

台灣火車站自來水基本水質與消毒副產物現況調查

陳峙霖¹ 馬英石² 吳家興³ 張鎮南⁴

摘要

火車站為人口高度流動的大眾場合，足以代表一個縣市的自來水水質狀況，因此本研究群對全台灣 16 個縣市的火車站的自來水進行採樣，採樣時間為民國 89 年 2 月及 4 月，所採集 16 個縣市之樣本於現場與實驗室分別進行多項水質分析及消毒副產物現況之調查。結果顯示全台灣 16 個縣市之車站自來水之基本水質大都符合現行飲用水法規標準，但總溶解固體物及硬度之數值則有多數樣本無法符合 92 年 7 月 1 日施行之標準，在 THMs 部分主要的物種以氯仿為主，各車站採樣平均值以台北的 21.4 $\mu\text{g/L}$ 及宜蘭的 4.5 $\mu\text{g/L}$ 較低，而台南的 103.8 $\mu\text{g/L}$ 及高雄的 124.5 $\mu\text{g/L}$ 則偏高，需要加以注意。HAAs 主要測得物種為 Monochloroacetic acid (MCAA) 與 Dichloroacetic acid (DCAA)，其中以苗栗車站所測得之 2.8 $\mu\text{g/L}$ 為最低，而屏東的 64.6 $\mu\text{g/L}$ 為最高。溴離子對於消毒副產物的生成影響可以利用 n 值與 n' 值加以說明，本研究計算所得之 n 值與 n' 值分別小於 1 及 0.6，顯示 THMs 及 HAAs 中含溴物種所佔比例不高，AOX 方面以宜蘭 23.4 的 $\mu\text{g/L}$ 為最低，而嘉義的 196.1 $\mu\text{g/L}$ 為高，而各車站所測得的 THMs 與 HAAs 總和約佔 AOX 的 40% 到 80%。

Key word：自來水水質、THMs、HAAs、消毒副產物

文獻回顧

自來水之於國計民生的重要性，為大眾所熟知，同時自來水的普及率與水質狀況也是國家現代化的指標之一，不僅與國民生活密不可分，且與水媒疾病之防止、工業發展、社會安全與福利等之關係密切，同時也是都市基本公共建設和鄉村都市化的重要設施。

早期的自來水乃以預防傳染疾病為主要目的，故以消毒的衛生設施為開始，其後由於據方便性而漸漸普及，當時的淨水技術及以除濁和消毒為主。然而自來水源水清淨，故可以達到提供良好水質的自來水。

近年來由於產業的發展、農藥及殺蟲劑的大量使用，以致於自來水地面水源水質受到不同程度的污染 (歐陽氏, 1996)，使得許多水源水庫產生了優養化的現象，直接影響水質之色度並引起臭味，產生生物毒性，當此一水源進入淨水廠時，則會造成淨水廠的負擔，因為水源的 NOM (天然有機物) 對於飲用水安全及淨水處理上的負面影響，包括味道 (taste)、臭味 (odor) 及色度 (color) 等問題 (Noblet *et al.*, 1999); 除此之外，當原水進入淨水廠時，淨水廠中所使用加氯消毒程序使得氯和有機物反應而生成許多如消毒副產物如 THMs、HAAs 以及 AOX 等 (Westerhoff and Pinney, 2000)，這些鹵化有機物質在

¹東海大學環境科學系碩士班研究生

²東海大學環境科學所博士後研究員

³東海大學環境科學系碩士

⁴東海大學環境科學系教授

微生物或動物測試中被發現具高度致癌性 (Silva *et al.*, 1999)，尤其三鹵甲烷對與直腸癌、大腸癌、膀胱癌被證實有高度的相關性 (Singer, 1999; Singer, 2000)，所以會對人體造成極大的傷害，但是因為 NOM 的增加，為了將水質淨化到法規標準，必須提高混凝劑量及加氯量，因而使得生成致癌性消毒副產物的機會增加，對人體造成健康上的問題。許多研究皆指出水體中之藻類為形成消毒副產物之主要前驅物質 (Plummer and Edzwald, 1998)。

