位體積、標準化植被指數（Normalized Difference Vegetation Index；NDVI）、綠度及色相（Hue）等10個參數，最後透過配套軟體HortControl，可呈現各參數變化及分群統計（圖四B）。

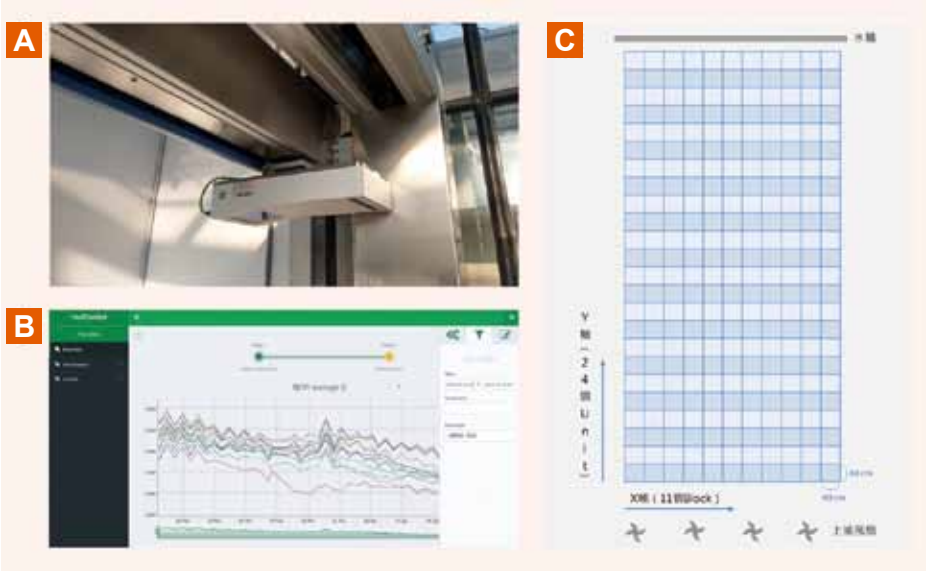
PlantEye系統設置於風扇水牆之溫控玻璃溫室，整間溫室區分為11個區集（Block），每區集有24個單位（Unit），每單位為40×40公分的正方形（圖四C），若植物生長超出此範圍即無法量測，整間溫室可容納264株中型植物（株高小於100公分，直徑小於40公分），實際應用時，亦可彈性地掃描非預設大小的作物，掃描單位最大可增加至60×80公分，最小可縮減至20×20公分。



圖二、自動化作物表型體設施之兩種系統。（A）龍門系統（農試所表型體溫室）；（B）輸送帶系統（澳洲阿德雷德植物加速中心智慧溫室）。



圖三、生長箱層級之自動化表型量測系統（A）儀器外觀，可利用面板監控生長箱內部狀況 （B）儀器內部裝置（C）甜瓜子葉RGB影像（D）自動計算葉面積及株高。



圖四、農試所PlantEye系統配置。（A）PlantEye掃描器掛載於自動化龍門系統；（B）HortControl操作介面，可顯示各參數趨勢圖；（C）自動化作物表型體設施待測植物位置配置示意圖。

四、自動化表型分析系統應用於罹病植株之偵測-以水稻白葉枯病為例

NDVI是利用紅光及紅外光反射計算而得的參數，數值介於-1到1之間，可表現植株生長之健康程度，數值越大表示植株建康狀態越佳。為探討PlantEye掃描得到之NDVI值，是否可真實反應植株建康狀況，爰此，本研究以不同品種水稻“IRBB66”（抗病品系）及“IR24”（感病品系）接種白葉枯病菌（Xanthomonas oryzae var. oryzae XF89b, Xoo XF89b）後，針對所有植株進行接種前後之NDVI分析 (表一)。比較 “IR24”接種後的NDVI與接種前的指數，結果顯示接種後NDVI指數有顯著下降的情形，而抗病品種 “IRBB66”接種前後的NDVI指數則無顯著差異。同時， 3D影像圖（圖五）呈現感性水稻品系葉尖會因接種感染Xoo XF89b而呈現枯萎的現象，這些結果與傳統實際病斑量測結果的趨勢相同。因此，未來可應用自動化作物表型體設施輔助追蹤病株的生長健康情形，以及應用於水稻種原對白葉枯病抗病性的篩選。

五、自動化表型量測系統與手動量測之相關性-以大豆為例

為比較PlantEye分析平台與傳統性狀調查結果間的差異，本研究以種於盆徑30公分之苗期大豆為材料，比較兩種量測方法得到之葉面積及株高結果間的一致性。葉面積量測是以Image J計算俯視角度拍攝之植株照片，而株高則是以尺自土面量到植株最高點（圖六）。試驗結果顯示，在葉面積分析結果部分，於大豆發芽4週內，兩種方法所測得之葉面積結果相近，但4週後的PlantEye數據則遠低於傳統量測方式。推測其原因可能是此時期的大豆莖葉快速橫向生長，超出PlantEye單位偵測範圍（40×40公分），因此量測不到。此外，因為葉片太過茂盛會導致遮蔽效應而嚴重影響葉面積量測的結果。在株高調查方面，於發芽2週內，兩種方法的數據呈現較為一致。2週後，則發現傳統量測所得結果較不穩定（高低起伏）而PlantEye量測結果較穩定，其原因可能是因為PlantEye分析平台在計算株高上，系統會去除最高及最低5%的點，以避免離群值。但不管是在葉面積或是株高量測結果的比較，兩種方法所得結果的相關係數均大於0.8。綜合來看，PlantEye分析平台在葉面積與株高的量測，均與傳統量測方法有極

