利用植被反射光譜辨識水稻品種

陳榮坤、楊純明*
行政院農業委員會農業試驗所農藝組

摘要

本研究旨在量測不同水稻品種，即臺農 67 號(TNG 67)、臺粳8 號(TK 8)及臺農 71 號(TNG 71)，在生育期間及期作間之近地面高解析植被反射光譜(350-2400 nm)，以篩檢合適光譜特徵，建立辨識水稻品種之光譜遙測模式。田間試驗係於 2002 年在臺中縣霧峰鄉行政院農業委員會農業試驗所農場進行，計有一、二期稻作。將植被光譜涵蓋之所有窄波段先經由逐步判別分析(stepwise discriminant analysis，SDA)篩檢出若干條合適的光譜特徵窄波段，續由主成分轉換(principle components transformation，PCT)構成多項主成分，再由判別分析(discriminant analysis，DA)將各主成分建立辨識水稻品種之光譜遙測模式。結果顯示，TNG 67、TK 8 及 TNG 71 等三水稻品種的辨識準確度與所選擇特徵窄波段數之間呈現飽和指數型曲線模型(exponential rise to max)，一、二期稻作皆然。整體而言，在選擇相同窄波段數的條件下，一期稻作的辨識準確度高於二期作者；例如，一、二期稻作在選擇 7 條特徵窄波段時，全體準確度分別達到 87%及 82%。當選擇的特徵窄波段數介於 7-10 條時，辨識度緩慢提升，惟當窄波段數目超過 10 條以上時，所增加的辨識能力將十分有限。欲達到 95%以上的全體準確度(overall accuracy)，則特徵窄波段數至少需要達到 15 條。又由檢視的三品種間樣品族群空間距離分佈結果，發現一期稻作的 TK 8 與 TNG 71 之植被反射光譜特徵表現較相近，而 TNG 67 與此二品種的差異較大；二期稻作則以 TK 8 與 TNG 67 之植被反射光譜特徵表現較類似，而 TNG 71 則與此二品種的差異較大。本研究據此提供了栽培於一、二期稻作之 TNG 67、TK 8 與 TNG 71 等三品種利用植被光譜進行品種辨識的方法，並初步瞭解此三品種間光譜特徵之差異。

關鍵詞：植被光譜特徵、水稻品種辨識、逐步判別分析、主成分轉換、判別分析。

Discriminate Rice Cultivars Using Canopy Reflectance Spectra

Rong-Kuen Chen and Chwen-Ming Yang*

Division of Agronomy, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan (ROC)

ABSTRACT

Ground-based remotely sensed high-resolution canopy reflectance spectra (350-2400 nm) were obtained from field experiments to study spectral differences among rice cultivars during the growing periods and between the cropping seasons of 2002. The suitable spectral characteristics were also selected to build the spectral models for cultivar discrimination. In the first step, 3-11 narrow bands were selected progressively from

* 通信作者， cmyang@wufeng.tari.gov.tw
投稿日期：2004 年 7 月 1 日
接受日期：2004 年 9 月 1 日
作物、環境與生物資訊 1:239-250 (2004)
Crop, Environment & Bioinformatics 1:239-250 (2004)
189 Chung-Cheng Rd., Wufeng, Taichung Hsien 41301, Taiwan (ROC)

reflectance spectra as the spectral characteristics by the stepwise discriminant analysis. Secondly, through the principal components transformation processes the selected narrow bands were composed to various components, which were used to establish the spectral models by the discriminant analysis. It indicated that the accuracy in discriminating cultivars TNG 67, TK 8, and TNG 71 was related to numbers of selected narrow bands, expressing as an exponential rise to maximum function in both cropping seasons. Generally the accuracy in cultivar discrimination was higher in the first crop than in the second crop under same numbers of the selected narrow bands. For example, when 7 narrow bands were selected, overall accuracy was 87% in first crop and was 82% in second crop. The percent overall accuracy increased slowly when 7 to 10 bands were selected. To reach 95% of overall accuracy, at least 15 bands should be selected. It further showed that the distance distribution among the sampling populations of three cultivars was different between cropping seasons. The distance between TK 8 and TNG 71 was smaller than other pairs in the first crop while the distance between TK 8 and TNG 67 was smaller than others in the second crop. As a result, this study provides information about differences in spectral characteristics among cultivars TNG 67, TK 8 and TNG 71 as well as an appropriate analysis method for discriminating these three cultivars using hyperspectral data of both cropping seasons.

Key words: Canopy spectral characteristics, Rice cultivar discrimination, Stepwise discriminant analysis, Principle component transformation, Discriminant analysis.

前言

水稻栽植地區遍佈世界多國，栽培面積及分佈緯度均甚廣(Chang 1976)，為人類主要糧食之一，也是臺灣地區栽培面積最大產值最高的糧食作物。臺灣之稻作產業兼具生態性、生活性及生產性等"三生"功能，稻作生產同時影響農田生態環境、農村景觀和農民收益，又因國內外農業主客觀環境的變遷而更形突顯其重要性。稻米不僅為國人傳統糧食，傳承地方民俗文化，也在國家經濟、社會安定及國防安全上扮演舉足輕重角色。近年來，由於國際農產品競爭日益激烈，在我國加入世界貿易組織(WTO)後更必須消除管制稻米進口及價格補貼等保護措施，因此勢將衝擊國內稻作生產情境。在國產稻米消耗量減少及稻米售價降低的雙重壓力下，必將嚴重壓迫稻農生計，甚且影響農民生產稻米的意願。

