

RMC-109-319Rev3

國人吸菸造成的輻射劑量評估
(112 年 8 月修訂版)



核能安全委員會輻射偵測中心

民國 112 年 8 月

國人吸菸造成的輻射劑量評估

摘要

因菸草的葉片表面因其特殊絨毛結構，具有濃集氬氣衰變產物的特性，因此在菸草中可測得較高濃度的鉛-210 及鉍-210。本研究之主要目的在於探討菸草中放射性物質含量，結合國人吸菸習慣，評估國人吸菸行為造成的個人年有效劑量(E_{EXP})及國民輻射劑量(E_{Taiwan})。

行政院原子能委員會輻射偵測中心針對國內常見 9 種品牌、22 類香菸樣品進行鉍-210 之分析檢測數，各香菸樣品的鉍-210 活度濃度範圍在每公斤 16.44 到 24.17 貝克，以每根香菸中的菸草重量 0.7 克換算，每根香菸鉍-210 含量範圍在 11.51 到 16.92 毫貝克之間，平均為 13.93 毫貝克。與國外文獻之數據相比，美國 NCRP 第 160 號報告採用之香菸鉍-210 活度為 14 毫貝克，顯示其他國家菸草鉍-210 活度與國內常見香菸產品之鉍-210 活度差異不大。

吸菸習慣的部分，本研究以內政部公布之民國 107 年人口數，並參考衛生福利部國民健康署之國人吸菸行為調查、青少年吸菸行為調查等報告中之吸菸比例，另參考國健署之健康促進統計年報中之每天平均吸菸根數，評估吸菸造成的個人年有效劑量(E_{EXP})及集體有效劑量(S)分別為 0.45 毫西弗(每天吸一包菸)及 1,110,452 人-毫西弗，推估所得之國民輻射劑量(E_{Taiwan})約為每年 0.047 毫西弗。

Assessment of the Radiation Dose Caused by Smoking in Taiwan

Abstract

Due to the unique structure of the surface of tobacco leaves, which tend to accumulate radon decay products, higher concentrations of lead-210 and polonium-210 can be detected in tobacco. The purpose of study is to investigate the radionuclide in tobacco. It combined with the smoking habits of the Taiwanese population, evaluate the annual effective dose per individual (E_{EXP}) and the national radiation dose (E_{Taiwan}) resulting from smoking behavior.

The Radiation Monitoring Center (RMC) analyzed polonium-210 from 22 types of cigarettes from 9 popular brands in Taiwan. The activity concentration of polonium-210 ranged from 16.44 to 24.17 Bq per kilogram of tobacco. Based on the average weight of tobacco per cigarette (0.7 g), the polonium-210 content per cigarette ranged between 11.51 and 16.92 mBq, with an average of 13.93 mBq. Compared to international data, the activity level of polonium-210 in cigarettes reported in the U.S. NCRP Report No. 160 is 14 mBq, indicating little difference between polonium-210 levels in tobacco products in Taiwan and those in other countries.

According to smoking habits, this study utilized the population statistics from the Ministry of the Interior and referenced smoking behavior surveys in 2018, including the reports of Health Promotion Agency (HPA) on smoking behavior in adults and adolescents. Additionally, data from the HPA Statistics Annual Report on the average number of cigarettes smoked daily was used to estimate the annual individual effective dose (E_{EXP}) and collective effective dose (S), which

were 0.45 mSv (for those smoking one pack per day) and 1,110,452 man-mSv, respectively. Based on these estimates, the national radiation dose (E_{Taiwan}) is approximately 0.047 mSv per year.

名詞定義

1. S:集體有效劑量(Annual collective effective dose)

指特定群體曝露於某輻射源，所受有效劑量之總和，亦即為該特定輻射源曝露之人數與該受曝露群組平均有效劑量之乘積，其單位為人-西弗(man-Sv)。

2. E_{EXP} :個人年有效劑量(Average annual Effective dose)

意指曝露族群之平均年有效劑量，又稱個人平均年有效劑量。此劑量為法規上所稱之約定有效劑量，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，其單位為西弗(Sv)或毫西弗(mSv)；對天然輻射而言， E_{EXP} 與 E_{Taiwan} 相同。

3. E_{global} :全球民眾之個人平均年有效劑量(Average annual effective dose per individual per year in global population)

計算方式為全球每年之集體有效劑量除以全球人口數，以毫西弗(mSv)或微西弗(μ Sv)表示。

4. E_{US} :美國全體國民之平均年有效劑量(Average annual effective dose per individual per year in United State)

計算方式為美國每年之集體有效劑量除以美國人口數，以毫西弗(mSv)或微西弗(μ Sv)表示。

5. E_{Taiwan} :台灣全體國民之平均年有效劑量(Average annual effective dose per individual per year in Taiwan)

計算方式為台灣每年之集體有效劑量除以台灣人口數，以毫西弗(mSv)或微西弗(μ Sv)表示；亦即台灣之國民輻射劑量。對天然輻射而言， E_{Taiwan} 與 E_{EXP} 相同。

目錄

摘要.....	i
名詞定義.....	iv
一、前言.....	1
二、文獻回顧.....	3
(一) 各國菸草分析結果.....	3
(二) 國際上劑量評估方式.....	4
(三) 國際上劑量評估結果.....	5
三、國人吸菸造成的輻射劑量評估.....	6
(一) 香菸中菸草之分析方法.....	6
(二) 市售香菸分析結果.....	7
(三) 國人吸菸行為調查結果.....	10
(四) 吸菸造成的劑量評估結果.....	14
四、結論與建議.....	16
五、參考文獻.....	17
附錄、審查意見對照表.....	23

圖目錄

圖 1 氡氣及其子核種衰變過程	1
圖 2 2018 年我國各菸商銷售量市占率	7
圖 3 本報告採購常見之市售香菸樣品	8

表目錄

表 1 各國菸草鈾-210 分析結果	3
表 2 鉛-210、鈾-210 劑量轉換因子之對照表	5
表 3 美國吸菸行為之評估結果	6
表 4 國內常見香菸中的菸草鈾-210 分析數據	9
表 5 成人吸菸比例	11
表 6 台灣青少年吸菸比例	12
表 7 15 歲以上吸菸者之每天平均吸菸根數	13
表 8 國人吸菸行為之集體有效劑量	15

