

94 年 7 月

德基水庫水質受天災事件及消毒副產物生成潛能變化之探討

江彥霖* 洪詩涵* 王俊傑† 沈佳俞† 張鎮南‡

摘 要

本研究主要目的在於藉由調查德基水庫水體中天然有機物成分變化，探討歷年重大事件發生所造成之主要汙染與消毒副產物生成潛能間之關係。採集德基水庫原水，以三種不同樹脂 XAD-8, AG-MP-50, IRA-93 由水樣中分離萃取出七類不同有機物，其中疏水性有機物質為水體中消毒副產物之主要前驅物質。若親水性有機物質較多，則代表受生活污水汙染嚴重，得知德基水庫優養化主要受民生汙染較多，並以國外的例子和德基水庫做比較。

分析的項目包括：pH、溫度、DO、TDS、COD、DOC、導電度、硬度、鹼度、NH₃-N、TTHMFP、HAAFP 及 AOXFP。希望藉由副產物生成情形，了解有機物反應特性變化及尋求適當的改善之道。

消毒副產物的生成潛能部份，腐植酸、黃酸有最高之三鹵甲烷生成潛能(TTHMFP)及鹵化乙酸生成潛能(HAAFP)之生成量。在吸附性鹵化有機物(AOXFP)方面以親水性物質其生成 AOXFP 的能力比部分疏水性物質還高。

關鍵詞：天然有機物、消毒副產物、生產潛能、三鹵甲烷、鹵化乙酸。

一、前 言

1.1 德基水庫

德基水庫又稱為達見水庫，位於台中和平鄉梨山村。雙曲線的薄型拱壩，是世界十大水壩之一，總高 180 公尺，是亞洲屬一屬二的高壩，其河系主流由大甲溪流入。大甲溪為台灣第三大河流，其上游較中游平緩開闊，自發源地至達見，其長度雖達 37 公里，僅及全長之三分之一長，但控制之流域面積則有 514 公里，幾乎達總流域面積 40%，因上游開闊，至達見壩址後，進入峽谷形成良好的水庫位置。德基水庫於民國 58 年 12 月 8 日開工，民國 62 年 12 月水庫開始蓄水。民國 63 年 6 月 26 日首期發電，九月完工後為大甲溪水力資源重要之一環，計畫目的為發電灌溉、公共給水、觀光以及防洪。水庫集水面積達 592 平方公里，集水區分別轄屬台中、宜蘭、花蓮及南投等四縣，並跨雪霸、太魯閣國家公園及梨山風景區，總蓄水量 232×10^6 立方公尺，計畫有效蓄水量 183×10^6 立方公尺，現有效蓄水量 14715.25 萬立方公尺(民國 94 年 5 月 18 日測)，計畫年運用水量 3 億 2 千萬立方公尺，用來供給大台中地區民生用水。

* 東海大學環境科學系碩士班

† 東海大學環境科學系

‡ 東海大學環境科學系教授

1.2 歷年天災事件

民國 79 年 4 月間因連日豪雨，梨山發生大規模地層滑動，面積達 230 公頃，水土保持局於民國 80 年度完成「梨山地區地層滑動整治規劃總報告」，並研提「梨山地區地層滑動整治計畫」，自 84 年度起辦理，至 91 年度完成投入經費 10.68 億元。整治方法以儘速排除降雨造成之地表水及地下水為主，除施以抑制工外，另自德基水庫沿大甲溪支流連續興建防砂壩、潛壩及固床工，防止溪谷沖蝕及攔截土砂。治理期間建立監測系統觀測，以為實施預警之基準，作為邊坡穩定分析之參考。

民國 88 年 921 地震後，造成山丘土石鬆動坍方，部分土石堆積在山區邊坡，部分沖入大甲溪河床，德基水庫也遭毀損，加上民國 89 年 521 及 611 的地震影響，因此由上谷關至德基段道路目前無法通行，往來交通必須改由宜蘭台 7 甲省道或由埔里沿省道 14 甲道路經梨山到德基水庫。

民國 93 年敏督莉颱風造成七二水災，高山農業是造成七二水災的元凶，水災充沛的雨量，超過山區土壤飽水量，許多林班地也出現土石崩落的情形，幾乎堵住洩洪道出水口，將大批林木沖到水庫裡面，積聚大批漂流木危及壩體安全，如果崩壩，東勢鎮將化為烏有。中橫沿線東西段大量崩塌，大量土石就像是大自然的排泄物傾洩而下，沖毀道路橋樑隧道、淤高河川水庫、毀損電廠設備，大甲溪溪床暴升十公尺，社會與經濟損失難以估計。

1.3 整治實況

從民國 66 年開始進行大甲溪整治計劃直到民國 92 年，在這 26 年期間總共進行了 4 期的整治計劃，整治的主要項目有森林經營、防砂工程、土地利用、水庫保護帶、道路水土保持、農藥肥料減量使用管理、水質監測與管理生態保育宣導。民國 92 年後的整治計劃有環山、梨山污水水道系統工程計畫、梨山地區垃圾處理計畫、德基水庫集水區國有林班地陡坡農用地處理計畫、德基水庫集水區原住民保留地超限利用地處理計畫、德基水庫集水區第 5 期治理計畫。

