

粉狀活性碳與氯及混凝劑間相互作用對消毒副產物生成之影響

Effect of the Interaction of PAC, Chlorine, and Coagulant on Disinfection By-products Formation

林旺德* 黃文鑑** 葉宣顯†

一、前言

國內部份公共給水水原因受嚴重污染，致處理水水質欠佳，淨水廠為求提高水質，考慮於淨水程序之始，添加粉狀活性碳（Powdered activated carbon, PAC），期望藉此提高對臭、味及有機物之去除。但因污染原水常含有大量之氯氮，目前淨水廠仍採預氯法以氧化之，致氯有與粉狀活性碳接觸之機會。根據文獻報導，氯不僅會氧化活性碳表面，降低對有機物之吸附速率，甚至會溶出些具毒性有機物至水相中^(1,2,3)，再者，對於已吸附於活性碳表面之有機物，亦可能因氯的作用，而再度脫附出來，並生成在單純水相反應，所未能生成之多項氧化產物^(4,5,6)。再者，在淨水程序常利用混凝方法將添加之 PAC 自溶液中分離。在混凝過程中，PAC 可扮演類似助凝劑之功能，作為膠羽生成之核心，此受外圍包覆膠羽之 PAC，可能會阻礙液相中有機物擴散至 PAC 表面，降低 PAC 吸附能力⁽⁷⁾。

本研究針對活性碳，水中溶解性有機物、混凝劑及氯相互間之作用關係，做一有系統之研究。取原水及原水中萃取出之各類有機物就活性碳、混凝劑及氯的加藥順序、相互間加藥量與有機物去除及消毒副產物（DBPs）生成間之關係作一探討。

二、實驗材料、設備與方法

2-1 粉狀活性碳對有機物之吸附實驗

本實驗主要以鳳山淨水廠原水為試驗水樣，表 1 是鳳山淨水廠原水之基本水質。再者，為配合後續製備各類人工原水所需之有機物，於實驗進行之初，將鳳山淨水廠原水中之各類有機物，利用水體有機物之萃取、分離技術將水中不同性質之有

* 國立成功大學環境工程研究所 碩士

** 國立成功大學環境工程研究所 博士班研究生

† 國立成功大學環境工程研究所 教授

機物萃取、分離出來(8-10)。表 2 是配製各人工原水之組成分。首先 PAC 之動力吸附實驗，是將洗淨之 120 ml 血清瓶若干個，分別盛入 100 ml 試驗水樣，並稱取 0.005 克之 PAC 加入各瓶中，此時血清瓶中之 PAC 濃度為 50 mg/L。隨後將裝有 PAC 及原水之血清瓶置於旋轉振盪器中，並將振盪器放置於恆溫箱中，溫度控制在 25 °C，以 150 rpm 旋轉速度進行吸附試驗。自吸附開始後，在不同接觸時間下分別取樣，取出之水樣以 0.45 μ m 之濾膜過濾，並將過濾液進行非氣提性有機碳 (Nonpurgeable Dissolved Organic Carbon, NPDOC) 之分析。

恆溫吸附實驗步驟，是分別量取 100ml 體積之水樣倒入 120 ml 血清瓶中，同時加入不等量之 PAC，使瓶中 PAC 的添加濃度控制在 10 至 200 mg/L 範圍。將血清瓶固定於恆溫箱內之旋轉振盪器中，在溫度 25 °C 振盪強度 150 rpm 的轉速下進行吸附試驗，待吸附達平衡後，取出水樣，連同空白試驗組，以 0.45 μ m 濾膜過濾，分析濾液之 NPDOC 值計算分析結果，並利用 Freundlich 恆溫式以雙對數圖表示單位活性碳吸附有機物之量。

PAC 吸附原水及各類有機物配製人工原水實驗，是先將六個瓶杯各盛取 1 公升水樣，隨後各秤取 5 mg 至 120 mg 重量範圍之 PAC 加至瓶杯中，其中並以一瓶不加 PAC 水樣做為空白試驗，將各瓶杯放置在瓶杯試驗機之槳板下，在 200 rpm 轉速下，使 PAC 達吸附平衡後，將水樣取出過濾，分析濾液之 NPDOC。

2-2 有機物加氯及先經 PAC 吸附再加氯試驗

本實驗的加氯及 PAC 吸附實驗是利用瓶杯試驗機進行。首先有機物直接加氯實驗是分別量取 1 公升原水或人工配製原水，裝盛於 6 個瓶杯中，置於瓶杯試驗機之攪拌位置，然後加入不同濃度的氯量，經反應 2 hr 後，取部分水樣分析殘餘氯量，其餘水樣加入硫代硫酸鈉去除餘氯，並以 0.45 μ m 濾紙過濾，然後分析濾液之 NPDOC、三鹵甲烷 (Trihalomethane, THM)、鹵化醋酸 (Haloacetic acid, HAA)、吸附性鹵化有機物 (Adsorbable Organic Halogen, AOX) 及其生成潛能 (Formation Potential) 等參數。PAC 吸附再加氯之試驗程序是取 20 mg PAC 加入 1 公升水樣中，在瓶杯試驗機下，控制 200 rpm 轉速，使 PAC 與水樣接觸達吸附平衡，之後再以同直接加氯實驗之加氯條件，進行反應。接著分析殘餘氯量，及將去氯後之水樣過濾，分析濾液之 NPDOC、THM、HAA、AOX、THMFP 及 AOXFP 等參數。另外，再準備 1 組水樣，以同前述之 PAC 吸附實驗進行吸附後，先將 PAC 以 0.45 μ m 濾膜濾除，接著將濾液進行加氯，之後分析各項有機參數。PAC 空白

試驗是將烘箱取出之 PAC，以去有機碳純水代替原水，重複上述之吸附及加氯試驗。

2-3 有機物先經 PAC 吸附及明礬凝後再進行加氯試驗

本項目之實驗分成以下四部分進行：

(I) 利用瓶杯試驗機，先將水樣與 PAC 進行吸附，隨即進行混凝，在 200 rpm 下快混 5 分鐘，40 rpm 慢混 40 分鐘，靜置 30 分鐘。接著將含膠羽之水樣加入不等氯量，在 40 rpm 轉速下使氯反應 2 小時，之後再以 0.45 μ m 濾膜將 PAC 及膠羽過濾去除，並分析濾液之 NPDOC 值。