表一、水稻抗、感品種接種白葉枯病菌前後之NDVI指數變化

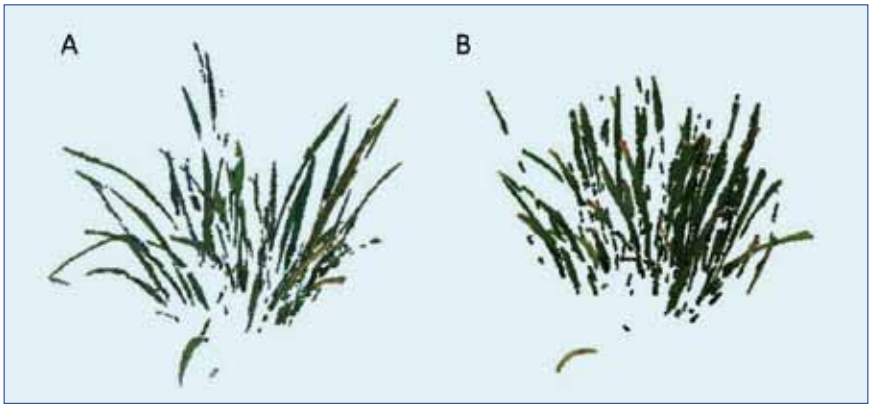
處理	品種	接種前	接種後12天	p-value
接種	IR24(感病)	0.45 ± 0.01	0.38 ± 0.03	0.02
	IRBB66(抗病)	0.40 ± 0.02	0.37 ± 0.05	0.30
＊仿接種	IR24(感病)	0.43 ± 0.01	0.41 ± 0.05	0.32
	IRBB66(抗病)	0.43 ± 0.02	0.42 ± 0.02	0.50

＊仿接種(mock inoculation):剪葉但未接種病菌。

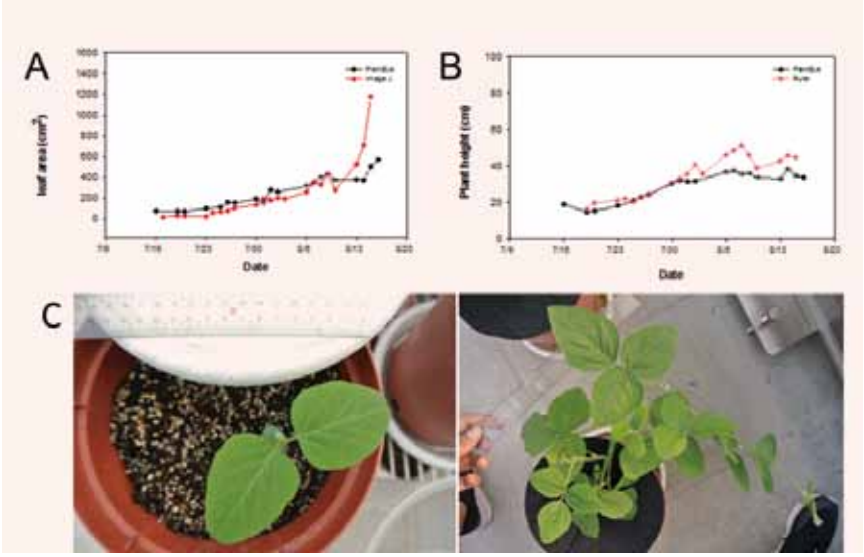
高的關聯性，顯示其應可準確量測大豆苗期的葉面積及株高。

六、結語

近年來國際間許多植物研究單位正如火如荼地投入自動化表型體設施之建置，然而這些設施的造價不斐，為避免浪費研究資源亦達事半功倍的效果，建議在設施建置前，設定明確目標作物、生長階段及目標性狀等，再依照試驗需求選擇適當的承載系統（龍門或輸送代系統）及感測器（包含種類、數量、成相距離、解析度等），方能獲得預期的數據。此外，影像擷取後的分析工作亦相當重要。以本所建造的PlantEye分析平台來看，自動演算所得的結果皆屬基本的植物生物量（biomass）參數，若有其它更精細之試驗目地，如病斑、葉片數、果莢長度等量測，則須要加入其它影像分析方能進行估算。由此可見，一個自動化植物表型體設施須要各學科人才投入，才能共同完成，除了植物學、生理學、育種學專家，亦須要有機械工程、程式設計、影像分析等專家，匯集各領域的專業技術，最終才得以在植物外表形態調查上達到試驗規劃的預期目的。



圖五、水稻 “IR24”接種白葉枯病菌（*Xoo* XF89b）前（A）、後（B）之3D影像圖。



圖六、傳統外表型調查與自動化表型體分析平台量測之葉面積（A）；及株高（B）之比較，紅線為傳統外表型調查，黑線為自動化表型體分析。（C）量測初期及後期之大豆生長情形。