

## 台灣地區蔬菜鎘、鉛濃度調查<sup>1</sup>

林毓雯<sup>2</sup> 劉滄琴<sup>2,10</sup> 陳吉村<sup>3</sup> 湯雪溶<sup>4</sup> 陳鴻堂<sup>5</sup> 卓家榮<sup>6</sup> 蔡正賢<sup>7</sup> 林永鴻<sup>8</sup>  
張繼中<sup>9</sup> 蔡淑珍<sup>2</sup> 黃維廷<sup>2</sup>

### 摘要

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

本研究之目的在瞭解台灣地區蔬菜鎘、鉛濃度。蔬菜樣本採自台灣地區主要蔬菜產區，共1900個樣本，取可食用部位以濃硝酸及過氯酸消化後，以感應耦合電漿原子放射光譜儀測定鎘、鉛濃度。結果顯示：各類蔬菜平均鎘濃度(濕基)分別為葉菜類ND-0.151 mg kg<sup>-1</sup>、(半)結球菜類ND-0.080 mg kg<sup>-1</sup>、根莖菜類ND-0.116 mg kg<sup>-1</sup>、瓜菜及果菜類ND-0.115 mg kg<sup>-1</sup>；鉛濃度(濕基)則為葉菜類ND-0.294 mg kg<sup>-1</sup>、(半)結球菜類ND-0.239 mg kg<sup>-1</sup>、根莖菜類ND-0.619 mg kg<sup>-1</sup>、瓜菜及果菜類ND-0.064 mg kg<sup>-1</sup>。蔬菜樣本中鎘濃度超出衛生署公告的「蔬果植物類重金屬限量標準」者占0.6%，鉛濃度超出限值者占0.7%，其中高麗菜、(半)結球萵苣、胡蘿蔔分別有6.1%、9.8%、0.6%樣本鎘濃度超出限值，蘿蔔及胡蘿蔔分別有0.3%及4.0%樣本鉛濃度超出限值。

**關鍵詞：**鎘、鉛、蔬菜作物、食品安全。

### 前言

隨著工業發展，各種人為污染物質經由環境而進入食物鏈，使得國人健康受到威脅，其中又以重金屬污染最受關注。行政院環保署自

民國72年起著手進行土壤污染調查工作，截至100年7月公告重金屬污染控制場址共200 ha，其中農地占82 ha。依據土壤及地下水污染整治法，這些場址在整治完成前禁止栽種作物，流

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第2649號。接受日期：101年2月23日。
2. 本所農業化學組助理研究員、副研究員、副研究員、助理研究員。台灣 台中市。
3. 行政院農業委員會花蓮區農業改良場蘭陽分場副研究員兼分場長。台灣 宜蘭縣。
4. 行政院農業委員會桃園區農業改良場作物環境課助理研究員。台灣 桃園縣。
5. 行政院農業委員會台中區農業改良場作物環境課助理研究員。台灣 彰化縣。
6. 行政院農業委員會台南區農業改良場作物環境課技佐。台灣 台南市。
7. 行政院農業委員會苗栗區農業改良場作物環境課助理研究員。台灣 苗栗縣。
8. 行政院農業委員會高雄區農業改良場作物環境課助理研究員。台灣 屏東縣。
9. 行政院農業委員會台東區農業改良場作物環境課助理研究員。台灣 台東縣。
10. 通訊作者，電子郵件：tsliu@wufeng.tari.gov.tw；傳真機：(04)23398149。

入市場的機率不大。然而，台灣地狹人稠，除了主要農業區之農田外，都會區及其周邊仍有許多零星農田分布，人類活動對農田土壤或作物造成的影響有其潛在風險 (Kachenko & Singh 2006; Nabulo *et al.* 2006; Uzu *et al.* 2010)。

Chaney (1980) 曾研究污泥所含重金屬流入至食物鏈後，提出「土壤-植物障礙」(soil-plant barrier) 論述。其中鎘屬於對動物或人類健康危害風險最大的第4群，本群元素對動物或人類毒害的濃度低於作物，故在作物還能正常生長的濃度下，便可能造成動物或人類健康的危害。鉛雖屬於影響動物及人類健康風險較小的第2群，它們在土體牢固的被土壤膠體所吸附，如果被作物所吸收，也將存在根部而不會立即轉運至食用部位，然而，根據研究顯示 (Uzu *et al.* 2010) 其可經由植物葉面吸收，且會危害神經系統，影響幼童智力發展 (Carrington & Bolger 1992)，為毒性極高之元素。因此，歐美等先進國家均對作物及食品訂有鎘、鉛濃度限值。我國行政院衛生署亦訂有食米、食用菇類、蔬果植物類之重金屬限量標準，其中100年5月修訂公告的「蔬果植物類重金屬限量標準」，亦規範各類蔬果作物中鎘、鉛濃度 (Department of Health, Executive Yuan 2011)。該標準係衛生署依據蔬菜食用部位、國人食用頻率，並參考歐盟限量標準後訂定。

蔬菜為國人日常飲食不可或缺的重要食物來源，依據行政院衛生署新版飲食指南 (100年7月公布) 與舊版對照，除了降低五穀根莖類及油脂的建議量，同時提高蔬菜水果的建議量，每人每日蔬菜攝取量由舊版的3份調整為3到5份，因此，蔬菜作物的安全性不容忽視。國內過去對蔬菜重金屬濃度調查資料極少 (Lin *et al.* 1992; Shih *et al.* 2008)，全省性調查資料僅 Lin *et al.* (1992) 之研究，可惜發表資料係以蔬菜類別進行統計，缺乏個別蔬菜之數據。

台灣地區因地質條件、氣候環境多樣，致

使土壤性質複雜，部分地區受天然條件影響，土壤的重金屬濃度原本較高 (Liu *et al.* 2007)，且重金屬元素由土壤經由植物吸收並轉運至可食部位的多寡，受到土壤及氣候因子、植物特性及農業管理等因素所影響，為瞭解台灣地區生產蔬菜的重金屬濃度範圍，自97年起，農業試驗所與7個地區改良場合作進行台灣地區蔬菜重金屬濃度調查。

## 材料與方法

### 蔬菜樣本來源

97年至99年6月，農業試驗所與7個地區改良場共收集全台灣主要蔬菜產區1900個蔬菜樣本，採樣地點分布如圖1。所採蔬菜參考行政院衛生署100年5月30日署授食字第1001301183號令訂定「蔬果植物類重金屬限量標準」附表之蔬果分類表分類，包括：小葉菜類897件、(半)



圖 1. 台灣各縣市採樣點分布位置 (☆)。

Fig. 1. A map of Taiwan showing locations (☆) of vegetable samples collected for this study.

