

行政院環境保護署毒物及化學物質局委託研究

「環境污染物於食品中之溯源評估方法研議及風險溝通計畫

—以重金屬為例」期末報告(定稿本)

TCSB-107-CP03-02-E009

受託單位：中國醫藥大學

計畫執行期間：107 年 9 月至 107 年 12 月

中華民國 107 年 12 月印製

統一編號：52005408

本報告僅係受託單位或個人之意見，僅供本局施政之參考，不代表本局立場。本報告之著作財產權屬環保署毒物及化學物質局所有，非經毒物及化學物質局同意，任何人均不得重製、仿製或為其他之侵害。

行政院環境保護署毒物及化學物質局委託研究

「環境污染物於食品中之溯源評估方法研議及風險溝通計畫

—以重金屬為例」期末報告(定稿本)

TCSB-107-CP03-02-E009

受託單位：中國醫藥大學

計畫經費：玖拾壹萬元整

計畫執行人員：江舟峰、吳勇興、余雅芳

計畫執行期間：107 年 9 月至 107 年 12 月

中華民國 107 年 12 月

「環境污染物於食品中之溯源評估方法研議及風險溝通計畫-
以重金屬為例」

期末報告基本資料表

委辦單位	行政院環境保護署毒物及化學物質局		
執行單位	中國醫藥大學		
參與計畫人員姓名	江舟峰、吳勇興、余雅芳		
年 度	107	計畫編號	TCSB-107-CP03-02-E009
研究性質	☒ 基礎研究 ☐ 應用研究 ☐ 技術發展		
研究領域	毒物管理		
計畫屬性	☐ 科技類 ☒ 非科技類		
全程期間	__107__ 年 __9__ 月 ~ __107__ 年 __12__ 月		
本期期間	__107__ 年 __9__ 月 ~ __107__ 年 __12__ 月		
本期經費	__0__ 億 __910__ 千元		
	資本支出		經常支出
	土地建築 千元	_____	人事費 __453__ 千元
	儀器設備 千元	_____	業務費 __374__ 千元
	其 他 千元	_____	材料費 _____ 千元
			其 他 __83__ 千元
摘要關鍵詞（中英文各三則）			
多介質傳輸，溯源評估，累積風險			
Multimedia transport, source identification, cumulative risk			

行政院環境保護署毒物及化學物質局計畫成果

中英文摘要（簡要版）

- 一、中文計畫名稱：
環境污染物於食品中之溯源評估方法研議及風險溝通計畫-以重金屬為例
- 二、英文計畫名稱：
Methodology development and risk communication study for source identification of environmental pollutants in food-illustrated with heavy metals
- 三、計畫編號：
TCSB-107-CP03-02-E009
- 四、執行單位：
中國醫藥大學健康風險管理學系
- 五、計畫主持人（包括共同主持人）：
江舟峰、吳勇興
- 六、執行開始時間：
107/09/19
- 七、執行結束時間：
107/12/31
- 八、報告完成日期：
107/12/12
- 九、報告總頁數：
101
- 十、使用語文：
中文，英文
- 十一、報告電子檔名稱：
TCSB-107-CP03-02-E009.DOC（例如 EPA88U3E103001.DOC）
- 十二、報告電子檔格式：
WORD 5.0
- 十三、中文摘要關鍵詞：
多介質傳輸，溯源評估，累積風險
- 十四、英文摘要關鍵詞：
Multimedia transport, source identification, cumulative risk
- 十五、中文摘要（約三百至五百字）
食品安全攸關國人身體健康，環保署化學局成立宗旨為落實行政院於2015年啟動的食安五環中的第一環-強化源頭控管，預防食安事件發生，追蹤有毒物質。本計畫期能掌握有毒物質於食品之環境污染風險潛勢，及於食品安全事件發生時能溯源追蹤環境污染源，本計畫研擬一套環境污染物於食品中之溯源評估方法架構及指引，以利後續開發一套對三部會署有用之即時決策支援系統 (decision support system, DSS)，提昇平時風險潛勢分析 (potential analysis)及食安事件分析 (event analysis) 之決策溝通品質與時效性。
本計畫完成5項工作：撰寫5篇國內外環境污染物於食品安全鏈傳輸文獻回顧之延長摘要、研提溯源評估指引及架構、撰寫3篇環境教育教材、辦理專諮會及講習會各一場次。建議6項後續工作：一、持續編寫國內外毒性物質食安事件案例資料，二、針對國內毒性物質食安事件，持續編寫環境教育教材，三、評估開發溯源管理決策支援系統之可行性及作法，四、探討國人對各類

食品毒性物質暴露之比較性風險感知 (comparative risk perception)，五、針對重金屬高風險潛勢食品，建立可能環境排放源之評估方法，六、針對國內曾發生之重大環境源食安事件，優先建立本土攝食參數及生物轉移係數。

十六、英文摘要：

Food safety is vital to the human health. The establishment of Taiwan TCSB of EPA is aimed at the first of five food safety measures initiated in 2015 by Taiwan Executed Yan – enforcing source control, so that food safety event may be prevented by tracking potential environmental sources of contaminants. The purpose of this study is to gain insight into the risk potential of toxics from the environment to foods, and to track sources of environmental contaminants when food safety events occur. This study proposes the guideline and framework of tracking method so that a decision support system (DSS) may be developed to improve the quality and timeliness for the potential risk analysis and food event analysis.

The study completes 5 major tasks: 5 extended abstracts of the environmental food-chain literature, the guideline and framework, writing 3 environmental education materials, an expert panel, and an educational workshop. Six suggestions are made: (1) Using the standard format suggested by this study to document food safety events for case studies relating environments. (2) Compiling education materials of food safety events relating environmental toxics. (3) Developing the tracking DSS, focusing on on-line dashboard computerized module using forwarding and backwording methods. (4) Exploring the comparative risk perception of exposure different environmental toxics in foods. (5) Identifying the possible environmental toxics sources associated with high risk potential of heavy-metal contaminated foods. (6) Establishing dietary exposure factors and bio-transfer factors suitable for major environmental-related food safety events in Taiwan.

目 錄

第一章、前言	1
1.1 計畫緣起	1
1.2 計畫目標	1
1.3 工作項目	1
1.4 整體工作方法架構	2
1.5 本章摘要	2
第二章、彙整解析國內外文獻	3
2.1 風險評估	4
2.2 風險溝通	6
2.3 風險管理	9
2.4 溯源評估	11
2.5 增量貢獻分析	13
2.6 臺灣發生之重金屬食安事件	15
2.7 本章摘要	15
第三章、研提評估架構及方法指引	17
3.1 整體評估架構	17
3.2 食品聚類及其攝食量暴露參數評估方法	17
3.3 急毒性事件模式分析方法	23
3.4 食品安全鏈之多介質傳輸模式分析方法	26
3.5 以系統危害效應終點為基礎之危害物累積風險分析方法	35
3.6 受體單位體重攝食匹配與暴露劑量分析方法	39
3.7 本章摘要	41
第四章、辦理專家諮詢及環境教育講習會議	43
4.1 專家諮詢會議	43
4.2 環境講習會議	44
4.3 本章摘要	45
第五章、計畫成果及後續執行建議	47
5.1 計畫成果	47
5.2 後續執行建議	47
5.3 本章摘要	48
第六章、參考文獻	49
附錄 A1 環境教育教材	53
大專生輕忽日常的高暴露健康風險	53
運用精密檢測儀器及高階模擬技術 - 追溯食品污染源頭	55
臺中市鹹鴨蛋檢出蘇丹紅事件始末	59

附錄 A2 方法指引	61
一、前言	61
二、名詞定義	62
三、食安調查 (衛福部/農委會)	65
四、食安風險評估及預警	67
五、生產區食品風險評估	75
六、污染溯源評估 (環保署)	83
七、急毒性事件模式分析方法 (環保署)	87
八、模式使用條件及限制說明	90
九、參考文獻	91
附錄 A3 審查意見回覆	95
評選意見回覆	95
期末審查意見回覆	97

圖目錄

圖 1-1、本計畫 CAC 風險分析 3 面向之整體工作方法架構.....	2
圖 3-1、環境污染物於食品中之溯源及急毒性事件之整體評估架構.....	17
圖 3-2、本研究建議之臺灣食品聚類及攝食暴露參數統計流程.....	19
圖 3-3、臺灣食品聚類範例流程圖.....	20
圖 3-4、本計畫建議之急毒性空污事件評估方法架構.....	24
圖 3-5、食品安全鏈之多介質傳輸暴露途徑.....	27

表目錄

表 2-1、本計畫挑選 5 篇國內外期刊論文及 1 篇事件文獻之理由.....	3
表 2-2、文獻回顧成果(1)：農產品運輸之風險轉移評估.....	4
表 2-3、文獻回顧成果(2)：臺灣大學生之全國性環境健康風險感知調查.....	7
表 2-4、文獻回顧成果(3)：臺灣如何因應當前迫切的健康風險管理與溝通問題...	9
表 2-5、文獻回顧成果(4)：中國東南部郊區農地土壤重金屬之整合性溯源研究..	11
表 2-6、文獻回顧成果(5)：養鴨場周圍之戴奧辛介質貢獻評估.....	13
表 2-7、臺灣歷年來發生之重金屬食品安全事件一覽表.....	15
表 3-1、我國 2 種常用攝食暴露參數來源之檢討.....	18
表 3-2、台灣核心食品聚類原則.....	20
表 3-3、我國食品 237 類核心食品清單.....	21
表 3-4、污染物由農地空氣沉降傳輸進入植物體內之暴露途徑.....	28
表 3-5、污染物經由灌溉水傳輸進入植物體內之暴露途徑.....	29
表 3-6、污染物經由農地土壤傳輸進入植物體內之暴露途徑.....	30
表 3-7、污染物由農地空氣及土壤傳輸進入動物體內之暴露途徑.....	30
表 3-8、污染物由灌溉水傳輸進入動物體內之暴露途徑.....	32
表 3-9、污染物由養殖水傳輸進入水體生物體內之暴露途徑.....	35
表 3-10、危害物毒性效應之標的系統或器官一覽表(顯示前 30 筆).....	36
表 3-11、暴露情境與劑量演算組合.....	40
表 5-1、本計畫後續執行建議.....	47

環境污染物於食品中之溯源評估方法研議及風險溝通計畫-以重金屬為例成果報告大綱

為了使專案報告閱讀順暢，於撰寫時將報告分為五章，分別為第一章、前言，第二章、彙整解析國內外文獻，第三章、研提評估架構及方法指引，第四章、辦理專家諮詢及環境教育講習會議，第五章、本期計畫目前成果及後續執行建議。

第一章、前言

1. 計畫緣起

- 為掌握有毒物質是否從環境影響食品安全，及為溯源可能之環境污染源，旨在提供溯源及急毒性事件之評估方法，供評估者參考使用。

2. 計畫目標

- 研提環境污染物於多介質及食品中溯源評估方法指引、及環境污染物於各傳輸途徑及暴露情境之風險評估方法指引。

3. 工作項目

- (一) 彙整至少 3 篇文獻，產出 3 篇環境教育教材。
- (二) 研提評估架構及方法指引。包含：本土食品聚類及其攝食量暴露參數評估方法、急毒性事件模式分析方法、食品安全鏈之多介質傳輸模式分析方法、以系統危害效應終點為基礎之危害物累積風險分析方法、受體單位體重攝食匹配與暴露劑量分析方法
- (三) 辦理 1 場次環境教育風險溝通講習會
- (四) 辦理 1 場次專家諮詢會議

第二章、彙整解析國內外文獻

2.1 風險評估

- 農產品運輸之風險轉移評估—探討空氣污染物進入食品鏈之風險轉移現象

2.2 風險溝通

- 臺灣大學生之全國性環境健康風險感知調查—健康風險領域之社會心理學調查研究

2.3 風險管理

- 臺灣如何因應當前迫切的健康風險管理與溝通的問題—釐清臺灣目前面對之重要問題與挑戰

2.4 溯源評估

- 中國東南部郊區農地土壤重金屬之整合性溯源研究—將 PMF 模式用於重金屬進行整合性研究

2.5 貢獻分析

- 養鴨場周圍之戴奧辛介質貢獻評估—以情境命題進行模擬分析來確認真正的污染源

2.6 臺灣發生之重金屬食安事件

- 彙整國內曾發生之重金屬食安事件

2.7 本章摘要

- 針對本章內容摘要說明

第三章、研提評估架構及方法指引

3.1 整體評估架構

- 研提環境污染物於食品中之溯源及急毒性事件之評估架構及方法指引，所完成之評估架構。

3.2 本土食品聚類及其攝食量暴露參數評估方法

- 檢討我國既有攝食暴露參數，說明攝食暴露參數評估流程、我國總膳食調查之核心食品聚類原則、及目前我國食品 237 類核心食品清單。

3.3 急毒性事件模式分析方法

- 說明毒性空污事件之評估方法架構，分為 4 部分，包含：空污事件範疇、模式模擬分析、展示圖表設計與模式結果校正。

3.4 食品安全鏈之多介質傳輸模式分析方法

- 說明食品安全鏈之多介質傳輸暴露途徑及相關方程式。

3.5 以系統危害效應終點為基礎之危害物累積風險分析方法

- 探討環境領域及食品領域所慣用之推估模式。

3.6 受體單位體重攝食匹配與暴露劑量分析方法

- 探討食品領域及環境領域之暴露評估作法，及暴露情境與劑量演算組合。

3.7 本章摘要

- 針對本章內容摘要說明

第四章、辦理專家諮詢及環境教育講習會議

4.1 專家諮詢會議

- 107 年 11 月 22 日 (四) 上午 10：00 在環保署化學局 B02 會議室，探討 3 項議題，包含：
 1. 本計畫溯源評估架構之可行性
 2. 本土食品聚類及其攝食量參數評估之可行性
 3. 以效應終點為基礎推估累積風險之可行性

4.2 環境講習會議

- 107 年 11 月 27 日 (二) 14：00 ～ 16：00 在環保署化學局，針對 2 項議題進行推廣教育，包含：
 1. 化學物質於環境及食品流布-溯源分析決策支援系統之芻議
 2. 雞蛋戴奧辛食安事件之溯源追蹤

4.3 本章摘要

- 針對本章內容摘要說明

第五章、本期計畫目前成果及後續執行建議

5.1 本期計畫目前成果

- 已完成 5 篇文獻回顧並撰寫為延長摘要於第二章，主要的發現民眾風險感知受媒體影響甚大，有必要加強風險溝通提升風險感知能力。此外，採用決策支援系統有利達成風險溝通 4 大原則：透明、公開、一致、清楚。
- 完成 3 篇環境教育教材於附錄 A1，主要的發現為環境教育教材需要依據民眾之風險感知，提供充足且容易接受之風險諮詢，以提升民眾之風險感知能力。
- 研提從環境污染物於食品中之溯源及急毒性事件之評估架構及方法指引於附錄 A2，建立之評估方法至少包含 5 個項目於第三章，主要的發現為

攝食量參數應以單位體重攝食量表示，而且環境領域與食品領域對風險評估之作法略有不同，適用不同評估目的，以提供正確風險評估結果。

- 辦理專家諮詢會議及環境教育講習各一場次，分別於 11/22 及 11/27 辦理完成。

5.2 後續執行建議

- 彙整並提出 6 點後續執行建議，如表 5.2-1 所示。

5.3 本章摘要

- 本計畫目前已完成主要相關工作項目，包含：撰寫 5 篇文獻延長摘要、研提溯源評估指引及架構、撰寫 3 篇環境教育教材，辦理專諮會及講習會各一場次。
- 建議 6 項後續計畫內容：1. 持續彙整國內外與化學毒性物質相關食安事件之文獻，2. 持續針對國內曾發生與化學毒性物質相關之食安事件撰寫環境教育教材，3. 評估開發溯源管理決策支援系統之可行性及作法，4. 調查國人之化學毒性物質相關食安風險感知，5. 針對全國潛在重金屬排放源對食安之影響建立評估方法，6. 針對國內曾發生化學毒性物質食安事件者優先建立本土食品攝食參數及生物轉移係數。

附錄 A1 環境教育教材

附錄 A2 方法指引

- 一、前言
- 二、名詞定義
- 三、食安調查
- 四、食安風險評估及預警
- 五、生產區風險評估
- 六、污染溯源評估
- 七、急毒性事件評估

附錄 A3 審查意見回覆

計畫名稱：環境污染物於食品中之溯源評估方法研議及風險溝通
計畫-以重金屬為例

計畫編號：TCSB-107-CP03-02-E009

計畫執行單位：中國醫藥大學公共衛生學系

計畫主持人(包括協同主持人)：江舟峰，吳勇興

計畫期程：107年09月19日起107年12月31日止

計畫經費：玖拾壹萬元整

摘要：

食品安全攸關國人身體健康，環保署化學局之成立宗旨為落實食安五環推動政策之源頭控管，從源頭預防管控食安風險，追蹤有毒物質，以落實毒物及化學物質之源頭管理及勾稽查核，維護國民健康之政策。為了能深入掌握有毒物質從環境流向食品是否會影響食品安全，以及為了能於食品安全事件發生時能夠溯源追蹤可能之環境污染源，本計畫旨在提供環境污染物於食品中之溯源及急毒性事件之評估方法，供評估者參考使用，以利國內環境污染物相關之食安風險管理決策及風險溝通。

本計畫目前已完成主要相關工作項目，包含：撰寫5篇國內外環境污染物於食品安全鏈傳輸相關文獻之延長摘要、研提溯源評估指引及架構、撰寫3篇環境教育教材，辦理專諮會及講習會各一場次。此外，建議六項後續計畫內容：一、持續彙整國內外與化學毒性物質相關食安事件之文獻，二、持續針對國內曾發生與化學毒性物質相關之食安事件撰寫環境教育教材，三、評估開發溯源管理決策支援系統之可行性及方法，四、調查國人之化學毒性物質相關食安風險感知，五、針對全國工業空污源重金屬排放對食安之影響建立評估方法，六、針對國內曾發生化學毒性物質食安事件者優先建立食品攝食參數及生物轉移係數。

Food safety is vital to the health of the people. The establishment of the TCSB of Taiwan EPA is aimed at implementing the source control of the food safety and environmental protection promotion policy, preventing and controlling food safety risks from the source, tracking toxic substances, and implementing source management of poisons and chemicals to check and verify the policy of maintaining national health. In order to gain insight into whether toxic substances flow from the environment to foods will affect food safety, and to trace possible sources of environmental pollution when food safety incidents occur, the project

aims to provide source an identification method of environmental pollutants in food and an assessment method of acute toxicity event. The evaluation method of the event is for reference by the evaluator to facilitate the decision-making and risk communication of food safety risks related to environmental pollutants.

The project has completed the main works, including: writing 5 extended abstracts of environmental food chain literatures, developing the frame and guideline for source identification method, writing 3 environmental education teaching materials , and handling a special consultations and a workshop. In addition, 6 issues are proposed: 1. Continue to collect the literature on local or international food safety events related to chemically toxic substances. 2. Continue to write environmental education materials for local food safety events related to chemically toxic substances. 3. Develop source identification management decision support system. 4. Investigate the local risk perception of food safety related to chemical toxic substances. 5. Evaluate the impact of potential heavy metal emission sources on local food safety. 6. Establish local food exposure parameters and bio-transfer factors to represented chemical toxic substances.

前 言

食品安全攸關國人身體健康，環保署化質局之成立宗旨為落實食安五環推動政策之源頭控管，從源頭預防管控食安風險，追蹤有毒物質，以落實毒物及化學物質之源頭管理及勾稽查核，維護國民健康之政策。有毒物質雖然具有毒性，倘若人體暴露劑量很低，也不會對人體健康造成風險。為了能深入掌握有毒物質從環境流向食品是否會影響食品安全，以及為了能於食品安全事件發生時能夠溯源追蹤可能之環境污染源，本計畫旨在提供環境污染物於食品中之溯源及急毒性事件之評估方法，供評估者參考使用，以利國內環境污染物相關之食安風險管理決策及風險溝通。

研究方法

本計畫採用系統性的研究方法，首先針對所有工作項目，以風險分析3面向：風險評估、風險管理及風險溝通為基礎，建立整體工作架構如圖 S-1 所示。由圖中可見，除了採用風險分析3面向整合各項工作項目之外，特地

設計一個環境污染物食安風險管理環形圖，包含4項程序：食品安全調查、風險潛勢分析、污染貢獻溯源及污染管理作為，分別整合4類食安管理工作，包含：常態調查、檢核預警、評估溯源及管理改善，以利達成污染溯源，落實源頭管控之政策目標。

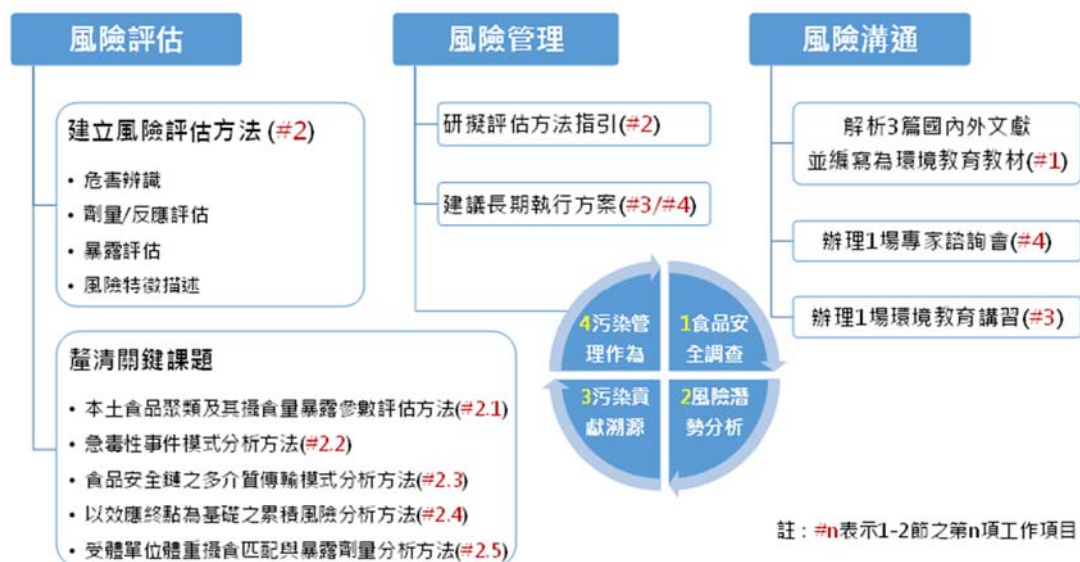


圖 S-1、本計畫之系統性研究方法架構

由於本計畫之主要工作為研提環境污染物於食品中溯源評估及急毒性事件評估方法指引，因此必須參考國內外最新相關文獻作法，據以作為國內方法指引研提之引證資料。此外，也必須同時掌握國內食安溯源相關業務之執行現況，以提出適用於國內實務應用之方法架構及指引。

結 果

1. 完成3篇與環境污染物及食品安全相關之文獻回顧，目前已完成5篇文獻回顧並撰寫為延長摘要於第二章，其文獻內容包含：風險評估、風險溝通、風險管理及食安事件等主題，可供後續相關研究使用。其中最主要的發現為一般民眾風險感知受媒體影響甚大，針對風險事件，有必要加強風險溝通，讓民眾擁有充足的風險資訊，提升風險感知能力。此外，採用決策支援系統有利達成風險溝通4大原則：透明、公開、一致、清楚。
2. 完成3篇環境教育教材，其主題分別設定為：#1大專生輕忽日常的高暴露健康風險、#2戴奧辛鴨蛋事件風險解說、#3蘇丹紅鹹鴨蛋事件

風險解說，目前皆已完成於附錄 A1，並依計畫要求送化學局核定。其中最主要的發現為環境教育教材需要依據民眾之風險感知，提供充足且容易接受之風險諮詢，以提升民眾之風險感知能力。

3. 研提從環境污染物於食品中之溯源及急毒性事件之評估架構及方法指引，且建立之評估方法至少包含5個項目：1.本土食品聚類及其攝食量暴露參數評估方法，2.急毒性事件模式分析方法，3.食品安全鏈之多介質傳輸模式分析方法，4.以系統危害效應終點為基礎之危害物累積風險分析方法，5.受體單位體重攝食匹配與暴露劑量分析方法。目前已完成從環境污染物於食品中之溯源及急毒性事件之評估架構及方法指引研提於附錄 A2，針對前述評估架構及5項評估方法分別說明於第三章各節。其中主要發現為攝食量參數應以單位體重攝食量表示，而且環境領域與食品領域對風險評估之作法略有不同，適用不同評估目的，以提供正確風險評估結果。
4. 辦理專家諮詢會議及環境教育講習各一場次，並已分別於11/22及11/27辦理完成。會議結論指出未來若能以本計畫研擬之環境污染物於食品中溯源評估分法為基礎，開發溯源分析決策支援系統(Decision support system, DSS)，應用於事件溯源分析及平時潛勢篩選，可協助三部會署之事件演練及聯合稽查，以利決策溝通之透明性、一致性與整合性。

結 論

1. 文獻回顧有利於化學毒性物質相關食安風險關鍵課題之掌握，經資料蒐集、解讀與延長摘要撰寫，發現食安風險評估之關鍵在於利用多介質傳輸模式，配合多介質採樣調查數據，分析各污染源之貢獻度，以達成污染溯源及源頭改善之管理目標。
2. 風險溝通文獻回顧發現國人風險感知主要受懼怕(情緒)及不熟悉(理解)二因子所影響，惟民眾與專家之風險感知又有落差，民眾之風險感知亦受媒體渲染所影響，專家則能藉由更多不同資訊改善風險感知。因此，與民眾進行風險溝通，必須同理並處理民眾對死亡風險之懼怕，而非僅只於風險評估之科學論述。
3. 風險管理文獻回顧發現運用風險管理決策支援系統有助於風險溝通4大原則，包含：透明、公開、一致及清楚。
4. 食安事件文獻回顧發現國內從1980年代迄今 (2018年)，共發生158

件食安事件，其中與重金屬相關有7件，分析其原因，主要為：環境污染、原料品質不良及非法使用工業原料，7件中有4件屬於環境污染事件，足見環境污染物於食品中溯源評估之重要性。

5. 最主要影響食品風險評估結果的二個因子為：食品污染物濃度及食品攝食量參數，而食品聚類方法同時與食品中污染食品攝食量息息相關。本計畫研提以核心食品為基礎，採用本土攝食量調查原始數據，可以根據風險評估標的食品之核心食品類別，進行食品聚類推估攝食量參數，可提高食品風險評估結果之可靠性。
6. 急毒性事件分析有別於一般慢毒性風險評估，強調的是緊急應變能力，本計畫研提採用 USEPA 與 NOAA 共同開發之 ALOHA 系統，進行急毒性空污事件分析，並以風險比值為基礎之三級色系風險地圖呈現，讓決策者可以快速掌握風險資訊，做出準確應變，減少災害損失。
7. 食品安全鏈多介質傳輸為完成食品中環境污染物溯源之關鍵，本計畫研提採用 USEPA 與 DOE 共同開發之 MEPAS 系統，可依據生產區鄰近之表面水污染、空氣污染、土壤及地下水污染等可能污染情境，評估對生產區所生產之葉菜類、非葉菜類、肉類、奶類、魚類及貝類等食品之影響，進而據以完成食品風險評估或污染溯源評估。
8. 本計畫採用 USEPA 最新發展趨勢，研提以系統危害效應終點為基礎，加總不同危害物各別風險之累積風險分析方法，以考量多重危害物對受評族群可能之累積風險，但又能避免傳統採用多危害物直接加總風險容易導致風險嚴重高估之現象。
9. 本計畫採用 USEPA 暴露參數手冊作法，以個體之單位體重攝食量作為食品攝食量參數，避免傳統分別使用個體之體重及攝食量為二獨立參數可能造成極高體重卻有極低攝食量，或極低體重卻有極高攝食量之不合理現象，以提供食品風險評估結果之可靠性。

建議事項

1. 建議後續計畫持續彙整國內外與化學毒性物質相關食安事件之文獻，並設定關鍵詞登載於化學局相關網站，以提供並厚實國人正確的食安知識。
2. 建議後續計畫持續針對國內曾發生與化學毒性物質相關之食安事件撰寫環境教育教材，以便於風險知識的傳遞。

3. 建議後續計畫以本計畫研擬之溯源評估方法與架構指引為基礎，評估開發溯源管理決策支援系統之可行性及作法，以利達成風險溝通4大原則：透明、公開、一致、清楚。
4. 建議後續計畫調查國人之化學毒性物質相關食安事件風險感知，有助於規劃風險溝通方式，加速政策推動。
5. 建議後續計畫優先針對全國潛在重金屬污染排放源對食安之影響，建立評估方法，以釐清衛福部總膳食研究調查結果所發現國內食品中含有重金屬之可能污染來源。
6. 建議針對國內曾發生化學毒性物質食安事件者，優先建立食品攝食參數及生物轉移係數，以掌握影響食品風險之最關鍵因子，有助於正確的食安風險評估。

第一章、前言

1.1 計畫緣起

食品安全攸關國人身體健康，如何採取有效政策措施，確保國人能夠食得安心，乃政府責無旁貸的責任。源頭管理為落實食品安全之關鍵工作，若能針對食品中有毒物質，整合相關部會建立之化學物質管理資訊，從食品的原料端，建立資料庫及流向追蹤，即能從第一線把關，防止有毒物質流入食品原料或食品加工製品，避免國人暴露於有毒物質的健康風險。

行政院環境保護署毒物及化學物質局之成立宗旨，為落實行政院於 2015 年啟動之食安五環中的第一環—強化源頭控管，從源頭預防並管控食安風險，追蹤有毒物質，以落實毒物及化學物質之源頭管理及勾稽查核，維護國民健康。

為了能深入掌握有毒物質從環境流向食品是否會影響食品安全，以及為了能於食品安全事件發生時，能夠溯源追蹤可能之環境污染源，本計畫旨在提供環境污染物於食品中之溯源評估方法架構與指引，包括慢毒性及急性毒性，以利後續開發一套可行，具整合性及即時性之決策支援系統 (decision support system, DSS)，供三部會署採用，以提昇平時風險潛勢分析 (potential analysis) 及食安事件分析 (event analysis) 之決策溝通品質與時效性。

1.2 計畫目標

- (一) 研提環境污染物於多介質及食品中溯源評估方法指引，並藉由製作環境教育風險溝通教材，強化利害關係人對於化學物質及食品鏈傳輸之認知。
- (二) 研提環境污染物於各傳輸途徑及暴露情境之風險評估方法指引，強化環境教育發展及相關研究，以利後續編製環境教育宣導教材。

1.3 工作項目

- (一) 彙整解析至少 3 篇國內外環境污染物於食品安全鏈傳輸之文獻，產出 3 篇環境教育教材。
- (二) 研提環境污染物於食品中之溯源及急毒性事件之評估架構及方法指引。至少包含 5 個項目：
 - 1. 本土食品聚類及其攝食量暴露參數評估方法。
 - 2. 急毒性事件模式分析方法。
 - 3. 食品安全鏈之多介質傳輸模式分析方法。
 - 4. 以系統危害效應終點為基礎之危害物累積風險分析方法。
 - 5. 受體單位體重攝食匹配與暴露劑量分析方法。
- (三) 辦理 1 場次化學污染物及食品安全相關議題環境教育風險溝通講習會
- (四) 辦理 1 場次環境污染物及食品安全議題相關之專家諮詢會議
- (五) 其他為達成本工作目標由化學局指定之事項

1.4 整體工作方法架構

為了採用系統性的方法執行本計畫，針對前文 (1.3 節) 所述所有工作項目，以世界衛生組織之食品法典委員會 (Codex Alimentarius Commission, CAC) 建議之食品安全風險分析 3 面向：風險評估 (risk assessment)、風險管理 (risk management) 及風險溝通 (risk communication) 為基礎，建立本計畫整體工作架構如圖 1.4-1 所示。

由圖中可見，除了將本計畫工作項目納入風險分析三面向架構之外，也設計環境污染物食安風險管理之環形圖，包含 4 項程序：食品安全調查、風險潛勢分析、污染貢獻溯源、污染管理作為，並對應 4 項工作：常態調查、檢核預警、評估溯源及管理改善，以利達成污染溯源及落實源頭管控之政策目標，也於風險評估下，條列 5 項本計畫之工作內容。

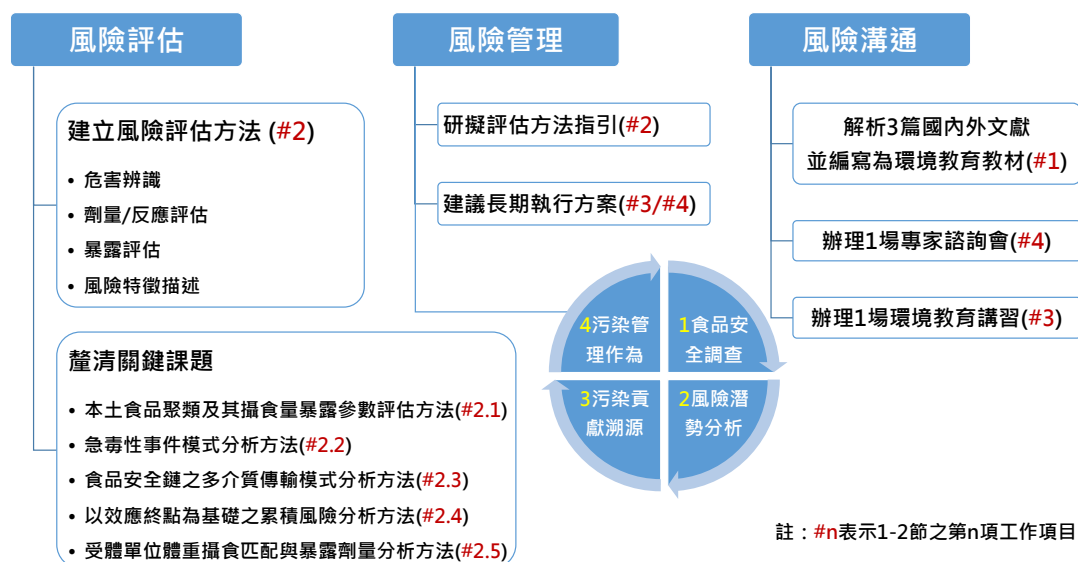


圖 1-1、本計畫 CAC 風險分析 3 面向之整體工作方法架構

1.5 本章摘要

本計畫旨在提供環境污染物於食品中之溯源評估方法，包括慢毒性及及毒性，供三部會署採用，以提昇平時風險潛勢分析 (potential analysis) 及食安事件分析 (event analysis) 之決策溝通品質與時效性。

本計畫採用系統性的研究方法，採用風險分析 3 面向：風險評估、風險管理及風險溝通為基礎，建立整體工作架構如圖 1-1 所示，除了將本計畫工作項目納入風險分析 3 面向架構之外，也設計環境污染物食安風險管理環形圖，包含 4 項程序：食品安全調查、風險潛勢分析、污染貢獻溯源及污染管理作為，對應 4 項工作，包含：常態調查、檢核預警、評估溯源及管理改善，以利達成污染溯源及落實源頭管控之政策目標。

第二章、彙整解析國內外文獻

本計畫依工作項目要求，彙整並解析至少 3 篇環境污染源影響食品安全鏈之溯源及評估方法之國內外文獻，作為：食安事件分析、溯源方法評估、檢驗分析、暴露劑量試算、環境教育教案編寫等參考。

本計畫文獻蒐集使用 Google 學術搜尋、Pub Med、Web of science (WOS) 等多種搜尋引擎查找國際期刊，並以多重關鍵字，如：industrial emission, multiple media transport (MMT), source identification, atmosphere deposition, heavy metals, agricultural land, deposition rate, transfer factor 等，搜尋具有代表性之國際期刊文獻。所蒐集之文獻皆上載至本計畫之雲端資料庫，包括：國際期刊文獻、我國相關調查報告、各國案例研究等。

完成國內外文獻蒐集後，主持人召開討論與合於本計畫者，回顧並撰寫延長摘要，並針對具有參考價值之主題，提報化學局核定，再著手編寫工作項目要求之 3 篇環境教育文章，期能藉此促進政府與利害關係者間之風險溝通。

本計畫將論文歸納為 3 個類別：(1) 論文國別；(2) 風險類型；(3) 研究屬性。其中，論文國別包含國內外各國；風險類型包含：風險評估、風險溝通、風險管理、溯源評估、食安事件等；研究屬性依據該論文之研究方法，如：擴散模擬、問卷調查、文獻探討、溯源整合性評估等。

本計畫彙整及解析 5 篇國內外環境污染物於食品安全鏈傳輸之期刊論文及 1 篇食安事件文獻，挑選理由說明如表 2-1 所示，各篇彙整成果分述如下各節。

表 2-1、本計畫挑選 5 篇國內外期刊論文及 1 篇事件文獻之理由

項次	年分	作者	篇名	篩選理由
1	2015	Li PC et al.	Assessing the transfer of risk due to transportation of agricultural products	● 風險評估案例 ● 探討空氣污染物進入食品鏈之風險轉移現象 ● 發現降低農業縣之空污排放比工業縣更可守護食品安全
2	2015	Young LH et al.	Environmental Health Risk Perception of a Nationwide Sample of Taiwan College Students Majoring in Engineering and Health Sciences	● 風險溝通案例 ● 健康風險領域之社會心理學調查研究 ● 了解民眾與專家之風險感知差異，有利於風險教育與溝通之政策研擬
3	2017	江舟峰	臺灣如何因應當前迫切的健	● 風險管理案例

