藥物食品檢驗局調查研究年報. 26 : 212-224 2008
Ann Rept. BFDA Taiwan R.O.C. 26 : 212-224 2008

台灣地區市售蔬菜類重金屬含量背景資料之建立

施如佳　陳宛瑩　高雅敏　施養志

摘　要

植物可藉由吸收環境中過量之金屬元素，造成生物性累積。為了解國內市售蔬菜類重金屬含量之背景資料，及配合行政院衛生署逐年訂定國人食用農作物中重金屬限量標準之需求，本研究建立蔬菜類中重金屬之分析方法，於民國96年3月至10月間，自台北地區各生鮮超市及傳統市場採購市售蔬菜類檢體130件，包括包葉菜類15件，小葉菜類30件，莖菜類30件，果菜類35件及瓜菜類20件，進行重金屬含量背景值之檢驗分析。本研究以石墨熱板消化法分解消化檢體後，利用感應耦合電漿質譜儀定量檢體中之鈷(Co)、砷(As)、硒(Se)、鉬(Mo)、鎘(Cd)、銻(Sb)及鉛(Pb)元素。經以標準參考物質確認方法後，將此方法應用於所抽樣130件蔬菜類檢體，檢體重金屬之中位數值範圍分別為鈷：0.001～0.015 μg/g，砷：0.001～0.014 μg/g，硒：0.001～0.008 μg/g，鉬：N.D.～0.067 μg/g，鎘：N.D.～0.026 μg/g，銻：未檢出，鉛：N.D.～0.005 μg/g。其中鎘、鉛之檢驗結果均符合聯合國糧農組織/世界衛生組織之食品標準委員會（FAO/WHO Codex Alimentarius Commission, Codex）及歐盟法規委員會（European Regulation Commission）對蔬菜類中鎘、鉛之限量標準。

關鍵詞：石墨熱板消化器、感應耦合電漿質譜儀、蔬菜類、重金屬、鈷、砷、硒、鉬、鎘、銻、鉛

前　言

重金屬在土壤中之移動性小，殘留性高，許多土壤污染問題即由於土壤中過量重金屬所引起，會直接對作物產生毒害或間接危害人體健康[1]。植物體內重金屬的產生及其含量，與土壤中重金屬的含量與型態，作物之類別與品種以及田間環境與管理方式等皆有關[2]。

砷（As）、鎘（Cd）及鉛（Pb）係有害性金屬元素，易經由水污染、土壤污染、空氣污染、廢棄物、肥料及農藥之使用而間接影響農畜產品及各類食品之衛生安全[3]。重金屬進入人體後，大部分會與體內的蛋白質、核酸（DNA、RNA）結合。蛋白質在生物體內的作用主要是進行酵素反應，當這些酵素和重金屬結合時，就會導致酵素的活性消失或減弱。另一方面，當重金屬和核酸結合，便會導致核酸的結構發生變化，使得基因突變，影響細胞遺傳，產生畸胎或癌症[4]。

砷慢性中毒會引起烏腳病、肝腎病變、皮膚病變、膀胱癌、肺癌及肝癌。鎘可能蓄積於人體並導致痛痛病、肝腎病變、軟骨症及自發性骨折、前列腺癌。鉛會導致心血管疾病、痛風、腦中風、尿毒症、貧血、認知能力障礙[3,4]。

聯合國及歐盟目前已對蔬菜中重金屬Cd、Pb訂定限量標準，為因應本國加入WTO後相關食品法規的制定及國際間食品貿易的頻繁互動，乃進行本研究，其目的主要為了解市售蔬菜類重金屬Cd、Pb含量，逐步建立台灣地區農產品等重金屬含量資料庫。前處理採石墨熱板消化法，再以感應耦合電漿質譜儀測定重金屬含量，除了Cd、Pb外，同時分析其他金屬如鈷（Co）、砷（As）、硒（Se)、鉬（Mo)、銻（Sb)。調查結果將提供有關單位制定限量標準及消費民眾參考。

材料與方法

一、檢體來源

本研究於民國96年3月至10月間採購自台北地區生鮮超市、傳統市場，參考FAO/WHO Codex

表一、檢體種類、名稱及件數

類別(Group)	檢體名稱(Name)	件數(Number)
包葉菜類(Brassica vegetables)	高麗菜(Cabbage)	10
	芥菜(Mustard)	5
小葉菜類(Leaf vegetables)	小白菜(Chinese mustard)	15
	青江菜(Pak-choi)	10
	萵苣(Lettuce)	5
莖菜類(Stalk and stem vegetables)	洋蔥(Onion)	10
	馬鈴薯(Potato)	5
	竹筍(Bamboo shoot)	10
	茭白筍(Coba)	5
果菜類(Fruit vegetables)	茄子(Eggplant)	10
	甜椒(Sweet pepper)	15
	南瓜(Pumpkin)	10
瓜菜類(Melon vegetables)	胡瓜(Cucumber)	10
	蒲瓜(Vegetable pear)	10
合計		130

及95.03.15衛署食字第0950401408號令修正法公布之殘留農藥安全容許量表中農作物之分類表分類，所購檢體分別為包葉菜類15件，小葉菜類30件，莖菜類30件，果菜類35件，瓜菜類20件，共計130件檢體，如表一所示。

二試藥與器具

㈠標準品及內部標準品

多重元素標準品（100 μg/mL）採用ICP-MS分析級，質譜儀調校溶液（mass spectrometer tuning solution）均購自美國Perkin Elmer Instruments 公司（Shelton, Connecticut）。銠（rhodium）標準溶液（10 mg/mL）採用ICP-MS分析級，購自德國Merck KGaA公司（Darmstadt）。

㈡溶劑與試藥：

1. 硝酸採用二次蒸餾超純級，購自美國Mallinckrodt Baker公司（Phillipsburg, NJ）。試驗中所使用的水均經由美國Millipore 公司（Beford, MA）之純水系統製成，電阻係數18 MΩ·cm以上。
2. 標準參考物質（standard reference material或certified reference material）：

