

# 配水管網中水質生物穩定性之研究 Water Biological Stability in Distribution System

葉宣顯<sup>1</sup> 曾怡禎<sup>2</sup> 賴文亮<sup>3</sup> 施惠日<sup>4</sup>

## 一、前言

自來水淨水廠之清水中如含有過量之生物可利用有機碳，則可能在配水管網內引起異營性微生物之繁殖，而使水質惡化，此現象稱為「再生長(Regrowth)」或「後生長(Aftergrowth)」。「再生長」可能引起水質上諸多之問題，如干擾大腸菌屬檢驗所代表之意義，產生臭、味及顏色，加速餘氯量之消耗及管線之腐蝕，甚至引發致病菌之繁殖<sup>(1)</sup>。控制「後生長」雖有加氯、沖洗管線等多種方法，但均有其缺點。如加氯有生成鹵化有機物致癌性物質之危險，且氯對生物膜內微生物之控制並非十分有效。沖洗管線，必須定期為之，除了費工、費錢外，對於幹管之實施，常須中斷供水，對於分枝多之管網，則甚難實施。

目前一般認為控制後生長之最有效方法在於控制微生物生長所需之營養，如將水中之有機碳濃度控制於微生物可利用濃度以下，則微生物之生長受抑制，而此種水質則稱為高生物穩定性(Biological stability)的飲用水。目前用於偵測生物可分解有機碳的方法，大概可分為兩類：一類是量測可被微生物分解的溶解性有機碳(DOC)，由培養前及培養後之DOC差值表之，稱為生物可分解有機碳(Biodegradable organic carbon, BDOC)，此分析方法受限偵測儀器之靈敏度，只能達到mg/L的濃度。而另一類則是量測水中生物可利用有機碳(Assimilable organic carbon, AOC)，其主要原理是將有機碳轉換成生物質量的形式，靈敏度可到達 $\mu\text{g/L}$ 的濃度，可用於配水管網內後生長之控制，而BDOC則主要用於需氯量、消毒副產物生成潛能等方面之研究<sup>(2)</sup>。

有關利用純菌來測量飲用水中AOC值之研究，起自於荷蘭van der Kooij氏<sup>(3)</sup>。目前AOC之測定主要是利用*Pseudomonas fluorescens* strain P17及*Spirillum species* strain NOX這兩株菌屬，首先以醋酸鹽溶液進行這兩株菌之產率(Yield value)率定，然後將待測之水樣，經巴斯德滅菌後，植入P17及NOX兩株菌，在定溫下培養，直到菌

1. 國立成功大學環境工程學系教授

2. 國立成功大學生物學系副教授

3. 國立成功大學環境工程學系博士班研究生/大仁藥學專科學校環境工程衛生科專任講師

4. 國立成功大學環境工程學系碩士

數成長到最大值( $N_{max}$ )為止。水樣之AOC值可由 $N_{max}$ 除以各該菌以醋酸鹽率定所得之產率，故AOC之單位為acetate-C equivalent/L<sup>(4)(5)</sup>。

美、加地區自來水系統所測到的 AOC 值在 1 至 2000  $\mu\text{g}$  acetate-C eq/L 之間。LeChevallier 等指出 AOC 值隨著流過配水系統時間之增加而降低，且與總細菌數 (HPC) 有關係<sup>(6)</sup>，而偵測到大腸菌之系統，其 AOC 值均大於 50  $\mu\text{g}/\text{L}$ <sup>(1)</sup>。Van der Kooij 等在荷蘭之研究，則指出 AOC 小於 10-15  $\mu\text{g}$  acetate-C/L 之系統，未見異營菌之生長，AOC 在 15-50  $\mu\text{g}$  acetate-C/L 者，可見異營菌之生長，而 AOC 在大於 50  $\mu\text{g}$  acetate-C/L 者，則一定見到再生長<sup>(3)(7)</sup>。故在荷蘭許多自來水系統將配水管網內之 AOC 值控制在 10  $\mu\text{g}$  acetate-C/L 以下，而可不必實施加氯消毒<sup>(8)</sup>。

至於降低 AOC 之方法，荷蘭方面之數據顯示表面水經未加蓋之蓄水池蓄積後，AOC 值約在 30-100  $\mu\text{g}$  acetate-C/L，但有時由於藻類之繁殖，可高達 0.5-1.0 mg acetate-C/L，此種原水經混凝、沉澱後，AOC 值可大幅降低，主要由於生物可利用有機物質被去除所致。但氧化消毒程序常可增加 AOC 值，如加氯可小幅提高其值；而加臭氧常大幅增加 AOC 值，尤其是以 NOX 菌種所測之 AOC 值，因一般而言，P17 菌種可以廣泛之有機質為基質，如胺基酸、碳水化合物、羧酸 (Carboxylic acids) 及芳香族酸等，而 NOX 則偏好羧酸<sup>(5)</sup>。一般水經臭氧化後，常有羧酸增加之情形。最有效之降低 AOC 之處理程序莫過於包括生物作用之單元，如慢砂濾或生物活性碳 (Biological activated carbon)。由此可知在臭氧化後，加某種過濾程序，以降低 AOC 值，避免配水管網內之再生長，是有必要的。

台灣地區地處亞熱帶，平均水溫高於北美、西歐等地區，配水管網內之生物作用更值得重視。尤其是國內部份原水因遭受嚴重污染，氮及有機物之濃度甚高，現有淨水程序大都採超量預氯法以為因應，加氯量可高達 40 mg/L 以上，是否會因為氯之氧化作用，而使生物可分解有機物量增加亦值得重視。尤其在政府及自來水事業單位籌措大額經費抽換部分地區之老舊管線後，如何保護新管網，更應加以注意。本研究希望藉由引進 AOC 之檢驗技術，並實際用於國內原水、淨水廠及配水管網內水中生物可分解有機物之分析，期能藉由微生物營養源之控制，以維持配水管網之完整性，而對公共給水水質之提昇有所幫助。

## 二、實驗設備、材料與方法

### 2-1 準備工作

#### 1. 玻璃器皿之清洗

因為AOC試驗係量測極微量之有機物，為防止外來污染所帶來之誤差，所用之玻璃器皿，必須徹底洗淨。1000 mL 玻璃材質之三角燒瓶先以 50 mL 1:1 硫酸/重鉻酸洗液浸洗一天，然後使用清水洗淨，並用 50 mL 10%之硝酸洗液浸洗一小時後，再用清水徹底洗淨，最後置入 250°C 之烘箱，加熱 8 小時。玻璃吸管浸泡於 1:1硫酸/重鉻酸液一天後，以清水連續沖洗 4 小時，再以 250°C 烘 4 小時。

#### 2. 菌種取得及預先培養(Precultures)之準備

自外界取得之 *Pseudomonas fluorescens* strain P17 及 *Spirillum species* strain NOX 兩株純菌係存於高基質濃度下，在實際運用於水樣之AOC測試前，必先將其移植於低基質濃度之前培養基(Preculture medium)內，使繁殖達到一定數量，再保存於 2-6 °C 之低溫下備用。預先培養之目的，在使菌種能適應實際水樣低基質之環境，避免帶入生物可分解之基質於水樣內，同時可確知所植入之菌數。至於預先培養之詳細步驟請參考葉氏報告<sup>(9)</sup>。

