

# 結合消毒副產物風險評估之水價決策模式

葉怡巖<sup>1</sup>、陳韋銘<sup>2</sup>、黃蕙潔<sup>2</sup>、陳怡蓓<sup>3</sup>、李漢鏗<sup>4</sup>

<sup>1</sup>逢甲大學土木及水利工程研究所博士

<sup>2</sup>逢甲大學水利工程學系碩士

<sup>3</sup>逢甲大學水利工程學系碩士班

<sup>4</sup>逢甲大學水利工程學系副教授

## 摘要

本研究團隊執行國科會三年之研究計畫，第一年以台灣地區自來水中消毒副產物三鹵甲烷之時空分佈並分析其生成影響因子。第二年結合美國環保署之癌症風險評估模式評估台灣地區的致癌風險狀況。第三年以風險評估之成果與水價之制訂，利用系統動態模式結合風險評估及水價制訂之決策模式是本研究的成果。

本研究針對 1998~2002 年台灣省自來水公司全台各區處三鹵甲烷檢測資料，加以統計分類並分析，計算台灣各地區的三鹵甲烷各物質的終身致癌風險，研究顯示三鹵甲烷中以三氯甲烷佔最多（約 60%）。各地區三氯甲烷暴露致癌風險值如下：北部基隆地區為  $53.77 \times 10^{-8}$ 、台北地區為  $25.59 \times 10^{-8}$ 、桃園地區為  $44.15 \times 10^{-8}$ 、新竹地區為  $29.87 \times 10^{-8}$ ；中部苗栗地區為  $40.99 \times 10^{-8}$ 、台中地區為  $27.61 \times 10^{-8}$ 、南投地區為  $19.97 \times 10^{-8}$ 、彰化地區為  $21.69 \times 10^{-8}$ 、雲林地區為  $33.18 \times 10^{-8}$ ；南部嘉義地區為  $45.54 \times 10^{-8}$ 、台南地區為  $106.84 \times 10^{-8}$ 、高雄地區為  $65.69 \times 10^{-8}$ 、屏東地區為  $20.58 \times 10^{-8}$ ；東部台東地區為  $14.22 \times 10^{-8}$ ；外島澎湖地區為  $7.23 \times 10^{-8}$ 。宜蘭及花蓮地區由於未取得該地區三鹵甲烷檢測數據故未加以評估。

另外本研究選定台中地區評估人體癌症風險為研究主題，以民眾社會認知的可接受度進行考量。採用結構型問卷調查方式，有效問卷為 344 份，拒訪 6 份，成功率為 98.29%；內容包含四大項，分別利用卡方檢定進行分析評估，在 95% 的信賴區間及 0.05 顯著水準下，結果顯示民眾的性別、年齡及家庭年平均收入與應變數顯著性具有相關性。複迴歸分析結果顯示，民眾對於水質改善降低風險，1 度自來水之合理水價為多少的認知部分，「性別」及「教育程度」之面向呈現顯著之特性。

統計分析結果顯示台中地區男性而且教育程度越高者，對於決策者藉由調高水價而降低人體健康風險值的接受度較高，最多能夠負荷的水價經評估為 1 度 14.6 元，比現今 1 度 9 元超過 5.6 元。透過系統動態模式（VENSIM<sup>®</sup> 5.3 版），結合民眾願意給付水價、台灣省自來水公司給水成本、水質處理方法及癌症風險因子之子系統，評估自來水中三鹵甲烷對民眾健康風險之關係。模式模擬結果顯示當水費收入越多時，給水支出增加，風險差異減緩的時間提前至第 14 年時趨近於法規規定之基線標準值  $1 \times 10^{-6}$ 。因此決策者若能使目前水質加以改善，降低風險值，相信民眾在水價給付意願的部份會更容易說服。

**關鍵字：**三鹵甲烷、風險評估、決策模式、迴歸分析、系統動態模式

## 一、前言

(Rook, 1974)首先發現飲用水利用加氯作為消毒劑時，在消毒過程消毒劑與水中有機物形成多種致癌性消毒副產物 (Disinfection by products, DBPs)。研究顯示 DBPs 中含有鹵乙酸類 (Haloacetic acids, HAAs)、鹵乙月青 (Haloacetonitriles, HANs)、鹵化酮類 (Haloketones, HKs)、氯化苦味素 (Chloropicrin, CP)、三鹵甲烷 (Trihalomethanes, THMs) 等(王正雄等, 2000)。其中 THMs 佔 DBPs 的 60%、HAAs 佔 20%、HANs 佔 12%、HK 佔 5%、CP 佔 3%；由此可知 THMs 為自來水加氯消毒中含量較高的 DBPs (Shin *et al.*, 1999)。

流行病學及動物實驗研究結果顯示，水處理過程產生含氯之 DBPs，其擁有引發膀胱癌、結腸癌、直腸癌甚至肝癌等慢性方面疾病之證據。台北醫學院公衛學系(Hsu *et al.*, 2001)曾於 2001 年發表一篇關於 THMs 之癌症風險評研究報告，文中指出三氯甲烷(TCM)是台灣地區自來水中最主要的致癌風險因子，尤其南部地區其為主要影響因子，其貢獻度約佔 THMs 各物種之 87.5~92.5%。

