

作物中重金屬含量調查及我國國民
對重金屬取食量之探討

The Concentrations of Heavy Metals in Crops of Taiwan and
the Daily Intake of Heavy Metals by R. O. C. People

林浩潭 翁愷慎 李國欽

抽印自中國農業化學會誌第三十卷第四期

Reprinted from Journal of the Chinese Agricultural Chemical Society
Vol. 30, No. 4, Taipei, Republic of China, December, 1992

作物中重金屬含量調查及我國國民 對重金屬取食量之探討

林浩潭 翁愷慎 李國欽*

臺灣農業藥物毒物試驗所

(接受刊載日期: 中華民國八十一年一月二十八日)

於田間採取米類、果菜類、葉菜類、根菜類等作物樣品共 687 個, 分析其中砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅等 8 種重金屬含量, 發現作物樣品中以鋅含量為最高, 其次為銅、鎳、鉛; 米類中重金屬含量較蔬菜類高。依據各種食物之取食量資料及作物、麵類、魚貝類等重金屬含量資料, 推算出國人經由上述食物來源, 每日對砷、汞等重金屬之取食量低於經由 WHO/FAO 資料所換算出之每人每日可攝取量 (ADI), 但鎘、鉛之攝取量各為 32.8 μg , 339.6 μg , 已接近 ADI: 48~60 μg , 357.5 μg 。

The Concentrations of Heavy Metals in Crops of Taiwan and the Daily Intake of Heavy Metals by R. O. C. People

Haw-Tarn Lin, Sue-Sun Wong and Gwo-Chen Li*

*Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute,
Taichung, Taiwan, R. O. C.*

(Accepted for publication: January 28, 1992)

687 crop samples, including rice, root vegetable, leafy vegetable, and fruity vegetable, were sampled from major agricultural areas in Taiwan. The concentrations of As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn in crop samples was determined.

The concentrations of heavy metals (on fresh weight basis) in the crop samples were in the order $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Pb}$, and the concentrations of Cd, Cr and Hg were very low, below 0.2 $\mu\text{g}/\text{g}$.

The daily intake of heavy metals by R. O. C. people was calculated based on the average concentration of heavy metal in food and the daily consumption of foods. The daily intake of As and Hg is below the acceptable daily intake (which was modified from the ADI proposed by WHO/FAO). The difference between the ADIs of WHO/FAO and this study is the average body weight per person. 50 kg per Chinese person was adopted for this study. However, the daily intake of Cd (32.8 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$) by R. O. C. people is near the ADI (48-60 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$), and the daily intake of Pb (339.6 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$) is close to the ADI (357.5 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$).

Key words: Heavy metal, Rice, Fruity vegetable, Leafy vegetable, Root vegetable, Daily intake, ADI.

前 言

砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅等八種重金屬元素在工業及農業上普遍被使用⁽¹⁾, 如處理不當,

* Corresponding author.

易經由水、空氣、土壤及農業生產資材如肥料、農藥之使用等途徑而累積於作物體中⁽²⁾，當人體經由食物鏈攝入受污染之作物後，即受到重金屬之毒害而引起肝、腎、神經功能障害及骨骼、皮膚病變、癌症等症狀，嚴重時甚至造成死亡⁽³⁾。在日本發生之「痛痛病」即起因於灌溉水受鎘污染後，間接引起土壤、稻米污染，人體長期食用受鎘污染之稻米所引起之中毒事件⁽⁴⁾。為保障人類食物之安全，聯合國國際農糧組織與世界衛生組織 (FAO/WHO) 定義了人體對毒物每日可接受取食量 (acceptable daily intake, 簡稱 ADI) 之安全準則，其意義為：根據目前所得之安全知識，在整個生命過程中，每日接受低於此一劑量之某種化學物質，人體不會受到毒害，其單位為每公斤體重可攝取之微克數 ($\mu\text{g}/\text{kg b. w./day}$)^(5,6)。本實驗之目的在經由田間實際採取作物樣品，分析其中砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅等八種重金屬元素之含量，並依據我國國民之取食量資料，估算出我國國民對重金屬之取食量，並與 ADI 比較，評估是否超過安全範圍，做為環境毒物管制之參考。