結球菜類111件、根莖菜類 (不含鱗莖類) 752件、瓜菜及果菜類140件。

### 蔬菜樣本製備與分析

每個樣本取食用部位約500 g，清洗晾乾後裝入乾淨的紙袋，以70°C烘乾。烘乾之植體以陶瓷刀具切碎後，使用純鈦製磨粉機粉碎，置於乾燥器中儲存備用。樣品以二酸混合液 (硝酸：過氯酸 = 5：1，v/v) 分解，分解及定量程序如 Lin *et al.* (2003) 所採用方法，濾液以感應耦合電漿原子放射光譜儀 (HORIBA JOBIN-YVON ULTIMA 2C) 測定鎘、鉛濃度，將測定值導入標準曲線並加計分解過程稀釋倍數，求得各樣本之鎘、鉛濃度 (乾基計)。

### 儀器偵測極限與方法偵測極限

以感應耦合電漿原子放射光譜儀分析空白標準液7次，計算測定值之標準偏差，以3倍標準偏差值導入標準曲線公式，計算得儀器偵測極限。準備鎘、鉛濃度為儀器偵測極限5倍濃度內之樣品，秤取7重複，依上述樣品分解及測定方法操作，測定值導入標準曲線並加計分解過程稀釋倍數，求得各重複樣品之鎘、鉛濃度，計算其標準偏差，以3倍標準偏差值為方法偵測極限。

### 標準參考物質分析

以購自美國國家標準和科技機構 (National Institute Standards and Technology, NIST) 之蘋果葉 (1515)、菠菜葉 (1570a)、番茄葉 (1573a) 為標準參考物質，分析方法如樣品分解及測定方法。

表 1. 已認證參考樣品 (蘋果、菠菜及番茄葉) 之鎘、鉛測定濃度比對

Table 1. The comparison of concentration of Cd and Pb of certified reference materials (leaves of apple, spinach and tomato) determined between this laboratory and reported data <sup>z</sup>

	Apple leaves (NIST 1515)			Spinach leaves (NIST 1570a)			Tomato leaves (NIST 1573a)		
	Certified	Measured	Rec. (%)	Certified	Measured	Rec. (%)	Certified	Measured	Rec. (%)
Cd	0.013 ± 0.002	< 0.026	—	2.89 ± 0.07	2.53 ± 0.04	88	1.52 ± 0.04	1.26 ± 0.02	83
Pb	0.470 ± 0.024	0.533 ± 0.067	113	0.20 <sup>y</sup>	< 0.182	—	—	0.54 ± 0.12	—

<sup>z</sup>  $\mu\text{g g}^{-1}$  on dry weight basis.

<sup>y</sup> Information value (non-certified value).

## 結 果

### 偵測極限與標準參考物質分析

以感應耦合電漿原子放射光譜儀分析鎘、鉛之儀器偵測極限分別為0.0004、0.0038  $\text{mg L}^{-1}$ ，方法偵測極限分別為0.026及0.182  $\text{mg kg}^{-1}$  (乾基計)。標準參考物質分析結果詳如表1，其中菠菜葉及番茄葉鎘回收率分別為87.5%及82.9%，蘋果葉鉛回收率為113%。

### 台灣地區蔬菜鎘、銅濃度

本研究之蔬菜樣本重金屬濃度分析係以乾燥樣品進行，為便於與衛生署公告之「蔬果植物類重金屬限量標準」進行比對，故分別引用美國農部 (USDA) 營養資料庫及衛生署出版之「台灣地區食品營養成分資料庫」中水分含量資料，將分析結果換算為以濕基計之濃度，方法偵測極限亦依個別作物水分含量換算為濕基，結果如表2及表3所示。

蔬菜食用部位鎘濃度範圍，小葉菜類為ND–0.151  $\text{mg kg}^{-1}$ ，(半)結球菜類為ND–0.080  $\text{mg kg}^{-1}$ ，根莖菜類 (不含鱗莖類) 為ND–0.116  $\text{mg kg}^{-1}$ ，瓜菜及果菜類為ND–0.115  $\text{mg kg}^{-1}$  (表2)。其中小葉菜類、瓜菜及果菜類之鎘濃度均在「蔬果植物類重金屬限量標準」之限值以內，根莖菜類 (不含鱗莖類) 之胡蘿蔔有0.6%樣本鎘濃度超出限值，(半)結球菜類之高麗菜、(半)結球萵苣則分別有6.1%、9.8%樣本鎘濃度超出限值。若以全部蔬菜數量計，鎘濃度超出限值者占0.6%。蔬菜食用部位鉛濃度範圍，小葉菜類為ND–

表 2. 分析用蔬菜種類、樣品數、水分、鎘濃度 (包括最大、最小、平均及標準偏差值) 及超過國家標準值比率  
 Table 2. The species, sample size, water content, Cd concentration (values of maximum, minimum, mean and standard deviation), and rates of Cd concentration higher than the regulation levels in Taiwan

Vegetable group	Vegetable name	n	Moisture <sup>z</sup> (%)	Cd concentration (mg kg <sup>-1</sup> fresh weight)				Above the national standard (%)
				Min.	Max.	Mean	SD <sup>y</sup>	
Leaf vegetables	Pai-tsai	121	95.7	ND	0.115	0.023	0.018	0
	Spinach	18	93.0	0.048	0.133	0.079	0.022	0
	Mustard	86	94.6	ND	0.053	0.019	0.012	0
	Leafy lettuce	77	96.9	ND	0.073	0.019	0.016	0
	Water spinach	124	92.8	0.005	0.132	0.022	0.022	0
	Amaranth	25	93.9	0.008	0.050	0.021	0.009	0
	Pak-choi	101	94.8	ND	0.096	0.022	0.015	0
	Rape	24	95.4	0.010	0.044	0.023	0.009	0
	Velvet plant	31	92.6	ND	0.146	0.033	0.035	0
	Ceylon spinach	16	93.1	0.005	0.055	0.027	0.014	0
	Garlandchry santhemum	20	95.0	ND	0.087	0.031	0.021	0
	Celery	26	94.7	0.011	0.151	0.037	0.026	0
	Green onion	228	92.2	ND	0.146	0.023	0.023	0
	Head vegetables	Cabbage	49	93.5	ND	0.061	0.016	0.016
Iceberg lettuce		41	96.0	0.002	0.080	0.024	0.020	9.8
Chinese cabbage		21	96.2	0.004	0.042	0.015	0.012	0
Root/stem vegetables (excluding bulb vegetables)	Radish	293	94.0	ND	0.079	0.017	0.011	0
	Carrot	329	89.7	ND	0.116	0.021	0.018	0.6
	Kohlrabi	18	93.5	ND	0.016	0.007	0.005	0
	Potato	100	79.5	ND	0.088	0.026	0.019	0
	Ginger	12	94.3	ND	0.022	0.011	0.006	0
Gourd/fruit vegetables	Sponge gourd	100	95.2	ND	0.023	0.007	0.005	0
	Tomato	22	92.9	ND	0.044	0.008	0.014	0
	Cucumber	18	95.6	ND	0.115	0.010	0.011	0

<sup>z</sup> Moisture of iceberg lettuce and mustard adopt from recent data of TARI, while that of ceylon spinach source from USDA, <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>, and the remaining are from 'database of nutrient composition of food in Taiwan' published by Department of Health, Executive Yuan, R.O.C.

