

彰化柳仔溝左岸支線農業灌溉水質污染模式評估 與因應對策

MODEL ASSESSMENT AND STRATEGY ON THE IRRIGATION WATER QUALITY POLLUTION AT LIU ZAI GOU
BRANCH OF CHANGHUA COUNTY

業興環境科技股份有限公司
工程師

許寧君*
Ning-Jin Kok

財團法人農業工程研究中心
博士

陳豐文
Feng-Wen Chen

業興環境科技股份有限公司
經理

王聖璋
Sheng-Wei Wang

行政院農業委員會
農田水利處
科長

洪銘德
Ming-De Hong

國立臺灣大學
生物環境系統工程學系
教授

范致豪
Chihhao Fan

行政院農業委員會
農田水利處
處長

謝勝信
Sheng-Hsin Hsieh

摘要

本研究目的為整合農政單位資源並結合有效工具，提出實用性的污染防治措施行動之建議方案，透過不同的模擬情境設計，完成水質模式之模擬，評估彰化縣永靖的圳路水質受上游重金屬之污染影響貢獻量。本研究首先將圳路之歷年基本水質數據進行統計分析，並調查渠道特性，判識圳路以鎳重金屬污染較為顯著。透過現場測量與採樣工作，取得模式模擬所需之參考數值，之後以 WASP 模式 (Water Quality Analysis Simulation Program, WASP) 的簡單毒物模組進行模擬，其中利用本研究設定之不同標準之參數組合作為參數。過程分別建立水理及水質模型，進而模擬不同情境下之水體涵容能力，同時推估渠道下游灌溉農田可能遭受之污染量與濃度分佈，並提出管理方案，以提升農業生產環境安全之保護。

關鍵詞：鎳污染、水質模式(WASP)、農業生產環境、模擬污染量。

* 通訊作者，業興環境科技股份有限公司工程師

10597 台北市松山區南京東路五段 168 號 12 樓 · ningjin26@setl.com.tw

MODEL ASSESSMENT AND STRATEGY ON THE IRRIGATION WATER QUALITY POLLUTION AT LIU ZAI GOU BRANCH OF CHANGHUA COUNTY

Ning-Jin Kok*

Sinotech Environmental
Technology, Ltd.

Sheng-Wei Wang

Sinotech Environmental
Technology, Ltd.

Chihhao Fan

National Taiwan University
Department of
Bioenvironmental Systems
Engineering

Feng-Wen Chen

Agricultural Engineering
Research Center

Ming-De Hong

Council of Agriculture,
Executive Yuan
Department of Irrigation and
Engineering

Sheng-Hsin Hsieh

Council of Agriculture,
Executive Yuan
Department of Irrigation and
Engineering

ABSTRACT

The purpose of this study is to apply instruments on the integration of resources for agricultural units. Strategies on pollution control are proposed via the design of various scenarios followed by model simulations. Pollution loads of heavy metal upstream affecting irrigation water on the studied channel would be determined. First, statistics of the water sampling data was analyzed and the characteristics of the channel was surveyed, which Nickel was deduced as the indicator pollution. Hydraulic measurements and samplings were carried out and Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) model was applied. Field data was used as reference on model building, while different water control acts were acted as model parameters. The assimilative capacity and the affected region of pollution were simulated while applying various groups of volumes and concentrations designed in this study. Finally, suggestions on enhancing the safety of agricultural environment were proposed.

Keywords: Nickel contamination, Water Quality Analysis Simulation Program (WASP), Agriculture production environment, Loads of pollution.

Kok, N.J.*, Wang, S.W., Fan, C.H., Chen, F.W., Hong, M.D., & Hsieh, S.H. (2020). "Model Assessment and Strategy on the Irrigation Water Quality Pollution at Liu Zai Gou Branch of Changhua County." *Journal of Taiwan Agricultural Engineering*, 66(3), 31-41. [https://doi.org/10.29974/JTAE.202009_66\(3\).0004](https://doi.org/10.29974/JTAE.202009_66(3).0004)

一、前言

1.1 農業發展

臺灣位處亞熱帶，地理條件良好，不僅四面環海，亦有高山溫度變化，帶來農業形態的多元特性。臺灣農地總面積達 85 萬公頃，約佔國土面積 23%，並以水稻種植為主。然而，全臺大約 5% 的灌溉水面臨了污染的風險，以舊濁水溪為例，基於工商業發達而造成工廠廢水污染，加上氣候不穩也造成水源不足。(行政院農業委員會，2017；彰化縣政府，2011)

本研究以彰化縣永靖灌區的柳仔溝左岸支線為模擬標的。彰化年降雨量約為 1,300~2,200 公厘，雖總量豐沛，惟時空分布不均。年平均氣溫約攝氏 22，氣候屬亞熱帶海島型，每年十月至翌年三月迎東北季風，七月至十月則易遭颱風侵襲。另外，八卦山台地屬更新世含紅土階地堆積層，其平原皆為現代沖積層，土壤大多屬粉質壤土或砂質壤土，因此土地肥沃而農業產業興盛。

彰化縣灌溉水源分為三種，包含河川天然流量，地面水補注水源及地下水補注水源。灌溉水源主要引用濁水溪及烏溪天然流量，或利用排水渠道興建制水閘、橡皮壩或抽水機等設施，攔截抽水灌溉或迴歸水利用(農委會，2019)。彰化主要灌溉系統分為同源圳灌區、烏溪灌區、八堡圳灌區及刺仔埤圳灌區等 4 大區域，其中僅同源圳灌區全域位於八卦山東側，其餘三處灌區均位於八卦山西側之彰化平原。供灌埤圳之開拓史最早可追溯至 1709 年八堡一圳之開鑿(清康熙 48 年)，歷經數次圳路修建與管理組織整併，迄今彰化農田水利會轄內圳路總計 71 處(以領有水權狀者計)，其中為地面水體自然重力引水者共計 40 處，因地勢高差需採動力抽水者共 31 處。