為了因應稻米市場化、自由化及國際化的多元競爭，臺灣地區的水稻產業可能將無可避免的必須朝向大面積栽培單一品種(集團式栽培)或小面積栽培具有地方特色(性)品種(少量多樣化栽培)的生產模式發展，由市場(國內或國外)及民眾喜好決定稻米的類型、品質、價格及生產量。因此，水稻產業之栽培品種、米質特性、栽培面積及環境變異等資料及其等之變化趨勢，均將成為農政部門政策擬定上的主要依據，亦為農業試驗研究單位應該努力追蹤探討和因應研究的方向。

前臺灣省政府糧食局(處)為改進稻米生產調查技術，於 1985 年起將辦理應用航遙測技術調查全臺稻田種植面積作業提升為經常性業務。此項工作的成效雖然良好，惟整體可見光影像辨識作業流程所耗費的時間與人力仍然偏高，有時調查資料尚有緩不濟急之憾。自 1990 年起，在政府相關單位支持下，國內各學術研究機構開始進行遙測多光譜技術調查稻田面積及災害有關的試驗研究。諸如多光譜資料探討稻田之光譜特徵(Chen and Yang 2003)，結合光譜特徵與時間資訊進行稻株生育及稻田面積的監測 (Chen and Tseng 1999, Cheng and Yang 2002, Hsaio *et al.* 2004, Yang and Chen 2004)，結合遙測與地理資訊技術偵測稻田分佈(Hsaio *et al.* 2000)，以及災害對稻

米生產影響(相關計畫執行中，尚未見文獻發表)等研究議題，近年來均已有專案計畫在推動，惟有關水稻不同品種的光譜辨識研究依然闕如。

現行水稻栽培品種及面積的監測，依舊倚賴基層公務機關的人力調查、統計，逐級呈報與彙整而成，消耗龐大的時間、勞力及成本。尚且因為調查時期冗長而經常未能配合實務及政策需求，也有偏於主觀認定之缺失。目前農政機關正積極鼓勵遙測技術之相關基礎與應用研究，期望有朝一日能夠以非破壞性、快速且又客觀的遙測方法，取代現行人為判讀方式，進行水稻栽植面積的估算。在此同時，倘若能夠一併實施栽培品種的遙測辨識工作，同步取得各種水稻栽培品種之栽植面積及地區分佈，配合坵塊及地籍資料的套疊使用，將更具實用意義和應用價值。

農作物光譜遙測技術乃是針對作物植被(冠)接受入射太陽光輻射後的反射特性進行量測與分析，藉以瞭解當時作物生長狀態的一種物理性感測技術(工具)，具有即時、快速、非破壞性且大面積偵(檢)測等優點。此技術應用於農作物種類辨識作業，國外已有多篇研究報告發表。例如，Price *et al.* (1999) 利用三個時間點的 Landsat Thematic Mapper (TM)影像，計算各種植被指數(vegetation index)及單一波段組合成判別模式(discriminant model)，進行六種不同草原型態的辨識，發現模式中波段數的增加達到 10-12 條時，判識成功率可達 70%，而當波段數再增加時判識成功率卻反降低。Houts *et al.* (2000)利用航空遙測影像進行玉米及大豆二種作物的辨識，正確辨識率分別可達 99%及 98%。Jacobsen *et al.* (1995)利用近地面光譜儀成功判別 3 種小麥品種及 4 種天然草地，並指出利用高解析光譜儀進行植被光譜監測，將可提高小麥品種及草種的辨識結果。Thenkabail *et al.* (2002)指出，在辨識不同作物或品種中，13-22 條波段數的組合模式可達到 90%的準確度，波段數愈多則辨識率愈高，惟 30 條波段以上所增加的辨識率甚少。

通常在利用航空或衛星遙測載台的資訊進行地表地物的辨識及判讀之前，必須實施所謂的立體遙測資料的連結，藉由詳細而真實的地真資料模組來解析高尺度擷取的遙測訊息。如此，才能夠提升高尺度遙測資料(訊)的準確度，獲取接近地面的實際現況，並連結到後續的作業系統。本文研究於近地面量測 2002 年兩期作期間之三水稻品種植被高解析反射光譜，由匯集的光譜資料來探討品種間的光譜特徵及其差異，進而發展出由反射光譜特徵辨識水稻品種的光譜遙測模式，期使光譜遙測技術能夠擴及於其他不同農作物種類辨識等用途。

材料與方法

一、水稻族群的栽培

本研究之田間試驗於 2002 年在臺中縣霧峰鄉行政院農業委員會農業試驗所農場進行，計有一、二期稻作。參試水稻(*Oryza sativa* L.)為臺農 67 號(TNG 67)、臺粳8 號(TK 8)及臺農 71 號(TNG 71)等三品種，其等生育期間的稻株族群即為近地面水稻植被高解析反射光譜量測來源。試驗期間之栽培管理採用慣行法，以南北向機械插秧，每叢 3-5 株，行株距約為 0.30 m × 0.18 m，每一品種栽植面積約 0.1 ha。基肥於插秧前 5 天施用臺肥 39 號(臺灣肥料公司，高雄市) 300 kg ha^{-1}，第一次追肥分別約於插秧 2 週(一期作)及 1 週(二期作)後施用臺肥 1 號 100 kg ha^{-1}，第二次追肥分別約於 4 週(一期作)

及 3 週(二期作)後施用臺肥 1 號 200 kg ha^{-1}，穗肥約於 9 週(一期作)及 6 週(二期作)後施用硫酸鋅 160 kg ha^{-1}。農藥施用視病蟲草害發生狀況而定，以 6%培丹粒劑 30 kg ha^{-1}防治二化螟蟲及瘤野螟，以 40%加保扶水懸劑 1.2 L ha^{-1}及 50%維利黴素 1 L ha^{-1}等之千倍稀釋液防治紋枯病及其他蟲害。除草劑部分係以 5%丁基拉草粒劑 30 kg ha^{-1}於插秧一週內施用防除禾本科雜草，以 44.1%本達隆溶液 3 L ha^{-1}劑量 200 倍稀釋液於分蘗初期防除鴨舌草及螢蘭等雜草，另於插秧後 4 週內進行人工除草一次，降低雜草族群的干擾。

