

汽車修理業噴漆勞工重金屬生物偵測調查研究

.....

Study of Biomonitoring of Toxic Heavy Metal for Automobile Repainting Workers



汽車修理業噴漆勞工重金屬生物偵測
調查研究

**Study of Biomonitoring of Toxic Heavy
Metal for Automobile Repainting
Workers**

汽車修理業噴漆勞工重金屬生物偵測
調查研究

**Study of Biomonitoring of Toxic Heavy
Metal for Automobile Repainting
Workers**

研究主持人：鐘順輝、錢葉忠

計畫主辦單位：勞動部勞動及職業安全衛生研究所

研究期間：中華民國 107 年 1 月 1 日至 107 年 12 月 31 日

本研究報告公開予各單位參考
惟不代表勞動部政策立場

勞動部勞動及職業安全衛生研究所
中華民國 108 年 6 月

摘要

本研究針對國內汽車鈹噴之勞工，藉危害及暴露調查，評估其重金屬暴露量及體內劑量現況，以篩選高風險族群，並希望能找出危險因子，進行危害預防。

本研究對漆料危害特性分析、漆料重金屬成分全球管制現況、汽車噴漆業危害特性分析、噴漆業勞工金屬暴露調查、噴漆業勞工有害金屬生物偵測調查及勞工有害金屬暴露評估及生物偵測分析方法等類別相關文獻進行分析探討。對 4 家汽車鈹噴廠進行現場訪視調查，研析作業危害特性；並完成噴漆勞工現場作業環境重金屬監測樣品 44 個。結果發現，鈹噴廠勞工個人日時量平均重金屬暴露濃度約在每立方公尺數微克之範圍，空氣中鋁、鉻、鎳、銅、鎘及鉛之總平均濃度分別為 4.29、0.31、0.10、0.16、0.05 及 $0.12\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；並針對噴漆作業之勞工收集分析體內劑量樣本 56 個（血液樣品 28 個及尿液樣品 28 個，結果發現，鈹噴廠勞工體內劑量重金屬濃度均低於暴露限值，其中，勞工血中鉛之平均值分別為 $1.97\mu\text{g}/\text{dL}$ ；對勞工現場作業環境暴露量及各生物暴露指標間進行皮爾森相關性分析、針對生物暴露指標與勞工各項參數間之線性多變量分析，及針對不同行業及工作類型間之暴露量及各生物暴露指標間差異進行變異數分析等統計分析工作。

本研究開發使用感應耦合電漿質譜 (ICP-MS) 原理來檢測尿中鉛的分析方法。經測試檢量線範圍為 0.4~800 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，偵測極限為 0.018 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，分析方法精密度為 0.02，準確度為 0.16%(62.21 $\mu\text{g}/\text{L}$)及 2.08%(12.61 $\mu\text{g}/\text{L}$)，樣品平均回收率為 99.79%，樣品建議採樣後冷藏儲存應盡量於 56 天內完成分析。總結而言，本方法無須太多之前處理程序或進行衍生之問題，因此相對單純而簡易。各項評估指標均符合我國作業環境中有害物勞工暴露生物偵測分析方法驗證程序中之要求，因此，本研究提出「尿中鉛採樣分析建議方法」草案，可供後續之測試及應用。

關鍵詞：噴漆、金屬、體內計量、生物偵測、暴露

Abstract

This study was conducted to evaluate the exposures and internal doses of toxic heavy metals for automobile repainting workers via environmental monitoring and biomonitoring, aiming at screening for high risk workers for hazard control.

Literature review was first conducted on the hazards of automobile paint, global control of toxic metals in paint, hazard analysis, occupational exposures and biomonitoring of toxic metals on automobile repainting workers, and analytical methods. Field surveys, environmental monitoring and biomonitoring were conducted on four automobile repainting shops to assess the hazard characteristics. The results indicate the time-weighted metal exposures (n=44) were in the range of a few micrograms per m³ or less, with the mean levels of 4.29, 0.31, 0.10, 0.16, 0.05 and 0.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for Al, Cr, Ni, Cu, Cd and Pb, and for automobile repainting, respectively. Bio-monitoring results (28 blood and 28 urine samples) indicate that, for repainting workers, the level of toxic heavy metals was lower than the exposure limits, and the blood Pb levels was 1.97 $\mu\text{g}/\text{dL}$. Statistical analysis was performed to characterize the relationships between external exposures and internal dose, such as Pearson correlation between workers exposure and biological index, multiple linear regressions for biological index against various workers characters collected from questionnaire, and analysis of variance (ANOVA) between industries and among processes.

A new analytical method was developed for measuring urinary lead using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). It has a calibration range of 0.4~800 $\mu\text{g}/\text{L}$ and detection limit of 0.018 $\mu\text{g}/\text{L}$. The analytical precision and accuracy were 0.02 and 0.16% (62.21 $\mu\text{g}/\text{L}$) or 2.08% (12.61 $\mu\text{g}/\text{L}$), respectively, and a mean recovery of 99.79%. Samples are recommended to be treated within 56 days under frozen storage. The protocol is simple, without the need for derivatization, and meets the requirements for current method evaluation guidelines. Thus a draft method was proposed for further application.

KeyWords: repainting, metals, internal dose, bio-monitoring, exposure

目次

摘 要.....	i
Abstract	ii
目次.....	iii
圖目次.....	v
表目次.....	vi
第一章 計畫概述.....	1
第二章 文獻回顧.....	4
第一節 漆料危害特性分析.....	4
第二節 漆料重金屬成分全球管制現況.....	5
第三節 汽車噴漆業危害特性分析.....	8
第四節 噴漆業勞工金屬暴露調查.....	9
第五節 噴漆業勞工有害金屬生物偵測調查.....	10
第六節 勞工有害金屬暴露評估及生物偵測分析方法.....	11
第三章 研究方法.....	14
第一節 計畫執行架構.....	14
第二節 執行方法及步驟.....	14
第四章 結果與討論.....	24
第一節 汽車修理業噴漆作業重金屬暴露特性調查分析.....	24
第二節 尿中鉛生物偵測分析方法開發.....	35
第三節 汽車噴漆作業及相關產業職業衛生危害說明會辦理.....	62
第五章 結論與建議.....	64
第一節 結論.....	64
第二節 建議.....	65
誌謝.....	66
參考文獻.....	67
附錄一.....	70
附錄二.....	80

附錄三 92

圖目次

圖 1 研究流程架構.....	14
圖 2 ICP-MS 穩定性測試 X-R 圖(以鉛尿樣標準品管樣品測試).....	36
圖 3 鉛檢量線圖(2018/09/03 分析用檢量線圖為例).....	38
圖 4 尿液樣品冷藏儲放穩定性測試結果圖.....	44
圖 5 尿液樣品冷凍儲放經解凍後測試其穩定性測試結果圖.....	46
圖 6 尿液樣品冷凍儲放經重複冷凍解凍測試後其穩定性測試結果圖.....	46
圖 7 ICP-MS 穩定性測試 X-R 圖(以鉛尿樣標準品管樣品測試).....	54
圖 8 尿液樣品冷藏儲放穩定性測試結果圖.....	60
圖 9 尿中鉛採樣分析流程圖.....	61

表目次

表 1 各國作業環境空氣中鉛之容許暴露標準及血中鉛限值.....	3
表 2 全球有建立正式的法規來限制含鉛漆料使用之國家 (8/2017)	6
表 3 全球有建立漆料中鉛含量管制標準之國家 (8/2017)	7
表 4 全球有針對漆料中特定鉛化合物之使用進行管制之國家 (8/2017)	7
表 5 作業環境中及勞工生物偵測重金屬採樣分析方法彙整.....	11
表 6 噴漆相關員工重金屬暴露特性調查問卷.....	19
表 7 鈹噴廠 A 廠勞工重金屬暴露調查.....	24
表 8 鈹噴廠 B 廠勞工重金屬暴露調查.....	25
表 9 鈹噴廠 C 廠勞工重金屬暴露調查.....	26
表 10 鈹噴廠 D 廠勞工重金屬暴露調查.....	27
表 11 不同行業平均血中鉛濃度值.....	30
表 12 不同行業特定金屬生物偵測濃度值.....	30
表 13 噴漆業勞工個人日時量平均重金屬暴露量與其體內劑量相關分析結果(具顯著性者 $P<0.05$).....	31
表 14 噴漆業勞工血液與尿液重金屬濃度相關分析結果(具顯著性者 $P<0.05$).....	32
表 15 噴漆業區域與勞工個人日時量平均重金屬暴露濃度相關分析結果(具顯著性者 $P<0.05$).....	32
表 16 勞工重金屬體內劑量與勞工各項參數間多變量分析結果.....	33
表 17 ICP-MS 穩定性測試數據表.....	36
表 18 0.8MG/L 尿中鉛標準溶液七重複測試結果.....	38
表 19 0.4MG/L 尿中鉛標準溶液七重複測試結果.....	39
表 20 尿中鉛標準溶液共同標準偏差 SPOOLED	39
表 21 0.5~2 倍 BEI 三種濃度回收率測試結果.....	40
表 22 準確度測試結果.....	41
表 23 尿液樣品冷藏儲放穩定性測試結果.....	42
表 24 尿液樣品冷凍儲放兩種測試條件下穩定性測試結果.....	44

表 25 「尿中鉛 ICP-MS 分析方法」採樣分析建議方法草案	47
表 26 ICP-MS 穩定性測試數據表.....	54
表 27 0.8MG/L 尿中鉛標準溶液七重複測試結果	55
表 28 0.4MG/L 尿中鉛標準溶液七重複測試結果	55
表 29 尿中鉛標準溶液共同標準偏差 SPOOLED	56
表 30 0.5~2 倍 BEI 三種濃度回收率測試結果	57
表 31 準確度測試結果.....	58
表 32 尿液樣品冷藏儲放穩定性測試結果.....	59
表 33 噴漆作業(汽車及噴漆相關產業)職業衛生危害防制說明會辦理實況	62
表 34 A 鈹噴廠作業環境重金屬監測結果.....	70
表 35 A 鈹噴廠勞工血液中重金屬監測結果.....	71
表 36 A 鈹噴廠勞工尿液中重金屬監測結果.....	71
表 37 A 鈹噴廠勞工尿液中校正後重金屬監測結果.....	72
表 38 B 鈹噴廠作業環境重金屬監測結果	73
表 39 B 鈹噴廠勞工血液中重金屬監測結果	73
表 40 B 鈹噴廠勞工尿液中重金屬監測結果	74
表 41 B 鈹噴廠勞工尿液中校正後重金屬監測結果	74
表 42 C 鈹噴廠作業環境重金屬監測結果	75
表 43 C 鈹噴廠勞工血液中重金屬監測結果	76
表 44 C 鈹噴廠勞工尿液中重金屬監測結果	76
表 45 C 鈹噴廠勞工尿液中校正後重金屬監測結果	76
表 46 D 鈹噴廠作業環境重金屬監測結果	78
表 47 D 鈹噴廠勞工血液中重金屬監測結果	79
表 48 D 鈹噴廠勞工尿液中重金屬監測結果	79
表 49 鈹噴廠勞工尿液中校正後重金屬監測結果.....	79
表 50 噴漆廠作業環境重金屬監測結果彙整.....	80
表 51 噴漆廠勞工作業別重金屬暴露監測結果.....	82
表 52 噴漆廠勞工生物偵測結果彙整.....	84

表 53 噴漆廠勞工作業別勞工血液中重金屬濃度統計.....	86
表 54 噴漆廠勞工作業別勞工尿液中重金屬濃度統計.....	88
表 55 噴漆廠勞工作業別勞工經肌酸酐校正尿液中重金屬濃度.....	90

第一章 計畫概述

汽車修理業噴漆/烤漆作業使用之油性塗料是由樹脂、溶劑、色料、助劑或其他添加劑等所組成。樹脂是漆料的主體，能賦予塗膜光澤與硬度。溶劑的功能是使樹脂與顏料溶液混和成液體，並方便塗裝。色(顏)料主要提供塗料色彩，或具填充、耐研磨及防鏽功能。添加劑則用於改善油漆塗料與塗膜的性能。色料分為無機與有機兩類，有機顏料多數為偶氮類及酞菁類，其中酞菁類之藍色顏料與綠色顏料含金屬銅；國產無機顏料主要以金屬分子為基本成分，主要包含碳黑、鈦白粉、鉻黃、鉍鉻黃、鉍紅、鉍橙等。因此，黑色顏料常使用碳黑或氧化鐵；白色顏料多為二氧化鈦(含鈦與鉍金屬)或鋅氧粉(ZnO)；紅色顏料使用PbO、PbO₂或Pb₃O₄，其中防鏽紅丹漆中Pb₃O₄的含量超過95%；黃色顏料以鉻酸鉛(黃鉛)為主，少數使用氧化鐵(黃土)；藍色顏料多為亞鐵氰化鐵(普魯士藍)或鋁矽化硅酸鈉(含鋁金屬)；綠色顏料以鉻綠(黃鉛與普魯士藍之混合物)為主，少數使用氧化鉻綠 (Cr₂O₃及CrO(OH)₂)[1-3]。

過去油性塗料常用之紅色(顏料紅104號，鉍鉻酸鉛硫酸鹽)及黃色(顏料黃34號，硫化鉻酸鉛)色料均含有鉛及鉻，具致癌性及生殖危害，因此，已被歐盟「化學物質之註冊、評估、許可和限制法案(Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals (REACH), EC 1907/2006)」及「化學物質之分類、標示和包裝法案(Classification, Labelling and Packaging of Substances and Mixtures (CLP), EC 1272/2008)」列為不得添加使用之物質，但由於使用廣泛，市場上仍有可能流通。先前國外一起職業性肺癌案例之調查發現，橘黃、黃及鮮黃色傳統漆料所含之6價鉻(及總鉻)分別為18295(43416)、14085(14085)及10935(36302) ppm；鉛分別為173568、78105及186437 ppm；而各色「環境友善(Eco-friendly)」漆中上述這些成分僅微量檢出[4]。

在我國調查發現汽車鈹噴廠之油性黃色漆樣品(包括橘黃、亮黃、淡黃等色)在鉛、總鉻及鐵之濃度上均較其他色漆組為高，濃度中位數分別為12411、1756及2068 $\mu\text{g/g}$ [5]。而美國針對有關鉛基油漆之行業回顧鉛暴露含量，從1970年起根據26篇論文的總結統計數據顯示，空氣中鉛暴露為348 $\mu\text{g/m}^3$ [6]。在肯亞由六個不同工廠測得空氣中塗料產生鉛介於76.3 \pm 33.2 $\mu\text{g/m}^3$ ，已超過美國職業安全衛生署(OSHA)超過八小時日時量平均容許暴露標準(50 $\mu\text{g/m}^3$)[7]。國內另一項針對防銹紅丹漆噴塗時之勞工鉛暴露調查發現，區域採樣平均鉛濃度為0.298 \pm 0.154 mg/m^3 ，超過八小時日時量平均容許暴露標準(0.05

mg/m³), 而勞工短時間之可呼吸性粉塵中鉛濃度為0.362±0.297 mg/m³, 亦超過鉛之短時間時量平均容許暴露標準(0.15 mg/m³)[8]。美國職業安全衛生研究所 (NIOSH) 調查工人在使用含六價鉻的產品的塗裝設備中, 在空氣中暴露狀況, 油漆工人和助手的接觸濃度為 2.4-55µg/m³, 已超過容許暴露濃度[9]。這些結果顯示噴漆作業之高危害性。

在容許暴露標準上(表 1), 美國政府工業衛生技師協會(ACGIH)、美國職業安全衛生署 (OSHA)、美國職業安全衛生研究所 (NIOSH)、及我國勞動部針對空氣中鉛濃度訂定八小時日時量平均容許暴露標準為50µg/m³, 而英國職業安全衛生署 (HSE)及歐盟則訂為150µg/m³。在血中鉛限值上, 美國職業安全衛生署建議應低於40µg/dL, 略高於ACGIH建議的30µg/dL, 而英國HSE則建議生育期女性應低於25µg/dL、16-17歲勞工應低於40µg/dL, 而其他年齡之勞工應低於50µg/dL。

因此, 各種色彩塗料中通常含有重金屬成分 (如鉛及鉻), 其成分易造成作業現場勞工健康危害。然國內以往噴漆/烤漆業勞工之職業衛生危害評估, 其重點在有機溶劑之暴露調查評估, 對於重金屬之量測及其潛在風險則較少相關研究文獻。且過去全球對漆料中重金屬的管制較鬆, 因此, 勞工可能長期接觸高濃度重金屬的漆料之中長達10數年。本研究旨在針對國內汽車噴漆作業勞工, 特別是使用具有色漆料之作業, 藉勞工生物暴露調查, 評估其重金屬體內劑量, 篩選高風險族群, 及早進行危害預防, 以避免相關職業病之發生。

表 1 各國作業環境空氣中鉛之容許暴露標準及血中鉛限值

Agency	Air-Exposure Guideline (8-h time-weighted average)	Recommended Limit for Blood Lead Level	Year Approved
Occupational Safety and Health Administration	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{dL}$	1978
National Institute for Occupational Safety and Health	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	60 $\mu\text{g}/\text{dL}$	1978
American Conference of Governmental Industrial Hygienists	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	30 $\mu\text{g}/\text{dL}$	1987 (air) 1995 (blood)
European Council Directive 98/24	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	70 $\mu\text{g}/\text{dL}$	1998
European Union Scientific Committee on Occupational Exposure Limits	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	30 $\mu\text{g}/\text{dL}$	2002
German Commission for the Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area	None, because probably carcinogenic in humans	40 $\mu\text{g}/\text{dL}$ for men and women over 45 years old 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ for women under 45 years old	2006
United Kingdom Health and Safety Executive	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25 $\mu\text{g}/\text{dL}$ for women of reproductive age 40 $\mu\text{g}/\text{dL}$ for people 16-17 years old 50 $\mu\text{g}/\text{dL}$ for all other employees	2002

第二章 文獻回顧

本研究針對國際上關於漆料中重金屬管制現況及噴漆作業生物偵測劑量評估相關文獻進行收集分析。本研究以美國國家醫學圖書館生技資訊中心建立的 PubMed 醫學期刊文獻索引資料庫為主要搜索引擎，再佐以官方網路公開資料為文獻資料主要來源，蒐集近年發表之相關文獻；並將結果區分為「漆料危害特性分析」、「漆料重金屬成分全球管制現況」、「汽車噴漆業危害特性分析」、「噴漆業勞工金屬暴露調查」、「噴漆業勞工有害金屬生物偵測調查」及「勞工有害金屬暴露評估及生物偵測分析方法」等大項類別，再個別篩選較相關者進行深入分析探討，作為本研究執行時之參考。

第一節 漆料危害特性分析

漆料主要之危害可視為有機溶劑與重金屬。溶劑是塗料中最重要的成分。其應用的主要目的是將塗料稀釋至合適的處理稠度或黏度，以便於製造和應用，塗料使用後，溶劑蒸發，並在漆面上留下乾漆膜。在油漆的製造過程中設備會產生溶劑蒸氣，如果該過程不受控制，可能會使工作場所產生高濃度的有機溶劑，導致工人的健康和 safety 受到威脅，而向大氣中釋放揮發性有機溶劑也會增加臭氧和光化學污染物的濃度，進而對環境衛生產生不利的影響。製漆常用的溶劑包括異丙醇、甲苯、二甲苯和氯化溶劑，而溶劑在油漆和清漆的品質和持久性中具有重要作用[13]。

鉛、鉻和鎘是汽車塗料中的主要重金屬，它們是塗料顏料的組分，例如鉻酸鉛、氧化鉛、鎘黃、鉻黃和鉻橙。長期接觸鉛會導致中樞神經系統退化（慢性腦病）、貧血和腎功能衰竭。慢性接觸空氣中的鎘會導致阻塞性肺病和肺癌。透過水和食物長期接觸鎘可能導致腎小管功能障礙、鈣代謝紊亂、骨質疏鬆症和骨軟化症，而慢性吸入六價鉻化合物可引起過敏性哮喘反應、黏膜潰瘍、鼻中隔穿孔和支氣管癌[11]。如果兒童接觸到低濃度鉛可能導致智商降低和負面的行為改變[14]。暴露於異氰酸酯中可能造成哮喘[15]，暴露於溶劑造成神經毒性症狀[16]，而暴露於苯時，也會降低人類的造血功能[17]。

依據 2015 年非營利組織「看守台灣 (Taiwan Watch Institute, TWI)」與「國際消除持久性有機污染物網絡 (International POPs Elimination Network, IPEN)」合作調查台灣市售塗料含鉛量的結果發現，47 項樣本中有 22 項都超過 10,000 ppm (佔 47%)。而鉛

含量前 3 高分別為防鏽紅丹漆 (440,000 ppm)、調合漆亮黃色 (140,000 ppm) 與調合漆亮黃色 (140,000 ppm)。在 35 種鮮豔塗料中的 26 種 (74% 的鮮豔塗料) 中發現鉛濃度大於 600ppm。黃色、橙色和紅色塗料是濃度最高的，七種橙色塗料中有六種 (86%) 含鉛總濃度大於 10,000 ppm。此外，12 種黃色塗料中的 9 種 (75%) 和 16 種紅色塗料中的 7 種 (44%) 含有高於 10,000 ppm 的危險高鉛濃度，顯示當製造或使用這些艷色漆料時，國人可暴露於高濃度的鉛之下[18]。

第二節 漆料重金屬成分全球管制現況

聯合國環境計畫署(UNEP)及世界衛生組織 (WHO)於 2011 年共同建立了一項「全球共同廢除含鉛漆料聯盟 (Global Alliance to Eliminate Lead Paint)」的志願性參與計畫，目標在預防兒童及勞工暴露於含鉛油漆[11]。該計畫之執行內容包括：

- 一、喚起政府機關、立法機構、私人機構、製造商、消費者、作業勞工、商業公會及醫療團體等，對鉛之毒性與市面上替代性產品可取得性之重視。
- 二、激發各界能創造及執行一些能降低使用含鉛漆料及塗有含鉛漆料之產品引發之風險的預防性活動。
- 三、找出仍在製造及行銷含鉛漆料的製造商及配方，以便啟動後續之管制作為。
- 四、鼓勵各國建立一套能管制製造、進口、出口及使用含鉛漆料(或產品中塗有含鉛漆料)的法規架構。
- 五、藉國際第三方公正機構之檢測認證，作為使用者選用不含鉛漆料之依據。
- 六、促成各地區間關於造成潛在幼兒(如住家、托育場所及學校之含鉛漆料及粉塵)及勞工 (如製造及使用含鉛漆料) 鉛暴露及防制作為之資訊交流。

依據該計畫截至 2017 年 8 月底的統計資料發現[19]，全球只有 34.7% (=67/193) 的國家有正式的法規來限制生產、進口及銷售含鉛漆料，其中非洲、亞洲及太平洋地區、西亞地區、北美、歐洲、拉丁美洲及加勒比海地區分別有 7.4%、20.5%、18.2%、100%、74.0%及 33.0%的國家有正式的法規來規範。另外，針對地區和收入水準對鉛塗料控制的總體效果進行分析發現，兩者存在一些正相關[19]。

表 2 全球有建立正式的法規來限制含鉛漆料使用之國家 (8/2017)

非洲	阿爾及利亞、肯尼亞、南非、坦桑尼亞聯合共和國
亞洲和太平洋地區	澳大利亞、中國、印度、尼泊爾、新西蘭、菲律賓、斯里蘭卡、泰國
西亞	約旦、阿曼
北美洲	加拿大、美國
拉丁美洲和加勒比地區	阿根廷、巴西、智利、哥斯達黎加、古巴、多米尼加、圭亞那、墨西哥、巴拿馬、巴拉圭、特立尼達和、多巴哥、烏拉圭
歐洲	亞美尼亞、奧地利、白俄羅斯、比利時、保加利亞、克羅地亞、塞浦路斯、捷克共和國、丹麥、愛沙尼亞、芬蘭、法國、德國、希臘、匈牙利、冰島、愛爾蘭、意大利、吉爾吉斯斯坦、拉脫維亞、列支敦士登、立陶宛、盧森堡、馬耳他、摩納哥、黑山、荷蘭、挪威、波蘭、葡萄牙、羅馬尼亞、俄羅斯聯邦、塞爾維亞、斯洛伐克、斯洛文尼亞、西班牙、瑞典、瑞士、馬其頓共和國、英國

在全球 67 個有正式的法規來限制含鉛漆料之使用的國家中(如表 2)，只有 31 國 (46%)制定鉛含量管制標準 (表 3)，其中 24 國建立的標準小於 600ppm(總鉛)，這被認為是含鉛量較低，且於製造過程中無刻意添加含鉛物質。中國雖制定 90 ppm 管制標準，但其為可溶性(s)鉛，因此，保護性可能較差。該計畫也建議 90 ppm(總鉛)為較佳的管制標準值。

表 3 全球有建立漆料中鉛含量管制標準之國家 (8/2017)

90 ppm	100 ppm	600 ppm	1000 ppm 以上
加拿大 中國(s) 印度 肯尼亞 尼泊爾 菲律賓 美國	瑞士 泰國 坦桑尼亞聯合共 和國	阿根廷 巴西 智利 哥斯達黎加 多米尼加 圭亞那 約旦 墨西哥 阿曼 巴拿馬 南非 斯里蘭卡 特立尼達和多巴哥 烏拉圭	阿爾及利亞 亞美尼亞 澳大利亞 白俄羅斯 古巴 新西蘭 俄羅斯聯邦

另外，全球 36 國有針對漆料中金屬鉛之使用進行管制(表 4)。其中，有 31 國採用歐盟「化學物質之註冊、評估、許可和限制法案 (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals, REACH) 」的規範來限制化學物質(指定之物質、混合物及成品)之銷售及使用，管制內容包含化學物質之註冊、評估、許可和使用限制。在 REACH 法規附錄 17 (Annex XVII) 中規定不應作為塗料的物質及配製品之成分，包括鉛及其化合物(Lead and Lead compounds)、Lead carbonate [中性無水碳酸鉛($PbCO_3$)或鉛白($2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$)]、Lead Sulphates (硫酸鉛 $PbSO_4$ 、鉛的硫酸鹽 Pb_xSO_4)。另外，亦管制鎘及其化合物 (如含有高鎘含量，其鎘不得超過 0.1%(w/w)、砷化合物、鎳及其化合物及六價鉻化合物使用於漆料中。

表 4 全球有針對漆料中特定鉛化合物之使用進行管制之國家 (8/2017)

奧地利*	捷克共和國*	德國*	意大利*	盧森堡*	挪威*
比利時*	丹麥*	希臘*	吉爾吉斯斯坦	馬耳他*	波蘭*
保加利亞*	愛沙尼亞*	匈牙利*	拉脫維亞*	摩納哥	葡萄牙*
克羅地亞*	芬蘭*	冰島*	列支敦士登*	黑山	羅馬尼亞*
塞浦路斯*	法國*	愛爾蘭*	立陶宛*	荷蘭*	塞爾維亞
斯洛伐克*	斯洛文尼亞*	西班牙*	瑞典*	英國*	馬其頓共和 國

