環境與稻作生產
第十章　以遙測技術探討環境對水稻生產之影響
161 - 179, 1999

第十章　以遙測技術探討環境對水稻生產之影響

楊純明
臺灣省農業試驗所農藝系

摘要 ---------- 162
壹、前言 ---------- 162
貳、遙感探測 ---------- 163
參、光譜遙測及熱紅外線影像遙測之應用 ---------- 165
肆、水稻植被光譜之特徵 ---------- 167
伍、水稻植被指數與生長之關係 ---------- 169
陸、以光譜遙測探討逆境效應 ---------- 170
柒、輻射溫度之特性及利用 ---------- 173
捌、由熱紅外線影像探討逆境效應 ---------- 174
玖、結語 ---------- 176
拾、引用文獻 ---------- 176
英文摘要(ABSTRACT)---------- 179

第十章　以遙測技術探討環境對水稻生產之影響

楊純明
臺灣省農業試驗所農藝系

摘　要

傳統的農耕措施與管理方式係以農戶所擁有的田區爲操作單位，採用一致性的栽培與管理作業，此一作法忽略了自然與人爲造成土壤及作物的持續性變異，容易引發耕作農地的不當使用及經濟與環境問題。此現象非但突顯出長期存在卻未被重視問題的嚴重性，亦顯示出不適當檢測方法未能及時發覺關鍵問題的致命缺失，遙感探測科技的興起與發展適時的提供了解決途徑，帶給二十一世紀的農業發展新契機和新風貌。「精準農業(precision agriculture)」緣起於農業永續理念，期能依照土壤性質及農作物生長需要，給予匹配的資源與資材投入及處理，避免造成對環境的外加污染與破壞。以差異性操作方式實施不等量肥料、農藥、灌溉等管理操作，冀求在環境保護、生態維護、及經濟效益上得到最佳平衡。遙測異於傳統方法者在於具備資料涵蓋範圍廣、時效佳、效率高之特性，且資料和技術爲多功性，適用於「精準農業」的需求。以遙測技術探討環境對水稻生產之影響符合科技的進展與未來農作物生產走向，其中光譜遙測可應用於諸如作物相分佈與栽植面積估測、生育階段追蹤、生長狀態監測、產量預測、及逆境效應與災害檢(偵)測等用途，同時也可延用於農地使用、產業動態、農業資源利用與管理及農地圖示更新等作業。熱紅外線影像遙測則可用來偵測農作物植被覆蓋之溫度影像、呈現全面的植被溫度分佈及異常溫度之局部位置，而彰顯逆境及災害徵狀。

關鍵詞：遙測技術、環境、水稻生產、光譜遙測、熱紅外線影像遙測。

壹、前　言

傳統的農耕措施與管理方式係以田區爲操作單位，採用一致性的耕犛、播種、施肥、噴藥及灌溉等作業。然而隨著農業知識的累積和科技的進步，發現此一作法忽略了自然與人爲造成土壤及作物的持續性變異，容易引發耕作農地的不當使用，而衍生許多經濟與環境問題(楊，1999)。諸如產量顯著降低、農藥成本劇增、毒害或溫室氣體釋放或滲漏、有毒物質長期殘留、及作物生長環境劣化等現象，均可能在傳統農耕制度中逐一引爆，成爲糧食生產大災難。此現象亦突顯出長期存在卻未被重視問題的嚴重性，或者不適當檢測方法未能及時發覺關鍵問題的致命缺失。遙感探測科技(remote sensing technology)的興起與發展，不但說明了上述問題的亟待

解決，也提供了適時的解決途徑，使得二十一世紀的農業發展得以展現新契機和新風貌。

又爲期人類長存於孕育萬物的地球，近年來有識之士已意識到科技與文明發展的衝突，是否履行於正途及常軌，是帶領人們朝向「永生」福祉，抑或引領走向「滅絕」末路。此一世界性覺醒意識的抬頭，掀起回歸自然、善待環境的認同熱潮，民眾也日益重視生態保育與環境保護議題，希望留給自已和後世子孫一個清淨的生存空間。在農業層面上，識者亦開始檢討人造化學品使用及資源過度開發利用的利弊得失，並衍生永續農業(sustaining agriculture)和農業永續(agriculture sustainable)觀念與期待。自此農業的永續性經營成爲時代的潮流與全球農業的發展趨勢，國內外有識之士共同努力的目標，亦成爲我國重要農業政策之一。

「精準農業(precision agriculture)」理念亦因此產生，期能依照土壤性質及農作物生長需要，給予匹配的資源與資材投入及處理，避免造成對環境的外加污染與破壞，使農業得以永續發展。在此一理念之下，同一耕作農地將可能有差異性的操作方式(differential treatment)，端視土壤肥力與含水量、農作物生長表現、病害與蟲害罹患程度、雜草蔓延與危害情形及逆境程度等實施不等量肥料、農藥、灌溉等作業。實施精準農業的結果，預期將正面的改進農作物生產系統的效率和不當環境污染，在環境保護、生態維護、及經濟效益上得到最佳平衡。

貳、遙感探測

一、遙測之定義與原理

遙測或稱遙感探測(remote sensing)，係一門利用感測儀器不與被測物接觸即能獲得被測物測量資料(特性)的技術(technique)與科學(science)，能蒐集與傳遞遠端事件即時資訊，同時完成觀測、判讀與決策等系列過程。因爲感測儀器設備與被測物之間存有距離，所以通常需要組成一遙感探測系統，包括感測元件、資訊傳遞媒介、資料處理分析軟體及資料作業與顯示硬體等(楊，1997)。遙感探測可以在不同的作業平臺操作，如地面觀測平臺(ground observation platform)、飛行器航空觀測平臺(airborne observation platform)及太空觀測平臺(spaceborne observation platform)，常用載具如飛機、熱氣球、衛星、太空梭等。其中地面遙測是航測及太空遙測的基本，旨在獲取地真資料(ground truth data)，作爲其他平臺遙測資料之參考基準(reference)。常見的地面遙測研究有兩大類，一是實驗室內的物體反射及放射光譜的測定，二是物體或環境事件在不同環境下的光譜特徵曲線檢(偵)測。通常在農作物的地面遙測光譜資料庫建立之後，才能更精確的判讀、解析航測及太空遙測收取的影像光譜(類比或數位資料)，獲得準確與精確的量(偵)測。地面遙測的重要與必要不言可喻，亦爲當前我國擬研發遙測應用之首先及優先工作。

在實務上遙測乃記錄地表地物之反射光譜，因爲不同地表地物對於不同波長的電磁(能)輻射(electromagnetic radiation)產生不同強度的反射及放射。遙測資料即在記錄地表地物之光譜反應，且在成像過程保持地表地物間之幾何關係，並排除大氣之干擾。所以，經由遙測光譜與形像的偵測與判讀，吾人可鑑別出特定的地表地物，且在短時間內獲取廣大面積資訊。除了在空間上迅速瞭解全面性問題及留下記錄，遙測亦可在時間序列上獲得連續性的偵測資料，對地表地物進行動態觀測與監測。此一空間與時間特性，即可應用於對農作物的長期精準經營管理，追蹤生長狀態及災害(或逆境)危害情形，並進一步予以預測未來演變趨勢。

遙測之感測儀器有類比式(analogous)

的航空照像機及數位式(digital)掃描儀，波段範圍及波段數依需求而定。類比式記錄方式爲直接顯像於底(軟)片上，如同一般照像機原理。數位式係以數字方式記錄被測物光譜反應於磁片(帶)、光碟片等，在保存與處理上較有彈性。科技的進展使透過影像記錄儀將數位資料轉至底片；反之，類比式資料可藉由影像數位儀轉換爲數位資料。如此一來，遙測之便利性與實用性大爲進步。

二、遙測之特色與應用

與一般量測方法比較，遙測位於較有利的觀測位置(空中或太空)，以超越傳統可見光波長之波段非接觸的探測地表地物，因此資料涵蓋範圍廣、時效佳、效率高，且資料和技術具多功性，應用層面幾由人爲自行設定。遙測資料可以電磁能(electromagnetic energy)、聲(音)波(acoustic waves)、及力場(force fields)等物理方法單獨或混合連接及傳達，再經適當轉換、整理與分析後呈現或還原。以電磁能傳遞遙測資訊是最普遍的方式，具有長距離、快速、正確及無須藉助傳導介質等特性與優點。

