

# 水庫水質優養化對混凝處理效率之影響

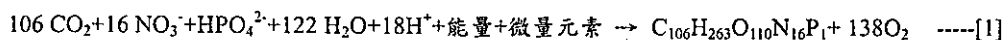
鄭文伯<sup>1</sup> 泣奉華<sup>2</sup> 陳建勛<sup>1</sup> 紀哲訓<sup>1</sup> 林蔚宗<sup>1</sup> 凌慧紋<sup>1</sup> 陳秀珠<sup>1</sup> 成忻<sup>1</sup>

## 摘要

本研究以葉綠素 a、紫外光吸光值、螢光強度、總有機碳分析及分子量分佈等分析方法，針對明德、鯉魚潭及永和山三座水庫之水質，評估春夏季交接時及颱風來臨前(5-7 月)，水體因水溫上升，而開始加速優養化的進行後，水中溶解性有機物組成成份的變化情況。結果發現，水庫原水之溶解性有機物濃度對葉綠素 a 濃度及 pH 值之間呈正比關係存在，且溶解性有機物濃度增加時，紫外光吸光值、螢光發光強度並未等量增加，這些結果顯示水質優養化現象的存在，且由於外來污染物及藻類代謝生成之胞外產物(Extracellular products, 簡稱 ECPs)等小分子有機物的加入，造成了原水中溶解性有機物濃度的增加，但相對也使得水中大分子有機物(如腐植質)的比例減少，因此經由分子量分佈情況得知，原水中分子量小於 5000 Dalton 的溶解性有機物比例確實會隨葉綠素 a 濃度的增加而增加。而以上這些結果也說明了水庫水質優養化後，水質的改變會造成飲用水處理上的困擾。因此，近年來有以增強混凝(Enhance Coagulation)作為提升水中溶解性有機物去除率的方法，但經本研究證實，其處理效率會隨優養化程度的提高而明顯下降，且水質優養化後，藻類產生之小分子有機物，其佔所有溶解性有機物的百分比，每增加 1% 則增強混凝的溶解性有機物去除率也會約略會降 1%，顯示水庫水質優養化所增加的有機物確實無法經由增強混凝去除。

## 一、前言

台灣飲用水水源有許多來自於水庫，但受到集水區內農業、家庭及工業點源污染的影響，使得水庫水質優氧化現象日益嚴重，也造成水體藻類的大量繁殖。通常在適當的光照、溫度、pH 和充分營養物質的存在下，天然水體中藻類進行下列光合作用，合成本身的原物質：



由以上反應式可看出，藻類繁殖的限制因子主要是以無機態的磷、氮、或碳源。過多的營養鹽存在會使藻類不斷繁生，消耗水中  $\text{CO}_2$ ，並造成原水的 pH 值

1 國立聯合技術學院 環境與安全衛生工程系

2 私立崑山科技大學 環境工程系

上升，且轉化形成的藻類，其分泌物會引起水臭、水味等困擾，更使得水中溶解性有機物(DOC, Dissolve Organic Carbon)的生產速度遠超過微生物分解速度，進而使水體中 DOC 的分佈特性產生改變，原水體中天然大分子腐植酸所佔的比例隨優養化的結果而降低。這對原水處理上也帶來了不同層次的問題，並增加了處理上的複雜性<sup>(1-2)</sup>，因為大分子的天然有機物(NOM, Nature Organic Matter)如腐植酸等容易被混凝程序所去除<sup>(3-4)</sup>，而相對的，外來有機物及藻類繁殖產生之二次污染物質，通常分子量並不大，在傳統飲用水處理上有其困難性。

近年來，對於傳統飲用水處理上，有許多不同處理方法被發展，以應付日益嚴重的污染問題，尤其是針對水體中 DOC 去除效率的提昇上，更是被逐漸重視。其中又以增強混凝觀念<sup>(5-8)</sup>的引進，更是打破了傳統混凝以濁度去除為主要的觀念，希望利用過量混凝劑的添加，在不影響處理水質如濁度、pH、金屬殘留量、致病菌殘留等的前提下，增加 DOC 的去除效率，以減少消毒副產品如三鹵甲烷等致癌物的產生量，提昇飲用水品質。但值得注意的是增強混凝僅能有效增加水中大分子疏水性有機物的去除，對於原水中小分子親水性有機物的去除效率提昇其實是有限的<sup>(1)</sup>。所以，誠如上述所言，當水庫水質優養化後，會造成有機物分子成份分佈的變化，易去除的大分子物質比例會降低，造成增強混凝對有機物的去除效率亦會相對減少。因此為了瞭解優養化與增強混凝效率兩者之間的相關性，本研究擬以生物性及化學性水質指標來長期比對明德、鯉魚潭及永和山三座水庫水質優養化的程度。而水樣混凝前後之有機物總量及特性則利用總有機碳、UV<sub>254</sub>、螢光分析及分子量分布等方法來了解，最後並進行加氯反應以了解混凝處理後水質之三鹵甲烷生成潛能。透過上述分析實驗的比對，我們希望能了解下列關係：(1)利用葉綠素 a 的分析來了解優養化程度對有機物濃度的影響。(2)透過有機物總量及特性分析來瞭解優養化對水體有機物成份分佈比例的影響。(3)以增強混凝對有機物的去除效率，比對優養化程度指標（葉綠素 a），瞭解水體優養化與增強混凝效率之間的相關性。(4)比對不同混凝劑量條件下，混凝後，原水的三鹵甲烷生成潛能與水中有機物成份分佈狀況之相關性，從而了解混凝程序對飲用水品質的效益。透過上述關係的探討，期望能更深入明白水質優養對增強混凝效率之間的影響，以評估增強混凝使用之時機。

