



經濟部標準檢驗局 101 年度

研究發展專題

綠色分析化學—汞分析技術之應用 與可行性分析

報告書編號：101BSMI-17

經濟部標準檢驗局編印

中華民國 101 年 12 月

本報告書僅供政府機關參考，請勿轉載

目 錄

提要表	I
目錄	II
圖目錄	IV
表目錄	V
第一章 緒論	1
1-1 研究動機與目	1
1-2 研究範圍與方	2
第二章 國際綠色化學技術發展趨勢	3
2-1 綠色化學即為永續化學	3
2-2 汞標準溶液之調製	3
2-3 國際綠色化學發展的趨	5
2-4 綠色之自動化及流動技術	8
2-5 我國對綠色化學之因應趨	12
第三章 材料與方法	13
3-1 汞	13
3-2 現行公告汞之檢測方法	21
3-3 研究方法與流程	27
3-4 熱分解汞齊原子吸收光譜法	31
第四章 試驗結果與討論	36
4-1 試驗樣品規劃	36
4-2 試驗結果整理	36
4-3 結果分析與討論	40
第五章 結果討論與建議	42
5-1 結果討論	42
5-2 建議	45
參考文獻	46
附錄	49
附錄 A-1 熱分解汞齊原子吸收光譜法之檢量線檢量線	50
附錄 A-2 查核樣品分析之原始數據	52
附錄 A-3 肥料樣品汞含量分析之原始數據	54
附錄 A-4 肥料樣品汞含量之添加回收率之原始數據	59

經濟部標準檢驗局 101 年度研究報告提要表		填表人：楊承崇 填表日期：101.12.31	
研究報告名稱	塑膠產品以「熱分解汞齊法」分析汞(Hg)含量之研討		
研究單位及人員	經濟部標準檢驗局台中分局 楊承崇、簡志益、黃昭貴、 鍾瑞芬	研究時間	自 101 年 01 月 01 日 至 101 年 12 月 31 日
報 告 內 容 提 要			
<p>(一) 研究源起與目的：</p> <p>金屬檢測方法與技術及測試儀器推陳出新不斷的進步，有關重金屬檢測方法與技術，目前中華民國國家標準或行政院環境保護署仍使用在傳統前處理方法：王水消化法、硫酸、硝酸及高錳酸鉀消化處理、9.6M 鹽酸消化處理、硝酸/鹽酸/過氧化氫的酸消化法以及氫氟酸/硝酸/及/或鹽酸的微波消化法等消化方法，將待測金屬解離成溶解性離子狀態，再利用原子吸收、原子發射或質譜法加以分析。上述前處理方法使用強酸、強氧化性酸、過氧化物及強腐蝕性酸，往往直接造成人員傷害，間接影響人員健康；另外強酸、強氧化性酸、過氧化物及強腐蝕性酸及金屬等物質儲存於廢液回收桶中易反應產生氫氣、二氧化氮等氣體，易引起爆炸、火災及中毒事件，往往造成人員傷亡、財物損失及環境嚴重污染，影響社會觀感，因此開發新的前處理方法是不可忽視，而且為必須重視的技術，因此開發以節能減碳之綠色永續化學分析兼顧實驗室安全衛生的處理方式，是改善目前試驗前處理危害風險的最佳方法。</p> <p>(二) 研究方法與過程</p> <p>本次專題研究進行方式，首先分別以 1mg/L 與 10mg/L 汞標準溶液建立低汞含量之檢量線 (Cell-1) 與高汞含量之檢量線 (Cell-2)。其次用不同廠牌之汞標準溶液配製成 1mg/L 與 10mg/L 汞標準溶液為查核樣品，查核前述兩條檢量線之回收率。</p> <p>然後，量測所收集到的不同材質之塑膠樣品，且對每一樣品做添加回收率。最後，分析探討熱分解汞齊原子吸收光譜法用於塑膠樣品中汞含量之適用性。</p> <p>(三) 研究發現與建議</p> <p><u>主要發現：</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 熱分解汞齊原子吸收光譜法分析樣品之汞含量，由於儀器可分別建立低汞含量 (Cell-1, 10ng~20ng) 與高汞含量 (Cell-2, 20ng~1000ng) 之兩條檢量線，且分析之固體樣品最重可到 0.5g，液體樣品最多可達 1500 μ L，因此可分析樣品中汞濃度可由數 ppb 至數千 ppm，濃度範圍很寬。 ● 肥料樣品材質試驗中重金屬含量之測定，常有回收率不佳之問題，尤其是汞(Hg)更甚，本研究之添加回收率在 96%~127%間，合於一般 75%~125%之要求。顯示熱分解汞齊原子吸收光譜法為分析塑膠樣品汞含量之適當方法，且可有效降低基質干擾。 ● 採用熱分解汞齊原子吸收光譜法分析樣品汞含量具有：(1) 無樣品前處理、(2) 無溶劑或酸浪費、(3) 無需添加其他試劑、(4) 量測時間短 (每個樣品約 10 分鐘)、(5) 可批次量測樣品、(6) 可量測固態或液態樣品等優點。 <p><u>建議事項：</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 綠色分析化學的概念主要係針對分析方法的建立，以直測分析、樣品體積減量、現場 (in-situ) 分析、乾式樣品製備、零溶劑 (solvent free) 技術、 			

氣密容器、連線技術 (Hyphenated techniques)、微型化與自動化為原則，開發或是改善現有的分析方法。

- 本研究專題的構思是降低分析過程中所產生的有害廢棄物與化學物質，進而使的這些分析方法能更安全衛生的被使用，並友善操人作員與自然環境。
- 本研究專題的目標是藉探討綠色分析化學用於汞金屬檢測前處理之合宜性，進而探究實驗室節能減碳綠色環保兼顧職業衛生安全的處理方式之可行性。最終目標，是降低分析過程中所產生的有害廢棄物與化學物質，使分析方法能讓操作者更健康的、更安全衛生的被使用，不僅對環境友善，更對社會友善，對地球眾多生命盡一分道德與責認。

第一章 緒論

1-1 研究動機與目的

重金屬檢測方法與技術及測試儀器推陳出新不斷的進步，有關重金屬檢測方法與技術，目前中華民國國家標準或行政院環境保護署已公告之汞含量常用檢驗方法臚列如下：

方法編號	標準名稱	發行日期
CNS 2770-19	飼料檢驗法（汞之測定）	75.08.04
CNS 10762	化粧品中汞試驗法	73.01.14
CNS 11942-16	銅中汞定量法	81.12.28
CNS 13109	水中總汞檢驗法	70.05.27
NIEA W330.52A	水中汞檢測方法— 冷蒸氣原子吸收光譜法	95.02.15
NIEA R315.01B	乾電池汞、鎘、鉛含量檢測方法	91.03.05
NIEA R314.12C	事業廢棄物萃出液中總汞檢測方法— 冷蒸氣原子吸收光譜法	95.02.15
NIEA M318.00C	固體與液體樣品中總汞檢測方法—熱分解汞 齊原子吸收光譜法	94.09.02
衛生署	食品中重金屬檢驗方法 — 汞之檢驗（一）	—
衛生署	食品中重金屬檢驗方法 — 汞之檢驗（二）	—

上述檢驗法仍使用在傳統前處理方法，包括：王水消化法、硫酸、硝酸及高錳酸鉀消化處理、9.6M 鹽酸消化處理、硝酸/鹽酸/過氧化氫的酸消化法以及氫氟酸/硝酸/及/或鹽酸的微波消化法等消化方法，將待測金屬解離成溶解性離子狀態，再利用原子吸收、原子發射或質譜法加以分析。上述前處理方法使用強酸、強氧化性酸、過氧化物及強腐蝕性酸，往往直接造成人員傷害，間接影響人

員健康；另外強酸、強氧化性酸、過氧化物及強腐蝕性酸及金屬等物質儲存於廢液回收桶中易反應產生氫氣、二氧化氮等氣體，易引起爆炸、火災及中毒事件，往往造成人員傷亡、財物損失及環境嚴重污染，影響社會觀感，因此開發新的前處理方法是不可忽視，而且為必須重視的技術，因此了解物質之化學與物理特性研究開發以節能減碳之綠色永續化學分析方法與技術並兼顧實驗室安全衛生的處理方式，是改善目前試驗前處理危害風險，降低能源始用率及減少二氧化碳排放量的最佳方法。

1-2 研究範圍與方法

本研究乃利用汞的物理特性：汞是唯一在常溫下呈液態的金屬，熔點是攝氏零下38.8度的物理和化學效應，以加熱分解汞齊，讓汞齊原子吸收光譜法分析不同樣品中汞含量。

本研究之目的即探討此方法之適用性，比較並探討其與分析汞含量之冷蒸氣原子吸收光譜法與原子螢光光譜法之差異。根據前述實驗之結果，提出可行之建議方案，以改善取代前述傳統前處理方法，提供另一種檢驗分析方式以供參考。進而探究實驗室節能減碳綠色環保兼顧職業衛生安全的處理方式之可行性。最終目標，是降低分析過程中所產生的有害廢棄物與化學物質，使分析方法能讓操作者更健康的、更安全衛生的被使用，不僅對環境友善，更對社會友善，對地球眾多生命盡一分道德與責認。

第二章 國際綠色化學技術發展趨勢

2-1 綠色化學即為永續化學

化學科技長久以來對人類福祉具有重大貢獻，然而因濫用而造成環境汙染、資源浪費等的問題，嚴重影響到自然生態及人類發展的問題也陸續浮現，現今世界環保意識日益趨強，因此應發展可以再生、再利用及減少危害物使用等目標為主的綠色—永續化學。隨著綠色觀念的推廣，環保意識與永續發展概念，亦快速的覺醒。回溯過去一、二十年的綠色化學運動，雖大力的倡導減量化學品的使用，然檢視既有的環境分析方法，往往造成二次的環境汙染。

綠色化學是一種對環境友好的化學程序。基本定義為利用化學技術與方法，減少或排除有害物質在製作過程中的使用與產生。綠色化學之最終目的，為期能以上述之化學方法，達到人類永續生存之目標，因此綠色化學又被稱為永續化學 (Sustainable Chemistry)。

2-2 綠色化學發展的準則與方向

美國耶魯大學艾納斯塔 (Paul T. Anastas) 教授 (曾服務於美國環保署及白宮科技辦公室) 與麻州大學的華納(John C. Warner) 教授，在 1998 年的綠色化學：原理與實踐 (Green Chemistry: Theory and Practice) 一書中，提出十二項綠色化學的原則，如表1-1 所示。這十二項原則顯示相關人員在進行相關研究活動或是發展化學新製程時，須將對環境的危害降至最低外，同時也是目前國際間公認為未來綠色化學發展的準則與方向。

綠色化學十二項原則

1. 避免產生廢棄物 (Prevent waste)：事先防止產生廢棄物勝於事後清除。
2. 重視原子經濟到最高 (Maximize atom economy)：設計合成方法時應盡可能將所有反應物質轉變為生成物。
3. 設計危害性較低的化學合成 (Design less hazardous chemical syntheses)：只要實際可行，製程採用之原料及預期之生成物應盡可能無害於人類健康與環境。
4. 設計安全的化學物質與產品 (Design safer chemicals and products)：設計毒害性盡量減低但保持有效功能的化學產品。
5. 使用安全的溶劑和反應條件 (Use safer solvents and reaction conditions)：溶劑、分離試劑等輔助品須盡可能採用無毒害性的，而且最好不用。
6. 提升能源使用效率 (Increase energy efficiency)：利用能量時須考慮對環境及經濟的影響，最好採用常溫常壓下的反應。
7. 使用再生進料 (Use renewable feedstocks)：只要技術可行並符合經濟效益，應使用再生原料。
8. 避免化學衍生 (Avoid chemical derivatives)：盡可能避免製造原非必要之衍生物。
9. 使用觸媒，而非大量反應物 (Use catalysts, not stoichiometric reagents)：優先考慮以觸媒性、且選擇性盡量高的試劑進行反應。
10. 設計使用後可被分解的化學物質和產品 (Design chemicals and products to degrade after use)：化學產品必須於用完後可以分解成無毒害性物質，而不致永留世間。
11. 實時分析以避免污染 (Analyze in real-time to prevent pollution)：發展能在製程中隨時偵測及控制之分析方法以提高產率和減少產生廢棄物。
12. 降低化學災害到最低 (Minimize the potential for accidents)：選用本質安全之化學品為原料（反應物），使化學製程之危險性降至最低。

表1-1 綠色化學十二項原則

這十二項原則顯示相關人員在進行相關研究活動或是發展化學新製程時，須將對環境的危害降至最低外，同時也是目前國際間公認為未來綠色化學發展的準則與方向。其中第1、5、6、8、11、12項與分析化學技術的發展有著密不可分的關係，因此發展綠色分析化學的科技有其必要與重要性。

1991年 Anastas 博士提出，當前使用的化學分析方法，往往會對環境造成更進一步的污染。其乃導因於在許多分析的步驟中，包括樣品的保存、使用的藥品與設備、樣品前處理過程與分析物質的製備、品質管制、檢量線的建立、與儀器設備的清洗及廢棄物的清理等，都需要使用到化學物質，其中往往可能因含有有害化學物質 (Hazardous chemicals) 的參與，而造成二次的污染。檢視以往分析方法的開發，往往忽視綠色化學的概念，一直到近期，才有論文提出整合性的概念，並呼籲綠色分析化學的重要性。該概念主要係針對分析方法的建立，以直測分析、樣品體積減量、現場 (in-situ) 分析、乾式樣品製備、零溶劑 (solvent free) 技術、氣密容器、連線技術 (Hyphenated techniques)、微型化與自動化為原則，開發或是改善現有的分析方法。因此綠色分析化學的最終目標，是降低分析過程中所產生的有害廢棄物與化學物質，進而使的這些分析方法能更安全衛生的被使用，並友善操人作員與自然環境。

2-3 國際綠色化學發展的趨勢

近年來各種綠色的萃取與濃縮技術正蓬勃地發展，如加速溶劑萃取

(Accelerated Solvent Extraction, ASE)、超音波萃取 (Ultrasound extraction)、微波輔助萃取 (Microwave-Assisted Extraction, MAE)、超臨界流體萃取 (Supercritical Fluid Extraction, SFE)、薄膜萃取 (Membrane Extraction, ME) 等技術，相較於傳統的液液萃取，大幅減少有機溶劑的使用量，且加速萃取所需要的時間。其中之加速溶劑萃取仍需使用加壓或加熱（最高到200 °C）的方式，以達到加速萃取的目的，其他的方法則使用較低的溫度，可以處理熱不穩定的分析物，並提供更清潔的萃取方式。相較於超臨界流體萃取設備的昂貴，與需要精確控制的參數較多，超音波與微波萃取提供簡單便宜的綠色萃取技術。

以下將針對較符合綠色化學概念之前處理技術做一簡要之介紹：

超音波萃取

超音波萃取利用高頻率音波在水中產生許多微觀尺度氣泡，這些小氣泡破裂時會產生許多小震波，即為空穴現象 (Cavitations)，能促進固體的溶解的特性。超音波萃取因此可應用於許多種類之有機物質萃取，如使用超音波萃取將藥物中的尼古丁 (Nicotine) 萃取到庚烷中，再以氣相層析分析，結果顯示使用超音波可以比傳統方法，節省六分之五的溶劑用量。超音波萃取亦可應用於無機分析物上如牛奶樣品中汞的萃取至水層中之應用。

