

# 輻射災害鑑識分析能力建立

## Establishing the capability of forensic analysis for radiation accidents

主管單位：行政院原子能委員會

葉一隆<sup>1</sup>

陳庭堅<sup>2</sup>

林聖淇<sup>3</sup>

Yeh, Yi-Lung<sup>1</sup>

Chen, Ting-Chien<sup>2</sup>

Lin, Sheng-Chi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 國立屏東科技大學土木工程系

<sup>2</sup> 國立屏東科技大學環境工程系

<sup>3</sup> 國立屏東科技大學科技管理研究所

### 摘要

核子災害事故的預防是世界各國相當重視的課題，為提升及強化台灣地區放射性分析能力，建立輻射災害備援實驗室有其迫切性及重要性。本計畫分四年期(105-108 年)在南部地區逐步建置輻射災害放射性分析備援實驗室，今(107)年度目標為持續建置南部備援實驗室與完成品質稽核作業，輔導備援實驗室通過財團法人全國認證基金會(TAF)游離輻射測試領域實驗室認證，建立第 2 套純鍺半導體偵檢器加馬能譜分析系統，參加 TAF 及國際原子能總署(IAEA)所舉辦之放射性核種分析能力試驗等工作，來提升並強化南部地區放射性分析能力。備援實驗室平時可以訓練相關人員與年輕學生的參與，協助各級政府進行市售商品調查或環境輻射採樣檢測作業，接受民眾或廠商委託進行進出口食品、消費性商品、環境試樣放射性含量檢測等技術服務。當核子事故或輻射相關意外事件發生時，備援實驗室亦可支援應變單位執行各類樣品的放射性檢測作業，提升輻災應變能力，確保國人的安全。

**關鍵字：**放射性分析、TAF、輻射災害

### Abstract

The prevention of nuclear disasters is a very important issue all over the world. In order to enhance and strengthen the capacity of radioactive analysis in Taiwan, the establishment of a backup laboratory has its urgency and importance. The purpose of the project is to enhance the overall capabilities of radioactivity analysis for radiation accidents, via establishing a backup laboratory in Southern Taiwan from 2016 to 2019. The main achievements in 2018 include the purchase of a high-purity germanium (HpGe) detector system as well as the establishment of standard of operation procedures. In addition, the backup laboratory has earned the TAF accreditation and passed the IAEA and TAF proficiency tests to ensure its analytical ability and quality. In general time, the laboratory can not only train students to learn radioactivity analysis techniques but also assist the government to analyze the radiation levels of commercial product or environmental samples. The laboratory can also provide radioactivity testing service for the public and company. When a nuclear accident or

radiation-related accidents occur, the backup laboratory also supports the government to implement all kinds of radioactive sample analysis and detection works. Ultimately, this project can enhance and strengthen the capacity of radiation disaster response to ensure people's safety.

**Keywords : radioactive analysis, TAF , radiation disaster**

## 一、 計畫目標

災害事故的預防是世界各國相當重視的課題，當國內發生核子事故或輻射相關意外事件時，必須檢測大量民生相關的流通商品與生活環境飲用水及土壤等樣品。考量南部地區專業輻射檢測實驗室僅有行政院原子能委員會(以下簡稱原能會)輻射偵測中心與台灣電力公司放射試驗室核三工作隊等 2 個單位，為強化南部地區之檢測能量，本計畫分四年期(105-108 年)在南部地區逐步建置輻射災害放射性分析備援實驗室，今(107)年度目標為持續建置南部輻射災害備援實驗室與完成品質稽核作業，通過財團法人全國認證基金會(TAF)游離輻射測試領域實驗室認證，添購第 2 套純鍺半導體偵檢器加馬能譜分析系統，參加國際原子能總署(IAEA)及 TAF 所舉辦之放射性核種分析能力試驗等工作，來提升並強化南部地區放射性分析能量。平時可以訓練相關人員與年輕學生的參與，協助各級政府進行市售商品調查或環境輻射採樣檢測作業，接受民眾或廠商委託進行進出口食品、消費性商品、環境試樣放射性含量檢測等技術服務，當核子事故或輻射相關意外事件時，備援實驗室亦可支援應變單位執行各類樣品的放射性檢測作業，提升輻災應變能量，確保國人的安全。

