

# 無人機結合多光譜 於農業上的精準管理應用

文/圖 ■ 陳盈丞<sup>1</sup>、陳靜茹<sup>2</sup>、林敬堯<sup>2</sup>

<sup>1</sup>農業部臺南區農業改良場作物環境科 <sup>2</sup>國立雲林科技大學電機工程系

## 前言

隨著氣候變遷的加劇與人類活動的擴展，全球的農業生態系統面臨著嚴峻挑戰，農業在糧食安全、環境保護與資源利用中扮演著重要角色，由於自然條件的變異以及傳統監測方式的限制，農業管理變得日益困難。傳統方法依賴於現場勘察，往往耗時、成本高、效率低，且監測範圍有限，無法應對快速變化的農田環境。

科技的發展，特別是無人機 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 技術和遙測技術的突破，為農田監測提供了創新的技術支持。這些技術結合了多源數據，包括多光譜影像、熱成像以及其他遙測資料，能夠快速、精確且低成本地獲取大範圍的農田數據，可以進行作物種類識別與健康狀態的分析，為農業管理者提供高效的決策參考。

多光譜影像具有5個多光譜波段 (Blue、Green、Red、NIR、Red Edge)，由於植物在進行光合作用時，會吸收藍光段及紅光段，反射綠光段及近紅外光段，藉由比較影像中紅光段與綠光段及近紅外光段的比率，可以快速區分大面積區域中植生覆蓋的位置及植物生長的狀況。

## 植物光譜反射特性與健康監測

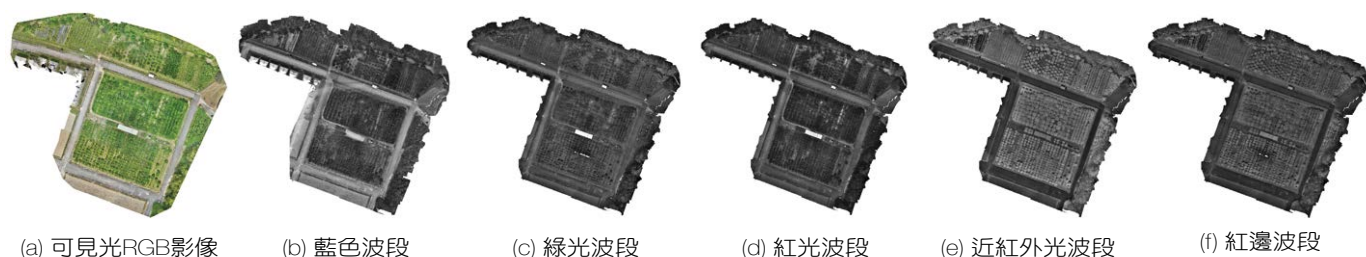
植物的光譜反射特性在健康監測中扮演著至關重要的角色，因為不同波段的光線在植被中的反射率會隨著植物的健康狀態發生明顯變化 (圖一)，在臺南農業改良場使用無人機以30米的飛行高度進行拍攝，並達到0.80cm/pixel的影像解析度，從而獲取高解析度的多光譜影像，這種變化使得我們能夠利用多光譜遙感技術來檢測和分析植被的健康狀況。以下是關於植物光譜反射特性和健康監測的一些概念：

### 藍色波段blue (500~590nm)

植物的葉綠素 (特別是葉綠素a和b) 會強烈吸收藍光，並將其用於光合作用，因此植物在這個波段的反射率相對較低，藍光對於植物生長初期的光合作用起著關鍵作用，除了有助於光合作用，還會影響植物的形態發生，例如影響植物的莖部伸長、葉片展開和氣孔開啟，它對植物生長形態的影響比紅光更顯著，特別是在控制植物的生長高度和葉片厚度方面。

### 綠光波段Green (500~590nm)

葉綠素吸收藍光和紅光，但會反射較多的綠光，這就是為什麼植物在可見光下



圖一、臺南區農業改良場\_植物光譜反射圖 (航拍高度30m，GSD 0.8cm)

看起來是綠色的，可以幫助我們識別健康植物與枯黃或生病植物的差異。

### 紅光波段Red (620~700nm)

植物的葉綠素會強烈吸收紅光，這有助於進行光合作用，如葉綠素a能有效地吸收約680nm的紅光。健康的植物會吸收大量的紅光，而壓力或病害會降低紅光吸收，常用於植被指數 (如NDVI，歸一化差異植被指數) 的計算，來監測植物健康狀況。

