

預氯程序對粉狀活性碳吸附 2-MIB 之影響

*劉家玲，**林財富，**王根樹，***何玉琦

*碩士，**副教授，***碩士班研究生

國立成功大學環境工程學系 國立台灣大學公共衛生學系

摘要

台灣南部地區自來水中的土霉味問題存在已久，雖然前人研究顯示粉狀活性碳(PAC)可以有效去除水中常見土霉味物質 2-MIB(2-methylisoborneol)，並可以用很少的實驗結合理論模式，有效地預估 PAC 對 2-MIB 的吸附動力。但因國內水廠中經常有前加氯的程序，所以氯對 PAC 吸附 2-MIB 之影響仍有待了解。

本研究以鳳山水庫原水為對象，探討在不同加氯量下，粉狀活性碳對 2-MIB 的去除效率，及其對吸附動力的影響。藉由探討原水中的有機物、2-MIB、氯與粉狀活性碳間之作用及機制，以了解活性碳吸附原水中 2-MIB 之行為。

研究中發現，氯對原水中有機物特性的改變，很有可能會影響到活性碳對 2-MIB 的去除效率，且氯與活性碳添加劑量之比例不同時，可能因氯與活性碳表面作用、氯與天然有機物作用以及氯與藻類作用等不同的加乘結果，對 2-MIB 之去除率也有不同程度的影響。由於氯會將天然有機物轉變成較親水性的物質，因而降低與 2-MIB 之競爭活性碳表面位置，使其對 2-MIB 的吸附量明顯提升，因此實驗結果中發現預先以氯處理之原水，去氯後活性碳對 2-MIB 的吸附量會降低 5-10%，而其加入原水中反應後發現，對 2-MIB 之去除率明顯降低 25-35%，推測整個氯對活性碳吸附 2-MIB 的反應，應是前兩者機制綜合之結果。

FTIR 分析結果也證實原水中有機物

之-OH 及-CO 基增加，顯示親水性上升。另外，當 PAC 與氯先行反應後去氯，再將其加入原水中反應後發現，對 2-MIB 之去除率明顯降低 25-35%，推測整個氯對活性碳吸附 2-MIB 的反應，應是前兩者機制綜合之結果。

關鍵字：2-MIB、氯、粉狀活性碳(PAC)、等背景化合物(EBC)模式、鳳山水庫

前言

在國內外已有多位學者在研究中使用粉狀活性碳吸附去除水中的臭味物質(Suffet and Wable, 1995; Hargesheimer and Waston, 1996; Chen et al., 1997; Gillogly et al., 1999; Graham et al., 2000; Cook et al., 2001; 楊氏, 2001)，發現尤其對於土臭味物質有相當好的去除效果，且粉狀活性碳的設置成本低於其他高級處理法，對於台灣南部地區水廠為相當適合的處理方法。

汪氏(2000)在研究中發現，南部地區水源的土霉味可能是由 2-MIB(2-Methylisoborneol)所造成，楊氏(2001)使用粉狀活性碳進行鳳山原水中 2-MIB 吸附控制，以實驗及模式來推估粉狀活性碳對 2-MIB 的吸附量及吸附動力，並建立活性碳添加劑量與接觸時間與臭味物質去除效果的關係。但是活性碳亦為優良除氯劑(Lazlezary-Craig et al., 1988; Lalezary et al., 1986; Sontheimer et al., 1988; Gillogly et al., 1998; Huang et al., 1999)，國內淨水廠在處理流程中經常有前加氯的程序，則活性碳可能會受餘氯之作用而改變其對水中

臭味物質的吸附能力。Gillogy 等人(1998)發現隨著水中餘氯濃度的增加，活性碳對 2-MIB 的吸附量隨之下降；而且水中餘氯還會氧化活性碳吸附表面，使已經被活性碳吸附的 2-MIB 再度被釋放出來。因此，本研究針對水中餘氯對活性碳吸附去除 2-MIB 的影響，作詳細的探討。

研究目的

以鳳山水庫原水為對象，探討在不同加氯量下，粉狀活性碳對 2-MIB 的去除效率，及其對吸附動力的影響。並探討原水中的有機物、2-MIB、氯與粉狀活性碳間之作用及機制，以解析動力實驗所得之結果。