微波輔助萃取

微波輔助萃取 (Microwave-Assisted Extraction, MAE) 被廣泛地應用在複雜基質的萃取上，以取代耗時、耗溶劑的索氏萃取。其原理係利用當樣品受到微波照射後，經由偶極作用 (Polar interaction) 與離子作用 (Ionic interaction) 等方

式吸收微波能，促使樣品中組成分子產生快速的運動，進而提升萃取之效率。再者，萃取溶劑在密閉容器中受到微波加熱時，其沸點比常壓下之沸點為高，可大幅降低溶劑的使用量與萃取所需的時間，因此在環境分析中，常被用來萃取土壤中多環芳香族化合物 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs)、煤中之多氯聯苯 (Polychloro-biphenyls, PCBs)、底泥中之甲基汞，或是植物中微量元素、與農藥殘留等。結合乾餾與微波加熱的原理，可在大氣環境下，不需使用任何溶劑或水，即可達成萃取之目的，相較於傳統之蒸餾法 (Hydro-distillation, HD) 省時、節能，進而可間接節省實驗之成本，符合綠色化學之概念

超臨界流體萃取與超熱水萃取

有鑑於石化原料蘊藏量不足，開發足以取代無法再生的石化溶劑的技術因運而生。當溶劑受熱加壓超過其臨界值時，其性質會介於氣相與液相間，造就了超臨界流體適用於分離與萃取的特性。選擇超臨界流體的萃取溶劑，須考量萃取壓力、溫度、填充物質 (與樣品基質混合)、修飾劑 (共溶劑)、以及收集溶劑等因素。二氧化碳由於低臨界點 (31.1 °C、74.8 atm)、不可燃、與低毒性的優點，因而成為最為廣泛使用的溶劑。二氧化碳對極性物質的溶解度低，因此在使用時會添加修飾劑如甲醇，或添加螯合劑。超臨界流體萃取 (SFE) 已經成為處理熱敏感性分析物的例行技術。超熱水萃取 (Superheated Water Extraction, SWE) 其係使用次臨界水 (subcritical water) 替代超臨界二氧化碳以萃取極性物質之技術；其原理乃基於水在受壓時會隨著溫度增加，造成氫鍵變弱，大幅度地降低其介電常數，因此具有可調控極性之優點。然而高溫的實驗條件，也因

此限制了此技術只能應用於萃取熱穩定性高之分析物，如有機農藥之萃取。

薄膜

薄膜為兩相之間具有選擇性的一種屏障，為綠色分析化學中分離與前濃縮技術之另一替代方案，主要可以分為過濾與萃取兩種類型。過濾型薄膜利用多孔性薄膜之孔洞尺寸大小之差異，以及薄膜兩邊的壓力差，作為驅動力以達到分離的效果；萃取型薄膜則使用非多孔性薄膜，是利用濃度差作為驅動力。近年來薄膜技術除發展出新穎的環境採樣，如透析外，亦利用含有環己烷的聚丙烯薄膜袋應用於水溶液樣品中有機氯化物之萃取研究。

2-4 綠色之自動化及流動技術

自動化分析可以減少樣品使用量及消耗溶劑及試劑，更重要的是可綠色化現行之分析方法。精密的自動化系統，簡單者如自動進樣系統結合積分儀所組成的分析系統，複雜者如經晶片驅動或電腦完全控制之流動注入分析 (Flow Injection Analysis, FIA)、連續式流動注入分析 (Sequential Flow Injection Analysis, SIA) 及多通道流動系統 (Multicommutation Flow System)。

流動注入分析及連續式流動注入分析技術

流動注入分析系統 (FIA)，樣品經注入內含反應試劑之載流通道內，經擴散並與試劑反應混合後，再流至偵測器。典型的FIA 偵測器有電化學分析儀及分光光度計。藉由控制樣品注射及流速，使樣品到達偵測器的時間能夠精密及準確的反應出來，故不需等待化學反應完全平衡即可得到分析結果，優點為減少

雜訊的干擾及得到高再現性之訊號。典型的FIA 樣品注射量約為10 - 100 μL ，流速約為1~2 mL/min，平均每分鐘可分析1~2 個樣品。最近的文獻報導指出增添固相反應劑於FIA 中(如利用陰離子交換樹脂分離干擾物質)，有助於分析水中之硝酸鹽 (Nitrate)。其他應用如：使用Potassium Periodate 及Luminol 當作固定試劑 (Immobilized Reagents) 填充於管柱中，利用化學發光法分析殺蟲劑陶斯松 (Chlorpyrifos)，或使用Hg(SCN)₂ 固定試劑分析水中之氯鹽 (Chloride) 等研究。簡單的FIA方法，亦可應用於光降解反應槽，將分析完之廢液去毒化。循環式FIA 法為近年發展之新興技術，利用回收試藥溶劑，減少毒性物質的排放與使用。相關之應用如使用Arsenazo III 分析鉛離子之研究，所形成之錯合物 (Arsenazo III-Pb²⁺)，利用陽離子交換樹脂 (Cation Exchange Column) 對於鉛離子有較強之錯合能力，將重金屬置換並收集於樹脂上，同時再生使用Arsenazo III，進而減少Arsenazo III 的使用及重金屬污染之產生。FIA 近年來多以連續式流動注入分析 (以Potassium Periodate 及Luminol 填充於樹脂管柱中，串連FIA 系統。線上FIA 分析串連光降解之反應器系統示意圖。

SIA) 的方式出現。主要係將樣品試劑以區帶 (zones) 的方式連續注入。此外可藉由可逆式流動路徑 (Reversible Flow Paths) 及加速流動 (Flow Acceleration)的方式，提升樣品/試劑到達偵測器前之混合效率。一般 SIA 所使用之試劑及載流溶液大約是FIA 的十分之一。最近之文獻亦報導延伸應用該技術至濁度法 (Turbidimetry)，利用磷酸鈣結晶及抑制碳酸鈣沈澱定量尿中磷酸鹽之含量，另外的延伸應用，則結合SIA 與線上超音波萃取水體及尿液中汞。

多通道流動系統

多通道切換分析系統係利用切換多路的螺線管式電磁閥 (solenoid valves)，提升流動路徑更靈活變化，所消耗的試劑明顯少於FIA，相關研究如將多通道切換分析系統自動化結合分光光度計分析糖精中之環己基(代)磺醯胺酸鹽 (Cyclamate，又稱甜精)。Cyclamate在酸性環境下與過量的亞硝酸鹽反應，而未反應的亞硝酸鹽，再以碘滴定後經分光光度計定量，其可有效地減少碘化鉀之消耗少於3 mg。另一研究則使用長徑光學槽 (Long Path Length Optical Cell) 於多通道切換分析系統，分析水中酚 (Phenol)。由於搭配使用長徑光學槽，可促使 $K_3[Fe(CN)_6]$ 氧化酚與4-Aminoantipyrine 的反應充分進行。相較於傳統的分析，不僅可以大幅減少反應試劑與樣品體積外，亦可不需使用氯仿，先行預濃縮的前提下，仍可維持足夠之靈敏度。以陽離子交換樹脂同時進行試劑再生及重金屬捕集之循環式 FIA。可逆式SIA 結合線上超音波萃取與FIA 系統。長徑光學反應槽串連多通道切換分析系統。

綠色現場分析技術

理想之綠色分析必須符合與分析相關之綠色化學原則，如現場分析、不經採樣過程、不添加試劑等。美國環保署現正在推動創新的三合一概念 (The Triad Approach)³⁵ 涵蓋內容有：系統性的規劃 (Systematic Planning)、動態工作策略 (Dynamic Work Strategies) 及實時量測系統 (Real-time Measurement Systems)，有助於前瞻性方法開發之決策與評估。其中又以即時量測技術為綠色分析化學之首要，典型的現場 (直接的) 分析方法，如先前提及的X 射線螢光光

譜 (XRF) 及衰減全反射-紅外光 (ATR-IR)。其他正在發展的新技術，如實驗室單晶片 (Lab-on-a-chip) 技術、線上分析 (Online Analysis) 技術、即時監測技術 (Real-time Monitoring) 及現場用感測器 (Field Sensors) 等，都很符合綠色概念之實時分析技術。此外，現場即時前濃縮技術亦係符合綠色化學之概念，如前述所提使用固態吸附劑之 SPE 或 SPME 技術，可在現場即時萃取濃縮、且儲存樣品，之後運回實驗室進行分析。近年亦有使用 SPME 於現場直接採集揮發性有機物 (VOCs) 樣品，搭配火焰離子化氣相層析儀 (GC-FID) 進行分析之概念。其他現場分析技術如生化分析上常使用之微流體元件 (Microfluidic Devices) 及實驗室晶片 (Lab-on-a-chip) 技術，雖已有許多商業化的產品上市，但由奈米科技的發展與微型化快速分析之趨勢，此一領域仍然有相當大的發展空間，如：毛細管電泳微晶片、On-chip SPE 微流體裝置及薄膜植入式實驗室晶片 (Membrane implanted Lab-on-chip) 等技術之開發。

縱觀前述各種綠色的萃取與濃縮技術，仍脫離不了煩雜前處理流程，使用強酸強鹼溶劑、高耗能，容易引起工安事件且產生實驗室廢棄物處理問題，因此本研究專題概念主要係針對綠色分析方法的建立，以直測分析、樣品體積減量、現場 (in-situ) 分析、乾式樣品製備、零溶劑 (solvent free) 技術、氣密容器、連線技術 (Hyphenated techniques)、微型化與自動化為原則，開發或是改善現有的分析方法。因此綠色分析化學的最終目標，是降低分析過程中所產生的有害廢棄物與化學物質，進而使的這些分析方法能更安全衛生的被使用，並友善操人作員與自然環境。

2-5 我國對綠色化學之因應趨勢

我國也於2006年因應國際趨勢，由行政院國家科學委員會自然處下之化學推動中心籌備「綠色/永續化學網路資源共享網」之網站，在國內十餘位教授與中央研究院的協助下，由中央研究院化學所製作為網站。該網站主要推廣台灣之綠色/永續化學，以資源共享之方式架構而成，收集相當多有關綠色/永續化學的資料、應用實例、書籍、新聞和網站並提供連結。網站內容依性質區分成教育 (Education)、合成 (Synthesis)、催化 (Catalysis)、新/零溶劑系統 (New/no solvents systems)、反應能源 (Reaction energy source)、生物資源 (Biomass)、分析發展 (Analytical advance)、毒物學 (Toxicology)、綠色工業化學製程 (Green industrial chemical processes)、其他 (Miscellaneous) 領域等；定期更新加入最新之資料，內容更臻於完善，歡迎同好者提供資料，使用者能從此網站上得到許多寶貴資訊，藉由此網站做為媒介，讓國人能夠認識綠色/永續化學、了解其重要性，更能推動國內之綠色/永續化學之落實與研究。

第三章 材料與方法

3-1 汞

汞，又稱水銀，是銀白色液態金屬，是周期表上第 80 號元素，也是唯一中文名稱不帶金字旁的金屬。它的化學符號 Hg 取自拉丁文 hydrargyrum（水銀），英文名 mercury 則來自羅馬神話中跑得很快的信使神（水星也叫 Mercury，同樣的典故）。化學元素中只有極少數是在自然界以游離狀態（元素狀態，非化合物）存在，如金、銀、硫等，汞也是其中一種。但是游離的汞不多見，藏量多的是硫化汞等化合物。

汞是唯一在常溫下呈液態的金屬，其性質如下：

原子序：80

原子量：200.59

熔點(°C)：-38.87

常溫常壓下的狀態：液態

氣化點(°C)：356.58

比重：13.546

其化學活性高，能形成多種無機和有機的化合物，也能和多種金屬形成合金。汞的用途非常多，例如，液態元素的汞用在溫度計和血壓計中；日光燈管裡用的是氣態的汞；傳統的紅色顏料硃砂是汞的硫化物；外傷消毒的紅藥水是汞的有機化合物；補牙的銀粉是汞的合金。有些電池裡含有汞，而化學工業上也大量使用汞做為電解用的電極。

汞使用歷史

汞和它的合金、化合物的應用，在東西方都有長久的歷史，可以推到人類文明開幕的時代。地中海沿岸在紀元前 5 世紀就已使用汞和硃砂。中國商代的甲骨文（紀元前 11 世紀）上就有硃砂描畫。汞能在常溫和其他金屬形成合金，統稱汞齊。英文裡面也有個專稱汞合金的字 amalgam。很早就用這個特性來採金礦，方法是把礦石和汞混合，使金溶於汞成為汞齊，濾去砂石，把汞齊加熱使汞蒸發，就得到純金。

金汞齊的另一個應用是在銅器上鍍金，稱為鑲金。方法是把金汞配成大約一比七的泥狀汞齊，可以抹在銅器表面上，然後加熱蒸去汞，就留下一層金膜在銅器表面，再打磨光亮。鑲金法在西方最早的紀錄是紀元前 1 世紀，中國最早的出土鑲金器則是戰國時代的。鑲金一則增加美觀，二則保護銅器不受腐蝕，三則可以做出花樣。千百年來，這種工藝產生了無數的精品，被世界各地的博物館和私人收藏。然而鑲金法跟用汞齊法煉金一樣，會產生有毒的汞蒸氣。如今在金屬器物上鍍金，有其他較安全的方法，因此鑲金很少人做了。雖然汞在自然界有游離汞，但數量不多。較多的汞原料是汞的化合物，特別是硫化物（ HgS ）。把硫化汞加熱，可使汞還原為蒸氣，冷凝就得到金屬汞。方法很簡單，但也有汞蒸氣中毒的風險。

硫化汞就是硃砂（朱砂、丹砂或辰砂），是傳統的紅色顏料，它的使用比金屬汞更早。南美洲的印地安人知道用它做顏料，中國人在商朝就知道用它在

甲骨上描畫。硫化汞的艷紅長久受人喜愛，歷來普遍用在繪畫、建築物的彩繪、印泥等方面。中國文人用毛筆蘸硃砂批改文卷，皇帝用來批奏摺。科舉考試最高階的殿試，為了避免閱卷者辨認考生的筆跡，先派人用硃砂墨抄錄考卷，才給考官評閱。這樣的考卷因而叫做硃卷。用來刻印章，做工藝品的雞血石，其中的紅色也是硫化汞。

金屬汞的用途

金屬汞普遍用在溫度計和血壓計上。如今因為汞的毒性，要禁止家庭用汞溫度計了。但是醫療場所還是用水銀的溫度計和血壓計，因為這些都是使用多年，精確可靠的儀器。牙醫補牙用的銀粉，是汞、銀、錫、銅等的合金。汞和其他的成分分開包裝，使用時混合，填進牙齒的蛀孔。汞的表面張力很大，不會沾黏一般的物質，會形成圓珠，受重力而滾動，因此有「水銀瀉地，無孔不入」的說法。利用這個性質，水銀可以做成電路的開關。它是唯一能滾來滾去的導電液體，能和任何形狀的固體電極接觸分離。汞的導電性不如金銀銅鋁，因此多用在小電流的繼電器等器件上。當然，電極不能用金銀等會形成汞齊的金屬。把微量的汞封進安裝有電極的玻璃管中，電極放電，汞受熱而蒸發成氣體，充滿在玻璃管中。汞原子受放電激發時，發出紫外線和某些可見光。這些射線可以直接利用，例如做為紫外線光源。但是如果在玻璃管內壁塗一層螢光粉，螢光粉受到紫外線的打擊，發出可見光，這就是常用的日光燈。不論長條狀的還是螺旋狀的，日光燈都是照這個原理運作的。