而本研究針對永靖灌區之圳路進行模擬。其所在地形東西寬窄不一，南北狹長約十六公里，該水利會轄區約三分之一土地面積(約 348 公頃)屬永靖農地重劃區，故灌溉、排水和農路等設施完善，且農作物栽培多元化，其產能與品質良好，對農民之收益與生活素質提昇及改善極為顯著。永靖灌溉水源引灌八堡二圳東溝之濁水為主者，包含東溝直灌、滷港舊圳、浮圳、大溝尾等。另外，雙碾埤、二重溝圳、太平埤等則利用灌溉餘水迴歸使用，面積計 925 公頃。另部份水源以八堡一圳補注入員林大排水，並由柳仔溝南岸抽水站制水抽取地面迴歸水之柳仔溝圳，總面積為 119 公頃。

1.2 臺灣近年農土作物污染

臺灣土壤污染大約八成皆來自水污染，主要原因為各類型產業的工業廢水、畜糞、市鎮廢水、酸雨、農業用藥等。根據行政院環保署的統計資料，工業廢水佔 54%、市鎮污水佔了 25%，截至 2013 年底，臺灣農地因重金屬污染而禁止耕作、被列管的農地共有 746 公頃(共 4,402 筆)。

臺灣以彰化地區農地遭受重金屬污染情形為最嚴重，重金屬污染長期列管圳路包含東西二圳、東西三圳、溝廖圳、番雅溝支線、石筍排水、新圳、新埤舊圳、頭汙圳、同安抽水機圳、義和圳、慶豐圳、同源圳幹線、臺灣溝圳、中埤西圳、挖仔圳、柳子溝左岸支線等 16 條，其中 2016 年度部分列管圳路已有更動，新增加強監測與解列之圳路分別為同源圳幹線(已解列)及埔鹽埤圳(新增為加強監測圳路)，列管圳路總量仍有 16 處。經過近幾年各單位執行改善，均於本年(2019 年)第三季全省水質會議中解除列管。

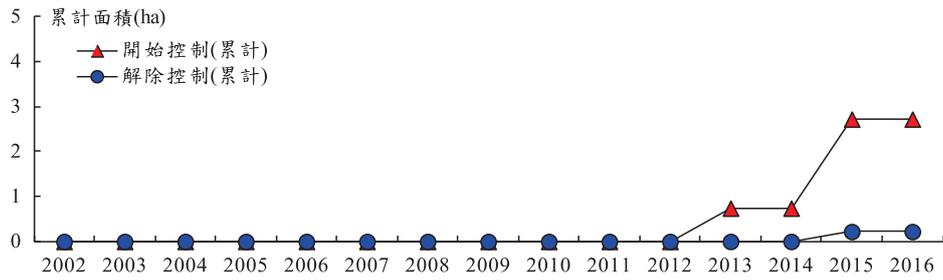
2013 年永靖站農地污染首度遭到查驗，其污染控制場址公告累計面積迄今已高達約 2.72 公頃之農地污染控制場址，並已公告 0.22 公頃之農地為解除污染控制場址。另尚未解除控制之污染控制場址筆數為 14 筆，其控制面積約 2.5 公頃，2016 年無農地污染之異動公告，農地污染列管變化趨勢詳圖 1。根據彰化農田水利會於 2015 年於義和圳、柳仔溝左岸支線等北彰化 8 條高污染潛勢圳路之水質調查，顯示上述圳路之水源自取水口處即有水質及底泥重金屬超標現象，因此以彰化縣為研究區域，其地理位置如圖 2。

二、材料和方法

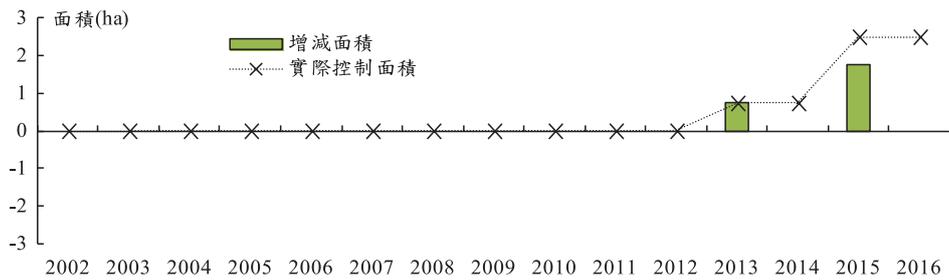
2.1 研究區域

2019 年 9 月之前，彰化農田水利會(以下簡稱彰化水利會)17 處(含尚未列入之埔鹽埤圳)高污染潛勢圳路供灌區域，分別供灌彰化、和美、鹿港、秀水、花壇、員林、福東、福興、永靖、溪湖、萬興、同源(2016 年解列)、埔鹽(加強監測圳路)等 13 處工作站。

彰化是諸多產業座落之城鎮，長期以來為農田帶來灌溉用水的污染問題。而彰化縣為臺灣主要糧食作物供應縣市之一，彰化縣共有 59,147 公頃的農地，過去十年為全臺貢獻約 201,000 至 263,000 公噸的稻米產量。本研究以永靖地區柳仔溝左岸支線與柳仔溝左岸



