

感應耦合電漿質譜法

中華民國102年12月5日環署檢字第1020105470號公告

自中華民國103年3月15日生效

NIEA M105.01B

一、方法概要

本方法係利用感應耦合電漿質譜儀（Inductively coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS）檢測環境樣品中微量元素。以適當的霧化器（Nebulizer）將待測樣品溶液先經霧化處理後，藉由載流氣體將所形成含待測元素之氣膠（Aerosol）輸送至電漿（Plasma）中，樣品受熱後，經由一系列去溶劑、分解、原子化/離子化等反應，將待測元素形成單價正離子，再透過真空界面傳輸進入質譜儀（Mass spectrometer），藉由質量分析器（Mass-analyzer）將各特定質荷比（Mass-to-charge ratios）之離子予以解析後，以偵測系統加以偵測，來進行多元素之定性及定量工作。

二、適用範圍

- （一）本方法適用於土壤、底泥、飲用水處理藥劑、魚介類、廢棄物及其萃出液中鋁（Al）、銻（Sb）、砷（As）、鋇（Ba）、鉍（Be）、鎘（Cd）、銫（Cs）、鈣（Ca）、鉻（Cr）、鈷（Co）、銅（Cu）、鎳（Ga）、金（Au）、銦（In）、鐵（Fe）、鉛（Pb）、鎂（Mg）、錳（Mn）、汞（Hg）、鉬（Mo）、鎳（Ni）、鉑（Pt）、鉀（K）、硒（Se）、銀（Ag）、鈉（Na）、鉍（Tl）、錫（Sn）、鈦（Ti）、釩（V）及鋅（Zn）等元素分析。
- （二）在進行樣品分析前，所有液體或固體樣品，均需經適當製備或酸消化方法處理。對於基質複雜之樣品而言，通常可採用稀釋法、標準添加法或基質匹配法（Matrix-matching）等方式進行定量測定之工作。
- （三）本方法因涉及複雜基質樣品之分析檢測工作，故在使用本方法時，分析人員必須充分瞭解質譜量測技術並有能力解決不同形式之化學及物理干擾問題。
- （四）除二、（一）所列基質及元素外，若經適當的驗證程序確認可行，本方法亦可適用於其他基質及元素之分析。

三、干擾

- (一) 同重素干擾 (Isobaric elemental interferences) 係因不同元素之同位素形成相同整數質荷比 (Nominal mass-to-charge ratio) 之單價或二價離子，而無法被 ICP-MS 質譜解析所造成。表一是本方法為避開上述干擾 (除了 ^{98}Mo 與 ^{82}Se 仍會有 ^{98}Ru 與 ^{82}Kr 的干擾)，所建議使用質量之同位素。若為了達到更高的感度而選擇表一其他自然豐度 (Natural abundance) 較大之同位素，可能會產生一種或更多之同重素干擾。此類干擾可使用數學方程式來校正，包括量測干擾元素之另一同位素，再由分析訊號扣除所對應之訊號。由於市售之 ICP-MS 大多係以分析信號波峰 10% 高度處之頻寬或訊號寬度為其解析度 (四極柱質譜儀一般為 1 amu)，因此，當待測元素之同位素附近出現高量其他元素之同位素信號時，ICP-MS 在量測過程中亦會發生同重 (Isobaric) 干擾，此類干擾雖不常見，卻不易校正。當所測定之樣品發生嚴重之同重素干擾時，可利用提高解析度、基質分離、使用其他同位素或選用他種分析方法等方式來避免干擾發生。
- (二) ICP-MS 中同重多原子離子或同重分子離子 (Isobaric polyatomic ion or Isobaric molecule ion) 和二價離子 (Double-charged ion) 干擾分別係由含有超過一個原子或電荷的離子所引起，若所形成之離子與待測物之同位素具有相同之整數質荷比，則無法由 ICP-MS 質譜解析。例如， $^{40}\text{Ar}^{35}\text{Cl}^+$ 對 ^{75}As 及 $^{98}\text{MoO}^+$ 對 ^{114}Cd 同位素檢測的干擾。大部分影響 ICP-MS 檢測的同重素干擾在文獻上都已被探討過。有關分子同重素干擾的校正方法，一般可經由文獻上查得自然界存在的同位素豐度，或藉由調整標準溶液之濃度，使儀器測得淨同位素信號之變異數小於 1% 等方式，精確地求得干擾校正係數。由於 ^{35}Cl 的自然豐度為 75.77%，是 ^{37}Cl 豐度 24.23% 的 3.13 倍，因此樣品溶液中氯基質對砷的同重分子干擾，可依下列方程式進行校正。

