

# 應用之現況 觀摩國際稻米研究所發展無人載具於高通量表型體

作者／蕭巧玲 (行政院農業委員會農業試驗所作物組助理研究員)

賴明信 (行政院農業委員會農業試驗所作物組研究員)

楊純明 (行政院農業委員會農業試驗所作物組研究員兼組長)

王柏蓉 (行政院農業委員會農產加工改良場稻作與米質研究室助理研究員)

黃佳興 (行政院農業委員會花蓮區農業改良場農藝研究室助理研究員)

林大鈞 (行政院農業委員會農業試驗所作物技術組副研究員)

吳東鴻 (行政院農業委員會農業試驗所作物組副研究員)

李長沛 (行政院農業委員會農業試驗所作物組副研究員)

何佳勳 (行政院農業委員會農業試驗所作物組助理研究員)

國際稻米研究所 (International Rice Research Institute, IRRI) 長期關注於世界各國之稻作研究與發展，致力於解決飢貧、改善稻農生計及消費者健康，並確保稻作環境的永續性。臺灣自101年與IRRI重啟合作夥伴關係後，雙方即在共同協議合作架構下，擬定目標並推動各項研究議題及學術交流，以每4年為一期模式下建立實質團隊合作研究之連結，冀望雙方互相汲取研發經驗和技術，有效強化科研視角及能力。

在科研計畫部分，除了分享研究成果之外，雙方並就合作研究項目辦理研討會，並進行人員和資材的交流。為了擴增研究量能，我方另就IRRI進行中的研究與技術發展提出參訪意見，由於高通量表型體 (High Throughput Phenotyping, HTP) 研究係當前水稻研發重點之一，經IRRI同意後即組團前往觀摩研習。本次觀摩研習期以瞭解IRRI目前運用無人載具 (unmanned aerial vehicle or drone) 於觀測稻株高通量表型體的研究現況，俾以我方未來經過調整後亦可應用於國內稻作栽培育種工作，以及水稻精準農耕和智慧化管理等多元用途。

## 高通量表型體之研究與應用

自田間試驗區有效實施準確和高通量的性狀篩選 (檢)，對於同時要在田間進行數千種作物品系的生長表現評估而言，至關重要。因為育種過程中經常會產出數以千計、甚至萬計的雜交新品系，憑傳統人力調查十分費力耗時，藉由現代的高通量表型體偵測技術及配套的儀器設備，能

夠大量和大面積量測期待性狀，而加快作物改良和育種工作，乃至於栽培技術的評估與改進。通過傳感器開發和高性能計算的技術進步，在過去的10年間，現地（場）的高通量表型體偵測與分析方法已取得了很大進展，配套的儀器設備可被安裝於室內或田間。這樣的高通量外表型偵測與分析技術，主要在為數量性狀的遺傳學提供訊息／資訊，包括作物的生長、產量及病蟲害的耐抗性。

一套完整的表型平臺，視其需要可能包含不同的傳感器與高性能計算工具，以提供作物栽培或育種所需的性狀偵測與識別、監測與追蹤，諸如：一、影像的成像和環境傳感器的高分辨率；二、視覺運算、機器學習和地理資訊系統（GIS）的高質量數據產品；三、關於數據管理與分析能力的基礎設施；四、自動化環境數據收集與整理等。由於加速辨識農作物相關性狀是育種與品種改良發展的關鍵，而其中提升高分辨率更是決定性因子，因此田間大規模的高通量表型體技術和處理能

力，將扮演最重要的角色。而如何能夠成功的結合這些外表型資訊與基因型資訊，則是各研究單位和技術人員努力的方向。本文將著重介紹IRRI觀摩研習的主要紀錄，提供讀者參考。

### 無人載具使用法規及機型

IRRI現階段從事無人載具於稻米研究之專家為Stephen Klassen博士，其擅長以系統性開發無人載具進行HTP水稻表型體研究及農作監測技術，並運用R程式進行HTP影像處理。IRRI之無人載具研究遵循菲律賓當地規範，包括一、超過7公斤的無人載具需經申請核准才可飛行；二、無人載具飛行時需與非操作人員距離30公尺以上；三、一定要在視線內飛行；四、人口稠密區、機場及軍事基地附近禁飛；五、飛行高度不可超過120公尺。

對照我國民用航空法遙控無人機專章，分為5種重量級距的無人機進行規範。無論如何，只要重量超過250克以上之無人機皆須經過註冊，亦須在目視範圍



（右）無人載具各項配件與功能。

（左）無人載具各項配件與功能，圖為國際稻米研究所採用之eBee。



內進行飛行，且日出前及日落後不得飛行，國內規範相對嚴謹。此外，無人機在起飛前須注意天候狀況，當風速大於10m/s時，即不可飛行。降雨機率也是需要考慮的因素，而且在起飛調查前需進行飛行區域的劃定，起飛點四周是否有建築物或其他可能的阻礙物。操作中需隨時注意無人載具的狀況，特別是電力的部分，在電力剩餘30%時即進行返航，避免電力不足造成的意外。