## 二、實驗步驟

### (一)、水質分析項目

#### 1. SUVA

直接應用明德、鯉魚潭及永和山水庫自來水廠取水口之原水進行混凝實驗，首先將原水之基本水質加以分析，分析項目有 pH、濁度等。此外，根據 Edzwald 和 van Bbenschoten<sup>(9)</sup> 的研究顯示，若將波長 254nm 的紫外光吸收值 (UVA) 除

以溶解性有機物(DOC, Dissolve Organic Carbon)值，代表可優先去除的芳香族(Aromatic)溶解性有機物如腐植酸(Humic acid)在原水中所佔之比例，亦稱之為SUVA值。因此，本研究利用總有機碳分析儀(Dohrmann phoenix 8000)分析原水中非氣提溶解性有機物 NPDOC 濃度(mg/l)，作為水中 DOC 濃度的定量方式，並以紫外光分光儀(Hitachi U-2000)分析過濾後調整 pH 值在 7 之原水的吸光值。

## 2. 螢光分析

螢光分析使用 Hitachi 之 F-2000 型螢光儀，腐植酸分析使用之激發波長 $\lambda_{ex}$ 為 315nm，螢光發射波長 $\lambda_{em}$ 為 417nm，由螢光發射強度(FI)可作為腐植酸定量之依據<sup>(10-11)</sup>，螢光強度的校正則是以 0.3 mg/L Quinine Sulfate 進行。由於螢光強度(I)會受溶液 pH 值改變而產生影響，尤其是低 pH 值溶液的影響最大。因此依照環保署標準檢驗方法(NIEA W940.50T)進行螢光分析，定量水中腐植酸濃度時，需先將過濾後之水樣調整溶液 pH 值為 7，再量測螢光強度(I)，降低實驗誤差。

## 3. 分子量分佈分析

本實驗分析三水庫採集之原水分子量分佈，是使用美國 Millipore 公司生產的 UF 薄膜分離裝置，使用 Cutoff 5000 Dalton 作為水中分離有機物的方法，樣品經 0.45  $\mu$ m 孔徑濾紙過濾後，經蠕動幫浦重複回流至濾出液體積為原水的 2/3 時停止過濾，分別將剩餘液及濾液以總有機碳分析儀分析 DOC 濃度，並計算回收率。回收率設定為 85% - 115% 之間之樣品為有效樣品。

## 4. 總三鹵甲烷(TTHMs)分析

三鹵甲烷分析法，是採用環保署檢驗方法 NIEA · W785 · 50B 所列之飲用水中揮發性有機化合物檢測方法—吹氣捕捉 / 氣相層析質譜法進行。THMs 標準品之配置，是取 0.1ml 濃度為 200mg/l 之標準品 (Supelco)，以甲醇稀釋定量至 100ml 成為 200ppb，作為後續製備檢量線之儲備標準溶液，檢量標準液之配置，則是以 100ml 定量瓶並利用微量注射器分別加入適量之儲備標準液，隨即以純水稀釋配置成一系列不同濃度之標準品，並配置查核樣品繼續對完成之檢量線進行確認。THM 分析之分法及設備是使用氣相層析儀，(Agilent Model 6890) 連接吹捕裝置 Purge&Trap (Tekmar Dohramann-3100)，並以 Agilent 5973 Mass Selective Detector 作為檢測器。Purge & Trap 的操控條件是以高純度氮氣 (99.99%) 做吹提氣體 (Purge gas)，流量控制在 40ml/min，壓力 20psi，吹提時間為 11 分鐘，乾燥吹提 (Dry purge) 4 分鐘，之後在 108°C 溫度下將捉捕於 Tenax 吸附劑內之 THM 脫附 (Desorbed)，脫附時間四分鐘後，進入 GC 內以 60m×0.25mm 內徑之

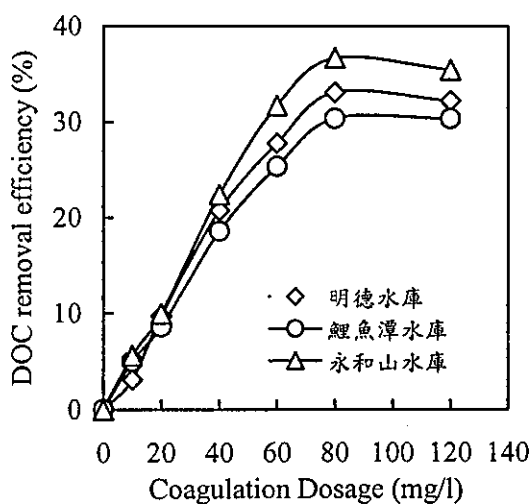
DB-624 之 Narrowbore Capillary Column，進行各物種 ( $\text{CHCl}_3$ ， $\text{CHBrCl}_2$ ， $\text{CHBr}_2\text{Cl}$ ， $\text{CHBr}_3$ ) 之層析，攜帶氣體 (高純度氬氣) 流速控制在 2 ml/min，GC 的溫度程式定為：初溫 40°C，維持 5 分鐘，然後以每分鐘上升 5°C 之加熱速度，使最終溫度上升至 200°C 並維持 10 分鐘後結束。質譜儀操作條件為掃描範圍 35-260amu。離子化方式 EI，70ev；介面傳輸溫度 280°C；每次掃描時間不超過 0.7 秒。