$$\text{砷信號的校正公式} = m/z 75 \text{ 信號} - [3.13 \times (m/z 77 \text{ 信號}) - 2.73 \times (m/z 82 \text{ 信號})]$$

此公式中也針對硒 (由 $^{82}\text{Se}^+$ 換算獲得) 對 $m/z 77$ 的貢獻做校正；在砷信號 ($m/z 75$) 的校正過程中， $^{38}\text{Ar}^{37}\text{Cl}^+$ 訊號只有 $^{40}\text{Ar}^{35}\text{Cl}^+$ 訊號的 0.06%，因此可予以忽略 (註 1)。

同樣地，

$$\text{鎘訊號的校正公式} = m/z 114 \text{ 信號} - 0.027 \times (m/z 118 \text{ 信$$

號) — $1.63 \times (m/z 108 \text{ 信號})$

此公式的最後兩項用以校正 $^{114}\text{Sn}^+$ 或 $^{98}\text{MoO}^+$ 的干擾。由於儀器設計日新月異，此干擾亦可藉由質量分析器前之化學或碰撞反應室等相關設計消除，或使用儀器軟體內建之質譜背景運算程式進行校正（註 2、註 3）。

為了得到一定品質的分析數據，分析人員需藉由同時測量待測物以外之干擾離子，作為決定是否須使用校正方程式之依據。例如：雖然鎢氧化物分子離子會嚴重地干擾汞同位素的測定結果，如果樣品中源自碳、氯、鉬、鉛、鎢的干擾信號低於偵測極限或干擾信號很低時，即不需利用校正方程式進行校正。在干擾檢測的過程中，並不一定需要針對導致干擾之干擾元素進行檢測，但需針對各種可能源自樣品基質的分子離子干擾物種進行檢測。使用校正方程式校正之結果，也必須符合所有品質目標。樣品中常見樣品基質元素形成分子離子干擾的物質計有氫、氧、羥基、氮、碳和硫等，一般而言，可藉由在單純酸液中添加基質元素的方式，以確認在分析真實樣品時是否會發生質譜性基質干擾的問題。當確定測定時有質譜性干擾存在時，在分析結果中必須針對被干擾的元素註明(a)被校正之干擾信號佔所有分析信號的百分比，及(b)校正方程式中未置入校正的干擾物種。

- (三) 物理性干擾之發生不但與樣品霧化和傳輸過程有關，而且亦與離子傳送效率有關。大量樣品基質的存在會導致樣品溶液之表面張力或黏度改變，進而造成樣品溶液霧化和傳輸效率改變，並使分析信號出現抑制或增加。另外，分析信號強度亦會因測定過程中，樣品溶液中大量溶解性固體沉積在霧化器噴嘴和取樣錐 (Sampling cone) 的孔洞而降低，因此，樣品溶液中總溶解性固體的含量必宜小於 0.2% (2000 mg/L)，才能有效避免溶解性固體之影響。由於上述物理性干擾發生時，內標準及待測元素信號的變化程度是相同的，因此，可以利用添加內標準品的方式來校正物理性干擾。但當樣品中存在之基質濃度極高，且造成內標準品信號發生顯著抑制現象時，樣品溶液可經適當稀釋後，再重新檢測以避免上述之物理性干擾。
- (四) 記憶干擾或跨次干擾 (Carry-over) 問題常發生於連續分析濃度差異甚大之樣品或標準品時，樣品中待測元素沉積並滯留在真空介面、噴霧腔和霧化器上所致，可藉由延長樣品間洗滌時間來避免此類干擾效應之發生。

