

水稻旱害遙感探測技術

申雍*、章國威
國立中興大學土壤環境科學系
E-mail: yshen@nchu.edu.tw

摘要-----	58
一、前言-----	58
二、地真資料收集-----	59
三、乾旱等級劃分-----	60
四、遙測影像分析-----	61
五、結語-----	62
六、引用文獻-----	62
ABSTRACT-----	64

水稻旱害遙感探測技術

申雍*、章國威

國立中興大學土壤環境科學系

E-mail: yshen@nchu.edu.tw

摘要

農業用水約佔臺灣地區水資源的 75%，當降雨減少稻作生產易遭受旱害。如果可以利用遙測影像判別遭受旱害影響之水稻面積和受影響的程度，對於水資源的調配、稻作生產預估、以及農民災害補助等工作，都將可以提高工作的效率和準確度。分析累積的少數地真資料指出，植被指數 $NDVI \geq 0.7$ ， $SRVI \geq 5.5$ 可作為鑑別水稻是否遭受旱害之判定標準，且 $NDVI$ 和 $SRVI$ 的數值亦可作為區分旱害等級的依據。此外，應用遙測技術也可預估生育前期乾旱對水稻產量之影響。惟目前國內仍缺乏系統性的研究規劃，作為確認水稻旱害分類的依據，因此還無法將遙測技術落實於實際的旱害調查作業中。

關鍵詞：水稻(*Oryza sativa* L.)、乾旱逆境、特徵光譜、產量推估、遙測模式。

一、前言

水稻較其他作物有旺盛的土壤水分萃取率，因此易受到缺水影響，缺水所造成的問題則視缺水時期的長短，以及當時作物生育階段而異。抽穗前缺水可能干擾稻穗抽出 (Cruz and O'Toole, 1984 ; O'Toole and Namuco, 1983)，開花時期缺水將抑制受粉而提高小穗不稔率 (Cruz and O'Toole, 1984)，並可能減少有效積儲容量，導致穀粒產量及收穫指數下降。Ekanayake *et al.* (1990) 還發現低水分潛勢不僅減弱花粉活力與脫落能力，並降低花粉囊開裂程度，阻滯受粉而提高了小穗花不稔率。缺水若發生於穀粒充實期，雖不改變穀粒充實期的長短，卻會影響穀粒充實率及千粒重 (Rahman and Yoshida, 1985)，並加速葉片老

化 (Spiertz, 1977)。分蘗期與幼穗分化期是乾旱對水稻生育影響最大的兩個時期，楊和張 (1991) 認為抽穗前 20 天至抽穗後 10 天內對缺水反應最為敏感。

就作物葉片的反射光譜而言，波長介於 400~700 nm 之可見光 (visible)，為植物行光合作用時之能源，多被植物葉綠體吸收，故此段波長之反射量極低。波長介於 700~1300 nm 之近紅外光 (near-infrared)，由於受葉片柵狀組織之反射，在此波段呈現一強反射帶。波長介於 1300~3000 nm 之中紅外光 (middle-infrared)，主要被葉片中所含之水分吸收，反射率亦低 (Guyot, 1990)。當植物遭遇逆境時，葉片的反射光譜便受影響而改變，因此可以經由反射光譜的測定，以判定作物承受逆境的程度。

Richardson 及 Everitt(1987)以紅光及遠紅

光反射光譜偵測野牛草(buffalo grass)之水分逆境，結果比肉眼觀察提早 24 日得知。Inoue *et al.* (1993)發現玉米等 4 種作物之相對含水量與中紅外線(1430, 1650nm)之反射率呈正相關。Gausman and Quisenberry (1990) 指出葉片衰老會降低近紅外光 ($0.7\sim 1.3\ \mu\text{m}$) 之反射率。Kanemasu *et al.* (1974) 及 Shultis and Myneni (1988) 均指出，由近紅外光段 (IR) 與紅光段 (R) 灰度值所得之簡單植被比 (Simple-Ratio Vegetation Index, SRVI = IR/R) 與作物之葉面積有關。Hatfield *et al.* (1984) 及 Lapitan (1986) 指出，標準差植被指數 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI = $(IR-R)/(IR+R)$) 可反映可見光被作物利用之比率，Mojarro (1988) 則指出 NDVI 可反映作物之乾物質產量。Yang and Su(2000)指出在 2113.5nm 的反射值最能代表水稻乾旱逆境的等級。申及李(1998)及 Yang and Su(2000)均指出利用 NDVI 可以區別水稻乾旱逆境的等級。

