

## 應用水質指標於農村受污染河川淨化成效之評估

陳鴻烈 許振峯\* 蔡大偉

**摘要** 本研究之農村聚落河水取自河川污染指標 (RPI) 為「嚴重污染」之河水，以生態工程加以淨化處理，並以「水體分類標準」、河川水質指標 (NSF-WQI、WQI8、WQI5) 及 RPI 來比較處理前後之水質狀況。經過 18 個月之實場運轉及水質監測，整場平均淨化效率，可將 RPI 提升至「中度污染」，並符合「地面水體分類及水質標準」中「丁類水體」之灌溉使用目標。經研究結果顯示，本水質淨化場址除達到預期之淨化效益與處理目標外，以 WQI5 來表示反應淨化成效較顯著，且所需之水質參數少而具有實用性，因此分析水質參數並結合 WQI5 指標，具有方便性及工程效益評估之價值。

**關鍵詞：**河川水質指標、生態工程、農村污水。

## Evaluation of the Purification Effectiveness of the Contaminated Rural River with Water Quality Indexes

Paris-Honglay Chen Cheng-Feng Hsu\* David D.-W. Tsai

**ABSTRACT** This study utilized the ecological engineering measures to treat the 'heavy-polluted' river which was contaminated by rural wastewater using 'river pollution index' The water quality indice, water body classification, 'water quality indicator' (WQI) including NSF-WQI, WQI5 and WQI8 and RPI were used to evaluate the design function. After 18 months monitoring, the system performance was improved to the condition of 'medium-polluted' level in terms of RPI. The effluent reached to D category based on surface water body classifications and water quality standards. The results indicate that WQI5 is a sensible and practical index. Hence, this study demonstrates that the water quality monitoring combined with WQI5 evaluation can be an important and convenient method. Meanwhile, the proposed system is also feasible.

**Key Words:** rural wastewater, water quality index, ecological engineering.

### 一、前言

台灣地區家庭污水未妥善收集與處理，是造成河川污染最主要原因 (環境保護署，2009)，農村聚落雖然人口密度低，但生活污水、畜牧廢水及農業迴水等，使中、下游河川水質呈現「嚴重污染」。台灣地區自

921 後 (2000 年)，開始學習以生態工程進行崩塌地整治，環境保護署則自 2002 年投入經費輔助地方政府在受污染的河川支流匯流處，以生態工程開始建置河川水質淨化工程 (環境保護署，2010b)，由於取水與出流皆屬於河川流量之一部分，因此分析淨化前後之河川水質物理、化學或生物特性，可以展現淨化成果，也是環境管理者與決策評估之重要依據。

指標只採用少數重要的參數而可以歸納成單一數值，通常被歸納成公式提出，指標可以由研發者推估演算或基於德爾菲技巧 (Delphi technique) 而產生，德爾菲技巧是基於「群體的判斷結果比個人更具可信度」下，對專家及委員有系統的問卷交互比較的結果。

自從 1965 年 Horton 第一位提出水質指標 (Water Quality Index, WQI)，過去 40 幾年來已有不同之 WQI 被提出 (Kumar and Alappat, 2009)。在 1970 年，Brown et al. 使用德爾菲技巧為美國國家衛生基金會 (National Sanitation Foundation, NSF) 發展出 NSF-WQI，依據美國環保署委託調查報告 (Ott, 1978)，NSF-WQI 指標為美國境內使用率最高的 WQI。

除了類似 NSF-WQI 為一般性水質指標 (indices of general water quality) 外，尚有特定水體用途指標 (indices of specific water uses)、計畫型指標 (indices for planning) 與統計的應用 (statistical approaches) 等，供不同目的而發展使用 (Ott, 1978)。

應用水質指標前，必須了解集水區內造成水質污染之來源與原因，以最少的水質參數即可反應河川水質變化，此論點特別有利於將監測費用降至最低，必要時再針對重金屬、農藥、VOCs、DDT、PCBs 再予以量測 (USEPA, 2003)。

本研究之水質淨化場址已有 18 個月份之水質監測資料，並應用已發展之一般性水質指標 NSF-WQI、WQI5、WQI8 及 RPI (river pollution index)，對照「地面水體分類及水質標準」，評估場址進流與流出之水質淨化成效，作為日後以最少之水質分析項目，即可提供資訊給管理者與教育民眾，了解生態工程對水質淨化之功效。

## 二、研究方法

### 1. 研究區域

本研究區域屬於洋子厝流域農業區，其中洋子厝溪以南各灌溉系統之水源主要來自濁水溪，以北則來自烏溪，而洋子厝溪則匯集二溪之灌溉尾水 (彰化農田水利會，2000)。淨化場址位於彰化市洋子厝溪南岸，與秀水鄉以荊桐腳排水為界，為主流洋子厝溪與支流荊桐腳排水之交匯處，河段屬於八堡圳灌區灌溉排水路，集水面積主要位於秀水鄉馬興村，面積約 235 公頃 (經濟部水利署水利規劃試驗所，2006)，沿岸聚落住戶約為 50 戶，並有小型畜牧場及工廠散佈，場址位置如圖 1 所示。

本研究之水質淨化場址經重力引進荊桐腳排水，經一次揚程提高水位後加以淨化，再排放至原水取水點下游 15M，其河川流量受上游八堡圳閘門控制，故荊桐腳排水水質會受到農業迴水之水質與水量影響。

### 2. 採樣點說明

場址原為洋子厝溪舊河道，為東西長南北窄之狹長地形，經整治後已屬於堤內用地且無排水功能。完工後之總平面配置如圖 2 所示。主要處理單元為「礫間接觸曝氣」及「表面流 (FWS) 人工濕地」，如圖 3 所示，每日最大處理量 2,000CMD，礫間接觸水力停留時間為 3.5 小時，表面流人工濕地為 15 小時，各單元介紹及設計參數詳陳鴻烈等 (2009)。



