中華農業氣象 (Chinese J. Agromet.) 4(2): 87-95, 1997

研究報告 (Original Paper)

水稻族群植冠反射光譜之分析

楊純明　蘇慕容

臺灣省農業試驗所農藝系

摘　要

為瞭解田間水稻族群植冠反射光譜之特性與變化趨勢，本試驗特利用攜帶式輻射光譜儀遙測1996年一、二期稻作全生育期植冠反射光譜，據以探討、分析各波段隨生育進展的變異、植被指數的改變、及近紅外光反射比與葉面積指數的關係。解析反射光譜的波長範圍介於350～1100 nm，包含紫外光、可見光及近紅外光等波段。根據試驗結果，水稻兩期作植冠反射光譜在紫外光及可見光波段(350～700 nm)範圍內，除了生育初期及成熟期外，其餘時期反射比值皆小於15％。近紅外光波段(740～1100 nm)反射比值於全生育期間維持在30～55％範圍之間，而以生育初期及後期之反射比值較低。由特定紅光(674 nm)及近紅外光(756 nm)波長所計算之植被指數如標準植被指數差(NDVI)、植被植數比(RVI)、土壤校正植被指數(SAVI)、及植被指數差(DVI)等四項發現，植被指數隨水稻生育之進展呈近似鐘形曲線，並可顯現出一、二期稻作間生長差異之時間落差。以NDVI為例，若將生育日數經時間標準化轉換後，則兩期稻作之變化類似。水稻葉面積指數與近紅外光(以756 nm為例)反射比關係以Mitscherlich function之對數函數表示之適用性甚佳，可利用於估算水稻全生育期葉面積指數的變化。

關鍵詞：水稻，植冠，反射光譜，反射比，植被指數，葉面積指數。

Analysis of Reflectance Spectrum of Rice Canopy

Chwen-Ming Yang and Muh-Rong Su (Department of Agronomy, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung , Taiwan, ROC)

ABSTRACT: The reflectance spectrum of crop canopy changes with time and space and is a function of growth status. Analysis of reflectance spectra of a crop during the growing period can help in characterizing and evaluating the spectral property and growth performance of that crop. Field experiments were carried out to remotely measure and analyze the reflectance spectra, in the range of 350~1100 nm, of rice canopy in the first and the second growing seasons of 1996. Data indicated that, except in the early growth and grain-filling stage, reflectance within 350 to 700 nm region was lower than 15% in both crops. Reflectance of wavelengths above 740 nm was maintained in 30~55%. By using two specific wavelengths of 674 nm (red light) and 756 nm (near-infrared) in calculating the vegetation indices, it was found curves of NDVI (normalized difference vegetation index), RVI (ratio vegetation index), SAVI (soil adjusted vegetation index), and DVI (difference vegetation index) were bell-shaped after transplanting. Difference in vegetation index between two crops was due mainly to the growth rate of rice plants. When normalization with unit time, however, changes of NDVI were similar in both crops. Reflectance in the near-infrared (for example, 756 nm) was suitable for estimating LAI (leaf area index), and their relationship was properly fitted to the inverse of the Mitscherlich function.

收到稿件(Received)：4 Mar. 1997.
接受刊登(Accepted)：25 Apr. 1997.

Key words: Rice, Canopy, Reflectance spectrum, Reflectance, Vegetation index, Leaf area index.

前 言

遙感探測技術現今已被廣泛應用於許多產業，在農業上的應用領域相當多樣化，包括土壤調查、耕地估計、作物生長狀態評估、病蟲害偵測、天然災害區域的定位與測量、乃至於各種農業活動及自源資源探測等，具有即時、廣域及非破壞性等特點 (Barrett and Curtis, 1982)。反射光譜是電磁能 (electromagnetic energy) 遙測的一種應用，其主要光譜波段涵蓋紫外光 (< 400nm) 、可見光 (400 ～ 700 nm) 、近紅外光 (700 ～ 1300 nm) 、及中紅外光 (1300 ～ 2500 nm) 等，在此等波段範圍下植被及地物皆可描繪出典型的反射光譜特徵曲線或光譜指紋 (Fuchs, 1990)。由植被反射光譜的分析，發現不同波段反射比值的變化與作物的生理反應及生長狀況密切相關 (Bauer, 1975; Walburg *et al.*, 1982; Ma *et al.*, 1997; Masoni *et al.*, 1997), 而以不同波段反射比值所計算之各種植被指數 (vegetation index) 則受到植被的發育及組織介量 (如葉面積指數、株高、水分含量、生質量、色素含量、細胞壁組成及葉片內部結構) 等影響，此性質可利用於作物植被的分類及發育階段的判定 (Kanemasu, 1974; Tucker *et al.*, 1979; Elvidge and Chen, 1995; Price and Bausch, 1995)。