研究方法

土臭味物質之分析方法- SPME/GC/MS

本研究在土臭味物質的分析方面，使用固相微萃取法(Solid Phase Micro Extraction, SPME)進行濃縮，固態微萃取法分析水中的超微量臭味物質，必須視水中臭味化合物的種類不同，而選擇使用不同的吸附劑的材質。其吸附纖維特點必須對欲分析物種有強選擇吸附性。本實驗建立 SPME 土臭味分析方法，使用 SUPELCO 公司所製的 No.57328-U 吸附纖維，其吸附纖維材質 divinylbenzene/carboxen/polydimethylsiloxane。本實驗參照 Standard methods 6040D. Solid-Phase Microextraction 之分析方法，但是將實驗氣提瓶改為內外瓶，外瓶流過定溫水流，以使實驗過程中有更穩定的恆溫環境。氣提瓶之內瓶體積為 60ml，分析水樣為 45ml，並加入 13.5g 的 NaCl，經 15 秒鐘攪拌均勻後於 65 °C 恆溫水浴中氣提，然後插入吸附纖維在頂部空間吸附平衡 30 分鐘，分析時將吸附後之纖維打入 GC/MSD 分析，以 250 °C 脫附分析。GC 的烘箱升溫程式為 60 °C 維持 2 分鐘，然後以

每分鐘 8°C 升溫至 250°C，在 250°C 維持 4 分鐘，以確定 VOCs 完全分離，分析時間共為 29.75 分鐘。以 He 為載流氣體(carrier gas)，固定流量 20 ml/min，並且不分流(splitless)，注入口壓力則為 8.2 psi，管柱流量為 1 ml/min。

吸附實驗

本研究中所採用的水樣，一是在實驗室中以二次處理去離子水(distilled deionized water)配製 2-MIB 並添加不同濃度之次氯酸鈉進行活性碳吸附；另外是用鳳山水庫原水添加 2-MIB 至預定濃度及不同濃度之次氯酸鈉進行吸附。原水水樣裝在附有 PTFE 墊片的棕色玻璃瓶中，並保存於 4°C 且黑暗處，使用期限為 7 天內。鳳山水庫原水的水質資料列如表一。

(一) 活性碳與氯之作用實驗

首先探討粉狀活性碳與餘氯間之作用，採用 6 升並附有取樣口的玻璃瓶為反應瓶。在二次處理去離子水中配製不同濃度的 NaOCl 水樣，再添加定量的 WPH 活性碳，並加入磁石攪拌子幫助攪拌，轉速控制在 150rpm，使活性碳能均勻分布並懸浮在水樣中，並在 20°C 的恆溫箱中進行反應。分別在反應時間 0、10、30、60、90、120、180、240 分鐘進行取樣，每次取樣 20ml，取樣後立刻用 0.45µm 的濾紙進行過濾，量測自由餘氯的濃度。測餘氯的方法是使用分光光度計(Merck, NOVA60, USA)，取 5ml 水樣加入指定試劑(Merck, 14828, USA)，混合均勻後置入一公分光徑之石英樣品槽(sample cell)中，讀取吸光值，可分別測出總氯及自由餘氯濃度。

(二) 2-MIB 與氯之作用之實驗

本實驗考慮動力反應時間四小時中，餘氯對 2-MIB 作用的影響。採用 6 升並附有取樣口的玻璃瓶為反應瓶，分別將二次處理去離子水、鳳山原水，配製成已知濃度的 2-MIB 水樣，然後再加入固定濃度的

NaOCl，在反應時間 0、10、30、60、90、120、180、240 分鐘進行取樣，量測總氯及自由餘氯的濃度，並將水樣以 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液去氯後分析 2-MIB 濃度。

(三) 活性碳吸附 2-MIB 之實驗

本實驗分四部份，第一部份是活性碳吸附原水中之 2-MIB，主要用於測試活性碳對 2-MIB 之吸附量。第二部份是在原水中加入不同量之氯，混和均勻後測自由餘氯及總氯濃度，隨即再添加活性碳至水樣中進行四小時的吸附動力實驗。第三部分是將原水先加氯後反應四小時，以 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液去氯後再添加活性碳 WPH 進行吸附動力實驗。第四部份之實驗是將活性碳 WPH 加入自由餘氯溶液中接觸兩天，經過濾截留後乾燥之，再將與氯作用後之活性碳分別添加在去離子水及原水中進行吸附動力實驗。

結果與討論

預備實驗

(一) 活性碳與氯之作用

活性碳 WPH 2.5mg/L 在二次處理去離子水中及去離子水中含有 500ng/L 的 2-MIB 情況下，分別與 5、10mg/L NaOCl 反應，四小時內餘氯的殘留率(C_t/C_0)與時間的反應動力如圖一所示。由圖中可看出若水中只有餘氯跟活性碳 WPH 存在時，氯跟活性碳剛開始的反應速率會比水中還有 2-MIB 存在時快，但是無論去離子水中有無 2-MIB 存在，其在四小時後餘氯的去除率幾乎相同，添加氯 5mg/L 時，氯的去除率都是在 30%左右；而添加氯 10mg/L 時，氯的去除率皆為 20%左右。

