水稻精準農業體系
機載簡易多光譜影像拍攝系統之建構與應用
97-104, 2003

機載簡易多光譜影像拍攝系統之建構與應用

申雍*[1]、李裕娟[2]、章國威[1]、姚銘輝[3]
[1]國立中興大學土壤環境科學系
[2]行政院業農委員會農業試驗所農藝組
[3]行政院業農委員農業試驗所農工組
E-mail:yshen@nchu.edu.tw

摘要 ---------- 98
一、前言 ---------- 98
二、機載簡易高光譜影像拍攝系統之建構 ---------- 99
三、機載簡易高光譜影像拍攝系統之應用 ---------- 101
四、結語 ---------- 102
五、誌謝 ---------- 102
六、引用文獻 ---------- 102
ABSTRACT ---------- 104

機載簡易多光譜影像拍攝系統之建構與應用

申雍*[1]、李裕娟[2]、章國威[1]、姚銘輝[3]
[1]國立中興大學土壤環境科學系
[2]行政院農委員會農業試驗所農藝組
[3]行政院農委員農業試驗所農工組
E-mail:yshen@nchu.edu.tw

摘要

高光譜影像可提供的作物訊息遠較多光譜影像豐富，適合用於判別作物所遭受的逆境種類與程度。目前國外已開發的高光譜影像拍攝系統多需裝設於飛機上，且還未引進國內，因此國內許多應該利用高光譜影像進行的精準農業研究工作乃遭遇瓶頸。本研究設法將自行開發之簡易高光譜影像拍攝系統裝設於直昇機上，以建立具有高機動性和高解析度的機載高光譜遙測系統，提供作爲精準農業相關研究的遙測工具。研究期間也曾進行多次空拍作業，配合已研發的多種遙測模式，提供田間有關水稻生育情形、氮營養狀況、以及預估產量之空間變異分佈圖。並以穗肥之精準施用爲例，說明機載簡易高光譜影像拍攝系統之應用模式。研究結果指出，利用機載簡易高光譜影像拍攝系統，可適時且快速獲得目標區內有關作物生長與生育情形的空間分佈資訊，遠較以人爲方式於地面進行採樣、分析的調查方式來得經濟有效，且具有整體的空間觀念，更有利於進行相關的研判工作。

關鍵詞：高光譜影像、遙感探測、空載、波段濾鏡、精準農業、氮肥。

一、前言

在水稻精準農耕的實務操作上，要求能及時提供田間水稻之生育、營養狀態、病蟲害、產量、土壤性質與肥力狀態、…等各種有關水稻生長及可影響水稻生長之環境因素的空間分佈資訊，以供做爲精準施肥、噴藥等田間管理措施之依據。應用遙測技術可以快速進行田間的調查作業，不僅可以達到及時提供所需資訊的要求，可節省所需的時間、經費、和人力。

國內自開始進行精準農業相關研究以來，在遙測技術之研發方面，除已建立水稻光譜資料庫，系統性的收集所累積的地眞反射光譜資料外(劉等，2002)，也已逐步利用地面反射光譜研發可鑑別水稻氮營養狀態(申等，2000；申等，2001；李等，2002)、病蟲害 (楊等，2002)、產量(申等，2002)、...等的遙測模式。由於這些模式通常需利用植被反射光譜中的細微變化進行鑑別的工作，以獲取必要的準確度，但是國內現有之資源衛星或航測飛機並無法提供所需之高光譜影像。國外雖已開發可裝設於飛機上的高光譜影像拍攝系統，但由於價格昂貴目前還未引進國內，因此國內許多應該利用高光譜影像進行的精準農業研究工作乃遭遇瓶頸。

申與李(2002)曾研發可架設於高空作業車上之簡易高光譜影像拍攝系統，並已獲得良好成果。因此，本研究乃嘗試將該簡易高光譜影像拍攝系統裝設於直昇機上，建立具有高機動性和高解析度的機載高光譜遙測系統，並適時進行多次空拍作業，獲取適當生育期之田間多光譜影像，提供多種有關田間水稻生育情形、氮營養狀況、以及預估產量之空間變異分佈圖，俾供「水稻栽培與環境精準管理專家決策系統」做出對應之網格決策圖，再交由「精準農業自動化農機操作系統」實施精準的施肥與噴藥操作，以協助國內精準農業之發展。