### 近紅外光波段NIR (780~2,500nm)

在這個波段，健康植物的反射率很高，因為植物細胞結構會強烈反射近紅外光，受損或壓力下的植物反射率會降低，可以用來區分健康植物和受損植物，常用於農業監測和植被分析，尤其是健康狀況的長期變化監控。

### 紅邊波段Red Edge (670~760nm)

紅邊波段位於紅光和近紅外光之間，這裡植物的光譜特性從紅光的高吸收轉變為近紅外光的高反射。這個波段對於檢測植物健康狀況的細微變化非常敏感，常用於精確農業，幫助及早發現植物健康問題，並可以更準確地估算生物量和植被狀況。

## 無人機與多源遙測技術應用

本研究將利用配備多光譜相機的無人機採集農田的遙測影像，並組合生成五個常

見的常態化差異指標 (表一)，這些指標主要用於辨識農田棲地內的地貌類型，以進行分類與量化分析，數據反映了植被的光譜特徵和健康狀況。

本文針對多源遙測影像應用先進的影像處理技術進行資料融合，綜合不同光譜範圍的數據，以提升影像的準確性與識別度，無人機以30米的飛行高度進行拍攝，地面取樣率GSD 0.80cm，同時透過多光譜影像生成植被指標 (圖二)，以監測植被健康狀況。

## 無人機監測果樹生長優點

無人機搭載多光譜儀技術在現代果樹生長監測中展現出顯著的優勢。隨著科技的發展，農業管理已經不再僅依賴傳統的人力巡檢與經驗判斷，取而代之的是更精準、快速和高效的監控方式，透過無人機快速覆蓋大範圍果園，並結合多光譜數據分析，農民能夠及時掌握果樹健康狀況，作出即時的管理決策，不僅降低資源浪費，還能提高產量與品質，最終實現農業的可持續發展。

### 快速、精準的資料收集

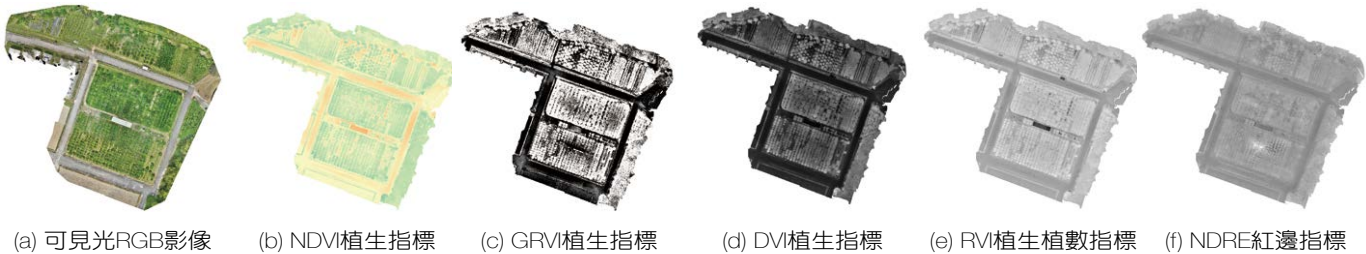
無人機能夠快速飛越果樹園，拍攝並收集大範圍的高解析度影像，幾分鐘內完成以往人工需耗費數小時甚至數天的工作。

### 多光譜數據分析

多光譜儀能夠捕捉肉眼不可見的光

表一、植生指標說明

植生指標	公式	應用
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (常態化差異植生指標)		可以反應綠色植生的生長與覆蓋程度
GRVI (Green-Red Vegetation Index) (綠紅植生指標)		應用於植被和地表季節變化之間的關係
DVI (Difference Vegetation Index) (差值植生指標)	<i>Nir-Red</i>	對土壤植被的變化敏感，利於森林植被生態環境的監測
RVI (Ratio Vegetation Index) (紅光植生植數指標)		高密度植被覆蓋下綠色生物量的估計和監測
NDRE (Normalized Difference Red Edge Index) (歸一化差異紅邊指標)		估測葉片中葉綠素含量對土壤背景影響敏感的指標。只能在紅邊帶可使用時使用。



圖二、臺南區農業改良場\_植生指標 (航拍高度30m，GSD 0.8cm)