(II) 先準備一組水樣，控制明礬加量，經快混、慢混及靜置等步驟，使生成適量膠羽。另製備一組經 PAC 吸附之水樣。將兩組水樣各取 500 ml 均勻混合（由顯微鏡觀察結果，PAC 僅吸附在膠羽表面，未受膠羽包覆）。隨後再加入氯，使氯接觸反應 2 小時，接著行固、液分離，並測濾液之 NPDOC 值。

(III) 將水樣加入固定量 PAC，達吸附平衡後，在各瓶杯中加入明礬進行混凝。隨後再將含膠羽之水樣加入不等量次氯酸鈉，經 2 小時反應後，將 PAC 及膠羽過濾去除，分析濾液之 NPDOC 值。改變明礬加量並控制相同之吸附及加氯條件，重複上述步驟。

(IV) 同步驟(III)，將經 PAC 吸附及明礬混凝後水樣，加入固定氯量，在不同氯接觸時間，分別取樣、過濾及分析 NPDOC 值。

2-4 PAC 吸附再加氯試驗，固相 PAC 表面之鹵化有機物分析

本實驗是將吸附各類有機物並經加氯作用後之 PAC，以 0.45 μ m 濾紙過濾收集後，利用冷凍乾燥法將 PAC 除水乾燥。秤取 50 mg 裝入玻璃管柱(ID 2 x 30 mm)中，先以硝酸鉀去除無機鹵素離子，再置入高溫燃燒管中(850 $^{\circ}$ C)將 PAC 上之鹵化有機物氧化成鹵素離子，並以銀分析電極定量之。

2-5 各項有機參數分析

本研究相關之有機參數分析方法，主要是採用美國水及廢水標準檢驗方法⁽¹¹⁾。NPDOC 是利用總有機碳分析儀(Total Organic Carbon Analyzer, Model TOC-5000, Shimadzu, 日本)以高溫氧化-紅外線法(Combustion-Infrared Method)偵測之。THM 是以氣相層析儀(Gas Chromatograph, Model 3400, Varian, 美國)／電解質比導電度偵測器(Electrolytic Conductivity Detector, Model 1000, Tracor,

美國)裝置填充分離管柱(packed column),並配合氣提吹捕法(Purge & Trap, Model LCS-2000, Tekmer, 美國)偵測之。鹵化醋酸(HAA)分析物種,包括 Monochloroacetic acid, Dichloroacetic acid, Trichloroacetic Acid, Monobromoacetic acid, Dibromoacetic acid, 及 Bromochloroacetic acid 等六種鹵化物,分析方法主要是採用 Micro Liquid-Liquid Extraction Gas Chromatographic Method。AOX 所使用之分析方法,是吸附-熱解-滴定(Adsorption-Pyrolysis-Titrimetric)法。THMFP 及 AOXFP 之測定步驟,是先將水樣注入適量 NaOCl,使在 25°C 培養七天後,仍殘留有 1-5 mg/L 之自由餘氯。之後利用硫代硫酸鈉將餘氯還原抑制,再分別以前述 THM 或 AOX 分析方法測定。

三、結果與討論

3-1 粉狀活性碳對水體中有機物之動力及恆溫吸附之探討

圖 1、2 是將自原水及原水萃取出之 Humic acid, Fulvic acid 及 Hydrophilic neutral 等三類有機物,分別進行 PAC 動力吸附之結果。由動力吸附曲線分佈趨勢可見,原水約在 24 小時, Hydrophilic neutral 約在 8~12 hr 可達吸附平衡, Fulvic acid 約 48 hr, Humic acid 則需 14 天以上。通常原水中分子量較小的有機物質較易被 PAC 吸附,而較大分子者較不易被吸附或需較長之吸附時間⁽¹²⁾。此外含苯環結構之有機物(具較高 UV 吸光值)較宜被活性碳吸附去除⁽¹³⁾,然而類似於 Humic acid 或 Fulvic acid 等具苯環結構,但卻是巨大分子有機物,其與活性碳間的吸附性,則取決於活性碳內部孔徑大小是否能讓此類有機物擴散至活性碳內部,而達到鍵結吸附效果⁽¹⁴⁾。

再者,由恆溫吸附結果(圖 3)顯示,三類有機物達平衡後之水中殘餘濃度(Ce)與每克 PAC 所吸附之各類有機物量(X/M),以 Freundlich isotherm 表示:

$$X/M = k C_e^{1/n}$$

$$\log X/M = \log k + 1/n \log C_e$$

各類有機物以 Freundlich 恆溫式表示吸附特性之各參數值中, k 值代表活性碳對有機物之吸附容量(adsorption capacity)。一般而言 k 值越大,代表吸附劑對被吸附質之吸附容量越大, 1/n 表示活性碳與有機物之吸附鍵結強度(adsorption strength), 1/n 值愈小表示吸附劑與被吸附質間之鍵結愈強⁽¹⁵⁾。由圖 3 之各參數值顯示, Humic acid 及 Fulvic acid 所獲得之 k 值高於 Hydrophilic neutral,而 1/n

值則以 Hydrophilic neutral 最大。此結果配合動力吸附曲線來看，Humic acid 及 Fulvic acid 因分子量較大，在吸附過程之 pore diffusion 速率慢，故達成吸附平衡所需時間較長，但平衡狀態下之吸附容量及與 PAC 之鍵結強度，均高於小分子之 Hydrophilic neutral，表示疏水性大分子 Humic acid 及 Fulvic acid 在 PAC 吸附過程中，主要是受內部孔隙質傳 (Internal Mass Transfer) 步驟的限制，不易達成吸附平衡。然而一旦達成平衡，因 Humic acid 及 Fulvic acid 均屬以本環為主體結構，且帶有羧、羥等官能基之化合物，因此容易吸附在 PAC 表面。

