

澄清湖及港西淨水場水質特性之研究

The Research of water quality characteristics in Chen-Ching Lake and Kung-Shin water supply plant

鄭幸雄¹、王文革²、吳靜如³

摘要

台灣地區的飲用水源因上游遭受畜牧廢水、工業廢水、家庭污水等排放的污染，使水中氮、磷等污染成份大幅增加，造成給水源的水質優養化，影響給水廠的淨水程序及降低飲水品質。尤其南部地區枯雨季分明，水源污染較為嚴重，飲用水水質普遍無法滿足一般的民眾，因此本研究選取供應大部份高雄地區飲用水的澄清湖淨水場以及原水污染較嚴重的一般用水源港西淨水場做為研究對象。

在原水的污染指標氨氮及總磷方面，由分析的結果顯示：澄清湖給水廠原水中氨氮及總磷的變化趨勢與季節變化有很大的關係，在枯水期水質有惡化的情形，不過上年度雨量較多，養豬量減少，氨氮值平均約 0.19 mg/L 並不高，總磷平均則達到 0.51 mg/L。港西淨水場氨氮及總磷的變化趨勢則與季節沒有很大的關聯性，均維持在 3 ~ 5 mg/L 的高濃度，氮、磷污染相當嚴重。兩個水廠氨氮及總磷的去除率方面，因採預加氯的消毒方式配合港西之 RBC 生物前處理，清水中的氨氮一般皆符合飲用水標準，維持在 0.1 mg/L 以下，而總磷則有 70 ~ 80% 的去除率，可見後續傳統的混凝沉澱可有效去除總磷。

關鍵字：氮磷污染、優養化、飲用水水質、季節變化

1、2、3：國立成功大學環境工程系教授、研究生、研究助理

一、前言

在自然界中氮、磷是很重要的營養限制因子，生物體需仰賴這些營養物質促進生長，但相對的氮、磷也是造成河川、湖泊優養化的頭號份子。飲用水源如果遭受到氮、磷的污染，則水源優養化後產生的藻類會阻塞濾床，加快水頭損失增加反沖洗的頻率，藻類的代謝物質也會產生臭味而降低飲用水的適飲性。水源中氮氮量太高時導至加氯量的增加，也提高了三鹵甲烷的生成機會。此外亞硝酸鹽氮在體內會氧化血紅素 (Haemoglobin) 成為無法攜帶氧氣之變性血紅素 (Methaemoglobin)，使人體產生缺氧 (Anoxia) 的症狀，對嬰兒影響更大會形成俗稱之藍嬰症 (Blue baby)^[1]，而硝酸鹽氮可在人體內還原為亞硝酸鹽氮同樣對人體有害。硝酸鹽氮及亞硝酸鹽氮均屬急性毒性，其成人致死量分別為 54 ~ 462 mg/kg、32 ~ 154 mg/kg^[2]。還有給水中微量磷酸鹽雖不影響人體健康，但磷之流布於淨水流程中，在有限前加氯消毒下，各淨水單元中持續滋生藻類之問題不得忽略。

由以上所述可了解氮、磷對自來水淨水流程的重要性，故本研究以常年日曬高溫之澄清湖及港西淨水場為研究對象。澄清湖淨水場的水源主要來自高屏溪的伏流水，長期以來一直有季節性不同藻類滋生的困擾，進而衍生臭味的問題^[3]。而港西淨水場的水源為東港溪，東港溪因為污染的程度較嚴重，水源中的氮氮量較一般水廠高出許多，所以在加氯量也提高的情形下，三鹵甲烷勢必較高。本研究的目的即在於以長期的水質調查，特別針對氮、磷等污染物指標，據以了解南部水源的水質特性，做為基本的水質背景資料，以供高級淨水程序運用之參考。

二、實驗分析方法

本研究所需分析的實驗項目中，溫度、pH 值、溶氧、比電導度、濁度等皆於現場直接偵測，其餘項目之水樣則在適當處理後，帶回實驗室分析，分析方法均參照 Standard Methods 或環保署所公告之標準檢驗方法，詳細內容及使用儀器請參考 Table 1。