(二) 2-MIB 與氯之作用之實驗

本實驗採用三種水樣分別為(1)去離子水中配製 200ng/L 的 2-MIB 溶液，圖中以 "2D Water" 表示(2)鳳山水庫原水，以 "FR Water" 表示(3)鳳山水庫原水添加

200ng/L 的 2-MIB 溶液，以 "FR(+) Water" 表示之。分別於三水樣中添加 10mg/L 的 NaOCl 溶液，另外一組實驗是在同樣條件下，使用鳳山原水不添加氯以作為對照，在反應時間四小時中，2-MIB 的殘留率如圖二所示。

由圖中可以顯示，不論是在有無添加氯的原水中，2-MIB 濃度到四小時後都會有些許上升，大約都在 10%左右，但是 2-MIB 在去離子水中與氯反應，在四小時中，其濃度幾乎沒有變化，原因可能是原水中的藻類或放線菌在這樣的環境下代謝或死亡，或是氯將原本在藻類胞內的 2-MIB 釋放出來，使濃度有些許上升現象，但因為在四小時中 2-MIB 的濃度變化大部分都在 $\pm 10\%$ 的誤差範圍內，對之後將要進行的活性碳吸附動力實驗並不會有太大影響，所以在本研究中氯與 2-MIB 之間的作用在四小時內可以忽略之。

另外，在四小時的反應後，去離子水中自由餘氯濃度僅約降低了 2%左右，幾乎沒有太大的變化；而在原水中的反應，自由餘氯約降低約 40%，可能是氯與原水中的鐵、錳、氨氮等起反應的緣故。所以，餘氯在短時間內對 2-MIB 幾乎不會有去除效率。這樣的結果與文獻中提到的相符，Lalezary 等人(1986)的研究中指出，氯對五種水中常見之土臭味物質的氧化能力為 $\text{IPMP} > \text{IBMP} > \text{TCA} > \text{geosmin} > \text{2-MIB}$ ，在加氯量 10mg/L 反應 16 小時後，2-MIB 約下降了 13%，由此可見 2-MIB 是一種很難被氧化的物質，所以水中餘氯對其並不會有直接影響。

吸附平衡實驗

(一) 吸附平衡時間

在進行活性碳吸附平衡實驗之前，必須先估算出活性碳吸附平衡的時間，以求得活性碳真正的平衡吸附量。因此我們先將活性碳分別添加在不同加氯量的鳳山原水中各進行一組吸附動力實驗，求得水中 2-MIB 濃度隨著時間變化的曲線，以便估算出活性碳最終的吸附平衡時間。圖三是

活性碳 WPH 在鳳山原水中的吸附動力曲線，活性碳添加劑量均為 10mg/L，2-MIB 的初始濃度為 214.8ng/L，分別添加 0、5、10mg/L 的 NaOCl 溶液，接觸時間在四天以上。

由圖中可看出，活性碳 WPH 不論是在有無添加氯的鳳山原水中，當接觸時間 24 小時(1440min)之後，曲線均已接近水平，因此我們推測活性碳對 2-MIB 的吸附在大約 24~48 小時(1440~2880min)時已趨近平衡。文獻中指出粒狀活性碳的平衡時間大多為 4~7 天(Chen et al., 1997)，而粉狀活性碳在三天內已達平衡(Graham et al., 2000)。在本研究中我們採保守估計，假設活性碳的吸附平衡時間以四天為考慮。

(二)活性碳在不同加氯量鳳山原水中之吸附平衡實驗

活性碳 WPH 在鳳山原水中對於不同加氯濃度的 2-MIB 等溫吸附線繪於圖四，其中 X 軸為在液相中 2-MIB 的平衡濃度 C_e (ng/L)，Y 軸為活性碳表面 2-MIB 的吸附量 q_e (ng/mg)，兩者皆以對數座標來表示。由圖四及表二可看出，Freundlich Isotherm 能合理的描述活性碳對 2-MIB 的吸附情況。

活性碳 WPH 在鳳山原水中吸附 2-MIB(C_0 約為 200ng/L) 的 Freundlich Isotherm 常數 K，沒有添加氯時約 $3.9(\text{ng/mg})(\text{L/ng})^{1/n}$ 左右，相近 C_0 情況下，添加 5 及 10 mg/L 時分別為 2.7 及 $1.7(\text{ng/mg})(\text{L/ng})^{1/n}$ 左右，低於在沒有添加氯的原水中的吸附量，由於 Freundlich Isotherm 常數 K 可以表示活性碳對有機物的吸附容量，證明當活性碳到達吸附平衡時，鳳山原水加氯量愈多，會造成活性碳的吸附量降低，影響對 2-MIB 的去除效率。

