

紙菸菸葉中重金屬含量之檢測

洪甄敏 施又寧 吳白玟 張淑涵 高雅敏 曾素香 王德原

衛生福利部食品藥物管理署研究檢驗組

摘 要

重金屬濃度過高或長期蓄積會對身體造成毒害，故本研究建立以微波消化系統進行紙菸菸葉樣品前處理，以鍮(Ge)、銑(Rh)及鉍(Bi)為內部標準品，續以感應耦合電漿串聯質譜儀(Inductively Coupled Plasma/tandem Mass Spectrometer, ICP-MS/MS)檢測之紙菸菸葉中重金屬含量之檢驗方法。鉻(Cr)、鎳(Ni)、砷(As)、硒(Se)、鎘(Cd)、汞(Hg)及鉛(Pb)等重金屬之標準曲線濃度範圍0-25 ng/mL，其相關係數均達0.999以上。品質管制分析則以標準參考物質之檢測值與標示值比值及標準參考物質額外添加硒及汞標準品添加值之回收率進行管控。本檢驗方法之定量極限，鉻、鎳、鎘及鉛均為0.5 mg/kg，砷、硒及汞均為0.05 mg/kg。依本方法檢測40件菸品檢體，鉻之含量範圍為1.03-3.90 mg/kg、鎳之含量範圍為1.23-4.43 mg/kg、硒之含量範圍為N.D.-0.13 mg/kg、砷之含量範圍為0.06-0.51 mg/kg、鎘之含量範圍為0.52-4.18 mg/kg、鉛之含量範圍為N.D.-1.90 mg/kg，而汞之含量皆低於定量極限(0.05 mg/kg)。本研究結果將有利於建立我國市售紙菸菸葉中重金屬含量資料庫，供主管機關參考。

關鍵詞：菸葉、重金屬、微波消化系統、感應耦合電漿串聯質譜儀

前 言

重金屬係指比重大於5之金屬，其種類眾多。其中對生物之成長

發育及生理機能有影響者稱為必需元素(如鋅、鐵、銅等)，然而，必需元素要在適當濃度範圍內才能發揮效益，過低會妨礙生長及生理功能，但當濃度高於生物體所能承受的負荷量時亦會產生毒害；而不為生物生長所需要的元素稱為非必需元素(如鎘、鉛、汞等)，生物對低量的非必需元素通常具有容忍力，但若長期蓄積或是濃度升高，則會使生物體產生毒性反應並造成死亡⁽¹⁾。

世界衛生組織附屬之國際癌症研究機構(International Agency for Research on Cancer,

IARC)針對許多物質，依據其流行病學、動物毒理實驗證據，區分其致癌等級為1級至4級(Group 1, Group 2A, Group 2B, Group 3, Group 4)，而鉻、砷及鎘被列為Group 1，屬於人類確定致癌因子，且人類流行病學證據充分；鎳及鉛被列為Group 2B，屬於人類疑似致癌因子，人類流行病學證據有限，且動物實驗證據有限或不足；硒及汞被列為Group 3，屬於無法歸類為致癌因子，人類流行病學證據不足，且動物實驗證據亦不足或無法歸入其他類別⁽²⁾。美國環境保護局(U.S. Environmental Protection Agency)訂有每日容許攝取量，六價鉻為0.003 mg/kg/day，鎳為0.02 mg/kg/day，砷、鎘及汞皆0.0003 mg/kg/day，鉛為0.0036 mg/kg/day，而硒的終生攝食量不能超過5 µg/

kg/day⁽³⁾。

菸草植物從土壤吸收重金屬並集中在葉片，菸葉中累積之重金屬會受菸草基因型、土壤類型、土壤pH值及殺蟲劑等因子影響⁽¹⁾，例如，土壤自然存在的元素、遭汙染的土壤或灌溉水，以及施用砷酸鉛等殺蟲劑，都會大幅提升吸菸者暴露於重金屬的風險⁽⁴⁾，WHO指出若人體一天抽20支菸，估計人體約可吸入1-5 µg之鉛含量⁽⁵⁾。

由於砷與硒在ICP-MS分析中，會受到多種干擾物影響，很難準確定量，故利用ICP-MS/MS具備三重四極柱(Q1-Q3)之構造，於Q1先去除分別干擾⁷⁵As及⁷⁸Se之⁹¹Zr及⁹⁴Mo單電荷離子，再於Q2通入氧氣促使⁷⁵As及⁷⁸Se反應產生⁹¹ [AsO]⁺及⁹⁴ [SeO]⁺產物離子，最終進入Q3濾除殘留之雙電荷離子，產物離子被分離而進行分析，透過位移質量數解除干擾以增加試驗之準確度⁽⁶⁾。另，本方法所測得之鉻含量為總鉻，無法區分三價鉻及六價鉻。

