

# 噬大腸菌體作為飲用水 水質微生物指標可行性之探討

The Potential of Coliphage as  
an Indicator Microorganism for Drinking Water

胡苔莉\*      許蕙琳\*\*

## 一. 緒 言

近年來，工業快速發展人口遽增，使國內許多公共給水的水源水質已日漸惡化。同時，隨著生活水準提高，國民對飲用水水質之要求，也日益嚴格。因此，供應安全的飲用水以確保國民健康，飲用水水質標準的提昇已為現今亟待努力之環保課題。

傳統之飲用水水質污染指標微生物為大腸菌類(coliforms) (APHA, 1985)。報告證實病毒在自然水域環境中的存活時間比 coliforms長，並且其對於水處理過程及加氯消毒的抵抗力也比 coliforms強(IAWPRC Study Group, 1983)。曾發現腸病毒存在於已經過處理、水質合於細菌性標準，即 coliforms 限值之飲用水中，而暴發了病毒性的水媒疾病，如流行性肝炎及非細菌性胃腸炎等( Committee Report, 1979、1981 )。由此可知，傳統的水質污染微生物指標 coliforms並無法對水質受病毒性感染提供相當的保證。因此，使用coliforms評估飲用水水質是否安全的可信賴度已被置疑。

測定水中是否含腸病毒的技術很困難，實驗時也存有高度的危險性，因此至目前為止，尚無訂定任何有關水中腸病毒所能允許存在濃度之標準(Dart and Stretton, 1980 )。為了克服腸病毒檢驗之不易，噬大腸菌之噬菌體( coliphage)已被建議作為水質受糞便污染及水中腸病毒是否存在的指標( IAWPRC Study Group,1983; Stettler, 1984; Grabow and Coubrough, 1986; O'Keefe and Green, 1989)。因為 coliphage在水樣中的存在量比腸病毒多，而Kott等在比較coliphage 與腸病毒的存活力時，也發現 coliphage 對自然水域環境及加氯消毒之抵

---

\* 逢甲大學環境科學系教授

\*\* 逢甲大學土木及水利工程研究所環工組碩士

抗力至少與腸病毒相當，且其被去除率亦與腸病毒類似，而二者之季節變化性亦相類似( Kott et al., 1974, 1978; Stettler, 1984)。

由於 coliphage 之檢驗比 coliforms 簡單、方便、經濟，以及在更短的時間就能得知結果( Kott et al., 1974; IAWPRC Study Group, 1983; Stettler, 1984; El-Abagy et al., 1988; Borrego et al., 1990)。所以，coliphage 為水質受糞便污染及水中腸病毒存在與否的理想指標。且 coliphage 之測試已被建議應列入日常水質檢驗計畫之中以確保水質安全( Grabow and Coubrough, 1986; El-Abagy et al., 1988; O'Keefe and Green, 1989; Ratto et al., 1989; IAWPRC Study Group, 1991)，而飲用水中 coliphage 存在濃度為 0 PFU/100ml 之限值也已被提出( Grabow and Coubrough, 1986)。本研究之目的即在探討以 coliphage 作為水質微生物指標的可行性及必要性，冀期能藉此提高飲用水之安全性。

本研究以 A、B、C 三個淨水廠的水樣為對象，分別測試進入淨水廠之原水及處理後清水水樣中，coliphage 及傳統細菌性指標總大腸菌類數(total coliforms)之含量。研究內容有下列三點：

1. 水樣的 coliphage 指標及 total coliforms 含量調查：用以了解水源中病毒性及細菌性含量之現況，並評估經處理後之存活量。
2. 比較 coliphage 指標與 total coliforms 指標之使用潛力，並探討其間是否具有相關性。
3. 加氯消毒對於水中病毒致死率之分析：用以了解加氯消毒對於消滅水中病毒之效果。

## 二. 材料與方法

A. Coliphage 之分析依 Grabow 與 Coubrough(1986)提出的 direct plaque assay 方法將無菌之 PAC( phage agar concentrate ) 100ml 置於 48°C 水浴器( water bath )中，然後以過濾器( advantec, KP-47S, TOYO Roshi Kaisha Ltd. )過濾水樣 100ml，並於濾液中加入 1ml Ca-solution 及 5 ml 植種細菌 *E. coli* C(ATCC 13082 購自食品工業發展研究所)，再將此混合液置於 48°C 水浴中，使水樣與 *E. coli* 接觸 3 min 後倒入 PAC 瓶中，上下輕輕翻轉使其混合均勻，然後再倒入無菌培養皿中，待其凝固後，以倒置培養(35±0.5°C) 16hr，最後以菌落計數器( colony counter, CC-560, SUNTEX)計數溶菌斑(plaque)形成數。