(三)活性碳在不同加氯量鳳山原水中對 2-MIB 之去除率

Knappe 等人(1998)利用 EBC 模式預測活性碳在天然水中對 2-MIB 的去除效率，發現活性碳的添加劑量(C_c)與 2-MIB

的殘留率(C_e/C_0)的關係可用一條單一曲線表示，與 2-MIB 的初始濃度無關，而實驗所得的結果也分別落在這條曲線上。其後的研究者也有相同的結果(Gillogly et al., 1998; Gillogly et al., 1999; 楊氏, 2001)。圖五為活性碳 WPH 在不同加氯量鳳山原水中對 2-MIB 的平衡吸附結果，平衡時間為四天，繪製成 2-MIB 殘留率與活性碳添加劑量關係圖，X 軸為活性碳添加劑量(C_c)對數值，Y 軸為 2-MIB 的殘留率(C_e/C_0)對數值。圖中顯示在不同初始濃度下，活性碳 WPH 在三種加氯量的原水中，對 2-MIB 的去除率與添加劑量也均分別落在同一條曲線上，代表在固定加氯量下，在原水中活性碳對 2-MIB 的去除率只和活性碳添加劑量有關，而與 2-MIB 初始濃度無關，且未加氯、加 5mg/L 及 10mg/L 的氯之不同條件下，其去除率之差異性約在 10-20%左右。

綜合以上的結果，我們如果進行一組實驗，來求得活性碳添加劑量和 2-MIB 的去除率曲線，便可以預測在平衡時不同加氯濃度下，須添加多少的活性碳劑量，以達到去除效果。以實驗結果來看，在無添加氯的原水中想達到 2-MIB 可去除 80% 的效果，大約要添加 10mg/L 以上的活性碳劑量；若要到達 90% 以上的去除率，則大約需要添加 20mg/L 以上。在添加 5、10mg/L NaOCl 的原水中想達到 2-MIB 可去除 80% 的效果，則要添加大約 20mg/L 以上的活性碳劑量；若要到達 90% 以上的去除率，則大約需要添加 25mg/L 以上。

另外，圖六是在不同加氯量之原水中活性碳 WPH 添加劑量與 2-MIB 去除率的關係圖，由圖中可顯示當活性碳添加劑量愈多，添加 0、5、10mg/L NaOCl 的三條曲線會愈靠近，表示在同一活性碳添加劑量下，三者的去除率愈接近，這樣的結果也與 Gillogly(1998)的研究相符，在文獻中提到，當 PAC 的添加量增加到某一程度時，也就是當氯添加量與 PAC 添加劑量之比率低於某值時，餘氯的影響便可以忽略。

吸附動力實驗

在鳳山原水的動力吸附實驗中，分別添加 5、10 及 20mg/L 的活性碳劑量，以及 0、5、10mg/L 的加氯量，以了解在不同的活性碳添加劑量配合不同的加氯量下，活性碳對 2-MIB 的吸附動力情形。實驗中的水樣為自行添加 200ng/L 濃度的 2-MIB 樣品於鳳山原水中，以固定 2-MIB 的初始濃度範圍約在 200~300ng/L 之間，水樣添加氯後先均勻混合，然後再加入活性碳。圖七為活性碳 WPH 10mg/L 在不同加氯量鳳山原水中的吸附動力曲線圖。

雖然在達到平衡之後(參看圖三)，活性碳對 2-MIB 去除率大小依然為：沒有添加氯的原水 > 添加 5mg/L NaOCl 的原水 > 添加 10mg/L NaOCl 的原水，但在圖七中，比較三條短時間內(240min)的動力曲線，發現在相同的活性碳添加劑量之下，活性碳在添加 10mg/L NaOCl 的原水中去除率比只添加 5mg/L NaOCl 的原水來的差，但是也發現到，在前幾個小時的接觸時間內，加氯 5mg/L 的去除率比沒有添加氯時的去除率更好，推測原因可能是加氯到原水中時，氯與原水中有機物作用後，使得有機物特性改變成親水性較大、較難以被活性碳吸附的有機物，黃氏(1997)的研究中指出，鳳山原水中的有機物(DOC、NPDOC)容易跟氯反應，變成極性較大的有機物；相對而言，此項反應可能使得 2-MIB 較有機會被活性碳所吸附，由之前的實驗結果可以得知，氯在反應時間四小時內幾乎對 2-MIB 不會有作用，所以在原水有機物特性改變後，在前幾個小時的反應時間中，可能反而變得有利於活性碳對 2-MIB 的吸附效果。

而添加 10mg/L NaOCl 的原水，推測因為氯的添加劑量較大，除了會與水中有機物反應外，氯與活性碳接觸機會亦比添加 5mg/L 的 NaOCl 較多，因此，可能除了有機物變成親水性較大有助於 2-MIB 吸附外，還有因為氯對活性碳的作用而使得 2-MIB 吸附效率變差，另外也有可能是加氯至原水中時，氯會破壞藻類，而可能使得原本在胞內的 2-MIB 釋放到水相中。圖中的吸附動力曲線，便推測是在這些不同

