

行政院原子能委員會  
委託研究計畫期末研究報告

人員生物劑量評估研究  
**Evaluation of Human Biodosimetry**

計畫編號：

受委託機關(構)：行政院原子能委員會

計畫主持人：林婉琪

聯絡電話：03-4711400 轉 7249

計畫參與人員：林婉琪、廖澤蓉、歐陽芳鈺、張穎熏、陳冠因

聯絡人：林婉琪

報告日期：109年01月10日

## 目錄

中文摘要.....	iii
英文摘要.....	iv
壹、 前言(計畫緣起).....	1
貳、 研究目的.....	2
參、 研究方法與過程.....	5
肆、 結果與討論.....	11
伍、 結論與建議.....	15
陸、 參考文獻.....	16
表一、108 年度背景值分析結果表.....	19
表二、108 年度劑量反應曲線結果表.....	20
圖一、108 年度反應曲線圖形與反應方程式.....	21
圖二、合併 101-108 年度反應曲線結果與反應方程式.....	21
圖三、衛星實驗室教育訓練教材.....	22
圖四、新版 ISO 17025 通過認證證明.....	23

## 中文摘要

人員生物劑量評估技術建立目的，是為了當發生輻射意外曝露事件時，若民眾或工作人員若未配戴劑量徽章，無法確認劑量時，可經由此技術評估人員所接受之劑量，作為人員健康安全的第二道防線。本計畫建立人員生物劑量(Biodosimetry)評估相關技術，並發展出具有國際水準的生物劑量實驗室。今年度研究成果為：1.統計108年度國人本土染色體雙中節背景值。2.合併101至108年度生物劑量反應曲線，作為我國之劑量標準曲線。3.輔導建立南部衛星實驗室，訓練該醫療院所同仁具備染色體變異分析能力。4.完成人員生物劑量實驗室ISO17025新版及改版認證，精進實驗室品質。

本計畫為協助建立輻射意外曝露應變作業程序及法規，持續推動人員生物劑量評估技術之研發，藉由建置及維持國家級輻射生物劑量實驗室，並透過建立國人生物樣本，將有助於重建輻射意外事故中受影響人員之輻射曝露。

關鍵字：

生物劑量，染色體雙中節分析。

## 英文摘要

The purpose to build the human biodosimetry technology is using when assess doses received by personnel in the event of accidental radiation exposure. If the population or the staff didn't wear the dose badge and cannot confirm the dose, the technology could be the second line of defense for health and safety. This project is to setup world-class level of the techniques for evaluation of personal biodosimetry. It could be helpful to set up accidental exposure procedures and develop an international biodosimetry laboratory. The results of this year's research are as follow: 1. Count the dicentric chromosomes background value of native in 108 year. 2. Aggregate the response curve data of 101-108 years into a dose standard curve to form a standard curve. 3. Tutoring the southern satellite laboratory and training members the capacity of dicentric chromosomes analysis. 4. Completed the ISO17025 biodosimetry laboratory new version certification work, for improve the quality to our laboratory.

In the object, we want to assist establishment the radiation exposure procedures and regulations, and continue to promote the research of biodosimetry techniques. Through the establishment of biological samples and dose-response curve, we establishing and maintaining national level radiation biodosimetry laboratory. Wish the biodosimetry laboratory could reconstruct the radiation exposure level of people which in radiation accidents. Keywords :

Biodosimetry, Dicentric chromosome assay.

## 壹、前言(計畫緣起)

### 人員生物劑量評估技術研究

(1) 依據 98 年 8 月 21 日原子能委員會第十屆第五次游離輻射安全諮詢會議結論各國生物劑量計評估核心設施，多屬國家級實驗室，建議國內設置地點考量於核能研究所恢復建置應屬適宜。

(2) 有鑒於 100 年 3 月 11 日日本福島核災發生時，居民因緊急疏散，現場工作人員大量投入救災，於緊急情況下，未必所有居民及搶救人員皆攜帶物理劑量計，故為評估人員實際接受之輻射曝露量，應採用生物劑量方式進行評估。