圖 1 本研究之水質淨化場址位置圖

**Fig.1 The studied site of river purification plant**

本研究之進流口採樣點與荊桐腳排水相通，出流則以放流口水堰為採樣點。本研究未以放流口下游水體為採樣點，主要為考量進流量只取河川部分水量，且因荊桐腳排水低流速特性，底部沉積物多，混合已淨化之出流水易再釋放出污染物，難以展現處理成效，故以場內代表處理後排出之河川水質。

### 3. 分析方法說明

#### (1) 現場量測

pH 值、水溫及導電度採用 EUTECH (U.K. 製造) 手提式 CyberScan PC300 分析儀；溶氧 (DO) 採用 YSI (USA 生產) 550A 電極法水質分析儀；濁度採用 Hach (USA) 2100P；皆為環境檢驗所公告之標準分析方法，使用前皆經標準校正程序後再使用。

#### (2) 實驗室分析

本研究實驗室之水質分析項目包括：懸浮固體物 (SS)、生化需氧量 (BOD5)、氨氮

(NH<sub>3</sub>-N)、硝酸鹽氮 (NO<sub>3</sub>-N)、總磷 (TP)、大腸桿菌群 (E. coli) 等，為環境檢驗所公告之標準分析方法，整理如表 1 所示。

表 1 本研究水質分析方法統計

Table 1 The methods of water parameters analysis

	項目	方法名稱	方法編號
現場	pH 值	電極法	W424.52A
	水溫	溫度計法	W217.51A
	溶氧	電極法	W455.51C
	濁度	濁度計法	W219.52C
實驗室	懸浮固體	103~105°C 乾燥法	W210.57A
	生化需氧量	五日恆溫培養法	W510.54B
	氨氮	靛酚比色法	W448.51B
	硝酸鹽氮	離子層析法	W415.52B
	總磷	維生素丙法	W427.52B
	大腸桿菌群	濾膜法	E202.53B
	導電度	導電度計法	W203.51B
	溶氧	疊氮化物法	W421.57C

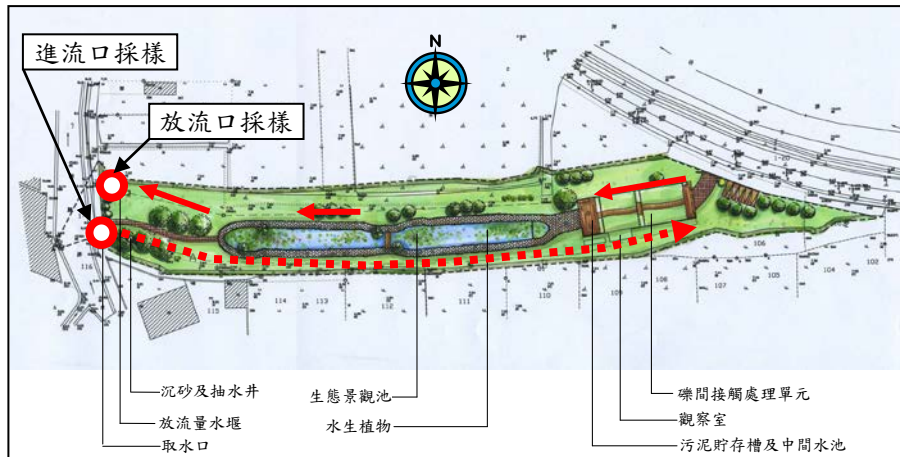


圖 2 水質淨化場址平面配置及水質採樣位置圖

Fig.2 The layout of water purification plant and location of sampling points

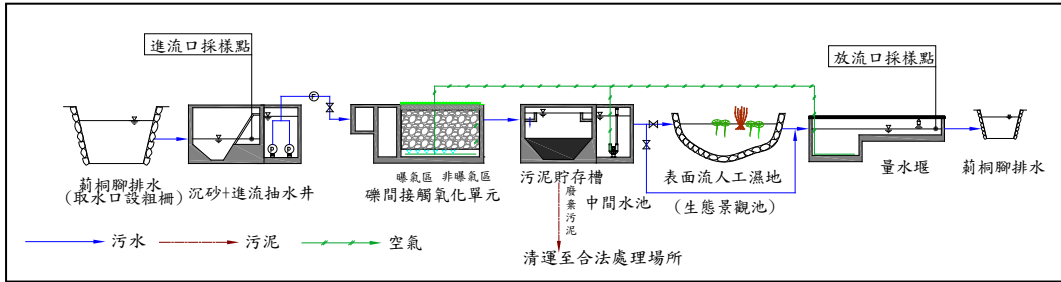


圖 3 河川水質淨化處理流程圖

Fig.3 The processes of water purification

#### 4. 水質指標計算說明

WQI 是由彙集數種水質監測數據成爲單一指標的標示方法。這種將一系列複雜的變數簡化後呈現，通常可使用於不同之目的，如：(Chapman, 1996)

- ① 提供公眾與決策者了解水體水質資訊。
- ② 作爲管理水體使用目的的規劃工具。
- ③ 評估水源水質之變化。
- ④ 作爲特定研究判斷水質問題之需求。
- ⑤ 評估污染防治計畫成效。

本研究選取「地面水體分類及水質標準」、NSF-WQI、WQI8、WQI5 及 RPI，以定性與定量方式評估水質，以下爲各水質指標之說明。

##### (1) 地面水體分類及水質標準

台灣地區「地面水體分類及水質標準」於民國 87 年 6 月 24 日由環保署修正發布，係保護生活環境之相關基準，依據水體中之 pH、DO、BOD5、SS、E. coli、NH3-N 與 TP 之指數或濃度值，將水體分爲甲~戊等五類，並訂定有不同之水體用途。