國人吸菸造成的輻射劑量評估

一、前言

自發現菸草中含有放射性物質【1】並研判會對於人體有傷害【2】迄今已超過 50 年以上。菸草中放射性物質的來源，透過溫室栽培實驗發現主要路徑是環境中的氡氣子核沉積，氡氣自土壤釋出後擴散於大氣中，經 3.82 天的半化期衰變後生成許多短半化期的金屬微粒如鈾、鉛及鈾的放射性同位素。這些金屬微粒不是氣態，因此容易沾黏在物體表面，其中氡的子核種鉛-210 (^{210}Pb) 半化期長達 22 年，累積後持續生成會釋出阿伐核種半化期為 138 天的鈾-210 (^{210}Po)，衰變鏈如圖 1。菸草的葉片表面因其特殊絨毛結構，具有濃集氡氣衰變產物的特性；因此，在菸草中可測得較高濃度的鉛-210 及鈾-210 【3】。其次，是透過菸草植物根部吸收農家施加於土壤中含鈾的磷酸鈣肥料 (calcium polyphosphate fertilizers) 【4,5】，也會造成菸草含偏高的鉛-210 及鈾-210 現象。

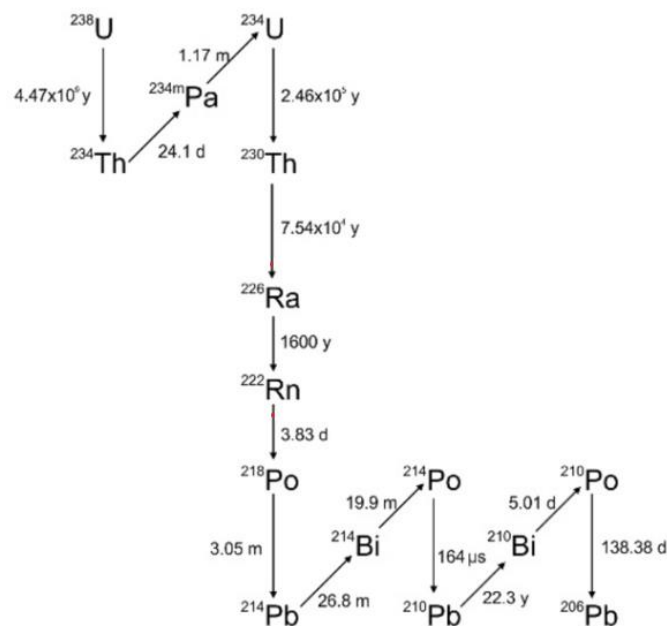


圖 1 氡氣及其子核種衰變過程

雖然這些氦氣短半化期子核種衰變時也會釋出加馬輻射，但因為菸草中含量不高，所以體外輻射劑量通常可以忽略。不過，其中的鈾-210 為阿伐核種，其所釋出的阿伐粒子穿透力不強，吸入體內後會在極短距離內有大量能量沉積，而對於人體組織細胞造成傷害。由解剖學發現其吸入體內後，會集中在支氣管分叉處形成輻射「熱點」，導致肺部受到偏高的輻射劑量【6】。鉛-210 吸入體內後的生理機制(吸收、身體分布、清除及代謝機制等)與鈾-210 完全不同，但由於兩者來自於相同衰變鏈，所以在評估時也多假設其活度相同【7】，各實驗室因應不同的設備限制，利用量測其中一個核種來代表整個衰變鏈的活度；鉍-210 (Bi-210)的劑量轉換因子不高，比鉛-210 低約兩個數量級，因此一般都不評估其所造成的劑量。

從 2008 年開始陸續有文獻【8-10】提出，菸草產業內部報告顯示，該產業早已知道香菸中含有放射性物質，也曾試圖透過濾嘴設計、種植的肥料由磷酸胺取代磷酸鈣等方式降低菸草中的輻射量，但效果卻很有限，然而，這些內部報告菸草產業都沒有對外公開，以免造成民眾的恐慌。美國 2009 年通過之「預防家庭吸菸與菸草管制法案 (Family smoking prevention and tobacco control ACT)」中，已納入強制菸商須降低菸草中放射性鈾-210，加上世界衛生組織(WHO)統計罹患致死率最高的癌症為肺癌【11】，使相關議題在近十年來又受到關心。

本報告引用行政院原子能委員會輻射偵測中心(以下簡稱本中心)對國內常見香菸品牌之檢測分析結果，參考衛生福利部之國人吸菸行為調查報告，採用國際體內輻射劑量評估模式，評估國人因吸菸所造成之國民輻射劑量。