### 5. 總三鹵甲烷生成潛能 (Total THM formation potential, TTHMFP) 分析

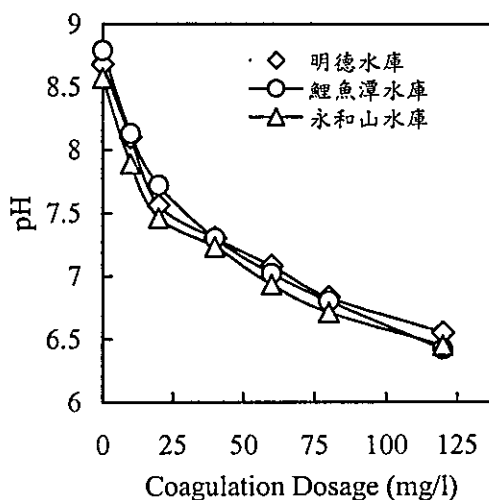
將混凝前後之水樣各自裝入 3 瓶 40ml 之玻璃瓶中，分別注入不同量之次氯酸鈉溶液，並放置於 25°C 之恆溫箱中，七天後以 Hach DR-2000 分析儀分析餘氯量，選取餘氯量為 3-5mg/l 之樣品，進行上述 TTHM 分析以求得三鹵甲烷生成潛能。

#### (二)、混凝實驗

分別量取不同時間取樣所得之 1 升明德、鯉魚潭及永和山三座水庫原水，以  $\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$  進行混凝實驗，混凝劑量以濃度 10 mg/l 做單位逐次增加，並將最大加藥量控制在混凝後 pH6.3 以上，進行混凝實驗，快混(120rpm)1 分鐘，慢混(30rpm) 30 分鐘，靜置 30 分鐘後取上層液，量測 pH 值及濁度。經過濾後之濾液則進行溶解性有機物之殘留量及性質分析包括分子量分佈、三鹵甲烷生成潛能、UVA、螢光強度及 DOC 等分析項目。



圖一、混凝劑量與 DOC 去除率之關係  
(原水 DOC 濃度: 明德 2.27 mg/l,  
鯉魚潭 2.21mg/l, 永和山 1.61 mg/l)

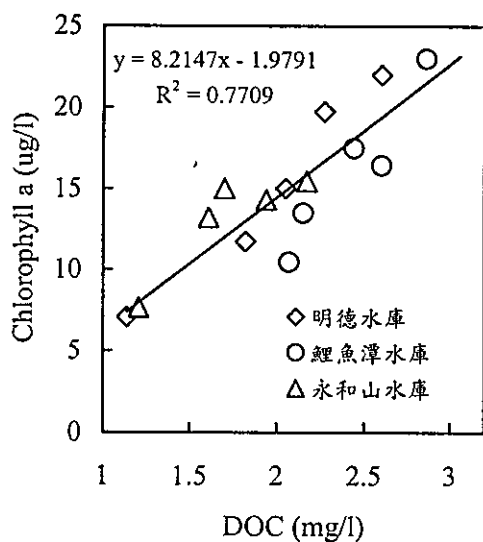


圖二、混凝劑量與混凝 pH 值之關係

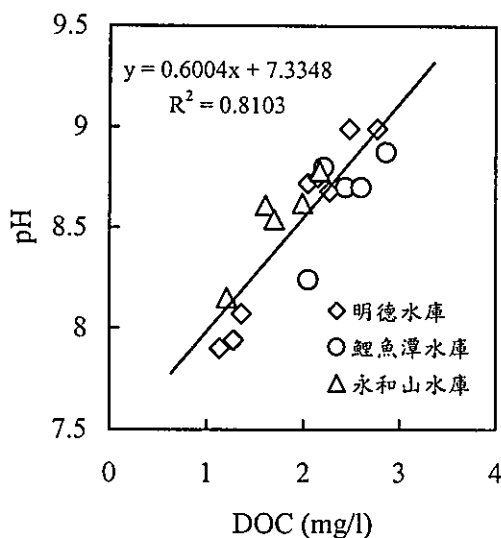
### 三、結果與討論

#### (一)、水庫優氧化對原水水質的影響

圖一為三座不同水庫之原水在不控制 pH 值條件下，以不同的  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  劑量進行混凝實驗所量測得到的 DOC 去除率變化情形，圖二則為混凝後 pH 值的變化情況。由圖一可觀察到混凝劑  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  之劑量增加時，DOC 的去除率會明顯增加到飽和為止。顯示原水中的有機物會因分子特性的不同，部分有機物如疏水性分子，在足夠的混凝劑添加下會因電性中和、掃除等機制而逐漸被去除，但部分有機物則與混凝劑之間不易產生任何反應，因此，過量的混凝劑添加亦無法有效移除此類所謂較親水性之有機分子。值得注意的是配合圖二混凝劑添加量對溶液 pH 值的變化情況來看，三座水庫的差異不大，顯示三者之間原水的鹼度高低類似，亦即上述混凝過程，應可直接比較在相同混凝劑量下 DOC 去除率的差異，而不須考慮彼此之間 pH 值的差別。由以上討論可知，混凝對有機物的去除率除了受到混凝劑種類、混凝劑量及混凝 pH 值的影響外，水庫原水中有機物的分佈特性，更是明顯地會決定混凝處理對水中溶解性有機物移除的效率，也造成不同水庫原水其混凝處理效果上的差異。正如圖一所示，三座水庫在相似的 pH 值條件下，添加相同種類且足量混凝劑之後，DOC 的去除率仍會有明顯的差異，而這種水庫原水有機物分佈特性的變化，則與季節及污染物進入水庫後所產生的水相生態環境改變有密不可分的關係。

