

施用氮肥對水稻植株氮素、葉綠素 及植被反射光譜之影響¹

李裕娟² 楊純明^{2,3} 張愛華²

摘要：本文研究係在行政院農業委員會農業試驗所農場（臺中縣霧峰鄉）進行，以水稻臺農67號品種 (*Oryza sativa* L. cv. TNG67) 為試驗材料，施用氮肥為對照田區，不施氮肥為處理田區，探討施用氮肥對水稻植株與葉片之氮素、葉綠素及植被反射光譜 (350~1100nm) 之影響。田間試驗實施於1999年一、二期稻作生育期間，同時測定土壤氮素及稻株的生長性狀、葉片氮素與葉綠素、地上部氮素與葉綠素、及植被反射光譜。根據試驗結果，施用氮肥田區之土壤氮素普遍高於不施氮肥田區者，使得生長其上的稻株氮素與葉綠素含量有高於不施氮肥田區稻株之趨勢。由全生育期的葉片及地上部植體葉綠素與氮素含量變化，顯示一、二期稻作的施肥田區植株普遍高於不施肥田區植株，且氮素含量與葉綠素含量之間具有顯著曲線相關。無論一、二期稻作，施肥區稻株的葉面積、地上部鮮重及植株高度均優於不施肥區稻株，惟二期稻作之差距不若一期稻作明顯。兩期作在幼穗分化期至抽穗期量測之植被反射光譜曲線，以近紅外光波段 (740-1100 nm) 較能反映出施用氮肥的效應，可作為區分施用氮肥與否之指標波段。續以波長反射比與葉片氮素含量進行相關強度分析，發現藍光波段及近紅外光段的相關係數絕對值較高。在量測之光譜範圍中 (350-1100 nm)，一期稻作以720 nm位置相關係數最高，二期稻作則以708 nm位置最高，此兩波長之反射比與葉片氮素之關係呈現二次曲線函數，決定係數 (R^2) 分別達0.856 (一期作) 及0.550 (二期作)，可利用於氮素估測與追蹤。又由反射光譜曲線之綠光波段反射比 (G)、紅光波段反射比 (R) 及近紅外光反射比 (NIR) 之波段比 G/R、NIR/R、NIR/G 與 NDVI (標準差植被指數) 在水稻全生育時期的分佈，發現亦呈現二次曲線趨勢，曲線高峰出現在穗形成期，而施用氮肥田區之測值在全生育時期皆高於不施肥田區者。此一現象類似於稻株葉片及地上部之氮素與葉綠素含量表現，並顯示稻株植體葉綠素含量較多者，多處於較高氮素含量狀態。綜合上述結果，顯見施用氮肥田區的稻株之氮素、葉綠素及生長性狀皆高於不施肥田區之稻株，在植被反射光譜上的區分，以幼穗分化至抽穗期間之穗形成期近紅外光波段分辨施肥與否較佳，波段比 NIR/G 及 NIR/R 亦適合利用於區分施用氮肥效應。

關鍵詞：水稻、氮素、葉綠素、光譜特徵、波段比、植被指數。

前 言

氮肥是穩定和提高水稻生產最重要的肥料之一，卻也是最不容易正確施用的肥料。在水稻生育過

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第2099號。接受日期：91年3月23日。
2. 本所農藝組助理、副研究員及農化組助理研究員。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。
3. 通訊作者；電子郵件：cmyang@wufeng.tari.gov.tw；傳真機：(04)23302806。

程中，即使吸收等量的氮素，由於吸收的時期不同，稻株的型態和產量構成要素常互異，產量也隨之變動^(6, 7)。此說明了氮肥的施用量、施用時期、及施用方法相互搭配的重要與必要，不同組合及衍生的交感作用，都將產生深遠的影響。

在作物生育所必需的氮、磷、鉀三要素中，一般言氮素與稻株植體組織及形態有關，並直接影響稻米蛋白質與澱粉的含量，進而改變米飯食味。生育期間氮肥施用過多或施用時期不當，可能會使植株組織衰弱，稻葉變寬下垂而容易引起倒伏，並使穀粒千粒重減輕、穀粒發育停止、及死米與乳白米數目增加，導致有色米及斑點米之比率升高而減損商業價值⁽⁸⁾。氮肥施用過量（一期稻作 140 kg N ha⁻¹，二期稻作 90 kg N ha⁻¹以上），亦對米質有負面的作用⁽⁹⁾，尤其在水稻生育後期為然。此時過度供應氮肥將形成“營養過剩”，使得米粒蛋白質及直鏈性澱粉過高，造成米飯烹調後容易變黃，硬度增加且黏性降低而影響口感。因此，適度調整後期氮肥施用量，是生產好吃的良質米最重要的施肥技術，不僅能穩定產量，並對提高稻米品質有所助益⁽¹⁰⁾。

為求控制水稻氮肥之供給，目前的肥培管理已將水稻氮肥分成基肥、數次的追肥和穗肥施用，其中營養生長時期吸收的氮素量約佔總吸收量的 55～65%，幼穗形成期到抽穗期為 25～35%，抽穗到收穫期為 5～10%，以生育初期需氮量占較大的比例。然而，很多時候農民多憑個人經驗決定施肥的時間與用量，常有過量施用情事，未能達到依照稻株體內氮營養狀況而施用的精準管理層次。在環保意識高漲的今日，民眾已意識到過量氮肥施用帶來的環境污染與生態破壞，強烈要求適度管制對包括肥料在內的人造化學品的使用。如何有效而精準的管理肥料施用，以維持質量穩定的糧食生產，並減少環保問題，遂成為現階段農業生產的首要考量課題。

輻射光譜遙測技術為非破壞性的檢測方法，能夠及時又大面積的檢（偵）測農作物生長狀態，經由資訊處理分析系統獲得量測結果。在農作物生育期間，因為成熟度、色素種類與濃度、內部細胞結構、水分含量、營養狀態等生理和生化因素的改變，可能導致植被（冠）反射光譜發生明顯的時空變異^(4, 21, 22, 23, 30)。此種植被對太陽輻射的反射光譜變化，已被廣泛利用於有關作物逆境種類與程度等多樣遙測調查^(1, 34, 35, 40)。由於氮肥改變作物的葉面積、乾物生成、株高、葉綠素濃度、植體顏色、及地面覆蓋率等性狀^(25, 32, 12, 37, 38, 36)，預料將影響作物植被的反射光譜，故可利用植被反射光譜的時空變異評估作物氮營養狀態的變異分佈。

