

臺灣地區生產山藥之礦物質含量

陳健懿^{1*} 衛元耀² 劉新裕³

¹ 中山醫學大學 醫學影像技術學系

² 國立清華大學原子科學技術發展中心同位素組

³ 行政院農業委員會農業試驗所

(接受刊載日期: 中華民國九十一年四月十日)

針對植育於霧峰農試所之臺灣地區主要食用之六類 (包含 22 種品系) 山藥之礦物質, 藉最適化儀器中子活化分析 (INAA), 進行必須及微量元素分析。本文對每山藥品系進行三重複量測, 共分析 19 種元素。INAA 方法並與國際原子能總署地衣標準品 (IAEA-336) 進行比對/品質管制。結果顯示, 大部份的礦物質含量於同種植地區相似, 但在各品系中分佈範圍及差異性極大, 台農 1、2 號具有最多的鉀、鎂及鐵; 硒與砷是第一次分析於臺灣地區生產山藥, 濃度在 10^{-2} 至 10^{-3} mg/kg 之間。本結果與馬來西亞、斯里蘭卡等地山藥元素含量分佈相似。

關鍵字: 山藥, 儀器中子活化分析, 台農 1 號, 台農 2 號。

Mineral Element Contents in Yam "*Dioscorea* spp." Cultivated in Taiwan

Chien-Yi Chen^{1*}, Yuan-Yaw Wei² and Sin-Yie Liu³

¹ School of Medical Imaging Technique, Chung Shan Medical University

² Nuclear Science and Technology Development Center, National Tsing Hua University

³ Taiwan Agricultural Research Institute

(Accepted for publication: April 10, 2002)

Six distinct species of yam "*Dioscorea* spp." (22 varieties) cultivated in Wufeng in Taiwan and consumed by most Taiwanese, were analyzed using optimal instrumental neutron activation analysis (INAA). The contents of 19 mineral elements were determined. Samples and standards were analyzed in triplicate. Standard reference material (SRM), IAEA-336 lichen, was also analyzed using concentration analysis and quality assurance analysis. Results indicated that TNG1 and TNG2 had the most K, Mg, and Fe. Most of the elements had wide concentration ranges among the different species. Selenium and Arsenic first analyzed were in Taiwanese Yam, ranging from 10^{-2} to 10^{-3} mg/kg. Results show good agreement with *Dioscorea* spp. planted in Malaysia and Sri Lanka.

Key words: *Dioscorea* spp., INAA, TNG1, TNG2.

前 言

山藥 (*Dioscorea* spp.) 原名薯蕷, 為薯蕷科 (*Dioscoreaceae*) 植物。山藥是國家重要農作物種類, 有滋養、強壯及止瀉之效⁽¹⁻³⁾, 更受日本、馬來西亞、斯里蘭卡、巴西與非洲奈及利亞等國家人民的喜愛⁽⁴⁻¹⁰⁾。臺灣本地主要栽培之山藥有六物種: 大薯又稱田薯 (*D. alata* L.)、長薯又稱家山藥 (*D. batatas* Decne)、甜薯 (*D. esculenta* (Lour.) Burk.)、恆春山藥又稱戟葉田薯 (*D.*

doryophora Hance)、山薯又稱日本山藥 (*D. japonica* Thunb.)、紫田薯又稱條薯 (*D. alata* L var. *purpurea* M. Pouch.)、六類為臺灣農民極喜歡種植之山藥種類, 均極適合栽培、生產⁽¹⁻³⁾。但目前臺灣山藥之礦物質含量, 未有全盤詳細之研究數據或報告可供參考。近幾年來, 臺灣每年生產 1,500 公噸山藥, 如台農 1 號 (TNG1) 為褐色白肉大薯類, 品質優越及產量可達每公頃 63 公噸, 而台農 2 號 (TNG2) 更具生產力, 其產量高達每公頃 30-60 公噸⁽¹⁾。本研究由植育於霧峰

* Corresponding author, E-mail: ccy@csmu.edu.tw

農試所六類常食用之 22 山藥品系(表一),藉最適化儀器中子活化分析(instrumental neutron activation analysis, INAA)進行在人體生理機能已經了解的必須元素:鋁(Al)、溴(Br)、氯(Cl)、鈷(Co)、銅(Cu)、鐵(Fe)、鉀(K)、鎂(Mg)、錳(Mn)、鈉(Na)、硒(Se)、鋅(Zn)及證實會引起發生缺乏症的微量元素:砷(As)、鐳(La)、銣(Rb)、銻(Sb)、釷(Sc)、釷(Sm)及釷(V)共 19 種礦物質含量,再交叉駢對分析比較各兩類山藥之異同^(5, 11, 12, 14)。