(1)橄欖葉（olives leaves）：No. 62，購自歐盟（Commission of the European Communities）之Community Bureau of Reference （BCR）。

(2)蘋果葉（apple leaves）：1515，購自美國National Institute Standards and Technology（NIST）。

(3)菠菜葉（spinach leaves）：1570a，購自美國National Institute Standards and Technology（NIST）。

㈢器具：

1. 聚丙烯（polypropylene, PP）瓶：50 mL。
2. 立體過濾匣：孔徑0.2 μm，鐵弗龍材質，含按壓桿。

三、儀器設備與裝置

㈠感應耦合電漿質譜儀（Inductively coupled plasma-mass spectrometer, ICP-MS）：

Elan DRC-e，具同心圓霧化器（concentric nebulizer）及旋風式噴霧室（cyclonic spray chamber），操作模式具有標準模式及DRC模式，加拿大Perkin-Elmer Sciex公司（Concord）之產品。

㈡石墨熱板消化器（Graphite block digester）

DigiPREP MS，加拿大SCP Science（Quebec）公司產品。

四、標準溶液之調製

㈠內部標準溶液（internal working standard solutions）

精確量取10 mg/mL之銠（Rh）標準溶液10 mL，以1%硝酸溶液定容至100 mL，供作內部標準溶液（1 μg/mL）。

㈡多元素標準原液（multi-element stock standard solutions）

精確量取100 μg/mL之多元素標準品10 mL，以1%硝酸溶液定容至100 mL，供作標準原液（10 μg/mL）。

㈢多元素標準溶液（multi-element working standard solutions）

分別精確量取上述標準原液，添加銠內部標準溶液，以1%硝酸溶液稀釋成濃度為0.1～25 ng/mL（含Rh 10 ng/mL），供作標準溶液，臨用時調製。

五、檢液之製備

包葉菜類、小葉菜類檢體先以自來水清洗去除泥砂後，再以去離子水漂洗，置於無塵紙上瀝乾多餘水分後均質；莖菜類檢體中的馬鈴薯則以自來水刷淨泥沙後，去皮均質；馬鈴薯以外的其他莖菜類檢體，則以自來水沖洗去除泥砂後，剝去外殼，取可食部分均質；果菜類檢體則先以去離子水沖洗附於表皮之灰塵雜物後，經無塵紙瀝乾多餘水分，再以不鏽鋼刀去蒂、去籽後均質；瓜菜類檢體則先以去離子水沖洗，經無塵紙瀝乾多餘水分後，再以不鏽鋼刀去皮、去籽後均質。

取均質後檢體約1 g，精確稱定，置於PP瓶，加入硝酸10 mL，於石墨熱板消化器中以95℃加熱消化90分鐘後放冷，以去離子水定容至50 mL，經立體過濾匣過濾後，供作檢液。另取一空白PP瓶，加入硝酸10 mL，依上述步驟操作，作為空白試驗。

六、含量測定

精確取上述檢液、空白檢液及標準溶液，分別注入感應耦合電漿質譜儀檢測重金屬，就檢液、空白檢液與標準溶液所得訊號強度比比較之，並由下列計算式求得含量：

$$\text{檢體中重金屬含量（μg/g）} = \frac{(C - C_0) \times Vd}{Vs \times 1000}$$

C：由標準曲線中求得檢液之重金屬濃度（ng/mL）

C_0：標準曲線中求得空白檢液之重金屬濃度（ng/mL）

Vd：檢液最後定容之體積（mL）

Vs：取樣分析檢體之重量（g）

七、添加回收試驗

取均質後之檢體約1 g，精確稱定，置於PP瓶，分別添加50、100、200及500 ng多重元素標準品，每一添加量作三重複，同時作空白試驗，依上述檢液製備方式操作，經ICP-MS定量後，與添加濃度比較，計算回收率。

八、儀器偵測極限及方法偵測極限

以感應耦合電漿質譜儀分析鈷（Co）、砷（As）、硒（Se）、鉬（Mo）、鎘（Cd）、銻（Sb）、鉛（Pb）等元素之七次空白試液重複測定值，計算其標準偏差，取三倍標準偏差導入標準曲線公式，結果求得之儀器偵測極限。添加儀器偵測極限五倍之鈷、砷、硒、鉬、鎘、銻、鉛等元素標準溶液於基質檢液中，依據檢驗方法之分析步驟操作，重覆分析七次，並計算七次測定值之標準偏差（SD），以三倍SD值為方法偵測極限。

九、品質管制分析

每批次（少於20個檢體）或每20個檢體分析時，均進行空白、重複及添加分析。空白分析為直接取實驗試劑，依檢驗方法步驟與待測檢體同時進行檢驗分析，重複分析為同一檢體分取兩份，在相同條件下，使用同一檢驗方法進行分析，計算其變異係數，管制範圍為變異係數須低於10%。添加分析為取同一批次另精稱3件檢體添加Pb元素200 ng，檢測其回收率，管制範圍為回收率須介於70～130%。

十、統計分析

本研究採用中位數值探討含量檢測結果之集中趨勢，以進行比較。計算如下：

$$\text{中位數值（μg/g）} = \frac{1}{2}\left[X_{\left(\frac{n}{2}\right)} + X_{1+\left(\frac{n}{2}\right)}\right]$$

結果與討論

一、標準曲線之製作

將含有0.1、1、2.5、5、10、及25 ng/mL之多重元素標準品及10 ng/mL內標準品（Rh）溶液，

表二、標準參考物質之重金屬含量分析

Sample	Element	Determined value [a] (μg/g)	Certified value (μg/g)	Accuracy (%)
Olives leaves (BCR 62)	Cd	0.099 ± 0.009 [b]	0.10 ± 0.02	98.6 (9.2) [c]
	Pb	24.1 ± 0.5	25.0 ± 1.5	96.6 (2.0)
Apple leaves (NIST 1515)	Mo	0.093 ± 0.002	0.094 ± 0.013	98.6 (2.1)
	Cd	0.013 ± 0.001	0.013 ± 0.002	101.9 (4.8)
Spinach leaves (NIST 1570a)	Co	0.36 ± 0.01	0.39 ± 0.05	93.0 (2.2)
	As	0.064 ± 0.001	0.068 ± 0.012	94.0 (2.3)
	Se	0.118 ± 0.005	0.117 ± 0.009	100.8 (3.9)

