

點污染來源渠道之灌溉水質全日程變化特性之研究

The Daily Characteristics of Point Source Pollution of Irrigation Water Quality

財團法人農業工程研究中心

助理研究員

譚允維

Yun-Wei Tan

研究員

陳豐文

Feng-Wen Chen

短期研究助理

曾郁茹

Yu-Ru Tseng

短期研究助理

曾瓊稜

Hsiang-Leng Tseng

摘要

為探討點源型污染對於灌溉渠道水質、流量之歷時影響變化，本研究利用連續 24 小時監測調查，以探討水質、流量變化趨勢，針對臺中灌區受民生污水及工業廢水污染較嚴重之葫蘆墩圳社皮分線為調查目標，水質調查項目包含品質項目：溶氧值、電導度、氨氮及懸浮固體物等 4 項，管制項目則有：pH、銅、鎘、鉛、鋅、鉻及鎳等 7 項，其中部分項目為農業用水之灌溉水質基準值所規範，故其水質標準將參考之，調查成果顯示灌溉水體普遍有溶氧不足、氨氮過高，且超標污染嚴重之時段與居民作息有其關係，重金屬檢測部分則於夜間發現鎘超標疑似工廠偷排廢水現象，此外本研究另利用內梅羅指數進行水質污染程度之評估，於 13 時及 21 時之內梅羅指數分別為 2.638 及 5.246，分別屬於污染及危害等級；流量調查成果顯示，日間流量較小約 0.009~0.016 cms，夜間則約 0.013~0.024 cms，在工業廢水及民生污水影響下，流量與水質無明顯之關聯性，其相關係數 R^2 僅 0.0013，而將異常值移除後可發現流量與水質相關係數 R^2 提升至 0.3468 之中度負相關，顯示流量與水質間應存在一定關係。

關鍵詞：水質連續監測、內梅羅指數、流量測定

Abstract

In order to investigate the daily characteristics of point source pollution on the water quality and flow rate of irrigation canals, this study uses a continuous 24-hour monitoring survey to explore it. The Shepi branch of Huludun canal is taken as the survey target. The water quality survey items include general water quality items: DO, EC, $\text{NH}_3\text{-N}$, SS. And 7 controlled items, including Cu, Cd, Pb, Zn, Cr, Ni, and pH. These are all regulated by the irrigation water quality standard, which will be referred to in this study. The results show that the irrigation water is insufficient DO and high $\text{NH}_3\text{-N}$. The severe pollution is related to the

residents' daily routine. In heavy metal items aspects, it is found that the Cd exceeded the standard at nighttime, which is suspected of wastewater from factories. In addition, Nemerow index is also used to evaluate the degree of water pollution in this study. At 13:00 and 21:00, the Nemerow index was 2.638 and 5.246, respectively, which belonged to the pollution and hazard levels. In the flow rate investigation, it is found that the flow rate in the night time (0.013~0.024 cms) is more than in the daytime (0.009~0.016 cms). By the influence of industrial and domestic waste water, the flow rate and the water quality have weak relation which the R^2 is only 0.0013. On the other hand, by remove the unnormal data such as the Nemerow index categorized in the pollution and hazard levels, the R^2 is increased to 0.3468, which means there are negative moderate correlation between the flow rate and the water quality.

Keywords: Continuous Monitoring of Water Quality, Nemerow Pollution Index, Flow Measurement.