A. 環保署公告污染農地面積累計變化趨勢



B. 歷年污染控制場址面積增減幅度與變化

圖 1 永靖工作站 2002~2016 年重金屬污染農地控制面積變化一覽

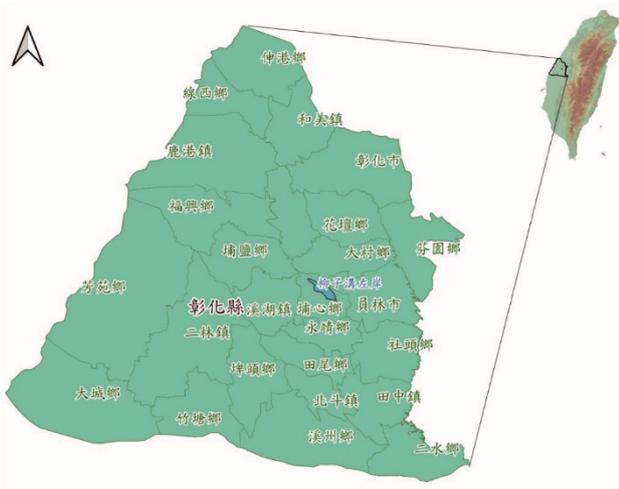


圖 2 研究區域地理位置



圖 3 本研究圳路與小組

五分前段(以下統稱柳仔溝左岸支線)為目標, 研究區域地理位置如圖 3。

2.2 研究方法

2.2.1 採樣與檢測方法

a. 水質與底泥採樣

本研究為取得實際渠道參數, 包含水理、水質及底泥數據, 已於 2019 年 7 月至 9 月進行現場調查工作。為有效評估評估渠道內不同區域的水質分布, 本工作於現場施放縮時樹脂膠囊與水質採樣, 取得 7 日累積與瞬時的水質濃度數據做為模式參數。本研究取得水質與底泥樣品共八個點位, 調查長度約 2.4 公里。

b. 工程資料與介入點數據

本研究為取得模型建立之基礎參數, 執行工程資料調查, 如高程測量及流量、流速等測定。斷面測量以現有取水口(渠首工)為起點, 斷面測量間距各 100 m 橫剖面進行測定, 因此需先進行斷面里程樁號設置, 即依據新設或既存控制點設置斷面里程樁號, 斷面里程樁號分布圖繪製相隔 100 m(依渠道中心線計算)。渠道縱坡測量間隔為每 100 m 測定一處高程, 如欲渠道轉折、斷面改變或不易進入區域(雜草、私人用地)則增加或更改測量點位。

流量之基本定義為單位時間(t)內通過的水體積(W_v), 稱之為流量(Q), 明渠大多採用水連續方程式。基於水連續方程式, 通過某一橫斷面之河川或渠道流

量即可依據(2.1)式或以(2.2)式獲得。

$$Q = \int_A v dA \dots\dots\dots (2.1)$$

$$Q = V_{av} \cdot A \dots\dots\dots (2.2)$$

式中：A 是河川或渠道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。

依據(2.1)式及(2.2)式的水連續方程式可獲得渠道之流量。以複雜具不規則斷面之河川為例，斷面屬於不規則形，並無特定型態，因此可依據前述量測之河川大斷面進一步將大斷面中通水之橫斷面劃分為 n 個小斷面，此處所指通水橫斷面即環檢所公告「水量測定方法-流速計法」(NIEA W022.51C)方法概要中所述之水道。

進一步由(2.2)式概念推估各小斷面之流量 q_i，上述概念可以(2.3)式及(2.4)式表達；並進一步區分為中斷面法(Mid-Section Method)及平均斷面法(Mean-Section Method)；將各子斷面之平均流速如(2.5)式與對應子斷面積如(2.6)式之乘積累計為總流量；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 4。各子斷面平均流速為兩相鄰垂線平均流速之平均值(2.7)式，各子斷面積如(2.8)式，進一步依(2.3)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度之優點(陳豐文等，2012)，因此本研究對流量的測定採平均斷面法為主。

$$Q = a_1v_1 + a_2v_2 + a_3v_3 + \dots + a_nv_n \dots\dots\dots (2.3)$$

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n \dots\dots\dots (2.4)$$

$$v_{avi} = v_i \dots\dots\dots (2.5)$$

$$a_i = b_i \cdot d_i \dots\dots\dots (2.6)$$

$$v_{mean} = \frac{v_i + v_{i+1}}{2} \dots\dots\dots (2.7)$$

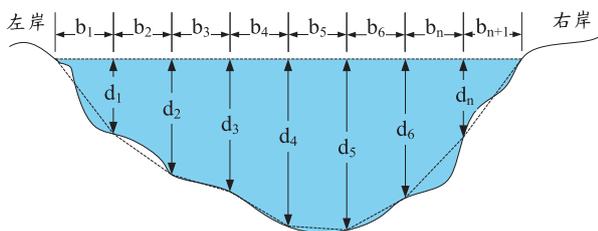


圖 4 平均斷面法示意圖

$$a_{mean} = \frac{(d_i + d_{i+1})b_i}{2} \dots\dots\dots (2.8)$$

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_{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。

平均斷面法係將橫斷面視為多個梯形子斷面組成，各子斷面平均流速為兩相鄰垂線平均流速之平均值，如(2.9)式，各子斷面之面積如(2.10)式，亦依(3.3)式即可累加為總流量。平均斷面法具高精度之優點，早期電腦應用不發達時具手續繁複之缺點，但現今電腦計算工具應用普遍，例如應用 Excel 即可迅速計算平均斷面法之流量，克服計算繁瑣之問題。

$$v_{mean} = v_{av,i} = \frac{v_i + v_{i+1}}{2} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$a_{mean} = a_i = \frac{(d_i + d_{i+1}) \cdot b_i}{2} \dots\dots\dots (2.10)$$

