

飲用水中新興污染物之健康風險評估

文/張怡怡、莊朝欽、蔣本基、李易書、康世芳

摘要

近年來，民眾對水質要求普遍提升，基於新興污染物(Compounds of Emergency Concern)可能造成人體健康安全危害之考量，飲用水水源與水質標準實有必要逐年修訂。評析現行國內致病性微生物、重金屬、農藥、消毒副產物與持久性難分解有機物之污染現況及健康風險等，均應在法規建置前，審慎進行評估。本研究將根據美國國家研究中心(USNRC)健康風險評估概念，分為四大步驟：(1) 危害性鑑定(Hazard Identification)；(2) 劑量效應評估(Dose-Response Assessment)；(3) 暴露評估(Exposure Analysis)；(4) 風險表徵(Characterization of Risk)。逐步介紹飲用水中候選新興污染物目標值之計算，並依據目前尚未管制之新興污染物調查濃度進行健康風險評估試算，藉此了解台灣飲用水水質現況，提供未來提升飲用水水質安全管理之重要方針。目前評估 12 種新興污染物之 HQ 均低於 0.1，表示該污染物在飲用水中濃度，對人體無顯著負面健康影響，其濃度可做為飲用水水質目標值訂定之依據。

一、前言

國際水協會(International Water Association, IWA)於 2004 年提出之波昂憲章(Bonn Charter)強調飲用水水質安全包括自水源地經淨水場至用戶端的整體管理，並明確指出政府與主管機關的相關責任。因此，美國、日本、澳洲與紐西蘭等世界主要國家均

提出相關法令與指導方針，提升飲用水安全。

多數國家制定飲用水管理相關法規或標準時，經常參酌世界衛生組織(World Health Organization, WHO)所出版之飲用水指針(Guidelines for Drinking-water Quality)^[1]。美國環保署(USEPA)為提高飲用水水質安全，乃依據安全飲用水法案(Safe drinking water act, SDWA)擬訂污染物候選清單(Contaminant Candidate List, CCL, 以下簡稱 CCL)，已於 1998 年 3 月發佈首批 60 項 CCL(CCL₁)，2005 年 2 月發佈第二批 CCL(CCL₂)，目前正進行第三批 CCL(CCL₃)之研議^[2]。日本厚生勞動(2007)亦於 2004 年發布新修定的飲用水水質標準項目，分為水質標準項目、水質管理目標設定項目、及今後檢討項目；其中農藥類一項，多達 101 種農藥^[3]檢測。

我國雖訂有飲用水水源水質標準與飲用水水質標準，然而近年來民眾對水質要求提升，基於新興污染物(Compounds of Emergency Concern)可能造成人體健康安全危害之考量，飲用水水源與水質標準實有必要逐年檢討、修訂與增加。例如目前尚未管制之鹵乙酸與疑似環境荷爾蒙物質，及其他相關農藥、揮發性有機物與致病性微生物等。評析國內致病性微生物、重金屬、農藥、消毒副產物與持久性難分解有機物之污染現況及健康風險等，均是法規建置前必須審慎進行評估，作為法規研擬的依據。

二、建立新興污染物健康風險評估

雖然環境中新興污染物的濃度低，但對人體的危害性高，逐漸受到重視與研究。建立新增污染物候選清單的首要篩選原則為「參考國外已於飲用水水質標準中明確管制之污染物質」，主要參考的國家包括(1)世界衛生組織(WHO)、(2)美國、(3)加拿大、(4)

歐盟、(5)英國、(6)日本、(7)澳洲、(8)紐西蘭等八個國家。各國已明確管制，但我國環保署尚未列管之污染物質作為新增污染物之候選清單。目前，優先選定納入我國飲用水中 CCL 之三十項新增物染物候選清單^[4]，如表 1 所示：