項次	年分	作者	篇名	篩選理由
			康風險管理與溝通的問題	●釐清臺灣目前面對之 9 個重要問題與挑戰，並建議可行之解決方案 ●促進良性溝通與討論，在政策制定過程中平衡風險與利益減少爭議。
4	2018	Hu W et al.	Source identification of heavy metals in peri-urban agricultural soils of southeast China: An integrated approach	●溯源評估案例 ●將正矩陣因子 PMF 受體模式用於重金屬研究 ●進行都市農地土壤整合性分析，相互驗證並提高結果的可信度。
5	2009	Lee WJ et al.	Assessment of polychlorinated dibenzo- <i>p</i> -dioxins and dibenzofurans contribution from different media to surrounding duck farms	●貢獻分析案例 ●以情境命題進行模擬分析，確認真正的污染源 ●使用精密檢測儀器及高階模擬技術，追溯食品污染源頭
6	2018	維基百科	臺灣食品安全事件列表	●彙整國內曾發生之重金屬食安事件

2.1 風險評估

於文獻中，環境污染物於食品鏈之重金屬風險評估之案例並不多見，而能夠探討空氣污染物對於食品安全之可能影響的，更是彌足珍貴。本章節回顧臺大環境工程團隊發表之期刊，呼籲改善高農產品輸出縣市之空氣污染排放，減少砷的健康風險轉移，守護國內農產食品之安全，本論文回顧之延長摘要如表 2-2。

表 2-2、文獻回顧成果(1)：農產品運輸之風險轉移評估

論文國別：臺灣、風險類型：風險評估、研究屬性：擴散模擬與風險評估
中文篇名：農產品運輸之風險轉移評估
英文篇名：Assessing the transfer of risk due to transportation of agricultural products
關鍵詞：Health risk assessment (健康風險評估)、Transportation of agricultural products (農產品運輸)、Risk transfer ratio (風險轉移比率)、Arsenic (砷)

出處： Li PC et al., Chemosphere 120 (2015) 706–713
IF： 3.698
背景： 過去執行健康風險評估 (health risk assessment, HRA)，發現多介質傳輸 (multimedia transport, MMT) 對食品安全之重要性，但較少考量污染物隨著農產品運輸產生之風險轉移 (risk transfer) 現象，亦即雖然受評地區沒有污染，但其居民可能藉由攝入外縣市輸入食品而受到影響。
目的： 評估國內各縣市攝食當地與外縣市農產品之健康風險，以觀察農產品運輸對於各縣市之間的風險轉移。選擇重金屬砷 (As) 來探討與各種工業排放導致當地之風險，及攝食外縣市食品之風險，確認 As 之沈降及食品鏈傳輸之重要性。
方法： 使用臺灣空氣污染排放清冊 (TEDS-2007) 之 15 種工業源，共 213 個排放源資料，以 As 為評估物種，使用 AERMOD 空氣擴散模式，以各污染源之 25 km × 25 km 鄰近區域為模擬範圍，推估其著地濃度之地理分布，並以地理資訊系統 (GIS) 套疊累加 213 個排放源之模擬結果。設定 2 種情境，比較居民攝取當地與外來食品之健康風險，並以風險轉移比率評估農產品運輸對於各縣市之影響。另外，為討論降低當地與跨縣市食品來源之風險貢獻，設定 2 種風險管理方案，比較高風險縣市 (工業縣市) 及農產品高輸出縣市 (農業縣市) 分別減少 10 % 排放量之風險降低結果。
結果： 以各縣市之沈降量進行排序，如圖 1 之排序：高雄市、苗栗縣、宜蘭縣，結果發現 A 情境之風險與污染沈降量排序類似，顯示當地農產品會藉由高污染沈降吸收更多的砷。B 情境較符合實際情境，考量外縣市食品，風險排名前三縣市為：花蓮縣、高雄市、新北市，顯示農產品運輸導致之風險轉移因素，以致結果和 A 情境明顯不同。風險轉移比率顯示南投縣 (40) 和台東縣 (16) 遠大於 1，95% 攝食風險來自彰化縣、雲林縣和屏東縣等農業縣市；反觀苗栗縣及宜蘭縣之糧食自給率分別為 3.0% 及 3.2%，其風險轉移比率分別為 0.25 及 0.42，跨縣市農產品運輸反而降低其攝食風險。另外，2 種風險管理方案顯示如圖 2，方案 1 選擇高風險縣市如花蓮縣、高雄市、新北市，降低當地風險 8.3–9.9%，對於外縣市僅下降 2.5%；而方案 2 則是高農產品輸出縣如彰化縣、雲林縣、屏東縣，可降低當地風險 8.4–10.1%，也可減少外縣市 5.9–8.1% 之風險，顯示減少高農產品輸出縣市之排放量，可以有效降低全臺之農產品攝食風險，守護食品安全。
結論： 本研究發現重金屬砷空污排放除了會經由高空污沈降，增加當地民眾之食品攝食風險，且污染物也會透過農產品運輸銷售，影響外縣市之食品攝食風險。該研究以不同情境分析，分別比較只攝取當地食材及同時攝取當地與外縣市食材之風險，並分別比較不同風險管理方案，發現優先改善農產品高輸出縣市之砷空污排放，才能更有效降低全臺整體食安風險。
評論： 本篇之研究方法，符合美國國家研究委員會 (US National Research Council, 簡稱 USNRC) 於 2009 年更新之健康風險評估與管理之典範架構 (paradigm

framework)，應於評估前先界定評估範疇之各項前提假設，並以命題導向定義複雜問題，由風險管理者提出需求，評估者提供充分的科學資訊，促進利害關係人之間的風險溝通，讓決策者進行綜合考量，並做出最合宜的決議。



圖 1、臺灣各縣市砷污染沈降量、農產品攝食風險及風險轉移比率之比較圖

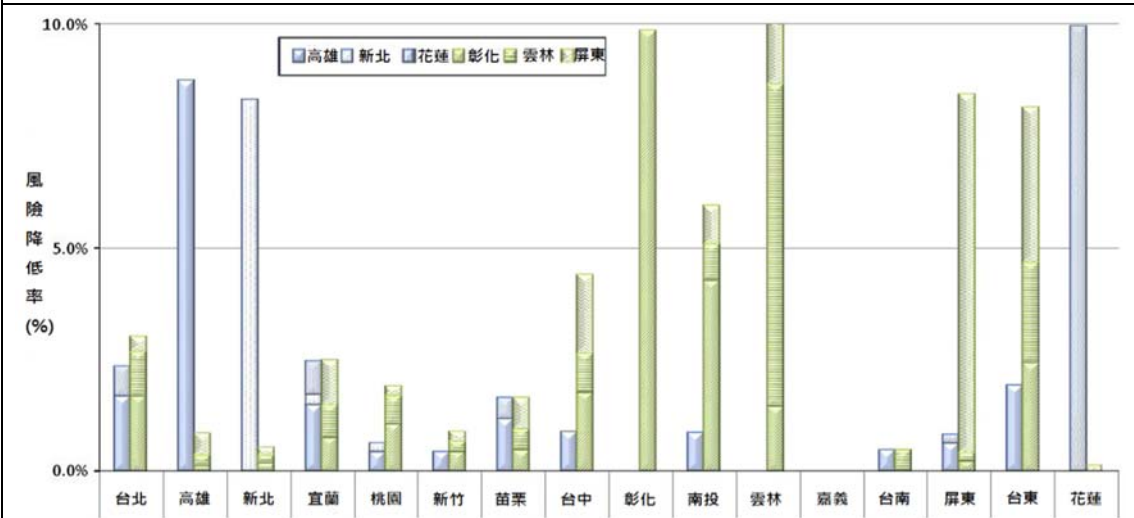


圖 2、高風險縣市及農產品高輸出縣市減少 10%排放量之風險降低率比較圖

2.2 風險溝通

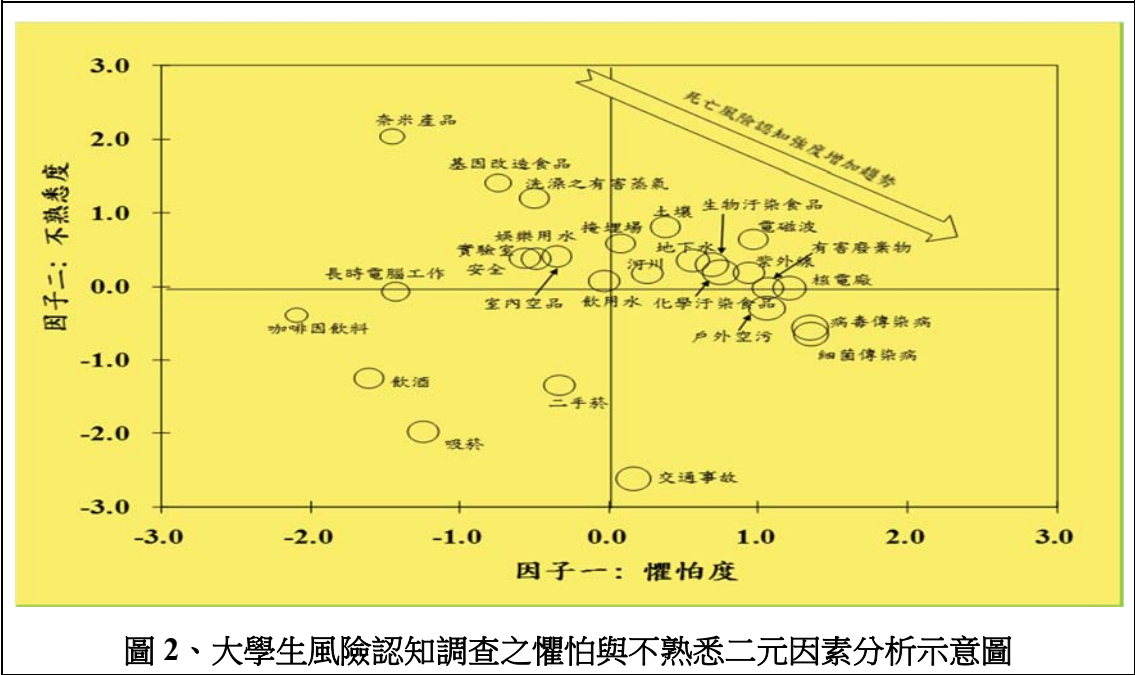
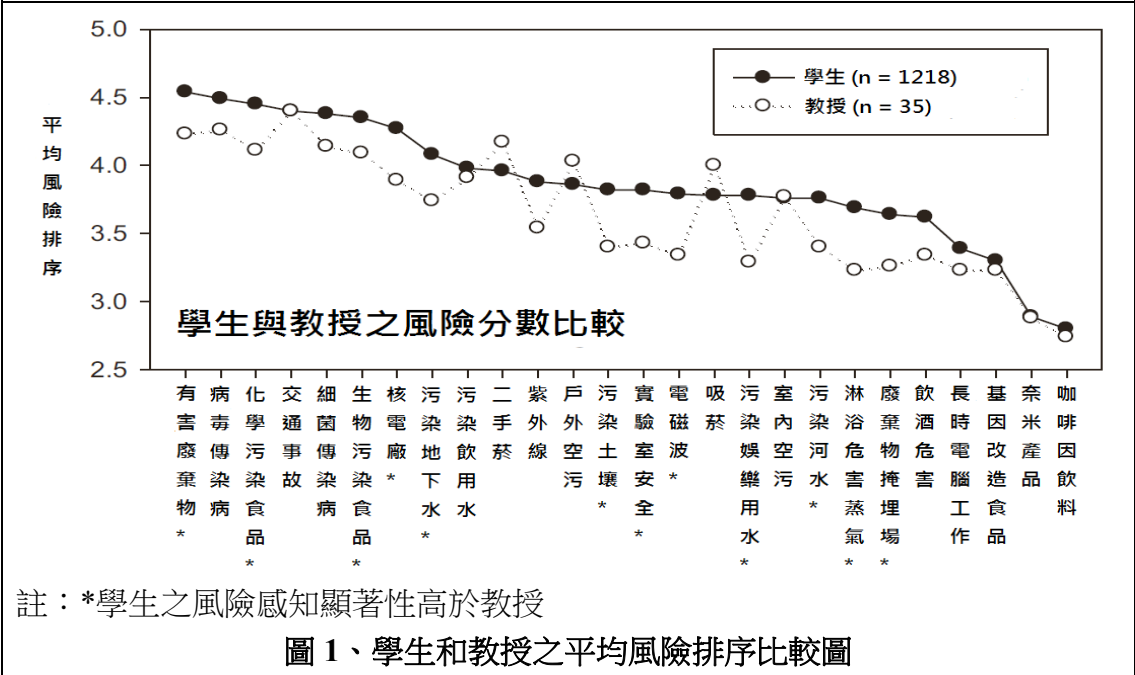
風險溝通是風險分析之重要一環，如何進行有效溝通一直是風險評估與風險管理者之關鍵議題。本節回顧中醫大團隊發表之國際期刊，其研究成果顯示民眾對於風險議題之感知受到 2 個主要因素影響：懼怕度 (dreadness) 與不熟悉 (unknown)，這是國內首次大型的風險感知實證研究，符合風險感知二元理論 (dichotomous theory) 的主流見解，延長摘要如表 2-3：

表 2-3、文獻回顧成果(2)：臺灣大學生之全國性環境健康風險感知調查

論文國別：臺灣、風險類型：風險溝通、研究屬性：風險感知問卷調查
中文篇名：工程及健康科學臺灣大學生之環境健康風險感知研究
英文篇名：Environmental Health Risk Perception of a Nationwide Sample of Taiwan College Students Majoring in Engineering and Health Sciences
關鍵詞：risk perception (風險感知), environmental health hazard (環境健康危害), psychometric paradigm (心理測量典範), hazard-focus (危害聚焦), participant-focus (受訪者聚焦), Taiwan (臺灣)
出處：Young LH et al., Human and Ecological Risk Assessment 21 (2015) 307–326
IF：1.306
背景：風險通常被定義為發生特定負面後果之可能性，即風險 = 危害後果 × 發生機率。然而，民眾在感知上會忽略暴露，並將危害視為風險，符合客觀風險感知二元論 (objective-perceived risk dichotomy)，即民眾與專家的感知有明顯落差。
目的：由於臺灣對於公共與環境衛生議題之風險感知研究較少，本篇探討大學生與大學教授之死亡風險感知差異，並分別探討影響風險感知之主要因素，有助於了解學生與教授之感知風險，及後續之風險管理。
方法：參考風險感知研究和心理測量典範文獻，以全國各區域之分層抽樣問卷方式，針對 26 項重要的環境衛生議題，選擇全國共 1,218 位大學生作為民眾組，並選擇 35 位教授作為專家組，請受訪者依 5 等分圈選死亡感知風險強度，並為了解釋這些議題的得分 (score) 與排序 (ranking)，也請受訪者選擇各議題 13 種因素之 5 等分強度，並使用主成分分析法 (principal component analysis, PCA)，將解釋因素減至 3–4 種，再以二元座標分析，探討受訪者對各議題之二元因素。
結果：研究顯示，女性之感知強度高於男性。根據學生之平均風險分數，如圖 1 之排序：有害廢棄物、病毒傳染病、化學污染食品。大學生之風險感知普遍性比教授高，其中有 12 項議題，標示*者，顯著性高於專家之風險感知。而教授之風險排序則是：交通事故、病毒傳染病、有害廢棄物。另有 4 項空污議題，包含吸菸、戶外空污、二手菸、室內空污，其風險感知顯著性比學生高。進一步採用懼怕/不熟悉之二元分析，從圖 2 發現，影響學生風險感知之主因為懼怕度 (dreadness) 及不熟悉度 (unknown)，而影響教授之因素則較多元，除受恐懼及不熟悉之影響外，還受暴露 (exposure)、不可控制性 (Uncontrollable nature)、新型危害 (newness of hazard) 的影響。
結論：本篇研究發現民眾與專家之間存在風險感知及影響因素之落差，顯示專家是理性的，而民眾是感性的，容易忽略暴露的影響，時常將危害性視為風險。另外，民眾觀點可以補足專家之客觀導向決策的盲點，透過持續性教育，可強化民眾對於各種議題之理性感知，此作法符合公衛教育之 KAP 理論 (knowledge, attitudes and practices)，即透過知識教育可影響態度，再由態度影響行為。進行

風險溝通時，應展現同理心，才能傾聽到民眾懼怕死亡的感性訴求，適時調整配套措施與溝通方式。

評論：本篇研究為健康風險領域中稀少且珍貴之社會心理學調查研究，可作為後續特定危害調查深入探討之參考，了解民眾與專家之觀點差異，進行有效之風險教育與溝通。建議在進行風險溝通時，應確認溝通目的、溝通策略、溝通對象、溝通媒體與方法。溝通時，不需要一次完成所有主題，不同的階段會有不同的溝通重點，並依據不同性質或不同利害關係人，選用不同的溝通方法或形式進行雙向溝通。



2.3 風險管理

臺灣在過去深受環保與食安事件之爭議所苦，如何透過系統性架構來因應各種風險管理問題即須深入探討。本章節回顧中醫大團隊發表之國際期刊，建議應建構透明開放且具即時性之決策支援系統，才能因應迫切且複雜之風險管理問題，延長摘要如表 2-4：

表 2-4、文獻回顧成果(3)：臺灣如何因應當前迫切的健康風險管理與溝通問題

論文國別： 臺灣、 風險類型： 風險管理、 研究屬性： 文獻回顧
中文篇名： 臺灣如何因應當前迫切的健康風險管理與溝通的問題
英文篇名： How Taiwan Copes with the Currently Pressing Issues of Risk Management and Risk Communication
關鍵詞： risk assessment (風險評估), risk management (風險管理), risk perception (風險感知), risk communication (風險溝通), general risk management framework (通用風險溝通管理架構)
出處： 江舟峰，土壤及地下水污染整治，第 4 卷第 1 期 (2017)，第 1-15 頁
IF： 0.59
背景： 臺灣在近年發生許多環保與食安風險事件，雖然已納入健康風險管理的思維，但在風險事件處理過程中，仍時常引發許多利害關係人之間的爭議，影響國家之整體發展。因此，如何平衡風險和利益，是國家永續發展的重要議題。
目的： 釐清臺灣目前面對之重要問題與挑戰，建議可行之解決方案，促進各方利害關係人之間的理性互動，提升風險決策效率。
方法： 以文獻回顧法，彙整國內外之風險管理與風險溝通重要規範，包含：美國國家科學委員會 (NRC)、國際食品法典委員會 (CAC)、我國環保署、衛福部及其他重要國際學術期刊等，定義並釐清各種問題與挑戰，並針對國外的案例與經驗，提供可行的建議。
結果： 本篇提供 9 項建議，包括：(1) 政策之訂定須兼顧專家與民眾觀點、(2) 探討本土族群風險感知因子、(3) 建立本土毒理參數訂定機制、(4) 善用生物有效性學理避免過度保守之風險推估、(5) 借鏡美國 NRC 風險管理之最新建議、(6) 區隔風險評估與風險管理工作、(7) 建構風險管理決策支援系統、(8) 建立事件導向之風險管理制度、(9) 培育風險溝通的實務人才。其中，建議依據各部會需求，建構開放透明之決策支援系統平台，以圖 1 為例，透過平台可達成透明、一致、清楚、合理之風險溝通原則，以利各方專家檢驗其可信度，減少決策錯誤與爭議之可能性。並為符合一致性及可了解性，利用平台協助建立 FAO/WHO 建議之通用風險管理架構 (General Risk Management Framework, GRMF)，如圖 2，以四階段迴圈進行管理，彙整過去風險事件之處理方式與成果，建立符合各單位需求之風險管理制度。
結論： 本篇分析臺灣在風險管理與風險溝通方面之重要問題與挑戰，這些問題涉

及毒理學、科技管理、經濟發展與社會科學等，並提出 9 項方案，期望能促進良性溝通與討論，讓臺灣在政策制定過程中更適當地平衡風險與利益，減少相關爭議。

評論：本篇研究統整臺灣在風險管理與溝通上之問題與挑戰，並提供相關建議。其中，可先透過各部會，訂定各種可遵循之技術規範或指引，並將風險評估與風險管理之權責功能分開，讓風險評估聚焦於健全之科學事實，以建立其公正性；而風險管理則應根據風險評估結果與建議，考慮包含經濟、法律、社會、技術、政治、公眾價值等其他非科學因素，進行綜合性考量之風險決策。並建置具有透明、一致、公開、清楚特性之決策支援系統，促進利害關係人之間的風險溝通。

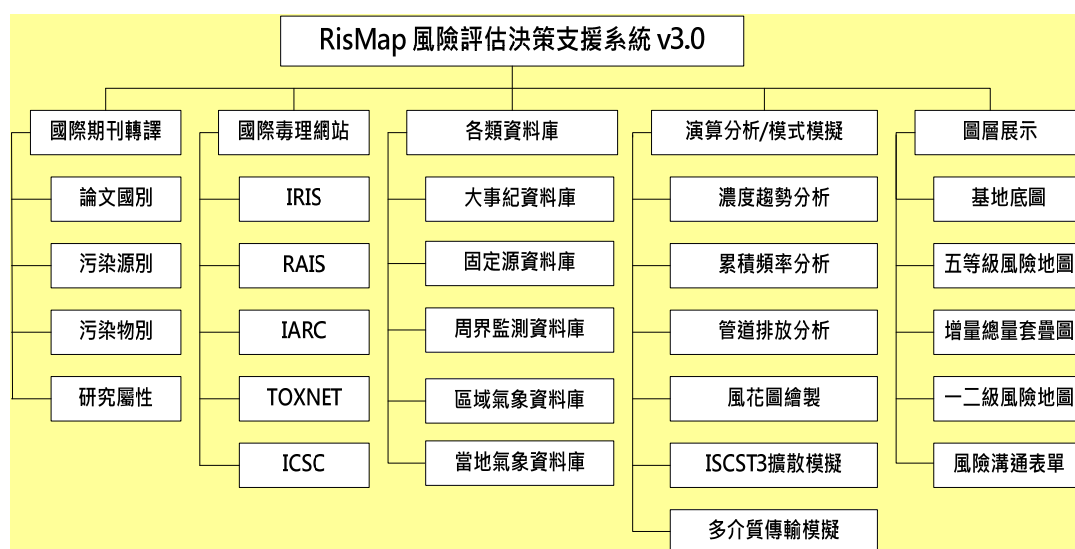
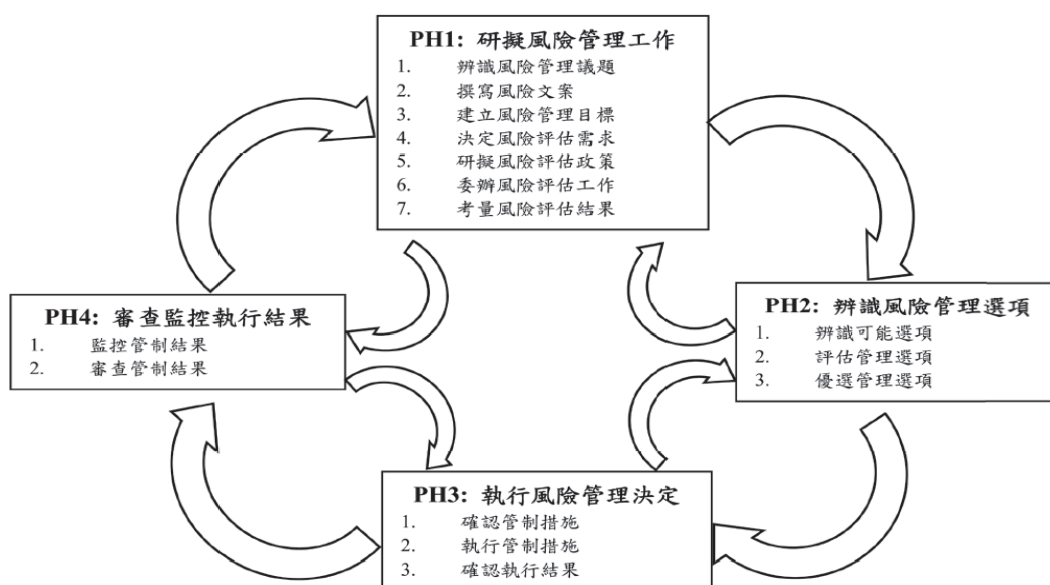


圖 1、中醫大團隊之環境風險管理決策支援系統架構圖



資料來源：FAO/WHO (2006)

圖 2、FAO/WHO 建議之通用風險管理架構

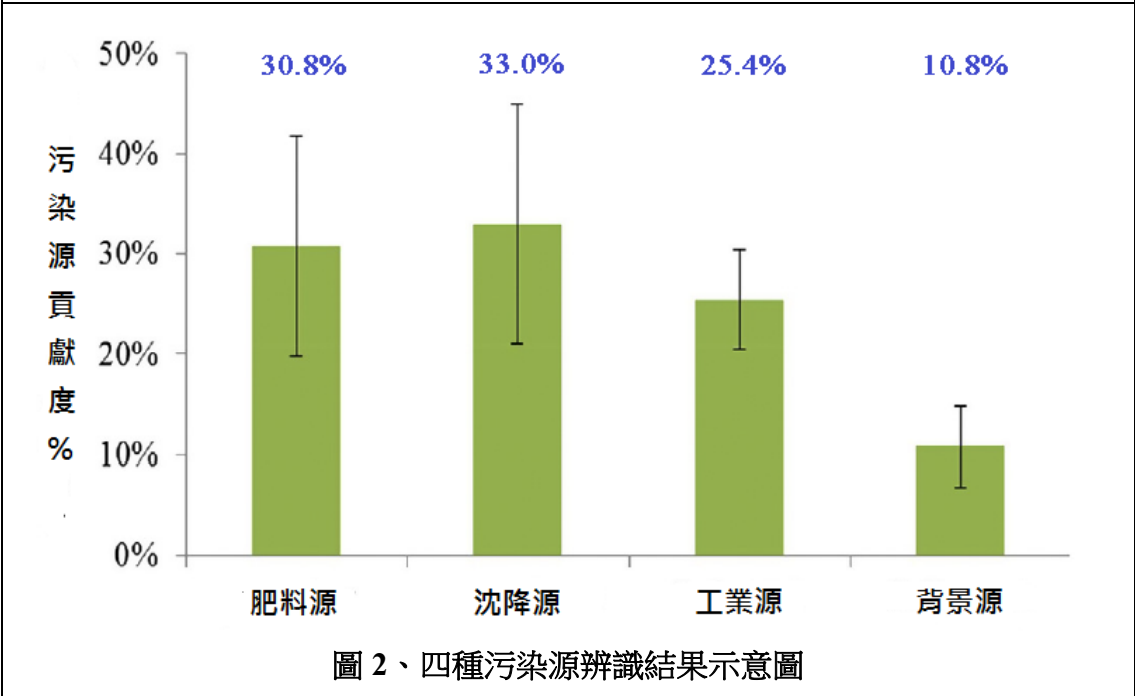
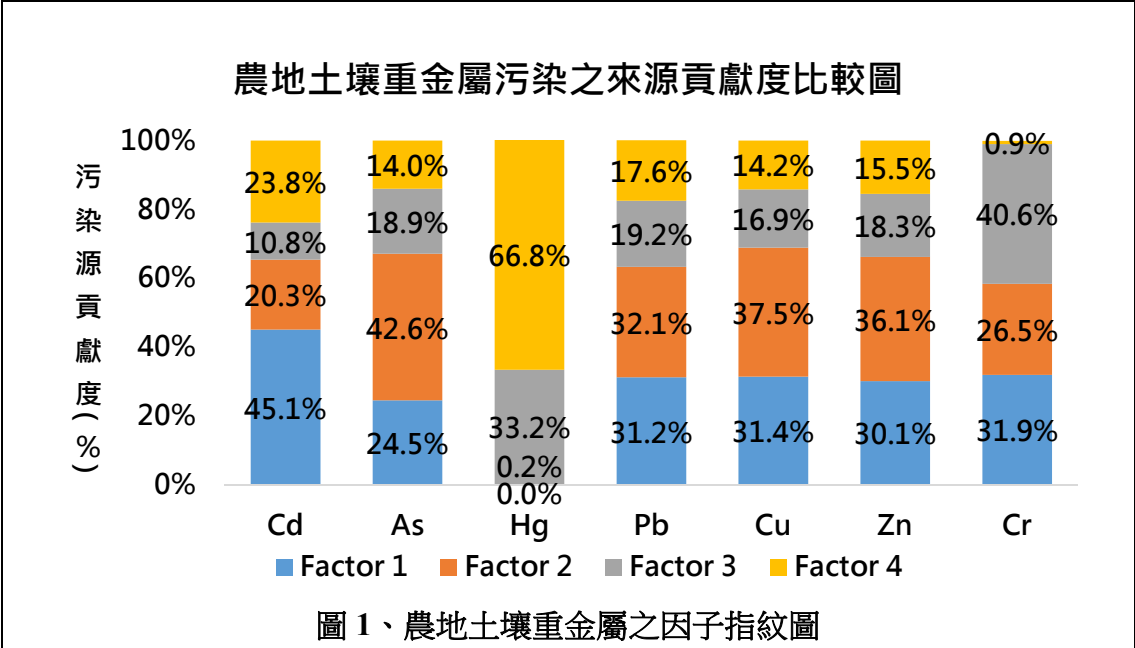
2.4 溯源評估

溯源評估係用於追蹤污染源頭，利用統計手法或同源物 (cogener) 指紋圖譜，推論最可能的各項污染源，如：工業空污排放、交通排放、背景土壤、施用肥料等。本節回顧中國發表之國際期刊，發現評估場址之重金屬污染，除來自空氣污染外，當地農業活動也是造成重金屬累積之主要原因。延長摘要如表 2-5：

表 2-5、文獻回顧成果(4)：中國東南部郊區農地土壤重金屬之整合性溯源研究

論文國別： 中國、 風險類型： 風險評估、 研究屬性： 溯源評估
中文篇名： 中國東南部郊區農地土壤重金屬之整合性溯源研究
英文篇名： Source identification of heavy metals in peri-urban agricultural soils of southeast China: An integrated approach
關鍵詞： Heavy metals (重金屬), Spatial variability (空間變異性), Pb isotope ratio (鉛同位素比率分析), Positive matrix factorization (PMF) (正矩陣因子法受體模式), Input fluxes (輸入通量分析)
出處： Hu W et al., Environmental Pollution 237 (2018) 650-661
IF： 3.51
背景： 隨著人為活動的增加及大量的農業活動導致農地土壤之重金屬累積日益嚴重，威脅著土壤品質和農業食品安全。追蹤農地土壤之重金屬來源是預防或減少重金屬污染之關鍵，才可準確地採取適當風險管理措施改善污染。其中，由於城市郊區靠近多種污染源，難以確認污染來源，亟需整合許多分析方法，通過不同方法來驗證溯源結果。
目的： 過去的研究，雖然已使用各種不同的方法來辨識土壤中重金屬來源，但缺乏在同一區域以綜合性方法來驗證並整合來源辨識結果。因此使用 4 種方法組合分析，交叉驗證溯源結果，以制定有效之政策與標準，控制並減少農地土壤重金屬之累積。
方法： 在研究場址收集 88 個表土樣本，每個樣本在 5 m ² 範圍收集 5 個子樣本混樣組成，分析砷 (As)、鎘 (Cd)、鉻 (Cr)、銅 (Cu)、汞 (Hg)、鉛 (Pb)、鋅 (Zn) 等 7 種重金屬濃度，再依據這些濃度資料，分別進行 GIS 空間分析、鉛同位素比率分析、輸入通量分析、正矩陣因素 (PMF) 受體模式分析等，評估農地土壤重金屬的特性和來源。
結果： 表土平均濃度除了 Hg 外，其他 6 種重金屬皆超過背景濃度。空間分析顯示重金屬濃度分布與有機質有關，顯示當地農業活動對表土重金屬積累有重要影響。鉛同位素比率分析和輸入通量分析顯示肥料與大氣沉降是土壤重金屬累積的主要來源。PMF 模式貢獻源可分為 4 種，如圖 1，根據各污染源之因子指紋特徵及受體點之鄰近污染源盤查結果，辨識結果如圖 2，其相對貢獻度分別為肥料源 30.8 %、沉降源 33.0 %，工業源 25.4 %及背景源 10.8 %，顯示人為活動比

自然因素有更高的貢獻。
結論： 本篇整合 4 種分析方法可相互驗證農地土壤可能之重金屬來源，大部分結果顯示，沉降源和肥料源是土壤重金屬累積之主要來源，應實施定期監測、源頭管制及整合性環境管理，以減少重金屬進入土壤，確保農業生產之食品安全。
評論： 本篇是少數將 PMF 模式用於重金屬研究，也是少數進行整合性分析之文獻，可相互驗證並提高結果的可信度。但文獻也提到沉降源和工業源辨識有不確定性，需要更進一步研究才能準確地分辨。



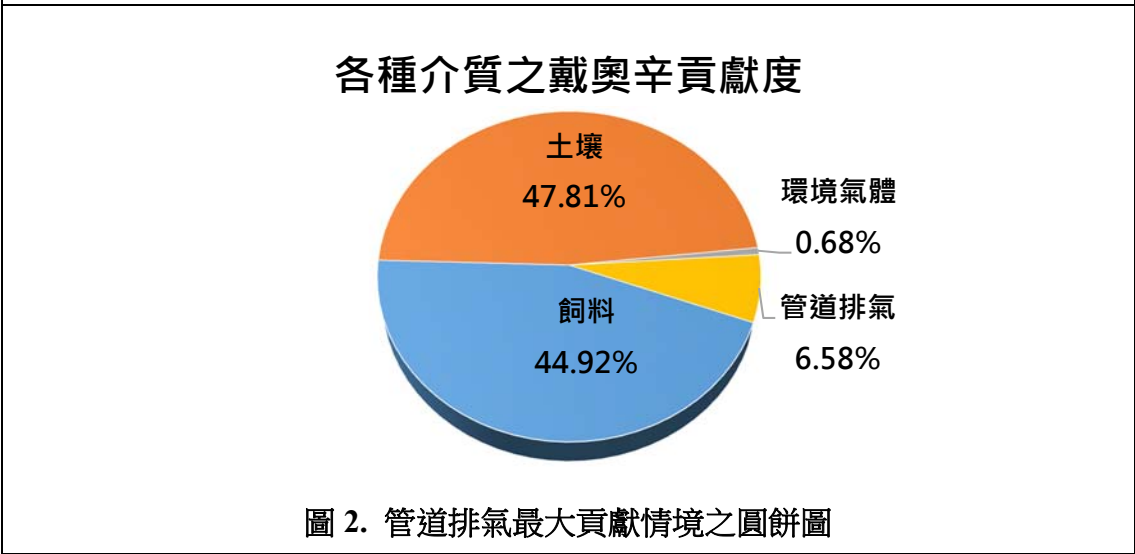
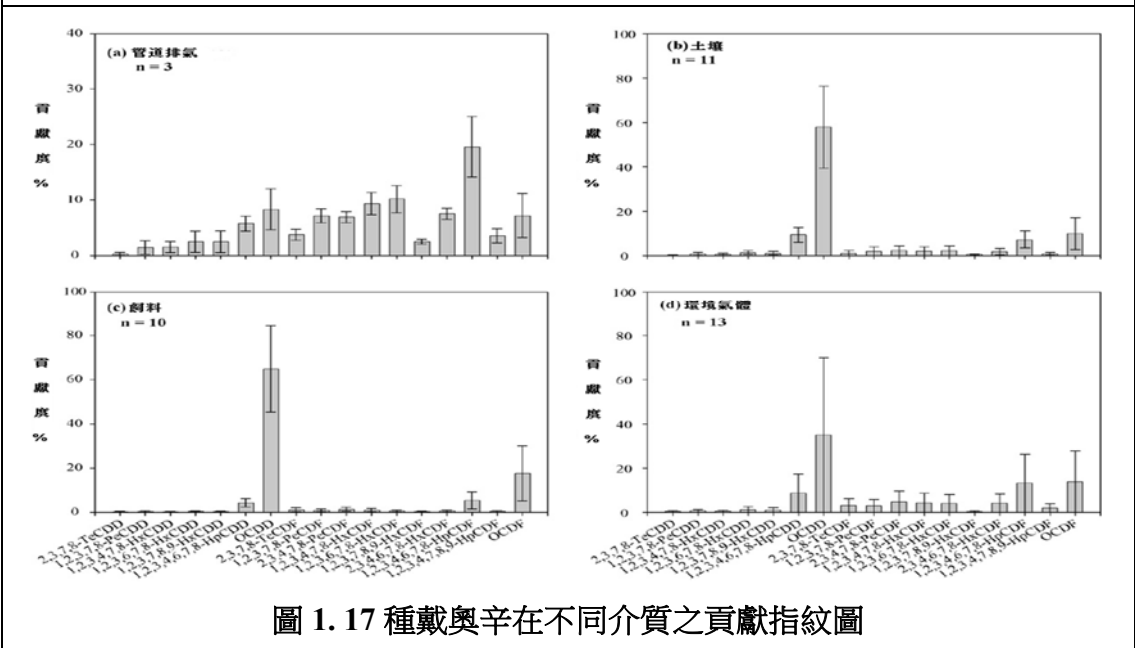
2.5 增量貢獻分析

除了溯源評估，增量貢獻分析也是追蹤污染源之重要技術，透過 ISC 空污擴散模式進行不同情境之模擬，輔以現場採樣分析，可估算特定空污源對受體的貢獻占比。本節回顧臺灣發表之國際期刊，運用精密檢測儀器及高階模擬技術，可以追溯食品污染總量中的各種貢獻源的增量濃度占比。延長摘要如表 2-6：