本研究利用全自動超高壓微波消化系統(UltraCLAVE)進行樣品前處理，並搭配ICP-MS/MS進行檢測，檢驗分析市售菸品中7種重金屬含量(表一)。本研究結果將有利於建

立我國市售菸品重金屬含量資料庫，供主管機關參考。

材料與方法

一、檢體來源

依衛生福利部國民健康署(下稱國健署)111年提供之申報販售紙菸廠商清單抽驗40件菸品，包括臺灣菸品16件、中國菸品5件及其他國別菸品19件。

二、材料與試劑

(一)對照標準品

對照標準品皆採用ICP-MS分析級。多元素標準品(鉻、鎳、砷、硒、鎘及鉛等元素，100 mg/L)及多元素內部標準品(含鉍、銻及銻等元素，100 mg/L)，皆購自美國Agilent公司(Santa Clara, CA, USA)。汞(Hg)標準品購自美國Sigma-Aldrich公司(Saint Louis, MO, USA)。金(Au)標準品購自美國AccuStandard公司(New Haven, CT, USA)。

(二)試藥及試劑

硝酸採用超純級，購自美國Mallinckrodt Baker公司(Phillipsburg, NJ, USA)。標準參考物質Oriental basma tobacco leaves (INCT-OBTL-5)，購自波蘭Institute of Nuclear Chemistry and Technology (INCT) (Warsaw, Poland)。各種溶液之配製均使用由美國Millipore Milli-Q製造，比電阻於25℃可達18MΩ·cm之去離子水。質譜儀調校溶液購自美國Agilent公司(Santa Clara, CA, USA)。

(三)5%硝酸溶液及標準溶液之調製

1. 5% (w/w)硝酸溶液

取硝酸(超純級) 50 mL，緩緩加入去離子水500 mL中，再加入去離子水使成1,000 mL。

表一、本研究之重金屬元素及元素符號對照表

	中文名稱	元素符號
目標元素	鉻	Cr
	鎳	Ni
	砷	As
	硒	Se
	鎘	Cd
	汞	Hg
內標元素	鉛	Pb
	銻	Ge
	銻	Rh
	鉍	Bi
其他元素	銻	Zr
	鉬	Mo

表三、感應耦合電漿串聯質譜儀之儀器參數

儀器參數	儀器條件參數	對應之內標元素
RF power	1,500.0 W	
Sample depth	10.0 mm	
Nebulizer gas	0.91 L/min	
Dilution gas	0.1 L/min	
He gas flow rate	4.5 mL/min	
O ₂ gas flow rate	30%	
Nebulizer pump	0.10 rps	
	⁵² Cr	
	⁶⁰ Ni	⁷⁴ Ge
	⁷⁵ As → ⁹¹ AsO	
Mass (m/z)	⁷⁸ Se → ⁹⁴ SeO	
	¹¹⁴ Cd	¹⁰³ Rh
	²⁰² Hg	
	²⁰⁸ Pb	²⁰⁹ Bi

2. 多元素內部標準原液

精確量取100 mg/L之多元素內部標準品0.5 mL，以5%硝酸溶液定容至50 mL，供作多元素內部標準原液(1 µg/mL)。

3. 多元素標準原液

精確量取100 mg/L之多元素標準品0.5 mL及1,000 mg/L之汞標準品0.05 mL，以5%硝酸溶液定容至50 mL，供作多元素標準原液(1 µg/mL)。

4. 金內部標準原液

精確量取1,000 mg/L之元素標準品0.5 mL，以5%硝酸溶液定容至50 mL，供作金內部標準原液(10 µg/mL)。

5. 多元素標準溶液

精確量取多元素標準原液，添加多元素內部標準原液與金內部標準原液，以5%硝酸溶液稀釋成濃度為0~25 ng/mL (含多元素內部標準溶液10 ng/mL；金內部標準溶液100 ng/mL)，供作多元素標準溶液，臨用時調製。

三、儀器與器具

(一)微波消化系統(UltraClave, Milestone, Italy)，儀器參數見表二。

(二)感應耦合電漿串聯質譜儀(8,900 ICP-MS/MS, Agilent Technologies, USA)，儀器參數見表三。

(三)酸蒸氣清洗裝置(TraceCLEAN, Milestone, Italy)

