

第四章 研究結果與討論

本研究在水質監測結果對於人工溼地效能評估十分重要，本研究之水質監測項目包括溫度 (Temp)、酸鹼值 (pH)、溶氧 (DO)、生化需氧量 (BOD)、化學需氧量 (COD)、總凱氏氮 (TKN)、氨氮 (NH₃-N)、硝酸鹽氮 (NO₃-N)、亞硝酸鹽氮 (NO₂-N)、總磷 (TP)、正磷酸鹽、懸浮固體物 (SS)、葉綠素 a 等 13 項。利用監測結果評估溼地對於污染物去除之成效，包括 10,000 CMD 至 50,000 CMD 抽水量之水質監測，同時進行水質模擬模式評估，建立反應速率常數，以達成武洛溪排水水質改善工程最佳成效。

4.1 地面水水質監測結果

地面水水質監測共 9 個監測點，共將 94-96 年地面水水質、礫石過濾床與 FWS 人工溼地淨化效能及放流水水質分別作探討。

水質分析除探討各監測項目濃度變化及去除效果外，更輔以 RPI 指數及 WQI 指數計算，以更明確了解溼地效益。RPI 指數為河川污染指標 (River Pollution Index, RPI)，乃利用 BOD、DO、NH₃-N 及 SS 四項水質參數(如表 4.1-1)，根據其數值來評估河川污染程度。指標計算方式詳如式(4-1)。其中 Ni 為指標污染物點數值，n 為指標污染物數目。RPI 在 2 以下是未受污染，2~3 是輕度污染，3.1~6 是中度污染，6 以上為嚴重污染。

RPI 指標之計算方式：

$$RPI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i \quad (4-1)$$

表 4.1-1 河川污染程度 (RPI) 分類表

項目	污染程度			
	未受污染 稍受污染	輕度污染	中度污染	嚴重污染
DO (mg/L)	6.5 以上	4.6~6.5	2.0~4.5	2.0 以下
BOD ₅ (mg/L)	3.0 以下	3.0~4.9	5.0~15	15 以上
SS (mg/L)	20 以下	20~49	50~100	100 以上
NH ₃ -N (mg/L)	0.50 以下	0.50~0.99	1.0~3.0	3.0 以上
點數	1	3	6	10
積分	2.0 以下	2.0~3.0	3.1~6.0	6.0 以上

註 1：資料來源：行政院環境保護署網站

註 2：表內之積分數為 DO，BOD₅，SS 及 NH₃-N 點數之平均值。DO、BOD₅、SS 及 NH₃-N 均採用平均值。

WQI₈ 於 1990 年以 NSF 指標為基礎，採用「修正後之 DELPHI 意見調查技巧」，對國內 134 位不同專業背景之專家學者進行問卷調查，借重專家學者之專業知識，以決定所採用之水質參數及其權數，同時亦配合國內「地面水體分類及水質標準」為制定水質點數之依據；其水質參數包括溶氧、大腸菌、pH 值、生化需氧量、氨氮、濁度、總磷及導電度等，WQI₈ 指標值之河川水質分類，對應之河川水質類別及水質用途如表 4.1-2 所示。

WQI₈ 在訂定各項水質參數點數之對應點數時，主要是以國內之河川水體分類水質標準為判定依據，並參考其他國家之水質標準將缺項補足，再推出點數曲線來表示參數之水質點數。這些點數可以表 4.1-3 中所列公式計算。

水質參數權數之各水質參數的最終權數依溶氧、生化需量、pH 值、氮、大腸菌數、濁度、總磷及導電度的次序分別為 0.22、0.18、0.16、0.13、0.12、0.09、0.06、0.04。此外，考慮到水質資料可能會缺少某項水質參數，因此以下列公式修正指標權重：

$$W_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^7 W_j} \times W_i \quad (4-2)$$

式中，W_i 為第 i 項水質參數修正後的權重，該水質參數之原有權重，

$j=1,2,\dots,7$ ，即缺項水質參數不計算在內。

表 4.1-2 WQI_8 水質分類等級表

指標範圍	水體分類	水體用途說明
86-100	特優	水質優良，適合游泳一級公共用水及以下各類用途
71-85	良好	水質良好，適二級公共用水、一級水產用水及以下各類用途
51-70	中等	水質尚可，適三級公共用水、二級水產用水、一級工業用水及以下各類用途
31-50	中下	水質屬中下等，適灌溉用水、二級工業用水及戊類用途
16-30	不良	水質不良，為環境保育最低標準
0-15	惡劣	水質惡劣，可能發生臭味

表 4.1-3 WQI_8 之水質點數計算式

水質參數	單位	點數 (qi)
溶氧	飽和度 (小數)	$0 < x < 0.7$ $-70.707x^3 + 195.96x^2 - 4.5707x$
		$0.7 \leq x < 1.4$ $-416.67x^4 + 2041.7x^3 - 3858.3x^2 + 3243.3x - 910$
生化需氧量	mg/L	$0 < BOD \leq 5$ $0.6078 \times B^3 - 3.5651 \times B^2 - 9.6099 \times B + 100.59$
		$5 < BOD$ $\frac{1123.6}{1 + 9.99 \times e^{0.2 \times B}}$
pH 值	-	$2 < pH \leq 5$ $3.3333 \times pH^2 - 15 \times pH + 16.667$
		$5 < pH \leq 10$ $-12.562 \times pH^2 + 187.78 \times pH - 601.17$
		$pH > 10$ $6.6667 \times pH^2 - 156.67 \times pH + 920$

表 4.1-3 WQI₈ 之水質點數計算式 (續一)

水質參數	單位	點數 (qi)
氮氮	mg/L(as N)	$0 < N \leq 2$ $-19.335 \times N^3 + 81.327 \times N^2 - 118.85 \times N + 99.749$ $2 < N \leq 8$ $0.8271 \times N^2 - 14.106 \times N + 59.906$
大腸菌數	Log (MPN/100ml)	$1.13011X^4 - 15.26941X^3 + 66.60307X^2 - 122.44465X + 170.33508$
濁度	NTU	$9 \times 10^{-9} \times T^5 - 2.9447 \times 10^{-6} \times T^4 + 2.615965 \times 10^{-4} \times T^3 + 6.5787311 \times 10^{-3} \times T^2 - 2.163199043 \times T + 99.4859390033$
總磷	mg/L(as P)	$0 < P < 0.4$ $29.9 + \frac{3.8147}{P + 0.054}$ $29.9 + 3.8147 / (P + 0.054)$ $0.4 \leq P \leq 3$ $6.592 \times P^2 - 36.417 \times P + 49.906$
導電度	µmho/cm	$\frac{101.7}{1 + 0.0062 \times e^{8.32 \times 10^{-3} \times C}}$

WQI₇ 為 2006 年新修正的水質指標，由成功大學環工所的溫清光教授所發展，其中包含溶氧(DO)、五日生化需氧量(BOD₅)、pH 值、氮氮(NH₃-N)、總磷(TP)、總大腸菌數(TC)及懸浮固體物(SS)等七項水質參數，即 WQI₈ 的參數少掉導電度，並且把濁度換成相關度高的懸浮固體。但因為本指標尚未完全發展完成，故將會以 WQI₇ 指標為主，而 WQI₈ 指標為輔。表 4.1-4 為 WQI₇ 水質等級分類表。

表 4.1-4 WQI₇ 水質分類等級表

指標範圍	水體分類	水體用途說明
86-100	特優	水質優良，適合游泳一級公共用水及以下各類用途
71-85	良好	水質良好，適二級公共用水、一級水產用水及以下各類用途
51-70	普通	水質尚可，適三級公共用水、二級水產用水、一級工業用水及以下各類用途
31-50	不良	水質屬中下等，適灌溉用水、二級工業用水及戊類用途
16-30	惡劣	水質不良，為環境保育最低標準
0-15	極惡劣	水質惡劣，可能發生臭味

4.1.1 原水水質分析

94-96 年歷次水質研究監測數據如表 4.1-5 所示，由表可知歷次原水酸鹼值平均值為 7.3；水溫平均 27.6°C；溶氧量平均值為 2.6 mg/L；生化需氧量平均值為 26.8mg/L；懸浮固體平均值為 96.4 mg/L；化學需氧量平均值為 112 mg/L；氨氮平均值為 8.00 mg/L；總磷平均值為 1.658 mg/L；總凱氏氮平均值為 10.7 mg/L；正磷酸鹽平均值為 0.972 mg/L；硝酸鹽氮平均值為 0.82 mg/L；亞硝酸鹽氮平均值為 0.14 mg/L；葉綠素 a 平均值為 13.8 mg/m³。

武洛溪水質之溶氧量平均值低，變異性也不高，表示溪水本身所含之溶氧值不高變化不大，水中溶氧量受溫度影響，由於水溫會影響生物活性、生化反應速率及氣體溶解度。溫度越高，水中飽和溶氧濃度會因水中微生物活性較高而有下降趨勢，武洛溪溪水因上游畜牧廢水造成河川水中含有大量有機物，加上流域地處較高溫地帶，在高溫環境影響下在溶氧量濃度低之情形下，武洛溪溶氧量濃度相對偏低，明顯受到有機物分解時耗掉大量溶氧有關。溶氧量濃度低氨氮不易轉換為硝酸鹽氮，造成氨氮濃度無法降低。濁度之平均值略高，武洛溪溪水顏色長年呈現黑色，尤以枯水期為最，濁度主要來源為黏土、砂土、有機及無機微粒、浮游生物及細菌，降雨時因沖蝕作用而將大量土壤帶入河川，土壤的礦物質及有機物質均會導致水體濁度的增加。濁度太高除影響外觀，亦阻止光滲透進而影響水中生物或植物。由於原水水質變因較多，受大環境因素影響大，在水質不穩定狀態下，監測數值之變異性也較大。

武洛河流域豐水期為每年 5 月至 10 月，枯水期為 11 月至翌年 4 月，由表 4.1-5 可發現監測項目枯水期之濃度明顯大於豐水期濃度，且豐水期之變異性大於枯水期，顯示武洛溪溪水各監測值於豐水期濃度變化較大，範圍分布較廣，枯水期濃度變化較小，但濃度上升，甚至生化需氧量、懸浮固體及化學需氧量皆出現高於 100 mg/L 之濃度。

將進流水水質以 RPI 與 WQI 表示，如表 4.1-6 所示，歷次監測數據之 RPI 指數介於 6-10 之間，皆為嚴重污染水質，以枯水期較為顯著，WQI₇ 介於 16-28 之間，顯示水體分類為惡劣，屬於水體不良，為環境保育最低標準；另觀 WQI₈，歷次監測數據介於 12-22 之間，顯示水體分類為不良（環境保育最低標準）或惡劣（可能發生臭味）。整體而言，武洛溪溪水歷次水質監測結果皆顯示河川水質為嚴重污染狀態。

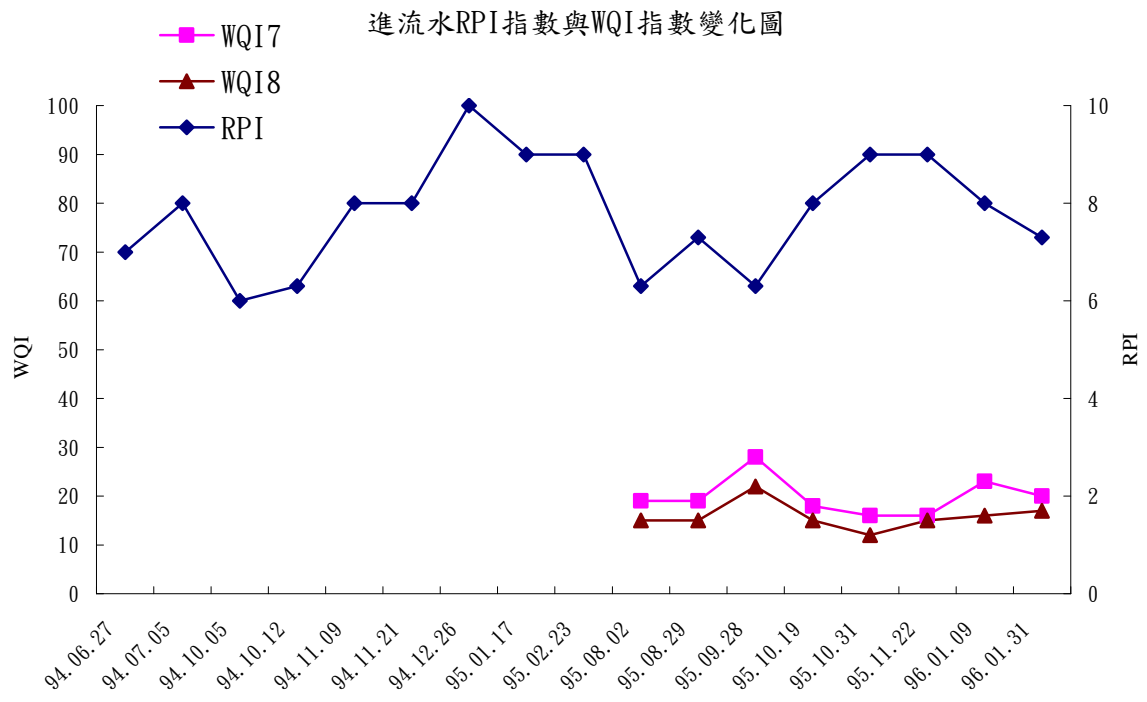


圖 4.1-1 進流水 RPI 與 WQI 指數變化圖

表 4.1-5 94-96 年歷次進流口水質監測

次數	日期	抽水量 (CMD)	pH	Temp (°C)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TP (mg/L)	TKN (mg/L)	正磷 酸鹽	NO ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	葉綠素 a (mg/m ³)
1	94.06.27	-	7.3	30.1	3.5	10.4	64.4	26.6	4.70	0.800	5.07	0.582	2.11	0.19	23.8
2	94.07.05	-	7.2	32.3	1.5	9.6	58.9	31.5	3.89	1.55	4.28	0.759	2.09	0.23	25.2
3	94.10.05	10,000	7.4	30.6	2.6	11.6	57.5	31.3	1.27	1.10	1.60	0.766	1.92	0.26	14.4
4	94.10.12	20,000	7.0	28.4	2.4	14.3	33.2	43.8	6.32	1.26	10.3	0.841	1.27	0.28	5.53
5	94.11.09	50,000	7.1	29.1	2.2	19.6	74.8	70.1	7.71	0.870	16.1	0.729	0.16	0.23	20.7
6	94.11.21	40,000	7.1	24.7	3.1	16.2	93.4	68.0	9.58	1.59	12.9	0.966	0.56	0.19	16.5
7	94.12.26	30,000	7.2	25.7	1.5	18.9	149	48.7	10.7	1.51	14.8	1.08	0.08	0.01	18.4
8	95.01.17	20,000	7.2	26.2	2.5	104	297	389	9.23	3.88	12.2	1.76	0.08	<0.01	21.5
9	95.02.23	30,000	7.6	27.2	2.3	103	178	623	15.3	3.88	21.5	1.70	0.12	<0.01	16.3
10	95.08.02	30,000	7.0	29.0	2.1	13.4	35.2	41.4	6.8	1.02	6.93	0.699	0.89	0.54	6.48
11	95.08.29	30,000	7.0	31.4	1.8	12.9	33.4	49.3	11.0	0.923	11.6	0.657	1.45	0.29	7.59
12	95.09.28	30,000	7.7	29.8	2.1	8.0	27.8	33.7	7.59	1.04	7.74	0.764	1.16	0.24	5.28
13	95.10.19	30,000	7.7	28.3	2.7	12.3	137	76.3	9.32	1.48	12.2	0.649	1.25	0.01	6.54
14	95.10.31	30,000	7.9	26.7	1.1	16.2	57.6	50.6	2.98	1.47	4.98	1.11	0.45	0.01	5.73
15	95.11.22	30,000	6.8	26.3	4.1	35.6	188	128	11.2	2.78	15.5	1.51	0.07	<0.01	13.1
16	96.01.09	30,000	7.4	22.8	4.2	17.3	64	81.9	8.61	1.57	13.8	1.03	0.15	0.12	13.3
17	96.01.31	20,000	7.9	20.0	5.1	32.2	89.8	107	9.78	1.47	10.6	0.919	0.08	0.01	14.8

表 4.1-6 進流水水質 RPI 與 WQI 指數一覽表

次數	日期	抽水量 (CMD)	RPI 指數	河川污染程度	WQI ₇ 指數	水質分類	WQI ₈ 指數	水質分類
1	94.06.27	-	7.0	嚴重污染	-	-	-	-
2	94.07.05	-	8.0	嚴重污染	-	-	-	-
3	94.10.05	10,000	6.0	嚴重污染	-	-	-	-
4	94.10.12	20,000	6.3	嚴重污染	-	-	-	-
5	94.11.09	50,000	8.0	嚴重污染	-	-	-	-
6	94.11.21	40,000	8.0	嚴重污染	-	-	-	-
7	94.12.26	30,000	10.0	嚴重污染	-	-	-	-
8	95.01.17	20,000	9.0	嚴重污染	-	-	-	-
9	95.02.23	30,000	9.0	嚴重污染	-	-	-	-
10	95.08.02	30,000	6.3	嚴重污染	19	惡劣	15	不良
11	95.08.29	30,000	7.3	嚴重污染	19	惡劣	15	不良
12	95.09.28	30,000	6.3	嚴重污染	28	惡劣	22	不良
13	95.10.19	30,000	8.0	嚴重污染	18	惡劣	15	不良
14	95.10.31	30,000	9.0	嚴重污染	16	惡劣	12	不良
15	95.11.22	30,000	9.0	嚴重污染	16	惡劣	15	不良
16	96.01.09	30,000	8.0	嚴重污染	23	惡劣	16	不良
17	96.01.31	20,000	7.3	嚴重污染	20	惡劣	17	不良

4.1.2 礫石過濾床

94-96 年歷次礫石過濾床水質監測數據如表 4.1-7，由表可知，武洛溪溪水經馬達抽上高程，並經礫石過濾床作用，溶氧由進流口平均濃度 2.6 mg/L 提升至 5.2 mg/L，顯示原水經由躍動作用後，溶氧量明顯提升有助於後段水質處理。另因適度的生物膜附著於礫石間，生化需氧量濃度經生物膜微生物耗用氧氣分解有機物而下降（由原水平均濃度 26.8 mg/L 下降為 14.0 mg/L），有助於水中有機物去除，同時經由初沉池及礫石床階梯中隙縫沉積作用，使得懸浮固體濃度下降（由原水平均濃度 96.4 mg/L 下降為 63.9 mg/L），濁度也略微下降，礫石過濾床在生化需氧量、懸浮固體及濁度上，較原水有明顯的改善。水質經處理後趨於穩定，監測數值變異性大致上較原水穩定，濃度變化較原水小，但氮類，如氨氮、總凱氏氮等，處理效果仍不佳。

由表 4.1-7 大致上可發現，監測項目於枯水期濃度較豐水期為高，監測數據變異性為枯水期大於豐水期，代表礫石床處理豐水期生化需氧量及磷等污染物濃度較穩定，當枯水期濃度上升，處理後之濃度變化較大，唯懸浮固體、氨氮等豐水期變異性大於枯水期變異性。

礫石過濾床水質如表 4.1-8 所示，歷次監測數據之 RPI 指數大多介於 4-7 之間，多屬中度污染或嚴重污染，主要受溶氧與氨氮影響較深，以枯水期指數較高，WQI₇ 大多介於 30-38 之間，參考表 4.1-4 WQI₇ 水質分類等級表，水體分類為不良，水質屬中下等（適灌溉用水、二級工業用水及戊類用途）；另觀 WQI₈，歷次監測數據介於 17-41 之間，參考表 4.1-2 WQI₈ 水質分類等級表，顯示水體分類多為不良（為環境保育最低標準）或惡或中下（適灌溉用水、二級工業用水及戊類用途）。整體而言，礫石過濾床之水質多屬中度或嚴重污染。

表 4.1-7 94-96 年歷次礫石過濾床水質監測

次數	日期	抽水量 (CMD)	pH	Temp (°C)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TP (mg/L)	TKN (mg/L)	正磷 酸鹽	NO ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	葉綠素 a (mg/m ³)
1	94.06.27	-	9.4	35.1	9.4	14.7	24.8	40.0	0.24	0.300	0.37	0.113	1.27	0.12	31.0
2	94.07.05	-	8.2	34.8	8.0	10.3	18.0	47.7	2.50	1.01	3.05	0.377	1.13	0.23	39.0
3	94.10.05	10,000	7.7	31.1	7.0	7.3	79.9	21.2	1.01	1.10	1.66	0.744	1.26	0.20	19.7
4	94.10.12	20,000	7.4	29.6	4.8	8.8	55.7	38.9	6.38	1.23	11.2	1.05	0.98	0.37	7.68
5	94.11.09	50,000	7.3	28.4	4.8	13.9	62.5	41.5	7.08	0.792	12.5	0.703	0.19	0.21	17.9
6	94.11.21	40,000	7.3	24.6	4.3	15.2	49.2	61.0	9.89	1.36	11.9	0.989	0.56	0.16	19.8
7	94.12.26	30,000	7.3	24.1	3.6	12.7	58.6	67.5	11.9	1.49	13.5	1.01	0.04	0.01	18.6
8	95.01.17	20,000	7.3	26.2	4.6	15.4	55.3	79.0	9.40	1.94	11.6	1.71	0.09	<0.01	6.80
9	95.02.23	30,000	7.6	28.0	3.7	15.6	58.7	65.7	15.1	2.20	17.2	1.31	0.12	<0.01	32.1
10	95.08.02	30,000	7.2	29.8	6.6	11.2	30.0	43.4	6.79	0.989	6.95	0.652	1.36	0.36	16.6
11	95.08.29	30,000	7.2	31.3	4.3	11.6	45.3	47.5	6.08	0.761	9.73	0.582	1.22	0.30	11.1
12	95.09.28	30,000	7.8	29.7	6.4	4.5	17.4	28.5	7.04	1.04	7.56	0.787	0.71	0.14	9.31
13	95.10.19	30,000	7.8	29.3	6.4	8.7	141	54.5	8.76	1.39	11.4	0.668	0.85	0.02	7.86
14	95.10.31	30,000	8.3	27.2	4.8	11.0	44.0	49.6	2.96	1.52	4.24	1.07	0.17	0.10	7.17
15	95.11.22	30,000	7.1	25.6	4.7	25.1	129	124	10.2	2.32	15.8	1.33	0.08	<0.01	21.4
16	96.01.09	30,000	7.7	22.8	6.8	15.1	52.8	80.0	8.31	1.56	12.7	0.987	0.12	0.12	19.5
17	96.01.31	20,000	8.0	20.4	5.2	33.7	79.5	125	8.86	1.50	11.0	0.895	0.08	<0.01	17.6

表 4.1-8 礫石過濾床水質 RPI 與 WQI 指數一覽表

次數	日期	抽水量 (CMD)	RPI 指數	河川污染程度	WQI ₇ 指數	水質分類	WQI ₈ 指數	水質分類
3	94.10.05	10,000	4.8	中度污染	-		-	
4	94.10.12	20,000	6.3	嚴重污染	-		-	
5	94.11.09	50,000	6.3	嚴重污染	-		-	
6	94.11.21	40,000	7.3	嚴重污染	-		-	
7	94.12.26	30,000	7.0	嚴重污染	-		-	
8	95.01.17	20,000	7.3	嚴重污染	-		-	
9	95.02.23	30,000	8.0	嚴重污染	-		-	
10	95.08.02	30,000	5.0	中度污染	38	不良	33	中下
11	95.08.29	30,000	6.3	嚴重污染	30	惡劣	21	不良
12	95.09.28	30,000	4.3	中度污染	45	不良	40	中下
13	95.10.19	30,000	7.3	嚴重污染	33	不良	30	不良
14	95.10.31	30,000	4.5	中度污染	30	惡劣	22	不良
15	95.11.22	30,000	8.3	嚴重污染	20	惡劣	18	不良
16	96.01.09	30,000	6.8	嚴重污染	32	不良	30	不良
17	96.01.31	20,000	7.3	嚴重污染	20	惡劣	21	不良

礫石過濾床RPI指數與WQI指數變化圖

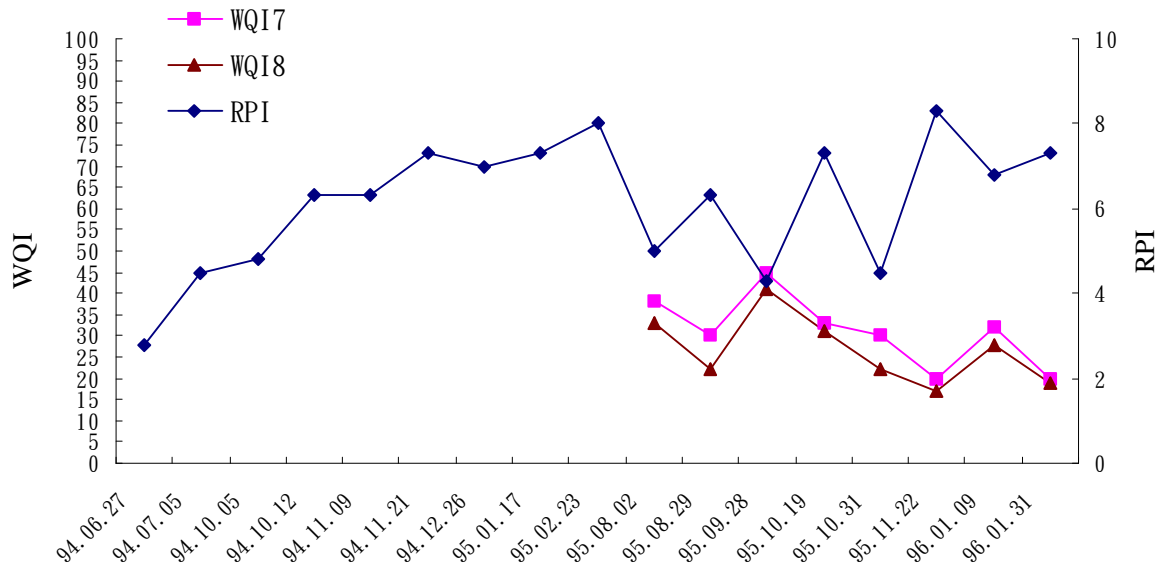


圖 4.1-2 礫石過濾床 RPI 與 WQI 指數變化圖

4.1.3 FWS 人工溼地

1、FWS 第一池

94-96 年 FWS 第一池歷次水質監測數據如表 4.1-9，由表可知，武洛溪溪水在經過一期工程初沉池、礫石過濾床、大蓮花池及小蓮花池一連串初步處理再經由 FWS 第一池人工溼地自然淨化，水中溶氧濃度因分解有機物質及化學作用而下降，生化需氧量、懸浮固體、化學需氧量及磷濃度亦較礫石床濃度低，且變異性亦較礫石床水質穩定，因上述項目濃度下降，使得濁度來源減少（有機、無機及大量膠體），濁度濃度大量下降，水質清澈，水質淨化結果使得大腸桿菌數減少，唯氨氮濃度下降不明顯。各監測項目枯水期濃度大致上大於豐水期濃度，在此情形下，受水質影響，濁度與大腸桿菌平均濃度於枯水期亦較豐水期為高。

