

飲用水中農藥管制項目評估步驟之探討

鄭幸雄*、李國欽**、王文革*、吳靜如*

摘要

為了修訂目前的舊有飲用水中農藥管制項目及標準，本研究採用理論農藥殘留的評估方式，依據國內的每日容許攝入量 ADI (Acceptable Daily Intake) 管制值，配合國內農藥施用量及農藥本身的性質，計算出飲用水中農藥的殘留量，以決定是否會對人體造成危害，並進一步訂定管制標準。

本研究所採用之方法是將每日容許攝入量 ADI 值，換算成較易與殘留濃度相對照之健康參考值 HR (Health Reference)，以此值做為健康基準值，然後再算出農藥的水源殘量，並依據其半衰期及 Koc 值的大小，以人體健康影響評估，決定該管制之項目。

經過一連串的篩選，從最早的 279 種農藥項目，經水源中的農藥殘留濃度比較而篩選出 88 種不合格項目，再配合半衰期的計算篩選出 75 種，最後以 Koc 把關而剩下 39 種在各方面都不合格，對人體可能造成危害的項目，這些即是須管制的農藥項目。

關鍵詞：飲用水、農藥、健康影響評估、管理標準

一、前言

目前國內飲用水中農藥的管制項目，由於是針對多年前國內的農藥污染環境所制訂的，再加上長久以來並沒有做全盤性的修正，使得這些管制的農藥項目中，很多項現在都已不再使用或早已禁用了，在這種情形下，可想而知舊的管制項目標準早已不適用於現今的環境背景，而在國人重視飲用水品質的今天，修訂舊有管制項目是有其必要性的。

而在修訂的方法上，常見的方法是參考國外的農藥管制項目及標準，參考國外最大的優點是可迅速檢討出須管制的項目及標準，而且有先進國家的執行實例，一般官員及民眾接受程度較高，不過其缺點是國外的農藥使用方法及使用量，還有地理條件及氣候上不同的影響，都可能會造成農藥污染情形的差異，因此國外的標準不見得適合國內所採用。而本研究的目的是利用各國毒理資料所定出的每天農藥安全攝食量 ADI 值，再配合國內的農藥使用方法，篩選

*：國立成功大學環境工程系教授、研究生、研究助理

**：台灣省農業藥物毒物試驗所所長

出真正適合國內管制的農藥項目，並且建立一套本土化的農藥管制項目評估方法。

二、評估方法之步驟流程

2-1.常用農藥 ADI 值 (Acceptable Daily Intake) 之資料收集

農藥在登記前毒理資料評估及使用後在作物上的殘留以及對環境的衝擊都須加以研究，在取食安全評估上最重要的依據就是每日容許攝入值，簡稱 ADI 值，因此採用 ADI 做為農藥管制標準的初始資料。而 ADI 的定義是每人每天攝入一個化學品的量，終其一生對健康不會有任何影響者，其單位為 mg/kg body weight/day，各國的 ADI 值在訂定上皆不太相同，而本研究所採用的是台灣的農藥 ADI 值。

2-2.將 ADI 轉換成 HR (Health Reference) 健康參考值

由於要訂定的是飲用水中的標準，為了方便與農藥殘量計算結果相對應，將 ADI 轉換成於飲用水中較易對應之健康參考值，簡稱 HR，其計算方法為將 ADI 值乘上國民平均體重 60 公斤，再除以國民平均飲水量 2 公升，則成為每人每天飲用一升的水中所能承受農藥量，單位為 mg/L/day，此值即為 HR 值。

2-3.農藥田間用量之殘量推估

探討農藥在水源的殘留量，從農藥進入水源之途徑來討論，如圖 1 所示，其途徑主要有二：一為地面水、另一則為地下水，而在探討飲用水中的農藥殘量時，地下水農藥殘留部份因殘量不高加上機制複雜，因此不加考慮，而主要從地面水部份著手。

由於農藥施用的地點不一，可能用於一般旱田、水田、水池邊或水庫邊等，而不同的地點經農藥施用後，殘留在水體裏的殘量，自然因不同地點的條件，包括水體容量多寡、地形、土壤吸附能力等，而使得殘量皆不同。例如在水池或水庫邊施用農藥時，因水池及水庫本身稀釋能力大，因此農藥殘留濃度不高，而旱田則因不易被帶至一般水體中，在田間的自然分解作用下，使得其殘留濃度也不高。而一般的水田因其水量不多，一般為 3cm 水高，再加上流動量大，所以極易將溶解於水中的農藥帶至水源中造成危害。有鑑於此，所以採用條件最嚴格的水田來計算所有農藥於水中的殘留量，在此最嚴格的條件下，其他條件計算出來的殘量都不會比水田大，因此採用水田之殘留值為基準來計算。然後以水田的殘留濃度計算