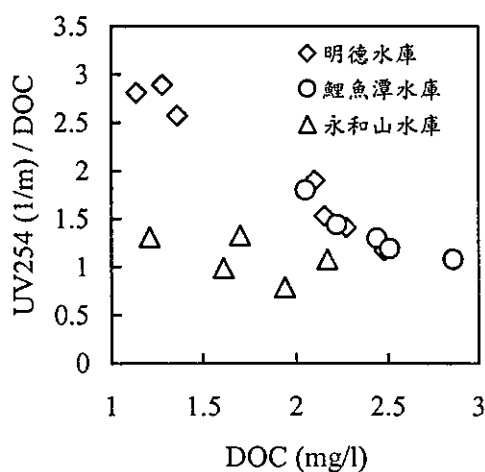


圖三、不同時間三座水庫原水葉綠素 a 濃度與 DOC 濃度之關係

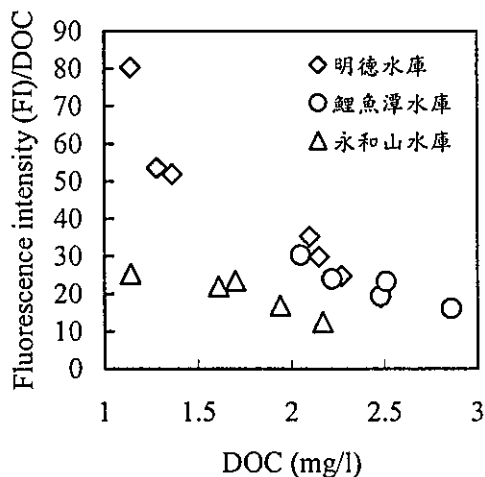


圖四、不同時間三座水庫原水 pH 值與 DOC 濃度之關係

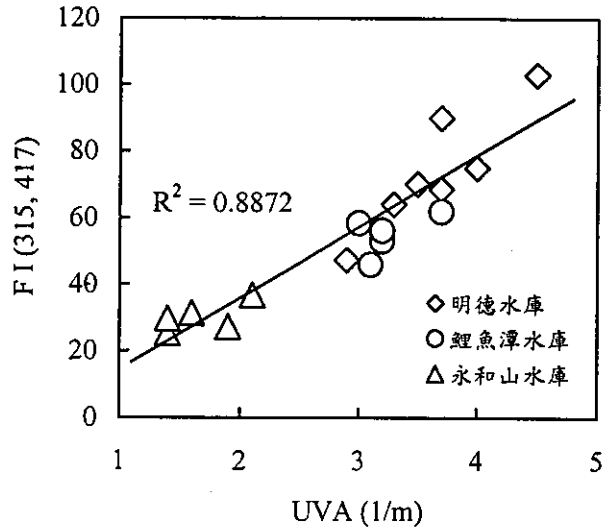
DOC 的組成成份的變化情況，除了因外來污染物的直接進入外，水庫湖泊本身因這類外來物質中所含有氮、磷元素造成的優養化二次污染現象，產生水體中藻類的大量繁殖，也使得有機代謝物產生速度遠遠超過有機物消耗速率，DOC 的濃度與組成成分也產生極大的變化。將這類有機物與原水所存在的天然有機質腐植酸或黃酸比較，則不論是外來有機物或藻類分泌產生的有機物，其分子量較小且有較多的親水官能基，均是混凝處理上不易處理的有機物類型<sup>(12)</sup>。因此，如圖三及四所示，長期觀察明德等三座水庫之水質變化情況後，發現 DOC 濃度的改變與葉綠素濃度及 pH 值的變化是呈正比關係，顯示在藻類繁殖量增加時原水中的有機物確實會產生明顯的增加，且如公式[1]受到光合作用的影響，水中 CO<sub>2</sub> 被藻類消耗，造成原水 pH 值亦隨藻類的增加而增加，證明水質優養化現象的存在。除此之外，由圖五、六 DOC 與紫外光吸光值及螢光強度之間的關係，可得到水質受優養化而改變的印證。一般而言，有機分子若具有苯環(如腐植酸)或 C=O、C=N、N=O 等雙鍵官能基時會造成波長 254nm 之紫外光被強烈吸收。而有機物含有苯類等具共軛雙鍵之芳香族化合物則是產生螢光效應的必要條件，由於分子量極大的腐植酸分子中含有大量芳香族分子，對這兩種分析方法會產生極大之感應能力，因此紫外光與螢光分析常被用來分析水體中腐植酸濃度的變化情況。所以如圖五、六，當水庫水質優養化時 DOC 濃度增加，但由於所增加的有機物並非腐植酸或並非對紫外光、螢光敏感之分子，因此 UV<sub>254</sub>/DOC (SUVA) 或 FI /DOC 比值會隨 DOC 濃度的增加而減少。證明了水質優氧化的確會造成水體中有機物分佈特性的改變。除此之外，由圖五、六亦可發現，在相



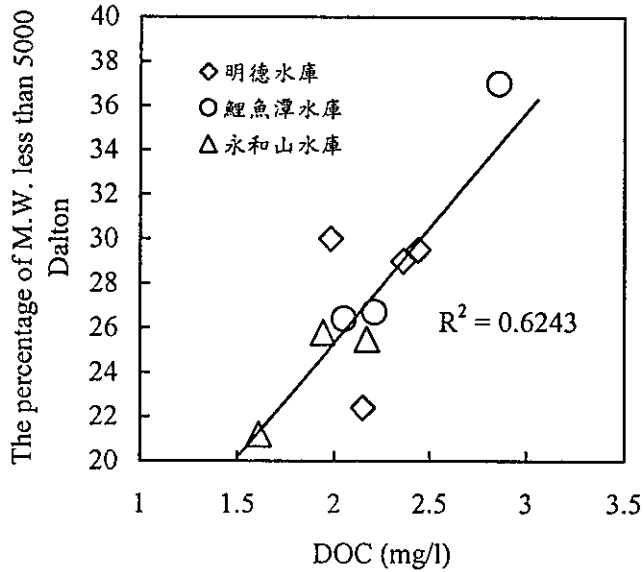
圖五、不同時間三座水庫原水 DOC 濃度與 UV<sub>254</sub>/DOC 之關係



