

利用光譜遙測技術檢測 稻株之氮營養狀態

◎ 農試所農藝組 李裕娟 楊純明
農試所嘉義分所 羅正宗
中興大學土環系 申雍

一、前言

稻米是國人的首要糧食，水稻亦是臺灣地區栽培面積最廣的糧食作物，更因為水稻的栽培兼具生活、生產與生態等機能，雖然近年來臺灣地區的經濟與農業環境迭有變更，然而水稻的栽培對臺灣地區的永續發展重要性卻益加突顯。氮素為水稻生產所必需的元素，適當增施氮肥更是貢獻稻穀生產的最主要因素，在一定的氮肥施用量範圍，稻穀產量會隨氮肥施用量的增加而上升。惟當氮肥施用過量或施用時期不當時，穀粒發育可能停止或改變代謝途徑，導致死米及乳白米的增加，而適度氮肥的施用則對稻米糙米率、白米率及完整米率有正面的作用。一般而言，米粒外觀差者施氮量與米質間無一定趨勢，米粒外觀佳者，氮肥施用量愈少，米質愈好，氮肥施用過量(一期作 140 kg N ha^{-1} ，二期作 90 kg N ha^{-1} 以內)對米質反而有負面的影響。因此若能正確而適時的施用氮肥，不但能穩定水稻產量且將助益於稻米品質的提升。

稻株體內的氮營養狀況可以表現於內部的生理反應和外觀的型態上，例如在氮素不足的狀況，葉片顏色變淡甚至產生黃化，甚或產生老葉提早枯萎、分蘗數減少、葉片狹長、植株矮化等現象。反之當氮肥過多時，葉色轉呈濃綠，分蘗數及葉面積增加，並出現莖部節間伸長、葉片軟弱等徵狀。在水稻營養生長期和幼穗形成期兩個關鍵階段，氮素的供應對稻株甚為重要，植體氮濃度愈高則分蘗數和葉面積愈多；當氮肥供給過多時，卻又易造成氮的毒害，或因營養器官過度繁茂導致光照不足，致使穀粒填充不飽滿而影響稻米品質。

在水稻生育早期，通常不易以目視方法準確鑑別稻株體內的氮營養狀況。傳統上係採用取樣化學分析的方式，瞭解植體各部位的氮素濃度或含量，再配合生育調查綜合評估稻株氮營養狀況。此種植體化學分析方法雖然可以精確測知稻株樣品的氮素狀態，但是破壞性的化學分析非常耗力費時，常無法進行大面積取樣及時獲知

田間水稻氮營養狀況的空間變異分佈，滿足廣大田區面積時效上的資訊需求。惟由於氮肥施用量可以改變作物的顏色與色澤、植株高度、葉面積與乾物生成及地面覆蓋率等徵狀而反應在植被的反射光譜上，因此植被反射光譜的變化被利用於反饋評估作物的氮營養狀況。作者即由近地面植被光譜的變化建立估測田間水稻氮素狀態的光譜特徵模式，國外亦有文獻報告指出玉米、小麥之氮營養狀況可由植被反射光譜進行判定。在實務操作的層次上，倘有適當的遙測模式可供判別田間水稻氮營養狀況的空間變異分佈，將有助於大面積田間水稻的氮肥精準管理。如此適時適量的施用氮肥，除了具有提高稻作產量和施肥的經濟效益外，也可以減少施用過多氮肥造成的污染，具有維護生態環境的積極意義。

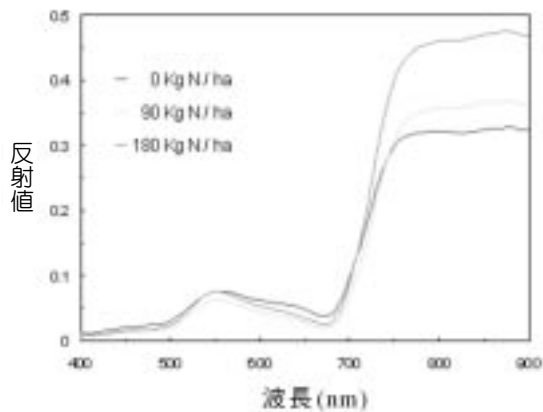
二、檢測稻株氮營養狀態之光譜遙測技術

作者曾以田間可攜式光譜儀 (LI-1800, LICOR, USA) 量測水稻植被 (冠) 的反射光譜 (350-1100 nm)，由一系列試驗研究過程，嘗試研發可評估田間稻株氮營養狀況的光譜遙測模式，作為進一步開發搭載於不同遙測載台 (手持、高空作業車、航空器等) 感測系統的基礎，並以配合農委會農業試驗所之精準農業研究團隊之各種需求，俾迅速進行田間稻株氮營養狀況空間變異分佈調查，同時提供相關資訊予專家決策系統之應用。本文介紹檢測稻株氮營養狀態之光譜遙測技術，期以推廣光譜遙測技術在國內的研究與應用。