本計畫在積極推動及建立人員生物劑量評估研究，並維護已建立技術，以有助於制定相關意外曝露應變作業程序及法規，並發展出具有國際水準的輻射生物劑量實驗室，服務我國工作人員及民眾。實驗室已通過 ISO17025 認證，期望未來可加入國際生物劑量支援網路，以提供國際服務；此外並可藉此技術提升游離輻射安全管制層次及水準。

## 貳、 研究目的

此計畫源自於台灣北部及南部分別有2座及1座核能電廠運轉，且工業、醫院及研究機構等各類領域亦有許多從事輻射相關工作人員，為避免一般民眾及輻射相關從業人員對於輻射引發健康之不必要疑慮。當發生輻射意外曝露事件時，民眾或工作人員若未配戴劑量佩章，無法確認劑量時，可經由此技術評估人員所接受之劑量，可作為人員健康安全的第二道防線。國家需有具國際水準之檢測單位可提供相關訊息供醫療照護行動參考，保障工作人員及民眾的健康與安全，故進行此國際通用之生物劑量研究計畫。

生物劑量是最趨近於受曝露者真實所接受的劑量。生物體內作為生物劑量計最常使用的方法為染色體變異分析，即由分析染色體變異的程度及數量來對應所接受的劑量。一般而言，染色體經過輻射照射後所產生的變異，依照細胞是否仍有保留分裂的能力，可以分成不穩定變異及穩定變異兩類。不穩定變異方面，有三種以上的型態，如雙中節(dicentrics)、環形(rings) 和後期橋(anaphase bridge)。其中雙中節和環形變異發生在染色體尚未複製之前，而後期橋則發生在染色體複製之後，這三種變異通常都會伴隨著無中節的染色體片段產生；且由於此三種變異的發生會造成細胞分裂失敗，使細胞無法繼續存活，故稱之為不穩定性變異。穩定性變異方面則有易位(translocations)和缺失(deletions)。易位是指不同染色體片段互相交換，而缺失則是染色體某一小片段的遺去，這兩種變異仍然可進行細胞分裂，故細胞仍可存活下來。

細胞染色體對於輻射非常的敏感，目前應用最廣泛的，即是抽取

人體週邊循環血液中的淋巴球來作分析。淋巴球分析有幾個優點：(1)人體組織中以淋巴球對於輻射最為敏感，淋巴球隨血液做全身循環，血液中的淋巴球，有 99.9% 是處於細胞週期中的 G0 期，對輻射敏感度是一致的；(2)淋巴細胞較其他細胞易於取得，只需簡單的抽血、分離及培養技術，就可得到足夠的細胞以供分析檢查。染色體變異頻率與劑量的關係有二次線性的關係，人體淋巴球細胞經過 Co-60 照射後分析其雙中節及環形變異頻率，關係呈現線性平方的關係。在劑量低於 1 Gy 時，通常以單一次碰撞事件為主；至於劑量高於 1 Gy 時，隨著價電子數目增多，將使得變異事件快速增加，其速率通常以二次方上升，因此染色體雙中節評估技術為本計畫最基本需建立之技術。

世界衛生組織 (WHO) 建立的全球的生物劑量支援網路 (framework for a global biodosimetry network - BioDoseNet)，即是以細胞學的生物劑量技術 (cytogenetic) 之雙中節不穩定變異分析作為主體發展。以雙中節、環形等不穩定變異推算劑量時，通常使用於急性曝露的情況，且最好是曝露後越早分析愈好，以免受到細胞死亡更新或其它因素的干擾。根據國際原子能總署 (IAEA) 及美國衛生與人類服務部 (The United States Department of Health and Human Services) 更指出雙中節染色體分析適用於急性、短期數個月內發生之事件評估。ISO 19238 更依據 IAEA 及國際目前研發狀況訂定了相關作業程序供標準實驗室遵行。

計畫執行單位 (核研所) 自 100 年起重建生物劑量研發能力後，更於 102-105 年接續之前的研發能力，短期目標以提升生物劑量實驗室能力為主，中期目標為建立專業生物劑量實驗室硬體，長期目標