表 2-6、文獻回顧成果(5)：養鴨場周圍之戴奧辛介質貢獻評估

論文國別：臺灣、風險類型：風險評估、研究屬性：擴散模擬與貢獻分析
中文篇名：養鴨場周圍之戴奧辛介質貢獻評估
英文篇名：Assessment of polychlorinated dibenzo- <i>p</i> -dioxins and dibenzofurans contribution from different media to surrounding duck farms
關鍵詞：PCDD/Fs (戴奧辛), I-TEQ (國際毒性當量), Dry/wet deposition (乾濕沈降), Duck egg (鴨蛋)
出處：Lee WJ et al., Journal of Hazardous Materials 163 (2009) 1185–1193
IF：3.85
背景：2004 年，中臺灣發生戴奧辛毒鴨蛋事件，其鴨蛋之戴奧辛含量高達 30 - 45 pg WHO/g-fat，為歐盟規範 (3 pg WHO/g-fat) 之 10 - 15 倍，輿論認為是距離養鴨場 2-3 km 之電弧爐煉鋼集塵處理廠 (electric arc furnace dust treatment plant, EAFDT) 所致。當時，雖然並沒有 EAFDT 之排放標準，但 EAFDT 管道監測之戴奧辛平均 I-TEQ 濃度為 181 ng I-TEQ/Nm ³ ，遠大於其他污染源如大型焚化爐 (0.1 ng I-TEQ / Nm ³) 和煉鋼廠 (2.0 ng I-TEQ / Nm ³) 之排放標準，但仍沒有可靠之科學證據證明毒鴨蛋是 EAFDT 導致。
目的：環境中有許多介質和暴露途徑，例如：吸入空氣、食入食品、皮膚接觸等，都可能導致戴奧辛累積。因此，測量不同介質之戴奧辛濃度，及評估鴨子攝入戴奧辛之主要途徑，是釐清戴奧辛鴨蛋事件的關鍵議題。
方法：為了解毒鴨蛋之污染來源，使用高解析氣相層析儀及質譜儀 (HRGC/HRMS)，分別測量 EAFDT 廠周邊 8 座養鴨廠之飼料、土壤、環境氣體之戴奧辛濃度，並引用政府監測 EAFDT 之管道排氣濃度數據，使用 ISC 進行擴散和乾濕沈降模擬，評估 EAFDT 管道之戴奧辛排放對養鴨場周圍之影響，並討論毒鴨蛋之主要貢獻度。
結果：17 種戴奧辛之貢獻指紋圖如圖 1 所示，顯示管道排氣之主要戴奧辛貢獻是 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF，與土壤、飼料及環境氣體之 OCDD 為主要貢獻有所不同。將 181 ng I-TEQ / Nm ³ 之平均 I-TEQ 濃度，作為排放濃度代入 ISC 模擬，經不同情境比較後，發現來自 EAFDT 之空污貢獻最大僅 6.6%，如圖 2，而養鴨場土壤食入 (5 g/d) 及飼料食入 (200 g/d) 則是分別為 47.8% 及 44.9%。即便以 2 倍平均排放濃度推估，管道排氣沈降占比也僅達 13.2%，飼料及土壤食入合計

論文國別：臺灣、風險類型：風險評估、研究屬性：擴散模擬與貢獻分析
占比仍高達 86.8 %。近一步調查發現，飼料及土壤中的戴奧辛，係遭非法棄置或刻意添加之煉鋼爐集塵灰污染所致。
結論：使用 ISC 針對不同的情境模擬，發現管道排氣貢獻最大情境是飼料食入 200 g/d 及土壤食入 5 g/d，但其管道排氣之最大貢獻僅占總戴奧辛蛋之 6.6 %，即使考慮到不確定性，以 2 倍排放濃度模擬也僅 13.2 %，遠低於飼料及土壤食入之貢獻量，顯示 EAFDT 並不是主要污染源。因此，在進行養鴨場管理時，應注意煉鋼爐集塵灰對於飼料和土壤之戴奧辛污染。
評論：本篇採用情境式模擬，分別調整土壤食入和飼料食入之攝取量進行 ISC 模擬，發現管道排氣最大僅貢獻 6.6 %，解決輿論對於 EAFDT 的質疑，釐清戴奧辛鴨蛋事件真正的污染源。顯示以命題導向的重要性，可提供充分的科學資訊進行綜合考量，而決策支援系統則是可節省時間，做出快速合宜且透明決策。



2.6 臺灣發生之重金屬食安事件

本節彙整臺灣曾發生之重金屬食安事件，參考維基百科 (2018)，從 1980 年代至今 (2018 年)，共發生 158 次食安事件，其中與重金屬相關有 7 件，分析其原因，主要為：環境污染、原料品質不良及非法使用工業原料，詳如表 2-7。由表中可見，7 次事件有 3 次屬於環境污染事件，其中 1986 年之綠牡蠣事件成功溯源。

表 2-7、臺灣歷年來發生之重金屬食品安全事件一覽表

時間	事件	事件源由	原因分類
1982	鎘米事件	桃縣觀音鄉鎘米事件，高銀化工生產含鎘和鉛的安定劑，疑似排放工廠廢水含鎘，造成農地污染，種出鎘米。	環境污染
1986	綠牡蠣事件	臺南高雄海域的牡蠣養殖被二仁溪燃燒廢五金業者棄置含二價銅廢液，造成溪水及海域大規模污染，出現綠牡蠣。	環境污染
2005.04.01	鎘米事件	農委會公布 2004 年檢測 16 個地區共 241 筆稻米樣品重金屬含量，發現 11 筆、4.94 公頃農田稻米含鎘量超過食米重金屬限量標準，銷毀污染稻穀近 30 噸。	環境污染
2009.06.22	麥當勞回鍋油事件	北縣府法制室消保官檢測包含麥當勞等 5 家速食業者使用之食用炸油，發現麥當勞最嚴重，酸價值超出法規標準值 12 倍，且含砷量超標。	原料品質
2011.05.22	淡水河毒魚事件	蘋果日報發現漁民於法定不適養殖之水體淡水河捕撈，並運往市場批售，記者自行採樣送檢後發現，吳郭魚及烏魚含砷量分別為 0.92 及 1.0 ppm。	民眾誤食
2014.02.26	鼎王麻辣鍋湯頭混製事件	知名餐飲集團鼎王麻辣鍋遭員工報料湯頭竟是由味精、大骨粉等 10 多種粉末調製而成，且被驗出含有農藥及汞、鎘等重金屬。	原料品質
2015.04.26	調味料摻入工業用碳酸鎂事件	調味粉業者台灣第一家爆出自 2007 年起在調味粉中摻入工業用碳酸鎂，有醫生稱工業用碳酸鎂可能有鉻、鉛、汞、銅等重金屬，恐影響健康。	工業原料

2.7 本章摘要

文獻回顧有助於毒化物質相關食安風險之關鍵課題掌握，經資料蒐集、解讀與延長摘要撰寫，發現食安風險評估之關鍵技術為：多介質傳輸模式與環境與食安暴露參數之食物匹配 (food matching)，配合多介質採樣調查數據，分析各污染源之貢獻度，可以實現化學局成立的目標—污染溯源及源頭改善。

風險溝通文獻回顧發現國人風險感知主要受到：懼怕 (情緒) 及不熟悉 (理解) 二因子所影響，民眾與專家風險感知之落差，係因民眾是感性的而專家是理性的，民眾之風險感知受媒體渲染影響，專家透過知識建構獲得正確風險感知的素養。因此，與民眾進行風險溝通，需以同理心體認民眾對死亡風險之懼怕，而非僅只於風險評估之科學論述。

風險管理文獻回顧發現運用決策支援系統，有助於達成世界衛生組織 CAC 要求的風險溝通四大原則：透明、公開、一致及清楚。

食安事件文獻回顧發現國內從 1980 年代迄今 (2018 年)，共發生 158 件食安事件，其中與重金屬相關者有 7 件，依照屬性可區分為：環境污染、原料品質不良、工業原料非法使用及民眾誤食，7 件中有 3 件屬於環境污染事件。

第三章、研提評估架構及方法指引

3.1 整體評估架構

本計畫工作內容為：研提環境污染物於食品中之溯源及急毒性事件之評估架構及方法指引，研擬之評估架構如圖 3-1，方法指引詳如附錄 A2。

該架構考量 2 種情境：慢毒性 (chronic toxicity) 與急毒性 (acute toxicity)，慢毒性係導因低劑量的長期暴露，這與國人各種慢性病的盛行率是否有關，是三部會署必須儘速評估的，作為檢討環境標準與食品安全衛生標準的重要參考；而急毒性偏重化學災害事件之高濃度瞬間的排放，因此將整體評估架構分為 2 類：食安慢毒性議題及環安急毒性議題。其中食安慢毒性議題涉及衛福部、農委會及環保署三部會署，可以 4 個步驟為之：食安調查、食安風險評估及預警、生產區風險評估及污染溯源評估。分別由各權責單位負責，如圖 3-1 所示，共同維護國內食品安全。

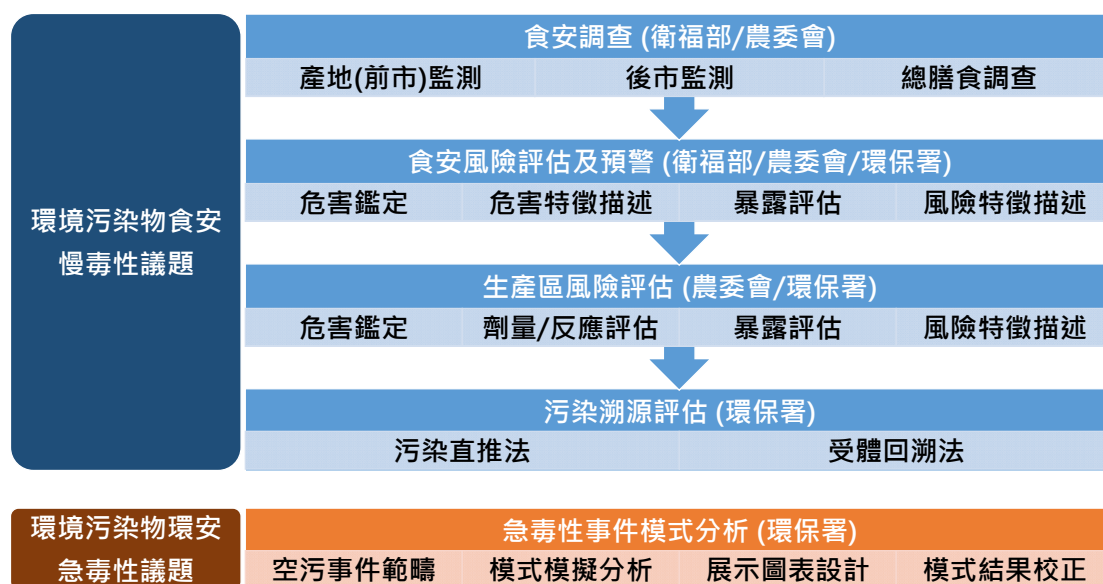


圖 3-1、環境污染物於食品中之溯源及急毒性事件之整體評估架構

3.2 食品聚類及其攝食量暴露參數評估方法

環境中的危害物質會經由不同途徑進入人體，在暴露評估時須考量各種暴露歷程 (exposure pathway) 與情境。當採用歐美多介質傳輸評估軟體，如：MEPAS，模擬污染物經由食品安全鏈 (food chain) 傳輸時，其內建之攝食暴露參數 (exposure factor) 係採用美國或歐洲的飲食數據，並不適用臺灣本土之飲食習慣。

國內於進行風險評估時，通常採用衛福部國民健康署 (2008) 公告之「臺灣一般民眾暴露參數彙編」，以及國家衛生研究院之「國家攝食資料庫」(National Food Consumption Database, NFCD) (黃，2017) 之暴露參數資料。本計畫檢討這兩種暴露參數資料對本案的適用性，結果如表 3-1，發現飲食習慣變遷、資料前處理、食

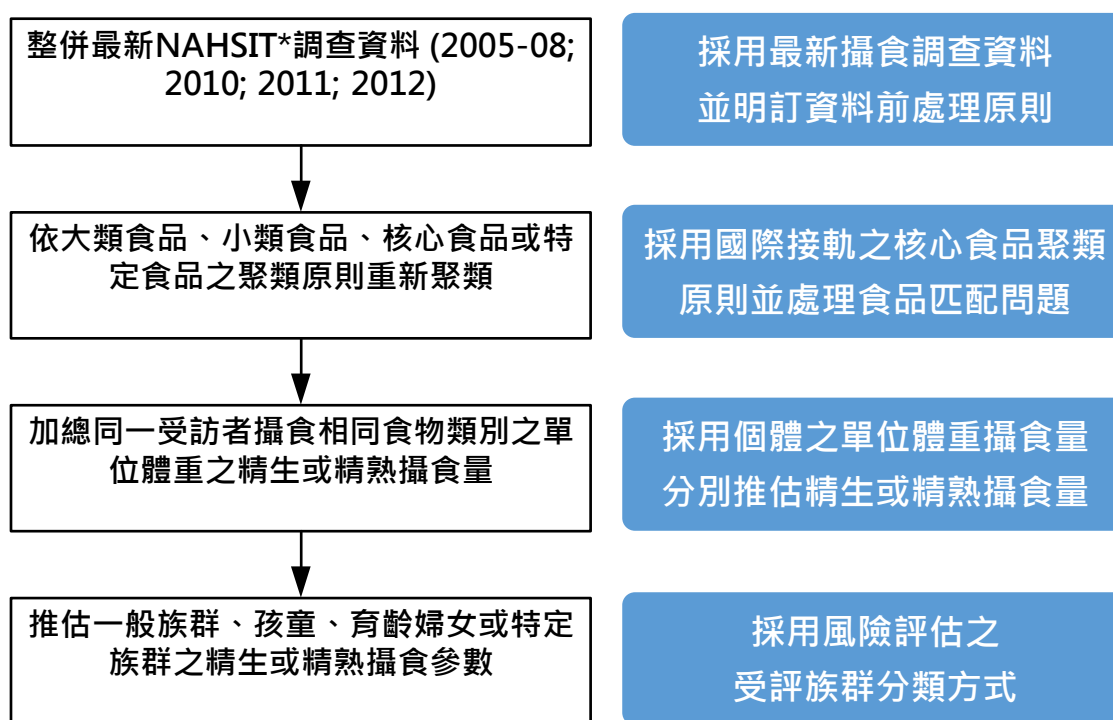
品聚類、攝食量與濃度之食品匹配 (food matching)、年齡性別分層及食品類別與風險評估方式共 6 項問題，這些問題可能導致攝食量參數的嚴重高估或低估，應儘速釐清並採用國際接軌的統計方法。

表 3-1、我國 2 種常用攝食暴露參數來源之檢討

檢討項目	檢討意見	
	國家攝食資料庫	臺灣一般民眾暴露參數彙編
1. 飲食習慣變遷	● 納入最新 4 次：2005-2008、2010、2011 及 2012 年	● 資料老舊為約 15 年前數據
2. 資料前處理	● 未說明數據前處理原則：體重補遺、刪除 0 歲孩童、湯汁食品及複合食品之轉換拆解等 ● 未說明填報之問題資料：食品名稱「不知名的魚」、食品名稱與編碼不一致、食品名稱不統一「秀珍菇」及「鮑魚菇」	
3. 食品聚類	● 以營養成分相似者聚為同一大類，未說明更細的聚類原則，且該資料為 Excel 之固定資料，未能動態調整為環境風險評估所需之食品類別 ● 未將複合食品 (如飯糰) 拆解為環境模擬所需之單一食品 (如米飯)	● 僅區分 12 大類之食品類別，過於簡略，容易高估風險，且未詳細說明聚類原則
4. 食品匹配	● 代表濃度之食品數量，少於代表該類食品攝食量的食品數量，為世界衛生組織 CAC 呼籲需極力克服的暴露評估的挑戰 ● 攝食量與濃度數據之食品型態 (state) 不同，如：cooked vs. raw, processed vs. unprocessed, dry vs. mixed with water ● 濃度數據通常得自生鮮食材 (raw commodity) 或單一食品，但是攝食量所紀錄的食品可能是複合食品，如：漢堡 (由麵包、蔬菜及起司組成)	
5. 性別年齡層	● 以每 3 歲分為 8 個年齡層，建議參考 WHO (2012) 以 3 類族群呈現：一般族群 (yr 0-65+)、孩童 (yr 1-6) 及育齡婦女 (yr 15-49)	● 年齡層達 28 層，亦無 0-6 歲族群之數據，建議參考 WHO (2012) 以三類族群呈現：一般族群 (yr 0-65+)、孩童 (yr 1-6) 及育齡婦女 (yr 15-49)
6. 統計方法	● 採用攝食量 (CR) 及體重 (BW) 分別建模，於進行機率評估時，將會抽到低 BW 配對高 CR 者，造成高端暴露劑量之嚴重高估，建議以個體之單位體重攝食量 (CR / BW) 建模	

*：臺灣營養健康狀況變遷調查 (Nutrition and health survey in Taiwan, NAHSIT)

為了獲得每次食安事件所需特定食物之暴露參數，必須採用原始 24-hr 飲食回顧 (food recall) 資料，約有 35 萬筆個體攝食資料，研擬聚類原則並予以編碼，圖 3-2 為其聚類流程。該流程係參考 Chiang et al. (2018) 之臺灣總膳食調查 (total diet study) 核心食品 (core food, CF) 模型，合併臺灣營養健康狀況變遷調查 (Nutrition and health survey in Taiwan, NAHSIT) 最新 4 期成果 (2005-08、2010、2011 及 2012 年) 之飲食回顧原始資料，以涵蓋全年齡層之攝食數據，資料欄位如：食品種類、攝食量，個體性別、年齡及體重等，並排除體重缺漏數據。



*：臺灣營養健康狀況變遷調查 (Nutrition and health survey in Taiwan, NAHSIT)

圖 3-2、本研究建議之臺灣食品聚類及攝食暴露參數統計流程

表 3-2 為本計畫建議之臺灣核心食品或特定類別食品聚類原則，將調查食品 (survey food, SF) 依其食品種類 (food type)、食品用途 (food use)、次類別 (sub-type)、加工方法 (processing method)、主成分 (major ingredient)、烹調方法 (cooking method)、消費習慣 (serving habit) 等原則，圖 3-3 說明台灣食品之聚類流程之一般原則，Chiang et al. (2018) 聚類為 16 大類 (A-P 類)、54 小類食品及 237 類核心食品如表 3-3。亦可查詢該電腦模組，針對特定食安事件之需求，如：鹹鴨蛋，自該類核心食物之調查食品清單中，新增次核心食品代碼，並予以自動聚類，估算一般族群、孩童及育齡婦女之全部個體 (whole group, WG) 及僅攝食者 (consumers only, CO) 之每日單位體重「精生」及「精熟」攝食量 (g/kg BW-d)。

表 3-2、台灣核心食品聚類原則

食品類別	聚類原則	說明
16 大類 食品	● 食品種類 ● 食品用途	● 依食品種類區分的大類，如全穀雜糧類、家禽類及其製品、蔬菜類等； ● 依食品用途區分的大類，如點心甜食類、飲料類、調味料類等。
54 小類 食品	● 次類別 ● 加工方法	● 依次類別區分的小類，如全穀雜糧類中的米類及其製品； ● 依加工方法區分的小類，如乳品類中粉狀或固狀乳類。
237 類 核心食品	● 主成分 ● 加工方法 ● 烹調方法 ● 消費習慣	● 依主成分區分的核心食品如油飯粽子類與米血類； ● 依加工方法區分的核心食品，如米粉類與板條類； ● 依烹調方法區分的核心食品，如雞肉類及其製品與炸雞類； ● 依消費習慣區分的核心食品，如御飯糰類與壽司類。

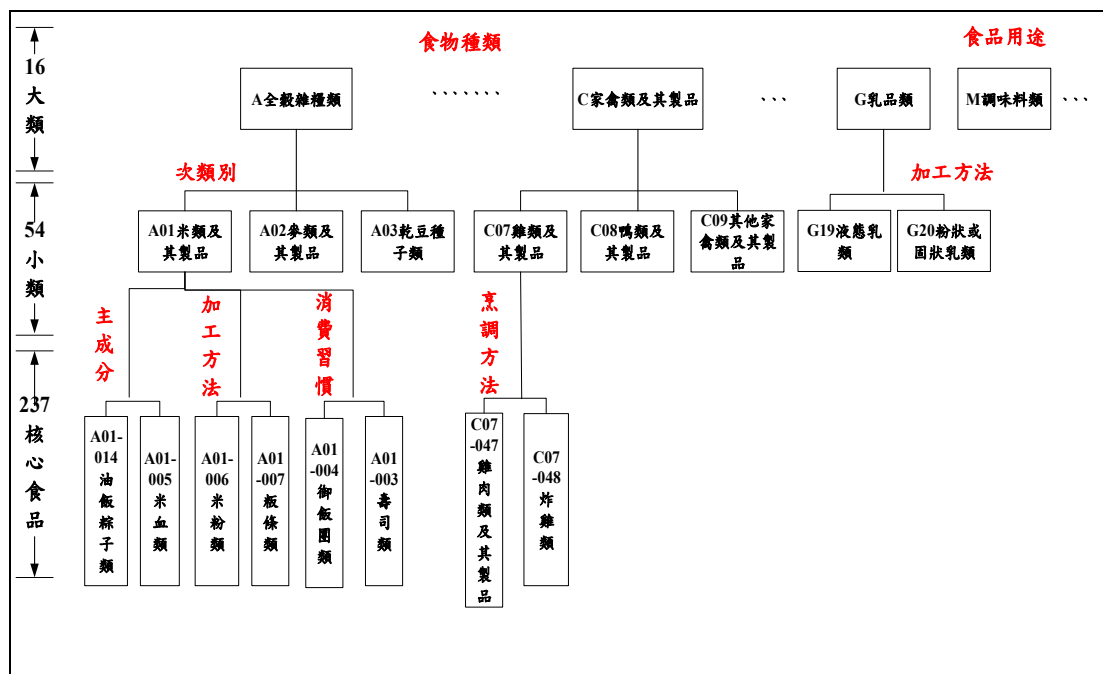


圖 3-3、臺灣食品聚類範例流程圖

表 3-3、我國食品 237 類核心食品清單

CF code	237 核心食品	CF code	237 核心食品	CF code	237 核心食品
A 全穀雜糧類		B05-040	動物油脂類	E16-072	頭足類
01 米類及其製品		B05-041	奶精奶油類	E16-073	其它海產類
A01-001	純米飯稀飯類	06 堅果類及其製品		E16-074	炸蝦餅類
A01-002	複合飯粥類	B06-042	花生類及其製品	E16-075	海鮮卵類
A01-003	壽司類	B06-043	芝麻類及其製品	F 其它蛋白質類	
A01-004	御飯糰類	B06-044	杏仁類及其製品	17 蛋類及其製品	
A01-005	米血類	B06-045	瓜子類	F17-076	蛋類
A01-006	米粉類	B06-046	綜合堅果類	F17-077	調味蛋類
A01-007	板條類	C 家禽類及其製品		F17-078	加工蛋類
A01-008	米麩類	07 雞類及其製品		18 黃豆類及其它製品	
A01-009	米香小米類	C07-047	雞肉類及其製品	F18-079	黃豆類
A01-010	米製粿類	C07-048	炸雞類	F18-080	豆腐類
A01-011	蘿蔔糕發糕類	08 鴨類及其製品		F18-081	豆乾類
A01-012	米漿類	C08-049	鴨肉類及其製品	F18-082	豆皮類
A01-013	糯米飯類	09 其它家禽類及其製品		F18-083	素料類
A01-014	油飯粽子類	C09-050	鵝肉類	F18-084	豆漿類
A01-015	其它糯米製品類	C09-051	其它禽類	F18-085	發酵黃豆製品類
A01-016	多穀米飯類	C09-052	禽類內臟類	F18-086	麵筋類
02 麥類及麵粉類製品		C09-053	禽類非肉部位	G 乳品類	
A02-017	蔥餅麵餅類	D 家畜類及其製品		19 液態乳類	
A02-018	純麵條麵皮類	10 豬肉類及其製品		G19-087	全脂牛乳
A02-019	乾燥麵類	D10-054	豬肉類	G19-088	低脂牛乳
A02-020	速食麵類	D10-055	豬內臟類	G19-089	脫脂牛乳
A02-021	純麵線類	D10-056	豬副產品類	G19-090	調味牛乳類
A02-022	吐司類	D10-057	調味豬肉類	G19-091	發酵乳類及奶酪類
A02-023	麵包類	D10-058	豬肉乾燥製品類	G19-092	煉乳類
A02-024	饅頭類	D10-059	香腸熱狗類	G19-093	羊乳類
A02-025	麥片麥粉類	D10-060	豬肉煉製品類	G19-094	調味羊乳類
A02-026	複合麵條麵線類	D10-061	其他豬肉加工製品類	20 粉狀或固狀乳類	
A02-027	餡餅蛋餅類	11 牛肉類及其製品		G20-095	奶粉類
A02-028	三明治類	D11-062	牛肉類及其製品	G20-096	起司類
A02-029	漢堡類	12 其它家畜類及其製品		G20-097	羊乳製品類
A02-030	披薩類	D12-063	羊肉及野味類	H 蔬菜類	
03 乾豆種子類		E 魚、水產類		21 包葉菜類	
A03-031	紅豆類及其製品	13 淡水魚類		H21-098	高麗菜類
A03-032	綠豆類	E13-064	淡水魚類	H21-099	大白菜類
A03-033	綠豆製品類	14 鹹水魚類		H21-100	花椰菜類
A03-034	玉米類及其製品	E14-065	鹹水魚類	H21-101	其他包葉菜類
A03-035	玉米粉製品類	15 魚類及其製品及內臟		22 小葉菜類	
A03-036	綜合豆類	E15-066	魚乾類	H22-102	地瓜葉類
A03-037	綜合豆類製品類	E15-067	魚罐頭類	H22-103	空心菜類
B 油脂類		E15-068	魚漿製品類	H22-104	十字花科小葉菜類
04 植物油類		E15-069	魚肉製品類	H22-105	菊科小葉菜類
B04-038	植物調理油類	16 其它海產類及其製品		H22-106	菠菜類
B04-039	植物油脂製品類	E16-070	甲殼類及其製品	H22-107	芹菜類
05 動物油類		E16-071	貝類	H22-108	莧菜類

CF code	237 核心食品	CF code	237 核心食品	CF code	237 核心食品
H22-109	龍鬚菜類	H30-147	其他蔬菜類	J42-179	巧克力類
H22-110	蔥、韭菜類	31 醃漬蔬菜類		J42-180	膠凍類
H22-111	其他小葉菜類	H31-148	醃漬蔬菜類	J42-181	銅鑼燒類
23 果菜類		I 水果類		43 中式點心類	
H23-112	番茄類	32 梨果類		J43-182	中式糕餅類
H23-113	青椒甜椒類	I32-149	蘋果類	J43-183	肉圓類
H23-114	其他果菜類	I32-150	梨類	J43-184	蚵仔煎類
24 豆菜類		I32-151	桃李類	J43-185	餃子類
H24-115	四季豆類	I32-152	棗類	J43-186	鍋貼類
H24-116	長豆類	I32-153	其他梨果類	J43-187	餛飩類
H24-117	豌豆類	33 大漿果類		J43-188	甜包子類
H24-118	芽菜類	I33-154	香蕉類	J43-189	鹹包子類
H24-119	其他豆菜類	I33-155	鳳梨類	J43-190	紅豆餅類
25 瓜菜類		I33-156	木瓜類	J43-191	其他點心類
H25-120	絲瓜類	I33-157	奇異果類	K 飲料類	
H25-121	苦瓜類	I33-158	火龍果類	44 冰、飲料類	
H25-122	小黃瓜類	I33-159	其他大漿果類	K44-192	飲用水類
H25-123	冬瓜類	34 小漿果類		K44-193	綠茶類
H25-124	大黃瓜類	I34-160	番石榴類	K44-194	紅茶類
H25-125	瓠瓜類	I34-161	蓮霧類	K44-195	奶茶類
H25-126	其他瓜菜類	I34-162	葡萄類	K44-196	草藥茶類
26 根莖及澱粉蔬菜類		I34-163	小番茄類	K44-197	咖啡類
H26-127	蘿蔔類	I34-164	其他小漿果類	K44-198	碳酸飲料類
H26-128	筍類	35 核果類		K44-199	含糖飲料類
H26-129	洋蔥類	I35-165	芒果類	K44-200	運動飲料類
H26-130	番薯類	I35-166	其他核果類	K44-201	刨冰冰棒類
H26-131	芋頭類	36 柑桔類		K44-202	乳製冰品類
H26-132	馬鈴薯類	I36-167	橘子類	45 果汁類	
H26-133	其他根莖菜類	I36-168	柳橙類	K45-203	蔬果汁類
27 根莖類製品		I36-169	其他柑桔類	K45-204	果醋類
H27-134	番薯製品類	37 瓜果類		K45-205	花果茶類
H27-135	芋頭製品類	I37-170	西瓜類	L 酒類	
H27-136	馬鈴薯製品類	I37-171	其他瓜果類	46 酒類	
H27-137	太白粉製品類	38 其它水果類		L46-206	啤酒類
H27-138	其他根莖製品類	I38-172	甘蔗類	L46-207	米酒類
28 蕈菇類		39 果醬蜜餞類		L46-208	水果酒類
H28-139	香菇類	I39-173	果醬蜜餞類	L46-209	高粱酒類
H28-140	金針菇類	40 新鮮果汁類		L46-210	威士忌類
H28-141	木耳類	I40-174	果汁類	L46-211	藥酒類
H28-142	杏鮑菇類	J 點心甜食類		L46-212	其它酒類
H28-143	其他蕈菇類	41 餅乾零食類		M 調味料類	
29 海產植物類		J41-175	餅乾類	47 糖類	
H29-144	海帶類	J41-176	零食類	M47-213	糖及蜂蜜類
H29-145	其他海產植物類	42 甜點糖果類		48 鹽類	
H29-146	海產植物類加工 品類	J42-177	蛋糕類	M48-214	鹽類
30 其它蔬菜類		J42-178	糖果類	49 醬類	

CF code	237 核心食品	CF code	237 核心食品
M49-215	醬油類	51 湯品類	
M49-216	醬汁類	N51-227	清湯類
M49-217	醋類	N51-228	濃湯類
50 其它調味料類		N51-229	肉湯類
M50-218	味精類	N51-230	菜湯類
M50-219	胡椒粉類	N51-231	混合湯類
M50-220	其它辛香料類	O 嬰幼兒食品類	
M50-221	咖哩類	52 嬰幼兒乳品	
M50-222	滷/湯汁類	O53-234	嬰兒米精類
M50-223	辣椒類	O53-235	嬰兒麥精類
M50-224	蒜類	O53-236	其他嬰幼兒副食品
M50-225	薑類	P 營養補充品類	
M50-226	其它調味料類	54 營養補充品類	
N 湯品類		P54-237	營養補充品類

資料來源：Chiang et al. (2018)

針對前述食品聚類及攝暴露參數統計，美國環保署 (USEPA) 已建立一套電腦自動演算系統「膳食暴露評估模型」(diet evaluation exposure model, DEEM)，方便各界使用，最新的版本更納入生鮮食材濃度資料，稱為Dietary exposure evaluation model-food commodity intake database (DEEM-FCID)，其攝食資料為USEPA農藥註冊機構 (Office of Pesticide Programs, OPP) 所提供。該系統彙整受訪者之攝食資料及個體基本資料，包含約500種食品、7,000種食材，其攝食量單位為g/kg BW-d。USEPA自2012年起提供DEEM公開下載使用，有助於暴露評估之透明性及民眾使用。最新DEEM版本為4.02，最新資料為2005-2010年攝食量調查資料 (USEPA, 2014)。

蔡等人 (2016) 參考 USEPA 之 DEEM-FCID 經驗，利用國內本土資料，開發了一套臺灣膳食暴露評估模式 (Taiwan diet evaluation exposure model, TDEEM)，採用點選式圖形使用者介面 (graphical user interface, GUI) 設計，提升系統操作之友善性，其核心食品攝食量演算模組 (CCR)，可依使用者之需求自動完成食品聚類，減少繁冗之食品聚類過程，並快速提供風險評估者所需之攝食暴露參數，並以有機磷農藥之累積風險為例驗證其可行性。

3.3 急毒性事件模式分析方法

急毒性空污事件可能來自異常排放或化災事件，能夠引起高濃度的有害空氣污染物 (hazardous air pollutants, HAP) 洩漏或釋放至大氣中，透過大氣擴散等作用機制影響周遭環境。為了能夠在事件發生後迅速地量化污染物與評估周遭環境所受到的影響，可以運用空氣污染擴散模式進行污染物擴散分析。

本計畫建議採用，由美國環保署 (USEPA) 與國家海洋暨大氣總署 (NOAA) 共同開發之有害氣體擴散模式 (Areal Locations of Hazardous Atmospheres, ALOHA)。ALOHA 以高斯煙流擴散為基礎，模擬火災和爆炸情況以及有毒氣體擴散情境，其所需輸入資料包含：污染物種、氣象資料、洩漏源參數等，可預測污染物在 1 小時

內的擴散範圍，並可將擴散情形以 100 m 到 10 km 範圍內的平面圖顯示。圖 3-4 為本計畫建議之急毒性空污事件評估方法架構，分為 4 部分：空污事件範疇、模式模擬分析、展示圖表設計、模式結果校正，茲分別說明如下：

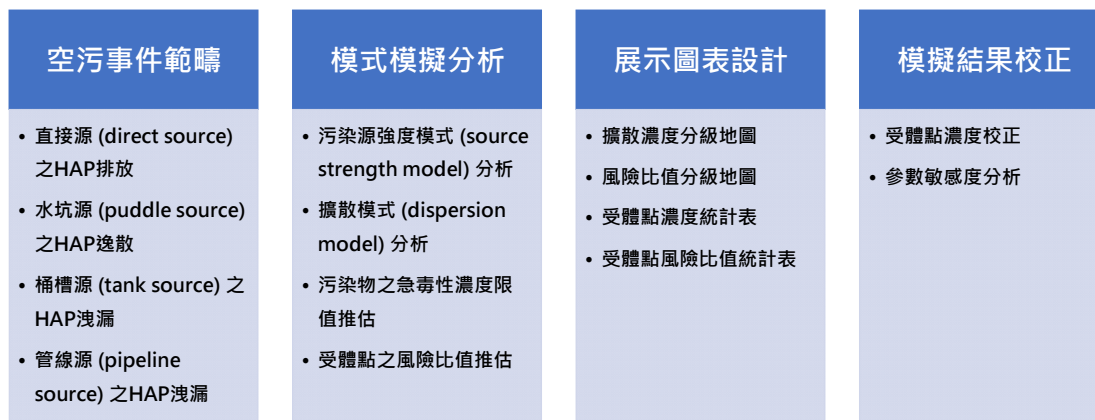


圖 3-4、本計畫建議之急毒性空污事件評估方法架構

(一) 空污事件範疇

當急毒性空污事件發生時，首先需要辨識污染物以何種形式進入到大氣中。分為 4 種情境：直接源 (direct source)、水坑源 (puddle source)、桶槽源 (tank source) 與管線源 (pipeline source)。其相關技術細節及軟體使用方法可分別參考 NOAA (2013) 及 USEPA and NOAA (2007)，各情境之特點則分別說明如下：

1. 直接源 (direct source) 之 HAP 排放：污染物從一個點瞬間或連續釋放到大氣中。在得知來源直接釋放污染物的數量，或釋放資訊太少導致無法辨別情境，可以歸類為直接源 (direct source) 之 HAP 排放。
2. 水坑源 (puddle source) 之 HAP 逸散：污染物從固定區域的水坑中蒸發或揮發至大氣中，可以歸類為水坑源 (puddle source) 之 HAP 逸散。
3. 桶槽源 (tank source) 之 HAP 洩漏：污染物從帶有單孔或洩漏閥的桶槽中洩漏或釋放，該槽含有液體、加壓氣體或在壓力下液化的氣體，可以歸類為桶槽源 (tank source) 之 HAP 洩漏。
4. 管線源 (pipeline source) 之 HAP 洩漏：污染物從運輸管線或連接著桶槽的管線中洩漏或釋放，可以歸類為管線源 (pipeline source) 之 HAP 洩漏。

(二) 模式模擬分析

在得知污染物以何種情境進入大氣後，必須進行模式模擬分析。可使用 ALOHA，進行污染源強度模式 (source strength model) 分析、擴散模式 (dispersion model) 分析、污染物之急毒性濃度限值推估、受體點之風險比值推估。

1. 污染源強度模式 (source strength model) 分析：在確認情境後，可選用

ALOHA 內建之污染源強度模式，輸入參數，如：污染物種、洩漏孔徑、管長、溫度、壓力等參數，計算污染物從該污染源的洩漏或釋放量，其相關技術細節及軟體使用方法可分別參考 NOAA (2013) 及 USEPA and NOAA (2007)。