3-2 PAC 吸附再加氯程序對有機物去除影響之探討

3-2-1 原水有機物在 PAC 吸附→加氯程序中之變動

圖 4 所示為比較原水經 PAC 吸附 12 小時後再加氯與原水直接加氯，處理水之 NPDOC 變化情形。首先可見原水直接加氯系統中，在較高加氯量下，NPDOC 略有減少，其原因可能是有部份有機物受氯氧化生成揮發性有機物 (VOCs) 或 CO₂ 自水中逸散所致。原水含 PAC 之系統中，在加氯量低於 20 mg/L 前，NPDOC 變化不大，但高於 20 mg/L 加量後，即看出 NPDOC 測值有明顯增加。另以一組 PAC 添加至純水中，再加氯之空白試驗中，則僅在液相中測得少量 NPDOC，表示氯直接與 PAC 反應所釋出之有機物甚低。因此在高加氯量下所發現原水含 PAC 系統增加之 NPDOC 值，可能是 PAC 表面吸附之某些有機物，經氯氧化後，再度釋放至溶液中所致。另一方面，由於原水含氨氮、鐵、錳等還原性物質，其與氯的反應速率均高於氯與活性碳或吸附在活性碳表面之有機物，因此在低氯量下，氯大多用在氧化無機污染物上，因此未能觀察到 NPDOC 增加之現象。再者，針對上述系統所生成之氯化有機物來看(圖 5)。首先在加氯量低於 20 mg/L，原水直接加氯系統之 THM、AOX 及 THMFP、AOXFP 均高於原水含 PAC 系統，然而當加氯量高於 20 mg/L 之後，四者測值則均以含 PAC 系統者高。另 PAC 加於純水再與氯反應之空白試驗中，僅發現少量 THM、AOX 及 THMFP、AOXFP 生成。

綜合上述結果，可見吸附原水有機物之 PAC 如與氯接觸反應，在氯加量高於某濃度下，除有部份有機物再度脫附出來外，同時亦有大量氯化有機物生成。文獻中研究其反應之機制，認為是活性碳受氯之氧化作用生成表面自由基 (free radicals)，並與活性碳吸附之有機物繼續反應，生成不穩定之中間產物，例如與酚作用生成 phenoxyl radicals，然後再經由一系列之自由基連鎖反應而形成穩定之較終產

生⁽¹⁶⁾。本研究雖未針對系統生成之各種產物進一步物種分析，然而以 THM 及 AOX 等氯化有機物及其生成潛能在含 PAC 系統所增加之現象來看，原水中被 PAC 所吸附之有機物中，應有相當多的物種能在 PAC 表面與氯反應，且生成較單獨液相反應更多之氯化有機物及其前質。

3-2-2 各類有機物在 PAC 吸附→加氯程序中之變動

針對原水萃取出之 Humic acid、Fulvic acid 及 Hydrophilic neutral 等三類有機物分別先經 PAC 吸附後再加氯 NPDOC 之變動情形如圖 6 所示。小分子之 Hydrophilic neutral，在低氯量下，NPDOC 即有顯著之釋出現象，約 40%，而屬大分子疏水性之 Humic acid 及 Fulvic acid 只有微量之變化。再者，比較 Humic acid 與 Hydrophilic neutral 三類有機物以配置人工原水方式分別進行直接加氯與先經 PAC 吸附後再進行加氯程序，所生成之 THM、HAA 及 AOX。首先由圖 7、8 可見兩類有機物在兩處理程序中，生成之鹵化有機物均隨加氯量之增加而增加。再者，Hydrophilic neutral 在加氯量達 20-30 mg/L 時，先經 PAC 吸附程序所生成之 THM、HAA 及 AOX 均高於直接加氯程序。而 Humic acid 在各加氯量下均以直接加氯者為高。

針對 PAC 吸附之有機物與氯反應後殘餘在表面之 AOX。表 3 為比較 PAC 表面吸附 Humic acid 或 Hydrophilic neutral 加氯作用後，於液相及 PAC 表面(固相)所分析之 AOX。吸附 Humic acid 之 PAC，AOX 測值在各加氯量下，固相約為液相之 0.57~0.65 倍；吸附 Hydrophilic neutral 者，則約為 0.13~0.18 倍，另由比較 PAC 表面所吸附之每單位有機物生成之 AOX 量，Humic acid (20.6-103.9 $\mu\text{mol}/\text{mg-NPDOC} \cdot \text{g-PAC}$) 亦明顯高於 Hydrophilic neutral (4.0~15.7 $\mu\text{mol}/\text{mg-NPDOC} \cdot \text{g-PAC}$)。

綜合上述結果，造成兩類有機物在處理程序中生成鹵化有機物之差異，可能的解釋是屬於小分子之 Hydrophilic neutral 與 PAC 之鍵結力較弱，經加氯氧化後易脫附至液相中，造成液相之 NPDOC、THM、HAA 及 AOX 增加，甚且在高加氯量下可高過未加 PAC 吸附者。而吸附在 PAC 上之 Humic acid，由於吸附鍵結力較強，與氯反應後仍有大部份吸附在活性碳表面。文獻⁽⁷⁾曾指出吸附在 GAC 之 Humic acid 在 400°C 高溫下，仍無法將其完全脫附出。McCreary⁽⁴⁾、Voudrias 及 Snoeyink^(5,6)等人發表之文獻顯示，屬大分子之腐植質與氯在活性碳表面之反應不如小分子之酚類化合物劇烈，且後者在液相所分析出之產物亦要複雜許多。