為提升實驗室品質，申請實驗室認證，建立具公信力之專業實驗室。策略上，透過與國內醫學中心合作，提供人體合法血液樣本，並透過合作關係共同分析數據，以比對國內不同實驗室分析能力。另外，於核研所建置符合國際人員生物劑量實驗室硬體與國內衛福部規範之生物安全實驗室，以進行臨床檢體操作，來達成國際 ISO 人員生物劑量實驗室之安全標準。並配合政府政策，成立生物安全相關委員會，建立相關作業程序與應變計畫書。

此外，本計畫持續與加拿大衛生部 Dr. Ruth Wilkins 及日本的 BioDoseNet 委員 Dr. Mitsuaki Yoshida 密切聯繫，就相關技術進行國際實驗室分析能力比對及專業討論，藉此提升我國研發人員之技術能力。藉由生物劑量實驗室軟硬體不斷提升，並累積國人分析數據，進而朝亞洲參考實驗室努力。

面對日本福島核子事故及複合式災害影響議題，若發生輻射意外曝露，人員生物劑量重建是必要程序，較高的輻射曝露意外事件，生物劑量評估是針對人體經游離輻射曝露後，淋巴球染色體變異，再利用劑量與輻射效應的關係，對應出人體在輻射曝露時所接受的劑量。人員生物劑量評估技術仰賴長期研究，而國人生物樣本的取得與背景資料的建立，有助於制定相關意外曝露應變作業程序及法規。建立人員生物劑量評估技術，除有助於制定相關意外曝露應變作業程序及法規，更藉由國際專家合作模式，擴展國際化分析能力的相互認可與技術精進，將可提供國內外技術服務。



## 參、研究方法與過程

### 一、國人染色體之雙中節數據分析

(a) 建立 108 年度國人本土染色體雙中節背景曲線(增加 3 例正常人背景值)

生物劑量評估中，建立背景資料與劑量反應曲線是相當重要，其為影響低劑量判別之重要因子。根據國際原子能總署 (IAEA) 2011 年細胞遺傳生物劑量技術報告與國際標準組織 (ISO) ISO19238:2014 國際輻射研究所述，在正常族群中，通常在每 1,000 顆正常人的淋巴球細胞裡，可觀察到 0-2 個雙中節變異。為維持實驗室人員分析能力一致性之重要依據，亦是定期進行劑量反應曲線分析，並與資料庫進行比對。

人員生物劑量評估研究最主要的研究樣品為人類血液檢體，依據衛生署 91 年公告及 95 年修正之研究用人體檢體採集與使用注意事項：採集與使用檢體應先提具研究計畫書，並經人體試驗委員會或其他類似之倫理委員會（以下簡稱倫理委員會，Institutional Review Board，IRB）審核同意，始得為之。所以為合法且於當年度順利取得檢體進行相關試驗，本計畫需提早規劃血液檢體取得程序。核能研究所藉由合作與高雄醫學大學進行血液臨床試驗申請，均順利取得許可證明，確保此計

畫的主要研究素材可依實驗需求持續提供，讓生物劑量研究之結果不因研究素材而有中斷之慮。

在正常背景下，每位正常人的淋巴球細胞通常會存在 1/1000 比例的雙中節變異。今年度，生物劑量實驗室持續增加 3 例正常人背景染色體雙中節分析，期許收集更多案例來代表國人之生物劑量背景。

作業程序：由高雄醫學大學將通過人體試驗倫理委員會之血液樣品依 ISO19238 規定於 48 小時內，以室溫快遞方式寄送。核研所取得血液樣品後，將血液樣品直接進行全血細胞培養。以血液樣品 1ml 加入 1-2% PHA 及 8ml 含 10% FBS 之 RPMI-1640 培養液中於 25T 培養皿中培養。經 45 小時培養後加入 0.1 ml Colcemid。培養 48 小時後，將血液轉置於離心管中離心收取細胞。將離心後檢體加 5-7mL 0.54% KCl 低張水溶液於 37°C 恆溫培養箱內作用 30 分鐘後，加 2ml 固定液進行前固定(prefix)後離心去掉上清液，細胞團塊加入 8ml 固定液混合並離心，此步驟將重複 2-3 次直至細胞團塊呈現白色為止。最後再視細胞數加入適量固定液進行玻片噴片製作。玻片先以 TL1 步驟清洗：將玻片浸入體積比 25%  $\text{NH}_3(\text{aq})$ :30%  $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ : dd $\text{H}_2\text{O}$  = 1 : 1 : 5 的溶液中，加熱至 85-95°C 約 10-15 分鐘後，