現代遙測科技肇始於二十世紀初，先後由於第一次及第二次世界大戰的需要，遙測科技逐漸蓬勃發展。目前遙測科技已被廣泛的應用，無論航空、太空、氣象、資源、軍事、醫學、交通乃至於各種產業及公共事業等，均可見遙測科技的多樣化利用。我國近年來亦大力推動遙測科技的研發與應用，且被列入國家重點科技之一，1999 年元月 27 日更發射升空我國有史以來第一枚人造衛星「中華一號」，分別從事於(1)電離層電漿電動效應研究，研析通訊環境干擾問題；(2)海洋水色儀照相觀測，以監測漁業資源環境；及(3)高頻率通訊實驗研究，以建立通訊系統能力(陳，1999)。由於衛星具有定期取得大面積空間分佈資料及可追溯過去時空資料的特殊優點，因此利用衛星光譜影像資料掌握農作物生產及進行氣象災害補助兩項，已被列爲國家太空科學研發優先度最高之工作任務(國家太空計劃室，1998)，且將於 2002 年預定升空的「中華二號」衛星上獲得體現，深具研發潛力和展望。

資源衛星(如 LANDSAT、SPOT、中華二號)影像每個像元(pixel)均含有數個特定反射光譜波段的強度值，分別代表單位面積內地表地物於該數個特定波段的綜合表徵，因此，在決定資源衛星時宜先考量其波段範圍、影像的空間解析力及波段解析力，才能適用現狀的需要。舉例來說，LANDSAT-TM 感測器的空間解析力爲 30 m ×30 m，SPOT-HRV 多頻譜感測器之空間解析力爲 20 m×20 m (Lillesand and Kiefer, 1994)，但此等解析力尚不足以區分臺灣農地每塊田區內作物之受害等級(申及李，1998)。我國中華二號衛星的空間解析力預期將優於 SPOT，多頻譜解析力可達 2 m×2 m，將可應用於拼盤式農業的臺灣地區，因爲臺灣地區農戶擁有農地面積平均每戶僅約 1 公頃，而這 1 公頃內可能種植多種農作物，空間解析力的提昇爲衛星應用第一要務。

另在波段解析力方面，常用資源衛星資料之載臺及感測器特性未必相同，如 LANDSAT-TM (4 號及 5 號)感測器提供 0.45-0.52、0.52-0.60、0.63-0.69、0.76-0.90、1.55-1.75 及 2.08-2.35 μm 等 6 個短波反射光譜波段及 1 個熱紅外線波段(10.4-12.5 μm)，LANDSAT-MSS 感測器承掛 0.50-0.60、0.60-0.70、0.70-0.80 及 0.80-1.10 μm 等 4 個光譜波段。SPOT-HRV(1 號至 3 號)感測器提供 0.5-0.59、0.61-0.69、0.79-0.90 及 0.50-0.90 μm 等 4 個波段，中華二號衛星預設波段將如 SPOT。

現行運轉之商用資源衛星基於酬載效率之考量，影像光譜波段數目和波段解析力有限，且空間解析力較粗，因此進行衛星影像分析必須綜合數個波段資料來判讀

作物生育與受害狀況。隨著科技的進展及商業需要，預期未來的資源衛星無論在光譜或空間解析力上將有驚人的進步，足以提供各方面多樣化的需求，將不輸給航空器載臺之遙測資料。爲了配合我國太空科學的推動及遙測科技的實務發展，並開創臺灣地區農業的新紀元與新願景，有關遙測技術在農業生產上的理論與應用研發工作應該加強。

三、遙測資料(訊)之處理

除了地面遙測資料之外，航測及太空遙測資料均須幾何校正與修正，甚至需要排除或減少大氣干擾。理想的遙測系統宜能整合各種探測系統: 地面-航空-太空(衛星)，具(1)有多重的空間與光譜解析力、(2)高時間解析力及(3)多頻譜(multi-spectral)或高頻譜(hyper-spectral)掃描等能力。經過初步處理後之遙測資料，即按需求繼續各種分析，諸如(A)點線面的定點影像(光譜)展示，鑑別出地表地物；(B)從影像中區分主題，歸納出各種類別；或(C)依照時間序列比較主題在不同時間的差異(變遷分析)，判別引起原因及事件前後異同。爲標示遙測資料所在地理位置，可在偵測同時註記座標方位及海拔高度，或依照影像地理特徵套疊地理資訊系統進行地理地形對位。經過繁複的分析程序處理後之遙測資料，即可以圖片、照片、表格、影像等形式顯示或展示，或再以磁片(帶)、光碟片等儲存候用。

參、 光譜遙測及熱紅外線影像遙測之應用

一、光譜遙測

在田間自然環境下，農作物植被光譜主要包括本身放射輻射(emitted radiation)及太陽光的反射輻射(reflected radiation)，可偵測之波長範圍以紫外線(ultraviolet, UV)至微波(microwave)爲主，涵蓋了紫外線(< 400 nm)、可見光(visible light, 400-700 nm)、近紅外線(near-infrared, 700-1300 nm)、中紅外線(middle-infrared, 1300-3000 nm)、熱紅外線(thermal infrared，多爲 3-40 μ m；或稱遠紅外線，far-infrared)及微波(1mm-1m)。光譜遙測(spectral remote sensing)及熱紅外線影像(thermal infrared imagery)爲常用的兩項遙測技術，一般前者多由紫外線至中紅外線(或至熱紅外線)，後者在熱紅外線範圍(高溫偵測以 3-5 μ m，低溫偵測以 8-12 μ m)。

光譜遙測所選用之波長範圍依需求而定，可見光影像(照片)遙測歷史遠溯至十九世紀，自第一次世界大戰起快速進展。如今航空攝影已十分普遍，其拍攝靈巧及高解像力特性優於衛星攝影，可提供各種黑白、彩色照片，也可攝取紅外線照片。國內以航空攝影從事資源與環境調查、地形測量及地圖繪製已數十年，昔日以類比式單波段相機爲主，隨著多波段數位相機的問世，航空攝影的應用前景及用途將更爲寬廣。

多頻譜掃描儀(multi-spectral scanner, MSS)是具有多波段的遙測工具，可於地面或掛載於飛機、熱氣球、衛星、太空梭、太空站等飛行器上，其波段數及波長範圍可依需求選擇。國內適用於農業應用層面之多頻譜掃描資料，以資源衛星及空載 DS-1260 MSS 爲主，尤以 LANDSAT-TM、LANDSAT-MSS、SPOT-HRV 資源衛星資料最常被使用。空載 DS-1260 MSS 自 1995 年起裝置於 Superking Air-350 飛機上，雖然掃描波段多達 11 個，受限於飛行時數、人員、費用及多方面多樣需求，能夠遙測於農作物生產應用上的機會甚少。國內若欲加強航空遙測之利用，應該強化測量操作單位之編制及位階，並定期汰舊換新機具及設備，

光譜遙測之應用層面甚廣，在環境遙測上如地貌地物景觀、植被分佈與植相鑑

別、水體分佈、河川溝渠、土地利用、交通與工程、地形與土質及水質與水源等。在農作物生產上，諸如作物分佈與面積、生育階段、生長狀態、產量預測、逆境效應及災害檢(偵)測等項目均是，同時也可應用於農地使用監測、產業動態追蹤、農業資源利用與管理及地圖更新等用途。展望新世紀的到來，光譜遙測的應用必將更爲多樣化，主事者當重視系統的研發及作業化工作。

二、熱紅外線影像遙測

地表地物體溫大於絕對零度者(-273℃)，在任何時間，無論白晝或黑夜，均放射出熱紅外線，放射能量爲其體溫的四次方函數($W= F(T^4)$)。高體溫者釋放出的能量人很容易感受到，低體溫者放射的能量必須近距離才感覺到，惟熱紅外線非人眼所能見，須透過熱紅外線輻射計(熱紅外線感測器或熱紅外線輻射影像儀)呈現。精密的熱像儀可在遠距離迅速感測廣大面積之熱紅外線輻射影像，顯示出影像之溫度分佈，並偵測出熱異常位置。