圖 1 所示美國國家科學研究院(NRC, 1983) 提出風險評估架構步驟如下：危害物鑑定(Hazard Identification)、劑量反應評估 (Dose-response Assessment)、暴露評估 (Exposure Assessment)及風險特性描述(Risk Characterization)。基於評估步驟，本研究利用美國環保署 (USEPA) 提供之 Benchmark 模式(BMD)進行劑量反應之研究；暴露途徑評估方面於本研究假設人體暴露劑量方面是以終生暴露為基礎，經由食入、吸入與皮膚接觸作為主要暴露途徑。其他因子包括不同的體重、人體對毒性物質的吸收率及暴露的時間，均會產生不同的暴露結果；最後依照結果評估風險特性進行全台灣飲用水的致癌風險評估。

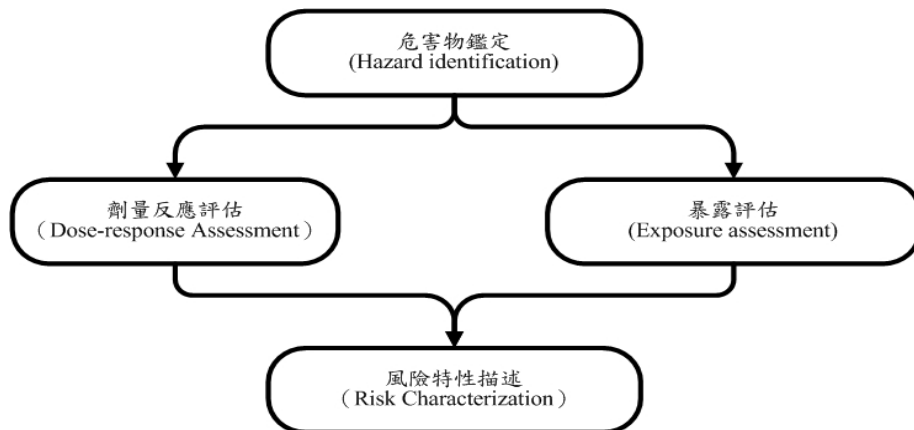


圖 1 風險評估架構步驟

有鑑於 THMs 對人體之危害，在癌症風險評估方面，根據 USEPA 現今法規以風險值  $1 \times 10^{-6}$  作為危害的基準。本研究以問卷調查統計方式作為社會因素對水質現況之分析；台灣省自來水公司提供之給水成本作為經濟因素考量。綜合上述兩層面相關因子，最後以系統動態學 (System Dynamics) 為基礎，由系統思考的角度評估台中市民飲用水中 DBPs 之癌症風險動態模型。期能利用模式進行評估並預測合理

水價與致癌風險之相關性，提供決策者在考量安全癌症風險量化值時，期能以較廣泛之面向思考進行整合。

## 二、研究方法

### 2.1 THMs 數據收集及統計

THMs 數據收集方面，主要來自台灣省自來水公司提供西元 1998~2002 年全省各管理處所監測之 THMs 用戶端資料；依照各地處區分為宜蘭、基隆、台北、桃園、新竹、苗栗、台中、南投、彰化、雲林、嘉義、台南、高雄、屏東、台東、花蓮及澎湖等地區。在本研究定義基隆、台北、桃園及新竹歸類為北部地區；苗栗、台中、南投及彰化歸為中部地區；雲林、嘉義、台南、高雄及屏東歸為南部地區；宜蘭、台東及花蓮歸為東部地區；澎湖歸類為外島地區。由於宜蘭、台東及花蓮等地區數據提供並不齊全，故在本研究中將不加以討論。

### 2.2 THMs 癌症風險評估

#### 2.2.1 危害物質鑑定 (Hazard Identification)

本研究整理 USEPA 關於 THMs 各物種致癌研究相關報告，其致癌分類如表 1 所示。其中 Trichloromethane (TCM)、Dibromochloromethane (DBCM) 及 Dichlorobromomethane (DCBM) 屬於 Group B2；Tribromomethane (TBM) 屬於 Group C。

表 1 USEPA 之致癌性分類

Group A	人類致癌物	人體研究致癌證據充足
Group B1	人類致癌物 (Probable)	人體研究致癌證據有限
Group B2	人類致癌物 (Possible)	人體研究致癌證據不足或是無資料 且動物試驗致癌證據充足
Group C	人類致癌物 (Perhaps)	人體研究致癌證據不足或是無資料 且動物試驗致癌證據有限
Group D	缺乏資料，故未歸類	人體研究及動物試驗資料缺乏
Group E	非人類致癌物	人體研究及動物試驗證明為非致癌物

#### 2.2.2 劑量反應評估 (Dose-response Assessment)

Multistage Model 對於評估致癌劑量顯示唯有意義之回歸模式，因此本研究將直接選用該回歸模式來進行 THMs Benchmark Dose (BMD) 的評估。其他模式則不加以評估討論。其簡易流程如圖 2 所示。