二、 文獻回顧

(一) 各國菸草分析結果

參考國際文獻中，本研究整理其他國家菸草鈷-210 活度如表 1；每根香菸活度濃度平均值落在 5.22(義大利)到 26(伊朗)毫貝克之間。

表 1 各國菸草鈷-210 分析結果 單位: mBq per cigarette

國家	鈷-210 範圍 ():平均值	資料來源
突尼西亞 Tunisia	7.8±0.3 ~ 17±0.5 (12.9±0.4)	Boujelbane F. et al. 2020 【12】
土耳其 Turkey	16.1±1.0 ~37.6±2.6 (22.4±1.5)	Cankurt S. et al. 2020 【13】
菲律賓 Philippine	5.5 ± 0.6~17.8 ± 1.1 (12.0)	Iwaoka K. et al.2019 【14】
義大利 Italy	2.42~10.36 (5.22±2.67)	Meli M.A. et al.2017 【15】
印度 Inda	(10.56±2.46)	Tiwari M. et al.2016 【16】
斯洛凡尼亞 Slovenia	8.8±0.3 ~17.3±0.7 (14±2)	Kubalek D et al.2016 【17】
塞爾維亞 Serbia	14.6±3.8~42.6±31.0 (23.0±6.7)	Janković Mandić L. et al. 2015 【18】
義大利 Italy	13.1 ~ 19.0 (15.7)	Taroni M. et al.2014 【19】
羅馬尼亞 Romania	7.19±0.70~10.22±0.90 (8.35±0.80)	Begy R.C. et al.2013 【20】
日本 Japan	2~14 (8±3)	Sakoda A. et al.2012 【21】
伊朗 Iran	(26)	Mohammadi S. et al.2010 【22】
中國 China	18-29 (23)	Schayer S. et al.2009 【23】
埃及 Egypt	7-32 (13)	Khater A.E. et al.2008 【24】
希臘 Greece	2.5 ~ 11.9 (9.2)	Savidou A. et al.2008 【25】
埃及 Egypt	9.7~22.5 (16.6)	Khater AE.2004 【26】
巴西 Brazil	7.6 ~19.2 (14.8±2.6)	Peres AC. et al.2002 【27】
波蘭 Poland	2~21.5 (9.6)	Skwarzec B. et al.2001 【28】

(二) 國際上劑量評估方式

吸菸所造成的劑量值，會因所採用的體內劑量評估模式的不同而有很大的差異。以美國評估結果為例，美國輻射防護與度量委員會(NCRP, National Council on Radiation Protection)於 1988 年發表之第 95 號報告【29】，當時該國男性吸菸人口約占 33%，女性則約占 28%，每天平均吸菸 30 根(一包半)；該報告提到，鈾-210 沉積於支氣管上皮組織所造成的吸收劑量，大約是每年 8 到 10 毫戈雷，由於鈾-210 衰變主要釋出阿伐粒子，輻射加權因子為 20，換算成肺部器官年等效劑量約為 160 毫西弗；NCRP 當時基於國際放射防護委員會(ICRP, International Commission on Radiological Protection) 26 號報告的劑量模式，肺部的器官加權因子為 0.12，對於支氣管的組織加權因子重新加以推導，建議氣管組織的加權因子為 0.08；因此，年有效等效劑量就可推算得到 12.8 毫西弗($160 \times 0.08 = 12.8$ 毫西弗)，也就是大約 13 毫西弗。NCRP 也於該報告提到，這樣的評估方式是有問題的，例如沉積的上皮組織只占肺部很小的部分，使用這樣的器官加權因子是否妥適仍有待確認，加上做了太多的假設導致不確定度過高，所以該評估結果並未納入美國之國民輻射劑量之中僅做為參考。

NCRP 在 2009 年第 160 號報告【30】重新對吸菸劑量進行探討，並建議直接採用 ICRP 第 72 號報告【31】的劑量轉換因子去評估有效劑量。雖然許多文獻所測的香菸鈾-210 含量有所差異，該報告建議採用平均值也就是每根香菸重約 0.7 克，含鈾-210 活度 14 毫貝克評估。依據 NCRP 所統計美國各文獻的結果，美國吸菸人口約 4 千 5 百萬人，以每天吸一根菸換算，美國國民年平均有效劑量約 18 微西弗，若每天吸一包菸(20 根)則年有效劑量平均值約為每年 0.36 毫西弗。與 1988 年評估結果相比，由於體內劑量評估模式的調整，評估結果比過去明顯降低很多。

依據 ICRP 第 103 號報告【32】的劑量模式及後續修訂的核種資料庫，ICRP 陸續更新其體內劑量轉換因子，目前已發表部分核種職業曝露的資料，對照表詳如下表 2。在 ICRP 第 137 號報告【33】中提到，關於鈾-210 的劑量轉換因子主要參考了吸菸的風險模式，雖然吸菸行為與職業曝露無關，但是歷年對於菸草具偏高之鈾-210 以及香菸與肺癌風險等相關調查與統計資料頗多，相較於其他放射核種的輻射曝露生物效應資料，可說是完備許多，故納入作為劑量轉換因子訂定之參考依據。

表 2 鉛-210、鈾-210 劑量轉換因子之對照表

(單位：Sv/Bq)

	報告	鈾-210	鉛-210
一般民眾	ICRP 第 60 號報告	3.3×10^{-6}	1.1×10^{-6}
輻射工作人員	ICRP 第 60 號報告	2.2×10^{-6}	1.1×10^{-6}
職業曝露	ICRP 第 103 號報告	1.1×10^{-6}	6.2×10^{-7}

由過去驗屍的切片報告統計結果顯示【34】，吸菸者或曾吸菸者肺部可測得的鉛-210 與鈾-210 濃度高於非吸菸者，且由於鉛-210 為鈾-210 的母核，所以評估劑量時應該同時考慮此兩個核種。而由老鼠實驗推估吸菸後於肺部的停留曲線發現，90%的鈾-210 排出率為 0.036 d^{-1} (相當於生物半化期 19 天)，剩下 10%較穩定排出率為 0.0055 d^{-1} (相當於生物半化期 125 天)；因此，評估劑量需引用體內劑量轉換因子時，應該採用肺吸收類別 M 類(生物半化期 140 天以內)【35】。

(三) 國際上劑量評估結果

1. 美國輻射防護與度量委員會(NCRP)

美國輻射防護與度量委員會(NCRP) 於 2009 年發表之第 160 號報告「Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States」【30】，報告中美國吸菸造成的國民輻射劑量(E_{US})為 0.0455 毫西弗(mSv)，詳如表 3。

表 3 美國吸菸行為之評估結果

行為	吸菸人口數 (百萬人)	個人年有效劑量 (E_{EXP}) (毫西弗)	集體有效劑量(S) (人-毫西弗)	國民輻射劑量 (E_{Taiwan}) (毫西弗)
吸菸	45	0.3	13500	0.0455

2. 日本原子力安全研究協會

日本原子力安全研究協會於 2020 年發表之報告「生活環境輻射-國民輻射劑量的計算(第 3 版)」【36】，報告中吸菸造成的國民輻射劑量(E_{JP})為 0.040 毫西弗(mSv)