材料與方法

一、山藥樣品

行政院農業委員會農業試驗所種植的六類山藥(共 22 品系,如表一),各品系取樣各五公斤,塊莖經去皮、洗淨、切割、乾燥(溫度 70℃, 36 小時)後,再研磨成粉末狀,以求分析樣品均勻化及控制樣品的幾何大小及形狀,然後收集於 150 毫升裝的廣口聚乙烯瓶內,將一罐裝著山藥粉末樣品的聚乙烯瓶收存於維持定濕之電子防潮箱(防潮家 D145EA),以控制樣品在長期保存下濕度的穩定性^(5, 7, 15)。於聚乙烯瓶內取出三個樣品,裝置於大小為 3 × 3 cm²,厚度為 1 mm 的正方型塑膠袋⁽⁷⁾。包含 150 至 200 毫克山藥樣品、購於國際原子能總署已知礦物質含量之地衣標準品(IAEA-336 lichen),作為背景值之空塑膠袋及中子通率校準的鍍金屬,一起置於清華大學水池式反應器內照射,這期間都在相同的中子通率條件下被活化^(5, 7, 15)。每個試樣都包覆兩層塑膠袋,外層包裝袋於中子照射後,立即更換新的塑膠袋(未照射),以避免多餘的活化產物可能影響分析結果,並污染計測系統^(5, 7, 15)。

二、最適化儀器中子活化分析

採用 INAA 具有下列優點:(a) 樣品進行分析前只要均質化、乾燥處理,即可達到化學純化、濃縮的目的,不會造成對分析樣品的污染;(b) 求得最適化分析條件後,可同時分析多種元素,再現性極佳,並經過適當時間衰變後可重複分析使用之非破壞分析方法,詳見表二⁽⁵⁾。全部的偵測分析設備包括:(a) 高純度鍍(HPGe)偵檢器---相對效率為 15%,在 ⁶⁰Co 加馬能量 1332.5 keV,解析度為 2.31 keV;(b) 多頻道分析儀(multichannel analyzer)--Series 35

表一 臺灣地區生產六類山藥 22 品系及代號
Table 1. Twenty-two varieties and code name of six species of yam "*Dioscorea* spp." cultivated in Taiwan

Color of flesh	Species	Code Name	Size of <i>Dioscorea</i> ¹
White flesh			
	1 <i>D. alata</i> L.	70W01	Medium
	2 <i>D. alata</i> L.	70W03	Medium
	3 <i>D. alata</i> L.	70W09	Medium
	4 <i>D. alata</i> L.	70W22	Medium
	5 <i>D. alata</i> L.	70W34	Medium
	6 <i>D. alata</i> L.	70W35	Medium
	7 <i>D. alata</i> L.	70W47	Long
	8 <i>D. alata</i> L.	80W02	Medium
	9 <i>D. alata</i> L.	TNG1	Short
	10 <i>D. alata</i> L.	TNG2	Medium
	11 <i>D. batatas</i> Decne	70W41A	Long
	12 <i>D. batatas</i> Decne	70W41B	Long
	13 <i>D. batatas</i> Decne	70W44	Long
	14 <i>D. esculenta</i> (Lour.)Burk.	82U15	Short
	15 <i>D. esculenta</i> (Lour.)Burk.	70W19	Short
	16 <i>D. doryophora</i> Hance	70W20	Long
	17 <i>D. japonica</i> Thunb.	70W49	Long
Red flesh			
	18 <i>D. alata</i> L var. <i>purpurea</i> M. Pouch.	70R16	Medium
	19 <i>D. alata</i> L var. <i>purpurea</i> M. Pouch.	70R20	Medium
	20 <i>D. alata</i> L var. <i>purpurea</i> M. Pouch.	70R22	Medium
	21 <i>D. alata</i> L var. <i>purpurea</i> M. Pouch.	83CM201	Medium
	22 <i>D. alata</i> L var. <i>purpurea</i> M. Pouch.	83CM302	Medium

¹ Long: $l > 60$ cm, Medium: 20 cm $< l < 60$ cm, Short: $l < 20$ cm.

plus (CANBERRA)或System-100 (S100, CANBERRA); (c) 能譜分析軟體---SAMPO 90 (CANBERRA); (d) 個人電腦及週邊設備^(5, 7, 15, 16)。

進行 INAA 時,主要依個別核種特性,分成三群最適活化分析方法, S 群:照射五分鐘,冷卻二分鐘,計測五分鐘; M 群:照射 24 小時,冷卻五至七天,計測 20 分鐘; L 群:照射 24 小時,冷卻 25 至 35 天,計測二小時,如表二所示^(5, 7, 15)。進行 INAA 時,HPGe 偵檢器的無感時間(dead time),不超過 10%^(5, 7)。

表二 最適化儀器中子活化分析條件及核種特性*

Table 2. Analyzed conditions and nuclide properties of optimal instrumental neutron activation analysis¹

