中華農業研究(J. Agric. Res. China) 52:297~310(2003)

觀測角度對植被反射光譜及光譜特徵之影響－以水稻爲例[1]

李裕娟[2]　楊純明[2,3]

摘　要

李裕娟、楊純明。2003。觀測角度對植被反射光譜及光譜特徵之影響-以水稻爲例。中華農業研究 52:297-310。

本研究於 2002 年一、二期稻作期間在臺中縣霧峰鄉行政院農業委員會農業試驗所農場進行田間試驗，以探討輻射光譜儀之觀測角度對水稻植被反射光譜及光譜特徵之影響。根據對近地面高解析水稻植被反射光譜的分析結果，發現無論處於何種期作或生育階段(分蘗盛期或糊熟期)，不同觀測角度將影響所測定的光譜曲線。一般言之，相對於垂直正射角度之測值，觀測角度越大則光譜之反射比值也越高。續將 350-2400 nm 光譜範圍劃分爲紫外光(UV)、紫光(V)、藍光(B)、綠光(G)、黃光(Y)、橘光(O)、紅光(R)、近紅外光(NIR)、短波紅外光(SWIR)及中波紅外光(MIR)等 10 個寬頻波段，結果顯示不同觀測角度測定的波段平均反射比呈現二次凹型曲線，除了二期稻作分蘗盛期之 NIR 波段及一期作糊熟期之 V、B 與 MIR 波段外，皆達顯著水準($P<0.04$)。大致上隨著觀測角度的增加，無論向陽(正值角度)抑或背陽(負值角度)方向，反射比亦隨之升高，而垂直正射角度的測值相對處於谷底。又將量測的高解析反射光譜分別計算出模擬 SPOT(simulated SPOT)衛星四個波段(G、R、NIR、SWIR)的平均反射比，配合前述相對應之寬頻波段(broad band)平均反射比及單一窄波段(narrow band)反射比，以比較在三種遙測平台進行不同觀測角度造成之反射比改變。由迴歸分析繪製的凹形二次曲線比較，顯示此三種遙測平台在分蘗盛期獲取的波段反射比差異在不同年份的表現雷同，除了紅光，皆以窄波段的反射比值最高，依次爲模擬 SPOT 衛星波段及寬頻波段者。此三種遙測平台在糊熟期獲取的波段反射比差異類似於最大分蘗期的結果，亦以窄波段的反射比值最高，僅 SWIR(短波紅外光)波段在二期稻作表現稍有不同。

關鍵詞：水稻、太陽方位角、觀測角、窄波段、寬波段。

---

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2171 號。接受日期:92 年 9 月 29 日。
2. 本所農藝組薦任技佐及研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。
3. 通訊作者，電子郵件: cmyang@wufeng.tari.gov.tw；傳眞機: (04)2339-6057。

前 言

由於地表形物對於入射光源(以太陽光輻射爲主)的雙向反射特性，因此對於大視角的感測儀器獲取的偵(檢)測資料，必須對可見光和近紅外光波段進行雙向反射校正，才能得到正確的標的物反射輻射值。尤其在非垂直正視的觀測角度及入射光源未座落於天頂垂直上方的情境之下，造成的雙向偏差愈形嚴重，若未予偏歪資料適度校正將可能得到錯誤結論。校正的方法一般採用地物雙向反射的模擬模型，或利用同一地區不同軌道圖像，找出其與觀測角之間的關係。Ross(1981)指出雙向反射率的分佈函數(BRDF，bidirectional reflectance distribution function)可以作爲偵測器的觀測幾何角度校正，而經過BDRF的分析可提供不等高度之各種植被在不同土壤反射以及植被族群結構所造成差異上的比較(Sandmeier *et al.* 1998；Sandmeier & Deering 1999)。

光譜檢測器(或稱輻射光譜分析儀，或簡稱光譜儀)在測定作物植被外表層的反射率時，通常會受到太陽高度角和方位角大小的影響(Eaton & Dirmhirn 1979；Cierniewski 1987；Jackson *et al.*1990；Gemmell & McDonald 2000)，且檢測器本身的觀測角度亦會直接影響量測的作物反射率高低(Jackson *et al.*1990；Gemmell & McDonald 2000)。因此，早在1970年代即有角度測定的相關試驗，大部份在農田地面上進行測定(Colwell 1974；Coulson & Reynolds 1971；Kimes 1983；Deering 1989；Deering *et al.* 1992)或在具有控制條件的實驗空間內實施量測(Coulson *et al.*1965；Breece & Holmes 1971；Walter-Shea *et al.* 1989；Brakke *et al.* 1989)，極少有同時結合田間和實驗空間內的相關試驗。據Kimes(1983)、Kimes *et al.*(1985)及Deering *et al.* (1989)之研究指出，土壤表面存在強烈的雙向反射性質，應予釐清並列入校正參考。Deering *et al.* (1989)及Jackson *et al.* (1990)的報告也說明，在不同的太陽方位角下，土壤的性質和粗糙度具有雙向的反射特性。Ni *et al.* (1999)利用測定不連續的森林植冠，以經過修正的GO(geometric optical)模式改進雙向反射特性所造成的影像誤差，進而提高衛星影像的精確度。瑞士蘇黎士大學(Zurich University)進一步在1994-1995年期間，設計出軌道式的田間測定裝置(FIGOS, field goniometer)來量測田間不同角度的雙向反射，由裝置高解析光譜儀更精細的測定BRDF並建立模式，再根據此一模式和Lambertain假說進而改進衛星影像的校正結果(Sandmeier & Itten 1997)。

文獻上有關雙向反射的試驗研究甚多，如Pinter *et al.*(1990)比較在不同遙測平台(衛星、飛機和地面)以光譜影像儀拍攝的農田影像，發現偵測角度不同確實會影響反射比的高低。Shibayama & Weigand(1985)研究觀測角度與太陽方位角對小麥族群反射比的影響，結果顯示紅光和近紅外光的反射比會隨太陽方位角而異，方位角愈高及觀測角度愈大則反射比值將愈增加。Kirchner *et al.* (1982)研究指出，苜蓿在背向太陽的方向時，其反射比影響較大。Oi *et al.* (1994)由飛機爲遙測載台的高解析光譜儀測知，在半乾燥的灌叢或草原地，太陽方位角的影響大於觀測角度。Wenge *et al.* (1999)在不連續的林相族群進行雙向的反射比試驗，顯示觀測角度的差異影響所量測的植冠反射比大小。在苔蘚、地衣類植物上的試驗，Solheim *et al.* (2000)發現苔蘚類植物可增強背向觀測角度的可見光及近紅外光的反射比，Solheim & Engelsen(1998)則建立地衣類植物以衛星(Landsat TM)偵測採用的校正方法。

瞭解太陽方位角大小對作物反射率高低之影響，尤其以大面積樹木植冠的森林族群爲甚(Deering *et al.* 1992；Duchemin 1999)，將有助於瞭解衛星或航空遙測影像資料在不同季節、觀測時間及檢測器觀測角度上改變所造成的差異，同時予以適當的校正以獲得眞實數據。由於水稻是臺灣地區栽培面積最廣而產值最高的糧食作物，針對水稻進行的光譜遙測十分頻繁，確有必要探討水稻植被的雙向反射特性。本研究基於前述理念，嘗試以向陽和背陽的不同觀測方向在水稻的分蘗盛期和糊熟期兩個生長階段，探究光譜儀的觀測角度大小與植被反射比的關係。此一試驗結果提供了光譜儀在面向或背向太陽光源之不同觀測角度下造成水稻反射比的差異分佈，對於近地面、航空器或衛星遙測載台進行光譜量測的雙向反射校正或建立相關校正模式均有助益。