汞化學性質和化合物

除了前面說過的硃砂之外，常見的汞的無機化合物有氯化亞汞（ HgCl ），又稱甘汞，有殺菌作用。氯化汞（ HgCl_2 ）又稱昇汞，是一種腐蝕性極強的劇毒物。雷汞（ $\text{Hg}(\text{ONC})_2$ ）是敏感又猛烈的炸藥，受到碰撞、摩擦或加熱就發生爆炸，常用做起爆藥。汞的有機化合物也很重要。處理外傷時常用的紅藥水，就是汞的有機化合物紅溴汞（又稱紅汞，mercurochrome，也稱 merbromin， $\text{C}_2\text{O}_8\text{O}_6\text{Br}_2\text{HgNa}_2$ ）的水溶液。

甲基汞（methylmercury 或 methyl mercury， $[\text{CH}_3\text{Hg}]^+$ ）是一種有毒的物質。它本身沒有什麼用途，但是從化工廠、焚化爐、燃煤等都能產生這種危險的污染物，散逸在空氣、河川、湖泊中，因此備受關注。二甲基汞（dimethylmercury， $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ ）毒性更高，人經由皮膚吸收微量就可致死。

汞的化學性質不如鋅和鎘活潑，在加熱至沸騰的條件下，汞才緩緩地與氧作用，生成氧化汞，但在 500°C 以上時，氧化汞又會分解成氧氣和汞。汞與硫粉直接研磨即可生成硫化汞；汞不與稀酸反應，只溶於熱的濃硫酸或硝酸中。汞的另一個特性是它能溶解許多金屬形成汞齊。由於汞具有流動性，體積膨脹系數均勻，故用來製作水銀溫度計；又因密度大，蒸氣壓低，可製造氣壓計、血壓計、電子開關等。而汞的蒸氣在電弧中能導電並輻射出高強度的可見光和紫外線，可作太陽燈。鋅與氧化汞可製得電壓相當穩定的水銀電池。

汞的用途：在舊式生產氯和燒鹼（ NaOH ）的過程中使用汞齊法，但此法因有汞

的污染疑慮，現多已改採用隔膜法。另在牙科及醫藥上也使用汞合金及汞的化合物。但汞及其化合物大多有毒，汞元素對人體是有害的。汞蒸氣吸入人體會產生慢性中毒。若不慎將汞撒落至地面上時，需儘量收集，殘留的汞撒上硫粉使其轉變成硫化汞再回收。

汞毒性和環保

汞和它的化合物對人和動物都有劇毒，會損害神經系統，可能致命。歷史上多有中汞毒的記載，但當時的人不一定知道兇手是汞。

《夢溪筆談》載：「余中表兄李善勝，曾與數年輩煉砂為丹。經歲余，因沐砂再入鼎，誤遺下一塊，其徒丸服之，遂發憎冒，一夕而斃。硃砂至涼藥，初生嬰兒可服，因火力所變，遂能殺人。以變化相對言之，既能變而為大毒，豈不能變而為大善？既能變而殺人，則宜有能生人之理，但未得其術耳。以此和神仙羽化之方，不可謂之無，然亦不可不戒也。」可見宋人並不知道汞的毒性，只以「硃砂至涼藥」解釋這件中毒事件。

著名的童話故事《愛麗絲夢遊奇境記》裡面有個角色叫「瘋帽匠」。過去西方人做氈帽的過程中要用到硝酸汞處理動物的毛，使它容易黏結成氈。帽匠往往慢性中毒，導致言行舉止異常。因此英文裡有「瘋得像個帽匠」（mad as a hatter）一詞，用來形容暴怒的人。

在中國唐朝就有使用銀錫汞齊補牙的記載。西方人「發明」用銀粉補牙，進而普遍應用也有一百多年。歷來不斷有人質疑銀粉的安全性，畢竟這是放進嘴巴裡面的，到底會不會漸漸釋出汞？脫落了吞下去怎麼辦？但是吵來吵去，銀粉的危險性還是沒有定論。雖然有些國家已經禁止用銀粉補牙，但大部分的國家還是頂多不鼓勵不提倡而已，銀粉還是非常好用的補牙材料。

如今我們對汞的毒性有較充分的了解，因此也有較完備的安全規範。人吸入揮發在空氣中的元素汞會中毒，環保局訂的安全含量是 0.5 mg/m³。如果打破一支汞體溫計，其中所有的汞通通揮發在一間房間裡，那麼汞含量會遠遠超過這個安全值。但是如果立刻處理打破的體溫計：用麵粉等粉末吸取汞，掃進塑膠袋裡，連打掃的工具一起密封交專業回收者，則汞不會全部揮發。如果房間不是密閉的，通風良好，這種打破的體溫計不會造成危害。打破了日光燈管也是一樣，散到空氣中的汞是微量的，這種事件不會一兩次就要人命。我們該注意不要經常大量發生，並且要推廣專業的回收。

無機汞化合物中毒的例子，如前述的服食含硃砂的丹藥及中藥。煉丹是過去的事了，而用硃砂配方的中藥，近年在臺灣也禁止了。它們的藥效和替代中藥的比較，牽涉太廣，這裡就不討論。

有機汞化合物中毒，最有名的事件發生在日本漁村水俣。當地的化工廠排出的廢水含有甲基汞，在海水中經過食物鏈的濃縮，當地的魚就累積了大量的甲基汞。魚本身行動異常，吃了魚的人和貓也跟著病倒，無法控制動作，甚至

肢體扭曲萎縮。相當高比率的病人死亡，因而有「水俣病」(Minimata disease)之稱。這個案子不是突發事件，而是延連數十年的研究和抗爭。化工廠建立於1908年，病情引起注意，找到禍首甲基汞已是1950年代，其後是種種的求償、抗爭、政治角力，而整個事件落幕，則是1976年。總計登記有案的受害者2,265人，其中1,784人死亡。比甲基汞更毒的是二甲基汞。有個近年的個案：美國Dartmouth College的化學教授Karen Wetterhahn，專攻毒物學，做實驗時不慎灑了些二甲基汞在手上。她當時帶著乳膠手套，但是沒有人知道二甲基汞能滲過乳膠手套被皮膚吸收。幾天後她感覺不適，住院治療。醫院診斷出發病的原因，但是無法排毒救命，終於不治。這件事警告我們，做實驗千萬要注意安全。還有，Wetterhahn教授享年48歲，是正教授，當過院長，可是她還親手做實驗！中年以上的人當記得，紅藥水曾是家庭、醫務室、醫院診所必備的外傷藥，也是舞台上充當血液的道具。由於含汞，如今有些國家已禁用（如美國）。臺灣還沒有禁，但是不多見了。傷口殺菌，大都改用優碘。從前沒有優碘，用碘酒（碘酊），可是碘酒擦上傷口會引起劇烈的刺痛，紅藥水則不會。優碘是不含汞又不具刺激性的殺菌劑。工業用的汞和它的化合物，以及廢電池、日光燈管等，都有可能污染環境。控制污染的第一步是要能檢測污染物。汞的檢測基本上利用汞的物理化學性質，跟探測其他元素差不多，可使用原子吸收光譜等方法。但是汞能和金形成汞齊，卻提供了一個很特別的測汞法：把一片金箔暴露在待測的空氣中，量金箔的電阻。若空氣中有元素汞，則汞吸附在金箔上會使電阻增高。經過校正，就可以從電阻換算成空氣中汞的含量。

汞的回收已經進行多年，近來越來越受人注意，因為要回收的東西越來越多，體溫計就是一個新加的項目。日光燈管的回收是大規模的工業，不但回收汞，也回收玻璃、金屬、螢光粉等。在目前最火紅的「節能減碳」口號之下，用水銀產生螢光的省電燈泡已經普遍風行。跟鎢絲做的白熾燈相比，「能」是節了，發電的「碳」也減了，但是也提高了汞的使用量。若是回收工作不好好做，麻煩還在後頭。若是好好做，那也是要耗能的，要用碳的。

汞與人類的互動已有三千多年的歷史，對人類的貢獻多而且廣。人類現在了解它的毒性，因而對它敬而遠之，避之唯恐不及。其實汞的好處應該多於壞處，妥善應用才是正道。對有害的物質，人們一貫的做法是尋求替代品。金屬汞的溫度計和壓力計是最準確的，無可取代。在不需要精準時，自然可以用其他的儀器取代，例如家庭用的耳溫槍，又方便又快又安全。電池用汞，化工上電解法製造苛性鈉用汞做電極，都已有替代方案。補牙有高分子材料可以代替銀粉。內服的中藥已經明令禁止用硫化汞，有替代配方了。至於不放進嘴裡的硃砂顏料，應該沒有安全顧慮。

照明方面，用汞取代鎢是個滿特別的現象。這裡不但不能限汞，反而還要提倡用汞，才能節省用電。目前配套的唯一方案是努力回收。不然，就要把日光燈也禁掉，寄望於發光二極體（LED）等的光源了。

3-2 現行公告汞之檢測方法

目前國家標準、環保署或衛生署所訂定檢驗法中有關汞含量的檢驗法與發行或改版日期，如表 3-1，這些檢驗法可適用於常見的商品、食品、水質、廢棄物、及排放管道。

方法編號	標準名稱	發行日期
CNS 2770-19	飼料檢驗法（汞之測定）	75.08.04
CNS 10762	化粧品中汞試驗法	73.01.14
CNS 11942-16	銅中汞定量法	81.12.28
CNS 13109	水中總汞檢驗法	70.05.27
NIEA W330.52A	水中汞檢測方法—冷蒸氣原子吸收光譜法	95.02.15
NIEA R315.01B	乾電池汞、鎘、鉛含量檢測方法	91.03.05
NIEA R314.12C	事業廢棄物萃出液中總汞檢測方法—冷蒸氣原子吸收光譜法	95.02.15
NIEA M318.00C	固體與液體樣品中總汞檢測方法—熱分解汞齊原子吸收光譜法	94.09.02
衛生署	食品中重金屬檢驗方法 — 汞之檢驗（一）	—
衛生署	食品中重金屬檢驗方法 — 汞之檢驗（二）	—

表 3-1 汞含量的檢驗法

3-2-1 汞含量檢驗方法之原理有：

3-2-1-1 冷蒸氣原子吸收光譜法：

樣品先經硝酸及硫酸混合液或其他酸氧化處理，樣品中之汞便轉化成 Hg^{2+} ，試液中的汞離子以還原劑(SnCl_2 或 NaBH_4 等)還原成汞原子，經由惰性氣體連續吹送至長形吸收管，以原子吸收光譜方式在波長 253.7nm(或其他汞之特定波長)處，測其吸光度並換算成汞含量，化學反應式為：



其裝置如圖 3-1：

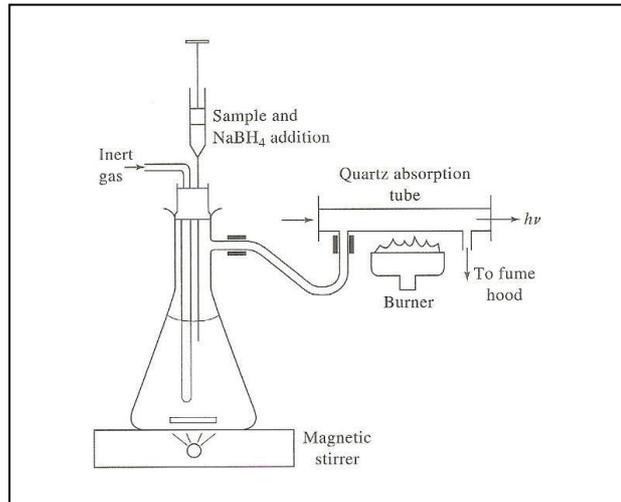


圖 3-1 原子吸收光譜儀之氫化物產生及原子化系統圖

3-2-1-2 原子螢光光譜法：

試液中的汞離子以還原劑還原成汞原子，經由氣體載送至吸收管，以原子共振螢光方式在波長 253.7nm(或其他汞之特定波長)處，測其吸光度並換算成汞含量，化學反應式為：



3-2-1-3 熱分解汞齊原子吸收光譜法：

固體與液體樣品置於可程式控制之氧氣分解爐（Oxygenated decomposition furnace）中，經乾燥及熱與化學分解，使汞從樣品中釋出，分解後之產物隨即被流動的氧氣載送到含金之汞齊器（Amalgamator），其中汞即可被選擇性地捕集。捕集系統續經氧氣流沖洗，去除殘留氣體或分解產物後，接著快速升溫，以使汞蒸氣釋出。攜帶汞蒸氣的氧氣流最後通過單一波長原子吸收光譜儀光徑上之吸收槽，由 253.7 nm 波長之吸收值（波峰高度或面積）與汞濃度之函數關係，求得樣品中汞的濃度。熱分解汞齊原子吸收光譜法，化學反應式為：



3-2-2 汞金屬檢測前處理消化方法：

行政院環境保護署於 91 年 1 月 18 日起實施之「土壤檢測方法總則」規範土壤檢測之參考方法，其中汞金屬以前處理消化方法使待測金屬成溶解性離子狀態，再選用原子吸收、原子發射或質譜法加以分析，其前處理消化方法，有：

3-2-2-1 王水消化法：

土壤樣品以王水在室溫下靜置萃取 16 小時後，再加熱至沸騰迴流 2 小時消化處理。方法步驟：

- 1、取土壤樣品約 3 g (精秤至 1 mg)，置於 250 mL 反應瓶中。
- 2、先以 0.5 至 1 mL 水潤濕樣品。
- 3、緩慢加入 21 mL 濃鹽酸，再慢慢加入 7 mL 濃硝酸，搖盪充分混合均勻。若樣品加酸會產生強烈氣泡，則需小心逐滴加入。

註：上述步驟中所加入王水的量只能消化 3 g 土壤中約含 0.5 g 的有機碳。若有機碳含量超出此限制，則需進行下述步驟：待加入王水反應緩和。以每 0.1 g 有機碳需 1 mL 硝酸的量，額外加入樣品中超出 0.5 g 有機碳以外所需的硝酸。加入的額外硝酸量不得超過 10mL，且須使反應進行後再接下述步驟。

- 4、將迴流冷凝管及反應瓶順序裝置。在室溫下靜置此裝置 16 小時，可適時將反應瓶搖晃使充分反應之。
- 5、緩慢加熱溶液至迴流溫度，使溶液在沸騰狀態下維持約 2 小時。加熱程度保持迴流區域在冷凝管高度三分之一以下。
- 6、冷卻樣品至室溫後，以約 10 mL 0.5 M 稀硝酸沖洗冷凝管，並收集於反應瓶中。
- 7、將反應瓶中溶液倒入 100 mL 量瓶中，以 0.5 M 稀硝酸沖洗反應瓶，並收集於此量瓶中，再加水至標線，加蓋並搖勻。
- 8、待不溶物沈降後，取上澄液分析。若不溶物不易沈降，需藉過濾、離心等方法移除，以免在霧化時堵塞原子吸收光譜儀之噴霧裝置或其他分析儀器之樣品進入裝置。

