

食品輻射安全檢驗技術探討

作者簡介



作者黃鈺棠少校，畢業於國防大學理工學院應用化學系 95 年班，陸軍化學兵學校正規班 100 年第 1 期，歷任排長、化學兵官、化生放戰防護官、放射技術官，現任化生放核防護研究中心輻射檢測組組長。

提要

- 一、一般民眾對於可能有輻射污染疑慮之食品存有極大恐懼，若能建立食品輻射安全檢驗技術，除可為國軍部隊食品安全把關外，在支援核子事故災害救援亦可扮演更重要角色。
- 二、本文歸納各國對於 ^{131}I 、 ^{134}Cs 及 ^{137}Cs 三個管制性核種的管制標準，並以我國《游離輻射防護安全標準》之規範，試算攝入約定有效劑量。
- 三、食品輻射安全檢驗，依照標準檢驗方法，可區分為第一階段快速定性分析及第二階段精準定量檢驗等程序。
- 四、食品輻射安全檢測技術認證，除了培育專業檢測技術能力外，須建立標準作業程序及品保管制系統，亦須與其他機構能力試驗比對。

關鍵詞：食品、輻射安全檢驗、加馬能譜分析儀

前言

日本於 2011 年 3 月 11 日發生大地震導致福島(Fukushima)第一核能電廠事故，國際間即對日本進口食品實施相關管制作為，而日本透過世界貿易組織(World Trade Organization, WTO)，以「限制進口不符規範」，要求國際間遵守國際貿易規範。¹從此案例中，即可得知一般民眾對於可能有輻射污染疑慮之食品存有極大恐懼。從福島案例，我們檢視若國內發生核子事故時，具有龐大的食品檢驗需求，可能仍須仰賴國軍部隊協助。在救災已列為我國軍中心任務之一的前提下，若能自主建立食品輻射安全檢驗技術，除可為國軍部隊食品安全把關，在支援核子事故災害救援亦可扮演更重要之角色。

本文首要目標即為瞭解相關輻射標準及檢測技術能力，並可參考國內已取得財團法人全國認證基金會認可的游離輻射試驗室，建立多頻道加馬能譜分析

1. WTO 多邊貿易體系之基本理念在於創造一個自由、公平之國際貿易環境，使資源依照永續發展之原則，做最佳之使用以提升生活水準，確保充分就業，並擴大生產與貿易開放、平等、互惠與互利，期能透過提升開發中與低度開發國家之經濟發展。其基本理念與規範準則有不歧視原則、漸進式開放市場、對關稅與非關稅措施施予約束、促進公平競爭及鼓勵發展與經濟轉型等五項。

儀實驗室，強化輻射檢測技術能力。故本文從各國對於食品中放射污染管制標準及管制現況切入探討，並檢視我化學兵現有檢驗技術，以能有效支援食品中放射性污染檢驗任務，保障我國軍部隊官兵飲食安全。

管制標準及現況

本節筆者先行歸納目前各國對於 ^{131}I 、 ^{134}Cs 及 ^{137}Cs 三個管制性核種的管制標準，並以我國《游離輻射防護安全標準》之規範試算攝入約定有效劑量。

一、國際食安簡介²

國際食品安全法典(Codex Alimentarius)目前被公認為國際所遵守的典範，此典範源自於 1891 年由奧匈帝國訂定，當時並無強制性規範。1961 年國際糧食及農業組織(Food and Agriculture Organization, FAO)認可國際食品安全法典為國際標準，並於同年成立國際食品安全法典委員會。1962 年國際衛生組織(World Health organization, WHO)同步認可國際食品安全法典，另國際食品安全法典委員會並與國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)持續保持密切關係。

二、輻射容許量標準制定³

1986 年車諾比核電廠核子事故後，國際食品安全法典於 1989 年制定食品中輻射容許量標準 $GL = \text{IED}/M \cdot \text{ipf} \cdot e_{\text{ing}}$ (貝克/公斤)，其中，

GL=每公斤食品中放射性活度容許度

IED=輻射劑量免干預上限(1 毫西弗)

M=個人食品年平均攝取量(公斤/年)

ipf=進口消費品自原產地產出之比例

e_{ing} =輻射活度對於劑量的轉換值(毫西弗/貝克)