作用機制互相制衡下的結果。

經氯作用後原水之活性碳吸附動力實驗

為驗證之前的推論：氯與原水中有機物反應後，會使有機物變成親水性較強、難以被活性碳吸附，而相對使得 2-MIB 較有機會被活性碳所吸附，本實驗先使氯與原水反應，再進行活性碳吸附實驗。實驗中先將原水與 5、10mg/L NaOCl 分別接觸 10 分鐘及 4 小時後，去氯後再添加 10mg/L 的 WPH 活性碳，使水中有機物有機會與活性碳反應。由圖八的結果可以顯示，活性碳去除效率皆比沒有預先與氯反應之原水來的好，且有隨加氯時間增長及加氯量增加，去除效果增加的趨勢，與 10mg/L NaOCl 接觸後的原水，在反應時間四小時內，活性碳對 2-MIB 的去除率比沒有添加氯反應的去除率多了 5%~10% 左右。

經氯作用後之粉狀活性碳吸附動力實驗

為探討氯與活性碳表面作用，對 2-MIB 吸附之影響，本部分實驗以 0.5:1 及 2:1 (氯與活性碳添加量)的比例氧化後的 WPH 活性碳，再與鳳山原水中 2-MIB 進行吸附動力實驗，結果如圖九所示。由圖中結果可以顯示出被氧化後的活性碳其吸附效率明顯比沒有預先氧化過的活性碳差，在原水中以 2:1 氯與活性碳添加量的比例來看，在反應時間四小時後活性碳對 2-MIB 的去除率約為 20%，0.5:1 的比例之去除率為 30%，皆比沒有預先與氯反應的活性碳去除率 56% 來的差。而且可以發現氯與活性碳反應量的比率愈大，去除效果也愈差，可能因為氯的氧化作用會造成活性碳表面吸附位置減少，而影響活性碳對 2-MIB 的吸附效果。Gilligly 等人(1998)的研究中，使用 Hydroarco-B 活性碳劑量為 11.5mg/L，無添加氯時 2-MIB 的去除率為 67%，但若餘氯與活性碳添加劑量之比分別為 0.5、1 及 2，先行於二次去離子水中反應，再將活性碳過濾乾燥後添加置原水中，則 2-MIB 去除率分別降低到 49%、

31% 及 15%，本實驗結果與文獻中的結果相當符合。

結論與建議

1. 活性碳 WPH 不論是在有無添加氯的鳳山原水中，當接觸時間 24 小時之後，曲線均已接近水平，因此我們推測活性碳對 2-MIB 的吸附在大約在 24 小時時已趨近平衡。
2. 由活性碳 WPH 之吸附平衡實驗中的 Freundlich Isotherm 可以發現，當活性碳到達吸附平衡時，鳳山原水加氯量愈多，會造成活性碳的吸附量降低，影響對 2-MIB 的去除效率。
3. 在固定加氯量下，原水中活性碳對 2-MIB 的去除率只和活性碳添加劑量有關，而與 2-MIB 初始濃度無關，與 EBC 模式結果相類似。利用此種關係，可以推估在特定加氯濃度下欲達到的 2-MIB 去除率，所需添加的活性碳劑量。
4. 在不同加氯量之原水中活性碳 WPH 添加劑量與 2-MIB 去除率之關係中可以發現，當氯添加量與 PAC 添加劑量之比率低於某值(約 0.2)時，餘氯的影響便可以忽略。
5. 在吸附動力實驗中發現，水中餘氯不只會造成活性碳吸附能力降低，更可能使原本已吸附在活性碳中的 2-MIB 物質釋放至水中，造成濃度的上升。
6. 加氯對活性碳在去離子水中的 2-MIB 的去除率影響較在鳳山原水中來的大，可能是氯的反應對象除了 PAC 及 2-MIB 外，原水中亦多了溶解性有機物及藻類，因此影響層面較去離子水小的緣故。
7. 吸附動力實驗結果顯示，水中餘氯對活性碳吸附 2-MIB 可能存在機制複雜，包括氯與 2-MIB 作用、氯與活性碳表面作用、氯與天然有機物作用以及氯與藻類作用等。氯對 2-MIB 作用在實驗時間四小時內，其變化可以忽略。但氯會將天然有機物轉變成較親

水性的物質，因而降低與 2-MIB 之競爭活性碳表面位置，雖然 DOC 在加氯前後變化不大，但加氯後之原水，活性碳對 2-MIB 的吸附量明顯提升了 5-10%，而 FTIR 分析結果也證實原水中有機物之-OH 及-CO 基增加，顯示親水性上升，雖然氯對活性碳表面的作用在 FTIR 圖譜上不明顯，但先與氯反應後之活性碳吸附 2-MIB 量也明顯降低，在氯與 PAC 反應比例為 0.5:1 及 2:1 時，去除率分別降低了 25% 及 35%，推測整個氯對活性碳吸附 2-MIB 的反應，應是前兩者機制綜合之結果。