Group	Nuclide	Half-lives	E γ (keV)
S ²	²⁸ Al	2.24 Min	1778.8
	⁵² V	3.75 Min	1434.1
	⁶⁶ Cu	5.10 Min	1039.0
	²⁷ Mg	9.46 Min	843.8
	³⁸ Cl	37.21 Min	2167.5
	⁵⁶ Mn	2.56 Hr	846.8
M ³	⁴² K	12.36 Hr	1524.7
	²⁴ Na	15.00 Hr	1368.5
	⁷⁶ As	26.32 Hr	559.1
	⁸² Br	35.30 Hr	776.5
	¹⁴⁰ La	40.22 Hr	1596.5
	¹⁵³ Sm	46.7 Hr	103.2
L ⁴	¹²² Sb	2.72 Day	563.9
	⁸⁶ Rb	18.66 Day	1076.6
	⁵⁹ Fe	44.63 Day	1099.2
	⁴⁶ Sc	83.83 Day	889.2
	⁷⁵ Se	120 Day	264.6
	⁶⁵ Zn	244 Day	1115.5
	⁶⁰ Co	5.27 yr	1332.4
	⁶⁵ Ni	2.52 Hr	1481.8

1 Reference 16.

2 Irradiation time: 5 min; decay time: 2 min; Counting time: 5 min.

3 Irradiation time: 24 hr; decay time: 5-7 day; Counting time: 20 min.

4 Irradiation time: 24 hr; decay time: 25-35 day; Counting time: 2 hr.

三、山藥礦物質含量解算

配合適當的 γ 能譜分析系統及最適活化分析方法，計測被活化核種衰變時，放射特定能量的 γ 射線及強度，就測得試樣中各礦物質含量。但由於無法確實得知每一次活化時經過樣本的中子通率，故以鎳金屬當作中子通率的校正，並在相同的能峰上，以標準品 (IAEA-336) 解算出樣本元素含量：

$$\frac{\bar{X}_i}{C_{std}} = \frac{R_i / W_{sample}}{R_{std} / W_{std}} \times f \quad (1)$$

X_i 為第 n 個山藥樣品中某一個待測元素 i 的含量； C_{std} 為標準品中已知元素 i 含量； R_i 為樣品中某一個待測元素 i 減去背景值的計數； R_{std} 為標準品中某一個已知元素 i 減去背景值的計數； W_{sample} 為樣品照射重量； W_{std} 為標準品照射重量， f 為中子通率校正因子。

四、加權平均與駢對分析

經冷凍乾燥，已均勻化的同一品系取樣三次，進行三重複分析，經 γ 能譜分析後，得到各元素含量，每一次分析得到相近的數值及計數誤差，必須使用加權平均進行同一品系元素 i 的含量計算，以加權平均數 (mean) 及標準差 (standard deviation) 表示^(6,7,17)。對同一取樣的山藥中元素分佈的加權平均 (\bar{X}_i) 如下：

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{X_i}{S_i^2}}{\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{S_i^2}\right]} \bar{X}_i \quad (2)$$

\bar{X}_i 為第 n 個山藥樣品中某一個元素 i 含量加權平均數； S_i 為第 n 個山藥樣品中某一個元素 i 的含量之標準差。

$$S_\omega = 1 / \left\{ \sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{S_i^2} \right]^2 \right\}^{1/2}, \Delta x_i = S_\omega \cdot \bar{X}_i \quad (3)$$

S_ω = 計算同一樣本群之山藥元素含量的加權平均之標準差； Δx_i = 元素 i 含量的標準差。

並以學生式 t 值測驗 (student's t test) 進行各品系的駢對法 (pairing method) 分析，顯著水準上用 $p = 0.05$ 比較植育於農試所六類山藥的各兩類之間元素含量的差異。 t 值測試為

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{\Delta x_1^2}{N_1} + \frac{\Delta x_2^2}{N_2}}} \quad (4)$$

式中 \bar{X}_1 及 \bar{X}_2 為駢對組元素含量平均數， Δx_1 及 Δx_2 為駢對組元素含量的標準差，而 N_1 及 N_2 為各樣本數目，若機率設定的 t 分佈所得臨界 $t(t')$ 值比較，若 $t > t'$ 則駢對組有顯著差異 (significant difference)^(7,9)。

