

河川水質與水稻產量之關聯性分析 - 以臺中地區為例

陳豐文^[1*] 林修德^[2] 蔡西銘^[3]

摘 要 稻作為臺灣重要農業生產糧食，臺灣灌區約 85 % 以上的灌溉水源均自河川取水，依環保署(2011)報告指出台灣河川總長之 37.4 % 為受污染河段，其中 30.1 % 的污染程度為中度污染以上；受污染河段集中於河川的中下游，而台灣農業主要分佈區域亦位於河川中下游區段。為評估河川水質優劣對於稻作生產的影響，本研究以臺中地區大安溪、大甲溪、烏溪流域為研究區域，應用地理資訊系統(GIS)套疊臺中農田水利會之渠道系統圖層，初步釐清各鄉鎮灌溉水源之水系別及水質測站，藉由 2001-2010 年期間之稻作產量資料及對應時期之河川水質資料，以基礎統計及迴歸分析方式探討稻作產量與不同灌溉水質之關聯性，並與水稻生長所需養分之生理特性進行比較，以作為考量既有水質條件下調整合理施肥量之參酌。

關鍵字：合理化施肥，灌溉水質，地理資訊系統(GIS)，作物產量

Evaluation of Correlation Analysis between the River Water Quality and Rice Yield - a Case Study of TaiChung Region

Feng-Wen Chen^[1*] Hsiu-Te Lin^[2] Shi-Ming Tsai^[3]

ABSTRACT Rice is an important crop and food, and over 85% of irrigation water source is taken from rivers in Taiwan. The EPA (2011) indicated that 37.4% of river lengths have polluted, and 30.1% in the degree of pollution is belonged as the medium-polluted and worse. These contaminated river sections are concentrated in the middle and downstream reaches of rivers, and these regions are common overlapped with the agricultural cultivation area. Therefore, Daan River, Dajia River, and Wu River Basin are selected as the research area to assess influence of the water quality of rivers on the crop yields in this study. Geographic information systems (GIS) is conducted to overlay maps of irrigation canal system and the water quality monitoring stations. Furthermore, the data of rice yields and river water quality in the period of 2001-2010 are collected. The basic statistics approaches and regression analysis are used to analyze the correlation of the rice yield and irrigation water quality, the result also used to compare with the physiological characteristics of rice needed for growth. Finally, the purpose of this study is providing the results as the consideration of a reasonable amount of fertilizer under the specific condition of existing water quality in the future.

Key Words: Rationalization of fertilizer, Irrigation water quality, Geographic information systems (GIS), Crop yield

一、前言

水利法明定台灣的農業用水標的順序位居第二，僅次於民生用水；顯見農業用水之重要性，而台灣的農業又以稻作為主要生產作物，惟臺灣灌區約 85 % 以上的灌溉水源均自河川取水，依環保署(2011)報告指出台灣河川總長之 37.4 % 為受污染河段，其中 30.1 % 的污染程度為中度污染以上；受污染河段集中於河川的中下游，而台灣農業主要分佈區域亦位於河川中下游區段，主要之污染物質分別為重金屬、鹽類物質、電導度及氮含量等物質，超出「台灣省灌溉用水水質標準」最為嚴重者分別為電導度及氮含量等二項物質(徐貴新等，1995)，以下茲簡述電導度及氮含量對稻作生長之影響。

電導度為灌溉用水判斷水質優劣一重要指標，因電導度影響作物對水份吸收之能力(徐貴新等，1995)；然電導

[1] 財團法人農業工程研究中心助理研究員 (* 通訊作者 E-mail: chenfw@aerc.org.tw)

Assistant Researcher, Agricultural Engineering Research Center, Taoyuan 320, Taiwan

[2] 財團法人農業工程研究中心助理研究員

Assistant Researcher, Agricultural Engineering Research Center, Taoyuan 320, Taiwan

[3] 國立台東大學公共與文化事務學系副教授

Associate Professor, Department of Public and Cultural Affairs, National Taitung University, Taitung 950, Taiwan

度在放流水標準中並無明定，「台灣省灌溉用水水質標準」規定其不得超過 $750 \mu\text{mho}/\text{cm}$ ，而台灣河川地表水自然背景值之電導度均在此範圍內(徐玉標，1980；徐貴新等，1995)。黃耿亮及張文亮(1999)於彰化地區進行水稻之盆栽試驗，結果顯示 EC 值超過灌溉用水水質標準之污染區域如欲維持固定稻作產量，則需增加灌溉水量；若未提供足量之灌溉用水，則減產率約 20~60 % 不等，此結果與徐玉標(1981)調查之結果相符。

氮為自然存量豐富之元素，且能以氨態、硝酸態、亞硝酸態及有機態等四種型態存於水中；通常各種用水水源中之氮含量均不希望超過 $10 \text{ mg}/\text{L}$ ，否則將視為污染水(徐玉標，1980)。而水中氮含量過高對稻作之影響，依水稻生長期之不同而有所差異；蘇俊茂(1977)於高雄地區觀察高濃度含氮污水對稻作之影響，發現水中含氮量過高對水稻幼苗具抑制現象，造成株高較矮、分蘖減少、稻苗枯死等症狀；而進入分蘖期以後(約插秧後 50 日左右)則具促進作用，為水稻徒長、伏倒、空穗等負面作用之主因，其實驗結果顯示灌溉用水如含氮量過高其稻米產量較清水灌溉少 18.8%，此實驗結果與徐玉標(1981)調查之結果相符。張文亮等(2004)亦於彰化使用數種不同含氮量之灌溉用水進行稻作盆栽試驗，結果顯示灌溉用水之總氮量超過 $7 \text{ mg}/\text{L}$ 即對作物有顯著性之影響。

二、調查方法與步驟

1. 研究區域

本研究選定台中地區之三條主要水系(大安溪、大甲溪及烏溪)為調查區域，並使用環保署水質監測站之資料作為灌溉用水水質條件；台中地區之稻米產量則以台中市(縣)政府公告之統計要覽為基準，耕作面積考量後續分析須依各區(鄉鎮市)產量之比例分配於灌溉圳路，故耕作面積以台中水利會之灌區為基準，上述水系、水質測站及圳路取水口如圖 1 所示。

2. 分析步驟

為分析大安溪、大甲溪及烏溪等三條水系水質與產量之關係，本研究以圳路別作為比較基準進行下列各項數據整理分析，主要步驟可分五大項：(1) 灌區面積比例校正、(2) 灌渠之行政區判定及面積比例計算、(3) 歷年各區(鄉鎮市)水稻統計資料及各灌渠之水稻產量、(4) 分析環保署水質測站資料、(5) 依各水系及水質測站進行各圳之產量分析，詳細分析步驟說明如下：