誌謝

本研究蒙行政院國家科學委員會 (NSC-89-2211-E-006-115)、行政院環境保護署 (EPA-91-U1J1-02-101) 及中興顧問社 (EV-6044) 分別支持部分經費。研究期間並承台灣省自來水公司第七區管理處協助採樣事宜，特此致謝。

參考文獻

1. Chen, G., Dussert, B. W. and Suffet, I. H. (1997). Evaluation of Granular Activated Carbon for Removal of Methyl Isoborneol to Below Odor Threshold Concentrations in Drinking Water, *Wat. Research*, 31, 1155-1163.
2. Cook, D., Newcombe, G., Sztajn bok, P. (2001). The Application of Powdered Activated Carbon for MIB and Geosmin Removal: Predicting PAC Doses in Four Raw Waters, *Wat. Res.* 35, 1325-1333.
3. Gillogly, T.E.T., Snoeyink, V.L., Elarde, J.R., and Royal, E.P. (1998). Effect of Chlorine on PAC's Ability to Adsorb MIB., *J. Am. Water Works Assoc.* 90, 107-114.
4. Gillogly, T.E.T., Snoeyink, V.L., Elarde, J.R., Wilson, C.M. and Royal, E.P. (1998). ¹⁴C-MIB Adsorption on PAC in Natural Water., *J. Am. Water Works*

- Assoc.* **90**, 89-108.
5. Gillogly, T.E.T., Snoeyink, V.L., Newcombe, G., Elarde, J.R. (1999). A Simplified Method Determine the Powered Activated Carbon Dose required to Remove 2-Methylisobornel., *Wat. Sci. Tech.* **40**, 59-64.
 6. Gillogly, T.E.T., Snoeyink, V.L., Vogel J.C., Wilson, C.M. and Royal, E.P. (1999). Determining Gac Bed Life., *J. Am. Water Works Assoc.* **91**, 98-110.
 7. Graham M.R., Najm, I. N., Summers R.S., Simpson M.R. and Macleod B.W. and Cummings Laura (2000). *Optimization of Powered Activated Carbon Application for Geosmin and 2-MIB Removal.* AWWARF and AWWA, Denver, CO.
 8. Hargesheimer, E.E., and Watson, S.B. (1996). Drinking Water Treatment Options for Taste and Odor Control., *Wat. Res.* **30**, 1423-1430.
 9. Huang, W.J. and Yeh, H.H. (1999). Reaction of Chlorine With NOM Adsorbed on Powered Activated Carbon., *Wat. Res.* **33**, 65-72
 10. Knappe, Detlef, R.U., Matsui, Y., Snoeyink, V.L., Roche, P., Prados, M.J. and M.-M. Bourbigot, (1998). Predicting the Capacity of Powered Activated Carbon for Trace Organic Compounds in Nature Waters, *Environ. Sci. Technol.*, **32**, 1694-1698.
 11. Lalezary, S., Pirbazari, M., McGuire, M.J. (1986). Oxidation of Five Earthy-Musty Taste and Odor Compound, *J. Am. Water Works Assoc.*, **78**, 62.
 12. Lalezary, S., Pirbazari, M., McGuire, M.J. (1986). Evaluating Activated Carbon for Removing Low Concentrations of Taste-and-Odor Producing Organics., *J. Am. Water Works Assoc.*, **78**, 76
 13. Lalezary-Craig, S., Pirbazari, M., Dale, M.E., Tanaka, T.S., and M.J. McGuire, (1988). Optimizing the Removal of Geosmin and 2-Methylisoborneol by Powered Activated Carbon, *Jour. J. Am. Water Works Assoc.*, **80**, 73-80.
 14. Sontheimer, H., Crittenden, J.C. and Summers, R.S. (1988). *Activated Carbon for Water Treatment.* 2nd ed. DVGW-Forschungsstelle, Karlsruhe, Germany.
 15. Suffet, I.H., and Wable, O. (1995). Removal of Taste-and-Odor Cmpounds by Activated Carbon, In *Advances in Taste-and-Odor Treatment and Control*, Ed. by Suffet, I.H., Mallevalle, J., and Kawczynski, American Water Works Association, Denver, Coloroda, USA.
 16. 黃文鑑(1997)，混凝、吸附對溶解性有機物去除及受預氣影響之研究，國立成功大學環境工程系博士論文。
 17. 汪俊育(2000)，南台灣代表性水源地臭味問題之研究，國立成功大學環境工程系碩士論文。
 18. 楊豐誠(2001)，應用粉狀活性碳去除原水中 2-MIB 之研究，國立成功大學環境工程系碩士論文。