影響 DBPs 生成之因素有很多，其中包括前驅物質 (precursors) 之種類、有機物的含量、季節性的變化、加氯量、pH 值、反應時間、溫度以及其它鹵素離子等諸多因素。而消毒副產物除了上述對於消化器官有致癌性的風險存在外，Singer (2000) 指出懷孕的婦女在每天飲用五杯含超過 75 µg/L 的加氯消毒水後，引發自發性流產的機率增加，而且會造成胎兒神經管缺損的增加。由於飲用水中消毒副產物的問題日益嚴重，如何減少消毒副產物的產生也成了重要的研究議題，Bryant *et. al* (1996) 指出，使用替代消毒劑為抑制消毒副產物產生的方法之一，常見的替代消毒劑有臭氧、氯氣、及二氧化氯等，而移除前驅物質也是一個減少消毒副產物生成的方式 (Yu and Cheng, 1999)。

實驗方法與步驟

採樣步驟

本實驗根據飲用水水質採樣方法——自來水系統採樣中華民國 87 年 9 月 24 日(87)環署檢字第 65350 號公告自中華民國 87 年 12 月 24 日起實施的採樣方法 NIEA W101.51A，於 2 月到 4 月對全台灣 16 個火車站進行兩次的自來水採樣，所選的

Table 1 Water quality analytical items and methods

| Items | Methods |
|------------------------|--|
| pH | 電極法 (NIEA W424.50A) ; pH meter, (Suntex, TS-1) |
| Temperature | 溫度計法 (NIEA W217.50A) |
| Specific conductivity | 比導電度計, (WTW, Conductivity Meter, LF 95) |
| TDS | 比導電度計, (WTW, Conductivity Meter, LF 95) |
| DO | DO meter, (WTW, Microprocessor, Oximeter) |
| Alkalinity | Titration Method, (Standard Methods 12320 B, 第十九版) |
| Hardness | EDTA Titration Method, (Standard Methods 2340 C, 第十九版) |
| Free Residual Chlorine | DPD/分光光度計法, (NIEA W408.50A) |
| NH ₃ -N | 納氏比色法 (NIEA W416.50T) |
| 大腸桿菌 | 濾膜法 (NIEA E202.51B) |
| Br ⁻ | 離子層析儀(IC) : DX-100 Ion Chromatograph |
| 重金屬 | 火焰式原子吸收光譜法 (NIEA W306.50A) |

站為台北 (Tai-p)、桃園 (Tao)、新竹 (His)、苗栗 (Mia)、豐原 (Fen)、台中 (Tai-c)、彰化 (Cha)、斗六 (Tou)、嘉義 (Chi)、新營 (Hsin)、台南 (Tai-n)、高雄 (Kao)、屏東 (Ping)、台東 (Tai-t)、花蓮 (Hua)、宜蘭 (Ilan)等十六個縣市的火車站。

消毒副產物分析：

三鹵甲烷分析係參考 USEPA Method 502.2，以注射針吸取 1 mL 水樣，注入 Purge and Trap 裝置，以 GC/ECD 分析。鹵化乙酸分析係依據 USEPA Method 552，先利用醚類溶劑 (Methyl-Tert Butyl Ether, MTBE) 將水樣中之 HAAs 萃取出來後，利用重氮甲烷將其酯化，最後利用 GC/ECD 分析 HAAs 之濃度。AOX 分析方法係參考第十九版 Standard Method (APHA *et al.*, 1995) 之 Adsorption-Pyrolysis-Titrimetric Method。

基本水質分析項目及其分析方法示如 Table 1。

結果討論

基本水質分析結果

由飲用水法規標準可知，pH 值之標準為 6.0~8.5 之間，在 2 月及 4 月兩次的採樣中發現，除了桃園、新竹及苗栗在 2 月的採樣中 pH 值過低、宜蘭在四月的採樣中 pH 值稍低外，其他縣市的火車站在兩次的採樣中的 pH 值都合乎法規規範標準。

