

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

飲用水中消毒副產物之生成, 健康風險及其前質控制之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2211-E-002-030-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立臺灣大學公共衛生學院公共衛生學系

計畫主持人：王根樹

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 10 月 23 日

飲用水中消毒副產物之生成, 健康風險及其前質控制之研究

Formation, Health Risk and Control of DBPs in Drinking Water

計畫編號：NSC 91-2211-E-002-030

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：王根樹 國立台灣大學公共衛生學系

摘要

本研究蒐集台灣北部、中部、南部及金門地區飲用水中三鹵甲烷之濃度資料，並於 2001-2003 年間進行飲用水中三鹵甲烷採樣分析，以比較各地區三鹵甲烷濃度之分佈及季節變化；並以蒙地卡羅模擬進行各地區飲用水中三鹵甲烷之健康風險評估。研究結果顯示，台灣各地區飲用水中三鹵甲烷組成均有含溴三鹵甲烷物種出現，且三鹵甲烷之組成及濃度分佈均不同。在三鹵甲烷物種中，以氯仿有最高之健康風險貢獻量；不同暴露途徑則以淋浴時之呼吸暴露造成之健康風險較高。北部及中部因飲用水中三鹵甲烷濃度較低，因此民眾所承受之總健康風險較低 (2×10^{-5})；南部地區及金門地區因較高的總三鹵甲烷濃度導致較高的健康風險 (5×10^{-5})。

Abstract

In this study, the distribution of THMs concentration in drinking water was collected. Between 2001 and 2003, water samples in northern, central, southern Taiwan and King-man were also collected and analyzed for the THMs concentrations. Monte Carlo simulation was used to estimate the cancer risk for the exposure of THMs in the four areas in Taiwan. Brominated THMs were found in most of the drinking water samples, and THMs concentrations were site specific at different areas. Therefore, people in different areas have different cancer risks. Among the four THMs, chloroform has the highest overall cancer risk. Because of the relatively lower THMs concentrations in northern and central Taiwan, health risk was lower in these area (2×10^{-5}). The higher chloroform concentration in southern Taiwan and the higher THMs concentration in King-men result in the relatively higher cancer risk (5×10^{-5}).

一、前言

在飲用水中添加化學消毒劑以去除水中致病菌之過程會生成對人體健康有害的消毒副產物。由於三鹵甲烷與膀胱癌、大腸癌與直腸癌風險增加之相關性，美國自 1979 年即將其列為清水中主要管制對象，我國亦已將三鹵甲烷列入飲用水水質標準加以管制，目前之標準為 $100 \mu\text{g/L}$ (總三鹵甲烷)。

台灣已有許多學者致力於探討台灣地區飲用水中消毒副產物之生成及揮發性有機物的健康風險評估。

Yang et al. (1998) 於台灣地區進行流行病學研究，指出加氯消毒之飲用水與直腸癌、肺癌、膀胱癌和腎癌之發生具有正相關。由於台灣民眾飲水多有煮沸的習慣，而三鹵甲烷可以透過揮發方式逸散，所以呼吸及皮膚吸收亦成為主要的暴露途徑(Lin and Hoang, 2000)。不同暴露途徑所造成的暴露量不同，消化道食入一直被認為有最高的暴露量，但因台灣和國外的情況不同，進行風險評估必須考量此種差異。

本研究以三鹵甲烷為研究對象，主要研究區域為北部、中部、南部、金門，除蒐集以往各地區飲用水三鹵甲烷之濃度外，並進行四個地區飲用水之三鹵甲烷之採樣與分析，以建立台灣地區三鹵甲烷散佈之資料。所得之數據再輸入健康風險評估之模式中，以蒙地卡羅模擬進行風險推估，探討台灣地區民眾承受之健康風險。