Table 1. 實驗分析方法及使用儀器

項 目	分 析 方 法	儀 器
溫度	直接測定 [2550]	Thermocouple
pH值	直接電極 [4500-H ⁺ B]	Suntex Ion Analyzer 3000A
溶氧	薄膜電極法 [4500-O ₂ G]	YSI Model 58
比電導度	比導電度計法 [NIEA W203.50A]	Microprocessor Conductivity Meter, WTW LF-96
BOD ₅	水中生化需氧量檢測方法 [NIEA W510.50A]	
TKN	硫酸銨催化消化、蒸餾、納氏比色 [NIEA W416.50T]	Digestion System 6 1007 Digester 蒸 餾 加 熱 器、 Spectrophotometer Model 100-10 (HITACHI)
NH ₄ ⁺ -N	納氏比色法 [NIEA W416.50T]	蒸 餾 加 熱 器、 Spectrophotometer Model 100-10 (HITACHI)
NO ₂ ⁻ -N	分光光度計法 [NIEA W418.50A]	Spectrophotometer Model 100-10 (HITACHI)
NO ₃ ⁻ -N	變色酸比色法 [418D]	Spectrophotometer Model 100-10 (HITACHI)
Cl ⁻	Ionic Chromatography : Chemical Suppression of Eluent Conductivity [4110B]	Gastorr : LABOC,GT-102 CDD : SHIMADZU,CDD-6A
TP	硫酸-硝酸消化法,氯化亞錫比色 [4500-P-D]	加 熱 器、 Spectrophotometer Model 100-10 (HITACHI)
NPDOC	Combustion-Infrared Method [5310B]	TOC-5000, Shimadzu
THM ₅	吹氣捕捉氣相層析法 [NIEA W781.50A]	Varian Model 3400 Gas Chromatograph, Tekmar

三、結果與討論

3.1 澄清湖淨水場

澄清湖淨水場從 86 年 8 月至 87 年 5 月共進行了 12 次的採樣分析，分析結果請參照 Table 2。整體來說原水水質近幾年來已有明顯的改善，尤其在氨氮的部份，從前幾年的 2~3 mg/L^[5] 到最近這一年都可維持在 1 mg/L 以內，但磷的濃度卻依然偏高，因此優養化的問題依然存在，以下則分項個別討論。

3.1.1 氮系（氨氮、總凱氏氮、亞硝酸鹽氮、硝酸鹽氮）

從 Figure 1 可明顯發現，原水氨氮的濃度變化曲線與季節有很大的關係，在枯水期時突增至 0.6 mg/L，一般時間則維持在 0.18 mg/L 左右，大致上均處於低氨氮濃度的情形之下；而清水部份則因前加氯之作用，大部份的氨氮可有效去除，平均之氨氮值為 0.09 mg/L。

總凱氏氮在原水中平均為 0.77 mg/L，清水則為 0.57 mg/L，之間的差值大部份應來自氨氮的去除，所以有機氮的去除效果並不佳，大多數仍維持有機氮的形式存在於淨水流程中。

硝酸鹽氮的濃度變化從 Figure 2 可發現在清水部份有些微的提高，此部份是由原水中的亞硝酸鹽氮(平均為 0.12 mg/L)氧化而來，不過清水中的硝酸鹽氮整體平均為 1.23 mg/L 仍遠低於水質標準之 10 mg/L。

3.1.2 磷系（正磷酸鹽、總磷）

從 Figure 3 的總磷濃度變化圖中可看出總磷與氨氮一樣，濃度變化與季節性息息相關，原水在枯水期時可高至 1.24 mg/L，整體平均 0.51 mg/L，此值對一般河川湖泊來說屬偏高的數值，因此雖然澄清湖原水之氨氮值已逐年下降，但由於總磷仍居高不下，所以湖面藻類滋生的問題一直難以解決。

Table 2. 澄清湖淨水場原水及清水水質表 (86 年 8 月 ~ 87 年 5 月) [4]

項目	水溫	pH 值	導電度	溶氧	濁度	氯鹽	正磷酸鹽	總磷	氧氣	總凱氏氮	亞硝酸氮	硝酸氮	BOD ₅	NPDOC	THMs
單位	°C	--	μ s/cm	mg/L	NTU	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	μ g/L
原水	23~30	7.7~8.3	344~590	7.1~7.8	6.8~28.5	4.8~9.0	0.01~0.44	0.03~1.24	<0.05~0.6	0.31~1.23	0.06~0.23	0.53~1.83	2.2~4.2	0.6~1.4	--
平均	25.8	7.9	499	7.5	15.8	6.4	0.16	0.51	0.18	0.77	0.12	1.17	3.0	1.0	--
清水	23~30	6.8~8.0	348~620	6.9~7.7	0.2~1.6	6.9~15.3	<0.01~0.09	<0.01~0.27	<0.05~0.26	0.14~1.05	<0.01	0.51~1.81	--	0~2.24	15~67
平均	26.3	7.5	509	7.4	0.62	12.3	0.03	0.15	0.09	0.57	<0.01	1.23	--	1.4	35