第三節 汽車噴漆業危害特性分析

汽車修理後之噴漆/烤漆（一般稱為 Automobile refinish painting 或 repainting)和汽車製造時之車體塗裝（一般稱為 primary coating)所使用之樹脂、溶劑及烘烤溫度均不同，因而導致勞工之作業特性及暴露特性也不同[20, 21]。汽車修理業之勞工作業時，常會接觸許多化學物質，導致職業性暴露。這包括來自噴漆、填充劑、泡綿及溶劑之揮發性有機物、油漆中的重金屬（如鉛及六價鉻）及異氰酸鹽、研磨產生之粉塵（可能含二氧化矽）、引擎維修時接觸之機油、或鈹金切割焊接產生之金屬煙。除此，其他危害因子包括人因（重複性動作、抬舉重物）、地板因油脂導致之濕滑、噪音及機械切割危害[22, 23]。

一般修理汽車之烤漆塗裝廠之作業流程包括：前置準備、研磨去漆、上底漆、補土/磨土、上中塗漆、噴漆及烘乾等步驟。在研磨去漆時可能吸入舊漆及鐵鏽之粉塵，鈹整銲接將產生少量之金屬煙；補土或上中塗漆後藉機械研磨方式整平，研磨手工具雖常具抽風功能，但仍無法完全避免粉塵之逸散；噴漆流程是本行業暴露有機溶劑及漆料成份之主要步驟，如無塵烤漆室通風功能不佳，或短時間噴塗大量漆料，則可產生高濃度之噴漆霧滴(氣膠)及有機溶劑蒸氣。勞工的暴露時間可因每批次噴漆料件及該廠每日業務量之多寡而有極大之差異。而操作模式亦影響暴露時間，例如，有些廠商由專門之技師負責噴塗工作，而有些則由廠內所有技師輪作。油性漆與水性漆之成分及操作流程不同，一般而言，水性漆之塗裝較為耗費時間，因此目前僅有大型車廠採用 [5]。

汽車修理業噴漆/烤漆作業使用之油性塗料是由樹脂、溶劑、色料、助劑或其他添加劑等所組成。色(顏)料主要提供塗料色彩，或具填充、耐研磨及防鏽功能。添加劑則用於改善油漆塗料與塗膜的性能。樹脂是漆料的主體，能賦予塗膜光澤與硬度。溶劑的功能是使樹脂與顏料溶液混和成液體，並方便塗裝。色料分為無機與有機兩類，有機顏料多數為偶氮類及酞菁類，其中酞菁類之藍色顏料與綠色顏料含金屬銅；無機顏料主要以金屬分子為基本成分，主要包含碳黑、鈦白粉、鉻黃、鋅鉻黃、鉬紅、鉬橙等。因此，白色顏料多為二氧化鈦(含鈦與鋇金屬)或鋅氧粉(ZnO)；黑色顏料常使用碳黑或氧化鐵；黃色顏料以鉻酸鉛(黃鉛)為主，少數使用氧化鐵(黃土)；紅色顏料使用 PbO、PbO₂ 或 Pb₃O₄，其中防鏽紅丹漆中 Pb₃O₄ 的含量超過 95%；藍色顏料多為亞鐵氰化鐵(普魯

士藍)或鋁矽化硅酸鈉(含鋁金屬)；綠色顏料以鉻綠(黃鉛與普魯士藍之混合物)為主，少數使用氧化鉻綠 (Cr_2O_3 及 $\text{CrO}(\text{OH})_2$)。由此可知，艷色漆料(特別是紅、黃、綠等)中較易含有重金屬成分(如鉛及鉻)，而可能危害製造及塗裝之勞工[1-3]。

第四節 噴漆業勞工金屬暴露調查

國際間針對汽車噴漆勞工重金屬暴露調查的相關文獻較少，韓國針對職業性肺癌案例之汽車烤漆(黃漆)勞工進行之暴露調查發現，個人採樣空氣中 6 價鉻濃度為 0.118 mg/m^3 ，其餘則未檢出，區域採樣空氣中 6 價鉻、總鉻、鉛、鐵、錳及鎳的濃度分別為 0.116 、 0.608 、 2.824 、 0.986 、 0.011 及 0.001 mg/m^3 ，灰色漆作業時，區域採樣空氣中鉛及鐵的濃度分別為 0.882 及 0.024 mg/m^3 ，餘未檢出[4]。泰國針對汽車鈹烤廠進行之勞工危害調查發現，約有 72.8% 之勞工於噴漆時未佩戴呼吸防護具，而 91.4% 之勞工於工作時未穿著防護衣。作業環境空氣勞工暴露之鉛、錳及鉻濃度分別介於 0.05 - 5.75 、未檢出- 5.74 及 0.25 - $3.07 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ [11]。國內針對 5 家汽車維修鈹噴廠進行重金屬暴露調查發現，在噴漆作業時，共有 33% (=7/21) 個人樣品總粉塵超過短時間時量平均暴露標準。水性漆噴塗作業測得之個人短時間金屬暴露量均低，鉛僅微量檢出($<3 \text{ } \mu\text{g/m}^3$)，總鉻之濃度均低於 $1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ 。在油性漆部分，白色漆噴塗作業時，鐵及鋁之暴露上為最高，濃度中位數分別為 29.87 及 $105.0 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ，且與水性漆作業之個人暴露濃度相當。但在計程車黃漆噴塗作業時，個人短時間鉛之平均暴露量為 $2028 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ，高於短時間時量平均容許暴露標準($150 \text{ } \mu\text{g/m}^3$)之 14 倍，而總鉻平均濃度則為 $290 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ，則未超過短時間時量平均暴露標準[5]。

而另一項研究航空業噴漆之暴露特性發現，工人進行噴塗時，鉻濃度為 1.38 - $17.1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ，而噴塗室中之錳 (Sr) 濃度則為 $22.90 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ 。下班時暴露勞工血漿、血球及尿液中的鉻濃度，和對照組相比，並無顯著差異[24]。

國內針對裝修油漆工重金屬暴露調查發現，使用防鏽漆(紅丹漆)之區域採樣平均鉛濃度為 $0.098 \pm 0.012 \text{ mg/m}^3$ ，超過八小時日時量平均容許暴露標準之 0.05 mg/m^3 ，且短時間勞工個人採樣之可呼吸性粉塵鉛濃度為 0.23 mg/m^3 ，亦超過鉛之短時間時量平均暴露標準(0.15 mg/m^3)[25]。另外，針對設備外殼防鏽與面漆噴漆作業，區域採樣之總粉塵中重金屬濃度以鐵最高 ($121.09 \pm 14.66 \text{ } \mu\text{g/m}^3$)，其次為鉛、鋁及鉻，濃度分別為

98.81±12.40、20.85±3.56 與 5.73±0.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其中鉛濃度已超過容許暴露標準 (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)。在勞工個人短時暴露監測上，重金屬濃度最高為鐵之 477.51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其次為鉛與鋁，濃度分別為 225.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 及 76.93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而其中鉛濃度已經超過我國之短時間時量平均容許暴露標準[8]。一項針對噴漆塗裝廠重金屬暴露調查發現，區域採樣平均鉛濃度為 0.298±0.154 mg/m^3 ，超過八小時日時量平均暴露標準，次高平均濃度分別為鐵、鋁與鋅，分別為 0.138±0.056 mg/m^3 、0.038±0.040 mg/m^3 與 0.016±0.036 mg/m^3 ，勞工之可呼吸性粉塵中鉛濃度為 0.362±0.297 mg/m^3 ，亦超過鉛之短時間時量平均暴露標準[26]。噴漆塗裝廠重金屬健康風險評估研究發現，暴露濃度最高為鉛(496 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)和鐵(252 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)，鎘、鈷、鎳、砷與六價鉻之致癌金屬在總懸浮微粒中的致癌風險值分別為 8.1×10^{-7} ， 6.0×10^{-6} ， 1.5×10^{-3} ， 3.25×10^{-3} 及 1.6×10^{-5} 。除了鎘以外，其他金屬均超過致癌風險值(10^{-6})，表示噴漆作業場所中是有潛在的致癌風險存在[27]。

第五節 噴漆業勞工有害金屬生物偵測調查

在職業勞工生物暴露偵測上，美國針對有關鉛基油漆之行業回顧鉛暴露含量，從 1970 年起根據 23 篇論文的總結統計數據顯示，血中鉛平均為 14 $\mu\text{g}/\text{dl}$ [6]。美國職業安全衛生研究所 (NIOSH) 分析 1994 - 2013 年美國就業成年人血中鉛數據發現，在 2002-2013 年間，血鉛 $\geq 25 \mu\text{g}/\text{dl}$ 者，94.7%由職業暴露造成。在 2012 年時，血中鉛 $\geq 10 \mu\text{g}/\text{dL}$ 之成年人有 91.5%是男性，其中 53.0%的人年齡介於 40-64 歲，而有 33.3%的人年齡在 25-39 歲。在成人血中鉛 $\geq 25\mu\text{g}/\text{dL}$ ，且有註明為職業暴露者，各州比例不同，從 38.9%~100%不等。美國全國血鉛 $\geq 25 \mu\text{g}/\text{dl}$ 之盛行率為 5.7/100,000，而血鉛 $\geq 10 \mu\text{g}/\text{dl}$ 之盛行率為 22.5/100,000[28]。而法國針對一般成年人進行兩年研究，發現血中鉛介於 18.3-19.3 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 之間[29]。

奈及利亞研究發現，較具規模的汽車維修廠中勞工血中鉛中位數為 66.0 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，顯著高於路邊小型維修廠中之勞工(43.5 $\mu\text{g}/\text{L}$)。較具規模的維修廠中有 40.3%的勞工血鉛濃度偏高，相較於路邊小型維修廠的 34.3% [30]。

在巴基斯坦汽車維修技術員血液中鉛濃度為 65.3±41.9 $\mu\text{g}/\text{dL}$ ，對照組則為 21.7±17.6 $\mu\text{g}/\text{dL}$ ，技術員中有 52%的血鉛濃度超過 50 $\mu\text{g}/\text{dL}$ (血中鉛標準值)，但對照組只有 14%血鉛濃度超過標準[31]。

而另一項研究航空業噴漆之暴露生物偵測研究發現，噴塗工人下班時其血漿、血球及尿液中的鉻濃度，和對照組相比，並無顯著差異[24]。

泰國研究發現，汽車鉸金烤漆勞工血中鉛、尿中鎘及尿中鉻分別介於 3.54-26.0 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 、0.15-3.42 $\mu\text{g}/\text{g creatinine}$ 及 0.11-3.90 $\mu\text{g}/\text{g creatinine}$ 。噴漆時佩戴呼吸防護具及未佩戴防護具之勞工的血中鉛、尿中鎘及尿中鉻分別為 8.62 \pm 2.72 及 10.42 \pm 4.07 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 、0.57 \pm 0.26 及 0.76 \pm 0.54 $\mu\text{g}/\text{g creatinine}$ 、0.87 \pm 0.54 及 1.25 \pm 0.88 $\mu\text{g}/\text{g creatinine}$ [11]。

肯亞針對六個不同工廠，由焊接、塗料生產、製藥廠等不同行業測得生產工人平均血中鉛為 30 $\mu\text{g}/\text{dl}$ ，超過美國政府工業衛生技師協會（ACGIH）的容許暴露標準[7]。

第六節 勞工有害金屬暴露評估及生物偵測分析方法

在生物偵測樣品分析上，以往大部分在分析重金屬樣品大多是採用原子吸收光譜儀 (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS) [12]，但 AAS 之儀器偵測極限 (Instrument Detection Limit, LDL) 不夠敏銳，故開始發展出使用感應耦合電漿質譜儀 (Inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS) 進行重金屬分析[32]。一般分析血中鉛(全血)的作法為將血液之樣品採集於酸洗後的塑膠試管中，並添加 Triton-X100 來破壞紅血球，分析前樣品會透過 EDTA 螯合劑處理後，再使用 AAS 或 ICP 分析；尿液樣品則是用酸洗過的尿杯採集後，經酸消化再使用 AAS 或 ICP 分析，並透過與肌酐酸 (Creatinine) 濃度之比值校正其金屬濃度，以減少因尿液稀釋造成之誤差[33-35]。本研究彙整作業環境中及勞工生物偵測重金屬採樣分析方法 (表 5)。

表 5 作業環境中及勞工生物偵測重金屬採樣分析方法彙整

方法來源/方法編號	檢測內容	方法摘要
行政院勞工委員會 採樣分析建議方法 方法編號： CLA3001	幾乎所有 金屬 (空氣中)	本方法是一個可以同時測得許多元素，以簡化和加快分析的方法。採樣介質為纖維素酯濾紙(MCE)，流率 1-4 L/min，分析方法使用 65 % 硝酸和 60 % 過氧酸(4：1，v/v)5 mL 進行消化後，以感應耦合電漿原子發散光譜儀(ICP-AES)進行分析。此方法之偵測極限為 0.01 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ，平均回收率為 89%，分析變異係數為 2%。
美國國家職業安全 衛生研究所 (NIOSH) 方法編號：7304	幾乎所有 金屬 (空氣中)	本方法是一個可以同時測得許多元素，以簡化和加快分析的方法。採樣介質為聚氯乙烯 (PVC)，流率 1-4 L/min，分析方法將濾紙加

		入 12 mL (5 : 1)濃硝酸和去離子水後，放進微波消化後，以感應耦合電漿原子發散光譜儀 (ICP-AES)進行分析。
美國國家職業安全衛生研究所 (NIOSH) 方法編號：7082	鉛及其他金屬 (空氣中)	本方法除可針對鉛個別分析外，亦可調整儀器，分析其他元素。採樣介質為纖維素酯濾紙(MCE)，流率 1-4 L/min，分析方法使用濃硝酸 6mL + 30%過氧化氫 1 mL 進行消化後，使用火焰式原子吸收光譜儀進行分析。此方法之偵測極限為 2.6 µg/sample，回收率為 97%。另外，也可應用微波消化方式，來消化油漆剝離碎屑或其他樣品基質。
美國國家職業安全衛生研究所 (NIOSH) 方法編號：7600	鉻、六價鉻 (空氣中)	本方法可用於可溶性六價鉻或不溶性六價鉻的測定。採樣介質為聚氯乙烯 (PVC) 濾紙，流率 1-4 L/min，分析方法以 0.25 mol / L 硫酸或 20 g / L 氫氧化鈉+30 g / L 碳酸鈉溶液進行消化後用紫外-可見分光光度法進行分析。此方法之偵測極限為 0.05µg/sample，回收率為 94.5%。
美國職業安全衛生署(OSHA) 方法編號：1006	砷、鎘、鈷、銅、鉛、鎳 (空氣中)	本方法除可針對本6項元素分析外，亦可調整儀器，分析其他元素。採樣介質為纖維素酯濾紙(MCE)，建議最小採樣體積為 480L (240 min at 2.0 L/min)。樣品加入2 mL 濃硝酸及 0.2 mL 的hydrogen peroxide (30%)置入微波儀中初步消化，冷卻後，再加入 0.5 mLhydrochloric acid繼續消化至完成。此方法偵測極限為0.0024 µg/sample(鉛)，回收率為 97.7%(鉛)，分析總變異係數為10.3%(鉛)。
勞動部勞動及職業安全衛生研究所 方法編號：BM001	鉛 (血液)	採樣介質為內含肝素或 EDTA 抗凝劑之無鉛試管收集 10 mL 血液，以含 0.1% (w/v) Triton X-100 及 1.25% (w/v) NH ₄ H ₂ PO ₄ 溶液稀釋樣品使用石墨爐原子吸收光譜法 (GFAAS)進行分析。此方法偵測極限 0.5-80µg/dL，回收率為 98.9%，分析變異係數為 3.1%。
美國國家職業安全衛生研究所 (NIOSH) 方法編號：8003	鉛 (血液、尿液)	用含有肝素無鉛管收集 10mL 血液，和 125mL 聚乙烯瓶收集尿液後使用硝酸進行消化，以火焰式原子吸收光譜法進行分析。此方法之偵測極限為 0.05 µg Pb/g 血液或尿液(mL)，平均回收率為 100%。
Gouille JP. 2005[33]	多種金屬 (血液，尿液，頭髮)	用含有肝素真空採血管收集 7ml 血液，和 30 ml 非防腐劑聚苯乙烯小瓶收集尿液。使用 65%硝酸+ Triton X100+標準溶液(30 種元

		素)+內標溶液進行消化後使用感應耦合電漿質譜儀 (ICP-MS) 分析。鉛偵測極限為 0.019 μ g/L，分析變異係數為 2.92%
--	--	--

第三章 研究方法

第一節 計畫執行架構

本計畫之執行架構，如圖 1 所示。

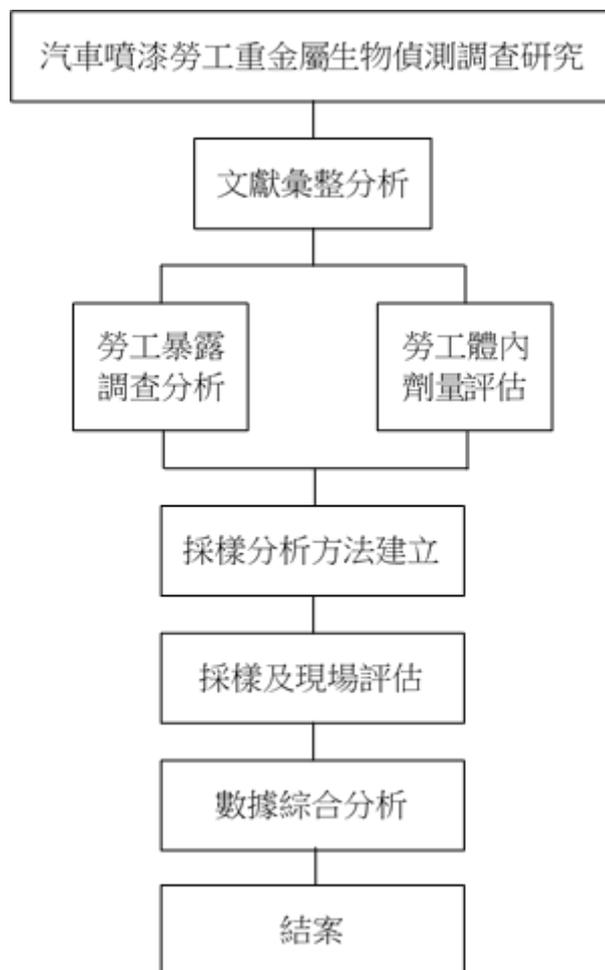


圖 1 研究流程架構

第二節 執行方法及步驟

依據上述研究執行架構，分項說明如下：

一、文獻彙整分析

本研究將針對國際上關於漆料中重金屬管制現況及噴漆作業生物偵測劑量評估相關文獻進行收集分析。以美國國家醫學圖書館(NLM)生技資訊中心(NCBI)建立的醫學期刊文獻索引資料庫 (PubMed)為主要搜索引擎，該資料庫目前收錄現刊 5,400 種 (含 Medline 資料庫內容)，再佐以官方網路公開資料為文獻資料主要來源，並以關鍵詞

“Lead”、“Spray painter”、“Automobile repainting”、“Bio-monitoring”、“Toxic metal”、“Heavy metal”等進行檢索，蒐集近 10 年發表之相關文獻，不足時再放寬年限；再個別篩選較相關者進行深入分析探討並分類，作為本研究執行時之參考。

二、勞工暴露調查暨體內劑量評估分析

本研究藉現場採樣調查評估目前暴露情形，並藉血液及尿液中之重金屬濃度，評估體內劑量及風險。評估對象為噴塗工人，人數約 20-30 人，噴塗工人由參與本研究之各汽車鈑噴維修廠選取參與。

現場採樣調查評估方面，本研究旨在評估勞工長期暴露趨勢，因此，暴露調查以個人全日日時量平均暴露濃度為原則，並輔以區域採樣之全日平均濃度樣本。

勞工作業時金屬暴露 (如鎘、鉛)以勞動部公告之 CLA3011 方法進行，採樣流速為 4 L/min，採樣時間大於 6 小時。採集樣品 MCE 濾紙以 65%硝酸和 60%過氧酸(v/v=4/1，5mL)進行消化，最後再以 ICP/OES 進行分析。

本研究勞工血液及尿液樣品採集以隨機單次樣品(spot sample)方式進行，於現場環境採樣當日或搭配勞工健康檢查時一併收集。血液檢體以專用管(內含 heparin 抗凝劑)採集 3 毫升以上，尿液檢體以 50 毫升 PP 材質尿杯收集。

生物檢體之分析步驟如下：

(一) 儀器：安捷倫 Agilent 7700 ICP-MS

(二) 分析項目:Al, Cr, Ni, Cu, As, Cd, Pb 等 7 項。

(三) 試劑

1.標準品溶液 ICP standard (1000 mg/L)：Al, Cr, Ni, Cu, As, Cd, Pb 皆購自 Merck。

2.內標準品溶液(100 mg/L)：購自安捷倫公司(Agilent)Agilent Internal Standard Mix (ISTD) 內標準品 (含 Bi, Ge, In, Li, Lu, Rh, Sc, Tb; matrix 10% HNO₃)，每瓶 100 mL。

3.濃硝酸 Nitric Acid：ULTREX[®] II，用於標準品、內標準品溶液、基質溶液配置以及儀器、試管清洗用，購自 J.T BAKER。

4.Triton X-100：購自 SIGMA-ALDRICH，lab grade，血液檢體前處理用。

5.調校溶液 (Tuning Solution, 1µg/L)：購自安捷倫公司(Agilent)，包含 Li,

- Y, Ce, Tl, Co, Mg 等元素。進行儀器最佳化調整用。
6. BIO-RAD Lyphochek Urine Metals Control 尿液品管液(BIO-RAD)，內部品質管制用。
 7. Seronorm Trace Elements Serum Control 血清品管液(Seronorm)，內部品質管制用。
 8. Seronorm Trace Elements Whole Blood Control 全血品管液(Seronorm)，內部品質管制用。
 9. Argon gas 純度 $\geq 99.999\%$ 。
 10. Helium gas 純度需 $\geq 99.999\%$ ，做為碰撞去干擾用。
 11. 去離子水（純水）：使用達義公司製造純水系統，純度大於 17 M Ω -cm
 12. NH Trace Element Sodium Heparin tubes 深藍色上蓋採檢專用管。

(四) 樣品前處理

1. 血液檢體混合均勻後吸取約 2 毫升至空白試管(10 毫升 PP 材質，經酸洗烘乾後使用)，以 3500 rpm 離心 10 分鐘，吸取上清液分析 Al, Cr, Ni, Cu。原剩餘全血樣品分析 Cd, Pb。
2. 血漿及尿液樣品 100 μ L，加入 2600 mL 1% HNO₃(v/v)以及 300 μ L 內標準品溶液，震盪混合後直接上機分析。
3. 全血樣品 50 μ L，加入 2650 mL mix solution(包含 2% HNO₃(v/v)、0.05% Triton X-100(v/v))以及 300 μ L 內標準品溶液，經震盪混合，靜置 15 分鐘後，以 3500 rpm 離心 10 分鐘，藉離心方式將殘餘細胞碎片離下，避免進樣時阻塞霧化器。
4. 內標濃液配製程序：取 4 μ L Agilent ISTD (100 mg/L) 加入 100 mL 2% HNO₃ (v/v)溶液，濃度約 4 ppb。

(五) 尿液及血清(漿)檢量線配製

1. 各項元素標準品溶液(1000 mg/L)以 2% HNO₃(v/v)稀釋成標準品儲存溶液，Al, Cr, Ni, Cu, Cd, Pb 濃度分別為 1400, 280, 600, 30000, 200, 800 μ g/L。

- 2.取各項元素標準品儲存溶液 300 μ L，並加入 900 μ L 2% HNO₃(v/v)溶液震盪混合後，配製成檢量線混合標準溶液 (Mixed calibration standard solution)，最終濃度為 140, 28, 60, 3000, 200, 20, 80 μ g/L，做為每次分析檢量線用。
- 3.尿液及血清(漿)類別使用相同檢量線濃度，以 2% HNO₃ 溶液稀釋配製 6 點檢量線標準品濃度。

(六) 血液檢量線配製

- 1.Cd, Pb 標準品溶液(1000 mg/L)以 2% HNO₃(v/v)稀釋成標準品儲存溶液，濃度分別為 120, 5000 μ g/L。
- 2.取各項元素標準品儲存溶液 300 μ L，並加入 2100 μ L 2% HNO₃(v/v)溶液震盪混合後，配製成檢量線混合標準溶液 (Mixed calibration standard solutions)，最終濃度為 12, 500 μ g/L，做為每次分析檢量線用。
- 3.以 2% HNO₃ 溶液稀釋配製 6 點檢量線標準品濃度。

(七) 分析品保程序

- 1.每次分析前需使用 Tuning solution 進行儀器最佳化調整，包含儀器感度(sensetivity)、觀測質量數軸偏(Axis)情型(± 0.1 amu)、氧化物(Oxide: 156/140, <1%)、雙價離子(Doubly Charged: 70/140, <2%)，調機結果均需符合儀器製造商建議參數設定。
- 2.檢量線標準品、品管液、樣品皆進行三次讀值，最後計算相對標準差(RSD)，允收條件需小於 20% (檢量線第一點 Level 1 除外)。檢量線標準品配製濃度與實際測得濃度需 $\pm 10\%$ 範圍內。線性迴歸係數 (r^2 值) 需大於 0.995 方可接受。
- 3.樣品分析前，需進行品管程序。依據分析樣品類別不同，選擇具有已知濃度品管液，如 Bio-Rad urine metals control、Seronorm serum, whole blood control，品管液與一般樣品的分析程序皆相同。品管液分析結果，需落於原廠建議範圍內。

4. 檢量線標準品、品管樣品、樣品分析時皆添加內標準品溶液以評估是否有基質效應(Matrix effect)產生。Al, Cr 選擇 ^{72}Ge ; Ni, Cu, As, Cd 選擇 ^{103}Rh ; Pb 選擇 ^{115}In 做為內標元素。內標回收率需 $\pm 20\%$ 範圍內。
5. 尿液檢體收集容器與分析過程中所使用 PP 管、PP 瓶、微量吸管等皆以 2% HNO_3 溶液浸泡處理 (Over night), 再以純水潤洗(Rinse)4 次, 烘乾後使用。每批次清洗後需進行驗證, 以確保無元素或其他干擾物殘留。可接受殘留濃度需小於該項元素兩倍 MDL。

在執行生物偵測的倫理考量上, 根據目前人體試驗研究倫理的要求, 研究者有明確告知之義務, 須清楚告知參與者研究內容。參與者有知情的權利, 在充分了解研究內容情況下後做正確的評估及同意參與。研究者需保護參與者的隱私, 研究結果應予保密及保存, 僅以匿名及整體統計方式呈現。本研究之流程 (含生物檢體收集與問卷施測) 業經高雄榮民總醫院人體研究倫理審查委員會審查通過(計畫編號 VGHKS18-CT8-12)。生物樣品收集及問卷填答均先經研究人員充分說明研究內容, 並經受測者簽屬參與同意書後執行。

三、勞工重金屬暴露特性與其體內劑量相關性分析

本研究主要藉生物偵測重金屬體內劑量之量測, 篩選高風險勞工。並藉工作史問卷(表 6)重建過去暴露特性, 並將各種暴露參數, 如工作年資、工作性質、暴露強度指標等與金屬體內劑量進行相關性分析, 希藉此建立暴露量與暴露指標間之量化關係。問卷內容以生物偵測文獻為藍本[13], 再加入鉛中毒文獻之相關內容進行問項設計[14], 最後經 3 位專家(2 位職業衛生教授及 1 位職業病醫生)進行效度評估後確認。問卷施測於現場環境採樣當日執行, 由研究人員協助參與者逐題填答, 以避免遺漏, 遇外籍人士時, 則請廠內直屬主管協助翻譯。

