

1 利用植被光譜特徵辨識水稻遭受 瘤野螟及稻熱病之危害

楊純明¹、鄭清煥²、張義璋³、余志儒⁴

¹ 行政院農業委員會農業試驗所農藝組

² 行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所植物保護組

³ 行政院農業委員會農業試驗所植物病理組

⁴ 行政院農業委員會農業試驗所應用動物組

E-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw

摘要	-----	2
壹、前言	-----	3
貳、稻熱病及瘤野螟	-----	4
參、光譜遙測	-----	4
肆、方法簡述	-----	5
伍、植被光譜特徵辨識水稻遭受瘤野螟及稻熱病之危害	-	7
陸、結語	-----	13
柒、引用文獻	-----	13

1 利用植被光譜特徵辨識水稻遭受 瘤野螟及稻熱病之危害

楊純明¹、鄭清煥²、張義璋³、余志儒⁴

¹行政院農業委員會農業試驗所農藝組

²行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所植物保護組

³行政院農業委員會農業試驗所植物病理組

⁴行政院農業委員會農業試驗所應用動物組

E-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw

摘 要

本文研究旨在利用光譜遙測技術偵測近地面水稻植被反射光譜，以篩檢與病蟲害發生有關之光譜特徵，並試以進一步利用統計方法建立光譜特徵與病蟲害感染等級之關係，俾未來應用於水稻精準農業體系之病蟲害管理用途。本文收集遭受不等瘤野螟及稻熱病感染等級之水稻(*Oryza sativa* L. cv. Tainung 67)植被光譜(350-2500 nm)，其中感染瘤野螟(*Cnaphalocrosis medinalis* Guenee)之植被光譜偵測於穀粒充實初期，感染稻熱病(*Pyricularia oryzae* Cav.)之光譜則記錄於最大分蘖期。近地面光譜遙測乃以田間可攜式高解析輻射光譜分(層)析儀(spectroradiometer, GER-2600, Geophysical & Environmental Research Corp., Millbrook, NY, USA)為之，瘤野螟感染光譜計量測二天，稻熱病感染光譜計量測三天，皆於近午時刻(上午十時三十分至下午一時三十分之間)進行。瘤野螟之感染等級係依照受感染葉片數多寡區分為0(健康株)、1、3、5、7及9等六級；稻熱病之感染等級則視受感染葉片之面積百分比區分，由0%(健康株)至25%不等，計有八等級。根據光譜各窄波段反射比與感染等級之相關強度分析(correlation intensity analysis)結果發現，各窄波段之反射比與感染等級之相關性不一，最大相關係數在感染葉稻熱病光譜出現在1436 nm位置($r=0.982^{**}$)，在感染瘤野螟光譜則落於2327 nm波長 ($r=0.946^{**}$)。在光譜指數調查方面，發現RED/GREEN ratio(紅光波段谷底反射比與綠光波段波峰反射比之比值)、NIR (近紅外光波段波峰反射比)、RED、紅光臨界斜率(red edge slope)及紅光臨界中間值

波長(red edge mid point)等五項,均與葉稻熱病感染等級之間呈現顯著相關;而標準差植被指數(normalized difference vegetation index, NDVI)、RED/NIR ratio及RED/GREEN ratio等三項、則與瘤野螟感染等級相關顯著。又若將植被光譜三處特定窄波段GREEN、RED及NIR納入多變量(元)線性回歸分析(multiple linear regression (MLR) analysis),在葉稻熱病部分發現所構建之三元回歸模式 $Y=-9.391+6.265RED+0.340NIR-3.381GREEN$ 具有高達0.929之決定係數(determining factor or coefficient of determination, R^2)($P<0.01$)。在感染瘤野螟之光譜,包括此三特定窄波段之MLR分析,則最佳二元回歸模式 $Y=-3.742-3.742RED+8.616GREEN$ ($R^2=0.963$, $P<0.01$)已能解釋高達96%以上變異,增加NIR變數並無明顯成效。若由光譜範圍選取多個窄波段進行多變量(元)線性回歸分析,從葉稻熱病試驗之植被光譜選取8條窄波段之最佳三元回歸模式為 $Y=-21.401+1.162R_{620\text{ nm}}+4.855R_{1436\text{ nm}}-3.914R_{2198\text{ nm}}$ ($R^2=0.980$, $P<0.001$),由感染瘤野螟光譜選取6條窄波段之最佳二元回歸模式為 $Y=-8.749-2.336R_{550\text{ nm}}+5.099R_{691\text{ nm}}$ ($R^2=0.989$, $P<0.002$),其中Y為感染等級, $R_{i\text{ nm}}$ 則為特定i nm窄波段之反射比。

關鍵詞：水稻、稻熱病(*Pyricularia oryzae* Cav.)、瘤野螟(*Cnaphalocrosis medinalis*)、感染百分比、感染等級、光譜特徵、光譜指數、多變量(元)直線回歸分析。

壹、前言

早期辨識及感染程度正確等級化之能力和效率,係農作物病蟲害評估與管理作業關鍵的一環,在精準農業(耕)制度中扮演重要角色。成功的農業生產系統需要充分的營養元素供給,亦需要搭配予有效的病蟲害管理。欲達到此一目的,必須要採行值得信賴且準確可行的方法,才能精準的偵測農田病蟲害,掌握農作物的生長狀態。遙測技術(remote sensing techniques)具有快速、非破壞、大量及大面積觀(偵)測被測標的物及週遭環境的特點,能夠有效率的獲得農田及農作物生育的狀態,因此目前已被廣泛利用於包括農業生產系統在

內的許多產業日常運轉之中,當然也適用於精準農業體系之監測用途(Bauer, 1975; Bausch *et al.*, 1994; Shibayama and Akiyama, 1991; Walburg *et al.*, 1982; Yang and Cheng, 2001)。取自遙測之農田及農作物資訊,可以經由製圖及地理資訊軟體等工具描繪出農田及農作物之生物物理特性(biophysical attributes)空間變異分佈,提供農場經營者標示遭受病蟲害感染之特定地區(點)及其危害程度。再依照其病蟲原種類,選用適當的農藥或生物性控制寄生源進行適地、適時、適法、適量的處理,達到變異率精準管理的目的(標)。

如此,針對農田特定地區(點)的狀況(態)施予特定處理的農業經營管理方法與

農耕制度，即稱為精準農業(Precision Agriculture, PA)，或稱精準農耕(Precision Farming, PF)、處方式農耕(Prescription Farming)、特定地點經營管理系統(Site-specific Management System)及變異率應用技術(Variable-rate Application Technology)等(林及楊，2000)。精準農業之特定地點經營管理方式，將有助於降低資材(源)投入，而減少環境污染與生態破壞，並獲得穩定生產品質與產量之回饋。

