

# 關渡平原 2004 年空氣品質及氣象因子影響 SPOT 衛星遙測 水稻生長之灰關聯分析

許明晃<sup>1</sup> 黃文達<sup>2</sup> 楊志維<sup>1</sup> 陳建璋<sup>1</sup> 盧虎生<sup>2</sup> 楊棋明<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> 中央研究院生物多樣性研究中心

<sup>2</sup> 國立台灣大學農藝學系

\* 通訊作者, cmyang@gate.sinica.edu.tw

## 摘要

本研究應用 2004 年 14 幅之 SPOT 衛星遙測資料, 監測關渡平原 21 個水稻樣區常態化差異性植生指數 NDVI 之季節性變化; 並以灰關聯理論分析五種氣候因子(即累積降雨量、平均相對溼度、日照率、平均氣溫、與累積全天日射量)及七種空氣品質監測項目(包括 SO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub>、NO、NO<sub>2</sub>、CO 及 PM<sub>10</sub>)對關渡平原水稻衛星遙測 NDVI 之相關性。灰關聯度與灰序為: 氣溫 > 日射量 > CO > SO<sub>2</sub> > NO<sub>2</sub> > 溼度 > O<sub>3</sub> > PM<sub>10</sub> > NO<sub>x</sub> > 日照率 > NO > 降雨量。亦即, 影響關渡平原水稻生長之二大類環境因子中, 明顯的以五種氣候因子為主, 而以七種環境品質監測項目為次。在氣候因子中則以日射量及氣溫為主, 而空氣品質監測項目中則以 CO 及 SO<sub>2</sub> 為主。與長期資料(1999/2-2004/5)之分析結果相似, 2004 年北投垃圾焚化廠之排放氣體與粒狀物對關渡平原水稻生長若有影響, 其程度遠不及氣象因子所造成之影響。

**關鍵詞:** 衛星遙測、關渡平原、氣候因子、常態化差異性植生指數、NDVI、灰關聯分析、灰序

# Grey Relational Analysis of the Effects of Climate Factors and Air Qualities on the Rice Growth Monitored by SPOT Satellite Remote Sensing Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) at Quandu Plain in 2004

Ming-Huang Hsu<sup>1</sup>, Wen-Dar Huang<sup>2</sup>, Zhi-Wei Yang<sup>1</sup>, Jen-Chang Chen<sup>1</sup>, Hu-Sen Lur<sup>2</sup>, Chi-Ming Yang<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup> Research Center for Biodiversity, Academia Sinica, Taipei, Taiwan, (ROC)

<sup>2</sup> Department of Agronomy, National Taiwan University, Taipei, Taiwan (ROC)

\* Corresponding author, cmyang@gate.sinica.edu.tw

## Abstract

This research studied the seasonal change of rice normalized difference vegetation index (NDVI) monitored by the SPOT satellite remote sensing imagery of 2004, and applied the grey system theory to analyze the relationship between rice NDVI and five climate factors including monthly cumulative precipitations, monthly mean relative humidity, daily insolation percentage, monthly mean temperature and daily cumulative irradiance, and seven air quality related items including SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, CO and PM<sub>10</sub>. According to the present results, the grey order were temperature > cumulative irradiance > CO > SO<sub>2</sub> > NO<sub>2</sub> > relative humidity > O<sub>3</sub> > PM<sub>10</sub> > NO<sub>x</sub> > insolation percentage > NO > cumulative precipitation. The results indicated that climate factors play more important role in the rice growth than the seven air quality related items for air quality at Quandu Plain. Among the five climate factors, the sun-related factors such as temperature and irradiance contribute more to rice satellite NDVI than the water-related factors such as humidity and precipitation. Among the seven items for air quality, the CO and SO<sub>2</sub> contribute more than the others. According to the grey system theory, the waste gas and particles released by the Beitou Garbage Incinerator in 2004 make much less extent of contribution degree than the natural climate factors to the rice growth at Quandu Plain, even if they have effects.

**Keywords:** Satellite remote sensing, Quandu Plain, Climate factors, Normalized difference vegetation index, Grey relational analysis, Grey order.