(1) 灌區面積比例校正

本研究使用 ArcGIS 繪製台中水利會之灌區範圍，並利用軟體內建之面積計算功能推求各小組之管轄面積，惟灌區繪製期間未考量建物、道路及零星之非灌溉區域，故求得之小組面積勢較實際地籍登記面積為大；本研究為避免因灌區面積高估，故使用 2008 年各站之灌區面積統計表計算校正係數，面積校正方法如(1)、(2)式所示。

$$A_r = \{1 - [(A_{s_a} - A_{s_b}) / A_{s_b}]\} \dots \dots \dots (1)$$

$$A_{g_j} = A_{g_j} \times A_r \dots \dots \dots (2)$$

式中： A_r 為面積校正係數(%)， A_{s_a} 為 ArcGIS 求得之各工作站轄區面積(ha)， A_{s_b} 為台中水利會 2008 年各站之轄區面積(ha)， A_{g_j} 為校正前工作站小組面積(ha)， A_{g_j} 為校正後之工作站小組面積(ha)。

(2) 灌渠之行政區判定及面積比例計算

本研究使用 ArcGIS 內建之圖層套疊功能分析工作站轄下之各小組所屬行政區，將其分析結果依(3)-(5)式進行面積加總及比例計算。

A. 灌區面積計算

$$A_{c_r} = \sum A_{d_j} \dots \dots \dots (3)$$

$$A_{d_{ij}} = \sum A_{g_j} \dots \dots \dots (4)$$

式中： A_{c_r} 為單一圳路之灌區總面積(ha)， $A_{d_{ij}}$ 為灌區內各行政區之面積(ha)， i, j 分別表示區別、圳別， A_{g_j} 為說明同(2)式。

B. 各行政區面積比例計算

$$Ad_p = Ad_i / A_c \dots\dots\dots (5)$$

式中： Ad_p 為灌區內單一行政區所佔面積之比例(%)，其餘代碼說明同(3)-(4)式。

(3) 歷年各區(鄉鎮市)水稻統計資料及各灌渠之水稻產量

由步驟二求得各行政區之面積比例並蒐集歷年水稻統計資料後，即可利用(6)-(8)式求得各灌渠之水稻產量。

$$Ad_r = \sum Ad_i \dots\dots\dots (6)$$

$$Wd = Yd \times Ad \dots\dots\dots (7)$$

$$Yc = [\sum(Wd \times Ad_p)] / A_{cr} \dots\dots\dots (8)$$

式中： Wd 為單一行政區之水稻重(kg)， Yd 為單一行政區之單位面積產量(kg/ha)， Yc 為單一灌渠之單位面積產量(kg/ha)， Ad_r 為行政區總耕作面積。

(4) 分析環保署水質測站資料

利用圖 1 蒐集各圳鄰近水質測站之監測資料，將水質監測資料依年份別進行平均計算，以獲得分析期間之年度水質變化趨勢圖，平均值計算方法詳(9)式。

$$Wq_y = (\sum Wq_m) / n \dots\dots\dots (9)$$

式中： Wq_y 為單一水質項之年平均值， Wq_m 為單一水質項之各月監測值， n 為資料筆數。

(5) 依各水系及水質測站進行各圳之產量分析

由步驟(4)、步驟(5)之分析結果可依水系、水質測站繪製產量-水質分析圖，藉由各圳歷年之單位面積產量與河川水質變化趨勢進行初步判斷。

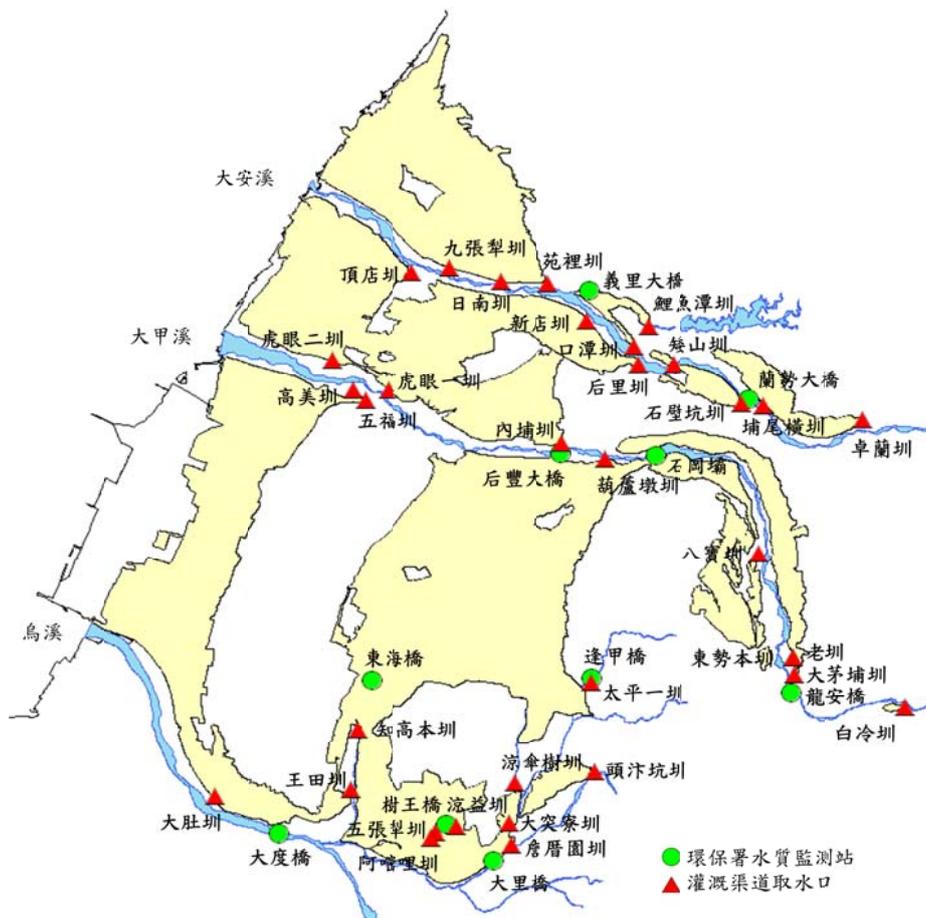


圖 1 研究區域一覽

Fig.1 The study area

三、結果與討論

為探討水質與稻米產量之關聯性，故以台中水利會灌區為例，進行相關資料之蒐集與探討，分析結果如下：

1. 灌溉面積校正與分區

本研究使用 ArcGIS 繪製之台中水利會灌區圖為灌區各小組面積相對比例大小之依據，全會 23 處工作站之面積加總後為 46,654.80 公頃，遠大於 2008 年統計之 28,054.68 公頃，此差距係因 GIS 繪製之灌區範圍未扣除道路、房舍等非農業使用之土地面積。以 2008 年之統計結果為基準，利用(1)、(2)式進行各站之土地面積校正結果如表 1 所示。