二、植被光譜量測方法

水稻族群植被反射光譜乃以田間攜帶式輻射光譜儀(spectroradiometer, model GER-2600, Geophysical & Environmental Research Corp., Millbrook, NY, USA)進行光輻射(radiance)的測定，量測波長範圍介於 330-2600 nm，惟僅使用 350-2400 nm 範圍的各窄波段，以避免光譜兩端受到的感測器干擾影響。光譜儀之矩陣式光輻射感測器在 350-1050 nm 波段範圍之波距(bandwidth)約 1.5 nm，1050-2400 nm 波段範圍之波距約 11.5 nm。光譜儀之掃描光電鏡頭具有 10 度視角(field-of-view, FOV)，固定於距離植被約 5.8 m 之高空作業車上，以垂直偵測(nadir viewing)方式量測水稻植被之反射光譜。

每一塊田區逢機量測 15 定點(目標區域)，每一定點約為 1 m 直徑之圓形面積，每次量測預設為 4 次掃描之平均值，再取 15 定點均值為該區代表值，用以描繪水稻植被光譜隨生育進展之變化。植被之反射比光譜係由植被目標區域量測之平均值反射光譜各窄波段光輻射值除以同波段之標準白板('Spectralon', Labsphere, Inc., North Sutton, NH, USA)之反射光輻射值(即參考值)來計算。每次進行光譜量測時，先測取標準白板之反射光譜，再測取植被目標區域之反射光譜，由 GER-2600 操作軟體計算出反射比光譜，隨後之光譜分析即取自反射比光譜各窄波段之反射比。水稻族群植被反射光譜量測自插秧起每隔 2～3 週內測量一次，約自上午十時至中午十二時之間選擇晴朗不遮陰時段偵測，以減少太陽入射角及遮雲的干擾。

三、光譜分析資料庫

由於稻株生育初期的植被尚未完全覆蓋地表，植被反射光譜將受到土壤及灌溉水影響。又在接近收穫期時，因植株生長勢衰退及穀實逐漸黃化成熟，造成植被反射光譜表現趨於一致，在常態生長下差異不大。因此，本研究資料只使用部份生育階段(一期作為 46-88 DAT，二期作為 56-92 DAT)的光譜曲線資料來進行分析，涵蓋分蘗盛期、最大分蘗期、穗形成期、抽穗期及穀粒充實期等不同生育階段。本試驗每次每塊試驗區均逢機量測 15 定點植被反射光譜，少數光譜曲線因有較大干擾而予刪除，所以各品種在不同量測時間點所取得的植被反射光譜曲線數並未完全相同，詳細之光譜曲線數如 Table 1 所示。又為消除大氣水分子對光輻射的吸收干擾，乃刪去各光譜曲線之 350-389 nm、1354-1439 nm、1788-1990 nm 及 2360-2400 nm 等四個波段(Fig. 1a 及 1b)，使得每一光譜曲線包括 508 條窄波段。

四、統計分析

水稻不同品種的判別分析分成二階段。第一階段目的在於減少判識時所用的特徵窄波段數，避免多餘資訊，並增加實務上

Table 1. The numbers of reflectance spectra used for spectral analyses for rice plants (*Oyrza sativa* L.) grown in the first and the second cropping seasons of 2002.

Growth stage	Rice cultivar		
	TNG 67	TNG 71	TK 8
First crop, 2002			
46 DAT[@]	15	15	15
65 DAT	13	13	11
79 DAT	15	15	15
88 DAT	14	15	13
Second crop, 2002			
56 DAT	13	10	12
63 DAT	11	12	10
81 DAT	12	11	14
92 DAT	14	13	14

[@] DAT: Days after transplanting.