水中總溶解固體物含量的多寡會影響自來水的適飲性，TDS 值為 30 mg/L 以下的水質飲用口感最佳，飲用水法規標準規定，TDS 的標準為 800 mg/L，台北市高雄市的規定則為 600 mg/L，民國 89 年 12 月 1 日起實施的法規標準中，TDS 的規範濃度為 600 mg/L，民國 92 年 7 月 1 日起實施的法規標準中，台北市高雄市之 TDS 濃度標準為 250 mg/L，而在兩次採樣中，全部的車站自來水中的 TDS 濃度皆合乎現行法規標準，但是僅有台北及宜蘭兩個火車站的 TDS 值合乎將在民國 92 年 7 月 1 日實施的法規標準，也就是在新標準實施後，台灣大部分的火車站自來水如維持現狀，則在 TDS 的數值方面將無法合乎法規標準。

水體中的比導電度代表水體中可導電物的多寡，水體中可導電的物質包括有鹽類與離子，如果水體的比導電度越高代表水中所含的雜質越高，雖然法規標準中並無規範比導電度的規範值，但是比導電度仍為值得參考的水質項目，本研究採樣的車站所測得的比導電度值約在 $600\mu\text{s}/\text{cm}^3$ 以下，其中以台北及宜蘭的比導電度最低，而兩次的採樣結果顯示 2 月份所測得的比導電度質較高，代表 2 月份的火車站自來水可能其中的鹽類較多。

自來水中保持餘氯的目的是為了要確定在自來水從淨水廠消毒處理完成後經過配水網管道用戶端中間過程中，不會被微生物再次污染，以確保用戶端的自來水水質，所以在用戶端的自來水中，需要含有餘氯，如此才能確保用水的消毒力。飲用水水質規範中規範自來水中的自由有效餘氯值應為 0.2~1.5 mg/L 之間，而民國 89 年 12 月 1 日起實施的法規標準所規範的則為 0.2~1.0 mg/L，本研究發現在兩次的採樣中，台北、台中、嘉義各有一次的餘氯值過低，而新竹、花蓮的餘氯值在兩次採樣的值都偏低。

飲用水中的硬度主要會使鍋爐產生鍋垢等碳酸鹽沉澱物，會使鍋底的加熱性不良，造成鍋爐的損壞，同時會影響飲用水的適飲性，法規規範的總硬度標準為 500 mg/L，而台北高雄市的規範標準則為 400 mg/L，至於民國九十二年七月一日將施行的法規規範，總硬度的標準為 150 mg/L，本研究所調查的車站中的硬度皆符合現行法規標準，但是僅有台北、桃園、苗栗、嘉義、新營、宜蘭的測值能符合將在民國九十二年七月一日施行的法規規範。

水體中的氨氮值過高，表示此水體可能有遭受糞便性生物污染之虞，法規標準規範飲用水的氨氮因為 0.5 mg/L 而台北市高雄市的氨氮值則需在 0.1 mg/L 以下，而在民國八十九年十二月一日之後，根據新施行的法規規範，台灣各地的飲用水的氨氮值均需在 0.1 mg/L 以下，本研究所測得的氨氮值皆合乎現行法規標準，但是花蓮所測得的氨氮值偏高，在四月份的採樣方面除了新竹、斗六、宜蘭外其他縣市的測值不符合將在民國九十二年七月一日施行的法規規範。

飲用水中的鐵離子主要會影響飲用水的適飲性，且對血液中氧氣傳輸產生影響，法規中規範飲用水的總鐵離子濃度應在 0.3 mg/L 以下，可知兩次採樣所測得的值，各車站皆為合乎標準，其中嘉義火車站在月份的測值較高可能原因為當時火車站正在進行整修，有關水管的修繕部分可能影響了管線中的鐵離子含量。