葉綠素是一般高等綠色植物的主要色素，扮演能源工廠的角色，提供太陽能及游離電子啟動光合作用運轉。通常高葉綠素含量可以吸收較多光能，在較高光照環境下愈能促進光合作用的進行^(24, 33)。由於氮素是葉綠素的構成分子，植體葉綠素含量（或濃度）較多者，也反映其處於較高氮素含量（或濃度）的狀態。因此，推測同一作物具有較高氮素含量的植株，其高葉綠素含量將有助於光合作用率及光合產物的生成^(26, 30, 27, 31)。在水稻研究上，葉綠素含量被發現與葉片及莖稈之氮素呈現正相關^(26, 27, 31)，且與產量關係密切⁽²⁶⁾，於是高葉綠素與氮素對生長將有正面效應。Lee and Yang⁽²⁶⁾和 Yang and Lee⁽³⁷⁾在稻株單葉之葉綠素研究結果，發現葉綠素總量在一、二期稻作的季節變化適用於 Gaussian 函數，葉綠素總量自生長初期開始增加至抽穗前達頂點，再隨著成熟老化遞減。又發現稻株葉片鮮重與葉綠素總量之間呈現直線相關 ($R^2 > 0.82$)，顯示葉綠素總量將顯著影響兩期稻作葉片鮮重之表現，並因而改變稻株生長與產量。

本文研究旨在測定施用氮肥對一、二期稻作的稻株葉片和植體氮素與葉綠素含量及植被反射光譜的影響，並探討稻株葉片氮素、葉綠素與光學性質在生育期間之變化及期作間差異，綜合評估是否可利用光譜遙測技術於估測稻株體內氮營養狀況及氮素管理。

材料與方法

水稻栽培與管理

田間試驗係於 1999 年農試所一、二期稻作田進行，將參試水稻 (*Oryza sativa* L.) 品種臺農 67 號

(TNG67) 秧苗以南北向機插於行政院農業委員會農業試驗所農場（臺中縣霧峰鄉）。田區土壤質地為壤土，在各期作插秧時測定之土壤主要化學組成成分如表一所列（農委會農業試驗所農化組化學分析研究室），未施氮肥田區之土壤氮素含量低於 1021 ppm，有機質小於 1.15%。以常態（正常）施肥為對照區，以完全不施用氮肥為處理區，採用完全隨機設計 (CRD)，4 重覆。本項試驗為探討氮肥施用對水稻植被（冠）反射影響之先驅性研究，為簡化試驗處理與效應，只以完全不施氮肥為處理田區。

表 1. 1999 年一、二期作施用與不施用氮肥田區插秧時的土壤化學成分分析

Table 1. Soil chemical components for the experimental plots applied with or without the nitrogen fertilizer at transplanting in the first and the second crops of 1999

Treatment	pH	O.M. (%)	Kjeldahl N (ppm)	Available P (ppm)	Exchange K (ppm)	Exchange Ca (ppm)	Exchange Mg (ppm)
1st crop, 1999							
Without nitrogen	6.08	1.15	931.70	42.15	122.08	963.17	176.83
With nitrogen	6.20	1.30	1084.85	25.27	80.37	860.67	166.33
2nd crop, 1999							
Without nitrogen	5.93	1.03	1021.00	54.30	147.43	785.00	142.00
With nitrogen	5.97	1.50	1078.70	19.53	81.37	846.67	162.67

本試驗水稻生育期間常態施肥區以硫酸銨為基肥，於插秧前施用，施用量 42 kg N ha^{-1} ；第一次追肥施用臺肥 39 號複合肥料，用量 24 kg N ha^{-1} ，於插秧後 28 天實施；第二次追肥（穗肥）以尿素在抽穗前 1-2 週施用，施用量 46 kg N ha^{-1} 。在插秧後一週內，施用 8% 丁拉殺丹粒劑 30 kg ha^{-1} 防除雜草，另於插秧後 28 天於施肥前人工除草一次。有需要防治病蟲害時，依照農委會出版之植護保護手冊推薦操作，以降低其對氮肥處理之影響。水稻生長期間定期調查株高、葉面積及地上部植體鮮重，以瞭解施用氮肥對稻株生長之影響。株高以直尺測量，葉面積以面積儀 (model LI-3000A/LI-3050A, LICOR Inc., USA) 測定，重量則以磅稱量取。

光譜量測及光譜特徵計算

全生育期水稻植被反射光譜之量測，自插秧後每隔 1-2 週以田間可攜式輻射光譜儀 (model LI-1800, LICOR Inc., USA) 測定植被反射光譜，波長測定範圍為 350-1100 nm，光譜解析度為 2 nm。測定時，將遠端接收器 (LI-1800-02 remote cosine receptor) 置於植被垂直上方約 1 m 處，偵測植被反射光輻射及太陽光入射光輻射。各重覆試區量測六測點，每一測點反覆測量太陽入射光譜及水稻植被反射光譜各三次，取平均值為測點代表值，再計算各試區均值及標準差。所有光譜的量測工作皆於上午十時至下午二時以前完成，以減少反射光譜受太陽入射角變動之影響。測定人員本身產生的干擾亦儘量避免之。

將量測之反射光譜範圍內之波長反射比與葉片氮素含量進行相關強度分析 (correlation intensity analysis)，以篩檢相關係數最高之波長位置，作為估測葉片氮素含量之光譜特徵。又選取水稻植被反射光譜三個波段，其中綠光波段為 $0.50\sim 0.59 \mu\text{m}$ (G)，紅光波段為 $0.61\sim 0.68 \mu\text{m}$ (R)，近紅外光波段為 $0.79\sim 0.89 \mu\text{m}$ (NIR)，以計算 G/R、NIR/R 及 NIR/G 等三項之波段比。另以 $(\text{NIR}-\text{R})/(\text{NIR}+\text{R})$ 計算標準差植被指數 (normalized difference vegetation index, NDVI)，以觀察波段比及 NDVI 在水稻生育期間之變化，並比較施用氮肥與否造成差異。

葉綠素與氮素之化學分析

葉片之葉綠素總量 (total chlorophyll) 於插秧後配合光譜量測定期取樣分析 (1999 年一、二期稻作)，以追蹤生育期間之變化。葉綠素化學分析方法採自 Arnon⁽¹²⁾ 修正法^(26, 36)，除了生育初期之外，每

次取樣均自每一重覆試區逢機割取4叢，取4叢平均為試區代表值，再以4重覆試區均值進行分析。每叢葉片打取圓形樣本分析葉片葉綠素，樣本先經海砂（約0.1 g）混合添加液態氮（約2 ml）以杵磨碎，加入80%丙酮萃取，再以2500 rpm (825 g) 離心10 min。取上層溶液以光電比色計 (model DU-68, Beckman Inc., USA) 讀取吸收率測值，再以下列公式計算葉綠素總量：Total chlorophyll (mg) = (D652×V)/34.5×W，其中D λ 為在λ波長 (nm) 之吸收率測值，V為上層溶液之容積 (ml)，W為葉片樣本或全株樣本之鮮重 (g)。