2. 擴散模式 (dispersion model) 分析：利用污染源強度模式推估污染源的洩漏或釋放量後，可選用 ALOHA 內建之擴散模式，輸入氣象資料、受體點資料，如：風速、風向、受點體座標等，模擬污染物的擴散距離及逐時變化。ALOHA 內建 2 種半經驗空氣擴散模式：高斯模式 (Gaussian model) 及重氣模式 (Heavy Gas model)。高斯模式適用於不受重力直接影響的空氣污染物；重氣模式則適用於密度大於環境空氣的空氣污染物，並且受重力影響很大。此二擴散模式之相關技術細節及軟體使用方法可分別參考 NOAA (2013) 及 USEPA and NOAA (2007)。
3. 污染物之急毒性濃度限值推估：可採用 ALOHA 內建之緊急應變計畫指引 (Emergency Response Planning Guidelines, ERPG) 預設值，作為濃度擴散指標之計算基礎，結合上述結果得出污染物的濃度擴散範圍平面圖。ERPG 是由美國工業衛生協會 (AIHA) 所制定，依毒性物質之允許暴露程度分為三種：ERPG-1、ERPG-2、ERPG-3。
 - (1) ERPG-1：暴露於有毒氣體環境中約 1 小時，除了短暫的不良健康效應或不當的氣味之外，不會有其他不良影響的最大容許濃度。
 - (2) ERPG-2：暴露於有毒氣體中約 1 小時而不致使身體造成不可恢復之傷害的最大容許濃度。
 - (3) ERPG-3：暴露於有毒氣體環境中約 1 小時，而不致對生命造成威脅的最大容許濃度。
4. 受體點之風險比值推估：為了探討受體點暴露污染物後的風險，將模擬之急毒性濃度除以該污染物的 ERPG，得出 3 種等級的風險比值。ALOHA 並未推估風險比值，惟風險比值可直接展示危害強度之差異，因此建議評估者至少要針對受體點位置，進行風險比值推估。

(三) 展示圖表設計

急毒性事件模式分析方法主要用於事件之緊急應變，為了快速做出正確的應變決策，特別突顯成果展示之重要性。本指引提供 4 種展示圖表設計，可以快速掌握事件整體風險資訊，圖表展示方式可將 ALOHA 之模擬結果結合地理資訊系統 (geographic information system, GIS) 更能結合現地資訊，有利於應變決策之運籌。

圖上應同時標示污染源、敏感受體點、重要道路、公共資源等。

1. 擴散濃度分級地圖：將 ALOHA 的污染物擴散平面圖結合 GIS 得出擴散濃度分級地圖，為因應緊急應變之需求，可採用 3 級地圖，色系為紅黃綠，以紅色為最高危險區。
2. 風險比值分級地圖：將上述的受體點之風險比值結合 GIS 得出風險比值分級地圖，為因應緊急應變之需求，建議採用 3 級地圖，色系分別為紅、黃、綠，以紅色為最高危險區。
3. 受體點濃度統計表：統整出受體點第 100 百分位數 (P100)、P99、P95、P50 濃度統計表。
4. 受體點風險比值統計表：統整出受體點 P100、P99、P95、P50 風險比值統計表。

(四) 模擬結果校正

前述 3 項程序可用於推估模擬結果，為了增加模擬結果的可信度，可進行受體點度校正與參數敏感度分析。

1. 受體點濃度校正：將模擬結果與受體點監測資料進行比對，從中得知誤差，通過參數校正或模式調整減少誤差。
2. 參數敏感度分析：將單一或多個輸入參數改變，分析對受體點濃度之影響程度最大的參數，藉此作為校正參數時之優先順序。

3.4 食品安全鏈之多介質傳輸模式分析方法

本計畫探討主題為環境污染物對食品安全之可能影響，故將此處食品安全鏈 (food chain) 定義為環境污染物從排放源傳輸至環境介質後，從環境介質到生物體之污染物傳遞鏈，最終由食用生物體經加工處理成為民眾之入口食品，主要專指其中從環境介質到民眾入口食品之污染物傳遞鏈。為了與一般生物學或生態學經常使用之食物鏈營養層級用詞區隔，故將此處食物鏈之英文 food chain 翻譯為食品安全鏈。

有害污染物之環境污染源可能包含：空氣污染源、表面水污染源、地下水污染源及土壤污染源。從各污染源傳輸至各種環境介質的過程屬於環境污染調查或環境污染擴散模擬所探討的環境多介質傳輸 (multiple media transport, MMT) 領域。從不同環境介質到生物介質的污染傳輸則屬於環境生態調查或食品安全鏈 (food chain) 多介質傳輸模擬之研究領域。

環境 MMT 涉及各種環境污染調查及模擬，包含：空污擴散模擬、海洋放流擴散模擬、土壤及地下水擴散模擬等，環保署過去已有許多相關規定及研究成果，可直接參考使用。此處主要說明食品安全鏈 MMT。

針對食品安全鏈 MMT 模式分析，環保署 (2000) 公告之「健康風險評估技術規範」推薦採用美國環保署 (USEPA) 及美國國防部 (USDoe) 所共同開發之

FRAMES/MEPAS。FRAMES 之全名為多介質環境系統之風險分析架構 (Framework for Risk Analysis in Multimedia Environmental Systems)，而 MEPAS 之全名則為多介質環境污染物評估系統 (Multimedia Environmental Pollutant Assessment System)。MEPAS 屬於 FRAMES 內件模組系統之一，可用於食品安全鏈 MMT 模式分析。

參考 Streng and Smith (2006) 之 MEPAS 技術手冊，針對食品安全鏈彙整農漁畜產品生產區相關之多介質傳輸途徑如圖 3-5 所示。由圖上可見，食品安全鏈 MMT 涉及地下水、表面水、空氣及土壤共 4 種環境介質污染傳輸，而成為最終可能污染農漁畜產品生產區所需之灌溉水 (含畜牧水)、養殖水、農地空氣及農地土壤共 4 類環境介質，進而影響葉菜類、非葉菜類、肉類、奶類、魚類及貝類共 6 類食品之污染物濃度。

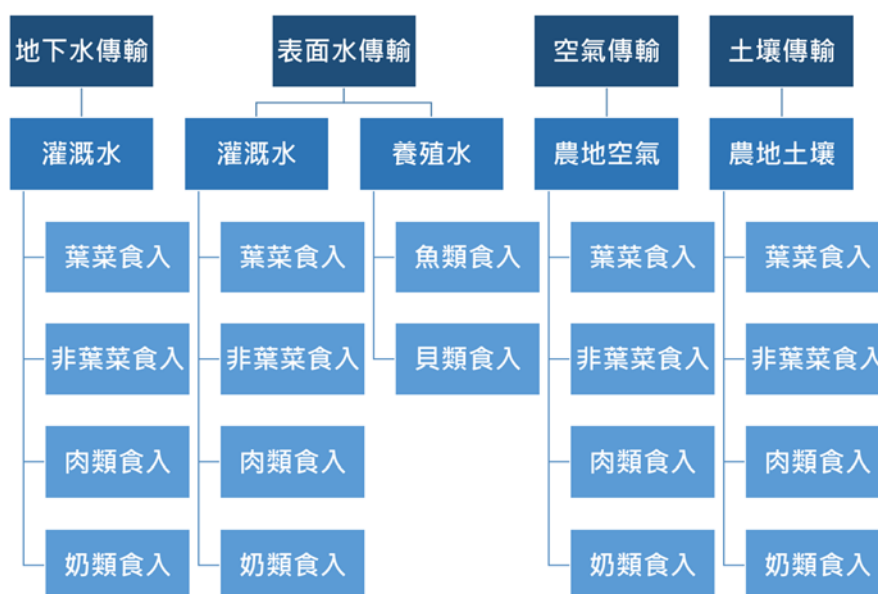


圖 3-5、食品安全鏈之多介質傳輸暴露途徑

根據 Streng and Smith (2006) 對於食品安全鏈 MMT 模式分析之說明，相關傳輸模式總計 31 條公式，可依不同暴露途徑及所影響生物體分類描述。表 3-4 彙整污染物從農地空氣沉降傳輸進入植物體內之暴露途徑之推估公式。表 3-5 彙整污染物經由灌溉水傳輸進入植物體內之暴露途徑之推估公式。表 3-6 彙整污染物經由農地土壤傳輸進入植物體內之暴露途徑之推估公式。表 3-7 彙整污染物由農地空氣及農地土壤傳輸進入動物體內之暴露途徑。表 3-8 彙整污染物由灌溉水傳輸進入動物體內之暴露途徑。表 3-9 彙整污染物由養殖水傳輸進入水體生物體內之暴露途徑。

於實際執行食品安全鏈 MMT 分析時，並不一定要完全考慮前述所有暴露途徑，只需針對所擬評估之標的生產區及其周邊環境污染源調查結果，利用 MEPAS

之圖形使用者介面，點選建構污染暴露途徑，並輸入各暴露途徑所需之參數，即可由所設定之環境介質之污染物濃度，推估所擬評估之食品分類之污染物濃度。

表 3-4、污染物由農地空氣沉降傳輸進入植物體內之暴露途徑

傳輸途徑及介質 濃度 (mg/kg)		公式	參數說明
空氣 中污 染物 沉 降 於 植 物	葉菜類 濃度 (CAD _{lvi})	$CAD_{lvi} = DP_{ai} TV_{lv} r_{lv} \frac{[1 - e^{-\lambda_{ei} TC_{lv}}]}{\lambda_{ei} Y_{lv}}$	DP _{ai} =空氣中污染物進入植物的沉降速率(mg/m ² /d)
			TV _{lv} =葉菜類葉面轉移污染物至食入部位之比率
			r _{lv} =葉菜類葉面截留污染物之比率
			λ _{ei} =λ _{di} +λ _w ，其中： λ _{di} =土壤中污染物之分解常數 (degradation) (d ⁻¹) λ _w =葉面之污染物受風化作用之損失常數(d ⁻¹)
			TC _{lv} =葉菜類作物生長期(d)
			Y _{lv} =葉菜類作物單位產量(kg/m ²)
	非葉菜 類濃度 (CAD _{ovi})	$CAD_{ovi} = DP_{ai} TV_{ov} r_{ov} \frac{[1 - e^{-\lambda_{ei} TC_{ov}}]}{\lambda_{ei} Y_{ov}}$	DP _{ai} =空氣中污染物進入植物的沉降速率(mg/m ² /d)
			TV _{ov} =非葉菜類葉面轉移污染物至食入部位之比率
			r _{ov} =非葉菜類葉面截留污染物之比率
			λ _{ei} =λ _{di} +λ _w ，其中： λ _{di} =土壤中污染物之分解常數 (degradation) (d ⁻¹) λ _w =葉面之污染物受風化作用之損失常數(d ⁻¹)
			TC _{ov} =非葉菜類作物生長期(d)
			Y _{ov} =非葉菜類作物單位產量(kg/m ²)
空氣 中污 染物 沉 降 至 土 壤 由 植 物 根 部 吸 收	葉菜類 濃度 (CAR _{lvi})	$CAR_{lvi} = SAF_i B_{vi} \frac{DP_{si}}{P}$	SAF _i =暴露期間(年)之土壤累積因子 (d)
			B _{vi} =土壤至植物的轉換因子 (kg dry soil/kg wet weight plant)
			P =土壤密度(kg dry soil/m ² farmland)
			DP _{si} =空氣污染物傳輸及沉降至土壤的年平均沉降速率(mg/m ² /d)
	非葉菜 類濃度 (CAR _{ovi})	$CAR_{ovi} = SAF_i B_{vi} \frac{DP_{si}}{P}$	SAF _i =暴露期間(年)之土壤累積因子 (d)
			B _{vi} =土壤至植物的轉換因子 (kg dry soil/kg wet weight plant)
			P =土壤密度(kg dry soil/m ² farmland)
			DP _{si} =空氣污染物傳輸及沉降至土壤的年平均沉降速率(mg/m ² /d)
葉菜類總濃度 (C _{lvi})		$C_{lvi} = (CAD_{lvi} + CAR_{lvi})e^{-\lambda_{gi} TH_{lv}}$	CAD _{lvi} =污染物沉降於葉菜類植物之濃度 CAR _{lvi} =污染物由葉菜類植物根部吸收之濃度

傳輸途徑及介質 濃度 (mg/kg)	公式	參數說明
		λ_{gi} =污染物在作物儲存或配送時的損失率(d^{-1})
		TH_{lv} =作物收成與食用時差(d)
非葉菜類總濃度 (C_{ovi})	$C_{ovi} = (CAD_{ovi} + CAR_{ovi})e^{-\lambda_{gi}TH_{ov}}$	CAD_{ovi} =污染物沉降於非葉菜類植物之濃度
		CAR_{ovi} =污染物由非葉菜類植物根部吸收之濃度
		λ_{gi} =污染物在作物儲存或配送時的損失率(d^{-1})
		TH_{ov} =作物收成與食用時差(d)

表 3-5、污染物經由灌溉水傳輸進入植物體內之暴露途徑

傳輸途徑及介質 濃度 (mg/kg)	公式	參數說明
灌溉 水中 污染 物沉 降於 植物	葉菜類 濃度 (CWD_{lvi}) $CWD_{lvi} = DP_{wi}TV_{lv}r_{lv} \frac{[1 - e^{-\lambda_{ei}TC_{lv}}]}{\lambda_{ei}Y_{lv}}$	DP_{wi} =灌溉水中污染物進入植物的沉降速率($mg/m^2/d$)
		TV_{lv} =葉菜類葉面轉移污染物至食入部位之比率
		r_{lv} =葉菜類葉面截留污染物之比率
		$\lambda_{ei}=\lambda_{di}+\lambda_w$ ，其中： λ_{di} =土壤中污染物之分解常數 (degradation) (d^{-1}) λ_w =葉面之污染物受風化作用之損失常數(d^{-1})
		TC_{lv} =葉菜類作物生長期(d)
		Y_{lv} =葉菜類作物單位產量(kg/m^2)
		DP_{wi} =灌溉水中污染物進入植物的沉降速率($mg/m^2/d$)
	非葉菜 類濃度 (CWD_{ovi}) $CWD_{ovi} = DP_{wi}TV_{ov}r_{ov} \frac{[1 - e^{-\lambda_{ei}TC_{ov}}]}{\lambda_{ei}Y_{ov}}$	TV_{ov} =非葉菜類葉面轉移污染物至食入部位之比率
		r_{ov} =非葉菜類葉面截留污染物之比率
		$\lambda_{ei}=\lambda_{di}+\lambda_w$ ，其中： λ_{di} =土壤中污染物之分解常數 (degradation) (d^{-1}) λ_w =葉面之污染物受風化作用之損失常數(d^{-1})
		TC_{ov} =非葉菜類作物生長期(d)
		Y_{ov} =非葉菜類作物單位產量(kg/m^2)
		FI_{lv} =一年中灌溉葉菜類作物的比例
		SAF_i =暴露期間(年)之土壤累積因子(d)
灌溉 水中 污染 物沉 降至	葉菜類 濃度 (CWR_{lvi}) $CWR_{lvi} = FI_{lv}SAF_iB_{vi} \frac{DP_{wi}}{P}$	B_{vi} =土壤至植物的轉換因子 ($kg \text{ dry soil}/kg \text{ wet weight plant}$)
		P =土壤密度($kg \text{ dry soil}/m^2 \text{ farmland}$)
		DP_{wi} =灌溉水中污染物沉降至農田土壤及作物的沉降速率($mg/m^2/d$)

傳輸途徑及介質 濃度 (mg/kg)		公式	參數說明
土壤 由植 物根 部吸 收	非葉菜 類濃度 (CWR _{ovi})	$CWR_{ovi} = FI_{ov} SAF_i B_{vi} \frac{DP_{wi}}{P}$	FI _{ov} =一年中灌溉非葉菜類作物的比例
			SAF _i =暴露期間(年)之土壤累積因子(d)
			B _{vi} =土壤至植物的轉換因子(kg dry soil/kg wet weight plant)
			P=土壤密度(kg dry soil/m ² farmland)
			DP _{si} =灌溉水中污染物沉降至作物的沉降速率(mg/m ² /d)
葉菜類總濃度 (C _{lvi})		$C_{lvi} = (CWD_{lvi} + CWR_{lvi})e^{-\lambda_{gi}TH_{lv}}$	CWD _{lvi} =污染物沉降於葉菜類植物之濃度
			CWR _{lvi} =污染物由葉菜類植物根部吸收之濃度
			λ _{gi} =污染物在作物儲存或配送時的損失率(d ⁻¹)
			TH _{lv} =作物收成與食用時差(d)
非葉菜類總濃度 (C _{ovi})		$C_{ovi} = (CWD_{ovi} + CWR_{ovi})e^{-\lambda_{gi}TH_{ov}}$	CWD _{ovi} =污染物沉降於非葉菜類植物之濃度
			CWR _{ovi} =污染物由非葉菜類植物根部吸收之濃度
			λ _{gi} =污染物在作物儲存或配送時的損失率(d ⁻¹)
			TH _{ov} =作物收成與食用時差(d)

表 3-6、污染物經由農地土壤傳輸進入植物體內之暴露途徑

傳輸途徑及介質濃度 (mg/kg)		公式	參數說明
土壤中污 染物由植 物根部吸 收	葉菜類(C _{lvi})	$C_{lvi} = SMF_i B_{vi}$	SMF _i =土壤中污染物平均濃度(mg/kg dry soil)
			B _{vi} =土壤至植物的轉換因子(kg dry soil/kg wet weight plant)
	非葉菜類(C _{ovi})	$C_{ovi} = SMF_i B_{vi}$	SMF _i =土壤中污染物平均濃度(mg/kg dry soil)
			B _{vi} =土壤至植物的轉換因子(kg dry soil/kg wet weight plant)

表 3-7、污染物由農地空氣及土壤傳輸進入動物體內之暴露途徑

傳輸途徑及介質 濃度 (mg/kg)		公式	參數說明
空氣 中污 染物 沉降 於植 物，	肉類濃 度 (CAD _{fi})	$CAD_{fti} = DP_{ai} TV_{ft} r_{ft} \frac{[1 - e^{-\lambda_{ei}TC_{ft}}]}{\lambda_{ei} Y_{ft}}$	DP _{ai} =空氣中污染物進入植物的沉降速率(mg/m ² /d)
			TV _{ft} =葉面轉移污染物至食入部位之比率
			r _{ft} =葉面截留污染物之比率
			λ _{ei} =λ _{di} +λ _w ，其中： λ _{di} =土壤中污染物之分解常數(degradation) (d ⁻¹) λ _w =葉面之污染物受風化作用之損失

傳輸途徑及介質 濃度 (mg/kg)		公式	參數說明
再做 為動 物飼 料		$CAD_{fki} = DP_{ai} TV_{fk} r_{fk} \frac{[1 - e^{-\lambda_{ei} TC_{fk}}]}{\lambda_{ei} Y_{fk}}$	常數(d ⁻¹)
			TC _f =作物生長期(d)
			Y _f =作物單位產量(kg/m ²)
	奶類濃 度 (CAD _{fki})		DP _{ai} =空氣中污染物進入植物的沉降 速率(mg/m ² /d)
			TV _{fk} =葉面轉移污染物至食入部位之 比率
			r _{fk} =葉面截留污染物之比率
			λ _{ei} =λ _{di} +λ _w ，其中： λ _{di} =土壤中污染物之分解常數 (degradation) (d ⁻¹) λ _w =葉面之污染物受風化作用之損失 常數(d ⁻¹)
			TC _{fk} =作物生長期(d)
			Y _{fk} =作物單位產量(kg/m ²)
			植物 根部 吸收 污染 物 後， 再做 為動 物飼 料
B _{vi} =土壤至植物的轉換因子 (kg dry soil/kg wet weight plant)			
P =土壤密度(kg dry soil/m ² farmland)			
DP _{si} =空氣污染物傳輸及沉降至土壤 的年平均沉降速率(mg/m ² /d)			
奶類濃 度 (CAR _{f_{ki}})	SAF _i =暴露期間(年)之土壤累積因子 (d)		
	B _{vi} =土壤至植物的轉換因子 (kg dry soil/kg wet weight plant)		
	P =土壤密度(kg dry soil/m ² farmland)		
	DP _{si} =空氣污染物傳輸及沉降至土壤 的年平均沉降速率(mg/m ² /d)		
動物食用污染場 址飼料後之肉類 濃度(C _{mti})	$C_{mti} = FM_{mti} (CAD_{fti} + CAR_{fti}) FC_{mt} Q_{ft} e^{-\lambda_{gi} TH_{mk}}$	FM _{mti} =動物從飼料吸收污染物的因 子(d/kg)	
		CAD _{f_{ti}} =空氣中污染物沉降於植物， 再做為動物飼料，動物之肉類濃度 (mg/kg)	
		CAR _{f_{ti}} =植物根部吸收空氣中污染 物，再做為動物飼料，動物之肉類 濃度(mg/kg)	
		FC _{mti} =受污染動物的比率	
		Q _{ft} =動物飼料攝食率(kg/d)	
		λ _{gi} =污染物在動物食品儲存或配送時 的損失率(d ⁻¹)	
		TH _{mt} =動物食品製成與食用時差(d)	
動物食用污染場		FM _{mki} =動物從飼料吸收污染物的因 子(d/kg)	

傳輸途徑及介質 濃度 (mg/kg)	公式	參數說明
址飼料後之奶類 濃度 (C_{mki})	$C_{mki} = FM_{mki}(CAD_{fki} + CAR_{fki})FC_{mk}Q_{fk}e^{-\lambda_{gi}TH_{mk}}$	CAD_{fki} =空氣中污染物沉降於植物，再做為動物飼料，動物之奶類濃度(mg/kg) CAR_{fki} =植物根部吸收空氣中污染物，再做為動物飼料，動物之奶類濃度(mg/kg) FC_{mki} =受污染動物的比率 Q_{fk} =動物飼料攝食率(kg/d) λ_{gi} =污染物在動物食品儲存或配送時的損失率(d ⁻¹) TH_{mk} =乳類食品製成與食用時差(d)
動物食入受污染 飼料及土壤後之 肉類濃度(C_{mti})	$C_{mti} = FM_{mti}FC_{ft}[C_{fti}Q_{ft} + SMF_iQ_{st}]e^{-\lambda_{gi}TH_{mt}}$	FM_{mti} =動物從飼料吸收污染物的因子(d/kg)。 FC_{ft} =受污染動物的比率。 C_{fti} =飼料的污染物濃度(mg/kg wet weight feed)。 Q_{ft} =動物飼料攝食率(kg/d)。 SMF_i =暴露期間土壤之污染物濃度(mg/kg dry soil)。 Q_{st} =動物土壤食入率(kg/d)。 λ_{gi} =污染物在動物食品儲存或配送時的損失率(d ⁻¹)。 TH_{mt} =動物食品製成與食用時差(d)。
動物食入受污染 飼料及土壤後之 奶類濃度(C_{mki})	$C_{mki} = FM_{mki}FC_{fk}[C_{fki}Q_{fk} + SMF_iQ_{st}]e^{-\lambda_{gi}TH_{mk}}$	FM_{mki} =動物從飼料吸收污染物的因子(d/kg)。 FC_{fk} =受污染動物的比率。 C_{fki} =飼料的污染物濃度(mg/kg wet weight feed)。 Q_{fk} =動物飼料攝食率(kg/d)。 SMF_i =暴露期間土壤之污染物濃度(mg/kg dry soil)。 Q_{st} =動物土壤食入率(kg/d)。 λ_{gi} =污染物在乳類食品儲存或配送時的損失率(d ⁻¹)。 TH_{mk} =乳類食品製成與食用時差(d)。

表 3-8、污染物由灌溉水傳輸進入動物體內之暴露途徑

傳輸途徑及介質濃度 (mg/kg)	公式	參數說明
灌溉水中 污染物沉 降於植	$CWD_{fti} = DP_{wi}TV_{ft}r_{ft}\frac{[1 - e^{-\lambda_{ei}TC_{ft}}]}{\lambda_{ei}Y_{ft}}$	DP_{ai} =灌溉水中污染物進入植物的沉降速率(mg/m ² /d) TV_{ft} =葉面轉移污染物至食入部位之比率 r_{ft} =葉面截留污染物之比率

傳輸途徑及介質濃度 (mg/kg)		公式	參數說明
物，再做 為動物飼 料			$\lambda_{ei} = \lambda_{di} + \lambda_w$ ，其中：
			λ_{di} =土壤中污染物之分解常數 (degradation) (d^{-1})
			λ_w =葉面之污染物受風化作用之損失 常數(d^{-1})
	奶類濃度 (CWD_{fki})	$CWD_{fki} = DP_{wi} TV_{fk} r_{fk} \frac{[1 - e^{-\lambda_{ei} TC_{fk}}]}{\lambda_{ei} Y_{fk}}$	TC_{fi} =作物生長期(d)
			Y_{fi} =作物單位產量(kg/m^2)
			DP_{ai} =空氣中污染物進入植物的沉降 速率($mg/m^2/d$)
			TV_{fk} =葉面轉移污染物至食入部位之 比率
			r_{fk} =葉面截留污染物之比率
			$\lambda_{ei} = \lambda_{di} + \lambda_w$ ，其中：
			λ_{di} =土壤中污染物之分解常數 (degradation) (d^{-1})
			λ_w =葉面之污染物受風化作用之損失 常數(d^{-1})
植物根部 吸收污染 物後，再 做為動物 飼料	肉類濃度 (CWR_{fti})	$CWR_{fti} = FI_{mt} SAF_i B_{vi} \frac{DP_{wi}}{P}$	FI_{mt} =一年中肉類動物飼料的灌溉比 例
			SAF_i =暴露期間(年)之土壤累積因子 (d)
			B_{vi} =土壤至植物的轉換因子 (kg dry soil/kg wet weight plant)
			P =土壤密度($kg\ dry\ soil/m^2\ farmland$)
			DP_{si} =灌溉水中污染物沉降至作物的 沉降速率($mg/m^2/d$)
	奶類濃度 (CWR_{fki})	$CWR_{fki} = FI_{mk} SAF_i B_{vi} \frac{DP_{si}}{P}$	FI_{mt} =一年中奶類動物飼料的灌溉比 例
			SAF_i =暴露期間(年)之土壤累積因子 (d)
			B_{vi} =土壤至植物的轉換因子 (kg dry soil/kg wet weight plant)
			P =土壤密度($kg\ dry\ soil/m^2\ farmland$)
			DP_{si} =空氣污染物傳輸及沉降至土壤 的年平均沉降速率($mg/m^2/d$)
動物食入 受灌溉水 污染土壤	肉類濃度 (CWS_{fti})	$CWS_{fti} = FI_{mt} SAF_i \frac{DP_{wi}}{P}$	FI_{mt} =一年中肉類動物飼料灌溉的比 例
			SAF_i =暴露期間(年)之土壤累積因子 (d)
			DP_{wi} =灌溉水中污染物沉降至作物的 沉降速率($mg/m^2/d$)
			P =土壤密度($kg\ dry\ soil/m^2\ farmland$)
	奶類濃度 (CWS_{fki})	$CWS_{fki} = FI_{mk} SAF_i \frac{DP_{wi}}{P}$	FI_{mt} =一年中奶類動物飼料灌溉的比 例
			SAF_i =暴露期間(年)之土壤累積因子 (d)

傳輸途徑及介質濃度 (mg/kg)	公式	參數說明
		DP_{wi} =灌溉水中污染物沉降至作物的 沉降速率(mg/m ² /d) P =土壤密度(kg dry soil/m ² farmland)
動物食用污染場址飼料、土壤及飲水後之肉類濃度(C_{mti})	$C_{mti} = FM_{mti} \{ FC_{ft} [(CWD_{fti} + CWR_{fti}) Q_{ft} + CWS_{fti} Q_{st}] + C_{iri} FC_{wt} Q_{wt} \} e^{-\lambda_{gi} TH_{mt}}$	FM_{mti} =動物從飼料、土壤及水吸收污染物的因子(d/kg) FC_{ft} =動物飼料被污染的比例 CWD_{fti} =水中污染物沉降於植物，再做為動物飼料，動物之肉類濃度(mg/kg) CWR_{fti} =水中污染物由植物根部吸收，再做為動物飼料，動物之肉類濃度(mg/kg) Q_{ft} =動物飼料攝食率(kg/d) CWR_{fti} =土壤中污染物濃度 (mg/kg dry soil) Q_{st} =土壤攝食率(kg/d) C_{iri} =灌溉水中污染物平均濃度(mg/L) FC_{wt} =動物飲水被污染的比例 Q_{wt} =動物飲水率(L/d) λ_{gi} =污染物在動物食品儲存或配送時的損失率(d ⁻¹) TH_{mt} =動物食品製成與食用時差(d)
動物食用污染場址飼料、土壤及飲水後之奶類濃度 (C_{mki})	$C_{mki} = FM_{mki} \{ FC_{fk} [(CWD_{fki} + CWR_{fki}) Q_{fk} + CWS_{fki} Q_{sk}] + C_{iri} FC_{wk} Q_{wk} \} e^{-\lambda_{gi} TH_{mt}}$	FM_{mki} =動物從飼料、土壤及水吸收污染物的因子(d/kg) FC_{fk} =動物飼料被污染的比例 CWD_{fki} =水中污染物沉降於植物，再做為動物飼料，動物之肉類濃度(mg/kg) CWR_{fki} =水中污染物由植物根部吸收，再做為動物飼料，動物之肉類濃度(mg/kg) Q_{fk} =動物飼料攝食率(kg/d) CWR_{fki} =土壤中污染物濃度 (mg/kg dry soil) Q_{sk} =土壤攝食率(kg/d) C_{iri} =灌溉水中污染物平均濃度(mg/L) FC_{wk} =動物飲水被污染的比例 Q_{wk} =動物飲水率(L/d) λ_{gi} =污染物在動物食品儲存或配送時的損失率(d ⁻¹) TH_{mt} =動物食品製成與食用時差(d)

表 3-9、污染物由養殖水傳輸進入水體生物體內之暴露途徑

傳輸途徑及介質濃度 (mg/kg)	公式	參數說明
於受污染地表水中生長的魚類濃度 (C_{ff})	$C_{ff} = C_{swi} B_{fi} e^{-\lambda_{gi} TH_{ff}}$	C_{swi} =污染物於地表水中的平均濃度(mg/L)
		B_{fi} =魚類的生物累積因子 (mg/kg edible fish per mg/L water)
		λ_{gi} =污染物在魚類食品儲存或配送時的損失率(d^{-1})
		TH_{ff} =魚類食品製成與食用時差(d)
於受污染地表水中生長的貝類濃度 (C_{sf})	$C_{sf} = C_{swi} B_{si} e^{-\lambda_{gi} TH_{sf}}$	C_{swi} =污染物於地表水中的平均濃度(mg/L)
		B_{si} =貝類的生物累積因子 (mg/kg edible fish per mg/L water)
		λ_{gi} =污染物在魚類食品儲存或配送時的損失率(d^{-1})
		TH_{sf} =魚類食品製成與食用時差(d)

3.5 以系統危害效應終點為基礎之危害物累積風險分析方法

對於環境健康風險評估而言，國內目前的作法都是將致癌或非致癌危害物之各別風險，予以直接累加 (directive addition) 得到總風險 (環保署，2011；2014)，此稱為**直接加總法**。但是，各個危害物的作用模式 (mode of action, MOA)、關鍵終點 (critical endpoint) 或腫瘤分類 (tumor type)、影響系統 (affected system) 或腫瘤位置 (tumor site)、起始點 (point of departure, PoD)、不確定係數 (uncertainty factor, UF) 及證據權重 (weight of evidence, WOE) 等相關毒理背景資訊並不相同，所以直接累加的風險，只是數學上的總風險，實際上並無毒理或公共衛生的意義，更無法與流行病學之調查結果相互比對。

Morello et al. (2000) 針對加州境內各縣之所有空污源進行總體檢，評估不同污染物對於各縣之累積風險 (cumulative risk) 之影響。於推估不同污染物加總之累積風險時，該研究並非針對所有污染物之各別風險進行直接加總，而是只針對以具相同毒性效應之標的系統或器官之污染物之各別風險進行加總。該研究所使用的各污染物之效應終點如表 3-10 所示，當時的引用的毒性資料庫只有 9 種標的系統/器官分類。

美國環保署「整合性風險資訊系統」(Integrated Risk Information System, IRIS)，開發至今已彙整約 700 多種危害物，所列之毒性參數皆通過美國環保署之法定程序審查，使用者可依致癌/非致癌、食入/吸入，及標的系統/器官 (system/organ) 進行查詢 (USEPA, 2018)。USEPA(2015) 更新之 IRIS 毒性資料庫已將 15 種器官/系統納入影響系統 (affected system) 或腫瘤位置 (tumor site)：心血管 (cardiovascular)、皮膚 (dermal)、發展 (developmental)、內分泌 (endocrine)、胃腸道 (gastrointestinal)、血液 (hematologic)、肝 (hepatic)、免疫 (immune)、肌肉骨骼 (musculoskeletal)、神經 (nervous)、視覺 (ocular)、生殖 (reproductive)、呼吸 (respiratory)、泌尿 (urinary)、其他 (other)。

表 3-10、危害物毒性效應之標的系統或器官一覽表(顯示前 30 筆)

APPENDIX. Toxicological Endpoints to be Considered in a Hazard Index (Chronic Toxicity)										
Pollutant	Target organ or system									
	CV/BL	CNS/PNS	IMMUN	KIDNY	GI/LIVER	REPRO/DEV	RESP	SKIN	ENDO	
1 acetaldehyde							X			
2 acetamide										
3 acetonitrile										
4 acetophenone										
5 acrolein							X	X		
6 acrylamide		X								
7 acrylic acid							X			
8 acrylonitrile							X			
9 allyl chloride		X								
10 aniline	X									
11 anisidine										
12 antimony										
13 arsenic	X	X				X		X		
14 benzene	X	X	X			X				
15 benzotrichloride										
16 benzyl chloride							X			
17 beryllium							X			
18 biphenyl										
19 bis(2-ethylhexyl)phthalate					X		X			
20 bis(chloromethyl)-ether										
21 bromoform										
22 1,3 butadiene						X				
23 cadmium				X			X			
24 calcium cyanamide										
25 Captan										
26 Carbaryl										
27 carbon disulfide		X				X				
28 carbon tetrachloride		X			X	X				
29 carbonyl sulfide										
30 catechol										

資料來源：Morello et al., 2000

Gallagher et al. (2015) 指出 USEPA 最新趨勢，此影響系統或腫瘤位置可作為多污染物累積風險 (cumulative risk) 推估之依據，僅需加總具有相同影響系統或腫瘤位置之污染物風險；而非將所有污染物之風險全部加總，以致嚴重高估累積風險 (USEPA, 2000; 2002; 2003; 2004; 2006)。

本計畫建議參考 Gallagher et al. (2015) 所指出之 USEPA 最新趨勢，採用各污染物之影響系統或腫瘤位置，作為多污染物累積風險 (cumulative risk) 推估之依據，僅需加總具有相同影響系統或腫瘤位置之污染物風險。此外，亦須注意於推估風險時，環境領域及食品領域所慣用之推估模式不同，茲分別說明如下：

(一) 食品領域風險推估模式：

1. 致癌風險

針對食品致癌風險，建議採用 EFSA(2012) 及衛福部 (2013) 所使用之暴露限值 (margin of exposure, MOE) 作為質性風險指標，針對個體 i 污染物 j 食品 k 之增量 MOE，推估公式如下：

$$MOE_{i,j,k} = BMDL_j / EDI_{i,j,k} \text{ (公式 3.5-1)}$$

其中：MOE_{i,j,k}：個體 i 污染物 j 食品 k 之增量暴露限值，無因次；EDI_{i,j,k}：個體 i 污染物 j 食品 k 之每日攝取量推估值，單位 mg/kg-BW/d；BMDL_j：污染物 j 之基標劑量下限值，單位 mg/kg BW-d。

參考 ANSES (2011) 及 EFSA (2010) 針對 BMDL，建議採用危害物 j 之 BMDL₁₀，亦即為危害物 j 誘發人類癌症發生率增加 10 % 的基標劑量下限值 (mg/kg BW-day)，並建議針對致癌風險基準值則設定為各危害物於各核心食品 (core food) 之 MOE 大於 10,000。當 MOE 小於 10,000 時，則應採取相關風險管理之行動。

2. 非致癌風險

非致癌增量風險以可接受每日攝取量百分比 (%ADI) 或可耐受每日攝取量百分比 (%TDI) 表示，針對個體 i 污染物 j 食品 k 之 %ADI 或 %TDI，其推估公式分別如下：

$$\%ADI_{i,j,k} = EDI_{i,j,k} / ADI_j \times 100 \% \text{ (公式 3.5-2)}$$

其中：%ADI_{i,j,k}：個體 i 污染物 j 食品 k 之可接受每日攝取量百分比，單位%；EDI_{i,j,k}：個體 i 污染物 j 食品 k 之每日攝取量推估值，單位 mg/kg BW-d；ADI_j：污染物 j 之可接受每日攝取量，單位 mg/kg BW-d。或

$$\%TDI_{i,j,k} = EDI_{i,j,k} / TDI_j \times 100 \% \text{ (公式 3.5-3)}$$

其中：%TDI_{i,j,k}：個體 i 污染物 j 食品 k 之可耐受每日攝取量百分比，單位%；EDI_{i,j,k}：個體 i 污染物 j 食品 k 之每日攝取量推估值，單位 mg/kg BW-d；TDI_j：污染物 j 之可耐受每日攝取量，單位 mg/kg BW-d。

針對非致癌風險基準值之設定，建議參考 WHO 食品法典委員會 (Codex Alimentarius Commission, CAC) (2018) 程序書之規範：各危害物於各核心食品 (core food) 之 %ADI 或 %TDI 應小於 10 %。

3. 聚集風險

聚集風險係指直接加總所有暴露入徑之風險。本計畫只考慮食品攝食入徑之風險，應加總各類食品之風險，致癌聚集風險推估公式如下：

$$MOE_{ij} = 1 / \sum_{k=1}^n (1/MOE_{i,j,k}) \text{ (公式 3.5-4)}$$

非致癌聚集風險：

$$\%ADI_{ij} = \sum_{k=1}^n \%ADI_{i,j,k} \text{ (公式 3.5-5) 或}$$

$$\%TDI_{ij} = \sum_{k=1}^n \%TDI_{i,j,k} \text{ (公式 3.5-6)}$$

4. 累積風險

累積風險係指加總所有污染物之風險。考量直接加總所有污染物之風險可能嚴重高估累積風險，建議採用 Gallagher et al. (2015) 指出 USEPA 最新趨勢，僅需加總具有相同影響系統或腫瘤位置之污染物風險；而非將所有污染物之風險全部加總，以致嚴重高估累積風險 (USEPA, 2000; 2002; 2003; 2004;

