

台灣西部主要地面水源及其供水系統中

三鹵甲烷之調查與研究

(A Survey of THM in West Taiwan major surface water sources & their water systems)

吳 美 惠

摘要

為明瞭台灣省自來水供水系統中之三鹵甲烷 (THM) 之含量，做為改善水源或淨水處理方式之參考，對水污染度較大之西部幾個供水系統做了 THM 含量之調查研究，經本試驗結果，加氯量及氯接觸時間的多寡，會影響 THM 的生成濃度。再者，季節亦為影響 THM 含量的因素之一。一般而言，原水在波長 254 nm 的紫外光吸收度可作為 THM 的生成潛能的指標。

一前言

自來水以氯為消毒劑，已將近有八十年的歷史，但在 1974 年，美國的 Bellar 和荷蘭的 Rook 分別發表原水經氯消毒後(1)，會產生氯仿之論說後，氯為良好消毒劑始引起異論。其後美國環境保護局亦做了全國性的多項試驗，均發現以氯為消毒劑的飲用水中含有 THM，又 Rook 等再次發表腐植質(2)，葉綠素(3)，藻類等的 biomass 和其外細胞的代謝產物為 THM 主要的前驅物質，及(4)(5)(6)(7)(8)(9)(10)(11)時間、氯濃度、前驅物質、PH 值、溫度、溴化物、TOC 濃度(12)均為影響 THM 形成的因素。1976 年度美國立癌症研究所 (NCI) (13)，發表高劑量的氯仿，會使兔子、老鼠致癌，尤其有關肝、腎等部位的腫瘤，因為氯仿在動物體內的代謝型式和人體一樣，所以氯仿被疑為人體的致癌物。近年來，有許多學者提出有關去除或減少 THM 的方法，綜觀其法，不外為①使用另一種不會產生 THM 的消毒劑，如氯胺、二氧化氯、臭氧(14)等②在消毒前即改善膠凝效果，使用高效率膠凝劑等，或臭氧(15)和膠凝合併使用等，以去除 THM 的前驅物。③ THM 形成後再去除，但 THM 為穩定化合物，一旦形成後，不易氧化去除。④淨水處理程序的改變，如不用預氯處理，並將加氯點移後等。

台灣的自來水均以氯為消毒劑，且由於原水受工業廢水、家庭廢水污染之情形相當普遍而嚴重，故以氯消毒應亦會產生 THM，因此為明瞭供水系統之 THM 含量，選污染情形較嚴重(比東部)之西部幾個供水系統，調查其原水、滲水、給水中之 THM 含量，併將研究結果做為減低或去除總三鹵甲烷 (TTHM)*之參考依據。

* $TTHM = CHCl_3 + CHCl_2Br + CHClBr_2 + CHBr_3$

二、實驗

利用 Bellar 和 Lichtenberg 等人所設計出的 Purge-trap 法(6)，此法是把氮氣通入水樣，產生氣泡，驅趕易揮發之 THM 至 trap 內吸附，再加溫趕出這些有機物至 GC 分析之。

1. 實驗設備

- 氣相層析儀 (G.C) 附有 purge 及 Trap。(美國 H.P 公司出品 5840A)
- 分光光度計 (Spectrophotometer) (日本島津公司出品 UV-210A)。
- milli-Q 純水裝置

2. 取樣(7)：

- 取樣容器：為容量 15. ml，具有 TFE 表面處理之 Silicon 製 Septum 之螺旋小玻璃瓶。
- 取樣點及取樣數：
 - (i) 原水：取三瓶分別做 THM、UV 吸收度檢驗及預備用。
 - (ii) 清水：取二瓶，分別做取樣當時之 THM (INST THM) 及預備之用。
 - (iii) 給水：滯留時間較長之給水取三點，分別做取樣當時之 THM (INST THM) 檢驗。
- 取樣方法：
 - (i) 水樣瓶要裝滿且加封，不得留有任何氣泡。
 - (ii) 如自給水檢取樣時，須任其流數分鐘，調整流量為 500 ml/min，到水溫一定時，再取之。
- 取樣地點：新山、六堵、暖暖、安樂、中幅子、石門、龍潭、大湳、板新、新竹第一、滿雅、興華、明德、朴子口、蘭潭、公園、水上、潭頂、山上、白河、烏山頭、新營、澄清湖、岡山、鳳山、港西、八卦山等共二十七個淨水場及其供水區。
- 空白水樣：將水樣瓶裝滿無有機物水作為空白水樣，與水樣瓶一起帶至取樣點，同時與水樣一起帶回檢驗之。