3-3 原水經 PAC 吸附→明礬混凝→氯消毒程序中有機物之變化

針對原水先利用粉狀活性吸附並以明礬混凝後再進行加氯反應之結果，圖 9 是比較原水先經 PAC 吸附及明礬混凝後再加氯（試程 1）與混合單獨 PAC 吸附水樣及單獨明礬混凝水樣，再進行加氯（試程 2），兩試程中 NPDOC 之變化情形，其中兩組系統之差異是前者之 PAC 是受膠羽包覆。而後者則因 PAC 是加入已生成明礬膠羽水中，因此 PAC 未受膠羽覆蓋，圖中顯示兩試程對原水 NPDOC 之去除差異不大，試程 1 約高出 0.1 mg/L。其次隨著加氯量之增加，兩試程之 NPDOC 均有增加趨勢，其中 PAC 受膠羽包覆試程，在超過 20 mg/L 加氯量下，其 NPDOC 才有明顯增加，且在各加氯量下所測得之 NPDOC 值均低於試程 2 之 PAC 未受膠羽覆蓋者。發現在低加氯下，溶液中 NPDOC 增加量隨明礬劑量之增加而趨緩，但提高氯量或延長氯接觸時間，則在各明礬劑量下均有明顯增加。此結果可初步推測試程 2 所釋放之有機物高於試程 1，其原因可能是 PAC 未被膠羽披覆，氯容易與其裸露之表面反應，再者，當氯量提高至 20 mg/L 以上，PAC 受膠羽包覆系統，可能因氯量增加而促使氯有機會穿過膠羽而與 PAC 表面之有機物作用。另以不同混凝劑量與 PAC 進行混凝後，液相 NPDOC 變化情形（圖 10），顯示在加氯量低於 20 mg/L 前，明礬劑量愈高，NPDOC 增加趨勢愈和緩，然而在加氯量高於 40 mg/L 之後，NPDOC 變化趨勢在不同明礬劑量下，則差異性不大。再者，固定一加氯量（20 mg/L），觀察不同氯接觸時間 NPDOC 之變化情形（圖 11），在各明礬劑量下，NPDOC 值均隨氯接觸時間之延長而逐漸升高。此結果顯示 PAC 外層之明礬膠羽有阻礙 PAC 吸附之有機物與液相氯反應之效應，但在高氯量或延長氯接觸時間之條件下，此效果便不顯著。

四、結論與建議

經由本研究所獲得結果，可歸納出下列結論：

- 一. 以粉狀活性碳吸附原水有機物，在活性碳除去前實施加氯，將使已吸附之有機物再度脫附出來，且生成較在單純液相反應更多之消毒副產物。
- 二. 粉狀活性碳吸附之有機物受氯氧化之脫附程度，與所吸附之有機物性質有關，疏水性大分子之 Humic acid 及 Fulvic acid 由於與活性碳之鍵結力強，不易因氯的氧化而脫附出，親水性小分子之 Hydrophilic neutral 則可能因鍵結力弱，在水中氯濃度較高之條件，大部份會再脫附出來。

- 三. 原水中之小分子有機物(例如: Hydrophilic neutral)於 PAC 吸附→加氯程序, 在高加氯量條件液相所分析之鹵化有機物濃度有高於直接加氯處理者之趨勢。大分子有機物(例如: Humic acid)雖未發現有此現象, 但在 PAC 表面仍明顯有殘餘鹵化有機物。
- 四. 原水先利用粉狀活性吸附並以明礬混凝後再進行加氯反應, 在低加氯下, 溶液中 NPDOC 增加量隨明礬劑量之增加而趨緩, 但提高氯量或延長氯接觸時間, 則在各明礬劑量下均有明顯增加。

誌謝

本研究承行政院國家科學委員會提供經費補助(計畫編號: NSC 84-2211-E-006-023), 使得完成, 敬誌謝忱。研究期間承蒙台灣省自來水公司所屬鳳山淨水場之協助, 於此銘謝敬意。

參考文獻

1. Suidan, M.T. and Snoeyink, V.L., "Reduction of Aqueous HOCl with Activated Carbon," Jour. Environmental Engineering, ASCE, Vol.103, No.3, pp.667-684 (1977).
2. Snoeyink, V.L., et al., "Organic Compounds Produce by the Aqueous Free-Chlorine-Activated Carbon Reaction," Environ. Sci. & Technol., Vol.15, No.2, pp.188-192 (1981).
3. McGuire, M.J. et al., "Aqueous Chlorine/Activated Carbon Interactions," Jour. Environmental Engineering, ASCE, Vol.110, No.3, pp.629-645 (1984).
4. McCreary, J.J. and Snoeyink, V.L., "Reaction of Free Chlorine with Humic Substances before and after Adsorption on Activated Carbon," Environ. Sci. & Technol., Vol.15, No.2, pp.193-197 (1981).
5. Voudrias, E.A. et al., "Effects of Activated Carbon on the Reaction of Free Chlorine with Phenols," Environ. Sci. & Technol., Vol.19, No.5, pp.441- 449 (1985).
6. Voudrias, E.A. et al., "Effects of Activated Carbon on the Reaction of Combined Chlorine with Phenols," Water Research, Vol.19, pp.909-915 (1985).
7. Sontheimer, H., Crittenden, J.C., and Summers, R.S., Activated Carbon for Water Treatment, 2nd, in English, DVGW-Forschungsstelle, Karlsruhe (1989).
8. Yeh, H.H., Huang, W.J., The Fate of Dissolved Organics in Water Purification Processes Treating Polluted Raw Water, Water Sci. & Technol. Vol. 11, No. 11, pp. 71-80 (1993).
9. Huang, W.J., Yeh, H.H., Organic Fractionation for Water Treatment Processes Evaluation, Proceedings AWWA WQTC, Miami, pp. 257-272 (1993).

10. Yeh, H.H.; Huang, W.J.; & Chen, H.W. The Reaction between Chlorine and Various Organic Fractions Extracted from Source Water. Proceeding AWWA WQTC, San Francisco (1994).
11. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, and WEF, Washington, DC (18th ed., 1992).
12. Najm, I.N., et al., "Using Powdered Activated Carbon: A Critical Review," Jour. AWWA, Vol.83, No.1, pp.65-76 (1991).
13. Verschueren, K., ed., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company (1983).
14. Gregg, S.T. and Sing, K.S.W., Adsorption, Surface Area and Porosity, Academic Press, London (1982).
15. AWWA, Water Quality and Treatment, McGraw-Hill (1990).
16. Voudrias, E.A.; Larson, R.A.; & Snoeyink, V.L. Importance of Surface Free Radicals in the Reactivity of Granular Activated Carbon under Water Treatment Conditions. Carbon, Vol. 25, No. 4, p. 503 (1987).