利用熱紅外線影像遙測來偵測農作物植被覆蓋之溫度影像，可以輕易的呈現全面的植被溫度分佈，顯示出異常溫度之局部位置(即逆境發生處所)。因爲通常逆境會造成作物植體產生異常之理化反應，外觀顯徵出不同的溫度差異。例如，局部地區的土壤缺水或乾旱，由於水分不足正常蒸散需求，將造成植體溫度上升而異於常態者。此一特性即可利用於乾旱檢測，也可作爲耐/抗旱品種之篩選手段。再者，當作物遭受病蟲感染時，異常的生理代謝及病蟲原活性均可使植體溫度異於平常，而外顯出病蟲害的感染。又不同生育期或不同作物種類處於相同環境下，可能出現不等的體溫，因此可利用於生育階段及作物種類區分，鑑別出主題。

國內較易取得之衛星熱紅外線影像有多個，如 NOAA、LANDSAT、MOS 等衛星；NOAA-AVHRR 感測器之地面解像力 1.1 km，溫度解析力 0.12℃；LANDSAT-TM 感測器之地面解像力 120 m，溫度解析力 0.5℃；MOS-VTIR 感測器之地面解像力 2.7 km，溫度解析力 0.5℃。行政院農業委員會所有之 DS-1260 MSS 多頻譜掃描儀亦含有熱紅外線波段，可偵測高解像力之熱紅外線影像(可達 0.2℃)，掛載於固定翼飛機上時其解析度隨高度而定。

三、國內光譜遙測在農作物生產上的應用現況

光譜遙測係利用農作物在各波段的顯示，辨別出不同的物種、監視生長狀態及偵測受災地區等。就作物生產力而言，常用的波段以綠光(0.52-0.60 μ m)、紅光(0.63-0.70 μ m)、近紅外光(0.74-0.90 μ m)及熱紅外光(10.4-12.5 μ m)爲主；在作物災害(逆境)偵測上，以藍光(0.45-0.52 μ m)、紅光及近紅外光最具特色；土壤與作物含水量評估，則以中紅外光(1.55-1.70 μ m)檢測。此外，利用不同波段數學化成轉換指標(index)來表示作物生長狀態的應用亦可見於文獻，稱爲植被指數或植被指標(vegetation index)，諸如標準差植被指數 (normalized difference vegetation index，NDVI)、土壤校正植被指數(soil-adjusted vegetation index，SAVI)、綠紅光比植被指數(green-red ratio vegetation index，GRVI)、綠度(greeness) 等等。

國內利用光譜遙測在農作物生產上之應用常受限於未建立作物地面光譜資料庫，多逕將從航測或太空遙測收取之光譜影像或光譜資料結合地面現況調查，綜結成相互關係。此種方式僅能以光譜解釋當時作物之現況，無法應用於不同環境條件之不同生長情況，亦難以進行生長量及產量之正確估測與預測。臺灣省政府糧食處長期以來即以可見光航空照片判讀水稻栽植面積及生長期，近年來更試圖推廣於主要雜糧作物上。黃等(1974，1982，1985)

曾對水稻和雜糧作物(大豆、花生、玉米、甘薯)進行植冠反射光譜測定，指出利用 0.6-0.7 μ m 和 0.7-0.8 μ m 波段的反射值可區別作物的生長期，利用 0.7-0.8 μ m 波段的反射值可區別粳稻、籼稻和糯稻，且感測器角度對光譜的效應呈現曲線特性。陳(1998)試以多時段衛星(SPOT)影像辨識水稻田，在稻田與非稻田分辨上達到約 80% 精度，惟無法區分水稻生長期。劉(1988)亦以 SPOT 衛星資料求取水稻不同生育期之動態植被光譜，然未能配合實際植體取樣模擬光譜與生長關係。此外，國立中央大學太空及遙測研究中心也曾嘗試以 SPOT 衛星多頻譜資料應用於估測臺灣地區水稻種植面積，雖證明結果之可行性，但仍因不明水稻全生育期植被光譜變化趨勢及特徵其精確度稍嫌不足。

臺灣省農業試驗所農藝系作物逆境研究室自 1996 年起即進行一系列作物光譜研究，期以建立作物地面遙測光譜資料庫。楊及蘇(1997)指出一、二期稻作全生育期間水稻植被光譜曲線隨生育進展而異，且由光譜曲線選擇多條特徵波長，以其中綠光、紅光及近紅外光波長計算植被指數。以 NDVI 和 SAVI 爲例，發現此兩指數全生育期變化呈現類似鐘型分佈曲線，若利用時間標準化的轉換技巧，可將一、二期作植被指數曲線予以整合，排除因期作間生長速率不同造成之差異。水稻是國內最主要的糧食作物，栽培面積最廣，但是有關台灣地區不同水稻品種間，以及土壤、氣候與管理方式的差異對水稻植冠(被)反射光譜影響的基礎研究很缺乏，對於應用衛星影像資料以評估水稻生產及受災程度造成嚴重限制。

Yang and Su (1998a)進一步分析水稻植被光譜特徵，發現紫外光及可見光波段全生育期呈凹行形二次曲線變化，近紅外光波段則爲凸形二次曲線，尙且所計算一、二期稻作之六種植被指數均呈近似鐘形之二次曲線。而由植被指數 NDVI 與生長性狀 LAI(leaf area index，葉面積指數)及 LDW(leaf dry weight，葉片乾重)之密切相關，亦發現利用植被指數以估測水稻植株生長之可行性。Yang and Su (1998b)比較以單波長特徵波長或衛星(SPOR-HRV 及 LADN-MSS)波段計算之水稻植被 NDVI 相關性，發現 R^2 值均大於 0.98，證明了依據地面遙測光譜特徵計算之植被指數及所建立與生長性狀相關之數學模式可連接目前衛星波段。因此，利用地面遙測光譜資料庫所建立之各種生長模式，應可適用於相對應波段之衛星光譜遙測資料，此結果突顯出地面遙測之重要性及模式化光譜特徵之必要性。

肆、水稻植被光譜之特徵

一、植被光譜

任何具有能量的物體或物質均可放射出輻射能，能量愈低輻射能涵蓋之波長範圍愈窄，能量愈高則波長範圍愈寬，甚且高能物體(質)的中心波長(即波長範圍中具有最大能量之波長)小於低能物體(質)。對於能量較低之物體如農作物，其輻射能主要來自於周遭高能量之入射輻能量(incident radiation)之反射，尤其是太陽輻射能(solar radiation)，自身的放射輻射能反而佔有較少之比例。因此，入射輻射能之強度及波長組成將影響低能物體反射輻射之強度及波長組成，又物體表面之化學成份、色澤、幾何構造及物理特性亦影響入射輻射能的吸收、穿透與反射。通常對於作物植被光譜的偵測多選擇於晴朗無雲的天氣，即爲了避免天氣對光譜質量的干擾，排除非必要之誤差。

爲了減少入射太陽光強度與波長組成的差異，農作物所在地理位置及環境造成的複雜影響，導致農作物植被反射光譜與反射輻射能因時空而異，通常並不以直接偵測之光譜與輻射能代表農作物，而是以反射比光譜及其光譜特徵顯徵作物之狀

態。如此，相對於入射光輻射之特徵，作物反射光譜亦彰顯出其獨有的特徵，故稱爲該作物之光譜特徵曲線(characteristics spectrum curve)，或稱爲光譜指紋(spectral signature)。事實上，作物全生育期當中光譜指紋並非一層不變，反倒是因時而異，隨著生育期及環境狀況改變。因爲活的生物有其生命循環，當生理代謝異動引起植體構造及顏色顯徵於外的變化時，不同的反射光譜當然會有不同的光譜特徵。針對作物植被光譜之偵測，切忌僅以點的量測結果代表時間線的常期變異，以管窺天的偏狹是無法落實於應用的。

二、水稻植被反射光譜剖析

典型的水稻族群植被反射光譜如圖一所示(350-1100 nm)，且隨著生育進展改變，全生育期光譜曲線在一變異區間內起伏；變異量高低不僅受到周遭環境影響，不同波長的變異程度也不一。在紫外光至近紅外光波段之間，可以明顯的觀察到多個醒目的轉折點(波帶)，特別是位於 554 nm 綠光、674 nm 紅光、754 nm 近紅外光及 960 nm 近紅外光等四個波長附近之轉變。其中 554 nm 代表綠光波段最大的反射，674 nm 係紅光波段的最小反射，754 則爲近紅外光波段高反射比的臨界波長。光合作用旺盛及生長活力充沛的作物植體，綠色化程度(greeness)自然較高，葉綠素光反應(photoreaction or light reaction)活性必然較大，其組織結構多緊密連結，理論上綠光與紅光反射比較低，近紅外光反射比則較高。