依表 1 分析結果進一步校正各小組之土地面積，並依其圳路別進行行政區面積之加總計算；結果顯示(表 2)，流經最多行政區之圳別為葫蘆墩圳，其灌區分布於大雅區、西屯區、南屯區...等共 9 區，而單一行政區域內最多圳別分布者則為大甲區及烏日區，灌區內分別有 5 條圳路。各行政區之灌區面積統計結果顯示灌區面積最大者為大甲區(3016.58 ha)、最小者為沙鹿區(164.64 ha)，若改依圳路別進行灌區面積統計，台中水利會於台中市之主要灌渠為葫蘆墩圳(6,236.17 ha)、其次為后里圳(3,277.03 ha)；口潭圳、鯉魚潭圳及卓蘭圳灌區位於台中市範圍外，不列入本研究之分析範圍內。

2. 水稻產量分析結果

本研究彙整台中市及台中縣政府 2002~2011 年統計要覽之資料，考量每年各期稻作栽種面積大小均略有差異，為避免後續比較有所誤差故均採用單位面積之稻作產量(單位：kg/ha)進行比較，換算各區產量之耕地面積均採用 3-1 節校正後各行政區耕地大小(表 2)為基準，整理結果如表 3、表 4 所示。表 3 顯示 2011 年水稻單位面積產量最多者為烏日區(7,001.95 kg/ha)、最少者為大安區(5,102.42 kg/ha)，新社區則無稻作之栽培；進一步計算各區之產量，結果(表 4)顯示產量最多者為大甲區(16,293.51 T)、產量最少者為沙鹿區(903.48 kg)，此結果顯示總產量多寡與灌區面積之大小為正相關。

將各行政區產量(表 4)及面積比例(表 2)帶入(8)式，即可求得各圳之單位面積產量，結果如表 5 所示。結果顯示，除白冷圳灌區無稻作之栽培外，其餘均有栽植稻作；以 2011 年為例，單位面積產量最多者為阿喀哩圳及五張犁圳(7,001.95 kg/ha)、最少者為大肚圳(4,362.34 kg/ha)，各灌渠之單位面積產量尚無法看出一明顯之趨勢。

表 1 灌區面積校正分析一覽表

Table 1 Irrigation District area correction analysis List

站別	卓蘭站	山腳站	苑裡站	泰安站	屯子腳站	月眉站	磁磙站	日南站
灌區 2011	1,279.65	2,273.93	1,795.09	1,684.80	1,335.64	1,422.36	1,311.61	2,649.97
面積 2008	1,004.00	1,783.00	1,175.85	1,234.00	954.00	1,071.00	923.00	1,788.00
校正係數	78.46	78.41	65.50	73.24	71.43	75.30	70.37	67.47
站別	大甲站	大南站	東勢站	八寶站	豐原站	大雅站	西屯站	潭子站
灌區 2011	2,154.04	1,317.07	1,552.15	2,380.09	1,136.52	2,219.72	4,535.51	3,101.61
面積 2008	1,551.36	1,083.30	641.00	1,262.00	681.00	1,350.00	2,361.17	1,220.00
校正係數	72.02	82.25	41.30	53.02	59.92	60.82	52.06	39.33
站別	南屯站	大安站	清水站	沙鹿站	大里站	王田站	大肚站	
灌區 2011	2,134.57	2,006.96	3,276.82	1,482.48	1,626.18	1,102.58	2,875.40	
面積 2008	624.00	1,435.00	2,069.00	779.00	669.00	534.00	1,862.00	
校正係數	29.23	71.50	63.14	52.55	41.14	48.43	64.76	

單位：ha

表 2 各行政區灌區面積大小分佈一覽

Table 2 The irrigation area the size distribution of the administrative districts

水系	灌區 行政區	班別											小記
		太平一圳	頭汴坑圳	大突寮圳	詹厝園圳	涼傘樹圳	阿喀哩圳	五張犁圳	涼益圳	知高本圳	王田圳	大肚圳	
大里溪	烏日區	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	62.26	33.95	0.00	133.81	55.88	0.00	285.89
	大肚區	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	119.53	224.78	405.55	749.86
	北屯區	16.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.93
	太平區	0.00	164.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	164.77
	大里區	0.00	0.00	155.02	73.46	130.03	0.00	0.00	49.52	0.00	0.00	0.00	408.03
	龍井區	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,456.45	1,456.45
灌區 面積總計		16.93	164.77	155.02	73.46	130.03	62.26	33.95	49.52	253.34	280.66	1,862.00	3,081.93
水系	灌區 行政區	班別											小記
		白冷圳	大茅埔圳	老圳	本圳	八寶圳	葫蘆墩圳	內埔圳	虎眼一 圳	虎眼二圳	五福圳	高美圳	
大甲溪	外埔區	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	130.57	0.00	0.00	0.00	130.57
	西屯區	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,004.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,004.39
	南屯區	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	350.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	350.87
	潭子區	0.00	0.00	0.00	0.00	149.39	624.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	773.53
	大安區	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	340.60	659.21	0.00	0.00	999.80
	大雅區	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,370.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,370.80
	豐原區	0.00	0.00	0.00	0.00	538.58	545.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,084.53
	神岡區	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,376.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,376.00
	烏日區	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	152.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	152.00
	北屯區	0.00	0.00	0.00	0.00	128.51	606.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	734.76
	南區	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	205.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	205.77
	清水區	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,364.71	704.29	2,069.00
	梧棲區	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	614.36	0.00	614.36
	沙鹿區	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	164.64	0.00	164.64
	大甲區	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	304.62	0.00	0.00	0.00	304.62
	新社區	1,083.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,083.30
	石岡區	0.00	0.00	0.00	0.00	304.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	304.36
	東勢區	0.00	42.01	79.85	519.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	641.00
	后里區	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	651.70	0.00	0.00	0.00	0.00	651.70
	太平區	0.00	0.00	0.00	0.00	124.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	124.23
灌區 面積總計		1,083.30	42.01	79.85	519.14	1,245.07	6,236.17	651.70	775.79	659.21	2,143.71	704.29	14,140
水系	灌區 行政區	班別										小記	
		卓蘭圳	石壁坑圳	后里圳	新店圳	口潭圳	鯉魚潭圳	苑裡圳	日南圳	九張犁圳	頂店圳		
大安溪	外埔區	0.00	0.00	1,985.02	141.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,126.06
	后里區	0.00	0.00	1,292.01	112.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,404.24
	東勢區	0.00	284.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	284.84
	大甲區	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.88	1,144.88	643.12	825.08	0.00	2,711.96
	大安區	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	726.28	0.00	726.28
灌區 面積總計		0.00	284.84	3,277.03	253.27	0.00	0.00	98.88	1,144.88	643.12	1,551.36	0.00	7,253.38