貳、稻熱病及瘤野螟

關於水稻之稻熱病記載，在中國和日本均可遠溯數百年，在西元1637年的中國古籍(Ou, 1985)中有"水稻熱病(rice fever disease)"的紀錄，日本亦於西元1704年的書冊中發現有疑似稻熱病的事蹟(Goto, 1955)。由於其廣適應力及普遍分佈，稻熱病被認為係水稻的主要病害之一，近年來在大面積栽培水稻的農業地區均可發現其蹤跡，其致病之病原菌學名為*Pyricularia oryzae* Cavara，可造成稻株葉片、莖節及不同部位之穗與穀粒發生如斑點(spots)及損傷(lesions)等病徵(Ou, 1985)；典型的病徵如葉片上出現的褐色或灰色斑點。分蘖期間的稻苗或稻株，在嚴重感染下可能致死，發生於穀粒充實期之水稻，在高度危害下則大幅減損產量。文獻上有許多報告顯示，在嚴重感染葉稻熱病及穗稻熱病的情況下，將導致水稻顯著減產(Goto, 1965; Padmanabhan, 1965; Katsube and Koshimizu, 1970; Awoderu and Esuruoso, 1974; Tien and Huang, 1975; Rodas and Rosero, 1975)。

瘤野螟(*Cnaphalocrosis medinalis*

Guenee (Lep., Pyralidae))，或稱水稻縱捲葉蟲(rice leaffolder or rice leafroller) (鄭，1987; Miyahara, 1981; Hiro, 1982)，乃臺灣地區主要的水稻蟲害之一(臺灣省水稻病蟲害發生預測，1985)，並廣見於亞洲各水稻栽培區(Hirao, 1982)。當感染此一蟲原時，初期呈現葉片捲縮現象，隨後受感染葉片出現白色條斑。發生情況嚴重時，可能影響產量，因此農民常噴施藥劑進行化學防治以避免減產。

瞭解農田之病蟲害發生分佈及危害等級，方能據以採行必要之因應措施與策略，及時防治排除災害或避免病蟲害之擴大。對於廣大栽植面積之農田，目測檢視雖然簡便易行，然而終究有其區域大小限制，準確性也可能未盡理想，難以掌握精確景況。因此，利用光譜遙測從事病蟲害之偵(檢)測有其需要與必要，尤其在遙測技術相關軟硬體日新月異的現代，大幅改進的光譜解析力、空間解析度及分析軟體，更使得估測與追蹤病蟲害發生與災情進展成為可行。預料病蟲害造成之農作物植體外觀色澤及內、外在結構的變化，生理生化機制的調整，將會改變植被光譜，讓光譜變化的辨識與篩檢明顯與具體，充分反映植被外觀形體之高低起伏。

參、光譜遙測

眾所周知，水稻是臺灣地區栽植面積最廣的糧食作物，其生產的重要性兼具生活生態及國防民生價值，在農業政策上佔有獨特意義。隨著社會和環境的變遷、人事的凋零、以及農政機關的整併等因素，昔日行之有年的小區病蟲害預測員制度已不合時宜，且無以為繼，不再適用漸趨集

團化與專業區化的大面積作法。光譜遙測正逢其時，在位居引領農耕制度轉型的臨界契機中，成爲具有應用潛力的生產工具之一。在病蟲害的經營管理上，及時提供病蟲害發生及危害程度之有用資訊，使得農民有機會獲得警訊，標示出特定位置進行防治。

光譜遙測可於不同空間載(平)台操作，從近地面、空中、直至外太空不等，視對空間觀測的需求來選擇適用的作業載台。現行高解析輻射光譜分(層)析儀可以依照需求放置於各種載台上，如近地面的三腳架、高空作業車、固定或活動高架等，中低尺度的熱氣球、直昇機、固定翼飛機等，高尺度與外太空的衛星、太空站、太空梭等，掃描不等大小區域的被測標的物。適用於不同載台的光譜儀之設計、解析度及操作系統有別，各如其分的提供影像、光譜及其他資料(訊)。距離地面愈遠的作業載台，除了光譜儀本身的光譜解析力之外，尚須考量空間解析度、大氣干擾、地理幾何校正及太陽視角等不同的問題，完整作業系統十分的複雜。相較之下，適用於近地面的田間可攜式高解析輻射光譜分析儀則較爲簡單，可以視需求選擇掃描波段範圍及波段數目與解析度，架設於較簡單的載台及使用較單純的系統操作。

近地面光譜遙測受到外在各種環境因子的干擾較小，因此能夠提供所謂"地真"資料，用以驗證及校正其他空間載台獲得之遙測資訊。利用地真資料建立之光譜模式，也常作爲其他空間載台遙測資料建立之光譜模式的對照，以獲得準確而值得信賴的作業模式。近年來已有許多學者專家利用田間可攜式高解析輻射光譜分析儀在

實驗室及田間進行試驗研究，擷取特定的窄波段資訊以觀察農作物植被變化，作爲與農業生產有關之多元用途(Leamer *et al.*, 1973; Su and Yang, 1999; Yang and Su, 2000; Yang, 2001; Yang and Cheng, 2001)。窄波段光譜具有比傳統寬波段光譜更豐富的光譜資訊(Blackburn 1998; Curran *et al.*, 1990; Elvidge *et al.*, 1993; Ferns *et al.*, 1984; Shibayama and Akiyama, 1991; Thenkabail *et al.*, 2000)，讓吾人更有機會篩檢出與預期生物物理性狀相關之光譜特徵，也讓精準農業體系之監測管理項目變成可行。本文研究內容，綜合作者等人近年研究結果，即以高解析輻射光譜分析儀在近地面收集水稻植被光譜，以篩檢出適用於估測水稻葉稻熱病及瘤野螟之植被光譜特徵及光譜指數，同時建立光譜特徵模式，以提高估測病蟲害危害等級之準確度。

肆、方法簡述

本文有關研究係於行政院農業委員會農業試驗所試驗農場(24°45'N, 120°54'E, 海拔高度60 m)進行水稻田間栽培，感染葉稻熱病之水稻植被光譜係於2001年一期稻作量測，感染瘤野螟之植被光譜則於2000年之二期稻作收集。根據文獻(如"臺灣省水稻病蟲害發生預測，1985")得知，一般言臺灣地區的氣象環境是造成病蟲害發生與蔓延主因之一，一期稻作期間之氣象環境適於稻熱病，二期稻作期間則適於瘤野螟，故分別選擇在不同期作偵測水稻植被光譜。