1.過濾：用中等細孔（如 Whatman No. 40 或同級品）濾紙過濾。

2.離心：將操作步驟（八）之溶液，於 2,000 至 3,000 rpm 轉速下
離心 10 分鐘，使上層液澄清。

9、樣品消化之溶液，直接使用感應耦合電漿原子發射光譜儀或感應耦合電漿質譜儀，應符合該儀器方法品管規範。樣品濃度過高需要稀釋時，應保持與檢量線標準溶液相同之酸度。

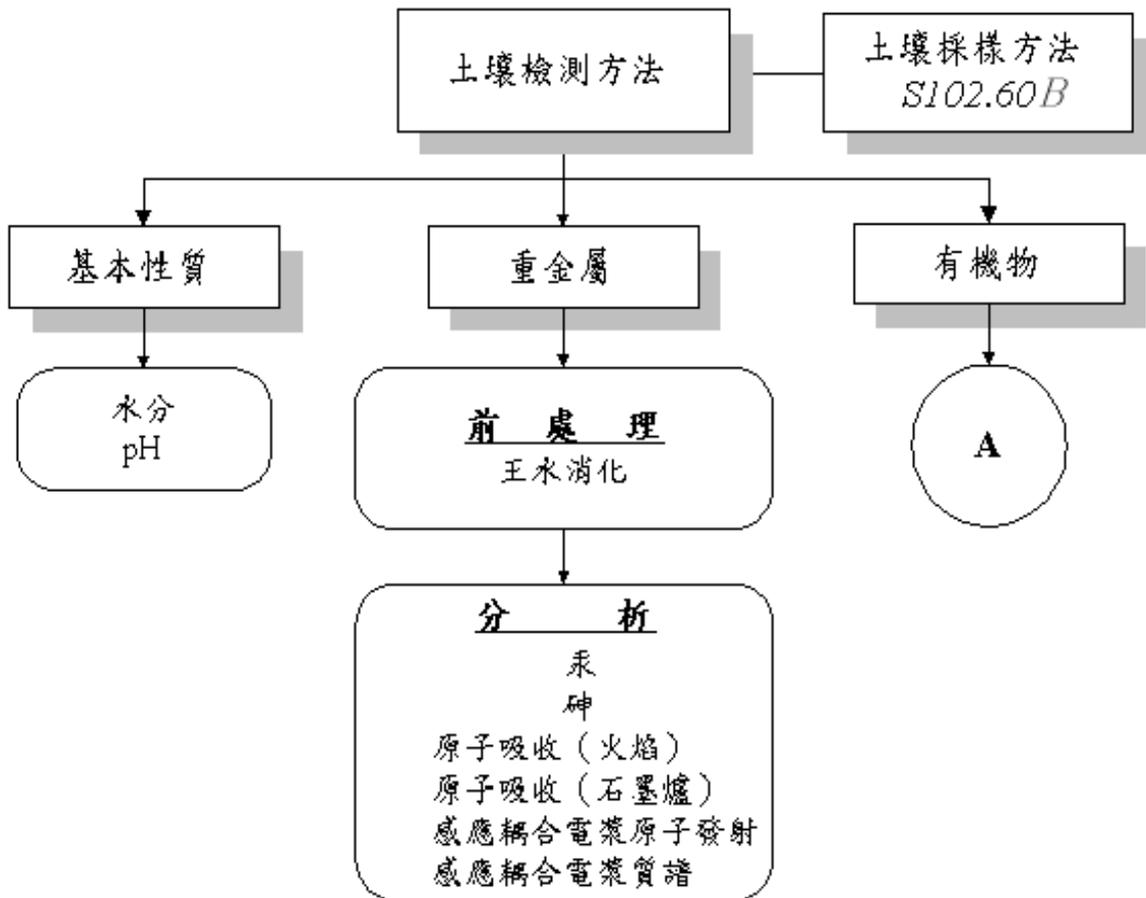


圖 3-2 土壤王水消化方法流程圖

3-2-2-2 硫酸、硝酸及高錳酸鉀消化處理（樣品前處理）

1. 連續式汞蒸氣系統

(1) 精取 50.0 mL 或適量水樣置於容積至少為 250 mL 之反應瓶中。

(2) 加入 2.5 mL 濃硫酸與 1.3 mL 濃硝酸於每個反應瓶並混合均勻。

(3) 添加 7.5 mL 或適量高錳酸鉀溶液於每個反應瓶，靜置至少 15 分鐘

若紫色褪色則再加高錳酸鉀溶液直至顏色不褪。空白試劑與標準溶液須加入等量的高錳酸鉀。

(4) 添加 4 mL 過硫酸鉀溶液於每個反應瓶，置於 95 °C 之水浴中加熱 2 小時後，取出並冷卻至室溫。

(5) 添加足夠的氯化鈉—硫酸羥胺溶液於各個反應瓶，以還原過剩的高錳酸鉀，直到顏色消失為止，每次加入時輕搖反應瓶使完全反應均勻。

等候至少 30 秒直到顏色消失為止（註：因可能有氯氣會釋出，在抽氣櫃中操作此步驟）。

(6) 將溶液移入 100 mL 量瓶中，加試劑水至標線後，依據儀器操作說上機分析。

2. 批次式汞蒸氣系統

(1) 精取 100.0 mL 或適量水樣置於容積至少為 250 mL 之反應瓶中。

(2)加入 5 mL 濃硫酸與 2.5 mL 濃硝酸於每個反應瓶並混合均勻。

(3)添加 14 mL 或適量高錳酸鉀溶液於每個反應瓶，靜置至少 15 分鐘

若紫色褪色則再加高錳酸鉀溶液直至顏色不褪。空白試劑與標準溶

亦須加入等量的高錳酸鉀。

(4)添加 8 mL 過硫酸鉀溶液於每個反應瓶，置於 95 °C 之水浴中加熱 2

小時後，取出並冷卻至室溫。

(5)添加足夠的氯化鈉—硫酸羥胺溶液於各個反應瓶，以還原過剩的高

酸鉀，直到顏色消失為止，每次加入時輕搖反應瓶使完全反應均勻

等候至少 30 秒直到顏色消失為止（註：因可能有氯氣會釋出，在

氣櫃中操作此步驟）。

(6)在上機前再分別加入 5 mL 氯化亞錫或硫酸亞錫溶液於反應瓶並迅速

連接樣品瓶至通氣裝置。

注意事項：

1.分析海水、含鹽類水及高氯鹽放流水時，在氧化過程須使用 12.5 mL

錳酸鉀溶液，此類水樣並應使用 12.5 mL 的氯化鈉—硫酸羥胺溶液

以克服自由氯之干擾。

2.冷蒸氣原子吸收光譜儀分析樣品時，樣品序列間殘餘的氯化亞錫會導

次一樣品中汞的還原及流失，所以應更換導管及玻璃濾板。

3.每一水樣測定完成後，應以盛裝 1/100 (V/V) 硝酸溶液之反應瓶

替，清洗系統數秒鐘，再繼續測定其他水樣。

4.分析水樣時，應同時以試劑水作空白分析。

3-2-2-3 微波消化調製檢液：

取檢體約100 g均質，取約1 g，精確稱定，置於消化瓶中。緩緩加入五氧化鈮硫酸溶液10 mL，充分混合，放置2小時，再緩緩加入硝酸10 mL。接上冷凝管放置4小時，移入微波消化器中，以微波功率30 W加熱10分鐘，再以微波功率80 W加熱35分鐘，反覆加熱操作至分解液呈淡黃色澄清，靜置1-2小時冷卻，緩緩加入10%尿素溶液20 mL。充分混合，待反應完全，移入50 mL容量瓶中，以去離子水洗滌冷凝管及消化瓶，洗液併入容量瓶中，加去離子水定容，供作檢液。另取一消化瓶，加入五氧化鈮硫酸溶液10 mL，同樣操作，供作空白檢液。

註：檢體為固體時應以粉碎機均質為宜。

3-3 研究方法與流程：

本次專題研究進行方式，首先配製 10mg/L 之汞標準溶液，以此稀釋成 1mg/L 之汞標準溶液，再分別取不同體積之汞標準溶液，製作成低汞含量與高汞含量之檢量線。然後以熱分解汞齊原子吸收光譜法分別分析不同肥料樣品中汞含

量；此外，並探討此方法之適用性。

最後，比較並探討其與分析汞含量之冷蒸氣原子吸收光譜法與原子螢光光譜法之差異。根據前述實驗之結果，提出可行之建議方案，以改善目前所用的檢驗分析方法。

3-3-1 實驗之流程圖：

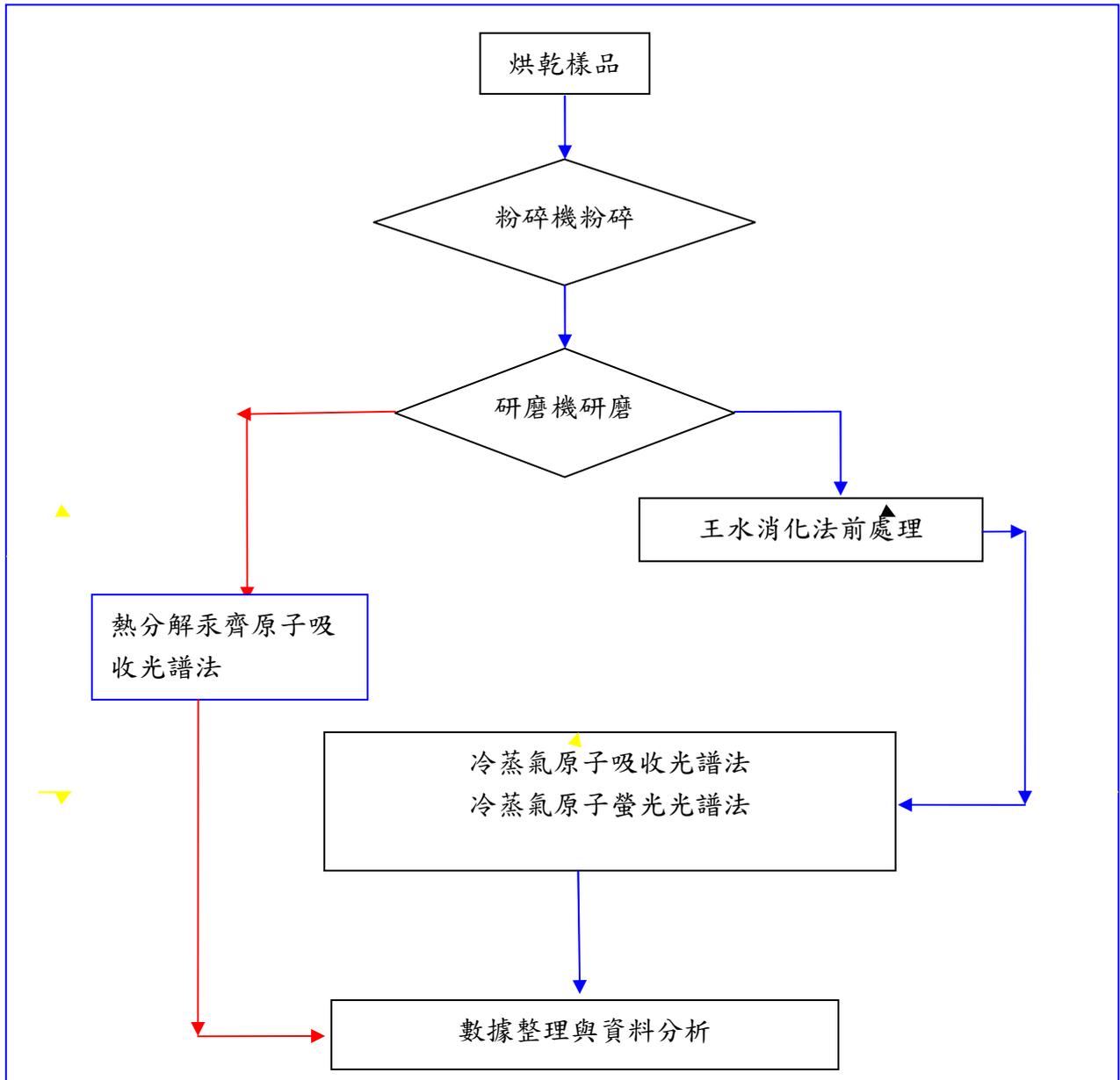


圖 3-3 試驗流程圖

3-3-2 汞標準溶液之調製

本次專題研究採用 High-Purity 與 CPI international 公司所販售濃度為 1000mg/L 的汞標準溶液。以 High-Purity 公司出品，濃度為 1000mg/L 的汞標準溶液，用 J.T. Baker 公司所售低汞含量 (3ppb) 之 69~70%硝酸稀釋成 5%硝酸，將前述汞標準溶液配製成 10mg/L 與 1mg/L 兩種濃度之汞標準溶液，加以繪製試驗之檢量線。

查核樣品則以 CPI international 公司所販售濃度為 1000mg/L 的汞標準溶液，同樣用 J.T. Baker 公司所售之硝酸稀釋成 5%，再配製成 10mg/L 與 1mg/L 兩種濃度之汞標準溶液。

器材與試藥：

- (a) 1000mg/L 之汞標準溶液 (High-Purity 公司出品)。
- (b) 1000mg/L 之汞標準溶液 (CPI international 公司出品)。
- (c) 69~70%硝酸 (Nitric Acid, HNO₃, J.T. Baker 公司出品)。
- (d) 1mL 定量吸管。
- (e) 10mL 定量吸管。
- (f) 100mL 量瓶。
- (g) 10~100 μ L 微量吸管。

試藥之調製：

- (a) 5%硝酸：取 20.5mL J.T. Baker 公司所售低汞含量 (3ppb) 之 69~70%硝酸，加去離子水 (D.I. Water) 定量至 1000mL。
- (b) 10mg/L 汞標準溶液：取 1mL High-Purity 公司出品，濃度為 1000mg/L

的汞標準溶液至 100mL 量瓶，加 5%硝酸定量至刻度。(供高汞含量檢量線用)

(c) 1mg/L 汞標準溶液：取 10mL 前項濃度為 10mg/L 的汞標準溶液至 100mL 量瓶，加 5%硝酸定量至刻度。(供低汞含量檢量線用)

(d) 10mg/L 汞查核樣品：取 1mL CPI international 公司出品，濃度為 1000mg/L 的汞標準溶液至 100mL 量瓶，加 5%硝酸定量至刻度。

(e) 1mg/L 汞查核樣品：取 10mL 前項濃度為 10mg/L 的汞查核樣品至 100mL 量瓶，加 5%硝酸定量至刻度。

3-4 熱分解汞齊原子吸收光譜法

3-4-1 適用範圍：

可於分析固態或液態樣品中汞之檢測，使用本方法可在無需樣品化學前處理情況下，偵測樣品中總汞（有機和無機）的含量，此方法總汞之儀器偵測極限約為 0.01 ng。

3-4-2 方法概述：

固體與液體樣品置於可程式控制之氧氣分解爐（Oxygenated decomposition furnace）中，經乾燥及熱與化學分解，使汞從樣品中釋出，分解後之產物隨即被流動的氧氣載送到含金之汞齊器（Amalgamator），其中汞即可被選擇性地捕集。捕集系統續經氧氣流沖洗，去除殘留氣體或分解產物後，接著快速升溫，以使汞蒸氣釋出。攜帶汞蒸氣的氧氣流最後通過單一波長原子吸收光譜儀光徑

上之吸收槽，由 253.7 nm 波長之吸收值（波峰高度或面積）與汞濃度之函數關係，求得樣品中汞的濃度，詳如圖 3-4 所示，圖 3-5 為 Milestone DMA-80 型熱分解汞齊原子吸收光譜儀的照片，圖 3-6 為裝有樣品之石英樣品載船（quartz sample boat），圖 3-7 為光譜儀之昇溫曲線。

