

水稻營養生長期農藝性狀與衛星遙測植生指數 NDVI 之灰關聯分析

楊志維^{1,3}、許明晃¹、黃文達¹、楊智旭²、蔡養正¹、楊棋明^{1,3}、張新軒^{1*}

¹國立臺灣大學農藝學系

²淡江大學機械工程學系

³中央研究院植物研究所暨生物多樣性研究中心

摘要

本研究應用灰關聯理論，分析水稻營養生長期之農藝性狀與衛星遙測常態化差異植生指數 (normalized difference vegetation index, NDVI) 之關聯性。灰關聯分析顯示，株高 (cm hill⁻¹)、分蘗數 (tillers hill⁻¹)、葉氮含量百分比 (% DW)、莖水分含量百分比 (% FW)、葉鮮重 (g hill⁻¹) 與總水分含量百分比 (% FW) 之灰序分佔前 6 名；而葉氮含量 (g DW)、總氮含量 (g DW)、莖氮含量 (g DW)、莖鮮重 (g hill⁻¹)、總乾重 (g hill⁻¹) 與莖乾重 (g hill⁻¹) 之灰序則分別是後 6 名；其他農藝性狀則介於中間。因此，水稻營養生長期各農藝性狀對衛星遙測 NDVI 之貢獻度不同，以株高、分蘗數、水分含量百分比 (% FW) 等較高，組織乾重則較低。本文也將迴歸分析與灰關聯分析結果做比較。

關鍵詞：水稻、營養生長期、農藝性狀、衛星遙測、植生指數、灰關聯分析、NDVI。

Grey Relational Analysis between Agronomic Characters and Satellite

* 通信作者, changss@ccms.ntu.edu.tw

投稿日期：2004 年 2 月 14 日

接受日期：2004 年 5 月 18 日

作物、環境與生物資訊 1:199-206 (2004)

Crop, Environment & Bioinformatics 1:199-206 (2004)

189 Chung-Cheng Rd., Wufeng, Taichung Hsien 41301, Taiwan (ROC)

Remote Sensing Normalized Difference Vegetation Index of Paddy Rice during Vegetative Stage

Zhi-Wei Yang^{1,3}, Ming-Huang Hsu¹, Wen-Dar Huang¹, Jr-Syu Yang², Yang-Zenq Tsai¹, Chi-Ming Yang^{1,3} and Shine-Shiang Chang^{1*}

¹Department of Agronomy, National Taiwan University, Taipei, Taiwan (ROC)

²Department of Mechanical Engineering, Tamkang University, Tamshui, Taipei Hsien, Taiwan (ROC)

³Institute of Botany and Research Center for Biodiversity, Academia Sinica, Nankang, Taipei, Taiwan (ROC)

ABSTRACT

This study applied grey system theory to analyze the relationship between agronomic characters and satellite remote sensing normalized difference vegetation index (NDVI) of paddy rice during vegetative stage. The results of grey relational analysis indicated that plant height, tiller number, leaf nitrogen content (% DW), tiller water content, leaf fresh weight and total water content (% FW) took the 1st, 2nd, 3rd, 4th, 5th, and 6th place of proportionality, respectively. Leaf, total and tiller nitrogen contents (g), tiller fresh weight, total and tiller dry weights were the last six items in the order, i.e., these parameters took the 13th, 14th, 15th, 16th, 17th and 18th place of proportionality, respectively. Other agronomic characters were located between them. Results suggest that different agronomic characters of

paddy rice make different contribution to satellite NDVI during vegetative stage. Plant height, tiller number, and water content play a more important role while dry weight of tissues is relatively less important. Results from regression and grey relational analyses are also compared and discussed.

Key words: Paddy rice, Vegetative stage, Agronomic characters, Satellite remote sensing, Vegetation index, Grey relational analysis, NDVI.