註：卓蘭圳、口潭圳及鯉魚潭圳之灌區範圍均位於苗栗縣；本表單位為 ha。

表 3 歷年稻作單位面積產量統計一覽

Table 3 The rice yield per unit area statistics Glance (calendar year)

年份 行政區	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002
大雅區	6,749.80	5,243.87	7,223.34	5,132.82	4,305.08	6,611.48	5,171.84	6,538.05	4,023.66	4,000.29
西屯區	6,390.12	6,124.61	5,619.88	4,255.99	5,066.75	5,358.82	4,226.90	5,951.69	4,862.66	6,447.39
南屯區	5,665.71	5,828.89	5,516.67	3,855.26	4,842.36	5,747.64	4,460.48	6,460.59	5,093.38	6,572.03
潭子區	6,587.22	4,658.15	6,756.95	4,408.33	4,048.29	6,236.20	6,027.69	6,249.50	4,701.91	4,728.50
豐原區	6,655.74	5,100.90	6,768.46	4,788.41	4,152.32	6,531.34	4,515.46	5,450.27	3,700.74	4,642.59
神岡區	6,723.54	4,930.37	7,306.38	4,718.08	4,247.84	5,223.03	5,271.05	6,678.15	4,541.13	4,456.11
外埔區	5,739.06	4,350.85	6,333.73	4,054.97	3,630.48	5,080.91	4,504.74	5,522.84	4,142.26	4,797.43
烏日區	7,001.95	5,374.69	7,691.47	5,296.78	5,078.46	6,526.60	5,990.17	6,685.47	5,575.76	4,794.80
大肚區	6,081.80	4,979.12	7,341.04	3,773.75	3,577.54	5,934.99	5,388.57	6,075.91	4,289.97	4,836.73
北屯區	5,716.39	5,258.90	5,484.47	4,131.74	5,317.65	5,344.83	4,219.07	6,877.81	5,127.27	6,496.31
清水區	5,775.07	4,194.77	5,326.33	4,190.24	3,749.71	4,890.83	4,318.17	5,126.99	4,136.46	4,382.27
后里區	6,201.38	4,584.45	5,865.94	4,302.91	3,752.79	5,620.85	5,607.73	6,196.36	4,068.74	4,520.73
梧棲區	5,129.89	3,520.66	5,694.91	3,574.39	3,343.36	5,636.31	4,604.36	5,583.42	4,160.02	3,765.18
沙鹿區	5,487.53	4,107.54	5,525.66	3,544.22	3,669.74	5,025.35	4,636.18	5,635.28	4,327.55	4,889.97
東勢區	6,390.41	4,784.32	6,583.12	4,330.34	4,179.93	5,469.61	5,375.00	6,168.83	3,229.61	4,219.46
大甲區	5,401.32	4,235.10	6,164.00	3,956.62	3,707.38	5,376.25	4,713.41	5,732.86	4,435.26	4,634.65
太平區	6,343.56	4,967.51	6,797.36	4,779.56	4,115.65	5,628.35	5,722.07	6,631.02	4,715.78	3,868.42
大里區	6,411.06	5,363.75	7,103.82	4,057.88	3,682.10	6,048.16	5,577.68	6,576.58	4,703.55	4,410.36
龍井區	5,577.04	3,695.96	5,841.18	3,871.50	3,553.82	5,466.14	3,694.17	4,794.84	4,403.14	4,478.63
大安區	5,102.42	4,160.51	5,541.61	4,007.32	3,638.43	5,386.20	4,367.19	5,556.40	4,262.82	4,518.04
新社區	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
南區	5,971.44	5,846.15	5,370.37	3,821.43	5,000.00	5,655.17	4,206.90	6,400.00	5,028.57	6,282.05
石岡區	6,304.00	4,831.17	6,785.06	4,428.57	4,133.09	5,490.51	4,492.75	5,936.17	3,274.12	3,120.61

單位：kg/ha

表 4 歷年各行政區稻作產量一覽

Table 4 Calendar year for each administrative region of rice production

年份 行政區	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002
大雅區	9,252.65	7,188.31	9,901.78	7,036.08	5,901.42	9,063.03	7,089.57	8,962.38	5,515.65	5,483.61
西屯區	6,418.19	6,151.51	5,644.57	4,274.69	5,089.01	5,382.36	4,245.47	5,977.83	4,884.02	6,475.72
南屯區	1,987.94	2,045.19	1,935.64	1,352.70	1,699.05	2,016.68	1,565.05	2,266.83	1,787.12	2,305.94
潭子區	5,095.40	3,603.21	5,226.68	3,409.96	3,131.47	4,823.87	4,662.58	4,834.16	3,637.06	3,657.62
豐原區	7,218.35	5,532.08	7,340.60	5,193.18	4,503.31	7,083.43	4,897.15	5,910.98	4,013.57	5,035.03
神岡區	9,251.57	6,784.16	10,053.55	6,492.06	5,845.01	7,186.87	7,252.94	9,189.10	6,248.57	6,131.59
外埔區	12,950.96	9,818.29	14,292.93	9,150.58	8,192.68	11,465.77	10,165.55	12,463.03	9,347.57	10,826.05
烏日區	3,066.11	2,353.54	3,368.05	2,319.43	2,223.83	2,857.96	2,623.06	2,927.53	2,441.59	2,099.61
大肚區	4,560.52	3,733.66	5,504.78	2,829.80	2,682.66	4,450.43	4,040.69	4,556.10	3,216.89	3,626.89
北屯區	4,296.94	3,953.05	4,122.61	3,105.78	3,997.21	4,017.64	3,171.42	5,169.96	3,854.11	4,883.20
清水區	11,948.62	8,678.99	11,020.17	8,669.60	7,758.14	10,119.12	8,934.30	10,607.75	8,558.33	9,066.91
后里區	12,749.65	9,425.34	12,060.02	8,846.52	7,715.50	11,556.12	11,529.15	12,739.32	8,365.08	9,294.35
梧棲區	3,151.59	2,162.95	3,498.71	2,195.96	2,054.02	3,462.71	2,828.72	3,430.22	2,555.74	2,313.17
沙鹿區	903.48	676.27	909.75	583.53	604.19	827.38	763.31	927.80	712.50	805.09
東勢區	5,916.49	4,429.51	6,094.91	4,009.20	3,869.95	5,063.98	4,976.39	5,711.35	2,990.10	3,906.54
大甲區	16,293.51	12,775.51	18,594.20	11,935.46	11,183.59	16,217.87	14,218.36	17,293.61	13,379.31	13,980.78
太平區	1,833.28	1,435.60	1,964.43	1,381.29	1,189.42	1,626.59	1,653.67	1,916.35	1,362.85	1,117.97
大里區	2,615.88	2,188.55	2,898.54	1,655.72	1,502.39	2,467.80	2,275.83	2,683.41	1,919.17	1,799.54
龍井區	8,122.67	5,382.98	8,507.39	5,638.65	5,175.96	7,961.16	5,380.37	6,983.45	6,412.95	6,522.91
大安區	8,807.22	7,181.40	9,565.30	6,916.99	6,280.25	9,297.05	7,538.15	9,590.84	7,358.01	7,798.54
新社區	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
南區	1,228.75	1,202.97	1,105.07	786.34	1,028.85	1,163.67	865.66	1,316.93	1,034.73	1,292.66
石岡區	1,918.68	1,470.41	2,065.10	1,347.88	1,257.95	1,671.09	1,367.41	1,806.73	996.51	949.79