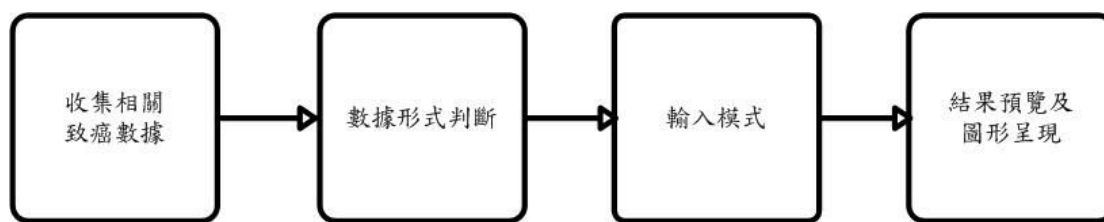


圖 2 Benchmark dose 簡易操作流程

本研究收集 USEPA IRIS 關於 THMs 致癌動物實驗數據如表 2 所示，利用 USEPA 所提供之 BMD 模式選用 Dichotomous 型進行模擬運算。

表 2 THMs 各衍生物質致癌性動物實驗數據

Chemicals	TCM	BDCM	DBCM	TBM	
<b>Data Set</b>	Moderate or marked fatty cysts in males plus females	B6C3F1 mice, male	mouse/B6C3F1, female	F344/Nrat, female	
Data Values	Dose (mg/kg/day)	0 15 30 25 50	0 25 50	0 50 100	0 25 50
	Number	27 15 15 50 50	46 49 50	50 49 50	50 50 50
	Incidence	1 9 13 1 8	1 2 9	6 10 19	0 1 8
<b>References</b>	Heywood et al., 1979	NTP, 1987	NTP, 1985	NTP, 1989	

資料來源：IRIS, 2003

### 2.2.3 暴露評估 (Exposure Assessment)

研究假設人類可能接觸 THMs 的暴露途徑主要有食入、吸入及皮膚接觸，參考 USEPA risk assessment guidance for superfund (USEPA,1989)，Exposure factors handbook (USEPA,1997)、Integration risk information system (IRIS, 2003)及(Wang, 2003)等資料，分別評估食入、吸入及皮膚接觸之慢性每日攝取劑量(Chronic Daily Intake, CDI)。由於人體有解毒作用，所以並非 100%吸收任何物質，但可利用保守性研究方式假設毒性物質 100%被人體吸收。

此外於食入暴露途徑方面，假設僅考慮經由喝水作為接觸暴露途徑。但因國人習慣飲用煮沸後的自來水，鮮少直接生飲，研究發現飲水中大部分的 THMs 各物種在煮沸過程中約有 60~80%將被去除 (Kuo *et.al*,1997)。再本研究假設煮沸後 THMs 去除率為 80%。另外在吸入及皮膚接觸的途徑方面假設淋浴洗澡最主要的接觸途徑(鄧氏，2003)，固只考量淋浴為接觸暴露因子途徑。由於空氣中的 THMs 濃度會受到不同引響參數的影響故參考 (Little, 1992) 發展之數學模式推估洗澡時浴室空氣中 THMs 的濃度；各項暴露途徑計算公式及假設參數如表 3 所示。

### 2.2.4 風險特性 (Risk Characterization)

(陳氏，2004) 研究結果顯示，台灣地區 THMs 各物種之暴露途徑可假設食入、吸入及皮膚吸收；健康風險計算可利用 CDI 與斜率因子 (Slope factor, SF) 的相乘積得知，各 THMs 衍生物效力因子如表 4 所示。

### 2.3 系統動態模式 (System Dynamic Model, SDM) 描述

本研究之系統架構考量飲用水中 DBPs 中 THMs 癌症風險與社會、經濟影響因子及其可能衍生之相互關係，共建立四個子系統，做為制訂政策決策之指標。分別以 THMs 癌症風險、水質處理方法、社會層面影響因子及經濟層面影響因子等四大子系統結合構成之模式系統，研究 THMs 癌症風險與社會及經濟層面影響因子之動態關係；各子系統間之相互關係與結構如圖 3 顯示。單箭頭方向表示該子系統為影響另一子系統之原因，雙箭頭表示兩者將互為因果關係。