若欲分析光譜各波段與植體生理生化反應之關係，可更精細的觀察從紫外光、藍光、綠光、黃光、橙光、紅光至近紅外光等不同波段的全期變化，包括波段的動態分佈、反射比的高低落差及曲線轉折的傾斜率等。此種分析也常被利用來區分生育時期、比較環境效應及鑑別作物類別，由於參數眾多及相互交感，結果多流於數學定性上的陳述，定量的模式分析研究尚不多見。惟定量之模式分析應用性較廣，應該多朝此方面研究。

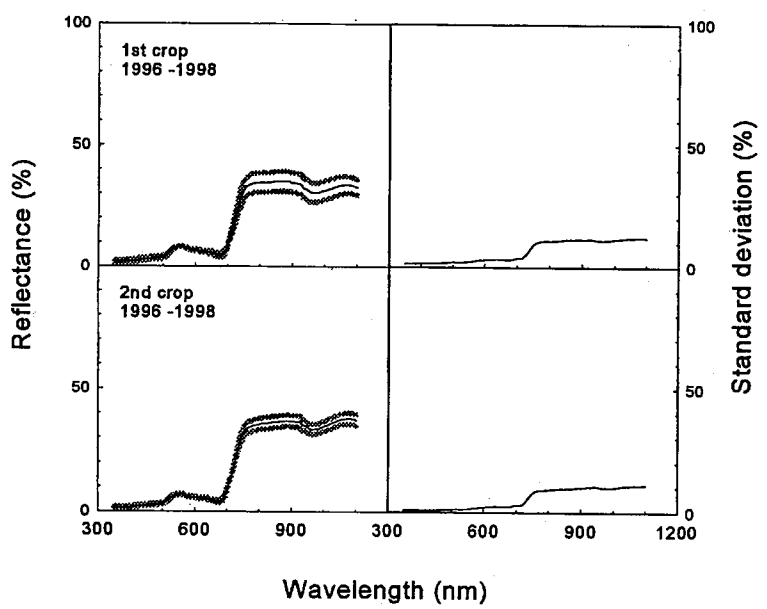


Fig. 1. Changes of reflectance spectra of rice (*Oryza sativa* L. cv. Tainung 67) vegetative cover in the cropping seasons of 1996-1998. Curves of standard deviation were plotted against wavelength range from 350 to 1100 nm.

伍、水稻植被指數與生長之關係

植被指數乃植被光譜特徵轉換成植被外觀物理徵狀之數學型式，具有理論基礎與意義。植被指數研究發展於 1970 年代，一開始係爲了估測光譜特徵對於植被覆蓋之貢獻。此種數學轉換具有環境標準化效果，降低不同環境造成光譜偵測之差異。

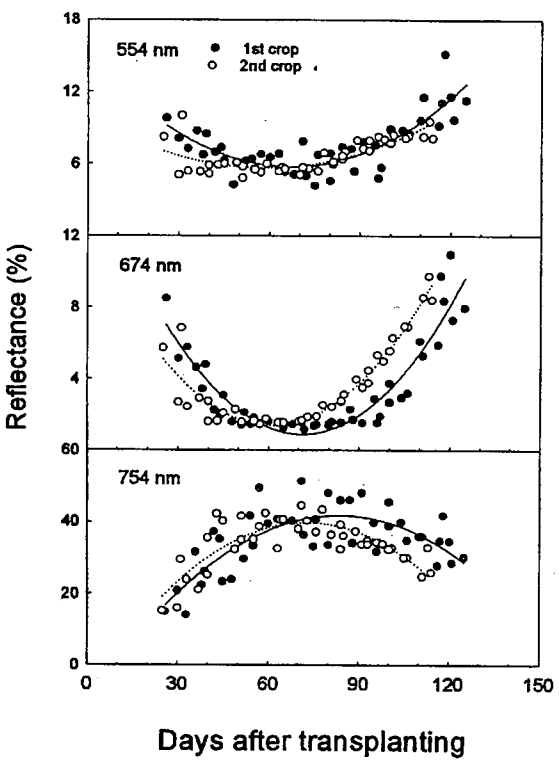


Fig. 2. Changes of reflectances at 554, 674, and 754 nm for rice (*Oryza sativa* L. cv. Tainung 67) during the cropping seasons of 1996-1998.

利用植被光譜突顯的特徵波長與水稻生長性狀建立關係(圖二)，就能顯現特徵波長與生長性狀之相關程度，評估是否可以其追蹤與估測生長表現。然單一特徵波長與生長性狀之單相關通常不如多特徵波長之複相關，因此發展出所謂的植被指數，利用來描繪或敘述作物的生長狀態。例如標準差植被指數 NDVI 即是結合前述最小反射紅光及臨界近紅外光代表的意義，用來說明植被的覆蓋率及其隱示的生長狀態。圖三爲一、二期稻作三年(1996-1998 年)的全生育期植被指數趨勢，呈現類似鐘形二次曲線，高原期兩端分別代表最高分蘖期(最大植被覆蓋)及穀粒的開始成熟(乳熟往糊熟)。因此，左側上升部分爲植株的建立與生長，右側的下降部分則爲植株的成熟與走向老化。由植被指數曲線的變化，即可概略解釋水稻生長的進展及植被覆蓋的密疏。若進一步連接植被指數與生長性狀，更能清楚的呈現兩者的曲線關係(圖四)。

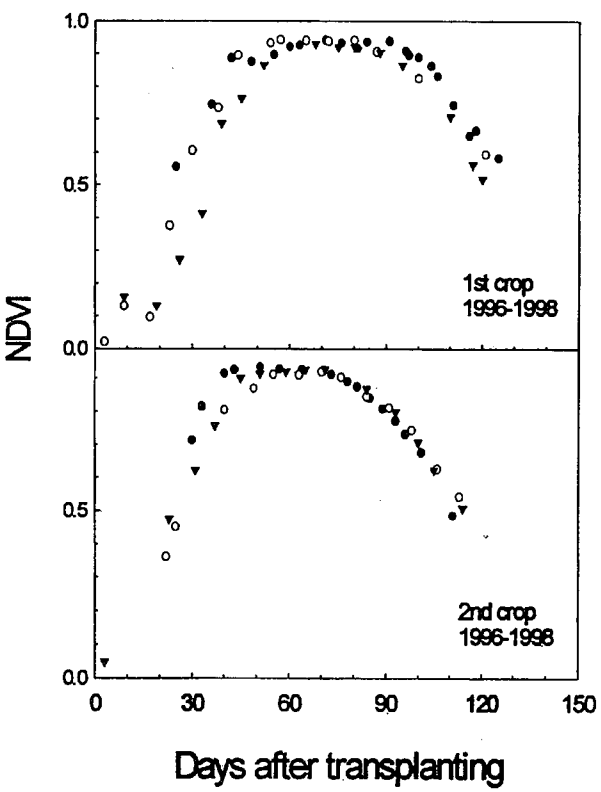


Fig. 3. Changes of normalized difference vegetation index (NDVI) for rice (*Oryza sativa* L. cv. Tainung 67) during the cropping seasons of 1996-1998.

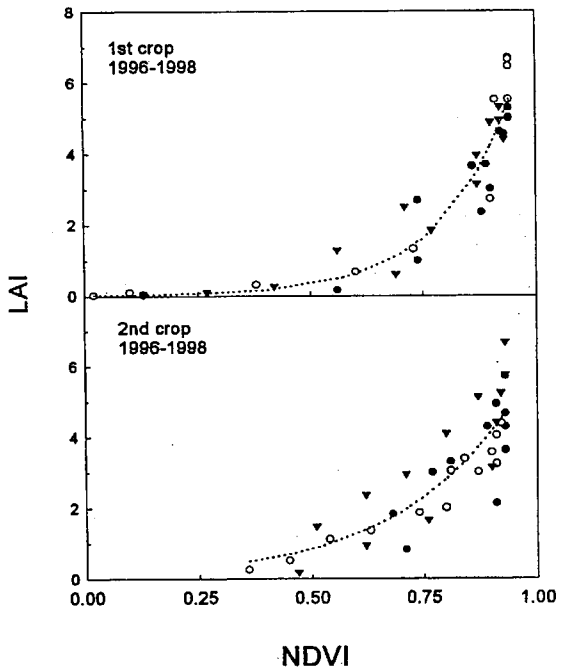


Fig. 4. Correlation between leaf area index (LAI) and the normalized difference vegetation index (NDVI) for rice (*Oryza sativa* L. cv. Tainung 67) grown in the cropping seasons of 1996-1998.