[a] Average of triplicate
[b] Value is expressed as mean ± standard deviation
[c] Value in the parenthesis is coefficient of variation (%)

以感應耦合電漿質譜儀分析。內部標準法為就所得波峰面積與內部標準品波峰面積之比值，與重金屬標準溶液迴歸計算其線性方程式及相關係數，標準曲線相關係數（r^2）為0.9999以上，顯示標準溶液之濃度與儀器感應訊號讀值的線性關係良好。

二、標準參考物質之確認

取標準參考物質以石墨熱板消化法前處理後，以感應耦合電漿質譜儀檢測，結果三重複之檢測值均符合標示值，如表二所示。

三、儀器偵測極限及方法偵測極限

以感應耦合電漿質譜儀分析鈷（Co）、砷（As)、硒（Se)、鉬（Mo)、鎘（Cd)、銻（Sb)、鉛（Pb)等元素之儀器偵測極限，分別為0.05、0.03、0.02、0.01、0.01、0.08、及0.02 ng/mL，方法偵測極限分別為0.0007、0.0005、0.0006、0.0013、0.0006、0.0005及0.0012 μg/g，如表三所示。

四、添加回收試驗

取均質後蔬菜類檢體1 g，種類包括高麗菜、小白菜、百合、竹筍、筊白筍、茄子、甜椒及南瓜，分別添加50、100、200 及500 ng多重元素標準品，進行添加回收試驗。結果如表四、表五所示，鈷、砷、硒、鉬、鎘、銻及鉛之三重複回收試驗，其平均回收率分別為98.0～122.5％、81.4～110.5％、70.5～103.0％、94.7～128.2％、80.4～113.9％、80.6～103.5％、80.5～104.8％，變異係數分別為0.3～3.3％、0.2～6.2％、0.2～7.3％、0.3～5.6％、0.1～5.7％、0.1～3.3％、0.4～9.7％。顯示本方法穩定且再現性佳。

表三、儀器偵測極限及方法最低檢出限量

Element	IDL[a] (ng/mL)	MDL[b] (μg/g)
Co	0.05	0.0007
As	0.03	0.0005
Se	0.02	0.0006
Mo	0.01	0.0013
Cd	0.01	0.0006
Sb	0.08	0.0005
Pb	0.02	0.0012

[a] IDL : instrument detection limit
[b] MDL : method detection limit

五、品質管制之評估

於每批次檢體分析時，皆進行空白、重複及添加分析。結果顯示，空白分析均低於偵測極限，重複分析為之變異係數均低於10％。添加分析之回收率均介於70～130％之間，即空白、重複及添加分析所得之分析值皆在管制範圍內，顯示各批次分析之準確度佳。

六、市售蔬菜類檢體之重金屬含量調查

表四、蔬菜類檢體中添加重金屬標準品之回收率

Variety	Added (ng) [a]	Recovery (%)[b]							
		Co		As		Se		Mo	
Cabbage	50	102.7	(1.6)[c]	108.5	(4.3)	70.5	(1.0)	115.6	(4.9)
	100	107.9	(1.9)	107.5	(1.4)	76.0	(4.0)	118.7	(4.9)
	200	108.9	(0.5)	110.5	(2.2)	83.3	(2.6)	110.9	(0.3)
	500	106.9	(1.3)	107.2	(1.5)	82.3	(2.0)	116.8	(3.4)
Chinese mustard	50	110.7	(0.9)	88.9	(6.2)	103.0	(5.8)	111.3	(2.3)
	100	110.3	(0.8)	87.2	(2.6)	82.7	(5.9)	113.0	(1.9)
	200	106.8	(2.1)	90.9	(2.8)	78.3	(3.0)	108.5	(2.3)
	500	103.9	(0.5)	91.1	(0.7)	74.3	(0.5)	107.6	(0.6)
Bamboo shoot	50	112.0	(1.2)	83.4	(1.2)	76.9	(2.5)	113.7	(1.6)
	100	114.9	(1.1)	84.8	(2.5)	81.2	(0.8)	118.9	(1.6)
	200	110.6	(2.5)	82.5	(1.2)	80.1	(0.4)	114.4	(2.4)
	500	107.9	(2.9)	81.9	(2.1)	79.8	(2.1)	111.8	(3.8)
Coba	50	104.0	(2.5)	100.8	(3.4)	83.4	(2.7)	112.7	(4.8)
	100	101.2	(0.4)	96.2	(0.8)	82.9	(1.8)	110.7	(2.3)
	200	98.2	(0.3)	94.6	(1.0)	82.1	(2.7)	106.9	(0.8)
	500	98.2	(1.3)	96.2	(0.2)	81.8	(1.3)	106.9	(0.6)
Eggplant	50	98.0	(1.5)	88.5	(3.6)	70.9	(2.2)	118.5	(4.4)
	100	100.4	(2.9)	92.6	(1.2)	74.4	(1.0)	119.0	(4.2)
	200	104.6	(3.3)	93.8	(0.5)	76.6	(3.6)	113.4	(2.1)
	500	101.1	(0.4)	91.2	(1.3)	75.0	(0.3)	113.7	(0.8)
Sweet pepper	50	122.2	(0.9)	81.4	(0.4)	91.6	(2.5)	127.7	(1.8)
	100	122.0	(0.4)	84.4	(1.4)	88.5	(1.4)	128.2	(0.7)
	200	122.5	(0.3)	83.6	(0.2)	88.5	(1.0)	127.9	(0.8)
	500	120.8	(0.7)	84.3	(0.2)	87.6	(1.1)	126.9	(0.3)
Pumpkin	50	113.0	(2.3)	88.4	(0.7)	90.5	(2.8)	94.7	(3.2)
	100	111.6	(0.3)	84.4	(0.6)	85.6	(1.0)	101.3	(0.4)
	200	120.4	(0.4)	91.7	(0.2)	101.6	(1.0)	124.6	(0.5)
	500	118.8	(0.6)	90.9	(0.4)	101.0	(0.2)	123.9	(0.6)