材料與方法

一、樣品採集方法

於全省各作物產區 (蔬菜專業區，稻作、雜糧產區) 採取成熟之作物，葉菜類採取整株，根菜類、果菜類、米類採取可食用部份，樣品之種類與數目見表一。

表一 本研究所採樣品種類與數目

Table 1. The name and number of each crop and vegetable being sampled

Crop	Specises	Sample number
Rice		341(50%)*
Leafy vegetable	Cabbage (21) ^b , Chinese spinch (9) Chinese cabbage (18), Mustard (3), Leek (3) Lettuce (12), Spinch (8), Celery (14) Green onion (18), Garlic (38)	144(21%)
Root vegetable	Carrot (21), Radish (28), Sweet potato(31) Taro (26), Turnip (6)	112(16%)
Fruity vegetable	Tomato (25), Cauliflower (14), Egg-plant (15) Kidney bean (12), Maize (7), Green pepper (4) Cucumber (3), Peanut (7), Bottle gourd(3)	90(13%)
Total		687(100%)

* Percent of each crop.

^b Number of each vegetable sample.

二、樣品處理方法

作物樣品以自來水沖洗乾淨後，再以純水沖洗二次，入烘箱中以 60°C 乾燥72小時後，以瑪瑙研砵磨碎，裝入樣品瓶中，置乾燥器中貯存，以便分析；作物樣品於烘乾過程中，同時進行水分含量測定，稻穀樣品曬乾後，經脫穀機脫殼，以磨粉機磨碎，再以上述方法貯存。

三、樣品中重金屬分析方法

(一) 作物樣品中鎘、鉻、銅、鎳、鉛、鋅之分析方法：

稱取作物樣品 1 g，入 300 ml Pyrex 圓底燒瓶中，加入 10 ml 濃硝酸，裝上冷凝管，置消化爐上加熱沸騰 1 小時，室溫下放冷後，再加入 5 ml 濃過氯酸 (70%)，再加熱沸騰 1/2 小時，放冷後，過濾轉入 25 ml 定量瓶，以純水定量至 25 ml，再以原子吸光儀 (Varian Spectr AA-30 Atomic Absorption Spectrometer) 測之。

(二) 作物中砷分析方法：

稱取 1 g 作物樣品置 300 ml 圓底燒瓶中，加入 10 ml 濃硝酸、2.5 ml 濃硫酸、2.5 ml 濃過氯酸，裝上冷凝管，加熱沸騰 100 分鐘後，以滴管逐滴加入約 4 ml 甲酸 (90%)，至無紅棕色氣體發生為止，室溫下放冷後，轉入 50 ml 定量瓶中，加入 5 ml 濃鹽酸後，以純水定量至 50 ml，加入 0.5 g 碘化鉀，室溫下靜置 15 分鐘後，與 6% NaBH₄ (以 10% NaOH 溶液配製) 反應，再以原子吸光儀測之，所使用儀器為 Varian Spectr AA-30 Atomic Absorption Spectrometer 附測砷裝置 (VGA-76)。

(三) 作物中汞分析方法：

稱取 0.5 g 作物樣品，置反應瓶中，加入 10 ml 濃硫酸、5 ml 濃硝酸之混合液，於室溫下放置 48 小時，使作物殘體溶解，加入 65 ml 純水，及至少 10 ml 過錳酸鉀溶液 (5%)，直至紫色維持 10 分鐘以上為止；(如紫色消失，則再加入更多過錳酸鉀溶液)；再加入 10 ml 過硫酸鉀 (5%)，靜置室溫下 30 分鐘後，加入 2 ml 之 12% NaCl-(NH₂OH)·H₂SO₄ 混合液，使消化液變成無色為止，最後加入 0.5 ml 之 10% SnCl₂ 溶液，以汞分析儀 (Coleman 50 Mercury Analyser) 分析汞。