在數據統計分析上, 本計畫針對暴露特性問卷內容進行卡方 (Chi square) 檢定分析、針對勞工現場作業環境暴露量及各生物暴露指標間進行皮爾森相關性分析 (Pearson correlation)、針對生物暴露指標與勞工各項參數間之線性多變量分析 (Multiple linear regression), 及針對不同行業及工作類型間之差異進行變異數分析 (ANOVA) 等統計分析工作, α 設定為 0.05。進行多變量分析時, 先將類別變數轉為虛擬變數, 以 0 及 1 進行編碼, 例如問卷中無配戴防護具編碼為 0、有配戴則編碼為 1; 並將順序變數, 如

防護具的配戴頻率，將選項中的從不、偶爾、經常、總是分別編碼為 0、1、2、3 及 4，再以連續變數方式帶入計算。

表 6 噴漆相關員工重金屬暴露特性調查問卷

<p>噴漆相關員工重金屬暴露特性問卷調查 受試者代號：_____填寫日期：____年____月____日</p> <p>一、基本資料</p> <p>1. 性別：<input type="checkbox"/>男 <input type="checkbox"/>女</p> <p>2. 身高：_____公分，體重：_____公斤</p> <p>3. 最高學歷 <input type="checkbox"/>國小 <input type="checkbox"/>國中 <input type="checkbox"/>高中職 <input type="checkbox"/>大學/專科 <input type="checkbox"/>研究所</p> <p>4. 請問您目前的工作職稱是：<input type="checkbox"/>行政辦事員 <input type="checkbox"/>技術員 <input type="checkbox"/>組長 <input type="checkbox"/>其他_____</p> <p>二、生活習慣</p> <p>5. 您是否有抽菸的習慣? <input type="checkbox"/>否 <input type="checkbox"/>偶爾 (每周<3 次) <input type="checkbox"/>每天抽，一天大約_____支，已抽_____年。(一包菸含有 20 支) <input type="checkbox"/>已戒菸_____年以上(戒菸前抽菸_____年) <input type="checkbox"/>其他：_____</p> <p>6. 請問您是否會在工作環境中接觸到二手菸? (二手煙：香煙燃燒或吸菸者吸入肺部後再吐出來的煙霧) <input type="checkbox"/>否 <input type="checkbox"/>是</p> <p>7. 請問您是否會在家中吸到二手菸? <input type="checkbox"/>否 <input type="checkbox"/>是</p> <p>8. 請問您是否有喝酒的習慣? <input type="checkbox"/>否 <input type="checkbox"/>偶爾 (每周<3 次) <input type="checkbox"/>經常喝，一周大約喝_____瓶，是何種酒_____。 <input type="checkbox"/>已戒酒_____年以上 <input type="checkbox"/>其他：_____</p> <p>9. 請問您是否有吃檳榔的習慣? <input type="checkbox"/>否 <input type="checkbox"/>偶爾 (每周<3 次) <input type="checkbox"/>每天吃，一天大約吃_____顆。 <input type="checkbox"/>已戒_____年以上 <input type="checkbox"/>其他：_____</p> <p>10. 請問您是主要的飲食習慣是 <input type="checkbox"/>葷素均可 <input type="checkbox"/>素食</p> <p>11. 請問您是否會吃海鮮類食物?</p>
--

- 否
- 偶爾 (每周<3 次)
- 是，一周大約吃_____次。(請勾選以下選項，可複選)
 - 深海魚 淺海魚 蝦類 貝類

12. 請問您是否有長時間服用藥物或健康食品的習慣? (可複選)
- 否
 - 是 (請勾選以下選項，可複選)
 - 慢性病的醫生處方藥 一般中藥 中藥(安神鎮靜) 健康食品
 - 其他：_____

13. 請問您住家是否鄰近下列易產生金屬污染之區域?
- 是 (請勾選以下選項，可複選)
 - 工業區 焚化廠 煉油廠 煉鋼廠 電鍍工廠
 - 其他：_____
 - 否

三、工作經歷

14. 請問您主要的工作場所是
- 辦公室 作業現場，在_____場所工作。
15. 請問您目前的工作環境是
- 僅自然通風 有抽風設備 (局部排氣) 有換氣設備 (整體換氣)
 - 自然通風、抽氣與換氣設備均有 冷氣房
16. 請問您目前上班時段是屬於
- 日班 小夜班 大夜班 不定
17. 請問您一天上班時數大約_____小時
18. 請問您上班時從事噴漆相關工作平均每天_____小時
19. 如您非從事噴漆工作，但停留在噴漆作業場所時間平均為_____小時 不適用
20. 請問您在目前公司工作_____年_____月?
21. 請問您在目前主要工作內容 _____
22. 請問您從事和目前相類似噴漆的工作共約_____年_____月?
23. 在工作環境中是否有接觸各種色料(或漆料)之可能性
- 否 不清楚 是，大約_____年以上 (請勾選以下選項，可複選)。
- 您接觸的顏色有：
- 紅 黃 橙 綠 黑 白 藍 其他：_____。
24. 請問您知道何種色料(或漆料)含有害金屬鉛嗎?
- 不清楚 大概知道 (請選下列顏色):
 - 紅 黃 橙 綠 黑 白 藍 其他：_____。
25. 請問您工作時是否有配戴防護具的習慣?
- 總是 經常 偶爾 從不
26. 請問您配戴的防護具有哪些? (可複選)
- 無 護目鏡 防毒面具 手部防護具 防護衣 口罩：_____
 - 其他：_____
 - 防護衣 無使用
- (1). 使用防護衣之佩戴頻率

- 偶爾 (每周<3 次) 普通 (每周=3 次) 經常 (每周>3 次)
- (2). 配戴方式是否經教育訓練教導
 不清楚 公司無要求 無 有
- (3). 防護衣之貯放方式
 貯放於開放空間 儲存於密閉之容器 個人放置 無使用
- 呼吸防護具 無使用
- (1). 使用呼吸防護具之配戴頻率
 偶爾 (每周<3 次) 普通 (每周=3 次) 經常 (每周>3 次)
- (2). 呼吸防護具配戴是否經教育訓練教導
 不清楚 公司無要求 無 有
- (3). 呼吸防護具之貯放方式
 貯放於開放空間 儲存於密閉之容器 個人放置
- 護目鏡 無使用
- (1). 使用護目鏡之配戴頻率
 偶爾 (每周<3 次) 普通 (每周=3 次) 經常 (每周>3 次)
- (2). 護目鏡配戴是否經教育訓練教導
 不清楚 公司無要求 無 有
- (3). 護目鏡之貯放方式
 貯放於開放空間 儲存於密閉之容器 個人放置
27. 請問作業現場是否備置指甲刷、肥皂等及淋浴設備供作業勞工洗滌?
 是 否 不清楚
28. 請問您下班時是否會清潔身體後再離開作業場所?
 否 僅簡單清潔手臉 淋浴
29. 請問您每日下班時，是否將上班所穿工作服換下，留在公司/工廠清洗?
 否 偶爾 經常
30. 請問您的作業區是否備有物質安全資料表 (SDS)?
 是 否 不清楚
31. 請問您是否了解物質安全資料表之相關內容?
 不瞭解 些微瞭解 大部分瞭解 瞭解

四、健康史

32. 請問您是否罹患醫師診斷之疾病?
 否 (請直接跳至第 33 題)
 是 (請勾選以下選項，可複選)
 糖尿病 高血脂症 高血壓 心臟病 結核病 氣喘 哮喘
 慢性阻塞肺疾病 關節炎 青光眼 蕁麻疹 貧血 眼睛病變
 不孕 消化道症狀 神經 症狀 腎臟疾病
 癌症：_____ 其他：_____
33. 請問您何時罹患上述疾病?
 從事本工作前 從事本工作後，工作後_____年才發生。
34. 請問您於從事本工作後是否有感到身體不適?
 否

- 是 (請勾選以下選項，可複選)
- 頭痛 昏沉 記憶力快速減退 失眠 心跳不規律或心悸
 - 腹絞痛 乏力 肢體異常、疼痛及無力 厭食/食慾不振
 - 視力衰退 抽搐 手腳不協調 情緒不穩 出血性胃腸炎
 - 眼睛不適 皮膚過敏 發熱 呼吸不順 氣喘 喉嚨不適
 - 咳嗽 胸痛 急性溶血 尿量減少 紅血球素尿 嘔吐
 - 體重減輕 貧血 腹絞痛 手腕無力 骨質酥鬆 骨軟化
 - 阻塞性肺病 鼻中隔潰瘍 喉嚨、呼吸道潰瘍 小腸痙攣
- 其他：_____

35. 請問您從事本工作後，是否出現新的疾病？

否

是，診斷出_____疾病，工作後_____年才發生。

36. 請問您從事本工作後是否定期做健康/體格檢查？

否

是 (屬於下列何者)

一般作業健康檢查

依法規規定之特別危害作業健康檢查

不清楚

37. 請問您從事本工作後多久做一次健康/體格檢查？

每年 每三年 每五年 不固定 其他_____

38. 請問您做檢查是屬於

公司規定(免費) 自費 其他_____

五、健康保護

39. 工作場所是否備有急救藥品及器材？

是 否

40. 請問急救藥品及器材是否有固定位置並定期檢查？

是 否 不清楚

41. 如您是健康檢查結果異常者，是否有追蹤管理及健康指導？

是 否 不清楚 檢查結果正常

填答完成，謝謝您的合作!!

四、辦理汽車噴漆作業及相關產業職業衛生危害說明會

本研究於 107 年 11-12 月份，邀請相關人員，假中區辦理汽車噴漆作業及相關產業職業衛生危害說明會一場次，課程內容規劃包括行業特性及常見危害(製漆及汽車噴漆行業特性、行業危害分析、國際研究相關發現)及噴漆相關作業重金屬暴露與危害預防(作業模式、重金屬暴露特性及風險、危害預防、產品替代方案等)，進行研討及交流，並規劃課程成效評估及活動滿意度調查等，提升辦理成效。本活動採線上報名方式，以減少紙張耗用。

第四章 結果與討論

第一節 汽車修理業噴漆作業重金屬暴露特性調查分析

一、評估對象與採樣策略規劃

汽車鈹噴廠作業流程之鈹金作業基本上是在半開放式空間進行，汽車噴漆則是在噴漆房裡面進行，一般噴漆勞工作業是調色及噴漆，而鈹金勞工作業是研磨及上膠等，其中噴漆勞工最容易接觸大量重金屬，鈹金勞工次之，並選定行政人員作為對照組。

本研究旨在評估勞工長期暴露趨勢，因此，主要以評估勞工個人全日日時量平均暴露濃度為主，作業區域之定點全日日時量平均濃度為輔，以掌握空間分布特性，並記錄作業特性，採樣時間以大於 6 小時為原則。另於採樣同日收集與執行作業環境監測個人採樣相同勞工之隨機單次血液及尿液樣品，以調查其體內重金屬劑量。

本研究於 107 年 10-11 月間，針對 4 家使用油性塗料且不同規模之汽車鈹噴廠（均為汽車製造商附屬之鈹噴服務廠）進行現場勞工暴露調查，各廠之廠樣規劃及採樣點配置詳如表 7 至表 10 所示。

表 7 鈹噴廠 A 廠勞工重金屬暴露調查

廠商	操作特性	採樣規劃
A 廠	<ul style="list-style-type: none"> ● 作業時間: 08:30-12:30 13:30-17:30 	採樣日期： 107.10.31 <ul style="list-style-type: none"> ● 採樣規劃： 個人採樣：噴漆、鈹金及行政區。 環境採樣：作業區四周。 生物採樣：收集員工血液、尿液樣品。 ● 採樣流率： 個人及環境採樣：4L/min。噴漆個人採樣： 2L/min。 ● 採樣時間：皆以 6 小時為基準，皆是自然通風。
	採樣位置平面圖	

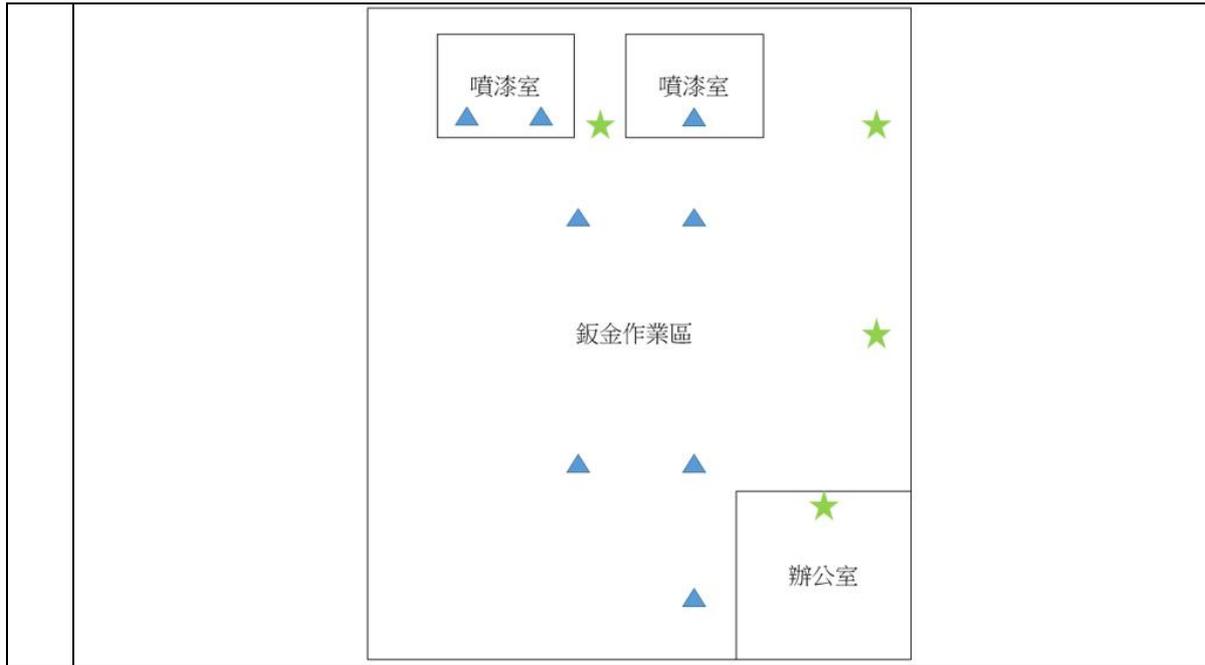


表 8 鍍金廠 B 廠勞工重金屬暴露調查

廠商	操作特性	採樣規劃
B 廠	<ul style="list-style-type: none"> ● 作業時間: 08:30-12:30 13:30-17:30 	採樣日期： 107.10.31 <ul style="list-style-type: none"> ● 採樣規劃： 個人採樣：噴漆室、鍍金區、檢驗區及辦公室。 環境採樣：作業區四周。 生物採樣：收集員工血液、尿液樣品。 ● 採樣流率： 個人及環境採樣：4L/min。噴漆個人採樣： 2L/min。 採樣時間：皆以 6 小時為基準，皆是自然通風。
		採樣位置平面圖

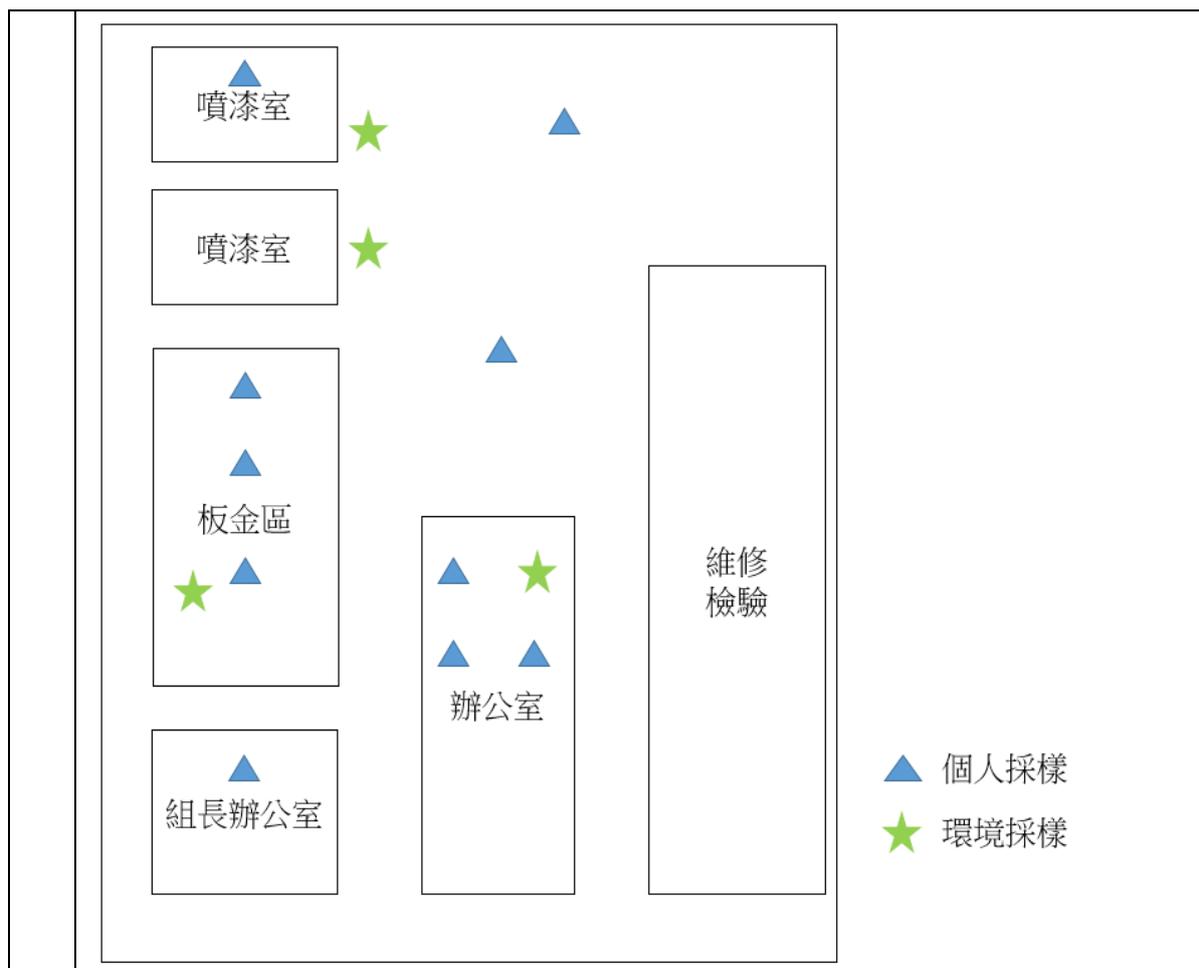


表 9 鈹噴廠 C 廠勞工重金屬暴露調查

廠商	操作特性	採樣規劃
C 廠	<ul style="list-style-type: none"> ● 作業時間: 08:30-12:30 13:30-17:30 	採樣日期： 107.11.07 <ul style="list-style-type: none"> ● 採樣規劃： 個人採樣：噴漆室、鈹金區、辦公室。 環境採樣：作業區四周。 生物採樣：收集員工血液、尿液樣品。 ● 採樣流率： 個人及環境採樣：4L/min。噴漆個人採樣： 2L/min。噴漆個人採樣：2L/min。 採樣時間：皆以 6 小時為基準，皆是自然通風。
		採樣位置平面圖

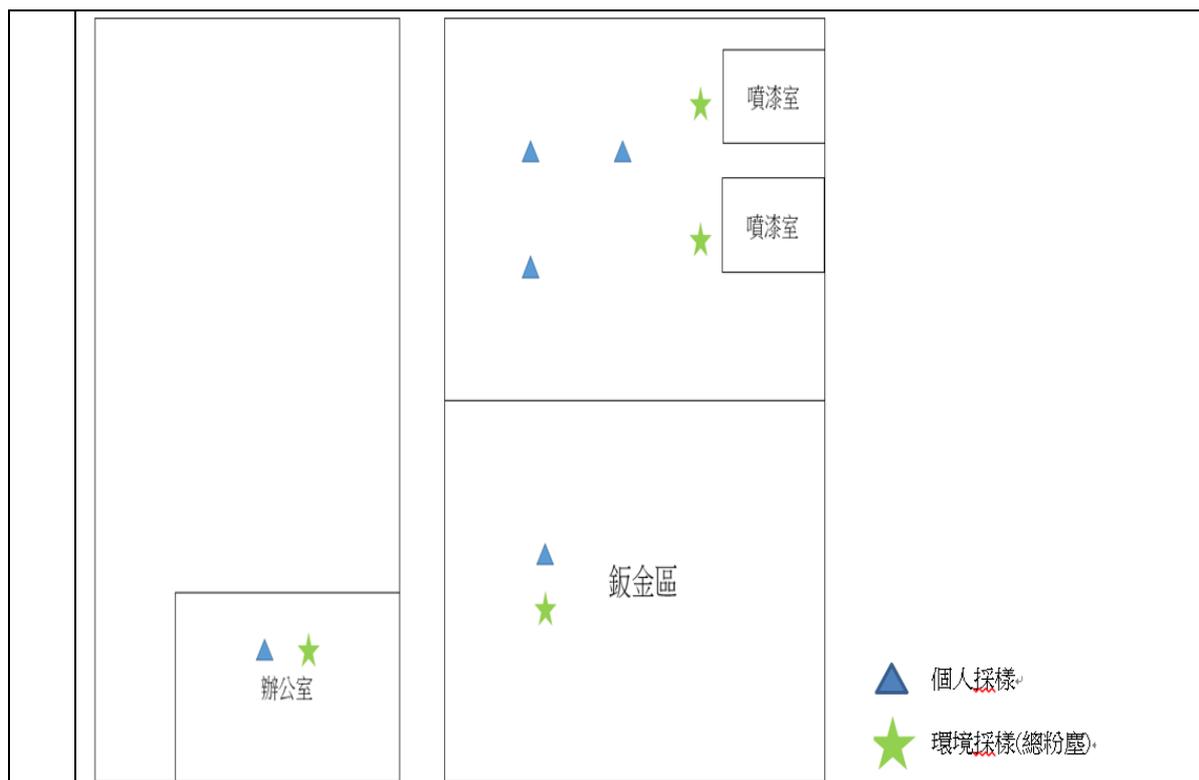


表 10 鍍噴廠 D 廠勞工重金屬暴露調查

廠商	操作特性	採樣規劃
D 廠	<ul style="list-style-type: none"> ● 作業時間: 08:30-12:30 13:30-17:30 ● 同一輛待維修車輛由同一位操作人員進行研磨、補土、補漆。 	採樣日期： 107.11.07 <ul style="list-style-type: none"> ● 採樣規劃： 個人採樣：噴漆、鍍金及行政區。 環境採樣：作業區四周。 生物採樣：收集員工血液、尿液樣品。 ● 採樣流率： 個人及環境採樣：4L/min。噴漆個人採樣：2L/min。 採樣時間：皆以 6 小時為基準，皆是自然通風。
		採樣位置平面圖



二、勞工重金屬暴露評估結果

本研究針對 4 家使用油性塗料且不同規模之汽車鈹噴廠進行現場勞工暴露調查，共採集作業環境監測樣品 44 個，包括個人樣品 28 個及定點樣品 16 個，並針對 28 位勞工收集勞工生物樣品共 56 個（包括血液樣品 28 個及尿液樣品 28 個）。各項監測結果附錄一，彙整統計則如附錄二。

(一) 作業環境監測

汽車鈹噴廠作業環境監測結果發現(附錄二表 50)，鈹噴廠勞工個人日時量平均重金屬暴露濃度每立方公尺約數微克之範圍，空氣中鋁、鉻、鎳、銅、鎘及鉛之總平均濃度分別為 4.29、0.31、0.10、0.16、0.05、0.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，無論是個別數據或平均值均遠低於其對應之我國八小時日時量平均容許暴露標準（註：鋁參考美國 OSHA PEL 標準）。以鉛而言，A 廠有最高暴露值 (0.34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)，也有最高之平均值 (0.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)。在區域量測部分，各金屬日時量平均濃度與個人暴露平均值相當或較低。區域空氣中鋁、鉻、鎳、銅、鎘及鉛之總平均濃度分別為 2.04、0.32、0.05、0.05、0.03、0.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，但亦均遠低於其對應之容許暴露標準。本研

究之採樣策略為全日連續採樣，因此暴露濃度被稀釋，而較文獻中噴漆作業時之短時間暴露量低。另外，文獻中高濃度鉛暴露大多為使用艷色漆料（例如黃色或紅色），而本研究鈹噴廠於採樣時段使用之漆料多為市場主流漆色（白色、黑色、灰色），此類漆料所含之鉛成分均甚低，也造成整體暴露濃度偏低。

以作業類型區分(附錄二表 51)，噴漆、鈹金、及行政(行政、檢驗員)等三種類型之勞工平均鉛暴露濃度分別為 0.14、0.13 及 0.06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，呈現遞減之趨勢，平均鋁濃度、平均鉻濃度、平均鎳濃度和平均銅濃度皆呈現遞減之趨勢，行政人員之暴露量一般均為最低。

(二) 生物偵測勞工體內劑量

汽車鈹噴廠勞工暴露生物指標分析結果發現(附錄二表 52)，除少部分個案外，以平均值而言，表中金屬濃度均低於暴露限值，其中，血中鉛之平均值為 1.97 $\mu\text{g}/\text{dL}$ ，遠低於職場血中鉛之濃度限值(30-40 $\mu\text{g}/\text{dL}$)。

以作業類型區分(附錄二表 53)，在噴漆、鈹金、及行政(行政、檢驗員)等三種類型之勞工平均血中鉛分別為 1.67、2.61 及 1.81 $\mu\text{g}/\text{dL}$ ，無明顯變化趨勢，而其他金屬亦同。在作業別勞工尿液 (表 54)，勞工平均尿中銅分別為 1.11、0.90 及 0.88 $\mu\text{g}/\text{dL}$ ，均呈現遞減之趨勢，其他金屬則無明顯變化趨勢。在肌酸酐校正尿液(表 40)之統計彙整上，三種類型之勞工勞工平均尿中鉛分別為 1.35、1.08 及 0.69 $\mu\text{g}/\text{g creatinine}$ ，勞工平均尿中鋁分別為 5.41、4.87 及 4.41 $\mu\text{g}/\text{g creatinine}$ ，勞工平均尿中鎳分別為 1.78、1.35 及 1.27 $\mu\text{g}/\text{g creatinine}$ ，勞工平均尿中銅分別為 18.62、9.51 及 7.85 $\mu\text{g}/\text{g creatinine}$ ，均呈現遞減之趨勢，其他金屬則無明顯變化趨勢。

本研究中鈹噴廠勞工平均血中鉛為 1.97 $\mu\text{g}/\text{dL}$ ，如與文獻不同行業相比(表 11)，較為偏低，由於文獻中多數未探討其鉛暴露之來源及危害控制方式，因此無法得知本研究勞工血中鉛較低之原因，推估可能是接觸含鉛原料之頻率較低，汽車鈹噴廠使用之漆料多為白、黑等市場主流漆色，此類漆料所含之鉛成分均甚低，且其接觸艷色含鉛漆料之機會較低，造成整體暴露於鉛的機率偏低。

