

高屏溪流域環境水資源分布 與水質、水污染變遷之研究

Changing Water Resources, Quality and Pollution in the Kao-Ping Watershed

任家弘*

林俊全**

趙文愷***

徐美玲****

Chia-Hung Jen Jiun-Chuan Lin Wen-Kai Chao Mei-Ling Hsu

Abstract

Water resources are a vital element and main issue for the development of southwest Taiwan. This paper concludes that the distribution of pig farms, human population and industries has a significant impact on water quality. The data shows that a reduction of pig population can reduce stream pollution and improve water quality.

In this research, the RPI data shows that water quality in up stream area is getting better while the down stream section, including the tributaries, is getting worse. Besides, there is also some difference between the high and low water level period. Generally speaking, the RPI is lower during the high water level period because of dilution. But there are 5 stations that do not show this trend because of the increase in suspended solids during the high water level period.

* 國立臺灣大學地理環境資源學系博士班研究生

Ph. D. Student, Department of Geography, National Taiwan University.

** 國立臺灣大學地理環境資源學系教授，通訊作者 (e-mail: jclin@ntu.edu.tw)

Professor, Department of Geography, National Taiwan University, Corresponding Author.

*** 國立臺灣大學地理環境資源學系研究助理

Research Assistant, Department of Geography, National Taiwan University.

**** 國立臺灣大學地理環境資源學系副教授

Associate Professor, Department of Geography, National Taiwan University.

In water quality, the study shows obvious difference between up and down stream sections. WQI in up stream areas is over 50 and it is getting better while it is lower than 40 and getting worse in the nearby tributaries of the down stream section. It is mainly affected by the output of pig farming. The WQI is about 50 to 60 at the Kao-Ping Bridge and Shuan-Yuan Bridge stations because of higher discharge. Moreover, there is some difference between high and low water level periods. Generally speaking, the WQI is higher during high water level periods because of dilution. Only two stations do not show this trend due to the increase of suspended solids in higher discharge.

Keywords: water resources, Kao-Ping watershed, sustainable development, RPI (River Pollution Index), WQI (Water Quality Index).

摘 要

高屏地區的水資源與水污染問題，長久以來備受關注。本研究以水質指數與水污染指數對高屏河流域地區環境中的水質與水污染變化趨勢進行探討。研究成果顯示高屏溪的水質受到污染源的控制，與研究區內的人口、染整工業、養豬事業等有空間上分布的關連，亦即污染的時間與空間變化影響水質。

在水污染方面，高屏河流域水污染指數的趨勢，上游與中游近年水質轉好。而下游高屏溪主流的部分，其污染指數都保持在中度污染以上，甚至繼續攀高，顯示下游平原地區污染源的嚴重性。此外，在豐水期與枯水期河川水污染狀況比較，在旗尾橋等五個支流測站，呈現豐水期河川污染程度較高的異常狀況，主要由於豐水期的高河川流量使懸浮固體濃度增加，所以 RPI 值隨之上升。

在水質方面，以水質指數 (WQI) 為標準，也呈現上下游明顯的差異化。中上游集水區 WQI 保持在 50 以上，且水質維持持平或變好。下游的小支流牛稠溪與武洛溪受到養豬廢水的影響，WQI 值在 40 以下，屬於水質劣等的狀況。而主流的高屏大橋與雙園大橋測站由於水量較大，WQI 平均值保持在 50-60 之間，顯示水質屬於中等的情形。在豐水期與枯水期 WQI 指標比較方面，只有大津橋與南華大橋 WQI 指標呈現在豐水期較高的異常狀況。

關鍵字: 水資源、高屏河流域、永續發展、河川污染指數 (RPI)、水質指數 (WQI)

前 言

臺灣南部地區氣候環境特殊，90% 降雨集中於 5 至 10 月之豐水期，枯水期相對較長，造成此地區水資源集中於短暫時期，並難以長時間蓄存。高屏溪為高屏地區水資源最主要的來源，發源於中央山脈玉山，全長 171 公里，流域面積廣達 3,257 平方公里，是臺灣南部地區主要的河川。

臺灣南部地區由於受到缺乏大型水庫調配、地下水嚴重超抽與全球氣候變遷影響等因素之限制，水資源相形不足；加上近年來經濟的發展，用水量也相對增加，所以水資源相對短缺。此外，高屏河流域的水污染源對於高屏地區的飲用水水質造成嚴重的威脅 (高哲男等，2000)。由於高屏溪是主要的自來水水源之一，所以污染的水源造成自來水的品質下降，水中的大腸桿菌數、氨氮含量與硬度都偏

高，雖然自來水公司以採取伏流水的手段進行取水水質改善作業，但是效果仍然有限（江弘斌，1991）。水污染防治與廢水處理的不完善，導致高屏溪流域內水源遭到各種程度的污染，都市、工業區及養殖業的快速發展卻又資源需求日益增加。所以水資源短缺與水污染問題將是高屏溪流域如何永續發展所面臨的重大課題。

研究區域背景資料

（一）流域概況

高屏溪位於高雄縣與屏東縣境，主流荖濃溪源出中央山脈之玉山南麓，集水向西南流，沿途匯集拉庫音溪、唯金溪、拉克斯溪與寶來溪等，至大津納濁口溪，之後進入平原地區，於草埔灘匯入隘寮溪，西行至嶺口與旗山溪匯合後稱高屏溪，穿過下游平原地帶，於屏東縣新園鄉五房村附近匯入臺灣海峽。全流長 170.9 公里，流域面積約 3,257 平方公里（圖 1）。

（二）氣候水文

高屏溪流域屬熱帶季風氣候區。冬季雖東北季風盛行，受到中央山脈之阻擋，故雨量稀少，呈現較長的乾季。全流域年平均雨量 3130 公釐，降雨量之時間分佈極不均，降雨量大部分集中於 5 月至 10 月間之豐水期，其降雨量約佔整體的 89%，降雨集中於夏季而且枯水期較長。

根據水利署提供之水文年報資料，高屏溪流域平均年逕流量 8,675 百萬立方公尺，但豐枯流量相差懸殊，流量多集中於 5 月至 10 月。豐水期 5 月至 10 月逕流量約 7,766 百萬立方公尺，佔全年 89.5%，枯水期 11 月至翌年 4 月逕流量約 909 百萬立方公尺，佔 10.5%，顯示出高屏溪流域豐枯流量相差大的特性。就高屏溪的水資源而言，由於沒有大型水庫可將豐水期的水資源留下，因此水資源的利用率相對較低，所以如何將豐水期的水資源充分利用，並避免污染成為重要課題。

（三）人口

高屏溪流域各行政區人口至 2002 年已達 853,647 人，主要集中在高雄縣美濃鎮（45,994 人）、旗山鎮（43,162 人）、大樹鄉（46,136 人）、大寮鄉（114,220 人）、屏東市（215,507 人）。有些行政區只有部分區域在高屏溪流域範圍內，因此以流域範圍實際涵蓋行政範圍來看，則高屏溪流域人口數為 700,527 人。人口分佈集中於流域中下游，上游的六龜鄉、三地門鄉人口密度降至每平方公里 100 人以下；反之，下游的大樹鄉、九如鄉、新園鄉人口密度卻都在每平方公里 1,000 人左右。（圖 2、3）

（四）產業結構

根據 2001 年高雄縣與屏東縣統計要覽，高屏溪流域沿岸各鄉鎮工廠數中，以大寮鄉（1013 家）為最多，大樹鄉、屏東市、林園鄉也都在 100 家以上，而相對在上游地區，如三民鄉、桃源鄉、茂林鄉、三地門鄉與霧臺鄉則無工廠（圖 4）。若以產業別來看，則以基本金屬及金屬製造業（530 家）、機械運輸工具及其他製造業（427 家）、化工及石化業（293 家）以及食品加工業（248 家）為主，其中金屬製造業佔了總數的 25% 以上，因此未來應加強金屬製造業，尤其是重金屬污染的監測工作。