[a] Spiked level in 1g of vegetable samples
[b] Average of triplicate
[c] Value in the parenthesis is coefficient of variation (%)

本研究130件蔬菜檢體依所建立之方法進行鈷等7種重金屬含量檢測結果如表六、表七及圖一、圖二所示，鈷含量在各類蔬菜之中位數值範圍為0.001～0.015 μg/g（含量範圍未檢出～0.084 μg/g），其中以馬鈴薯、南瓜較高，其他蔬菜中位數則在0.001 μg/g以下。就砷含量而言，中位數值範圍為0.001～0.014 μg/g（未檢出～0.034 μg/g），其中以芥菜、青江菜較高，其他蔬菜之中位數值則在0.001 μg/g以下。硒含量之中位數值範圍為0.001～0.008 μg/g（未檢出～0.013 μg/g），其中以馬鈴薯最高，芥菜、小白菜、青江菜、洋蔥、南瓜次之，中位數範圍為0.004～0.006 μg/g，

表五、蔬菜類檢體中添加重金屬標準品之回收率

Variety	Added (ng) [a]	Recovery (%)[b] Cd	Sb	Pb
Cabbage	50	83.4 (1.9)[c]	96.7 (0.7)	104.8 (9.7)
	100	88.8 (0.7)	99.0 (0.7)	96.6 (1.9)
	200	96.1 (0.8)	103.5 (0.5)	102.5 (1.9)
	500	97.1 (0.9)	101.5 (2.3)	99.5 (0.6)
Chinese mustard	50	92.2 (5.7)	92.5 (2.9)	90.7 (2.6)
	100	85.5 (0.5)	90.3 (1.0)	88.2 (0.6)
	200	85.3 (3.1)	90.9 (2.5)	90.1 (1.5)
	500	80.4 (0.4)	85.9 (0.4)	86.6 (0.4)
Bamboo shoot	50	88.3 (1.6)	93.0 (0.7)	80.5 (3.5)
	100	90.3 (3.3)	96.0 (1.1)	82.5 (2.4)
	200	87.2 (1.6)	94.0 (1.0)	83.8 (0.4)
	500	85.8 (1.4)	92.1 (1.5)	85.1 (1.5)
Coba	50	113.9 (2.4)	87.7 (2.5)	94.3 (6.5)
	100	109.6 (1.4)	91.6 (1.0)	89.2 (1.7)
	200	105.8 (0.9)	82.1 (0.9)	89.2 (0.6)
	500	107.4 (1.0)	80.6 (0.3)	90.8 (0.7)
Eggplant	50	82.0 (1.5)	81.8 (2.2)	89.2 (1.6)
	100	84.5 (1.0)	85.0 (2.4)	90.6 (1.6)
	200	86.8 (2.4)	89.7 (3.2)	98.1 (4.3)
	500	82.2 (1.0)	86.9 (1.0)	92.2 (1.0)
Sweet pepper	50	99.9 (0.1)	102.9 (0.6)	104.7 (0.9)
	100	97.1 (0.1)	103.2 (0.2)	104.2 (1.2)
	200	96.3 (0.1)	102.3 (0.5)	103.3 (0.5)
	500	94.7 (0.7)	101.6 (0.3)	102.8 (1.2)
Pumpkin	50	95.8 (2.6)	102.1 (2.1)	99.0 (5.5)
	100	87.9 (0.3)	95.9 (0.1)	82.4 (0.7)
	200	97.7 (0.2)	102.5 (0.5)	98.5 (0.5)
	500	96.1 (0.2)	101.0 (0.1)	99.5 (0.8)

[a] Spiked level in 1g of vegetable samples
[b] Average of triplicate
[c] Value in the parenthesis is coefficient of variation (%)

其他蔬菜之中位數值則在0.003 μg/g以下。鉬含量之中位數值範圍為未檢出～0.067 μg/g（未檢出～1.091 μg/g），其中以高麗菜、芥菜較高，小白菜、竹筍、胡瓜次之，其他蔬菜則在0.036 μg/g以下。鎘之中位數值範圍為未檢出～0.026 μg/g（未檢出～0.038 μg/g），其中以馬鈴薯最高，其他蔬菜明顯偏低，中位數值為0.014 μg/g以下。銻之中位數值皆為未檢出（未檢出～0.002 μg/g）。鉛之中位數值皆為未檢出～0.005 μg/g（未檢出～0.036 μg/g），其中芥菜、小白菜、青江菜、萵苣明顯較高，中位數值為0.002～0.005 μg/g之間，其他蔬菜則均未檢出。