三、 國人吸菸造成的輻射劑量評估

(一) 香菸中菸草之分析方法

本中心之分析方法主要參考美國能源部標準分析方法 HASL-300【37】中，Po-02-RC 係針對水、蔬菜、土壤、空氣濾紙樣品中鈾之分析方法(Polonium in Water, Vegetation, Soil, and Air Filters)。分析方法是將一包香菸菸草取出後以攝氏 60 度烘乾隔夜，再以粉碎機打碎均勻混合(可分樣後使用加馬能譜以鉀-40 為指標，確認是否已均勻混合)。取 5 克菸草樣品，加入 100 ml 硝酸及鈾-209 示蹤劑(約 30-80 毫貝克)，加熱盤加熱(約攝氏 80 度)進行消化直到快乾，期間使用磁攪

拌子(鐵氟龍包覆)攪拌。若消化不夠完全，可再加 20 ml 硝酸與 3 ml 過氧化氫再加熱至快乾。由於硝酸會破壞硝化之後必須使用的銀片，改加入 6N 鹽酸 100 ml 後以 Whatman 41 號濾紙過濾，過濾後加熱濾紙至快乾，加入 0.5N 鹽酸溶解沉積物後棄置濾紙。溶液中加入 1 ml 飽和抗壞血酸(ascorbic acid)及銀片，置於攝氏 60~80 度加熱盤上靜置 4 至 5 小時，讓鉛離子自然沉積於銀片表面上，期間適量補充 0.5N 鹽酸。取出銀片用去離子水稍加沖洗後，置於室溫乾燥，並進行阿伐能譜分析計測 8 萬秒，利用示蹤劑的計測結果推算化學回收率，進而換算鉛-210 活度濃度。

(二) 市售香菸分析結果

參考 2019 年的媒體資料【38】，台灣銷售量高之菸品種類包括：七星、峰、尊爵、長壽、大衛杜夫、登喜路、萬寶路等產品，總市佔率已超過 9 成(如圖 2)。本中心早於民國 98 年(西元 2009 年)購買國內常見 9 種品牌、22 類香菸樣品(如圖 3)進行鉛-210 之分析檢測，所採集的香菸品牌已涵蓋了大部份國人消費市場常見的菸品。

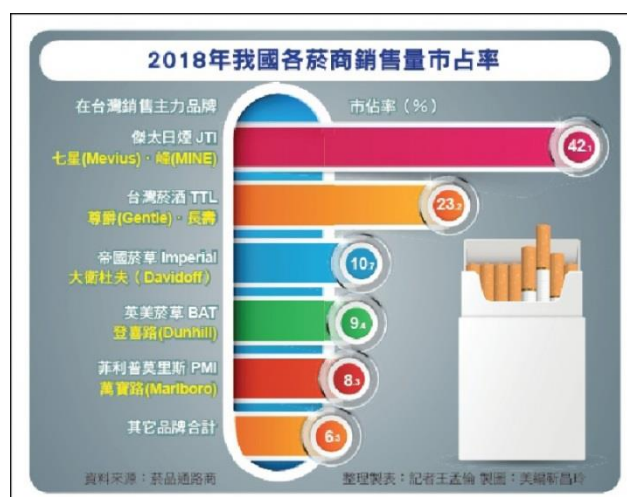


圖 2 2018 年我國各菸商銷售量市占率 (引用自由時報資料【22】)



圖 3 本報告採購常見之市售香菸樣品

各香菸樣品的鈎-210 活度濃度分析結果列於表 4，範圍在每公斤 16.44 到 24.17 貝克，以每根香菸中的菸草重量 0.7 克換算，每根香菸鈎-210 含量範圍在 11.51 到 16.92 毫貝克之間，平均為 13.93 毫貝克。此數值與美國 NCRP 第 160 號報告【30】中採用之香菸鈎-210 活度(14 毫貝克)相近，參考國際文獻(如表 1)其他國家菸草鈎-210 活度落在 5.22 到 26 毫貝克之間，與本次國內常見香菸產品之鈎-210 活度差異不大，本研究以每根香菸鈎-210 活度濃度 0.01393 貝克進行吸菸輻射劑量之評估。

表 4 國內常見香菸中的菸草鈾-210 分析數據

品 名	生產國家	計測活度(Bq/kg)				每根菸* (mBq)
		1	2	3	平均值	
長壽 (黃)	台灣	17.01	17.1	18.52	17.54	12.28
長壽 (白)	台灣	17.18	17.67	19.93	18.26	12.78
尊爵 G1 (Gentle)	台灣	21.55	20.04	20.34	20.64	14.45
尊爵 G9 (Gentle)	台灣	18.81	19.13	21.90	19.95	13.97
新樂園 (中號仔)	台灣	19.30	19.07	-	19.19	13.43
新樂園 (大號仔)	台灣	17.68	18.58	18.05	18.10	12.67
峰淡菸	日本	22.35	22.7	23.77	22.94	16.06
峰香菸	日本	23.39	24.71	21.50	23.2	16.24
七星 1mg (Mild seven)	日本	23.61	24.35	23.69	23.88	16.72
七星硬盒 (Mild seven)	日本	23.80	25.37	23.34	24.17	16.92
雲絲頓超淡菸 (Winston)	日本	22.08	23.27	22.16	22.50	15.75
雲絲頓淡菸(Winston)	日本	23.73	22.93	23.52	23.39	16.37
寶仕香菸 3mg (BOSS)	烏克蘭 (德國)	19.83	20.21	21.99	20.68	14.48
寶仕香菸 10mg (BOSS)	烏克蘭 (德國)	20.34	20.44	19.80	20.19	14.13
大衛杜夫特淡菸	德國	18.87	18.08	19.62	18.86	13.20
大衛杜夫香菸	德國	16.06	16.81	16.45	16.44	11.51
藍星特淡菸(L&M)	馬來西亞	16.34	17.56	17.04	16.98	11.89
藍星淡菸(L&M)	馬來西亞	18.61	19.04	18.12	18.59	13.01
寶馬特醇淡菸 (Pall mall)	新加坡 (馬來西亞)	15.70	14.76	16.87	15.78	11.05
寶馬香菸(Pall mall)	新加坡 (馬來西亞)	17.83	17.62	16.61	17.35	12.15
萬寶路淡菸(Marlboro)	美國	19.99	18.11	19.27	19.12	13.38
萬寶路濾嘴香菸 (Marlboro)	美國	20.77	20.06	19.84	20.22	14.15
平均						13.93