<sup>y</sup> SD: standard deviation.

0.294 mg kg<sup>-1</sup>, (半) 結球菜類為ND-0.239 mg kg<sup>-1</sup>, 根莖菜類 (不含鱗莖類) 為ND-0.619 mg kg<sup>-1</sup>, 瓜菜及果菜類為ND-0.064 mg kg<sup>-1</sup> (表3)。其中小葉菜類、(半) 結球菜類、瓜菜及果菜類之鉛濃度均在「蔬果植物類重金屬限量標準」之限值以內, 根莖菜類 (不含鱗莖類) 的蘿蔔及胡蘿蔔分別有0.3%及4.0%樣本鉛濃度超出限值。以全部蔬菜數量計, 鉛濃度超出限值者占0.7%。

不同蔬菜種類可食用部位鎘、鉛濃度有明顯差異。其中小葉菜類樣本鎘濃度平均值大小

順序為菠菜 > 芹菜 > 紅鳳菜 > 茼蒿 > 皇宮菜 > 小白菜 > 油菜 > 青蔥 > 空心菜 > 青江菜 > 莧菜 > 芥菜 > 葉萵苣; 鉛濃度平均值大小順序為菠菜 > 紅鳳菜 > 茼蒿 > 油菜 > 芹菜 > 青江菜 > 葉萵苣 > 空心菜 > 小白菜 > 青蔥 > 芥菜 > 皇宮菜 > 莧菜。(半) 結球菜類樣本鎘濃度平均值大小順序為 (半) 結球萵苣 > 高麗菜 > 大白菜; 鉛濃度平均值大小順序為高麗菜 > 大白菜 > (半) 結球萵苣。根莖菜類 (不含鱗莖類) 樣本鎘濃度平均值大小順序為馬鈴薯 > 胡蘿蔔 >

表 3. 分析用蔬菜種類、樣品數、水分、鉛濃度 (包括最大、最小、平均及標準偏差值) 及超過國家標準值比率  
**Table 3.** The species, sample size, water content, Pb concentration (values of maximum, minimum, mean and standard deviation), and rates of Pb concentration higher than the regulation levels in Taiwan

Vegetable group	Vegetable name	n	Moisture <sup>z</sup> (%)	Pb concentration (mg kg <sup>-1</sup> fresh weight)			SD <sup>y</sup>	Above the national
				Min.	Max.	Mean		
Leaf vegetables	Pai-tsai	121	95.7	ND	0.096	0.031	0.026	0
	Spinach	18	93.0	0.051	0.170	0.111	0.038	0
	Mustard	86	94.6	ND	0.179	0.028	0.035	0
	Leafy lettuce	77	96.9	ND	0.196	0.045	0.048	0
	Water spinach	124	92.8	ND	0.197	0.037	0.033	0
	Amaranth	25	93.9	ND	0.044	0.014	0.012	0
	Pak-choi	101	94.8	ND	0.174	0.046	0.035	0
	Rape	24	95.4	ND	0.128	0.056	0.036	0
	Velvet plant	31	92.6	ND	0.294	0.081	0.066	0
	Ceylon spinach	16	93.1	ND	0.069	0.027	0.022	0
	Garlandchry santhemum	20	95.0	ND	0.192	0.065	0.051	0
	Celery	26	94.7	ND	0.161	0.051	0.044	0
	Green onion	228	92.2	ND	0.174	0.029	0.025	0
	Head vegetables	Cabbage	49	93.5	ND	0.239	0.045	0.058
Iceberg lettuce		41	96.0	ND	0.041	0.012	0.011	0
Chinese cabbage		21	96.2	ND	0.091	0.028	0.020	0
Root/stem vegetables (excluding bulb vegetables)	Radish	293	94.0	ND	0.319	0.075	0.054	0.3
	Carrot	329	89.7	ND	0.619	0.114	0.089	4.0
	Kohlrabi	18	93.5	ND	0.053	0.017	0.020	0
	Potato	100	79.5	ND	0.150	0.038	0.023	0
	Ginger	12	94.3	ND	0.197	0.132	0.043	0
Gourd/fruit vegetables	Sponge gourd	100	95.2	ND	0.056	0.028	0.011	0
	Tomato	22	92.9	ND	0.064	0.014	0.017	0
	Cucumber	18	95.6	ND	0.055	0.020	0.015	0

<sup>z</sup> Moisture of iceberg lettuce and mustard adopt from recent data of TARI, while that of ceylon spinach source from USDA, <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>, and the remaining are from 'database of nutrient composition of food in Taiwan' published by Department of Health, Executive Yuan, R.O.C.

<sup>y</sup> SD: standard deviation.

蘿蔔 > 薑 > 結頭菜；鉛濃度平均值大小順序為薑 > 胡蘿蔔 > 蘿蔔 > 馬鈴薯 > 結頭菜。瓜菜及果菜類樣本鎘濃度平均值大小順序為花胡瓜 > 番茄 > 絲瓜；鉛濃度平均值大小順序為絲瓜 > 花胡瓜 > 番茄。

## 討 論

### 與國內調查資料比較

Shih *et al.* (2008) 調查台北地區生鮮及傳統市場蔬菜可食用部位重金屬濃度，其鎘濃度範

圍分別為高麗菜ND-0.003 mg kg<sup>-1</sup>、芥菜0.004-0.010 mg kg<sup>-1</sup>、小白菜ND-0.023 mg kg<sup>-1</sup>、青江菜0.003-0.020 mg kg<sup>-1</sup>、萵苣ND-0.021 mg kg<sup>-1</sup>、馬鈴薯0.021-0.038 mg kg<sup>-1</sup>，鉛濃度範圍分別為高麗菜ND、芥菜0.001-0.009 mg kg<sup>-1</sup>、小白菜ND-0.036 mg kg<sup>-1</sup>、青江菜ND-0.022 mg kg<sup>-1</sup>、萵苣ND-0.012 mg kg<sup>-1</sup>、馬鈴薯ND-0.004 mg kg<sup>-1</sup>。本研究調查上述蔬菜之鎘濃度範圍則分別為高麗菜ND-0.061 mg kg<sup>-1</sup>、芥菜ND-0.053 mg kg<sup>-1</sup>、小白菜ND-0.115 mg kg<sup>-1</sup>、青江菜ND-0.096 mg kg<sup>-1</sup>、