水稻植體及葉片氮素測定，係取前述水稻樣株，攜回實驗室以70-80℃烘乾72 h後磨碎篩濾(0.1 mm)，再以Kjeldahl方法分析樣本全氮濃度。秤取約0.2 g粉狀樣本置入50 ml分解瓶，加入0.2 g催化劑 (K₂SO₄ : CuSO₄ · 5H₂O : Se = 50 : 10 : 1, w/w) 及4 ml之36 N濃硫酸，於800℃電爐上加熱約2 hr至分解液呈淡青綠色時取出冷卻至室溫，加入去離子水 (NANOpure, Ultrapure Water System, Barnstead/Thermolyne Inc., Iowa, USA) 至50 ml均勻混合。取5 ml稀釋液加入10 N NaOH溶液5 ml，以蒸餾方式收取冷凝之蒸氣於加溴酚藍之4 ml硼酸溶液 (4%)，使顏色由紅轉成紫藍。再以0.01 N HCl溶液滴定，直至顏色再由紫藍轉成紅為止。樣本氮素含量 (%) 由下列公式計算：N(%)=0.01 × W_N × 8V × 50 ml/5 ml × 1/W，其中V為HCl之滴定量 (ml)，W為樣本重量 (g)，W_N則為氮素分子量 (14 g)。

結果與討論

本文研究之田間試驗係於1999年水稻一、二期作生育期間進行，由圖1之土壤氮素分析結果，發現常態施用氮肥之田區土壤氮素有高於不施肥田區土壤氮素趨勢，土壤氮素除了生育初期之外，不施肥區之土壤氮素含量大多低於正常施肥田區者。此一現象符合施肥邏輯，在生長初期由於稻株需氮素養分不多，前作殘留於土壤之氮素使得不施肥與施肥田區未出現差異，其後隨著稻株的旺盛生長及土壤氮素養分的吸收利用，正常施肥田區之土壤氮素含量將高於不施肥田區土壤氮素含量。

土壤氮素含量之變化，將影響可供水稻植株吸收之可利用氮素狀態，因此可預見將造成稻株植體氮素含量及生長上的差異。由圖2及3之結果，無論一、二期稻作，葉綠素與氮素在生育期間之變化類似，一般言生育前期之含量高於生育後期之含量。結果亦顯示，稻株葉片及地上部植體（葉片加稈）之葉綠素與氮素受到施用氮肥與否的影響；施用氮肥田區之稻株葉片及地上部植體之葉綠素與氮素含量普遍高於不施肥田區之稻株。林⁽⁵⁾之試驗指出，稻株含氮率在秧苗期較高，移植以後稍微降低，秧苗成活開始吸收養分後復又升高，在分蘗盛期呈現高峰，接著隨稻株增大使得稻株含氮率逐漸降低。Lee and Yang⁽²⁶⁾研究報告顯示，稻株植體葉綠素全生育期之變化適用於Gaussian函數解釋，決定係數(R²) 高達0.89。本文試驗符合前述結果，並證明無論葉片或地上部植體，葉綠素總量與氮素含量之間具有顯著曲線相關（圖4）。另又進一步呈現施用氮肥與否造成的差異，土壤氮素的缺乏將反應在植體葉綠素與氮素含量上的差距。至於兩期稻作之間的不同，推測係受到氣候環境及其產生的不等生長速率影響，尚待深入探討。

施用氮肥對稻株生長之效應如圖5所示，在所調查之葉面積、株高及地上部鮮重等性狀，施用氮肥田區之稻株均有大於不施肥田區稻株之趨勢，尤以葉面積之差異最為明顯。此一生長上的區別，可由葉綠素與氮素之生理意義予以解釋。氮素為蛋白質及葉綠素等的主要組成分，若缺乏將會影響植體的構成及生理活性。其中葉綠素是綠色植物行光合作用的能量工廠，它截取光輻射中可見光波段 (400-740 nm) 的能量，來提供固定大氣中二氧化碳所必需的推動能源^(17, 18, 19)。由稻株葉片及植體中葉綠素含量高低，可以粗估水稻生理活性之強弱，並可預期高氮素含量者具有較高葉綠素含量和光合成活力，獲得較高植體鮮重表現^(26, 36)，本文研究結果的確反映出此一事實。此外，林⁽³⁾以二種氮肥用量（每公頃施120及60 kg氮素）觀察對水稻生產特性的影響，發現葉面積指數及稻稈與稻穀之氮素含量均以施用120 kg者比施用60 kg者為高，但淨同化率及稻稈與稻穀之澱粉含量則相反。又從抽穗期至成熟期之稻

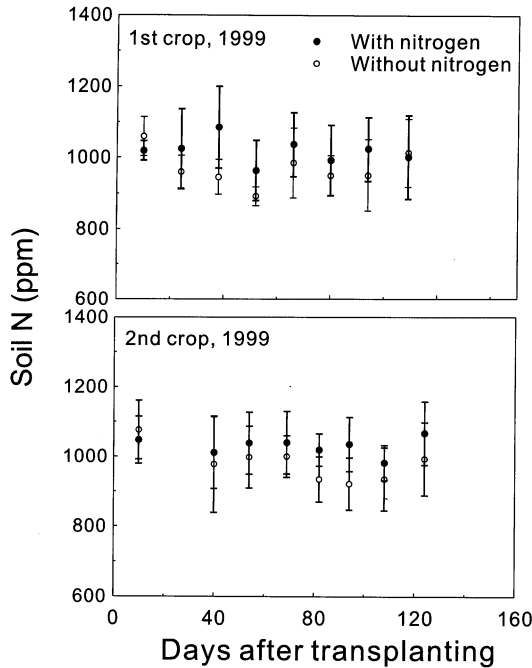


圖 1. 1999 年一、二期稻作期間施用氮肥之田區土壤氮素含量季節變化。

Fig. 1. Changes of soil nitrogen content in the experimental plots supplied with or without nitrogen fertilizer during the first and the second cropping seasons of 1999.

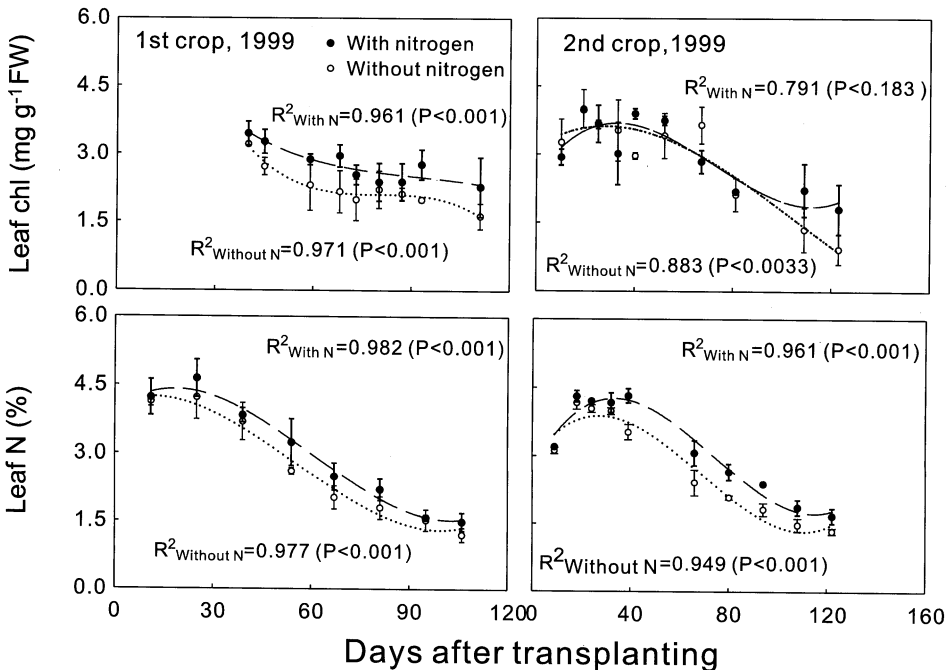


圖 2. 1999 年一、二期稻作期間施用氮肥對稻株葉片葉綠素及氮素季節變化之影響。

Fig. 2. Changes of leaf chlorophyll and nitrogen contents in rice plants supplied with or without nitrogen fertilizer during the first and the second cropping seasons of 1999.