如圖四中葉面積指數(LAI)與標準差植被指數(NDVI)之曲線關係，可利用指數函數來進行動態模擬估算植被覆蓋，期作間的差異亦可藉由曲線程式估值相互比較。由於植被指數與生長性狀關係密切，是否能進一步利用植被指數來預測產量呢？理論上應該可行，因爲植被指數反應出生長的優劣及生長量的高低，除非環境的高度變異(如災害或嚴重逆境發生)或人爲疏失，才會出現不可預期的未知數，大幅降低植被指數與生長性狀之相關性。另外，光譜的取得必須真實，排除天然因素與人爲誤差，輸入符合現狀的植被指數，才能呈現真正植被指數與生長性狀的關係。此種資料庫模式分析至少需要五、六年以上的光譜與產量資料，藉由植被指數積分值與產量的回歸分析予以評估，找出環境的變異區間。

圖五係利用同一塊田於同一期作(1998 年一期作)進行九個水稻品種栽植，將全生育期 NDVI 累計值與小區(10 m^2)稻穀產量、單叢穗重及單叢結實粒重分別簡單直線回歸分析，發現具有頗高的相關係數(correlation coefficient)，分別爲 0.7701、0.8583 及 0.8752，證明了利用植被指數確有預測產量潛力。若增加作季，不僅可以綜合估算此一關係的精確度，更能區分與比較水稻品種間之差距，而得以落實於實務應用。爲了釐清各種環境條件之差異性影響，可另行分析各環境因子之權數(比重)。可以預期的，當逆境或災害發生時，由光譜差異立即可計算出植被指數與常態間落差而估測出生長受到之危害，量化受害程度。再由生長恢復情形，預測產量之損失及達到收獲之期限。

陸、以光譜遙測探討逆境效應

一、光譜遙測探討作物之逆境效應

輻射光譜遙測技術爲非破壞性的檢測方法之一，利用感測儀器蒐集與傳遞遠端事件資訊，即時又大面積的檢(偵)測作物狀態。光譜遙測在農業生產上的應用很廣，在農作物生產力估測上，可應用於栽培作物種類之區分與栽培面積之估算，各種作物生育狀況(態)之追蹤與管理，並予評估與預測大面積農作物產量。在農業天然或人爲災害與逆境之偵(檢)測上，不僅可以非破壞的遙測廣大受害面積，亦能系統化的快速判別與區分危害種類及等級，助益於救災賑災功能之發揮。諸如各種災害造成農作物的損失估計、氣象環境的影響、作物逆境的釐清、農田種類的區分及污染造成的地物外觀的改變等，均可因植被或土壤之顏色與結構、水分含量、理化活性表現及組成分等的變化導致反射光譜明顯改變予以鑑別(林等, 1994; Gausman *et al.*, 1969; Gausman, 1982; Hatfield *et al.*, 1984; Lapitan, 1986; Masoni *et al.*, 1996)。

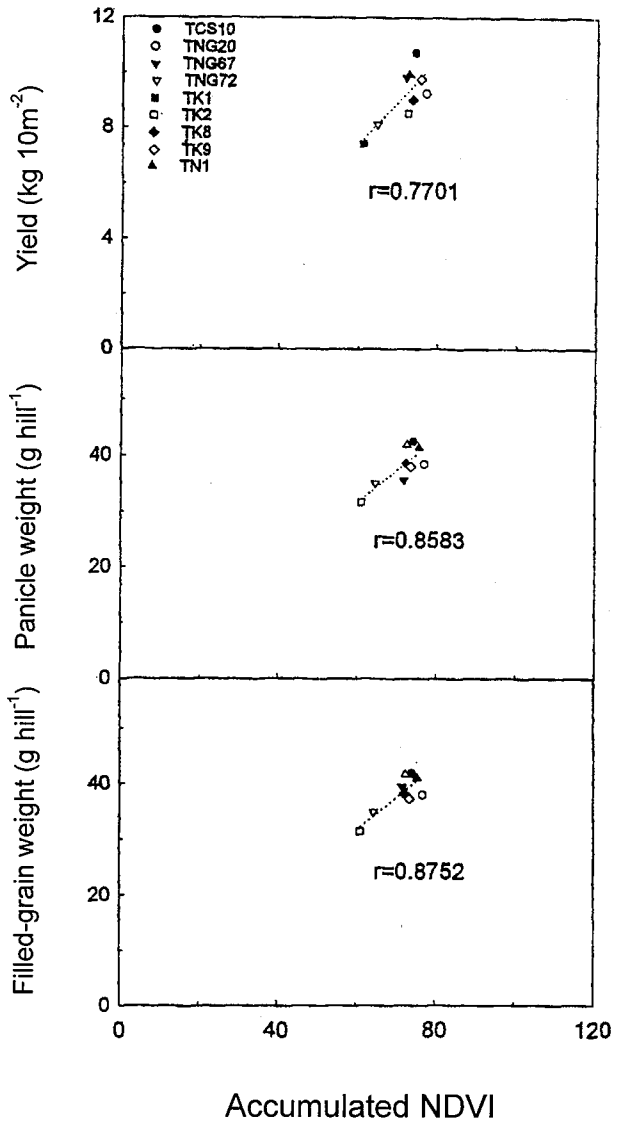


Fig. 5. Linear correlations between yield, panicle weight, and filled-grain weight and the accumulated normalized difference vegetation index (NDVI) for rice (*Oryza sativa* L. cv. Tainung 67) growin in the first crop of 1998.

欲以光譜遙追蹤與估測農作物之生育及逆境效應，必須建立所謂地真資料，瞭解常態與逆境下農作物之光譜特徵及差異，如此才能判別及區分農作物種類、生育期、生長狀態及逆境類別、程度、範圍(楊，1999；Huete and Jackson, 1987; Huete, 1988; Yang and Su, 1998a, 1998b)。國內以光譜遙測探討農作物之逆境效應研究並不多見，均因未瞭解作物之光譜特徵及逆境效應，僅屬初步之研究結果。申及李(1998)曾試以 SPOT 影像評估水稻旱害分級，惟其成果受限於地面土壤水分與產量資料的取得困難，無法建立直接相關證據。Chang *et al.*(1997)利用 SPOT 影像分析森林遭受寒害的影響，仍因未能鑑別樹種及林相分佈，難以確認林木植被光譜與寒害之直接

關係。

國外關於光譜遙測之應用研究較多，Leeman *et al.*(1971)早在七十年代即以輻射光譜特徵判別作物的種類。Sinclair *et al.*(1971)觀測多種旱作物植冠可見光及紅外光的變化趨勢，再配合葉片水分含量的測定以判斷缺水對光譜的影響。Thomas and Oerther(1972)由甜椒葉片反射率估測含氮量，發現與傳統的 Kjeldahl method 測值僅 0.7%差距。Blackmer *et al.*(1994)發現玉米葉片 550 nm 波長反射量與氮肥施用量成反比，建議可據以估算田間玉米植株含氮值。在缺乏 N、Mg、S、K、P、Ca 等營養元素下，Al-Abbas *et al.*(1974)觀察到玉米葉片出現不同的光學特性，Adams *et al.*(1993)亦指出缺 Mn 將使大豆葉片反射比升高，且使紅光波段偏移。由文獻資料顯示，當作物生育(Blair and Baumgardmer, 1977; Baret and Guyot, 1991; Jasinski, 1990; Kanemasu *et al.*, 1974; Inoue and Iwasaki, 1991; Price and Bausch, 1995; 楊及蘇，1997:Yang and Su, 1998a，1998b)、土壤管理狀況(Masoni *et al.*, 1996)、逆境發生(Inoue *et al.*, 1993; Chang *et al.*, 1997；Kanemasu *et al.*, 1974; Steven *et al.*, 1990)等外在環境導致作物植被覆蓋率及色澤變異時，均將改變植冠(被)反射光譜。