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。

另外，流速方面以採用雷達波流速儀作為非接觸式流速觀測的設備，本研究使用之設備為美國 Stalker 公司生產之手持式雷達波流速儀(SVR)，具有體積小、重量輕、便於攜帶等特點，俗稱雷達測速槍，無須固定於橋面，因手持式的特性，可因應洪峰前後造成流路改變，便於直接前往水流處觀測。

2.2.2 模式分析之監測參數 (Monitored parameters)

通常水質污染源可分為兩種，即水源型及介入型，前者代表取水時水質已不佳，後者為經過小型工廠聚落後水質受明顯波動而造成影響。因此本研究蒐集研究區域之數據，以模式推算可能污染的受體範圍，並推估水體污染傳輸途徑。規劃模式時，將上游取水口資料作為起始背景值，並搭配圳路空間分佈圖，以限縮渠道水質污染來源。本研究優先計算各項基本水質合格率，瞭解圳路指標污染物項目，並針對灌溉水水質進行統計分析，了解各項污染物之相關性及離散分布情形，作為決定本研究渠道灌溉水體指標污染物建立和評估的依據，最後搭配現場採樣數據，執行模式模擬之污染分佈分析。

彰化永靖水利會監視點的渠道類別根據不同功能分別為灌溉專用 7 處、排水專用 8 處、灌排兼用 1 處，

無迴歸利用之渠道，共計 19 處。根據農田水利會灌溉水質監視作業規範，水質初驗項目需包含水溫、酸鹼值及導電度三項，另依實際需要進行溶之檢測。複驗應包含懸浮固體、氯化物、硫酸鹽、總氮量、銅、鎘、鉛、鋅、鎳、總鉻、鐵、鈣、鎂、鈉、碳酸根、碳酸氫根、鈉吸著率及殘餘碳酸鈉，共計十八項。此外，得視實際需要，參照「灌溉用水水質標準」所列水質項目進行其他項目之檢驗，以監控水質變化。

表 1 導電度超標資訊

污染圳路	工作站	水利會監視點	總資料筆數	歷年導電度超標筆數	超標比率(%)
柳仔溝圳左岸支線	永靖站	柳仔溝圳左岸支線下游	70	3	4.29
		柳仔溝圳左岸支線取水口	70	3	4.29

表 2 柳仔溝左岸支線取水口基本水質數據

水溫		pH		EC	
平均數	25.10714	平均數	7.363429	平均數	585.5857
標準誤	0.512018	標準誤	0.040403	標準誤	12.68408
中間值	26	中間值	7.445	中間值	586.5
眾數	20	眾數	7.58	眾數	628
標準差	4.283853	標準差	0.338033	標準差	106.1226
變異數	18.3514	變異數	0.114266	變異數	11262.01
峰度	-0.70291	峰度	2.108873	峰度	6.937802
偏態	-0.38124	偏態	-1.2398	偏態	-0.17338
範圍	18.6	範圍	1.74	範圍	834
最小值	14.5	最小值	6.2	最小值	130
最大值	33.1	最大值	7.94	最大值	964
總和	1757.5	總和	515.44	總和	40991
個數	70	個數	70	個數	70

表 3 柳仔溝左岸支線下游基本水質數據

水溫		pH		EC	
平均數	25.15143	平均數	7.375429	平均數	586.2571
標準誤	0.521535	標準誤	0.040922	標準誤	13.00988
中間值	26	中間值	7.435	中間值	594
眾數	20	眾數	7.65	眾數	626
標準差	4.363476	標準差	0.342382	標準差	108.8485
變異數	19.03993	變異數	0.117225	變異數	11847.99
峰度	-0.74824	峰度	0.577713	峰度	6.620177
偏態	-0.33074	偏態	-0.77159	偏態	-0.12847
範圍	19.3	範圍	1.7	範圍	855
最小值	14.5	最小值	6.4	最小值	130
最大值	33.8	最大值	8.1	最大值	985
個數	70	個數	70	個數	70

表 4 管制區放流水標準

對象		Cu	Zn	Cr	Ni	Cd	Cr ⁶⁺
第一級管制區	新設事業	不得新設或變更增加排放六項重金屬製程事業					
	既設事業(緩衝期 2 年)	0.2	2.0	0.1	0.2	0.01	0.025
第二級管制區	新設事業	0.2	2.0	0.1	0.2	0.01	0.025
	既設事業(緩衝期 2 年)	1.5	2.5	1.0	0.5	0.015	0.25
工業區專用污染下水道系統(緩衝期 2 年)		1.5	2.5	1.0	0.5	0.015	0.25
管制區外業者(現行標準)		3.0	5.0	2.0	1.0	0.03	0.5

本研究先行蒐集圳路歷年監視點(2008~2018 年)導電度超標數據如表 1，並將其基本水質包含水溫、pH 值及導電度資料進行統計如表 2 及表 3，可得監視點之導電度平均偏低(585~586 μ S/cm)，但最大值分別曾測出 964 μ S/cm 及 985 μ S/cm；pH 值方面則未有異常記錄。本研究並以行政院環境保護署公告之農業灌溉用水重金屬管制標準作為依據(表 4)，統計研究圳路工作站之六項灌溉用水管制重金屬數據，歷年數據顯示鎳項目曾在 2015 年發生鎳超標事件如圖 5，因此以鎳為本研究之指標污染物。柳仔溝左岸支線過去發生污染事件頻率偏低，即其導電度超標率僅 4.29%，但根據複驗數據，超標點位之柳仔溝支線下游監視點曾在 2015 年 9 月顯示其鎳濃度有 0.564 mg/L，超過灌溉水質管制標準約 2.8 倍。此圳路超標時間分別發生於 2015 及 2017 年，鎳濃度最大值發生於 2015 年(0.564 mg/L)，因此以現場數據作為背景，以模擬方式推估偶發水質不良事件帶來之影響。