B. Total coliforms之含量以MF(membrane filter)方法偵測( APHA, 1985 )。將適當稀釋之水樣分別通過過濾器, 取下濾膜置於 M-Endo(Difco Ltd.)培養皿中, 以 $35\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  培養24+2hr 後, 所有在培養時間內, 產生之粉紅、深紅、及具有金屬光澤之綠色或深色菌落即為典型之 coliforms 菌落, 但對於可疑、顏色不易分辨的菌落, 需再挑出做確定試驗以鑑定之。

### C. 加氯消毒對 coliphage 致死率測定

#### 1. Coliphage 保菌:(李國鏞, 1984)

將50個溶菌斑接入無菌之PAC溶液中, 並加入1.5ml連續活化48小時之 *E. coli* 菌液, 然後置入 $35^{\circ}\text{C}$ 培養箱, 使 coliphage 與 *E. coli* 接觸15分鐘後, 滴入一滴氯仿殺菌, 再移入冰箱內儲存。此 coliphage 菌液在 $4^{\circ}\text{C}$ 冰箱中可儲存 2 星期, 濃度大約為10 PFU/1ml PAC。

#### 2. 致死率分析實驗:(Stagg et al., 1977; Keswick et al., 1985)

自冰箱中取出上述之 coliphage 保存液, 回溫後取出適量接入1.5 ml *E. coli* 菌液, 使 coliphage 與 *E. coli* 接觸15分鐘後過濾, 濾液經適當稀釋後, 分裝至玻璃瓶中, 並分別加入不同濃度的氯液(氯水), 氯液濃度以DPD法分析( APHA, 1985 )。接觸反應時間模擬A淨水廠自加氯至清水池前之過程大約為2小時, 時間一到即以 2滴 0.05N Sodium thiosulfate 停止反應, 實驗過程中均以磁石攪拌器(stirrer/hotplate, PC-320, CORNING)充分攪拌。然後使用 direct plaque assay 方法偵測原濾液及各個不同加氯濃度濾液中 coliphage 的殘存濃度。

## 三. 結果與討論

本研究以 A、B 及 C 三個淨水廠的水樣為對象, 分別檢測進入淨水廠之原水及處理後清水中 coliphage 及 total coliforms 之含量。三廠之採樣檢驗數分別為A廠 12次、B 廠 7次及C廠9次。A、B 二廠原水中, 每次檢測均測得 coliphage, 其平均含量分別為39 PFU/100ml 及 $7.3\times 10^2$  PFU/100ml, 而 C 廠水樣在9次採樣檢驗中, coliphage 均未被檢測出(表一)。coliphage 檢驗技術之標準偏差經計算分別為A廠 0.95及 B廠 2.87, 經統計推定(statistical inference), 估計本研究之檢驗結果至少有 95%之可信賴度, 並且誤差值分別不超過 0.56(A廠) 及 2.30(B廠)。

本研究從 coliphage 偵測方法之選擇, 以了解原水及清水水質微生物之變動情形, 水中 coliphage 與 total coliforms 含量關係及其使用潛力, 以及 coliphage 致死最小加氯量。

### 3-1 Coliphage偵測方法之選擇

一般 phage之偵測，在實驗室中最常使用的方法為 double-agar-layer(DAL)技術(Adams, 1959)，或者利用濃縮的方式(Cappuccino and Sherman, 1987)以分析水中少量的 phage，但由於後者操作步驟繁雜，故初期未開始進行正式採樣檢驗前(民國80年 2月~9月)，使用 DAL法偵測水廠原水中之 phage。原水經 1、10、100 倍稀釋培養後，三者的水樣中皆無溶菌斑出現，故只能判斷水樣中之 coliphage 含量低於1 PFU/ml，而無法得知其確實存在量。Grabow 與 Coubrough(1986) 提出 direct plaque assay(DPA)方法，此法主要免除過濾水樣以濃縮 phage 之過程，可適用於檢測飲用水，即大體積水樣中之 phage，因此正式採樣時改採此法來偵測 coliphage。於80年 9月 4日利用DPA法與DAL法分析同一水廠之原水，由DPA法測得23 PFU/100ml，而DAL法則仍無檢出 coliphage(表二)。DAL法與DPA法之比較，依培養基、偵測水樣體積、培養時間、單層或雙層 agar 之不同，列於表三。因DAL方法只能針對1ml水樣進行檢測，若水樣中 coliphage 含量低於1 PFU/ml時，此法便無法檢出；而 DPA 方法可直接偵測 100 ml 水樣中所含之 coliphage，甚至可檢出 1 PFU/100ml的濃度，故此法在靈敏度、可信度及準確度上均比其它方法高(Grabow and Coubrough,1986)。