- (五) 標準液配製和樣品前處理時必須使用高純度酸液。由於 ICP-MS 偵測極限極低，因此建議使用二次蒸餾 (Redistilled) 或超純級 (Ultra-pure grade) 的酸來降低分析空白值。上機測定時，樣品溶液中硝酸濃度必須控制在少於 2% 的程度，以降低真空介面的損壞程度，並且減少各式同重分子離子干擾。此外，當樣品溶液中含有鹽酸和硫酸時，分子離子的干擾問題亦會較為嚴重。
- (六) 當樣品溶液中銻和銀的濃度高達 50 ~ 500 µg/L 時，需添加濃度 1% 的 HCl 以增加銻和銀在樣品溶液中之穩定性；當銀濃度高於 500 µg/L 時，則需加入更多鹽酸以維持其在樣品溶液中之穩定性，但對需進行含氯分子之離子 (Chloride molecular ion) 校正之待測元素 (砷及鈾) 而言，其分析結果的準確性亦可能會因大量含氯之分子離子的出現而變差。

四、設備及材料

(一) 感應耦合電漿質譜儀

分析信號之解析度在 10% 波峰高度時的寬度必須小於 1 amu。量測之質量範圍至少為 6 至 240 amu，並提供同重素干擾校正及內標準定量法等功能。霧化器流量及樣品溶液導入方式建議配合質流控制器 (Mass-flow Controller) 及蠕動泵的使用，以精確控制樣品溶液導入效率。

(二) 高純度氫氣供應裝置，氫氣純度等級至少 99.99%。

五、試劑

試劑中若含有不純物會嚴重影響分析結果之準確性及精密度，因此在本方法中使用的各種試劑，均為超純級 (Ultra-pure grade) 或經確認合乎品質要求之其他等級試劑。

(一) 試劑水：比電阻 $\geq 18 \text{ M}\Omega\text{-cm}$ 。

(二) 標準儲備溶液 (Standard stock solutions)

可自行以高純度之金屬 (純度至少為 99.99%) 配製而得，或購買具可追溯濃度確認證明文件之 ICP 用市售標準儲備溶液。

(三) 多元素標準儲備溶液 (Multielement standard stock solutions)

可自行以標準儲備溶液配製而得，或購買具可追溯濃度確認

證明文件之 ICP 用市售多元素標準儲備溶液。配製前，每一標準儲備溶液必須個別測定以確認是否可能造成質譜性干擾或含有過量不純物，配製時須注意各元素間之相容性及穩定性。將此溶液儲存於酸洗過之鐵氟龍瓶中。

(四) 內標準溶液

可自行以標準儲備溶液配製而得，或購買具可追溯濃度確認證明文件之 ICP 用市售標準溶液。所選用之內標準元素的質量數應依據待測元素同位素之質量數大小來選用，一般而言，可以待測元素同位素之質量數 ± 50 amu 內可資利用的內標準元素為選擇之依據。建議使用之內標準元素計有 ^6Li 、 ^{45}Sc 、 ^{74}Ge 、 ^{89}Y 、 ^{103}Rh 、 ^{115}In 、 ^{159}Tb 、 ^{169}Ho 及 ^{209}Bi 。

(五) 金保存儲備溶液 (Gold preservative stock solution), 100 mg/L

測定汞元素時使用，建議購買高純度氯化金溶液，如三氯化金 (AuCl_3) 溶於鹽酸基質中或是氯金酸 (HAuCl_4) 溶液，以試劑水稀釋至 $1 \text{ mL} = 100 \mu\text{g Au}$ 。

(六) 空白溶液

本方法需要三種空白溶液，第一種為檢量線空白溶液 (Calibration blank)，用於製備檢量線；第二種為方法空白溶液 (Method blank)，用來評估樣品製備過程中是否導入污染；第三種為洗滌空白溶液 (Rinse blank)，用來作為樣品間之沖洗溶液。