(四)去離子水製造機(Milli-Q, Millipore, USA)

(五)微波消化使用石英玻璃消化瓶組、漏斗、定量瓶、吸量管等玻璃器具均為派勒斯(Pyrex)材質，塑膠瓶(SC475，50 mL，聚丙烯材質，附蓋)，使用前均先以洗劑清洗，經清水洗滌後，以酸蒸氣清洗裝置，蒸氣酸洗2小時後，以去離子水將附著於管壁上之硝酸沖洗乾淨，乾燥備用。

(六)0.45 µm PTFE濾膜(Environmental Express, USA)。

表二、微波消化系統之微波消化條件

步驟	微波功率 (W)	加熱時間 (min)	內部溫度 (°C)	外部溫度 (°C)	內部壓力 (bar)
1	1,000	5	70	60	100
2	1,000	12	110	60	130
3	1,000	17	140	60	160
4	1,200	8	210	60	160
5	1,200	11	240	60	160
6	1,200	10	240	60	160

四、試驗方法

(一)檢液之製備

紙菸檢體去除菸紙及濾嘴部分，將菸葉混合均勻後精確稱取檢體0.4 g，置於石英玻璃消化瓶組中，加入濃硝酸6 mL，添加500 µL之內部標準原液及500 µL之金內部標準原液後，靜置30分鐘以微波消化系統進行消化，消化條件如表二。消化液冷

卻後以去離子水定容至50 mL，經0.45 µm PTFE濾膜過濾，供作檢液，分析前以5%硝酸進行5倍體積稀釋。

(二) 定量分析

取上述檢液、空白檢液(試劑空白)及標準溶液，針對鉻、鎳、砷及硒以鉍為內部標準品，鎘及汞以銻為內部標準品，鉛以鋇為內部標準品，配合ICP-MS/MS檢測，並依下列計算式求出檢體中各重金屬之含量(mg/kg)。

$$\text{檢體中重金屬含量(mg/kg)} = \frac{(C - C_0) \times V_d \times D}{W_s \times 1,000}$$

C：由標準曲線中求得檢液之重金屬濃度(ng/mL)

C₀：由標準曲線中求得空白檢液之重金屬濃度(ng/mL)

V_d：檢液定容之體積(mL)

D：稀釋倍數

W_s：取樣分析檢體之重量(g)

(三) ICP-MS/MS系統之線性範圍

取濃度0.1、1、2、5、10及25 ng/mL之鉻、鎳、砷、硒、鎘、汞及鉛混合標準溶液50 mL，利用ICP-MS/MS進行分析，以內標法迴歸計算其線性方程式及相關係數。線性迴歸方程式之相關係數不應低於0.99，檢液中待測物濃度應在標準曲線之線性範圍內。

五、定量極限之評估

分別將適當濃度之鉻、鎳、砷、硒、鎘、汞及鉛標準溶液添加至含有已知量待測物之低濃度樣品，評估含有已知量待測物之低濃度樣品其回收率及重複性是否符合要求，以及量測至少七重複之低濃度樣品之感應值，再計算其感應值之標準差(s)，而定量極限之計算如下：

$$LOQ = 10s/m$$

m：檢量線之斜率

六、準確度及精密度試驗

於同日及不同日進行2種濃度之添加回收試驗，砷、硒及汞元素之添加濃度為0.05及0.5 mg/kg；鉻、鎳、鎘及鉛之添加濃度為0.5及1 mg/kg。將標準溶液添加至含有已知量待測物之低濃度樣品中，各濃度皆進行5重複試驗，依前述流程製成檢液，並計算其回收率及變異係數，以評估是否符合衛生福利部食品藥物管理署(下稱食藥署)食品化學檢驗方法確效規範⁽⁷⁾之要求。

七、查核樣品分析

取標準參考物質Oriental basma tobacco leaves (INCT-OBTL-5)(內含鉻6.3 mg/kg、鎳8.5 mg/kg、砷0.668 mg/kg、鎘2.64 mg/kg及汞2.01 mg/kg)約0.4 g，精確稱定，再額外添加硒(5 mg/kg)及鉛(5 mg/kg)之標準品，消化後經ICP-MS/MS檢測並計算其回收率，並以回收率80-120%為管制範圍，進行品管分析。