## 前言

運用衛星遙測技術以監測地面植物生長狀況的各種植生指數(vegetation index, VI)被廣泛研究與應用。植生指數可以反映被衛星拍攝的植被所處生態環境之生長狀況(Huang *et al.* 2006)。而影響生態環境的因子種類很多，又個別因子的影響或貢獻強度也不同，造成生態環境影響植物生長的因子種類及強度不同，亦即個別因子的影響程度不同。如何在影響植物生長狀況的眾多因子中，依其貢獻大小直接排出順序則是方法論上的一個大挑戰。

傳統數理分析可以檢定個別子系統對其母系統之相關性，通常以  $R^2$  值顯示其母與子系統間關聯性之高低，但無法比較各子系之間的關聯度、貢獻度或重要性之程度、大小或排序問題。灰關聯分析則可以解決此特殊問題，且所需的數據不必太多，而迴歸分析則必須要有足夠的數據(Deng 1982, 1989)。灰系統理論自提出後，迄今超過二十年，被廣泛地運用在許多領域以協助解決問題，諸如：農業、經濟、工程、水利、生態、醫學、環保、氣象、地質、教育、體育、軍事、營養與生化生態反應等。其中的灰關聯分析曾被應用在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選擇(Chen and Tan 1995)、小麥農藝性狀與產量之關聯性(Guo 1994)、水稻農藝性狀與其衛星監測植生指數 NDVI 之關聯性(Yang *et al.* 2004)、個別抗氧化物對總抗氧化力之影響(Chao *et al.* 2000, Chu *et al.* 2003)、植物光合系統捕光蛋白含量對葉綠素  $a/b$  比之貢獻度分析及其對光合作用速率之貢獻分析(Huang *et al.* 2003b, 2005b)。灰關聯分析也曾被運用於探討磺嘴山自然保護區氣候因子影響當地植被長期適應環境之問題結果顯示，氣候因子可分為水份及太陽相關因子二類，它們對磺嘴山植被長期適應環境過程有不同影響(Huang *et al.* 2003a, 2005a)。水稻葉片葉綠素相關色素(chlorophyll-related compounds, CRCs)曾被對衛星遙測 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 *et al.* 2004)。相似結果亦在三種不同顏色甘藷葉片發現(Hsu *et al.* 2003)。

衛星遙測之長期(1999/2~2004/5)資料，可以監測關渡平原水稻生長之季節性變化；並以灰關聯理論分析五種氣候因子及七種空氣品質監測項目對關渡平原水稻衛星遙測植生指數 NDVI 之相關性。灰關聯度與灰序顯示，影響關渡平原水稻生長之二十大類環境因子中，明顯的以五種氣候因子為主，而以七種環境品質監測項目為次。在五種氣候因子中，又以太陽相關因子即日射量、氣溫及日照率為主，而與水份相關因子即溼度及降雨量則為次(Hsu *et al.* 2006)。

本文進一步運用灰關聯理論分析短期的 2004 年五種氣象資料及七種空氣品質監測項目對關渡平原衛星遙測植生指數 NDVI 之影響，以探討這十二項環境因子對當年水稻生長之影響。

## 方法與材料

### 水稻樣區位置

關渡平原位於台北盆地西北方，地理位置特殊，基隆河自東向西繞於南境，匯入自南向北行於西邊之淡水河。本研究自關渡平原選取共 899 個水稻樣點，再根據方位及與北投垃圾焚化廠之距離歸類為 21 個樣區(Fig. 1)。這 21 個水稻樣區在關渡平原的分佈狀態應有統計上的代表性(Hsu *et al.* 2006)。樣區處於不同方位，且與焚化廠之距離都在五公里以內之不同位置。進行灰關聯分析時，每個水稻樣區都單獨且直接對五種氣象因子及七種空氣品質監測項目一起運算。

### 氣象資料

自 2004 年之五種氣象資料，直接向交通部中央氣象局洽購取得電子檔。氣象資料由台北及淡水氣象站所紀錄，內容包括每月累積降雨量(monthly cumulative precipitation)、每月平均相對溼度(monthly mean relative humidity)、日照率(daily insolation percentage)、每月平均氣溫(monthly mean temperature)與累積全天日射量(daily cumulative irradiance)。將 2004 年之資料平均後即為進行灰關聯分析的實驗系列之數據(Table 1)。