遙感探測可以在三種不同的作業平臺操作，即地面觀測、飛行器航空觀測、及太空觀測。由於臺灣地區的耕作型態極爲複雜，耕地面積十分狹小，應用太空遙測仍遭遇光譜及空間解析度的限制。以 SPOT 衛星爲例，單一彩色影像點之空間解析度爲 20 m × 20 m，僅適用如水稻、玉米、甘蔗等大面積栽培的農作物。一般農作物光譜指紋所需解析度較高，而目前航測執行往往受限於法令及硬體設備，可能緩不濟急或實用困難。但不論未來太空 (如衛星、太空梭、太空站) 或航測平臺的空間解析度及波譜解析度如何改進，仍需依賴地面遙測完整的農作物指紋光譜資料庫，才能正確辨識與應用。因此遙測技術在農業上的落實應用，除了有賴未來發展更高解析度的遙測設施和健全法令規章外，尤須加強地面遙測資訊的蒐集與資料庫的建立。地面遙測可以在田間及實驗室進行，提供農作基礎物理特性及農作物與儀器設備間交感的資料，同時亦能單獨從事其他地面遙測試驗研究。常見的地面遙測研究有兩類，其一爲實驗室內的物體反射及放射光譜的測定，其二爲物體或環境事件在不同環境狀況下的光譜特徵曲線檢 (偵) 測 (Barrett and Curtis, 1982)。惟國內有關地面遙測之研究仍闕如，亟待建立。

植被指數原係針對航測及太空遙測之空載多譜掃描儀 (multispectral scanner, MSS) 掃描結果的應用，目的在估計農作物植被變數，例如綠被百分比 (percent green cover) 、葉面積指數、吸收光合活化輻射 (absorbed photosynthetically active radiation) ，淨初級產物 (net primary productivity) 、蒸發散量、乾物質產量、乃至逆境受害種類等。Elvidge 和 Chen (1995) 曾整理分類各種植被指數，本試驗採用標準植被指數差 (NDVI) 、土壤校正植被指數 (SAVI) 、植被指數比 (RVI) 及植被指數差 (DVI) 等四項利用農作物植被特定波長以評估植被覆蓋與生長特徵的參數，來探討是否適用於地面遙測水稻植被，並以建立植被指數資料庫提供航測及太空遙測等作業平臺之應用。

水稻是臺灣地區栽培面積最大，產值最高的糧食作物。以往本省對於水稻各項災害損失，多仰賴人工現場勘查，耗時費力。倘能利用遙測輻射光譜分析配合於災害的調查，將可節省許多人力物力，獲得快速、客觀而準確性高的檢測結果 (王，1977)，而首要之務爲建立水稻正常生育

過程及逆境下的地面遙測光譜資料。本文研究主要在測定與蒐集水稻族群植冠在正常生育過程下的反射光譜，分析紫外光、可見光及近紅外光等波段在一、二期稻作的變化，追蹤植被指數隨生育進展的改變，並探討葉面積指數與紅外光反射比的關係。

簡略詞： LAI = 葉面積指數，NDVI = 標準植被指數差，RVI = 植被指數比，SAVI = 土壤校正植被指數，DVI = 植被指數差。

材料與方法

本研究於1996年在臺灣省農業試驗所農場（東經120° 42′，北緯23° 30′，海拔高度85 m）進行田間試驗，地面遙測一、二期稻作族群植冠之反射光譜。參試水稻品種爲臺農67號，田間試驗採三重複試區，以南北向機械插植，小區面積11 m × 18 m。其中每小區又分爲兩部分，光譜測定區爲11 m × 10 m，水稻取樣調查區11 m × 8 m，以避免取樣後影響光譜的測定。第一期稻作自1996年2月29日插秧，至同年7月10日收穫，生育日數共計132天（本期作生育初期持續低溫，導致生育日數增加，成熟延遲）。第二期稻作自1996年8月5日插秧，至同年11月18日收穫，生育日數共計106天。試驗期間栽培管理方法採用慣行法，機械插秧行株距0.26 m × 0.20 m。插秧後兩週及四週分別施用臺肥39號及硫銨，施用量各爲400 kg ha^{-1}；抽穗前再施用尿素200 kg ha^{-1}。雜草管理係於插秧後一週內施用丁拉殺丹8%混合粒劑(5%, S-(4-chlorobenzyl)-N, N-diethylthiocarbamate;3%, 2-chloro-2',6-diethyl-N-(butoxymethyl)acetanilide)，施用量30 kg ha^{-1}，而插秧後4～6週行人工除草一次。二期稻作並施用三苯醋錫45%可濕性粉劑(Triphenyltin acteate)，施用量1 kg ha^{-1}，稀釋倍數1000X，以控制福壽螺及稻熱病。