註：-無分析數據，*假設每根香菸 0.7 克推算所含鈾-210 活度。

(三) 國人吸菸行為調查結果

衛生福利部國民健康署(以下簡稱國健署)於民國 92 年參考美國疾病管制局風險因子調查方式，並參照國民健康署業務單位擬定政策推動需求，設計適用於國內的「成年人吸菸行為調查(Adult Smoking Behavior Surveillance System, ASBS)」問卷，並自民國 93 年起，採具縣市代表性的抽樣方式，由電話調查訪問中心進行電話訪問。為了能夠與國際調查結果有相同的比較基礎，民國 102 年起擴大調查對象為 15 歲以上之國人，計畫名稱亦變更為「國人吸菸行為調查」，並常規性建立國人吸菸行為資料庫，依全國及縣市別進行分析統計，以瞭解國人吸菸行為之現況及逐年變化趨勢；自民國 105 年開始，該計畫開始納入吸菸者平均每天吸菸根數等調查項目。

檢視衛福部國健署民國 100 年至 107 年的吸菸人口統計變化，國內吸菸人口呈下降的趨勢。本研究依據國健署公布之國人吸菸行為調查【39】結果，整理如下表 5。民國 107 年我國 18 歲以上成人吸菸率為 13.0%，男性吸菸人口比例約為女性的 10 倍(男性 23.4%、女性 2.4%)。

表 5 成人吸菸比例

年份	男性	女性	平均
民國 100 年	33.5%	4.4%	19.1%
民國 101 年	32.7%	4.3%	18.7%
民國 102 年	32.5%	3.3%	18.0%
民國 103 年	29.2%	3.5%	16.4%
民國 104 年	29.9%	4.2%	17.1%
民國 105 年	28.6%	3.8%	15.3%
民國 106 年	26.4%	2.3%	14.5%
民國 107 年	23.4%	2.4%	13.0%

※資料來源：國健署「國人吸菸行為調查報告」

為了解我國青少年的吸菸現況，國健署參採美國疾病管制局之作法，以「全球青少年吸菸行為調查(Global Youth Tobacco Survey, GYTS)」問卷，分成「國中學生」及「高中、高職及五專一至三年級(以下簡稱高中職學生)」兩類辦理青少年族群之吸菸行為調查。本研究依據國健署公布之青少年吸菸行為調查【40】結果，整理如下表 6，民國 100 年至 107 年之青少年吸菸率呈現逐年下降趨勢，吸菸比例上同樣是男性青少年高於女性青少年；本研究擬以 107 年之青少年吸菸率作為劑量評估基礎；其中，國中學生平均吸菸率為 2.8% (男性 4.0%、女性 1.4%)，高中職學生平均吸菸率為 8.4% (男性 11.3%、女性 4.4%)。

表 6 台灣青少年吸菸比例

	國中學生(12-14 歲)		高中職學生(15-17 歲)	
年份	男性	女性	男性	女性
民國 100 年	11.2%	3.7%	20.3%	8.1%
民國 101 年	10.5%	3.7%	19.0%	7.5%
民國 102 年	9.3%	2.6%	16.6%	6.8%
民國 103 年	7.5%	3.5%	16.6%	6.1%
民國 104 年	6.4%	2.0%	15.6%	4.7%
民國 105 年	4.9%	2.1%	13.1%	5.2%
民國 106 年	5.1%	1.5%	12.0%	4.2%
民國 107 年	4.0%	1.4%	11.3%	4.4%

※資料來源：國健署「青少年吸菸行為調查報告」

在吸菸習慣的部分，依據國健署民國 110 年公布之「108 年健康促進統計年報【41】」，本研究整理民國 102 年至 107 年之平均吸菸根數如表 7，女性吸菸者的吸菸根數呈現逐年下降趨勢、男性吸菸者則呈現變動趨勢；民國 107 年吸菸者每天平均吸菸數為：男性吸 20.0 根菸、女性吸 10.7 根菸；民國 102 年至 107 年吸菸者之每天平均吸菸數為：男性吸 19.1 根菸、女性吸 11.2 根菸。

表 7 15 歲以上吸菸者之每天平均吸菸根數

年份	男性(根)	女性(根)	合計(根)
民國 102 年	20	11.2	19.3
民國 103 年	17	12.1	16.5
民國 104 年	18.5	11.7	17.7
民國 105 年	18.3	10.5	17.3
民國 106 年	20.2	10.9	19.5
民國 107 年	20	10.7	19.3
民國 102-107 年 平均	19.1	11.2	18.3

※資料來源：「108 年健康促進統計年報」、國健署「國人吸菸行為調查」

國人吸菸根數統計僅有表 7 之 15 歲以上人口資料，而青少年吸菸行為調查報告中僅調查每天吸菸根數範圍比例，不易納入劑量評估，故本研究假設國中學生(12-14 歲)之吸菸根數與 15 歲以上一樣。因此，本研究以吸菸人口中男性每天吸 20 根(1 包菸)、女性每天吸 10 根(半包菸)為假設條件，評估吸菸的國民輻射劑量。

綜上，因男女吸菸比例及吸菸習慣的差異，可預期因吸菸造成之平均輻射劑量會有明顯的性別差異，女性會遠低於男性，因此，本研究依性別分別評估吸菸行為造成的集體有效劑量(S)，以求得國民輻射劑量(E_{Taiwan})。