2006)，其致癌累積風險推估公式如下：

$$MOE_i = 1 / \sum_{j=1}^m (1/MOE_{i,j}) \quad (\text{公式 3.5-7})$$

非致癌累積風險，加總具有相同影響器官之污染物：

$$ADI_i = \sum_{j=1}^m ADI_{i,j} \quad (\text{公式 3.5-8}) \quad \text{或}$$

$$TDI_i = \sum_{j=1}^m TDI_{i,j} \quad (\text{公式 3.5-9})$$

(二) 環境領域風險推估模式：

1. 致癌風險

致癌風險以增量終身致癌風險 (excess lifetime carcinogenic risk, ELCR) 表示，針對個體 i 污染物 j 食品 k 之增量終身致癌風險，其推估公式如下：

$$ELCR_{i,j,k} = ADD_{i,j,k} \times SF_j \quad (\text{公式 3.5-10})$$

其中：ELCR_{i,j,k}：個體 i 污染物 j 食品 k 之增量終身致癌風險，無因次；ADD_{i,j,k}：個體 i 污染物 j 食品 k 之平均每日劑量，單位 mg/kg BW-d；SF_j：污染物 j 之斜率係數，單位 1/(mg/kg BW-d)⁻¹。

2. 非致癌風險

非致癌增量風險以危害商數 (hazard quotient, HQ) 表示，針對個體 i 污染物 j 食品 k 之非致癌危害商數，其推估公式如下：

$$HQ_{i,j,k} = ADD_{i,j,k} / RfD_j \quad (\text{公式 3.5-11})$$

其中：HQ_{i,j,k}：個體 i 污染物 j 食品 k 之非致癌危害商數，無因次；ADD_{i,j,k}：個體 i 污染物 j 食品 k 之平均每日劑量，單位 mg/kg BW-d；RfD_j：污染物 j 之參考劑量，單位 mg/kg BW-d。

3. 聚集風險

聚集風險係指直接加總所有暴露入徑之風險。本計畫只考慮食品攝食入徑之風險，應加總各類食品之風險，致癌聚集風險推估公式分別如下：

$$ELCR_{i,j} = \sum_{k=1}^n ELCR_{i,j,k} \quad (\text{公式 3.5-12})$$

非致癌聚集風險，以危害指數 (hazard index, HI) 表示：

$$HI_{i,j} = \sum_{k=1}^n HQ_{i,j,k} \quad (\text{公式 3.5-13})$$

4. 累積風險

累積風險係指加總所有污染物之風險。考量直接加總所有污染物之風險可能嚴重高估累積風險，建議採用 Gallagher et al. (2015) 指出 USEPA 最新趨勢，僅需

加總具有相同影響系統或腫瘤位置之污染物風險；而非將所有污染物之風險全部加總，以致嚴重高估累積風險 (USEPA, 2000; 2002; 2003; 2004; 2006)，其致癌累積風險推估公式如下：

致癌累積風險，加總具有相同腫瘤位置之污染物：

$$ELCR_i = \sum_{j=1}^m ELCR_{i,j} \text{ (公式 3.5-14)}$$

非致癌累積風險，加總具有相同影響器官之污染物：

$$HI_i = \sum_{j=1}^m HI_{i,j} \text{ (公式 3.5-15)}$$

3.6 受體單位體重攝食匹配與暴露劑量分析方法

不論危害物的毒性或危害程度如何，如果沒有人體暴露就沒有風險。因此，暴露劑量之評估是量化風險程度的重要一環。食品安全領域之暴露劑量，即探討食品中之危害物濃度 (concentration, C)，以食入為暴露途徑，並考量攝食量 (consummation rate, CR) 高低，估算膳食暴露量 (dietary exposure)。

除了考慮攝食者之攝食量 (CR) 及所攝食食品之危害物濃度 (C) 之外，於推估風險時，還會考慮攝食者之體重 (body weight, BW)。目前我國衛福部 (2012; 2008) 所建置之「國家攝食資料庫」與「臺灣一般民眾暴露參數彙編」針對不同受評族群，分別提供 CR 與 BW 參數之統計值，讓風險評估者據以估算不同受評族群之暴露劑量。此作法並不合宜，因為暴露劑量之單位為單位體重之污染物暴露量，而攝食者之攝食量與體重並非獨立變數，二者理應具有某種程度的相依性。若針對 CR 與 BW 分別隨機抽樣，再進行個體暴露劑量推估，可能會產生 CR 很高而 BW 很低，或 CR 很低而 BW 很高等不合理情境之結果。事實上，USEPA (2011) 暴露參數手冊 (exposure factor handbook) 已指出，CR 與 BW 參數分別估計之作法並不合適，於進行飲食回憶調查時，應同時紀錄受訪者之 CR 與 BW，並換算成單位體重攝食量 (CR/BW)。此外，我國衛福部 (2008) 公布之「臺灣一般民眾暴露參數彙編」僅提供精生狀態 (已去除不可食部位但未烹調之生食) 之攝食量，亦不適合使用於膳食風險評估，導致高估或低估風險，其缺點如 3-2 節所述。

考量食品領域及環境領域之暴露評估作法不同，茲分別說明如下：

(一) 食品領域作法

本計畫參考 USEPA (2011) 暴露參數手冊與澳洲紐西蘭食品標準局 (Food Standards Australia New Zealand, FSANZ) (2009) 之作法，提出受體單位體重攝食演算法，配合前述 3-2 節之核心食品聚類模型，獲得單位體重攝食量參數，再結合我國歷年之產地 (前市) 監測、後市場監測，以及總膳食調查 (江，2014、2015、2016、2017) 之危害物濃度 (concentration, C) 數據，估算各暴露族群攝食各危害物之每日劑量推估值 (estimated daily dose, EDI) 推估公式如下：

$$EDI_{i,j,k} = C_{j,k} \times \left(\frac{CR_{i,k}}{BW_i} \right) \quad (\text{公式 3.6-1})$$

其中： $EDI_{i,j,k}$ ：個體 i 對食品 k 所含污染物 j 之平均每日攝取量 (mg/kg BW-d)； $C_{j,k}$ ：民眾入口食品 k 所含污染物 j 之濃度 (mg/kg)； $CR_{i,k}/BW_i$ ：個體 i 對食品 k 之每日單位體重攝食量 (kg/kg BW-d)。

雖然式 (3.6-1) 可用於描述個體 i 對食品 k 所含污染物 j 之平均每日劑量 ($EDI_{i,j,k}$)，實際上比較可行的是針對不同受評族群進行評估。本計畫建議採用 WHO (2012) 之族群分類進行評估，包含 3 類：一般 (全年齡層)、育齡婦女 (15-49 歲) 及孩童 (1-5 歲)。

於推估受評族群對食品 k 所含危害物 j 之 EDI 時，係將該受評族群之所有個體 i 對食品 k 所含危害物 j 之 EDI 相加，再除以受評族群總人數，即為該受評族群暴露於食品 k 所含危害物 j 之 EDI 推估值。此作法以平均值為中央估計，為符合國際規範，對於特定危害物，亦可分別估算全部個體 (whole group, WG) 及僅含攝食者 (consumers only, CO)，各暴露族群及其攝食量及濃度統計指標之配對組合，如表 3-11 所示。

表 3-11、暴露情境與劑量演算組合

暴露族群	攝食量		濃度
一般族群 (包含孩童)	全部個體 WG 及 僅攝食者 CO	平均估計(mean)	ND 以 0 及 LOD 代入，計算
育齡婦女 (15-49 歲)			
孩童 (1-5 歲)			

(二) 環境領域作法

針對環境領域之暴露劑量 (average daily dose, ADD)，本計畫參考 USEPA (2011) 暴露參數手冊與澳洲紐西蘭食品標準局 (Food Standards Australia New Zealand, FSANZ) (2009) 之作法，採用以受體單位體重攝取量為基礎之每日劑量推估值 (estimated daily dose, ADD) 推估公式如下：

$$ADD_{i,j,k} = F_k \times C_{j,k} \times \left(\frac{IR_{i,k}}{BW_i} \right) \times \left(\frac{EF_i \times ED_i}{AT_i} \right) \quad (\text{公式 3.6-2})$$

其中： $ADD_{i,j,k}$ ：個體 i 對食品 k 所含污染物 j 之平均每日劑量 (mg/kg BW-d)。
 F_k ：攝取標地生產區生產食材所占百分比 (%)； $C_{j,k}$ ：民眾入口食品 k 所含污染物

j 之濃度 (mg/kg)； $IR_{i,k}/BW_i$ ：個體 i 對食品 k 之每日單位體重攝取量 (kg/kg BW-d)； EF_i ：個體 i 之暴露頻率，一年暴露的天數 (d/yr)； ED_i ：個體 i 之暴露期間，暴露的總年數 (yr)； AT_i ：個體 i 之均化時間 (averaging time) (d)。

雖然式 (3.6-2) 可用於描述個體 i 對食品 k 所含污染物 j 之平均每日劑量 ($ADD_{i,j,k}$)，實際上比較可行的是針對不同受評族群進行評估。本指引建議採用環保署 (2014) 之族群分類進行評估，包含 3 類：一般 (全年齡層)、成人 (12 歲以上年齡層) 及孩童 (12 歲以下年齡層)。

3.7 本章摘要

本章研擬從環境污染物於食品中之溯源及急毒性事件之評估架構及方法指引，針對評估架構及 5 項評估方法，包含：1. 本土食品聚類及其攝食量暴露參數評估方法，2. 急毒性事件模式分析方法，3. 食品安全鏈之多介質傳輸模式分析方法，4. 以系統危害效應終點為基礎之危害物累積風險分析方法，5. 受體單位體重攝食匹配與暴露劑量分析方法分別說明於本章各節。

最主要影響食品風險評估結果的二個因子為：食品污染物濃度及食品攝食量參數，而食品聚類方法同時與食品中污染食品攝食量息息相關。本計畫研提以核心食品為基礎，採用本土攝食量調查原始數據，可以根據風險評估標的食品之核心食品類別，進行食品聚類推估攝食量參數，可提高食品風險評估結果之可靠性。

急毒性事件分析有別於一般慢毒性風險評估，強調的是緊急應變能力，本計畫研提採用 USEPA 與 NOAA 共同開發之 ALOHA 系統，進行急毒性空污事件分析，並以風險比值為基礎之三級色系風險地圖呈現，讓決策者可以快速掌握風險資訊，做出準確應變，減少災害損失。

食品安全鏈多介質傳輸為完成食品中環境污染物溯源之關鍵，本計畫研提採用 USEPA 與 DOE 共同開發之 MEPAS 系統，可依據生產區鄰近之表面水污染、空氣污染、土壤及地下水污染等可能污染情境，評估對生產區所生產之葉菜類、非葉菜類、肉類、奶類、魚類及貝類等食品之影響，進而據以完成食品風險評估或污染溯源評估。

本計畫採用 USEPA 最新發展趨勢，研提以系統危害效應終點為基礎，加總不同危害物各別風險之累積風險分析方法，以考量多重危害物對受評族群可能之累積風險，但又能避免傳統採用多危害物直接加總風險容易導致風險嚴重高估之現象。

本計畫參考 USEPA 暴露參數手冊作法，以個體之單位體重攝食量作為食品攝食量參數，避免傳統分別使用個體之體重及攝食量為二獨立參數可能造成極高體重卻有極低攝食量，或極低體重卻有極高攝食量之不合理現象，以提供食品風險評估結果之可靠性。

(本頁空白)

第四章、辦理專家諮詢及環境教育講習會議

4.1 專家諮詢會議

本計畫為促進環境污染物於食品中之溯源評估方法研議過程之風險溝通，辦理 1 場次專家諮詢會議，廣納各相關領域專家之意見，目前已完成會議辦理，相關會議內容及討論如下：

(一) 目的：邀請專家學者，針對本計畫之議題進行討論，以蒐集彙整專家意見，完善本計畫之執行方向及工作內容。

(二) 時間：107 年 11 月 22 日 星期四 上午 10：00

(三) 地點：環保署毒物及化學物質局 B02 會議室

(四) 議題：

時間	議題
10：00～10：10	計畫說明
10：10～10：40	本計畫溯源評估架構之可行性
10：40～11：10	本土食品聚類及其攝食量參數評估之可行性
11：10～11：40	以效應終點為基礎推估累積風險之可行性
11：40～12：00	綜合討論
12：00	結束

(五) 與會人員：相關領域專家學者 3 位，化學局業務相關主管同仁、本計畫執行團隊，共計至少 10 人次參與

(六) 專家名單：

1. 宋浚坪前副處長
 - 單位：環境保護署環境衛生及毒物管理處
2. 林信堂助理教授
 - 單位：國立中興大學食品安全研究所
 - 學歷：國立中興大學食品科學博士
 - 專長：食品風險評估、食品安全
3. 陳怡君助理教授
 - 單位：中國文化大學土地資源系
 - 學歷：國立台灣大學環境工程研究所博士
 - 專長：地理資訊系統、空間統計分析、環境管理、風險管理、不確定性分析、污染土地再生、低碳城市、都市資源物質流分析

(七) 會議討論：

1. 本計畫邀請專家學者，針對計畫相關議題進行討論，以蒐集彙整專家意見，完善計畫之執行方向及工作內容，期能藉此建立環境污染物於食品中之溯源評估方法，作為未來建置三部會署之事件演練及聯合稽查之決策支

援系統 (DSS) 之參考，促進風險溝通。

2. 宋前副處長建議：DSS 之建置可納入各部會現有監測資料，並將廢棄物再利用產品納入管理，建立風險潛勢預測機制。除了簡報中所提 4 種環境介質及 6 類食品之污染傳輸外，建議新增飼料污源、作物品種、耕種技術等影響。從過去鎘米事件的處理經驗，顯示不同米種及耕作方式會產生不同的濃度。
3. 林教授建議 DSS 之建置應考量我國海島型國家獨特環境、工業型態、農產品種類及飲食型態，持續整合與利用本土資料，建立符合我國需求之評估方法，並檢討各部會現行法規標準是否需要調整，並從中定義問題並持續改善。
4. 陳教授基於調查數據之交流與溝通實屬不易，建議應積極建立 DSS 溝通平台，將數據轉為決策所需圖表資訊，依攝食分類或消費習慣，進行風險之動態預警。此外，由於農地灌溉水可能受到工業廢水放流搭排污染，未來可將土水系統資料也納入 DSS，可為食品安全之供應鏈管理，建構更完備之預警或風險控制體系。另由於污染直推法和受體回溯法差異甚大，建議評估模式之敏感參數。
5. 評管組建議應解釋各種受體，如：環境受體、人體受體，希望透過 DSS 快速釐清問題，解釋危害物在食安和環境介質間之流布，並檢討是否需調整環境介質之法規標準。
6. 綜規組建議應說明各種模式之應用範圍與限制，透過風險評估檢討法規標準之調整，並透過 DSS 整合各部會之使用模式，建立初步篩選程序與原則，從現有資料檢討並建議未來可補充調查之地區與項目，以強化數據之完整性及應用性。

4.2 環境講習會議

本計畫為促進環境污染物於食品中之溯源評估方法研議過程之風險溝通，辦理 1 場次環境講習會議，加強環保署相關業務承辦人員與學者專家之技術與實務交流，完成會議相關內容及討論如下：

(一) 目的：針對本計畫所涉及之環境污染物對食品安全影響之相關議題，進行推廣教育，以達成對利害關係人之風險溝通。

(二) 時間：107 年 11 月 27 日 星期二 14：00～16：00

(三) 地點：環保署化學局

(四) 議程：

時間	議題	講者
13：30～14：00	報到	
14：00～14：40 (40 min)	危害物於環境流布及食品鏈傳輸之溯源分析 - 決策支援系統開發之芻議	江舟峰教授
14：40～14：50 (10 min)	問題與討論	
14：50～15：10 (20 min)	茶點時間	
15：10～15：50	雞蛋戴奧辛食安事件之溯源追蹤	張榮偉助理教

時間	議題	講者
(40 min)		授
15：50～16：00 (10 min)	問題與討論	
16：00	散會	

(五) 邀請對象：環保署及化學局人員至少 30 人次參與

(六) 專家名單：

江舟峰教授

- 單位：中國醫藥大學健康風險管理學系
- 學歷：美國愛荷華州立大學環境工程博士
- 專長：環境與食品健康風險評估、食品安全評估、環境規劃與管理

張榮偉助理教授

- 單位：國立陽明大學環境與職業衛生研究所
- 學歷：國立成功大學環境醫學研究所博士
- 專長：環境與職業衛生、環境毒物風險評估與管理、持久性有機污染物

(七) 會議討論：

1. 為促進環境污染物於食品中之溯源評估方法之研議，辦理教育講習會議，加強化學局業務承辦人員知識，期能有助於溯源分析決策支援系統 (Decision support system, DSS) 之開發，應用於事件溯源分析及平時潛勢篩選，協助三部會署之事件演練及聯合稽查，以利決策溝通之透明性、一致性與整合性。
2. 江教授報告溯源綜合決策 (TrkDIS) 儀表板 (Dashboard)，以廠區管道及元件異常排放為例，整合多個線上監測及演算模組，提升營運基地之緊急應變能力，可作為化學局開發溯源儀表板之參考，整合各單位監測資料，提昇決策及溝通之即時性與品質。
3. DSS 之開發程序需遵循正確之程序，先由領域專家構思系統模組架構，研擬演算法，再撰寫功能規範書 (functional specification sheet, FSS)，分析資料欄位，設計欄位關聯圖，建置資料庫，測試系統並確保品質。
4. 系統開發測試驗收後，會提供教育訓練，轉移系統到指定伺服器，移交相關單位自行管理，並由開發提供必要之系統維護、擴增、更新或代操作。
5. 建議可先聚焦於戴奧辛雞蛋化鴨蛋或作物魚體重金屬之議題，建置溯源管理系統，包括各項模組與儀表板，最能呈現溯源管理系統之效益。
6. 張教授團多年監測國內雞蛋戴奧辛濃度，顯示戴奧辛之食品暴露為空污暴露之 50 倍，說明環境污染物於食品中溯源之重要性。建議整合這些年監測數據於 DSS，利用其快速運算能力，提昇事件管理決策之品質與時效性。

4.3 本章摘要

本計畫為促進環境污染物於食品中之溯源評估方法研議過程之風險溝通，辦理專家諮詢會議及環境講習會議各 1 場次，以加強環保署相關業務承辦人員與學者專家之技術與實務交流，已分別於 11/22 及 11/27 辦理完成。會議結論指出未來

若能以本計畫研擬之環境污染物於食品中溯源評估分法為基礎，開發溯源分析決策支援系統 (Decision support system, DSS)，應用於事件溯源分析及平時潛勢篩選，可協助三部會署之事件演練及聯合稽查，以利決策溝通之透明性、一致性與整合性。

第五章、計畫成果及後續執行建議

5.1 計畫成果

本計畫研議環境污染物於食品中之溯源評估方法架構指引，獲致成果如下：

1. 應完成 3 篇與環境污染物及食品安全相關之文獻回顧，已完成 5 篇文獻回顧並撰寫延長摘要，主題包含：風險評估、風險溝通、風險管理及食安事件等，可供後續相關研究參考。主要的發現為基於風險二元論，一般民眾的風險感知深受媒體影響，基於 KAP 理論，平時有必要加強風險教育，讓民眾獲得正確的資訊。此外，具整合及即時性之決策支援系統(DSS)有助於落實風險溝通四大原則：透明、公開、一致、清楚。
2. 應完成 3 篇環境教育教材，主題為：#1 大專生輕忽日常的高暴露健康風險、#2 戴奧辛鴨蛋事件風險解說、#3 蘇丹紅鹹鴨蛋事件風險解說，已完成如附錄 A1。主要的發現為環境教材之編寫，需根據事件的特性，如新穎性、暴露尺度、熟悉性，提供正確及同理心的資訊。
3. 應研提 1 套從環境污染物於食品中之溯源及急毒性事件之評估架構及方法指引，包含 5 個項目：1. 本土食品聚類及其攝食量暴露參數評估方法，2. 急毒性事件模式分析方法，3. 食品安全鏈之多介質傳輸模式分析方法，4. 以系統危害效應終點為基礎之危害物累積風險分析方法，5. 受體單位體重攝食匹配與暴露劑量分析方法。已完成評估架構及方法指引如附錄 A2，評估架構及 5 項方法分別說明於第三章各節。主要發現為暴露量參數應以個體攝食量及體重為依存變量，應配對為單位體重攝食量再進行後續統計，此外，環境與食安風險評估之作法不同，如食品聚類程度、累積風險、致癌風險指標、風險基準等，應相互調和。
4. 應辦理專家諮詢會議及環境教育講習各一場次，分別於 11/22 及 11/27 辦理完成。建議以本計畫研擬之環境污染物於食品中溯源評估分法為基礎，開發溯源分析決策支援系統 (Decision support system, DSS)，應用於事件溯源分析及平時潛勢篩選，可協助三部會署之事件演練及聯合稽查，以利決策溝通之即時性、透明性、一致性與整合性。

5.2 後續執行建議

本計畫探討之主題之食安溯源為化學局迫切需求的，於國際間仍屬於新興技術，後續執行建議如表 5-1 所示。

表 5-1、本計畫後續執行建議

項次	建議內容	建議作法	建議理由
#1	持續彙整國內外與化學毒性物質相關食安事件之文獻	建議持續完成文獻彙整，並登載於化學局相關網站，並設定關鍵詞，以利查找	健全之風險溝通需要長期且持續的提供正確的資訊，延長摘要可作為風險溝通的重要工具
#2	持續針對國內曾發生與化學毒性物質	建議持續完成環境教教材，並登載於化學局相關	風險知識的傳播需要良好各領域專家，長

項次	建議內容	建議作法	建議理由
	相關之食安事件撰寫環境教育教材	網站，並設定關鍵詞，以利查找	期且持續的分析各項新興的議題，分工編寫良好品質的風險教材
#3	參考本計畫研擬之溯源評估方法與架構指引，進一步蒐集相關資料，評估開發溯源管理決策支援系統之必要性及作法	建議後續針對高風險潛勢食物或重大食安事件，如雞蛋戴奧辛、葉菜重金屬等，評估開發決策支援系統之必要性及作法	運用決策支援系統有利達成風險溝通四大原則：透明、公開、一致、清楚
#4	問卷調查國人之毒化物質相關食安事件之風險感知	建議參考過去本團隊研擬的心理量測問卷格式，以及分層抽樣調查方式，調查國人毒化物質相關食安風險感知	掌握國人風險感知，有助於規劃正確的風險溝通方式，加速政策推動
#5	優先評估全國潛在重金屬排放源對食安之影響	建議後續評估國內潛在重金屬排放源對各縣市生產區食品安全影響之方法	衛福部總膳食研究調查結果發現國內食品曾含有重金屬污染物
#6	針對國內發生毒化物質食安事件，評估由食品主管機關優先建立本土攝食參數及生物轉移係數之可行性及作法	建議根據NAHSIT原始24-hr 回顧資料，開發自動聚類演算模組，快速因應即時攝食參數需求。也建議針對這些食物之生物轉移係數，儘速評估探討文獻，或以實驗方法自行量測之可行性及作法	本土食品的攝食參數及生物轉移係數為重要的 2 個參數，有助於正確的食安風險評估

5.3 本章摘要

本計畫完成五項工作：撰寫 5 篇國內外環境污染物於食品安全鏈傳輸文獻回顧之延長摘要、研提溯源評估指引及架構、撰寫 3 篇環境教育教材、辦理專諮會及講習會各一場次。建議 6 項後續工作：一、參考本研究建議格式，持續編寫國內外毒性物質食安事件案例資料，二、針對國內毒性物質食安事件，持續編寫環境教育教材，三、開發溯源管理決策支援系統，著重污染直推法與受體回溯法之綜合儀表板 (dashboard) 之開發，四、探討國人對各類食品毒性物質暴露之比較性風險感知 (comparative risk perception)，五、辨識重金屬高風險潛勢食物之可能各種環境排放源，六、針對國內曾發生之重大環境源食安事件，優先建立本土攝食參數及生物轉移係數。

第六章、參考文獻

1. Agencenationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES). 2011. *The 2nd French total diet study*.
2. Chiang, C.F., Hsu, K.C., Hung, C.C., Yang, D.J., Chen, C.C. (2018) Core food model of the Taiwan food supply for total diet study. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 12:1-11.
3. European Food Safety Authority (EFSA). 2010. *Scientific report submitted to EFSA- Statistical modelling of usual intake*.
4. European Food Safety Authority (EFSA). 2012. *Statement on the applicability of the Margin of Exposure approach for the safety assessment of impurities which are both genotoxic and carcinogenic in substances added to food/feed*. EFSA
5. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and World Health Organization (WHO). 2006. *Food safety risk analysis: A guide for national food safety authorities*. FAO Food and Nutrition Paper, 87, World Health Organization, Geneva, Switzerland
6. Food Standards Australia New Zealand (FSANZ) (2009) *Principles and practices of dietary exposure assessment for food regulatory purposes*.
7. Gallagher SS, Rice GE, Scarano LJ, Teuschler LK, Bollweg G, Martin L. 2015. *Cumulative risk assessment lessons learned: a review of case studies and issue papers*. *Chemosphere*, 120 : 697-705.
8. Hu, W., Wang, H., Dong, L., Huang, B., Borggaard, O. K., Hansen, H. C. B., He, Y., Holm, P. E. 2018. *Source identification of heavy metals in peri-urban agricultural soils of southeast China: An integrated approach*. *Environmental Pollution* 237: 650-661.
9. Li, P. C., Shih, H. C., Ma, H. W. 2015. *Assessing the transfer of risk due to transportation of agricultural products*. *Chemosphere* 120: 706-713.
10. Morello-Frosch et al. (2000) *Air toxics and health risks in California : The public health implications of outdoor concentrations*. *Risk Analysis*, Vol. 20, No. 2. *Journal*. 10(3):2578.
11. NOAA (2013) ALOHA® (Areal locations of Hazardous Atmospheres) 5.4.4: *Technical documentation*, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).
12. Strenge, D. L., and Smith, M. A. (2006) *Multimedia Environmental Pollutant Assessment System (MEPAS): Exposure pathway module description*, PNNL-16165, Pacific Northwest National Laboratory, Richland Washington.
13. USEPA (2000) *Baltimore Community Environmental Partnership Air Committee*

- Technical Report, EPA/744/R-00/005, U. S. Environmental Protection Agency (USEPA).*
14. *USEPA (2002) Guidance on Cumulative Risk Assessment of Pesticide Chemicals That Have a Common Mechanism of Toxicity, U. S. Environmental Protection Agency (USEPA).*
 15. *USEPA (2003) The feasibility of performing cumulative risk assessments for mixtures of disinfection by-products in drinking water, EPA/600/R-03/051, U. S. Environmental Protection Agency (USEPA).*
 16. *USEPA (2004) An examination of EPA risk assessment principles and practices, EPA/100/B-04/001, U. S. Environmental Protection Agency (USEPA).*
 17. *USEPA (2006) Organophosphorus Cumulative Risk Assessment – 2006 Update, U. S. Environmental Protection Agency (USEPA).*
 18. *USEPA (2011) Exposure factor handbook, U. S. Environmental Protection Agency (USEPA) (<https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252>).*
 19. *USEPA (2014) Dietary exposure evaluation model user's guide, U. S. Environmental Protection Agency (USEPA).*
 20. *USEPA (2015; 2018) Integrated Risk Information System (IRIS), Available at <https://www.epa.gov/iris>. Accessed at June 15, 2018.*
 21. *USEPA and NOAA (2007) The CAMEO® software system: ALOHA® User's manual, U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) and National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).*
 22. *USNRC, 2009. Science and decisions: advancing risk assessment. The National academies press, Washington, DC.*
 23. *World Health Organization (WHO) (2012) Request to provide latest national individual food consumption data into the new templates for acute and chronic exposure assessment.*
 24. *World Health Organization (WHO). 2012. Request to provide latest national individual food consumption data into the new templates for acute and chronic exposure assessment.*
 25. *Young, L. H., Kuo, H. W., Chiang, C. F. 2015. Human and Ecological Risk Assessment 21: 307-326.*
 26. 江舟峰，2017。臺灣如何因應當前迫切的健康風險管理與溝通的問題。土壤及地下水污染整治，第四卷第一期，第 1-15 頁。
 27. 江舟峰。2014。2014 年總膳食調查及風險評估-農藥，成果報告。衛生福利部食品藥物管理署，計畫編號：MOHW103-FDA-A1002。
 28. 江舟峰。2015。國人飲食中動物用藥之暴露量及健康風險評估，成果報告。衛生福利部食品藥物管理署，計畫編號：MOHW104-FDA-F-114-000305。

29. 江舟峰。2016。國人飲食中攝入動物用藥之總膳食調查與健康風險評估，成果報告。衛生福利部食品藥物管理署，計畫編號：MOHW105-FDA-F-114-000305。
30. 江舟峰。2017。國人飲食中攝入金屬類污染物調查與檢驗分析，期中報告。衛生福利部委託，計畫編號 MOHW106-FDA-F-114-000302。
31. 行政院環保署 (2011) 健康風險評估技術規範。臺北，臺灣。
32. 行政院環保署 (2014) 土壤及地下水污染場址健康風險評估方法。臺北，臺灣。
33. 行政院環保署，土壤及地下水污染場址健康風險評估方法，2014 年。
34. 行政院環境保護署，2007。空氣污染排放清冊 (TEDS-2007)。行政院環保署 (<https://erdb.epa.gov.tw/DataRepository/EnvMonitor/ReportInspectAirTEDS.aspx>)。
35. 黃惠煥、何文照等人 (2017) 國家攝食資料庫，衛生福利部食品藥物管理署，<http://tnfcds.cmu.edu.tw/>。
36. 維基百科 (2018) 臺灣食品安全事件列表，維基百科 (<https://zh.wikipedia.org/wiki/>)。
37. 衛生福利部 (2013) 降低食品中多環芳香除碳氫化合物含量之作業指引。
38. 衛生福利部國民健康署 (2008) 臺灣一般民眾暴露參數彙編，計畫編號：DOH96-HP-1801。
39. 蔡經綸、余雅芳、陳建志、周詠勝、倪詩蓓、張嘉津、江舟峰，2016，臺灣膳食暴露評估模型之電腦系統開發與應用：以有機磷農藥殘留為例，臺灣衛誌，35(5)：487-497。

(本頁空白)

附錄 A1 環境教育教材

行政院環保署毒物及化學物質局 – 環境教育教材(#1)

大專生輕忽日常的高暴露健康風險

中國醫藥大學 風險分析中心

107.12.11

#民眾與專家之風險感知有落差

中醫大團隊 (Young et al., 2015) 曾針對國內 1,218 位大學生和 35 位教授，以分層抽樣問卷方式，探討 26 種環境議題之相對死亡風險感知，結果顯示大學生有 12 項議題之風險感知比教授高，並認為有害廢棄物之風險最高，此結果與美國在 1990 年對民眾之調查結果一致。教授則有 4 項議題之風險感知比學生高，並認為交通事故之風險最高。民眾主要是由主觀認知，和專家學者遵循學術之客觀定義大為不同，形成客觀感知二元論 (objective-perceived risk dichotomy)。

#懼怕及不熟悉是提高風險感知的主因

中醫大團隊 (Young et al., 2015) 採用主成分分析法，分析風險感知之影響因子，結果顯示影響大學生和教授之前 2 主因為：懼怕 (dread) 及不熟悉 (unknown)，第 3 主因則為暴露 (exposure)，此結果與歐美過去研究相似。進一步採用懼怕/不熟悉之二元分析，發現影響學生風險感知之主因為懼怕度，而影響教授之因素則較多元，除受恐懼及不熟悉之影響外，還受暴露、不能控制及新型風險之影響。

#透過學習可以強化自己之風險感知

中醫大團隊 (Young et al., 2015) 研究發現民眾與專家之間存在風險感知的落差，卻可以補足專家之客觀導向決策的盲點。另外，根據 KAP 理論 (knowledge, attitudes and practices)，民眾透過學習可強化自己對於各種議題之理性感知，持續性的學習可以獲得知識，進而影響態度，再由態度影響行為。

#利用 3 個問題加強自己的風險感知

由於每個人的風險感知主要受懼怕 (情緒) 及不熟悉 (理智) 所影響，想要提升風險感知能力的民眾，於看到食安新聞時，可以先自問 3 個問題：

- 我害怕嗎？
- 我懂嗎？
- 我每天要吃多少這個食品才會有風險？聽聽食安專家怎麼說。

以芬普尼毒雞蛋事件為例，國內媒體於 107.08.22 報導：『彰化驗出「毒雞蛋」最高超標 30 倍，成人吃 1.5 顆就過量』。

相信每個人看了這個新聞標題，第一時間都會感覺又緊張，又害怕！

事實上，捫心自問會發現自己並不是很懂這數據怎麼算出來的！

新聞說：稽查結果發現蛋中所含芬普尼濃度最高達 153 ppb，成人吃 1.5 顆就過量！真的嗎？我們一起來聽聽食安專家怎麼說。食安專家針對此次芬普尼食安事件，說明如下：

根據此次芬普尼雞蛋調查之最高濃度結果，由於每人每日單位體重可攝食量 (g/kg BW-d) = 每日耐受量 (mg/kg BW-d) / 濃度 (ppb) × 1,000,000 (g/ton)，所以可推估每日單位體重可攝食量為 0.0002 (mg/kg BW-d) / 153 (ppb) × 1,000,000 (g/ton) = 1.3 g/kg BW-d。

問題是我每天平均吃多少蛋呢？根據衛福部歷年所做國人營養調查數據，可推估國人平均每日單位體重蛋類 (含雞、鴨、鵝蛋) 攝食量為 0.56 g/kg BW，小於前述推估值每日單位體重可攝食量為 1.3 g/kg BW，可見本次事件之最高濃度值仍屬可接受風險範圍。不過，此處採用食材檢測濃度，而非入口食品檢測濃度進行風險推估，烹調過程可能帶來不確定性。此外，每個人實際攝食量與全國平均值的差異，也可能帶來不確定性。

如果我們每次遇到食安事件報導，都能以前述 3 個問題：我害怕嗎？我懂嗎？我每天要吃多少這個食品才會有風險？聽聽食安專家怎麼說，自然就能提高自己的風險感知能力，吃出健康，也同時吃出智慧。

參考文獻

1. 吳欣恬、林彥彤 (2017) 153 ppb 芬普尼蛋 1 天 1.6 顆就過量，自由時報。
2. 趙軒翎 (2017) 芬普尼是惡魔還是天使？在聊芬普尼蛋前先來一份風險管理吧！，化學局網站。
3. WHO (2000) Group ADI for fipronil and fipronil-desulfinyl, Inventory of evaluations performed by the Joint Meeting on Pesticide Residues (JMPR).
4. Young, L. H., Kuo, H. W., Chiang, C. F. (2015) Environmental health Risk Perception of a Nationwide Sample of Taiwan College Students Majoring in Engineering and Health sciences, Human and Ecological Risk Assessment 21: 307-326.