稻苗移植後第三週開始定期取樣工作（此時植被尚未完全覆蓋），每一重複取8株調查農藝性狀，項目包括株高、分蘗數、葉數、葉面積及地上部各部位鮮重、乾重。葉面積係以面積儀(model LI-3000A, LI-COR Inc., USA)測定，乾重乃經80 ℃烘乾72 h後稱量，而葉面積指數則以葉面積除以取樣土地面積估算。光輻射係在水稻生育期間約每間隔3～4日選擇晴朗無雲的天候測定，選擇當地上午11:00至下午1:30期間遙測水稻族群植冠反射光譜（光輻射頻譜），以降低植冠反射光輻射受到太陽入射角的干擾（李，1995; Boochs, 1986）。光譜的偵測以攜帶式輻射光譜層析儀(spectroradiometer, LI-1800, LI-COR Inc., USA)爲之，外接石英光纖感應器(quartz fiber-optic probe)及遙控餘弦接受器(remote cosine receptor)置於植冠上方1 m水平測定（圖1）。掃描的波長範圍（頻譜）介於350～1100 nm，間隔2 nm，各試區至少測定3～5次，包括水稻植冠反射光輻射及當時入射日照光輻射。除了反射光譜的測定，並計算各波長的反射比（特定波長的光輻射／同波長的入射日照光輻射）。另依Nobel (1983)方法將350～1100 nm範圍反射比光譜劃分八個波段，分別爲400 nm波長以下的紫外光、400～425 nm波長的紫光、425～490 nm波長的藍光、490～560波長的綠光、560～585 nm波長的黃光、585～640 nm波長的橙光、640～740 nm波長的紅光以及740～1100

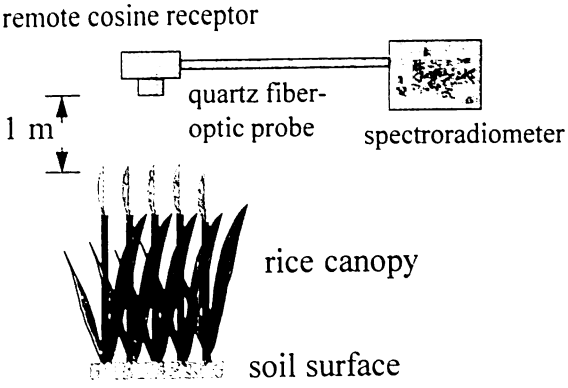


Fig. 1. The diagram of measuring system.

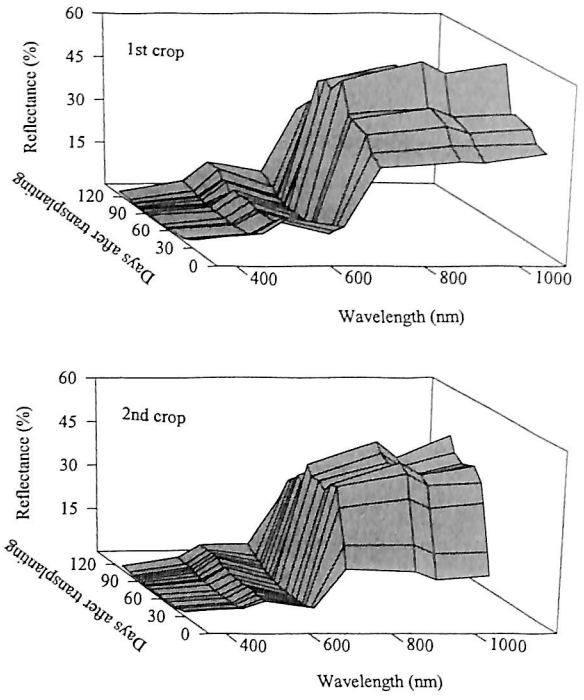


Fig. 2. Changes of reflectance spectra of rice canopy, cultivar Tainung No.67, during the first and the growing seasons of 1996.