參考 USEPA (2009) 對美國國會提出之「全國水質總報告 (National Water Quality Inventory: Report to Congress)」，美國境內各水體水質評估是依據淨水法 (Clean Water Act) 305(b)章之規定，由各州先訂定水質標準 (water quality standards)，再依據監測之水質參數與水質標準作以下綜合性評定：

- ① 良好 (good)：完全符合指定用途之水質標準。
- ② 警戒 (threatened)：雖滿足指定用途之水質標準，但有惡化之趨勢。

- ③ 受污染 (impaired)：其中一項或多項未符合指定用途之水質標準。

目前環保署並未統計已公告 36 個水區水體分類後之水質符合情況，而是以 RPI (River Pollution Index, 河川污染指標) 代表 (環境保護署, 2010c)，故無法以 RPI 值來判斷河川水質是否符合使用水體用途。本研究之荊桐腳排水及洋子厝溪雖未公告劃定水體分類，但由於有取水灌溉事實，故至少應符合「丁類」之水體水質標準，而在本研究中增列「不符戊類」一項，以凸顯水質惡化之情形。

##### (2) NSF-WQI

Brown et al. (1970) 使用德爾菲問卷調查了 142 專家組成之審查團，自 35 項水質參數中選出 9 項水質參數及依其相對重要性而換算各水質參數權重 (Wi)，提供美國國家衛生基金會制定出 NSF-WQI 指標 (部份權重有修改)，如表 2 所示。其計算公式及對應之河川水體分類如後：

$$NSF - WQI = \frac{1}{9} (\sum_{i=1}^9 W_i \times q_i)$$

NSF-WQI：NSF 水質指標，從 0 至 100。

Wi：水質參數之權重

qi：水質參數之點數

NSF-WQI	
點數	水質等級
90-100	優
70-90	良好
50-70	中等
25-50	不良
0-25	惡劣

各項水質參數換算成 qi 點數，需由「水質 vs. 點數」之曲線圖內插而得，Oram (2010) 於網站中提供計算 NSF-WQI 之轉換公式，可大幅

省略查表之時間。

NSF-WQI 中的「溫度」與「硝酸鹽氮」二項是國內完全不考慮之參數，國內一致選擇「氨氮」來取代「硝酸鹽氮」，作為河川水質污染指標，另外 NSF-WQI 採用「總固體物 (Total Solid, TS)」水質參數來表示溶解性固體物 (TDS) 與 SS 之總合，由於自然水體中 TDS 與導電度有關：TDS (mg/L) ÷ 導電度 (μ S/cm) 約 0.55~0.75 (典型 0.67) (Chapman, 1996)，本研究以 SS + (導電度×0.67) = TS，來取代實際量測 TS。

### (3) WQI8

WQI8 由周建成 (1990) 與指導教授溫清光，以 NSF-WQI 為基礎，採用「修正德爾菲意見調查技巧」(Modified Delphi Opinion Research Technique) 完成，WQI8 之計算採用幾何加權平均法，各水質參數點數及權重 (Wi)，如表 2 所示。其公式及對應之河川水體分類如下：

$$WQI8 = \frac{1}{10} \left[ \sum_{i=1}^n w_i q_i \right]^{1.5}$$

式中

WQI8：是 WQI8 指標值，由 0 到 100。

wi：第 i 項水質參數之權重。

qi：第 i 項水質參數之點數，由 0 到 100。

n：水質參數之總合，n=8。

WQI8		河川分類
點數	水質等級	
86~100	優	甲類水體
71~85	良好	乙類水體
51~70	中等	丙類水體
31~50	中下等	丁類水體
16~30	不良	戊類水體
<15	惡劣	不符戊類

各項水質參數換算成 qi 點數有回歸計算公式可以採用 (林寬振, 1995)。比較 WQI8 與 NSF-WQI，WQI8 刪除「溫度」，將「濁度」與「TS」二項簡化為「濁度」一項；並以「氨氮」取代「硝酸鹽氮」，增設「導電度」，以反應本土污水未經二級生物處理及事業廢水排出之污染特性。

### (4) WQI5

WQI5 為歐陽嶠暉教授 (歐陽嶠暉, 2005) 集合專家學者意見，類同溫氏作法，所發展之本

土性水質指標，WQI5 之計算也是採用幾何加權平均法，各水質參數點數及權重 (Wi)，如表 2 所示。其公式及對應之河川水體分類如下：

$$WQI5 = \frac{1}{10} \left[ \sum_{i=1}^n w_i q_i \right]^{1.5}$$

WQI5：是 WQI5 指標值，由 0 到 100。

wi：第 i 項水質參數之權重。

qi：第 i 項水質參數之點數，由 0 到 100。

n：水質參數之總合，n=5。

WQI5		河川分類
點數	水質等級	
91~100	優	甲類水體
71~90	良好	乙類水體
51~70	中等	丙類水體
31~50	中下等	丁類水體
16~30	不良	戊類水體
<15	惡劣	不符戊類

### (5) RPI

環保署以日本河川污染分類指標所訂定之 RPI (River Pollution Index)，作為台灣地區政府部門公告河川污染之水質指標。各水質參數點數及權重 (Wi)，如表 2 所示。各參數權重相同，點數計算可參考環保署 (2010c) 資料。計算式如下：