Br 的分析方面，所測得的結果均為 ND，MDL 為 30 μ g/L，而大腸菌落數方面，均為無法檢出的結果。

消毒副產物分析結果

首先就三鹵甲烷的分析值做探討，Fig.1 為 2 月及 4 月間兩次採樣各車站所測得的瞬間三鹵甲烷分析值。

台灣飲用水法規規範 THMs 的標準值為 100 μ g/L，由 Fig.1 可知，台南及高雄這兩個縣市的火車站自來水測值在二月及四月的分析值其三鹵甲烷的量皆大於現行法規標準，且高雄火車站在四月的 THMs 分析值甚至高達 130.7 μ g/L，如以其他國家如美國 USEPA 所制定 THMs 限值第一階段標準為 80 μ g/L 作為比較的話，苗栗及嘉義則在四月的採樣分析中 THMs 值過高，而如以第二階段的標準 40 μ g/L 為標準的話，符合法規標準的縣市火車站自來水只有台北、新竹、斗六、台東、花蓮、宜蘭等六個測點，而以瑞典國家飲用水標準 THMs 的限值 50 μ g/L 作為台灣的飲用水標準的話，本次調查所測得的結果顯示有桃園、苗栗、豐原、嘉義、新營、台南以及高雄的火車站自來水不符合標準。

至於本實驗所測得的 HAAs 方面，由 Fig.2 可以知道本研究在兩次採樣所測得的鹵化乙酸其生成情形，台灣的飲用水法規中並無規範 HAAs 的限值，但是就 USEPA 的第一階段標準，HAAs 的限值为 60 μ g/L，只有屏東市火車站的自來水所分析出的 HAAs 值不合標準，但是桃園與台中火車站則接近此標準，而如進入 USEPA 的第二階段標準，HAAs 的限值为 30 μ g/L，則不合格的縣市增加了桃園、豐原、台中、嘉義等縣市。

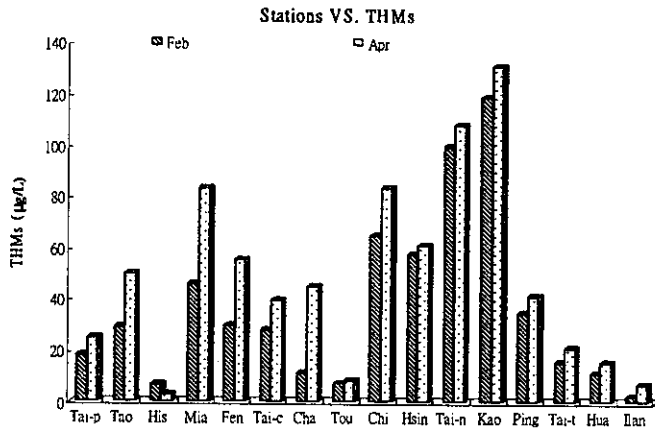


Fig.1 The THMs concentration in tap water for each station

為便於探討 Br 對 TTHM 及 THAA 中含溴成份比例，許多學者曾利用 n 及 n' 值代表三鹵甲烷與鹵化乙酸中含溴物種之數量多寡 (Symons *et al.*, 1994; Shukairy *et al.*, 1994; 李氏, 1998; 蔣氏等, 2000)。其定義如下：

$$n = \text{TTHM-Br} (\mu\text{mol/L}) / \text{TTHM} (\mu\text{mol/L})$$

$$\text{where TTHM-Br} = [(1 \times \text{BDCM}) + (2 \times \text{DBCM}) + (3 \times \text{TBM})]$$

$$n = 0 \sim 3 ; n = 0, \text{THMs} = \text{TCM} ; n = 3, \text{THMs} = \text{TBM}$$

$$n' = \text{HAA-Br} (\mu\text{mol/L}) / \text{HAA} (\mu\text{mol/L})$$

$$\text{where HAA-Br} = [(1 \times \text{MBAA}) + (1 \times \text{BCAA}) + (2 \times \text{DBAA})]$$

$$n' = 0 \sim 2 ; n' = 0, \text{no brominated HAAs} ; n' = 2, \text{THAA} = \text{DBAA}$$

本研究兩次採樣所得到的 THMs 的 n 值則可由 Fig.3 得到，由圖可知，所測得的樣品其 n 值皆小於 1.5，由此可知火車站自來水所生成的 THMs 主要以含氯物種為主，而其含溴物種所佔比例的變化與地區或季節的不同並無明顯的相關。而由 Fig.4 發現，n' 值皆小於 0.6，最高的縣市為嘉義的 0.59，所以有關鹵化乙酸的生成方面，本研究所測得的皆以含氯物種為主。