3. 實驗方法：

- 分析步驟：
 - (i) 使用前先花十五分鐘，消除 trap 和 G.C 層析管
 - (ii) 做一支空白水樣
 - (iii) 做一支檢查用的標準溶液 (2ppb)
 - (iv) 取 1 ml 水樣置入 7675A purge vessel，開始分析水樣。

(v) 如水樣屬高濃度，需稀釋。

• 分析條件：

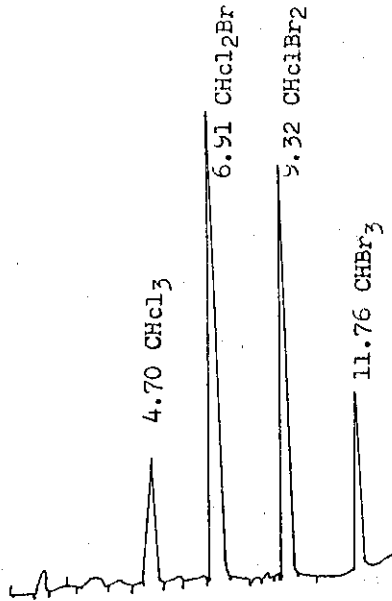
層析管溫度：以 $8^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 之速率，從 80°C 升至 160°C 。

ECD 溫度： 250°C

載送氣體之流速： $40\text{ml}/\text{min}$

purge 氣體之流速： $25\text{ml}/\text{min}$

• 標準層析圖：



圖一 標準層析圖

• INST THM (Instantaneous THM) (18)

取樣前先加過量的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 於取樣瓶內，取樣加封後，充分混合 1 分鐘，以去除自來水中的餘氯，取回後水樣在室溫，黑暗中，儘快測之。

• 原水 U.V 吸收度 (254nm) (18)