結果與討論

一、確效試驗結果

(一) 標準曲線

針對鉻、鎳、砷、硒、鎘、汞及鉛等元素之分析，將濃度0-25 ng/mL多元素標準溶液，以ICP-MS/MS進行分析，以內標法計算線性迴歸方程式，其相關係數均在0.999以上(表四)，顯示鉻、鎳、砷、硒、鎘、汞及鉛等元素在濃度範圍0-25 ng/mL之線性關係佳。

(二) 準確度及精密度試驗

結果如表五，同日間鉻、鎳、砷、硒、鎘、汞及鉛之2個添加濃度平均回收率介於83.7-108.8%之間，重複性之變異係數介於0.6-12.7%之間；異日間鉻、鎳、砷、硒、鎘、汞及鉛之2個添加濃度平均回收率介於83.0-108.9%之間，中間精密

表四、七種元素之線性方程式及相關係數

元素 ^a	濃度範圍 (ng/mL)	內標法	
		線性方程式	相關係數(r)
Cr		$y = 0.0295x + 0.0028$	0.9999
Ni		$y = 0.0100x + 0.0009$	0.9997
As		$y = 0.0046x - 0.0000$	0.9999
Se	0-25	$y = 0.0005x + 0.0014$	0.9993
Cd		$y = 0.0188x + 0.0011$	0.9999
Hg		$y = 0.0193x + 0.0001$	0.9999
Pb		$y = 0.1047x + 0.0047$	0.9999

^a 元素中文名稱詳見表一

度之變異係數分別介於1.2-19.4%之間。依據衛生福利部食品藥物管理署公布之「食品化學檢驗方法之確效規範」⁽¹⁵⁾，回收率範圍於濃度0.01-1 mg/kg為70-120%；重複性及中間精密度之變異係數於濃度

表五、七種元素之確效試驗結果

元素 ^a	添加量 (mg/kg)	同日間 ^b		異日間 ^c	
		回收率 (%)	變異係數 (%)	回收率 (%)	變異係數 (%)
⁵² Cr	0.50	96.2	12.7	93.6	14.0
	1.00	83.7	7.0	105.0	9.4
⁶⁰ Ni	0.50	104.9	8.5	108.9	10.2
	1.00	99.2	8.5	96.6	8.5
⁷⁵ As	0.05	100.8	6.2	99.7	16.4
	0.50	107.6	0.6	108.0	1.2
⁷⁸ Se	0.05	102.1	6.2	93.9	19.4
	0.50	108.8	1.7	107.8	2.4
¹¹⁴ Cd	0.50	102.7	6.3	102.0	6.1
	1.00	98.4	3.5	99.7	4.6
²⁰² Hg	0.05	88.7	3.3	83.0	8.7
	0.50	98.5	1.4	92.7	6.7
²⁰⁸ Pb	0.50	100.3	8.6	96.5	8.4
	1.00	99.0	2.1	97.8	2.8

^a 元素中文名稱詳見表一^b n=5^c n=10

表六、七種元素之定量極限(LOQ)評估結果

元素	平均感應值 ^a	標準差 (s)	斜率 (m)	LOQ (mg/kg)
⁵² Cr	127,901.8	2,081.8	5,031.2	0.52
⁶⁰ Ni	26,848.9	581.7	1,645.3	0.44
⁷⁵ As	531.0	32.2	751.9	0.05
⁷⁸ Se	301.0	53.1	78.2	0.85
¹¹⁴ Cd	10,569.5	227.3	2,826.5	0.10
²⁰² Hg	317.6	40.7	2,202.4	0.02
²⁰⁸ Pb	36,582.1	1,228.1	13,142.0	0.12

^a n=7

0.1-1 mg/kg為15及18%，於濃度0.01-0.1 mg/kg為20及22%，顯示方法之準確度及精密度均符合確效規範。

(三) 定量極限之評估

由於菸品中皆含有重金屬，無法找到空白樣品，故以較低重金屬含量之菸品，進行定量極限之評估，結果如表六所示。進行7次重複試驗，藉由標準差及斜率代入公式可預估出定量極限，鉻、鎳、砷、鎘、汞及鉛依序為0.52、0.44、0.05、0.10、0.02及0.12 mg/kg，考量檢驗之一致性，故將定量極限於砷及汞訂為0.05 mg/kg，鉻、鎳、鎘及鉛訂為0.5 mg/kg。硒元素以公式計算所得定量極限為0.85 mg/kg，但因硒在菸品檢體中之含量低，考量其於0.05 mg/kg之準確度與精密度試驗結果亦符合確效規範，故以此為定量極限。