1.4 德基水庫現狀

根據環保署 2004 年監測資料發現，我國 19 座主要水庫中，有 60% 的水庫出現優養化，以鳳山水庫最為嚴重。民國 62 年，梨山地區下游的德基水庫正式蓄水，但因果農、菜農長期使用有機肥料，為臺灣農藥使用量最高的地區，使得德基水庫在不到三年時間即已出現水庫優養化現象，導致氮、磷總量增加，台灣大學環境工程所教授曾四恭說：「目前雖未發現此種藻類具有毒性，但若無法去除，將伴隨有毒鞭毛藻類出現的可能性，對人體飲水形成威脅。」而最令學者專家擔心的具毒性藍綠藻及綠藻也開始在水庫中形成，若含毒藻類持續增加，谷關至石岡壩間四十公里河流的自淨作用無法作用時，可能將影響中部地區百萬人口飲用水之安全。

造成水庫主要污染源是水庫中營養鹽主要來自集水區內不同的土地利用，包括果蔬園施肥

用藥、超限利用、河床地壟植及社區(遊憩區)之污水與垃圾；污染源以入庫小溪(支流)段中之梨山排水溝站濃度最大，集水區河川段則以有勝溪採樣站濃度較大。

近年來，由於水果開放進口，以致水果價格低落，不敷成本支出，果園相繼廢耕改種茶樹、夏季高冷蔬菜。菜農為講求產量多、收入高，不計成本施肥，於栽培期間大量施用雞糞、化學肥料，造成肥份供過於求。如甘藍採收後所施用之複合肥料成堆尚未溶解，而殘留於蔬菜田園表土上面，造成嚴重土壤污染，每逢豪雨沖蝕而溶淋流入水庫，成為水庫之水質優養化之污染源。集水區果蔬園農藥用量經輔導農民後，施用量已大幅減少。

台灣本有「福爾摩沙」之譽，但近年來高山濫墾濫伐，或供漁業養殖，或種植高冷水果蔬菜等經濟作物，且山坡地也大量種植檳榔、果樹、茶園。另外為便利開發，山區道路蜿蜒曲折，破壞了山林原貌，導致山坡地裸露，雨水一打，直接衝擊地面，加上九二一地震導致地質更形鬆軟，一遇颱風豪雨，即遇公路崩塌、土石流肆虐。

至於河床地壟植，民國 88 年發生 921 地震之後，中橫從谷關到德基段不通，谷關遂從中點，變終點。於是業者就組成策略聯盟，全力將谷關發展成為溫泉度假區，業者為了引出溫泉，在大甲溪上造成河床不當的濫墾加上挖山後的碎石及工業廢土，也有煤渣使河床出現一塊塊的新生地，可供蓋宿舍及停車場，卻縮小了小河道，一旦暴雨山洪來襲，不但有氾濫之憂，更有污染的可能。

社區(遊憩區)製造污水與垃圾，大甲溪河床儼然是天然的垃圾場與排水溝。工業廢水、畜牧廢水、家庭污水等都是大甲溪的污染源，因為沿岸各鄉鎮市公所沒有能力處理每天都日益增多的家庭垃圾與污水，只好將這些垃圾污水全部排入大甲溪，讓溪水帶走，省去善後處理的煩惱加上沿溪橋畔任意傾倒的零星垃圾，不肖民眾將垃圾堆成河川新生地，售地營利，但成堆垃圾遇雨即沖入溪中，又谷關觀光區的十餘家觀光飯店，和百餘家商店，家畜的排洩物、屠宰場的血水，均未予以處理，直接流入溪中。再加上沿岸之廠房及民家隨意傾倒廢土、廢料(磚塊)，極可能造成嚴重污染。

1.5 天然有機物的來源

天然有機物 (Natural organic matters, NOMs)可能源自於土壤或者是沼澤等的滲流、底泥的擴散，或是由浮游生物及細菌代謝所放出來，天然有機物質的性質如溶解性、膠狀、顆粒性等，其中以溶解性及膠狀天然有機物構成天然水體中 NOMs 的主要成份。而天然有機物由許多不同成分所組成，包括腐植酸 (humic acids)、親水性酸性物質 (hydrophilic acids)、蛋白質 (proteins)、脂質 (lipids)、碳水化合物 (carbohydrates)、胺基酸 (amino acids)、碳氫化合物 (hydrocarbons)。

1.6 天然有機物質對淨水工程之影響

近年來飲用水安全逐漸獲得重視之後，水體中有機物對於淨水處理及飲用水安全上的負面影響也廣泛被研究。天然水體中 NOMs 在淨水過程中，與氧化劑或消毒劑反應，降低淨水過程中的消毒效率，甚至產生了有機及無機消毒副產物，這些有機物經由動物測試結果，證實具有高度致癌性(Kuklenyik et al., 2002； Villanueva et al., 2003； Gang et al, 2003)。

天然有機物質對於飲用水品質影響方面，包括產生味道、臭氣、顏色、配水系統中微生物再生長、與重金屬及殺蟲劑螯合等問題(Leenheer et al., 1998； Korshin et al., 2000)。同時水體中含氮化合物，如 amino acid 需要較高的需氯量才能加以去除，此外，爲了要將過多的 NOM 移除，必須增加混凝劑之使用量，此舉除增加淨水成本外也同時增加一些使用過量混凝劑所產生的問題 (Bjornar, 1999； Pommerenk and Schafran, 2002)。

1.7 消毒副產物之種類

加氯消毒副產物種類繁多，一般以鹵化有機物爲主，主要分類如 Table 1.1 所列。消毒副產物廣被各方學者注目的主要原因，是因爲其具有生物毒性，其中大部分的消毒副產物已被直接或間接證實對於動物與人體具有致癌性與突變性(Lin, 2000； Singer, 2000； Nissinen et al., 2002)。