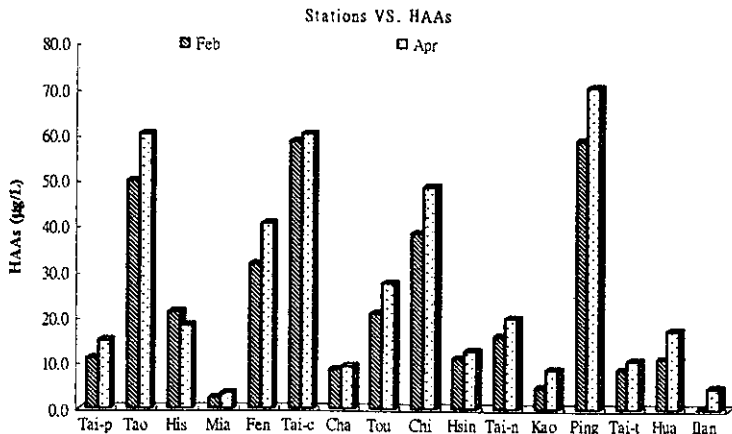


Fig.2 The HAAs concentration in the tap water for each station

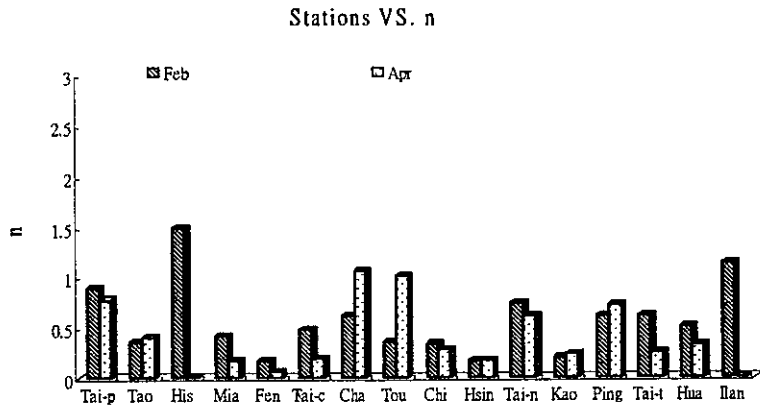


Fig.3 The n value in tap water for each station

另外在吸附性鹵化有機物 (AOX) 的分析方面, 由 Fig 5 可以發現主要以南部地區尤其是嘉義及高雄所得到的 AOX 最高, 表示在南部地區的自來水其中所含有的吸附性鹵化有機物含量較台灣其他地區來的高, 而本研究所測得的 THMs 與 HAAs 佔 AOX 的比例如 Fig 6 所示, 除了台東與宜蘭僅佔 40%與 47%之外, 其他縣市大都佔了 60%~85%之間, 顯示台東及宜蘭地區的消毒副產物的種類除了 THMs 與 HAAs 外, 其他不同種類的消毒副產物所佔的比例不少。

另外根據 Lin and Hoang (2000) 針對南台灣的居民所做的 THMs 暴露量分析, 指出在其採樣分析得到 THMs 的吸入量約為 30.7 $\mu\text{g}/\text{day}$ 而其飲用量約為 47.9 $\mu\text{g}/\text{day}$, 吸入量約為飲用量的 73%, 如套用在本研究, 以台灣地區民眾一天自來水飲用量 1.0 L 計算的話, 可以得到本實驗兩次採樣所到的 THMs 暴露量(Fig 7) 如果火車站週遭的民眾所使用的自來水與火車站的水質相似的話, 在南部地區尤其是高雄的居民, 每天 THMs 的攝入量為 223 $\mu\text{g}/\text{day}$ 。