此外，在實驗室中亦利用兩法以偵測自行配製已知 coliphage 濃度之水樣，以比較兩法之靈敏度。結果顯示若以幕次表示溶菌斑數，其數值差不多，但實際個數顯示使用 DPA 法測得 coliphage數值要比DAL法偵測結果稍微高(表四)。Grabow 及 Coubrough(1986) 曾對四種偵測 coliphage方法進行比較，其中使用DAL與DPA方法檢測 31個河川水樣、19個污水處理廠放流水水樣及飲用水水樣時，以 DAL法檢測出之正反應樣品數分別是25 (河川水樣)個及12(污水處理廠放流水水樣)個，以 DPA法檢測出之正反應樣品數則分別為 30(河川水樣)個及 19(污水處理廠放流水水樣)個。至於飲用水水樣，雖然以兩法皆無檢測出正反應之樣品，無法達到比較的目的；但其指出 DPA 法在執行上較為簡單、方便且迅速，故對於日常之飲用水水質例行檢驗而言，是一較合適方法。

### 3-2 原水水質

飲用水的水質與水源水質有非常密切的關係，水源水質若受到家庭、農業、工業等廢水的污染，則淨水操作將較困難，不易得到較乾淨的飲用水(謝啓男，1990)。

從本研究之檢驗結果可看出, B廠原水中平均之 coliphage 及 total coliforms 濃度(表一)明顯地比其它兩廠高出許多(表五)。參照水體分類及水質標準中之細菌性標準, 目前B淨水廠原水水質中之大腸菌類屬含量為  $3.3 \times 10^4$  CFU/100ml, 超過標準中之丙類河川(total coliforms  $> 1.0 \times 10^4$  CFU/100ml)。A 淨水廠目前原水中平均之 coliphage 濃度為 39 PFU/100ml、total coliforms 濃度為  $1.6 \times 10^4$  CFU/100ml(表五), 參照水體分類及水質標準中之細菌性標準, 水質也比丙類河川差。反觀另一個採用地下水源的 C 淨水廠, 從檢測結果可看出其原水水質比其它兩個採用地表水為水源的 B 與 A 廠明顯地好出很多, 此亦反映出地表水源日益遭受污染的嚴重問題。

檢驗 coliphage 時, A、B廠原水中 coliphage 在培養基上會造成大、小二種的溶菌斑, 大的溶菌斑本疑為細菌 Bdellovibrio sp. 感染 E. coli 所造成( Mitchell, 1978 )。因 Bdellovibrio sp. 之菌體一般為  $0.3 \sim 0.4 \mu\text{m}$  ( Stanier et al. 1986 ), 故以  $0.2 \mu\text{m}$  之濾膜過濾水樣, 濾膜可將 Bdellovibrio sp. 及 E. coli 均留在膜上, 由此濾液產生之溶菌斑仍顯示大小二種型式, 故證實所產生的溶菌斑為 coliphage 所造成。

### 3-3 原水微生物水質之變動情形

A、B及C三廠原水中 coliphage 與 total coliforms 在採樣期間(80年 9、10、11、12月及81年 1月)平均含量分別為 coliphage: A廠 44、29、50、37、42 PFU/100ml; B廠 29、59、94、85、93 PFU/100ml, C廠皆未發現; total coliforms: A廠  $1.5 \times 10^4$ 、 $1.3 \times 10^4$ 、 $1.9 \times 10^4$ 、 $1.6 \times 10^4$ 、 $1.7 \times 10^4$  CFU/100ml; B廠  $2.7 \times 10^4$ 、 $3.1 \times 10^4$ 、 $3.6 \times 10^4$ 、 $3.3 \times 10^4$ 、 $3.6 \times 10^4$  CFU/100ml; C廠 4、3、2、2 CFU/100ml, 變動情形則如圖一(a、b)所示。從圖中可看出, 兩個採用地表水作為水源的 A 及 B 淨水廠, 其原水中之 coliphage 及 total coliforms 含量在較冷的月份有增加的現象。因台灣中南部在冬季屬枯水期, 河川水量較小, 故污染濃度較高。而地下水水量穩定且因土壤自淨作用之故, 水質良好, 採用地下水為水源之 C 淨水廠原水中, total coliforms 含量與 A 及 B 廠比較起來非常低, 且不曾發現有 coliphage 存在。

### 3-4 水中 coliphage 與 total coliforms 含量關係及其使用潛力

A、B廠原水中之 coliphage 與 total coliforms 數值經迴歸分析後, 所得之關係如圖二(

a、b)所示，兩者間之關係係數  $r^2$ ，在水質輕度受污染之A淨水廠原水中為 0.84、在水質嚴重受污染之B淨水廠原水中為0.88，而在 total coliforms含量非常低之C淨水廠地下水源中因沒有發現coliphage的存在，故無法迴歸。