高苣ND-0.073 mg kg<sup>-1</sup>、馬鈴薯ND-0.088 mg kg<sup>-1</sup>，鉛濃度範圍分別為高麗菜ND-0.239 mg kg<sup>-1</sup>、芥菜ND-0.179 mg kg<sup>-1</sup>、小白菜ND-0.096 mg kg<sup>-1</sup>、青江菜ND-0.174 mg kg<sup>-1</sup>、高苣ND-0.196 mg kg<sup>-1</sup>、馬鈴薯ND-0.150 mg kg<sup>-1</sup>，濃度分布範圍均較 Shih *et al.* (2008) 數據為寬。若由調查樣本數量及採樣區域觀之，本研究所調查上述蔬菜樣本數量共534個，樣區分布全省各主要蔬菜產區，而Shih *et al.* (2008) 之樣本數量僅55個，採樣區域僅限台北地區，本研究之樣本應較有代表性。

Lin *et al.* (1992) 調查全省蔬菜專業區之蔬菜共346個樣本，其鎘濃度範圍分別為葉菜類ND-0.12 mg kg<sup>-1</sup>、根菜類ND-0.91 mg kg<sup>-1</sup>、果菜類ND-0.07 mg kg<sup>-1</sup>，鉛濃度範圍分別為葉菜類ND-1.04 mg kg<sup>-1</sup>、根菜類ND-1.00 mg kg<sup>-1</sup>、果菜類ND-1.93 mg kg<sup>-1</sup>。本研究調查之葉菜類[含小葉菜及(半)結球菜類]、根菜類(含蘿蔔及胡蘿蔔)、果菜類樣本共1770個樣本，鎘濃度範圍則分別為葉菜類ND-0.151 mg kg<sup>-1</sup>、根菜類ND-0.116 mg kg<sup>-1</sup>、果菜類ND-0.115 mg kg<sup>-1</sup>，鉛濃度範圍分別為葉菜類ND-0.294 mg kg<sup>-1</sup>、根菜類ND-0.619 mg kg<sup>-1</sup>、果菜類ND-0.064 mg kg<sup>-1</sup>。除葉菜類及果菜類之鎘外，濃度分布範圍均較 Lin *et al.* (1992) 數據為小。由Lin *et al.* (1992) 之數據亦可佐證，當樣本數量及採樣區擴大時，蔬菜鎘、鉛濃度分布範圍也會擴大，Shih *et al.* (2008) 之資料應較難代表整個台灣地區蔬菜之鎘、鉛濃度背景資料。

#### 與國外調查資料比較

本研究與國外蔬菜鎘、鉛濃度比較詳如表4、表5。整體而言，本研究之蔬菜鎘、鉛濃度均高於Tahvonen & Kumpulainen (1995) 及Urieta *et al.* (1996) 之調查資料，前者之調查對象為芬蘭批發市場及食品廠，後者則以西班牙巴斯克自治區國人飲食研究樣本為對象，總樣本數分別為52及19。該兩項調查主要目的在瞭解人民

由飲食中攝入重金屬的風險，其樣本來源為市場、食品加工廠，且部分樣品經過混樣、烹煮或調製，與本研究採自田間略有不同，且蔬菜樣本數較少，故難以做對等的比較。

Wolnik *et al.* (1985) 針對美國主要作物產區的蔬菜鎘、鉛濃度調查，Wiersma *et al.* (1986) 針對荷蘭主要作物產區的蔬菜鎘、鉛濃度調查，則與本研究之大面積區域性調查之屬性較為相近。由美國及荷蘭蔬菜鎘濃度中數值與本研究之比較，台灣地區蔬菜之鎘濃度與美國及荷蘭相近，若比較三個研究之各種蔬菜鎘濃度最大值，則除了荷蘭之高麗菜低於本研究外，本研究其他蔬菜鎘濃度最大值均小於上述兩研究之數值，顯示國內蔬菜鎘濃度與美國及荷蘭無明顯差異。另外，本研究蔬菜鉛濃度中數值與上述兩研究相較，除了荷蘭的(半)結球高苣高於本研究外，本研究其他蔬菜鉛濃度中數值均高於上述兩研究之數值。由於廢棄石油與固體垃圾的焚化、煉鋼廠與煉鐵場、鉛的煉製、電池與烷基鉛的製造及民國89年無鉛汽油停用前交通工具排放出的廢氣，為台灣鉛污染主要污染源。鉛可藉大氣、落塵等方式散布，並經由植物葉面吸收(Uzu *et al.* 2010)。台灣地狹人稠，人口密度約為荷蘭的1.5倍、美國的20倍，推測應為作物接觸藉由大氣或落塵飄散之鉛污染源的機會較高，導致台灣地區蔬菜鉛濃度高於美國及荷蘭。

Kachenko & Singh (2006) 調查澳洲新南威爾斯住商混合地區蔬菜產區蔬菜鎘、鉛濃度資料則顯示，除了高麗菜的鉛濃度最大值外，其餘蔬菜之鎘、鉛濃度最大值均明顯高於本研究。由於其四大採樣區中有兩個樣區鄰近金屬冶鍊廠，一個鄰近雪梨都會區，因此蔬菜中鎘、鉛濃度普遍偏高。另，由該研究不同採樣地點之蔬菜鎘、鉛濃度可發現，離工業及都會區較遠(300 km)的Cowra地區，其耕作環境較無人類活動之破壞，土壤中鎘、鉛濃度均極

低，蔬菜鎘濃度均符合澳洲食品限量標準，然而鉛濃度則仍有37.5%超出食品限量標準，顯示蔬菜作物鉛濃度與土壤濃度並無明顯相關，亦部分呼應鉛可藉大氣、落塵等方式散布，並

經由植物葉面吸收之理論。

#### 不同蔬菜種類鎘、鉛濃度比較

由蔬菜鎘、鉛濃度平均值顯示：不同類別蔬菜之平均鎘濃度依序為小葉菜類 > 根莖

表 4. 不同試驗蔬菜可食用部位鎘濃度比較

Table 4. Comparison of cadmium concentrations in edible parts of vegetables reported in various studies