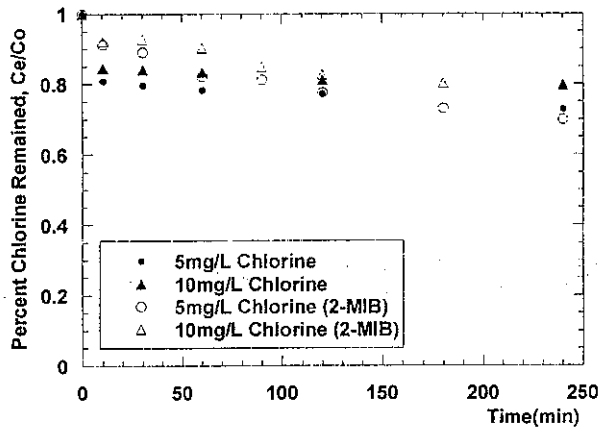
表一 原水水質資料表

	pH 值	濁度(NTU)	臭度(TON)	溶氧(mg/L)	TOC(mg/L)
鳳山水庫	7.3	4.1	12.5	1.1	2.8

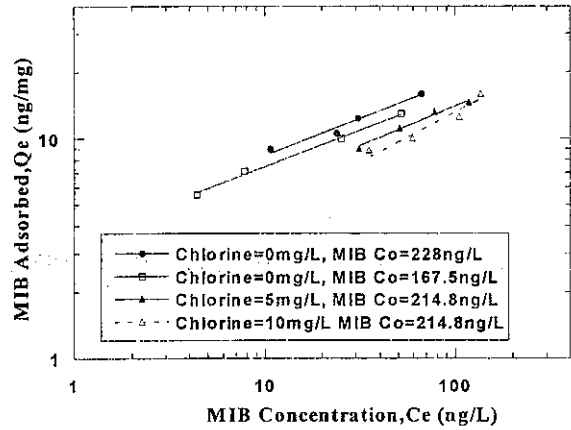
資料來源：鳳山淨水場 2002 年 1~4 月平均水質資料

表二 活性碳在不同加氯量之鳳山原水中 Freundlich Isotherm 之 K 及 1/n

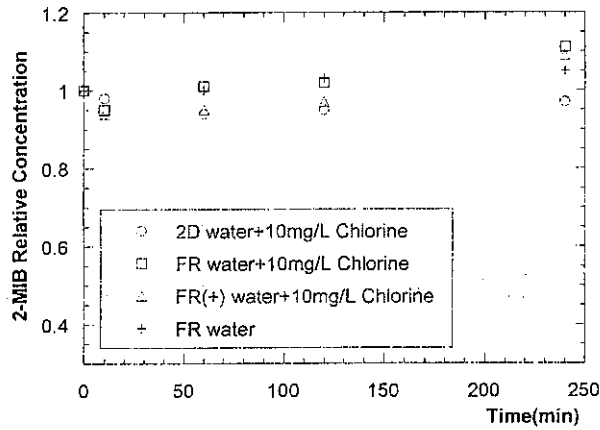
加氯量 (mg/L)	MIB 初始濃度 (ng/L)	實驗點數	$K((ng/mg)(L/ng)^{1/n})$	1/n	R^2
0	228.0	4	3.87	0.34	0.976
0	167.5	4	3.5	0.33	0.996
5	214.8	4	2.7	0.36	0.984
10	214.8	4	1.76	0.43	0.940