$$RPI = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 S_i$$

RPI：河川污染指標值，由 1 到 10。

Si：第 i 項水質參數之點數。

RPI 只有比 WQI5 少了「導電度」一項，其餘皆相同，故兩者之計算含意相當接近。

## 三、結果與討論

### 1. 環境因子

本研究之水體-荊桐腳排水，為彰化地區典型之農業灌排圳溝，寬度約 5.8 m，溝深 3 m，水深至少 60 cm 以上才可以重力引入本淨化設施，該水位與水量受



表 2 各項水質指標參數及權重比較

Table 2 Comparison the water parameters and weights of various WQI

水質參數	指標	NSF-WQI		WQI8		WQI5		RPI	
		因子	權重	因子	權重	因子	權重	因子	權重
溶氧(DO)		✓	0.17	✓	0.22	✓	0.31	✓	0.25
大腸桿菌群( <i>E. coli</i> )		✓	0.16	✓	0.12				
pH		✓	0.11	✓	0.16				
生化需氧量(BOD <sub>5</sub> )		✓	0.11	✓	0.18	✓	0.26	✓	0.25
硝酸鹽氮(NO <sub>3</sub> -N)		✓	0.1						
總磷(TP)		✓	0.1	✓	0.06				
溫度		✓	0.1						
濁度		✓	0.08	✓	0.09				
總固體物(TS)		✓	0.07						
懸浮固體物(SS)						✓	0.17	✓	0.25
氨氮(NH <sub>3</sub> -N)				✓	0.13	✓	0.19	✓	0.25
導電度				✓	0.04	✓	0.07		
權重合計			1.00		1.00		1.00		1.00

上游農業迴水之調配及下游頭汴埤制水閘門控制 (如圖 4 (a)), 當旱季分區輪灌、雨季排洪開閘門及每年 12 月至翌年 2 月休耕期, 河床見底, 無水可以引入, 但為維持礫間接觸生物膜與水生植物之生長, 會引進鄰近地下水補充, 再以內循環方式保持流動。

本區之家庭污水未經妥善處理及小型畜牧場廢水, 皆直接排入荊桐腳排水中 (如圖 4 (b)), 對河川水質產生負面影響, 並反應至水質參數與水質指標。

由表 3 統計監測期間 (2009/04~2010/09) 之水質監測資料, 有效監測值樣品數 15 點, 未列休耕期水質監測資料, 因為該期間無進流也無出流至荊桐腳排水。

進流 DO 平均值 3.0mg/L, 達丁類水體 DO 之最低限值, 但統計有 8 次 (53%) 進流採樣頻率 DO 未達此標準。

污、廢水有良好收集與處理後再排入河川, *E. coli* 通常介於 100~10,000CFU/100 ml 之間 (Chapman, 1996)。本研究 *E. coli* 平均濃度 94,520 CFU/100mL, 顯示含有人類與動物排洩物之廢水排入, 而這也是造成有機污染物及營養鹽 (如 BOD<sub>5</sub>、NO<sub>3</sub>-N、NH<sub>3</sub>-N、TP) 偏高原因。整個渠道因為水流緩慢 ( $V=0.01\sim0.1\text{ m/s}$ ), 宛如一個大型



圖 4 影響河川水質之因子。(a)下游控制水位之頭汴埤制水閘門；(b)畜牧廢水。

Fig.4 The influential factors of water quality. (a) the river surface level control by gate of downstream. (b) livestock wastewater.

矩形沉澱池, 可以有效去除較大顆粒之 SS。而表 3 之水質分析項目 (DO、*E. coli*、BOD<sub>5</sub>、NO<sub>3</sub>-N、NH<sub>3</sub>-N、TP、SS 及濁度), 經處理後皆明顯改善, 展現生態工程有效淨化受污染河川之成效。

pH 與溫度是比較不受淨化處理單元改變之項目。導電度依天然河川之地域性有極大差異 (100~1,000  $\mu\text{S/cm}$ ), 但水體導電度突然增加或逐年

上升，除暴雨逕流的影響外，與事業廢水的排入有關。以中科園區台中基地廢水排放口下游永安橋測點（筏子溪流域）為例，2005/12 之導電度為  $246 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，2006/01 之導電度為  $1,116 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，但上游同時間分別為  $324 \mu\text{S}/\text{cm}$  及  $317 \mu\text{S}/\text{cm}$ （台中市環保局，2010），而中科放流水於此期間開始排放，所以導電度對河川受污染有立即性之反應，但污染物種類則需再深入分析。

本場進流口導電度平均  $721 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，稍低於「灌溉用水水質標準」 $750 \mu\text{S}/\text{cm}$  限之規定，但有 7 次（47%）超過此限值，為農業灌溉水質惡化之警訊，農業及環保單位應加以重視；而出流口之導電度平均值比進流口稍微降低（約 6%），推測為部分鹽類，被微生物及水生植物吸收而以生物體（biomas）型式被移除。

天然水體 pH 值的小時變化很小，若不考慮河川上下游之 pH 變化，以本場為例，約介於 6.6~7.6 之間，完全滿足各水體分類或標準值（ $\text{pH}=6\sim9$ ）之範圍，故國內 WQI5 及 RPI 指標皆捨棄 pH 因子。但 pH 卻是其他指標無反應時，最能及時反應極端水體被污染狀況。Flores (2002) 舉出 1991 年西班牙 Tormes 河受硫酸污染為例，水體水質 pH 降至 2.9，許多簡化之河川 WQI 皆無法反應受污染情況。而本研究也發現，原水 pH 值以 0.5 小時為單位之變化若很急遽（ $\Delta\text{pH}\approx 1.5$  在 2~4 小時），如圖 5 所示，雖然尚於 6~9 之間，但後續造成生物膜大量剝落情形，明顯為事業廢水污染行爲，也非一般農村聚落之有機廢水污染特性，故以生態環境而言，連續 On-line 監測 pH 值之小時變化是一項重要水質指標，無法以單一採樣時間判斷是否受污染情形，可提供國內評估河川受污染情形之重要參考。

## 2. 水質指標

經統計與分析進流及出流與「水體分類」標準比較，如表 4 所列，若以「丁類水體」為標準，其中進流有 6 次（40%）不合格，而總平均屬於「戊類水體」也不合格；放流則全部符合「丁類水體」要求。

