

# 植生指標之單／雙影像模組發展 探討

## The Study of NDVI Unit Using One/Dual Image Modules

廖泰杉

Tai-Shan Liao

NDVI影像模組在於精準農業流行而被重視，使用不同植生指標可以簡單量測綠色植被的數量和生長狀況、葉綠素含量、量測植被冠層中氮的相對含量等。亦可用來估測田間產量與田間管理等；本文介紹台灣儀器科技中心發展雙相機與單影像模組所組成的植生指標(NDVI)影像模組，可供國內研究單位或個體農場經營者參考選用。

NDVI image modules are re-used in the popularity of fine for using different plant fingers to measure the amount of vegetation and the amount of raw vegetation, the content of the hormone, the amount of nitrogen in the vegetation crown, etc. It can also be used to estimate the amount of field management, etc. This article describes the development of Taiwan Instrument Research Institute to develop a NDVI unit consisting of dual cameras and single image modules. It can be supported by reference of domestic research units or individual farm operators.

### 一、前言

近年來隨著人口老化缺少農業勞動力，環保意識抬頭等諸多議題之產生，讓精準農業需求增加且被重視；遙測技術儀器是精準農業之施作有一項技術是必要，且不可或缺；植物生長需要太陽光，當太陽光照射於植物、土壤、水面等表面皆會產生反射、穿透與吸收等3種共伴反應；而遙測技術儀器就是利用光電感測器紀錄植物、土壤、水面等物體表面反射光譜強度變化；其中反射光譜範圍可由紫外光區、可見光區、近紅外光區、中紅外光區與遠紅外光區；因此植物之生長健康狀態、精準施肥與噴藥、病蟲害之監測、農田之採收預測與管理，皆可由植物、土壤、水面等物體表面反射光譜強度變化加以推估預測與施作。植物之植被葉片等呈現出之綠色、紅色、黃色、褐色等變化，是因為隨植物組織內葉綠素、花青素與類胡蘿蔔素含量與比例的不同，可呈現不同顏色變化；這些葉綠素、花青素與類胡蘿蔔素之色素會對太陽光之光譜反應出不同反射率；葉綠素對近紅外光會大量反射，但是對紅光與藍

光光譜區之太陽光會大量吸收；因此利用植物表面、環境土壤與水之反射光譜相對應比值關係，可以分辨植物健康狀態、果實成熟度、植物含水量、植物營養素含量等應用；這些藉由光譜特徵估測植被外觀表面之反射光譜相對應比值關係就是植生指標，利用這種轉換可以消除植物生長環境差異所造成光譜偵測值之誤差，更能準確估測植物生長狀態；簡單的植生指標演算法可以針對精準農業工作者提供簡單有效且經濟的工具來測量植株作物表面的植被與環境狀態影響，提供農場植被動態、植物物候隨時間的變化、生物量生產、非破壞性之樹林冠層衰老和壓力的無損測量、土壤濕度、農場場條件和表現、耕地範圍變化、估算作物產量、土地覆蓋分類、外來種植物監視或隔離、植物光合作用活動與葉面積指標測量等。

## 二、植生指標定義

植生指標是兩個或多個可見光與近紅外波長範圍內的目標物表面反射率組合運算，以增強植被某一特徵或細節。植物中的色素、水分、碳、氮等參數變化，會對植被特徵光譜產生影響。1969 年以來，農業專家與研究學者所發表文獻歸納出部份常用各式植生指標定義如表 1 所示<sup>(1-9)</sup>；NDVI (常態化差異植生指標) 是最常用的植被指標公式，可進行定量分析，研究植被分類和植被動態變化；NDVI 對土壤背景的變化較為敏感，但因 NDVI 可以消除大部分與儀器定位、太陽角、地形、雲陰影和大氣條件有關輻照度的變化，增強了對植被的回應能力，這是 NDVI 受歡迎之一。植物中類胡蘿蔔素色素光譜反應是 530 nm 與 570 nm，PRI (光化學反應指標) 是對活葉中類胡蘿蔔素色素的變化反應最敏感，用以光合作用光效率或葉子每單位能量吸收二氧化碳的速率，可測量植物對環境變化的反應與生長狀況。RVI (紅光比植生指標) 的工作波長，紅光波長可選用 680 nm – 705 nm，而近紅外波長可選用 750 nm – 850 nm，可針對高密度植被覆蓋下綠色植物的估計和監測。SRVI (簡易比植生指標) 的工作波長，紅光波長可選用 675 nm，而近紅外波長可選用 850 nm，可用來區分植被受壓力和非受壓力區域；NPCI (常態化葉綠素差異植生指標) 的工作波長為 680 nm 與 570 nm 進行差異化處理，可用來植物氮含量分析與作為精準施肥或植物生長狀況比對。由於太陽入射角造成拍照之陰影，空氣濕度和土壤變化等因素，會造成 NDVI 數值也隨著變化，所以 EVI (增強植被指標) 是因應克服 NDVI 之缺點而產生，額外使用藍光波長 (450 nm) 增強植被信號，校正土壤背景和大氣中氣體散射影響來校正 NDVI 的不準確性。WBI (水帶指標) 是對樹木或森林或群聚作物之頂層水分狀態的變化進行分析，隨著植被頂層水分的增加，近紅外 970 nm 光譜附近之水吸收強度相比近紅外 900 nm 處，可使用 WBI (水帶指標) 進行植被頂層枯萎分析，生產力預測，森林火災威脅預測，農作物管理及生態系統生理機能分析等。GRVI (綠色比率植被指標) 的綠光工作波長為 500 nm 至 570 nm，紅光工作波長為 620 nm 至 700 nm，針對植被和地表於季節變化之間的關係，觀測隨著季節時間其植被變化用途分析；植物葉綠素濃度增加，使得植物葉綠素吸收特徵光譜範圍變寬，並且向紅光光譜邊緣移動 (690 nm – 740 nm)；NDRE (歸一化差異紅邊指標) 為利用此區間光譜反應激烈變化特性所定義出植生指標公式，應用於估測葉片中葉綠素含量對土壤背景影響敏感的指標，作為農作物監測與產量估測、植物環境變化監測，使用條件只能在紅光光譜邊緣位移 (690 nm – 740 nm) 且變化明顯時，使用才比較正確。