此公式制定基於以下假設之立場：

(一)輻射劑量免干預上限值為 1 毫西弗(以一般人年限制為準)。

(二)成人每年平均食物攝取量為 550 公斤，嬰兒食物及牛奶平均攝取量則為 200 公斤。

(三)個人年平均攝取量設定 10%須仰賴於進口。

(四)計算出之標準值(GL)，以單位數最低完整近似值為準，並基於不同考量及假設，成人及嬰兒標準值須分開計算。

以成人標準並以銻 Cs-137 為例， $GL = 1\text{mSv}/(550\text{kg} \cdot 0.1 \cdot 0.000038 \text{mSv/Bq}) = 1,400$ (貝克/公斤)，取最低單位近似值=1,000(貝克/公斤)，即為成人銻

2 陳士友，〈漫談核子災區農產品輻射容許量標準的制訂及管制〉《輻射防護簡訊》，第 143 期，(新竹：財團法人中華民國輻射防護協會，2017 年)。

3 同註釋 2

Cs-137 之建議攝取標準。

三、各國管制標準

我國《食品中放射性核種或放射能污染安全容許量標準》係於 1986 年的前蘇聯(即今烏克蘭)車諾比爾(Chernobyl)核災後，依國際放射防護委員會(International Commission on Radiological Protection, ICRP)之原則，參考美國評估資料而訂，筆者將各國食品中放射性核種限值摘錄如表 1：

表 1 各國食品中放射性核種限值(摘錄)

核種	食品種類	我國	CODEX	加拿大	歐盟	美國	日本	新加坡	香港
^{131}I	乳品	55	-	100	500	-	-	-	-
	嬰兒食品	55	100	-	-	-	-	100	100
	其他食品	100	100	1000	2000	170	-	100	100
^{134}Cs ^{137}Cs	乳品	50	-	300	370	-	50	-	-
	嬰兒食品	50	1000	-	-	-	50	1000	1000
	其他食品	100	1000	1000	600	1200	100	1000	1000
備註	1.單位：Bq/kg。 2.各國攝取限制基準值係依據國情及食品攝取量等習慣制定之。								

資料來源：行政院衛生福利部，〈各國食品中放射性核種限值〉，
www.mohw.gov.tw，檢索日期：2018 年 3 月 2 日。

國際上估算食品中原子塵或放射能污染之安全容許量，均依據 ICRP 對於暴露情境下之年有效劑量(即 1mSv/年，並非針對食品之限量)的建議，再依各國內民眾攝食量、輻射劑量轉換因數及食品污染係數(比率)等綜合估算。我國劑量限值係行政院衛生福利部依據國際間估算方式，及參照原子能委員會提供之參數，分別估算不同程度污染下之限量值。從表 1 之攝取限值而言，我國整體實質管制標準限值較世界各國更為嚴謹。

另外行政院原子能委員會依循 ICRP 規範，於《游離輻射防護安全標準》中訂定一般民眾之年劑量限度，有效劑量⁴每年不得超過 1mSv，為體外暴露產生之劑量及攝入體內放射性核種產生之約定有效劑量⁵之和，筆者將一般民眾吞入每單位攝入量放射性核種產生之約定有效劑量整理如表 2 所示：

4 指人體中受曝露之各組織或器官之等價劑量與各該組織或器官之組織加權因數乘積之和，其單位為 Sv。

5 指各組織或器官之約定等價劑量與組織加權因數乘積之和，其單位為 Sv。

表 2 吞入每單位攝入量放射性核種產生之約定有效劑量(摘錄)

核種	物理半化期	7-12 歲	12-17 歲	>17 歲
		h(g)	h(g)	h(g)
^{131}I	8.04 日	5.2×10^{-8}	3.4×10^{-8}	2.2×10^{-8}
^{134}Cs	2.06 年	1.4×10^{-8}	1.9×10^{-8}	1.9×10^{-8}
^{137}Cs	30.0 年	1.0×10^{-8}	1.3×10^{-8}	1.3×10^{-8}
備註	h(g)單位為 Sv/Bq。			

資料來源：行政院原子能委員會，《游離輻射防護安全標準》（臺北：行政院原子能委員會，2005）。

以衛生福利部曾檢驗日本進口食品為例，自 100 年 3 月 18 日至 107 年 3 月 2 日，衛福部共計檢驗 11 萬 7,257 批日本進口食品⁶，其中有 220 件檢出微量輻射(蔬菜類 2 件、水產類 37 件、嬰幼兒食品 1 件、加工食品 26 件、茶類 146 件、水果類 6 件及乳製品 2 件)，筆者以 100 年 3 月 24 日抽檢烏龍麵其外包裝檢出 ^{131}I 14.8 Bq/Kg、 ^{134}Cs 16.7 Bq/Kg 及 ^{137}Cs 18.9 Bq/Kg 為例個別試算如後：