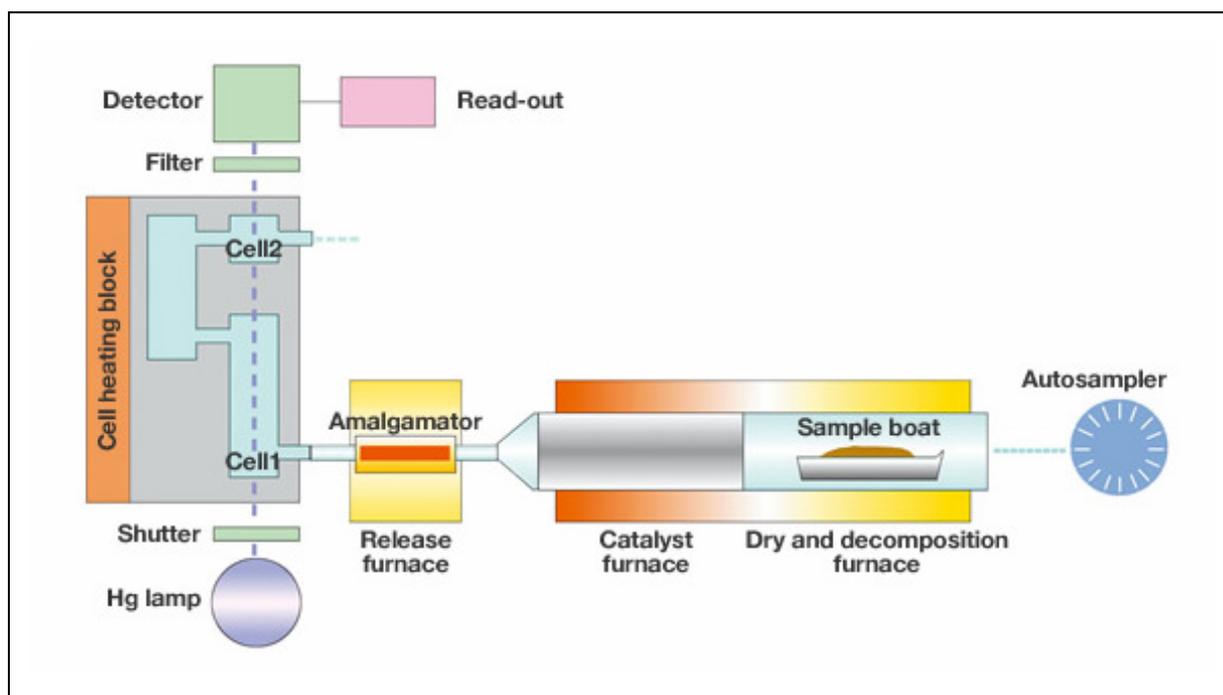


圖 3-4 Milestone DMA-80 型熱分解汞齊原子吸收光譜儀之系統圖



圖 3-5 Milestone DMA-80 型熱分解汞齊原子吸收光譜儀

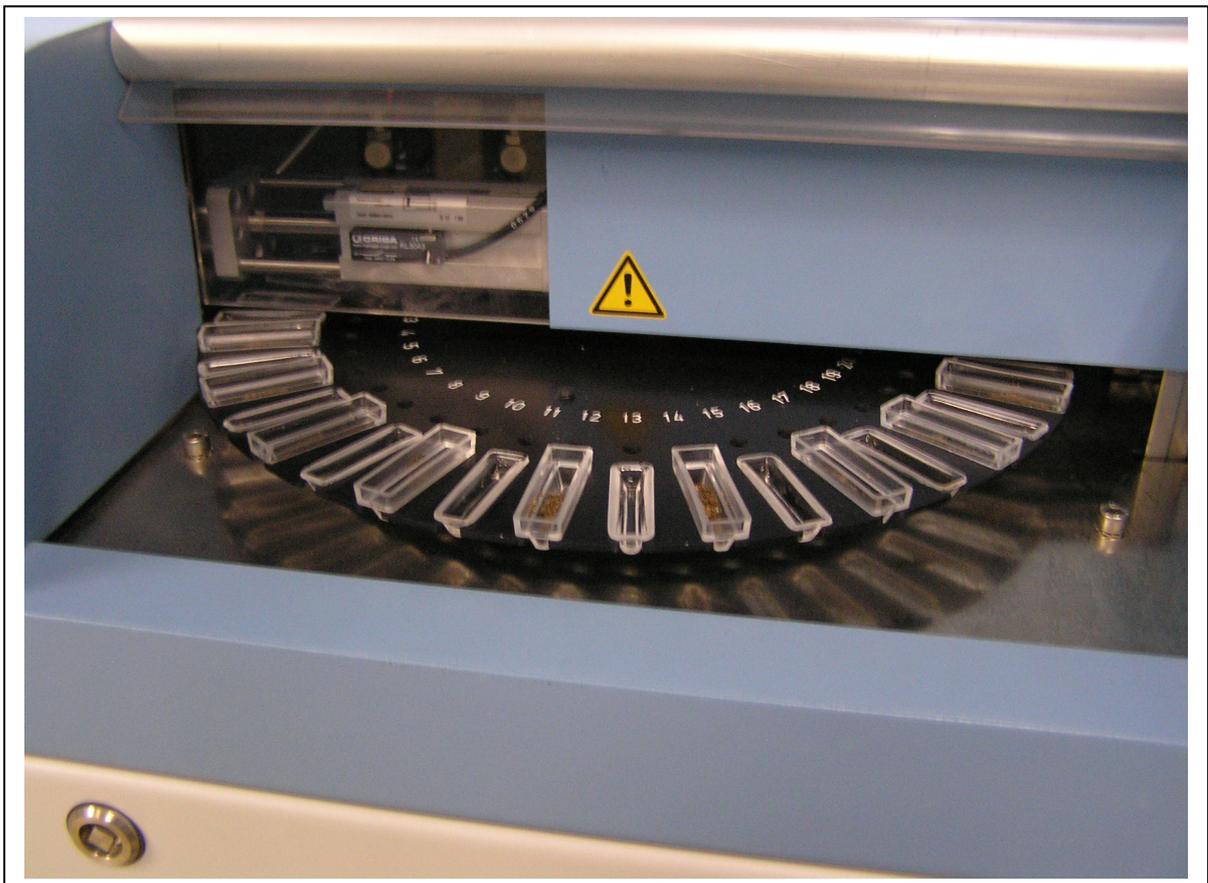


圖 3-6 裝有樣品之石英樣品載船

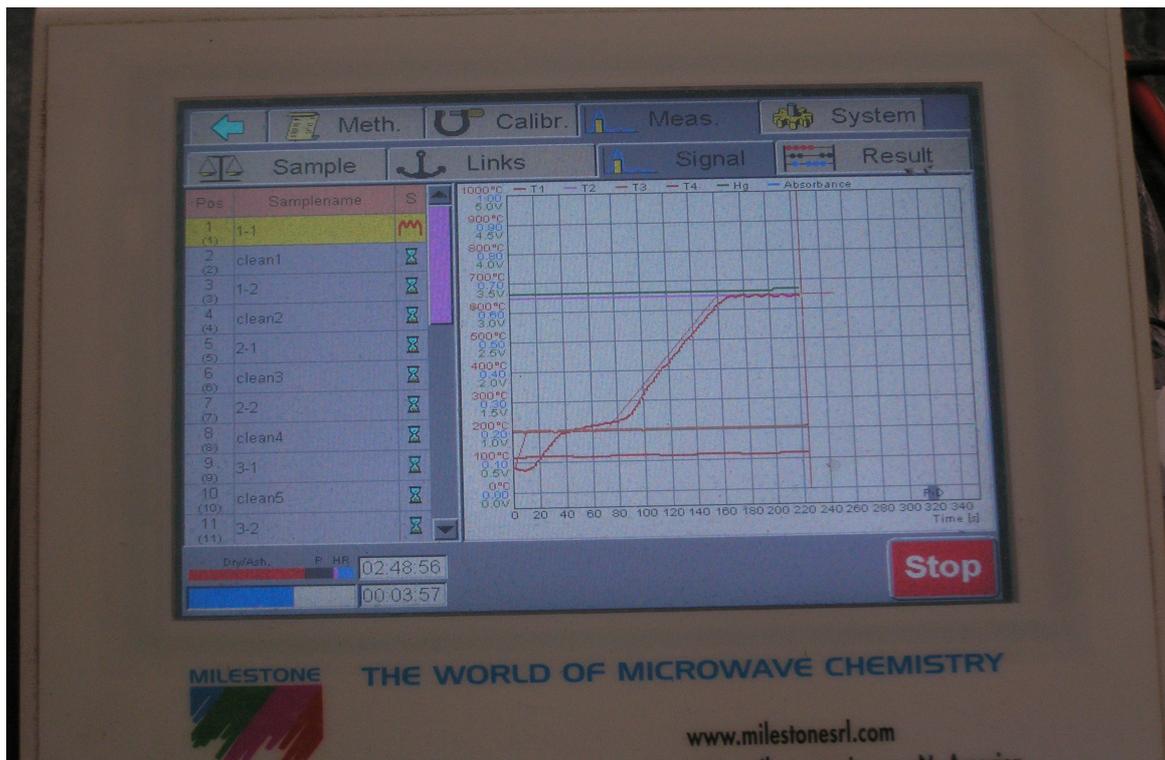


圖 3-7 光譜儀之昇溫曲線

3-4-3 試驗步驟：

(a) 樣品前處理

將固體肥料樣品予以粉碎或固體肥料樣品予以攪拌均勻。

(b) 檢量線製作

3-3-2 節所配製濃度 1mg/L 汞標準溶液，吸取不同體積置入採用熱分解汞齊原子吸收光譜法之汞分析儀的石英樣品載船內，分析汞含量藉以製作低汞含量（10ng~20ng）之檢量線，再以濃度 10mg/L 汞標準溶液製作高汞含量（20ng~1000ng）之檢量線。

(c) 檢量線查核

將 3-3-2 節所配製濃度 1mg/L 與 10mg/L 汞查核樣品（以不同於汞標準溶液之廠牌配製者），分別吸取一定體積置入汞分析儀的石英樣品

載船內，分析汞含量藉以算出回收率。

(d) 樣品汞含量（汞濃度）測定

將石英樣品載船置於天平上，並將天平歸零，肥料樣品放入載船內，待天平之讀值穩定後，點選觸控螢幕上之”天平”圖示，則重量值會自動傳送至汞分析儀內。其次將裝有樣品之石英載船拿起放入汞分析儀內。待全部樣品都秤妥重量並置於汞分析儀內，點選”Start”鍵，則汞分析儀會依所選定之方法(即昇溫條件)與檢量線，依序自動分析樣品內之汞含量。

(e) 樣品添加回收率測定

將固定量之汞查核樣品，分別加入肥料樣品內秤重，再送入汞分析儀，依設定之條件，分析添加汞查核樣品之樣品內的汞含量，藉以算出樣品之添加回收率。

第四章 試驗結果與討論

4-1 試驗樣品規劃

汞(Hg)標準溶液：

常用的市售汞(Hg)標準溶液有 High-Purity 與 CPI international 等廠牌，本次專題研究試驗之兩條檢量線採用 High-Purity 公司出品，濃度為 1000mg/L 的汞標準溶液，配製成 10mg/L 與 1mg/L 兩種濃度之汞標準溶液加以繪製，汞含量列於表 4-1。

試驗樣品：

試驗所用樣品為向本分局申請委託試驗所剩餘之肥料樣品，目前肥料重金屬前處理仍然採取王水消化法，因此可以為本研究試驗用樣品。肥料樣品共有 15 種，分別歸屬 15 種不同品目。

4-2 試驗結果整理

4-2-1 汞標準溶液之配製

本研究配製之汞標準溶液分別為：10mg/L 與 1mg/L、表 4-1 所列之數種不同汞含量配製的相關量測數據列於附錄 A-1。

表 4-1 繪製檢量線之汞含量表

配製用途	配製之汞含量 (ng)
檢量線用	低汞含量(Cell-1)：10.52、12.71、15.24、18.51、20.93
	高汞含量(Cell-2)：110.1、209、412.3、615.1、830.4、1040

4-2-2 檢量線製備

分析每一批樣品時，均製備新的檢量線，其製備包含一個空白樣品與數種不同汞含量。對於低汞含量之檢量線 (Cell-1)，由於汞含量變化不大採用線性迴歸，但高汞含量之檢量線 (Cell-2) 因其汞含量之涵蓋範圍很大，所以採用二次方迴歸，所得之相關係數 R 值均應大於 0.995。本次研究所採用分析肥料樣品中汞含量之方法為熱分解汞齊原子吸收光譜法，製備之檢量線數據列於附錄 A-1，由附錄 A-1 之檢量線可看出：(1) 低汞含量 (Cell-1) 之相關係數 0.9964、(2) 高汞含量 (Cell-2) 之相關係數 0.9999，兩者之相關係數 R 值均大於 0.995，符合一般實驗之要求。

4-2-3 查核樣品分析

本次研究所採用之查核樣品為 CPI international 公司出品之 1000mg/L 汞標準溶液，以 5 wt % 硝酸稀釋成 1mg/L 標準溶液，分別做為檢量線之查核樣品，查核樣品之回收率如下表所示，原始數據列於附錄 A-2。

表 4-2 查核樣品回收率

查核樣品 (目標值)	測量 次數	重量 Weight(g)	汞含量 Hg(ng)	測定值 R(mg/kg)	回收率 (%) (Recovery)	平均回收 率 (%)
1mg/L	1	0.02112	21.2368	1.0055	100.55	101
	2	0.02080	21.1861	1.0186	101.86	

註：回收率 = (測定值/目標值) × 100%

4-2-4 肥料樣品汞含量分析

本研究所測量之肥料樣品共有 15 種，分別歸屬 15 種不同品目，所測得之汞含量如下表所示，原始數據列於附錄 A-3 與表 A-3-2，其中附錄 A-3 部分資料 (99.12.23) 其汞濃度 R 經乘以校正因子 1.5702 換算成表 A-3-2 之汞濃度 R 欄位。

4-2-5 實驗對照組：

王水消化法後以感應耦合電漿質譜儀 (ICP) 檢測，肥料樣品共有 15 種，分別歸屬 15 種不同品目，原始數據由同仁提供，結果皆小於檢驗極限 0.1mg/kg (ppm)。

表 4-3 肥料樣品中汞含量

品目 編號	肥料 種類	測定 次數	樣品重量 , Weight(g)	所測得之汞 含量, Hg(ng)	濃度 , R(mg/Kg)	汞平均濃度 , R _{avg} (mg/Kg)
1-19	固態混合氮質肥料	1	0.05636	0.12358	0.0022	0.0021
		2	0.04962	0.09567	0.0019	—
3-01	氯化鉀肥料	1	0.08501	0.03588	0.0004	0.0005
		2	0.05875	0.02790	0.0005	—
3-02	硫酸鉀肥料	1	0.05906	0.11561	0.0020	0.0017
		2	0.06428	0.09169	0.0014	—
3-03	碳酸氫鉀肥	1	0.05863	0.21925	0.0037	0.0038
		2	0.06024	0.23520	0.0039	—
3-05	硫酸鉀鎂肥料	1	0.05096	0.03986	0.0008	0.0007
		2	0.09711	0.05182	0.0005	—
3-09	副產鉀質肥料	1	0.04671	0.03986	0.0009	0.0007
		2	0.05369	0.02392	0.0004	—
4-39	複合次微量元素肥料	1	0.05648	0.02790	0.0005	0.0004
		2	0.05947	0.01993	0.0003	—
4-40	液態複合次微量元素 肥料	1	0.05028	0.05182	0.0010	0.0014
		2	0.04806	0.07973	0.0017	—
5-01	植物渣粕肥料	1	0.05671	2.0082	0.0354	0.0306
		2	0.06882	1.7695	0.0257	—
5-10	一般堆肥	1	0.05557	2.3433	0.0422	0.0409
		2	0.05789	2.2925	0.0396	—
5-11	雜項堆肥	1	0.05867	5.8569	0.0998	0.0910
		2	0.05879	4.8313	0.0822	—
5-12	混合有機質肥料	1	0.07058	13.7170	0.1943	0.1774
		2	0.06491	10.4140	0.1604	—
5-14	液態雜項有機質肥料	1	0.06297	0.10365	0.0016	0.0013
		2	0.06876	0.06777	0.0010	—
6-01	複合肥料	1	0.05759	0.05581	0.0010	0.0013
		2	0.06137	0.09567	0.0016	—
6-03	家庭園藝用複合肥料	1	0.06081	0.07973	0.0013	0.0014
		2	0.05193	0.07973	0.0015	—