表 1 三十項新增污染物候選清單

類別	編號	中文名稱	英文名稱
微生物	1	糞便性大腸桿菌群	Fecal Coliform
	2	大腸桿菌	<i>Escherichia coli</i>
	3	隱孢子蟲	<i>Cryptosporidium</i>
	4	梨形鞭毛蟲	<i>Giardia Lamblia</i>
毒性物質	5	戴奧辛	Dioxin
消毒副產物	6	鹵乙酸類	Haloacetic acids (HAAs)
	7	亞氯酸根	Chlorite
	8	醛類	Aldehyde
農藥	9	陶斯松	Chlorpyrifos
	10	大滅松	Dimethoate
	11	福瑞松	Phorate
	12	托福松	Terbufos
揮發性有機物	13	二氯甲烷	Dichloromethane
	14	1,1-二氯乙烷	1,1- Dichloroethane
	15	1,2-二氯丙烷	1,2- Dichloropropane
	16	順 1,2-二氯乙烯	Cis-1,2-dichloroethene
	17	反 1,2-二氯乙烯	Trans-1,2- dichloroethene
	18	四氯乙烯	tetrachloroethene
	19	氯苯	Chlorobenzene
	20	1,2-二氯苯	1,2- Dichlorobenzene
	21	1,4-二氯苯	1,4- Dichlorobenzene
	22	甲苯	Toluene
	23	乙苯	Ethylbenzene
揮發性有機物	24	二甲苯	Xylene
	25	苯乙烯	Styrene
重金屬	26	鋁	Aluminum
持久性難分解有機物	27	壬基酚	Nonylphenol
	28	鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	Di-(2-ethylhexyl)phthalate
	29	微囊藻毒-LR 型	Microcystins-LR
	30	雙酚 A	Bisphenol A

新興污染物之健康風險，將依化學物質及微生物項目分別評估。

- (一)化學物質健康風險評估前，必須先蒐集毒性化學物質之健康影響相關資料，包括對健康無不良影響的最高限值 (No Observed Adverse Effect Levels, NOAELs) 或有不健康影響的最低限值 (Lowest Observed Adverse Effect Levels, LOAEL) 等相關資料，並判定其是否具致癌性，進一步將污染物分別建立最大污染物管制目標 (MCLG)。
- (二)微生物定量風險評估主要是計算在供水系統中已知或可臆測出之特定病原菌濃度對人類之感染性與感染程度。微生物定量風險評估 (QMRA) 方法之建立，主要仍是根據化學藥品風險評估，分為(1)危害性鑑定、(2)劑量效應評估、(3)暴露評估與、(4)風險特徵(性)描述等四大步驟，其應用至微生物定量風險評估之相關目的如表 2 所示。

三、化學物質健康風險評估步驟

美國國家研究中心(United State National Research Council, USNRC)^[5]於 1983 年提出風險評估概念。風險評估意旨針對人體暴露至環境中有害物質所造成之負面健康影響進行特性描述。風險評估包含許多要素：根據流行病學、臨床、毒性與環境的研究結果進

行評估，並描述其可能之負面健康影響；由上述結果判斷並預測其危害形式與評估在給定暴露條件下人體健康危害的程度；判定暴露在不同強度與持續時間下之影響人數與特性；將目前環境與整體大眾健康問題之重要性判定進行總結。此外，風險評估亦包含推論風險中之不確定性。

風險評估共可分為四大步驟：(1)危害性鑑定(Hazard Identification)；(2)劑量效應評估(Dose-Response Assessment)；(3)暴露評估(Exposure Analysis)；(4)風險表徵(Characterization of Risk)。若無任何負面影響或因政策或法律命令經有關當局停止定期採樣分析，則風險評估可能會在第一步驟—危害性鑑定便停止。風險評估執行流程圖如圖 1 所示。

本研究將根據美國國家研究中心 (USNRC)健康風險評估的概念，進行飲用水中候選新增污染物目標值之計算，並進一步評估目前飲用水健康風險情形。

(一)危害性鑑定—致癌性鑑定

國際癌症機構(International Agency for Research on Cancer, IARC)、美國環保署 (US EPA) 與美國政府工業衛生工作者協會 (American Conference of Industrial Hygienists, ACGIH)，將環境中化學物質依其對人體造成之致癌性證據或潛能分類如表 3 所示。