Vegetable name	n	Concentrations (mg kg <sup>-1</sup> fresh weight)				Country	Literature
		Min.	Max.	Mean	Median		
Chinese mustard	121	ND	0.115	0.023	0.018	Taiwan	Present study
	15	ND	0.023	— <sup>z</sup>	0.007	Taiwan	Shih <i>et al.</i> 2008
Spinach	18	0.024	0.133	0.074	0.079	Taiwan	Present study
	44	0.005	0.743	—	—	Australia	Kachenko & Singh 2006
	82	0.010	0.150	0.060	0.060	Netherland	Wiersma <i>et al.</i> 1986
	104	0.012	0.195	0.065	0.0605	USA	Wolnik <i>et al.</i> 1985
Leafy lettuce	77	ND	0.073	0.019	0.014	Taiwan	Present study
	5	ND	0.021	—	0.008	Taiwan	Shih <i>et al.</i> 2008
Pak-choi	101	ND	0.096	0.022	0.018	Taiwan	Present study
	10	0.003	0.020	—	0.014	Taiwan	Shih <i>et al.</i> 2008
Cabbage	49	ND	0.061	0.016	0.009	Taiwan	Present study
	10	ND	0.003	—	ND	Taiwan	Shi <i>et al.</i> 2008
	8	0.003	0.062	—	—	Australia	Kachenko & Singh 2006
	8	0.001	0.007	0.003	—	Finland	Tahvonon & Kumpulainen 1995
	86	0.001	0.017	0.005	0.004	Netherland	Wiersma <i>et al.</i> 1986
Iceberg lettuce	41	0.002	0.080	0.024	0.023	Taiwan	Present study
	56	0.005	0.424	—	—	Australia	Kachenko & Singh 2006
	13	0.006	0.029	0.012	—	Finland	Tahvonon & Kumpulainen 1995
	75	0.01	0.19	0.05	0.04	Netherland	Wiersma <i>et al.</i> 1986
Chinese cabbage	21	0.004	0.042	0.015	0.011	Taiwan	Present study
	8	0.003	0.021	0.011	—	Finland	Tahvonon & Kumpulainen 1995
Carrot	329	ND	0.116	0.021	0.017	Taiwan	Present study
	12	0.002	0.074	0.024	—	Finland	Tahvonon & Kumpulainen 1995
	100	0.005	0.160	0.040	0.030	Netherland	Wiersma <i>et al.</i> 1986
	207	0.002	0.130	0.028	0.017	USA	Wolnik <i>et al.</i> 1985
Potato	100	ND	0.088	0.026	0.025	Taiwan	Present study
	5	0.021	0.038	—	0.026	Taiwan	Shi <i>et al.</i> 2008
	19	0.005	0.061	—	—	Spain	Urieta <i>et al.</i> 1996
	11	0.001	0.016	0.006	—	Finland	Tahvonon & Kumpulainen 1995
	94	0.002	0.090	0.030	0.030	Netherland	Wiersma <i>et al.</i> 1986
Tomato	22	ND	0.044	0.008	0.001	Taiwan	Present study
	9	ND	0.004	0.001	—	Finland	Tahvonon & Kumpulainen 1995
Cucumber	18	ND	0.115	0.010	0.004	Taiwan	Present study
	10	ND	ND	ND	—	Finland	Tahvonon & Kumpulainen 1995

<sup>z</sup> ‘—’ denotes ‘no data.’

菜類 (不含鱗莖類) > (半) 結球菜類 > 瓜菜及果菜類；平均鉛濃度依序為根莖菜類 (不含鱗莖類) > 小葉菜類 > (半) 結球菜類 > 瓜菜及果菜類。與前人研究結果相較 (Howe *et al.* 2005;

Lin *et al.* 1992; Murray *et al.* 2011; Shih *et al.* 2008; Yang *et al.* 2009)，蔬菜類別間鎘濃度排序互有高低，應與各研究所分析蔬菜種類不完全相同有關，然整體而言，多數結果均顯示果

表 5. 不同試驗間蔬菜可食用部位鉛濃度比較

Table 5. Comparison of lead concentrations in edible parts of vegetables reported in various studies

Vegetable name	n	Concentrations (mg kg <sup>-1</sup> fresh weight)				Country	Literature
		Min.	Max.	Mean	Median		
Chinese mustard	121	ND	0.096	0.031	0.024	Taiwan	Present study
	15	ND	0.036	— <sup>z</sup>	0.004	Taiwan	Shih <i>et al.</i> 2008
Spinach	18	0.051	0.325	0.120	0.120	Taiwan	Present study
	44	ND	11.6	—	—	Australia	Kachenko & Singh 2006
	82	0.010	0.029	0.090	0.080	Netherland	Wiersma <i>et al.</i> 1986
	104	0.016	0.170	0.045	0.039	USA	Wolnik <i>et al.</i> 1985
Leafy lettuce	77	ND	0.357	0.045	0.039	Taiwan	Present study
	5	ND	0.012	—	0.002	Taiwan	Shih <i>et al.</i> 2008
Pak-choi	101	ND	0.174	0.046	0.039	Taiwan	Present study
	10	ND	0.022	—	0.002	Taiwan	Shih <i>et al.</i> 2008
Cabbage	49	0.003	0.239	0.045	0.023	Taiwan	Present study
	10	ND	ND	—	ND	Taiwan	Shih <i>et al.</i> 2008
	8	ND	0.222	—	—	Australia	Kachenko & Singh 2006
	8	ND	0.002	0.001	—	Finland	Tahvonon & Kumpulainen 1995
	86	0.002	0.230	0.015	0.006	Netherland	Wiersma <i>et al.</i> 1986
Iceberg lettuce	41	ND	0.041	0.012	0.011	Taiwan	Present study
	56	ND	4.87	—	—	Australia	Kachenko & Singh 2006
	13	0.002	0.007	0.004	—	Finland	Tahvonon & Kumpulainen 1995
	75	0.03	2.25	0.140	0.090	Netherland	Wiersma <i>et al.</i> 1986
Chinese cabbage	21	0.006	0.091	0.028	0.023	Taiwan	Present study
	8	ND	0.004	0.001	—	Finland	Tahvonon & Kumpulainen 1995
Carrot	329	ND	0.619	0.114	0.100	Taiwan	Present study
	12	0.001	0.012	0.006	—	Finland	Tahvonon & Kumpulainen 1995
	100	0.011	0.210	0.050	0.040	Netherland	Wiersma <i>et al.</i> 1986
	207	0.001	0.125	0.009	0.0065	USA	Wolnik <i>et al.</i> 1985
Potato	100	ND	0.150	0.038	0.035	Taiwan	Present study
	5	ND	0.004	—	ND	Taiwan	Shih <i>et al.</i> 2008
	19	0.0025	0.035	—	—	Spain	Urieta <i>et al.</i> 1996
	11	0.004	0.007	0.005	—	Finland	Tahvonon & Kumpulainen 1995
	94	0.01	0.08	0.030	0.030	Netherland	Wiersma <i>et al.</i> 1986
Tomato	22	ND	0.064	0.014	0.010	Taiwan	Present study
	9	0.001	0.002	0.0015	—	Finland	Tahvonon & Kumpulainen 1995
Cucumber	18	ND	0.055	0.020	0.017	Taiwan	Present study
	10	ND	0.001	ND	—	Finland	Tahvonon & Kumpulainen 1995

<sup>z</sup> ‘—’ denotes ‘no data.’