二、研究方法

2.1 台灣地區飲用水中三鹵甲烷濃度數據之蒐集

飲用水中三鹵甲烷濃度數據的來源包括三個部分：1. 環保署歷年研究計劃，包括民國 85~89 年研究計劃中的數據。2. 環保署定期檢測水質之結果，包括台北地區民國 79 年至 90 年、台中地區民國 83 年至 90 年、高雄地區民國 83 年至 90 年之三鹵甲烷濃度數據。3. 實驗室自行採樣分析，包括民國 91 年開始進行台北、高雄、台中、金門等地區飲用水之採樣分析。

2.2 三鹵甲烷暴露評估

暴露評估目的在於估計暴露族群的三鹵甲烷暴露劑量，因為台灣地區自來水普及率高，故暴露族群為台灣地區居民。進行暴露評估時，同時考慮飲水與淋浴兩種暴露路徑，暴露途徑則包括食入、呼吸及皮膚吸收，亦即暴露量 = 食入 + 吸入 + 皮膚吸收的量。

一、食入暴露

以「飲用」為造成食入暴露的主要活動，假設每人每天喝水 2 公升(USEPA 1989)，並假設食入暴露的吸收率為 100%，則水中三鹵甲烷濃度、每日飲水量與暴露時間三者的乘積就等於吸收劑量，吸收劑量除以暴露平均時間及體重，可以得到每日每公斤吸收多少毫克之三鹵甲烷。

二、呼吸暴露

以「淋浴」為造成呼吸暴露的主要活動，並依 Little(1992)發展之數學模式推估淋浴時浴室空氣中三鹵甲烷的濃度；淋浴時間採自國內類似調查之數據(王榮德, 2000)，呼吸速率則取人體輕度活動時之呼吸速

率，並假設肺泡吸收率為 50%。故由空氣中三鹵甲烷濃度、呼吸速率、暴露時間及肺泡吸收率四者之乘積就可以得到吸收劑量(Dose)，吸收劑量除以暴露平均時間及體重，可以得到劑量率(Dose rate)。

三、皮膚暴露

以「淋浴」為造成皮膚暴露的主要活動。由水中三鹵甲烷濃度、皮膚接觸面積、皮膚穿透係數與暴露時間四者的乘積就等於吸收劑量，除以體重和暴露平均時間，即可以得到劑量率。

2.3 風險特性描述

風險推估數學模式使用美國環保署採用之直線多階段模式(Linear multistage model)進行風險計算，因為此模式考慮很多高危險群之特異性，且無論高或低劑量暴露推估之風險度高估情形，可得到較為保守的結果。因為環境暴露多屬低濃度暴露，此模式假設在多階段模式中，劑量-效應關係在低劑量時呈線性關係，而得到一個斜率因子(Slope factor, SF)，因此

健康風險 = 長期每日攝取量 × 斜率因子(SF)

表一所列為三鹵甲烷各物種之斜率因子，由於參考數據不足，一溴二氯甲烷及二溴一氯甲烷經由呼吸暴露途徑的 Slope factor 係引用食入部分的參數(USEPA, 1998; RAIS, 2003)。

2.4 蒙地卡羅模擬

蒙地卡羅模擬(Monte Carlo Simulation)使用統計取樣技術，得到機率的近似值，解答數學的方程式或模式，用以求出某一模式或某個試驗中，各種可能結果的機率分配方法。只要給定足夠適當的資料和合理的假設，蒙地卡羅模擬便可作為風險評估中適當的統計工具，以分析其變異性和不確定。風險計算須代入毒性資料與暴露參數，許多參數並非單一數值，如在環境中化學物質之濃度，經過多次採樣，可得到一個濃度的分布。因此利用 Monte Carlo Simulation 進行風險計算(圖一)，經過 5000 次的抽樣及計算，即得到健康風險之機率分佈。

三、結果與討論

3.1 台灣地區飲用水中三鹵甲烷濃度分佈情況

圖二所示即為台灣地區飲用水中三鹵甲烷濃度分佈情形。

北部地區：

北部地區飲用水中三鹵甲烷濃度主要分佈在 10~25 $\mu\text{g/L}$ 的範圍內。北部地區飲用水中有較低之三鹵甲烷濃度，除了因為水中較低之 TOC 值(0.5~2.0 mg/L)之外，北部地區相對於台灣其他地區通常有較低的氣溫，這也可能影響三鹵甲烷生成量。