目前IRRI所使用的無人載具包含3種，分別是eBee、DJI phantom4 Pro及DJI Matrice100三種。各機型特色簡述如下，phantom4 Pro為四軸無人載具，具備了一顆RGB的鏡頭，滯空時間約17分

鐘左右，可搭配DJI GO或DJO GS Pro兩個飛行控制軟體。其最大的優點就是輕便和價格相對便宜，缺點則是無法更換鏡頭，僅能使用RGB的鏡頭拍攝。DJI Matrice100亦是四軸的無人飛行機，飛行速度較快，滯空時間亦較長，具備了多光譜及RGB兩種鏡頭。因此，它能分析的項目亦較多，亦可搭配DJI GO或DJO GS Pro兩個飛行控制軟體，價格亦為3種機型的中間。

eBee則是固定翼的機型，其最大的特色是滯空時間可達50分鐘，因此非常適合較大田區使用。此外，雖然eBee飛行時只能裝載一顆鏡頭，但具備可更換的鏡頭，包含多光譜、熱感及一般的RGB鏡

(左) 國際稻米研究所採用之 DJI Matrice 100。  
(中) 國際稻米研究所採用之 DJI phantom4 Pro。



(右) 多光譜鏡頭之光譜校正。  
(右下) 安裝無人載具設備。



頭，可搭配其專屬的eMotion3飛航控制軟體。惟其缺點是價格較昂貴，且因是固定翼的機型，需要較為寬廣的起降空間。

### 無人載具進行空拍前 設定地面控制點的重要性

在無人載具進行空拍前，尚需利用地面控制點（Ground Control Point, GCP）設定航帶開始、中間及結束之位置，並對接無人載具搭載之GPS布設。一般而言，通常每公頃試驗田航帶點約放置8~10個GCPs，至少須設定6點以上。GCP之分布位置比設置數量來的重要，將GCP布設於航帶外圍比航帶內較能提高精度，且對於無人載具之拍



攝所產製之地表影像可更提高精確度達2~5公分內。GCP的正確位置可利用區域Universal Transverse Mercator (UTM) 輔助系統，以GPS原理進行高度精確的量測。

GCP為大小約0.4m×0.4m，且具有明確中心點的黑白方塊，用於標定之位點，通常採用如塑膠、木材或水泥等，不易被無人載具飛行時或當地風速流動時所吹動之反光材質。

### 影像處理技術生成精確多維模型

收集田間影像資料後，須利用PIX4D mapper軟體，進行影像定位拼接及建立模型，接著利用地理資訊軟體（ArcGIS軟體）標定各試區的座標範圍，以定義每個待分析區域。最後輸出結果才利用R軟體進行影像分析、統計分析及結果輸出。

其中，由瑞士Pix4D公司所開發的Pix4D mapper，是一款專業的無人載具測繪及攝影量測軟體，可以轉換無人載具於飛行過程中所拍攝的影像，成為高精確度且帶有地理座標的2維或是3維模型，並可快速產生各種可自定義的成果，如3維點雲、數字化地表及地面模型、正射影像鑲嵌圖、體積計算、3維紋理模型或熱影像圖，供後續其它軟體進行深入的影像分析。此軟體具有專業化、簡單化、自動化且高精確度等優點，使無人載具所擷取的影像成為新一代的專業量測工具。

利用Pix4D重建模型至少需要3個GCPs，而一般無人載具取得之100張影像資料內最好包含6個以上的GCPs。完成GCPs的定義後，即可利用Pix4D進行快速且全自動化地建立模型輸出，包含：正射鑲嵌（orthomosaics）、數位表面



(左) 利用區域 UTM 輔助系統以 GPS 原理進行高度精確的量測。

(右下) 衛星定位系統 Ground Control Point (GCP) 搭配之 Base。





(左) 衛星地位系統 Ground Control Point (GCP) 搭配之 rover。  
(右) 衛星地位系統 Ground Control Point (GCP) 搭配之座標板。

模型 (digital surface models)、點雲 (point clouds) 及指數圖形 (index maps)。

最後，進行輸出結果的質量管控，包含：影像 (images)、datasets、camera optimization、matching，以及 georeferencing 等項目。若通過質量管控，會在相關項目後出現綠色勾。但若出現黃色或紅色的勾，就需要進一步根據使用手冊的故障排除 (troubleshooting) 檢查問題所在並排除，再重新建模，所得結果方能輸出，進入後續 ArcGIS 軟體分析。