## 二、 重要工作項目

本計畫今年度主要目標是持續在國立屏東科技大學建置輻射災害備援實驗室，其主要工作項目分別如下所述：

1. 完成備援實驗室之儀器分析室、樣品前處理室、樣品貯存室及動線流程整體空間規劃。
2. 完成財團法人全國認證基金會(TAF)游離輻射領域測試實驗室認證(申請及通過認證)。
3. 完成第 2 套純鍺半導體偵檢器加馬能譜分析系統採購案。
4. 培育輻射度量、純鍺半導體偵檢器加馬能譜分析系統等相關之實務操作人員。
5. 參加 TAF 及國際原子能總署(IAEA)所舉辦之放射性核種分析能力試驗。
6. 備援實驗室建立輻射檢測能力，接受輻射偵測中心對備援實驗室運作稽核、實驗室運作外部稽核作業及提出改善報告。

## 三、 計畫成果

本計畫工作項目依原能會輻射偵測中心要求查核日期與項目進行控管，107 年完成之工作包括：空間規劃符合本計畫之規定；備援實驗室操作人員應至少 1 名取得原能會輻射安全證書；完成 3 次備援實驗室運作稽核、1 次備援實驗室運作外部稽核作業與改善報告；辦理純鍍偵檢器系統實務訓練並完成實務訓練報告；完成第 2 套純鍍偵檢器加馬能譜分析系統採購及建立操作程序書；參加 IAEA 及 TAF 舉辦之放射性分析能力試驗並提交檢討報告；備援實驗室通過 TAF 實驗室認證等工作項目。茲就所屬各個工作項目執行日期與佐證相關資料分述如下。

### 1. 實驗室空間規劃符合計畫之規定

本計畫於於 105 年度確認實驗室建置地點，並完成實驗室空間規劃，包括儀器分析室、樣品前處理室、樣品貯存室、辦公室及支援空間等，相關空間均符合計畫規定，如表 1 及圖 1a-1b 所示。

表 1 實驗室空間規劃表

名稱	要求面積(坪)	實際面積(坪)	結果
儀器分析室	12	<b>25.86</b>	符合
樣品前處理室	8	<b>10.90</b>	符合
樣品貯存室	6	<b>8.16</b>	符合
辦公室	0	15.43	
支援空間	0	40.00	



圖 1a 樣品前處理室



圖 1b 儀器分析室

### 2. 實驗室認證規範訓練及相關證書

備援實驗室團隊 6 員參加 18 小時實驗室認證規範 ISO/IEC 17025 訓練班，均已取得訓練合格證書，如圖 2 所示。



圖 2 參加 18 小時實驗室認證規範 ISO/IEC 17025 訓練合格證書

輻射偵測中心於 108 年 2 月 23 日至備援實驗室做第一次運作稽核，並針對樣品分析技術與 TAF 文件部分給予指導，如圖 3a-3b 所示。原能會於 3 月 2 日至備援實驗室做第一季成果訪查，如圖 4a-4d 所示。



圖 3a 第一次實驗室運作稽核

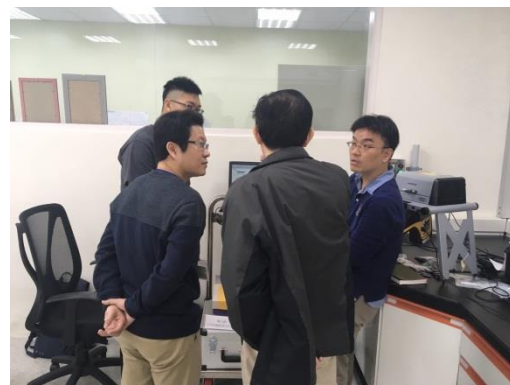


圖 3b 第一次實驗室運作稽核





圖 4a 原能會第一季成果訪查



圖 4b 原能會第一季成果訪查



圖 4c 原能會第一季成果訪查



圖 4d 原能會第一季成果訪查

### 3. 原能會 106 年個案管制計畫期末查訪

107 年 3 月 16 日原能會蔡副主任委員帶領審查委員訪查國立屏東科技大學放射性分析備援實驗室，了解本計畫的執行概況，包括人員的訓練、實驗室的建置情形及計畫的整體成果，如圖 5a-5h 所示。