表六、蔬菜類之重金屬(鈷、砷、硒及鉬)含量

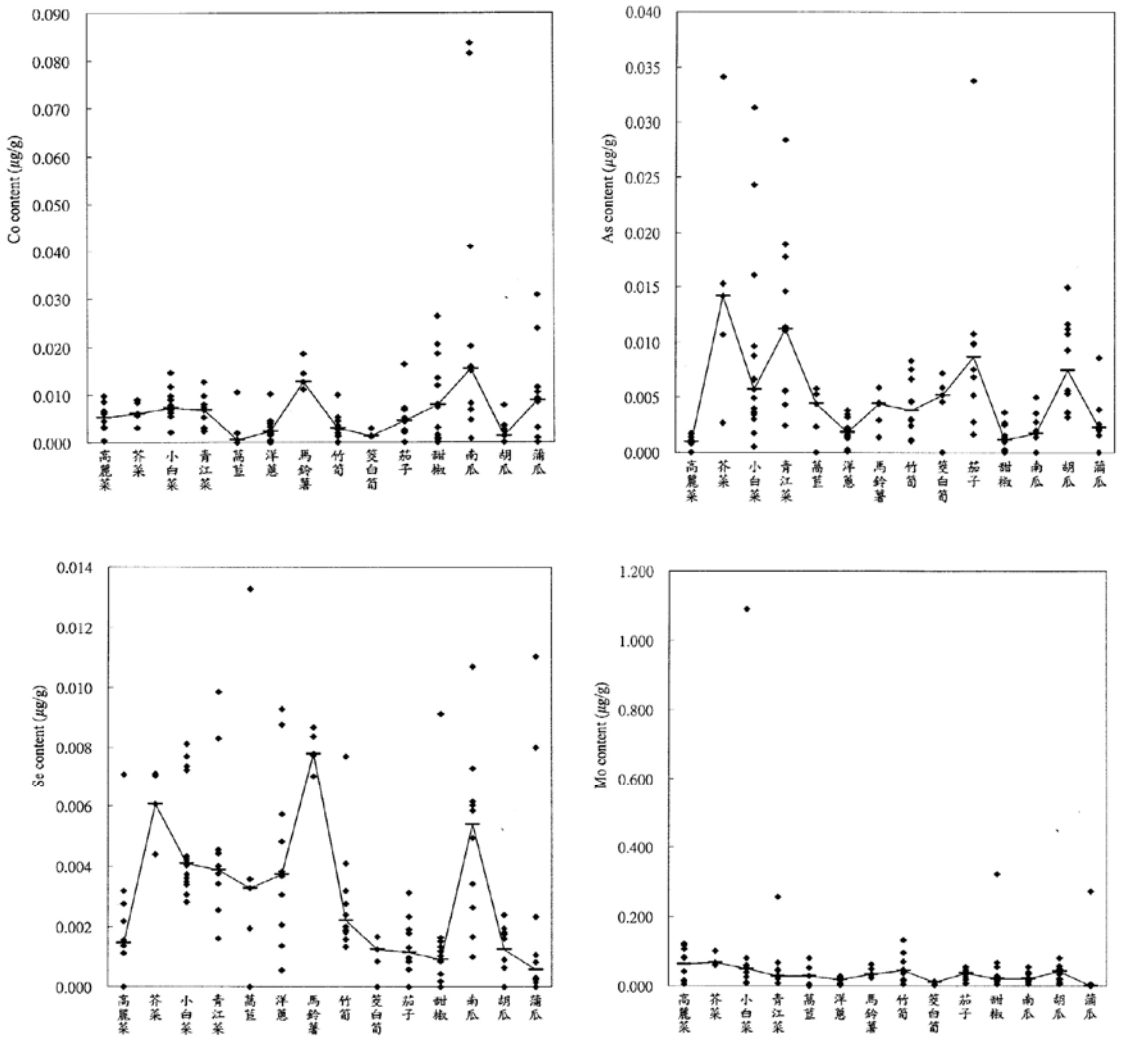
Variety	No.	Co content (μg/g, wet basis)	As content (μg/g, wet basis)	Se content (μg/g, wet basis)	Mo content (μg/g, wet basis)
Cabbage	10	0.005 [a] (N.D.[b] ～ 0.010)	0.001 (N.D. ～ 0.002)	0.001 (N.D. ～ 0.007)	0.062 (0.004 ～ 0.123)
Mustard	5	0.006 (0.003 ～ 0.009)	0.014 (0.003 ～ 0.034)	0.006 (0.004 ～ 0.007)	0.067 (0.060 ～ 0.101)
Brassica vegetables	15	0.006 (N.D. ～ 0.010)	0.001 (N.D. ～ 0.034)	0.003 (N.D. ～ 0.007)	0.067 (0.004 ～ 0.123)
Chinese mustard	15	0.007 (0.002 ～ 0.015)	0.006 (0.001 ～ 0.031)	0.004 (0.003 ～ 0.008)	0.048 (0.008 ～ 1.091)
Pak-choi	10	0.007 (0.002 ～ 0.013)	0.011 (0.002 ～ 0.028)	0.004 (0.002 ～ 0.010)	0.028 (0.008 ～ 0.259)
Lettuce	5	0.001 (N.D. ～ 0.010)	0.004 (N.D. ～ 0.006)	0.003 (N.D. ～ 0.013)	0.029 (N.D. ～ 0.080)
Leaf vegetables	30	0.007 (N.D. ～ 0.015)	0.006 (N.D. ～ 0.031)	0.004 (N.D. ～ 0.013)	0.039 (N.D. ～ 1.091)
Onion	10	0.002 (N.D. ～ 0.010)	0.002 (N.D. ～ 0.004)	0.004 (0.001 ～ 0.009)	0.017 (0.001 ～ 0.028)
Potato	5	0.013 (0.011 ～ 0.019)	0.004 (0.001 ～ 0.006)	0.008 (0.007 ～ 0.009)	0.033 (0.024 ～ 0.062)
Bamboo shoot	10	0.003 (N.D. ～ 0.010)	0.004 (0.001 ～ 0.008)	0.002 (0.001 ～ 0.008)	0.045 (0.006 ～ 0.134)
Coba	5	0.001 (0.001 ～ 0.003)	0.005 (N.D. ～ 0.007)	0.001 (N.D. ～ 0.002)	0.010 (0.002 ～ 0.012)
Stalk and stem vegetables	30	0.003 (N.D. ～ 0.019)	0.003 (N.D. ～ 0.008)	0.003 (N.D. ～ 0.009)	0.021 (0.001 ～ 0.134)
Eggplant	10	0.004 (N.D. ～ 0.016)	0.009 (0.002 ～ 0.034)	0.001 (N.D. ～ 0.003)	0.036 (0.007 ～ 0.055)
Sweet pepper	15	0.008 (N.D. ～ 0.026)	0.001 (N.D. ～ 0.004)	0.001 (N.D. ～ 0.009)	0.021 (0.006 ～ 0.322)
Pumpkin	10	0.015 (0.001 ～ 0.084)	0.002 (N.D. ～ 0.005)	0.005 (0.001 ～ 0.011)	0.020 (0.006 ～ 0.054)
Fruit vegetables	35	0.007 (N.D. ～ 0.084)	0.002 (N.D. ～ 0.034)	0.001 (N.D. ～ 0.011)	0.025 (0.006 ～ 0.322)
Cucumber	10	0.001 (N.D. ～ 0.008)	0.007 (0.003 ～ 0.015)	0.001 (N.D. ～ 0.002)	0.041 (0.005 ～ 0.082)
Vegetable pear	10	0.009 (N.D. ～ 0.031)	0.002 (N.D. ～ 0.009)	0.001 (N.D. ～ 0.011)	N.D (N.D. ～ 0.272)
Melon vegetables	20	0.002 (N.D. ～ 0.031)	0.003 (N.D. ～ 0.015)	0.001 (N.D. ～ 0.011)	0.008 (N.D. ～ 0.272)
Total	130	0.005 (N.D. ～ 0.084)	0.003 (N.D. ～ 0.034)	0.002 (N.D. ～ 0.013)	0.027 (N.D. ～ 1.091)