圖六、不同時間三座水庫原水 DOC 與螢光強度/DOC 之關係



圖七、不同時間三座水庫原水 UV<sub>254</sub> 吸光值與螢光強度之關係



圖八、不同時間三座水庫原水中分子量小於 5000 Dalton 之 DOC，其佔有率與原水 DOC 相關性

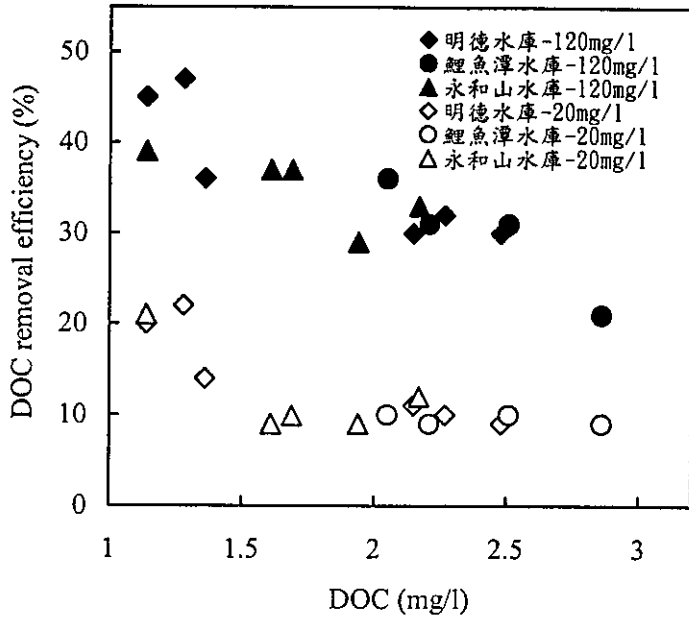
同 DOC 濃度下，永和山水庫原水之 UV<sub>254</sub>/DOC (SUVA) 及 FI/DOC 值均比其它兩座水庫低，而造成這種現象的可能原因如 Stewart and Wetzel 的解釋<sup>(13)</sup>，當腐植酸分子量過大時，會導致腐植酸結構中，部分所含的苯環或共軛雙鍵等疏水性官能基，

被親水性官能基包圍遮蔽在內部，使得原水紫外光吸光值與螢光強度同時減弱。因此，若對照圖七 UV<sub>254</sub> 吸光值對螢光強度所作之圖形，則可說明永和山水庫原水之腐植酸分子性質與其他兩座水庫類似，因為就一般而言，原水中腐植酸或黃酸結構中，苯環所存在的取代基均會影響其螢光強度，當苯環具有推電子取代基，如-NH<sub>2</sub>, -OH, -CH<sub>3</sub> 的腐植酸或黃酸，其放出的螢光強度會愈強，造成其螢光強度及 UV<sub>254</sub> 吸光值兩者的比值會增加<sup>(10,14)</sup>，相反如果苯環具有較多拉電子取代基，如-COOH, -NO<sub>2</sub>, -N=N-等，則兩者的比值會減少。但由圖七中，三座水庫原水的螢光強度與 UV<sub>254</sub> 吸光值之良好線性關係，顯示其腐植酸苯環取代基類似。除此之外，由圖七亦可看出明德水庫原水的螢光強度或 UV<sub>254</sub> 吸光值大小，明顯比其他兩座水庫變化大，主要因為鯉魚潭及永和山水庫均為離槽水庫，其水源分別是來自大安溪及中港溪支流南庄溪越境引水，一般在大雨時會封閉水道以免泥沙淤積，造成了原水腐植酸濃度，因大雨沖刷而產生巨幅變化的可能性減少。

除了分子性質的改變外，分子量大小分佈狀況的改變，亦是水庫優養化後的重要特徵，由於外來污染物與優養化後藻類所釋放的有機分泌物均屬分子量較小之物種，因此理論上，水庫原水隨優養化程度的增加，會導致 DOC 中小分子有機物比例亦會增加，正如圖八所示，利用超過濾膜 (UF) 技術，將三座水庫原水中分子量小於 5000 Dalton 的有機物分離出來後，計算其所佔總 DOC 之百分比 (PI) 並與原水 DOC 濃度作圖，得知 PI 值與優養化程度(以 DOC 表示)確實呈正比關係存在，顯示水質優養化後，的確會造成原水有機成份分佈的改變。而重要的是，所增加的有機物並不容易被傳統混凝程序去除。因為大部份學者認為，一般的混凝程序僅能有效地去除較大分子量的有機物，如分子量大於 5000 Dalton 者，而對於小分子有機物則建議以其他方式處理，如活性碳吸附等<sup>(3)</sup>。除此之外，若將圖五、六 DOC 與紫外光吸光值及螢光強度之間的關係與圖八比對，則由圖八可發現永和山水庫原水中，分子量小於 5000 Dalton 的 DOC 比例，有比其他二座水庫少的趨勢，顯示永和山水庫原水中大分子腐植酸比例較高，因此如前述所解釋的<sup>(13)</sup>，會增加腐植酸中所含的疏水性苯環或共軛雙鍵官能基被遮蔽的機率，由此也可證明，造成圖五、六中永和山水庫原水之 UV<sub>254</sub>/DOC (SUVA) 及 Fluorescence/DOC 值均比其它兩座水庫低的原因，並非是由於該水庫原水有機物成份中，大分子如腐植酸佔有率較低造成的。因此在以下的混凝處理實驗上，該水庫原水 DOC 混凝去除率與其他二座相似，並不因其相對低 UV<sub>254</sub>/DOC(SUVA) 及 FI/DOC 值而減少。