單位：ton

表 5 歷年各圳灌區稻作之單位面積產量一覽

Table 5 The rice yield per unit area of each irrigation canal Glance (calendar year)

行政區	年份	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002
葫蘆墩圳		6,480.58	5,302.85	6,582.11	4,588.95	4,546.50	5,853.43	4,925.19	6,378.12	4,551.04	5,106.11
后里圳		5,921.33	4,442.95	6,149.30	4,152.72	3,678.70	5,293.79	4,939.61	5,788.38	4,113.27	4,688.34
知高本圳		6,567.80	5,188.05	7,526.13	4,578.18	4,370.29	6,247.47	5,706.32	6,397.87	4,969.10	4,814.58
王田圳		6,265.00	5,057.88	7,410.81	4,076.98	3,876.37	6,052.78	5,508.35	6,197.27	4,545.97	4,828.38
五福圳		5,568.09	3,994.88	5,447.27	3,964.13	3,627.11	5,114.80	4,424.61	5,296.84	4,157.89	4,244.41
高美圳		5,775.07	4,194.77	5,326.33	4,190.24	3,749.71	4,890.83	4,318.17	5,126.99	4,136.46	4,382.27
新店圳		5,943.92	4,454.36	6,126.45	4,164.84	3,684.68	5,320.17	4,993.50	5,821.29	4,109.68	4,674.82
大茅埔圳		6,390.41	4,784.32	6,583.12	4,330.34	4,179.93	5,469.61	5,375.00	6,168.83	3,229.61	4,219.46
老圳		6,390.41	4,784.32	6,583.12	4,330.34	4,179.93	5,469.61	5,375.00	6,168.83	3,229.61	4,219.46
本圳		6,390.41	4,784.32	6,583.12	4,330.34	4,179.93	5,469.61	5,375.00	6,168.83	3,229.61	4,219.46
日南圳		5,401.32	4,235.10	6,164.00	3,956.62	3,707.38	5,376.25	4,713.41	5,732.86	4,435.26	4,634.65
九張犁圳		5,401.32	4,235.10	6,164.00	3,956.62	3,707.38	5,376.25	4,713.41	5,732.86	4,435.26	4,634.65
苑裡圳		5,401.32	4,235.10	6,164.00	3,956.62	3,707.38	5,376.25	4,713.41	5,732.86	4,435.26	4,634.65
內埔圳		6,201.38	4,584.45	5,865.94	4,302.91	3,752.79	5,620.85	5,607.73	6,196.36	4,068.74	4,520.73
阿喀哩圳		7,001.95	5,374.69	7,691.47	5,296.78	5,078.46	6,526.60	5,990.17	6,685.47	5,575.76	4,794.80
五張犁圳		7,001.95	5,374.69	7,691.47	5,296.78	5,078.46	6,526.60	5,990.17	6,685.47	5,575.76	4,794.80
頭汴坑圳		6,343.56	4,967.51	6,797.36	4,779.56	4,115.65	5,628.35	5,722.07	6,631.02	4,715.78	3,868.42
大突寮圳		6,411.06	5,363.75	7,103.82	4,057.88	3,682.10	6,048.16	5,577.68	6,576.58	4,703.55	4,410.36
詹厝園圳		6,411.06	5,363.75	7,103.82	4,057.88	3,682.10	6,048.16	5,577.68	6,576.58	4,703.55	4,410.36
涼傘樹圳		6,411.06	5,363.75	7,103.82	4,057.88	3,682.10	6,048.16	5,577.68	6,576.58	4,703.55	4,410.36
涼益圳		6,411.06	5,363.75	7,103.82	4,057.88	3,682.10	6,048.16	5,577.68	6,576.58	4,703.55	4,410.36
大肚圳		4,362.34	2,890.97	4,568.95	3,028.28	2,779.79	4,275.60	2,889.57	3,750.51	3,444.12	3,503.17
頂店圳		5,261.39	4,200.18	5,872.62	3,980.36	3,675.10	5,380.90	4,551.32	5,650.25	4,354.53	4,580.06
虎眼一圳		5,326.94	4,221.83	5,919.32	3,995.43	3,664.17	5,330.91	4,526.28	5,620.04	4,310.24	4,610.85
虎眼二圳		5,102.42	4,160.51	5,541.61	4,007.32	3,638.43	5,386.20	4,367.19	5,556.40	4,262.82	4,518.04
白冷圳		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
石壁坑圳		6,390.41	4,784.32	6,583.12	4,330.34	4,179.93	5,469.61	5,375.00	6,168.83	3,229.61	4,219.46
八寶圳		6,433.43	4,984.84	6,641.49	4,586.18	4,251.76	6,028.93	4,781.16	5,930.10	3,965.10	4,394.94
太平一圳		5,716.39	5,258.90	5,484.47	4,131.74	5,317.65	5,344.83	4,219.07	6,877.81	5,127.27	6,496.31

註：白冷圳灌區無稻作栽培，故單位面積產量為 0；本表單位為 kg/ha。

3. 水質對產量影響分析結果

本研究蒐集大安溪、大甲溪及烏溪 2002-2011 年間之河川水質監測站之水質資料；考量影響稻作生長及結穗與否之主要因子為導電度及氮素，故僅整理導電度與氨氮等二項水質監測項目，圖 2 為各水質測站歷年水質變化之情形。歷年水質變化圖(圖 2)顯示三條水系中水質氨氮濃度最低者為大甲溪水系，水中氨氮平均濃度多低於 0.3 mg/L、導電度均低於 300 $\mu\text{mho/cm}$ ；其中石岡壩 2003 年之平均值突增至 0.6 mg/L 以上，係受該年 3 月之一次極端數據(4.77 mg/L)影響所致，若不考慮該筆數據則該年之氨氮平均值為 0.14 mg/L。水質狀況次佳者為大安溪水系，水中氨氮濃度均低於 0.75 mg/L、導電度介於 400~500 $\mu\text{mho/cm}$ ；水質較差者為烏溪水系，此水系受台中市之都會排水影響，故氨氮及導電度測值均不甚理想。其中樹王橋之氨氮歷年平均測值均大於灌溉用水水質標準 3 mg/L，大里橋於 2003 年之平均值亦有超標之現象；而東海橋測站之歷年水質變化曲線顯示，自 2009 年起氨氮濃度及導電度均大幅增加，至 2011 年氨氮項(7.07 mg/L)已超過灌溉用水水質標準，導電度亦增為 738 $\mu\text{mho/cm}$ (灌溉用水水質標準為 750 $\mu\text{mho/cm}$)。烏溪水系最下游之大度橋測站受烏溪水系各支流匯集稀釋之影響，污染程度略為減輕，氨氮平均濃度約 1.14~2.33 mg/L、導電度約 432.58~484.80 $\mu\text{mho/cm}$ ；且本測站於 2007~2008 年未進行水質監測，故無該 2 年間之水質監測資料。