[a] Median
[b] Not detected

表七、蔬菜類之重金屬(鎘、銻及鉛)含量

Variety	No.	Cd content (μg/g, wet basis)	Sb content (μg/g, wet basis)	Pb content (μg/g, wet basis)
Cabbage	10	N.D.[a] (N.D.[b] ～ 0.003)	N.D (N.D. ～ 0.002)	N.D
Mustard	5	0.006 (0.004 ～ 0.010)	N.D (N.D. ～ 0.001)	0.005 (0.001 ～ 0.009)
Brassica vegetables	15	0.001 (N.D. ～ 0.010)	N.D (N.D. ～ 0.002)	N.D (N.D. ～ 0.009)
Chinese mustard	15	0.007 (N.D. ～ 0.023)	N.D (N.D. ～ 0.002)	0.004 (N.D. ～ 0.036)
Pak-choi	10	0.014 (0.003 ～ 0.020)	N.D	0.002 (N.D. ～ 0.022)
Lettuce	5	0.008 (N.D. ～ 0.021)	N.D (N.D. ～ 0.001)	0.002 (N.D. ～ 0.012)
Leaf vegetables	30	0.010 (N.D. ～ 0.023)	N.D (N.D. ～ 0.002)	0.003 (N.D. ～ 0.036)
Onion	10	0.002 (N.D. ～ 0.004)	N.D (N.D. ～ 0.001)	N.D (N.D. ～ 0.001)
Potato	5	0.026 (0.021 ～ 0.038)	N.D	N.D (N.D. ～ 0.004)
Bamboo shoot	10	N.D (N.D. ～ 0.007)	N.D (N.D. ～ 0.002)	N.D (N.D. ～ 0.006)
Coba	5	N.D	N.D	N.D (N.D. ～ 0.001)
Stalk and stem vegetables	30	N.D (N.D. ～ 0.038)	N.D (N.D. ～ 0.002)	N.D (N.D. ～ 0.006)
Eggplant	10	0.010 (N.D. ～ 0.027)	N.D (N.D. ～ 0.001)	N.D (N.D. ～ 0.002)
Sweet pepper	15	N.D (N.D. ～ 0.005)	N.D (N.D. ～ 0.002)	N.D (N.D. ～ 0.005)
Pumpkin	10	N.D (N.D. ～ 0.002)	N.D (N.D. ～ 0.002)	N.D (N.D. ～ 0.001)
Fruit vegetables	35	0.001 (N.D. ～ 0.027)	N.D (N.D. ～ 0.002)	N.D (N.D. ～ 0.005)
Cucumber	10	N.D (N.D. ～ 0.002)	N.D	N.D (N.D. ～ 0.002)
Vegetable pear	10	N.D (N.D. ～ 0.013)	N.D (N.D. ～ 0.002)	N.D (N.D. ～ 0.004)
Melon vegetables	20	N.D (N.D. ～ 0.013)	N.D (N.D. ～ 0.002)	N.D (N.D. ～ 0.004)
Total	130	0.002 (N.D. ～ 0.038)	N.D (N.D. ～ 0.002)	N.D (N.D. ～ 0.036)