表 1. 鳳山淨水廠原水基本水質

Constituent	Concentration
pH	7.4 - 7.8
Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	130 - 234
Hardness (mg/L as CaCO ₃)	202 - 316
Total dissolved solids (mg/L)	417 - 612
Turbidity (NTU)	2.6 - 7.7
Colour (Pt-Co Unit)	10 - 20
Chloride (mg/L)	27.1 - 110.3
Bromide (mg/L)	0.07 - 0.42
Ammonia-N (mg/L)	0.4 - 7.3
NPDOC* (mg/L)	1.60 - 4.07

* Nonpurgeable dissolved organic carbon

表 2. 以原水中之各類有機物配製之人工原水組成份

Synthetic water	I	II	III
Organic fraction	Humic acids	Fulvic acids	Hydrophilic neutrals
Concentration (mg/L)	0.894	0.936	1.344
pH	7.0	7.0	7.0
Ionic strength(M)	0.03	0.03	0.03
Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	150	150	150

表 3. 比較 PAC 吸附 Humic acid 與 Hydrophilic neutral 與液相氯作用後，固相及液相生成之 AOX

Cl ₂ dosage* (mg/L)	Adsorbate: Humic acid †			Adsorbate: Hydrophilic neutral †		
	Solid phase (μmol/L) ‡	Liquid phase (μmol/L)	$\frac{\text{Solid}}{\text{Liquid}}$	Solid phase (μmol/L) ‡	Liquid phase (μmol/L)	$\frac{\text{Solid}}{\text{Liquid}}$
5	1.36	2.37	0.57	0.13	0.42	0.31
10	2.42	4.13	0.59	0.26	0.95	0.27
20	5.03	7.71	0.65	0.22	1.34	0.16
30	5.74	8.78	0.65	0.34	1.92	0.18
50	6.86	11.36	0.60	0.51	2.47	0.21

* Chlorine contact time 2 hrs

† Adsorption condition

PAC dosage 50 mg/L

Adsorption time: Humic acid 336 hrs, Hydrophilic neutral 48 hrs

Initial concentration: Humic acid 2.82 mg/L, Hydrophilic neutral 1.72 mg/L

‡ = μmol/50 mg PAC × 50 mg PAC/L

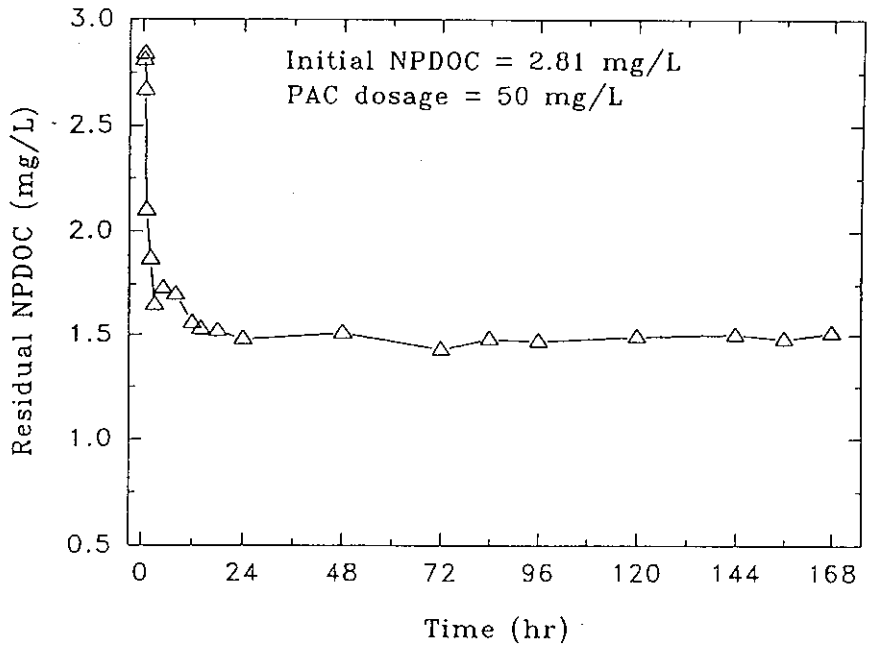


圖 1. PAC 吸附原水有機物之動力吸附圖

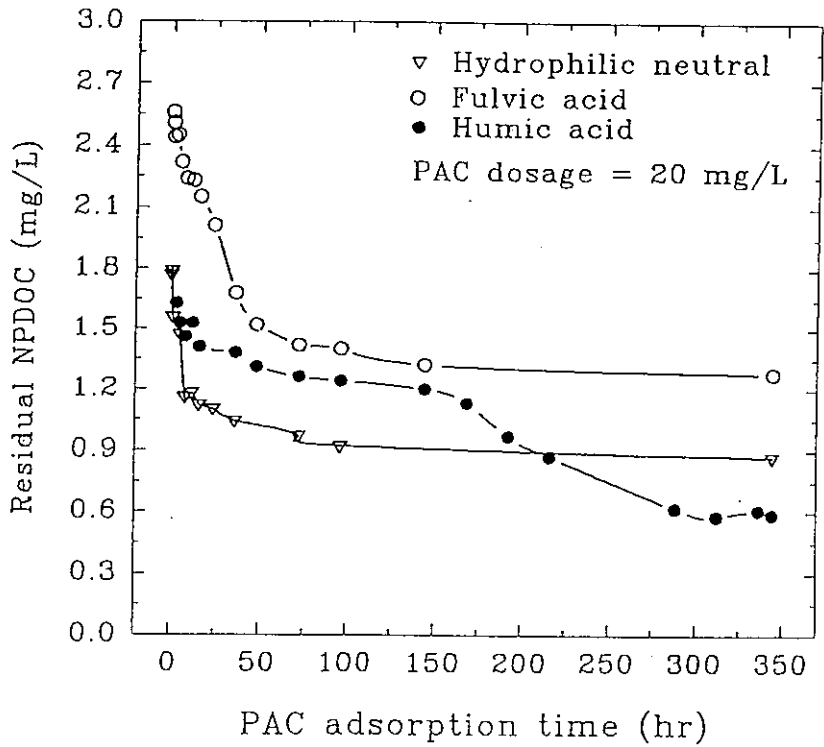
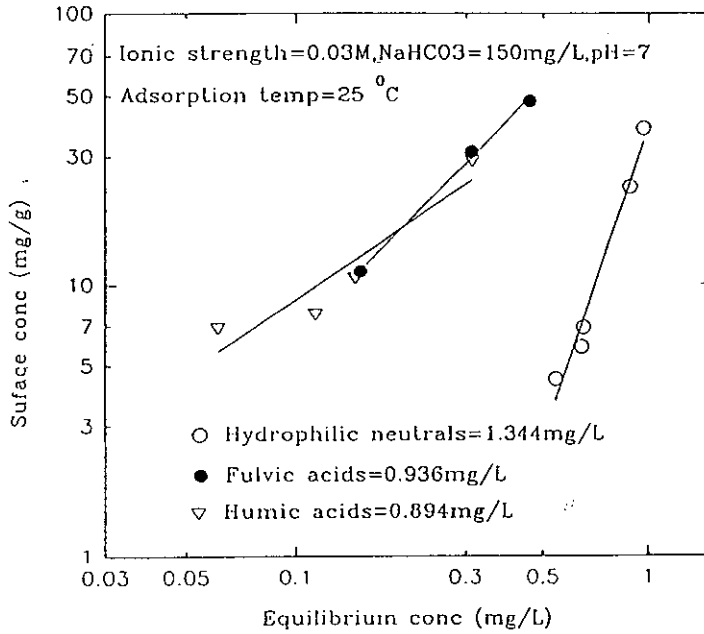