為探討水質與稻米產量之關聯，茲將上述水質測站鄰近之圳路取水口茲整理如表 6，將表 6 各測站水質資料與表 5 各圳之單位面積產量進行比較，比較結果如圖 3~圖 5 所示。由前述圖 2 之水質分析結果得知大安溪、大甲溪水系(圖 3~圖 4)可視為圳路水源水質較乾淨者(資料總筆數 170 筆)，而烏溪水系(圖 5)則可代表水源水質較差者(資料總筆數 110 筆)；若以台中市歷年稻作產量平均值約 5,000 kg/ha 計算，歷年單位面積產量大於 6,000 kg/ha 之乾淨水源灌渠的資料筆數為 25 筆(15%)，而灌溉水質較差之灌渠資料筆數為 37(34%)。若以歷年單位面積小於 4,000

kg/ha 進行評估，則灌渠水源品質較佳之資料筆數為 23 筆(14 %)、水質較差者為 13 筆(12 %)；此結果初步顯示稻作在氨氮含量較高且導電度未超過抑制稻作生長濃度之水源條件，可獲得較佳單位面積產量。若改依灌區上、下游之相對關係進行比較，則可發現位於下游之灌區其單位面積產量大多低於上游灌區，如圖 3 之頂店圳、圖 4 使用后豐大橋測站水質資料之 4 條圳路及圖 5 之大肚圳，上述 6 條圳路之共通點為均位於水系最下游區段且產量均未超過 6,000 kg/ha。

表 6 各圳路之水質水質測站一覽

Table 5 List of channels of water quality stations

水系別	水質測站	圳路別
大安溪	卓蘭大橋	石壁坑圳、后里圳、新店圳
	義里大橋	苑裡圳、日南圳、九張犁圳、頂店圳
	龍安橋	大茅埔圳、老圳、東勢本圳、八寶圳
大甲溪	石岡壩	葫蘆墩圳、內埔圳
	后豐大橋	虎眼一圳、虎眼二圳、五福圳、高美圳
	逢甲橋	太平一圳
烏溪	大里橋	頭汙坑圳、大突寮圳、詹厝園圳
	樹王橋	涼益圳、阿喀哩圳、五張犁圳、涼傘樹圳
	東海橋	知高本圳、王田圳