材料與方法

本研究之田間試驗在位於臺中縣霧峰鄉的行政院農業委員會農業試驗所農場(24°02'N, 120°42'E, 海拔高度 85 m)，參試水稻品種爲臺農 67 號(*Oryza sativa* L. cv. TNG 67)，田區面積爲 0.5 公頃，於 2002 年兩期稻作生育期間實施近地面高解析光譜遙測不同觀測角度之水稻族群植被反射光譜。2002 年一期稻作在 2 月 26 日機插，6 月 28 日收穫，生育日數 123 天。2002 年第二期稻作在 7 月 30 日機插，11 月 26 日收穫，生育日數 118 天。試驗期間栽培方法採用慣行法，將 3-4 葉齡秧苗以南北向機械插秧，每叢 3-5 株，行株距約爲 0.30 m x 0.18 m，形成之族群密度爲 185,000 hills ha^{-1}。田區土壤屬於 Fluvaquentic Dystrochrept，酸鹼值爲 pH 4.78，有機質含量爲 1.64% 。於插秧前 5 天施用台肥 39 號 ($N:P_2O_5:K_2O$=12%:18%:12%，臺灣肥料公司，高雄市)300 kg ha^{-1} 爲基肥，第一次追肥於插秧 1 週(二期作)或 2 週(一期作)後施用臺肥 1 號($N:P_2O_5:K_2O$=20%:5%:10%，臺灣肥料公司，高雄市)100 kg ha^{-1}，第二次追肥於插秧 3 週(二期作)或 4 週(一期作)後施用臺肥 1 號 200 kg ha^{-1}，約於抽穗前 20 天施用硫酸銨(21% N，臺灣肥料公司，高雄市)160 kg ha^{-1} 爲穗肥。農藥施用視病蟲害發生狀況而定，依前臺灣省政府農林廳出版之植物保護手冊(1994)推薦用藥及用量操作；如以 6 % 培丹粒劑(cartap, 1,3-bis-(carbamoylthio)-2- (N,N-dimethylamino)-propane hydrochloride)30 kg ha^{-1} 防治二化螟蟲及瘤野螟，以 40 % 加保扶水懸劑(carbofuran, 2,3-dihydro-2,2-dimethyl-7-benzofuranyl methylcarbamate)稀釋 800 倍之 1.2 L ha^{-1} 用量及 50 % 維利黴素(Validamycin A, 50% S) 千倍稀釋液之 1 L ha^{-1} 用量防治紋枯病及其他害蟲。除草劑係以 5 % 丁基拉草粒劑(butachlor, 2-Chloro-2',6'-diethyl-N-(butoxymethyl) acetate)30 kg ha^{-1} 於插秧一週內施用防除禾本科雜草，分蘗初期(插秧後 3 週內)以 44.1 % 本達隆溶液(bentazon, sodium salt of 3-isopropyl-1H-2,1,3-benzothiadiazin-4-(3H)-0ne-2,2- dioxide) 3 L ha^{-1} 劑量 200 倍稀釋液防除鴨舌草及螢藺等雜草。

植被高解析反射光譜以田間攜帶式輻射光譜分析儀(spectroradiometer, model GER-2600，Geophysical & Environmental Research Crop., Millbrook, NY, U.S.A.)進行光輻射(radiance)測定，量測波長範圍 330-2600 nm。完整量測系統包括裝置 10 度視角(field-of-view)的輻射光譜分析儀、手提電腦、電池及連接纜線等，其中光譜儀之 512 個矩陣排列 silicon detectors 在 330-1050 nm 波段之波距(bandwidth)1.5 nm，128 個矩陣排列 PbS detectors 在 1050-2600 nm 波段之波距 11.5 nm (GER-2600 User Manual 1996)，被固定於距離水稻植被約 5.8 m 之高空作業車上垂直進行近地面量測，產生約 1 m 直徑的光譜測定圓周面積(目標區)。光譜儀係置於專業照像用角度調整器上，可自由依照刻度旋轉，停滯於預定角度上，偵測向陽及背陽兩方向之不同觀測角度植被反射光譜。在實用上將高解析光譜之各窄波段中心值取至個位數，且僅選用 350-2400 nm 波長範圍的反射比光譜以去除光譜兩端的硬體電磁干擾。

手提電腦安裝的 GER-2600 專用軟體可以收取及校正光譜儀量測的光譜範圍各窄波段的光輻射值，並配合已知反射光譜特性的參考白板('Spectralon', Labsphere, Inc., North Sutton, NH, USA)光輻射資料，經由計算而顯示出光輻射值及反射比值。每一次的量測均預設爲連續 4 次(時間少於 2 s)的光譜掃描，在進行參考白板反射光譜量測後隨即進行目標區的掃描，每一觀測角度至少量測 4 次，量測時間少於 1 min，且均選擇在 10:00 至 12:00 時段的晴朗區間操作，以減少太陽入射角及雲遮的干擾。近地面高解析植被反射光譜測定選擇在兩期稻作的分蘗盛期(active tillering stage)及糊熟期(dough stage)間進行，2002 年一期作分別於插秧後 53 及 92 天，二期作則分別於插秧後 64 天及 96 天。各生育時期均在面向太陽的方位角條件下調整光譜儀的觀測角度，依向陽正向及背向各 0-30 度範圍內分別調整，測定角度計有 0、5、10、15、20、25、30 度等七種，如前述每一角度均至少量測 4 重複。將 4 次重複量測的光譜資料平均，以平均值光譜爲各觀測角度的代表，進行各項統計分析。試驗統計分析係由 Statistical Analysis System version 8.1 軟體(SAS 1998)及 Sigmaplot 2000 統計繪圖軟體(SPSS ASC BV, The Netherlands)進行資料處理。

爲分析植被光譜之各寬頻波段(broad bands)的反射比變化，乃將反射光譜區分爲紫外光(UV, 350-400 nm)、紫光(V, 400-425 nm)、藍光(B, 425-490 nm)、綠光(G, 490-560 nm)、黃光(Y, 560-585 nm)、橘光(O, 585-640 nm)、紅光(R, 640-740nm)、近紅外光(NIR, 740-1300 nm)、短波紅外光(SWIR, 1300-1800 nm)及中紅外光(MIR, 1800-2400 nm)等 10 個寬頻波段，並由波段內各窄波段的反射比和除以窄波段數來計算各波段之平均反射比，期能瞭解植被反射光譜內各波段在不同生長時期及不同觀測角度的變化。亦依照法國 SPOT 衛星感測波段以近地面量測之高解析光譜資料予以模擬，稱爲 Simulated SPOT，包括綠光段(G, 500-590 nm)、紅光段(R, 610-680 nm)、近紅外光段(NIR, 790-890 nm)及短波紅外光段(SWIR, 1580-1750 nm)四種。而高解析光譜之相對應窄波段即以此來篩檢，其中綠光窄波段選取綠光波段之最高反射比位置，紅光窄波段選取紅光波段之最低反射比位置，而近紅外光窄波段及短波紅外光窄波段則分別選取各該波段之最大反射比位置，均爲動態選取之特定波長位置。