前言

衛星遙測資料具有定期取得大面積空間分佈資料及可追溯過去時空資料的特殊優點，已廣泛運用於各領域之理論與實務之研究，也將是臺灣未來發展精準農業監測與管理之重要工具(Yang and Lin 2000, Steven and Clark 1990)。對於運用衛星遙測資料做定量測定，以建立地面植物生長狀況的植生指數(vegetation index)，如常態化差異植生指數(normalized difference vegetation index, NDVI)、簡易比植生指數(simple ratio vegetation index, SRVI)等，被學者們廣泛研究、討論與應用(Choudhury 1987, Sellers 1985, Sellers 1987, Tucker and Sellers 1986)。長期以來，有關衛星遙測植生指數之文獻很多，但有一問題似乎都未能解決。此即，衛星遙測所記錄的反射光譜特徵為所有地面物及其各種各類特性之綜合反射結果。因此，個別地面物及其附屬特性可能對衛星遙測之反射光譜提供不同程度之貢獻。對農作物而言，除葉綠素外，其它不同農藝性狀對衛星遙測之反射光譜亦會產生不同之影響，亦即各農藝特性對衛星遙測植生指數 NDVI 有不同的貢獻度。對個別因子的貢獻度之排序問題，傳統數理統計無法解決，但灰系統理論(grey system theory)則可以(Deng 1989)。

傳統的統計分析要求大量數據，而數據的分佈必須是典型的，且變化因素不能太多；迴歸分析可以解明個別子系統對其母系統間之相關性與可信度，但無法比較個別子系統間的相對關聯性、貢獻度、或重要性之程度或大小。灰系統理論則針對此問題發展出解決辦法而彌補這方面的缺點(Deng 1989)。灰系統理論自中國大陸華中理工大學鄧聚龍教授於 1982 年首次提出後(Deng 1982)，迄今超過二十年，已逐漸被廣泛地運用在許多的研究領域，諸如：農業、經濟、工程、水利、生態、醫學、環保、人口、氣象、地質、教育、體育、軍事(Deng 1982, 1989)與生化反應等(Yang *et al.* 1999)。

其中的灰關聯分析(grey relational analysis)，曾被應用在營養學方面，比較個別抗氧化物對總抗氧化力之影響(Chao *et al.* 2001, Chung *et al.* 2001, Chu *et al.* 2003)、拓樸效應對生態環境的影響(Che and He 1993)、血清中肝纖維細胞檢測標記之最佳選擇(Chen and Tan 1995)、小麥農藝性狀與產量之關聯性(Guo *et al.* 1991)、植物色素捕光蛋白含量對其葉綠素 a/b 比之貢獻度分析(Huang *et al.* 2003a)及對其光合作用速率之影響方式(Huang *et al.* 2004a)。最近，灰關聯分析也被運用於探討陽明山國家公園磺嘴山自然保護區五種氣候因子影響當地植被長期適應環境之問題(Huang *et al.* 2003b, 2004b)。

作者曾以水稻葉片葉綠素相關色素(chlorophyll-related compounds, CRCs)對衛星遙測 NDVI 進行灰關聯分析，結果顯示位於葉綠體類囊膜(thylakoid)上極性較小的 CRCs 對衛星遙測 NDVI 之貢獻較大，而分佈於基質(stroma)水溶性較大之 CRCs 則對衛星遙測 NDVI 之貢獻較小(Yang 2001)。相似結果亦在三種不同顏色

甘藷葉片發現(Hsu 2003, Hsu *et al.* 2004)。

本研究應用灰關聯理論,分析水稻營養生長期間其農藝特性對 SPOT 衛星遙測植生指數 NDVI 之關聯性。

材料與方法

一、水稻栽植與樣區

本研究之試樣區位於臺北縣新店市國立台灣大學之安坑農業試驗場。總共四個大樣區,其長寬各為 100m×100m。每個樣區再分四小區,其長寬各為 50m×50m。水稻臺農 67 號(TN67)插秧於 7/26/2000。水稻種植行株距分別為 30cm×18cm。

二、農藝性狀調查

水稻農藝特性與採樣,每二週進行一次,每次每小區隨機採 10 叢。採樣日期顯示於圖表中。調查項目共 18 種,包括:株高(cm hill⁻¹)、分蘗數(tillers hill⁻¹)、葉面積(cm²)、葉鮮重(g hill⁻¹)、莖鮮重(g hill⁻¹)、總鮮重(g hill⁻¹)、葉乾重(g hill⁻¹)、莖乾重(g hill⁻¹)、總乾重(g hill⁻¹)、葉氮含量百分比(% DW)、莖氮含量百分比(% DW)、總氮含量百分比(% DW)、葉水分含量百分比(% FW)、莖水分含量百分比(% FW)、總水分含量百分比(% FW)、葉氮克數(g hill⁻¹)、莖氮克數(g hill⁻¹)、與總氮克數(g hill⁻¹) (Yang 2001)。由於灰關聯分析只需平均值,故本文只顯示平均值。