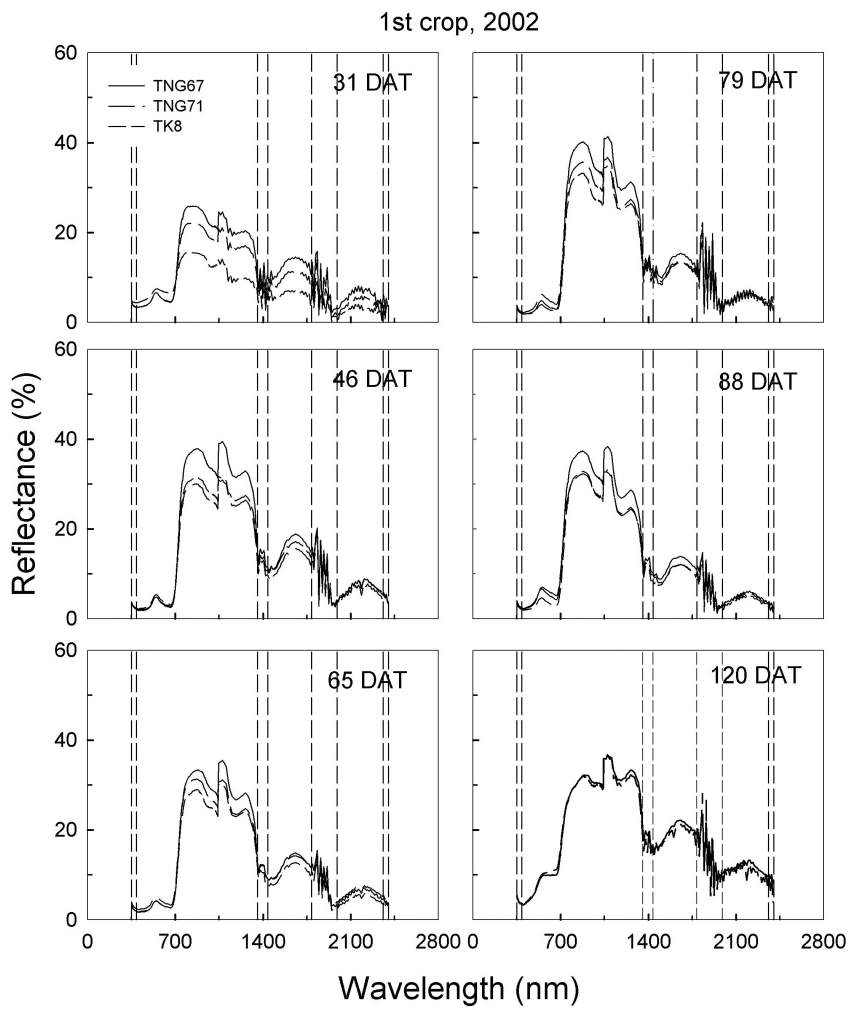


Fig.1a. Changes of canopy mean reflectance spectra of three rice (*Oryza sativa* L.) cultivars, TNG 67, TK8 and TNG 71, during the first cropping season of 2002.

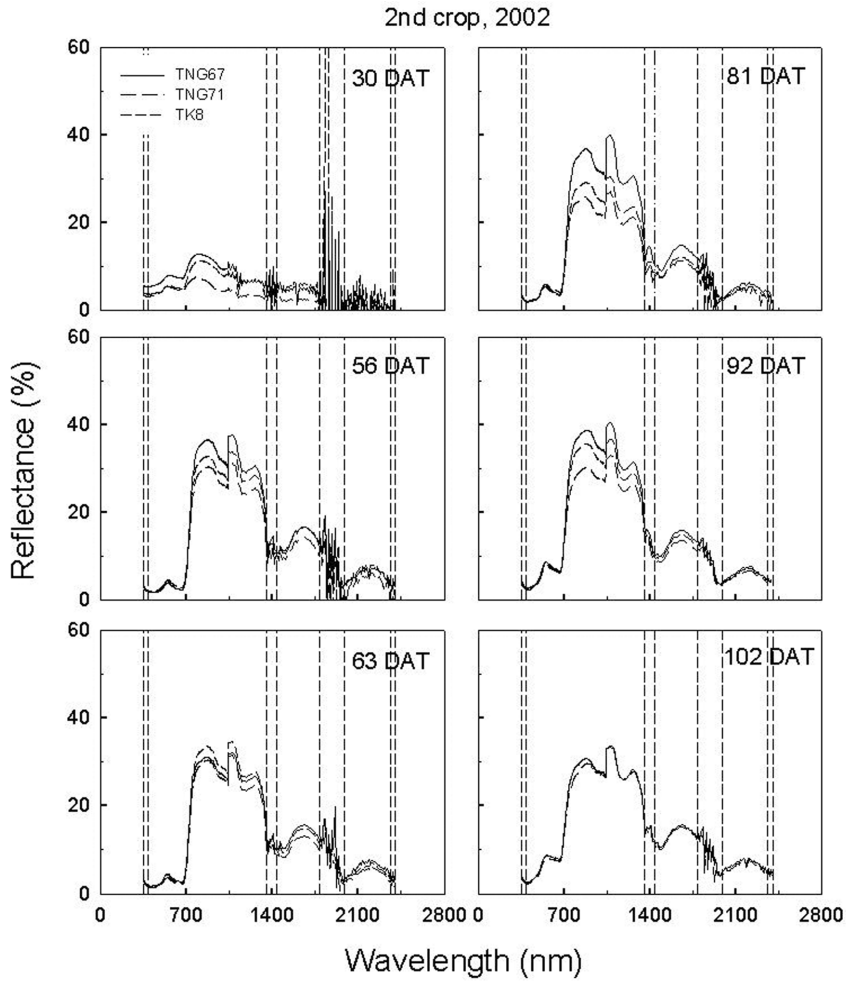


Fig.1b. Changes of canopy mean reflectance spectra of three rice (*Oryza sativa* L.) cultivars, TNG 67, TK8 and TNG 71, during the second cropping season of 2002.

進行辨識技術的實用性，乃藉由 SAS 統計軟體(Statistical Analysis System version 8.1 1998) 之逐步判別分析 (stepwise discriminant analysis, SDA)模組篩檢出若干條光譜特徵窄波段。第二階段目的在於強化選取特徵窄波段辨識水稻品種的能力，提高辨識準確度，於是透過主成分轉換後再由判別分析(discriminant analysis, DA)模組將主成分輸入計算出最佳光譜遙測模式。

由於高解析光譜波段資料間具有很大的相關性(Lee and Landgrebe 1993)或稱多餘性資訊(redundancy information)，因此利用 SDA 分析有助於減少品種判識時所用的窄波段數，只保留重要的特徵窄波段，並去除多餘資訊。SDA 法可以篩選出能區別品種內差異最小，而品種間差異最大的特徵窄波段，提高辨識結果。SDA 的執行係採用 SAS 軟體 PROC STEPDISC 模組(程序)的逐步排除選擇法 (stepwise selection method)。判別模式(函數)首先不含任何變項(窄波段)，在 SDA 法的每一次選擇步驟中，都將選取出一條窄波段；通常第一條窄波段對判別模式的判別力貢獻最大，此貢獻度由共變數分析的 F 測驗(F test analysis of