FWS 第一池水質如表 4.1-12~14 所示，RPI 大多介於 4.5-5.8 之間，多屬中度污染，WQI₇ 介於 33-54 之間，水體分類屬於不良，水質屬中下等（適灌溉用水、二級工業用水及戊類用途）或普通（水質尚可，適三級公共用水）；WQI₈ 介於 27-46 之間，水體分類為不良（環境保育最低標準）或中下（適灌溉用水、二級工業用水及戊類用途）。

2、FWS 第二池

94-96 年 FWS 第二池水質監測數據如表 4.1-10，由表可知 FWS 第二池

之生化需氧量、化學需氧量、氮及磷等監測項目濃度變化性不大，但懸浮固體平均濃度卻明顯上升，由 FWS 第一池平均濃度 5.6 mg/L 上升至 17.5 mg/L，推測可能原因為 FWS 第一池出流口前之培地茅及水蠟燭生長茂盛，足以過濾懸浮固體物，而 FWS 第二池中生物化學及物理反應雖持續進行，但設計之浮島造成水道縮減，處理面積亦減少，在水生植物不如第一池茂盛之情形下，導致生化需氧量等監測值濃度無明顯減少趨勢，懸浮固體無法明顯去除，同時，FWS 長期生長茂盛之水芙蓉，阻隔水面，造成溶氧降低，有機物無法有效分解，當水芙蓉值腐爛週期亦造成懸浮固體升高，使得水質更加惡劣。

FWS 第二池水質如表 4.1-12~14 所示，歷次監測數據之 RPI 大多介於 4.5-6.0 之間，多屬中度污染， WQI_7 介於 25-47 之間，水體分類屬於不良，水質屬中下等（適灌溉用水、二級工業用水及戊類用途）或水體分類屬於普通，水質尚可（適三級公共用水）； WQI_8 歷次監測數據介於 26-46 之間，水體分類為不良（環境保育最低標準）或中下（適灌溉用水、二級工業用水及戊類用途）。

3、FWS 第三池

94-96 年歷次 FWS 第三池水質監測數據如表 4.1-11，與 FWS 第二池水質相較，FWS 第三池去除成效似乎不明顯，其各項監測項目之平均值與 FWS 第二池之平均濃度相近，變異性也相近，唯大腸桿菌數明顯下降。FWS 第三池水生植物不如第一池與第二池茂盛，無法有效處理有機物並阻隔懸浮固體，只能進行自然沉降，在面積不夠寬廣狀態下，較難使水中膠體有效沉降，並因水生植物較少，水芙蓉一旦生長，容易佔滿溼地，阻隔水面，溶氧減少，使得生態無法平衡，處理效能不佳，當水芙蓉開始腐敗，水質更加惡化，FWS 第三池設計鳥類棲息枕木及木橋等吸引鳥類棲息於此，鳥類排泄物亦有可能造成有機物濃度上升。

由表 4.1-11 可發現，各監測項目枯水期濃度大致上大於豐水期濃度。監測之濁度豐水期濃度大於枯水期濃度，初始歷石床污泥清除及風災修復工程等停機一段時間，開機後，溪水抽入溼地中，會造成短時間濁度上升，故於 95 年度 8 月份之濁度上升，後因水芙蓉生長茂盛並腐敗，使得水質濁度一直於偏高狀態，直至 12 月底進行水芙蓉清除作業，濁度才下降（如 96 年 1 月濁度監測濃度），懸浮固體亦有相同情形。

FWS 第一池至第三池水質如表 4.1-12~14 所示，歷次監測數據之 RPI 大多介於 4.3-5.8 之間，屬中度污染， WQI_7 介於 38-51 之間，水體分類為不良，

水質屬中下等（適灌溉用水、二級工業用水及戊類用途）或水體分類屬於普通，水質尚可（適三級公共用水）； WQI_8 ，歷次監測數據介於 26-42 之間，水體分類屬於不良（環境保育最低標準）或中下（適灌溉用水、二級工業用水及戊類用途）。

就 FWS 三池整體而言，RPI 指數總平均為 5.4，水質屬中度污染； WQI_7 指數總平均為 40，水體分類屬不良； WQI_8 指數總平均為 33，水體分類屬中下。

表 4.1-9 94-96 年歷次 FWS 第一池出流水水質監測

次數	日期	抽水量 (CMD)	pH	Temp (°C)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TP (mg/L)	TKN (mg/L)	正磷 酸鹽	NO ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	葉綠素 a (mg/m ³)
1	94.06.27	-	8.2	32.8	12.5	14.4	15.5	39.4	7.32	0.450	7.40	0.358	1.18	0.38	71.7
2	94.07.05	-	8.1	35.7	10.6	12.3	24.2	51.0	4.11	1.200	5.64	0.848	0.52	1.50	116
3	94.10.05	10,000	7.6	31.0	4.6	2.5	14.7	8.2	2.32	0.753	3.40	0.378	1.19	0.50	20.5
4	94.10.12	20,000	7.1	29.6	3.4	4.7	1.8	14.2	5.18	0.965	7.73	0.857	0.47	0.21	5.22
5	94.11.09	50,000	7.3	27.7	1.0	5.6	6.4	15.1	6.96	0.609	10.1	0.470	0.16	0.10	8.40
6	94.11.21	40,000	7.2	23.2	3.3	8.3	11.7	27.3	10.1	1.400	10.5	1.310	0.11	0.18	19.2
7	94.12.26	30,000	7.2	22.2	3.4	6.7	4.4	19.2	9.49	1.390	11.0	1.310	0.08	0.06	14.9
8	95.01.17	20,000	7.6	25.8	3.3	8.2	10.5	41.4	9.85	1.850	10.5	1.690	0.03	0.04	30.6
9	95.02.23	30,000	7.4	26.8	1.9	9.6	11.1	42.8	14.8	2.070	15.3	1.310	0.13	0.01	11.3
10	95.08.02	30,000	7.2	31.6	3.8	2.2	2.5	11.2	3.89	0.726	4.6	0.710	0.50	0.38	15.4
11	95.08.29	30,000	7.1	31.9	2.6	3.2	0.7	13.2	5.33	0.450	7.59	0.440	0.60	0.24	17.5
12	95.09.28	30,000	7.6	30.0	3.7	2.9	3.3	12.2	4.67	0.616	6.06	0.567	0.22	0.18	12.2
13	95.10.19	30,000	7.5	28.5	2.0	3.5	4.7	18.7	5.6	1.050	7.71	0.648	0.30	0.03	6.10
14	95.10.31	30,000	7.9	27.0	2.9	5.5	2.9	18.7	3.08	1.140	4.55	1.040	0.27	0.03	6.16
15	95.11.22	30,000	6.9	26.3	2.5	4.7	3.2	19.3	8.18	1.240	8.2	1.150	0.16	0.03	8.67
16	96.01.09	30,000	7.2	22.1	4.9	10.6	4.6	22.5	7.04	1.240	12.5	1.130	0.13	0.02	9.85
17	96.01.31	20,000	7.6	20.3	3.5	5.4	5.9	20.0	10.9	1.640	11.2	1.590	0.06	0.02	10.5

表 4.1-10 94-96 年歷次 FWS 第二池出流水水質監測

次數	日期	抽水量 (CMD)	pH	Temp (°C)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TP (mg/L)	TKN (mg/L)	正磷 酸鹽	NO ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	葉綠素 a (mg/m ³)
1	94.06.27	-	7.8	31.9	12.4	15.4	18.8	37.3	7.73	0.850	7.77	0.475	1.04	0.49	33.2
2	94.07.05	-	7.7	36.2	4.2	8.8	11.9	36.5	3.32	2.200	4.61	0.138	0.12	0.17	4.66
3	94.10.05	10,000	7.9	30.8	4.2	7.0	94.6	20.3	0.45	0.234	0.98	0.148	0.60	0.33	54.4
4	94.10.12	20,000	7.3	30.4	3.8	4.4	36.2	13.4	5.15	0.902	7.88	0.822	0.33	0.18	7.52
5	94.11.09	50,000	7.2	27.4	1.4	3.1	2.8	10.9	7.22	0.603	10.2	0.522	0.17	0.15	10.4
6	94.11.21	40,000	7.2	23.2	3.1	4.1	8.2	20.9	10.3	1.420	11.6	1.380	0.25	0.12	15.1
7	94.12.26	30,000	7.3	22.4	5.2	7.5	5.2	20.7	10.1	1.410	11.8	1.250	0.17	0.13	23.6
8	95.01.17	20,000	7.4	23.8	2.8	12.2	10.7	42.0	9.53	2.710	12.0	2.070	0.02	<0.01	30.7
9	95.02.23	30,000	7.2	25.0	1.6	11.2	15.2	59.7	12.8	2.330	14.9	1.730	0.14	0.14	14.9
10	95.08.02	30,000	7.0	31.8	3.1	2.1	5.5	14.4	5.80	0.741	5.94	0.737	0.74	0.23	13.3
11	95.08.29	30,000	7.0	31.5	1.5	6.5	26.3	22.9	5.96	0.802	7.09	0.670	0.17	0.17	15.2
12	95.09.28	30,000	7.5	29.8	2.6	3.2	10.6	19.1	6.83	1.070	6.92	0.936	0.12	0.03	18.6
13	95.10.19	30,000	7.4	27.5	2.6	3.1	16.8	18.6	5.61	1.810	7.44	0.643	0.23	0.01	8.48
14	95.10.31	30,000	8.0	26.8	2.0	5.3	8.4	23.5	3.02	1.260	4.57	1.210	0.13	0.01	7.43
15	95.11.22	30,000	7.0	26.6	2.5	7.9	13.8	26.3	7.4	1.840	8.26	1.330	0.14	0.03	22.2
16	96.01.09	30,000	7.2	19.8	3.3	5.1	4.6	28.4	10.8	1.600	11.7	1.490	0.07	0.01	10.1
17	96.01.31	20,000	7.4	20.0	3.3	3.2	3.6	17.5	9.33	1.130	10.5	1.100	0.35	0.27	10.9

表 4.1-11 94-96 年歷次 FWS 第三池出流水水質監測

次數	日期	抽水量 (CMD)	pH	Temp (°C)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TP (mg/L)	TKN (mg/L)	正磷 酸鹽	NO ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	葉綠素 a (mg/m ³)
1	94.06.27	-	7.9	34.5	5.1	5.4	27.1	24.1	5.76	0.700	6.25	0.510	0.17	0.18	5.95
2	94.07.05	-	7.5	34.4	4.0	17.4	35.0	48.8	3.40	1.500	4.06	1.010	0.06	0.01	12.5
3	94.10.05	10,000	8.5	30.8	5.2	6.3	110	27.5	0.54	0.401	0.75	0.095	0.49	0.16	64.4
4	94.10.12	20,000	7.5	31.4	6.1	5.6	82.8	18.0	5.01	0.875	7.35	0.754	0.30	0.18	8.83
5	94.11.09	50,000	7.3	28.3	3.5	4.4	31.3	12.5	6.03	0.555	9.51	0.490	0.29	0.17	19.4
6	94.11.21	40,000	7.3	23.6	4.7	5.1	17.4	19.5	9.47	1.400	9.69	1.310	0.17	0.12	30.0
7	94.12.26	30,000	7.4	23.6	5.3	5.4	25.3	19.3	10.1	1.500	10.9	1.380	0.39	0.16	58.8
8	95.01.17	20,000	8.2	28.4	3.6	9.0	9.5	32.0	7.37	1.930	9.72	1.410	0.35	0.24	16.4
9	95.02.23	30,000	7.2	25.8	2.5	10.3	20.7	61.7	13.7	2.390	14.7	1.360	0.32	0.03	25.2
10	95.08.02	30,000	7.2	32.0	4.9	2.7	54.3	10.4	5.75	0.761	5.95	0.716	0.19	0.16	9.14
11	95.08.29	30,000	7.2	31.6	4.3	3.2	42.8	14.5	4.81	0.771	6.84	0.635	0.08	0.07	10.5
12	95.09.28	30,000	7.7	32.6	3.9	3.0	29.5	16.9	6.58	1.040	6.75	0.886	0.06	0.03	11.6
13	95.10.19	30,000	7.5	30.2	6.1	5.9	20.3	37.7	7.73	1.380	8.63	0.626	0.11	0.03	5.43
14	95.10.31	30,000	7.9	27.1	4.5	6.1	72.8	29.8	2.85	1.150	3.96	1.070	0.29	0.01	7.90
15	95.11.22	30,000	7.1	26.5	6.3	5.7	31.6	18.5	7.60	1.440	9.14	1.310	0.15	0.06	7.58
16	96.01.09	30,000	7.4	21.1	5.3	3.9	6.5	21.1	10.0	1.300	10.4	1.180	0.20	0.18	11.6
17	96.01.31	20,000	7.4	19.3	5.3	4.4	3.4	20.3	8.98	1.170	9.61	1.060	0.52	0.27	6.11

表 4.1-12 FWS 第一池至第三池水質 RPI 指數一覽表

次數	日期	抽水量 (CMD)	FWS 第一池		FWS 第二池		FWS 第三池	
			RPI 指數	河川污染程度	RPI 指數	河川污染程度	RPI 指數	河川污染程度
3	94.10.05	10,000	2.8	輕度污染	4.8	中度污染	5.5	中度污染
4	94.10.12	20,000	5.0	中度污染	5.5	中度污染	6.3	嚴重污染
5	94.11.09	50,000	6.8	嚴重污染	6.0	嚴重污染	5.5	中度污染
6	94.11.21	40,000	5.8	中度污染	5.0	中度污染	5.0	中度污染
7	94.12.26	30,000	3.8	中度污染	5.0	中度污染	5.5	中度污染
8	95.01.17	20,000	5.8	中度污染	5.8	中度污染	5.8	中度污染
9	95.02.23	30,000	6.8	嚴重污染	6.8	嚴重污染	6.3	嚴重污染
10	95.08.02	30,000	4.5	中度污染	4.5	中度污染	5.0	中度污染
11	95.08.29	30,000	5.0	中度污染	7.3	嚴重污染	5.5	中度污染
12	95.09.28	30,000	4.5	中度污染	6.3	嚴重污染	5.5	中度污染
13	95.10.19	30,000	5.0	中度污染	5.0	中度污染	5.4	中度污染
14	95.10.31	30,000	5.8	中度污染	5.8	中度污染	5.3	中度污染
15	95.11.22	30,000	5.0	中度污染	5.8	中度污染	5.5	中度污染
16	96.01.09	30,000	5.8	中度污染	5.8	中度污染	4.3	中度污染
17	96.01.31	20,000	5.8	中度污染	5.0	中度污染	4.3	中度污染

表 4.1-13 FWS 第一池至第三池水質 WQI₇ 指數一覽表

次數	日期	抽水量 (CMD)	FWS 第一池		FWS 第二池		FWS 第三池	
			WQI ₇ 指數	水質分類	WQI ₇ 指數	水質分類	WQI ₇ 指數	水質分類
3	94.10.05	10,000	-	-	-	-	-	-
4	94.10.12	20,000	-	-	-	-	-	-
5	94.11.09	50,000	-	-	-	-	-	-
6	94.11.21	40,000	-	-	-	-	-	-
7	94.12.26	30,000	-	-	-	-	-	-
8	95.01.17	20,000	-	-	-	-	-	-
9	95.02.23	30,000	-	-	-	-	-	-
10	95.08.02	30,000	54	普通	47	不良	45	不良
11	95.08.29	30,000	38	不良	25	惡劣	45	不良
12	95.09.28	30,000	48	不良	39	不良	43	不良
13	95.10.19	30,000	33	不良	33	不良	47	不良
14	95.10.31	30,000	37	不良	34	不良	38	不良
15	95.11.22	30,000	34	不良	25	惡劣	44	不良
16	96.01.09	30,000	34	不良	34	不良	51	普通
17	96.01.31	20,000	41	不良	38	不良	50	不良

表 4.1-14 FWS 第一池至第三池水質 WQI₈ 指數一覽表

次數	日期	抽水量 (CMD)	FWS 第一池		FWS 第二池		FWS 第三池	
			WQI ₈ 指數	水質分類	WQI ₈ 指數	水質分類	WQI ₈ 指數	水質分類
3	94.10.05	10,000	-	-	-	-	-	-
4	94.10.12	20,000	-	-	-	-	-	-
5	94.11.09	50,000	-	-	-	-	-	-
6	94.11.21	40,000	-	-	-	-	-	-
7	94.12.26	30,000	-	-	-	-	-	-
8	95.01.17	20,000	-	-	-	-	-	-
9	95.02.23	30,000	-	-	-	-	-	-
10	95.08.02	30,000	46	中下	42	中下	37	中下
11	95.08.29	30,000	33	中下	21	不良	37	中下
12	95.09.28	30,000	40	中下	32	中下	35	中下
13	95.10.19	30,000	27	不良	26	不良	40	中下
14	95.10.31	30,000	31	中下	29	不良	26	不良
15	95.11.22	30,000	28	不良	20	不良	41	中下
16	96.01.09	30,000	26	不良	28	不良	41	中下
17	96.01.31	20,000	35	中下	31	中下	42	中下

4.1.4 出流口水質分析

94-96 年歷次出流口水質監測數據如表 4.1-15，比對 FWS 第三池數據與出流口水質數據，出流口之生化需氧量、懸浮固體物、化學需氧量濃度皆有減少趨勢，濁度濃度與大腸桿菌數下降明顯，兩者變異性較 FWS 第三池低，水質較穩定。主要為出流口前之沉澱池發揮效用，當水流由溼地流至沉澱池，流速減緩，雖無茂盛之水生植物，但其緩慢之流速足以自然沉澱作用得以進行，水中微生物亦可進行些微的生化作用，當水芙蓉生長茂盛之時會擴展至沉澱池，水質受影響，但如同 FWS 第一池出流口前茂盛水生植物作用，出流口前設置礫石將水質再次過濾，使得懸浮固體濃度下降，氮類之去除由第一工程之處理至溼地再至出流口，濃度下降始終不明顯，本身武洛溪溪水水質就富含有機物質，水生植物雖有吸收氮氮之作用，但對於高濃度之氮氮去除仍有限，尤其當水芙蓉吸收氮氮大量生長，易使溼地生態溼地平衡，水質再次惡化，且溶氧量低不足以使氮氮轉換成硝酸鹽氮等物質。

由表 4.1-15 可發現，各監測項目枯水期濃度大於豐水期濃度。由第一期工程之監測點至出流口，監測項目所呈現數據幾乎為枯水期大於豐水期濃度，由於原水水質枯水期濃度就較豐水期為高，且相差幅度大，故計算最終去除率時，出流口枯水期濃度雖較豐水期濃度大，但濃度差異減少情形下，顯出枯水期去除率大於豐水期去除率。

出流口水質如圖 4.1-3 所示，歷次監測數據之 RPI 指數介於 4-6 之間，皆為中度污染， WQI_7 介於 37-49 之間，水體分類為不良，水質屬中下等，適灌溉用水，二級工業用水及戊類用水； WQI_8 歷次監測數據介於 28-40 之間，水體分類屬於不良（環境保育最低標準）或中下（適灌溉用水、二級工業用水及戊類用水）。整體而言，武洛溪溪水水質經溼地系統淨化後有提升之趨勢。

表 4.1-15 94-96 年出流口水質監測

次數	日期	抽水量 (CMD)	pH	Temp (°C)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TP (mg/L)	TKN (mg/L)	正磷 酸鹽	NO ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	葉綠素 a (mg/m ³)
1	94.06.27	-	7.8	33.2	5.2	6.4	9.6	26.7	1.65	0.450	2.75	0.359	0.23	0.38	10.6
2	94.07.05	-	7.6	35.2	6.0	7.8	9.7	31.1	3.01	1.000	3.65	0.892	0.23	0.02	14.7
3	94.10.05	10,000	8.2	30.4	4.9	12.1	45.2	34.9	0.47	0.064	0.79	0.019	0.32	0.07	66.5
4	94.10.12	20,000	7.6	30.6	5.3	6.9	54.6	20.0	4.67	0.425	5.94	0.296	1.14	0.37	34.1
5	94.11.09	50,000	7.1	26.7	1.1	3.6	4.5	10.3	5.51	0.521	7.94	0.410	0.51	0.16	26.1
6	94.11.21	40,000	7.1	23.2	2.6	3.2	5.6	11.0	8.35	1.210	9.11	1.140	0.49	0.27	15.9
7	94.12.26	30,000	7.3	20.6	2.5	7.0	6.4	17.5	11.2	1.900	12.6	1.240	0.62	0.14	16.0
8	95.01.17	20,000	7.2	23.8	2.7	5.1	14.1	23.3	7.42	2.230	9.35	1.640	0.17	0.13	7.44
9	95.02.23	30,000	7.1	24.6	2.7	5.3	4.4	25.3	8.90	2.200	10.0	1.490	0.37	0.14	3.01
10	95.08.02	30,000	7.2	32.4	4.4	2.7	43.7	13.8	4.96	0.698	5.09	0.597	0.30	0.21	7.44
11	95.08.29	30,000	7.1	32.0	2.9	4.0	43.3	14.7	4.57	1.170	6.89	0.656	0.29	0.10	7.91
12	95.09.28	30,000	7.9	30.8	5.1	4.5	35.9	20.7	6.19	0.743	6.34	0.599	0.17	0.04	8.48
13	95.10.19	30,000	7.7	28.3	3.8	2.7	54.1	17.6	6.57	1.280	8.40	0.687	0.15	0.09	4.25
14	95.10.31	30,000	7.6	26.2	0.9	4.6	8.1	15.2	2.79	1.200	3.75	1.190	0.16	0.26	5.71
15	95.11.22	30,000	7.2	26.4	3.0	3.7	8.9	15.9	7.12	1.150	7.66	1.390	0.58	0.11	2.34
16	96.01.09	30,000	7.1	19.0	3.6	2.7	0.7	12.8	5.89	1.230	6.32	1.200	3.16	0.10	1.19
17	96.01.31	20,000	7.4	19.5	3.3	3.8	10.2	18.9	6.24	0.971	8.32	0.943	1.47	0.33	32.4

表 4.1-16 出流口水質 RPI 與 WQI 指數一覽表

次數	日期	抽水量 (CMD)	RPI 指數	河川污染程度	WQI ₇ 指數	水質分類	WQI ₈ 指數	水質分類
3	94.10.05	10,000	4.0	中度污染	-		-	
4	94.10.12	20,000	5.5	中度污染	-		-	
5	94.11.09	50,000	6.0	嚴重污染	-		-	
6	94.11.21	40,000	5.0	中度污染	-		-	
7	94.12.26	30,000	5.8	中度污染	-		-	
8	95.01.17	20,000	5.8	中度污染	-		-	
9	95.02.23	30,000	5.8	中度污染	-		-	
10	95.08.02	30,000	5.0	中度污染	44	不良	35	中下
11	95.08.29	30,000	5.5	中度污染	40	不良	31	中下
12	95.09.28	30,000	4.8	中度污染	49	不良	41	中下
13	95.10.19	30,000	5.8	中度污染	44	不良	36	中下
14	95.10.31	30,000	5.0	中度污染	37	不良	28	不良
15	95.11.22	30,000	5.0	中度污染	41	不良	34	中下
16	96.01.09	30,000	4.5	中度污染	46	不良	40	中下
17	96.01.31	20,000	5.0	中度污染	43	不良	36	中下

出流口RPI指數與WQI指數變化圖

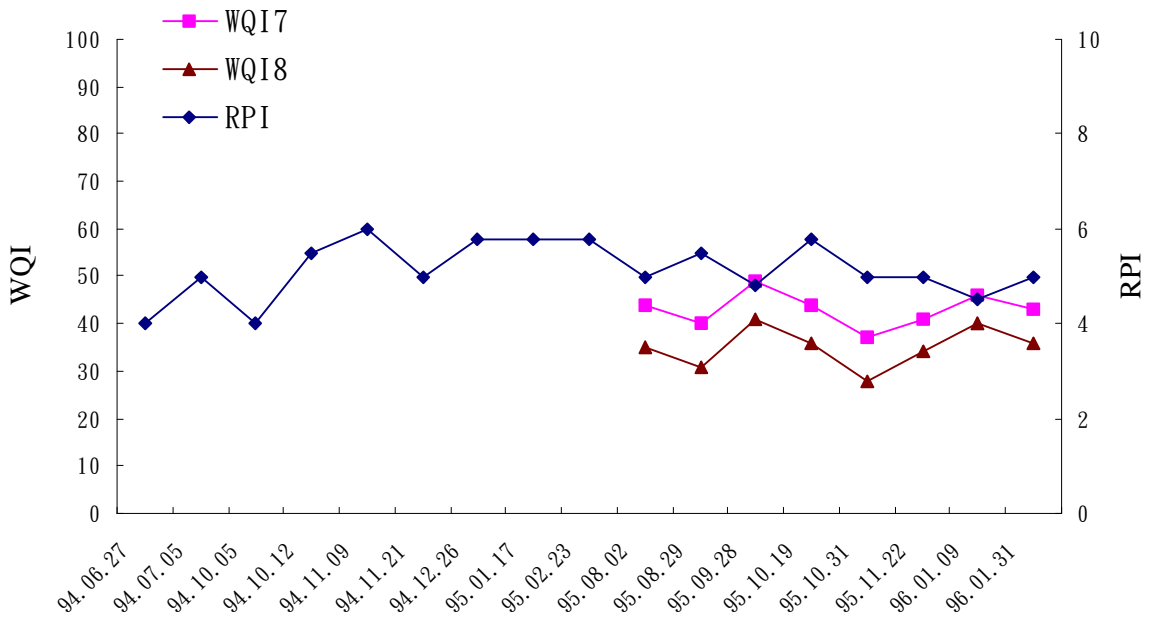


圖 4.1-3 出流口 RPI 與 WQI 指數變化

綜整原水至出流口水質變化，武洛溪溪水由於上游畜牧廢水排放加上流域溫度較高，溶氧濃度低，長年水質呈現黑色，歷年水質 RPI 指數皆為嚴重污染，WQI₈ 指數顯示水體分類為不良或惡劣，WQI₇ 指數顯示水體分類為惡劣，皆可看出水質惡化程度。礫石床適度的生物膜有助於生化需氧量去除，初沉池及礫石床階梯中縫隙沉積作用使得懸浮固體濃度下降，水質經礫石床處理後監測數值變異性減少，水質穩定且較原水有明顯改善。