表 1. 常用各式植生指標定義與應用

植生指標	公式，工作參考波長，應用
NDVI 常態化差異植生指標	$\frac{R_{NIR} - R_{red}}{R_{NIR} + R_{red}}$ Red 680 nm，705 nm NIR 750 nm，850 nm 應用於葉子覆蓋和植物健康的通用指標
EVI (增強植被指標)	$\frac{2.5 * (R_{NIR} - R_{red})}{(R_{NIR} + 6 * R_{red} - 7.5 * R_{blue} + 1)}$ Red 680 nm，705 nm；NIR 750 nm，850 nm Blue 450 nm 使用額外藍光波長的光來校正 NDVI 的不準確性
WBI (水帶指標)	$\frac{R_{(NIR970nm)}}{R_{(NIR900nm)}}$ NIR 900 nm，970 nm 應用於植被葉層壓力分析與生產力分析
GRVI (綠色比率植被指標)	$\frac{R_{green} - R_{red}}{R_{green} + R_{red}}$ Green 500—570 nm；Red 620—700 nm 應用於植被和地表季節變化之間的關係
RVI (紅光比植生指標)	$\frac{R_{red}}{R_{NIR}}$ NIR 750 nm，850 nm；Red 680 nm, 705 nm 高密度植被覆蓋下綠色生物量的估計和監測
SRVI (簡易比植生指標)	$\frac{R_{NIR}}{R_{red}}$ NIR 850 nm；Red 675 nm 應用於區分植被受壓力和非受壓力區域
NDRE (歸一化差異紅邊指標)	$\frac{R_{NIR} - R_{rededge}}{R_{NIR} + R_{rededge}}$ Red 600—700 nm；NIR 780 nm 估測葉片中葉綠素含量對土壤背景影響敏感的指標。只能在紅邊帶可用時使用
NPCI (常態化葉綠素差異植生指標)	$\frac{R_{680} - R_{570}}{R_{680} + R_{570}}$ 使用 680 nm；570 nm 估測植物氮含量
PRI (光化學反應指標)	$\frac{R_{531} - R_{570}}{R_{531} + R_{570}}$ 使用 531 nm，570 nm，測量植物對外環境壓力的反應

### 三、四波段同步雙相機取像系統之植生指標影像裝置

四波段雙相機取像系統之植生指標影像裝置可由兩台 RGB 彩色模組進行改裝組合，此兩台最好是同廠牌與型號，以便降低後製影像處理一些困擾<sup>(10-11)</sup>；RGB 彩色照相機其光感測器為典型的 CCD 影像感測器或 CMOS 影像感測器<sup>(12)</sup>，光譜響應曲線 400 nm 至 1000 nm，其示意圖如圖 1 所示，可見光的波長在 400 nm—780 nm 之間；光譜響應曲線於 780 nm 低於 1000 nm 是影像感測器可應用的近紅外光範圍；每一光譜區段隨光譜不同其光譜響應曲線而不同。