結果與討論

一、 γ 能譜

進行短時間五分鐘照射，S 群分析時，最重要的是偵檢器的無感時間不能超過 10%，偵檢器至樣本距離為 8 cm。具短半衰期過渡核種 ^{28}Al (2.24 分)、 ^{52}V (3.75 分)及 ^{66}Cu (5.10 分)之分析，於中子照射終止後，因這些過渡核種活性上很快衰減，山藥被活化後必須迅速的取出，更換外面防污的塑膠袋，隨即送入 HPGe 偵檢系統，進行活度量測。由於來自山藥基質上的干擾，圖一(a)為 150 毫克台農 1 號短時間照射的 γ 能譜，能譜上大部分活性為來自 ^{24}Na (1368.5 keV)、 ^{42}K (1524.7 keV)、 ^{38}Cl (2167.5 keV)及反應器而來的 ^{41}Ar (1293.6 keV)，使 S 群屬於 ^{27}Mg (843.8 keV)、 ^{56}Mn (846.8 keV)分析，於計數統計上，標準偏差因而擴大，中子通率的變化是以鎳金屬來校準⁽¹⁵⁾。INAA 分析時，經過五至七天衰變後，計測 20 分鐘 M 群可以清楚的分析到溴及砷的濃度，SAMPO 90 軟體可以將屬於 ^{82}Br (554.3 keV)， ^{76}As (559.1 keV)， ^{122}Sb (563.9 keV)清楚分開(圖一 b)⁽¹⁶⁾。在 24 小時長時間照射 L 群最適化分析條件下，冷卻 25 天，圖一(c)二小時的量測下可以分析半衰期長達 15 天以上的過渡核，如 ^{59}Fe 、 ^{65}Zn 、 ^{75}Se 、 ^{60}Co ，這時候， ^{24}Na 、 ^{82}Br 已衰滅殆盡。由來自山藥基質、能譜上康卜吞效應、背景值上的干擾，或是元素濃度比最小可測濃度(minimum detectable concentration, MDC)還低；大薯可分析到 19 種元素、長薯 18 種、甜薯 16 種、山薯 15 種、紫田薯 18 種元素，詳見表三至六，每一品系都是三重複樣品分析的加權平均濃度。

二、大薯

於大薯(*D. alata* L.)分析結果中，種植於農試所之 10 品系(70W01、70W03、70W09、70W22、70W34、70W35、70W47、80W02、TNG1、TNG2)，含量最高的是鉀，由台農 1 號 26.8 g/kg；台農 2 號 24.9 g/kg。INAA 分析中，砷於 80W02 (159 μ g/kg)、銅於 70W03 (44 mg/kg)、鈷於 70W01 (195 μ g/kg)、鎂於 70W47 (667 mg/kg)、錳於台農 2 號(3.08 mg/kg)是本類之冠、鐵最高是 70W35 (182 mg/kg)、硒於 70W22、70W35 最高含量 57 μ g/kg。植於馬來西亞及斯里蘭卡的大薯資料亦列於表三中，本研究大薯的元素含量與植於馬來西亞、斯里蘭卡者分佈相似^(8,9)。由表三中可得

知，台農 1、2 號具有豐富的鉀、鋅、銅、錳、硒等元素，但是砷並不能偵測/分析於 70W03、70W03、70W22、70W34、70W35 及 80W02 品系。台農 1、2 號種植幾乎分布全各地⁽¹⁻³⁾。

三、長薯

70W41a、70W41b 及 70W44 三品系長薯中，鎂含量由 546 至 846 mg/kg，砷濃度是 87 至 97 μ g/kg，特別是 70W44 比其他種長薯的砷、硒濃度還高，詳見表四。由於含量過低(小於 MDC)或能譜上背景值的干擾，故鈾在長薯中無法測得。