## **空氣品質**

本研究使用之關渡平原空氣品質監測資料是由與北投垃圾焚化廠有關的士林站、菜寮站及大直站、及承德站 2004 年所測的原始數據之月平均值。監測項目包括 SO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub>、NO、NO<sub>2</sub>、CO 及 PM<sub>10</sub> 共七種(Table 2)。

## **衛星資料之獲取**

法國 SPOT 衛星之遙測反射光譜資料向國立中央大學太空與遙測研究中心(CSRSR)，所有影像都屬第十等級(level 10)數位影像。影像正上空無任何雲層遮避。本研究共使用涵蓋 2004 年 16 幅 SPOT 衛星影像，包括：1/5、2/10、2/17、3/9、4/21、5/11、6/12、7/12、8/6、9/29、11/3、11/9、11/19、12/6。以上 14 幅衛星資料依其太陽日順序排列後，計算水稻每月份之 NDVI 季節性之變化。

## **衛星遙測植生指數**

本研究採用的植生指數為常態化差異植生指數(normalized difference vegetation index, NDVI)為主，以尋找可能的相關性與意義。植生指數 NDVI 之計算公式為  $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$ 。其中 IR 為近紅外光反射率，R 為紅光反射率。再根據每一樣區稻田全年度植生指數 NDVI 進一步分析與比較(Table 3)。

## **灰關聯分析(Grey relational analysis)**

以前述五種氣候因子及七種空氣品質數據為實驗系列，而以關渡平原 21 個水稻樣區之 SPOT 衛星遙測 NDVI 季節性變化為參考系列，依灰關聯原理與步驟進行分析，求得灰關聯度或灰序(Deng 1982, 1989)。本研究先採均值化後運算，均值化後之數列本報告未列出。

## **結果與討論**

歷年來，關渡平原農民耕作習慣為 2 月下旬開始一期稻插秧，3 月底前完成；7 月中旬陸續收割，8 月中旬完成。隨即進入二期稻，12 月底開始收割二期稻。二期稻有 99% 是再生稻(Hsu *et al.* 2006)。關渡平原水稻田的全年度 SPOT 衛星遙測植生指數 NDVI 呈現明顯的季節性變化，明顯有二個植生指數 NDVI 的波峰，一在 6 月，二在 10 月，明顯地相當於每年的一期稻及二期稻營養生長之最高峰期，過後即為開花結穗期，植被由綠逐漸轉黃(Table 3)。每年 12 月及隔年 1~3 月之 NDVI 都較趨近 0，此顯然是 12 月為二期稻之黃熟期，而 1~2 月為休耕階段，農田基本屬於翻耕或裸土狀態；2~3 月則一期稻剛插秧，秧田的水與土影響 NDVI 較多而非單由秧苗決定。其後 3~6 月，所有水稻樣區 NDVI 都逐月增加，到 6 月時達最高峰。隨後又逐漸下降，於 8 月時達谷底，9~10 月為二期稻營養生長期其 NDVI 再緩升，於 10 月達第二高峰。11~12 月為二期稻之結穗與黃熟期，12 月底及 1 月中旬之間則為二期稻之收割期。亦即，水稻植被 NDVI 的季節性變化符合農民的耕作時節。

把上述氣候因子及空氣品質監測項目共十二種環境因子混合在一起比較。因為，這些因子都可能影響關渡平原水稻生長狀況，即影響衛星遙測植生指數 NDVI 之變化。根據灰關聯理論，灰關聯度愈大，表示灰序愈前面，即子系統對母系統之影響或貢獻排在愈前面。以前述十二種環境因子為子系統，而以 2004 年衛星監測的水稻植生指數為母系統，分別建立均值化數列，再經灰關聯運算所得的灰關聯度及灰序顯示，二十一個水稻樣區之結果都極為類似(Table 4)。亦即 2004 年之灰序為：平均氣溫 > 累積全天日射量 > CO > SO<sub>2</sub> > NO<sub>2</sub> > 相對溼度 > O<sub>3</sub> > PM<sub>10</sub> > NO<sub>x</sub> > 日照率 > NO > 累積降雨量。