二、精準農業上之應用

美國國家研究委員會(National Research Council, NRC)於 1997 年曾組成一專門委員會(Committee on Assessing Crop Yield: site-specific farming, information systems, and research opportunities) 評估「精準農業(site-specific farming or precision agriculture)」過去發展沿革及未來發展前景，並將此一名詞如此定義: 精準農業乃一經營管理手段，採用資訊技術(information technology)分析各種資料來源，據以形成與農作物生產有關之決策，達到精準管理之目的。Robert(1997)將精準農業進一步定義爲一資訊與技術爲基礎的農業經營管理系統，用來鑑定、分析與管理特定農田或土壤的空間及時間變異性(variability)，期能獲得最佳收益，且兼顧環境保護及農業永續。楊(1999)謂精準農業又可稱精準農耕(precision farming)或特定地區農業(site-specific agriculture)，係爲了邁向環境的、生態的、與經濟的永續農業而衍生之農耕體系，以特定地區精準經營管理方式，配合農田地力分佈而有層次、有計畫的合理善用資源及運用栽培措施，來獲得最適的農作物生產與農產品質。

因此，精準農業異於傳統者在於以差異性處理方式調節土壤肥效、噴藥(除草劑、殺蟲劑、殺菌劑等)作業、與灌溉水量等等，而非傳統平頭式的一致性處理，妥善利用農業資源與資材，避免不必要的浪費及污染。實施精準農業的結果，將正面的改進農作物生產系統的效率和不當環境污染，在環境保護、生態維護、及經濟效益上得到最佳平衡。綜合來說，精準農業爲一融合農耕知識及多種應用技術組成之農作物經營管理體系，掌握時空即時資訊，藉著完整詳善的相關資料庫模擬及決策，連結自動化管理操作系統的作業配合，依照規劃循序達成新、速、實、簡的全套精準栽培與管理。換言之，精準農業的內涵在於『精準的管理』，以『因地置宜』及『適時適量』爲原則，因而節省資源與資材的投入並避免對環境與生態的污染及破壞，並因此減少逆境的發生與危害。

從即時、快速及大面積資訊獲得的觀點，遙測技術乃最合適「精準農業」現況資料蒐取與彙集之方法，其中光譜遙測資訊爲最主要之農田經營資料庫之一。此一資料庫綜合土壤、地理與地形、農作物、病蟲害、雜草、氣象及資材與資源(如水源、肥料、農藥)等之定性和定量數據，

並建立各項因子與光譜間之相關模式，得以經過即時資訊輸入、分析、決策及顯示等過程輸出決策措施與策略，達成精準管理目的(吳，1999)。因此，欲利用光譜遙測技術於「精準農業」之目標，首先必須完整而詳細的探討農田經營管理各種充分與必要條件，構建各項因子光譜特徵及其數學模式，再結合即時遙測系統、全球定位系統、地理資訊系統及自動化控制與作業系統等組合成實際操作體系。

逆境效應是光譜遙測資訊的重要一環，自然環境爲一不易預期的環境狀況，逆境隨時發生與交纏，唯有包含常態與逆境的完備光譜資料庫，才可能擁有廣泛而多樣的應用，具體落實於精準農業運轉。水稻爲國內目前最主要的糧食作物，以1997 年爲例收穫面積廣達 36.4 萬公頃，糙米總產量 166 萬公噸，產值高達新臺幣 377 億元。雖然從實務角度國內稻作生產已近似於精準農耕，然而無可諱言的，傳統平頭式的管理方式長期以來確實已對環境造成負面衝擊，應該儘速謀求改善。以水稻做爲推動「精準農業」的示範作物自有其意義及價值，因爲稻作的農耕知識非常豐富，栽培技術亦十分成熟，且稻田長期不當耕作之危害將最顯著。在光譜遙測研究上，當先求瞭解地面光譜遙測與水稻生育關係及逆境效應，建立光譜特徵與生長及產量之關係模式，再進一步結合航空器或衛星載台光譜遙測資訊、農田地力調查資料、地理資訊系統以及自動化栽培管理技術等，發展出水稻精準栽培管理系統。

柒、輻射溫度之特性及利用

一、輻射溫度

如前述，任何具有能量的物體或物質均可放射出輻射能，而且能量高低影響涵蓋之輻射能波長範圍寬窄，並左右中心波長的長短。農作物植體溫度一般介於 5-45 ℃區間內，屬於能量較低之物體，故其放射輻射能主要位於熱紅外線範圍。即如加上周遭高能量之入射輻能量之反射(太陽輻射能)，由於自身的溫度調節仍然可以維持在固定的溫度區間。偵測作物植體的輻射能(W)，再依 Stefan's Law 之灰體修正式($W = \varepsilon \times k \times T^4$)，即可計算出其輻射溫度(radiant temperature，T)。作物植體非理想之黑體(black body)，無法完全的吸收及釋放所有入射的輻射能波長，因此稱爲灰體(gray body)，有其獨特的放射率(emissivity，ε)。

量測作物植體之輻射溫度係以熱紅外線輻射計(thermal infrared radiometer)爲之，測計距離距作物愈遠則受大氣因子的干擾就愈大。大氣當中充滿許多可以吸收熱紅線輻射能的粒子(如水蒸汽分子、二氧化碳、懸浮塵粒)，因此輻射溫度通常低於植體的動態溫度(dynamic temperature)，減量幅度視大氣干擾而定。推廣來說，自航測及太空載臺遙測作物植被輻射溫度，可預期將有大氣干擾，故必需進行大氣校正。

以熱紅外線影像儀偵測作物植被輻射溫度，不僅可以顯示點、線、面的溫度，也可以統計線剖面及區域剖面的溫度分佈與變異，更重要的可據以突顯影像面之異常部位。這些功能提供了在作物生產上的多種用途，諸如植被溫度的動態追蹤、逆境效應的比較及生長狀態的監測等，亦可利用於能量平衡的探討。如土層間之熱能傳遞、植被與大氣間之熱能轉移、農田蒸發散熱之釋放及植被表層水蒸汽阻力等，均得以輻射溫度差異直接或間接的探究與釐清。

二、水稻植被溫度與周遭溫度之關係

在田間自然狀況下生長之水稻隨時都受到環境的影響，稻株必須具有機動式的調節機制作出因應以求自保。周遭溫度提供熱能暖化植體，卻也加諸於寒冷降低植

體溫度，因此稻株必須同時擁有散熱功能的蒸散作用(transpiration)及增溫功能的呼吸作用(respiration)，才能生存於瞬時萬變的自然環境。利用熱紅外線影像偵測稻株輻射溫度，配合同步氣溫(甚至土溫與水溫)的量測，可以比較兩者之關係。

如圖六，在 22.5-36℃氣溫範圍內，稻株植冠(被)輻射溫度與氣溫之間呈現高度直線相關，無論是一期作或二期作環境，植被溫度均隨著氣溫呈現正相關反應。此結果顯示出水稻具有敏銳的溫度調節機制，視氣溫的上升或下降調適體溫，以維持生理現象的正常運轉。另一方面，相對於氣溫的 13.5℃(22.5-36℃)變異範圍，水稻體溫則爲 9.5℃(22.5-32℃)的因應變溫區間，顯示稻株僅需以較小幅度的溫度調節即可忍受周遭較大氣溫變化。

再從圖七曲線關係顯示，氣溫與植被溫度差距(Δt)和氣溫呈指數相關，十個水稻品種均呈一置趨勢。由此圖示可進一步比較品種間之微細差異，反應出不同品種具有不等體溫調適能力，對於篩選特定區域合適栽種品種而言，此一量測方法效果頗佳。由此推知，在面對育種上龐大品系的篩選作業時，熱紅外線影像遙測有其執行上的適用價值。