圖 2. PAC 吸附各類有機物之動力吸附圖



Fractions	k	1/n
Hydrophilic neutral	39.27	3.88
Fulvic acid	141.1	1.33
Humic acid	71.28	0.91

圖 3. PAC 吸附各類有機物之恆溫吸附圖

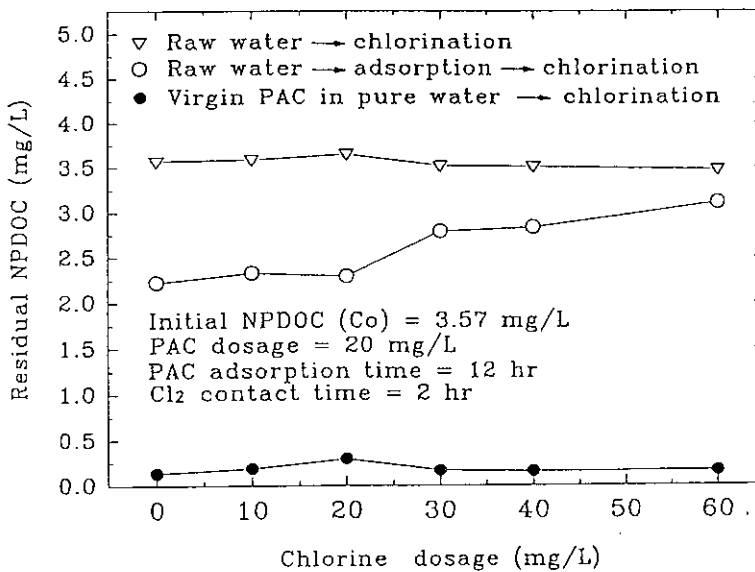


圖 4. 原水加氯與原水經 PAC 吸附後再加氯，處理水 NPDOC 測值之比較

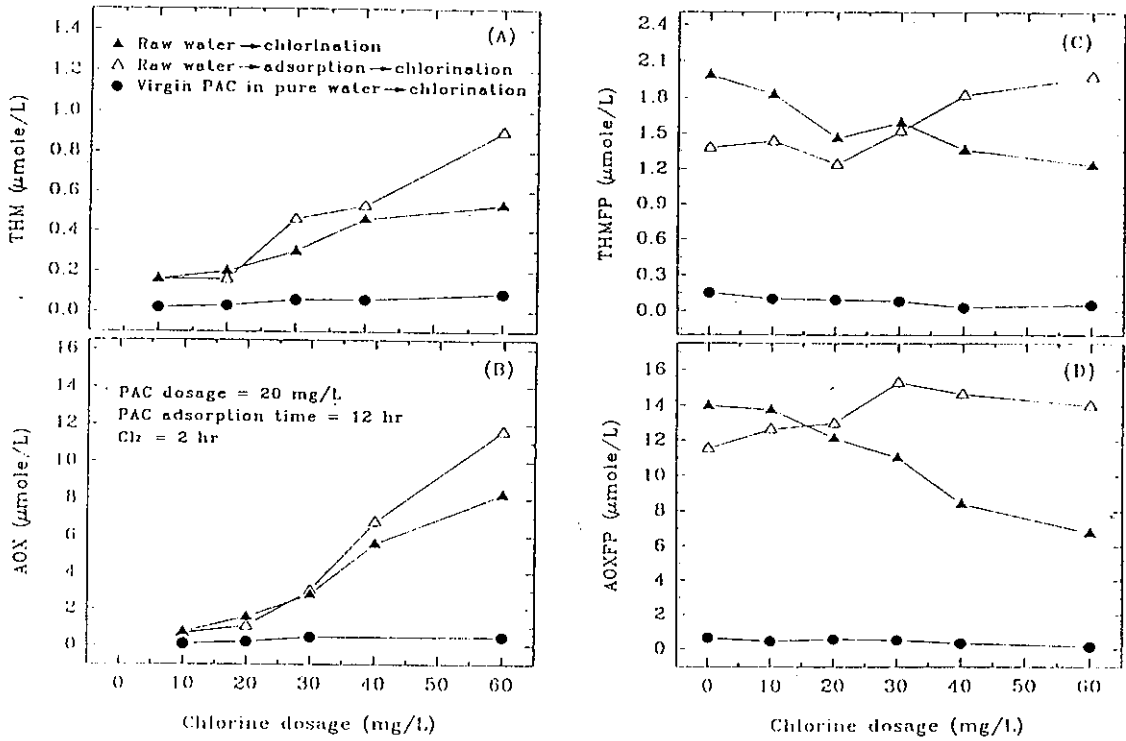


圖 5. 原水加氯與原水經 PAC 吸附後再加氯, 處理水中 THM、AOX 及 THMFP、AOXFP 之比較