表 1.1 加氯消毒後產生之主要鹵化有機物一覽表(Ueno et al., 1996; Vahalo et al., 1999)

Type of DBPs	Species
Trihalomethanes (THMs)	CHCl ₃ , CHBrCl ₂ , CHClBr ₂ , CHBr ₃
Haloacetic acids (HAAs)	MCAA, DCAA, TCAA, MBAA, DBAA, TBAA, BCAA, DBCAA, DCBAA
Haloacetonitriles (HANs)	DCAN, TCAN, BCAN, DBAC, TBAN
Haloketones (HKs)	1,1-dichloropropanone, 1,1,1-trichloropropanone, 1,1-dichloro-2-butanone, 3,3-dichloro-2-butanone, 1,1,1-trichloro-2-butanone
Haloalpicrins	Chloropicrin, Bromopicrin
Haloaldehydes	Chloromethanal
Cyanogen halides	CNCl, CNBr
Halophenols	2,4,6-trichlorophenols

二、實驗設備與方法

2.1 天然有機物(NOM)之分類組成及分離方法

水中天然有機物組成相當複雜且水體中天然有機物(NOM)為產生消毒副產物的重要有機前驅物質，針對研究消毒過程所衍生的消毒副產物生成潛能和副產物出現與水體中 NOM 官能基分布與組成息息相關，欲了解原水中不同種類有機物之分佈特性，樹脂分離是可行且較普遍之方法(Brown et al., 1999)。Leenheer (1998)利用 XAD-8 樹脂、Bio-Rad AG-MP-50 強酸性陽離子交換樹脂和 Amberlite IRA-93 弱鹼性陰離子交換樹脂，可以將天然有機物質分離為疏水性鹼性物 (hydrophobic bases)、疏水性酸性物 (hydrophobic acids)、疏水性中性物 (hydrophobic neutrals)、親水性鹼性物 (hydrophilic bases)、親水性酸性物 (hydrophilic acids)、親水性中性物 (hydrophilic neutrals)，其中疏水性酸性物質統稱為腐植質 (humic substances)，而腐植質又可細分為腐植酸 (Humic acids, HA)與黃酸 (Fulvic acids, FA)。將文獻上利用不同樹脂分離有機物之方法整理列於表 2.1。

表 2.1 文獻上有關樹脂分離天然有機物(NOM)之方法

Authors	Isolation methods	Water source	Fractions
Thurman and Malcolm (1981)	XAD-8		Hydrophobic neutrals Hydrophobic acids Hydrophobic bases Hydrophilic
Marhaba et al., (2000)	XAD-8 AG-MP-50 Duolite A7	Passaic Valley WTP, USA	Hydrophobic neutrals Hydrophobic acids Hydrophobic bases Hydrophilic neutrals Hydrophilic acids Hydrophilic bases
Imas et al., (2001)	XAD-8 AG-MP-50 IRA-93	Lake Kasumigaura, Japan	Hydrophobic neutrals Hydrophobic acids Bases (Hydrophilic bases Hydrophobic bases) Hydrophilic neutrals Hydrophilic acids
Chang et al., (2002)	XAD-8 AG-MP-50 IRA-93	Te-Chi Reservoir, Taiwan	Hydrophobic bases Hydrophobic neutrals Humic acids Fulvic acids Hydrophilic bases Hydrophilic neutrals Hydrophilic acids
Maurice et al., (2002)	XAD-8 XAD-4 Dowex-50 cation Exchange AG-MP-50	McDonalds Branch basin, USA.	Hydrophobic bases Hydrophobic neutrals Humic acids Fulvic acids Hydrophilic acids Hydrophilic bases
Dilling and Kaiser (2002)	XAD-8 AG-MP-50	Forest floor, Norway	Hydrophilic fractions Hydrophobic fractions

2.2 實驗流程

採樣地點選定為德基水庫上游水源，該處水源長期接受到梨山農業活動排放之農藥、肥料等有機物污染，造成水庫優養化情形有越嚴重之趨勢，故選擇此水源地作為採樣地點。本研究自1996年開始至2004年，每年的7、8月進行德基水庫原水的採樣，於採樣時，即當場進行如pH、導電度、水溫……等等的水質分析。

實驗之流程如下：

(1) 樣品準備及水質分析：採集優養化水源德基水庫原水，利用 $0.45\ \mu\text{m}$ 之濾膜過濾之，取足量之水樣進行水質分析。

(2) 天然有機物分離萃取：本研究引用 Thurman and Malcolm (1981)的方法，將採集的水樣經過 XAD-8、AG-MP-50、IRA-93 樹脂，分離成腐植酸、黃酸、疏水性中性物質、疏水性鹼性物質及親水性酸性物質、親水性中性物質、親水性鹼性物質等七種有機物，將此七種有機物質經過加氯培養之後，分析其消毒副產物之生成潛能。