Table 3. 港西淨水場原水及清水水質表 (86 年 10 月 ~ 87 年 5 月) [4]

項目	水溫	pH 值	導電度	溶氧	濁度	氯鹽	正磷酸鹽	總磷	氧氣	總凱氏氮	亞硝酸氮	硝酸氮	BOD ₅	NPDOC	THMs
單位	°C	--	μ s/cm	mg/L	NTU	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	μ g/L
原水	22~28	6.7~7.7	575~730	1.4~4.8	2.9~7.6	14.6~36.2	1.46~4.38	3~5.19	3.25~5.8	3.99~9.83	0.14~0.44	0.65~2.37	4~12.6	2.7~4.6	--
平均	25.2	7.2	614	2.9	5.4	19.8	2.6	4.3	4.13	6.22	0.25	1.21	6.8	3.6	--
清水	22~29	6.6~7.4	540~670	6.2~7.2	0.3~0.9	35.5~50.6	0.07~0.35	0.1~0.57	0.09~0.92	0.35~1.23	<0.01	2.32~4.85	--	2.1~3.5	31~70
平均	25.6	6.8	641	6.7	0.49	40.9	0.18	0.35	0.29	0.83	<0.01	4.28	--	2.9	57

BOD₅ (Biochemical Oxygen Demand) : 生化需氧量
 NPDOC (Non-Purged Dissolved Organic Carbon) : 非氣提溶解性有機碳
 THMs (Trihalomethanes) : 總三鹵甲烷