#### 3. 菌種純度之確認

為確保實驗期間菌種之純度，需對保存在 2~6°C 之菌液不定時進行菌種純度之確認，所使用之試驗包括：Oxidase reaction, Oxidation and fermentation test, Arginine dehydrolase reaction 及 Fluorescence on R<sub>2</sub>A medium test, 詳細步驟請參考葉氏報告<sup>(9)</sup>。

### 2-2 試驗菌種產率之率定

首先找尋一低有機物、生物穩定性高之良質自然水(一般為良好之地下水或慢砂濾之出流水)為空白水樣。本次實驗採用旗山木梓淨水廠之慢濾床出流水 (pH=7.62, 溶解性有機碳 NPDOC=0.61 mg/L), 及仁武海軍淨水廠之慢濾池出流水 (NPDOC=0.28 mg/L) 為空白水樣。首先取空白水樣多瓶各 600 mL, 並各加入 0.4 mL K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O (0.055g / 100 mL 去離子水)溶液, 且分別加入 0、5、10、25、50 及 100 µg acetate-C/L, 並做重覆試驗。而後將水樣置於 90°C 水浴, 至瓶內溫度達 60°C 後, 立刻移入 60°C 恆溫箱滅菌 30 分鐘。冷卻後, 加入適量之預先培養菌液, 並立刻取樣進行

菌落數之分析，水樣之菌落數應介於 100~500 CFU/mL 之間。同時將水樣培養於 15°C 下，每隔 1 至 2 天取樣 0.05 mL 塗抹於含 LLA(Lab-Lemco Agar)之培養基上，培養於 25°C，3 天後數菌，直到菌數長到最大值為止，畫其生長曲線，並將最大菌落數( $N_{max}$ )與所添加 acetate-C 濃度之關係劃出迴歸線，該線之斜率即產率 (Yield)，其義意代表每  $\mu\text{g}$  acetate-C 所能生長之最大菌落數 (CFU/ $\mu\text{g}$ -C)。

### 2-3 淨水廠及配水管線相關資料之收集及現場採樣

本研究期間，共完成南部地區 W.S.T、S.S.及 G.S. 三個淨水廠及其配水管線，各三次之現場採樣分析。三系統之詳細狀況於第三章內說明，至於採樣流程敘述如下。

淨水廠之採樣在檢驗室內或現場採集原水、旋轉生物圓盤 (RBC) 及砂濾床之出流水及清水水樣，現場並紀錄當日之處理水量、混凝劑量、加氯量、原水來源及管線材質等相關資料。配水管線之採樣則在水管橋排氣閘上之水龍頭、加壓站內之水龍頭、消防栓或用戶未經水塔之水龍頭直接採水。採樣前，先將欲採之水龍頭放流 30 分鐘後，AOC 檢驗用之水樣係以清洗過之 1000 mL 三角錐形瓶直接取水 600 mL，且加入硫代硫酸鈉 ( $3\text{g Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}/100\text{ mL}$  去離子水) 溶液 0.6 mL 及磷酸氫二鉀 ( $0.055\text{g K}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}/100\text{ mL}$  去離子水) 溶液 0.4 mL，須重覆採樣，置於 2~6°C 之冰箱冷藏，最遲一日內一定要分析。且現場需測定 pH 值、水溫、及餘氯等參數。同時採其它基本水質分析項目之水樣量，分裝保存在 2~6°C 之冰箱。另分析 HPC (Heterotrophic plate count) 及大腸菌之水樣，則需現場添加前述之硫代硫酸鈉去除餘氯。

### 2-4 水質分析

600 mL 水樣之 AOC 測定，其步驟與 2-2 節所述空白水樣及添加不同濃度 acetate-C 後，植入菌種，求取最大菌落數之過程相同。本研究係於水樣中同時植入 P17 及 NOX 兩菌株，待培養至菌落數分別達最大值後，可利用各菌種對醋酸鹽之產率及下式，分別得  $\text{AOC}_{\text{P17}}$  及  $\text{AOC}_{\text{NOX}}$  值，再相加即得總 AOC 值。

$$\text{AOC}_{\text{P17 或 NOX}}(\mu\text{g acetate-C/L}) = \frac{N_{\text{max}}(\text{CFU/mL}) \times 1000(\text{mL/L})}{\text{Yield}(\text{CFU}/\mu\text{g acetate-C})}$$

$$\text{AOC}_{\text{total}} = \text{AOC}_{\text{P17}} + \text{AOC}_{\text{NOX}}$$

水質分析項目除AOC外，另有HPC (Heterotrophic Plate Count) 、大腸菌數密度 ( The Coliform Group )、餘氯、氨氮、硝酸氮、亞硝酸氮、非揮發性溶解有機碳 ( Non-Purgeable Dissolved Organic Carbon ，NPDOC) 、濁度及鹼度等基本水質參數。其中 HPC、大腸菌數密度、氨氮、硝酸氮、亞硝酸氮及餘氯之分析方法，依 Standard Methods<sup>(4)</sup>之方法進行。而 NPDOC 之分析則係利用以高溫氧化及紅外線(IR)偵測原理之總有機碳分析儀(Total organic carbon analyzer, Model TOC-5000, Shimadu, Japan)測定之。

### 三、結果與討論

#### 3.1 *Pseudomonas fluorescens* strain P17 及 *Spirillum species* strain NOX 之生長曲線及產率值

本研究選擇低有機物含量(NPODC 約 0.2~0.6 mg/L)之慢濾床出流水為空白水樣 (blank)，並添加不同量醋酸鈉溶液，使其濃度介於 0~ 200  $\mu\text{g acetate-C/L}$ ，依 2-2 節之方法進行實驗，分別記錄各種醋酸鈉濃度水樣在不同培養時間下之 P17 及 NOX 菌落數，所得的結果如圖 1 及圖 2 所示。由此兩圖，可得在不同醋酸鈉濃度下，各菌種所能生成之最大菌落數，然後以不同之 acetate-C 的濃度為橫軸，所對應生長曲線之最大菌落數為縱軸，分別得圖 3 及圖 4，經線性迴歸，其斜率值為各菌種對 acetate-C 之產率(Yield)，strain P17 為  $4.33 \times 10^6$  CFU/ $\mu\text{g acetate-C}$ ，NOX 為  $1.58 \times 10^7$  CFU/ $\mu\text{g acetate-C}$ ，與文獻上所報導 P17 產率之值  $4.1 \times 10^6$  CFU/ $\mu\text{g acetate-C}$  及 NOX 產率之值  $1.32 \times 10^7$  CFU/ $\mu\text{g acetate-C}$ <sup>(10)</sup>，相差無幾，顯示本實驗室 AOC 分析技術應在可接受之範圍。

#### 3.2 淨水廠及配水系統採樣分析結果

為瞭解原水經過傳統淨水處理單元及在配水系統中 AOC 之變化及其與生物性水質參數間之關係，分別選取原水較不受污染之 W.S.T. 系統、中度污染之 S.S. 系統及高度污染之 G.S. 系統進行採樣分析。以下就淨水廠及配水管網系統兩部份分別討論。