二個太陽相關因子之灰序，即日射量及氣溫都在十二個環境因子中分別佔第 1 及 2 名；而日照率則排第 10。二種水份相關因子，即溼度及降雨量則分屬第 6 及 12 名。而屬於空氣品質項目的 CO 及 SO<sub>2</sub> 之灰序則分別是第 3 及 4 名。O<sub>3</sub> 及 PM<sub>10</sub> 則明顯站在第 7 及 8。三種氮氧化物 NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、NO 則分屬第 5、9 及 11 名。整體而言，五種氣象因子佔據第 1、2、6、10 及 12 的灰序，；而七種空氣品質監測項目則為第 3、4、5、7、8、9 及 11。因此，影響關渡平原水稻生長之二大類環境因子中，明顯的仍以五種氣候因子為主，而七種環境品質監測項目則為其次。在五種氣候因子中，又以三種太陽相關因子為主，而水份相關因子則較其次。長期資料(1999/2~2004/5)分析之灰序為累積全天日射量 > 平均氣溫 > 日照率 > SO<sub>2</sub> > CO > 相對溼度 > 累積降雨量 > NO<sub>x</sub> > NO<sub>2</sub> > O<sub>3</sub> > PM<sub>10</sub> (Hsu *et al.* 2006)；此與短期 2004 年之

結果大致相似。

根據灰關聯分析，北投垃圾焚化廠之排放氣體與粒狀物如果對關渡平原水稻生長有影響，但其程度遠不及氣象因子所造成之影響。而且，如果這七種空氣品質監測項目對關渡平原水稻生長真有影響，其中以 CO 及 SO<sub>2</sub> 之效應較大。簡而言之，本研究顯示，氣象因子才是影響關渡平原水稻生長的關鍵因素，而非空氣品質；即使焚化廠之排放氣體與粒狀物真有影響，也只是其次的因素。此結果與根據長期資料之分析結果幾乎是一致(Hsu *et al.* 2006)。亦即，不論是長期的(1999-2004)或短期的(2004)資料分析都顯示，影響關渡平原水稻生長的環境因子以氣候因子為主，其次才是北投垃圾焚化廠之排放氣體及粒狀物。

最後，本研究雖然證明，即使北投垃圾焚化廠之排放氣體及粒狀物有沉降在農田裡，對關渡平原水稻生長並非主要影響因素，但並不能證明焚化廠之排放氣體及粒狀物是否或有無沉降在關渡平原之稻田裡，當然也不能證明是否或有無轉移進入水稻植體中。此需進一步探明。

## 參考文獻

1. Chao PY, JS Yang, CM Yang (2000) The grey prediction models on chlorophyll degradation of cucumbers during brining. **J. Grey Sys.** 12: 187-198.
2. Che KJ, HY He (1993) Grey relational analysis and topological prediction on ecological environment. **J. Grey Sys.** 5: 147-162.
3. Chen YK, XR Tan (1995) Grey relational analysis on serum markers of liver fibrosis. **J. Grey Sys.** 7: 63-74.
4. 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.
5. Deng JL (1982) Control problems of grey systems. **Systems Control Lett.** 5: 288-294.
6. Deng JL (1989) Introduction to grey system theory. **J. Grey Sys.** 1: 1-24.
7. Guo RL (1994) Conception on grey crop breeding science. **J. Grey Sys.** 6: 57-270.
8. Hsu MH, WD Huang, ZW Yang, JC Chen, JH Yang, MY Huang, HS Lur, CM Yang (2006) Grey relational analysis of the effects of climate factors and air qualities on the rice growth monitored by SPOT satellite remote sensing normalized difference vegetation index (NDVI) after operation of Beitou Garbage Incinerator. (in Chinese) **J. Agri. China** 7: (in press)
9. 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.
10. Huang WD, JC Chen, MH Hsu, ZW Yang, JS Yang, SS Chang, YZ Tsai, KY Huang, LC Lu, CT Chen, CM Yang (2006) Effects of climate factors on the satellite remote sensing normalized difference vegetation index (NDVI) of vegetation in the Mt. Huangzui area of Taiwan. **Bot. Bull. Acad. Sin.** (accepted)
11. Huang WD, JC Chen, MH Hsu, ZW Yang, SS Chang, YZ Tsai, KY Huang, LC Lu, CC Chen, CM Yang (2003a) 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.
12. Huang WD, JS Yang, MH Hsu, ZW Yang, YZ Tsai, SS Chang, CM Yang (2005b) Application of grey system theory in biology: (2) Photosystem I attributes more than photosystem II to photosynthesis rate in higher plants. **J. Grey Sys.** 17: 67-72.
13. Huang WD, YZ Tsai, SS Chang, JS Yang, CM Yang (2003b) Application of the grey system on biology: (I) the grey relational analysis of the effect of light-harvesting proteins on chlorophyll *a/b* ratio in higher plants. (in Chinese) **J. Agri. China** 4(6): 550-556.
14. Steven MD, JA Clark. 1990. Application of remote sensing in agriculture. University



Press, Cambridge.

