



國立臺灣大學生物資源暨農學院生物環境系統工程學系

博士論文

Department of Bioenvironmental Systems Engineering

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Doctoral Dissertation

鉛同位素特徵在土壤與水稻鑑識上的應用

Lead Isotopic Fingerprinting Applied to
the Forensic Study on Soil and Rice

姚佩萱

Pei-Hsuan Yao

指導教授：張尊國 博士

Advisor: Tsun-Kuo Chang, Ph.D.

中華民國一〇四年七月

July, 2015

國立臺灣大學博士學位論文

口試委員會審定書



鉛同位素特徵在土壤與水稻鑑識上的應用

Lead Isotopic Fingerprinting Applied to the Forensic
Study on Soil and Rice

本論文係姚佩萱君（D97622006）在國立臺灣大學生物環境系統工程學系暨研究所完成之博士學位論文，於民國 104 年 7 月 7 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

張尊國

（簽名）

（指導教授）

盧虎生

張文亮

黃敏豪

張川之

林裕村

系主任(所長)

8/19 （簽名）

誌謝

本論文承蒙國立臺灣大學生物環境系統工程學系張尊國教授、張文亮教授、范致豪教授、農藝系盧虎生教授、地質系沈川洲教授斧正與指導，研究經費承蒙行政院環境保護署、科技部、國立臺灣大學生物資源暨農學院支持。感謝中央研究院環境變遷研究中心許世傑研究員、王博賢博士、國立臺灣大學生態工程研究中心周基樹教授、生工系林裕彬教授、胡明哲教授、農化系王明光教授、陳尊賢教授、李達源教授惠賜建議，感謝行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會、美商傑明工程顧問股份有限公司台灣分公司、環興科技股份有限公司、農業環境研究室、高精度質譜儀與環境變遷實驗室、SGS 台灣檢驗科技股份有限公司、力山環境科技股份有限公司的同仁與地方農民協助研究調查，感謝中央研究院地球科學研究所李德春研究員、國立臺灣大學地質系鐘孫霖教授、沈川洲教授、農藝系黃文達教授提供實驗場地。感恩爸媽、品睿、於蓁等至親親友們對於佩萱的關懷與勉勵，也謝謝每一位曾給予幫助的師長同儕。

Counting up the years. Time to make one last appeal... all my secrets away.

Another sunrise, another sunset. Soon it will all be yesterday.

Another good day, another bad day. What did you do today?

Another left turn, another head turns.

Another right turn, another lesson learned.

Only hate the road when you're missing home.

Hope is a four letter word.

Hope if everybody runs, you choose to stay.

And I hope that you don't suffer. But take the pain.

Hope when the moment comes, you'll say... I did it all.

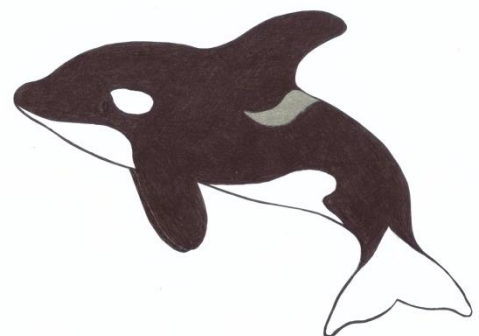
Thoughts are running through my head.

Keep the faith!

Redundancy catches me up, I have nowhere to go.

But I can still learn something new.

Yeah, with every broken bone, I swear I lived.



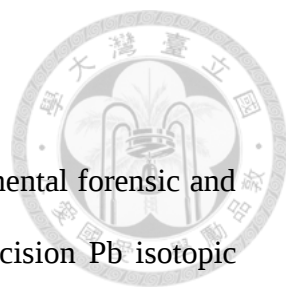


摘要

鉛同位素特徵指紋鑑識為環境法醫學之分析利器，於臺灣環境研究之應用尚屬起步階段。借助鋨離子交換樹脂分離術與多頻感應耦合電漿質譜儀，本研究建立適用於環境介質與相關樣本之高解析鉛同位素特徵指紋鑑識技術，除昔日國際文獻常見之鉛 206、207、208 同位素比值外，更提供了具備更優異的實質解釋力之鉛 204 同位素測量比值，並將之實際應用於臺灣環境系統調查，同時彙整文獻報告，以建立臺灣土本鉛同位素特徵資料庫。本論文所發現之土壤作物系統間的同位素變異現象為首次提出，呈現於盆栽試驗及現地試驗之中。在水稻各生育階段，經作物攝取之化學元素鉛於植株內轉置時，伴隨有鉛同位素比值變異，但生育於嚴重人為污染農地之水稻，其植株各部位則一致地呈現出污染質鉛同位素特徵，同位素變異作用較不明顯。綜整 4 縣市場址調查案例，得知臺灣農田土壤鉛同位素特徵背景比值為 ~ 2.472 ($^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$)、 ~ 1.170 ($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$)、 ~ 18.47 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)、 ~ 15.66 ($^{207}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$) 以及 ~ 38.7 ($^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)，且受人為污染者與自然背景呈顯著差異，其鉛同位素特徵比 ($^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 與 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$) 的數值隨污染程度而降低。鉛同位素技術於環境研究上可應用於污染源鑑識，但相較傳統之檢測分析，其檢測技術培訓與設置之初始與維護成本仍極昂貴。

關鍵詞：鉛同位素指紋鑑識，環境法醫，水稻田土壤，重金屬污染，示蹤，多頻道感應耦合電漿質譜儀。

Abstract



Lead (Pb) isotopic fingerprinting is a robust means in environmental forensic and new to Taiwan. In this study, the analytical procedure of high-precision Pb isotopic characterization in environmental materials through chromatographic separation with Sr-Spec resin and MC-ICP-MS was developed and applied to agro-environmental system in Taiwan. Besides, other reported values from literatures were also collected for built-up the database of Taiwan's Pb isotopic ratios. The phenomenon of isotopic anomaly in soil-rice system was first found and raised. The above isotopic variation occurred within rice plants during uptake and translocation in each growing periods for both pot and field experiments. Whereas, crops grown in Pb-tainted farms exhibit Pb isotopic characteristics of the pollutant. That anomaly was interrupted at the paddy fields suffering from seriously anthropogenic heavy metal contamination. Observation from various study sites around Taiwan suggest that the Pb isotopic ratios of Taiwan's non-polluted soils are ~ 2.472 for $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$, ~ 1.170 for $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$, ~ 18.47 for $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, ~ 15.66 for $^{207}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ and ~ 38.7 for $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$; while those values of soils collected at anthropogenic contaminated sites show distinctive lower in $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ and $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ratios. Lead isotopic characterization helps precise evaluation and identification of contamination sources, then, the liability of the contaminated site could be revealed, but is expensive for set-up and maintaining costs of the novel instrument and the high technology training.

Keywords: Lead isotopic fingerprinting, environmental forensic, paddy soils, heavy metal pollution, tracer, MC-ICP-MS.

符號說明



Pb：鉛 (lead)

As：砷 (arsenic)

Cd：鎘 (cadmium)

Cr：鉻 (chromium)

Cu：銅 (copper)

Hg：汞 (mercury)

Ni：鎳 (nickel)

Zn：鋅 (zinc)

U：鈾 (uranium)

Th：釷 (thorium)

Sr：鋇 (strontium)

Tl：鉍 (thallium)

Ar：氬 (Argon)

^{204}Pb ：鉛 204 同位素

^{206}Pb ：鉛 206 同位素

^{207}Pb ：鉛 207 同位素

^{208}Pb ：鉛 208 同位素

^{238}U ：鈾 238 同位素

^{235}U ：鈾 235 同位素

^{232}Th ：釷 232 同位素

^{203}Tl ：鉍 203 同位素

^{205}Tl ：鉍 205 同位素

^{200}Hg ：汞 200 同位素

^{202}Hg ：汞 202 同位素



ICP-Q-MS：四極柱感應耦合電漿質譜儀

ICP-SF-MS：磁場式感應耦合電漿質譜儀

MC-ICP-MS：多頻感應耦合電漿質譜儀

M：原子量 (mass)

R：真實/校正比值 (the true/corrected ratio)

r：儀器測量比值 (the measured ratio)

f_{Tl} ：鉍添加法之質量校正係數 (mass correction factor in Tl-normalization method)

ln：自然對數函數 (natural logarithmic function)

[Pb]：鉛濃度 (單位為 ng kg^{-1} 或 ng L^{-1})

$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ：鉛同位素比值 (無因次單位)

$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ：鉛同位素比值 (無因次單位)

$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ：鉛同位素比值 (無因次單位)

$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ：鉛同位素比值 (無因次單位)

$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ：鉛同位素比值 (無因次單位)

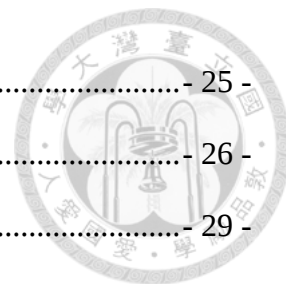
$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ：鉛同位素比值 (無因次單位)

$^{205}\text{Tl}/^{203}\text{Tl}$ ：鉍同位素比值 (無因次單位)

$^{208}\text{Pb}/^{205}\text{Tl}$ ：鉛、鉍同位素比值 (無因次單位)

目錄

國立臺灣大學博士學位論文口試委員會審定書	i
誌謝	ii
摘要	iii
Abstract.....	iv
符號說明	v
目錄	vii
圖目錄	xi
表目錄	xv
一、緒論	- 1 -
1.1 研究背景與動機	- 1 -
1.2 研究目的	- 3 -
1.3 論文架構	- 4 -
二、文獻回顧	- 7 -
2.1 鉛	- 7 -
2.1.1 鉛的物化特性與應用	- 7 -
2.1.2 鉛在環境中的流佈	- 8 -
2.1.3 鉛的毒性效應與限量規範	- 10 -
2.2 鉛同位素原理與技術發展	- 14 -
2.2.1 鉛同位素	- 16 -
2.2.2 鉛同位素檢測技術與儀器演進	- 19 -
2.3 鉛同位素之環境污染鑑識	- 22 -
2.3.1 鉛同位素環境污染鑑識概述	- 22 -
2.3.2 鉛同位素環境污染鑑識原理與應用	- 23 -
2.4 臺灣農地土壤與作物鉛含量探討	- 25 -



2.4.1 農業環境中鉛的流佈與宿命	25 -
2.4.2 臺灣含鉛製程事業與鉛物質流分析	26 -
2.4.3 臺灣農業環境中鉛污染情形	29 -
三、鉛同位素指紋鑑識技術	39 -
3.1 實驗流程總述	39 -
3.2 試劑藥品	39 -
3.2.1 試劑	39 -
3.2.2 樹脂與同位素標準品	40 -
3.3 實驗器皿	41 -
3.3 化學流程	43 -
3.4 儀器測量	44 -
3.5 品保品管	46 -
3.6 環境影響評估	48 -
3.7 實驗改進檢討與紀錄	48 -
四、鉛同位素應用之試驗設計	49 -
4.1 農業環境應用案例設計緣起	49 -
4.2 農業環境應用案例設計架構	50 -
4.3 農業環境應用案例研究場址介紹	54 -
4.3.1 台中場址	54 -
4.3.2 桃園場址	55 -
4.3.3 其它場址	56 -
4.4 研究場址布點與採樣作業方法	58 -
4.5 非農業環境系統應用案例	61 -
五、建立臺灣各項環境介質之鉛同位素特徵	63 -
5.1 臺灣本土樣本鉛同位素檢測研究	63 -



5.2 臺灣本土樣本鉛同位素檢測數據	- 67 -
5.2.1 臺灣本土樣本鉛同位素檢測數據說明	- 67 -
5.2.2 臺灣本土樣本鉛同位素檢測數據研析	- 69 -
5.3 臺灣樣本鉛同位素特徵與國際文獻比較	- 70 -
六、鉛同位素於環境污染源鑑識應用及其限制探討	- 75 -
6.1 物化環境間流佈	- 75 -
6.1.1 土壤污染鑑識案例	- 75 -
6.1.2 空氣污染鑑識案例	- 97 -
6.1.3 農業環境污染鑑識案例	- 100 -
6.2 生物系統移轉	- 101 -
6.2.1 鉛在土壤與作物間移轉同位素變異現象探討	- 101 -
6.2.2 水稻生育階段對植株各部位鉛同位素特徵影響	- 110 -
6.3 農業環境系統內鉛同位素鑑定之綜合研析	- 112 -
七、結論與建議	- 115 -
7.1 結論	- 115 -
7.2 建議	- 116 -
參考文獻	- 117 -
附錄：臺灣鉛同位素特徵調查結果彙整	- 149 -





圖目錄

圖 1.1 農業環境系統之鉛同位素特徵鑑識研究範疇	4 -
圖 1.2 研究架構	5 -
圖 2.1 鉛元素	7 -
圖 2.2 鉛的電位－酸鹼度圖	8 -
圖 2.3 鉛的生物地質化學循環	9 -
圖 2.4 人體接觸環境鉛的暴露途徑	9 -
圖 2.5 同位素週期表	17 -
圖 2.6 鉛同位素之組成、形成和其相對豐度	18 -
圖 2.7 鈾、鈾同位素衰變歷程	18 -
圖 2.8 陸域鈾、鈾、鉛同位素之相對豐度變化	18 -
圖 2.9 多頻道感應耦合電漿質譜儀之接收器	20 -
圖 2.10 西元 1992 至 2008 年間應用多頻道感應耦合電漿質譜儀測定同位素之文 獻數量與分布	20 -
圖 2.11 世界各國鉛礦鉛同位素特徵	23 -
圖 2.12 世界各國氣膠鉛同位素特徵	23 -
圖 2.13 水稻植株各部位與表土鉛同位素特徵	24 -
圖 2.14 臺灣農地重金屬污染成因與影響途徑	25 -
圖 2.15 臺灣產業發展歷程	30 -
圖 2.16 臺灣農地重金屬污染調查歷程與策略要點	30 -
圖 2.17 農地重金屬高污染潛勢區篩選概念與其佐證	31 -
圖 2.18 農地重金屬高污染潛勢區篩選流程	31 -
圖 2.19 臺灣目前農地鉛污染列管場址分布與農糧署稻米監測超標點位分布	33 -
圖 3.1 樹脂官能基	40 -
圖 3.2 樹脂清洗流程	40 -

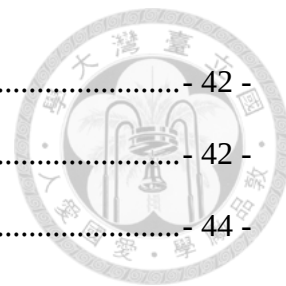


圖 3.3 實驗器皿	42 -
圖 3.4 鐵氟龍材質實驗器皿清洗步驟	42 -
圖 3.5 化學流程	44 -
圖 3.6 多頻道感應耦合電漿質譜儀	44 -
圖 3.7 國際標準品長期再現性	46 -
圖 3.8 離子交換之純化效能	48 -
圖 4.1 農地重金屬污染成因與影響途徑	49 -
圖 4.2 農地土壤與稻作鉛污染案例	50 -
圖 4.3 盆栽試驗 I 設計說明	53 -
圖 4.4 盆栽試驗 II 設計說明	53 -
圖 4.5 台中場址現勘照片	54 -
圖 4.6 桃園場址現勘照片	56 -
圖 4.7 雲林場址現勘照片	57 -
圖 4.8 台中場址採樣佈點規劃	58 -
圖 4.9 桃園場址採樣佈點規劃	59 -
圖 4.10 雲林場址採樣佈點規劃	59 -
圖 4.11 台南場址採樣佈點規劃	59 -
圖 4.12 新屋場址採樣佈點規劃	60 -
圖 4.13 八德場址採樣佈點規劃	60 -
圖 4.14 植體前樣本處理流程	60 -
圖 4.15 油污場址採樣過程與取得之樣品	61 -
圖 5.1 各國稻米鉛同位素特徵分布	71 -
圖 5.2 南京鉛鋅礦區周界農地蔬菜與土壤鉛同位素特徵	71 -
圖 6.1 桃園場址（山嶺段）之土壤鉛同位素特徵與鉛濃度倒數關係	76 -
圖 6.2 桃園場址（山嶺段）之土壤鉛同位素特徵綜合比較	77 -

圖 6.3 桃園場址（石磊子段石磊子小段）之土壤鉛同位素特徵與鉛濃度倒數關係	78 -
圖 6.4 桃園場址（石磊子段石磊子小段）之土壤鉛同位素特徵綜合比較	79 -
圖 6.5 桃園場址（下庄子段）之土壤鉛同位素特徵與鉛濃度倒數關係	80 -
圖 6.6 桃園場址（下庄子段）之土壤鉛同位素特徵綜合比較	81 -
圖 6.7 台中場址（同安厝段）之土壤鉛同位素特徵與鉛濃度倒數關係	82 -
圖 6.8 台中場址（同安厝段）之土壤鉛同位素特徵綜合比較	83 -
圖 6.9 雲林場址（北平段）之土壤鉛同位素特徵與鉛濃度倒數關係	84 -
圖 6.10 雲林場址（北平段）之土壤鉛同位素特徵綜合比較	85 -
圖 6.11 台南場址（三結義段）之土壤鉛同位素特徵與鉛濃度倒數關係	86 -
圖 6.12 台南場址（三結義段）之土壤鉛同位素特徵綜合比較	87 -
圖 6.13 台中場址經不同試劑處理之土壤鉛同位素特徵與鉛濃度倒數關係 ..	89 -
圖 6.14 台中場址經不同試劑處理之土壤鉛同位素特徵綜合比較	90 -
圖 6.15 雲林場址經不同試劑處理之土壤鉛同位素特徵與鉛濃度倒數關係 ..	91 -
圖 6.16 雲林場址經不同試劑處理之土壤鉛同位素特徵綜合比較	92 -
圖 6.17 臺灣農田土壤鉛同位素特徵綜合比較	93 -
圖 6.18 臺灣各地農田土壤鉛同位素特徵綜合比較	94 -
圖 6.19 臺灣與周邊城市大氣鉛同位素特徵比較	97 -
圖 6.20 彭佳嶼大氣鉛源示蹤	99 -
圖 6.21 台北都會區大氣鉛源示蹤	99 -
圖 6.22 關渡平原農地砷污染成因與影響途徑	100 -
圖 6.23 關渡平原農地污染土壤鉛源端成分解析	100 -
圖 6.24 盆栽試驗 I 鉛同位素特徵綜合比較	102 -
圖 6.25 盆栽試驗 II 鉛同位素特徵綜合比較	103 -
圖 6.26 台中場址 2010 年第 2 期作現地調查	104 -

圖 6.27 雲林場址 2010 年第 2 期作現地調查	- 105 -
圖 6.28 台中場址 2013 年第 1 期作現地調查	- 106 -
圖 6.29 桃園場址 2010 年第 2 期作現地調查	- 108 -
圖 6.30 台中場址 2013 年第 2 期作現地調查	- 108 -
圖 6.31 糙米鉛同位素特徵綜合比較	- 109 -
圖 6.32 桃園場址 2010 年第 2 期作現地非糊熟期之調查	- 110 -
圖 6.33 水稻生育期間植株各部位與對應表土之鉛同位素特徵與濃度變化	- 111 -
圖 6.34 背景與污染土壤鉛同位素特徵差異示意	- 113 -
圖 6.35 作物鉛同位素變異示意	- 113 -
圖 6.36 污染區與背景區作物鉛同位素變異趨勢差異示意	- 113 -



表目錄

表 2.1 臺灣食品衛生管理之鉛限量標準	12 -
表 2.2 與核子科學相關之歷屆諾貝爾獎	14 -
表 2.3 多頻道感應耦合電漿質譜儀演進	21 -
表 2.4 十大高污染潛勢含鉛製程	27 -
表 2.5 臺灣各縣市十大高污染潛勢含鉛製程家數	28 -
表 2.6 各縣市空氣品質人工監測站 TSP 與鉛監測資料	34 -
表 2.7 衛生福利部食米鉛含量調查結果	35 -
表 2.8 臺灣市售食品鉛含量調查結果	35 -
表 3.1 硝酸、鹽酸試劑等級分類與用途	39 -
表 3.2 實驗器皿清單	41 -
表 3.3 多頻感應耦合電漿質譜儀 (MC-ICP-MS) 儀器設定參數	45 -
表 3.4 國際標準品測量精準度列比	47 -
表 4.1 農業環境應用案例試驗設計說明表	50 -
表 4.2 臺灣農業環境系統 1 對 1 調查樣本參照表	51 -
表 4.3 各研究場址樣品分析數量表	61 -
表 5.1 臺灣鉛同位素相關學術發表彙整	63 -
表 5.2 臺灣鉛同位素相關學位論文彙整	64 -
表 5.3 臺灣鉛同位素相關研究計畫彙整	66 -
表 5.4 臺灣鉛同位素特徵調查樣本總對照表	67 -
表 5.5 臺灣樣本鉛同位素特徵調查結果	69 -
表 5.6 各國穀物稻米鉛同位素特徵範圍	72 -
表 5.7 臺灣與鄰近地區氣膠鉛同位素特徵比較表	72 -
表 5.8 各國油品鉛同位素特徵比較表	73 -
表 6.1 土壤王水全量消化鉛濃度資料	88 -

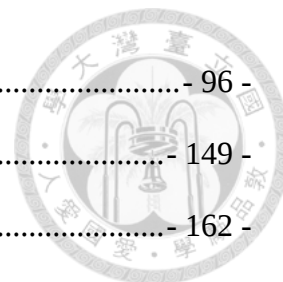


表 6.2 臺灣農地背景與污染土壤鉛同位素特徵	- 96 -
表 1 臺灣土壤鉛同位素特徵調查結果彙整	- 149 -
表 2 臺灣作物食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整	- 162 -
表 3 臺灣作物非食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整	- 166 -
表 4 臺灣氣膠鉛同位素特徵調查結果彙整	- 188 -
表 5 臺灣水體暨灌溉用水鉛同位素特徵調查結果彙整	- 193 -
表 6 臺灣雨水鉛同位素特徵調查結果彙整	- 194 -
表 7 臺灣底泥與沉積物鉛同位素特徵調查結果彙整	- 199 -
表 8 臺灣岩石與珊瑚鉛同位素特徵調查結果彙整	- 200 -
表 9 臺灣人造物質鉛同位素特徵調查結果彙整	- 204 -



一、緒論

1.1 研究背景與動機

人類對「鉛 (lead, 化學符號為 Pb)」的開採與使用已超過六千年,除了被用作為顏料、管材或化妝品,在羅馬時代鉛棺更是權要身分的彰顯,活躍於公元前 2 世紀的古希臘說教詩人尼坎德 (Nicander) 亦曾描述鉛中毒症狀為出現幻覺與癱瘓,並建議以強瀉藥治療之,此外,社會學家 Seabury Colum Gilfillan 教授 (1889—1987) 與環境衛生兼水科學專家 Jerome Oken Nriagu 教授 (1942—) 先後指出並證明羅馬帝國的沒落可歸因於飲用水鉛中毒。又如莎士比亞 (William Shakespeare, 1564—1616) 的著作《威尼斯商人》以「誰選擇了我,必須付出他所有的一切」描述質樸的鉛盒,雖原文是為暗喻婚姻,然而,在有實用性但具毒性的鉛為人們帶來便利生活的同時,或因刻意 (投毒) 或因不慎也造成人類健康和環境生態的負面衝擊,故用之實不可不慎 (整理自 Delile *et al.*, 2014、Emsley, 2005、Gilfillan, 1965、Hernberg, 2000、Nriagu, 1998a、Tong *et al.*, 2000)。

發展「鉛—鉛定年法 (Pb-Pb dating)」並向世人揭露地球年齡為 45.5 億年的美國地質地化學家 Clair Cameron Patterson 教授 (1922—1995) 提醒著:「不久的將來,可以預見美國的舊城區會因過去一個世紀以來所累積的百萬噸有害工業鉛物質殘留,而不利人們居住 (摘錄自 Patterson, 1980)。」回顧半世紀前,西元 1965 年,仍正是四乙基鉛 (tetraethyl lead, TEL) 被廣用於油品的時代;因人體組織及血液鉛含量調查幾乎為油品公司首席醫學顧問 Robert A. Kehoe (1893—1992) 與其同仁壟斷,未查明系統性偏誤便詮釋調查資料,制定過於寬鬆的人類血液鉛含量閾值,使大眾鮮少質疑此含鉛產品所挾帶之鉛的毒性效應 (Patterson, 1965a; 1965b; Flegal, R.A., 1998; Needleman, 1998; Nriagu, 1998b)。直到 Patterson 教授在喚起大眾環保意識的《寂靜的春天》一書出版不久後所發表的論文,工業活動與製品引發的鉛中毒與環境污染,甫重新獲得重視與全面檢驗、檢討。西元 1972 年 4 月,日本為全球第一個販售無鉛油品的國家 (Nriagu, 1990a)。

即便今日含鉛油品多已遭世界各國禁用，美國杜蘭大學（Tulane University）藥理學系 Howard Walter Mielke 教授（1941—）的研究告訴我們：「殘留於土壤的油品鉛仍持續對人類健康與大氣品質產生負面效應。」亦即，昔日含鉛油品排放之鉛物質雖已沉降於土壤表層，還會因再懸浮作用（resuspension）進而影響今日之大氣，且與孩童血液鉛含量呈正相關（Laidlaw, *et al.*, 2012; Zahran *et al.*, 2013）。

環境鉛污染不僅是已開發或開發中國家需要面對、解決的問題，長期關注中低收入國家環境品質保護的非營利組織美國布萊克史密斯研究所（Blacksmith Institute），與瑞士綠十字會（Green Cross Switzerland）共同出版《2010 年世界最嚴重的污染問題報告》，總結深入多國之調查並點名六項危害物質，以鉛居禍首，估計調查場址內約有 1000 萬人暴露於鉛危害風險，其餘五者依序為汞（mercury, Hg）、鉻（chromium, Cr）、砷（arsenic, As）、農藥及放射性核種。爾後於《2011 年全球最嚴重的毒性物質污染問題》與《2012 年全球最嚴重的污染問題》列出會導致鉛污染的主要產業別：鉛蓄電池回收業、煉鉛業、採礦和礦石加工業、工業及民生垃圾場、工業區、產品製造業（摘錄自 Blacksmith Institute & Green Cross Switzerland, 2010; 2011; 2012）。

約莫 100 年前，人類科技史上首次提出「同位素（isotopes 或 isotopic elements）」，以形容「佔據相同週期表位置、化學性質相同且不可用化學方法分離的元素們」（詳 Soddy, 1913; 1923）；質譜儀的研發，更使科學家們得以發現多種非放射性同位素元素（亦稱作穩定性同位素，詳 Aston, 1921），而鉛也被證實具有 4 種穩定性同位素（Aston, 1927; 1932; Soddy, 1917a; b）。自 1965 年 Tsaihwa J. Chow 博士（1924—2006）與 M. S. Johnstone 於《Science》發表美國加州汽油與氣膠之鉛同位素組成以來，除了相對豐度較高、經鈾或釷系衰變而來的鉛 206、207、208 同位素，隨著分析儀器的演進，鉛 204 同位素終可被精準確測量（昔之測量誤差為 $\pm 5\%$ ，詳 Chow & Johnstone, 1965）。英國牛津大學（University of Oxford）名譽教授 Noël Harold Gale 博士（1931—2014）為著名的鉛同位素鑑識技術跨界應用

者，物理學背景出身的他，為牛津大學地質系建立可供同位素地質定年（isotope geochronology）之質譜儀分析技術，更與其妻子 Zofia Anna Stos-Gale 博士將鉛同位素鑑定應用於考古學研究，除了藉之尋找古希臘銀鑄幣的起源，更探討青銅時代的金屬來源（據查後者係起源自地中海地區，詳 Gale & Stos-Gale, 1982; Stos-Gale & Gale, 2009）。豐碩的檢測數據構成牛津考古學鉛同位素資料庫（Oxford Archaeological Lead Isotope Database, OXALID），亦不藏私地於學術網站公開。

目前任教於捷克生命科學大學（Czech University of Life Sciences Prague）的 Michael Komárek 博士（1979—）與其同仁於《*Environment International*》撰文引介環境科學如何應用鉛同位素時指出：「單就污染物質鉛濃度與污染熱區（hotspot）的資訊，可協助瞭解污染規模但並不足以明確指認污染源。基於各鉛源具有獨特的或有時會部分重疊的同位素比值範圍，鉛同位素可視作環境污染的『指紋』，用於污染源示蹤（詳見 Komárek *et al.*, 2008）。」英國 Robert Mark Ellam 教授（1962—）更進一步點出鉛 204 同位素比值的優異解釋公信力，特於《*Science of the Total Environment*》期刊撰文呼籲新興研究應多發布此類數值（見 Ellam, 2010）。

鉛為臺灣農業環境污染關注之八大重金屬之一，近年內亦陸續調查有稻米鉛濃度超過食品衛生限量標準（鉛米），亟需釐清、掌握污染成因，然而，當國際上鉛同位素鑑定已由地球科學地質領域跨足應用至環境科學領域時，臺灣僅國立台灣大學生物環境系統工程學系張尊國教授（1953—）帶領的研究團隊曾於 2008 年與地質系高精度質譜儀與環境變遷實驗室沈川洲教授合作，運用水與土壤環境介質之鉛同位素特徵（ $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 與 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ）佐證、解釋台北關渡平原砷污染來源（2010 年發表於農業工程學報第 56 卷第 4 期，張等（2010a））。

1.2 研究目的

本研究為發展並應用鉛穩定同位素指紋於環境議題，茲將研究目的列點如下：

- (1) 建立鉛同位素指紋鑑識技術



- (2) 蒐集並彙整國內、外鉛同位素相關研究與應用之文獻
- (3) 建立臺灣農地土壤鉛同位素特徵背景值
- (4) 探討鉛同位素於農業環境系統的移轉宿命
- (5) 探討鉛在農地土壤與作物間移轉之同位素變異現象
- (6) 鉛同位素特徵示蹤之臺灣案例研討
- (7) 評估鉛同位素特徵於臺灣環境鑑識應用及其限制

1.3 論文架構

以農業環境系統為主要調查範疇，研析樣本類型涵蓋環境介質、作物植體與其它人造物質（圖 1.1），配合研究目的設計之研究架構如圖 1.2 所示。論文第一章說明研究之背景、動機、目的以及設計架構；第二章透過文獻研析整理，介紹鉛與鉛同位素的特性、原理以及應用，同時回顧臺灣農地重金屬污染調查與防治的發展歷程與現況，從中歸結重要議題作為本論文延伸發展；第三章描述鉛同位素鑑識技術的建立與細節；第四章介紹臺灣鉛同位素特徵應用案例之研究場址；第五章彙整前人與本研究之調查數據，集結成臺灣鉛同位素特徵資料庫；第六章探討鉛同位素在農業環境系統間（物化環境與生物系統）的移轉宿命，解析所觀察到的土壤－作物之鉛同位素變異現象，並落實環境污染源示蹤應用以及其侷限說明；最後於論文第七章進行總結。

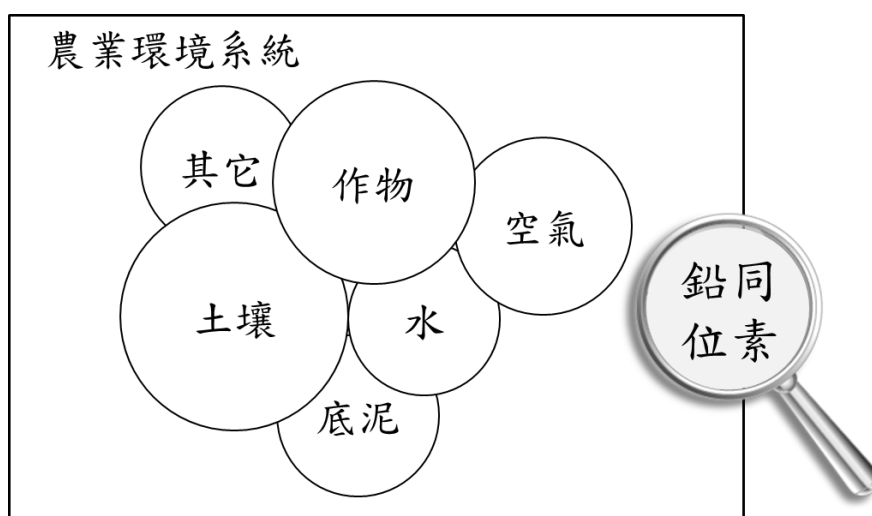


圖 1.1 農業環境系統之鉛同位素特徵鑑識研究範疇

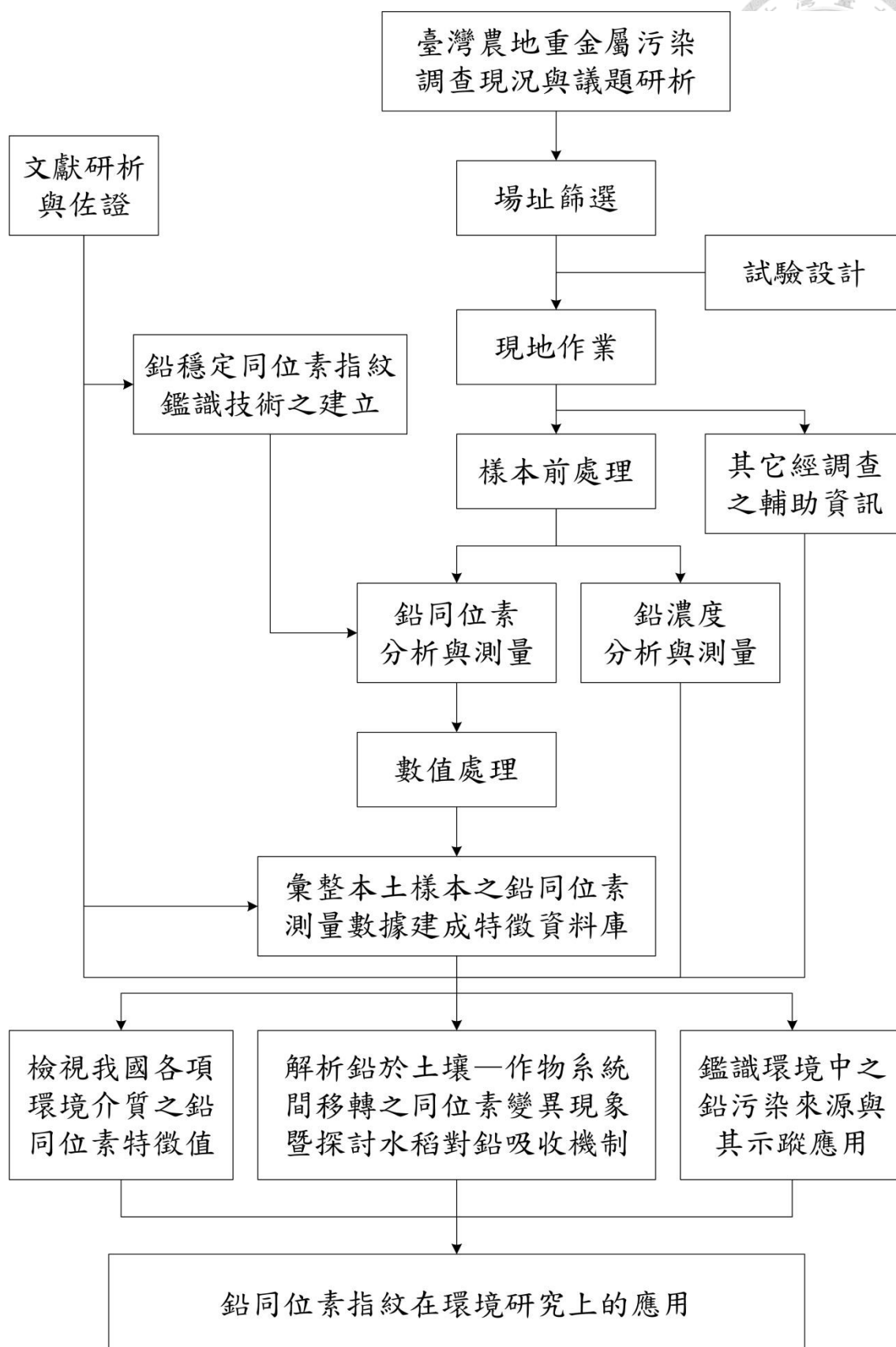


圖 1.2 研究架構





二、文獻回顧

2.1 鉛

2.1.1 鉛的物化特性與應用

鉛 (lead, Pb)，化學符號表示為「Pb」，源自其拉丁文名—*Plumbum*，隸屬周期表 14 族（碳族）、第 6 周期、p 區元素（如圖 2.1 所示），原子序為 82，原子量為 207.19 u，電子組態為 $4f^{14}5d^{10}6s^26p^2$ ，帶電價數為 0、+2、+4，其中又以 +2 氧化態最為常見，天然穩定同位素有 ^{204}Pb 、 ^{206}Pb 、 ^{207}Pb 、 ^{208}Pb 。20 °C 下密度為 11.34 g cm^{-3} ，為銀青白色（silver bluish white）之柔軟金屬，熔點為 327.5 °C，沸點則為 1749 °C（Gerhardsson, 2004; Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007; Shotyk & Le Roux, 2005）。

Figure 2.1 displays the IUPAC Periodic Table of the Elements, highlighting the position of Lead (Pb) at atomic number 82. The table is color-coded by groups, and Lead is located in the p-block, specifically in the 14th group (Carbon group). To the right of the periodic table is a photograph of a lead sample, showing its characteristic silver bluish white color and metallic texture. The sample is labeled with its atomic number (82), symbol (Pb), name (Lead), and atomic weight (207.2).

圖 2.1 鉛元素（週期表下載自國際純化學和應用化學聯合會，圖右於國立臺灣科學教育館拍攝）

除了 Brookins（1988）提供地質化學觀點之鉛—硫—碳—氧—氫系統的電位—酸鹼度圖，Takeno（2005）則借助電腦與熱力學資料庫繪製一系列鉛—氧—氫系統的電位—酸鹼度比較圖。簡單來說，還原狀態係以方鉛礦（ PbS ）形式存在，於多數自然水體中以 +2 氧化態之無機鉛形式存在，在土壤中則透過共價鍵吸附於土壤顆粒表面，如 Shotyk & Le Roux（2005）所繪之簡化圖（圖 2.2）所示。

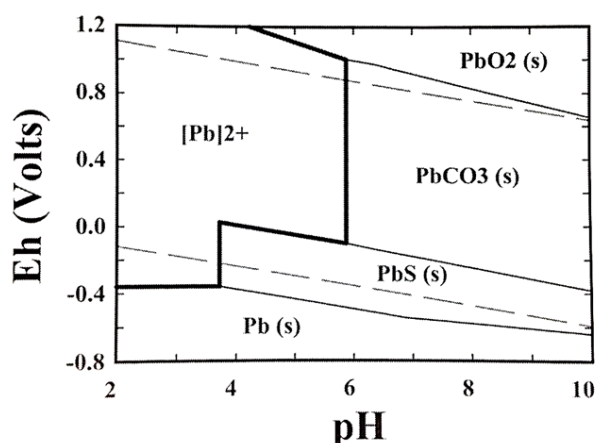


圖 2.2 鉛的電位—酸鹼度圖 (Shotyk & Le Roux, 2005)

鉛之用途廣泛，諸如：建築、鉛蓄電池、彈藥、易熔合金、顏料、油漆、化粧品等 (Cheng & Hu, 2010; Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007)。相較於 1970 年美國鉛生產量與消耗量各約為 57 萬噸與 138 萬噸 (Lovering, 1976)，美國地質調查局 (United States Geological Survey, USGS) 統計 2012 年全球鉛礦產量估計為 517 萬噸，主要產地為中國 (54%)、澳洲 (13%) 和美國 (7%)，精煉鉛 (包含一級與二級) 為 1020 萬噸，主要產自中國 (46%) 與美國 (12%)；國際鉛鋅研究組織 (International Lead and Zinc Study Group, ILZSG) 指出 2012 年全球精煉鉛消耗量為 1047 萬噸，前五大鉛消耗量的國家依序為中國 (44%)、美國 (14%)、印度 (5%)、德國 (4%) 和韓國 (4%)；倫敦金屬交易所 (London Metal Exchange, LME) 2012 年平均年度交易價為每磅 0.94 美元 (Guberman, 2015)。

2.1.2 鉛在環境中的流佈

鉛於全球性、區域性、地域性尺度均屬顯著擾動，大氣、沉積物、冰芯、水域、土壤環境中均可量測之 (如圖 2.3)，主要透過揮發與烷基化合物形式移動，對生物有健康危害，關鍵暴露途徑為食物、水與揚塵 (Fergusson, 1990; Lovering, 1976)，如圖 2.4 所示意。地殼中鉛含量為 14 mg kg^{-1} ，全球之土壤平均鉛含量為 25 mg kg^{-1} ，海洋水體鉛濃度中位數為 $0.03 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ ，而河川水體鉛濃度平均則為 $0.08 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ (數值取自 Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007 所彙整)。

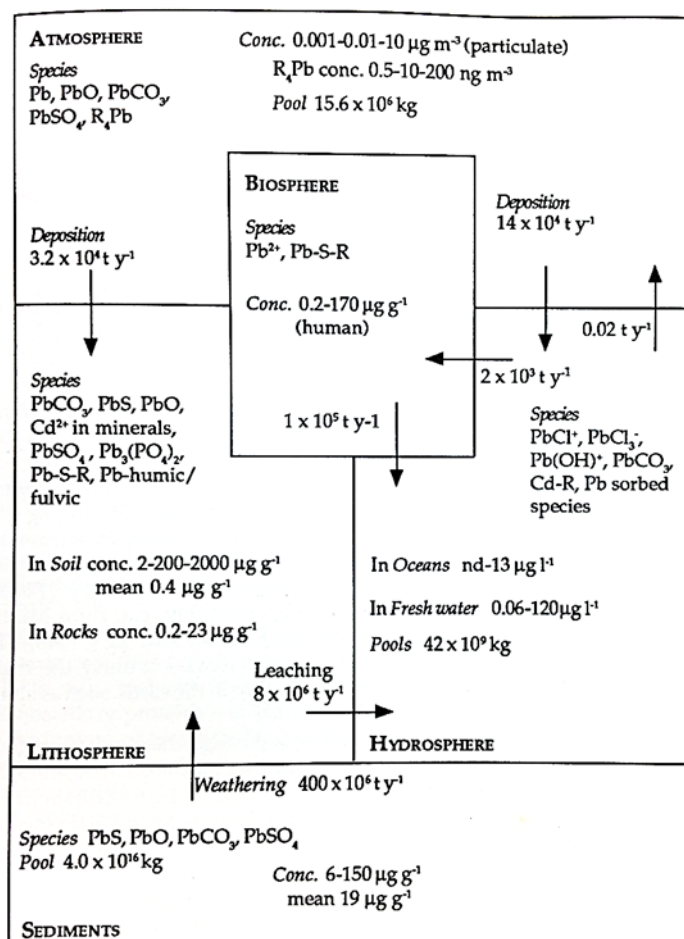


圖 2.3 鉛的生物地質化學循環 (Fergusson, 1990)

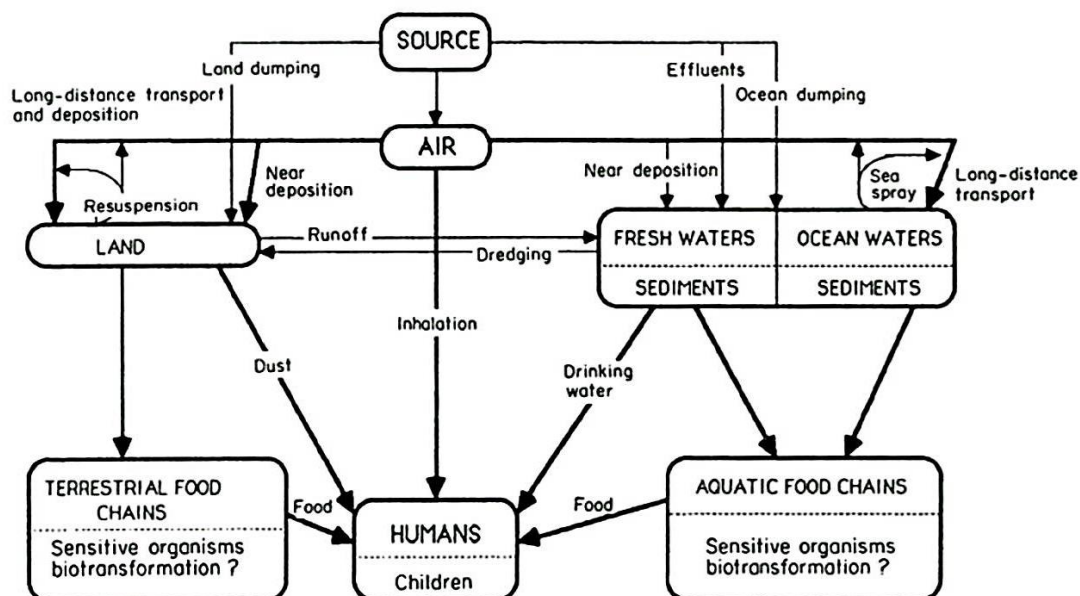


圖 2.4 人體接觸環境鉛的暴露途徑 (Jaworski, 1987)



2.1.3 鉛的毒性效應與限量規範

世界衛生組織（World Health Organization, WHO）建議鉛之每週容許攝取量（provisional tolerable weekly intake, PTWI）為每週每身體質量 25 毫克，而國際癌症組織（International Agency for Research on Cancer, IARC）將無機鉛列為疑似人類致癌物（Group 2A），有機鉛則無法判定為人類致癌物（Group 3）。鉛對人類健康危害在於衝擊造血系統、神經系統和腎臟，尤其抑制氨基左旋糖酸脫水酶（Delta-aminolevulinic acid dehydratase, δ -ALAD）與原血紅素合成酶（Heme synthetase）的反應，干擾血紅素合成。除了對腎臟造成負擔與損害，Hayes（1997）亦指出鉛與腎癌有關，Hwang *et al.*（2009）的研究更發現了鉛會強化噪音引起的聽力受損。鉛會影響兒童中樞神經系統之發育，即使暴露於微量含鉛環境中，仍會削弱孩童智力商數的表現（如 Huang *et al.*, 2012），因血腦屏障尚未建立完全，故嬰幼童為最需保護的對象。

曾經被視為美白成分的鉛白，在西元 1920 年代，佔鉛生產量的三分之一，史料指出，在羅馬時代，鉛白（white lead）為重要的化粧品與油畫顏料；法國在 1909 年，禁止使用鉛白於室內油漆，而 1994 年起，僅少數特例的戶外古蹟維修時，才被歐盟允許可使用之（Emsley, 2005）。目前鉛與其化合物（2005 年衛署藥字第 0940306865 號公告增列，用於染髮劑之醋酸鉛於隔年亦被禁用）已為臺灣化粧品中禁止使用成分，若製造過程有技術上無法排除，致含自然殘留微量之重金屬鉛，應受最終製品之不純物重金屬殘留量規範。2014 年修正「化粧品中含不純物重金屬鉛、砷之殘留限量規定」：化粧品中含不純物之鉛限量規定不得超出 10 ppm。

人體對鉛主要係經由呼吸道及腸胃道吸收，經皮膚吸收多發生於職業暴露，且以有機鉛形式為主。於 2014 年 7 月 3 日施行之「勞工作業場所容許暴露標準」規範：鉛及其無機化合物（以鉛計）之容許濃度為 0.05 mg m^{-3} ，砷酸鉛（ $\text{Pb}_3(\text{AsO}_4)_2$ ）為 0.15 mg m^{-3} ，鉻酸鉛（ PbCrO_4 ，以鉻計）為 0.05 mg m^{-3} ，四乙基鉛（ $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ ，以鉛計）為 0.075 mg m^{-3} ，四甲基鉛（ $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$ ，以鉛計）為 0.075 mg m^{-3} 。

雖然多半研究皆顯示海產如海菜、魚類的重金屬含量較高，但以韓國為例，食米與蔬菜分別才是主要的汞、鉛膳食暴露來源 (Lee *et al.*, 2006)。臺灣、中國、韓國 (Yang *et al.*, 2010) 及歐盟 (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007) 均將稻米鉛含量標準訂為 0.2 mg kg^{-1} 。臺灣另依照各食品項目分類，遵循「食品衛生管理法」有 0.05 至 10 ppm 不等之鉛限量標準 (如表 2.1 摘錄)，而「飲用水水質標準」則自 2013 年 12 月 25 日起由 $0.05 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ 加嚴為 $0.01 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ ，同 WHO 建議與先進國家採行之標準，此外，臺灣現行農地土壤鉛含量管制標準為 500 mg kg^{-1} ，中國則訂為 80 mg kg^{-1} 。

依據食品衛生管理法第十七條規定所訂定之各項標準有：嬰兒食品類衛生及殘留農藥安全容許量標準 (2014/7/15)、食米重金屬限量標準 (2013/8/20)、蔬果植物類重金屬限量標準 (2013/8/20)、食用菇類重金屬限量標準 (2013/8/20)、牛羊豬及家禽可食性內臟重金屬限量標準 (2013/8/20)、水產動物類衛生標準 (2013/8/20)、蛋類衛生標準 (2013/8/20)、藻類食品衛生標準 (2013/8/21)、食鹽衛生標準 (2013/8/20)、食用油脂類衛生標準 (2013/8/20)、卵磷脂衛生標準 (2013/8/20)、包裝飲用水及盛裝飲用水衛生標準 (2013/8/20)、飲料類衛生標準 (2013/8/20)、冰類衛生標準 (2013/8/20)、罐頭食品類衛生標準 (2013/8/20)、健康食品衛生標準 (1999/6/21)、天然食用色素衛生標準 (2013/11/25)、食品原料口香糖及泡泡糖基劑衛生標準 (2013/8/20)、食品原料阿拉伯樹膠衛生標準 (2013/8/20)、食品器具容器包裝衛生標準 (2013/8/20) 之鉛限量規範。除食品器具容器包裝衛生標準外 (因標準值隨採用之檢驗方法而異，且非屬直接攝食)，前述之各限量標準值與說明如表 2.1 所列。

表 2.1 臺灣食品衛生管理之鉛限量標準

項目	限量 (ppm)	備註
嬰兒食品	0.02	適用於即食或依標籤指示調配後供食之狀態。
食米	0.2	
小葉菜類	0.3	以鮮/濕重計，小白菜、菠菜、芥菜、萵苣、蕹菜、莧菜、甜菜葉、羽衣甘藍、茴香、芥藍、青梗白菜（青江菜）、油菜、紅鳳菜、白鳳菜、葉用甘薯、芋葉柄、皇宮菜（落葵）、川七、紫蘇、茼蒿、韭菜、蕎麥、山蘇、過溝蕨菜（過貓）、甘藍芽、芹菜、梨瓜（佛手瓜）嫩梢、葉用豌豆、豌豆苗、葉用蘿蔔、葉用枸杞、青蔥、青蒜、蒜苗等。
（半）結球及花菜類等蔬菜	0.3	以鮮/濕重計，甘藍、抱子甘藍、結球萵苣、半結球萵苣、結球白菜、結球芥菜、花椰菜、青花菜、金針菜等。
根莖菜類（不含鱗莖類）	0.3	以鮮/濕重計，蘿蔔、胡蘿蔔、山葵、木薯、山藥、甘藷、菊芋（雪蓮）、蘆筍、竹筍、朝鮮薊、球莖甘藍（結頭菜）、茭白筍、芋、牛蒡、馬鈴薯、豆薯、嫩莖萵苣、蓮藕、荸薺、茭薺、茭薺、蕪菁、薑、甜菜根等。
鱗莖類	0.1	以鮮/濕重計，蔥、大蒜、分蔥（紅蔥頭）、洋蔥、百合（鱗莖部位）等。
瓜菜及果菜類	0.1	以鮮/濕重計，苦瓜、胡瓜（黃瓜）、絲瓜、南瓜、冬瓜、梨瓜（佛手瓜）、扁蒲、越瓜、蛇瓜、菱角、茄子、甜椒、番茄、黃秋葵、玉米等。
豆類及豆菜類	0.2	以鮮/濕重計，綠豆、大豆（黃豆、黑豆）、蠶豆、紅豆、花生、豌豆、毛豆、豇豆、鵲豆（扁豆）、菜豆（四季豆、敏豆）、菜豆（皇帝豆）、刀豆（關刀豆）、豆芽、苜蓿芽等。
莓（漿）果及其他小型果實類	0.2	以鮮/濕重計，藍莓、山桑子（越橘）、黑莓、醋栗、葡萄、桑椹、樹莓（覆盆子）、草莓、蔓越莓、山楂、枸杞等。
柑桔類	0.1	以鮮/濕重計，檸檬、萊姆、椪柑、桶柑、茂谷柑、柳橙、柚類、葡萄柚、金桔等。
梨果類	0.1	以鮮/濕重計，蘋果、枇杷、梨等。
核果類	0.1	以鮮/濕重計，櫻桃、李、桃、梅、楊梅、橄欖、紅棗、印度棗等。

表 2.1 臺灣食品衛生管理之鉛限量標準（續）

項目	限量 (ppm)	備註
瓜果類	0.1	以鮮/濕重計，西瓜、甜瓜（哈密瓜、香瓜、洋香瓜）等。
其他（亞）熱帶水果類	0.1	以鮮/濕重計，香蕉、鳳梨、楊桃、荔枝、榴槤、波羅蜜、紅毛丹、柿、龍眼、木瓜、奇異果、石榴、百香果、番石榴、無花果、山竹、芒果、甘蔗、紅龍果、可可椰子、酪梨、釋迦、鳳梨釋迦、蓮霧、人心果、栗（板栗）等。
香辛植物及其他草本植物類	0.3	以鮮/濕重計，羅勒、九層塔、月桂、鼠尾草、蒔蘿、小茴香、薰衣草、薄荷、迷迭香、百里香、豆蔻、小豆蔻、丁香、香菜（芫荽）、肉桂、胡椒、薑黃、辣椒、紫蘇、羅望子、貓薄荷、金盞草、苦艾、杜松子、奧利岡、香草、巴西利、香茅、番紅花、匈牙利紅椒等。
食用菇類	3	以乾重計，適用食用菇類之子實體，不適用其菌絲體。
牛羊豬及家禽可食性內臟	0.5	以濕重計。
魚類	0.3	以濕重計。
貝類	2	
頭足類（去除內臟）	1	
甲殼類	0.5	
蛋類	0.3	
藻類食品	1	以含 85% 水分之新鮮藻類計。
食鹽	2	最大容許量。
食用油脂類	0.1	
卵磷脂	10	適用於以大豆、其他植物或動物為來源之卵磷脂，重金屬：40 ppm 以下（以 Pb 計）。
包裝飲用水及盛裝飲用水	0.05	最大容許量。
飲料類	0.3	重金屬限量規定暫不包括天然果蔬汁及濃縮果蔬汁。
食用冰塊	0.05	最大容許量。
金屬罐裝之罐頭食品	1.5	最大容許量，罐頭飲料類不在此限。
健康食品	-	重金屬：最大容許量為 20 ppm（以鉛計）
天然食用色素	2	規格。
口香糖及泡泡糖基劑	3	且重金屬 0.004% 以下（以 Pb 計）。
食品用阿拉伯樹膠	10	



2.2 鉛同位素原理與技術發展

藉由回顧歷屆諾貝爾獎，回溯科學發展史：Antoine Henri Becquerel (1852—1908) 於 1896 年發現自發放射性 (spontaneous radioactivity)，開啟了核子科學的研究。隨著科學家對核子的鑽研與深層理解，「同位素 (isotopes 或 isotopic elements)」一詞為 1921 年諾貝爾化學獎得主 Frederick Soddy (1877—1956，師出因對元素蛻變以及放射化學的研究獲 1908 年諾貝爾化學獎的原子核物理學之父 Sir Ernest Rutherford (1871—1931)) 為了形容「佔據相同週期表位置、化學性質相同且不可用化學方法分離的元素們 (elements occupying the same place in the periodic table, chemically identical and non-separable by chemical methods)」所提出 (詳 Soddy, 1913; 1923)。1922 年諾貝爾化學獎得主 Francis William Aston (1877—1945) 則進一步研製質譜儀並發現數種非放射性同位素元素。爾後，Willard Frank Libby (1908—1980) 因發展出碳 14 定年法而獲頒 1960 年諾貝爾化學獎 (表 2.2)。

表 2.2 與核子科學相關之歷屆諾貝爾獎

年代	獎別	得主	得獎事由
1903	物理	Antoine Henri Becquerel (1852—1908)、 Pierre Curie (1859—1906)、Marie Sklodowska Curie (1867—1934)	發現自發放射性 (spontaneous radioactivity)
1908	化學	Ernest Rutherford (1871—1937)	從事元素裂解、放射性物質的化 學研究
1911	化學	Marie Sklodowska Curie (1867—1934)	發現鐳和銻
1921	化學	Frederick Soddy (1877—1956)	從事放射性物質研究，命名「同 位素」
1922	化學	Francis William Aston (1877—1945)	利用質譜儀發現多種非放射性同 位素元素並闡明原子量的整數律
1927	物理	Charles Thomson Rees Wilson (1869— 1959)	建構能偵測帶電粒子徑跡的雲霧 室
1934	化學	Harold Clayton Urey (1893—1981)	發現重氫同位素
1935	化學	Frédéric Joliot (1900—1958)、Irène Joliot-Curie (1897—1956)	合成新的放射性元素

註：整理自諾貝爾獎官方網站。

表 2.2 與核子科學相關之歷屆諾貝爾獎（續）

年代	獎別	得主	得獎事由
1935	物理	James Chadwick (1891–1974)	發現中子
1936	物理	Carl David Anderson (1905–1991)	發現正電子
1938	物理	Enrico Fermi (1901–1954)	由中子撞擊產生新的放射性元素
1939	物理	Ernest Orlando Lawrence (1901–1958)	發明迴旋加速器 (cyclotron)
1943	化學	George De Hevesy (1885–1966)	利用同位素追蹤於化學變化過程研究
1944	化學	Otto Hahn (1879–1968)	發現重原子核的分裂
1948	物理	Patrick Maynard Stuart Blackett (1897–1974)	改進威爾遜雲霧室，在核子物理和宇宙射線有新發現
1949	物理	湯川 秀樹 (Hideki Yukawa, 1907–1981)	提出核子的介子理論，預言介子的存在
1950	物理	Cecil Frank Powell (1903–1969)	研發用以研究核破壞過程的乳膠照像法並發現各種 π 介子
1951	化學	Edwin Mattison McMillan (1907–1991)、Glenn Theodore Seaborg (1912–1999)	發現超鈾元素
1951	物理	Sir John Douglas Cockcroft (1897–1967)、Ernest Thomas Sinton Walton (1903–1995)	通過人工加速的粒子撞擊原子，促使其產生核反應
1952	物理	Felix Bloch (1905–1983)、Edward Mills Purcell (1912–1997)	從事物質核磁共振現象的研究並創立原子核磁力測量法
1954	物理	Max Born (1882–1970)、Walther Bothe (1891–1957)	在量子力學和波函數的統計解釋及研究方面做出貢獻
1960	化學	Willard Frank Libby (1908–1980)	發明碳 14 定年法
1961	物理	Robert Hofstadter (1915–1990)	利用直線加速器從事高能電子散射研究並發現核子
1961	物理	Rudolf Ludwig Mössbauer (1929–2011)	從事 γ 射線的共振吸收現象研究並發現了穆斯保爾效應
1963	物理	Eugene Paul Wigner (1902–1995)	原子核和基本粒子物理理論的貢獻，基本對稱原理之發現、應用
1963	物理	Maria Goeppert-Mayer (1906–1972)、Johannes Hans Daniel Jensen (1907–1973)	從事原子核殼層模型理論的研究
1967	物理	Hans Albrecht Bethe (1906–2005)	對核反應理論做出貢獻，發現星球中的能源

註：整理自諾貝爾獎官方網站。

表 2.2 與核子科學相關之歷屆諾貝爾獎（續）

年代	獎別	得主	得獎事由
1975	物理	Aage Niels Bohr (1922–2009)、Ben Roy Mottelson (1926–)、Leo James Rainwater (1917–1986)	發現原子核內部集體運動和粒子運動的關連，並以此為基礎發展出原子核結構的理論
1977	生理學 或醫學	Rosalyn Yalow (1921–2011)	研發肽類激素的放射免疫分析技術
1983	物理	Subramanyan Chandrasekhar (1910–1995)、William Alfred Fowler (1911–1995)	從事星體結構與演化的物理過程的理論研究；提出宇宙中形成化學元素的核反應理論與實驗研究
2002	物理	Raymond Davis Jr. (1914–2006)、小柴昌俊 (Masatoshi Koshihara, 1926–)	偵測到宇宙微中子

註：整理自諾貝爾獎官方網站。

2.2.1 鉛同位素

「同位素 (isotope)」之希臘文原意為「相同空間」(Didfenbacher, 2009)，係屬於同一種化學元素，其原子具有相同數目的電子和質子，但卻有不同數目的中子，化學性質幾乎相同。又依其特性可分為穩定性同位素 (stable isotope) 與放射性同位素 (radioactive isotope 或稱作 radionuclide)，或依其成因而分為天然 (natural) 同位素與人工 (artificial) 同位素。長壽命的放射性同位素因半衰期長，也被分類為穩定性同位素， ^{204}Pb 即為一例。

氫 (H)、碳 (C)、氧 (O)、氮 (N)、硫 (S) 等輕元素屬於傳統的穩定同位素 (traditional stable isotope)，過去半個世紀以來，它們已成功地被應用在各種環境的生地化循環研究，讓科學家解答諸多環境地質科學的基礎與難題，反觀其它非傳統的穩定同位素 (non-traditional stable isotope) 重元素，遲至 2004 年才有較為全面的著作 (即 Johnson *et al.*, 2004) 回顧之。除了加強非傳統的穩定同位素於環境地質化學的實際應用外，相關之高精度檢測方法也有待開發 (Wiederhold, 2015)，圖 2.5 為 Wiederhold (2015) 繪製之同位素週期表。值得注意的是，

Wiederhold (2015) 並未將鉛同位素歸入分析技術已發展完備之類別。

圖 2.5 同位素週期表 (Wiederhold, 2015)

自然界中存在的 ^{204}Pb 、 ^{206}Pb 、 ^{207}Pb 和 ^{208}Pb ，並稱為鉛穩定性同位素 (stable lead isotopes)，天然相對豐度比分別為 1.4% (^{204}Pb)、24.1% (^{206}Pb)、22.1% (^{207}Pb) 以及 52.4% (^{208}Pb)。雖然 ^{204}Pb 被認為曾經 α 衰變為 ^{200}Hg ，但此反應之半衰期長於 140000 萬億年，因此仍被認定為穩定同位素， ^{206}Pb 、 ^{207}Pb 和 ^{208}Pb 隸屬於放射性成因同位素 (radiogenic isotopes)，分別衰變自 ^{238}U 、 ^{235}U 和 ^{232}Th ，半衰期各為 44.7 億年、7.04 億年和 141 億年 (圖 2.6)，圖 2.7 所示之鈾、釷衰變反應歷程均顯示其最終的穩定產物為鉛。 ^{204}Pb 之豐度於地球形成時便已固定，而 ^{206}Pb 、 ^{207}Pb 與 ^{208}Pb 則隨著歷時漫長的鈾、釷同位素衰變而增 (圖 2.8)。此外，鉛元素尚有另 3 種亦具應用性之放射性同位素 (radioactive isotopes)：半衰期 (half-lives) 為 22 年的 ^{210}Pb 、半衰期為 10 小時 ^{212}Pb 以及半衰期 26.8 分鐘 ^{214}Pb (Doe, 1970; Doe & Stacey, 1974; Komárek *et al.*, 2008; Loveless, 1975)。

文獻習直接以鉛同位素統稱 ^{204}Pb 、 ^{206}Pb 、 ^{207}Pb 與 ^{208}Pb ，除非與放射性鉛同位素併用，否則鮮少特別註明為鉛穩定性同位素，於本論文中亦然。

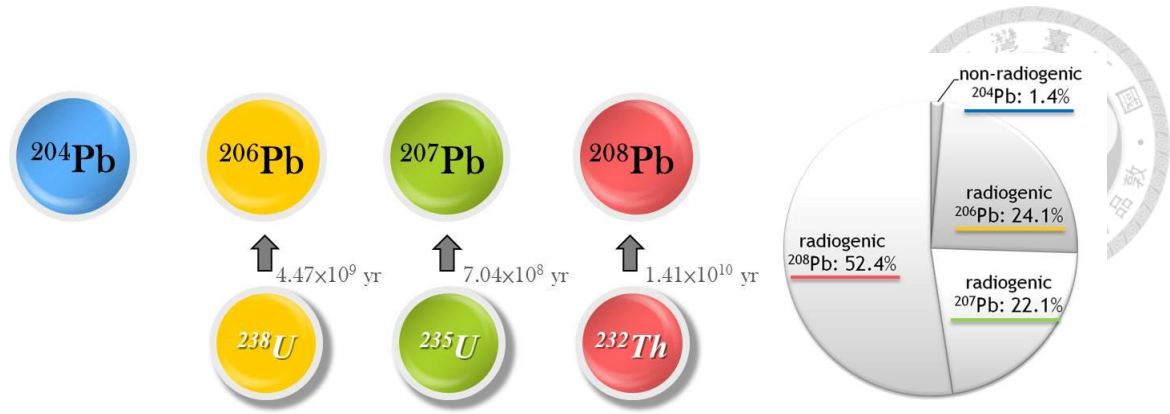


圖 2.6 鉛同位素之組成、形成和其相對豐度（數據來源：Komárek *et al.*, 2008）

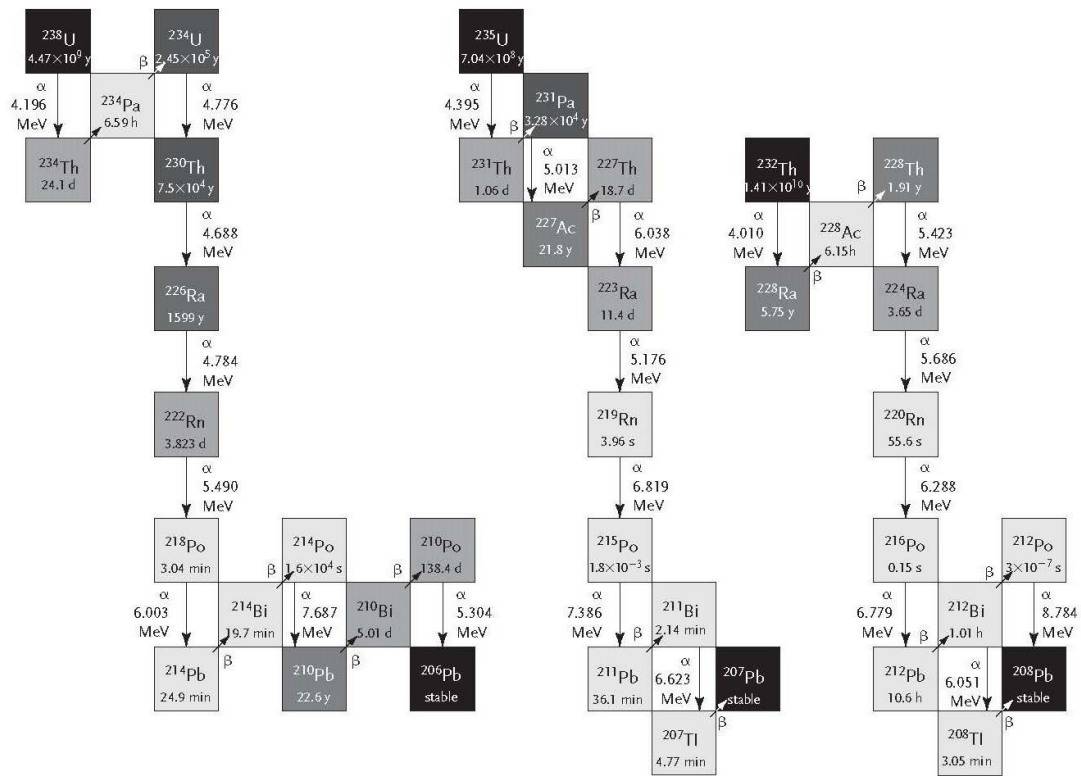


圖 2.7 鈾、釷同位素衰變歷程（Vanhaecke & Kyser, 2012）

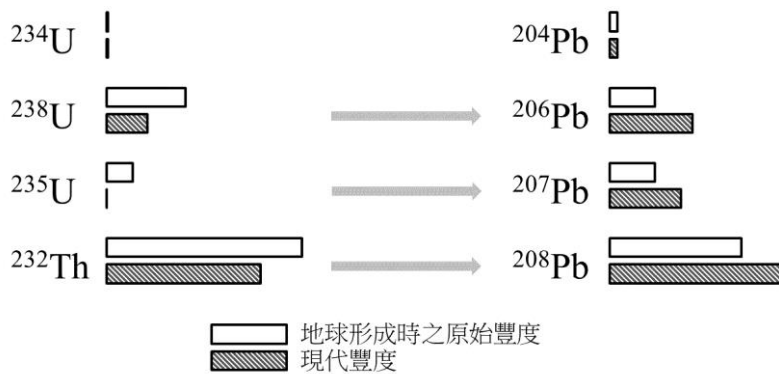


圖 2.8 陸域鈾、釷、鉛同位素之相對豐度變化（修改自 Loveless, 1975）



2.2.2 鉛同位素檢測技術與儀器演進

自 Francis William Aston (1877—1945, 1922 年諾貝爾化學獎得主, 師出 Sir Joseph John Thomson (1879—1968)), 研製質譜儀並藉之發現非放射性同位素(即穩定同位素)以來, 偵測儀器日新月異。曾有一段時日, 熱游離質譜儀(thermal ionization mass spectrometry, TIMS)是唯一被認可的重元素同位素檢測技術(Balcaen *et al.*, 2010)。西元 1990 年代, 裝載多法拉第杯接收陣列(如圖 2.9)的多頻道感應耦合電漿質譜儀(multiple collector inductively coupled plasma mass spectrometry, MC-ICP-MS)上市, 是以結合感應耦合電漿離子源的高離子化效率、磁場式質量分析氣產生之平坦訊號波形和多接收器的高準確度的優點, 加速各項檢測實驗之應用(裝置說明詳見 Wieser & Schwieters, 2005、鐘等, 2007 或本文第三章), 開啟 TIMS 與 MC-ICP-MS 於鉛同位素檢測數據之精確度比較(如: Rehkämper & Halliday, 1998、Platzner *et al.*, 2001、White *et al.*, 2000、Thirlwall, 2002、Woodhead, 2002、Baker *et al.*, 2004、Weiss *et al.*, 2004、Tanimizu & Ishikawa, 2006、Cocherie & Robert, 2007)。

綜合文獻可知, 透過鉈同位素添加法或鉛 204、207 同位素雙稀釋法, 可有效提升多頻道感應耦合電漿質譜儀於奈克級鉛同位素檢測之正確與精確度(Baker *et al.*, 2004; Kamenov *et al.*, 2004; Makishima *et al.*, 2007; Rehkämper & Halliday, 1998; Tanimizu & Ishikawa, 2006; Thirlwall, 2002; Weiss *et al.*, 2004; White *et al.*, 2000; Woodhead, 2002)。Wieser *et al.* (2012) 統計 1992 至 2008 年間應用多頻道感應耦合電漿質譜儀之同位素測定文獻以鈹(Hf)元素 257 篇為最多, 鐵(Fe)元素 130 篇次之, 鉛則以 129 篇居於第三位(如圖 2.10 所示)。目前市場上有 3 款多頻道感應耦合電漿質譜儀, 分別為 ThermoFisher Scientific, Inc. 出廠的 Neptune 以及英商 Nu Instruments Ltd. 的 Nu Plasma II 和 Nu Plasma 1700 (Wieser *et al.*, 2012), 於臺灣的銷售代理則分別由樂盟科技有限公司與瀚盟科技有限公司負責(表 2.3)。

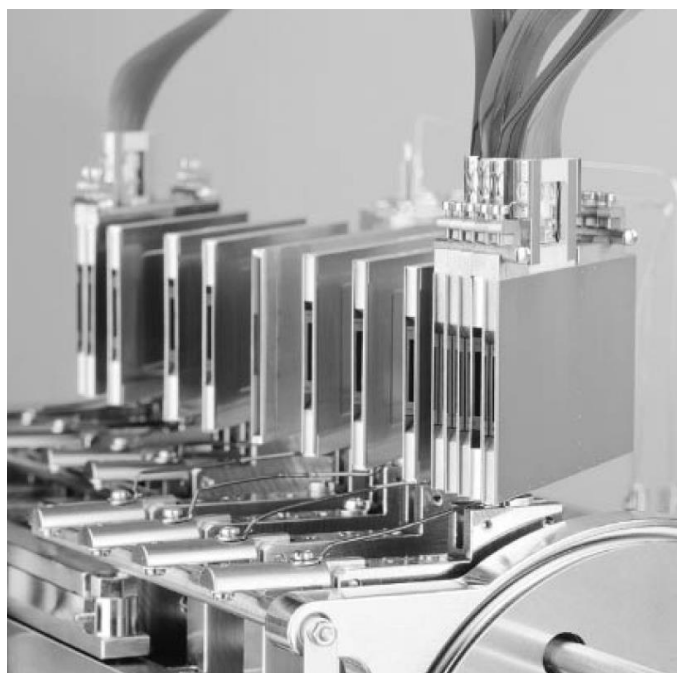


圖 2.9 多頻道感應耦合電漿質譜儀之接收器 (Wieser & Schwieters, 2005; Wieser *et al.*, 2012)