表 2 風險評估各步驟之相關目的

步驟	主要目的
危害性鑑定	描述整體環境條件與相關病原菌可能對人體健康造成急性或非急性之影響
劑量效應評估	建立病原菌暴露與感染或疾病發生率之適當關係
暴露評估	確定受暴露群體之大小與種類以及病原菌之暴露途徑、數量與持續時間
風險特徵(性)描述	整合暴露評估與劑量效應評估之相關資訊，對大眾陳述相關結果，並考慮評估之易變性與不確定性

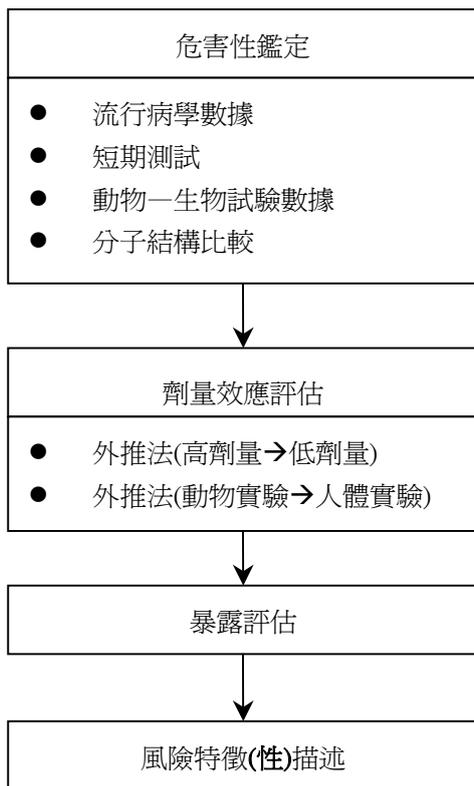


圖 1 風險評估執行流程圖

表 3 致癌性分類

組織	致癌性分類	描述
美國環保署	Group A	人類致癌物質
	Group B	極可能為人類致癌物質 B1: 基於對人類有限之致癌證據 B2: 有充分之動物證據, 但缺少或無人類致癌證據
		可能為人類致癌物質(基於不足之動物證據且無人類致癌證據)
	Group D	無法分類為人類致癌物質
	Group E	非人類致癌物質
國際癌症機構	Group 1	人類致癌物—流行病學研究證明為致癌物
	Group 2A	極可能為人類致癌物—流行病學研究資料不足(人類致癌性), 但動物毒性實驗資料充足
	Group 2B	可能為人類致癌物—動物毒性實驗資料充足
	Group 3	資料不足, 無法判定其致癌性
	Group 4	極可能非人類致癌物—目前資料可判定為無致癌性
美國政府工業衛生工作者協會	A1	確定人體致癌
	A2	疑似人體致癌
	A3	動物致癌
	A4	無法判斷為人體致癌性
	A5	非疑似人體致癌性

本文依據美國環保署(US EPA)上述致癌性鑑定，將污染物依其致癌性程度分為三大類(第 I、II、III 類)，其分類依據如下所示：

第 I 類：明顯致癌證明者(美國環保署致癌性分類 Group A 與 Group B)

第 II 類：有疑問之致癌證明者(美國環保署致癌性分類 Group C)

第 III 類：無適當致癌證明者(美國環保署致癌性分類 Group D、Group E 或無分類者)

污染物經致癌性分類後，根據不同分類進行後續劑量效應評估等步驟。

(二)劑量效應評估

根據動物或人體健康毒理實驗所建立之劑量效應反應，依其致癌性與否可計算得致癌斜率因子與參考劑量，其計算方式如下所示：

1. 致癌斜率因子 (Slope Factor)