三、衛星影像

法國 SPOT 衛星影像直接購自國立中央大學太空及遙測研究中心,拍攝日期分別為 2000 年 8/7、8/20、9/28 及 10/11;相當於插秧後第 12、25、33 與 46 天。影像屬第十等級(level 10),且均無雲層。常態化

差異植生指數 NDVI 之定義為 (IR-R)/(IR+R)(Rouse *et al.* 1973), R(red) 為紅光反射率, IR(infrared) 為紅外光反射率。農藝特性隨營養生長期而變化,但因其採樣與調查日與衛星遙測日不一致,故衛星遙測 NDVI 經迴歸分析後以內插法而得之植生指數,做為灰關聯分析之參考系統。

四、迴歸分析

衛星遙測 NDVI 與營養生長期之迴歸分析根據 SAS(statistic analysis system)軟體完成(SAS Institute 1985)。

五、灰關聯分析

以各種農藝特性為實驗系列或子系統,而都以衛星遙測 NDVI 為參考系列或母系統,依下列之原理與步驟進行灰關聯分析。本研究採均質化後運算。

1. 原始數據列的均質化(mean value normalization):

$$\text{當原始數據之平均值 } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x(k),$$

$$\text{則其均質化序列為 } x_0^* = \left(\frac{x(1)}{\bar{X}}, \frac{x(2)}{\bar{X}}, \frac{x(3)}{\bar{X}}, \dots, \frac{x(k)}{\bar{X}} \right)$$

2. 灰關聯係數(grey relational coefficient) γ 之定義如下:

$$\gamma(x_0(k), x_j(k))$$

$$= \frac{\min_j \min_k \|x_0(k) - x_j(k)\| + \zeta \max_j \max_k \|x_0(k) - x_j(k)\|}{\|x_0(k) - x_j(k)\| + \zeta \max_j \max_k \|x_0(k) - x_j(k)\|}$$

$$j = 1, \dots, m; k = 1, \dots, n$$

j 是共同係數(identification coefficient),其值介於 [0,1]之間; x_0 是參考序列(reference data series);

x_j 是實驗序列 (test data series) ;
 $\|x_0(k) - x_j(k)\|$ 是 $x_0(k)$ 和 $x_j(k)$ 之差的絕對值 ;
 $\min_j \min_k \|x_0(k) - x_j(k)\|$ 是選自所有 j 之第二最小差 (the secondary minimum difference) ;
 $\min_k \|x_0(k) - x_j(k)\|$ 是選自所有 k 之第一最小差 (the first minimum difference) 所有 $\max_j \max_k$ 亦如上之取法。

3. 灰關聯度 $\gamma^*(x_0(k), x_j(k))$ 之運算如下 :

$$\gamma^*(x_0(k), x_j(k)) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(x_0(k), x_j(k))$$

結果

一、農藝性狀

臺灣水稻第二期生育期間, 因生育初期之高溫及水份充足, 各種農藝性狀都正常的變化著, 諸如分蘗旺盛, 故分蘗數、葉面積、葉莖鮮重或乾重等都快速增加 (Table 1)。由於本文之主要目的在於農藝性狀與衛星遙測之灰關聯分析, 故農藝性狀變化之意義不予討論。

二、衛星遙測 NDVI 之變化

正常生長的水稻, 葉色鮮綠, 植株直立, 其衛星遙測影像之常態化差異植生指數 NDVI 隨著水稻生育日數而逐步增加 (Fig. 1 及 Fig. 2)。插秧後第 12 天 (8/7/2000) 之 NDVI 都低於 0.1, 與水體或裸露地之反射

Table 1. Change of the major agronomic characters of paddy rice during vegetation stage.