從圖二(a、b)可看出，水中 coliphage 與 total coliforms 之含量關係呈曲線變化。O'Keefe and Green (1989)曾比較 coliphage 與細菌性指標 total coliforms 及 faecal coliforms在三個娛樂用水水樣中含量之相關性，其結果指出coliphage與coliforms存在量有高度之相關性，尤其在污染較嚴重的水中，關係更明顯，而 coliphage與 total coliforms之關係亦呈與本研究相似之曲線，coliphage與faecal coliforms則呈現較似直線之關係。Qureshi and Qureshi(1990)亦曾討論污水中此三種指標間之關係，結果發現 coliphage 與 faecal coliforms間呈直線關係，但在其研究中 coliphage與 total coliforms 間之關係並不明顯。

Total coliforms包括 Escherichia coli、Enterobacter sp.、Klebsiella sp.、Citrobacter sp.(Pelczer et al., 1986)，其中僅有 E. coli 完全源自於溫血動物的糞便，其它的coliforms 雖然也可能在溫血動物的糞便中出現，但與 E. coli 比較，所占的數量非常少(APHA, 1985; Pelczer et al., 1986)。這些以糞便為來源 (faecal origin)的 coliforms 即稱為 faecal coliforms(APHA, 1985)。Coliphage 為感染 E. coli 的病毒，所以其與以E. coli 占多數的 faecal coliforms間呈直線關係，而 coliphage對 total coliforms則呈現感染率較 faecal coliforms 小的曲線關係。

以一個理想之水質指標微生物應具備之條件而言，當致病菌存在時，其也要能夠存在 (R'Kfir, 1989)，然而曾有報告發表在已不含total coliforms 及 faecal coliforms的飲用水中發現coliphage的存在(El-Abaay et al., 1988; Ratto et al., 1989)，故以 coliphage 與 coliforms對水質安全之評估能力而言，coliphage 要比 coliforms更適合作為水質遭受糞便污染的指標微生物，也就是以 coliphage 作為飲用水水質微生物指標之使用潛力要比 total coliforms為強。

### 3-5 Coliphage致死最小加氯量

本研究內容之一在探討加氯消毒對coliphage致死之最小量劑，對一含已知濃度coliphage之模式水樣施以不同氯濃度後，所得之 coliphage致死殘存曲線如圖三所示。在含約  $8.0 \times 10^2$  PFU/100ml之模式水樣中，使水樣中之 coliphage 去除 90%所需之氯量約為4.7 mg/l。由圖中亦看出，欲使模式水樣中 coliphage 完全致死所需之氯量大約為 9 mg/l。目前 B 廠原水中

之 coliphage 平均含量為  $7.3 \times 10^2$  PFU/100ml, 加氯量平均高達 20 mg/l (私人通訊)。理論上, 其用以消滅水中 coliphage 之加氯量約只需 9 mg/l, 而其它之氯量是用以處理其惡劣之原水水質, 例如水中之細菌與有機物等。而 A 廠原水中 coliphage 平均含量為 39 PFU/100ml, 理論上去除 90% coliphage 需要 4.7 mg/l 之氯量, 目前 A 廠之加氯量平均為 1.5 mg/l (私人通訊), 除了曾有二次於清水中發現 1 PFU/100ml coliphage 外, 消毒後之清水大致尚能符合細菌性標準 (表六)。

而氯對 *E. coli* 之致死率由圖四顯示, 在含  $1.8 \times 10^3$  CFU/100ml *E. coli* 之模式水樣中加入 1mg/l 的氯量時, 水樣中之 *E. coli* 即已完全被去除。同時, *E. coli* 致死曲線的斜率要比 coliphage 致死曲線斜率大, 亦證實 coliphage 對於加氯消毒的抵抗力的確比 *E. coli* 強。

### 3-6 清水水質

三廠之清水微生物水質 (表六) 除了在 A 廠清水中有兩次發現 coliphage 外, 整體而言尚合乎飲用水水質微生物性標準。而在 A 廠發現 coliphage 的兩個水樣中並無 total coliforms 的存在, 此與 El-Abaay et al. 檢測 Egypt 之飲用水 (1988) 及 Ratto et al. 檢測 Peru 之飲用水 (1989) 之結果相同。由此更明瞭 coliphage 對於水處理過程的抵抗力的確比 coliforms 強, 所以使用 coliphage 取代 total coliforms 以作為飲用水中致病性細菌及病毒之指標, 確實有其必要性。

因於 A 廠清水中曾發現 coliphage 的存在 (表六), 故本研究另外針對 A 廠供水用戶進行採樣檢驗。用戶 I 15 次及用戶 II 7 次的採樣檢驗結果, 皆未發現 coliphage 及 total coliforms (表七)。對於未受嚴重污染之水源, 一般淨水過程應可將水中病毒完全去除, 所以猜測可能於清水中發現 coliphage 的當天, 水廠原水水質較差, 或是水處理不當所致。雖然只會於 A 廠清水中發現 coliphage, 但 B 廠的加氯量遠超過理論加氯量, 加入高量的氯當然可增加致病菌被去除的效率, 但同時亦可能會產生三鹵甲烷類的致癌物質, 實為一大隱憂。