水樣前處理：為了防止微生物分解有機碳，需加過量 0.5N phosphoric acid，以降低 PH 至 3。

分析方法：用分光光度計測之，為了避免微細顆粒的干擾，可用 $0.45\text{-}\mu\text{m}$ cellulose

acetate membrane filter

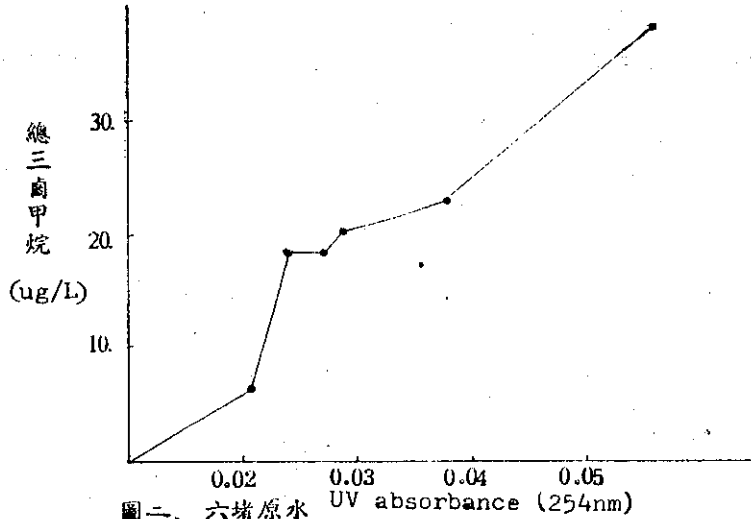
過濾水樣，在波長 254nm 之下

測之。

4. 時間：七十二年七月至七十三年七月

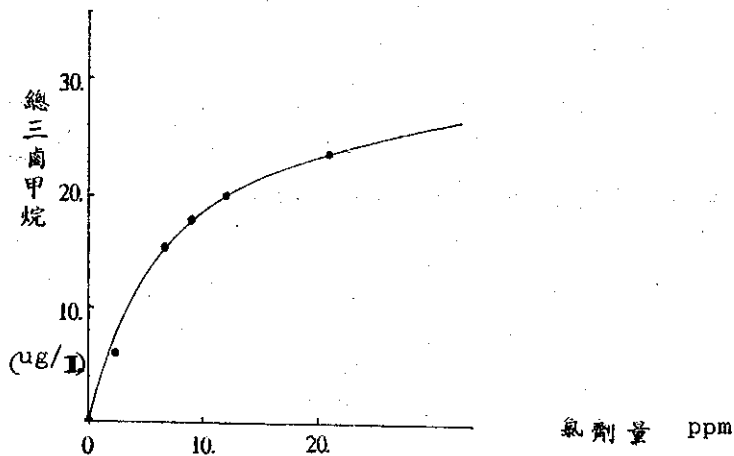
三 結果與討論

1. 從六堵淨水場 UV254 nm 吸收度與 TTHM 含量之關係，可看出 UV 吸收度愈高，TTHM 生成量愈多，此可顯見 UV 吸收度與 TTHM 的前驅物質有相當關係。



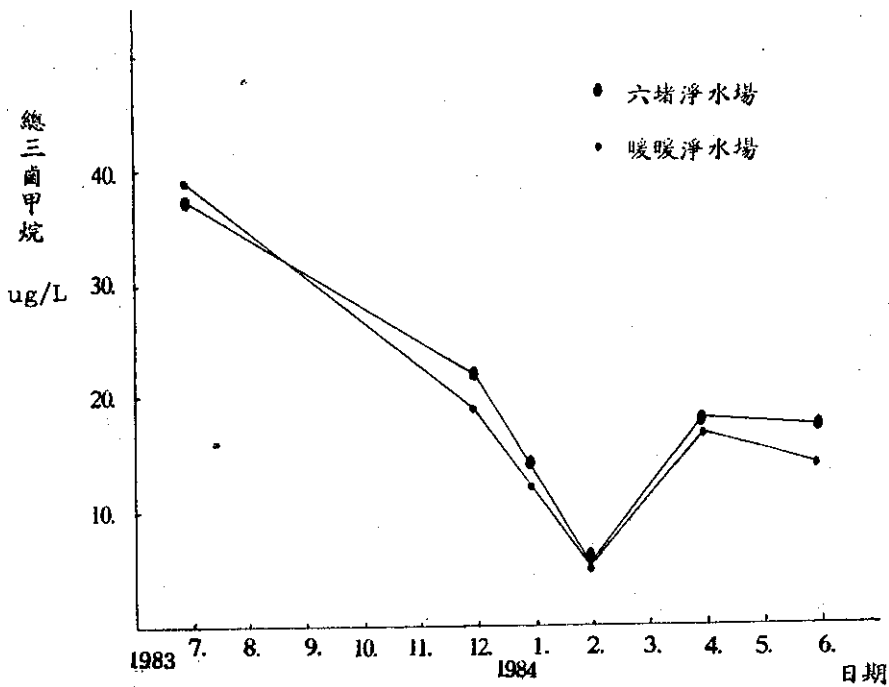
圖二. 六堵原水 UV absorbance (254nm) 與總三鹵甲烷之關係

2. 加氯量愈多，TTHM 的生成量也愈多，此由圖三可知二者之關係，是故淨水場操作人員，應有一正確的觀念，當水質不好之時，不能一味地猛加氯，氯加多了生成的 TTHM 也多，吾人應特別注意。

