

水稻單葉光譜特徵與葉綠素濃度之關係

李裕娟¹ 楊純明*

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,以四個水稻(*Oryza sativa* L.)品種為試驗材料,測定 1998 年一、二期稻作全生育期間之稻株單葉高解析光譜(350-1100 nm, 頻寬 2 nm),以探討與葉片葉綠素有關之光譜特徵,並以建立單葉光譜特徵與葉綠素濃度之量化關係。在稻株單葉之光譜性質中,穿透比值(transmittance)及反射比值(reflectance)乃直接量測,而吸收比值(absorptance)則由此估算。試驗結果發現,四個參試水稻品種之單葉光譜紅光波段及藍光波段計有四條與葉綠素高相關之特徵波長,這些特徵波長之吸收比值與葉片葉綠素總量(total chlorophyll)呈曲線正相關,反射比值則呈曲線負相關,且在兩期稻作皆然;其中以紅光波段 664、652 及 644 nm 之決定係數(R^2)高於藍光波段之 434 nm。依照光譜特徵與葉綠素回歸程式所估算之葉綠素值與實際測定值之相關係數達極顯著水準(1%)。參試四個水稻品種之單葉光譜特徵與葉綠素濃度之相關具有品種間差異,臺中在來一號(TN1)和臺農 67 號(TNG67)之相關性高於臺梗 8 號(TK8)和臺中秈 10 號(TCS10)。單葉光譜性質與葉綠素 a 及葉綠素 b 之關係一如葉綠素總量,吸收比與葉綠素 a 及葉綠素 b 呈現曲線正相關,而反射比則與葉綠素 a 及葉綠素 b 呈現曲線負相關。無論吸收比或反射比,其與葉綠素 a 及葉綠素 b 之曲線關係均以 644 nm 之決定係數最高,以 434 nm 之決定係數最低。綜合上述結果,稻株單葉光譜性質具有被利用於估測葉綠素濃度之可行性,不受期作別影響,未來可據以利用於快速檢測與估測水稻葉片及植體葉綠素濃度或含量。

關鍵詞：水稻、光譜特徵、吸收比值、反射比值、葉綠素濃度。

¹ 行政院農業委員會農業試驗所農藝系助理和副研究員。
臺中縣霧峰鄉 41301 萬峰村中正路 189 號。

* 通信作者。農委會農業試驗所研究報告第 2097 號。

收到日期：91.10.30

修改日期：91.04.08

接受日期：91.11.16

1. 前言

土壤及植被對太陽輻射的反射光譜已被廣泛應用於土壤特性、作物生育情況、及逆境種類與程度等農業有關活動之遙測調查中。惟光譜遙測在農作物生產應用上，必須事先建立完備之光譜資料庫，尤其是農作物植被物理與化學特性之光譜特徵模式，方得據以估測及追蹤農作物生育進展與表現。其中，葉綠素濃度(或含量)為評估農作物生長表現之重要化學特性指標(Lee and Yang, 1999; Yang and Lee, 2001)，因為葉綠素是綠色植物行光合作用的能量工廠，它截取光照當中可見光波段(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(Buttery and Buzzell, 1977; Buttery et al., 1981; Earl and Tollenaar, 1997)。

眾所周知在高等植物裏，葉綠素 a 及葉綠素 b 為細胞葉綠體最主要的工作色素，因為含量最多，活力亦最旺盛。葉綠素 a 及 b 主要吸收峰位於藍光(430-450 nm)與紅光波段(650-700 nm)，而傳統葉綠素化學分析方法之吸收峰值所在波長位置，則視溶劑種類(如丙酮、乙醚等)及作物類別而異(Arnon, 1949; Goodwin and Mercer, 1983)。然而當葉片老化時，由於葉綠素的崩解，可見光區的黃綠波段和紅光波段的反射值將增加，近紅外光區的反射值則隨葉片中水分減少而提高(Guyot, 1990)。發生乾旱時，葉片對光輻射的反射將因細胞膨壓降低而有全波段提高的現象(Thomas, et al., 1971)。另當氮素缺乏時，葉片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因細胞層數減少而降低(Blackmer, et al., 1996; Goodwin and Mercer, 1983)。在農作物生育過程中，葉片因成熟度、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變化，可導致植被(冠)光譜發生明顯改變(Gausman, et al., 1969; Gausman, 1982; Milton, et al., 1991; Sinclair, et al., 1971)。