而其他的生物暴露指標，例如尿中鎳及尿中鉻的濃度，和文獻中相比較 (表

12)，則無明顯之差異。

表 11 不同行業平均血中鉛濃度值

行業 (樣本數)	平均血中鉛濃度 (μg/dL)	文獻
船廠工程(n=16)	9	[6]
家具修理業(n=6)	30	
電池回收業(n=41)	50.1	[7]
電池製造業(n=40)	47	
金屬焊接業(n=31)	23.4	
塗料製造業(n=40)	40.9	
皮革製造業(n=40)	12.9	
製藥廠(n=41)	36.1	[11]
汽車鍍金烤漆(n=20)	8.62	
汽車鍍金烤漆(n=50)	10.42	[29]
工業區鉛工人(n=88)	5.19	[30]
汽車鍍金烤漆(n=172)	43.5	
汽車鍍金烤漆(n=181)	66.0	[31]
汽車鍍金烤漆(n=50)	65.3	[35]
鉛冶煉廠(n=43)	28.1	本研究
汽車鍍金烤漆(n=28)	1.97	

表 12 不同行業特定金屬生物偵測濃度值

行業	生物指標	平均濃度	文獻
汽車烤漆(n=20) [穿著防護衣]	尿中鎘 (經肌酸校正)	0.57μg/g creatinine	[11]
汽車烤漆(n=50) [未穿著防護衣]	尿中鎘 (經肌酸校正)	0.76μg/g creatinine	
汽車烤漆(n=20) [穿著防護衣]	尿中鉻 (經肌酸校正)	0.87μg/g creatinine	
汽車烤漆(n=50) [未穿著防護衣]	尿中鉻 (經肌酸校正)	1.25μg/g creatinine	
汽車鍍金烤漆 (n=28)	尿中鎘 (經肌酸校正)	0.57μg/g creatinine	本研究
汽車鍍金烤漆 (n=28)	尿中鉻 (經肌酸校正)	0.21μg/g creatinine	

三、勞工重金屬暴露特性與其體內劑量統計分析

(一) 勞工暴露特性問卷內容卡方檢定分析

本研究針對勞工暴露特性問卷問項結果，進描述統計及卡方檢定，找出其差異性，作為後續分析之依據。

問卷檢定結果發現，在鈹噴廠兩大工作類型 [噴漆或鈹金] 之勞工，在「噴漆時數」「配戴防護具頻率」「配戴防毒面具」「配戴防護衣」等項次上有顯著差異，P 值分別為 0.000、0.012、0.000 及 0.044。

(二) 勞工重金屬暴露特性與其體內劑量相關性分析

本研究針對勞工現場作業環境暴露量及各生物暴露指標間進行皮爾森相關性分析，探討彼此間之關聯性。

結果發現，在鈹噴業勞工個人日時量平均重金屬暴露濃度(PE)與各生物暴露值標中重金屬濃度相互之相關性共有 9 項呈現顯著，其中 3 項之相關性較高($r>0.6$) (表 143)，包括個人平均鉻暴露量 (PE-Cr) 與 Ucre-Ni ($r=0.616$)、Ucre-Cu($r=0.626$)及 Ucre-Pb($r=0.604$)。

鈹噴勞工各生物暴露值標間重金屬濃度之相關性上，共有 22 項呈現顯著(表 14)，其中 15 項之相關性較高($r>0.6$)，如尿中鉛及尿中鉻呈現正相關($r=0.738$)等。

在環境採樣各重金屬暴露濃度間相關分析結果發現，鈹噴業勞工個人日時量平均樣品中，共有 4 項呈現顯著相關，而以 Ni 及 Cr ($r=0.612$)與 Cu 及 Al ($r=0.810$)相關性較高。區域樣品中則有 4 項呈現顯著相關，而以 Cr 及 Al ($r=0.674$)、Pb 及 Cu ($r=0.732$)、與 Pb 及 Cd ($r=0.726$) 相關性較高。

在鈹噴勞工生物暴露值標與工作年資之相關性上，尿中鎳($r=0.498$, $p=0.022$)及尿中鎘($r=0.649$, $p=0.001$)與工作年資呈現顯著正相關；此外，鈹噴勞工生物暴露值標與配戴呼吸防護具之相關性上，血中鉛($r=-0.505$, $p=0.019$)與配戴呼吸防護具分別呈現顯著負相關。

表 13 噴漆業勞工個人日時量平均重金屬暴露量與其體內劑量相關分析結果(具顯著性者 $p<0.05$)

比較項目*	p 值	相關係數(r)
鈹噴業		
PE-Cr vs. U-Cu	0.007	0.559
PE-Pb vs. U-Cd	0.020	0.494

PE-Cr vs. Ucre-Cr	0.012	0.527
PE-Cr vs. Ucre-Ni	0.002	0.616
PE-Cr vs. Ucre-Cu	0.002	0.626
PE-Cr vs. Ucre-Pb	0.003	0.604
PE-Ni vs. Ucre-Ni	0.004	0.592
PE-Ni vs. Ucre-Cu	0.011	0.534
PE-Ni vs. Ucre-Pb	0.016	0.508

*血液(B)、尿液(U)及肌酸酐校正尿液(Ucre); PE:勞工個人日時量平均暴露量

表 14 噴漆業勞工血液與尿液重金屬濃度相關分析結果(具顯著性者 $p < 0.05$)

比較項目*	p 值	相關係數 (r)
噴漆業		
B-Cd vs. U-Cr	0.004	0.602
B-Cd vs. U-Cd	0.016	0.520
B-Cd vs. U-Pb	0.019	0.509
B-Pb vs. Ucre-Cd	0.019	0.506
U-Cr vs. U-Cu	0.018	0.512
U-Cr vs. U-Pb	0.000	0.738
U-Ni vs. U-Cr	0.018	0.510
U-Ni vs. U-Pb	0.000	0.746
U-Cu vs. U-Pb	0.002	0.626
U-Cd vs. U-Cr	0.014	0.527
U-Cd vs. U-Ni	0.002	0.637
U-Cd vs. U-Pb	0.016	0.517
U-Cu vs. Ucre-Cr	0.000	0.752
U-Cu vs. Ucre-Ni	0.000	0.722
U-Cu vs. Ucre-Cu	0.000	0.837
U-Cu vs. Ucre-Pb	0.000	0.817
Ucre-Cr vs. Ucre-Ni	0.000	0.825
Ucre-Cr vs. Ucre-Cu	0.000	0.858
Ucre-Cr vs. Ucre-Pb	0.000	0.839
Ucre-Ni vs. Ucre-Cu	0.000	0.940
Ucre-Ni vs. Ucre-Pb	0.000	0.951
Ucre-Cu vs. Ucre-Pb	0.000	0.984

*血液(B)、尿液(U)及肌酸酐校正尿液(Ucre)

表 15 噴漆業區域與勞工個人日時量平均重金屬暴露濃度相關分析結果(具顯著性者 $p < 0.05$)

比較項目*	p 值	相關係數 (r)
-------	-----	----------

鈹噴業

PE-Cr vs. PE-Al	0.030	0.473
PE-Ni vs. PE-Al	0.007	0.569
PE-Ni vs. PE-Cr	0.003	0.612
PE-Cu vs. PE-Al	0.000	0.810
RE-Cr vs. RE-Al	0.004	0.674
RE-Pb vs. RE-Cu	0.001	0.732
RE-Pb vs. RE-Cd	0.001	0.726
PE-Al vs. RE-Cu	0.025	0.557

PE：個人空氣重金屬濃度；RE：區域空氣重金屬濃度

(三) 勞工重金屬體內劑量與勞工各項參數間多變量分析

本研究針對各勞工重金屬生物指標及各項參數間（包含問卷問項間之關聯性進行分析，藉多變量線性迴歸分析 (Multiple linear regression)，嘗試建立各生物指標之預測公式，作為後續應用之基礎。

分析結果顯示(表 16)，噴漆業重金屬生物指標之預測模式迴歸係數(r^2)多可達 0.7 以上，但預測模式中可包含多項變數，例如鈹噴業勞工血中鉛之預測公式 ($r^2=0.895$)中，共有 5 項 (接觸色料顏色、下班後清潔習慣、是否定期健康檢查、上班時數與 B-Cd 濃度)，這雖增加預測之準確度，但也可能影響實際應用時之複雜性。

表 16 勞工重金屬體內劑量與勞工各項參數間多變量分析結果

生物指標	鈹噴業	
	預測模式公式*	r^2
B-Al	(4.095)-(0.563)呼吸防護具配戴頻率+(0.256)抽菸-(0.878)海鮮-(0.977)配戴防護具+(0.760)工作環境二手菸+(4.454)U-Cr-(0.247)防護衣配戴頻率	0.855
	(3.590)-(0.548)呼吸防護具配戴頻率+(0.228)抽菸-(0.819)海鮮-(0.767)配戴防護具+(0.756)工作環境二手菸+(2.764)U-Cr	0.793
B-Cr	(0.988)-(0.122)工作後身體不適+(0.062)工作環境二手煙-(0.066) SDS 內容+(0.028)噴漆時數-(908.968)空氣鎳	0.788
	(0.904)-(0.145) 工作後身體不適+(0.065) 工作環境二手煙-(0.052) SDS 內容+(0.016) 噴漆時數	0.597
B-Cu	(70.619)+(17.716) 作業現場清潔用品-(8.568) 喝酒	0.859

	+(13.340) 深海魚+(4.895) U-Ni -(7.013) 吃海鮮	
	(58.801)+(17.656) 作業現場清潔用品-(9.155) 喝酒 +(11.397) 深海魚+(4.721) U-Ni	0.782
B-Cd	(1.449)+(3.138)U-Cr-(0.188)了解含鉛色料-(0.312)服用 藥物或健康食品-(0.224)接觸色料顏色	0.719
	(1.010)+(2.876)U-Cr -(0.309)了解含鉛色料-(0.270)服用 藥物或健康食品	0.605
B-Pb	(6.841)-(1.081) 接觸色料顏色+(0.664) 下班後清潔 +(1.187) 定期健康檢查-(6958.278)PE-Ni-(0.478) 上班 時數-(0.776)B-Cd	0.895
	(5.742)-(0.953) 接觸色料顏色+(0.496) 下班後清潔 +(0.890) 定期健康檢查-(5290.48) PE-Ni -(0.376) 上班 時數	0.821
U-Al	(0.501)+(0.586)Ucre-Al+(6.638)U-Cd-(5.268)Ucre-Cd	0.902
	-(1.173)+(0.512)Ucre-Al +(5.191)U-Cd	0.730
U-Cr	-(0.335)+(0.075)U-Pb+(0.074)接觸色料顏色+(0.161)U- Cd+(0.087)服用藥物或健康食品	0.894
	-(0.190)+(0.090)U-Pb+(0.075)接觸色料顏色+(0.123)U- Cd	0.751
U-Ni	(0.441)+(0.981)U-Pb	0.533
U-Cu	(0.235)+(0.019)Ucre-Cu +(2.617)U-Cr	0.832
	(0.718)+(0.020)Ucre-Cu	0.684
U-Cd	-(0.168)+(0.103)吃檳榔+(0.031)相關工作-(0.024)工作 年資+(0.126) B-Pb +(0.066)U-Al-(0.031)Ucre-Al	0.869
	-(0.305)+(0.147)吃檳榔+(0.038)相關工作-(0.029)工作 年資+(0.139) B-Pb +(0.029)U-Al	0.783
U-Pb	(0.171)+(0.539)U-Ni+(1.366)U-Cr+(0.622) Ucre-Pb - (0.585) Ucre-Ni	0.905
	-(0.140)+(0.363)U-Ni+(2.705)U-Cr+(0.111) Ucre-Pb	0.769
Ucre- Al	-(0.246)+(1.536)U-Al-(10.695)U-Cd+(8.627)Ucre-Cd	0.899
	(3.755)+(1.405)U-Al-(8.361)U-Cd	0.711
Ucre- Cr	(0.002)+(0.007) Ucre-Cu+(1.230)U-Cr -(0.134)U-Pb	0.876
	-(0.018)+(0.006) Ucre-Cu+(0.656)U-Cr	0.814
Ucre- Ni	(0.538)+(0.868) Ucre-Pb	0.899
Ucre- Cu	-(6.868)+(17.660) Ucre-Pb	0.966
Ucre- Cd	(0.039)+(0.556)工作後身體不適-(0.306)貝類	0.474
	(0.039)+(0.454)工作後身體不適	0.251
Ucre- Pb	(0.417)+(0.055) Ucre-Cu	0.966

*多變量分析以 STEPWISE 方式選取參數，以選入參數後，模式 r^2 增加 <0.05 時為最

終選擇依據。此處列出最終模式 r^2 最高之前兩項模式。

第二節 尿中鉛生物偵測分析方法開發

在有關尿中鉛分析方法驗證部分，主要是參考89年行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所之「作業環境中有害物勞工暴露生物偵測分析方法驗證程序」來執行，本方法所使用程序的原理為利用感應耦合電漿質譜儀(Inductively coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS)檢測樣品中微量元素。利用適當的霧化器 (Nebulizer)將待測樣品溶液先經霧化處理後，再配合載送氣流輸送，將所形成含待分析元素之氣膠(Aerosol)輸送至電漿(Plasma)中。樣品受熱後，經由一系列去溶劑、分解、原子化/離子化等反應，將位於電漿中之待分析元素形成單價正離子，再透過真空界面傳輸進入質譜儀(Mass spectrometer)，配合質量分析器(Mass-analyzer)將各特定質荷比(Mass-to-charge ratios)之離子予以解析後，再以電子倍增器加以檢測，來進行多元素分析。

本研究尿中鉛樣品分析之儀器為Agilent 7700e ICP-MS，無論檢量線標準濃度樣品或混尿驗證濃度樣品及勞工尿液生物檢體，最終均配置成3mL樣品盛裝於10mL PP材質試管中上機分析。

一、方法測試結果

由於本方法之制定是屬於方法引進，因此將依據「作業環境中有害物勞工暴露生物偵測分析方法驗證程序」進行檢量線、方法偵測極限、回收率、準確度、精密度及樣品儲存穩定性之確認。有關方法驗證之執行說明如下：

(一) 儀器穩定性確認

於每次 ICP-MS 分析操作時，皆以已知濃度品管液進行測試。並將結果以 Control Chart 繪製(如 Levey-Jennings Control Chart)，以作為儀器方法穩定性確認。本研究是購買 BIO-RAD Lyphochek® Urine Metals Control (批號：69190)金屬尿液品管物質，分別為兩種濃度，Level I 濃度平均值為 11.9 $\mu\text{g/L}$ 、Level II 濃度平均值為 61.8 $\mu\text{g/L}$ ，其數據結果如圖 2。由表 17 數據顯示尿液鉛測值平均及標準差分別為 12.05 \pm 0.33(CV=2.71%)及 60.70 \pm 1.42(CV=2.31%)。

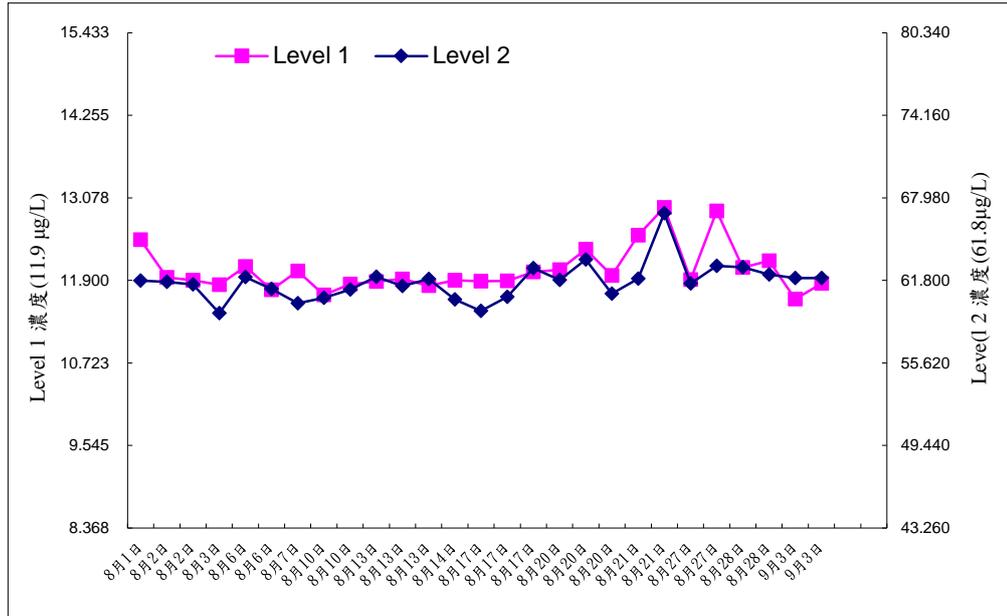


圖 2 ICP-MS 穩定性測試 X-R 圖(以鉛尿樣標準品管樣品測試)

表 17 ICP-MS 穩定性測試數據表

操作日期	測試結果	
	Level 1 (11.9µg/L)	Level 2 (61.8µg/L)
8月1日(107年)	12.48	61.79
8月2日	11.94	61.69
8月2日	11.90	61.51
8月3日	11.84	59.34
8月6日	12.10	62.06
8月6日	11.77	61.16
8月7日	12.03	60.08
8月10日	11.69	60.49
8月10日	11.85	61.12
8月13日	11.88	62.08
8月13日	11.92	61.37
8月13日	11.82	61.90
8月14日	11.90	60.38
8月17日	11.89	59.51
8月17日	11.89	60.57
8月17日	12.02	62.72
8月20日	12.05	61.83
8月20日	12.34	63.35
8月20日	11.97	60.82
8月21日	12.54	61.93

8 月 21 日	12.94	66.84
8 月 27 日	11.91	61.58
8 月 27 日	12.89	62.88
8 月 28 日	12.08	62.79
8 月 28 日	12.18	62.24
9 月 3 日	11.63	61.97
9 月 3 日	11.86	61.98
平均值(Mean)	12.05	61.70
標準偏差(SD)	0.33	1.42
變異係數(CV)	2.71%	2.31%

(二) 檢量線(calibration curve)建立

依據生物偵測分析方法驗證程序之規範，應至少五點以上不同濃度標準溶液建立檢量線，檢量線最低濃度最好大於 5 倍於方法偵測極限，整條檢量線範圍應能涵蓋 0.5~2 倍生物偵測暴露指標值(BEI)範圍。本研究是以 30 $\mu\text{g/L}$ 為設定的尿中鉛 BEI 值，檢量線配置方法是取 1000ppm 鉛標準溶液 20 μL 裝於 25mL 定量瓶以 2% HNO_3 溶液稀釋至刻度，配置成 800 $\mu\text{g/L}$ 高濃度標準儲備溶液，在將此高濃度標準儲備溶液以 2% HNO_3 溶液稀釋 10 倍，配置成最終 80 $\mu\text{g/L}$ 標準儲備溶液，由 80 $\mu\text{g/L}$ 標準儲備溶液分別取 5、10、25、50、75、100 μL 分別裝於 PP 材質試管中，以 2% HNO_3 溶液補足稀釋，配置成最終體積為 100 μL 的標準溶液，分別配置成 4、8、20、40、60、80 $\mu\text{g/L}$ 七個不同濃度標準溶液建立檢量線，另以 2%(v/v) HNO_3 溶液做為檢量線第一點。分析時是以經 NIST 驗證標準參考物質(SRM)100 $\mu\text{g/mL}$ 銦(^{115}In)硝酸溶液(於 10% HNO_3 中)配置成內含 0.4% 內標定品(internal standard)之鉛標準溶液進行樣本分析，因此是以鉛與內標物測值的比值進行檢量線圖之建立。檢量線結果其線性值須 $r \geq 0.995$ 及 $\text{RPD} \leq 10\%$ 。圖 3 為鉛的檢量線圖。

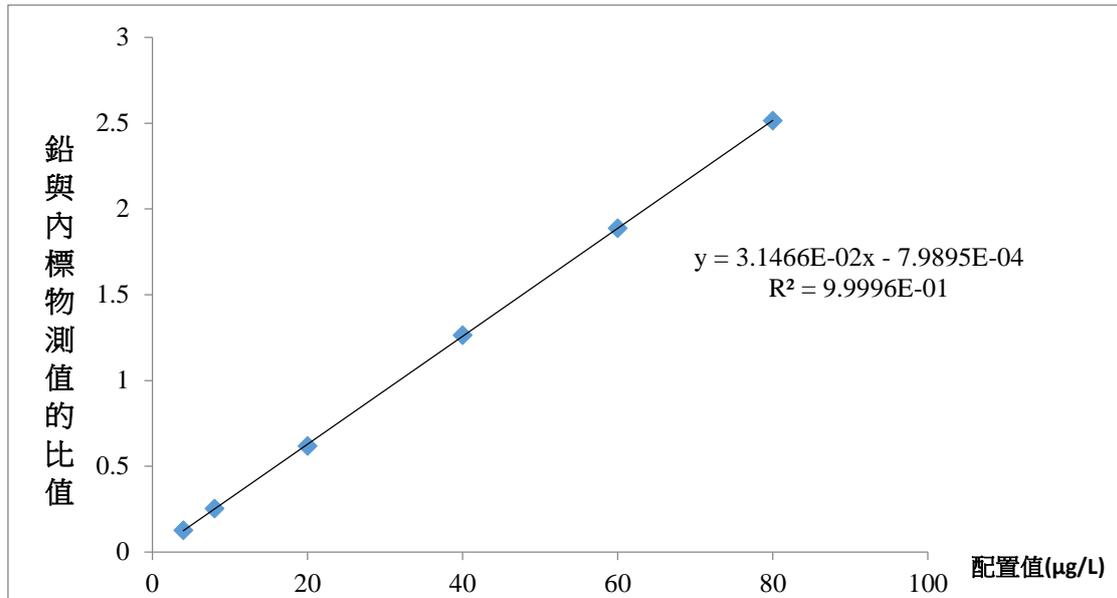


圖 3 鉛檢量線圖(2018/09/03 分析用檢量線圖為例)

(三) 方法偵測極限(Method Detection Limit, MDL)

依據方法之程序採集 5-10 個未暴露 (non-exposed) 常人之尿液並予以均勻混合，取七等份添加約等於 1/5 檢量線最低濃度之標準溶液，此樣品是取 80μg/L 的鉛標準溶液 30μL，以混尿稀釋至 3mL 刻度，即配置成 0.8μg/L 濃度混合尿液樣品，依據方法建議程序進行樣品前處理及儀器測試(儀器須調至最高靈敏度)，樣品前處理是取 100μL 的 0.8μg/L 濃度混合尿液樣品，加入 300μL 0.4%¹¹⁵In 內標準品(ISTD)，再加入 2600μL 2%(v/v) HNO₃ 溶液，使配置成最終溶液 3mL 之測試標準溶液。其測試結果如表 18，並以下列公式計算標準偏差 S_α。

$$s_{\alpha} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n} \right)}, n=7$$

表 18 0.8μg/L 尿中鉛標準溶液七重複測試結果

	1	2	3	4	5	6	7	S _α
實測值(μg/L)	0.813	0.816	0.827	0.824	0.820	0.815	0.815	0.0052

如上述再取尿中鉛生物檢體七等份添加上述添加量 1/2 濃度(即 0.4μg/L)之標準溶液，此樣品是取 80μg/L 的鉛標準溶液 15μL，以混尿稀釋至 3mL 刻度，

即配置成 0.4µg/L 濃度混合尿液樣品，同上述相同步驟量測儀器讀值，其測試結果如表 19，並計算標準偏差 S_{β} 。

表 19 0.4µg/L 尿中鉛標準溶液七重複測試結果

	1	2	3	4	5	6	7	S_{β}
實測值(µg/L)	0.390	0.390	0.401	0.388	0.392	0.401	0.386	0.0060

以 F-test 評估兩組數據之標準偏差 (S_1 為 S_{α} 、 S_{β} 中較大者， S_2 為較小者)，若 $F = S_1^2 / S_2^2$ 小於 3.05 時，則利用下述公式計算共同標準偏差 (pooled standard deviation, S_{pooled})，其結果如表 20。

$$S_{pooled} = \sqrt{\frac{6s_1^2 + 6s_2^2}{12}}$$

表 20 尿中鉛標準溶液共同標準偏差 S_{pooled}

S_1^2	S_2^2	$F=S_1^2/S_2^2 (<3.05)$	共同標準偏差 S_{pooled}
0.00003551	0.00002738	1.30	0.006

於「作業環境中有害物勞工暴露生物偵測分析方法驗證程序」中，分析方法之方法偵測極限採 $MDL = 2.681 \times S_{pooled} / a$ 估算，其中 a 為檢量線之斜率，若以

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / n - 1}$$

107 年 8 月 13 日進行方法偵測極限測試所用檢量線之斜率 0.0388 計之，則本方法之方法偵測極限為 0.388µg/L。以未暴露 (non-exposed) 常人尿液做 7 重複測試，若以 3 倍標準差(SD)做為 LOD，10 倍 SD 為 LOQ。計算 7 次測定值之標準偏差 S ：

其中： X_i = 待測樣品之個別測定值

\bar{X} = 待測樣品測定值之平均值

n = 測定次數 (7 次)

若以本研究最低濃度 0.4µg/L 濃度 7 次測試濃度計算($S=0.0060$)，則 LOD 為 0.018µg/L；LOQ=0.060µg/L。目前本研究以 LOD 為 0.018µg/L，LOQ 為 0.060µg/L 作為尿中鉛分析方法測定結果來呈現。

(四) 回收率(recovery)

依據方法之程序採集5-10 個未暴露 (non-exposed) 常人之尿液檢體並予以均勻混合，分成四等分再以標準品添加方式製備相當於1/2BEI、1BEI、2BEI 濃度及基質空白樣品各六個。同時對上述24 個樣品依據方法建議程序進行前處理。24 個樣品以隨機順序(random order)依據方法建議程序進行儀器分析。測定後計算平均值(\bar{x}_j)及標準偏差(s_j)，對1/2BEI(即15 $\mu\text{g/L}$)，1BEI(即30 $\mu\text{g/L}$)，及2BEI(即60 $\mu\text{g/L}$) 添加樣品之百分比回收率(R_j)，計算如下：

總平均回收率 \bar{R}

$$\bar{R} = \frac{\sum R_j}{k}, \quad R_j(\%) = \frac{\bar{x}_j - \bar{x}_0}{c_j} \times 100$$

其中

X_j = 添加樣品待測物含量平均測量值

C_j = 該添加樣品待測物添加量

X_0 = 空白生物檢體待測物平均背景值

本研究回收率測試結果如表 21，以總平均回收率為分析方法之回收率，而本研究之總平均回收率為99.79% 其容許範圍落在75%~125%之間，而最高與最低回收率相差也在40%之內。

表 21 0.5~2 倍 BEI 三種濃度回收率測試結果

	blank	0.5 BEI (15 $\mu\text{g/L}$)	1 BEI (30 $\mu\text{g/L}$)	2 BEI (60 $\mu\text{g/L}$)
1	0.22	15.24	30.16	60.14
2	0.24	15.23	30.17	60.05
3	0.22	15.16	30.15	60.24
4	0.21	15.27	30.11	60.14
5	0.25	15.22	30.08	60.15
6	0.25	15.15	30.05	60.22
平均值(X_j)	0.23	15.21	30.12	60.16
標準偏差(S_j)	0.02	0.05	0.05	0.07
$R_j(\%)$		99.86%	99.62%	99.87%
$R(\%)$		99.79%		