15. Yang ZW, MH Hsu, WD Huang, JS Yang, YZ Tsai, CM Yang, SS Chang (2004) Remote sensing normalized difference vegetation index of paddy rice during vegetation stage. (in Chinese) **Crop, Environ. Bioinformatics** 1(3): 199-206.

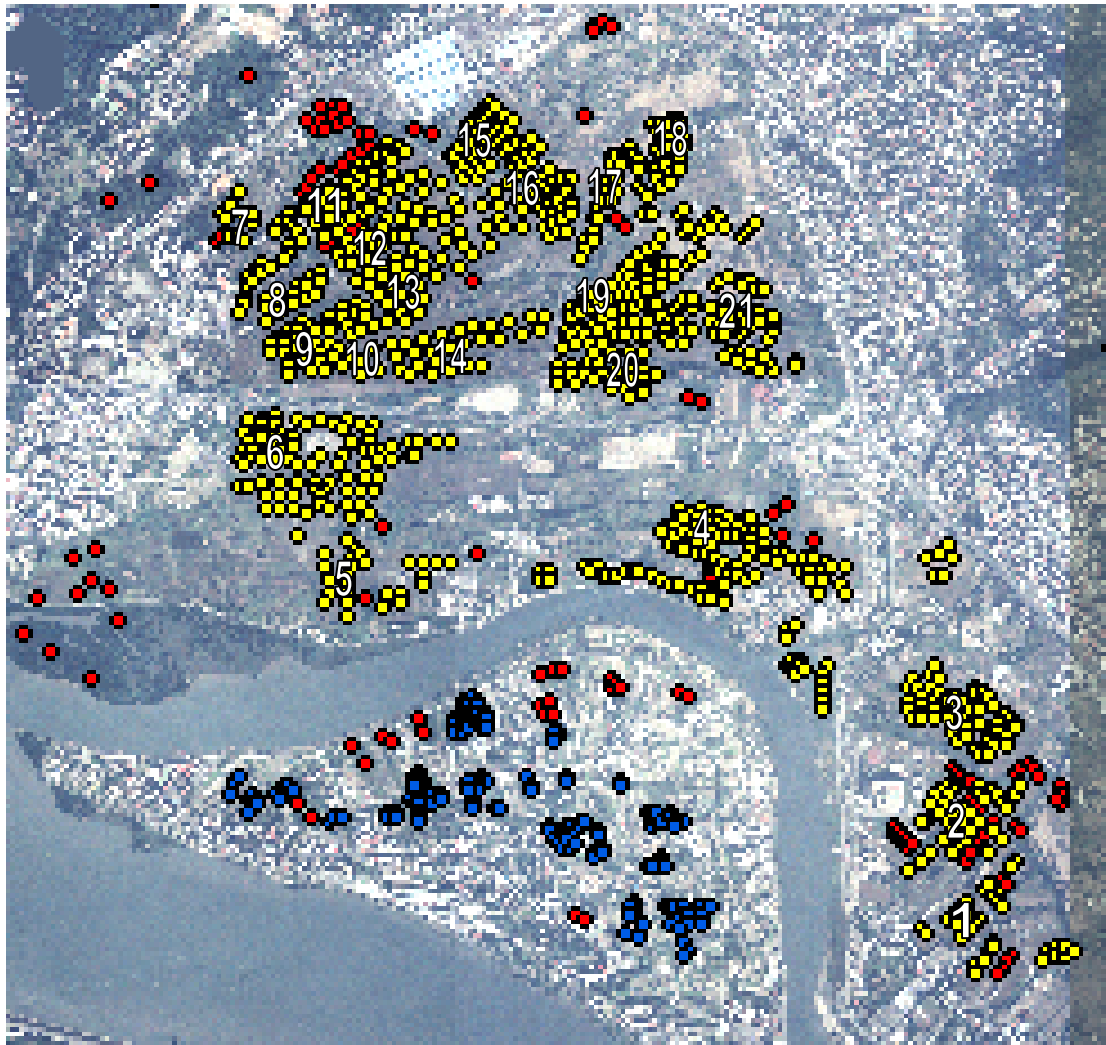


Fig. 1. The normalized difference vegetation indices (NDVI) of sample area of rice, vegetable and forest monitored by the SPOT satellite remote sensing imagery at Quandu Plain. Red star represents Beitou Garbage Incinerator. Yellow, red and blue point stand for forest, rice and vegetable sample area, respectively. Rice sample area was numbered from 1 to 21.

Table 1. The climate factors monthly mean values of 2004 at Taipei and Tanshui Station of Central Weather Bureau.

Climate factors	Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Irradiance (MJ/m <sup>2</sup> )	166.06	289.85	195.69	334.93	426.04	448.85	524.46	488.40	341.34	312.50	308.23	214.43
Precipitation (mm)	122.95	158.60	186.85	136.40	202.10	90.50	203.25	479.05	554.30	242.15	20.55	169.10
Humidity (%)	77.50	74.50	83.00	77.50	80.00	76.00	73.50	77.00	80.00	75.50	73.50	77.00
Insolation (%)	22.10	51.70	17.20	30.60	35.80	38.00	50.70	51.25	35.70	40.65	52.85	33.05
Temperature( )	14.85	17.20	17.10	21.35	25.40	26.95	29.05	28.85	26.85	22.20	21.95	18.85

Table 2. The air quality monthly mean values of 2004 at Shilin, Tsailiao, Dazhi and Chengde Station of Beitou Garbage Incinerator.