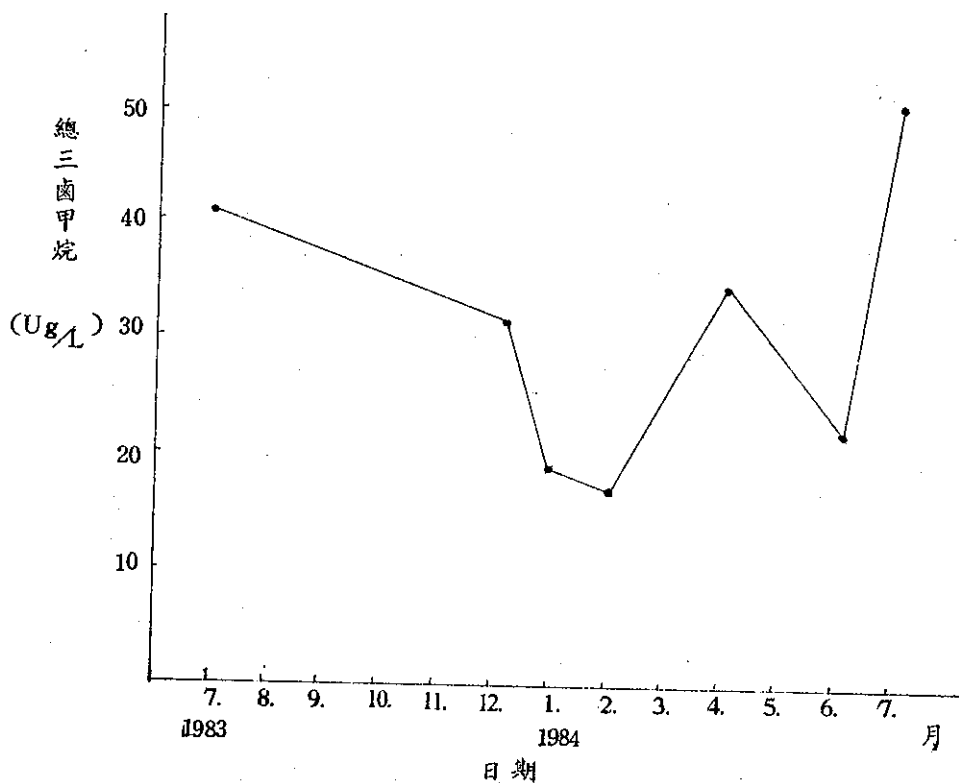


圖三 六堵淨水場氯劑量與總三鹵甲烷之關係

3.六堵、暖暖、新山三淨水場由於水源相同，均取自基隆河，TTHM含量受季節的影響因素大致相同（圖四五），由於七月至十一月為其枯水期，水質較差，加氯量增加，此時TTHM含量因之較高，惟此期間，如遇颱風來臨，雨量驟增，沖淡水源的污染，水質自然較佳，TTHM亦相對地減少。（圖五）新山淨水場1984年六月至七月，TTHM含量急遽增加，可顯示此時水源受到相當程度的污染。是故欲改善此三淨水場的水質，似對原水應作預先處理，減少THM的前驅物質。



圖四 六堵和暖暖淨水場清水所含總三鹵甲烷之季節性變化



圖五、新山淨水場清水所含總三鹵甲烷之季節性變化

4. 西部地區各淨水場的原水UV吸收度，如表一所示，其中以岡山最高，新營次之，八卦山再次之，足見此三淨水場受有機污染之程度較嚴重，所幸其彼此間有一共同點，即供水量均不多，且TTHM的年平均值並未超過水質標準。

表一各淨水場的平均UV 254 nm 吸收度

中幅子	0.024	新竹第一	0.011	烏山頭	0.022
安樂	0.025	滴雅	0.011	新營	0.095
暖暖	0.025	興華	0.047	山上	0.049
新山	0.027	明德	0.035	白河	0.045
六堵	0.031	朴子口	0.019	潭頂	0.024
石門	0.020	八卦山	0.052	澄清湖	0.043
大滴	0.018	蘭潭	0.025	港西	0.041
板新	0.018	公園	0.012	鳳山	0.042
龍潭	0.021	水上	0.026	岡山	0.100

5. 在本研究中各淨水場四種 THM 濃度依大至小次序為 CHCl_3 , CHCl_2Br , CHClBr_2 , CBr_3 , 但山上淨水場比較特殊(表二), 可能原水中溴離子含量較多所致, 尚待進一步檢驗。

表二山上淨水場四種 THM 平均含量 (CHCl_3)