2.2.3 模型建立

a. 參數蒐集結果

本研究透過上述水質與水理測量方法，取得模型建立所需之渠道水力參數，詳如表 5。前中段沿線多為農地，且附近曾為污染農地場址並受土基會列管，主要介入類型多為農業迴歸水，此條圳路值得注意之介入點為中游兩間電鍍業放流口，因此本模型建立以該區段前端部分污染源放流為準。

b. 水體與底泥調查結果

水體部分成功取得 8 點位樣本，底泥則取得 4 個點位樣本，共檢測水體樣本 56 筆、樹脂包 210 筆及底泥 36 筆，共計取得 302 筆重金屬數據，採樣位置分布如圖 6。部分渠道由於水泥鋪面光滑故無法採收底泥沉積物。但因平均取得沿線樣品，仍可作為參考值，分析

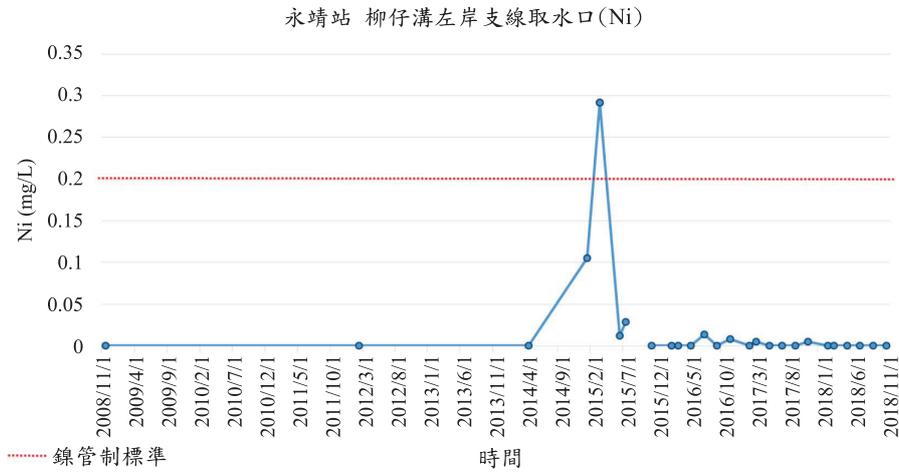


圖 5 監視點歷年鎳檢測數據

表 5 渠道水力參數

樁號	單距(m)	坡度	面積 A	潤週	水力半徑	曼寧	流速 V	渠道流量 Q
		S	(m^2)	P	R	n 值	(m/s)	(cms)
000	50	0.001	2.244	4.240	0.529	0.018	1.370	3.074
050	100	0.001	2.770	4.629	0.598	0.018	0.891	2.468
150	50	0.007	1.986	3.939	0.504	0.016	3.265	6.483
200	100	0.003	1.755	3.790	0.463	0.016	2.023	3.550
300	110	0.002	1.852	3.754	0.493	0.016	1.888	3.498
410	110	0.003	1.909	3.730	0.512	0.016	2.105	4.019
520	130	0.004	1.760	3.613	0.487	0.050	0.796	1.400
650	50	0.007	1.300	3.420	0.380	0.018	2.386	3.100
700	100	0.005	1.872	4.180	0.448	0.018	2.331	4.365
800	100	0.004	1.437	3.285	0.437	0.018	1.965	2.824
900	45	0.005	1.496	3.404	0.440	0.018	2.251	3.367
945	155	0.002	1.535	3.425	0.448	0.018	1.304	2.002
1100	77	0.002	1.725	3.780	0.456	0.018	1.543	2.661
1177			1.032	2.787	0.370	0.018		
1177	100	0.016	0.900	2.800	0.321	0.018	3.256	2.930
1277	100	0.003	1.036	3.130	0.331	0.018	1.419	1.469
1377	100	0.003	0.995	3.190	0.312	0.018	1.422	1.414
1477	100	0.003	0.562	2.220	0.253	0.018	1.142	0.641
1577	100	0.007	0.473	1.960	0.241	0.018	1.816	0.859
1677	20	0.015	1.395	4.000	0.349	0.018	3.366	4.695
1697	80	0.004	0.479	2.290	0.209	0.018	1.228	0.587
1777	100	0.001	0.518	2.180	0.238	0.018	0.738	0.382
1877	25	0.005	0.496	2.090	0.238	0.018	1.432	0.711
1902	10	0.009	0.490	2.100	0.233	0.018	1.964	0.962
1912	65	0.001	0.540	2.210	0.244	0.018	0.795	0.429
1977	100	0.000	0.518	2.160	0.240	0.018	0.245	0.127
2077	50	0.002	0.526	2.180	0.241	0.018	1.072	0.563
2127	50	0.003	0.562	2.260	0.249	0.018	1.180	0.663
2177	50	0.007	0.548	2.220	0.247	0.018	1.872	1.025
2227	50	0.005	0.794	2.520	0.315	0.018	1.760	1.397
2277	100	0.001	1.234	3.250	0.380	0.018	0.903	1.114
2377	55	0.004	2.136	4.008	0.533	0.018	2.262	4.832
2432			2.016	3.936	0.512			