covariance)顯著性檢定來決定。在選取波段過程中，當判別函數內有一個波段無法達到貢獻度的顯著水準時，則將該波段移出判別函數，如此重複，直到所餘的波段都無法達到貢獻度顯著水準時，特徵波段選取程序即停止。其中，SDA 結果中的 Wilks′ lambda 可作為波段數選擇多寡的指標，當 Wilks′ lambda 愈低，辨識精確度愈高。由於選出的特徵波段間可能仍具有高度相關，因此將選出的波段利用主成分轉換(principle component transformation, PCT) 轉化為幾個特徵值(eigenvalue)大於 1 的獨立變項，再把這些獨立變項代入判別分析中，即可了解所選取出的特徵波段對於辨識水稻品種的強度或能力，亦可得到各品種間的辨識結果。PCT 的進行採用 PROC PRINCOMP 程序。DA 的執行係採用 PROC DISCRIM 程序進行，可建立判別模型。此模型可運算出品種間的一般距離平方(generalized squared distance)，並利用該距離區別不同品種，計算各品種光譜樣本的驗後機率(posterior probability)。辨識結果以全體準確度(overall accuracy)及 Kappa 指標表示(Cohen 1960, Congalton 1991)，此二者的值愈大，代表辨識準確度愈高。全體準確度為被正確分類總數佔分類樣品總數的百分比，可客觀表示整體的分類結果。Kappa 指標為表示分類結果比隨機分類好多少的指標，評估時同時考慮了漏授(omission error)與誤授(commission error)因素，其值通常較全體準確度低。Kappa 的計算方式 K_{hat} 為：

$$K_{hat} = \frac{N\sum_{i=1}^{r} x_{ii} - \sum_{i=1}^{r}(x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^{r}(x_{i+} \times x_{+i})}$$

其中，r 為錯誤分類矩陣的列數，x_{ii} 為第 i 列第 i 行中的樣品數，x_{i+}與 x_{+i}分別為錯誤分類矩陣中第 i 列與第 i 行的總和，N 為樣品總數(Bishop *et al.* 1975)。

結果與討論

參試之臺灣地區三主要水稻品種(TNG 67、TK 8、TNG 71)在一、二期作全生育期間之近地面植被反射光譜平均值曲線如 Fig. 1a、1b 所示。由圖可見水稻不同品種族群植被光譜間無論是一、二期作，其輪廓均類似於一般綠色植物的光譜曲線模型。整體而言，在可見光波段(400-740 nm)反射比較低，近紅外光(740-1300 nm)的反射比最高，而在短波紅外光(1300-1800 nm)及中紅外光(1800-2400 nm)的變動與落差較為劇烈。由 Fig. 1a 及 Fig. 1b 也顯示水稻族群植被反射光譜是隨著生育期的序列而改變的，光譜曲線不僅因時而異，其不同波段反射比也隨著波段而改變。而在不同水稻品種間，植被反射光譜也隨生育期的進展，而在不同波段間表現出不同程度的差異性，這也是用來辨識水稻品種間差異的基礎。

由於水稻一、二期作間所處的生育氣候環境差異甚大，造成在植株生長性狀的差異表現 (Chen and Yang 2002)，因此水稻反射光譜品種辨識工作依不同期作分別進行。為進行水稻品種的辨識工作，本研究利用逐步判別分析的原理，在相互類似的不同水稻品種植被反射光譜曲線間，選出能使品種內差異最小，品種間差異最大的特徵波段，以達到最佳的辨識結果，並利用主成分轉換避免判別分析中的變項相關性高的共線性(collinearity)問題。此外，考量不同水稻品種的生育期長短不一及移植時間的差異性，並增加日後應用時的便利性，進行判別的植被光譜資料應為一段期間，而非單一時間點。因此在進行判別分析時，將植被光

譜資料分為三個時期，分別為抽穗前(一期作為 46-65 DAT，二期作為 56-63 DAT)、抽穗前至抽穗期(一期作為 46-79 DAT，二期作為 56-81 DAT)以及抽穗前至抽穗後(一期作為 46-88 DAT，二期作為 56-92 DAT)。

在不同生育期間的辨識結果如 Fig. 2、Fig. 3 所示，水稻 TNG 67、TK 8 及 TNG 71 等三品種的植被反射光譜辨識準確度與所選擇波段數的關係，無論在一期作或二期稻作，全體準確度的表現較 K_{hat} 高，且均呈現指數型曲線；亦即隨著選擇波段數的增加，辨識準確度隨著提升，惟辨識準確度增加到一定程度以後，即使再增加選擇波段數，所增加的辨識準確度甚少，且所涵蓋的生育期愈長，則辨識準確度較低。