菜類及豆菜類作物之鎘濃度較低，葉菜類濃度較高；類別間鉛濃度排序則變動較大，不同研究間難以歸納出共同的趨勢，推測應與鉛可經由植物葉面吸收，易受大氣中飄散的懸浮污染源影響有關。

過去的研究顯示，蔬菜作物對鎘吸收能力有明顯差別 (Alloway *et al.* 1988; Kachenko & Singh 2006; Nabulo *et al.* 2006; Tahvonon & Kumpulainen 1995; Yang *et al.* 2009)。整體而言，菠菜、芹菜屬於吸收鎘能力較強的作物，(半)結球萵苣、韭蔥、胡蘿蔔對鎘具有中等吸收能力，馬鈴薯、高麗菜、番茄、胡瓜則屬於吸收鎘能力較低的蔬菜。本研究之結果亦顯示，同一類別蔬菜中不同蔬菜種類之鎘濃度有很大差異 (圖2)。以小葉菜類為例，其中菠菜鎘濃度明顯高於其他蔬菜，與前人研究菠菜屬於鎘吸收能力較強之蔬菜結果相符；本研究芹菜樣本鎘濃度僅略高於其他蔬菜，與國外研究結果頗有差距，推測應與台灣主要栽培之芹菜以葉芹為主，而非歐美所栽培葉柄肉厚多汁的西洋芹，故對鎘吸收能力不相同。Yang *et al.* (2010) 研究20種蔬菜作物鎘吸收，其中芹菜的鎘吸收能力也僅屬中等。另外，本研究之 (半) 結球萵苣及高麗菜樣本分別有9.8%及6.1%超過我國「蔬果植物類重金屬限量標準」(Department of Health, Executive Yuan 2011)  $0.05 \text{ mg kg}^{-1}$ ，與前人研究 (半) 結球萵苣、高麗菜對鎘具有中、低等吸收能力頗有出入。分析其採樣位置顯示，(半) 結球萵苣來自11個樣區，超過限值的4個樣本均來自同一樣區，由過去土壤調查資料顯示 (未發表)，該樣區土壤以  $0.01 \text{ M}$  氯化鈣萃取鎘濃度 ( $0.025 \text{ mg kg}^{-1} \pm 0.003 \text{ mg kg}^{-1}$ ) 確高於其他樣區 ( $0.009 \text{ mg kg}^{-1} \pm 0.005 \text{ mg kg}^{-1}$ )；高麗菜來自11個樣區，超過限值的5個樣本亦來自同一樣區，該樣區土壤鎘濃度 ( $0.066 \text{ mg kg}^{-1} \pm 0.016 \text{ mg kg}^{-1}$ ) 亦高於其他樣區 ( $0.010 \text{ mg kg}^{-1} \pm 0.005 \text{ mg kg}^{-1}$ )。由前人研究亦顯示，作物鎘

濃度與土壤鎘濃度呈正相關 (Brennan & Mann 2005; Chen *et al.* 2010; Yang *et al.* 2009)。由此推測，本研究 (半) 結球萵苣及高麗菜之鎘濃度偏高，應受土壤鎘濃度之影響。

根據過去研究顯示，鉛被作物吸收後，大部分將存在根部 (Gopal & Rizvi 2008; Liu *et al.* 2010; Sahi *et al.* 2002)，且其可經由葉面吸收 (Uzu *et al.* 2010)，植體濃度常受含鉛落塵飄散的影響 (Nabulo *et al.* 2006)，因此，蔬菜食用部位鉛累積能力雖隨品種品系而有所差異 (Alexander *et al.* 2006; Gzyl 1990; Wang *et al.* 2006)，然變異性較大。本研究結果亦顯示，同一類別蔬菜中不同蔬菜種類之鉛濃度有很大差異 (圖2)，除其中蘿蔔與胡蘿蔔樣本鉛濃度分別有0.3%及4.0%超過我國「蔬果植物類重金屬限量標準」 $0.3 \text{ mg kg}^{-1}$ 外，其他蔬菜樣本鉛濃度均在我國限量標準以內。蘿蔔與胡蘿蔔樣本鉛濃度較高，推測應與鉛較易累積於作物根部有關。

## 結 論

由本研究之普查資料顯示，大多數蔬菜鎘、鉛濃度均符合衛生署公告的「蔬果植物類重金屬限量標準」。然而，蔬菜對於鎘、鉛吸收能力不同，即使同一類別之不同種蔬菜其鎘、鉛濃度亦存在不小的差異，故消費者選購蔬菜種類應多樣化，可無鎘、鉛食用過量之疑慮。其次，本研究蔬菜樣本採自台灣本島主要蔬菜產區，採樣點均非環保署所公告之污染控制場址，理論上應無重金屬安全之虞，卻仍有部分蔬菜樣本鎘、鉛濃度超出「蔬果植物類重金屬限量標準」。其中鎘吸收與土壤鎘濃度成正相關，鉛吸收則與土壤鉛濃度無明顯相關，顯示後續研究有必要深入探討台灣地區不同品種蔬菜鎘、鉛吸收、傳輸、分配機制，以及土壤理化性質、環境因子對鎘、鉛吸收之影響機制，以作為相關土壤污染及食品安全法規研擬或修正之參考。