CV _j (%)	6.93%	0.30%	0.16%	0.11%
CV _p (%)	1.87%			

(五) 精密度

利用上節中數據計算 1/2BEI, 1BEI, 及 2BEI 添加樣品之分析變異係數 CV_j(%)，本研究 15μg/L、30μg/L 及 60μg/L 的分析變異係數分別為 0.30%、0.16% 及 0.11%，而其共同(pooled)變異係數 CV_p(%)代表分析方法之精密度，本分析方法之精密度為 1.87% 未大於 25%。

(六) 準確度

本研究方法選用之標準品平均值與標準差分別為 12.61±0.80μg/L 及 62.22±3.95μg/L，與尿中鉛生物偵測檢體有相似之基質且濃度落在 0.5~2 倍之間。本研究準確度測試結果數據如表 22，測試結果之相對誤差（%RE=100% × (measured – reference) / reference）均小於 25%。

表 22 準確度測試結果

標準品濃度	62.22	12.61
1	62.27	12.46
2	62.60	12.31
3	62.93	12.55
4	61.91	12.60
5	62.13	12.06
6	62.05	12.11
相對誤差	0.16%	2.08%

(七) 樣品儲存穩定性

本研究樣品儲存穩定性測試是依據方法之程序採集 5-10 個未暴露常人之尿液檢體並予以均勻混合，分為三等分再以標準品添加方式製備相當於 1/2BEI、1BEI 濃度及基質空白樣品各 30 個。樣品儲存前各濃度取 3 個樣品測定其含量，其餘樣品依參考分析方法儲存。在第四天、第七天及以後每隔一週取各濃度 3 個

樣品測試其回收率，共進行八週，十次實驗。計算每次測定樣品與樣品儲存前濃度測定之比值，並對時間做圖。在方法驗證程序中提到，若樣品以冷凍方式(-20℃)儲存，在樣品儲存一週後取每一濃度各1 個樣品，標示及解凍後放回冷凍。以後每隔一週取出另3 個不同濃度並含前次樣品解凍後再冷凍，直到全部樣品皆經過解凍及冷凍程序，最後一併作樣品測試。本研究在樣品儲存穩定性測試方面完成八週測試，分別進行樣品僅冷藏之保存方式及樣品冷凍儲存，解凍後測試及重複冷凍又解凍之測試。樣品僅冷藏之保存方式其測試數據結果如表 23及圖 4，56天儲存之平均回收率分別為98.34%(15μg/L)及98.37%(30μg/L)，計算每次測定樣品平均回收率相較於樣品第一天平均回收率之比值，則分別為1.01±0.02 (15μg/L)及1.03±0.02 (30μg/L)。尿液樣品冷凍儲存，解凍後測試結果如表 24及圖 5，尿液樣品冷凍儲存，解凍後測試56天儲存之平均回收率分別為97.67%(15μg/L)及97.59%(30μg/L)。計算每次測定樣品平均回收率相較於樣品第一天平均回收率之比值，則分別為1.00±0.02(15μg/L)及1.02±0.03 (30μg/L)。尿液樣品重複冷凍又解凍之測試結果如表 24及圖 6，其56天儲存之平均回收率分別為97.29%(15μg/L)及97.11%(30μg/L)。計算每次測定樣品平均回收率相較於樣品第一天平均回收率之比值，則分別為0.99±0.04(15μg/L)及1.01±0.02 (30μg/L)。

而在尿液樣品為冷凍保存條件下，尿液樣品經解凍分析，其樣品儲放穩定性在第八週時亦開始有下降之趨勢，但整體而言相較於第一天的平均濃度大致亦還能維持在95%以上之平均回收率。若將冷凍保存之尿液樣品經重複冷凍解凍，由分析數據結果顯示15μg/L尿液樣品於第八週時回收率有明顯下降，其相較於第一天測試結果其平均回收率僅達90%，無法維持在95%以上，而30μg/L尿液樣品於第八週時期平均回收率則尚可維持在97%。整體而言鉛尿液樣品以冷藏儲存七週仍相對穩定，上述樣品儲存穩定性測試結果相較於第一天配置樣品之平均回收率比值均能符合平均回收率介於75%與125%之間之要求。而就經濟效益而言對尿中鉛樣品可採冷藏儲存後分析，但宜於採樣七週內完成分析之建議。

表 23 尿液樣品冷藏儲放穩定性測試結果

空白樣品	0.5 BEI (15μg/L)	1 BEI (30μg/L)	平均回收率(%)	相較於第一天 平均回收率比值
------	---------------------	-------------------	----------	-------------------

	(Blank) 測値			0.5 BEI (15µg/L)	1 BEI (30µg/L)	0.5 BEI (15µg/L)	1 BEI (30 µg/L)
當日	0.28	14.77	28.70	97.95%	96.13%	1.00	1.00
	0.28	15.01	29.04				
	0.22	14.95	28.66				
	0.26	14.89	29.57				
	0.26	15.13	29.60				
	0.26	14.97	29.02				
第四天	0.24	15.18	29.75	98.03%	99.11%	1.00	1.03
	0.23	14.72	30.28				
	0.24	14.99	29.96				
第七天	0.27	15.02	30.07	98.46%	99.25%	1.01	1.03
	0.27	15.01	30.01				
	0.26	15.05	30.02				
第二週	0.30	15.23	30.21	99.82%	99.89%	1.02	1.039
	0.29	15.23	30.22				
	0.29	15.25	30.25				
第三週	0.26	15.05	30.22	98.52%	99.50%	1.01	1.04
	0.26	15.08	29.88				
	0.26	14.99	30.23				
第四週	0.27	15.18	30.25	99.80%	99.81%	1.02	1.04
	0.27	15.26	30.11				
	0.27	15.25	30.25				
第五週	0.23	15.27	30.09	99.44%	99.64%	1.02	1.04
	0.24	15.23	30.20				
	0.24	15.034	30.17				
第六週	0.24	15.07	29.88	98.58%	99.21%	1.01	1.03
	0.25	15.12	29.99				
	0.25	14.95	30.20				
第七週	0.23	15.21	30.02	99.04%	98.44%	1.01	1.02
	0.23	15.12	29.62				
	0.22	15.01	29.73				
第八週	0.25	14.20	28.00	93.31%	92.49%	0.95	0.96
	0.24	14.25	28.02				
	0.23	14.32	28.00				
平均				98.34%	98.37%	1.01	1.03

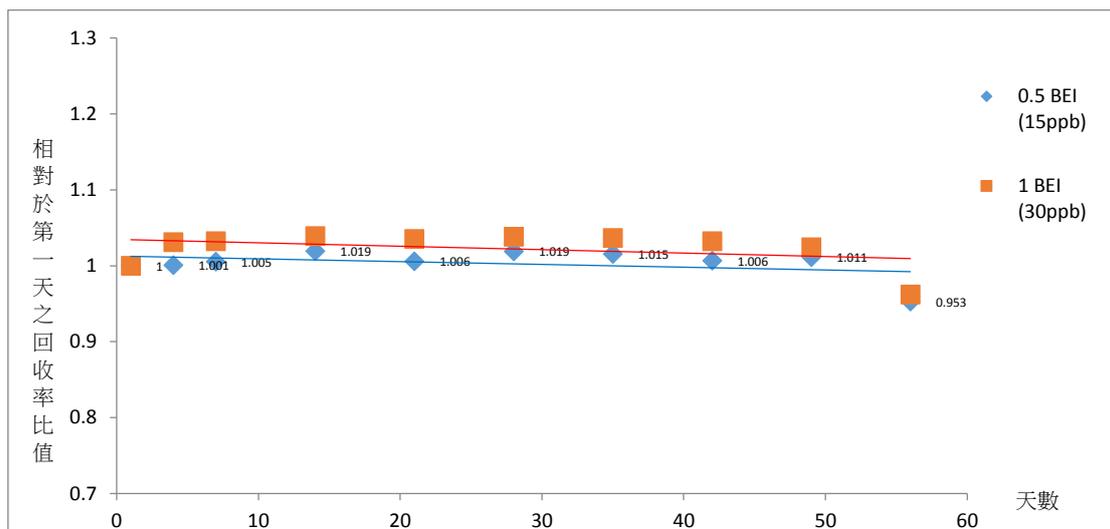


圖 4 尿液樣品冷藏儲放穩定性測試結果圖

表 24 尿液樣品冷凍儲放兩種測試條件下穩定性測試結果

	空白樣品 (Blank) 測 值	0.5 BEI (15µg/L)	1 BEI (30µg/L)	平均回收率(%)		相較於第一天 平均回收率比值	
				0.5 BEI (15µg/L)	1 BEI (30µg/L)	0.5 BEI (15µg/L)	1 BEI (30µg/L)
當日	0.28	14.77	28.70	97.95%	96.13%	1.00	1.00
	0.28	15.01	29.04				
	0.22	14.95	28.66				
	0.26	14.89	29.57				
	0.26	15.13	29.60				
第一週	0.26	14.97	29.02	100.60%	97.11%	1.03	1.01
	0.26	15.46	29.31				
	0.26	15.21	29.34				
	0.27	15.38	29.53				
	0.26	15.13	29.18				
第二週	0.27	14.63	28.70	96.84%	96.16%	0.99	1.00
	0.26	14.60	29.45				
	0.25	15.25	29.16				
	0.24	15.25	29.55				
	0.24	15.22	29.50				
第三週	0.25	15.21	29.95	99.88%	97.13%	1.02	1.01
	0.25	15.26	29.84				
	0.25	15.24	30.24				
	0.26	15.17	30.22				
	0.26	14.98	29.87				
第三週	0.25	15.37	30.12	99.41%	99.37%	1.02	1.03
	0.24	15.15	30.18				
	0.24	15.15	30.18				
				98.63%	99.75%	1.01	1.04

	0.22	14.95	30.20				
	0.26	15.07	30.18				
第四週	0.25	15.24	30.19	99.84%	100.04%	1.02	1.04
	0.26	15.23	30.38				
	0.26	15.24	30.25				
	0.26	15.14	30.12	99.40%	99.79%	1.02	1.04
	0.26	15.11	30.23				
0.27	15.26	30.24					
第五週	0.26	14.91	30.27	98.54%	99.32%	1.01	1.03
	0.25	15.08	30.00				
	0.25	15.13	29.91				
	0.26	15.12	30.06	99.24%	99.54%	1.01	1.04
	0.26	15.15	30.25				
0.26	15.17	30.06					
第六週	0.20	14.87	29.45	96.90%	96.71%	0.99	1.01
	0.22	14.85	29.31				
	0.21	14.673	29.06				
	0.24	14.560	29.60	95.56%	97.51%	0.98	1.02
	0.23	14.63	29.49				
0.23	14.59	29.45					
第七週	0.24	14.38	29.01	94.78%	95.37%	0.97	0.99
	0.23	14.44	29.19				
	0.24	14.61	28.41				
	0.25	14.83	29.70	97.42%	98.12%	1.00	1.02
	0.22	15.04	29.51				
0.236	14.75	29.89					
第八週	0.23	13.38	28.25	87.71%	92.82%	0.90	0.97
	0.23	13.39	27.77				
	0.23	13.48	28.30				
	0.22	14.22	27.56	94.12%	92.14%	0.96	0.96
	0.22	14.23	28.27				
0.22	14.69	27.88					
平均				99.65%	98.59%	0.99	1.01
				98.79%	98.88%	1.00	1.02

註：灰色底色部分為樣品冷凍儲存，尿液樣品重複冷凍又解凍之測試結果。無底色部分則為解凍後測試結果

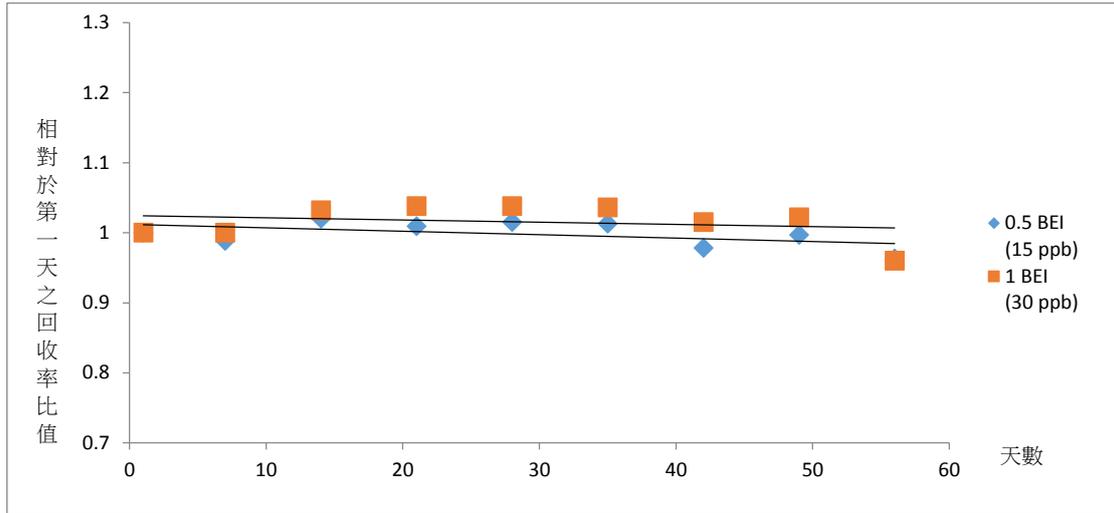


圖 5 尿液樣品冷凍儲放經解凍後測試其穩定性測試結果圖

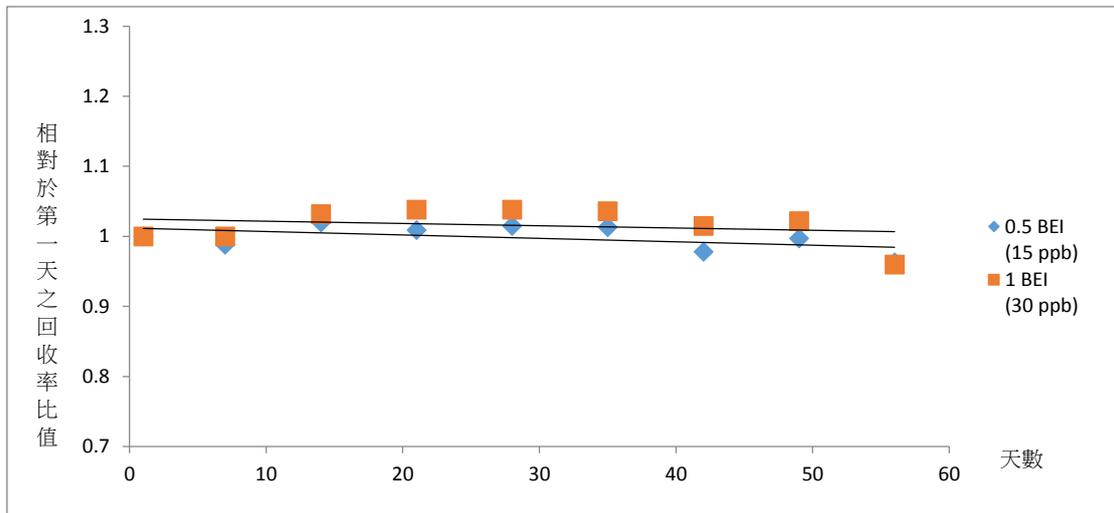


圖 6 尿液樣品冷凍儲放經重複冷凍解凍測試後其穩定性測試結果圖

(八) 方法測試結果總評

本研究所建立尿中鉛建議分析參考方法，相較於傳統 AA/Flame 分析方法，ICP-MS 法具有同可同時多元素測定及線性範圍較廣之優勢外，其亦具有較好之靈敏度、精密度及準確度，且偵測下限亦較低，且本方法沒有太多之前處理程序或待測物需進行衍生測定之問題，因此相對單純而簡易。

本研究所建方法已依作業環境中有害物勞工暴露生物偵測分析方法驗證程序完成驗證。經測試檢量線範圍可為 0.4 $\mu\text{g/L}$ ~800 $\mu\text{g/L}$ ，LOD 為 0.018 $\mu\text{g/L}$ (NIOSH 8003 為 50 $\mu\text{g/L}$)，分析方法精密度為 0.02，準確度為 0.16%(62.21 $\mu\text{g/L}$)及 2.08%(12.61 $\mu\text{g/L}$)，樣品平均回收率為 99.79%，樣品建議採樣後冷藏儲存應盡量於 49 天內完成分析，以免樣品衰減造成分析誤差。而本建議方法未來若要成為勞動部公告之方法，則尚需經 2 家實驗室後續依本方法進行實驗室間之驗證與實驗室間盲樣結果比對，才能使方法驗證更具完備性。

二、尿中鉛 ICP-MS 分析方法草案

依據前述測試結果，本研究提出尿中鉛 ICP-MS 分析方法草案 (如下)，供後續之測試及應用。

表 25 「尿中鉛 ICP-MS 分析方法」採樣分析建議方法草案

尿中鉛 ICP-MS 分析方法

方法編號：	
有害物中文名稱：鉛有害物英文名稱：Lead 空氣中容許濃度：0.05mg/m ³ 分子式：Pb分子量：207.20 化學文摘社登記號碼：7439-92-1	
標的物中文名稱：尿中鉛標的物英文名稱：Lead in Urine 參考指標值：附註 ⁽¹⁾ 代表式：Pb/U化學文摘社登記號碼：無	
生物檢體採樣 ⁽¹⁾	分析方法 ⁽¹⁾
檢體樣本：尿液 採集時機：隨機採樣，必要時可收集24小時尿液樣本 採集量：25-40mL 中段尿液 採集器：50 mL 聚丙烯(PP)材質上蓋式尿杯 樣品運送方式：冷藏運送(維持 4°C) 樣品穩性：約 56 天(4°C)	分析儀器：感應耦合電漿質譜儀 (Inductively coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS) 待測物：Lead 同位素(²⁰⁸ Pb) 檢量線溶液：Pb 標準溶液溶於 2% HNO ₃ 樣品體積：100 μL

精密度與準確度	檢量線
測試範圍：4.0~ 80.0µg/L 平均回收率(15~60µg/L)：99.79% 精密度：CV%=1.87% 準確度：(62.216µg/L) RE%=0.16% (12.611µg/L) RE%=2.08%	檢量線範圍：4.0~ 80.0µg/L 方法偵測極限(LOD)：0.018µg/L 可量化最低點(LOQ)：0.060µg/L 線性迴歸係數(r^2)≥0.995
干擾： (1)鉛的同位素有 ²⁰⁸ Pb, ²⁰⁶ Pb及 ²⁰⁷ Pb，因此在進行 ²⁰⁸ Pb測定時，可能會受到具相同質荷比物質之干擾。 (2) ²⁰⁴ Pb可能受 ²⁰⁴ Hg干擾。	
附註： 1.美國ACGIH 建議的尿中鉛BEI 值為150µg/g Cr(1985年提出，1987年採用，但於1995年取消)。 2.依據勞動部四烷基鉛中毒之認定基準中指出，職業四烷基鉛中毒的診斷基準是病人尿中鉛含量>150µg/L，建議四烷基鉛勞工的尿中鉛含量應小於100µg/L。 3.尿中鉛生物檢體背景濃度約為10-65µg/g Cr，在軟組織中半衰期為1個月，骨骼中為20年，樣品採集時間點未限制。 http://www.stm.org.tw/omc/professional_zone/%E7%94%9F%E7%89%A9%E5%81%B5%E6%B8%AC%E5%8F%83%E8%80%83%E6%A8%99%E6%BA%96.htm 4.依據李俊璋等人於勞工安全衛生研究季刊所發表「人體鉛暴露生物指標之回顧與近況發展」內容，提及尿中鉛採樣為非侵入性採樣，於穩定狀態時(連續暴露一個月以上時)，採樣時間不受限制，但缺點有：(1)採樣時污染機率較其他鉛暴露生物樣本高(2)不適用低鉛暴露(建議適用範圍：PbB>20 µg/dL)(3)時序上需考量：暴露後經過約10天方能應用(4)尿液樣本易受干擾(5)必須收集24 小時尿液樣本(6)須考量個體排尿能力之差異。 5.本方法LOD及LOQ之定義是採用LOD=3倍標準差(SD)，LOQ=10倍SD做計算。	

(一) 試劑

- 1.鉛 ICP 標準溶液(1000mg/L)：Pb(NO₃)₂ in 2~3% HNO₃ Suprapur[®]，分析級。(購自 Merck)
- 2.內標準品溶液(Internal Standard solution；100 mg/L)：Internal Standard Mix (ISTD)內標準品(含 Bi, Ge, In, Li, Lu, Rh, Sc, Tb; matrix 10% HNO₃)，每瓶 100 mL(購自安捷倫公司(Agilent))。
- 3.65%濃硝酸，ultrapure 超純酸等級。
- 4.高純氫：純度≥99.999%。
- 5.高純氮：純度≥99.999%。
- 6.去離子水，比電阻值≥18MΩ-cm。
- 7.調校溶液(Tuning Solution, 1 µg/L)：包含 Li, Y, Ce, Tl, Co, Mg 等元素。

進行儀器最佳化調整用(購自安捷倫公司(Agilent))。

(二) 設備

- 1.50mL 聚丙烯(PP)材質上蓋式尿杯(紅色螺旋上蓋)。
- 2.10mL 聚丙烯(PP)材質試管(白色上蓋)。
- 3.冷凍袋(保冰袋)。
- 4.攜帶式冰箱。
- 5.感應耦合電漿質譜儀(ICP-MS)
- 6.自動進樣器(ASX-500 series)
- 7.定量瓶：25mL 及 100 mL。
- 8.定量吸管(pipettes)：1~5 mL。
- 9.微量吸管(micropipettes)：0.5~10 μ L、20~200 μ L、100~1000 μ L。
- 10.離心機(centrifuger)。
- 11.震盪器(shaker)。
- 12.生化分析自動分析儀(Beckman Coulter UniCelDxC 800)。

(三) 採樣(含樣品運送及儲存)

- 1.受測者須於收集尿液前換下工作服並洗淨雙手，直接將中段尿收集於 50 mL 聚丙烯(PP)材質尿杯(約 5-8 分滿)，並蓋上蓋子。將採樣尿杯交與採集人員，貼上樣品標籤。
- 2.若使用冰寶(或保冰袋)，先於攜帶式冰箱底層排放一層冰寶而樣品應置於冰寶夾層中，樣品應由專人盡快送至實驗室登錄及儲存。
- 3.在 4 $^{\circ}$ C 冰箱中，樣品可維持 56 天。
- 4.尿液檢體收集容器與分析過程中所使用 PP 管、PP 瓶、微量吸管等皆以 2% HNO_3 溶液浸泡過夜(Over night)處理，再以去離子水潤洗 4 次，經烘乾後使用。每批次清洗後需進行驗證，以確保無元素或其他干擾物殘留。可接受殘留濃度需小於該項元素兩倍 MDL。

(四) 檢量線與品管樣品

1. 檢量線樣品

- (1) 取 Pb 1000mg/L 標準品 20 μ L 裝入 25mL 定量瓶中，加入 500 μ L 2%(v/v) HNO₃ 溶液稀釋至 25mL 刻度，使配成 800 μ g/L 高濃度之儲備溶液。儲備溶液可儲存室溫或 4°C 冰箱中備用。
- (2) 取一乾淨 10mL 聚丙烯(PP)材質試管，加入上述 1mL 800 μ g/L 濃度之儲備溶液，再加入 2%(v/v) HNO₃ 溶液至 10mL 刻度，配置成 80 μ g/L 濃度之標準儲備溶液。
- (3) 從上述 80 μ g/L 之標準儲備溶液中，分別取出 5, 10, 30, 50, 75, 100 μ L，以 2%(v/v) HNO₃ 溶液補足稀釋，配置成最終體積為 100 μ L 的標準溶液，其濃度分別為 4, 8, 20, 40, 60, 80 μ g/L。另以 2%(v/v) HNO₃ 溶液做為檢量線第一點。
- (4) 檢量線之線性相關係數(r)需 ≥ 0.995 以上方可接受，且檢量線配製值與實測值需在 $\pm 10\%$ 濃度範圍內，至少 3 次之讀值其相對偏差(RSD)需小於 20%(第一點除外)。

2. 品管樣品

- (1) 具有已知濃度品管溶液：樣品分析前，需進行品管程序。選擇如 Bio-Rad Lyphochekurine metals control(本研究採用 11.9 μ g/L(範圍： 9.49~14.2 μ g/L)及 61.89 μ g/L(範圍： 49.4~74.1 μ g/L))作為品管樣品，並建立管制圖。品管樣品與一般樣品的分析程序皆相同。品管樣品分析結果，需落於原廠建議範圍內。分析 20 個樣品時，及分析樣品前與最後樣品分析完畢時，需用品管樣品做確認。
- (2) 檢量線中點濃度查核樣品：每分析 10 個樣品時，需以第二來源檢量線標準品，配製約檢量線中點濃度進行檢量線查核，結果與配製值需在 $\pm 10\%$ 濃度誤差範圍內，以確認儀器的狀況是否穩定。
- (3) 品管樣品需符合允收範圍，若超出範圍時，應暫停分析，並追溯可能受影響之樣品重新分析。

3. 內標準品溶液 (Internal Standard solution)：取 4 μ L 內標準品溶液(100 mg/L，本研究選用 ¹¹⁵In 做為內標元素)，加入 2%(v/v)HNO₃ 溶液至 100mL，配置成 4ppb 內標準品 ¹¹⁵In 溶液。檢量線標準品、品管樣品、樣品分析時皆添加內標準品

溶液以評估是否有基質效應(Matrix effect)產生。

(五) 樣品前處理

- 1.檢量線標準品、品管樣品、尿液樣品前處理是取 100 μ L 加入 2600 μ L 1% HNO₃，再加入 300 μ L 內標準品溶液，經震盪混合後上機分析。
- 2.測定樣品時需至少進行 3 次之讀值測定，其相對偏差(RSD)需小於 20%。若樣品濃度極低或超出參考範圍時，應重新測定以確認結果無誤。
- 3.另取 5mL 尿液樣品作肌酸酐(creatinine, C_{cr})濃度測定。附註：尿液樣品肌酸酐(Creatinine)測定原理

藉由一種修正過的速率Jaffe 法測定。尿液檢體5.5 μ L注入內含有鹼性苦味酸溶液(alkaline picrate solution)的反應杯中。試劑與檢體的比例是一份的尿液檢體比上105 份的試劑。在反應過程中，檢體中的肌酸酐與鹼性溶液內的苦味酸(Picrate)結合，形成紅色的肌酸酐-苦味酸複合物。儀器自動偵測520 nm 吸光度的改變，吸光度的改變直接與肌酸酐的濃度成正。

(六) 儀器分析

- 1.每次分析前需使用 Tuning solution 進行儀器最佳化調整，包含儀器感度(sensetivity)、觀測質量數軸偏(Axis)情型(± 0.1 amu)、氧化物(Oxide: 156/140, <1%)、雙價離子(Doubly Charged: 70/140, <2%)，調機結果均需符合原廠建議參數設定。
2. 感應耦合電漿質譜儀分析條件

1. Plasma condition	
RF Power	1500W
RF Matching	1.5V
Sample Depth	8.8mm
Carrier Gas	1 L/min
Makeup Gas	0.1 L/min
Nebulizer pump	0.06 rps
Spray chamber temperature	2°C
2. Ion Lenses	
Extract 1	0V
Extract 2	-180V
Omega Bias	-80V