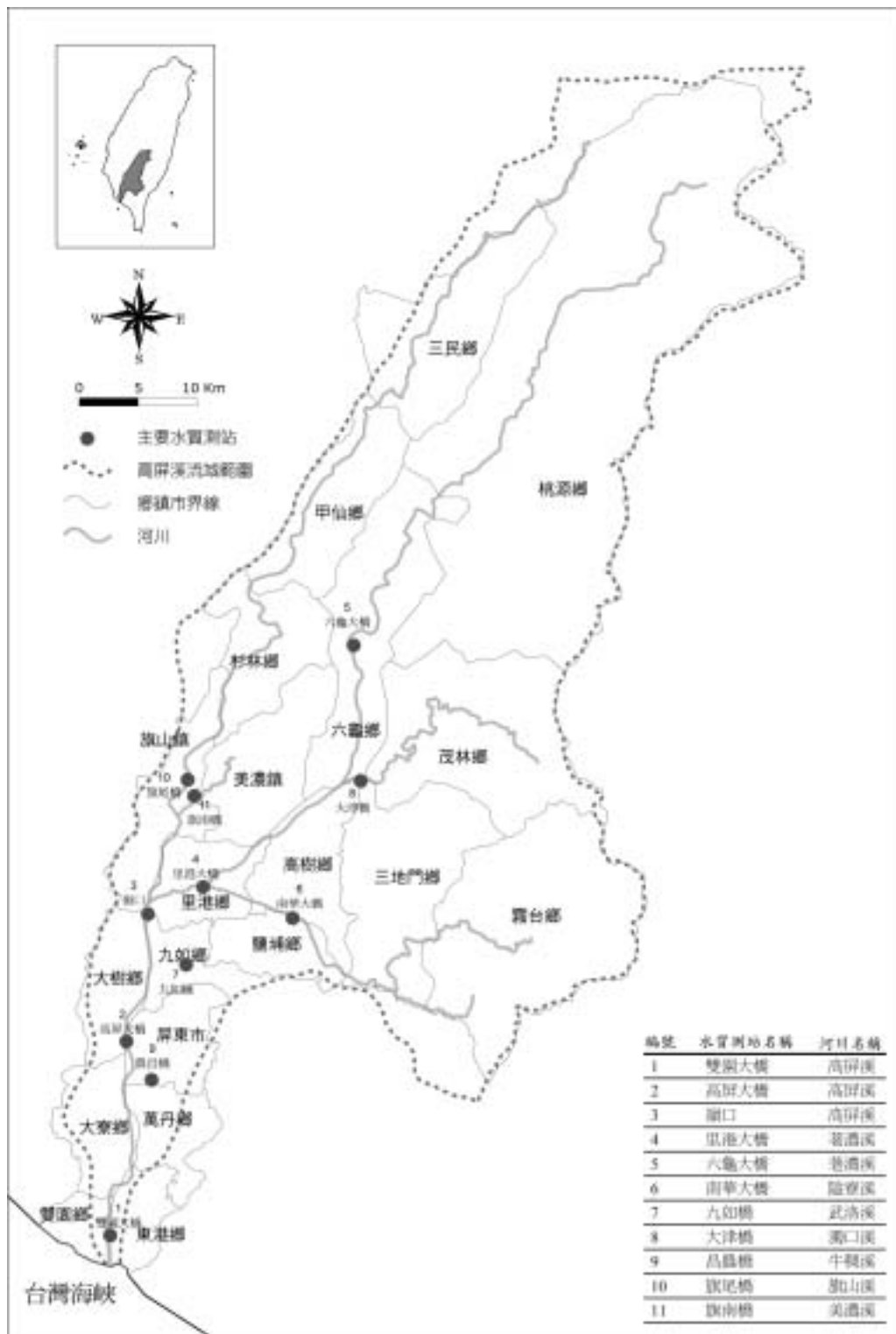


圖 1 高屏河流域與主要水質測站圖



資料來源：內政統計資訊服務網 (2004)。

圖 2 高屏溪流域各鄉鎮市人口數分級圖



資料來源：內政統計資訊服務網 (2004)。

圖 3 高屏溪流域各鄉鎮市人口密度分級圖

以污染河川水質相當嚴重的養豬產業來看，1997 年高屏溪流域內各鄉鎮養豬總隻數約為 152 萬頭。之後由於爆發口蹄疫所以造成養豬量下降。根據 1998 年統計，高屏溪流域內飼養豬隻減少為 116 萬頭，但以每頭豬相當於四個人的污染量來計算，其污染情形依然相當嚴重。

此外，政府自 1999 年度起以養豬離牧依法禁養並輔導養豬戶轉業，以便減少高屏溪的污染，原本預計使高屏溪攔河堰以上 51 萬頭豬隻全部消滅，下游剩約 50 萬頭。但根據 2002 年統計要覽顯示，雖然位於流域中上游的鄉鎮（包括：甲仙鄉、六龜鄉、杉林鄉、旗山鎮、美濃鎮與高樹鄉）養豬數與 1998 年比較都有大幅度減少。然而高屏溪流域的總飼養隻數（123 萬）卻與 1998 年（128 萬）相差不多，主要原因是下游鄉鎮的飼養豬隻數不減反增，尤其是位在屏東縣的各鄉鎮市，有許多鄉鎮市的養豬數量超過十萬頭，包括屏東市、萬丹鄉、長治鄉、九如鄉、鹽埔鄉等，養豬數量都呈現增加的趨勢，而養豬廢水排入河川對於水質有很大的影響。（圖 5）



資料來源：高雄縣政府 (2001)、屏東縣政府 (2001)。



資料來源：高雄縣政府 (2001)、屏東縣政府 (2001)。

圖 4 高屏溪流域各鄉鎮市工廠數分級圖

圖 5 高屏溪流域各鄉鎮市畜養豬隻密度分級圖

研究方法論及方法

李公哲 (1977) 認為水污染的主要來源包括：城鎮廢水、工業廢水、農業逕流、暴雨與都市逕流等。其中可以用八項參數加以評估，包括：

- (1) 生化需氧量 (BOD)：水中可為生物分解的有機物含量。
- (2) 化學需氧量 (COD)：水中易分解與不易分解的有機物含量。
- (3) 總有機碳 (TOC) 與總需氧量 (TOD)：測量總有機物的含量。
- (4) 揮發性懸浮固體量 (VSS)：水中揮發性懸浮固體的含量。
- (5) 總固體量 (TS)：水中所有固體含量。
- (6) 酸鹼度 (pH)：水的酸鹼程度。
- (7) 氮與磷：水中氮與磷的含量。
- (8) 重金屬及無機固體：水中所含的重金屬與無機固體含量。

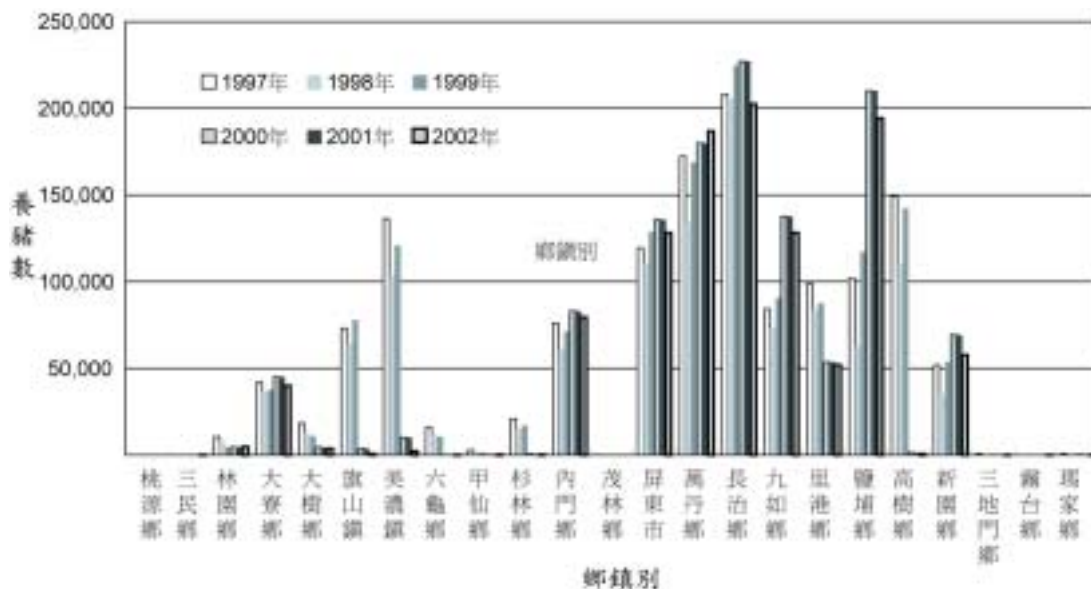


圖 6 高屏河流域各鄉鎮市養豬數量統計 (1997 年至 2002 年)

表 1 高屏溪水質測站

測站名稱	測站位置	所在河川名稱	備註
雙園大橋	高雄縣大園鄉	高屏溪	主流
高屏大橋	高雄縣大樹鄉	高屏溪	主流
嶺口	高雄縣旗山鎮	高屏溪	主流
里港大橋	屏東縣里港鄉	荖濃溪	支流
六龜大橋	高雄縣六龜鄉	荖濃溪	支流
南華大橋	屏東縣高樹鄉	隘寮溪	支流
九如橋	屏東縣九如鄉	武洛溪	支流
大津橋	高雄縣茂林鄉	濁口溪	支流
農昌橋	屏東縣萬丹鄉	牛稠溪	支流
旗尾橋	高雄縣旗山鎮	旗山溪	支流
旗南橋	高雄縣旗山鎮	美濃溪	支流