中部地區

中部地區三鹵甲烷濃度分佈的範圍與北部地區接近，主要分佈在 10~20 $\mu\text{g/L}$ 之間，根據以往的飲用水水質監測數據顯示：中部地區亦有較低之 TOC 值(主要亦在 0.4~2.0 mg/L 的範圍內)，較低濃度之有機前質使得該地區有較低之三鹵甲烷濃度。

南部地區

南部地區飲用水中三鹵甲烷濃度範圍分佈較廣

且變動較大，一般在 20~60 $\mu\text{g/L}$ 的範圍內。但自民國 86 年開始三鹵甲烷濃度分佈略為降低，主要分佈在 20~50 $\mu\text{g/L}$ 的範圍，但仍有部分數據分佈在 60~100 $\mu\text{g/L}$ 的區間。南部地區三鹵甲烷濃度的分佈不同於北部及中部地區，其原因可能包括其原水 TOC 值較高，而水源中人為污染物導致加氯量增加等均造成三鹵甲烷濃度分佈擴大。

金門地區

金門地區飲用水中三鹵甲烷濃度主要分佈在 40~80 $\mu\text{g/L}$ 的範圍內。金門地區飲用水原水中有較高之有機物質(4-12 mg/L TOC)，水廠必須添加較高量的消毒劑，提高了三鹵甲烷生成的潛能，因此金門有較高之三鹵甲烷濃度。金門地區之三鹵甲烷濃度變動範圍亦較大，主要原因除原水 TOC 較高外，亦與原水水質變化大，因此加氯量(包括前加氯)不易掌握有關。

3.2 飲用水中總三鹵甲烷濃度之季節變化

溫度是影響三鹵甲烷生成的因子(Singer, 1998)，溫度的升高會促進三鹵甲烷的生成反應。依環保署 90 年高雄地區不同月份總三鹵甲烷濃度數據，可觀察不同月份三鹵甲烷濃度的變化。

圖三可以看到高雄地區三鹵甲烷濃度自一月至八月亦呈現逐漸升高的趨勢(與台北情況相同)，且四至八月的三鹵甲烷濃度顯然高於其他月份但十與十二月的濃度就可以看到降低的趨勢。台北市配水系統中三鹵甲烷濃度亦有相同之趨勢。

3.3 台灣地區飲用水中三鹵甲烷各物種組成

圖四顯示台灣北、中、南、東及外島地區個別三鹵甲烷的平均濃度。可觀察到北部及中部總三鹵甲烷濃度相近且低(平均~20 $\mu\text{g/L}$)，且個別物種的濃度差異甚小，所以北部及中部個別三鹵甲烷組成的情況相近。值得注意的是南部飲用水中氯仿濃度不僅高於北部、中部，甚至高於金門地區，可能因為金門海水鹽化的情況更加重，而提高飲用水原水溴離子濃度，使得清水中含溴 DBP 物種增加。金門地區含溴物種平均濃度以溴仿濃度為最高，二溴一氯甲烷、一溴二氯甲烷與氯仿的濃度接近。

3.4 三鹵甲烷個別物種之風險貢獻量

不同地區其物種組成分佈不同及因不同物種濃度所造成的健康風險各異，因此在比較各地區的健康風險分佈之前，先了解個別物種經不同途徑的風險貢獻量，將有助於後續不同攝取途徑、各地區暴露情況的分析。為了求得四個物種在物種濃度及暴露參數均相同的基礎下所貢獻的風險，假設各鹵甲烷物種濃度均為 1 $\mu\text{g/L}$ ，其他參數則以表一列平均值代入風險推估模式，所得結果如下(表二)：