Agronomic character	Days after transplanting		
	36	55	69
Plant height (cm hill ⁻¹)	35.83*	58.10	81.65
Tiller No. (tillers hill ⁻¹)	7.41	10.25	10.88
Leaf area index	1.53	7.30	9.66
Leaf fresh weight (g hill ⁻¹)	40.04	80.20	100.19
Culm fresh weight (g hill ⁻¹)	20.46	178.11	278.71
Total fresh weight (g hill ⁻¹)	60.50	258.31	415.71
Leaf dry weight (g hill ⁻¹)	4.96	23.62	30.29
Culm dry weight (g hill ⁻¹)	4.06	28.09	56.41
Total dry weight (g hill ⁻¹)	9.03	51.71	100.10
Percent of leaf nitrogen content (% DW)	1.88	2.53	2.18
Percent of culm nitrogen content (% DW)	1.46	1.37	0.86
Percent of total nitrogen content (% DW)	1.69	1.90	1.27
Percent of leaf water content (% FW)	87.60	70.55	69.77
Percent of culm water content (% FW)	80.14	84.23	79.76
Percent of total water content (% FW)	85.08	79.98	75.92
Leaf nitrogen content (g hill ⁻¹)	0.09	0.60	0.66
Culm nitrogen content (g hill ⁻¹)	0.06	0.39	0.49
Total nitrogen content (g hill ⁻¹)	0.15	0.98	1.27

* Only mean values of agronomic characters were shown since grey relational analysis requires them.

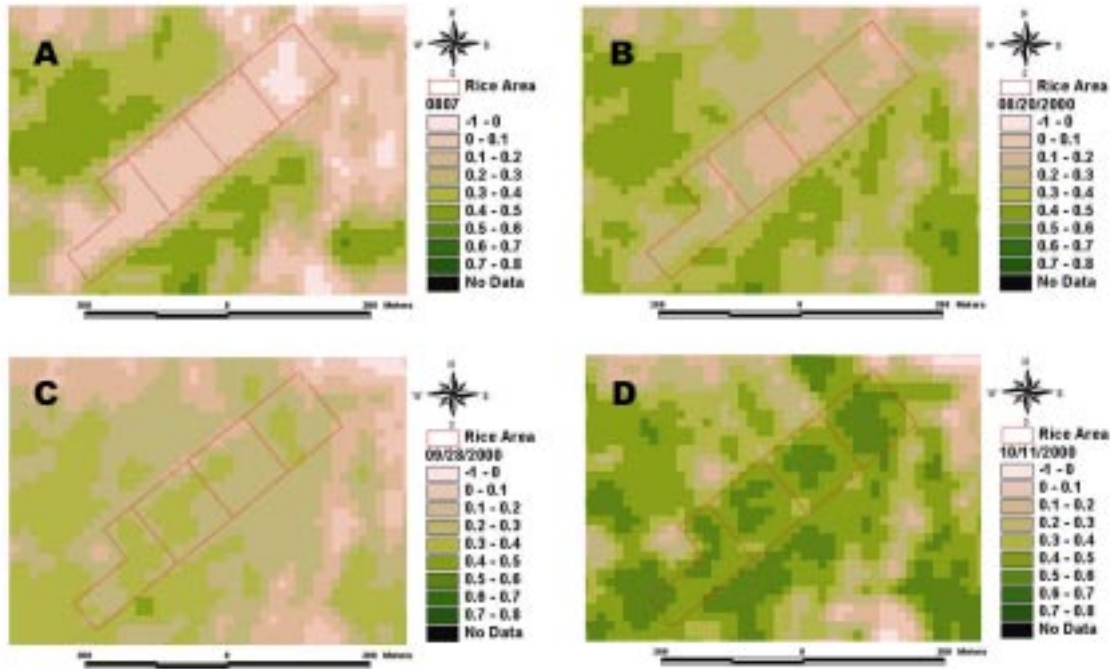


Fig. 1. Change of NDVI of paddy rice monitored by multiple SPOT satellite imageries, taken on 8/7 (A), 8/20 (B), 9/28 (C), and 10/11 (D) in 2000.