資料來源：行政院環保署 (2004)。

其中各種廢水的主要差異在於污染物的類別與其含量。家庭廢水主要以懸浮或膠體的有機物為主，另外氮與磷的含量也不少；而工業廢水以其不同產業有不同的污染物，但是主要為溶解性與不易分解的有機物，此外還有溶解固體、重金屬、廢熱與有毒物質等（李公哲，1984）。在高屏河流域另一項主要的水污染源為畜牧（養豬）廢水，其污染物包括各種有機物、氨氮與大腸桿菌等，對於河川水質影響甚鉅。

根據廖少威（1991）針對臺灣各地灌溉水質受到工業、都市與畜牧廢水所進行的主成分分析顯示，工業污染河川水質以「沈澱性因子」、「鹼性因子」和「重金屬因子」等為主；都市污染河川水質以「肥份因子」、「鹽害因子」、「沈澱性因子」與「潛在鹽性因子」；畜牧養豬廢水污染河川則以「沈澱性因子」、「肥份因子」、「鹽害因子」與「潛在鹽性因子」等為主。由此可見河川的各類型污染源對於河川水質各有不同類型的污染，可藉由河川水質與污染程度檢測加以瞭解。

然而探討集水區水資源品質可以運用河川污染程度與河水水質兩套檢測系統來分析（張鎮南，1992），這兩者各有評估的參數與權重。其中河川污染指數（RPI, River Pollution Index），是環保單位所使用的河川品質指標之一。這項指數引自日本的河川污染分類法，包括溶氧量、生化需氧量、懸浮固體及氨氮等參數，而河川污染指數即為四項水質點數之算術平均值。若指數值在 2.0 以下之河川，屬於未受污染或稍受污染，若指數在 2.0 至 3.0 屬於輕度污染，指數在 3.0 至 6.0 屬於中度污染，指數在 6.0 至 10.0 屬於嚴重污染。

表 2 河川水質指數分類指數 (RPI)

項目	污染等級	A	B	C	D
		未受/稍受污染	輕度污染	中度污染	嚴重污染
溶氧量 (DO) mg/L		6.5 以上	4.6 6.5	2.0 4.5	2.0 以下
生化需氧量 (BOD ₅) mg/L		3.0 以下	3.0 4.9	5.0 15	15 以上
懸浮固體 (SS) mg/L		20 以下	20 49	50 100	100 以上
氨氮 (NH ₃ -N)		0.5 以下	0.5 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

資料來源：行政院環保署（1997）。

註：1.表內之積分為 DO、BOD₅、SS 及 NH₃-N 各點數之平均值。

2. DO、BOD₅、SS 及 NH₃-N 均採用平均值。

另一項指數為水質指數，主要是將水質的檢測成果轉換成水質指數數值。這是由美國國家公共衛生基金會（National Sanitation Foundation）於西元 1970 年所發展的水質指數（WQI, Water Quality Index）。水質指數是由水質檢驗中的溶氧量、生物需氧量、懸浮固體、氨氮、酸鹼值、大腸桿菌群、水溫變化、總磷與濁度等參數數值經過轉換與加權所計算而得，可以運用水質指數瞭解同一集水區（河川）的水質變化狀況，也可以比較不同河川的水質（Brown *et al.*, 1970）。此外，在不同地區由於使用不同的水質參數與權重，由水質指數發展出各自不同的水質指數，例如加拿大的加拿大水質指標（CWQI）與英屬哥倫比亞水質指標（BWQI）等就是在此概念下發展屬於各國或地區性的水質指標，用以評估當地的水質狀況（Khan *et al.*, 2003）。

在臺灣地區，成功大學環工所溫清光教授將美國的水質指數加以修改（行政院環保署，2004），運用不同的參數與權重，重新計算水質指數，分別有 WQI8 與 WQI5 兩種，其中 WQI8 所使用的資料包括：溶氧、生化需量、pH 值、氮氮、大腸菌數、濁度、總磷及導電度。其計算方式是先將各項資料的測量值加以轉換，而後經加權與累加而得。其中水質參數權數依序分別為 0.22、0.18、0.16、0.13、0.12、0.09、0.06 與 0.04，所有項目的總權重為 1。此外，考慮到水質資料可能會缺少某些項目的水質參數資料，則以現有資料的加權值除以使用參數權值總和來計算。在 WQI5 方面，使用的水質參數包括：溶氧、生化需氧量、氮氮、懸浮固體及導電度等五項。由於兩者所包含的水質參數以 WQI8 較為完整，所以本研究主要採用 WQI8 指數。

本研究希望透過環保署的水質檢測資料與各項指數（WQI 與 RPI），瞭解高屏河流域水質在空間與時間軸上的變化情形。在時間軸上主要關注各測站水質的變化情形，包括豐水期與枯水期的水質與水污染情形；污染源的消長對於水質與水污染的影響；尋找影響水質與造成水污染的主要因子。在空間上，主要的課題包括瞭解高屏溪水污染的空間分佈；上、中、下游各主支流的水質與水污染分佈；污染嚴重地區為何？水質與水污染的空間分佈是否有相關等。

高屏溪水資源、水質與水污染狀態

（一）水資源現況

討論高屏溪的水資源，必須考慮整個南部地區的水資源供需以及其長期趨勢。南部地區目前水資源的開發以用水為主，水力利用為輔。現有蓄水設施包括 17 座水庫、以局部灌溉用水為主之池埤與以引水為主之攔河堰。

就自來水系統而言，南部地區自來水系統在嘉義、臺南及臺南、高雄間均有大型輸水管線相通，僅少數地區仍維持小型之獨立供水系統，因此可將整個南部地區以單一系統來討論。高雄地區生活用水及工業用水量為南部地區最高者，目前供需狀況尚且平衡，但水質長期不佳；屏東地區自來水多由地下水及牡丹水庫供應，未來如果用水量成長不快，則還可保持用水需求與供應的平衡。

（二）河川污染指數的時、空變遷分析

河川污染指數（RPI）愈低代表污染程度愈低，反之則代表污染嚴重。整體來看高屏河流域水污染指數的趨勢可以發現，位於上游荖濃溪、楠梓仙溪都一直保持著低污染的狀況，顯示人為干擾的情形少；中游旗山溪、美濃溪近幾年因離牧的政策，養豬數大量減少，所以水污染有減少的趨勢；而在下游高屏溪主流的部分，其污染指數都保持在中度污染以上，甚至有繼續攀高的趨勢，這顯示出下游平原地區污染源的複雜性，如家庭污水還未能有效處理，大多直接藉由各小支流（武洛溪、牛稠溪等）排入高屏溪；而離牧政策實施後，統計資料顯示上游各鄉鎮的豬隻數雖然減少，但位於下游地區鄉鎮的豬隻數反而增加，所以未處理的畜牧污水量也相對增加。所以武洛溪、牛稠溪兩個集水區的測站水污染指數長期保持在 6 以上，屬於嚴重污染，也是整個高屏河流域中水污染最嚴重的地區。

此外，在旗南橋（美濃溪）與嶺口（高屏溪主流）兩個測站水污染有明顯的改善，在旗南橋 RPI

指數由平均 5.9 下降至 1.9；嶺口 RPI 指數由平均 4.2 下降至 1.2，這種趨勢顯示兩個集水區污染狀況有所改善，主要的因素應為養豬數量下降所致，這也顯示控制污染源與污染排放量可以有效地降低河川污染的情形。高屏溪水污染變遷情形可以參考高屏河流域各測站河川水污染指數圖（圖 7）。