一、前言

行政院農業委員會農田水利署臺中管理處(以下簡稱：臺中管理處)灌區住宅區、工業區及農業區交錯複雜，由於轄區內之雨水下水道、污水下水道等排水設施普及率低，工業廢水若排放至灌區取水口上游、渠道經都會區承受生活污水及小型事業廢水的直接排放均造成灌溉水質劣化的情形；尤以重金屬廢水不當排放於道路側溝，間接進入灌排水路系統，易累積導致農地嚴重污染，灌溉水質不佳的問題已嚴重影響部分灌區的農業耕作及灌溉管理的工作(農工中心 2020)。灌溉水體污染之問題當中，其中又以重金屬污染最為嚴重，受污染之廢水流入農業灌區，日積月累下則易造成農地重金屬污染、作物危害，人畜食用後致癌生病等風險(陳吉村，1993、林浩潭，2005)，其中主要常見重金屬廢水污染有銅、鎘、鉛、鋅、鉻、鎳、砷及汞等 8 種，常見污染來源為電鍍業、金屬表面處理業、殺蟲劑、農業…等(農委會，2006)，根據土基會統計，臺中管理處灌區迄今曾受過重金屬列管農地共 738 處、總計約 85 公頃，其中重金屬污染最為嚴重為大里站灌區，其次有日南站、西屯站…等地區，其受污染之主因仍以工廠區、農業區交錯現象，進而導致工業廢水或生活污水排放至灌溉渠道而被取用於農業灌溉，是故為維護良好之灌溉水質為首要作業，其中包含圳路調查、定期性水質監測…等，而圳路污染之特性亦具有其重要性，如能掌握工廠廢水偷排之時間或是住宅區生活污水排放之規律性，其一可透過灌溉水門操作管理避免取用受污染之灌溉水體，進而減少農地污染發生之可能性，故本研究期望透過污染熱區之定點水質連續監測作業，藉以掌握灌區之污染時間特性，以利後續農業灌溉操作上之建議。

二、研究區域及方法

(一).研究區域概述

本研究針對臺中管理處西屯站葫蘆墩圳西汴幹線社皮分線作為調查對象，由於西屯站社皮分線灌區過去曾發生農地重金屬污染列管，屬於潛在污染地區之一，其主要之污染來源為大富路附近之住宅區、餐飲業者、黃昏市場及大富工業區多家工廠，為重金屬、民生污水污染程度較高之灌區，葫蘆墩圳社皮分線小給 1-1-4-2-2 下游點位為本研究之監測點，其位置如圖 1 所示，本區域行政區位屬臺中市神岡區大富路 61 巷與大富路交叉口，該區域住宅區多且上游大社市場有污水排入現象，常造成浮油水體外觀不佳之現象，又沿線流經大富工業區，工業區內高污染潛勢業者若未妥善處理工業廢水而逕自排入渠道則可能造成渠道重金屬污染風險，故本研究納入 24 小時連續水質監測以代表生活工業廢污水對於渠道水體之污染時間樣態。