若污染物分類為第 I 或 II 類時，將於劑量效應評估中計算得致癌斜率因子。主要資料來源可分為兩類：

(1) 國外致癌風險相關研究與資料

- 美國環保署整合風險資訊資料系統(Integrated Risk Information System, IRIS)
- 世界衛生組織飲用水綱要(Drinking Water guideline)

(2) 利用標竿劑量(Benchmark Dose, BMD)計算

利用標竿劑量進行斜率因子之計算，其計算方式如式(1)所示：

$$\text{Slope factor} = \frac{\text{benchmark response}}{\text{BMDL}} \quad (\text{式 1})$$

上述方程式中，標竿效應(Benchmark response)一般設定為 10%；低標竿劑量 (Low

Benchmark Dose, BMDL) 可利用標竿劑量 (Benchmark dose) 計算軟體計算得。

2. 參考劑量 (Reference dose, RfD)

若污染物分類為第 II 或 III 類時，將於劑量效應評估中計算得參考劑量。主要計算方式如式(2)所示：

$$\text{RfD} (\text{mg} / \text{kg} / \text{day}) = \frac{\text{NOAEL}}{\text{UF} \times \text{MF}} \quad (\text{式 2})$$

上述方程式中 NOAEL (No Observed Adverse Effect Level) 為無明顯危害影響劑量；UF (Uncertainty Factor) 為不確定因子；MF (Modify Factor) 為修正因子。美國環保署整合風險資料系統(IRIS)、世界衛生組織(WHO) 與澳洲健康與藥物研究會(NHMRC)，均根據污染物健康毒理研究彙整不同污染物之 NOAEL 與 UF/MF 值。

其中不確定因子(UF)其值的定義為：

- 10：平均健康的個人對應到敏感性族群
- 10：由動物實驗對應到人體
- 10：由非長期數據對應到長期數據
- 10：由 LOAEL 對應到 NOAEL

亦即，每增加一項不確定性，需增加 10 倍值，而 MF 為修正因子(Modify Factor)，其值介於 1-10 之間，主要根據毒理動態學 (Toxicodynamics) 與毒理動力學 (Toxicokinetics) 的理論進行推算。

(三) 暴露評估

暴露評估主要計算污染物質經由飲用水進入人體之暴露劑量，本研究將利用終身攝入劑量(Lifetime Ingestion Dose, LID)進行飲用水暴露量之評估，其計算式如式(3)所示，相關參數假設主要參照美國環保署暴露因子手冊^[6]：

$$lifetime\ ingestion\ dose\ (mg/kg/day) = \frac{CW \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (式\ 3)$$

其中：

CW (Concentration in Water)：飲用水中污染物濃度(mg/L)

IR (Ingestion Rate)：飲用水每天攝入量(L/day)，假設為 2 L/day

EF (Exposure Frequency)：暴露頻率(day/year)，假設為 365 day/year

ED (Exposure Duration)：暴露持續時間(year)，假設為 70 年

BW (Body Weight)：體重(kg)，假設為 70kg

AT (Average Time)：平均時間(day)，假設為 25,550 (365×70) 天

因考量飲用水之暴露量僅為總暴露量之一部份，若忽略其他暴露途徑會造成風險低估的現象。因此，飲用水之暴露劑量(Exposure dose)應納入飲用水相對貢獻量(RSC)，其計算公式如式(4)所示。

(四)風險特徵描述

一般風險特徵描述主要是利用終身攝入劑量進行致癌性影響與非致癌性影響的評估，計算方式如下所示：

1. 致癌性評估

若污染物分類為第 I 或 II 類時，將進行致癌性評估。致癌風險 (Cancer Risk) 可用來評估污染物之致癌性影響，方程式如式(5)所示：

$$Cancer\ risk = Exposure\ dose \times slope\ factor \quad (式\ 5)$$

上述方程式中暴露劑量 (Exposure dose)

$$Exposure\ Dose(mg/kg/day) = \frac{LID}{RSC} = \frac{CW \times 2 \times 365 \times 70}{70 \times 365 \times 70} \times \frac{1}{RSC} = \frac{CW}{35 \times RSC} \quad (式\ 4)$$