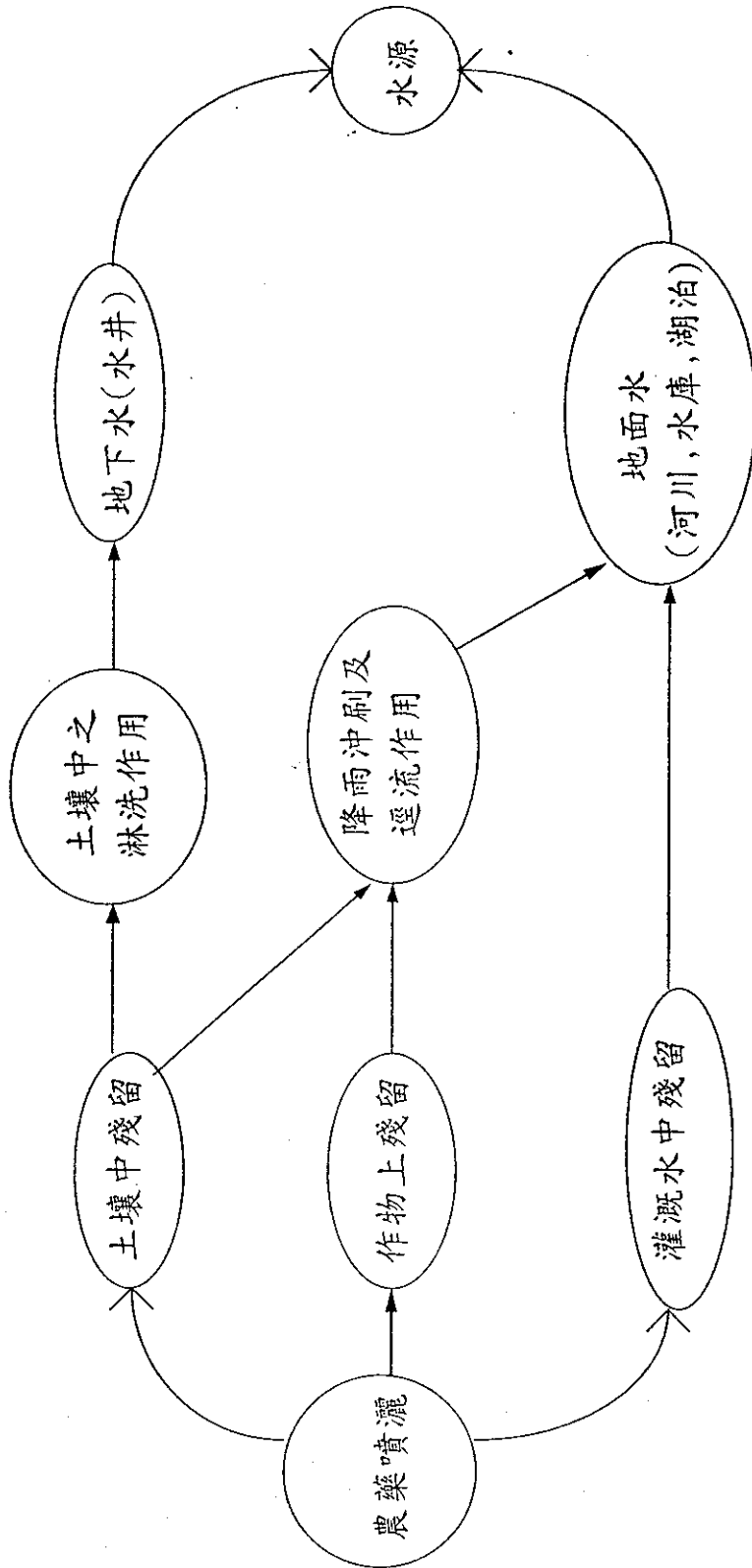


圖 1. 農藥污染水源之途徑圖【1】

到達水源後之殘留量，再與 HR 值作比較，如果比 HR 值大，表示對人體有危害性，所以須再進一步加以討論，反之則表示對人體無危害性，因此也不必訂定管制標準。

其推算過程如下：

1. 由農藥標準使用方法及農藥成分含量，計算出單位面積的農藥量。
2. 再除以 3cm 之水深，則可算出單位體積的農藥量。
3. 將 2 之結果乘上 70%，此乃假設有 70% 的農藥噴灑於水田中，其觀念是由進入環境中之農藥約有 70% 【2】進入土壤中推估而來，另外 30% 則分佈於作物上。
4. 最後考慮流到水源後的稀釋作用以及於水中的分解，所以再除以 10。
5. 最後計算結果與 HR 比較之。