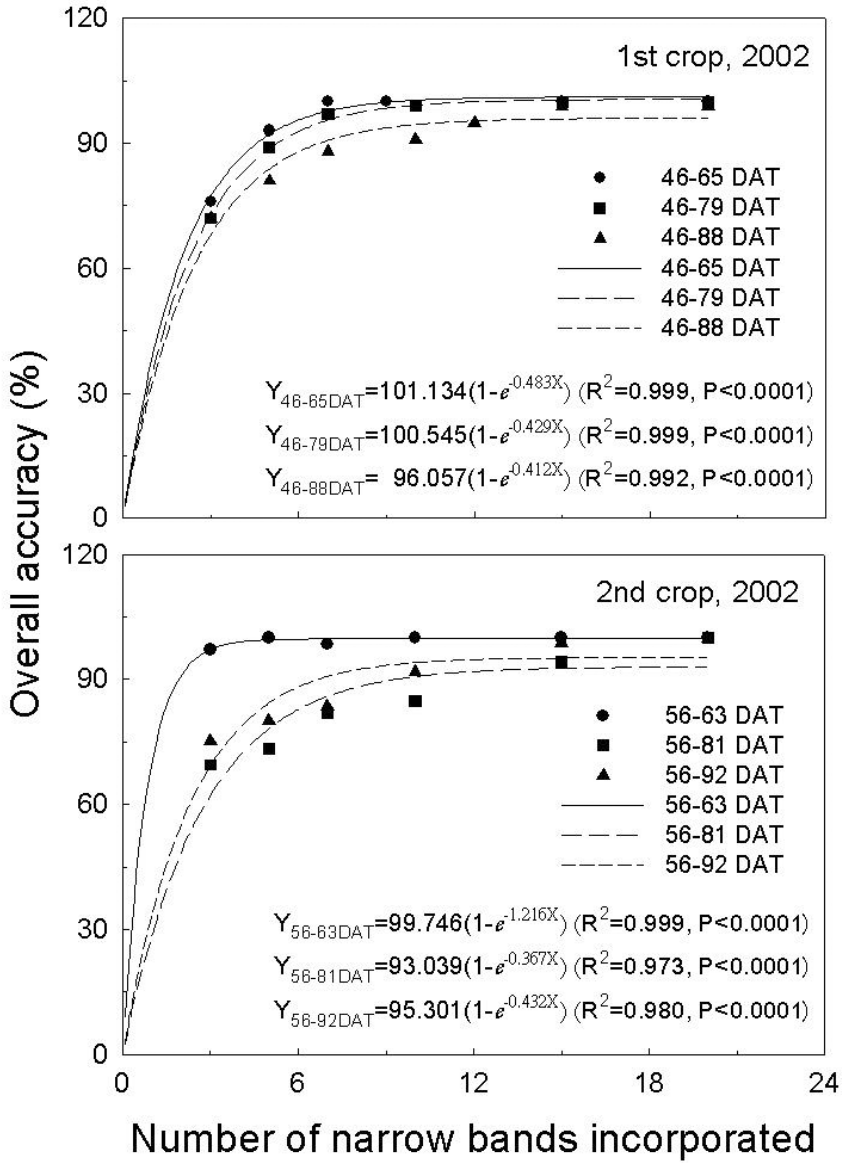


Fig. 2. Changes of overall accuracy in response to number of narrow bands incorporated into statistical analysis for rice plants (*Oryza sativa* L.) grown in the first and the second cropping seasons of 2002.

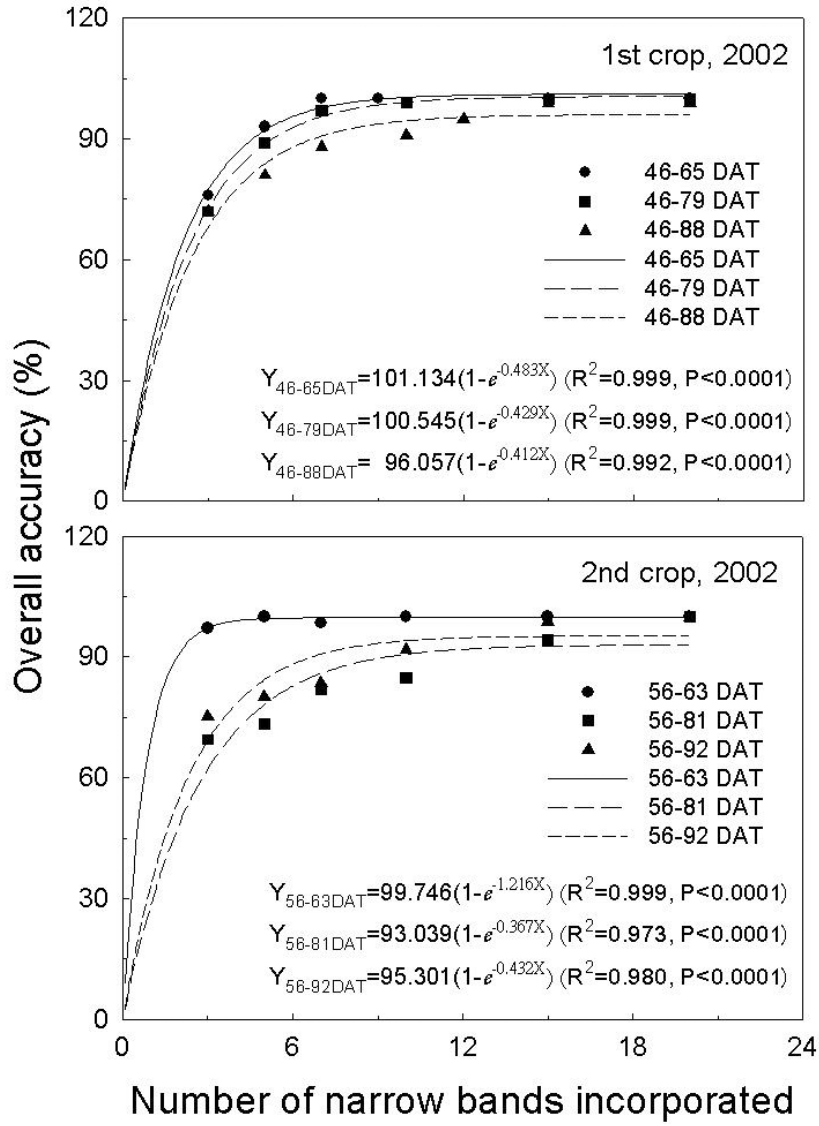


Fig. 3. Changes of K_{hat} in response to number of narrow bands incorporated into statistical analysis for rice plants (*Oryza sativa* L.) grown in the first and the second cropping seasons of 2002.