[a] Median
[b] Not detected

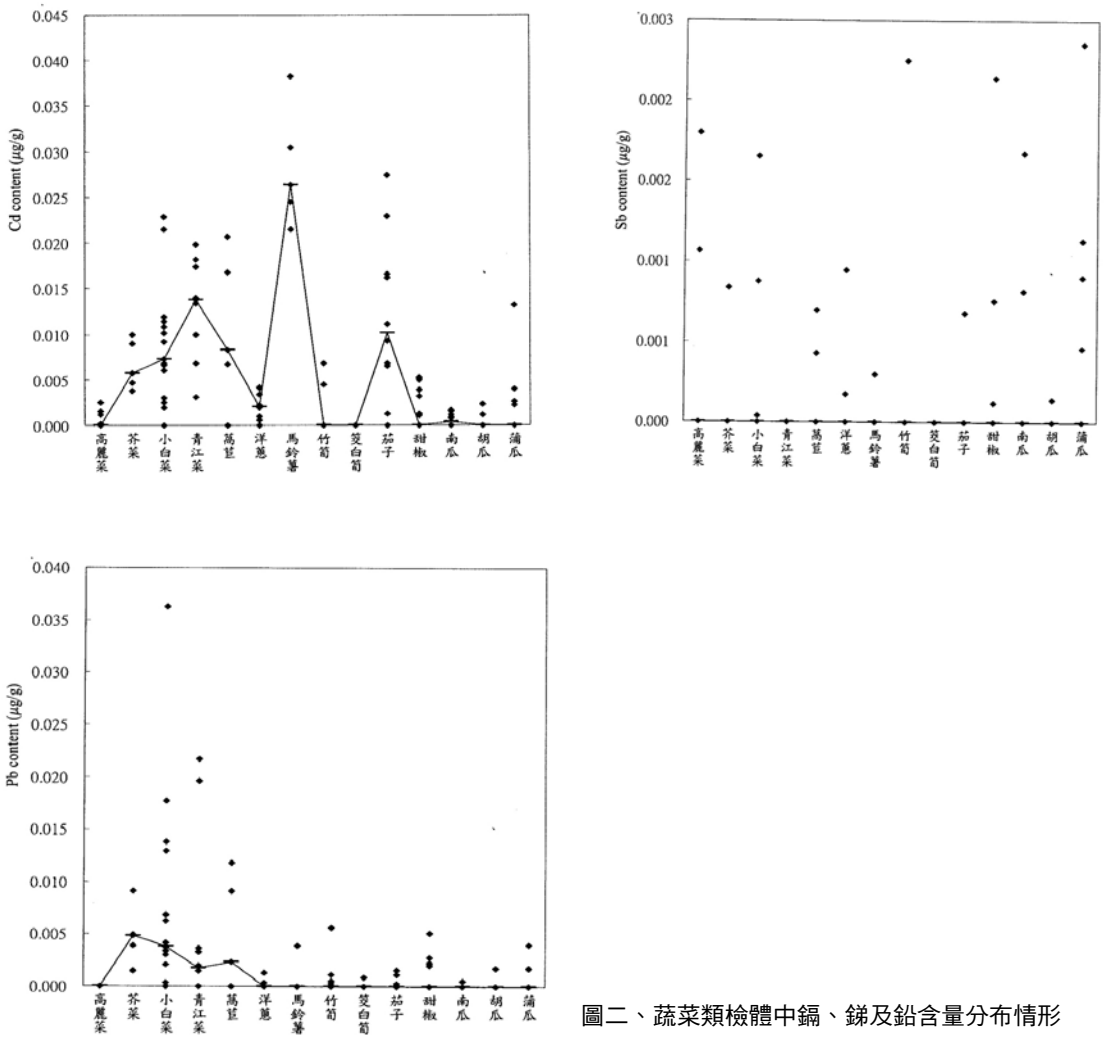


圖一、蔬菜類檢體中鈷、砷、硒及鉬含量分布情形

七、本研究結果與國外文獻調查結果之比較

Tahvonen等學者[5]調查芬蘭市場販賣的蔬菜中鉛、鎘含量，分析胡瓜、高麗菜、萵苣、馬鈴薯的鎘含量平均值分別為3.471 μg/kg（< 1～11 μg/kg）、4.93 μg/kg（1～17 μg/kg）、25.029 μg/kg（1～190 μg/kg）及24.668 μg/kg（1～182 μg/kg），鉛含量平均值分別為6.714 μg/kg（< 1～44 μg/kg）、9.1 μg/kg（< 1～40 μg/kg）、45.462 μg/kg（1～2250 μg/kg）及14.58 μg/kg（0.2～370 μg/kg）。本研究分析胡瓜、高麗菜、萵苣、馬鈴薯的鎘含量分別為未檢出～2.303 μg/kg、未檢出～2.560 μg/kg、未檢出～20.680 μg/kg及21.473～38.254 μg/kg，鉛含量分別為未檢出～1.747 μg/kg、未檢出、未檢出～11.764 μg/kg及未檢出～3.897 μg/kg，含量均遠低於該研究之結果。

Urieta等學者[6]調查西班牙食品中砷、鉛、鎘的含量，分析蔬菜（未包含馬鈴薯）的砷、鎘、鉛含量分別為< 1 μg/kg、8 μg/kg（4～17 μg/kg）



圖二、蔬菜類檢體中鎘、銻及鉛含量分布情形

及23 μg/kg（5～45 μg/kg），馬鈴薯的砷、鎘、鉛含量分別為< 3 μg/kg、21 μg/kg（5～46 μg/kg）及15 μg/kg（5～35 μg/kg）。本研究125件蔬菜類（未包含馬鈴薯）檢體之砷、鎘、鉛平均含量為未檢出～34.1 μg/g、未檢出～27.4 μg/kg、未檢出～36.3 μg/kg，馬鈴薯的砷、鎘、鉛含量分別為1.4～5.9 μg/kg、21.5～38.2 μg/kg及未檢出～3.90 μg/kg。與該研究比較，砷及鎘含量偏高，鉛含量則偏低。

八、蔬菜類之重金屬容許限量標準

我國目前尚未訂定蔬菜類之重金屬限量標準。依據聯合國糧農組織/世界衛生組織之食品標準委員會（FAO/WHO Codex Alimentarius Commission, Codex）2007年會議，訂定包葉菜類、洋蔥、果菜類及瓜菜類中鎘之最大限量（maximum level）均為0.05 mg/kg，小葉菜類中鎘之最大限量為0.2 mg/kg，莖菜類、馬鈴薯中鎘之最大限量為0.1 mg/kg，包葉菜類、小葉菜類中鉛之最大限量均為0.3 mg/kg，洋蔥、果菜類及瓜菜類中鉛之最大限量均為0.1 mg/kg[7]；另歐盟法規委員會（European Regulation Commission）於2006年訂

定包葉菜類、果菜類、瓜菜類及洋蔥中鎘之最大限量為0.05 mg/kg，小葉菜類中鎘之最大限量為0.2 mg/kg，莖菜類、馬鈴薯中鎘之最大限量為0.1 mg/kg，包葉菜類、小葉菜類中鉛之最大限量為0.3 mg/kg，果菜類、瓜菜類、莖菜類及馬鈴薯中鉛之最大限量為0.1 mg/kg[8]。本研究分析包葉菜類、小葉菜類、洋蔥、馬鈴薯、莖菜類、果菜類及瓜菜類之鎘含量，分別為未檢出～0.010 μg/g、未檢出～0.023 μg/g、未檢出～0.004 μg/g、0.021～0.038 μg/g、未檢出～0.007 μg/g、未檢出～0.027 μg/g及未檢出～0.013 μg/g，鉛含量分別為未檢出～0.009 μg/g、未檢出～0.036 μg/g、未檢出～0.001 μg/g、未檢出～0.004 μg/g、未檢出～0.006 μg/g、未檢出～0.005 μg/g及未檢出～0.004 μg/g，均符合上述國際標準之規定。