nm波長的近紅外光等，取波段反射比平均值爲代表值，以比較各波段隨不同生育階段的變化趨勢。

爲追蹤植冠反射比光譜與植被覆蓋間之關係，乃計算隨生育過程演進的植被指數，本試驗共採用四種植被指數比較之：(1)標準植被指數差 (NDVI), NDVI= (NIR-RED)/(NIR+RED), (2)土壤校正植被指數 (SAVI), SAVI= (NIR-RED) × 1.5/(NIR + RED+0.5), (3)植被指數比 (RVI), RVI =NIR/RED, (4)植被指數差 (DVI), DVI= NIR-RED。其中NIR爲特定近紅外光波長756 nm之植冠反射比，RED爲特定紅光波長674 nm之植冠反射比 (Elvidge and Chen, 1995)。各植被指數變化趨勢皆估算最佳曲線 (best-fitted curve)，以比較不同期作水稻生育過程植被指數的變化及差異。又爲比較一、二期稻作之植被指數之類似性及相對差異，特以NDVI爲例，將插秧後至收穫日止的田間生育期定爲100單位時間 (unit time)，再將兩期稻作NDVI植被指數標曲線依相對日數比率 (即單位時間) 予以標準化 (normalization)。

另爲瞭解植冠反射比與葉面積指數 (LAI) 間之互動關係，乃選擇特定近紅外光波長756 nm之植冠反射比 (R_{ir}) 來比對葉面積指數 (LAI) 的變化，以 Mitscherlich function ($Y=A-b \times \exp(-kt)$) 反導而來的經驗模式 (即其對數函數)，$LAI= (-1/\alpha) \times \ln (1-R_{ir}/R_{\infty, ir})$，探討其適用性，解釋近紅外光與LAI之關係 (Clevers, 1986)。其中α爲斜率，$R_{\infty, ir}$爲LAI趨近無限大的近紅外光波長反射比的極大值。

結果與討論

葉片是水稻族群植冠主要構成單位，葉片解剖結構及生化組成關係著光輻射的吸收、穿透及反射。圖2顯示一、二期稻作族群全生育期的植冠反射光譜，此光譜與多數植物的光譜變化型態相似，在紫外光及可見光波段多不超過15 %，近紅外光波段則分佈在30 ～ 55 %之間。典型的曲線變化在高能的紫外光波段多被植體吸收或穿透，可見光波段在波長500 nm左右反射比逐漸增加，至550 nm左右達到頂點，然後逐漸下降至波長680 nm左右爲谷底。依Nobel (1983)方法將水稻植冠反射比光譜劃分爲8個波段 (圖3)，可進一步瞭解各波段在生育期的反射比分佈。由各波段全生育期的曲線，可以驗證高能的紫外光波段 (350 ～ 400 nm) 多被吸收或穿透，反射比值甚低。由於紫外光會傷害作物賴以進行光合作用的薄壁細胞，所以作物組織在發育過程就利用表皮的腊質、木栓及內部酚類物質將紫外光吸收 (Larcher, 1983)。圖3也顯示，紫光、藍光、綠光、黃光、橙光及紅光等波段多被植冠吸收，反射比概低於15 %，而近紅外光波段的反射比則表現近似拋物線。