2-4. 由農藥之半衰期推估到達飲用水之前的殘留

探討農藥於水中的殘留時，半衰期是十分重要的數據，因為如果半衰期小的農藥，雖然在水源中的殘留量大，但是可能在到達飲用水前就已經分解掉了，所以也不須監測，反之如果半衰期大的農藥，其分解速率相當慢，自然就容易殘留在自然環境中，所以有必要監測調查。

而計算的方式為承接 2-3 的結果，將結果大於 HR 的農藥量，再以半衰期計算到達飲用水之前的殘留濃度，一般以 4 天做為到達飲用水之前的陸地停留時間，其計算方法如下：

$$A = B/2^n$$

A：以半衰期計算後的殘留農藥量，單位 mg/L。

B：表示步驟 2-3 之計算結果，單位 mg/L。

n：表示半衰期次數，由陸地停留時間除以半衰期。

同理，如果計算結果大於 HR，則須再進一步討論，如果小於 HR 則表示對人體無健康上的危害性，也不須訂定管制標準。

2-5. 由 Koc 判斷農藥於土壤中的吸附情形

農藥於土壤中的吸附作用，在推估農藥殘量的過程中，亦為須特別注意的部份。如果農藥在土壤中的吸附能力大，則表示不易被水分溶解帶出，也就不易被帶至水源中，而且較利於被土壤中的微生物分解。反之，如果吸附能力小，則不但容易被淋洗到水源中，同時也不容易被土壤中的微生物分解，自然就可能在水源中造成大量的殘留。

此部份則是以 Koc 值來判別農藥於土壤中的吸附情形，Koc 的定義如下：

$$K_{oc} = \frac{\mu\text{g chemical/g organic carbon}}{\mu\text{g chemical/g water}} \quad [3]$$

and

$$K_{oc} = \frac{K_d \times 100}{\% \text{ organic carbon}} \quad [4], \text{ Kd 為吸附作用常數}$$

從 Koc 的定義可明顯看出，當 Koc 越大時，表示化學物質吸附於有機碳上的濃度越高，所以化學物質就越不易在環境中移動，而有利於被土壤中的微生物所分解，反之如果 Koc 越小時，表示化學物質越容易溶在水中，在自然環境中的移動力增加，加快了化學物質到達水源的速度，同時也不利土壤中的微生物分解。而 Koc 的大小分類如表 1 示，由其分類的範圍，採用中間值 500 做為臨界值。承接 2-4 的結果，將剩下的農藥項目作 Koc 的大小判斷，Koc 大於 500 的農藥不必定管制標準，而小於 500 的建議列入管制項目。

表 1. Classification of Soil Mobility Potential of Chemicals from HPLC Retention Times [5]

Koc	Mobility calss
0-50	very high
50-150	high
150-500	medium
500-2000	low
2000-5000	slight
>5000	immobile

2-6. 評估步驟之範例說明

下頁之表 2 為步驟 2-1~2-5 的範例說明，從農藥原始 ADI 值換算成 HR 值，再由農藥田間用量、半衰期、Koc 等農藥基本資料，推算出農藥殘值與 HR 做比較，由表 2 可見加保利、巴拉松、2,4-D，這三種農藥的水源中殘量小於 HR 值，可判斷為對人體無健康上的危害，所以不必列為管制項目，而大福松之 Koc 值大於 500 所以列為健康無害的項目，而拉草則無法通過安全條件篩選須列為管制項目。