圖 6 採樣點位示意圖

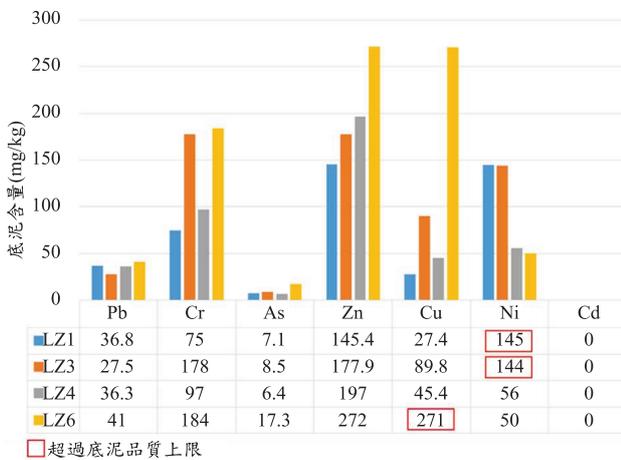


圖 7 底泥重金屬含量

數據如圖 7。檢測結果顯示前段及後段分別有鎳及銅超過品質上限情況，水體數據則多低於偵測極限值，僅在第 3 點位有鋅檢出，但其值極低(0.01 mg/L)，另樹脂包數據部分則顯示僅第 2 點位之鉛濃度有些微偏高。此圳路介入點數量不多，工廠聚落多集中於調查圳路之中後段，並測得下游底泥重金屬濃度偏高，推估聚落下游分佈列管農地遭部分影響，因此模式模擬以針對該區段為主。

c. WASP 模式

WASP (The Water Quality Analysis Simulation Program) 是一套可計算動態質量平衡的地表水模擬程式，為環保署總量管制區劃定之使用模式，可觀測水體水質受物理、化學等自然現象的影響，並可預測水體受人為活動污染後之水質變化，針對重金屬項目有「簡單毒物」模組供選擇(Wool et al. 2006)。本研究考量重金屬不如有機物因水體自淨作用而衰減，僅隨沉積物進行沉澱或溶解作用，故除應用水質傳輸模式外，亦應同時考量底泥對於水體重金屬之影響。本研究使用之主要控制方程式為非齊性偏微分方程式(Partial



圖 8 網格劃分結果

表 6 模式預測能力判斷

平均絕對百分誤差(MAPE)	預測能力
<15%	高準確預測
10%~20%	優良預測
20%~50%	合理預測
>50%	不合理預測

Differential Equation, PDE)，並選用 Runge-Kutta 模組進行解算。

WASP 軟體可針對固定大小的網格進行計算，以節省運算資源以提升效能，故需將現場調查斷面轉換成模式網格參數，在模式計算將整個渠道視為序列網格，依據所劃分間距進行各單元之計算，並加入重要介入點水體排放因素，評估渠道重金屬在水體隨時間之交互變化及影響性，本研究劃分之網格如圖 8。

情境模擬的準確性提升來自於合理且適當的情境設計，因此本研究考量彰化隱患區實際灌排情形及假設可能發生的極端污染狀況，設計三種模擬情境與現場圳路對應解釋進行討論，如表 6。

三、結果與討論

3.1 模式率定

本研究為了將判別模式模型建立之預測效果，使用 Mean Absolute Percentage Error (MAPE) 進行檢定(行政院環境保護署，2011)。MAPE 判別標準明顯，因此可清晰推判模式建立品質，若 MAPE 值愈小，代表預測能力愈良好，若算出其值小於 50% 代表該模型為可信預測如表 6。本研究調查圳路因未設有水質自動測站，且監視點數量少，因此使用模擬之流速與現場實測之流速進行比對。率定成果之 MAPE 為 48.6%，顯示本模式預測能力屬合理預測。

表 7 模式模擬情境參數

情境		參數
一	水量(CMS)	符合總量管制區標準(Ni 總量管制區最大值)
	濃度(mg/L)	
二	水量(CMS)	符合灌溉水標準(Ni 灌溉水標準最大值)
	濃度(mg/L)	
三	水量(CMS)	符合放流水標準但超過總量管制區標準 (Ni 放流水標準最大值)
	濃度(mg/L)	
四	水量(CMS)	2 倍水量, 符合 Ni 總量管制區標準
	濃度(mg/L)	
五	水量(CMS)	2 倍水量, 符合 Ni 灌溉水標準
	濃度(mg/L)	
六	水量(CMS)	2 倍水量, 符合 Ni 放流水標準但超過總量管制區標準
	濃度(mg/L)	

本研究根據實測及歷年數據值為參考值，規劃不同濃度及水量之級距。係依據不同標準下的水量與濃度之差異倍數，進行不同情形之假設與組合設定，期以囊括各種可能的污染狀況，各情境設定與模式代入參數如表 7。此種情境設定以不同水量及管制濃度為參數，可提供決策者以最適當的情境作為目標，參考其水量及濃度區間，藉以判斷污染發生時可能的污染範圍與程度，以有效評估應採取之對策。以情境一為例，係採用符合總量管制區標準之濃度(0.5 mg/L)，即總量管制區最大值为參數；情境三以符合放流水標準，但超過總量管制區標準，即達到放流水標準最大值(1 mg/L)為介入濃度；情境六則以超過總量管制區標準之濃度(1 mg/L)，但排放為 2 倍水量作為參數。

3.2 模擬評估

本研究皆假設事業放流水每日連續排入渠道，根據不同情境模擬結果如圖 9 至圖 14，綜合檢視以比較不同總量下的情境模擬結果如圖 15，可由觀察到的濃度輕微變化，推估不論高或低濃度進入灌溉系統，皆會影響圳路下游，即使其污染程度顯示影響並不顯著。