為暴露評估中計算得之終身攝入劑量(mg/kg/day)；斜率因子 (slope factor) 為劑量效應評估中計算得之致癌斜率因子(mg/kg/day)⁻¹。

2. 非致癌性評估

若污染物分類為第 II 或 III 類時，將進行致癌性評估。危害商數 (Hazard Quotient, HQ) 可用來評估污染物之非致癌性影響，方程式如式(6)所示：

$$Hazard\ Quotient = \frac{Exposure\ dose}{Reference\ dose} \quad (式\ 6)$$

上述方程式中暴露劑量 (Exposure dose) 為暴露評估中計算得之終身攝入劑量(mg/kg/day)；參考劑量 (Reference dose, RfD) 為劑量效應評估中計算得之參考劑量(mg/kg/day)。

(五)訂定飲用水水質目標試算值

若污染物為第 I 或 II 類時，將以致癌風險計算飲用水水質目標值。當致癌風險小於 10⁻⁶，則為可接受風險 (Acceptable risk)，其濃度即可定為飲用水水質目標值；若污染物為第 II 或 III 類時，將以危害商數計算飲用水水質目標值。當危害商數小於 1 (HQ < 1)，則表示該污染物濃度對人體無顯著負面健康影響，其濃度即可做為飲用水水質目標值訂定之依據。