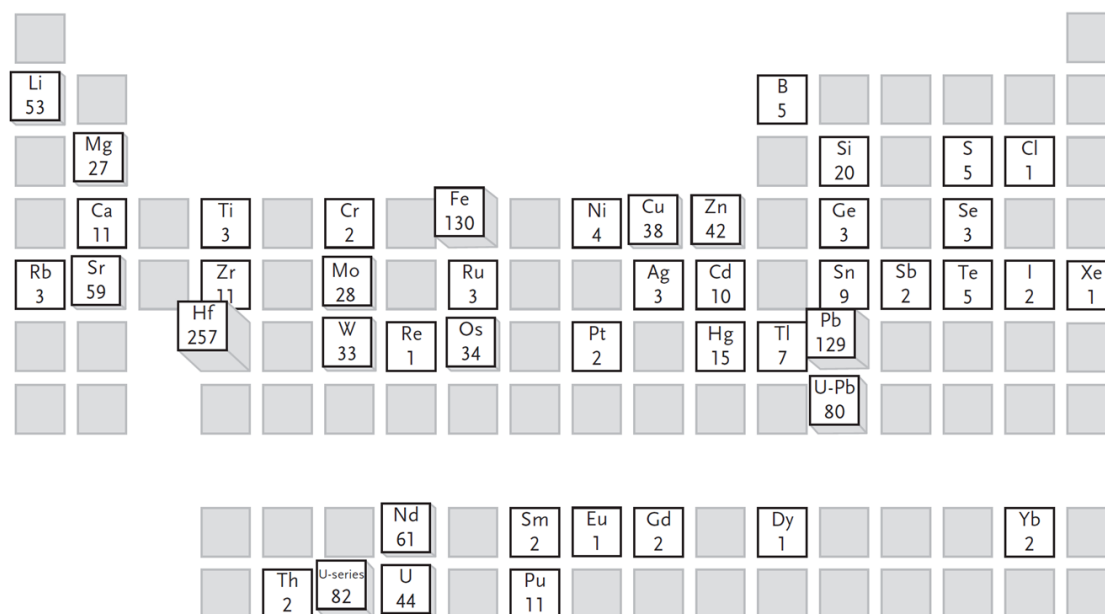


圖 2.10 西元 1992 至 2008 年間應用多頻道感應耦合電漿質譜儀測定同位素之文獻數量與分布 (Wieser *et al.*, 2012)

表 2.3 多頻道感應耦合電漿質譜儀演進（整理自 Wieser *et al.*, 2012 與廠商網站）

年代	儀器商	機型	裝載
1992	VG Elemental	Plasma 54	7 個可移動的法拉第杯與 1 個光電增幅器 (Daly detector)
1997	Nu Instruments	Nu Plasma	12 個法拉第偵測器、3 個離子計數器 (ion counting channel) 與能量過濾器 (high abundance filter)
1998	Thermo Optek	VG Axiom Plus MC-ICP-MS	9 個法拉第杯與 3 個電子倍增器 (electron multiplier detector)
1999	Nu Instruments	Nu Plasma 1700	16 個法拉第偵測器與 3 個全尺度離散型電極倍增器 (full size discrete dynode multiplier)
2000	Thermo Instruments	Neptune	9 個法拉第杯、二次電子倍增器 (secondary electron multiplier, SEM) 與能量過濾器 (retarding potential quadrupole lenses, RPQ)
2004	GV Instruments	IsoProb-P	法拉第偵測器與 (conversion dynode multiplier, CDM)
2010s	Nu Instruments Ltd.	Nu Plasma II	16 個法拉第偵測器與 6 個離子計數電子倍增器 (ion-counting electron multiplier)
	ThermoFisher Scientific, Inc.	Neptune Plus	Jet Interface、2 個能量過濾器、多重離散型電極倍增器

除了借助分析儀器，經過適當的化學處理程序也是使鉛同位素測量精準的關鍵。相較以往學者使用 AG1X4 或其它樹脂，Gale (1996) 提出利用 EiChrom 鋇樹脂及鹽酸進行鉛離子萃取：首先使樣品通過潔淨且預先接觸過 2 M 鹽酸之鋇樹脂，透過 2 M 鹽酸淋洗出鉛以外之基質，再以 6 M 鹽酸提取鉛。Weiss *et al.* (2004) 亦使用相仿的離子交換程序：使用 6 M 鹽酸作為起始清潔與最終鉛提取試劑，中間經過 2.4 M 鹽酸作為 EiChrom 鋇樹脂狀態調整 (兩次 0.5 mL)、樣品載入 (1.5 mL) 和基質去除 (四次 1 mL)。羅 (2008) 處理土壤樣品時，將試劑改良為以 1 N 硝酸清潔離子交換系統、載樣，利用 1 N 硝酸與 2 N 鹽酸交替去除鋇、鈣元素，再以 8 N 鹽酸提取鉛，而周 (2012) 則針對珊瑚樣品特性，再次調整試劑量。



2.3 鉛同位素之環境污染鑑識

2.3.1 鉛同位素環境污染鑑識概述

鉛同位素組成特徵從地質學領域中發展，用於探討地殼地幔演化發展過程，除了延伸至考古人類學、青銅考古研究（metal provenance studies，如：Brill & Wampler, 1967、Gale & Stos-Gale, 1982、Stos-Gale & Gale, 2009、Baron *et al.*, 2014、Ling *et al.*, 2014 等學術論文），近年來跨足應用作為環境污染示蹤技術，諸如：大氣及洋流之污染物傳輸與示蹤、追溯歷史事件中人類鉛使用記錄所遺留下的影響、判定研究區域內的鉛同位素組成異同、尋找主要鉛源與傳輸途徑、比較 2 或 3 種可能之端成分（endmember）貢獻量等，如：空氣污染源示蹤、含鉛汽油使用對環境的衝擊、冶煉廠對周界農地的影響等。

歸納文獻中鉛同位素鑑定之應用材料有：氣膠（如：Sturges & Barrie, 1987、Hsu *et al.*, 2006; Geagea *et al.*, 2008、Ewing *et al.*, 2010、Widory *et al.*, 2010）、血液（如：Gulson *et al.*, 1998）、珊瑚（如：Kelly *et al.*, 2009、Wang *et al.*, 2011）、煤炭（如：Díaz-Somoano *et al.*, 2009）、地殼（如：Christensen *et al.*, 1997）、燃油（如：Chow & Johnstone, 1965、Monna *et al.*, 1997、Yao *et al.*, 2015）、冰芯（如：Rosman *et al.*, 1993、Gross *et al.*, 2012）、湖水（如：Flegal *et al.*, 1989）、泥碳沼澤（如：Shotyk *et al.*, 1998）、岩石（如：Wang *et al.*, 2004）、土壤（如：Erel *et al.*, 1997、Semlali *et al.*, 2001、Kylander *et al.*, 2008）、土壤孔隙水（如：Dawson *et al.*, 2010）、海水（如：Stukas & Wang, 1981）、河水（如：Dawson *et al.*, 2010）、雨水（如：Farmer *et al.*, 2010、Cheng & You, 2010、Cheng *et al.*, 2011）、感潮段懸浮顆粒（如：Elbaz-Poulichet *et al.*, 1984）、沈積相岩心（如：Gobeil *et al.*, 2001）、樹木年輪（Bellis *et al.*, 2004）、貽貝（Labonne *et al.*, 2001）、牙齒（如：Kamenov, 2008）、玉米（如：Bi *et al.*, 2009）、蘑菇（如：Komárek *et al.*, 2007）、蔬菜（如：Hu & Ding, 2009）等，除地質科學領域習以 ^{204}Pb 為比較基準外，其餘研究報導之數值以 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 較為常見，環境領域有時也會一併採用 $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 或 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 作為探討。



2.3.2 鉛同位素環境污染鑑識原理與應用

環境中的鉛來源主要是從地表上人類工業活動及汽機車內燃機所使用的鉛經由燃燒排放至大氣所造成。另外，金屬冶煉及工廠精煉過程、煤及石油等化石燃料燃燒、焚化爐燃燒廢棄物之廢氣排放、其他都市及工業活動等等，亦是造成環境鉛量提高之因素（Sturges & Barrie, 1987; Settle & Patterson, 1991; Flegal *et al.*, 2013; Yao *et al.*, 2015）。鉛同位素比值具備如指紋般的獨特可辨識特徵，圖 2.11 為 Bollhöfer & Rsman（2001）彙整之各國鉛礦鉛同位素特徵分布，是今日鉛同位素環境污染鑑識應用（ $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 與 $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ）之重要比對依據，各地氣膠鉛同位素特徵則如圖 2.12 所示。

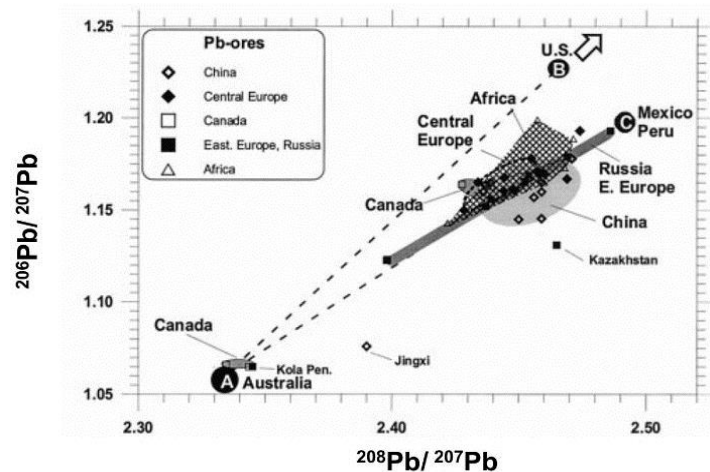


圖 2.11 世界各國鉛礦鉛同位素特徵（Bollhöfer & Rsman, 2001）

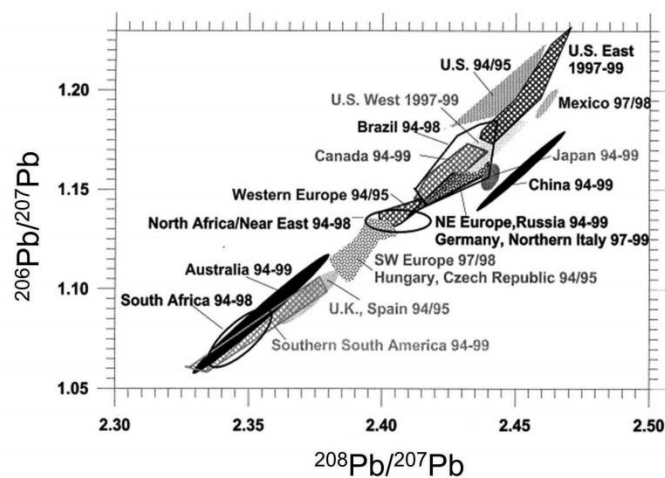


圖 2.12 世界各國氣膠鉛同位素特徵（Bollöhfer & Rsman, 2001）

一般來說，未受污染之土壤鉛源為岩石母質風化而使其鉛同位素組成較具放射性成因，以 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 為例，該比值會落在 18.5 至 19.5 之間 (Komárek *et al.*, 2008)。Monna *et al.* (1997) 以 1965 年至 1995 年氣膠鉛同位素特徵進行英、法兩國之環境鑑識，結果發現，兩國均深受含鉛汽油的影響，法國大氣中有 3 個主要鉛源：汽油、工業廢氣、自然背景，而英國氣膠則為汽油、自然背景 2 種端成分混合而成。

受限於高解析度之鉛同位素鑑定之高技術門檻，目前植體應用並不多見，捷克生長鉛二級冶煉廠周邊之蘑菇，其 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 範圍為 1.1589 至 1.1730，新生之菌絲體發現較高之比值 (Komárek *et al.*, 2007)。Bi *et al.* (2009) 針對中國西南方赫章縣冶煉廠周界農地進行土壤與植體之鉛濃度調查，同時亦鎖定 3 個玉米樣本進行鉛同位素組成分析，結果發現不同植株部位蓄積之鉛含量不同 (往地上部遞減)，亦呈現不同之鉛同位素組成。Feng *et al.* (2011) 發現生長於公路旁的水稻，稻米鉛同位素特徵落於土壤特徵和汽機車廢氣特徵之間，顯示土壤與汽機車排放的廢氣同為影響稻米鉛的端成分；單看稻葉與稻稈 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 比值亦是受前述兩端成分，然而 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 卻無法反映之 (圖 2.13)。

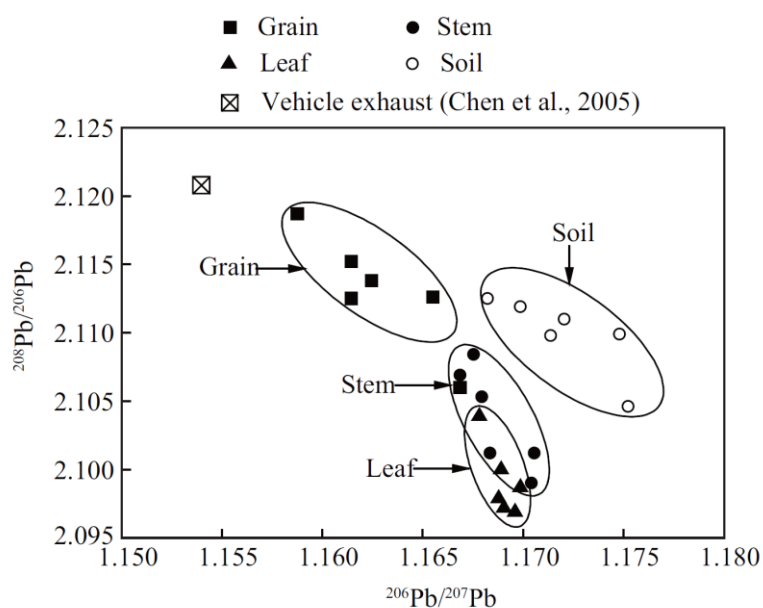


圖 2.13 水稻植株各部位與表土鉛同位素特徵 (Feng *et al.*, 2011)



2.4 臺灣農地土壤與作物鉛含量探討

2.4.1 農業環境中鉛的流佈與宿命

以化學觀點來說，「重金屬」形容的是原子量大於 20 且比重大於 5 的過渡金屬，而在生物學中，代表的則是一系列在低濃度狀態下仍對動植物有毒害的金屬與兩性金屬（Rascio & Navari-Izzo, 2011）。以臺灣為例，農業環境系統中常被關注的重金屬有：砷（As）、鎘（cadmium, Cd）、鉻（Cr）、銅（copper, Cu）、汞（Hg）、鎳（nickel, Ni）、鉛（Pb）、鋅（zinc, Zn）。除了母質風化、火山活動等自然成因，人類活動、工業發展也促成土壤中重金屬之蓄積，透過作物等生物累積（bioaccumulation）與生物濃縮（bioconcentration），經由食物鏈之生物放大（biomagnification）效應，最終亦會對人類健康造成危害與影響。臺灣農地重金屬污染成因與影響如圖 2.14 所繪，以水污染之誘發途徑最為關鍵（張，2002）。

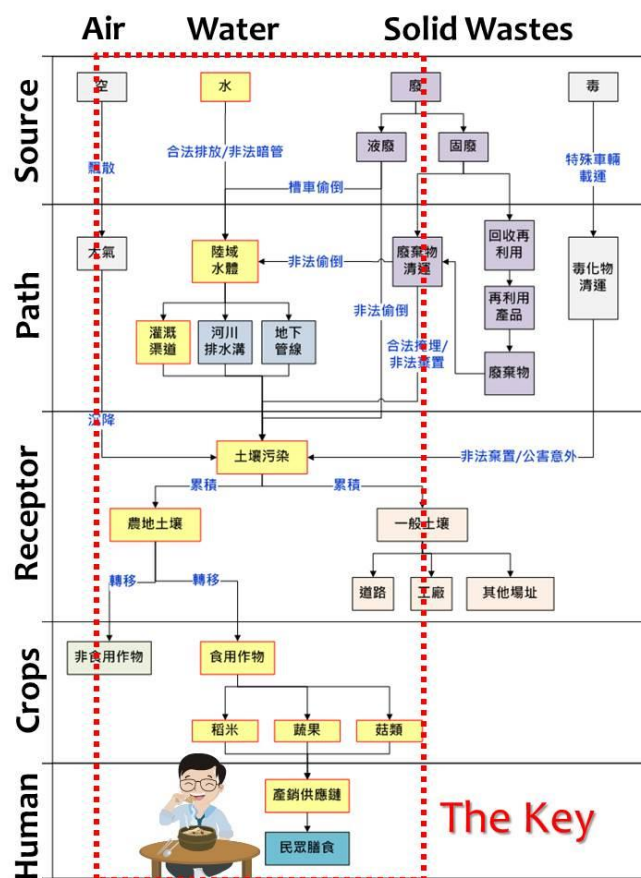


圖 2.14 臺灣農地重金屬污染成因與影響途徑（重繪自張等，2012a）

作為臺灣重要的糧食作物，水稻對土壤中重金屬的吸收取決於土壤特性、重金屬的化學型態、農藝操作管理、作物品系等因素。在探討土壤中重金屬之植物有效性時，除了重金屬在土壤溶液與固相間之分配係數外，水稻根圈亦為一重要環節，它不僅是稻根與微生物的介面，也泛指稻根和土壤介面。水稻稻根表面常會形成鐵膜(iron plaques)，將影響根圈中鉛、砷之動態與水稻對鉛、砷的蓄積(Lee et al., 2013; Meharg, 2004)。Huang et al. (2009) 進行盆栽試驗，指出水稻根表鐵膜能部分抑制鉛的傳輸。鉛與植體根表面黏質糖醛酸(mucilage uronic acids)上的羧酸基(carboxyl groups)鍵結(Morel et al., 1986; Sharma & Dubey, 2005)，但進入根部組織的機制仍未知(Peralta-Videa et al., 2009)。根部內，多數鉛鍵結在細胞壁上的離子交換位置，並以磷酸鹽和碳酸鹽形式胞外沈澱(extracellular precipitation)(Sharma & Dubey, 2005)，未鍵結的鉛則會透過鈣通道移動並累積在內皮層(endodermis)(Pourrut et al., 2011)。

2.4.2 臺灣含鉛製程事業與鉛物質流分析

鉛作為臺灣使用量最大的重金屬之一，因臺灣無鉛礦開採而未能生產鉛，鉛原料需仰賴進口。臺灣鉛原物料的代表製品為鉛酸電池，而該行業耗鉛量約佔總鉛消費量 70 % (賴等, 2014)，美國亦有相似現象，鉛酸電池佔美國鉛消耗量 88 % (Guberman, 2015)。2008 年臺灣之鉛物質總進口量為 137255 公噸，以鉛材料/金屬為主 (佔 50.75 %)，鉛零件/製品次之 (23.46 %)，而總出口量為 122467 公噸，主要出口物品種類為鉛蓄電池 (36.80 %)、鉛材料/金屬 (34.60 %)，經物質流分析，鉛廢氣排放 3396 公噸，鉛廢水排放 16 公噸，鉛固體廢棄物排放 30042 公噸，111397 公噸之鉛投入回收再利用階段，經二次冶煉後可產出 84484 公噸鉛錠或鉛合金 (回收率 75.84 %)，供應臺灣 34 % 鉛材料需求 (張, 2010)。

范等 (2011) 建置「鉛之生命週期物質流資料庫系統」並篩選出臺灣十大高污染潛勢含鉛製程，分別為：顏料化學製造程序、固體廢棄物焚化處理程序、油

漆化學製造程序、鉛二級冶煉程序、鉛蓄電池製造程序、水泥製造程序、煉鋼程序、銅二級冶煉程序、事業廢棄物再利用程序和鋼鑄造程序。因臺灣不產鉛礦，前述高污染潛勢製程偏屬於鉛原物料再加工應用，在產品製造過程中往往涉及含鉛物質之拆解或研磨，多數係以粉塵逸散或廢氣排放之途徑將鉛誤釋放至環境中，有造成污染之疑慮（表 2.4）。

表 2.4 十大高污染潛勢含鉛製程（范等，2011）

編碼	高污染潛勢含鉛製程	鉛污染產生方式	鉛污染途徑
I	顏料化學製造程序	攪拌、研磨	粉塵逸散、廢氣排放
II	固體廢棄物焚化處理程序	拆解破碎、燃燒	粉塵逸散、廢氣排放
III	油漆化學製造程序	攪拌、研磨	粉塵逸散、廢氣排放
IV	鉛二級冶煉程序	拆解破碎、反射爐熔煉	粉塵逸散、廢氣排放
V	鉛蓄電池製造程序	鉛粉研磨、焊接作業	粉塵逸散、廢氣排放
VI	水泥製造程序	生料研磨、熟料研磨、 旋轉窯鍛燒	粉塵逸散、廢氣排放
VII	煉鋼程序	高爐/電弧爐熔煉	粉塵逸散、廢氣排放
VIII	銅二級冶煉程序	拆解破碎、熔煉	粉塵逸散、廢氣排放
IX	事業廢棄物再利用程序	拆解破碎、燃燒、熔煉	粉塵逸散、廢氣排放、 廢水
X	鋼鑄造程序	電弧爐熔煉、砂模澆鑄	粉塵逸散、廢氣排放

賴等（2014）進一步將之彙整並指出十大高污染潛勢含鉛製程工廠家數於 2009 年以煉鋼製程 1160 家最多，鋼鑄造程序 469 家次之，顏料化學製造程序 151 家為第三排序（表 2.5），上述三種製程佔范等（2011）篩選之十大高污染潛勢含鉛製程的 83 %。若總量觀點考量，張（2010）指出各縣市鉛需求與排放係和其產業分布相關，前四名依序為高雄市（原文指高雄縣，今已縣市改制，但不影響排序）、台南市（原文指台南縣，今已縣市改制，但不影響排序）、基隆市和桃園市（原文之桃園縣），而桃園市無論是鉛廢氣、廢水或固體廢棄物排放量，皆為全國最大。

表 2.5 臺灣各縣市十大高污染潛勢含鉛製程家數（賴等，2014）

縣市	高污染潛勢含鉛製程									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
基隆市	0	1	0	0	1	0	1	0	0	4
新北市	11	6	9	0	3	2	143	0	0	27
台北市	1	4	0	0	0	0	3	0	0	2
桃園市	21	21	25	1	10	5	155	9	18	54
新竹市	11	2	0	0	0	1	7	0	0	5
新竹縣	1	3	5	0	0	3	35	0	4	15
苗栗縣	5	8	7	0	0	6	25	1	2	11
台中市	14	9	6	0	4	1	145	0	2	139
南投縣	14	3	1	0	1	3	21	0	0	16
彰化縣	23	4	0	0	3	2	208	12	3	39
雲林縣	6	3	2	0	0	8	9	0	2	11
嘉義市	1	1	0	0	0	0	8	0	0	4
嘉義縣	3	4	5	0	0	3	18	0	3	13
台南市	16	7	12	0	3	3	168	5	1	51
高雄市	20	27	14	4	7	8	191	3	6	57
屏東縣	1	4	0	2	0	0	19	1	1	14
宜蘭縣	3	2	0	0	2	3	4	0	1	7
花蓮縣	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0
台東縣	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
金門縣	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
連江縣	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
總計	151	111	86	7	34	53	1160	31	43	469

註：賴等（2014）自「鉛之生命週期物質流資料庫系統」統計之 2009 年資料。製程代碼 I 為顏料化學製造程序，II 為固體廢棄物焚化處理程序，III 為油漆化學製造程序，IV 為鉛二級冶煉程序，V 為鉛蓄電池製造程序，VI 為水泥製造程序，VII 為煉鋼程序，VIII 為銅二級冶煉程序，IX 為事業廢棄物再利用程序，X 為鋼鑄造程序。2010 年 12 月 25 日縣市改制，台北縣升格為新北市，台中縣市合併為台中市，台南縣市合併為台南市，高雄縣市合併為高雄市；2014 年 12 月 25 日桃園縣升格為桃園市。



2.4.3 臺灣農業環境中鉛污染情形

(一) 臺灣農業環境系統之重金屬鉛含量調查歷史

回溯早期的臺灣，係以農立國，後歷經代工、加工出口、經濟起飛，轉型為仰賴高科技產業與創新發展之經濟體（圖 2.15），西元 1983 年於桃園發生鎘米污染公害事件，重創國人健康，開啟臺灣農地土壤重金屬污染調查與防治（如：呂等，1984、陳，1987、張和江，1991、陳等，1994、Chen & Lee, 1995、張等，1998），時之有關單位為俾利快速掌握全國農地土壤品質概況，採取分階段、不同調查尺度之網格式採樣調查法（由粗至細、由品質普查至聚焦污染，分為大、中、小樣區以及細密調查，共四大階段調查，如圖 2.16），而調查數據經統計分析後，公布臺灣地區土壤重金屬含量五級分級表與 319 公頃有污染之虞農地，作為後續環境保護政策推行之參酌（Hseu *et al.*, 2010; Yao *et al.*, 2014a）。

臺灣於西元 2000 年，為預防及整治土壤及地下水污染，確保土地及地下水資源永續利用，改善生活環境，維護國民健康，而制定、公布「土壤及地下水污染管制法」（簡稱「土污法」），翌年 7 月 4 日行政院環境保護署（簡稱「環保署」）依法公布「土壤及地下水污染整治基金管理委員會組織規程」，規範土污基管會組織架構與職掌。同年 11 月 13 日，土壤及地下水污染整治基金管理會（簡稱「土污基管會」）成立、運作，並於 11 月 21 日頒布「土壤污染管制標準」。Yao *et al.* (2014a) 指出，以西元 2001 年為分界，現行土壤污染管制標準以王水消化所測得濃度為準，且依每一地號之調查數據進行列管或監控，而過去之土壤重金屬濃度調查數據則以 0.1 N 鹽酸萃取為主，以便反映生物有效性（bioavailability）。

土污基管會致力於改善並確保土壤及地下水之環境品質，除了整治、復育受污染場址，研析污染關聯性，向污染行為人或潛在污染行為人求償，亦積極整合環保與農政單位之全國土壤調查成果。於 2010 年辦理「全國重金屬高污染潛勢農地之管制及調查計畫（簡稱「全國農地計畫」，張等（2012a））」，建立「農地重金屬污染潛勢評量與預警管制系統」及「農地土壤重金屬高污染潛勢篩選機制」。有

鑑於農地土壤重金屬污染與灌溉水質污染具備高度關聯性(如張等, 2010b、張等, 2011、張等, 2012b、張等, 2014 之研析), 張等(2012a)提出以灌溉水利小組為單元, 經內梅羅綜合指標法(Nemerow, 1974)將各種重金屬濃度進行數值轉換, 再輔以地理資訊系統(geographic information system, GIS)進行污染潛勢區域之篩選, 其原理概念與架構流程如圖 2.17、圖 2.18。

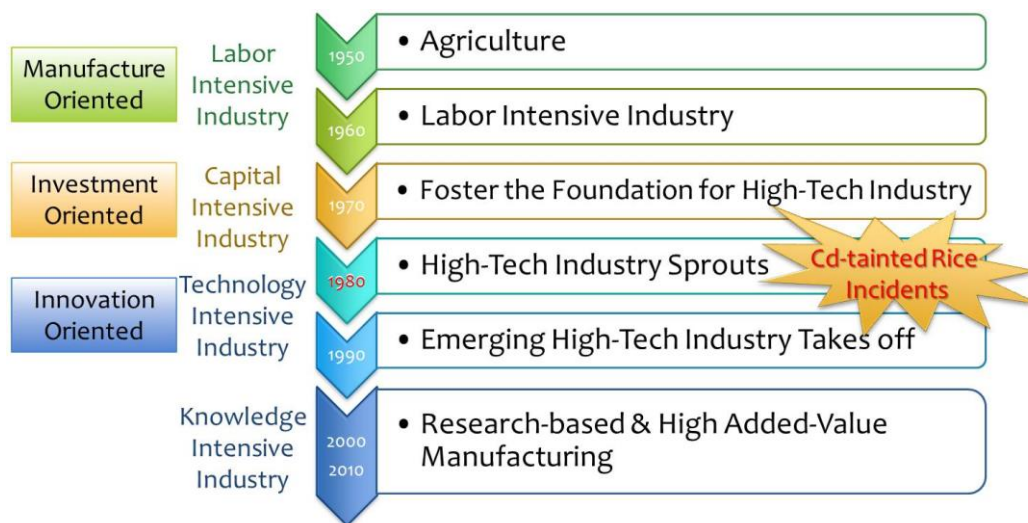


圖 2.15 臺灣產業發展歷程 (資料整理重繪自 Wong, 2012 與張等, 2012a)

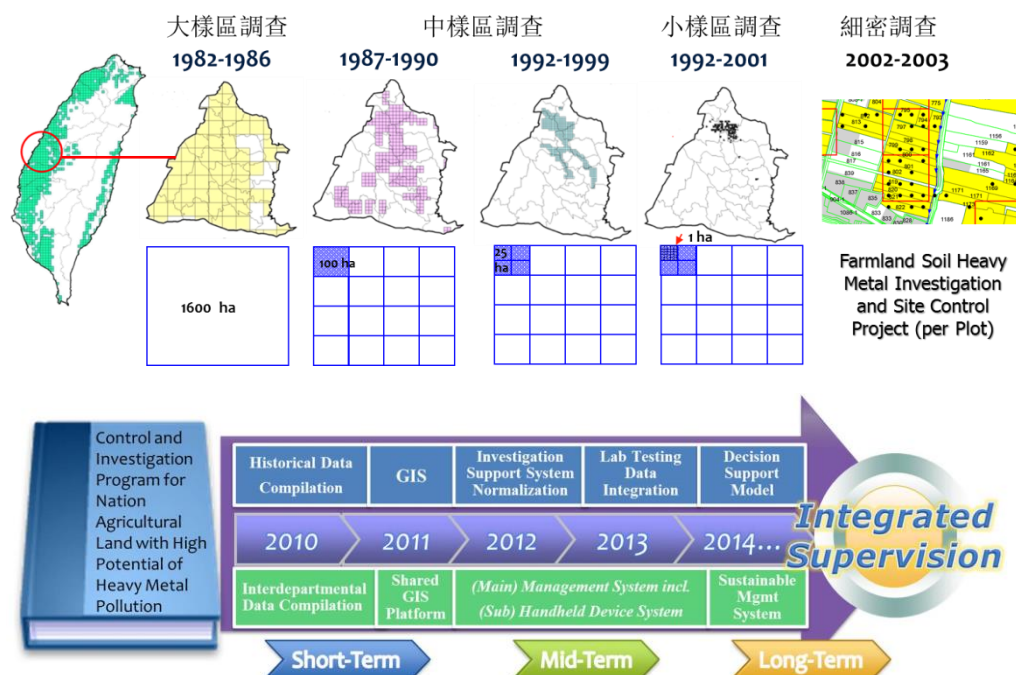


圖 2.16 臺灣農地重金屬污染調查歷程與策略要點 (資料整理重繪自張等, 2012

與陳等, 2014; 上圖僅以彰化縣示範調查區域規模與分布)

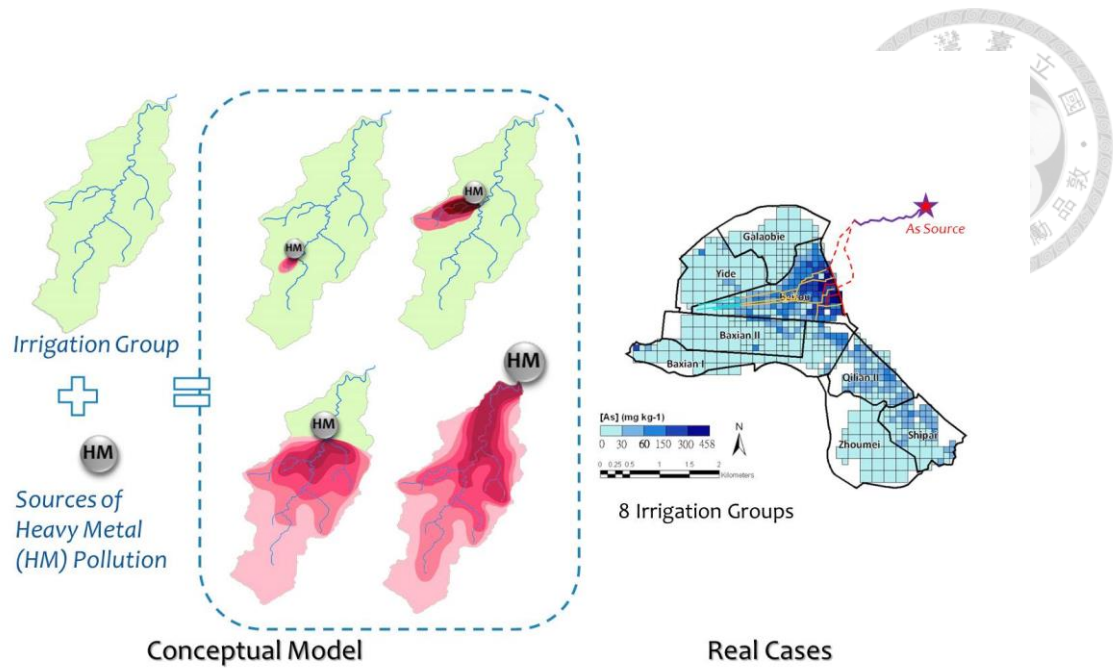


圖 2.17 農地重金屬高污染潛勢區篩選概念與其佐證（資料整理重繪自張等，2012 與姚，2008）

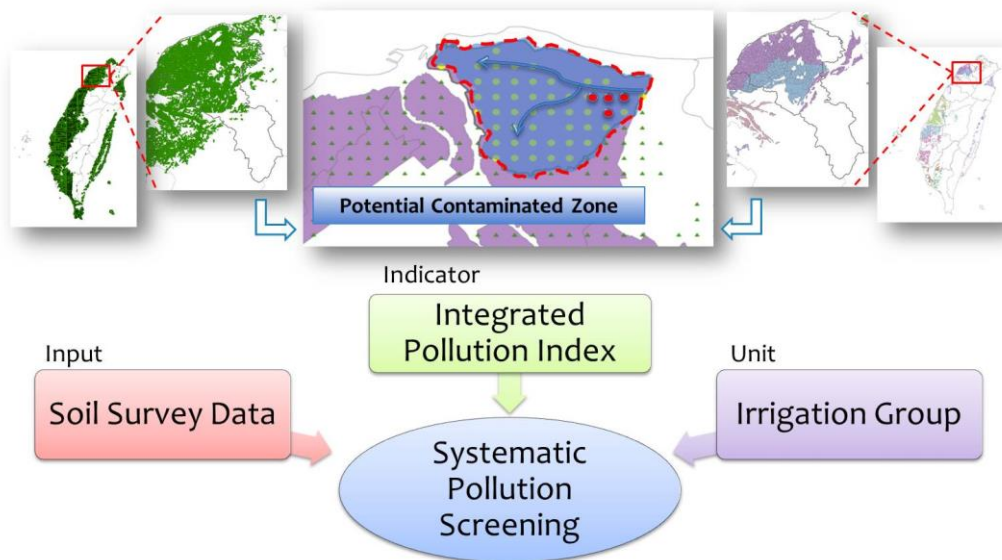


圖 2.18 農地重金屬高污染潛勢區篩選流程（重繪自張等，2012、Cheng *et al.*, 2014）

除了環保主管單位始於西元 1983 年之調查，行政院農業委員會農業試驗所（簡稱「農試所」）亦基於對土壤品質與生產力掌握之業務需求，自西元 1992 年

進行全國土壤調查（係 250 公尺為間距之單一點位採樣調查），計有 13 萬餘筆表土調查點位登錄有以 0.1 N 鹽酸萃取之鎘、鉻、銅、鎳、鉛和鋅濃度數據。前述資料業已由張等（2012a）進行資料庫整合。

經全國農地計畫評估，全國約 1.5 萬公頃農地應有需調查或整治之迫切性，遠高於往昔既有列管場址總面積。為儘速制訂管制策略及推動調查、整治作業，政府特續辦理第 2 期計畫，劃定應優先關注區域及開發決策支援系統之前期工具，奠定後續管制策略之基石。至截稿日（2015 年 3 月 31 日）止，前述上位型計畫案（全國農地計畫）已進入第 3 期，工作內容為：(1) 修訂國內重金屬高污染潛勢農地之管制策略，(2) 持續辦理農地土壤及相關環境介質之污染情形調查，掌握農地重金屬鎘污染之分布與潛勢，(3) 評估非水利會灌溉區域農地的污染情形，並研提管制策略建議，(4) 擴充既有「全國農地污染管理系統」功能以強化對行政管制與決策支援之效能，(5) 協助檢核現行農地污染處理流程問題與研提改善建議。此外，環保署自西元 1990 年開始建置臺灣區域性空氣污染排放量之資料庫，至 2012 年底全台共設置空氣品質人工監測站 150 站，主要監測項目包含總懸浮微粒（TSP），部分測站亦同時以每月或每季測量鉛濃度。

行政院農業委員會農糧署（簡稱「農糧署」）為確保農產品安全及國人健康，自西元 2002 年起，辦理「農作物污染監測管制及損害查處計畫」，針對高風險區域，如：經環保署公告污染控制場址附近農地、整治後解除公告農地、以往經檢測不合格之疑似污染農地等，實施田間農作物（包括水稻）重金屬污染之監測及管制，如有不合格，立即剷除銷燬。此外，農試所與土污基管會更於 2005 年起，合作辦理「作物（水稻）吸收土壤重金屬機制與農產品安全之影響探討」研究計畫，建立鎘米濃度預測模式，於《*Environmental Pollution*》發表（即 Römken et al., 2009）。衛生福利部（簡稱「衛福部」）主管國民健康之保障，除訂定各項相關標準外，亦調查食米中重金屬鎘、汞、鉛含量，發布於《藥物食品檢驗局調查研究年報》或《藥物食品研究年報》（2010 年起）。

(二) 臺灣農業環境系統之鉛含量

目前環保署公告農地鉛污染列管場址為 39 筆（約 3.82 公頃，統計至 2014 年 5 月 30 日），分布如圖 2.19（左圖），分別位於桃園縣平鎮市鎮興段（原為平鎮段）4 筆地號、桃園縣平鎮市鎮安段（原為平鎮段）2 筆地號、桃園縣中壢市內壢段 1 筆地號、台中市烏日區同安厝段 13 筆地號、台中市大里區詹厝園段 2 筆地號、南投縣南投市牛運堀段 4 筆地號、彰化縣和美鎮嘉安段 1 筆地號、雲林縣虎尾鎮北平段 2 筆地號、台南市南區同安段 7 筆地號及台南市南區興農段 3 筆地號。農糧署監測資料顯示，自 2007 年至 102 年 11 月 22 日止，全國總計檢測 3191 件，其中，水稻計有 182 件不合格，水稻重金屬鉛超過食米重金屬限量標準者為 61 件，分別為彰化縣福興鄉外中段 2 件及台中市烏日區同安厝段 59 件（圖 2.19 右圖），並以台中市烏日區同安厝段超過食米重金屬限量標準頻率最高。

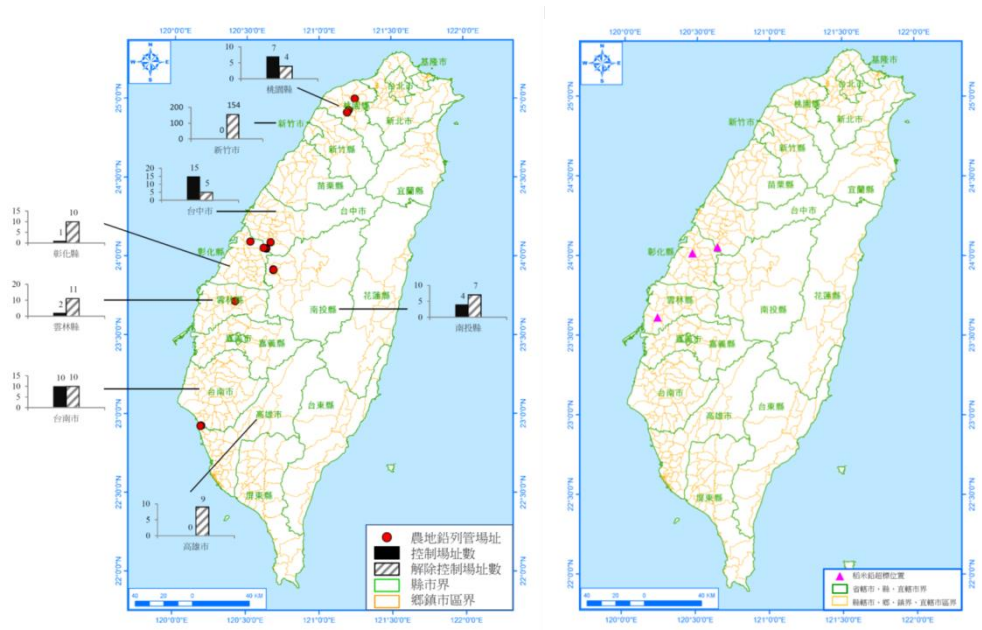


圖 2.19 臺灣目前農地鉛污染列管場址分布與農糧署稻米監測超標點位分布(統計至 2014 年 5 月 30 日；賴等，2014)

表 2.6 顯示臺灣空氣中鉛濃度普遍低於 $0.1 \mu\text{g m}^{-3}$ ，除了宜蘭縣因監測站設置於龍德工業區而數值最高（賴等，2014）。表 2.7 為衛福部為瞭解臺灣地區生產之食米重金屬含量，於碾米廠抽樣調查之結果，除 2002 年曾有食米重金屬含量達

0.29 mg kg⁻¹，其餘均未超過今日之食米重金屬限量標準，而其它臺灣地區販售食品背景鉛濃度調查如表 2.8 所示。

表 2.6 各縣市空氣品質人工監測站 TSP 與鉛監測資料（賴等，2014）

縣市	99 年		100 年		101 年	
	TSP	鉛	TSP	鉛	TSP	鉛
新北市	71	0.036	57	0.033	53	—
台北市	59	0.028	59	0.033	55	0.023
台中市	59	—	80	0.039	89	—
	64*	0.040*				
台南市	79	0.041	91	0.043	80	0.046
	76*	0.052*				
高雄市	96	0.086	93	0.090	78	0.065
	94*	0.036*				
宜蘭縣	55	0.089	50	0.113	46	0.222
桃園縣	55	0.033	60	0.037	51	0.043
新竹縣	84	0.024	64	0.027	58	0.021
苗栗縣	54	0.033	59	0.027	45	0.019
彰化縣	108	0.059	74	0.097	60	0.034
南投縣	58	0.029	67	0.055	62	0.055
雲林縣	93	—	85	—	66	—
嘉義縣	73	0.059	83	0.060	71	0.060
屏東縣	74	0.030	76	0.034	72	0.033
台東縣	64	0.040	64	0.028	—	—
花蓮縣	50	0.021	49	—	41	—
澎湖縣	59	0.022	51	0.021	60	—
基隆市	77	0.047	60	0.071	55	0.056
新竹市	58	0.099	42	—	39	—
嘉義市	68	0.053	84	0.055	75	0.053
平均	71	0.046	67	0.051	61	0.056
標準差	16	0.025	27	0.033	27	0.048

註：資料來源為賴等（2014）從行政院環境保護署環保統計資料庫中統計，統計期間自 2010 年至 2012 年，資料範圍為各縣市設置之一般人工測站，監測值為各縣市內所有測站之平均值，TSP 為總懸浮微粒之簡稱，TSP 與鉛之單位均為 $\mu\text{g m}^{-3}$ 。* 表示為縣市合併改制前之臺中縣、臺南縣或高雄縣之測值；「—」表示未進行監測。

表 2.7 衛生福利部食米鉛含量調查結果

年份	全年			第一期作				第二期作			
	mean	max.	n	mean	min.	max.	n	mean	min.	max.	n
1997	0.04	0.16	200	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	0.02	0.29	146	0.02	<0.01	0.07	76	0.02	<0.01	0.29	70
2003	0.03	0.15	166	0.03	<0.01	0.15	73	0.03	<0.01	0.14	93
2004	0.03	0.11	159	0.03	<0.01	0.11	69	0.02	<0.01	0.10	90
2005	0.03	0.10	149	0.03	<0.01	0.10	73	0.02	<0.01	0.08	76
2006	0.02	0.06	159	0.02	<0.01	0.06	86	0.02	<0.01	0.06	73
2007	0.03	0.11	163	0.03	<0.002	0.11	79	0.03	0.004	0.07	84
2008	0.03	0.09	161	0.03	<0.002	0.07	75	0.03	<0.002	0.09	86
2009	0.02	0.16	161	0.02	<0.002	0.16	77	0.02	<0.002	0.14	84
2010	0.02	0.07	161	0.02	<0.002	0.09	76	0.02	<0.002	0.07	85
2011	0.02	0.11	162	0.02	<0.002	0.07	76	0.03	<0.002	0.11	86
2012	0.02	0.10	160	0.02	<0.002	0.05	73	0.02	<0.002	0.10	87

註：本研究整理自《藥物食品檢驗局調查研究年報》與《藥物食品研究年報》。mean 為平均值，min.為最小值，max.為最大值，n 為調查筆數，-為未提供，鉛濃度單位為 ppm。

表 2.8 臺灣市售食品鉛含量調查結果

區域	項目	鉛濃度範圍	mean	SD	n	出處
中部 8 縣市	市售蔬果	<0.15			109	楊等，1997
嘉義、台南、高雄、屏東	生鮮雞蛋	<0.10-0.11			20	田等，2000
	鴨蛋	<0.10-0.23			20	
	鵪鶉蛋	<0.10			1	
	雞皮蛋	<0.10			2	
	有機鴨皮蛋	<0.10-0.20			9	
	優質鴨皮蛋	<0.10			4	
	其它鴨皮蛋	<0.10-1.71			40	
	鵪鶉皮蛋	<0.10-0.22			5	
台北	豬腦	<0.01-0.038	0.019		5	張等，2004
	豬心	<0.01-0.050	0.022		6	
	豬肺	<0.01-0.053	0.03		5	
	豬肝	<0.01-0.056	0.021		6	
	豬肚	<0.01-0.050	0.027		5	

註：本研究整理自《藥物食品檢驗局調查研究年報》與《藥物食品研究年報》，鉛濃度單位為 ppm。

表 2.8 臺灣市售食品鉛含量調查結果 (續)

區域	項目	鉛濃度範圍	mean	SD	n	出處
台北	豬腸	0.012-0.052	0.031		6	張等，2004
	豬腎	<0.01-0.046	0.014		6	
	豬胰	<0.01-0.040	0.012		5	
	雞心	0.029-0.053	0.04		5	
	雞肝	<0.01-0.055	0.025		5	
	雞腸	<0.01-0.043	0.028		5	
	雞胗	0.016-0.052	0.026		5	
	鴨心	0.021-0.043	0.03		3	
	鴨肝	0.011-0.036	0.024		2	
	鴨腸	0.015-0.033	0.023		3	
	鴨胗	0.022-0.039	0.031		2	
	牛肚	0.010-0.014	0.012		2	
	豬里肌肉	<0.01-0.048	0.024		5	
	蘿蔔	<0.002-0.04	0.01		20	邱等，2004
	胡蘿蔔	<0.002-0.18	0.02		20	
	蕪菁	<0.002-0.17	0.03		15	
	豆薯	<0.002-0.10	0.03		15	
	牛蒡	<0.002-0.12	0.03		15	
嘉義、台南、 高雄、屏東	紅豆	0.004-0.038	0.013	0.015	5	施等，2007a
	黑豆	<0.0005-0.039	0.014	0.017	4	
	綠豆	<0.0005-0.004	0.002	0.003	2	
	黃豆	<0.0005-0.033	0.011	0.019	3	
	米豆	-	0.02		1	
台北	草莓	<0.0005-0.002			5	施等，2007b
苗栗	草莓	<0.0005-0.004			10	
進口商、台北 超市	國產之巴西蘑菇	0.13-0.96			4	許等，2009b
	巴西產之巴西蘑菇	0.07-0.12			5	
	日本產之巴西蘑菇	0.03			1	
	中國產之巴西蘑菇	0.58-1.08			3	
苗栗、台中、	小葉菜類		0.013	0.013	27	陳等，2013
彰化、南投、	瓜菜及果菜類		0.012	0.019	36	
雲林、宜蘭	豆類及豆菜類		0.013	0.021	21	

註：本研究整理自《藥物食品檢驗局調查研究年報》與《藥物食品研究年報》，鉛濃度單位為 ppm。

表 2.8 臺灣市售食品鉛含量調查結果 (續)

區域	項目	鉛濃度範圍	mean	SD	n	出處
苗栗、台中、彰化、南投、雲林、宜蘭	其他(亞)熱帶水果類		<0.005		6	陳等, 2013
	根莖菜類(不含鱗莖類)		0.023	0.028	3	
	梅(漿)果及其他小型果實類		0.009	0.012	6	
	(半)結球及花菜類等蔬菜		0.047		1	
	核果類		<0.005		1	
	鱗莖類		<0.005		1	

註：本研究整理自《藥物食品檢驗局調查研究年報》與《藥物食品研究年報》，鉛濃度單位為 ppm。

除了政府部門之調查，林等（1992）對臺灣地區作物鉛含量調查結果（平均值 $\pm$ 1 倍標準差、最大值，鮮重基準）為：米類 $0.37 \pm 0.87 \text{ mg kg}^{-1}$ ($n=341$)、果菜類 $0.40 \pm 0.40 \text{ mg kg}^{-1}$ ($n=90$)、葉菜類 $0.31 \pm 0.26 \text{ mg kg}^{-1}$ ($n=144$)、根菜類 $0.49 \pm 0.46 \text{ mg kg}^{-1}$ ($n=112$)，上述類別之鉛濃度最大值依序各為 7.81 mg kg^{-1} 、 1.93 mg kg^{-1} 、 1.04 mg kg^{-1} 、 1.00 mg kg^{-1} ，而其平均含水量則為 13 %、80.95 %、91.59 %、81.10 %。同組研究人員的下一份報告則指出臺灣市售包裝米鉛濃度為 $0.01 \pm 0.04 \text{ mg kg}^{-1}$ ($n=280$ ，包含 14 個進口米樣品，鮮重基準)，糧倉精白米亦測得 $0.01 \pm 0.04 \text{ mg kg}^{-1}$ ($n=137$ ，鮮重基準)，僅少數不到 10 % 樣品可測得鉛濃度，而海產中牡蠣平均鉛濃度為 $0.17 \pm 0.16 \text{ mg kg}^{-1}$ ($n=59$ ，含水量為 84 %，鮮重基準)，蛤蠣則為 $0.16 \pm 0.15 \text{ mg kg}^{-1}$ ($n=24$ ，含水量為 88.5 %，鮮重基準) (Lin *et al.*, 2004)。

《台灣農業研究》刊載之林等（2012）於 2008 至 2010 年臺灣主要蔬菜產區共 1900 個蔬菜樣本食用部位鉛濃度調查（鮮重基準），顯示葉菜類為 ND 至 0.294 mg kg^{-1} 、(半)結球葉菜類為 ND 至 0.239 mg kg^{-1} 、根莖菜類為 ND 至 0.619 mg kg^{-1} 、瓜菜及果菜類為 ND 至 0.064 mg kg^{-1} ，部分蘿蔔與胡蘿蔔樣本超過衛福部重金屬限量標準，不同蔬菜種類可食用部位鉛濃度有明顯差異。





三、鉛同位素指紋鑑識技術

3.1 實驗流程總述

多頻道感應耦合電漿質譜儀 (MC-ICP-MS) 的出現，促使鉛同位素鑑定與應用更為便利 (參見本文第二章第 2 節之回顧)。又如 Stos-Gale 女士反駁 Pollard & Heron (2008) 過於樂觀而述：「MC-ICP-MS 之設置與營運成本仍較 TIMS 為高，多數儀器持有者不會同意直接將消化樣本導入 ICP 端。預先於昂貴的低干擾實驗室內，操作耗時的化學元素分離步驟，仍是必要的一環 (Stos-Gale & Gale, 2009)。」本研究為了避免干擾，化學分析與測量於等級 10000 之無塵室內進行，且操作台為等級 100 者 (比照 Shen *et al.*, 2012)。實驗方法修改自羅 (2008)，土壤樣品先以王水消化 (Erel *et al.*, 1997)，植體、落塵和水體樣品則以硝酸及雙氧水進行硝解 (姚, 2008、Monna *et al.*, 1997)，取酌量消化樣本，參考 Gale (1996) 使用鋇樹酯 (Eichrom 100-150-mesh Sr-Spec resin) 進行鉛同位素提取，最終樣本保存於 1% 硝酸與氫氟酸，再以 MC-ICP-MS 測定鉛同位素比值。

3.2 試劑藥品

3.2.1 試劑

純水 (H_2O)、硝酸 (HNO_3 , 14 N)、鹽酸 (HCl , 12 N)、氫氟酸 (HF)、雙氧水 (H_2O_2 , 31%)、溴酸 (HBr , 14 N)、王水 ($1 \text{ HNO}_3 + 3 \text{ HCl}$) 為鑑定鉛同位素之化學萃取程序時須使用的試劑。純水產自串聯的 Millipore Milli-Q ACADEMIC 與 Milli-Q ELEMENT 系統 (Shen *et al.*, 2012)，硝酸、鹽酸試劑則依用途分別採用 3 種不同等級之產品 (詳表 3.1)。

表 3.1 硝酸、鹽酸試劑等級分類與用途

純度等級分類	純度排名	盛裝器皿材質	用途
超純酸 (seastar)	1 (最純)	鐵氟龍瓶	化學實驗
低汞微量分析級 (RD)	2	玻璃瓶	第 2 道酸洗
化學學會分析級 (RG)	3	玻璃瓶或 PP 塑膠瓶	第 1 道酸洗



3.2.2 樹脂與同位素標準品

本研究所用之鉛同位素提取樹脂（Eichrom 100-150-mesh Sr-Spec resin）的主要官能基為 1 M 4,4'(5')-di-*t*-butylcyclohexano 18-crown-6（冠狀醚類，如圖 3.1 所示），為專一性離子交換樹脂。同時，為降低實驗干擾，亦依圖 3.2 示範之步驟清洗樹脂。購得之樹脂原始狀態為粉狀物質，經清洗後，使之浸於純水中保存。鉛同位素標準品使用國際標準品 NIST SRM 981，鉈同位素標準品則使用國際標準品 NIST SRM 997。



圖 3.1 樹脂官能基

Sr-Spec Resin Clean

1. Milli-Q ultrapure water
2. 8 N HCl (RD grade)
3. Milli-Q ultrapure water
4. 2 N HNO₃ (seastar)
5. Milli-Q ultrapure water
6. 8 N HCl (seastar)
7. Milli-Q ultrapure water

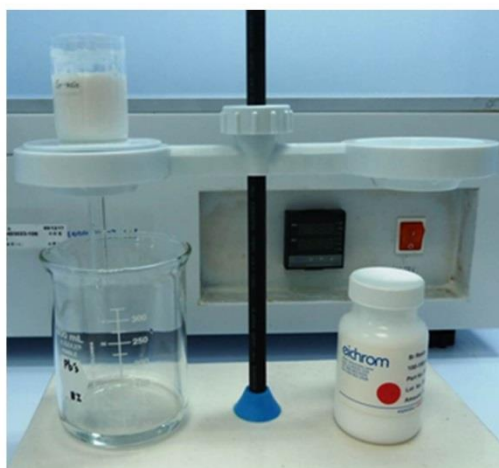


圖 3.2 樹脂清洗流程



3.3 實驗器皿

表 3.2 羅列實驗所需器皿，並展示於圖 3.3，其中鐵氟龍材質器皿分別以 50% 王水 (J.T. Baker, RG grade) 和稀鹽酸 (J.T. Baker, RG grade) 進行 4 小時之熱清洗、浸泡 1% 王水和氫氟酸 (ultrapure grade) 中為期 10 天，再以超純水潤洗晾乾後使用 (圖 3.4)。PP 材質之 tip 與 vial 以 20 % 硝酸隔水加熱 4 小時、超純水潤洗晾乾後使用，接觸樣品前亦事先以酸潤洗。

表 3.2 實驗器皿清單

用途分類	項目
盛裝試劑	250-mL 洗瓶 (squeezing bottle)、30-mL 滴瓶 (dripping bottles)
試劑保存	50-mL, 60-mL, 120-mL, 240-mL Savillex jar
消化瓶	7-mL, 15-mL, 30-mL, 50-mL Savillex beaker
離心	15-mL Savillex tube
離子交換	In-house heat-shrink column、In-house porous frit、壓克力架、墊片定位棒、廢液回收燒杯或回收盒
盛裝儀器調校標準品	2-mL Savillex vial
盛裝檢測樣本	2-mL vial
上機稀釋	200- μ L, 1000- μ L tip
其它	消化瓶架、降溫板、標籤筆、紀錄簿、筆、剪刀、去標記用酒精
清洗	2-L, 4-L, 5-L 燒杯、錶玻璃、鐵氟龍墊片、鐵氟龍長夾、PP 材質器皿清洗罐、Kimtech、Kimwipes

註：**Beaker**：中譯為燒杯，在此泛指實驗用鐵氟龍材質消化容器，附蓋，使用 30 mL 與 7 mL 兩種大小，需回收並以王水煮沸等清洗步驟後再使用。**Column**：燒製之杯型管柱 (鐵氟龍材質) (存放於 Jar 中)，灌樹脂以抓取鉛同位素用，需回收並以王水煮沸等清洗步驟後再使用。**Frit**：白色圓形小墊片 (存放於 30mL beaker)，避免樹脂逸散，需塞入 column 中並調整於杯底下 1cm 處，不重複使用，用過需棄置，不可回收。**Jar**：鐵氟龍材質容器，附蓋，浸泡與存放 column 用。**洗瓶**：鐵氟龍材質，盛裝試劑用，500 mL、250 mL、150 mL 等尺寸。**滴瓶**：鐵氟龍材質，盛裝試劑用，30 mL。**Beaker 架**：至多可擺放 10 支 beakers。**Column 架**：壓克力製品，至多可架 10 或 6 支 columns。**Kimtech**：擦拭紙，紙質厚，外觀有孔洞者，用於防止實驗過程之不慎噴灑或污染。**Kimwipes**：擦拭紙，無孔洞者 (抽取式，綠色紙盒)，擦拭水漬用。

鉛同位素提取耗材備製與清洗方式如下：(1) 以定模壓製半通透材質成為 frit，(2) 攜入無塵室，用 2 N HCl (RD 等級) 並加熱 4 小時，(3) 浸泡在 8 N HCl (seastar 等級) 至少 3 天，(4) 反覆用純水清洗 3 到 5 次；(1) 以加熱槍塑型製作 column，(2) 帶到無塵室，浸於 12 N HCl (RD 等級) 並加熱 4 小時，(3) 浸泡在含微量 HF 的稀王水 (1%) 約 10 天，(4) 反覆用純水清洗 3 至 5 次，風乾後收入亦經洗淨的 jar。



圖 3.3 實驗器皿

鐵氟龍材質器皿清洗流程 (簡易版) TFL Beaker/Bottle/Column/Jar/Tube/Vial



圖 3.4 鐵氟龍材質實驗器皿清洗步驟



3.3 化學流程

實驗方法修改自羅(2008)，取酌量消化樣本，參考 Gale(1996)使用 Eichrom 100-150-mesh Sr-Spec resin 進行鉛同位素提取，最終樣本保存於約 1 mL 之 1% 硝酸與氫氟酸(如圖 3.5 所示)，實驗步驟如下：

- (1) 秤取酌量消化樣品於經酸洗之鐵氟龍瓶，加熱(180 至 250 °C)至得乾物。
- (2) 以硝酸加熱溶解殘渣(採 180 °C 熱回流 3 至 5 小時或 160 °C 熱回流隔夜)，反覆至得澄清液體，或再依狀況導入過氧化氫、王水等試劑(去除有機質)。
- (3) 以 250 °C 加熱、蒸乾澄清液，再使樣品溶於 1N 硝酸，冷卻後待經交換樹脂提取鉛同位素。
- (4) 填入 200 μ L 鋇樹脂(Eichrom)於樹脂交換管柱。
- (5) 分別以 1 N 溴酸、8 N 鹽酸沖洗樹脂交換系統，以確保移除樹脂交換系統內之微量鉛干擾。
- (6) 以純水清洗樹脂交換系統。
- (7) 以 1 N 硝酸流經樹脂交換系統做為環境調節控制。
- (8) 於樹脂交換系統內倒入樣品，進行鉛提取。
- (9) 使 1 N 硝酸流經樹脂交換系統，以去除鈣與其他元素干擾。
- (10) 使 2 N 鹽酸流經樹脂交換系統，以去除鋇元素干擾。
- (11) 以 8 N 鹽酸蒐集純化後樹脂交換系統內抓取之樣品鉛元素(回收率約 9 成)。
- (12) 加入雙氧水，加熱至得乾物。
- (13) 加入 14 N 硝酸，加熱至得乾物(重複本步驟至少 3 次以確保為硝酸型態且無有機物殘留)。
- (14) 使之溶於上機液(1-2 mL 1% $\text{HNO}_3 + \text{HF}$)，等待上機偵測。

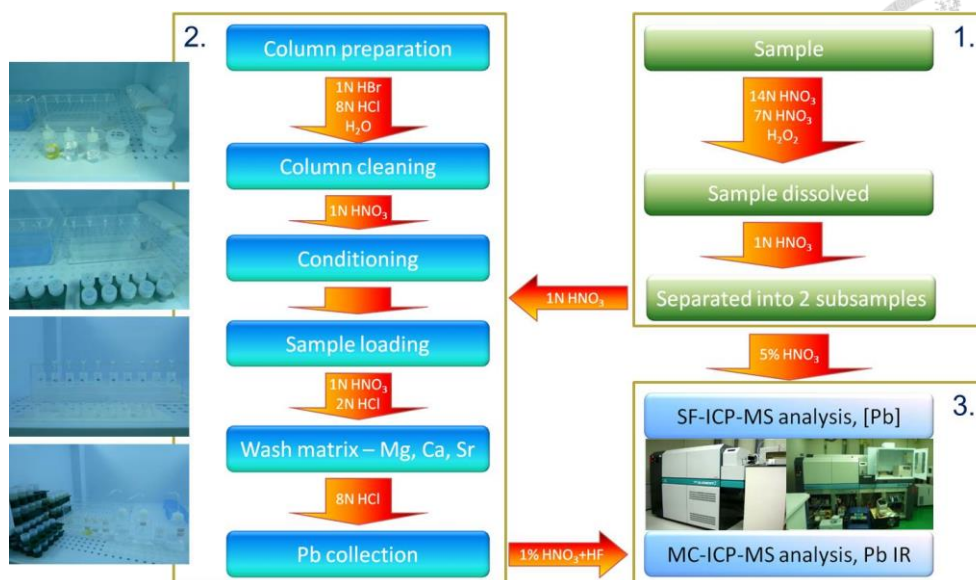


圖 3.5 化學流程

3.4 儀器測量

以雙聚焦磁場式多頻道感應耦合電漿質譜儀（MC-ICP-MS, Thermo Electron Neptune, Thermo Fisher, Bremen, Germany）進行鉛同位素偵測，其主要架構有：(1) 薄膜去溶劑進樣裝置（Membrane desolvation system）乾式進樣系統（Cetac Adrius, Teledyne CETAC Technologies, NE, USA）和霧化器（ESI-20），(2) 離子源，(3) 由取樣錐（Sampler cone）和削減錐（Skimmer cone）組成之接口介面，(4) 質量分析器，(5) 掛載二次電子倍增器（Secondary electron multiplier, SEM）與 9 個法拉第杯（Faraday cup）之偵測器，共 5 個部份（圖 3.6），參數設定見表 3.3。

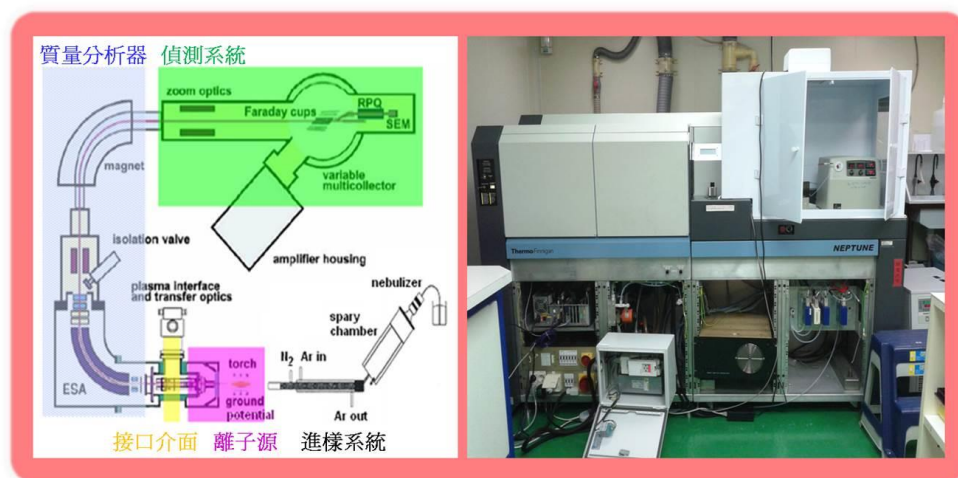


圖 3.6 多頻道感應耦合電漿質譜儀

表 3.3 多頻感應耦合電漿質譜儀 (MC-ICP-MS) 儀器設定參數

操作參數		設定值
進樣系統 (Introduction system)	薄膜去溶劑進樣裝置 (Membrane desolvation system)	Cetac Aridus 或 Aridus II
	噴霧室溫度 (spray chamber temperature)	110 °C
	去溶劑化溫度 (PTFE desolvating membrane temperature)	160 °C
	氮氣 (N ₂ sweep gas)	3 – 39 mL min ⁻¹
	氬氣 (Ar sweep gas)	3.75 – 9.02 L min ⁻¹
	霧化器 (nebulizer)	PFA Micro-Flow Nebulizer
	進樣速度 (uptake rate)	40 – 100 µL min ⁻¹
	樣本消耗量 (solution consumption)	0.3 – 0.5 mL per run
	自動送樣 (auto-sampler)	ASX-100 或 ASX-112FR
	射頻功率 (RF power)	1050 – 1200 W
電漿 (Plasma)	冷卻 Ar 氣流速 (Ar cooling gas flow rate)	16 L min ⁻¹
	攜樣 Ar 氣流速 (Ar sample gas flow rate)	0.7 – 0.9 L min ⁻¹
	輔助 Ar 氣流速 (Ar auxiliary gas flow rate)	0.9 – 1.15 L min ⁻¹
接口介面 (Interface cones)	取樣錐 (sampler cone)	Ni Sampler
	削減錐 (skimmer cone)	X-Skimmer
真空條件 (Vacuum condition)	前真空 (fore vacuum)	2.31 E-4 mbar
	高真空 (high vacuum)	1.0 – 1.3 E-7 mbar
	離子真空 (ion getter)	0.9 – 1.0 E-8 mbar
偵測端設定 (cup configuration) : 偵測端/訊號放大器/測量元素 (cup/amplifier/ measured element)	L4	10 ¹¹ 或 10 ¹² Ω ²⁰⁰ Hg
	L3	10 ¹¹ 或 10 ¹² Ω ²⁰² Hg
	L2	10 ¹¹ Ω ²⁰³ Tl
	L1	10 ¹² Ω ²⁰⁴ Pb 、 ²⁰⁴ Hg
	C	10 ¹¹ Ω 、 SEM ²⁰⁵ Tl
	H1	10 ¹¹ Ω ²⁰⁶ Pb
	H2	10 ¹¹ Ω ²⁰⁷ Pb
	H3	10 ¹¹ Ω ²⁰⁸ Pb
	H4	10 ¹² Ω none
解析度 (resolution)		low resolution
分析時間 (acquisition time)		7 – 12 min

註：僅於 2013/11/22 使用濕式進樣裝置 Scott-type spray chamber。



3.5 品保品管

本研究採用國際鉛同位素標準品與鉍同位素添加法進行 MC-ICP-MS 儀器調校，並以指數型函數為數據校正模型，並採用 Thirlwall (2002) 所使用之鉍校正
值 ($^{205}\text{Tl}/^{203}\text{Tl}$) 2.3889 處理質量分化效應 (mass fractionation)，同時也藉由控制
鉍添加量 (令 $^{205}\text{Tl}/^{208}\text{Pb}$ 介於 0.15 至 1.2 或 $^{208}\text{Pb}/^{205}\text{Tl}$ 介於 0.83 至 6.67) 減緩拖
尾效應 (tailing effect) 之干擾。儀器調校以合乎羅 (2008) 提供之長期再現性數
值 (圖 3.7) 為基準，國際鉛同位素標準品 (NIST SRM 981) 測量結果於表 3.4
與國際文獻比較之。校正函數如下所示：

$$R_{Pb} = r_{Pb} \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^{f_{Tl}}$$

$$\text{where } f_{Tl} = \frac{\ln(R_{Tl}/r_{Tl})}{\ln(M_{205Tl}/M_{203Tl})} = \frac{\ln(2.3889/r_{Tl})}{\ln(204.9745/202.9723)}$$

$$M_{204Pb} = 203.9730, M_{206Pb} = 205.9745, M_{207Pb} = 206.9759, M_{208Pb} = 207.9767$$

M 為質量數，f 為校正係數，r 為測量值，R 為真值。

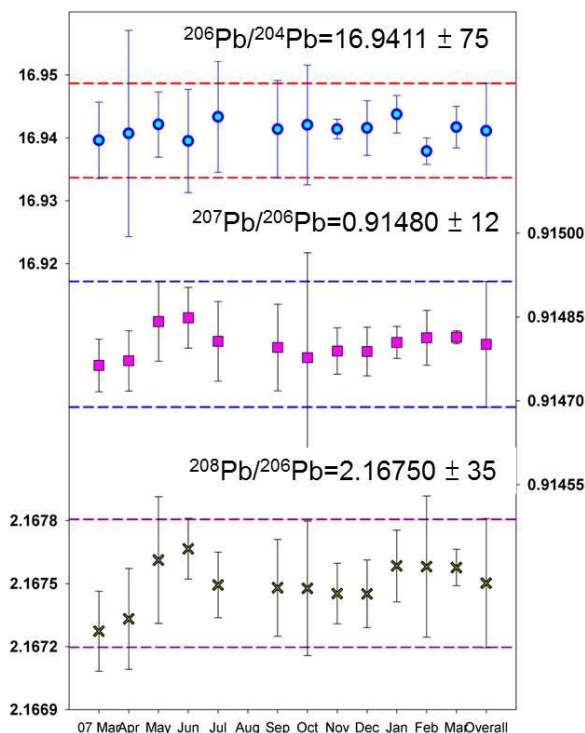


圖 3.7 國際標準品長期再現性 (羅，2008)

表 3.4 國際標準品測量精準度列比 (NIST SRM 981; mean $\pm$ 2 S.D.)