Taiz和Zeiger (1991)指出在健康的綠色葉片由於葉綠體及其他細胞色素 (包

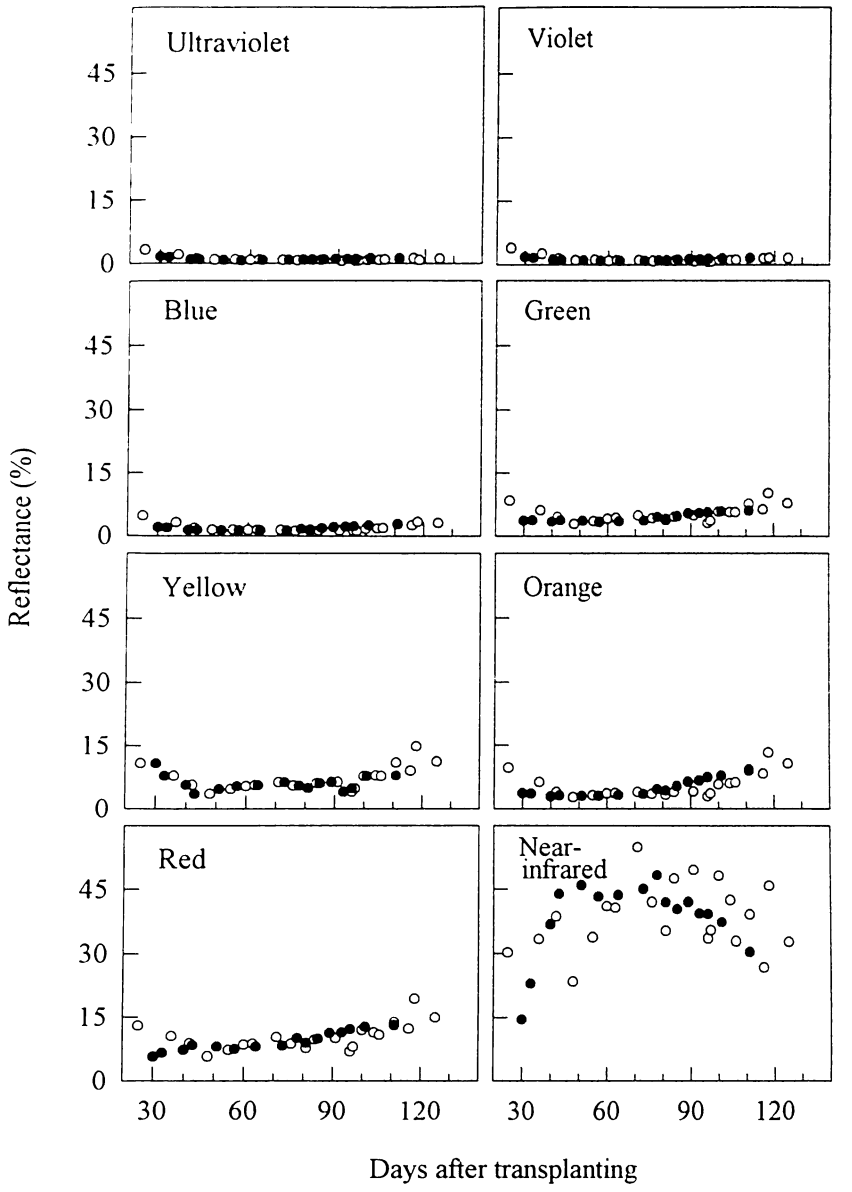


Fig. 3. Changes of reflectance of the different wavelength regions of rice canopy, cultivar Tainung No. 67, during the first(○)and the second(●) growing seasons of 1996.

括葉黃素、胡蘿蔔素及花青素等)對可見光(350 ～ 700 nm)的吸收，反射或穿透的光輻射很少。其中葉綠素a與葉綠素b爲吸收可見光波段最主要色素(達65％)，尤以藍光及紅光爲大宗吸收帶(葉綠素a的吸收波長大約在430及660 nm各有一高峰，葉綠素b高吸收帶係在460及640 nm附近)，而β胡蘿蔔素約在400 ～ 500 nm的範圍。因此，圖二的可見光最大反射比波段介於黃綠光區(約550 nm)是相當合理的，其餘光輻射的變化符合各細胞色素吸收的波段，反射量低。而在葉綠體崩解、細胞色素轉變、及植體水分降低等的生育後期，可見光則略有上升。