譜，如近紅外光等，這有助於偵測葉片的健康狀況、水分含量、營養缺乏或病害的早期跡象，從而提供果樹生長的精細資訊。

### 即時監測與預警

無人機監測系統能夠實現即時的果樹生長情況監控，並在發現異常時提供早期預警，使農民可以在問題擴大之前進行干預，降低損失。

### 減少資源浪費

精準監測技術能幫助農民更有效地管理灌溉、施肥和病蟲害防治，從而減少水、肥料和農藥的過度使用，提升資源利用率，並促進農業的可持續發展。

### 降低人工成本

傳統的果樹生長監控依賴大量的人力巡檢，使用無人機後，可以大幅減少人工成

本，尤其是對於大規模的果園管理來說，無人機監測顯得更加經濟高效。

### 提高產量與品質

透過對果樹生長狀況的精準管理，無人機技術有助於改善果樹的健康狀況，最終提高果樹的產量與水果的品質。

### 識別植物的健康狀況和壓力區域

NDRE是一種改進的植被指數，利用紅邊 (Red Edge) 和近紅外 (NIR) 波段來分析植物的健康狀況和早期壓力反應，特別是在植物開始經歷壓力 (如缺水或營養不足) 但還沒有顯示在NDVI中的情況下，紅邊波段對植物葉綠素的變化和光合作用效率更加敏感。

如圖三綠色：這表示光合作用和葉綠

素含量高的健康植物；紅色：這表示植物可能處於早期壓力狀態，如水分或營養稍微不足，利用不同顏色的對比，快速檢測出水分或營養不足的區域，及時調整灌溉和施肥方案，如圖三以芒果樹和柚子樹為例，紅色框框那個區域，可以明顯地看到植物上處於壓力大的區域，幫助農民優先處理高壓力區域。

## 環境永續的關聯性

果樹的種植與管理在多光譜技術支持下，可以更加有效地朝向環境永續的目標邁進，多光譜影像捕捉不同光譜波段的反射光(如綠光、紅光、紅邊光和近紅外光)，可協助精確地監測果樹的生長狀況、病害檢測和養分需求，並有助於有效管理資源和減少化學投入。以下幾個面向顯示出多光譜技術如何支持果樹永續性：

### 精準養分管理

多光譜影像有助於判別土壤和植被健康狀況，可精確地追蹤果樹需肥情況，並在適當的時機提供養分，避免過度施肥帶來的環境污染。

### 減少病蟲害藥劑使用

利用多光譜影像，農民可以及早發現病蟲害初期的影響，針對性地進行治理，減少化學藥劑的使用，對生態系統造成的壓力也會相對減輕。

### 水資源管理

多光譜數據可顯示植被水分狀態，有助於果樹灌溉管理，使水資源的使用更加精準與高效，並減少水資源浪費。

### 碳排放減少

有效管理施肥和灌溉不僅降低資源的使用量，也減少了因燃料、肥料和藥劑的生產和運輸帶來的碳排放。

### 土壤保育

透過精準施肥和減少藥劑，土壤健康得以長期維持，不僅增加生物多樣性，還支持果樹生態系的永續發展。

### 植物健康動態監測

多光譜影像可以即時分析果樹的葉片和樹冠健康，及早發現病害或營養不足的跡象。此動態監測系統讓農民能快速調整管理策略，如增加或減少某種養分，並可提高果樹的長期健康，使產量和品質達到最佳水準。