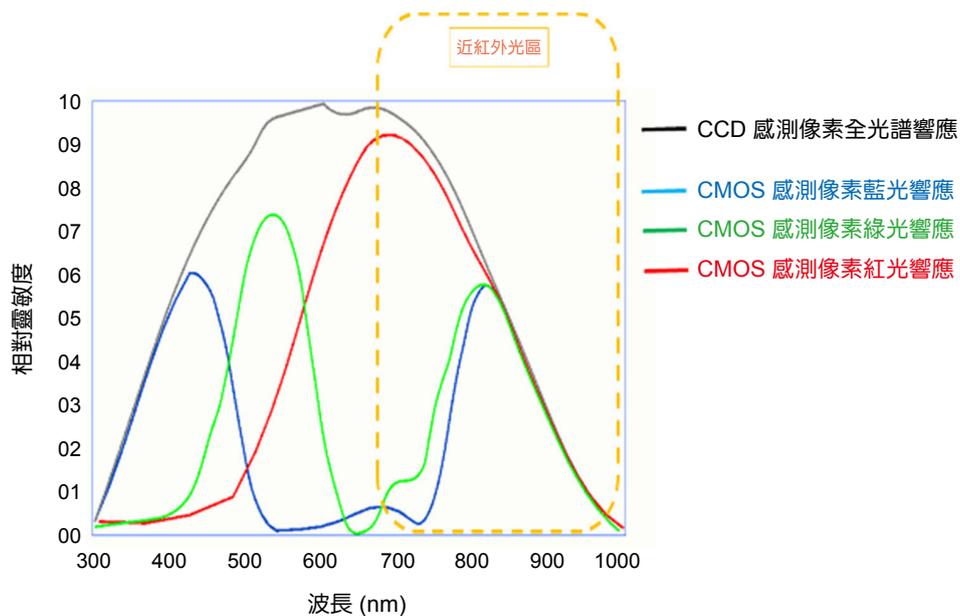


圖 1. CCD 影像感測器與 CMOS 影像感測器光譜響應示意圖。

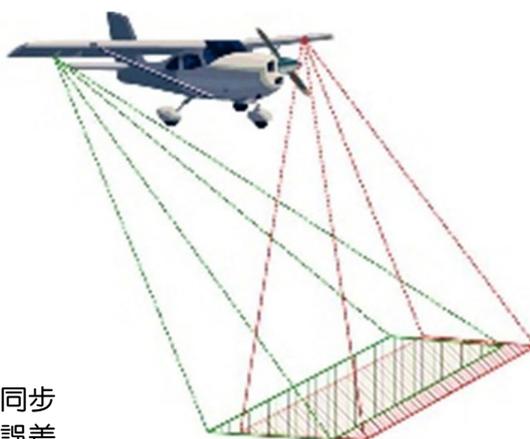
RGB 影像感測器不同光靈敏度於 400 nm 至 1000 nm 中反應情形，雖然入射 RGB 光於近紅外區還會有貢獻，但是貢獻比例比可見光區響應低；但是不管如何，現在的數位相機上 CCD 或 CMOS 都可以接收感應近紅外線，但是多數的數位相機在出廠時，為了增加色彩的鮮豔度以及降低雜訊，都會在 CCD 影像感測器或 CMOS 影像感測器前加裝紅外去除濾波器 (IR-Cut Filter)，因此要從現在單眼數位相機變成近紅外相機，則只需透過改裝將近紅外光學濾波器置換掉去除濾波器後，數位照相機即可得到近紅外影像。關於選擇何種規格紅外光學濾波器就跟觀測何種物體、水、植物或礦物等特徵波長有關，表 2 為整理出 SCHOTT 光學公司紅外光學濾波器的光學規格，RG 型號表示可使紅外光線透過之高通濾波器，RG 後面之數字表示以下範圍之可見光被濾除，如 RG\_800 為 800 nm 以下可見光範圍被濾除，只通過 800 nm 以上之紅外光。

兩台 RGB 彩色影像模組進行改裝組合，成為 1 台彩色 RGB 影像模組與 1 台近紅外影像模組成為植生指標影像裝置，有 R、G、B 與 NIR，4 種波段組合，由表 1 知，可進行 NDVI、RVI、SRVI、EVI 等。雙影像模組之植生指標影像裝置若用於航拍則需要注意一點，就是 2 個影像模組需要同步，若不同步，則後續影像處理地貌拼接會很花工處理，如圖 2 所示；但是大部分用 2 個影像模組都是個別獨立。

表 2. SCHOTT 紅外光學濾波器性質。

SCHOTT 型號	以上紅外波長通過
RG_695	695 nm
RG_710	710 nm
RG_780	780 nm
RG_800	800 nm
RG_830	830 nm
RG_850	850 nm
RG_1000	1000 nm

採用機械快門訊號進行系統同步，若 RGB 及近紅外波段影像拍攝時間同步誤差 < 1/100 sec，則影像誤差預估在一個畫素之內，換言之，在 100 公尺高空上對地面誤差約為 1 公尺；四波段同步雙相機取像系統中，姿態對於航拍的穩定及控制為不可或缺之資料，對於某些航拍任務必須精確且毫無誤差的定位精準，才能圓滿達成，故整合一慣性測量單元 (IMU) 感測器，來獲取精準資料搭配於影像及 GPS 資料，慣性測量單元感測器輸出的資料，輔助



因拍攝時間不同步造成影像合成誤差



圖 2. 雙影像模組不同步會造成影像套合困擾示意圖。

影像及 GPS 資料，以達到影像資料後續處理的完整性。此兩影像模組同步測試則採用一種影像同步檢測裝置來測試如圖 3 所示，

圖 3 係由 10 級環狀計數電路與 10 級及閘組合；10 級環狀計數電路產生 10 級相位之輸出；10 級環狀計數電路其基本工作時脈週期為  $t$ ；10 級環狀計數電路具 10 級相位之輸出，其總週期為  $T = 10t$ ；環狀計數電路每一級輸出，與各級環狀計數電路基本時脈，共同為各別及閘之輸入；每一及閘之輸出寬度工作比  $1/20$ ；每一及閘之輸出相位差時間為  $T/10$ 。10 級環狀計數電路每相輸出如圖 4 所示。

