

光譜感測器應用於農業生產管理之簡介

農試所遺傳生技組 游舜期 夏奇銳 王怡雯 蔡媚婷 莊淨

一、前言

近年來由於氣候變遷與農村高齡化合併缺工等問題之影響，讓作物栽培智慧化管理與生產模式化越趨重要，利用物聯網、農業大數據資料以及資通訊網路資源所開發出之各種農業智慧化生產管理系統，除可優化目前栽培環境及生產流程，更能提高農業生產效率及降低經營成本。在農業智慧化生產管理系統中為能及時掌控作物生長環境的變化，經常利用各種感測器、遠端調控設備、雲端資料庫甚至衛星影像系統等工具與平台蒐集環境變化資料與作物生長參數，再透過大數據統計分析，找出最適合的栽培模式提供給管理人員作為決策之用，並能適當因應病蟲害、澇旱、高低溫等生物性與非生物性逆境，藉此達到省工、精準調控與智慧生產的目標。目前農業使用之即時感測器依據感測元件偵測之對象大致可分為光波或電流變動兩種，本篇主要簡介利用可見光譜以及近年來新興之高光譜影像感測器在農業上之應用與發展。

在介紹不同光譜感測器之前，首先讓我們先瞭解太陽所發出的光線之基本組成是由不同波段的電磁波聚合形成，依據人眼是否可觀察到之波段可粗略分為「可見光」和「不可見光」兩個範圍(圖一)。人眼感受到的物體顏色是光線經過物體表面反射、折射或繞射後呈現之結果，例如我們看到的綠色葉片是光線照射葉片後，其中可見光之綠色波段大部分被反射出來，因此人眼觀察到葉片呈現綠色。可見光之電磁波長主要介於400至700奈米(nm)，為大家熟知的紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫7種色光，再細分則可依不同色階來區分成不同顏色，這些可見光顏色在電磁波譜中僅占一小部分，大多之電磁波段都分佈在人類肉眼不可見之範圍，如小於400奈米波長以下之紫外線、X射線、伽瑪射線，以及大於700奈米波長之紅外線、微波、無線電波等。

二、簡介應用於農業生產管理之光譜感測器

目前應用於農業之感測器在價格、操作性與實用性的通盤考量下，使用之電磁波段範圍主要集中在可見光與近/

通訊作者：夏奇銳研究員
連絡電話：04-23317327

遠紅外光區段，這些光譜感測器具有快速檢測與簡易使用之優點，可以協助栽培決策及預警風險管理，以下概述這些感測器基礎運作原理及其在農業上之應用：

(一) 紅綠藍 (red, green and blue, RGB) 數位影像：使用之光譜波段介於400奈米至700奈米，可利用電荷耦合元件 (charge coupled device, CCD) 相機針對待測物擷取影像，可偵測人眼較難辨識之細微顏色變化，或進行外觀形狀判別。目前在農業上應用有：

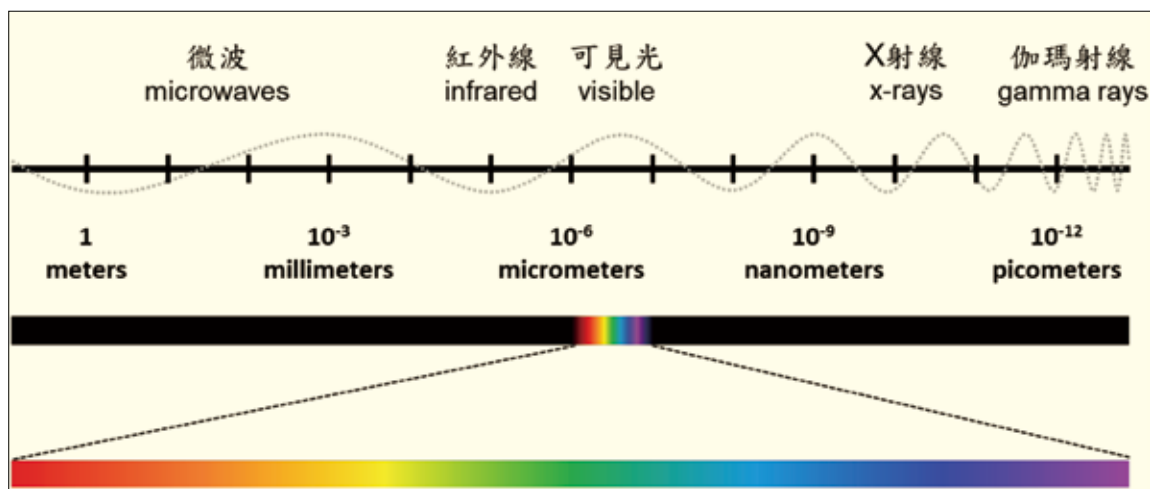
(1) 遙測影像：藉由空拍俯視角度來觀察地景變化，結合地理資訊系統進行定位後，可大面積調查作物耕作之面積、土表空間變化、天然災害災損比對等，能大幅減少人力使用以及人為之判定誤差。