表 2. 農藥管制項目之評估過程範例表【6~10】

農藥名稱	加保利	巴拉松	大福松	拉草	2,4-D
ADI值 (mg/kg weight)	0.01	0.004	0.002	0.01	0.3
HR值 (mg/L)	0.3	0.12	0.06	0.3	9
農藥田間標準用量 (g/m ²)	0.05	0.054	0.2	0.2	0.0289
農藥於水源之殘量 (mg/L)	0.1167	0.1260	0.4667	0.4667	0.0674
農藥半衰期 (day)	--	--	40	15	--
以半衰期計算到達 飲用水前殘量(mg/L)	--	--	0.4354	0.3869	--
Koc值	--	--	870	170	--
須管制項目	×	×	×	○	×

○：不符安全標準須列入管制

×：符合安全標準不須列入管制

2-7. 禁用農藥管制標準之訂定

對於禁用農藥標準的訂定，其考量的目的主要有二，第一個是雖然目前已經禁用，但由於早期的農藥為求廣效性，具有結構穩定不易分解的特性，雖經過了長期的時間，但可能依然留存於自然環境中。第二個是可能從外國走私進口，農民在貪小便宜及不知農藥的毒理特性下而誤用，有了這些農藥的污染但卻沒有管制標準時，取締上將束手無策，為了避免這些缺失，訂定禁用農藥的管制標準是有其必要性的。

禁用農藥在管制標準上是不可以在水體中被檢測出，但此不可檢測出之最低臨界量為多少，須有一明確的標準，定出此項禁用農藥檢測量在低於多少時稱之為 N.D。所以須調查相關的環境背景資料與參考文獻以及考慮到偵測極限及實驗過程中所可能遭遇的困難，探討管制標準的合理性，定出真正適用的禁用農藥管制標準。