結　果

在 2002 年一期稻作之分蘗盛期(插秧後 53 天)及糊熟期(插秧後 92 天)，於近地面量測的不同觀測角度水稻植被高解析反射光譜繪製於圖 1，二期稻作之分蘗盛期(插秧後 64 天)及糊熟期(插秧後 96 天)量測資料則繪於圖 2，均顯示無論期作或生育階段，不同觀測角度將影響所測定的光譜曲線，使得各窄波段的反射比呈現不一的現象。

又將所量測的 350-2400 nm 植被反射光譜範圍劃分爲紫外光(UV)、紫光(V)、藍光(B)、綠光(G)、黃光(Y)、橘光(O)、紅光(R)、近紅外光(NIR)、短波紅外光(SWIR)及中波紅外光(MIR)等 10 個寬頻波段，計算其等波段平均反射比，以比較各波段受到觀測視角的影響。其中，2002 年一、二期稻作之分蘗盛期在向陽及背陽視角所量測的波段平均反射比值列於圖 3，兩期稻作之糊熟期觀測角度的波段平均反射比值繪於圖 4，均顯示不同觀測角度測定的波段平均反射比呈現二次凹型曲線，除了二期稻作分蘗盛期之 NIR 波段及一期作糊熟期之 V、B 與 MIR 波段外，皆達顯著水準($P<0.04$)。一般隨著觀測角度的增加，無論向陽(正值角度)抑或背陽(負值角度)方向，反射比亦隨之升高，而垂直正射角度(angle 0^{o})的測值相對處於谷底。再由圖 3 及圖 4 發現，一、二期稻作的波段平均反射比之間存在差異，顯示兩期稻作之植被存在歧異度，而反應在反射光譜的差異上。

另外，以近地面量測的高解析反射光譜分別計算出模擬 SPOT 衛星四個波段(G、R、NIR、SWIR)的平均反射比，配合前述相對應之寬頻波段平均反射比及單一窄波段反射比，以模擬在衛星、航空飛行器及近地面三種遙測平台進行不同觀測角度造成之反射比改變。2002 年一、二期稻作在分蘗盛期及糊熟期測得的植被反射光譜資料分別如圖 5、圖 6，由迴歸分析繪製的凹形二次曲線比較，顯示此三種遙測平台在分蘗盛期獲取的波段反射比差異在不同年份的表現雷同，除了紅光之外，皆以窄波段的反射比值最高，依次爲模擬 SPOT 衛星波段及寬頻波段者。此三種遙測平台在糊熟期獲取的波段反射比差異類似於最大分蘗期的結果，亦以窄波段的反射比值最高，僅 SWIR(短波紅外光)波段在二期稻作表現稍有不同。

討　論

由本研究在 2002 年一、二期稻作之分蘗盛期(分別爲插秧後 53 天及 64 天)及糊熟期(分別爲插秧後 92 天及 96 天)於近地面量測的不同觀測角度水稻植被高解析反射光譜(圖 1、圖 2)，顯示出不同觀測角度將影響在水稻生育過程所量測的光譜曲線，而且無論期作別皆使光譜曲線產生可辨識的差別。儘管一期稻作分蘗盛期及二期稻作糊熟期之背陽方向角度獲取之光譜曲線有稍許變異，一般言之，相對於垂直正射角度(angle 0°)的測值，觀測角度越大則光譜之反射比值也越高。

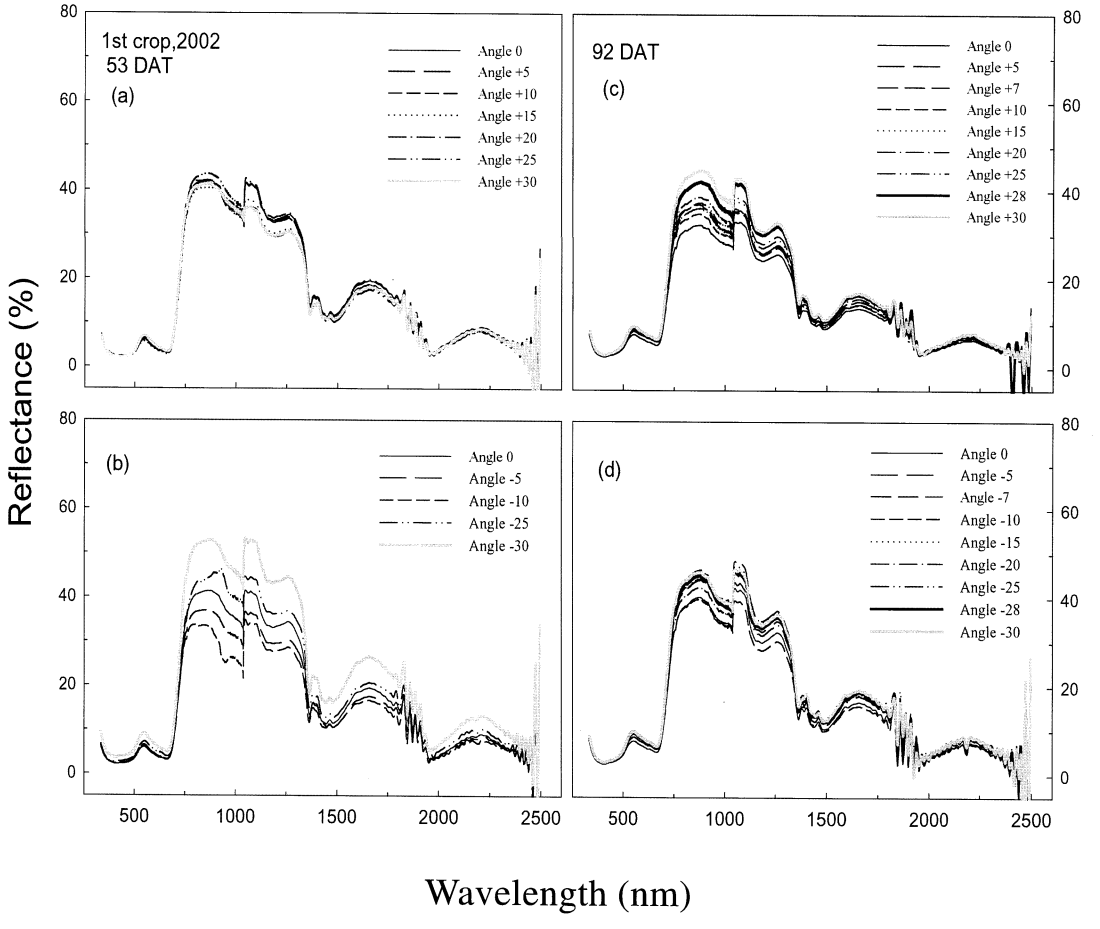


圖 1. 在 2002 年一期稻作之分蘗盛期(插秧後 53 天)及糊熟期(插秧後 92 天)量測之水稻植被反射光譜隨著不同觀測角度之變化。其中(a)及(c)爲向陽方向之觀測角度，(b)及(d)爲背陽方向之觀測角度。

Fig. 1. Changes in reflectance spectra of rice canopies taken from different viewing angles at 53 days (maximum tillering stage) and 92 days (dough stage) after transplanting of rice growth in the first cropping season of 2002. The spectral curves plotted in (a) and (c) are measured from angles face to the sun, and in (b) and (d) are measured from angles back to the sun.