出處	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	方法
Baker <i>et al.</i> (2004)	2.16781 ± 0.00012	0.914905 ± 0.000039	16.9416 ± 0.0013	DS, MC-ICP-MS, n=119
	2.1679 ± 0.0018	0.91492 $\pm$ 0.00039	16.942 ± 0.014	Tl (exp. corr. to 2.3889), MC-ICP-MS, n=114
Cocherie & Robert (2007)	2.16633 ± 0.00017	0.914595 ± 0.000053	16.932 ± 0.015	Tl (exp. corr. to 2.3871), MC-ICP-MS (50 ng Pb), n=38
Galer & Abouchami (1998)	2.16771 ± 0.00010	0.914750 ± 0.000035	16.9405 ± 0.0015	TS, TIMS, n=60
Thirlwall (2000)	2.16768 ± 0.00023	0.91483 ± 0.00007	16.9408 ± 0.0021	DS, TIMS, n=41
Thirlwall (2002)	2.16691 ± 0.00066	0.91471 ± 0.00016	16.9356 ± 0.0048	Tl (exp. corr. to 2.3889), IsoProbe MC-ICP-MS, n=159-168
Rehkämper & Halliday (1998)	2.16589 ± 0.00014	0.914499 ± 0.000049	16.9295 ± 0.0055	Tl (exp. corr. to 2.3871), MC-ICP-MS, Feb. – Nov., 1997
Weiss <i>et al.</i> (2004)	2.16767 ± 0.00063	0.91477 $\pm$ 0.00012	16.9413 $\pm$ 0.0039	Tl (exp. corr. to 2.3897), MC-ICP-MS, n=35 (Aug. – Dec., 2002)
White <i>et al.</i> (2000)	2.1646 $\pm$ 0.0008	0.91404	16.9467 $\pm$ 0.0076	Tl (exp. corr. to 2.3871), MC-ICP-MS, n=33 (Jan. 8 – 9 & Apr., 14, 1998)
羅 (2008)	2.16752 ± 0.00031	0.91480 ± 0.00011	16.9411 ± 0.0075	Tl (exp. corr. to 2.3889), MC-ICP-MS (2-10 ng Pb), n=276 (Mar., 2007 – Mar., 2008)
周 (2012)	2.1671 ± 0.0014	0.9145 ± 0.0010	16.949 ± 0.036	Tl (exp. corr. to 2.3889), MC-ICP-MS (250 pg Pb), 8 months (Mar. – Nov., 2011 & Jan. – Apr., 2012)
本研究	2.16764 ± 0.00029	0.91476 ± 0.00012	16.941 ± 0.011	Tl (exp. corr. to 2.3889), MC-ICP-MS (2-10 ng Pb), n=4 (Mar., Aug., Dec., 2010)
	2.1666 ± 0.0028	0.9138 ± 0.0022	16.961 ± 0.046	Tl (exp. corr. to 2.3889), MC-ICP-MS (500 pg -10 ng Pb), n=48 (Feb., 2012 – Dec., 2012)
	2.16736 ± 0.00082	0.91462 ± 0.00051	16.949 ± 0.015	Tl (exp. corr. to 2.3889), MC-ICP-MS (180 pg -10 ng Pb), n=57 (Jan., 2013 – Apr., 2014)

註：NIST SRM 981; mean $\pm$ 2 S.D.; DS: ^{204}Pb - ^{2207}Pb double spike, Tl: Tl correction (type and its $^{205}\text{Tl}/^{203}\text{Tl}$ normalizing value), TS: ^{204}Pb - ^{206}Pb - ^{207}Pb triple spike, MC-ICP-MS: multi-collector ICP-MS, TIMS: thermal ionization mass spectrometry。



3.6 環境影響評估

酸具腐蝕性，會危害人體健康與環境生態品質，須妥善處置，本研究所用之廢酸均經回收、中和後，方排放之。廢酸中和步驟如下所述：

1. 登記、使用抽風櫃，事先檢查抽風櫃狀況是否淨空與良好、自來水管線。
2. 於水桶內倒入酌量大蘇打粉（每次約 2 至 3 杯）。加酌量自來水（約淹過水桶底部），攪拌大蘇打粉。
3. 分次緩慢倒入少量強酸或王水廢液並攪拌。會立即產生大量白煙與熱氣泡，請小心再小心！！
4. 至水呈澄清透明，即中和完成。開啟自來水，倒出完成中和之桶內液體。
5. 反覆重複上述步驟，至將所有王水廢液中和完成。（註：2L 廢液約需使用 6 杯大蘇打粉，耗時 1 小時。）

3.7 實驗改進檢討與紀錄

本研究以羅（2008）、周（2012）建立的實驗方法為基礎進行改良與應用，樹脂交換效能如圖 3.8。研究期間經歷無塵室重建、儀器搬遷、更換零組件配備與測量模組、購置新試藥與標準品。Kamenov *et al.*（2004）指出使用鉍同位素添加法時，需進行避光，以免發生光化作用而降低分析之解析度，故 2013 年 9 月起，改採檢測當日以 3 或 5 倍 Pb/Tl 混合新購之鉛、鉍同位素標準品，經測試即使不刻意避光，前述混合試藥也能維持 8 小時穩定。

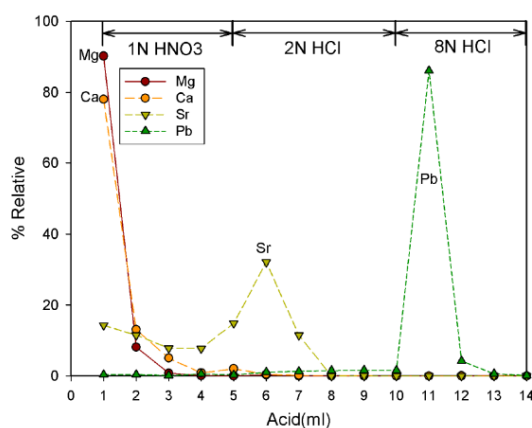


圖 3.8 離子交換之純化效能（周，2012）



四、鉛同位素應用之試驗設計

4.1 農業環境應用案例設計緣起

自然界中本存在有微量重金屬，隨人為工商活動發展，土壤重金屬含量加劇，進而影響作物與人類健康（圖 4.1）。依據張等（2012a）對臺灣農地重金屬污染潛勢的研析報告、目前環保署公告農地重金屬污染列管場址統計以及臺灣產業特性，於土壤中移動性較差之鉛並非臺灣最大宗且要急迫處理的農地土壤重金屬污染項目。然而，國內曾發生多起食用作物鉛含量超出衛生署制定之食米重金屬限量標準，但種植農地土壤中鉛濃度卻低於土壤污染管制標準之案例（如圖 4.2，紅圈標示超過標準者，左為土壤，右為糙米）。由全國農地土壤重金屬鉛污染情形及稻米鉛污染情形資料顯示，截至 2013 年 1 月底，計有 10 處區域農地土壤鉛濃度超過土壤污染管制標準（ 500 mg kg^{-1} ）或食用作物鉛濃度超過食米重金屬限量標準（ 0.2 mg kg^{-1} ），分別位在桃園市、台中市、彰化縣、雲林縣與台南市。

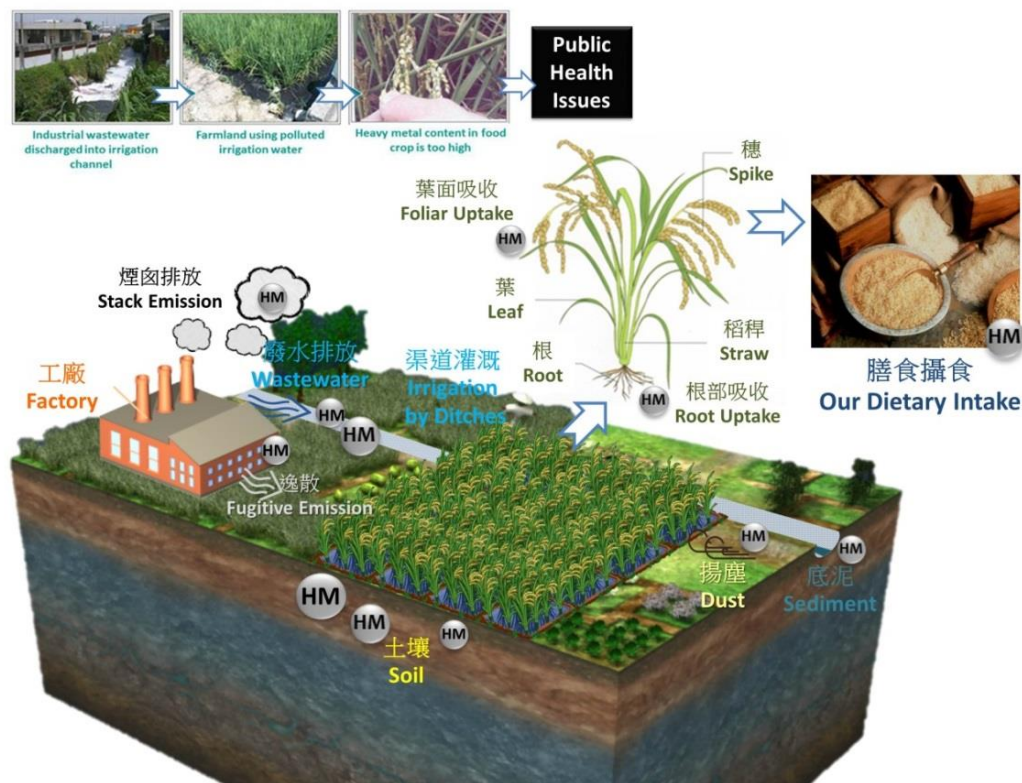


圖 4.1 農地重金屬污染成因與影響途徑（重繪自賴等，2014、Yao *et al.*, 2014a）



圖 4.2 農地土壤與稻作鉛污染案例（重繪自賴等，2014、Yao *et al.*, 2014b）

4.2 農業環境應用案例設計架構

為瞭解臺灣農地土壤與水稻鉛同位素特徵，於 4 個縣市內 6 個地段農地進行現地採樣試驗，另於台中霧峰農試所溫室進行 2 次盆栽試驗（表 4.1），而本研究調查之土壤與作物 1 對 1 採樣對應關係暨輔助樣本說明如表 4.2 所列。

表 4.1 農業環境應用案例試驗設計說明表

試驗別	區域		地段	地號/盆栽編號	調查時期
現地 試驗	台中	烏日	同安厝段 ^a	332, 347	2010 年第 2 期作
			同安厝段 ^b	246-5, 350, 372-1	2013 年
			同安厝段 ^c	245-1, 332, 371	2013 年第 1 期作
			同安厝段 ^c	245-1, 332, 363-1, 371	2013 年第 2 期作
	桃園	中壢	山嶺段 ^a	86, 87, 121, 123, 124	2010 年第 2 期作
		新屋	石磊子段石磊子小段 ^a	661, 870, 886, 1023, 1573	2010 年
		八德	下庄仔段 ^a	572, 581, 581-6, 649-10, 661-2	2010 年
	雲林	虎尾	北平段 ^a	714, 839, 841, 842	2010 年
			北平段 ^a	714, 841	2010 年第 2 期作
			北平段 ^b	841, 853	2013 年
盆栽 試驗	台南	官田	三結義段 ^a	388, 392, 404, 431, 1741	2010 年
	台中	霧峰	農試所溫室 ^c	B4, L5, M5, H5	2013 年第 1 期作
			農試所溫室 ^c	A-1, B3-1, C3-1, D1-1	2013 年第 2 期作

註：^a 配合營運中含鉛製程事業之土壤污染潛調查計畫，^b 配合評析不同萃取方法之鉛同位素組成用於受污染土壤之鑑識，^c 配合農地鉛污染對食用作物影響試驗計畫。

表 4.2 臺灣農業環境系統 1 對 1 調查樣本參照表

地段/項目	土壤編號	植體編號	氣膠/落塵	備註
山嶺段 87	樣點 4	樣點 1		
	樣點 6	樣點 2		
	樣點 7	樣點 3	樣點 1、	
	樣點 8	樣點 4	樣點 2	
	樣點 10	樣點 5		採集至 100 cm 深度土壤樣本
山嶺段 121	樣點 19	樣點 10		
	樣點 20	樣點 11		採集至 100 cm 深度土壤樣本
	樣點 22	樣點 12	樣點 4、	
	樣點 23	樣點 13	樣點 5	
	樣點 24	樣點 14		
山嶺段 124	樣點 15	樣點 6		
	樣點 16	樣點 7		
	樣點 17	樣點 8	樣點 3	採集至 100 cm 深度土壤樣本
	樣點 18	樣點 9		
盆栽試驗 I	背景值組	背景值組		栽於台中霧峰農試所乾淨土壤
	低濃度組	低濃度組		栽於 2013/01/25 取自同安厝段 254-1 之土壤
	中濃度組	中濃度組		
	高濃度組	高濃度組		
盆栽試驗 II	對照組	對照組		栽於台中霧峰農試所乾淨土壤
	根部組	根部組		栽於取自同安厝段 254-1 之高鉛土壤
	葉面組	葉面組		栽於台中霧峰農試所乾淨土壤，於分藥期令葉面接觸 6 次 200 mL 鉛濃度為 40 mg L ⁻¹ 之硫酸鉛液體
				栽於取自同安厝段 254-1 之高鉛土壤，於分藥期令葉面接觸 6 次 200 mL 鉛濃度為 40 mg L ⁻¹ 之硫酸鉛液體
	綜合組	綜合組		

註：未說明者所分析之土壤樣本為 0–15 cm 表土，植體樣本則包含糙米、稻葉與稻根等部位。山嶺段除增加有分藥期（2010/09/15）、開花期（2010/10/26）之植體樣本採集，亦針對水稻假莖與稻穀部位進行分析，對應稻作生育期之落塵樣本蒐集時間為 2010/08/15–09/15、09/15–10/26、10/26–11/23。

表 4.2 臺灣農業環境系統 1 對 1 調查樣本參照表 (續)

地段/項目	土壤編號	植體編號	氣膠/落塵	備註
同安厝段 245-1	2013/05/31	2013/05/31	2013/06/14-15	配合農糧署調查，僅採集表土、糙米樣本
	2013/11/14	2013/11/14	2013/08/30-31、 09/23-24、10/08-09、12/01-02	亦採集開花期 (2013/10/17) 之渠道水與底泥樣本
同安厝段 332	2010/11/11	2010/11/11		配合環保署調查，僅採集表土、80-100 cm 深層土與糙米樣本
	2013/05/31	2013/05/31	2013/05/16-17	配合農糧署調查，僅採集表土、糙米樣本
	2013/11/14 樣點 1	2013/11/14 樣點 1	2013/08/30-31、 09/23-24、10/08-09、12/01-02	亦採集開花期 (2013/11/01) 之灌溉用地下水體樣本
	2013/11/14 樣點 2	2013/11/14 樣點 2		
	2013/12/19 樣點 3	2013/12/19 樣點 3		
同安厝段 347	2010/11/11	2010/11/11		配合環保署調查，僅採集表土、80-100 cm 深層土與糙米樣本
同安厝段 363-1	2013/11/14	2013/11/14	2013/08/30-31、 09/23-24、10/08-09、12/01-02	亦採集開花期 (2013/10/17) 之灌溉用地下水體樣本
同安厝段 371	2013/05/31	2013/05/31	2013/05/16	配合農糧署調查，僅採集表土、糙米樣本
	2013/11/14	2013/11/14	2013/08/30-31、 09/23-24、10/08-09、12/01-02	亦採集開花期 (2013/10/17) 之渠道水與底泥樣本
北平段 714	樣點 6	糙米、花生		亦採集 80-100 cm 深層土樣本
北平段 841	樣點 3	花生		亦採集 80-100 cm 深層土樣本

註：未說明者所分析之土壤樣本為 0-15 cm 表土，植體樣本則包含糙米、稻葉與稻根等部位。山嶺段除增加有分蘗期 (2010/09/15)、開花期 (2010/10/26) 之植體樣本採集，亦針對水稻假莖與稻穀部位進行分析，對應稻作生育期之落塵樣本蒐集時間為 2010/08/15-09/15、09/15-10/26、10/26-11/23。

為釐清鉛與其同位素在土壤與水稻間移轉現象，與賴等（2014）合作執行 2 組盆栽試驗。盆栽試驗 I 比較不同土壤含鉛量對水稻之影響，設計如圖 4.3；盆栽試驗 II 加入模擬空氣含鉛污染物質之影響，對水稻施作硫酸鉛噴灑，設計如圖 4.4。土壤使用同安厝段 254-1 地號移地土壤與農試所背景土，水稻品種均為台南 11 號，係與台中烏日現地相同，並各取 4 組結穗情形佳之土壤與水稻全株 1 對 1 樣本。

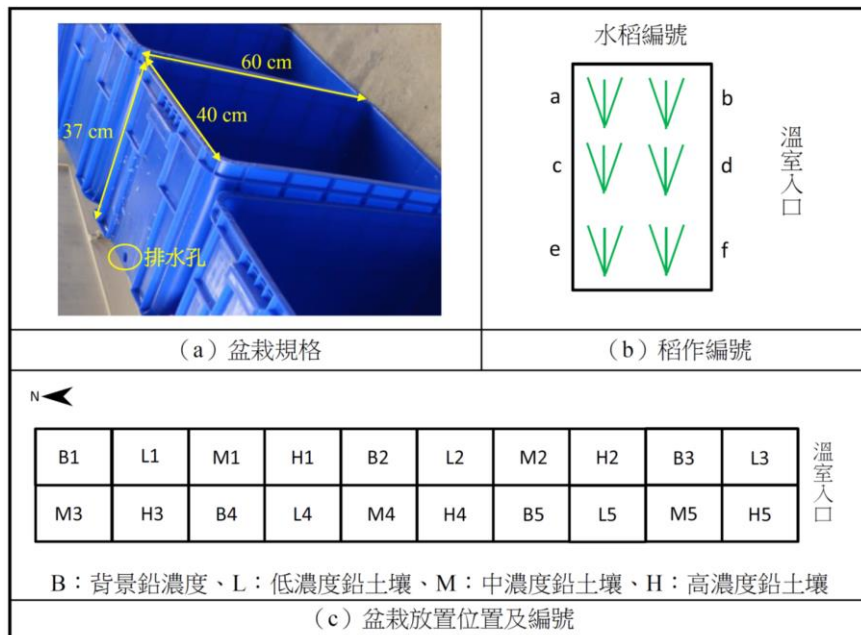


圖 4.3 盆栽試驗 I 設計說明（賴等，2014）

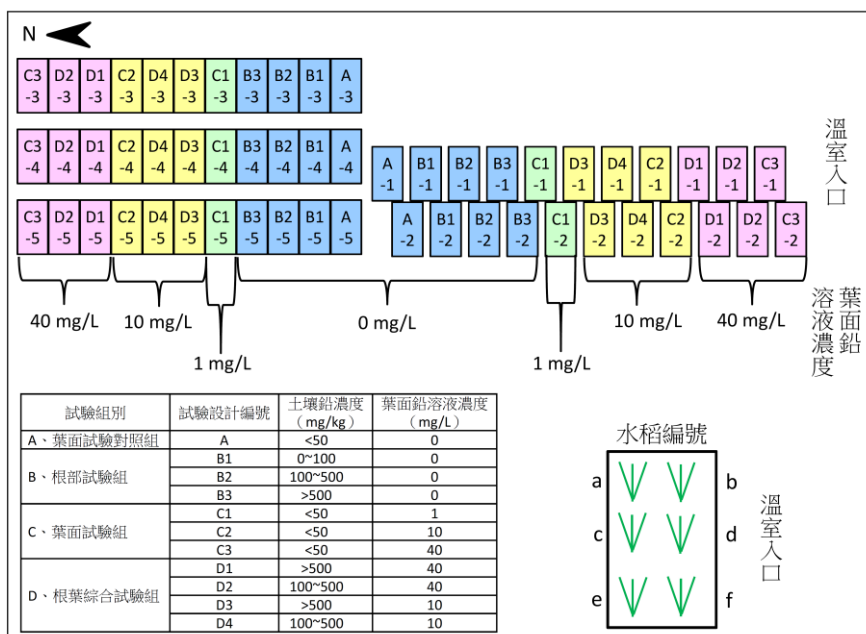


圖 4.4 盆栽試驗 II 設計說明（賴等，2014）



4.3 農業環境應用案例研究場址介紹

4.3.1 台中場址

台中市烏日區同安厝段農地（現勘照片如圖 4.5 所示）位於台中市烏日區烏溪與貓羅溪之間的河川沖積地北端，該地點西方約 2 公里為台 14 線道路，西北方約 10 公里處為中二高快官交流道。農地的面積約 275 公頃，其中有零星工廠。地表地質屬於全新世現代沖積層，沉積物以砂礫為主，偶夾厚薄不一的泥層。地表有一層厚 1 至 3 公尺的表土，覆蓋在十公尺至數十公尺厚而普遍分布的砂質礫石層上。依據農委會水土保持局繪製的坡地土壤的土系圖與土壤調查報告資料顯示，本試驗範圍主要土壤為黏板岩或砂頁岩質之非石灰性沖積土，土壤質地以砂質壤土至玢質壤土為主，排水情形良好，土層一般呈中性至酸性反應。試驗範圍及其鄰近區域之土系為水汴頭（TSp）、翁子系（TWz）及同安厝系（TTw）等。



圖 4.5 台中場址現勘照片

台中市烏日區同安厝段農地之土壤鉛濃度超過土壤污染管制標準，且稻米鉛濃度超過食米重金屬限量標準頻率為最高，又查詢環保署環境保護許可管理資訊系統資料顯示，曾於該區域運作之含鉛製程事業包含威宇金屬科技股份有限公司

(以下簡稱威宇金屬，為無害廢棄物處理業，煙囪高 8 公尺) 及萬力科技股份有限公司 (以下簡稱萬力科技，為甲級清理機構)。收購廢鉛蓄電池並拆解、回收鉛極板以熔煉鉛錠的威宇金屬已於 2011 年解散，萬力科技於 2008 年搬遷至南投縣南崗工業區，原萬力科技廠區則轉為達闢環境工程股份有限公司 (現已更名為達闢友力股份有限公司，煙囪高達 25 公尺) 所有，該公司主要以焚化方式處理醫療廢棄物，其廢氣排放污染物含鉛，為台中市烏日區同安厝段區域現有運作中含鉛製程事業。

4.3.2 桃園場址

桃園場址為西方緊鄰臺灣高鐵及省道 31 號之南璋公司周界農地，區域氣候屬亞熱帶季風型態，年平均氣溫約 23℃。南璋公司於民國 63 年間核准成立，位於桃園縣中壢市，係以顏料化學製造為主要製程程序。廠區內有兩大主要製程：1. 顏料色母製程：原料經由捏合機混合、滾筒研磨分散後，以滾筒成型及粉碎機製成餅狀和粒狀產品。2. 顏料色膏製程：將原料 (鉻酸鉛) 加入研磨機及攪拌機後，製成膏狀成品。實地現勘訪查，得知工廠營運過程中有粉塵逸散現象，尤以色母製造區為甚，據廠方人員表示，配合歐盟環保法規，99 年起不再引進鉻酸鉛作為黃色染料之原物料。

因位於臺地背風坡，雨量稍少，年雨量在 1500 至 2000 公釐左右。春季的梅雨峰及夏季午後對流系統和颱風所引進旺盛的西南氣流，致使區域雨量集中於夏季，冬季乾旱。年平均相對溼度介於 75 至 81% 間。地表特徵是以埤塘、雜作區及荒地所組成，稻作區僅呈零星分布。根據經濟部中央地質調查所繪製之區域地質圖，地表地質屬於更新世店子湖層，地理位置上接近更新世中壢層。表層土壤 (土壤深度為 0-30 公分內) 之質地主要是黏質壤土及粉質黏壤土構成，而深層土壤 (土壤深度為 30-150 公分) 則以粉質黏土為主。距工廠東側 1 公里為雙連溪，西南側 3 公里處有六古溪。灌溉系統為石門水利會過嶺工作站轄區，水源為石門水庫。現勘照片如圖 4.6 所示。

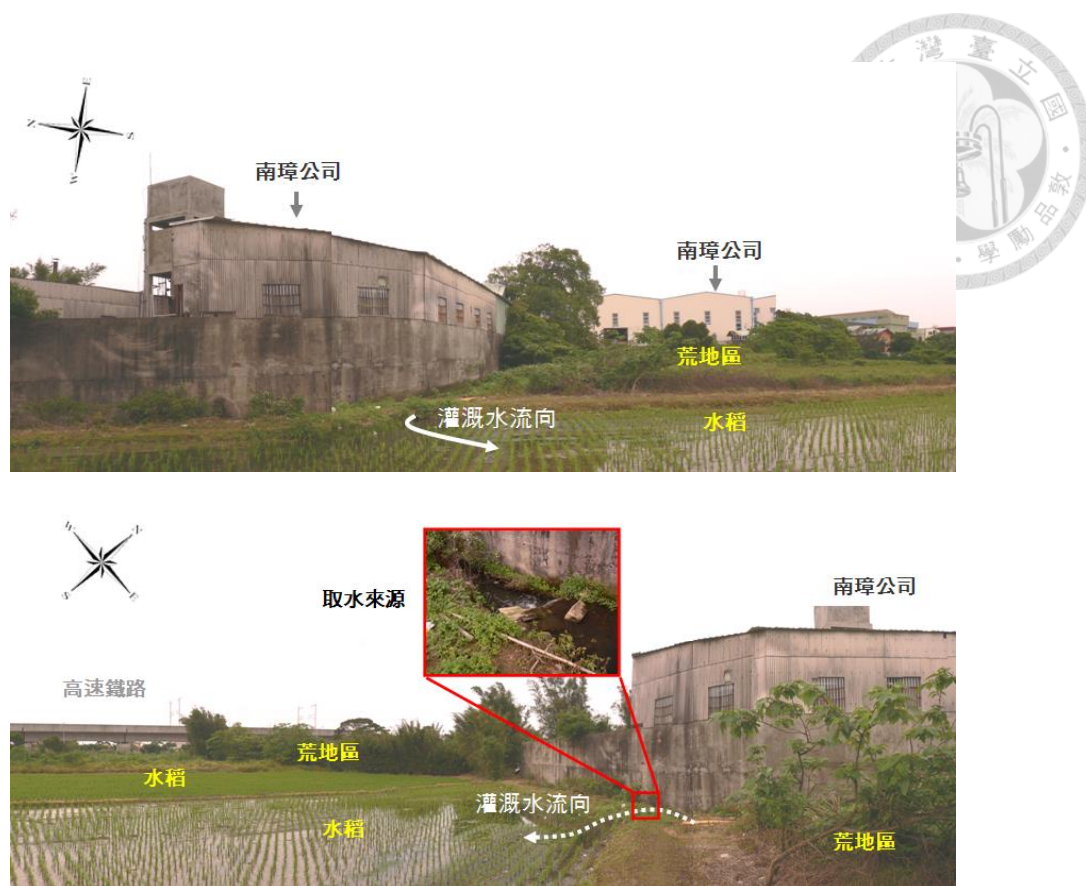


圖 4.6 桃園場址現勘照片（上圖為西方向東方拍攝，下圖為東方向西方拍攝）

4.3.3 其它場址

（一）雲林場址

雲林場址位雲林縣虎尾鎮內，西方 1.5 公里處為臺灣高速鐵路，場址北側緊鄰台 158 線，南、北兩側 2 公里處分別為虎尾溪和新虎尾溪，本區域地表地質主要係沖積層所構成。表層土壤（土壤深度為 0–30 公分內）之質地主要為壤土，深層土壤（土壤深度為 30–150 公分）係以細砂土、壤質細砂土及壤質砂土為主，排水情形為不完全排水狀態，坡度介於 0–5 % 之間。氣候溫暖，屬於亞熱帶地區，一年中氣候平均溫度在攝氏 22 °C 以上之天數達 220 日，相對而言，冬季甚短。年平均氣溫在攝氏 22.86 °C 左右，年氣候溫和，四季變化小。最高溫為七、八月份的 30 °C 或更高溫。年雨量在 1400 公釐左右，降雨期以五至九月較豐沛，約佔全年 65 %。

臺灣色料廠於民國 57 年成立，廠內製程為顏料製造程序。主要係將粉狀原料氧化鉛製成粉狀鉻酸鉛及 PVC 重質安定劑。產品包括機顏料、無機顏料、PVC 安定劑。廠內有兩個製造程序：無機顏料及 PVC 重質安定劑製造，製成過程之倒料、濾餅粉碎、研磨、產品包裝以及集塵灰倒料等階段，皆具有粉塵逸散之潛勢。逸散途徑包括集塵器排放口、煙囪與製程區廠房出口。廠區外圍環境之現勘照片如圖 4.7 所示。

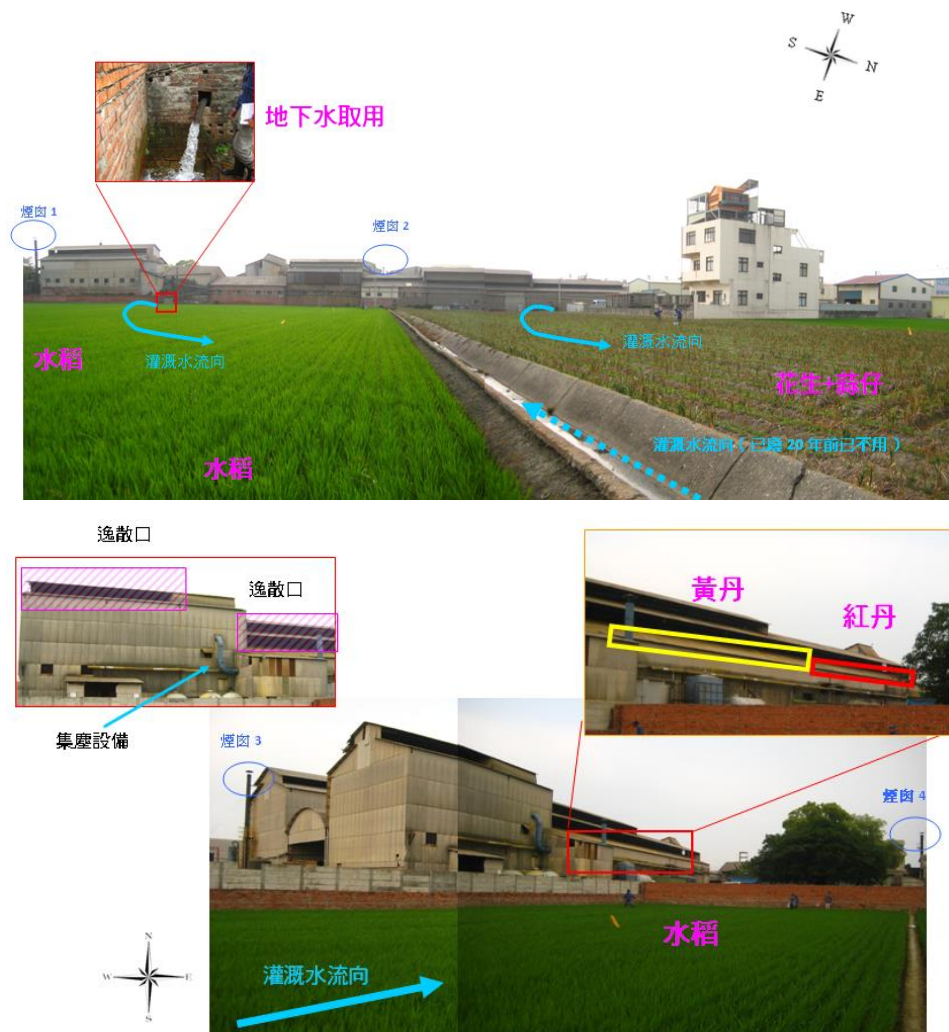


圖 4.7 雲林場址現勘照片（上圖攝像方位為工廠東側，由東北方向西南方拍攝，
下圖攝像方位為工廠西側，由西南方向東北方拍攝）



(二) 其它具人為污染潛勢之案例場址

范等 (2010) 建置之臺灣鉛生命週期物質流資料庫，並篩選高污染潛勢之營運中含鉛製程工廠名單，歸納前六名分屬於鉛蓄電池、顏料化學、煉鋼及油漆化學等四項類別。因此，本研究亦將位於台南官田之臺灣神戶電池公司周界農地、位於桃園新屋之聯成鋼鐵公司周界農地以及位於桃園八德市之新美華造漆公司周界農地的土壤納入調查。

4.4 研究場址布點與採樣作業方法

本研究調查範圍涵蓋 4 個縣市 6 個地段之農業環境，各區域試驗設計如圖 4.8 至圖 4.13 所繪，研究材料為農地土壤、氣膠或落塵、底泥、水等環境介質與農作物植體，樣本採集與前處理方法參考環檢所公告方法與姚 (2008)，鉛同位素分析數量統計於表 4.3。



圖 4.8 台中場址採樣佈點規劃

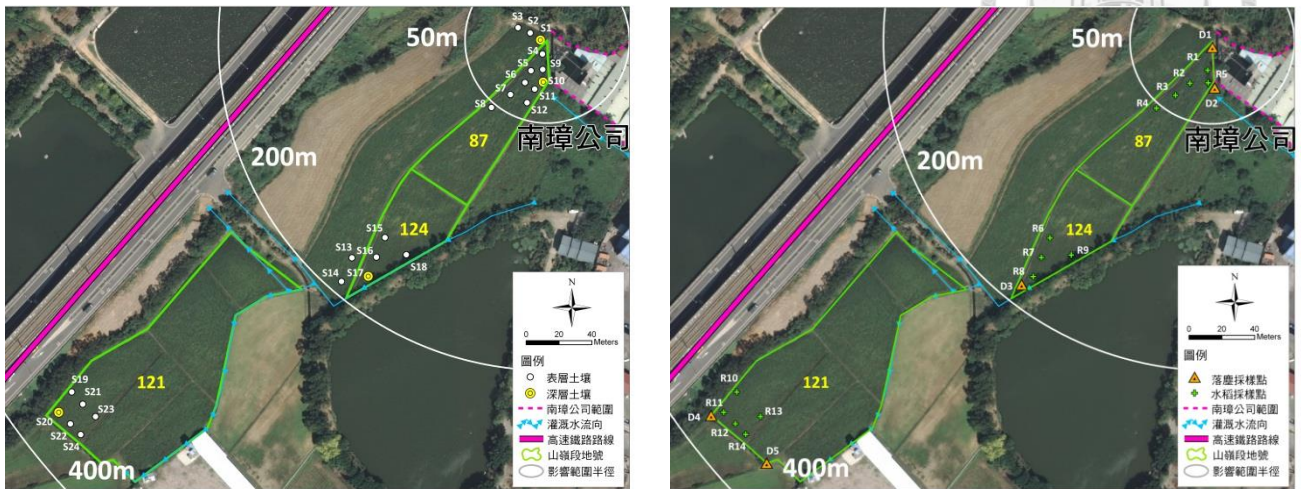


圖 4.9 桃園場址採樣佈點規劃

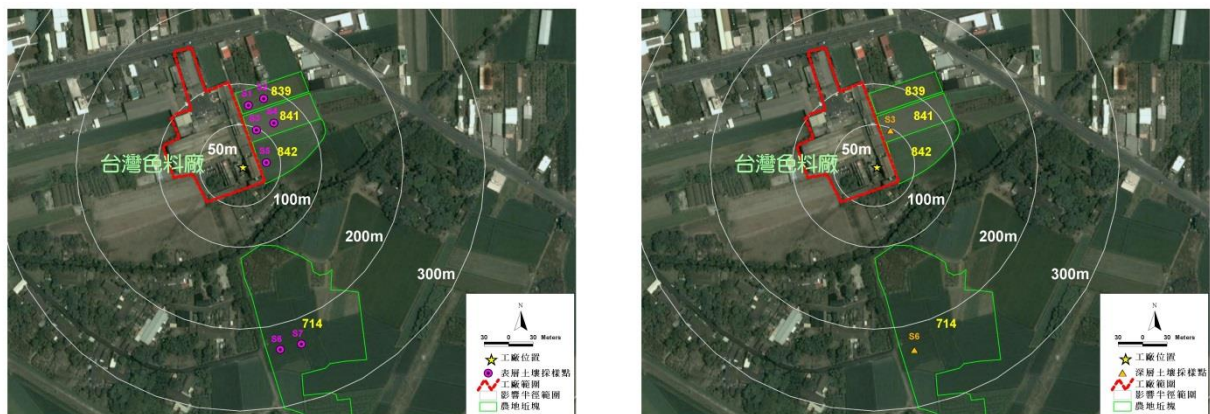


圖 4.10 雲林場址採樣佈點規劃

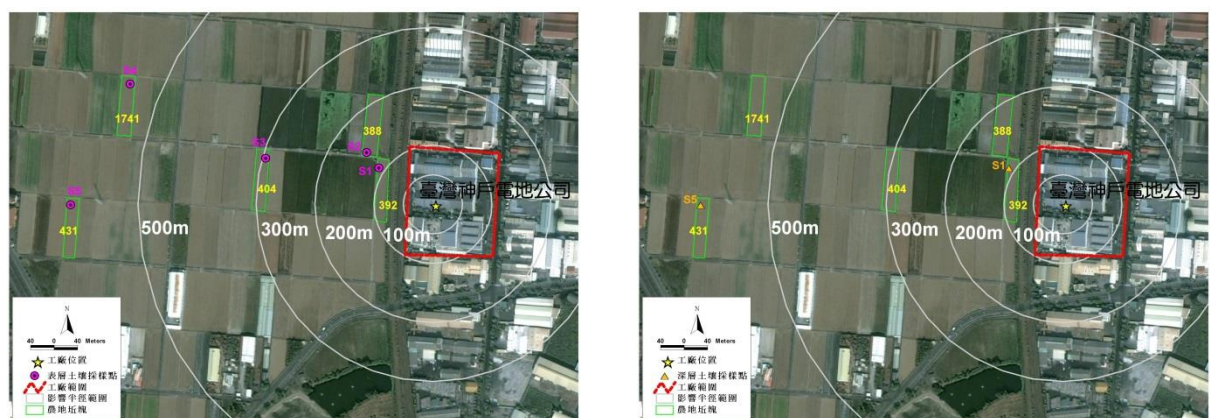


圖 4.11 台南場址採樣佈點規劃

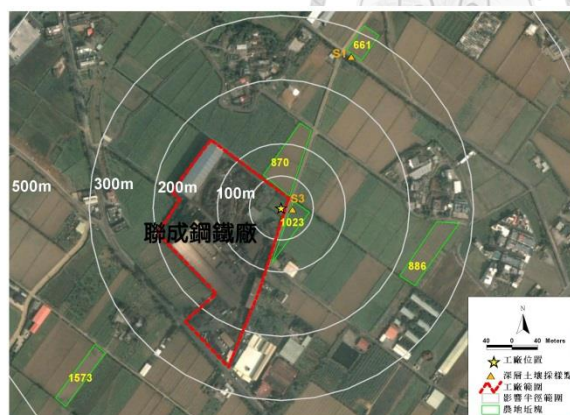
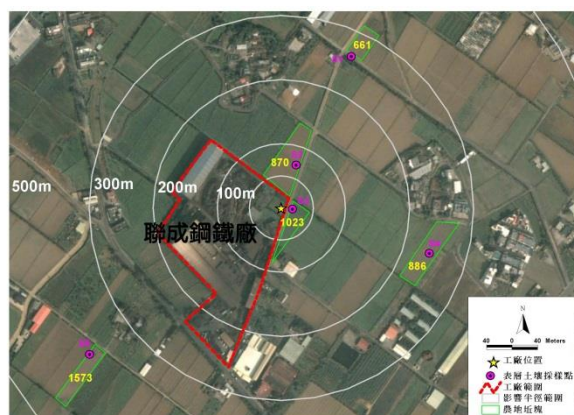


圖 4.12 新屋場址採樣佈點規劃

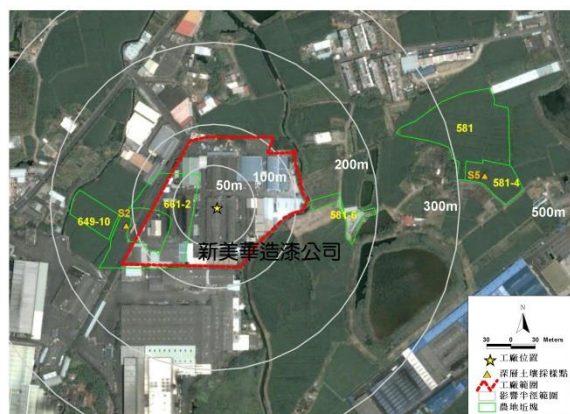
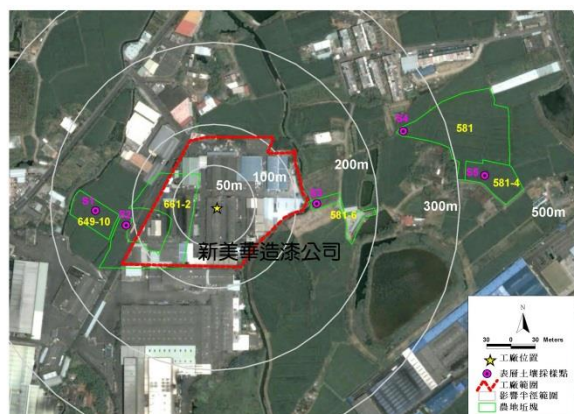


圖 4.13 八德場址採樣佈點規劃



圖 4.14 植體前樣本處理流程

表 4.3 各研究場址樣品分析數量表

區域	地段	土壤	作物	空氣	水	其它	周界製程
桃園市	山嶺段	40	172	15		2	顏料化學
	石磊子段石磊子小段	7					煉鋼
	下庄仔段	7					油漆化學
台中市	同安厝段	36	21	15	4	4	事業廢棄物 再利用處理
	盆栽試驗 I	4	12				無
	盆栽試驗 II	4	12			1	無
雲林縣	北平段	36	3				顏料化學
台南市	三結義段	7					鉛蓄電池

4.5 非農業環境系統應用案例

除前述農業環境系統範疇之調查外，本研究亦配合「臺灣地區油品之穩定性鉛同位素鑑定技術發展與應用」計畫，檢測中油公司與台塑公司販售之 92、95、98 無鉛汽油與柴油鉛同位素特徵，執行期間額外取得 3 組新竹油污場址樣品（圖 4.15）與 3 組中油公司提供之油品相關樣品，亦測量其鉛同位素特徵。



圖 4.15 油污場址採樣過程與取得之樣品





五、建立臺灣各項環境介質之鉛同位素特徵

5.1 臺灣本土樣本鉛同位素檢測研究

由臺灣學者發表之環境介質鉛同位素應用論文如表 5.1 整理，目前仍以地質科學領域為主要鑽研，環境污染鑑識次之。在本論文付梓以前，與鉛同位素相關之臺灣學位論文計有 2 篇博士學位論文與 12 篇碩士學位論文（詳見表 5.2），研析之樣本涵蓋珊瑚、氣膠、雨水、河川水體、河川懸浮顆粒、沉積物、全岩、土壤、油品、彈頭與試驗鼠血鉛等；相關之各項專題研究計畫則羅列於表 5.3。

表 5.1 臺灣鉛同位素相關學術發表彙整

性質	期刊	作者	年份	論文題目
SCI 論文	Journal of Petrology	<u>Wang, K.-L., Chung, S.-L., O'Reilly, S.Y., Sun, S.-S., Shinjo, R., Chen, C.-H.</u>	2004	Geochemical constraints for the genesis of post-collisional magmatism and the geodynamic evolution in the northern Taiwan region
	Atmospheric Environment	<u>Hsu, S.-C., Liu, S.-C., Jeng, W.-L., Chou, C.C.-K., Hsu, R.-T., Huang, Y.-T., Chen, Y.-W.</u>	2006	Lead isotope ratios in ambient aerosols from Taipei, Taiwan: Identifying long-range transport of airborne Pb from the Yangtze Delta
	Journal of Geochemical Exploration	<u>Cheng, M.-C., You, C.-F.</u>	2010	Sources of major ions and heavy metals in rainwater associated with typhoon events in southwestern Taiwan
	Atmospheric Environment	<u>Cheng, M.-C., You, C.-F., Lin, F.-J., Huang, K.-F., Chung, C.-H.</u>	2011	Sources of Cu, Zn, Cd and Pb in rainwater at a subtropical islet offshore northern Taiwan
	Geochemical Journal	Nohda, S., <u>Wang, B.-S., You, C.-F., Shinjo, R.</u>	2011	New supplemental activator for lead isotope analysis using TIMS
	Marine Pollution Bulletin	<u>Wang, B.-S., Goodkin, N.F., Angeline, N., Switzer, A.D., You, C.-F., Huguen, K.</u>	2011	Temporal distributions of anthropogenic Al, Zn and Pb in Hong Kong Porites coral during the last two centuries

註：僅列出作者任職地為臺灣者並以底線表示，部分論文為跨國合作。

表 5.1 臺灣鉛同位素相關學術發表彙整 (續)

性質	期刊	作者	年份	論文題目
SCI 論文	Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences	<u>Ho, K.-S., Liu, Y.,</u> <u>Chen, J.-C., You, C.-F.,</u> <u>Yang, H.-J.</u>	2011	Geochemical characteristics of Cenozoic Jining Basalts of the Western North China Craton: Evidence for the role of the lower crust, lithosphere, and asthenosphere in petrogenesis
	Chemical Geology	<u>Ho, K.-S., Ge, W.-C.,</u> <u>J.-C., You, C.-F., Yang,</u> <u>H.-J., Zhang, Y.-L.</u>	2013	Late Cenozoic magmatic transitions in the central Great Xing'an Range, Northeast China: Geochemical and isotopic constraints on petrogenesis
	International Journal of Environmental Research and Public Health	<u>Yao, P.-H., Shyu, G.-S.,</u> <u>Chang, Y.-F., Chou,</u> <u>Y.-C., Shen, C.-C.,</u> <u>Chou, C.-S., Chang,</u> <u>T.-K.</u>	2015	Lead isotopic characterization of petroleum fuels in Taipei, Taiwan
EI 論文	農業工程學報	<u>張尊國、沈川洲、陳聖</u> <u>堃、羅允杰、鄭百佑、</u> <u>徐貴新、林聖淇</u>	2010	以鉛同位素組成特徵探討臺北關渡 平原農地污染來源
中文學報	海洋与湖沼	<u>刘长华、汪小妹、曾志</u> <u>刚、姜学均、殷学博、</u> <u>陈镇东</u>	2009	台湾东北部龟山島附近海域自然硫 烟囪体的鉛同位素組成及地质意义

註：僅列出作者任職地為臺灣者並以底線表示，部分論文為跨國合作。

表 5.2 臺灣鉛同位素相關學位論文彙整

性質	校系	作者	指導教授	年份	論文題目
博士 論文	國立成功大學 地球科學研究所	鄭妙靜	游鎮烽	2010	利用主要元素、微量元素與鋇鉛同位 素探討大氣中水溶性元素組成之傳 輸與來源
	國立成功大學 地球科學研究所	王博賢	游鎮烽	2011	台灣及香港海域珊瑚骨骼季節至百 年尺度氣候與環境記錄
	國立臺灣大學 生物環境系統工 程學研究所	姚佩萱	張尊國	2015	鉛同位素特徵在土壤與水稻鑑識上 的應用 (本研究)

註：鈾鉛定年論文不在本表整理範圍。

表 5.2 臺灣鉛同位素相關學位論文彙整 (續)

性質	校系	作者	指導教授	年份	論文題目
碩士 論文	國立臺灣大學 職業醫學與工業 衛生研究所	曾琪婷	黃耀輝、 陳保中	2000	鉛蓄電池廠鉛粉塵經攝食後鉛同位 素分佈特性研究
	國立清華大學 原子科學系	楊詔凱	楊末雄	2000	利用感應耦合電漿質譜法及電花剝 蝕感應耦合電漿光譜法應用於彈頭 鉛同位素分析及合金材料中微量元 素的直測分析研究
	國立中山大學 海洋地質及化學 研究所	許峻嵐	洪佳章	2000	高屏海域沈積物重金屬之分佈與污 染史
	國立臺灣大學 地質科學研究所	駱宜民	鍾孫霖	2003	台灣西部井下新生代玄武岩之地球 化學特徵與岩石成因
	國立臺灣大學 地質科學研究所	朱秋紅	鍾孫霖	2005	龜山島高鎂安山岩之岩漿成因
	國立成功大學 地球科學研究所	郭慈穎	楊懷仁、 李德春	2007	南中國海沉積物鋁、鈦、鉛、鉛同位 素對北呂宋島弧地函交代換質作用 之制約
	國立臺灣大學 地質科學研究所	羅允杰	沈川洲	2008	多頻道感應耦合電漿質譜儀之高精 度奈克級鉛同位素分析及關渡平原 案例探討
	國立臺灣大學 生物環境系統工 程學研究所	陳聖堃	張尊國	2008	鉛同位素示蹤法鑑識關渡農地砷、鉛 濃度異常之成因
	國立成功大學 地球科學研究所	連明瑜	游鎮烽	2008	利用水溶性離子鉛同位素變化探討 彭佳嶼大氣懸浮微粒中鉛的來源
	國立臺灣大學 地質科學研究所	周於蓁	沈川洲	2012	珊瑚骨骼中月解析度鉛同位素測量 及其應用
	國立臺灣大學 生物環境系統工 程學研究所	張映昉	張尊國	2012	臺灣油品之鉛同位素特徵及其環境 鑑識應用
	國立成功大學 地球科學研究所	陳易正	游鎮烽	2012	二仁溪河水溶解鉛之分布及來源

註：鈾鉛定年論文不在本表整理範圍。

表 5.3 臺灣鉛同位素相關研究計畫彙整

計畫性質	執行單位	主持人	年份	計畫名稱
科技部(原行政院 國家科學委員會) 補助之專題研究 計畫	國立臺灣大學地質 科學系暨研究所	鍾孫霖	1993 -1994	中國東南晚新生代玄武岩之地球化 與鋁-鈹-鉛同位素組成研究
	國立臺灣大學地質 科學系暨研究所	鍾孫霖	2003 -2004	電漿質譜術之建立與應用(IV): 鋁石 U-Pb 定年
	國立臺灣大學地質 科學系暨研究所	鍾孫霖	2008 -2009	建立世界級地球化學實驗室(4/4) ^a
	中央研究院地球科 學研究所	李德春	2008 -2009	鈾系列同位素地球化學與岩漿庫中 岩漿分化過程之研究(2/2)
	中央研究院地球科 學研究所	王國龍	2011 -2012	以原位(雷射)元素和同位素分析方 法探討岩石圈演化
	國立成功大學地球 科學系(所)	游鎮烽	2011 -2012	解析臺灣周遭環境百年到千年來的 變遷: 沉積物及珊瑚骨骼硼及鉛同位 素記錄(4/4) ^b
	中央研究院地球科 學研究所	王國龍	2012 -2013	以原位(雷射)元素和同位素分析方 法探討岩石圈演化(II)
	國立臺灣大學生物 環境系統工程學系 暨研究所	張尊國	2012 -2013	評析不同萃取方法之鉛同位素組成 用於受污染土壤之鑑識
	美商傑明工程顧問 (股)台灣分公司	范康登	2009 -2011	營運中含鉛製程事業之土壤污染潛 勢調查計畫
行政院環境保護 署委託之應用研 究計畫	美商傑明工程顧問 (股)台灣分公司	賴宣婷	2013 -2014	農地鉛污染對食用作物影響試驗計 畫
	國立臺灣大學生物 環境系統工程學系 暨研究所	張尊國	2011 -2012	臺灣地區油品之穩定性鉛同位素鑑 定技術發展與應用

註：^a 亞洲大地構造運動與環境變遷研究(子計畫三)，^b 同位素及微量元素在環境樣品的紀錄：追溯人類活動對全球變遷的衝擊(子計畫一)。



5.2 臺灣本土樣本鉛同位素檢測數據

5.2.1 臺灣本土樣本鉛同位素檢測數據說明

有鑑於鉛同位素檢測為臺灣新興科學研究，茲彙整本研究與文獻報告（Sun, 1980、Wang *et al.*, 2004、Hsu *et al.*, 2006、許，2000、駱，2003、朱，2005、連，2008、陳，2008、羅，2008、刘等，2009、張等，2010、王，2011、陳，2012、張等，2012、張等，2013），羅列各項臺灣本土樣本鉛同位素檢測數據於本論文附錄，以供後續研究參酌。茲依據樣本基質特性粗分為土壤、作物、氣膠、水體與其它，共五大類，各樣本所屬區域與來源資訊說明詳見表 5.4。

表 5.4 臺灣鉛同位素特徵調查樣本總對照表

縣市	鄉鎮	地段/區域	取樣時間	調查樣本					備註
				土壤	作物	氣膠	水	其它	
台北市	北投區	關渡平原農地（豐年一小段等）	2007、2010	R	V		R		陳（2008）、羅（2008）、張等（2010）
	士林區	大屯火山群						R	Wang <i>et al.</i> （2004）、Sun（1980）
	中正區	公園路	2003/03/07 – 2004/02/19			R			Hsu <i>et al.</i> （2006）
	文山區	興隆路	2012/03/02					V	
新北市	瑞芳區	基隆火山群						R	Wang <i>et al.</i> （2004）、Sun（1980）
基隆市	中正區	彭佳嶼	1997/04/01 – 2000/04/03、1998/01 – 2001/12			R	R		連（2008）、Cheng <i>et al.</i> （2011）
		彭佳嶼、棉花嶼						R	Wang <i>et al.</i> （2004）
桃園市	中壢區	山嶺段	2010/09/15、10/26、11/23	V	V	V		V	

註：V 為本研究檢測，R 為文獻蒐集。

表 5.4 臺灣鉛同位素特徵調查樣本總對照表 (續)

縣市	鄉鎮	地段/區域	取樣時間	調查樣本					備註
				土壤	作物	氣膠	水	其它	
桃園市	新屋區	石磊子段石磊子小段	2010/06/05	V					
	八德區	下庄仔段	2010/06/05	V					
	大溪區	草嶺山						R	Wang <i>et al.</i> (2004)、Sun (1980)
	復興區	角板山						R	Sun (1980)
新竹縣	竹東鎮	二重埔	2012					V	
台中市	烏日區	同安厝段	2010、2013	V	V	V	V	V	
	霧峰區	盆栽試驗	2013	V	V			V	
雲林縣	虎尾鎮	北平段	2010/06/05、2013	V		V			
		北港一號井						R	駱 (2003)
		褒忠一號井						R	駱 (2003)
彰化縣		王功一號井						R	駱 (2003)
台南市	官田區	三結義段	2010/06/05	V					
	東區	成大地科館	2004/06/20—09/15、2010/07				R		Cheng & You (2010)、陳 (2012)
高雄市		二仁溪	2010/07				R	R	陳 (2012)
		前鎮河、高屏溪、高雄港	1996/08、1999/03、04/09、10				R	R	許 (2000)
宜蘭縣		蘭陽溪						R	朱 (2005)
	頭城鎮	龜山島						R	朱 (2005)、劉等 (2009)
花蓮縣		秀姑巒溪、立霧溪						R	朱 (2005)、Sun (1980)
台東縣		台東、蘭嶼						R	Sun (1980)
		綠島	1998/09/10					R	王 (2011)
澎湖縣		澎湖群島						R	Sun (1980)
		通梁一號井						R	駱 (2003)

註：V 為本研究檢測，R 為文獻蒐集。



5.2.2 臺灣本土樣本鉛同位素檢測數據研析

本研究將臺灣地區鉛同位素檢測數據，依據樣本基質特性，粗分為五大類：土壤、作物、氣膠、水體與其它（即土壤、作物、氣膠與水體以外之其它環境介質與人造物質）樣本的鉛同位素特徵（表 5.5），其中，土壤類涵蓋表土、裡土與深層土（附錄表 1）；作物類依是否可供人類食用再分為作物食用部位（如：糙米、花生，附錄表 2）與非食用部位（如：稻殼、稻葉、稻稈、稻根等，附錄表 3）；氣膠類為落塵或氣膠（附錄表 4）；水體類分為包含河川、溫泉、渠道等地表與地下水之水體暨灌溉用水（附錄表 5）與雨水（附錄表 6）；其它類項目包含：底泥或沉積物樣本（附錄表 7）、岩石與珊瑚樣本（附錄表 8），以及肥料、農藥、油品等人造物質（附錄表 9）。本研究調查者以測量值加減其 2 倍標準誤呈現之，取自文獻者則依原文作者提供數值為準。

本研究檢測與蒐集之各類樣品鉛同位素特徵資料分布範圍如表 5.5 所列，在所有調查樣品中，肥料與空氣採樣濾紙之 ^{206}Pb 相關之鉛同位素特徵質與其它樣本明顯不同， $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 高達 21.6， $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 低於 1.85， $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 低於 1.37。

表 5.5 臺灣樣本鉛同位素特徵調查結果

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
土壤	37.17–38.97	15.53–15.69	17.36–18.68	2.086–2.142	0.840–0.895	2.394–2.486	1.118–1.190
作物食用 部位	37.45–40.84	15.56–15.87	17.59–20.18	2.024–2.130	0.786–0.885	2.407–2.574	1.130–1.271
作物非食 用部位	37.22–38.79	15.54–15.67	17.33–18.51	2.092–2.147	0.847–0.896	2.395–2.475	1.116–1.181
氣膠	37.66–38.16	15.59–15.65	17.68–18.25	2.091–2.130	0.857–0.882	2.373–2.451	1.130–1.167
水體	37.98–38.64	15.62–15.67	18.00–18.41	2.099–2.110	0.851–0.868	2.431–2.483	1.139–1.184
雨水	NA	NA	NA	2.082–2.113	NA	2.412–2.452	1.120–1.183
底泥	38.84–39.18	15.64–15.68	18.51–18.72	2.098–2.160	0.845–0.847	2.328–2.519	1.101–1.183
岩石與珊 瑚*	37.70–39.10	15.45–15.69	17.75–18.87	2.090–2.109	0.856–0.868	2.431–2.741	1.153–1.356
人造物質	37.60–39.80	15.54–16.03	17.73–21.76	1.778–2.152	0.730–0.878	2.239–2.497	1.042–1.371

註：*不包含許（2000），NA 為無資料。



5.3 臺灣樣本鉛同位素特徵與國際文獻比較

有鑑於作物鉛同位素特徵研究相較氣膠、土壤等環境介質研究少，特彙整本研究與前人對穀物鉛同位素特徵的研究於表 5.6。表 5.6 羅列稻米、大麥、小麥以及玉米等 4 種作物鉛同位素特徵，單就作物別區分，稻米的 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比值落於 1.960–2.127 之間，最小值出現在美國，最大值出現在臺灣關渡；大麥的 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比值落於 1.961–2.219 之間，最大、小值均來自澳洲，小麥的 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比值則落於 1.888–2.167 之間，最大、小值均來自澳洲； $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比值分布範圍以小麥最為廣泛。比對各作物之產地資訊，產自澳洲的大麥鉛同位素特徵分布較美國、加拿大與日本等其它國家生產者為廣，小麥也觀察有相似的情形，相較之下，Ariyama *et al.* (2011) 取自日本境內不同區域的各類穀物，同位素特徵相近 (表 5.6)。

Ariyama 的研究團隊在隔年更將稻米檢測的樣本數量提升至 350 筆，包含日本 200 筆、美國 50 筆、中國 50 筆、泰國 50 筆，其中，中國與泰國樣品均為白米，而除了泰國白米樣品均為秈稻品種外，其餘樣品均為梗稻品種。由於 Ariyama *et al.* (2012) 的研究論文未提供原始數據，茲將所蒐集到的稻米數據取相同座標繪圖，併呈於圖 5.1。因前人研究曾指出鋇同位素於作物不同部位並無差異，於作物與土壤之間亦然，顯示陸域生態系統內重元素之同位素難以發生分化，故 Ariyama *et al.* (2011、2012) 試圖以鋇及鉛同位素比值進行穀物產地判別，但圖 5.1 呈現之結果發現亞洲稻米鉛同位素特徵重疊，不易判讀。然而，圖 5.2 亦顯示產自中國南京鉛鋅礦區周界農地 6 種蔬菜，無論鉛濃度、 $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 或 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 比值，在土壤與蔬菜根系、莖葉等不同部位，有不同之表現。

另於表 5.7 彙整臺灣與鄰近地區氣膠鉛同位素特徵，表 5.8 則彙整各國油品鉛同位素特徵，僅列入實際檢測油品者，並不包含以環境介質回推之推估值。

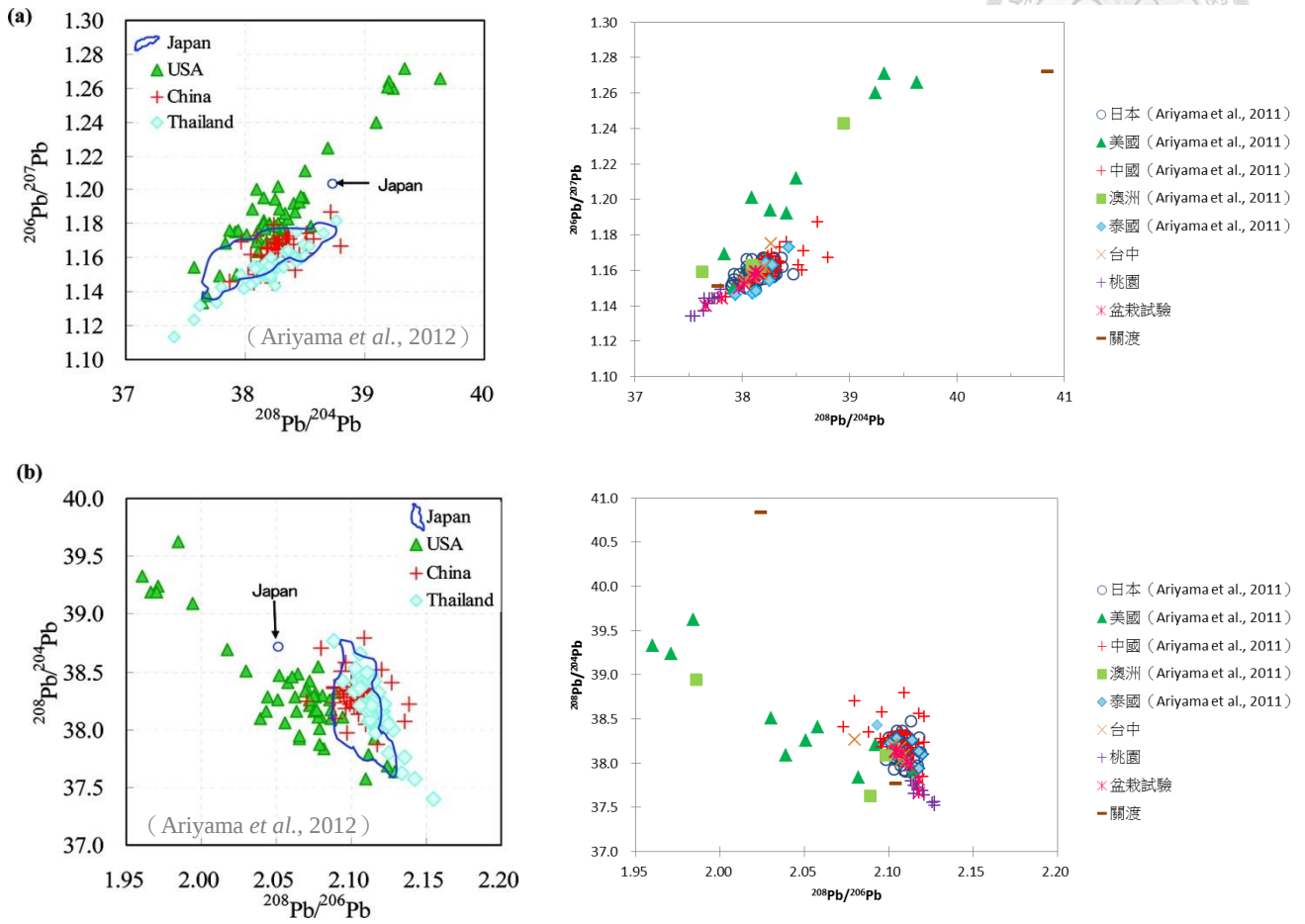


圖 5.1 各國稻米鉛同位素特徵分布

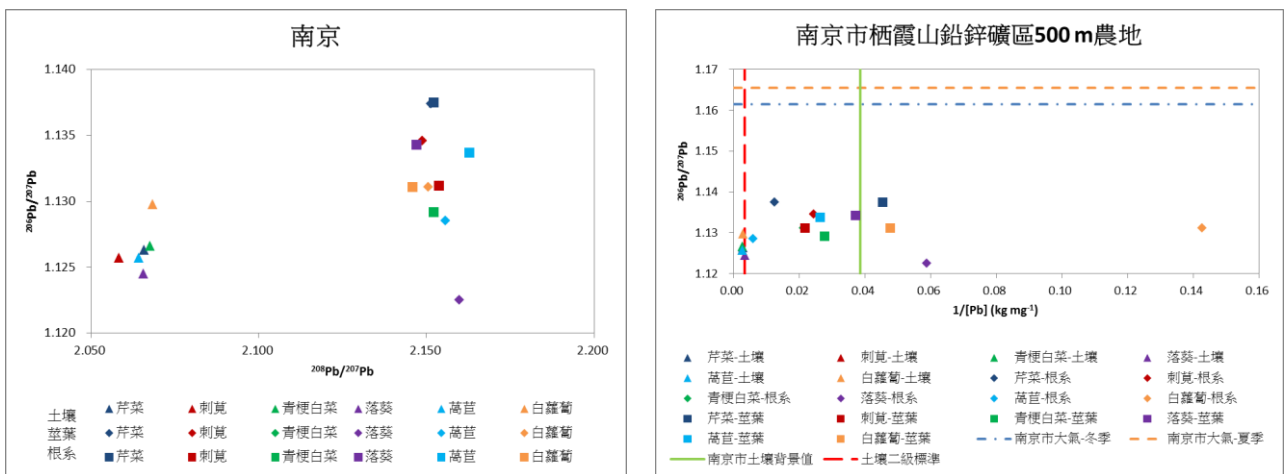


圖 5.2 南京鉛鋅礦區周界農地蔬菜與土壤鉛同位素特徵 (重繪自胡、曹，2009)

表 5.6 各國穀物稻米鉛同位素特徵範圍

國家	項目	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	出處
日本	稻米 (n=50)	2.097–2.119	2.429–2.456	1.149–1.167	17.924–18.235	Ariyama <i>et al.</i> (2011)
	大麥 (n=221)	2.092–2.145	2.406–2.464	1.122–1.169	17.470–18.288	
	小麥 (n=44)	2.099–2.119	2.421–2.459	1.149–1.168	17.921–18.208	
澳洲	稻米 (n=4)	1.986–2.103	2.421–2.470	1.159–1.243	18.012–19.608	
	大麥 (n=50)	1.961–2.219	2.326–2.626	1.049–1.297	16.142–20.951	
	小麥 (n=16)	1.888–2.167	2.376–2.592	1.097–1.354	17.001–22.139	
美國	稻米 (n=11)	1.960–2.115	2.433–2.511	1.150–1.271	17.928–20.064	
	大麥 (n=20)	1.963–2.132	2.411–2.486	1.131–1.266	17.599–19.984	
	小麥 (n=21)	1.948–2.104	2.426–2.491	1.161–1.279	18.051–20.161	
加拿大	大麥 (n=30)	2.017–2.110	2.416–2.486	1.150–1.224	17.931–19.242	
	小麥 (n=12)	2.034–2.105	2.432–2.459	1.156–1.205	17.928–18.936	
泰國	稻米 (n=7)	2.093–2.120	2.427–2.455	1.146–1.173	17.912–18.362	
	稻米 (n=31)	2.073–2.121	2.428–2.470	1.145–1.187	17.854–18.608	
中國	稻米 (n=4)	2.078–2.097	NA	1.177–1.195	NA	Wang <i>et al.</i> (2013)
	小麥 (n=3)	2.078–2.082	NA	1.194–1.195	NA	
	玉米 (n=3)	2.091–2.104	NA	1.180–1.181	NA	Bi <i>et al.</i> (2009)
臺灣	糙米 (n=32*)	2.024–2.127	2.411–2.574	1.134–1.272	17.638–20.182	本研究

註：最小值–最大值。Ariyama *et al.* (2011) 提供之原始數據為 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ，為方便統一比較，本研究將其數值轉換成 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 。*包含 11 筆桃園、11 筆台中、8 筆盆栽試驗、2 筆關渡平原糙米檢測數據，扣除複驗、複測、重複、未經清洗或測量異常者。

表 5.7 臺灣與鄰近地區氣膠鉛同位素特徵比較表

國家	項目	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	出處
中國	香港大氣	1.149	2.440	Mukai <i>et al.</i> (2001)
	北京 1998 年大氣	1.141	2.435	Zhu <i>et al.</i> (2001)
	長江三角洲汽車排氣	1.160	2.423	
	上海	1.162	2.445	Zheng <i>et al.</i> (2004)
韓國	濟州島	1.148	2.444	Oh <i>et al.</i> (2004)
日本	隱岐群島	1.149	2.436	Mukai <i>et al.</i> (1994)
臺灣	台北 PM ₁₀	1.132–1.157	2.378–2.427	Hsu <i>et al.</i> (2006)
	彭佳嶼	1.152–1.156	2.431–2.451	連 (2008)
	桃園 2010 年落塵	1.155–1.158	2.434–2.437	本研究
	台中 2013 年	1.152–1.157	2.428–2.440	

表 5.8 各國油品鉛同位素特徵比較表

國家	屬性	年代	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	出處
Austria	leaded gasoline	1990	NA	1.111	NA	Hopper <i>et al.</i> (1991)
Finland	gasoline	1987	NA	1.122–1.159	17.42–18.00	Keinonen (1990)
France	gasoline	1995	2.172–2.198	1.069–1.094	16.56–17.07	Monna <i>et al.</i> (1997)
Germany	leaded gasoline	NA	NA	1.10	NA	Krause <i>et al.</i> (1993)
Hungary	leaded gasoline	1990	NA	1.072	NA	Hopper <i>et al.</i> (1991)
Israel	91 gasoline	1995	2.148–2.158	1.094–1.110	NA	Erel <i>et al.</i> (1997)
	96 gasoline	1995	2.142–2.147	1.108–1.119	NA	
	unleaded gasoline	1995	2.112–2.142	1.108–1.146	NA	
Mexico	leaded gasoline	1988–1989	2.049–2.055	1.202–1.204	18.69–18.73	Sañudo-Wilhelmy and Flegal (1994)
Netherlands	leaded gasoline	1990	NA	1.062	NA	Hopper <i>et al.</i> (1991)
Poland	leaded gasoline	1988	NA	1.174	NA	Hopper <i>et al.</i> (1991)
Russia	leaded gasoline	NA	2.117–2.129	1.135–1.149	NA	Mukai <i>et al.</i> (1994)
Switzerland	leaded petrol	1996–1997	2.116–2.179	1.075–1.358	16.59–17.63	Chiaradia and Cupelin (2000)
	diesel	1997	2.146	1.110	17.29	
UK	leaded gasoline	1989–1998	NA	1.056–1.098	NA	Farmer <i>et al.</i> (2000)
		NA	NA	1.07	NA	Krause <i>et al.</i> (1993)
		1994	1.189–2.197	1.059–1.079	16.50–16.72	Monna <i>et al.</i> (1997)
USA	leaded gasoline	1964	NA	1.115–1.160	17.38–18.14	Chow & Johnstone (1965)
	unleaded gasoline	1997–1999	NA	1.190–1.240	18.40–19.50	Hurst (2002)
Taiwan	unleaded gasoline	2012	2.102–2.129	1.139–1.152	17.73–17.96	Yao <i>et al.</i> (2015)
	diesel	2012	2.105–2.122	1.144–1.157	17.81–17.98	

註：NA 表示未提供數值。





六、鉛同位素於環境污染源鑑識應用及其限制探討

6.1 物化環境間流佈

6.1.1 土壤污染鑑識案例

(一) 各場址鉛同位素特徵鑑識

本研究鑑定來自臺灣不同區域之農地土壤鉛同位素特徵，其鉛濃度範圍為 22.5 至 1430 mg kg⁻¹ (王水全量消化)，鉛濃度最低者係 2010 年採集自桃園山嶺段 121 地號，最高者為 2013 年 11 月採集自同安厝段 332 地號 (均為 0 – 15 公分表土樣品)。儘管臺灣現行土壤列管辦法是以地號為單元，若其內採樣數據超過單項管制標準 (如鉛：500 mg kg⁻¹) 即進行管制公告，但土壤重金屬濃度之空間變異性高，故同一地號內之不同採樣點會有測值不一之可能，例如，同安厝段 332 地號 2010 年調查為 98.1 mg kg⁻¹，2013 年調查值為 95.5、116、161、1430 mg kg⁻¹，而環保署歷史調查則介於 99.3 – 152.0 mg kg⁻¹。

依地段區分為桃園場址山嶺段、桃園場址石磊子段石磊子小段、桃園場址下庄子段、台中場址烏日段、雲林場址北平段、台南場址三結義段，分別繪製鉛同位素特徵與濃度倒數關係圖 (圖 6.1、圖 6.3、圖 6.5、圖 6.7、圖 6.9、圖 6.11) 與鉛同位素特徵綜合比較圖 (圖 6.2、圖 6.4、圖 6.6、圖 6.8、圖 6.10、圖 6.12)。除了 ²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb 與 ²⁰⁶Pb/²⁰⁷Pb 之散布圖以外，背景土壤之數據均位於圖面右方；鉛同位素特徵與濃度倒數關係圖中，濃度倒數值 0.04 代表其鉛濃度 25 mg kg⁻¹ (全國土壤背景濃度)，對應土壤監測、管制標準之轉換值為 0.0033、0.0020。檢視環境領域應用常探討的綜合比較圖之判讀度與解釋力，在本研究中發現，以 ²⁰⁸Pb/²⁰⁷Pb 與 ²⁰⁶Pb/²⁰⁷Pb 之散布圖較 ²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb 與 ²⁰⁶Pb/²⁰⁷Pb 之散布圖更能呈現土壤特徵與協助污染判釋。

桃園市中壢區山嶺段 86、87 地號緊鄰顏料化學製程事業，123、124 地號位在其半徑 200 公尺內，121 地號則距離工廠排煙口 400 公尺遠，共佈有 24 個土壤採樣點，除採集 0 至 15 公分表土樣品外，86、87、121、124 地號內各有一處垂直剖面採樣（採集至 100 公分深層土壤）。

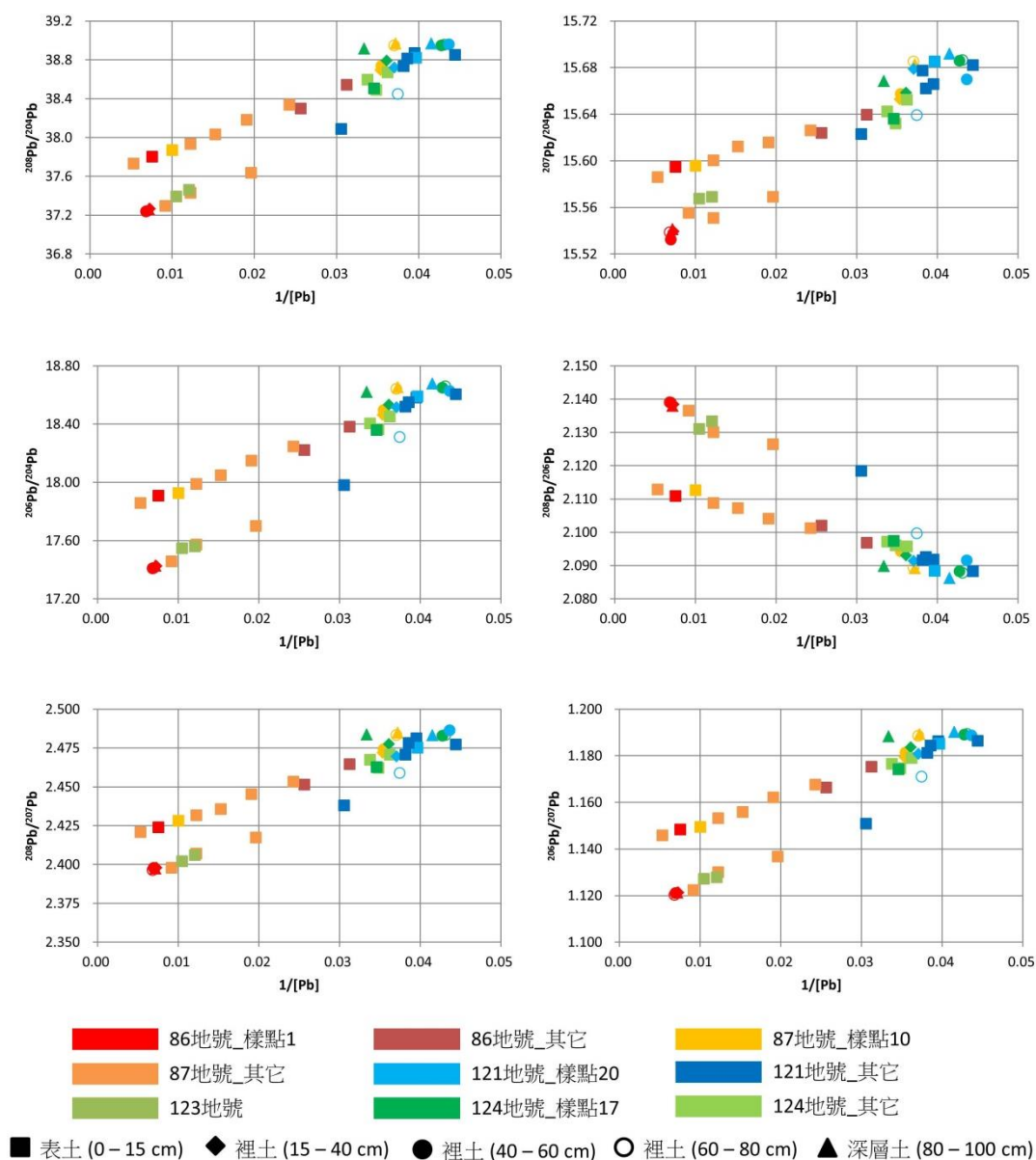


圖 6.1 桃園場址（山嶺段）之土壤鉛同位素特徵與鉛濃度倒數關係

86 地號表土鉛濃度為 $32.6 - 132 \text{ mg kg}^{-1}$ ，裡土與深層土鉛濃度為 $137 - 146 \text{ mg kg}^{-1}$ ；87 地號表土鉛濃度為 $41.2 - 188 \text{ mg kg}^{-1}$ ，裡土與深層土鉛濃度為 $26.9 - 28.3 \text{ mg kg}^{-1}$ ；121 地號表土鉛濃度為 $22.5 - 32.7 \text{ mg kg}^{-1}$ ，裡土與深層土鉛濃度為 $22.9 - 27 \text{ mg kg}^{-1}$ ；123 地號表土鉛濃度為 $82.9 - 95.1 \text{ mg kg}^{-1}$ ；124 地號表土鉛濃度為 $27.6 - 29.6 \text{ mg kg}^{-1}$ ，裡土與深層土鉛濃度為 $23.2 - 30 \text{ mg kg}^{-1}$ ，以上測值均未超過土壤鉛管制標準。