本研究之水稻栽植密度約220,000 hill ha⁻¹，生育期間不施用農藥以提供病蟲害發生之田間環境。在2001年一期作之最高

分蘖期偵測感染葉稻熱病之植被反射光譜時，田邊目測之植被覆蓋率超過75%，而於2000年二期作之穀粒充實初期量測感染瘤野螟之植被光譜時，田邊目測之植被覆蓋率近於100%。經比較背景光譜時，發現大部分光譜範圍之反射比不受干擾。感染稻熱病之葉片傷害百分比以目測決定，

感染百分比從0%(健康稻株)至25%不等(表1A)，計有八級；目測感染瘤野螟之葉片數目之等級分類如表1B，自等級0(健康稻株)至等級9，計有六級。相同等級之光譜資料合併分析，取各等級之平均值光譜進行統計分析。

表1A. 行政院農委會農業試驗所試驗農場於2001年一期稻作最高分蘖期間標定之感染葉稻熱病位置數量及其感染百分比。(摘自Yang and Chang, 2002)

Table 1. The percentages of blast infected areas recognized visually in the identified spots in the experimental plot at Taiwan Agricultural Research Institute on April 19, April 23, and April 24, 2001. (Adapted from Yang and Chang, 2000)

Percent infection (%)	No. of identified spots
0 (healthy check)	6
3	6
5	15
7	6
10	24
15	30
20	10
25	11

表1B. 行政院農委會農業試驗所試驗農場於2000年二期稻作穀粒充實初期標定之感染瘤野螟等級分類。(摘自Yang *et al.*, 2002)

Table 1B. Classification of levels of rice canopy infested by leaf folder.(Adapted from Yang *et al.*, 2002)

Level	Percentage of leaves infested (%)
0 (healthy check)	0
1	1-10
3	11-25
5	26-35
7	36-50
9	>50

本文研究使用之田間攜帶式高解析輻射光譜分析儀 (model GER-2600, Geophysical & Environmental Research Corp., Millbrook, NY, USA) 具有10度視角 (FOV) 掃描鏡頭，連接手提電腦操作 (GER 2600 User Manual, 1996)。光譜儀掃描範圍介於350-2500 nm，計有640個窄波段 (其中有效窄波段計有537個)，採矩陣式排列，其中512個矽晶感測器量測330-1050 nm範圍 (波距1.5 nm)，128個PbS感測器偵測1050-2500 nm範圍 (解析度11.5 nm)。為應用上方便，將窄波段之中心波長以四捨五入取至整數 (如550.22 nm 成爲550 nm)，並將光輻射 (radiance) 以已知光譜性質之標準白板 ('Spectralon', Labsphere, Inc., North Sutton, NH, USA) 計算反射比光譜。

水稻植被光譜量測係將光譜儀鏡頭垂直置於植被上方約1.8 m處，獲取直徑約0.3 m之圓形植被區域反射光輻射。每筆測值連續掃描4次，取平均值。每一病蟲害感測位置量測六次，取平均值爲該位置代表值。相同感染等級之光譜測值再予計算平均值，得該等級平均值光譜，以之進行統計分析。相關分析及多變量 (元) 直線回歸分析 (multiple linear regression (MLR) analysis) 皆採用 SAS 系統軟體 (Statistical Analysis System (SAS) version 8.1) (SAS Institute, 1998)。MLR 分析分別選出最佳一元、二元及三元直線複回歸模式， $Y_1 = a + a_1 R_1$ ， $Y_2 = a + a_1 R_1 + a_2 R_2$ ，and $Y_3 = a + a_1 R_1 + a_2 R_2 + a_3 R_3$ ，其中依變數 (dependent variable) Y_i 爲感染百分比 (葉稻熱病) 或感染等級 (瘤野螟)，自變數 (independent variable) R_i 爲篩檢出特定窄波段之反射比。又自植被光譜中選取三窄波段光譜特徵 GREEN (綠光波段之峰值)、

RED (紅光波段之谷值)、及 NIR (近紅外光波段之峰值)，並計算光譜指數 NDVI ($NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$)，標準差植被指數)、RED/GREEN ratio、RED/NIR ratio、GREEN/NIR ratio，估算紅光臨界中間值窄波段 (red edge mid point) 及紅光臨界斜率 (red edge slope)。紅光臨界係波長範圍介於紅光波谷及近紅外光波峰之間。

伍、植被光譜特徵辨識水稻遭受瘤野螟及稻熱病之危害

水稻臺農67號高解析植被反射比光譜 (350-2500 nm) 及感染不同等級葉稻熱病與瘤野螟之植被反射比光譜繪於圖1。由光譜之變化顯示，不同窄波段之反射比高低不一，主要分別受到植體色素、水分含量及構造之影響，近似於一般綠色植物之植被光譜 (楊及蘇，1997；Meyers, 1983；Su and Yang, 1999；Yang and Ko, 1997)。一般言之，在紫外光及可見光波段之反射比較低，而紅外光波段之反射比較高。其中可見光波段之反射比變動係受到植體光合色素 (photosynthetically active pigments) 之影響 (Fourty *et al.*, 1996；Gausman, 1982；Maas and Dunlao, 1989；Salisbury and Ross, 1969；Water-Shea and Norman, 1991)，近紅外光波段 (the near infrared) 之起伏受到植體構造及外部幾何結構之控制 (Asner, 1998；Gates *et al.*, 1965；Water-Shea and Norman, 1991；Woolley, 1971)，短波紅外光與中紅外光波段之變化則由水分含量及植體構造所決定 (Barrett and Curtis, 1992；Woolley, 1971；Fourty *et al.*, 1996)。由圖1顯示，不等葉稻熱病感染等級之植被光譜曲線類

似，但是反射比之高低則有明顯差別，此一現象雷同於不等瘡野螟感染等級之植被光譜。不同光譜波段之反射比差異及病蟲害感染等級，將綜合左右水稻植被光譜曲線之變化及光譜特徵之表現，同時將改變光譜特徵與感染等級之關係，本文乃持續

進一步分析。

將光譜範圍之各窄波段反射比與感染等級進行相關強度分析，即可瞭解各窄波段反射比與感染等級之間是否具有密切關係，進而篩檢出高相關之窄波段位置。根據繪於圖2之相關強度分析結果，發現水