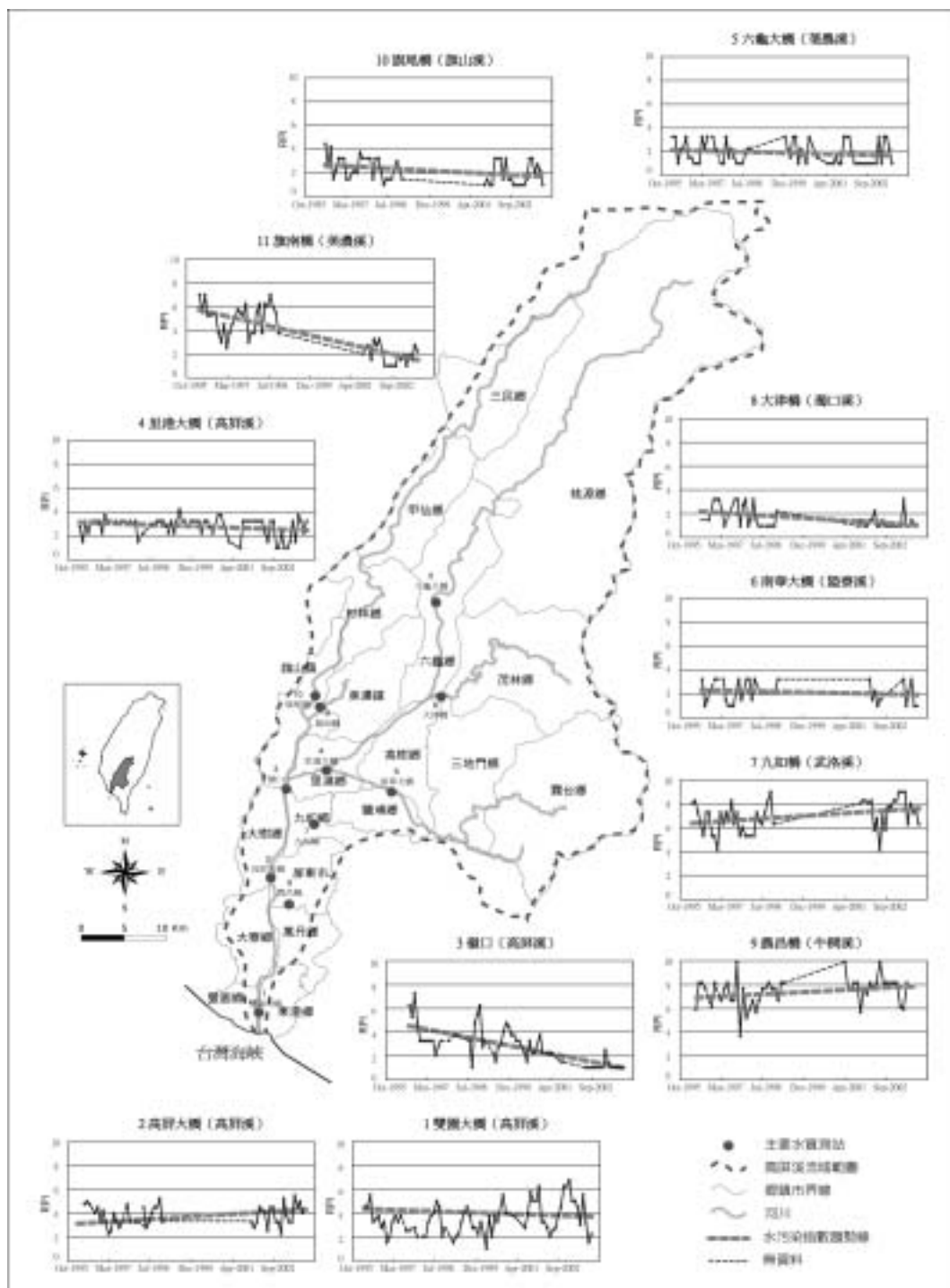
此外，高屏溪水污染在枯水期（11 月至次年 4 月）與豐水期（5 月至 10 月）水污染程度變遷情形也可以由數據顯示（表 3）。其中雙園大橋、高屏大橋、嶺口、旗南橋、九如橋與農昌橋等測站呈現豐水期污染下降的情形，其餘測站則呈現豐水期污染上升的現象。在枯水期時，11 個測站中平均有 6 個測站污染情形在中度以上，顯示高屏溪河川污染的嚴重性。其中污染情況最嚴重的是九如橋與農昌橋測站，在枯水期與豐水期都是屬於嚴重污染的情形，主要是受到養豬廢水的影響。

在旗尾橋、大津橋、南華大橋、六龜大橋與里港大橋等支流測站，河川污染指數在豐水期比枯水期大約相同或較低，顯示河川水量較多時對於污染的狀況並沒有改善，有時甚至是產生負面的影響，這種狀況與一般對於污染稀釋的概念有所不同。表 4 中列出相關支流測站的河川污染指標（RPI）與各項參數的平均數值。由資料可以看出高屏溪這五條支流在枯水期的河川污染指標都較豐水期時為低，顯示河川流量較高時污染情形更嚴重。比較各項因子的平均值與等級時可以發現與畜牧業相關的氨氮（ $\text{NH}_3\text{-N}$ ）數值在枯水期時比豐水期時高，顯示較高的河川流量有達到稀釋污染的效果。但是在懸浮固體數值方面，豐水期明顯比枯水期高，代表造成污染的主要是增加的河川懸浮固體而非其他因子。此外，由於河川污染指標在某些狀況下並不能完全代表污染變化的狀況，例如表 4 中里港大橋的懸浮固體數值，在枯水期時平均值為 626mg/l（屬於嚴重污染等級），豐水期時平均值為 310mg/l（屬於嚴重污染等級），雖然數值有很大的變化，但是在河川污染指標卻沒有任何反應，這是河川污染指標的一項限制。

表 3 高屏溪各測站枯水期與豐水期 RPI 值比較表

測站名稱 \ RPI 數值	枯水期			豐水期			備註
	平均	標準差	污染程度	平均	標準差	污染程度	
雙園大橋	4.0	1.2	中度	3.0	1.0	輕度	主流
高屏大橋	4.0	0.9	中度	3.0	0.9	輕度	主流
嶺口	3.0	1.8	中度	2.0	1.1	輕度	主流
里港大橋	2.7	0.9	輕度	2.9	0.7	輕度	支流
六龜大橋	1.7	0.9	稍有	2.1	0.9	輕度	支流
南華大橋	1.7	0.9	稍有	2.4	0.9	輕度	支流
九如橋	8.0	0.9	嚴重	6.0	1.4	嚴重	支流
大津橋	1.3	0.7	稍有	1.9	0.9	稍有	支流
農昌橋	7.9	1.2	嚴重	7.0	1.1	嚴重	支流
旗尾橋	1.9	1.1	稍有	2.6	0.8	輕度	支流
旗南橋	3.9	2.1	中度	3.3	1.6	中度	支流

資料來源：行政院環保署（2004）。



資料來源：行政院環保署 (2004)。

圖 7 高屏溪各測站河川水污染指數 (RPI) 圖

表 4 高屏溪支流五測站枯水期與豐水期 RPI 與各項參數平均值比較表

測站 階段 項目	旗尾橋		大津橋		南華大橋		六龜大橋		里港大橋	
	枯水期	豐水期	枯水期	豐水期	枯水期	豐水期	枯水期	豐水期	枯水期	豐水期
DO	8.0 (A)	7.6 (A)	7.6 (A)	7.9 (A)	8.4 (A)	7.9 (A)	8.2 (A)	8.1 (A)	7.3 (A)	7.4 (A)
BOD ₅	2.5 (A)	1.3 (A)	1.3 (A)	1.2 (A)	0.8 (A)	1.1 (A)	1.4 (A)	1.0 (A)	1.7 (A)	1.3 (A)
SS	90 (C)	180 (D)	159 (D)	101 (D)	83 (C)	173 (D)	74 (C)	152 (D)	626 (D)	310 (D)
NH ₃ -N	0.2 (A)	0.2 (A)	0.1 (A)	0.1 (A)	0.2 (A)	0.1 (A)	0.2 (A)	0.1 (A)	0.49 (A)	0.2 (A)
RPI	1.85 (A)	2.56 (B)	1.27 (A)	1.88 (A)	1.67 (A)	2.28 (B)	1.64 (A)	2.05 (B)	2.67 (B)	2.90 (B)

資料來源：行政院環保署 (2004)。

註：1. DO：溶氧量、BOD₅：生化需氧量、SS：懸浮固體、NH₃-N：氨氮，各項數值均為平均值。

2.資料期間：1997 年至 2003 年。

(三) 河川水質指數的時、空變遷分析

高屏溪的水質狀況由行政院環保署負責檢測，在高屏溪主、支流上主要有十一個測站 (表 1)。檢測項目包括：溶氧量、生物需氧量 (BOD)、懸浮固體、氨氮、酸鹼值、大腸桿菌群、導電度、水溫、化學需氧量、總磷、濁度、介面活性劑、氯鹽與重金屬含量等，平均每個月測量一次，並且將結果公布於網路上。

本研究以美國的 WQI 指數與臺灣的 WQI8 指數進行計算 (在本研究分別稱為 WQI-US 與 WQI)，分析高屏溪流域的水質。而將水質資料以水質指數表示，以便瞭解流域中各河段與主、支流水質優劣的情形，並且可以分析水質在空間與時間尺度上的變化。本研究以 1996 年 6 月至 2003 年 10 月間的水質資料，計算各測站的 WQI-US 與 WQI 數值，並且將兩組數據加以比較。由圖 8 可見，雖然 WQI-US 與 WQI 的參數有所差異，且各參數的權重各有不同，但是兩者有很高的相似度，R² 值將近 0.7。本研究主要以臺灣的 WQI8 水質指數進行探討，說明高屏溪流域水質的時空變化。