分析結果顯示因柳仔溝圳左岸支線整體渠道水量偏小，若有些微超過總量管制區標準之污染濃度進入第三網格，濃度較難以被稀釋，易造成下游重金屬濃度積累，也可能造成底泥影響，可能為下游部分列管農地重金屬含量偏高原因。此結果可推論為因根據本研究實地測量，渠道水量與速率為瞬間排放量，因此以推估渠道整體缺乏水量稀釋為主，造成污染物濃度傳遞不易受到沉降與稀釋作用減緩。

若以較極端狀況之情境判斷污染貢獻與污染範圍，水量為一般請情況之 2 倍，可辨識總量偏大的污

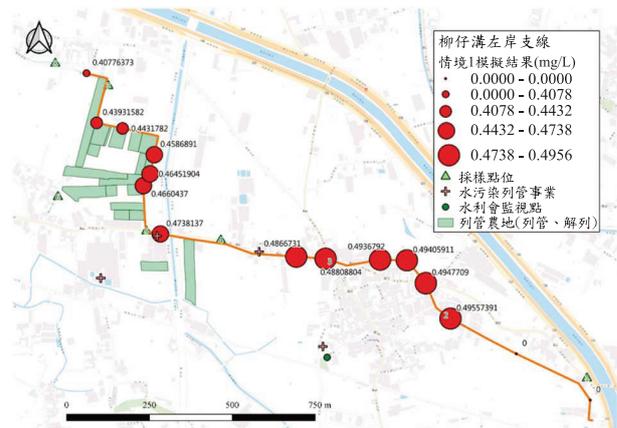


圖 9 情境一模擬結果空間示意圖

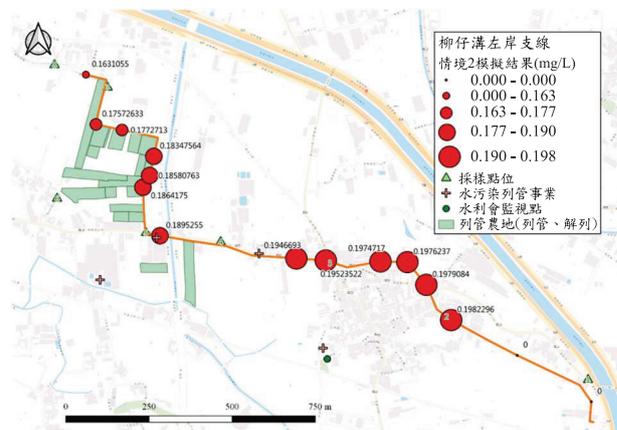


圖 10 情境二模擬結果空間示意圖

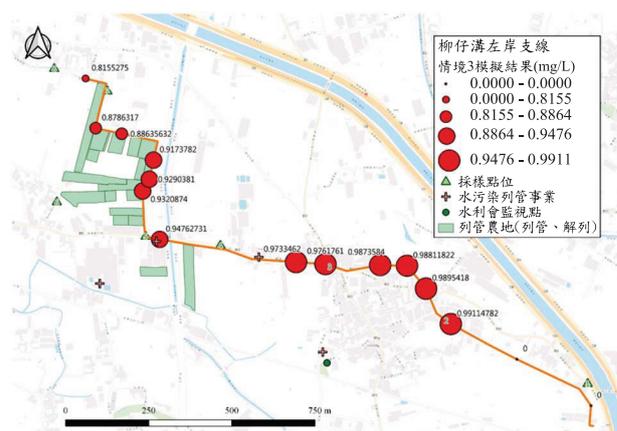


圖 11 情境三模擬結果空間示意圖

染量進入，會因渠道的傳遞速率高，使下游濃度變化逐漸降低，但仍因渠道特性狹窄，水量稀釋影響不顯著，導致僅帶來平均約 0.05 mg/L 的改變。因此判斷柳仔溝圳若有發生工廠排放量隨著水量變大，並連續排放一天，會造成下游渠道略微影響。