依據上述說明，訂定飲用水水質目標試算值之執行流程如圖 2 所示。

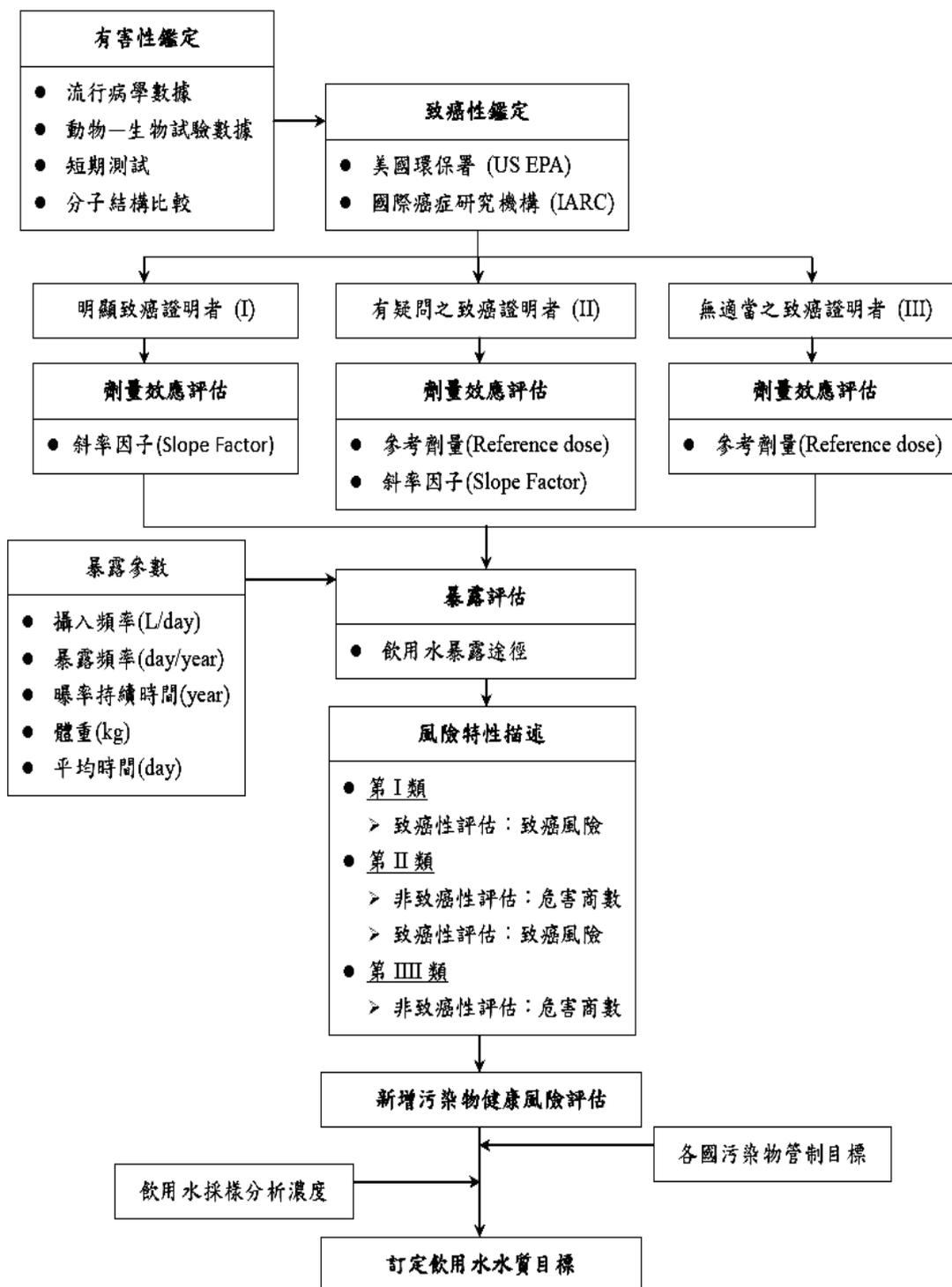


圖 2 飲用水水質目標試算值之執行流程

四、新興污染物化學物質健康風險評估範例－氯苯

以下將以氯苯(monochlorobenzene) 為例，進行化學物質風險評估分析，評估過程

如下說明。

(一)危害性鑑定

根據美國環保署的致癌性分類標準 (Weight of Evidence)，氯苯屬於 Group D—無

法分類為人類致癌物質(動物與人類致癌證據不充足或缺少)。因此，將其分類為第 III 類，進行危害商數估算。

(二)劑量效應評估：參考劑量(Reference dose, RfD)

WHO、USEPA 及澳洲等國選定氯苯之 NOAEL 與參考劑量之計算結果如表 4。

(三)暴露評估：終身攝入劑量 (Lifetime Ingestion Dose, LID)

氯苯由飲用水攝入人體之終身攝入劑量(LID)之計算如式(7)，針對飲用水之相對貢獻量 (RSC) 之選擇，以參考美國環保署 (US EPA)、美國加州環境健康危險評估辦事處 (OEHHA)、世界衛生組織 (WHO) 及澳洲健康與藥物研究會 (NHMRC) 之資料：

US EPA 及 OEHHA 所選用之 RSC: 20%

WHO 及 NHMRC 所選用之 RSC: 10%

$$LID = \frac{CW \times 2 \times 365 \times 70}{70 \times 25,550} = \frac{CW}{35} \text{ (mg/kg/day)} \text{ (式 7)}$$

選用上述 USEPA 及 OEHHA 之資料，經計算得之飲用水中氯苯之暴露劑量如式 (8)，而選用 WHO 及 NHMRC 之資料者如式 (9)：

$$ExposureDose = \frac{LID}{RSC} = \frac{CW}{7} \text{ (mg/kg/day)} \text{ (式 8)}$$

$$ExposureDose = \frac{LID}{RSC} = \frac{CW}{3.5} \text{ (mg/kg/day)} \text{ (式 9)}$$

(四)風險特徵(性)描述：非致癌性評估

進行非致癌性評估時，參考表 3 各國所提供之 NOAEL、UF 及 MF 計算飲用水氯苯之參考劑量，其中，NOAEL 值係選擇將其調整為一週暴露 7 天之數據，且由於 OEHHA、WHO 及 NHMRC 並未定 MF 值，因此本文均將其假設為 1。計算結果顯示選用 US EPA、OEHHA、WHO 及 NHMRC 資料，計算之氯苯參考劑量分別為 0.02、0.06、0.09 及 0.09 mg/kg/day。進一步計算其相對應之危害商數公式，結果分別為 CW/0.14、CW/0.42、CW/0.63 及 CW/0.63。