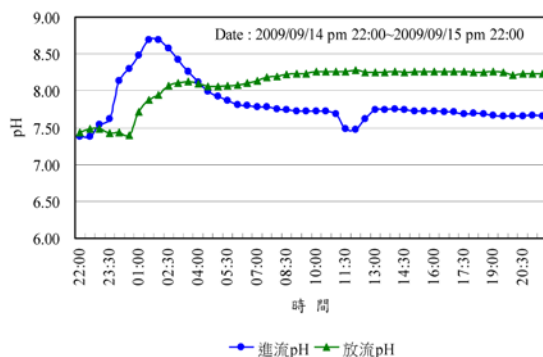
另外針對各個指標「NSF-WQI」、「WQI8」、「WQI5」及「RPI」之進出流變化情形，如表 4 所列，並以圖 6 表示時序變化及圖 7 表示淨化前後之指標差異（ $\Delta\text{WQI}$  or  $\Delta\text{RPI}$ ），詳細說明如後。

### (1) NSF-WQI

本研究探討 NSF-WQI 水質參數，其中「溫

度」一項，本研究假設  $\Delta T=0$  為計算依據；而 NSF-WQI 選擇「硝酸鹽氮」與國內選擇「氨氮」參數不同，應與美國依淨水法規定，污水至少需經二級生物處理才可排出有關，「氨氮」佔總氮之比例降低，故需以「硝酸鹽氮」為水質污染指標。

經計算進流水 NSF-WQI=35~50、放流水 NSF-WQI=50~70。NSF-WQI 指標中，*E. coli*、 $\text{BOD}_5$  及 TP 是降低指標之主要參數。 $\text{BOD}_5 > 8.1 \text{ mg/L}$ ，其點數即降至 42 以下；*E. coli*  $> 1,000 \text{ CFU}/100 \text{ ml}$ ，點數便降至 20 以下，致使本場大腸桿菌群點數在未有效之消毒設施下，進流與出流點數相當低。TP  $> 1.6 \text{ mg/L}$  以上，點數也降至 30 以下。DO 與 TS 是次要降低指標之因子，因放流水有經過曝氣作用提高，而使 DO 提高；但 TS 則因為溶解性固體物濃度高，使其點數經常為最低值（20），但由於權重只有 0.07，故非主要影響指標。另外 NSF-WQI 以硝酸鹽氮表示營養鹽，無法真實反應國內受污染水質氮污染尚停留在氨氮之狀態。若計算放流與進流 NSF-WQI 之算數差（ $\Delta\text{NSF-WQI}$ ）代表淨化效能，其變化幅度為四個指標中最低者。





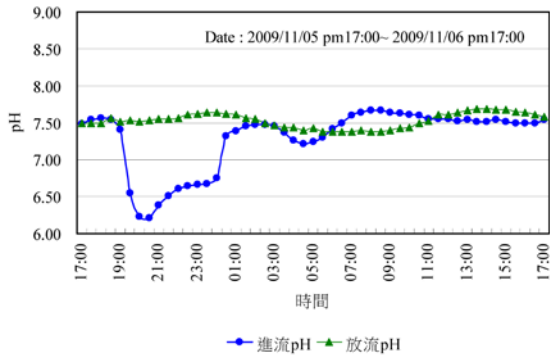


圖 5 水質 pH 異常之連續監測變化圖

Fig.5 The abnormal values of pH monitoring from inlet

表 3 進流與出流之水質監測資料統計表 (監測期間: Apr-2009~Sep-2010)

Table 3 The statistic values of inlet and outlet water quality (duration: Apr-2009~ Sep-2010)

統計\項目	溶氧 (DO)		大腸桿菌群 ( <i>E. coli</i> )		pH		生化需氧量 (BOD <sub>5</sub> )		硝酸鹽氮 (NO <sub>3</sub> -N)		總磷 (TP)	
	進流	放流	進流	放流	進流	放流	進流	放流	進流	放流	進流	放流
Mean	3.0	5.6	94,520	6,693	7.4	7.1	28.8	8.1	6.3	4.8	5.5	1.6
S.D.	1.2	1.6	142,763	2,953	0.2	0.3	17.3	4.2	2.6	3.9	5.3	1.1
Minimum	0.5	3.5	4,000	2,800	6.7	6.6	9.6	3.0	1.3	0.8	1.3	0.2
Maximum	4.7	10.1	480,000	15,000	7.7	7.6	68.0	15.4	10.2	15.6	22.0	3.8
去除率(%)	--		52.7		--		66.4		-20.2		64.7	

統計\項目	溫度 (Temp.)		濁度		懸浮固體物 (SS)		氨氮 (NH <sub>3</sub> -N)		導電度 (EC)	
	進流	放流	進流	放流	進流	放流	進流	放流	進流	放流
Mean	27.6	28.0	16.1	6.6	27.8	9.3	6.4	1.1	721	677
S.D.	3.1	2.8	10.0	5.4	13.1	5.3	3.5	1.3	144	143
Minimum	20.9	23.1	5.5	2.3	10.0	4.0	1.2	0.1	442	369
Maximum	32.5	32.0	34.0	23.0	56.0	22.0	12.6	4.8	933	898
去除率(%)	--		51.6		62.8		84.2		--	

註: 1.休耕期 (2009/12~2010/02) 原水未進流之測點未列入統計分析。  
 2.每一採樣點之有效樣品數=15。  
 3.單位: 溫度 (°C)、pH(無單位)、濁度 (NTU)、導電度(µS/cm)、大腸桿菌群 (CFU/100mL), 其餘 mg/L。  
 4.溶氧、pH、溫度與導電度未計算去除率。

(2) WQI8

以 WQI8 評估河川水質狀況, 進流水 WQI8=10~30、放流水 WQI8=30~50, 其水質惡化表示幅度高於 NSF-WQI, 另比較只有抽地下水而無原水進流期間, WQI8 明顯提高, 也確實反應水質變好, 其中 BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N、*E. coli* 及導電度具體反應國內水質受污染特性, 故 WQI8 偏低, 比較放流與進流 WQI8 之算數差 (ΔWQI8), 其變化幅度稍高於ΔNSF-WQI。