(四) 作物中重金屬分析方法回收確認試驗：

利用 NBS (National Bureau of Standard, USA) 編號 1577a 牛肝 (bovine liver)，編號 1573 番茄葉 (tomato leaves)，編號 1568 米粉 (rice flour) 及編號 1572 柑橘葉 (citrus leaves) 等標準參考樣品，以(一)、(二)、(三)所述之分析方法分析，以確認該方法之可信度，結果如表二所示。分析結果所得數據除米粉樣品中之銅含量外，皆在標準參考樣品含量之 80% 以上，顯示分析方法之可行度。

(五) 作物中重金屬分析方法之最低偵測量 (μg/g 以乾重為基準)：

砷 (0.05)、鎘 (0.04)、鉻 (0.10)、銅 (0.05)、汞 (0.02)、鋇 (0.10)、鉛 (0.10)、鋅 (0.10)。

表二 以作物中重金屬之分析方法分析 NBS 標準參考樣品所得結果
Table 2. Analytical results of NBS standard reference materials^a

H. M.	Bovin liver #1577a		Tomato leaves #1573		Rice flour #1568		Citrus leaves #1572	
	Certified	Results	Certified	Results	Certified	Results	Certified	Results
As	0.047±0.006	<0.05	0.27±0.05	0.23±0.05	0.41±0.05	0.38±0.03	3.1±0.3	3.5±0.5
Cd	0.44±0.06	0.44±0.06	(3) ^b	3.2±0.3	0.029±0.004	<0.05	0.03±0.01	<0.05
Cr	—	—	4.5±0.5	6.0±1.0	—	—	0.8±0.2	0.7±0.1
Cu	158±7	132±10	11±1	9±1	2.2±0.3	1.6±0.5	16.5±1.0	13.7±0.4
Hg	0.004±0.002	<0.02	(0.1) ^b	0.10±0.02	0.006±0.007	<0.02	0.08±0.02	0.07±0.01
Ni	—	—	—	—	(0.16) ^b	<0.20	0.6±0.3	0.9±0.2
Pb	0.135±0.015	0.173±0.021	6.3±0.3	6.4±0.7	0.045±0.010	<0.150	13.3±2.4	12.9±0.4
Zn	123±8	124±14	62±6	58±5	19.4±1.0	16.2±1.9	29±2	27±2

^a μg/g on dry weight basis.

^b Uncertified.

四、我國國民對各類食物取食量之計算⁽⁷⁾

將臺北市政府主計處編印之臺北市家庭收支調查報告中「臺北市平均每月消費食品支出金額」除以「臺北市物價統計月報」中之物價^(8,9)，可得每人每月對各類食物之取食量，再將1985年1月至1989年12月每人每月對各類食物之取食量總和除以5，可得每人每年對各類食物之取食量，再除以365，即可得每人每日對各類食物之取食量。

五、我國國民對各種重金屬取食量之計算

將某一重金屬在某類食物中之平均含量乘以我國國民對該類食物之取食量，即可得出經由該類食物對某一重金屬之取食量，各類食物之某一重金屬取食量之和，即為經由食物對該重金屬之取食量。

取食量之計算以公式表示如下：

$$T_m = \sum_i C_{im} \times F_i$$

T_m : 國民對 m 重金屬之總取食量 (μg)。

C_{im} : m 重金屬在 i 類食物中之平均含量 ($\mu g/g$)。

F_i : 我國國民對 i 類食物之取食量 (g)。

結果與討論

一、作物中重金屬含量

本研究計採取米類 341 個樣品、葉菜類 144 個樣品、根菜類 112 個樣品、果菜類 90 個樣品，共計 687 個樣品，表三為各類作物中重金屬以鮮重為基準之含量摘要，其中米類之水份含量經換算成為糧食局收購稻米之水份含量標準——13%，比較作物中砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅等重金屬之平均含量，可發現鋅含量最高，其次為銅，鎳、鉛次之，其餘重金屬如砷、鎘、鉻、汞等之含量極低，皆小於 $0.2 \mu g/g$ ，田間作物體中重金屬之含量與土壤中重金屬之含量與型態⁽¹⁰⁾、作物類別與品種^(11,12)、土壤質地^(13,14)、土壤酸鹼度 (pH 值)⁽¹⁵⁾、土壤還原電位 (Eh)^(16,17)、田間環境及管理方式等皆有關係^(18,19)，因此很難比較不同作物間重金屬之含量。米類因水份含量較其他類作物低，所以重金屬含量較高。