表 3 本研究之各項暴露評估各項假設參數

參數	數值	參考文獻
<b>食入暴露</b> , $CDI = \frac{(CW \times 0.8 \times IR \times EF \times ED)}{(AT \times BW)}$		
慢性每日暴露劑量, CDI (mg (Kg-day) <sup>-1</sup> )		
自來水中 THMs 濃度, CW		
飲用水量, IR	2.5(liters day <sup>-1</sup> )	吳焜裕,1999
平均暴露時間, AT	70(year)×365(day/year)	USEPA,1989
暴露期間, ED	70(year)	USEPA,1989
暴露頻率, EF	365(day year <sup>-1</sup> )	USEPA,1989
體重, BW	男性: 64.8±10(Kg) 女性: 56.3±9.09(Kg)	行政院衛生署 <a href="http://www.doh.gov.tw/statistic/">http://www.doh.gov.tw/statistic/</a>
人體吸收率	100%	研究假設值
<b>吸入暴露</b> , $CDI = \frac{(C_{air} \times VR \times EF \times ET \times ED)}{(AT \times BW)}$ ; $a = \frac{Q_L C_{in} (1 - \exp(-N)) + Q_{Gs}}{V_s}$ ; $b = \frac{(Q_L / m(1 - \exp(-N)) + Q_{Gs})}{V_s}$ ; $N = (K_{OL} A) / Q_L$		
浴室空氣中 THMs 濃度, C <sub>air</sub>		
成人每日平均吸入空氣量, VR	12.3(m <sup>3</sup> day <sup>-1</sup> )	吳焜裕, 2003
水流速, Q <sub>L</sub>	0.032(L min <sup>-1</sup> )	吳焜裕, 2003
空氣流速, Q <sub>Gs</sub>	50(L min <sup>-1</sup> )	Little,1992
浴室體積, V <sub>s</sub>	6.6	吳焜裕,2003
亨利常數, H	TCM: 0.150 BDCM: 0.087 DBCM: 0.032 TBM: 0.022	IRIS, 2003
液體質量轉移係數×有效空氣/水介面, K <sub>OLA</sub>	0.019	Little,1992
<b>皮膚接觸</b> , $CDI = \frac{(CW \times PC \times SA \times EF \times ET \times ED)}{(AT \times BW)}$		
皮膚穿透係數, PC		
皮膚接觸表面積, SA		
暴露時間, ET	TCM: 8.9×10 <sup>-3</sup> (cm hr <sup>-1</sup> ) BDCM: 5.8×10 <sup>-3</sup> (cm hr <sup>-1</sup> ) DBCM: 3.9×10 <sup>-3</sup> (cm hr <sup>-1</sup> ) TBM: 2.6×10 <sup>-3</sup> (cm hr <sup>-1</sup> ) (4BW+7) (BW+90) <sup>-1</sup>	USEPA,1997 USEPA,1997
	20(min day <sup>-1</sup> )	MCKone ,1989

表 4 THMs 各衍生物質之斜率因子(Slope Factor)

Chemicals	Slope Factor (SF)(mg/kg/day) <sup>-1</sup>		
	食入	皮膚接觸	吸入
TCM	$6.10 \times 10^{-3}$	$3.05 \times 10^{-2}$	$8.05 \times 10^{-2}$
BDCM	$6.20 \times 10^{-2}$	$6.33 \times 10^{-2}$	$6.20 \times 10^{-2}$
DBCM	$8.40 \times 10^{-2}$	$1.40 \times 10^{-1}$	$8.40 \times 10^{-2}$
TBM	$7.90 \times 10^{-2}$	$1.32 \times 10^{-2}$	$3.85 \times 10^{-3}$

資料來源：IRIS,2003

經濟層面影響因子部份，依照台灣省自來水公司各供水系統成本報告中指出，給水成本由原水、淨水、供水、業務費用加廠所管理費用及該區處生產、銷售管理等職能之實際費用支出並分攤利息支出與總處、工程處、水表修理場及員工訓練等單位費用彙計而成。

社會層面影響因子部分，針對問卷調查內容整理出民眾對於飲用水水質之政策因素與水價之認知、民眾對目前台中市地區飲用水質的看法及民眾對於飲用水供應量之認知加以分析。THMs 癌症風險層面部分，多位學者指出飲用水加氯消毒後產生的 DBPs 種類高達九種，其中以 THMs 的含量最多佔 60%，HAAs 次之佔 20%；故本研究採用含量較多之 THMs 進行研究。

就本研究探討內容及主題而言，系統邊界之界定在於因應及符合癌症風險、社會及經濟層面互為因果及影響因子為主，模擬重點在於癌症風險降低及台灣省自來水公司收入與民眾願意給付改善水質價錢之關係。

為避免系統無限擴大，本研究利用系統邊界加以限制。在經濟層面影響因子僅考慮給水、供水及淨水成本；社會層面影響因子僅考慮民眾願意給付水價改善水質價格；DBPs 方面僅考量 THMs 的影響，其它則不予考慮。系統邊界定義詳見圖 3 所示。