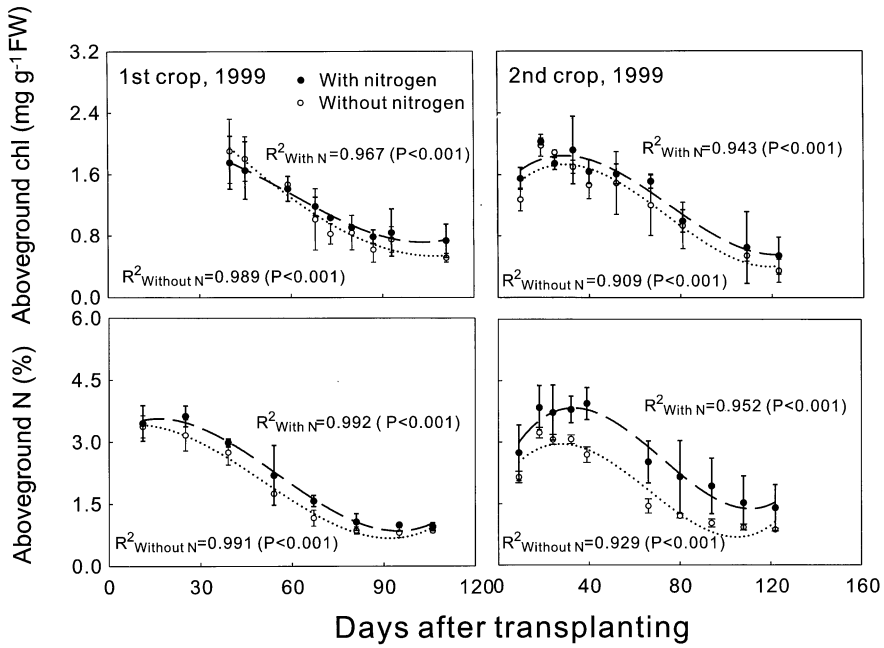


圖 3. 1999 年一、二期稻作期間施用氮肥對稻株地上部植體（葉片 + 稈）葉綠素及氮素季節變化之影響。

Fig. 3. Changes of aboveground chlorophyll and nitrogen contents in rice plants supplied with or without nitrogen fertilizer during the first and the second cropping seasons of 1999.

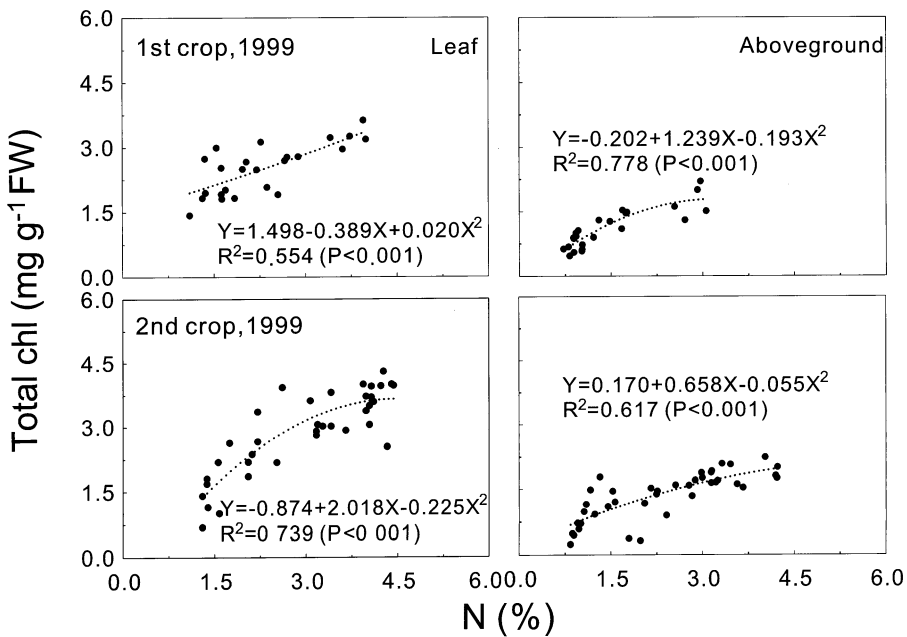


圖 4. 水稻臺農 67 號 (*Oryza sativa* L. cv. TNG67) 葉片及地上部植體之氮素與葉綠素總量之相關。

Fig. 4. Correlation between total chlorophyll and nitrogen content in leaves and aboveground plant parts in rice plants grown in the first and the second cropping seasons of 1999.