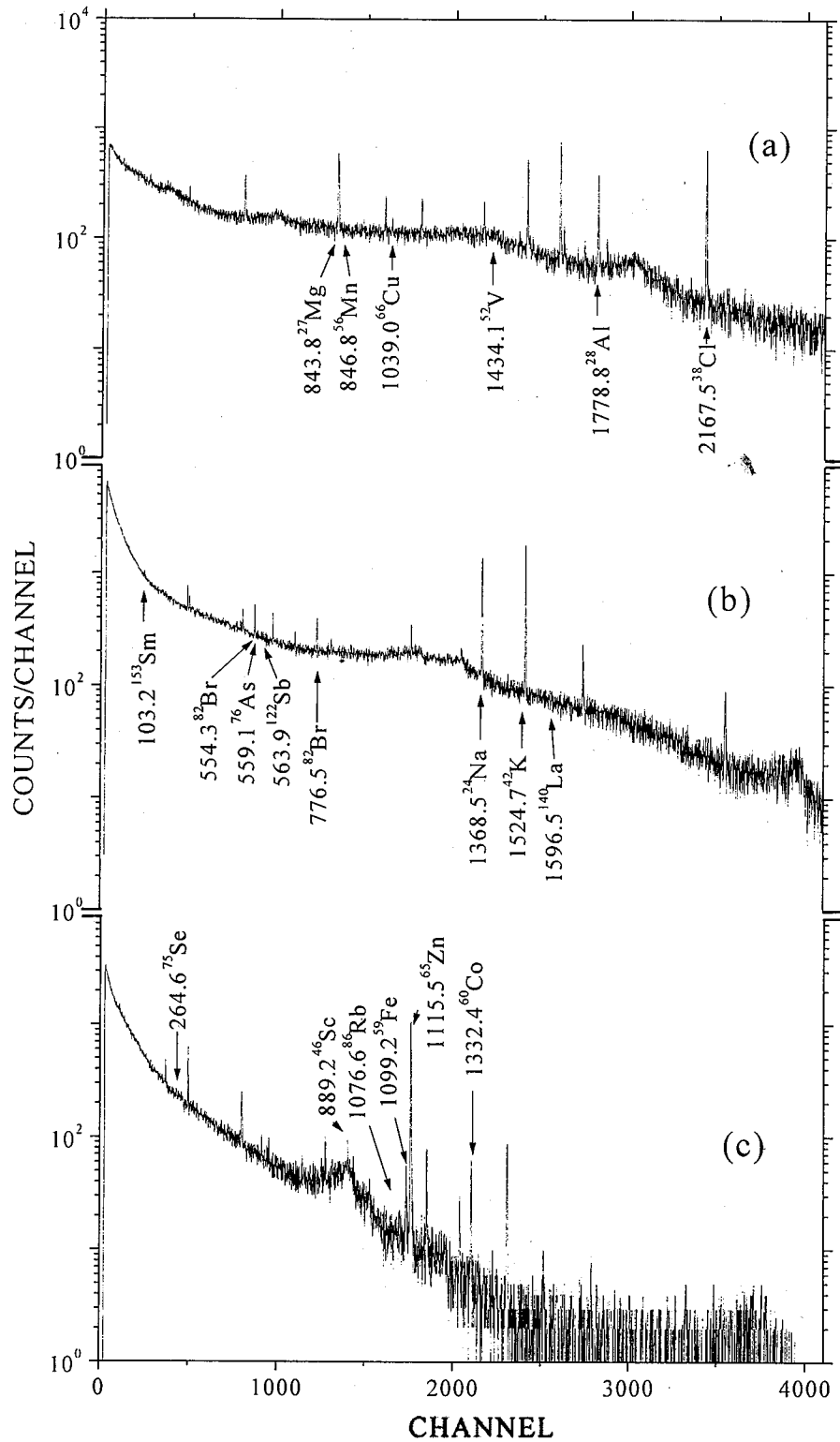
四、甜薯、恆春山藥及山薯

由於甜薯、恆春山藥及山薯之品系較少，而恆春山藥原產於恆春半島一帶⁽¹⁾。故本研究只針對甜薯之 70W19 及 82US15 二品系、恆春山藥之 70W20 及山薯之 70W49 進行取樣研究。由表五中可得知，82US15 之鐵含量為 210 mg/kg，明顯地($p < 0.05$)比其他品系高。

五、紫田薯

由五個不同紫田薯品系：70R16、70R20、70R22、83CM201、83CM302，元素分析結果得知，除了砷以外，共有 18 個元素可由 INAA 分析而得，但 70R16 只得到 15 種元素。紫田薯硒濃度介於 79 至 110 μ g/kg，比其他種類山藥明顯高出許多，特別是 70R20 為 110 μ g/kg，70R20 品系內另含有較高量的鎂、鋁、鐵、銻及硒，詳見表六。

表七為農試所六類山藥共 22 品系各礦物質含量之間關係，每一數值是經過三次重複 INAA 活化分析後以加權平均算出⁽¹⁷⁾。由於不同種類元素含量變化極大，硒、砷是第一次於台灣生產山藥分析到，濃度在 10^{-2} 至 10^{-3} mg/kg 之間。在長薯之中的鎂含量(759 mg/kg)明顯地($p < 0.05$)比其他品系濃度還高，而山薯所含的鋁及銻(209、4.70 mg/kg)明顯地比其他品系較高，長薯內的鐵、鋅明顯地與其它類山藥不同，長薯內的鎂與其它山藥比較是最高的，鏷系元素中的鈐及鏷，從 10^{-1} 至 10^{-3} mg/kg，可以精確地由最適化 INAA 分析到，詳見圖二。本研究結果顯示植育於農試所與馬來西亞等地種植的大薯，或斯里蘭卡之甜薯元素含量分佈相似，但是鈉、鋅及銅比斯里蘭卡略低^(8,9)。



圖一 台農1號的 γ 能譜：重量 (a) 150 毫克，(b) 及 (c) 390 毫克；照射時間 (a) 五分鐘，(b)、(c) 24 小時；冷卻時間 (a) 五分 (b) 五天 (c) 25 天；量測時間 (a) 五分 (b) 20 分 (c) 二小時

Fig. 1. γ -ray spectra for TNG1: sample weight (a) 150 mg, (b) and (c) 390 mg; irradiation time (a) 5 min, (b) and (c) 24 hr; decay time (a) 5 min, (b) 5 day, (c) 25 day; counting time (a) 5 min, (b) 20 min, (c) 2 hr.