以 ddH<sub>2</sub>O 沖洗並置於 70~75% 酒精中備用。將已製備完成之檢體利用自動噴片機(HANABI Metaphase Spreader)噴灑於清洗過之玻片，接著利用 45-65°C 烘片機將染色體固定於玻片上，並烘乾至少 30 分鐘。製作完成的染色體玻片利用 Wright stain 進行染色後烘乾、封片，待染色體玻片風乾後即完成玻片製作，可存於乾燥箱中陸續以顯微鏡觀測染色體。顯微鏡觀察和紀錄：利用 ZEISS Axio Imager Z2 OEM 顯微鏡系統觀察，先用低倍(10X) 找到細胞染色體，再以(63X) 油鏡觀察 46 個染色體以 Metasystem 4 進行影像擷取，同時記錄影像。將所擷取的影像進行第一次分析，選取處於 metaphase 的染色體細胞進一步製作成分析檔案。進階分析的標準第一步驟先確認具 46 個中節細胞才計算，接著進行染色體變異分析，包含斷片、環形、雙中節、多中節，多中節染色體記錄為 n-1 個雙中節。最後對臨床檢體生活背景進一步分析，建置更詳盡資料庫。

#### (b) 建立生物劑量反應曲線

規劃國際化生物劑量實驗室過程中，國際學者皆一致認為建立實驗室所屬之”劑量反應曲線”為實驗室首重任務，同時維持實驗室人員分析能力一致性之重要依據，亦是定期進行劑量反應曲線分析，經與資料庫進行比對予以確認。在 108 年度，

我們新增一條人員生物劑量反應曲線，並且合併先前的曲線成為新的人員生物劑量標準曲線。其中 0 Gy (即背景值)分析 1000 顆細胞；0.1、0.25、0.5、1、2、3、4、5 Gy，則依據 ISO 19238 規定，分析 500 顆中期細胞或觀察到 100 顆雙中節即停止該樣品分析。

作業程序：由高學醫學大學將通過人體試驗倫理委員會之血液樣品依 ISO19238 規定於 48 小時內，以室溫快遞方式寄送。核研所取得血液樣品後，將血液樣品分裝後，請國家標準實驗室進行鈷-60 照射，照射劑量分別為 0.1、0.25、0.5、1、2、3、4、5Gy。劑量照射後，將血液樣品進行如前項所述之步驟，細胞培養、細胞收穫、固定化、噴片、染色、封片、顯微鏡掃描，以及細胞影像分析。經過整理統計後，利用 Dose Estimate 專業分析軟體，分析計算出實驗之反應曲線。

## 二、輔導衛星實驗室建立劑量分析技術

人員生物劑量評估技術係藉由分析人員染色體變異情形，評估人員於輻射意外事件中所接受之劑量，萬一發生大規模輻射緊急狀況，便於短時間內取得大量血液樣本檢體，以利後續依細胞遺傳學檢傷分類法進行評估。有鑒於此，本計畫預計於國內數個區域建立衛星實驗室，藉由訓練該醫療院所同仁具備

整體血樣採集過程標準文件化，提升國內血樣採集量能。去年已由高醫順利申請 IRB 並完成進血，本年度將著重於分析技術的教育訓練。

### 三、ISO17025:2017 改版，並完成兩件案例

國際上人員生物劑量實驗室之參考依據乃是遵循 ISO19238:2014(E)輻射防護-服務實驗室以細胞遺傳學檢測技術測量生物劑量之操作準則，和 ISO21243:2008(E)輻射防護-在大規模輻射或核子性緊急狀況下，利用細胞遺傳學檢傷分類法進行評估之實驗室執行準則，二份文件執行。實驗室之品質及技術系統將符合 ISO19238 及 ISO17025 規定，確保本實驗室數據之品質，且由實驗室出具之數據皆獲得適當管理保存。