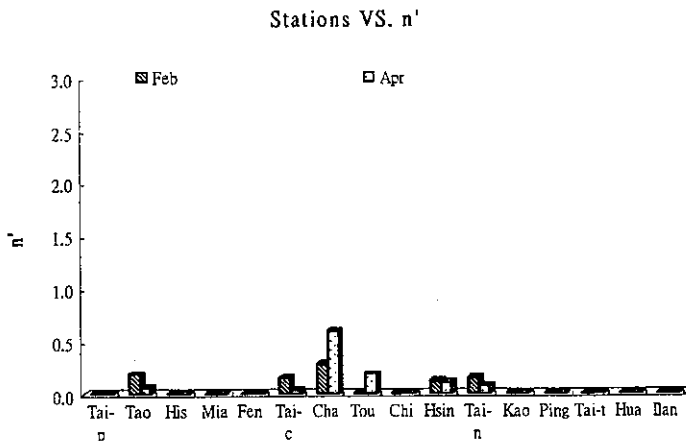


Fig.4 The n' value in tap water for each station

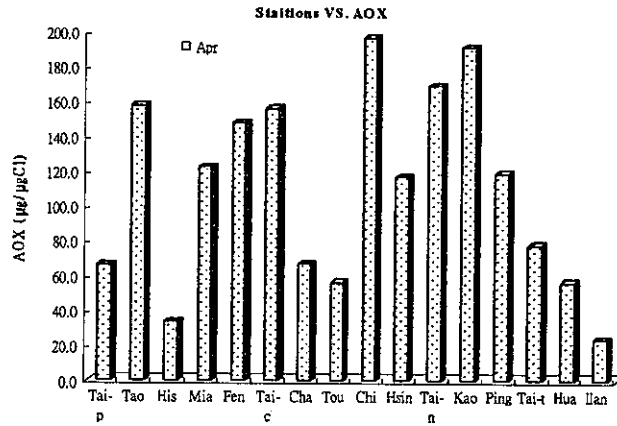


Fig.5 The AOX in tap water for each station

Table 2 為本實驗所做分析項目的總表，在基本水質分析項目方面可以發現，如以現行法規標準判斷的話，餘氯方面的控制是比較多縣市較有問題的一項，而套用民國 92 年 7 月 1 日施行的法規標準的話，TDS、氯氮、硬度完全合乎標準的縣市火車站自來水將只有宜蘭市，至於在消毒副產物的分析方面，不符合現行 THMs 法規標準的有台南市、高雄市兩縣市的火車站自來水，而套用 USEPA 的第一階段標準的話苗栗、嘉義、新營、台南、高雄皆不符合標準，如以第二階段的標準的話，只剩台北、新竹、斗六、台東、花蓮、宜蘭等縣市火車站自來水的 THMs 合乎標準，在 HAAs 方面，本實驗所採集的 16 個火車站中只有屏東火車站的自來水不符合 USEPA 第一階段標準，而第二階段的標準則有桃園、豐原、台中、嘉義、屏東，等縣市的火車站自來水不符合標準。