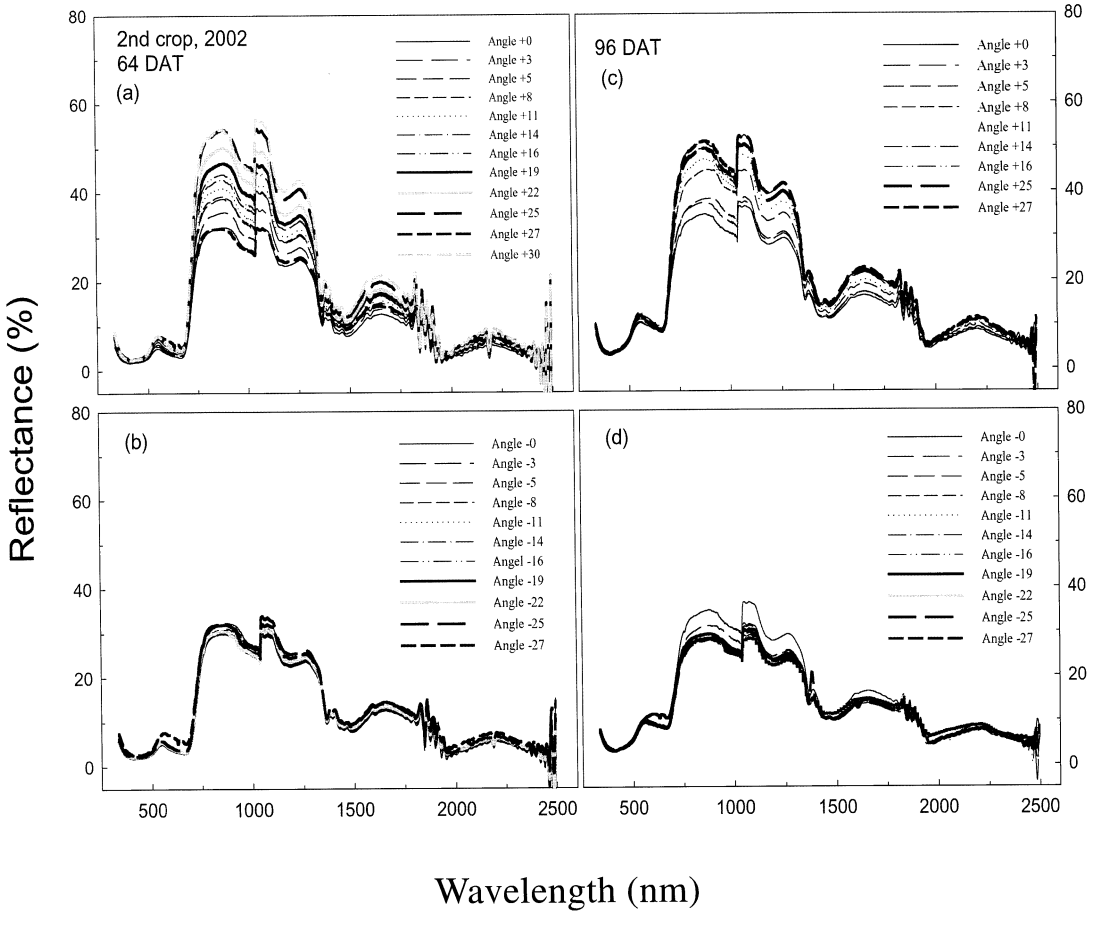


圖 2. 在 2002 年二期稻作之分蘗盛期(插秧後 64 天)及糊熟期(插秧後 96 天)量測之水稻植被反射光譜隨著不同觀測角度之變化。其中(a)及(c)爲向陽方向之觀測角度，(b)及(d)爲背陽方向之觀測角度。

Fig. 2. Changes in reflectance spectra of rice canopies taken from different viewing angles at 64 days (active tillering stage) and 96 days (dough stage) after transplanting (DAT) of rice growth in the second cropping season of 2002.The spectral curves plotted in (a) and (c) are measured from angles face to the sun, and in (b) and (d) are measured from angles back to the sun.

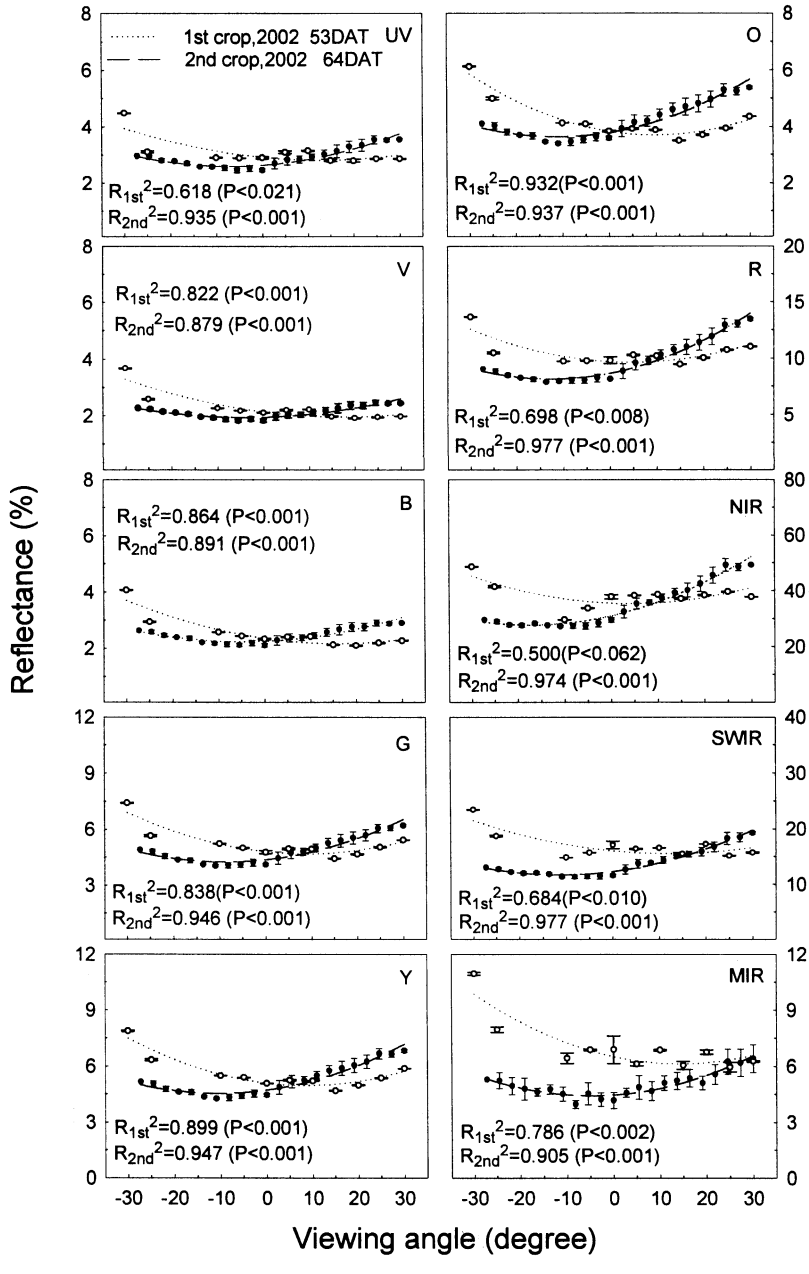


圖 3. 在 2002 年兩期稻作之分蘗盛期(一、二期作分爲插秧後 53 天及 64 天)量測之不同寬頻波段平均反射比隨著觀測角度之變化。UV: 350-400 nm, V:400-425 nm, B: 425-490 nm, G: 490-560 nm, Y: 560-585 nm, O: 585-640 nm, R: 640-740nm, NIR: 740-1300 nm, SWIR: 1300-1800 nm, and MIR: 1800-2400 nm.