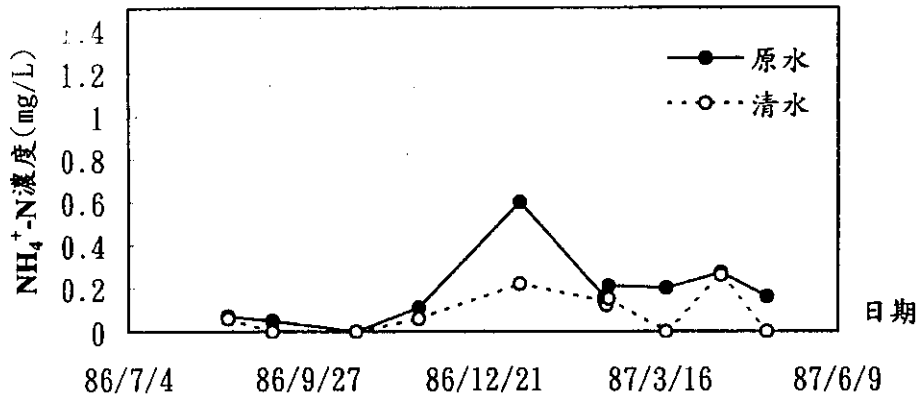


Figure 1. 澄清湖淨水場氨氮濃度變化圖

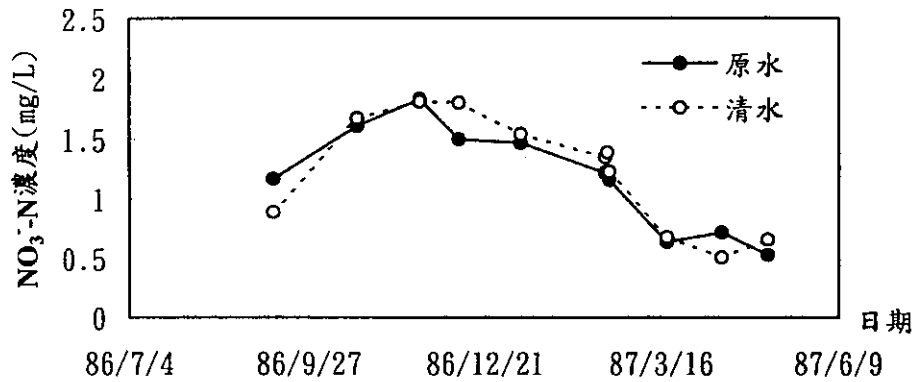


Figure 2. 澄清湖淨水場硝酸鹽氮濃度變化圖

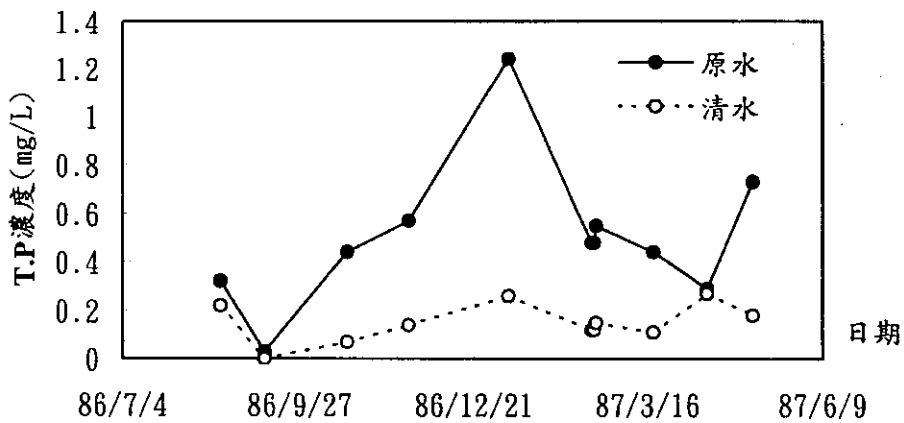


Figure 3. 澄清湖淨水場總磷濃度變化圖

不過在淨水程序後，清水中的總磷已可下降至 0.15 mg/L，平均去除率約為 70%，正磷酸鹽則可從原水的 0.16 mg/L 下降至 0.03 mg/L，平均也有 80% 的去除，顯示傳統的混凝沉澱單元對磷系物質可有效的沉澱去除。

3.1.3 碳系（非氣提溶解性有機碳、三鹵甲烷）

澄清湖淨水場之非氣提溶解性有機碳（ Non-Purged Dissolved Organic Carbon, NPDOC ），原水平均為 1 mg/L，清水則反而上升至 1.4 mg/L，從 Figure 4 更可了解 NPDOC 在清水部份會有些微的提高。造成此現象的原因，推測由於 NPDOC 是測溶解性有機碳，而在前加氯的作用下，將水中的一些懸浮性的有機物氧化成溶解性的有機物，再加上淨水程序對 NPDOC 並無法有效去除，所以造成清水的 NPDOC 比原水高的情形。

清水總三鹵甲烷平均為 35 μ g/L，處於低濃度範圍下，均可符合現行之飲用水標準 100 μ g/L，其詳細數值變化可參考 Figure 5。

3.1.4 硬度

本研究並未做硬度的分析，但由於南部河川特殊的地理條件造成硬度偏高，一般民眾也為鍋垢所苦，因此特別參考陳重男教授同樣於 86 年 8 月至 87 年 4 月對澄清湖淨水場及港西淨水場的硬度分析結果^[6]，在此一併提出以更了解水質狀況。

澄清湖淨水場原水硬度平均為 230 mg/L（ as CaCO₃ ），清水則為 224 mg/L，顯示傳統淨水程序並無法有效去除硬度，整體來說雖可符合現行 500 mg/L 之飲用水水質標準，但距 92 年之 150 mg/L 水質標準仍有一段距離。