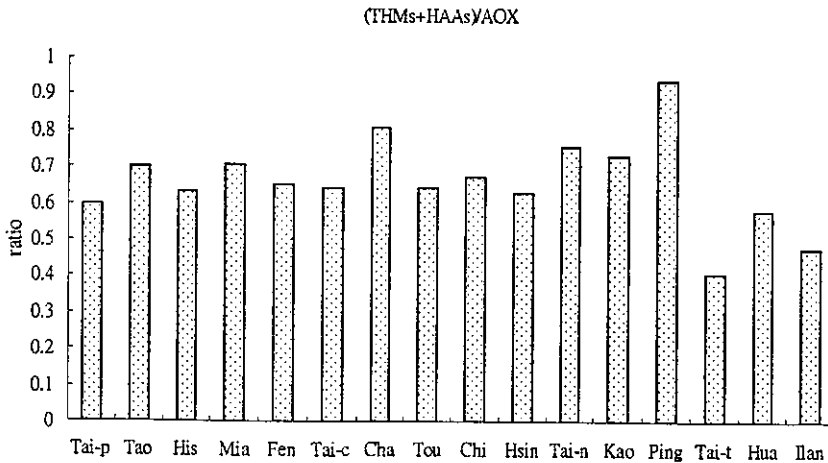


Fig.6 The ratio of (THM+HAA) by AOX in tap water for each station

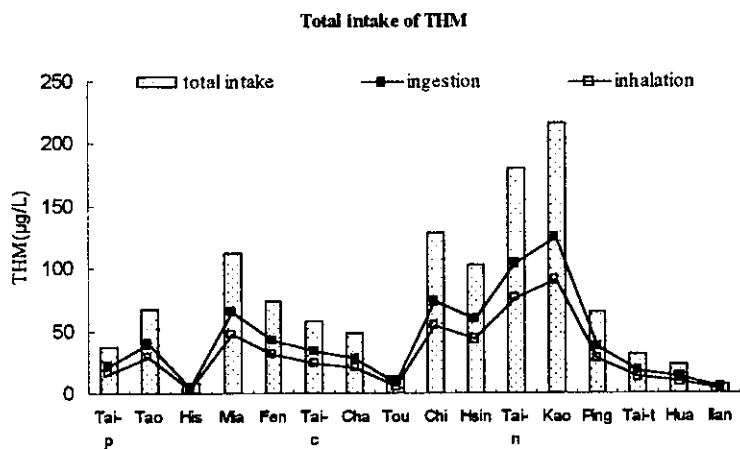


Fig.7 The total intake of THMs

Table 2 The water quality item undershooting

| Station | Basic water quality | | | | | | DBPs | | |
|---------|---------------------|-----|-------------------|----------|-------|----------------|------|-----|------|
| | pH | TDS | Residual Chlorine | Hardness | NH4-N | Coliform Group | Fe | THM | HAAs |
| Tai-p | | | ★ | | * | | | | |
| Tao | ★ | * | | | * | | | ◎ | ◎ |
| His | ★ | * | ★ | * | | | | | |
| Mia | ★ | * | | | * | | | ◆◎ | |
| Fen | | * | | | * | | | ◎ | ◎ |
| Tai-c | | * | ★ | * | * | | | ◎ | ◎ |
| Cha | | * | | * | * | | | ◎ | |
| Tou | | * | | * | | | | | |
| Chi | | * | ★ | | * | | | ◆◎ | ◎ |
| Hsin | | * | | | * | | | ◆ | |
| Tai-n | | * | ★ | * | * | | | ★◆◎ | |
| Kao | | * | | * | * | | | ★◆◎ | |
| Ping | | * | ★ | * | * | | | ◎ | ◆◎ |
| Tai-t | | * | | * | * | | | | |
| Hua | | ★ | ★ | | * | | | | |
| Ilan | ★ | | | | | | | | |

★ 未達現行法規標準

* 未達九二年法規標準

◆ 未達 USEPA 第一階段標準

◎ 未達 USEPA 第二階段標準

Table 3 The comparisons of THMs concentration in cited references and this study

| Place | Hong Kung (Yu and Cheng, 1999) | Canada (Guy <i>et. al.</i> , 1997) | Taiwan (Feb) | Taiwan (Apr) |
|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------|
| THMs ($\mu\text{g/L}$) Average | 60.58 | 32.0 | 36.24 | 48.4 |

而本研究所得到的平均 THMs 值與其他文獻比較 (Table 3)，由 Table 3 可知台灣地區的 THMs 平均值低於香港，但與加拿大數值相似，但單就個別車站測值探討，南台灣地區的自來水三鹵甲烷值就高出了許多。

結論

由本研究兩次採樣分析結果發現，所測車站自來水的基本水質方面堪稱良好，但是如要適用民國 92 年的 7 月 1 日法規標準的話，TDS、氨氮等項目仍需注意，單就消毒副產物的檢測方面由 Fig.9 做一個全省車站的排名，順序由佳到不佳排列如下：宜蘭、台北、花蓮、台東、桃園、新竹、新營、苗栗、斗六、彰化、豐原、台中、嘉義、屏東、高雄、台南。

整體而言，所測得的火車站自來水水質以北部的火車站自來水測值較佳，以台北市、宜蘭市火車站的測值為最好，而南部地區相對比較起來則有差距，其中以台南市、高雄市的火車站測值需要密切注意。以攝入量來算的話，台南、高雄的火車站自來水所含可供攝入的 THMs 量為最高。台灣的自來水水質狀況北部較南部佳，可能原因是因為北部自來水的水源其水質狀況原本就比南部地區的水質狀況佳，且南部的水庫優養化的情況也比北部的水庫嚴重，所以可以所含的天然有機物的量也較多，在經過加氯消毒之後所產生的消毒副產物的量也較北部多，對於加強南部飲用水方面的淨化工作上增添了難度。