武洛溪溪水在經過一期工程初沉池、礫石過濾床、大蓮花池及小蓮花池一連串初步處理流入 FWS 人工溼地，以歷次研究監測數據看來，第一池應為三池中平均處理效能最佳之溼地，可藉由生物化學作用有效分解有機物質，並經由茂盛之水生植物過濾懸浮物質，降低水中污染物質，達到水質淨化成效，第二池面積雖與第一池相同，但因前端浮島之設置造成水道縮減，處理面積減少，水生植物不如第一池茂盛，處理效能不如第一池佳，FWS 第三池水生植物不如第一池與第二池茂盛，無法有效處理有機物並阻隔懸浮固體，只能進行自然沉降，在面積不夠寬廣狀態下，較難使水中膠體有效沉降，並因水生植物較少，水芙蓉一旦生長，水質容易惡化，且鳥類棲息增加有機物負擔，故無法達到 FWS 第一池之處理成效。比較出流口數據，生化需氧量、懸浮固體、化學需氧量等皆有較 FWS 第三池監測濃度下降之趨勢，懸浮固體減少情形下，濁度相對減少，水質改善結果，大腸桿菌數亦隨之降低，

主要由於沉澱池自然沉降作用並利用微生物進行些許有機物分解，而出流口前設置之礫石如同 FWS 第一池出流口前水生植物作用，再次過濾懸浮固體，達到去除效果，致使出流口水質得到改善，RPI 指數由原水所呈現的嚴重污染提升至中度污染，唯氮但無法獲得明顯去除效果。原水水質經人工溼地一連串作用，於 FWS 第二池及第三池雖亦受水芙蓉等其他因素影響，但整體看來仍具一定水質淨化成效，若能徹底解決溼地內水芙蓉問題，應可再提升武洛溪溼地之效益。

4.2 水質改善效能分析

針對抽水量 10,000 CMD 至 50,000 CMD 作水質監測，並討論各抽水量對溼地之淨化成效，監測結果發現抽水量於 30,000 CMD 至 50,000 CMD 時，生化需氧量與懸浮固體之去除效果較明顯，氨氮濃度則無明顯下降趨勢。為考量馬達損壞率，並維持長期間相同之抽水量，選擇以抽水量 30,000 CMD 作為主要運作水量，惟最後 2 次監測為增加低抽水量之數據，設為 20,000 CMD 及 10,000 CMD 抽水量以利觀察。以下數值分為第一期水質改善效能(進流口水質至收集槽水質)、第二期水質改善效能(收集槽水質至放流口水質)及整個溼地水質變化作一分析，並加上以往研究監測數據作一統整分析。

4.2.1 第一期水質改善效能

95 年度水質於第一期工程效能呈現如表 4.2-1，原設計值當抽水 50,000 CMD 時，生化需氧量於第一期工程改善效能去除率可達 30% 或濃度低於 25 mg/L，以今年抽水量主要為 30,000 CMD 來看，由表 4.2-1 可知第一期工程中，生化需氧量去除率最高可達 68.6%（96 年 1 月 31 日，抽水量 20,000 CMD），下降濃度為 22.1 mg/L，其餘皆介於 39-53% 之間，僅 95 年 8 月 2 日至 9 月 28 日水質監測結果生化需氧量去除率未達 30%，因此 2 次監測時間正值豐水期，進流口濃度不高，大約介於 8-16 mg/L，即使去除效果未達設計之去除率，但收集槽最終濃度仍低於 25 mg/L，當接近枯水期，水量逐漸減少，污染濃度明顯增加，生化需氧量於進流口濃度可達約 17-36 mg/L，此時去除效果漸明顯，皆可達 30% 以上。

在生化需氧量部分，今年度初期為恢復礫石過濾床處理效能，進行礫石床污泥清除工程，由表 4.2-2 可知，原水水質經礫石床處理後濃度大約可降至 3 mg/L 以上，最初 2 次監測結果顯示，礫石床削減生化需氧量濃度僅約 1~2 mg/L，推測應為礫石床清理後石階上及礫石縫中之生物膜需一段時間重新培養，後續監測數據已有削減濃度上升之趨勢，今年度枯水期原水濃度雖未如去年度計畫監測到高於 100 mg/L 生化需氧量數據，經礫石過濾床處理後，最大去除濃度仍可達 10.5 mg/L，經收集槽再次淨化後，濃度最大可降低 16.6 mg/L。

懸浮固體方面，第一期工程原設計值去除率應可達 50% 或濃度低於 65 mg/L，今年度 95 年 8 月 2 日至 9 月 28 日水質監測結果，因 8 月及 9 月正值豐水期仍有降雨緣故，原水濃度較低，約為 27~35 mg/L，第一期工程去除率最高僅達 43.2%，但由於原水本身濃度不高，收集槽出口最終濃度仍可低於設計值 65 mg/L，約 16~23 mg/L，10 月份後水量逐漸減少，懸浮固體濃度漸增，達 58-188 mg/L，去除效果亦較明顯，最大去除率可達 67.4%，最大可去除約 80 mg/L 的懸浮固體，初沉池及礫石床石階間縫隙可沉積小部份物質略為降低懸浮物質，收集槽亦可提供少量懸浮物質進行沉降作用。

溶氧部分，表 4.2-3 為第一期工程溶氧值變化，當進流口水質經礫石過濾床跌水作用，溶氧大約可增加 3-5 mg/L，經收集槽（小蓮花池）溶氧呈現遞減狀態，收集槽主要介水面傳遞溶氧，在無擾動及進行淨化作用（微生物分解有機物作用）下，溶氧自然減少。濁度及化學需氧量之削減與懸浮固體及生化需氧量有著密切關係，於枯水期成效較豐水期明顯。

表 4.2-1 第一期工程去除率一覽表

單位：%

	20060802	20060829	20060928	20061019	20061031	20061122	20070109	20070131
導電度	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0
濁度	18.2	26.9	44.4	25.0	44.8	48.3	70.9	62.0
亞硝酸鹽氮	40.7	0.0	58.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
硝酸鹽氮	0.0	28.3	59.5	51.2	62.2	0.0	0.0	0.0
正磷酸鹽	0.0	10.2	0.0	0.6	0.0	9.9	0.0	0.0
生化需氧量	24.6	4.7	27.5	52.9	48.8	46.6	38.7	68.6
懸浮固體	35.8	9.9	43.2	61.2	67.4	43.1	60.0	63.3
化學需氧量	0.0	23.9	10.7	56.5	23.9	20.3	42.5	59.8
氨氮	0.0	40.7	0.0	10.7	0.0	8.0	0.0	4.7
凱氏氮	0.0	21.4	0.0	4.1	0.0	6.5	7.3	4.7
總磷	5.9	16.8	0.0	5.4	6.8	24.8	11.5	0.0
大腸桿菌群	47.0	0.0	0.0	42.1	13.8	0.0	0.0	25.9
葉綠素a	0.0	0.0	0.0	20.0	7.9	0.0	0.0	30.4

表 4.2-2 第一期工程生化需氧量變化值

單位：mg/L

日期	進流口 (In)	礫石出口 (Out)	進流口至礫石 床出流口 濃度變化 (Out-In)	收集槽 (Collect)	礫石床出流口至收集槽 濃度變化 (Collect-Out)
95.08.02	13.4	11.2	-2.2	10.1	-1.1
95.08.29	12.9	11.6	-1.3	12.3	0.7
95.09.28	8	4.5	-3.5	5.8	1.3
95.10.19	12.3	8.7	-3.6	5.8	-2.9
95.10.31	16.2	11	-5.2	8.3	-2.7
95.11.22	35.6	25.1	-10.5	19	-6.1
96.01.09	17.3	15.1	-2.2	10.6	-4.5
96.01.31	32.2	33.7	1.5	10.1	-23.6

註：正值表示濃度增加，負值表示濃度減少。

表 4.2-3 第一期工程溶氧值變化

單位：mg/L

日期	進流口	礫石出口	進流口至礫石床出口 濃度變化	收集槽	礫石床出口至收集槽 濃度變化
95.08.02	2.1	6.6	4.5	5.1	-1.5
95.08.29	1.8	4.3	2.5	4.7	0.4
95.09.28	2.1	6.4	4.3	5.4	-1
95.10.19	2.7	6.4	3.7	3.8	-2.6
95.10.31	1.1	4.8	3.7	2.6	-2.2
95.11.22	4.1	4.7	0.6	5.2	0.5
96.01.09	4.2	6.8	2.6	4.9	-1.9
96.01.31	5.1	5.2	0.1	6.4	1.2

註：正值表示濃度增加，負值表示濃度減少。

4.2.2 第二期水質改善效能

第二期工程效能呈現如表 4.2-4，原設計值抽水 50,000 CMD 時，生化需氧量於第二期工程改善效能去除率可達 60% 或濃度低於 10 mg/L，今年抽水量大多為 30,000 CMD，為 96 年 1 月 31 日抽水量為 20,000 CMD，今以收集槽至出口濃度計算第二期工程處理成效，彙整成表 4.2-4，生化需氧量去除率除 95 年 9 月 28 日至 95 年 10 月 31 日介於 22-54% 之外（出口最終濃度為 6-8 mg/L），其餘監測數據計算之去除率皆達設計值，去除率皆大於 60%，最大去除率可達 80.5%，最大去除濃度可達 15.3 mg/L，95 年 9 月 28 日至 95 年 10 月 31 日去除效果未達設計標準，因其於收集槽之生化需氧量濃度僅約介於 6-8 mg/L，低濃度導致去除效果不明顯，其出口最終濃度仍達設計標準（小於 10 mg/L），表 4.2-5 為生化需氧量於 3 座 FWS 人工溼地濃度變化，顯然於 3 座人工溼地中，FWS 第一池淨化效果最佳，歸功於溼地內豐富之水生植物有利於淨化成效及阻隔懸浮物體，FWS 第二池及第三池則易受水芙蓉及棲息鳥類排泄物而影響淨化成效，出口最終濃度之呈現則趨於好轉，歸功於沉澱池有效分解些許的有機物及沉降懸浮固體，並藉由出口設置之礫石再次過濾懸浮固體。

化學需氧量與生化需氧量去除率變化圖如圖 4.2-1，兩者趨勢線大致相近，代表化學需氧量與生化需氧量去除率之變化相近，兩者濃度削減之交叉分析如圖 4.2-2，削減濃度極相關，去除率變化圖及削減濃度交叉分析圖顯示水質中並無存在大量生物不易分解之物質。

懸浮固體第二期工程中呈現之去除效果，至 95 年 10 月 31 日監測值始具去除效果，其最大去除率可達 97.3%，最大去除濃度可達 98.1 mg/L，其中 95 年 10 月 31 日去除率雖未達到設計值（僅 56.9%），但出流口最終濃度小於 20 mg/L，仍達處理最終濃度，計畫初期 4 次監測結果顯示懸浮固體最終去除率為 0%，仔細探究，表 4.2-6，收集槽至 FWS 第一池懸浮固體濃度呈現下降趨勢，且削減量明顯，最大可達 103.8 mg/L，至 FWS 第二池濃度增加，FWS 第三池亦有相同情形，直至 96 年度監測結果才略有改善並提升削減量，因溼地水芙蓉生長茂盛，對水質影響頗大，加上水芙蓉有一定之生長週期，當正值腐敗期時，水質惡化更加明顯，FWS 第一池出流口前因水生植物茂密，可確實阻擋懸浮物質達到過濾效果，FWS 第二及第三池水生植物不如第一池茂密，且水芙蓉之腐敗往往由第二池及第三池開始，促使懸浮物質增加，此情形直至 95 年 12 月底進行水芙蓉清除作業後，情形有所改善，懸浮固體去除效果最佳部份為收集槽至 FWS 第一池出流口及 FWS 第三池出流口至出流口之間。

濁度去除效果與與懸浮固體相似，第二期工程濁度與懸浮固體去除率變化圖如圖 4.2-3，削減濃度交叉分析如圖 4.2-4，兩者去除效率相近且削減濃度相關，表示濁度深受懸浮固體影響，第二期工程中 大腸桿菌去除效果極佳，去除率大部分為 97% 以上，氨氮去除效果僅維持於約 20-30%，成效並不明顯。

表 4.2-4 第二期工程去除率一覽表

	20060802	20060829	20060928	20061019	20061031	20061122	20070109	20070131
導電度	0.0	19.4	6.0	8.7	9.2	20.1	4.1	20.5
濁度	0.0	0.0	0.0	0.0	61.9	82.6	96.9	54.7
亞硝酸鹽氮	34.4	66.7	60.0	0.0	0.0	0.0	16.7	0.0
硝酸鹽氮	76.7	72.1	63.8	75.4	5.9	0.0	0.0	0.0
正磷酸鹽	15.2	0.0	34.5	0.0	7.8	0.0	0.0	34.5
生化需氧量	73.3	67.5	22.4	53.5	44.6	80.5	74.5	62.4
懸浮固體	0.0	0.0	0.0	0.0	56.9	91.7	97.3	69.1
化學需氧量	70.9	60.8	31.2	47.0	60.5	84.4	72.8	56.1
氨氮	30.4	29.9	30.9	21.0	19.8	30.9	33.1	33.1
凱氏氮	30.6	24.5	30.1	28.2	31.8	47.2	50.6	17.6
總磷	27.3	0.0	37.6	8.6	12.4	27.8	11.5	42.5
大腸桿菌群	89.7	99.1	99.1	99.0	98.4	97.6	100.0	99.9
葉綠素a	43.2	15.7	26.9	18.7	0.0	87.9	93.5	0.0

表 4.2-5 第二期工程生化需氧變化值

日期	收集槽	第一池	收集槽至 第一池	第二池	第一池至 第二池	第三池	第二池至 第三池	出流口	第三池至 出流口
95.08.02	10.1	2.2	-7.9	2.1	-0.1	2.7	0.6	2.7	0
95.08.29	12.3	3.2	-9.1	6.5	3.3	3.2	-3.3	4	0.8
95.09.28	5.8	2.9	-2.9	3.2	0.3	3	-0.2	4.5	1.5
95.10.19	5.8	3.5	-2.3	3.1	-0.4	5.9	2.8	2.7	-3.2
95.10.31	8.3	5.5	-2.8	5.3	-0.2	6.1	0.8	4.6	-1.5
95.11.22	19	4.7	-14.3	7.9	3.2	5.7	-2.2	3.7	-2
96.01.09	10.6	10.6	0.0	5.1	-5.5	3.9	-1.2	2.7	-1.2
96.01.31	10.1	5.4	-4.7	3.2	-2.2	4.4	1.2	3.8	-0.6

註：正值表示濃度增加，負值表示濃度減少。

表 4.2-6 第二期工程懸浮固體量變化

日期	收集槽	第一池	收集槽至 第一池	第二池	第一池至 第二池	第三池	第二池至 第三池	出流口	第三池至 出流口
95.08.02	22.6	2.5	-20.1	5.5	3.0	54.3	48.8	43.7	-10.6
95.08.29	30.1	0.7	-29.4	26.3	25.6	42.8	16.5	43.3	0.5
95.09.28	15.8	3.3	-12.5	10.6	7.3	29.5	18.9	35.9	6.4
95.10.19	53.2	4.7	-48.5	16.8	12.1	20.3	3.5	54.1	33.8
95.10.31	18.8	2.9	-15.9	8.4	5.5	72.8	64.4	8.1	-64.7
95.11.22	107.0	3.2	-103.8	13.8	10.6	31.6	17.8	8.9	-22.7
96.01.09	25.6	4.6	-21.0	4.6	0.0	6.5	1.9	0.7	-5.8
96.01.31	33.0	5.9	-27.1	3.6	-2.3	3.4	-0.2	10.2	6.8

註：正值表示濃度增加，負值表示濃度減少。

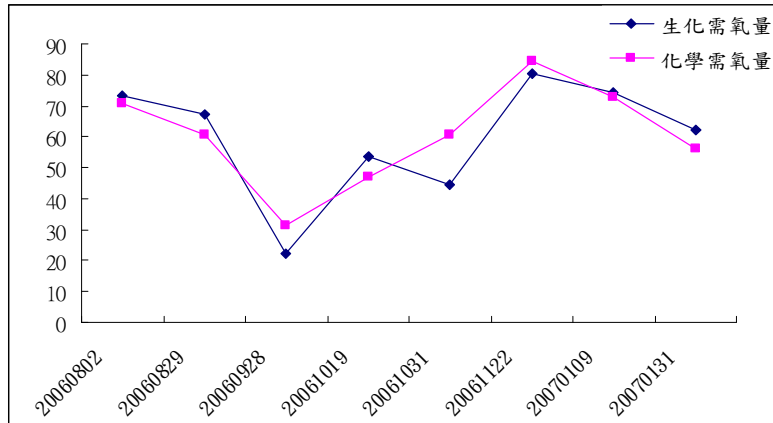


圖 4.2-1 生化需氧量與化學需氧量去除率變化圖

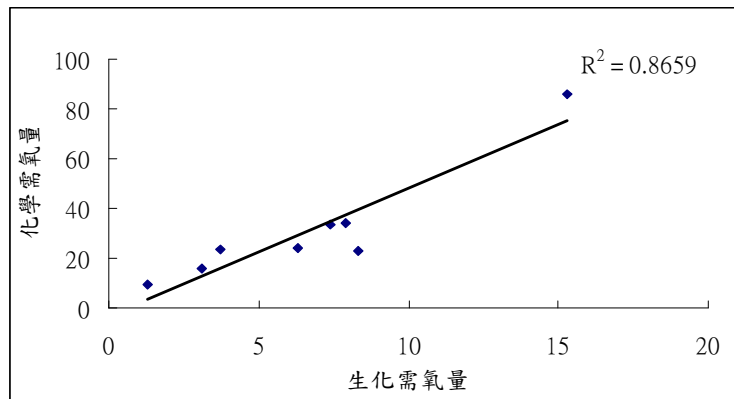


圖 4.2-2 第二期工程生化需氧量與化學需氧量削減濃度交叉分析圖

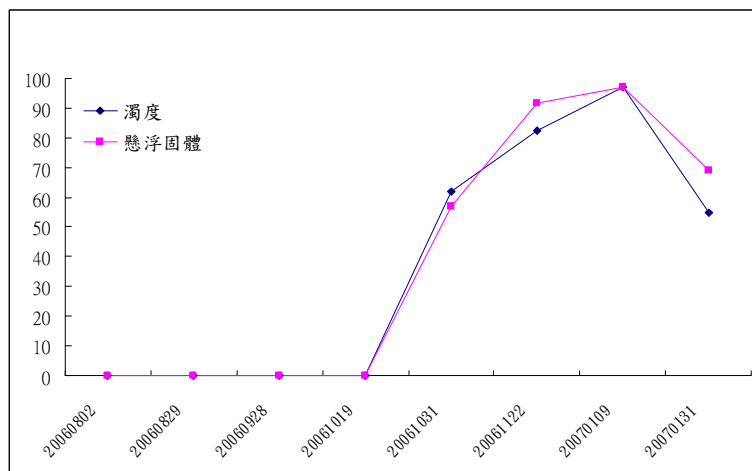


圖 4.2-3 第二期工程濁度與懸浮固體去除率變化圖

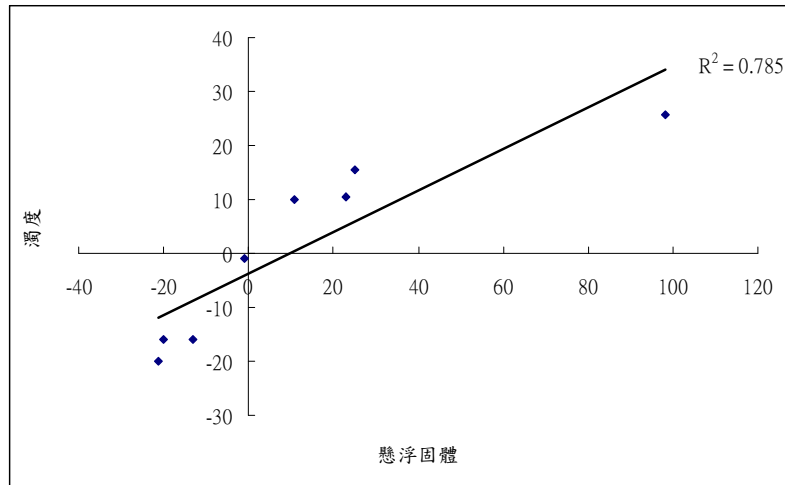


圖 4.2-4 第二期工程濁度與懸浮固體削減濃度交叉分析圖

4.2.3 數據統整分析

彙整今年度歷次水質監測數據，以進流口與出流口數據作一去除率統整如表 4.2-7，各監測項目歷次監測結果大致上具去除率，原設計去除之污染物-生化需氧量與懸浮固體在歷次監測數據之變化上，生化需氧量唯 95 年 9 月 28 日之總去除率為 43.8% 外，其餘則介於 70-90% 之間，整體去除趨勢圖如圖 4.2-5，變異數各設為進流口與出流口數值，以了解進流口與出流口濃度變化，生化需氧量於出流口及放流口濃度確有差異，輔以趨勢圖，顯示生化需氧量去除效果佳，化學需氧量大致與生化需氧量去除率具相同趨勢，如圖 4.2-6，除顯示生化需氧量去除效果，更顯示水質並無存在大量生物不易分解之物，圖 4.2-7 及 4.2-8 則各為生化需氧量與化學需氧量濃度削減及溶氧與生化需氧量濃度削減交叉分析圖，圖中顯示生化需氧量與化學需氧量及生化需氧量與溶氧之間相關性大，生化需氧量削減濃度愈大化學需氧量削減濃度愈大，溶氧量削減愈大生化需氧量濃度削減愈大；另觀懸浮固體，95 年 8 月 2 日至 9 月 28 日進流口與出流口濃度比較並無下降趨勢，95 年 10 月 19 日去除率雖僅 60.5%，但實際下降濃度高達 82.9 mg/L（進流口：137.0 mg/L；出流口：54.1 mg/L），其餘監測數值呈現之去除率皆達 85% 以上，今年度懸浮固體數據統計趨勢圖如圖 4.2-9，但趨勢較無生化需氧量明顯，主要受前 3 次監測數據之影響，前 3 次水質淨化成效不佳，探究監測數值，其於第一期工程有 10-40% 之去除率，甚至至第二期工程 FWS 第一池仍有去除效果存在，至 FWS 第二池、FWS 第三池卻出現濃度上升狀況，導致整體去除率不佳，推測其原因，應是水芙蓉開始腐壞，造成成懸浮固體濃度上升，第一池水芙蓉雖然也有此情形發生，但由於採樣點前端香蒲生長旺盛，有效過濾生長於第一池前端水芙蓉腐壞所造成之懸浮固體上升之情形，FWS 第一池至第三池

情形如圖 4.2-10~4.2-12，這樣的結果亦使得前 3 次監測濁度效果不佳，如圖 4.2-13 懸浮固體與濁度交叉分析顯示，二者呈現相關性。整體去除率表現除上述監測項目，大腸桿菌群監測值去除率皆達 92% 以上，去除成效一直維持在非常良好的狀態。另觀氨氮，今年度數據統計趨勢圖如圖 4.2-14，但若深入探討，則不難發現氨氮去除率最好的監測時間為 95 年 8 月 29 日，去除率達 58.5%，去除濃度為 6.4 mg/L，其次為 95 年 11 月 22 日監測數值，去除率為 36.4%，去除濃度為 4.1 mg/L，其餘監測數值所呈現之下降濃度皆於 3.5 mg/L 以下，整體看來，溼地對於氨氮濃度之去除仍有待加強。而總氮亦有類似情形發生，其去除率最佳為 95 年 11 月 22 日，去除率達 46.4%，濃度下降為 7.2 mg/L，主要受凱氏氮去除率影響，其次為 95 年 8 月 29 日去除率達 45.4%，濃度下降為 6.1 mg/L，其餘濃度下降皆於 4.8 mg/L 以下，總氮去除效果不彰。若以水力負荷與有機負荷作討論，原設計之水力負荷及有機負荷經計算各為 0.5 m/day 及 0.01 m²-day，94 年度中所有抽水量所呈現之去除效果以抽水 50,000 CMD 效果最佳，也就是說最佳水力負荷如上述，又抽水 30,000 CMD 生化需氧量始具去除成效，可說水力負荷落於 0.3 m/day~0.5 m/day 時即具去除效果，以今年度來看，水力負荷主要為 0.3 m/day，當溼地穩定發展，並排除外來影響，如水芙蓉之影響等，生化需氧量去除率亦可至設計值，尤其枯水期更為明顯，豐水期可去除之污染量約為 265 kg/day，枯水期約為 654 kg/day；懸浮固體豐水期可去除之污染量約為 1,986 kg/day，枯水期約為 2,955 kg/day，武洛溪溼地在抽水 30,000 CMD 情形下，最大約可減少武洛溪流域中生化需氧量及懸浮固體約 2-3% 的污染量。

表 4.2-7 95 年度去除率一覽表

	20060802	20060829	20060928	20061019	20061031	20061122	20070109	20070131
導電度	0.0	19.4	2.5	5.7	5.8	21.2	3.1	19.9
濁度	0.0	0.0	0.0	21.9	79.0	91.0	99.1	82.8
亞硝酸鹽氮	61.1	65.5	83.3	0.0	0.0	0.0	16.7	0.0
硝酸鹽氮	66.3	80.0	85.3	88.0	64.4	0.0	0.0	0.0
正磷酸鹽	14.6	0.2	21.6	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0
生化需氧量	79.9	69.0	43.8	78.1	71.6	89.6	84.4	88.2
懸浮固體	0.0	0.0	0.0	60.5	85.9	95.3	98.9	88.6
化學需氧量	66.7	70.2	38.6	76.9	70.0	87.6	84.4	83.3
氨氮	27.1	58.5	18.5	29.5	6.4	36.4	29.7	36.2
凱氏氮	26.6	40.6	18.1	31.2	24.7	50.6	54.2	21.5
總磷	31.6	0.0	28.6	13.5	18.4	45.7	21.7	34.0
大腸桿菌群	94.6	99.0	92.4	99.4	98.6	97.5	100.0	100.0
葉綠素a	0.0	0.0	0.0	35.0	0.4	82.1	91.1	0.0
總氮	33.0	45.4	28.3	35.8	23.4	46.4	31.9	5.3