食入暴露

由於暴露條件相同，因此不同物種的風險主要受到食入的 Cancer Slope factor 的影響而不同。於表中一溴二氯甲烷與二溴一氯甲烷的風險接近，分別為 1.64×10^{-7} 及 2.22×10^{-7} ，約為氯仿及溴仿的 10 倍。

呼吸暴露

各物種因為亨利常數、整體質量轉移係數及斜率因子的不同，因而有不同的風險貢獻量。表 4-2 明顯看出氯仿有最高的風險貢獻量，約為一溴二氯甲烷與二溴一氯甲烷的 2 倍，溴仿的 100 倍。

皮膚吸收

其各物種風險推估模式中，主要的差異在於皮膚穿透係數及 Cancer Slope factor，皮膚穿透係數影響三鹵甲烷自皮膚進入人體的劑量。於表 4-3，二溴一氯甲烷有較高之風險，為 1.56×10^{-8} ，其次為一溴二氯甲烷、氯仿，溴仿則為最低，風險貢獻量僅 9.84×10^{-10} 。

綜觀三個暴露途徑，在食入及皮膚吸收兩途徑中，二溴一氯甲烷之健康風險高於其他物種，在呼吸暴露則以氯仿具有最高的風險貢獻量。三個暴露途徑的總風險可以觀察到氯仿有最高之健康風險貢獻量 (1.82×10^{-6})，約為一溴二氯甲烷與二溴一氯甲烷的 2 倍；溴仿則最低，為 (4.79×10^{-8})。因此在三鹵甲烷各個物種中，以氯仿為對風險的影響最大，尤其是透過呼吸暴露所造成的，故淋浴之暴露時間及浴室內之氣體交換率值得重視。

3.5 機率性風險分佈

某地區的三鹵甲烷濃度會隨時間、季節而變化，也會因為多次採樣分析而得到一個濃度分佈；國人體重也呈現某種分布，將各種不同的分佈代入風險推估模式，利用蒙特卡羅模擬進行多次的隨機抽樣，可以得到如健康風險機率分佈圖，並觀察因三鹵甲烷暴露而導致健康風險分佈主要的區間，可用以描述大部分民眾的健康風險情況，而不同途徑、不同地區由於三鹵甲烷濃度分佈不同也會有不同的健康風險機率分佈圖。

食入暴露

台灣民眾飲水有煮沸的習慣，因此推估食入暴露風險時，我們將煮沸後三鹵甲烷的去除率假設為 80%，於表 3 可以看到煮沸飲用及未煮沸飲用的風險。

北部和中部飲用水中總三鹵甲烷濃度低(主要分佈在 $0 \sim 20 \mu\text{g/L}$)且各物種濃度接近，因此北部、中部有相近的風險分佈：飲水未煮沸所造成的風險分佈在 $3.7 \times 10^{-6} \sim 1.5 \times 10^{-5}$ 的範圍內，幾何平均值均在 1.0×10^{-5} 以下。南部有較高的三鹵甲烷濃度 ($20 \sim 50 \mu\text{g/L}$)，因此健康風險較高，飲水未煮沸造成的風險主要分佈在 $7.8 \times 10^{-6} \sim 4.0 \times 10^{-5}$ 的範圍，幾何平均值為北部及中部的 2~3 倍；金門地區有最高濃度的三鹵甲烷 ($40 \sim 80 \mu\text{g/L}$) 及較高濃度的含溴物種(在前一節個別物種風險貢獻量的討論中，我們看到一溴二氯甲烷及二溴一氯甲烷在食入暴露上有較高的風險貢獻量)，故與其他地區比較時，金門民眾食入暴露會有較高的健康風險，風險之幾何平均值約為南部的 2 倍，風險分佈在為 $1.9 \times 10^{-5} \sim 6.2 \times 10^{-5}$ 。

飲水經煮沸後風險平均值明顯降低為原來的 1/5，北部及中部風險分佈在 $7.5 \times 10^{-7} \sim 3.0 \times 10^{-6}$ ，南部則分佈在 $1.6 \times 10^{-6} \sim 8.1 \times 10^{-6}$ 的範圍內，金門地區則分佈在 $4.5 \times 10^{-6} \sim 1.2 \times 10^{-5}$ ，因此煮沸後，民眾經由食入暴露所承受的風險普遍小於十萬分之一，而且金門民眾