1. 檢量線空白溶液

組成應與稀釋標準品所使用之酸液相同 (通常為 1% v/v 的 HNO_3 溶液)，欲測定銻及銀元素時，需添加適量之 HCl 。

2. 方法空白溶液

除須含有與製備樣品時所使用之相同試劑外，配製過程亦須與樣品的製備過程相同。

3. 洗滌空白溶液

為 1~2% (v/v) 的 HNO_3 溶液，主要係用於沖洗儀器系統中可能來自於前一次測定的殘留物。測定汞元素時，洗滌空白溶液應以五、試劑 (五) 之金保存儲備溶液配製使其含有最終

濃度為 2 mg/L 的金。

(七) 質譜儀調校溶液 (Mass spectrometer tuning solution)

用於確認所使用儀器之狀況是否已達到熱穩定狀態，及進行儀器之解析度及質量的校正 (Mass calibration) 工作，該溶液需含有足以涵蓋全質譜範圍之元素離子 (如 10 µg/L 之 Li、Co、In 和 Tl)。

六、採樣及保存

樣品採樣及保存方法依樣品性質，參照各特定採樣及檢測方法之規定執行。

七、步驟

(一) 樣品製備

樣品製備須依樣品性質選擇適當之前處理方法，如「事業廢棄物萃出液中重金屬檢測方法—酸消化法 (NIEA R306)」、「事業廢棄物萃出液中重金屬檢測方法—微波輔助酸消化法 (NIEA R317)」、「廢棄物及底泥中金屬檢測方法—酸消化法 (NIEA M353)」、「沈積物、污泥及油脂中金屬元素總量之檢測方法—微波消化原子光譜法 (NIEA R355)」、「土壤中重金屬檢測方法—王水消化法 (NIEA S321)」、「海洋棄置物質中元素檢測方法—微波輔助酸消化法 (NIEA M319)」、「魚介類酸性消化總則—微波消化元素分析 (NIEA C302)」、「魚介類酸性消化總則—熱板消化／元素分析 (NIEA C303)」或各飲用水處理藥劑重金屬不純物含量檢測之樣品製備法等各種不同基質之重金屬前處理方法 (註 4)。

(二) 儀器之調校

1. 適當暖機後，依照儀器說明書調校儀器，且需測定質譜儀調校溶液至少 4 次以上，並確認所測定之調校溶液所含元素信號強度之相對標準偏差 $\leq 5\%$ ，始可進行後續樣品測定工作。
2. 分析樣品前必須針對待測元素所涵蓋之質量數範圍進行質量校正和解析度查驗。為確認所使用儀器質量校正和解析度查驗結果均屬正常狀態，分析人員須於分析樣品前，根據以下之判斷標準進行判斷：如質量校正結果與真實值差異超過 0.1 amu 以上時，則必須依儀器使用說明書將質量校正至正確值；分析信

號的解析度在 10% 波峰高度時的寬度必須小於 0.9 amu。

(三) 檢量線製備

1. 在儀器線性範圍內，配製一個空白和至少五種不同濃度的檢量線標準溶液，其濃度範圍如 0 至 50 µg/L，或其他適當範圍。
2. 須使用內標準校正法以校正儀器訊號漂移及物理性干擾。內標準品可以下列二種方式添加，方式一為以內標準溶液直接添加於標準溶液中，方式二為利用第二個蠕動泵將事先配製之內標準溶液，於標準溶液導入霧化器前，藉由適當之混合方式，與標準溶液均勻混合後一起導入霧化器中。內標準品於標準溶液中之濃度應足夠高，除可獲得較為精確之測值用於數據校正，亦可減少樣品中若有天然存在之內標準品而造成之校正誤差。
3. 檢量線製作完成應即以第二來源標準品配製接近檢量線中點濃度之標準品確認。