圖 5a 原能會審查委員訪查



圖 5b 原能會審查委員訪查



圖 5c 原能會審查委員訪查



圖 5d 原能會審查委員訪查

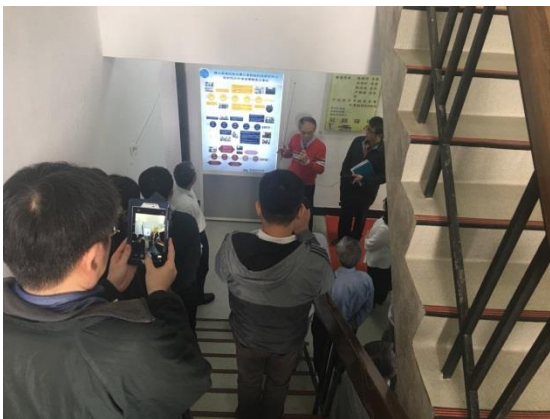


圖 5e 原能會審查委員訪查



圖 5f 原能會審查委員訪查



圖 5g 原能會審查委員訪查



圖 5h 原能會審查委員訪查

#### 4. 接受輻射偵測中心純鍍偵檢器系統實務訓練

屏科大備援實驗室團隊人員於 107 年 5 月 28 日至 29 日到輻射偵測中心接受純鍍偵檢器系統實務訓練，輻射偵測中心同仁講解純鍍偵檢器分析系統原理，示範效率曲線實作、例行品管作業、樣品計測，並以台南市衛生局抽檢之食品樣品做現場實測示範，如圖 6a-6d 所示。本次教育訓練讓備援實驗室更深入瞭解環境樣品的採樣流程及注意事項，對於實務委託樣品的接收到前處理、儀器分析、出檢測報告等更熟稔，透過會後綜合討



論與地方政府衛生局交流，更了解民眾對於食品輻射檢測之需求，拓展未來合作檢測可能。

輻射偵測中心於 107 年 6 月 15 日至備援實驗室進行第二次備援實驗室運作稽查，如圖 7a-7b 所示；而原能會於 106 年 6 月 26 日至備援實驗室進行第二季的訪查，如圖 8a-8b 所示。



圖 6a 純鍺偵檢器實務訓練



圖 6b 純鍺偵檢器實務訓練



圖 6c 純鍺偵檢器實務訓練



圖 6d 純鍺偵檢器實務訓練



圖 7a 第一次實驗室運作稽核



圖 7b 第一次實驗室運作稽核



圖 8a 原能會第二季訪查



圖 8b 原能會第二季訪查

### 5. 純鍺半導體偵檢器加馬能譜分析系統採購案

- (1) 5月8日-純鍺偵檢器上網公告限制性招標
- (2) 5月18日-純鍺偵檢器開標
- (3) 7月16日-鉛屏蔽交貨
- (4) 10月5日-純鍺偵檢器交貨
- (5) 10月6日-儀器教育訓練
- (6) 10月19日-純鍺偵檢器驗收

儀器安裝位置實景照片，圖 9a-9d(地點：屏科大電算中心地下一樓放射性分析備援實驗室)，純鍺偵檢器教育訓練之照片如圖 10a-10b 所示。



圖 9a 純鍺偵檢器搬運過程



圖 9b 純鍺偵檢器搬運過程





圖 9c 純鍺偵檢器搬運過程



圖 9d 純鍺偵檢器搬運過程



圖 10a 純鍺偵檢器教育訓練



圖 10b 純鍺偵檢器教育訓練

## 6. 輻射偵測與取樣分析專業訓練

為強化備援實驗室輻射偵測與取樣分析技術，提升環境及食品樣品輻射檢測效能，該實驗室團隊於5月3日至6月1日的每週四下午及每週五早上前往參加輻射偵測中心所舉辦的「輻射偵測與取樣分析專業訓練」(如圖 11a-11d 所示)，並通過最後的測驗。



圖 11a 輻射偵測與取樣分析專業訓練



圖 11b 輻射偵測與取樣分析專業訓練



圖 11c 輻射偵測與取樣分析專業訓練



圖 11d 輻射偵測與取樣分析專業訓練

## 7. 樣品加馬檢測分析技術研討會

備援實驗室於 107 年 7 月 30 至 8 月 1 日前往輻射偵測中心參加 2018 年台日「樣品加馬檢測分析技術研討會」，此研討會是由公益財團法人日本分析中心(Japan Chemical Analysis Center, JCAC)的人員來台分享日本福島核災後的一些應變措施及平常食品及環境樣本的前處理與檢測技術，同時也分享檢測過程遇到的問題及解決方法，並交換彼此的實務經驗，如圖 12a-12d 所示。