(3) WQI5

WQI5 之數值變動範圍, 進流水 WQI5=5~30、放流水 WQI5=30~70, 其變化幅度高於 NSF-WQI 及 WQI8, 其中 BOD<sub>5</sub>、

NH<sub>3</sub>-N 是造成進流 WQI5 低落之原因, 導電度次要, 比較放流與進流 WQI5 之算數差 (ΔWQI5), 其變化幅度與 RPI 接近, 可明顯反應淨化之成效。

(4) RPI

RPI 水質參數比 WQI5 少導電度一項, 其餘相同, 但二者權重不同。進流水 RPI=5~9、放流水 RPI=2~6, 由於本淨化設施可以有效改善 DO、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N 及 SS 項目, 經常將「嚴重污染」淨化為「輕度污染」或「未(稍)受污染」, 故ΔRPI 與ΔWQI5 並列為四個指標中最明顯者。

表 4 河川水質淨化前後之 WQI 指數及污染程度比較

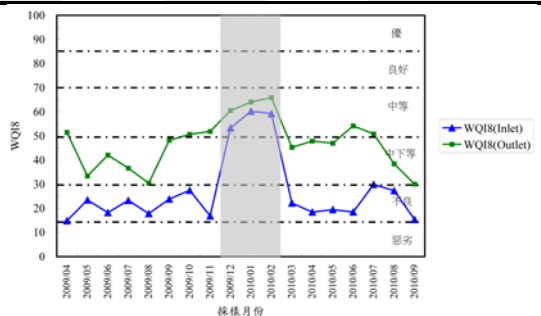
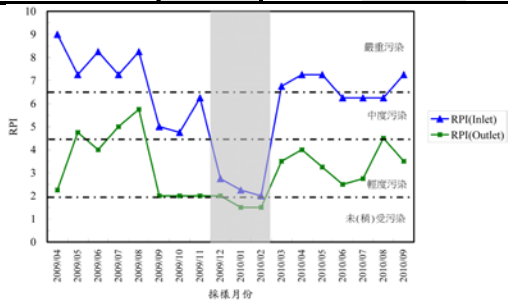
**Table 4 Comparison the WQI and pollution situation after purification**

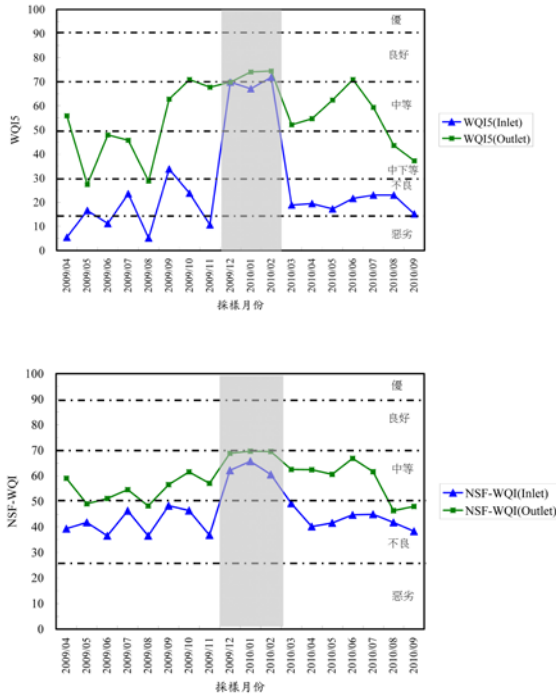
採樣月份		Apr-09	May-09	Jun-09	Jul-09	Aug-09	Sep-09	Oct-09	Nov-09	Dec-09	Jan-10	
進流口	指數	NSF-WQI	39.33	41.81	36.54	46.35	36.55	48.29	46.44	36.79	62.13	65.71
		WQI5	5.46	16.60	11.17	23.56	5.18	33.83	23.75	10.64	69.88	67.11
		WQI8	14.88	23.48	18.24	23.28	17.84	23.83	27.48	16.87	53.35	60.28
		RPI	9.00	7.25	8.25	7.25	8.25	5.00	4.75	6.25	2.75	2.25
	污染程度	水體分類	不符戊類	丁類水體	不符戊類	丁類水體	不符戊類	丁類水體	戊類水體	戊類水體	丁類水體	丁類水體
	NSF-WQI	不良	不良	不良	不良	不良	不良	不良	不良	中等	中等	
	WQI5	惡劣	不良	惡劣	不良	惡劣	中下等	不良	惡劣	中等	中等	
	WQI8	惡劣	不良	不良	不良	不良	不良	不良	不良	中下等	中等	
	RPI	嚴重	嚴重	嚴重	嚴重	嚴重	中度	中度	嚴重	輕度	輕度	
放流口	指數	NSF-WQI	59.04	49.06	51.13	54.61	48.24	56.54	61.54	57.08	68.85	69.69
		WQI5	55.89	27.37	47.94	45.72	28.84	62.82	70.95	67.76	69.88	74.05
		WQI8	51.48	33.46	42.05	36.67	30.47	48.20	50.66	51.87	60.52	64.10
		RPI	2.25	4.75	4.00	5.00	5.75	2.00	2.00	2.00	2.00	1.50
	污染程度	水體分類	丁類水體	丁類水體	丁類水體	丁類水體	丁類水體	丁類水體	丁類水體	丙類水體	丁類水體	丁類水體
	NSF-WQI	中等	不良	中等	中等	不良	中等	中等	中等	中等	中等	
	WQI5	中等	不良	中下等	中下等	不良	中等	良好	中等	中等	良好	
	WQI8	中下等	中下等	中下等	中下等	不良	中下等	中下等	中等	中等	中等	
	RPI	輕度	中度	中度	中度	中度	未(稍)受	未(稍)受	未(稍)受	未(稍)受	未(稍)受	