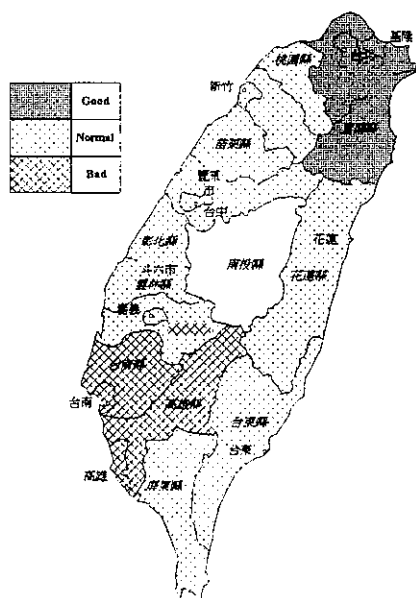


Fig.9 The DBPs damage level in tap water for each station

參考文獻

- Arguello, M. D., C. D. Chriswell, J. S. Fritz, L. D. Kissinger, K. W. Lee, J. J. Richard and H. J. Svec, (1979), "Trihalomethanes in Water : A Report on the Occurrence, Seasonal Variation in Concentrations and Precursors of Trihalomethanes", *J. AWWA.*, Vol. 71, No. 9, pp. 504-508.
- Lin, T. F. and S. W. Hoang, (2000), "Inhalation Exposure to THMs from Drinking Water in South Taiwan", *The Science of the Total Environment*, No. 246, pp. 41-49.
- LeBel, G. L., F. M. Benoit and D. T. Williams, (1997), "A One-Year Survey of Halogenated Disinfection by-Products in the Distribution System of Treatment Plants Using Three Different Disinfection Processes", *Chemosphere*, Vol. 34, No. 11, pp. 2301-2317.
- Nobelt, J., L. Schweitzer, E. Ibrahim, K. D. Stolzenbach, L. Zhou and I. H. Suffet, (1999) "Evaluation fo a Taste and Odor Incident on The Ohio River" *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 40, No. 6, pp.185-193.
- Plummer, J. D. and J. K. Edzwald, (1998), "Effect of Ozone on Disinfection By-Production Formation of Algae", *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 37, No. 2, pp. 49-55.
- Silva, M. L. d., G. C. Tardif, K. Krishnan and R. Tardif, (1999), "Influence of Oral Administration of a Quaternary Mixture of Trihalomethanes on Their Blood Kinetics in the Rat", *Toxicology Letters*, No. 106, pp. 49-57.
- Singer, P. C., (1999), "Humic Substances as Percursors for Potentially Harmful Disinfection By-Products", *Water Science and Technology*, Vol. 40, No. 9, pp.25-30.
- 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.
- Symons, J. M., G. E. Speitel Jr., A. C. Diehl and H. W. Sorensen Jr., (1994), "Precursor Control in Waters Containing Bromide", *J. AWWA.*, Vol. 86, No. 6, pp. 48-60.
- Westerhoff, P., G. Alken, G. Amy and J. Debroux, (1999), "Relationships Between the Structure of Natural Organic Matter and Its Reactivity Toward Molecular Ozone and Hydroxyl Radicals" *Wat. Res.*, Vol. 33, No. 10, pp. 2265-2276.
- Yu, J. C. and L. N. Cheng, (1999), "Speciation and Distribution of Trihalomethanes in the Drinking Water of Hong Kong ", *Environment International*, Vol. 25, No. 5, pp. 605-611.
- 行政院環境保護署, (1998), "飲用水管理相關法規彙編".
- 蔣本基, 張怡怡, 梁仲暉, 林逸彬, 林怡利, 楊慶章, 謝振友, (2000), "水源鹽化對加氯消毒副產物生成之影響與改善對策之研究期中報告", 行政院環境保護署委託計畫, EPA-89-UIJ1-03-003.