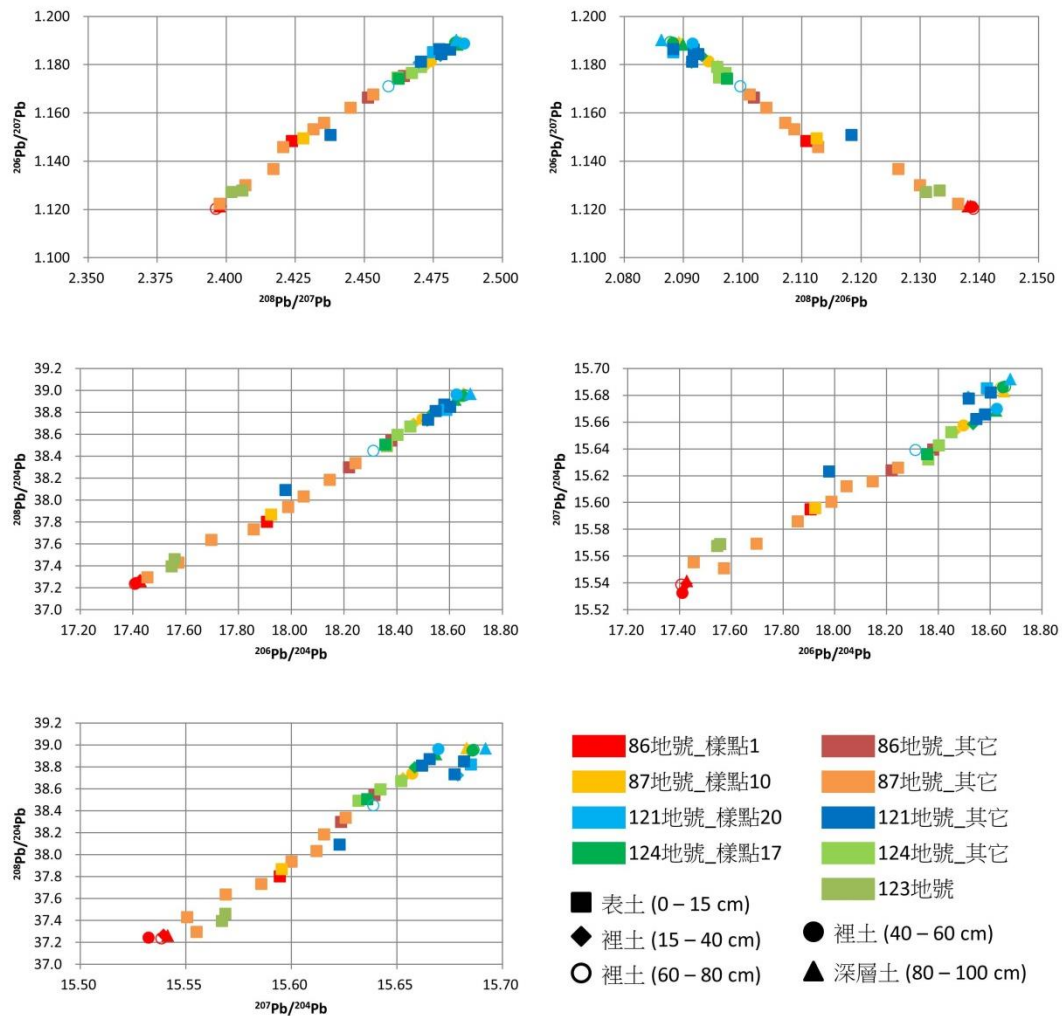


圖 6.2 桃園場址（山嶺段）之土壤鉛同位素特徵綜合比較

石磊子段石磊子小段位於桃園市新屋區，1023 地號緊鄰煉鋼製程事業，870 地號距之約 100 公尺，661、886 地號落在影響半徑 300 公尺區域內，1573 地號則在其外。於 661 與 1023 地號，採集 0 至 15 公分表土與 80 至 100 公分深層土各 1 組，其餘地號僅採集 1 組表土樣品。

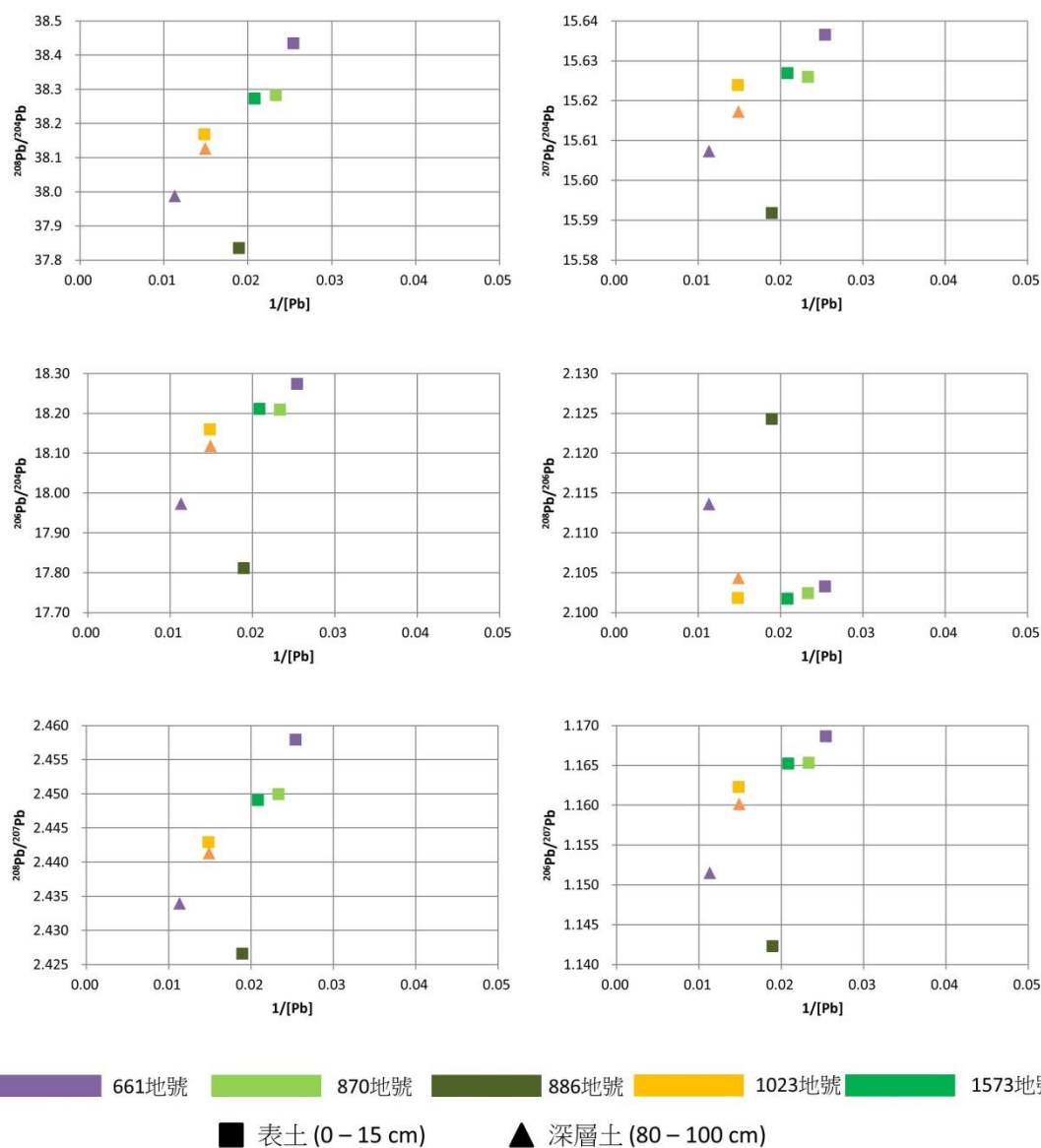


圖 6.3 桃園場址（石磊子段石磊子小段）之土壤鉛同位素特徵與鉛濃度倒數關係

661 地號表土鉛濃度為 39.3 mg kg^{-1} ，深層土鉛濃度為 88.6 mg kg^{-1} ；1023 地號表土鉛濃度為 67.4 mg kg^{-1} ，深層土鉛濃度為 67.1 mg kg^{-1} ；870、886、1573 地號表土鉛濃度為 $42.8 - 52.8 \text{ mg kg}^{-1}$ 不等，以上測值均未超過土壤鉛管制標準。

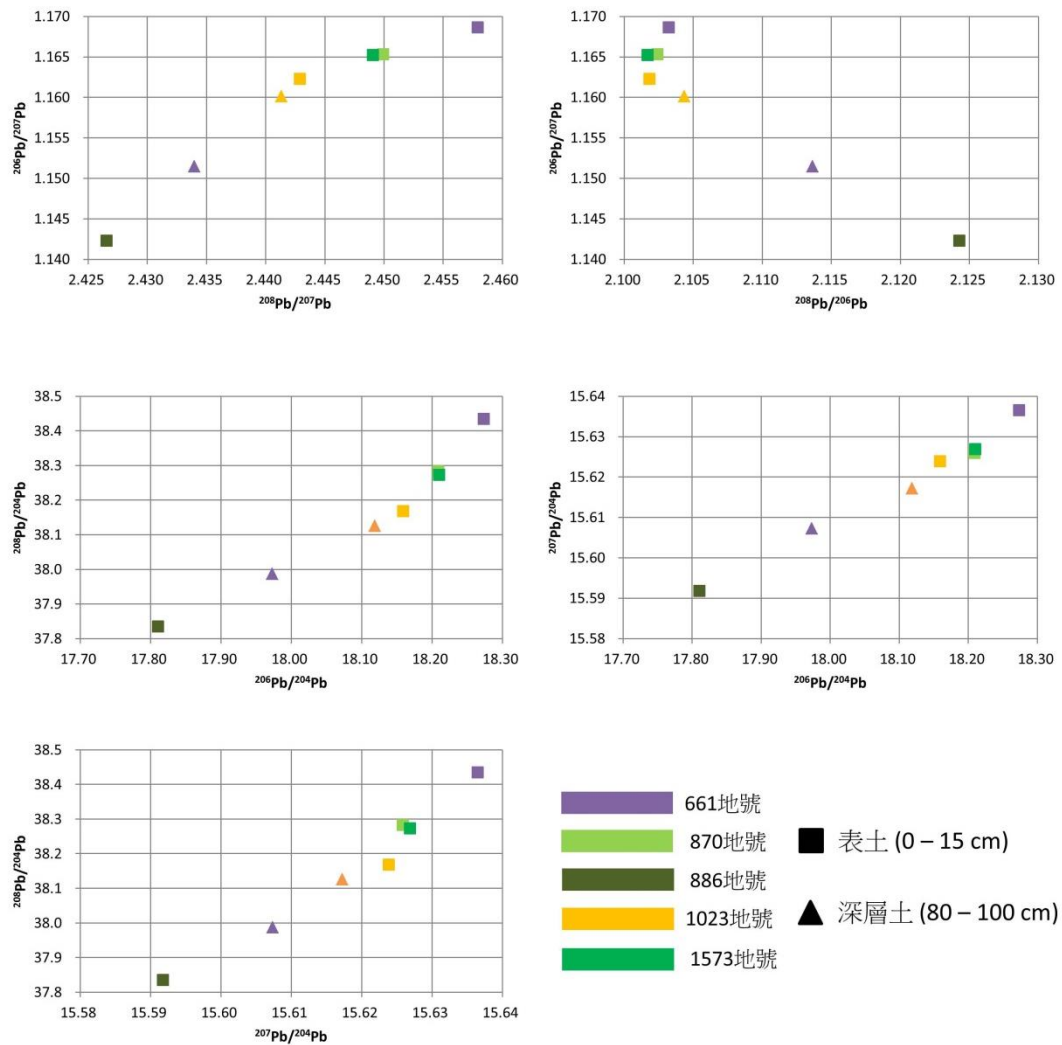


圖 6.4 桃園場址（石磊子段石磊子小段）之土壤鉛同位素特徵綜合比較

下庄子段位於桃園市八德區，調查區域內有油漆化學製程事業，581-6 與 661-2 地號緊鄰之，分位於廠房之東方與西方，而 649-10 地號調查點在 661-2 地號西方 35 公尺處，581 地號落在影響半徑 300 公尺區域內，572 地號則在其外。於 572 與 661-2 地號，採集 0 至 15 公分表土與 80 至 100 公分深層土各 1 組，其餘地號僅採集 1 組表土樣品。

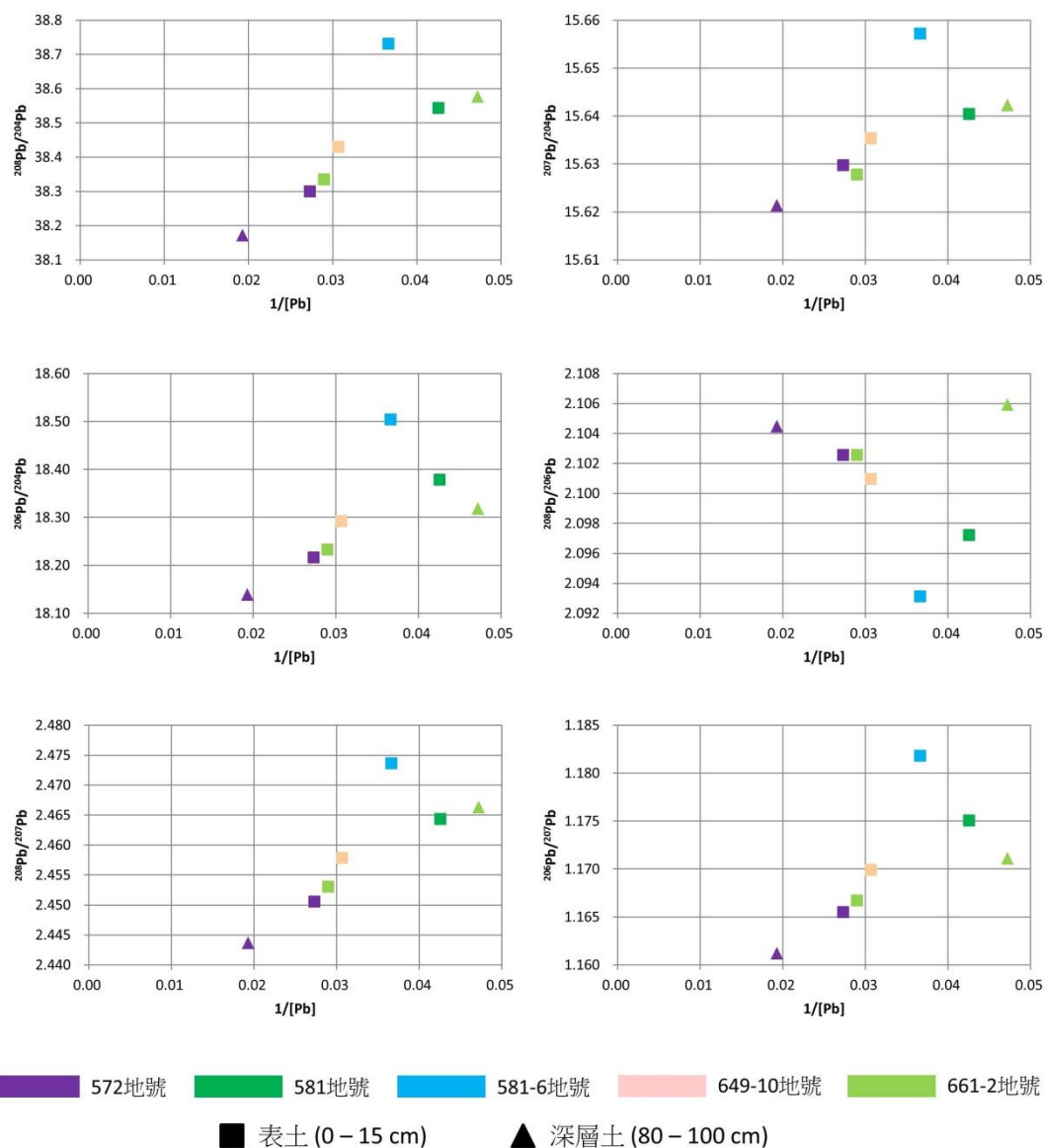


圖 6.5 桃園場址（下庄子段）之土壤鉛同位素特徵與鉛濃度倒數關係

572 地號表土鉛濃度為 36.6 mg kg^{-1} ，深層土鉛濃度為 51.9 mg kg^{-1} ；661-2 地號表土鉛濃度為 34.5 mg kg^{-1} ，深層土鉛濃度為 21.2 mg kg^{-1} ；581、581-6、649-10 地號表土鉛濃度為 $32.6 - 51.9 \text{ mg kg}^{-1}$ 不等，以上測值均未超過土壤鉛管制標準。

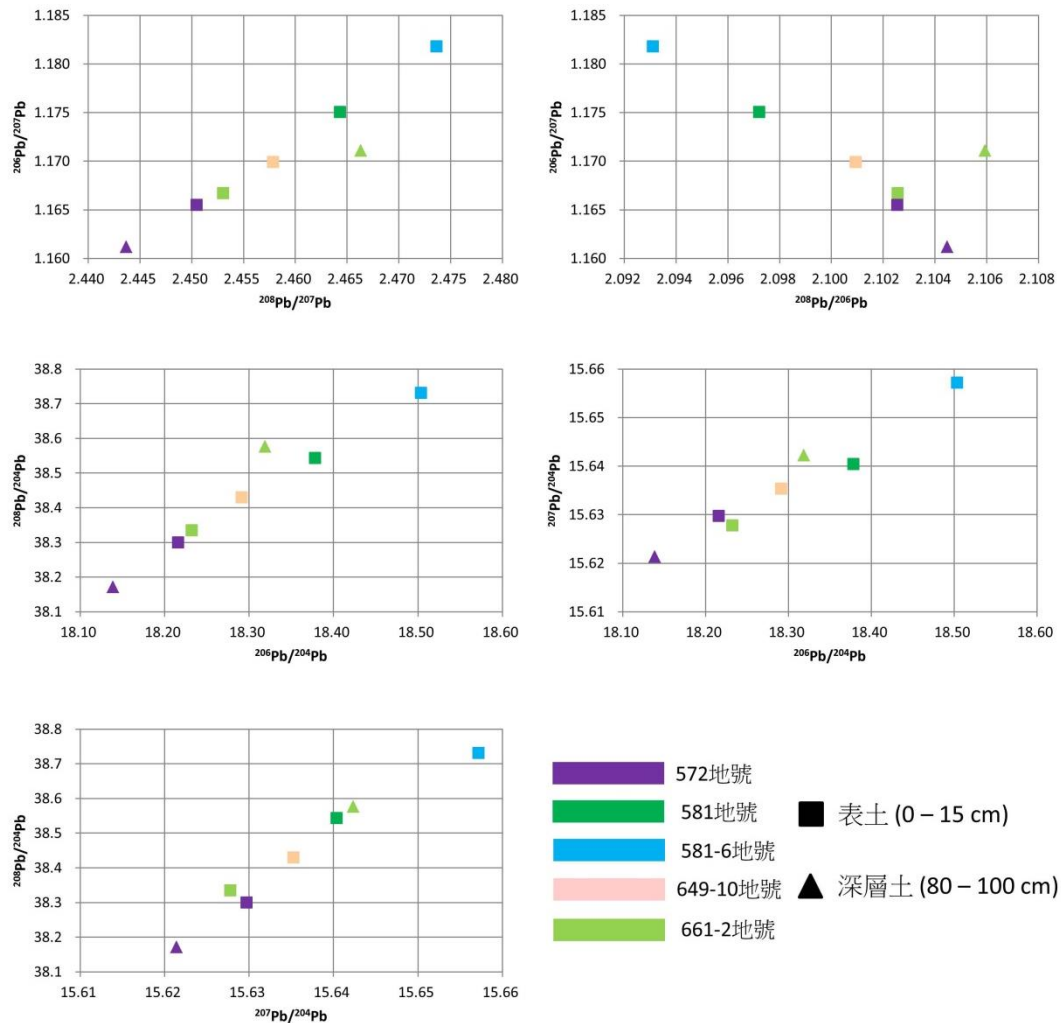


圖 6.6 桃園場址（下庄子段）之土壤鉛同位素特徵綜合比較

台中市烏日區同安厝段農地之土壤鉛同位素調查資料跨越年度，包含有 2010 年第 2 期作與 2013 年第 1、2 期作之採集，同時也將張等（2013）調查之王水全量分析數據與本研究位於台中之盆栽試驗數據納入，以研析此一場址土壤鉛同位素特徵。同安厝段調查地號為 245-1、246-5、254-1、332、347、350、363-1、371，其中，332、347 曾於 2010 年採集 80 至 100 公分之深層土樣品，張等（2013）調查之 246-5、350 和 372-1 地號則包含 15 至 30 公分裡土與 30 公分以下之深層土。

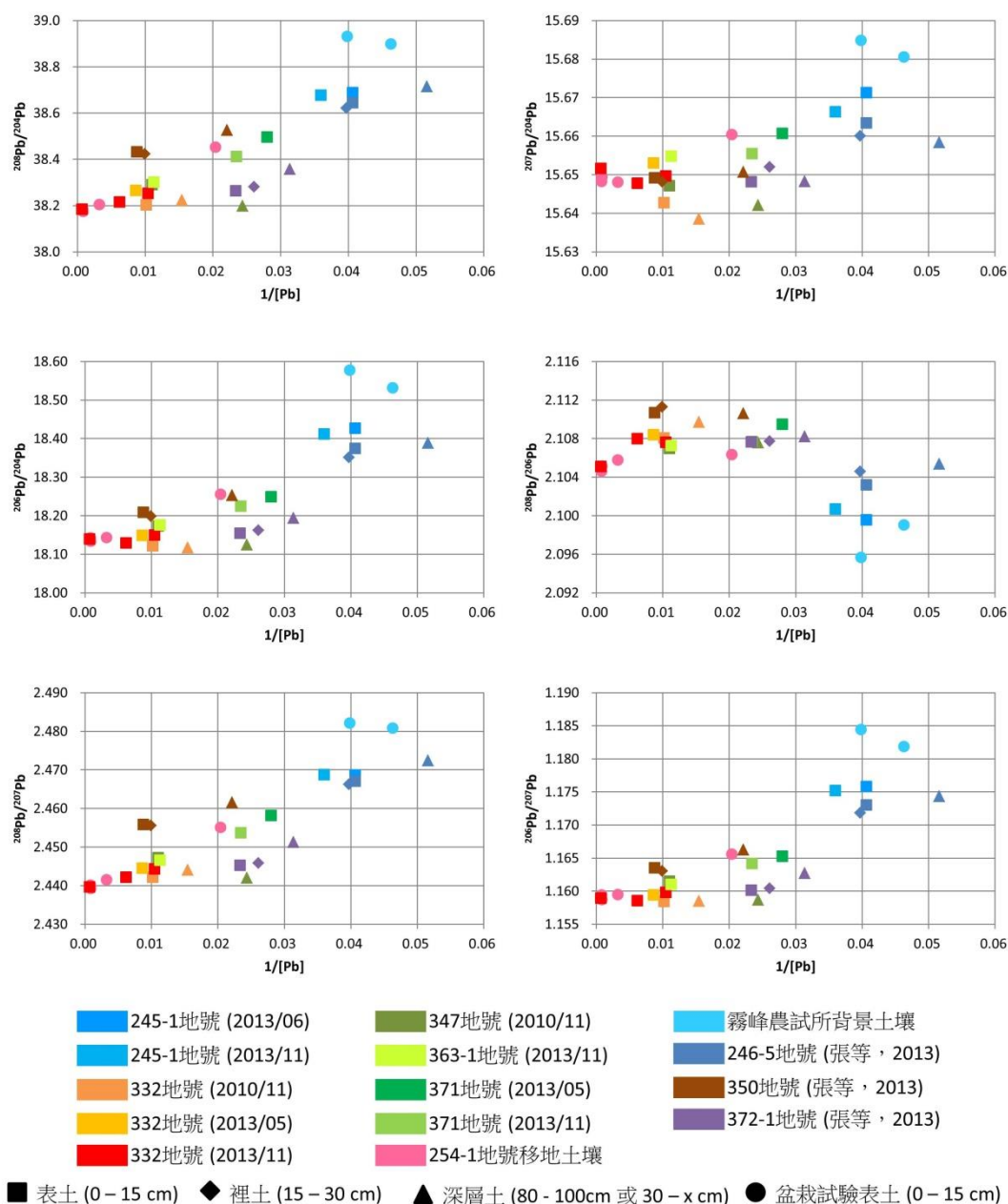


圖 6.7 台中場址（同安厝段）之土壤鉛同位素特徵與鉛濃度倒數關係

同安厝段 332 地號雖各採樣點的土壤鉛濃度分布不一 ($95.5 - 1430 \text{ mg kg}^{-1}$)，但鉛同位素特徵相仿，可視為本場之之污染源特徵： $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 為 $38.18 - 38.27$ ， $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 為 $15.64 - 15.65$ ， $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 為 $18.12 - 18.15$ ， $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 為 $2.105 - 2.108$ ， $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 為 $2.440 - 2.445$ ， $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 為 $1.158 - 1.160$ 。

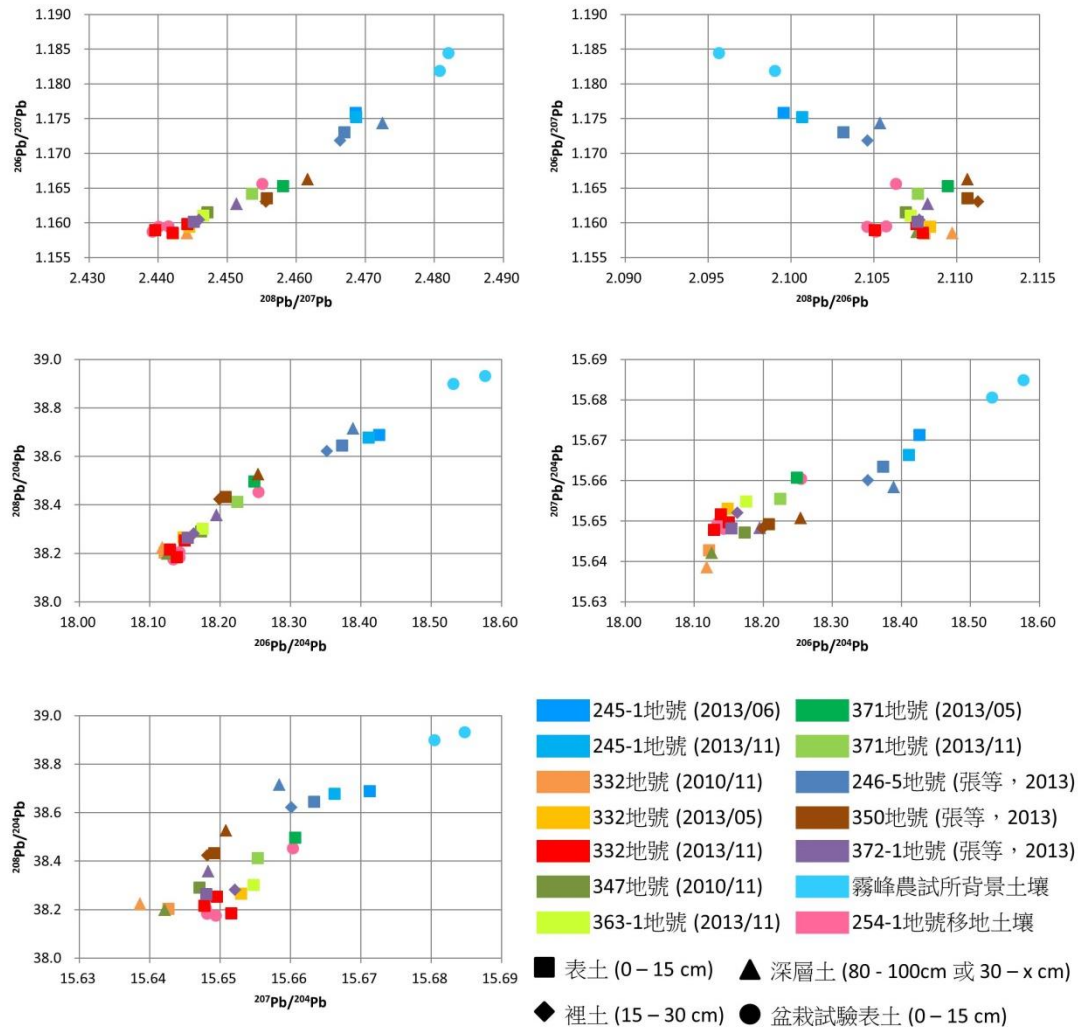


圖 6.8 台中場址（同安厝段）之土壤鉛同位素特徵綜合比較

北平段農地位於雲林縣虎尾鎮，區內位於顏料化學製程事業西南側之農地曾受工廠污染排放而致使種植之米含鎘量超標。實際調查發現除了水稻，花生也是當地常見的作物。於顏料化學製程事業旁之 839、841 和 842 地號採集 5 組表土與 1 組深層土樣品，對照組 714 地號採集 2 組表土與 1 組深層土樣品，並將張等(2013)調查之王水全量分析數據納入以研析此一場址土壤鉛同位素特徵。

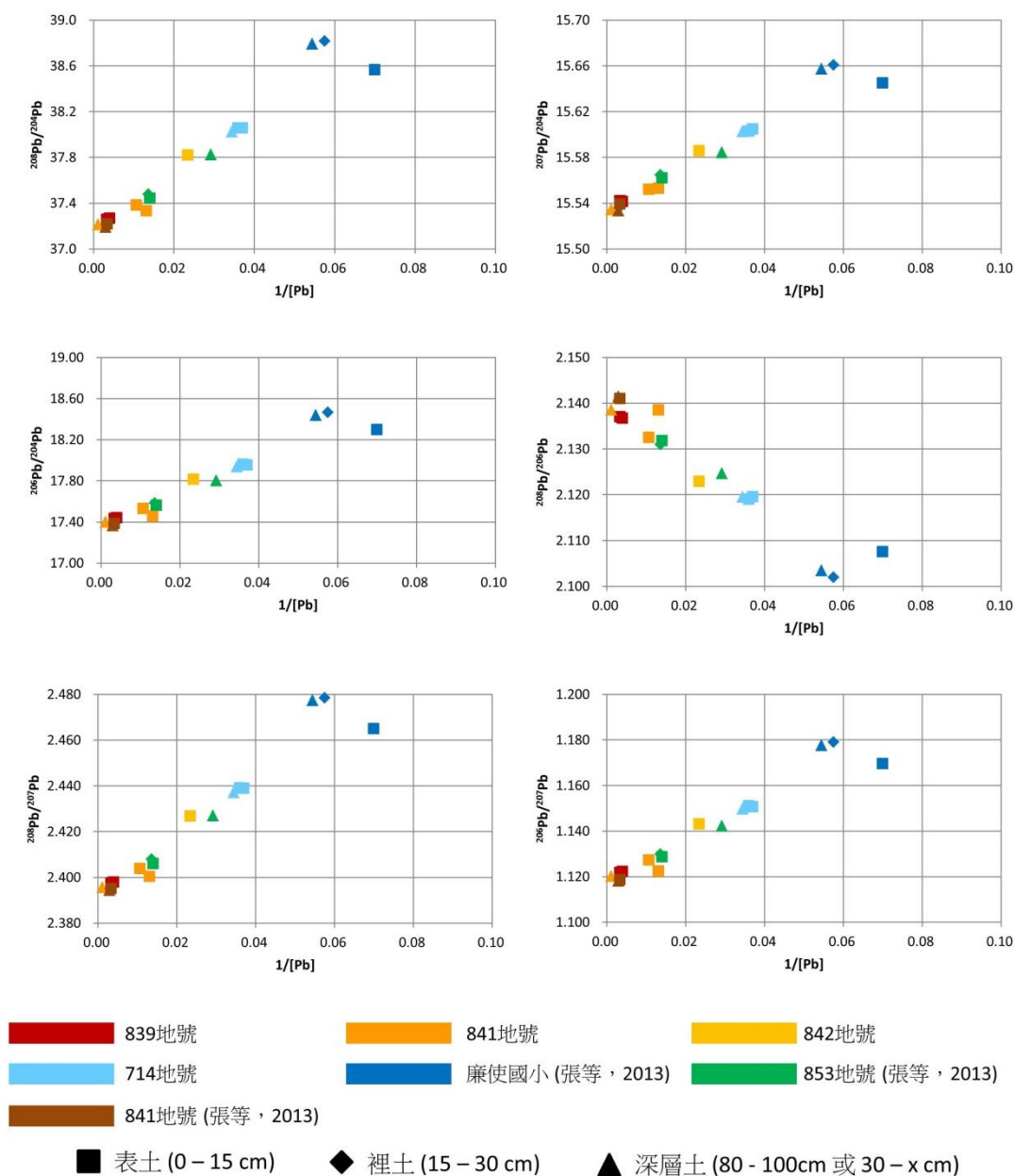


圖 6.9 雲林場址（北平段）之土壤鉛同位素特徵與鉛濃度倒數關係

北平段 841 地號深層土鉛濃度高達 914 mg kg^{-1} ，而鉛同位素特徵與北平段 839 地號表土（鉛濃度高達 251、 302 mg kg^{-1} ）相似，但與作為參考背景之北平段 714 地號表土、深層土（鉛濃度為 $27 - 29.1 \text{ mg kg}^{-1}$ ）相去甚遠，研判為早期污染物質隨廢水排放而下滲並蓄積於深層土壤中。

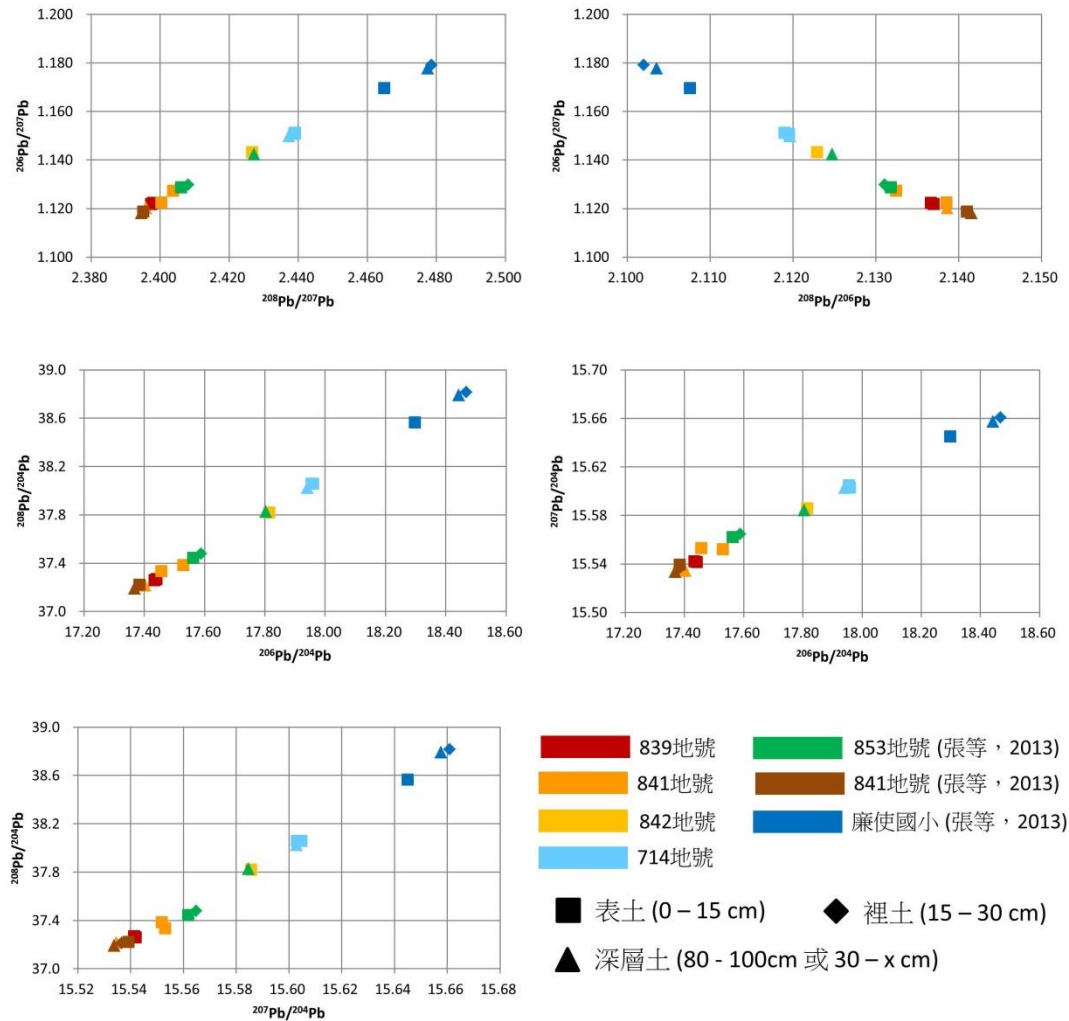


圖 6.10 雲林場址（北平段）之土壤鉛同位素特徵綜合比較

台南市官田區三結義段農地位於官田工業區，而其上之鉛蓄電池製程事業周界農地土壤鉛濃度範圍為 27 至 280 mg kg^{-1} (范等, 2010)。採集與之緊鄰的 392 地號之表土與深層土樣品各 1 組，而 388、340 地號位於工廠周界 300 公尺內，431、1741 地號則位在 500 公尺外，採集其表土樣品各 1 組，於 431 地號亦採 1 組深層土壤。

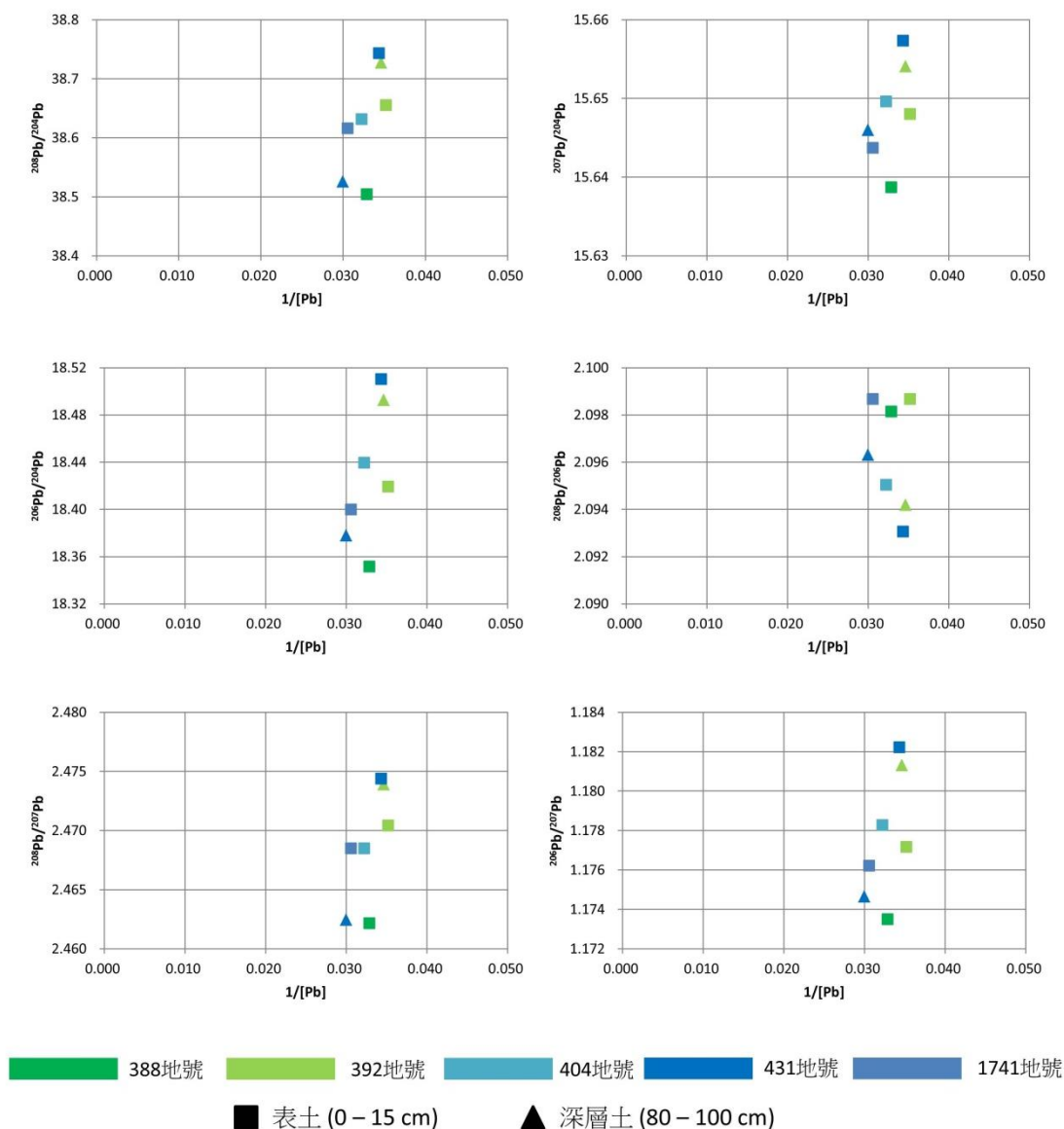


圖 6.11 台南場址（三結義段）之土壤鉛同位素特徵與鉛濃度倒數關係

392 地號表土鉛濃度為 28.4 mg kg^{-1} ，深層土鉛濃度為 28.9 mg kg^{-1} ；431 地號表土鉛濃度為 29.1 mg kg^{-1} ，深層土鉛濃度為 33.4 mg kg^{-1} ；388、404、1741 地號表土鉛濃度為 $30.4 - 32.7 \text{ mg kg}^{-1}$ 不等，於三結義段農地並未採集到峰值。

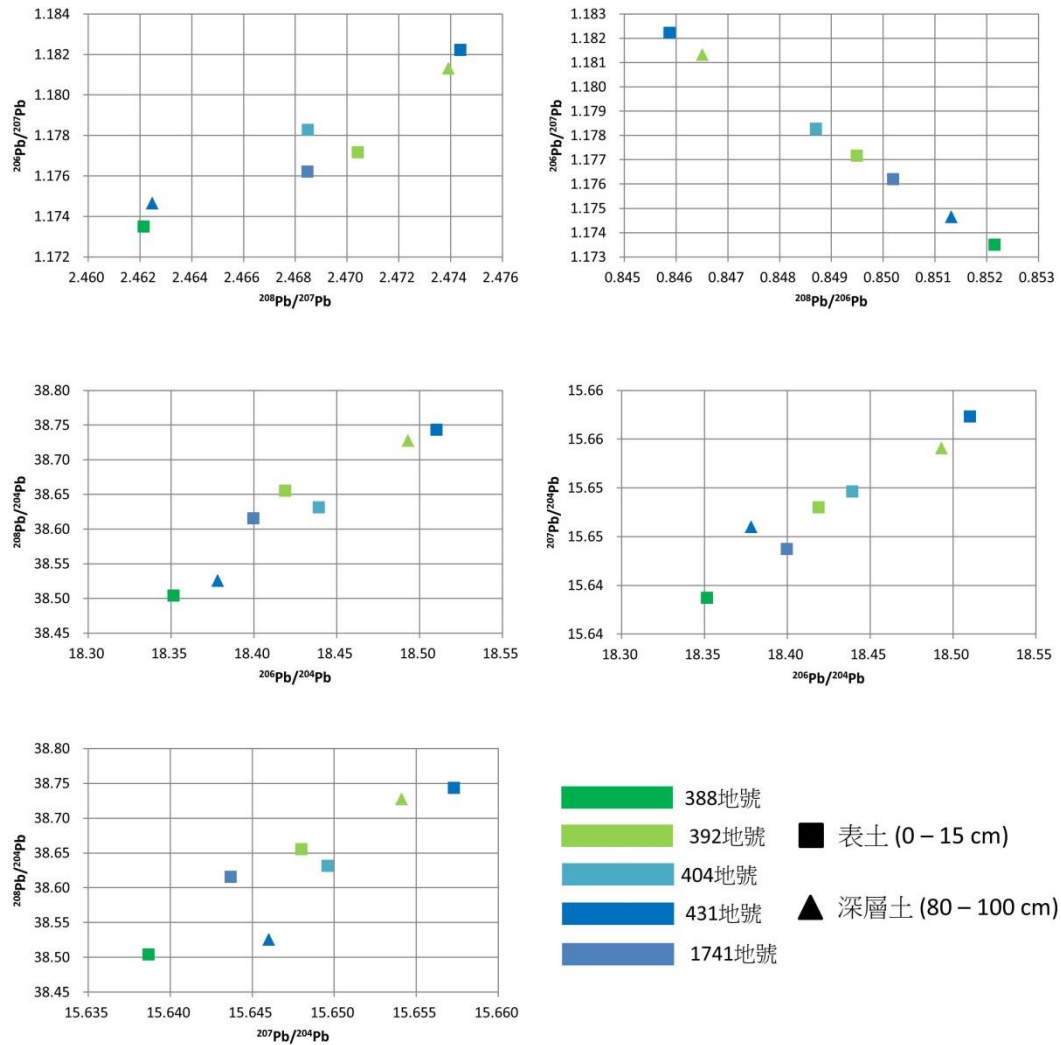


圖 6.12 台南場址（三結義段）之土壤鉛同位素特徵綜合比較



(二) 不同萃取試劑之影響探討

Komárek *et al.* (2006) 研究土壤同位素時，發現土壤母質具有較高 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 比值，而嚴重污染區深層土壤包含污染特性與母質特性。另外，不同的消化藥品會影響鉛的萃取量，而導致 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 測值產生偏差，需慎選之，建議富含有機質之森林土壤適合以 EDTA 及全量消化測量鉛同位素。

因此，張等 (2013) 亦曾針對臺灣 2 處農地污染場址 (台中與雲林)，分取背景、低鉛濃度和高鉛濃度 3 種代表土壤之 0–15 公分、15–30 公分和 30–100 公分 3 種採樣深度，各以 0.05 M EDTA、0.1 M HCl 和王水 3 種試劑消化再配合鉛同位素檢測，共計 54 組樣品，發布之數據為 $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 比值與 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 比值。綜合來說，背景之鑑定以王水萃取深層土壤較能忠實代表完整之背景特徵，而以 0.05 M EDTA 萃取表層土壤較能反映污染特徵，從而追蹤污染來源 (張等, 2013)，研究結果如圖 6.13 至圖 6.16 重製與表 6.1 之整理。

表 6.1 土壤王水全量消化鉛濃度資料

垂直剖面	台中同安厝段場址			雲林北平段場址		
	背景 246-5	低鉛濃度 372-1	高鉛濃度 350	背景 廉使國小	低鉛濃度 853	高鉛濃度 841
0–15 cm	24.6	42.8	114	14.3	71.1	296
15–30 cm	25.2	38.4	101	17.4	73.7	315
30–x cm	19.4	31.9	45.3	18.4	34.3	344

註：張等 (2013) 調查，單位為 mg kg^{-1} 。

由圖 6.13 與圖 6.15 可以發現，經 0.05 M EDTA 萃取之土壤其鉛同位素數值較王水消化者為低，土壤鉛同位素特徵受萃取試劑影響，與 Komárek *et al.* (2006) 所述現象相同。比較圖 6.14 與圖 6.16，雲林場址之鉛同位素分布範圍較台中場址為廣，且背景與污染特徵顯而易分辨，另外，濃度資料顯示，同安厝段 350 地號在場址高鉛濃度之代表性不若北平段 841 佳 (前段討論之圖 6.8 亦可反映之)，但以 0.05 M EDTA 萃取之結果 ($^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 為 38.23， $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 為 15.64， $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

為 18.14, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 為 2.107, $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 為 2.444, $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 為 1.160) 與同安厝段 332 地號王水消化之同位素特徵 (取 5 點平均, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 為 38.22, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 為 15.65, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 為 18.14, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 為 2.107, $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 為 2.443, $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 為 1.159) 相近。以 0.05 M EDTA 萃取土壤鉛之鉛同位素特徵實能反映污染特徵。

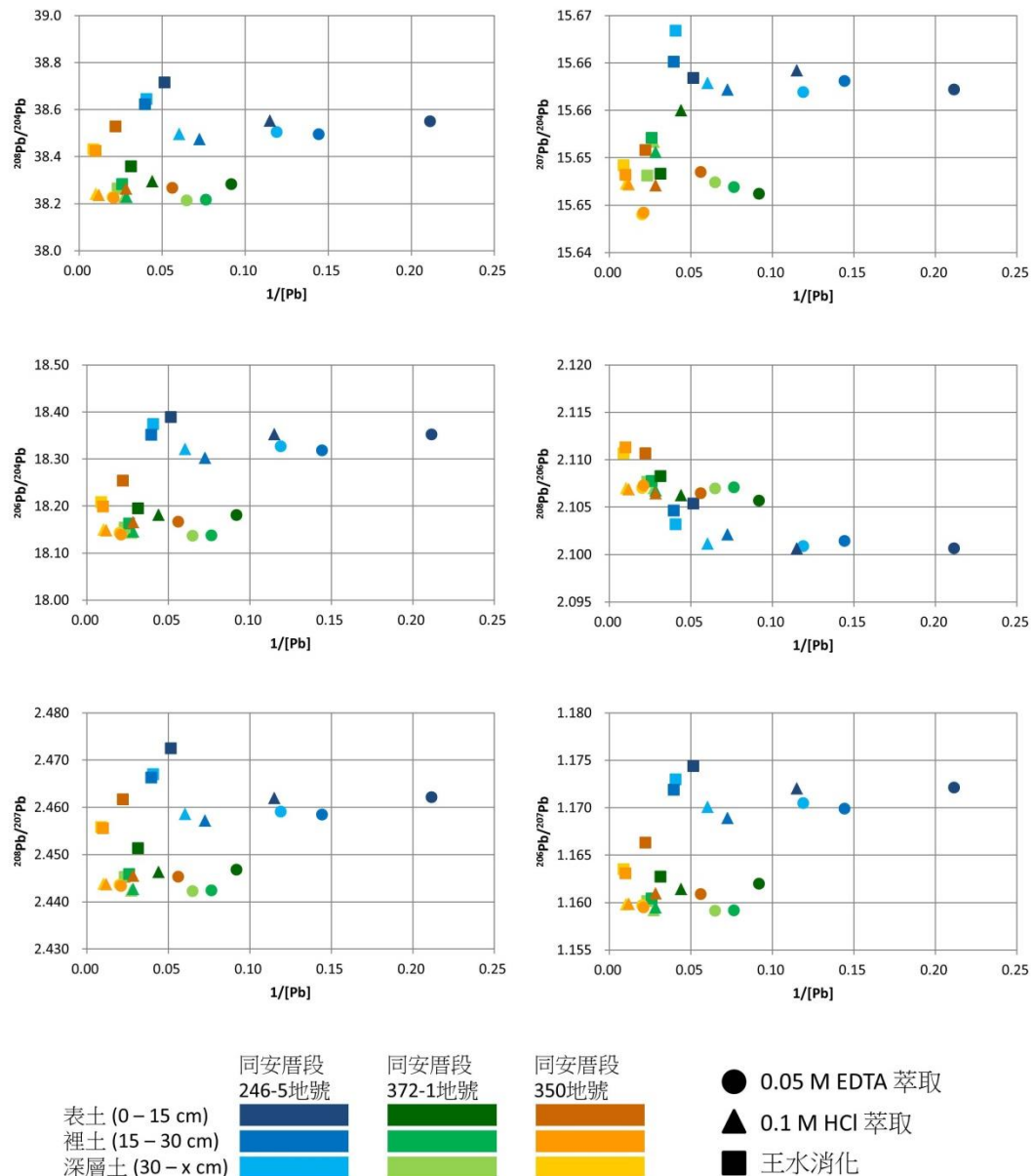


圖 6.13 台中場址經不同試劑處理之土壤鉛同位素特徵與鉛濃度倒數關係 (重繪製自張等, 2013 與未公開數據)

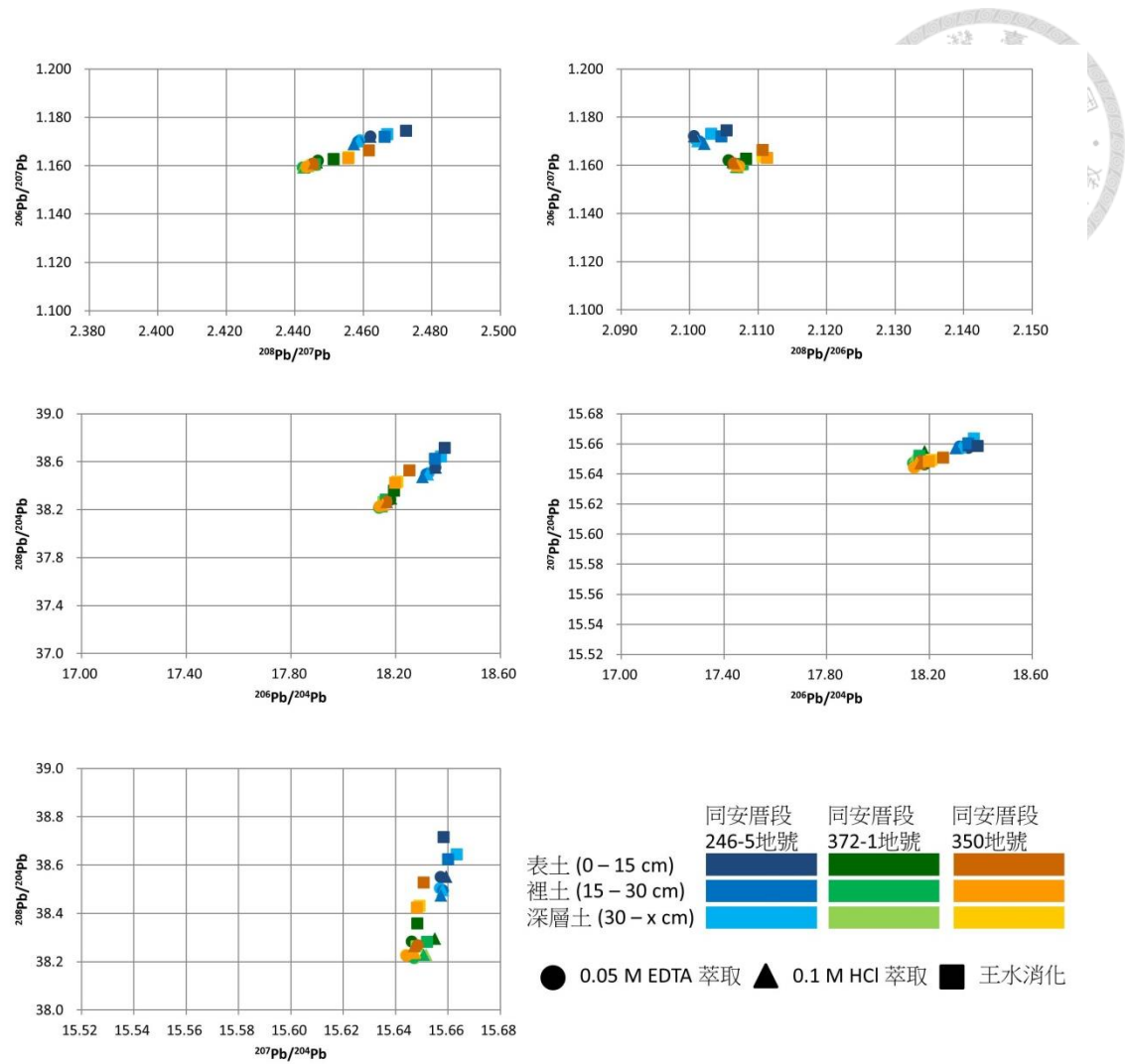


圖 6.14 台中場址經不同試劑處理之土壤鉛同位素特徵綜合比較（重繪製自張等，2013 與未公開數據）

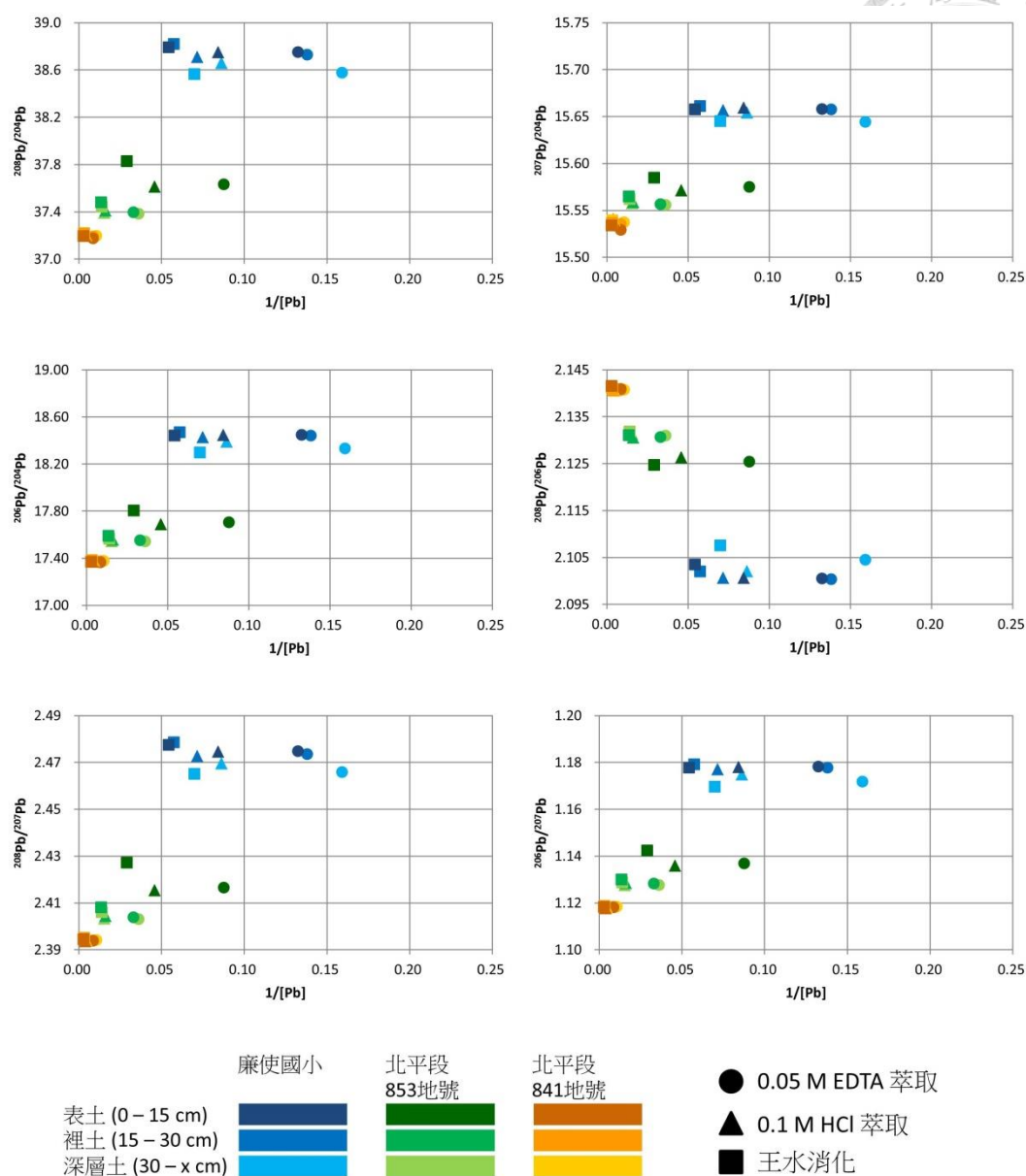


圖 6.15 雲林場址經不同試劑處理之土壤鉛同位素特徵與鉛濃度倒數關係（重繪製

自張等，2013 與未公開數據）

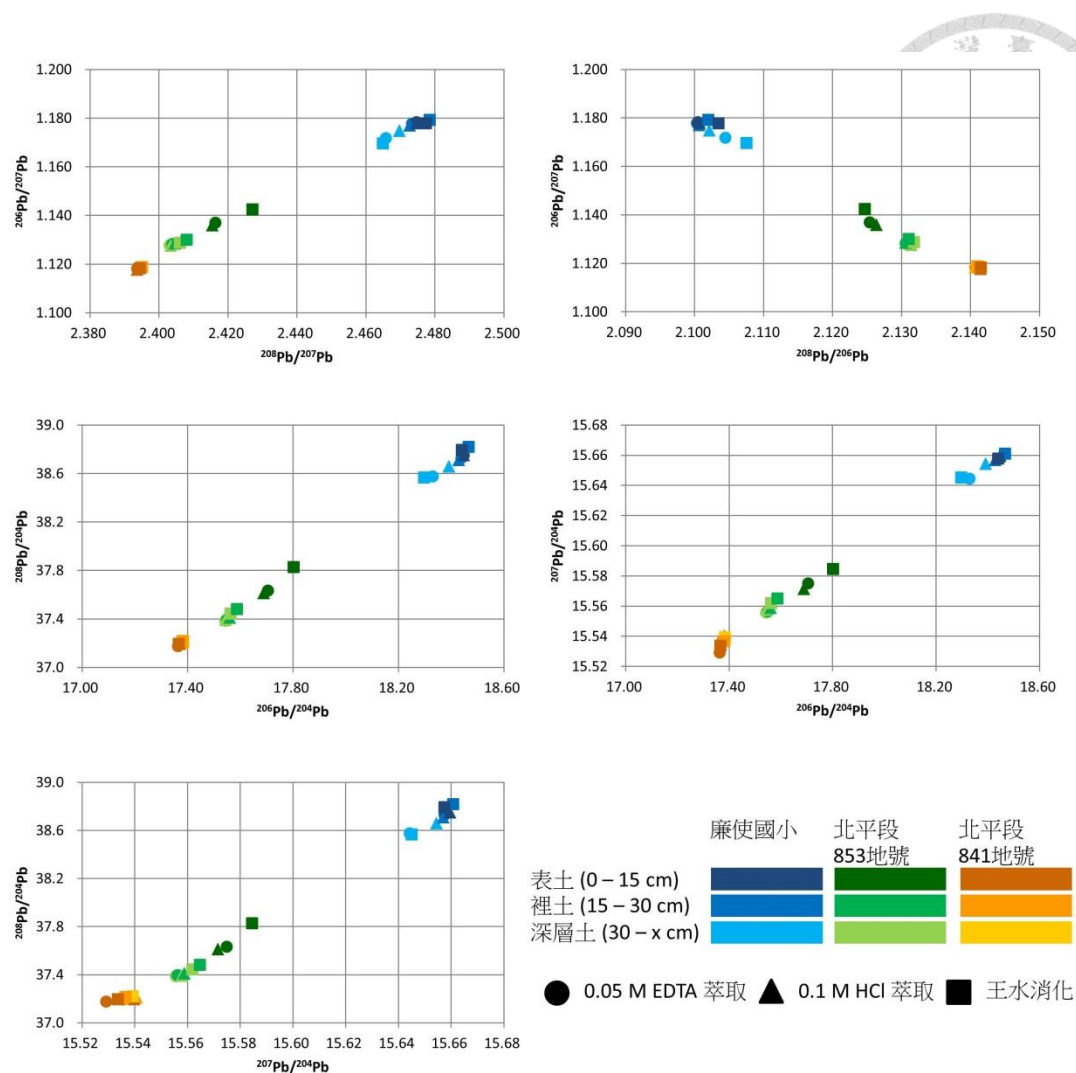


圖 6.16 雲林場址經不同試劑處理之土壤鉛同位素特徵綜合比較（重繪製自張等，2013 與未公開數據）

(三) 臺灣農地土壤鉛同位素特徵

圖 6.17 與圖 6.18 彙整桃園、台中、雲林和台南農地土壤表土經王水消化鉛同位素特徵（共 70 筆，包含張等，2013 之 2 筆數據與 6.2 節盆栽試驗 I 全部與盆栽試驗 II 部分之土壤資料），以鉛濃度區段作為資料分群之依據，切分值設定為 30、50、80、150、500 mg kg^{-1} 。由圖 6.17 歸納臺灣背景土壤鉛同位素特徵為 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 約 38.7 以上， $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 約 15.66 以上， $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 約 18.47 以上， $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 約 2.095 以上， $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 約 2.472 以上， $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 約 1.180 以上，與文獻之臺灣岩石特徵（表 5.10）相近，且符合 Komárek *et al.*（2008）所述之未受污染土壤因鉛源為岩石母質風化而較具放射性成因鉛同位素（ $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值範圍 18.5 至 19.5 之間）。

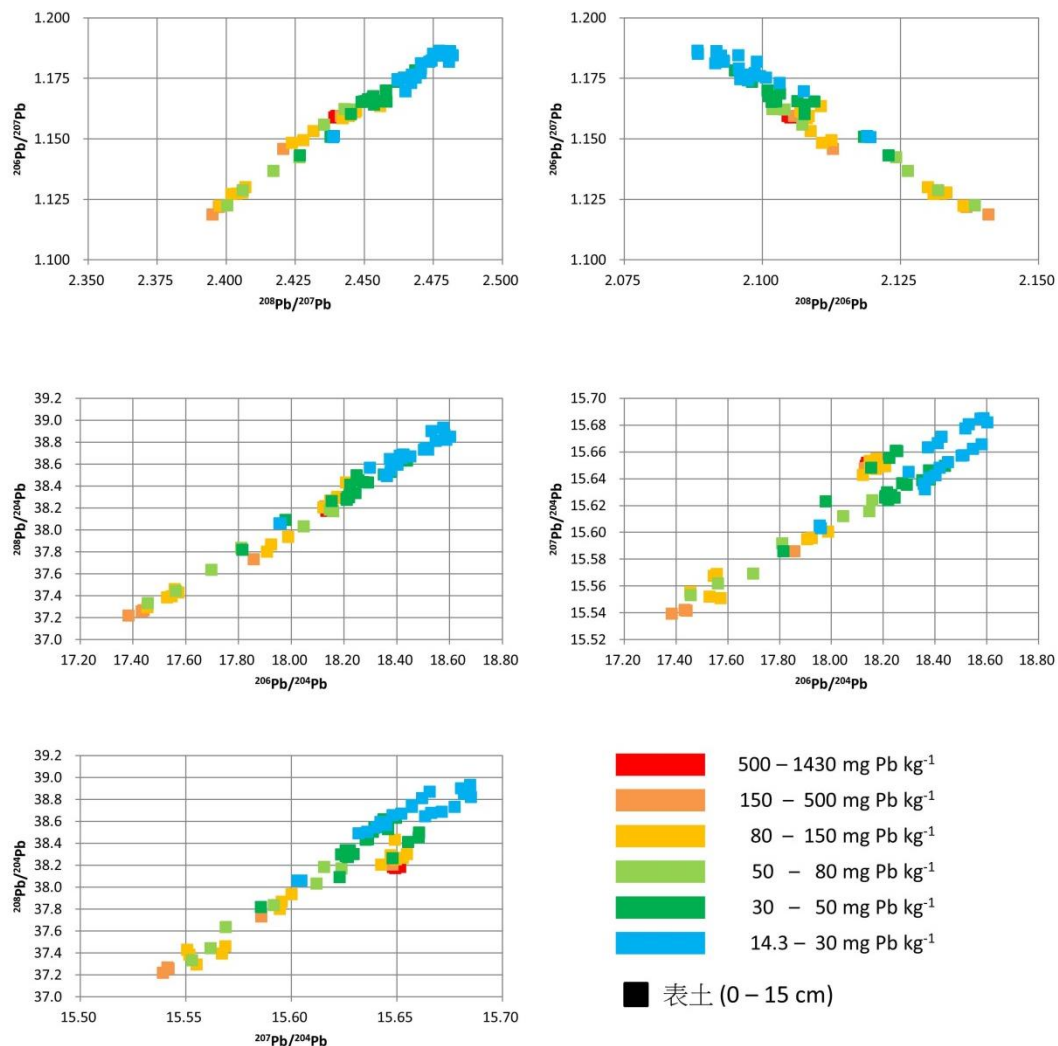


圖 6.17 臺灣農田土壤鉛同位素特徵綜合比較

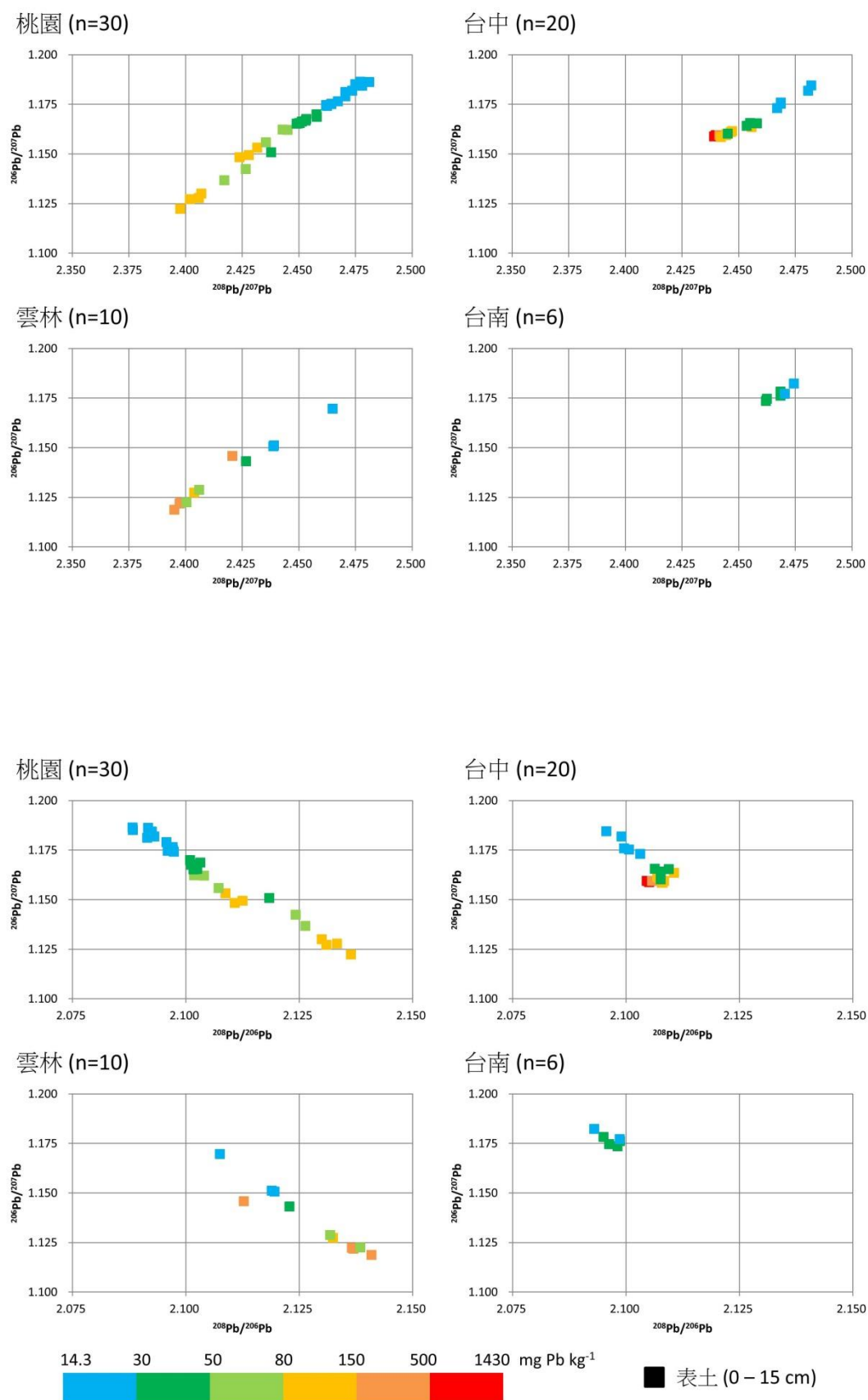


圖 6.18 臺灣各地農田土壤鉛同位素特徵綜合比較

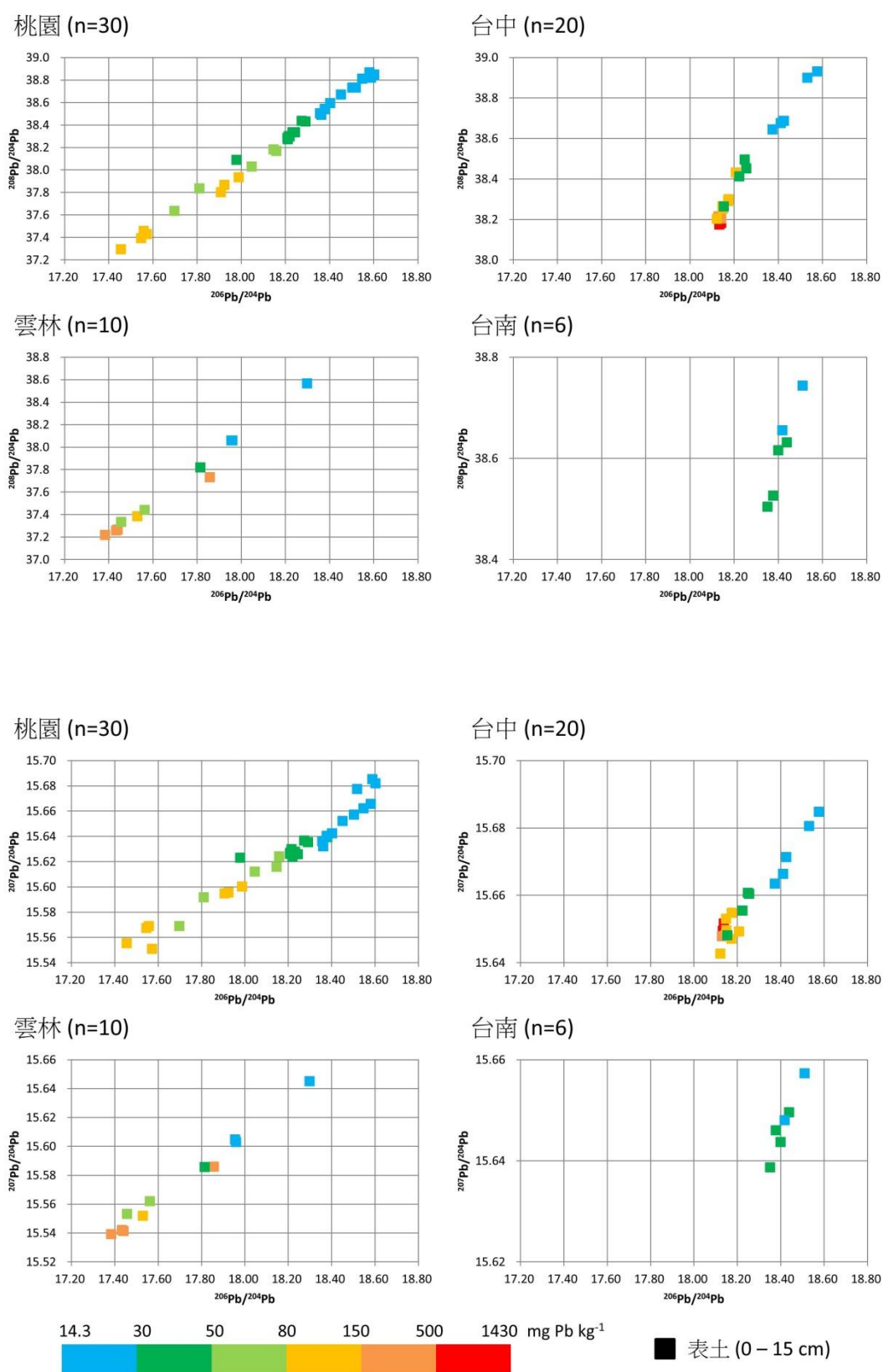


圖 6.18 臺灣各地農田土壤鉛同位素特徵綜合比較 (續)