在農作物生長與產量方面，文獻報告顯示在可見光區和近紅外光區的光譜特徵可利用於地表覆蓋率(Huete, 1987; Maas, 1998)、葉面積指數 LAI(Gardner and Blad, 1986; Peterson, et al., 1987; Pollock and Kanemasu, 1979; Yang, et al., 2001)、葉綠素含量(Ercoli, et al., 1993; Thomas and Gausman, 1977)、植株營養狀況(Adams, et al., 1993; Masoni, et al., 1996)、乾旱逆境(申與李, 1998; Yang and Su, 2000)及產量估測(Kanemasu, et al., 1990)等之應用。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(Johnkutty and Palaniappan, 1996; Ladha, et al., 1998; Peng, et al., 1995)，且與產量關係密切(Johnkutty and Palaniappan, 1996)。Lee and Yang (1999)

在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。另發現葉片鮮重與葉綠素總量之間呈現直線相關($R^2 > 0.82$)，顯示葉綠素總量顯著影響兩期稻作葉片鮮重之表現。

本項研究目的旨在測定一、二期稻作的單葉光譜和葉綠素含量，據以瞭解稻株葉片光學性質與葉綠素在生育期間之變化及期作間差異，並試以建立葉綠素濃度與光譜特徵之量化關係，俾未來利用於以葉片光譜特徵快速估測葉綠素含量與生長等多元應用。

2. 材料與方法

將水稻(*Oryza sativa* L.)四品種(台梗 8 號(TK8)、台中秈 10 號(TCS10)、台中在來一號(TN1)及台農 67 號(TNG67))稻苗以南北向機插(約 3 plants hill⁻¹)於行政院農業委員會農業試驗所農場(臺中縣霧峰鄉)，試驗期間為 1998 年一期作及二期作。試區土壤質地為壤土，酸鹼值 pH 5.36，有機質含量 2.21%。試驗採完全逢機設計(CRD)，4 重覆，每品種各重覆小區面積 144 m² (30 m x 4.8 m)，稻叢行株距為 0.3 m x 0.18 m。

水稻生育期間於插秧一週內施用硫銨 200 kg ha⁻¹(高雄市臺灣肥料股份有限公司)為基肥，第一次追肥於插秧後 28 天施用臺肥 39 號複合肥料 200 kg ha⁻¹，第二次追肥於抽穗 1-2 週前施用尿素 100 kg ha⁻¹(高雄市臺灣肥料股份有限公司)。插秧後 3 天施用 8% 丁拉殺丹粒劑 30 kg ha⁻¹作為水田除草劑，另於插秧後 28 天施穗肥前人工除草一次。有需要防治稻熱病及福壽螺時，施用三苯醋錫 15-20 kg ha⁻¹。

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，以追蹤其在生育期間之變化。葉綠素化學分析方法採自 Arnon (1949)修正法 (Lee and Yang, 1999)，除了生育初期之外，每次取樣各品種均自每一重覆小區逢機割取 4 叢，取 4 叢平均為小區代表值，再以 4 重覆小區均值進行分析。每叢葉片打取圓形樣本分析葉片葉綠素。樣本先經海砂(約 0.08 g)混合添加液態氮(約 6 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(Beckman model DU-68)讀取吸收率測值，再以下列公式分別計算葉綠素 a、葉綠素 b 及葉綠素總量：

$$\text{Chlorophyll a (mg)} = (12.7 \times D_{663} - 2.69 \times D_{645}) \times V / 1000 \times W \quad \text{——(1)}$$

$$\text{Chlorophyll b (mg)} = (22.9 \times D_{645} - 4.68 \times D_{663}) \times V / 1000 \times W \quad \text{——(2)}$$

$$\text{Total chlorophyll (mg)} = (D_{652} \times V) / 34.5 \times W \quad \text{——(3)}$$