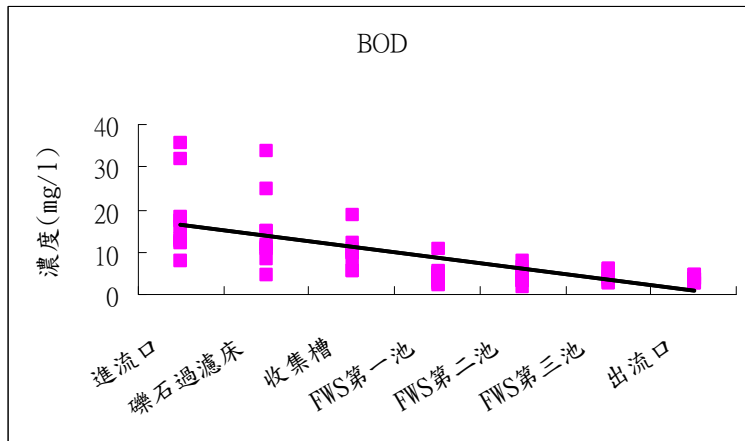


圖 4.2-5 生化需氧量 95 年度數據統計趨勢

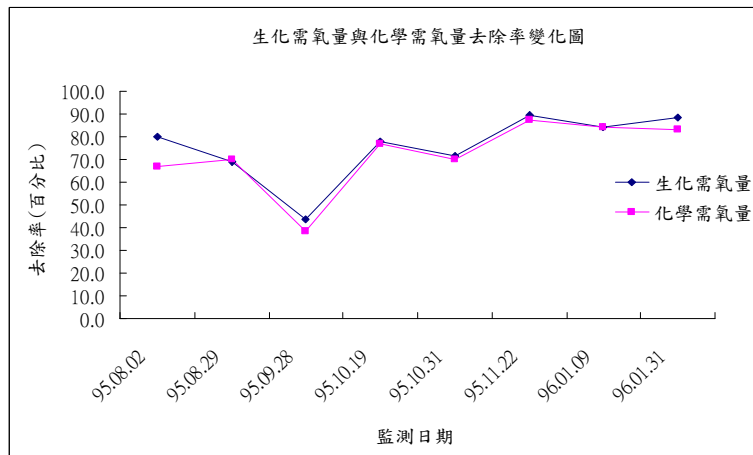


圖 4.2-6 生化需氧量與化學需氧量去除率變化圖

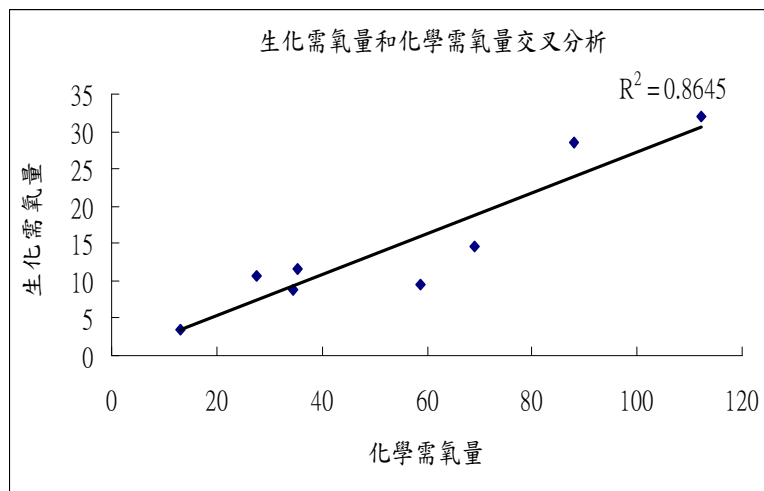


圖 4.2-7 生化需氧量與化學需氧量濃度削減交叉分析

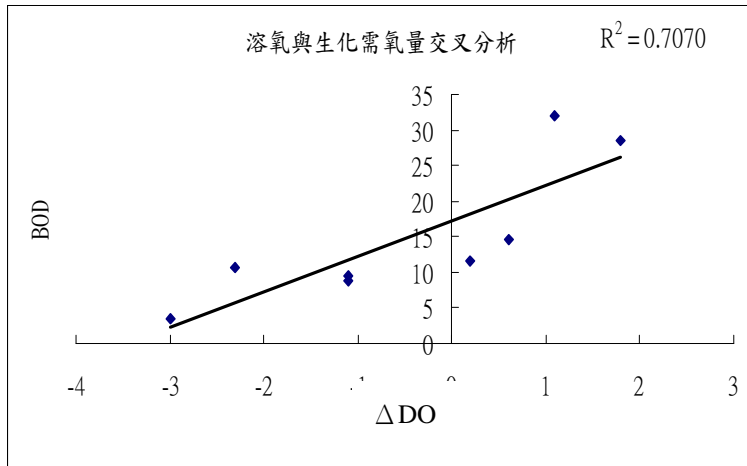


圖 4.2-8 溶氧與生化需氧量濃度削減交叉分析圖

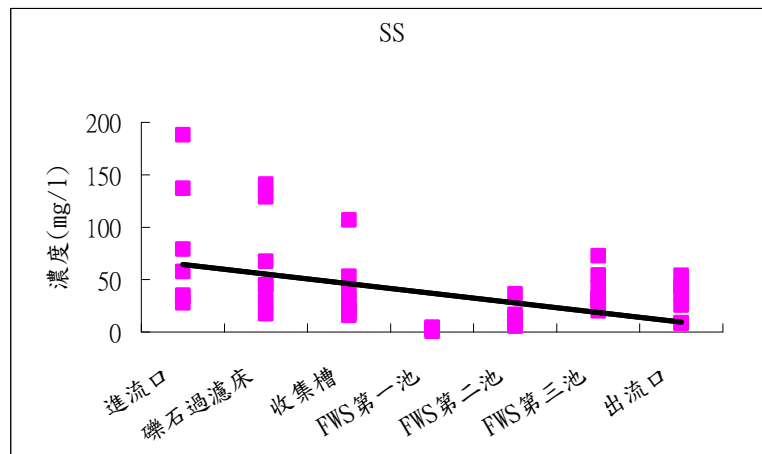


圖 4.2-9 懸浮固體 95 年度數據統計趨勢



圖 4.2-10 95 年 8 月 29 日 FWS 第一池水質圖



圖 4.2-11 95 年 8 月 29 日 FWS 第二池水質圖



圖 4.2-12 95 年 8 月 29 日 FWS 第三池水質圖

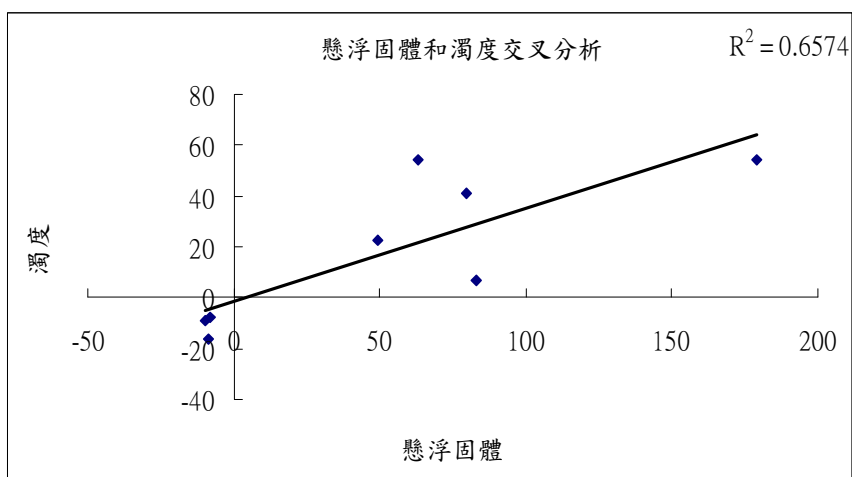


圖 4.2-13 懸浮固體與濁度交叉分析圖

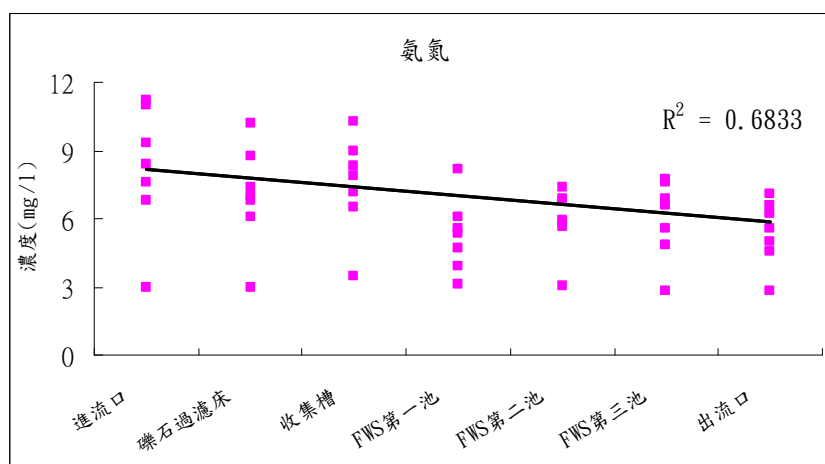


圖 4.2-14 氨氮 95 年度數據統計趨勢

將今年度水質監測結果繪製成 RPI、WQI₇ 與 WQI₈ 統計趨勢圖，如圖 4.2-15、4.2-16~17，圖 4.2-15 RPI 河川污染指數趨勢顯示武洛溪溪水 RPI 指數約介於 6-10 之間，皆為嚴重污染水質，經礫石過濾床生物床及跌水作用 RPI 指數大多介於 4-7 之間，多屬中度污染或嚴重污染，經溼地植物、微生物等化學及物理淨化作用，至放流口 RPI 已穩定為中度污染。另圖 4.2-16 及圖 4.2-17 WQI₇ 與 WQI₈ 指數統計趨勢圖，顯示二者上升趨勢相似，WQI₇ 指數顯示進流水水質經溼地一連串作用，水體分類由惡劣至不良，WQI₈ 則由水質分類不良至中下，WQI₇ 與 WQI₈ 差異在於導電度及其中一個水質參數為濁度或懸浮固體，導電度權數所佔比例小，故計算出結果影響不大，故兩者雖然水體分類不同，但水體適用用途意義相同。

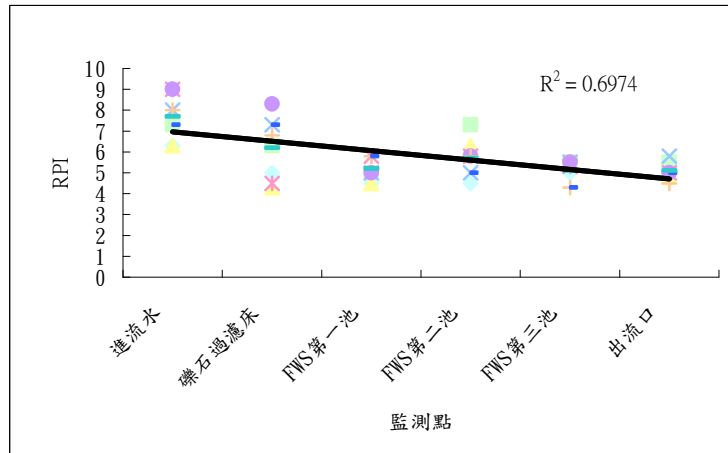


圖 4.2-15 RPI 指數統計趨勢圖

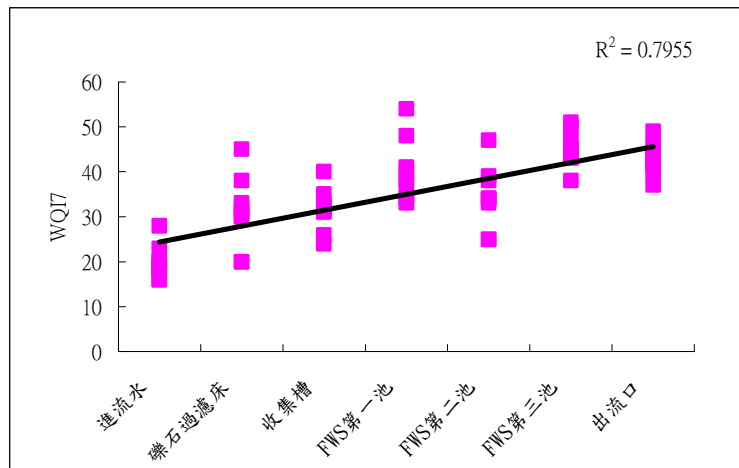


圖 4.2-16 WQI₇ 指數統計趨勢圖

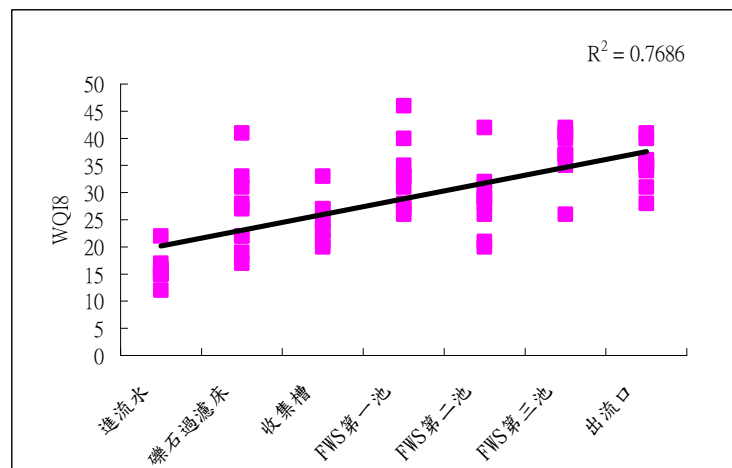


圖 4.2-17 WQI₈ 指數統計趨勢圖

4.3 歷年改善效能評估

國內對於人工溼地技術之了解、研究及應用的技術啟蒙較晚，但隨著國外研究的進步、技術的引進，國人已日漸接受這個相較於傳統治水方式有更多元化發展之技術，在國內眾多學者的推崇改良下，已有不少卓越的成績。

武洛溪人工溼地於 93 年底完工，第一期與第二期工程皆針對去除生化需氧量及懸浮固體作設計，第一期工程生化需氧量去除率可達 30%，濃度可降至 25 mg/L 下，懸浮固體去除率可達 50%，濃度可降至 65 mg/L 以下；經第二期人工溼地自然淨化，生化需氧量去除率可達 60%，濃度可降至 10 mg/L 以下，懸浮固體去除率可達 70%，濃度可降至 20 mg/L 以下。

行政院環境保護署秉持著改善水質維護民眾健康之原則，於武洛溪下游建構武洛溪排水改善場址，目前為全臺灣處理污水量最大人工溼地，最大處理量可達 50,000 CMD，其人工溼地以渠道狀設計亦為一大特點，水質經過 3 座 FWS 人工溼地進行自然淨化，利用自然環境之水、土壤、植物、微生物之物理、化學作用之原理有效去除污染物，武洛溪溼地於完工時進行初步監測作業，SS 平均濃度可降至 20 mg/L，平均去除率可達 70%，BOD 平均濃度可降至 10 mg/L，而平均去除率可達 60%，由數據驗證溼地完工初期去除效率確可達成設計值。經長時間之操作下，為瞭解溼地營運狀況，於 94 年度執行監測作業，特針對抽水量 10,000 CMD 至 50,000 CMD 去除效率作評估。

因武洛溪溼地進水方式仰賴馬達抽水，需注意水位問題，豐水期水量來源豐富，可連續進行 50,000 CMD 水量操作，但若遇枯水期水位下降，則須降低抽水量，由表 4.3-1 與表 4.3-2 可知，在初步監測階段，當抽水量達 30,000 CMD，溼地對 SS 與 BOD 即具去除效果，圖 13 為抽水量 10,000 CMD 至 20,000 CMD SS 之趨勢圖、圖 14 為抽水量 30,000 CMD 至 50,000 CMD SS 之趨勢圖；圖 15 為抽水量 10,000 CMD 至 20,000 CMD BOD 之趨勢圖、圖 16 為抽水量 30,000 CMD 至 50,000 CMD BOD 之趨勢圖，由圖發現，當抽水量為 30,000 CMD 至 50,000 CMD 時去除成效較明顯，故當枯水期水位下降時，若無法達到原設計抽水量，儘可能以 30,000 CMD 以上水量操作，其更確切之成效亦需仰賴後續長期監測。

武洛溪排水改善工程除具有降低水中污染物質之成效外，其人工溼地創造生物多樣化的環境，利用植生的蓬勃發展建構優美環境，為生物提供了良好棲息地，不僅可以改善目前高莖作物及河川髒亂之現況，有效利用河川土地資源，亦可改善高屏溪下游水質，又可利用濕地系統進行河岸生態復育，重新塑造自然的生態環境景觀，並提供社區民眾及遊客休憩活動與自然生態

觀察的最佳場所。近來亦有許多學術單位及政府機關參訪，共同探討其成效及發展。

表 4.3-1 SS 監測結果一覽表

日期	抽水量(CMD)	進流口濃度(mg/L)	出流口濃度(mg/L)	去除率(%)
94.10.05	10000	57.5	54.6	0.05
94.10.12	20000	33.2	45.2	-36.1
94.11.09	50000	74.8	4.5	94.0
94.11.21	40000	93.4	5.6	94.0
94.12.26	30000	149	6.4	95.7

表 4.3-2 BOD 監測結果一覽表

日期	抽水量(CMD)	進流口濃度(mg/L)	出流口濃度(mg/L)	去除率(%)
94.10.05	10000	11.6	12.1	-4.3%
94.10.12	20000	14.3	6.9	51.7
94.11.09	50000	19.6	3.6	81.6
94.11.21	40000	16.2	3.2	80.2
94.12.26	30000	18.9	7.0	63.0

水質監測地點涵蓋武洛溪河道及武洛溪排水改善場址內第一期與第二期工程，包括場址上游、進流口、礫石過濾床出流水、收集槽、FWS 第一池出流口、FWS 第二池出流口、FWS 第三池出流口、出流口與場址下游共 9 個監測點進行 10,000 CMD 至 50,000 CMD 抽水量之水質監測。其它研究項目包括地面水水質監測、地下水水質監測、污泥重金屬監測、水文調查等，利用監測結果評估人工溼地對污染物的去除成效，同時進行模式模擬評估並適時調整植生，以利人工溼地發揮最大效能。

民國 94 年進行 10,000 CMD 抽水量至 50,000 CMD 抽水量監測，以了解溼地效能，結果顯示抽水三萬噸生化需氧量與懸浮固體始具去除效果（請參考表 4.3-3），當抽水量達原設計值 50,000 CMD 時，生化需氧量去除率可達 81.6%，懸浮固體去除率可達 94%。深入探討，抽水量達 50,000 CMD 時，生化需氧量於第一期工程去除率達 40.8%，懸浮固體去除率達 41.8%，懸浮固體去除率略低於設計值，經第一期淨化兩者濃度皆降至設計值之下（生化需氧量濃度 11.6 mg/L；懸浮固體濃度 43.5 mg/L）；第二期工程生化需氧量去除率可達 69%（請參考表 4.3-4），懸浮固體去除率可達 89.7%，兩者去除率皆達設計值，濃度亦可降至設計值之下（生化需氧量濃度 3.6 mg/L；懸浮固體濃度 4.5 mg/L）。抽水 40,000 CMD 狀況下，第一期工程生化需氧量未達設計去除率，懸浮固體於二期工程皆有達到設計之去除率，濃度皆降至設計標準以下，抽水量 30,000 CMD 監測共實行兩次，其中 12 月份監測之結果，生化需氧量於兩期工程皆未達去除率標準懸浮固體於兩期工程去除率皆達到設

計值，次年 2 月所進行之監測作業成效較佳，兩次監測項目於兩期工程皆達設計去除率，推測主要是因為武洛溪溪水量減少，使得污染物濃度增加，在此情形下，去除成效更加明顯。

有鑒於武洛溪排水改善場址機具毀損導致部份沉水馬達停止運轉需經常維修與枯水期水位下降問題，在有效淨化水質及對溼地未來之長期效益作評估之考量下，於 95 年度主要選擇抽水量 30,000 CMD 作監測基準，唯為使低抽水量之效益更加明顯，於最後 2 次監測各選擇抽水量 10,000 CMD 及 20,000 CMD 作監測，在 30,000 CMD 抽水量運作下，第一期工程水質淨化成效之表現上（請前述參考表 4.2-1），剛開始前 3 次之監測數值生化需氧量及懸浮固體無法達至去除率標準，生化需氧量可能受到計畫初期為恢復礫石過濾床成效，清除污泥工程影響，需使得礫石床之生物膜重新形成，再者，因溼地長時間未進水，自然在去除成效上會有階段性不佳情形發生，後期之去除成效則趨於明顯，大部份監測結果達設計值；第二期工程監測成果中，生化需氧量最高去率可達 80.5%，最低僅 22.4%，但所有監測結果放流水之最終濃度皆達設計標準；懸浮固體最高去除率可達 97.3%，前四次監測結果不具去除率，此結果應與前述中之水芙蓉相關。

本研究將歷次數據繪製成圖 4.3-1~3，生化需氧量之去除成效最明顯，懸浮固體次之，氨氮去除成效較差。另分析圖 4.3-4~6，僅抽水量 30,000 CMD 所呈現之趨勢，水質仍具去除效果，表示生化需氧量在溼地趨於穩定狀態下，其去除效果佳，皆可達到原設計標準，懸浮固體趨勢也明顯，但數據呈現較分散，去除率易受溼地中水芙蓉生長週期及豐、枯水期影響，氨氮去除趨勢平緩，表示去除率不明顯，唯監測數據分布平均，故 R^2 值較懸浮固體高。也就是說，若要依原設計討論效益好壞，當抽水量符合原設計值為 50,000 CMD 時，生化需氧量及懸浮固體之去除效果較原設計值佳，也就代表溼地在運作一段時間，趨於穩定，其化學物理作用及微生物作用皆穩定狀態下，若無受水芙蓉生長週期腐敗之影響，兩監測項目之去除效果亦趨於穩定，生化需氧量及懸浮固體之去除率皆可達 90% 以上，如表 4.3-5。若考慮機具壞損及枯水期馬達之運作，調整抽水量 30,000 CMD，其最終去除率及濃度仍可達到設計值，但易受溼地本身環境因素影響，同樣的，枯水期之成效亦較佳。

表 4.3-3 94-95 年度第一期工程去除成效統計表

日期 (CMD)	94/10/05	94/10/12	94/11/09	94/11/21	94/12/26	95/01/17	95/02/23	95/08/02	95/08/29	95/09/28	95/10/19	95/10/31	95/11/22	96/01/09	96/01/31
項目	(10,000)	(20,000)	(50,000)	(40,000)	(30,000)	(20,000)	(30,000)	(30,000)	(30,000)	(30,000)	(30,000)	(30,000)	(30,000)	(30,000)	(20,000)
生化需氧量	22.4	16.8	40.8	3.7	10.6	91.1	83.8	24.6	4.7	27.5	52.9	48.8	46.6	38.7	68.6
懸浮固體	52.7	23.5	41.8	62.4	66.8	90.1	70.8	35.8	9.9	43.2	61.2	67.4	43.1	60.0	63.3
化學需氧量	26.8	26.7	31.8	31.9	0	86.6	87.4	0	23.9	10.7	56.5	23.9	20.3	42.5	59.8
氨氮	0	5.2	0.3	0	0	0	13.1	0	40.7	0	10.7	0	8.0	0	4.7
總磷	25.4	15.1	17	23.9	17.2	53.1	46.9	5.9	16.8	0	5.4	6.8	24.8	11.5	0
總凱氏氮	0	3.4	0	14.7	11.5	6.6	25.1	0	21.4	0	4.1	0	6.5	7.3	4.7
正磷酸鹽	2	0	36	2.7	11.2	0.6	12.4	0	10.2	0	0.6	0	9.9	0	0
硝酸鹽氮	8.3	76.4	55.2	46.4	12.5	75	0	0	28.3	59.5	51.2	62.2	0	0	0
亞硝酸鹽氮	0	0	40	15.9	0	0	0	40.7	0	58.3	0	0	0	0	0
葉綠素 a	0	0	0	0	3.3	32.6	0	0	0	0	20.0	7.9	0	0	30.4

表 4.3-4 94-95 年度第二期工程去除成效統計表

日期 (CMD) 項目	94/10/05 (10,000)	94/10/12 (20,000)	94/11/09 (50,000)	94/11/21 (40,000)	94/12/26 (30,000)	95/01/17 (20,000)	95/02/23 (30,000)	95/08/02 (30,000)	95/08/29 (30,000)	95/09/28 (30,000)	95/10/19 (30,000)	95/10/31 (30,000)	95/11/22 (30,000)	96/01/09 (30,000)	96/01/31 (20,000)
生化需氧量	0	42.0	69	79.5	58.6	45.2	68.3	73.3	67.5	22.4	53.5	44.6	80.5	74.5	62.4
懸浮固體	0	0	89.7	84	87.0	47.8	91.5	0	0	0	0	56.9	91.7	97.3	69.1
化學需氧量	0	37.7	78.5	76.2	71.5	55.2	67.8	70.9	60.8	31.2	47.0	60.5	84.4	72.8	56.1
氨氮	91.9	22	28.3	14.8	4.3	20.6	33.1	30.4	29.9	30.9	21.0	19.8	30.9	33.1	33.1
總磷	92.2	60.3	27.8	0	0	0	0	27.3	0	37.6	8.6	12.4	27.8	11.5	42.5
總凱氏氮	88.9	40.3	32.7	17.2	3.8	18	37.9	30.6	24.5	30.1	28.2	31.8	47.2	50.6	17.6
正磷酸鹽	97.5	68	38	0	0	6.3	0	15.2	0	34.5	0	7.8	0	0	34.5
硝酸鹽氮	81.8	0	0	0	0	0	0	76.7	72.1	63.8	75.4	5.9	0	0	0
亞硝酸鹽氮	76.7	0	0	0	0	0	0	34.4	66.7	60.0	0	0	0	16.7	0
葉綠素 a	0	0	0	21.7	10.1	48.7	83.3	43.2	15.7	26.9	18.7	0	87.9	93.5	0