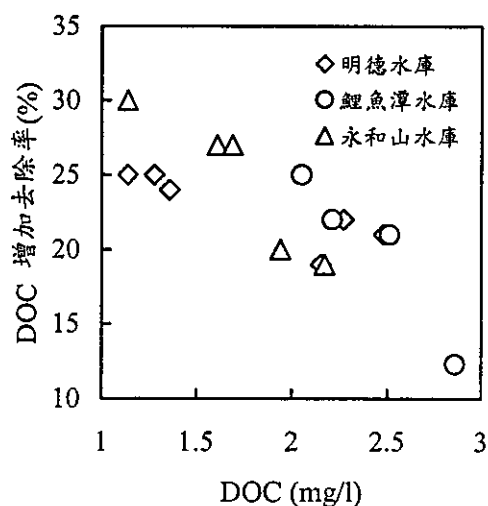
## (二)、水庫水質優養化後對原水混凝處理的影響

為瞭解飲用水混凝處理中，水質優養化程度與混凝劑量對 DOC 去除率的影

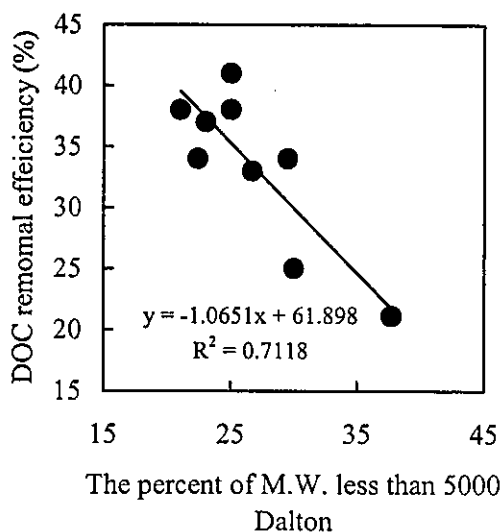


圖九、兩種不同混凝劑量下，三座水庫 DOC 混凝去除率

響性，如圖九所示，本研究利用兩種不同混凝劑量在不控制 pH 條件下，長期觀察三座水庫的混凝 DOC 去除率，在 20mg/l 劑量下，雖初步已可將大部分濁度去除，達到一般混凝去除目的，但對有機物的去除率不高，且三座水庫 DOC 去除率會隨各自優養化程度的增加（DOC 濃度增加）而逐步降低，並在較高優養化時達到平緩，幾乎已無 DOC 去除效果。相對的在高劑量 120mg/l 的增強混凝操作條件下，三座水庫均能比 20mg/l 操作條件時，明顯的提昇其 DOC 去除率，但值得注意的是除原水優養化程度的提昇，水中小分子有機物存在的比例會如圖八所示呈正比關係增加，造成不易與混凝劑反應之親水性有機物種增加，因此即使是使用大量的混凝劑（120mg/l），其混凝 DOC 去除率亦會隨原水中 DOC 濃度的增加而巨幅的減少，並造成增強混凝效益的減少。因此如圖十之結果所示，若將同一水樣，增強混凝（120mg/l）後之 DOC 去除率減去一般混凝（20mg/l）時 DOC 的去除率，稱之為增強混凝所得到之 DOC 去除淨效益，則此淨效益將會因原水 DOC 濃度增加或優養化程度的提高而明顯下降，證明同一水庫原水水質惡化時，使用增強混凝的方式並非是有效之解決方法。這也是美國環保署之消毒劑與消毒副產品管制法（D/DBP Rule）為何會嚴格規定增強混凝使用時機的原因。為了更證實這項結果的可靠性，如圖十一所示，以各水庫原水中 DOC 分子量低於 5000 Dalton 的百分比（PI）對 120mg/l 混凝劑量下之 DOC 去除率作圖，則可明顯看出，當水庫原水中小分子（低於 5000Dalton）所佔的百分比愈高（水質