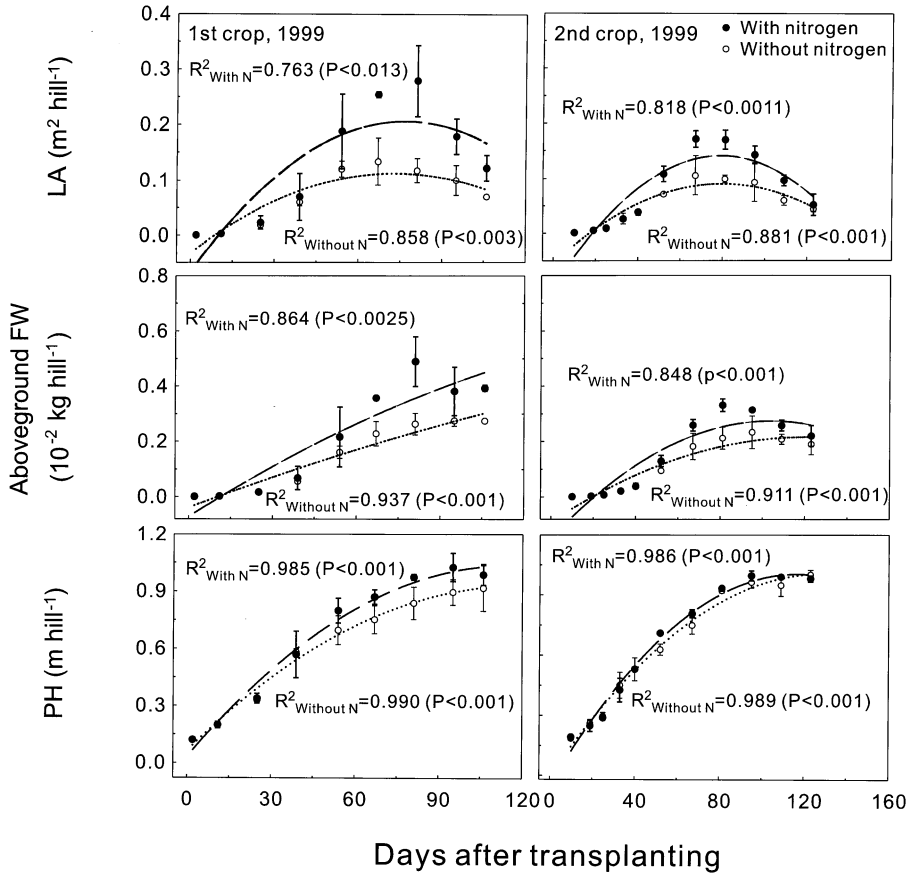


圖 5. 1999 年一、二期稻作期間施用氮肥對稻株葉面積 (LA)、地上部植體鮮重 (Aboveground FW)、及株高 (PH) 季節變化之影響。

Fig. 5. Changes of leaf area, aboveground fresh weight, and plant height in rice plants supplied with or without nitrogen fertilizer during the first and the second cropping seasons of 1999.

稈與稻穀之氮素含量減輕及轉移量，則以施用 120 kg 氮肥的結果比 60 kg 氮肥大，但澱粉含量減輕及轉移卻為相反結果，顯示改變氮肥施用量可能影響蛋白質生成及澱粉含量，值得進一步究明其增減比例對產量與米質之效應，釐清氮肥施用量與施用期之作用。

施用氮肥對水稻植被反射光譜之作用如圖 6 及 7，在兩期稻作之分蘗時期，施用與不施用氮肥田區之植被反射光譜曲線反應類似，變異區間互相重疊。自幼穗分化期至抽穗期之間，兩田區之光譜曲線逐漸分離，尤以大於 740 nm 之近紅外光波段為然。至抽穗期，反射光譜曲線之變異加大，顯示植被結構之複雜程度增加，此時稻株營養器官（如葉、稈）與生殖器官（如穗）並存，植體之幾何構造繁複。氮肥施用與否在此時有顯著分別，造成抽穗時間及程度不一，營養與生殖器官大小互異，不均勻的植被可預期造成兩種處理田區植被反射光譜上的極大不同，亦以近紅外光波段具有較大差距。由穀粒充實期開始，稻株植體及穀粒顏色由綠轉黃，整體構造又趨一致，使得變異逐漸縮小，於是光譜曲線又趨類似而重疊。惟二期稻作之施肥與不施肥田區之稻株差異仍大，氣候環境與缺氮促使不施肥田區之早熟稻株與施肥田區稻株有顯著不同外觀，在反射光譜上出入甚大。

水稻植被的反射光譜主要受到葉綠素吸收光輻射的影響，在藍光與紅光波段吸收率高而在綠光波

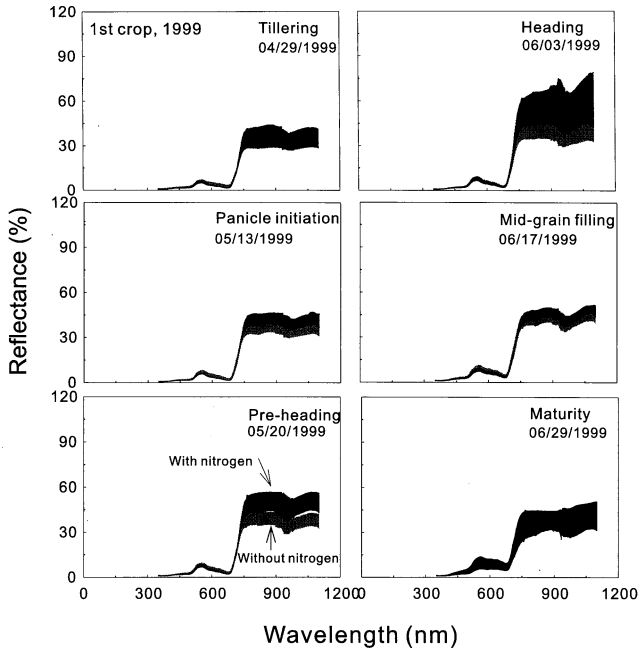


圖 6. 1999 年一期稻作期間施用氮肥對水稻不同生育期之植被反射光譜之影響。

Fig. 6. Changes of reflectance spectrum for rice plants supplied with or without nitrogen fertilizer during the first cropping season of 1999.

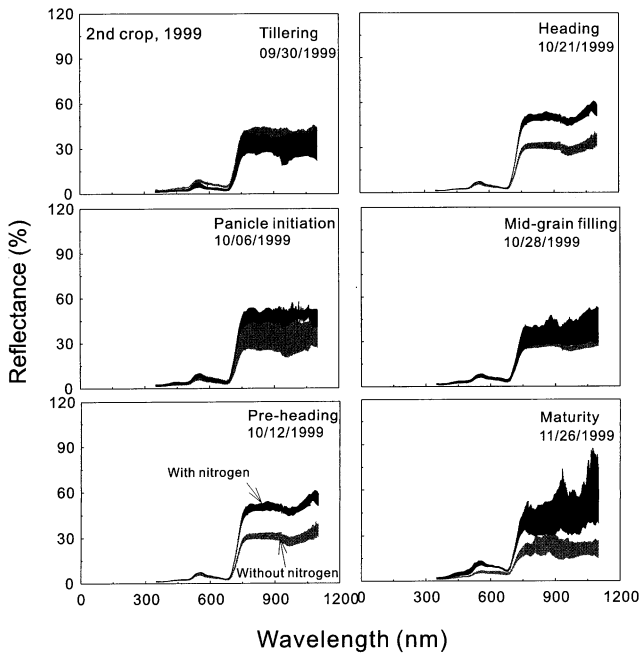


圖 7. 1999 年二期稻作期間施用氮肥對水稻不同生育期之植被反射光譜之影響。

Fig. 7. Changes of reflectance spectrum for rice plants supplied with or without nitrogen fertilizer during the second cropping season of 1999.