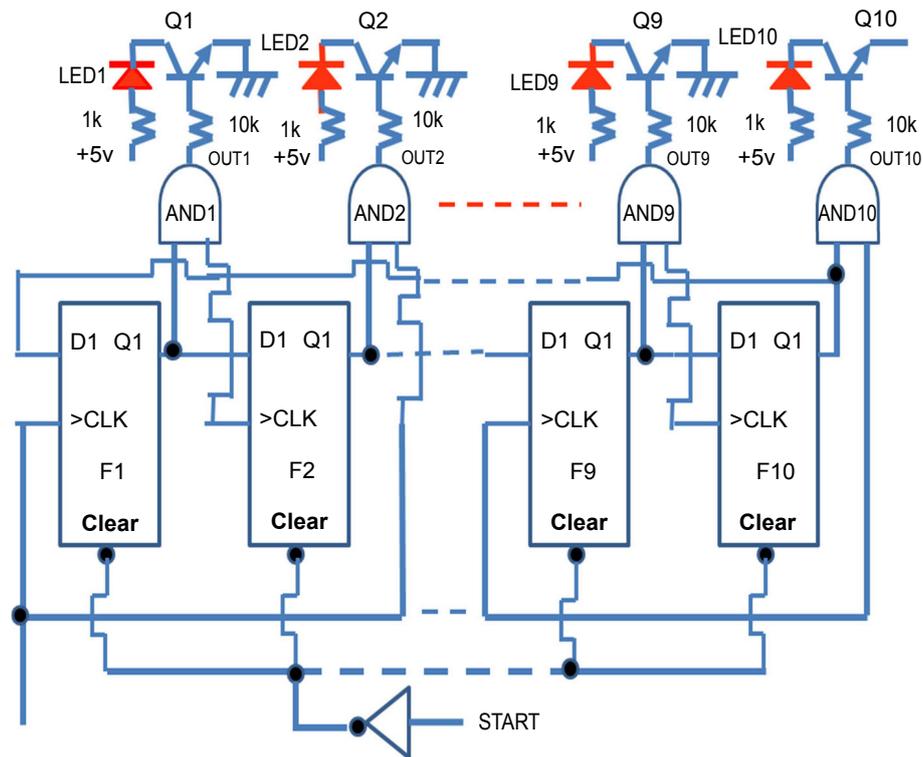


圖 3. 影像同步檢測電路裝置示意圖。

其中每個及閘輸出與各別相對應發光二極體驅動電路相結合；可使多個影像模組同步拍攝時不會拍到相鄰發光二極體同時亮燈狀況，而使其影像同步模組被檢測同步性時間優於  $T/10$ 。換言之，基本時脈為  $t$ ，影像同步模組被檢測同步性時間為以  $t$  為測試標準測試。若不同單眼相機同一時間拍到不同位置發光二極體發亮，此時是無法鑑別出兩像機同步性；反之，若不同影像模組同一時間拍到相同位置發光二極體發亮，此時是鑑別出同步性，同步時間就是基本時脈  $t$ 。

圖 5 雙影像模組同步與不同步所呈現示意圖，由圖中可發現此雙影像模組於拍照速率小於 18 kHz 是同步，若拍照速率高於 60 kHz 是不會同步。雙影像模組之植生指標影像裝置 (R、G、B、NIR)，因為近紅外波段對水，土地，植被，蝕溝的對比度明顯，因此台灣儀器科技研究中心與防災中心共同合作應用此自製雙影像模組之植生指標影像裝置 (R、G、B、NIR)，針對台灣崩場地潛勢區拍照進行分析與災害預防研究；自製雙影像模組之植生指標影像 (R、G、B、NIR) 掛於弦翼無人飛行載台，相對於地高度 500 公尺的雲林坪頂山坡崩塌