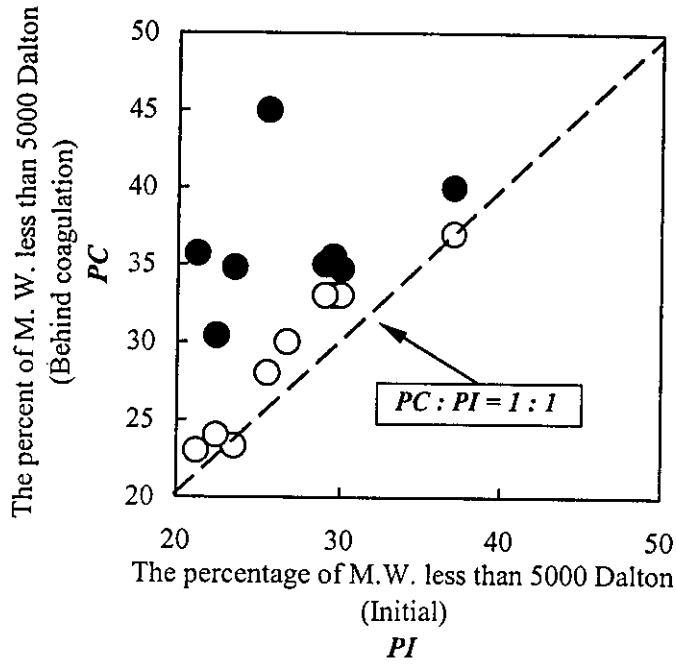


圖十、增強混凝所得到之 DOC 去除淨  
效益與原水 DOC 之關係

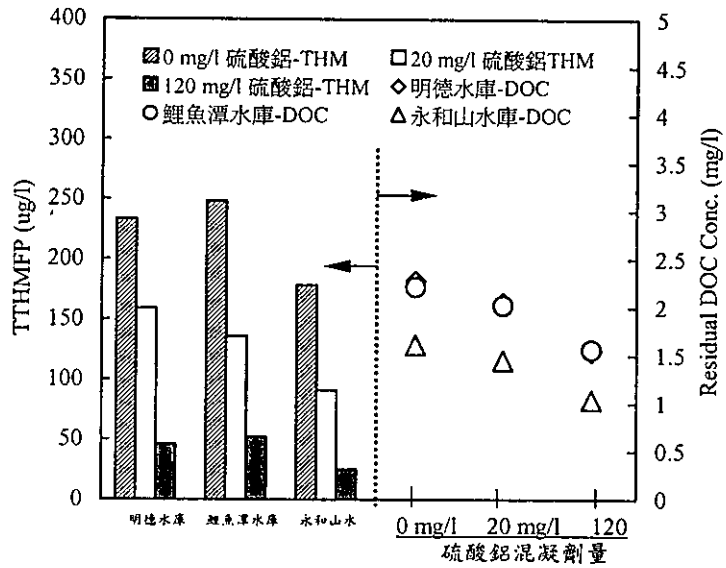


圖十一、原水分子量小於 5000 Dalton 之  
DOC 含有率與增強混凝 DOC  
去除率之關係

優養化的特徵)，則 DOC 混凝去除率會愈低，且由其斜率亦可發現原水中分子量低於 5000 Dalton 的有機分子，其佔所有 DOC 的百分比每增加 1% 則增強混凝的 DOC 去除率約略會降 1%。顯示水庫水質優養化所增加的有機物，確實無法由增強混凝去除，除非原水在混凝前能有效降低這類小分子有機物之親水性官能基，以便於有機物能藉混凝吸附機構加以去除。由於混凝過程對於有機物的去除具選擇性，大分子有機物的去除機率高，因此若將 PI 值對混凝後水中所含分子量低於 5000 Dalton 的百分比 PC 值作圖，則如圖十二所示，圖中虛線代表，如果混凝對大分子及小分子有機物的去除機率相同時，則混凝前後雖然有機物濃度會改變，但小分子有機物在混凝前後所佔的比例仍應維持不變，此時 PC: PI 應以 1:1 的關係存在。相對的，若實驗數據點在虛線的上方則代表原水混凝後小分子所佔的比率增加，因此由圖十二之數據可明顯地證明，混凝過程對大分子有機物的去除率的確高於小分子有機物，因此無論是 20mg/l 的傳統混凝劑量或 120mg/l 的增強混凝劑量均會造成圖點落在虛線之上的現象。且由圖十二 120mg/l 混凝劑量的實驗點比 20mg/l 更偏離 PC: PI=1:1 之虛線，更證明即使是增強混凝程序，對原水中有機物的處理，原本就僅能對大分子提供較佳的去除機會，小分子有機物的去除的效率非常有限<sup>(1)</sup>。而這種現象也說明了圖一中，當混凝劑量增加到某程度後，DOC 的去除便會達到飽和而無法繼續有效提升的原因。



圖十二、混凝前後分子量小於 5000 Dalton 之 DOC 佔有率相關係 (混凝劑量  
○ 20 mg/l ● 120 mg/l)



圖十三、不同混凝劑量下三座水庫 TTHMFP 濃度及 DOC 殘留量之比較

若將三水庫原水及不同混凝劑量下之 TTHMFP 作比較，則如圖十三所示，計算三座水庫原水經增強混凝後之 TTHMFP 去除率，均能由一般混凝劑量下 (20mg/l) 的 31~48%，提升至增強混凝劑量 (120mg/l) 之 74~85%，顯示增強混凝確實可以達到預期效果，而另外由圖十三之 TTHMFP 去除率與 DOC 去除率比較，亦可發現一般混凝及增強混凝劑量下 DOC 去除率分別只有 8.6~10.1% 及 32.2~35.4%，遠低於上述 TTHMFP 的去除率，顯示混凝主要是去除大分子疏水性有機物如腐植酸等，而該等有機物存在之苯環或芳香族類化合物又是飲用水中生成 THM 的主要物質<sup>(15-18)</sup>，通常腐植酸單位 DOC 之 TTHMFP 產生量遠高於非腐植酸類 DOC<sup>(12, 19)</sup>，因此當混凝後，所剩餘之小分子比例增加，造成 TTHMFP 去除率比 DOC 去除率高的現象。但即使如此，如圖十三所示，三座水庫混凝後殘留之 DOC 濃度越高，其 TTHMFP 值也呈現增加的趨勢。因此可預期的，同一水庫水質優養化後，由於藻類繁殖所增加的 DOC 產物不易被一般混凝及過濾程序去除，將直接導致淨水廠後加氯消毒劑量及 THM 濃度的增加，嚴重影響飲用水品質<sup>(12)</sup>。