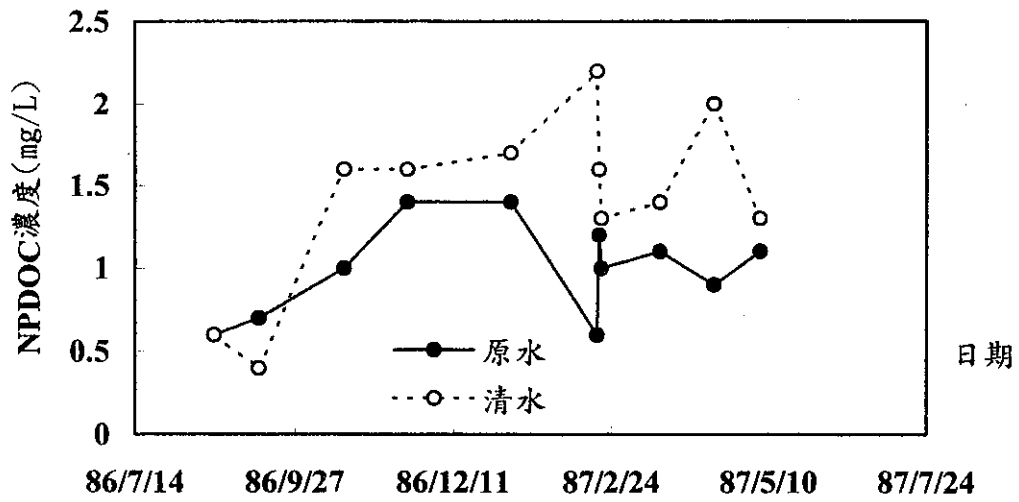


Figure 4. 澄清湖淨水場 NPDOC 濃度變化圖

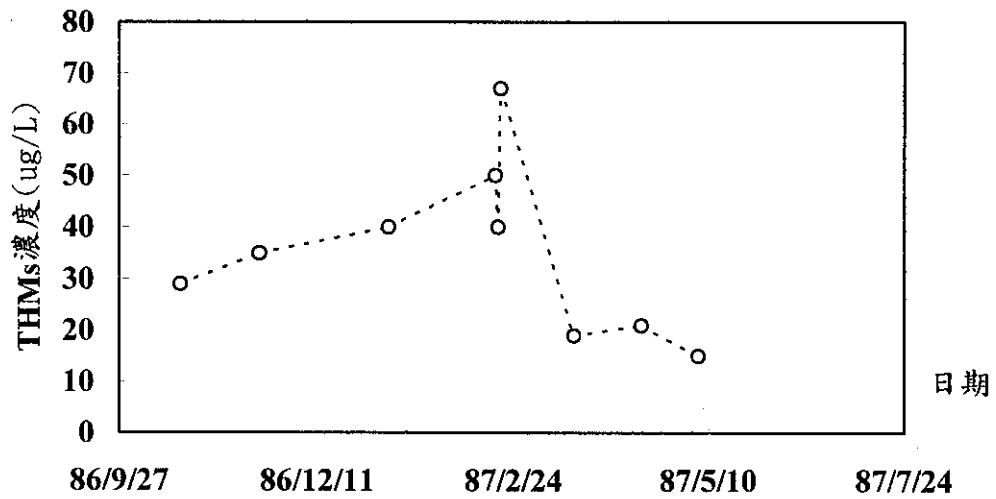


Figure 5. 澄清湖淨水場清水之 THMs 濃度變化圖

3.2 港西淨水場

港西淨水場從 86 年 10 月至 87 年 5 月共採樣 8 次，詳細水質分析結果請參照 Table 3。由於水源東港溪污染較嚴重，在近年養豬量銳減的情形下氮、磷等濃度依舊居高不下，以下則分項個別討論。

3.2.1 氮系（氨氮、總凱氏氮、亞硝酸鹽氮、硝酸鹽氮）

從 Figure 6 可看出港西淨水場之原水氨氮濃度變化較不同於澄清湖，並未明顯受枯水期的影響，而是均位於高濃度下，平均約 4.13 mg/L。為了因應高濃度的氨氮，現場以生物旋轉盤（Rotating Biological Contactor, RBC）生物單元硝化過量的氨氮，不過其硝化效率並不理想，約只有 60% 的硝化率，使得 RBC 出流氨氮量仍偏高且不穩定，以致前加氯量難控制造成清水氨氮量（平均為 0.29 mg/L）有時仍偏高的情形。

總凱氏氮則是從原水平均為 6.22 mg/L 下降至清水之 0.83 mg/L，去除效果相當不錯，而由澄清湖淨水場之數據顯示，傳統淨水程序對有機氮去除效果並不理想，因此港西淨水場除了去除掉絕大部份的氨氮外，RBC 應也利用掉部份的有機氮而促進有機氮的去除。

由 Figure 7 可看出硝酸鹽氮在清水部份有大量提高的現象，從原水平均之 1.21 mg/L 上升至 4.28 mg/L，其原因為 RBC 生物硝化氨氮成為硝酸鹽氮所致，雖然其值仍遠低於飲用水水質標準之 10 mg/L，但與一般水廠比較下屬偏高值，因此需特別注意是否會對人體有不良的影響。而亞硝酸鹽氮雖然在原水中有 0.22 mg/L，但在淨水程序後已完全氧化為硝酸鹽氮，清水中均小於 0.01 mg/L 之偵測極限下。