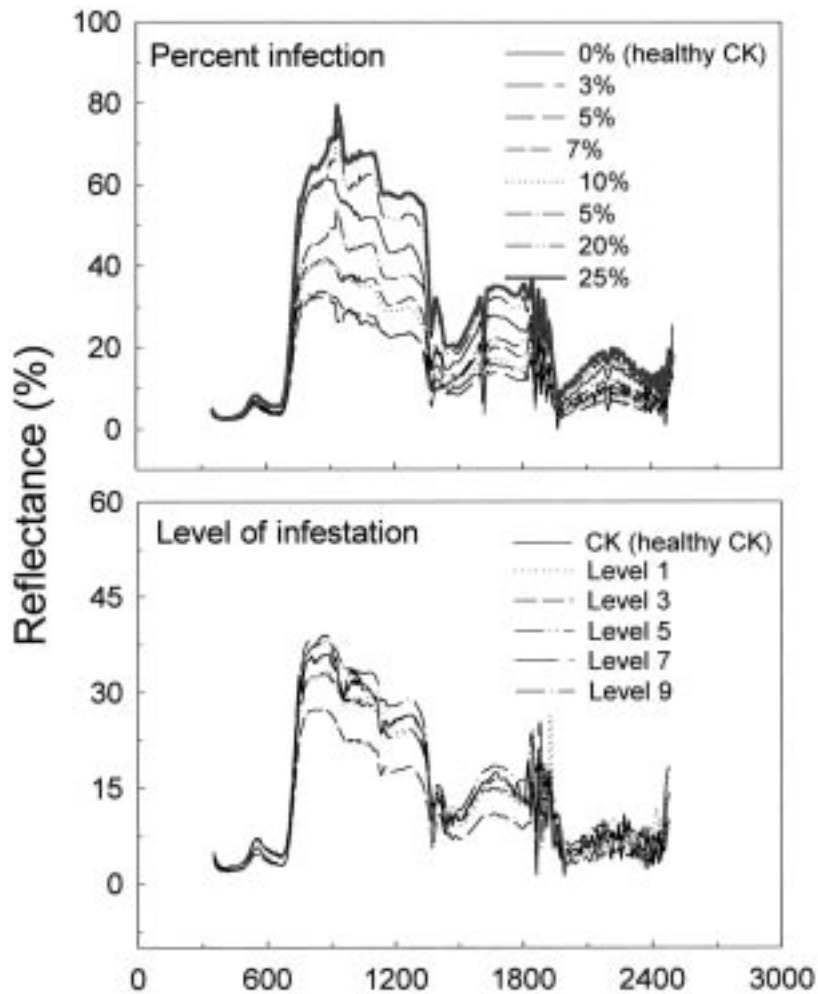


Fig. 1. Mean reflectance spectra (350-2500 nm) of hyperspectral resolution from rice (*Oryza sativa* L. cv. Tainung 67) canopies infested with various percentages of leaf blast (*Pyricularia oryzae* Cav.) (upper) and different levels of leafhopper (*Cnaphalocrosis medinalis* Guenee) (lower). (Adapted from Yang and Chang, 2002; Yang *et al.*, 2002)

圖1. 水稻(*Oryza sativa* L. cv. Tainung 67)植被感染不同葉稻熱病(*Pyricularia oryzae* Cav.)(上圖)百分比及瘤野螟(*Cnaphalocrosis medinalis* Guenee)(下圖)等級之高解析平均值光譜(350-2500 nm)。(摘自Yang and Chang, 2002; Yang *et al.*, 2002)

稻植被光譜之反射比與葉稻熱病感染等級概為正相關，與瘤野螟感染等級亦多為正相關。葉稻熱病部分，其相關性在紫外光波段(350-400 nm)及紅外光波段(740-2500 nm)高於可見光波段(400-740 nm)。最大相關係數(correlation coefficient, r)位於1436

nm窄波段， $r=0.982^{**}$ ，且位於此窄波段之反射比與感染等級之直線相關的決定係數(coefficient of determination, R^2)高達0.964。瘤野螟部分，最大相關係數座落於可見光波段之691 nm窄波段($r=0.952^{**}$)，靠近紅光波段之葉綠素a最大吸收值(本項

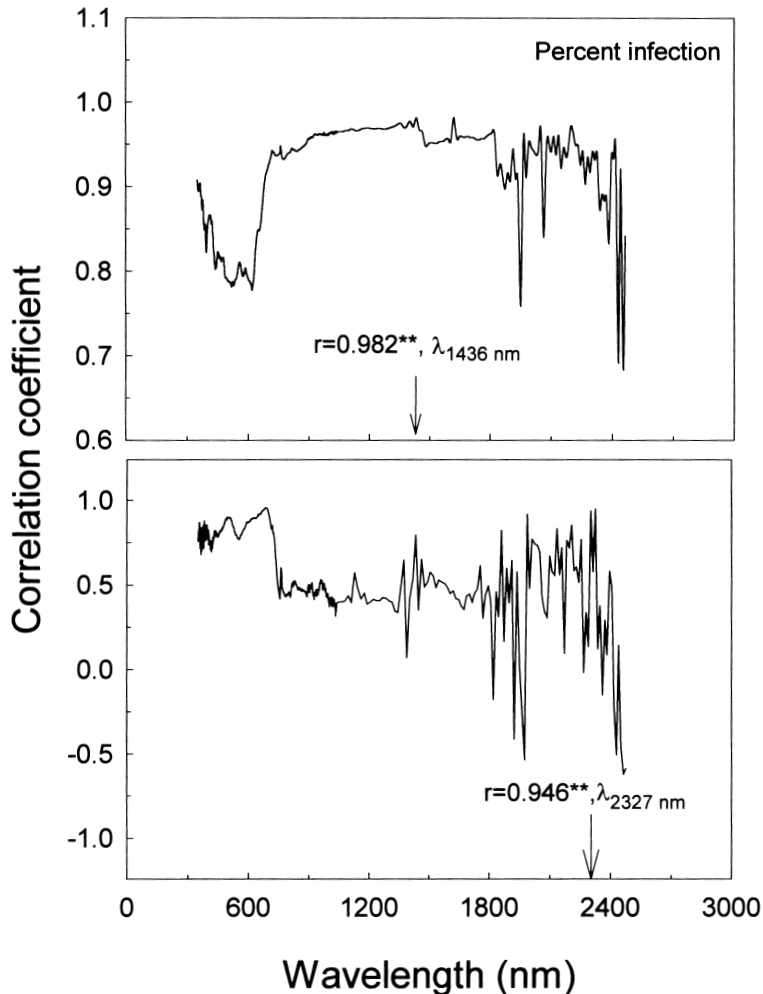


Fig. 2. The correlation intensity analysis between the single narrow band reflectance (350-2500 nm) and percent infection of blast disease (upper) and levels of infestation of leaffolder (lower) for rice reflectance spectrum. (Adapted from Yang and Chang, 2002; Yang et al., 2002)

圖2. 水稻植被高解析平均值光譜(350-2500 nm)之反射比與感染葉稻熱病(上圖)及瘤野螟(下圖)等級之相關強度分析結果。(摘自Yang and Chang, 2002; Yang et al., 2002)