二、機載簡易高光譜影像拍攝系統之建構

簡易高光譜影像拍攝系統的硬體設備主要包含單色數位相機(EDC-1000L，Electrim)、光學鏡頭(PHF6 1.4，Canon)、窄波段濾鏡(Bandpass Filter，Andover)及單板電腦(PCA6751，Advantech)。由於目前空拍作業以農試所精準試驗田區爲主，因此整個系統以位於臺中之凌天航空公司的 Bell 206B3 型直昇機爲觀測載台，其機型規格如表 1 所列，但未來也可依空拍作業地點，選擇其他航空公司的直昇機作爲觀測載台。

本系統所用數位相機之 CCD 晶片(TC245)於波長範圍 400-900 nm 間具有>10%的光量子轉換效率，搭配適當的窄波段濾鏡後，即可用於獲取地表在可見光段和近紅外光段的多光譜影像。於此兩波段間，Andover 公司生產有近兩百種窄波段濾鏡，基本上各濾鏡之中心波長(CW/L)以 10 nm 爲級距變化，濾波寬度(FWHM)則有 10、20、40、80 nm 等多種選擇，可依據需要選擇適當的濾鏡使用。目前本系統已配置的濾鏡種類及用途則簡述於表 2。爲便利於直昇機上更換濾鏡，並避免起落架阻擋影像之拍攝，於機側加裝可將相機固定於起落架邊的延伸桿(相片 1)，此延伸桿也可輕易反轉，使相機位於操作者身旁以便更換濾鏡。

Table 1. Specification of the helicopter used as a platform carrying the simplified hyperspectral imaging system.

Model	Power	Max. Distnace	Pilots	Passengers	Expense
Bell 206B3	420SHP	375NM	2	3	$NT60000/hr

Table 2. Bandpass filters available to the simplified hyperspectral imaging system at present state and their intended usages.

CW/L (nm)	FWHM (nm)	Purposes
430	10	Chlorophyll a absorption peak
460	10	Chlorophyll b absorption peak
550	10	Phycoerythrobilin absorption peak, yield prediction
630	10	Chlorophyll b absorption peak
660	10	Chlorophyll a absorption peak, yield prediction
730	10	Nitrogen content determination
740	10	Nitrogen content determination
800	10	Plant vigorous, yield prediction
500	40	Simulate satellite Blue band
550	40	Simulate satellite Green band, yield prediction
650	40	Simulate satellite Red band, yield prediction
850	40	Simulate satellite NIR band, yield prediction

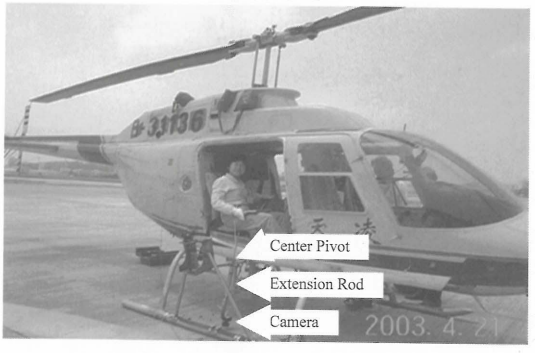


Photo 1. The extension rod extends the camera head of simplified hyperspectral imaging system to its lowest position. The rod also allows rapid filter change when airborne by turning it 180°

相機鏡頭光圈之變化範圍介於 F1.4 - F16 間，雖然相機可利用程式控制曝光時間介於 1msec - 3sec 間，但爲避免因直昇機震動造成影像模糊之問題，通常設定曝光時間小於 5msec，此時光圈位於 F8 附近。至於藍光與近紅外光區的低光量子轉換效率問題，可以經由增大鏡頭光圈的方式予以克服，實際拍攝經驗顯示並不會造成影像獲取上的困擾。

飛行高度則視擬涵蓋之影像範圍而定。由於飛行高度越高，越容易涵蓋擬拍攝之地區，但地面解析度則相對降低，也越容易受到空氣中水滴、空污等懸浮微粒之干擾，使得影像逐漸模糊。在本研究中，所設定的飛行高度爲 600m，可涵蓋約一平方公里的範圍，地面解析度約 70cm (圖 1)。爲進行大氣輻射校正，地面也同時舖設反射控制板(相片 2)，每塊控制板的尺寸爲 3m x 3m，分別以白色和黑色絨布製作，其反射光譜如圖 2 所示。白色控制板由於反射值高，因此最好舖設於擬拍攝區域之邊界，可同時作爲地面相對位置之指標使用。