表三 各類作物中重金屬含量摘要

Table 3. The levels of heavy metals in crops^a

H. M.	Rice ($n=341$)		Fruity vegetable ($n=90$)		Leafy vegetable ($n=144$)		Root vegetable ($n=112$)	
	Mean \pm SD ^b	Range	Mean \pm SD	Range	Mean \pm SD ^b	Range	Mean \pm SD	Range
As	0.15 \pm 0.16	ND ^c -1.55	0.01 \pm 0.02	ND-0.06	0.01 \pm 0.02	ND ^c -0.11	0.01 \pm 0.02	ND-0.17
Cd	0.06 \pm 0.07	ND-0.44	0.02 \pm 0.04	ND-0.07	0.02 \pm 0.04	ND-0.12	0.04 \pm 0.09	ND-0.91
Cr	0.14 \pm 0.36	ND-0.51	0.05 \pm 0.36	ND-1.35	0.002 \pm 0.01	ND-0.91	0.006 \pm 0.06	ND-0.16
Cu	2.16 \pm 0.69	ND-5.39	0.67 \pm 0.78	ND-2.47	0.39 \pm 0.23	ND-0.71	0.57 \pm 0.38	ND-3.19
Hg	0.001 \pm 0.01	ND-0.03	0.004 \pm 0.01	ND-0.03	0.003 \pm 0.003	ND-0.03	0.006 \pm 0.008	ND-0.03
Ni	0.47 \pm 0.54	ND-6.84	0.18 \pm 0.43	ND-0.62	0.18 \pm 0.20	ND-0.78	0.31 \pm 0.33	ND-3.22
Pb	0.37 \pm 0.87	ND-7.81	0.40 \pm 0.40	ND-1.93	0.31 \pm 0.26	ND-1.04	0.49 \pm 0.46	ND-1.00
Zn	34.09 \pm 10.45	1.65-69.56	5.27 \pm 2.72	0.22-7.93	3.20 \pm 2.08	2.35-5.58	5.21 \pm 3.41	0.11-29.74

^a $\mu g/g$ on fresh weight basis. The average water contents are 80.95% for fruity vegetable, 91.59% for leafy vegetable and 81.10% for root vegetable. The average water content of rice is calculated as 13%.

^b SD: Standard Deviation.

^c ND: Non-detectable.

二、我國國民對各種食物之取食量

評估吾人每日對重金屬之取食量，首先須瞭解吾人每日對各種食物之取食量，以為計算之依據，利用臺北市政府主計處編印之 1985 年 1 月至 1989 年 12 月「中華民國臺北市家庭收支調查報告」中之各類食物之支出除以該處編印之同一時期之「中華民國臺北市物價統計月報」中之每公斤物價，可得各類食物之每人每日取食量如表四，米類為 0.148 公斤、麵類為 0.229 公斤、果菜類為 0.146 公斤、葉菜類為 0.148 公斤、根菜類為 0.052 公斤、水果類為 0.239 公斤、肉類為 0.117 公斤、魚貝類為 0.040 公斤、乳品類為 0.021 公斤、蛋類為 0.021 公斤、油脂類為 0.022 公斤，合計每人每日對各種食物之取食量為 1.183 公斤。

表四 各類食物之每人每日取食量
Table 4. The daily intakes of foodstuff per person^a

Food	Daily intakes (kg/day/person)	Percent (%)
Rice	0.148	12.51
Wheat	0.229	19.36
Fruity vegetable	0.146	12.34
Leafy vegetable	0.148	12.51
Root vegetable	0.052	4.40
Fruit	0.239	20.20
Meat	0.117	9.89
Fishes & shellfishes	0.040	3.38
Dairy product	0.021	1.78
Eggs	0.021	1.78
Edible oil	0.022	1.86
Total	1.183	100

^a Calculated from 1985~1989's "Report on the Survey of Family Income and Expenditure of Taipei Municipality, ROC and "Commodity-Price Statistics Monthly Taipei Municipality" edited by Bureau of Budget, Accounting and Statistics, Taipei Municipal Government, ROC.