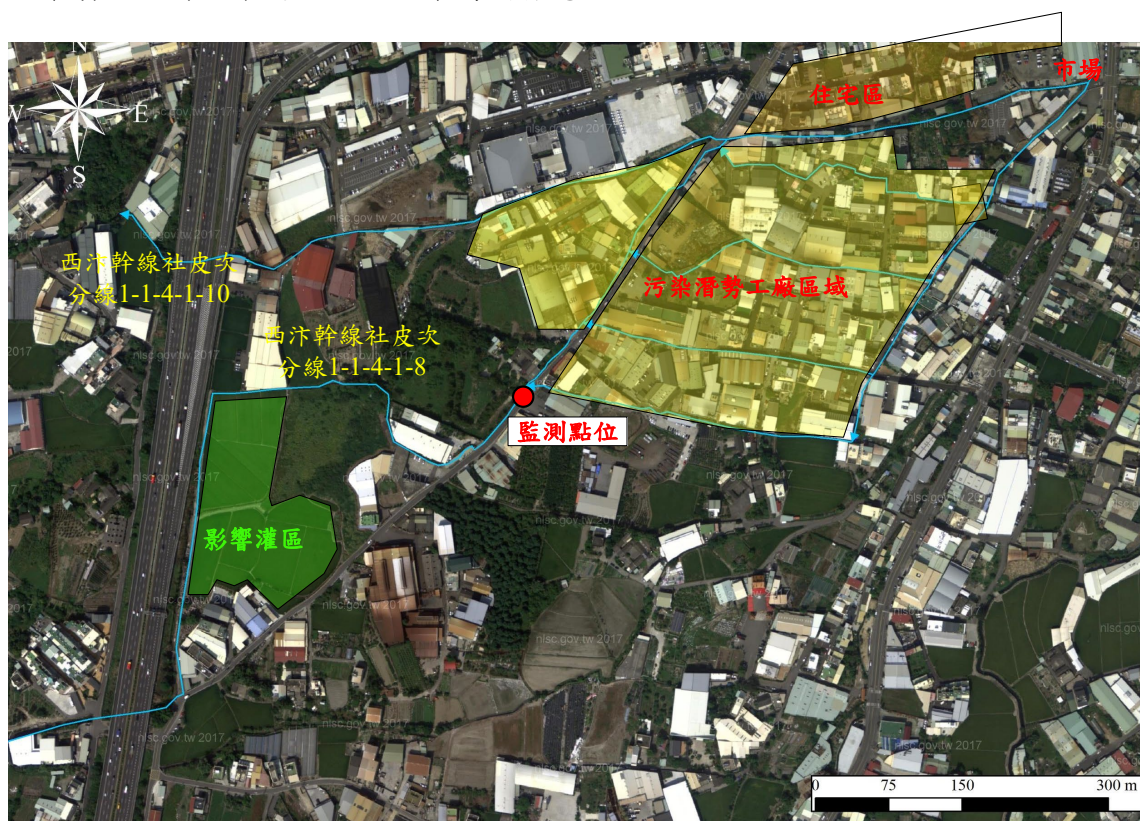


圖 1 本研究區域及採樣監測點(葫蘆墩圳社皮分線小給 1-1-4-2-2)

(二).灌溉水質基準值與本研究水質檢測項目

為評估灌溉水體之水質，水質檢測項目依據農委會於 2021 年 11 月公告之農田灌溉排水管理辦法第 20 條之灌溉水質基準值為依據，其中規範水質檢測項目分成品質項目 10 項與管制項目 9 項，本研究品質項目檢測之項目有：溶氧(DO)、電導度(EC)、氨氮(NH₃-N)及懸浮固體物(SS)等 4 項，管制項目檢測之項目則有：酸鹼值(pH)、銅(Cu)、鎘(Cd)、鉛(Pb)、鋅(Zn)、總鉻(Cr)、鎳(Ni)、砷(As)及汞(Hg)等 9 項，檢測項目與灌溉水

質基準值如表 1 所示。

表 1 灌溉水質基準值與本研究檢測項目比較

品質項目	單位	限值	本研究 調查項目	管制項目	單位	限值	本研究 調查項目
導電度(EC)	μS/cm	750	○	總鉻(Cr)	mg/L	0.1	○
懸浮固體(SS)	mg/L	100	○	鎳(Ni)	mg/L	0.2	○
氨氮(NH ₃ -N)	mg/L	3.0	○	銅(Cu)	mg/L	0.2	○
鈉吸著率(SAR)	(meq/L) ^{1/2}	6.0	—	鋅(Zn)	mg/L	2.0	○
殘餘碳酸鈉(RSC)	meq/L	2.5	—	鎘(Cd)	mg/L	0.01	○
氯鹽(Cl ⁻)	mg/L	175	—	鉛(Pb)	mg/L	0.1	○
硫酸鹽(SO ₄ ²⁻)	mg/L	200	—	砷(As)	mg/L	0.05	—
溶氧(DO)	mg/L	>3.0	○	汞(Hg)	mg/L	0.002	—
陰離子界面活性劑	mg/L	5.0	—	氫離子濃度 指數(pH 值)	mg/L	6.0-9.0	○
油脂	mg/L	5.0	—				

(三).流量測定方法概述

流量測定方面主要利用斷面流速法進行測定，即單位時間(t)內通過的水體積(W_v)，可依據(1)式或以(2)式獲得。由於渠道斷面可能屬於不規則形或是定型並無特定型態，因此可依據渠道斷面劃分為 n 個小斷面，由(2)式概念推估各小斷面之流量 q_i ，並以(3)式及(4)式表達；此外斷面劃分則進一步可區分為中斷面法(Mid-Section method)及平均斷面法(Mean-Section method)，將各子斷面之平均流速如(5)式與對應子斷面積如(6)式，其乘積累計為總流量；其中平均斷面法假定河川通水斷面由多個不同梯形子斷面組成(如圖 2)，各子斷面平均流速為兩相鄰垂線平均流速之平均值如(7)式，各子斷面積如(8)式，依(3)式即可累加為總流量。考量中斷面法雖有簡便之優點但準確性相對較低、平均斷面法則手續繁複但具高精確度之優點(陳豐文等，2012)，因此本研究對於流量的測定以採用平均斷面法為主。