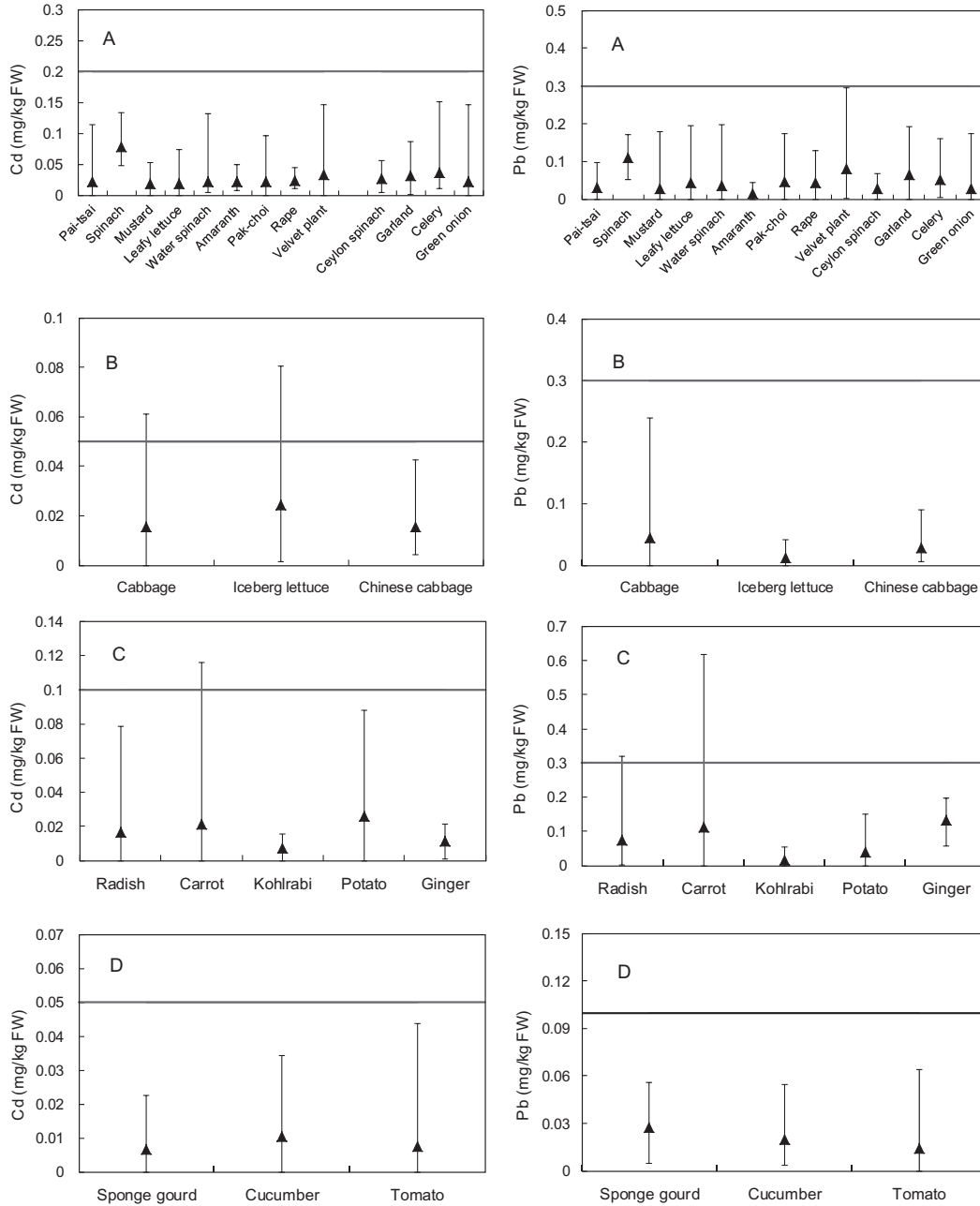


圖 2. 各類別蔬菜鎘、鉛濃度圖 [(A) 葉菜類, (B) (半) 結球菜類, (C) 根莖菜類, (D) 瓜菜及果菜類; 各蔬菜濃度範圍以上下誤差線表示; 水平實線為台灣蔬果植物類鎘、鉛限量標準]。

Fig. 2. Cadmium (left column, A–D) and lead (right column, A–D) concentrations in different groups of vegetable. (A) leaf vegetables; (B) head vegetables; (C) root/stem vegetables; (D) gourd/fruit vegetables. In each Figure, the concentration range of each crop is indicated by an error bar; the horizontal solid line denotes the food regulation levels for cadmium and lead in vegetable crops in Taiwan.

### 引用文獻 (Literature cited)

- Alexander, P. D., B. J. Alloway, and A. M. Dourado. 2006. Genotypic variations in the accumulation of Cd, Cu, Pb and Zn exhibited by six commonly grown vegetables. *Environ. Pollut.* 144:736–745.
- Alloway, B. J., I. Thornton, G. A. Smart, J. C. Sherlock, and M. J. Quinn. 1988. Metal availability. *Sci. Total Environ.* 75:41–69.
- Brennan, R. F. and S. S. Mann. 2005. Accumulation of cadmium by lupin species as affected by Cd application to acidic yellowsand. *Water Air Soil Pollut.* 167: 243–258.
- Carrington, C. D. and P. M. Bolger. 1992. An assessment of the hazards of lead in food. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 16:265–272.
- Chaney, R. L. 1980. Health risks associated with toxic metals in Municipal sludge. p.59–83. *in: Sludge-Health Risks of Land Application.* (Bitton, G., B. L. Damro, G. T. Davidson, and J. M. Davidson, eds.) Ann Arbor Sci. Pub. Ann Arbor, MI. 367 pp.
- Chen, H. L., C. J. Lu, and H. Y. Lai. 2010. Amendments of activated carbon and biosolid on the growth and cadmium uptake of soybean grown in potted Cd-contaminated soils. *Water Air Soil Pollut.* 209:307–314.
- Department of Health, Executive Yuan. 2011. Standards for the tolerance of heavy metals in edible plant origin. The Executive Gazette Online vol.17 no.99 (<http://gazette.nat.gov.tw/egFront/eng/engSearch.jsp>). (in Chinese)
- Gopal, R. and A. H. Rizvi. 2008. Excess lead alters growth, metabolism and translocation of certain nutrients in radish. *Chemosphere* 70:1539–1544.
- Gzyl, J. 1990. Lead and cadmium contamination of soil and vegetables in the upper Silesia region of Poland. *Sci. Total Environ.* 96:199–209.
- Howe, A., L. H. Fung, G. Lalor, R. Rattray, and M. Vutchkov. 2005. Elemental composition of Jamaican foods 1: a survey of five food crop categories. *Environ. Geochem. Health* 27:19–30.
- Kachenko, A. G. and B. Singh. 2006. Heavy metals contamination in vegetables grown in urban and metal smelter contaminated sites in Australia. *Water Air Soil Pollut.* 169:101–123.
- Lin, H. T., S. S. Wong, and G. C. Li. 1992. The Concentrations of heavy metals in crop of Taiwan and the daily intake of heavy metals by R.O.C. people. *J. Chin. Agric. Chem. Soc.* 30:463–470. (in Chinese with English abstract)
- Lin, Y. W., T. S. Liu, and C. H. Wang. 2003. Study on nitrogen mineralization characteristics of organic materials. *Jour. Agric. Res. China* 53:178–190. (in Chinese with English abstract)
- Liu, T. S., H. Y. Guo, J. L. Chu, and S. Lian. 2007. Preliminary study on heavy metal characteristics in serpentinite-developed soil regions in eastern Taiwan. *J. Taiwan Agric. Res.* 56:65–78. (in Chinese with English abstract)
- Liu, W., Q. Zhou, Y. Zhang, and S. Wei. 2010. Lead accumulation in different Chinese cabbage cultivars and screening for pollution-safe cultivars. *J. Environ. Manage.* 91:781–788.
- Murray, H., T. A. Pinchin, and S. M. Macfie. 2011. Compost application affects metal uptake in plants grown in urban garden soils and potential human health risk. *J. Soils Sediments* 11:815–829.
- Nabulo, G., H. Oryem-Origa, and M. Diamond. 2006. Assessment of lead, cadmium, and zinc contamination of roadside soils, surface films, and vegetables in Kampala city, Uganda. *Environ. Res.* 101:42–52.
- Sahi, S. V., N. L. Bryant, N. C. Sharma, and S. R. Singh. 2002. Characterization of a lead Hyperaccumulator Shrub, *Sesbania drummondii*. *Environ. Sci. Technol.* 36:4676–4680.
- Shih, R. C., W. Y. Chen, Y. M. Kao, and D. Y. C. Shih. 2008. Investigation of heavy metals in marketed vegetables in Taiwan. *Annu. Rep. BFDA* 26:212–224. (in Chinese)
- Tahvonon, R. and J. Kumpulainen. 1995. Lead and Cadmium in some berries and vegetables on the Finnish market in 1991-1993. *Food Addit. Contam.* 12:263–279.
- Urieta, I., M. Jalon, and I. Eguileor. 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 Addit. Contam.* 13:29–52.
- Uzu, G., S. Sobanska, G. Sarret, M. Muñoz, and C. Dumat. 2010. Foliar lead uptake by lettuce exposed to atmospheric fallouts. *Environ. Sci. Technol.* 44:1036–1042.