表 4 (續-1)

**Table 4 (continues-1)**

採樣月份		Feb-10	Mar-10	Apr-10	May-10	Jun-10	Jul-10	Aug-10	Sep-10	Average	
進流口	指數	NSF-WQI	60.51	49.22	40.18	41.56	44.74	44.95	41.75	37.97	
		WQI5	71.89	18.87	19.48	17.26	21.60	23.01	23.01	8.98	
		WQI8	59.31	22.17	18.46	19.46	18.50	29.96	27.35	19.06	
		RPI	2.00	6.75	7.25	7.25	6.25	6.25	6.25	7.25	
	污染程度	水體分類	丙類水體	丁類水體	丁類水體	丁類水體	丁類水體	丁類水體	丁類水體	不符戊類	戊類水體
	NSF-WQI	中等	不良	不良	不良	不良	不良	不良	不良	不良	
	WQI5	良好	不良	不良	不良	不良	不良	不良	惡劣	惡劣	
	WQI8	中等	不良	不良	不良	不良	不良	不良	惡劣	不良	
	RPI	未(稍)受	嚴重	嚴重	嚴重	嚴重	嚴重	嚴重	嚴重	嚴重	
放流口	指數	NSF-WQI	69.53	62.52	62.40	60.60	66.84	61.61	46.39	54.74	
		WQI5	74.46	52.16	54.72	62.44	70.95	59.38	43.54	50.12	
		WQI8	65.90	45.27	47.88	46.98	54.19	50.81	38.43	36.54	
		RPI	1.50	3.50	4.00	3.25	2.50	2.75	4.50	3.50	4.00
	污染程度	水體分類	丙類水體	丁類水體	丁類水體	丁類水體	丁類水體	丁類水體	丁類水體	丁類水體	丁類水體
	NSF-WQI	中等	中等	中等	中等	中等	中等	不良	不良	中等	
	WQI5	良好	中等	中等	中等	良好	中等	中下等	中下等	中下等	
	WQI8	中等	中下等	中下等	中下等	中等	中下等	中下等	不良	中下等	
	RPI	未(稍)受	中度	中度	中度	輕度	輕度	中度	中度	中度	





註：灰色區塊代表枯水期無進流，僅抽取地下水供內部循環使用。

圖 6 以不同水質指標之指數表示進流與出流之時序變化圖

Fig.6 Comparison the inlet and outlet of various WQI based on time series

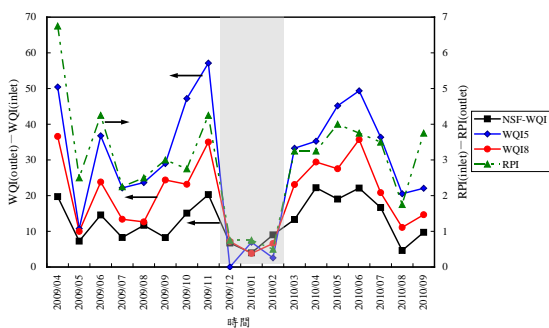


圖 7 不同水質參數在處理前與處理後之差距時間變化圖

Fig.7 The difference of various WQI between raw and treated surface water based on time series

3. 綜合探討

水質指標有如”快篩”功能，以量測最少之水質參數，即可反應水體水質是良好、警戒或受污染之特徵，再針對警戒或受污染之水體擬定水體防治與管理計畫，必要時再針對特定污染物種類加以分析，故水質指標必須針對水體污染特徵加以研擬。

以生態工程淨化河川，面對之原水為屬於已超過河川自淨能力之水質，或屬於嚴重污染，故國內水質指標 (WQI5、WQI8 及 RPI) 可以明顯反應進流水質「惡劣」或「嚴重污染」程度，但 NSF-WQI 較不易。

而淨化後之水質狀況，其中 DO、BOD5、NH3-N 及 SS 皆為生態工程可淨化之重點，改善情形可明顯反應至 WQI5 及 RPI 參數，故 $\Delta$ WQI5 及 $\Delta$ RPI 高於 $\Delta$ WQI8 及 $\Delta$ NSF-WQI，而另一項重要原因為：NSF-WQI 與 WQI8 之濃度與點數之換算為連續的 (continuous)，但 WQI5 及 RPI 為不連續的 (discrete)，所以指標變化高，在相同的進出流水質狀況下，呈現較顯著的淨化成效。

若以本研究所選擇之水質指標，WQI5、WQI8 及 RPI 比 NSF-WQI 更可顯示本土污染特性；若用於「河川水質淨化評估」，WQI5 及 RPI 比 WQI8 佳，而 WQI5 比 RPI 多一項「導電度」，對於灌溉使用之農村河水更具有指標性意義。

再由本研究之連續 pH 監測分析及中科台中基地排放高導電度廢水二個案例，pH 及導電度監測對河川受事業廢水污染行為顯得特別重要，但幾乎無法反應至水質指標，也無法於單一採樣中發現，pH 及導電度必需有上、下游之連續性採樣監測，經比對才可以發現污染，而此類污染對河川生態影響，卻比有機物或營養鹽污染嚴重，故本研究發現水質指標之採樣與監測方式，是造成 pH 及導電度之指數變化不大之最主要原因。

四、結論與建議

應用水質指標評估淨化農村聚落受污染河川之效益，經過採樣分析及計算水質指標後，綜合以下結論與建議：

1. 水質指標之設計與應用有其先決條件，本研究發現 NSF-WQI 不適合河水中，氮以氨氮型態存在之污染物，WQI5、WQI8 及 RPI 較能反應國內河川嚴重污染特性。
2. 以生態工程淨化受污染河川，具有良好的淨化效