主要飲用的是瓶裝水，故食入暴露的風險影響也就更小。

皮膚吸收

各地區透過皮膚吸收造成的平均風險值都小於百萬分之一，北部及中部主要分佈在 $4.0 \times 10^{-8} \sim 4.3 \times 10^{-7}$ 的範圍；南部分佈在 $9.3 \times 10^{-8} \sim 1.0 \times 10^{-6}$ 的範圍；金門分佈在 $1.6 \times 10^{-7} \sim 1.2 \times 10^{-6}$ 的範圍，因此普遍來說皮膚暴露造成的風險相當低。

呼吸暴露

北部及中部民眾淋浴時經由呼吸暴露所造成的平均健康風險約為 2×10^{-5} ，風險主要分佈在 $4.9 \times 10^{-6} \sim 6.5 \times 10^{-5}$ 的範圍。南部地區平均風險為北部、中部的 2 倍(與食入的情況相近)，範圍為 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.47 \times 10^{-4}$ 。值得注意的是金門地區總三鹵甲烷濃度通常大於南部地區，其透過呼吸暴露造成的風險分佈卻與南部相近(表三)，平均風險約為 4×10^{-5} ，分佈在 $1.1 \times 10^{-5} \sim 1.2 \times 10^{-4}$ 的範圍，此結果可以個別三鹵甲烷物種分佈解釋之：雖然金門地區總三鹵甲烷平均濃度為 $67.6 \mu\text{g/L}$ ，高於南部的 $44.5 \mu\text{g/L}$ ，但金門三鹵甲烷中以含溴物種居多，而南部氯仿平均濃度高於金門，又因氯仿有較高的風險貢獻量(由呼吸暴露而來)，因此造成兩者的風險分佈接近。

加總食入、呼吸、皮膚三個途徑造成的健康風險，即可得到不同地區民眾暴露於飲用水中三鹵甲烷的總風險。

一般考慮煮沸情況下的總風險

南部地區因為氯仿的濃度較金門高，明顯提高呼吸的風險，而相對於其他途徑，呼吸具最高的風險貢獻，因此造成南部及金門地區的總健康風險分佈接近，平均風險約為 5.0×10^{-5} ，風險主要分佈在 $1.3 \times 10^{-5} \sim 1.7 \times 10^{-4}$ 。

不考慮煮沸情況下的總風險

若飲水時不加以煮沸，對於北部及中部民眾因三鹵甲烷暴露所導致之健康風險的影響不大(平均風險差異 < 十萬分之一)，對南部及金門地區的總健康風險之影響較大，其平均風險差異約為 $1.5 \times 10^{-5} \sim 3.5 \times 10^{-5}$ ，因此煮沸對三鹵甲烷濃度較高的地區有其必要性。

四、結論與建議

4.1 結論

台灣地區飲用水中總三鹵甲烷濃度普遍低於現行法規標準 $100 \mu\text{g/L}$ ：北部及中部地區三鹵甲烷濃度約 $20 \mu\text{g/L}$ ，南部約 $20 \sim 50 \mu\text{g/L}$ ，金門約 $40 \sim 80 \mu\text{g/L}$ ，但其個別物種占總三鹵甲烷的比例不同，其中以南部地區有較高濃度之氯仿，以金門地區含溴物種的濃度最高。

本研究推估台灣民眾所承受的總健康風險以北部、中部較低，平均為 2×10^{-5} ，以南部及金門較高，平均為 5×10^{-5} 。一般認為外島地區民眾可能因含溴物種的存在而承受較高之健康風險，但經由不同物種風險貢獻量的比較觀察到氯仿具有較高之風險貢獻量。因此可知外島地區民眾其健康風險較高之主要原因是