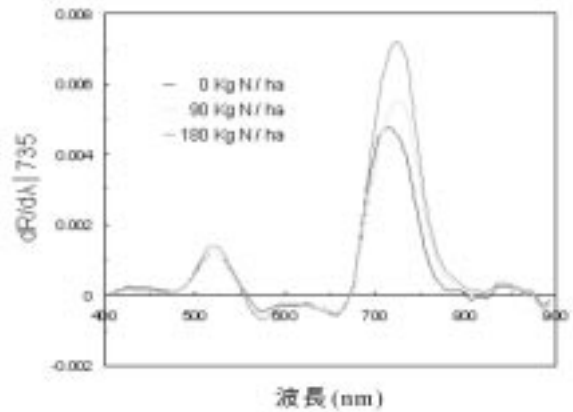
相關的試驗研究以水稻臺農 67 號為參試品種，分別於農業試驗所精準農業共同試驗農場及農業試驗所嘉義分所溪口農場進行田間試驗，利用不等氮肥施用量處理改變稻株體內的氮營養狀態。在水稻全生育期間每間隔 1-2 週即以光譜儀量測植被 (冠) 的反射光譜，也同時採集稻株樣本以化學分析植體內的全氮濃度。依據 SPOT 衛星之綠光、紅光、和近紅外光三個波段計算植被指數 SRVI (soil-adjusted vegetation index) 和 NDVI (normalized difference vegetation index)，也計算稻株反射光譜的一次微分，用以篩選適合鑑別氮營養狀態之光譜特徵及特徵參數，建立與稻株氮營養狀況相關的光譜遙測模式。

利用不等氮肥施用量處理造成之水稻植被反射光譜繪於圖一，清楚顯示處理間在可見光波段非常接近，因此在田間通常不易以目視方法準確區別稻株的氮營養狀況。在近紅外光波段的反射值，則隨著氮肥施用量的增加而上升，此一現象充分反映了氮肥供應充足稻株分蘗數和葉面積顯著增加的事實，因此在高植被覆蓋率下獲得高的近紅外光反射比。由表一及表二資料顯示，由計算的植被指數和一次微分值都可呈現稻株體內的氮營養狀況，但是 SRVI 和 NDVI 二項植被指數似僅適用於鑑別稻株體內氮營養狀態是否極度缺乏，並不易區分施肥處理區間的等級差異。由圖二，顯示出一次微分值可以突顯出不等氮肥施用量處理之間的差異，因此較適合作為鑑別稻株體內氮營養狀況的光譜特徵值。

將稻株體內氮濃度與植被反射光譜在 735nm 處一次微分值進行相關分析，發現



圖一、農試所嘉義分所溪口農場2000年一期稻作營養生長時期施用不同氮肥之水稻植被反射比光譜。



圖二、農試所嘉義分所溪口農場2000年一期作營養生長時期施用不同氮肥之植被反射比光譜一次微分値。

表一、水稻臺農67號2001年一期稻作農業試驗所嘉義分所溪口農場之不等氮肥施用量處理水稻在不同生長期之SRVI、NDVI及735 nm一次微分値及相對應之百分比

變數	3/29 ^z				4/14				4/25			
	0 ^y	45	90	180	0	45	90	180	0	45	90	180
SRVI	3.72	4.34	5.51	9.18	8.69	9.91	10.36	12.54	8.87	11.75	11.31	13.05
NDVI	0.58	0.63	0.69	0.80	0.79	0.82	0.82	0.85	0.80	0.84	0.84	0.86
dR/d λ ₇₃₅	2.21	3.50	3.26	4.68	5.18	5.25	5.76	6.70	4.82	5.70	5.81	6.02
SRVI	40.47	47.22	60.03	100.00	69.31	79.03	82.64	100.00	67.98	90.09	86.72	100.00
NDVI	71.67	77.81	86.23	100.00	93.12	95.82	96.68	100.00	92.97	98.32	97.66	100.00
dR/d λ ₇₃₅ ^x	47.29	74.70	69.67	100.00	77.40	78.42	86.06	100.00	80.00	94.65	96.42	100.00

^z 測定日期分別為2001年3月29日、4月14日、4月25日。

^y 氮肥施用量分別為0、45、90、180 kg/ha。

^x dR/d λ |₇₃₅^x 表示於735 nm光譜之微分値；1E3表示為1 × 10⁻³。

表二、水稻台農67號2001年一期稻作臺中縣霧峰鄉農業試驗所精準農業共同試驗農場之不等氮肥施用量處理在幼穗形成期之SRVI、NDVI及735 nm一次微分値及相對應之百分比