### 提升果樹耐旱性

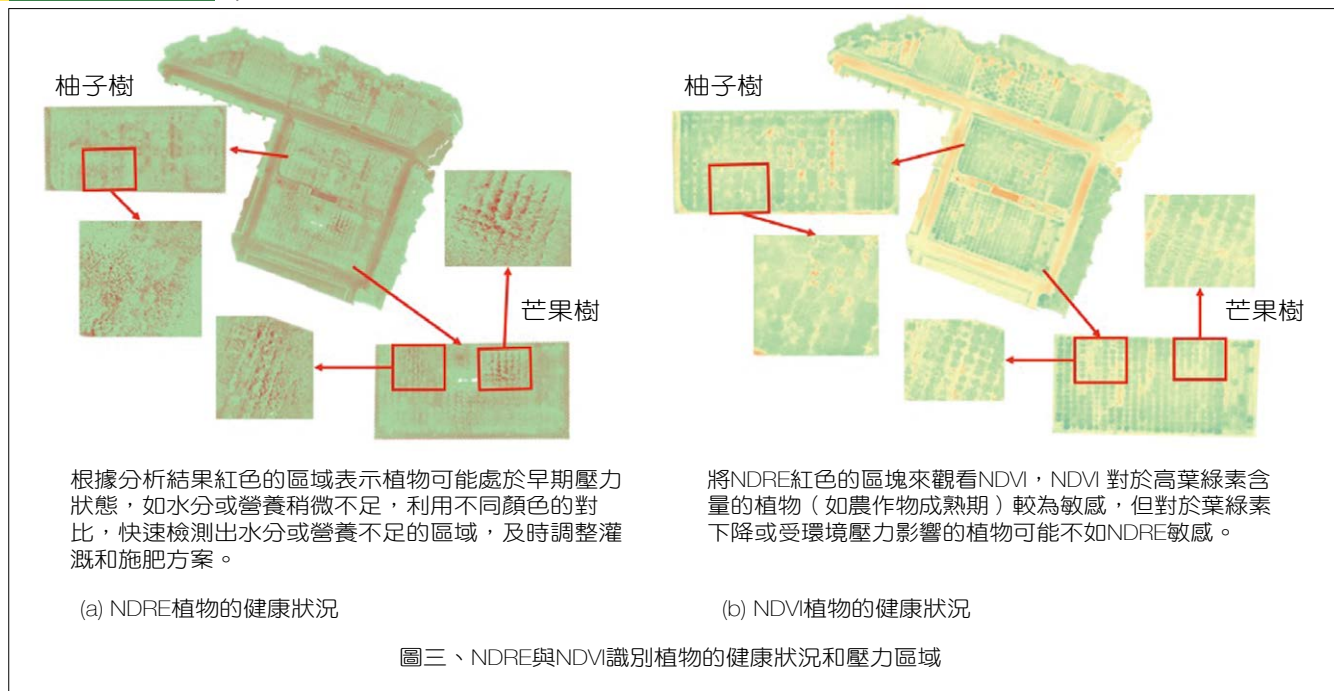
多光譜數據能辨別出缺水區域，幫助優化灌溉模式，從而提升果樹的耐旱性。尤其在氣候變遷導致乾旱加劇的地區，這項技術可以支持農民更有效地使用有限的水資源，保障作物不因極端氣候而受損。

### 監測果樹成熟度

多光譜影像可用於果樹成熟度的分級與分析，識別不同成熟度的果實以便採收或適時進行管理。此技術可根據果實的色澤和生理變化進行評估，有助於農民精準規劃採收，減少過熟或未熟果實的浪費，提高農產品市場價值。

### 減少土壤壓實與侵蝕

多光譜數據可辨別出土壤結構的變化，讓農民在不同季節的耕作中減少機械化操作帶來的土壤壓實問題。土壤保育手段包括適時覆蓋、輪作或選擇適合的田間



管理方式，以減少土壤侵蝕和風蝕現象，支持長期的果樹健康和產量穩定。

### 智慧農業與數據整合

多光譜數據可以和其他智慧農業技術（如氣象預測、土壤傳感器等）整合，建立全面的數據庫以支持果樹園的長期發展。農民可從綜合數據中獲得更深入的洞見，並使用人工智能進行模式分析，以制定長期的種植計劃，從而有效應對氣候變遷和資源限制等挑戰。

### 提高作業效率與成本節省

多光譜技術可以幫助農民識別出資源最為集中的投入點，使種植和管理變得更為高效。例如，僅在必要的區域進行施肥、灌溉和防治病蟲害，這不僅提高了作業效率，還降低了營運成本和資源浪費。

## 結論

無人機搭載多光譜技術為農業精準管

理開創了新的局面，尤其在果樹生長監測中展現了無可比擬的優勢，透過快速、精準的數據收集，農民能夠時時掌握果樹的健康狀況，及時發現潛在問題，並作出科學的管理決策，這不僅提升了果園的生產效率，還促進了資源的可持續利用，減少了浪費與環境負擔，此外這項技術的應用場景非常廣泛：

### 農業

通過光譜分析可以評估農作物的健康狀況、缺水情況、營養狀態，並進行早期病害檢測。

### 森林監測

用於監測森林樹木的健康變化，特別是在受病蟲害、乾旱或人為活動影響時，能及早預警。

### 城市綠化

監測城市中的綠地覆蓋狀況及植物健康，為綠化規劃提供數據支撐。