圖 12a 樣品加馬檢測分析技術研討會



圖 12b 樣品加馬檢測分析技術研討會



圖 12c 樣品加馬檢測分析技術研討會



圖 12d 樣品加馬檢測分析技術研討會



## 8. 備援實驗室運作外部稽核作業及改善報告

輻射偵測中心於 107 年 8 月 17 日帶領外部稽核委員(技術系統及管理系統委員各 1 位)至備援實驗室進行實驗室運作外部稽核(如圖 13a-13d 所示)，稽核結果在技術面部分有一個不符合事項及兩個建議事項，皆已依委員意見完成改善。稽核過程中兩位委員的指導與意見，有助實驗室提升檢測技術及品質管理，並建立優良的操作規範。



圖 13a 實驗室運作外部稽核

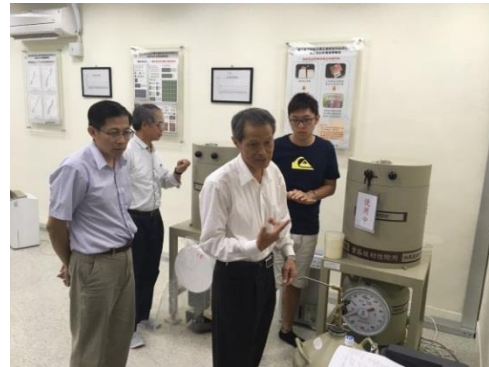


圖 13b 實驗室運作外部稽核



圖 13c 實驗室運作外部稽核



圖 13d 實驗室運作外部稽核

## 9. TAF 認證申請

備援實驗室成立時就以通過 TAF 實驗室認證為其中一個重要目標，從 106 年 8 月就陸續建立 TAF 認證的相關文件，直到 107 年 6 月 4 日正式通過實驗室認證並取得證書，認證項目為食品加馬核種分析(Cs-137、Cs-134 及 I-131)，如圖 15 所示。認證過程如表 2 所示，圖 14 為 TAF 認證大事紀，現場評鑑情形如圖 16a-16d 所示。



表 2 備援實驗室 TAF 認證紀事

日期	重要事項	完成比例
106 年 11 月 14 日	提出 TAF 申請案	5 %
107 年 1 月 5 日	完成品質文件上傳，送出評鑑案	35 %
107 年 1 月 26 日	TAF 委員初訪，了解實驗室準備情形	50 %
107 年 2 月 27 日	提交申請確認表安排現場評鑑	60 %
107 年 4 月 11 日	現場評鑑，共開出 7 個不符合事項	80 %
107 年 4 月 23 日	完成回覆改善確認	95 %
107 年 6 月 4 日	通過認證	100 %