(四) 樣品分析

1. 分析每個樣品前，先用洗滌空白溶液沖洗系統直到訊號降至最低(通常約 30 秒)。樣品溶液導入電漿後，一般至少需經 30 秒(需隨儀器管路長短不同調整)，使系統達成平衡穩定後，方可讀取訊號。
2. 測定樣品的過程中，必須針對可能會遭到基質成份所造成的質譜性干擾之元素，進行檢驗是否有干擾效應的發生。
3. 不論測定標準品或樣品，均需針對同一標準品或樣品進行至少三次之讀值，最後再以平均值進行計算。
4. 樣品與檢量線標準溶液之內標準品添加方式須一致。

八、結果處理

- (一) 測定數據應以適當之單位表示，一般而言，液體樣品大多以 µg/L 或 mg/L 表示；固體樣品以 mg/kg 表示，並視需要檢測樣品含水率，以備乾基表示濃度換算。
- (二) 若原樣品經稀釋處理，則樣品測定值必須乘以稀釋倍數。

九、品質管制

- (一) 分析過程中須監測內標準品訊號強度的變化情形，如此可以瞭解是否發生儀器訊號改變、物理性干擾、標準品添加錯誤或樣品中含有天然存在之內標準元素而導致內標準品訊號強度改變之問題。樣品中任何內標準元素之訊號強度必須落在起始檢量線空白溶液中內標準品訊號強度之 60 ~ 125% 範圍內，若未在此範圍內，分析人員可依下列程序檢查導致內標準品訊號異常之原因：首先可利用分析檢量線空白溶液中之內標準訊號，確認儀器之檢測效能 (Analytical performance) 是否有明顯地漂移現象，若檢量線空白溶液中之內標準訊號強度出現明顯衰減現象，則須終止所有分析工作，待查明原因並完全解決導致儀器分析效能改變之因素後，始得重新建立檢量線，並分析導致嚴重基質效應之樣品；如導致內標準品訊號衰減原因不是源自儀器效能之漂移時，可利用稀釋方式，降低樣品中基質濃度，以達到去除基質干擾之目的。此時，分析人員可根據內標準品訊號衰減嚴重程度選擇適當之稀釋倍數進行樣品稀釋，並重新添加內標準品進行分析。
- (二) 檢量線：線性相關係數 (r 值) 應大於或等於 0.995。檢量線確認之相對誤差值應在 $\pm 10\%$ 以內。
- (三) 檢量線查核：每 10 個樣品及每批次分析結束時，以檢量線空白溶液及檢量線查核標準溶液進行檢量線查核。檢量線空白分析值應小於二倍方法偵測極限，檢量線查核標準溶液分析結果之相對誤差值應在 $\pm 10\%$ 以內。
- (四) 空白樣品分析：每批次或每 10 個樣品 (土壤及底泥為 20 個) 至少執行一次空白樣品分析，空白分析值應小於二倍方法偵測極限。
- (五) 重複樣品分析：每批次或每 10 個樣品 (土壤及底泥為 20 個) 至少執行一次重複樣品分析，除前處理方法另有規定外，其相對差異百分比應在 20% 以內。
- (六) 查核樣品分析：每批次或每 10 個樣品 (土壤為 40 個、底泥為 20 個) 至少執行一次查核樣品分析 (土壤需使用至少為 CRM 等級之參考標準樣品)，除前處理方法另有規定外，其回收率應在 75 ~ 125% 範圍內。

- (七) 添加樣品分析：每批次或每 10 個樣品（土壤及底泥為 20 個）至少執行一次添加樣品分析，除前處理方法另有規定外，其回收率應在 75~125% 範圍內。若回收率超出管制範圍，且待測元素又不能以稀釋方式測得時，必須改用標準添加法進行分析。