依檢驗結果, A、B 廠目前原水之細菌性水質皆低於丙類河川 (適用於三級公共給水), 即此兩廠之水源皆已受到相當程度之污染, 水質需經特殊或高度處理後方可適用。使用水質受污染的河川來做為飲用水水源實屬不當, 但台灣目前因工業發展及人口增加快速, 所以使得許多作為飲用水水源之水質, 皆已受到不同程度的污染。而本研究對 A、B 廠原水之檢驗, 每次檢驗均檢測出 coliphage, 並且也發現 coliphage 與傳統細菌性指標 total coliforms 二者間具有高度的相關性, 故建議應增列 coliphage 檢驗為一般水質檢驗項目之一。

表一 A、B、C 淨水廠原水水樣微生物分析結果  
A廠

日期	coliphage (PFU/100ml) x10	total coliforms (CFU/100ml) x10 <sup>4</sup>
9/4	2.3	1.4
9/6	8.6	1.9
9/17	5.1	1.6
9/25	1.4	1.2
10/9	1.6	1.1
10/23	4.2	1.5
11/21	5.0	1.9
12/5	3.4	1.5
12/12	4.5	1.8
12/18	3.7	1.6
12/26	3.0	1.5
1/10	4.2	1.7

B廠

日期	coliphage (PFU/100ml) x10	total coliforms (CFU/100ml) x10 <sup>4</sup>
9/13	2.9	2.7
10/3	10.0	4.1
10/18	1.8	2.0
11/7	9.4	3.6
12/9	8.5	3.3
1/8	8.9	3.7
1/23	9.7	3.4
2/21	>10.0	4.8

C廠

日期	coliphage (PFU/100ml)	total coliforms (CFU/100ml)
9/20	0	3
9/26	0	5
10/17	0	2
10/30	0	3
11/8	0	1
11/15	0	2
11/27	0	2
12/3	0	1
12/20	0	3

表二 比較double-agar-layer法與direct plaque assay法  
對coliphage之偵測

地點	日期	coliphage	
		a(PFU/ml)	b(PFU/100ml) x10 <sup>2</sup>
A 廠	2/1	0	
取水口			
"	2/22	0	
"	3/7	0	
"	4/30	0	
"	5/9	0	
"	6/28	0	
"	9/4	0	2.3
"	9/6		8.6
"	9/17		5.1
"	9/25		1.4

a:double-agar-layer法  
偵測水樣為 1ml(稀釋度為 1、10<sup>-1</sup>、10<sup>-2</sup>)  
b:direct plaque assay法  
偵測水樣為 100ml

表三 coliphage偵測方法之比較

	a	b
培養基	上層:Tryptone Soft Agar 下層:Tryptone Agar	PAC
水樣體積	1ml	100ml
培養時間	24hr	16hr
單層或雙層 agar	單	雙

a:double-agar-layer法  
b:direct plaque assay法

表四 coliphage偵測方法靈敏度之比較

檢驗次	coliphage(PFU/ml) x10 <sup>2</sup>	
	a	b
1	0.50	0.60
2	0.30	0.54
3	0.30	0.57
4	16.90	17.60
5	8.30	8.43
6	148.50	152.00

a:double-agar-layer法  
b:direct plaque assay法

表五 三水廠原水及清水中, coliphage (a) 與 total coliforms (b) 之平均含量, 及水處理過程對其分別之去除率

水廠	原水 (/100ml)		清水 (/100ml)		去除率 (%)	
	a (PFU) x10 <sup>2</sup>	b (CFU) x10 <sup>4</sup>	a (PFU)	b (CFU)	a	b
A 廠	0.39	1.6	< 1	0	>99.9	>99.9
B 廠	7.3	3.3	0	0	>99.9	>99.9
C 廠	0	0.0002	0	0	—	>99.9

a:coliphage  
b:total coliforms

表六 A、B、C 淨水廠清水水樣微生物分析結果  
A廠

日期	coliphage (PFU/100ml)	total coliforms (CFU/100ml)
9/4	0	0
9/6	1	0
9/17	0	0
9/25	1	0
10/9	0	0
10/23	0	0
11/21	0	0
12/5	0	0
12/12	0	0
12/18	0	0
12/26	0	0
1/10	0	0

B廠

日期	coliphage (PFU/100ml)	total coliforms (CFU/100ml)
9/13	0	0
10/3	0	0
10/18	0	0
11/7	0	0
12/9	0	0
1/8	0	0
1/23	0	0
2/21	0	0