環保署毒物及化學物質管理局 – 環境教育教材(#2)

運用精密檢測儀器及高階模擬技術 - 追溯食品污染源頭

中國醫藥大學 風險分析中心

107.12.11

一. 事件之發生與爭議

2004 年，彰化縣發生鴨蛋戴奧辛污染事件，其鴨蛋之戴奧辛含量達 30 - 45 pg WHO/g-fat，其濃度高達 10-15 倍之歐盟限值 (3 pg WHO/g-fat)。當時，輿論直指距離養鴨場 2-3 km 之電弧爐集塵灰處理廠 (electric arc furnace dust treatment plant, EAFDT) 是空氣污染的元凶，雖然還沒有 EAFDT 之排放標準，但管道監測 EAFDT 之戴奧辛平均 I-TEQ 濃度為 181 ng I-TEQ/ Nm³，仍遠大於其他污染源，如大型焚化爐 0.1 ng I-TEQ/ Nm³ 和鋼鐵燒結廠 2.0 ng I-TEQ/ Nm³ 之排放標準，顯示 EAFDT 排放污染之嚴重性。然而，當危害物從管道排放至大氣時，會經由大氣擴散和沉降過程，才會在鴨蛋廠附近造成戴奧辛污染。因此，需要了解空氣擴散過程之各種介質和暴露途徑，才能可靠地證明毒鴨蛋是 EAFDT 導致。

為了找出鴨蛋污染之源頭，必須先了解：戴奧辛污染鴨蛋之環境介質和暴露途徑，例如：吸入空氣、食入飼料、誤食土壤等，都可能會導致戴奧辛累積。因此，測量不同介質之戴奧辛濃度、評估鴨子攝入戴奧辛之主要途徑及分析戴奧辛污染之相對貢獻，是釐清戴奧辛鴨蛋事件的關鍵議題。

二. 可能之風險

戴奧辛屬於不易分解之親油型持久性有機污染物，會對人體之免疫、神經、內分泌及生殖系統造成急性與慢性之致癌毒性 (Kao et al., 2007)。這次戴奧辛鴨蛋調查最高濃度為 45 pg/ g-fat，並根據每日可攝食量 (g-fat/ kg BW-d) = 每日耐受量 (pg/ kg BW-d)/ 濃度 (pg/ g-fat)，所以可推估每日單位體重可攝食量為 $2 \text{ (pg/kg BW-d)} / 45 \text{ (pg / g-fat)} = 0.044 \text{ g-fat / kg BW-d}$ 。

問題是我每天平均吃多少鴨蛋呢？且鴨蛋含有多少脂肪呢？根據衛福部歷年國人營養調查數據，可推估國人平均每日單位體重加工蛋類核心食物 (含鴨蛋、皮蛋、鹹蛋) 攝食量為 0.01 g/kg BW-d；另根據食藥署之食品營養成分資料庫，鴨蛋每 100 g 占有 14.4 g 之脂肪比例，因此推估國人平均每日單位體重加工蛋脂肪攝食量 = $0.01 \text{ g / kg BW-d} \times 14.4\% = 0.0014 \text{ g-fat/ kg BW-d}$ ，低於前述推估每日可攝食量為 0.044 g-fat / kg BW-d，本次事件之最高濃度值屬於可接受風險範圍。不過，此處採用食材檢測濃度，而非入口食品檢測濃度進行風險推估，烹調過程可能帶來不確定性。此外，每個人實際攝食量與全國平均值的差異，也可能帶來不確定性。

三. 來源之追溯與分析

成大團隊 Lee et al. (2009) 為了解戴奧辛鴨蛋之污染來源，使用高解析氣相層析儀及質譜儀 (HRGC/HRMS)，分析管道排氣、土壤、飼料及鴨蛋樣品，再以平均值 ($181 \text{ ng I-TEQ/Nm}^3$) 作為管 EAFDT 道排放濃度，針對附近 8 座養鴨場，使用 ISC 擴散模式模擬戴奧辛空污排放，評估 EAFDT 管道之戴奧辛排放對養鴨場周圍之影響，並評估毒鴨蛋之主要戴奧辛貢獻來源。

經過許多情境之模擬比較後，發現空污沉降最多僅為鴨蛋戴奧辛總量的 6.6%，並非一般人認為的那麼高。而養鴨場飼料 (200 g/d) 及土壤食入 (5 g/d) 則分別高達 44.9% 及 47.8%。即便以 2 倍平均排放濃度推估，空污沉降占比也僅達 13.2%，飼料及土壤食入合計占比仍高達 86.8%。進一步調查後，發現飼料及土壤中的戴奧辛來源為集塵灰所致，而非輿論認為主要是 EAFDT 所為。同時也顯示，進行養鴨場管理時，應注意集塵灰對於飼料和土壤之戴奧辛污染。

四. 事件之處置

當 2004 年事件發生時，政府並未定有相關管制措施，因而發生戴奧辛鴨蛋之食品安全事件。因此，經過此一事件，政府參考先進國家，訂定兩項管制標準：(1) 管道戴奧辛排放標準 ($0.1 \text{ ng I-TEQ/Nm}^3$)，(2) 正面表列集塵灰為有害廢棄物，需妥善處理並全程追蹤流向。透過現代化的環保科技，政府可以追溯污染源頭，保護民眾免於環境污染。

各種介質之戴奧辛貢獻度

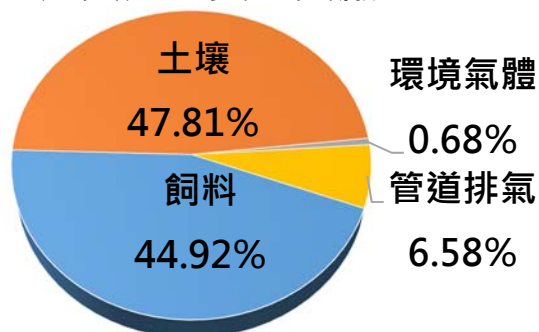


圖 1. 管道排氣最大貢獻情境之圓餅圖，顯示 EAFDT 管道排氣僅貢獻總量之 6.6%，並進一步發現土壤及飼料所含集塵灰才是主要污染來源

資料來源：

1. Lee, W. J., Shih, S. I., Li, H. W., Lin, L. F., Yu, K. M., Lu, K., Wang, L. C., Chang-Chien, G. P., Fang, K., Lin, M. 2009. Assessment of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans contribution from different media to surrounding duck farms. *Journal of Hazardous Materials* 163: 1185–1193.

2. Kao, W.Y., Ma, H.W., Wang, L.C., et al. 2007. Site-specific health risk assessment of dioxins and furans in an industrial region with numerous emission sources. J Hazard Mater 145: 471-481.

(本頁空白)

行政院環保署毒物及化學物質局 – 環境教育教材(#3)

臺中市鹹鴨蛋檢出蘇丹紅事件始末

中國醫藥大學 風險分析中心

107.11.14

一. 事件之發現

食藥署希望中秋節吃的安心，今年 8 月委託地方政府衛生局執行「106 年度中秋食品稽查專案」，臺中市政府衛生局於「采棠肴鮮餅鋪」抽驗鹹蛋黃，初步檢出蘇丹紅 4 號，並於 9 月 20 日後送食藥署檢驗，於 26 日確認檢出蘇丹紅 4 號的濃度為 1.34 mg/kg。於 106 年中秋食品稽查專案時，委託台中市衛生局抽驗「采棠肴鮮餅鋪」的鹹鴨蛋，發現鴨蛋中含有工業用染料—蘇丹紅，立即啟動聯合稽查機制，三部會小組前往蛋場取樣生鮮鴨蛋、鹹蛋黃、鹹蛋、飼料與包覆鹹蛋之紅土等檢體攜回檢驗，將兩場之鴨隻予以撲殺，問題鴨蛋亦將銷毀。本次事件是近年來第一起鹹鴨蛋含有蘇丹紅事件。

二. 可能之風險

蘇丹紅 (Sudan red) 是一組化學結構近似的人造化學染色料，含有偶氮基的芳香族化合物。常當作工業紅色染料，被用於溶劑、油、蠟及汽油等增色及鞋、地板等增光，但禁用於食品內。食品業者可能為增加食品鮮紅色澤而違規添加。本次稽查之關切污染物蘇丹紅 4 號本身在 IARC 屬於 Group 3 (無法歸類致癌)，主要擔心的是從蘇丹紅 4 號代謝產生致癌物鄰氨基偶氮甲苯 (o-aminoazotoluene)，若以調查之最高濃度結果，以保守情境計算每人每日單位體重可攝食量 (g/kg BW-d) = 每日耐受量 (mg/kg BW-d) / 濃度 (mg/kg) × 1,000 (g/kg)，可推估每日單位體重可攝食量為 $5E-03 \text{ (mg/kg BW-d)} / 1.34 \text{ (mg/kg)} \times 1,000 \text{ (g/kg)} = 3.7 \text{ g/kg BW-d}$ 。此處推估參考 BfR (2003) 所引用之 o-aminoazotoluene 動物毒性試驗結果，並納入不確定係數 (UF) 1,000 倍。

問題是我每天平均吃多少鹹蛋黃呢？根據衛福部歷年所做國人營養調查數據，可推估國人平均每日單位體重加工蛋類核心食物 (含鴨蛋、皮蛋、鹹蛋) 攝食量為 0.01 g/kg BW-d，遠低於前述推估值每日單位體重可攝食量為 3.7 g/kg BW-d，可見本次事件之最高濃度值仍屬可接受風險範圍。不過，此處風險推估採用加工蛋攝食量可能產生高度不確定性，因為本案鹹蛋黃係用於糕餅如口食品 (如：蛋黃酥)，而非直接作用加工蛋類入口食品 (如：鹹蛋)。此外，此處採用食材檢測濃度，而非入口食品檢測濃度進行風險推估，烹調過程可能帶來不確定性。而且，每個人實際攝食量與全國平均值的差異，也可能帶來不確定性。

三. 來源之追溯

食藥署即於 9 月 26 日會同臺中市衛生局追查源頭，「采棠肴鮮餅鋪」現場已

無同批鹹蛋黃，並查到供應來源為雲林縣「永信蛋鴨場」，數量為 500 顆，均已製成紅豆蛋黃酥、綠豆蛋黃酥及金莎酥共 3 款產品販售給散客，且均已售罄無庫存。

食藥署確認蛋源之後，隨即啟動三部會署聯合稽查，三部會署小組查出問題鹹蛋黃均來自雲林縣元長鄉同一飼主張信榮之「永信蛋鴨場」（即湯緊畜牧場）及張營畜牧場，由衛福部食藥署、農委會、環保署及雲林縣政府相關人員，會同於 9 月 27、28 日至此 2 處畜牧場，針對現場鴨隻及鴨蛋產品進行移動管制，取樣生鮮鴨蛋、鹹蛋黃、鹹蛋、飼料與包覆鹹蛋之紅土等檢體攜回檢驗。

該次抽驗的鹹蛋黃係糕餅業者將進貨之生鹹蛋黃，噴上米酒後再放進 200℃ 烤箱烤 15 分鐘，待冷卻後放入冷凍庫儲存，過程並未添加其他添加物，且現場查核製作區，亦未發現有非法食品添加物。結果確認本事件係飼主張信榮個人不當行為，另 6 件飼料檢體均未檢出，與飼料污染無關，決定將 2 場所有鴨隻予以撲殺，並銷毀問題鴨蛋。

四. 事件之處置

三部會署小組於 9 月 29 日公開說明，凡購買永信蛋鴨場（即湯緊畜牧場）及張營畜牧場之蛋品，應立即停止使用，並於本（29）日午夜 12 時前下架封存，違者依《食品安全衛生管理法》第 47 條第 2 款規定，可處 3 萬元以上 300 萬元以下罰鍰。本案已涉嫌違反《食品安全衛生管理法》第 15 條第 1 項，依同法第 44 條第 1 項第 2 款處新臺幣 6 萬元以上 2 億元以下罰鍰，及第 49 條第 1 項，處 7 年以下有期徒刑，得併科新臺幣 8 千萬以下罰金。

畜牧處指出現行規範中，可以使用胡蘿蔔素或是蝦紅素作為飼料添加物，以增加蛋黃色澤。國外曾有案例以蘇丹紅作為飼料添加物，也能達到同樣效果，但蘇丹紅目前已被國際列為致癌物，因此絕對不能使用在食用動物上。環保署化學局指出，歐洲、中國都有發生過蘇丹紅使用在辣椒醬中，用於增色效果，因此化學局已將蘇丹紅列為第 4 類毒性化學物質評估清單中。面對這起事件發生，化學局將會加速有疑慮物質列為毒化物之評估作業，儘速完成公告，加強流向控管，以避免流用於食品中。

五. 資料來源：

1. 農傳媒 (2019)，鹹鴨蛋檢出蘇丹紅-3 分鐘搞懂前因後果。
(https://www.agriharvest.tw/theme_data.php?theme=article&sub_theme=article&id=1109)。
2. 香港特別行政區食品安全中心 (2006)，風險簡訊-食品中的蘇丹紅。
(https://www.cfs.gov.hk/tc_chi/programme/programme_rafs/programme_rafs_fc_02_01.html)。
3. BfR (2003) Dyes Sudan I to IV in food, Federal Institute for Risk Assessment (BfR).

附錄 A2 方法指引

一、前言

民以食為天！食品安全攸關國人身體健康，如何採取有效政策措施，確保國人能夠食得安心、吃得放心，乃政府責無旁貸的使命。源頭管理為落實食品安全之重要工作。若能針對有毒物質，藉由整合食安相關部會依法或權責所建立之化學物質管理資訊，從食品的原料端，建立資料庫及流向追蹤，即能從第一線把關，協助防止有毒物質流入食品，避免危害國人健康的風險。

行政院環境保護署毒物及化學物質局之成立宗旨為落實食安五環推動政策之源頭控管，從源頭預防管控食安風險，追蹤有毒物質，以落實毒物及化學物質之源頭管理及勾稽查核，維護國民健康之政策。

有毒物質雖然具有毒性，倘若人體暴露劑量很低，也不會對人體健康造成風險。為了能深入掌握有毒物質從環境流向食品是否會影響食品安全，以及為了能於食品安全事件發生時能夠溯源追蹤可能之環境污染源，本指引旨在提供環境污染物於食品中之溯源及急毒性事件之評估方法，供評估者參考使用，以利國內環境污染物相關之食安風險管理決策及風險溝通。

本指引之環境污染物於食品中之溯源及急毒性事件之評估方法整體架構如圖 1-1 所示，包含：食安調查、食安風險評估及預警、生產區風險評估、污染溯源評估及急毒性事件模式分析，茲分別說明於指引中章節三至七。本指引為方便評估者查詢主要名詞定義，特彙整名詞定義於章節二。



圖 1-1、環境污染物於食品中之溯源及急毒性事件之評估方法整體架構

二、名詞定義

為方便評估者查詢主要名詞定義，彙整主要之名詞，分為風險評估名詞類及毒理專有名詞類，以條列式呈現定義如下：

2.1 風險評估名詞類

1. **風險評估 (Risk Assessment)**：為國際食品法典委員會 (Codex) 定義之風險分析 (Risk analysis) 架構中之一環，其他二者為風險管理 (Risk management) 及風險溝通 (Risk communication)。風險評估應根基於健全的科學事證，應包含四個步驟的評估程序：危害鑑定 (hazard identification)、劑量/反應評估 (Dose-response assessment)、暴露評估 (exposure assessment)、風險特性描述 (risk characterization)，且應竭盡所能採用有效的量化資訊，並予以透明、文件化。在組織運作上，風險評估與風險管理應有功能區隔 (functional separation)，以確保風險評估的完整科學性，避免風險評估者與風險管理者間之功能錯亂與利益衝突，但是，彼此也應理解，風險分析的實踐必須強調為此二者間迴圈互動 (iterative interaction) 之風險溝通。當欠缺足夠科學證據時，不宜急於訂定量化標準，而應以文件闡明不確定性來源，妥為考量不確定性的程度與危害特徵，作為風險管理的決策選項。
2. **危害鑑定 (Hazard Identification)**：為風險評估之第一步驟，主要為風險管理者的職責，以辨識可能存在於食品中之生物、化學或物理性之可能造成健康負面效應之因子，於本國或國際的風險文案 (risk profile) 或許可以查詢到，但若屬於新興污染物，可能須長時間的調查，方可確認危害因子。
3. **危害特徵描述 (Hazard Characterization)**：為風險評估第二步驟，針對辨識的危害物，進行質化或量化的危害特徵評估，若為化學危害物，可進行劑量/反應評估 (dose-response assessment)，使用動物試驗或流行病學數據，建立劑量與不同效應終點的關係，並獲得量化的毒理參數。若為微生物危害物，可以調查收集危害物之發生率、致死率、住院率等數據；一般而言，均可於一些國際常用之毒理資料庫中查詢到這些毒理參數。
4. **暴露評估 (Exposure Assessment)**：為風險評估第三步驟，評估經由食品或其他來源之危害濃度，並加入受評族群之攝食量，以估算攝入劑量，對於化學危害物，如農藥及動物用藥殘留濃度，於不同的食品鏈階段，濃度的改變不大，但是，對於微生物，在不同的食品鏈階段，菌落密度的改變會較為顯著。
5. **風險特徵描述 (Risk Characterization)**：為風險評估最後步驟，整合前三步驟，針對受評族群，評估質化或量化的發生機率或嚴重度，包括其不確定性分析 (uncertainty analysis)。可以視個案需要，使用質化的分級推估 (categorical estimate)、量化的點推估 (deterministic estimate)、或機率推估 (probabilistic estimate)。

6. **不確定性分析 (Uncertainty Analysis)**：導因於評估者未能完全掌握影響暴露或風險的知識，不確定性會導致不準確評估，若不確定性係導因於受評族群的變異性 (Variability)，包含暴露途徑、情境、暴露族群及暴露估計，雖然不確定性的來源基本上是無法量化的，它不應該被忽視，可藉由統計分佈予以描述。一般而言，有 3 種型態的不確定性：情境 (Scenario) 不確定性、模式 (Model) 不確定性、參數 (Parameter) 不確定性。情境不確定性來源包含描述錯誤、聚集錯誤、判斷錯誤及不完整分析。參數不確定性來源包含量測錯誤、取樣錯誤、變異性、使用取代資料。模式不確定性來源包含關係錯誤及模式錯誤 (USEPA, 1992)。
7. **國際食品法典委員會 (Codex)**：為促進食品之國際貿易，聯合國食品與農業組織 (Food and Agriculture Organization, FAO) 與世界衛生組織 (World Health Organization, WHO) 成立聯合食品標準計畫 (Joint Food Standards Programme, JFSP)，其下設有綜合主題委員會 (General Subject Committees) 及商品委員會 (Commodity Committees)。該計畫最高決策單位為法典委員會 (Codex Alimentarius Commission, CAC)，簡稱 Codex，並編製該委員會程序書 (Procedural manual)：
 - 第一章：基本案文及定義
 - 第二章：法典標準與相關案文之訂定
 - 第三章：附屬機構準則
 - 第四章：風險分析
 - 第五章：法典之政府間機構和歷屆會議
 - 第六章：會員成員
 - 第七章：與其他組織之關係

2.2 毒理專有名詞類

1. **參考劑量 (Reference Dose, RfD)**：RfD 為非致癌效應的毒理參數，每日每公斤體重人體可攝入化學物質的劑量限值，單位如 mg/kg BW-day。若暴露途徑為吸入，該參數改稱為「參考濃度」(Reference Concentration, RfC)，單位如 mg/m³。RfD 及 RfC 可定義為「於終身連續暴露情境下，不會對人類族群產生顯著健康風險的法定劑量限值」。當以 NOAEL 法推估 RfD 或 RfC 時，是將動物試驗結果之「無察覺負面效應閾限值」，轉換為人類當量之 NOAEL，再除以不確定係數 (UF)。另以人類體重均化 RfD 時，假設體重預設值為 70 公斤，當受評族群平均體重 (BW) 與預設值不同時，應以該族群體重比之 3/4 次方 (BW/70)^{3/4}，反比較正該參考劑量。在食品的參考劑量即稱為 ADI 或 TDI。
2. **斜率係數 (Slope Factor, SF)**：SF 為致癌效應的毒理參數，每單位劑量的致癌機率風險，或為劑量反應曲線的斜率，單位如 mg/kg BW-day。若暴露途徑為吸入，該參數改稱為「吸入單位風險」(Inhalation Unit Risk, IUR)，單位如 mg/m³。

- 若屬於飲水暴露，該參數改稱為「飲水單位風險」(Water Unit Risk, WUR)，單位如 mg/L。SF 可定義為「於終身連續暴露單位劑量下，該受評族群產生的致癌風險值」。以 Benchmark 法推估時，SF 為劑量反應曲線上之起始點 (Point of Departure, POD) 與原點間連線的斜率。另以人類體重均化 SF 時，假設體重預設值為 70 公斤，所以，當受評族群平均體重 (BW) 與預設值不同時，應以該族群體重比之 $3/4$ 次方 $(BW/70)^{3/4}$ ，正比校正 SF，但不需校正 IUR、WUR。
3. **無觀察危害效應劑量 (non-observed adverse effect level, NOAEL)**：NOAEL 為推估 ADI 之標準閾限值，若根據該組動物試驗數據無法決定 NOAEL 時，可以「最低察覺負面效應閾限值」(Lowest Observed Adverse Effect Level, LOAEL) 替代，但應適當提高推估 ADI 時之 UF。NOAEL 可定義為與對照組比較，試驗組未產生顯著負面效應之最高試驗劑量。而 LOAEL 可定義為「與對照組比較，試驗組產生顯著負面效應之最低試驗劑量」。
 4. **基標劑量 (benchmark dose, BMD)**：採用數學模式，對於劑量反應數據進行曲線套合 (curve fitting)，於設定的反應值下，求解之際量閾值 (threshold)，作為推估人類低劑量保護限值的基標起點。
 5. **起始點 (point of departure, POD)**：以基標劑量法 (Benchmark Dose) 進行劑量反應分析時，為該曲線作為外差至更低劑量的起點，可以定義為：(1) 效應反應曲線上某一標記反應 (BMR, 5-10 %) 與下界劑量之對應點，或 (2) NOAEL/LOAEL 點。
 6. **關鍵終點 (critical endpoint)**：效應終點 (Endpoint) 為可量測的效應指標，如腫瘤、濃度、重量等。經過 NOAEL 或 Benchmark Dose 分析後，在眾多的效應終點中，導致最低的 NOAEL 或 POD 者，即為關鍵效應終點。
 7. **不確定係數 (uncertainty factor, UF)**：用以將動物試驗結果推估至人體毒理參數的不確定性，可分為 4 種，每一種原則上取 10 進位：(1) 動物至人體之種間變異、(2) 人類族群間之種間變異、(3) 短期暴露推估至長期或終身暴露、(4) 使用 LOAEL 替代 NOAEL。
 8. **證據強度 (Strength of evidence, SOE)**：又稱為證據權重 (Weight of evidence, WOE)。世界衛生組織之國際癌症研究總署 (International Agency on Research on Carcinogen, IARC) 用於分類致癌物的證據強度，將人類證據分為 4 級、動物證據分為 4 級、致癌機理分為 3 級。又根據 WOE，將致癌物分為：Group 1 人類致癌 (Carcinogen to human)、Group 2A 可能人類致癌 (Probably carcinogenic to humans)、Group 2B 也許人類致癌 (Possibly carcinogenic to humans)、Group 3 無法分類 (Not classifiable)、Group 4 不可能人類致癌 (Probably not carcinogenic to humans)。美國環保署整合性風險資料系統 (Integrated Risk Information System, IRIS) 也有類似的分類：Group A, Human Carcinogen; Group B1, Probably Human Carcinogen; Group B2, Possibly Human Carcinogen; Group C, Not Classifiable; Group D, Non-Carcinogen to Humans。

9. **每日可接受攝取量 (Acceptable Daily Intake, ADI)**：適用於評估食品添加物、農藥或動物用藥等允許添加之化學物值，其單位為 mg/kg BW-day，表示每人每公斤體重每日可接受的安全攝取量。
10. **每日耐受攝取量 (Tolerable Daily Intake, TDI)**：意同 ADI，惟適用於評估污染物或毒素等不允許添加之物質，例如塑化劑。
11. **推估每日劑量 (Estimated daily intake, EDI)**：每人每日攝入危害物之劑量推估，係為暴露推估，公式為危害物濃度 (C) × 攝食量 (CR) / 體重 (BW)。
12. **風險值 (%ADI, %TDI)**：推估每日劑量 EDI 與 ADI 或 TDI 之比值，若大於 100%則表示在此攝入劑量下有不可接受之風險。
13. **全部個體 (Whole Group, WG)**：「全部個體」攝食量是該類食品全部個體之人均攝食量，分母為全部個體。例如：5 人中有 3 人攝食白米飯，分別為 150 g、120 g、180 g，則全部個體攝食量為 $(150+120+180) / 5 = 90$ 。
14. **僅攝食者 (Consumers Only, CO)**：「僅攝食者」攝食量是該類食品僅攝食者之人均攝食量，分母為有攝食該類食品之個體數。例如：5 人中有 3 人攝食白米飯，分別為 150 g、120 g、180 g，僅攝食者攝食量為 $(150+120+180) / 3 = 150$ ，由上例可知僅攝食者攝食量較為符合真實攝食情況。
15. **作用模式 (mode of action, MOA)**：生物體暴露於危害物質引起之細胞功能或解剖學變化，為一種重要危害特徵描述之相關毒性背景資訊。
16. **累積風險 (cumulative risk)**：不同危害物具相同毒性效應之標的系統或器官，可加總計算風險。以 IRIS 之標的系統/器官之分類，將相同標的系統/器官或作用模式之危害物進行加總，計算總非致癌危害指標 (hazard index, HI)。

三、食安調查

近年來食安事件頻傳，食品安全調查是我國食品安全管理的一環，主要權責單位別分為行政院農業委員會（簡稱農委會），與衛生福利部食品藥物管理署（簡稱食藥署）(蘇，2015)，進行產地監測、後市場監測與總膳食調查如圖 3.1，茲分別說明如下：



圖 3-1、食品安全鏈與我國食品安全管理權責單位關係圖

3.1 產地 (前市) 監測

農委會依據農藥管理法、動物用藥管理法等相關法規，主責生產階段之農、漁、畜禽產品之安全，再細分其組織下的農糧署、漁業署、畜牧處、動植物防疫檢疫局、農藥藥物毒物試驗所等單位，進行農、漁、畜禽產品上市前之衛生品質抽驗與監測。每月執行監測之項目如表 3.1-1 所示，包含農藥、動物用藥、重金屬等危害物，檢體狀態為生鮮食材，如發現監測結果超過衛生標準，將依相關法規處理。監測結果僅部分資料公開於主管機關網站或統計年報（農糧署，2017；農委會；2017）。此外，農委會亦提報結果至三部會署環境保護與食品安全協調會報之每季例行會議，進行橫向資訊之溝通與交流。

表 3.1-1、產地監測項目

監測項目	農藥	動物用藥	重金屬
監測單位	- 農糧署 - 農業藥物毒物試驗所	- 漁業署 - 農委會畜牧處 - 動植物防疫檢疫局	農業藥物毒物試驗所
監測對象	農產品	- 水產品 - 畜禽產品	農產品
監測地區	全國	全國	高污染特定地點
檢體狀態	生鮮食材	生鮮食材	生鮮食材
監測頻率	每月	每月	每年

3.2 後市監測

上市後之農、漁、畜禽產品或進口食品等，則由食藥署與各地方衛生局聯手執行後市場食品監測計畫（李等人，2015），監測項目包括：重金屬、農藥、動物用藥、

真菌毒素等危害物，執行頻率為每季，檢體狀態為生鮮食材如表 3.2-1 所示，如發現監測結果超過衛生標準，將依相關法規處理。另，監測結果公布於主管機關網站或統計年報（農糧署，2017 與農委會，2017）。此外，衛福部亦提報結果至三部會署環境保護與食品安全協調會報之每季例行會議，進行橫向資訊之溝通與交流。

表 3.2-1、後市場監測項目

監測項目	農藥、重金屬、真菌毒素	動物用藥
監測單位	食藥署	
監測對象	• 農產品	• 水產品 • 畜禽產品
監測地區	全國	
檢體狀態	生鮮食材	
監測頻率	每季	

3.3 總膳食調查

總膳食調查 (total diet study, TDS)，為國際以及國家層面認可的食品安全評估方法，探討民眾入口食品之健康風險，由食藥署多年委託中國醫藥大學（謝，2010；2011；江，2012；2013；2014；2015；2016；2017）執行之，目前已完成防腐劑、漂白劑、農藥、動物用藥及重金屬等多項危害物如表 3.3-1 所示，執行頻率為每年一次，相較於產地與後市場監測，其檢體為膳食，即民眾真實入口之樣態且去除不可食部分，是著重探討污染物對於總膳食污染情況，而非著重於符合法規。

表 3.3-1、總膳食調查項目

監測項目	防腐劑、漂白劑、農藥、動物用藥、重金屬
監測單位	食藥署
監測對象	237類核心食品
監測地區	全國
檢體狀態	膳食
監測頻率	每年

四、食安風險評估及預警

針對食安風險評估及預警，本指引建議採用世界衛生組織 (World Health Organization, WHO) (2006)、歐洲食品安全局 (European Food Safety Authority,

EFSA) (2011)、德國聯邦風險評估研究所 (The Federal Institute for Risk Assessment, BfR) (2010) 及澳洲紐西蘭食品標準局 (Food Standards Australia New Zealand, FSANZ) (2009) 等單位所提出食品風險評估架構，包含：危害鑑定 (hazard identification)、危害特徵描述 (hazard characterization)、暴露評估 (exposure assessment) 及風險特徵描述 (risk characterization) (WHO, 2006)，茲分述如下各節。

4.1 危害鑑定

針對食品風險評估，本指引建議採用圖 4.1-1 所示之危害鑑定及溯源啟動預警流程，作為食安溯源啟動機制。當食安調查 (圖 3.1) 結果發現食品中檢出危害物時，應將所檢出危害物設定為潛在關切危害物，並比對國內食品相關法規，確認國內是否已訂有相關食品標準值。

若潛在關切危害物屬國內已訂定標準值之危害物項目，且其食品濃度檢測值超出現行食品相關法規標準值，為能即時維護民眾健康，應隨即判定為關切危害物，並啟動食安溯源調查；反之，若符合法規標準值，則可視為安全，不列為關切危害物。

若潛在關切危害物屬國內尚未訂定標準值之危害物項目，則應隨即判定為關切危害物，並依據調查結果，進一步執行食品風險評估。於完成風險評估後，再將評估結果與所設定之風險基準值進行比較，以決定是否啟動食安溯源調查。

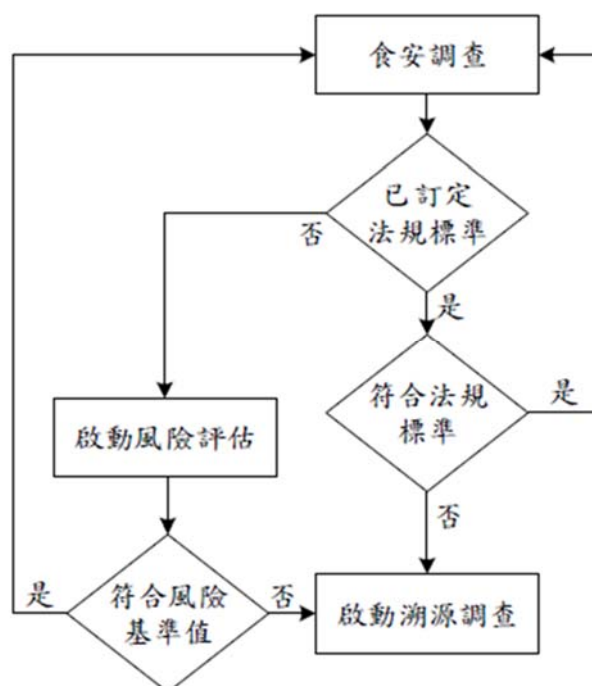


圖 4.1-1、食品風險評估之危害鑑定及溯源啟動預警流程

4.2 危害特徵描述

針對經過危害鑑定所標定之關切危害物，若國內尚未訂定現行食品相關標準值，則可進一步進行危害特徵描述。食品風險評估之危害特徵描述流程如圖 4.2-1 所示，包含：污染物確認、致癌毒性參數查詢、非致癌毒性參數查詢及背景資訊討論，茲分別說明如下：

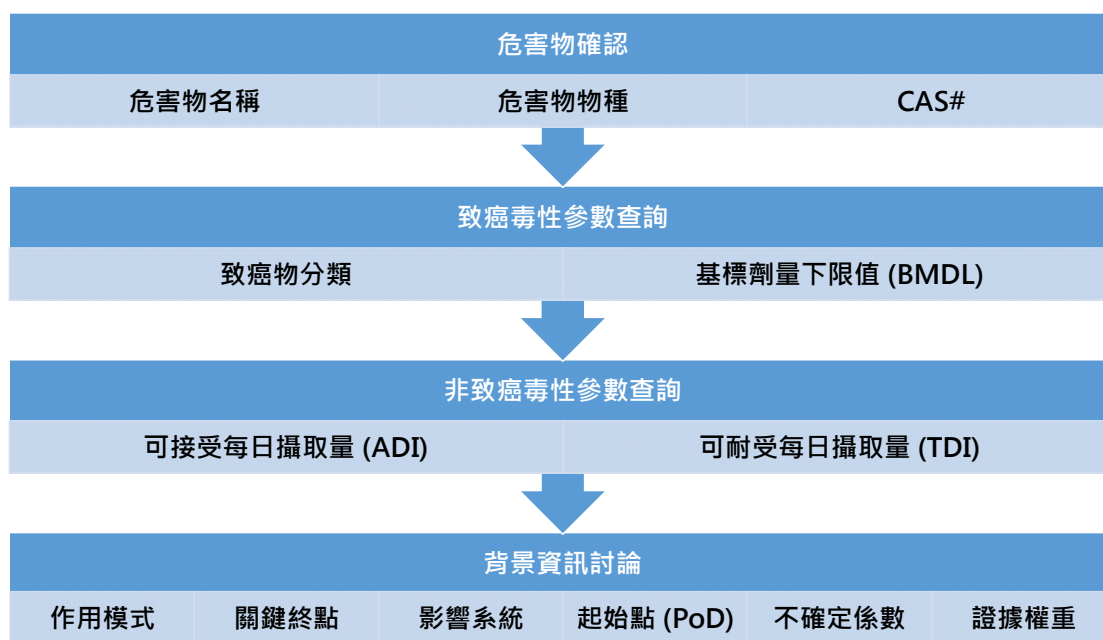


圖 4.2-1、食品風險評估之危害特徵描述流程

(一) 污染物確認

確認標的污染物項目才能正確完成風險評估，針對污染物名稱、污染物物種及其 CAS# 皆應逐一確認。尤其是針對重金屬風險評估，不同物種之毒性可能甚大差異，例如六價鉻污染物之毒性遠高於三價鉻污染物。

(二) 致癌毒性參數查詢

污染物依其毒性分類主要分為：致癌物及非致癌物。針對污染物之毒性參數查詢，首先應確認污染物之致癌物分類 (carcinogen group)。若歸屬致癌物，則應查詢其基標劑量下限值 (benchmark dose low, BMDL)，或由所查詢之毒性試驗數據推估 BMDL。所查詢之毒性資料庫應為國際權威毒性資料庫，建議毒性資料庫所公告毒性參數值之引用優先順序如下：

1. WHO JECFA 所維護之 JECFA 毒性資料庫。
2. 美國衛福部 (USDOH) 食品添加安全局 (Office of Food Additive Safety, OFAS) 所維護之累積推估每日攝食量 (cumulative estimated daily intakes,

CEDI) 毒性資料庫。

3. 歐盟食品安全局 (European Food Safety Authority, EFSA) 所維護之食品接觸物質 (Food Contact Material, FCM) 毒性資料庫。
4. USEPA 所維護之整合風險資訊系統 (Integrated Risk Information System, IRIS)。

(三) 非致癌毒性參數查詢

除查詢污染物之致癌毒性資料之外，亦應查詢其非致癌毒性資料，包含：可接受每日攝取量 (allowable daily intake, ADI) 及可耐受每日攝取量 (tolerable daily intake, TDI)。

(四) 背景資訊討論

除了掌握污染物之毒性參數之外，完整的劑量/反應評估尚須包含：作用模式 (mode of action, MOA)、關鍵終點 (critical endpoint) 或腫瘤分類 (tumor type)、影響系統 (affected system) 或腫瘤位置 (tumor site)、起始點 (point of departure, PoD)、不確定係數 (uncertainty factor, UF) 及證據權重 (weight of evidence, WOE) 等相關毒性背景資訊之討論，方能掌握毒性參數之不確定性。其中 PoD 包含：無觀察危害效應劑量 (non-observed adverse effect level, NOAEL)、最低危害效應劑量 (lowest observed adverse effect level, LOAEL) 及基標劑量 (benchmark dose, BMD)。

USEPA (2015) 更新之 IRIS 毒性資料庫已將 15 種器官/系統納入影響系統或腫瘤位置，包含：心血管 (Cardiovascular)、皮膚 (Dermal)、發展 (Developmental)、內分泌 (Endocrine)、胃腸道 (Gastrointestinal)、血液 (Hematologic)、肝 (Hepatic)、免疫 (Immune)、肌肉骨骼 (Musculoskeletal)、神經 (Nervous)、視覺 (Ocular)、生殖 (Reproductive)、呼吸 (Respiratory)、泌尿 (Urinary)、其他 (Other)。

Gallagher et al. (2015) 指出 USEPA 最新趨勢，此影響系統或腫瘤位置可作為多污染物累積風險 (cumulative risk) 推估之依據，僅需加總具有相同影響系統或腫瘤位置之污染物風險；而非將所有污染物之風險全部加總，以致嚴重高估累積風險 (USEPA, 2000; 2002; 2003; 2004; 2006)。

4.3 暴露評估

不論危害物的毒性或危害程度如何，如果沒有人體暴露就沒有風險。因此，暴露劑量之評估是量化風險程度的重要一環。食品安全領域之暴露劑量，即探討食品中之危害物濃度 (concentration, C)，以食入為暴露途徑，並考量攝食量 (consumption rate, CR) 高低，估算膳食暴露量 (dietary exposure)。

除了考慮攝食者之攝食量 (CR) 及所攝食食品之污染物濃度 (C) 之外，於推估風險時，還會考慮攝食者之體重 (body weight, BW)。

本指引參考 USEPA (2011) 暴露參數手冊與澳洲紐西蘭食品標準局 (Food

Standards Australia New Zealand, FSANZ) (2009) 之作法，採用以受體單位體重攝食量為基礎之暴露劑量 (average daily dose, EDI) 推估公式如下：

$$EDI_{ij,k} = C_{j,k} \times \left(\frac{CR_{i,k}}{BW_i} \right) \quad (\text{公式 4.3-1})$$

其中

$EDI_{ij,k}$ ：個體 i 對食品 k 所含污染物 j 之平均每日攝取量 (mg/kg BW-d)。

$C_{j,k}$ ：民眾入口食品 k 所含污染物 j 之濃度 (mg/kg)。

$CR_{i,k}/BW_i$ ：個體 i 對食品 k 之每日單位體重攝食量 (kg/kg BW-d)。

雖然式 (5.3-1) 可用於描述個體 i 對食品 k 所含污染物 j 之平均每日劑量 ($EDI_{ij,k}$)，實際上比較可行的是針對不同受評族群進行評估。本指引建議採用 WHO (2012) 之族群分類進行評估，包含 3 類：一般 (全年齡層)、育齡婦女 (15-49 歲) 及孩童 (1-5 歲)。