$$Q = \int_A v dA \dots\dots\dots (1)$$

$$Q = V_{av} \cdot A \dots\dots\dots (2)$$

$$Q = a_1 v_1 + a_2 v_2 + a_3 v_3 + \dots + a_n v_n \dots\dots\dots (3)$$

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n \dots\dots\dots (4)$$

式中： A 是河川量測面之通水橫斷面積， v 是水流區橫斷面任一點之流速， V_{av} 是通水橫斷面的平均流速， n 為通水斷面積分割數量， a_i 是第 i 小斷面的面積， v_i 是第 i 小斷面的流速。

$$v_{avi} = v_i \dots\dots\dots (5)$$

$$a_i = b_i \cdot d_i \dots\dots\dots (6)$$

$$v_{mean} = \frac{v_i + v_{i+1}}{2} \dots\dots\dots (7)$$

$$a_{\text{mean}} = \frac{(d_i + d_{i+1})b_i}{2} \dots\dots\dots(8)$$

式中： v_{mean} 是平均斷面法的子斷面平均流速， a_{mean} 是平均斷面法的子斷面積。

由上述可知流量測定主要參數為流速及斷面參數的取得，現場流量測定項目主要為觀測水流的通水斷面積(A)與水流的平均流速(V)。通水斷面積(A)之量測以鋼尺或箱尺為主要量測工具；流速設備方面主要以雷達波流速儀與都卜勒流速儀互相搭配使用。

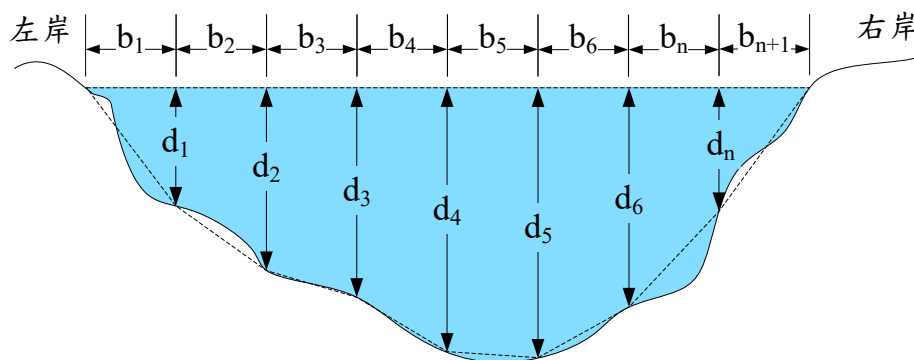


圖 2 平均斷面法示意圖

(四).內梅羅指數評價等級

水質污染程度之評估，本研究應用內梅羅指數作為水體污染狀態指標，內梅羅指數法為多項污染項目中常運用之綜合型單因子污染指數法(Ammar, 2017、環保署，2018、劉觀銘等，1995)，除了評估多因子環境質量指數之平均值外，更凸顯出最大污染物危害特性，評估結果較能所代表性，更能夠較全面性地反應污染程度(農工中心，2021)，其計算式如(9)式~(11)式：

$$P_n = \sqrt{\frac{P_i^2 + P_{i-\max}^2}{2}} \dots\dots\dots(9)$$

$$P_i = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{C_{si}} \right)}{n} \dots\dots\dots(10)$$

$$P_{i-\max} = \frac{C_{\max}}{C_s} = \max \left(\frac{C_1}{C_{s1}}, \frac{C_2}{C_{s2}}, \frac{C_3}{C_{s3}}, \dots, \frac{C_n}{C_{sn}} \right) \dots\dots\dots(11)$$