4-2-5 肥料樣品汞含量之添加回收率

為確認樣品有無基質干擾或使用之分析方法是否適當，因此對每一種樣品添加 1mg/L 之查核樣品 20 μ L，再量測樣品之汞含量，並算出樣品之添加回收率，所測得之汞含量與原始數據列於附錄 A-4 與表 A-4-2，其中附錄 A-4 部分資料(100.1.5)其汞濃度 R 經乘以校正因子 1.5702 換算成表 A-4-2 之汞濃度 R 欄位。

4-3 結果分析與討論

4-3-1 實驗結果與對照組比對：

本研究肥料樣品共有 15 種，分別歸屬 15 種不同品目，使用王水消化法後之檢液以感應耦合電漿質譜儀檢測 (ICP) 結果小於檢驗極限 0.1mg/kg (ppm)，反而熱分解汞齊原子吸收光譜法分析樣品之汞含量可準確的顯示至 1ppb。

熱分解汞齊原子吸收光譜法分析樣品之汞含量，由於儀器可分別建立低汞含量 (Cell-1, 10ng~20ng) 與高汞含量 (Cell-2, 20ng~1000ng) 之兩條檢量線，且分析之固體樣品最重可到 0.5g，液體樣品最多可達 1500 μ L，因此可分析樣品中汞濃度可由數 ppb 至數千 ppm，濃度範圍很寬。由查核樣品分析之結果可看出：汞標準液濃度 1mg/L 之回收率為 101%，優於法定標準：回收率 75%~125% 之一般要求。

4-3-2 實驗結果之 QA/QC：

由 15 種不同肥料樣品之材質分析結果顯示：

樣品中之汞濃度均低於 180ppb ($\mu\text{g}/\text{Kg}$)，全部符合農委會農糧署肥料品目登記規則之汞含量規定。

肥料樣品汞含量之添加回收率，除樣品 5-14 與 6-01 低於 75% 外，其餘在 87%~118% 間，優於法定標準：回收率 75%~125% 之一般要求。

第五章 結果討論與建議

5-1 結果討論

5-1-1 熱分解汞齊原子吸收光譜法為符合綠色化學的最佳汞分析方法

5-1-1-1 無需前處理樣品可直接檢測

目前中華民國國家標準或行政院環境保護署仍使用在傳統前處理方法：王水消化法、硫酸、硝酸及高錳酸鉀消化處理、9.6M 鹽酸消化處理、硝酸/鹽酸/過氧化氫的酸消化法以及氫氟酸/硝酸/及/或鹽酸的微波消化法等消化方法，中以王水消化法或氫氟酸/硝酸/及/或鹽酸的微波消化法等消化方法為最廣泛使用，但兩者處理程序煩雜且時間長，從數小時至數十小時，且具有毒性蒸氣逸散危險或爆炸行為發生，同時耗損能源並排放 CO₂，不僅危害操作人員安全，也增加溫室氣體排放量。

熱分解汞齊原子吸收光譜法分析肥料樣品試驗中汞含量可直接測定，不必煩雜的前處理，每五分鐘可檢測完成 1 個樣品，亦即每小時可以檢測完成 10~12 個樣品，樣品及檢測處理能容強大。

5-1-1-2 回收率佳、具優質 QA/QC，提昇實驗室檢測能力：

肥料樣品試驗中重金屬含量之測定，常有回收率不佳之問題，尤其是汞 (Hg) 更甚，本研究之添加回收率在 87%~118% 間，優於一般 75%~125% 之要求。顯示熱分解汞齊原子吸收光譜法為分析肥料樣品汞含量之適當方法，且可有效降低基質干擾。

採用熱分解汞齊原子吸收光譜法分析樣品汞含量具有：(1) 無樣品前處理、(2) 無溶劑或酸浪費、(3) 無需添加其他試劑、(4) 量測時間短（每個樣品約 5 分鐘）、(5) 可批次量測樣品、(6) 可量測固態或液態樣品等優點。

5-1-2 提昇實驗室安全性與環保問題

定義綠色分析化學及建立評估分析方法是否符合綠色化學原則之標準係有其必要性。美國化學學會 (America Chemical Society, ACS) 綠色化學組織針對環境分析方法，基於較少有害溶劑的使用、使用較安全之化學品及減少廢棄物產生等原則，提出一綠色 (Greenness) 之評估準則。這些準則已被美國國家環境方法索引 (National Environmental Methods Index, 以下簡稱 NEMI) 系統所使用。目前常使用之綠色剖面圖 (Greenness Profile) 說明如下：

綠色剖面圖 (Greenness Profile, 圖3-1) 主要由四個部分所組成的，分別為：

- (1) PBT (為持久性的「Persistent」、生物累積性的「Bioaccumulative」、及毒性的「Toxic」之簡寫)。
- (2) 危害的 (Hazardous)。
- (3) 腐蝕性的 (Corrosive)。
- (4) 廢棄物 (Waste)。

評估依據及個別定義為：

- (1) PBT: 分析過程中所使用之化學品為美國環保署毒物排放清單 (Toxic Release Inventory, TRI) 所定義之 PBT。
- (2) 危害的 (Hazardous): 分析過程中所使用之化學品為 TRI 清單上或是資源保育暨回收法案 (Resource Conservation and Recovery Act, RCRA) 上之 D, F, P 或 U 類危害廢棄物清單上之一。
- (3) 腐蝕性的 (Corrosive): 分析過程中，pH 小於 2 或是大於 12。
- (4) 廢棄物 (Waste): 廢棄物產生量大於 50 克。

若是分析方法中符合上述任一之定義，即無法在所屬之區塊內呈現綠色，代表不符合綠色化學之概念。反之，綠色區塊越多，代表此分析方法越接近綠色化學之原則。

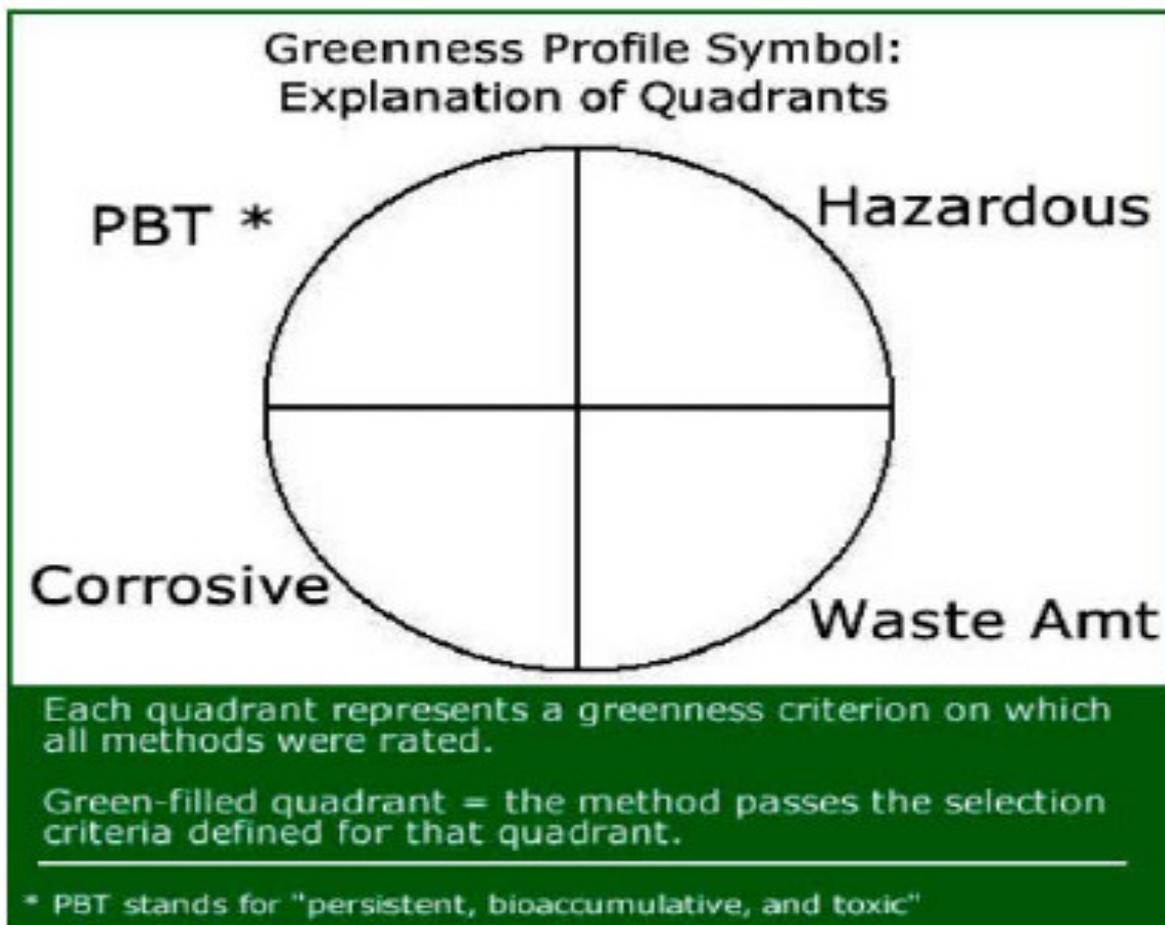


圖 3-1 綠色剖面圖

本研究樣品直接檢測，不使用王水、鹽酸、硝酸、氫氟酸等作為溶劑，亦不使用其他化學品，依據綠色剖面圖評估分別，應符合綠色化學之定義原則。在符合綠色化學分析操作下，不僅可提高實驗室檢試驗操作人員的安全性，並無有毒蒸氣的逸散，降低酸溶劑的危害。且以水作為溶劑同時減少酸鹼廢液處理問題，並降低酸鹼廢液儲存之安全性。

5-1-3 具節能減碳的新前處理方法

目前中華民國國家標準或行政院環境保護署仍使用在傳統前處理方法：王水消化法、硫酸、硝酸及高錳酸鉀消化處理、9.6M 鹽酸消化處理、硝酸/鹽酸/過氧化氫的酸消化法以及氫氟酸/硝酸/及/或鹽酸的微波消化法等消化方法，中以王水消化法或氫氟酸/硝酸/及/或鹽酸的微波消化法等消化方法為最廣泛使用，但

兩者處理時間長且具有毒性蒸氣逸散危險或爆炸行為發生，同時耗損能源並排放 CO₂，不僅危害操作人員安全，也增加溫室氣體排放量。然而使用瑪瑙研鉢型研磨機（其工作參數為：110~230V/50~60Hz、1200W）。檢測一個樣品僅需 5 分鐘僅需要用電量 0.1kw-hr（為 0.1 度電，經濟部能源局公告 100 年度每度用電 CO₂ 排放當量為 0.536 kg CO₂e/度）計排放 0.0536 kg CO₂e。

5-2 建議

綠色化學分析相關領域的蓬勃發展，多樣性的綠色化學分析科技應用與其理論探討，獲得豐碩的研究成果，但目前這些成果正廣泛應用於各式各樣的工業生產過程。近年來環保與職業安全意識的抬頭，讓許多研究人員均逐漸朝向思考將綠色化學技術應用結合。再者綠色化學分析技術於化學分析及生醫檢測之應用，也因該物質在所具備之獨特性質，如：磁學、光學、熱學、及高比表面積等之特性，而能有效地縮短分析步驟及溶劑之使用等。建議綠色化學分析除現有之樣品製備與及其應用之技術應依循綠色化學原則於部份製程著手改善外，更應從實驗方法的開發初期即思索如何結合現有的綠色化學分析技術，期望除求除當前科技應用技術外，亦需環保與職業安全對社會環境的衝擊。綠色化學對於實驗流程的研發與應用並非處於相對面，而是相輔相成的永續發展，本研究結果即說明，妥善的規劃與技術整合可達到綠色化學與深化科技應用之兩全之效。

參考文獻

CNS 國家標準、環保署、衛生署或勞委會檢驗方法部分

1. CNS 13109 水中總汞檢驗法、經濟部標準檢驗局、中華民國 70 年 05 月 27 日。
2. CNS 10762 化粧品中汞試驗法、經濟部標準檢驗局、中華民國 73 年 01 月 14 日。
3. CNS 2770-19 飼料檢驗法（汞之測定）、經濟部標準檢驗局、中華民國 75 年 08 月 04 日。
4. CNS 11942-16 銅中汞定量法、經濟部標準檢驗局、中華民國 81 年 12 月 28 日。
5. NIEA R315.01B 乾電池汞、鎘、鉛含量檢測方法、行政院環境保護署、中華民國 91 年 03 月 05 日。
6. NIEA M318.00C 固體與液體樣品中總汞檢測方法—熱分解汞齊原子吸收光譜法、行政院環境保護署、中華民國 94 年 09 月 02 日。
7. NIEA W330.52A 水中汞檢測方法—冷蒸氣原子吸收光譜法、行政院環境保護署、中華民國 95 年 02 月 15 日。
8. NIEA R314.12C 事業廢棄物萃出液中總汞檢測方法—冷蒸氣原子吸收光譜法、行政院環境保護署、中華民國 95 年 02 月 15 日。
9. 食品中重金屬檢驗方法 — 汞之檢驗（一）、行政院衛生署。
10. 食品中重金屬檢驗方法 — 汞之檢驗（二）、行政院衛生署。

其他資料

1. 凌永健、李佩玲、邱郁凱、殷裕勝。2007。綠色分析化學。中國化學會季刊, 65, (4),
2. 童翔新、歐育憲、葉奕宏、陳欽昭。2000。土壤重金屬污染物之生物有效性意義研究。
3. 行政院環境保護署。2002。土壤檢測方法總則(91年版)
4. 行政院環境保護署。2002。重金屬檢測方法總則(91年版)
5. Dahl, J. A.; Maddux, B. L. S.; Hutchison, J. E., Toward greener nanosynthesis. *Chemical Reviews* 2007, 107, (6), 2228-2269.
6. Roco, M. C., The emergence and policy implications of converging new technologies integrated from the nanoscale. *Journal of Nanoparticle Research* 2005, 7, (2), 129-143.
7. Cobb, M. D.; Macoubrie, J., Public perceptions about nanotechnology: Risks, benefits and trust. *Journal of Nanoparticle Research* 2004, 6, (4), 395-405.
8. Colvin, V. L., The potential environmental impact of engineered nanomaterials. *Nature Biotechnology* 2003, 21, (10), 1166-1170.
9. Chen, B. J.; Yin, Y. S.; Ling, Y. C., ToF-SIMS study of chemical composition and formation of all-nanoparticle multilayer films. *Applied Surface Science* 2008, in revision.
10. Chen, B. J.; Yin, Y. S.; Ling, Y. C., ToF-SIMS study of diffusion behaviour in all-nanoparticle multilayer films using a novel indicator layer. *Applied Surface Science* 2008, in revision.
11. Keith, L. H.; Gron, L. U.; Young, J. L. *Chem. Rev.* 2007, 107, 2695.
12. Anastas, P. T.; Warner, J. C. *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press, 1998.
13. U.S. Environmental Protection Agency,
<http://www.epa.gov/greenchemistry/pubs/principles.html>

14. IUPAC Green Chemistry

Directory, <http://www.incaweb.org/transit/iupacgdir/INDEX.htm>

15. 日本藥學會編「衛生試驗法・注解」中文版, 1996, 亞龍國際出版股份有限公司, P.46-52。
16. 王明光、王敏昭、實用儀器分析, 國立編譯館, 中華民國82年6月。
17. 李匡邦、許東明、何東英, 光譜化學分析, 揚智文化事業股份有限公司、中華民國86年9月。
18. 賀校雍, 儀器分析, 曉園出版社, 中華民國74年10月。
19. 林敬二審譯, 儀器分析(上冊), 美亞書版股份有限公司。
20. 陳吉平譯, 分析化學, 東華書局, 中華民國89年5月。
21. 江漢全、水質分析、三民書局、中華民國85年5月。
22. 徐貴新、水質分析實驗、高立圖書有限公司、中華民國90年7月。
23. 吳宗榮、蔡基湧、水及廢水分析、復文書局、中華民國83年1月。
24. 環境檢驗檢量線製備及查核指引、行政院環境保護署、中華民國93年10月4日。
25. DMA-80 (Direct Mercury Analyzer) 直接汞分析儀中文操作手冊、汎泰儀器有限公司、中華民國96年9月。
26. 李佳樺、林能暉, 東亞大氣汞之長程輸送研究: 雲水中汞之定量分析與指紋之建立, 碩士論文, 國立中央大學化學研究所, 中華民國93年12月。
27. 林建志、林能暉, 台灣平地與高山大氣汞之監測與比較, 碩士論文, 國立中央大學化學研究所, 中華民國95年7月。
28. MILESTONE DMA-80 USER MANUAL, MA002 Rev.5, MILESTONE S.r.l., 05.02.2006.