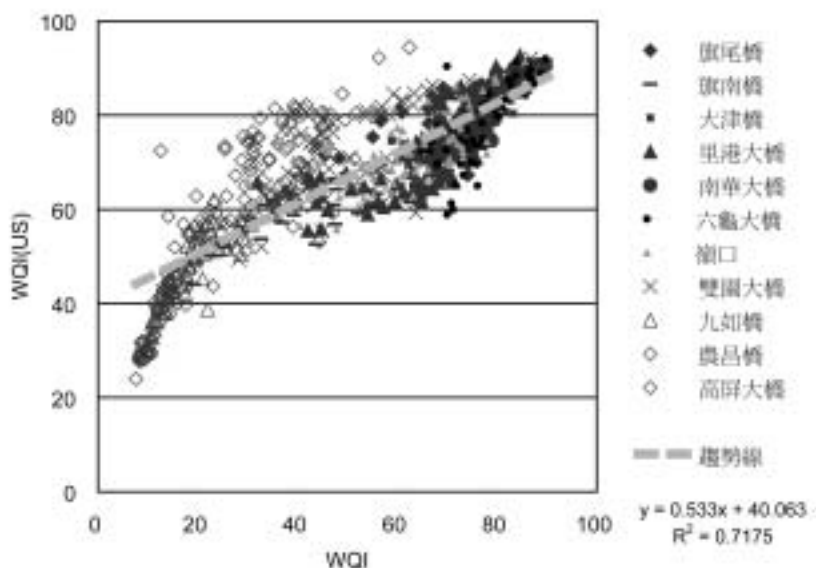
此外，由圖 8 可觀察到高屏溪上、下游各測站水質有明顯差異。圖 8 的中、上游各測站以實心點表示，下游測站以空心點代表，很明顯的中、上游測值集中於右側 (WQI 數值較高區)，下游測值集中於左側 (WQI 數值較低區)。因此可以推論在空間上，上、下游的水質有明顯差異。

以統計的數值來看 (表 5)，上、中游的測站，包括：旗尾橋 (旗山溪)、六龜大橋 (荖濃溪)、大津橋 (濁口溪)、南華大橋 (隘寮溪)、里港大橋 (荖濃溪) 與旗南橋 (美濃溪)，總共有 267 個資料點，WQI 平均值為 77，標準差為 13.13；下游的測站包括：九如橋 (武洛溪)、農昌橋 (牛稠溪)、高屏大橋 (高屏溪主流) 與雙園大橋 (高屏溪主流)，總共有 275 個資料點，WQI 平均值為 43，標準差為 17.99。兩者有明顯的差異。

由圖 9 與圖 10 可以清楚地觀察到高屏河流域各測站由 1996 年至 2003 年的水質狀況，其中高屏溪支流旗山溪 (旗尾橋測站)、荖濃溪 (六龜大橋測站)、濁口溪 (大津橋測站) 與隘寮溪 (南華大橋測站) 等水質都保持在水質良好的狀態 (WQI 值在 90 至 70 之間)，且其趨勢大致呈現持平，這表示這些支流的水質都屬於很好的情形。

而在高屏溪較下游的支流，例如牛稠溪 (農昌橋測站)、武洛溪 (九如橋測站) 與美濃溪 (旗南橋測站) 等，WQI-US 與 WQI 數值都偏低，尤其是牛稠溪與武洛溪兩條支流，其 WQI 數值都在 40 以下 (水質不良)，甚至到達 20 左右 (水質劣等)，而且趨勢都屬於緩慢下降，顯示這些支流的水質狀況很差。

此外，在下游的高屏溪水質可以由高屏大橋與雙園大橋兩測站的 WQI 數值略知一二。較上游的高屏大橋測站 WQI 趨勢線保持在 50 以下，而且其趨勢略往下，屬於水質不良；較下游的雙園大橋測站趨勢線在 60 至 70 之間，屬於水質中等。顯示武洛溪與附近區域的污染情形十分嚴重，到更下游的雙園測站由於流量加大而水質略微上升。



資料來源：行政院環保署 (2004)。

圖 8 高屏溪各主要測站 WQI-US 與 WQI 值比較

表 5 高屏溪各測站枯水期與豐水期 WQI 值比較表

測站名稱 \ WQI 數值	枯水期			豐水期			備註
	平均	標準差	水質優劣	平均	標準差	水質優劣	
雙園大橋	40.1	12.7	普通	58.0	11.6	中等	主流
高屏大橋	30.0	9.0	普通	42.0	8.1	普通	主流
嶺口	55.0	15.4	中等	66.0	11.1	中等	主流
里港大橋	66.0	12.2	中等	68.0	8.8	中等	支流
六龜大橋	76.2	6.7	優良	78.0	6.3	優良	支流
南華大橋	80.7	4.8	優良	75.3	3.7	優良	支流
九如橋	17.0	6.2	劣等	20.2	6.9	不良	支流
大津橋	79.0	7.0	優良	77.0	8.0	優良	支流
農昌橋	13.0	7.0	劣等	17.0	6.2	不良	支流
旗尾橋	67.0	8.8	中等	72.8	5.0	中等	支流
旗南橋	56.0	12.4	中等	64.0	11.8	中等	支流

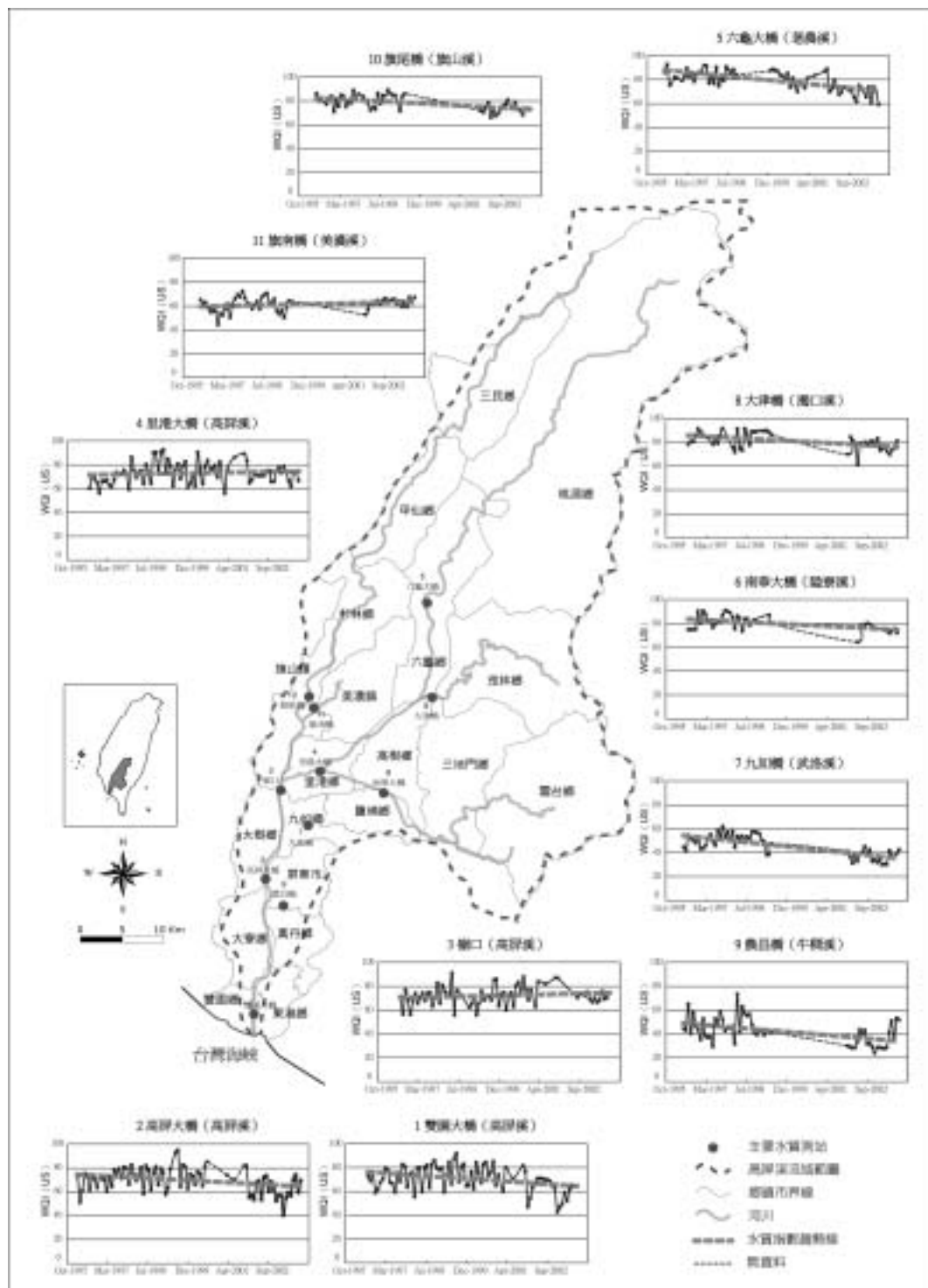
資料來源：行政院環保署 (2004)。

在枯水期與豐水期 WQI 值比較方面，以水質分類來看所有測站的豐水期分類都較枯水期為佳。以 WQI 數值而言，除了南華大橋與大津橋測站外，其餘測站的 WQI 值在豐水期都較枯水期高。所以水質在豐水期有明顯改善的現象，這些與 RPI 值所呈現的有所不同。