特性相似，顯然地此期間水稻幼苗剛發育，稻田裡裸露之土壤及其淹覆之水分影響甚大。插秧後第 25 天(8/20/2000)，水稻之 NDVI 接近於 0.2，此期間稻株已逐漸覆蓋原裸露之土壤與水，水稻葉冠(canopy)已成為影響衛星遙測最重要的地面物。此後，由於稻株已全面覆蓋地面，將只有水稻的各種農藝性狀影響衛星遙測之植生指數。

三、迴歸分析

依圖二之迴歸曲線內插而得到相當於採樣日於水稻插秧後第 36、55 及 69 天之衛星遙測植生指數 NDVI，進一步與各種農藝特性進行直線迴歸分析(Table 2)。結果顯示，莖水分含量百分比(% FW)、總氮含量百分比及葉氮含量百分比(% DW)之 R² 值都甚低，分別只有 0.004、0.295 及 0.338，相關性不顯著；然而葉面積指數、莖氮含量百分比(，

DW)及葉水分含量百分比(% FW)之 R² 值則分別是 0.748、0.745 及 0.887，有顯著相關；其它農藝特徵之 R² 值除葉氮克數(g hill⁻¹)為 0.920 外，都超過 0.95，顯示極顯著之相關性。

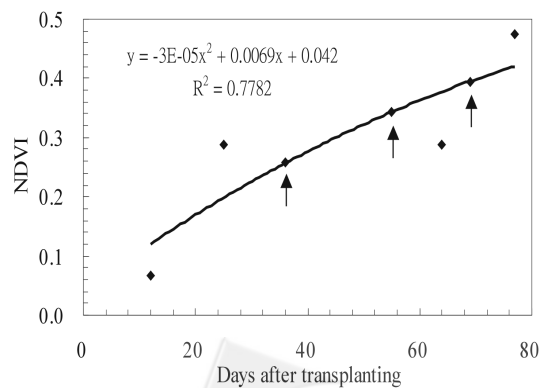


Fig. 2. Change of satellite remote sensing NDVI of paddy rice during vegetative stage. Arrows indicate the days, equivalent to 36, 55 and 69 days after rice transplanting, interpolated after regression.



Table 2. Regression coefficient, value and order of grey relation analysis between agronomic characters and satellite remote sensing NDVI of paddy rice during vegetation stage.

Agronomic character	R ²	Grey relational analysis	
		Grey value	Grey order
Plant height (cm hill ⁻¹)	0.997	0.963	1
Tiller No. (tillers hill ⁻¹)	0.747	0.923	2
Leaf area index	0.991	0.733	12
Leaf fresh weight (g hill ⁻¹)	0.998	0.860	5
Culm fresh weight (g hill ⁻¹)	0.999	0.705	16
Total fresh weight (g hill ⁻¹)	0.994	0.751	10
Leaf dry weight (g hill ⁻¹)	0.984	0.733	11
Culm dry weight (g hill ⁻¹)	0.965	0.687	18
Total dry weight (g hill ⁻¹)	0.969	0.701	17
Percent of leaf nitrogen content (% , DW)	0.338	0.875	3
Percent of culm nitrogen content (% , DW)	0.745	0.752	9
Percent of total nitrogen content (% , DW)	0.295	0.776	8
Percent of leaf water content (% , FW)	0.887	0.791	7
Percent of culm water content (% , FW)	0.004	0.875	4
Percent of total water content (% , FW)	0.994	0.836	6
Leaf nitrogen content (g hill ⁻¹)	0.920	0.711	13
Culm nitrogen content (g hill ⁻¹)	0.975	0.710	15
Total nitrogen content (g hill ⁻¹)	0.983	0.710	14

四、灰關聯分析

依灰關聯理論，若灰關聯度值(grey relational value)愈大，其灰序(grey order)排名就愈前面，即貢獻度愈大或愈重要。因此，株高(cm hill⁻¹)、分蘗數(tillers hill⁻¹)、葉面積指數、葉鮮重(g hill⁻¹)、莖鮮重(g hill⁻¹)、總鮮重(g/ hill⁻¹)、葉乾重(g hill⁻¹)、莖乾重(g hill⁻¹)、總乾重(g hill⁻¹)、葉氮含量百分比(% , DW)、莖氮含量百分比(% , DW)、總氮含量百分比(% , DW)、葉水份含量百分比(% , FW)、莖水份含量百分比(% , FW)、總水份含量百分比(% , FW)、葉氮克數(g hill⁻¹)、莖氮克數(g hill⁻¹)、總氮克數(g hill⁻¹)對衛星遙測植生指數 NDVI 之灰序分別為 1、2、12、5、16、10、11、18、17、3、9、8、7、4、6、13、15 及 14(Table 2)。此顯示下列意義：