- Wang, G., M. Y. Su, Y. H. Chen, F. F. Lin, D. Luo, and S. F. Gao. 2006. Transfer characteristics of cadmium and lead from soil to the edible parts of six vegetable species in southeastern China. *Environ. Pollut.* 144:127–135.
- Wiersma, D., B. J. van Goor, and N. G. van der Veen. 1986. Cadmium, lead, mercury and arsenic concentrations in crops and corresponding soils in the Netherlands. *J. Agric. Food Chem.* 34:1067–1074.
- Wolnik, K. A., F. L. Fricke, S. G. Capar, M. W. Meyer, R. D. Satzger, E. Bonnin, and C. M. Gaston. 1985. Elements in major raw agricultural crops in the United States. 3. Cadmium, lead, and eleven other elements in carrots, field corn, onions, rice, spinach, and tomatoes. *J. Agric. Food Chem.* 33:807–811.
- Yang, J., H. Guo, Y. Ma, L. Wang, D. Wei, and L. Hua. 2010. Genotypic variations in the accumulation of Cd exhibited by different vegetables. *J. Environ. Sci.* 22:1246–1252.
- Yang, Y., F. S. Zhang, H. F. Li, and R. F. Jiang. 2009. Accumulation of cadmium in the edible parts of six vegetable species grown in Cd-contaminated soils. *J. Environ. Manage.* 90:1117–1122.

## Contents of Cadmium and Lead in Vegetable Crops Produced in Taiwan<sup>1</sup>

Yu-Wen Lin<sup>2</sup>, Tsang-Shen Liu<sup>2,10</sup>, Chi-Tsun Chen<sup>3</sup>, Hsueh-Jung Tang<sup>4</sup>, Hong-Tang Chen<sup>5</sup>, Jia-Rong Job<sup>6</sup>, Jeng-Hsien Tsai<sup>7</sup>, Yong-Hong Lin<sup>8</sup>, Chi-Chung Chang<sup>9</sup>, Shwu-Jene Tsai<sup>2</sup>, and Wei-Tin Huang<sup>2</sup>

### Abstract

Lin, Y. W., T. S. Liu, C. T. Chen, H. J. Tang, H. T. Chen, J. R. Job, J. H. Tsai, Y. H. Lin, C. C. Chang, S. J. Tsai, and W. T. Huang. 2012. Contents of cadmium and lead in vegetable crops produced in Taiwan. *J. Taiwan Agric. Res.* 61:38–51.

In order to understand contents of cadmium and lead in vegetable crops produced in Taiwan, a total of 1900 samples of vegetable crops were collected from major vegetable growing areas in Taiwan and used in this study. These samples were digested by concentrated nitric acid and perchloric acid and then analyzed for contents of cadmium and lead, using inductively coupled plasma atomic emission spectrometer. Results showed that mean concentrations of cadmium (fresh weight basis) were ND–0.151 mg kg<sup>-1</sup> in leaf vegetables, ND–0.080 mg kg<sup>-1</sup> in head vegetables, ND–0.116 mg kg<sup>-1</sup> in root/stem vegetables, and ND–0.115 mg kg<sup>-1</sup> in gourd/fruit vegetables, whereas mean concentrations of lead were ND–0.294 mg kg<sup>-1</sup> in leaf vegetables, ND–0.239 mg kg<sup>-1</sup> in head vegetables, ND–0.619 mg kg<sup>-1</sup> in root/stem vegetables, and ND–0.064 mg kg<sup>-1</sup> in gourd/fruit vegetables. Results also showed that 0.6%

- 
1. Contribution No. 2649 from Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), Council of Agriculture. Accepted: February 23, 2012.
  2. Respectively, Assistant Researcher, Associate Researcher, Associate Researcher, and Assistant Researcher, Department of Agricultural Chemistry, TARI, Taichung, Taiwan, ROC.
  3. Researcher and Director, Lanyang Branch Station, Hualien District Agricultural Research and Extension Station, Yilan, Taiwan, ROC.
  4. Assistant Researcher, Crop Environment Section, Taoyuan District Agricultural Research and Extension Station, Taoyuan, Taiwan, ROC.
  5. Assistant Researcher, Crop Environment Section, Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Changhua, Taiwan, ROC.
  6. Assistant Specialist, Crop Environment Section, Tainan District Agricultural Research and Extension Station, Tainan, Taiwan, ROC.
  7. Assistant Researcher, Crop Environment Section, Maioli District Agricultural Research and Extension Station, Maioli, Taiwan, ROC.
  8. Assistant Researcher, Crop Environment Section, Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station, Pingtung, Taiwan, ROC.
  9. Assistant Researcher, Crop Environment Section, Taitung District Agricultural Research and Extension Station, Taitung, Taiwan, ROC.
  10. Corresponding author, e-mail: [tsliu@tari.gov.tw](mailto:tsliu@tari.gov.tw); Fax: (04)23398149.

and 0.7% of vegetable samples exceeded the food regulation levels for cadmium and lead in Taiwan, respectively. We particularly emphasized that 6.1%, 9.8%, and 0.6% of cabbage, iceberg lettuce, and carrot samples exceeded the regulation levels for cadmium, respectively, while 0.3% and 4.0% of radish and carrot samples exceeded those for lead, respectively.

**Key words:** Cadmium, Lead, Vegetable crops, Food safety.