較高之總三鹵甲烷濃度，並非受含溴物種之影響。

4.2 建議

本研究進行飲用水三鹵甲烷健康風險評估，由於淋浴之呼吸暴露為主要風險貢獻的途徑，可藉由縮短淋浴時間及良好的浴室通風以降低風險。

本研究結果指出 100 µg/L 的法規標準值不足以保護民眾之健康，目前美國已將 100 µg/L 改為 80 µg/L，更以 40µg/L 為其下一個管制目標，因此建議台灣之法規有其修改之必要。

含溴物種對於人體健康之延遲效應的研究應加以重視，應針對台灣飲用水中三鹵甲烷濃度之詳細分佈及暴露著手相關研究，以作為未來修訂管制標準之基礎。

主要參考文獻

Little, John C., 1992, "Applying the Two-Resistance Theory to Contaminant Volatilization in Showers" Environ. Sci. Technol. : 26, pp.1341-1349

Lin et al., 2000, "Inhalation exposure to THMs from drinking water in south Taiwan", The Science of the Total Environment : 246, 1, pp.41-49

RAIS, 2003, Risk Assessment Information System, http://risk.lsd.ornl.gov/tox/tox_values.shtml

Singer, P. C., 1998, "Occurrence of Disinfection By-Products (DBP) Precursors in Source Waters And

DBPs in Finished Waters"

USEPA, 1989, "Risk Assessment Guidance for Superfund"

USEPA, 1998, "National Primary Drinking Water Regulations: Disinfectants and Disinfection Byproducts"

Yang, C. Y., Chiu, H. F., Cheng, M. F., Tsai, S. S., 1998, "Chlorination of drinking water and cancer mortality in Taiwan," Environmental Research : 78 ,1, pp.1-6

蔣本基, 1997, 飲用水中消毒副產物調查及處理技術之評估 (), EPA-86-E3J1-09-01

蔣本基, 1998, 臭氧搭配活性碳單元對飲用水中消毒副產物之去除效能評估, EPA-87-E3J1-09-01

蔣本基、張怡怡, 1999, 飲用水中微量有機物背景調查及管制標準之研究, EPA-88-E3J1-09-01

張怡怡, 2000, 飲用水水源中 TOC、COD 及大腸桿菌群調查及水源標準之檢討, EPA-89-J102-03-1093

蔣本基、張怡怡, 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, EPA-89-U1J1-03-003

王榮德等, 2000, 含氯揮發性有機物污染事件居民流行病學調查與風險評第二年專案計畫

吳焜裕, 2000, 毒理機制在風險評估的運用及其本土化之研究 (II), 89-2621-Z-039-002

王正雄, 2002, 三鹵甲烷環境暴露之探討, 環境檢驗通訊雜誌第 42 期

表一 三鹵甲烷之毒性資料

化學物質	Slope Factor (mg/kg-day) ⁻¹			**健康物分類
	食入	皮膚吸收	呼吸	
氯仿	6.10x10 ⁻³	3.05x10 ⁻²	8.05x10 ⁻²	Group B2
一溴二氯甲烷	6.20x10 ⁻²	6.33x10 ⁻²	6.20x10 ⁻²	Group B2
二溴一氯甲烷	8.40x10 ⁻²	1.40x10 ⁻¹	8.40x10 ⁻²	Group C
溴仿	7.90x10 ⁻²	1.32x10 ⁻²	3.85x10 ⁻³	Group B2

**健康物為分類依據 USEPA 之健康物分類

表二 不同物種之風險貢獻量*

	食入	呼吸	皮膚吸收	總風險
氯仿	1.61E-08	1.80E-06	7.78E-09	1.82E-06
一溴二氯甲烷	1.64E-07	8.87E-07	1.05E-08	1.06E-06
二溴一氯甲烷	2.22E-07	7.69E-07	1.56E-08	1.01E-06
溴仿	2.09E-08	2.60E-08	9.84E-10	4.79E-08