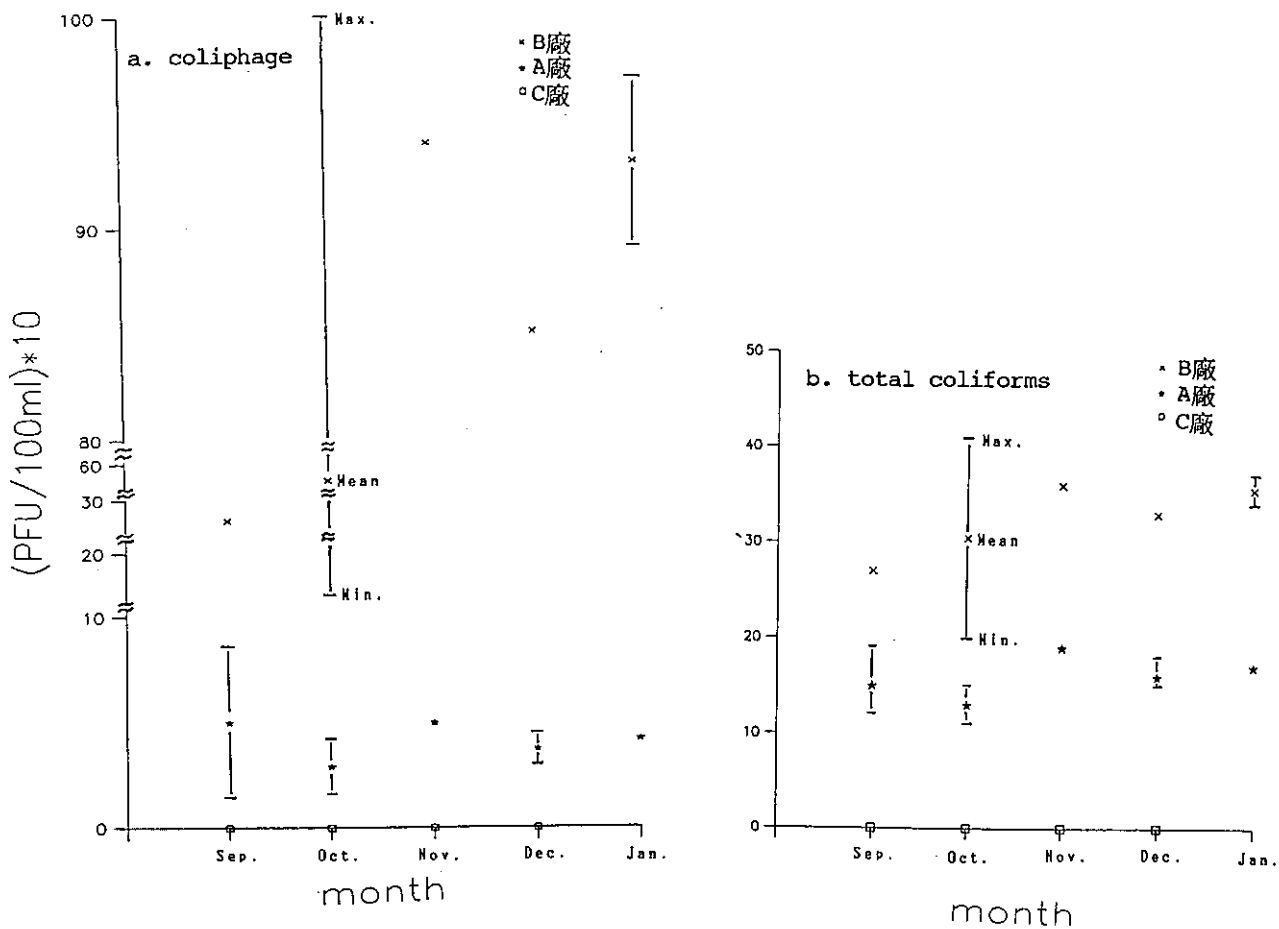
C廠

日期	coliphage (PFU/100ml)	total coliforms (CFU/100ml)
9/20	0	0
9/26	0	0
10/17	0	0
10/30	0	0
11/8	0	0
11/15	0	0
11/27	0	0
12/3	0	0
12/20	0	0