目前農業生產約使用了臺灣地區 75% 的水資源，主要用於稻作的生產。近年來由於民生和工業用水的需求快速增加，因此農業用水經常被要求釋出供民生和工業使用。由於地形和季風的影響，臺灣西南部地區主要依靠水庫存蓄梅雨和颱風所帶來之降水，若梅雨和颱風的雨量少，將導致乾旱發生。在氣溫逐漸暖化的氣候變遷環境下，水田的蒸發散損失將更為提高，使得原已不足的農業用水更加短缺。如果可以利用遙測影像判別遭受旱害影響之水稻面積和受影響的程度，對於水資源的調配、稻作生產預估、以及農民災害補助等工作，將可以提高工作的效率和準確度。

以下將說明如何利用遙測影像判別水稻遭受旱害影響之面積和程度的技術，包括收集乾旱環境下植被反射光譜與產量等地真資料，研發偵測稻作乾旱逆境的光譜特徵參數，

建立檢測稻作乾旱程度的遙測模式，以及應用遙測影像的分析結果。

二、地真資料收集

遙測技術主要利用植被的反射光譜間接推測作物的生育性狀。因此，若欲利用遙測技術瞭解乾旱對水稻為害之程度與影響範圍，必須先獲得水稻在不同乾旱狀態下的植被反射光譜地真資訊，才能繼續進行後續的鑑別與分類工作。

於已知的乾旱受災地區選擇適當樣區，或在田間以人為斷水的方式造成乾旱逆境，利用可攜式光譜儀測定水稻植被的反射光譜，是兩種常見之收集地真資訊的方法。在天然乾旱受災地區中，由於區域較廣，常因是否處於供水管線末端，或是否自行鑿井灌溉等因素之影響，可產生不同等級之乾旱逆境，且容易獲得較多的樣區可供作為地真調查的樣本區。惟天然乾旱之發生具有不可預期性，當旱害發生時，必需能即時掌握災害之情報訊息，並立即協調進行相關調查的項目、方式與時間，方能獲得所需的資料。於田間利用人為斷水方式處理，則較易有系統的獲得所需的地真資訊，然而於進行田間斷水處理之試驗時，必須配備有可移動的大型自動遮雨棚設備，才能避免因天然降雨所產生的干擾。理論上，於溫網室內利用大型盆栽也可進行類似田間斷水處理之試驗，然而由於設施遮陰和微氣象環境改變，會導致水稻生育情形和植被反射光譜不同於田間之狀況。地真光譜收集時，也必須同時配合收集有關水稻生育性狀和產量的調查資料，才能將植被的反射光譜資訊轉化成所需的物理量，以供利用遙測影像進行乾旱等級區分、產量受損情形預估等相關調查工作應用。

申及李(1998)提供於民國 82 年中部地區發生嚴重乾旱時，在不同乾旱等級樣本區所量

測的水稻植被反射光譜。當水稻受到旱害時，因水分供應受到限制，葉肉細胞的膨壓下降，葉片發生捲曲，並促使水稻葉片老化，葉綠素含量減少，葉片呈現黃色。因而近紅外光段之反射率會降低，而可見光中紅光段的反射率則提高，且受災程度越大，此光譜改變現象越顯著。在嚴重乾旱之水稻田，其反射光譜則不僅為水稻枯黃之因素，尚且包含因稻株乾死而裸露之乾涸土壤之反射。