(五)評估飲用水中氯苯之健康風險

根據筆者參與之環保署研究報告(計畫編號：EPA-97-U1J1-02-101)中，由民國 97 年採樣結果，淨水場之清水池中氯苯之濃度範圍為 ND-1.46 μg/L (ND 表示偵測濃度小於方法偵測極限 (MDL= 0.36 μg/L))，其餘均低於方法偵測極限或小於 1μg/L。將清水池中

表 4 各國選定氯苯 NOAEL、UF、MF 及 RfD 之參考值

國家/組織	NOAEL (mg/kg/day)	UF	MF	RfD (mg/kg/day)	參考資料 ^[7, 8, 9, 10]
美國環保署 (USEPA)	27.25 (adjusted dose : 19.46)*	1000	1	0.02	USEPA, 1993
世界衛生組織* (WHO)	60 (adjusted dose: 42.86)**	500	-	-	WHO, 2004
澳洲健康與藥物研究會 (NHMRC)	60 (adjusted dose: 42.86)**	500	-	-	NHMRC, 2003
加州環境健康危險評估辦事處(OEHHA)	27 (adjusted dose: 19)***	300	-	-	OEHHA, 2003

*27.25 mg/kg/day 為每週暴露 5 天之實驗結果，因此乘上一轉換因子 (conversion factor)：5/7，將其調整為每週暴露 7 天之劑量。

**60 mg/kg/day 為每週暴露 5 天之實驗結果，因此乘上一轉換因子 (conversion factor)：5/7，將其調整為每週暴露 7 天之劑量。

***27 mg/kg/day (此劑量係以狗為實驗對象) 為每週暴露 5 天之實驗結果，因此乘上一轉換因子 (conversion factor)：5/7，將其調整為每週暴露 7 天之劑量。

氯苯濃度 $1.46 \mu\text{g/L}$ 代入上述風險特徵描述，依 USEPA、OEHHA、WHO 及 NHMRC 之資料所計算之飲用水氯苯之危害商數分別為 10.0×10^3 、 3.0×10^3 、 2.3×10^3 、 2.3×10^3 ，顯示其危害商數均小於 0.01，亦即所調查淨水場之出水氯苯濃度，遠低於人體之耐受量。

五、結論

本研究針對台灣飲用水中，目前尚未管制之新興污染物調查濃度進行健康風險評估試算，藉此了解台灣飲用水水質現況，提供未來提升飲用水安全之重要方針。根據筆者所參與之環保署計畫（計畫編號：EPA-96-U1J1-02-102）之採樣結果，透過風險

評估試算得之健康風險評估如表 5 所示。化學物質其非致癌性評估之危害商數(HQ)與致癌性評估(CR)，所得結果之可接受風險分別為 < 0.1 與 $< 10^{-6}$ (表 5)。因此，目前台灣地區上述 12 種新興污染物之 HQ 均低於 0.1，表示遠低於會產生不良反應的閾值；致癌性評估(CR)中僅二氯乙酸之風險略高於 10^{-6} ，但亦低於一般公認致癌風險的可接受範圍($10^{-6} - 10^{-4}$)。建議未來飲用水中新興污染物的管制，除了利用系統性健康風險評估結果作為訂定飲用水水質目標值外，建議亦應參考先進國家之飲用水中管制目標，並針對差異部份進行分析探討，建立適用於台灣之飲用水水質管制目標。