表三 台灣地區生產大薯 (*D. alata* L.) 品系乾重山藥之礦物質含量
Table 3. Mineral contents of *D. alata* L. cultivated in Taiwan (dry weight basis)

Element	70W01	70W03	70W09	70W22	70W34	70W35	70W47
K (g/kg)	16.2 (10) ¹	14.1 (15)	18.1 (10)	20.6 (10)	21.6 (13)	15.9 (9)	20.6 (21)
Cl (g/kg)	0.85 (19)	3.18 (9)	1.08 (20)	1.46 (21)	1.89 (24)	2.23 (12)	0.80 (1)
Na (g/kg)	0.21 (1)	0.07 (1)	0.11 (1)	0.59 (1)	0.16 (1)	0.17 (2)	0.15 (1)
Mg (mg/kg)	167 (37)	112 (10)	454 (39)	330 (94)	273 (61)	472 (17)	667 (77)
Al (mg/kg)	150 (14)	185 (15)	282 (32)	115 (24)	28 (2)	361 (33)	117 (12)
Fe (mg/kg)	175 (11)	36.5 (26)	98.3 (43)	114 (8)	24.4 (10)	182 (8)	36.4 (26)
Zn (mg/kg)	32.1 (18)	26.7 (24)	21.4 (11)	23.1 (16)	15.4 (15)	20.1 (9)	26.7 (24)
Cu (mg/kg)	1.00 (18)	4.44 (47)	2.28 (9)	1.77 (15)	0.98 (13)	2.79 (45)	3.49 (27)
Rb (mg/kg)	3.00 (27)	5.89 (43)	1.61 (21)	2.65 (25)	1.82 (23)	1.87 (17)	3.44 (28)
Mn (mg/kg)	0.75 (14)	0.75 (6)	2.81 (14)	1.39 (28)	3.08 (38)	1.12 (9)	1.12 (9)
Br (mg/kg)	1.32 (3)	1.85 (19)	3.27 (28)	1.23 (10)	2.50 (26)	1.91 (4)	0.32 (2)
V (mg/kg)	0.43 (7)	0.15 (2)	0.37 (8)	0.15 (4)	0.23 (1)	0.47 (4)	0.24 (1)
Co (μg/kg)	195 (12)	147 (9)	25 (2)	76 (2)	95 (9)	91 (10)	145 (9)
As (μg/kg)	59 (18)	ND ²	74 (8)	ND	ND	ND	60 (10)
Se (μg/kg)	46 (14)	49 (16)	53 (8)	57 (7)	35 (10)	57 (7)	48 (16)
La (μg/kg)	157 (34)	19 (4)	72 (9)	140 (11)	59 (6)	191 (22)	23 (4)
Sb (μg/kg)	19 (6)	14 (2)	13 (2)	14 (3)	16 (4)	19 (3)	19 (4)
Sc (μg/kg)	40 (2)	13 (2)	27 (1)	28 (2)	12 (2)	44 (2)	15 (2)
Sm (μg/kg)	31 (4)	ND	27 (4)	14 (5)	5 (1)	6 (1)	6 (1)

表三 台灣地區生產大薯 (*D. alata* L.) 品系乾種山藥及馬來西亞、斯里蘭卡之礦物質含量 (續)

Table 3. Mineral contents of *D. alata* L. cultivated in Taiwan (dry weight basis) and quoted data for *D. alata* L. cultivated in Malaysia and Sri Lanka (con.)

Element	80W02	TNG1	TNG2	Malaysia ²	Sri Lanka ³
K (g/kg)	23.5 (23)	26.8 (31)	24.9 (23)	17 (2)	16 (3)
Cl (g/kg)	1.76 (21)	1.20 (16)	0.48 (2)	-	-
Na (g/kg)	0.29 (2)	0.10 (1)	0.20 (2)	2.3 (2)	0.68 (10)
Mg (mg/kg)	546 (98)	537 (93)	267 (53)	-	700 (30)
Al (mg/kg)	30 (2)	59 (11)	312 (30)	-	-
Fe (mg/kg)	90.8 (61)	85.1 (52)	36.9 (9)	150 (2)	105 (3)
Zn (mg/kg)	31.3 (23)	34.1 (60)	22.2 (11)	52 (4)	40 (3)
Cu (mg/kg)	1.41 (4)	2.36 (22)	1.38 (30)	-	66 (11)
Rb (mg/kg)	1.80 (23)	0.89 (10)	3.52 (35)	7 (1)	-
Mn (mg/kg)	1.39 (28)	1.12 (9)	3.08 (30)	-	-
Br (mg/kg)	0.62 (5)	0.93 (6)	1.63 (7)	14 (2)	-
V (mg/kg)	0.14 (2)	0.53 (1)	0.52 (9)	-	-
Co (μg/kg)	44 (9)	64 (5)	142 (10)	-	-
As (μg/kg)	159 (12)	ND	142 (21)	-	-
Se (μg/kg)	45 (13)	42 (15)	54 (14)	-	-
La (μg/kg)	35 (6)	ND	39 (7)	180 (90)	-
Sb (μg/kg)	ND	14 (2)	27 (5)	14 (2)	-
Sc (μg/kg)	10 (2)	11 (1)	96 (4)	30.2 (49)	-
Sm (μg/kg)	5 (1)	21 (4)	54 (6)	30 (10)	-