果，若要以單一水質指標來展現成果，RPI 與 WQI5 一樣適合展現淨化效果，但以農村地區灌溉使用為考量時，可優先考慮 WQI5。

3. 河川水質以單一時間採樣模式，無法反應 pH 及導電度因為受污染而產生之時序變化情形，但 pH 及導電度往往是激烈化學污染 (如廢酸) 或含重金屬之鹽類排入之重要資訊，政府應對有事業廢水排入之溪流，裝置上、中、下游不同河段之即時監測，類似量測人體之溫度與血壓一般，快速而簡便，有異常再深入重點調查原因，以保護河川水質與維護生態穩定。

## 參考文獻

1. 台中市環保局 (2010)，「環境資訊網站資料」，<網址：[http://www.tcepb.gov.tw/water/emi/emi1\\_01.asp?cate\\_id=19](http://www.tcepb.gov.tw/water/emi/emi1_01.asp?cate_id=19)>，瀏覽日期：99.11.20。(EPB of Taichung city (2010). "Information of environment." cited by [http://www.tcepb.gov.tw/water/emi/emi1\\_01.asp?cate\\_id=19](http://www.tcepb.gov.tw/water/emi/emi1_01.asp?cate_id=19), surfed date: Nov. 20, 2010. (in Chinese))
2. 周建成 (1990)，「台灣河川水質指數之建立」，國立成功大學環境工程研究所碩士論文。(Chou, C. C. (1990). *Establishment of river water quality index in Taiwan*, Master thesis, National Cheng Kung University, Taiwan, R.O.C. (in Chinese))
3. 林寬振 (1995)，「河川污染指數之建立」，國立中央大學環境工程研究所碩士論文。(Lin, K. C. (1995). *Development of a river quality index*, Master thesis, National Central University, Taiwan, R.O.C.)
4. 陳鴻烈、許振峯、蔡大偉 (2009)，「農村聚落污水之淨化設計參數與除污效能評估研究」，98 年度中華水土保持學會年會論文集，台中市，台灣，7。(Chen, P. H., Hsu, C. F. and Tsai, David D.-W. (2009). "Evaluation Study of Rural Sewage Purification between Design Parameters and Removal Efficiency." *Proceedings of Chinese Soil and Water Conservation Society*, Chinese Soil and Water Conservation Society, Taichung, Taiwan, 7. (in Chinese)).
5. 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2006)，「彰化北部地區綜合治水檢討規劃 (洋子厝排水集水區)」。(Water Resources Planning Institute of MOEA (2006). *Revised and study of comprehensive water managements in northern Changhua county (Watershed of Yang-Tzu-Tso River.)* (in Chinese)).
6. 歐陽嶠暉 (2005)，「下水道工程學」，長松文化，台北市，275-277。(Ouyang, C. F. (2005). *Sewerage system engineering*, Chang-Sung Culture, Taipei, 275-277. (in Chinese))
7. 彰化農田水利會 (2000)，「彰化農田水利會會誌」。(Changhua Irrigation Association (2000). *Annals of Changhua Irrigation Association*. (in Chinese))
8. 環境保護署 (2009)，「97 年版環境白皮書」，台北，28。(EPA (2009). *Environmental white paper in 2008*, Taiwan, R.O.C., 28. (in Chinese))
9. 環境保護署 (2010a)，「98 年版環境白皮書」，68。(EPA (2010a). *Environmental white paper in 2009*, Taiwan, R.O.C., 68. (in Chinese))
10. 環境保護署 (2010b)，「水質淨化現地處理網站資料」，<網址：<http://wqp.epa.gov.tw/ecological/>>，瀏覽日期：99.09.24。(EPA (2010b). "Information of water purification with on-site treatment." cited by <http://wqp.epa.gov.tw/ecological/>, surfed date: Sep. 24, 2010. Taiwan, R.O.C. (in Chinese))
11. 環境保護署 (2010c)，「民國 98 年環境水質監測年報」，<網址：<http://www.epa.gov.tw/ch/SitePath.aspx?busin=330&path=12626&list=12626>>，瀏覽日期：99.11.20。(EPA (2010c). "Annual report of environmental water quality." cited by <http://www.epa.gov.tw/ch/SitePath.aspx?busin=330&path=12626&list=12626>, surfed date: Nov. 20, 2010. Taiwan, R.O.C. (in Chinese))
12. Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., and Ronald, G. T.(1970), "A water quality index—Do we dare?" *Water Sewage Works*, 11:339–343.
13. Chapman, D. (1996). "Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental

- Monitoring (2nd).” *Published on behalf of UNESCO, WHO and UNEP*. E & FN Spon, London.
14. Flores, J.C. (2002). ”Comments to the use of water quality indices to verify the impact of Cordoba City (Argentina) on Suquia river.” *Water Research*, 36, 4664–4666.
  15. Kumar, D. and Alappat, B.J. (2009). ”NSF-Water Quality Index : Does It Represent the Experts’ Opinion?” *Practice periodical of hazardous, toxic, and radioactive waste management*, 13(1), 75-79.
  16. Oram, B. (2010).”Calculating NSF Water Quality Index.” cited by <<http://www.wat-er-research.net/watrqualindex/index.htm>>, surfed date: Nov. 23, 2010.
  17. Ott, W.R. (1978). ”Water Quality Indices : A Survey of indices used in the United States. U.S. “ EPA-600/4-78-005, Washington, D.C.
  18. USEPA (2003). ”Elements of a State Water Monitoring and Assessment Program.”
  19. USEPA (2009). ”National Water Quality Inventory: Report to Congress - 2004 Reporting Cycle.”
- 
- 2010 年 12 月 17 日 收稿  
2011 年 02 月 17 日 修正  
2011 年 03 月 02 日 接受
- (本文開放討論至 2011 年 09 月 30 日)