1. 二期水稻之株高(cm hill⁻¹)、分蘗數(tillers hill⁻¹)、葉氮含量百分比(% ,

DW)、莖水份含量百分比(% , FW)、葉鮮重(g hill⁻¹)及總水份含量百分比(% , FW)六種農藝特性之灰序都在前三分之一段，故影響衛星遙測植生指數 NDVI 之影響較大，而六者中以前二種即株高(cm hill⁻¹)及分蘗數(tillers hill⁻¹)之貢獻最大。

2. 二期水稻之葉氮克數(g hill⁻¹)、總氮克數(g hill⁻¹)、莖氮克數(g hill⁻¹)、莖鮮重(g hill⁻¹)、總乾重(g hill⁻¹)及莖乾重(g hill⁻¹)六種農藝特性之灰序都在後三分之一段，故影響衛星遙測植生指數 NDVI 之影響較小，而六者中以後二者即總乾重(g hill⁻¹)及莖乾重(g hill⁻¹)之貢獻最小。

3. 株高(cm hill⁻¹)、葉鮮重(g hill⁻¹)、葉乾重(g hill⁻¹)、葉氮含量百分比(% , DW)、葉水份含量百分比(% , FW)及葉氮克數(g hill⁻¹)都是各相似農藝特性(諸如鮮重量、乾重量、氮含量百分比(%)、水份含量、氮克數(g))中灰排序最前面的(水份含量除

外)，此顯示位於最上層之水稻葉片或葉冠之農藝特性，對衛星遙測植生指數 NDVI 之影響比其它較下層組織之農藝特性都重要，此很符合水稻田之生態變遷。

4. 水稻各種組織之乾重及以克數(g)計量之氮含量對衛星遙測植生指數 NDVI 之貢獻度較小。及

5. 水稻各種組織之水分含量都對衛星遙測植生指數 NDVI 有較高之貢獻。

五、迴歸分析與灰關聯分析之比較

迴歸分析之相關性並不易與灰關聯分析結果相互比較，因二者所能解決問題之性質不同(Deng 1982, 1989)。譬如：(1)葉面積指數、莖鮮重(g hill⁻¹)、莖乾重(g hill⁻¹)、總乾重(g hill⁻¹)、葉氮克數(g hill⁻¹)、莖氮克數(g hill⁻¹)、總含氮克數(g hill⁻¹)都與衛星遙測植生指數 NDVI 有極顯著相關，但其灰關聯值都較小，故灰序排名卻都在後面三分之一段，亦及其對遙測植生指數 NDVI 之貢獻度較低；(2)葉氮含量百分比(%，DW)及莖水分含量百分比(%，FW)與衛星遙測植生指數 NDVI 之相關性極不顯著，R² 值分別是 0.338 及 0.004，但其灰關聯值都較大，故灰序排名卻都在前面三分之一段，且其灰序分別是 3 及 4，亦及其對遙測植生指數 NDVI 之影響遠比其它十四種農藝特性都較大；(3)即使總氮含量百分比(%，DW)之 R² 值只有 0.295，其灰序仍比其它十種與衛星遙測植生指數 NDVI 有極顯著或顯著相關之農藝特性，扮演更重要的貢獻。

葉面積指數與衛星遙測 NDVI 間有極顯著相關性，其 R² 值為 0.991，但其灰序卻是接近後三分之一段。顯示與其它農藝性狀比較，葉面積指數對衛星遙測 NDVI 之貢獻度似不明顯；反而是株高(cm hill⁻¹)、分蘗數(tillers hill⁻¹)等提供更重要之貢獻。