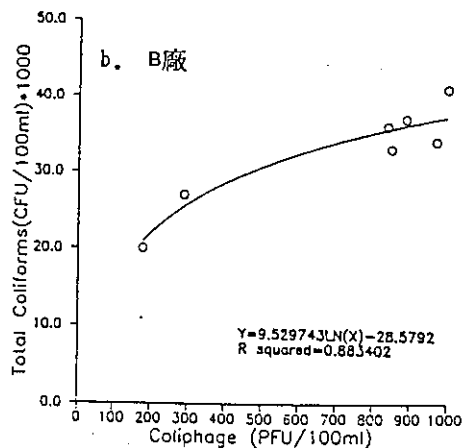
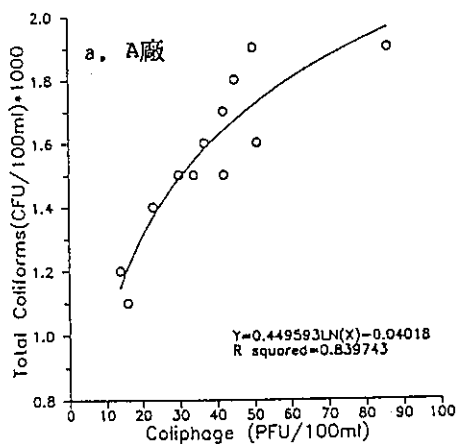
表七 A 淨水廠供水用戶飲用水中 coliphage(a)及total coliforms(b)之濃度

日期	用戶 I		用戶 II	
	a (PFU/100ml)	b (CFU/100ml)	a (PFU/100ml)	b (CFU/100ml)
3/10	0	0		
3/11	0	0		
3/12	0	0		
3/13	0	0		
3/16	0	0		
3/17	0	0		
3/18	0	0		
3/19	0	0		
3/20	0	0	0	0
3/23	0	0	0	0
3/24	0	0	0	0
3/31	0	0	0	0
4/7	0	0	0	0
4/14	0	0	0	0
4/21	0	0	0	0

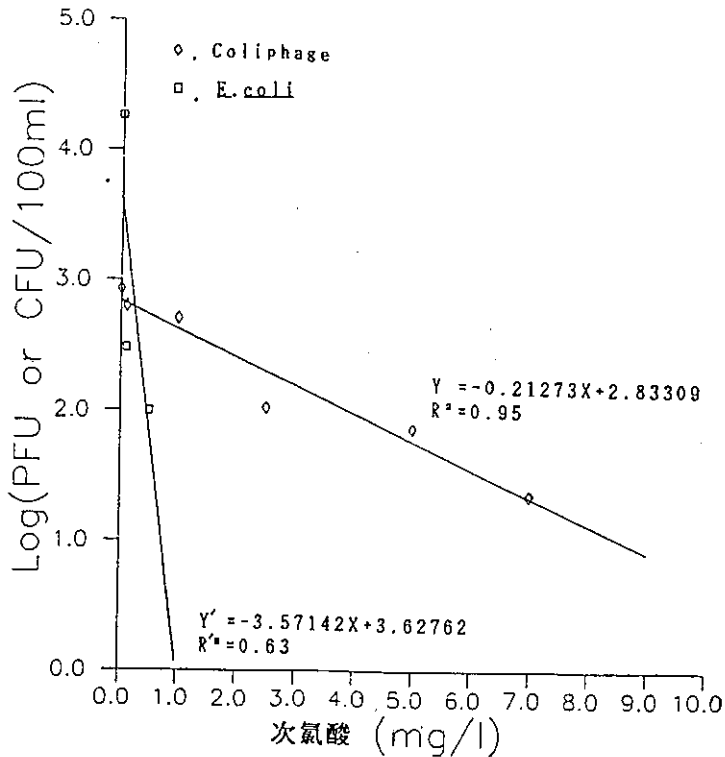
A: coliphage  
B: total coliforms



圖一 A、B、C 淨水廠原水微生物水質變動情形  
 a. coliphage  
 b. total coliforms



圖二 coliphage 與 total coliforms 含量關係  
 a. A 淨水廠原水  
 b. B 淨水廠原水



圖三 次氯酸對 coliphage 及 E. coli 致死殘存曲線

## 五. 結 論

1. 水質已受不同程度污染的 A 及 B 淨水廠原水中, coliphage 之平均含量分別為 39 PFU/100 ml 及  $7.3 \times 10^2$  PFU/100ml, total coliforms 為  $1.6 \times 10^4$  CFU/100ml 及  $3.3 \times 10^4$  CFU/100 ml; 而在以地下水做為水源之 C 淨水廠原水中, 則未發現有 coliphage 的存在, total coliforms 平均含量為 2 CFU/100ml。關於三廠清水中 coliphage 之含量, 除了在 A 廠於 80 年 9 月 6 日及 25 日分別檢測出 1 PFU/100ml 外, 於 B、C 廠則沒有發現 coliphage 存在; total coliforms 在三廠清水中皆未發現。
2. 原水水樣中 coliphage 與 total coliforms 呈曲線關係, 其關係係數分別為 0.84 (A 廠) 及 0.88 (B 廠)。於水質合於細菌性標準之清水中曾發現 coliphage 的存在, 故建議應使用 coliphage 做為飲用水水質衛生指標, 並增列 coliphage 檢驗為例行水質檢驗項目之一, 以保障全體國民飲水安全。
3. 含  $8.0 \times 10^2$  PFU/100ml coliphage 之模式水樣, 去除 90% coliphage 約需 4.7 mg/l 的氯量。針對含少量 coliphage 之水樣, direct plaque assay (DPA) 方法執行時的確很簡便, 且在很短的時間內 (16hr) 就可得知結果。此結果可提供作為飲用水 coliphage 例行檢測方法之參考。