Cell Entrance	-130V
Cell Exit	-150V
Deflect	-80V
Plate Bias	-150V
3.Octople Parameters	
OctP RF	190V
OctP Bias	-100V
4.Q-Pole Parameters	
AMU Gain	145
AMU offset	128
Axis Gain	1.002
Axis offset	-0.03
QP Bias	-96V
5.Detector Parameters	
Discriminator	4.5mV
Analog HV	1716V
Pulse HV	1154V
6.Reaction Cell	
He Gas	10mL/min

註：本研究採用Agilent 7700e ICP-MS

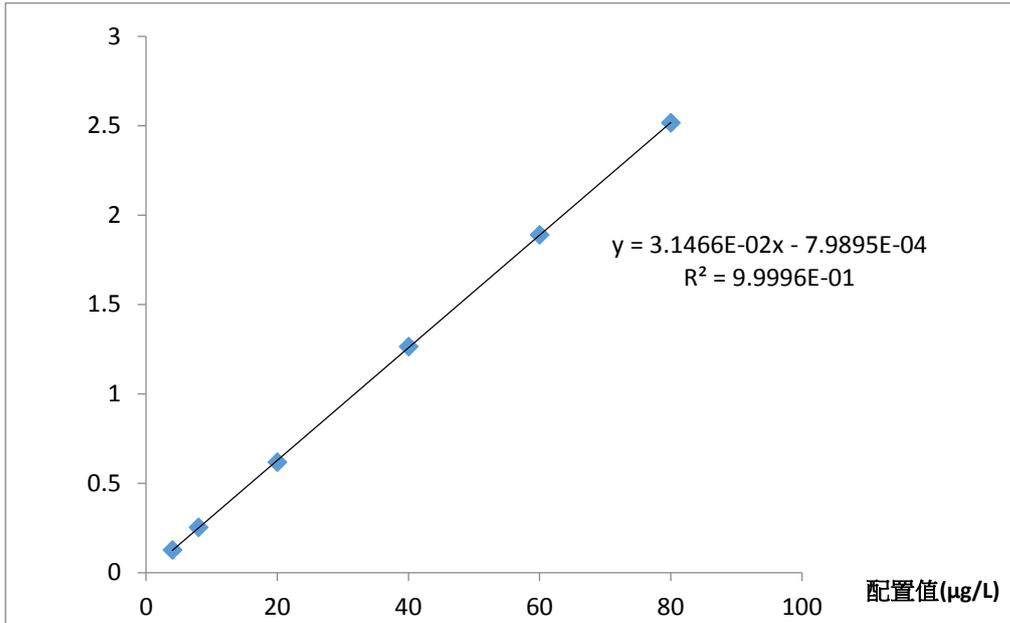
(七) 計算

- 1.以檢量線樣品分析圖譜之積分面積對濃度做檢量線，依據測量所得的吸收值，以檢量線計算出相對應的濃度($\mu\text{g/L}$)，據以計算尿液中待測物濃度。其中樣品濃度 C_s ，空白樣品濃度 C_b ，並依下式計算樣品中 Pb 的濃度。

尿中 Pb 濃度($\mu\text{g/L}$)= (C_s-C_b)

C_s : 樣品濃度($\mu\text{g/L}$)

C_b : 空白樣品濃度($\mu\text{g/L}$)



2.計算每克肌酸酐中待測物濃度

$$C(\text{g/g Crn}) = (C_{\text{urine}}/C_{\text{cm}}) \times 1000$$

C_{urine} : 尿液中測量濃度(g/L)

C_{cm} : 尿液中肌酸酐濃度(g/L)

(八) 方法評估

1.儀器穩定性確認

於每次ICP-MS分析操作時，皆以已知濃度品管液進行測試。並將結果以 Control Chart繪製(如Levey-JenningsControl Chart)，以作為儀器方法穩定性確認。本研究是購買BIO-RAD Lyphochek® Urine Metals Control (批號：69190)金屬尿液品管物質，分別為兩種濃度，Level I濃度平均值為11.9µg/L、Level II濃度平均值為61.8µg/L，其數據結果如圖 7。由表 26數據顯示尿液鉛測值平均及標準差分別為12.05±0.33(CV=2.71%)及60.70±1.42(CV=2.31%)。

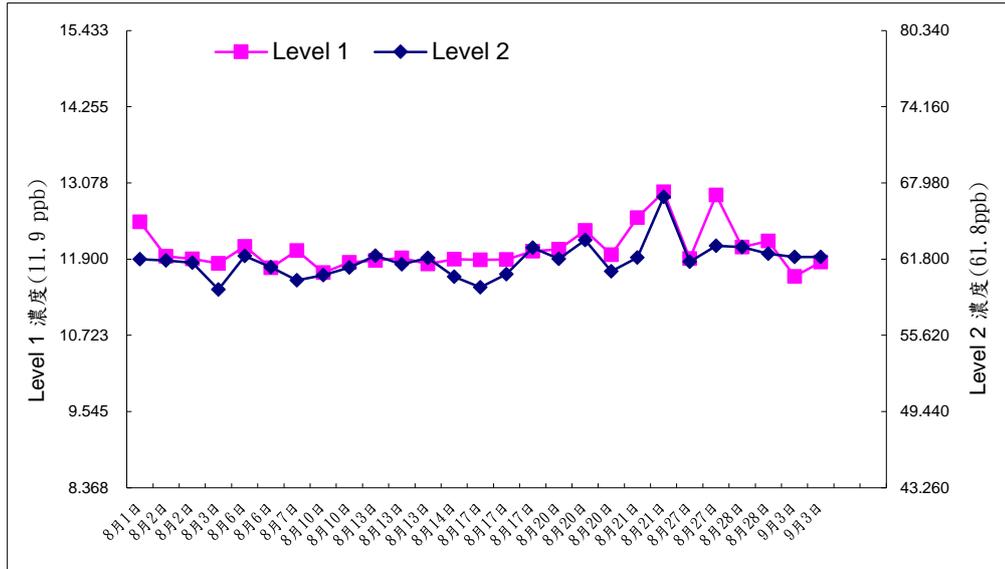


圖 7 ICP-MS 穩定性測試 X-R 圖(以鉛尿樣標準品管樣品測試)

表 26 ICP-MS 穩定性測試數據表

操作日期	結果	
	Level 1 (11.9 μ g/L)	Level 2 (61.8 μ g/L)
107年8月1日	12.48	61.79
8月2日	11.94	61.69
8月2日	11.90	61.51
8月3日	11.84	59.34
8月6日	12.10	62.06
8月6日	11.77	61.16
8月7日	12.03	60.08
8月10日	11.69	60.49
8月10日	11.85	61.12
8月13日	11.88	62.08
8月13日	11.92	61.37
8月13日	11.82	61.90
8月14日	11.90	60.38
8月17日	11.89	59.51
8月17日	11.89	60.57
8月17日	12.02	62.72
8月20日	12.05	61.83
8月20日	12.34	63.35
8月20日	11.97	60.82
8月21日	12.54	61.93
8月21日	12.94	66.84

8月27日	11.91	61.58
8月27日	12.89	62.88
8月28日	12.08	62.79
8月28日	12.18	62.24
9月3日	11.63	61.97
9月3日	11.86	61.98
平均值(Mean)	12.05	61.70
標準偏差(SD)	0.33	1.42
變異係數(CV)	2.71%	2.31%

2.方法偵測極限(Method Detection Limit, MDL)

依據方法之程序採集5-10 個未暴露 (non-exposed) 常人之尿液並予以均勻混合, 取七等份添加約等於1/5 檢量線最低濃度之標準溶液, 此樣品是取80 $\mu\text{g/L}$ 的鉛標準溶液30 μL , 以混尿稀釋至3mL刻度, 即配置成0.8 $\mu\text{g/L}$ 濃度混合尿液樣品, 依據方法建議程序進行樣品前處理及儀器測試, 樣品前處理是取100 μL 的0.8 $\mu\text{g/L}$ 濃度混合尿液樣品, 加入300 μL 0.4% ^{115}In 內標準品(ISTD), 再加入2600 μL 1%(v/v) HNO_3 溶液, 使配置成最終溶液3mL之測試標準溶液。其測試結果如表 27 0.8 $\mu\text{g/L}$ 尿中鉛標準溶液七重複測試結果, 並以下列公式計算標準偏差 S_α 。

$$s_\alpha = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n} \right)}, n=7$$

表 27 0.8 $\mu\text{g/L}$ 尿中鉛標準溶液七重複測試結果

	1	2	3	4	5	6	7	S_α
實測值($\mu\text{g/L}$)	0.813	0.816	0.827	0.824	0.820	0.815	0.815	0.0052

如上述再取尿中鉛生物檢體七等份添加上述添加量1/2 濃度(即0.4 $\mu\text{g/L}$)之標準溶液此樣品是取80 $\mu\text{g/L}$ 的鉛標準溶液15 μL , 以混尿稀釋至3mL刻度, 即配置成0.4 $\mu\text{g/L}$ 濃度混合尿液樣品, 同上述相同步驟量測儀器讀值, 其測試結果如表 28, 並計算標準偏差 S_β 。

表 28 0.4 $\mu\text{g/L}$ 尿中鉛標準溶液七重複測試結果

	1	2	3	4	5	6	7	S_β

實測值(μg/L)	0.390	0.390	0.401	0.388	0.392	0.401	0.386	0.0060
-----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------

以F-test 評估兩組數據之標準偏差 (S1 為Sa、Sβ中較大者，S2 為較小者)，若 $F = S_1^2 / S_2^2$ 小於3.05 時，則利用下述公式計算共同標準偏差 (pooled standard deviation, Spooled)，其結果如表 29。

$$S_{pooled} = \sqrt{\frac{6s_1^2 + 6s_2^2}{12}}$$

表 29 尿中鉛標準溶液共同標準偏差 Spooled

S ₁ ²	S ₂ ²	F=S ₁ ² /S ₂ ² (<3.05)	共同標準偏差Spooled
0.00003551	0.00002738	1.30	0.006

於「作業環境中有害物勞工暴露生物偵測分析方法驗證程序」中，分析方法之方法偵測極限採 $MDL = 2.681 \times S_{pooled} / a$ 估算，其中 a 為檢量線之斜率，若以 107 年 8 月 13 日進行方法偵測極限測試所用檢量線之斜率 0.0388 計之，則本方法之方法偵測極限為 0.388μg/L。以未暴露 (non-exposed) 常人尿液做 7 重覆測試，若以 3 倍標準差(SD)做為 LOD，10 倍 SD 為 LOQ。計算 7 次測定值之標準偏差 S：

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / n - 1}$$

其中：X_i = 待測樣品之個別測定值

\bar{X} = 待測樣品測定值之平均值

n = 測定次數 (7 次)

若以本研究最低濃度 0.4μg/L 濃度 7 次測試濃度計算(S=0.0060)，則 LOD 為 0.018μg/L；LOQ=0.060 μg/L。目前本研究以 LOD 為 0.018μg/L，LOQ 為 0.060μg/L 作為尿中鉛分析方法測定結果來呈現。

3.回收率(recovery)

依據方法之程序採集5-10 個未暴露 (non-exposed) 常人之尿液檢體並予以均勻混合，分成四等分再以標準品添加方式製備相當於1/2BEI、1BEI、2BEI 濃度及基質空白樣品各六個。同時對上述24 個樣品依據方法建議程序進行前處理。24 個樣品以隨機順序(random order)依據方法建議程序進行儀器

分析。測定後計算平均值(\bar{x}_j)及標準偏差(s_j)，對1/2BEI(即15 $\mu\text{g/L}$)，1BEI(即30 $\mu\text{g/L}$)，及2BEI(即60 $\mu\text{g/L}$) 添加樣品之百分比回收率(R_j)，計算如下：

總平均回收率 \bar{R} ：

$$\bar{R} = \frac{\sum R_j}{k}, \quad R_j(\%) = \frac{\bar{x}_j - \bar{x}_0}{c_j} \times 100$$

其中

X_j = 添加樣品待測物含量平均測量值

C_j = 該添加樣品待測物添加量

X_0 = 空白生物檢體待測物平均背景值

本研究回收率測試結果如表 30，以總平均回收率為分析方法之回收率，而本研究之總平均回收率為99.79%其容許範圍落在75%~125%之間，而最高與最低回收率相差也在 40%之內。

表 30 0.5~2 倍 BEI 三種濃度回收率測試結果

	blank	0.5 BEI (15 $\mu\text{g/L}$)	1 BEI (30 $\mu\text{g/L}$)	2 BEI (60 $\mu\text{g/L}$)
1	0.22	15.24	30.16	60.14
2	0.24	15.23	30.17	60.05
3	0.22	15.16	30.15	60.24
4	0.21	15.27	30.11	60.14
5	0.25	15.22	30.08	60.15
6	0.25	15.15	30.05	60.22
平均值(\bar{X}_j)	0.23	15.21	30.12	60.16
標準偏差(S_j)	0.02	0.05	0.05	0.07
$R_j(\%)$		99.86%	99.62%	99.87%
$R(\%)$		99.79%		
$CV_j(\%)$	6.93%	0.30%	0.16%	0.11%
$CV_p(\%)$	1.87%			

4.精密度

利用(八).3 中數據計算 1/2BEI, 1BEI, 及 2BEI 添加樣品之分析變異係數 $CV_j(\%)$ ，如表 29 所示，本研究 15 $\mu\text{g/L}$ 、30 $\mu\text{g/L}$ 及 60 $\mu\text{g/L}$ 的分析變異係數分別為 0.3%、0.16%及 0.11%，而其共同(pooled)變異係數 $CV_p(\%)$ 代表分析方法

之精密度，本分析方法之精密度為 1.87% 未大於 25%。

5. 準確度

本研究方法準確度之評估，是以台中醫院檢驗課參加美國 College of American Pathologists(CAP)能力試驗活動，最近一次(107年2月26日參與)Trace Metals, Urine 試驗(TMU-A 2018)兩個 PAT 樣品作為準確度確認，本次所選用之參考品同儕平均值與標準差分別為 $12.61 \pm 0.80 \mu\text{g/L}$ 及 $62.22 \pm 3.95 \mu\text{g/L}$ ，與尿中鉛生物偵測檢體有相似之基質且濃度落在 0.5~2 倍之間。本研究準確度測試結果數據如表 31，測試結果之相對誤差 ($\%RE = 100\% \times (\text{measured} - \text{reference}) / \text{reference}$) 均小於 25%。

表 31 準確度測試結果

標準品編號	TMU-01	TMU-02
標準品濃度	62.22	12.61
1	62.27	12.46
2	62.60	12.31
3	62.93	12.55
4	61.91	12.60
5	62.13	12.06
6	62.05	12.11
相對誤差%	0.16%	2.08%

6. 樣品儲存穩定性

本研究樣品儲存穩定性測試是依據方法之程序採集 5-10 個未暴露常人之尿液檢體並予以均勻混合，分為三等分再以標準品添加方式製備相當於 1/2BEI、1BEI 濃度及基質空白樣品各 30 個。樣品儲存前各濃度取 3 個樣品測定其含量，其餘樣品依參考分析方法儲存。在第四天、第七天及以後每隔一週取各濃度 3 個樣品測試其回收率，共進行八週，十次實驗。計算每次測定樣品與樣品儲存前濃度測定之比值，並對時間做圖。樣品僅冷藏之保存方式其測試數據結果如表 32 及圖 8，56 天儲存之平均回收率分別為 98.34%(15 $\mu\text{g/L}$)及 98.37%(30 $\mu\text{g/L}$)。由樣品保存實驗結果數據顯示，樣品僅冷藏之保存方式時，其樣品儲存穩定性在第八週時開始有下降之趨勢，但整體而言相較於第一天大

致還能維持在 95% 以上之平均回收率。上述樣品儲存穩定性測試結果相較於第一天配置樣品之平均回收率比值均能符合平均回收率介於 75% 與 125% 之間之要求。本方法建議鉛尿液樣品應於冷藏儲存七週內完成分析以確保樣品分析品質。

表 32 尿液樣品冷藏儲存穩定性測試結果

	空白樣品 (Blank) 測值	0.5 BEI (15µg/L)	1 BEI (30µg/L)	平均回收率(%)		相較於第一天 平均回收率比值	
				0.5 BEI (15µg/L)	1 BEI (30µg/L)	0.5 BEI (15µg/L)	1 BEI (30µg/L)
當日	0.28	14.77	28.70	97.95%	96.13%	1.00	1.00
	0.28	15.01	29.04				
	0.22	14.95	28.66				
	0.26	14.89	29.57				
	0.26	15.13	29.60				
第四天	0.24	15.18	29.75	98.03%	99.11%	1.00	1.03
	0.23	14.72	30.28				
	0.24	14.99	29.96				
第七天	0.27	15.02	30.07	98.46%	99.25%	1.01	1.03
	0.27	15.01	30.01				
	0.26	15.05	30.02				
第二週	0.30	15.23	30.21	99.82%	99.89%	1.02	1.04
	0.29	15.23	30.22				
	0.29	15.25	30.25				
第三週	0.26	15.05	30.22	98.52%	99.50%	1.01	1.04
	0.26	15.08	29.88				
	0.26	14.99	30.23				
第四週	0.27	15.18	30.25	99.80%	99.81%	1.02	1.04
	0.27	15.26	30.11				
	0.27	15.25	30.25				
第五週	0.23	15.27	30.09	99.44%	99.64%	1.02	1.04
	0.24	15.23	30.20				
	0.24	15.03	30.17				
第六週	0.24	15.07	29.88	98.58%	99.21%	1.01	1.03
	0.25	15.12	29.99				
	0.25	14.95	30.20				
第七週	0.23	15.21	30.02	99.04%	98.44%	1.01	1.02
	0.23	15.12	29.62				
	0.22	15.03	29.73				
第八週	0.25	14.20	28.00	93.31%	92.49%	0.95	0.96
	0.24	14.25	28.02				
	0.23	14.32	28.00				
平均				98.34%	98.37%	1.01	1.03

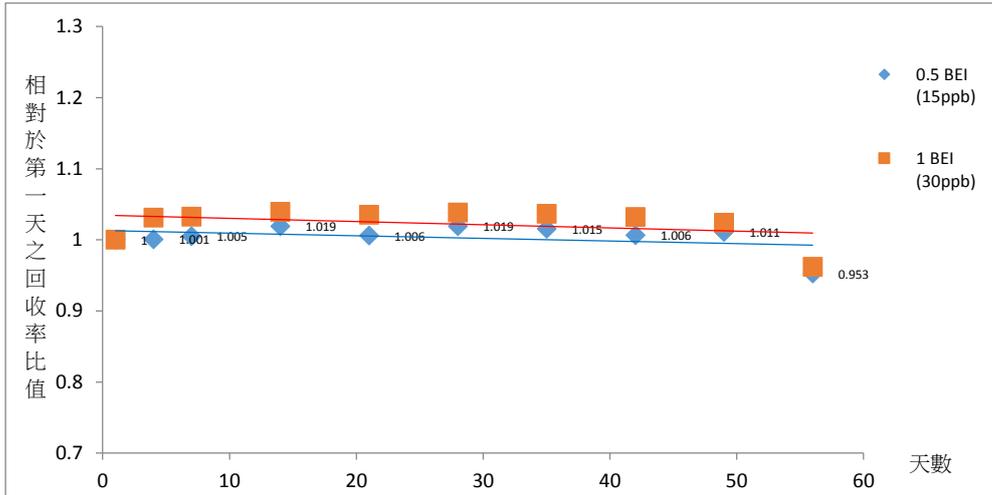


圖 8 尿液樣品冷藏儲放穩定性測試結果圖

尿中鉛採樣分析流程圖

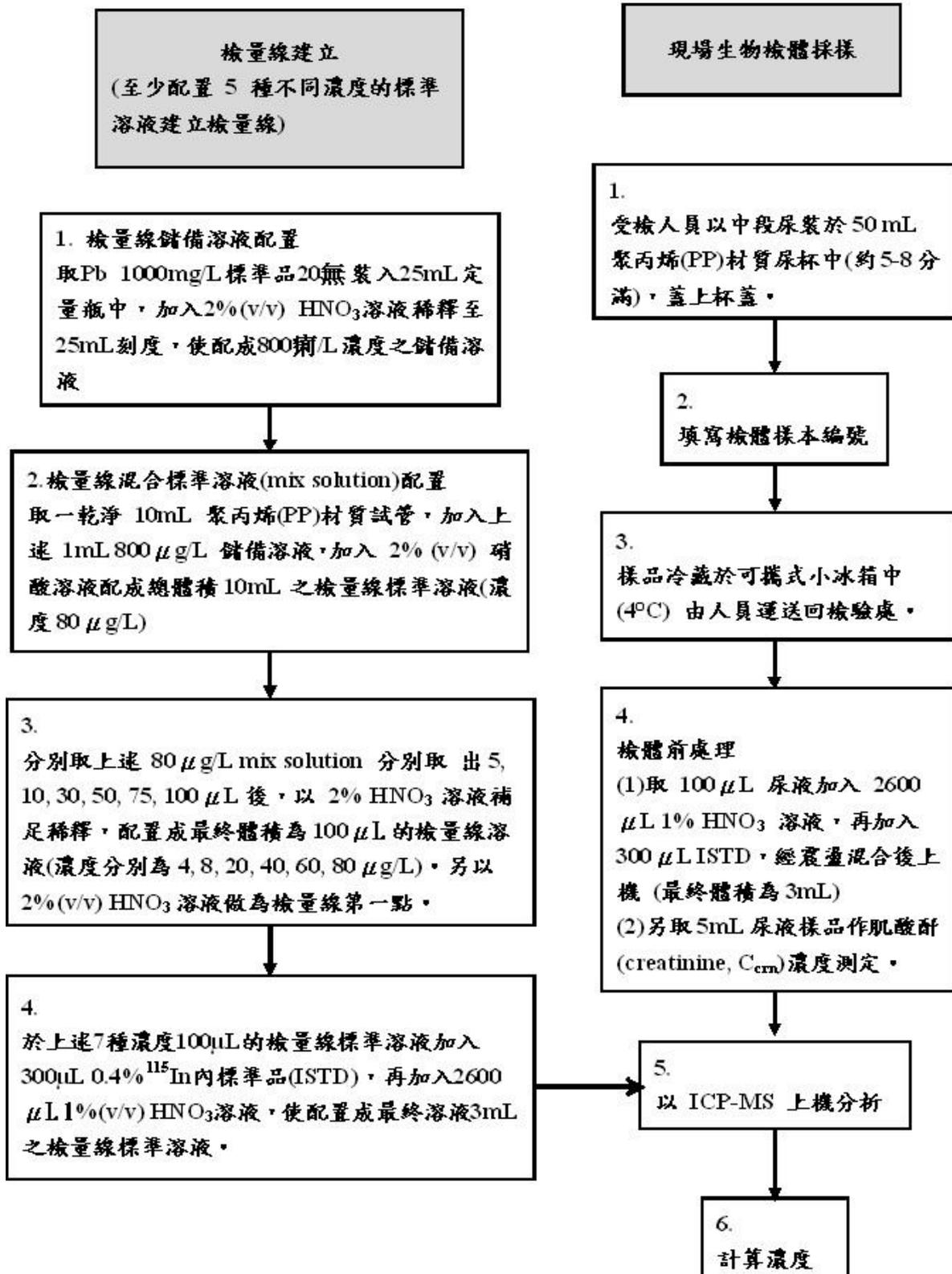


圖 9 尿中鉛採樣分析流程圖

第三節 汽車噴漆作業及相關產業職業衛生危害說明會辦理

為了讓國內汽車噴漆作業及相關產業之業者及勞工了解該作業危害特性、作業環境暴露實態及健康風險，提升業者危害認知及防制能力，降低我國相關職業疾病之發生。於 12 月 3 日假勞動部職業安全衛生署中區職業安全衛生中心(議程及辦理實況如表 33)，共同辦理「噴漆作業(汽車及噴漆相關產業)職業衛生危害防制說明會」乙場次，課程內容內容共有三大單元：行業特性及常見危害(製漆及汽車噴漆行業特性、重金屬暴露特性、國際研究相關發現等)、噴漆相關作業重金屬暴露與危害預防(行業作業模式、危害分析、危害預防、國內相關法規等)與汽車塗料國際應用趨勢(汽車塗料產品替代方案及國內應用情形等)。本說明會除國內外危害防制研究發現及國內相關法規外，亦邀請業界專家，介紹分享水性汽車塗料之應用。在學習成效評估結果顯示，學員於上課後對相關知能有顯著進步(課前 45.6±12.9 分，課後 56.7±16.8 分，成對 t 檢定， $p<0.05$ ，測驗題如附錄二)。本說明會模式可做為未來推廣汽車噴漆作業職業衛生危害教育訓練之參考。

表 33 噴漆作業(汽車及噴漆相關產業)職業衛生危害防制說明會辦理實況

辦理時間: 2018 年 12 月 3 日(一) 13:00~16:30		
辦理地點: 勞動部職業安全衛生署中區職業安全衛生中心		
參與人數: 18 人		
時間	課程內容/講師	辦理實況
12:30-13:00	來賓報到	
13:00-13:10	長官致詞/計畫說明	
13:10-14:00	一、行業特性及常見危害 課程內容: 製漆及汽車噴漆行業特性、重金屬暴露特性、國際研究相關發現等 講師: 雲科大錢葉忠教授	
14:00-14:10	休息及交流	

14:10-15:00	<p>二、噴漆相關作業重金屬暴露與危害預防</p> <p>課程內容:行業作業模式、危害分析、危害預防、國內相關法規等</p> <p>講師: 中區職業安全衛生中心 張豐昇 科長</p>	
15:00-15:10	<p>休息及交流</p>	
15:10-16:00	<p>三、汽車塗料國際應用趨勢</p> <p>課程內容: 汽車塗料產品替代方案及國內應用情形等</p> <p>講師: 台灣艾仕得塗料公司戴翊軒專員</p>	
16:00-16:30	<p>綜合討論</p>	
16:30-	<p>賦歸</p>	