##### 3.2.1 淨水廠之原水及處理單元出流水之 AOC 值季節性變化

各淨水廠由於所使用之水源及受污染的程度不同，所以其淨水處理程序及加藥量也有所不同，如表 1 所示。W.S.T. 淨水廠之原

水取自蓄水庫，因有天然的沉澱作用，其濁度除暴雨後，會有升高的情形外，平時大多在 10 NTU 以下。其處理程序為一般傳統的方法，採用預氯、混凝、沉澱、快砂濾及加氯消毒。由於水質佳所以加氯量低（前加氯 0.9~1.4 mg/L，後加氯 1.4~1.7 mg/L）。而 S.S. 淨水廠之水源直接取自河川，其濁度變化，可高達萬餘 NTU，另由於河川受畜產等農業廢水之污染，所以有氨氮問題，原水氨氮濃度在 0.2~1.8 mg/L  $\text{NH}_3\text{-N}$  之間。目前該廠之處理程序為預氯、混凝、沉澱、混凝、沉澱、快濾及加氯消毒，使用兩段混凝、沉澱，以因應高濁度等之問題。由於氨氮高，其總加氯量高達 5.2~19 mg/L。G.S. 淨水廠的水源也是直接取自河川，其污染程度更高，氨氮濃度高達 0.3~9.5 mg/L  $\text{NH}_3\text{-N}$  之間，目前該廠之處理程序為旋轉生物圓盤 (RBC) 之預先處理、預氯、混凝、沉澱、快砂濾及加氯消毒。總加氯量在 10~43.9 mg/L 之間。綜合上述可知此三個淨水處理系統之差別，在於 S.S. 系統有高濁度問題；而 G.S. 系統有嚴重氨氮問題。所以 S.S. 系統採用兩段式混凝沉澱。G.S. 系統使用生物旋轉盤法 (RBC)，是利用旋轉盤上所附著生物膜之微生物，先行去除水中之氨氮量，以減少加氯量。

由以上所述之處理程序，選取原水、RBC 出流水、快砂濾出流水及清水，來進行 AOC 及其他基本水質分析。淨水廠內各處理程序之 AOC 分析結果如圖 5 所示，a 表示所取之點為原水，b 表示砂濾出流水，c 表示清水，d 表示 RBC 出流水。圖 5(A) 可看出 W.S.T. 系統之原水經快濾後  $\text{AOC}_{\text{P17}}$  有明顯的降低（約可去除 52%~67% 之  $\text{AOC}_{\text{P17}}$  值），可能因混凝、沉澱、快濾去除了部分之生物可利用有機物所致。由圖亦可發現原水中之 AOC 值（除了 S.S. 於 7/3 日之雨季採樣外），大部分成份為  $\text{AOC}_{\text{P17}}$ （約佔總 AOC 之 57%~98%），但經加氯作用後，清水之  $\text{AOC}_{\text{NOX}}$  值有顯著的增加趨勢（約佔總 AOC 23%~68%），可能是因原水中之有機物與氯作用，轉化成 strain NOX 易利用之有機物，如羧酸類，所致。而由圖 5(C) 可看出 G.S. 系統之 RBC 出流水主要成份為  $\text{AOC}_{\text{P17}}$ （約佔總 AOC 之 72%~96%），且此處理單元對於 AOC 之去除，可能與其操作條件有關，除了 2/13 日之去除率不好外，正常操作時，約可去除 35%~43% 之 AOC。而 G.S. 系統冬季之 RBC 出流水  $\text{AOC}_{\text{P17}}$  增加許多，可能因微生物將有機物分解成 strain P17 較易利用之物質，或其代謝物為 strain P17 較易利用之物質。亦有可能死亡之菌體被微生物分解成 Strain P17 易利用之物質所致。

圖 6 為各淨水廠有機物之耗氯量與清水  $\text{AOC}_{\text{NOX}}/\text{NPDOC}$  比值之相關性，其中有機物之耗氯量為總加氯量減去清水池之總餘氯量再減去氨氮耗氯量。由圖得知，各水廠隨著耗氯量的增加，其單位

NPDOC 所含  $AOC_{NOX}$  之值也有上昇之趨勢，兩者呈現正相關。此一結果進一步支持前所述：氮與有機物作用，而產生 strain NOX 容易利用之有機物質，使  $AOC_{NOX}$  值增加。

而於整個實驗過程中發現，原水及 RBC 出流水由於其濁度相當高，所以巴斯德滅菌（於  $60^{\circ}C$  下，持續 30 分鐘）無法將雜菌完全消滅，因此其可能干擾  $AOC$  值之偵測。根據 Huck<sup>(2)</sup>之研究指出，有些營養基質易附著於懸浮固體(SS)微粒上，而使微生物亦喜歡聚集於此，所以不但可能無法完全滅菌，甚至水樣之均勻度亦可能有誤差。因此目前有許多改良方法之研究，而最普遍使用的滅菌方法為濾膜過濾法。但有學者認為此亦可能造成  $AOC$  分析之誤差，如附著於 SS 上之有機質被濾掉或濾膜的合成有機物質溶出污染水樣。且原水之  $AOC$  值若超過  $100 \mu g$  acetate-C/L，亦可能會偏離檢量線，因此原水水樣之  $AOC$  分析方法有進一步改進之空間，值得繼續研究。

### 3.2.2 各配水系統之 $AOC$ 值及其與 NPDOC、HPC 和 餘氯間之關係

圖 7 及 8 分別顯示本研究所採樣 W.S.T.、S.S. 及 G.S. 三配水管線系統之相關位置圖、管材、管徑及採樣點。其中 W.S.T. 系統管線材質主要是預力混凝土管 (PSCP) 及鋼管 (SP)，其管徑分別為 1350 mm 及 1500 mm，此系統之採樣距離較長，最遠到達 32.2 Km，而水樣由水管橋之排氣閥取得。S.S. 系統管線材質主要是預力混凝土管 (PSCP) 及延性鑄鐵管 (DIP)，其管徑分別為 1350~1500 mm 及 200~300 mm，採樣距離最遠到達 19.0 Km，而水樣由路邊之消防栓取得。而 G.S. 系統幹管材質主要是 600 mm 之玻璃纖維強化塑膠管 (FRP) 及塑膠管 (PVCP)，但該系統配水管網之水樣係採取主幹管分支至用戶但未經水塔之水，分支管之材質為塑膠管 (PVCP)，管徑有 100、150 及 200 mm，採樣距離最遠達到 14.5 km。

表 2 為比較三個配水系統之  $AOC$ 、NPDOC、HPC 和餘氯之數值關係， $AOC$ 、NPDOC 及 HPC 值均以 G.S. 系統最高，W.S.T. 及 S.S. 兩系統之各項參數值相近，且均低於 G.S. 系統，餘氯方面，則三系統之值均能合乎現行之自來水質標準，即 0.2-1.5 mg/L 之間。觀察圖 9，W.S.T. 和 S.S. 系統其  $AOC$  值隨距離水廠之公里數增加之變化不大，且約在  $30\sim70 \mu g$  acetate-C/L，而 G.S. 配水系統之  $AOC$  值相當高（約為  $111\sim219 \mu g$  acetate-C/L），且隨著距離水廠之公里數增加，其  $AOC$  值有明顯的下降。