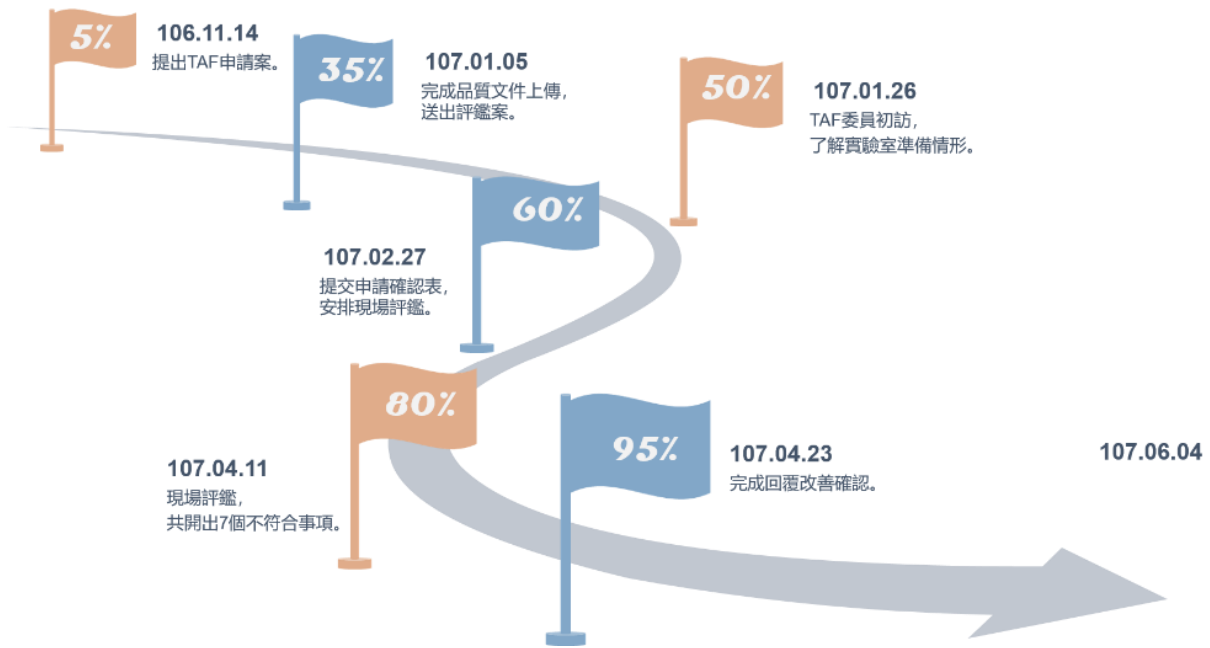


圖 14 TAF 認證大事紀



圖 15 TAF 實驗室認證證書



圖 16a TAF 委員初訪



圖 16b TAF 委員現場評鑑



圖 16c TAF 委員現場評鑑



圖 16d TAF 委員現場評鑑

## 10. IAEA 國際原子能總署試樣比對

備援實驗室於 107 年 4 月 14 日報名參加 2018 年國際原子能總署(IAEA)放射性分析能力試驗，於 6 月 14 日收到樣本，包括三個水樣(Sample 1、Sample 2、Sample 3-QC)

及 1 個土樣(Sample 4)，並於 9 月 14 日上傳檢測數據，圖 17 為 IAEA 試驗樣本。依能力試驗分析報告(圖 18)顯示，各項樣品檢測結果顯示放射性核種定性分析及活度分析檢準確度皆符合標準，部分放射性核種檢測結果精密度未符合標準，惟已依實驗室品質管制程序要求改善完成並提出預防措施，登載於品質異常處理表。



圖 17 IAEA 試驗樣品

### Final Score

A: 準確度及精密度皆“接受”  
 N: 準確度及精密度皆“不接受”  
 W: 準確度“接受”，精密度“不接受”

Evaluation Result Table for Sample 1

Sample Code	Analyte	Target Value	Target Unc.	MARB	Rep. Value	Rep. Unc.	Rel. Bias	Robust SD	Z-Score	Accuracy	P	Precision	Final Score
1	Ba-133	28.6	0.2	15 %	25	4.32	-12.59 %	1.9	1.89	A	17.29	N	W
1	Co-60	97.6	0.8	15 %	97	4.04	-0.61 %	4	0.15	A	4.24	A	A
1	Cs-134	58.2	0.3	15 %	59	4.14	1.37 %	2.6	0.31	A	7.04	A	A
1	Cs-137	29	0.2	15 %	30	4.29	3.45 %	1.1	0.91	A	14.32	A	A

Evaluation Result Table for Sample 2

Sample Code	Analyte	Target Value	Target Unc.	MARB	Rep. Value	Rep. Unc.	Rel. Bias	Robust SD	Z-Score	Accuracy	P	Precision	Final Score
2	Co-60	14.3	0.6	30 %	15	4.48	4.90 %	2	0.35	A	30.16	N	W
2	Cs-134	3010	60	15 %	3113	3.91	3.42 %	152.2	0.68	A	2.00	A	A
2	Cs-137	2010	40	15 %	2077	3.91	3.33 %	71.3	0.94	A	2.00	A	A
2	Mn-54	61.3	1.4	20 %	63	4.00	2.77 %	3	0.57	A	6.75	A	A

Evaluation Result Table for Sample 4

Sample Code	Analyte	Target Value	Target Unc.	MARB	Rep. Value	Rep. Unc.	Rel. Bias	Robust SD	Z-Score	Accuracy	P	Precision	Final Score
4	Ba-133	56.8	0.9	20 %	46	4.03	-19.01 %	5.9	1.83	A	8.90	A	A
4	Co-60	141.8	2.7	20 %	129	3.97	-9.03 %	8.3	1.54	A	3.62	A	A
4	Cs-134	112.2	1.6	20 %	103	3.99	-8.20 %	9.1	1.01	A	4.13	A	A
4	Cs-137	64.9	1.2	20 %	61	4.02	-6.01 %	4	0.98	A	6.84	A	A
4	K-40	374	15	20 %	427	4.08	14.17 %	32.8	1.62	A	4.12	N	W
4	Ra-226	31.2	1.5	20 %	27	4.42	-13.46 %	19	0.22	A	17.06	A	A

圖 18 IAEA 試樣比對試驗結果

## 11. TAF 放射性分析能力試驗

備援實驗室於 106 年 12 月報名參加 TAF 環境試樣放射性核種分析能力試驗，並於 107 年 6 月 14 日收到試驗樣本 8 項，包括水樣、濾紙、土壤、植物、牛乳、畜產肉類、菇類及米樣等，如圖 19 所示，並於 107 年 8 月 10 日上傳數據。比對試驗結果顯示，各樣本均通過 TAF 能力試驗的要求