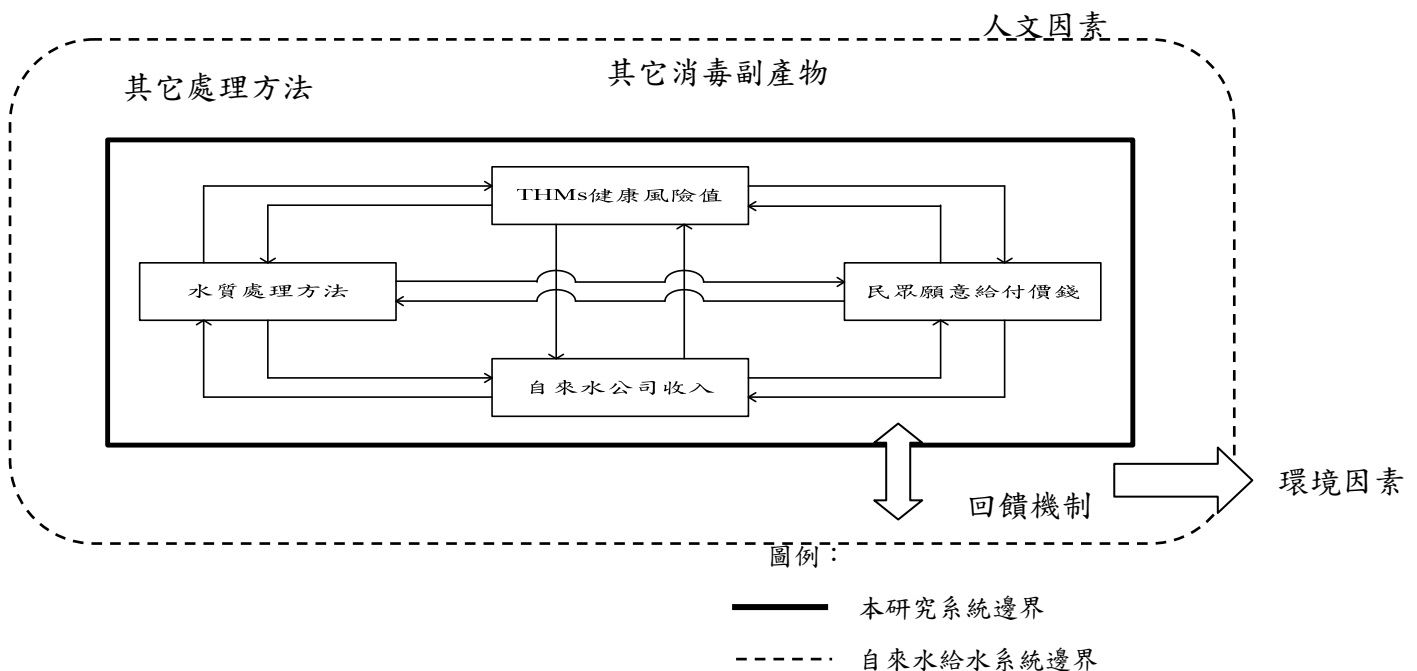
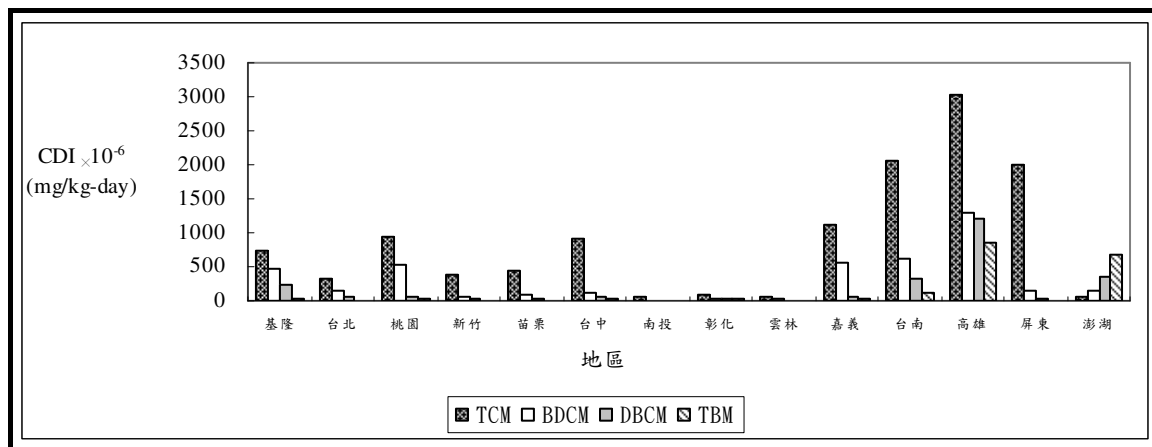


圖 3 本研究系統邊界定義圖



30~40%。

根據 USEPA 現今以風險值  $1 \times 10^{-6}$  來作為是否危害的基準時，研究發現目前台灣大部份地區所承受的風險皆略高於此標準，僅中部地區的南投、雲林和彰化地區在這標準值以下。



Unit :  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$

圖 5 台灣地區總三鹵甲烷慢性每日攝取量(CDI)

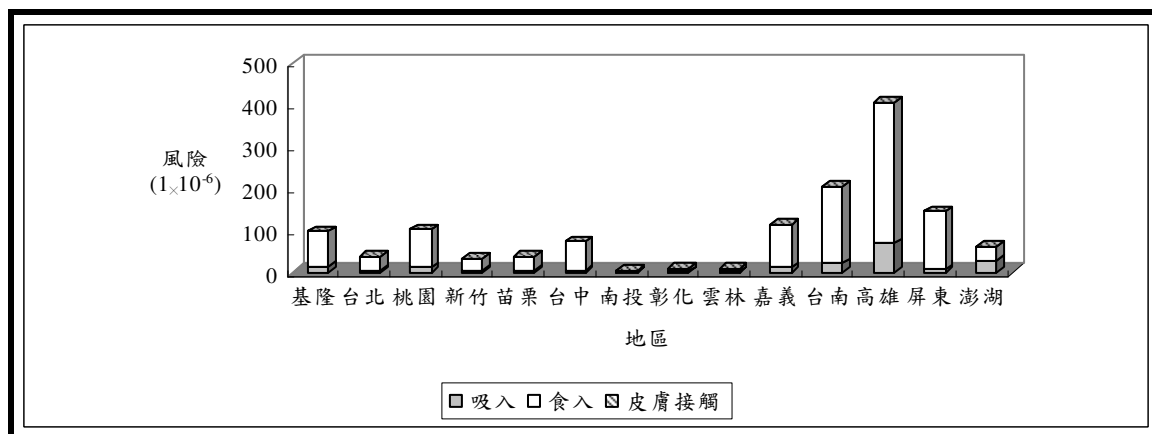


圖 6 臺灣地區不同暴露途徑平均總癌症風險(男性)