圖 10 可看出 W.S.T. 及 S.S. 配水系統之餘氯皆維持在

0.9~1.4 mg/L 之間，HPC 值皆低於 20 CFU/mL，其配水管內之微生物明顯地被抑制。而 G.S. 配水系統之餘氯，雖然亦維持在 1.1~1.4 mg/L 之濃度，但其配水管內之微生物明顯地較其他兩系統高，其 HPC 值約為 50~130 CFU/mL，且隨著距離水廠公里數的增加而上升。由圖 10 亦可看出餘氯皆隨著水流時間的增加而有下降趨勢。但在類似之餘氯濃度下，W.S.T. 及 S.S. 配水管內的微生物可被抑制，而 G.S. 配水管內之微生物不但沒有被抑制，反而有增長之趨勢。由此可見即使餘氯控制在 0.2~1.5 mg/L 之水質標準內，並不能完全控制後生長之現象，需再考慮另一個關鍵性之參數，AOC 值。

由圖 11 亦可看出 W.S.T. 及 S.S. 配水系統之 AOC 值維持在 30~70  $\mu\text{g acetate-C/L}$  之間，其 HPC 值皆低於 20 CFU/mL，而 G.S. 配水系統之 AOC 值最高可達 220  $\mu\text{g acetate-C/L}$ ，且隨水流距離而降低，相對應之 HPC 值則從 53 CFU/mL 升高至 130 CFU/mL，顯然較前二系統高出許多。可能因為 AOC 提供微生物生長所需之營養，致使微生物大量生長繁殖。因此可知 AOC 值為控制後生長的重要指標之一。

### 3.3 AOC 值在給水工程上所代表之意義

依 van der Kooij 等<sup>(3)</sup> 在荷蘭之調查研究，在無或低餘氯之情況下，若 AOC 值  $< 10\sim 15 \mu\text{g acetate-C/L}$ ，配水管內不會有異營菌之生長；若 AOC 值在  $15\sim 50 \mu\text{g acetate-C/L}$ ，則可能有異營菌之生長；若 AOC 值  $> 50 \mu\text{g acetate-C/L}$ ，則必可見菌之生長。由本研究可見在 AOC 值低於  $70 \mu\text{g acetate-C/L}$ ，但餘氯維持在 1.0 mg/L 左右，則異營菌之繁殖受到良好之控制。國內配水管網所能容許之 AOC 值似較荷蘭為高，原因之一可能在於我們之配水管網內維持較高之餘氯，其次為水質及水溫等自然環境之差異。吾人已知水溫對生物膜生物之活性有很大之影響。故國外自來水事業為控制「後生長」所限制之清水 AOC，並無法直接用於國內。我們需要針對國內不同之配水管網持續進行較大規模之調查研究，然後據以訂出我們的規範。

再者，目前先進國家為了控制消毒副產物之生成及改進清水之味道，或者完全不使用氯，或儘量降低清水之餘氯量，如此為防止「後生長」，切斷管網內微生物營養之來源，亦即降低清水之 AOC 值益顯重要。清水 AOC 值除與原水有機物含量有關外，亦受淨水程序之影響，如加氯及臭氧化可能提高 AOC 值；而生物處理，如生物活性碳濾床或慢濾床，可有效降低 AOC 值。故如何經由水源水質保

護及淨水技術之提昇，以得到生物穩定性高之清水，並確保配水管網內之水質，為國內未來努力之方向。

#### 四、結論與建議

由本研究所得之結果，可歸納出下列幾點結論：

1. 本 AOC 試驗以醋酸鹽率定 *Pseudomonas fluorescens* strain P17 及 *Spirillum species* strain NOX 之 Yield 值，分別得  $4.33 \times 10^6$  CFU/ $\mu\text{g}$  acetate-C 及  $1.58 \times 10^7$  CFU/ $\mu\text{g}$  acetate-C，與文獻上所報導之值相近。
2. 原水經淨水程序後，清水之 AOC 值可能高於或低於原水，推測可能與原水水質，所採用之處理程序及操作條件等有關。但清水之 AOC<sub>NOX</sub> 值較之原水均有增加之情形，且清水單位 NPDOC 之 AOC<sub>NOX</sub> 值與有機物耗氣量有正比之關係。推測係因有機物經氯氧化作用後，生成 NOX 菌屬較易利用之羧酸類有機物。
3. 配水管網部份，比較三個系統，可見當 AOC 值在 30 至 70  $\mu\text{g}$  acetate-C/L 之間，餘氯在 1 mg/L 左右，則 AOC 值在配水管線內之變化不大，且 HPC 值均可在 20 CFU/mL 以下。然而若系統內之 AOC 值高於 150  $\mu\text{g}$  acetate-C/L，即使餘氯仍維持在 1.0 至 1.4 mg/L 之間，HPC 值仍較前述系統高出許多。

同時提出下列三點建議：

1. 本研究發現，原水及經旋轉生物盤法之處理水，有時無法以巴斯德滅菌法 (60°C, 30 分鐘) 完全滅菌，可能使雜菌利用部份之有機物，而造成 AOC 分析上之誤差。建議研究以不同滅菌法，或改用其它方法，如 BDOC，以偵測其生物可利用有機碳含量。
2. 國內自來水事業單位應針對不同之配水管網進行持續且較大規模之生物穩定性及細菌性水質之調查研究，以訂出我們為控制後生長所需之水質參數值(如 AOC 或 BDOC 值)。
3. 為了控制消毒副產物之生成，在不影響水質安全之前題下，儘量降低配水管網內之餘氯量，為目前先進國家之作法。如此降低清水 AOC 值以防止微生物在配水管網內之生長，更顯重要。因此如何經由水源保護及淨水程序之提昇，以提高清水之生物穩定性為一重要之研究課題。

## 誌 謝

本研究承蒙中華民國自來水協會提供經費補助，始得完成；計畫執行期間，承蒙台灣省自來水公司第六區及第七區管理處相關人員熱心提供資料，並協助採樣事宜，一併在此表示十二萬分之謝意。

## 參考文獻

1. LeChevallier, M.W., "Coliform Regrowth in Drinking Water: A Review," *Jour. AWWA*, Vol. 82, No.11, pp.74-86 (1990)
2. Huck, P.M., "Measurement of Biodegradable Organic Matter and Bacterial Growth Potential in Drinking Water", *Jour.AWWA.*, Vol.82, No.7, pp.78~86 (1990)
3. Van der Kooij, D., Visser, A., and Hijnen, W.A.M., "Determining the Concentration of Easily Assimilable Organic Carbon in Drinking Water", *J. AWWA*, Vol.74, No.10, pp.540~545 (1982).
4. APHA, AWWA, WEF, *Standard Methodes for the Examination of Water and Wastewater*, 19th ed. (1995)
5. Van der Kooij, D., "Assimilable Organic Carbone (AOC) in Drinking Water", in *Drinking Water Microbiology*, G.A. McFeter, ed., Springer-Verlag, New York, pp.57~87 (1990)
6. LeChevallier, M.W., Babcock, C.D., Lee, R.G., "Examination and Characterization of Distribution System Biofilms", *Appl. Envir. Micobial.*, Vol.53, No.12, pp.2714~2724(1987)
7. Van der Kooij, D. and Hijnen, W.A.M., "Measuring the Concentration of Easily Assimilable Organic Carbon(AOC) in Water Treatment as a Tool for Limiting the Regrowth of Bacteria in Distribution System", *Proc. 13th AWWA WQTC*, Houston, Texas, pp.729-744 (1985)
8. Van der Kooij, D., "Significance and Assessment of the Biological Stability of Drinking Water", *The Handbook of Environmental Chemistry*, Vol.5B, J.Hrubec, Vol.ed., Springer-Verlag, Berlin, pp.89~102 (1995)
9. 葉宣顯等, "配水管網水質維護研究-水中生物可利用有機碳(AOC)值之分析," 中華民國自來水協會專題研究報告 (1997, 8月)
10. Van der Kooij, D. & Veenendaal, H.R., *Determination of the Concentration of Easily Assimilable Organic Carbon (AOC) in Drinking Water with Growth Measurements Using Pure Bacterial Cultures*, SWE 95.002, KIWA, Nieuwegein, Netherlands (1995)