三、各種食物中重金屬含量

為了求得吾人每日對重金屬之取食量，除了具備我國國民對各種食物之取食量外，尚須取得各種食物中重金屬含量之資料，方可評估吾人每日對各種重金屬之取食量；由於我國小麥大部份由美國進口，因此以美國小麥中重金屬之含量作為麵類中重金屬之含量⁽²⁰⁾，示之於表五，與我國米類比較，可發現除了銅含量外，其餘重金屬之含量皆較我國米類者低。魚貝類中砷、鎘、銅、汞、鉛之平均含量列於表六^(21~24)，銅之平均含量為最高，魚貝類中就種類而言，以蚶之平均含量 35.81 $\mu\text{g/g}$ 為最高。魚貝類由水中攝入重金屬之生物濃縮係數 (bioaccumulation factor) 高達 200~700 倍⁽²⁵⁾，此為造成魚貝類中含高量重金屬之主要原因。

四、我國國民經由食物對各種重金屬之取食量及與 ADI 值之比較

重金屬 ADI 已訂定者，計有 FAO/WHO 所訂之砷、鎘、汞、鉛及美國之 National Research

表五 美國小麥中重金屬之平均含量

Table 5. The levels of heavy metals in wheat of US^{a,b}

H. M.	Average content ($\mu\text{g/g}$)
As	0.009
Cd	0.04
Cr	0.009
Cu	3.92
Hg	0.009
Ni	0.28
Pb	0.56
Zn	4.35

^a Water content is calculated as 13%.

^b Cited from A. Kabata-Pendias and H. Pendias⁽²⁰⁾.

表六 魚、貝類中重金屬含量

Table 6. The levels of heavy metals in fishes and shellfishes ($\mu\text{g/g}$)^a

H. M.	Fishes	Oyster	Shrimp	Shellfishes	Average content
As	0.03	0.09	—	0.08	0.07
Cd	0.03	0.27	0.21	0.17	0.17
Cu	0.60	35.81	6.64	2.48	11.38
Hg	0.021	0.015	0.049	0.01	0.024
Pb	0.37	0.91	0.71	0.69	0.67

^a 摘自張等⁽²⁴⁾；陸等⁽²¹⁾；劉與鄭⁽²³⁾；蔡等⁽²²⁾。

Council of the National Academy of Science 所定之銻^(26~28)。將上述資料換算成單位為微克每人每公斤體重每天 ($\mu\text{g/kg body weight/day}$)，乘上中華民國國民平均體重50公斤後，可得到每人每日可攝取之微克量 ($\mu\text{g/person/day}$)，示之於表七。各類食物之每人每日取食量與各類食物中

表七 重金屬之每人每日可攝取量 (ADI)

Table 7. Acceptable daily intakes of heavy metals

H. M.	$\mu\text{g/kg body weight/day}$	$\mu\text{g/person/day}$ ^a
As ^b	2 ^d	100
Cd	0.95~1.20 ^b	48~60
Hg	0.71 ^b	35.5
Pb	7.15 ^b	357.5
Zn	250 ^c	12,500

^a Person weight is 50 kg.

^b Provincial Tolerable Daily Intake (PTDI) was calculated from the Provincial Tolerable Weekly Intake (PTWI) proposed by the FAO/WHO.

^c Recommended Dietary Allowance (RDA) proposed by the National Research Council of the National Academy of Science, USA.

^d Calculated as arsenic trioxide (As_2O_3).