(2) 蟲害預防與監測：經由遙測數位影像搭配蟲害影像資料庫分析，能夠快速進行害蟲辨識，達到遠端蟲害預警與監控，提早因應以降低災

損，舉如利用黏蟲紙吸引害蟲取得之數位影像搭配開發之辨識演算模組技術，可快速自動辨識與計數常見之薊馬、粉蟲、蚜蟲及蕈蚋等小型害蟲，以供使用者監測害蟲之變化及成為啟動相關防治管理之依據。

(3) 品種鑑別：在智慧手機與高階感光元件普及化後，搭配已建立之完善的作物圖鑑資料庫，以智慧手機拍攝之照片可經由行動應用程式 (mobile application, APP) 上傳影像至後端影像辨識系統，進行行動化數位影像辨識，有助生態保育與環境教育的推動。

(二) 葉綠素螢光訊號 (chlorophyll fluorescence)：植物葉片中之葉綠體在吸收光子後 (主要吸收藍光與紅光區段)，於光合作用反應過程中會釋出螢光訊號，藉由偵測葉綠素螢光反應可作為植物當下狀態之光合活性指標，亦即監測植物在特定環境下之光合效率。葉綠素



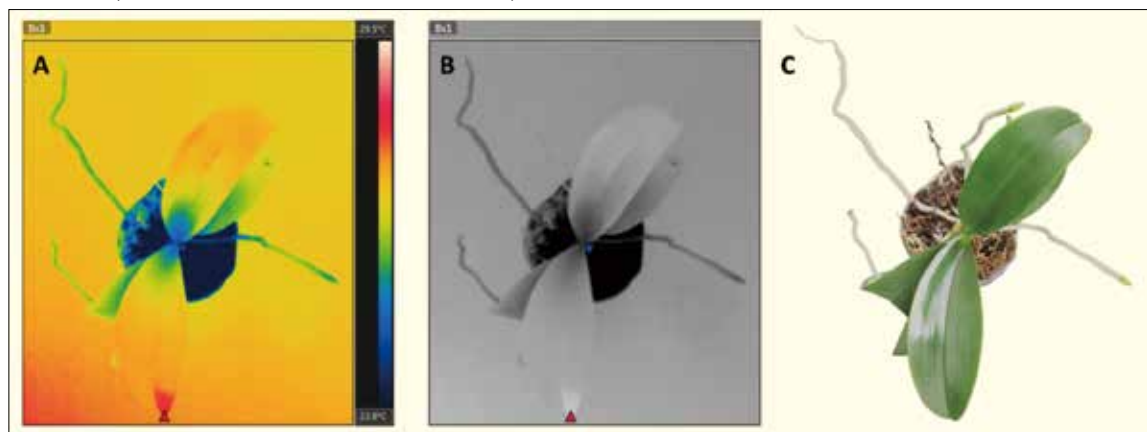
圖一、電磁波譜示意圖。

螢光有不同參數可以代表植物生理狀態，舉如最大螢光參數 (F_v/F_m) 是量測葉綠素螢光之可變 (F_v) 和最大 (F_m) 螢光比值，能代表植物之光系統II (PSII) 的光化學潛能，而植物氣孔開合、酵素合成或訊息傳導在不同栽培環境將直接或間接影響植物光合效率，在植物外觀尚未出現差異前，可利用最大螢光參數來及時偵測環境因子 (缺水、重金屬或養分缺乏等) 對作物光合作用影響程度，來幫助農民提早作出應對之管理措施。