以旗尾橋、大津橋、南華大橋、六龜大橋與里港大橋等五個支流測站在枯水期與豐水期的資料統計結果而言，旗尾橋、六龜大橋與里港大橋三個測站水質指標在豐水期時只有些微上升，大津橋與南華大橋兩測站則呈現下滑的情形。以各項水質參數的平均值來看，濁度在豐水期都有變差的趨勢，尤其是在旗尾橋、大津橋與南華大橋三個測站都有大幅度的變化，這代表河川流量增加使得河水濁度上升。此外，旗尾橋測站的大腸桿菌與六龜大橋測站的總磷在豐水期也有明顯的改變，顯示流量上升使部分地區某些污染物的輸出量增加。整體而言，雖然這五個測站在豐水期都有部分參數下降，但是其餘的參數則有所提升，所以水質指標並非呈現完全下降的趨勢。這與河川污染指標 (RPI) 所呈現的狀況有所不同。

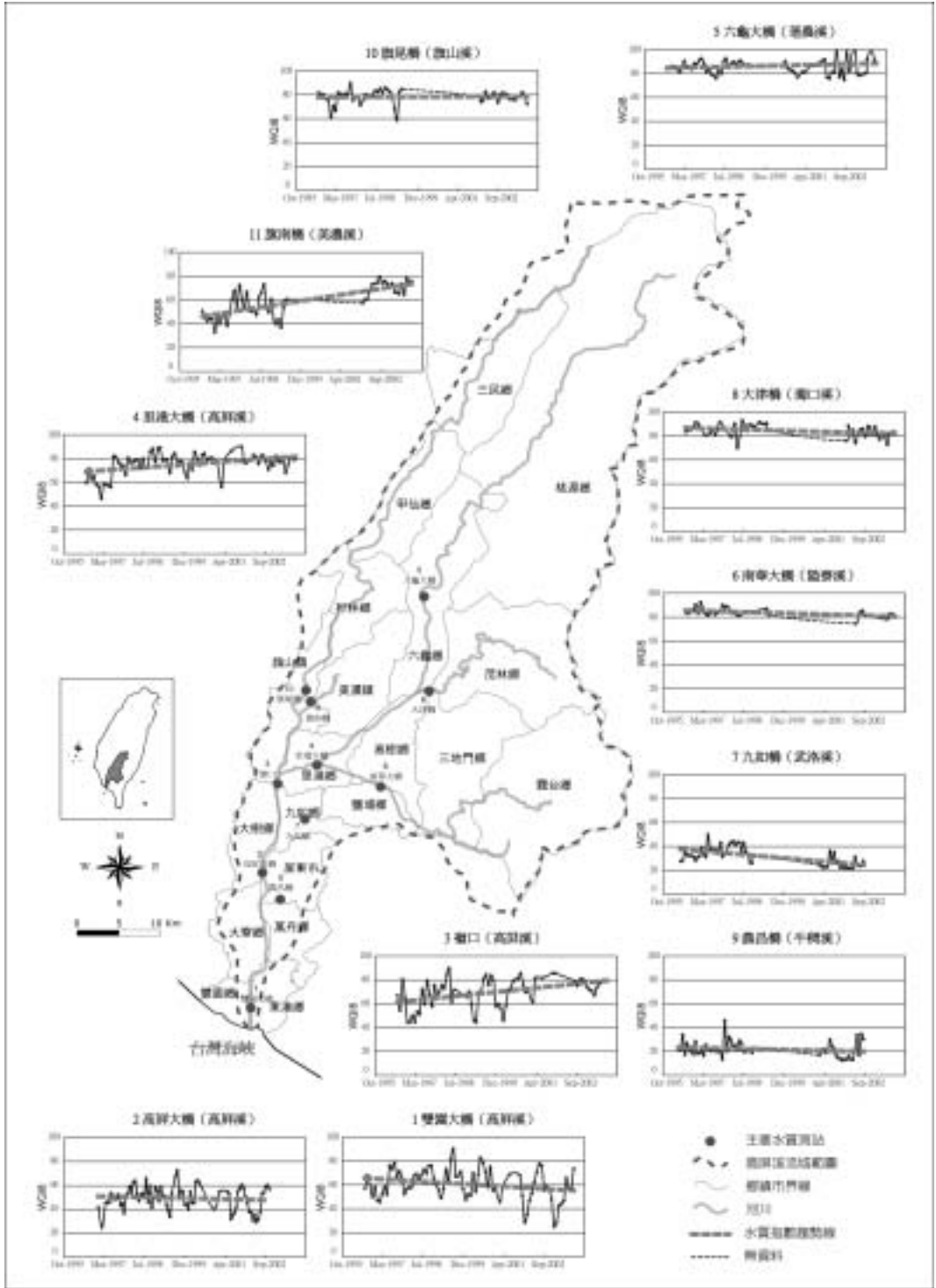
(四) 水質與各項參數間的關係

根據 WQI 指數各項參數的資料來看 (表 5)，高屏溪所有測站的大腸桿菌數都屬於劣等狀況，顯示整個集水區水質受到大腸桿菌破壞的情形相當嚴重，尤其是雙園大橋、高屏大橋、農昌橋、九如橋、嶺口與旗南橋等測站，其數值都在 10 以下。高屏河流域中的大腸桿菌主要來自溫體動物 (包括人類) 所排之糞便，所以養豬廢水與家庭廢水是其主要來源，其中以養豬廢水的影響最多。這些大腸桿菌對水質的污染相當嚴重，飲用受到大腸桿菌污染的水容易產生傳染性胃腸病 (曾四恭，1982)。由於水質指數中大腸桿菌數 (Fecal Coliforms) 權重較大，所以當水樣中有較高的大腸桿菌含量時，WQI 值便隨之下降。



資料來源：行政院環保署 (2004)。

圖9 高屏溪各測站水質指數 (WQI-US) 圖



資料來源：行政院環保署 (2004)。

圖 10 高屏溪各測站水質指數 (WQI) 圖

表 6 高屏溪支流五測站枯水期與豐水期 WQI 值比較表

測站 與階段		項目	溶 氧 量	大 腸 桿 菌	酸 鹼 值	生 化 需 氧 量	總 磷	氨 氮	濁 度	導 電 度	WQI 平 均 值
旗 尾 橋	枯水期		96	26	95	70	49	72	34	64	67.0
	豐水期		99	10	95	83	43	84	19	81	72.8
大 津 橋	枯水期		95	26	96	89	49	87	68	81	79.0
	豐水期		97	23	95	88	46	88	29	90	77.0
南 華 大 橋	枯水期		99		92	92		79	46	87	80.7
	豐水期		98	21	94	90	43	87	10	92	75.3
六 龜 大 橋	枯水期		99	19	93	86	50	83	46	78	76.2
	豐水期		100	19	94	91	38	86	42	86	78.0
里 港 大 橋	枯水期		91	16	97	75	42	72	17	65	66.0
	豐水期		94	12	95	81	47	80	9	83	68.0

資料來源：行政院環保署 (2004)。

註：1. 各項數值均為換算為 WQI 數值之後的平均值。

2. 資料期間：1996 年至 2003 年。

3. 代表無資料。

對照 1997 年至 2002 年的養豬統計資料可以發現，在高雄縣的美濃鎮、高樹鄉與屏東縣的屏東市、萬丹鄉、長治鄉、九如鄉與鹽埔鄉養豬數量都非常高，這些鄉鎮就位於水質較差的支流流域內，例如美濃溪、牛稠溪與武洛溪等。所以 WQI 水質指數可以清楚地反映部分當地的環境狀況，也就是空間中不同集水區的情形。

此外，在同一支流集水區內也呈現出不同位置測站水質在較下游區受到污染情形，荖濃溪就是一個明顯的案例。荖濃溪主要有濁口溪與隘寮溪兩大支流，其中本流的上游與濁口溪由於養豬數量低，所以在六龜大橋（荖濃溪上游）與大津橋（濁口溪）兩個測站的水質指數平均維持在 80 以上，屬於水質良好狀況。但是在支流隘寮溪的南華大橋測站與荖濃溪本流匯入高屏溪之前的里港大橋測站由於受到高樹鄉、鹽埔鄉與里港鄉的養豬數量高影響，所以水質指數在中等與良好之間。在 1999 年以後里港鄉與高樹鄉養豬數量大幅減少，所以里港測站的水質狀況持續改善，平均 WQI 指數由原本的 70 上升至 80 左右。