捌、由熱紅外線影像探討逆境效應

熱紅外線影像技術(thermal infrared imagery)爲一已臻發展成熟之現代遙測技術，被廣泛應用於非接觸性溫度量測與追蹤，具有遙測技數慣有的即時、快速、非破壞、連續性與全面性及高準確度等特色。以熱紅外線影像技術遙測農作物植被溫度，能夠簡易而有效的同時偵測及追蹤植被測物時間序列的溫差，因而可被納入生產管理系統之中。凡農作物生育過程產生的溫差現象，均可以熱紅外線影像進行探索與探討，俾適時反應出缺失而得以在第一時間予以排除，避免或降低作物傷害。以水分管理爲例，可將熱像測值連結水分性狀來估測土壤有效水分、葉片水分潛勢及植體水分狀態，據此乾旱的發生與程度、灌溉時間與灌溉量及耐旱與抗旱品種之篩選等均爲實用項目。

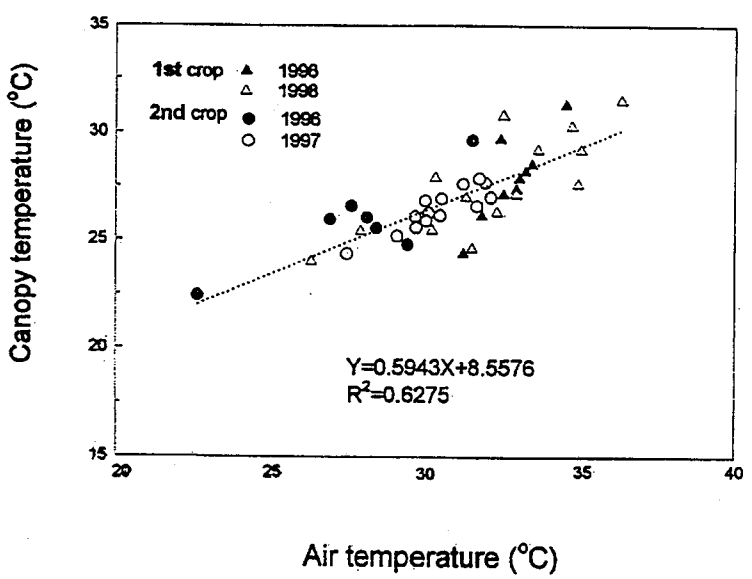


Fig. 6. Correlation between canopy temperature and ambient air temperature for rice (*Oryza sativa* L. cv. Tainung 67) grown in the cropping seasons of 1996-1998.

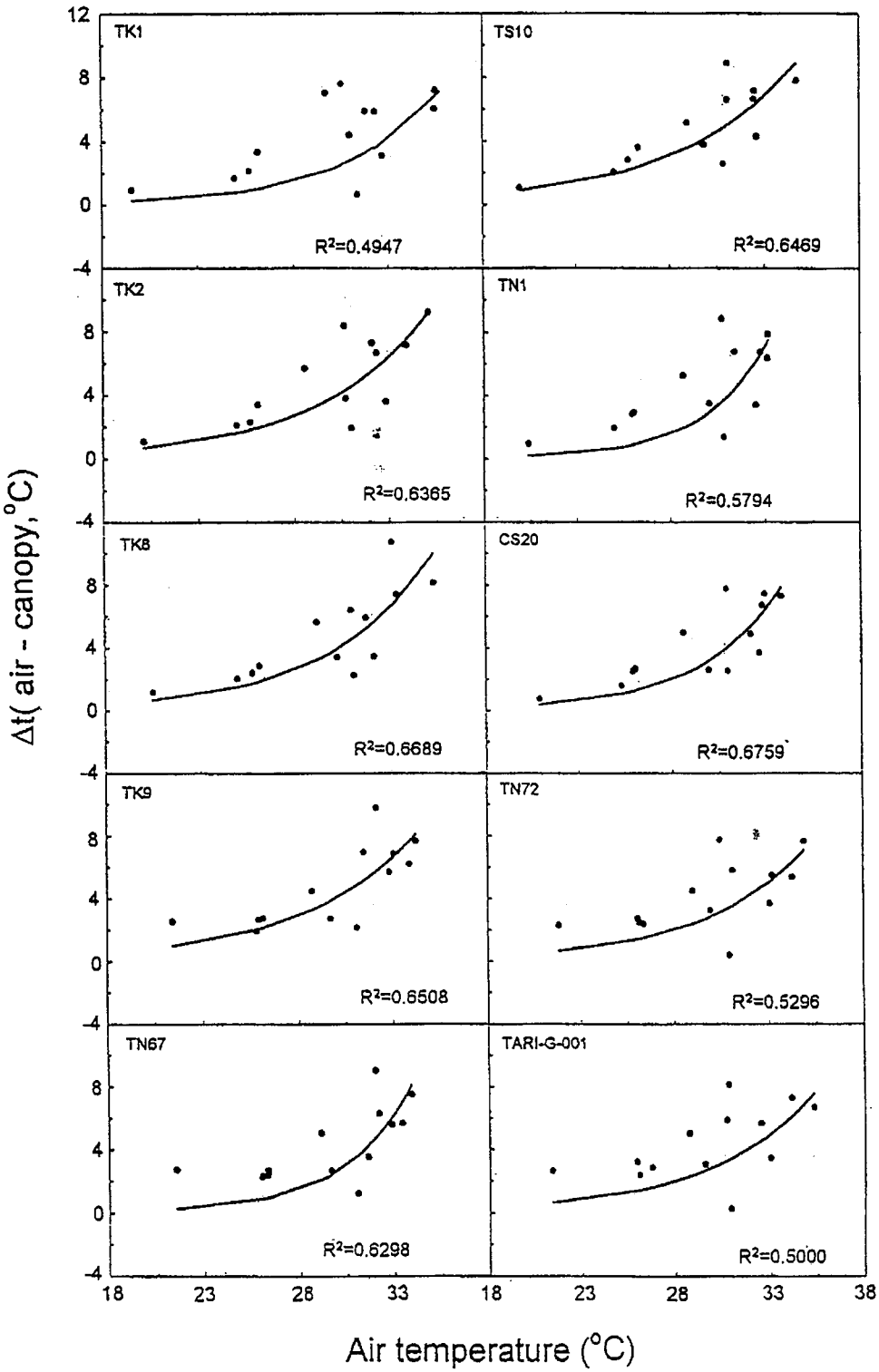


Fig. 7. Correlation between Δt (temperature difference between air temperature and canopy temperature) and ambient air temperature for different rice (*Oryza sativa* L.) genotypes grown in the first crop of 1998.

當作物遭受病蟲害時，病斑的發生與蔓延將改變植被顏色與光澤，同時可能引起組織結構及植體幾何分佈的異常，並使得生理代謝出現不尋常的增溫現象。經由熱像的辨別，可以概略區分農地發生病蟲害徵兆的位置及危害之大致等級。又作物受到周遭建物或高大植物遮陰時，將使得光輻射強度入射量減少，如此一來植被溫度勢將低於常態光照者。利用熱像的鑑別，可提供資訊來改善作物生長環境，避免長期遮陰引起生長不良等問題。

玖、結　　語

二十一世紀將因尖端科技的發展與引用，使得農業產生重大變革，預期因遙測科技、資訊科技及生物科技的引進及應用，大大的改變農業固有形態，使農業再現新貌。以往農業被視爲落後產業，若能結合先進科技於生產過程，將傳統農業制度提昇至「精準農業」層次，則農業必可轉型至科技化的經營管理，在效率及效益顯現成果，成爲有『大希望』的農業。

此外，我國加入世界貿易組織(World Trade Organization，WTO)後，政府和產業界將面臨更多的衝擊，在自由開放的市場經濟下接受各種挑戰。農業亦不例外，農地、人力、資源及生產要素等均需重新調整與配置，以更科技化與效率化的方式來經營管理是唯一之途。遙測科技扮演「化繁爲簡」及「因地置宜」的積極角色，亦爲將農業轉型成尖端產業的重要工具之一。本文藉由遙測技術探討環境對水稻生產影響範例說明，顯明了遙測技術的功能、內涵與做法。遙測技術近年來在國內蓬勃進展，爲使其應用於農作物生產相關作業系統，當前要務爲建立基礎光譜資料庫，而在推動「精準農業」的研發工作上，應該以確立發展目標爲優先，才能彙集人才分進合擊共同達成。

拾、引用文獻

申雍、李佩玲. 1998. 應用 SPOT 衛星影像區分水道旱害等級與受災範圍之初步研究. 中華農業氣象 5(4):203-208.

林浩潭、賴七仙、李國欽. 1994. 有機肥料中重金屬含量調查及對作物生長影響之評估. 植物保護學會會刊 36(3):201-207.