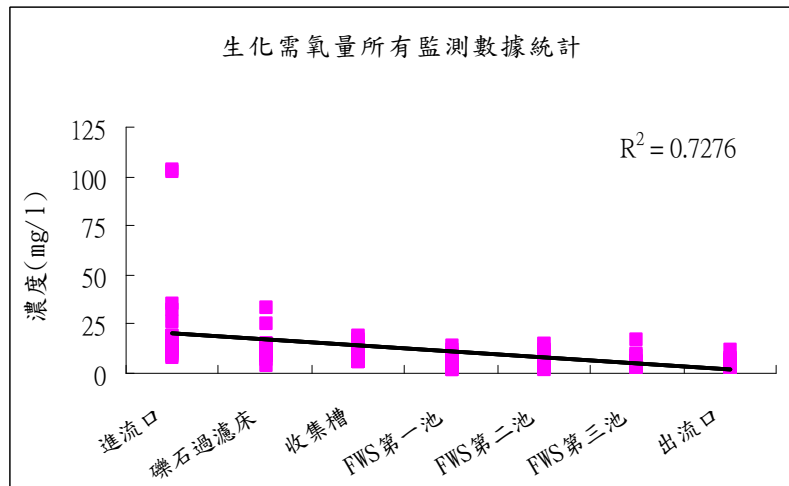


圖 4.3-1 94-95 年度歷次數據生化需氧量統計趨勢圖

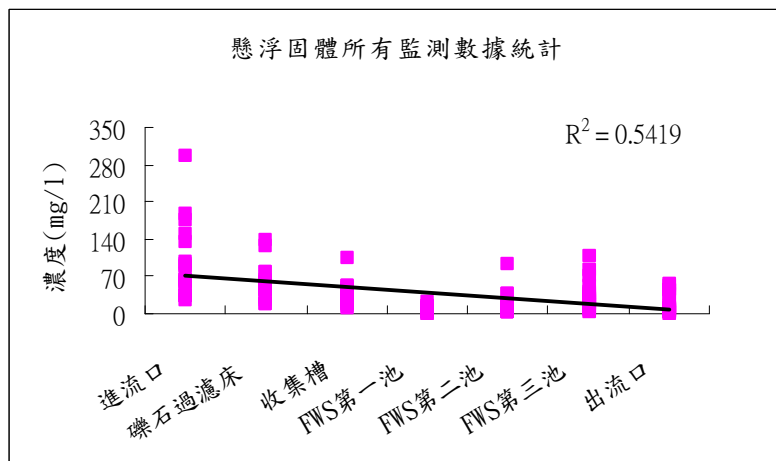


圖 4.3-2 94-95 年度歷次數據懸浮固體統計趨勢圖

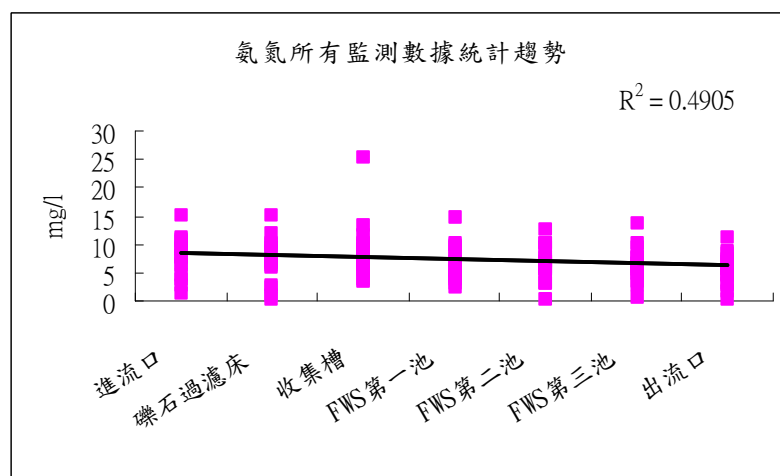


圖 4.3-3 94-95 年度歷次數據氨氮統計趨勢圖

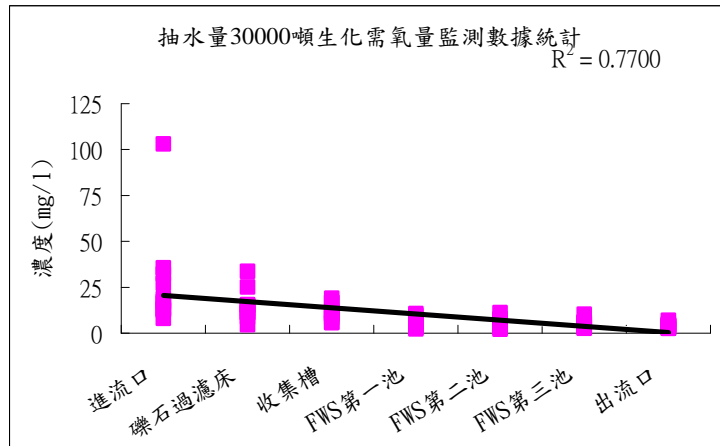


圖 4.3-4 94-95 年度抽水 30,000 CMD 生化需氧量統計趨勢圖

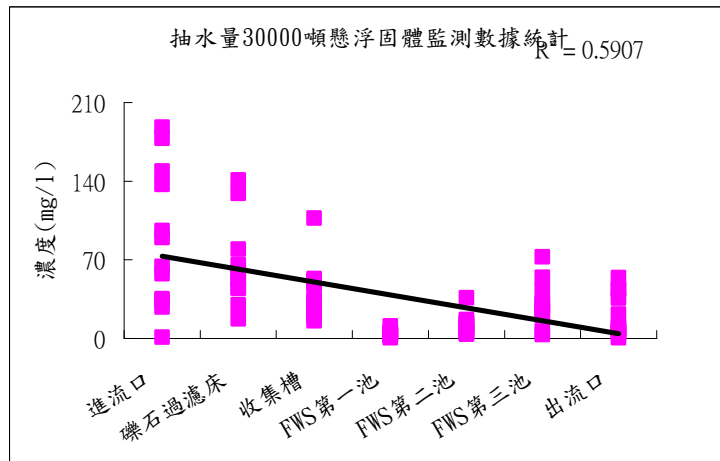


圖 4.3-5 94-95 年度抽水 30,000 CMD 懸浮固體統計趨勢圖

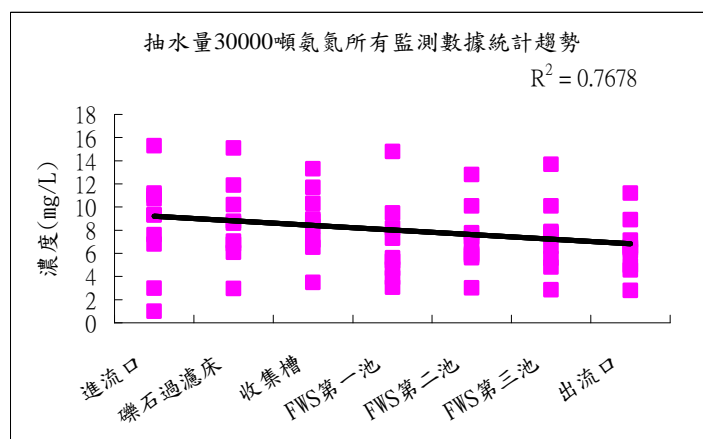


圖 4.3-6 94-95 年度抽水 30,000 CMD 氨氮統計趨勢圖

表 4.3-5 94-95 年度歷次數據去除率一覽表

日期	94.10.05	94.10.12	94.12.26	94.11.21	94.11.09	95.01.17	95.02.23	95.08.02	95.08.29	95.09.28	95.10.19	95.10.31	95.11.22	96.01.09	96.01.31
抽水量(CMD)	10,000	20,000	30,000	40,000	50,000	20,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	20,000
生化需氧量	0.0	51.7	63.0	80.2	81.6	95.1	94.9	79.9	69.0	43.8	78.1	71.6	89.6	84.4	88.2
懸浮固體	5.0	0.0	95.7	94.0	94.0	95.3	97.5	0.0	0.0	0.0	60.5	85.9	95.3	98.9	88.6
化學需氧量	0.0	54.3	64.1	83.8	85.3	94.0	95.9	66.7	70.2	38.6	76.9	70.0	87.6	84.4	83.3
氨氮	63.0	26.1	0.0	12.8	28.5	19.6	41.8	27.1	58.5	18.5	29.5	6.4	36.4	29.7	36.2
總磷	94.2	66.3	0.0	23.9	40.1	42.5	43.3	31.6	0.0	28.6	13.5	18.4	45.7	21.7	34.0
總凱氏氮	50.6	42.3	14.9	29.4	30.4	23.4	53.5	26.6	40.6	18.1	31.2	24.7	50.6	54.2	21.5
正磷酸鹽	97.5	64.8	0.0	0.0	60.6	6.8	12.4	14.6	0.2	21.6	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0
硝酸鹽氮	83.3	10.2	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	66.3	80.0	85.3	88.0	64.4	0.0	0.0	0.0
亞硝酸鹽氮	73.1	0.0	0.0	0.0	36.0	0.0	0.0	61.1	65.5	83.3	0.0	0.0	0.0	16.7	0.0
葉綠素 a	0.0	0.0	13.0	3.6	0.0	65.4	81.5	0.0	0.0	0.0	35.0	0.4	82.1	91.1	0.0
導電度	-	-	-	-	-	-	-	0.0	19.4	2.5	5.7	5.8	21.2	3.1	19.9
濁度	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	21.9	79.0	91.0	99.1	82.8
大腸桿菌群	-	-	-	-	-	-	-	94.6	99.0	92.4	99.4	98.6	97.5	100.0	100.0

4.4 地下水水質監測

本研究共進行 6 次地下水監測，表 4.4-1~2 為地下水水質監測結果，酸鹼值大約介於 6.9-7.5 之間，由於場址上游監測點接近於大蓮花池出口，下游接近於 FWS 第二池出口，故將場址上游數據與收集槽水質及場址下游數據與 FWS 第二池出口水質作比較，如圖 4.4-1~2，由圖 4.4-1 與圖 4.4-2 可知，大部份地下水監測項目收集槽濃度較場址上游地下水監測濃度為高，其中氨氮列入第二類地下水污染管制監測基準濃度為 0.25 mg/L，如表 4.4-3 地下水污染監測基準及管制標準，僅 96 年 1 月 9 日及 1 月 31 日場址下游氨氮監測值符合，說明本區域之氨氮濃度有明顯偏高趨勢，因武洛河流域本身畜牧污染嚴重，長期排放及入滲地面結果，可能造成地下水本身就含有較高濃度氨氮，其餘監測項目並無列入地下水污染監測基準或管制，由場址下游氨氮水質比較圖可知 96 年 1 月 9 日及 1 月 31 日氨氮濃度落差大，且各監測項目兩監測點呈現之水質變化曲線並不相同，故污染物由溼地中滲入或影響之濃度並不明顯。

溶氧量、生化需氧量與總磷於場址上游之監測數值較場址下游為高，如圖 4.4-3~5，其中溶氧量與生化需氧量於場址上游及下游監測結果趨勢相同，顯示地下水含水層中仍進行小部份生化需氧量的消耗，使得場址下游溶氧與生化需氧量濃度減少，地下水 2 監測點懸浮固體濃度部份高於地面水監測結果，地下水顏色本身帶黃色，且濁度與原水水質濁度相似，可能為土質或水中本身夾帶高濃度懸浮固體，或為水井深度不足，以致採樣深度不夠深所導致，與溼地水質應不相關。

表 4.4-1 地下水監測-場址上游監測結果

	溶氧量	生化需氧量	懸浮固	氨氮	pH	大腸桿菌	總磷	導電度
95.08.29	4.1	2.6	127	3.39	7.0	18	1.38	610
95.09.28	4.2	2.5	5.8	2.89	7.2	44000	0.727	630
95.10.31	3.5	7.9	187	1.78	6.9	<10	3.86	736
95.11.22	4.2	5.0	50.3	1.14	7.0	200.0	1.78	596
96.01.09	4.0	4.4	15.3	8.27	6.9	<10	1.22	661
96.01.31	4.0	5.7	18.8	5.82	7.2	25.0	2.04	672

表 4.4-2 地下水監測-場址下游監測結果

	溶氧量	生化需氧量	懸浮固體	氨氮	pH	大腸桿菌	總磷	導電度
95.08.29	3.6	1.1	17.1	6.93	7.0	80	0.282	685
95.09.28	3.4	1.3	91.4	5.64	7.5	15000	0.151	741
95.10.31	2.7	4.2	110	1.81	7.0	<10	0.234	734
95.11.22	3.6	3.8	37.6	3.68	7.0	340	0.159	640
96.01.09	3.5	2.5	247	0.23	7.0	<10	0.165	708
96.01.31	3.6	3.7	87.8	0.21	7.3	480	0.114	729

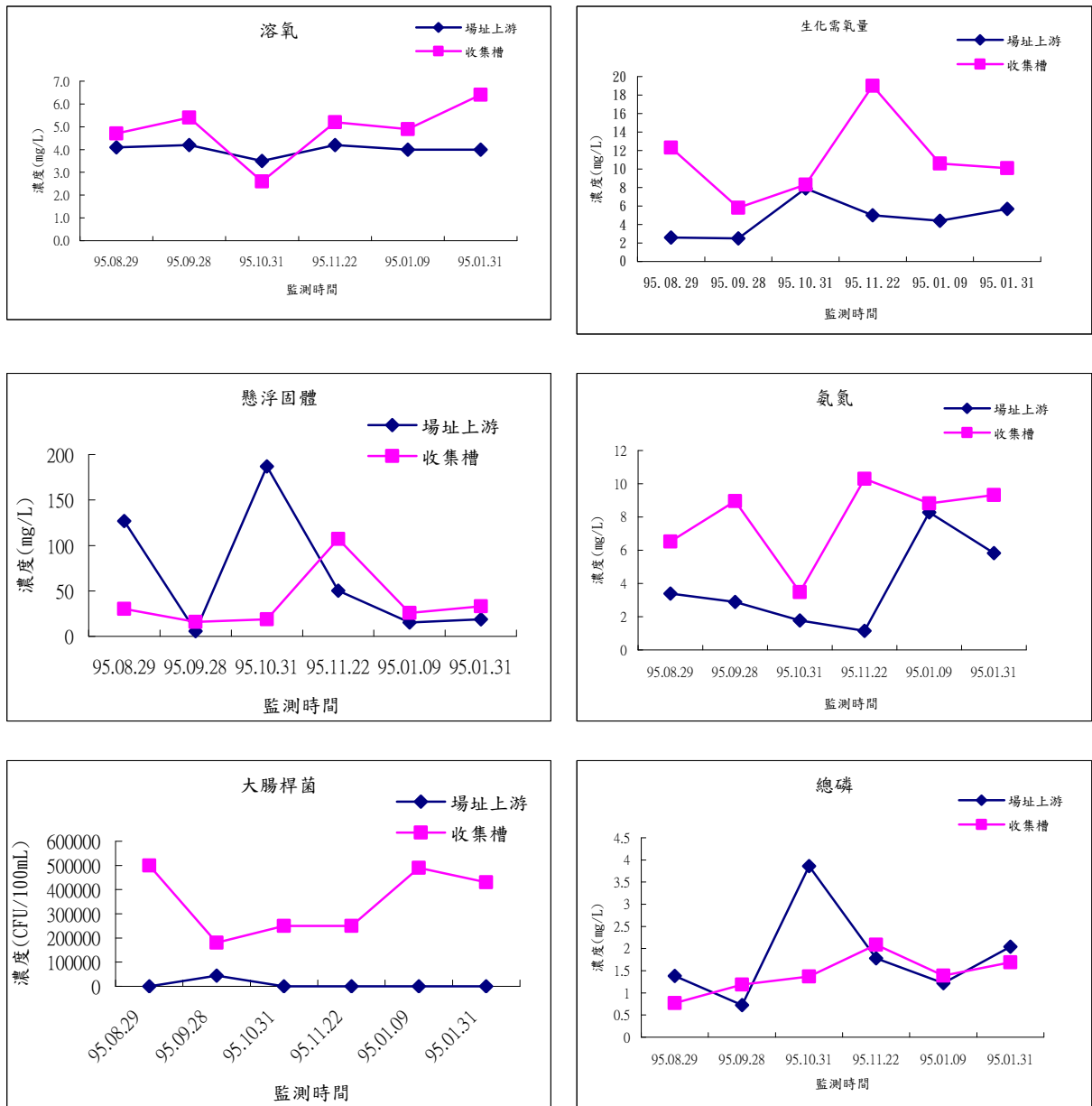


圖 4.4-1 場址上游與收集槽水質比較圖

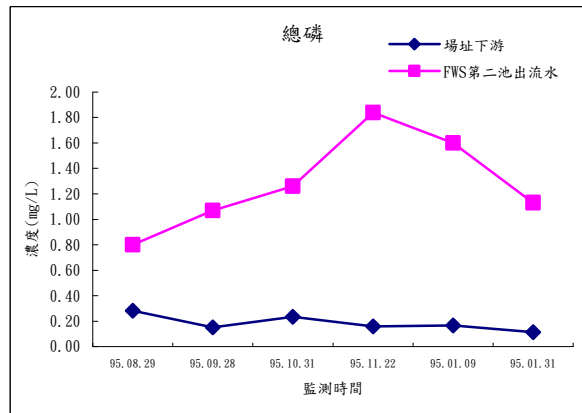
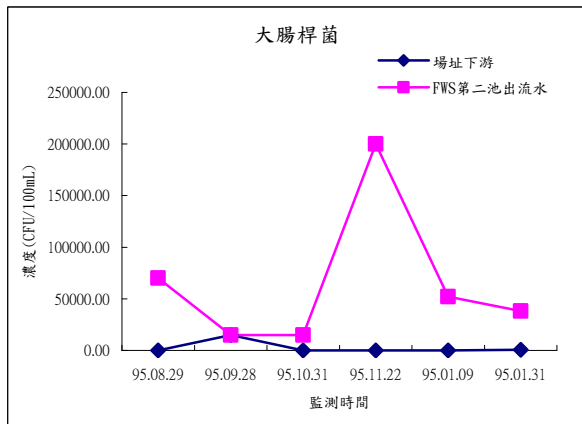
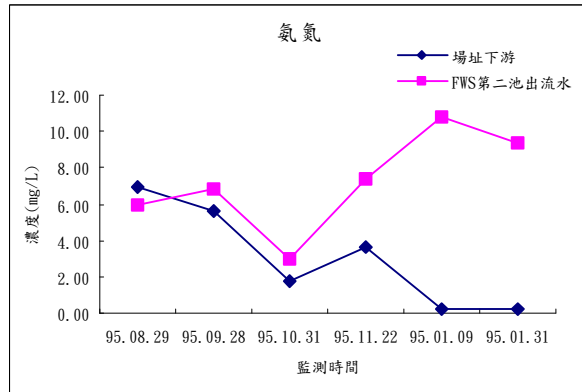
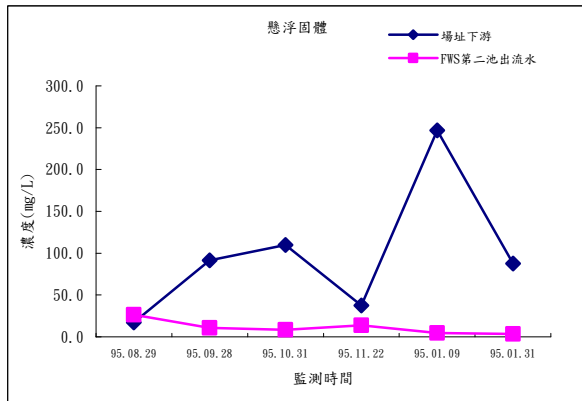
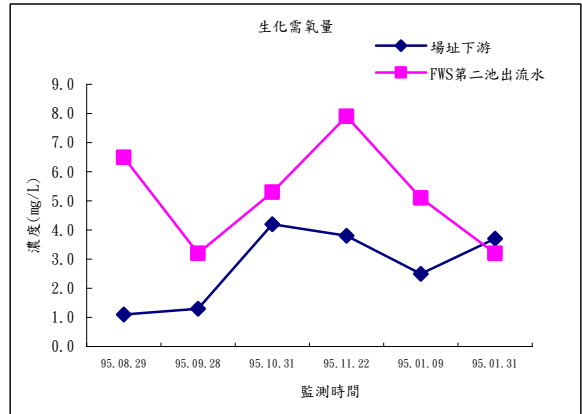
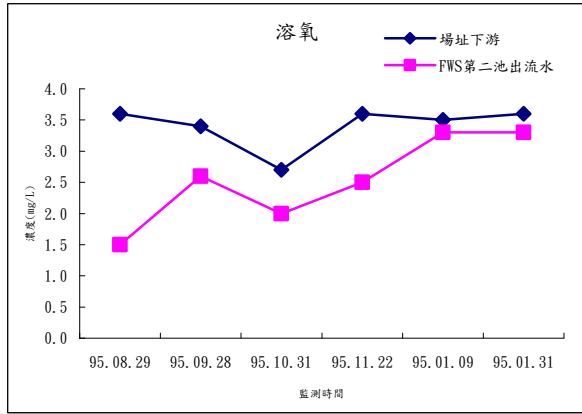


圖 4.4-2 場址下游與 FWS 第二池出流口水質比較圖

表 4.4-3 地下水污染監測基準及管制標準

污染物項目 (毫克/公升)	監測基準		管制值	
	第一類	第二類	第一類	第二類
單環芳香族碳氫化合物				
苯	—	—	0.005	0.050
甲苯	—	—	1	10
多環芳香族碳氫化合物				
萘	—	—	0.04	0.40
氯化碳氫化合物	—	—		
四氯化碳	—	—	0.005	0.050
氯苯	—	—	0.1	1.0
氯仿	—	—	0.1	1.0
氯甲烷	—	—	0.03	0.30
1,4-二氯苯	—	—	0.075	0.750
1,1-二氯乙烷	—	—	0.85	8.50
1,2-二氯乙烷	—	—	0.005	0.050
1,1-二氯乙烯	—	—	0.007	0.070
順-1,2-二氯乙烯	—	—	0.07	0.70
反-1,2-二氯乙烯	—	—	0.1	1.0
總酚	—	—	0.014	0.140
四氯乙烯	—	—	0.005	0.050
三氯乙烯	—	—	0.005	0.050
氯乙烯	—	—	0.005	0.020
農藥				
2,4-地 (2,4D)	—	—	0.07	0.70
加保扶	—	—	0.04	0.40
可氣丹	—	—	0.002	0.020
大利松	—	—	0.005	0.050
達馬松	—	—	0.02	0.20
巴拉刈	—	—	0.03	0.30
巴拉松	—	—	0.022	0.220
毒殺芬	—	—	0.003	0.030
重金屬				
砷	0.025	0.250	0.05	0.50
鎘	0.0025	0.0250	0.005	0.050
鉻	0.025	0.250	0.05	0.50
銅	0.5	5.0	1	10

表 4.4-3 地下水污染監測基準及管制標準 (續一)

污染物項目 (毫克/公升)	監測基準		管制值	
	第一類	第二類	第一類	第二類
鉛	0.025	0.250	0.05	0.50
汞	—	—	0.002	0.020
鎳	—	—	0.1	1.0
鋅	—	—	5	50
鐵	—	—	—	—
錳	—	—	—	—
一般項目				
硝酸鹽氮	5	25	10	100
亞硝酸鹽氮	—	—	1	10
總硬度	150	750	—	—
總溶解固體	250	1250	—	—
氯鹽	125	625	—	—
氨氮	0.05	0.25	—	—
硫酸鹽	125	625	—	—
總有機碳	2	10	—	—

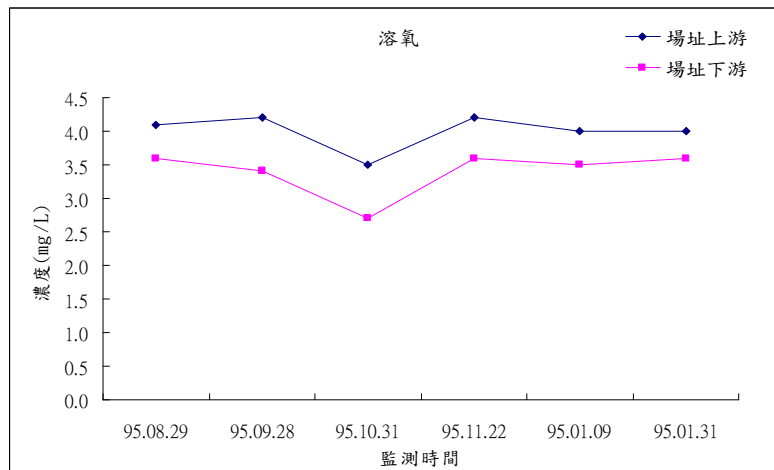


圖 4.4-3 場址上游與下游溶氧變化圖

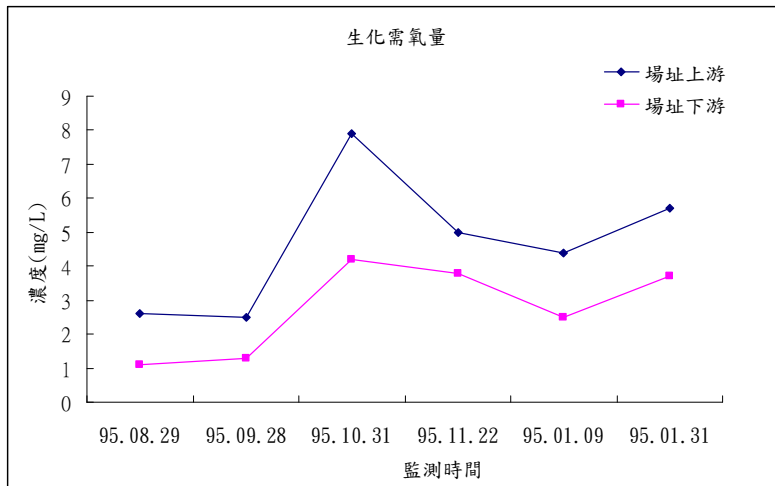


圖 4.4-4 場址上游與下游生化需氧量變化圖

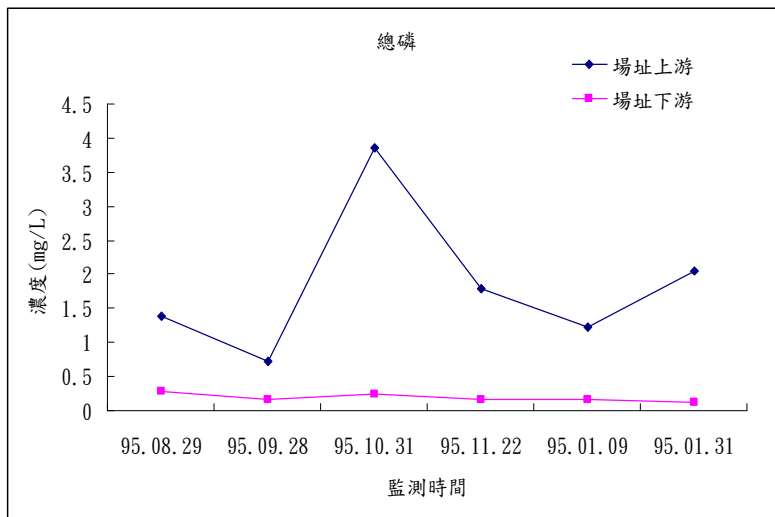


圖 4.4-5 場址上游與下游總磷變化圖

4.5 重金屬監測

4.5.1 污泥重金屬

本研究共進行污泥重金屬監測 7 次，監測地點為武洛溪排水水質改善場址內人工濕地之底泥。污泥重金屬監測項目為汞、砷、鉛、銅、鎘、鋅、鎳、鉻八大重金屬及含水分，監測結果如下表 4.5-1，圖 4.5-1 為污泥重金屬總重分析圖，圖 4.5-2 為各分析項目之濃度分析結果。