1 Here and elsewhere in this paper, the number in the parentheses represents the uncertainty of the last digits.

2 ND: not detected, -: Non available.

3 Reference 8

4 Reference 9

表四 台灣地區生產長薯 (*D. batatas* Decne) 品系乾重山藥之礦物質含量
Table 4. Mineral contents of *D. batatas* Decne cultivated in Taiwan (dry weight basis)

Element	70W41a	70W41b	70W44
K (g/kg)	22.1 (14)	17.8 (19)	20.7 (16)
Cl (g/kg)	1.27 (5)	1.26 (8)	2.30 (42)
Na (g/kg)	0.16 (1)	0.13 (1)	0.16 (1)
Mg (mg/kg)	546 (12)	869(72)	863 (20)
Al (mg/kg)	43 (14)	45(13)	26 (3)
Fe (mg/kg)	65.7 (35)	77.6 (42)	54.8 (12)
Zn (mg/kg)	32.8 (28)	24.5 (27)	31.8 (18)
Cu (mg/kg)	0.60 (10)	2.72 (12)	1.89 (28)
Rb (mg/kg)	2.16 (20)	2.23 (27)	3.34 (31)
Mn (mg/kg)	3.08 (28)	1.12 (9)	6.53 (21)
Br (mg/kg)	1.10 (9)	0.99 (5)	2.91 (8)
Co (μg/kg)	46 (4)	138 (4)	39 (2)
As (μg/kg)	93 (6)	87 (12)	97 (15)
Se (μg/kg)	53 (16)	63 (20)	61 (19)
La (μg/kg)	93 (6)	15 (1)	73 (6)
Sb (μg/kg)	10 (3)	19 (4)	13 (2)
Sc (μg/kg)	ND	11 (3)	ND
Sm (μg/kg)	ND	5 (1)	ND

表五 台灣地區生產甜薯 (*D. esculenta* (Lour.) Burk.: 70W19、82US15)、恆春山藥 (*D. doryophora* Hance: 70W20) 及山薯 (*D. japonica* Thunb: 70W49) 乾重及斯里蘭卡之礦物質含量

Table 5. Mineral contents of *D. esculenta* (Lour.) Burk.: 70W19、82US15, *D. doryophora* Hance: 70W20 and *D. japonica* Thunb: 70W49 cultivated in Taiwan (dry weight basis) as well as quoted data from Sri Lanka

Element	70W19	82US15	70W20	70W49	Sri Lanka ¹
K (g/kg)	18.1 (19)	17.1 (14)	14.4 (14)	23.3 (8)	18.35 (68)
Cl (g/kg)	0.70 (7)	0.54 (4)	1.73 (33)	2.70 (21)	-
Na (g/kg)	0.18 (1)	0.21 (1)	0.34 (1)	0.11 (2)	0.59 (6)
Mg (mg/kg)	452 (12)	227 (57)	493 (5)	591 (61)	680 (40)
Al (mg/kg)	ND	97 (4)	27 (12)	209 (28)	-
Fe (mg/kg)	43.0 (23)	210 (11)	67.2 (48)	45.9 (11)	93 (5)
Zn (mg/kg)	15.6 (16)	16.4 (23)	21.2 (26)	23.4 (24)	39 (5)
Cu (mg/kg)	0.75 (8)	1.66 (6)	ND	0.30 (8)	61 (2)
Rb (mg/kg)	ND	2.49 (31)	3.27 (35)	4.7 (9)	-
Mn (mg/kg)	2.42 (18)	2.81 (14)	1.39 (28)	0.94 (10)	42 (2)
Br (mg/kg)	0.65 (8)	1.44 (8)	0.35 (2)	1.36 (10)	-
V (mg/kg)	0.48 (11)	0.33 (5)	ND	0.30 (4)	-
Co (μg/kg)	55 (2)	110 (8)	46 (4)	42 (3)	-
As (μg/kg)	ND	ND	113 (24)	75 (13)	-
Se (μg/kg)	ND	58 (15)	ND	42 (4)	-
La (μg/kg)	22 (2)	214 (20)	21 (2)	25 (6)	-
Sb (μg/kg)	10 (1)	16 (3)	ND	ND	-
Sc (μg/kg)	ND	56 (3)	10 (1)	10 (2)	-
Sm (μg/kg)	6 (1)	23 (8)	5 (1)	ND	-

1 Reference 9

2 -: Non available.