表 5 健康風險評估比較表

中文名稱	致癌性分類	本研究健康風險評估分類	健康風險評估 HQ: 危害商數 CR: 致癌風險
微生物指標			
1. 大腸桿菌	—	—	$< 2 \times 10^{-5}$
消毒副產物			
2. 鹵乙酸類	—	—	—
一氯乙酸	(無分類)	第 III 類	HQ : < 0.05
二氯乙酸	Group B2 (USEPA)	第 I 類	CR : $8.8 \times 10^{-7} - 6.1 \times 10^{-5}$
三氯乙酸	Group C (USEPA)	第 II 類	HQ : < 0.04 CR : $1.2 \times 10^{-7} - 1.4 \times 10^{-6}$
揮發性有機物			
3. 二氯甲烷	Group B2 (USEPA)	第 I 類	HQ : $< 3 \times 10^{-3}$
4. 順 1,2-二氯乙烯	Group D (USEPA)	第 III 類	HQ : < 0.08
5. 反 1,2-二氯乙烯	Group D (USEPA)	第 III 類	HQ : < 0.08
6. 四氯乙烯	Group 2B (IARC)	第 II 類	HQ : < 0.03 CR : $< 6.7 \times 10^{-9}$
7. 甲苯	Group 3 (IARC)	第 III 類	HQ : < 0.002
8. 乙苯	Group D (USEPA)	第 III 類	HQ : < 0.002
9. 二甲苯	Group 3 (IARC)	第 III 類	HQ : < 0.0008
10. 氯苯	Group D (USEPA)	第 III 類	HQ : < 0.002
11. 1,2-二氯苯	Group D (USEPA)	第 III 類	HQ : $< 2 \times 10^{-3}$
持久性難分解有機物			
12. 壬基酚	(無分類)	第 III 類	HQ : $< 8 \times 10^{-6}$

六、致謝

感謝環保署毒管處經費補助本研究之進行。

參考文獻

1. World Health Organization. Guidelines for Drinking-Water Quality. WHO Press, 2008.
2. 美國環保署網址: www.epa.gov
3. 日本厚生勞動省網址: www.mhlw.go.jp
4. 康世芳、蔣本基、張怡怡、王根樹,「飲用水水源及水質標準中列管污染物篩選與監測計畫(1/3)」, 環保署研究報告, 計畫編號: EPA-96-U1J1-02-102, 民國96年12月。
5. National Research Council, Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process. National Academy Press, 1983.
6. U.S. EPA. Exposure Factors Handbook (1997 final report). U.S. Environmental Protection Agency, 1997.
7. USEPA 1993. Integrated Risk Information system. (<http://www.epa.gov/NCEA/iris/subst/0399.htm>)
8. Office of Environment Health Hazard Assessment (OEHHA), 2003. Public Health Goal for Chlorobenzene in drinking water. (<http://oehha.ca.gov/water/phg/pdf/Ph4Chlorobenzene92603.pdf>)
9. National Health and Medical Research Council (NHMRC) and National Resource Management Ministerial Council (NRMMC), 2003. Australian Drinking Water Guidelines 6, 2004. (http://www.nhmrc.gov.au/publications/synopses/_files/adwg_11_06.pdf)
10. WHO. Background Document for Development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. World Health Organization. 2004. (http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/en/monochlorobenzene.pdf)
11. 康世芳、張怡怡、蔣本基、張簡國平,「飲用水水源及水質標準中列管污染物篩選與監測計畫(2/3)」, 行政院環境保護署, 民國97年12月, (計畫編號: EPA-97-U1J1-02-101)。

作者簡介

張怡怡女士

現職: 台北醫學大學醫學系生化學科教授
專長: 環境分析化學、水處理技術、水質管理

莊朝欽先生

現職: 台灣大學環工所碩士生
專長: 臭氧處理技術、消毒副產物分析

蔣本基先生

現職: 台灣大學環境工程研究所教授
專長: 理化處理、環境管理

李易書先生

現職: 台灣大學環工所博士生
專長: 臭氧處理技術、環境管理

康世芳先生

現職: 淡江大學水資源及環境工程學系教授
專長: 水質處理、水資源管理