(一) ^{131}I

$$1\text{kg} \times 14.8 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \times 2.2 \times 10^{-8} \frac{\text{Sv}}{\text{Bq}} = 3.27 \times 10^{-7} \text{Sv} = 3.27 \times 10^{-4} \text{mSv}$$

(二) ^{134}Cs

$$1\text{kg} \times 16.7 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \times 1.9 \times 10^{-8} \frac{\text{Sv}}{\text{Bq}} = 3.17 \times 10^{-7} \text{Sv} = 3.17 \times 10^{-4} \text{mSv}$$

(三) ^{137}Cs

$$1\text{kg} \times 18.9 \frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \times 1.3 \times 10^{-8} \frac{\text{Sv}}{\text{Bq}} = 2.46 \times 10^{-7} \text{Sv} = 2.46 \times 10^{-4} \text{mSv}$$

從以上試算結果得知，若由單一人於一年內將其食用完，其總攝入約定有效劑量($8.8 \times 10^{-4} \text{mSv}$)，雖然顯著低於「游離輻射防護安全標準」1mSv/年之規範，惟為避免食用過量造成生物蓄積(Bioaccumulation)效應，仍應對攝入量有所控制。

6 行政院衛生福利部，〈日本輸入食品每日輻射檢測結果〉，

<https://www.fda.gov.tw/TC/siteList.aspx?sid=2356>，檢索日期：2018 年 3 月 2 日。

檢驗技術

本節筆者將檢視我國軍現有的裝備，以評估自身檢驗能量，希冀建立起檢驗技術後能為我國軍部隊本身飲食進行把關。

一、檢驗方法

(一)食品安全檢驗

目前檢驗方法係以衛生福利部於 105 年 5 月 19 日公告「食品中放射性核種之檢驗方法 MOHWO0015.00」為依據，依檢驗方法執行各種食品前處理、篩檢及定量分析。

1. 裝備需求

本檢測方法適用於食品中 ^{131}I 、 ^{134}Cs 及 ^{137}Cs 放射性比活度之檢驗，樣本須於馬林計測容器(Marinelli Beaker)或其他適當計測容器中，並以加馬能譜分析儀(Gamma-Ray Spectrometer, GRS)分析。

(1)純鍺加馬能譜分析儀(如圖 1)：

A.純鍺偵檢器(High purity germanium detector)。

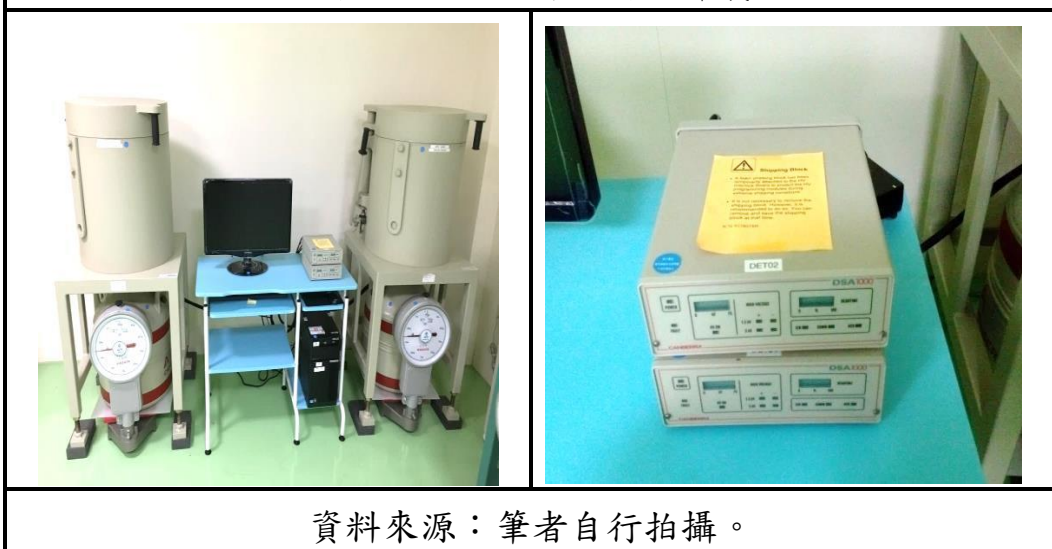
多頻道純鍺加馬能譜分析儀為半導體偵檢器的一種，以分析包含許多能峰的複雜加馬射線能譜，其能量解析度小於 1%，可分離密接能峰，有效增加分析精準度。