人員生物劑量實驗室為國內前瞻創新唯一之實驗室，有關實驗室品保，人員生物劑量實驗室目前已建置一、二、三階文件及四階表單共 43 份文件，並已於 105 年取得全國認證基金會 (TAF) ISO 17025 相關認證。且於 105~107 年度維持該 ISO 現場查核認證工作，並藉由 TAF 派員查訪的機會，精進實驗室之品質，確保分析作業與結果產出之品質標準。

ISO 17025 測試實驗室的能力一般要求，包括使用標準方

法、非標準方法與實驗室自行開發的方法所執行之測試。用於發展品質、行政及技術系統以支配其作業，實驗室顧客、法規主管機關及認證機構可應用 ISO 17025 來確定或承認實驗室之能力，以促進國際間認證體系相互認可，並依 TAF 對各領域之共同要求，希望藉由對校正或測試實驗室的評鑑認證，達到實驗室符合國際標準與品質及技術提升之目的。

本計畫目前因應 ISO 17025 法規文件改版事項，ISO 17025 : 2005 自 2015 年 2 月正式啟動改版動作以來，於 2016 年 12 月 29 日發佈了標準草案 (DIS)，按照 ISO/IEC 17025 修訂工作組 (ISO/CASCO/WG44) 的計畫，將於 2017 年第三季度發佈標準的最終草案 (FDIS)，已正式發佈新版標準。實驗室人員應藉由自我閱讀或參加內部/外部的訓練方式，獲得對於 ISO/IEC 17025: 2017 新版規範的認知與瞭解，以使實驗室人員應能接受現場評鑑時，展現符合認證規範要求與能力。

## 肆、 結果與討論

### 一、 人員生物劑量染色體變異評估技術研究

#### 1. 國人染色體之雙中節數據分析

(a) 建立108年度國人本土染色體雙中節背景曲線(增加3例正常人背景值)

在國際標準組織(ISO) ISO19238:2014國際輻射研究指出，在正常背景值中，每位正常人的1,000顆淋巴球細胞中，平均存在1個(0-2個)染色體雙中節變異。目前生物劑量染色體變異實驗室持續增加3例正常國人背景染色體雙中節分析，一共分析3,046個細胞(表一)，發現每例各有一個雙中節變異性。目前生物劑量實驗室於108年度已完成25例正常國人背景染色體雙中節分析，一共分析25,369顆細胞，發現20個雙中節(dicentric)於19顆細胞中。目前資料庫國人背景雙中節發生率為0.79%，表示於1000顆細胞中有0.79個雙中節之發生率。近幾年來利用人員生物劑量染色體變異性的統計發現，與國際文獻相比，在正常背景下，每個人淋巴細胞通常會存在1/1000比例的雙中節變異狀況，目前蒐集到的國人血液樣本背景值是低於國際之平均值。今年度，生物劑量實驗室持續與南部醫學中心合作(高雄醫學

大學)，並增加3例正常人背景染色體雙中節分析，未來仍將收集更多案例來代表國人之生物劑量背景值。

#### (b) 建立生物劑量反應曲線

本年度實驗室持續針對國人標準曲線進行研究分析工作。於4月8日與高雄醫學大學合作取得正常人血液進行年度反應曲線分析工作，血液樣品取得分裝後，請國家標準實驗室進行鈷-60照射，照射劑量分別為0.1、0.25、0.5、1、2、3、4、5 Gy，於108年度之年度劑量反應曲線，與去年度相同增加0.1Gy之劑量作為最低輻射照射之劑量選擇。劑量照射後，將血液樣品進行細胞培養、細胞收穫、固定化、噴片、染色、封片、顯微鏡掃描，以及細胞影像分析。經過整理統計後，利用Dose Estimate專業分析軟體，分析計算出實驗之反應曲線。(表二及圖一)。

本實驗室於101至108年度陸續完成了七條人員生物劑量反應曲線，並經由統計方式計算出合併成一條年度人員生物劑量標準曲線，利用增加樣本數所得到的生物劑量評估準確性、可信度及精確度，利用輻射劑量與染色體雙中節評估建立反應曲線，並經由統計分析計算於各年度反應曲線劑量之統計差異性分析結果，若各年度數值皆落於管制範圍內無差異後即可合併成一條國人之生物劑量標準曲線(圖二)。