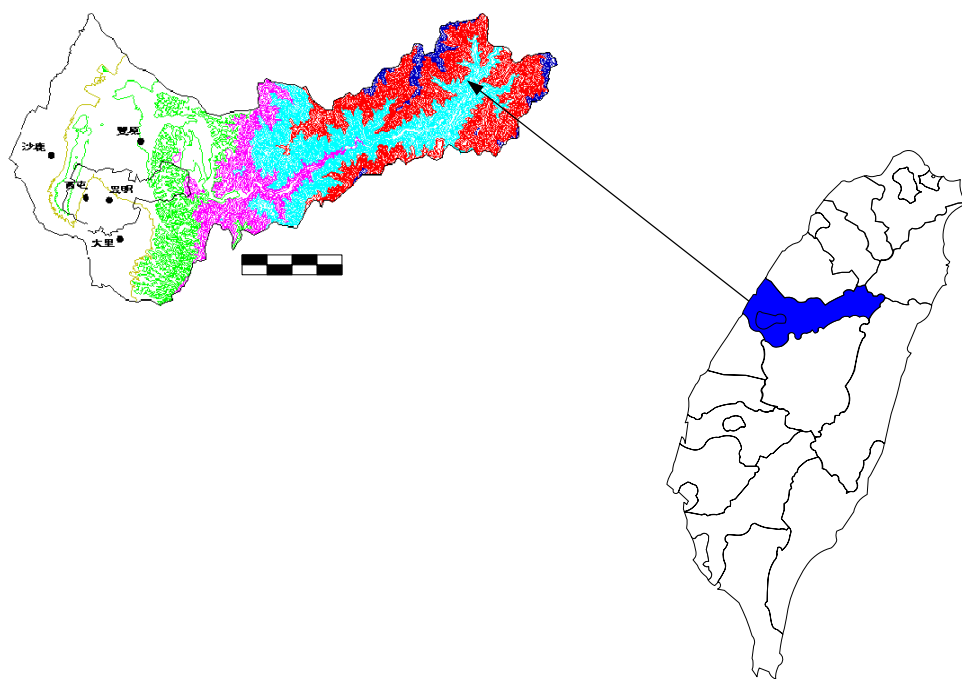


圖 2.1 實驗採樣位置圖

2.3 水樣濃縮分離過程

本研究水樣萃取程序示如圖 2-2，研究採用 XAD-8、AG-MP-50、IRA-93 樹脂依七個步驟完成。

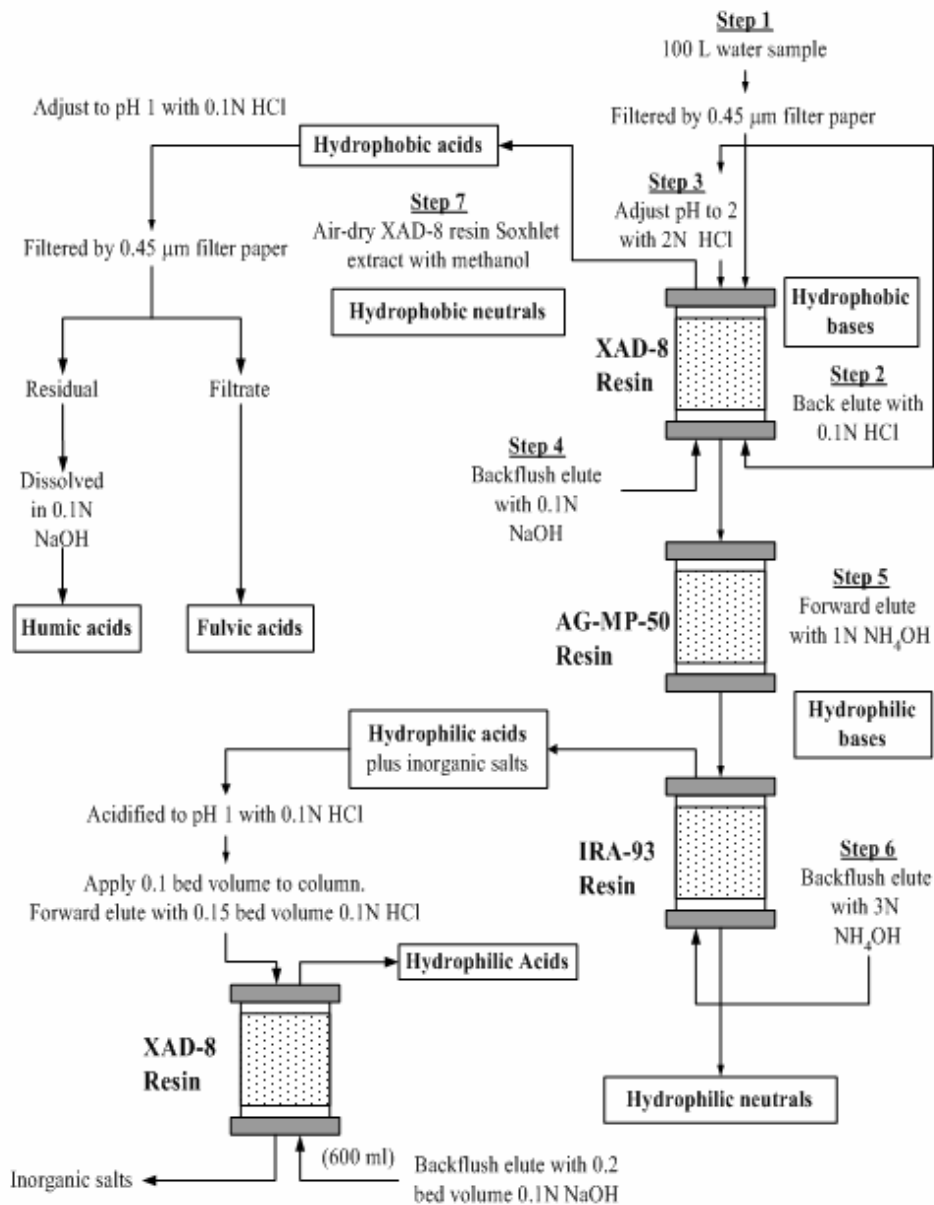


圖 2-2 德基水庫原水水樣利用 XAD-8, AG-MP-50 and IRA-93 樹脂分離不同天然有機物流程圖

2.4 基本水質分析方法

基本水質分析方法係參考環保署公告之水質檢驗方法及 Standard Methods, 20th Ed., (1998),

所列之各項方法，各項方法詳列如表 2.2。

表 2.2 基本水質檢驗一覽表

Items	Methods and Instrument
pH	Electrode method (NIEA W424.50A) ; pH meter, (Suntex, TS-1)
Temperature	Thermometer method (NIEA W217.50A)
Specific conductivity	Specific conductivity meter (WTW, Conductivity Meter, LF 95)
TDS	Conductivity Meter (WTW, Conductivity Meter, LF 95)
DO	DO meter (WTW, Microprocessor, Oximeter)
Alkalinity	Titration Method (Standard Methods 12320 B, 20th)
Hardness	EDTA Titration Method (Standard Methods 2340 C, 20th)
COD	Closed Reflux, Titrimetric Methods(Standard Methods 5220 C, 20th)
NH ₃ -N	Titrimetric Methods(Standard Methods 4500-NH ₃ (ammonia), 20th)

三鹵甲烷 (THMs)之分析

三鹵甲烷之分析係參考 Standard Method 6232D，利用 GC/ECD 進行 THMs 之定性定量分析。偵測樣品中的 THMs 時，以注射針吸取 1 mL 水樣注入 Purge and Trap 裝置，再以 GC/ECD 進行分析。

鹵化乙酸 (HAAs)之分析

鹵化乙酸分析方法參考 Standard Method 6233B，樣品先利用醚類溶劑 (Methyl-Tert Butyl Ether, MTBE)將水樣中之 HAAs 萃取出來之後，再以重氮甲烷將其甲酯化，再以注射針注入 GC/ECD 中分析 HAAs 之濃度。

吸附性有機鹵化物 (AOX)之分析