二、檢體之分析

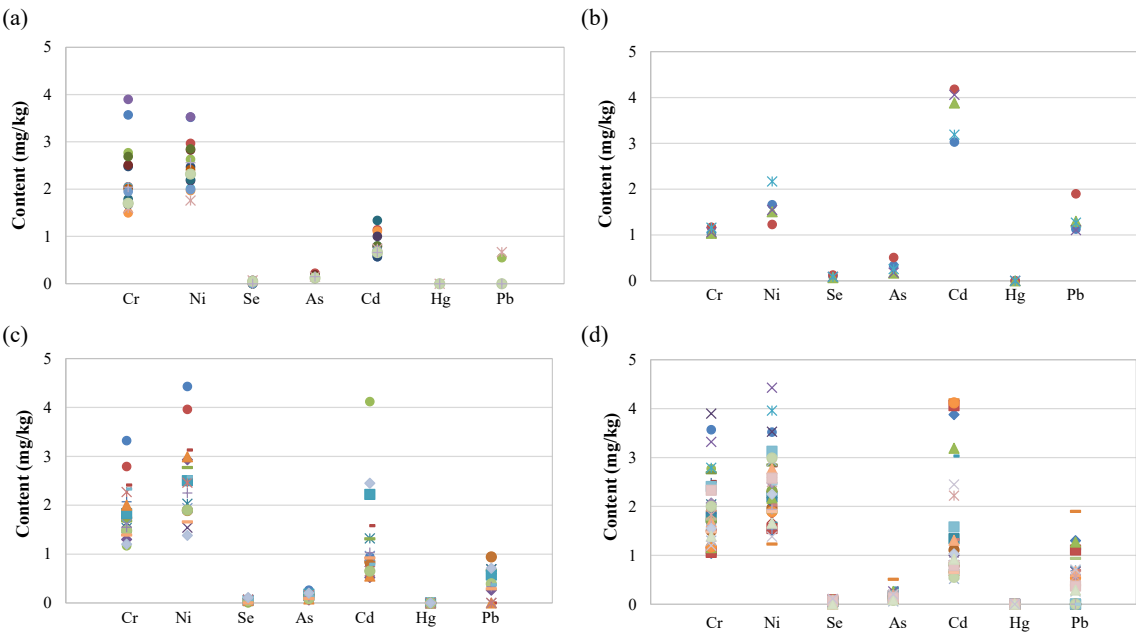
(一) 紙菸檢體中重金屬含量

依產地國家分類之菸草中各種重金屬平均含量與分布範圍分別如表七與圖一，結果顯示，菸草檢體中鉻、鎳含量之中位數及平均值以中國菸品最低；而硒、砷、鎘及鉛之中位數及平均值以中國菸品最高；且不論是臺灣菸品、中國菸品亦或是其他國別菸品之汞含量雖有檢測值但皆低於本方

表七、紙菸菸葉中重金屬之檢驗結果

產地		含量(mg/kg)						
		Cr	Ni	Se	As	Cd	Hg	Pb
臺灣 (n=16)	平均值	2.27	2.51	0.06	0.15	0.80	N.D. ^a	0.61
	最小值	1.50	1.76	N.D. ^a	0.11	0.57	N.D.	N.D. ^a
	最大值	3.90	3.53	0.07	0.22	1.34	N.D.	0.67
	中位數	2.04	2.44	0.05	0.14	0.73	N.D.	0.61
中國 (n=5)	平均值	1.09	1.62	0.10	0.29	3.67	N.D.	1.34
	最小值	1.03	1.23	0.07	0.17	3.03	N.D.	1.11
	最大值	1.17	2.17	0.13	0.51	4.18	N.D.	1.90
	中位數	1.06	1.55	0.09	0.26	3.88	N.D.	1.27
其他 (n=19)	平均值	1.86	2.46	0.06	0.15	1.22	N.D.	0.53
	最小值	1.17	1.38	N.D.	0.06	0.52	N.D.	N.D.
	最大值	3.32	4.43	0.11	0.26	4.12	N.D.	0.94
	中位數	1.68	2.46	0.06	0.14	0.92	N.D.	0.59
全部檢體 (n=40)	平均值	1.93	2.38	0.06	0.16	1.36	N.D.	0.74
	最小值	1.03	1.23	N.D.	0.06	0.52	N.D.	N.D.
	最大值	3.90	4.43	0.13	0.51	4.18	N.D.	1.90
	中位數	1.77	2.29	0.06	0.15	0.84	N.D.	0.67

^a N.D.：低於定量極限(硒與汞為0.05 mg/kg，鉛為0.5 mg/kg)