表 1 各淨水廠之處理程序及加藥量一覽表

| 淨水廠名稱      | 處理程序   | 總加氯量 (mg/L) | 硫酸鋁 (mg/L) |
|------------|--|-------------|------------|
| W.S.T. 淨水廠 | 原水 $\xrightarrow[\text{硫酸鋁}]{\text{加氯}}$ 快混 $\rightarrow$ 膠凝 $\rightarrow$ 沉澱 $\rightarrow$<br>過濾 $\xrightarrow{\text{加氯}}$ 清水 $\rightarrow$ 配水  | 2.3~3.0     | 9~31       |
| S.S. 淨水廠   | 原水 $\xrightarrow[\text{硫酸鋁}]{\text{加氯}}$ 混凝 $\rightarrow$ 沉澱 $\xrightarrow[\text{硫酸鋁}]{\text{加氯}}$ 混凝 $\rightarrow$<br>沉澱 $\rightarrow$ 快濾 $\xrightarrow{\text{加氯}}$ 清水 $\rightarrow$ 配水 | 5.2~19      | 33~91      |
| G.S. 淨水廠   | 原水 $\rightarrow$ RBC $\xrightarrow[\text{硫酸鋁}]{\text{加氯}}$ 混凝 $\rightarrow$ 沉澱 $\rightarrow$ 過濾<br>$\xrightarrow{\text{加氯}}$ 清水 $\rightarrow$ 配水   | 10~43.9     | 45~65.9    |

表 2 各配水系統之 AOC、NPDOC、HPC 及餘氯之比較

| 配水系統                | W.S.T.    | S.S.      | G.S.      |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| AOC(ug acetate-C/L) | 30~80     | 35~72     | 111~219   |
| NPDOC(mg/L)         | 0.87~1.75 | 1.14~1.96 | 1.97~4.01 |
| HPC(CFU/mL)         | 0~40      | 0~37      | 0~130     |
| 餘氯(mg/L)            | 0.9~1.4   | 0.8~1.4   | 1.1~1.5   |