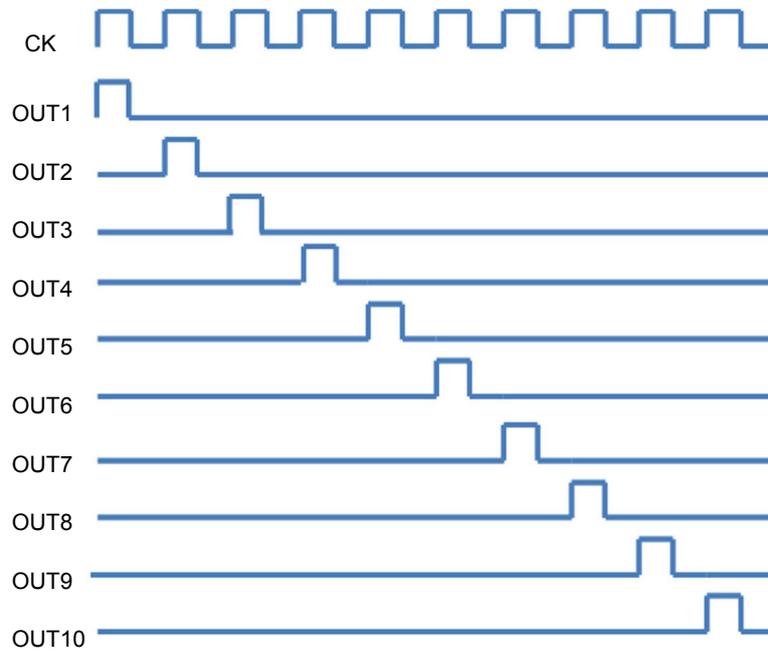


圖 4. 影像同步檢測電路環狀計數電路每相輸出時序。

潛勢區為測試區，拍攝影像區約長 10 公里，寬 0.9 公里，解析度：14 cm/像素；圖 6 為空拍圖雲林坪頂山坡崩塌潛勢區之 (R、G、B、NIR) 照片，左上為正射處理後的 RGB 彩色照片，右上為正射處理後的 NIR 影像照片，下方為 RGB 與近紅外 (NIR) 正射影像合成圖，這是雙影像模組之植生指標影像裝置應用於國土山區林地崩塌潛勢區之監測管理<sup>(13)</sup>。

影像模組拍到 2 個 LED 亮 = 不同步    影像模組拍到 1 個 LED 亮 = 同步

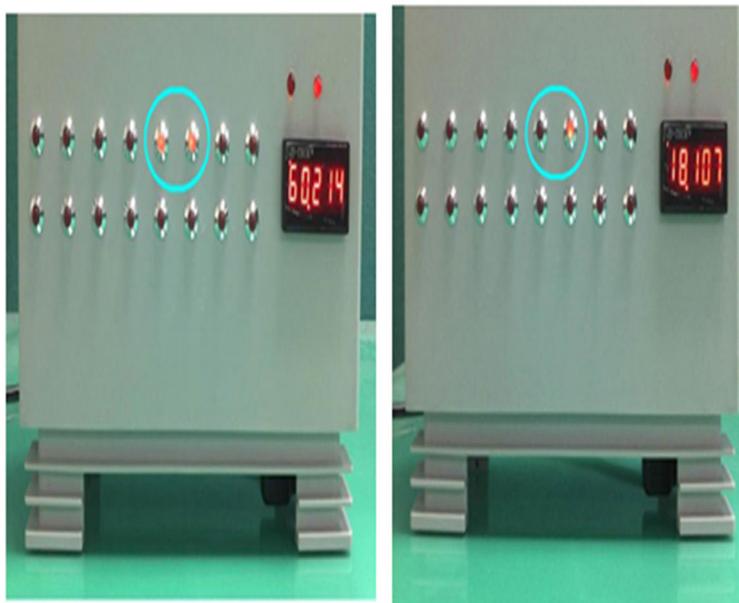
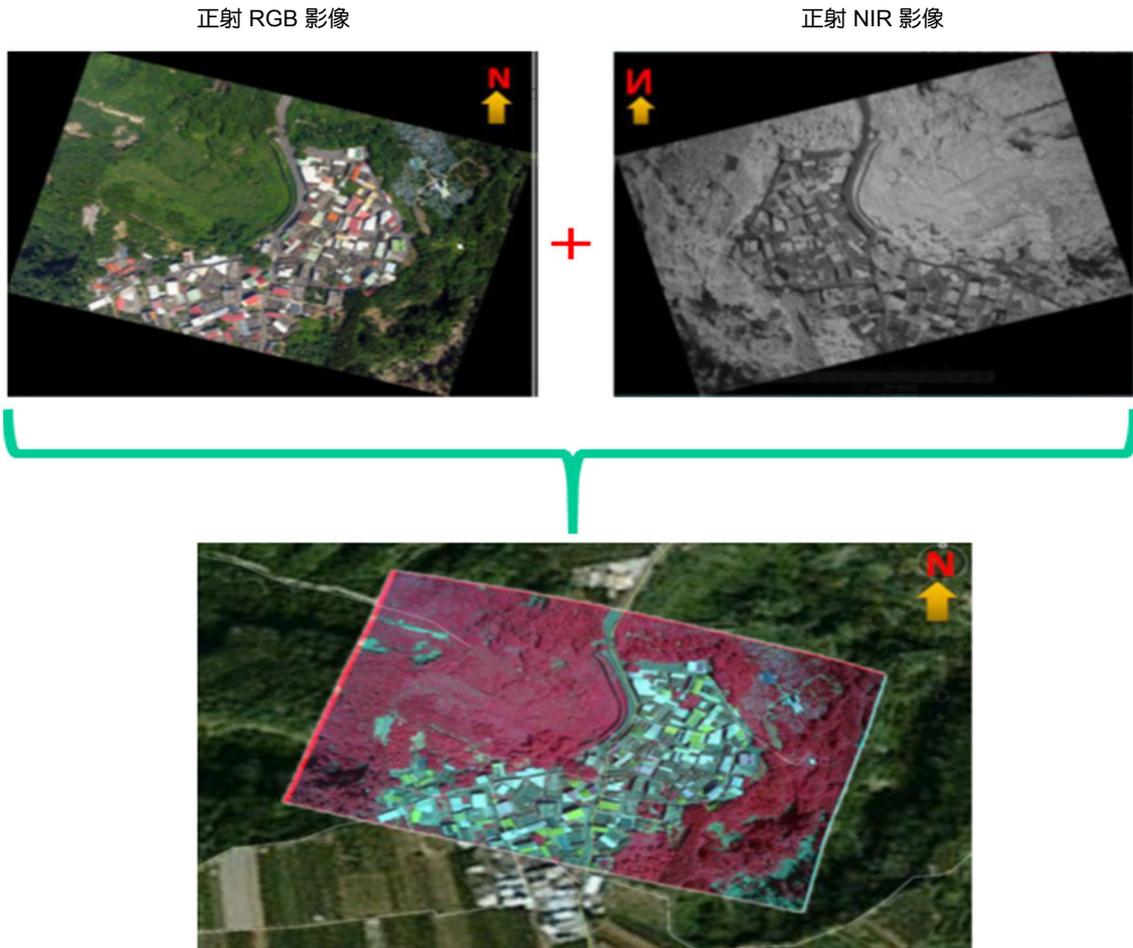