圖一、紙菸菸葉中重金屬含量分布圖
(a) 16件臺灣、(b) 5件中國、(c) 19件其他國別及(d) 40件全部檢體

表八、各國市售菸品菸草中重金屬含量之比較

平均含量(mg/kg)				國家	檢體數量	文獻
Cr	Ni	Cd	Pb			
4.07	8.79	0.45	1.94	印度	30	Verma等人 ⁽⁸⁾
1.11	2.40	1.95	1.20	德國	20	Schneider等人 ⁽⁹⁾
1.63	0.22	1.70	1.63	土耳其	9	Barlas等人 ⁽¹⁰⁾
-	1.22	0.74	10.80	奈及利亞	14	Yebpella等人 ⁽¹¹⁾
-	2.23	0.18	0.64	中國	5	Yang等人 ⁽¹²⁾
-	5.40	1.89	1.17	匈牙利	20	Gondola等人 ⁽¹³⁾
-	-	0.50	14.35	巴基斯坦	20	Ajab等人 ⁽¹⁴⁾
-	-	0.61	0.56	波蘭	10	Galazyn-Sidorczuk等人 ⁽¹⁵⁾
-	-	2.64	2.67	約旦	19	Massadeh等人 ⁽¹⁶⁾
1.93	2.38	1.36	0.74	臺灣	40	本研究

法之定量極限(0.05 mg/kg)。另，平均值可因受到極端值的影響，無法反映現實分布的結果，而中位數不受極端值的影響，比較能恰當顯示紙菸檢體中各種重金屬含量之集中趨勢。

(二)本研究結果與國外文獻調查結果之比較

本研究針對臺灣市面可購得之菸品(共40件檢體)中重金屬含量與國外文獻記載比較如表八所示。

本研究所測得鉻之平均含量為1.93 mg/kg，較印度(4.07 mg/kg)⁽⁸⁾菸品低，而高於德國(1.11 mg/kg)⁽⁹⁾與土耳其(1.63 mg/kg)⁽¹⁰⁾菸品。鎳平均含量為2.38 mg/kg，較土耳其(0.22 mg/kg)⁽¹⁰⁾、奈及利亞(1.22 mg/kg)⁽¹¹⁾與中國(2.23 mg/kg)⁽¹²⁾菸品高；但低於德國(2.40 mg/kg)⁽⁹⁾、匈牙利(5.40 mg/kg)⁽¹³⁾與印度(8.79 mg/kg)⁽⁸⁾菸品。鎘平均含量為1.36 mg/kg，較中國(0.18 mg/kg)⁽¹²⁾、印度(0.45 mg/kg)⁽⁸⁾、巴基斯坦(0.50 mg/kg)⁽¹⁴⁾、波蘭(0.61 mg/kg)⁽¹⁵⁾與奈及利亞(0.74 mg/kg)⁽¹¹⁾菸品為高；與土耳其(1.70 mg/kg)⁽¹⁰⁾、匈牙利(1.89 mg/kg)⁽¹³⁾、德國(1.95 mg/kg)⁽⁹⁾與約旦(2.64 mg/kg)⁽¹⁶⁾菸品為低。鉛平均含量為0.74 mg/kg，高於波蘭(0.56 mg/kg)⁽¹⁵⁾與

中國(0.64 mg/kg)⁽¹²⁾菸品，而匈牙利(1.17 mg/kg)⁽¹³⁾菸品與德國(1.20 mg/kg)⁽⁹⁾、土耳其(1.63 mg/kg)⁽¹⁰⁾、印度(1.94 mg/kg)⁽⁸⁾及約旦(2.67 mg/kg)⁽¹⁶⁾菸品調查之鉛含量相比較低，且遠低於奈及利亞(10.80 mg/kg)⁽¹¹⁾與巴基斯坦(14.35 mg/kg)⁽¹⁴⁾菸品。

綜合上述各項結果顯示，鎘含量最高為約旦菸品，鉛含量最高為巴基斯坦菸品，鉻和鎳含量最高為印度菸品，說明不同菸草種類來源其重金屬含量具差異，這可能係菸葉產地來源之自然環境及地質成分不同所致。惟研究中尚無法探知菸葉原料來源國是否與製造國相同，其國別所致影響仍尚有進一步確認之必要。