(四) 吸菸造成的劑量評估結果

目前國內游離輻射防護安全標準所使用的體內劑量轉換因子，係基於 ICRP 第 60 號報告劑量模式推導所得，與 ICRP 第 72 號報告相同。ICRP 第 72 號報告中一般民眾成人 M 類鈾-210 的劑量轉換因子為 3.3×10^{-6} (Sv/Bq)、鉛-210 為 1.1×10^{-6} (Sv/Bq)；輻射工作人員職業曝露的劑量轉換因子鈾-210 為 2.2×10^{-6} (Sv/Bq)、鉛-210 為 1.1×10^{-6} (Sv/Bq)，適用於一般民眾與輻射工作人員的劑量轉換因子，兩者差異不大。目前所公布基於 ICRP 第 103 號報告的劑量轉換因子，僅有輻射工作人員的部分，尚未有一般民眾的資訊；工作人員的鈾-210 劑量轉換因子為 1.1×10^{-6} (Sv/Bq)、鉛-210 為 6.2×10^{-7} (Sv/Bq)，低於目前的劑量轉換因子，預期未來公布的一般民眾劑量轉換因子也會降低。考量目前國內修法進度，本報告的評估仍以游離輻射防護安全標準為基礎，採用基於 ICRP 第 60 號報告之劑量轉換因子。

假設每天吸一根菸，且保守估計所有鈾-210 皆被吸入人體，吸菸者每年吸入的鈾-210 為 $0.01393(\text{貝克}) \times 365(\text{天}) = 5.08$ 貝克。雖然鉛-210 與鈾-210 在空氣中不會平衡，但因本次未量測鉛-210，故假設鉛-210 與鈾-210 活度相同，代入上述 ICRP 第 60 號報告的體內劑量轉換因子(鈾-210： 3.3×10^{-6} +鉛-210： 1.1×10^{-6} =4.4 微西弗/貝克)，吸菸者每天吸一根菸之輻射年劑量約為 $5.08 \text{ 貝克} \times 4.4 \text{ 微西弗/貝克} = 22.4$ 微西弗，每天吸一包菸則個人年有效劑量(E_{EXP})為 $22.4 \times 20 \div 1000 = 0.450$ 毫西弗。

本研究以吸菸人口中男性每天吸 1 包菸、女性每天吸半包菸為假設條件，因此，吸菸男性及吸菸女性之個人年有效劑量(E_{EXP})分別為 0.450 毫西弗、0.225 毫西弗。

依據衛福部國健署最新的吸菸人口調查資料，民國 107 年成年男性吸菸人口占 23.4%、成年女性占 2.4% (如表 5)；青少年吸菸人口占

比(如表 6)，國中學生平均吸菸率為男性 4.0%、女性 1.4%，高中職學生平均吸菸率為男性 11.3%、女性 4.4%；人口數的部分則採用 107 年內政部人口統計數據做比例估算，即可求得各年齡層之集體有效劑量(S)，如表 8。

表 8 國人吸菸行為之集體有效劑量

年齡	人口數 (人)		吸菸比例 (%)		集體有效劑量(S) (人-毫西弗)	
	男性	女性	男性	女性	男性	女性
<12 歲	1,253,538	1,161,174				
國中學生 (12-14 歲)	331,183	302,332	4.0%	1.4%	5,961	952
高中職學生 (15-17 歲)	381,252	349,041	11.3%	4.4%	19,387	3,456
成年人 (>18 歲)	9,746,940	10,063,472	23.40%	2.40%	1,026,353	54,343
合計	11,712,913	11,876,019			1,051,701	58,751
	23,588,932				1,110,452	

(資料來源：<https://www.stat.gov.tw/ct.asp?xItem=47698&ctNode=549&mp=4>、
<https://data.gov.tw/dataset/31438>)

同樣由民國 107 年人口統計資料顯示，總人口數為 2,358 萬 8,932 人，而各年齡層之總集體有效劑量(S)為 1,110,452 人-毫西弗，因此推算香菸中鈾-210 造成國人平均國民輻射劑量(E_{Taiwan})為 0.047 毫西弗。

四、 結論與建議

(一)依據本中心針對國內常見 9 種品牌、22 類香菸樣品進行鈾-210 之分析檢測數據，各香菸樣品的鈾-210 活度濃度範圍在每公斤 16.44 到 24.17 貝克，以每根香菸中的菸草重量 0.7 克換算，每根香菸鈾-210 含量範圍在 11.51 到 16.92 毫貝克之間，平均為 13.93 毫貝克。與國外文獻之數據相比，美國 NCRP 第 160 號報告採用之香菸鈾-210 活度為 14 毫貝克，其他國家之香菸鈾-210 活度為每根 5.22 到 26 毫貝克之間，顯示其他國家菸草鈾-210 活度與國內常見香菸產品之鈾-210 活度差異不大。

(二)由於國內歷年來菸害防治行動推行成效顯著，國人吸菸人口比率逐年下降。因此，本報告以民國 107 年人口數及吸菸比例推估所得之國民輻射劑量(E_{Taiwan})約為每年 0.047 毫西弗。

五、 参考文献

- 【1】** Artigas F. Aussendung einer ionisierenden Strahlung durch trockene pflanzliche Substanzen. *Comptes Rendus Acad Sci.* 1938;206(1):1200–1202.
- 【2】** Edward P. Radford, Jr. & Vilma. R. Hunt, Polonium-210: a volatile radioelement in cigarettes. *Science.* 1964;Vol 143(3603),p247–249.
- 【3】** Francis CW, Chesters G, Erhardt WH. Polonium-210 entry into plants. *Environ Sci Technol.* 1968;2(9):690–695.
- 【4】** Singh DR, Nilekani SR. Measurement of polonium activity in Indian Tobacco. *Health Phys.* 1976;31(4):393–394.
- 【5】** Watson AP. Polonium-210 and Lead-210 in Food and Tobacco Products: A Review of Parameters and an Estimate of Potential Exposure and Dose. ORNL/TM-8831. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory; 1983
- 【6】** CROSS, F. T., Radioactivity in Cigarette Smoke Issue, *Health Phys.* 1984; 46(1), 205–208.
- 【7】** Martell EA. Tobacco radioactivity and cancer in smokers. *Am Sci.* 1975;63(4):404–412.
- 【8】** Muggli ME, Ebbert JO, Robertson C, Hurt RD. Waking a sleeping giant: the tobacco industry's response to the polonium-210 issue. *Am J Public Health.* 2008;98(9):1643–1650
- 【9】** Rego B. The polonium brief: a hidden history of cancer, radiation, and the tobacco industry. *Isis.* 2009;100(3):453–484.