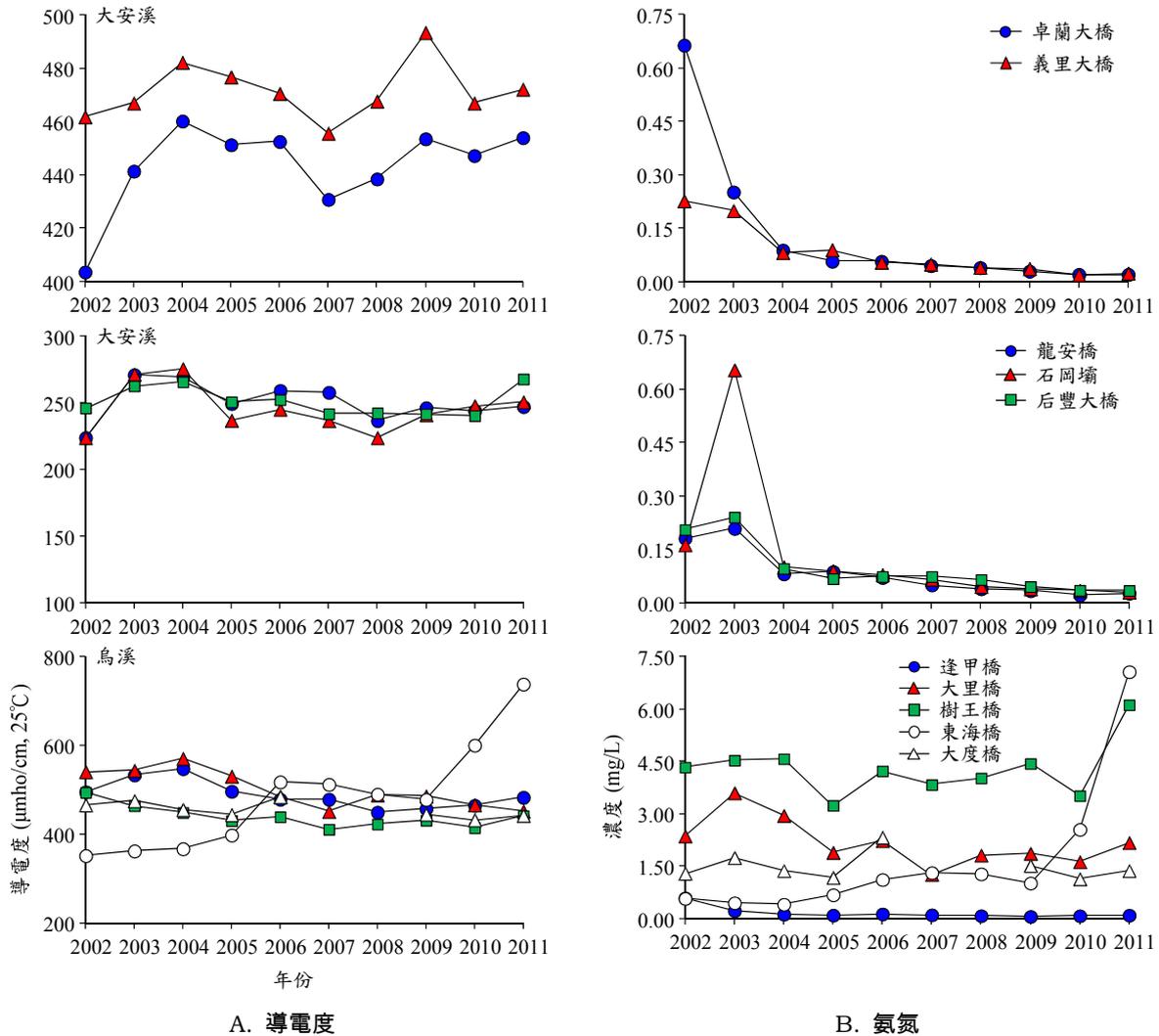


圖 2 各水系水質測站歷年變化趨勢圖

Fig.2 Water system water quality stations over the years trends Figure

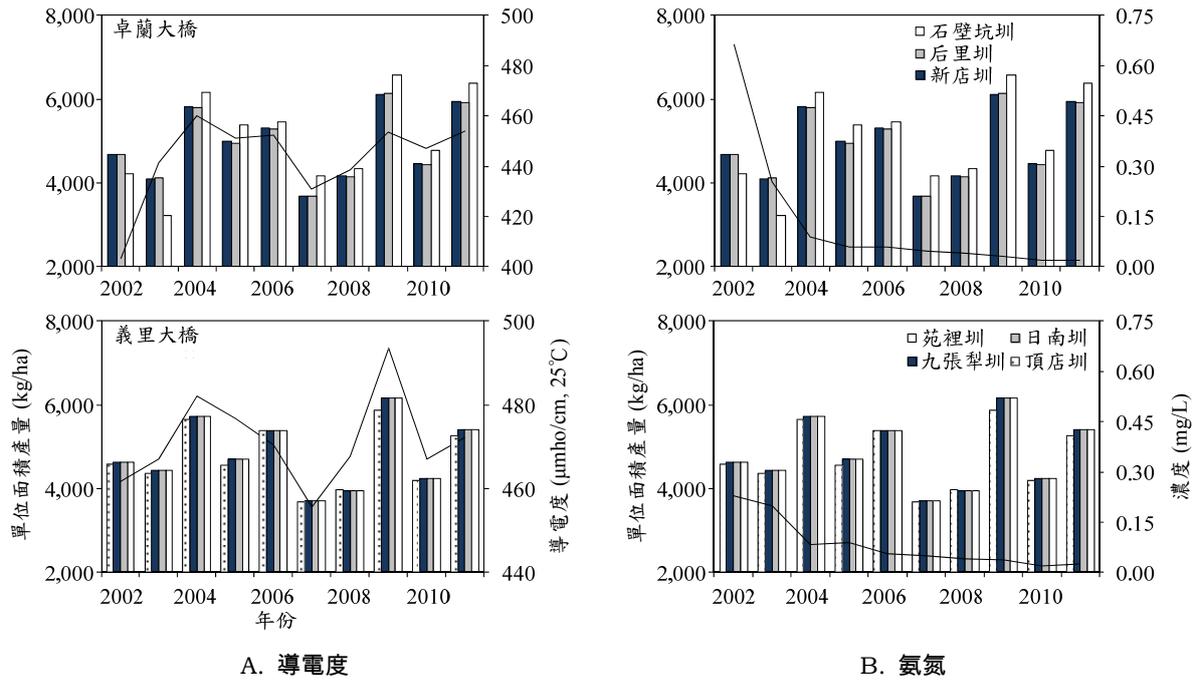


圖 3 大安溪水系水質與產量關係比較圖

Fig.3 Daan River water system water quality and yield relationship Figure

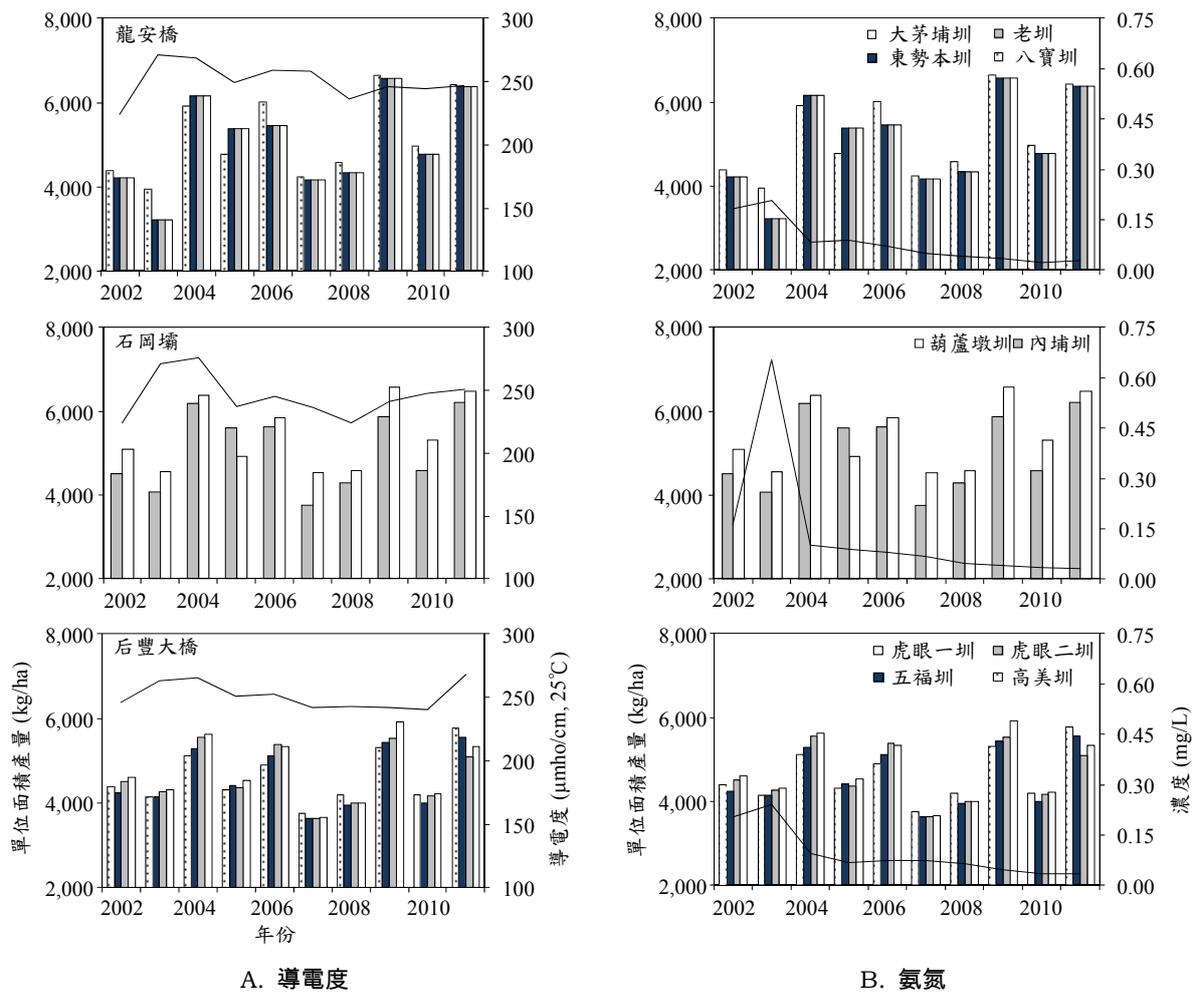


圖 4 大甲溪水系水質與產量關係比較圖

Fig.4 Daja River water system water quality and yield relationship Figure

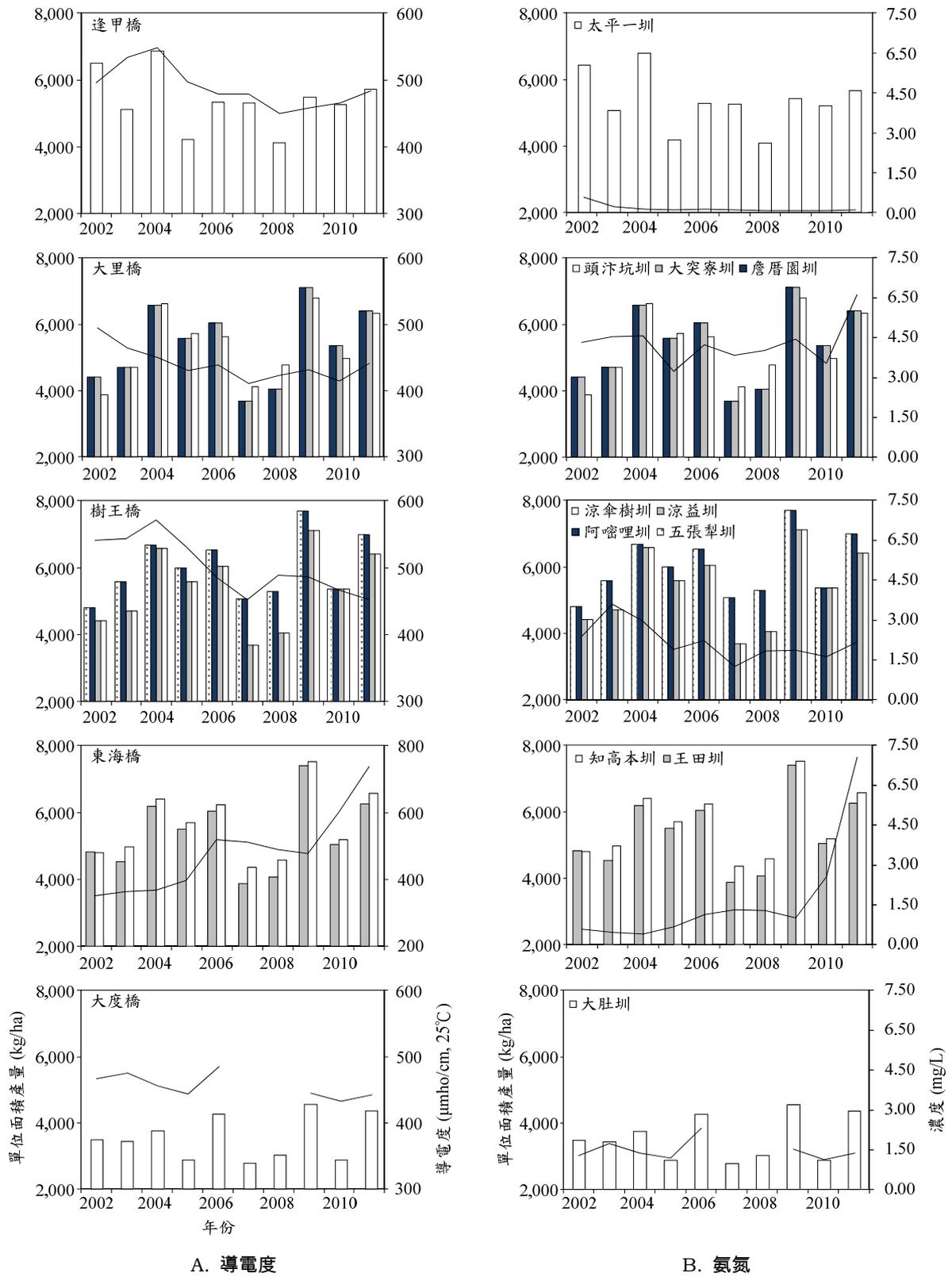


圖 5 烏溪水系水質與產量關係比較圖

Fig.5 Wu River water system water quality and yield relationship Figure

四、結語

綜合上述大安溪、大甲溪及烏溪水系各圳之灌區面積大小以葫蘆墩圳(大甲溪) 6,236.17 ha 為最大之灌渠，而灌區最小者為 33.95 ha 之五張犁圳(烏溪)；稻作單位面積產量之最大、最小值均位於烏溪水系且分別為上、下游之關係，最大值为阿喀哩圳及五張犁圳(7,001.95 kg/ha)、最小值為大肚圳(4,362.34 kg/ha)，觀察其他水系上、下游之圳路亦可發現下游之單位面積產量較上游少，故研判灌溉水源充足與否亦為影響稻作產量多寡因素之一，建議後續可比較河川流量與稻作產量之關聯性。