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 為葉片樣本之鮮重(g)。

稻株單葉之光譜性質測定係在實驗室內進行，每隔二週自試驗田區取樣稻株，攜回實驗室選取稻株最上位完全展開葉，以光纖(fiber optic)連接積分球儀(external integrating sphere, model 1800-12S, LI-COR Inc., USA)及輻射光譜儀(spectroradiometer, model LI-1800)，量測稻葉之上表皮及下表皮之反射比值(r , reflectance)及穿透比值(t , transmittance)，再以公式：吸收比值(a , absorptance)=1- 反射比值 - 穿透比值，計算吸收比值。積分球儀量測孔徑為 1.4 cm，掃描波長範圍為 350-1100 nm，包含自紫外光至近紅外光的波段，掃描波長間隔(頻寬)為 2 nm。由於前述 Arnon 之葉綠素化學分析方法使用波長 663 及 645 nm 估算萃取之葉綠素 a (chl a)及葉綠素 b (chl b)，並以 652 nm 估算 total chlorophyll (total chl)，另本研究預備試驗發現稻葉萃取液之中心波峰(丙酮溶劑)分別為 434 及 664 nm，故選用單葉光譜偵測之 664、652、644 及 434 nm 等 4 波長分析與葉綠素總量之關係，而以 664、644 及 434 nm 等 3 波長分析與葉綠素 a、葉綠素 b 之關係。而由於水稻葉片上、下表皮之光譜量測結果類似，本文研究以上表皮量測資料進行分析。

3. 結果與討論

綠色植物能利用體內葉綠素將光能轉換成化學能，以使二氧化碳與水形成碳水化合物，同時釋放氧。文獻報告(Buttery and Buzzell, 1977; Buttery, et al., 1981; Earl and Tollenaar, 1997)指出，高葉綠素濃度可吸收較多光能且在較高光照環境下明顯促進光合作用的進行，因此葉綠素濃度與光合作用率間似呈正面相關(Hesketh, 1963; Sestak, 1966)。本文研究發現稻株單葉之光譜性質中(圖 1)，參試四個水稻品種葉片對光照的吸收比值均隨著葉綠素總量的增加而有升高趨勢，無論一、二期稻作，單葉光譜中的吸收比值與葉綠素總量均呈現曲線正關係。將回歸方程式估算之葉綠素總量估測值與化學分析方法之量測值進行相關分析(圖 2)，在選用的 664、652、644 及 434 nm 波長中，兩期稻作均以 664 nm 之葉綠素總量估測值與化學分析方法量測值之直線相關性最高(兩期作 r 值分別 0.808 及 0.801)，而以 434 nm 之相關性最低(兩期作 r 值分別 0.669 及 0.561)。顯示水稻葉片之葉綠素主要光輻射吸收之紅光與藍光波段，以紅光波段之相關性高於藍光波段，故在以單葉光譜之吸收比值估測葉綠素總量上，紅光波段為較佳之選擇，而參試四水稻品種表現一致。

兩期稻作四個水稻品種單葉光譜之反射比值與葉綠素總量之關係繪於圖3，所有四條選用波長均呈現二次曲線負相關，即葉片反射比值愈高則其葉綠素總量愈低。相對的，在回歸方程式估算之葉綠素總量估測值與化學分析方法之量測值相關分析中(圖4)，亦以紅光波段反射比值之葉綠素總量估測值相關性高於藍光波段者，且又以664 nm之直線相關係數最高(兩期作r值分別0.799及0.759)，而以434 nm之相關係數最低(兩期作r值分別0.640及0.619)。因此，針對參試四水稻品種，在以單葉光譜之反射比值估測葉綠素總量上，亦以紅光波段為較佳之選擇。在松樹葉片的光譜與葉綠素關係研究上，Carter and Knapp (2001)指出紅光波段之683 nm波長反射比與葉綠素總量相關密切，兩者呈現指數負相關($R^2=0.97$)。此項結果類似於本文水稻試驗，惟水稻品種以664 nm為佳，松樹則為683 nm。

在所有四個參試水稻品種，無論664、652或434 nm波長，其吸收比及反射比與葉綠素總量之關係兩期稻作皆適用二次曲線函數(表1為1998年一期作，表2為1998年二期作)。品種之間決定係數高低差異甚大，總括來說台中在來一號和台農67號之光譜吸收比及反射比與葉綠素總量之曲線決定係數大於台梗8號及台中秈10號者，顯示欲以單葉光譜性質估測葉綠素濃度需要考量品種差異，應該進行個別品種之回歸分析以提高估測之準確度，不宜以綜合資料分析結果套用於任何品種估測。此外，本文研究並發現，在稻株生長旺盛的抽穗前期具有較高葉綠素濃度(資料未列出，可參閱Lee and Yang, 1999; Yang and Lee, 2001)，故此時期葉片吸收比值升高而反射比值降低。此一時期之高葉綠素濃度是否與高生理活性及光合產物生成有密切關係，進而影響穀粒形成及後續充實表現，值得未來深入探討。