Fig. 3. Changes of waveband mean reflectance in response to viewing angles at active tillering stage of rice growth in the first (53 days after transplanting(DAT)) and the second (64 DAT) cropping seasons of 2002; UV: 350-400 nm; V: 400-425 nm; B: 425-490 nm; G: 490-560 nm; Y: 560-585 nm; O:585-640 nm; R: 640-740nm; NIR: 740-1300 nm; SWIR: 1300-1800 nm; and MIR: 1800-2400 nm.

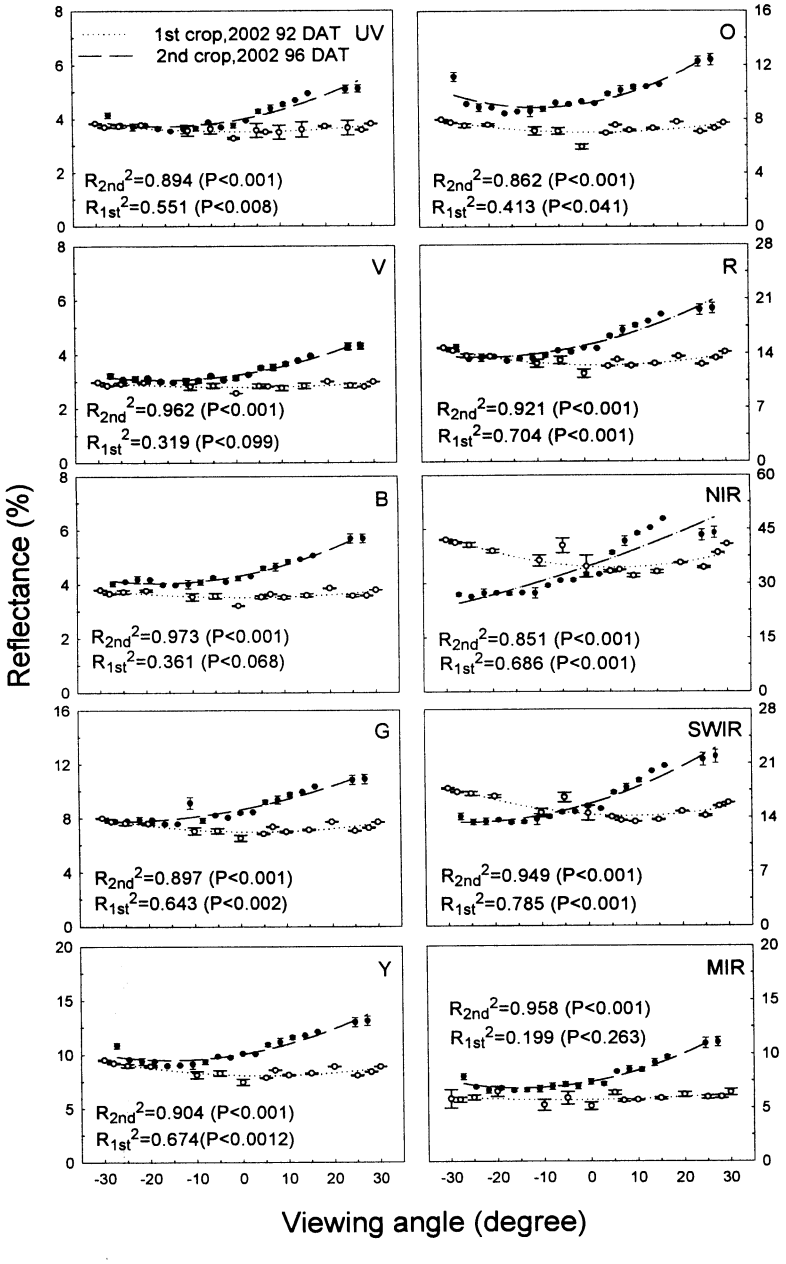


圖 4. 在 2002 年兩期稻作之糊熟期(一、二期作分爲插秧後 92 天及 96 天)量測之不同寬頻波段平均反射比隨著觀測角度之變化。UV: 350-400 nm, V: 400-425 nm, B: 425-490 nm, G: 490-560 nm, Y: 560-585 nm, O: 585-640 nm, R: 640-740nm, NIR: 740-1300 nm, SWIR: 1300-1800 nm, and MIR: 1800-2400 nm.

Fig. 4. Changes of waveband mean reflectance in response to viewing angles at dough stage of rice growth in the first (92 days after transplanting (DAT)) and the second (96 DAT) cropping seasons of 2002. UV: 350-400 nm; V: 400-425 nm; B: 425-490 nm; G: 490-560 nm; Y: 560-585 nm; O: 585-640 nm; R: 640-740nm; NIR: 740-1300 nm; SWIR: 1300-1800 nm; and MIR: 1800-2400 nm.