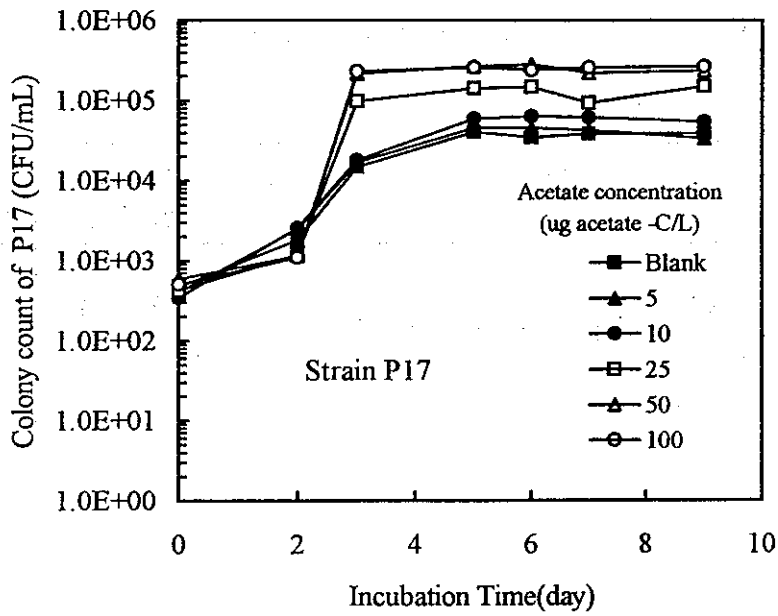


圖 1 *Pseudomonas fluorescens* strain P17 於各種 acetate-C 濃度下生長曲線之生長曲線

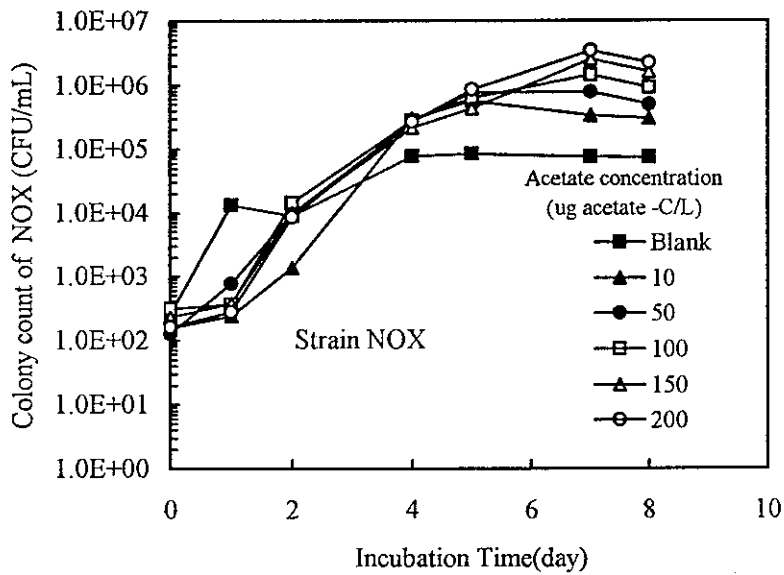


圖 2 *Spirillum species* strain NOX 於各種 acetate-C 濃度下之生長曲線

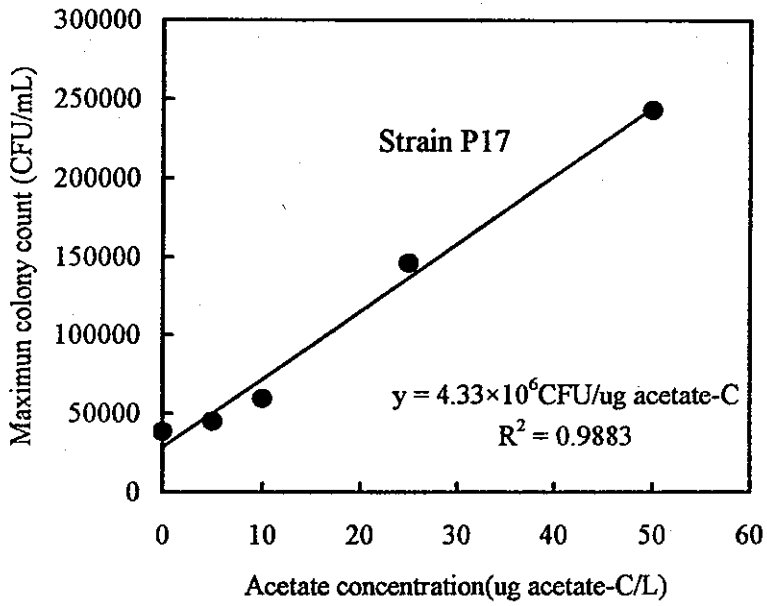


圖 3 *Pseudomonas fluorescens* strain P17 之最大菌落數與 acetate-C 之產率關係

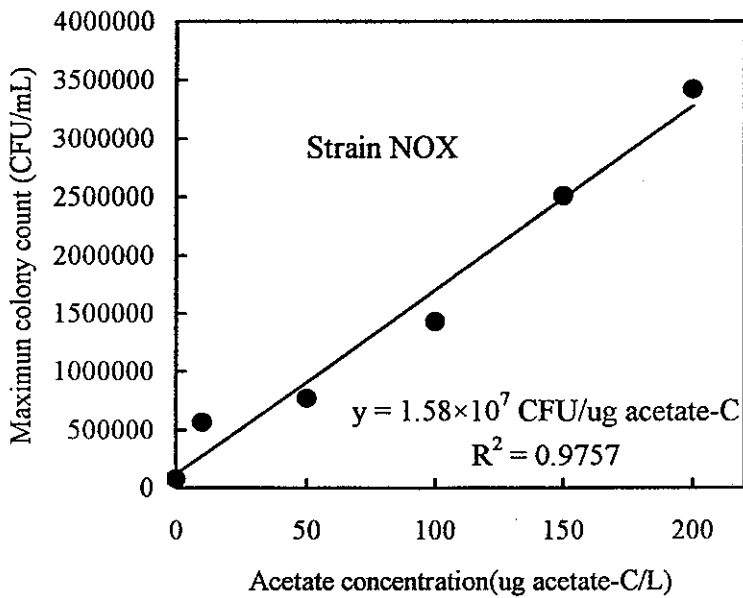


圖 4 *Spirillum species* strain NOX 之最大菌落數與 acetate-C 之產率關係

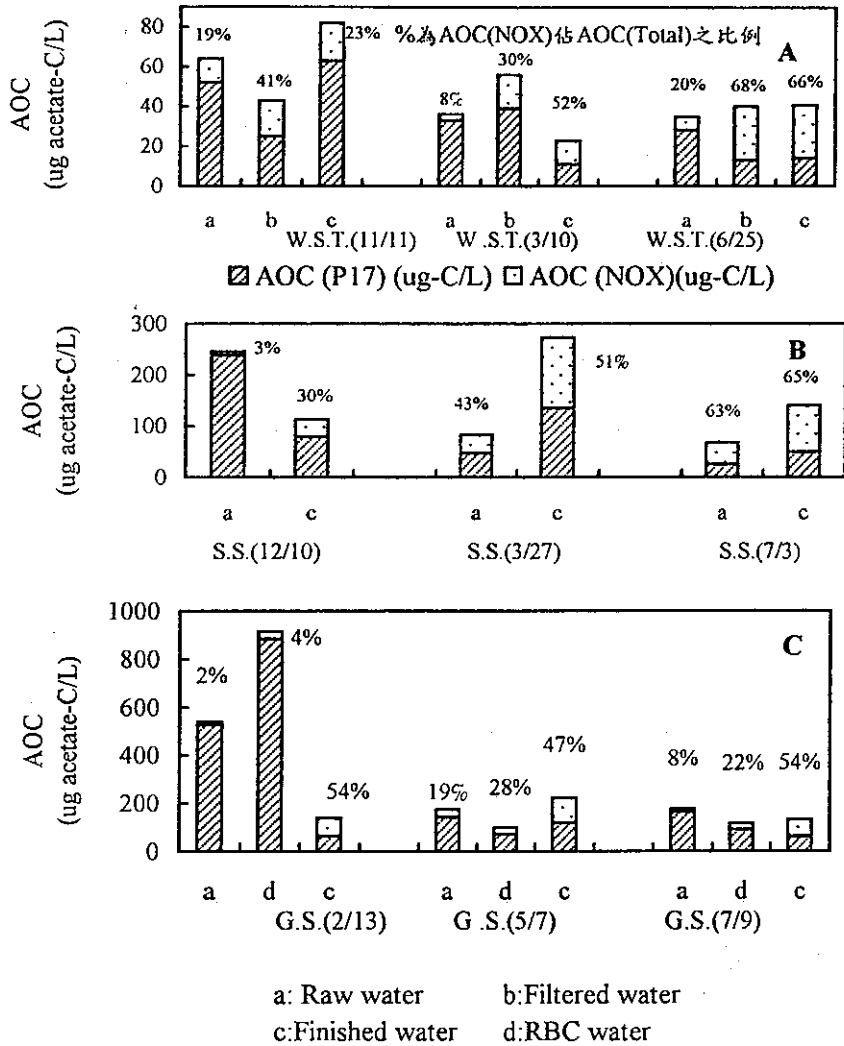


圖 5 各淨水廠之原水及處理單元出流水於不同季節採樣之AOC柱狀分布圖

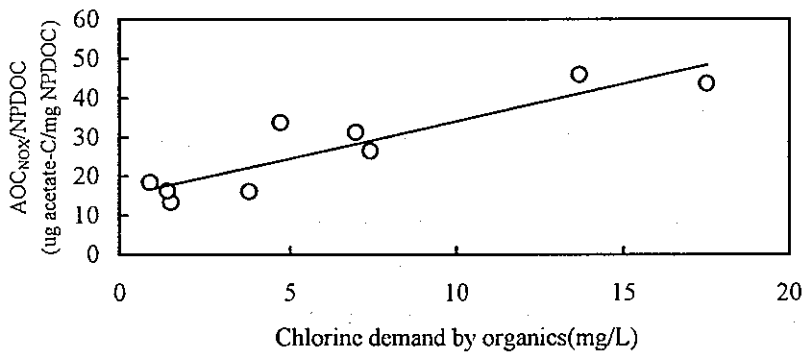
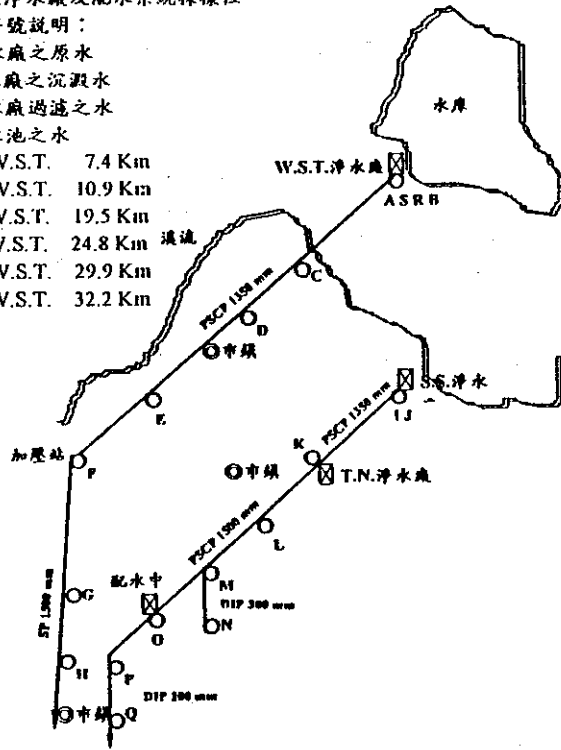