式中： P_n 為內梅羅指數， P_i 為各項之污染指數， $P_{i-\max}$ 為最大單項污染指數， C_i 為 i 污染物實測值， C_{si} 為單項污染物標準值， n 為受評估污染物指標個數， C_s 為污染程度最大之污染物標準值。

由上述 3 式即為內梅羅指數之計算方式用以評估水體之污染程度，此外內梅羅指數依據其值大小而有不同之污染程度分級，共可分成 5 個等級，分別為優良等級($P_n < 0.7$)、安全等級($0.7 \leq P_n < 1.0$)、警戒等級($1.0 \leq P_n < 2.0$)、污染等級($2.0 \leq P_n < 3.0$)及危害等級($3.0 < P_n$)，將針對內梅羅指數之不同等級進行評價。

三、結果與討論

本研究連續 24 小時監測於 2021 年 8 月 17 日上午 10 點開始至次日上午 9 點進行，有，水質品質及管制項目如表 2 所示，調查水體外觀普遍清澈、懸浮物多、水底多有褐色藻類物質，其中於 8 月 17 日 11 時、15 時、19 時及次日 9 時水面均有發現油漬較多現象，流量量測成果約介於 0.008~0.024 cms，流量最小值 0.008 cms 發生於中午 12 時，流量最小發生於中午 12 時，流量最大為 0.024 cms 發生於凌晨 1 時。

品質項目超標項目有溶氧、氨氮。氨氮超標(灌溉水質基準值氨氮標準為 3 mg/L)之時段分別為 11 時、13 時及 21 時，其值分別為 3.46 (mg/L)、10.56 (mg/L)及 4.11 (mg/L)，溶氧未達灌溉水質基準值者(標準為大於 3 mg/L)為 10 時、13~18 時及 20~23 時，此外其他品質項目皆符合標準。另有關管制項目部分，於 8 月 17 日 21 時發現有重金屬鎘超標，其濃度為 0.0639 mg/L，(灌溉水質基準值鎘標準為 0.01 mg/L)、超標近 6 倍，其他管制項目方面則是未發現有超標現象。

表 2 本研究連續水質監測成果

日期	時間	品質項目				管制項目						
		DO	EC	氨氮	SS	pH	銅	鎘	鉛	鋅	總鉻	鎳
8/17	10:00	1.85	319.1	2.30	1.89	7.48	ND	ND	ND	0.015	0.013	ND
	11:00	3.49	293.9	3.46	21.78	7.05	ND	ND	ND	0.008	ND	ND
	12:00	3.23	226.8	2.32	5.50	6.98	ND	ND	ND	0.047	ND	ND
	13:00	2.80	211.7	10.56	1.96	7.13	ND	ND	ND	0.049	ND	ND
	14:00	2.41	174.6	2.24	1.94	7.04	ND	ND	ND	0.012	ND	ND
	15:00	2.60	161.2	1.65	0.00	7.05	ND	ND	ND	0.016	ND	ND
	16:00	2.59	365.4	1.75	5.56	6.83	ND	ND	ND	0.049	ND	ND
	17:00	2.52	260.0	1.82	3.67	6.96	ND	ND	ND	0.015	ND	ND
	18:00	2.62	179.2	1.94	3.81	7.02	ND	ND	ND	0.016	ND	ND
	19:00	3.20	212.6	1.45	12.96	6.81	ND	ND	ND	0.075	ND	ND
	20:00	2.76	154.8	1.32	3.88	6.76	ND	ND	ND	0.005	ND	ND
	21:00	2.55	265.5	4.11	53.01	6.55	ND	0.0639	ND	0.039	ND	ND
	22:00	2.81	154.1	1.81	1.96	6.55	ND	ND	ND	0.009	ND	ND
	23:00	2.99	146.7	1.99	3.74	6.64	ND	ND	ND	0.013	ND	ND
8/18	00:00	3.06	137.6	1.55	5.83	6.85	ND	ND	ND	0.026	ND	ND
	01:00	3.37	145.5	1.44	9.26	6.93	ND	ND	ND	0.058	ND	ND
	02:00	3.28	146.8	1.11	1.90	6.92	ND	ND	ND	0.018	ND	ND
	03:00	3.67	133.2	0.91	4.00	6.99	ND	ND	ND	0.026	ND	ND
	04:00	3.85	131.7	0.70	0.00	6.94	ND	ND	ND	0.028	ND	ND
	05:00	3.74	131.3	0.55	1.75	6.94	ND	ND	ND	0.026	ND	ND
	06:00	3.90	130.4	0.72	3.60	6.96	ND	ND	ND	0.041	ND	ND
	07:00	3.93	136.4	1.30	5.56	6.98	ND	ND	ND	0.086	ND	ND
	08:00	3.64	141.4	2.10	0.00	7.01	ND	ND	ND	0.082	ND	ND
	09:00	3.69	317.0	2.34	47.27	8.34	ND	ND	ND	0.102	ND	ND
灌溉水質基準		>3	<750	<3	<100		6-9	0.01	0.1	2	0.1	0.2