十、精密度與準確度

表二至表八為單一實驗室以 ICP-MS 分別測試土壤及底泥樣品之分析結果（資料來源：參考資料（三））。

十一、參考資料

- (一) U.S. EPA, Inductively coupled plasma - mass spectrometry. Method 6020A, Revision 1, 2007.
- (二) 行政院環境保護署，水中金屬及微量元素檢測方法—感應耦合電漿質譜法 NIEA W313.52B，中華民國 98 年。
- (三) 行政院環境保護署，以 ICP-MS 建立環境中重金屬檢測技術（II），EPA-91-E3S4-02-02，中華民國 91 年。

註 1：此公式所算出的砷（As）信號仍有可能偏高，此乃因 m/z 82 亦有可能由 $^{82}\text{Se}^+$ 以外的離子產生（例如：可能來自含溴之廢棄物之 $^{81}\text{BrH}^+$ ）。

註 2：當 $^{92}\text{ZrO}^+$ 離子存在對 m/z 108 有貢獻時，以此公式計算鎳元素的測值會偏低；但當樣品中有大量的 Zr 存在時，利用 ^{111}Cd 進行 Cd 的定量會直接或間接受到 $^{94}\text{ZrOH}^+$ 和 $^{90}\text{ZrO}^+$ 的加乘性干擾（Additive interferences）。

註 3：儀器的校正係數可藉由淨同位素信號強度之比值換算獲得，在校正係數測定的過程中，應以適當濃度的標準溶液進行同位素比值測定，使所測得之信號精密度必須 $<1\%$ 。

註 4：如要分析汞（Hg），在消化過程必須以硝酸與鹽酸混合液消化。未使用鹽酸來消化樣品則會發生汞元素漏失之問題，若消化後之樣品未含鹽酸，則需添加最終濃度為 2 mg/L 的金（每 100 mL 樣品添加 2 mL 五、試劑（五）之金保存儲備溶液），以防止汞附著於樣品瓶壁上或是進樣系統中。

註 5：本檢測廢液，依一般重金屬廢液處理原則處理。

表一 元素之同位素表

重要元素	質量
鋁(Al)	<u>27</u>
銻(Sb)	121, <u>123</u>
砷(As)	<u>75</u>
鋇(Ba)	138, 137, 136, <u>135</u> , 134
鈹(Be)	<u>9</u>
鉍(Bi) (IS)	209
鎘(Cd)	<u>114</u> , 112, <u>111</u> , 110, 113, 116, 106
銫(Cs)	<u>133</u>
鈣(Ca)	42, 43, <u>44</u> , 46, 48
鉻(Cr)	<u>52</u> , <u>53</u> , <u>50</u> , 54
鈷(Co)	<u>59</u>
銅(Cu)	<u>63</u> , <u>65</u>
鎳(Ga)	<u>69</u> , <u>71</u>
鍺(Ge)(IS)	74
金(Au)	<u>197</u>
釷(Ho) (IS)	165
銦(In) (IS) ^b	<u>115</u> , 113
鐵(Fe)	<u>56</u> , <u>54</u> , <u>57</u> , 58
鉛(Pb)	<u>208</u> , <u>206</u> , <u>207</u> , 204
鋰(Li) (IS)	6 ^a , 7
鎂(Mg)	24, <u>25</u> , <u>26</u>
錳(Mn)	<u>55</u>
汞(Hg)	202, <u>200</u> , 199, 201
鉬(Mo)	98, 96, <u>95</u> , 92, <u>97</u> , 94

重要元素	質量
鎳(Ni)	58, <u>60</u> , 62, <u>61</u> , 64
鉑(Pt)	98, 96, 92, <u>97</u> , 94
鉀(K)	<u>39</u>
銠(Rh) (IS)	103
釷(Sc)(IS)	45
硒(Se)	80, <u>78</u> , <u>82</u> , <u>76</u> , <u>77</u> , 74
銀(Ag)	<u>107</u> , <u>109</u>
鈉(Na)	<u>23</u>
鐳(Tb) (IS)	159
鉈(Tl)	<u>205</u> , 203
錫(Sn)	120, <u>118</u>
鈦(Ti)	48, 46, <u>47</u> , 49, 50
釩(V)	<u>51</u> , <u>50</u>
鈺(Y)(IS)	89
鋅(Zn)	64, <u>66</u> , <u>68</u> , <u>67</u> , 70