三、品質管制之評估

每批次品質管制之空白分析均低於儀器檢出限量。在全部分析批次之品質管制(表九)中，鉻之平均回收率及變異係數範圍分別為95.3-113.2%及0.6-3.2%；鎳之平均回收率及變異係數範圍分別為97.4-111.1%及1.3-4.9%；硒之平均回收率及變異係數範圍分別為98.5-112.8%及0.1-2.4%；砷之平均回收率及變異係數範圍分別為109.3-114.3%及0.7-2.4%；鎘之平均回收率及變異係數範圍分別為100.1-

表九、品質管制分析結果

元素	結果 ^a (%)	分析批次 ^b							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Cr	平均回收率	106.2	110.3	113.2	95.3	103.5	97.3	97.0	100.5
	變異係數	2.2	3.2	1.3	1.2	1.2	0.7	0.6	1.9
Ni	平均回收率	100.4	109.7	111.1	99.4	104.8	97.4	100.4	101.5
	變異係數	4.9	4.1	2.7	1.3	1.3	3.5	2.6	2.6
Se	平均回收率	109.0	109.8	112.8	109.3	111.9	98.5	108.6	108.9
	變異係數	1.6	1.3	1.1	1.1	1.4	2.4	0.8	0.1
As	平均回收率	113.3	112.4	112.4	112.6	111.4	109.3	113.5	114.3
	變異係數	1.2	2.4	2.3	1.4	0.7	0.9	0.8	0.9
Cd	平均回收率	101.9	109.7	100.1	109.3	100.6	108.6	106.3	105.9
	變異係數	2.2	3.0	3.1	2.2	1.4	1.2	0.8	1.1
Hg	平均回收率	100.6	96.8	95.4	96.1	100.9	97.3	95.5	101.3
	變異係數	1.4	1.9	1.7	2.8	1.5	2.7	1.0	1.4
Pb	平均回收率	91.2	94.7	94.6	98.2	95.1	98.8	97.4	101.7
	變異係數	2.4	1.7	1.0	1.3	1.6	0.8	1.5	0.4

^a 標準參考物質之標示值於鉻、鎳、砷、鎘及鉛分別為6.3、8.5、0.668、2.64及 2.01 mg/kg，而額外添加之元素於硒及汞皆為5 mg/kg添加量

^b 每批次皆為三重複

109.7%及0.8-3.1%；汞之平均回收率及變異係數範圍分別為95.4-101.3%及1.0-2.8%；鉛之平均回收率及變異係數範圍分別為91.2-101.7%及0.4-2.4%。添加分析及查核物質分析之回收率均介於80-120%之間，且重複分析之變異係數(CV)均低於10%，結果顯示每批次之品質管制皆在管制範圍內，可確保檢驗結果之準確性。

結 論

以微波消化系統進行樣品紙菸菸葉前處理搭配感應耦合電漿串聯質譜儀，利用氧氣質量轉移法剔除會干擾砷與硒之離子，以增加試驗之準確度，且本試驗方法符合食藥署公布之「食品化學檢驗方法之確效規範」。40件菸品檢體中之7項重金屬含量之檢驗結果：鉻之含量範圍為1.03-3.90 mg/kg、鎳之含量範圍

為1.23-4.43 mg/kg、硒之含量範圍為N.D.-0.13 mg/kg、砷之含量範圍為0.06-0.51 mg/kg、鎘之含量範圍為0.52-4.18 mg/kg、鉛之含量範圍為N.D.-1.90 mg/kg，而汞之含量皆低於定量極限(0.05 mg/kg)。本研究結果將有利於建立我國市售紙菸菸葉中重金屬含量資料庫，供主管機關參考。

誌 謝

本研究經費由國健署運用菸品健康福利捐支應，特誌謝忱。報告內容不代表衛生福利部意見。

參考文獻

1. Perez-Bernal, J.L., Amigo, J.M., Fernandez-Torres, R., Bello, M.A. and *et al.* 2011.Trace-metal distribution of cigarette ashes as maker