註 1：粗體之數值表示超過灌溉水質基準值。

註 2：本表單位 pH 無單位，EC 為 $\mu\text{mho}/\text{cm}25^\circ\text{C}$ ，水溫為 $^\circ\text{C}$ ，其餘項目均為 mg/L。

另將各水質項目分別依據品質項目監測之 4 項及管制項目監測之 7 個項目分別計算其品質項目內梅羅指數及管制項目內梅羅指數，並綜合利用本研究所檢測之 11 個項目

計算其整體內梅羅指數，計算成果如表 3 所示，成果顯示內梅羅指數於 8 月 17 日上午 10 時為 1.179 屬於警戒等級、13 時為 2.638 屬於污染等級而 21 時則為 5.246 屬於危害等級，其餘白天時段則多為安全等級，而 8 月 18 日凌晨至早上則多為優良等級。品質項目方面 8 月 17 日 10 時為 1.382 屬於警戒等級，13 時期品質項目內梅羅指數為 3.508 屬於危害等級，14 時及 21 時則為警戒等級，其他時段大多為安全等級及優良等及；管制項目之內梅羅指數計算成果顯示，由於大多時段管制項目均未發生有超標現象故其管至項目內梅羅指數均為優良等級，惟 21 時發生鎘超標，且其超標幅度較高管制項目內梅羅指數計算成果惟 6.585，亦屬於危害等級。

表 3 本研究流量觀測及水質內梅羅指數

日期	時間	流量	內梅羅指數	品質項內梅羅指數	管制項內梅羅指數
8/17	10:00	0.010	1.179	1.382	0.093
	11:00	0.013	0.840	0.998	0.003
	12:00	0.008	0.676	0.798	0.017
	13:00	0.011	2.638	3.508	0.017
	14:00	0.009	0.902	1.045	0.004
	15:00	0.009	0.834	0.948	0.005
	16:00	0.011	0.839	0.968	0.017
	17:00	0.009	0.861	0.985	0.005
	18:00	0.010	0.828	0.947	0.006
	19:00	0.018	0.677	0.768	0.027
	20:00	0.021	0.783	0.875	0.002
	21:00	0.018	5.246	1.248	6.585
	22:00	0.014	0.770	0.870	0.003
	23:00	0.014	0.725	0.826	0.005
8/18	00:00	0.011	0.707	0.796	0.009
	01:00	0.024	0.642	0.725	0.020
	02:00	0.013	0.658	0.735	0.006
	03:00	0.015	0.589	0.657	0.009
	04:00	0.017	0.561	0.626	0.010
	05:00	0.015	0.577	0.640	0.009
	06:00	0.016	0.556	0.620	0.014
	07:00	0.017	0.560	0.632	0.030
	08:00	0.016	0.598	0.697	0.029
	09:00	0.016	0.679	0.828	0.036

註：流量單位為 cms。

為了解生活污水之氨氮對灌溉水體之影響，將氨氮濃度與調查時間作圖如圖 3 所示，成果顯示除了 10 時、12 時及 21 時也較高之超標趨勢外，其他時段均符合標準，且凌晨時段之氨氮較日間氨氮濃度略低，此一超標現象可說明本區域灌溉水體有受到住宅區、餐飲業或食品業之污水影響，進一步調查超標時間與生活作息型態，可發現超標時段為中午用餐時段、黃昏市場營業時段及晚餐返家時段之生活污水污染較高之特性，而凌晨之氨氮濃度均較低，顯示夜間生活污水污染程度相對較低，也與生活作息有關。