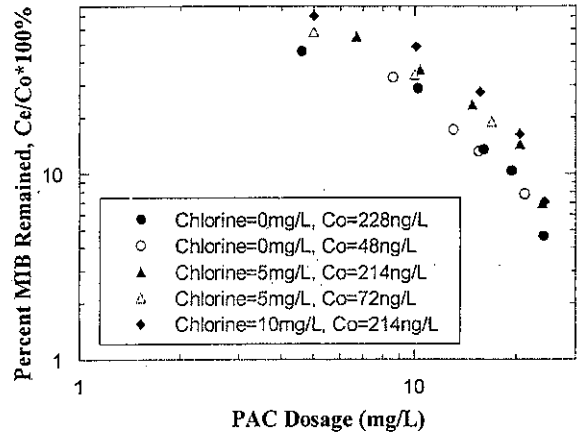
圖一 氯與活性碳 WPH 在去離水中的反應動力



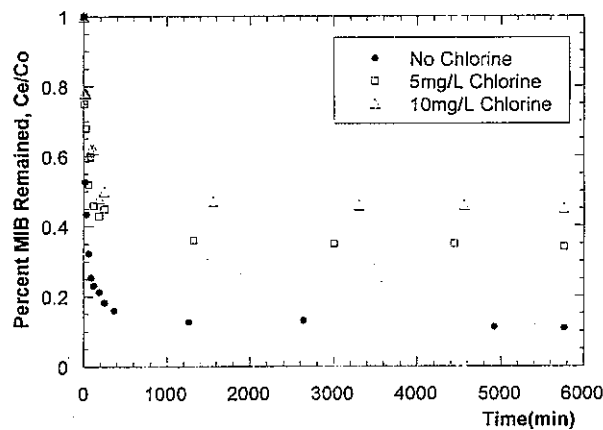
圖四 活性碳在不同加氯量之鳳山原水中之等溫吸附線



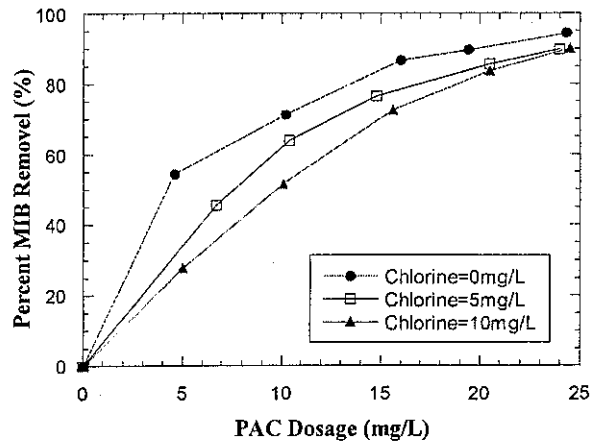
圖二 水中餘氯與 2-MIB 作用之實驗結果



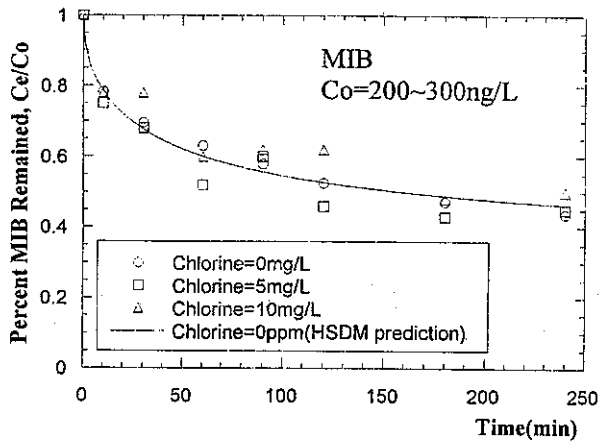
圖五 不同加氯量原水中活性碳添加劑與 MIB 殘留率關係圖



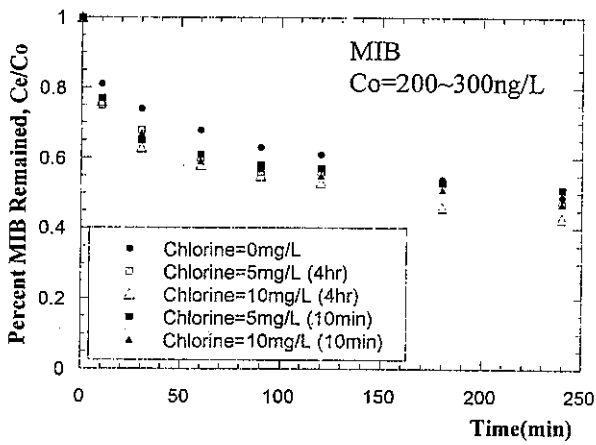
圖三 活性碳 WPH 在不同加氯量原水中之吸附動力曲線



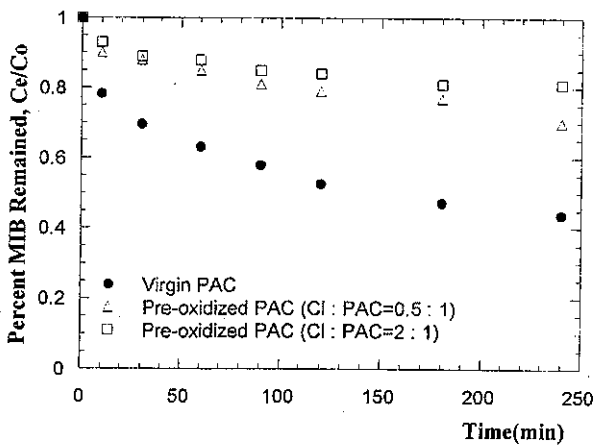
圖六 不同加氯量原水中活性碳添加劑量與 MIB 去除率關係圖



圖七 活性碳 WPH 10mg/L 在不同加氯量原水中的動力曲線



圖八 經氯作用後原水去氯後之活性碳 WPH 對 2-MIB 之吸附動力曲線



圖九 氯作用後之活性碳 WPH 在 original 水中吸附動力曲線