### 運用 R 統計軟體進行影像資料分析

在前項階段已經由無人載具取得空拍影像並完成拼接後，接下來則需要利用

地理資訊軟體 (GIS system) 標定各試區的座標範圍。可透過 ArcGIS 軟體中的 Fishnet 工具，批次建立整個田區中各試區的地理投影範圍 (shapefile)。每個試區除了標定行列的座標位置外，設定行列數，也須調整試區轉動角度，確保符合試區區塊符合田區方向並避免不同行區間的重疊狀況，套疊此項投影檔案與高解析圖像便可擷取該區塊下的畫素資料。

資料分析主要透過 R 軟體中進行資料統計與圖形重製，R 具有免費、使用彈性高並可匯入多項不同分析套件等特色。本次資料分析，包含可以讀取 shapefile (maptools)、繪製地圖 (maps)、色階盤 (RColorBrewer) 等套件後，設定影像資料匣名稱與路徑，亦在同時設定投影檔所存資料匣路徑與檔案名稱後，

將所有相關資料匯入並進行合併分析。以RGB影像為例，取得各試區中的像素色彩值後，可品管後各基因型的性狀資料，建立各性狀與色彩指標間的相關性、迴歸係數與時間序列分析等統計分析。

每一個試區的像素值會先經過初步品管篩檢每3行區內5%的離異值，並以中位數表示該試區的性狀表現。在水稻資料上，同時會去除株高大於2m者、植冠溫度超過38°C者，隨後進行各項色彩指標與RGB三元素數值統計分析。在RGB影像中，目前常用相關彩色指標分別為 $NDI = (G - R) / (G + R)$ ， $NDVI = (NIR - r) / (NIR + R)$ 。目前除了植株高度可以藉由植冠高度進行預測外，亦可以嘗試使用NDI指數預測抽穗期性狀，或以NDVI預測乾物重。

但不同環境仍可以造成各影像指數的相關程度變異，在特定環境下仍須先確認各性狀標準調查資料與影像指標的相關係數，擇高者進行後續分析。例如，在株高上分別可以植冠高度\*NDI或植冠高度\*NDVI。未來除了使用更高色彩判別的照相機外，將可嘗試使用機器學習、人工智慧等大數據分析，尋找新的色彩影像模式與病蟲害間的關聯性。另可利用各影像分析指標進行主成分分析等，均有助於建立各性狀預測指標。

### 加速相關人才培育及產業應用 創造多元效益

本次高通量表型體的觀摩研習，包含無人載具的操作、取像技巧、圖像的解讀、資料處理等，最後與農用的專業軟體

結合，轉換成對作物性狀具有意義的數據，需要具備多個領域的專業。表型體學（phenomics）是基因型（Genotype; G）表現的整體結果，更是育種目標性狀（如耐寒、耐熱、耐旱）之呈現狀態，因此為育種成敗之決定因素。由於表型體之表現易受環境因子（Environment; E）之影響，因此一個遺傳性狀（即基因型G）必須在穩定的環控（E）狀態下，進行表型體（Pshenotype; P）測定，才能獲得準確、穩定的外表型表現。有鑑於此，國際植物學研究甚至作物育種公司，爭相建置並利用先進的表型體分析之軟硬體設施（備），建置精準的外表型偵測分析平臺。此外，臺灣早已大規模地利用無



人載具進行國土或是林木的量測，而近來在農業應用上，亦已利用無人載具來進行農藥噴灑及輔助災害程度的評估，多元的應用則尚待積極開發。

利用無人載具取像，透過多光譜圖像與專業農業軟體相結合，將訊息輸出轉換成有意義的數據，可以提供一般農民甚至研究利用。國內已有許多單位正進行相關的研究，但真正可以提供作物栽培管理及品種改良的利用仍有待開發。目前國內對於高通量外表型之量測，多以人為手動單點方式取得資料，需要進階為自動偵測與資訊收集。

由無人載具搭載多種適合於量測植被植生指數之攝影鏡頭，可快速、簡易取得

以葉片為主之外表型參數，包含NDVI、SPAD、NDI、canopy temperature等，亦需要從多光譜進階至高光譜，並整合包括可見光、近紅外光、遠紅外光、微波、雷射電磁波等量測資訊。再藉由深度學習預測更精準之多項性狀和產量資料，即可有助於相關資料探索，應用於生產、育種、病蟲害預測及作物生理估算等研究上。國內未來應當以作物生長模式為研究基礎，籌組高通量研究團隊，以加速相關人才的培育及快速的在各類作物產業上應用，共享資訊與創造研究效益。