#### 四、結論

經由長期觀察明德、鯉魚潭及永和山三座水庫之水質變化狀況，發現水質優養化所造成的藻類繁殖速度增加時，會加速光合作用的進行，消耗水中 CO<sub>2</sub> 濃度造成原水 pH 值的上升，且藻類代謝產生小分子有機物，會使得原水中 DOC 濃度與葉綠素濃度呈正比關係存在。間接地，這種現象也降低了腐植酸等大分子有機物，在原水 DOC 中的佔有比例，此時原水 UV<sub>254</sub>/DOC (SUVA) 及 Fluorescence/DOC 值，會隨原水 DOC 濃度的增加而降低。除此之外，由於藻類代謝產生的小分子有機物，並不容易被傳統混凝程序有效去除，即使是使用增強混凝程序，對原水 DOC 的去除效率亦會隨 DOC 濃度的增加而減少，實驗顯示原水 DOC 中，分子量低於 5000 Dalton 的有機物比例，每增加 1% 則增強混凝的 DOC 去除率也會約略會降 1%，顯示水庫水質優養化所增加的有機物確實無法經由增強混凝去除。而這種現象也預告了，當原水水質優養化後，在飲用水處理上，將面臨無法有效控制消毒副產品如 THM 等致癌物質濃度增加的問題。

#### 參考文獻

1. Volk, C., Bell, K., Ibrahim, E., Verges, D., Amy, G. and Lechevallier, M. (2000) "Impact of Enhanced and Optimized Coagulation on Removal of Organic Matter and its Biodegradable Fraction in Drinking Water" *Wat. Res.*, **34**, pp. 3247-3257.
2. Owen, D. M., Amy, G. L., Chowdhury, R. P., McCoy, G. and Viscosil, K. (1995) "NOM Characterization and Treatability" *J. Am. Water Works Assoc.*, **87**(1), pp. 46-63.
3. Amy, G. L., Sierka, J., Bedessem, D. P. and Tan, L. (1992) "Molecular Size Distribution of Dissolve Organic Matter" *J. Am. Water Works Assoc.*, **84**(6), pp. 67-75.

4. Amy, G. L. (1987) "Comparing Gel Permeation Chromatography and Ultrafiltration for the Molecular Weight Characterization of Aquatic Organic Matter" *J. Am. Water Works Assoc.*, **79**(1), pp. 43-51.
5. Chowdhury, Z. K., Roberson J. A. and Owen, D. M. "A National Evaluation of Enhanced Coagulation and Enhanced Softening" Proc. J. Am. Water Works Assoc. Annual Conference, Atlanta, GA, June 1997.
6. Edwards, M. (1997) "Predicting DOC Removal during Enhanced Coagulation" *J. Am. Water Works Assoc.*, **89**(5), pp. 78-89.
7. Krasner, S. W. and Amy, G. L. (1995) "Jar-Test Evaluations of Enhanced Coagulation" *J. Am. Water Works Assoc.*, **87**(10), pp. 93-102.
8. White, M. C., Thompson, J. D. Harrington, G. W. and Singer, P. C. (1997) "Evaluating Criteria for Enhanced Coagulation Compliance" *J. Am. Water Works Assoc.*, **89**(5), pp. 64-75.
9. Edzwald, J. K., and Van Benschoten, J. E. "Aluminum Coagulation of Natural Organic Matter" Proc. 4<sup>th</sup> International Guthenburg Symposium on Chemical Treatment, Madrid, Spain, October 1990.
10. Hautala, K., Peuravuori, J. and Pihlaja, K. (2000) "Measurement of Aquatic Humus Content by Spectroscopic Analyses" *Wat. Res.*, **34**, pp. 246-258.
11. Mopper, K. and Schultz, C. A. (1993) "Fluorescence as a Possible Tool for Studying the nature and Water Column Distribution of DOC Components" *Mar. Chem.*, **41**, pp. 229-238.
12. Graham, N. J. D., Wardlaw, V. E., Perry, R. and Jiang, J. Q. (1998) "The Significance of Algae as Trihalomethane Precursors" *Wat. Sci. Tech.*, **37** (2), pp. 83-89.
13. Stewart, A. J. and Wetzel, R. G. (1981) "Asymmetrical Relationship Between Absorbance, Fluorescence and Dissolved Organic Carbon" *Limnol. Oceanogr.*, **26**, pp. 590-597.
14. Hoffmann, M. and Galagan, A. A. (1999) "Hydrochemical Investigation on the occurrence of Toxicological Relevant Matter in River and Drinking Water" *Chemistry and Technology of Water*, **20**(2), pp. 154-167.
15. Fleischacker, S. J. and Randtke, S. J. (1983) "Formation and Control of Organic Chlorine in Public Water Supplies" *J. Am. Water Works Assoc.*, **75**, pp. 132-138.
16. Christman, R. F., Norwood, D. L., Millington, D. S. and Johnson, J. D. (1983) "Identity and Yields of Major Halogenated Products of Aquatic Fulvic Acid Chlorination" *Environmental Science and Technology*, **17**, pp. 202-211
17. Larson, R. A. and Weber, E. J. (1994) "Reaction Mechanisms in Environmental Organic Chemistry" Lewis Publishers, Boca Raton.
18. Boyce S. D. and Homig, J. F. (1983) "Reaction Pathways of Trihalomethane Formation from the Halogenation of Didihydroxy Aromatic Model Compounds for Humic Acid" *Environmental Science and Technology*, **17**, pp. 202-221.
19. Huang, W. J. and Yeh, H. H. (1997) "The Effect of Organic Characteristics and Bromide on Disinfection By-Products Formation by Chlorination" *J. Environ. Sci. Health A*, **32**, pp. 2311-2336.