圖 6 各淨水廠清水池之 AOC<sub>NOX</sub>/NPDOC 值與有機物耗氣量之關係

W.S.T.淨水廠及配水系統採樣位置之符號說明：

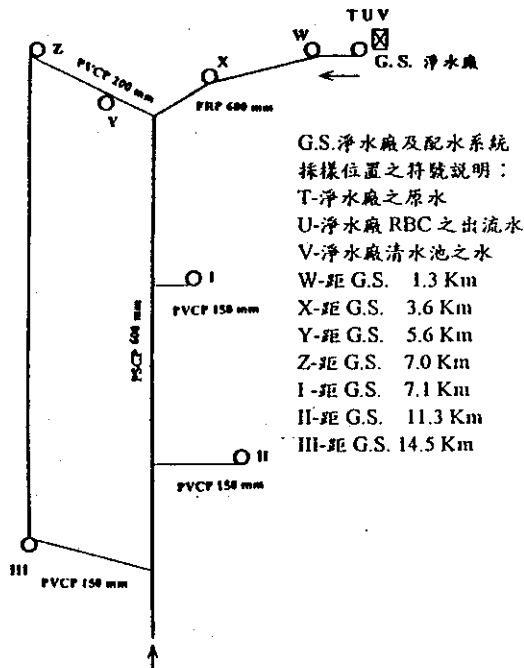
- A-淨水廠之原水
- S-淨水廠之沉澱水
- R-淨水廠過濾之水
- B-清水池之水
- C-距 W.S.T. 7.4 Km
- D-距 W.S.T. 10.9 Km
- E-距 W.S.T. 19.5 Km
- F-距 W.S.T. 24.8 Km
- G-距 W.S.T. 29.9 Km
- H-距 W.S.T. 32.2 Km



S.S.淨水廠及配水系統採樣位置之符號說明：

- I-淨水廠之原水
- J-淨水廠清水池之水
- K-距 S.S. 5.3 Km
- L-距 S.S. 10.0 Km
- M-距 S.S. 12.9 Km
- N-距 S.S. 16.4 Km
- O-距 S.S. 14.9 Km
- P-距 S.S. 17.4 Km
- Q-距 S.S. 19.0 Km

圖 7 W.S.T.及 S.S.配水管線系統之相關位置圖、管材、管徑及採樣點



G.S.淨水廠及配水系統採樣位置之符號說明：

- T-淨水廠之原水
- U-淨水廠RBC之出流水
- V-淨水廠清水池之水
- W-距 G.S. 1.3 Km
- X-距 G.S. 3.6 Km
- Y-距 G.S. 5.6 Km
- Z-距 G.S. 7.0 Km
- I-距 G.S. 7.1 Km
- II-距 G.S. 11.3 Km
- III-距 G.S. 14.5 Km

圖 8 G.S.配水管線系統之相關位置圖、管材、管徑及採樣點

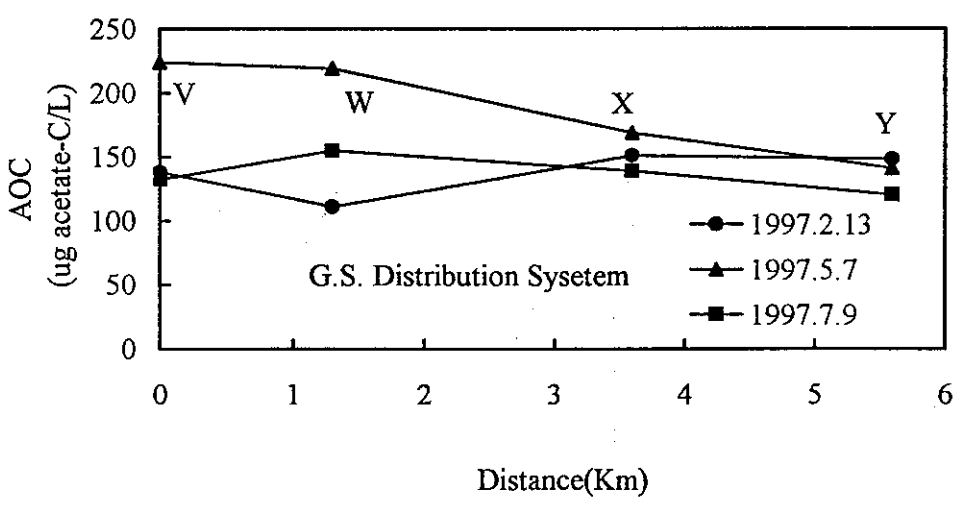
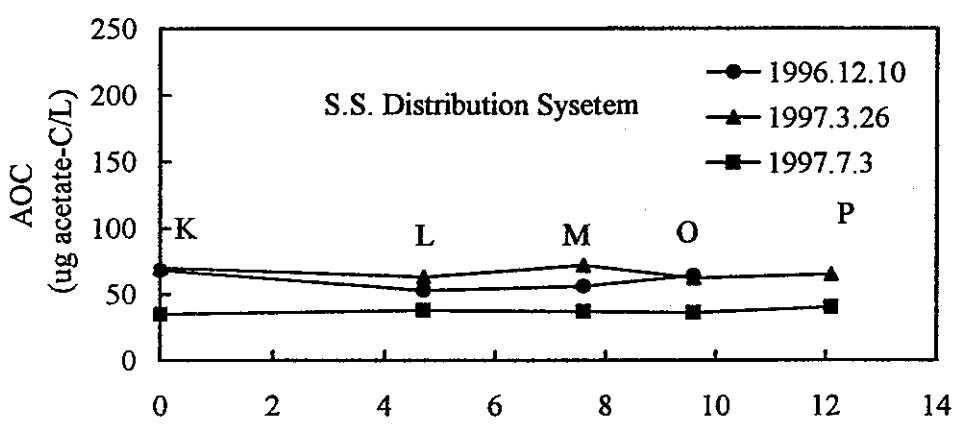
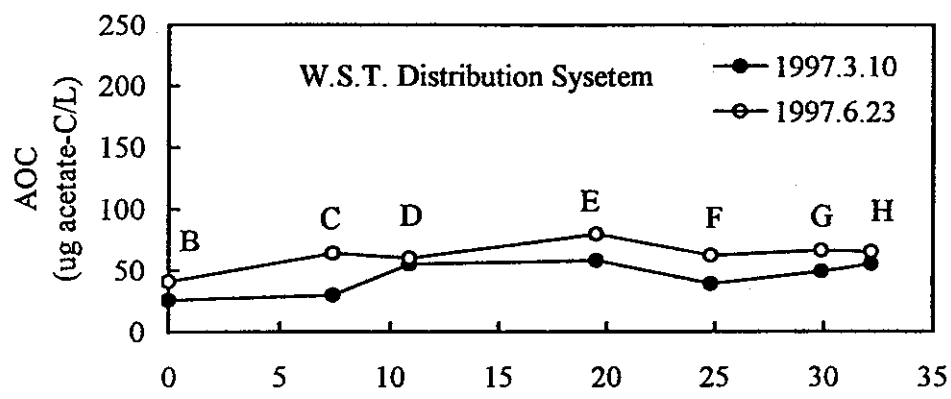