吸附性有機鹵化物 (AOX)之分析參考 Standard Method 20th Ed (APHA and AWWA, 1998) 之 Adsorption-Pyrolysis-Titrimetric Method。先將活性碳填充於玻璃管柱 (0.3 cm ID×2 cm)內備用，再利用 TOX sample preparatory 吸取 40 mL 水樣通入已填充有活性碳之玻璃管柱，使水中的鹵化物質 (有機性及無機性)吸附在活性碳上，然後再使用 TOX sample preparatory 將 0.08 M 之 KNO₃ 以 5 mL/min 的流量流經玻璃管柱，將原本吸附在活性碳上的無機性鹵化物以競爭性取代反應的方式去除，然後將活性碳取出置入石英舟 (Quartz boat)中送入 850~900℃ 的高溫爐中，將活性碳內的有機鹵化物與氧在高溫下進行燃燒反應並脫附出來，之後再與銀電極反應計算電解之電流量換算成銀離子量，以求出鹵素離子量，表示方法以 Cl⁻ 為換算基準。

三、結果與討論

本研究自 1996-2004 分析德基水庫水質匯整成表 3.1.，由表中可以追蹤逐年變化特性

3.1 pH 值

從 1996 年~2004 年之間，除了 1996 年德基水庫的 pH 值高達 9.1 外，其餘皆符合環保署飲用水標準 pH=6.0~8.5，其原因可能是因為藻類大量生長，消耗水中的 CO₂，所以 pH 值明顯偏鹼。1999 年 921 大地震過後，山崩嚴重，大量岩石、表土沖刷物和泥沙掉落於水庫中，由於土壤中含有酸性物質較多，所以造成 pH 值為 8.7 比往年下降許多。

3.2 Temperature

溫度方面，水溫在 15.8~24.1°C 之間水溫變化程度較大，其溫度平均值為 20.7°C。Arguello et al. (1979) 指出：THMs 之生成量會受到季節變化的影響，溫度較高時 THMs 之生成量也會較高。故於本研究實驗數據得到，溫度較高的年份所得到的 THMs 生成量也偏高，所以初步判斷，溫度可能是造成 THMs 生成量多寡的因素之一。

3.3 DO

2004 年敏督莉颱風造成七二水災，使水庫中的溶氧降低，其原因可能是因為大量的雨水將梨山一帶的肥料和農藥沖刷入水庫中，使得藻類大量繁殖，耗去水中溶氧，所以溶氧量為 5.23mg/L，明顯的成為歷年來最低的一次。

3.4 TDS

根據表 3.1 顯示，1996-2004 年的 TDS 數值皆低於環保署法規的標準值 500mg/L，根據環保署針對飲用水水質項目對人體健康的影響指出，總溶解固體量主要影響在味覺口感方面，一般認為低於 600mg/L 之水質口感最佳，所以一般將其視為影響適飲性的指標項目，通常超過 1200mg/L 時，才會令消費者無法接受。

3.5 COD

COD 值若太高，表示水庫內藻類於夏季大量繁殖，所產生的天然有機物質已對德基水庫水質造成明顯惡化。德基水庫受到上游果農大量施肥影響，水庫藻類大增並形成優養化，影響飲水品質，經由 26 年的整治計畫，水庫中藻類數量逐漸減少，COD 值歷年來皆小於環保署飲水標準 25mg/L，於 1998 年時，COD 值更降到 4mg/L。