近紅外光波段的植冠反射比在稻株移植後呈現上升趨勢，至抽穗期前後達最高值，再逐漸下降(圖二)。惟在水稻族群植冠尚未完全建立的生育初期，部份近紅外

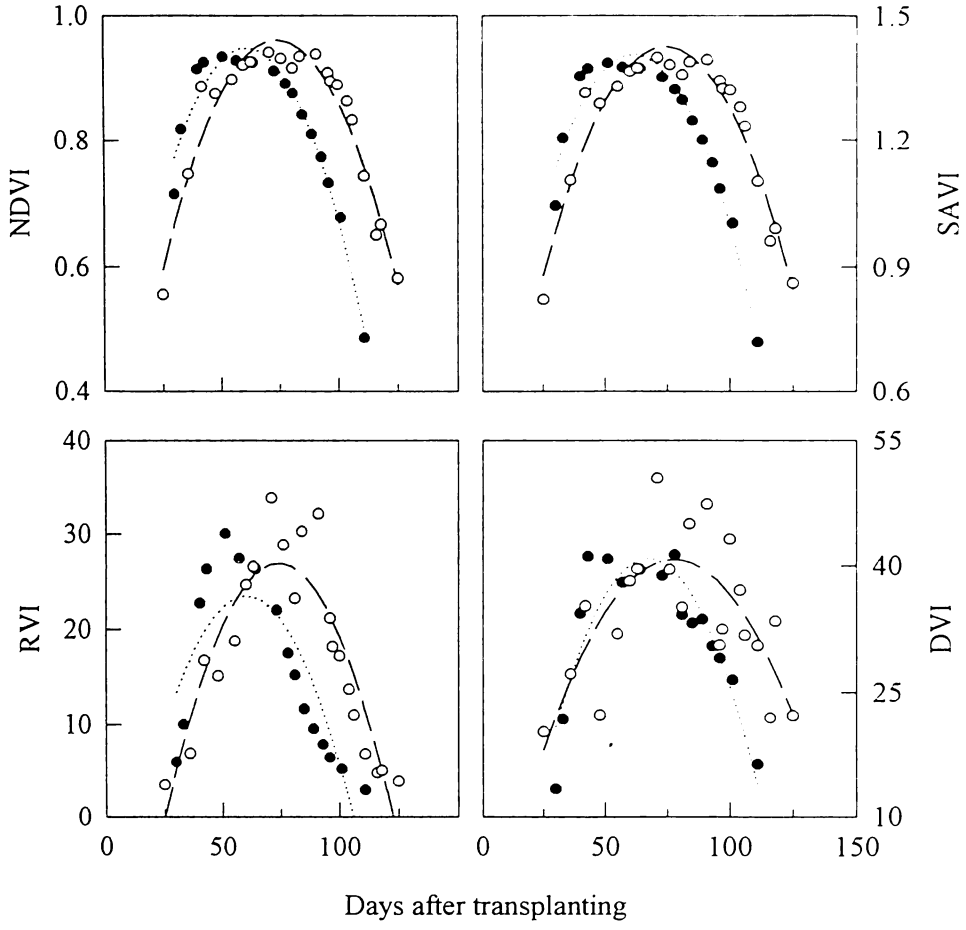


Fig. 4. Changes of vegetation indices of rice, cultivarTainung No. 67, during the first(○)and the second(●) growing seasons of 1996.

光波段被土壤及灌溉水吸收使反射比降低(Guyto, 1990)，隨後反射比多維持在30～55％之間，而於波長920 nm之後有一明顯的下凹部分，至960 nm以後再逐漸上升。在稻株黃化及老化的生育晚期，近紅外光的反射比亦較低。根據文獻報告(Gausman, 1982; Maas and Dunlap, 1989; Guyto, 1990; Walter-Shea *et al.*, 1991)，由於葉片色素及細胞壁纖維素(cellulose)對介於750～1350 nm的近紅外光波段幾乎透明，因此入射的光輻射絕大多數被植體反射或穿透，故近紅外光有較大的反射比。至於兩期稻作全生育期反射比光譜曲線的變化，一般而言二期作較一期作變異小，此乃試驗期間霧峰地區二期稻作之天氣較爲穩定，減少了遙測光譜受天氣(如雲層)之影響。

由圖4的結果，兩期稻作生育期間植被指數的變化呈現鐘形曲線，四個植被指數與生育日數均符合二次函數關係，其中又以NDVI及SAVI兩者適用性最佳(R^2 > 0.94)。比較兩期作間植被指數的差異，顯然生育過程的外在環境將造成生長發育速率出現差距，本文經分析1996年兩期作全生育期乾物重資料得到佐證。表一顯示地上部乾物重伴隨生育日數增加而上升，呈近似S型遞增曲線。一期稻作葉片乾物重在抽穗初期(約移植後90天)達最高，但是隨著部份乾物質轉移至穗部及老化現象而逐漸下降。莖桿乾物重變化趨勢在一期稻作並未於抽穗後顯著降低，穗部乾物重則自抽穗後快速累增直至收穫。二期稻

Table 1. The dry weights of plant parts and leaf area index (LAI) of rice cultivar, Tainung No.67, grown at Taiwan Agricultural Research Institute Experimental Farm, Wufeng, in the first and the second crops of 1996.

DAT[@]	Culm	Leaf	Panicle	Aboveground	LAI
			g pl^{-1}		
the first crop					
22	0.22	0.33		1.29	0.16
39	2.75	2.23		4.98	0.74
49	9.64	7.23		16.87	2.30
55	8.71	6.16		14.87	2.95
61	15.19	9.64		24.83	4.52
70	16.67	10.60		27.27	4.88
77	23.52	10.37		33.89	4.45
83	32.98	12.55		45.53	5.17
90	33.66	14.14	7.92	55.72	5.86
97	36.44	10.79	7.14	54.37	3.62
104	35.99	9.78	19.91	65.68	3.57
111	36.74	7.87	31.75	76.36	2.62
the second crop					
24	1.00	0.79		1.79	0.43
31	2.00	1.73		3.73	0.81
37	4.29	4.24		8.52	1.99
46	9.16	7.40		16.57	3.55
52	12.25	9.24		21.50	4.20
59	18.07	11.29		29.36	4.56
66	26.08	13.79	0.75	40.62	5.60
72	24.45	12.43	3.96	40.84	4.83
79	25.45	11.82	10.08	47.34	4.20
89	20.60	8.82	24.03	53.45	3.23
94	19.32	7.90	27.37	54.59	2.94
102	17.61	5.62	29.98	53.21	1.79