試驗為664 nm)位置。不同感染等級於691 nm窄波段之反射比分佈適用於直線函數，其決定係數高達0.906 ($P < 0.01$)，二次函數並未明顯提高 R^2 。試驗結果顯示，水稻植被光譜之許多窄波段反射比與此二病蟲害之間具有顯著相關，針對上述特定單一窄波段之反射比相關性已可分別解釋此二病蟲害90%以上變異率，提供利用於發展簡易測計之潛力。

在水稻植被光譜曲線上，位於綠光波段峰值(GREEN)、紅光波段谷值(RED)及近紅外光波段峰值(NIR)之窄波段係三個主要曲線轉折點，具有生理生化及生物物理意義。其中GREEN及RED窄波段分別為葉綠素之最小與最大吸收波段位置，

NIR波段則為關係植被反射與穿透性質之近紅外光波段之最大反射位置。此三個窄波段隨著水稻株齡而異，並受到外界因子之影響而改變，形成動態調整。研究發現，RED及NIR之高低與葉稻熱病等級呈現顯著正相關，但是個別窄波段之反射比並未與瘤野螟感染等級顯著相關(資料未列出)。由於Wanjura and Hatfield (1987)指出，包括多個窄波段反射比之光譜特徵模式通常能夠較敏感的反應出植物生物物理特性之變化。本研究於是採用多變量(元)直線回歸分析方法，試以篩檢出多個窄波段組成多變量(元)直線回歸模式，欲提高估測病蟲害等級之準確度。由分析結果獲得估測葉稻熱病之最佳三元直線回歸模式

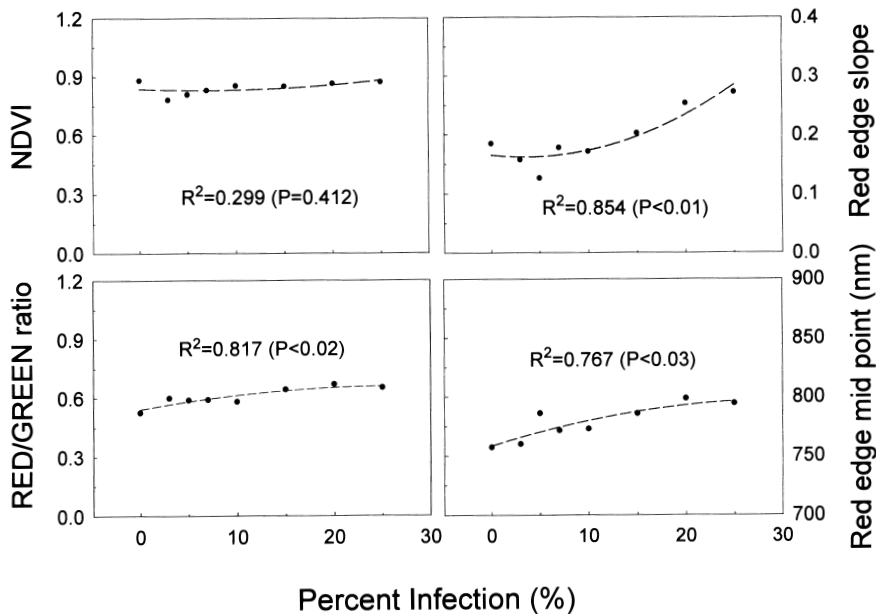


Fig. 3. Correlations of spectral indices NDVI, RED/GREEN ratio, red edge slope, and red edge mid point calculated from rice reflectance spectra to percent infection of blast disease. (Adapted from Yang and Chang, 2002)

圖3. 光譜指數NDVI、RED/GREEN ratio、紅外臨界斜率(red edge slope)及紅光臨界中間值(red edge mid point)與葉稻熱病感染百分比之相關。(摘自Yang and Chang, 2002)

$Y = -9.391 + 6.265RED + 0.340NIR - 3.381GREEN$ ($R^2 = 0.929$, $P < 0.01$), 以及估測瘤野螟之最佳二元直線回歸模式 $Y = -3.742 - 3.742RED + 8.616GREEN$ ($R^2 = 0.963$, $P < 0.01$)。多元直線回歸模式提供了利用多個光譜特徵增進對於植物之生物物理性狀變化估測之可能途徑, 在本文之研究上, 綜合GREEN、RED及NIR等三個窄波段之三元直線回歸模式並未提高對於葉稻熱病等級之估測準確度, 但是有助增進對於瘤野螟危害程度之估測。

Thenkabail *et al.*, (2000)之研究指出, 紅光波段之最大吸收值位置最常被利用於組構植被指數, 亦最適用於用來探討各種生物物理特性之相關性, 且在文獻上的研究案例不計其數。Elvidge (1990)和Idso *et al.* (1980)也認為此一窄波段用於探討植物之性狀變化甚為合理, 因為該光譜位置反映出光合活性高低, 可以印證植體的生長表現及外在因子的效應。Penuelas *et al.* (1993)和Thenkabail *et al.* (2000)研究報告則建議, 近紅外光波段之波峰或近紅外光波段之中間窄波段亦為可能的候選光譜特徵, 其反射比的改變代表了植體構造的變化, 常受到環境干擾。本文研究顯示可見光波段之反射比改變, 確實隱含病蟲害對水稻植被光譜影響的資訊, 感染葉稻熱病及瘤野螟將造成綠光波峰及紅光波谷之反射比異常, 而近紅外光波段峰值具有輔助解釋之正面角色。文獻上關於利用多元直線複回歸分析農作物生物物理特性變化之研究甚多(Lawrence and Ripple, 1998; Shibayama and Akiyama, 1991; Thenkabail *et al.*, 2000; Yang and Chang, 2002; Yang *et al.*, 2002), 多能據以建立有效估測模式, 獲得令人滿意的估測結果。