(三) 紅外線 (infrared, IR)：是指波長介於780奈米至1毫米之間的電磁波，為一種不可見光。物體自身分子震動或吸收外界能量所散發出來之熱輻射能大多為紅外線波段，而紅外線感測儀是以物體所散發之紅外線作為偵測訊號來源，依偵測之紅外線波長可再細分為近紅外光 (near-infrared, NIR)、短波長紅外線 (short-wave infrared, SWIR)、中波長紅外線 (medium-wave infrared, MWIR)、

長波長紅外線 (long-wave infrared, LWIR) 與遠紅外線 (far infrared, FIR)。常見之紅外線熱影像儀 (thermal imaging camera) 是一種可對物體所散發之紅外線進行感光成像之儀器，具有不需接觸與快速偵測物體溫度的特性，廣泛應用在醫療、軍事、海關檢查等用途。在農業應用上，植物葉片溫度變化與各種生理指標息息相關，藉由紅外線熱影像儀偵測植株冠層溫度變化 (圖二)，可評估作物生長狀態是否受外界生物性或非生物性因子影響之依據，例如植物受病蟲害感染或旱澇造成生理功能下降之監測。

(四) 高光譜影像 (hyperspectral imaging, HSI)：高光譜是指在特定面積中同時擷取每單位像數 (pixel) 上之多個光譜訊息，每單位像數獲取之光譜又可再依搭載之不同元件，再細分成更窄之波段訊號，亦即可同時獲取更多特定波段之資料。相較一般常用之RGB數位影像、葉綠素螢光或紅外線影像偵測能取得更多光譜訊息，例如人眼所見之白光



圖二、紅外線熱影像儀與一般相機拍攝蝴蝶蘭葉片之情形。(A) 經由色階轉換之熱影像照片，越紅表示溫度越高，越藍則反之。(B) 經由灰階轉換之熱影像照片。(C) 一般相機拍攝之照片。紅色箭頭表示溫度最高區域。

是由連續光譜訊號疊合而成，高光譜儀可將這些混合色細分出來，並能取得特定波段個別之訊號強度。以農試所目前購置2台高光譜儀為例，其一為PIKA L (Resonon) 高光譜儀，可將400 - 1000奈米間光譜切割成281個波段，每個波段平均約為2.1奈米，適合同時收集可見光與紅外線區域訊號；其二為VNIR R640 (Headwall) 高光譜儀，可將600 - 1700奈米間光譜切割成267個波段，每個波段平均約為4.1奈米 (圖三)，能同時收集部分可見光、紅外線及部分微波訊號。兩台不同特性之高光譜儀收集之反射訊號，可依據作物特性需求搭配人工智慧或機器學習模組，快速找出具有高度關聯性之特定光譜進行研究與設備開發。

高光譜儀是藉由特定光源下偵測物體反射或繞射釋出之光譜訊號，不具侵入性，樣品也不需要進行破壞性處理，即可有效地檢測物體之外部或內部物質之訊息，加上具備極高解析度與高通量光譜訊息等特性，可應用於農園藝作物的營養成分評估、種子/苗輸出檢測、農產加工品質監測或大田作業管理等，例如玉米粒在採收及儲運過程中常因乾燥程度不足，而受到黃麴菌 (*Aspergillus flavus* 與 *Aspergillus flavus*) 感染，此菌生長過程中會產生