水樣別	檢驗項目	CHCl_3	CHCl_2Br	CHClBr_2	CBr_3
原水		0.088	0.122	0.128	0.089
清水		5.400	8.140	10.865	6.254
給水 ①		11.690	16.836	20.812	10.113
給水 ②		4.344	8.963	12.205	6.964

6. (表三) 新營淨水場 THM 之含量雖偶而比較高, 但其平均值尚在水質標準限值內, 考其原因, 係因該供水區部份來自烏山頭淨水場之支援, 而烏山頭淨水場取自烏山頭水庫, 其污染程度較低。又新營淨水場之來自急水溪, 而急水溪沿岸有養豬、紙廠、鐵工廠等, 污染來源多, 在枯水期(一般為十二月至五月)使水質較差, 但因平常由烏山頭供水, 其 TTHM 含量不高。

表三新營淨水場的 TTHM

水樣別	檢驗項目	原水	清水	給水 ①	給水 ②	給水 ③
72. 11. 29	Ug/L	22.044	22.325	18.375	19.029	20.021
72. 12. 27		4.018	47.609	13.397	12.824	15.253
73. 1. 24		0.451	28.364	16.681	12.590	25.960
73. 4. 26		0.311	149.284	182.147	172.576	156.385
73. 5. 22		fail	145.726	138.289	144.755	141.754

7. 岡山淨水場供水區之 TTHM 含量大約七八十 PPB, 然混有大崗山供水系統之水, 使 TTHM 含量大為降低, 但其原水 UV 吸收度仍較高。(如表四中 73. 4. 24 之水樣)

表四岡山淨水場 TTHM

標別 日期 TTHM ug/L	原 水	清 水	給 水 ①	給 水 ②	給 水 ③	原水 UV 吸 收度 (254 nm)
73. 4. 24.	0.290	3.947	8.319	8.388	8.932	0.142
73. 5. 8.	0.591	5.119	11.053	10.604	11.596	0.076
73. 6. 12.	0.030	70.552	84.251	70.24	81.599	0.096
73. 7. 10.	0.487	66.141	67.144	61.798	82.292	0.084

8. 一般原水之 TTHM 含量最少，清水次之，給水最多，由此可斷言 TTHM 是加氯產生的，又通常給水與氯接觸時間較長，故自然給水的 TTHM 含量最高，這又是 TTHM 的生成和氯接觸時間成正比的一明證。

9. 在本試驗中，以八卦山、新營、港西、山上、岡山、鳳山等淨水場 TTHM 含量較高（見表五），顯示水源污染程度較為嚴重。

10. 六堵淨水場位於基隆河下游，其污染程度較高，所以原水 UV 吸收度也高於新山淨水場（見表一），但其 TTHM 並沒有高於新山淨水場（見表五），因其供水範圍較小（六堵 2500 CMD，新山 5000 CMD），故其 TTHM 含量比新山淨水場為低。

表五數淨水場之給水平均 TTHM ug/L

六 堵	21.817	八 卦 山	54.717	港 西	46.445	岡 山	42.185
新 山	30.927	新 營	72.581	山 上	45.963	鳳 山	48.466

四 結 論 與 建 議

1. 綜觀以上調查結果，台灣西部主要地面水源供水系統之給水中普遍含有三鹵甲烷，但含量屬低濃度，雖然有一處（新營）供水系統給水單一水樣含量超過 100 PPO 情形，但其平均值仍合乎水質標準。

2. 原水中之三鹵甲烷極微，大多在 1 ppb 以下，而清水及給水之三鹵甲烷含量遠高於原水，可見自來水中之三鹵甲烷係由於加氯處理所成。

3. 加氯量(耗氯量)較多之淨水場其給水中之 THM 含量大致亦較高，反之較低。

4. 給水中四種三鹵甲烷之含量依大至小次序為氯仿一溴二氯甲烷，二溴一氯甲烷、溴仿。(山上淨水場給水除外)