吳啓南. 1999. 精準農業之發展. 1999 年北美華人學術研討會論文集，美國.

陳益凰. 1998. 應用多時段衛星影像辨識水稻田之研究. 碩士論文，國立成功大學. 臺南市. 88pp.

陳國興. 1999. 中華衛星一號研發概況與成效. 科學發展月刊 27(5):511-519.

黃則林、廖閱郎、王賢杰. 1974. 台灣地區主要作物光譜特性之探討. 林務局農林航空測量所遙測報告第 7 號.

黃則林、廖閱郎、王賢杰. 1982. 水稻光譜特性之探討. 林務局農林航空測量所遙測報告第 7 號.

黃則林、廖閱郎、王賢杰. 1985. 水稻光譜特性之探討(不同感測角度之水稻光譜特性). 林務局農林航空測量所遙測報告第 12 號.

國家太空計畫室. 1998. 中華二號衛星計畫簡報. 國科會國家太空計畫室，臺北市.

楊純明. 1997. 輻射光譜及紅外線熱像技術在農作物生產上之應用. 中華農業氣象 4:1-10.

楊純明、蘇慕容. 1997. 水稻族群植冠反射光譜之分析. 中華農業氣象 4(2):87-95.

楊純明. 1999. 發展精準農業之淺見. 臺灣省農業試驗所技術服務季刊 (出版中)

劉建慧. 1988. 利用 SPOT 衛星資料求取動態植被光譜之研究. 碩士論文，國立中央大學大氣物理研究所. 中歷市.

Adams, M. L., W. A. Norvell, J. H. Peverly and W. D. Philpot. 1993. Fluorescence and reflectance characteristics of manganese deficient soybean leaves: effect of leaf age and choice of leaflet. Plant Soil 155/156:235-238.

Al-Abbas, A. H., R. Barr, J. D. Hall, F. L. Crane and M. F. Baumgardner. 1974. Spectra of normal and nutrient-deficient maize leaves. Agron. J. 66:16-20.

Blackmer, T. M. , J. S. Schepers and G. E. Varvel. 1994. Light reflectance compared with other nitrogen stress measurements in corn leaves. Agron. J. 86:934-938.

Blair, B. O. and M. F. Baumgardner. 1977. Detection of the green and brown wave in hardwood canopy covers using multidate multispectral data from LANDSAT-1. Agron. J. 69:808-811.

Baret, F. and G. Guyot. 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. Remote Sens. Environ. 35:161-174.

Chang, K. W., C.M. Yang and Y. Shen. 1997. Analysis of climatic and terrain effects on vegetation in Yuenyang Lake nature preserve using SPOT image. In: Proceeding of 1997 International Long-Term Ecological . Research and Biodiversity Studies Conference. p.12-13. Taipei, Taiwan.

Gausman, H. W., W. A. Allen, V. I. Myers and R. Cardenas. 1969 Reflectance and internal structure of cotton leaves, Gossypium hissutum L. Agron. J. 61:374-376.

Gausman, H. W. 1982. Visible light reflectance and absorptance of differently pigmented cotton leaves. Remote Sens. Environ. 13:233-238.

Hatfield, J. L., G. Asrar and E. T. Kanemasu. 1984. Intercepted photosynthetically active radiation estimated by spectral reflectance. Remote Sens. Environ. 14:65-75.

Huete, A. R. and R. D. Jackson. 1987. The suitability of spectral indices for evaluation vegetation characteristics on arid rangelands. Remote Sens. Environ. 23:213-232.

Huete, A. R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sens. Environ. 25: 295-309.

Inoue, Y., S. Morinaga and M. Shibayama. 1993. Non-destructive estimation of water status of intact crop leaves based on spectral reflectance measurements. Jpn. J. Crop Sci. 62:462-469.

Jasinski, M. F. 1990. Sensitivity of the normalized differences vegetation indes to subpixel canopy cover, soil albedo and pixel scale. Remote Sens. Environ. 32:169-187.

Kanemasu, E. T., C. L. Niblett, H. Manges, D. Lenhert and M. A. Newman. 1974. Wheat: Its growth and disease severity as deduced from ERTS-1. Remote Sens. Environ. 3:259-260 .

Kanemasu, E. T. 1974. Seasonal canopy reflectance patterns of wheat, sorghum and soybean. Remote Sens. Environ. 3:43-47.

Lapitan, R. 1986. Spectral estimates of absorbed light and leaf area index: Effects of canopy geometry and water stress. Ph. D. Dissertation, Dep. of Agronomy, Kansas State University, Manhattan, Kansas.

Leeman, V., D. Earing, R. K. Vincent and S. Ladd. 1971. The NASA Spectral Information System: a date compilation. NASA, Houston, Texas, USA.

Lillesand, T. M. and R. W. Kiefer. 1994.

Remote Sensing and Image Interpretation. 3rd ed. John Wiley & Sons.

Masoni, A., L. Ercoli and M. Mariotti. 1996. Spectral properties of leaves deficient in iron, sulfur, magnesium and Mangansw. Agron. J. 88:937-943.

Price, J. C. and W. C. Bausch. 1995. Leaf area index estimation from visible and near-infrared reflectance data. Remote Sens. Environ. 52:55-65.

Robert, P. C. 1997. Remote sensing: A potentially powerful technique for precision agriculture. Proc. of Symp. on Land Satellite Information in the Next Decade II. 4/12/97, Washinton D.C., USA.

Sinclair, T. R., R. M. Hoffer and M. M. Schreiber. 1971. Reflectance and internal structure of leaves from several crops during a growing season. Agron. J. 63:864-868.

Steven, M. D., T. J. Malthus, T. H. Demetriades-Shah, F. M. Danson and J. A. Clark. 1990. High-spectral resolution indices for crop stress. In: Application of Remote Sensing in Agricultlure. Steven, p.209-228. M. D. and J. A. Clark (eds.). Butterworths.

Thomas J. R. and G. F. Oerther. 1972. Estimation nitrogen content of sweet pepper leaves by reflectance measurements. Agron. J. 64:11-13.

Yang C.-M. and M. –R. Su. 1998a. Seasonal variations of reflectance of reflectance spectrum and vegetation index in rice vegetation cover. P.574-593. In: Proceed. 3rd Asian crop Science Conference. 27 April-2 May, 1998, Natl. Museum of Natural Science, Taiwan (ROC).

Yang C.-M. and M.–R. Su. 1998b. Correlation of spectral reflectance to growth in rice vegetation. Proceedings of the 19th Asian conference on remote sensing. P.A1-1-1-A1-1-6. 16-20 November, 1998. Manila, Philippines.

Yoder B. J. and R. E. Pettigrew-Crosby. 1995. Predicting nitrogen and chlorophyll content and concentration from reflectance spectra (400-2500nm) at leaf and anopy scales. Remote Sens. Environ. 53:199-211.

161 - 179, 1999

Chapter 10 Study of Environmental Effects on Rice Production by Remote Sensing Technology

Chwen-Ming Yang
Department of Agronomy, Taiwan Agricultural Research Institute,
Taichung Hsien, Taiwan 41301, ROC

ABSTRACT

In the traditional cultivation system, field management and practices are applied by an unique and consistent manner in common, which neglect the continuous variations caused by man-made exercise and natural impact. Problems such as land misuse, environmental pollution and economic failure will break forth in the long run one by one. In the near future important issues concerning with ecology conservation and environment protection will appear to their worst parts revealing the blindness and innocence of human being. Remote sensing technology provides a timely and properly resolution for twenty-first century agricultural development, leading toward a brand-new look and prosperous vision of agriculture. Precision agriculture, a currently emerged cultivation scheme, is originated from the sustaining agriculture concept for a dynamic balance between environment and economy. With an accurate and precise management approach, crops and soil are treated differentially according to site-specific conditions. Remote sensing plays a key role in the new system for its positive characteristics with efficiency and profitability. Spectral remote sensing and thermal infrared imagery are among techniques widely be used in precision farming. By these techniques, remotely sensed data taken either from aircrafts or satellites may be applied to crop growth and development under various conditions. Field practices such as fertilization, pesticide application, and irrigation can also be well-timed and well-planned easily and efficiently.

Key words: Remote sensing technology, Environment, Rice production, Spectral remote sensing, Thermal infrared imagery.