- 【10】 科學人，輻射香菸針可告人的真相，第 108 期《科學人》雜誌
2011 年二月號
- 【11】 <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer>
- 【12】 Boujelbane F, Samaali M, Rahali S, Dridi W, Abdelli W, Oueslati M, Takriti S. The activities of ^{210}Po and ^{210}Pb in cigarette smoked in Tunisia. *Radiat Environ Biophys.* 2020;59(3):565-570
- 【13】 Cankurt S, Görgün AU. Determination and distribution of ^{210}Po in different morphological parts of tobacco plants and radiation dose assessment from cigarettes in Turkey. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2020;197:110603.
- 【14】 Iwaoka K, Enriquez EB, Yajima K, Hosoda M, Tokonami S, Yonehara H, Garcia TY, Kanda R. ^{210}Po as a source of natural radioactivity in cigarettes distributed in the Philippines. *Perspect. Sci.* 2019;12:100400
- 【15】 Meli MA, Desideri D, Roselli C, Feduzi L. ^{210}Po in Human Saliva of Smokeless Tobacco Users. *Health Phys.* 2017;112(1):28-32.
- 【16】 Tiwari M, Sahu SK, Bhangare RC, Pandit GG. Polonium in size fractionated mainstream cigarette smoke, predicted deposition and associated internal radiation dose. *J Environ Radioact.* 2016;162-163:251-257.
- 【17】 Kubalek D, Serša G, Štrok M, Benedik L, Jeran Z. Radioactivity of cigarettes and the importance of ^{210}Po and thorium isotopes for radiation dose assessment due to

- smoking. J Environ Radioact. 2016;155-156:97-104.
- 【18】 Janković Mandić L, Đolić M, Marković D, Todorović D, Onjia A, Dragović S. Natural radionuclides in cigarette tobacco from Serbian market and effective dose estimate from smoke inhalation. Radiat Prot Dosimetry. 2016;168(1):111-5.
- 【19】 Taroni M, Zagà V, Bartolomei P, Gattavecchia E, Pacifici R, Zuccaro P, Esposito M. ^{210}Pb and ^{210}Po concentrations in Italian cigarettes and effective dose evaluation. Health Phys. 2014;107(3):195-9.
- 【20】 Begy RC, Somlai J, Kovacs T, Dumitru Rusu OA, Cosma C. The activity concentration of ^{210}Po in Romanian commercial cigarettes and the radiation exposure estimation derived from their regular consumption. Radiat Prot Dosimetry. 2013;157(1):120-4.
- 【21】 Sakoda A, Fukao K, Kawabe A, Kataoka T, Hanamoto K, Yamaoka K. Radioactivity of ^{210}Pb in Japanese cigarettes and radiation dose from smoking inhalation. Radiat Prot Dosimetry. 2012;150(1):109-13.
- 【22】 Mohammadi S. Elements of natural radioactive decay series in Iranian drinking water and cigarettes. Arh Hig Rada Toksikol. 2010;61(2):235-9.
- 【23】 Schayer S, Nowak B, Wang Y, Qu Q, Cohen B. ^{210}Po and ^{210}Pb activity in Chinese cigarettes. Health Phys. 2009;96(5):543-9.
- 【24】 Khater AE, Abd El-Aziz NS, Al-Sewaidan HA, Chaouachi K. Radiological hazards of Narghile (hookah, shisha, goza)

- smoking: activity concentrations and dose assessment. J Environ Radioact. 2008;99(12):1808-14.
- 【25】** Savidou A, Kehagia K, Eleftheriadis K. Concentration levels of ^{210}Pb and ^{210}Po in dry tobacco leaves in Greece. J Environ Radioact. 2006;85(1):94-102.
- 【26】** Khater AE. Polonium-210 budget in cigarettes. J Environ Radioact. 2004;71(1):33-41.
- 【27】** Peres AC, Hiromoto G. Evaluation of ^{210}Pb and ^{210}Po in cigarette tobacco produced in Brazil. J Environ Radioact. 2002;62(1):115-9.
- 【28】** Skwarzec B, Strumińska DI, Boryło A, Ulatowski J. Polonium ^{210}Po in cigarettes produced in Poland. J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng. 2001;36(4):465-74.
- 【29】** National Council on Radiation Protection and Measurements. (1988), Radiation Exposure of the U.S. Population from Consumer Products and Miscellaneous Sources (NCRP Report No. 95) . NCRP Publishing.
<https://ncrponline.org/shop/reports/report-no-095-radiation-exposure-of-the-u-s-population-from-consumer-products-and-miscellaneous-sources-supersedes-ncrp-report-no-56-1987/>
- 【30】** National Council on Radiation Protection and Measurements. (2009), Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States (NCRP Report No. 160) . NCRP Publishing.
<https://ncrponline.org/publications/reports/ncrp-report-160-2/>
- 【31】** International Commission on Radiological Protection. (1995),

Age-dependent Doses to the Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients (ICRP Publication 72). ICRP Publishing.

<https://www.icrp.org/publication.asp?id=icrp%20publication%2072>

- 【32】 International Commission on Radiological Protection. (2007), Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP Publication 103). ICRP Publishing.**

https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_37_2-4

- 【33】 International Commission on Radiological Protection. (2017), Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3 (ICRP Publication 137). ICRP Publishing.**

https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_46_3-4

- 【34】 Cohen, B.S., Eisenbud, M., Wrenn, M.E., Harley, N.H., Distribution of polonium-210 in the human lung. Radiat. Res. 1979;79, 162–168**

- 【35】 Cohen, B.S., Harley, N.H., Tso, T.C., Clearance of polonium 210 enriched cigarette smoke from the rat trachea and lung. Toxicol. Appl. Pharmacol. 1985 ;79, 314–322**

- 【36】 原子力安全研究会(2020)。「日本生活環境放射線(国民線量の算定) (第3版)」**

- 【37】 EML, DOE (EML is currently part of the DHS). “HASL-300 Method Po-02-RC: Polonium in Water, Vegetation, Soil, and**

Air Filters.” EML Procedures Manual, HASL-300, 28th Edition. 1997.