本文乃繼續分析單葉光譜性質與葉綠素a及葉綠素b之關係，圖5和圖6分別為吸收比及反射比之分析結果。一如葉綠素總量之關係，吸收比與葉綠素a及葉綠素b亦呈現曲線正相關，反射比則與葉綠素a及葉綠素b呈現曲線負相關。無論吸收比或反射比，其與葉綠素a及葉綠素b之曲線關係均以644 nm之決定係數最高，以434 nm之決定係數最低。因此，擬以吸收比及反射比估測本研究四參試稻種葉綠素a及葉綠素b之濃度，以紅光波段644 nm為較佳選擇。

綜合上述試驗結果，稻株單葉光譜性質確實可被利用於估測葉綠素濃度，不受期作別影響。葉綠素對光輻射中紅光及藍光波段的高吸收表現在萃取液(in vitro)和活體(in vivo)皆然，惟光譜中之吸收比或反射比均以紅光波段相關性較藍光波段高。在利用單葉光譜性質估測葉綠素濃度上，對於葉綠素總量的估測以664 nm波長較佳，對於葉綠素a及葉綠素b之估測則以644 nm較佳。據此，吾人可利用光譜遙測來非破壞性的快速檢測與估測水稻葉片甚至於植體葉綠素的濃度或含量，並進一步連結其他關係模式追蹤稻株生長。然而在稻株整叢葉綠素的估

測上，由於不同葉位及葉齡之葉片葉綠素濃度(或含量)可能不同，因此以單葉模式估測稻株整叢葉綠素將減損準確度。本研究未來另將嘗試利用多波段模式估測葉綠素，預期將有助於提高估測準確性。

誌謝

本文研究先後承蒙行政院農業委員會計畫經費(87 科技 -1.1- 糧 -09(03))及農委會農業試驗所「水稻精準農業(耕)體系之研究計畫」經費補助，特以致謝。

參考文獻

- 申雍、李佩玲。1998。應用 SPOT 衛星影像區分水道旱害等級與受災範圍之初步研究。中華農業氣象 5(4):203-208。
- Adams, M.L., W.A. Norvell, J.H. Peverly and W.D. Philpot. 1993. Fluorescence and reflectance characteristics of manganese deficient soybean leaves: effect of leaf age and choice of leaflet. *Plant Soil* 155/156:235-238.
- Arnon, D.I. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidases in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.* 24:1-15.
- Blackmer, T.M., J.S. Schepers, G.E. Varvel and E.A. Walter-Shea. 1996. Nitrogen efficiency detection using reflected shortwave radiation from irrigated corn canopies. *Agron. J.* 88:1-5.
- 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.
- 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.* 61:191-163.
- Carter, A. G. and A.K. Knapp. 2001. Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. *Am. J. of Bot.* 88:677-684.
- 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.
- Ercoli, L., M. Mariotti, A. Masoni and F. Massantini. 1993. Relationship between nitrogen and chlorophyll content and spectral properties in corn leaves. *Eur. J. Agron.* 2:113-117.
- Gardner, B.R. and B.L. Blad. 1986. Evaluation of spectral reflectance model to estimate corn leaf area while minimizing the influence of soil background effect. *Remote Sens. Environ.* 20:183-193.