## 參考文獻

- 謝啓男(1990)"淨水工程的問題與展望", 第七屆自來水論文發表會論文集, 中華民國自來水協會, pp.51-66。
- Adams M.H. ed.(1959) "Bacteriophages", Interscience Publishers, New York.
- American Public Health Association(1985)"Standard methods for the examination of water and wastewater",16th ed. American PublicHealth Association, Washington,D.C.
- Borrego I.J., Cornax R., Morinigo M.A., Martinez-Manzanares E., and Romero P.(1990) "Coliphage as an indicator of faecal pollution in water. Their survival and productive infectivity in natural aquatic environments",Wat. Res. 24:111-116。
- Cappuccino J.G. and Sherman N.(1987)"Microbiology : a laboratory manual", Benjamin/Cummings Publishing Co.Inc., New York。
- Committee Report(1979)"Viruses in drinking water",J. Am. Wat. Wks. Ass. 71:441-444。
- Committee Report(1981)"Waterborne disease in the United States and Canada", J. Am. Wat. Wks. Ass. 73:528-529。
- Dart R.K. and Stretton R.J.(1980)"Fundamental aspects of pollution control and environmental science 6:Microbiological aspects of pollution control",2nd ed.Elsevier Scientific Publishing Company, New York。
- El-Abagy M.M., Dutka B.J., and Kamel M.(1988)"Incidence of coliphage in potable water supplies", Appl. Environ. Microbiol. 54:1632-1633。
- Grabow W.O.K.(1986) "Indicator systems for assessment of the virological safety of treated drinking water", Wat. Sci. Tech. 18:159-165。
- Grabow W.O.K. and Coubrough P.(1986)"Practical direct plaque assay for coliphage in 100-ml samples of drinking water", Appl. Environ. Microbiol. 52:430-433。
- IAWPRC Study Group on Virology(1983)"The health significance of viruses in water", Wat. Res. 17:121-132。
- IAWPRC Study Group on Health Related Water Microbiology(1991)"Bacteriophages as model viruses in water quality control", Wat. Res. 25:529-545。

- Keswick B.H., Satterwhite T.K., Johnson P.C., Dupout H.L., Secor S.L., Bitsura J.A., Gary G.W., Hoff J.C.(1985)"Inactivation of Norwalk virus in drinking water by chlorine", Appl. Environ. Microbiol. 50:261-264 ◦
- Kott Y., Roze N., Sperber S., and Betzer N.(1974)"Bacteriophages as viral pollution indicators", Wat. Res. 8:165-171 ◦
- Kott Y., Ben-Ari H., and Vinokur L.(1978)"Coliphage survival as viral indicators in various wastewater quality effluent", Prog. Water Technol. 10:337-346 ◦
- Mitchell R.(ed.)(1978)"Water Pollution Microbiology",Wiley-Interscience ◦
- O'Keefe B. and Green J.(1989)"Coliphage as indicators of faecal pollution at there recreational beaches on the firth of forth", Wat. Res. 23:1027-1030 ◦
- Pelczer M.J., JR., Chan E.C.S., Krieg N.R.(1986)"Microbiology", 5th ed. McGraw-Hill book Company, New York ◦
- Qureshi M.a. and Qureshi A.A.(1990)"Efficiency of removal of coliforms, faecal coliforms and coliphages in the tubli sewage treatment plant, Bahrain",Wat. Res. 24:1459-1461 ◦
- Ratto A., Dutka B.J., Vega C., Lopez C., and El-Shaapawi A.H.(1989)"Potable water safety assessed by coliphage and bacterial tests", Wat. Res. 23:253-255 ◦
- R'Kfir D.Sc.(1989)"Recommended health guidelines for drinking water", Community Health in South Africa, November/December ◦
- Stagg C.H., Wallis C., and Ward C.H.(1977)"Inactivation of clay-associated bacteriophage MS-2 by chlorine", Appl. Environ. Microbiol. 33:385-391 ◦
- Stanier R.Y.,Ingraham J.l.,Wheelis M.L. and Painter P.R.(1986)"The microbial world" 5th ed Prentice-Hall,Inc ◦
- Stettler R.E.(1984)"Coliphage as indicator of enteroviruses",Appl. Environ. Microbiol. 48:668-670 ◦