整體而言，不同期作間，除二期作之 56-63 DAT 以外，在選擇相同波段數下，一期作的辨識準確度較二期作高。同樣的，除二期作之 56-63 DAT 在選取 3 個波段即可達到 97%的全體準確度(K_{hat}為 96%)外，所餘的生育期間，無論在一、二期作均在選擇第 7 個波段時分別達到約 88%(K_{hat}為 81%)及 82%(K_{hat}為 73%)以上的全體準確度。選擇 7-10 個波段數時，辨識度緩慢增加，選擇 10 個以上的波段數所增加的辨識能力甚少。如欲達到 95%以上的全體準確度，則無論一、二期稻作均應增加選擇到 15 個波段數。二期作之品種辨識度，無論在全體準確度或 K_{hat} 的表現上，加入抽穗期的植被光譜資料時，其辨識度降低，當持續加入抽穗後的植被光譜資料，辨識度則略為提高，顯

示抽穗期間的植被光譜資料似乎不利於不同水稻品種的植被辨識。其原因可能為抽穗期間之水稻植被的抽穗穎花干擾品種間植被光譜的差異，而降低品種辨識度。然而一期稻作的抽穗期植被光譜辨識並未如二期作般的趨勢，由於一、二期作間水稻的生長狀態有所差異，因此一期作的抽穗期植被穎花的干擾是較少或完全無干擾，仍待進一步研究。

本研究中，植被光譜辨識所涵蓋的時間若延伸到包含抽穗以後的植被光譜曲線，則辨識效果即降低，其原因可能與 Chen and Yang (2002)所述，稻株抽穗前均質的營養組織使得植被幾何結構及色澤較為單純一致，抽穗後混合的營養與生殖器官及老化過程帶來色澤上的參差不齊，不僅將改變植被反射光譜與植被外觀物理徵狀原本相對應的密切關係，更將因為植被的趨於複雜而使得兩者關係轉為鈍感的原因有關。此外，由於氣候環境條件的關係，二期稻作由於在分蘗早期的夏季高溫而抑制植株分蘗並縮短營養生長期(Lin 1979)，且在生殖生長期容易遭受低溫，致使葉片加速老化(Chi *et al.* 1974)。不等老化速率的結果也造成水稻品種間的光譜差異降低，導致原來可供辨識的光譜特徵波段在進行判別分析時，誤判的機率增加。

以實務操作而言，臺灣地區田間水稻栽培時期並不一致，因此若要進行水稻品種光譜辨識工作，應以涵蓋水稻生育期間愈長者為佳，即本研究一期作之 46-88 DAT 及二期作之 56-92 DAT 的判別模式的實用價值較高。判別分析是利用各品種樣本族群的距離分布與差異作為品種辨識的基礎。以本研究之三品種光譜辨識而言，利用 7 個特徵波段以判別分析運算品種間的距離及驗後機率的結果如 Table 2 及 Table 3 所示。在一期作中，TK 8 與 TNG71 的距離最近，其次為 TK 8 與 TNG 67，最遠的是 TNG 71 與 TNG 67 (Table 2)。品種間距離愈近，則誤判的機率愈高。由 Table 3 可知，TK 8 的 50 條觀測光譜曲線樣本中，有 12 個樣本被誤判為 TNG 71，3 個樣本被誤判為 TNG 67，即是因為 TK 8 與 TNG 71 的距離最近而遭誤判。相同的，二期作中以 TK 8 與 TNG67 的距離最短，TK 8 與 TNG 71 次之，TNG 71 與 TNG 67 的距離最長，也同樣造成 TK 8 與 TNG 67 二品種間的誤判率較高。由此結果顯示，在水稻一期作中，TK 8 與 TNG 71 的植被反射光譜表現較相

Table 2. The values of generalized squared distance between rice cultivars after discriminant analysis by using 7 spectral characteristics (narrow bands) selected from canopy reflectance spectra for rice plants (*Oryza sativa* L.) grown during 46-88 DAT (days after transplanting) in the first cropping season and during 56-92 DAT in the second cropping season of 2002.

Duration	Observed rice cultivar	Generalized squared distance between cultivars		
		TK8	TNG67	TNG71
First crop, 2002				
46-88 DAT	TK8	2.28	13.66	7.82
	TNG67	-	2.17	16.52
	TNG71	-	-	2.14
Second crop, 20002				
56-92 DAT	TK8	2.14	4.49	18.24
	TNG67	-	2.14	26.26
	TNG71	-	-	2.31

Table 3. The posterior probabilities after discriminant analysis by using 7 spectral characteristics (narrow bands) selected from canopy reflectance spectra for rice plants (*Oryza sativa* L.) grown during 46-88 DAT (days after transplanting) in the first cropping season and during 56-92 DAT in the second cropping season of 2002.

Duration	Observed rice cultivar		Classified rice cultivar			Commission errors (%)
			TK8	TNG67	TNG71	
First crop, 2002	TK8	Spectral no.	39	3	12	27.78
46-88 DAT[a]		Probability	72.2%	5.6%	22.2%	
	TNG67	Spectral no.	1	56	0	1.75
		Probability	1.8%	98.3%	0.0%	
	TNG71	Spectral no.	5	0	53	8.62
		Probability	8.62	0.00	91.38	
	Omission errors (%)		13.33	5.08	18.46	
Second crop, 2002	TK8	Spectral no.	38	11	1	24.00
56-92 DAT[b]		Probability	76.0%	22.0%	2.0%	
	TNG67	Spectral no.	12	38	0	24.00
		Probability	24.0%	76.0%	0.0%	
	TNG71	Spectral no.	0	0	46	0.00
		Probability	0.0%	0.0%	100.0%	
	Omission errors (%)		24.00	22.45	2.13	

a: overall accuracy = 87.6 %, [(39+56+53)/169]*100%, total sample number: 169.
b: overall accuracy = 85.6 %, [(38+38+46)/146]*100%, total sample number: 146.