- 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.
- Gausman, H.W. 1982. Visible light reflectance and absorptance of differently pigmented cotton leaves. *Remote Sens. Environ.* 13:233-238.
- Goodwin, T.W. and E.I. Mercer. 1983. Chapter 5: Photosynthesis. pp.92-161. In: *Introduction to Plant Biochemistry*. 2nd ed. Pergamon Press, New York.
- Guyot, G. 1990. Optical properties of vegetation canopies. In: "Applications of Remote Sensing in Agriculture". Steven, M.D. and J. A.Clark. (eds.) p.19-43. Butterworths.
- Hesketh, J.D. 1963. Limitations to photosynthesis response of photosynthesis to light. *Crop Sci.* 19:54-58.
- Huete, A.R. 1987. Soil dependent spectral response in a developing plant canopy. *Agron. J.* 79:61-68.
- Johnkutty, I. And S.P. Palaniappan. 1996. Use of chlorophyll meter for nitrogen management in lowland rice. *Fertilizer Res.* 45:21-24.
- Kanemasu, E. T., T.H. Demetriades-Shah, H. Su and A.R.G. Lang. 1990. Estimating grassland biomass using remotely sensed data. In:"Applications of Remote Sensing in Agriculture". Steven, M.D. and J. A.Clark. (eds.) p.185-199. Butterworths.
- 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.
- 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.
- Maas, S.J. 1998. Estimating cotton canopy ground cover from remotely sensed scene reflectance. *Agron. J.* 90:384-388.
- Masoni, A., L. Ercoli and M. Mariotti. 1996. Spectral properties of leaves deficient in iron, sulfur, magnesium, and manganese. *Agron. J.* 88:937-943.
- Milton, N. M., B. A. Eiswerth and C. M. Ager. 1991. Effect of phosphorus deficiency on spectral reflectance and morphology of soybean plants. *Remote Sens. Environ.* 61:319-345.
- Peng, S., R.C. Laza, F.V. Garcia and K.G. Cassman. 1995. Chlorophyll meter estimates leaf-based nitrogen concentration of rice. *Commoun soil Sci. Plant Anal.* 26:927-935.
- Peterson, D.L., M.A. Spanner, S.W. Running and K.B. Teuber. 1987. Relationships of thematic mapper simulation data to leaf area index of temperate coniferous forests. *Remote Sens. Environ.* 22:323-341.
- Pollock, R.B. and E.T. Kanemasu. 1979. Estimating leaf area index of wheat with Landsat data. *Remote Sens. Environ.* 8:307-312.
- Sestak, Z. 1966 Limitations for finding a linear relationship between chlorophyll content and photosynthetic activity. *Biol. Plant.*, 8:336-346.
- Sinclair, T.R., R.M. Hoffer and M.M. Schreiber. 1971. Reflectance and internal structure of leaves from

- several crops during a growing season. *Agron. J.* 63:864-868.
- Thomas, J. R., L.N. Namken, G.F. Oerther and R. G. Brown. 1971. Estimating leaf water content by reflectance measurements. *Agron. J.* 63:845-847.
- Thomas, J.R. and G.F. Oerther. 1972. Estimation nitrogen content of sweet pepper leaves by reflectance measurements. *Agron. J.* 64:11-13.
- Thomas, J.R. and H.W. Gausman. 1977. Leaf reflectance vs. leaf chlorophyll and carotenoid concentration for eight crops. *Agron. J.* 69:799-802.
- 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 21st Asian Conference on Remote Sensing. Vol.1. Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University/Chinese Taipei Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Taiwan.
- Yang, C.-M., F.-M. Chang, K.-Y. Hong, F.-H. Hsu, Y.-M. Shy and R.-H. Buu. 2001. Estimation of *Digitaria decumbens* Stent. growth from spectral characteristics and vegetation index. p.343-348. Third European Conference on Precision Agriculture. Vol.1. Gilbert Grenier and Simon Blackmore, eds. Agro Montpellier, Ecole Nationale Supérieure de Montpellier. Montpellier, France.
- 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. Council. ROC (B)* 25(4):233-238.

Wavelength	Optical property	Cultivar	Equation $Y=a+bX+cX^2$			R^2 (P)	
			a	b	c		
664 nm	Absorptance	TK8	324.98	-158.02	443.18	0.796 (P<0.018)	
		TCS10	1572.69	3398.82	-1831.93	0.615 (P<0.149)	
		TN1	86.55	-216.63	137.29	0.870 (P<0.004)	
		TNG67	188.17	-446.48	267.13	0.922 (P<0.001)	
	Reflectance	TK8	10.89	-190.73	928.53	0.719 (P<0.054)	
		TCS10	-1.66	227.97	-2332.47	0.749 (P<0.037)	
		TN1	7.96	-93.05	291.87	0.840 (P<0.008)	
		TNG67	4.73	19.26	-587.98	0.905 (P<0.001)	
	652 nm	Absorptance	TK8	278.64	-679.34	413.94	0.922(P<0.001)
			TCS10	-796.25	1759.75	-967.70	0.326(P<0.206)
			TN1	-23.44	32.69	-3.38	0.607(P<0.024)
			TNG67	62.87	-164.39	109.56	0.819(P<0.001)
Reflectance		TK8	16.97	-289.94	1223.71	0.883(P<0.001)	
		TCS10	0.48	129.29	-1198.98	0.559(P<0.038)	
		TN1	1.84	75.56	-733.90	0.591(P<0.028)	
		TNG67	3.45	48.99	-585.05	0.802(P<0.002)	
434 nm		Absorptance	TK8	854.59	-1921.72	1080.32	0.663 (P<0.099)
			TCS10	36501.31	-77809.63	41469.86	0.651 (P<0.110)
			TN1	-819.11	1660.74	-835.77	0.835 (P<0.008)
			TNG67	-5171.59	10848.32	-5684.00	0.921 (P<0.001)
	Reflectance	TK8	-2.37	325.05	-4228.55	0.588 (P<0.183)	
		TCS10	30.40	-910.08	7573.68	0.558 (P<0.225)	
		TN1	-8.19	573.73	-6651.17	0.774 (P<0.026)	
		TNG67	-32.25	1643.92	-18414.43	0.897 P<0.002)	