3.2.2 磷系（正磷酸鹽、總磷）

由 Figure 8 可發現總磷之濃度變化同氨氮一樣，都維持在高濃度範圍之內，原水平均為 4.3 mg/L，在原水氮、磷濃度皆高的情形下，

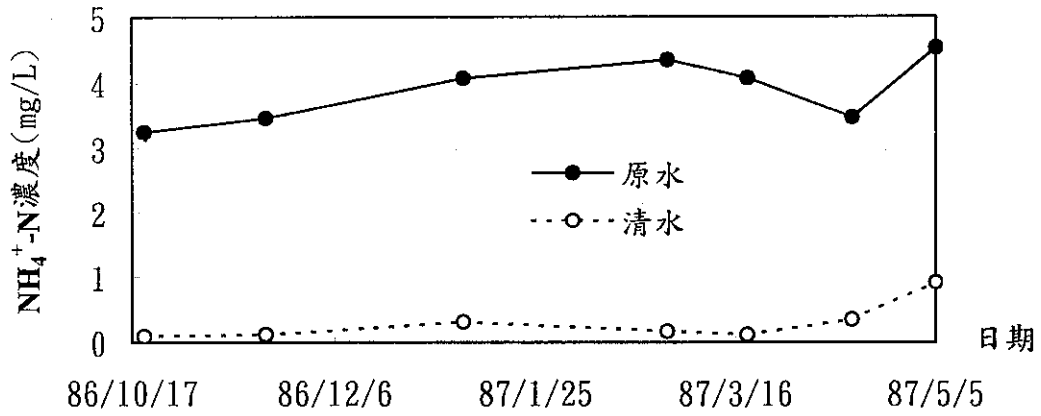


Figure 6. 港西淨水場氨氮濃度變化圖

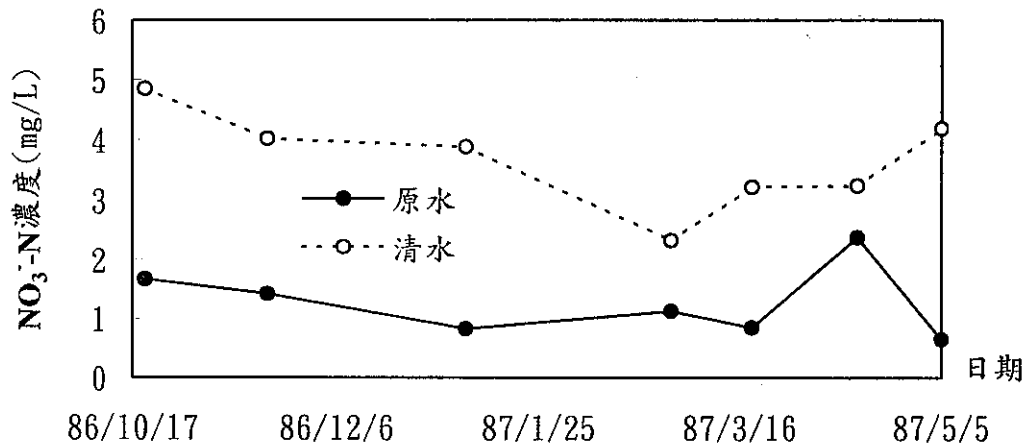


Figure 7. 港西淨水場硝酸鹽氮濃度變化圖

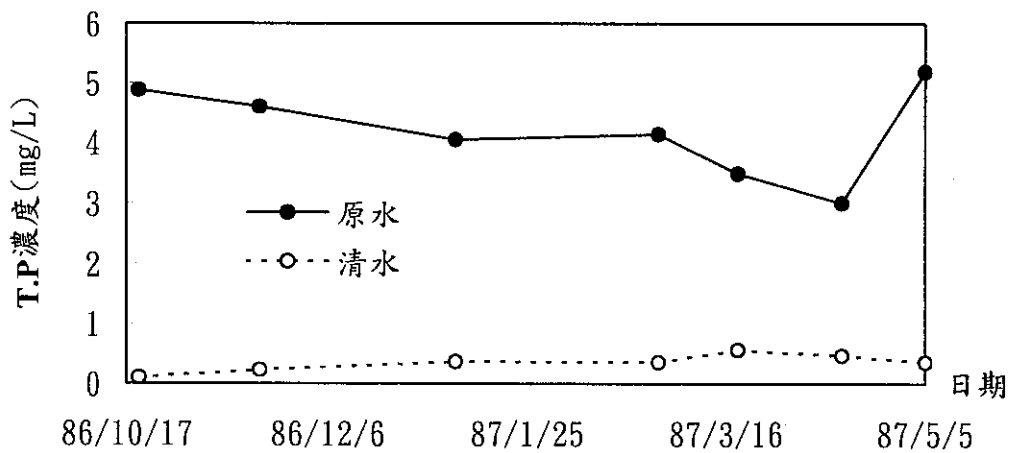


Figure 8. 港西淨水場總磷濃度變化圖

港西淨水場原水也有藻類滋生的問題。另由原水所含有機氮及複磷酸鹽，可推測部份污染來自動物排泄物而非農田施用化學肥料。不過清水部份總磷可下降至 0.35 mg/L，可達 92% 之去除率，正磷酸鹽也有 93% 之去除率，因此同澄清湖淨水場之結果，傳統的混凝沉澱確實可有效去除磷系化合物。