管制項目檢測成果顯示，本研究區域灌溉水體有遭受重金屬污染之可能，於夜間 21 時發現重金屬鎘超標(0.0639 mg/L)，超過標準值 6 倍之多，可能與工廠趁機利用夜間排放白天工業製程廢水有關，另將 24 小時連續監測之品質、管制項目利用內梅羅指數計

算其污染程度指數，計算成果與時間作圖如圖 4 所示，顯示早上 10 時為警戒等級(氨氮含量過高)、13 時為污染等級(氨氮含量過高)、21 時為危害等級(重金屬鎘超標)，其他時段皆為安全或優良等級。

此外，為進一步了解水量與水質是否具有其關係，將內梅羅指數與流量進行點繪成果如圖 5 所示，成果顯示內梅羅指數與流量之相關係數 R^2 僅 0.0013，較無密切之關係，然而將內梅羅指數警戒等級以上之偏差數據移除，重新進行回歸，其相關係數 R^2 可提升至 0.3468，顯示工廠偷排或居家生活污水與流量之間並無太大關聯性，而去除偏差值之常態數據則顯示流量與水質之間呈現中度負相關現象，即流量越大，其內梅羅指數越低、水質污染程度越小，顯示水質與流量之間應有一定之關係。

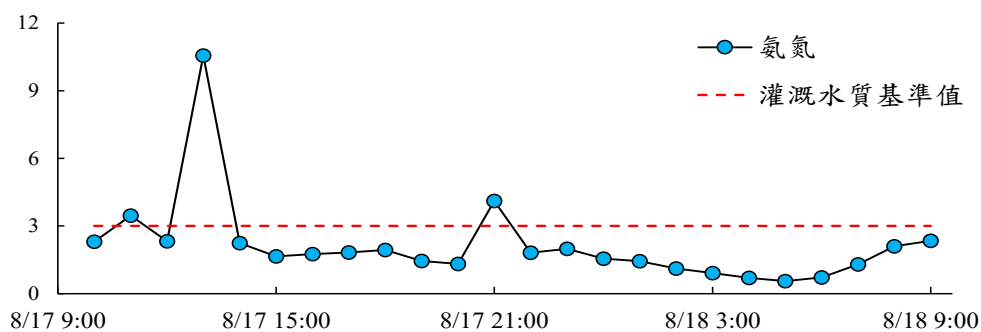


圖 3 氨氮濃度之歷時變化

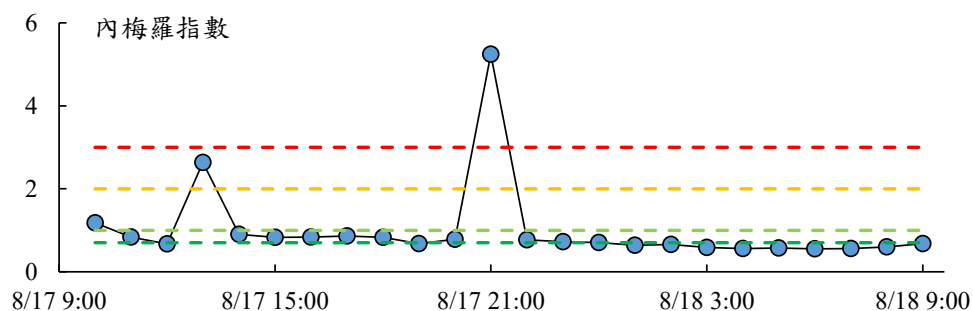


圖 4 內梅羅指數之歷時變化

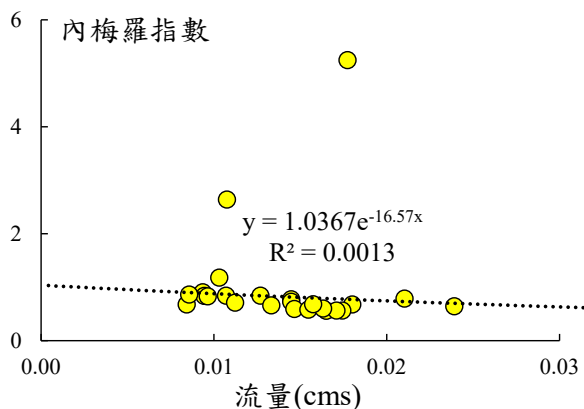


圖 5 內梅羅指數與流量關係

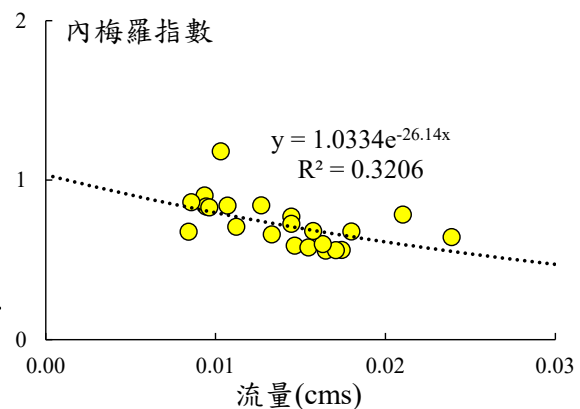


圖 6 移除異常值之內梅羅指數與流量關係

四、結論與建議

本研究以葫蘆墩圳西汴幹線社皮分線區域為研究區域的 24 小時連續監測成果，發現灌區除了前述受到住宅區及食品業之污水而影響渠道水質，且其影響程度與生活作息有一定關係趨勢，因此建議灌區之灌溉時間可針對生活作息之熱絡時間予以避開，避免引用生活污水污染物濃度含量較高之灌溉水體；另有關本研究區域發生重金屬(鎘)超標現象，顯示本研究區域之工業區仍有工廠於夜間偷排廢水，建議地方環保主管機關未來可加強夜間 20 時~22 時之查緝作業及水質監測，並掌握灌區內潛在污染來源工廠業者之分布位置，以進一步掌握污染來源，以利後續稽查及管理之作為。