B.多頻道脈分析儀(Multi-channel pulse-height analyzer)。

MCA 為分析加馬核種時的重要組件，可用於能譜分析的儀器系統。

當 MCA 顯示計測完畢，將輻射所產生的電子流(類比訊號)轉換成數位訊號(頻道數)，並將量得能譜資料傳至個人電腦內由能譜分析軟體分析核種及其活度。

圖 1 純鍺加馬能譜分析儀



資料來源：筆者自行拍攝。

(2)食品前處理設備

食品前處理設備包含均質機、高速離心機、馬林計測容器(如圖 2)等。

圖 2 馬林計測容器



資料來源：筆者自行拍攝。

2.分析步驟

(1)篩檢

篩檢的目的主要是快速作定性分析，當發現食品中有人工核種輻射污染時再作精準定量分析，若沒發現即為無污染，此程序可節省不必要之樣品前處理及定量時間。取樣時須依不同食品基質，約取檢體約 600 到 1,000 公克，放入馬林計測容器，再置於純鍺偵檢器中，以多頻道脈分析儀計測，最小可測量(Minimum Detectable Amount, MDA)須小於 5 貝克/公斤(飲料及包裝水)或 10 貝克/公斤(乳及乳製品、嬰兒食品及其他食品)，如果第一階段篩檢過程中，量測到放射性核種中 ^{131}I 、 ^{134}Cs 及 ^{137}Cs 時，乃實施第二階段定量分析。

(2)定量分析

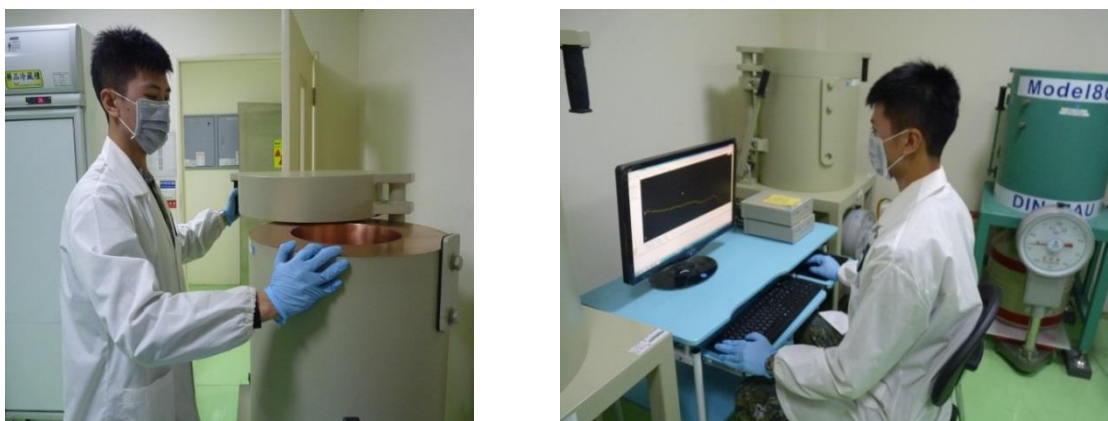
此步驟主要是要檢測食品中輻射污染物之污染程度，為避免取樣時有誤差，樣品須經前處理程序，其中固體檢體經攪碎均質後，取約 100g 到 600 g，液體檢體均質後取約 900g 到 1,000 g，須精確稱量，放入馬林計測容器或其他適當計測容器中，再置於純鍺偵檢器內，以多頻道脈分析儀計測(如圖 3)。計測時間依純鍺偵檢器相對效率而訂，一般來說需數小時以上，MDA 須小於 1 Bq/kg，並依下列計算式求出檢體中 ^{131}I 、 ^{134}Cs 或 ^{137}Cs 之放射性比活度：

$$\text{比活度(Bq/kg)} = \frac{A}{M} \times 1000$$

A：檢體計測之放射性活度(Bq)

M：取樣分析檢體之重量(g)

圖 3 加馬能譜分析情形



資料來源：筆者自行拍攝。

(二)一般樣品檢驗

在核子事故發生時，除了食品輻射安全檢驗外，也可針對一般試驗樣品進行檢測，如水、土壤及生物試樣等，以方便掌握環境污染狀況，提供後續應變及除污參考。以下分別對水、土壤及生物試樣樣品分析步驟分別概述：