圖 9 各配水系統之 AOC 值比較

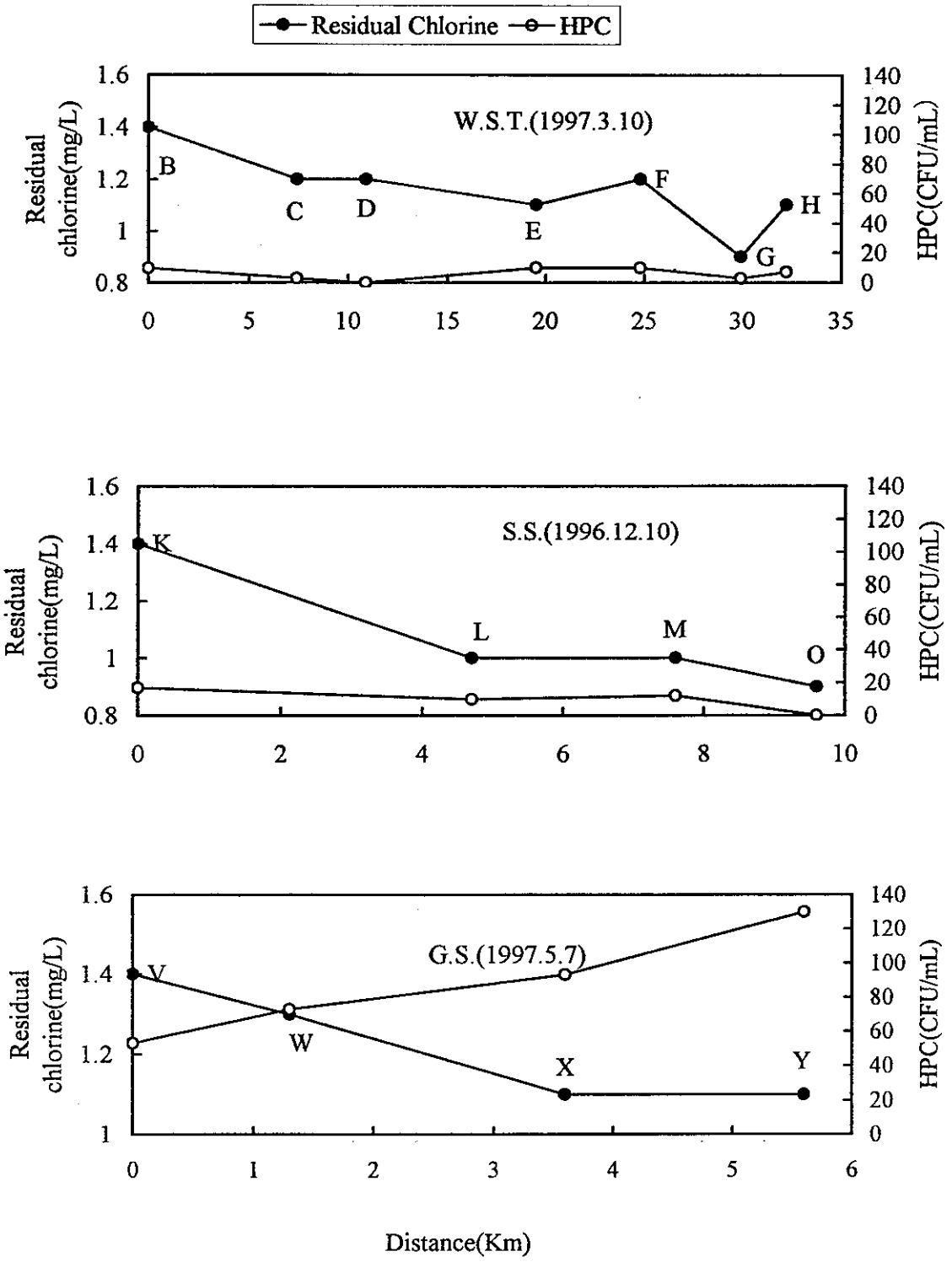


圖 10 各配水系統之餘氯及 HPC 值隨距離變化之關係圖

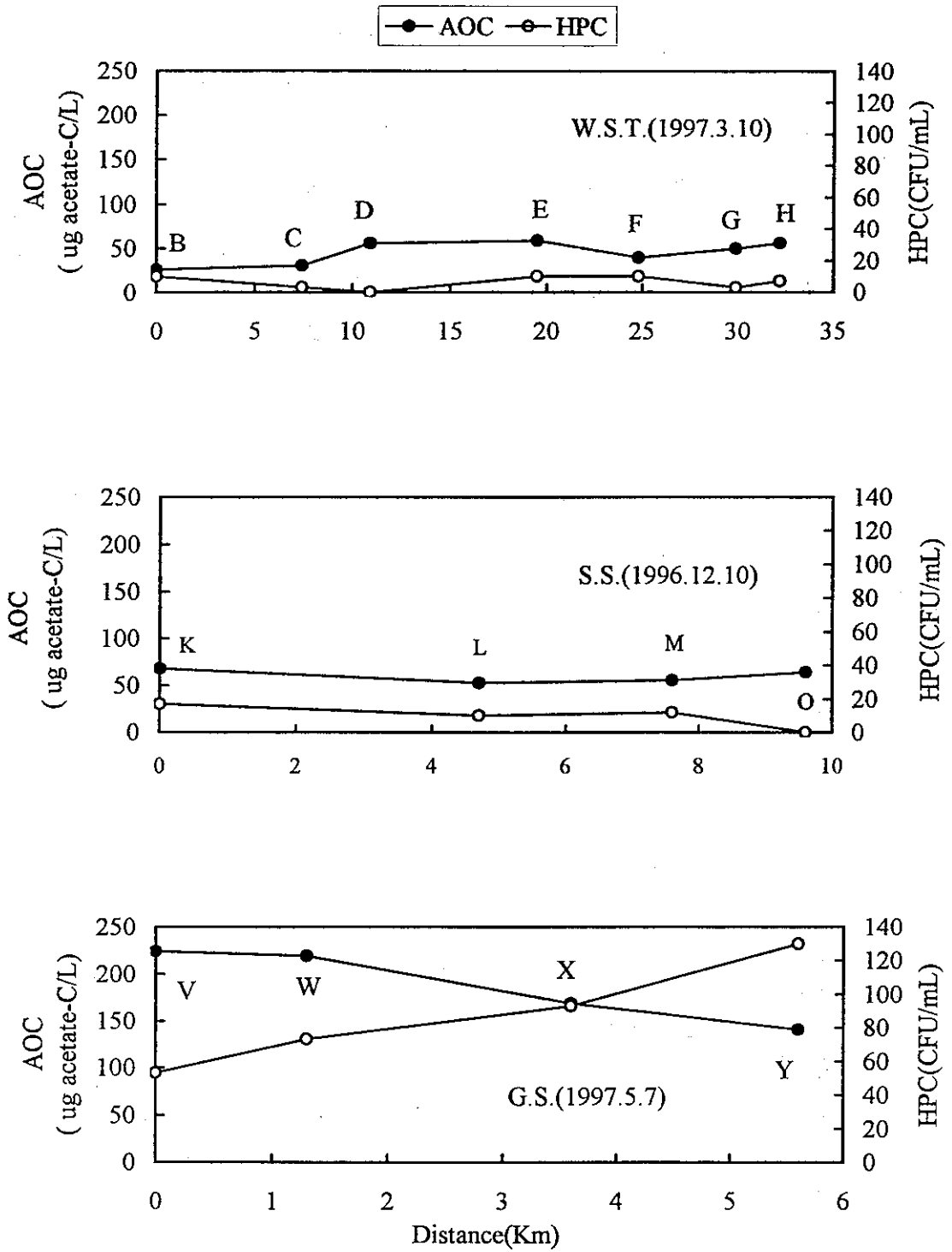


圖 11 各配水系統之 AOC 及 HPC 值隨距離變化之關係圖