3.2.3 碳系（非氣提溶解性有機碳、三鹵甲烷）

由 Figure 9 可看出清水之 NPDOC 有些微下降的趨勢，不同於澄清湖淨水場清水比原水高的情形，此種現象的原因應是由於原水經過 RBC 生物處理單元時，其生物膜的碳氧化菌利用掉了些許以致 NPDOC 有少量的去除效果。

Figure 10 顯示的是清水中之總三鹵甲烷濃度變化圖，平均為 57 μ g/L，較一般水廠高出許多。由於氨氮量較高，因此加氯量也較一般水廠多。由 Figure 11 中也可看出清水中氯離子濃度提高許多，此亦為加氯量較高所致，同時由於 NPDOC 也較高，造成總三鹵甲烷偏高，應特別注意是否有持續升高或超過水質標準 100 μ g/L 之情形。雖然目前港西淨水場之清水非為飲用水，仍宜考慮清水輸送管中生物可利用有機碳（Assimilable Organic Carbon, AOC）流布之可能性。

3.2.4 硬度

硬度原水平均為 235 mg/L，同澄清湖淨水場之結果，水場之淨水程序並無法去除硬度。此外雖然合乎現行水質標準之 500 mg/L，但硬度仍屬偏高而影響適飲性。

四、結論與建議

4.1 結論

1、澄清湖淨水場原水之氨氮及總磷濃度與季節性有顯著的關係，在

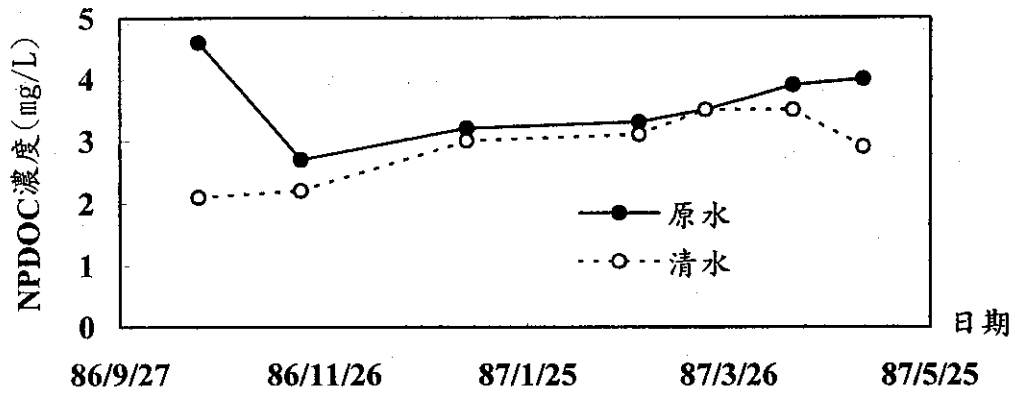


Figure 9. 港西淨水場 NPDOC 濃度變化圖

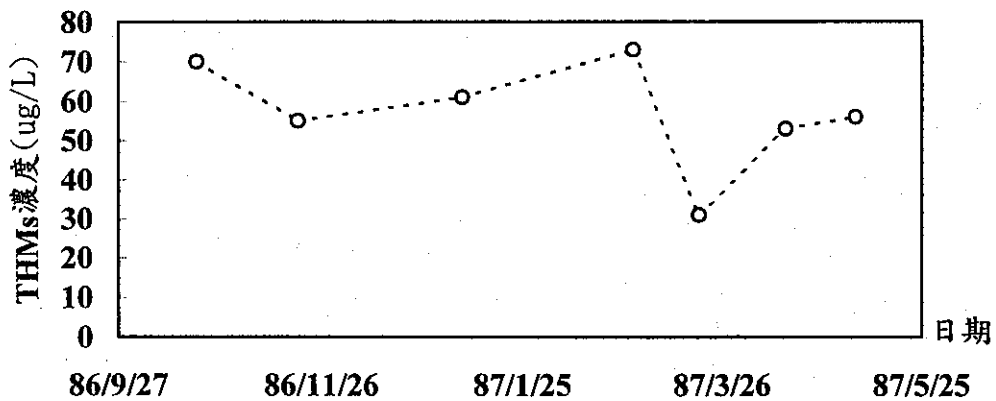


Figure 10. 港西淨水場清水之 THMs 濃度變化圖

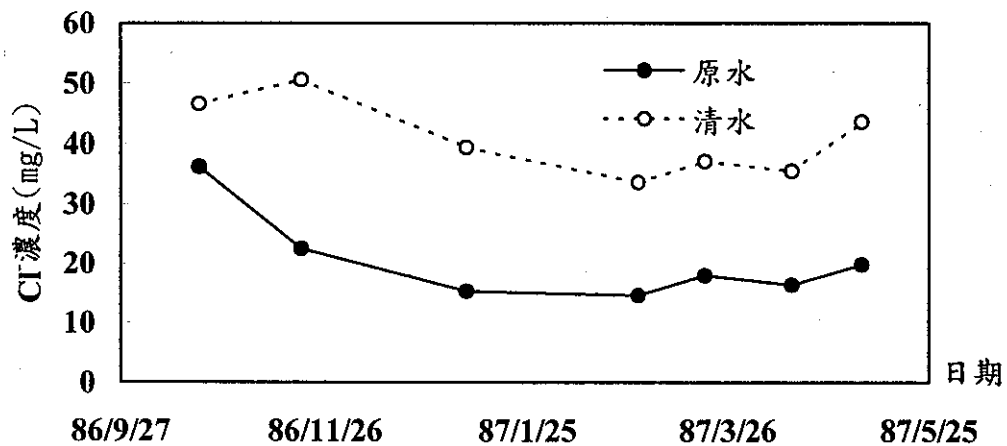


Figure 11. 港西淨水場氯鹽濃度變化圖

枯水期有突增的現象，但整體來說氨氮值維持在 0.18 mg/L 之低濃度，總磷則偏高達 0.51 mg/L。港西淨水場則較不受枯水期之影響，原水之氨氮及總磷平均分別為 4.13 及 4.3 mg/L 均維持在高濃度，污染程度較嚴重。

- 2、少量有機氮及溶解性有機碳在澄清湖淨水場傳統的淨水程序下並無法被去除，港西淨水場則因 RBC 生物處理單元而有少量的去除能力。