近，而 TNG 67 與其它二品種的差異較大；二期作則以 TK 8 與 TNG 67 的植被反射光譜表現較類似，而 TNG 71 的植被反射光譜與其它二品種的差異較大。因此，本結果亦顯示水稻不同品種間植被反射光譜的相似度會因為不同期作而發生改變，其原因可能是不同品種特性對於氣候環境的改變有該品種本身特有的反應所造成。此外，在利用植被光譜辨識水稻品種時也應了解其與人類肉眼目視辨別的差異，肉眼所視為光譜影像，可依據植被的形態、葉片角度及大小形狀及色澤等加以辨識，但僅限於可見光波段；然而在利用植被反射光譜進行辨識時，是依據植被的反射光譜差異為基礎，且樣品之反射光譜為該空間所有的光譜資訊總和，雖然可藉由豐富的光譜資訊進行辨識，但植被背景的干擾卻不易排除。

結語

水稻不同品種辨識技術是了解不同地區水稻品種栽培空間分佈的一項良好工具，可以利用最方便、成本低廉的遙測技術，即時獲取正確的廣大面積資訊，提供政策擬定或執行的參考。本研究提供了臺灣地區一、二期稻作在臺農 67 號(TNG 67)、臺粳8 號(TK 8)及臺農 71(TNG 71)號等三品種利用植被光譜遙測技術進行品種辨識的基礎，並了解此三品種間植被反射光譜差異程度，建立一套選取植被光譜特徵進行辨識品種的方法。在實務應用上，將可依吾人所須的辨識準確度及硬體設備狀態選擇適當的波段數進行水稻品種辨識。惟在學理上，水稻品種間的光譜差異是否可利用生長性狀或其它植被結構組成分所釐清，仍須待進一步的研究探討。並且在水稻植被反射光譜資料庫中，也應增加不同品種及不同年度間植被反射光譜的收集，擴大樣本族群，以增加判別模式的適用性與應用性。

引用文獻

Bishop Y, S Fienberg, P Holland (1977) Discrete Multivariate Analysis – Theory and Practice. MIT press, Cambridge, MA, USA. 575 pp.

Chang TT (1976) The origin, evolution, cultivation, dissemination, and diversification of Asian and Africa rice. **Euphytica** 25:425-441.

Chen IH, YH Tseng (1999) Automatic recognition of rice fields from multi-temporal satellite images. **J. Photogram. Remote Sens**. 4(3):1-15.

Chen RK, CM Yang (2002) Estimating rice growth using ground-based hyperspectral reflectance data and simulated SPOT broad band data. (in Chinese) **J. Agric. Res. China.** 51(4):1-18.

Chen RK, CM Yang (2003) Characteristics and variations in canopy reflectance spectra of rice. (in Chinese) **Chinese J. Agromet**. 10:29-38.

Chi KS, CH Tsai, CS Huang (1974) Growth behavior and grain production of three rice varieties exhibiting different plant types in Taipei. (in Chinese) **J. Taiwan Agric. Res.** 23:166-175.

Cohen J (1960) A coefficient of agreement for nominal scales. **Educ. Psychol. Meas.** 20(1):37-46.

Congalton RG (1991) A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sens. Environ.** 37:35-46.

Houts ME, R Lee, KP Price, SL Egbert, EA Martinko (2000) Using 10-meter digital airborne imagery to classify crop types in Iowa. II:453-459. *In:* Proceedings of the Second International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry. Jan. 10-12, 2000. Florida.

Hsiao KH, CC Lau, TY Shih (2000) Combined remote sensing and GIS data for rice paddy land use interpretation. **J. Photogram. Remote Sens**. 5(4):1-22.

Hsiao KH, CC Lau, WC Hsu (2004) The evaluation of image classification methods for rice paddy interpretation. **J. Photogram. Remote Sens.** 9(1):13-26.

Jacobsen A, NH Broge, BU Hansen (1995) Monitoring wheat fields and grasslands using spectral reflectance data. *In:* Proceedings of International Symposium on Spectral Sensing Research (ISSSR), Nov. 26 to Dec. 1, 1995. Melbourne, Victoria, Australia. Available on CD-rom from Commonwealth Information Services, Australian Government Publishing Service, GPO Box 84, Canberra ACT 2601. ISBN No. 0 644 39625.

Lee C, D Landgrebe (1993) Feature Extraction and Classification Algorithms for High Dimensional Data. TR-EE 93-1. Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA.

Lin AC (1979) Comparison on the photosynthesis under community conditions between the first and second crops of rice. (in Chinese) p.85-90. *In:* Proceedings of the Symposium on the Causes of Low Yield of the Second Crop Rice in Taiwan and the Measures for Improvement. Held at Taiwan Agricultural Research Institute on 7-8 June 1978. Published by National Science Council, Taipei.

Guo X, KP Price, JM Stiles (1999) Optimal Landsat TM band combinations and vegetation indices for discrimination of six grassland types in Eastern Kansas. Annual Meeting, Kansas Academy of Science, Manhattan, Kansas, April 16-17, 1999.

Thenkabail PS, EA Enclona, MS Ashton, VD Meer B (2002) Accuracy assessment for determining best Hyperspectral wavebands for vegetation and agriculture. *In:* Accuracy Assessment in Remote Sensing and GIS (book chapter in preparation based on the "Remote Sensing and GIS accuracy assessment symposium" organized by USEPA). December 11-13, 2002. Las Vegas, Nevada, USA.

Yang CM, RK Chen (2004) Modeling Rice Growth Using Hyperspectral Reflectance Data. **Crop Sci.** 44:1283-1290.

－編輯：謝兆樞