不過有關禁用農藥項目的基本資料，目前尚未收集完整齊全的背景資料及行政考量上的限制因子等，所以仍無法推估出最後的管制值。

有關以上的評估步驟，詳細的流程圖可參照圖 2。

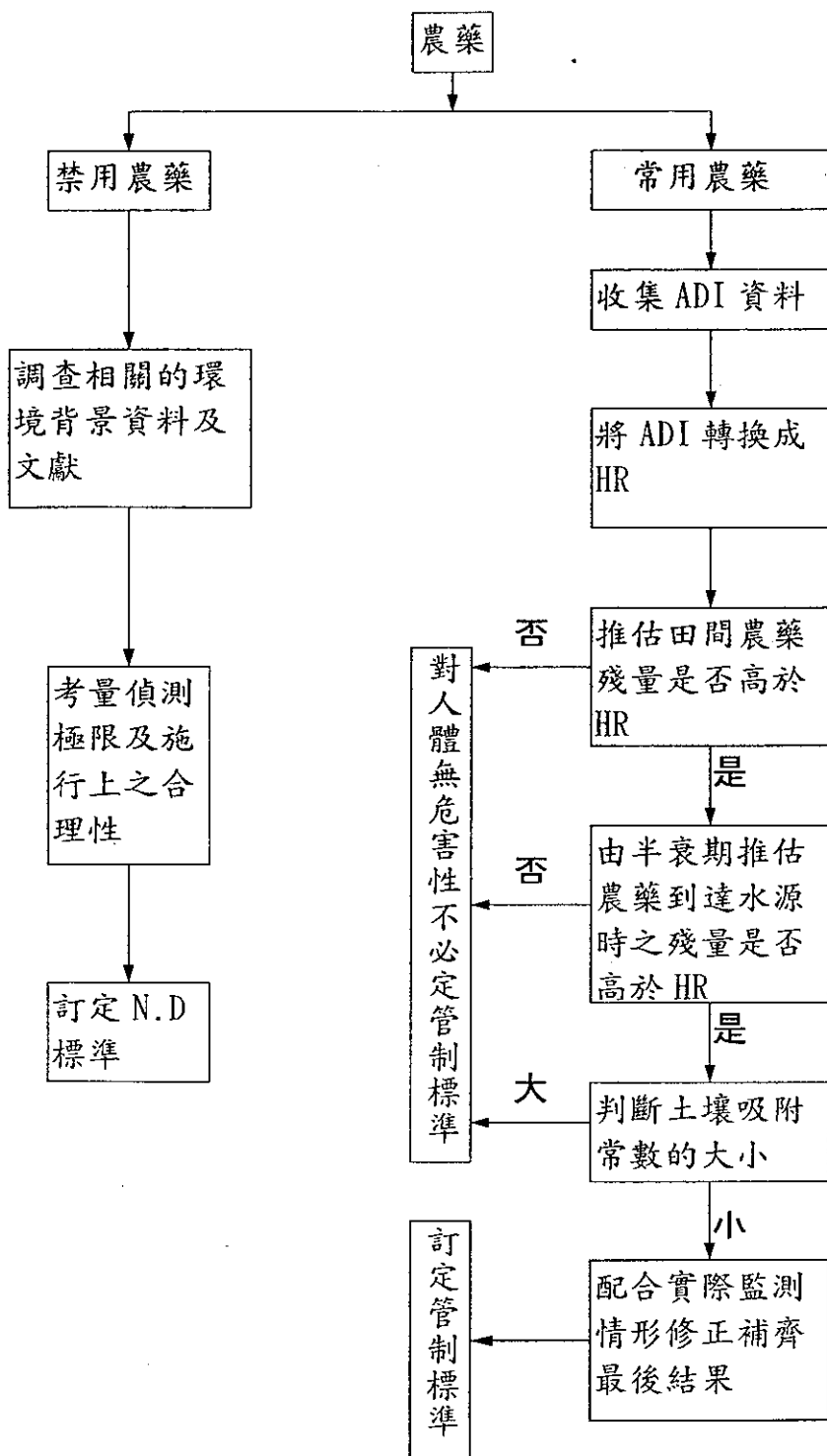


圖 2. 飲用水中農藥管制項目及管制標準之訂定流程圖

三、結果與討論

3-1. 評估結果

經由以上各步驟的推估，將國內常用的 279 項農藥，從 ADI 值著手，再轉換成 HR 值，然後以國內建議的農藥施用量，配合最大殘留 (Maximum Residue) 的觀念，計算出理論殘留濃度與 HR 值比較，而篩選掉約 2/3 的農藥項目剩下 88 種，由這個結果來看可了解目前國內建議的農藥使用方法及用量，於自然界中的殘量均可在不危害人體健康的範圍之內，所以只要遵照標準使用方法不超量使用，農藥的安全性應可讓大眾安心。

之後的 88 種以農藥本身的半衰期資料，計算在自然界滯留而衰減後的濃度值，而淘汰掉在到達水源前分解後濃度已小於 HR 值的 13 種農藥，而剩下 75 項須再進一步評估。在此步驟中僅 13 種農藥被篩選出來，其原因可能為一般農藥的半衰期時間太長，以及所採用的陸地停留時間 4 天太嚴格所造成。

剩下的 75 種再以 Koc 判斷農藥與土壤間的吸附關係，篩選掉易被土壤吸附，不易污染水源的項目，而剩下最後 39 種建議列管的農藥項目，列於表 3。

3-2. 評估結果與現行飲用水標準項目之比較

最後這 39 種農藥項目與目前政府公告的管制項目 (表 4) 有很大的出入，原因主要是以往管制的重點為針對合成農藥原體工廠的製造廢水，再由這些農藥廢水的毒理性質去探討毒性高而足以危害人體的農藥項目，然後訂出管制標準，這些事業廢水的污染量遠大於一般農田的使用量，所以以前的著眼點是工廠的事業廢水管制，但隨著時代的變遷，台灣的合成農藥工廠已不如以前的盛況，數量減少許多，因此農藥田間使用造成的污染自然就比以前重要，本研究的考慮方向則是針對農藥的使用方法，將農藥污染量化，配合毒理特性及人體的承受度找出建議列管的項目，由於管制的出發點不同，自然造成管制項目不一樣的結果。

此外，由以下 2 個不同的基準點做比較，更可了解其差異：

1. 從項目數量上來看，本研究建議之 39 種多於目前管制的 20 種，原因可能是以前的管制項目考慮到行政考量的因素，考慮到現實執行上的困難及分析上的限制，因此管制項目會較少，而本研究是在多因子考量下，一步一步地篩選出不合格的項目，且由於評估過程中一些限制值都是從嚴訂定，因此會使得管制項目增加許多。
2. 從農藥類別上來看，本研究的 39 種農藥項目中有 17 種殺草劑、14 種殺蟲劑，而目前管制的 20 種中有 4 種殺草劑、16 種殺蟲劑，