段吸收率低，近紅外光波段則隨著植被覆蓋率大小而改變；覆蓋率大者反射比例較高，反之則較低。在缺乏氮素時，可以發現在可見光區的反射會因葉綠素濃度降低而增加，在近紅外光區的反射值則因葉片細胞層數減少而降低^(39, 16)。由圖 6 及 7 顯示，施用氮肥田區之水稻具有較旺盛的生長及較大植被覆蓋率（資料未列出），對照上述之較高葉綠素與氮素含量，其在可見光區及近紅外光區之表現正如預期。尤其在近紅外光波段的較顯著差異，可作為稻株欠缺氮素之標的波段。

為了進一步瞭解植被反射光譜特徵與葉片氮素含量之相關，乃將各波長反射比與葉片氮素含量進行相關強度分析，結果如圖 8。兩期作之相關強度曲線類似，施用氮肥與否亦未造成曲線大幅異動，以藍光波段呈現較高正相關，近紅外光波段呈現較高負相關。由相關強度曲線中選擇相關係數最高之波長位置，第一期稻作出現在 720 nm，第二期稻作則落於 708 nm，此兩波長之反射比與葉片氮素含量均呈現二次曲線關係（圖 9），決定係數分別為 0.856 及 0.550。此二波長均位於所謂紅光波段至近紅外光波段之紅光臨界區（red-edge），反射比愈高則葉片氮素含量愈低，兩期作的趨勢相同。Barbara et al.⁽¹³⁾ 的研究亦指出，緊接近紅外光波段之紅光臨界區波長，可適用於估測植株的氮素含量，而可見光波段則可利用於估測植株葉綠素含量。本試驗圖 9 之關係模式，可利用於估測及追蹤水稻生育期間植株葉片之氮素含量，惟在氮素含量低於 1.5% 時適用性欠佳。

在水稻植被反射光譜中，可見光區的綠光波段（500~590 nm，G）受到葉綠素的吸收較少，其較強的反射利於綠色植物的辨別。葉綠素對紅光波段（610~680 nm，R）吸收強烈，因此綠色植物在此波段的反射低，非植物性的地物在此波段的反射較高。近紅外光波段（790~890 nm，NIR）不被葉綠素吸

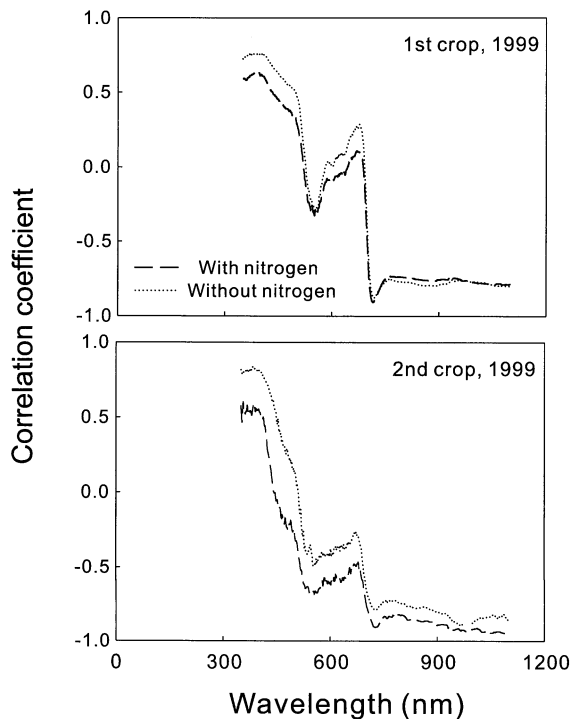


圖 8. 水稻臺農 67 號 (*Oryza sativa* L. cv. TNG67) 生育期間植被反射光譜之各波長反射比與葉片氮素含量之相關係數。

Fig. 8. Changes of correlation coefficient between reflectance and leaf nitrogen along the measured spectral range (350-1100 nm) for rice plants supplied with or without nitrogen fertilizer during the first and the second cropping seasons of 1999.

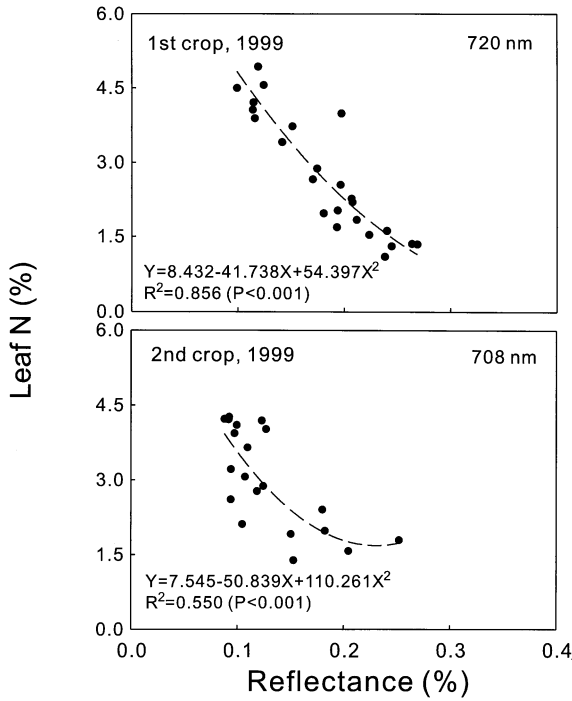


圖9. 水稻臺農67號 (*Oryza sativa* L. cv. TNG67) 生育期間植被反射光譜之720 nm (1999年一期稻作) 及708 nm (1999年二期稻作) 波長反射比與葉片氮素含量之相關。
 Fig. 9. Correlation between leaf nitrogen and reflectance at 720 nm (First crop) and 708 nm (Second crop) in rice plants grown in the first and the second cropping seasons of 1999.

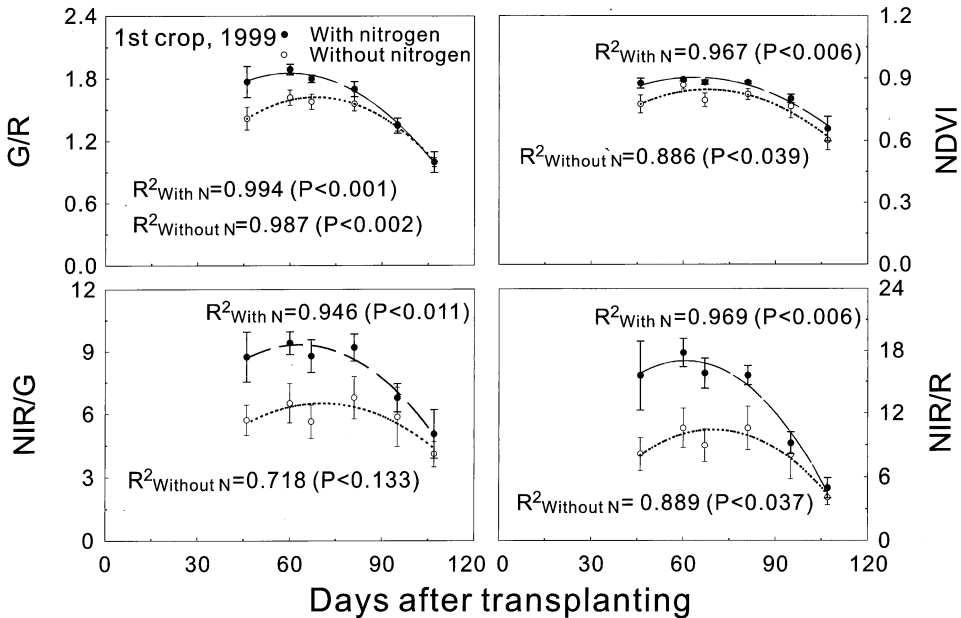


圖10. 1999年一期稻作期間施用氮肥對水稻植被反射光譜之波段比影響。G/R：綠光波段反射比與紅光波段反射比之比值，NIR/G：近紅外光波段反射比與綠光波段反射比之比值，NIR/R：近紅外光波段反射比與紅光波段反射比之比值，NDVI：標準差植被指數。
 Fig. 10. Changes of waveband ratios of green to red (G/R), near-infrared to green (NIR/G), near-infrared to red (NIR/R), and NDVI (normalized difference vegetation index) for rice plants supplied with or without nitrogen fertilizer during the first cropping seasons of 1999.