3.6 DOC

DOC 越高代表遭受的污染就越嚴重，同時當 DOC 進到淨水廠之後，會和氯反應形成有害的消毒副產物，因此 DOC 濃度高低一直是判定飲用水品質優劣時一項重要指標。在 2004 年發生七二水災，將大量林木沖入水庫，而漂流木中含有的有機碳溶在水中，使 DOC 值高達 4.76 mg/L，是近九年以來最高的一次。

3.7 Conductivity

通常導電度愈高，表示水中電解質含量較多。由於大部分鹽類都可解離，因此導電度也可表示水中總溶解固體的多寡。導電度太高對灌溉有不良的影響，因此導電度為灌溉水質之重要指標項目之一。環保署飲用水水源標準 750 μ s/cm，德基水庫中的導電度皆在可接受範圍內。

3.8 Alkalinity

鹼度是指水中可以和酸中和之成分的含量，通常由OH⁻、CO₃⁻²及HCO₃⁻構成。由於 921 大地震過後，大量土石被沖刷入水庫中，由於土壤中含有鈣、鎂、鈉、鉀的碳酸鹽和酸式碳酸鹽的水解作用，會產生較多的OH⁻離子，所以鹼度大增。一般而言鹼度影響飲用水時口感度，最近 2 年來鹼度有明顯的改善。

3.9 NH₄-N

NH₄-N濃度隨著上中下游有增加的趨勢，NH₄-N濃度增加原因可能是進入春季之後，德基水庫集水區內的農業活動增加，農藥肥料的使用，使得大量營養鹽氮進入水庫中所造成。桃芝颱風發生在民國 90 年，可能由於暴雨逕流後各種土地沖刷，導致相較歷年來的NH₄-N濃度增加。

表 3.1 1996-2004 年間德基水庫水質變化資料

Item	pH	Temp	DO	TDS	COD	DOC	Conductivity	Hardness	Alkalinity	NH ₄ -N
Unit		°C	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µs/cm	mg as CaCO ₃	mg as CaCO ₃	mg NH ₄ -N/L
1996	9.1	19.8	9.9	323	-	4.07	266	133	200	0.06
1997	7.7	20.3	5.9	145	12	1.40	97	87	130	0.04
1998	7.8	15.8	7.8	-	4	1.53	228	-	-	-
1999	8.7	24.1	8.7	177	-	2.37	196	113	150	0.12
2000	6.8	16.8	8.2	118	-	2.34	241	122	250	-
2001	8.0	23.0	8.3	106	12	1.03	240	94	81	0.36
2002	7.6	20.4	6.5	139	15	2.04	282	163	113	0.08
2003	8.5	22.6	5.8	164	13	0.80	333	160	25	0.05
2004	8.3	23.4	5.2	138	15	4.76	276	153	30	0.07

由表 3.2 可得 Hydrophobic substances 佔原水中比例較高，根據文獻指出 Hydrophobic substances 其結構複雜，其正確組成尚未確定，僅知其為高分子聚電解質(polyelectrolyte)，不易被微生物分解利用，在水體中性質穩定，疏水性有機物質為水體中消毒副產物的主要前趨物質 (Marhaba et al., 2000)。

地表水體中 Hydrophilic substances 來源包括藻類細胞外代謝物以及人為污染所排放的小分子有機物為主。當水體中存在較多的親水性有機物質時，表示大多是來自於生活污水方面的污染，親水性有機物雖然在消毒副產物上並非主要的前趨物質，但因為親水性有機物質的結構較簡單，分子較小，較容易被生物所利用。

2004 年的敏督莉颱風的來臨，致使許多泥沙和樹木被帶入水庫中，水中含有許多動植物所降解的疏水性有機物，最常見的為腐植酸，使得風災後腐植酸大幅增加。所以其可能為疏水性物質數量(59.6%)會大於親水性物質(40.4%)的原因，故在 2004 年裡處理水體時會產生大量的消毒副產物。

Dilling and Kaiser (2002)研究顯示在挪威森林地區天然有機物 Hydrophilic fractions 和 Hydrophobic fractions 分佈比例分別為 37%及 63%，由此可知挪威森林較沒有受民生污染。Kitis et al., (2002) 針對美國 South Carolina, Myrtle Beach (MB) 淨水廠有機物分佈其研究顯示 Hydrophilic fractions 和 Hydrophobic fractions 分佈比例分別為 34%及 66%，其也是很少受到民生污染。Marhaba et al. (2000) 針對美國 Passaic Valley 其有機物 Hydrophilic fractions 和 Hydrophobic fractions 分佈比例分別為 71%及 29%，可知此地受到嚴重的民生污染。相對於 2002 年國內的德基水庫其有機物 Hydrophilic fractions 和 Hydrophobic fractions 分佈比例分別為 53%及 46%，所以水質受生活污水污染嚴重。

表 3.2 文獻中各類有機物在原水中分布的比例

Reference, Fraction (%)	HA	FA	Hydrophobic neutrals	Hydrophobic bases	Hydrophilic substances	
1999	7.6	11.6	25.4	1.5	45.8	
2000	8.5	14.4	-	77.0	-	
2001	7.5	11.3	24.1	1.4	55.5	
This study	2002	8.0	11.0	26.0	1.0	53.0
	2003	10.0	11.6	26.0	1.6	49.5
2004	24.3	7.9	25.2	2.2	40.4	
			Hydrophobic substances(% of DOC)		Hydrophilic substances(% of DOC)	
Dilling and Kaiser(2002)Forest floor, Norway			63		37	
Kitis et al.(2002)Myrtle Beach (MB) WTP, South Carolina, USA.			66		34	
Marhaba et al.(2000)Passaic Valley WTP, USA			29		71	