Air qualities	Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SO <sub>2</sub> (ppb)	4.48	4.59	3.12	4.61	4.32	3.64	4.66	4.41	5.21	4.65	4.87	5.24
O <sub>3</sub> (ppb)	24.51	28.37	26.57	30.74	26.68	25.21	19.19	21.01	21.77	29.22	29.13	22.04
NO <sub>x</sub> (ppb)	42.56	43.36	41.99	45.22	41.56	35.98	42.28	38.88	51.31	42.53	37.92	40.21
NO(ppb)	19.90	17.65	16.41	15.64	14.49	13.23	17.68	14.77	23.47	18.42	15.77	18.12
NO <sub>2</sub> (ppb)	22.60	25.71	25.58	29.55	27.08	22.76	24.61	24.20	27.86	24.07	22.16	22.09
CO(ppm)	1.09	1.17	0.86	1.03	1.32	1.24	1.24	1.01	0.97	0.88	0.99	0.90
PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	57.71	63.74	48.44	69.34	54.37	51.10	46.87	50.24	62.32	62.53	54.38	50.17

Table 3. The seasonal change of rice normalized difference vegetation index (NDVI) monitored by the SPOT satellite remote sensing imagery at Quandu Plain in 2004.

Rice field sampling location	Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.00	0.03	0.13	0.28	0.20	0.20	0.13	0.05	0.11	0.14	0.16	0.23
2	0.06	0.03	0.13	0.33	0.27	0.24	0.20	0.13	0.14	0.15	0.16	0.28
3	0.00	0.03	0.07	0.30	0.34	0.26	0.17	0.05	0.18	0.17	0.17	0.21
4	0.00	0.00	0.00	0.31	0.42	0.36	0.23	0.00	0.21	0.22	0.23	0.28
5	0.00	0.03	0.08	0.23	0.24	0.31	0.31	0.15	0.19	0.20	0.21	0.32
6	0.02	0.01	0.04	0.19	0.17	0.28	0.30	0.15	0.10	0.11	0.12	0.24
7	0.00	0.00	0.02	0.17	0.29	0.29	0.21	0.00	0.13	0.15	0.17	0.29
8	0.00	0.00	0.02	0.29	0.37	0.31	0.20	0.04	0.18	0.19	0.20	0.28
9	0.00	0.00	0.00	0.26	0.40	0.34	0.15	0.00	0.17	0.20	0.22	0.29
10	0.00	0.00	0.00	0.13	0.33	0.34	0.24	0.00	0.13	0.15	0.17	0.27