圖 5. 雙影像模組同步與不同步所呈現示意圖。



雲林坪頂山坡崩塌潛勢區之 RGB 與 NIR 正射影像合成照片

圖 6. 雙影像模組之植生指標影像裝置拍照雲林坪頂山坡崩塌潛勢區之相關照片。

#### 四、單影像模組之植生指標影像裝置

由於光學干涉濾波器鍍膜技術發展成熟與半導體影像感測器價格普遍化，單影像模組之植生指標影像裝置近兩年來非常受到注意與使用<sup>(14-16)</sup>，它沒有雙影像模組之植生指標影像裝置之複雜，但是它最多只能提供 3 個波段光譜區，但是已經涵蓋 (R-NIR、RUG-NIR、R-B-NIR) 一些重要植生指標如 NDVI、RVI、SRVI、EVI、WBI、NDRE 等，只要光學干涉濾波器鍍膜能夠製鍍所需要光譜波段，就能夠實現各式植生指標影像裝置。如何由市售影像模組或數位相機改裝成 NDVI 植生指標影像裝置，有以下幾個原則

- (1) 影像模組的白平衡與自動增益能夠關掉。
- (2) 要能去除紅外濾波器。
- (3) 加裝一片植生取像的 2 或 3 波段干涉式光學濾波器；市售影像模組或數位相機隻彩色 CMOS 影像感測元件的光譜響應圖與圖 1 所示，約略相似；RGB 光學濾波器因對光學鍍膜技術關係，除了自身 RGB 波段之穿透率高，但是 RGB 波段光學濾波器 3 者對近紅外光皆能有穿透率，這是為什麼彩色相機鏡頭要有一片去除紅外之濾光片 (IR-CUT)；如圖 7 所示，以提高彩色相機彩色品質。



圖 7. 彩色相機鏡頭上去除紅外之濾光片 (IR-CUT)。

圖 8 為彩色影像模組加裝一個可承載加裝一片植生取像的 2 或 3 波段干涉式光學濾波器之基座；演算不同之植生指標時，可以隨時替換各種不同波長之干涉式光學濾波片。干涉濾波器要製作成 2 通帶或 3 通帶，通常光學鍍膜需要百層左右之製鍍才能完成；圖 9 為把製鍍 3 通帶干涉濾波器，置於太陽光照射下，只通過 550 nm，650 nm 紅光與 850 nm 近紅外光，可用光譜儀量測出的概念示意圖。傳統彩色影像模組若是屬於 bayer 格式，彩色影像感測器則有每 RGG B 的 4 個像元組成彩色點，當此彩色影像模組去除 IR-CUT 鏡片，並加裝 1 片 2 通帶干涉濾波器 (只能通過 550 nm，650 nm 與 850 nm)，變成 NDVI 相機時，原彩色影像模組內 R 像元依然擔任紅光波長響應角色；G 像元依然擔任綠光波長響應角色；但是實際上此 3 通帶干涉濾波器擋掉藍光，但是不擋掉 850 nm 近紅外光，但因半導體材料特性，B (藍