經表 3.3 顯示，在原文及各類有機物消毒副產物生成潛能，實驗結果顯示 Fulvic acids 之 TTHMFP/DOC 為所有有機物中最高者，其次為 Humic acids，兩者皆疏水性酸性物質，因此推測 Fulvic acids 應為生成總三鹵甲烷(TTHM)之主要前驅物質，以 2004 年為例，整體疏水性物質為親水性物質的 7.7 倍，此測得的趨勢與 1999 年、2002 年類似；各種有機物質在鹵化乙酸生成潛能/溶解有機碳 (HAAFP/DOC)生成的部分，Humic acids 和 Fulvic acids 之 HAAFP/DOC 生成量高於其他有機物，顯示 Hydrophobic acids 為生成 HAAs 此類鹵化有機物最重要的前驅物質，綜合以上結果，Hydrophobic substances 為生成 TTHMFP/DOC 及 HAAFP/DOC 之主要物質。在 AOXFP/DOC 方面以親水性物質在單位 DOC 生成 AOXFP 的能力比部分疏水性物質還高，表示生成 DBPFP 的主要有機物，可能並不一定為含不飽和鍵化合物，其他種類有機物也可能是生成 DBPFP 之前驅物。

表 3.3 各類有機物之各種 DBPFP/DOC 生成情形

	Humic acid	Fulvic acid	Hydrophobic neutrals	Hydrophobic bases	Hydrophilic substances
1999					
TTHMFP/DOC	24.7	47.1	12.7	5.9	12.5
AOXFP/DOC	83.3	195.5	180.2	210.6	446.1
2000					
TTHMFP/DOC	27.0	36.0	-	-	-
HAAFP/DOC	60.0	49.0	-	-	-
AOXFP/DOC	79.0	116.0	-	-	-
2001					
TTHMFP/DOC	24.7	47.1	12.7	5.9	12.5
AOXFP/DOC	83.0	195.0	180.0	210.0	444.0
2002					
TTHMFP/DOC	36.4	46.7	15.0	8.0	18.5
HAAFP/DOC	37.9	71.4	24.1	18.2	80.3
AOXFP/DOC	87.4	137.6	145.3	195.0	418.3
2003					
TTHMFP/DOC	35.7	22.2	10.7	5.9	2.9
HAAFP/DOC	28.2	47.8	21.3	16.7	7.6
AOXFP/DOC	80.0	91.2	111.7	120.0	107.6
2004					
TTHMFP/DOC	38.6	50.7	16.3	8.1	14.8
HAAFP/DOC	42.0	53.0	28.5	18.5	40.9
AOXFP/DOC	84.5	142.0	144.3	153.8	354.2

四、結論

1. 民國 93 年發生敏督莉颱風，DO 值為歷年來最低的一次，其主要原因是大量的雨水將梨山一帶的肥料和農藥沖刷入水庫中，使得藻類大量繁殖，耗去水中溶氧。至於 DOC 值則是大量的漂流木，其含的有機碳溶於水體中，造成 DOC 為近 9 年最高。
2. 疏水性有機物質為水體中消毒副產物的主要前驅物質，而水體中存在較多的親水性有機物質時，表示大多是來自於生活汙水方面的污染。針對美國 Passaic Valley 做分析，可知此地受到嚴重的民生污染。相對於國內的德基水庫來說，水質大致上也是趨向於受民生污染較多。
3. Fulvic acids、Humic acids 其單位 DOC 總三鹵甲烷生成潛能(TTHMFP/DOC) 和 HAAFP/DOC 高於其他有機物，因此推測疏水性酸性物質為生成總三鹵甲烷(TTHM)以及 HAAs 此類鹵化有機物最重要的前驅物質。

參考文獻

- [1] Bjornar E. (1999), "Coagulation-direct filtration of soft, low alkalinity humic waters", *Wat. Sci. Tech.*, **40**(9), pp. 55-62.
- [2] Brown, G. K., S. E. Cabaniss, P. Maccarthy, and J. A. Leenheer (1999), "Cu (II) binding by a Ph-fractionated fulvic acid", *Anal. Chim. Acta*, **402**, pp. 183-193.
- [3] Chang, C. N., Y. S. Ma and F. F. Zing , (2002), "Reducing the formation of disinfection by-products by pre-ozonation", *Chemosphere*, **46**, pp. 21-30.
- [4] Dilling J. and K. Kaiser (2002), "Estimation of the hydrophobic fraction of dissolved organic matter in water sample using UV photometry", *Wat. Res.*, **36**, pp. 5037-5044.
- [5] Gang, D., Thomas E. Clevenger, and S. K. Banerji (2003), "Relationship of chlorine decay and THMs dormation to NOM size", *J. Hazard Mater A*: **96**(2), pp. 1-12.
- [6] Imas, A., T. Fukushima, K. Matsushige and Y. H. Kim (2001), "Fractionation and characterization of dissolved organic matter in a shallow eutrophic lake, its inflow river, and other organic matter source", *Wat. Res.*, **35**(17), pp. 4019-4028.
- [7] Kitis M., J. T. Karanfil, W. Andrew and E. Kilduff (2002), "Probing reactivity of dissolved organic matter for disinfection by-product formation using XAD-8 resin adsorption and ultra filtration fractionation", *Wat. Res.*, **36**, pp. 3834-3848.
- [8] Korshin, G. V., J. F. ferguson and A. N. Lancaster (2000), "Influence of natural organic matter on the corrosion of leaded brass in potable water", *Corrosion Sci.*, **42** (1), pp. 53-66.
- [9] Kuklennyik, Z., D. L. Ashley, and A. M. Calafat (2002), "Quantitative detection of trichloroacetic Acid in human urine using isotope dilution High-Performance Liquid Chromatography-Electrospray ionization tandem mass spectrometry", *Anal. Chem.*, **74**(9), pp. 2058-2063.
- [10] Leenheer, J. A., G. K. Brown, P. Maccarthy and S. E. Cabaniss (1998), "Models of metal