Table 3. The seasonal change of rice normalized difference vegetation index (NDVI) monitored by the SPOT satellite remote sensing imagery at Quandu Plain in 2004. (Continued 1)

Rice field sampling location	Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11	0.01	0.03	0.13	0.29	0.32	0.30	0.26	0.10	0.18	0.20	0.23	0.36
12	0.00	0.00	0.00	0.20	0.37	0.37	0.27	0.02	0.15	0.17	0.19	0.32
13	0.00	0.01	0.00	0.33	0.40	0.31	0.16	0.05	0.16	0.19	0.22	0.30
14	0.00	0.00	0.00	0.19	0.36	0.30	0.23	0.00	0.14	0.14	0.15	0.26
15	0.01	0.03	0.07	0.26	0.37	0.33	0.24	0.09	0.16	0.18	0.20	0.33
16	0.00	0.00	0.00	0.30	0.42	0.36	0.22	0.01	0.17	0.18	0.18	0.25
17	0.00	0.00	0.00	0.22	0.37	0.35	0.29	0.00	0.17	0.16	0.16	0.24
18	0.00	0.00	0.00	0.23	0.37	0.35	0.21	0.00	0.21	0.18	0.16	0.23
19	0.00	0.00	0.03	0.27	0.35	0.34	0.22	0.02	0.15	0.16	0.16	0.25
20	0.00	0.00	0.00	0.25	0.40	0.32	0.19	0.00	0.21	0.21	0.22	0.28
21	0.00	0.00	0.01	0.26	0.37	0.33	0.20	0.01	0.17	0.17	0.17	0.26

Table 4. The grey relational value and order of the rice NDVI monitored by the SPOT satellite remote sensing imagery and air quality and climate factors at Quandu Plain in 2004.

Rice field sampling location	Air qualities							Climate factors				
	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	NO <sub>x</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	CO	PM <sub>10</sub>	Irradiance	Precipitation	Humidity	Insolation	Temperature
1	0.6223 (6)*	0.6348 (1)	0.6191 (7)	0.5968 (10)	0.6324 (2)	0.6173 (8)	0.6231 (5)	0.6072 (9)	0.4851 (12)	0.6266 (4)	0.5833 (11)	0.6275 (3)
2	0.6471 (5)	0.6462 (6)	0.6420 (8)	0.6152 (10)	0.6581 (2)	0.6498 (4)	0.6414 (9)	0.6422 (7)	0.4957 (12)	0.6520 (3)	0.5984 (11)	0.6621 (1)
3	0.6039 (6)	0.6079 (5)	0.5999 (9)	0.5796 (10)	0.6122 (3)	0.6122 (4)	0.6037 (7)	0.6174 (2)	0.4910 (12)	0.6031 (8)	0.5781 (11)	0.6242 (1)
4	0.5990 (4)	0.5964 (6)	0.5903 (9)	0.5772 (11)	0.5977 (5)	0.6067 (3)	0.5933 (8)	0.6137 (2)	0.4975 (12)	0.5934 (7)	0.5830 (10)	0.6159 (1)
5	0.6044 (3)	0.5769 (10)	0.5861 (8)	0.5712 (11)	0.5928 (7)	0.6018 (4)	0.5780 (9)	0.6389 (2)	0.4716 (12)	0.5941 (5)	0.5936 (6)	0.6459 (1)
6	0.6069 (5)	0.5835 (10)	0.5946 (8)	0.5809 (11)	0.6019 (7)	0.6220 (3)	0.5861 (9)	0.6688 (1)	0.5013 (12)	0.6035 (6)	0.6085 (4)	0.6531 (2)
7	0.5988 (4)	0.5888 (7)	0.5869 (8)	0.5772 (11)	0.5916 (6)	0.6058 (3)	0.5849 (9)	0.6096 (2)	0.4921 (12)	0.5930 (5)	0.5841 (10)	0.6135 (1)

\* The number in parenthesis was grey order.