- of tobacco brands. *Forensic Sci. Int.* 204: 119-125.
2. 財團法人安全衛生技術中心。菸品物質毒性摘要：菸草 (Tobacco)。
[https://tobacco-information.hpa.gov.tw/UploadFolder/upload/files/%E8%8F%B8%E5%93%81%E6%88%90%E5%88%86_%E8%8F%B8%E8%8D%89.pdf]。
 3. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2005. Toxicological Profile for Nickel.
 4. ADSTR. 2007. Toxicological Profile for Arsenic.
[<https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=22&tid=3>]
 5. Ashraf, M.W. 2011. Concentrations of cadmium and lead different cigarette brands and human exposure to these metals via smoking. *J. Arts Sci. Commerce* 2(2): 140-147.
 6. 安捷倫科技有限公司。2019。Agilent 8800 和 8900 ICP-MS/MS 應用手冊。
[https://www.agilent.com/cs/library/brochures/appcompedium_icp-qqq-5991-2802zh-cn-agilent.pdf]。
 7. 衛生福利部食品藥物管理署。2021。食品化學檢驗方法之確效規範。
[<http://www.fda.gov.tw/TC/siteList.aspx?sid=4115>]。
 8. Verma, S., Yadav, S. and Singh, I. 2010. Trace metal concentration in different Indian tobacco products and related health implications. *Food Chem. Toxicol.* 48: 2291-2297
 9. Schneider, G. and Krivan, V. 1993. Multi-elemental analysis of tobacco and smoke condensate by instrumental neutron activation analysis and atomic adsorption spectrometry. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 53: 87-100.
 10. Barlas, H., Ubay, G., Soyhan, B. and Bayat, C., 2001. Heavy metal concentrations of cigarettes in Turkey. *Fresenius Environ. Bull.* 10: 80-83.
 11. Yebpella, G. G., Shallangwa, G. A., Hammuel, C., Magomya, A., Oladipo, M. O. A., Nok, A. N. and Bonire. J. J. 2011. Heavy metal content of different brands of cigarettes commonly smoked in Nigeria and its toxicological implications. *Pac. J. Sci. Technol.* 12(1): 356-362.
 12. Yang, G., Li, Z., Shi, H. and Wang, J. 2005. Study on the determination of heavy-metal ions in tobacco and tobacco additives by microwave digestion and HPLC with PAD detection. *J. Anal. Chem.* 60: 480-485.
 13. Gondola, I. and Kadar, I., 1994. Heavy metal content of flue-cured tobacco leaf in different growing regions of Hungary. *Acta Agron. Hung.* 43(3-4): 243-251.
 14. Ajab, H., Yasmeen, S., Yaqub, A., Ajab, Z. and *et al.* 2008. Evaluation of trace metals in tobacco of local and imported cigarette brands used in Pakistan by spectrophotometer through microwave digestion. *J. Toxicol. Sci.* 33(4): 415-420.
 15. Galazyn-Sidorczuk, M., Brzóska, M.M. and Moniuszko-Jakoniuk, J. 2008. Estimation of Polish cigarettes contamination with cadmium and lead, and exposure to these metals via smoking. *Environ. Monit. Assess.* 137: 481-493.
 16. Massadeh, A.M., Alali, F.Q. and Jaradat, Q.M. 2005. Determination of cadmium and lead in different cigarette brands in Jordan. *Environ. Monit. Assess.* 104: 163-170.

Detection of Heavy Metals in Tobacco Leaf of Cigarette

JEN-MIN HUNG, YU-NING SHIH, PAI-WEN WU, SHU-HAN CHANG,
YA-MIN KAO, SU-HSIANG TSENG AND DER-YUAN WANG

Division of Research and Analysis, TFDA, MOHW

ABSTRACT

High concentration or long-term accumulation of heavy metals can be harmful to health. In this study, an analytical method with automatic ultra-high pressure microwave reaction system for sample pretreatment followed by inductively coupled plasma/tandem mass spectrometry (ICP-MS/MS) to detect heavy metals of chromium (Cr), nickel (Ni), arsenic (As), selenium (Se), mercury (Hg), cadmium (Cd) and lead (Pb) in tobacco leaves was established. Germanium (Ge), rhodium (Rh) and bismuth (Bi) were used as internal standards. The calibration curves of heavy metals were in the range of 0-25 ng/mL, and the correlation coefficients were all above 0.999. Quality control was performed using a standard reference material, and also by adding Se and Hg standards to calculate accuracy. The limits of quantification for Cr, Ni, Cd and Pb were 0.5 mg/kg, and those for As, Se and Hg were 0.05 mg/kg. A total of 40 cigarette samples were analyzed. The contents were 1.03-3.90 mg/kg for Cr, 1.23-4.43 mg/kg for Ni, N.D.-0.13 mg/kg for Se, 0.06-0.51 mg/kg for As, 0.52-4.18 mg/kg for Cd, N.D.-1.90 mg/kg for Pb, and lower than the limit of the quantification (0.05 mg/kg) for Hg. The results of this study will facilitate the establishment of a database and provide the administrative authority as reference for the hazard prevention of tobacco products.

Key words: tobacco leaf, heavy metals, microwave reaction system, inductively coupled plasma/tandem mass spectrometer