[@]DAT: days after transplanting

作的表現類似於一期者，惟抽穗較一期稻作提早約20天，且莖桿及葉片乾物重於抽穗後下降速率較快。

Murata 和 Matsushima(1975) 以放射線 ^{14}C 直接證明光合產物中碳水化合物多以蔗糖和澱粉等形式在抽穗前兩週急速蓄積於植株的營養器官，主要的儲藏器官爲葉鞘及莖稈，至抽穗前後濃度達到最大，其後濃度隨穀粒成熟的進展而下降。而一、二期稻作乾物質累積差異的主因爲氣候條件，衆所周知臺灣地區一期稻作氣溫及日射量皆由低而高，二期稻作則反之，氣象因子的改變與交感密切影響稻株生長及老化的轉變；一期稻作的氣候環境適合分蘖數、每穗穎花數、穎花的加大、及穀粒的充實；二期稻作則有利於初期稻株的生長，而不利於抽穗後的充實百分率及千粒重(何，1980)。圖4亦反應出一、二期稻作生育上差異所顯現植被指數的不同，由於移植後的快速生長，二期稻作達到相同的植被指數所需的生育日數較短。以NDVI爲例，將一期稻作曲線方程式 $Y=0.127+0.023\ X-1.519\times10^{-4}\ X^2$ ($R^2=0.94^{**}$) 及二期稻作曲線方程式 $Y=0.256+0.022\ X-1.831\times10^{-4}\ X^2$ ($R^2=0.96^{**}$) 予以一次微分後，導出一期稻作的極大值爲74.1天，二期稻作則爲61.2天，此結果符合田間一、二期稻作的發育事實，一期作發育確實較爲遲緩。然而兩期稻作的NDVI曲線除了時間落差呈現相

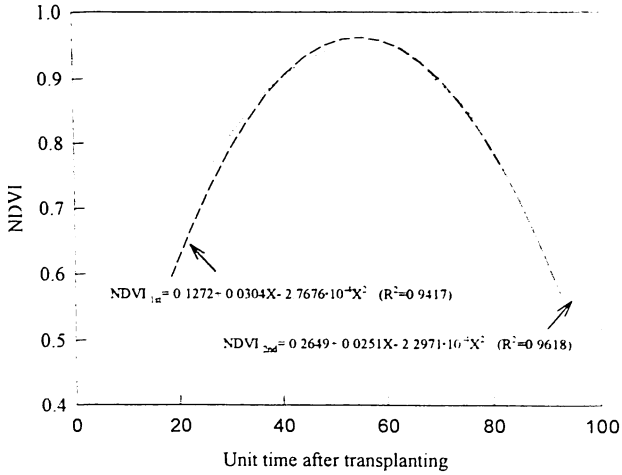


Fig 5. The curves of NDVI after normalization with unit timeof rice canopy, cultivar Tainung No. 67, grown in the first and the second growing seasons of 1996.

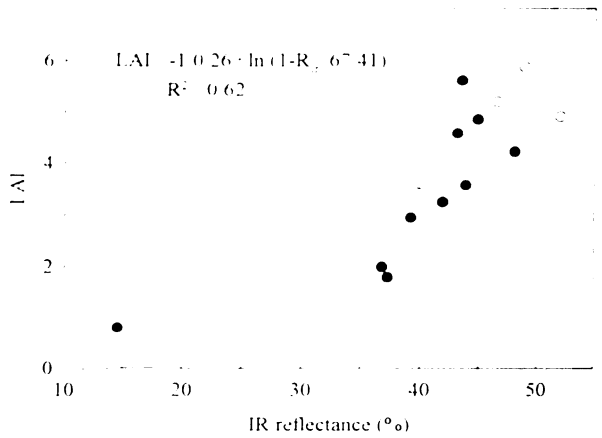


Fig. 6. LAI as a function of the near-infrared reflectance (756 nm) for rice cultivar Taichung No. 67 grown in the first (○) and the second (●) growing seasons of 1996.

對差異之外，其餘是否變化一致，值得深入探討。爲此，本試驗將插秧後至收穫日止的田間生育期定爲100單位時間，再將兩期稻作NDVI曲線依相對日數比率(即單位時間)予以標準化，結果如圖5。經標準化的一、二期稻作的NDVI曲線非常相近，其極大值同爲55天，顯見以單位時間表示的植被指數曲線在兩期稻作是類似的，此結果有利於植被指數的模式化應用。