**【38】 自由時報，<https://ec.ltn.com.tw/article/paper/1311677>
[2019/08/19](#)**

【39】 109 年 18 歲以上成人吸菸行為調查報告，衛生福利部國民健康署

【40】 107 年度青少年吸菸行為調查報告，衛生福利部國民健康署

【41】 108 年健康促進統計年報，衛生福利部國民健康署

附錄、審查意見對照表

陳清江委員

項次	建議修正內容	意見回復與修正說明
1	<u>全文</u> 標題建議修正為:國人吸菸造成的輻射劑量評估報告。	感謝委員意見，已依建議將標題修正為「國人吸菸造成的輻射劑量評估」，另為統一本中心報告名稱，將報告刪除。
2	<u>全文</u> 建議增加摘要。	感謝委員意見，已依建議增加摘要。
3	<u>P.3</u> 鉛-210 與鈾-210 在空氣中不會平衡，此假設不成立。	感謝委員意見，已依建議修正，未來將重新量測或查詢鉛-210 與鈾-210 之相關參考資料(P.14)。
4	<u>P.14</u> 鉛-210 是母核與子核鈾-210 在空氣中不會平衡，此假設有誤。	感謝委員意見，已依建議修正，未來將重新量測或查詢鉛-210 與鈾-210 之相關參考資料(P.14)。

尹學禮委員

項次	建議修正內容	意見回復與修正說明
1	<u>P.3</u> 衰變鍊，建議修正為衰變鏈。	感謝委員意見，已依建議修正(P.1)。
2	<u>P.3</u> 美國輻射防護學會，建議修正為美國輻射防護與度量委員會。	感謝委員意見，已依建議修正(P.4)。

項次	建議修正內容	意見回復與修正說明
3	<u>全文</u> 每天平均吸菸 30 根，報告中亦有使用支數為單位，建議報告內文與圖表中之單位能夠統一。	感謝委員意見，已依建議將單位統一為根(全文)。
4	<u>P.6</u> 表 2 中男性與女性吸菸比例合計一欄之數值如何計算而得？是以全部吸菸人口除以全國人口，亦或只考慮 18 歲以上人口等，建議能夠於報告中補充說明其背景。 合計一欄之數值似有平均之意思，若是如此，建議考量將「合計」改用「平均」。	感謝委員意見，合計一欄係依據國健署公布之「國人吸菸行為調查」報告中數據，比例數值依其問卷結果顯示，並非全部吸菸人口除以全國人口。另合計為集體有效劑量，沒有平均之意思(P.14)。
5	<u>P.7</u> 報告中說明國中生與高中職生之平均吸菸率為 2.8%與 8.4%，請問此平均值如何估算？男性與女性的學生比例是多少？建議能於報告中稍作補充說明。	感謝委員意見，平均值係依據其發放之問卷結果顯示。男性與女性的學生比例係依據內政部提供之人口數乘上吸菸率推估集體有效劑量(P.14)。

邱志宏委員

項次	建議修正內容	意見回復與修正說明
1	<u>全文</u> 建議增加摘要。	感謝委員意見，已依建議增加摘要。
2	<u>表 2、3、4</u> 表格內容請勿隨頁數而被切開，必須每一表的資訊都完整顯示在一個 page 之上。所以表 2、表 3、表 4 要改進。	感謝委員意見，將表格內容完整顯示在一頁面(P.6~8)。
3	<u>綜合意見</u> 建議在報告中第一次出現「本中心」時，宜先寫出機關全銜，再括號(以下簡稱本中心)為宜。	感謝委員意見，已參採修正相關內容(P.2)。

羅時麒委員

項次	建議修正內容	意見回復與修正說明
1	P.15 結論之呈現太簡單，建議予以修正 1. 補充說明國內的調查結果(並非只有鈾-210 濃度 1 句話)。 2. 與國外相比較，亦需以數據佐證。 3. 有關國民輻射年劑量之推估 1 節，建議先說推估結果，並說明可能原因。	感謝委員意見，已參採建議予以修正(P.15)。
2	P.9 建議建議將調查結果(p9~13)，與劑量評估推估結果(p4~15)分開說明，以利閱讀。並強化劑量評估相關參數之說明，及說明推估結果的可能原因。	感謝委員意見，已參採建議予以修正(P.9~14)。

許芳裕委員

項次	建議修正內容	意見回復與修正說明
1	P.2 圖 1 中標示氬氣及其子核之半化期建議儘量與另一份報告「國人氬氣輻射劑量評估報告 (111 年 10 月)」之圖 1 相同。	感謝委員意見，已參採統一圖片(P.1)。
2	P.4 「年劑量平均值約為每年 0.36 毫西弗」，此處之年劑量是否為年有效劑量？請予確認並以明確文字表示。	感謝委員意見，此為年有效劑量，已依建議予以修正(P.4)。
3	P.6 「檢視衛福部國健署近 10 年的抽菸人口統計...」，建議修改為「檢視衛福部國健署民國 100 年至 107 年的抽菸人口統計...」。	感謝委員意見，已依建議予以修正(P.10)。
4	P.8 「本研究整理近六年之吸菸數」建議修改為「本研究整理民國 102 年至 107 年之吸菸數」。	感謝委員意見，已依建議予以修正(P.12)。

項次	建議修正內容	意見回復與修正說明
5	<u>P.9</u> 本中心亦於民國 98 年購買國內常見 9 種品牌之分析檢測，民國 98 年迄今已 13 年餘，是否有再抽樣檢測取的新數據之規劃？	感謝委員意見，未來將依建議再抽樣檢測取的新數據。
6	<u>全文</u> 建議可增加摘要。	感謝委員意見，已依建議增加摘要。