第五章 結論與建議

第一節 結論

- 一、完成噴漆勞工現場作業環境重金屬監測樣品44個（包括個人樣品28個及定點樣品16個）。作業環境監測結果發現，鈹噴廠勞工個人日時量平均重金屬暴露濃度約每立方公尺在數微克之範圍，空氣中鋁、鉻、鎳、銅、鎘及鉛之總平均濃度分別為4.29、0.31、0.10、0.16、0.05、0.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。因本年度研究調查之對象，多為較具規模且有參與意願之廠家，故本研究結果可能代表該行業中危害控制相對較佳的族群。
- 二、完成噴漆作業之勞工收集分析重金屬體內劑量樣本56個（血液樣品28個及尿液樣品28個）。分析結果發現，鈹噴廠勞工體內劑量重金屬濃度均低於暴露限值，其中。勞工血中鉛之平均值為1.97 $\mu\text{g}/\text{dL}$ ，遠低於職場血中鉛之濃度限值(30-40 $\mu\text{g}/\text{dL}$)。在肌酸酐校正尿液比較上，鈹噴廠在噴漆、鈹金及行政三種類型之勞工平均尿中鉛分別為1.35、1.08及0.69 $\mu\text{g}/\text{g creatinine}$ 、尿中鋁分別為5.41、4.87及4.41 $\mu\text{g}/\text{g creatinine}$ ，尿中鎳分別為1.78、1.35及1.27 $\mu\text{g}/\text{g creatinine}$ ，尿中銅分別為18.62、9.51及7.85 $\mu\text{g}/\text{g creatinine}$ ，均呈現遞減之趨勢。
- 三、在勞工各生物暴露指標間之相關性上，鈹噴勞工各生物暴露指標間，共有15項之相關性較高($r>0.6$)，如尿中鉛及尿中鉻 ($r=0.738$)等。因本研究為橫斷式研究，但由於各金屬在體內之毒物動力學模式不同，導致其排出之時間及量也因而不同，故本研究發現各指標之關聯性，應考慮作為後續研究之基礎。
- 四、在尿中鉛分析方法開發測試上，本研究開發之方法使用感應耦合電漿質譜 (ICP-MS) 原理來檢測尿液樣品中的金屬。方法已依作業環境中有害物勞工暴露生物偵測分析方法驗證程序完成初步驗證。經測試檢量線範圍為 0.4 $\mu\text{g}/\text{L}$ ~800 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，LOD 為 0.018 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，分析方法精密度為 0.02，準確度為 0.16%(62.21 $\mu\text{g}/\text{L}$)及 2.08%(12.61 $\mu\text{g}/\text{L}$)，樣品平均回收率為 99.79%，樣品建議採樣後冷藏儲存應於 49 天內完成分析，以免樣品衰減造成分析誤差。本方法無須太多之前處理程序或進行衍生測定之問題，因此相對單純而簡易。總結驗證之結果發現，各項指標均符合我國作業環境中有害物勞工暴露生物偵測分析方法驗證程序中之要求。

五、本研究與職業安全衛生署中區職業安全衛生中心共同辦理汽車噴漆作業及相關產業職業衛生危害說明會一場次，學習成效評估結果顯示學員於上課後對相關知能有顯著進步。

第二節 建議

- 一、由於國內汽車鈹噴業部分規模較小且使用豔色漆料之廠家，雖其危害潛勢較大，但其參與採樣調查的意願不高，因此，可能造成遺漏，建議後續可輔導此類小廠進行危害認知及防制。
- 二、本研究提出「尿中鉛採樣分析建議方法」草案，建議本所後續進行尿中鉛採樣分析建議方法之覆驗。

誌謝

本研究計畫參與人員除鐘順輝副研究員、彭君傑助理研究員外，另包括雲林科技大學環境及安全衛生工程學系錢葉忠教授、弘光科技大學環境及安全衛生工程學系施慧中助理教授、黃郁純小姐、梁佑安先生等人，謹此敬表謝忱。

參考文獻

- [1] 陳育誠：全球塗料產業及技術現況。工研院 IEK 產業情報網，2010 年。
- [2] 李聯雄、黃奕孝：塗料製造業職業衛生輔導技術建立（二），行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，2008 年。
- [3] 周瑞淑、鐘順輝：塗料製造業職業衛生輔導技術建立，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，2007 年。
- [4] Kim, B., et al., Exposure assessment suggests exposure to lung cancer carcinogens in a painter working in an automobile bumper shop. *Safety and Health at Work*, 2013; 4:216-20.
- [5] 錢葉忠、鐘順輝：汽車修理業噴漆作業勞工重金屬暴露調查，勞動部勞動及職業安全衛生研究所，2015 年。
- [6] Koh, D.H., et al., Lead exposure in US worksites: A literature review and development of an occupational lead exposure database from the published literature. *Am J Ind Med*, 2015; 58(6): 605-16.
- [7] Were, F.H., et al., Lead exposure and blood pressure among workers in diverse industrial plants in Kenya. *J Occup Environ Hyg*, 2014; 11(11): 706-15.
- [8] 賴嘉祥、莊坤遠：油漆塗料之製造及使用重金屬危害暴露調查及分析，勞動部勞動及職業安全衛生研究所，2014 年。
- [9] Blade, L.M., et al., Hexavalent chromium exposures and exposure-control technologies in American enterprise: results of a NIOSH field research study. *J Occup Environ Hyg*, 2007; 4(8): 596-618.
- [10] Choi, S.H., et al., Malignant fibrous histiocytoma of the maxillary sinus in a spray painter from an automobile repair shop. *Ann Occup Environ Med*, 2013; 25(1): 30.
- [11] Vitayavirasuk, B., S. Junhom, and P. Tantisraanee, Exposure to lead, cadmium and chromium among spray painters in automobile body repair shops. *J Occup Health*, 2005; 47(6): 518-22.
- [12] Awodele, O., et al., Occupational hazards and safety measures amongst the paint factory workers in lagos, Nigeria. *Saf Health Work*, 2014; 5(2): 106-11.
- [13] Jafari, M.J., A. Karimi, and M. Rezazadeh Azari, The challenges of controlling organic solvents in a paint factory due to solvent impurity. *Ind Health*, 2009; 47(3): 326-32.

- [14] Berman, T., et al., Lead in spray paint and painted surfaces in playgrounds and public areas in Israel: Results of a pilot study. *Sci Total Environ*, 2018; 637-638: 455-459.
- [15] Minov, J., et al., Work-related asthma in automobile spray painters: two case reports. *Arh Hig Rada Toksikol*, 2008; 59(2): 117-25.
- [16] Keer, S., et al., Solvent neurotoxicity in vehicle collision repair workers in New Zealand. *Neurotoxicology*, 2016; 57: 223-229.
- [17] Adu, P., et al., Reduced Haematopoietic Output in Automobile Mechanics and Sprayers with Chronic Exposure to Petrochemicals: A Case-Control Study in Cape Coast, Ghana. *J Environ Public Health*, 2018; 2018: 9563989.
- [18] IPEN and TWL, Lead in solvent-based paints for home use in Taiwan. 2016.
- [19] Steiner, A., U.N.U.-S. General, and U. Executive Director, Global Report on the Status of Legal Limits on Lead in Paint. 2016.
- [20] Brock, T., M. Grotklaes, and P. Mischke, *European Coatings Handbook*. 2nd Ed. Vincentz Network, 2000.
- [21] Goldschmidt, A. and H.J. Streitberger, *BASF Handbook on Basics of Coating Technology*. Vincentz Network, 2003.
- [22] Agency), E.U.E.P., *Automotive Refinishing Safety Information*. EPA's Office of Pollution Prevention and Toxics (OPPT), 2015.
- [23] Administration), O.U.O.S.a.H., *Autobody Repair and Refinishing*. Safety and Health Topics, 2015.
- [24] Lovreglio, P., et al., A pilot risk assessment study of strontium chromate among painters in the aeronautical industry. *Med Lav*, 2013; 104(6): 448-59.
- [25] 賴嘉祥、楊萃苑：室內裝修油漆工塗料重金屬危害暴露調查，2014年。
- [26] 顏廷羽：噴漆作業勞工之有機溶劑及重金屬危害暴露調查，環境與安全衛生工程系碩士班，中臺科技大學，台中市，2015年。
- [27] 吳珮甄：噴漆作業場所勞工重金屬與六價鉻暴露之健康風險評估，環境與安全衛生工程系碩士班，中臺科技大學，台中市，2017年。
- [28] Alarcon, W.A., Elevated Blood Lead Levels Among Employed Adults - United States, 1994-2013. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*, 2016; 63(55): 59-65.

- [29] Tagne-Fotso, R., et al., Current sources of lead exposure and their relative contributions to the blood lead levels in the general adult population of Northern France: The IMEPOGE Study, 2008-2010. *J Toxicol Environ Health A*, 2016; 79(6): 245-65.
- [30] Saliu, A., et al., Comparative assessment of blood lead levels of automobile technicians in organised and roadside garages in Lagos, Nigeria. *J Environ Public Health*, 2015; 2015: 976563.
- [31] Ahmad, I., et al., Assessment of lead exposure among automobile technicians in Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Sci Total Environ*, 2018; 633: 293-299.
- [32] Bergdahl, I.A., et al., Lead concentrations in human plasma, urine and whole blood. *Scand J Work Environ Health*, 1997; 23(5): 359-63.
- [33] Gouille, J.P., et al., Metal and metalloid multi-elementary ICP-MS validation in whole blood, plasma, urine and hair. Reference values. *Forensic Sci Int*, 2005; 153(1): 39-44.
- [34] Paschal, D.C., et al., Trace metals in urine of United States residents: reference range concentrations. *Environ Res*, 1998; 76(1): 53-9.
- [35] Schutz, A., et al., Measurement by ICP-MS of lead in plasma and whole blood of lead workers and controls. *Occup Environ Med*, 1996; 53(11): 736-40.

附錄一

鈹噴廠作業環境監測與勞工生物樣品分析結果

表 34 A 鈹噴廠作業環境重金屬監測結果

樣品代號	樣品種類	區域 / 部門	採樣時間 (min)	空氣中濃度 (µg/m ³)					
				鋁	鉻	鎳	銅	鎘	鉛
A01*	個人	鈹金	389	3.69	0.2	0.08	0.14	0.04	0.14
A02*	個人	噴漆	386	6.39	0.43	0.07	0.07	0.07	0.22
A03*	個人	噴漆	392	6.28	0.47	0.2	0.07	0.07	0.26
A04*	個人	辦公室	392	1.91	0.19	0.1	0.2	0.04	0.11
A05*	個人	鈹金	375	5.19	0.26	0.13	0.15	0.04	0.2
A06*	個人	鈹金	357	3.42	0.23	0.08	0.09	0.04	0.17
A07*	個人	鈹金	391	5.01	0.26	0.13	0.17	0.04	0.22
A08*	個人	噴漆	393	8.64	0.46	0.14	0.54	0.07	0.34
平均±標準差				5.07±2.09	0.31±0.12	0.12±0.04	0.18±0.15	0.05±0.02	0.21±0.07
AA01	定點	鈹金區	378	3.42	0.22	0.07	0.09	0.04	0.16
AA02	定點	行政區內	393	2.85	0.21	0.03	0.1	0.03	0.35
AA03	定點	噴漆房外	389	3.06	0.23	0.04	0.09	0.04	0.29
AA04	定點	噴漆房外	370	1.27	0.2	0.1	0.04	0.04	0.04
平均±標準差				2.65±0.95	0.22±0.01	0.06±0.03	0.08±0.03	0.04±0.01	0.21±0.14
AB1	現場空	-	-	1.24	0.27	0.05	0.05	0.05	0.05

	白								
AB2	現場空白	-	-	0.94	0.28	0.05	0.05	0.05	0.05
AB3	現場空白	-	-	1.18	0.3	0.05	0.05	0.05	0.05
平均±標準差				1.12±0.16	0.28±0.02	0.05±0.00	0.05±0.00	0.05±0.00	0.05±0.00

*與生物樣品勞工代號相同

表 35 A 鈹噴廠勞工血液中重金屬監測結果

勞工代號	工作區域	血清(漿)中濃度					
		鋁 (ug/L)	鉻 (ug/L)	鎳 (ug/L)	銅(ug/dL)	鎘 (ug/L)	鉛 (ug/dL)
A01	鈹金	2.46	0.78	0.24	91.95	1.08	1.34
A02	噴漆	1.48	0.75	1.21	76.52	0.8	2.44
A03	噴漆	2.07	0.84	0.7	94.55	0.45	2.16
A04	辦公室	1.88	0.84	0.57	87.43	0.46	2.08
A05	鈹金	2.81	0.63	0.46	93.6	0.81	2
A06	鈹金	0.71	0.73	0.37	85.71	1.67	3.84
A07	鈹金	0.71	0.67	0.46	61.74	0.56	1.64
A08	噴漆	2.26	0.94	0.36	105.07	1.28	1.08
平均±標準差		1.80±0.78	0.77±0.10	0.55±0.30	87.07±13.10	0.89±0.43	2.07±0.84

表 36 A 鈹噴廠勞工尿液中重金屬監測結果

勞工代號	工作區域	尿液中濃度					
		鋁 (ug/L)	鉻 (ug/L)	鎳 (ug/L)	銅 (ug/dL)	鎘 (ug/L)	鉛 (ug/L)
A01	鈹金	3.43	0.24	1.07	0.45	0.32	0.43
A02	噴漆	4.67	0.15	1.86	0.89	1.06	0.39
A03	噴漆	4.19	0.15	1.53	1.05	0.55	1.25
A04	辦公室	0.71	0.09	0.51	0.35	0.31	0.33
A05	鈹金	8.46	0.19	2.13	1.45	1.59	1.25
A06	鈹金	4.05	0.29	2.35	1.23	0.68	2.3
A07	鈹金	1.85	0.09	0.83	0.76	0.41	0.59
A08	噴漆	4.88	0.29	1.37	0.86	0.89	1.19
平均±標準差		4.03±2.30	0.19± 0.08	1.46± 0.64	0.88± 0.37	0.73± 0.44	0.97± 0.67

表 37 A 鈹噴廠勞工尿液中校正後重金屬監測結果

勞工代號	工作區域	尿液中濃度 (ug/g creatinine)					
		鋁	鉻	鎳	銅	鎘	鉛
A01	鈹金	8.23	0.58	2.57	10.79	0.77	1.03
A02	噴漆	2.97	0.10	1.18	5.65	0.67	0.25
A03	噴漆	3.92	0.14	1.43	9.83	0.51	1.17
A04	辦公室	0.025	0.19	1.07	7.36	0.65	0.69
A05	鈹金	4.91	0.11	1.24	8.42	0.92	0.73
A06	鈹金	2.31	0.17	1.34	7.01	0.39	1.31
A07	鈹金	2.03	0.10	0.91	8.35	0.45	0.65
A08	噴漆	3.80	0.23	1.07	6.70	0.69	0.93
平均±標準差		3.52± 2.41	0.20±0.16	1.35±0.52	8.01± 1.69	0.63±0.18	0.84±0.34

表 38 B 鈹噴廠作業環境重金屬監測結果

樣品代號	樣品種類	區域/部門	採樣時間 (min)	空氣中濃度 (µg/m ³)					
				鋁	鉻	鎳	銅	鎘	鉛
B01*	個人	檢驗區	333	1.82	0.22	0.09	0.08	0.04	0.04
B02*	個人	檢驗區	359	1.83	0.22	0.04	0.07	0.04	0.04
B03*	個人	檢驗區	356	1.71	0.23	0.08	0.04	0.04	0.04
B04*	個人	噴漆	370	5.96	0.26	0.11	0.09	0.04	0.04
B05*	個人	噴漆	388	4.03	0.21	0.08	0.08	0.04	0.08
B06*	個人	噴漆	360	2.99	0.43	0.07	0.18	0.07	0.07
B07*	個人	鈹金	368	2.66	0.22	0.04	0.09	0.04	0.09
B08*	個人	鈹金	381	4.05	0.24	0.07	0.11	0.04	0.13
B09*	個人	辦公室	359	2.12	0.22	0.04	0.04	0.04	0.1
B10*	個人	鈹金	370	1.88	0.2	0.08	0.04	0.04	0.04
平均±標準差				2.91±1.39	0.25±0.07	0.07±0.03	0.08±0.04	0.04±0.01	0.07±0.03
BA01	定點	鈹金區	376	2.14	0.22	0.04	0.04	0.04	0.04
BA02	定點	噴漆房外	374	0.63	0.17	0.04	0.04	0.04	0.04
BA03	定點	噴漆房外	381	1.56	0.19	0.04	0.04	0.04	0.04
BA04	定點	辦公室	367	1.81	0.2	0.04	0.04	0.04	0.04
平均±標準差				1.54±0.65	0.20±0.02	0.04±0.00	0.04±0.00	0.04±0.00	0.04±0.00
BB1	現場空白	-	-	1.18	0.24	0.05	0.05	0.05	0.05
BB2	現場空白	-	-	1.05	0.24	0.05	0.05	0.05	0.05
BB3	現場空白	-	-	0.99	0.25	0.05	0.05	0.05	0.05
平均±標準差				1.07±0.10	0.24±0.01	0.05±0.00	0.05±0.00	0.05±0.00	0.05±0.00

*與生物樣品勞工代號相同

表 39 B 鈹噴廠勞工血液中重金屬監測結果

勞工代號	工作區域	血清(漿)中濃度					
		鋁 (ug/L)	鉻 (ug/L)	鎳 (ug/L)	銅 (ug/dL)	鎘 (ug/L)	鉛 (ug/dL)
B01	檢驗區	1.68	0.86	0.62	83.11	0.54	1.81
B02	檢驗區	3.88	0.81	0.46	84.96	0.39	1.64
B03	檢驗區	3.63	0.77	0.36	87.1	1.21	1.66
B04	噴漆	0.71	0.92	0.31	127.02	0.27	2.05

B05	噴漆	1.91	0.83	0.46	69.22	0.19	0.91
B06	噴漆	1.87	0.83	0.47	94.76	0.84	2.05
B07	鍍金	3.58	0.85	0.41	76.64	0.33	2.03
B08	鍍金	2.08	0.71	0.72	71.34	0.77	4.68
B09	辦公室	2.39	0.86	0.41	159.38	1.03	2.56
B10	鍍金	1.93	0.86	0.36	84.24	1.01	2.55
平均±標準差		2.37±1.02	0.83±0.06	0.46±0.13	93.8±28.2	0.66±0.36	2.19±0.99

表 40 B 鍍噴廠勞工尿液中重金屬監測結果

勞工代號	工作區域	尿液中濃度					
		鋁 (ug/L)	鉻 (ug/L)	鎳 (ug/L)	銅 (ug/dL)	鎘 (ug/L)	鉛 (ug/L)
B01	檢驗區	6.15	1.18	5.12	1.72	1.19	1.04
B02	檢驗區	20.12	0.36	1.39	0.75	0.43	0.92
B03	檢驗區	0.71	0.03	0.54	0.27	0.23	0.21
B04	噴漆	2.52	0.07	2.34	1.01	0.48	0.87
B05	噴漆	16	0.03	0.57	0.35	0.17	0.21
B06	噴漆	1.96	0.13	0.59	0.53	0.3	0.56
B07	鍍金	2.15	0.08	0.42	0.55	0.35	0.63
B08	鍍金	4	0.03	0.94	0.61	0.51	0.76
B09	辦公室	4.72	0.33	2.1	1.27	0.88	1.96
B10	鍍金	9.86	0.25	1.48	0.84	0.71	1.68
平均±標準差		6.82±6.54	0.25±0.35	1.55±1.42	0.79±0.44	0.53±0.32	0.88±0.57

表 41 B 鍍噴廠勞工尿液中校正後重金屬監測結果

勞工代號	工作區域	尿液中濃度 (ug/g creatinine)					
		鋁	鉻	鎳	銅	鎘	鉛
B01	檢驗區	2.45	0.47	2.04	6.86	0.47	0.41
B02	檢驗區	17.89	0.32	1.24	6.67	0.38	0.82
B03	檢驗區	0.025	0.001	1.88	9.42	0.80	0.73
B04	噴漆	1.45	0.04	1.35	5.83	0.28	0.50
B05	噴漆	28.17	0.0005	1.00	6.16	0.30	0.37
B06	噴漆	2.54	0.17	0.77	6.88	0.39	0.73
B07	鍍金	3.20	0.12	0.63	8.18	0.52	0.94
B08	鍍金	12.56	0.00009	2.95	19.16	1.60	2.39
B09	辦公室	3.83	0.27	1.70	10.30	0.71	1.59
B10	鍍金	3.66	0.09	0.55	3.12	0.26	0.62
平均±標準差		7.58±9.13	0.15±0.16	1.41±0.75	8.26±4.31	0.57±0.40	0.91±0.62

表 42 C 鈹噴廠作業環境重金屬監測結果

樣品代號	樣品種類	區域 / 部門	採樣時間 (min)	空氣中濃度 (µg/m ³)					
				鋁	鉻	鎳	銅	鎘	鉛
C01*	個人	辦公室	373	2.31	0.19	0.07	0.04	0.04	0.04
C02*	個人	噴漆	371	5.52	0.4	0.23	0.19	0.07	0.07
C03*	個人	噴漆	365	8.33	0.72	0.25	0.09	0.04	0.04
C04*	個人	噴漆	372	14.24	0.41	0.16	1.09	0.07	0.23
C05*	個人	鈹金	370	5.32	0.2	0.04	0.1	0.04	0.04
平均±標準差				7.14±0.45	0.38±0.22	0.15±0.10	0.30±0.44	0.05±0.02	0.08±0.08
CA01	定點	噴漆房外	361	2.65	0.17	0.04	0.04	0.04	0.04
CA02	定點	噴漆房外	366	3.43	0.22	0.04	0.04	0.04	0.04
CA03	定點	鈹金區	363	3.16	0.22	0.04	0.04	0.04	0.04
CA04	定點	辦公室	365	1.79	0.19	0.04	0.04	0.04	0.04
平均±標準差				2.76±0.72	0.20±0.02	0.04±0.00	0.04±0.00	0.04±0.00	0.04±0.00
CB1	現場空白	-	-	0.75	0.25	0.05	0.05	0.05	0.05
CB2	現場空白	-	-	1.26	0.39	0.05	0.05	0.05	0.05
CB3	現場空白	-	-	0.78	0.29	0.05	0.05	0.05	0.05
平均±標準差				0.93±0.29	0.31±0.07	0.05±0.00	0.05±0.00	0.05±0.00	0.05±0.00

*與生物樣品勞工代號相同

表 43 C 鈹噴廠勞工血液中重金屬監測結果

勞工代號	工作區域	血清(漿)中濃度					
		鋁 (ug/L)	鉻 (ug/L)	鎳 (ug/L)	銅(ug/dL)	鎘 (ug/L)	鉛 (ug/dL)
C01	噴漆房外	1.73	0.69	0.24	108.46	0.63	1.76
C02	噴漆房外	0.71	0.78	0.3	65.3	0.27	0.91
C03	鈹金區	1.75	0.6	0.23	91.92	0.32	1.28
C04	辦公室	0.71	0.6	0.2	83.53	0.61	1.56
C05	噴漆房外	1.61	0.56	0.26	104.7	0.63	2.76
平均±標準差		1.30± 0.54	0.65± 0.09	0.25± 0.04	90.78±17.39	0.49± 0.18	1.65± 0.70

表 44 C 鈹噴廠勞工尿液中重金屬監測結果

勞工代號	工作區域	尿液中濃度					
		鋁 (ug/L)	鉻 (ug/L)	鎳 (ug/L)	銅 (ug/dL)	鎘 (ug/L)	鉛 (ug/L)
C01	噴漆房外	1.55	0.07	0.12	0.24	0.3	0.12
C02	噴漆房外	2.17	0.14	1.99	0.53	0.29	0.53
C03	鈹金區	1.86	0.28	2.07	3.89	0.18	2.22
C04	辦公室	2.16	0.03	0.51	0.35	0.12	0.27
C05	噴漆房外	2.41	0.34	0.75	1.28	0.6	1.14
平均±標準差		2.03±0.33	0.17±0.13	1.09±0.89	1.26±1.53	0.30±0.18	0.86±0.86

表 45 C 鈹噴廠勞工尿液中校正後重金屬監測結果

勞工代號	工作區域	尿液中濃度 (ug/g creatinine)					
		鋁	鉻	鎳	銅	鎘	鉛
C01	噴漆房外	4.53	0.20	0.0067	7.01	0.88	0.35
C02	噴漆房外	2.20	0.14	2.02	5.37	0.29	0.54
C03	鈹金區	7.42	1.12	8.25	155.10	0.72	8.85
C04	辦公室	5.50	0.00076	1.30	8.91	0.31	0.69
C05	噴漆房外	2.08	0.29	0.65	11.05	0.52	0.98

平均±標準差	4.34±2.26	0.35± 0.44	2.44± 3.33	37.49±65.78	0.54±0.26	2.28±3.68
--------	-----------	---------------	---------------	-------------	-----------	-----------

表 46 D 鈹噴廠作業環境重金屬監測結果

樣品代號	樣品種類	區域 / 部門	採樣時間 (min)	空氣中濃度 (µg/m ³)					
				鋁	鉻	鎳	銅	鎘	鉛
D01*	個人	噴漆	389	3.26	0.4	0.07	0.19	0.07	0.07
D02*	個人	噴漆	388	2.16	0.35	0.07	0.07	0.07	0.07
D03*	個人	噴漆	382	3.19	0.38	0.07	0.07	0.07	0.32
D04*	個人	噴漆	385	5.38	0.46	0.07	0.31	0.07	0.07
D05*	個人	辦公室	395	0.92	0.17	0.09	0.04	0.04	0.04
平均±標準差				2.98±1.64	0.35±0.11	0.07±0.01	0.13±0.11	0.06±0.01	0.11±0.12
DA01	定點	噴漆房外	384	0.99	0.2	0.04	0.04	0.04	0.04
DA02	定點	噴漆房外	366	1	0.19	0.04	0.04	0.04	0.04
DA03	定點	噴漆房外	368	1.86	0.19	0.11	0.08	0.04	0.08
DA04	定點	辦公室	361	1.05	0.19	0.04	0.1	0.04	0.04
平均±標準差				1.23±0.42	0.19±0.01	0.06±0.04	0.07±0.03	0.04±0.00	0.05±0.02
DB1	現場空白	-	-	1.12	0.25	0.05	0.05	0.05	0.05
DB2	現場空白	-	-	0.8	0.28	0.05	0.05	0.05	0.05
DB3	現場空白	-	-	0.53	0.26	0.05	0.05	0.05	0.05
平均±標準差				0.82±0.30	0.26±0.02	0.05±0.00	0.05±0.00	0.05±0.00	0.05±0.00

表 47 D 鈹噴廠勞工血液中重金屬監測結果

勞工代號	工作區域	血清(漿)中濃度					
		鋁 (ug/L)	鉻 (ug/L)	鎳 (ug/L)	銅 (ug/dL)	鎘 (ug/L)	鉛 (ug/dL)
D01	噴漆	0.71	0.9	0.48	78.84	0.74	2.21
D02	噴漆	0.71	0.7	0.28	98.47	1.15	2.12
D03	噴漆	1.65	0.7	0.35	79.87	1.22	1.72
D04	噴漆	0.71	0.6	0.2	92.37	0.32	1.27
D05	辦公室	0.71	0.62	0.21	76.96	0.31	1.18
平均±標準差		0.90± 0.42	0.70± 0.12	0.30± 0.12	85.30±9.54	0.75± 0.44	1.70± 0.47

表 48 D 鈹噴廠勞工尿液中重金屬監測結果

勞工代號	工作區域	尿液中濃度					
		鋁 (ug/L)	鉻 (ug/L)	鎳 (ug/L)	銅 (ug/dL)	鎘 (ug/L)	鉛 (ug/L)
D01	噴漆	2.64	0.29	0.96	0.9	0.89	1.11
D02	噴漆	4.03	0.38	1.45	2.21	0.76	1.37
D03	噴漆	10.93	0.42	4.61	1.28	1.58	2.91
D04	噴漆	3.4	0.19	1.29	0.57	0.32	0.61
D05	辦公室	4.66	0.25	2.08	1.59	0.76	0.49
平均±標準差		5.13± 3.33	0.31± 0.09	2.08± 1.47	1.31± 0.36	0.86± 0.46	1.30± 0.97

表 49 鈹噴廠勞工尿液中校正後重金屬監測結果

勞工代號	工作區域	尿液中濃度 (ug/g creatinine)					
		鋁	鉻	鎳	銅	鎘	鉛
D01	噴漆	2.07	0.23	0.75	7.05	0.70	0.87
D02	噴漆	2.46	0.23	0.89	13.50	0.46	0.84
D03	噴漆	4.30	0.17	1.82	5.04	0.62	1.15
D04	噴漆	3.58	0.20	1.36	6.00	0.34	0.64
D05	辦公室	2.15	0.12	0.96	7.35	0.35	0.23
平均±標準差		2.91±0.98	0.19±0.05	1.15±0.43	7.79± 3.32	0.49±0.16	0.74±0.34