因爲葉片是水稻最主要的光合作用器官，葉面積指數乃稻株光合成淨量的重要指標，可適切的反應出稻株生質量(biomass)的蓄積潛能，同時可作爲水稻植被覆蓋的參考。倘能利用遙測技術估測葉面積指數，在水稻生產上將會有實質的應用價值。利用作物反射光譜估計葉面積指數，已經有多人研究其適用性(Clevers, 1986; Baret and Guyot, 1991; Price and Bausch, 1995)。本文研究以Mitscherlich function反導而來的經驗模式 $LAI = (-1/\alpha) \times \ln(1-R_{ir}/R_{\infty,ir})$ 探討水稻植冠反射比光譜中的近紅外光與葉面積指數的關係。由圖六顯示，此一經驗模式確實適用於解釋近紅外光與葉面積指數間的關係，本試驗之水稻品種臺農67號之 $LAI = (-1/0.26) \times \ln(1-R_{ir}/67.41)$。依此模式，理論上當葉面積指數高達一最大值後，近紅外光的反射比將不再增加，此一最大近紅外光反射比趨近於67.41。

綜合以上試驗結果，將有助於瞭解水稻族群植冠反射光譜的整體特性及變化趨勢，對於未來運用航測或太空遙測資料從事廣域的探測甚具正面意義，可以協助解讀與判斷水稻栽植面積、生育階段、及產量估算。

誌 謝

臺灣省農業試驗所研究報告第1879號。本文研究承臺灣省政府農林廳中美農業科技合作計畫及中央氣象局計畫(CWB86-2M-01)經費支持，謹此誌謝。攜帶式輻射光譜層析儀承國立中興大學土壤環境科學系申教授雍慨借，亦致以誠摯的感謝。

引用文獻

王 鑫 1977 遙測學。pp.324-336

大中國圖書公司。

李佩玲 1995 遙感探測技術於水稻乾旱及氟化物空氣污染逆境調查之應用。中興大學土壤學研究所碩士論文。71pp。

何 惠 1980 水稻產量預測之研究。碩士論文，國立臺灣大學農藝研究所。臺北市。85pp。

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。

Barrett, E. C. and L. F. Curtis. 1982. Introduction to Environmental Remote Sensing. 2nd ed., Chapman and Hall, London. 352pp.

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

Bauer, M. E. 1975. The role of remote sensing in determining the distribution and yield of crops. Adv. Agron. 27: 271-304.

Boochs, F. 1986. The conception of a project investigating the spectral reflectivity of plant targets using high spectral resolution and manifold repetition. Symposium on remote sensing for resources development and environmental management. (eds.) Damen, M. C. J., G. SiccoSmit and H. TH. Verstappen. pp.201-206. Balkema, Netherland.

Clevers, J. G. P. W. 1986. The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of LAI. Symposium on remote sensing for resources development and environmental management. (eds.) Damen, M. C. J., G. SiccoSmit and H. TH. Verstappen. pp.215-220. Balkema, Netherland.

Elvidge, C. D. and Z. Chen. 1995. Comparison of broad-band and narrow-band red and near-infrared vegetation indices. Remote Sens. Environ. 54: 38-48.

Fuchs, M. 1990. Canopy thermal infrared observations. *In*: Instrumentation for Studying Vegetation Canopies for Remote Sensing in Optical and Thermal Infrared Regions. (eds.) Goel, N. S. and J. M. Norman. pp.323-333. Harwood Acad. Publ. Gmb H, U. K.

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

Guyot, G. 1990. Optical properties of vegetation canopies. *In*: Applications of remote sensing in agriculture. (eds.) Steven, M. D. and J. A. Clark. pp.19-43. Cambridge Univ. Press, London.

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

Larcher, W. 1983. Physiological Plant Ecology. pp.5-60. Springer-Verlag, New York.

Ma, B. L., M. J. Morrison and L. M. Dwyer. 1997. Canopy light reflectance and field greenness to assess nitrogen fertilization and yield of maize. Agron. J. 88: 915-920.

Masoni, A., L. Ercoli and M. Mariotti. 1997. Spectral properties of leaves deficient in iron, sulfur, magnesium, and manganese. Agron. J. 88: 937-943.

Mass, 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.

Murata, Y. and S. Matsushima. 1975. Rice. *In*: Crop Physiology. (ed.) L.T. Evans. pp.73-99. Cambridge Univ. Press, London.

Nobel,P. S. 1983. Biophysical Plant Physiology and Ecology. pp.185-238. W. H. Freeman and compony, New York.

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.

Taiz, L. and E. Zeiger. 1991. Plant Physiology. pp.179-218. The Benjamin/Cammings, California.

Tucker, C. J. 1979. Monitoring corn and soybean development with hand-held radiometer spectral data. Remote Sens. Environ. 8: 237-248.

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.

Walter-Shea, E. A., J. M. Norman, B. L. Bland and B. F. Robinson. 1991. Leaf reflectance and transmittance in soybean and corn. Agron. J. 83: 631-636.