三、乾旱等級劃分

通常根據水稻生長表現情形，分成未受害（減產 $<20\%$ ）、輕微（減產 $20\sim50\%$ ）、中度（減產 $50\sim80\%$ ）及嚴重受害（減產 $>80\%$ ）四種不同程度之情況，為進行受災補助工作。由於當水稻處於乾旱逆境時，葉片因缺水而致葉片皺縮，葉面積指數下降，使得 SRVI 隨旱害嚴重程度增加而降低。而當水稻遭受逆境時，光合作用也將受到抑制 (Steven *et. al.*, 1990)，因而 NDVI 也因水稻受害程度增強而下降。申及李(1998)曾利用民國 82 年所發生之乾旱，於四種受災等級稻田中實測之反射光譜資料，訂出鑑別受災等級的 SRVI 與 NDVI 分類級距。

為確認申及李(1998)所定分類級距的適用性，民國 90 年曾在嘉義進行之人工斷水乾旱處理試驗。在一期作期間由於降雨頻繁，於分蘖期開始斷水之處理的產量為對照組之 97% ，於幼穗分化期開始斷水之處理產量為對照組之 98% ；二期作期間於分蘖期開始斷水之處理產量為對照組之 88% ，於幼穗分化期開始斷水之處理產量為對照組之 93% (圖 1)。兩期作各乾旱處理減產幅度都在 20% 以內，若進行受災等級調查，仍會被歸屬於未受害的等級。由地真反射光譜計算出之植被指數 SRVI 和 NDVI 的動態變化示於表 1，表中數據顯示，

除於水稻生育後期，因植被指數 SRVI 和 NDVI 原本即會快速下降外(楊及蘇，1997)，其餘各時期 SRVI 和 NDVI 之值均落於申及李(1998)對未受害水稻所提出的鑑別值域內，成為支持其提出之鑑別值域的另一證據。楊(2001，私人通訊)在霧峰農試所進行之人工斷水試驗，其 NDVI 植被指數與相對應之產量示於表 2，由表中數據亦可得知 $NDVI \geq 0.7$ 約可作為未受害(產量減少 $\leq 20\%$)的標準，而申及李(1998)以 $0.7 > NDVI \geq 0.6$ 作為輕度受害(產量減少 $20\% \sim 50\%$)的判定標準也仍成立。

表 1a. 嘉義試區二期作不同旱害處理之植被指數 SRVI 的動態變化。

DAT	未斷水	旱害處理	
		分蘖期開始 斷水	幼穗分化期 開始斷水
33	14.8	14.0	13.2
39	16.6	13.1	14.9
46	15.1	13.8	13.1
57	15.7	14.3	13.8
70	13.5	12.2	12.6
85	6.5	5.6	6.6

表 1b. 嘉義試區二期作不同旱害處理之植被指數 NDVI 的動態變化。

DAT	未斷水	旱害處理	
		分蘖期 開始斷水	幼穗分化期 開始斷水
33	0.87	0.87	0.86
39	0.89	0.86	0.87
46	0.88	0.87	0.86
57	0.88	0.87	0.86
70	0.86	0.85	0.85
85	0.73	0.70	0.74

水稻植被反射光譜經一次微分處理後，顯示兩處可以作為判釋旱害等級的區間，分別位於近紅外光段與綠光段(圖 2)，遭受乾旱逆境越嚴重之水稻，其一次微分值越低。近紅外光段一次微分值的差別雖大，但植被反射光譜具

有紅端位移(red edge shift)的現象也很明顯，因此除非有多張適當波段的高光譜影像可供應用，否則並不適合利用近紅外光區的微分值進行水稻乾旱等級的鑑別。在綠光段 525 nm 處的一次微分值($dR/d\lambda |_{525}$)與遭受乾旱的程度也呈現相關關係，且沒有光譜位移的問題，因此較適合作為鑑別用之特徵光譜，惟仍需累積更多的地真光譜與產量的調查數據，才能發展出必要的乾旱等級判釋遙測模式。

依據民國 90 年於嘉義乾旱處理試區在抽穗期間實測之植被反射光譜，計算其 NIR/R

和 NIR/G 波段比值後，再代入申等(2001)所提出的產量預估模式，以預估收穫時的可能產量，並與收穫時的實際產量比較(表 3)，可知不論一、二期作，對照處理和分蘖期開始斷水之處理的預估產量與實際產量間的誤差均小於 10%。二期作幼穗分化期才斷水之處理，由於測定時的反射光譜還未受到斷水處理之影響，因此產量才會高估約 26%。以上結果則顯示，申等(2001)所提出的產量推估模式，也可用於推估生育前期乾旱對水稻產量之影響。