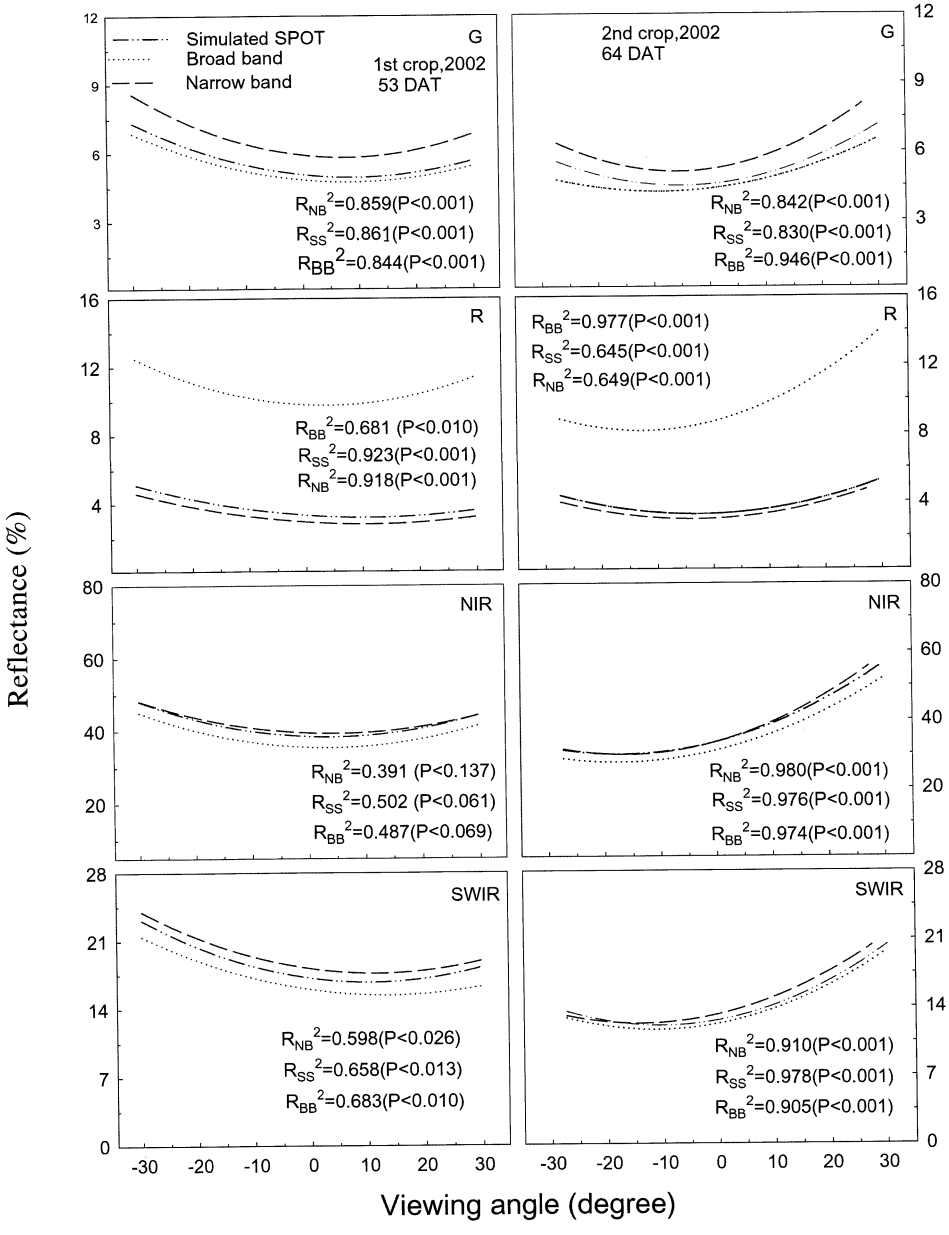


圖 5. 在 2002 年兩期稻作分蘗盛期(一期作插秧後 53 天、二期期插秧後 64 天)之特定窄波段、寬頻波段及模擬 SPOT 衛星波段之波段平均反射比隨著觀測角度之變化。

Fig. 5. Changes of waveband mean reflectance in narrow band, broad band and simulated SPOT wavebands in response to viewing angles at active tillering stage of rice growth in the first (53 days after transplanting (DAT)) and the second (64 DAT) cropping seasons of 2002. (G_{SS}: 500-590 nm, G_{BB}: 490-560 nm, G_{NB}: green light maximum; R_{SS}: 610-680 nm, R_{BB}: 640-740 nm, R_{NB}: red light minimum; NIR_{SS}: 790-890 nm, NIR_{BB}: 740-1300 nm, NIR_{NB}: near infrared maximum; $SWIR_{SS}$: 1580-1750 nm, $SWIR_{BB}$: 1300-1800 nm, $SWIR_{NB}$: short wave infrared maximum.)

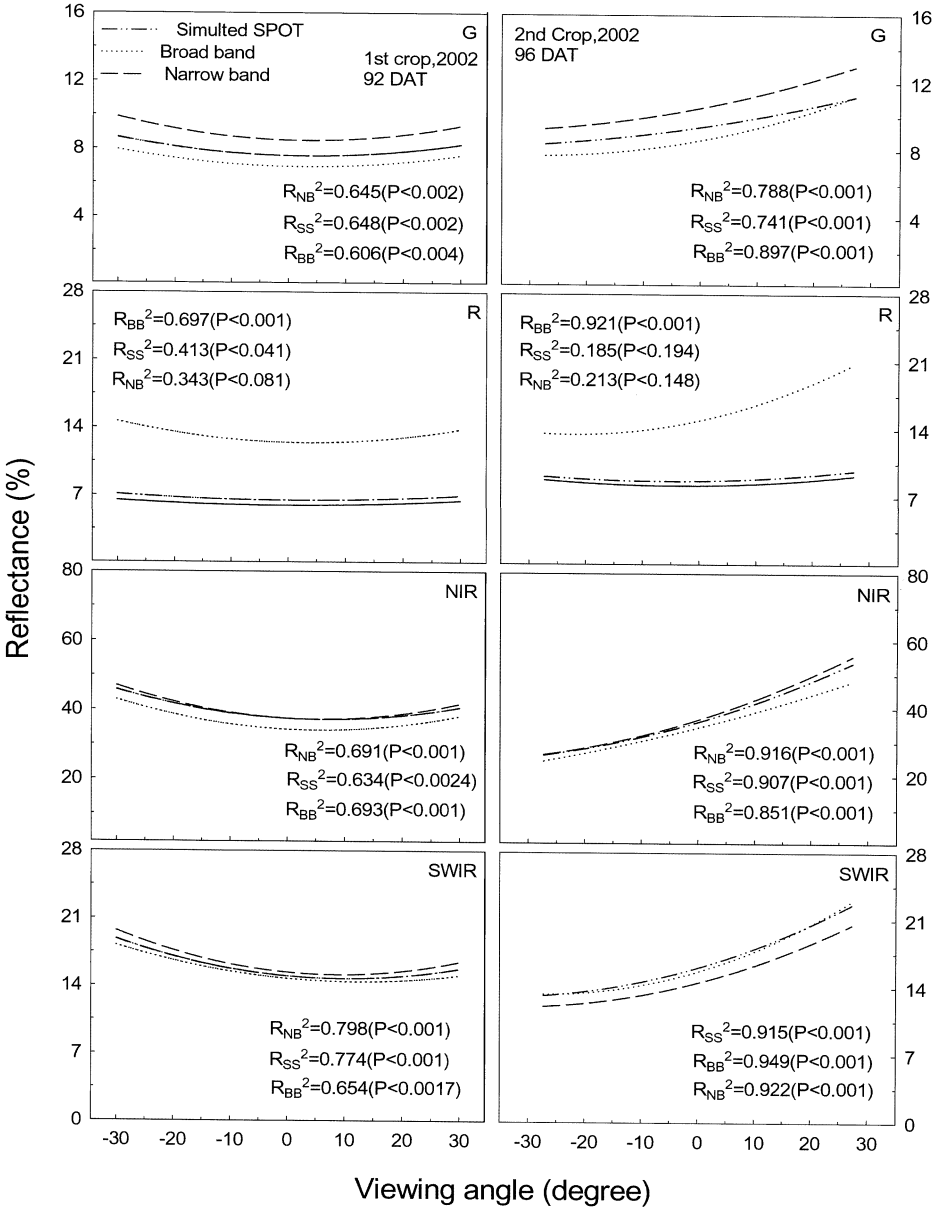


圖 6. 在 2002 年兩期稻作糊熟期(一期作插秧後 92 天、二期期插秧後 96 天)之特定窄波段、寬頻波段及模擬 SPOT 衛星波段之波段平均反射比隨著觀測角度之變化。

Fig. 6. Changes of waveband mean reflectance in narrow band, broad band and simulated SPOT wavebands in response to viewing angles at dough stage (92days after transplanting (DAT) in First Crop and 96 DAT in Second Crop) of rice growth in the first and the second cropping seasons of 2002. (G_{SS}: 500-590 nm, G_{BB}: 490-560 nm, G_{NB}: green light maximum; R_{SS}: 610-680 nm, R_{BB}: 640-740 nm, R_{NB}: red light minimum; NIR_{SS}: 790-890 nm, NIR_{BB}: 740-1300 nm, NIR_{NB}: near infrared maximum; $SWIR_{SS}$: 1580-1750 nm, $SWIR_{BB}$: 1300-1800 nm, $SWIR_{NB}$: short wave infrared maximum.)