備註：1.表中標示 IS 者為常用的內標準元素。此表所列的同位素依其自然存在量遞減的次序列出，底線標示的質量為常用的同位素；惟為避免某些特定基質的干擾，亦可考慮使用其他質量的同位素。

2.^a 鋰當做內標準元素時，必須使用富集 ^6Li 的同位素，此可降低固有鋰元素的干擾。(鋰的同位素天然豐度 ^6Li 7.59%, ^7Li 92.41%)

3.^b 當銦為待測元素時，需注意內標元素不能含銦，以避免數據校正錯誤。

表二 配合王水消化法分析 BCR141R 土壤參考樣品之結果^a

元素	確認值, mg kg ⁻¹	測定值, mg kg ⁻¹ (n=3) ^b	回收率, %
²⁰⁸ Pb	51.3	51.8 ± 7.1	101
⁵² Cr	138	128 ± 1.3	93
⁵⁹ Co	9.2	9.96 ± 0.11	108
⁶⁰ Ni	94	94.9 ± 2.5	101
⁶⁵ Cu	46.9	44.0 ± 1.4	94
⁶⁶ Zn	270	251 ± 2.2	93
¹¹⁴ Cd	14	13.4 ± 0.3	96
²⁰² Hg	0.24	0.25 ± 0.07	102

1.^a 將 3 克之土壤樣品消化液稀釋成 2000 mL 後再利用 ICP-MS 進行測定。

2.^b 分析次數。

表三 配合王水消化法分析 BCR143R 土壤參考樣品之結果^a

元素	確認值, mg kg ⁻¹	測定值, mg kg ⁻¹ (n=3) ^b	回收率, %
²⁰⁸ Pb	174	161 ± 5	93
⁵² Cr	426	411 ± 7	96
⁶⁰ Ni	296	300 ± 3	101
⁶⁶ Zn	1063	1164 ± 25	109
¹¹⁴ Cd	72	77 ± 1.5	107

- ^a 將 3 克之土壤樣品消化液稀釋成 2000 mL 後再利用 ICP-MS 進行測定。
- ^b 分析次數。

表四 配合全量消化法分析 BCR141R 土壤參考樣品之結果^a

元素	確認值, mg kg ⁻¹	測定值, mg kg ⁻¹ (n=3) ^b	回收率, %
²⁰⁸ Pb	57.2	51.7 ± 1.8	90
⁵² Cr	195	190 ± 3	97
⁵⁹ Co	10.5	11.8 ± 1.0	113
⁶⁰ Ni	103	84 ± 1.9	82
⁶⁵ Cu	46.4	43.1 ± 1.1	93
⁶⁶ Zn	283	234 ± 2	83
¹¹⁴ Cd	14.6	11.9 ± 0.3	81

- ^a 將 0.5 克之土壤樣品消化液稀釋成 1000 mL 後再利用 ICP-MS 進行測定。
- ^b 分析次數。

表五 配合全量消化法分析 BCR143R 土壤參考樣品之結果^a

元素	確認值, mg kg ⁻¹	測定值, mg kg ⁻¹ (n=3) ^b	回收率, %
²⁰⁸ Pb	179.7	185.0 ± 7.9	103
⁵⁹ Co	12.3	11.4 ± 0.2	93
⁶⁰ Ni	299	264 ± 5	88
⁶⁵ Cu	130.6	113.4 ± 1.5	87
⁶⁶ Zn	1055	906 ± 14	86
¹¹⁴ Cd	71.8	65.2 ± 1.3	91
²⁰² Hg	1.1	1.0 ± 0.26	94