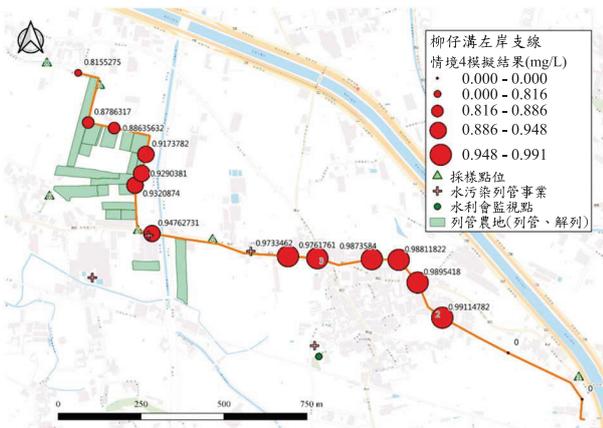


圖 12 情境四模擬結果空間示意圖

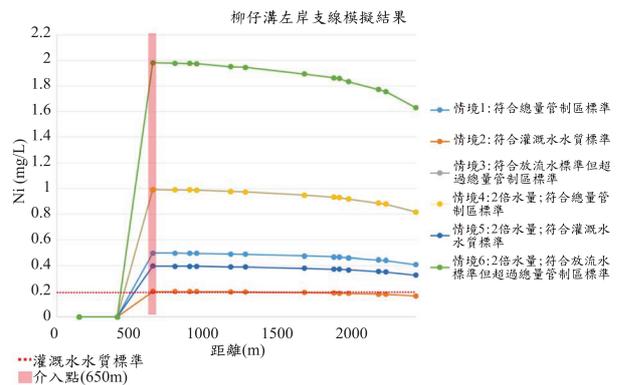


圖 15 模擬分析綜合結果

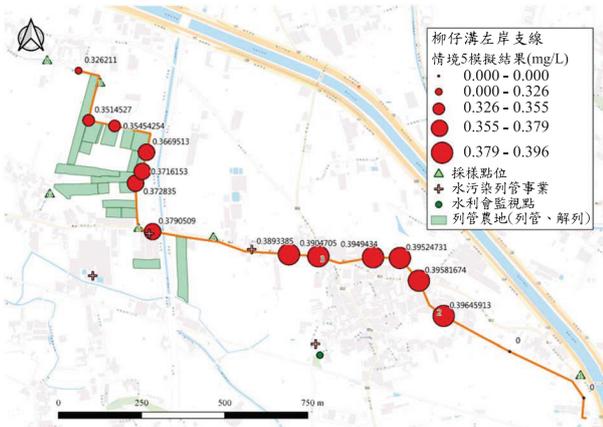


圖 13 情境五模擬結果空間示意圖

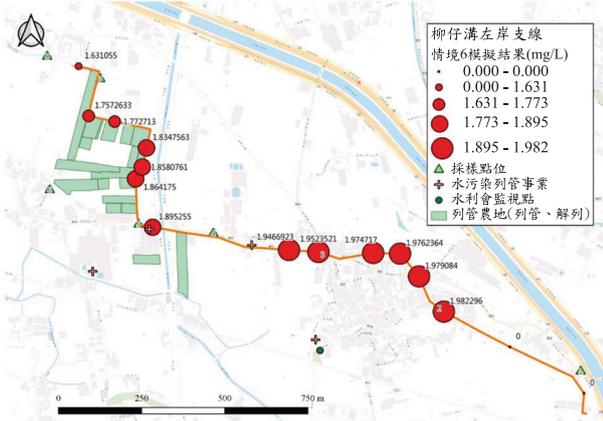


圖 14 情境六模擬結果空間示意圖

本研究研判水體涵容能力僅在總量突然提升三倍，如水量隨著濃度提高時，造成下游農田取水水質問題。而此渠道整體平均水量極小，上游部分的柳仔溝左岸支線及下游的柳仔溝五分線平均水量僅分別為 0.209 CMS 及 0.043 CMS，因此污染濃度不易被稀釋，水量突然提升時會大幅降低水體涵容能力。

四、結論和建議

根據現況評估，柳仔溝左岸支線下游農地水質在一般情況下不易受到污染，但假如上游工廠放流水接近管制標準造成總量大幅提升，有可能造成下游累積影響超過灌溉水標準。若發生突發事件，如暴雨或颱風，污染物伴隨流量大幅提升，即使放流水濃度偏低，其整體污染量進入灌溉渠道之影響極為顯著。因此，本研究提出以下管理建議：

4.1 底泥清淤重點範圍調整

基於本研究調查之點位中，即有兩個點位底泥鎳重金屬超標，且模擬水質結果顯示水量影響濃度傳遞極為關鍵，因此為了避免作物吸收過高含量之重金屬，底泥清淤範圍可有所調整。一般大型降雨事件導致的灌排渠道底泥擾動，通常容易漫流入農地，即使周遭工廠未直接或一次性排放高濃度水體至渠道內，但經過累積與陸域衝刷，對於該圳路的作物生長會帶來負面影響。因此本研究建議農田水利會之定期監測與清理作業，依據農委會與環保署和地方政府之合作，在圳路中段，即工廠後段至農地範圍總長約 570 m 著重清理。

4.2 環保單位抽查管線設置

根據農委會依行政院 102 年 7 月 12 日研商之「工業廢水搭排」會議結論第三項，提及未含重金屬之廢(污)水，可進行搭排。另外農田水利會推動分階段分區搭排管制措施中，本年度距離第二階段擴大辦理期僅剩一年，屆時將禁止除了農舍與生活污染水以外之所有事業排放入灌排渠道。而本研究圳路上目前僅剩五戶農舍搭排，暫無明顯及確認之重金屬污染源排放標

的。經由污染途徑的背景釐清及渠道特性確認，沿線皆為合法管線設置。然而柳仔溝圳之曾列管農地上游仍存有至少五家未登記或臨時登記工廠，因此定期徹查該些工廠之設立合法性及放流口流向，能有效避免下游農田遭到再次污染。

參考文獻

1. WASP7 Stream Transport – Model Theory and User's Guide, April, 2010.
2. Water Quality Analysis Simulation Program (WASP). United States Environmental Protection Agency, 2017.
3. Wool TA, Ambrose RB, Martin JL, Comer EA, Tech T. Water quality analysis simulation program (WASP). User's Manual, Version, 2006;6.
4. 行政院農業委員會，農田水利入口網。網址：http://doie.coa.gov.tw/measure_detail.php?id=201604chia。上網時間：2019-05-22.
5. 行政院農業委員會，農業灌溉水質保護方案，2013。
6. 行政院農業委員會，管路灌溉技術實務，2001。
7. 行政院環境保護署，環境影響評估河川水質評估模式技術規範，2011。
8. 國立臺灣大學，整合農業生產環境安全管理暨監測機制計畫期末報告，2018。
9. 陳豐文、林修德、陳麒升，「雷達測速原理應用於河川表面流速觀測之適用性分析」，農業工程研討會論文集，臺中，2012。
10. 彰化縣政府，舊濁水溪整治計畫-魚蝦重回東螺溪，2011。

收稿日期：民國 108 年 12 月 05 日
修正日期：民國 108 年 12 月 31 日
接受日期：民國 109 年 01 月 15 日