5. 原水 THM 含量最少，清水次之、給水最多，顯示 THM 之生成與氯接觸時間成正比關係。

6. 同一水源之供水系統其給水中三鹵甲烷含量，以豐水期較低，而枯水期較高。

7. 原水之紫外光 (A_{254}) 吸收度 較多之淨水場，其給水中 THM 含量大致亦較高，顯示三鹵甲烷前驅物質與紫外光吸收度之間有相當關係。所以 A_{254} 可作為評估水質的代替參數。(本研究雖沒有測量原水的 TOC 和色度，但很多文獻亦證明其可預測 THM 的濃度)

8. 自來水中三鹵甲烷之產生與水源污染有密切之關係，為預防自來水中三鹵甲烷之過量發生，維護水源之清潔，乃是最基本而刻不容緩之工作，因此建議水污染防治機關加強「水源水質水量保護區」之水質監視與水污染取締，以確保水源之清潔。

9. 供水系統 THM 含量較多之淨水場(如六塔、八卦山、新營、岡山、港西)均因水源污染較多，而施行原水預氯處理，此舉無疑會產生較多之 THM，為避免產生 THM，先進國家已逐漸改用原水之生物處理，或用臭氧處理之模範試驗，分析其處理成本，減低 THM 之效果及代替預氯處理之可行性。

参 考 资 料

1. Rook, J.J. Formation of Haloforms during chlorination of Natural Water. Water treatment Exam 23:234(1974).
2. Christman, R.K. Ghassemi, M. Chemical Nature of Organic color in Water. Jour. AWWA 58:723(1966).
3. Robert C. Hehn Donald B Barnes, Barbara C. Thompson, Clifford W. Randall, Thomas J. Algae as Sources of Trihalomethane Precursors, Jour. AWWA. 72:344(1980).
4. Rook, J.J. Formation and Occurrence of Haloforms in Drinking Water Proc 95th Ann. AWWA Conf. Paper 32-4(1975).
5. Johannes J. Rook Haloforms in Drinking Water Jour. AWWA 68:168(1976).
6. Barry G. Oliver and John Lacurrence. Haloforms in Drinking Water: A study of Precursors and Precursor Removal. Jour. AWWA. 71-101(1979).
7. Alan A. Stevens, Lois J. Slocum, Dennis R. Seeger, and Gordon G. Robeck Chlorination of Organics in Drinking Water Jour. AWWA 68-615(1976).
8. Carpenter J & Macalady, D. Water chlorination: Environmental Impact and Health Effects (R. Jolley, editor). Ann Arbor Science Ann Arbor (1978).
9. Kleopfer, R. Analysis of Organic Pollutants in water (L. Lerth, editor) Ann Arbor Science. Ann Arbor (1976) P. 399
10. Large, A & Kawczynski, E. Experiences at Contra Costa County Water District Presented at Calif-Nevada Sect of AWWA. Water Treatment Forum No. vki Apr. 1978)
11. Stevens, A. EPA Wtr. Sply. Res. Div., Cincinnati. Jelecon (Mar. 1978).
12. Michael C. Kavanaugh, Albert R. Trussell, John Cromer and R. Rhodes. An Empirical Kinetic Model of Trihalomethane Formation: Applications to Meet the Proposed THM standard. Jour. AWWA. October 1980.
13. Report on Carcinogenesis Bioassay of chloroform, National Cancer Inst., Carcinogenesis Program. Div of Cancer Cause & Prevention Bethesda, Md. (Mar. 1, 1976).
14. Wikuhn, H. Sontheimer, L. Steiglitz D. Maier, and R. Kurz Use of Ozone and chlorine in Water Utilities in the Federal Republic of Germany Jour AWWA 70:326(1978).
15. David A. Reckhow and Philip C. Singer, The Removal of Organic Halide Precursors by Preozonation and Alum Coagulation. Jour. AWWA, April 1984.
16. Bellar, T.A. & Lichtenber, J.J., Determining Volatile Organic at Microgram-per-Litre Levels by Gas chromatography, Jour. AWWA 66:739(1974).

17. Analysis of Trihalomethanes in Drinking Water E.P.A. 1979.11. Philip C Singer, James J. Barry III Glenn M Palen, and Alan E
18. Scrivner. Trihalomethane formation in North Carolina drinking waters, Jour AWWA. 73:392(1981).