水質調查結果顯示，水質條件良好之水系分別為大安溪、大甲溪水系，且水中氨氮含量有逐年降低之趨勢，此趨勢對農業環境為一良性發展；反觀水質條件較差之烏溪水系，大里橋及東海橋之水中氨氮含量則均有逐年上升之趨勢，顯示烏溪水系灌區之污染日益嚴重，必須額外注意其他污染物質(如：重金屬)伴隨灌溉用水進入農地。如比較氨氮濃度及導電度等水質項目與稻作單位面積產量之關聯，則可發現氨氮濃度較高之烏溪水系其單位面積產量較佳；此結果顯示若灌溉水中氮含量及導電度尚在稻作之容忍範圍內，則受氨氮污染之灌溉用水可提升稻作之單位面積產量，惟使用前仍須考量其他有害物質污染農地之風險。

參考文獻

1. 符樹強(2011)，「環境白皮書」，行政院環保署編印。
2. 蘇俊茂(1977)，「污水對水稻之影響」，農業工程學報，第 23 卷，第 3 期，pp.44-48。
3. 黃耿亮、張文亮(1999)，「以蒸發散與鹽分淋洗評估灌溉水量」，農業工程學報，第 45 卷，第 2 期，pp.63-74。
4. 徐貴新、張尊國、徐玉標(1995)，「灌溉水質標準檢討之研究」，農業工程學報，第 41 卷，第 4 期，pp.1-12。
5. 徐玉標(1980)，「工業廢水之特性對灌溉土壤及作物之影響」，台灣水利，第 27 卷，第 4 期，pp.5-17。
6. 徐玉標(1981)，「工業廢水之特性對灌溉土壤及作物之影響(續)」，台灣水利，第 28 卷，第 1 期，pp.9-16。
7. 張文亮、盧虎生、朱鈞、王明光、王瑞君、朱玲慧、陳岳民(2004)，「水稻田對於豬糞尿氮污染涵容能力之分析」，農業水利 92 年度計畫成果發表討論會，台北萬里。