監測結果如表 4.5-1，汞平均濃度為約為 0.148 mg/kg，砷平均濃度為 8.43 mg/kg，鉛平均濃度為 25.6 mg/kg，銅平均濃度為 31.7 mg/kg，鎘平均濃度約為 0.1 mg/kg，鋅平均濃度為 117 mg/kg，鎳平均濃度為 33.6 mg/kg，鉻平均濃度為 109 mg/kg，含水分平均為 1.8%。由圖 4.5-1 污泥重金屬總重分析圖可知，歷次分析之污泥樣品中，95 年 10 月 31 日之污泥樣品總重最大，95 年 8 月 2 日之樣品次之，鋅於大部分監測樣品中佔最大比例，唯 95 年 8 月 2 日及 10 月 31 日樣品中因鉻濃度分別為 201 及 203 mg/kg，濃度偏高並大於鋅濃度，以汞佔比例最低，而本年度之污泥重金屬濃度中鉻監測值雖有偏高之趨勢，但仍介於土壤管制標準內（請參考表 4.5-2）。

表 4.5-1 污泥重金屬分析數值

	汞	砷	鉛	銅	鎘	鋅	鎳	鉻	含水分
95/08/02	N.D	7.14	21.5	38.5	<0.01	141	30	201	0.7
95/08/29	0.600	9.86	37.5	29.2	0.4	105	38	40.8	1.3
95/09/28	0.071	15.1	20.1	22.4	<0.01	101	31.8	39.7	1.1
95/10/31	0.101	8.87	27.0	40.3	<0.01	135	33.8	203	1.5
95/11/22	0.114	4.34	27.2	29.4	<0.01	110	35.9	81.9	1.0
96/01/09	N.D	5.25	20.2	30.1	<0.01	108	32.2	86.5	5.4
平均值	0.148	8.43	25.6	31.7	0.1	117	33.6	109	1.8

註：1、汞、砷、鉛、銅、鎘、鋅、鎳、鉻單位為 mg/kg；含水分單位為%。

2、總汞 MDL 為 0.033 mg/kg。

表 4.5-2 土壤管制標準

	砷	鎘	鉻	銅	汞	鎳	鉛	鋅
管制標準 (mg/kg)	60	20	250	400	20	200	2,000	2,000

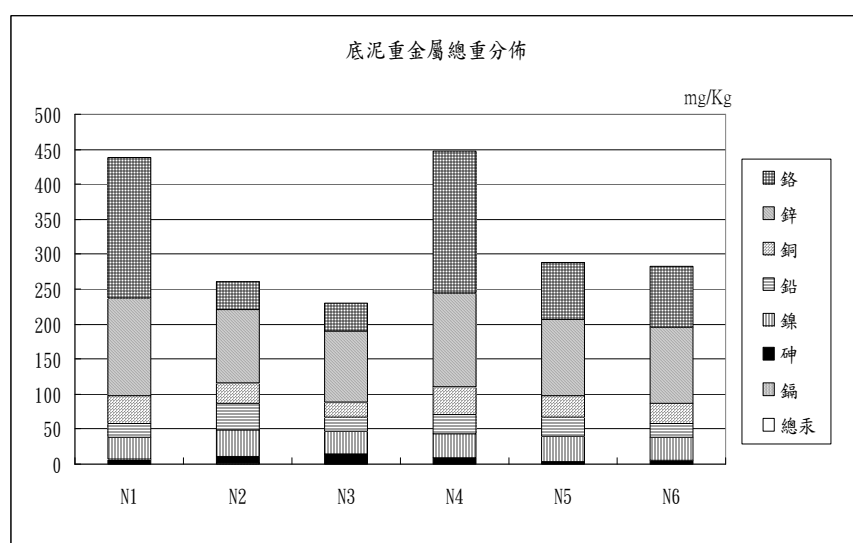


圖 4.5-1 污泥重金屬總重分析圖



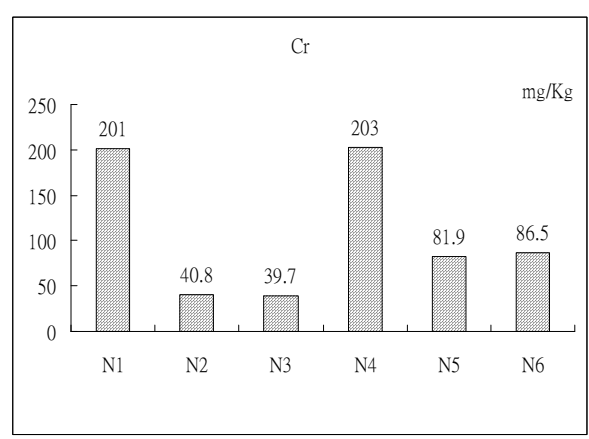
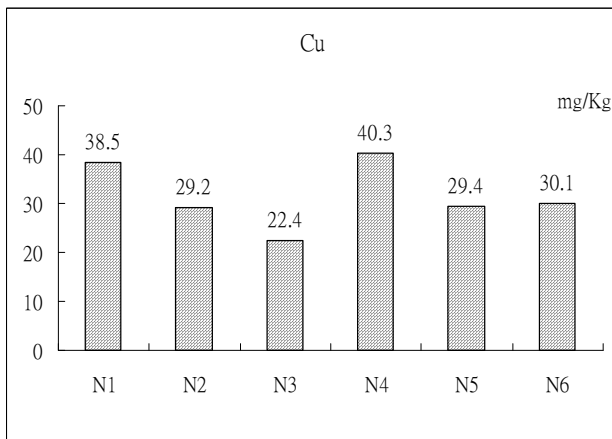
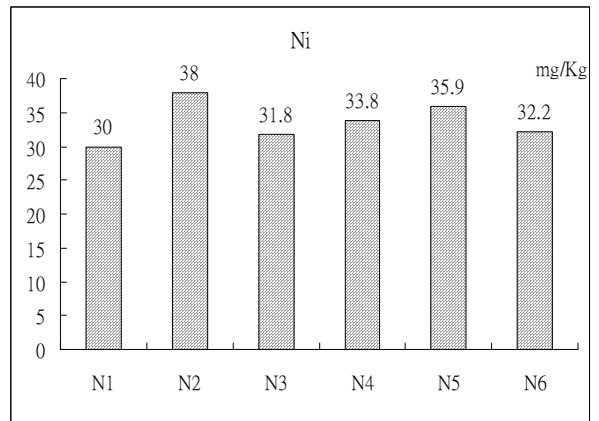
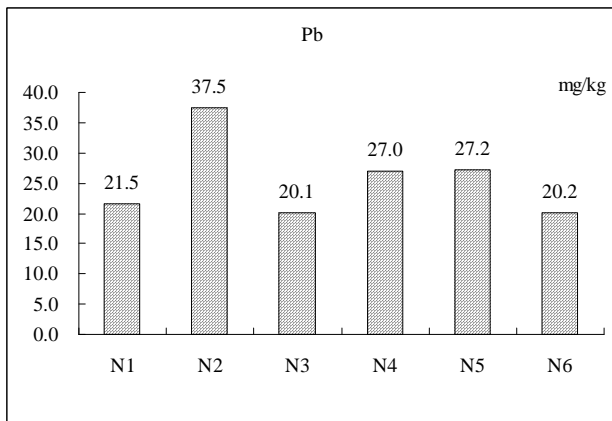
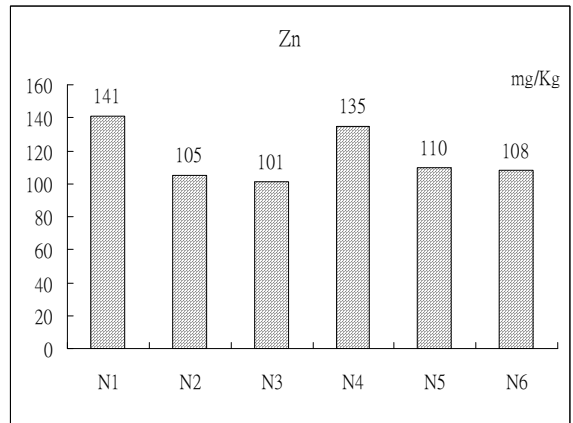
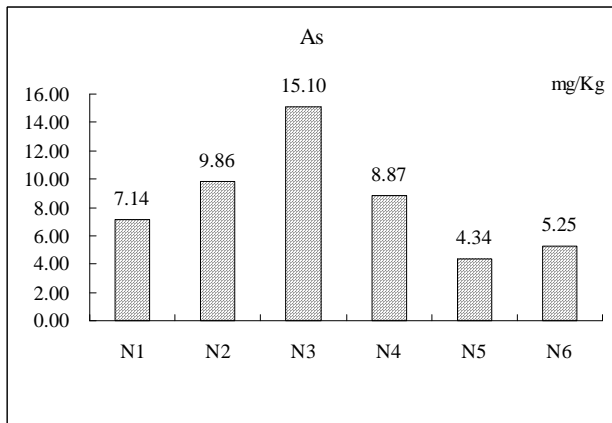
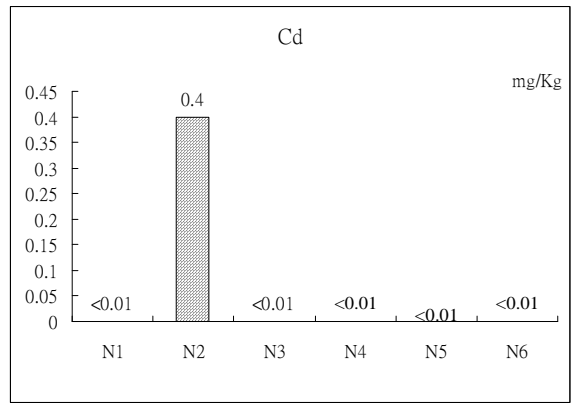
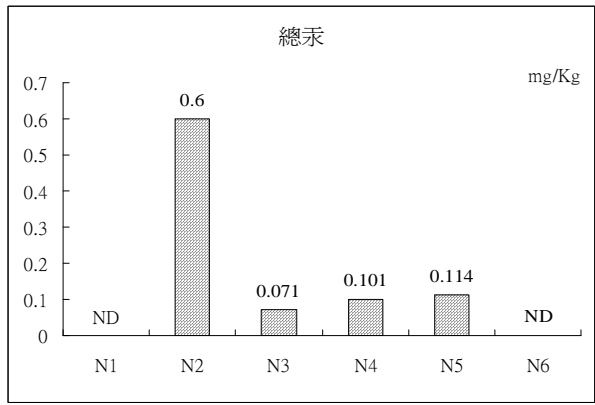


圖 4.5-2 各分析項目之濃度分析結果

4.6 水文監測

歷年水文調查，每次共 5 個調查點，水文調查點請參照圖 3.2-2，水文調查時間請參照 3.1-2。歷次調查結果如表 4.6-1，調查點 A1 平均河道寬為 26.9 m，A2 為 9.5 m，A3 為 28.4 m，A4 為 31.9 m，A5 為 33.4 m；平均水深 A1 為 1.11 m，A2 為 0.49 m，A3 為 0.50 m，A4 為 0.27 m，A5 為 0.55 m；平均流速 A1 為 47.5 m/min，A2 為 1.83 m/min，A3 為 0.66 m/min，A4 為 1.07 m/min，A5 為 0.59 m/min；平均流量 A1 為 1428 m³/min，A2 為 8.64 m³/min，A3 為 9.28 m³/min，A4 為 9.36 m³/min，A5 為 9.34 m³/min。

由上述可知，武洛溪溪水平均流量為 1,428 m³/min，其流量調查結果枯水期略豐水期減少，但今年度豐枯水季流量變化不如去年度統計結果大，惟 95 年 11 月 22 日流量較高，根據氣象局資料顯示應該為當日為下雨天氣所致，而 A2 調查點之河道寬、平均水深、流速及數值均較其他調查點為低，A3-A5 之平均流量測得介於 9.28-9.36 m³/min 之間，其各點流量之測得與各調查點之流速與面積相關。若以水深作為污泥淤積程度之探討，應考量下述問題，不管污泥淤積與否，當抽水量大，水深隨之增加，今年度水文調查配合抽水量皆為 30,000 CMD，故每次調查結果各點平均水深變化不大，但各點斷面圖之變化，已呈現高地起伏，已不如剛建置完成時之平坦，加上武洛溪溪水長年夾帶高濃度污染物及懸浮固體，勢必造成溼地污泥淤積，若以水深判定污泥淤積高度，可能也需假設溼地水位為原設計最高點，以原設計深度扣除水深才可得知污泥淤積程度，所以以水深判定污泥高度可能無法得到確切答案，若需確實了解污泥淤積程度，應設法直接量測污泥厚度結果較為準確。一般人工溼地因其設計之類型及功能不同，應每年進行 2~10 次的清洗。人工溼地會因污泥淤積而使實際體積縮小，影響水力停留時間及污染物去除效果。

表 4.6-1 水文調查結果一覽表

95年 8月 2日		A1	A2	A3	A4	A5
	河道寬 (m)	28.0	10.0	28.5	31.8	32.6
平均水深 (m)	1.17	0.48	0.55	0.25	0.54	
流速 (m/min)	46.8	1.58	0.60	1.11	0.60	
流量 (m ³ /min)	1490	7.60	8.72	8.99	9.71	
95年 9月 28日	河道寬 (m)	26.8	9.8	28.0	30.6	33.0
	平均水深 (m)	1.16	0.48	0.41	0.29	0.80
	流速 (m/min)	48.0	1.47	0.53	0.79	0.30
	流量 (m ³ /min)	1412	6.41	6.52	6.62	6.90
95年 10月 31日	河道寬 (m)	26.2	8.9	28.1	32.0	33.0
	平均水深 (m)	1.04	0.48	0.52	0.26	0.43
	流速 (m/min)	46.8	1.91	0.60	0.96	0.69
	流量 (m ³ /min)	1360	8.24	8.39	8.62	9.03
95年 11月 22日	河道寬 (m)	26.6	9.3	29.0	33.0	34.8
	平均水深 (m)	1.05	0.52	0.51	0.26	0.43
	流速 (m/min)	48.2	2.35	0.90	1.40	0.77
	流量 (m ³ /min)	1450	12.3	13.5	13.2	11.7

第五章 水質模擬

5.1 QUAL2K 簡介

一、QUAL2K 的發展

QUAL2K 水質模擬程式是由美國環保署所發展的水質模式，全名為 The Enhanced Stream Water Quality Model，QUAL2K 的發展具有相當悠久的歷史，最初為 1970 年時 F. D. Masch and Associates 與 Texas Water Development Board 所發展之 QUAL-I 河川水質模式，經 Water Resources Engineers, Inc. 及美國環保署於 1972 年合作改良為 QUAL-II，再經使用者的修正、改良，於 1987 年重新命名為 QUAL2E，此後模式亦繼續改良，在改良了操作介面及加入了新的參數後，變成了現在使用的 QUAL2K。

QUAL2K 是一個完整且具彈性的一維、穩態河川水質模式，可模擬充分混合的樹枝狀河川，並可模擬十五種水質成分包括溶氧、生化需氧量、溫度、葉綠素 a、有機氮、氨氮、亞硝酸氮、硝酸氮、有機磷、溶解磷、大腸桿菌、一種非保存性物質及三種保存性物質，模擬項目彈性極大。模式利用基本傳輸方程式(advection-dispersion)及質量守恆式，可假設點源廢水排放、汲水、支流流入及沿河道增加或減少入流量，亦可模擬污染物在質、量及不同排放位置對河川水質之影響。

QUAL2K 可以使用 Windows 介面操作，資料輸入上十分方便，模式並提供內建的反置輸出繪圖工具，讓使用者模擬完成後，可直接觀看並輸出模擬結果，此外，QUAL2K 為美國環保署的公開免費軟體，在網站上亦提供 QUAL2K 主程式及使用手冊供使用者下載。

二、QUAL2K 的應用與操作

QUAL2K 將河流視為一系列河段組成的網路，每一河段再切割成數個具有等間距的計算元素，河段與河段之間以節點關繫之。經此步驟後河流即可概念化成一連串完全混合之計算元算。每個河段之計算元素具有相同之水力特性，如坡度、斷面積、粗糙度及相同的生物反應係數如 BOD 衰減率等。

而 QUAL2K 水質模式中也有單元數目的限制，若欲模擬的範圍超

過原先所預設的範圍，就須要重新編譯或調整變數以符合原先程式的限制，其限制如下：

- (一) 河段：分段不超過 50 段。
- (二) 計算單元：每段不超過 20 個，或總數不超過 500 個。
- (三) 源頭單元：最多為 10 個。
- (四) 匯流點單元：最多為 9 個。
- (五) 流入及流出單元：最多 50 個。

5.2 實際模擬過程

5.2.1 河段劃分

由於 QUAL2K 模式是將整個流域依水理特性切割成若干河段，再將每一河段分成等間距之計算元素，並假設在相同河段內之元素具有相同之水力特性及生物反應參數，因此在使用前必須先根據人工溼地流域內之水質與水理特性，將之分為若干背景特性相近的河段。河段劃分工作係依下列原則進行：

- (一)污染源排入點之上、下游
- (二)支流匯流點或排水注入點之上、下游
- (三)水源取水口之上游
- (四)設有水質採樣站處
- (五)水力條件（如流速、水深、河寬等）有較大改變處
- (六)平直河段每間隔若干距離處
- (七)感潮界限處
- (八)水體分類不同處

本計畫之人工溼地因無污染源排入點、支流、取水口，亦非感潮河段，依據第五點原則，在水力條件改變時分段，而人工溼地中的各池水力條件不盡相同，但在同一池中水力條件相似。因此主要的河段劃分依據人工溼地原有設計之各池來作劃分，每一池分為一段，自小蓮花池的起始點至放流口，共分為小蓮花池、大蓮花池、第一池、第二池、第三池、放流池共六段，劃分情形如圖 5.2-1。

<i>Reach for diel plot</i>		6		
<i>Reach</i>	<i>Downstream</i>		<i>Reach</i>	<i>Downstream</i>
<i>Label</i>	<i>end of reach label</i>	<i>Number</i>	<i>length</i>	<i>location</i>
			<i>(km)</i>	<i>(km)</i>
	礫石過港床	0		1.000
礫石到小蓮	小蓮花池出流口	1	0.10	0.900
小蓮到大蓮	大蓮花池出流口	2	0.07	0.830
大蓮到第一池	第一池出流口	3	0.20	0.630
第一池到第二池	第二池出流口	4	0.30	0.330
第二池到第三池	第三池出流口	5	0.20	0.130
第三池到放流	放流口	6	0.13	0.000

圖 5.2-1 水質模擬河段劃分

5.2.2 參數推定

建立水質模式時，模式參數之推定為一相當重要之步驟，其重要性不僅是因為參數值對於模式輸出之結果有決定性的影響，更因為其具不確定性，所以對於各參數之研究皆相當多，各種推求方法各有其適用性及優缺點。本計畫所著重的地方在於人工溼地中的生化需氧量、氨氮、溶氧及懸浮固體等值的模擬。因此要找出各河段的設計水量、平均水溫、怯氧係數及再曝氣係數等。而在水理部份的參數，必須要設定各河段之曼寧係數、延散係數及水量、流速及水深。以下針對各水理水質參變數演繹，說明如下：

一、設計流量

流量與自淨作用有相當大的關係，故選擇適當的設計流量為建立河川模式相當重要的課題。

由於人工溼地中的水，皆來自於抽水機所抽取之武洛溪排水中的水，因此溼地內流量的情況較容易掌握，設計流量即為當日之抽水量，由 10,000 CMD 到 50,000 CMD 不等，以每日抽水量 30,000 CMD 計算，流量之設計值為 0.347 CMS。

二、設計水溫

在設計水溫上，基本原則為在河川低流量時，可能發生之水溫為設計溫度，高溫時微生物分解有機物速率較快，且水體再曝氣作用及硝化作用較大，對底泥耗氧作用影響亦較大，此時水體將處於最惡劣狀態。

本計畫模擬使用的是實際測得之水溫，不再另行假設，實際之水溫請參閱第四章的實際監測數據。

Headwater Flow	0.347	m ³ /s
Prescribed downstream Boundary?	No	
Headwater Water Quality	Units	12:00pm
Temperature	°C	
Inorganic Solids	mg D/L	
Dissolved Oxygen	mg/L	6.60
CBOD slow	mg O ₂ /L	
CBOD fast	mg O ₂ /L	11.20
Dissolved Organic Nitrogen	μ g N/L	
NH ₄ -Nitrogen	μ g N/L	6,790.00
NO ₃ -Nitrogen	μ g N/L	
Dissolved Organic Phosphorus	μ g P/L	
Inorganic Phosphorus (SRP)	μ g P/L	
Phytoplankton	μ g A/L	
Detritus(POM)	mg D/L	
Pathogen	cfu/100mL	
Alkalinity	mg CaCO ₃ /L	
pH	s.u.	7.00

圖 5.2-2 進流水質及流量設定

三、水力參數

QUAL2K 模式假設之水力條件是定常態，其決定河段水力特性之方法有兩種，即流量係數法和梯形斷面法。

本計畫使用的是梯形斷面法，所需參數包含河道底寬、邊坡斜率、河道坡降及曼寧糙度。曼寧公式之資料皆以人工溼地之設計值來進行輸入，實際輸入情形如下圖 5.2-3。

Manning Formula				
Bot Width	Side	Side	Channel	Manning
m	Slope	Slope	Slope	n
20.00	0.00	0.00	0.001	0.04
20.00	0.00	0.00	0.001	0.04
45.00	0.00	0.00	0.005	0.05
25.00	0.00	0.00	0.005	0.04
30.00	0.00	0.00	0.005	0.04
40.00	0.00	0.00	0.005	0.05
60.00	0.00	0.00	0.005	0.05

圖 5.2-3 曼寧公式設定

四、各項參數

河川中的溶氧平衡主要來源乃是藉由河川本身的再曝氣功能及光合作用所產生的氧氣，溶氧的消耗，包括含碳分子及含氮的有機生化需氧量、底泥耗氧量及藻類呼吸時所使用的氧。

經參考 QUAL2K 相關報告及 QUAL2K 本身之各項建議值後，定係數如圖 5.2-4，其中 $K_1 \sim K_4$ 參數的設定值整理如表 5.2-1 所示。經由水質模式建立，針對污染物推估資料、進行模擬水體之水質、參考各項建議之參數值，並以實際監測資料針對模式中之參數作逐步修正，以使結果的準確性更加提高。

Parameter	Value	Units	Symbol
Stoichiometry:			
Carbon	40	mgC	gC
Nitrogen	7.2	mgN	gN
Phosphorus	1	mgP	gP
Dry weight	100	mgD	gD
Chlorophyll	1	mgA	gA
Inorganic suspended solids:			
Settling velocity	1	m/d	v_s
Oxygen:			
Reaeration model	Internal		
Temp correction	1.024		θ_a
O2 for carbon oxidation	2.69	gO2/gC	r_{oc}
O2 for NH4 nitrification	4.57	gO2/gN	r_{on}
Oxygen inhib CBOD oxidation model	Exponential		
Oxygen inhib CBOD oxidation parameter	0.60	L/mgO2	K_{sof}
Oxygen inhib nitrification model	Exponential		
Oxygen inhib nitrification parameter	0.60	L/mgO2	K_{son}
Oxygen enhance denitrification model	Exponential		
Oxygen enhance denitrification parameter	0.60	L/mgO2	K_{sofn}
Slow CBOD:			
Hydrolysis rate	2	/d	k_{hc}
Temp correction	1.047		θ_{ho}
Fast CBOD:			
Oxidation rate	4	/d	k_{dc}
Temp correction	1.047		θ_{dc}
Organic N:			
Hydrolysis	0.05	/d	k_{hn}
Temp correction	1.07		θ_{hn}
Ammonium:			
Nitrification	4	/d	k_{na}
Temp correction	1.07		θ_{na}
Nitrate:			
Denitrification	1	/d	k_{dn}
Temp correction	1.07		θ_{dn}
Sed denitrification transfer coeff	0	m/d	v_{d1}
Temp correction	1.07		θ_{d1}
Organic P:			
Hydrolysis	2	/d	k_{hp}
Temp correction	1.07		θ_{hp}
Phytoplankton:			
Max Growth	2.5	/d	k_{pp}
Temp correction	1.07		θ_{pp}
Respiration	0.1	/d	k_{rp}
Temp correction	1.07		θ_{rp}
Death	0	/d	k_{dp}
Temp correction	1		θ_{dp}
Nitrogen half sat constant	15	ugN/L	k_{sfp}
Phosphorus half sat constant	2	ugP/L	k_{spp}
Light model	Half saturation		
Light constant	57.6	langleys/d	K_{lp}
Ammonia preference	25	ugN/L	k_{hoxp}
Settling velocity	0.15	m/d	v_c
Bottom Algae:			
Max Growth	60	gD/m ² /d	C_{ab}
Temp correction	1.07		θ_{ab}
Respiration	1	/d	k_{rb}
Temp correction	1.07		θ_{rb}
Death	0.25	/d	k_{db}
Temp correction	1.07		θ_{db}
Nitrogen half sat constant	300	ugN/L	k_{sfb}
Phosphorus half sat constant	100	ugP/L	k_{sfb}
Light model	Half saturation		
Light constant	50	langleys/d	K_{lb}
Ammonia preference	25	ugN/L	k_{hoxb}
Detritus (POM):			
Dissolution	5	/d	k_{dt}
Temp correction	1.07		θ_{dt}
Settling velocity	1	m/d	v_{dt}
Pathogens:			
Decay	0.8	/d	k_{dx}
Temp correction	1.07		θ_{dx}
Settling velocity	1	m/d	v_x
pH:			
Partial pressure of carbon dioxide	347	ppm	p_{CO2}

圖 5.2-4 Rates 工作表之參數設定

表 5.2-1 水質模擬主要參數設定值

參數	代號	設定範圍	備註
BOD 衰減	K ₁	2~20	程式預設值為 4，但根據實際監測結果調整，最高可達 20。
再曝氣係數	K ₂	0	本欄沒有設定，程式將依據 Rates 工作表中設定之相關參數進行再曝氣係數的計算。
BOD 沉降	K ₃	1.024	本參數採用預設值。
底泥耗氧率	K ₄	1~40	參考目前台灣使用 QUAL2K 進行模擬的研究，此參數之設定多在 1~100 之間。

實際模擬時採用的模擬方式是每 0.015 小時計算一次、不設定下游邊界，溶氧、生化需氧量及氮氮同時計算，且加入溫度及 pH 考慮，如圖 5.2-5。參數多使用 QUAL2K 內預設之參數，以此方法模擬出結果後，再根據結果對照實際監測值，不符合的地方再改變參數設定，以使模擬的結果符合實際監測的結果，水質模擬主要之參數如圖 5.2-4。