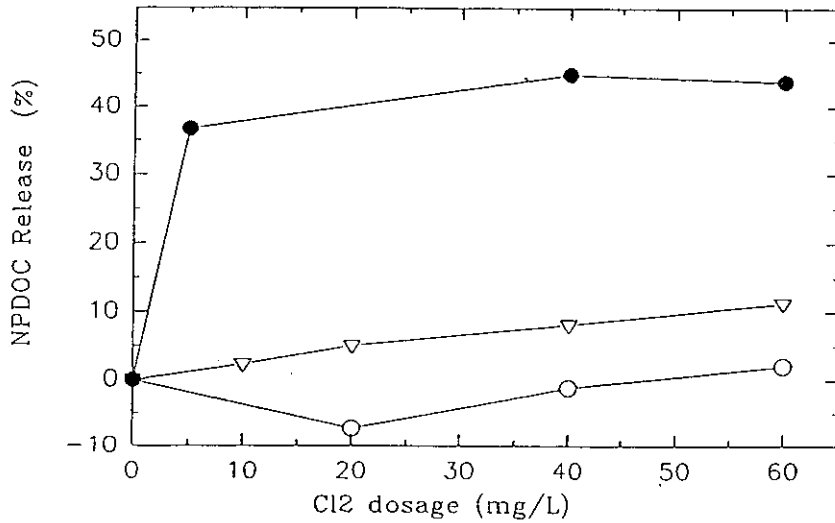


圖 6. 各類有機物經 PAC 吸附後再加氯, 處理水中 NPDOC 之變動

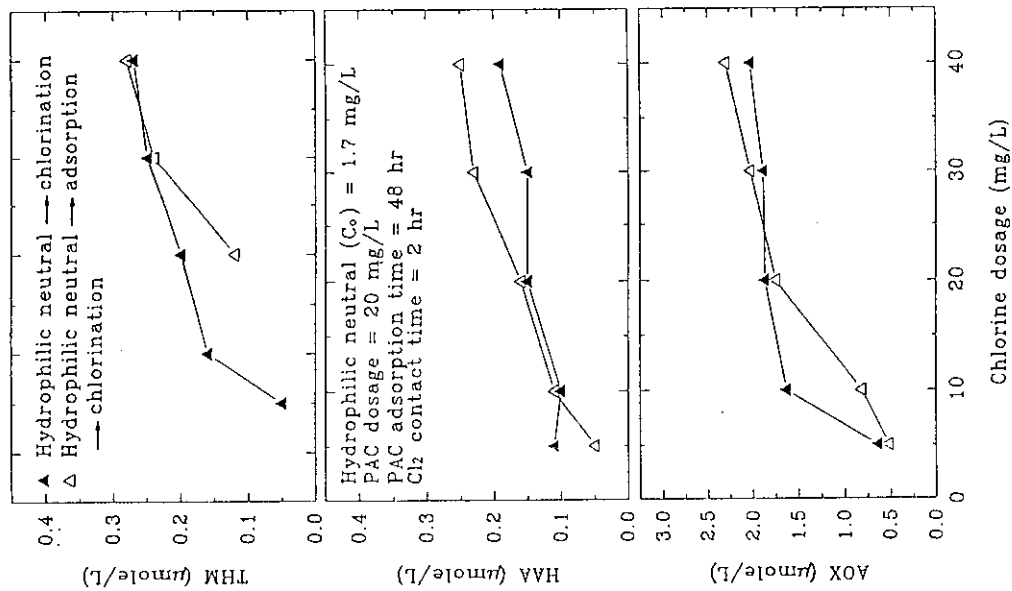


圖 7. 比較 Hydrophilic neutral 在直接加氯與 PAC 吸附 → 加氯程序，生成之 THM、HAA 及 AOX

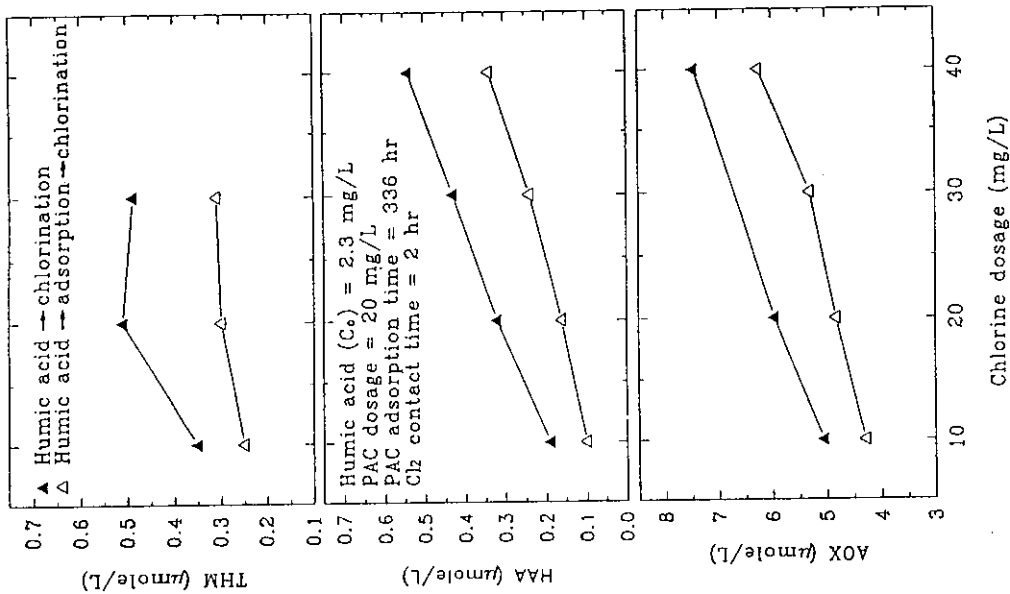


圖 8. 比較 Humic acid 在直接加氯與 PAC 吸附 → 加氯程序 生成之 THM、HAA 及 AOX