重金屬之含量相乘，可得到我國國民對各類食物之重金屬每人每日取食量，再與 ADI 值比較，則可評估我國國民經由食物對重金屬之攝取量是否在安全範圍內，結果如表八，由表八可發現我國國民對鉛之攝取量為 339.6 μg ，已接近 WHO/FAO 所訂定之 ADI 值 357.5 μg ，鉛不是人體所需要之元素，過量之鉛會引起人體之胃腸、神經機能障礙、貧血等症狀⁽²⁹⁾；為防止受鉛之毒害，進一步必須採取防範措施。鎘之攝取量為 32.8 μg ，亦接近 ADI 值 48~60 μg ，也值得密切注意。鋅之攝取量為 7,555 μg ，鋅為人體所必需，為多種酶類之組成份，但一次攝入過量之鋅（約 300 mg）則會引起嘔吐、昏迷等症狀；經推薦之鋅必需量成人為每日 15 mg，而孕婦需 25 mg⁽³⁰⁾。銅之攝取量為 1,857 μg ，銅亦為人體所必需，在人體中擔任酶類之角色，人體需要量約為 2 mg，但一次攝入至少 15~75 mg，則會引起胃腸機能障礙⁽³¹⁾。

表八 由米類、蔬菜類、麵類及魚貝類所攝取之重金屬量與 ADI 之比較
Table 8. The daily intakes and ADI values of different heavy metals

H. M.	Daily intakes ($\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$)	ADI ($\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$)
As ^a	23.2	100
Cd	32.8	48~60
Cr	30.7 ^b	—
Cu	1,857	—
Hg	4.5	35.5
Ni	202.7 ^b	—
Pb	339.6	357.5
Zn	7,555 ^b	12,500

^a Calculated as As₂O₃.

^b Only rice, vegetable and wheat.

參 考 文 獻

- (1) 李錦地、張嵩林、郭錦洛、洪正中、張連傳：毒性污染物使用量及殘餘量調查報告。臺灣省水污染防治所編印 (1982)。
- (2) J. O. Nriagu and J. M. Pacyna: Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature*, **333**: 134-139 (1988).
- (3) L. Friberg and G. F. Nordberg: Introduction. p. 1-14. In L. Friberg, *et al.* (eds.), "Handbook on the Toxicology of Metals", 2nd ed. Elsevier, Amsterdam (1986).
- (4) T. Kobayashi: Pollution by cadmium and the Itai-Itai disease in Japan. p. 199-260. In F. W. Oehme (ed.) "Toxicity of Heavy Metals in the Environment". Part 1. Marcel Dekker, New York (1978).
- (5) C. Lu: Toxicological evaluation of food additives and pesticide residues and their "acceptable daily intake" for man: the role of WHO, in conjunction with FAO. *Residue Reviews*, **45**: 81-92 (1973).
- (6) P. Copeatake: The acceptable daily intake. *Fd. Chem. Toxic.*, **27**: 273-274 (1989).
- (7) 李國欽、翁慷愼、蔣啓玲：食用作物中農藥最高容許量之訂定辦法。科學農業，**29**: 211-221 (1981)。
- (8) 臺北市政府主計處：中華民國臺北市家庭收支調查報告。臺北市政府 (1985~1989)。
- (9) 臺北市政府主計處：物價統計月報。臺北市政府 (1985~1989)。
- (10) L. J. Lund, E. E. Betty, A. L. Page and R. A. Elliot: Occurrence of naturally high cadmium levels in soils and its accumulation by vegetation. *J. Environ. Qual.*, **10**: 551-556 (1981).
- (11) 森下豐昭、西知己、香川邦雄、太田安定：同一圃場かろのジャガニカ、インディカ、ジャワ、および交雜型水稻66品種産米中のカドミウム自然賦存濃度。日本土壤肥料學雜誌，**57**: 393-396 (1986)。