本文研究為繼續探討感染病蟲害之水稻植被光譜特徵, 乃進行全光譜範圍之多元直線複回歸分析, 發現若干個與病蟲害關係密切之波段。為避免如Blackburn (1998)和Thenkabail *et al.* (2000)所述之 "over fitting (collinear)" 現象, 特於感染葉稻熱病之水稻植被光譜挑選不同位置之八個窄波段, 而於感染瘤野螟之水稻植被光譜挑選六個不同窄波段, 再進行多元直線複回歸分析。適於葉稻熱病及瘤野螟估測之最佳三元直線回歸模式分別為 $Y = -21.401 + 1.162R_{620\text{ nm}} + 4.855R_{1436\text{ nm}} - 3.914R_{2198\text{ nm}}$ ($R^2 = 0.980$, $P < 0.001$), $Y = -9.295 - 3.063R_{550\text{ nm}} + 6.167R_{691\text{ nm}} + 0.108R_{1863\text{ nm}}$ ($R^2 = 0.995$, $P < 0.007$)。顯然的, 可以有不同的窄波段組合來估測水稻之葉稻熱病及瘤野螟的發生情形, 關鍵在於使用人採行的標準, 也就是完全依照波段選擇及準確度需求來訂定回歸模式, 經常這是主觀的選擇與決定。事實上, 針對瘤野螟感染等級估測之最佳二元直線回歸模式之決定係數已高達0.989 ($P < 0.002$), 方程式為 $Y = -8.749 - 2.336R_{550\text{ nm}} + 5.099R_{691\text{ nm}}$ 。Thenkabail *et al.*, (2000)曾建立多達四個窄波段組合之所謂四元最佳窄波段反射比模式 (4-variable optimum multiple narrow band reflectance (OMNBR) models) 來估測多種農作物之生物物理性狀變化, 雖然窄波段取自光譜範圍的不同波段, 結果仍令人滿意。

有關植被指數(vegetation index, 或稱光譜指數, spectral index)在生長、產量或其他生物物理性狀估測上的研究普遍見於文獻(Bauer, 1975; Su and Yang, 1999; Tucker, 1979; Wiegand *et al.*, 1979, 1986; Yang and Ko, 1997; Yang and Su, 2000;

Yang, 2001; Yang and Cheng, 2001), 本文研究乃探討多個光譜指數與水稻病蟲害等級之關係。如圖3所示, 除了NDVI之外, RED/GREEN ratio、紅外臨界斜率(red edge slope)及紅光臨界中間值(red edge mid point)均與葉稻熱病感染百分比呈正相關($R^2 > 0.7$), 適用於曲線函數表示其趨勢變化。又如圖4所示, 光譜指數RED/GREEN ratio、RED/NIR ratio及NDVI皆對感染瘤野螟有敏感反應, 適用於曲線函數($R^2 > 0.88$, $P < 0.05$)。這些指數各適用於對葉稻熱病或瘤野螟感染之估測, 然而曲線函數之特性, 使得其在曲線的一端有較不敏

感的反應。Kobayashi *et al.* (2001)在研究穗稻熱病時, 亦發現許多光譜指數在糊熟期(dough stage)與病徵有顯著相關。Yang and Cheng (2001)則顯示NDVI可利用於估測水稻褐飛虱感染等級。

陸、結語

由本項研究結果, 證實水稻植被高解析光譜確實擁有非常豐富的"光譜秘密", 經過適當解讀分析之後, 將可提供許多有用的資訊。感染病蟲害之植被光譜充分的反映地上部植體顏色與光澤的變化, 也呈

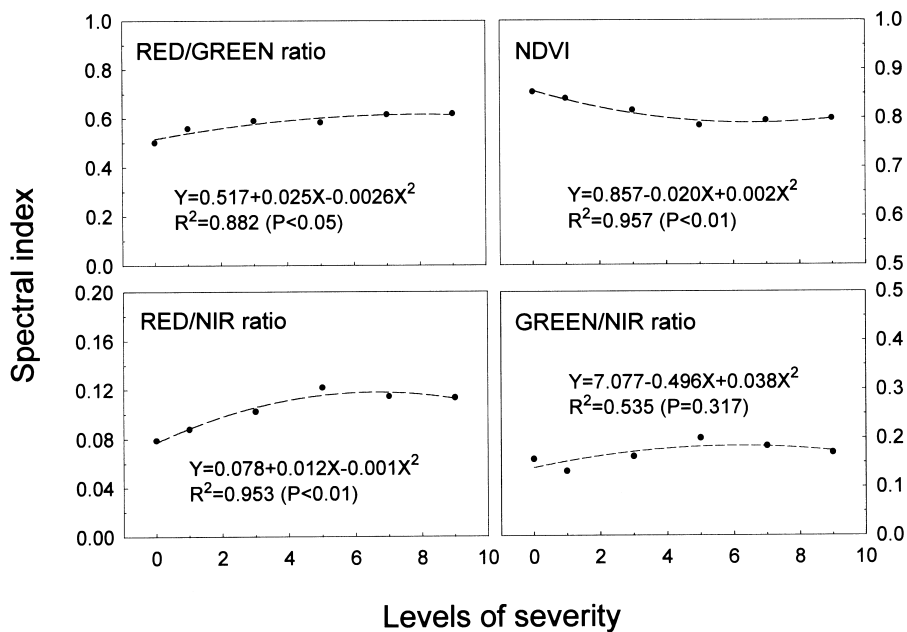


Fig. 4. Changes of spectral indices NDVI, RED/GREEN ratio, RED/NIR ratio, and GREEN/NIR ratio to levels of severity in rice canopy infested by leaffolder. (Adapted from Yang *et al.*, 2002)

圖4. 光譜指數NDVI、RED/GREEN ratio、RED/NIR ratio及GREEN/NIR ratio 與瘤野螟感染等級之相關。(摘自Yang *et al.*, 2002)

現個別植體及族群構造上的差異，使得光譜出現病蟲害引起的特徵。藉由高解析光譜之窄波段在質與量上的細緻改變，吾人可以辨識與區分這些獨特的光譜特徵，找出光譜特徵與病蟲害造成病徵之生物物理徵狀波動的關係。

研究也顯示，綜合數個光譜特徵之光譜指數及多元直線回歸分析技術，能夠建立估測病蟲害等級之光譜特徵模式。此類指數及模式，常可增進估測準確度，亦提供判讀病蟲害危害程度之另一分析途徑，發(挖)掘出更多具有應用潛力的光譜資訊。

然而，本文也必須客觀的指出利用光譜遙測資料的四大要點，提供識者卓參，避免急就章下失去應用價值與意義：(1)具備充分的知識與成熟的技術，研究人員應當瞭解農作物生育特性及採用的光譜技術，才能規劃符合邏輯的試驗，取得合理而正確的作物及遙測資料。(2)獲得正確的植被光譜，偵測作物植被光譜應該排除儀器設備、環境與人為干擾，考量農田及作物之時間和空間變異，以得到具有代表性的植被光譜。(3)完整而詳細的分析，經過前述適當的程序及方法取得的遙測資料，尚需要經過一連串的統計分析作業，並結合農作物與遙測知識背景，方能解開光譜秘密找到所需光譜特徵，建立適合的光譜特徵模式。(4)慎密的測試與驗證，初步得到的光譜特徵與生物物理性狀關係或光譜特徵模式，仍需要至少另一組資料測試與驗證，確定關係之存在、檢定相關性之高低，經過明確的校正與修改後才能贏得信賴。最好再經過相關同儕檢視和考驗，使其正確無誤，得以應用於實務。