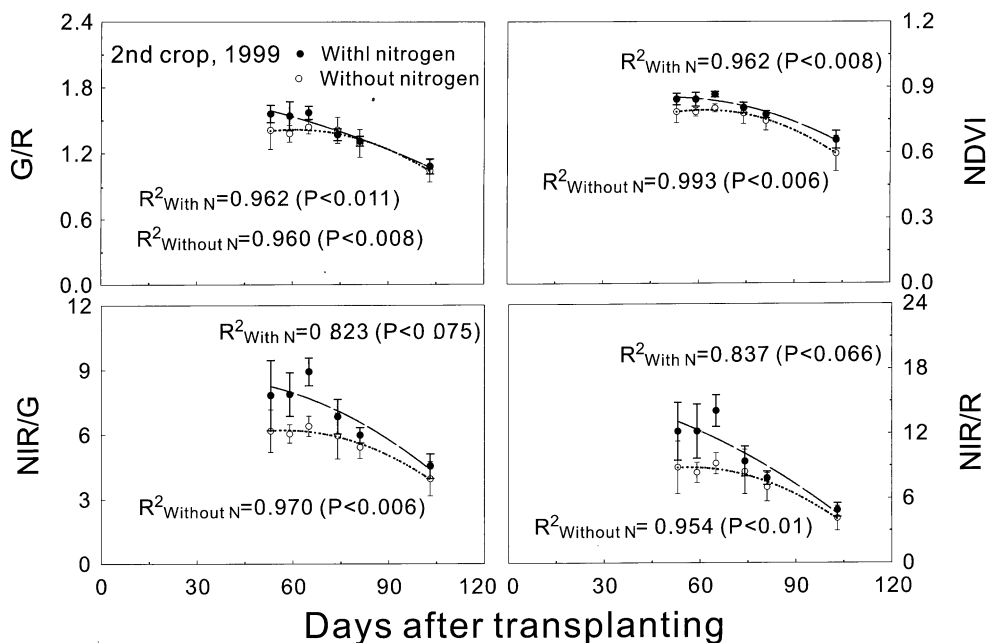


圖 11. 1999 年二期稻作期間施用氮肥對水稻植被反射光譜之波段比影響。G/R：綠光波段反射比與紅光波段反射比之比值，NIR/G：近紅外光波段反射比與綠光波段反射比之比值，NIR/R：近紅外光波段反射比與紅光波段反射比之比值，NDVI：標準差植被指數。

Fig. 11. Changes of waveband ratios of green to red (G/R), near-infrared to green (NIR/G), near-infrared to red (NIR/R), and NDVI (normalized difference vegetation index) for rice plants supplied with or without nitrogen fertilizer during the second cropping seasons of 1999.

收，並受到細胞壁及胞內氣體的反射，使得植被在此波段的反射值很高，有助於植物背景的辨識。在進行光譜遙測時，若未能同時量測入射太陽光輻射的資料，將無法直接以單波段反射值的高低進行鑑別，而常以波段比值方法予以克服^(27, 29)。本研究於是計算兩期稻作測得之光譜波段比，G/R、NIR/R、NIR/G及NDVI，觀察水稻生育期間之變化及施用氮肥與否造成之差異（圖10及11）。由生育期間之變化曲線顯示，波段比及NDVI呈現二次曲線分佈，於抽穗前達高峰，結果類似於楊及蘇（1997）⁽¹¹⁾之研究報告。無論一、二期稻作，正常施肥田區的比值皆高於不施肥田區者，反映出施肥田區的植被生長狀況不如正常施肥田區的生長表現。在此四項指標中，NIR/G及NIR/R在施用氮肥與否之區隔較大，適合利用於區分施用氮肥在植被生長（覆蓋）上之差異。

誌 謝

本文研究承蒙行政院農業委員會提供計畫經費(89 遙測-4.1-糧-41(4))支持，特以致謝。

引用文獻

1. 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之初步研究。中華農業氣象 5: 203-208。
2. 宋勳。1980。施肥法影響水稻碾米品質之研究。台中區農業改良場研究彙報新 3: 220-223。
3. 林再發。1998。氮肥用量對一、二期作水稻產量及生育性狀的影響。台中區農業改良場研究彙報 61: 13-23。
4. 林金樹。1994。光譜指標在環境變遷上功效之研究。航空測量及遙感探測 26: 43-75。
5. 林金樹。1998。光譜植生指標在森林資源調查林分鬱閉度預測模式上應用之個案研究。中華林學季刊 31(1): 51-63。