表 1. 1998 年一期稻作四個水稻品種之葉綠素濃度和光譜特徵的相關曲線參數

Wavelength	Optical property	Cultivar	Equation $Y=a+bX+cX^2$			R^2 (P)	
			a	b	c		
664 nm	Absorptance	TK8	324.98	-158.02	443.18	0.796 (P<0.018)	
		TCS10	1572.69	3398.82	-1831.93	0.615 (P<0.149)	
		TN1	86.55	-216.63	137.29	0.870 (P<0.004)	
		TNG67	188.17	-446.48	267.13	0.922 (P<0.001)	
	Reflectance	TK8	10.89	-190.73	928.53	0.719 (P<0.054)	
		TCS10	-1.66	227.97	-2332.47	0.749 (P<0.037)	
		TN1	7.96	-93.05	291.87	0.840 (P<0.008)	
		TNG67	4.73	19.26	-587.98	0.905 (P<0.001)	
	652 nm	Absorptance	TK8	278.64	-679.34	413.94	0.922(P<0.001)
			TCS10	-796.25	1759.75	-967.70	0.326(P<0.206)
			TN1	-23.44	32.69	-3.38	0.607(P<0.024)
			TNG67	62.87	-164.39	109.56	0.819(P<0.001)
Reflectance		TK8	16.97	-289.94	1223.71	0.883(P<0.001)	
		TCS10	0.48	129.29	-1198.98	0.559(P<0.038)	
		TN1	1.84	75.56	-733.90	0.591(P<0.028)	
		TNG67	3.45	48.99	-585.05	0.802(P<0.002)	
434 nm		Absorptance	TK8	854.59	-1921.72	1080.32	0.663 (P<0.099)
			TCS10	36501.31	-77809.63	41469.86	0.651 (P<0.110)
			TN1	-819.11	1660.74	-835.77	0.835 (P<0.008)
			TNG67	-5171.59	10848.32	-5684.00	0.921 (P<0.001)
	Reflectance	TK8	-2.37	325.05	-4228.55	0.588 (P<0.183)	
		TCS10	30.40	-910.08	7573.68	0.558 (P<0.225)	
		TN1	-8.19	573.73	-6651.17	0.774 (P<0.026)	
		TNG67	-32.25	1643.92	-18414.43	0.897 P<0.002)	