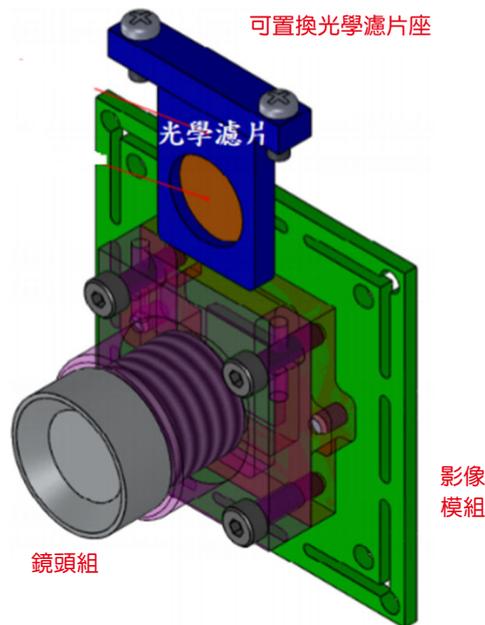


圖 8. 可替換光學濾波片之彩色影像模組示意圖。

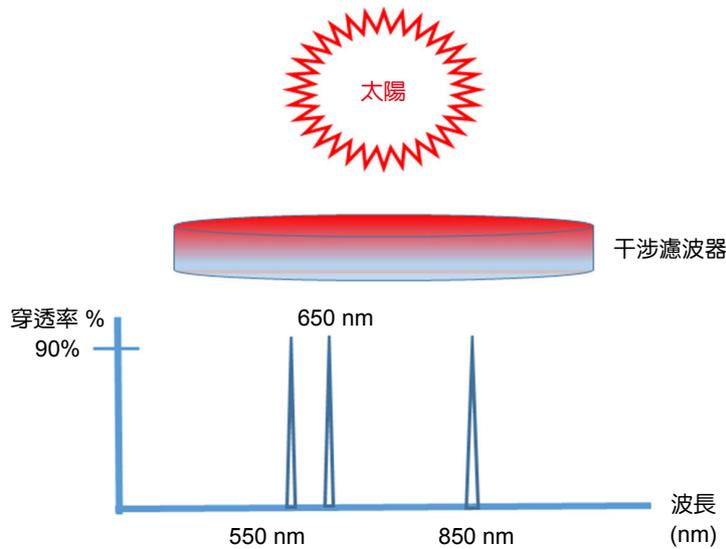


圖 9.3 通帶干涉濾波器，置於太陽光照射下，通過 550 nm、650 nm 與 850 nm 示意圖。

光) 像元亦可以感測到近紅外光，因此 B 像元則改擔任近紅外波長響應角色；如圖 10 所示

傳統彩色影像模組若是屬於 Bayer 格式，彩色影像感測器則有美 RGG B 的 4 個像元組成彩色點，當此彩色影像模組去除 IR-CUT 鏡片，並加裝 1 片 2 通帶干涉濾波器 (只能通過 550nm、650 nm 與 850 nm)，變成 NDVI 相機時，原彩色影像模組內 R 像元依然擔任紅光波長響應角色；G 像元依然擔任綠光波長響應角色；但是實際上此 3 通帶干涉濾波器擋掉藍光，但是不擋掉 850 nm 近紅外光，但因半導體材料特性，B (藍光) 像元亦可以感測到近紅外光，因此 B 像元則改擔任近紅外波長響應角色；如圖 10 所示。