- (12) C.L. Browne, Y.-M. Wong and D.R. Buhler: A predictive model for the accumulation of cadmium by container-grown plants. *J. Environ. Qual.*, **13**: 184-188 (1984).
- (13) G.K. Bjerre and H. H. Schierup: Uptake of six heavy metals by oats as influenced by soil type and additions of cadmium, lead, zinc and copper. *Pl. Soil*, **88**: 57-69 (1985).
- (14) S. Muhammad: Solubility relationships of arsenic in calcareous soils and its uptake by corn. *Pl. Soil*, **91**: 241-248 (1986).
- (15) J.M. Valderes, A.S.M. Gal, V. Mingelgrin and A.L. Page: Some heavy metals in soils treated with sewage sludge, their effects on yield and their uptake by plants. *J. Environ. Qual.*, **12**: 49-57 (1983).
- (16) 伊藤秀文、飯村康二: 土壤の酸化還元状態の變化と水稻のカドミウム吸収應答。日本土壤肥料學雜誌, **46**: 82-88 (1975).
- (17) Iimura: Heavy metal problems in paddy soils. p. 37-44. In K. Kakuzo and I. Yamane (eds.) "*Heavy Metal Pollution in Soils of Japan*". Japan Scientific Societies Press, Tokyo (1981).
- (18) R.H. Merry and K.G. Tiller: The effects of soil contamination with copper, lead and arsenic on the growth and composition of plants. I. Effects of season, genotype, soil temperature and fertilizer. *Pl. Soil*, **91**: 115-128 (1986).
- (19) R.H. Merry and K.G. Tiller: The effects of soil contamination with copper, lead and arsenic on the growth and composition of plants. II. Effects of source of contamination, varying soil pH, and prior waterlogging. *Pl. Soil*, **95**: 255-269 (1986).
- (20) A. Kabata-Pendias and H. Pendias: "*Trace Elements in Soil and Plants*". CRC Press, Boca Raton, Florida (1986).
- (21) 陸知慧、林瑞著、楊仕喜、張碧秋、周薰修: 臺灣地區養殖魚類重金屬之調查。藥物食品檢驗局調查研究年報, **8**: 209-227 (1990).
- (22) 蔡佳芬、潘志寬、鄭秋眞、周薰修: 臺灣地區養殖貝類重金屬含量之調查。藥物食品檢驗局調查研究年報, **8**: 196-208 (1990).
- (23) 劉純妃、鄭秋眞: 臺灣地區市售養殖魚類中重金屬含量之調查。藥物食品檢驗局調查研究年報, **8**: 189-195 (1990).
- (24) 張碧秋、楊福麟、賴宣揚、管麗珍: 臺灣地區養殖草蝦蝦肉重金屬污染調查。藥物食品檢驗局調查研究年報, **5**: 145-151 (1987).
- (25) J.O. Nriagu: Food contamination with cadmium in the environment. p. 59-84. In J.O. Nriagu and M.S. Simmons (eds.), "*Food Contamination from Environmental Sources*". John Wiley and Sons, New York (1990).
- (26) L. H. Jr. Russel: Heavy metals in foods of animal origin. p. 3-22. In F. W. Oehme (ed.), "*Toxicity of Heavy Metals in the Environment*". Marcel Dekker, New York (1978).
- (27) M.J. Gartrell, J.C. Craun, D.S. Podrebarac and E.L. Gunderson: Pesticides, selected elements, and other chemicals in infant and toddler total diet samples, October 1979-September 1980. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, **68**(6): 1163-1183 (1985).
- (28) M.J. Gartrell, J.C. Craun, D.S. Podrebarac and E.L. Gunderson: Pesticides, selected elements, and other chemicals in adult total diet samples, October 1979-September 1980. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, **68**(6): 1184-1197 (1985).
- (29) K. Tsuchiya: Lead. p. 298-340. In L. Friberg, *et al.* (eds.), "*Handbook on the Toxicology of Metals*". 2nd ed. Elsevier, Amsterdam (1986).
- (30) C.G. Elinder: Zinc. p. 664-675. In L. Friberg, *et al.* (eds.), "*Handbook on the Toxicology of Metals*". 2nd ed. Elsevier, Amsterdam (1986).
- (31) T. Norseth and J. Aaseth: Copper. p. 233-248. In L. Friberg, *et al.* (eds.), "*Handbook on the Toxicology of Metals*". 2nd ed. Elsevier, Amsterdam (1986).