對人體有害之致癌物質-黃麴毒素，不僅致使穀物壞敗造成經濟損失，更對食品安全產生威脅。現行黃麴毒素偵測主要利用氣相層析、高效液相層析與薄層層析等方式，這些偵測技術使用之樣品需要經過破壞性、高度專業性處理過程，不僅耗時且費用昂貴，通常採取抽樣調查，無法進行大範圍追蹤。Chakraborty 等 (2021) 學者利用高光譜儀器與後端分析模組，找出特定波段能有效區分受到黃麴菌感染之玉米粒，在儲運初期即可進行快速篩選，達到早期偵測與有效避免黴菌毒素進入食物鏈之防堵策略。本所在近年來亦積極投入相關高光譜研究與開發，在非生物逆境應用上，台灣設施栽培之番茄使用滴灌系統遇到管線堵塞造成植株缺水逆境時，通常外觀已受到明顯缺水逆境影響甚至造成不可逆之缺水傷害，藉由偵測植株同化率 (assimilation rate)、蒸散率 (transpiration rate) 與氣孔導度 (stomatal conductance) 來鏈結高光譜收集之影像資料，即可挑選出可能之預測模型及特徵光譜區段，



圖三、農試所購置之2台高光譜儀。左圖高光譜儀可偵測400 - 1,000奈米波段訊號，右圖儀器可偵測600 - 1,700奈米波段訊號。

進而應用在植株尚未出現不可逆之缺水傷害前進行示警。另外，蝴蝶蘭在我國是重要的外銷花卉，佔台灣花卉外銷總額約70%，產值達40億台幣，如此可觀的外銷訂單，出口前品質檢定極為重要，惟現行產業品質與病株篩檢仍以人工目視為主，而帶病株在感染初期人工不易辨識，本所開發之高光譜成像系統能在感染萎凋病初期即可檢測到病株，後續再導入其他特徵辨識對於蝴蝶蘭品質之快速篩檢將有莫大的助益。

三、結語

面對日趨嚴峻的氣候變遷與人力短缺，如何降低人力、物力等成本投入並協助農民精準決策，進而提高農業生產效率，將是未來農業生產管理之重要課題。利用感測器、資通訊設備及人工智慧系統的統合運用建置精準農業(precision agriculture)，可協助農業生產者以較少人力與經驗投入，達到最適化管理目的，更能及時提早因應各種逆境挑戰。同時精準之農業施作亦可減少碳源排放並促進碳中和之綠色轉型目標。過往農業生產從種苗、農作物生產、採收、儲運與加工過程大多以經驗進行管理，利用感測器結合自動化機械系統以標準化、高通量精準評斷生產鏈中各階段產品之優劣，減少人力投入與誤判，有助農業品牌的建立與行銷。

四、參考資料

Segarra, J., Buchaillet, M. L., Araus, J. L. & Kefauver, S. C. 2020. Remote Sensing

for Precision Agriculture: Sentinel-2 Improved Features and Applications. *Agronomy* 10, 641.

Sethy, P. K., Pandey, C., Sahu, Y. K. & Behera, S. K. 2021. Hyperspectral imagery applications for precision agriculture - a systemic survey. *Multimed. Tools Appl.* 81, 3005–3038.

Dale, L. M. et al. 2013. Hyperspectral imaging applications in agriculture and Agro-food product quality and safety control: A review. *Appl. Spectrosc. Rev.* 48, 142–159 .

Chakraborty, S. K. et al. 2021. Non-destructive classification and prediction of aflatoxin-B1 concentration in maize kernels using Vis–NIR (400–1000 nm) hyperspectral imaging. *Journal of Food Science and Technology* vol. 58 437–450 Preprint at <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04552-w> .

Tu, Y.-K. et al. 2022. A 1D-SP-Net to Determine Early Drought Stress Status of Tomato (*Solanum lycopersicum*) with Imbalanced Vis/NIR Spectroscopy Data. *Collect. FAO Agric.* 12, 259.

Shih, M.-S., Chang, K.-C., Chou, S.-A., Liu, T.-S. & Ouyang, Y.-C. 2023. The Automated Detection of Fusarium Wilt on Phalaenopsis Using VIS-NIR and SWIR Hyperspectral Imaging. *Remote Sensing* 15, 4174.