## 2. 建立衛星實驗室劑量分析技術方法

人員生物劑量評估技術係藉由分析人員染色體變異情形，評估人員於輻射意外事件中所接受之劑量，萬一發生大規模輻射緊急狀況，便於短時間內取得大量血液樣本檢體，以利後續依細胞遺傳學檢傷分類法進行評估。有鑒於此，本計畫預計以核研所為中心實驗室，於國內數個區域建立衛星實驗室，藉由訓練該醫療院所同仁具備分析染色體雙中節變異技術，提升國內分析人員生物劑量能力。

本實驗室於今年度針對衛星實驗室進行教育訓練，利用過往建立完整之影像數據(含輻射照射劑量樣本)，作為給予高雄醫學大學醫學影像暨放射科學系教育訓練教材，並於4月2日及10月24日針對衛星實驗室教育訓練，執行與高雄醫學大學醫學影像暨放射科學系謝O茹副教授、柯O志助理教授之實驗室教育訓練工作，未來希望不只單純可提供人體血樣進行分析，衛星實驗室本身也具有分析染色體雙中節之能力，若未來有緊急曝露事件發生時也可協助進行分析。(圖三)。

## 3. ISO17025:2017改版，並完成兩件案例

因應ISO17025:2017改版作業(由2005年版轉換為2017年版)

與ISO17025重新再評鑑審查(三年)需求，本計畫完成一階品質手冊(1份)、二階品管系統(10份)技術系統(14份)、三階作業程序(10份)與四階表單(46份)文件撰寫/修改作業，於108年1月即執行兩例符合ISO 17025 (2017)規範下的血液分析工作，並於2月20日進行接受TAF查訪工作，查訪開立8個B類缺失、1個C類缺失，於限期(4月20日)全數完成改善，並將改善結果上傳TAF審查委員，給予委員改正後審查；6月9日接獲審查委員再次諮詢(三項問題)，已於6月17日再次回覆；於6月27日公告於TAF網頁中確認已完成ISO17025:2017改版再評鑑之認證工作，9月2日正式取得新版認證證書。(圖四)。

## 伍、 結論與建議

在台灣約有五萬多名從事輻射相關的工作人員，本計畫之推動，是為了當有緊急曝露事件時能夠即時進行評估，或天災引起的大型輻災事件發生時能針對未攜帶佩章之一般民眾接受輻射曝露量進行回推，避免一般民眾及輻射相關從業人員對於輻射引發健康之不必要疑慮。在意外事故發生時，國家有具國際水準之檢測單位可提供相關訊息供醫療照護行動參考，保障工作人員及民眾的健康與安全，故進行此國際通用之生物劑量研究計畫。染色體雙中節分析方法為目前國際間所認可之標準方法(Gold standard)，但在實驗過程中，培養細胞再加上後續影像分析較花費人力及時間，於明年度將嘗試使用 H2AX 分析方法觀察是否也可得到劑量與吸收值的相關曲線。

本計畫於今年順利取得新版 ISO17025 認證，未來將繼續通過實驗室之年度查核取得認證以維持實驗室分析之公信力。於國際比對部分，雖然於今年未有執行之查核點，但仍會持續與加拿大保持聯繫，且不排除未來也可能參與其它國家實驗室舉辦之國際能力試驗比對，以保證實驗室的分析能力能與各國實驗室達到同樣水平。