表 7 高屏溪各測站 WQI 各項參數

WQI 參數 測站名稱	優良 (100-80)	中等 (79-30)	劣等 (29-0)	備註
雙園大橋	D、pH	B、P、N、T	大、C	主流
高屏大橋	D、pH	B、P、N、T、C	大	主流
嶺口	D、pH、C	B、P、N	大、T	主流
里港大橋	D、pH、B、N、C	P	大、T	支流
六龜大橋	D、pH、B、N、C	P、T	大	支流
南華大橋	D、pH、B、N、C	P	大、T	支流
九如橋	pH	P、T、C	大、D、B、N	支流
大津橋	D、pH、B、N、C	P、T	大	支流
農昌橋	pH	T	大、D、B、N、P、C	支流
旗尾橋	D、pH、B、N、C	P	大、T	支流
旗南橋	pH、C	D、B、N、P、T	大	支流

資料來源：行政院環保署 (2004)。

註：D(溶氧量)、大(大腸桿菌)、B(生物需氧量)、pH(酸鹼值)、N(氮)、T(濁度)、P(磷)、C(導電度)

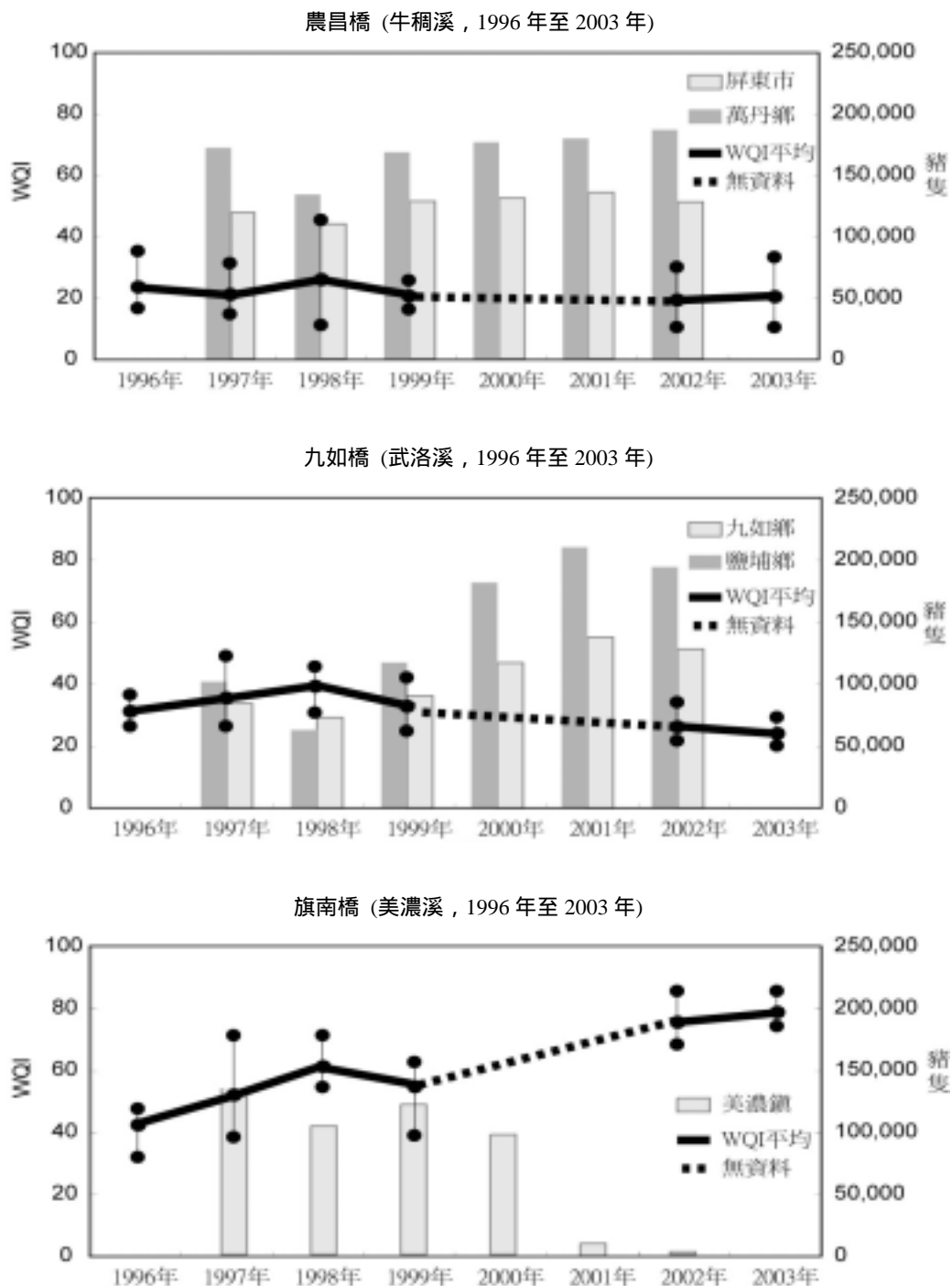
以時間序列的角度來看，美濃地區的養豬數量由高峰時期的 13 萬頭降至 1 萬頭，而 WQI 指數也由 50 左右上升至 70 左右，也就是水質由中等變為良好，顯示由於養豬廢水的減少而使水質好轉，這就是最明顯的例證 (圖 11)。

其他屏東縣的鄉鎮在養豬數量上呈現上升的趨勢。例如牛稠河流域 (農昌橋測站) 的屏東市與萬丹鄉，在 1997 年至 2001 年的養豬數量在 25 萬至 31 萬之間，造成平均水質指數持續維持在 20 左右；而水洛河流域 (九如橋測站) 的九如鄉與鹽埔鄉，在 1997 年至 2001 年的養豬數量由 13 萬頭上升至 25 萬頭，造成平均水質指數由接近 40 下降至 24。因此這些結果顯示推動減少養豬數量與增加污水處理設施對於水質有明顯的影響。

(五) 水質與水污染間的關係

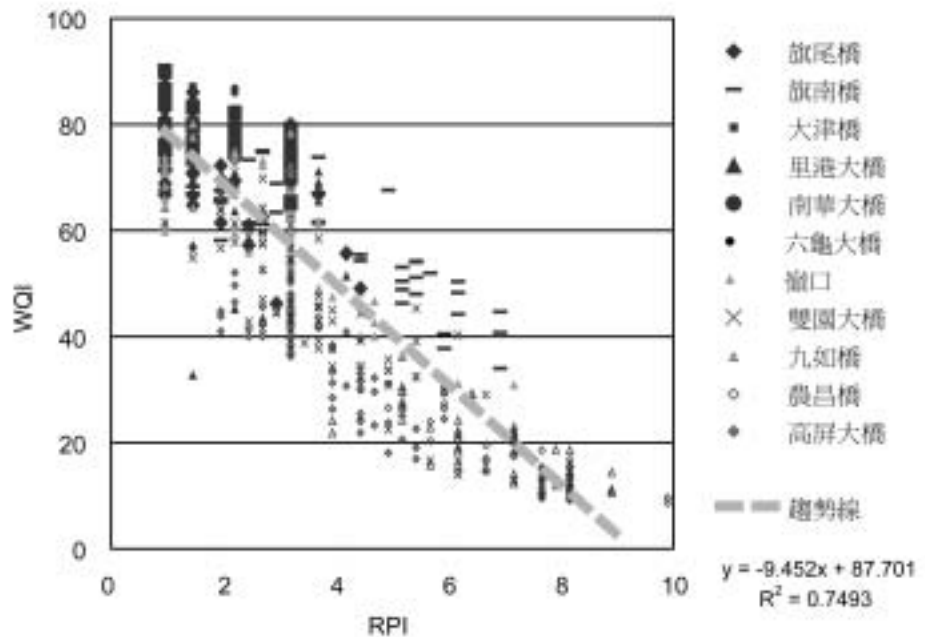
河川污染指數是由溶氧量、生化需氧量、懸浮固體及氨氮等四項水質參數所計算而得，用以說明瞭解河川污染的情形。水質指數是由溶氧量、生物需氧量、懸浮固體、氨氮、酸鹼值、大腸桿菌群、水溫變化、總磷、濁度等參數計算，代表水質優劣的指數。其中污染指數著重於河川水資源遭受污染的程度，而水質指數則代表水質優劣情形，兩者雖然相似，而且所使用的參數有部分相同，但是其意義卻有所差異。由於 RPI 與 WQI 兩指數均由環保署的測量資料所計算，因此可以比較兩者在相同測站同一時間的狀況，也就是該測站水污染與水質狀況的比較。