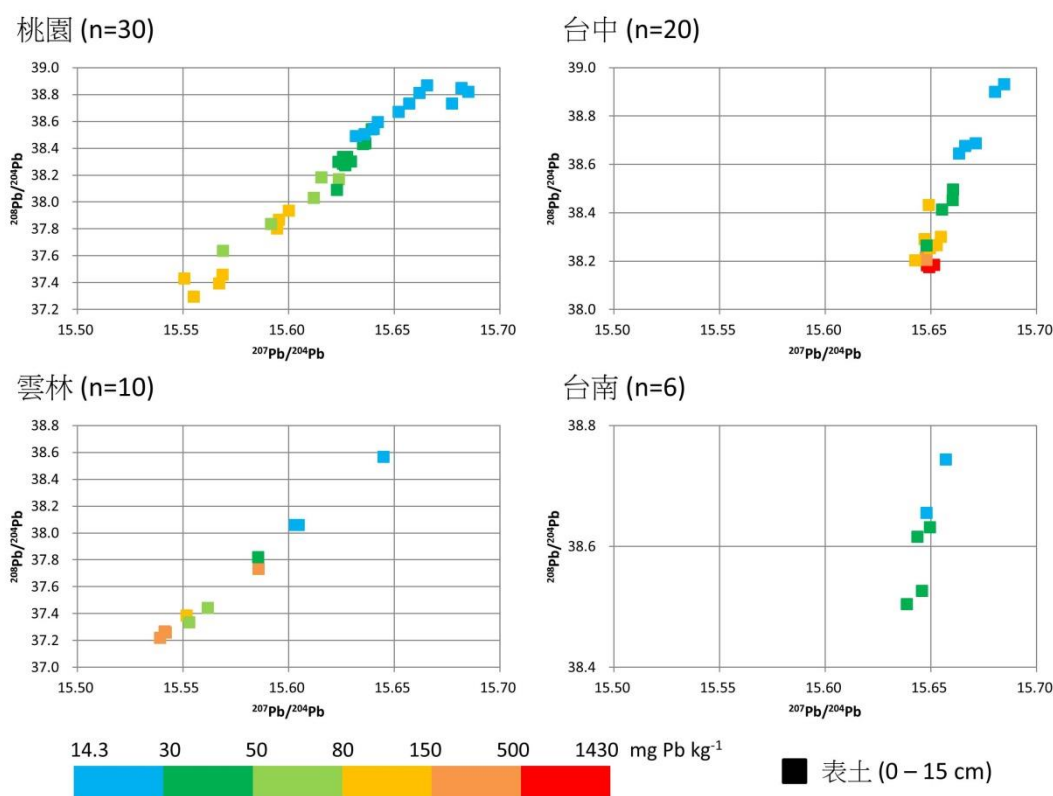


圖 6.18 臺灣各地農田土壤鉛同位素特徵綜合比較（續）

相較圖 6.17 之臺灣背景土壤鉛同位素特徵綜合歸納，雲林與台南所採集之部分表土鉛濃度雖然與臺灣背景濃度相似，但可能未掌握真正的鉛同位素背景特徵。此外，各場址的污染特徵則因其污染成因與類型而有差異，桃園與雲林場址均屬於顏料化學製造程序而有相仿污染特徵（如表 6.2）。

表 6.2 臺灣農地背景與污染土壤鉛同位素特徵

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
臺灣農地背景	≥ 38.7	≥ 15.66	≥ 18.47	≥ 2.095	≥ 2.472	≥ 1.180
桃園污染特徵	37.3 – 37.8	15.56 – 15.60	17.46 – 17.92	2.111 – 2.136	2.398 – 2.428	1.122 – 1.149
台中污染特徵	38.2 – 38.4	15.64 – 15.65	18.12 – 18.21	2.105 – 2.111	2.459 – 2.456	1.158 – 1.163
雲林污染特徵	37.2 – 37.4	15.54 – 15.55	17.38 – 17.53	2.132 – 2.141	2.395 – 2.404	1.119 – 1.127

註：污染特徵係取鉛濃度大於 90 mg kg^{-1} 之王水消化表土資料。



6.1.2 空氣污染鑑識案例

大氣環境之鉛同位素鑑定可達成跨境污染物之追蹤與區域污染排放源之指認，早期油品含鉛之使用為最主要之大氣鉛源貢獻者（如：Monna *et al.*, 1997、Chen *et al.*, 2008）。Flegal *et al.*（2013）以中國為研究主體，歸納其鉛污染成因有四大項：來自昔日含鉛油品使用的沉降、近日與昔日之石化燃料使用、近日與昔日之其他工業活動排放、近日與昔日施用於農地之遭污染的肥料、污泥或未經處置之廢水。Mukai *et al.*（1994）以日本隱岐群島為例，闡述如何以鉛同位素特徵反映大氣污染物於亞洲地區之長程傳輸。

依臺灣汽、柴油品之鉛同位素特徵（見表 5.7 或附錄表 9），考量臺灣中油與臺塑之品牌市佔率與各種油品銷售量，估計產自油品燃燒之臺灣車尾氣鉛同位素特徵為 $2.427(^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb})$ 、 $2.114(^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})$ 、 $1.148(^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb})$ 、 $17.89(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ 、 $15.58(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ 以及 $37.81(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ 。Hsu *et al.*（2006）與連（2008）曾分別採集並檢測台北市與彭佳嶼氣膠之鉛同位素特徵，提供有 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 與 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 之數據，而本研究則分別採集 2010 年桃園農地落塵與 2013 年台中農地氣膠，如圖 6.19 所示。

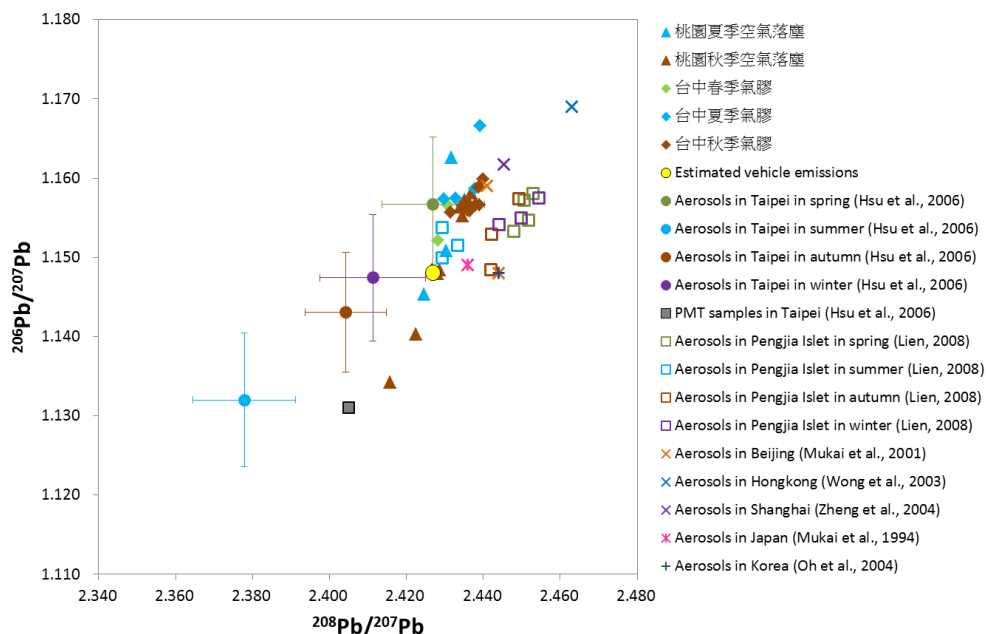


圖 6.19 臺灣與周邊城市大氣鉛同位素特徵比較

歸納連 (2008) 提供之 1997 年至 2000 年間，位於基隆港外 56 公里之彭佳嶼 (25°37'55"N, 122°04'20"E)，其大氣懸浮微粒所測得鉛同位素特徵 ($^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 與 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$) 於各季節表現：春季為 2.4507 ± 0.0021 與 1.1559 ± 0.0022 ，夏季為 2.4305 ± 0.0024 與 1.1518 ± 0.0019 ，秋季為 2.4443 ± 0.0041 與 1.1530 ± 0.0045 ，冬季則為 2.4493 ± 0.0052 與 1.1556 ± 0.0017 。Hsu *et al.* (2006) 發表 2003 年 4 月至 2004 年 2 月期間，台北市氣膠鉛同位素特徵為 2.35 至 2.45 ($^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$) 與 1.12 至 1.17 ($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$)。

考量彭佳嶼占地 114 公頃，環境條件原始且為軍事管制區，人口組成單純且數量少於 40 名，無顯著之源於本地的污染源，因此，連 (2008) 提供之數據應反映自外來鉛污染源。位於東北季風盛行區，面對來自中國大氣污染物之影響，彭佳嶼首當其衝 (圖 6.20)。相較於彭佳嶼的數據，Hsu *et al.* (2006) 發表之台北市氣膠鉛同位素特徵分布較廣 (如圖 6.21 所繪)，顯示其成因相對複雜。本文緒論曾提及殘留於土壤的油品鉛仍會透過再懸浮作用而持續對人類健康與大氣品質產生負面效應 (Laidlaw *et al.*, 2012; Harris & Davidson, 2005; Zahran *et al.*, 2013)。Hsu *et al.* (2006) 取自自強隧道、辛亥隧道內牆磁磚表面之顆粒樣本，可視同昔日使用含鉛汽、柴油的殘餘，其鉛同位素特徵相較近日無鉛汽、柴油低，亦較趨近文獻上所指常作為烷基鉛抗爆劑成分的澳洲鉛礦特徵。

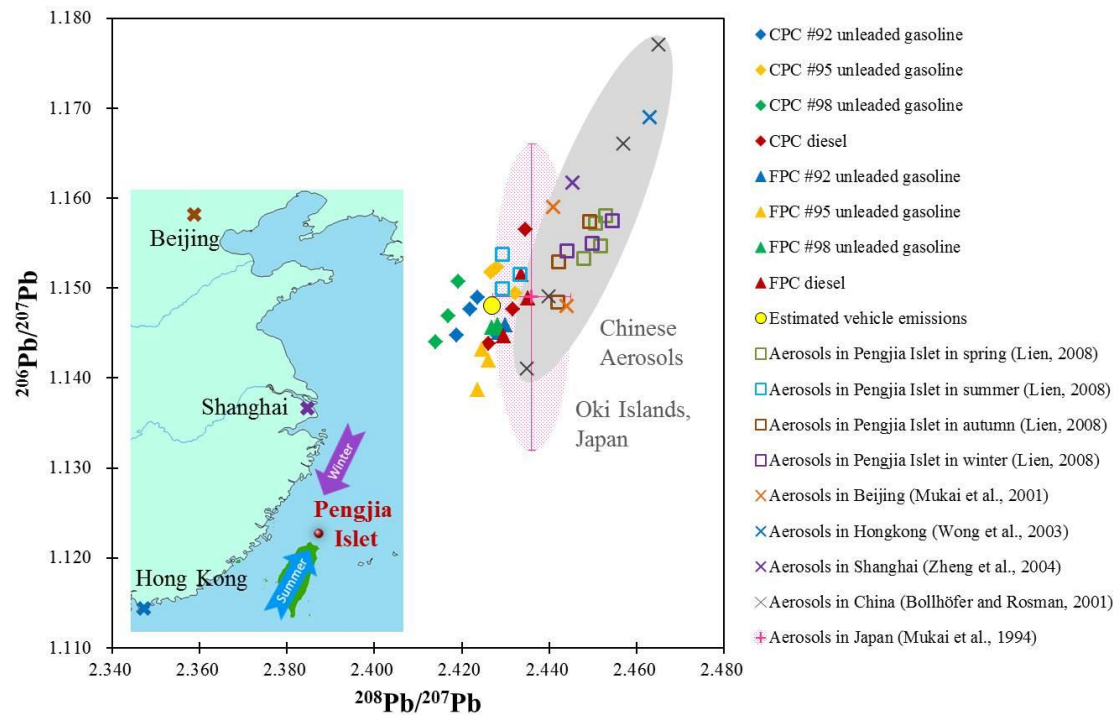


圖 6.20 彭佳嶼大氣鉛源示蹤

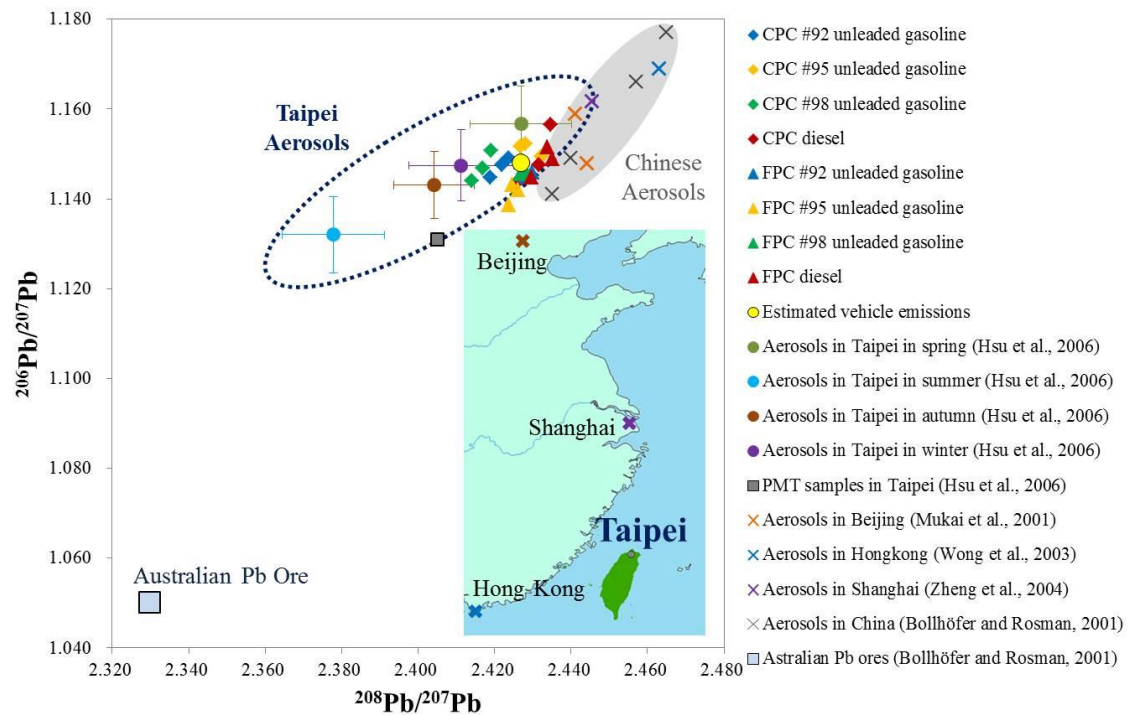


圖 6.21 台北都會區大氣鉛源示蹤



6.1.3 農業環境污染鑑識案例

關渡平原農地為台北市最後僅存的水稻栽種區，卻於西元 2006 年的普查而發現大規模農地表土砷濃度超過管制標準。推算關渡平原農地中所含外來砷之總重量超過 61 公噸，人為工業污染排放造成如此大量污染之機率極低，污染來源應屬於自然現象，可由鉛同位素比值特徵（張等，2010a）與史料佐證而證實。

透過土壤、灌溉水源、溫泉水、岩石之鉛同位素指紋鑑定，以群集分析與二元混合模式進行數據判釋（圖 6.22、圖 6.23），再輔助史料紀載與周邊地化水文條件等資訊，可還原關渡平原農地污染過程，其污染成為地球化學自然地理環境背景（火山溫泉），加上人文歷史活動（稻耕文化：引灌），歷經百年以上過程所造成。大業路建設後，灌溉水源已改由水磨坑溪供應，關渡平原農地污染來源已切斷（姚，2008），此鑑識案例值得借鏡。

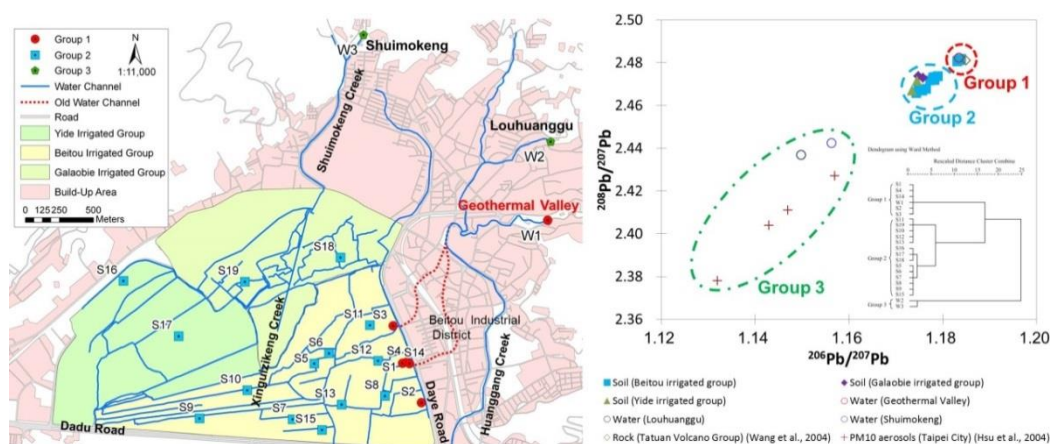


圖 6.22 關渡平原農地砷污染成因與影響途徑（重算與重繪自張等，2010a）

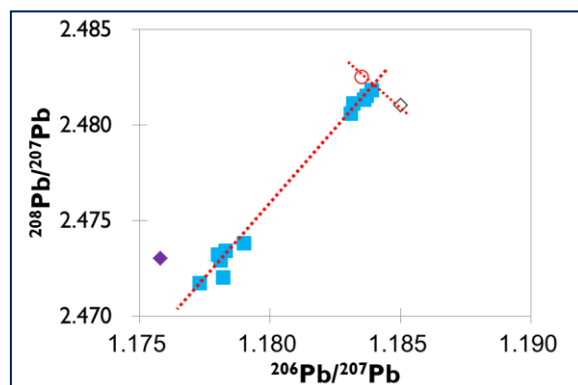


圖 6.23 關渡平原農地污染土壤鉛源端成分解析



6.2 生物系統移轉

6.2.1 鉛在土壤與作物間移轉同位素變異現象探討

本論文之農地環境系統調查樣品中，重要性與數量不亞於土壤者為水稻樣品。本節分別就桃園現地試驗、台中現地試驗與盆栽試驗研析水稻與土壤之鉛移轉與同位素特徵，由於水稻鉛濃度與其生長之環境息息相關，因此，進一步判讀或解釋現象時，須結合其它環境介質調查資料。為提升繁複資料之易讀性，依樣品基質種類制定圖例，原則上以「■」表示土壤，以「▲」表示稻根（於圖 6.26、圖 6.27 中因無採集稻根而改作為深層土之標示），以「◇」表示稻稈（或圖 6.27 中僅供參考之花生樣品），以「◆」表示稻葉（或圖 6.25 中之花生），以「○」表示稻殼，以「●」表示糙米，以「+」表示氣膠或落塵，以「×」表示灌溉水（或圖 6.29 中之裡土），以「—」表示底泥（或圖 6.29 中之裡土），並以「*」表示肥料、農藥、硫酸鉛噴灑液等人為物質（或圖 6.29 中之裡土），同時並將植株與環境介質樣本統一配合其所對應之土壤樣本呈色，土壤測得鉛濃度高於管制標準（500 mg Pb kg⁻¹）者為不同深淺之紅色，低於 30 mg Pb kg⁻¹ 之背景值以藍色，兩者區間內則隨著濃度值升高由綠轉黃再轉橙表示之。

（一）盆栽試驗

有鑑於 Uzu *et al.* (2010) 對生長於鉛電池回收廠旁之半結球萵苣的研析報告指出，植物除了可透過根部自土壤吸收鉛，氣膠沉降於葉面亦為鉛污染物進入植物的途徑，且葉面鉛濃度和暴露天數有關，萵苣暴露於來自回收廠鉛污染氣膠半天即超過歐盟 0.3 mg Pb kg⁻¹ 蔬菜限量標準；Bi *et al.* (2009) 發表種植於冶煉廠周界的玉米葉部鉛同位素特徵（²⁰⁶Pb/²⁰⁷Pb 為 1.185 – 1.186，²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb 為 2.090 – 2.094，n=3）與冶煉廠氣膠特徵（²⁰⁶Pb/²⁰⁷Pb 為 1.187，²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb 為 2.104）相似，同意空氣中的鉛是植物的重要鉛源之一，可能進而影響玉米籽實，但植物體內的傳輸移轉機制仍未明朗，故以盆栽試驗 I 探討土壤鉛源與稻作各部位鉛同位素特徵之移轉，而於盆栽試驗 II 則加入葉面接觸鉛源之試驗設計。

盆栽試驗 I 之水稻栽種期間為 2013 年 2 月 22 日（插秧）至 6 月 26 日，品種為台南 11 號，4 月 22 日進入生殖生長期，5 月 16 日開始抽穗，隔日開花並於 6 月 3 日進入糊熟期。期間高濃度組除了於 3 月 15 日發現二化螟蟲蟲害，而施用因滅汀，4 月 10 日發現稻熱病時亦施用農藥。

作為盆栽試驗 I 背景值組土壤來自台中霧峰，測得 $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 與 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 為 2.481 與 1.182，而取自同安厝段 254-1 的土壤特徵各分別為 2.440 – 2.455 與 1.159 – 1.166，試驗組別之分類符合 6.1 節之發現。結果發現，各試驗組別其稻根與對應之土壤的鉛同位素特徵相近，生長於土壤鉛濃度高之水稻（高濃度組），其植株各部位特徵聚集且與土壤特徵相似（圖 6.24）。

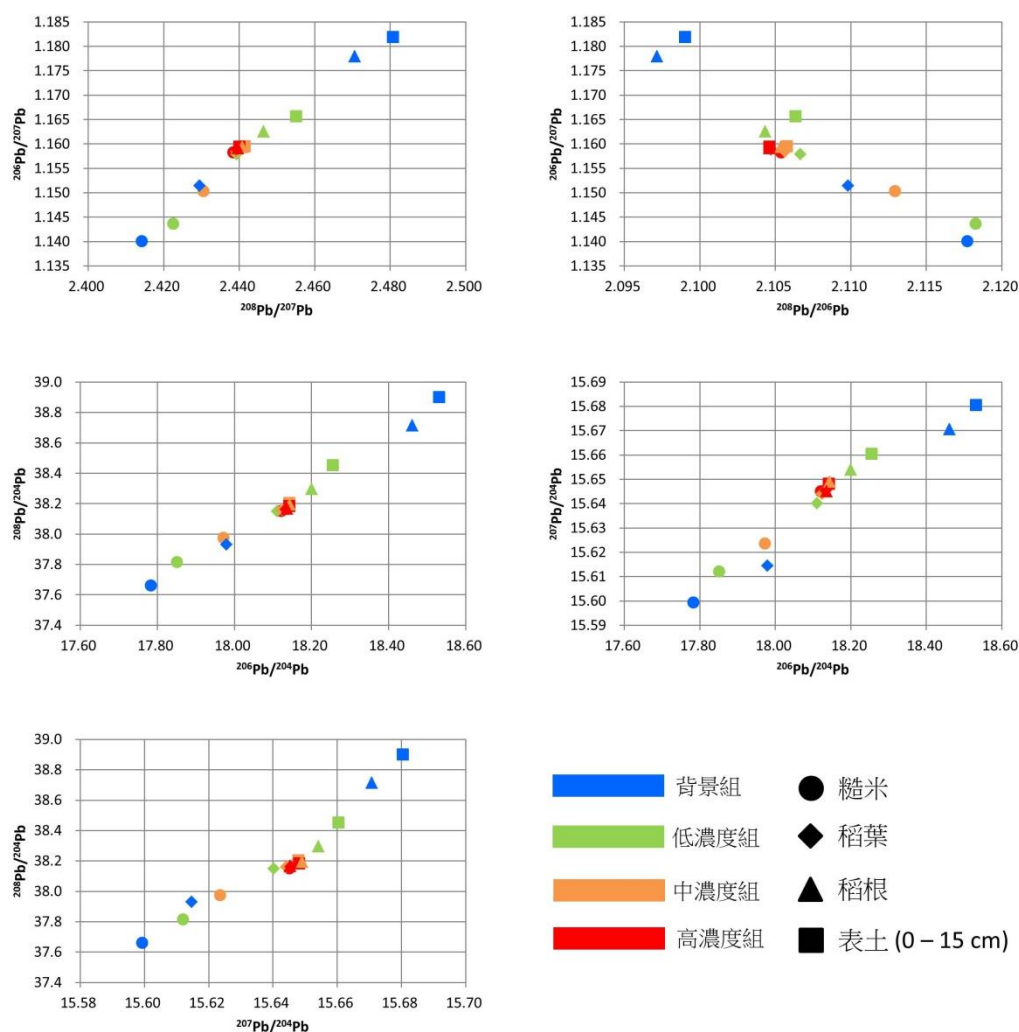


圖 6.24 盆栽試驗 I 鉛同位素特徵綜合比較

盆栽試驗 II 是為釐清根部鉛源與葉面鉛源對稻作含鉛影響，於 2013 年 8 月 18 日（插秧）至 12 月 19 日栽種台南 11 號。10 月 3 日進入生殖生長期，24 日開始抽穗開花，並於 11 月 18 日進入糊熟期。9 月 27 日至 10 月 22 日，令葉面組與綜合組接觸共 48 mg 之硫酸鉛，結穗正常，僅根部組與綜合組糙米鉛濃度超過食米標準。盆栽試驗 II 對照組使用與盆栽試驗 I 背景值組相同來源之土壤，兩者鉛同位素特徵檢測結果一致；根部組 $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 和 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 比值為 2.439、1.159，與盆栽試驗 I 高濃度組結果相似。另外，綜合組土壤鉛濃度與特徵值均有改變，不排除受到部份噴灑液干擾。生長於土壤鉛濃度高之水稻（即根部組），其各部位特徵聚集且與土壤特徵相似（圖 6.25），與盆栽試驗 I 結果相同。

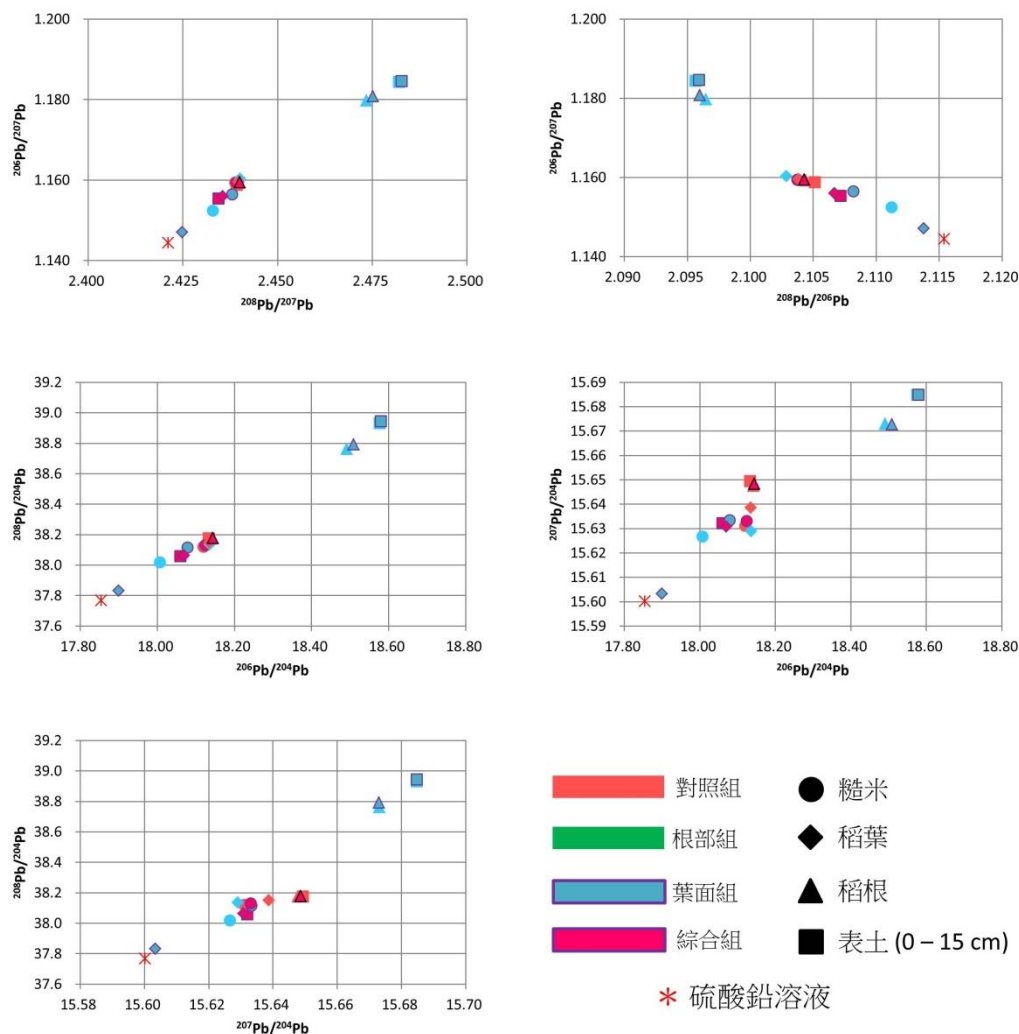


圖 6.25 盆栽試驗 II 鉛同位素特徵綜合比較



(二) 現地作物食用部位與土壤 1 對 1 調查結果

2010 年第 2 期作現地調查台中場址同安厝段 332 與 347 地號之糙米、對應之表土和 80 至 100 公分深層土壤 (圖 6.26)、雲林場址北平段 714 地號與 841 地號花生、714 地號糙米、對應之表土和 80 至 100 公分深層土壤 (圖 6.27)。同安厝作物食用部位鉛濃度為 $0.92 - 1.19 \text{ mg kg}^{-1}$ ，而北平段作物食用部位鉛濃度為 $0.3 - 0.6 \text{ mg kg}^{-1}$ ，但 714 地號糙米與 841 地號花生樣品因測量時鉅添加校正值不甚精確而僅供參考 (以鏤空資料點顯示於圖 6.27)。2013 年第 1 期作則調查台中場址同安厝段 245-1、332 和 371 地號之糙米、對應之表土和氣膠 (圖 6.28)，其中 332 地號糙米鉛濃度超標 (為 0.76 mg kg^{-1})。

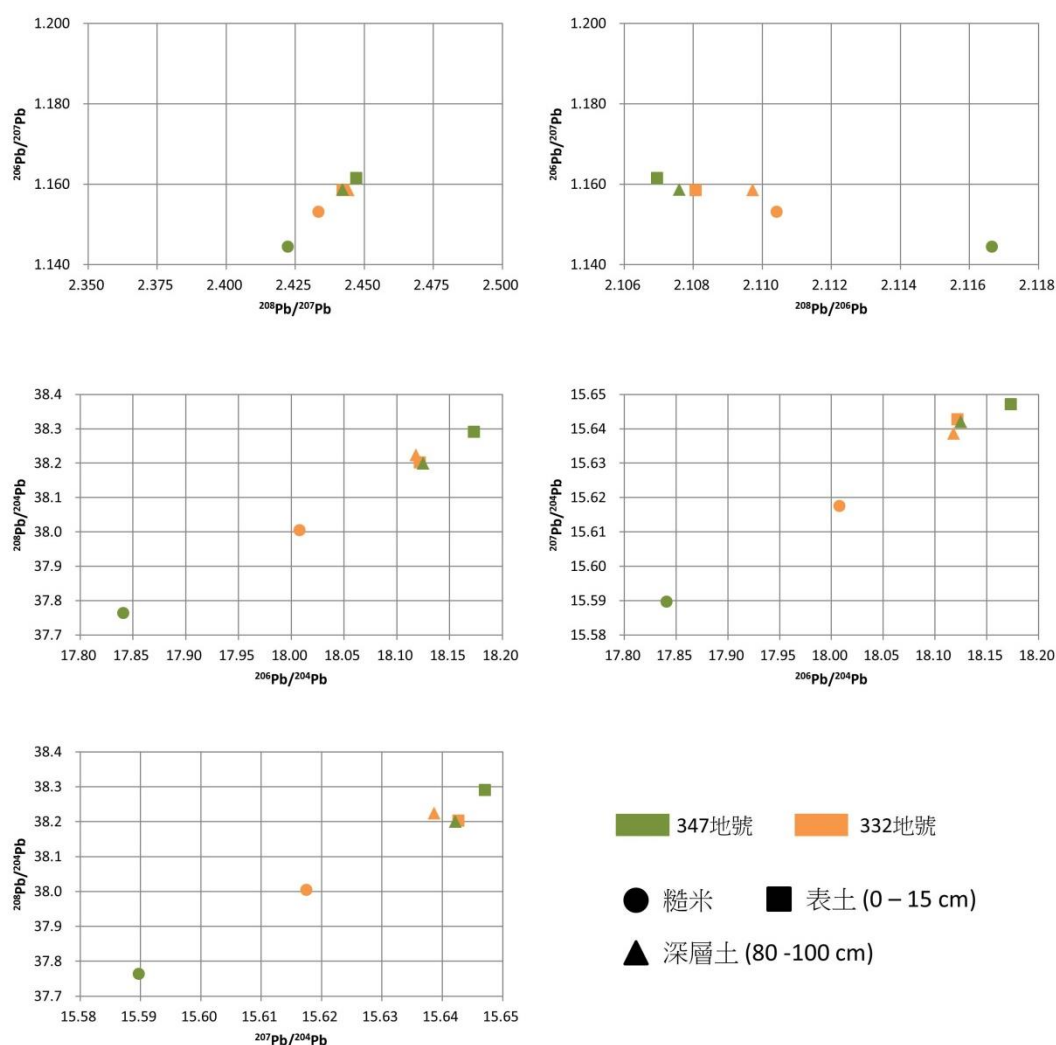


圖 6.26 台中場址 2010 年第 2 期作現地調查

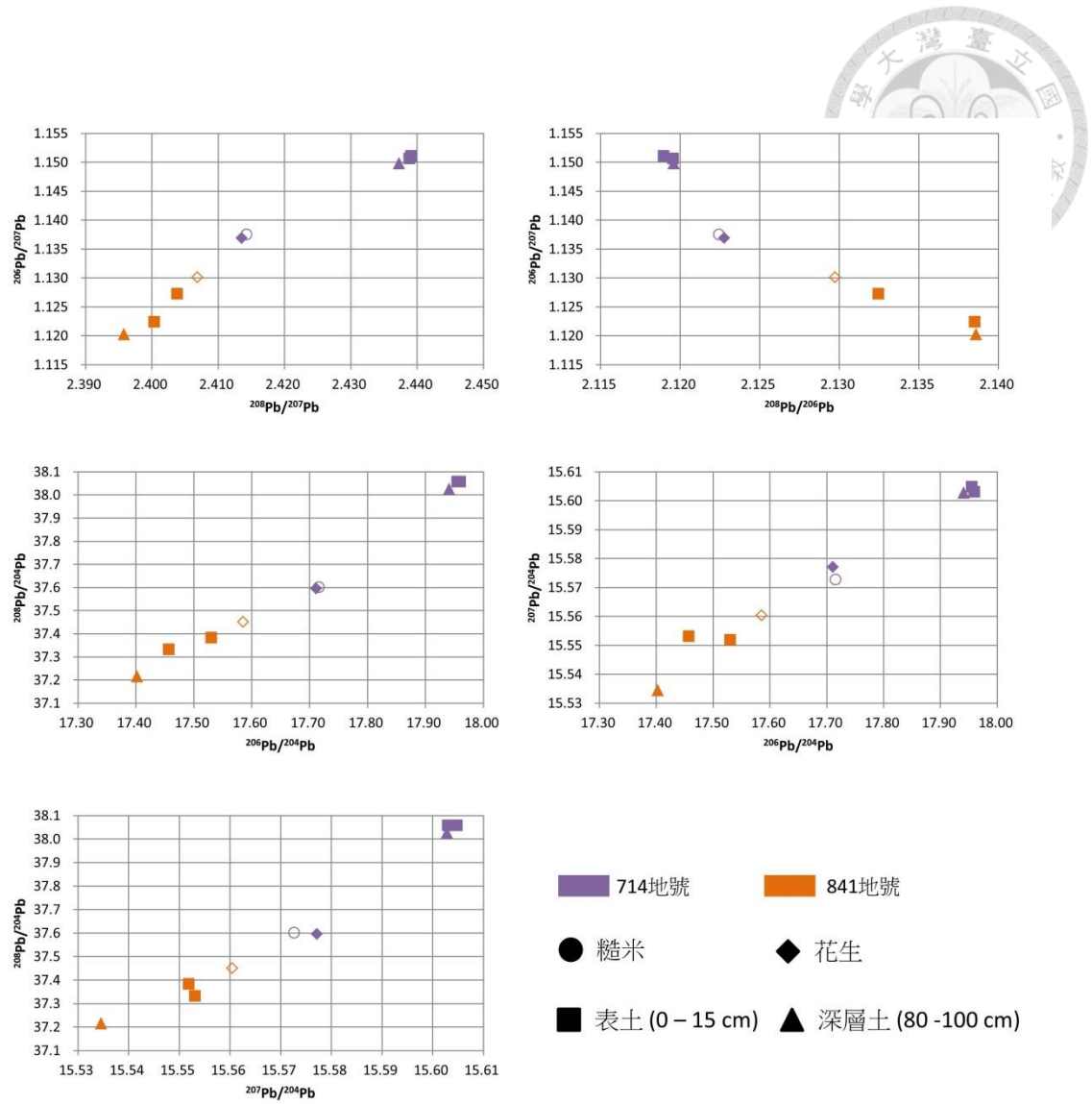


圖 6.27 雲林場址 2010 年第 2 期作現地調查

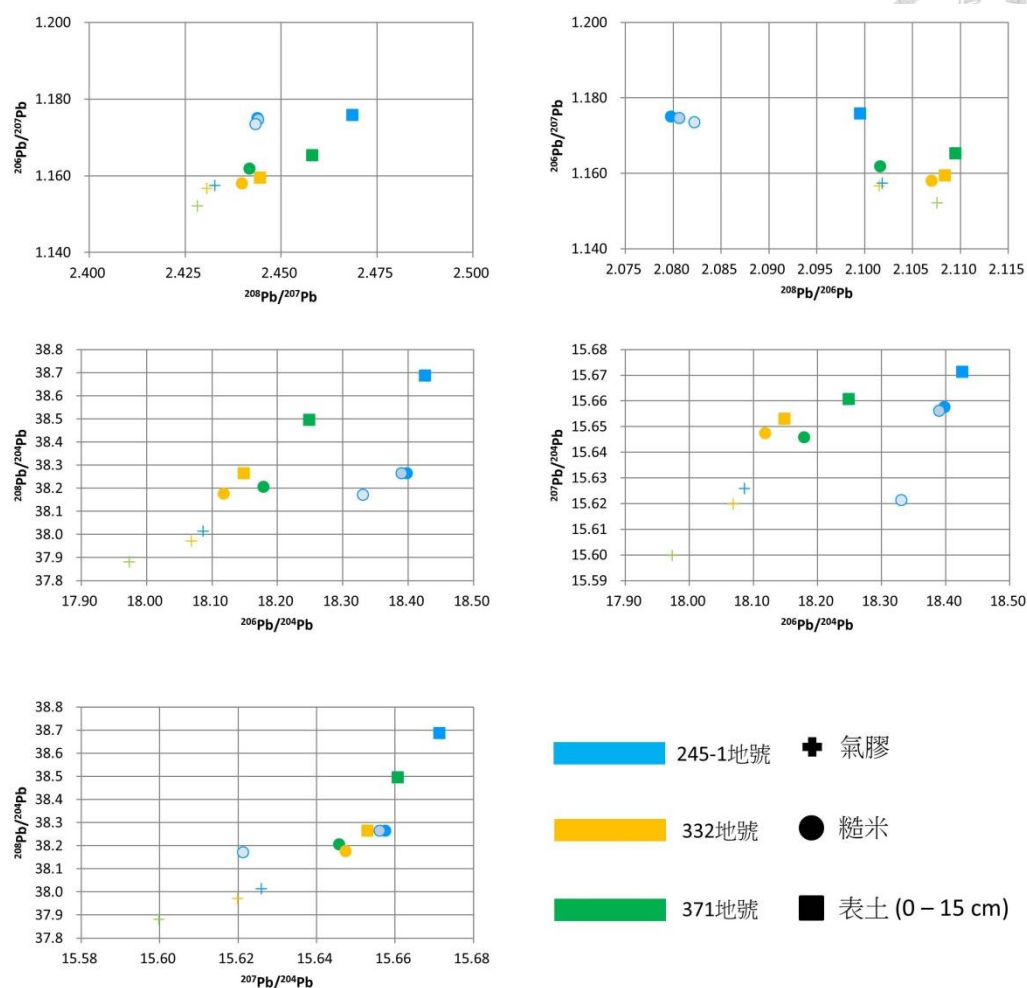


圖 6.28 台中場址 2013 年第 1 期作現地調查

植物吸收重金屬鉛的來源可歸咎為：生長於受鉛污染之土壤、空氣沉降於葉片上之含鉛微粒、施用含鉛之肥料或農藥、施灌受鉛污染之灌溉水等 (Alloway, 1995; Uzu *et al.*, 2010; 徐, 1979)。朱 (2004) 曾指出生長土壤鉛濃度 1000 mg kg^{-1} 以下之水稻，植株外觀表現與未受污染之正常植株無異，稻株吸收自土壤的鉛離子，絕大部分會被固定在地下部，而旱作管理會導致稻穀鉛含量增加。反映於圖 6.26 至圖 6.28 的 3 組調查資料均顯示，作物籽實體（如：糙米或花生）並未繼承其所生長的土壤之鉛同位素特徵。又糙米外有稻殼保護，並未直接接觸空氣，故與氣膠鉛同位素特徵亦不相同（圖 6.28）。



(三) 現地作物與土壤等環境介質調查結果

除了盆栽試驗採集完整水稻植株各部位外，於 2010 年第 1 期作桃園場址山嶺段 87、121、124 地號與 2013 年第 2 期作台中場址同安厝段 245-1、332、363-1、371 地號之調查也分別採集水稻植株各部位進行檢測，結果如圖 6.29 (桃園場址，依地號細分) 與圖 6.30 (台中場址，依樣品基質細分) 所示。Feng *et al.* (2011) 以 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比值觀察生長於公路旁的水稻，認為稻米鉛同位素特徵落於土壤特徵和汽機車廢氣特徵之間，顯示土壤與汽機車排放的廢氣同為影響稻米鉛的端成分，但卻無法從稻葉與稻稈 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比值反映之。本文 6.1 節判讀土壤鉛同位素背景與污染特徵時，發現以 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 比值可明確觀察出兩類的差異資訊，本小段即以 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 綜合比較圖為說明範例。

兩處場址在試驗地號選擇上，均涵蓋有低鉛濃度土壤 (山嶺段 121 地號、同安厝段 245-1 地號) 與高鉛濃度土壤 (山嶺段 87 地號、同安厝段 332 地號) 之設計。台中場址 (土壤鉛濃度為 $27.8 - 1430 \text{ mg kg}^{-1}$) 之糙米鉛濃度分布範圍為 $0.104 - 2.19 \text{ mg kg}^{-1}$ ，6 筆資料中有 4 筆超標 (即糙米鉛濃度大於 0.2 mg kg^{-1} 之食米標準)，而桃園場址的 14 筆糙米檢測中僅 2 筆超標 (糙米鉛濃度為 0.50 、 0.81 mg kg^{-1} 但位於 121 地號，可能為調查期間農民曾表示之遇有不明非點源污染干擾使然)。

同安厝段 245-1 地號土壤鉛同位素特徵與 2013 年第 1 期作調查結果一致。此外，該地號開花期間採集之渠道灌溉水同位素特徵與土壤、渠道底泥特徵相似，但和同安厝段 332 地號之地下水源灌溉水相異。冶煉廠周界的玉米被報導葉部鉛同位素特徵與冶煉廠氣膠特徵相似 (Bi *et al.*, 2009)，由於臺灣並無初級冶煉廠，與國際研究案例相異，實無營運中的高鉛濃度之人為空氣污染排放源。現地施用的肥料 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 高達 1.37 迥異於其它調查值。鉛同位素在植株內部出現有變異現象，係依序隨著越往地上部而有特徵偏移 (土→根→葉→米， $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 與 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 比值降低)，而生長於含鉛濃度高土壤之稻作，其植株各部位與土壤鉛同位素特徵，均受污染源特徵影響並保持與其特徵一致 (圖 6.29、圖 6.30)。

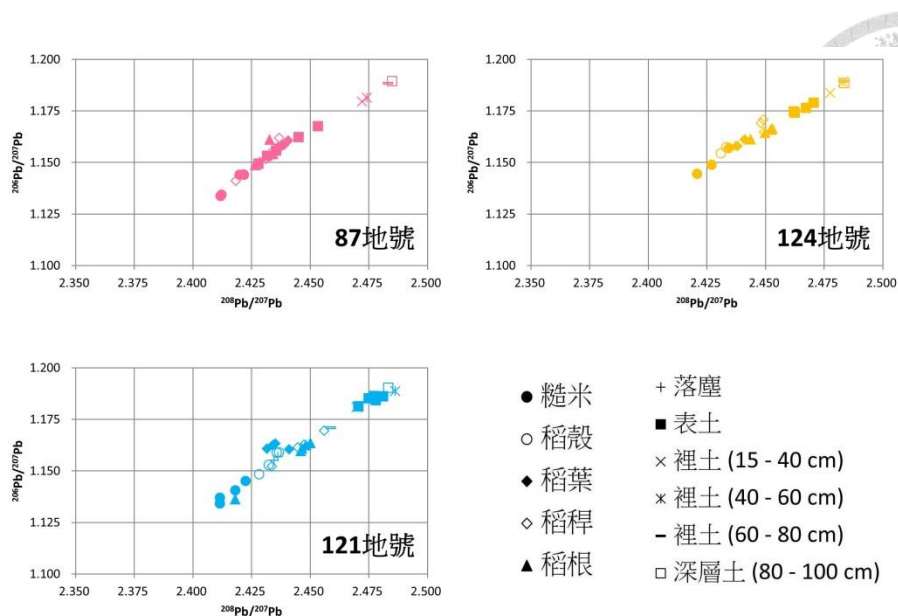


圖 6.29 桃園場址 2010 年第 2 期作現地調查

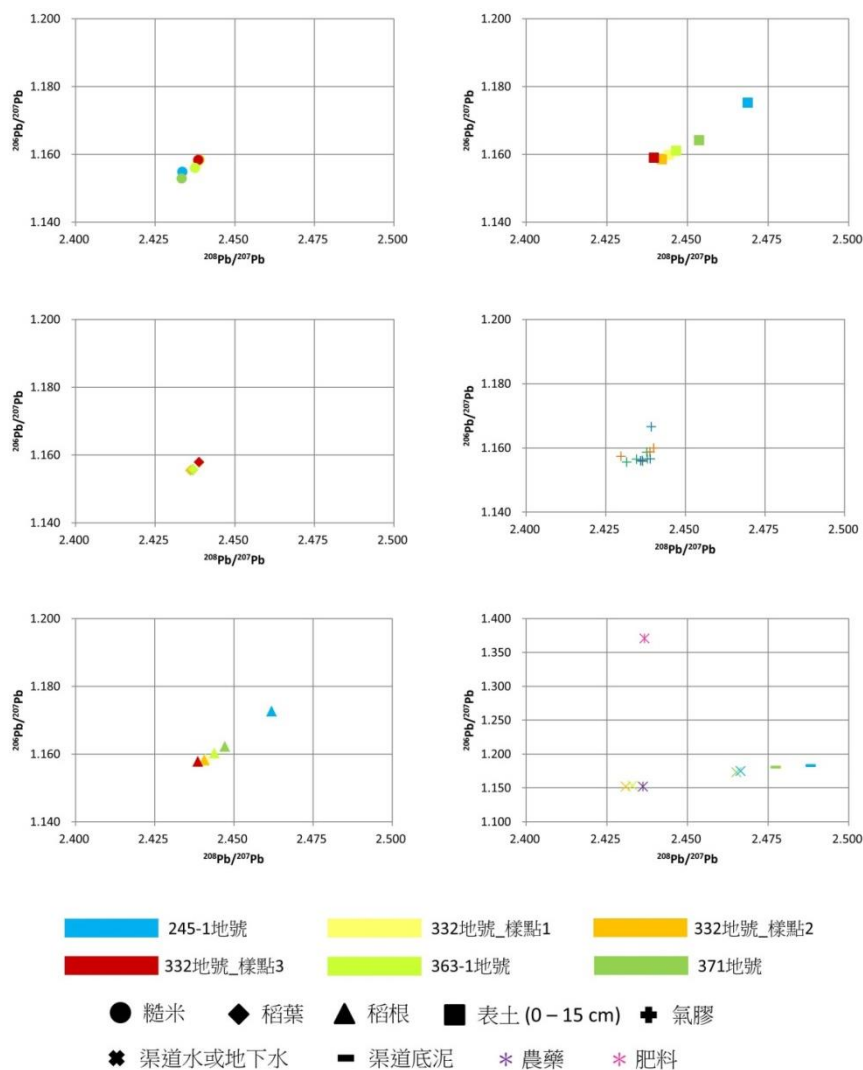


圖 6.30 台中場址 2013 年第 2 期作現地調查

(四) 作物食用部位鉛同位素特徵彙整

從桃園現地試驗、台中現地試驗與盆栽試驗整理糙米鉛同位素特徵為：
 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 為 37.5–38.3, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 為 15.56–15.66, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 為 17.64–18.40,
 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 為 2.080–2.127, $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 為 2.411–2.444, $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 為 1.134–1.175,
 對應之鉛濃度則為未檢出–2.19 mg kg^{-1} (已扣除重複樣品, 分析 30 筆有效數據),
 圖 6.31 依照鉛濃度區分之, 但未如土壤 (圖 6.17、圖 6.18) 可以有明顯分群。另
 外, Wang *et al.* (2013) 於 2011 年長採集江流域 4 組稻穀之鉛濃度為 0.059–0.165
 mg Pb kg^{-1} , $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 為 1.770–1.195, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 為 2.078–2.097, 僅部分重疊。

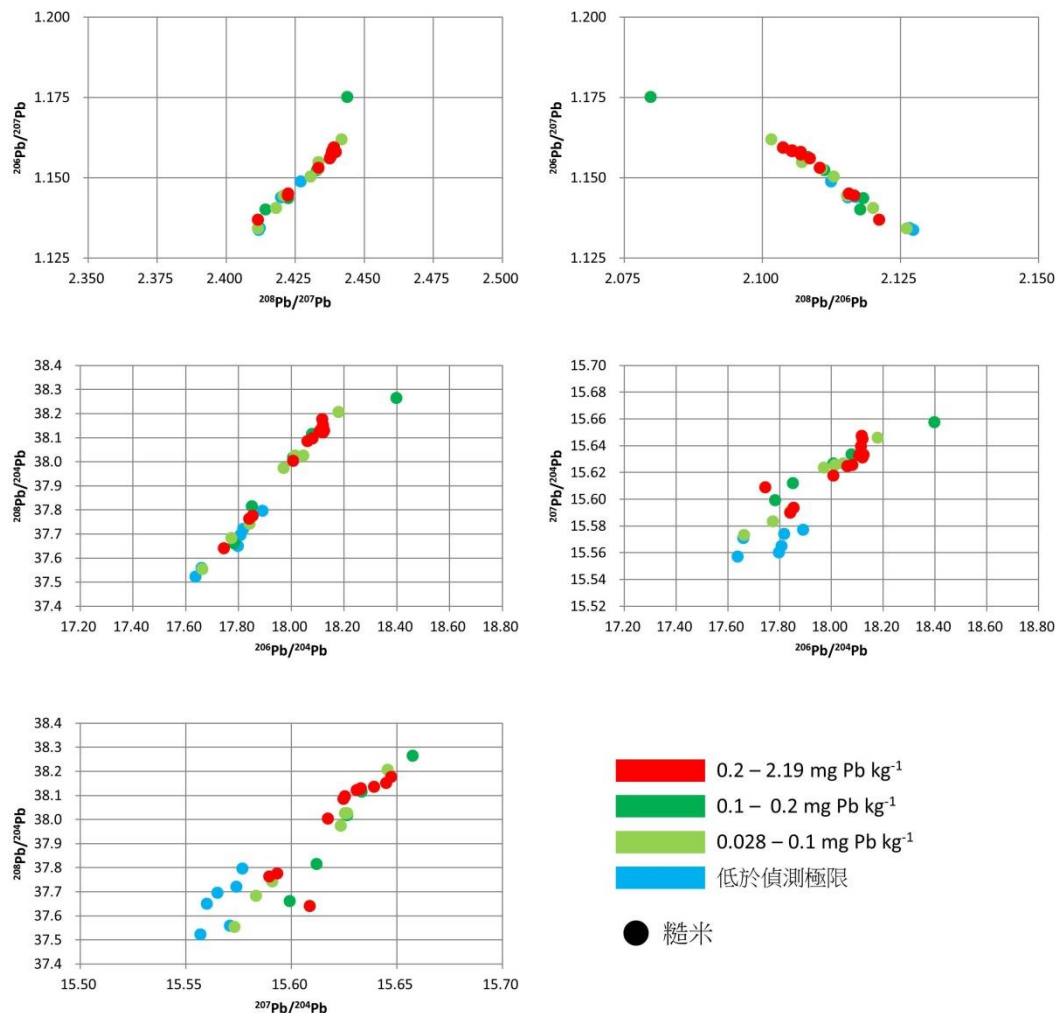


圖 6.31 糙米鉛同位素特徵綜合比較



6.2.2 水稻生育階段對植株各部位鉛同位素特徵影響

桃園市中壢區山嶺段場址之現地試驗中，除了探討潛在污染源特徵與影響外，也包含對不同生育期之水稻植株各部位進行採集與檢測鉛濃度與鉛同位素比值，圖 6.29 為糊熟期之調查結果，圖 6.32 則為分蘗期與開花期部分。各生育期內所測得之水稻植株各部位鉛濃度分布趨勢，均為地下部含鉛量高於地上部，依序為稻根、稻稈、稻葉、稻殼、糙米，與前人文獻相同。研究亦發現水稻植株各部位於不同生育期間除了蓄積含鉛量，鉛同位素特徵亦有所變化（如圖 6.33）。

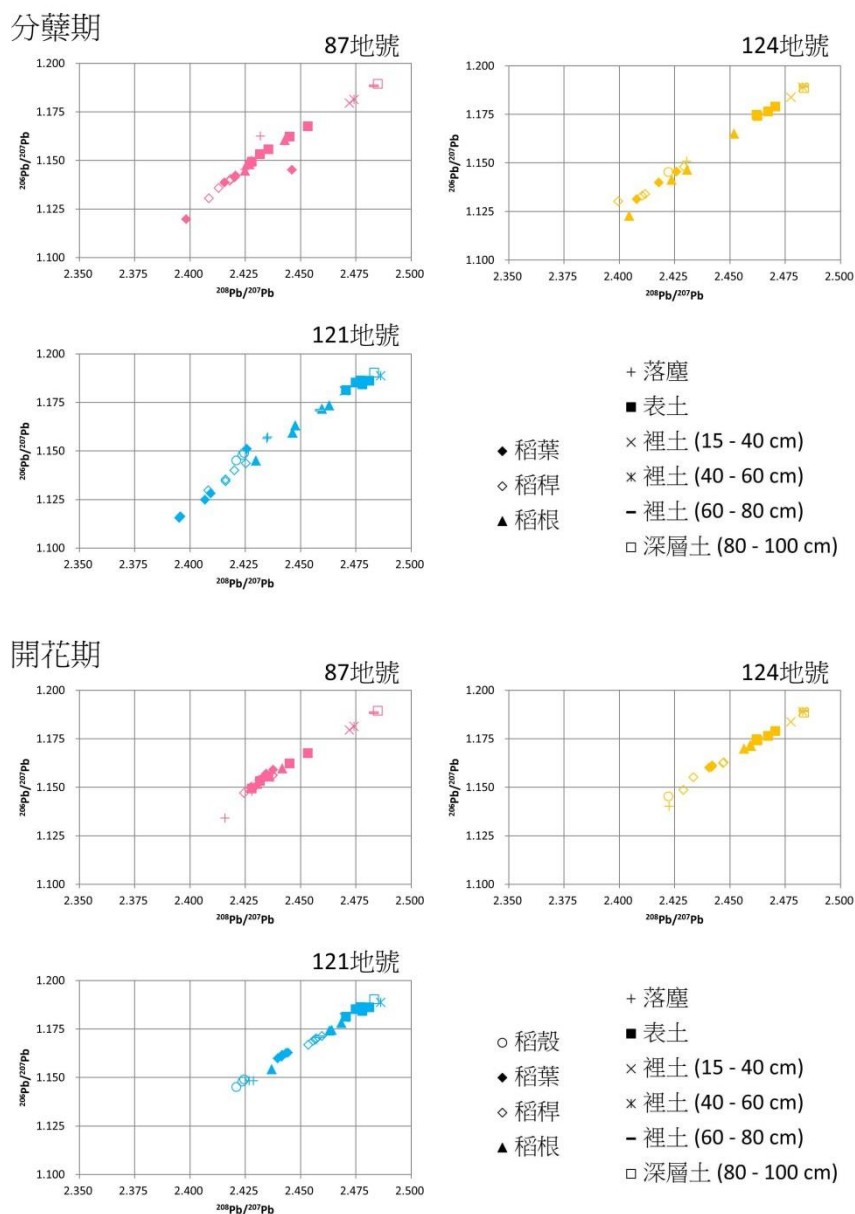


圖 6.32 桃園場址 2010 年第 2 期作現地非糊熟期之調查

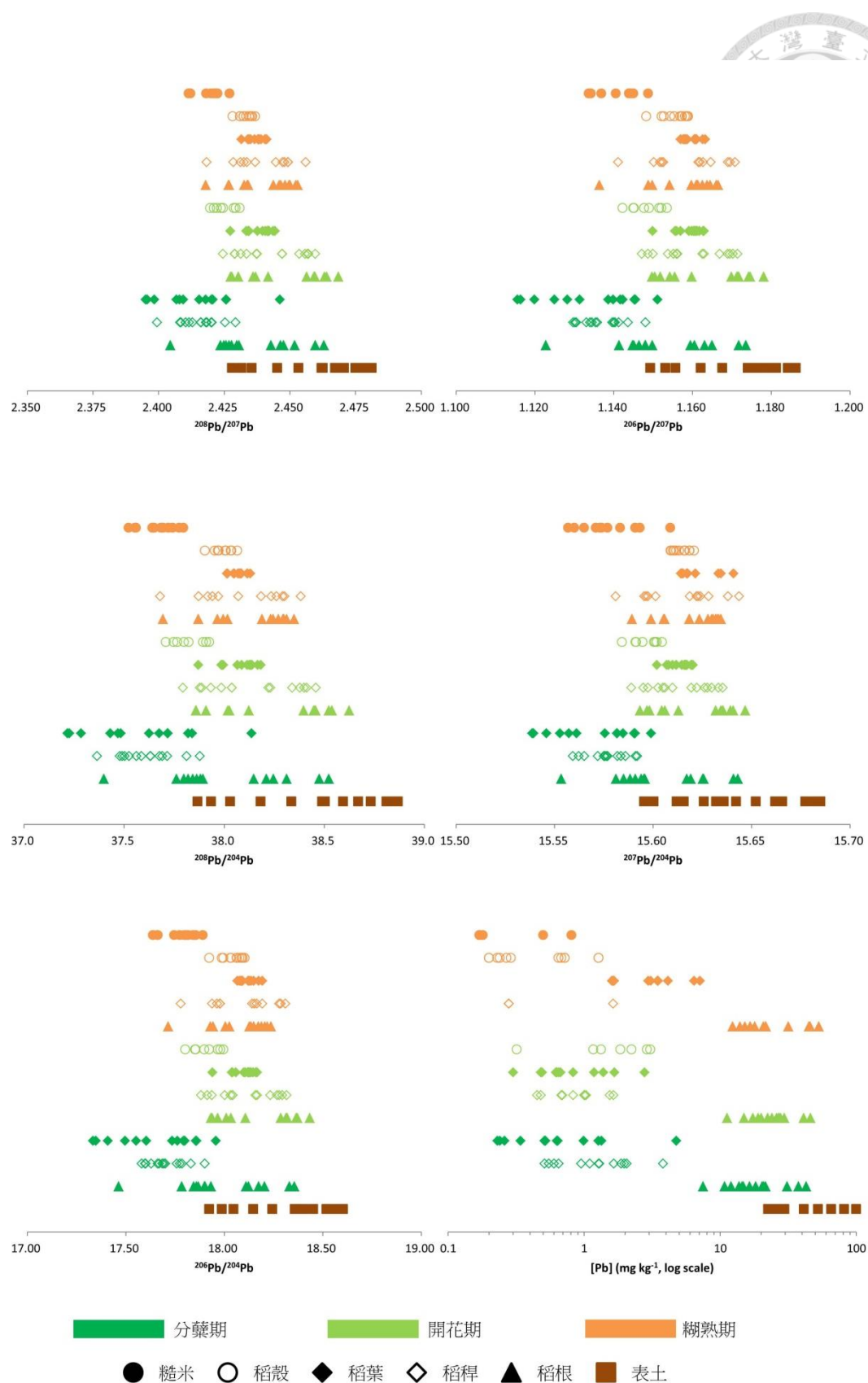


圖 6.33 水稻生育期間植株各部位與對應表土之鉛同位素特徵與濃度變化



6.3 農業環境系統內鉛同位素鑑定之綜合研析

環境樣本中所帶有的化學元素之穩定同位素比值可以訴說該樣本的歷史事蹟，藉由解讀同位素比值能知其來源與歷程。1965 年起，美國即有應用鉛同位素之環境研究，Shiel *et al.* (2010) 證明冶煉、精煉過程中並不會發生鉛同位素分化現象，製成品的鉛同位素特徵若察有變化，僅因製程中使用具備不同特徵的鉛礦，反映出來自不同產區的鉛礦之同位素特徵混合結果。由於含鉛產品的鉛同位素特徵不受環境變遷而分化 (Hurst *et al.*, 1996)，掌握鉛同位素在物化環境間的流布，可辨識、追蹤污染來源，量化污染貢獻量。

儘管 Wiederhold (2015) 肯定鉛同位素指紋的環境鑑識應用可行性，但並未將鉛列為已開發出高精度測量的穩定同位素元素之列。在本研究中，藉由多頻道感應耦合電漿質譜儀，輔以審慎操作鋇樹酯離子交換分離術，高精度之鉛同位素比值可獲測量，舉凡環境介質或作物植株均為適用樣品，但是相較傳統檢測分析，極昂貴的鉛同位素鑑識技術培訓、設置與維護費用，將會是推廣鉛同位素環境鑑識應用需考量的問題。

以圖 6.34 至圖 6.36 所示意，總結臺灣農業環境系統內土壤與水稻鉛同位素鑑定的主要發現。由 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 綜合比較圖解析鉛同位素指紋時，各場址不同鉛污染程度之土壤鉛同位素特徵會呈現由圖面右上角（背景區域或低鉛濃度樣區）往左下角（受人為污染區域或高鉛濃度樣區）之遞移分布（如圖 6.34），可以據之辨別非污染與污染、估算污染程度，然而水稻植株內則觀察有鉛同位素變異現象（如圖 6.35、圖 6.36），因此不利於作物鉛同位素指紋比對。另外，依據張等 (2010a) 於台北關渡平原農地的研究案例，鉛同位素指紋也可協助指認關渡平原砷污染來源，故環境中鉛同位素鑑定的適用範圍並不僅限制於鉛污染。

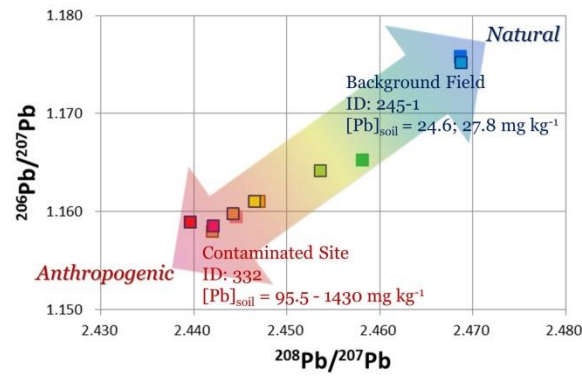


圖 6.34 背景與污染土壤鉛同位素特徵差異示意（以同安厝段資料為例）

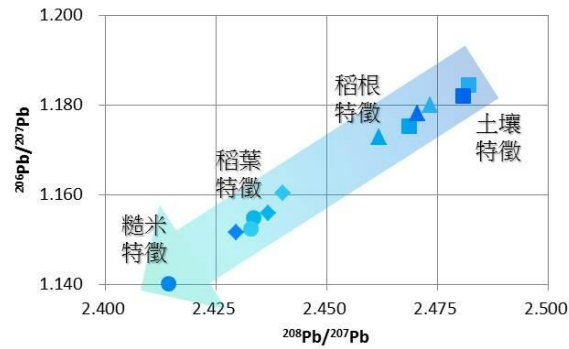


圖 6.35 作物鉛同位素變異示意（以盆栽試驗與現地試驗資料為例）

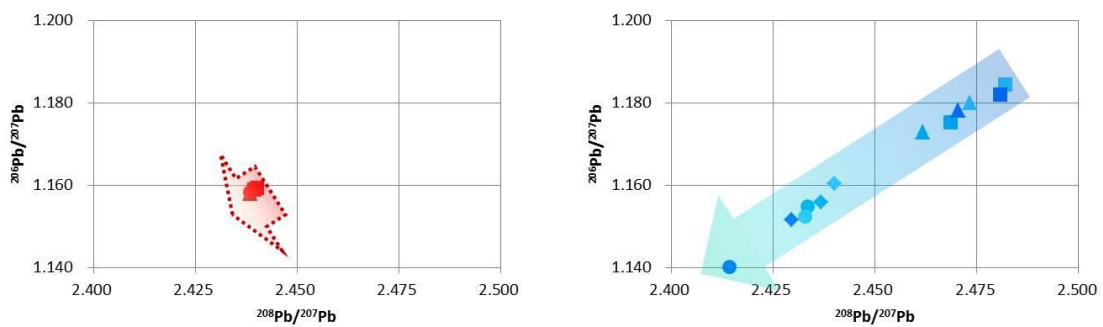


圖 6.36 污染區與背景區作物鉛同位素變異趨勢差異示意（以盆栽試驗與現地試驗資料為例）





七、結論與建議

7.1 結論

本論文完成環境介質（土壤、氣膠、灌溉水、底泥）、水稻（稻根、稻稈、稻葉、稻殼、糙米）、農業資材（肥料、農藥）、其它人造物質（硫酸鉛噴灑液等），共計三百餘個樣品之鉛同位素檢測，歸納以下 7 點結論：

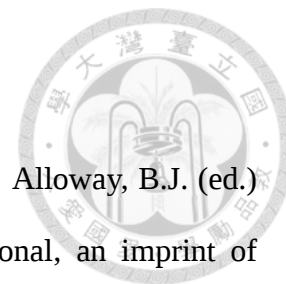
1. 針對高濃度土壤鉛之同位素調查與比對分析，台中、雲林等鉛污染場址造成土壤污染之污染源特徵可獲鑑定。
2. 生長於受污染嚴重土壤之稻作，其植株各部位與土壤鉛同位素特徵，均顯示受污染質影響並保有與其特徵一致之指紋。
3. 現地場址與盆栽試驗均發現，土壤背景對照組鉛同位素在植株內部有變異現象，係依序隨著越往地上部而有特徵偏移（土→根→葉→米， $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 與 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 比值降低），為本研究最先發現。
4. 盆栽試驗結果顯示，可於接受高鉛濃度噴灑液之稻葉特徵反映所接觸鉛之特徵，但鉛污染質進入稻葉後，在植株內的傳輸途徑尚未明瞭。
5. 以 0.05 M EDTA 萃取表層土壤鉛之鉛同位素特徵實能反映污染特徵，降低土壤母質中鉛的干擾，適用於污染點位之鑑識運用。
6. 檢視環境領域應用常探討的綜合比較圖，在本研究中發現，以 $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 與 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 之散布圖較 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 與 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 之散布圖更能呈現土壤與作物之特徵，進而利於協助污染判釋。
7. 運用鉛同位素作為環境污染鑑識之功能，所需檢測技術與分析方法已臻成熟，可作為在一般分析方法難以區別、辨識污染來源時，進一步之物理環境污染鑑識之輔助工具，但若涉及作物對比時，就因同位素變異而受到限制。



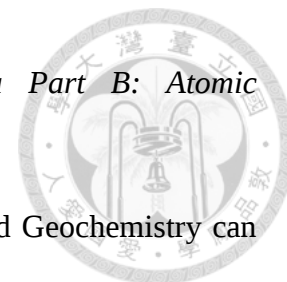
7.2 建議

1. 本研究所建置之鉛同位素鑑識技術已屬成熟，可適用於水、氣膠、土壤、植體等樣本，精密實驗操作時間視樣本特性而定，連同前置準備，至少需預留三週的作業時程，且其成本相對於傳統濃度測量亦屬高，舉凡千萬元級別之貴重儀器建置、維修養護費用、無塵室、試驗藥品以及實驗器皿等支出項目，所費不貲，是推廣應用時面臨的問題，未來建立環境鑑識中心時，儀器、設備、人員培訓，宜朝整合共用分享方式發展。
2. 前人研究指出，植物會自根部吸收土壤之鉛或經由葉面暴露而接觸空氣鉛源攝入鉛，但是鉛物質進入植株後，將如何移轉、分配仍未明朗。因鉛在水稻植株內的遷移機轉仍有待釐清，本研究發現之作物各部位之鉛同位素特徵變異現象，其與生理代謝機制之關聯性探討，值得後續研究。

參考文獻



- Alloway, B.J., 1995. Soil processes and the behaviour of metals. In: Alloway, B.J. (ed.) *Heavy Metals in Soils*, 2nd ed. Blackie Academic & Professional, an imprint of Chapman & Hall, Glasgow, UK, pp.11-35. ISBN-10: 0-751-40198-6.
- Alloway, B.J., 2013. *Heavy Metals in Soils*, 3rd ed. Springer, Dordrecht, Netherlands. ISBN-13: 9789400744707.
- Ariyama, K., Shinozaki, M., Kawasaki, A., Ishida, Y., 2011. Strontium and lead isotopes analyses for determining the geographic origins of grains. *Analytical Sciences* 27 (7), 709-713. <http://doi.org/10.2116/analsci.27.709>.
- Ariyama, K., Shinozaki, M., Kawasaki, A., 2012. Determination of the geographic origin of rice by chemometrics with strontium and lead isotope ratios and multielement concentrations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60 (7), 1628-1634. DOI: 10.1021/jf204296p.
- Aston, F.W., 1921. Isotopes and atomic weights. *Nature* 107 (2689), 334-338.
- Aston, F.W., 1927. The constitution of ordinary lead. *Nature* 120 (3015), 224.
- Aston, F.W., 1932. Isotopic constitution of lead from different sources. *Nature* 129 (3261), 649.
- Aston, F.W., 1935. Isotopes. *Nature* 135, 686-687.
- Aston, F.W., 1936. New Data on Isotopes. *Nature* 137, 613.
- Baker, J., Peate, D., Waight, T., Meyzen, C., 2004. Pb isotopic analysis of standards and samples using a ²⁰⁷Pb-²⁰⁴Pb double spike and thallium to correct for mass bias with a double-focusing MC-ICP-MS. *Chemical Geology* 211 (3-4), 275-303. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2004.06.030.
- Balcaen, L., Moens, L., Vanhaecke, F., 2010. Determination of isotope ratios of metals (and metalloids) by means of inductively coupled plasma-mass spectrometry for



- provenancing purposes – A review. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* 65 (9), 769-786. DOI: 10.1016/j.sab.2010.06.005.
- Baron, S., Tămaș, C.G., Le Carlier, C., 2014. How Mineralogy and Geochemistry can improve the significance of Pb isotopes in metal provenance studies. *Archaeometry* 56 (4), 665-680. DOI: 10.1111/arcm.12037.
- Barry, P.S., 1975a. A comparison of concentrations of lead in human tissues. *British Journal of Industrial Medicine* 32 (2), 119-139. PMID: 1131339
- Barry, P.S., 1975b. The current lead pollution problem. *Postgraduate Medical Journal* 51 (601), 783-787. PMID: 54912.
- Barry, P.S., 1981. Concentrations of lead in the tissues of children. *British Journal of Industrial Medicine* 38 (1), 61-71. PMID: 7193476.
- Barry, P.S.I., Mossman, D.B., 1970. Lead concentrations in human tissues. *British Journal of Industrial Medicine* 27 (4), 339-351. PMID: 5488693.
- Becker, J.S., 2005. Recent developments in isotope analysis by advanced mass spectrometric techniques. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 20 (1), 1173-1184. DOI: 10.1039/B508895J.
- Bellis, D.J., Satake, K., McLeod, C.W., 2004. A comparison of lead isotope ratios in the bark pockets and annual rings of two beech trees collected in Derbyshire and South Yorkshire, UK. *Science of the total environment* 321 (1-3), 105-113. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2003.08.030.
- Bennett, J.P., Chiriboga, E., Coleman, J., Waller, D.M., 2000. Heavy metals in wild rice from northern Wisconsin. *Science of the Total Environment* 246 (2-3), 261-269. DOI: 10.1016/S0048-9697(99)00464-7.
- Blacksmith Institute, Green Cross Switzerland (McCartor, A., Becker, D., Hanrahan, D., Ericson, B., Thomen, A., Fuller, A., Jones, D., May, I., Caravanos, J., *et al.*), 2010.