1.水試樣⁷

使用一個塑膠袋套入計測容器，以量筒量取 0.9 公升的水試樣樣品，倒入計測容器中，必須確保塑膠袋無破損後，進行加馬能譜分析。

2.土壤試樣⁸

將土壤初步粉碎後放入烘箱，設定溫度為 105℃，充分乾燥後以 10mesh 篩子篩選，再將土壤試樣樣品放入計測容器內，進行加馬能譜分析。

3.生物試樣

(1)植物樣品⁹

將植物樣品進行除蕊、去皮等步驟(必要時清洗、陰乾、切塊等)，放入烘箱碳化 24 小時以上(溫度 110℃)，再移入高溫爐灰化至少 24 小時以上(溫度 450℃)，回復常溫後，置於計測容器內後，進行加馬能譜分析。

(2)動物樣品

將動物樣品放入烘箱碳化 24 小時以上(溫度 110℃)，再移入高溫爐灰化至少 24 小時以上(溫度 450℃)，回復常溫後，置於計測容器內後，進行加馬能譜分析。

以上各種試樣樣品放入偵測器內固定位置，依照加馬能譜分析標準步驟分析，計測其活度。

7 王志榮，〈水試樣加馬能譜分析法〉(台北，行政院原子能委員會輻射監測中心，2002 年)。

8 黃禎財，〈土壤試樣加馬能譜分析法〉(台北，行政院原子能委員會輻射監測中心，2002 年)。

9 張新田、謝整昌，〈生物試樣加馬能譜分析法〉(台北，行政院原子能委員會輻射監測中心，2002 年)。

二、實驗室認證

各項檢驗結果須有品質保證機制，食品輻射安全檢驗亦然，運作多頻道純鍍加馬能譜分析儀實驗室須通過行政院原能會和財團法人全國認證基金會兩機構認證。目前國內已有行政院原能會核能研究所及台灣電力股份有限公司等單位，具有認可的多頻道純鍍加馬能譜分析儀實驗室。國軍化學兵部隊現有行政院原能會輻射偵測、訓練機構及財團法人全國認證基金會野戰輻射偵測器校正實驗室認證，具有良好實驗室運作模式。針對食品輻射安全檢測技術認證，除了培育專業檢測技術能力外，須建立標準作業程序及品保管制系統，再透過與其他機構能力試驗比對合格後，方能建置多頻道純鍍加馬能譜分析儀實驗室。

結語

國軍化學兵部隊在支援核子事故災害應變時，除各種攜帶式輻射偵測器外，亦建置三套純鍍加馬能譜分析儀及樣品前處理設備，以支援環境輻射污染微量分析。從本篇食品輻射安全檢驗技術探討中，食品及環境輻射污染檢驗程序相似，國軍若有食品輻射安全檢測需求，僅須再向行政院原能會和財團法人全國認證基金會認證機構完成認證程序，即可支援食品中輻射污染檢驗任務，保障我國軍部隊官兵飲食安全。

參考文獻

一、論著

(一)衛福部、農委會、原能會、經濟部、外交部，《日本食品輸臺之監管與未來規劃》(臺北)，2016 年。

(二)行政院原子能委員會，《游離輻射防護安全標準》(臺北)，2005 年。

二、期刊

(一)張文杰，〈從日本核災後食品來瞭解輻射〉《核能簡訊》，第 164 期，(新竹，財團法人核能資訊中心，2017 年)。

(二)陳士友，〈漫談核子災區農產品輻射容許量標準的制訂及管制〉《輻射防護簡訊》，第 143 期，(新竹，財團法人中華民國輻射防護協會，2017 年)。

(三)廖彥朋，〈為什麼福島災區的食物可以吃？〉《輻射防護簡訊》，第 141 期，(新竹，財團法人中華民國輻射防護協會，2016 年)。

三、網址

(一)行政院衛生福利部，〈各國食品中放射性核種限值〉，www.mohw.gov.tw，檢索日期：2018 年 3 月 5 日。

(二)行政院衛生福利部，〈日本輸入食品每日輻射檢測結果〉，<https://www.fda.gov.tw/TC/siteList.aspx?sid=2356>，檢索日期：2018 年 3 月 5 日。

(三)行政院衛生福利部，〈日本食品輻射管制措施檢附證明公告相關問答集〉，<https://www.fda.gov.tw/TC/siteList.aspx?sid=2356>，檢索日期：2018 年 3 月 5 日。