## 陸、參考文獻

1. 方菊雄、劉怡均、李桂芳, 細胞遺傳技術與應用, 2011.
2. 趙晟富、張翠容、葉冠毅、張志賢, 生物劑量統計方法之應用分析, 2014.
3. 張翠容、趙晟富、葉冠毅、張志賢, 103 年度人員生物劑量背景值研究, 2014。
4. 張翠容、蔡青彥、余秉弘、林彬、張志賢, 人員生物劑量實驗室之建立, 2012。
5. 陳家鈺, 化學及生物劑量計, 游離輻射防護彙萃, 1996。
6. 許彬杰、翁寶山, 實用固體熱發光劑量測定術。2002。
7. International Commission on Radiological Protection, 1990 Recommendations of the ICRP, ICRP Publication 60, 1991.
8. International Commission on Radiological Protection, Protecting People against Radiation Exposure in the Event of a Radiological Attack, ICRP Publication 96, 2005.
9. International Commission on Radiological Protection, The 2007 Recommendations of the ICRP, ICRP Publication 103, 2007.
10. Kanda, R., Improvement of accuracy of chromosome aberration analysis for biological radiation dosimetry. J Radiat Res (Tokyo), 2000. 41(1): p. 1-8.
11. Natarajan, A.T, and P.C. Kesavan, Cytogenetics for Dosimetry in Cases of Radiation Accident and Assessing the Safety of Irradiation Food Material. Current Science, 2005. 89(2): p. 361-65.
12. Blakely, W.F., et al., WHO 1st consultation on the development of a global biodosimetry laboratories network for radiation emergencies

- (BioDoseNet). *Radiat Res*, 2009. 171(1): p. 127-39.
13. Romm, H., U. Oestreicher, and U. Kulka, Cytogenetic damage analysed by the dicentric assay. *Ann Ist Super Sanita*, 2009. 45(3): p. 251-9.
  14. Wilkins, R.C., et al., Interlaboratory comparison of the dicentric chromosome assay for radiation biodosimetry in mass casualty events. *Radiat Res*, 2008. 169(5): p. 551-60.
  15. ISO19238, 2014年, 第二版。
  16. ISO21243, 2008年, 第一版。
  17. Ainsbury, E.A. and Lloyd, D. C. Dose estimation software for radiation biodosimetry. *Health Phys.* 98, 290-5 (2010).
  18. Grégoire, E., Hadjidekova, V., Hristova, R., Gruel, G., Roch-Lefevre, S., Voisin, P., Staynova, A., Deleva, S., Ainsbury, E.A., Lloyd, D.C., Barquinero, J.F. Biological dosimetry assessments of a serious radiation accident in Bulgarian in 2011. *Radiat Prot Dosimetry*. (2013).
  19. Wong, K.F., Siu, L.L., Ainsbury, E.A., Moquet, J. Cytogenetic biodosimetry: what it is and how we do it. *Hong Kong Med J.* Apr;19(2):168-73. (2013).
  20. Maznyk, N.A., Wilkins, R.C., Carr, Z., Lloyd, D.C. The capacity, capabilities and needs of the WHO BioDoseNet member laboratories. *Radiat Prot Dosimetry*. 151(4):611-20. (2012).
  21. Flegal, F. N., Devantier, Y., Wilkins, R.C., Validation of QuickScan Dicentric Chromosome Analysis for High Throughput Radiation Biological Dosimetry. *Health Phys.* 2012, 102, 144-153
  22. Suto, Y., Hirai, M., Akiyama, M., Kobashi, G., Itokawa, M., Akashi, M., Sugiura N. Biodosimetry of Restoration Workers for the Tokyo

Electric Power Company (TEPCO) Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. *Health Phys.* 105(4):366Y373; 2013

23. ZHU Wei, LIU Fenju, CAO Jianping, et al . Study on the dose-response relation of premature chromosome condensation induced by Okadaic acid. *J Radiat Res Radiat Process*, 2008, 26 (6):p. 353-356