九、風險評估

聯合國糧農組織及世界衛生組織（FAO/WHO）建議砷、鎘及鉛之暫定每週容許攝取量（Provisional Tolerable Weekly Intake, PTWI）分別為15、7及25 μg /kg body weight，依國人之平均體重60公斤換算成每週容許攝取量分別為900、420及1500 μg[3,9,10]。參考行政院衛生署發布的國民營養現況調查結果[11]，台灣地區成年男性每日攝取蔬菜類的平均重量為299.15 g，其中深綠色蔬菜類的平均重量為152.63 g，淺色蔬菜類的平均重量為84.36 g，筍類的平均重量為19.36 g，瓜類的平均重量為42.80 g；女性為299.88 g，其中深綠色蔬菜類的平均重量為153.78 g，淺色蔬菜類的平均重量為78.99 g，筍類的平均重量為17.93 g，瓜類的平均重量為49.18 g。若以本研究之130件檢體中最高之砷含量0.034 μg/g、鎘含量0.038 μg/g及鉛含量0.036 μg/g計算，成年男性每週因食用蔬菜類所攝入之砷、鎘及鉛含量分別為71.20、79.57及75.39 μg，女性為71.37、79.77及75.57 μg，遠低於FAO/WHO所規定之鎘及鉛之每週容許攝取量。

結論與建議

本研究係以石墨熱板消化法前處理檢體並配合感應耦合電漿質譜儀建立台灣地區生產之蔬菜類檢體中重金屬含量之背景資料。經標準參考物質確認檢驗方法，及於檢體中添加不同濃度之多重元素標準品，結果鈷、砷、硒、鉬、鎘、銻及鉛之回收率分別為其平均回收率分別為98.0～122.5％、81.4～110.5％、70.5～103.0％、94.7～128.2％、80.4～113.9％、80.6～103.5％、80.5～104.8％，變異係數分別為0.3～3.3％、0.2～6.2％、0.2～7.3％、0.3～5.6％、0.1～5.7％、0.1～3.3％、0.4～9.7％，顯示方法穩定且再現性佳。將此方法應用於所抽樣的130件蔬菜類檢體，檢測結果各重金屬中位數值範圍分別為鈷0.001～0.015 μg/g、砷0.001～0.014 μg/g、硒0.001～0.008 μg/g、鉬N.D.～0.067 μg/g、鎘N.D.～0.026 μg/g、銻N.D.及鉛N.D.～0.005 μg/g，均符合國際間限量標準規定。經風險評估結果，台灣地區生產的蔬菜類中重金屬砷、鎘及鉛含量均遠低於FAO/WHO建議之暫定每週容許攝取量，因此不會造成人體健康之危害，消費者可放心食用。

參考文獻

1. 林浩潭。1991。以作物中重金屬容許含量推算土壤中重金屬容許含量之探討。p.1。國立中興大學土壤學研究所碩士論文。
2. 林秀華。2006。動、植物中礦物質含量及有害重金屬污染來源調查。p.32。屏東科技大學食品科學研究所碩士論文。
3. 林浩潭、翁愫慎、李國欽。2002。食品中重金屬含量及管制標準。pp.1-116。行政院農業委員會農藥藥物毒物試驗所。
4. 江守山。2006。如何檢查及治療重金屬汙染。新光醫訊，173: 4-5。
5. Tahvonen, R. and Kumpulainen, J., 1995. Lead and Cadmium in some berries and vegetables on the Finnish market in 1991-1993. Food Additives and Contaminants 12(2): 263-279.
6. Urieta, I., Jalón, M. and Eguileor, I., 1996. Food surveillance in the Basque country (Spain). II. Estimation of the dietary intake of organochlorine pesticides, heavy metals, arsenic, aflatoxin M1, iron and zinc through the total diet study, 1990/91.

Food Additives and Contaminants 13(1): 29-52.

7. CODEX STAN 193-1995, Rev.3-2007. Codex general standard for contaminants and toxins in foods. [http://www.codexalimentarius.net/download/standards/17/CXS_193e.pdf].
8. EC. 2006. Commission regulation (EC) No 1881/2006. Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Official Journal of the European Union. [http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/oj/2006/l_364/l_36420061220en00050024.pdf].
9. WHO. 1989. Evaluation of certain food additives and contaminants. Third-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, WHO technical series, No.837. Geneva.
10. WHO/FAO. 1999. Maximum levels for lead in codex commodity standards. CX/FAC 00/24. Rome.
11. 吳幸娟、章雅惠、方佳雯、潘文涵。1999。「1993-1996 台灣國民營養健康狀況變遷調查結果」-台灣地區成人攝取的食物總重量、熱量值及三大營養素的食物來源。pp.59-61。行政院衛生署。[http://food.doh.gov.tw/chinese/academic/PDF/academic3_3/04.pdf] 。

Investigation of Heavy Metals in Marketed Vegetables in Taiwan

RU-CHIA SHIH, WAN-YING CHEN, YA-MIN KAO AND DANIEL YANG-CHIH SHIH

Food Chemistry Division

ABSTRACT

In order to survey the contents of heavy metals, including Co, As, Se, Mo, Cd, Sb and Pb, in the marketed vegetables for further setting the tolerance limit of heavy metals by the Department of Health of Executive Yuan, 130 vegetable samples were collected from the markets and analyzed from Mar. to Oct. 2007 in Taiwan. The samples, including Brassica vegetables (15), leaf vegetables (30), stalk and stem vegetables (30), fruit vegetables (35) and melon vegetables (20), were digested in a graphite block digester and analyzed using an inductively coupled plasma-mass spectrometer (ICP-MS) for quantification. The method was evaluated by using the certified reference materials. The median value ranges of Co, As, Se, Mo, Cd, Sb and Pb in vegetable samples were shown 0.001～0.015 μg/g, 0.001～0.014 μg/g, 0.001～0.008 μg/g, N.D.～0.067 μg/g, N.D.～0.026 μg/g, N.D. and N.D.～0.005 μg/g, respectively. The levels of Cd and Pb in vegetable samples were all below the maximum levels set by FAO/WHO Codex Alimentarius and European Regulation Commission.

Key Words: graphite block digester, inductively coupled plasma-mass spectrometer, vegetables, heavy metals, cobalt (Co), arsenic (As), selenium (Se), molybdenum (Mo), cadmium (Cd), antimony (Sb), lead (Pb)