變數	81 ^z				83				87			
	0 ^y	60	120	180	0	60	120	180	0	60	120	180
SRVI	9.48	7.98	16.04	16.78	10.53	16.79	17.71	21.92	11.37	16.17	18.29	20.94
NDVI	0.81	0.78	0.88	0.89	0.83	0.89	0.89	0.91	0.84	0.88	0.90	0.91
dR/d λ ₇₃₅	5.50	4.75	7.50	9.50	5.75	8.50	8.75	10.00	7.00	9.50	8.00	9.75
SRVI	56.48	47.55	95.59	100.00	48.01	76.60	80.77	100.00	54.29	77.25	87.34	100.00
NDVI	91.16	87.58	99.45	100.00	90.55	97.24	97.85	100.00	92.24	97.22	98.62	100.00
dR/d λ ₇₃₅ ^x	57.89	50.00	78.95	100.00	57.50	85.00	87.50	100.00	70.78	96.40	83.38	100.00

^z 分別表示農試所試驗田81號、83號、87號。

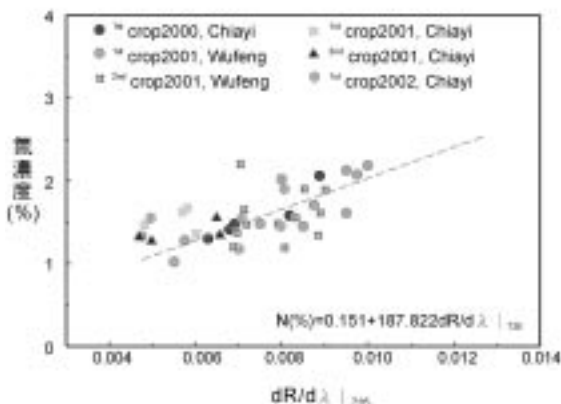
^y 氮肥施用量分別為0、60、120、180 kg/ha。

^x dR/d λ |₇₃₅^x 表示於735 nm光譜之微分値；1E3表示為1 × 10⁻³。

兩者具有良好的線性正相關(圖三)，顯示植被反射光譜在 735 nm 處的一次微分值確可作為鑑別稻株體內氮營養狀況的光譜指標。此一線性關係適用於農委會農業試驗所精準農業共同試驗農場及嘉義分所溪口農場等兩地區的不同年期(2000至2002年)試驗結果，彰顯出迴歸模式具有適用於不同地點及不同期作的能力。經由累積不同地點、不同期作的光譜資料和稻株氮濃度數據，才能進一步建立判斷稻株體內氮營養狀況的完整模式，涵蓋各種環境條件的變異，廣泛適用於精準農耕系統之中。

三、結語

欲將光譜遙測模式落實於實際應用，尚需擬定標準水稻植體內氮素濃度及其相對應可能獲得的產量與品質資料，澄清達到標準氮素濃度的氮肥施用量及土壤轉換施用氮肥成為有效性氮素的供應比例，並釐清土壤既有氮素供給量與供給效率，才能串連轉換鏈流程得到氮肥精準管理的務



圖三、水稻臺農 67 號種植於臺中縣霧峰鄉農委會農業試驗所精準農業共同試驗農場及嘉義分所溪口農場 2000-2002 年一、二期稻作之反射比光譜一次微分值與稻株氮濃度之相關圖

實做法。此外，各種土壤組成之間的差異，微生物的作用，以及氣象環境與耕作措施的潛在效應，均將影響投入與產出，也需要一併融入綜合分析。

本文闡述了光譜遙測技術的應用潛力與價值，也挑明了從研究到應用所必須考量的複雜面向。針對生物及非生物的管理，吾人可以從大自然的多元機制理出頭緒，值得玩味的是，吾人是否可以從大自然的奧秘中找到人類永續生存的正確道路。

四、參考文獻

- 宋勳。1980。台中區農業改良場研究彙報新 3：220-223。
- 侯福分。1988。稻米品質研討會專集。242-248。台中區改良場編印。
- 張正賢。1988。稻作學精要。國立編譯館。
- 賴明信、陳正昌、郭益全、陳治官、李長沛、曾東海、林英俊。1997。中華農業研究 46(1):1-14。
- 楊純明、蘇慕容。1997。中華農業氣象 4(2):87-95。
- Blackmer, T. M., J. S. Schepers and G. E. Varvel. 1994. Agron. J. 86:934-938.
- Blackmer, T. M., J. S. Schepers, G. E. Varvel and E. A. Walter-Shea. 1996. Agron. J. 88:1-5.
- Stanhill, G., V. Kalkofi, M. Fuchs and Y. Kagan. 1972. Isael J. Agric. Res. 22: 109-118.
- Walburg, G., M. E. Bauer, C.S.T. Daughtry and T. L. Housley. 1982. Agron. J. 74:677-683.
- Yang, C. M. 2001. 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).