6. 林鴻淇、鍾仁賜。1982。光氣候、溫度和氮肥之交感對水稻不稔之影響。中國農業化學會誌 20: 21-31。
7. 林鴻淇、鍾仁賜、涂秀麗。1981。溫度與光氣候及營養間之交感對水稻之發育與分化及營養生理的效應 II 對氮素吸收、分配及利用之影響。中國農業化學會誌 19: 115-124。
8. 侯福分。1988。肥料對稻米品質之影響。稻米品質研討會專集。242-248 頁。台中區改良場編印。
9. 張正賢。1988。稻作學精要。國立編譯館。
10. 賴明信、陳正昌、郭益全、陳治官、李長沛、曾東海、林英俊。1997。現行水稻推品種生產力與氮肥用量之關係 II。氮肥用量對水稻品質性狀之影響。中華農業研究 46(1): 1-14。
11. 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 (2): 87-95。
12. Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidases in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24: 1-15.
13. Barbara, J. Y., and R. E. Pettigrew-Crosby. 1995. Predicting nitrogen and chlorophyll content and concentrations from reflectance spectra (400-2500 nm) at leaf and canopy scales. Remote Sens. Environ. 53:1 99-211.
14. Blackmer, T. M., J. S. Schepers and G. E. Varvel. 1994. Light reflectance compared with other nitrogen stress measurements in corn leaves. Agron. J. 86: 934-938.
15. Buttery, B. R., and R. I. Buzzell. 1977. The relationship between chlorophyll content and rate of photosynthesis in soybeans. Can. J. Plant Sci. 57: 1-5.
16. Buttery, B. R., R. I. Buzzell and W. I. Findlay. 1981. Relationships among photosynthetic rate, bean yield and other characters in field-grown cultivars of soybeans. Can. J. Plant Sci. 61: 161-163.
17. Chang, K. W., C. M. Yang and Y. Shen. 1997. Analysis of climatic and terrain effects on vegetation in Yuenyang Lake nature preserve using SPOT image. In: Proceeding of 1997 International Long-Term Ecological Research and Biodiversity Studies Conference. p.12-13. Taipei, Taiwan.
18. Earl, H. J., and M. Tollenaar. 1997. Maize leaf absorptance of photosynthetically active radiation and its estimation using a chlorophyll meter. Crop Sci., 37: 436-440.
19. Gausman, H. W. 1982. Visible light reflectance and absorptance of differently pigmented cotton leaves. Remote Sens. Environ. 13: 233-238.
20. Gausman, H. W., W. A. Allen, V. I. Myers and R. Cardenas. 1969. Reflectance and internal structure of cotton leaves, *Gossypium hissutum* L. Agron. J. 61: 374-376.
21. Hatfield, J. L., G. Asrar and E. T. Kanemasu. 1984. Intercepted photosynthetically active radiation estimated by spectral reflectance. Remote Sens. Environ. 14: 65-75.
22. Hesketh, J. D. 1963. Limitations to photosynthetic response of photosynthesis to light. Crop Sci. 19:54-58.
23. Inoue, Y. 1990. Remote detection of physiological depression in crop plants with infrared thermal imagery. Jpn. J. Crop Sci. 59: 762-768.
24. Johnkutty, I., and S. P. Palaniappan. 1996. Use of chlorophyll meter for nitrogen management in lowland rice. Fertilizer Res. 45: 21-24.
25. Ladha, J. K., A. Tirol-Padre, G. C. Punzalan, E. Castillo, U. Singh and C. K Reddy. 1998. Nondestructive estimation of shoot nitrogen in different rice genotypes. Agron. J. 90: 33-40.
26. Lee, Y.-J., and C.-M. Yang. 1999. Relationship of plant growth and chlorophyll content in field-grown rice. Chinese J. Agromet. 6: 191-200.
27. Lillesand, T. M., and R. W. Kiefer. 1994. "Remote Sensing and Image Interpretation". 3rd ed. New York: John Wiley & Sons.
28. Masoni, A., L. Ercoli and M. Mariotti. 1996. Spectral properties of leaves deficient in iron, sulfur, magnesium, and manganese. Agron. J. 88: 937-943.
29. Peng, S., R. C. Laza, F. V. Garcia and K. G. Cassman. 1995. Chlorophyll meter estimates leaf-based nitrogen concentration of rice. Comm. soil Sci. Plant Anal. 26: 927-935.
30. 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.
31. Sestak, Z. 1966 Limitations for finding a linear relationship between chlorophyll content and photosynthetic activity. Biol. Plant. 8: 336-346.
32. Stanhill, G., V. Kalkof, M. Fuchs and Y. Kagan. 1972. The effects if fertilizer applications on solar reflectance from a wheat

- crop. *Israel J. Agric. Res.* 22: 109-118.
33. 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. In: *Application of Remote Sensing in Agriculture*. p.209-228. Steven, M. D. and J. A. Clark (eds.). London: Butterworths.
34. Thomas J. R., and G. F. Oerther. 1972. Estimation nitrogen content of sweet pepper leaves by reflectance measurements. *Agron. J.* 64: 11-13.
35. Walburg, G., M. E. Bauer, C. S. T. Daughtry and T. L. Housley. 1982. Effects if nitrogen nutrition on the growth, yield, and reflectance characteristics of corn canopies. *Agron. J.* 74: 677-683.
36. 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.
37. Yang, C.-M., and Y.-J. Lee. 2001. Seasonal changes of chlorophyll content in field-grown rice crop and their relationships with growth. *Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(B)*. 25(4) :233-238.
38. Yang, C.-M., and C.-H. Cheng. 2001. Spectral characteristics of rice plants infested by brown planthopper. *Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(B)*. 25: 180-186.
39. Yang C.-M., and M.-R. Su. 1998. Correlation of spectral reflectance to growth in rice vegetation. In: *Proceedings of the 19th Asian Conference on Remote Sensing*. A1-1-1-A1-1-6. Manila, Philippines.
40. Yang C.-M., and M. -R. Su. 1998. Seasonal variations of reflectance spectrum and vegetation index in rice vegetation cover. In: *Proceedings of the 3rd Asian crop Sci. Conf.*, p.574-593 April 27 - May 2, 1998, Natl. Museum of Natural Sci., Taiwan (ROC).

Changes of nitrogen and chlorophyll contents and reflectance spectral characteristics to the application of nitrogen fertilizer in rice plants¹

Yuh-Jyuan Lee², Chwen-Ming Yang^{2,3} and Ay-Hwa Chang²

Summary

Field experiments were conducted in the experimental farm of Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, to study changes of nitrogen and chlorophyll contents and spectral characteristics to the application of nitrogen fertilizer in rice plants (*Oryza sativa* L. cv. TNG67) grown in the first and the second cropping seasons of 1999. It was shown a higher level of soil nitrogen in the soil applied with nitrogen fertilizer. Nitrogen and chlorophyll contents in leaves and aboveground plant parts of rice from the fertilized plots were greater than that in the plants from the non-fertilized plots during both growing seasons. Nitrogen and chlorophyll were shown curvilinearly correlated. Plants supplied with fertilizer had higher leaf area, aboveground fresh weight and plant height, especially in the first crop. Reflectance spectrum of rice canopy was affected by the application of nitrogen fertilizer with the distinct differences in the near-infrared waveband (740-1100 nm) from panicle initiation to heading stage in particular. By the correlation intensity analysis, it indicated that reflectance in blue and near-infrared wavebands were closely correlated to leaf nitrogen content. The highest correlation coefficient was located at 720 nm and 708 nm for the first and the second crops, respectively. The relationship between reflectance and leaf nitrogen at these two wavelengths was best fitted to the curvilinear function, with the determining factors (R^2) of 0.856 (First crop) and 0.550 (Second crop), respectively. The waveband ratios of G/R, NIR/R, NIR/G, and NDVI (normalized difference vegetation index) were curvilinearly distributed during rice growth in both crops with the plateau in the panicle formation stage. The ratios were found higher from the fertilized plants, with NIR/G and NIR/R as better indicators.

Key words : Rice, Nitrogen, Chlorophyll, Spectral characteristics, Waveband ratio, Vegetation index.

1. Contribution No.2099 from Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture. Accepted by March 23, 2002.

2. Assistant and agronomist, Department of Agronomy; assistant researcher, Department of Agricultural Chemistry, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

3. Corresponding author, E-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw; Fax: (04)23302806.