表 2. 1998 年二期稻作四個水稻品種之葉綠素濃度和光譜特徵的相關曲線參數

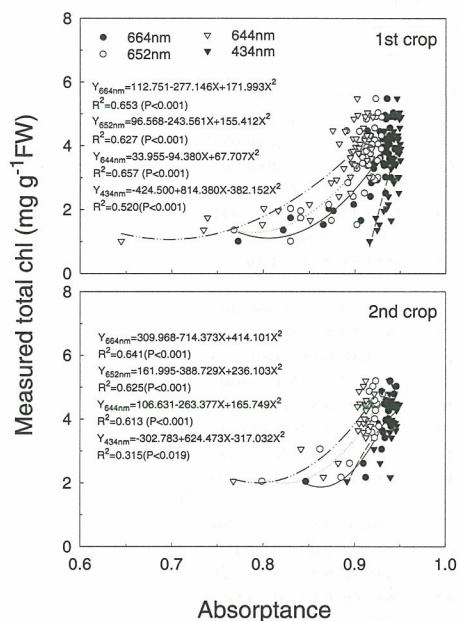


圖 1. 1998 年一、二期稻作四個水稻品種單葉吸收比與葉綠素濃度之關係曲線

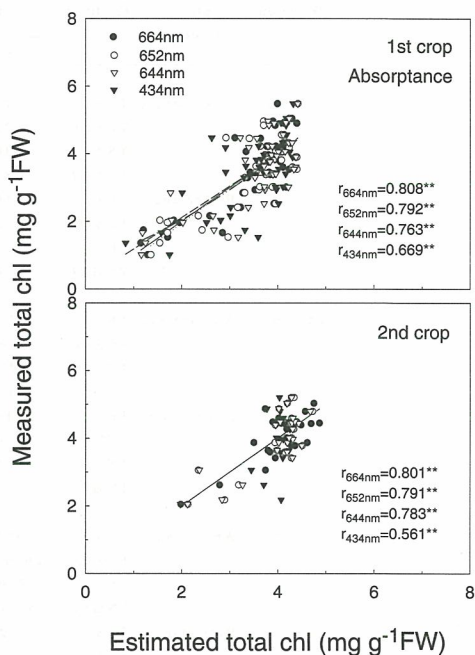


圖 2. 1998 年一、二期稻作四個水稻品種葉綠素濃度測定值與光譜吸收比估測值之直線關係

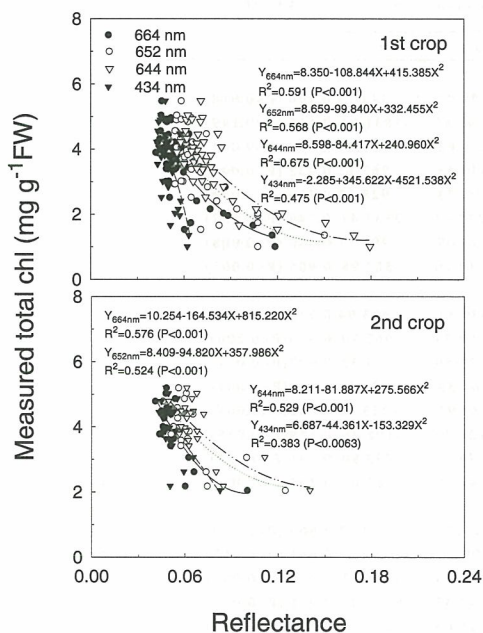


圖 3. 1998 年一、二期稻作四個水稻品種單葉反射比與葉綠素濃度之關係曲線

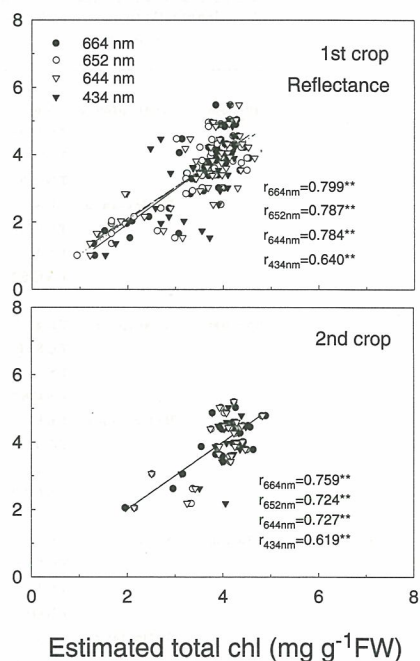


圖 4. 1998 年一、二期稻作四個水稻品種葉綠素濃度測定值與光譜反射比估測值之直線關係

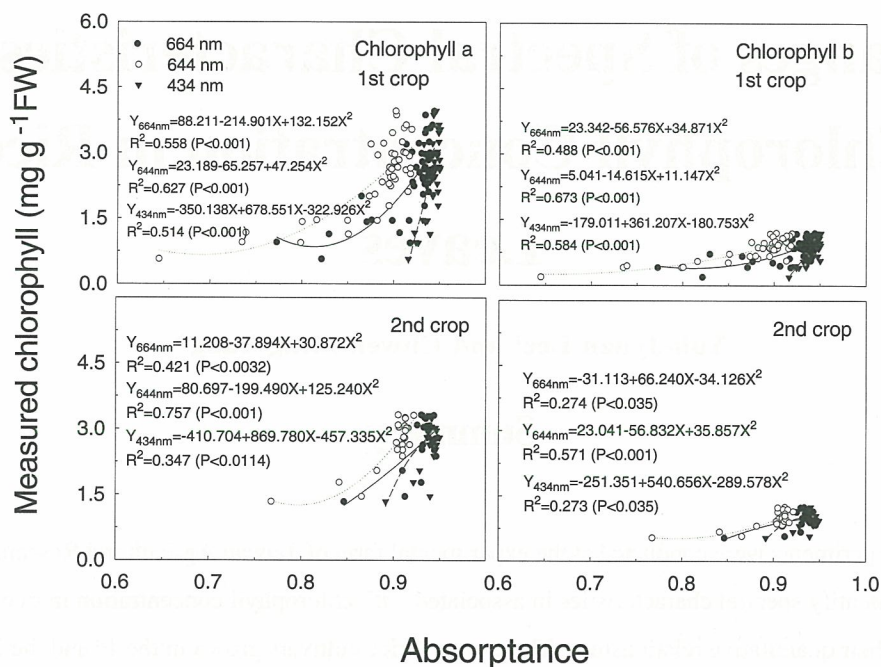


圖 5. 1998 年一、二期稻作四個水稻品種單葉吸收比與葉綠素 a、b 濃度之關係曲線

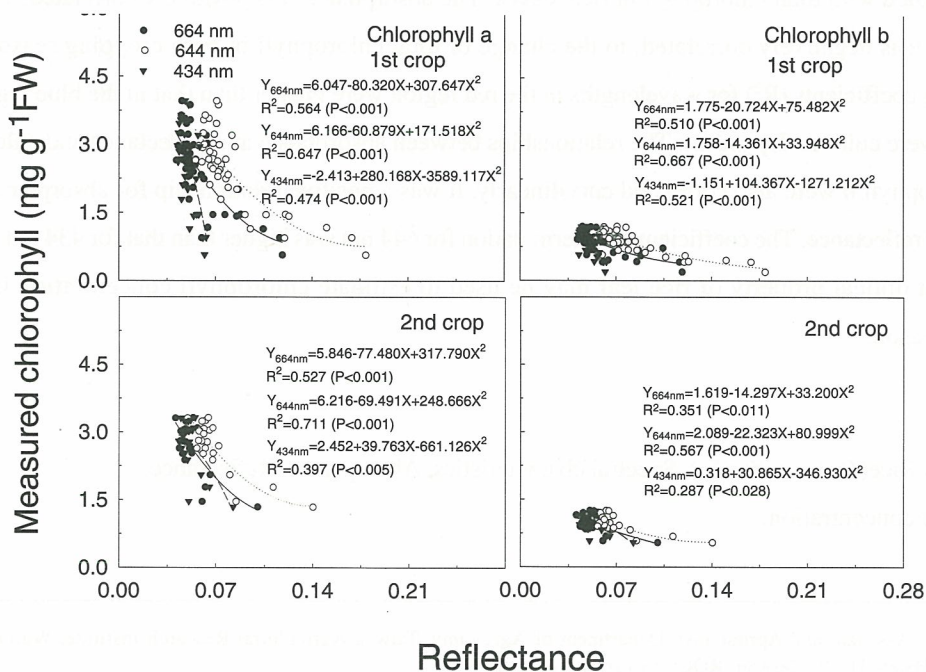


圖 6. 1998 年一、二期稻作四個水稻品種單葉反射比與葉綠素 a、b 濃度之關係曲線

Changes of Spectral Characteristics to Chlorophyll Concentration in Rice Leaves

Yuh-Jyuan Lee¹ and Chwen-Ming Yang*

Summary

Field experiments were conducted at the experimental farm of Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, to identify spectral characteristics in associated with chlorophyll concentration in rice leaves and to establish their quantitative relationships. There were 4 rice cultivars grown in the 1st and the 2nd crops of 1998. In leaf optical property, transmittance (t) and reflectance (r) were measured by an external integrating sphere in connected to a spectroradiometer, and absorptance (a) was calculated by $a=1-t-r$. It was found that 3 wavelengths (664, 652 and 644 nm) in the red light region and 1 wavelength (434 nm) in the blue light region were associated with total chlorophyll in rice leaves. The absorptance was positively correlated, while the reflectance was negatively correlated, to the change of total chlorophyll in both cropping seasons. The determining coefficients (R^2) for wavelengths in the red region were greater than that in the blue region, yet the values were cultivar dependent. The relationships between absorptance and reflectance and chlorophyll a and chlorophyll b were also correlated curvilinearly. It was a positive relationship for absorptance and a negative for reflectance. The coefficient of determination for 644 nm was higher than that for 434 nm. Results suggest that optical property of rice leaf may be used to estimate chlorophyll concentration in either cropping season.

Key words: Rice(*Oryza sativa* L.), Spectral characteristics, Absorptance, Reflectance, Chlorophyll concentration.

¹ Respectively, Assistant and Agronomist, Department of Agronomy, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 41301, Taiwan, ROC; * Corresponding author.