由於民眾實際所吃的入口食品可能是相當複雜的複合食品 (complex food)，例如：高麗菜豬肉水餃，其組成同時含有高麗菜、豬肉及其他餡料。針對生產區風險評估之暴露劑量推估，必須很務實地考量生產區所生產的食品可能難以直接找到攝食量參數，例如：高麗菜攝食量。因此，針對各受評族群 i 對食品 k 之每日單位體重攝食量 ($CR_{i,k}/BW_i$)，建議採用蔡等人 (2016) 所開發臺灣膳食暴露評估模式 (Taiwan diet evaluation exposure model, TDEEM) 進行推估。TDEEM 採用點選式之圖形使用者介面 (graphical user interface, GUI) 設計，系統操作友善且方便，可依使用者之需求針對特定食品類別及受評族群，進行自動化食品聚類，快速提供所需特定食品之特定族群單位體重攝食量。

4.4 風險特徵描述

風險特徵描述之執行流程如圖 4.4-1 所示，包含風險推估、展示圖表設計及不確定性分析，茲分別說明如下：

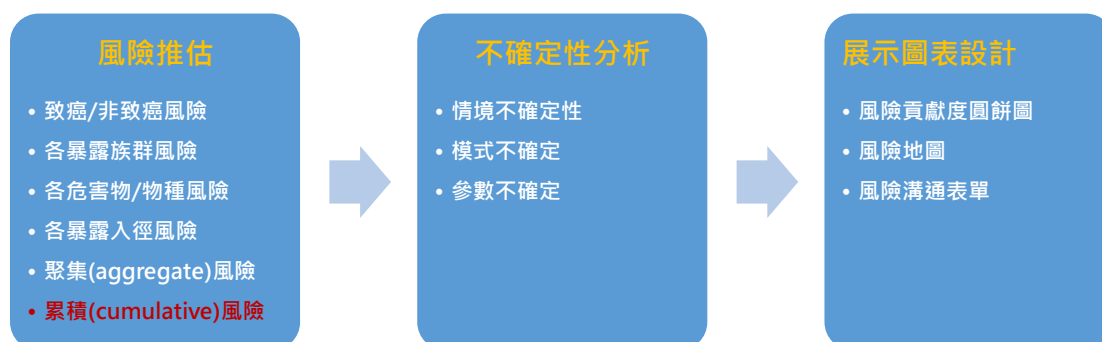


圖 4.4-1、食品風險評估之風險特徵描述流程

(一) 風險推估

風險推估之考量包含：致癌風險 (carcinogenic risk)、非致癌風險 (non-carcinogenic risk)、各暴露族群 (population group) 風險、各危害物/物種 (species) 風險、各暴露入徑 (exposure route) 風險、聚集風險 (aggregate risk) 及累積風險 (cumulative risk)，茲分別說明如下：

1. 致癌風險

針對食品致癌風險，本指引建議採用 EFSA(2012) 及衛福部 (2103) 所使用之暴露限值 (margin of exposure, MOE) 作為質性風險指標，針對個體 i 污染物 j 食品 k 之增量 MOE，其推估公式如下：

$$MOE_{i,j,k} = BMDL_j / EDI_{i,j,k} \text{ (公式 4.4-1)}$$

其中

$MOE_{i,j,k}$ ：個體 i 污染物 j 食品 k 之增量暴露限值，無因次

$EDI_{i,j,k}$ ：個體 i 污染物 j 食品 k 之每日攝取量推估值，單位 mg/kg-BW/d。

$BMDL_j$ ：污染物 j 之基標劑量下限值，單位 mg/kg BW-d。

參考 ANSES (2011) 及 EFSA (2010)，針對 BMDL，建議採用危害物 j 之 $BMDL_{10}$ ，亦即為危害物 j 誘發人類癌症發生率增加 10 % 的基標劑量下限值 (mg/kg BW-day)。此外，參考 ANSES (2011) 及 EFSA (2010)，針對各危害物之總膳食致癌風險基準，建議設定為 MOE 應大於 $1E+04$ 。參考 WHO 食品法典委員會 (Codex Alimentarius Commission, CAC) (2018) 對非致癌風險基準之作法，本指引亦建議針對致癌風險基準值，設定各危害物於各核心食品 (core food) 之 MOE 應大於 $1E+05$ 。

2. 非致癌風險

非致癌增量風險以可接受每日攝取量百分比 (%ADI) 或可耐受每日攝取量百分比 (%TDI) 表示，針對個體 i 污染物 j 食品 k 之 %ADI 或 %TDI，其推估公式分別如下：

$$\%ADI_{i,j,k} = EDI_{i,j,k} / ADI_j \times 100 \% \text{ (公式 4.4-2)}$$

其中

$\%ADI_{i,j,k}$ ：個體 i 污染物 j 食品 k 之可接受每日攝取量百分比，單位 %。

$EDI_{i,j,k}$ ：個體 i 污染物 j 食品 k 之每日攝取量推估值，單位 mg/kg BW-d。

ADI_j ：污染物 j 之可接受每日攝取量，單位 mg/kg BW-d。

或

$$\%TDI_{i,j,k} = EDI_{i,j,k} / TDI_j \times 100 \% \text{ (公式 4.4-3)}$$

其中

$\%TDI_{i,j,k}$ ：個體 i 污染物 j 食品 k 之可耐受每日攝取量百分比，單位 %。

$EDI_{i,j,k}$ ：個體 i 污染物 j 食品 k 之每日攝取量推估值，單位 mg/kg BW-d。

TDI_j ：污染物 j 之可耐受每日攝取量，單位 mg/kg BW-d。

針對非致癌風險基準值之設定，本指引建議參考 WHO 食品法典委員會 (Codex Alimentarius Commission, CAC) (2018) 程序書之規範：各危害物於各核心食品 (core food) 之 %ADI 或 %TDI 應小於 10 %，且不得有一特定危害物同時存在多於 1 類之核心食品之 %ADI 或 %TDI 達 5 %。

3. 各暴露族群風險

式 4.4-1、4.4-2 及 4.4-3 中的個體 i 可以針對不同暴露族群，進行風險推估。本指引建議採用 WHO (2012) 之族群分類進行評估，包含 3 類：一般 (全年齡層)、育齡婦女 (15-49 歲) 及孩童 (1-5 歲)。

4. 各污染物/物種風險

式 4.4-1、4.4-2 及 4.4-3 中的污染物 i 可以針對特定污染物 (如：總銅)，進行風險推估。當污染物之不同物種之毒性明顯差異時，應針對其特定物種 (如：六價鉻與三價鉻)，分別進行風險評估。

5. 各暴露入徑風險

針對生產區風險評估，本指引只考慮食品攝食入徑之風險，可細分為不同種類食品之風險。本指引建議採用 MEPAS 模式之食品分類進行評估，包含 6 類：葉菜類、非葉菜類、肉類、奶類、魚類及貝類，亦可依評估需求，針對特定食品類進行評估，例如：米食。

6. 聚集風險

聚集風險係指直接加總所有暴露入徑之風險。本指引只考慮食品攝食入徑之風險，應加總各類食品之風險，其致癌及非致癌聚集風險推估公式分別如下：

致癌聚集風險：

$$MOE_{i,j} = 1 / \sum_{k=1}^n (1/MOE_{i,j,k}) \text{ (公式 4.4-4)}$$

非致癌聚集風險：

$$\%ADI_{ij} = \sum_{k=1}^n \%ADI_{i,j,k} \quad (\text{公式 4.4-5})$$

或

$$\%TDI_{ij} = \sum_{k=1}^n \%TDI_{i,j,k} \quad (\text{公式 4.4-6})$$

7. 累積風險

累積風險係指加總所有污染物之風險。考量直接加總所有污染物之風險可能嚴重高估累積風險，建議採用 Gallagher et al. (2015) 指出 USEPA 最新趨勢，僅需加總具有相同影響系統或腫瘤位置之污染物風險；而非將所有污染物之風險全部加總，以致嚴重高估累積風險 (USEPA, 2000; 2002; 2003; 2004; 2006)，其致癌及分致癌累積風險推估公式分別如下：

致癌累積風險，加總具有相同腫瘤位置之污染物：

$$MOE_i = 1 / \sum_{j=1}^m (1/MOE_{i,j}) \quad (\text{公式 4.4-7})$$

非致癌累積風險，加總具有相同影響器官之污染物：

$$ADI_i = \sum_{j=1}^m ADI_{i,j} \quad (\text{公式 4.4-8})$$

或

$$TDI_i = \sum_{j=1}^m TDI_{i,j} \quad (\text{公式 4.4-9})$$

(二) 展示圖表設計

好的展示圖表設計可以讓風險評估者及其他利害關係人快速清楚掌握風險相關資訊，有利於促進良好的風險溝通。常用之風險結果展示圖表設計包含：風險貢獻度圓餅圖、風險地圖及風險溝通表單等設計。風險貢獻度圓餅圖可以用於掌握不同來源之風險貢獻度差，包含：不同食品及不同污染物之貢獻度差異。風險地圖係採用地理資訊系統 (geographic information system, GIS)，將風險分布圖套疊於生產區之地圖上，可以同時掌握生產區地理位置、污染源位置、增量風險分布圖、敏感區位置等風險相關資訊。

針對致癌及非致癌增量風險分布圖製作，建議分別採用紅 (≤ 10)、橘 (>10)、黃 (>100)、藍 ($>1,000$)、綠 ($>10,000$) 色系建立 5 等級致癌增量風險分布圖及紅 (>100)、橘 (>10)、黃 (>1)、藍 (>0.1)、綠 (≤ 0.1) 色系建立 5 等級非致癌增量風險分布圖。

由於風險地圖用於風險溝通具有圖像式之強烈感官刺激效果，必須結合並與風險溝通表單合併列印，方能正確且完整地解讀風險地圖所要展示之風險相關資訊，提升風險溝通與管理決策之品質。建議風險溝通表單內容應包含：地圖名稱、危害鑑定、危害特徵描述、暴露評估、風險特徵描述等說明 (江，2012)。

(三) 不確定性分析

風險評估過程係基於許多情境設定、模式選用及參數設定而完成，其不確定性分析包含：情境不確定性、模式不確定性及參數不確定性，應分別加以探討，以探討風險評估結果之可靠性。

五、生產區食品風險評估

NRC (1983; 1994) 提出了風險評估的典範架構，包含 4 項程序：危害鑑定 (hazard identification)、劑量/反應評估 (dose-response assessment)、暴露評估 (exposure assessment) 及風險特徵描述 (risk characterization)。食品生產區受環境污染物影響之風險評估基本上也應遵循此典範架構，茲分別說明如下各節。

5.1 危害辨識

如圖 5.1-1 所示，危害辨識所需完成之工作，包含：環境相關法令管制項目確認、污染源排放特性分析、場址相關資料彙整、污染調查或污染傳輸模擬分析，茲分別說明如下：

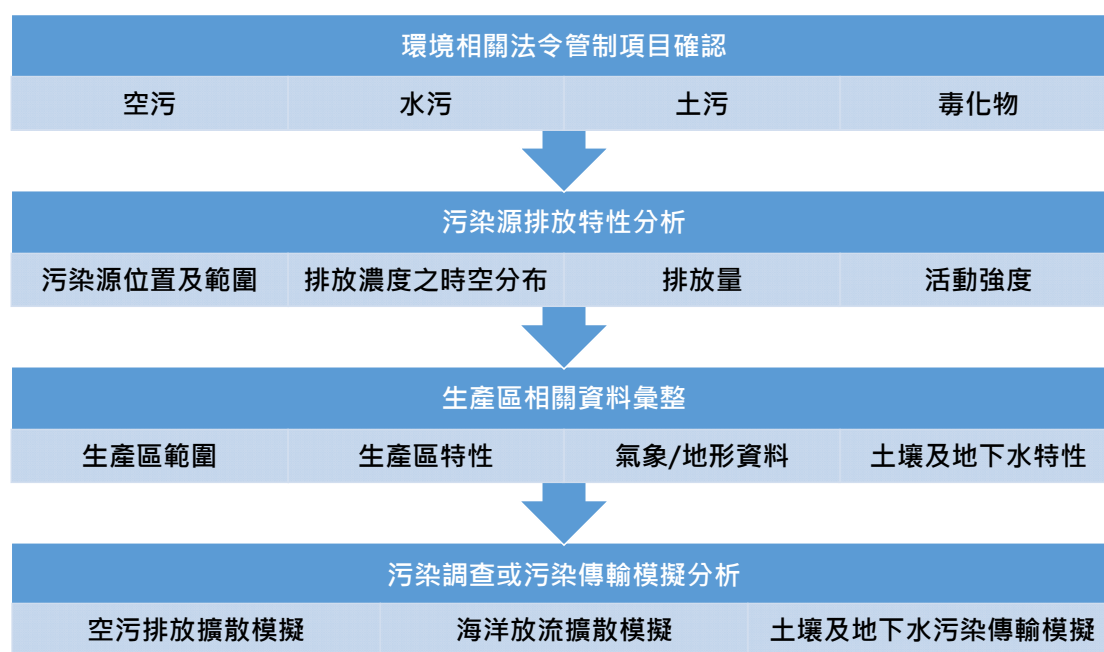


圖 5.1-1、生產區風險評估之危害鑑定流程

(一) 環境相關法令管制項目確認

本指引之目的在於進行環境污染物於食品中之溯源評估，其啟動機制來自於食品主管機關發現食品中污染物對民眾健康有危害之虞，且此污染物種類可能來自於環境污染物。因此於進行生產區風險評估時，首先必須確認食品主管機關所發

現之食品污染物是否屬於環境污染物。

考量生產區所涉及之環境介質可能包含：空氣、表面水、地下水及土壤，應針對食品主管機關所提出之食品污染物，分別比對空污、水污、土污及毒化物等相關環境法令之管制項目，以確認所需評估之環境污染物項目及其污染源種類。

(二) 污染源排放特性分析

於確認所擬評估之污染物項目及污染源種類後，進一步針對生產區內及鄰近區域內，找出可能各類污染源之位置、排放濃度之時空分布、排放量及其活動強度等，查核區域範圍以離生產區周界範圍 10 km 以內為原則。

(三) 生產區相關資料彙整

除了掌握污染源排放特性，也應同時掌握生產區相關資料，包含：生產區位置及範圍、生產區特性（農漁產品種類、生產方式等）、氣象及地形資料、土壤及地下水特性等。

(四) 污染調查或污染傳輸模擬分析

為了掌握主要受污染之環境受體，針對標的生產區內生產之食用生物體及環境空氣、土壤、地表水及地下水等，應進行適當污染調查，或以合理之污染源排放情境設定，進行污染擴散模擬，例如，針對空污排放源、海洋放流廢水排放源、土壤或地下水污染洩漏源，分別以國內外環保主管機關認可之適當污染傳輸模式，進行空污排放擴散模擬、海洋放流擴散模擬及土壤及地下水污染傳輸模擬。

5.2 劑量/反應評估

劑量/反應評估主要評估產出為確認標的污染物之毒性參數及其不確定性，其評估流程如圖 5.2-1 所示，包含：污染物確認、致癌毒性參數查詢、非致癌毒性參數查詢及背景資訊討論，茲分別說明如下：

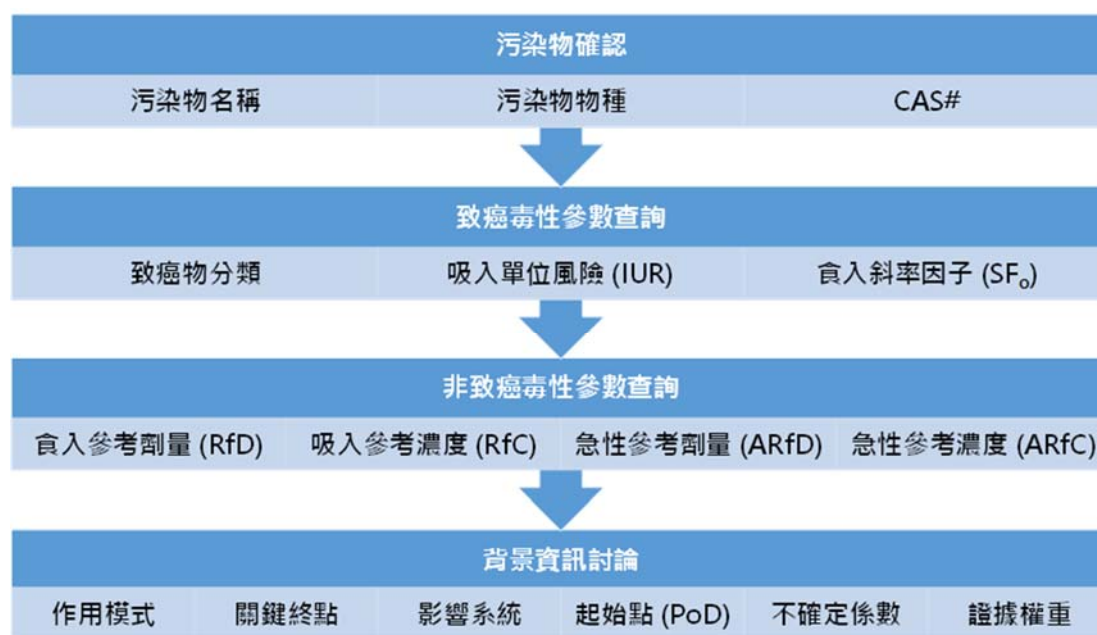


圖 5.2-1、生產區風險評估之劑量/反應評估流程

(一) 污染物確認

確認標的污染物項目才能正確完成風險評估，針對污染物名稱、污染物物種及其 CAS# 皆應逐一確認。尤其是針對重金屬風險評估，不同物種之毒性可能甚大差異，例如六價鉻污染物之毒性遠高於三價鉻污染物。

(二) 致癌毒性參數查詢

污染物依其毒性分類主要分為：致癌物及非致癌物。針對污染物之毒性參數查詢，首先應確認污染物之致癌物分類 (carcinogen group)。若歸屬致癌物，則應查詢其吸入單位風險 (inhalation unit risk, IUR) 及食入斜率因子 (oral slope factor, SF_o)。所查詢之毒性資料庫應為國際權威毒性資料庫，參考 USEPA (2018)，建議毒性資料庫所公告毒性參數值之引用優先順序如下：

1. USEPA 所維護之整合風險資訊系統 (Integrated Risk Information System, IRIS)。
2. USEPA 所維護之暫行同儕審查毒性因子 (Provisional Peer Reviewed Toxicity Values, PPRTVs)。
3. USEPA 所維護之人體健康基標劑量 (Human Health Benchmarks for Pesticides, HHBPs)。
4. 美國毒物與疾病登錄署 (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR) 所維護之最小風險限值 (minimal risk levels, MRLs)。
5. 美國加州環保署 (California Environmental Protection Agency, Cal EPA) 環境健康危害評估辦公室 (Office of Environmental Health Hazard Assessment, OEHHa)。

所維護之 OEHHA 毒性規範資料庫 (OEHHA Toxicity Criteria Database)。

6. USEPA 所維護之 PPRTV 附錄之篩選毒性值 (screening toxicity values) (與 PPRTV 區隔係因其值之可靠度較 PPRTV 低，但仍有參考價值)。
7. USEPA 所維護之健康效應評估摘要表 (Health Effects Assessment Summary Table, HEAST)。

(三) 非致癌毒性參數查詢

除查詢污染物之致癌毒性資料之外，亦應查詢其非致癌毒性資料，包含：慢毒性之食入參考劑量 (RfD) 及吸入參考濃度 (RfC)、急毒性之急性參考劑量 (ARfD)、急性參考濃度 (ARfC)。

(四) 背景資訊討論

除了掌握污染物之毒性參數之外，完整的劑量/反應評估尚須包含：作用模式 (mode of action, MOA)、關鍵終點 (critical endpoint) 或腫瘤分類 (tumor type)、影響系統 (affected system) 或腫瘤位置 (tumor site)、起始點 (point of departure, PoD)、不確定係數 (uncertainty factor, UF) 及證據權重 (weight of evidence, WOE) 等相關毒性背景資訊之討論，方能掌握毒性參數之不確定性。其中 PoD 包含：無觀察危害效應劑量 (non-observed adverse effect level, NOAEL)、最低危害效應劑量 (lowest observed adverse effect level, LOAEL) 及基標劑量 (benchmark dose, BMD)。

USEPA (2015) 更新之 IRIS 毒性資料庫已將 15 種器官/系統納入影響系統或腫瘤位置，包含：心血管 (Cardiovascular)、皮膚 (Dermal)、發展 (Developmental)、內分泌 (Endocrine)、胃腸道 (Gastrointestinal)、血液 (Hematologic)、肝 (Hepatic)、免疫 (Immune)、肌肉骨骼 (Musculoskeletal)、神經 (Nervous)、視覺 (Ocular)、生殖 (Reproductive)、呼吸 (Respiratory)、泌尿 (Urinary)、其他 (Other)。

Gallagher et al. (2015) 指出 USEPA 最新趨勢，此影響系統或腫瘤位置可作為多污染物累積風險 (cumulative risk) 推估之依據，僅需加總具有相同影響系統或腫瘤位置之污染物風險；而非將所有污染物之風險全部加總，以致嚴重高估累積風險 (USEPA, 2000; 2002; 2003; 2004; 2006)。

5.3 暴露評估

不論危害物的毒性或危害程度如何，如果沒有人體暴露就沒有風險。因此，暴露劑量之評估是量化風險程度的重要一環。食品安全領域之暴露劑量，即探討食品中之危害物濃度 (concentration, C)，以食入為暴露途徑，並考量食品攝取量 (intake rate, IR) 高低，估算膳食暴露量 (dietary exposure)。

除了考慮攝食者之攝取量 (IR) 及所攝食食品之污染物濃度 (C) 之外，於推估風險時，還會考慮攝食者之體重 (body weight, BW)。

本指引參考 USEPA (2011) 暴露參數手冊與澳洲紐西蘭食品標準局(Food Standards Australia New Zealand, FSANZ)(2009) 之作法，採用以受體單位體重攝取量為基礎之每日劑量推估值 (estimated daily dose, ADD) 推估公式如下：

$$ADD_{i,j,k} = F_k \times C_{j,k} \times \left(\frac{IR_{i,k}}{BW_i} \right) \times \left(\frac{EF_i \times ED_i}{AT_i} \right) \quad (5.3-1)$$

其中

$ADD_{i,j,k}$ ：個體 i 對食品 k 所含污染物 j 之平均每日劑量 (mg/kg BW-d)。

F_k ：攝取標地生產區生產食材所占百分比 (%)

$C_{j,k}$ ：民眾入口食品 k 所含污染物 j 之濃度 (mg/kg)。

$IR_{i,k}/BW_i$ ：個體 i 對食品 k 之每日單位體重攝取量 (kg/kg BW-d)。

EF_i ：個體 i 之暴露頻率，一年暴露的天數 (d/yr)。

ED_i ：個體 i 之暴露期間，暴露的總年數 (yr)。

AT_i ：個體 i 之均化時間 (averaging time) (d)。

標的生產區所生產之不同食品類，其所含污染物濃度，可能來自於不同環境受體。本指引建議採用 USEPA 及 USDOE 所開發之多介質環境污染物評估系統 (Multimedia Environmental Pollutant Assessment System, MEPAS)，根據生產區之生產及環境污染特性之調查結果，從環境受體中的污染物濃度，推估生產區所生產特定食品類之污染物濃度。MEPAS 針對生產區提供之多介質傳輸污染物濃度推估模式，如圖 5.3-1 所示，涉及地下水、表面水、空氣及土壤共 4 種環境介質污染傳輸，而成為最終可能污染農漁畜產品生產區所需之灌溉水 (含畜牧水)、養殖水、農地空氣及農地土壤，進而影響葉菜類、非葉菜類、肉類、奶類、魚類及貝類共 6 類食品之污染物濃度。相關技術細節可參考 Streng and Smith (2006)。

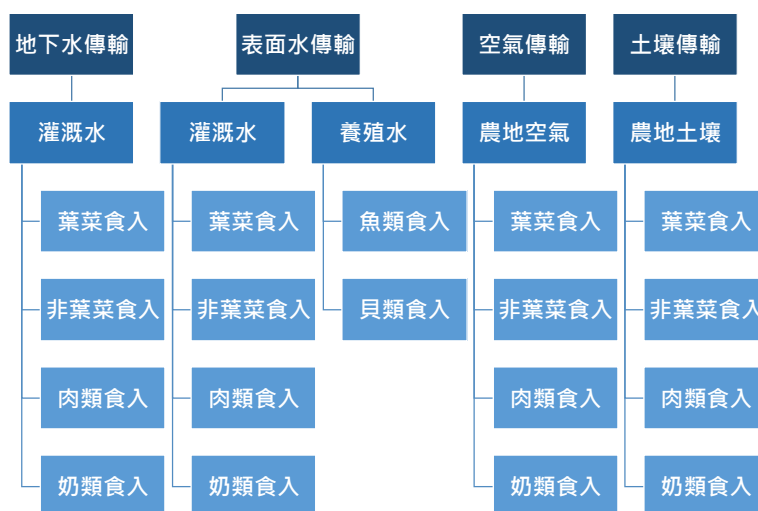


圖 5.3-1、生產區可能涉及之食品安全鏈多介質傳輸模式

雖然式 (5.3-1) 可用於描述個體 i 對食品 k 所含污染物 j 之平均每日劑量 ($ADD_{i,j,k}$)，實際上比較可行的是針對不同受評族群進行評估。本指引建議採用環保署 (2014) 之族群分類進行評估，包含 3 類：一般 (全年齡層)、成人 (12 歲以上年齡層) 及孩童 (12 歲以下年齡層)。

由於民眾實際所吃的入口食品可能是相當複雜的複合食品 (complex food)，例如：高麗菜豬肉水餃，其組成同時含有高麗菜、豬肉及其他餡料。針對生產區風險評估之暴露劑量推估，必須很務實地考量生產區所生產的食品可能難以直接找到攝食量參數，例如：高麗菜攝食量。因此，針對各受評族群 i 對食品 k 之每日單位體重攝取量 ($IR_{i,k}/BW_i$)，建議採用蔡等人 (2016) 所開發臺灣膳食暴露評估模式 (Taiwan diet evaluation exposure model, TDEEM) 進行推估。TDEEM 採用點選式之圖形使用者介面 (graphical user interface, GUI) 設計，系統操作友善且方便，可依使用者之需求針對特定食品類別及受評族群，進行自動化食品聚類，快速提供所需特定食品之特定族群單位體重攝取量。

5.4 風險特徵描述

風險特徵描述之執行流程如圖 5.4-1 所示，包含風險推估、展示圖表設計及不確定性分析，茲分別說明如下：

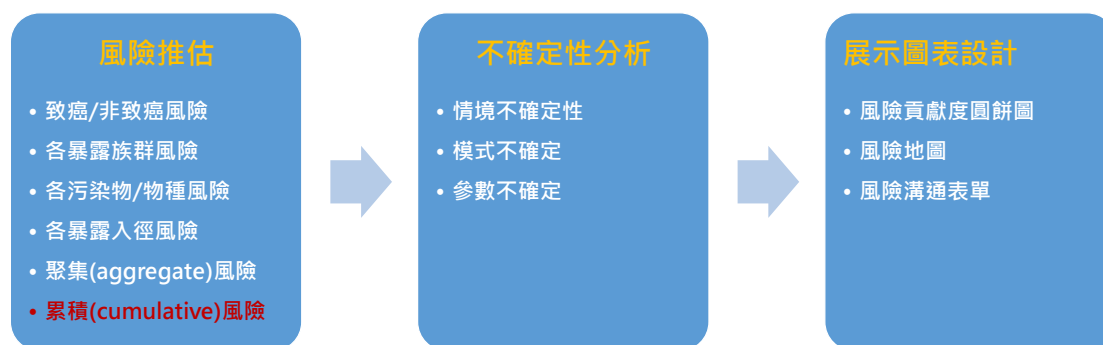


圖 5.4-1、生產區風險評估之風險特徵描述流程

(一) 風險推估

風險推估之考量包含：致癌風險 (carcinogenic risk)、非致癌風險 (non-carcinogenic risk)、各暴露族群 (population group) 風險、各污染物/物種 (species) 風險、各暴露入徑 (exposure route) 風險、聚集風險 (aggregate risk) 及累積風險 (cumulative risk)，茲分別說明如下：

5. 致癌風險

致癌風險以增量終身致癌風險 (excess lifetime carcinogenic risk, ELCR) 表示，針對個體 i 污染物 j 食品 k 之增量終身致癌風險，其推估公式如下：

$$ELCR_{i,j,k} = ADD_{i,j,k} \times SF_j \text{ (公式 5.4-1)}$$

其中

$ELCR_{i,j,k}$ ：個體 i 污染物 j 食品 k 之增量終身致癌風險，無因次

$ADD_{i,j,k}$ ：個體 i 污染物 j 食品 k 之平均每日劑量，單位 mg/kg-BW/d。

SF_j ：污染物 j 之斜率係數，單位 $1/(\text{mg/kg-BW/d})^{-1}$ 。

6. 非致癌風險

非致癌增量風險以危害商數 (hazard quotient, HQ) 表示，針對個體 i 污染物 j 食品 k 之非致癌危害商數，其推估公式如下：

$$HQ_{i,j,k} = ADD_{i,j,k} / RfD_j \text{ (公式 5.4-2)}$$

其中

$HQ_{i,j,k}$ ：個體 i 污染物 j 食品 k 之非致癌危害商數，無因次

$ADD_{i,j,k}$ ：個體 i 污染物 j 食品 k 之平均每日劑量，單位 mg/kg-BW/d。

RfD_j ：污染物 j 之參考劑量，單位 mg/kg-BW/d。

7. 各暴露族群風險

式 5.4-1 及 5.4-2 中的個體 i 可以針對不同暴露族群，進行風險推估。本指引建議採用環保署 (2014) 之族群分類進行評估，包含 3 類：一般 (全年齡層)、成人 (12 歲以上年齡層) 及孩童 (12 歲以下年齡層)。

8. 各污染物/物種風險

式 5.4-1 及 5.4-2 中的污染物 i 可以針對特定污染物 (如：總銅)，進行風險推估。當污染物之不同物種之毒性明顯差異時，應針對其特定物種 (如：六價鉻與三價鉻)，分別進行風險評估。

9. 各暴露入徑風險

針對生產區風險評估，本指引只考慮食品攝食入徑之風險，可細分為不同種類食品之風險。建議採用 MEPAS 模式之食品分類進行評估，包含 6 類：葉菜類、非葉菜類、肉類、奶類、魚類及貝類，亦可依評估需求，針對特定食品類進行評估，例如：米食。

10. 聚集風險

聚集風險係指直接加總所有暴露入徑之風險。本指引只考慮食品攝食入徑之風險，應加總各類食品之風險，其致癌及分致癌聚集風險推估公式分別如下：

致癌聚集風險：

$$ELCR_{ij} = \sum_{k=1}^n ELCR_{i,j,k} \text{ (公式 5.4-3)}$$

非致癌聚集風險，以危害指數 (hazard index, HI) 表示：

$$HI_{ij} = \sum_{k=1}^n HQ_{i,j,k} \text{ (公式 5.4-4)}$$

11. 累積風險

累積風險係指加總所有污染物之風險。考量直接加總所有污染物之風險可能嚴重高估累積風險，建議採用 Gallagher et al. (2015) 指出 USEPA 最新趨勢，僅需加總具有相同影響系統或腫瘤位置之污染物風險；而非將所有污染物之風險全部加總，以致嚴重高估累積風險 (USEPA, 2000; 2002; 2003; 2004; 2006)，其致癌及非致癌累積風險推估公式分別如下：

致癌累積風險，加總具有相同腫瘤位置之污染物：

$$ELCR_i = \sum_{j=1}^m ELCR_{i,j} \text{ (公式 5.4-5)}$$

非致癌累積風險，加總具有相同影響器官之污染物：

$$HI_i = \sum_{j=1}^m HI_{i,j} \text{ (公式 5.4-6)}$$

(二) 展示圖表設計

好的展示圖表設計可以讓風險評估者及其他利害關係人快速清楚掌握風險相關資訊，有利於促進良好的風險溝通。常用之風險結果展示圖表設計包含：風險貢獻度圓餅圖、風險地圖及風險溝通表單等設計。風險貢獻度圓餅圖可以用於掌握不同來源之風險貢獻度差，包含：不同食品及不同污染物之貢獻度差異。風險地圖係採用地理資訊系統 (geographic information system, GIS)，將風險分布圖套疊於生產區之地圖上，可以同時掌握生產區地理位置、污染源位置、增量風險分布圖、敏感區位置等風險相關資訊。

針對致癌及非致癌增量風險分布圖製作，建議分別採用紅 (>1E-4)、橘 (>1E-5)、黃 (>1E-6)、藍 (>1E-7)、綠 ($\leq 1E-7$) 色系建立 5 等級致癌增量風險分布圖及紅 (>100)、橘 (>10)、黃 (>1)、藍 (>0.1)、綠 (≤ 0.1) 色系建立 5 等級非致癌增量風險分布圖。

由於風險地圖用於風險溝通具有圖像式之強烈感官刺激效果，必須結合並與風險溝通表單合併列印，方能正確且完整地解讀風險地圖所要展示之風險相關資訊，提升風險溝通與管理決策之品質。建議風險溝通表單內容應包含：地圖名稱、危害鑑定、劑量/反應評估、暴露評估、風險特徵描述等說明 (江，2012)。

(三) 不確定性分析

風險評估過程係基於許多情境設定、模式選用及參數設定而完成，其不確定性分析包含：情境不確定性、模式不確定性及參數不確定性，應分別加以探討，以探討風險評估結果之可靠性。

六、污染溯源評估

污染溯源評估涉及污染源及受體，前者為因，後者為果，因果關係之推論為科學分析最具挑戰性之領域。污染溯源評估方法主要區分為 2：污染直推法 (source forward) 及受體回溯法 (receptor backward)，前者係由因往果推，後者則是由果往因推。

6.1 污染直推法

污染直推法採用的是由因推果的方式進行污染溯源評估。完整的推估過程如圖 6.1-1 所示，依序包含：污染源辨識、擴散模擬、多介質傳輸、加工模擬及貢獻度分析，茲分別說明如下：

(一) 污染源辨識

可能之潛在污染源包含：空氣、表面水、地下水及土壤污染源，辨識並掌握潛在污染源特性及其排放特性，方能進行污染溯源。

(二) 擴散模擬

污染物從污染源排放後，會擴散到主要環境受體，其中可能涉及空氣污染擴散、海洋放流污染擴散、土壤及地下水污染擴散等，必須採用適當的擴散模擬模式，以推估主要環境受體之污染物濃度分布。

(三) 多介質傳輸

污染從污染源擴散至主要環境受體後，可能還會進一步傳輸到其他受體，包含：環境及生物受體，必須採用適當的多介質傳輸模式，推估最終作為食品用途之生物受體的污染物濃度。

(四) 加工處理

作為食品用途之生物受體最終進入人體之前通常會經過加工處理，包含：去除不可食部位及食品烹調，必須採用適當加工係數，以推估受體族群入口食品之污染物濃度。

(五) 貢獻度分析

藉由前述 4 個步驟可推算出食品濃度之模式推估值 (C_m)，可將此值除以食品

濃度之實際檢測值，以推估污源貢獻度 (χ)。據此可以了解目前所掌握之污染源之污染物對於食品中污染物濃度之貢獻度，其推估公式如下：

$$\chi = C_e / C_m \times 100\%$$

其中

C 為食品濃度

C_e ：模式推估值

C_m ：實際檢測值

完成不同污染源之污源貢獻度推估後，可加總並探討已掌握之污染源是否充足。若累積污源貢獻度不足 80%，應進行不確定性分析，探討可能之原因。

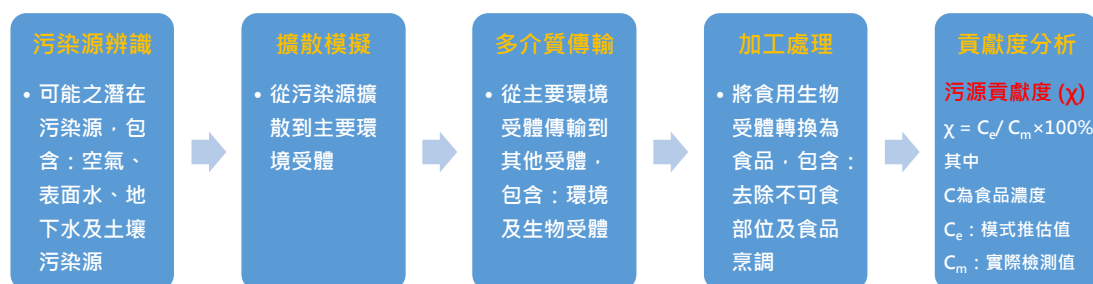


圖 6.1-1、污染源溯源評估之污染直推法流程

考量污染直推法涉及各項複雜的污染擴散、多介質傳輸及食品加工處理等模擬需求，建議採用 PNNL (1997) 針對 USEPA 及 DOE 歷年長期開發之各類環境模擬工具所建構之 FRAMES (Framework for Risk Analysis in Multimedia Environmental Systems) 整合平台或搭配其他適當模式。

如圖 6.1-2 所示，本指引以 USEPA (2005) 之 ISC3 空污擴散模式搭配 FRAMES 之 MEPAS 多介質傳輸模式 (Streng and Smith, 2006) 為例，說明針對食品安全議題，如何完成可能之空氣污染物之溯源評估。

首先必須掌握有哪些潛在空氣污染源，掌握其污染源特性及排放情境，並據以採用 ISC3 空污擴散模式推估生產產地之著地濃度及沉降量，進而採用 MEPAS 多介質傳輸模式推估受體族群可能攝食之植物性食品（包含：葉菜類及非葉菜類）或動物性食品（包含：肉類、奶類、魚類及貝類）之污染物濃度。進一步可將食品污染物濃度之模式推估值 (C_e) 除以實際檢測值 (C_m)，獲得污染貢獻度 (χ)，特別注意，模式推估所得之食品中污染物濃度 (C_e) 之基準為食品未經過加工處理前之濃度，而實際檢測值之食品中污染物濃度 (C_m) 之基準則為食品經過加工及烹調處理後之濃度，因為必須先採用烹調係數 (F) 修正 C_e 值。