- binding structures in fulvic acid from the Suwannee river, Georgia”, *Environ. Sci. Tech.*, **32**(16), pp. 2410-2416.
- [11] Lin, T. F. and S. W. Hoang (2000), “Inhalation exposure to THMs from drinking water in south Taiwan”, *Sci. Total Environ.*, **246**, pp. 41-49.
- [12] Marhaba T. F. and D. Van (2000), “The variation of mass and disinfection by-product formation potential of dissolved organic matter fraction along a conventional surface water treatment plant”, *J. Hazard. Mat.*, **A74**, pp. 133-147.
- [13] Maurice, P. A., M. J. Pullin, S. E. Cabaniss, Q. Zhou, K. Namjesnik-Dejanovic, and G. R. Aiken (2002), “A comparison of surface water natural organic matter in raw filtered water samples, XAD, and reverse osmosis isolates”, *Wat. Res.*, **36**, pp. 2357-2371.
- [14] Nissinen, T. K., I. T. Miettinen, P. J. Martikainen, and T. Vartiainen (2002), “Disinfection by-products in Finnish drinking waters”, *Chemosphere*, **48**, pp. 9-20.
- [15] Pommerenk P. P. and G. C. Schafran (2002), “Effects of prefluoridation on removal of particles and organic matter”, *AWWA.*, **94**(2), pp. 99-109.
- [16] Singer, P. C. (2000), “Formation and control of disinfection by-products in drinking water: an update”, The 6th International Workshop on Drinking Water Quality Management and Treatment Technology, pp. 149-153.
- [17] Thurman, E. M. and R. L. Malcolm (1981), “Preparative isolation of aquatic humic substances”, *Env. Sci. Tech.*, **15**(5), pp. 463-466.
- [18] Ueno, H., T. Moto, Y. Sayato, and K. Nakamuro (1996), “Disinfection by-products in the chlorination of organic nitrogen compounds: by-products from kynurenine”, *Chemosphere*, **33**(8), pp. 1425-1433.
- [19] Vahalo, R., V. A. Langvik, and Laukkanen (1999), “Controlling adsorbable organic halogens (AOX) and trihalomethanes (THM) formation by ozonation and two-step granule activated carbon (GAC) filtration”, *Wat. Sci. Tech.*, **40**(9), pp. 249-256.
- [20] Vilanueva, C. M., M. Kogevinas, and J. O. Grimalt (2003), “Haloacetic acids and trihalomethanes in finished drinking waters from heterogeneous sources”, *Wat. Res.*, **37**(1), pp. 953-958.
- [21] White, M. C., J. D. Thompson, G. W. Harrington and P. C. Singer (1997), “Evaluating Criteria for Enhanced Coagulation Compliance”, *J. AWWA*, **89**(5), pp. 64-77.
- [22] 中華水資源管理學會發行，水資源管理會刊，第 6 卷，第 2 期 p.47。
- [23] 中國水利工程會刊，第 12 期，p.72。

The investigation of the significant events occurred and disinfection by-product formation potential profile in Te-Chi reservoir

Yen-Pei Chiang* Shih-Han Hung* Jun-Jie Wang†
Chia-Yu Shen† Cheng-Nan Chang†

Abstract

The objective of this study was to investigate the relationship among distribution of natural organic matter, significant happenings during recent years and disinfection by-products formation potential. We used three resins : XAD-8, AG-MP-50 and IRA-93 to extract seven species of NOM from eutrophic water sampled from Te-Chi reservoir. The results show hydrophobic fractions is the major precursor of trihalomethanes (THMs) in the water. When hydrophilic fractions increased, it implied the polluted by domestic wastewater. The eutrophication of Te-Chi reservoir was caused mainly by domestic wastewater, the results also compared with foreign cases.

The analysis items include pH, temperature, Dissolved oxygen (DO), Total dissolved solid (TDS), Chemical oxygen demand (COD), Dissolved organic carbon (DOC), conductivity, hardness, alkalinity, ammonia (NH₃-N), Total trihalomethane formation potential (TTHMFP), haloacetic acid formation potential (HAAFP), and adsorbed organic halide formation potential (AOXFP). By observing the Disinfection by-products (DBPs) formation, we can realize the characteristic of NOM and find a proper way to remove them.

In disinfection by-products formation potential study, fulvic acids and humic acids have the highest quantity of TTHMFP and HAAFP. On the other hand, hydrophilic fractions have more quantity of AOXFP than hydrophobic fractions.

Keyword: natural organic matter (NOM), disinfection by-products (DBPs), formation potential (FP), trihalomethane (THM), haloacetic acids (HAAs).

* Department of Environmental Science, Tunghai University, Taichung 407, Taiwan.

† Institute Department of Environmental Science, Tunghai University, Taichung, 407, Taiwan.