柒、引用文獻

- 1.林俊義、楊純明。2000。第一章 發展精準農業關鍵技術，加速農業生產技術升級。p.1-6。水稻精準農業(耕)體系之研究，楊純明、林俊義，主編。行政院農業委員會農業試驗所出版，台中縣霧峰鄉。
- 2.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4:87-95。
- 3.鄭清煥。1987。嘉南地區瘤野螟之生態觀察。植保會刊29:135-146。
- 4.臺灣生水稻病蟲害發生預測。1985。臺灣省政府農林廳編印，南投縣中興新村。382頁。
- 5.Asner, G. P. 1998. Biophysical and biological sources of variability in canopy reflectance. *Remote Sens. Environ.* 64:234-253.
- 6.Awoderu, V. A., and O. F. Esuruoso. 1974. Reduction of grain yield of two rice varieties infected by the rice blast disease in Nigeria. *Nigerian Agric. J.* 11:170-173.
- 7.Barrett, E.C., and L. F. Curtis. 1992. Introduction to environmental remote sensing. *In: Introduction to Environmental Remote Sensing*, 3rd ed. E. C. Barrett and L. F. Curtis, Eds. Chapman & Hall, London, U.K. 426 pp
- 8.Bauer, M. E. 1975. The role of remote sensing in determining the distribution and yield of crops. *Adv. Agron.* 27:271-304.
- 9.Bausch, W. C., H. R. Duke, and L. K. Porter. 1994. Remote sensing of plant nitrogen status in corn. *Trans. ASAE* 9:42-

- 117.
10. Blackburn, G. A. 1998. Quantifying chlorophylls and carotenoids at leaf and canopy scales: An evaluation of hyperspectral approaches. *Remote Sens. Environ.* 66:273-285.
 11. Curran, P. J., J. L. Dungan, and H. L. Gholz. 1990. Exploring the relationship between reflectance red edge and chlorophyll content in slash pine. *Tree Phys.* 7:33-48.
 12. Elvidge, C. D. 1990. Visible and near infrared reflectance characteristics of dry plant materials. *Intl. J. Remote Sens.* 11(10):1775-1795.
 13. Elvidge, C. D., Z. K. Chen, and D. P. Groeneveld. 1993. Detection of trace quantities of green vegetation 1990 AVIRIS data. *Remote Sens. Environ.* 44:271-279.
 14. Ferns, D. C., S. J. Zara, and J. Barber. 1984. Application of high resolution spectroradiometry to vegetation. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 50(12):1725-1735.
 15. Fourty, T.H., F. Baret, S. Jacquemoud, G. Schmuck, and J. Verdebout. 1996. Leaf optical properties with explicit description of its biochemical composition: direct and inverse problems. *Remote Sens. Environ.* 56:104-117.
 16. Gates, D.M., H. J. Keegan, J. C. Schleter, and V. R. Wiedner. 1965. Spectral properties of plants. *Appl. Opt.* 4:11-20.
 17. Gausman, H. W. 1982. Visible light reflectance, transmittance, and absorptance of differently pigmented cotton leaves. *Remote Sens. Environ.* 13:233-238.
 18. GER 2600 User Manual. 1996. Version 1.1. Geophysical & Environmental Research Corp., Millbrook, NY, USA.
 19. Goto, K. 1955. History of the blast disease and changes in methods of control. *Agric. Improv. Bureau, Ministry of Agric. and For. Japan* 5:1-12. (in Japanese)
 20. Goto, K. 1965. Estimating losses from rice blast in Japan. p.195-202. *In: The Rice Blast Disease.* John Hopkins Press, Baltimore, Maryland.
 21. Hirao, J. 1982. Ecology and chemical control of the rice leafroller. *Japan Pest. Inform.* 41:14-17.
 22. Idso, S. B., P. J. Pinter, Jr., R. D. Jackson, and R. J. Reginato. 1980. Estimation of grain yields by remote sensing of crop senescence rates. *Remote Sens. Environ.* 9:87-91.
 23. Katsube, T., and Y. Koshimizu. 1970. Influence of blast disease on harvests of rice plants. I. Effect of panicle infection on yield components and quality. *Bull. Tohoku Agric. Exp. Sta.* 39:55-96. (in Japanese)
 24. Kobayashi, T., E. Kanda, K. Kitada, K. Ishiguro, and Y. Torigoe. 2001. Detection of rice panicle blast with multispectral radiometer and the potential of using airborne multispectral scanners. *Phytopathology* 91:316-323.
 25. Lawrence, R. L., and W. J. Ripple. 1998.

- Comparisons among vegetation indices and bandwise regression in a highly disturbed, heterogeneous landscape: Mount St. Helens, Washington. *Remote Sens. Environ.* 64:91-102.;
26. Leamer, R. W., V. I. Myers, and L. F. Silva. 1973. A spectroradiometer for field use. *Rev. Sci. Instrum.* 44:611-614.
27. Maas, S.J., and J. R. Dunlap. 1989. Reflectance, transmittance, and absorptance of light by normal, etiolated, and albino corn leaves. *Agron. J.* 81:105-110.
28. Meyers, V. I. 1983. Remote sensing applications in agriculture. p.2136-2148. *In: Manual of remote sensing. Vol. II. Am. Soc. Photogramm. The Sheridan Press, New York.*
29. Miyahara, Y. 1981. Occurrence of the rice leafroller in Japan. *JARQ* 15(2): 100-105.
30. Ou, S. H. 1985. *Rice Diseases*. 2nd ed. The Cambrian News Ltd., London.
31. Padmanabhan, S. Y. 1965. Estimating losses from rice blast in India. p.203-221. *In: The Rice Blast Disease. John Hopkins Press, Baltimore, Maryland:*
32. Penuelas, J., I. Filella, C. Biel, L. Serrano, and R. Save. 1993. The reflectance at the 950-970 nm region as an indicator of plant water status. *Intl. J. Remote Sens.* 14:1887-1905.
33. Rodas, C. J. E., and M. J. Rosero. 1975. Yield losses in rice due to neck rot infection caused by *Pyricularia oryzae* Cav. *Revista ICA* 10:115-126. (in English Abstract)
34. Salisbury, F. B., and C. Ross. 1969. *Plant Physiology*. Wadsworth, Belmont, California.
35. SAS Institute. 1998. *SAS/STAT user's guide. Version 8.1.* SAS Inst., Cary, NC, USA.
36. Shibayama, M., and T. Akiyama. 1991. Estimating grain yield of maturing rice canopies using high spectral resolution reflectance measurements. *Remote Sens. Environ.* 36:45-53.
37. Su, M.-R., and C.-M. Yang. 1999. Estimation of rice growth from reflectance spectra of vegetative cover. *J. Photogram. Remote Sens.* 4(4):13-23.
38. Thenkabail, P. S., R. B. Smith, and E. De Pauw. 2000. Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. *Remote Sens. Environ.* 71:158-182.
39. Tien, C. M., and P. M. Huang. 1975. Report of the crop losses caused by rice blast disease (*Pyricularia oryzae*) in 1974 in Taiwan. *Taiwan Agric. Quarterly* 11:139-144. (in Chinese)
40. Walburg, G., M. E. Bauer, C. S. T. Daughtry, and T. L. Housley. 1982. Effects of nitrogen on the growth, yield, and reflectance characteristics of corn. *Agron. J.* 74:677-683.
41. Wanjura, D. F., and J. L. Hatfield. 1987. Sensitivity of spectral vegetative indices to crop biomass. *Transactions ASAE* 30(3):810-816.
42. Water-Shea, E.A., and J. M. Norman. 1991. Leaf optical properties. p. 229-