表 2. 霧峰試區二期作不同時期旱害處理植被指數 NDVI 與產量之關係。

試區	營養生長期斷水			生殖生長期斷水		
	NDVI	產量(T ha ⁻¹)	相對產量(%)	NDVI	產量(T ha ⁻¹)	相對產量(%)
對照區	0.69	6.29	100	0.73	6.74	100
處理區	0.71	5.39	86	0.66	4.50	67

表 3a. 利用產量推估模式推估嘉義試區旱害處理之產量與實測產量之比較(一期作)。

項目	旱害處理		
	未斷水	分蘖期開始斷水	幼穗分化期開始斷水
實際產量(T ha ⁻¹)	4.74	4.60	4.65
推估產量(T ha ⁻¹)	4.33	4.54	NA [#]
誤差(%)	-8.61	-1.33	NA

#：受天氣影響未能完成反射光譜測定。

表 3b. 利用產量推估模式推估嘉義試區旱害處理之產量與實測產量之比較(二期作)。

項目	旱害處理		
	未斷水	分蘖期開始斷水	幼穗分化期開始斷水
實際產量(T ha ⁻¹)	4.63	4.08	4.30
推估產量(T ha ⁻¹)	4.32	4.03	5.43
誤差(%)	-6.65	-1.26	26.45

四、遙測影像分析

應用遙測技術進行災害調查，具有全面、

快速、客觀等優點。以民國 82 年中部地區大甲、梧棲、清水等地水稻發生之嚴重乾旱為例，為進行受災補助工作，係先由農民申報各水稻坵塊的受損情形，再由當地鄉鎮公所人

員，會同地區農業改良場的調查人員進行現地查核，在約莫半個月的時間內完成。由於時間非常緊迫，現地調查必然存在許多疏漏與不周全之處，且未留存客觀的證據，以備事後爭議發生時作為裁決的依據。

申及李(1998)曾就民國 82 年中部地區乾旱事件，探討利用衛星遙測影像分析受災程度的可行性。該研究指出，利用衛星影像製作的受災等級分佈圖，可表現出土壤水分供應能力的空間變異特性，遠較依據坵塊地籍資料配合現地勘災資料所建立的受災水稻分佈圖，更能反應實際的受災分佈情形。此外，衛星影像分類也較目視方式敏感且客觀，分類級距也可應實際需要彈性調整。可是受所用 SPOT 衛星空間解析度的限制，還不能判定個別坵塊的受災情形。若當時衛星影像之空間解析度能再提高，例如使用即將發射之華衛二號的衛星影像，則利用衛星影像並配合地籍資料電子圖檔，依每一地號區分其內水稻受乾旱影響之受災等級與面積，以計算該地號範圍內的平均受災程度將是有可能的。

五、結語

近年來，台灣地區乾旱發生頻率有增加現象。以上討論則顯示，應用遙測技術應可快速且客觀的判別遭受旱害影響之水稻面積和受影響的程度，對於水資源的調配、稻作生產預估、以及農民災害補助等工作都將有所幫助。

惟目前則因缺少必要之遮雨棚設施，不易於田間以人為斷水的方式，系統性的累積必要的地真基本資料。依據以往累積的少數地真資料，所建立的水稻旱害等級分類標準，應該仍有很大的改進空間。