- ^a 將 0.5 克之土壤樣品消化液稀釋成 1000 mL 後再利用 ICP-MS 進行測定。
- ^b 分析次數。

表六 配合全量消化法分析 GBW07401 土壤樣品之結果^a

元素	確認值, mg kg ⁻¹	測定值, mg kg ⁻¹ (n=3) ^b	回收率, %
⁹ Be	2.5	2.3 ± 0.5	92
¹³⁷ Ba	590	513 ± 2.3	87
⁷¹ Ga	19.3	17.9 ± 0.1	93
²⁰⁵ Tl	1	0.92 ± 0.06	92
²⁰⁸ Pb	98	94.2 ± 5.1	96
⁷⁵ As	33.5	35.5 ± 0.6	106
⁴⁸ Ti	4830	4444 ± 36	92
⁵¹ V	86	67.8 ± 1.1	79
⁵² Cr	62	54.8 ± 1.2	88
⁹⁸ Mo	1.4	1.59 ± 0.11	114
⁵⁹ Co	14.2	12.7 ± 0.3	90
⁶⁰ Ni	20.4	18.8 ± 0.6	92
⁶⁵ Cu	21	22 ± 0.2	104
⁶⁶ Zn	680	609 ± 9	90
¹¹⁴ Cd	4.3	4.2 ± 0.36	98

- ^a 將 0.5 克之土壤樣品消化液稀釋成 1000 mL 後再利用 ICP-MS 進行測定。
- ^b 分析次數。

表七 配合全量消化法分析 WQB-1 底泥參考樣品之結果^a

元素	確認值, mg kg ⁻¹	測定值, mg kg ⁻¹ (n=3) ^b	回收率, %
¹³³ Cs	7.04	5.74 ± 0.11	81
⁹ Be	2.42	2.21 ± 0.59	91
¹³⁷ Ba	606	577 ± 22	95
⁷¹ Ga	22.9	22.7 ± 0.3	99
²⁰⁵ Tl	1.32	1.33 ± 0.11	100
²⁰⁸ Pb	83.7	81.9 ± 3.1	98
⁷⁵ As	23	25 ± 2	108
⁴⁸ Ti	2862	3330 ± 84	116
⁵¹ V	129	115 ± 2	89
⁵² Cr	89.1	91.4 ± 2.1	103
⁹⁸ Mo	2.09	1.63 ± 0.15	78
⁵⁹ Co	20.1	17.3 ± 0.3	86
⁶⁰ Ni	61.5	57.1 ± 1.4	93
⁶⁵ Cu	79.6	73.8 ± 1.5	93
⁶⁶ Zn	275	256 ± 7	93
¹¹⁴ Cd	2	1.47 ± 0.18	73
²⁰² Hg	1.09	0.93 ± 0.18	85

1. ^a 將 0.5 克之底泥樣品消化液稀釋成 1000 mL 後再利用 ICP-MS 進行測定。

2. ^b 分析次數。

表八 配合全量消化法分析 GBW07305 底泥參考樣品之結果^a

元素	確認值, mg kg ⁻¹	測定值, mg kg ⁻¹ (n=3) ^b	回收率, %
⁹ Be	2.3	1.8 ± 0.55	78
¹³⁷ Ba	440	401 ± 2	91
⁷¹ Ga	20.3	19.5 ± 0.4	96
²⁰⁵ Tl	1.16	1.26 ± 0.07	109
²⁰⁸ Pb	112	123 ± 9	110
⁷⁵ As	75	72 ± 2	96
¹²¹ Sb	3.9	4.6 ± 0.3	119
⁴⁸ Ti	5370	4367 ± 11	81
⁵¹ V	109	88 ± 2	81
⁵² Cr	70	61 ± 0.8	87
⁹⁸ Mo	1.2	1.0 ± 0.15	85
⁵⁹ Co	18.9	17.9 ± 0.6	95
⁶⁰ Ni	34	33 ± 1.6	96
⁶⁵ Cu	137	124 ± 4	91
⁶⁶ Zn	243	228 ± 9	94
¹¹⁴ Cd	0.82	0.82 ± 0.09	100

- ^a 將 0.5 克之底泥樣品消化液稀釋成 1000 mL 後再利用 ICP-MS 進行測定。
- ^b 分析次數。