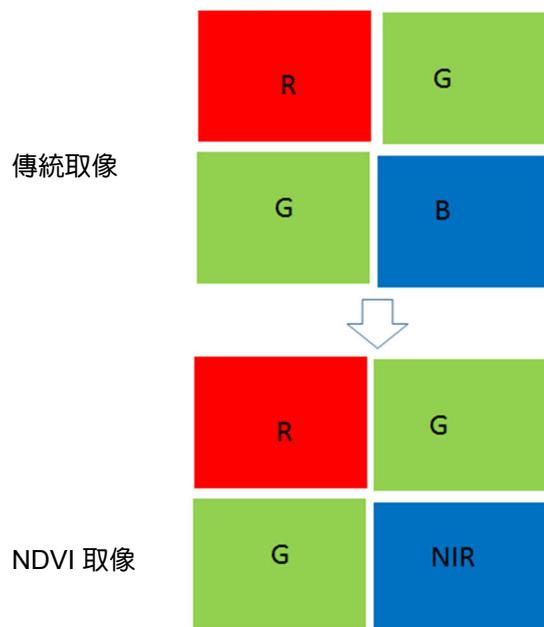


圖 10. 傳統 RGB 像元轉為 NDVI 相機時，處理 NIR 相對應示意圖。

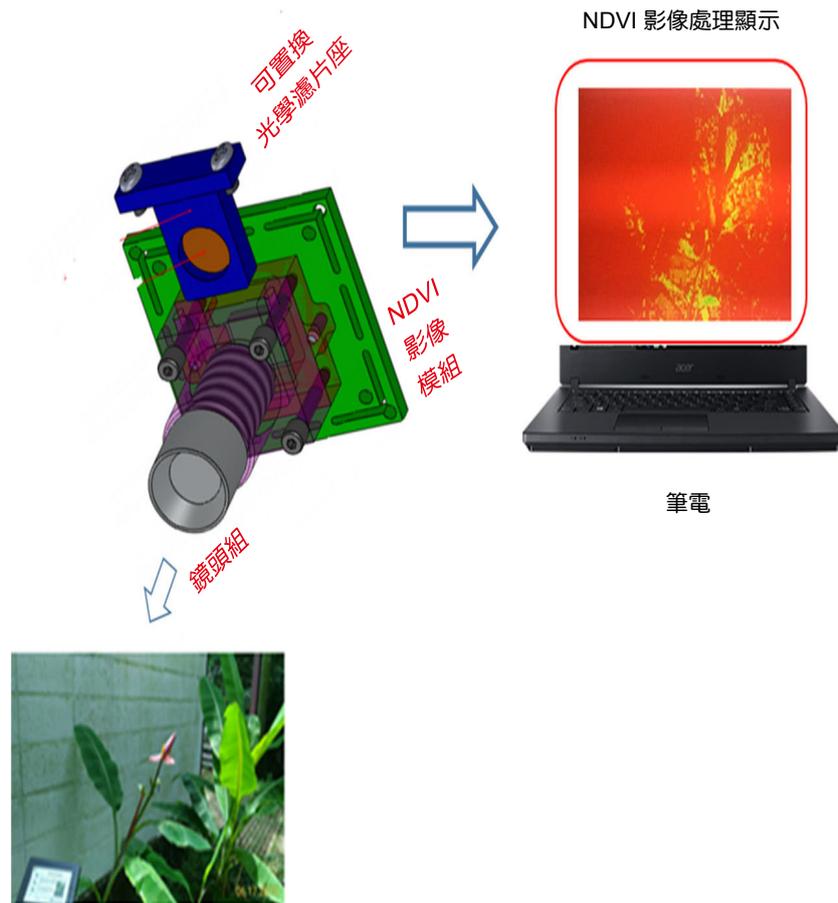


圖 11. 紫芭蕉為範例，用一部 NDVI 相機拍照後，針對 650 nm 與 850 nm 雙波段，進行 NDVI 演算後，再進行套色所呈現結果示意圖。

最後，NDVI 植生指標處理程序準則 (SOP)，如下步驟所示

1. 用 NDVI 相機拍照植物存於 SD 記憶體。
  2. 從 NDVI 相機取出 SD 記憶體。
  3. 將 SD 記憶體內植物圖像存於電腦內。
  4. 電腦進行 NDVI 演算，並顯示螢幕上。
- 整體結果如圖 (11) 所示。

## 五、結論

NDVI 影像模組於精準農業流行而被重視，依照不同植生指標可以簡單量測植被的一些指標。選擇 NDVI 影像模組的紅光波長與近紅外波長之適當值，可參閱國際上已發表過的植物光譜文獻紀錄；若沒有則需要針對植物，進行特徵光譜之建立，這是一個繁複實驗；但是要記住，NDVI 影像模組並非萬能，一定先要知道所量測之植被標的其特徵光譜與周遭環境之特徵光譜有無顯著差別，才能正確發揮 NDVI 影像模組效果。單一影像模組與雙相機同步取像系統所組成 NDVI 影像裝置，各有優缺點，若使用兩個工作波長則單一影像模組所組成 NDVI 影像裝置，最為適合。

## 參考資料

1. Rouse J.W., et al., "Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with Ert's", In Third ERTS Symposium, NASA SP-351, Washington, DC. 1973.
2. Crippen, R.E., *Remote Sensing of Environment*, **34** (1), 71 (1990).
3. M. A. Mannan and B. J. Stone, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **14** (12), 889 (1998).
4. Siriwardane, S., *Case Studies in Engineering Failure Analysis*, **4**, 50 (2015).
5. Huete, A.R., et al., *Remote sensing of environment*, **59** (3), 440 (1997).
6. Zhengwei Yang, Hu Zhao, Liping Di, Genong Yu, "A Comparison of Vegetation Indices for Corn and Soybean Vegetation Condition Monitoring", 2009 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 12-17 July 2009.
7. 簡俊凡, 何宏昌, 王曉飛, 測繪通報, **9**, 24 (2008).
8. 蔡佩芸, 「大豆葉片及非葉綠素組織反射光譜之研究」(碩士論文), 國立台灣大學, 台北, (2007).
9. Qiaoyun Xie, et al., *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, **11**, 1482 (2018).
10. 廖泰杉, 黃泰綸, 高志喜, 「經濟型航空照相 (RGB+NIR) 系統」, 第 12 屆全國 AOI 論壇, 2012.
11. 廖泰杉, 周天穎, 黃泰倫, 湯雅雯, 「具有 4 波段取像模組之旋翼無人飛行載台」, 2013 民生電子研討會, 2013.
12. Please refer to the web site:  
<https://maxmax.com/faq/camera-tech/spectral-response/nikon-d700-study>
13. 林聖琪, 張志新, 劉哲欣 「潛在大規模崩塌區之地貌圖幅分析」, 工程環境會刊, **35**, 21(2015).
14. Dworak V, Selbeck J, Dammer KH, Hoffmann M, Zarezadeh AA, Bobda C., *Sensors*, **13**, 1523 (2013).
15. G. Rabatel, N. Gorretta, S. Labbe, "Getting NDVI Spectral Bands from A Single Standard RGB Digital Camera: A Methodological Approach" *Advances in Artificial Intelligence: 14th Conference of the Spanish Association for Artificial Intelligence, CAEPIA 2011, La Laguna, Spain, November 7-11, 2011.*
16. Selbeck, Jorn; Dworak, Volker; Hoffmann, Matthias and Dammer, Karl-Heinz, *Landtechnik*, **69** (3), 114 (2014).

## 作者簡介

廖泰杉先生為中原大學電子工程研究所博士，現為國家實驗研究院台灣儀器科技研究中心研究員。

Tai-Shan Liao received his Ph.D. in Electronic Engineering from Chung Yuan Christian University. He is currently a research fellow at Taiwan Instrument Research Institute, NARLabs.