由圖 12 可以很明顯觀察到，河川污染指數與水質指數之間有某種趨勢，水質指數愈高則河川污染指數愈低，水質指數愈低則河川污染指數愈高，這顯示河川污染與水質呈現反向相關，水質愈好則



資料來源：行政院環保署 (2004)。

圖 11 牛稠溪、武洛溪與美濃溪水質指數 (WQI) 與養豬數量關係圖



資料來源：行政院環保署 (2004)。

圖 12 高屏溪各測站 RPI 與 WQI 之比較

代表污染愈少，水質愈差則顯示污染愈嚴重。而上、下游的測站也呈現不同的趨勢，中上游污染較少而水質較好的測站，其數值點位於圖中的左上方；相對地下游污染多的測站其數值點位於右下方。因此 RPI 與 WQI 兩個指數呈現出類似的趨勢。

此外，WQI 與 RPI 有另一項明顯差別，也就是同樣的 WQI 值中有許多不同的 RPI 值，反之亦然。舉例而言，在 RPI 為 3.4 時，其 WQI 分佈在 38 至 81 之間；在 WQI 為 40 時，其 RPI 分佈在 2 至 7 之間。這顯示 WQI 與 RPI 雖然有關係，但是卻不是函數關係或者是比例關係，也就是兩者有類似的趨勢，但是事實上卻各有其代表意涵，無法完全相提並論。

結論與建議

1. 由 RPI 指數來觀察高屏河流域水污染的趨勢，位於上游荖濃溪、楠梓仙溪持續低污染的情形；中游旗山溪、美濃溪曾經遭受中度污染的河川，之後水質有逐漸轉好的趨勢。資料顯示對於高屏河流域中上游水質保護與改善的工作有部分效果。因此本研究建議未來防制水污染的策略，應加強各取水口以上河川環境的管制，以確保水質的穩定品質。
2. 在下游高屏溪主流的部分，其污染指數都保持在中度污染以上，甚至有繼續攀高的趨勢，這顯示出下游平原地區污染源的複雜性，如家庭污水還未能有效處理，大多直接藉由各小支流（武洛溪、

牛稠溪等) 排入高屏溪；而離牧政策實施後，統計資料顯示上游各鄉鎮的豬隻數雖然減少，但位於下游地區鄉鎮的豬隻數卻反而持續增加，也導致排入河川的畜牧污水相對增加，所以測站 RPI 指數持續維持在高點，顯示下游地區污染情況嚴重。

3. 由 WQI 指數來觀察，與 RPI 指數呈現類似的情形，也就是高屏溪中上游的水質維持在良好以上的狀況，下游的小支流卻因為受到養豬污水的污染，水質呈現劣等狀態，顯示高屏溪水質高度受到養豬廢水的影響，也說明了在高屏溪集水區中，水質優劣有其空間特性。
4. 在豐水期與枯水期對於水質與水污染的影響方面。雙園大橋、高屏大橋、嶺口、旗南橋、九如橋與農昌橋等測站呈現豐水期污染下降（RPI 指標）的情形，這主要是因為高流量使污染物濃度下降。而旗尾橋、大津橋、南華大橋、六龜大橋與里港大橋等支流測站則呈現豐水期污染上升的現象，這主要是受到豐水期的高河川流量使懸浮固體濃度上升，導致河川污染指標 (RPI) 隨之上升的狀況。在枯水期時，十一個測站中平均有六個測站污染情形在中度以上，顯示高屏溪河川污染的嚴重性。以水質而言，除了大津橋與南華大橋兩測站之外，其餘測站在豐水期水質都優於枯水期，顯示河川流量對於水質有明顯的影響。綜觀高屏溪流域各測站資料，WQI 與 RPI 的反應有所差異。雖然兩者都是以河川水體為對象，所引用的參數也相近。但是 WQI 著重於水質，而 RPI 則聚焦於污染，兩者所呈現的趨勢相近，但是由於數值散佈範圍過大 (圖 12)，兩者無法相提並論。
5. 在高屏溪中游的支流美濃溪，可以觀察到養豬數量對於水質 WQI 指數的影響。在 1997 至 2000 年時美濃鎮的養豬數量在 10 萬頭以上，導致旗南橋測站 WQI 值在 40 至 60 之間，水質在中等以下。2001 年以後美濃鎮養豬數量遽減至 1 萬頭以下，而連帶使養豬廢水減少，水質也因此大幅改善，WQI 值上升至 80 左右。這顯示在時間軸上，養豬數量可以大幅影響水質的優劣。而在高屏溪所有測站 WQI 參數中，以「大腸桿菌」項目最差，顯示溫體動物糞便未經處理排入河川中對水質造成嚴重的衝擊。在空間與時間尺度上，都有明顯的證據。因此建議目前所推行的離牧政策應該持續且擴大推行，以改善集水區之水質與水污染狀況。
6. 豐水期與枯水期 WQI 與 RPI 數值的變化情形，不僅反映出水質與水污染的變遷狀況，也呈現出不同指數對於相同環境狀況有不同的描述。這種差異主要是受到不同指數所選用的參數有所差異、參數權重以及參數轉換等各項，因此在兩者的比較方面應著重於共同趨勢的變化，而非數值的對比。
7. 高屏溪是高雄與屏東地區重要的自來水水源，由於長期受到養豬廢水、家庭廢水與工業廢水的影響，造成水質不良的狀況。根據江弘斌 (1991) 與張怡怡等人 (1997) 的研究，高屏溪地區的自來水區水口主要集中於中下游地區，所以雖然使用伏流水為源水，但是依然受到水質不良的問題所困擾。主要的解決方法在於將取水口改至更上游污染較低而水質較佳地區，同時以離牧配合污水處理措施，可以明顯改善河川水污染的狀況。在上述方法無法進行的狀況下，則以傳統有加藥法或是微生物法進行水質改善處理。

謝 辭

本研究承國科會經費補助 (NSC-90-2621-Z-001-004, NSC-91-2621-Z-001-002), 林岳峙先生協助資料收集與處理, 以及另外兩位匿名審查委員提供許多寶貴的修正意見, 特此致謝。

引用文獻

- 內政統計資訊服務網 (2004) <http://www.moi.gov.tw/w3/stat/index.asp>。
- 李公哲 (1977) 水質工程學, 國立編譯館主編, 臺北: 大學圖書公司, 1-3。
- 李公哲編譯 (1984) 水質管理之原理, 國立編譯館主編, 臺北: 大學圖書公司, 14-17。
- 行政院經濟部水利署 (2001) 中華民國八十九年臺灣水文年報, <http://gweb.wrb.gov.tw/ebooks/ebook/hyb2000/h-2-3-2-index.htm>。
- 行政院環保署 (2004) <http://ww2.epa.gov.tw/waterana/Docs/watprop2.htm#WQI>。
- 行政院環保署環境水質監測網 (2003) <http://www.epa.gov.tw/monitoring/pa21.htm>。
- 行政院環保署 (1997) 中華民國臺灣地區環境資訊 (85 年度版), 108。
- 高雄縣政府 (2001) 民國九十年高雄縣統計要覽, <http://www.kscg.gov.tw/intranet/paymaster/yearbook.htm>。
- 屏東縣政府 (2001) 民國九十年屏東縣統計要覽, <http://www.pthg.gov.tw/home/mainframe.asp?I=21&Buttom=../PT33NOW/m000/index.htm&GetCount=0213837>。
- 江弘斌 (1991) 高屏溪污染源水質改善之調查研究, 自來水會刊, 38: 44-56。
- 高誓男、李麗霞、陳海雄 (2000) 「工業有害廢液污染高屏流域事件支援因與檢討」摘要報告, 研考雙月刊, 24 (5): 3-8。
- 張怡怡、蔣本基、趙素慧、李美足、蔡湘萍 (1997) 飲用水水源水質大腸桿菌群、TOC 及 COD 標準之探討, 自來水會刊, 20 (1): 23-39。
- 張鎮南 (1992) 水污染指標之探討, 東海學報, 33: 777-788。
- 曾四恭譯 (1982) 污染防治之策略, 國立編譯館主編, 臺北: 五南圖書出版公司, 33-35。
- 廖少威 (1991) 以主成分分析法探討臺灣灌溉水質受工業、都市、畜牧廢水污染之變異分析, 國立臺灣大學農業工程學研究所碩士論文, 12-22。
- Brown, R. M., McClland, N. I., Deiniger, R. A. and Tozer, R. G. (1970) A water quality index- do we dare? *Water and Sewage Works*, 117(3): 339-343.
- Khan, F., Husain, T. and Lumb, A. (2003) Water quality evaluation and analysis in selected watersheds of the Atlantic region of Canada, *Environmental Monitoring and Assessment*, 88: 221-242.

93 年 4 月 21 日 收稿

93 年 8 月 10 日 修正

93 年 8 月 12 日 接受