此外，於執行 ISC3 空污擴散模式時，由於所需相關資料相當複雜，建議可以採用 USEPA 之 ISC 擴散模式為核心所開發之自動組合式 ISC (AutISC)，以點選式友善操作介面來選取參數條件，可提高模式使用之簡便性及正確性，其模組設計架構如圖 6.1-3 所示 (江，2012)。

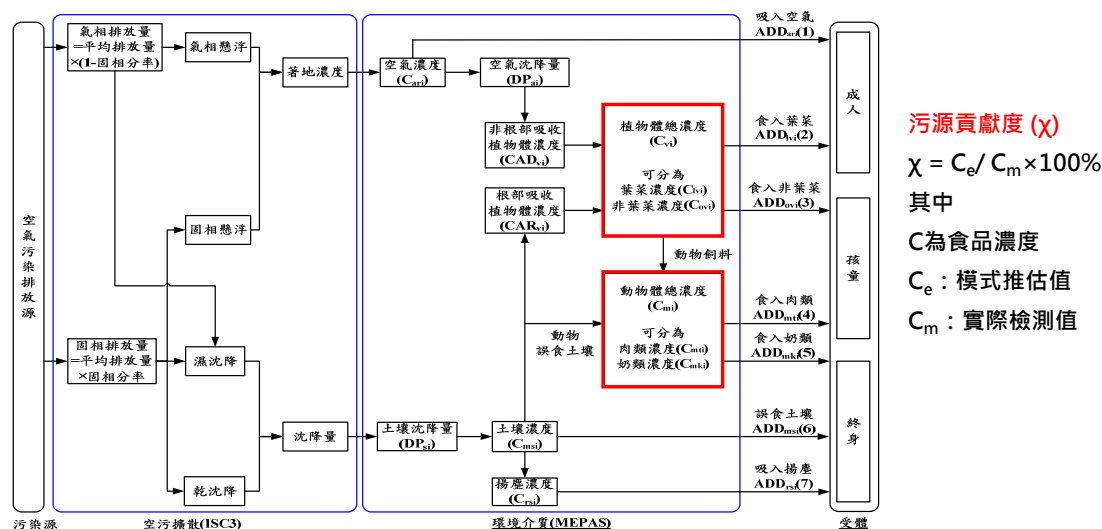
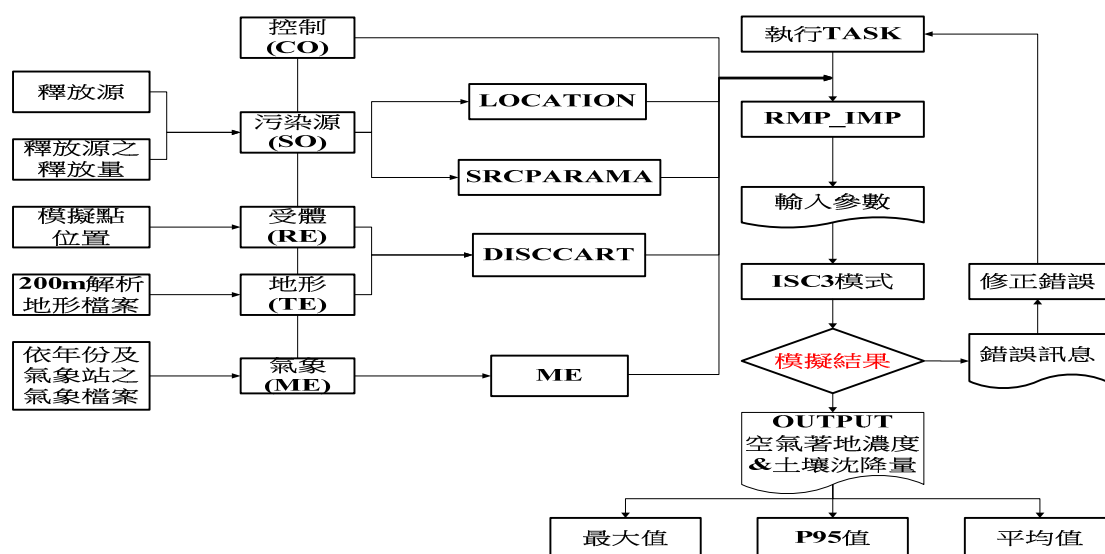


圖 6.1-2、ISC3/MEPAS 模式分析空污源貢獻度示意圖



資料來源：江 (2012)

圖 6.1-3、AutISC 點選式友善操作介面模組設計架構

6.2 受體回溯法

受體回溯法採用的是由果推因的方式進行污染溯源評估，文獻上通常稱為受體模式 (receptor model)。受體模式過去主要應用於空氣品質之污染溯源評估，USEPA 已提有之免費開放應用模型包含：Chemical Mass Balance (CMB)、UNMIX 及 Positive Matrix Factorization (PFM) 模式。CMB 模式屬於質量平衡模型，必須同時完全掌握受體濃度數據及污染源排放濃度數據，而 UNMIX 及 PMF 模式則為同屬因子分析法 (factor analysis)，只需掌握受體濃度數據，不需要完全掌握污染源排

放濃度數據 (USEPA, 2016)。

本指引基於國外已有文獻將 PMF 模式應用於土壤污染之溯源評估 (Hu et al., 2018)，當污染源排放資訊不足時，建議可採用 PMF 模式進行溯源評估。

以 PMF 模式為基礎之受體回溯法完整的推估過程如圖 6.2-1 所示，依序包含：彙整生產區土壤污染物檢測資料、彙整污染源排放組成資料、篩選潛在污染源及執行 PMF 模式分析，茲分別說明如下：

(一) 彙整生產區土壤污染物檢測資料

PMF 模式分析主要以分析受體位置之污染物檢測大數據為基礎，因此需大量蒐集生產區土壤之污染物檢測資料，包含：化學組成項目及其濃度，還有檢測數據品質，因為 PMF 在分析受體濃度數據時，可以根據濃度數據之誤差程度加權推估污染源之貢獻度。

(二) 彙整污染源排放組成資料

雖然 PMF 模式不需要輸入各污染源之排放污染物的組成項目及其濃度與排放強度，但是為了提供評估者依據模擬結果之污染源濃度分布特徵，辨識潛在污染源種類，仍應儘量蒐集潛在污染源之排放組成資料。

(三) 篩選潛在污染源

雖然 PMF 模式不需要輸入各污染源之排放污染物的組成項目及其濃度與排放強度，但是 PMF 模式必須輸入擬溯源推估之污染源種類數量，常見之污染源包含：工業源、交通源、灌溉源、肥料源、背景源等，可依生產區鄰近區域特性設定污染源數量。

(四) 執行 PMF 模式分析

掌握受體生產區位置之濃度調查數據及其檢測品質數據，並設定污染源數量後，即可採用 USEPA (2014) 提供免費開放之 PMF 模式，推估各污染源之貢獻度及其污染物濃度分布特徵。據此評估結果，評估者必須進一步結合前述污染源排放組成資料及現地污染源相關資料，辨識可能之潛在污染源，並進行不確定性分析。

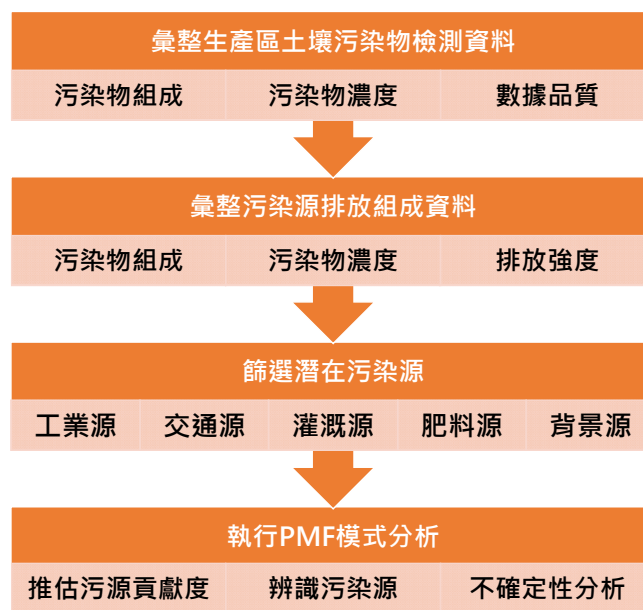


圖 6.2-1、污染源溯源評估之受體回溯法流程

七、急毒性事件模式分析方法

急毒性空污事件可能來自異常排放或工安事件，能夠引起高濃度的有害空氣污染物 (Hazardous Air Pollutants, HAP) 洩漏或釋放至大氣中，透過大氣擴散等作用機制影響周遭環境。為了能夠在事件發生後迅速地量化污染物與評估周遭環境所受到的影響，可以運用空氣污染擴散模式進行污染物擴散分析。

有害氣體擴散模式 (Areal Locations of Hazardous Atmospheres, ALOHA) 由美國環保署 (USEPA) 與國家海洋暨大氣總署 (NOAA) 共同開發。ALOHA 以高斯煙流擴散為基礎，模擬火災和爆炸情況以及有毒氣體擴散情境，其所需輸入資料包含：污染物種、氣象資料、洩漏源參數等，可預測污染物在 1 小時內的擴散範圍，並可將擴散情形以 100 m 到 10 km 範圍內的平面圖顯示。

圖 7-1 所示為急毒性空污事件之評估方法架構。由圖上可見，評估方法架構分為 4 部分：空污事件範疇、模式模擬分析、展示圖表設計與模式結果校正。本指引提供此評估方法架構之整體說明，相關技術細節及模擬系統操作，可分別參考 NOAA (2013) 及 USEPA and NOAA (2007)。

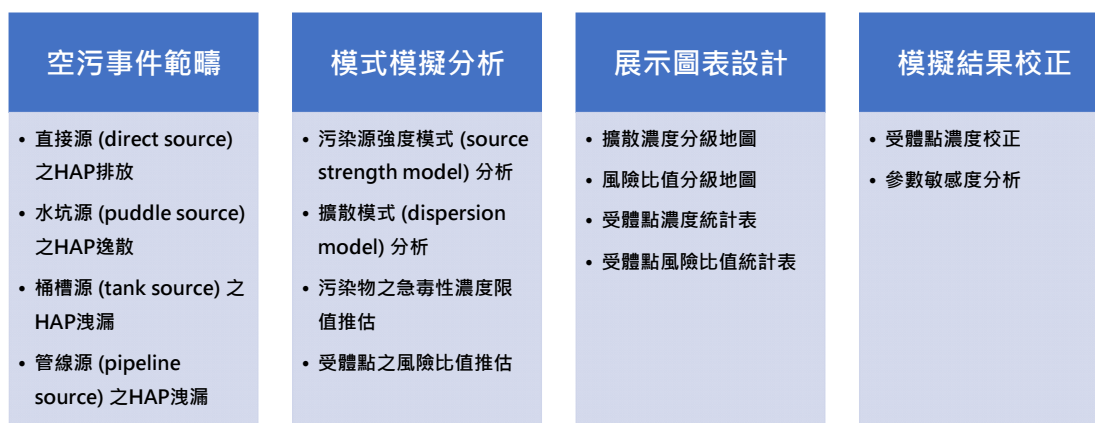


圖 7-1、急毒性空污事件評估方法架構

(一) 空污事件範疇

當急毒性空污事件發生時，首先需要辨識污染物以何種形式進入到大氣中。分為 4 種情境：直接源 (direct source)、水坑源 (puddle source)、桶槽源 (tank source) 與管線源 (pipeline source)。其相關技術細節及軟體使用方法可分別參考 NOAA (2013) 及 USEPA and NOAA (2007)，各情境之特點則分別說明如下：

1. 直接源 (direct source) 之 HAP 排放

污染物從一個點瞬間或連續釋放到大氣中。在得知來源直接釋放污染物的數量，或釋放資訊太少導致無法辨別情境，可以歸類為直接源 (direct source) 之 HAP 排放。

2. 水坑源 (puddle source) 之 HAP 逸散

污染物從固定區域的水坑中蒸發或揮發至大氣中，可以歸類為水坑源 (puddle source) 之 HAP 逸散。

3. 桶槽源 (tank source) 之 HAP 洩漏

污染物從帶有單孔或洩漏閥的桶槽中洩漏或釋放，該槽含有液體、加壓氣體或在壓力下液化的氣體，可以歸類為桶槽源 (tank source) 之 HAP 洩漏。

4. 管線源 (pipeline source) 之 HAP 洩漏

污染物從運輸管線或連接著桶槽的管線中洩漏或釋放，可以歸類為管線源 (pipeline source) 之 HAP 洩漏。

(二) 模式模擬分析

在得知污染物以何種情境進入大氣後，必須進行模式模擬分析。可使用 ALOHA，進行污染源強度模式 (source strength model) 分析、擴散模式 (dispersion model) 分析、污染物之急毒性濃度限值推估、受體點之風險比值推估。

1. 污染源強度模式 (source strength model) 分析

在確認情境後，可選用 ALOHA 內建之污染源強度模式，輸入參數，如：

污染物種、洩漏孔徑、管長、溫度、壓力等參數，計算污染物從該污染源的洩漏或釋放量，其相關技術細節及軟體使用方法可分別參考 NOAA (2013) 及 USEPA and NOAA (2007)。

2. 擴散模式 (dispersion model) 分析

利用污染源強度模式推估污染源的洩漏或釋放量後，可選用 ALOHA 內建之擴散模式，輸入氣象資料、受體點資料，如：風速、風向、受點體座標等，模擬污染物的擴散距離及逐時變化。ALOHA 內建 2 種半經驗空氣擴散模式：高斯模式 (Gaussian model) 及重氣模式 (Heavy Gas model)。高斯模式適用於不受重力直接影響的空氣污染物；重氣模式則適用於密度大於環境空氣的空氣污染物，並且受重力影響很大。此二擴散模式之相關技術細節及軟體使用方法可分別參考 NOAA (2013) 及 USEPA and NOAA (2007)。

3. 污染物之急毒性濃度限值推估

可採用 ALOHA 內建之緊急應變計畫指引 (Emergency Response Planning Guidelines, ERPG) 預設值，作為濃度擴散指標之計算基礎，結合上述結果得出污染物的濃度擴散範圍平面圖。ERPG 是由美國工業衛生協會 (AIHA) 所制定，依毒性物質之允許暴露程度分為三種：ERPG-1、ERPG-2、ERPG-3。

- (1) ERPG-1：暴露於有毒氣體環境中約 1 小時，除了短暫的不良健康效應或不當的氣味之外，不會有其他不良影響的最大容許濃度。
- (2) ERPG-2：暴露於有毒氣體中約 1 小時而不致使身體造成不可恢復之傷害的最大容許濃度。
- (3) ERPG-3：暴露於有毒氣體環境中約 1 小時，而不致對生命造成威脅的最大容許濃度。

針對特定污染物，亦可從其他國內外權威之急毒性毒理資料庫，取得相關急毒性參數，自行鍵入 ALOHA，作為急毒性濃度限值推估之依據。

4. 受體點之風險比值推估

為了探討受體點暴露污染物後的風險，將模擬之急性濃度除以該污染物的 ERPG，得出 3 種等級的風險比值。ALOHA 並未推估風險比值，而直接展示危害強度差異，建議評估者要針對受體點位置，進行風險比值推估。

(三) 展示圖表設計

急毒性事件模式分析方法用於事件之緊急應變，為了快速做出正確的應變決策，特別突顯成果展示之重要性。本指引提供 4 種展示圖表設計，可以快速掌握事件整體風險資訊，圖表展示方式可將 ALOHA 之模擬結果結合地理資訊系統 (Geographic Information System, GIS) 更能結合現地資訊，有利於應變決策之運籌。圖上應同時標示污染源、敏感受體點、重要道路、公共資源等。

1. 擴散濃度分級地圖

將 ALOHA 的污染物擴散平面圖結合 GIS 得出擴散濃度分級地圖，為因應緊急應變之需求，可採用 3 級地圖，色系為紅黃綠，以紅色為最高危險區。

2. 風險比值分級地圖

將上述的受體點之風險比值結合 GIS 得出風險比值分級地圖，為因應緊急應變之需求，建議採用 3 級地圖，色系分別為紅、黃、綠，以紅色為最高危險區。

3. 受體點濃度統計表

統整出受體點第 100 百分位數 (P100)、P99、P95、P50 濃度統計表。

4. 受體點風險比值統計表

統整出受體點 P100、P99、P95、P50 風險比值統計表。

(四) 模擬結果校正

前述 3 項程序用於推估模擬結果，為了增加模擬結果的可信度，可進行受體點度校正與參數敏感度分析。

1. 受體點濃度校正

將模擬結果與受體點監測資料進行比對，從中得知誤差，通過參數校正或模式調整減少誤差。

2. 參數敏感度分析

將單一或多個輸入參數改變，分析對受體點濃度之影響程度最大的參數，藉此作為校正參數時之優先順序。

八、模式使用條件及限制說明

本指引主要建議使用模式包含：ISC、ALOHA 及 MEPAS，這些模式都是長期在環境領域被採用的模式。根據環保署 (1998) 所公告之空氣品質模式評估技術規範，針對 ISC 模式之適用條件說明如下：可模擬點、面、線、體源、平坦或簡單地形、鄉村或都市地區之小時至年平均值之落地濃度預測。複雜地形係指地形高度會高於煙囪高度者，此情形應額外考量下沖現象，仍可採用 ISC 模式進行模擬。近年來，USEPA 已建議採用 AERMOD 模式取代 ISC 模式，惟我國環保署空氣品質模式中心尚未認證 AERMOD 模式，因此仍建議採用 ISC 模式。

ALOHA 模式主要有 2 類模擬：洩漏量推估模擬及空污擴散模擬，其中洩漏量模擬採用經驗公式，其主要不確定性在於評估者不一定能確實掌握破孔洩漏之真實尺寸，建議可根據事件周界濃度之實測結果，進行模式校正。至於 ALOHA 所使用的空污擴散模擬基本上與 ISC 模式一樣同屬高斯類擴散模式，其模式力求快速演算，以作為緊急應變之用，但細緻度不如 ISC 模式，亦可考慮以 ISC 模式進行 ALOHA 的空污擴散模擬。

MEPAS 所使用之多介質傳輸模式基本上都是屬於參數定義型模式，也就是參數本身的定義同時提供了概念模型，因此使用上比較需要注意的如何利用實驗數據取得這些參數。

九、參考文獻

1. Agencenationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES). 2011. *The 2nd French total diet study*.
2. Chiang CF, Hsu KC, Ling MP, Chou TC. 2015. *Computerized Taiwan dietary evaluation model*, International Workshop on Total Diet Study, Korea Ministry of Food and Drug Safety, World Health Organization, Seoul, Korea, May 12-14.
3. Codex Alimentarius Commission (CAC). 2018. *Procedure Manual 26th edition*. Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization, Rome, Italy.
4. European Food Safety Authority (EFSA). 2010. *Scientific report submitted to EFSA- Statistical modelling of usual intake*.
5. European Food Safety Authority (EFSA). 2012. *Statement on the applicability of the Margin of Exposure approach for the safety assessment of impurities which are both genotoxic and carcinogenic in substances added to food/feed*. EFSA
6. Food and Agriculture Organization and World Health Organization of the United Nations (FAO/WHO) (2006): *Food safety risk analysis, a guide for national food safety authorities*. FAO Food and Nutrition Paper 87, Joint FAO/WHO Food Standards Programme, Rome 2006. Available at: <http://www.who.int/foodsafety/publications/micro/riskanalysis06/en/>.
7. Food Standards Australia New Zealand (FSANZ) (2009) *Principles and practices of dietary exposure assessment for food regulatory purposes*.
8. Gallagher SS, Rice GE, Scarano LJ, Teuschler LK, Bollweg G, Martin L. 2015. *Cumulative risk assessment lessons learned: a review of case studies and issue papers*. Chemosphere, 120 : 697-705.
9. Hu, W., Wang, H., Dong, L., Huang, B., Borggaard, O. K., Hansen, H. C. B., He, Y., Holm, P. E. 2018. *Source identification of heavy metals in peri-urban agricultural soils of southeast China: An integrated approach*. Environmental Pollution 237: 650-661.
10. International Agency for Cancer Research (IARC), 2006, *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, preamble*, Lyon, France.
11. Morello-Frosch, R.A., Woodruff, T.J., Axelrad, D.A., Caldwell, J.C. 2000. *Air toxics and health risks in California : The public health implications of outdoor concentrations*. Risk Analysis, 20(2):273-291.

12. NOAA (2013) ALOHA® (Areal locations of Hazardous Atmospheres) 5.4.4: Technical documentation, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).
13. NRC (1983) Risk assessment in the federal government: Managing the process, National Research Council (NRC).
14. NRC (1994) Science and judgment in risk assessment, National Research Council (NRC).
15. PNNL (1997) Concepts of a Framework for Risk Analysis in Multimedia Environmental Systems, PNNL-11748, Pacific Northwest National Laboratory (PNNL).
16. Streng, D. L., and Smith, M. A. (2006) Multimedia Environmental Pollutant Assessment System (MEPAS): Exposure pathway module description, PNNL-16165.
17. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), 2013, Toxicological and Risk Assessment: Principle, Methods and Application.
18. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). 1992. Guidelines for Exposure Assessment, EPA/600/Z-92/001, Risk Assessment Forum, USEPA, Washington, D.C.
19. USEPA (2000) Cumulative risk: A case study of the estimation of risk from 24 organophosphate pesticides, U. S. Environmental Protection Agency (USEPA).
20. USEPA (2002) Guidance on cumulative risk assessment of pesticide chemicals that have a common mechanism of toxicity, U. S. Environmental Protection Agency (USEPA).
21. USEPA (2003) The feasibility of performing cumulative risk assessments for mixtures of disinfection by-products in drinking water, EPA/600/R-03/051, U. S. Environmental Protection Agency (USEPA).
22. USEPA (2004) An examination of EPA risk assessment principles and practices, EPA/100/B-04/001, U. S. Environmental Protection Agency (USEPA).
23. USEPA (2005) User's guide for the Industrial Source Complex (ISC3) dispersion models: Volume I – User instructions, EPA-454/B-95-003a, U.S. Environmental Protection Agency (USEPA).
24. USEPA (2006) Organophosphorus cumulative risk assessment – 2006 update, U. S. Environmental Protection Agency (USEPA).
25. USEPA (2014) EPA Positive Matrix Factorization (PMF) 5.0 Fundamentals and user guide, U.S. Environmental Protection Agency (USEPA).
26. USEPA (2015) IRIS Assessments: Browse assessment by organ/system, U. S. Environmental Protection Agency (USEPA) (<https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/atoz.cfm>).
27. USEPA (2016) Receptor modeling, available: <https://www3.epa.gov/scram001/>

- receptorindex.htm, last updated on 2016/9/28.
28. USEPA (2018) Integrated Risk Information System (IRIS), Available at <http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showSubstanceList>. Accessed at June 15, 2018.
 29. USEPA (2018) Regional Screening Levels (RSLs) - User's Guide, U. S. Environmental Protection Agency (USEPA) (<https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-users-guide>).
 30. USEPA and NOAA (2007) The CAMEO® software system: ALOHA® User's manual, U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) and National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).
 31. WHO (2012) Request to provide latest national individual food consumption data into the new templates for acute and chronic exposure assessment, World Health Organization (WHO).
 32. WHO and FAO, 2018, Codex Alimentarius Commission—Procedural Manual, 26th edition, World Health Organization (WHO) and Food and Agricultural Organization (FAO), United Nations, Rome, Italy.
 33. 江舟峰 (2012) 2012 年農藥殘留總膳食調查及風險評估，成果報告，衛生福利部食品藥物管理署，計畫編號：MOHW103-FDA-A1002。
 34. 江舟峰 (2012) 中科園區與中港特定區有害空氣污染物健康風險評估計畫，期末報告，臺中市環保局。
 35. 江舟峰 (2013) 2013 年農藥殘留總膳食調查及風險評估與 TDS 基礎食品樣本庫之建立，成果報告，衛生福利部食品藥物管理署，計畫編號：DOH102-FDA-A1001。
 36. 江舟峰 (2014) 2014 年總膳食調查及風險評估-農藥，成果報告，衛生福利部食品藥物管理署，計畫編號：MOHW103-FDA-A1002。
 37. 江舟峰 (2015) 國人飲食中動物用藥之暴露量及健康風險評估，成果報告。衛生福利部食品藥物管理署，計畫編號：MOHW104-FDA-F-114-000305。
 38. 江舟峰 (2016) 國人飲食中攝入動物用藥之總膳食調查與健康風險評估，成果報告。衛生福利部食品藥物管理署，計畫編號：MOHW105-FDA-F-114-000305。
 39. 李明鑫 (2015) 食品後市場監測之分析研究，成果報告，衛生福利部食品藥物管理署，計畫編號：MOHW104-FDA-F-315-000111。
 40. 農委會 (2017) 農業藥物毒物試驗所年報 (<https://www.tactri.gov.tw/Category/Items/%E5%B9%B4%E5%A0%B1>)。
 41. 農糧署 (2017) 農作物農藥殘留監測結果 (<https://www.afa.gov.tw/cht/index.php?code=list&ids=752>)。
 42. 蔡經綸、余雅芳、陳建志、周詠勝、倪詩蓓、張嘉津、江舟峰，2016，臺灣膳食暴露評估模型之電腦系統開發與應用：以有機磷農藥殘留為例，臺灣衛誌，

35(5)：487-497。

43. 衛生福利部。民 102。降低食品中多環芳香除碳氫化合物含量之作業指引。
44. 謝顯堂 (2010) 國人攝食食品添加物健康風險評估模式之建立，成果報告。衛生福利部食品藥物管理署，計畫編號：TFDA-TC-103。
45. 謝顯堂 (2011) 國人攝食食品添加物之食品安全風險評估模式之應用，成果報告。衛生福利部食品藥物管理署，計畫編號：100TFDA-TC-103。
46. 蘇嘉瑞 (2015) 健全我國食品安全管理機制之研究，成果報告。國家發展委員會，計畫編號：NDC-DSD-103-013。

附錄 A3 審查意見回覆

行政院環保署毒物及化學物質局
環境污染物於食品中之溯源評估方法研議及風險溝通計畫-以重金屬為例
評選意見回覆

107.08.14

委員	審查意見	答覆情形
1	1. 本計畫之食品污染溯源以空氣污染為主要論述，其評估過程應有交代。 2. 食安議題除涉本署外，另有其他部會，應以本局業務導向為主軸，進行方法論及風險溝通的議題探討。 3. 環保與衛生領域對於毒理資料庫之評估的方式不同，如何妥適應用，應探討融合。 4. 本土參數的蒐集運用如何建立，對未來有何建議，請納入報告書中。	1. 本案將針對國內食品調查與環境污染之連結關係，提出風險評估及溯源評估方法。 2. 本案將依食安管理需求，提出 貴局業務關切之環境污染源評估方法。 3. 本案將分別解析食品及環境對毒理資料運用方式之差異，綜合提供可行之融合建議。 4. 本案執行過程將探討本土參數需求提出建議。
2	1. 本計畫運用圖示化方式來建立急毒性事件模式分析方法，是很好的作法，在做風險溝通時，是很好的溝通媒介，利害關係人包括哪些？社區？NGO？NPO？是否已有預先規劃？ 2. 經費需求概算有關鐘點費支給，應以行政院標準支給(專家學者、有無隸屬關係、學校) 3. 人力部份，專任助理(待	1. 本案規劃專家諮詢會及環境教育講習會各一場次，前者溝通對象主要是專家學者，後者則是專家、縣市環保局承辦人員、顧問公司及食品業者。 2. 擬依貴局規定辦理。 3. 專任助理已聘任。

委員	審查意見	答覆情形
	聘)，是否已補齊？	
3	1. 依本計畫目標(公告資料)，應包含從環境污染物於食品中之溯源及急毒性事件之評估架構及方法指引，由服務建議書 p.17 顯示計畫主持人曾執行食藥署「國人經飲食攝入金屬類污染物之現況調查與暴露推估」 (1) 建議提供主辦單位參考。(2) 其與本委託計畫目標與工作內容之相關性，(3) 請於研究產出分析之，並以本局業務導向為主(鑑於「服務建議書」及「簡報」說明似皆以前研究為其基礎)。 2. p.2「…溯源評估空氣污染」及「…食品調查資料」等工作規劃內容，建議應依食品來源地理性區分。 3. 方法論案例分析部分建議多著墨。	1. 本案將彙整食藥署相關計畫成果提供貴局參考。 2. 本案將針對食品安全涉及之可能環境污染源進行探討，並與 貴局業務連結提供建議。 3. 從食品調查往回溯源環境污染源評估，一定會涉及生產區的標定，才能有效完成溯源工作。 4. 執行過程將蒐集更多案例作法，彙整提供貴局參考。

行政院環保署毒物及化學物質局
環境污染物於食品中之溯源評估方法研議及風險溝通計畫-以重金屬為例
期末審查意見回覆

107.12.05

委員	審查意見	回覆
凌明沛教授	1. 內容嚴謹，延長摘要標準格式方式很好。 2. 國內外文獻 6 篇，如何匯整成 3 篇環教教材？ 3. p.17 之圖 3.1-1、p.63 之圖 1-1(整體評估架構圖)是否可加入協助訂定法規限量標準？p.70 之圖 4.1-1(食安啟動預警流程圖)是否可加入以風險評估結果來修正法規？ 4. p.71 致癌排序，JECFA 與 JMPR 為建議非致癌的 ADI 與 TDI。 5. 計畫中提及風險感知可協助政策訂定，想法很好，如何進行？ 6. 溯源的貢獻度是以濃度(Concentration)來判斷，還是風險(risk)評估結果來判斷？ 7. 環境教育教材，可用表格制式化，例如：提供解決方式？是否曾摻偽？根據溯源，如何避免？等等。	1. 感謝委員的肯定。 2. 解析文獻與彙整環教教材為不同的工作項目。解析文獻主要尋找與國內環境污染物食安議題相關之文獻。教材則依化學局指導設定適合政策推動之議題。 3. 法規修訂各有專責單位，雖然國外訂有以風險評估為基礎之相關法規訂定指引，且考量本計畫之年度目標及工作內容皆未涵蓋修正法規，建議另案辦理，較能通盤考量。 4. 感謝指正，經查證 JECFA 有致癌毒性參數，JMPR 則無，已於原文刪除 JMPR。 5. 已於 5.2 節建議#4，掌握民眾之風險感知，才能了解如何引導民眾，包含情緒的排解與知識的傳遞。 6. 考量濃度才是可以直接量測的變數，所以溯源的貢獻度分析主要是以食品的污染物濃度實測值為基準。 7. 感謝委員指導，依工作項目要求，環教教材內容已完成修訂並請化學局核定。
陳秀玲教授	1. 2.5 節(戴奧辛蛋文獻)為何以戴奧辛作為溯源分析？與主題不符。 2. 本計畫主要內容包含急毒性事件分	1. 根據工作項目要求，文獻解析係以國內外環境污染物於食品安全鏈傳輸之相關文獻為範

委員	審查意見	回覆
	析，但 HAP 急毒性事件，如何能影響食物、攝食途徑？應主要以吸入急毒性為主，應釐清。另 ALOHA 作為洩漏之用，對於食品污染應不適用。 3. 重金屬溯源分析牽涉到產地來源與農產品運輸造成之風險轉移問題，如以目前台灣之產地分析資料，則不確定性極高。 4. 溯源主要排放資料正確與否，如何得到臺灣排放資料，分為空污來源、放流水源、是否納入考量？能否由水保資料庫或化學雲得到相關資料。 5. 攝食量與國際接軌部份，是否已獲得食藥署接受，否則由化學局領先援用應有比較性之問題。 6. 環教資料應更為活潑、有風險溝通之圖表等呈現為宜，並標註使用對象。 7. 附錄 A2 方法指引應以案例呈現，實踐方法指引，並據以修改。	圍，並未設限於重金屬。 2. 感謝委員提醒，原報告 3.1 節已說明急毒性事件評估則偏重工安或意外事件排放有毒物質引起之環安急毒性議題，而非食品安全慢毒性議題。3.3 節亦已說明 ALOHA 係用於工安洩漏模擬而非食品污染。 3. 感謝委員提醒，產地溯源確實不確定性極高，因此本計畫藉由提出系統性的評估方法，期能逐步降低不確定性。 4. 環保署空保處及水保處針對空污源及放流水排放資料皆有建置完整資料，可作為溯源評估之排放資料來源。 5. 感謝委員提醒，攝食量相關研究論文已於國際期刊發表，且為食藥署長期總膳食計畫之研究成果，本計畫主要是引用其成果，以促進跨部會整合，而非新創。 6. 感謝委員建議，依工作項目要求，環教教材內容已完成修訂並請化學局核定。 7. 感謝委員建議，本計畫之工作目標為方法架構及指引研擬，建議後續計畫再執行案例試作。
李佩珍教授	謝謝執行人員完整的匯整報告內容，整體報告完整，唯下列幾點問題與建議。 1. 環境教材建議簡潔化，易讀性增加(對象) 2. 文獻與計畫主題(topic)的適切性 3. 文獻整理增加品質(quality)的評分。 4. 急毒性議題以空污為例的適切性，與	1. 感謝委員建議，依工作項目要求，環教教材內容已完成修訂並請化學局核定。 2. 根據工作項目要求，文獻解析係以國內外環境污染物於食品安全鏈傳輸之相關文獻為範圍，並未設限於重金屬。

委員	審查意見	回覆
	食品溯源的連結或關聯性(link or connection)？	3. 文獻整理中設有期刊 Impact factor (IF) 欄位作為文獻品質管控。其中僅國內食安事件文獻來自維基百科，雖非學術期刊，考量該文獻係蒐集彙整國內食安事件，且所列各食安事件皆可追溯至原新聞引用連結，因此納入本報告。 4. 原報告 3.1 節中已針對研究架構進行說明，考量環境污染物於食品中之溯源評估涉及環境污染源排放有毒物質引起之食安慢毒性議題，而急毒性事件評估則偏重工安或意外事件排放有毒物質引起之環安急毒性議題，因此將整體評估架構分為 2 類環境污染物議題，包含：食安慢毒性議題及環安急毒性議題。
業務單位意見	1. 請執行團隊再補充說明模式應用之條件及限制。 2. 環境教育文章可再補充專業建議及風險溝通作法。 3. 空污事件如何與污染溯源、環境流布或總膳食調查連結，請再補充說明。 4. 部分工項於期末報告中繳交後完成，請於定稿本中更新執行成果。 5. 如何應用本計畫建立之系統，並提供法規政策上之專業請再說明。	1. 指引中主要建議使用模式包含：ISC、ALOHA 及 MEPAS，這些模式都是長期在環境領域被採用的模式。根據環保署(1998) 所公告之空氣品質模式評估技術規範，針對 ISC 模式之適用條件說明如下：可模擬點、面、線、體源、平坦或簡單地形、鄉村或都市地區之小時至年平均值之惰性污染物落地濃度預測。複雜地形係指地形高度會高於煙囪高度者，此情形應額外考量下沖現象，仍可採用 ISC 模式進行模擬。近年來，USEPA 已建議採用 AERMOD 模式取代 ISC 模式，惟我國環保署空氣品質模式中

委員	審查意見	回覆
		心尚未認證 AERMOD 模式，因此仍建議採用 ISC 模式。ALOHA 模式主要有 2 類模擬：洩漏量推估模擬及空污擴散模擬，其中洩漏量模擬採用經驗公式，其主要不確定性在於評估者不一定能確實掌握破孔洩漏之真實尺寸，建議可根據事件周界濃度之實測結果，進行模式校正。至於 ALOHA 所使用的空污擴散模擬基本上與 ISC 模式一樣同屬高斯類擴散模式，其模式力求快速演算，以作為緊急應變之用，但細緻度不如 ISC 模式，亦可考慮以 ISC 模式進行 ALOHA 的空污擴散模擬。MEPAS 所使用之多介質傳輸模式基本上都是屬於參數定義型模式，也就是參數本身的定義同時提供了概念模型，因此使用上比較需要注意的如何利用實驗數據取得這些參數。(已新增補充於 A2 方法指引章節八) 2. 已於環境教材中，增加一段「可能之風險」，至於風險溝通作法則說明於環境教材#1 中。 3. 報告中所指空污事件屬於急毒性環境安全議題，基本上與食品安全關係較少。至於空污排放，非屬空污事件，而是平時都在排放，其議題可能與污染溯源、環境流布或總膳食調查之關係較為密切。 4. 在環境污染物在食品中之溯源評估過程中，可能涉及不同部

委員	審查意見	回覆
		會署及不同領域專家之觀點差異，倘若採用傳統的評估方法，經常會變成面臨各種意見與想法，卻難以立即獲得完整的資訊，而難以正確決策。舉例來說，當面臨蘇丹紅鹹蛋黃事件時，有無健康風險即首要立即掌握之資訊。其中涉及蘇丹紅的毒性參數、國人的鹹蛋黃攝食量、鹹蛋黃中蘇丹紅濃度，甚至更多細緻的討論，如：應考慮鹹蛋黃於糕餅中的攝食量，還是所有蛋類的攝食量？蘇丹紅本身沒有明確致癌性，而其代謝物有致癌性，到底要考慮哪一個代謝物？民眾吃的是糕餅，而非鹹蛋黃，鹹蛋黃所測到的蘇丹紅，跟糕餅中蘇丹紅濃度有何差異？這些種種可能被提出討論的問題，若能事先建立好決策支援系統，都可在幾分鐘之後，由系統獲得資訊，而能立即讓決策者在擁有充分資訊下，進行跨部會屬的討論與決策。