252. *In*: Photon-Vegetation Interactions. R. B. Myneni and J. Ross. Eds. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
43. Wiegand, C. L., A. J. Richardson, and E. T. Kanemasu. 1979. Leaf area index estimates for wheat from Landsat and their implications for evapotranspiration and crop modeling. *Agron. J.* 71:336-342.
44. Wiegand, C. L., A. J. Richardson, and P. R. Nixon. 1986. Spectral components analysis: a bridge between spectral observations and agrometeorological crop models. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* GE-24:83-89.
45. Woolley, J. T. 1971. Reflectance and transmittance of light by leaves. *Plant Physiol.* 47:656-662.
46. Yang, C.-M. and C.-C. Ko. 1997. Seasonal changes in canopy spectra of sweet potato. *J. Photogram. Remote Sens.* 3(1):13-28.
47. Yang, C.-M., and M.-R. Su. 2000. Analysis of spectral characteristics of rice canopy under water deficiency. p.13-18. *In*: Proceedings of the 21st Asian Conference on Remote Sensing. 4-8 December 2000, Taipei. Chinese Society of Agronomy, Taipei, Taiwan.
48. Yang, C.-M. 2001. Estimation of leaf nitrogen content from spectral characteristics of rice canopy. Optimizing Nitrogen Management in Food and Energy Production and Environmental Protection. Proceedings of the 2nd International Nitrogen Conference on Science and Policy. 14-18 October, 2001. Potomac, Maryland, USA. The ScientificWorld 1(S2). ISSN 1532-2246; DOI 10.1100/tsw2001.387.
49. Yang, C.-M., and C.-H. Cheng. 2001. Spectral characteristics of rice plants infested by brown planthopper. *Proc. Natl. Sci. Council. ROC(B)* 25:180-186.
50. Yang, C.-M., and Y.-C. Chang. 2002. Estimation of percent infection of leaf blast in rice plants from canopy spectral characteristics. *In*: Proceedings of the sixth International Conference on Precision Agriculture and Other Precision Resource Management. July 14-17, 2002. Minneapolis, Minnesota, USA. University of Minnesota, Minneapolis.
51. Yang, C.-M., C.-H. Cheng, and J.-Z. Chang. 2002. Spectral characteristics of rice canopy infested with rice leaf folder. *In*: Proceedings of the sixth International Conference on Precision Agriculture and Other Precision Resource Management. July 14-17, 2002. Minneapolis, Minnesota, USA. University of Minnesota, Minneapolis.

1 Identifying Plant Injury by Leaf Blast and Leaffolder from Spectral Characteristics of Rice Canopy

Chwen-Ming Yang¹, Ching-Huan Cheng², Yih-Chang Chang³
and Jih-Zu Yu⁴

¹Department of Agronomy, Taiwan Agricultural Research Institute,
Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

²Department of Plant Protection, Chiayi Branch Station, Taiwan
Agricultural Research Institute, Chayi 600, Taiwan, ROC

³Department of Plant Pathology, Taiwan Agricultural Research Institute,
Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

⁴Department of Applied Zoology, Taiwan Agricultural Research Institute,
Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

E-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw

ABSTRACT

Reflectance spectra (350-2500 nm) of hyperspectral resolution from rice (*Oryza sativa* L. cv. Tainung 67) canopy infected with various percentages of leaf blast (*Pyricularia oryzae* Cav.) and different levels of leaffolder (*Cnaphalocrosis medinalis*) were collected and analyzed using a field portable spectroradiometer. Percent infection from 0% (healthy plants) up to 25% was based on blast disease affected leaf area. Infestation levels by the leaf folder were classified into six levels, i.e., 0 (healthy check), 1, 3, 5, 7, and 9, based on the numbers of damaged leaves. By the correlation intensity analysis between reflectance and percent infection or levels of infestation, it showed that the maximum value of correlation coefficient was located at 1436 nm ($r=0.982$) for leaf blast and at 2327 nm ($r=0.946^{**}$) for leaffolder. The spectral indices of RED/GREEN ratio (reflectance ratio of red light minimum to green light peak), NIR (reflectance at near-infrared maximum), RED, red edge slope, and red edge mid point were all positively correlated with percent infection of leaf blast. The

normalized difference vegetation index (NDVI), the RED/NIR ratio, and the RED/GREEN ratio were curvilinearly correlated with infestation levels of leaffolder. By the multiple linear regression analysis with GREEN, RED and NIR as variables, the model was $Y = -9.391 + 6.265\text{RED} + 0.340\text{NIR} - 3.381\text{GREEN}$, with $R^2 = 0.929$ ($P < 0.01$) for disease estimation, and the best 2-variable MLR model for pest evaluation was $Y = -3.742 - 3.742\text{RED} + 8.616\text{GREEN}$ ($R^2 = 0.963$, $P < 0.01$). When 8 optimal narrow bands selected from reflectance spectrum of disease-infected canopy were analyzed, the best 3-variable model was $Y = -21.401 + 1.162R_{620\text{ nm}} + 4.855R_{1436\text{ nm}} - 3.914R_{2198\text{ nm}}$ ($R^2 = 0.980$, $P < 0.001$). In pest-infested canopy with six selected narrow bands for analysis, the best 2-variable model was $Y = -8.749 - 2.336R_{550\text{ nm}} + 5.099R_{691\text{ nm}}$ ($R^2 = 0.989$, $P < 0.002$).

Key words: Rice, Rice blast (*Pyricularia oryzae* Cav.), Rice leaffolder (*Cnaphalocrosis medinalis*), Percent infection, Infestation level, Spectral characteristics, Spectral index, Multiple linear regression analysis.