Table 4. The grey relational value and order of the rice NDVI monitored by the SPOT satellite remote sensing imagery and air quality and climate factors at Quandu Plain in 2004. (Continued 1)

Rice field sampling location	Air qualities							Climate factors				
	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	NO <sub>x</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	CO	PM <sub>10</sub>	Irradiance	Precipitation	Humidity	Insolation	Temperature
8	0.5919 (4)*	0.5878 (6)	0.5819 (9)	0.5671 (11)	0.5903 (5)	0.5974 (3)	0.5845 (8)	0.6049 (2)	0.4842 (12)	0.5862 (7)	0.5722 (10)	0.6094 (1)
9	0.5853 (4)	0.5846 (5)	0.5758 (9)	0.5638 (11)	0.5825 (6)	0.5911 (3)	0.5796 (8)	0.5913 (2)	0.4872 (12)	0.5807 (7)	0.5677 (10)	0.5969 (1)
10	0.5732 (4)	0.5638 (8)	0.5630 (9)	0.5546 (11)	0.5672 (6)	0.5865 (3)	0.5602 (10)	0.5954 (1)	0.4808 (12)	0.5694 (5)	0.5668 (7)	0.5940 (2)
11	0.6233 (3)	0.6120 (7)	0.6106 (8)	0.5923 (10)	0.6201 (5)	0.6219 (4)	0.6058 (9)	0.6258 (2)	0.4801 (12)	0.6198 (6)	0.5919 (11)	0.6426 (1)
12	0.5717 (4)	0.5611 (8)	0.5604 (9)	0.5501 (11)	0.5658 (6)	0.5841 (3)	0.5582 (10)	0.5959 (1)	0.4730 (12)	0.5668 (5)	0.5634 (7)	0.5937 (2)
13	0.5744 (4)	0.5738 (5)	0.5635 (9)	0.5478 (11)	0.5730 (6)	0.5788 (3)	0.5691 (7)	0.5819 (2)	0.4683 (12)	0.5686 (8)	0.5545 (10)	0.5861 (1)
14	0.5797 (4)	0.5710 (7)	0.5708 (8)	0.5600 (11)	0.5766 (5)	0.5923 (3)	0.5688 (9)	0.6005 (1)	0.4871 (12)	0.5754 (6)	0.5674 (10)	0.5990 (2)

\* The number in parenthesis was grey order.



Table 4. The grey relational value and order of the rice NDVI monitored by the SPOT satellite remote sensing imagery and air quality and climate factors at Quandu Plain in 2004. (Continued 2)

Rice field sampling location	Air qualities							Climate factors				
	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	NO <sub>x</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	CO	PM <sub>10</sub>	Irradiance	Precipitation	Humidity	Insolation	Temperature
15	0.5947 (4)*	0.5855 (7)	0.5824 (8)	0.5651 (11)	0.5922 (5)	0.6049 (3)	0.5805 (9)	0.6133 (2)	0.4700 (12)	0.5915 (6)	0.5739 (10)	0.6187 (1)
16	0.5760 (5)	0.5748 (6)	0.5697 (9)	0.5554 (11)	0.5782 (4)	0.5902 (3)	0.5719 (8)	0.5995 (1)	0.4826 (12)	0.5738 (7)	0.5622 (10)	0.5973 (2)
17	0.5854 (4)	0.5774 (8)	0.5783 (7)	0.5667 (11)	0.5846 (5)	0.6015 (3)	0.5762 (10)	0.6167 (1)	0.4931 (12)	0.5819 (6)	0.5766 (9)	0.6111 (2)
18	0.5885 (5)	0.5834 (7)	0.5825 (9)	0.5708 (11)	0.5888 (4)	0.6007 (3)	0.5828 (8)	0.6115 (2)	0.5001 (12)	0.5852 (6)	0.5742 (10)	0.6119 (1)
19	0.5874 (5)	0.5852 (7)	0.5808 (9)	0.5657 (11)	0.5897 (4)	0.6020 (3)	0.5816 (8)	0.6114 (1)	0.4849 (12)	0.5861 (6)	0.5717 (10)	0.6104 (2)
20	0.5992 (4)	0.5945 (6)	0.5895 (9)	0.5781 (11)	0.5954 (5)	0.6040 (3)	0.5914 (8)	0.6079 (2)	0.5010 (12)	0.5928 (7)	0.5816 (10)	0.6135 (1)
21	0.58914 (4)	0.5858 (6)	0.5812 (9)	0.5676 (11)	0.5889 (5)	0.5997 (3)	0.5829 (8)	0.6073 (2)	0.4898 (12)	0.5855 (7)	0.5726 (10)	0.6086 (1)

\* The number in parenthesis was grey order.