爲了進一步瞭解在 350-2400 nm 光譜範圍內各波段受到觀測視角的影響，乃將植被反射光譜劃分爲 UV、V、B、G、Y、O、R、NIR、SWIR 及 MIR 等 10 個寬頻波段。此 10 個波段與現行國內農委會林務局所屬農林航空測量所的航測光譜影像系統可提供的 13 個波段部分類似，本研究資料將可予飛機載台所測定之地面遙測影像修正之參考。由 2002 年一、二期稻作之分蘗盛期及糊熟期在向陽及背陽視角所量測的波段平均反射比值(圖 3、圖 4)，顯示出波段平均反射比與觀測角度的關係爲二次凹型曲線，大致上反射比均隨著觀測角度的增加而升高，垂直正射角度(angle 0 °)的測值則相對處於曲線谷底，但是向陽(正值角度)與背陽(負值角度)方向得到的結果並非對稱。由於凹型曲線並非呈理想的對稱，反應了量測日當時的太陽天頂角未在水稻植被之垂直上方(即太陽位置未在植被之天頂正中央)，使得入射光源產生不對稱的雙向反射，造成了不對稱的反射比。

又發現一、二期稻作的波段平均反射比之間存在差異，顯示出植被的均勻性問題，即兩期稻作之植被存在歧異度。由於已知兩期稻作生育期間的環境差異甚大，水稻的生長與發育在期作間的表現不盡相同，產生相當的歧異度，致使未臻均勻的植被產生不同的反射光譜。而在不同觀測視角方向測得的反射比差異，反應出一、二期作的太陽方位角位於天頂的不同位置，造成向陽向及背陽向的變異。以上因素將扭曲理想的凹型曲線分佈，使得光譜儀感測器視角的比例關係形成偏歪，因此不同觀測視角測得之波段平均反射比無法反應出正確的比值，甚至使得理論最低值的垂直觀測角度的反射比不一定落於正確位置。由此可知，田間實際量測的作物植被反射光譜受到不同因素的影響，在考量針對感測器的觀測角度進行校正的同時，尚需將入射光源的天頂角與方位角、植被的生長狀態與栽培季節、乃至於大氣干擾與環境效應等一併列入校正。

Shibayama & Weigand(1985)在研究感測器觀測角度與太陽方位角對小麥族群反射比的影響時，發現植被紅光和近紅外光波段的反射比會隨著太陽方位角的升高及觀測角度的增加而上升。此結果類似於本研究的觀測視角試驗，而不同期作及生育階段的不等入射光源方向，也形成了期作間及生育期間測得反射光譜差異。Qi & Huete(1994)在乾燥的草原和灌木叢所量測的結果顯示，太陽方位角愈高，無論向陽正向或背向觀測角度的增加，皆會使得植被反射比的差異加大，亦即擴增了雙向反射比的差異。本研究進行植被光譜量測時，太陽方位角並未居於天頂正中央，反射比也有隨著觀測角度增加而上升的趨勢，而同一觀測角度測得的反射比在不同期作的同一生育期亦非一致，均忠實的反映量測當時的條件及產生的差異。

Pinter *et al.*(1990)以影像光譜儀測定農田影像時，經比較在不同遙測平台(衛星、飛機及地面)拍攝的結果，發現觀測角度的不同會影響反射比的高低。本研究基於上述做法，以近地面量測的高解析反射光譜分別計算出模擬 SPOT 衛星四個波段(G、R、NIR、SWIR)的平均反射比，與相對應的寬頻波段平均反射比及單一窄波段反射比，模擬不同觀測角度在三種遙測平台(近地面、航測、近地面)可能造成的反射比改變。兩期稻作在最大分蘗期及糊熟期測得的植被反射光譜資料(圖 5、圖 6)顯示，在此三種遙測平台獲取的兩生育期波段反射比皆爲二次凹型曲線趨勢，不同年份的表現類似。在分蘗盛期除了紅光波段之外，以窄波段的反射比值最高，其次爲模擬 SPOT 衛星波段及寬頻波段者。紅光波段的不一致，應係 SPOT 衛星波段(610-680 nm)及寬頻波段(640-740 nm)定義的紅光範圍涵蓋部分近紅外光波段所致，尤其是寬頻波段的波長區間較大，較多的近紅外光波段數使計算出的平均反射比較高。窄波段的紅光反射比值則爲單一窄波段值，位於紅光波段的波谷。此三種遙測平台在糊熟期獲取的波段反射比差異，仍以窄波段的反射比值最高，僅 SWIR(短波紅外光)波段在二期稻作表現稍有不同，此可能因糊熟期間植被形態及水分含量的快速變化而影響短波紅外光波段反射比的波動。

值得注意的是，紅光波段的反射比在不同遙測平台上顯示出的明顯差異，倘若選用的波長區間過寬而涵蓋重疊的近紅外光波段，將會使得平均反射比值偏高。如此一來，在計算包括紅光波段的植被指數時，必然造成植被指數之間的嚴重誤差，影響其與植被外觀物理徵狀的關係。再者，資料顯示窄波段的反射比與其對應的模擬 SPOT 衛星的波段平均反射比差距甚小，預料兩者所計算的植被指數應當十分接近，如同陳&楊(2002)的研究結果。因此，倘若能夠排除大氣干擾並給予適當的幾何校正，以

近地面高解析光譜建立的光譜特徵與作物生長性狀之間的光譜特徵模式，將可被衛星載台的遙測資料所利用，進行對地面農作物的生長估測與長期追蹤。另外，圖5及6的結果也顯示，不同遙測平台的光譜遙測資料均受到感測器觀測角度的影響，無論何種情境之下針對觀測角度的校正工作是不可避免的。雖然本研究的試驗設計及量測的光譜資料未如瑞士 Zurich 大學設計的測定裝置 FIGOS(field goniometer)來的精確與準確，以獲取精細的 BRDF 測定來建立標準模式(Sandmeier & Itten 1997)，卻也提供了基本的輪廓，顯示出觀測角度的影響，提醒重視包括植被在內地表形物雙向反射特性的必要。

誌　謝

本文研究承蒙行政院農業委員會農業試驗所經費(91 農科-5.1.3-農-C2(Z))支持，謹藉以表示由衷感謝。

引用文獻

陳榮坤、楊純明。2002。以近地面高解析植被光譜及模擬 SPOT 衛星寬頻光譜估測水稻生長性狀的變化。中華農業研究 51(4):1-18。

Brakke, T. W., J.A. Smith and J.M. Harnden. 1989. Bidirectional scattering of light from tree leaves. Remote Sens. Environ. 29:175-183.