- 3、總磷可藉由淨水程序中之混凝沉澱單元有效被去除，澄清湖淨水場及港西淨水場之總磷去除率分別可達 70% 及 92%。
- 4、硬度以現今水廠之淨水功能仍無法被去除，而澄清湖及港西淨水場之清水硬度平均為 224 及 232 mg/L，離 92 年之 150 mg/L 飲用水水質標準仍有一段距離。

4.2 建議

- 1、由原水的水質分析中可發現總磷的濃度都有偏高的趨勢，而現今水廠一般只留意到氨氮量卻忽略了總磷，雖然總磷並不會直接影響到淨水程序操作，但卻是一個很好的原水污染指標，如澄清湖淨水場近年來氨氮量銳減但總磷量仍偏高，以致藻類滋生的問題仍無法解決，此即為一最好之說明，因此如果水廠能監測原水之總磷量，定能更加掌握原水之水質特性。
- 2、在淨水場清水的水質分析中，常常可發現在餘氯量合乎標準的情形下 (0.2 ~ 1.5 mg/L)，氨氮濃度卻偶有超過 0.1 mg/L 之現象，而 89 年之飲用水水質標準氨氮量需小於 0.1 mg/L，所以水廠需特別注意這個問題。不過在訂定飲用水餘氯標準之後，是否仍有需要訂定飲用水氨氮標準，值得審慎商榷評估。

誌謝

本研究承蒙環保署經費補助（EPA-87-J1-02-03-07），在此特別誌謝。

參考文獻

- 【1】 World Health Organization ， “ Guidelines For Drinking-Water Quality ” ， Vol.2 ， Health Criteria and Other Supporting information ， 73 年。
- 【2】 日本環境管理學會 ， “ 新水道水質基準ガイドブック-建築物の水環境管理 ” ， 83 年。
- 【3】 陳是瑩 ， “ 澄清湖浮游生物與放線菌繁殖狀況對水源臭味之影響 ” ， 自來水水源水質標準研究 ， 71 年 6 月。
- 【4】 鄭幸雄、葉宣顯 ， “ 飲用水水源與水質標準之綜合檢討及澄清湖給水廠水質改善評估 ” ， 行政院環保署研究報告，成功大學環工系，87年6月。
- 【5】 溫清光 ， “ 澄清湖曝氣工程效益評估 ” ， 84 年。
- 【6】 陳重男、盧明俊 ， “ 高雄地區自來水淨水場中影響適飲性物質之調查與處理技術之評估 ” ， 行政院環保署研究報告，交通大學環工系，87年6月。