本研究之水質連續監測方式，可以找出蓋域性的水質污染特性及其時間分布趨勢，作為農業灌溉用水主管機關及農民進行灌溉用水管理及引用時機之參考依據，透過有效管理作為，降低潛在遭受污染的風險，以提升良好灌溉水體之施灌及間接提高對農地及作物安全之保護。

參考文獻

1. Ammar, S.D, 2017,” Using of Nemerow’s Pollution Index(NPI) for Water Quality Assessment of Some Barsrah Marshes, South of Iraq”, Journal of Babylon University/ Engineering Sciences, No. 5, Vol. 25, P.1708-1720.
2. 行政院環境保護署,2018,全國重金屬高污染潛勢農地之管制及調查計畫(第 5 期), EPA-105-GA02-03-A262。
3. 陳豐文、林修德、王希夫、蕭進裕、羅次群,2012,河川流量觀測常見問題及其對策,101 年度農業工程研討會。
4. 農業工程研究中心,2021,110 年度停灌措施對本處灌區圳路水體污染情勢變化調查及評估,農業工程研究中心研究報告。
5. 劉觀銘、張尊國,1995,灌溉水質評價-運用地理資訊系統技術,農業工程學報 第 41 卷第 1 期。
6. 行政院環境保護署,2018,全國重金屬高污染潛勢農地之管制及調查計畫(第 5 期), EPA-105-GA02-03-A262。
7. 林浩潭,2005,重金屬及微量元素對作物之影響,台灣農家要覽(三)農作篇; P.557-560。
8. 陳吉村,1993,重金屬對農業的影響,花蓮區農業專訓 6;P.8-10。
9. 陳豐文、陳靖葳、陳獻,2007,農業灌溉水質標準與工業放流水標準之差異性探討,水利工程研討會。
10. 行政院農業委員會,2006,台灣農家要覽,增修訂三版。