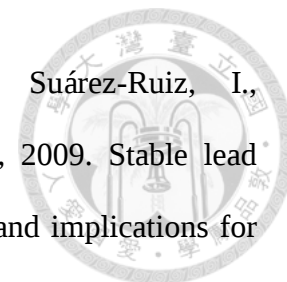


- World's Worst Pollution Problems Report 2010: Top Six Toxic Threats*. Blacksmith Institute, New York, USA. Available online: <http://www.worstpolluted.org/> (accessed on 15 May 2015).
- Blacksmith Institute, Green Cross Switzerland (Harris, J., McCartor, A., Fuller, R., Ericson, B., Caravanos, J., Hanrahan, D., John Keith, J., Becker, D., *et al.*), 2011. *The World's Worst Toxic Pollution Problems Report 2011: The Top Ten of the Toxic Twenty*. Blacksmith Institute, New York, USA. Available online: <http://www.worstpolluted.org/> (accessed on 15 May 2015).
- Blacksmith Institute, Green Cross Switzerland (Mills-Knapp, S., Traore, K., Ericson, B., Keith, J., Hanrahan, D., Caravanos, J., *et al.*), 2012. *The World's Worst Pollution Problems: Assessing Health Risks at Hazardous Waste Sites*. Blacksmith Institute, New York, USA. Available online: <http://www.worstpolluted.org/> (accessed on 15 May 2015).
- Bi, X., Feng, X., Yang, Y., Li, X., Shin, G.P.Y., Li, F., Qiu, G., Li, G., Liu, T., Fu, Z., 2009. Allocation and source attribution of lead and cadmium in maize (*Zea mays* L.) impacted by smelting emissions. *Environmental Pollution* 157 (3), 834-839. DOI: 10.1016/j.envpol.2008.11.013.
- Bollhöfer, A., Rosman, K.J.R., 2001. Isotopic source signatures for atmospheric lead: The Northern hemisphere. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 65 (11), 1727-1740. DOI: 10.1016/S0016-7037(00)00630-X.
- Brill, R.H., Wampler, J.M., 1967. Isotope studies of ancient lead. *American Journal of Archaeology* 71 (1), 63-77. DOI: 10.2307/501589.
- Brookins, D.G., 1988. *Eh-pH Diagrams for Geochemistry*. Springer-Verlag, New York, USA. ISBN-10: 0-387-18485-6.
- Cao, H., Chen, J., Zhang, J., Zhang, H., Qiao, L., Men, Y., 2010. Heavy metals in rice

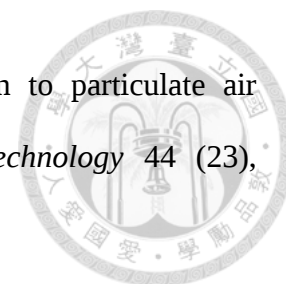


- and garden vegetables and their potential health risks to inhabitants in the vicinity of an industrial zone in Jiangsu, China. *Journal of Environmental Sciences* 22 (11), 1792-1799. DOI: 10.1016/S1001-0742(09)60321-1.
- Chen, G., Sun, G.-R., Liu, A.-P., Zhou, W.-D., 2008. Lead enrichment in different genotypes of rice grains. *Food and Chemical Toxicology* 46 (3), 1152-1156. DOI: 10.1016/j.fct.2007.11.012.
- Chen, Z.-S., Lee, D.-Y., 1995. Heavy metals contents of representative agricultural soils in Taiwan. *Journal of Chinese Institute of Environmental Engineering* 5 (3), 205-211. Available online: <http://ser.cienve.org.tw/download/5-3/5-3-1.pdf> (accessed on 15 May 2015).
- Cheng, B.-Y., Yao, P.-H., Chang, T.-K., Kuan, A., Hung, M.-S., 2014. A novel screening method for agricultural land with high potential of heavy metal pollution in Taiwan. 2014 International Conference on Remediation and Management of Soil and Groundwater Contaminated Sites, Taipei, Taiwan (R.O.C.), pp. 137.
- Cheng, H., Hu, Y., 2010. Lead (Pb) isotopic fingerprinting and its applications in lead pollution studies in China: A review. *Environmental Pollution* 158 (5), 1134-1146. DOI: 10.1016/j.envpol.2009.12.028.
- Cheng, M.-C., You, C.-F., 2010. Sources of major ions and heavy metals in rainwater associated with typhoon events in southwestern Taiwan. *Journal of Geochemical Exploration* 105 (3), 106-116. DOI: 10.1016/j.gexplo.2010.04.010.
- Cheng, M.-C., You, C.-F., Lin, F.-J., Huang, K.-F., Chung, C.-H., 2011. Sources of Cu, Zn, Cd and Pb in rainwater at a subtropical islet offshore northern Taiwan. *Atmospheric Environment* 45 (11), 1919-1928. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2011.01.034.
- Cheremisinoff, P.N., Cheremisinoff, N.P., 1993. *Lead: A Guidebook to Hazard*

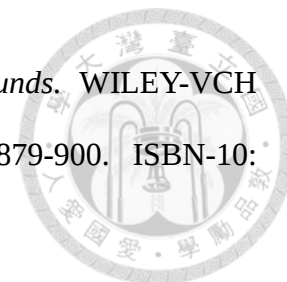
- Detection, Remediation, and Control*. PTR Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA. ISBN-10: 0-13-012436-2. ISBN-13: 9780130124364.
- Chiang, K.-Y., Lin, K.-C., Lin, S.-C., Chang, T.-K., Wang, M.-K., 2010. Arsenic and lead (beudantite) contamination of agricultural rice soils in the Guandu Plain of northern Taiwan. *Journal of Hazardous Materials* 181 (1-3), 1066-1071. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.05.123.
- Christensen, J.N., Halliday, A.N., Godfrey, L.V., Hein, J.R., Rea, D.K., 1997. Climate and ocean dynamics and the lead isotopic records in Pacific ferromanganese crusts. *Science* 277 (5238), 913-918. DOI: 10.1126/science.277.5328.913.
- Chow, T.J., Johnstone, M.S., 1965. Lead isotopes in gasoline and aerosols of Los Angeles basin, California. *Science* 147 (3657), 502-503. DOI: 10.1126/science.147.3657.502.
- Cloquet, C., Carignan, J., Libourel, G., Sterckeman, T., Perdrix, E., 2006. Tracing source pollution in soils using cadmium and lead isotopes. *Environmental Science & Technology* 40 (8), 2525-2530. DOI: 10.1021/es052232+.
- Cocherie, A., Robert, M., 2007. Direct measurement of lead isotope ratios in low concentration environmental samples by MC-ICP-MS and multi-ion counting. *Chemical Geology* 243 (1-2), 90-104. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2007.05.011.
- Dawson, J.C., Tetzlaff, D., Carey, A.-M., Soulsby, C., Killham, K., Meharg, A.A, 2010. Characterizing Pb mobilization from upland soils to streams using $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ isotopic ratios. *Environmental Science & Technology* 44 (1), 243-249. DOI: 10.1021/es902664d.
- Delile, H., Blichert-Toft, J., Goiran, J.-P., Keay, S., Albarède, F., 2014. Lead in ancient Rome's city waters. *PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America)* 111 (18), 6594-6599. DOI: 10.1073/pnas.1400097111.



- Díaz-Somoano, M., Kylander, M.E., López-Antón, M.A., Suárez-Ruiz, I., Martínez-Tarazona, M.R., Ferrat, M., Kober, B., Weiss, D.J., 2009. Stable lead isotope compositions in selected coals from around the world and implications for present day aerosol source tracing. *Environmental Science & Technology* 43 (4), 1078-1085. DOI: 10.1021/es801818r.
- Didfenbacher, P., 2009. Stable isotope signatures of heavy metals as tracers for anthropogenic pollution in the environment.
- Doe, B.R., 1970. *Lead Isotopes*. Springer-Verlag, Berlin, Germany. LCCN: 70-124067. (*Minerals, Rocks and Inorganic Materials – Monograph Series of Theoretical and Experimental Studies 3: Isotopes in Geology*) ISBN-13: 9783642872808.
- Doe, B.R., Stacey, J.S., 1974. The application of lead isotopes to the problems of ore genesis and ore prospect evaluation: A review. *Economic Geology* 69 (6), 757-776. DOI: 10.2113/gsecongeo.69.6.757.
- Elbaz-Poulichet, F., Holliger, P., Huang, W.W., Martin, J.-M., 1984. Lead cycling in estuaries, illustrated by the Gironde estuary, France. *Nature* 308, 409-414. DOI: 10.1038/308409a0.
- Ellam, R.M., 2010. The graphical presentation of lead isotope data for environmental source apportionment. *Science of the Total Environment* 408 (16), 3490-3492. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2010.03.037.
- Emsley, J., 2005. *The Elements of Murder: A History of Poison*. Oxford University Press Inc., New York, USA. ISBN-10: 0-19-280599-1. ISBN-13: 9780192805997.
- Erel, Y., Veron, A., Halicz, L., 1997. Tracing the transport of anthropogenic lead in the atmosphere and in soils using isotopic ratios. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61 (21), 4495-4505. DOI: 10.1016/S0016-7037(97)00353-0.
- Ewing, S.A., Christensen, J.N., Brown, S.T., Vancuren, R.A., Cliff, S.S., Depaolo, D.J.,



2010. Pb isotopes as an indicator of the Asian contribution to particulate air pollution in urban California. *Environmental Science & Technology* 44 (23), 8911-8916. DOI: 10.1021/es101450t.
- Feng, J., Wang, Y., Zhao, J., Zhu, L., Bian, X., Zhang, W., 2011. Source attributions of heavy metals in rice plant along highway in Eastern China. *Journal of Environmental Sciences* 23 (7), 1158-1164. DOI: 10.1016/S1001-0742(10)60529-3.
- Fergusson, J.E., 1990. *The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects*. Pergamon Press, Oxford, UK. ISBN-10: 0-08-040275-5.
- Flegal, R.A., 1998. Clair Patterson's influence on environmental research. *Environmental Research* 78 (2), 65-70. DOI: 10.1006/enrs.1998.3861.
- Flegal, A.R., Nriagu, J.O., Niemeyer, S., Coale, K.H., 1989. Isotopic tracers of lead contamination in the Great Lakes. *Nature* 339, 455-458. DOI: 10.1038/339455a0.
- Gale, N.H., 1996. A new method for extracting and purifying lead from difficult matrices for isotopic analysis. *Analytica Chimica Acta* 332 (1), 15-21. DOI: 10.1016/0003-2670(96)00207-3.
- Gale, N.H., Stos-Gale, Z.A., 1982. Bronze Age copper sources in the Mediterranean: A new approach. *Science* 216 (4541), 11-19. DOI: 10.1126/science.216.4541.11.
- Galer, S.J.G., Abouchami, W., 1998. Practical application of lead triple spiking for correction of instrumental mass discrimination. *Mineralogical Magazine* 62A (1), 491-492. DOI: 10.1180/minmag.1998.62A.1.260.
- Geagea, M.L., Stille, P., Gauthier-Lafaye, F., Millet, Maurice, 2008. Tracing of industrial aerosol sources in an urban environment using Pb, Sr, and Nd isotopes. *Environmental Science & Technology* 42 (3), 692-698. DOI: 10.1021/es071704c.
- Gerhardsson, L., 2004. Lead. In: Merian, E., Anke, M., Ihnat, M., Stoepler, M. (eds.) *Elements and their Compounds in the Environment: Occurrence, Analysis and*



- Biological Relevancet. Volume 2: Metals and their Compounds.* WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, pp. 879-900. ISBN-10: 3-527-30459-2. ISBN-13: 9783527304592.
- Gilfillan, S.C., 1965. Lead poisoning and the fall of Rome. *Journal of Occupational Medicine* 7, 53-60. PMID: 14261844.
- Gobeil, C., Macdonald, R. W., Smith, J.N., Beaudin, L., 2001. Atlantic water flow pathways revealed by lead contamination in Arctic basin sediments. *Science* 293 (5533), 1301-1304. DOI: 10.1126/science.1062167.
- Gross, B.H., Kreutz, K.J., Osterberg, E.C., McConnell, J.R., Handley, M., Wake, C.P., Yalcin, K., 2012. Constraining recent lead pollution sources in the North Pacific using ice core stable lead isotopes. *Journal of Geophysical Research* 117 (D16), D16307: 1-14, DOI: 10.1029/2011JD017270.
- Guberman, D.E., 2015. *2012 Minerals Yearbook: Lead [Advance Release]*. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, USA. Available online: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lead/> (accessed on 25 June 2015).
- Gulson, B.L., Tiller, K.G., Mizon, K.J., Merry, R.H., 1981. Use of lead isotopes in soils to identify the source of lead contamination near Adelaide, South Australia. *Environmental Science & Technology* 15 (6), 691-696. DOI: 10.1021/es00088a008.
- Gulson, B.L., Cameron, M.A., Smith, A.J., Mizon, K.J., Korsch, M.J., Vimpani, G., McMichael, A.J., Pisaniello, D., Jameson, C.W., Mahaffey, K.R., 1998. Blood lead–urine lead relationships in adults and children. *Environmental Research* 78 (2), 152-160. DOI: 10.1006/enrs.1997.3810.
- Hayes, R.B., 1997. The carcinogenicity of metals in humans. *Cancer Causes and Control* 8 (3), 371-385. DOI: 10.1023/A:1018457305212.

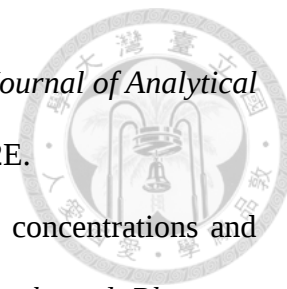
- 
- Hernberg, S., 2000. Lead poisoning in a historical perspective. *American Journal of Industrial Medicine* 38 (3), 244-254. DOI: 10.1002/1097-0274(200009)38:3<244::AID-AJIM3>3.0.CO;2-F.
- Ho, K.-S., Liu, Y., Chen, J.-C., You, C.-F., Yang, H.-J., 2011. Geochemical characteristics of Cenozoic Jining Basalts of the Western North China Craton: Evidence for the role of the lower crust, lithosphere, and asthenosphere in petrogenesis. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences* 22 (1), 15-40. DOI: 10.3319/TAO.2010.06.28.01(TT).
- Ho, K.-S., Ge, W.-C., J.-C., You, C.-F., Yang, H.-J., Zhang, Y.-L., 2013. Late Cenozoic magmatic transitions in the central Great Xing'an Range, Northeast China: Geochemical and isotopic constraints on petrogenesis. *Chemical Geology* 352, 1-18. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2013.05.040.
- Hong, S., Candelone, J.-P., Patterson, C.C., Boutron, C.F., 1994. Greenland ice evidence of hemispheric lead pollution two millennia ago by greek and roman civilizations. *Science* 265 (5180), 1841-1843. DOI: 10.1126/science.265.5180.1841.
- Hseu, Z.-Y., Su, S.-W., Lai, H.-Y., Guo, H.-Y., Chen, T.-C., Chen, Z.-S., 2010. Remediation techniques and heavy metal uptake by different rice varieties in metal-contaminated soils of Taiwan: New aspects for food safety regulation and sustainable agriculture. *Soil Science and Plant Nutrition* 56 (1), 31-52. DOI: 10.1111/j.1747-0765.2009.00442.x.
- Hsu, S.-C., Liu, S.-C., Jeng, W.-L., Chou, C.C.-K., Hsu, R.-T., Hung, Y.-T., Chen, Y.-W., 2006. Lead isotope ratios in ambient aerosols from Taipei, Taiwan: Identifying long-range transport of airborne Pb from the Yangtze Delta. *Atmospheric Environment* 40 (28), 5393-5404. DOI:10.1016/j.atmosenv.2006.05.003.
- Huang, Y., Hu, Y., Liu, Y., 2009. Heavy metal accumulation in iron plaque and growth



- of rice plants upon exposure to single and combined contamination by copper, cadmium and lead. *Acta Ecologica Sinica* 29 (6), 320-326. DOI: 10.1016/j.chnaes.2009.09.011
- Huang, P.-C., Su, P.-H., Chen, H.-Y., Huang, H.-B., Tsai, J.-L., Huang, H.-I., Wang, S.-L., 2012. Childhood blood lead levels and intellectual development after ban of leaded gasoline in Taiwan: A 9-year prospective study. *Environment International* 40, 88-96. DOI: 10.1016/j.envint.2011.10.011.
- Hutton, M., 1987. Human health concerns of lead, mercury, cadmium and arsenic. In: Hutchinson, T.C., Meema, K.M. (eds.) *Lead, Mercury, Cadmium, and Arsenic in the Environment (SCOPE 31)*. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) of the International Council of Scientific Unions (ICSU), Chichester, UK, pp. 53-68. ISBN-10: 0-471-91126-7.
- Hwang, Y.-H., Ko, Y., Chiang, C.-D., Hsu, S.-P., Lee, Y.-H., Yu, C.-H., Chiou, C.-H., Wang, J.-D., Chuang, H.-Y., 2004. Transition of cord blood lead level, 1985–2002, in Taipei area and its determinants after the cease of leaded gasoline use. *Environmental Research* 96 (3), 274-282. DOI: 10.1016/j.envres.2004.02.002.
- Hwang, Y.-H., Chiang, H.-Y., Yen-Jean, M.-C., Wang, J.-D., 2009. The association between low levels of lead in blood and occupational noise-induced hearing loss in steel workers. *Science of the Total Environment* 408 (1), 43-49. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2009.09.016.
- International Programme on Chemical Safety (IPCS), 1977. *Lead*. World Health Organization, Geneva, Switzerland. Available online: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc003.htm> (accessed on 15 May 2015, *Environmental Health Criteria (EHC) Monographs No. 3*).
- International Programme on Chemical Safety (IPCS), 1989. *Lead - Environmental*



- Aspects*. World Health Organization, Geneva, Switzerland. Available online: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc85.htm> (accessed on 15 May 2015, *Environmental Health Criteria (EHC) Monographs No. 85*).
- International Programme on Chemical Safety (IPCS), 1995. *Inorganic Lead*. World Health Organization, Geneva, Switzerland. Available online: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc165.htm> (accessed on 15 May 2015, *Environmental Health Criteria (EHC) Monographs No. 165*).
- Jackson, B.P., Winger, P.V., Lasier, P.J., 2004. Atmospheric lead deposition to Okefenokee Swamp, Georgia, USA. *Environmental Pollution* 130 (3), 445-451. DOI: 10.1016/j.envpol.2003.12.019.
- Jaworski, J.F., 1987. Lead. In: Hutchinson, T.C., Meema, K.M. (eds.) *Lead, Mercury, Cadmium, and Arsenic in the Environment (SCOPE 31)*. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) of the International Council of Scientific Unions (ICSU), Chichester, UK, pp. 3-16. ISBN-10: 0-471-91126-7.
- Johnson, C.M., Beard, B.L., Albarède, F., 2004. *Geochemistry of Non-traditional Stable Isotopes*. Mineralogical Society of America, Washington, D.C., USA. ISBN 1529-6466.
- Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A. B., 2007. *Trace Elements from Soils to Human*. Springer, New York, USA. ISBN-10: 3-540-32713-4. ISBN-13: 9783540327134. DOI: 10.1007/978-3-540-32714-1.
- Kamenov, G.D., 2008. High-precision Pb isotopic measurements of teeth and environmental samples from Sofia (Bulgaria): Insights for regional lead sources and possible pathways to the human body. *Environmental Geology* 55 (3), 669-680. DOI: 10.1007/s00254-007-1017-y.
- Kamenov, G.D., Mueller, P.A., Perfit, M.R., 2004. Optimization of mixed Pb-Tl



- solutions for high precision isotopic analyses by MC-ICP-MS. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 19 (9), 1262-1267. DOI: 10.1039/B403222E.
- Kelly, A.E., Reuer, M.K., Goodkin, N.F., Boyle, E.A., 2009. Lead concentrations and isotopes in corals and water near Bermuda, 1780–2000. *Earth and Planetary Science Letters* 283 (1), 93-100. DOI: 10.1016/j.epsl.2009.03.045.
- Keinonen, M., 1990. The isotopic composition of lead in man and the environment in Finland 1966–1987: Isotope ratios of lead as indicators of pollutant source. *Science of the Total Environment* 113 (3), 251-268. DOI: 10.1016/0048-9697(92)90004-C.
- Kim, Y.-Y., Yang, Y.-Y., Lee, Y., 2002. Pb and Cd uptake in rice roots. *Physiologia Plantarum* 116 (3), 368-372. DOI: 10.1034/j.1399-3054.2002.1160312.x.
- Komárek, M., Chrastný, V., Štíhová, J., 2007. Metal/metalloid contamination and isotopic composition of lead in edible mushrooms and forest soils originating from a smelting area. *Environment International* 33 (5), 677-684. DOI: 10.1016/j.envint.2007.02.001.
- Komárek, M., Ettler, V., Chrastný, V., Mihaljevič, M., 2008. Lead isotopes in environmental sciences: A review. *Environment International* 34 (4), 562-577. DOI: 10.1016/j.envint.2007.10.005.
- Kurkjian, R., Flegal, A.R., 2003. Isotopic evidence of the persistent dominance of blood lead concentrations by previous gasoline lead emissions in Yerevan, Armenia. *Environmental Research* 93 (3), 308-315. DOI: 10.1016/S0013-9351(03)00066-5.
- Kylander, M.E., Cortizas, A.M., Rauch, S., Weiss, D.J., 2008. Lead penetration and leaching in a complex temperate soil profile. *Environmental Science & Technology* 42 (9), 3177-3184. DOI: 10.1021/es702358e.
- Laidlaw, M.A.S., Zahran, S., Mielke, H.W., Taylor, M.P., Filippelli, G.M., 2012. Resuspension of lead contaminated urban soil as a dominant source of atmospheric

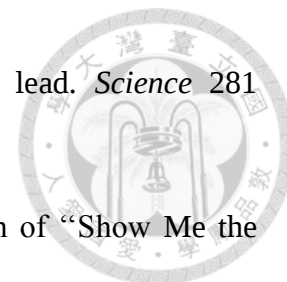
- lead in Birmingham, Chicago, Detroit and Pittsburgh, USA. *Atmospheric Environment* 49 (March 2012), 302-310. DOI:10.1016/j.atmosenv.2011.11.030.
- Lee, H.S., Cho, Y.H., Park, S.O., Kye, S.H., Kim, B.H., Hahm, T.S., Kim, M., Lee, J. O., Kim, C.I., 2006. Dietary exposure of the Korean population to arsenic, cadmium, lead and mercury. *Journal of Food Composition and Analysis* 19 (Supplement), S31-S37. DOI: 10.1016/j.jfca.2005.10.006 (28th US National Nutrient Databank Conference).
- Lee, C.-H., Hsieh, Y.-C., Lin, T.-H., Lee, D.-Y., 2013. Iron plaque formation and its effect on arsenic uptake by different genotypes of paddy rice. *Plant and Soil* 363 (1-2), 231-241. DOI: 10.1007/s11104-012-1308-2.
- Li, H.-B., Chen, K., Juhasz, A.L., Huang, L., Ma, L.Q., 2015. Childhood lead exposure in an industrial town in China: Coupling stable isotope ratios with bioaccessible lead. *Environmental Science & Technology* 49 (8), 5080-5087. DOI: 10.1021/es5060622.
- Lin, H.-T., Wong, S.-S., Li, G.-C., 2004. Heavy metal content of rice and shellfish in Taiwan. *Journal of Food and Drug Analysis* 12 (2), 167-174.
- Lin, S.-C., Chang, T.-K., Huang, W.-D., Lur, H.-S., Shyu, G.-S., 2013. Accumulation of arsenic in rice plant: A study of an arsenic contaminated site in Taiwan. *Paddy and Water Environment* 13 (1), 11-18. DOI: 10.1007/s10333-013-0401-3.
- Lin, Y.-Y., Guo, Y.-L.L, Chen, P.-C., Liu, J.-H., Wu, H.-C., Hwang, Y.-H., 2011. Associations between petrol-station density and manganese and lead in the cord blood of newborns living in Taiwan. *Environmental Research* 111 (2), 260-265. DOI: 10.1016/j.envres.2011.01.001.
- Ling, J., Stos-Gale, Z., Grandin, L., Billström, K., Hjärthner-Holdar, E., Persson, P.-O., 2014. Moving metals II: Provenancing Scandinavian Bronze Age artefacts by lead



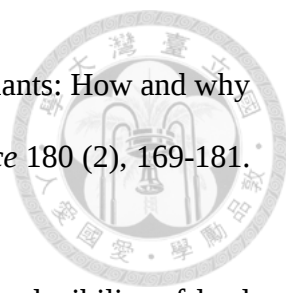
- isotope and elemental analyses. *Journal of Archaeological Sciences* 41 (January 2014), 106-132. DOI: 10.1016/j.jas.2013.07.018.
- Liu, J.G., Li, K.Q., Xu, J.K., Zhang, Z.J., Yang, J.C., Zhu, Q.S., 2003. Lead toxicity, uptake, and translocation in different rice cultivars. *Plant Science* 165 (4), 793-802. DOI: 10.1016/S0168-9452(03)00273-5.
- Liu, J.G., Ma, X.M., Wang, M.G., Sun, X.W, 2013. Genotypic differences among rice cultivars in lead accumulation and translocation and the relation with grain Pb levels. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 90, 35-40. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2012.12.007.
- Loveless, A.J., 1975. Lead isotopes – A guide to major mineral deposits. *Geoexploration* 13 (1-4), 13-27. doi:10.1016/0016-7142(75)90003-4.
- Lovering, T.G., 1976. Lead in the Environment – Summary. In: Lovering, T.G. (ed.) *Lead in the Environment*. U.S. Department of the Interior, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., USA, pp.1-4.
- Meharg, A.A., 2004. Arsenic in rice – understanding a new disaster for South-East Asia. *TRENDS in Plant Science* 9 (9), 415-417. DOI: 10.1016/j.tplants.2004.07.002.
- Mielke, H.W., Zahran, S., 2012. The urban rise and fall of air lead (Pb) and the latent surge and retreat of societal violence. *Environment International* 43, 48-55. DOI: 10.1016/j.envint.2012.03.005.
- Monna, F., Lancelot, J., Croudace, I.W., Cundy, A.B., Lewis, J.T., 1997. Pb isotopic composition of airborne material from France and the Southern United Kingdom: Implications for Pb pollution sources in urban areas. *Environmental Science & Technology* 31 (8), 2277-2286. DOI: 10.1021/es960870+.
- Morel, J.L., Mench, M., Guckert, A., 1986. A measurement of Pb, Cu, Cd binding with mucilage exudates from maize (*Zea mays* L.) roots. *Biology and Fertility of Soils* 2



- (1), 29-34. DOI: 10.1007/BF00638958.
- Mukai, H., Tanaka, A., Fujii, T., Nakao, M., 1994. Lead isotope ratios of airborne particulate matter as tracers of long-range transport of air pollutants around Japan. *Journal of Geophysical Research* 99 (D2), 3717-3726. DOI: 10.1029/93JD02917.
- Needleman, H.L., 1998. Clair Patterson and Robert Kehoe: Two views of lead toxicity. *Environmental Research, Section A* 78 (2), 79-85. DOI: 10.1006/enrs.1997.3807.
- Nemerow, N.L., 1974. *Scientific Stream Pollution Analysis*. Scripta Book Company, Washington, D.C., USA. ISBN-10: 0-07-046240-2.
- Nohda, S., Wang, B.-S., You, C.-F., Shinjo, R., 2011. New supplemental activator for lead isotope analysis using TIMS. *Geochemical Journal* 45 (2), 169-174. DOI: 10.2343/geochemj.1.0106.
- Nriagu, J.O., 1990a. The rise and fall of leaded gasoline. *Science of the Total Environment* 92 (March 1990), 13-28. DOI: 10.1016/0048-9697(90)90318-O.
- Nriagu, J.O., 1990b. Human influence on the global cycling of trace metals. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 82 (1-2), 113-120. DOI: 10.1016/S0031-0182(12)80025-3.
- Nriagu, J.O., 1990c. Global metal pollution: Poisoning the biosphere? *Environment: Science and Policy for Sustainable Development* 32 (7), 7-33. DOI: 10.1080/00139157.1990.9929037.
- Nriagu, J.O., Lin, T.-S., 1995. Trace metals in wild rice sold in the United States. *Science of the Total Environment* 172 (2-3), 223-228. DOI: 10.1016/0048-9697(95)04809-X.
- Nriagu, J.O., Blankson, M.L., Ocran, K., 1996. Childhood lead poisoning in Africa: A growing public health problem. *Science of the Total Environment* 181 (2), 93-100. DOI: 10.1016/0048-9697(95)04954-1.



- Nriagu, J.O., 1998a. Paleoenvironmental research: Tales told in lead. *Science* 281 (5383), 1622-1623. DOI: 10.1126/science.281.5383.1622.
- Nriagu, J.O., 1998b. Clair Patterson and Robert Kehoe's Paradigm of "Show Me the Data" on environmental lead poisoning. *Environmental Research, Section A* 78 (2), 71-78. DOI: 10.1006/enrs.1997.3808.
- Panich-pat, T., Srinives, 2009. Partitioning of lead accumulation in rice plants. *Thai Journal of Agricultural Science* 42 (1), 35-40.
- Patterson, C.C., 1965a. Age of meteorites and the earth. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 10 (4), 230-237. DOI: 10.1016/0016-7037(56)90036-9.
- Patterson, C.C., 1965b. Contaminated and Natural Lead Environments of Man. *Archives of Environmental Health: An International Journal* 11 (3), 344-360. DOI: 10.1080/00039896.1965.10664229.
- Patterson, C.C., 1980. An alternative perspective: Lead pollution in the human environment: origin, extent, and significance. In: Committee on Lead in the Human Environment, Environmental Studies Board Commission on Natural Resources, National Research Council (eds.) *Lead in the Human Environment*. National Academy of Sciences, Washington, D.C., USA, pp. 265-274. ISBN-10: 0-309-03021-8.
- Peralta-Videa, J.R., Lopez, M.L., Narayan, M., Saupe, G., Gardea-Torresdey, J., 2009. The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: Implications for the food chain. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology* 41 (8-9), 1665-1677. DOI: 10.1016/j.biocel.2009.03.005.
- Pourrut, B., Shahid, M., Dumat, C., Winterton, P., Pinelli, E., 2011. Lead uptake, toxicity, and detoxification in plants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 213, 113-136. DOI: 10.1007/978-1-4419-9860-6_4.

- 
- Rascio, N., Navari-Izzo, F., 2011. Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Science* 180 (2), 169-181. DOI: 10.1016/j.plantsci.2010.08.016.
- Rehkämper, M., Halliday, A.N., 1998. Accuracy and long-term reproducibility of lead isotopic measurements by multiple-collector inductively coupled plasma mass spectrometry using an external method for correction of mass discrimination. *International Journal of Mass Spectrometry* 181 (1-3), 123-133. DOI: 10.1016/S1387-3806(98)14170-2.
- Römken, P.F.A.M., Guo, H.Y., Chu, C.L., Liu, T.S., Chiang, C.F., Koopmans, G.F., 2009. Prediction of Cadmium uptake by brown rice and derivation of soil-plant transfer models to improve soil protection guidelines. *Environmental Pollution* 157 (8-9), 2435-2444. DOI: 10.1016/j.envpol.2009.03.009.
- Rosman, K.J.R., Chisholm, W., Boutron, C.F., Candelone, J.P., Görlach, U., 1993. Isotopic evidence for the source of lead in Greenland snows since the late 1960s. *Nature* 362, 333-335. DOI: 10.1038/362333a0.
- Russell, R.D., Farquhar, R.M., 1960. *Lead isotopes in geology*. Interscience Publishers, New York, USA.
- Semlali, R.M., Van Oort, F., Denaix, L., Loubet, M., 2001. Estimating distributions of endogenous and exogenous Pb in soils by using Pb isotopic ratios. *Environmental Science & Technology* 35 (21), 4180-4188. DOI: 10.1021/es0002621.
- Sharma, P., Dubey, R.S., 2005. Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 7 (1), 35-52. <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202005000100004>.
- Shen, C.-C., Wu, C.-C., Cheng, H., Edwards, R.L., Hsieh, Y.-T., Gallet, S., Chang, C.-C., Li, T.-Y., Lam, D.D., Kano, A., Horia, M., Spötl, C., 2012. High-precision and high-resolution carbonate ^{230}Th dating by MC-ICP-MS with SEM protocols.

- Geochimica et Cosmochimica Acta* 99, 71-86. DOI: 10.1016/j.gca.2012.09.018.
- Shiel, A.E., Weis, D., Orians, K.J., 2010. Evaluation of zinc, cadmium and lead isotope fractionation during smelting and refining. *Science of the Total Environment* 408 (11), 2357-2368. DOI:10.1016/j.scitotenv.2010.02.016.
- Shotyk, W., Le Roux, G., 2005. Biogeochemistry and cycling of lead. In: Sigel, A., Sigel, H., Sigel, R.K.O. (eds.) *Metal Ions in Biological Systems. Volume 43: Biogeochemical Cycles of Elements*. Taylor & Francis Group, New York, USA, pp. 239-275. ISBN-10: 0-8493-3807-7. ISBN-13: 9780849338076.
- Shotyk, W., Weiss, D., Appleby, P.G., Cheburkin, A.K., Frei, R., Gloor, M., Kramers, J.D., Reese, S., Van Der Knaap, W.O., 1998. History of atmospheric lead deposition since 12,370 ¹⁴C yr BP from a peat bog, Jura Mountains, Switzerland. *Science* 281 (5383), 1635-1640. DOI: 10.1126/science.281.5383.1635.
- Soddy, F., 1913. The structure of the atom. *Nature* 92 (2301), 452.
- Soddy, F., 1915. The density of lead from Ceylon thorite. *Nature* 94 (2362), 615.
- Soddy, F., 1917a. The atomic weight of “thorium” lead. *Nature* 98 (2468), 469.
- Soddy, F., 1917b. The stability of lead isotopes from thorium. *Nature* 99 (2482), 244-245.
- Soddy, F., 1923. The origins of the conception of isotopes. *Nature* 112 (2806), 208-213.
- Stos-Gale, Z.A., Gale, N.H., 2009. Metal provenancing using isotopes and the Oxford archaeological lead isotope database (OXALID). *Archaeological and Anthropological Sciences* 1 (3), 195-213. DOI: 10.1007/s12520-009-0011-6.
- Stukas, V.J., Wong, C.S., 1981. Stable lead isotopes as a tracer in coastal waters. *Science* 211 (4489), 1424-1427. DOI: 10.1126/science.211.4489.1424.
- Sturges, W.T., Barrie, L.A., 1987. Lead 206/207 isotope ratios in the atmosphere of North America as tracers of US and Canadian emissions. *Nature* 329, 144-146. DOI:



10.1038/329144a0.

Sun, S.-S., 1980. Lead isotopic study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges, ocean islands and island arcs. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences* 297 (1431), 409-445. Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/36716>.

Takeno, N., 2005. *Atlas of Eh-pH Diagrams: Intercomparison of thermodynamic databases*. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Research Center for Deep Geological Environments, Japan. Available online: http://www.eosremediation.com/download/Chemistry/Chemical%20Properties/Eh_pH_Diagrams.pdf (accessed on 25 May 2015, *Geological Survey of Japan Open File Report, No. 419*).

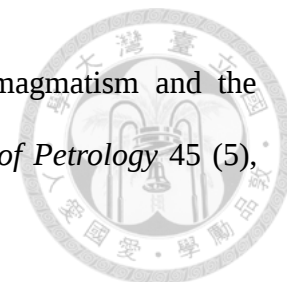
Tanimizu, M., Ishikawa, T., 2006. Development of rapid and precise Pb isotope analytical techniques using MC-ICP-MS and new results for GSJ rock reference samples. *Geochemical Journal* 40 (2), 121-133.

Thirlwall, M.F., 2000. Inter-laboratory and other errors in Pb isotope analyses investigated using a ^{207}Pb - ^{204}Pb double spike. *Chemical Geology* 163 (1-4), 299-322. DOI: 10.1016/S0009-2541(99)00135-7.

Thirlwall, M.F., 2002. Multicollector ICP-MS analysis of Pb isotopes using a ^{207}Pb - ^{204}Pb double spike demonstrates up to 400 ppm/amu systematic errors in Tl-normalization. *Chemical Geology* 184 (3-4), 255-279. DOI: 10.1016/S0009-2541(01)00365-5.

Tong, S., von Schirnding, Y.E., Prapamontol, T., 2000. Environmental lead exposure: A public health problem of global dimensions. *Bulletin of the World health Organization* 78 (9), 1068-1077. PMID: 11019456.

Wang, K.-L., Chung, S.-L., O'Reilly, S.Y., Sun, S.-S., Shinjo, R., Chen, C.-H., 2004.



- Geochemical constraints for the genesis of post-collisional magmatism and the geodynamic evolution in the northern Taiwan region. *Journal of Petrology* 45 (5), 975-1011. DOI: 10.1093/petrology/egh001.
- Wang, B.-S., Goodkin, N.F., Angeline, N., Switzer, A.D., You, C.-F., Huguen, K., 2011. Temporal distributions of anthropogenic Al, Zn and Pb in Hong Kong Porites coral during the last two centuries. *Marine Pollution Bulletin* 63 (5-12), 508-15. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2011.02.011.
- Wang, C., Wang, J., Yang, Z., Mao, C., Ji, J., 2013. Characteristics of lead geochemistry and the mobility of Pb isotopes in the system of pedogenic rock–pedosphere–irrigated riverwater–cereal–atmosphere from the Yangtze River delta region, China. *Chemosphere* 93 (9), 1927-1935. DOI:10.1016/j.chemosphere.2013.06.073.
- Weiss, D.J., Kober, B., Dolgoplova, A., Gallagher, K., Spiro, B., Le Roux, G., Mason, T.F.D., Kylander, M., Coles, B.J., 2004. Accurate and precise Pb isotope ratio measurements in environmental samples by MC-ICP-MS. *International Journal of Mass Spectrometry* 232 (3), 205-215. DOI: 10.1016/j.ijms.2004.01.005.
- White, W.M., Albarède, F., Télouk, P., 2000. High-precision analysis of Pb isotope ratios by multi-collector ICP-MS. *Chemical Geology* 167 (3-4), 257-270. DOI: 10.1016/S0009-2541(99)00182-5.
- Widory, D., Liu, X., Dong, S., 2010. Isotopes as tracers of sources of lead and strontium in aerosols (TSP & PM_{2.5}) in Beijing. *Atmospheric Environment* 44 (30), 3679-3687. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2010.06.036.
- Wiederhold, J.G., 2015. Metal stable isotope signatures as tracers in environmental geochemistry. *Environmental Science & Technology* 49 (5), 2606-2624. DOI: 10.1021/es504683e.
- Wieser, M.E., Schwieters, J.B., 2005. The development of multiple collector mass

- spectrometry for isotope ratio measurements. *International Journal of Mass Spectrometry* 242 (2-3), 97-115. DOI: 10.1016/j.ijms.2004.11.029.
- Wieser, M., Schwieters, J., Douthitt, C., 2012. Multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry. In: Vanhaecke, F., Degryse, P. (eds) *Isotopic Analysis: Fundamentals and Applications Using ICP-MS*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, pp. 77-91. Online ISBN-13: 9783527650484. DOI: 10.1002/9783527650484.
- Williams, P.N., Lei, M., Sun, G., Huang, Q., Lu, Y., Deacon, C., Meharg, A.A., Zhu, Y.-G., 2009. Occurrence and partitioning of cadmium, arsenic and lead in mine impacted paddy rice: Hunan, China. *Environmental Science & Technology* 43 (3), 637-642. DOI: 10.1021/es802412r.
- Wong, E., 2012. *Foresight Taiwan: Funding Research for Economic Gains*. Academia Sinica, Taipei, Taiwan, pp. 27-28. Available online: <https://www.sinica.edu.tw/advice/Forsight%20Taiwan.pdf> (accessed on 15 May 2015, *ACADEMIA SINICA Policy Recommendation Report No. 008*).
- Yang, J.E., Hur, J.H., Ok, Y.S., Kim, D.J., Park, Y.H., 2010. Monitoring and management strategies of agricultural land contamination in Korea. 2010 Taipei International Conference on the Investigation, Remediation and Management of Soil and Groundwater Contaminated Sites, Taipei City, Taiwan (R.O.C.), pp. 15-18.
- Yao, P.-H., Lin, S.-C., Shyu, W.-J., Chang, T.-K., Shyu, G.-S., Huang, W.-D., 2010. Accumulation and distribution of arsenic in rice from the arsenic-tainted farm at Guan-Du Plain. The 3rd International Congress on Arsenic in the Environment, Tainan, Taiwan.
- Yao, P.-H., Chang, T.-K., Shyu, G.-S., Cheng, B.-Y., Kuan, A., Chen, S.-D., Ho, J.-R., 2014a. The course of protecting agricultural land from heavy metal pollution in

- Taiwan. 2014 International Conference on Remediation and Management of Soil and Groundwater Contaminated Sites, Taipei, Taiwan (R.O.C.), pp. 65.
- Yao, P.-H., Shyu, G.-S., Wu, F.-S., Chang, Y.-H., Shen, C.-C., Chang, T.-K., 2014b. Pb isotopic techniques application in environmental forensics. 2014 International Conference on Remediation and Management of Soil and Groundwater Contaminated Sites, Taipei, Taiwan (R.O.C.), pp. 140.
- Yao, P.-H., Shyu, G.-S., Chang, Y.-F., Chou, Y.-C., Shen, C.-C., Chou, C.-S., Chang, T.-K., 2015. Lead isotopic characterization of petroleum fuels in Taipei, Taiwan. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12 (5), 4602-4616. DOI: 10.3390/ijerph120504602.
- Zhang, Z.-W., Moon, C.-S., Watanabe, T., Shimbo, S., Ikeda, M., 1996. Lead content of rice collected from various areas in the world. *Science of the Total Environment* 191 (1-2), 169-175. DOI: 10.1016/0048-9697(96)05257-6.
- Zahran, S., Laidlaw, M.A.S., McElmurry, S.P., Filippelli, G.M., Taylor, M., 2013. Linking source and effect: Resuspended soil lead, air lead, and children's blood lead levels in Detroit, Michigan. *Environmental Science & Technology* 47 (6), 2839-2845. DOI: 10.1021/es303854c.
- Zheng, J., Tan, M.G., Shibata, Y., Tanaka, A., Li, Y., Zhang, G.L., Zhang, Y.M., Shan, Z., 2004. Characteristics of lead isotope ratios and elemental concentrations in PM₁₀ fraction of airborne particulate matter in Shanghai after the phase-out of leaded gasoline. *Atmospheric Environment* 38 (8), 1191-1200. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2003.11.004.
- 王博賢，2011。台灣及香港海域珊瑚骨骼季節至百年尺度氣候與環境記錄。國立成功大學地球科學系博士論文。

- 田金平、林阿洋、廖俊亨，2000。市售雞蛋、鴨蛋及皮蛋重金屬（鉛、銅）含量調查。藥物食品檢驗局調查研究年報，第 18 卷，第 180–186 頁。
- 刘长华、汪小妹、曾志刚、姜学均、殷学博、陈镇东，2009。台湾东北部龟山島附近海域自然硫烟囪体的铅同位素组成及地质意义。海洋与湖沼，第 40 卷第 4 期，第 393–399 頁。
- 朱秋紅，2005。龜山島高鎂安山岩之岩漿成因。臺灣大學地質科學研究所碩士論文。
- 朱海江，2004。水稻对重金属铅的吸收积累特征及其农艺调控研究，浙江大学农业与生物技术学院作物学博士论文。
- 行政院環境保護署，2011。土壤污染監測標準。環署土字第 1000008485 號令訂定發布。
- 行政院環境保護署，2011。土壤污染管制標準。環署土字第 1000008495 號令訂定發布。
- 行政院環境保護署環境檢驗所，2002。空氣中粒狀污染物之鉛、鎘含量檢驗法—火焰式、石墨式原子吸收光譜法（NIEA A301.11C）。環署檢字第 0910041671 號公告。
- 行政院環境保護署環境檢驗所，2004。河川、湖泊及水庫水質採樣通則（NIEA W104.51C）。環署檢字第 0930095744 號公告。
- 行政院環境保護署環境檢驗所，2005。水質檢測方法總則（NIEA W102.51C）。環署檢字第 0940015591 號公告。
- 行政院環境保護署環境檢驗所，2006。空氣中粒狀污染物檢測法—高量採樣法（NIEA A102.12A）。環署檢字第 0950086772 號公告。
- 行政院環境保護署環境檢驗所，2009。土壤檢測方法總則（NIEA S103.61C）。環署檢字第 0980092514B 號公告。



行政院環境保護署環境檢驗所，2010。空氣粒狀污染物中元素含量檢測方法－感應耦合電漿原子發射光譜法（NIEA A306.10C）。環署檢字第 0990020521 號公告。

行政院環境保護署環境檢驗所，2012。底泥採樣方法（NIEA S104.31B）。環署檢字第 1010042897 號公告。

行政院環境保護署環境檢驗所，2012。重金屬檢測方法總則（NIEA M103.02C）。環署檢字第 1010055196 號公告。

行政院環境保護署環境檢驗所，2012。廢棄物及底泥中金屬檢測方法－酸消化法（NIEA M353.01C）。環署檢字第 1010052453 號公告。

行政院環境保護署環境檢驗所，2013。感應耦合電漿原子發射光譜法（NIEA M104.02C）。環署檢字第 1020104884 號公告。

行政院環境保護署環境檢驗所，2014。水中銀、鎘、鉻、銅、鐵、錳、鎳、鉛及鋅檢測方法－火焰式原子吸收光譜法（NIEA W306.54A）。環署檢字第 1030034658 號公告。

行政院環境保護署環境檢驗所，2015。土壤採樣方法（NIEA S102.63B）。環署檢字第 1040009426 號公告。

行政院環境保護署環境檢驗所，2015。土壤中重金屬檢測方法－王水消化法（NIEA S321.64B）。環署檢字第 1040003259 號公告。

行政院環境保護署環境檢驗所，2015。水中微量元素檢測方法－感應耦合電漿質譜法（NIEA W313.53B）。環署檢字第 1040017500 號公告。

吳家誠、呂進榮、沈英宏等，2003。台灣地區不同土綱土壤中重金屬總量檢測分析，行政院環境保護署委託財團法人中華管理科學研究基金會執行計畫，EPA-91-E3S4-02-04。

呂世宗、張嵩林、洪正中、易國禎，1984。台灣鎘、鉛污染區水質、泥土及稻米含鎘、鉛量之追蹤調查。臺灣省環境保護局報告。

宋玉芝，2005，土壤铅污染对水稻生长影响的研究。南京气象学院学报，第 28 期第 4 卷，第 536-542 页。

李宏业，2004。成都土壤-植物铅同位素地球化学示踪。成都理工大学地球化学硕士论文。

李晓明、殷云龙、黄玉洁、徐和宝，2009，土壤和叶面铅污染对铅在水稻体内的分布和积累的影响。土壤，第 41 期第 4 卷，第 556-561 页。

沈川洲，1996。高精度之鋇鈣比值分析及其在環境上的應用。國立清華大學化學系博士論文。

周於蓁，2012。珊瑚骨骼中月解析度鉛同位素測量及其應用。國立臺灣大學地質科學系碩士論文。

林浩潭，1997，市售化學肥料中重金屬含量。土壤肥料通訊，第 62 卷，第 30-32 頁。

林浩潭、翁愷慎、李國欽，1992。作物中重金屬含量調查及我國國民對重金屬攝取食量之探討。中國農業化學會誌，第 34 卷第 4 期，第 463-470 頁。

林聖淇、趙方傑、黃文達、徐貴新、姚佩萱、張尊國，2008。關渡平原水田土壤砷種類與水稻植體濃度關係探討。農業工程學報，第 54 卷第 2 期，第 60-70 頁。

林毓雯、劉滄琴、陳吉村、楊雪溶、陳鴻堂、卓家榮、蔡正賢、林永鴻、張繼中、蔡淑珍、黃維廷，2012。台灣地區蔬菜鎘、鉛濃度調查。台灣農業研究，第 61 卷第 1 期，第 38-51 頁。

邱文雅，1999。關渡濕地水土特性分析與生態風險之評估。國立臺灣大學農業工程學研究所碩士論文。

邱雅琦、施如佳、張美華、陳石松、鄭秋真、周薰修，2004。台灣地區販售根菜類之含鉛量背景調查。藥物食品檢驗局調查研究年報，第 22 卷，第 219-226 頁。



邱雅琦、張美華、施如佳、陳石松、高雅敏、陳泰華、鄭守訓、鄭秋真、周薰修，
2005。食米中重金屬（鎘、汞、鉛）含量之調查。藥物食品檢驗局調查研究年
報，第 23 卷，第 198–215 頁。

邱雅琦、張美華、施如佳、陳石松、高雅敏、周秀冠、鄭守訓、鄭秋真、周薰修，
2006。食米中重金屬（鎘、汞、鉛）含量之調查。藥物食品檢驗局調查研究年
報，第 24 卷，第 274–289 頁。

邱雅琦、施如佳、張美華、高雅敏、周秀冠、鄭守訓、周薰修，2007。食米中重
金屬（鎘、汞、鉛）含量之調查。藥物食品檢驗局調查研究年報，第 25 卷，
第 238–245 頁。

邱雅琦、高雅敏、周秀冠、鄭守訓、徐錦豐、施養志，2008。食米中重金屬（鎘、
汞、鉛）含量之調查。藥物食品檢驗局調查研究年報，第 26 卷，第 198–206
頁。

姚佩萱，2008。砷污染地區農田土壤與稻作砷含量關係之研究。國立臺灣大學生
物環境系統工程學研究所碩士論文。

施如佳、陳宛瑩、高雅敏、周薰修、施養志，2007a。市售乾豆類重金屬含量背景
資料之建立。藥物食品檢驗局調查研究年報，第 25 卷，第 250–254 頁。

施如佳、陳宛瑩、高雅敏、周薰修、施養志，2007b。園藝產品微量金屬元素之分
析—草莓之鉛、鎘含量調查。藥物食品檢驗局調查研究年報，第 25 卷，第 246–
249 頁。

施如佳、林麗美、許惠美、傅淑英、周秀冠、鄭守訓、徐錦豐、黃明坤、潘志寬，
2011。食米中重金屬（鎘、汞、鉛）含量調查。食品藥物研究年報，第 2 卷，
第 154–163 頁。

施如佳、張相儀、傅淑英、林麗美、許惠美、黃明坤、周秀冠、徐錦豐、潘志寬，
2012。食米中重金屬（鎘、汞、鉛）含量調查。食品藥物研究年報，第 3 卷，
第 54–61 頁。

- 施如佳、張相儀、傅淑英、廖小瑤、黃文正、黃明坤、周秀冠、徐錦豐、潘志寬，
2013。101 年度食米中重金屬（鎘、汞、鉛）含量調查。食品藥物研究年報，
第 4 卷，第 61-69 頁。
- 施孟璉，2007。關渡平原土壤砷、鉛污染之空間分佈及成因探討。國立臺灣大學
生物環境系統工程學研究所碩士論文。
- 胡忻、曹密，2009，农田蔬菜中重金属污染和铅稳定同位素特征分析。环境污染
与防治，第 31 期第 3 卷，第 102-104 页。
- 范康登、張尊國、王智澤等，2011。營運中含鉛製程事業之土壤污染潛調查計畫。
行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會委託美商傑明工程顧問
（股） 台灣分公司執行計畫，EPA-98-GA102-03-A069。
- 徐玉標，1979。工業廢水之特性對灌溉土壤及作物之影響。臺灣水利，第 27 卷第
4 期，第 5-17 頁。
- 張琪惠，2010。台灣地區鉛之物質流分析與環境衝擊評估。國立臺灣大學環境工
程學研究所碩士論文。
- 張映昉，2012。臺灣油品之鉛同位素特徵及其環境鑑識應用。國立臺灣大學生物
環境系統工程學研究所碩士論文。
- 張尊國，2002。台灣地區土壤污染現況與整治政策分析。國政分析，永續（析）
091-021 號，財團法人國家政策研究基金會。
- 張尊國、江漢全，1991。基力化工廠污染區地下水中鎘污染調查及土壤鎘之移動
預測。行政院農業委員會七十九年度試驗研究計畫，80 農建-7.1-林-15E。
- 張尊國、曾潔明、張南昌，1998。台灣地區土壤污染細密調查資料庫建立分析。
行政院環境保護署委託國立臺灣大學農業工程學系執行計畫，
EPA-87-H104-03-02。



張美華、施如佳、邱雅琦、陳怡如、陳石松、許正忠、鄭秋真、陳泰華、林阿洋、周薰修，2003。九十一年度食米中重金屬（鎘、汞、鉛）含量之調查。藥物食品檢驗局調查研究年報，第 21 卷，第 236–249 頁。

張美華、施如佳、邱雅琦、陳石松、吳克慧、田金平、鄭秋真、陳泰華、林阿洋、周薰修，2004a。九十二年度食米中重金屬（鎘、汞、鉛）含量之調查。藥物食品檢驗局調查研究年報，第 22 卷，第 164–180 頁。

張美華、施如佳、邱雅琦、陳石松、鄭秋真、周薰修，2004b。台灣地區販售動物內臟鉛含量之調查。藥物食品檢驗局調查研究年報，第 22 卷，第 152–163 頁。

張尊國、沈川洲、陳聖堃、羅允杰、鄭百佑、徐貴新、林聖淇，2010a。以鉛同位素組成特徵探討臺北關渡平原農地污染來源。農業工程學報，第 56 卷第 4 期，第 1–10 頁。

張尊國、徐貴新、鄭百佑、曾潔明、江季亭、陳聖堃等，2010b。彰化農地污染之環境資料蒐集與污染關聯性分析計畫。行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會委託國立臺灣大學生態工程研究中心執行計畫，EPA-99-GA103-02-D054。

張尊國、徐貴新、劉玉雪、鄭百佑等，2011。桃園農地污染之環境資料蒐集與污染關聯性分析計畫。行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會委託國立臺灣大學生態工程研究中心執行計畫，EPA-100-GA101-03-A209。

張尊國、管永愷、鄭百佑、陳致任、余政剛等，2012a。全國重金屬高污染潛勢農地之管制及調查計畫。行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會委託環興科技股份有限公司執行計畫，EPA-99-G101-03-A181。

張尊國、鄭百佑、曾潔明、林慧文、姚佩萱等，2012b。101 年度新北、台中、高雄農地污染之環境資料蒐集與污染關聯性分析。行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會委託國立臺灣大學生物環境系統工程學系執行計畫，EPA-101-GA11-03-D167。

- 張尊國、沈川洲、徐貴新、王智澤、姚佩萱、張映昉、周於蓁等，2012c。臺灣地區油品之穩定性鉛同位素鑑定技術發展與應用。行政院環境保護署 100 年度土壤及地下水污染研究與技術提升計畫。
- 張尊國、徐偉展、姚佩萱，2013。評析不同萃取方法之鉛同位素組成用於受污染土壤之鑑識。行政院國家科學委員會專題研究計畫，NSC 101-2221-E-002-113。
- 張尊國、鄭百佑、曾潔明、姚佩萱等，2014。102 年度全國農地污染之環境資料蒐集與污染關聯性分析計畫。行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會委託國立臺灣大學生物環境系統工程學系執行計畫，EPA-102-GA11-03-D144。
- 許哲綸、高雅敏、周秀冠、鄭守訓、徐錦豐、施養志，2009a。食米中重金屬（鎘、汞、鉛）含量之調查。藥物食品檢驗局調查研究年報，第 27 卷，第 205–215 頁。
- 許哲綸、陳石松、朱正明、林勇偉、高雅敏、施養志，2009b。巴西蘑菇中重金屬（鉛及鎘）含量調查。藥物食品檢驗局調查研究年報，第 27 卷，第 216–223 頁。
- 許哲綸、高雅敏、許惠美、蔡永盛、賴麗紅、林國平、周秀冠、鄭守訓、徐錦豐、施養志，2010。食米中重金屬（鎘、汞、鉛）含量調查。食品藥物研究年報，第 1 卷，第 12–22 頁。
- 許峻嵐，2000。高屏海域沉積物重金屬之分佈與污染史。國立中山大學海洋地質及化學研究所碩士論文。
- 連明瑜，2008。利用水溶性離子鉛同位素變化探討彭佳嶼大氣懸浮微粒中鉛的來源。國立成功大學地球科學系碩士論文。
- 郭慈穎，2007。南中國海沉積物鋁、鈦、鉛、鉛同位素對北呂宋島弧地函交代換質作用之制約。國立成功大學地球科學系碩士論文。

陳易正，2012。二仁溪河水溶解鉛之分布及來源。國立成功大學地球科學系碩士論文。

陳尊賢，1988。桃園基力化工廠北方之水田區稻穀粒中重金屬含量調查。行政院農業委員會委託國立臺灣大學農業化學系執行計畫，77-農建-7.1-糧-129。

陳尊賢、駱尚廉、吳先琪、王銀波、李達源、鄭双福、戴國邦、李國欽、王敏昭、李芳胤、張尊國、李俊福、盧至人、劉振宇、徐年盛等，1994。桃園鎘污染農業土壤之綜合性再分析與評估。行政院科技顧問組委託計畫。

陳慎德，2003。淺論我國農地土壤重金屬污染處理之現況與問題。台灣土壤及地下水環境保護協會簡訊，第九期，第 10-17 頁。

陳慎德、管永愷、張尊國等，2014。全國重金屬高污染潛勢農地之管制及調查計畫（第 2 期）。行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會委託瑞昶科技股份有限公司執行計畫，EPA-101-GA12-03-A267。

陳聖堃，2008。鉛同位素示蹤法鑑識關渡農地砷、鉛濃度異常之成因。臺灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。

陳瓊瑤、王依婷、管麗珍、林宜蓉、周秀冠，2013。101 年度市售蔬果中重金屬含量監測。食品藥物研究年報，第 4 卷，第 77-85 頁。

黃華斌、庄峙厦、楊妙峰、張建平、齊士林、羅潔、王小如，2009。鉛在植物-環境體系中的吸收、分布和遷移規律的穩定同位素示蹤法研究。環境化學，第 28 期第 6 卷，第 889-892 頁。

曾琪婷，2000。鉛蓄電池廠鉛粉塵經攝食後鉛同位素分佈特性研究。國立臺灣大學職業醫學與工業衛生研究所碩士論文。

楊詔凱，2000。利用感應耦合電漿質譜法及電花剝蝕感應耦合電漿光譜法應用於彈頭鉛同位素分析及合金材料中微量元素的直測分析研究。國立清華大學原子科學系碩士論文。

- 楊福麟、詹榮弘、蔡易達，1997。台灣中部地區市售蔬果中重金屬（鉛、鎘）含量調查。藥物食品檢驗局調查研究年報，第 15 卷，第 180–183 頁。
- 劉泰銘、何秉宜、夏安宙、賴允傑等，2009。96–97 年度土壤及地下水污染事件應變調查、查證及技術支援工作計畫：台中縣烏日鄉同安厝段 254 等 7 地號土壤污染查證報告（9715）。行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會委託瑞昶科技股份有限公司執行計畫，EPA-97-GA12-03-D086。
- 衛生福利部，2014。重金屬檢驗方法總則。部授食字第 1031901169 號令發布修正。
- 衛生福利部，2013。食米重金屬限量標準。部授食字第 1021350146 號令發布修正。
- 鄭妙靜，2010。利用主要元素、微量元素與鋅鉛同位素探討大氣中水溶性元素組成之傳輸與來源。國立成功大學地球科學系博士論文。
- 賴宣婷、張尊國、王智澤等，2014。農地鉛污染對食用作物影響試驗計畫。行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會委託美商傑明工程顧問（股）台灣分公司執行計畫，EPA-102-GA13-03-A281。
- 駱宜民，2003。台灣西部井下新生代玄武岩之地球化學特徵與岩石成因。國立臺灣大學地質科學研究所碩士論文。
- 羅允杰，2008。多頻道感應耦合電漿質譜儀之高精度奈克級鉛同位素分析及關渡平原案例探討。國立臺灣大學地質科學研究所碩士論文。
- 鐘全雄、黃國芳、王博賢、游鎮烽，2007。高精密無機質譜儀在地球科學及海洋科學研究上的應用。化學季刊，第 65 卷第 2 期，第 113–124 頁。



附錄：臺灣鉛同位素特徵調查結果彙整

表 1 臺灣土壤鉛同位素特徵調查結果彙整

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
山嶺段 86_	37.8005	15.5947	17.9081	2.110799	0.870827	2.423835	1.148334
樣點 1	± 0.0054	± 0.0022	± 0.0025	± 0.000074	± 0.000028	± 0.000067	± 0.000037
山嶺段 86_	37.2681	15.5395	17.4272	2.13850	0.891804	2.39791	1.121323
樣點 1_15-	± 0.0091	± 0.0040	± 0.0046	± 0.00016	± 0.000052	± 0.00013	± 0.000065
40 cm							
山嶺段 86_	37.241	15.5324	17.4117	2.13885	0.892087	2.39767	1.120966
樣點 1_40-	± 0.011	± 0.0047	± 0.0053	± 0.00015	± 0.000049	± 0.00013	± 0.000061
60 cm							
山嶺段 86_	37.2358	15.5386	17.4078	2.13903	0.892616	2.39634	1.120302
樣點 1_60-	± 0.0062	± 0.0030	± 0.0032	± 0.00013	± 0.000038	± 0.00011	± 0.000047
80 cm							
山嶺段 86_	37.2621	15.5415	17.4280	2.13806	0.891794	2.397500	1.121335
樣點 1_80-	± 0.0050	± 0.0022	± 0.0024	± 0.00010	± 0.000036	± 0.000088	± 0.000046
100 cm							
山嶺段 86_	37.2610	15.5429	17.4235	2.13855	0.892020	2.39737	1.121051
樣點 1_80-	± 0.0068	± 0.0030	± 0.0032	± 0.00013	± 0.000035	± 0.00010	± 0.000044
100 cm_複							
測							
山嶺段 86_	38.297	15.6237	18.2199	2.10192	0.857442	2.45140	1.166260
樣點 2	± 0.011	± 0.0046	± 0.0052	± 0.00014	± 0.000054	± 0.00012	± 0.000074
山嶺段 86_	38.541	15.6394	18.3806	2.09685	0.850854	2.46442	1.175290
樣點 3	± 0.010	± 0.0046	± 0.0050	± 0.00015	± 0.000050	± 0.00014	± 0.000068

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.，全數數據係假臺灣大學地質科學系之儀器設備檢測而得。未標註採樣深度者皆為 0–15 cm 表土，山嶺段之採集日為 2010/11/23，盆栽試驗 I 為 2013/06/26，盆栽試驗 II 為 2013/12/19，石磊子段石磊子小段、下庄子段、三結義段為 2010/06/05，其餘如標示日期。「E」代表以 0.05 M EDTA 消化，「H」代表以 0.1 M HCl 消化萃取，餘均依照環檢所公告之標準方法以王水全量消化。「重複」代表重複樣品，數值僅供參考，「複測」代表同一樣品之餘樣複驗，數值僅供參考。^s 因萃取過程之部分樣本逸失，測量數值僅供參考。^a 張等 (2013)；^b 陳 (2008)、羅 (2008)、張等 (2010)，NA 為未提供。

表 1 臺灣土壤鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
山嶺段 87_	37.9338	15.6003	17.9885	2.10878	0.867220	2.43163	1.153110
樣點 4	± 0.0082	± 0.0040	± 0.0043	± 0.00014	± 0.000045	± 0.00010	± 0.000060
山嶺段 87_	37.7307	15.5859	17.8583	2.11279	0.872813	2.42074	1.145721
樣點 5	± 0.0058	± 0.0032	± 0.0031	± 0.00012	± 0.000046	± 0.00011	± 0.000060
山嶺段 87_	38.1822	15.6157	18.1469	2.10406	0.860488	2.44515	1.162132
樣點 6	± 0.0062	± 0.0029	± 0.0032	± 0.00010	± 0.000032	± 0.00010	± 0.000043
山嶺段 87_	38.3354	15.6258	18.2445	2.10120	0.856479	2.45329	1.167570
樣點 7	± 0.0050	± 0.0026	± 0.0027	± 0.00014	± 0.000039	± 0.00010	± 0.000053
山嶺段 87_	38.030	15.6121	18.0469	2.10727	0.865255	2.43551	1.155729
樣點 8	± 0.020	± 0.0077	± 0.0081	± 0.00017	± 0.000074	± 0.00016	± 0.000099
山嶺段 87_	37.6336	15.5690	17.6984	2.126385	0.879695	2.417181	1.136757
樣點 9	± 0.0043	± 0.0020	± 0.0022	± 0.000087	± 0.000031	± 0.000078	± 0.000040
山嶺段 87_	37.8668	15.5955	17.9246	2.11257	0.870076	2.427970	1.149326
樣點 10	± 0.0065	± 0.0028	± 0.0030	± 0.00011	± 0.000035	± 0.000095	± 0.000047
山嶺段 87_	38.6947	15.6529	18.4628	2.095821	0.847814	2.472056	1.179504
樣點 10_15- 40 cm	± 0.0048	± 0.0022	± 0.0025	± 0.000092	± 0.000030	± 0.000083	± 0.000042
山嶺段 87_	38.7377	15.6574	18.4973	2.094234	0.846472	2.474088	1.181374
樣點 10_40- 60 cm	± 0.0055	± 0.0022	± 0.0027	± 0.000093	± 0.000027	± 0.000073	± 0.000038
山嶺段 87_	38.9489	15.6853	18.6417	2.08934	0.841413	2.483164	1.188477
樣點 10_60- 80 cm	± 0.0040	± 0.0024	± 0.0025	± 0.00011	± 0.000033	± 0.000077	± 0.000046
山嶺段 87_	38.9701	15.6830	18.6530	2.08922	0.840779	2.48490	1.189374
樣點 10_80- 100 cm	± 0.0058	± 0.0032	± 0.0034	± 0.00016	± 0.000038	± 0.00012	± 0.000054
山嶺段 87_	37.4292	15.5508	17.5723	2.130012	0.884933	2.406932	1.130029
樣點 11	± 0.0048	± 0.0020	± 0.0022	± 0.000092	± 0.000032	± 0.000074	± 0.000041
山嶺段 87_	37.2939	15.5553	17.4559	2.13646	0.891070	2.397668	1.122247
樣點 12	± 0.0038	± 0.0020	± 0.0020	± 0.00012	± 0.000034	± 0.000089	± 0.000042
山嶺段 121_	38.8680	15.6656	18.5816	2.09174	0.843065	2.48110	1.186148
樣點 19	± 0.0046	± 0.0021	± 0.0023	± 0.00012	± 0.000028	± 0.00010	± 0.000040
山嶺段 121_	38.8192	15.6851	18.5885	2.08834	0.843809	2.47494	1.185102
樣點 20	± 0.0044	± 0.0024	± 0.0025	± 0.00015	± 0.000035	± 0.00010	± 0.000049

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。未標註採樣深度者皆為 0-15 cm 表土。

表 1 臺灣土壤鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
山嶺段 121_	38.7224	15.6789	18.5152	2.09138	0.846796	2.469727	1.180922
樣點 20_15- 40 cm	± 0.0041	± 0.0023	± 0.0025	± 0.00011	± 0.000031	± 0.000081	± 0.000044
山嶺段 121_	38.960	15.6698	18.6271	2.09156	0.841254	2.48626	1.188702
樣點 20_40- 60 cm	± 0.017	± 0.0024	± 0.0026	± 0.00012	± 0.000030	± 0.00010	± 0.000043
山嶺段 121_	38.448	15.639	18.312	2.09966	0.85400	2.45874	1.17096
樣點 20_60- 80 cm	± 0.030	± 0.011	± 0.015	± 0.00053	± 0.00017	± 0.00044	± 0.00023
山嶺段 121_	38.9682	15.6920	18.6782	2.08629	0.840123	2.483326	1.190301
樣點 20_80- 100 cm	± 0.0048	± 0.0024	± 0.0027	± 0.00012	± 0.000034	± 0.000086	± 0.000048
山嶺段 121_	38.0883	15.6229	17.9794	2.11845	0.868953	2.43789	1.150810
樣點 21	± 0.0056	± 0.0027	± 0.0030	± 0.00014	± 0.000038	± 0.00010	± 0.000051
山嶺段 121_	38.7323	15.6774	18.5187	2.09152	0.846568	2.47059	1.181240
樣點 22	± 0.0052	± 0.0026	± 0.0028	± 0.00013	± 0.000035	± 0.00010	± 0.000048
山嶺段 121_	38.8481	15.6820	18.6028	2.08829	0.842972	2.477270	1.186279
樣點 23	± 0.0054	± 0.0026	± 0.0029	± 0.00014	± 0.000035	± 0.000092	± 0.000050
山嶺段 121_	38.8111	15.6621	18.5476	2.09251	0.844428	2.47800	1.184234
樣點 24	± 0.0053	± 0.0024	± 0.0027	± 0.00016	± 0.000040	± 0.00012	± 0.000056
山嶺段 121_	38.8243	15.6826	18.5811	2.08945	0.843967	2.47575	1.184881
樣點 24_複 測	± 0.0059	± 0.0028	± 0.0030	± 0.00013	± 0.000036	± 0.00010	± 0.000050
山嶺段 123_	37.4580	15.5689	17.5583	2.13335	0.886713	2.405942	1.127761
樣點 13	± 0.0046	± 0.0025	± 0.0024	± 0.00014	± 0.000041	± 0.000089	± 0.000052
山嶺段 123_	37.3929	15.5673	17.5467	2.13105	0.887205	2.40196	1.127136
樣點 14	± 0.0043	± 0.0024	± 0.0025	± 0.00014	± 0.000034	± 0.00010	± 0.000043
山嶺段 124_	38.5937	15.6423	18.4029	2.097160	0.850000	2.467258	1.176471
樣點 15	± 0.0054	± 0.0022	± 0.0026	± 0.000075	± 0.000028	± 0.000075	± 0.000039
山嶺段 124_	38.4888	15.6320	18.3624	2.096061	0.851333	2.462065	1.174629
樣點 16	± 0.0050	± 0.0019	± 0.0022	± 0.000062	± 0.000031	± 0.000072	± 0.000043
山嶺段 124_	38.5034	15.6360	18.3578	2.097380	0.851730	2.462504	1.174081
樣點 17	± 0.0045	± 0.0019	± 0.0022	± 0.000079	± 0.000027	± 0.000078	± 0.000037

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。未標註採樣深度者皆為 0–15 cm 表土。「複測」數值僅供參考。

表 1 臺灣土壤鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
山嶺段 124_樣點 17_15-40 cm	38.7947 ± 0.0052	15.6584 ± 0.0020	18.5348 ± 0.0025	2.093078 ± 0.000070	0.844815 ± 0.000026	2.477547 ± 0.000067	1.183692 ± 0.000036
山嶺段 124_樣點 17_40-60 cm	38.9460 ± 0.0065	15.6859 ± 0.0028	18.6502 ± 0.0032	2.08823 ± 0.00013	0.841040 ± 0.000034	2.482860 ± 0.000093	1.189003 ± 0.000048
山嶺段 124_樣點 17_60-80 cm	38.9553 ± 0.0047	15.6864 ± 0.0021	18.6583 ± 0.0022	2.08783 ± 0.00011	0.840767 ± 0.000028	2.483264 ± 0.000089	1.189390 ± 0.000040
山嶺段 124_樣點 17_80-100 cm	38.9172 ± 0.0051	15.6685 ± 0.0025	18.6216 ± 0.0025	2.08990 ± 0.00017	0.841442 ± 0.000039	2.48363 ± 0.00011	1.188435 ± 0.000054
山嶺段 124_樣點 18	38.6696 ± 0.0073	15.6522 ± 0.0028	18.4514 ± 0.0030	2.09576 ± 0.00012	0.848247 ± 0.000038	2.47064 ± 0.00011	1.178902 ± 0.000053
盆栽試驗 I 背景值組	38.8988 ± 0.0098	15.6805 ± 0.0043	18.5317 ± 0.0047	2.099042 ± 0.000079	0.846121 ± 0.000029	2.480786 ± 0.000066	1.181864 ± 0.000041
盆栽試驗 I 低濃度組	38.452 ± 0.010	15.6604 ± 0.0045	18.2551 ± 0.0048	2.106347 ± 0.000078	0.857939 ± 0.000032	2.455110 ± 0.000061	1.165584 ± 0.000044
盆栽試驗 I 中濃度組	38.2042 ± 0.0059	15.648 ± 0.0025	18.1427 ± 0.0027	2.105765 ± 0.000096	0.862483 ± 0.000035	2.441524 ± 0.000082	1.159443 ± 0.000047
盆栽試驗 I 高濃度組	38.1828 ± 0.0060	15.6482 ± 0.0025	18.1425 ± 0.0028	2.104606 ± 0.000079	0.862525 ± 0.000026	2.440078 ± 0.000074	1.159386 ± 0.000035
盆栽試驗 II 對照組	38.9311 ± 0.0074	15.6848 ± 0.0032	18.5770 ± 0.0036	2.095662 ± 0.000076	0.844314 ± 0.000025	2.482074 ± 0.000058	1.184393 ± 0.000036
盆栽試驗 II 根部組	38.1741 ± 0.0067	15.6494 ± 0.0029	18.1338 ± 0.0032	2.105132 ± 0.000072	0.863026 ± 0.000024	2.439215 ± 0.000055	1.158714 ± 0.000032
盆栽試驗 II 葉面組	38.942 ± 0.010	15.6848 ± 0.0043	18.5799 ± 0.0047	2.095938 ± 0.000073	0.844189 ± 0.000023	2.482802 ± 0.000054	1.184569 ± 0.000032
盆栽試驗 II 綜合組	38.057 ± 0.013	15.6321 ± 0.0056	18.0606 ± 0.0061	2.107180 ± 0.000083	0.865552 ± 0.000029	2.434487 ± 0.000053	1.155332 ± 0.000039
2013/06/03 同安厝段 245-1	38.687 ± 0.010	15.6713 ± 0.0043	18.4263 ± 0.0048	2.099561 ± 0.000074	0.850492 ± 0.000027	2.468630 ± 0.000064	1.175791 ± 0.000037