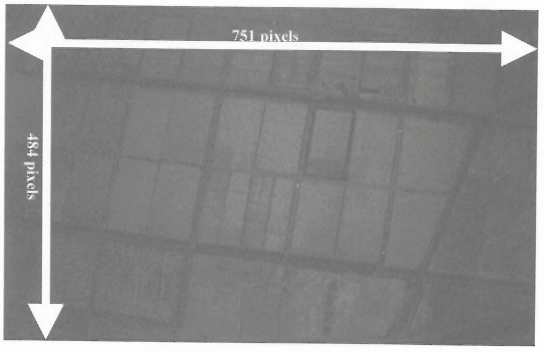


Fig 1. The 740nm image of rice fields for Rice Precision Cultivation Experiments taken by the simplified hyperspectral imaging system at 600m height.

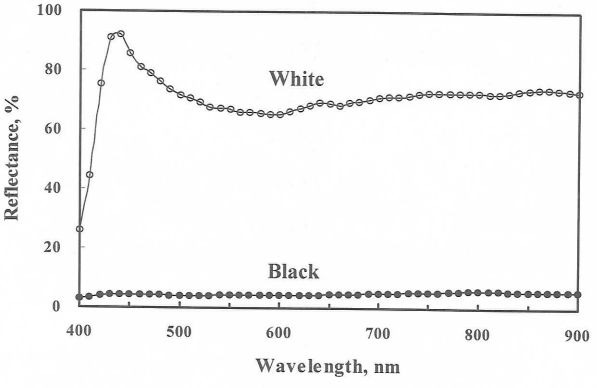


Fig 2. Reflectance spectrum of white and black cloths used as reflectance correction controls.



Photo 2. Placing white and black cloths in the field as control points for reflectance correction of the images taken by the simplified hyperspectral imaging system.

直昇機載台雖具有定點懸空的能力，但持續時間並不長，因此除應先向飛行員說明希望定點懸空的位置，還需提供飛行員由相機鏡頭所見的即時影像，屆時飛行員可依風向操控直昇機向定點位置慢慢逼近，當擬拍攝之區域位於影像中央時，即可錄下影像。更換濾鏡與調整光圈之時機則利用飛行員重新調整直昇機位置之空檔。實際拍攝經驗顯示，依以上程序操作，可得最好的拍攝效率與效果，在 30 分鐘內可拍得約 15 張的影像。

直昇機落地後，空拍影像可隨即利用自行撰寫的影像處理程式(EDCana ver.6)進行處理，該程式目前內含影像修正、幾何校正、輻射校正、重新取樣、植被指數計算、稻株氮營養計算、水稻產量計算等主要模組。實際操作經驗顯示，約在 1 小時內，即可完成所有影像處理程序，並產出可提供「水稻栽培與環境精準管理專家決策系統」與「精準農業自動化農機操作系統」後續應用所需之空間分佈圖及報表檔案(相片 3)。

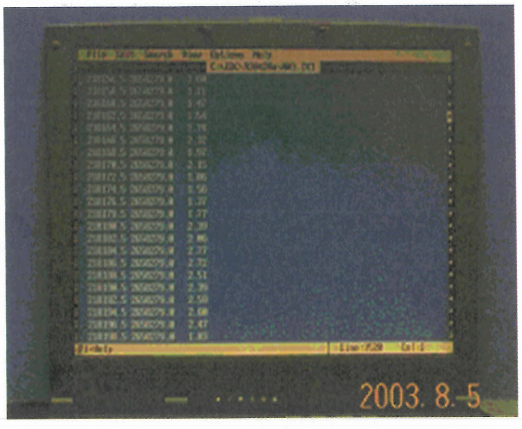


Photo 3. Map of rice plant nitrogen content in the field in its text file format.