圖 19 TAF 能力試驗樣本

## 12. 參加學術研討會

備援實驗室於 107 年 10 月 23 日參加「107 年度食品衛生檢驗科技研討會」，發表壁報論文，題目為「屏科大加馬(Gamma)放射性核種食品檢驗技術建立」，如圖 20a-20b 所示。另於 11 月 9 日參加「107 年度農業工程研討會」宣讀論文，題目為「高純鍍偵檢器應用於農業產品檢測技術之初探」，如圖 21a-21b 所示。



圖 20a 食品科技研討會

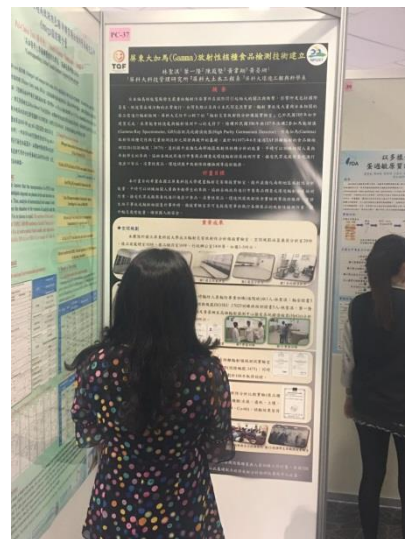


圖 20b 食品科技研討會



圖 21a 農業工程研討會



圖 21b 農業工程研討會

### 13. 開設通識課程

屏科大備援實驗室研究團隊在該校 106 學年度第 2 學期及 107 學年度第 1 學期皆開設輻射相關領域的通識課程，課程名稱為「輻射與安全」，106 學年度第 2 學期與 107 學年度第 1 學期分別有 96 名及 104 名學生(非理工科系)修課，如圖 22a-22d 所示，並在 107 年 6 月 9 日舉辦核三廠校外參訪，讓修課學生能更進一步了解核能發電及輻射相關知識，如圖 23a-23f 所示。



圖 22a 輻射與安全通識課程



圖 22b 輻射與安全通識課程



圖 22c 輻射與安全通識課程



圖 22d 輻射與安全通識課程







### ➤ 具體成果

- (1) 完成屏科大輻射災害放射性分析備援實驗室空間規劃。
- (2) 購置第 2 套純鍍半導體偵檢器(HpGe)加馬能譜分析系統(包含純鍍偵檢器、高壓供應器、能譜放大器、類比數位訊號轉換器、電源供應器、機箱、鉛屏蔽、液態氮容器、磅秤、分析軟體、訊號收集器)，並完成儀器校正、品管作業、操作程序書建立及人員教育訓練。
- (3) 通過 TAF 游離輻射測試領域實驗室食品加馬核種分析認證。
- (4) 備援實驗室團隊參加輻射偵測與取樣分析專業訓練及樣品加馬檢測分析技術研討會。
- (5) 備援實驗室團隊至輻射偵測中心接受純鍍偵檢器(HpGe)加馬能譜分析、儀器校正、品管作業實務訓練。
- (6) 參加 IAEA 及 TAF 舉辦的環境試樣放射性核種分析能力試驗，並通過測試。
- (7) 備援實驗室團隊於屏科大開設「輻射與安全」通識課程(106 年第 2 學期及 107 年第 1 學期)。
- (8) 參加「107 年度食品科技檢測技術研討會」發表壁報論文 1 篇、「107 年農業工程研討會」宣讀論文 1 篇。

### ➤ 效益分析

- (1) 建置屏科大輻射災害放射性分析備援實驗室，購置 2 套純鍍半導體偵檢器(HpGe)加馬能譜分析系統，大幅提高台灣南部地區相關食品、農產品與環境試樣等的放射性檢測能量。
- (2) 通過 IAEA 及 TAF 環境試樣放射性核種分析能力試驗，確保實驗室檢測數據品質及驗證技術人員檢測穩定性與熟練度。
- (3) 藉由「輻射與安全」通識課程的開設，有助於學生瞭解輻射的基本原理，進而建立輻射防護基本觀念。
- (4) 參加國內研討會發表研究成果並與輻射偵測中心持續進行技術交流，汲取最新檢測技術資訊與實務經驗，累積放射性科學研究能量，加強備援實驗室放射性檢測技術服務之宣傳與推廣。