六、引用文獻

- 申雍、李佩玲。1998。應用 SPOT 衛星影像區分水稻旱害等級與受災範圍支出步研究。中華農業氣象 5:203-208。
- 申雍、章國威、李裕娟、楊純明、羅正宗。2001。應用遙測技術推估水稻產量之初探。p.39-50。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。行政院農委會農業試驗所，臺中縣。
- 楊純明、張富洲。1991。水稻逆境之探討。科學農業 39：219-224。
- Cruz, R. T. and J. C. O'Toole. 1984. Dryland rice response to an irrigation gradient at flowering stage. *Agron. J.* 76: 178-183.
- Ekanayake, I. J., P. L. Steponkus and S. K. De Datta. 1990. Sensitivity of pollination to water deficits at antithesis in upland rice. *Crop Sci.* 30: 310-315.
- Gusman, H. W. and J.E. Quisenberry. 1990. Spectrophotometric detection of plant leaf stress. p. 257-276. *In: Environmental Injury to Plants.* F. Katterman (ed.). Academic Press, New York.
- Guyot, G. 1990. Optical properties of vegetation canopies. p.19-43. *In: Applications of Remote Sensing in Agriculture.* Steven, M.D. and J.A. Clark, eds. Butterworths, London.
- Hatfield, J. L., G. Asrar and E. T. Kanemasu. 1984. Intercepted photosynthetically active radiation estimated by spectral reflectance. *Remote Sens. Environ.* 14:65-75.
- Inoue, Y., S. Morinaga and M. Shibayama. 1993. Non-destructive estimation of water status of intact crop leaves based on spectral reflectance measurements. *Jpn. J. Crop Sci.* 62: 462-469.

- Kanemasu, E. T., C. L. Niblett, H. Manges, D. Lenhert and M. A. Newman. 1974. Wheat: Its growth and disease severity as deduced from ERTS-1. *Remote Sens. Environ.* 3: 299-260.
- O'Toole, J. C. and O. S. Namuco. 1983. Role of panicle exertion in water stress induced sterility. *Crop Sci.* 22: 44-50.
- Lapitan, R. 1986. Spectral estimates of absorbed light and leaf area index: Effects of canopy geometry and water stress. Ph. D. Dissertation, Dep. of Agronomy, Kansas State University, Manhattan, Kansas.
- Rahman, M. S. and S. Yoshida. 1985. Effect of water stress on grain filling in rice. *Soil Sci. Plant Nutr.* 31: 497-511.
- Richardson, A.J. and J.H. Everitt. 1987. Monitoring water stress in buffalograss using hand-held radiometers. *Int. J. Remote Sensing* 8: 1797-1806.
- Spiertz, J. H. 1977. The influence of temperature and light intensity on grain growth in relation to the carbohydrate and nitrogen economy of the wheat plant. *Neth. J. Agric. Sci.* 25: 182-197.
- Shultis, J. K. and R. B. Myneni. 1988. Radiative transfer in vegetation canopies with anisotropic scattering. *J. Quant. Spec. Rad. Trans.* 39: 115-129.
- Steven, M.D., T.J. Malthus, T.H. Demetriades-Shah, F.M. Danson and J.A. Clark. 1990. High-spectral resolution indices for crop stress. p.209-227. *In: Applications of Remote Sensing in Agriculture.* Steven, M.D. and J.A. Clark, eds. Butterworths, London.
- 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 21th Asian Conference on Remote Sensing.* vol.1. 4-8 December, 2000, Taipei.

Classification of Extent and Degree of Drought Stressed Rice by Remote Sensing techniques

Yuan Shen* and Kuo-Wei Chang

Department of Soil and Environmental Sciences, National. Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan ROC

E-mail: yshen@nchu.edu.tw

ABSTRACT

Agricultural production used 75% of annual water resources in Taiwan. At drought year, rice cultivation was severely affected. If remote sensing techniques are used to identify drought extent and degree of affected rice fields, the efficiency and accuracy of water management, rice production estimation, and damage compensation can be improved. From the preliminary ground truth data collected, we suggested that vegetation indices $NDVI \geq 0.7$ and $SRVI \geq 5.5$ can be served as the criteria for drought damage in rice. Drought level could be further classified according to the value of NDVI and SRVI. Besides, rice yield as affected by drought at early growth stage could also be estimated through remote sensing techniques. However, systematic experiments to confirm the drought classification scheme were still lacking. Therefore, remote sensing techniques are still not implemented in the field survey in Taiwan.

Key words: Rice(*Oryza sativa* L.), Drought, Characteristic spectrum, Yield estimation, Remote sensing model.