三、機載簡易高光譜影像拍攝系統之應用

利用機載簡易高光譜影像拍攝系統，配合已研發的各種遙測模式，可適時且快速獲得目標區內有關作物生長與生育情形的空間分佈資訊，遠較以人為方式於地面進行採樣、分析的調查方式來得經濟有效，且具有整體的空間觀念，更有利於進行相關的研判工作。以下將以穗肥之精準施用為例，說明機載簡易高光譜影像拍攝系統之應用，未來應可衍生出更多的應用方向。

就施肥的時效問題而言，圖 3 為精準試驗田 74-89 等十個田區，在幼穗形成期間稻株內的氮營養狀況分佈圖，此圖係利用 730nm 和 740nm 兩張遙測影像，配合申等(2001)提出的稻株氮營養遙測模式所製作，空間解析度為 2m x 2m。該圖之製作約在直昇機落地後 1 小時內可完成。若進行傳統的植體取樣與化學分析，若每區以 12.5m x 12.5m 的網格取樣，則將有 320 個樣品，需要一個全職分析人員至少一星期才能分析完畢，還不計採樣、清洗、烘乾與磨碎所需花費的時間。因此傳統的取樣與化學分析方式，並無法滿足稍縱即逝的施肥時機，但利用機載簡易高光譜影像拍攝系統卻可輕易達成此要求。

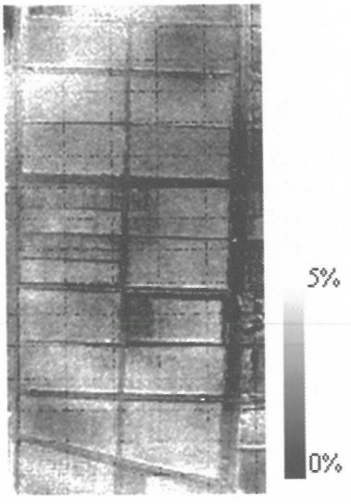


Fig 3. Map of rice canopy nitrogen content for field plots from no.74 to 89 at TARI on April 28, 2003.

就穗肥的用量而言，除依據稻株氮營養分佈圖作出穗肥精準施用決策圖外，還需利用由550nm、660nm、800nm三張遙測影像，配合申等(2002)提出的水稻產量預估遙測模式所製作的預估產量分佈圖(圖 4)。以 75 號田爲例，75 號之西半邊，稻株體內氮含量平均小於 1.6%，但預估的產量卻可達 10ton ha^{-1} 以上，顯示稻株體內氮含量不足，因此穗肥施用量需較正常施用量爲高。反之，75 號之東半邊，稻株體內氮含量平均大於 2.5%，但預估的產量約僅有 7 ton ha^{-1} 左右，依據「水稻栽培與環境精準管理專家決策系統」之施肥標準，稻株體內氮含量已足夠，即使不施穗肥也可以。本年度 75 號田區係採行正常管理，即全區穗肥均依正常量施用，收穫時之產量調查顯示，75 號田區之東半邊的產量的確僅有 7 ton ha^{-1}，西半邊的產量略高可達 7.3 ton ha^{-1}。以上結果顯示，75 號田區若採行穗肥精準管理，將可節省東半邊的穗肥費用與人工，並於西半邊獲得較高之產量。

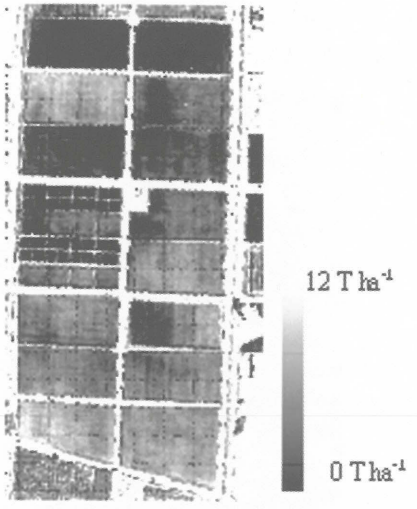


Fig 4. Map of predicted rice yields for field plots from no.74 to 89 of TARI on May 7, 2003.