附 錄：

- A-1 熱分解汞齊原子吸收光譜法之檢量線
- A-2 查核樣品分析之原始數據
- A-3 肥料樣品汞含量分析之原始數據
- A-4 肥料樣品汞含量之添加回收率之原始數據

A-1 熱分解汞齊原子吸收光譜法之檢量線



MLS Calibration Report



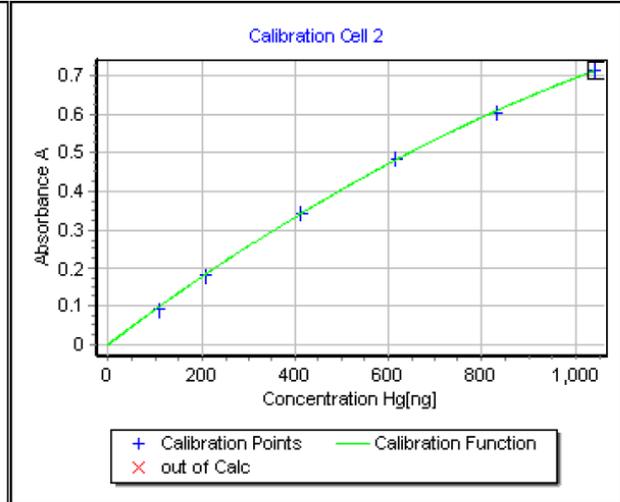
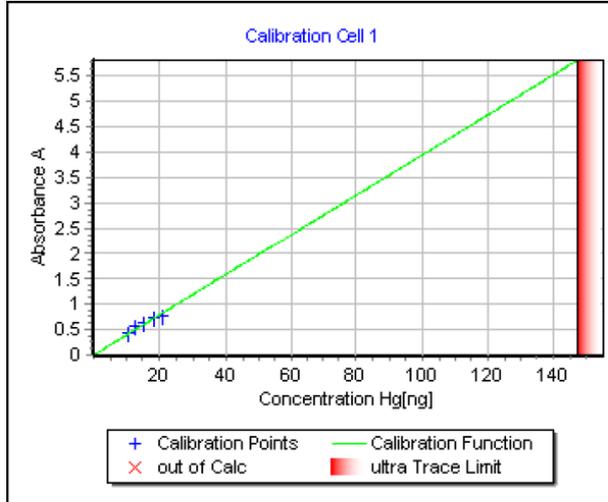
Report Date: 24/07/2010

Operator: Administrator

Filename: F:\990721.c80

MLS GmbH

easyDOC



$$A = 0.00000000 + 0.03938912 * C + 0.00000000 * C2 + 0.00000000 * C3$$

R2= 0.9964

Calibration without Zero

Calculation on Peak

$$A = 0.00000000 + 0.00092251 * C - 0.00000023 * C2 + 0.00000000 * C3$$

R2= 0.9999

Calibration without Zero

No	Point Hg [ng]	Peak	Area	Cell	Date	Error [A]	Error [ng]	Remark
1	✓ 10.5200	0.4216		1	21/07/2010	0.0072	0.1835	
2	✓ 12.7100	0.5511		1	21/07/2010	0.0505	1.2812	
3	✓ 15.2400	0.6407		1	21/07/2010	0.0404	1.0259	
4	✓ 18.5100	0.7178		1	21/07/2010	-0.0113	-0.2867	
5	✓ 20.9300	0.7707		1	21/07/2010	-0.0537	-1.3637	
6	✓ 110.1000	0.0925		2	21/07/2010	-0.0063	-7.2100	
7	✓ 209.0000	0.1801		2	21/07/2010	-0.0027	-3.3005	
8	✓ 412.3000	0.3437		2	21/07/2010	0.0022	2.9394	
9	✓ 615.1000	0.4857		2	21/07/2010	0.0046	7.2432	
10	✓ 830.4000	0.6049		2	21/07/2010	-0.0037	-6.8546	
11	✓ 1040.0000	0.7131		2	21/07/2010	0.0006	1.3440	

A-2 查核樣品分析之原始數據



MLS DMA Sample Report

Report Date: 24/07/2010

Operator: Administrator

Filename: F:\990724Add.d80

MLS GmbH
easyDOC



No	Pos	Sample Name	Hg [ng]	R [mg/kg]	Weight[g]	Height	Peak Area	Peak Cal-Factor	Date	Calibration File	Remark
1	✓ 1	c1	0.0787	0.0004	0.20000	0.00310		1.0000	24/07/2010	990721.c80	
2	✓ 2	c2	0.0365	0.0002	0.20000	0.00140		1.0000	24/07/2010	990721.c80	
3	✓ 3	Add-1	21.2368	1.0055	0.02112	0.01950		1.0000	24/07/2010	990721.c80	
4	✓ 4	c3	0.1396	0.0007	0.20000	0.00550		1.0000	24/07/2010	990721.c80	
5	✓ 5	Add-2	21.1861	1.0186	0.02080	0.01910		1.0000	24/07/2010	990721.c80	
6	✓ 6	c4	0.0685	0.0003	0.20000	0.00270		1.0000	24/07/2010	990721.c80	

A-3 肥料樣品汞含量分析之原始數據



MLS DMA Sample Report

Report Date: 24/07/2010

Operator: Administrator

Filename: F:\990723.d80



No	Pos	Sample Name	Hg [ng]	R [ng/kg]	Weight[g]	Height	Peak Area	Peak	Cal-Factor	Date	Calibration File	Remark
1	✓	1 c1	0.0914	0.0005	0.20000	0.00360	1.0000	23/07/2010	990721.c80			
2	✓	2 c2	0.0889	0.0004	0.20000	0.00350	1.0000	23/07/2010	990721.c80			
3	✓	3 c3	0.1066	0.0005	0.20000	0.00420	1.0000	23/07/2010	990721.c80			
4	✓	4 5-01-A1	2.0082	0.0354	0.05671	0.07910	1.0000	23/07/2010	990721.c80			
5	✓	5 c4	0.1168	0.0006	0.20000	0.00460	1.0000	23/07/2010	990721.c80			
6	✓	6 5-01-A2	1.7695	0.0257	0.06882	0.06970	1.0000	23/07/2010	990721.c80			
7	✓	7 c5	0.1346	0.0007	0.20000	0.00530	1.0000	23/07/2010	990721.c80			
8	✓	8 5-10-B1	2.3433	0.0422	0.05557	0.09230	1.0000	23/07/2010	990721.c80			
9	✓	9 c6	0.1016	0.0005	0.20000	0.00400	1.0000	23/07/2010	990721.c80			
10	✓	10 5-10-B2	2.2925	0.0396	0.05789	0.09030	1.0000	23/07/2010	990721.c80			
11	✓	11 c7	0.0838	0.0004	0.20000	0.00330	1.0000	23/07/2010	990721.c80			
12	✓	12 5-11-C1	5.8569	0.0998	0.05867	0.23070	1.0000	23/07/2010	990721.c80			
13	✓	13 c8	0.0838	0.0004	0.20000	0.00330	1.0000	23/07/2010	990721.c80			
14	✓	14 5-11-C2	4.8313	0.0822	0.05879	0.19030	1.0000	23/07/2010	990721.c80			
15	✓	15 c9	0.0787	0.0004	0.20000	0.00310	1.0000	23/07/2010	990721.c80			
16	✓	16 5-12-D1	13.7170	0.1943	0.07058	0.54030	1.0000	23/07/2010	990721.c80			
17	✓	17 c10	0.0812	0.0004	0.20000	0.00330	1.0000	23/07/2010	990721.c80			
18	✓	18 5-12-D2	10.4140	0.1604	0.06491	0.41020	1.0000	23/07/2010	990721.c80			
19	✓	19 c11	0.0660	0.0003	0.20000	0.00290	1.0000	23/07/2010	990721.c80			
20	✓	20 5-13-E1	6.6795	0.1197	0.05580	0.26310	1.0000	23/07/2010	990721.c80			
21	✓	21 c12	0.0685	0.0003	0.20000	0.00270	1.0000	23/07/2010	990721.c80			
22	✓	22 5-13-E2	8.6877	0.1385	0.06273	0.34220	1.0000	23/07/2010	990721.c80			



MLS DMA Sample Report

Report Date: 11/01/2011

Operator: Administrator

Filename: F:\991223-sample.d80



No	Pos	Sample Name	Hg [ng]	R [mg/kg]	Weight[g]	Height	Peak Area	Peak CalFactor	Date	Calibration File	Remark
1	✓	1 c1	0.0178	0.0001	0.20000	0.00070	1.0000	23/12/2010	990721.g80		
2	✓	2 1-19-1	0.0787	0.0014	0.05636	0.00310	1.0000	23/12/2010	990721.g80		
3	✓	3 c2	0.0330	0.0002	0.20000	0.00130	1.0000	23/12/2010	990721.g80		
4	✓	4 1-19-2	0.0609	0.0012	0.04962	0.00240	1.0000	23/12/2010	990721.g80		
5	✓	5 c3	0.0228	0.0001	0.20000	0.00090	1.0000	23/12/2010	990721.g80		
6	✓	6 3-01-1	0.0228	0.0003	0.08501	0.00090	1.0000	23/12/2010	990721.g80		
7	✓	7 c4	0.0305	0.0002	0.20000	0.00120	1.0000	23/12/2010	990721.g80		
8	✓	8 3-01-2	0.0178	0.0003	0.05875	0.00070	1.0000	23/12/2010	990721.g80		
9	✓	9 c5	0.0254	0.0001	0.20000	0.00100	1.0000	23/12/2010	990721.g80		
10	✓	10 3-02-1	0.0736	0.0012	0.05906	0.00290	1.0000	23/12/2010	990721.g80		
11	✓	11 c6	0.0228	0.0001	0.20000	0.00090	1.0000	23/12/2010	990721.g80		
12	✓	12 3-02-2	0.0584	0.0009	0.06428	0.00230	1.0000	23/12/2010	990721.g80		
13	✓	13 c7	0.0152	0.0001	0.20000	0.00060	1.0000	23/12/2010	990721.g80		
14	✓	14 3-03-1	0.1396	0.0024	0.05863	0.00550	1.0000	23/12/2010	990721.g80		
15	✓	15 c8	0.0305	0.0002	0.20000	0.00120	1.0000	23/12/2010	990721.g80		
16	✓	16 3-03-2	0.1498	0.0025	0.06024	0.00590	1.0000	23/12/2010	990721.g80		
17	✓	17 c9	0.0178	0.0001	0.20000	0.00070	1.0000	23/12/2010	990721.g80		
18	✓	18 3-05-1	0.0254	0.0005	0.05096	0.00100	1.0000	23/12/2010	990721.g80		
19	✓	19 c10	0.0178	0.0001	0.20000	0.00070	1.0000	23/12/2010	990721.g80		
20	✓	20 3-05-2	0.0330	0.0003	0.09711	0.00130	1.0000	23/12/2010	990721.g80		
21	✓	21 c11	0.0127	0.0001	0.20000	0.00050	1.0000	23/12/2010	990721.g80		
22	✓	22 3-09-1	0.0254	0.0005	0.04671	0.00100	1.0000	23/12/2010	990721.g80		



MLS DMA Sample Report

Report Date: 11/01/2011

Operator: Administrator

Filename: F:\991224-sample.d80

MLS GmbH
easyDOC



No	Pos	Sample Name	Hg [ng]	R [mg/kg]	Weight[g]	Height Peak	Area Peak	Cal-Factor	Date	Calibration File	Remark
1	✓ 1	c1	0.0178	0.0001	0.20000	0.00070	1.0000	1.0000	24/12/2010	990721.c80	
2	✓ 2	c2	0.0355	0.0002	0.20000	0.00140	1.0000	1.0000	24/12/2010	990721.c80	
3	✓ 3	6-03-1	0.0508	0.0008	0.06081	0.00200	1.0000	1.0000	24/12/2010	990721.c80	
4	✓ 4	c3	0.0482	0.0002	0.20000	0.00190	1.0000	1.0000	24/12/2010	990721.c80	
5	✓ 5	6-03-2	0.0508	0.0010	0.05193	0.00200	1.0000	1.0000	24/12/2010	990721.c80	
6	✓ 6	c4	0.0355	0.0002	0.20000	0.00140	1.0000	1.0000	24/12/2010	990721.c80	
7	✓ 7	7-01-1	18.3883	0.3453	0.05326	0.72450	1.0000	1.0000	24/12/2010	990721.c80	
8	✓ 8	c5	0.0559	0.0003	0.20000	0.00220	1.0000	1.0000	24/12/2010	990721.c80	
9	✓ 9	7-01-2	24.7099	0.3870	0.06385	0.02560	1.0000	1.0000	24/12/2010	990721.c80	
10	✓ 10	c6	0.0432	0.0002	0.20000	0.00170	1.0000	1.0000	24/12/2010	990721.c80	

表A-3-2 肥料樣品中汞含量(濃度)