System ID:		
River name	武洛溪人工溼地	
Saved file name	Wulo01	
Directory where file saved	C:\Program Files\QUAL2K	
Month	3	
Day	12	
Year	2007	
Time zone	Pacific	
Daylight savings time	No	
Calculation:		
Calculation step	0.015	hours
Final time	2	day
Program determined calc step	0.011719	hours
Time of last calculation	0.63	minutes
Time of sunrise	6:57 AM	
Time of solar noon	12:14 PM	
Time of sunset	5:32 PM	
Photoperiod	10.59	hours

圖 5.2-5 QUAL2K 首頁

5.3 模擬結果

模擬的結果如下表 5.3-1 到表 5.3-9 及圖 5.3-1 到圖 5.3-27，位置皆以代號表示，W1 為礫石過濾床出流口、W2 為小蓮花池出流口、W3 為大蓮花池出流口、W4 為第一池出流口、W5 為第二池出流口、W6 為第三池出流口、W7 為放流口。

表 5.3-1 歷次水質模擬結果

單位：mg/L

日期	位置	溶氧		生化需氧量		氨氮	
		實際值	模擬值	實際值	模擬值	實際值	模擬值
95.08.02	進流水質	6.6	6.6	11.2	11.2	6.79	6.79
	出流水質	4.4	4.31	2.7	2.73	4.96	4.77
95.08.29	進流水質	4.3	4.3	11.6	11.6	6.08	6.08
	出流水質	2.9	2.95	4.0	4.03	4.57	4.52
95.09.28	進流水質	6.4	6.4	4.5	4.5	7.04	7.04
	出流水質	5.1	5.30	4.5	4.47	6.19	6.16
95.10.19	進流水質	6.4	6.4	8.7	8.7	11.40	11.40
	出流水質	3.8	3.76	2.7	2.72	8.40	8.38
95.10.31	進流水質	4.8	4.8	11.0	11.0	2.96	2.96
	出流水質	0.9	0.98	4.6	4.80	2.79	2.79
95.11.22	進流水質	4.7	4.7	25.1	25.1	10.20	10.20
	出流水質	3.0	3.00	3.7	3.75	7.12	7.18
96.01.09	進流水質	6.8	6.8	15.1	15.1	8.31	8.31
	出流水質	3.6	3.63	2.7	2.74	5.89	5.89
96.01.31	進流水質	5.2	5.2	33.7	33.7	8.86	8.86
	出流水質	3.3	3.27	3.8	3.80	6.24	6.21