表 3. 建議列入管制的農藥項目

國際普通名	中文普通名	種類	國際普通名	中文普通名	種類
Common Name	Chinese Name		Common Name	Chinese Name	
Alachlor	拉草	H	Iodofenphos	阿發松	I
Ametryn	草殺淨	H	Isazofos	依殺松	I
Butralin	比達寧	H	Linuron	理有龍	H
Butylate	拔敵草	H	MCPA	免拔草	H
Carbophenothion	加芬松	I	Metham-sodium	斯美地	N
Dalapon	得拉本	H	Methidathion	滅大松	I
Dazomet	邁隆	U	Methiocarb	滅賜克	I
Demeton	滅賜松	I	Methyl bromide	溴化甲烷	U
Demeton-s-methyl	甲基滅賜松	I	Metobromuron	撲多草	H
Dichlobenil	二氯苯	H	Mevinphos	美文松	I
Dichlozoline	賜克滅	F	Monocrotophos	亞素靈	I
Dicrotophos	雙特松	I	MSMA	甲基砷酸鈉	H
Diuron	達有龍	H	Oxydemeton methyl	滅多松	I
Ethoprophos	普伏松	I	Perfluidone	佈福丹	H
Fenamiphos	芬滅松	N	Phosphamidon	福賜米松	I
Fensuifothion	繁福松	I	Prynachlor	拔地草	H
Fentin hydroxide	三苯羥錫	F	Simazine	草脫淨	H
Ferbam	富爾邦	F	Tricyclazole	三賽挫	F
Fluometuron	可奪草	H	Vernolate	萬隆	H
Hexazinone	菲殺淨	H			

H：殺草劑

F：殺菌劑

U：土壤薰蒸劑

I：殺蟲劑

N：殺線蟲劑

表 4. 台灣省飲用水農藥管制項目水質標準(公告日期 79.2.8)

農藥項目	最大容許量 單位(毫克/公升)
有機磷劑(巴拉松、大利松、達馬松、亞素靈、一品松) 及胺基甲酸鹽(滅必蟲、加保扶、納乃得)之總量	0.1
安特靈	0.0002
靈丹	0.0004
毒殺芬	0.005
安殺番	0.003
飛佈達及其衍生物(Heptachlor, Heptachlor epoxide)	0.001
滴滴涕及其衍生物(DDT、DDD、DDE)	0.001
阿特靈、地特靈	0.003
五氯酚及其鹽類	0.005
除草劑(丁基拉草、巴拉刈、2,4-D)	0.1

由數量可明顯發覺殺草劑的數量差距很大。可能的原因是一般殺草劑的使用量很大，且除草劑大都有不易被土壤吸附分解的特性，以往因殺草劑毒性較弱較易忽視，所以在本研究的推估之下，殺草劑的數量會增加許多，其實是可預期的。

3-3. 評估方法之優劣點及評估過程之困難

本研究所採用的方法是理論殘留的推估方式，最大的優點是有完整明確的數據及學理資料之支持，以找出並證明可能危害人體健康的農藥項目，且在方法建立後，只要輸入新種農藥的資料，即可迅速地了解此種農藥的安全性如何，於時間及操作便利的考量上，實為此方法最佔優勢之處。

不過由於是純理論的推導，所以現實上的考量較無法兼顧，農藥的使用數量及農藥的超量使用、使用方法不當造成的大量污染等，都是一些無法顧及的層面，因此為了彌補這個缺失，須配合自然環境背景中農藥的出現頻率，農藥銷售情形及其使用量排名等現實考量層面，以將本研究的不足之處，減低到最小的程度，此點也是今後須努力的目標所在。

而在本研究評估的過程中，由於農藥項目眾多，不易完整收集所有農藥的半衰期及 Koc 的資料，但為了完成整個推估流程，採用了推測假設的方式，當然無可避免的會使得最後的結果不夠嚴謹，不過本研究著重於此創新方法的建立，雖有缺失但仍不違背本研究的目的。另外在資料收集的過程中，發現國內農藥的基本資料相當缺乏，因此如何建立國內農藥完整的資料庫(Database)，也是當前刻不容緩的問題，如此才能加速國內農藥研究的進展，進一步確保民眾健康不受農藥的威脅。

3-4. 管制標準之訂定方法

評估出列管項目之後，下一步即為訂定管制標準，而建議標準的訂定方法是以 HR 值做基準，再參照蔬果農藥殘留標準的訂定方式，蔬果的標準是以 ADI 值做基準，再乘上 80% 作為農藥殘留管制標準，乘上 80% 的意義是考慮到農藥進入人體途徑的來源中，其中 80% 的量來自於蔬果上的殘留，所以飲用水中的農藥標準可將 HR 值乘上剩下的 20% 相對來源比例，以作為管制標準，如表 5 所示。