附錄二

鈹噴廠作業環境監測與勞工生物樣品廠家及勞工作業別分析結果

表 50 噴漆廠作業環境重金屬監測結果彙整

廠商	樣品種類	樣本數	空氣中濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
			鉛	鎘	銅	鎳	鉻	鎳	鉛
			5	0.5	0.1	0.2	0.05	0.05	0.05
A	個人	8	8.64	0.47	0.20	0.54	0.34	0.04	0.34
			1.91	0.19	0.007	0.007	0.11	0.04	0.11
			5.07	0.31	0.12	0.18	0.21	0.05	0.21
	區域	4	2.09	0.12	0.04	0.15	0.07	0.02	0.07
			3.42	0.23	0.10	0.10	0.35	0.04	0.35
			1.27	0.20	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04
		2.65	0.22	0.06	0.08	0.21	0.03	0.21	
		0.95	0.01	0.03	0.03	0.14	0.00	0.14	
B	個人	10	5.96	0.43	0.11	0.18	0.13	0.04	0.13
			1.71	0.20	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
			2.91	0.25	0.07	0.08	0.07	0.04	0.07
	區域	4	1.39	0.07	0.03	0.04	0.03	0.01	0.03
			2.14	2.20	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
			0.63	0.17	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
		1.54	0.69	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	
		0.65	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
C	個人	5	14.24	0.72	0.25	1.09	0.23	0.04	0.23
			2.31	0.19	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
			7.14	0.38	0.15	0.30	0.08	0.05	0.08
	區域	4	4.50	0.22	0.10	0.44	0.08	0.02	0.08
			3.43	0.22	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
			1.79	0.17	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
		2.76	0.20	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	
		0.72	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

D	個人	5	最大值	5.38	0.46	0.09	0.31	0.04	0.32
			最小值	0.92	0.17	0.07	0.04	0.04	0.04
			(平均值)	2.98	0.35	0.07	0.13	0.06	0.11
			標準差	1.64	0.11	0.01	0.11	0.01	0.12
			最大值	1.86	0.20	0.17	0.10	0.04	0.04
	區域	4	最小值	0.99	0.19	0.04	0.04	0.04	0.04
			(平均值)	1.23	0.19	0.09	0.06	0.04	0.04
			標準差	0.42	0.01	0.07	0.03	0.00	0.00
			總平均±	4.29	0.31	0.10	0.16	0.05	0.12
			標準差	2.81	0.13	0.06	0.21	0.02	0.09
個人總平均	28	總平均±	2.04	0.32	0.05	0.05	0.03	0.08	
		標準差	0.94	0.50	0.04	0.03	0.00	0.10	

表 51 噴漆廠勞工作業別重金屬暴露監測結果

作業別	廠商	樣本數	空氣中濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
			鋁	鉻	鎳	銅	鎘	鉛	錳
噴漆	A	3	8.64	0.47	0.20	0.54	0.007	0.34	0.007
		最大值	8.64	0.47	0.20	0.54	0.007	0.34	0.007
		最小值 (平均值)	6.28	0.43	0.007	0.007	0.007	0.22	0.007
	B	3	7.10	0.45	0.14	0.22	0.07	0.27	0.07
		標準差	1.33	0.02	0.07	0.27	0.00	0.06	0.00
		最大值	5.96	0.43	0.11	0.18	0.007	0.08	0.007
	C	3	2.99	0.21	0.007	0.08	0.04	0.04	0.04
		最小值 (平均值)	4.33	0.30	0.09	0.12	0.05	0.06	0.05
		標準差	1.51	0.12	0.02	0.06	0.02	0.02	0.02
	D	4	14.24	0.72	0.25	1.09	0.007	0.23	0.007
		最大值	5.52	0.40	0.16	0.09	0.04	0.04	0.04
		最小值 (平均值)	9.36	0.51	0.21	0.46	0.06	0.11	0.06
	總平均	13	4.45	0.18	0.05	0.55	0.02	0.10	0.02
標準差		5.38	0.46	0.007	0.31	0.007	0.32	0.007	
最大值		2.16	0.35	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	
鉍金	A	4	3.50	0.40	0.07	0.16	0.07	0.13	0.07
		標準差	1.35	0.05	0.00	0.12	0.00	0.13	0.00
		最大值	14.24	0.72	0.25	1.09	0.07	0.34	0.07
B	4	2.16	0.21	0.07	0.07	0.04	0.04	0.04	
	標準差	5.87	0.41	0.12	0.23	0.06	0.14	0.06	
	最大值	3.21	0.12	0.07	0.29	0.01	0.11	0.01	
C	4	5.19	0.26	0.13	0.17	0.04	0.22	0.04	
	標準差	3.42	0.20	0.08	0.09	0.04	0.14	0.04	
	最大值	4.33	0.24	0.11	0.14	0.04	0.18	0.04	
D	3	0.90	0.03	0.03	0.03	0.00	0.04	0.00	
	標準差	4.05	0.24	0.08	0.11	0.04	0.13	0.04	
	最大值	1.88	0.20	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	
總平均	13	2.86	0.22	0.06	0.08	0.04	0.09	0.04	
	標準差	1.10	0.02	0.02	0.04	0.00	0.05	0.00	
	最大值	1.10	0.02	0.02	0.04	0.00	0.05	0.00	

C	1	測量值	5.32	0.20	0.04	0.10	0.04	0.04	0.04
		最大值	5.32	0.26	0.13	0.17	0.04	0.04	0.22
總平均	8	最小值 (總平均)	1.88	0.20	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
		標準差	3.90	0.23	0.08	0.11	0.04	0.04	0.13
			1.24	0.03	0.04	0.04	0.00	0.00	0.07
A	1	測量值	1.91	0.19	0.10	0.20	0.04	0.04	0.11
		最大值	2.12	0.23	0.09	0.08	0.04	0.04	0.10
B	4	最小值 (總平均)	1.71	0.22	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
		標準差	1.87	0.22	0.06	0.06	0.04	0.04	0.05
			0.18	0.01	0.03	0.02	0.00	0.00	0.03
C	1	測量值	2.31	0.19	0.07	0.04	0.04	0.04	0.04
D	1	測量值	0.92	0.17	0.09	0.04	0.04	0.04	0.04
總平均	7	最大值	2.31	0.23	0.10	0.20	0.04	0.04	0.11
		最小值 (平均值)	0.92	0.17	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
		標準差	1.80	0.21	0.07	0.07	0.04	0.04	0.06
			0.44	0.02	0.03	0.06	0.00	0.00	0.03

行政、檢
驗員

表 52 噴漆廠勞工生物偵測結果彙整

廠商	樣品種類	樣本數	生物檢體中濃度 ^a						
			鋁	鉻	鎳	銅	鎘	鉛	
			血液 ^a	≤5	≤10	≤10	70-155	≤5	≤30(F); 40(M)
			尿液 ^b	≤5	≤5.2	≤5.2	0.2-8.0	≤2.6	≤23
			尿液 ^c	NA	<30	<30	NA	<5	NA
A	血液 ^a	13	最大值	2.81	0.94	1.21	105.07	1.67	3.84
			最小值	0.71	0.63	0.24	61.74	0.45	1.08
			(平均值)	1.80	0.77	0.55	87.07	0.89	2.07
			標準差	0.78	0.10	0.30	13.10	0.43	0.84
			最大值	8.46	0.29	2.35	1.45	1.59	2.30
			最小值	0.71	0.09	0.51	0.35	0.31	0.33
	尿液 ^b	13	(平均值)	4.03	0.19	1.46	0.88	0.73	0.97
			標準差	2.30	0.08	0.64	0.37	0.44	0.67
			最大值	8.23	0.58	2.57	10.79	0.92	1.31
			最小值	0.03	0.10	0.91	5.65	0.39	0.25
			(平均值)	3.52	0.20	1.35	8.01	0.63	0.84
			標準差	2.41	0.16	0.52	1.69	0.18	0.34
B	血液 ^a	10	最大值	3.88	0.92	0.72	159.38	1.21	4.68
			最小值	0.71	0.71	0.31	69.22	0.19	0.91
			(平均值)	2.37	0.83	0.46	93.78	0.66	2.19
			標準差	1.02	0.06	0.13	28.16	0.36	0.99
			最大值	20.12	1.18	5.12	1.72	1.19	1.96
			最小值	0.71	0.03	0.42	0.27	0.17	0.21
	尿液 ^b	10	(平均值)	6.82	0.25	1.55	0.79	0.53	0.88
			標準差	6.54	0.35	1.42	0.44	0.32	0.57
			最大值	28.17	0.47	2.95	19.16	1.60	2.39
			最小值	0.03	0.00	0.55	3.12	0.26	0.37
			(平均值)	7.58	0.15	1.41	8.26	0.57	0.91
			標準差	9.13	0.16	0.75	4.31	0.40	0.62
C	血液 ^a	5	最大值	1.75	0.78	0.30	108.46	0.63	2.76
			最小值	0.71	0.56	0.20	65.30	0.27	0.91
			(平均值)	1.30	0.65	0.25	90.78	0.49	1.65

				標準差	0.54	0.09	0.04	17.39	0.18	0.70
				最大值	2.41	0.34	2.07	3.89	0.60	2.22
				最小值	1.55	0.03	0.12	0.24	0.12	0.12
				(平均值)	2.03	0.17	1.09	1.26	0.30	0.86
		5		標準差	0.33	0.13	0.89	1.53	0.18	0.86
				最大值	7.42	1.12	8.25	155.10	0.88	8.85
				最小值	2.08	0.00	0.01	5.37	0.29	0.35
				(平均值)	4.34	0.35	2.44	37.49	0.54	2.28
		5		標準差	2.26	0.44	3.33	65.78	0.26	3.68
				最大值	1.65	0.90	0.48	98.47	1.22	2.21
				最小值	0.71	0.60	0.20	76.96	0.31	1.18
				(平均值)	0.90	0.70	0.30	85.30	0.75	1.70
		5		標準差	0.42	0.12	0.12	9.54	0.44	0.47
				最大值	10.93	0.42	4.61	2.21	1.58	2.91
				最小值	2.64	0.19	0.96	0.57	0.32	0.49
				(平均值)	5.13	0.31	2.08	1.31	0.86	1.30
		5		標準差	3.33	0.09	1.47	0.63	0.46	0.97
				最大值	4.30	0.23	1.82	13.50	0.70	1.15
				最小值	2.07	0.12	0.75	5.04	0.34	0.23
				(平均值)	2.91	0.19	1.15	7.79	0.49	0.74
		5		標準差	0.98	0.05	0.43	3.32	0.16	0.34
				總平均±	1.75	0.76	0.42	89.81	0.71	1.97
				標準差	0.94	0.11	0.21	19.47	0.38	0.82
		28		總平均±	4.87	0.23	1.53	0.99	0.60	0.98
				標準差	4.51	0.22	1.15	0.75	0.40	0.71
		28		總平均±	5.01	0.21	1.53	13.32	0.57	1.11
				標準差	5.85	0.22	1.46	27.95	0.28	1.58

^a 血液中濃度(及暴露限值)單位-鉛: µg/L; 鎘: µg/L; 銅: µg/dL; 鎳: µg/dL; 鎘: µg/dL; 鉛: µg/dL

^c 尿液中濃度(及暴露限值)單位-鉛: µg/L; 鎘: µg/L; 銅: µg/dL; 鎳: µg/dL; 鎘: µg/dL; 鉛: µg/L

^b 尿液經 creatinine 校正，單位: µg/g creatinine，暴露限值單位亦同

表 53 噴漆廠勞工作業別勞工血液中重金屬濃度統計

作業別	廠商	樣本數	血液中濃度						
			鋁(μg/L)	鉻(μg/L)	錳(μg/L)	銅(μg/dL)	鎘(μg/L)	鉛(μg/dL)	
噴漆	A	最大值	2.26	0.94	1.21	105.07	1.28	2.44	
		最小值	1.48	0.75	0.36	76.52	0.45	1.08	
		(平均值)	1.94	0.84	0.76	92.05	0.84	1.89	
		標準差	0.41	0.10	0.43	14.44	0.42	0.72	
		最大值	1.91	0.92	0.47	127.02	0.84	2.05	
		最小值	0.71	0.83	0.31	69.22	0.19	0.91	
	B	(平均值)	1.50	0.86	0.41	97.00	0.43	1.67	
		標準差	0.68	0.05	0.09	28.97	0.35	0.66	
		最大值	1.75	0.78	0.30	91.92	0.61	1.56	
		最小值	0.71	0.60	0.20	65.30	0.27	0.91	
		(平均值)	1.06	0.66	0.24	80.25	0.40	1.25	
		標準差	0.60	0.10	0.05	13.61	0.18	0.33	
C	最大值	1.65	0.90	0.48	98.47	1.22	2.21		
	最小值	0.71	0.60	0.20	78.84	0.32	1.27		
	(平均值)	0.95	0.73	0.33	87.39	0.86	1.83		
	標準差	0.47	0.13	0.12	9.61	0.42	0.43		
	最大值	2.26	0.94	1.21	127.02	1.28	2.44		
	最小值	0.71	0.60	0.20	65.30	0.19	0.91		
鈹金	總平均	(平均值)	1.33	0.77	0.43	89.03	0.65	1.67	
		標準差	0.62	0.12	0.27	16.34	0.39	0.54	
		最大值	4.88	0.29	1.86	1.05	1.06	1.25	
		最小值	4.19	0.15	1.37	0.86	0.55	0.39	
		(平均值)	4.58	0.20	1.59	0.93	0.83	0.94	
		標準差	0.35	0.08	0.25	0.10	0.26	0.48	
	A	最大值	16.00	0.13	2.34	1.01	0.48	0.87	
		最小值	1.96	0.03	0.57	0.35	0.17	0.21	
		(平均值)	6.83	0.08	1.17	0.63	0.32	0.55	
		標準差	7.95	0.05	1.02	0.34	0.16	0.33	
		最大值	4.88	0.29	1.86	1.05	1.06	1.25	
		最小值	4.19	0.15	1.37	0.86	0.55	0.39	
B	(平均值)	4.58	0.20	1.59	0.93	0.83	0.94		
	標準差	0.35	0.08	0.25	0.10	0.26	0.48		
	最大值	16.00	0.13	2.34	1.01	0.48	0.87		
	最小值	1.96	0.03	0.57	0.35	0.17	0.21		
	(平均值)	6.83	0.08	1.17	0.63	0.32	0.55		
	標準差	7.95	0.05	1.02	0.34	0.16	0.33		

C	1	測量值	2.41	0.34	0.75	1.28	0.60	1.14
總平均	8	最大值	3.58	0.86	0.72	104.70	1.67	4.68
		最小值	0.71	0.56	0.24	61.74	0.33	1.34
		(平均值)	1.99	0.72	0.41	83.74	0.86	2.61
		標準差	0.99	0.10	0.15	13.61	0.41	1.14
A	1	測量值	1.88	0.84	0.57	87.43	0.46	2.08
B	4	最大值	3.88	0.86	0.62	159.38	1.21	2.56
		最小值	1.68	0.77	0.36	83.11	0.39	1.64
		(平均值)	2.90	0.83	0.46	103.64	0.79	1.92
		標準差	1.04	0.04	0.11	37.20	0.39	0.44
C	1	測量值	1.73	0.69	0.24	108.46	0.63	1.76
D	1	測量值	0.71	0.62	0.21	76.96	0.31	1.18
總平均	7	最大值	3.88	0.86	0.62	159.38	1.21	2.56
		最小值	0.71	0.62	0.21	76.96	0.31	1.18
		(平均值)	2.27	0.78	0.41	98.20	0.65	1.81
		標準差	1.13	0.09	0.15	28.70	0.34	0.43

行政、
檢驗員

表 54 噴漆廠勞工尿液中重金屬濃度統計

作業別	廠商	樣本數	尿液中濃度							
			鋁(μg/L)	鉻(μg/L)	鎳(μg/L)	銅(μg/dL)	鎘(μg/L)	鉛(μg/dL)		
噴漆	A	3	最大值	4.88	0.29	1.86	1.05	1.06	1.25	
			最小值 (平均值)	4.19	0.15	1.37	0.86	0.55	0.39	
		標準差	4.58	0.20	1.59	0.93	0.83	0.94		
		B	3	最大值	0.35	0.08	0.25	0.10	0.26	0.48
				最小值 (平均值)	16.00	0.13	2.34	1.01	0.48	0.87
			標準差	1.96	0.03	0.57	0.35	0.17	0.21	
	C	3	最大值	6.83	0.08	1.17	0.63	0.32	0.55	
			最小值 (平均值)	7.95	0.05	1.02	0.34	0.16	0.33	
		標準差	2.17	0.28	2.07	3.89	0.29	2.22		
	D	4	最大值	1.86	0.03	0.51	0.35	0.12	0.27	
			最小值 (平均值)	2.06	0.15	1.52	1.59	0.20	1.01	
		標準差	0.18	0.13	0.88	1.99	0.09	1.06		
鈹金	總平均	13	最大值	10.93	0.42	4.61	2.21	1.58	2.91	
			最小值 (平均值)	2.64	0.19	0.96	0.57	0.32	0.61	
		標準差	5.25	0.32	2.08	1.24	0.89	1.50		
		A	4	最大值	3.83	0.10	1.70	0.71	0.52	0.99
				最小值 (平均值)	16.00	0.42	4.61	3.89	1.58	2.91
			標準差	1.86	0.03	0.51	0.35	0.12	0.21	
	B	3	最大值	4.72	0.20	1.63	1.11	0.58	1.04	
			最小值 (平均值)	4.15	0.13	1.08	0.97	0.43	0.79	
		標準差	8.46	0.29	2.35	1.45	1.59	2.30		
	B	3	最大值	1.85	0.09	0.83	0.45	0.32	0.43	
			最小值 (平均值)	4.45	0.20	1.60	0.97	0.75	1.14	
		標準差	2.83	0.09	0.76	0.45	0.58	0.85		
B	3	最大值	9.86	0.25	1.48	0.84	0.71	1.68		
		最小值 (平均值)	2.15	0.03	0.42	0.55	0.35	0.63		
	標準差	5.34	0.12	0.95	0.67	0.52	1.02			
標準差	4.03	0.12	0.53	0.15	0.18	0.57				

C	1	測量值	2.41	0.34	0.75	1.28	0.60	1.14
總平均	8	最大值	9.86	0.34	2.35	1.45	1.59	2.30
		最小值	1.85	0.03	0.42	0.45	0.32	0.43
		(平均值)	4.53	0.19	1.25	0.90	0.65	1.10
		標準差	3.00	0.11	0.68	0.38	0.41	0.64

A	1	測量值	0.71	0.09	0.51	0.35	0.31	0.33
B	4	最大值	20.12	1.18	5.12	1.72	1.19	1.96
		最小值	0.71	0.03	0.54	0.27	0.23	0.21
		(平均值)	7.93	0.48	2.29	1.00	0.68	1.03
		標準差	8.45	0.49	1.99	0.63	0.43	0.72

行政、
檢驗員

C	1	測量值	1.55	0.07	0.01	0.24	0.3	0.12
D	1	測量值	4.66	0.25	2.08	1.59	0.76	0.49
		最大值	20.12	1.18	5.12	1.72	1.19	1.96
		最小值	0.71	0.03	0.01	0.24	0.23	0.12
		(平均值)	5.52	0.33	1.68	0.88	0.59	0.72
		標準差	6.79	0.40	1.72	0.64	0.36	0.65

表 55 噴漆廠勞工工作業別勞工經肌酸酐校正尿液中重金屬濃度

作業別	廠商	樣本數	尿液中濃度 (µg/g creatinine)								
			鋁	鉻	鎳	銅	鎘	鉛			
噴漆	A	3	最大值	3.92	0.23	1.43	9.83	0.69	1.17		
			最小值 (平均值)	2.97	0.10	1.07	5.65	0.51	0.25		
		B	3	標準差	3.56	0.15	1.23	7.39	0.63	0.78	
				最大值	0.52	0.07	0.19	2.17	0.10	0.48	
			最小值 (平均值)	28.17	0.17	1.35	6.88	0.39	0.73		
			標準差	1.45	0.00	0.77	5.83	0.28	0.37		
	C	3	最大值	10.72	0.07	1.04	6.29	0.32	0.53		
			最小值 (平均值)	15.12	0.09	0.29	0.54	0.06	0.18		
		D	3	標準差	7.42	1.12	8.25	155.10	0.72	8.85	
				最大值	2.20	0.00	1.30	5.37	0.29	0.54	
			最小值 (平均值)	5.04	0.42	3.86	56.46	0.44	3.36		
			標準差	2.64	0.61	3.83	85.44	0.24	4.76		
鈹金	總平均	13	最大值	4.30	0.23	1.82	13.50	0.70	1.15		
			最小值 (平均值)	2.07	0.17	0.75	5.04	0.34	0.64		
		A	4	標準差	3.10	0.21	1.20	7.90	0.53	0.87	
				最大值	1.02	0.03	0.48	3.82	0.16	0.21	
			B	3	標準差	28.17	1.12	8.25	155.10	0.72	8.85
					最大值	1.45	0.00	0.75	5.04	0.28	0.25
	最小值 (平均值)	5.41		0.21	1.78	18.62	0.48	1.35			
	標準差	7.02		0.28	1.98	41.07	0.18	2.27			
	B	3		標準差	8.23	0.58	2.57	10.79	0.92	1.31	
				最大值	2.03	0.10	0.91	7.01	0.39	0.65	
		最小值 (平均值)	4.37	0.24	1.51	8.64	0.63	0.93			
		標準差	2.88	0.23	0.73	1.57	0.26	0.30			
B	3	標準差	12.56	0.12	2.95	19.16	1.60	2.39			
		最大值	3.20	0.00	0.55	3.12	0.26	0.62			
	最小值 (平均值)	6.47	0.07	1.38	10.15	0.80	1.32				
	標準差	5.28	0.06	1.37	8.20	0.71	0.94				

C 1 測量值 2.08 0.29 0.65 11.05 0.52 0.98

總平均 8
 最大值 12.56 0.58 2.95 19.16 1.60 2.39
 最小值 2.03 0.00 0.55 3.12 0.26 0.62
 (平均值) 4.87 0.18 1.35 9.51 0.68 1.08
 標準差 3.72 0.18 0.92 4.61 0.43 0.57

A 1 測量值 0.015 0.19 1.07 7.36 0.65 0.69

B 4
 最大值 17.89 0.47 2.04 10.30 0.80 1.59
 最小值 0.02 0.00 1.24 6.67 0.38 0.41
 (平均值) 6.05 0.26 1.72 8.31 0.59 0.89
 標準差 8.05 0.20 0.35 1.82 0.20 0.50

行政、
 檢驗員

C 1 測量值 4.53 0.20 0.0003 7.01 0.88 0.35

D 1 測量值 2.15 0.12 0.96 7.35 0.35 0.23

總平均 7
 最大值 17.89 0.47 2.04 10.30 0.88 1.59
 最小值 0.01 0.00 0.00 6.67 0.35 0.23
 (平均值) 4.41 0.22 1.27 7.85 0.61 0.69
 標準差 6.19 0.15 0.70 1.42 0.21 0.45

附錄三

噴漆作業 (汽車及噴漆相關產業)職業衛生危害防制說明會考題

是非題 (共十題每題 10 分)

1.X

在油性漆料中，特別是白色、黑色、黃色、綠色及紅色的，其中可能含有高濃度的重金屬鉛及鉻，導致製漆及噴漆勞工之金屬暴露。

2.O

油溶性塗料及水溶性塗料中皆含有各類不同的有機溶劑：如甲苯、二甲苯、丙酮、乙酸乙酯、乙酸丁酯、異丙醇、乙二醇丁醚、松節油、丙二醇甲醚等數十種勞工法令列管之有機溶劑。

3.O

塗料中含有之有機溶劑有火災爆炸的危險，且可能導致有機溶劑中毒之危害。有機溶劑可能進入人體之途徑：呼吸吸入、皮膚滲入或由口食入。有機溶劑對肝臟、腎臟、血液、中樞神經系統、生殖系統、皮膚皆重性，可能造成人體不同程度之傷害，若長期暴露則可能導致癌症。

4.X

噴漆相關作業之局部排氣裝置設置時，氣罩應盡可能靠近作業人員，並選擇適當大小及形式，而排氣機則應位於空氣清淨裝置上游。

5.X

以下化學品全球調和制度 (GHS) 標示之象徵說明是否正確？

驚嘆號	火焰	健康危害	骷髏與兩根交叉骨
			

6.O

有機溶劑毒性是第一種有機溶劑>第二種有機溶劑>第三種有機溶劑。

7.X

特定化學物質分類中乙類物質是否為具腐蝕性、易漏洩之氣態或液態高毒性致癌或疑似致癌物質。

8.O

作業場所有易燃液體之蒸氣滯留，蒸氣或氣體之濃度達爆炸下限值之 30% 以上時，而有爆炸、火災之虞，應即刻使勞工退避至安全場所，並停止使用煙火及其他為點火源之虞之機具，並加強通風。

9.X

水性塗料是由固體、70% 水和 10% 溶劑組成，油性高固塗料由固體、10% 水和 60% 溶劑所組成。

10.X

色漆由油性轉為水性可大幅降低整體汽車塗裝之 VOC 含量，並搭配其他油性低固塗料達到歐盟之 VOC 標準。

國家圖書館出版品預行編目資料

汽車修理業噴漆勞工重金屬生物偵測調查研究 /
鐘順輝等著. -- 1版. -- 新北市：勞動部勞研
所, 民 108. 06
面；公分
ISBN 978-986-05-9116-3(平裝)

1. 勞工衛生 2. 職業衛生

412.53

108006698

汽車修理業噴漆勞工重金屬生物偵測調查研究

著(編、譯)者：鐘順輝、錢葉忠、施慧中、黃郁純、梁佑安、彭君傑

出版機關：勞動部勞動及職業安全衛生研究所

22143 新北市汐止區橫科路 407 巷 99 號

電話：02-26607600 <http://www.ilosh.gov.tw/>

出版年月：中華民國 108 年 6 月

版(刷)次：1 版 1 刷

定價：500 元

展售處：

五南文化廣場

台中市區中山路 6 號

電話：04-22260330

國家書店松江門市

台北市松江路 209 號 1 樓

電話:02-25180207

- 本書同時登載於本所網站之「研究成果／各年度研究報告」，網址為：
<https://laws.ilosh.gov.tw/ioshcustom/Web/YearlyReserachReports/Default>
- 授權部分引用及教學目的使用之公開播放與口述，並請注意需註明資料來源；有關重製、公開傳輸、全文引用、編輯改作、具有營利目的公開播放行為需取得本所同意或書面授權。

GPN:1010801230

ISBN: 978-986-05-9116-3

勞動部勞動及職業安全衛生研究所

INSTITUTE OF LABOR, OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH, MINISTRY OF LABOR



地址：新北市汐止區橫科路407巷99號

電話：(02) 26607600

傳真：(02) 26607732

網址：<http://www.ilosh.gov.tw>

ISBN 978-986-05-9116-3



GPN:1010801230

定價：新台幣500元