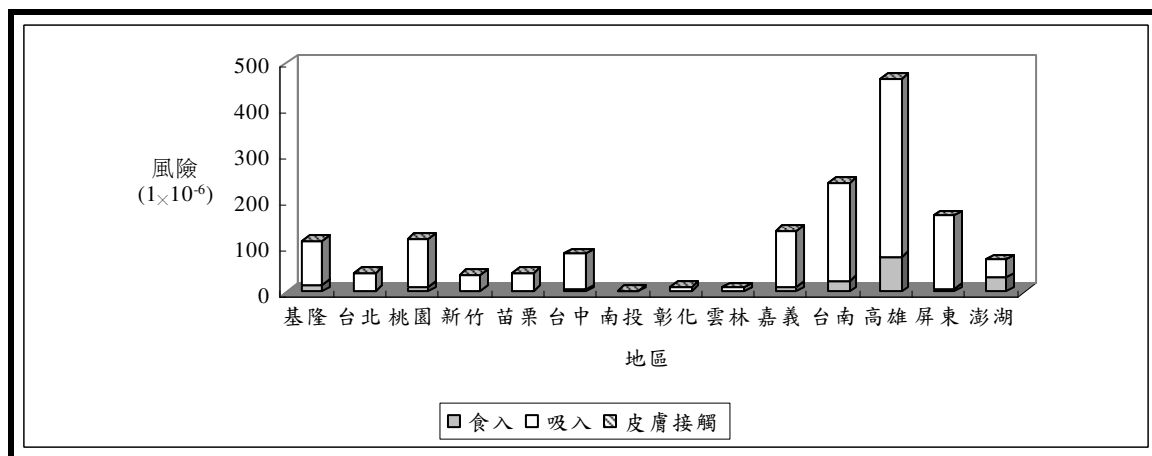


圖 7 臺灣地區不同暴露途徑平均總癌症風險(女性)

### 3.2 複迴歸模擬結果

以民眾對水質改善風險降低，水價可到達一度多少錢為合理之主題對性別、居住地區、年齡、教育程度及家庭年平均收入等五個預測變數來探討，由預測變數複迴歸分析得知，檢定值 (F test)  $F=6.550 > F_{0.05,2,324} \doteq 3.00$ ，代表此一複迴歸模式為一顯著模式。其複迴歸方程式可表示如下：

**民眾對水質改善風險降低，水價可到達一度多少錢為合理 = 1.01 + 0.15 × 「性別」 + 0.06 「教育程度」。**

由迴歸分析得知，性別及教育程度具有相當的顯著性，可見影響民眾對水質改善風險降低，水價可到達一度多少錢為合理，其影響因素為性別及教育程度影響最大。本次問卷發現，民眾較無負擔水處理成本之觀念，但傾向於水質真正改善後，願意調整水價之意願頗高。

表 5 結果顯示，民眾願意給付改善水質之價格最多為教育程度研究所以上之性別為男性的 1.46 元；最少為教育程度為國小以下之程度性別為女性的 1.07 元。由問卷得知現今水價 1 度為 9 塊的情況之下，結合複迴歸結果並利用組距內插之方法瞭解民眾願意給付之價格約為一度新台幣 10.7~14.6 元之間。

表 5 教育程度與性別對水價級距係數之迴歸分析

教育程度	級距係數	
	男性	女性
國小以下	1.22	1.07
國（初）中	1.28	1.13
高中職	1.34	1.19
大專	1.40	1.25
研究所以上	1.46	1.31

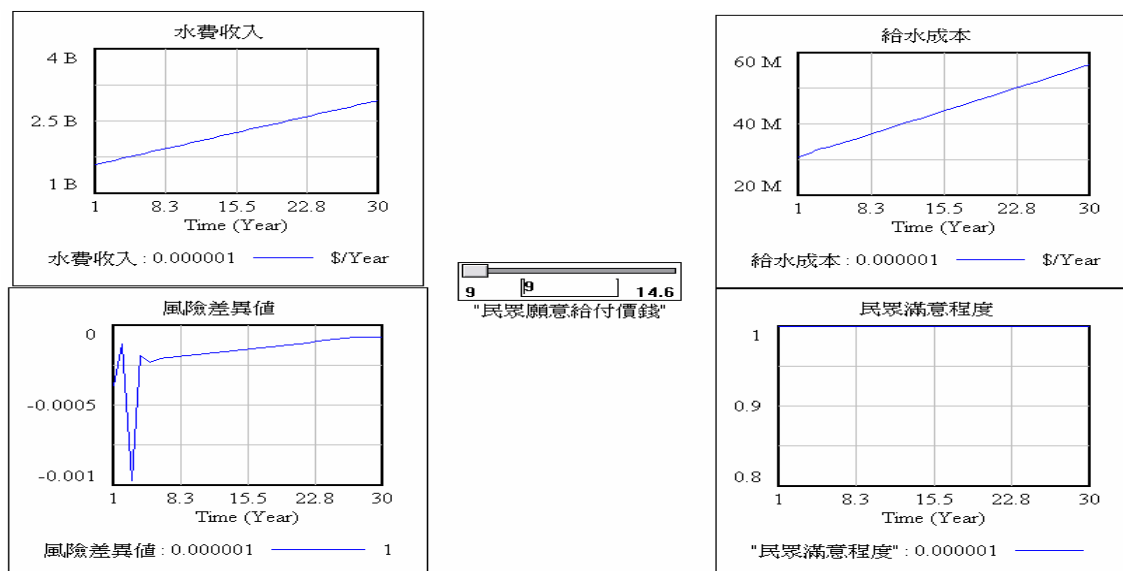
### 3.3 SDM 政策模擬—民眾願意給付 1 度 9 元及 14.6 元水價之模擬