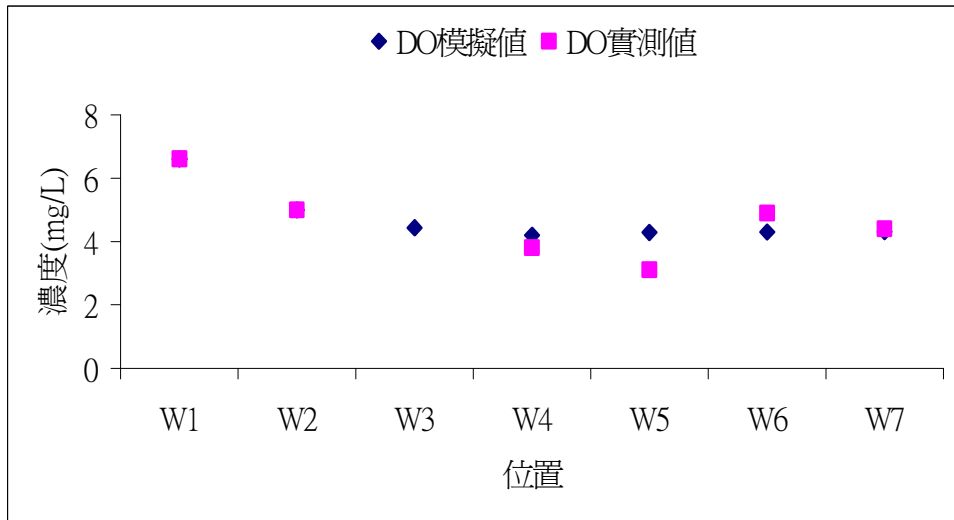


圖 5.3-1 95 年 8 月 2 日溶氧模擬結果

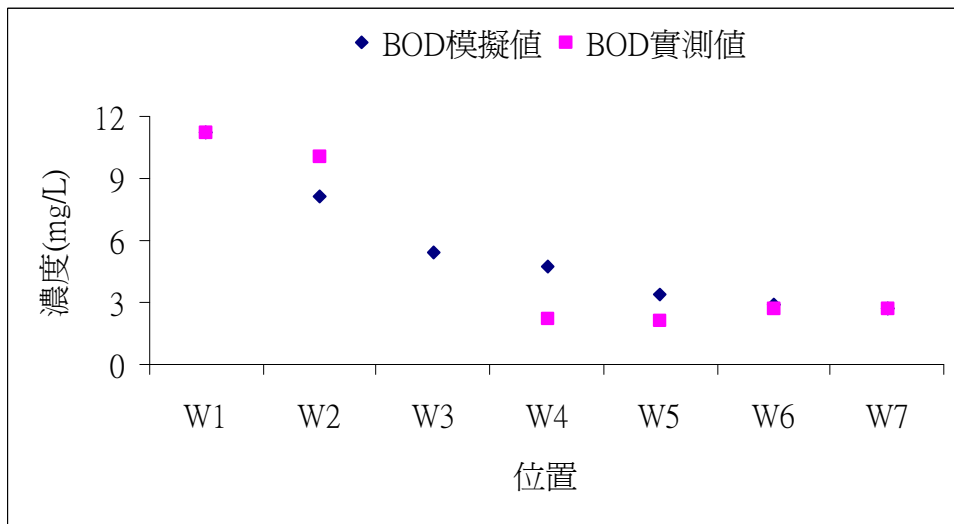


圖 5.3-2 95 年 8 月 2 日生化需氧量模擬結果

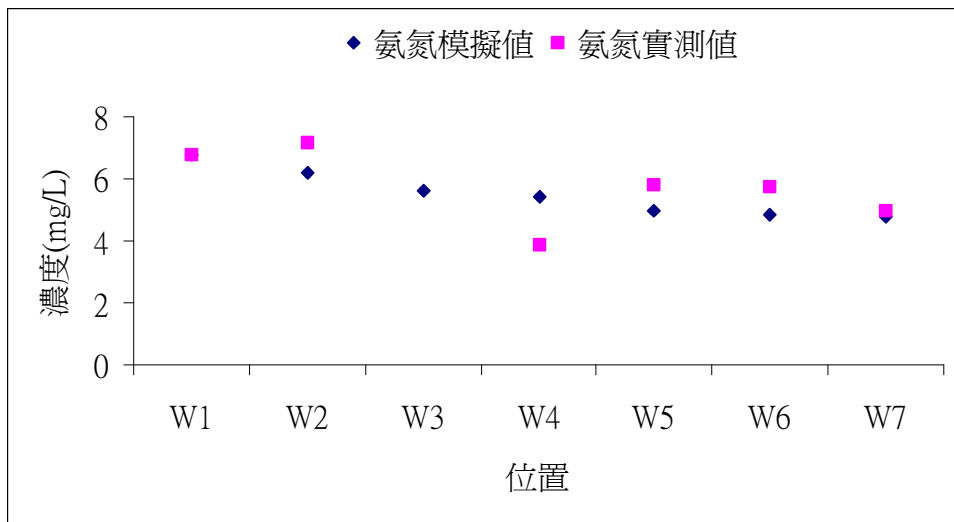


圖 5.3-3 95 年 8 月 2 日氨氮模擬結果

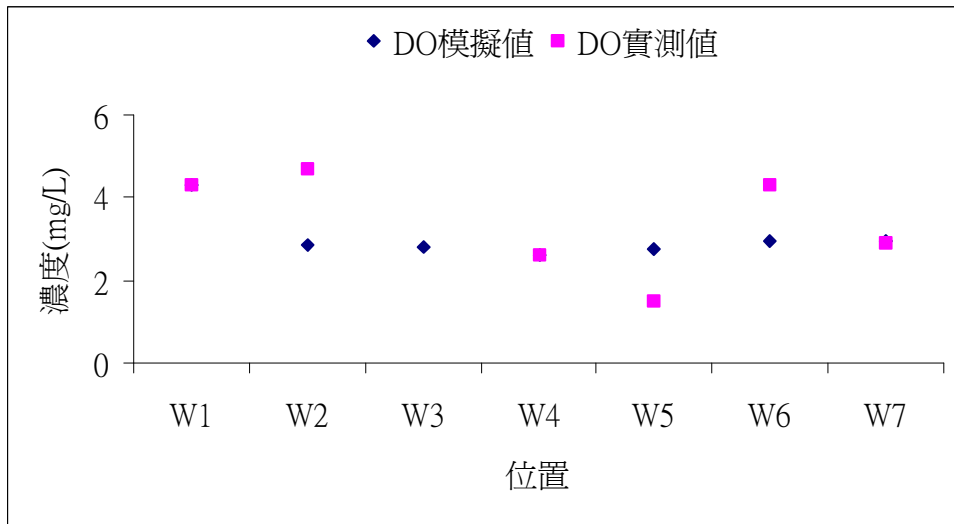


圖 5.3-4 95 年 8 月 29 日溶氧模擬結果

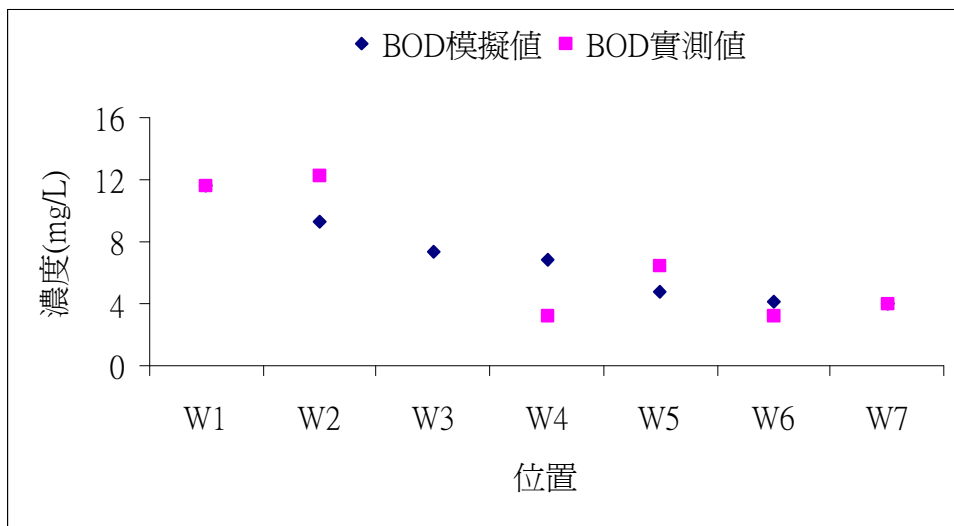


圖 5.3-5 95 年 8 月 29 日生化需氧量模擬結果

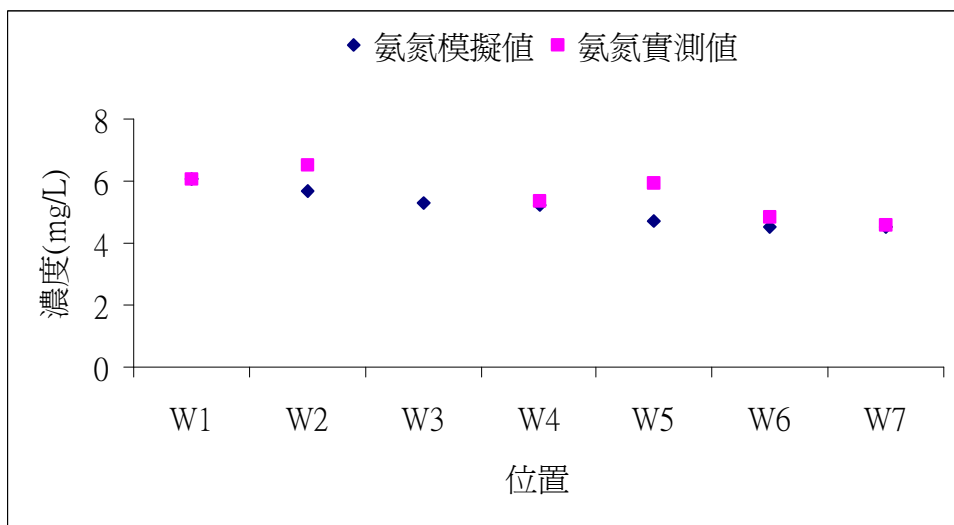


圖 5.3-6 95 年 8 月 29 日氨氮模擬結果

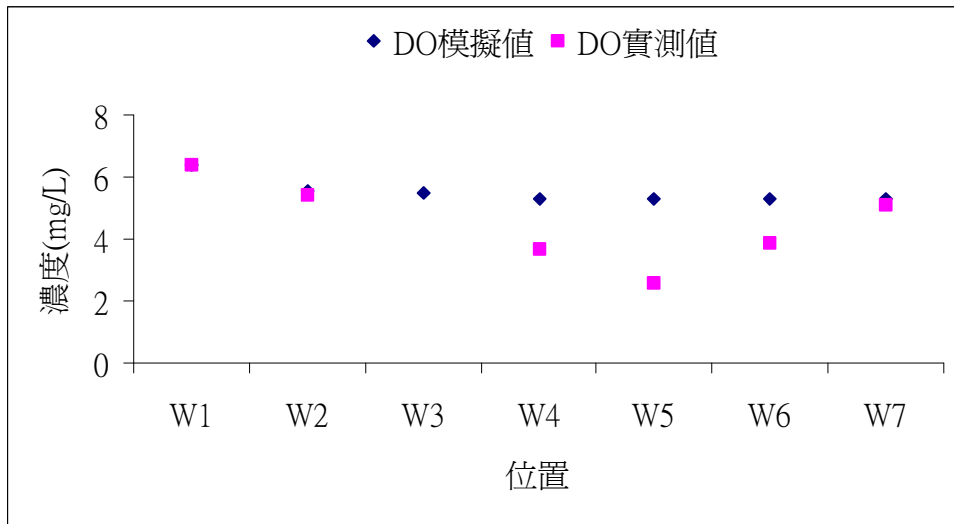


圖 5.3-7 95 年 9 月 28 日溶氧模擬結果

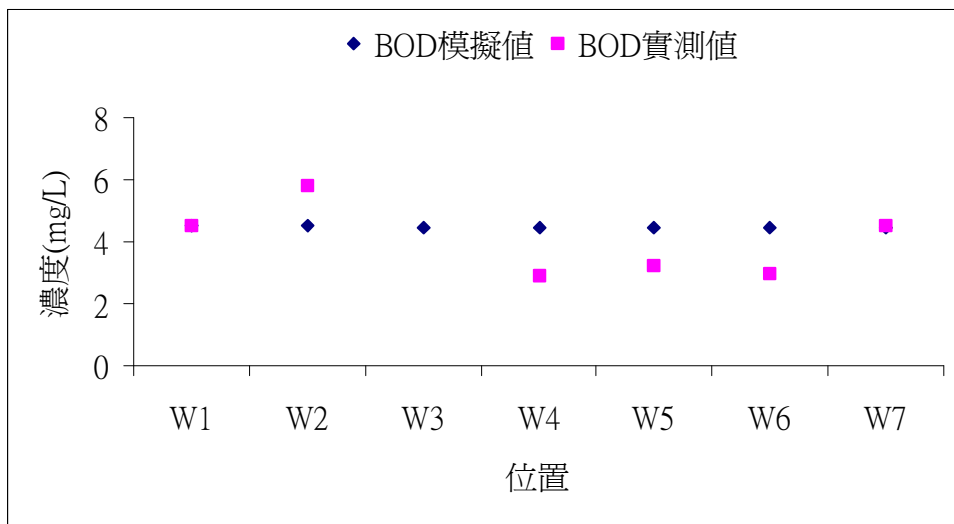


圖 5.3-8 95 年 9 月 28 日生化需氧量模擬結果

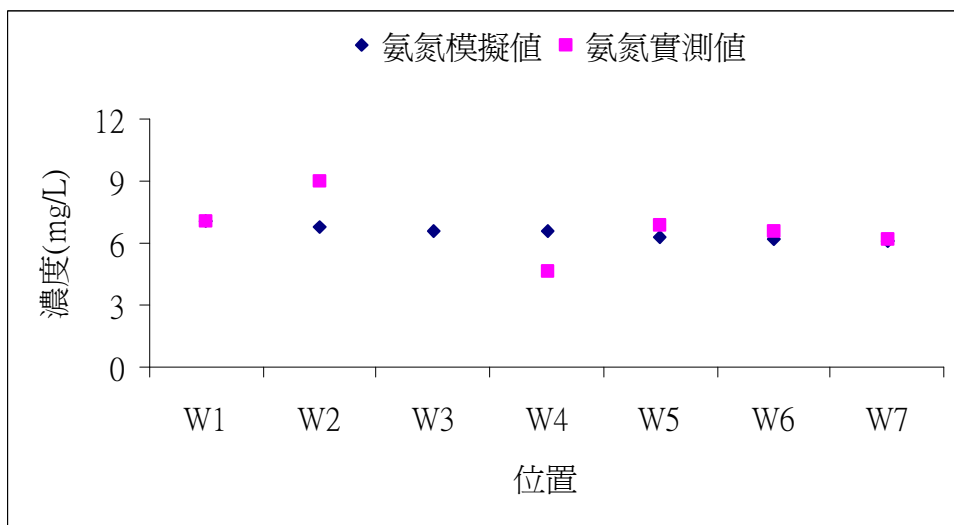


圖 5.3-9 95 年 9 月 28 日氨氮模擬結果

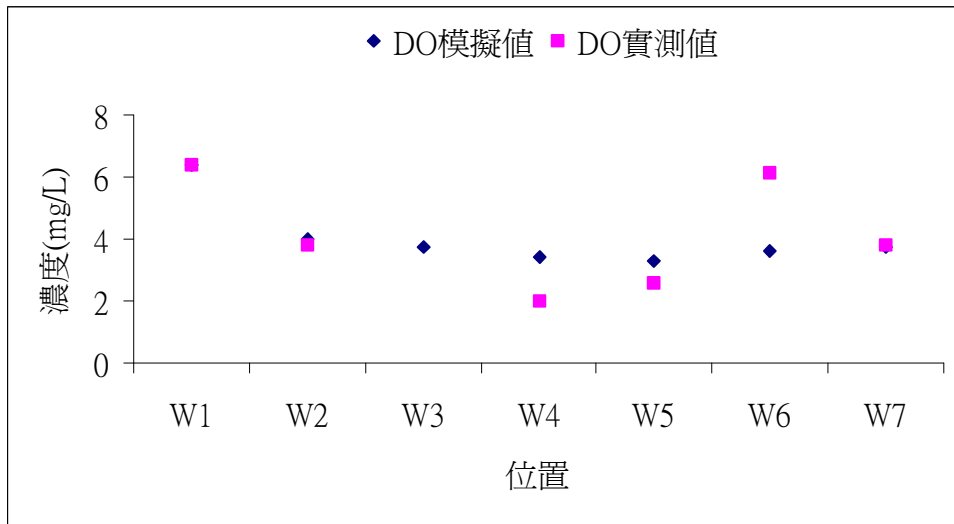


圖 5.3-10 95 年 10 月 19 日溶氧模擬結果

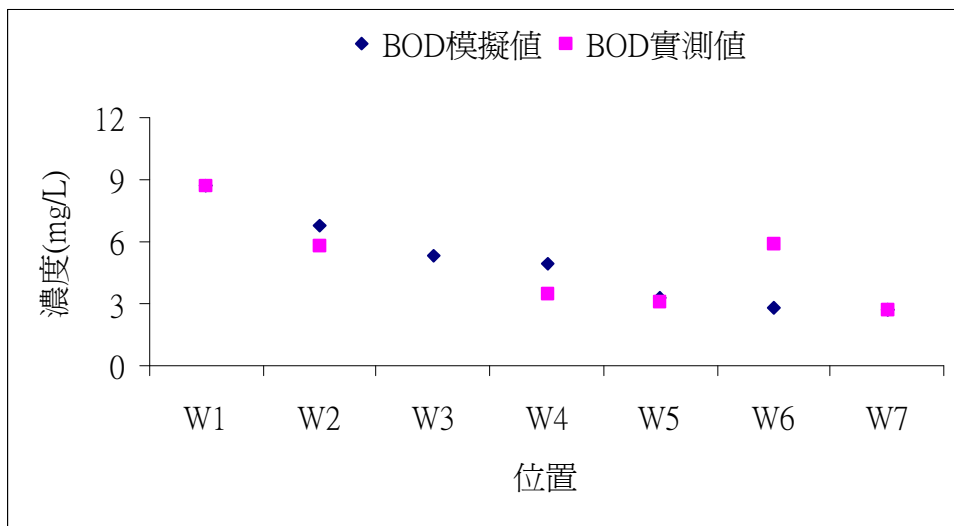


圖 5.3-11 95 年 10 月 19 日生化需氧量模擬結果

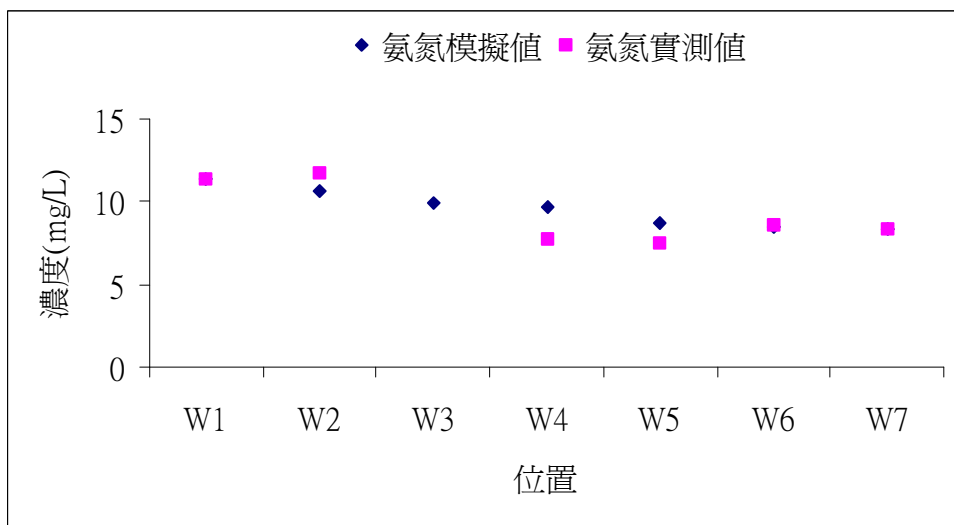


圖 5.3-12 95 年 10 月 19 日氨氮模擬結果

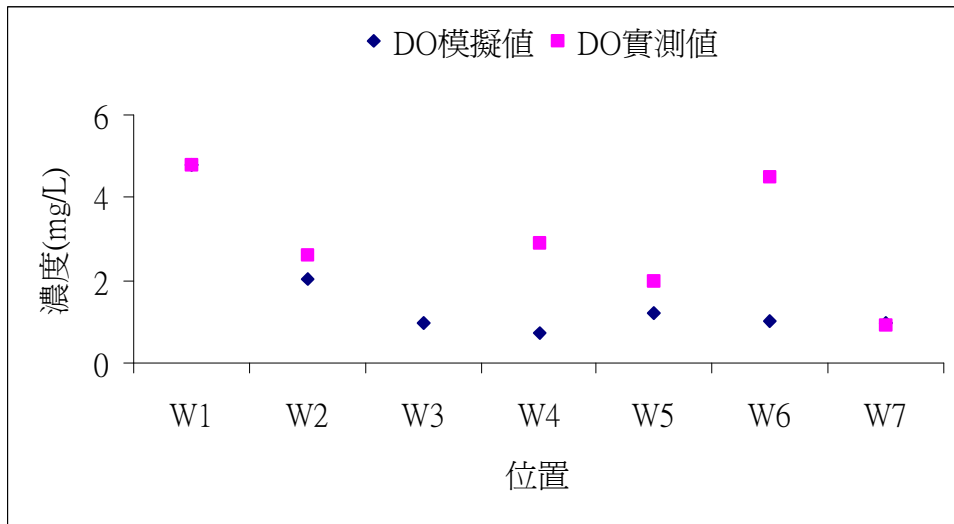


圖 5.3-13 95 年 10 月 31 日溶氧模擬結果

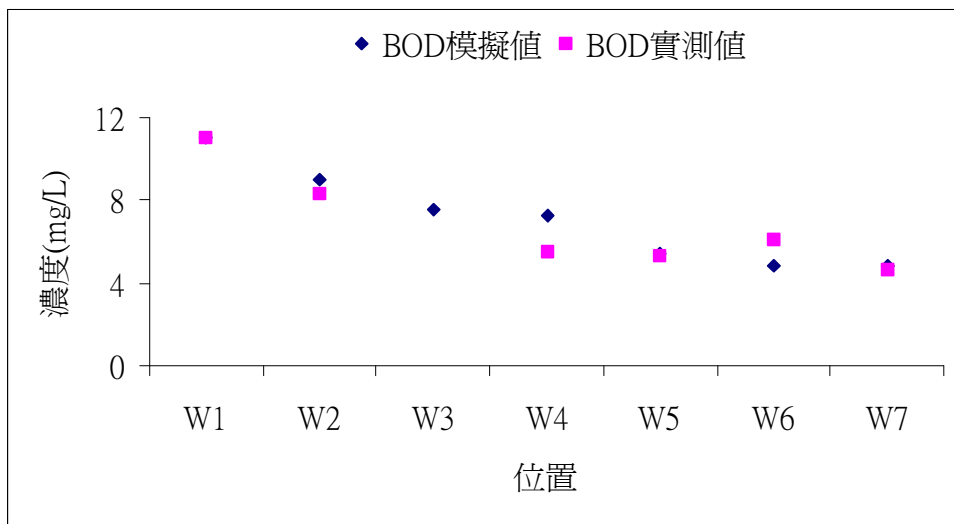


圖 5.3-14 95 年 10 月 31 日生化需氧量模擬結果

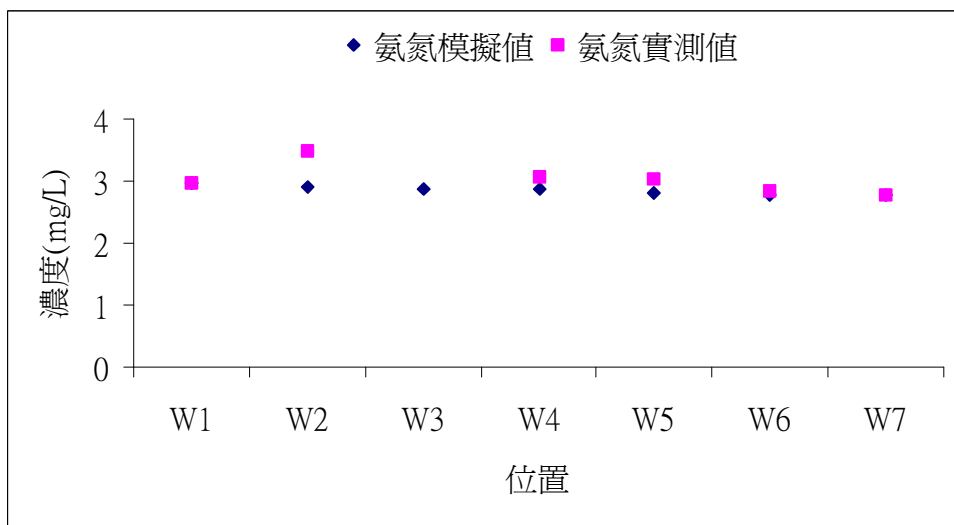


圖 5.3-15 95 年 10 月 31 日氨氮模擬結果

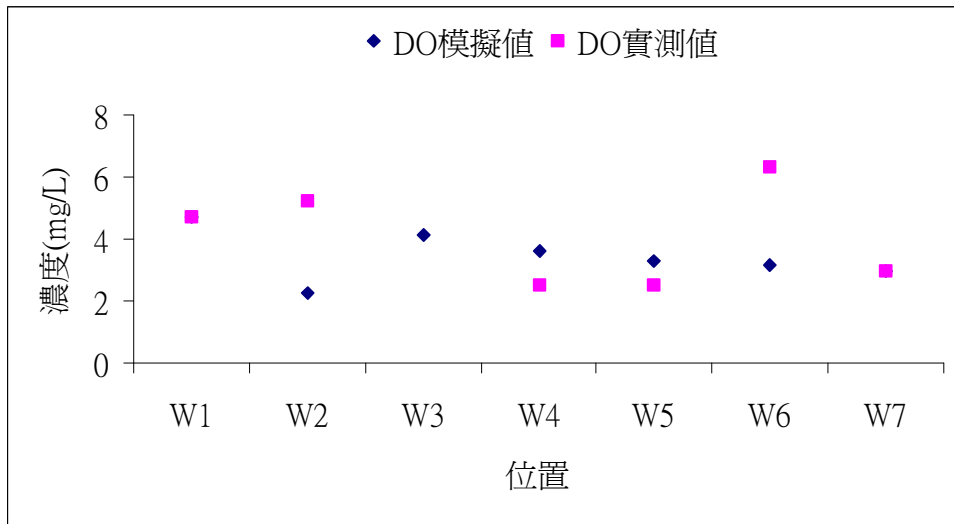


圖 5.3-16 95 年 11 月 22 日溶氧模擬結果

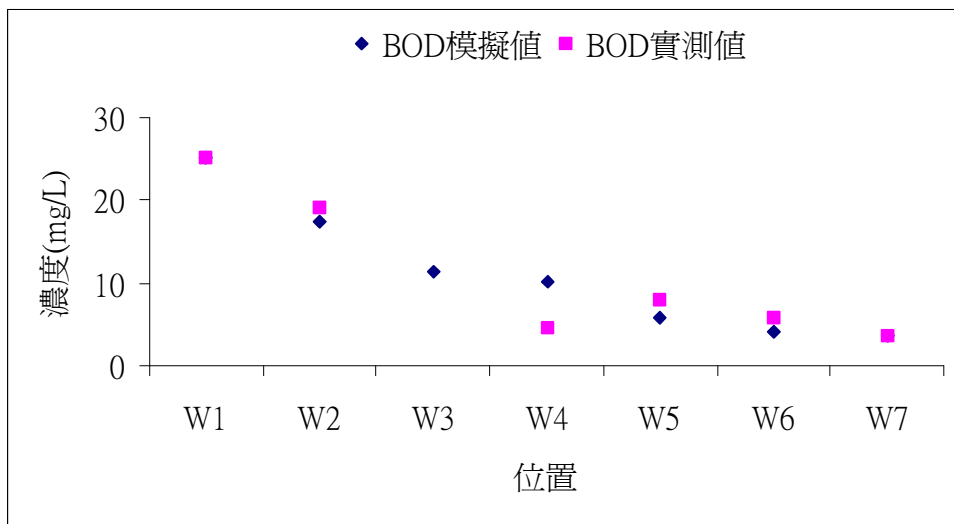


圖 5.3-17 95 年 11 月 22 日生化需氧量模擬結果

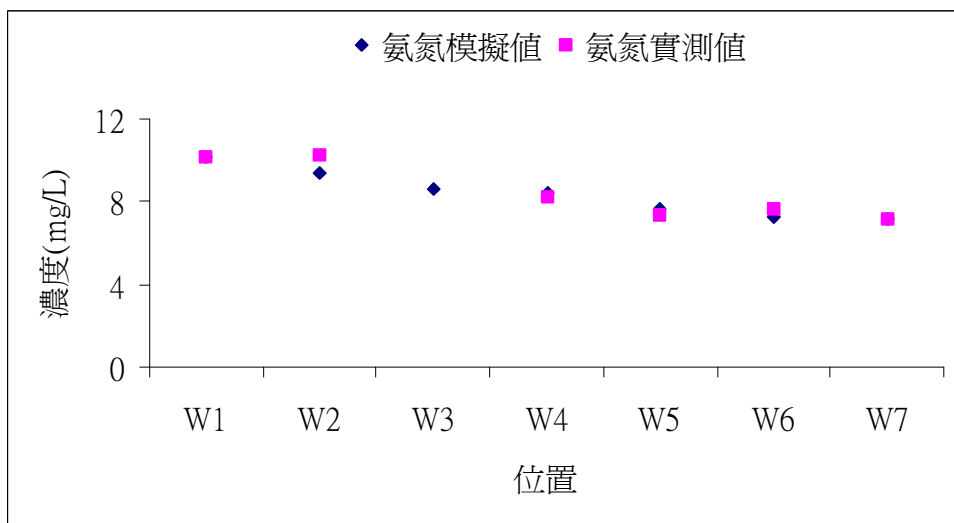


圖 5.3-18 95 年 11 月 22 日氨氮模擬結果

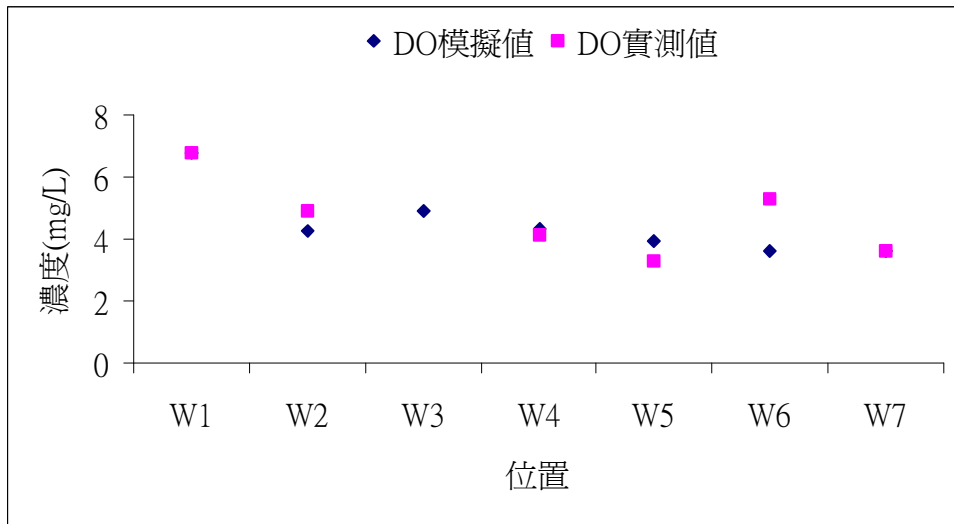


圖 5.3-19 96 年 1 月 9 日溶氧模擬結果

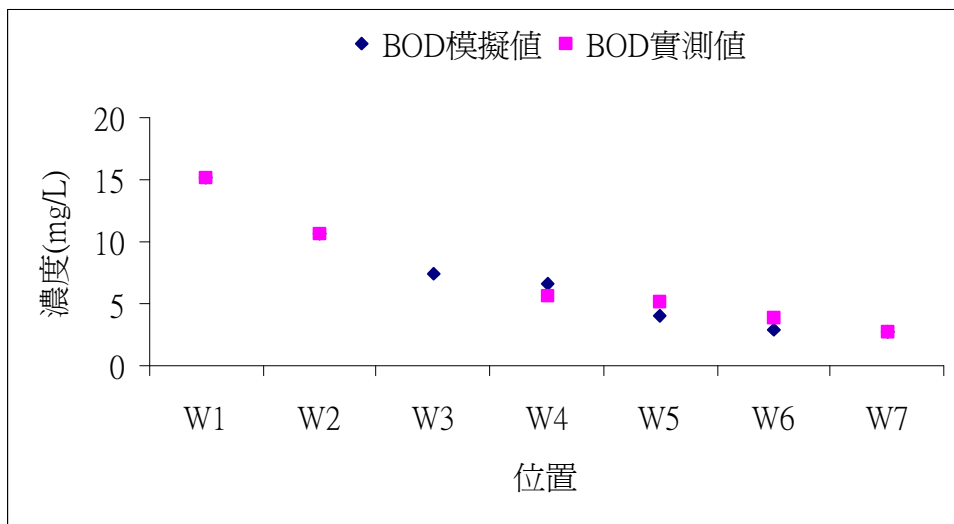


圖 5.3-20 96 年 1 月 9 日生化需氧量模擬結果

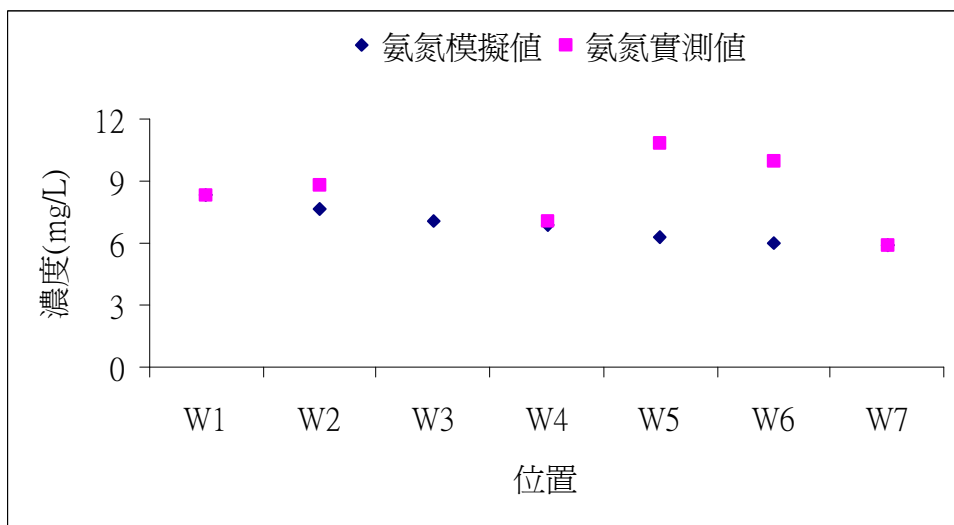


圖 5.3-21 96 年 1 月 9 日氨氮模擬結果

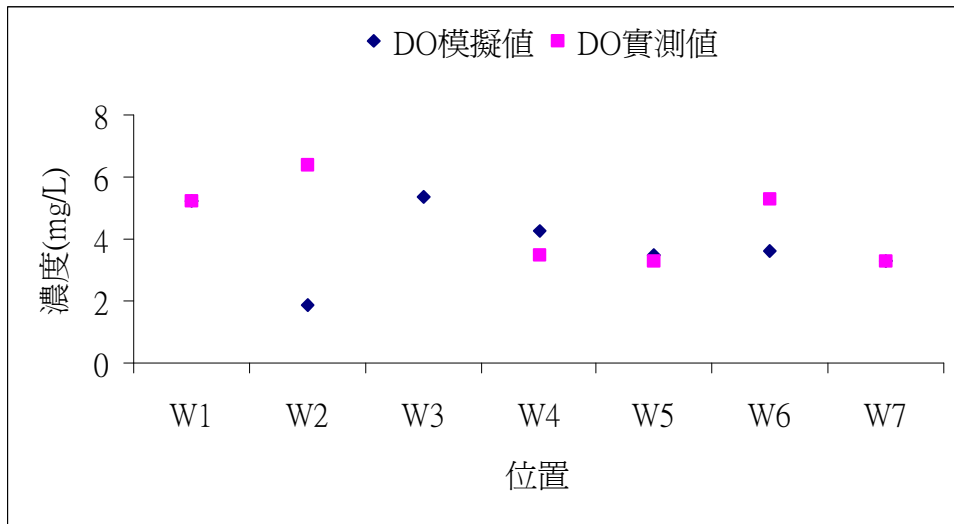


圖 5.3-22 96 年 1 月 31 日溶氧模擬結果

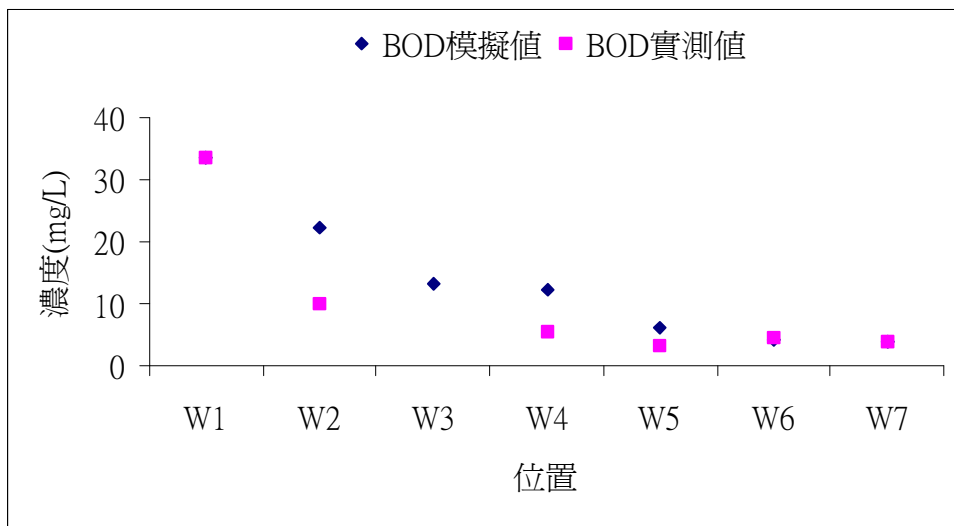


圖 5.3-23 96 年 1 月 31 日生化需氧量模擬結果

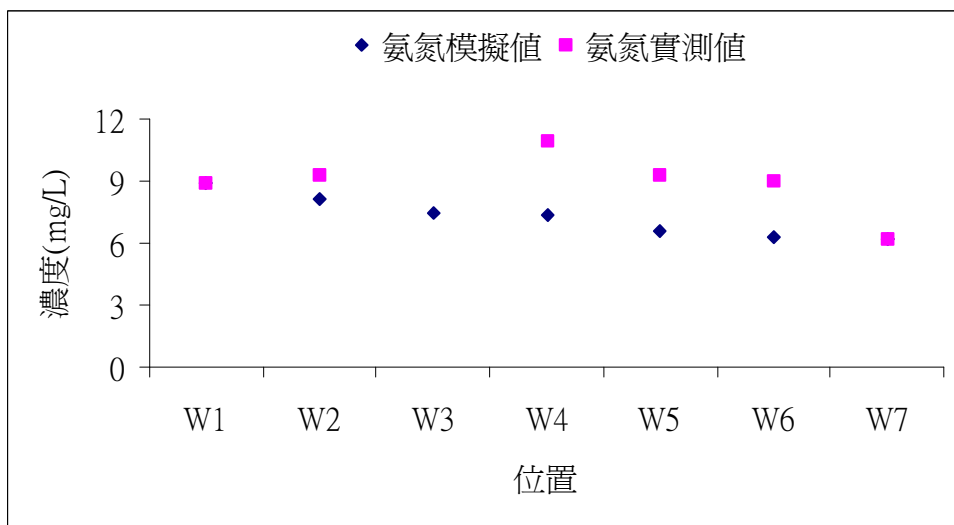


圖 5.3-24 96 年 1 月 31 日氨氮模擬結果

5.4 模擬結果之討論

以 5.2 節的參數為主要的河道模型設定，再微調特定參數的設定值，模擬的結果與實際監測的結果誤差可在 5% 以內。以一般河道所使用的參數來模擬時，所得到的模擬結果與實際監測值比較，生化需氧量的模擬值較實際值高，意即與一般的河川相較，武洛溪人工溼地對於生化需氧量的去除效果較好。

模擬過程中發現若不適當調整底泥耗氧率，則模擬結果的溶氧值易偏高，表示流經武洛溪人工溼地比流經一般的河川在淨化污水過程中消耗了更多的氧氣，估計這些消耗掉的氧氣，部分是進行生化反應時消耗掉了，部分是被大量的水生植物消耗，在氧氣持續消耗的情況下，卻因為大量的水生植物覆蓋水面，降低了氣體交換的機會，同時阻擋了陽光，使水中的藻類無法行光合作用釋放氧氣到水中。

為了使模擬結果更符合實際情況，模擬時需要進行一些參數的微調，為了使生化需氧量的模擬值更加準確，要將 BOD 計算的氧化率(Oxidation rate)調高一些，而水生植物所消耗掉的溶氧，在 QUAL2K 的程式中並沒有相關欄位，因此替代的方式為調整各池的底泥耗氧率(Prescribed SOD)，以模擬溶氧在人工溼地中消耗的情形。

縱觀本年度的模擬成果，本年度的水質模擬計畫，已成功的將人工溼地的河道模型建立完成，未來可以運用此河道模型進行相關的應用。例如武洛溪人工溼地目前正規劃中的氮氮改善工程，可利用 QUAL2K 水質模式以模擬的方式，了解武洛溪人工溼地原先之去除效果，再和氮氮改善工程完成後的水質相比，即可評估出氮氮改善工程的效益。

在實際的應用方面，舉 96 年 1 月 9 日的監測結果為例，模擬的起點處，也就是礫石過濾床的出流口，水溫是 22.8°C 溶氧的監測值是 6.8mg/L，氮氮的監測值是 8.31mg/L，出流口氮氮的實際監測濃度為 5.89mg/L，模擬的結果，氮氮出流濃度為 5.87mg/L。

利用 QUAL2K 模擬程式，可以模擬在同樣情形下，單一條件改變的影響，舉例來說，以目前所使用的參數條件下，溶氧若升高為 8.0mg/L，模擬

結果出流時氨氮的濃度會略為提升到 5.89mg/L。亦可模擬夏季時、水質相同的條件下，溫度會對出流的氨氮濃度造成如何的影響，結果當模擬的水溫調整為 30°C 時，氨氮在出流口的模擬濃度為 5.20mg/L，顯示同樣水質條件下，溫度較高時，氨氮的去除效果會比較好。

此外，目前人工溼地正在規劃氨氮改善設施，預計將會增加一些操作單元，以增加溶氧及延長水力停留時間等方式加強人工溼地對氨氮的去除能力，在系統完工後，便可使用 QUAL2K 的模擬來評估此氨氮改善工程的效益如何。只要將條件輸入 QUAL2K 中，便可模擬出流時氨氮的濃度，將模擬所得之出流氨氮濃度與氨氮改善工程完成後之實際出流氨氮濃度相比，即可瞭解氨氮改善工程對氨氮改善的影響。

第六章 結論與建議

6.1 結論

不當的政策與施工方法，是國內生態環境遭遇浩劫的主因，廢土堆集、廢水排入、填土開發等，使臺灣濕地瀕臨絕跡。為挽救環境危機，國際上致力於生態工程之應用，其是以一種「近自然河溪整治的理念」的理念，達到「近自然治理的目標」，強調生態多樣性在生態治理的重要性，注重工程治理與自然景觀的和諧性，並逐步達成永續發展目標。

導致天然溼地消失的原因眾多，棲地的復育手段便是人工溼地的建造。本計畫是利用生態工程理念來完成人工溼地建造，達成滿足人們在知性與感性上的需要。人工溼地雖不是天然形成，但仍有部份的天然溼地的功能，例如：水文調節、微氣候調節、生態復育及美學上的價值，更是廢污水革新與代用處理技術的研發之地，也是污泥分解利用與生活污水淨化成灌溉用水之地。其中，廢污水革新與代用處理技術的研發以及污泥分解利用與生活污水淨化方面，是人工溼地對水資源的再生利用與地力再活化最具體的貢獻。

武洛溪排水水質場址屏除傳統治水方式，改以人工溼地形式改善水質，利用礫石過濾床的生物膜及增加溶氧與植物吸收有機物、過濾等特性，驗證了人工溼地的確具有水質淨化之功效，不僅僅是水質得到良好改善，對水資源日益重視的今日，也成功的達到水回收再利用的功效，其豐富的設計型態與植生造就了多樣化環境，以往認定的污染水質，卻建構了一個生態復育、生物多元化的天堂，也給了現今社會一寸土一寸金的人們提供了一個完善的休憩場所，為國內人工溼地增添一個輝煌的紀錄。以下就地面水水質實驗成效做一總結：

一、經本研究歷次針對溼地水質監測結果顯示，依照原設計條件操作下，也就是抽水量為五萬噸時，生化需氧量去除率可達 91.6%（進流口濃度為進流口濃度 19.6 mg/L；出流口濃度 3.6 mg/L）；而懸浮固體方面，去除率可達 94%（進流口濃度為 74.4 mg/L；出流口濃度為 4.5 mg/L），除符合溼地原設計功能（原設計懸浮固體平均去除率 70%，濃度低於 20 mg/L；生化需氧量平均去除率 60%，濃度低於 10 mg/L）外，去除率約增加 20% ~30%，有較原設計為佳之趨勢。推估溼地處理之污染量最大可減少整個武洛溪中生化需氧量與懸浮固體物濃度的 5%。本研究

執行抽水量 30,000 CMD 試驗結果，第一期工程生化需氧量去除率最高可達 52.9% ，懸浮固體最高去除率可達 67.4% ；第二期工程生化需氧量去除率最高可達 80.5% ，懸浮固體去除率最高可達 97.3% 。

- 二、未來若考量機具維修問題及枯水期水位問題將抽水量調整至 30,000 CMD，在溼地穩定發展下且無水芙蓉等外在因素存在，生化需氧量及懸浮固體之去除率仍可達到原設計抽水 50,000 CMD 之去除成效，枯水期去除成效較豐水期為佳，最大約可減少武洛溪流域中生化需氧量及懸浮固體約 2-3% 的污染量。
- 三、由 QUAL2K 模式模擬的結果顯示呈現出與實際監測值類似分佈的曲線趨勢，在氨氮及 BOD 項目模擬比對結果相似度極高。顯示此溼地之淨化效能與設計功能皆能達到人工溼地其污染去除成效。整體而言，以跌水工法作為人工溼地的前處理設施，增加水中溶氧量，除可對 BOD 的去除效果明顯之外，有利於後續各種生化反應的進行，使污染物的去除更加順利。另一方面，當進流水污染物濃度高，跌水工法可作為緩衝區域，避免直接進入溼地，降低對溼地中的生物造成衝擊。因此人工溼地配合跌水工法進行水質淨化是成功的組合。
- 四、氨氮去除效率仍舊不明顯，武洛溪溪水中本身氨氮濃度高溶氧低，礫石床雖可增加溶氧量，但無法達到飽和溶氧狀態，隨著第一期工程進行相關生化與微生物作用耗用相當溶氧量，致使溼地中溶氧不足以將氨氮轉化成硝酸鹽氮，加上水芙蓉生長茂盛，更不易去除氨氮，故應增加溼地溶氧以提高氨氮去除效果。

6.2 建議

建議事項如下所示：

- 一、因本工程氨氮去除效率始終不佳，為使水芙蓉不致生長過盛進而影響水溶氧與植生之生態平衡，建議應研究設法去除水中氨氮，以利水質淨化所需。
- 二、建議應多累積水質數據以評估抽水量少時是否於某些分析項目具去除能力。
- 三、因礫石過濾床長時間有淤積污泥現象，部分濾床已呈現厭氧狀態，建議適時清除污泥，以恢復礫石過濾床處理效能。

- 四、 若武洛溪溼地附近有合適之高灘地，建議可進行規劃與目前之溼地做連結以加強水質淨化與生態復育。
- 五、 人工溼地因其設計之類型及功能不同，需要每年進行 2~10 次的清洗。人工溼地會因污泥淤積而使實際體積縮小，影響水力停留時間及污染物去除效果，嚴重時可能被污泥填平，因此為了防止此問題的發生，人工溼地每季應進行調查以瞭解溼地的污泥淤積情形，並每年進行污泥清除工作，恢復人工溼地的正常功能。
- 六、 過盛的水生植物撈除工作，建議每年進行 2~4 次，或是雇用 2~3 名臨時人力專責控制人工濕地的水生植物，每日巡邏濕地並將多餘之水生植物撈除，此方法的好處是其清除水生植物的工作為每日進行的，因此不像定期清除水生植物的方案，水生植物已經生長到破壞生態或水質的程度才進行處理，而是隨時保持溼地的水生植物在正常的設計範圍內。
- 七、 雖然礫石過濾床的原始設計有反沖洗設備，但實際使用效果不彰，要改善礫石過濾床功能減低的情形，可以優先考慮使原有的設備發揮功能。
- 八、 日前培地茅推廣協會參訪溼地，建議於水道中密植培地茅，以加強污染物如 BOD、SS、NH₃-N 的去除效果，但事實上，培地茅有造陸的效果，若是密植於溼地中，可能會有使溼地陸化的疑慮，而種植於岸邊則有固岸的效果。若要以培地茅來加強人工溼地的淨水效果，建議於較上游處密植培地茅，並要密切注意是否有陸化的情形發生。
- 九、 陸域植物多為人工栽培物種，並且有定期除草，但要注意的是有不少的植物因為缺水生長情況不良，如小花黃蟬、土沉香，第二池人工浮島上之植物也有枯萎的現象。此外，水質採樣調查時發現人工溼地有小花曼澤蘭出現，小花曼澤蘭被稱為綠色癌症，若不注意其生長情形，將會影響人工溼地陸域植物的生態。
- 十、 本工程因河川水位與第一期工程位置有高程落差，須以抽水馬達抽送，電費負荷高，抽水馬達損壞率高，需額外支付維修費用，建議未來可改用水車或其他引水方式，減少額外費用負擔。