註：measure mean ± 2 S.E.。盆栽試驗 I、II 之表土分別於 2013/06/26、2013/12/19 採集。

表 1 臺灣土壤鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2013/11/14 同安厝段 245-1	38.6760 ± 0.0064	15.6663 ± 0.0027	18.4112 ± 0.0030	2.100682 ± 0.000072	0.850921 ± 0.000024	2.468716 ± 0.000054	1.175197 ± 0.000034
同安厝段 246-5 ^a	38.6436 ± 0.0076	15.6634 ± 0.0032	18.3739 ± 0.0035	2.103179 ± 0.000094	0.852526 ± 0.000036	2.467019 ± 0.000087	1.172986 ± 0.000050
同安厝段 246-5_E ^a	38.5036 ± 0.0077	15.6569 ± 0.0033	18.3272 ± 0.0036	2.100898 ± 0.000083	0.854352 ± 0.000027	2.459047 ± 0.000069	1.170478 ± 0.000037
同安厝段 246-5_H ^a	38.4964 ± 0.0084	15.6579 ± 0.0037	18.3216 ± 0.0042	2.101148 ± 0.000094	0.854629 ± 0.000035	2.458617 ± 0.000079	1.170099 ± 0.000047
同安厝段 246-5_15- 30 cm ^a	38.6228 ± 0.0074	15.6601 ± 0.0030	18.3515 ± 0.0033	2.104614 ± 0.000080	0.853338 ± 0.000029	2.466312 ± 0.000068	1.171868 ± 0.000040
同安厝段 246-5_15- 30 cm_E ^a	38.4949 ± 0.0081	15.6581 ± 0.0033	18.3186 ± 0.0038	2.101414 ± 0.000072	0.854773 ± 0.000028	2.458459 ± 0.000067	1.169901 ± 0.000039
同安厝段 246-5_15- 30 cm_H ^a	38.4742 ± 0.0077	15.6572 ± 0.0031	18.3026 ± 0.0035	2.102111 ± 0.000094	0.855490 ± 0.000032	2.457180 ± 0.000086	1.168921 ± 0.000043
同安厝段 246-5_30-x cm ^a	38.7154 ± 0.0082	15.6584 ± 0.0035	18.3888 ± 0.0039	2.105380 ± 0.000089	0.851523 ± 0.000030	2.472492 ± 0.000074	1.174367 ± 0.000042
同安厝段 246-5_30-x cm_E ^a	38.5501 ± 0.0074	15.6572 ± 0.0031	18.3517 ± 0.0036	2.100628 ± 0.000088	0.853170 ± 0.000031	2.462140 ± 0.000073	1.172099 ± 0.000043
同安厝段 246-5_30-x cm_H ^a	38.5523 ± 0.0070	15.6592 ± 0.0029	18.3525 ± 0.0032	2.100649 ± 0.000087	0.853227 ± 0.000029	2.461981 ± 0.000076	1.172022 ± 0.000040
2010/11/11 同安厝段 332	38.202 ± 0.012	15.6427 ± 0.0048	18.1218 ± 0.0056	2.10807 ± 0.00014	0.863220 ± 0.000057	2.44219 ± 0.00013	1.158453 ± 0.000076
2013/05/31 同安厝段 332	38.265 ± 0.011	15.653 ± 0.0046	18.1486 ± 0.0050	2.108402 ± 0.000087	0.862487 ± 0.000029	2.444533 ± 0.000064	1.159437 ± 0.000040

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。未標註採樣深度者皆為 0-15 cm 表土。^a 張等 (2013)，「E」代表以 0.05 M EDTA 消化，「H」代表以 0.1 M HCl 消化萃取，餘均以王水全量消化。

表 1 臺灣土壤鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2013/11/14 同安厝段 332 樣點 1	38.2529 ± 0.0087	15.6496 ± 0.0039	18.1500 ± 0.0042	2.107595 ± 0.000085	0.862242 ± 0.000031	2.444268 ± 0.000060	1.159768 ± 0.000042
2013/11/14 同安厝段 332 樣點 2	38.2154 ± 0.0083	15.6478 ± 0.0036	18.1290 ± 0.0039	2.107969 ± 0.000068	0.863171 ± 0.000023	2.442123 ± 0.000053	1.158518 ± 0.000031
2013/12/19 同安厝段 332 樣點 3	38.1837 ± 0.0071	15.6516 ± 0.0030	18.1389 ± 0.0033	2.105077 ± 0.000068	0.862863 ± 0.000024	2.439594 ± 0.000059	1.158933 ± 0.000033
2010/11/11 同安厝段 332_80-100 cm	38.2239 ± 0.0045	15.6386 ± 0.0021	18.1180 ± 0.0023	2.10972 ± 0.00012	0.863173 ± 0.000035	2.444145 ± 0.000090	1.158517 ± 0.000047
2010/11/11 同安厝段 347	38.2903 ± 0.0060	15.6471 ± 0.0026	18.1733 ± 0.0029	2.10695 ± 0.00011	0.860957 ± 0.000034	2.447177 ± 0.000092	1.161499 ± 0.000046
2010/11/11 同安厝段 347_80-100 cm	38.1999 ± 0.0053	15.6421 ± 0.0023	18.1249 ± 0.0027	2.107586 ± 0.000069	0.863036 ± 0.000031	2.442095 ± 0.000079	1.158700 ± 0.000042
2010/11/11 同安厝段 347_80-100 cm_複測	38.196 ± 0.010	15.6373 ± 0.0038	18.1182 ± 0.0040	2.10814 ± 0.00014	0.863073 ± 0.000040	2.44263 ± 0.00012	1.158651 ± 0.000054
同安厝段 350 ^a	38.4311 ± 0.0085	15.6492 ± 0.0034	18.2081 ± 0.0037	2.110658 ± 0.000078	0.859480 ± 0.000029	2.455770 ± 0.000067	1.163494 ± 0.000039
同安厝段 350_E ^a	38.2273 ± 0.0087	15.6440 ± 0.0037	18.1430 ± 0.0040	2.107002 ± 0.000099	0.862276 ± 0.000038	2.443561 ± 0.000081	1.159721 ± 0.000051
同安厝段 350_H ^a	38.242 ± 0.010	15.6473 ± 0.0044	18.1499 ± 0.0047	2.107017 ± 0.000088	0.862185 ± 0.000038	2.443819 ± 0.000073	1.159844 ± 0.000051
同安厝段 350_15-30 cm ^a	38.4237 ± 0.0080	15.6482 ± 0.0034	18.1991 ± 0.0038	2.111295 ± 0.000083	0.859809 ± 0.000028	2.455585 ± 0.000061	1.163049 ± 0.000038

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。未標註採樣深度者皆為 0-15 cm 表土。「複測」數值僅供參考。

^a 張等 (2013)，「E」代表以 0.05 M EDTA 消化，「H」代表以 0.1 M HCl 消化萃取。

表 1 臺灣土壤鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
同安厝段 350_15-30 cm_E ^a	38.224 ± 0.010	15.6442 ± 0.0043	18.1393 ± 0.0047	2.107263 ± 0.000089	0.862456 ± 0.000032	2.443329 ± 0.000070	1.159479 ± 0.000044
同安厝段 350_15-30 cm_H ^a	38.237 ± 0.010	15.6472 ± 0.0042	18.1484 ± 0.0046	2.106890 ± 0.000094	0.862159 ± 0.000032	2.443716 ± 0.000069	1.159879 ± 0.000044
同安厝段 350_30-x cm ^a	38.5276 ± 0.0082	15.6508 ± 0.0032	18.2539 ± 0.0037	2.110652 ± 0.000083	0.857405 ± 0.000030	2.461628 ± 0.000076	1.166311 ± 0.000040
同安厝段 350_30-x cm_E ^a	38.267 ± 0.010	15.6485 ± 0.0043	18.1664 ± 0.0046	2.106445 ± 0.000088	0.861428 ± 0.000036	2.445290 ± 0.000068	1.160864 ± 0.000048
同安厝段 350_30-x cm_H ^a	38.2645 ± 0.0075	15.6471 ± 0.0030	18.1654 ± 0.0033	2.106457 ± 0.000095	0.861361 ± 0.000034	2.445509 ± 0.000074	1.160953 ± 0.000046
2013/11/14 同安厝段 363-1	38.3000 ± 0.0079	15.6548 ± 0.0035	18.1753 ± 0.0038	2.107253 ± 0.000069	0.861319 ± 0.000026	2.446533 ± 0.000062	1.161010 ± 0.000036
2013/05/31 同安厝段 371	38.4955 ± 0.0094	15.6607 ± 0.0041	18.2488 ± 0.0044	2.109486 ± 0.000070	0.858163 ± 0.000027	2.458125 ± 0.000063	1.165279 ± 0.000037
2013/11/14 同安厝段 371	38.4117 ± 0.0069	15.6554 ± 0.0030	18.2247 ± 0.0034	2.107665 ± 0.000069	0.859004 ± 0.000023	2.453634 ± 0.000058	1.164138 ± 0.000031
同安厝段 372-1 ^a	38.263 ± 0.016	15.6481 ± 0.0067	18.1542 ± 0.0075	2.10766 ± 0.00012	0.861975 ± 0.000044	2.445190 ± 0.000093	1.160127 ± 0.000059
同安厝段 372-1_E ^a	38.2135 ± 0.0078	15.6474 ± 0.0033	18.1366 ± 0.0036	2.106979 ± 0.000093	0.862730 ± 0.000035	2.442224 ± 0.000085	1.159112 ± 0.000047
同安厝段 372-1_H ^a	38.2285 ± 0.0083	15.6517 ± 0.0036	18.1437 ± 0.0039	2.106990 ± 0.000088	0.862659 ± 0.000033	2.442379 ± 0.000077	1.159206 ± 0.000045
同安厝段 372-1_15- 30 cm ^a	38.282 ± 0.019	15.6521 ± 0.0083	18.1624 ± 0.0090	2.10774 ± 0.00012	0.861749 ± 0.000044	2.445869 ± 0.000086	1.160431 ± 0.000059

註：measure mean ± 2 S.E.。未標註採樣深度者皆為 0-15 cm 表土。^a 張等 (2013)，「E」代表以 0.05 M EDTA 消化，「H」代表以 0.1 M HCl 消化萃取，餘均以王水全量消化。

表 1 臺灣土壤鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
同安厝段 372-1_15- 30 cm_E ^a	38.2160 ± 0.0075	15.6469 ± 0.0033	18.1371 ± 0.0036	2.107066 ± 0.000096	0.862678 ± 0.000032	2.442380 ± 0.000079	1.159181 ± 0.000043
同安厝段 372-1_15- 30 cm_H ^a	38.2287 ± 0.0073	15.6506 ± 0.0032	18.1458 ± 0.0034	2.106752 ± 0.000098	0.862458 ± 0.000035	2.442712 ± 0.000078	1.159477 ± 0.000047
同安厝段 372-1_30-x cm ^a	38.3583 ± 0.0084	15.6483 ± 0.0035	18.1945 ± 0.0038	2.108241 ± 0.000084	0.860055 ± 0.000031	2.451336 ± 0.000079	1.162717 ± 0.000042
同安厝段 372-1_30-x cm_E ^a	38.2825 ± 0.0080	15.6462 ± 0.0034	18.1808 ± 0.0038	2.10566 ± 0.00010	0.860597 ± 0.000034	2.446741 ± 0.000089	1.161984 ± 0.000046
同安厝段 372-1_30-x cm_H ^a	38.2952 ± 0.0080	15.6550 ± 0.0035	18.1816 ± 0.0038	2.106262 ± 0.000085	0.860998 ± 0.000029	2.446297 ± 0.000077	1.161443 ± 0.000039
2010/06/05 北平段 714_ 樣點 6	38.0572 ± 0.0040	15.6030 ± 0.0019	17.9601 ± 0.0021	2.118983 ± 0.000085	0.868738 ± 0.000026	2.439109 ± 0.000091	1.151095 ± 0.000034
2010/06/05 北平段 714_ 樣點 6_80- 100 cm	38.0264 ± 0.0035	15.6028 ± 0.0016	17.9405 ± 0.0017	2.119580 ± 0.000072	0.869681 ± 0.000023	2.437220 ± 0.000075	1.149847 ± 0.000031
2010/06/05 北平段 714_ 樣點 7	38.0575 ± 0.0046	15.6048 ± 0.0020	17.9553 ± 0.0023	2.119567 ± 0.000087	0.869078 ± 0.000028	2.438858 ± 0.000086	1.150644 ± 0.000037
2010/06/05 北平段 839_ 樣點 1	37.2571 ± 0.0051	15.5420 ± 0.0023	17.4342 ± 0.0025	2.137014 ± 0.000079	0.891397 ± 0.000033	2.397381 ± 0.000089	1.121835 ± 0.000041
2010/06/05 北平段 839_ 樣點 1_重複	37.2056 ± 0.0076	15.5357 ± 0.0032	17.3836 ± 0.0035	2.14026 ± 0.00011	0.893673 ± 0.000045	2.394916 ± 0.000099	1.118977 ± 0.000057

註：measure mean ± 2 S.E.。未標註採樣深度者皆為 0–15 cm 表土。「重複」代表重複樣品，數值僅供參考。^a 張等 (2013)，「E」代表以 0.05 M EDTA 消化，「H」代表以 0.1 M HCl 消化萃取，餘均以王水全量消化。

表 1 臺灣土壤鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2010/06/05 北平段 839_ 樣點 2	37.2666 ± 0.0039	15.5414 ± 0.0017	17.4413 ± 0.0018	2.136684 ± 0.000082	0.891048 ± 0.000029	2.397971 ± 0.000081	1.122275 ± 0.000036
2010/06/05 北平段 841_ 樣點 3	37.3832 ± 0.0042	15.5519 ± 0.0019	17.5304 ± 0.0021	2.132475 ± 0.000075	0.887128 ± 0.000030	2.403790 ± 0.000087	1.127233 ± 0.000038
2010/06/05 北平段 841_ 樣點 3_80- 100 cm	37.2158 ± 0.0055	15.5345 ± 0.0025	17.4020 ± 0.0029	2.138590 ± 0.000098	0.892628 ± 0.000034	2.395759 ± 0.000097	1.120288 ± 0.000042
2010/06/05 北平段 841_ 樣點 4	37.3326 ± 0.0041	15.5531 ± 0.0019	17.4572 ± 0.0021	2.138528 ± 0.000091	0.890921 ± 0.000026	2.400368 ± 0.000091	1.122434 ± 0.000033
北平段 841 ^a	37.219 ± 0.013	15.5392 ± 0.0056	17.3841 ± 0.0059	2.14100 ± 0.00011	0.893895 ± 0.000044	2.395111 ± 0.000089	1.118700 ± 0.000055
北平段 841_E ^a	37.1973 ± 0.0074	15.5374 ± 0.0033	17.376 ± 0.0034	2.140727 ± 0.000076	0.894201 ± 0.000034	2.394045 ± 0.000073	1.118316 ± 0.000042
北平段 841_H ^a	37.2013 ± 0.0074	15.5397 ± 0.0034	17.3787 ± 0.0036	2.140630 ± 0.000089	0.894170 ± 0.000032	2.394038 ± 0.000069	1.118355 ± 0.000041
北平段 841_15-30 cm ^a	37.214 ± 0.018	15.5365 ± 0.0078	17.3812 ± 0.0085	2.14103 ± 0.00012	0.893907 ± 0.000046	2.39511 ± 0.00010	1.118685 ± 0.000058
北平段 841_15-30 cm_E ^a	37.1912 ± 0.0085	15.5355 ± 0.0036	17.3733 ± 0.0038	2.140707 ± 0.000085	0.894192 ± 0.000033	2.394024 ± 0.000080	1.118328 ± 0.000041
北平段 841_15-30 cm_H ^a	37.2094 ± 0.0072	15.5407 ± 0.0031	17.3818 ± 0.0034	2.140705 ± 0.000092	0.894077 ± 0.000034	2.394316 ± 0.000075	1.118472 ± 0.000043
北平段 841_30-x cm ^a	37.193 ± 0.015	15.5336 ± 0.0068	17.3675 ± 0.0070	2.14151 ± 0.00012	0.894343 ± 0.000044	2.394461 ± 0.000089	1.118139 ± 0.000055
北平段 841_30-x cm_E ^a	37.1743 ± 0.0088	15.5292 ± 0.0037	17.3639 ± 0.0040	2.140887 ± 0.000079	0.894359 ± 0.000035	2.393745 ± 0.000078	1.118119 ± 0.000043

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。^a 張等 (2013)。

表 1 臺灣土壤鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
北平段 841_30-x cm_H ^a	37.1967 ± 0.0086	15.5396 ± 0.0037	17.3702 ± 0.0040	2.141402 ± 0.000091	0.894638 ± 0.000031	2.393583 ± 0.000069	1.117770 ± 0.000039
2010/06/05 北平段 842_ 樣點 5	37.8192 ± 0.0060	15.5857 ± 0.0026	17.8148 ± 0.0031	2.122907 ± 0.000096	0.874807 ± 0.000040	2.42670 ± 0.00012	1.143109 ± 0.000053
北平段 853 ^a	37.4416 ± 0.0084	15.5619 ± 0.0034	17.5631 ± 0.0036	2.131839 ± 0.000085	0.886034 ± 0.000030	2.406035 ± 0.000076	1.128625 ± 0.000038
北平段 853_E ^a	37.3845 ± 0.0069	15.5556 ± 0.0030	17.5432 ± 0.0032	2.131001 ± 0.000082	0.886780 ± 0.000029	2.403089 ± 0.000064	1.127675 ± 0.000037
北平段 853_H ^a	37.3926 ± 0.0073	15.5577 ± 0.0031	17.5440 ± 0.0033	2.131362 ± 0.000084	0.886822 ± 0.000034	2.403395 ± 0.000069	1.127622 ± 0.000043
北平段 853_15-30 cm ^a	37.4800 ± 0.0069	15.5648 ± 0.0030	17.5875 ± 0.0031	2.131053 ± 0.000082	0.884972 ± 0.000029	2.408058 ± 0.000070	1.129979 ± 0.000037
北平段 853_15-30 cm_E ^a	37.3951 ± 0.0080	15.5563 ± 0.0034	17.5511 ± 0.0037	2.130640 ± 0.000095	0.886314 ± 0.000037	2.403889 ± 0.000085	1.128269 ± 0.000046
北平段 853_15-30 cm_H ^a	37.4102 ± 0.0082	15.5588 ± 0.0034	17.5591 ± 0.0037	2.130539 ± 0.000089	0.886076 ± 0.000033	2.404498 ± 0.000079	1.128572 ± 0.000042
北平段 853_30-x cm ^a	37.8262 ± 0.0065	15.5845 ± 0.0029	17.8030 ± 0.0030	2.124711 ± 0.000089	0.875394 ± 0.000032	2.427127 ± 0.000069	1.142343 ± 0.000041
北平段 853_30-x cm_E ^a	37.6317 ± 0.0089	15.5749 ± 0.0041	17.7055 ± 0.0045	2.12543 ± 0.00012	0.879589 ± 0.000043	2.41644 ± 0.00012	1.136894 ± 0.000056
北平段 853_30-x cm_H ^a	37.6124 ± 0.0070	15.5715 ± 0.0030	17.6887 ± 0.0032	2.126352 ± 0.000087	0.880328 ± 0.000035	2.415378 ± 0.000075	1.135940 ± 0.000046
廉使國小 ^a	38.5649 ± 0.0083	15.6451 ± 0.0036	18.2984 ± 0.0039	2.107560 ± 0.000081	0.855010 ± 0.000029	2.465003 ± 0.000071	1.169576 ± 0.000040
廉使國小_E ^a	38.5755 ± 0.0082	15.6443 ± 0.0034	18.3303 ± 0.0039	2.104466 ± 0.000082	0.853462 ± 0.000032	2.465838 ± 0.000065	1.171698 ± 0.000044

註：measure mean ± 2 S.E.。未標註採樣深度者皆為 0-15 cm 表土。^a 張等 (2013)。

表 1 臺灣土壤鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
廉使國小_H ^a	38.6601 ± 0.0082	15.6544 ± 0.0034	18.3912 ± 0.0038	2.102094 ± 0.000083	0.851167 ± 0.000027	2.469637 ± 0.000075	1.174858 ± 0.000037
廉使國小 _15-30 cm ^a	38.8178 ± 0.0081	15.6609 ± 0.0033	18.4673 ± 0.0036	2.101981 ± 0.000084	0.848051 ± 0.000026	2.478599 ± 0.000077	1.179175 ± 0.000037
廉使國小 _15-30 cm_E ^a	38.7289 ± 0.0066	15.6575 ± 0.0028	18.4393 ± 0.0031	2.100339 ± 0.000087	0.849152 ± 0.000030	2.473449 ± 0.000070	1.177646 ± 0.000042
廉使國小 _15-30 cm_H ^a	38.7114 ± 0.0082	15.6569 ± 0.0034	18.4282 ± 0.0037	2.100656 ± 0.000088	0.849559 ± 0.000037	2.472668 ± 0.000084	1.177082 ± 0.000052
廉使國小 _30-x cm ^a	38.7921 ± 0.0072	15.6576 ± 0.0028	18.4418 ± 0.0032	2.103494 ± 0.000087	0.849068 ± 0.000029	2.477431 ± 0.000074	1.177762 ± 0.000040
廉使國小 _30-x cm_E ^a	38.7498 ± 0.0078	15.6578 ± 0.0033	18.4482 ± 0.0036	2.100465 ± 0.000082	0.848751 ± 0.000031	2.474743 ± 0.000069	1.178201 ± 0.000043
廉使國小 _30-x cm_H ^a	38.7513 ± 0.0082	15.6596 ± 0.0035	18.4469 ± 0.0038	2.100693 ± 0.000081	0.848905 ± 0.000031	2.474588 ± 0.000061	1.177988 ± 0.000043
三結義段 392_樣點 1	38.6553 ± 0.0057	15.6480 ± 0.0025	18.4190 ± 0.0028	2.098664 ± 0.000089	0.849497 ± 0.000028	2.470419 ± 0.000097	1.177167 ± 0.000039
三結義段 392_樣點 1_80-100 cm	38.7276 ± 0.0072	15.6541 ± 0.0030	18.4929 ± 0.0034	2.09419 ± 0.00010	0.846507 ± 0.000039	2.47391 ± 0.00012	1.181326 ± 0.000055
三結義段 392_樣點 1_80-100 cm_重複	38.7226 ± 0.0047	15.6545 ± 0.0019	18.4801 ± 0.0022	2.095365 ± 0.000067	0.847092 ± 0.000029	2.473635 ± 0.000094	1.180509 ± 0.000040
三結義段 388_樣點 2	38.5039 ± 0.0044	15.6387 ± 0.0020	18.3515 ± 0.0023	2.098138 ± 0.000084	0.852157 ± 0.000028	2.462153 ± 0.000097	1.173493 ± 0.000039
三結義段 404_樣點 3	38.6311 ± 0.0042	15.6496 ± 0.0018	18.4393 ± 0.0021	2.095042 ± 0.000085	0.848703 ± 0.000030	2.468490 ± 0.000096	1.178268 ± 0.000041

註：measure mean ± 2 S.E.。未標註採樣深度者皆為 0-15 cm 表土，三結義段之採集日為 2010/06/05，「重複」代表重複樣品，數值僅供參考。^a 張等 (2013)。

表 1 臺灣土壤鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
三結義段	38.6155	15.6437	18.3999	2.098672	0.850197	2.468478	1.176199
1741_樣點 4	± 0.0058	± 0.0022	± 0.0026	± 0.000074	± 0.000027	± 0.000087	± 0.000037
三結義段	38.7432	15.6573	18.5104	2.093047	0.845875	2.474384	1.182209
431_樣點 5	± 0.0042	± 0.0020	± 0.0023	± 0.000076	± 0.000027	± 0.000087	± 0.000037
三結義段							
431_樣點	38.5260	15.6460	18.3780	2.096314	0.851314	2.462466	1.174655
5_80-100 cm	± 0.0041	± 0.0019	± 0.0021	± 0.000081	± 0.000029	± 0.000088	± 0.000040
石磊子段石							
磊子小段	38.4345	15.6365	18.2739	2.103246	0.855687	2.45792	1.168652
661_樣點 1	± 0.0067	± 0.0030	± 0.0035	± 0.000091	± 0.000032	± 0.00010	± 0.000043
石磊子段石							
磊子小段	37.9874	15.6073	17.9727	2.113621	0.868414	2.433940	1.151525
661_樣點	± 0.0052	± 0.0023	± 0.0026	± 0.000079	± 0.000031	± 0.000094	± 0.000041
1_80-100 cm							
石磊子段石							
磊子小段	38.2828	15.6259	18.2091	2.10240	0.858137	2.44994	1.165316
870_樣點 2	± 0.0057	± 0.0028	± 0.0031	± 0.00011	± 0.000041	± 0.00012	± 0.000055
石磊子段石							
磊子小段	37.8348	15.5918	17.8107	2.12428	0.875424	2.42657	1.142303
886_樣點 4	± 0.0045	± 0.0022	± 0.0024	± 0.00011	± 0.000034	± 0.00012	± 0.000045
石磊子段石							
磊子小段	38.1677	15.6239	18.1593	2.101826	0.860379	2.44289	1.162279
1023_樣點 3	± 0.0054	± 0.0026	± 0.0028	± 0.000095	± 0.000034	± 0.00012	± 0.000046
石磊子段石							
磊子小段	38.1265	15.6172	18.1182	2.104322	0.861966	2.441294	1.160139
1023_樣點	± 0.0049	± 0.0022	± 0.0024	± 0.000082	± 0.000032	± 0.000094	± 0.000043
3_80-100 cm							
石磊子段石							
磊子小段	38.2728	15.6269	18.2104	2.10170	0.858196	2.44909	1.165235
1573_樣點 5	± 0.0074	± 0.0035	± 0.0039	± 0.00012	± 0.000042	± 0.00012	± 0.000058

註：measure mean ± 2 S.E.。石磊子段石磊子小段之採集日為 2010/06/05。[§] 數值僅供參考。

表 1 臺灣土壤鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
下庄子段 649-10_樣 點 1	38.4293 ± 0.0043	15.6353 ± 0.0020	18.2914 ± 0.0023	2.100944 ± 0.000093	0.854786 ± 0.000030	2.45786 ± 0.00011	1.169884 ± 0.000040
下庄子段 661-2_樣點 2	38.3348 ± 0.0049	15.6278 ± 0.0021	18.2324 ± 0.0024	2.102565 ± 0.000088	0.857123 ± 0.000028	2.453051 ± 0.000098	1.166693 ± 0.000038
下庄子段 661-2_樣點 2_80-100 cm	38.5775 ± 0.0040	15.6423 ± 0.0019	18.3185 ± 0.0023	2.105931 ± 0.000092	0.853890 ± 0.000028	2.46631 ± 0.00011	1.171112 ± 0.000038
下庄子段 572_樣點 5	38.3001 ± 0.0048	15.6297 ± 0.0021	18.2160 ± 0.0023	2.102559 ± 0.000081	0.858022 ± 0.000027	2.450503 ± 0.000099	1.165471 ± 0.000037
下庄子段 572_樣點 5_80-100 cm	38.1720 ± 0.0055	15.6214 ± 0.0025	18.1385 ± 0.0028	2.104474 ± 0.000091	0.861189 ± 0.000031	2.44365 ± 0.00010	1.161185 ± 0.000042
下庄子段 581_樣點 4	38.7306 ± 0.0044	15.6572 ± 0.0020	18.5039 ± 0.0022	2.093105 ± 0.000091	0.846167 ± 0.000028	2.473639 ± 0.000092	1.181800 ± 0.000040
下庄子段 581-6_樣點 3	38.5433 ± 0.0043	15.6404 ± 0.0020	18.3784 ± 0.0022	2.097211 ± 0.000093	0.851032 ± 0.000030	2.46433 ± 0.00010	1.175044 ± 0.000041
關渡平原北 投小組 (n=15) ^b	NA	NA	NA	NA	NA	2.4659– 2.4818	1.1744– 1.1839
關渡平原一 德小組 ^b	NA	NA	NA	NA	NA	2.4730 ± 0.0024	1.1758 ± 0.0002
	NA	NA	NA	NA	NA	2.4738 ± 0.0012	1.1748 ± 0.0002
關渡平原嘎 勞別小組 ^b	NA	NA	NA	NA	NA	2.4670 ± 0.0006	1.1735 ± 0.0003
	NA	NA	NA	NA	NA	2.4715 ± 0.0021	1.1746 ± 0.0003

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。未標註採樣深度者皆為 0–15 cm 表土，下庄子段之採集日為 2010/06/05。^b 陳 (2008)、羅 (2008)、張等 (2010)，NA 為未提供。

表 2 臺灣作物食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
山嶺段 87_	37.721	15.574	17.818	2.11697	0.874153	2.42178	1.143965
樣點 1	± 0.038	± 0.015	± 0.018	± 0.00022	± 0.000070	± 0.00019	± 0.000091
山嶺段 87_	37.6880	15.5835	17.7737	2.12043	0.876788	2.41844	1.140527
樣點 1_重複	± 0.0078	± 0.0037	± 0.0041	± 0.00013	± 0.000045	± 0.00011	± 0.000058
山嶺段 87_	37.559	15.571	17.661	2.12669	0.881649	2.41219	1.134239
樣點 2	± 0.033	± 0.013	± 0.015	± 0.00018	± 0.000056	± 0.00016	± 0.000072
山嶺段 87_	37.522	15.557	17.638	2.12736	0.882097	2.41178	1.133662
樣點 3	± 0.039	± 0.014	± 0.016	± 0.00019	± 0.000059	± 0.00018	± 0.000076
山嶺段 87_	37.695	15.565	17.808	2.11671	0.874056	2.42171	1.144091
樣點 4	± 0.046	± 0.017	± 0.020	± 0.00019	± 0.000063	± 0.00018	± 0.000083
山嶺段 87_	37.728	15.567	17.850	2.11364	0.872142	2.42346	1.146602
樣點 4_未洗	± 0.046	± 0.018	± 0.021	± 0.00016	± 0.000056	± 0.00017	± 0.000074
山嶺段 87_	37.650	15.560	17.798	2.11546	0.874206	2.41984	1.143895
樣點 5	± 0.041	± 0.015	± 0.018	± 0.00018	± 0.000066	± 0.00014	± 0.000086
山嶺段 121_	37.6407	15.6088	17.7452	2.12118	0.879573	2.411553	1.136915
樣點 10	± 0.0055	± 0.0027	± 0.0028	± 0.00015	± 0.000043	± 0.000097	± 0.000056
山嶺段 121_	37.6143	15.5825	17.6790	2.12763	0.881417	2.41388	1.134537
樣點 10_複測	± 0.0099	± 0.0046	± 0.0048	± 0.00015	± 0.000057	± 0.00013	± 0.000073
山嶺段 121_	37.6832	15.5833	17.7743	2.12010	0.876740	2.41812	1.140589
樣點 11	± 0.0067	± 0.0029	± 0.0033	± 0.00013	± 0.000043	± 0.00011	± 0.000056
山嶺段 121_	37.7748	15.5934	17.8547	2.115678	0.873342	2.422488	1.145026
樣點 12	± 0.0043	± 0.0018	± 0.0020	± 0.000091	± 0.000027	± 0.000071	± 0.000036
山嶺段 121_	37.5544	15.5732	17.6630	2.12617	0.881690	2.411477	1.134185
樣點 13	± 0.0070	± 0.0031	± 0.0033	± 0.00012	± 0.000040	± 0.000077	± 0.000051

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.，全數數據係假臺灣大學地質科學系之儀器設備檢測而得。未額外加註項目者為糙米樣本，山嶺段之採集日為 2010/11/23，盆栽試驗 I 為 2013/06/26，盆栽試驗 II 為 2013/12/19，北平段為 2010/10/29，其餘如標示日期。「重複」代表重複樣品，數值僅供參考，「複測」代表同一樣品之餘樣複驗，數值僅供參考，「複驗」代表同一樣品之重新萃取並複驗，數值僅供參考，「未洗」代表配合環保署試驗要求而設計未經樣本預清洗處理，數值僅供參考。 $^{208}\text{Pb}/^{205}\text{Tl} = 0.64\text{--}0.77$ 未達品質標準（接受範圍為 0.83–6.67），數值僅供參考。* 鉍同位素添加偵測值異常，數值不得採用。

表 2 臺灣作物食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
山嶺段 121_樣點 14_未洗	37.8737 ± 0.0069	15.5988 ± 0.0030	17.9319 ± 0.0033	2.11209 ± 0.00011	0.869890 ± 0.000033	2.427929 ± 0.000092	1.149570 ± 0.000044
山嶺段 124_樣點 6	37.796 ± 0.047	15.577 ± 0.017	17.891 ± 0.020	2.11250 ± 0.00019	0.870465 ± 0.000060	2.42699 ± 0.00016	1.148811 ± 0.000080
山嶺段 124_樣點 7	37.7421 ± 0.0061	15.5910 ± 0.0028	17.8422 ± 0.0032	2.11533 ± 0.00011	0.873805 ± 0.000035	2.420881 ± 0.000082	1.144420 ± 0.000046
山嶺段 124_樣點 7_複測	37.737 ± 0.011	15.5896 ± 0.0048	17.8369 ± 0.0053	2.11569 ± 0.00015	0.873992 ± 0.000063	2.42075 ± 0.00012	1.144175 ± 0.000083
山嶺段 124_樣點 8 *	40.007 ± 0.052	13.8 ± 1.8	18.3 ± 1.5	2.18 ± 0.18	0.872 ± 0.037	2.41 ± 0.10	1.141 ± 0.049
山嶺段 124_樣點 9_未洗*	37.652 ± 0.046	15.560 ± 0.047	17.739 ± 0.039	2.1226 ± 0.0038	0.87730 ± 0.00079	2.4193 ± 0.0022	1.1399 ± 0.0010
盆栽試驗 I 背景值組	37.661 ± 0.015	15.5993 ± 0.0062	17.7838 ± 0.0068	2.11772 ± 0.00012	0.877162 ± 0.000044	2.41423 ± 0.00011	1.140040 ± 0.000057
盆栽試驗 I 低濃度組	37.814 ± 0.011	15.6120 ± 0.0049	17.8514 ± 0.0053	2.118266 ± 0.000097	0.874423 ± 0.000037	2.422530 ± 0.000087	1.143611 ± 0.000048
盆栽試驗 I 中濃度組	37.9743 ± 0.0067	15.6236 ± 0.0030	17.9723 ± 0.0032	2.112936 ± 0.000091	0.869327 ± 0.000034	2.430512 ± 0.000080	1.150315 ± 0.000045
盆栽試驗 I 高濃度組	38.1513 ± 0.0079	15.6451 ± 0.0034	18.1207 ± 0.0038	2.105397 ± 0.000088	0.863398 ± 0.000035	2.438438 ± 0.000095	1.158215 ± 0.000047
盆栽試驗 II 對照組	38.0181 ± 0.0085	15.6266 ± 0.0038	18.0076 ± 0.0041	2.11123 ± 0.00010	0.867772 ± 0.000039	2.432951 ± 0.000089	1.152376 ± 0.000051
盆栽試驗 II 根部組	38.1206 ± 0.0089	15.6311 ± 0.0041	18.1204 ± 0.0043	2.10374 ± 0.00011	0.862581 ± 0.000040	2.438867 ± 0.000098	1.159312 ± 0.000053
盆栽試驗 II 葉面組	38.1143 ± 0.0092	15.6333 ± 0.0039	18.0791 ± 0.0044	2.10820 ± 0.00011	0.864727 ± 0.000040	2.438000 ± 0.000096	1.156434 ± 0.000053
盆栽試驗 II 綜合組	38.1295 ± 0.0088	15.6331 ± 0.0041	18.1245 ± 0.0044	2.103751 ± 0.000094	0.862528 ± 0.000036	2.439094 ± 0.000092	1.159383 ± 0.000049

註：糙米樣本 measure mean ± 2 S.E.。盆栽試驗 I、II 之採集日為 2013/06/26、2013/12/19。

「複測」、「未洗」數值僅供參考。* 鉍同位素添加偵測值異常，數值不得採用。

表 2 臺灣作物食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2013/05/31 同安厝段 245-1	38.265 ± 0.012	15.6575 ± 0.0053	18.3985 ± 0.0058	2.07977 ± 0.00011	0.851022 ± 0.00004	2.443867 ± 0.000098	1.175058 ± 0.000055
2013/05/31 同安厝段 245-1_複測	38.1702 ± 0.0075	15.6213 ± 0.0031	18.3313 ± 0.0035	2.082237 ± 0.000086	0.852184 ± 0.000032	2.443388 ± 0.000091	1.173455 ± 0.000044
2013/05/31 同安厝段 245-1_複驗	38.2636 ± 0.0064	15.6561 ± 0.0028	18.3901 ± 0.0031	2.080668 ± 0.000086	0.851334 ± 0.000032	2.444061 ± 0.000081	1.174627 ± 0.000044
2013/11/14 同安厝段 245-1	38.0258 ± 0.0084	15.6265 ± 0.0037	18.0457 ± 0.0041	2.10719 ± 0.00011	0.865912 ± 0.000039	2.433501 ± 0.000088	1.154852 ± 0.000051
2010/11/11 同安厝段 332	38.0041 ± 0.0058	15.6175 ± 0.0024	18.0078 ± 0.0028	2.110418 ± 0.000070	0.867250 ± 0.000023	2.433455 ± 0.000060	1.153070 ± 0.000031
2013/05/31 同安厝段 332	38.176 ± 0.011	15.6474 ± 0.0048	18.1184 ± 0.0053	2.10702 ± 0.00013	0.863581 ± 0.000038	2.439790 ± 0.000088	1.157968 ± 0.000051
2013/11/14 同安厝段 332_樣點 1	38.0959 ± 0.0091	15.6255 ± 0.0040	18.0809 ± 0.0042	2.10698 ± 0.00010	0.864163 ± 0.000039	2.438149 ± 0.000099	1.157189 ± 0.000052
2013/11/14 同安厝段 332_樣點 2	38.1256 ± 0.0093	15.6328 ± 0.0039	18.1083 ± 0.0045	2.10542 ± 0.00012	0.863250 ± 0.000039	2.43895 ± 0.00011	1.158413 ± 0.000052
2013/12/19 同安厝段 332_樣點 3	38.1356 ± 0.0096	15.6393 ± 0.0041	18.1145 ± 0.0046	2.10526 ± 0.00011	0.863315 ± 0.000040	2.438573 ± 0.000092	1.158325 ± 0.000054
2010/11/11 同安厝段 347	37.7633 ± 0.0042	15.5897 ± 0.0019	17.8410 ± 0.0020	2.116660 ± 0.000059	0.873802 ± 0.000022	2.422354 ± 0.000054	1.144425 ± 0.000029
2010/11/11 同安厝段 347_重複	37.7128 ± 0.0062	15.5889 ± 0.0025	17.8074 ± 0.0028	2.11781 ± 0.000066	0.875401 ± 0.000026	2.419270 ± 0.000061	1.142333 ± 0.000034

註：糙米樣本 measure mean ± 2 S.E.。「重複」代表重複樣品、「複測」代表同一樣品之餘樣複驗、「複驗」代表同一樣品之重新萃取並複驗，前述三款之數值僅供參考。

表 2 臺灣作物食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2013/11/14 同安厝段 363-1	38.0858 ± 0.0081	15.6247 ± 0.0035	18.0621 ± 0.0038	2.108608 ± 0.000096	0.865057 ± 0.000034	2.437557 ± 0.000085	1.155989 ± 0.000045
2013/05/31 同安厝段 371	38.206 ± 0.011	15.6458 ± 0.0047	18.1791 ± 0.0053	2.101639 ± 0.000096	0.860685 ± 0.000033	2.441822 ± 0.000083	1.161866 ± 0.000045
2013/11/14 同安厝段 371	38.0249 ± 0.0092	15.6255 ± 0.0041	18.0146 ± 0.0044	2.11078 ± 0.00011	0.867433 ± 0.000037	2.43339 ± 0.00011	1.152827 ± 0.000049
北平段 714 [#]	37.6007 ± 0.0079	15.5727 ± 0.0032	17.7158 ± 0.0036	2.122439 ± 0.000075	0.879113 ± 0.000032	2.414273 ± 0.000075	1.137510 ± 0.000041
北平段 714_ 複測 [#]	37.609 ± 0.012	15.5792 ± 0.0058	17.7206 ± 0.0062	2.12234 ± 0.00013	0.879098 ± 0.000051	2.41421 ± 0.00013	1.137520 ± 0.000063
北平段 714_ 花生	37.5959 ± 0.0042	15.5771 ± 0.0018	17.7108 ± 0.0019	2.122768 ± 0.000066	0.879549 ± 0.000020	2.413497 ± 0.000054	1.136947 ± 0.000025
北平段 714_ 花生_複測	37.5884 ± 0.0072	15.5738 ± 0.0031	17.7057 ± 0.0035	2.12295 ± 0.00011	0.879580 ± 0.000038	2.413596 ± 0.000092	1.136906 ± 0.000049
北平段 841_ 花生 [#]	37.4515 ± 0.0094	15.5604 ± 0.0039	17.5851 ± 0.0045	2.129724 ± 0.000077	0.884854 ± 0.000033	2.406841 ± 0.000075	1.130129 ± 0.000042
北平段 841_ 花生_複測 [#]	37.456 ± 0.016	15.5632 ± 0.0069	17.5875 ± 0.0076	2.12969 ± 0.00014	0.884857 ± 0.000052	2.40678 ± 0.00015	1.130126 ± 0.000067
豐年一小段 159 [*]	38.23 ± 0.15	15.691 ± 0.064	18.216 ± 0.076	2.09848 ± 0.00066	0.86160 ± 0.00032	2.43556 ± 0.00068	1.16063 ± 0.00043
豐年一小段 193	40.8404 ± 0.0037	15.8682 ± 0.0016	20.1817 ± 0.0019	2.023634 ± 0.000068	0.786264 ± 0.000018	2.573752 ± 0.000057	1.271838 ± 0.000028
豐年一小段 286	37.768 ± 0.050	15.588 ± 0.020	17.947 ± 0.024	2.10441 ± 0.00038	0.86852 ± 0.00013	2.42306 ± 0.00032	1.15139 ± 0.00018

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。未額外加註項目者為糙米樣本，北平段之採集日 2010/10/29。

「重複」、「複測」數值僅供參考。[#] $^{208}\text{Pb}/^{205}\text{Tl} = 0.64\text{--}0.77$ 未達品質標準 (接受範圍為 0.83–6.67)，數值僅供參考。^{*} 鉍同位素添加偵測值異常，數值不得採用。

表 3 臺灣作物非食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2010/09/15 山嶺段 87_ 樣點 1_稻葉	37.2838 ± 0.0045	15.5459 ± 0.0019	17.4091 ± 0.0021	2.141627 ± 0.000070	0.892979 ± 0.000024	2.398292 ± 0.000059	1.119847 ± 0.000030
2010/09/15 山嶺段 87_ 樣點 2_稻葉	37.6232 ± 0.0037	15.5755 ± 0.0017	17.7350 ± 0.0018	2.121411 ± 0.000067	0.878257 ± 0.000022	2.415465 ± 0.000051	1.138618 ± 0.000028
2010/09/15 山嶺段 87_ 樣點 3_稻葉	37.7169 ± 0.0032	15.5817 ± 0.0015	17.7992 ± 0.0016	2.119027 ± 0.000056	0.875419 ± 0.000019	2.420599 ± 0.000042	1.142311 ± 0.000024
2010/09/15 山嶺段 87_ 樣點 4_稻葉	37.7171 ± 0.0035	15.5847 ± 0.0016	17.7928 ± 0.0018	2.119799 ± 0.000054	0.875908 ± 0.000019	2.420116 ± 0.000048	1.141672 ± 0.000024
2010/09/15 山嶺段 87_ 樣點 5_稻葉	38.1357 ± 0.0038	15.5908 ± 0.0016	17.8553 ± 0.0018	2.135825 ± 0.000059	0.873168 ± 0.000020	2.446068 ± 0.000048	1.145255 ± 0.000027
2010/09/15 山嶺段 121_ 樣點 10_稻 葉	37.8386 ± 0.0050	15.5989 ± 0.0023	17.9562 ± 0.0026	2.107266 ± 0.000067	0.868726 ± 0.000024	2.425680 ± 0.000058	1.151111 ± 0.000032
2010/09/15 山嶺段 121_ 樣點 11_稻 葉	37.2174 ± 0.0035	15.5386 ± 0.0015	17.3342 ± 0.0016	2.147054 ± 0.000059	0.896423 ± 0.000021	2.395075 ± 0.000048	1.115545 ± 0.000026
2010/09/15 山嶺段 121_ 樣點 12_稻 葉	37.2264 ± 0.0043	15.5393 ± 0.0020	17.3470 ± 0.0021	2.145989 ± 0.000060	0.895800 ± 0.000022	2.395618 ± 0.000054	1.116321 ± 0.000027

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。盆栽試驗 I 之採集日為 2013/06/26，盆栽試驗 II 為 2013/12/19，其餘如標示日期。「重複」代表重複樣品，數值僅供參考，「複測」代表同一樣品之餘樣複驗，數值僅供參考，「未洗」代表配合環保署試驗要求而設計未經樣本預清洗處理，數值僅供參考。 $^{208}\text{Pb}/^{205}\text{Tl}$ 各落在 0.61、0.77、0.82、7.20、7.28，未達品質標準（接受範圍為 0.83–6.67），數值僅供參考。^{*} 鉍同位素添加偵測值異常，數值不得採用。

^s 遇測量事故，偵測值異常，數值不得採用。

表 3 臺灣作物非食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2010/09/15							
山嶺段 121_	37.4309	15.5527	17.4961	2.139386	0.888908	2.406713	1.124976
樣點 13_稻葉	± 0.0039	± 0.0017	± 0.0019	± 0.000065	± 0.000022	± 0.000053	± 0.000028
2010/09/15							
山嶺段 121_	37.4824	15.5572	17.5519	2.135523	0.886364	2.409331	1.128205
樣點 14_稻葉	± 0.0033	± 0.0014	± 0.0015	± 0.000054	± 0.000019	± 0.000048	± 0.000024
2010/09/15							
山嶺段 124_	37.6750	15.5816	17.7617	2.121141	0.877266	2.417890	1.139905
樣點 6_稻葉	± 0.0031	± 0.0013	± 0.0014	± 0.000052	± 0.000016	± 0.000042	± 0.000020
2010/09/15							
山嶺段 124_	37.6638	15.5740	17.7401	2.123088	0.877908	2.418387	1.139071
樣點 7_稻葉#	± 0.0038	± 0.0016	± 0.0018	± 0.000042	± 0.000019	± 0.000041	± 0.000024
2010/09/15							
山嶺段 124_	37.8188	15.5904	17.8586	2.117674	0.873005	2.425751	1.145469
樣點 8_稻葉	± 0.0043	± 0.0020	± 0.0022	± 0.000064	± 0.000023	± 0.000052	± 0.000030
2010/09/15							
山嶺段 124_	37.4680	15.5611	17.6042	2.128359	0.883925	2.407888	1.131318
樣點 9_稻葉	± 0.0033	± 0.0014	± 0.0015	± 0.000061	± 0.000021	± 0.000051	± 0.000026
2010/09/15							
山嶺段 87_	37.5852	15.5770	17.6925	2.124360	0.880440	2.412845	1.135795
樣點 1_稻稈	± 0.0044	± 0.0020	± 0.0021	± 0.000073	± 0.000024	± 0.000055	± 0.000030
2010/09/15							
山嶺段 87_	37.4902	15.5651	17.5968	2.130510	0.884554	2.408559	1.130513
樣點 2_稻稈	± 0.0041	± 0.0018	± 0.0020	± 0.000067	± 0.000022	± 0.000052	± 0.000029
2010/09/15							
山嶺段 87_	37.7151	15.5837	17.7847	2.120649	0.876222	2.420199	1.141263
樣點 3_稻稈	± 0.0048	± 0.0017	± 0.0020	± 0.000074	± 0.000021	± 0.000071	± 0.000027
2010/09/15							
山嶺段 87_	37.6765	15.5820	17.7579	2.121680	0.877459	2.418003	1.139654
樣點 4_稻稈	± 0.0032	± 0.0015	± 0.0017	± 0.000068	± 0.000021	± 0.000055	± 0.000027

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。# $^{208}\text{Pb}/^{205}\text{Tl} = 0.61$ ，未達品質標準（接受範圍為 0.83–6.67），數值僅供參考。「稻稈」係指水稻之假莖，取地表上 7–15 cm 處。

表 3 臺灣作物非食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2010/09/15 山嶺段 87_ 樣點 5_稻稈	37.6906 ± 0.0057	15.5860 ± 0.0025	17.7732 ± 0.0028	2.120646 ± 0.000065	0.876922 ± 0.000024	2.418303 ± 0.000064	1.140353 ± 0.000031
2010/09/15 山嶺段 121_ 樣點 10_稻 稈	37.5240 ± 0.0046	15.5763 ± 0.0021	17.7000 ± 0.0024	2.120000 ± 0.000082	0.879000 ± 0.000024	2.420000 ± 0.000062	1.140000 ± 0.000031
2010/09/15 山嶺段 121_ 樣點 11_稻 稈	37.4777 ± 0.0038	15.5622 ± 0.0016	17.5809 ± 0.0017	2.131731 ± 0.000060	0.885189 ± 0.000023	2.408222 ± 0.000049	1.129703 ± 0.000029
2010/09/15 山嶺段 121_ 樣點 12_稻 稈	37.6314 ± 0.0044	15.5753 ± 0.0019	17.6700 ± 0.0022	2.129681 ± 0.000063	0.881473 ± 0.000022	2.416082 ± 0.000058	1.134465 ± 0.000028
2010/09/15 山嶺段 121_ 樣點 13_稻 稈	37.8117 ± 0.0061	15.5911 ± 0.0022	17.8295 ± 0.0025	2.120739 ± 0.000072	0.874446 ± 0.000023	2.425239 ± 0.000062	1.143581 ± 0.000029
2010/09/15 山嶺段 121_ 樣點 14_稻 稈	37.6298 ± 0.0045	15.5756 ± 0.0020	17.6844 ± 0.0022	2.127848 ± 0.000068	0.880730 ± 0.000023	2.416014 ± 0.000053	1.135422 ± 0.000030
2010/09/15 山嶺段 124_ 樣點 6_稻稈	37.8774 ± 0.0038	15.5920 ± 0.0016	17.9009 ± 0.0019	2.115955 ± 0.000059	0.871016 ± 0.000020	2.429266 ± 0.000051	1.148084 ± 0.000026
2010/09/15 山嶺段 124_ 樣點 7_稻稈	37.5614 ± 0.0035	15.5751 ± 0.0015	17.6619 ± 0.0016	2.126685 ± 0.000062	0.881849 ± 0.000019	2.411619 ± 0.000052	1.133981 ± 0.000024
2010/09/15 山嶺段 124_ 樣點 8_稻稈	37.3645 ± 0.0036	15.5720 ± 0.0015	17.6001 ± 0.0018	2.122973 ± 0.000055	0.884788 ± 0.000017	2.399396 ± 0.000051	1.130214 ± 0.000022
2010/09/15 山嶺段 124_ 樣點 9_稻稈	37.5019 ± 0.0035	15.5593 ± 0.0016	17.6291 ± 0.0017	2.127278 ± 0.000058	0.882582 ± 0.000018	2.410288 ± 0.000048	1.133039 ± 0.000023

表 3 臺灣作物非食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2010/09/15 山嶺段 87_ 樣點 1_稻根	37.8616 ± 0.0052	15.5959 ± 0.0023	17.9323 ± 0.0026	2.111364 ± 0.000075	0.869699 ± 0.000022	2.427733 ± 0.000068	1.149823 ± 0.000029
2010/09/15 山嶺段 87_ 樣點 2_稻根	37.8429 ± 0.0049	15.5939 ± 0.0022	17.9020 ± 0.0024	2.113893 ± 0.000076	0.871052 ± 0.000026	2.426841 ± 0.000059	1.148037 ± 0.000034
2010/09/15 山嶺段 87_ 樣點 3_稻根	37.7979 ± 0.0024	15.5883 ± 0.0013	17.8448 ± 0.0013	2.118147 ± 0.000070	0.873551 ± 0.000018	2.424767 ± 0.000052	1.144753 ± 0.000023
2010/09/15 山嶺段 87_ 樣點 4_稻根	38.1464 ± 0.0034	15.6171 ± 0.0015	18.1225 ± 0.0016	2.104925 ± 0.000071	0.861729 ± 0.000022	2.442699 ± 0.000056	1.160458 ± 0.000030
2010/09/15 山嶺段 87_ 樣點 5_稻根	37.8194 ± 0.0037	15.5910 ± 0.0016	17.8982 ± 0.0018	2.113027 ± 0.000058	0.871109 ± 0.000019	2.425666 ± 0.000045	1.147962 ± 0.000025
2010/09/15 山嶺段 121_ 樣點 10_稻 根	37.8933 ± 0.0042	15.5953 ± 0.0018	17.8580 ± 0.0019	2.121929 ± 0.000063	0.873312 ± 0.000022	2.429728 ± 0.000061	1.145066 ± 0.000029
2010/09/15 山嶺段 121_ 樣點 11_稻 根	38.2447 ± 0.0051	15.6252 ± 0.0025	18.1742 ± 0.0027	2.104343 ± 0.000079	0.859782 ± 0.000025	2.447500 ± 0.000066	1.163085 ± 0.000034
2010/09/15 山嶺段 121_ 樣點 12_稻 根	38.5215 ± 0.0038	15.6408 ± 0.0017	18.3550 ± 0.0019	2.098685 ± 0.000065	0.852146 ± 0.000020	2.462849 ± 0.000052	1.173508 ± 0.000027
2010/09/15 山嶺段 121_ 樣點 13_稻 根	38.4739 ± 0.0033	15.6430 ± 0.0015	18.3294 ± 0.0017	2.099028 ± 0.000062	0.853410 ± 0.000018	2.459593 ± 0.000058	1.171769 ± 0.000025
2010/09/15 山嶺段 121_ 樣點 14_稻 根	38.2092 ± 0.0042	15.6191 ± 0.0020	18.1091 ± 0.0021	2.109947 ± 0.000083	0.862480 ± 0.000024	2.446325 ± 0.000060	1.159447 ± 0.000033

表 3 臺灣作物非食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2010/09/15 山嶺段 124_ 樣點 6_稻根	37.8804 ± 0.0052	15.5850 ± 0.0022	17.8673 ± 0.0025	2.120104 ± 0.000055	0.872251 ± 0.000022	2.430549 ± 0.000051	1.146459 ± 0.000029
2010/09/15 山嶺段 124_ 樣點 7_稻根	37.7612 ± 0.0044	15.5812 ± 0.0019	17.7835 ± 0.0020	2.123387 ± 0.000071	0.876157 ± 0.000024	2.423517 ± 0.000063	1.141348 ± 0.000031
2010/09/15 山嶺段 124_ 樣點 8_稻根	38.3113 ± 0.0038	15.6257 ± 0.0017	18.2031 ± 0.0019	2.104660 ± 0.000079	0.858409 ± 0.000021	2.451798 ± 0.000058	1.164945 ± 0.000029
2010/09/15 山嶺段 124_ 樣點 9_稻根	37.3974 ± 0.0030	15.5534 ± 0.0015	17.4632 ± 0.0015	2.141499 ± 0.000070	0.890629 ± 0.000022	2.404464 ± 0.000052	1.122802 ± 0.000028
2010/10/26 山嶺段 87_ 樣點 1_稻殼	37.9100 ± 0.0070	15.6046 ± 0.0030	17.9794 ± 0.0033	2.108522 ± 0.000071	0.867947 ± 0.000027	2.429354 ± 0.000073	1.152145 ± 0.000035
2010/10/26 山嶺段 87_ 樣點 1_稻殼 _複測	37.908 ± 0.014	15.6029 ± 0.0058	17.9779 ± 0.0069	2.10857 ± 0.00013	0.867950 ± 0.000045	2.42942 ± 0.00010	1.152140 ± 0.000060
2010/10/26 山嶺段 87_ 樣點 2_稻殼 *	37.8161 ± 0.0057	15.5781 ± 0.0024	17.9185 ± 0.0027	2.110451 ± 0.000055	0.869378 ± 0.000027	2.427525 ± 0.000057	1.150247 ± 0.000036
2010/10/26 山嶺段 87_ 樣點 3_稻殼	37.7086 ± 0.0040	15.5842 ± 0.0019	17.8014 ± 0.0022	2.118290 ± 0.000058	0.875449 ± 0.000020	2.419653 ± 0.000047	1.142271 ± 0.000026
2010/10/26 山嶺段 87_ 樣點 3_稻殼 _複測	37.7054 ± 0.0069	15.5831 ± 0.0030	17.8016 ± 0.0033	2.11809 ± 0.00010	0.875383 ± 0.000033	2.419611 ± 0.000088	1.142357 ± 0.000043
2010/10/26 山嶺段 87_ 樣點 4_稻殼	37.9253 ± 0.0040	15.6012 ± 0.0018	17.9961 ± 0.0020	2.107413 ± 0.000061	0.866921 ± 0.000020	2.430892 ± 0.000046	1.153508 ± 0.000027

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。「複測」代表同一樣品之餘樣複驗，數值僅供參考。* 鉍同位素添加偵測值異常，數值不得採用。

表 3 臺灣作物非食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2010/10/26							
山嶺段 87_	37.9408	15.6076	18.0032	2.10744	0.866908	2.430980	1.153526
樣點 4_稻殼	± 0.0084	± 0.0036	± 0.0038	± 0.00011	± 0.000032	± 0.000093	± 0.000042
_複測							
2010/10/26							
山嶺段 87_	37.8937	15.6019	17.9674	2.109026	0.868367	2.428712	1.151587
樣點 5_稻殼	± 0.0035	± 0.0016	± 0.0017	± 0.000057	± 0.000020	± 0.000047	± 0.000026
2010/10/26							
山嶺段 87_	37.8845	15.5988	17.9642	2.10889	0.868300	2.428679	1.151676
樣點 5_稻殼	± 0.0069	± 0.0029	± 0.0033	± 0.00012	± 0.000039	± 0.000087	± 0.000052
_複測							
2010/10/26							
山嶺段 121_	37.7472	15.5914	17.8522	2.114426	0.873351	2.421031	1.145015
樣點 10_稻殼	± 0.0047	± 0.0021	± 0.0023	± 0.000065	± 0.000021	± 0.000054	± 0.000028
2010/10/26							
山嶺段 121_	37.7595	15.5964	17.8574	2.114496	0.873380	2.421049	1.144977
樣點 10_稻殼_複測	± 0.0084	± 0.0032	± 0.0036	± 0.000096	± 0.000034	± 0.000087	± 0.000045
2010/10/26							
山嶺段 121_	37.7988	15.5947	17.8997	2.111697	0.871242	2.423769	1.147787
樣點 11_稻殼	± 0.0045	± 0.0020	± 0.0023	± 0.000063	± 0.000021	± 0.000055	± 0.000027
2010/10/26							
山嶺段 121_	37.8048	15.5979	17.9010	2.11188	0.871283	2.423851	1.147732
樣點 11_稻殼_複測	± 0.0079	± 0.0032	± 0.0039	± 0.00013	± 0.000045	± 0.000088	± 0.000059
2010/10/26							
山嶺段 121_	37.7210	15.5716	17.8357	2.114921	0.873073	2.422396	1.145380
樣點 12_稻殼 *	± 0.0048	± 0.0019	± 0.0023	± 0.000045	± 0.000019	± 0.000052	± 0.000025

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。「複測」數值僅供參考。* 鉍同位素添加偵測值異常，數值不得採用。

表 3 臺灣作物非食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2010/10/26							
山嶺段 121_	37.8226	15.6005	17.9240	2.11017	0.870317	2.424519	1.149006
樣點 13_稻殼	± 0.0070	± 0.0027	± 0.0031	± 0.00012	± 0.000034	± 0.000096	± 0.000045
2010/10/26							
山嶺段 121_	37.7961	15.5774	17.9021	2.111265	0.870130	2.426371	1.149254
樣點 14_稻殼 *	± 0.0076	± 0.0030	± 0.0035	± 0.000060	± 0.000027	± 0.000063	± 0.000035
2010/10/26							
山嶺段 124_	37.7647	15.5912	17.8550	2.115073	0.873216	2.422168	1.145192
樣點 6_稻殼	± 0.0048	± 0.0019	± 0.0022	± 0.000058	± 0.000022	± 0.000054	± 0.000029
2010/10/26							
山嶺段 124_	37.7576	15.5879	17.8495	2.11533	0.873279	2.422225	1.145110
樣點 6_稻殼_複測	± 0.0081	± 0.0036	± 0.0040	± 0.00013	± 0.000046	± 0.000098	± 0.000060
2010/10/26							
山嶺段 124_	37.8514	15.5811	17.9554	2.108076	0.867762	2.429336	1.152389
樣點 7_稻殼 *	± 0.0062	± 0.0026	± 0.0029	± 0.000048	± 0.000024	± 0.000058	± 0.000031
2010/10/26							
山嶺段 124_	37.9137	15.5944	17.9939	2.107036	0.866636	2.431282	1.153887
樣點 8_稻殼 *	± 0.0050	± 0.0019	± 0.0022	± 0.000047	± 0.000018	± 0.000049	± 0.000024
2010/10/26							
山嶺段 124_	37.8100	15.5839	17.9009	2.112187	0.870598	2.426102	1.148636
樣點 9_稻殼 *	± 0.0060	± 0.0025	± 0.0029	± 0.000048	± 0.000023	± 0.000055	± 0.000030
2010/10/26							
山嶺段 87_	37.8699	15.6020	17.9396	2.110965	0.869692	2.427236	1.149833
樣點 1_稻葉	± 0.0041	± 0.0017	± 0.0018	± 0.000066	± 0.000020	± 0.000050	± 0.000026
2010/10/26							
山嶺段 87_	37.9851	15.6099	18.0387	2.105749	0.865372	2.433348	1.155572
樣點 2_稻葉	± 0.0043	± 0.0020	± 0.0022	± 0.000066	± 0.000022	± 0.000051	± 0.000029

註：measure mean ± 2 S.E.。「複測」數值僅供參考。* 鉍同位素添加偵測值異常，數值不得採用。

表 3 臺灣作物非食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2010/10/26 山嶺段 87_ 樣點 3_稻葉	37.9888 ± 0.0054	15.6070 ± 0.0024	18.0417 ± 0.0027	2.105610 ± 0.000069	0.865082 ± 0.000023	2.434035 ± 0.000061	1.155960 ± 0.000031
2010/10/26 山嶺段 87_ 樣點 4_稻葉	38.0644 ± 0.0039	15.6161 ± 0.0017	18.0994 ± 0.0019	2.103078 ± 0.000065	0.862772 ± 0.000022	2.437549 ± 0.000050	1.159055 ± 0.000029
2010/10/26 山嶺段 87_ 樣點 5_稻葉	37.9948 ± 0.0057	15.6078 ± 0.0024	18.0581 ± 0.0028	2.104036 ± 0.000073	0.864302 ± 0.000027	2.434389 ± 0.000063	1.157002 ± 0.000036
2010/10/26 山嶺段 121_ 樣點 10_稻 葉	38.1368 ± 0.0042	15.6193 ± 0.0018	18.1451 ± 0.0020	2.101764 ± 0.000054	0.860765 ± 0.000018	2.441736 ± 0.000048	1.161757 ± 0.000025
2010/10/26 山嶺段 121_ 樣點 11_稻 葉	38.0862 ± 0.0068	15.6118 ± 0.0029	18.1067 ± 0.0033	2.103435 ± 0.000067	0.862205 ± 0.000026	2.439580 ± 0.000074	1.159817 ± 0.000036
2010/10/26 山嶺段 121_ 樣點 12_稻 葉	38.1667 ± 0.0032	15.6197 ± 0.0014	18.1599 ± 0.0015	2.101699 ± 0.000058	0.860108 ± 0.000017	2.443517 ± 0.000047	1.162644 ± 0.000023
2010/10/26 山嶺段 121_ 樣點 13_稻 葉	38.1813 ± 0.0040	15.6202 ± 0.0016	18.1653 ± 0.0018	2.101888 ± 0.000055	0.859916 ± 0.000020	2.444288 ± 0.000054	1.162905 ± 0.000027
2010/10/26 山嶺段 121_ 樣點 14_稻 葉	38.1260 ± 0.0040	15.6168 ± 0.0018	18.1289 ± 0.0020	2.103051 ± 0.000065	0.861435 ± 0.000019	2.441364 ± 0.000052	1.160853 ± 0.000025
2010/10/26 山嶺段 124_ 樣點 6_稻葉	38.1136 ± 0.0036	15.6165 ± 0.0017	18.1190 ± 0.0018	2.103516 ± 0.000063	0.861880 ± 0.000021	2.440605 ± 0.000047	1.160254 ± 0.000028
2010/10/26 山嶺段 124_ 樣點 7_稻葉	38.1376 ± 0.0043	15.6173 ± 0.0018	18.1351 ± 0.0021	2.102972 ± 0.000060	0.861168 ± 0.000020	2.441968 ± 0.000056	1.161213 ± 0.000027

表 3 臺灣作物非食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2010/10/26 山嶺段 124_ 樣點 8_稻葉	38.1317 ± 0.0040	15.6159 ± 0.0016	18.1242 ± 0.0018	2.103905 ± 0.000065	0.861623 ± 0.000018	2.441767 ± 0.000051	1.160600 ± 0.000025
2010/10/26 山嶺段 124_ 樣點 9_稻葉	38.1255 ± 0.0035	15.6146 ± 0.0015	18.1225 ± 0.0017	2.103761 ± 0.000059	0.861652 ± 0.000020	2.441562 ± 0.000051	1.160561 ± 0.000027
2010/10/26 山嶺段 87_ 樣點 1_稻稈	37.7931 ± 0.0039	15.5889 ± 0.0019	17.8821 ± 0.0020	2.113462 ± 0.000069	0.871754 ± 0.000022	2.424403 ± 0.000052	1.147112 ± 0.000028
2010/10/26 山嶺段 87_ 樣點 2_稻稈	38.0372 ± 0.0058	15.6051 ± 0.0024	18.0434 ± 0.0026	2.108096 ± 0.000070	0.864878 ± 0.000025	2.437459 ± 0.000066	1.156233 ± 0.000033
2010/10/26 山嶺段 87_ 樣點 3_稻稈	37.8866 ± 0.0038	15.5974 ± 0.0016	17.9368 ± 0.0018	2.112226 ± 0.000057	0.869593 ± 0.000020	2.429045 ± 0.000053	1.149964 ± 0.000027
2010/10/26 山嶺段 87_ 樣點 4_稻稈	38.0376 ± 0.0037	15.6060 ± 0.0016	18.0404 ± 0.0018	2.108462 ± 0.000062	0.865087 ± 0.000019	2.437271 ± 0.000053	1.155953 ± 0.000026
2010/10/26 山嶺段 87_ 樣點 5_稻稈	37.9335 ± 0.0038	15.6025 ± 0.0017	18.0024 ± 0.0018	2.107139 ± 0.000057	0.866715 ± 0.000021	2.431246 ± 0.000048	1.153782 ± 0.000027
2010/10/26 山嶺段 121_ 樣點 10_稻 稈	38.3983 ± 0.0033	15.6298 ± 0.0015	18.2787 ± 0.0017	2.100716 ± 0.000064	0.855086 ± 0.000020	2.456702 ± 0.000051	1.169473 ± 0.000028
2010/10/26 山嶺段 121_ 樣點 11_稻 稈	38.3770 ± 0.0044	15.6276 ± 0.0020	18.2682 ± 0.0022	2.100756 ± 0.000063	0.855459 ± 0.000020	2.455696 ± 0.000050	1.168963 ± 0.000028
2010/10/26 山嶺段 121_ 樣點 12_稻 稈	38.4106 ± 0.0031	15.6331 ± 0.0014	18.2945 ± 0.0016	2.099568 ± 0.000058	0.854530 ± 0.000018	2.456973 ± 0.000046	1.170234 ± 0.000024

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。「稻稈」係指水稻之假莖，取地表上 7–15 cm 處。

表 3 臺灣作物非食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2010/10/26							
山嶺段 121_	38.3384	15.6261	18.2337	2.102617	0.856982	2.453514	1.166886
樣點 13_稻	± 0.0035	± 0.0014	± 0.0017	± 0.000051	± 0.000016	± 0.000048	± 0.000022
稈							
2010/10/26							
山嶺段 121_	38.4574	15.6353	18.3159	2.099666	0.853649	2.459616	1.171441
樣點 14_稻	± 0.0034	± 0.0016	± 0.0017	± 0.000060	± 0.000019	± 0.000052	± 0.000026
稈							
2010/10/26							
山嶺段 124_	38.2195	15.6194	18.1581	2.104818	0.860190	2.446942	1.162534
樣點 6_稻稈	± 0.0031	± 0.0013	± 0.0015	± 0.000053	± 0.000017	± 0.000046	± 0.000023
2010/10/26							
山嶺段 124_	37.9851	15.6099	18.0325	2.106478	0.865647	2.433454	1.155205
樣點 7_稻稈	± 0.0051	± 0.0022	± 0.0025	± 0.000067	± 0.000022	± 0.000061	± 0.000030
2010/10/26							
山嶺段 124_	38.2292	15.6223	18.1668	2.104342	0.859925	2.447112	1.162892
樣點 8_稻稈	± 0.0048	± 0.0021	± 0.0023	± 0.000072	± 0.000024	± 0.000062	± 0.000032
2010/10/26							
山嶺段 124_	37.8780	15.5950	17.9133	2.114515	0.870579	2.428864	1.148661
樣點 9_稻稈	± 0.0048	± 0.0023	± 0.0025	± 0.000066	± 0.000024	± 0.000059	± 0.000032
2010/10/26							
山嶺段 87_	37.8578	15.5934	17.9387	2.110398	0.869263	2.427839	1.150400
樣點 1_稻根	± 0.0057	± 0.0024	± 0.0028	± 0.000066	± 0.000024	± 0.000056	± 0.000032
2010/10/26							
山嶺段 87_	37.9083	15.5981	17.9664	2.109957	0.868189	2.430310	1.151822
樣點 2_稻根	± 0.0048	± 0.0021	± 0.0023	± 0.000070	± 0.000022	± 0.000057	± 0.000030
2010/10/26							
山嶺段 87_	38.0167	15.6060	18.0333	2.108141	0.865415	2.435961	1.155515
樣點 3_稻根	± 0.0035	± 0.0015	± 0.0017	± 0.000060	± 0.000020	± 0.000047	± 0.000026
2010/10/26							
山嶺段 87_	38.1221	15.6129	18.1072	2.105349	0.862254	2.441707	1.159750
樣點 4_稻根	± 0.0037	± 0.0016	± 0.0018	± 0.000060	± 0.000019	± 0.000049	± 0.000026
2010/10/26							
山嶺段 87_	37.8589	15.5970	17.9313	2.111331	0.869794	2.427395	1.149698
樣點 5_稻根	± 0.0043	± 0.0019	± 0.0021	± 0.000062	± 0.000022	± 0.000049	± 0.000030

表 3 臺灣作物非食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2010/10/26							
山嶺段 121_	38.6223	15.6468	18.4336	2.095214	0.848822	2.468389	1.178103
樣點 10_稻根	± 0.0036	± 0.0015	± 0.0017	± 0.000063	± 0.000017	± 0.000054	± 0.000024
2010/10/26							
山嶺段 121_	37.8120	15.6000	17.9184	2.110235	0.870594	2.423877	1.148638
樣點 11_稻根 #	± 0.0048	± 0.0020	± 0.0024	± 0.000051	± 0.000025	± 0.000060	± 0.000032
2010/10/26							
山嶺段 121_	38.5212	15.6392	18.3642	2.097629	0.851614	2.463102	1.174241
樣點 12_稻根	± 0.0049	± 0.0020	± 0.0025	± 0.000060	± 0.000022	± 0.000053	± 0.000031
2010/10/26							
山嶺段 121_	38.5373	15.6407	18.3710	2.097724	0.851361	2.463965	1.174590
樣點 13_稻根	± 0.0042	± 0.0018	± 0.0020	± 0.000060	± 0.000019	± 0.000056	± 0.000026
2010/10/26							
山嶺段 121_	38.1407	15.6196	18.1490	2.101529	0.860617	2.441884	1.161957
樣點 13_稻根_複測	± 0.0019	± 0.0010	± 0.0010	± 0.000054	± 0.000015	± 0.000038	± 0.000020
2010/10/26							
山嶺段 121_	38.0254	15.6044	18.0103	2.111313	0.866390	2.436891	1.154215
樣點 14_稻根	± 0.0041	± 0.0017	± 0.0019	± 0.000062	± 0.000020	± 0.000057	± 0.000026
2010/10/26							
山嶺段 124_	38.3954	15.6318	18.2868	2.099629	0.854805	2.456290	1.169858
樣點 6_稻根	± 0.0050	± 0.0020	± 0.0022	± 0.000066	± 0.000022	± 0.000056	± 0.000029
2010/10/26							
山嶺段 124_	38.4462	15.6344	18.3163	2.099016	0.853562	2.459126	1.171561
樣點 7_稻根	± 0.0045	± 0.0020	± 0.0023	± 0.000062	± 0.000020	± 0.000053	± 0.000028
2010/10/26							
山嶺段 124_	38.4521	15.6353	18.3196	2.098963	0.853446	2.459412	1.171720
樣點 8_稻根	± 0.0040	± 0.0017	± 0.0020	± 0.000066	± 0.000020	± 0.000059	± 0.000027

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。# $^{208}\text{Pb}/^{205}\text{Tl} = 0.82$ ，未達品質標準（接受範圍為 0.83–6.67），數值僅供參考。「複測」數值僅供參考。