Breece, H. T. and R.A. Holmes. 1971. Bidirectional scattering characteristics of healthy green soybean and corn leaves in vivo. Appl. Opt. 10(1):119-127.

Cierniewski, J. 1987. A model for soil surface roughness influence on the spectral response of bare soils in the visible and near-infrared range. Remote Sens. Environ. 23:97-115.

Colwell, J. E. 1974. Grass canopy bidirectional spectral reflectance. p.1061-1085. In Proceedings of the 9th International Symposium on the Remote Sensing of the Environment, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, USA.

Coulson, K. L., and D.W. Reyolds. 1971. The spectral reflectance of natural surfaces. J. Appl. Meteorol. 10:1285-1295.

Coulson, K. L., G.M. Bouricius and E.L. Gray. 1965. Optical reflection properties of natural surfaces. J. Geophys. Res. 70:4601-4611.

Deering, D. W. 1989. Field measurements of bidirectional reflectance. p.14-65. In: Theory and Applications of Optical Remote Sensing. (G. Asrar, Ed.). Wiley, New York.

Deering D. W., E.M. Middleton and J.R. Irons. 1992. Prairie grassland bidirectional reflectance measured by different instruments at the FIFE site. J. Geophys. Res. 97(D17):887-903.

Duchemin B. 1999. NOAA/AVHRR bidirectional reflectance: modeling and application for the monitoring of a temperate forest. Remote Sens. Environ.67:51-67.

Eaton, F. D. and I. Dirmhirn. 1979. Reflected irradiance indicators of natural surfaces and their effect on albedo. Appl. Opt. 18:994-1008.

Gemmell F. and A.J. McDonald. 2000. View zenith angle effects on the forest information content of three spectral indices. Remote Sens. Environ. 72:139-158.

Jackons, R. D. and P.J. Pinter, Jr. 1986. Spectral response of architecturally different wheat canopies. Remote Sens. Environ. 20:43-56.

Jackson, R. D., P.M. Teillet, P.N. Slater, G.. Fedosejevs, M.F. Jasinski, J.K. Aase and M. S. Moran. 1990. Bidirectional measurements of surface reflectance for view angle corrections of oblique imagery. Remote Sens. Environ. 32:189-202.

Kimes, D. S. 1983. Dynamics of directional reflectance factor distributions for vegetation canopies. Appl. Opt. 22:1364-1372.

Kimes, D. S., W.W. Newcomb, C.J. Tucker, I.S. Zonneveld, W.V. Wijngaarden, J.D. Leeuw and G. F. Epema.1985. Directional reflectance factor distributions for cover types of northern Africa. Remote Sens. Environ. 18:1-19.

Kirchner, J. A., D.S. Kimes and J.E. McMurtrey, III. 1982. Variation of directional reflectance factors with structural changes of a developing alfalfa canopy. Appl. Opt. 21:3766-3774.

Ni, W., C. E. Woodcock and D.L.B. Jupp. 1999. Variance in bi-directional reflectance over discontinuous plant canopies. Remote Sen. Environ. 69:1-15.

Qi, J., A. R. Huete, F.Cabot and A. Chehbouni. 1994. Bidirectional properties and utilization of high-resolution spectra from a semiarid watershed. Water Resour. Res. 30:1271-1279.

Pinter, P.J., Jr., R.D. Jackson and M.S. Moran. 1990. Bidirectional reflectance factors of agricultural targets: A comparison of ground-, aircraft-, and satellite-based observations. Remote Sens. Environ. 32:215-228.

Ross, J. K. 1981. The Radiation Regime and Architecture of Plant Stands, Dr. W. Junk Pubisher, The Hague, The Nether lands.

Sandmeier, S. and K.I. Itten. 1997. A physically-based model to correct atmospheric and illumination effects in optical satellite data of rugged terrain. *IEEE.* Trans Geosci. Remote Sens. 35(3):708-717.

Sandmeier, S., C. Müller, B. Hosgood and G. Andreoli. 1998. Physical mechanisms In Hyperspectral BRDF Data of Grass and Watercress. Remote Sensing of Environ. 66:222-223.

Sandmeier S. and D.W.Deering. 1999. Structure analysis and classification of boreal forest using airborne hyperspectral BRDF data form ASAS. Remote Sens.Environ. 69:281-295.

Shibayama, M. and C.L. Weigand. 1985. View azimuth and zenith, and solar angle effects on wheat canopy reflectance. Remote Sens. Environ. 18:91-103.

Solheim, I. O. Engelsen, B. Hosgood and G. Andreoli. 2000. Measurement and modeling of the spectral and directional reflection properties of lichen and moss canopies. Remote Sens. Environ. 72:78-94.

Solheim, I. and O. Engelsen. 1998. Detection of lichen covered areas in Landsat-5 TM scene by the use of bidirectional reflectance factors. p.83-86. In Proceedings. of the 27^{th} *Internationa Symposium on Remote Sensing of Environment*, Tromsø, Norway. ISRSE, NSC.

Walter-Shea, E.A., J.M. Norman and B.L.Blad. 1989. Leaf bidirectional reflectance and transmittance in corn and soybean. Remote Sens. Environ. 29:161-174.

Changes of Canopy Reflectance Spectrum and Spectral Characteristics to Viewing Angles of Spectroradiometer: A Case Study in Rice[1]

Yuh-Jyuan Lee[2] and Chwen-Ming Yang[2,3]

Summary

Lee, Y. J. and C. M. Yang. 2003. Changes of canopy reflectance spectrum and spectral characteristics to viewing angles of spectroradiometer: A case study in rice. J. Agric. Res. China 52:297-310.

Field experiments were conducted in the experimental farm of Taiwan Agricultural Research Institute at Wufeng, Taiwan to study changes of canopy reflectance spectrum and spectral characteristics to viewing angles of spectroradiometer for rice plants grown in the first and the second cropping seasons of 2002. By analysis of the ground-based remotely sensed hyperspectral reflectance data, it was found that curves of reflectance spectrum were affected by the viewing angles in both maximum tillering and dough stages in both crops. In general, reflectance was lower at nadir viewing and was increased with the increasing viewing angles. When further divided the measured spectral domain (350-2500 nm) into 10 broad bands, i.e., UV(350-400 nm), V(400-425 nm), B(425-490 nm), G(490-560 nm), Y(560-585 nm), O(585-640 nm), R(640-740nm), NIR(740-1300 nm), SWIR(1300-1800 nm), and MIR(1800-2400 nm), it was shown a quadratic function for the relationships between waveband mean reflectance and viewing angles. Again, generally reflectance was elevated with the increase of viewing angle, either face to or back to the sun. By calculating the simulated wavebands(G, R, NIR and SWIR)mean reflectance of SPOT satellite and comparing to the corresponded broad-band and narrow-band values, it indicated that usually reflectances of narrow bands were greater than values of SPOT and broad bands and were all exhibited a curvilinear trend to the viewing angles.

Key words : *Oryza sativa* L., Solar zenith angle, Viewing zenith angle, Narrow band, Broad band.

---

1. Contribution No.2171 from Agricultural Research Institute, Comncil of Agriculture. Accepted : September 29, 2003.

2. Research assistant and senior agronomist/research fellow, Agronomy Division, ARI, Wufeng, Taichung, Taiwan , ROC.

3. Corresponding author, e-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw ; Fax: (04)23396057.