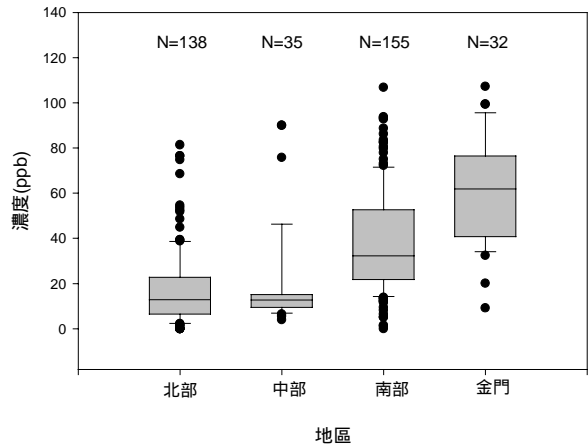
* 以 1µg/L 為基準計算。

表三 各地區飲用水中三鹵甲烷各暴露途徑之健康風險平均值

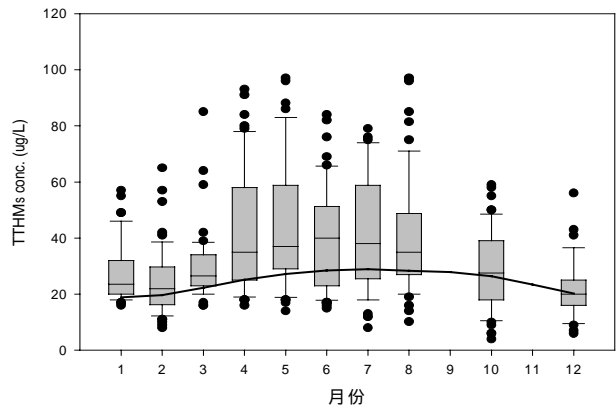
	北部		中部		南部		金門	
	男	女	男	女	男	女	男	女
未煮沸 飲用	0.88	1.00	0.54	0.62	1.61	1.88	3.7	4.26
煮沸 飲用	0.18	0.20	0.11	0.12	0.32	0.37	0.74	0.85
皮膚	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03	0.03	0.06	0.06
呼吸	1.68	1.50	2.03	1.83	4.13	3.73	4.36	3.94
總風險 不考慮 煮沸	2.81	2.79	2.72	2.61	6.13	5.99	8.27	8.36
總風險 考慮 煮沸	1.98	1.85	2.19	2.01	4.59	4.25	5.24	4.94

(單位：十萬分之一，10⁻⁵)

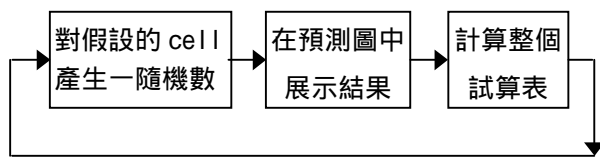
** 表中為北部、中部、南部的所有暴露途徑及金門的呼吸暴露途徑健康風險之幾何平均值及標準差，金門的食入及皮膚暴露途徑則為算術平均數及標準差。



圖二 台灣地區飲用水中三鹵甲烷濃度分佈

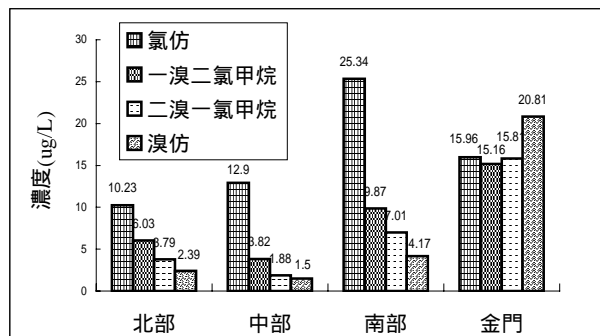


圖三 民國 90 年高雄地區水中總三鹵甲烷濃度分佈



圖一 蒙地卡羅模擬之流程

(高雄地區溫度變化與三鹵甲烷濃度之比較)



圖四 民國 79-92 年各地區個別三鹵甲烷平均濃度