引用文獻

- Chao PY, JS Yang, TJ Yeu, CM Yang (2001). Grey relational analysis between individual antioxidant contents and antioxidative capacity of black bean and soybean. (in Chinese) The 2001 Seminar of Applied Grey System Theory. E117-126. October 25-26, Yunlin, Taiwan.
- Che KJ, HY He (1993) Grey relational analysis and topological prediction on ecological environment. *J. Grey Sys.* 5:147-162.
- Chen YK, XR Tan (1995) Grey relational analysis on serum markers of liver fibrosis. *J. Grey Sys.* 7:63-74.
- Choudhury BJ (1987) Relationships between vegetation indices, radiation absorption, and net photosynthesis evaluated by sensitivity analysis. *Remote Sens. Environ.* 22:209-233.
- Chu YH, PY Chao, JS Yang, CM Yang (2003) Grey relational analyzing the flavonoid contents and antioxidative activities of eight vegetables. *J. Grey Sys.* 15:67-72.
- Chung IL, CM Yang, LL Peng, JS Yang, PY Chao (2001) Grey relational analysis and grey decision of evaluating antioxidative capacity of herb plants. (in Chinese) The 2001 Seminar of Applied Grey System Theory. E28-37. October 25-26, Yunlin, Taiwan.
- Deng JL (1982) Control problems of grey systems. *Systems Control Lett.* 5:288-294.
- Deng JL (1989) Introduction to grey system theory. *J. Grey Sys.* 1:1-24.
- Guo RL, CJ Song, XL Yuan, QJ Wang (1991) Grey relational analysis on main quality and agronomic characters of wheat. *J. Grey Sys.* 3:227-236.
- Hsu MH (2003) Studies on the relationship of pigment contents and reflectance spectra in the leaves of sweet potato (*Ipomoea batatas*). (in Chinese) Ph. D. Dissertation, Department of Agronomy, National Taiwan University, Taipei.
- Hsu MH, WD Huang, ZW Yang, YZ Tsai, SS Chang, JS Yang, CM Yang (2003) Grey relational analysis on the pigment contents and normalized difference vegetation index (NDVI)

- of sweet potato leaves. (in Chinese) **Chinese Agron. J.** 13:273-282.
- Huang WD, YZ Tsai, SS Chang, JS Yang, CM Yang (2003a) Application of the grey system theory on biology: (1) The grey relational analysis of the effect of light-harvesting proteins on chlorophyll a/b ratio in higher plants. (in Chinese) **J. Agri. Assoc. China.** 4: 550-556.
- Huang WD, JC Chen, MH Hsu, ZW Yang, SS Chang, YZ Tsai, KY Huang, LC Lu, CC Chen, CM Yang (2003b) Grey relational analysis of the effect of climate factors on the satellite remote sensing brightness index of carpetgrass in Mt. Huangzui. (in Chinese) **Chinese Agron. J.** 13:59-66.
- Huang WD, JS Yang, MH Hsu, ZW Yang, YZ Tsai, SS Chang, CM Yang (2004a) Application of grey system theory in biology: (2) Photosystem I attributes more than photosystem II to photosynthesis rate in higher plants. **J. Grey Sys.** 16. (in press)
- Huang WD, JC Chen, MH Hsu, ZW Yang, JS Yang, SS Chang, YZ Tsai, KY Huang, L C Lu, CT Chen, CM Yang (2004b) Grey relational analysis of the effect of climate factors on the satellite remote sensing normalized difference vegetation index (NDVI) in the Mt. Huangzui area. (submitted).
- Yang CM, CY Lin (2000) Studies on Precision Farming System for Rice. (in Chinese) Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan. 129 pp.
- Rouse JW, RH Haas, JA Schell, DW Deering (1973) Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Vol. 1, p.309-317. *In*: Third ERTS Symposium, NASA SP-351, Washington, DC.
- SAS Institute, Inc. 1985. SAS User's Guide. Statistics. SAS Inst. Cary, NC, USA.
- Sellers PJ (1985) Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. **Intl. J. Remote Sens.** 6:1335-1372.
- Sellers PJ (1987) Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. II. The role of biophysics in the linearity of their interdependence. **Remote Sens. Environ.** 21:143-183.
- Steven MD, JA Clark (1990) Application of Remote Sensing in Agriculture. University Press, Cambridge.
- Tucker CJ, PJ Sellers (1986) Satellite remote sensing of primary production. **Intl. J. Remote Sens.** 7:1395-1416.
- Yang CM, JS Yang, CK Yang, CH Chou (1999) Long-term research on chlorophyll cycling in the Yuanyang Lake Nature Preserve I. The grey prediction models on chlorophyll degradation of *Chamaecypari. var. formosana* leaf. **Photosynthetica** 37: 499-508.
- Yang ZW (2001) Satellite remote sensing and grey system theory applied for monitoring the vegetation stage of paddy rice. (in Chinese) Master Thesis, Department of Agronomy, National Taiwan University, Taipei.