表 3 臺灣作物非食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2010/10/26 山嶺段 124_ 樣點 9_稻根	38.4561 ± 0.0037	15.6355 ± 0.0016	18.3134 ± 0.0018	2.099884 ± 0.000056	0.853780 ± 0.000020	2.459500 ± 0.000048	1.171262 ± 0.000027
2010/11/23 山嶺段 87_ 樣點 1_稻殼	37.9528 ± 0.0061	15.6117 ± 0.0027	17.9883 ± 0.0030	2.10985 ± 0.00013	0.867896 ± 0.000041	2.430960 ± 0.000099	1.152212 ± 0.000055
2010/11/23 山嶺段 87_ 樣點 2_稻殼	37.9683 ± 0.0075	15.6093 ± 0.0034	18.0353 ± 0.0037	2.10522 ± 0.00011	0.865514 ± 0.000042	2.432304 ± 0.000098	1.155382 ± 0.000056
2010/11/23 山嶺段 87_ 樣點 3_稻殼	38.0060 ± 0.0080	15.6089 ± 0.0037	18.0645 ± 0.0042	2.10390 ± 0.00013	0.864074 ± 0.000037	2.434882 ± 0.000098	1.157308 ± 0.000050
2010/11/23 山嶺段 87_ 樣點 4_稻殼	38.0324 ± 0.0059	15.6163 ± 0.0028	18.0921 ± 0.0031	2.10216 ± 0.00021	0.863163 ± 0.000050	2.43543 ± 0.00014	1.158530 ± 0.000067
2010/11/23 山嶺段 87_ 樣點 4_稻殼 _未洗 [#]	38.0845 ± 0.0046	15.6250 ± 0.0020	18.1739 ± 0.0022	2.095556 ± 0.000065	0.859761 ± 0.000023	2.437368 ± 0.000050	1.163114 ± 0.000031
2010/11/23 山嶺段 87_ 樣點 4_稻殼 _未洗_複測 [#]	38.0735 ± 0.0052	15.6250 ± 0.0028	18.1281 ± 0.0028	2.10025 ± 0.00020	0.861909 ± 0.000044	2.43681 ± 0.00014	1.160216 ± 0.000059
2010/11/23 山嶺段 87_ 樣點 5_稻殼	38.0359 ± 0.0072	15.6161 ± 0.0036	18.0859 ± 0.0036	2.10307 ± 0.00023	0.863474 ± 0.000056	2.43560 ± 0.00016	1.158112 ± 0.000076
2010/11/23 山嶺段 121_ 樣點 10_稻 殼	37.9043 ± 0.0065	15.6102 ± 0.0028	17.9244 ± 0.0030	2.11467 ± 0.00010	0.870861 ± 0.000040	2.428224 ± 0.000086	1.148288 ± 0.000052

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。「複測」數值僅供參考。「未洗」代表配合環保署試驗要求而設計未經樣本預清洗處理，數值僅供參考。[#] $^{208}\text{Pb}/^{205}\text{Tl}$ 依序各落在 0.77、7.20，未達品質標準（接受範圍為 0.83–6.67），數值僅供參考。

表 3 臺灣作物非食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2010/11/23							
山嶺段 121_	37.9730	15.6108	17.9965	2.11002	0.867474	2.432373	1.152773
樣點 11_稻殼	± 0.0053	± 0.0027	± 0.0028	± 0.00011	± 0.000035	± 0.000078	± 0.000046
2010/11/23							
山嶺段 121_	38.0647	15.6208	18.1041	2.10254	0.862860	2.436735	1.158937
樣點 12_稻殼	± 0.0055	± 0.0023	± 0.0026	± 0.00010	± 0.000034	± 0.000097	± 0.000046
2010/11/23							
山嶺段 121_	38.0353	15.6158	18.0941	2.10208	0.863012	2.43572	1.158733
樣點 13_稻殼	± 0.0050	± 0.0030	± 0.0028	± 0.00020	± 0.000051	± 0.00013	± 0.000069
2010/11/23							
山嶺段 121_	38.0412	15.6160	18.0897	2.10293	0.863225	2.43610	1.158446
樣點 14_稻殼_未洗 [#]	± 0.0044	± 0.0029	± 0.0029	± 0.00018	± 0.000043	± 0.00013	± 0.000058
2010/11/23							
山嶺段 124_	38.0078	15.6134	18.0632	2.10416	0.864371	2.43436	1.156910
樣點 6_稻殼	± 0.0058	± 0.0038	± 0.0036	± 0.00023	± 0.000059	± 0.00015	± 0.000079
2010/11/23							
山嶺段 124_	37.9691	15.6186	18.0311	2.10576	0.866224	2.430998	1.154435
樣點 7_稻殼	± 0.0069	± 0.0032	± 0.0036	± 0.00010	± 0.000041	± 0.000090	± 0.000055
2010/11/23							
山嶺段 124_	38.0056	15.6185	18.0774	2.102380	0.864004	2.433339	1.157402
樣點 8_稻殼	± 0.0063	± 0.0024	± 0.0029	± 0.000092	± 0.000031	± 0.000088	± 0.000041
2010/11/23							
山嶺段 124_	29.6	14.1	15.4	1.92	0.72	2.35	1.14
樣點 9_稻殼_未洗 [§]	± 1.3	± 5.5	± 2.3	± 0.42	± 0.18	± 0.33	± 0.11
2010/11/23							
山嶺段 87_	38.0828	15.6144	18.0922	2.104927	0.863037	2.438938	1.158698
樣點 1_稻葉	± 0.0059	± 0.0028	± 0.0031	± 0.000096	± 0.000026	± 0.000073	± 0.000035

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。「未洗」代表配合環保署試驗要求而設計未經樣本預清洗處理，

數值僅供參考。[§] 遇測量事故，偵測值異常，數值不得採用。

表 3 臺灣作物非食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2010/11/23							
山嶺段 87_	38.0663	15.6114	18.1216	2.10060	0.861479	2.438371	1.160795
樣點 1_稻葉	± 0.0051	± 0.0024	± 0.0026	± 0.00010	± 0.000029	± 0.000086	± 0.000039
_複測							
2010/11/23							
山嶺段 87_	38.0985	15.6171	18.0900	2.106051	0.863311	2.439472	1.158331
樣點 1_稻葉	± 0.0058	± 0.0025	± 0.0027	± 0.000080	± 0.000034	± 0.000082	± 0.000045
_重複							
2010/11/23							
山嶺段 87_	38.0788	15.6175	18.0899	2.10497	0.863330	2.438223	1.158306
樣點 2_稻葉	± 0.0037	± 0.0018	± 0.0019	± 0.00010	± 0.000027	± 0.000071	± 0.000037
2010/11/23							
山嶺段 87_	38.0805	15.6161	18.0873	2.105373	0.863383	2.438558	1.158235
樣點 2_稻葉	± 0.0051	± 0.0023	± 0.0024	± 0.000088	± 0.000036	± 0.000075	± 0.000048
_重複							
2010/11/23							
山嶺段 87_	38.0678	15.6152	18.0851	2.104932	0.863460	2.437816	1.158132
樣點 3_稻葉	± 0.0043	± 0.0021	± 0.0023	± 0.000087	± 0.000030	± 0.000077	± 0.000040
2010/11/23							
山嶺段 87_	38.1145	15.6171	18.1269	2.10265	0.861552	2.440545	1.160696
樣點 4_稻葉	± 0.0049	± 0.0021	± 0.0024	± 0.00012	± 0.000031	± 0.000088	± 0.000042
2010/11/23							
山嶺段 87_	38.087	15.6161	18.1085	2.10325	0.862376	2.438925	1.159587
樣點 4_稻葉	± 0.017	± 0.0067	± 0.0079	± 0.00010	± 0.000030	± 0.000092	± 0.000040
_未洗							
2010/11/23							
山嶺段 87_	38.046	15.6150	18.0764	2.10475	0.863846	2.436516	1.157613
樣點 5_稻葉	± 0.015	± 0.0064	± 0.0075	± 0.00011	± 0.000028	± 0.000087	± 0.000038
2010/11/23							
山嶺段 121_	38.0856	15.6408	18.1933	2.09339	0.859679	2.43504	1.163225
樣點 10_稻葉	± 0.0067	± 0.0032	± 0.0036	± 0.00013	± 0.000039	± 0.00011	± 0.000052

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。「重複」代表重複樣品，數值僅供參考，「複測」代表同一樣品之餘樣複驗，數值僅供參考，「未洗」代表配合環保署試驗要求而設計未經樣本預清洗處理，數值僅供參考。

表 3 臺灣作物非食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2010/11/23							
山嶺段 121_	38.1097	15.6182	18.1146	2.103812	0.862222	2.439977	1.159794
樣點 10_稻	± 0.0053	± 0.0023	± 0.0026	± 0.000095	± 0.000038	± 0.000081	± 0.000051
葉_重複							
2010/11/23							
山嶺段 121_	38.0152	15.6344	18.1486	2.09466	0.861476	2.43152	1.160799
樣點 11_稻	± 0.0061	± 0.0026	± 0.0030	± 0.00014	± 0.000039	± 0.00011	± 0.000052
葉							
2010/11/23							
山嶺段 121_	38.0495	15.6332	18.1742	2.09360	0.860169	2.43393	1.162563
樣點 12_稻	± 0.0080	± 0.0035	± 0.0038	± 0.00012	± 0.000034	± 0.00010	± 0.000046
葉							
2010/11/23							
山嶺段 121_	38.1163	15.6141	18.1207	2.10347	0.861726	2.440956	1.160462
樣點 13_稻	± 0.0064	± 0.0029	± 0.0031	± 0.00012	± 0.000039	± 0.000095	± 0.000052
葉							
2010/11/23							
山嶺段 121_	38.0206	15.6231	18.1492	2.09489	0.860801	2.43357	1.161708
樣點 14_稻	± 0.0064	± 0.0029	± 0.0033	± 0.00015	± 0.000043	± 0.00011	± 0.000058
葉_未洗							
2010/11/23							
山嶺段 124_	38.130	15.6214	18.1367	2.10238	0.861275	2.441062	1.161069
樣點 6_稻葉	± 0.017	± 0.0073	± 0.0085	± 0.00012	± 0.000038	± 0.000097	± 0.000052
2010/11/23							
山嶺段 124_	38.013	15.615	18.066	2.10410	0.864306	2.43441	1.156998
樣點 7_稻葉	± 0.026	± 0.010	± 0.012	± 0.00013	± 0.000039	± 0.00010	± 0.000052
2010/11/23							
山嶺段 124_	38.0754	15.6173	18.0837	2.10550	0.863596	2.438033	1.157948
樣點 8_稻葉	± 0.0063	± 0.0030	± 0.0032	± 0.00011	± 0.000039	± 0.000093	± 0.000052
2010/11/23							
山嶺段 124_	38.0257	15.6425	18.1588	2.09406	0.861428	2.43096	1.160864
樣點 9_稻葉	± 0.0070	± 0.0031	± 0.0034	± 0.00012	± 0.000034	± 0.00010	± 0.000045
_未洗							

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。「重複」代表重複樣品，數值僅供參考，「未洗」代表配合環保署試驗要求而設計未經樣本預清洗處理，數值僅供參考。

表 3 臺灣作物非食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
盆栽試驗 I 背景值組_ 稻葉	37.932 ± 0.013	15.6146 ± 0.0058	17.9787 ± 0.0060	2.10981 ± 0.00011	0.868433 ± 0.000040	2.429495 ± 0.000087	1.151499 ± 0.000053
盆栽試驗 I 低濃度組_ 稻葉	38.151 ± 0.014	15.6402 ± 0.0060	18.1099 ± 0.0065	2.10665 ± 0.00010	0.863636 ± 0.000045	2.439292 ± 0.000088	1.157896 ± 0.000060
盆栽試驗 I 中濃度組_ 稻葉	38.1601 ± 0.0066	15.6441 ± 0.0027	18.1230 ± 0.0031	2.105618 ± 0.000079	0.863217 ± 0.000028	2.439231 ± 0.000075	1.158457 ± 0.000037
盆栽試驗 I 高濃度組_ 稻葉	38.1635 ± 0.0064	15.6455 ± 0.0028	18.1326 ± 0.0032	2.104697 ± 0.000086	0.862844 ± 0.000033	2.439269 ± 0.000073	1.158958 ± 0.000044
盆栽試驗 II 對照組_稻 葉	38.1365 ± 0.0092	15.6290 ± 0.0041	18.1357 ± 0.0045	2.10284 ± 0.00011	0.861788 ± 0.000039	2.44001 ± 0.00010	1.160378 ± 0.000052
盆栽試驗 II 根部組_稻 葉	38.1522 ± 0.0078	15.6387 ± 0.0035	18.1349 ± 0.0038	2.10381 ± 0.00011	0.862339 ± 0.000038	2.439611 ± 0.000087	1.159636 ± 0.000051
盆栽試驗 II 綜合組_稻 葉	37.8346 ± 0.0086	15.6033 ± 0.0039	17.8992 ± 0.0042	2.11376 ± 0.00010	0.871756 ± 0.000036	2.424713 ± 0.000087	1.147110 ± 0.000048
盆栽試驗 II 綜合組_稻 葉	38.066 ± 0.011	15.6308 ± 0.0049	18.0693 ± 0.0055	2.10667 ± 0.00012	0.865005 ± 0.000042	2.43546 ± 0.00010	1.156063 ± 0.000056
2013/11/14 同安厝段 245-1_稻葉	38.088 ± 0.010	15.6304 ± 0.0044	18.0649 ± 0.0049	2.10843 ± 0.00011	0.865228 ± 0.000038	2.43682 ± 0.00010	1.155765 ± 0.000051
2013/11/14 同安厝段 245-1_稻葉 _複測	38.086 ± 0.014	15.6321 ± 0.0064	18.0683 ± 0.0069	2.10787 ± 0.00010	0.865209 ± 0.000036	2.436287 ± 0.000074	1.155790 ± 0.000048

註：measure mean ± 2 S.E.。盆栽試驗 I 之採集日為 2013/06/26，盆栽試驗 II 為 2013/12/19，其餘如標示日期。「複測」代表同一樣品之餘樣複驗，數值僅供參考。

表 3 臺灣作物非食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2013/11/14							
同安厝段	38.1229	15.6314	18.0969	2.10660	0.863775	2.43887	1.157709
332_樣點 1_	± 0.0096	± 0.0045	± 0.0047	± 0.00012	± 0.000044	± 0.00011	± 0.000058
稻葉							
2013/11/14							
同安厝段	38.056	15.6226	18.0504	2.10833	0.865436	2.43607	1.155487
332_樣點 2_	± 0.011	± 0.0048	± 0.0054	± 0.00013	± 0.000049	± 0.00011	± 0.000066
稻葉							
2013/11/14							
同安厝段	38.084	15.6344	18.0652	2.108135	0.865447	2.435845	1.155472
332_樣點 2_	± 0.016	± 0.0068	± 0.0073	± 0.000098	± 0.000033	± 0.000064	± 0.000044
稻葉_複測							
2013/12/19							
同安厝段	38.1541	15.6459	18.1170	2.10599	0.863586	2.43871	1.157962
332_樣點 3_	± 0.0092	± 0.0041	± 0.0046	± 0.00013	± 0.000041	± 0.00010	± 0.000055
稻葉							
2013/11/14							
同安厝段	38.097	15.6328	18.0673	2.10861	0.865261	2.43699	1.155721
363-1_稻葉	± 0.011	± 0.0046	± 0.0051	± 0.00012	± 0.000044	± 0.00010	± 0.000059
2013/11/14							
同安厝段	38.101	15.6367	18.0745	2.10798	0.865104	2.436680	1.155930
363-1_稻葉	± 0.014	± 0.0062	± 0.0067	± 0.00011	± 0.000037	± 0.000072	± 0.000049
_複測							
2013/11/14							
同安厝段	38.1034	15.6376	18.0698	2.10868	0.865342	2.43684	1.155612
371_稻葉	± 0.0098	± 0.0043	± 0.0048	± 0.00012	± 0.000045	± 0.00011	± 0.000061
2013/11/14							
同安厝段	38.117	15.6403	18.0752	2.10879	0.865336	2.436935	1.155621
371_稻葉_	± 0.016	± 0.0066	± 0.0072	± 0.00011	± 0.000036	± 0.000080	± 0.000049
複測							
2010/11/23							
山嶺段 87_	37.8718	15.5955	17.9374	2.11134	0.869455	2.42841	1.150146
樣點 1_稻稈	± 0.0077	± 0.0035	± 0.0040	± 0.00012	± 0.000039	± 0.00011	± 0.000051

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。「複測」代表同一樣品之餘樣複驗，數值僅供參考。「稻稈」係指水稻之假莖，取地表上 7-15 cm 處。

表 3 臺灣作物非食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2010/11/23 山嶺段 87_ 樣點 2_稻稈	37.9175 ± 0.0042	15.5965 ± 0.0020	17.9633 ± 0.0021	2.11083 ± 0.00011	0.868239 ± 0.000031	2.431158 ± 0.000083	1.151756 ± 0.000041
2010/11/23 山嶺段 87_ 樣點 3_稻稈	37.9411 ± 0.0067	15.5974 ± 0.0027	17.9789 ± 0.0030	2.11031 ± 0.00012	0.867586 ± 0.000036	2.43239 ± 0.00011	1.152623 ± 0.000048
2010/11/23 山嶺段 87_ 樣點 4_稻稈	38.0697 ± 0.0071	15.6229 ± 0.0030	18.1524 ± 0.0034	2.09723 ± 0.00012	0.860660 ± 0.000027	2.436742 ± 0.000092	1.161899 ± 0.000037
2010/11/23 山嶺段 87_ 樣點 4_稻稈 _未洗	38.1238 ± 0.0055	15.6156 ± 0.0026	18.1034 ± 0.0030	2.10590 ± 0.00013	0.862567 ± 0.000032	2.44144 ± 0.00012	1.159330 ± 0.000044
2010/11/23 山嶺段 87_ 樣點 5_稻稈	37.6787 ± 0.0053	15.5810 ± 0.0026	17.7794 ± 0.0028	2.11923 ± 0.00011	0.876345 ± 0.000037	2.418196 ± 0.000085	1.141103 ± 0.000048
2010/11/23 山嶺段 121_ 樣點 10_稻 稈	38.3820 ± 0.0059	15.6282 ± 0.0022	18.2784 ± 0.0025	2.09986 ± 0.00011	0.855016 ± 0.000032	2.455928 ± 0.000082	1.169568 ± 0.000043
2010/11/23 山嶺段 121_ 樣點 10_稻 稈_複測	38.3775 ± 0.0085	15.6513 ± 0.0035	18.3273 ± 0.0040	2.09401 ± 0.00016	0.854052 ± 0.000036	2.45179 ± 0.00013	1.170889 ± 0.000050
2010/11/23 山嶺段 121_ 樣點 11_稻 稈	37.969 ± 0.011	15.6013 ± 0.0026	17.9766 ± 0.0029	2.11216 ± 0.00010	0.867925 ± 0.000025	2.433647 ± 0.000087	1.152174 ± 0.000033
2010/11/23 山嶺段 121_ 樣點 11_稻 稈_複測	37.971 ± 0.021	15.6024 ± 0.0029	17.9742 ± 0.0032	2.11252 ± 0.00013	0.868022 ± 0.000035	2.433715 ± 0.000089	1.152045 ± 0.000046

註：measure mean ± 2 S.E.。「未洗」代表配合環保署試驗要求而設計未經樣本預清洗處理，
數值僅供參考，「複測」數值僅供參考。

表 3 臺灣作物非食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2010/11/23							
山嶺段 121_	38.1828	15.6186	18.1410	2.10478	0.860971	2.444633	1.161479
樣點 12_稻	± 0.0068	± 0.0027	± 0.0031	± 0.00010	± 0.000029	± 0.000085	± 0.000040
稈							
2010/11/23							
山嶺段 121_	38.2347	15.6240	18.1644	2.10493	0.860110	2.447234	1.162643
樣點 13_稻	± 0.0076	± 0.0037	± 0.0039	± 0.00015	± 0.000040	± 0.000096	± 0.000054
稈							
2010/11/23							
山嶺段 121_	38.2923	15.6246	18.2216	2.10148	0.857446	2.45089	1.166254
樣點 14_稻	± 0.0076	± 0.0037	± 0.0039	± 0.00016	± 0.000045	± 0.00013	± 0.000062
稈							
2010/11/23							
山嶺段 124_	38.2998	15.6380	18.3095	2.09180	0.854125	2.44913	1.170788
樣點 6_稻稈	± 0.0063	± 0.0033	± 0.0036	± 0.00016	± 0.000039	± 0.00012	± 0.000053
2010/11/23							
山嶺段 124_	38.2917	15.6437	18.2862	2.09402	0.855420	2.44794	1.169016
樣點 7_稻稈	± 0.0076	± 0.0032	± 0.0035	± 0.00015	± 0.000039	± 0.00010	± 0.000053
2010/11/23							
山嶺段 124_	38.2609	15.6220	18.1934	2.10300	0.858617	2.449280	1.164664
樣點 8_稻稈	± 0.0050	± 0.0025	± 0.0026	± 0.00012	± 0.000036	± 0.000092	± 0.000049
2010/11/23							
山嶺段 124_	38.1589	15.6316	18.1892	2.09790	0.859421	2.44103	1.163575
樣點 9_稻稈	± 0.0070	± 0.0032	± 0.0034	± 0.00016	± 0.000043	± 0.00011	± 0.000058
_未洗							
2010/11/23							
山嶺段 87_	37.8699	15.6054	17.9423	2.110652	0.869728	2.426741	1.149785
樣點 1_稻根	± 0.0058	± 0.0025	± 0.0027	± 0.000094	± 0.000037	± 0.000076	± 0.000048
2010/11/23							
山嶺段 87_	37.8415	15.5922	17.9164	2.112122	0.870288	2.426975	1.149044
樣點 1_稻根	± 0.0049	± 0.0022	± 0.0024	± 0.000091	± 0.000030	± 0.000076	± 0.000039
_重複							

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。「未洗」代表配合環保署試驗要求而設計未經樣本預清洗處理，
數值僅供參考，「重複」代表重複樣品，數值僅供參考。

表 3 臺灣作物非食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2010/11/23 山嶺段 87_ 樣點 2_稻根	37.8697 ± 0.0052	15.6059 ± 0.0024	17.9289 ± 0.0027	2.112222 ± 0.000078	0.870464 ± 0.000024	2.426618 ± 0.000077	1.148812 ± 0.000032
2010/11/23 山嶺段 87_ 樣點 3_稻根	37.9651 ± 0.0048	15.5989 ± 0.0018	18.0044 ± 0.0019	2.10866 ± 0.00010	0.866434 ± 0.000028	2.433724 ± 0.000071	1.154157 ± 0.000037
2010/11/23 山嶺段 87_ 樣點 3_稻根 _複測	37.9891 ± 0.0050	15.6153 ± 0.0022	18.0153 ± 0.0026	2.108718 ± 0.000092	0.866797 ± 0.000030	2.432786 ± 0.000078	1.153673 ± 0.000040
2010/11/23 山嶺段 87_ 樣點 4_稻根	38.0157 ± 0.0049	15.6183 ± 0.0019	18.0259 ± 0.0022	2.108950 ± 0.000068	0.866416 ± 0.000026	2.434114 ± 0.000075	1.154180 ± 0.000034
2010/11/23 山嶺段 87_ 樣點 5_稻根	37.9937 ± 0.0047	15.6185 ± 0.0018	18.1346 ± 0.0022	2.095094 ± 0.000088	0.861262 ± 0.000027	2.432568 ± 0.000080	1.161087 ± 0.000036
2010/11/23 山嶺段 121_ 樣點 10_稻 根	38.2925 ± 0.0053	15.6297 ± 0.0021	18.1881 ± 0.0024	2.105362 ± 0.000081	0.859350 ± 0.000028	2.449962 ± 0.000073	1.163670 ± 0.000038
2010/11/23 山嶺段 121_ 樣點 11_稻 根	38.2431 ± 0.0043	15.6317 ± 0.0021	18.1482 ± 0.0024	2.107262 ± 0.000070	0.861331 ± 0.000024	2.446515 ± 0.000059	1.160994 ± 0.000033
2010/11/23 山嶺段 121_ 樣點 11_稻 根_重複	38.3464 ± 0.0047	15.6283 ± 0.0021	18.2138 ± 0.0023	2.10535 ± 0.00010	0.858017 ± 0.000037	2.453689 ± 0.000079	1.165478 ± 0.000051
2010/11/23 山嶺段 121_ 樣點 12_稻 根	38.2313 ± 0.0039	15.6305 ± 0.0017	18.1276 ± 0.0018	2.109009 ± 0.000073	0.862266 ± 0.000032	2.445934 ± 0.000069	1.159734 ± 0.000042

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。「複測」代表同一樣品之餘樣複驗，數值僅供參考，「重複」代表重複樣品，數值僅供參考。

表 3 臺灣作物非食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2010/11/23							
山嶺段 121_	38.2688	15.6326	18.1729	2.105816	0.860180	2.448166	1.162547
樣點 13_稻根	± 0.0045	± 0.0021	± 0.0023	± 0.000068	± 0.000025	± 0.000059	± 0.000033
2010/11/23							
山嶺段 121_	37.6931	15.5892	17.7147	2.127784	0.879995	2.417944	1.136370
樣點 14_稻根	± 0.0046	± 0.0017	± 0.0019	± 0.000072	± 0.000029	± 0.000074	± 0.000037
2010/11/23							
山嶺段 124_	38.3115	15.6235	18.2172	2.10304	0.857615	2.452170	1.166025
樣點 6_稻根	± 0.0051	± 0.0025	± 0.0027	± 0.00011	± 0.000031	± 0.000097	± 0.000042
2010/11/23							
山嶺段 124_	38.1883	15.6278	18.1487	2.104189	0.861089	2.443627	1.161320
樣點 7_稻根	± 0.0046	± 0.0019	± 0.0021	± 0.000081	± 0.000029	± 0.000078	± 0.000039
2010/11/23							
山嶺段 124_	38.2978	15.6333	18.2049	2.103702	0.858762	2.449690	1.164467
樣點 8_稻根	± 0.0047	± 0.0020	± 0.0023	± 0.000072	± 0.000028	± 0.000076	± 0.000038
2010/11/23							
山嶺段 124_	38.3485	15.6344	18.2371	2.102780	0.857274	2.452890	1.166488
樣點 9_稻根	± 0.0052	± 0.0021	± 0.0024	± 0.000069	± 0.000028	± 0.000067	± 0.000038
盆栽試驗 I							
背景值組_稻根	38.716	15.6707	18.4610	2.09716	0.848892	2.470558	1.178006
	± 0.013	± 0.0054	± 0.0059	± 0.00011	± 0.000041	± 0.000095	± 0.000057
盆栽試驗 I							
低濃度組_稻根	38.297	15.6541	18.1995	2.10432	0.860151	2.446422	1.162587
	± 0.013	± 0.0056	± 0.0060	± 0.00011	± 0.000041	± 0.000074	± 0.000055
盆栽試驗 I							
中濃度組_稻根	38.1968	15.649	18.1429	2.105335	0.862537	2.440773	1.159370
	± 0.0064	± 0.0026	± 0.0030	± 0.000085	± 0.000032	± 0.000081	± 0.000043
盆栽試驗 I							
高濃度組_稻根	38.1673	15.6452	18.1354	2.104581	0.862697	2.439550	1.159156
	± 0.0058	± 0.0024	± 0.0026	± 0.000073	± 0.000030	± 0.000071	± 0.000040

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。盆栽試驗 I 之採集日為 2013/06/26，其餘如標示日期。

表 3 臺灣作物非食用部位鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
盆栽試驗 II 對照組_稻 根	38.765 ± 0.014	15.6730 ± 0.0060	18.4906 ± 0.0067	2.09646 ± 0.00016	0.847586 ± 0.000055	2.47342 ± 0.00015	1.179821 ± 0.000077
盆栽試驗 II 根部組_稻 根	38.177 ± 0.013	15.6477 ± 0.0057	18.1417 ± 0.0061	2.10440 ± 0.00015	0.862550 ± 0.000052	2.43970 ± 0.00012	1.159353 ± 0.000070
盆栽試驗 II 葉面組_稻 根	38.793 ± 0.012	15.6729 ± 0.0048	18.5086 ± 0.0055	2.09597 ± 0.00014	0.846841 ± 0.000048	2.47511 ± 0.00013	1.180860 ± 0.000066
盆栽試驗 II 綜合組_稻 根	38.18 ± 0.013	15.6485 ± 0.0057	18.1440 ± 0.0062	2.10426 ± 0.00015	0.862451 ± 0.000053	2.43995 ± 0.00013	1.159486 ± 0.000072
2013/11/14 同安厝段 245-1_稻根	38.534 ± 0.013	15.6535 ± 0.0055	18.3553 ± 0.0062	2.09936 ± 0.00015	0.852749 ± 0.000051	2.46187 ± 0.00011	1.172678 ± 0.000070
2013/11/14 同安厝段 332_樣點 1_ 稻根	38.176 ± 0.013	15.6391 ± 0.0056	18.1201 ± 0.0063	2.10684 ± 0.00015	0.863111 ± 0.000045	2.44092 ± 0.00013	1.158600 ± 0.000061
2013/11/14 同安厝段 332_樣點 2_ 稻根	38.163 ± 0.012	15.6385 ± 0.0054	18.1110 ± 0.0059	2.10720 ± 0.00015	0.863417 ± 0.000047	2.44052 ± 0.00012	1.158183 ± 0.000063
2013/12/19 同安厝段 332_樣點 3_ 稻根	38.128 ± 0.012	15.6347 ± 0.0050	18.1034 ± 0.0056	2.10610 ± 0.00014	0.863669 ± 0.000041	2.43853 ± 0.00011	1.157851 ± 0.000055
2013/11/14 同安厝段 363-1_稻根	38.239 ± 0.010	15.6487 ± 0.0045	18.1550 ± 0.0049	2.10625 ± 0.00016	0.861840 ± 0.000049	2.44382 ± 0.00015	1.160308 ± 0.000066
2013/11/14 同安厝段 371_稻根	38.294 ± 0.012	15.6485 ± 0.0051	18.1871 ± 0.0058	2.10556 ± 0.00015	0.860417 ± 0.000049	2.44712 ± 0.00011	1.162228 ± 0.000066

註：measure mean ± 2 S.E.。盆栽試驗 II 之採集日為 2013/12/19，其餘如標示日期。

表 4 臺灣氣膠鉛同位素特徵調查結果彙整

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2010/08/15– 09/15 山嶺段 87_樣點 1	37.8149 ± 0.0066	15.5960 ± 0.0027	17.8630 ± 0.0028	2.11694 ± 0.00017	0.873090 ± 0.000045	2.42465 ± 0.00011	1.145358 ± 0.000059
2010/09/15– 10/26 山嶺段 87_樣點 1	37.6583 ± 0.0030	15.5880 ± 0.0014	17.6799 ± 0.0015	2.130009 ± 0.000074	0.881702 ± 0.000022	2.415806 ± 0.000050	1.134170 ± 0.000028
2010/10/26– 11/23 山嶺段 87_樣點 1	38.0337 ± 0.0059	15.6186 ± 0.0027	18.0711 ± 0.0029	2.10466 ± 0.00011	0.864286 ± 0.000036	2.435148 ± 0.000089	1.157025 ± 0.000048
2010/08/15– 09/15 山嶺段 87_樣點 2	37.994 ± 0.013	15.6241 ± 0.0065	18.1636 ± 0.0066	2.09176 ± 0.00037	0.860189 ± 0.000093	2.43175 ± 0.00022	1.16254 ± 0.00013
2010/09/15– 10/26 山嶺段 87_樣點 2	37.850 ± 0.017	15.5889 ± 0.0073	17.8949 ± 0.0083	2.11515 ± 0.00026	0.871143 ± 0.000072	2.42802 ± 0.00018	1.147918 ± 0.000095
2010/10/26– 11/23 山嶺段 87_樣點 2	38.0069 ± 0.0038	15.6147 ± 0.0018	18.0559 ± 0.0019	2.104960 ± 0.000098	0.864800 ± 0.000027	2.434041 ± 0.000069	1.156336 ± 0.000036
2010/08/15– 09/15 山嶺段 121_樣點 4	38.027 ± 0.011	15.6163 ± 0.0066	18.0719 ± 0.0066	2.10420 ± 0.00042	0.864124 ± 0.000094	2.43507 ± 0.00028	1.15724 ± 0.00013
2010/09/15– 10/26 山嶺段 121_樣點 4	37.888 ± 0.020	15.6012 ± 0.0086	17.9149 ± 0.0098	2.11487 ± 0.00012	0.870799 ± 0.000042	2.42865 ± 0.00011	1.148371 ± 0.000055
2010/10/26– 11/23 山嶺段 121_樣點 4	37.988 ± 0.028	15.603 ± 0.011	18.026 ± 0.013	2.10744 ± 0.00014	0.865625 ± 0.000042	2.43456 ± 0.00012	1.155235 ± 0.000057

註：山嶺段以落塵桶進行採集，同安厝段則設置高量空氣採樣器進行總懸浮粒狀污染物（TSP）採集，採集時間如標示之日期，measure mean ± 2 S.E.。^a Hsu et al.（2006），mean ± S.D.；^b Hsu 通訊提供，mean ± S.D.；^c 連（2008）；NA 未提供。

表 4 臺灣氣膠鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2010/08/15– 09/15 山嶺段 121_樣點 5	38.0103 ± 0.0044	15.6121 ± 0.0019	18.0553 ± 0.0020	2.105212 ± 0.000096	0.864680 ± 0.000027	2.434671 ± 0.000069	1.156497 ± 0.000037
2010/09/15– 10/26 山嶺段 121_樣點 5	37.848 ± 0.023	15.5960 ± 0.0093	17.911 ± 0.011	2.11313 ± 0.00013	0.870779 ± 0.000042	2.42679 ± 0.00010	1.148397 ± 0.000056
2010/10/26– 11/23 山嶺段 121_樣點 5	38.033 ± 0.031	15.611 ± 0.012	18.061 ± 0.014	2.10582 ± 0.00016	0.864369 ± 0.000046	2.43625 ± 0.00012	1.156913 ± 0.000062
2010/08/15– 09/15 山嶺段 124_樣點 3	37.9218 ± 0.0071	15.6036 ± 0.0046	17.9558 ± 0.0046	2.11196 ± 0.00024	0.868970 ± 0.000057	2.43038 ± 0.00016	1.150788 ± 0.000075
2010/09/15– 10/26 山嶺段 124_樣點 3	37.762 ± 0.029	15.588 ± 0.013	17.775 ± 0.014	2.12451 ± 0.00035	0.876973 ± 0.000083	2.42255 ± 0.00024	1.14029 ± 0.00011
2010/10/26– 11/23 山嶺段 124_樣點 3	38.0566 ± 0.0032	15.6172 ± 0.0016	18.0864 ± 0.0016	2.104158 ± 0.000094	0.863478 ± 0.000024	2.436840 ± 0.000065	1.158107 ± 0.000032
2013/06/14– 15 同安厝段 245-1	38.014 ± 0.010	15.6259 ± 0.0045	18.0863 ± 0.0049	2.10184 ± 0.00015	0.863979 ± 0.000049	2.43277 ± 0.00012	1.157435 ± 0.000066
2013/08/30– 31 同安厝段 245-1	38.150 ± 0.010	15.6396 ± 0.0045	18.2449 ± 0.0050	2.09102 ± 0.00014	0.857225 ± 0.000048	2.43924 ± 0.00013	1.166555 ± 0.000065
2013/09/23– 24 同安厝段 245-1	38.1583 ± 0.0098	15.6463 ± 0.0043	18.0952 ± 0.0048	2.10875 ± 0.00013	0.864631 ± 0.000046	2.43893 ± 0.00012	1.156563 ± 0.000062
2013/10/08– 09 同安厝段 245-1	38.0976 ± 0.0086	15.6369 ± 0.0039	18.0783 ± 0.0043	2.10737 ± 0.00014	0.864956 ± 0.000041	2.43642 ± 0.00012	1.156128 ± 0.000054
2013/11/01– 02 同安厝段 245-1	38.091 ± 0.010	15.6358 ± 0.0045	18.0756 ± 0.0048	2.10732 ± 0.00014	0.865086 ± 0.000047	2.43590 ± 0.00012	1.155955 ± 0.000063

註：measure mean ± 2 S.E.。山嶺段以落塵桶進行採集，同安厝段則設置高量空氣採樣器進行總懸浮粒狀污染物 (TSP) 採集，採集時間如標示之日期。

表 4 臺灣氣膠鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2013/05/16– 17 同安厝段 332	37.9707 ± 0.0092	15.6198 ± 0.0042	18.0682 ± 0.0045	2.10152 ± 0.00014	0.864576 ± 0.000048	2.43067 ± 0.00012	1.156636 ± 0.000064
2013/08/30 同安厝段 332	37.956 ± 0.010	15.6209 ± 0.0045	18.0796 ± 0.0052	2.09938 ± 0.00014	0.864045 ± 0.000050	2.42972 ± 0.00012	1.157347 ± 0.000067
2013/09/23– 24 同安厝段 332	38.1545 ± 0.0097	15.6362 ± 0.0040	18.1375 ± 0.0047	2.10362 ± 0.00015	0.862132 ± 0.000047	2.44003 ± 0.00012	1.159915 ± 0.000064
2013/10/08– 09 同安厝段 332	38.1257 ± 0.0095	15.6326 ± 0.0041	18.1155 ± 0.0045	2.10459 ± 0.00013	0.862961 ± 0.000048	2.43882 ± 0.00011	1.158802 ± 0.000065
2013/11/01– 02 同安厝段 332	38.1066 ± 0.0097	15.6390 ± 0.0045	18.0763 ± 0.0048	2.10810 ± 0.00013	0.865187 ± 0.000054	2.43658 ± 0.00013	1.155820 ± 0.000072
2013/05/16– 17 同安厝段 363-1、371	37.8804 ± 0.0096	15.5998 ± 0.0041	17.9734 ± 0.0048	2.10758 ± 0.00013	0.867963 ± 0.000044	2.42815 ± 0.00012	1.152123 ± 0.000058
2013/08/30– 31 同安厝段 363-1、371	38.0592 ± 0.0099	15.6123 ± 0.0045	18.0901 ± 0.0049	2.10388 ± 0.00013	0.863040 ± 0.000052	2.43783 ± 0.00012	1.158695 ± 0.000070
2013/09/23– 24 同安厝段 363-1、371	38.1269 ± 0.0094	15.639 ± 0.0041	18.0875 ± 0.0046	2.10792 ± 0.00014	0.864620 ± 0.000045	2.43800 ± 0.00012	1.156577 ± 0.000060
2013/10/08– 09 同安厝段 363-1、371	38.0174 ± 0.0099	15.6142 ± 0.0044	18.0596 ± 0.0047	2.10511 ± 0.00012	0.864655 ± 0.000041	2.43464 ± 0.00011	1.156531 ± 0.000055
2013/11/01– 02 同安厝段 363-1、371	37.956 ± 0.010	15.6091 ± 0.0042	18.0386 ± 0.0048	2.10418 ± 0.00014	0.865332 ± 0.000048	2.43159 ± 0.00012	1.155626 ± 0.000065
2003/03/07– 14, 25–30 台 北 PM ₁₀ ^a	NA	NA	NA	NA	NA	2.427 ± 0.013	1.157 ± 0.008

註：同安厝段以高量空氣採樣器採集總懸浮粒狀污染物 (TSP)，採集時間如標示之日期，
measure mean ± 2 S.E.。 ^a Hsu *et al.* (2006)，mean ± S.D.，NA 為未提供。

表 4 臺灣氣膠鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2003/07/28– 08/03 台北 PM_{10} ^a	NA	NA	NA	NA	NA	2.378 ± 0.018	1.132 ± 0.018
2003/11/24– 30 台北 PM_{10} ^a	NA	NA	NA	NA	NA	2.404 ± 0.011	1.143 ± 0.008
2004/02/06– 19 台北 PM_{10} ^a	NA	NA	NA	NA	NA	2.411 ± 0.014	1.147 ± 0.008
2003/03/07– 14, 25–30 台 北 $\text{PM}_{2.5}$ ^{a,b}	NA	NA	NA	NA	NA	2.425 ± 0.015	1.156 ± 0.009
2003/07/28– 08/03 台北 $\text{PM}_{2.5}$ ^{a,b}	NA	NA	NA	NA	NA	2.373 ± 0.011	1.130 ± 0.009
2003/11/24– 30 台北 $\text{PM}_{2.5}$ ^{a,b}	NA	NA	NA	NA	NA	2.404 ± 0.016	1.146 ± 0.010
2004/02/06– 19 台北 $\text{PM}_{2.5}$ ^{a,b}	NA	NA	NA	NA	NA	2.414 ± 0.011	1.150 ± 0.008
彭佳嶼 1997 春 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4478	1.1533
彭佳嶼 1997 夏 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4291	1.1500
彭佳嶼 1997 秋 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4418	1.1485
彭佳嶼 1997 冬 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4497	1.1550
彭佳嶼 1998 春 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4505	1.1573

註：^a Hsu et al. (2006), mean ± S.D.; ^b Hsu 通訊提供, mean ± S.D.; ^c 連 (2008);

NA 未提供。

表 4 臺灣氣膠鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
彭佳嶼 1998 夏 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4291	1.1538
彭佳嶼 1998 秋 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4421	1.1530
彭佳嶼 1998 冬 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4543	1.1575
彭佳嶼 1999 春 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4516	1.1547
彭佳嶼 1999 夏 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4333	1.1516
彭佳嶼 1999 秋 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4491	1.1574
彭佳嶼 1999 冬 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4439	1.1542
彭佳嶼 2000 春 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4528	1.1581

註：山嶺段以落塵桶進行採集，同安厝段則設置高量空氣採樣器進行總懸浮粒狀污染物 (TSP) 採集，採集時間如標示之日期，measure mean $\pm$ 2 S.E.。^a Hsu et al. (2006)，mean $\pm$ S.D.；^b Hsu 通訊提供，mean $\pm$ S.D.；^c 連 (2008)；NA 未提供。

表 5 臺灣水體暨灌溉用水鉛同位素特徵調查結果彙整

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
同安厝段	38.6396	15.6676	18.4074	2.09913	0.851059	2.46640	1.175007
245-1 渠道水	± 0.0089	± 0.0038	± 0.0043	± 0.00014	± 0.000047	± 0.00013	± 0.000064
同安厝段	37.993	15.6160	18.0128	2.10922	0.866973	2.43290	1.153439
363-1 地下水	± 0.010	± 0.0042	± 0.0047	± 0.00014	± 0.000045	± 0.00013	± 0.000060
同安厝段	38.626	15.6680	18.3794	2.10158	0.852529	2.46512	1.17298
371、372-1	± 0.011	± 0.0045	± 0.0049	± 0.00015	± 0.000048	± 0.00012	± 0.000066
渠道水							
同安厝段	37.984	15.6253	18.0031	2.10987	0.867943	2.43088	1.15215
332、337 地	± 0.011	± 0.0047	± 0.0051	± 0.00015	± 0.000056	± 0.00013	± 0.000074
下水							
地熱谷溫泉 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	2.4825 ± 0.0014	1.1835 ± 0.00015
硫磺谷水源 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	2.4369 ± 0.0015	1.1498 ± 0.00074
水磨坑溪水 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	2.4425 ± 0.0011	1.1563 ± 0.00053
二仁溪河水 ^b	NA	NA	NA	NA	NA	2.4376	1.1587
	NA	NA	NA	NA	NA	2.4396	1.1435
	NA	NA	NA	NA	NA	2.4371	1.1419
	NA	NA	NA	NA	NA	2.4554	1.1569
	NA	NA	NA	NA	NA	2.4703	1.1597
	NA	NA	NA	NA	NA	2.4632	1.1658
	NA	NA	NA	NA	NA	2.4755	1.1700
	NA	NA	NA	NA	NA	2.4806	1.1684
	NA	NA	NA	NA	NA	2.4341	1.1390
	NA	NA	NA	NA	NA	2.4615	1.1552
	NA	NA	NA	NA	NA	2.4792	1.1658

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。^a 陳 (2008)、張等 (2010)；^b 陳 (2012)；NA 未提供。

表 6 臺灣雨水鉛同位素特徵調查結果彙整

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2004/06/20 台南 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.1387
2004/07/01 台南 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.1290
2004/07/02 台南 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.1232
2004/07/17 台南 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.1335
2004/07/18 台南 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.1197
2004/07/20 台南 ^{a, †}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.1266
2004/07/26 台南 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.1329
2004/08/05 台南 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.1316
2004/08/11 台南 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.1322
2004/08/23 台南 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.1354
2004/08/25 台南 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.1226
2004/08/26 台南 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.1200
2004/08/28 台南 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.1436
2004/08/29 台南 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.1441
2004/09/04 台南 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.1436

註：^a Cheng & You (2010)，Element II 測量數據，[†] 依原文的上下文更正其表格誤植日期；^b 陳 (2012)；^c Cheng *et al.* (2011)，Element II 測量數據，[#] 疑似誤植，數值修正 (經 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 計算，由 2.0056 修正為 2.0956)；NA 未提供。

表 6 臺灣雨水鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2004/09/08 台南 ^{a, ‡}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.1381
2004/09/09 台南 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.1380
2004/09/10 台南 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.1301
2004/09/11 台南 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.1325
2004/09/15 台南 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.1376
2010/07 台南 ^b	NA	NA	NA	NA	NA	2.4516	1.1686
彭佳嶼 1998/01 ^c	NA	NA	NA	2.0944	NA	2.4308	1.1606
彭佳嶼 1998/02 ^c	NA	NA	NA	2.1013	NA	2.4290	1.1560
彭佳嶼 1998/03 ^c	NA	NA	NA	2.0982	NA	2.4361	1.1610
彭佳嶼 1998/04 ^c	NA	NA	NA	2.0896	NA	2.4242	1.1601
彭佳嶼 1998/05 ^{c, #}	NA	NA	NA	2.0956 [#]	NA	2.4269	1.1581
彭佳嶼 1998/06 ^c	NA	NA	NA	2.0931	NA	2.4262	1.1592
彭佳嶼 1998/07 ^c	NA	NA	NA	2.0822	NA	2.4153	1.1600
彭佳嶼 1998/08 ^c	NA	NA	NA	2.1079	NA	2.4167	1.1465
彭佳嶼 1998/10 ^c	NA	NA	NA	2.0918	NA	2.4321	1.1627

註：^a Cheng & You (2010)，Element II 測量數據，[‡] 依原文的上下文更正其表格誤植日期；^b 陳 (2012)；^c Cheng *et al.* (2011)，Element II 測量數據，[#] 疑似誤植，數值修正 (經 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 計算，由 2.0056 修正為 2.0956)；NA 未提供。

表 6 臺灣雨水鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
彭佳嶼 1998/11 ^c	NA	NA	NA	2.1046	NA	2.4369	1.1579
彭佳嶼 1998/12 ^c	NA	NA	NA	2.1044	NA	2.4372	1.1581
彭佳嶼 1999/01 ^c	NA	NA	NA	2.0916	NA	2.4325	1.1630
彭佳嶼 1999/02 ^c	NA	NA	NA	2.0849	NA	2.4315	1.1663
彭佳嶼 1999/03 ^c	NA	NA	NA	2.0930	NA	2.4179	1.1552
彭佳嶼 1999/04 ^c	NA	NA	NA	2.0827	NA	2.4122	1.1582
彭佳嶼 1999/05 ^c	NA	NA	NA	2.0963	NA	2.4320	1.1601
彭佳嶼 1999/06 ^c	NA	NA	NA	2.0868	NA	2.4179	1.1587
彭佳嶼 1999/07 ^c	NA	NA	NA	2.0899	NA	2.4156	1.1559
彭佳嶼 1999/08 ^c	NA	NA	NA	2.0919	NA	2.4148	1.1543
彭佳嶼 1999/09 ^c	NA	NA	NA	2.0815	NA	2.4115	1.1585
彭佳嶼 1999/10 ^c	NA	NA	NA	2.0876	NA	2.4287	1.1634
彭佳嶼 1999/11 ^c	NA	NA	NA	2.0919	NA	2.4266	1.1600
彭佳嶼 1999/12 ^c	NA	NA	NA	2.0957	NA	2.4334	1.1611
彭佳嶼 2000/01 ^c	NA	NA	NA	2.0979	NA	2.431	1.1588
彭佳嶼 2000/02 ^c	NA	NA	NA	2.1022	NA	2.4346	1.1581

註：^c Cheng *et al.* (2011)，Element II 測量數據，NA 未提供。

表 6 臺灣雨水鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
彭佳嶼 2000/03 ^c	NA	NA	NA	2.0950	NA	2.4336	1.1617
彭佳嶼 2000/04 ^c	NA	NA	NA	2.0980	NA	2.4314	1.1589
彭佳嶼 2000/05 ^c	NA	NA	NA	2.1053	NA	2.4215	1.1502
彭佳嶼 2000/06 ^c	NA	NA	NA	2.0918	NA	2.4332	1.1632
彭佳嶼 2000/07 ^c	NA	NA	NA	2.1085	NA	2.4245	1.1499
彭佳嶼 2000/08 ^c	NA	NA	NA	2.1043	NA	2.4215	1.1507
彭佳嶼 2000/09 ^c	NA	NA	NA	2.0862	NA	2.4290	1.1643
彭佳嶼 2000/10 ^c	NA	NA	NA	2.1134	NA	2.4312	1.1504
彭佳嶼 2000/11 ^c	NA	NA	NA	2.0966	NA	2.4353	1.1615
彭佳嶼 2000/12 ^c	NA	NA	NA	2.0952	NA	2.4380	1.1636
彭佳嶼 2001/01 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4276	1.1534
彭佳嶼 2001/02 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4436	1.1826
彭佳嶼 2001/03 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4414	1.1655
彭佳嶼 2001/04 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4408	1.1649
彭佳嶼 2001/05 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4411	1.1637
彭佳嶼 2001/06 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.413	1.1505

註：^c Cheng *et al.* (2011)，Element II 測量數據，NA 未提供。

表 6 臺灣雨水鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
彭佳嶼 2001/06 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.413	1.1505
彭佳嶼 2001/07 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4118	1.1496
彭佳嶼 2001/08 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4243	1.1499
彭佳嶼 2001/09 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4388	1.1623
彭佳嶼 2001/10 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4346	1.1654
彭佳嶼 2001/11 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4373	1.1699
彭佳嶼 2001/12 ^c	NA	NA	NA	NA	NA	2.4385	1.1667

註：^a Cheng & You (2010)，Element II 測量數據；^b 陳 (2012)；^c Cheng *et al.* (2011)，Element II 測量數據，[#] 疑似誤植，數值修正 (經 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 計算，由 2.0056 修正為 2.0956)；NA 未提供。

表 7 臺灣底泥與沉積物鉛同位素特徵調查結果彙整

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
同安厝段 245-1 灌渠 底泥	39.026 ± 0.012	15.6844 ± 0.0050	18.5580 ± 0.0056	2.102917 ± 0.000083	0.845146 ± 0.000028	2.488249 ± 0.000058	1.183227 ± 0.000039
同安厝段 371、372-1 灌渠底泥	38.843 ± 0.013	15.6782 ± 0.0057	18.5144 ± 0.0062	2.097971 ± 0.000078	0.846832 ± 0.000029	2.477406 ± 0.000054	1.180871 ± 0.000041
磺港溪底泥 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	2.4729 ± 0.00067	1.1778 ± 0.00035
蘭陽溪河口 沉積物 ^b	39.178	15.682	18.722	NA	NA	NA	NA
立霧溪河口 沉積物 ^b	39.068	15.665	18.670	NA	NA	NA	NA
秀姑巒溪河 口沉積物 ^b	39.080	15.644	18.513	NA	NA	NA	NA
前鎮河上游 (n=3) ^c	NA	NA	NA	2.1141	NA	2.3697	1.1209
前鎮河中游 (n=3) ^c	NA	NA	NA	2.1118	NA	2.3627	1.1188
前鎮河下游 (n=3) ^c	NA	NA	NA	2.1151	NA	2.3281	1.1007
高屏溪上游 (n=2) ^c	NA	NA	NA	2.1604	NA	2.5193	1.1661
高屏溪中游 (n=2) ^c	NA	NA	NA	2.1259	NA	2.4339	1.1449
高屏溪下游 (n=3) ^c	NA	NA	NA	2.1356	NA	2.4421	1.1435
高雄港港池 (n=3) ^c	NA	NA	NA	2.1511	NA	2.4310	1.1301

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。^a 陳 (2008)；^b 朱 (2005)；^c 許 (2000)，測量標的物為懸浮顆粒；NA 未提供。

表 8 臺灣岩石與珊瑚鉛同位素特徵調查結果彙整

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
棉花嶼火山岩 ^a	38.729	15.599	18.588	NA	NA	NA	NA
	38.767	15.607	18.602	NA	NA	NA	NA
	38.749	15.611	18.577	NA	NA	NA	NA
彭佳嶼火山岩 ^a	38.535	15.574	18.446	NA	NA	NA	NA
	38.531	15.576	18.443	NA	NA	NA	NA
基隆火山群火山岩 ^a	38.830	15.635	18.502	NA	NA	NA	NA
基隆火山群英安岩 ^b	38.814	15.645	18.519	NA	NA	NA	NA
	38.758	15.622	18.504	NA	NA	NA	NA
基隆火山群安山岩 ^b	38.498	15.560	18.442	NA	NA	NA	NA
大屯火山群火山岩 ^a	38.763	15.627	18.517	NA	NA	NA	NA
	38.763	15.627	18.525	NA	NA	NA	NA
	38.750	15.627	18.478	NA	NA	NA	NA
	38.736	15.629	18.460	NA	NA	NA	NA
大屯火山群安山岩 ^{b, §}	38.759	15.631	18.483	NA	NA	NA	NA
	38.759	15.633	18.483	NA	NA	NA	NA
	38.696	15.612	18.470	NA	NA	NA	NA
	38.856	18.640 [§]	18.617	NA	NA	NA	NA
大屯火山群玄武岩 ^b	38.729	15.623	18.523	NA	NA	NA	NA
	38.700	15.607	18.450	NA	NA	NA	NA
	38.705	15.613	18.440	NA	NA	NA	NA
觀音山火山岩 ^a	38.726	15.618	18.442	NA	NA	NA	NA
	38.721	15.616	18.439	NA	NA	NA	NA
草嶺山火山岩 ^a	38.775	15.628	18.450	NA	NA	NA	NA
	38.780	15.629	18.450	NA	NA	NA	NA
草嶺山玄武岩 ^b	38.791	15.640	18.465	NA	NA	NA	NA
角板山玄武岩 ^b	38.731	15.612	18.375	NA	NA	NA	NA
	38.636	15.593	18.366	NA	NA	NA	NA

註：^a Wang *et al.* (2004) 且平均 2 倍測量誤差為 $\pm 0.014(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ 、 $\pm 0.005(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ 、 $\pm 0.004(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ ；^b Sun (1980)；[§] 疑似誤植(建議數值由 18.640 修正為 15.640)；^c 駱 (2003)；^d 陳 (2012)；^e 許 (2000)；^f 朱 (2005)；^g 刘等 (2009)；^h 王 (2011)、王通訊提供；NA 未提供。

表 8 臺灣岩石與珊瑚鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
北港一號井 玄武岩 ^c	38.865	15.582	18.750	NA	NA	NA	NA
	38.810	15.598	18.700	NA	NA	NA	NA
	38.779	15.595	18.683	NA	NA	NA	NA
通梁一號井 玄武岩 ^c	38.829	15.589	18.705	NA	NA	NA	NA
	38.830	15.599	18.687	NA	NA	NA	NA
振安二號井 玄武岩 ^c	38.905	15.607	18.668	NA	NA	NA	NA
	38.501	15.590	18.460	NA	NA	NA	NA
	38.643	15.599	18.521	NA	NA	NA	NA
	38.533	15.592	18.453	NA	NA	NA	NA
	38.545	15.590	18.542	NA	NA	NA	NA
褒忠一號井 玄武岩 ^c	38.626	15.598	18.450	NA	NA	NA	NA
	38.431	15.598	18.315	NA	NA	NA	NA
	38.606	15.609	18.508	NA	NA	NA	NA
	38.575	15.606	18.478	NA	NA	NA	NA
王功一號井 玄武岩 ^c	38.907	15.644	18.684	NA	NA	NA	NA
	38.519	15.585	18.490	NA	NA	NA	NA
	38.676	15.615	18.563	NA	NA	NA	NA
	38.709	15.620	18.586	NA	NA	NA	NA
	38.524	15.593	18.483	NA	NA	NA	NA
西南外海海 底火山玄武 岩 ^c	39.070	15.622	18.842	NA	NA	NA	NA
	39.104	15.652	18.829	NA	NA	NA	NA
	39.076	15.621	18.866	NA	NA	NA	NA
二仁溪周邊 岩石 ^d	NA	NA	NA	NA	NA	2.4952	1.1925
	NA	NA	NA	NA	NA	2.7405	1.3558
	NA	NA	NA	NA	NA	2.5331	1.2211
	NA	NA	NA	NA	NA	2.5351	1.2243
	NA	NA	NA	NA	NA	2.5141	1.2081
	NA	NA	NA	NA	NA	2.4953	1.1947
前鎮河口岩 心 ^e	NA	NA	NA	2.1–2.2	NA	2.36–2.6	1.12–1.15

註：^a Wang *et al.* (2004) 且平均 2 倍測量誤差為 $\pm 0.014(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ 、 $\pm 0.005(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ 、 $\pm 0.004(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ ；^b Sun (1980)；^c 駱 (2003)；^d 陳 (2012)；^e 許 (2000)。

表 8 臺灣岩石與珊瑚鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
高雄港二港口外海岩心 ^e	NA	NA	NA	2.0–2.3	NA	2.4–2.6	~1.2
高屏溪口岩心 ^e	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.05–1.4
龜山島火山岩 ^f	39.026	15.683	18.758	NA	NA	NA	NA
	39.002	15.673	18.754	NA	NA	NA	NA
	39.017	15.678	18.754	NA	NA	NA	NA
	39.026	15.683	18.752	NA	NA	NA	NA
	39.036	15.682	18.752	NA	NA	NA	NA
	39.061	15.690	18.759	NA	NA	NA	NA
	39.028	15.681	17.748	NA	NA	NA	NA
	39.009	15.675	18.754	NA	NA	NA	NA
	39.029	15.681	18.760	NA	NA	NA	NA
龜山島高鎂安山岩 (n=3) ^f	39.015	15.677	18.759	NA	NA	NA	NA
	39.001–39.060	15.673–15.589	18.748–18.759	NA	NA	NA	NA
	38.274 ± 0.080	15.605 ± 0.028	18.136 ± 0.003	NA	NA	NA	NA
	38.398 ± 0.072	15.635 ± 0.031	18.237 ± 0.005	NA	NA	NA	NA
	38.184 ± 0.065	15.583 ± 0.021	18.107 ± 0.002	NA	NA	NA	NA
	38.219 ± 0.043	15.583 ± 0.017	18.171 ± 0.005	NA	NA	NA	NA
	38.420 ± 0.035	15.616 ± 0.033	18.288 ± 0.007	NA	NA	NA	NA
	38.278 ± 0.053	15.616 ± 0.019	18.152 ± 0.002	NA	NA	NA	NA
	38.340 ± 0.030	15.620 ± 0.016	18.231 ± 0.004	NA	NA	NA	NA
龜山島自然硫煙囪體碎塊 ^g							

註：^e 許 (2000)；^f 朱 (2005)；^g 刘等 (2009)。

表 8 臺灣岩石與珊瑚鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
龜山島自然 硫煙囪體碎 塊 ^g	38.248 ± 0.036	15.612 ± 0.013	18.109 ± 0.006	NA	NA	NA	NA
秀姑巒溪閃 長岩 ^b	38.463	15.571	18.323	NA	NA	NA	NA
秀姑巒溪安 山岩 ^b	38.538	15.598	18.346	NA	NA	NA	NA
台東輝長岩 ^b	38.438	15.560	18.303	NA	NA	NA	NA
	37.781	15.457	17.952	NA	NA	NA	NA
	37.698	15.461	18.060	NA	NA	NA	NA
台東枕狀玄 武岩 ^b	37.727	15.468	18.015	NA	NA	NA	NA
	37.788	15.450	18.005	NA	NA	NA	NA
綠島 1871— 1998 珊瑚 ^h	37.931— 38.335	15.595— 15.659	17.989— 18.256	2.0899— 2.1089	0.8559— 0.8677	2.431— 2.448	1.153— 1.168
蘭嶼安山岩 ^b	38.558	15.591	18.315	NA	NA	NA	NA
	38.628	15.603	18.350	NA	NA	NA	NA
	38.750	15.620	18.398	NA	NA	NA	NA
澎湖玄武岩 ^b	38.828	15.557	18.745	NA	NA	NA	NA
	38.821	15.589	18.684	NA	NA	NA	NA
	38.875	15.610	18.710	NA	NA	NA	NA
澎湖輝綠岩 ^b	38.869	15.588	18.686	NA	NA	NA	NA

註：^a Wang *et al.* (2004) 且平均 2 倍測量誤差為 ± 0.014($^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)、± 0.005($^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)、
± 0.004($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)；^b Sun (1980)；^s 疑似誤植(建議數值由 18.640 修正為 15.640)；
^c 駱 (2003)；^d 陳 (2012)；^e 許 (2000)；^f 朱 (2005)；^g 刘等 (2009)；^h 王 (2011)、
王通訊提供；NA 未提供。

表 9 臺灣人造物質鉛同位素特徵調查結果彙整

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
肥料(宜農牌 一特 1 號)	38.6766 ± 0.0091	15.8729 ± 0.0041	21.7551 ± 0.0052	1.777819 ± 0.000081	0.729627 ± 0.000032	2.436638 ± 0.000084	1.370564 ± 0.000060
農藥(農會牌 一滅芬免速 隆)	37.967 ± 0.023	15.5869 ± 0.0097	17.955 ± 0.011	2.11458 ± 0.00026	0.86799 ± 0.00010	2.43618 ± 0.00020	1.15209 ± 0.00014
硫酸鉛試劑	37.7685 ± 0.0099	15.6002 ± 0.0044	17.8543 ± 0.0048	2.11538 ± 0.00016	0.873766 ± 0.000047	2.42104 ± 0.00013	1.144472 ± 0.000061
稻米參考品 (IRMM 804)	37.9712 ± 0.0084	15.5867 ± 0.0038	17.9918 ± 0.0039	2.11048 ± 0.00011	0.866401 ± 0.000041	2.435925 ± 0.000089	1.154200 ± 0.000055
稻米粉末國 際標準品 (NIST SRM 1568a)	37.8551 ± 0.0095	15.6046 ± 0.0042	17.9739 ± 0.0046	2.10612 ± 0.00013	0.868221 ± 0.000042	2.42582 ± 0.00011	1.151781 ± 0.000056
空白空氣採 樣濾紙	39.7963 ± 0.0087	15.9388 ± 0.0037	21.5578 ± 0.0046	1.846032 ± 0.000074	0.739363 ± 0.000026	2.496788 ± 0.000068	1.352516 ± 0.000048
南漳舊標準 產品_AR	38.278 ± 0.038	15.636 ± 0.017	18.222 ± 0.019	2.10068 ± 0.00053	0.85840 ± 0.00016	2.44687 ± 0.00039	1.16496 ± 0.00021
南漳舊標準 產品_N	38.261 ± 0.038	15.634 ± 0.016	18.216 ± 0.019	2.10040 ± 0.00056	0.85817 ± 0.00017	2.44742 ± 0.00042	1.16527 ± 0.00023
南漳新製程 標準產品 _AR	37.836 ± 0.045	15.606 ± 0.020	17.918 ± 0.023	2.11159 ± 0.00051	0.87105 ± 0.00017	2.42396 ± 0.00043	1.14805 ± 0.00022
南漳新製程 標準產品_N	37.682 ± 0.038	15.586 ± 0.016	17.829 ± 0.018	2.11347 ± 0.00030	0.87416 ± 0.00014	2.41778 ± 0.00033	1.14396 ± 0.00018
二重埔油污 A1	37.9612 ± 0.0036	15.6191 ± 0.0017	18.3392 ± 0.0019	2.069950 ± 0.000066	0.851658 ± 0.000018	2.430528 ± 0.000054	1.174181 ± 0.000025

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。「AR」代表以王水溶出，「N」代表以硝酸溶出。二重埔油污場址土壤抽出之漏油計有 3 組重複樣品 (A、B、C)，各取其上、下層 (1、2)，以及 A 組樣本最下層之稠狀物質 (A3)。舊油品 (試驗剩餘品，存放 1 年)、染劑、添加劑均由中油公司提供。^a 張 (2012)、張等 (2012)、Yao *et al.* (2015)；[†] 建立分析方法、樣本於不同天數下保存穩定度測試之數據，僅供參考，[#] $^{208}\text{Pb}/^{205}\text{Tl}$ 落在 0.811，未達品質標準 (接受範圍為 0.83 – 6.67)，數值僅供參考。^{*} 建立、測試分析方法之數據，僅供參考；^b 許 (2000)，n=4；^c Hsu *et al.* (2006)；NA 未提供。

表 9 臺灣人造物質鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
二重埔油污	37.9514	15.6159	18.3419	2.069103	0.851372	2.430293	1.174575
A2	± 0.0038	± 0.0017	± 0.0019	± 0.000066	± 0.000020	± 0.000054	± 0.000028
二重埔油污	38.1789	15.6108	18.1723	2.100934	0.859043	2.445693	1.164086
A3	± 0.0031	± 0.0014	± 0.0016	± 0.000057	± 0.000019	± 0.000050	± 0.000026
二重埔油污	37.9429	15.6118	18.3350	2.069427	0.851473	2.430388	1.174436
B1	± 0.0044	± 0.0020	± 0.0022	± 0.000086	± 0.000025	± 0.000062	± 0.000035
二重埔油污	37.9463	15.6143	18.3343	2.069686	0.851622	2.430310	1.174230
B2	± 0.0052	± 0.0022	± 0.0025	± 0.000088	± 0.000029	± 0.000065	± 0.000040
二重埔油污	37.9362	15.6099	18.3352	2.069041	0.851373	2.430220	1.174573
C1	± 0.0039	± 0.0018	± 0.0021	± 0.000070	± 0.000021	± 0.000051	± 0.000028
二重埔油污	37.9512	15.6155	18.3307	2.070360	0.851901	2.430306	1.173846
C2	± 0.0050	± 0.0023	± 0.0024	± 0.000084	± 0.000028	± 0.000066	± 0.000039
中油 92 染劑	37.9747	15.6112	18.0163	2.107800	0.866560	2.432363	1.153989
	± 0.0056	± 0.0025	± 0.0029	± 0.000085	± 0.000028	± 0.000067	± 0.000037
	37.9740	15.6107	18.0175	2.107617	0.866411	2.432549	1.154187
	± 0.0052	± 0.0022	± 0.0025	± 0.000081	± 0.000027	± 0.000068	± 0.000036
	37.9696	15.6088	18.0168	2.107452	0.866348	2.432556	1.154270
	± 0.0059	± 0.0025	± 0.0029	± 0.000079	± 0.000025	± 0.000069	± 0.000034
中油 92 汽油添 加劑	37.9748	15.6101	18.0162	2.107815	0.866432	2.432731	1.154158
	± 0.0057	± 0.0024	± 0.0027	± 0.000075	± 0.000026	± 0.000060	± 0.000035
舊中油 92 無 鉛汽油	37.7220	15.5972	17.8287	2.115800	0.874845	2.418498	1.14306
	± 0.0051	± 0.0021	± 0.0024	± 0.000087	± 0.000026	± 0.000066	± 0.000034
	37.9131	15.6123	18.2175	2.081134	0.856968	2.428486	1.166904
中油 92 無鉛 汽油 ^a	± 0.0064	± 0.0027	± 0.0031	± 0.000082	± 0.000031	± 0.000073	± 0.000042
	37.8931	15.5872	18.1177	2.091493	0.860301	2.431129	1.162384
	± 0.0077	± 0.0031	± 0.0036	± 0.000084	± 0.000030	± 0.000082	± 0.000040
中油 92 無鉛 汽油 ^a	37.6959	15.5835	17.8398	2.11301	0.873542	2.41891	1.144764
	± 0.0089	± 0.0039	± 0.0044	± 0.00011	± 0.000040	± 0.00011	± 0.000052
	37.7300	15.566	17.886	2.10947	0.870337	2.423704	1.148980
	± 0.0071	± 0.0031	± 0.0036	± 0.00011	± 0.000033	± 0.000085	± 0.000043

註：measure mean $\pm$ 2 S.E.。二重埔油污場址土壤抽出之漏油計有 3 組重複樣品 (A、B、C)，各取其上、下層 (1、2)，以及 A 組樣本最下層之稠狀物質 (A3)。舊油品 (試驗剩餘品，存放 1 年)、染劑、添加劑均由中油公司提供。^a 張 (2012)、張等 (2012)、Yao *et al.* (2015)。

表 9 臺灣人造物質鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
中油 92 無鉛汽油 ^a	37.7029 ± 0.0069	15.5669 ± 0.0031	17.8651 ± 0.0034	2.110423 ± 0.000096	0.871359 ± 0.000028	2.421990 ± 0.000082	1.147632 ± 0.000037
	37.814 ± 0.013	15.5820 ± 0.0055	17.9469 ± 0.0064	2.10701 ± 0.00014	0.868239 ± 0.000046	2.42673 ± 0.00013	1.151757 ± 0.000060
中油 95 無鉛汽油 ^a	37.848 ± 0.012	15.5863 ± 0.0050	17.9617 ± 0.0057	2.10713 ± 0.00017	0.867820 ± 0.000055	2.42809 ± 0.00012	1.152313 ± 0.000073
	37.9262 ± 0.0087	15.5934 ± 0.0037	17.9239 ± 0.0042	2.11596 ± 0.00013	0.869988 ± 0.000041	2.432206 ± 0.000092	1.149442 ± 0.000054
	37.604 ± 0.010	15.5772 ± 0.0045	17.8211 ± 0.0051	2.11006 ± 0.00011	0.874086 ± 0.000038	2.41398 ± 0.00010	1.144053 ± 0.000049
中油 98 無鉛汽油 ^a	37.6912 ± 0.0080	15.5809 ± 0.0037	17.9286 ± 0.0042	2.10229 ± 0.00011	0.869029 ± 0.000036	2.419177 ± 0.000092	1.150710 ± 0.000048
	37.6439 ± 0.0073	15.5762 ± 0.0030	17.8629 ± 0.0035	2.10738 ± 0.00012	0.871940 ± 0.000038	2.416832 ± 0.000096	1.146868 ± 0.000050
	37.894 ± 0.049	15.581 ± 0.021	17.885 ± 0.024	2.11876 ± 0.00044	0.87137 ± 0.00014	2.43160 ± 0.00030	1.14762 ± 0.00018
中油柴油 ^a	37.783 ± 0.034	15.572 ± 0.015	17.812 ± 0.017	2.12117 ± 0.00036	0.87430 ± 0.00010	2.42616 ± 0.00027	1.14378 ± 0.00013
	37.842 ± 0.013	15.5434 ± 0.0057	17.9762 ± 0.0064	2.10509 ± 0.00016	0.864690 ± 0.000050	2.43457 ± 0.00013	1.156484 ± 0.000066
	37.8193 ± 0.0055	15.5741 ± 0.0025	17.8333 ± 0.0026	2.120711 ± 0.000092	0.873327 ± 0.000028	2.428361 ± 0.000076	1.145046 ± 0.000036
台塑 92 無鉛汽油 ^a	37.8155 ± 0.0059	15.5628 ± 0.0026	17.8329 ± 0.0029	2.120545 ± 0.000095	0.872682 ± 0.000029	2.429913 ± 0.000074	1.145893 ± 0.000038
	37.8229 ± 0.0062	15.5763 ± 0.0025	17.8409 ± 0.0027	2.120016 ± 0.000087	0.873066 ± 0.000027	2.428236 ± 0.000076	1.145389 ± 0.000036
	37.7396 ± 0.0048	15.5716 ± 0.0023	17.7305 ± 0.0025	2.128511 ± 0.000092	0.8782200 ± 0.000031	2.423646 ± 0.000062	1.138666 ± 0.000040
台塑 95 無鉛汽油 ^a	37.8122 ± 0.0054	15.5955 ± 0.0022	17.8279 ± 0.0025	2.12096 ± 0.00010	0.874772 ± 0.000032	2.424551 ± 0.000083	1.143155 ± 0.000041
	37.8027 ± 0.0050	15.5810 ± 0.0023	17.7938 ± 0.0026	2.124487 ± 0.000086	0.875697 ± 0.000026	2.426030 ± 0.000076	1.141947 ± 0.000034

註：measure mean ± 2 S.E.。^a 張 (2012)、張等 (2012)、Yao *et al.* (2015)。

表 9 臺灣人造物質鉛同位素特徵調查結果彙整 (續)

項目	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
台塑 98 無鉛汽油 ^a	37.8201 ± 0.0078	15.5746 ± 0.0034	17.8394 ± 0.0037	2.120034 ± 0.000097	0.873016 ± 0.000032	2.428465 ± 0.000083	1.145455 ± 0.000042
	37.8233 ± 0.0055	15.5858 ± 0.0026	17.8550 ± 0.0029	2.118354 ± 0.000093	0.872900 ± 0.000027	2.426797 ± 0.000080	1.145607 ± 0.000035
	37.8219 ± 0.0080	15.5766 ± 0.0032	17.8479 ± 0.0035	2.11912 ± 0.00011	0.872723 ± 0.000037	2.428138 ± 0.000087	1.145839 ± 0.000048
	37.909 ± 0.034	15.578 ± 0.015	17.938 ± 0.017	2.11332 ± 0.00028	0.868421 ± 0.000087	2.43368 ± 0.00025	1.15152 ± 0.00012
	37.946 [#] ± 0.040	15.581 [#] ± 0.017	17.902 [#] ± 0.019	2.11961 [#] ± 0.00024	0.870423 [#] ± 0.000090	2.43508 [#] ± 0.00023	1.14887 [#] ± 0.00012
	37.868 ± 0.026	15.584 ± 0.011	17.842 ± 0.013	2.12245 ± 0.00031	0.873595 ± 0.000084	2.42957 ± 0.00025	1.14470 ± 0.00011
中油龍安 95_1 天 ^{b,†}	38.86 ± 0.24	16.03 ± 0.13	18.35 ± 0.13	2.1179 ± 0.0027	0.87328 ± 0.00082	2.4244 ± 0.0018	1.1452 ± 0.0011
中油龍安 95_5 天 ^{b,†}	38.11 ± 0.20	15.68 ± 0.10	18.06 ± 0.11	2.1101 ± 0.0030	0.86968 ± 0.00081	2.4258 ± 0.0019	1.1499 ± 0.0011
中油龍安 95_30 天 ^{b,†}	38.31 ± 0.18	15.781 ± 0.093	18.20 ± 0.10	2.1046 ± 0.0036	0.86764 ± 0.00078	2.4254 ± 0.0021	1.1526 ± 0.0010
高級汽油 ^c	NA	NA	NA	2.1492	NA	2.2386	1.0416
沙烏地阿拉伯重油 ^c	NA	NA	NA	2.1516	NA	2.4786	1.1520
台北隧道內磁磚表面顆粒 ^d	NA	NA	NA	NA	NA	2.405	1.131

註：measure mean ± 2 S.E.。 ^a 張 (2012)、張等 (2012)、Yao *et al.* (2015)，[#] $^{208}\text{Pb}/^{205}\text{Tl}$ 落在 0.811，未達品質標準 (接受範圍為 0.83 – 6.67)，數值僅供參考；^b 張 (2012)、張等 (2012)，[†] 建立分析方法、樣本於不同天數下保存穩定度測試之數據，僅供參考。
^c 許 (2000)，n=4；^d Hsu *et al.* (2006)；NA 未提供。