不過這只是一個初步的數值，訂定標準之前仍須經由行政上的考量以及諮詢會的討論，檢討管制值的大小，定出合理的管制數值，如此方為較完善之作法。

四、結論與建議

4-1. 結論

1. 本研究建立創新的農藥管制項目評估步驟，以做為修訂舊有飲用水中的農藥管制項目及標準之參考。
2. 依照此評估步驟將國內常見的 279 種農藥，篩選到最後建議管制的 39 種農藥項目。
3. 引用此方法架構及評估概念，推估過程中可能有不嚴謹之處，仍須討教各方面的專家做進一步的修正補強，最後的結果才能真正符合行政上的需求，研擬出無爭議的管制項目。
4. 管制標準可配合蔬果殘留管制標準的訂定方式，考慮所有農藥可能危害人體的來源途徑，如此訂出的標準將對人體更有保障。

4-2. 建議

1. 本研究評估方法中所採用的臨界標準值都是單一值，未來則考慮以一區域範圍值來取代，使結果誤差更小。
2. 國內農藥的基本資料欠缺不全，找尋上十分吃力，如能建立一完整的資料庫，對農藥的研究交流上一定會有很大的助益。

參考文獻

- 1、Fuhr, F. "Pesticide metabolism in the soil and the bioavailability of bond residues". Proceeding of Republic of China-Federal Republic of Germany seminar on Plant Nutrition and Soil Science. NSC Symposium series No.5. pp175-181, (1981)。
- 2、李貽華、翁愷慎、李國欽，"台灣地區水源中農藥殘量之探討"，台灣農藥第 27 卷第三期。
- 3、Karickhoff, S.W., Brown, D.S., & Scott, T.A. Water Res. 13, pp.241~248, (1979)。
- 4、Goring, C.A.I. Soil Sci. 93, pp.211, (1962)。
- 5、Proceedings of a Symposium Association of Official Analytical Chemists 94th Annual Meeting October 21, 22, Washington, DC, "Test Protocols for Environmental Fate & Movement of Toxicants", pp.104, (1980)。
- 6、農林廳，"植保手冊"，(1996)。
- 7、孫定國、廖龍盛，"實用農藥"，修訂五版，(1978)。
- 8、George W. Ware, "Reviews of Environmental Contamination and Toxicology", Volume 123, pp.26~35, (1992)。

9、台灣省農業藥物毒物試驗所，翁愷慎編著”農藥每日容許攝入量表”，(1996)。

10、王一雄、陳玉麟，”殘留農藥對新店溪水源水質之影響”，台北市自來水事業處委託研究計劃報告書，(1989)。

誌謝

本研究承蒙環保署經費補助 (EPA-86-J102-03-21)，在此特別誌謝。

表 5. 建議列管農藥項目之管制標準

農藥名稱	HR值 (ppm)	建議管制 標準(ppm)	農藥名稱	HR 值 (ppm)	建議管制 標準(ppm)
拉草	0.3	0.06	阿發松	0.006	0.0012
草殺淨	0.27	0.054	依殺松	0.0006	0.00012
比達寧	0.3	0.06	理有龍	0.06	0.012
拔敵草	0.15	0.03	免拔草	0.015	0.003
加芬松	0.015	0.003	斯美地	0.3	0.06
得拉本	0.9	0.18	滅大松	0.03	0.006
邁隆	0.105	0.021	滅賜克	0.03	0.006
滅賜松	0.0012	0.00024	溴化甲烷	30	6
甲基滅賜松	0.009	0.0018	撲多草	0.03	0.006
二氯苯	0.39	0.078	美文松	0.045	0.009
賜克滅	0.03	0.006	亞素靈	0.018	0.0036
雙特松	0.003	0.0006	甲基砷酸鈉	0.3	0.06
達有龍	0.06	0.012	滅多松	0.009	0.0018
普伏松	0.009	0.0018	佈福丹	0.3	0.06
芬滅松	0.015	0.003	福賜米松	0.015	0.003
繁福松	0.009	0.0018	拔地草	0.3	0.06
三苯羥錫	0.015	0.003	草脫淨	0.15	0.03
富爾邦	0.6	0.12	三賽挫	0.15	0.03
可奪草	0.39	0.078	萬隆	0.03	0.006
菲殺淨	0.99	0.198			