在設定模擬 30 年的情況之下，經由圖 8 及 9 可得知，當民眾願意給付價錢由 1 度 9 元調整至 1 度 14.6 元之政策執行時，對本研究所想要探討之水費收入、給水成本及健康風險差異的影響。

本模式在建模過程當中，設定民眾願意給付水價之價格會影響到水費收入及給水成本，進而影響到癌症風險差異。因此當民眾願意給付水價為 1 度 9 元時，民眾對於水價調漲之滿意程度為非常滿意；在水費收入部份由第 1 年的 1.7 億上昇至第 30 年的 3.8 億；給水成本在第 1~30 年期間也上昇了 3 佰萬，而在健康風險差異方面，由於它的函數輸入是採用總癌症風險之標準為公式，因此在第 28 年時才趨近於平緩。

當民眾願意給付水價為 1 度 14.6 元時，水費收入比水價 1 度 9 元時多了 2.3 億；健康風險差異提前至第 14 年減少與風險標準值  $1 \times 10^{-6}$  之差值；在民眾滿意程度部份，雖然會由原先的非常滿意降為滿意，但民眾從水費收入部份可以看到，藉由水

費收入改善水質狀況，THMs 癌症風險也跟著降低，但給水成本對於水價由 1 度 9 元調整至 1 度 14.6 元的影響並不大。此因給水成本在本模式中是受到原水、淨水及供水成本影響，而原水又受到總用水量跟自來水用戶數影響，所以民眾願意給付水價之價格對於給水成本之影響並不大。



註：B 單位代表十億元；M 單位代表佰萬元

圖 8 民眾願意給付價錢 1 度 9 元與其它變數比較圖

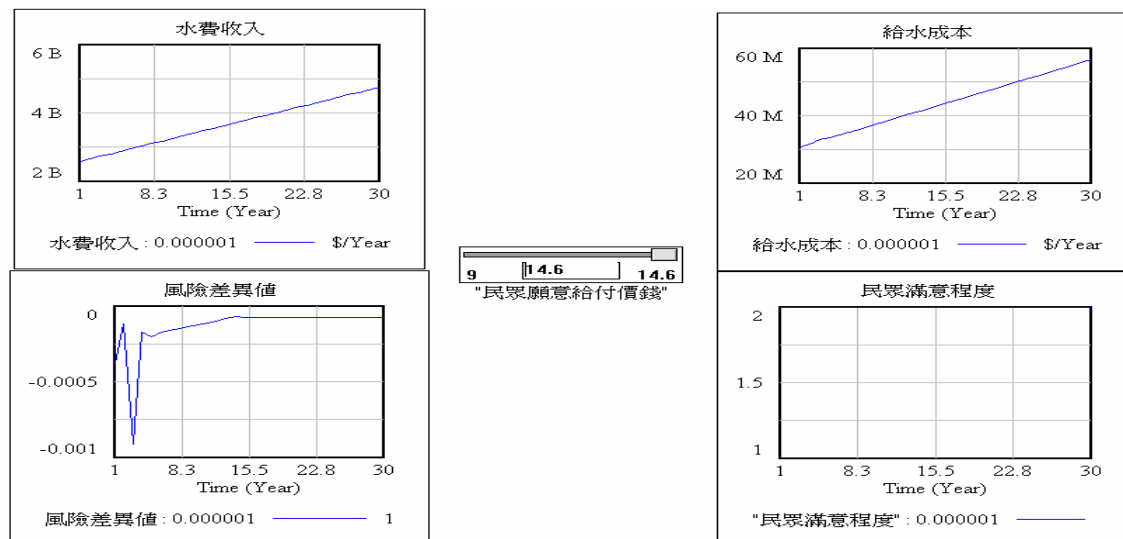


圖 9 民眾願意給付價錢 1 度 14.6 元與其它變數比較圖

#### 四、結論

本研究最主要的貢獻，是以飲用水中 THMs 癌症風險為觀點，將影響癌症風險的社會及經濟之因素加入，建立一個模擬系統，提供決策者在進行決策時，可以採用不同的政策以 SDM 模擬的方式反覆測試，預知各種政策可能產生的影響，進而

在各種可行方案當中找尋最佳解，或是用各種不同的政策相互搭配，其結論如下所示。

#### (1) 系統動態模式

以因果關係的結構，建立癌症風險、社會與經濟層面之子系統，並利用 SD 的原理建構三者之相互關係。透過 SDM 之模擬，讓決策者在短時間內，能進行各種不同策略之變動，並了解到各個子系統間之相互關係。