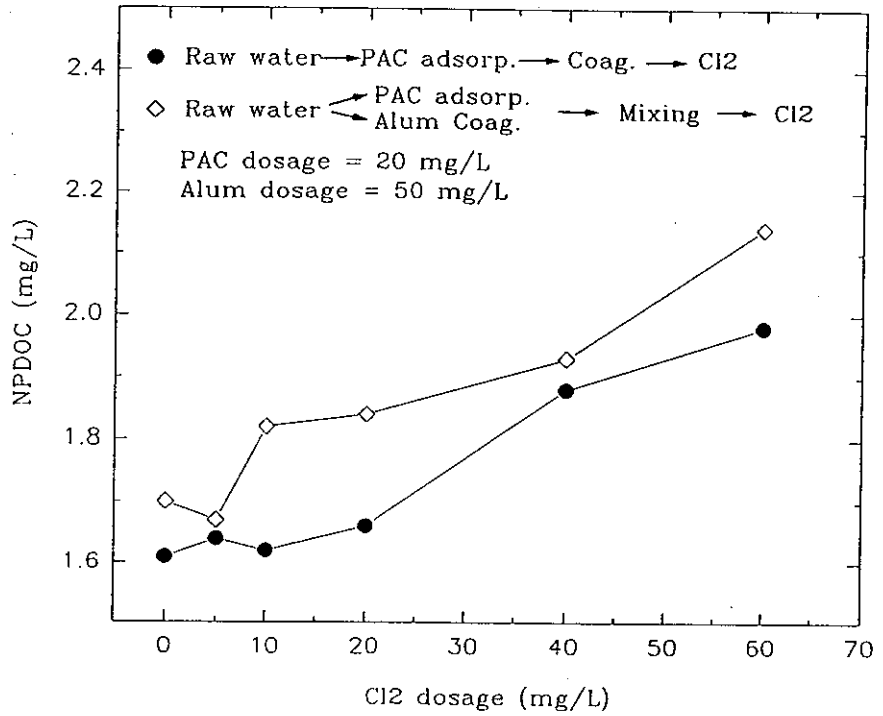


圖 9. 比較原水經 PAC 吸附, 明礬混凝之處理水與原水單獨吸附及單獨混凝之混合水樣, 加氯後 NPDOC 之變化

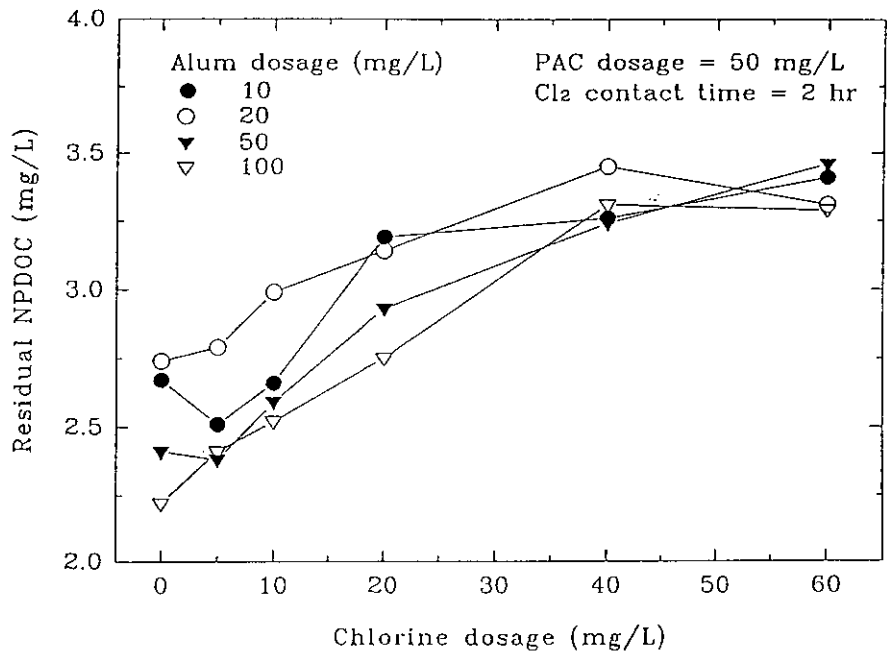


圖 10. 原水在 PAC 吸附 → 明礬混凝 → 加氯試程中比較不同明礬添加量, 處理水之 NPDOC 變化

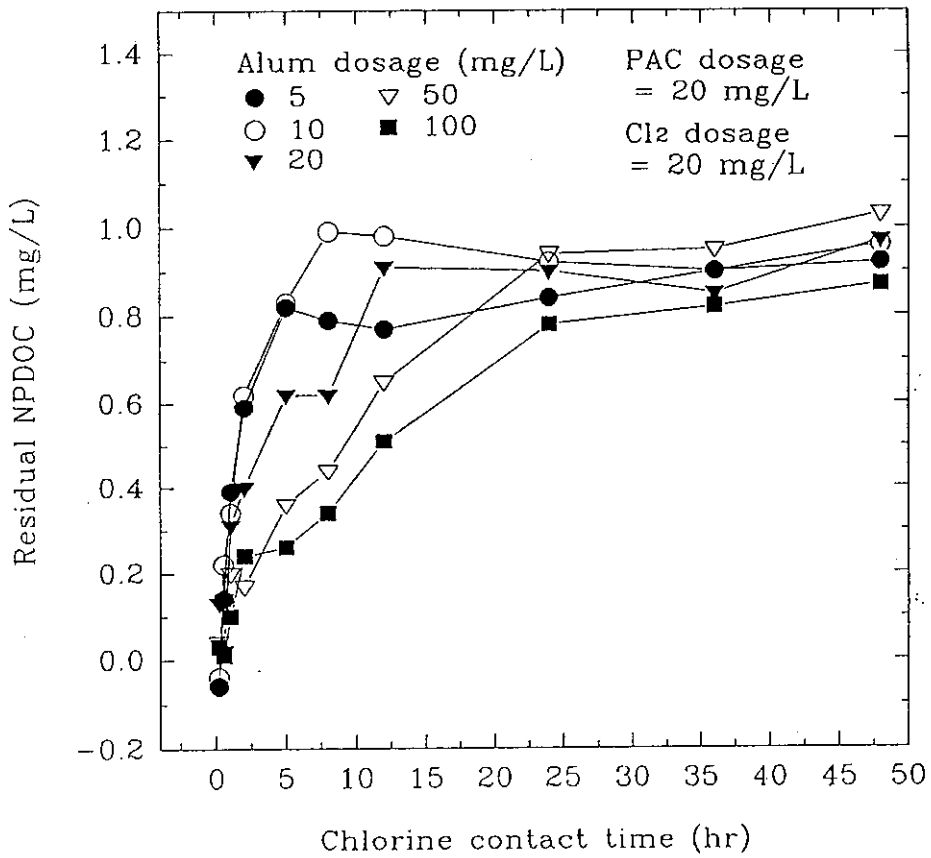


圖 11. 原水在 PAC 吸附→明礬混凝→加氯試程中改變氯接觸時間, NPDOC 之變化