品目編號	測定次數	樣品重量, Weight(g)	所測得之汞含量, Hg(ng)	濃度, R(mg/Kg)	汞平均濃度, R _{avg} (mg/Kg)	濃度相對差異百分比, RPD(%)	標準偏差, S(mg/Kg)	相對標準偏差, RSD(%)	備註
1-19	1	0.05636	0.12358	0.0022	0.0021	14.29	0.000212	10.1	
1-19	2	0.04962	0.09567	0.0019	—	—	—	—	
3-01	1	0.08501	0.03588	0.0004	0.0005	20.00	0.000071	14.14	
3-01	2	0.05875	0.02790	0.0005	—	—	—	—	
3-02	1	0.05906	0.11561	0.0020	0.0017	35.29	0.000424	24.96	
3-02	2	0.06428	0.09169	0.0014	—	—	—	—	
3-03	1	0.05863	0.21925	0.0037	0.0038	5.26	0.000141	3.72	
3-03	2	0.06024	0.23520	0.0039	—	—	—	—	
3-05	1	0.05096	0.03986	0.0008	0.0007	42.86	0.000212	30.3	
3-05	2	0.09711	0.05182	0.0005	—	—	—	—	
3-09	1	0.04671	0.03986	0.0009	0.0007	71.43	0.000354	50.51	
3-09	2	0.05369	0.02392	0.0004	—	—	—	—	
4-39	1	0.05648	0.02790	0.0005	0.0004	50.00	0.000141	35.36	
4-39	2	0.05947	0.01993	0.0003	—	—	—	—	
4-40	1	0.05028	0.05182	0.0010	0.0014	50.00	0.000495	35.36	
4-40	2	0.04806	0.07973	0.0017	—	—	—	—	
5-01	1	0.05671	2.0082	0.0354	0.0306	31.70	0.006859	22.41	
5-01	2	0.06882	1.7695	0.0257	—	—	—	—	
5-10	1	0.05557	2.3433	0.0422	0.0409	6.36	0.001838	4.5	
5-10	2	0.05789	2.2925	0.0396	—	—	—	—	
5-11	1	0.05867	5.8569	0.0998	0.0910	19.34	0.012445	13.68	
5-11	2	0.05879	4.8313	0.0822	—	—	—	—	
5-12	1	0.07058	13.7170	0.1943	0.1774	19.11	0.023971	13.51	
5-12	2	0.06491	10.4140	0.1604	—	—	—	—	
5-14	1	0.06297	0.10365	0.0016	0.0013	46.15	0.000424	32.64	
5-14	2	0.06876	0.06777	0.0010	—	—	—	—	
6-01	1	0.05759	0.05581	0.0010	0.0013	46.15	0.000424	32.64	
6-01	2	0.06137	0.09567	0.0016	—	—	—	—	
6-03	1	0.06081	0.07973	0.0013	0.0014	14.29	0.000141	10.1	
6-03	2	0.05193	0.07973	0.0015	—	—	—	—	

註：1. $R = \text{Hg}/(\text{Weight} \times 1000)$ 2. $R_{\text{avg}} = (R1 + R2)/2$ 3. $\text{RPD}(\%) = |R1 - R2| / R_{\text{avg}} \times 100$

4. $S = [\sum (Ri - R_{\text{avg}})^2 / (n - 1)]^{1/2}$ 5. $\text{RSD}(\%) = S / R_{\text{avg}} \times 100$

A-4 肥料樣品汞含量之添加回收率之原始數據



MLS DMA Sample Report

Report Date: 24/07/2010

Operator: Administrator

Filename: F:1990723.d80



No	Pos	Sample Name	Hg [ng]	R [mg/kg]	Weight[g]	Height Peak	Area Peak	CalFactor	Date	Calibration File	Remark
1	✓	1 c1	0.0914	0.0005	0.20000	0.00360		1.0000	23/07/2010	990721.c80	
2	✓	2 c2	0.0889	0.0004	0.20000	0.00350		1.0000	23/07/2010	990721.c80	
3	✓	3 c3	0.1066	0.0005	0.20000	0.00420		1.0000	23/07/2010	990721.c80	
4	✓	4 5-01-A1	2.0082	0.0354	0.05671	0.07910		1.0000	23/07/2010	990721.c80	
5	✓	5 c4	0.1168	0.0006	0.20000	0.00460		1.0000	23/07/2010	990721.c80	
6	✓	6 5-01-A2	1.7695	0.0257	0.06882	0.06970		1.0000	23/07/2010	990721.c80	
7	✓	7 c5	0.1346	0.0007	0.20000	0.00530		1.0000	23/07/2010	990721.c80	
8	✓	8 5-10-B1	2.3433	0.0422	0.05557	0.09230		1.0000	23/07/2010	990721.c80	
9	✓	9 c6	0.1016	0.0005	0.20000	0.00400		1.0000	23/07/2010	990721.c80	
10	✓	10 5-10-B2	2.2925	0.0396	0.05789	0.09030		1.0000	23/07/2010	990721.c80	
11	✓	11 c7	0.0838	0.0004	0.20000	0.00330		1.0000	23/07/2010	990721.c80	
12	✓	12 5-11-C1	5.8569	0.0998	0.05867	0.23070		1.0000	23/07/2010	990721.c80	
13	✓	13 c8	0.0838	0.0004	0.20000	0.00330		1.0000	23/07/2010	990721.c80	
14	✓	14 5-11-C2	4.8313	0.0822	0.05879	0.19030		1.0000	23/07/2010	990721.c80	
15	✓	15 c9	0.0787	0.0004	0.20000	0.00310		1.0000	23/07/2010	990721.c80	
16	✓	16 5-12-D1	13.7170	0.1943	0.07058	0.54030		1.0000	23/07/2010	990721.c80	
17	✓	17 c10	0.0812	0.0004	0.20000	0.00320		1.0000	23/07/2010	990721.c80	
18	✓	18 5-12-D2	10.4140	0.1604	0.06491	0.41020		1.0000	23/07/2010	990721.c80	
19	✓	19 c11	0.0660	0.0003	0.20000	0.00280		1.0000	23/07/2010	990721.c80	
20	✓	20 5-13-E1	6.6795	0.1197	0.05580	0.26310		1.0000	23/07/2010	990721.c80	
21	✓	21 c12	0.0685	0.0003	0.20000	0.00270		1.0000	23/07/2010	990721.c80	
22	✓	22 5-13-E2	8.6877	0.1385	0.06273	0.34220		1.0000	23/07/2010	990721.c80	



MLS DMA Sample Report

Report Date: 11/01/2011

Operator: Administrator

Filename: F:\100,01,05sample.d80



No	Pos	Sample Name	Hg [ng]	R [mg/kg]	Weight[g]	Height	Peak Area	Peak Cal-Factor	Date	Calibration File	Remark
1	✓	1	c1	0.0152	0.0001	0.20000	0.00060	1.0000	05/01/2011	990721.c80	
2	✓	2	1-19-1	13.0011	0.1477	0.08800	0.51300	1.0000	05/01/2011	990721.c80	
3	✓	3	c2	0.0203	0.0001	0.20000	0.00080	1.0000	05/01/2011	990721.c80	
4	✓	4	1-19-2	13.9074	0.1627	0.08550	0.54870	1.0000	05/01/2011	990721.c80	
5	✓	5	c3	0.0381	0.0002	0.20000	0.00150	1.0000	05/01/2011	990721.c80	
6	✓	6	3-01-1	16.3091	0.1715	0.09510	0.64340	1.0000	05/01/2011	990721.c80	
7	✓	7	c4	0.0508	0.0003	0.20000	0.00200	1.0000	05/01/2011	990721.c80	
8	✓	8	3-01-2	17.0580	0.2247	0.07590	0.67310	1.0000	05/01/2011	990721.c80	
9	✓	9	c5	0.0406	0.0002	0.20000	0.00160	1.0000	05/01/2011	990721.c80	
10	✓	10	3-02-1	17.3144	0.2282	0.07587	0.68340	1.0000	05/01/2011	990721.c80	
11	✓	11	c6	0.0482	0.0002	0.20000	0.00190	1.0000	05/01/2011	990721.c80	
12	✓	12	3-02-2	16.9006	0.2365	0.07147	0.66660	1.0000	05/01/2011	990721.c80	
13	✓	13	c7	0.0330	0.0002	0.20000	0.00130	1.0000	05/01/2011	990721.c80	
14	✓	14	3-03-1	13.7373	0.1876	0.07322	0.54230	1.0000	05/01/2011	990721.c80	
15	✓	15	c8	0.0330	0.0002	0.20000	0.00130	1.0000	05/01/2011	990721.c80	
16	✓	16	3-03-2	12.0719	0.1693	0.07130	0.47640	1.0000	05/01/2011	990721.c80	
17	✓	17	c9	0.0381	0.0002	0.20000	0.00150	1.0000	05/01/2011	990721.c80	
18	✓	18	3-05-1	15.2733	0.2024	0.07547	0.60280	1.0000	05/01/2011	990721.c80	
19	✓	19	c10	0.0381	0.0002	0.20000	0.00150	1.0000	05/01/2011	990721.c80	
20	✓	20	3-05-2	13.9836	0.1705	0.08202	0.55210	1.0000	05/01/2011	990721.c80	
21	✓	21	c11	0.0381	0.0002	0.20000	0.00150	1.0000	05/01/2011	990721.c80	
22	✓	22	3-09-1	10.5359	0.1179	0.08933	0.41570	1.0000	05/01/2011	990721.c80	



MLS DMA Sample Report

Report Date: 11/01/2011

Operator: Administrator

Filename: F:\1000107sample.d80



No	Pos	Sample Name	Hg [ng]	R [mg/kg]	Weight[g]	Height	Peak Area	Peak	CalFactor	Date	Calibration File	Remark
1	✓	1 c1	0.0305	0.0002	0.20000	0.00120			1.0000	07/01/2011	990721.c80	
2	✓	2 6-03-1(522)	13.5469	0.1559	0.08687	0.53400			1.0000	07/01/2011	990721.c80	
3	✓	3 c2	0.4392	0.0022	0.20000	0.01730			1.0000	07/01/2011	990721.c80	
4	✓	4 6-03-2(522)	15.9943	0.1520	0.10521	0.63080			1.0000	07/01/2011	990721.c80	
5	✓	5 c3	0.7286	0.0036	0.20000	0.02870			1.0000	07/01/2011	990721.c80	
6	✓	6 6-03-1(1406)	20.6886	0.2507	0.08251	0.01980			1.0000	07/01/2011	990721.c80	
7	✓	7 c4	0.2082	0.0010	0.20000	0.00820			1.0000	07/01/2011	990721.c80	
8	✓	8 6-03-2(1406)	19.0789	0.2712	0.07036	0.75200			1.0000	07/01/2011	990721.c80	
9	✓	9 c5	0.0812	0.0004	0.20000	0.00320			1.0000	07/01/2011	990721.c80	
10	✓	10 7-01-1	59.6867	0.7706	0.07745	0.05460			1.0000	07/01/2011	990721.c80	
11	✓	11 c6	0.0914	0.0005	0.20000	0.00360			1.0000	07/01/2011	990721.c80	
12	✓	12 7-01-2	59.5756	0.7493	0.07951	0.05450			1.0000	07/01/2011	990721.c80	
13	✓	13 c7	0.0990	0.0005	0.20000	0.00390			1.0000	07/01/2011	990721.c80	

表 A-4-2 肥料樣品中所含汞之添加回收率

樣品編號	測定次數	樣品重量, W(g)	樣品之汞平均濃度, R_{avg} (mg/Kg)	添加 1mg/L 汞標準溶液之重量, W_{add} (g)	添加後之樣品總重量, Weight(g)	所測得之汞含量, Hg(ng)	濃度, R (mg/Kg)	添加回收率, P(%)	平均添加回收率, P_{avg} (%)	回收率相對差異百分比, RPPD(%)	標準偏差, S(%)	相對標準偏差, RSD(%)	備註
1-19	1	0.06752	0.0021	0.02048	0.08800	20.41425	0.2320	99.00	102.51	6.84	4.96	4.84	
1-19	2	0.06503	—	0.02047	0.08550	21.83739	0.2554	106.01	—	—	—	—	
3-01	1	0.07426	0.0005	0.02084	0.09510	25.60850	0.2693	122.71	124.85	3.43	3.03	2.42	
3-01	2	0.05483	—	0.02107	0.07590	26.78448	0.3529	126.99	—	—	—	—	
3-02	1	0.05537	0.0017	0.02050	0.07587	27.18711	0.3583	132.15	134.99	4.20	4.01	2.97	
3-02	2	0.05228	—	0.01919	0.07147	26.53733	0.3713	137.82	—	—	—	—	
3-03	1	0.05234	0.0038	0.02088	0.07322	21.57030	0.2946	102.35	98.89	7.00	4.89	4.95	
3-03	2	0.05164	—	0.01966	0.07130	18.95524	0.2659	95.43	—	—	—	—	
3-05	1	0.05469	0.0007	0.02078	0.07547	23.98206	0.3178	115.24	113.32	3.39	2.72	2.4	
3-05	2	0.06235	—	0.01967	0.08202	21.95698	0.2677	111.40	—	—	—	—	
3-09	1	0.06933	0.0007	0.02000	0.08933	16.54347	0.1852	82.48	79.42	7.72	4.33	5.46	
3-09	2	0.06699	—	0.02045	0.08744	15.65850	0.1791	76.35	—	—	—	—	
4-39	1	0.05832	0.0004	0.02041	0.07873	18.31343	0.2326	89.61	87.38	5.10	3.15	3.61	
4-39	2	0.05434	—	0.02040	0.07474	17.38859	0.2327	85.15	—	—	—	—	
4-40	1	0.07607	0.0014	0.01996	0.09603	18.50079	0.1927	92.18	94.31	4.51	3.01	3.19	
5-01	1	0.07129	0.0306	0.02082	0.09211	21.5364	0.2338	92.96	93.16	0.42	0.28	0.3	
5-01	2	0.06080	—	0.02105	0.08185	21.5110	0.2628	93.35	—	—	—	—	
5-10	1	0.05298	0.0409	0.02066	0.07364	22.0061	0.2988	96.02	93.70	4.95	3.28	3.5	
5-10	2	0.07233	—	0.02108	0.09341	22.2269	0.2379	91.38	—	—	—	—	
5-11	1	0.05657	0.0910	0.02041	0.07698	23.9660	0.3113	92.19	89.67	5.63	3.57	3.98	
5-11	2	0.05536	—	0.02089	0.07625	23.2399	0.3048	87.14	—	—	—	—	
5-12	1	0.05284	0.1774	0.02019	0.07303	24.4661	0.3350	74.75	92.45	38.28	25.02	27.07	
5-12	2	0.06393	—	0.02082	0.08475	34.2732	0.4044	110.14	—	—	—	—	
5-14	1	0.05454	0.0013	0.01992	0.07446	15.92957	0.2139	79.60	64.77	45.81	20.98	32.39	
5-14	2	0.06007	—	0.02111	0.08118	10.61971	0.1308	49.93	—	—	—	—	
6-01	1	0.06345	0.0013	0.02060	0.08405	12.07873	0.1437	58.23	71.61	37.36	18.92	26.41	
6-01	2	0.05245	—	0.02058	0.07303	17.55601	0.2404	84.98	—	—	—	—	
6-03	1	0.06863	0.0014	0.01824	0.08687	21.27132	0.2449	116.11	118.75	4.45	3.73	3.14	
6-03	2	0.08462	—	0.02059	0.10521	25.11419	0.2387	121.39	—	—	—	—	

註：1. $R = \text{Hg} / (\text{Weight} \times 1000)$ 2. $P = [(R \times \text{Weight} - \text{Ravg} \times W) / W_{add}] \times 100$ 3. $\text{RPD}(\%) = |P1 - P2| / P_{avg} \times 100$

4. $S = [\sum (P_i - P_{avg})^2 / (n - 1)]^{1/2}$ 5. $\text{RSD}(\%) = S / P_{avg} \times 100$