就田間水稻的生育狀況而言，74、75、76、77、和 78 等區採行之栽培管理操作完全相同，但是稻株氮營養和預估產量兩張分佈圖卻顯示有明顯的空間變異，而造成此類空間變異的原因必然與土壤性質的空間變異有關。申等(2003)則利用機載簡易高光譜影像拍攝系統所獲得之遙測影像，協助確定田間影響水稻生育的潛藏土壤性質，使能經由土壤改良以提高水稻產量，這也是本研究所開發之簡易高光譜影像拍攝系統未來的應用方向之一。

四、結語

以上結果顯示，本研究所發展的機載簡易高光譜影像拍攝系統，結合同步發展的稻株氮營養遙測模式與產量預估遙測模式，不僅可以提供作爲田間精準施肥作業的依據，也可作爲進一步探討空間變異爲何產生以及如何控制空間變異的基礎。未來若能持續發展可判別田間水稻生育狀況的它種遙測模式，則只需更換適當的濾鏡，也可利用此套系統適時的獲知該種水稻生育狀況在田間的空間分佈情形。因此，本套系統對於我國精準農業之研究與發展將有莫大的助益。

五、誌謝

簡易多光譜影像拍攝系統相關研究，承蒙農業委員會農業試驗所編號 91 農科-5.1.3-農-C2(05)及 92 農科-1.1.6-農-C1(03)等計畫經費補助，以及農業試驗所農場組提供田間產量調查資料，得以順利完成，謹申謝忱。

六、引用文獻

申雍、羅正宗、鄭世朋。2000。稻株氮營養狀況遙測技術之建立。中華農業氣象 7:23-32。

申雍、李裕娟、章國威、羅正宗。2001。水稻

氮營養之遙感探測技術。p.235-238。有機肥料與合理化施肥研討會論文集。中華土壤肥料學會，臺中市。

申雍、章國威、李裕娟、楊純明、羅正宗。2002。應用遙測技術推估水稻產量之初探。p.41-52。應用於水稻精準農業體系之知識與技術。楊純明、林俊義，主編。農委會農業試驗所，臺中縣。

申雍、李裕娟。2002。簡易高光譜影像拍攝系統之研發與應用。p.129-138。應用於水稻精準農業體系之知識與技術。楊純明、林俊義，主編。農委會農業試驗所，臺中縣。

申雍、陳仁炫、吳正宗、王鐘和、江志峰、劉禎祺。2003。應用遙測影像輔助判釋土壤限制因子分佈地區之技術。p.81-88。水稻精準農業體系。楊純明、林俊義，主編。農委會農業試驗所，臺中縣。

李裕娟、張愛華、申雍、章國威、楊純明、羅正宗。2002。稻株氮營養狀態檢測技術。p.101-112。應用於水稻精準農業體系之知識與技術。楊純明、林俊義，主編。農委會農業試驗所，臺中縣。

楊純明、鄭清煥、張義璋。2002。水稻遭受褐飛蝨及稻熱病感染之植被光譜特徵。p.1-18。應用於水稻精準農業體系之知識與技術。楊純明、林俊義，主編。農委會農業試驗所，臺中縣。

劉建慧、楊聰仁、陳信吉、楊純明、申雍。2002。水稻光譜資料庫管理系統之建置。p.91-100。應用於水稻精準農業體系之知識與技術。楊純明、林俊義，主編。農委會農業試驗所，臺中縣。

Construction and Application of A Helicopter Mounted Simplified Hyperspectral Imaging System

Y. Shen*[1], Y.J. Lee[2], K.W. Chang[1] and M.H. Yao[3]

[1]Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan

[2]Division of Agronomy, Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), Taichung, Taiwan

[3]Division of Agricultural Engineering, TARI, Taichung, Taiwan

E-mail:yshen@nchu.edu.tw

ABSTRACT

Hyperspectral images can provide much more information about crops than multispectral images and are thus more suitable to identify the kind and extent of stress imposed on crops. However, hyperspectral imaging systems are mainly designed for airborne purposes and are not available in Taiwan. Therefore, many local precision agriculture research requiring hyperspectral images were hindered due to lack of hyperspectral imaging systems. The purpose of this study was to build a simplified hyperspectral imaging system which could be mounted on helicopters to acquire needed hyperspectral images for precision agriculture related studies. During the study, maps regarding field rice condition, nitrogen status, and predicted yield were obtained through selected air photo images and developed remote sensing models. The helicopter mounted simplified hyperspectral imaging system can acquire spatial information in target area much faster and more efficient than traditional survey method. Besides, it can provide a much integrate spatial picture and is useful in related analysis.

Key words: Hyperspectral image, Remote sensing, Air borne, Bandpass filter, Precision agriculture, Nitrogen fertilizer.