#### (2) 社會層面

在社會層面方面，本研究以問卷調查為主，藉由迴歸分析自變數與民眾基本資料，由檢定值 (F test) 得知，此複迴歸模式為顯著模式。在以癌症風險為前提下，1 度水價 14.6 元是台中市居民願意給付價錢的最大接受度，以此價格作為政策，假設採取臭氧處理方法，再藉由 SDM 模擬出，其在第 14 年時可使癌症風險趨近於標準基值。

#### (3) 經濟層面

依照模式架構，其淨水、供水、購入原水價錢對原水成本之影響、自來水用戶數及民眾用水量跟給水收入都有相關性，因此在給水成本部份，會隨著上述相關因子之增加而增加。

#### (4) 癌症風險

根據 USEPA 現今以風險值  $1 \times 10^{-6}$  來作為是否危害的基準時，台中地區所承受的風險略高於此標準。本模式模擬假設使用臭氧處理方法，模擬 30 年情況之下，且水價調整至民眾願意給付 1 度水價範圍極限 14.6 元時，能夠提前在第 14 年時降低健康風險。由此可知，台灣省自來水公司適當的增加水處理設備，對於水質改善是有益的。

### 五、致謝

本研究得以完成，要感謝國科會計畫 (NSC-94-2621-Z-035-002) 及台灣省自來水公司第四區服務處對本研究之協助，使得本研究能夠順利進行，在此一並致謝。

### 六、參考文獻

1. Rook, J.J., "Formation of haloforms during chlorination of natural water", Water Treat. Exam, 23, 234-243,(1974).
2. 王正雄、鄭資英、陳麗霞、張小萍、傅千育、洪文宗及郭季華，"自來水三鹵甲烷含量之調查研究"，自來水會刊,第 20 卷第 4 期，第 3-16 頁(2000)。
3. Shin, D., Chung, Y., Choi, Y., Kim, J., Park, Y., Kum, H., "Assessment of disinfection

- byproducts in drinking water in Korea”, *J. Expo Anal Environ Epidemiol*; 9,192-199 (1999).
4. Hsu, C.H., Jeng, W.L., Chang, R.M., Chien, L.C. and Han, B.C., “Estimation of potential lifetime cancer risk for trihalomethanes from consuming chlorinated drink water in Taiwan”, *Environment Research, Section A*, 85, 77-82 (2001).
  5. National Research Council (NRC), “Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process”, NAS Press, Washington, DC, USA. (1983).
  6. National Toxicology Program (NTP), “Toxicology and Carcinogenesis Studies of Chlorodibromomethane (CAS. No. 124-48-1) in F344/N Rats and B6C3F1 Mice (gavage studies)”, National Toxicology Program Technical Report Series No. 282. DHHS Publications No. (NIH), 85-2538 (1985).
  7. National Toxicology Program (NTP), “Toxicology and Carcinogenesis Studies of Bromodichloromethane (CAS. No. 75-27-4) in F344/N Rats and B6C3F1 Mice (gavage studies)”, National Toxicology Program Technical Report Series No. 321. DHHS Publications No. (NIH), 85-2537 (1987).
  8. National Toxicology Program (NTP), “Toxicology and Carcinogenesis Studies of Bromoform (CAS. No. 75-25-2) in F344/N”, (1989).
  9. USEPA, “Integrated Risk Information System (Electronic data base)”, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC. Available on Internet at: [www.epa.gov/iris](http://www.epa.gov/iris) (2002).
  10. USEPA, “Risk Assessment Guidance for Superfund”, Environmental Protection Agency Washington DC, USA (1989).
  11. USEPA, “Exposure Factors Handbook”, Environmental Protection Agency Washington DC, USA (1997).
  12. Wang K.S. and Dan Y.J., “Health risk assessment and distribution of trihalomethanes in drinking water of Taiwan”, 21<sup>th</sup> conference Taiwan Water Cooperation (2003).
  13. Kuo, H.W., Chiang, T.F., Lo, I.I., Lai, J.S., Chan, C.C., Wang, J.D., “VOC Concentration in Taiwan's Household drinking Water”, *The Science of the Total Environment*, 208, 41-47 (1997).
  14. 鄧雅諱, “飲用水中三鹵甲烷生成及其致癌風險評估”, 國立台灣大學環境衛生研究所, 碩士論文 (2003)。
  15. Little, John C., “Applying the two-resistance theory to contaminant volatilization in showers”, *Environ. Sci. Technol.* 26, 1341-1349 (1992).
  16. 陳韋銘, “台灣地區自來水中三鹵甲烷健康風險評估”, 逢甲大學水利工程學系, 碩士論文 (2004)。
  17. 吳焜裕, “毒理機制在風險評估的運用與其本土化之研究(I)”, NSC-89-2621-Z-039-001 (1999)。
  18. 吳焜裕, “毒理機制在風險評估的運用與其本土化之研究(II)”, NSC-89-2621-Z-039-002 (2003)。
  19. MCKone T.E., “Household exposure models”, *Toxicol. Lett.*, 49, 321-339 (1989).