表一、108 年度背景值分析結果表

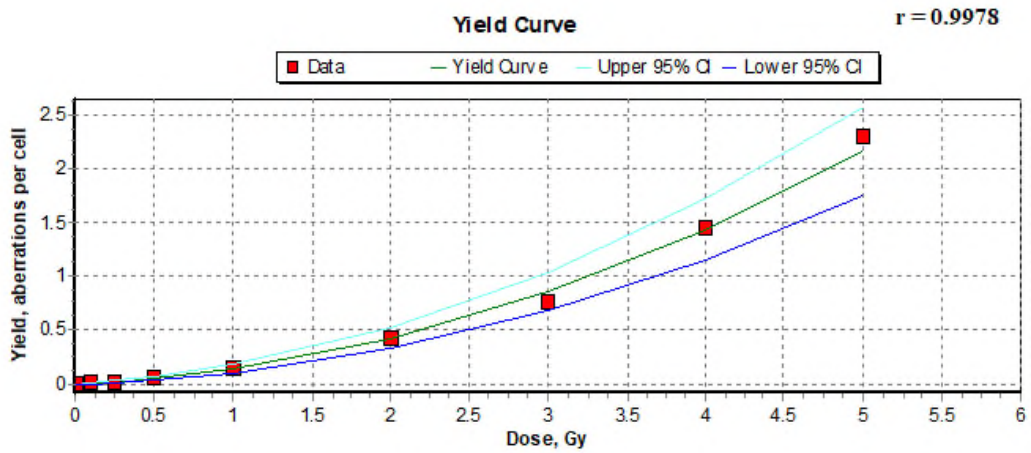
	2019 年 背景曲線		
編號	1	2	3
分析影像	1016	1021	1009
雙中節數	1	1	1
雙中節發生率 (%)	0.98	0.98	0.99

表二、108 年度劑量反應曲線結果表

Dose (Gy)	No. of Cells Scored	No. of Dicentric Chromosomes	Dicentric Distribution								
			0	1	2	3	4	5	6	7	
0	1013	2	1011	2	0	0	0	0	0	0	0
0.1	509	4	505	4	0	0	0	0	0	0	0
0.25	534	9	525	9	0	0	0	0	0	0	0
0.5	511	33	478	33	0	0	0	0	0	0	0
1	503	75	428	75	0	0	0	0	0	0	0
2	285	119	187	78	19	1	0	0	0	0	0
3	164	125	67	74	18	5	0	0	0	0	0
4	89	128	21	33	16	14	4	1	0	0	0
5	71	164	4	18	17	19	10	3	0	0	0

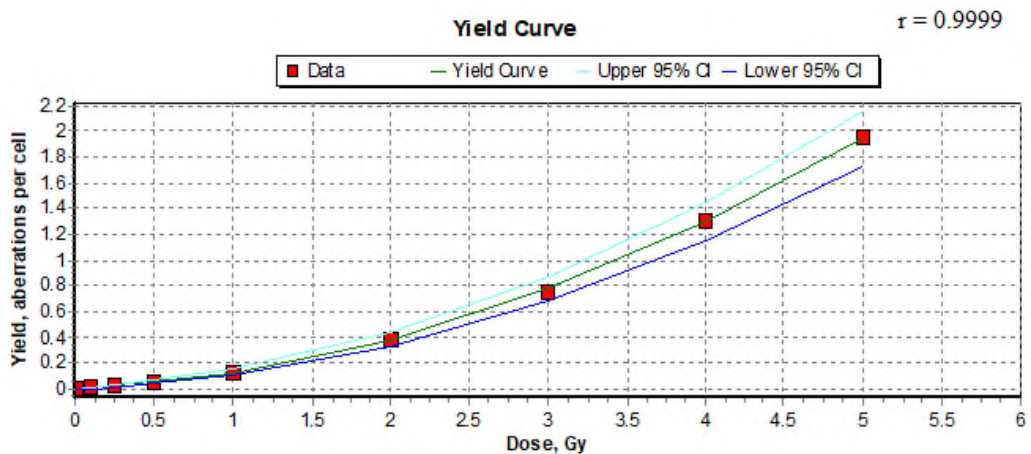


圖一、108 年度反應曲線圖形與反應方程式



$$Y=0.0018 (\pm 0.0013) + 0.0667 (\pm 0.0131)*D + 0.0728 (\pm 0.0057)*D^2$$

圖二、合併 101-108 年度反應曲線結果與反應方程式



$$Y=0.0017 (\pm 0.0012) + 0.0617 (\pm 0.0085)*D + 0.0654 (\pm 0.0025)*D^2$$

## 雙中節判斷技巧

---

- 發現明顯斷片
- 發現明顯雙中節
- 數量總和不足46
- 節點處有內凹變淡(如果是變深可能為交叉)
- 是否有異常長的單一染色體出現

圖四、新版 ISO 17025 通過認證證明