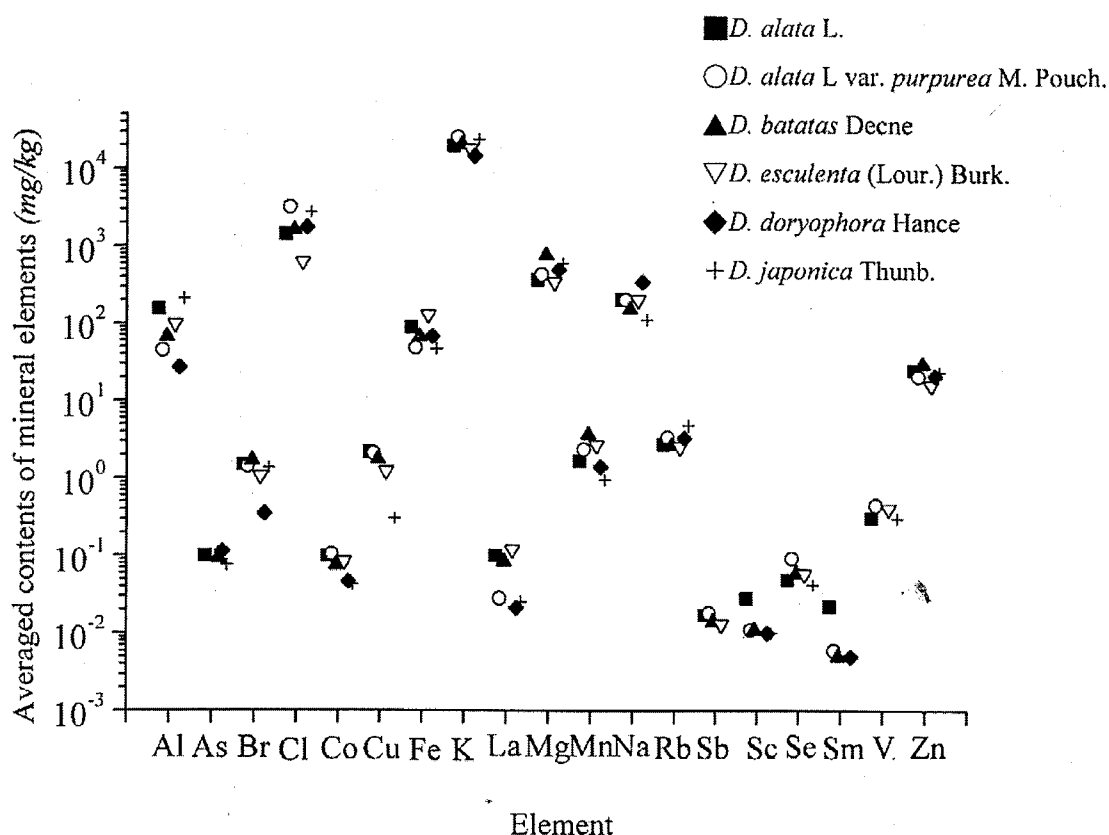
表六 台灣地區生產紫田薯 (*D. alata* L var. *purpurea* M. Pouch) 乾重之礦物質含量
Table 6. Mineral contents of *D. alata* L var. *purpurea* M. Pouch cultivated in Taiwan (dry weight basis)

Element	7016	70R20	70R22	83CM201	83CM302
K (g/kg)	26.6 (23)	25.7 (26)	22.1 (25)	25.9 (30)	11.3 (5)
Cl (g/kg)	5.00 (32)	2.93 (10)	2.78 (22)	1.76 (32)	0.79 (9)
Na (g/kg)	0.18 (2)	0.11 (1)	0.14 (1)	0.38 (2)	0.12 (1)
Mg (mg/kg)	350 (26)	575 (17)	376 (20)	405 (62)	184 (32)
Al (mg/kg)	17 (1)	60 (2)	42 (3)	60 (4)	56 (5)
Fe (mg/kg)	47.2 (35)	64.2 (43)	36.4 (6)	43.2 (21)	85.1 (41)
Zn (mg/kg)	23.2 (16)	19.2 (36)	22.1 (34)	18.7 (29)	19.9 (28)
Cu (mg/kg)	2.08 (45)	2.51 (40)	2.67 (13)	1.09 (20)	1.89 (12)
Rb (mg/kg)	1.34 (14)	5.44 (47)	4.47 (35)	2.13 (23)	2.99 (24)
Mn (mg/kg)	1.45 (8)	2.81 (14)	1.57 (7)	3.48 (27)	1.39 (28)
Br (mg/kg)	2.20 (21)	0.65 (7)	1.68 (9)	1.16 (9)	0.98 (18)
V (mg/kg)	ND	0.11 (3)	ND	0.79 (12)	0.14 (1)
Co (μg/kg)	183 (12)	30 (3)	41 (3)	158 (11)	52 (4)
Se (μg/kg)	88 (19)	110 (30)	79 (27)	91 (22)	ND
La (μg/kg)	21 (4)	49 (5)	21 (2)	19 (4)	173 (16)
Sb (μg/kg)	20 (4)	ND	ND	16 (3)	14 (2)
Sc (μg/kg)	ND	10 (1)	13 (2)	11 (2)	16 (1)
Sm (μg/kg)	ND	5 (1)	ND	6 (1)	28 (4)

表七 台灣地區生產六類 (22 品系) 乾重山藥礦物質含量
Table 7. Mineral contents of six species (22 varieties) of *Dioscorea* spp. cultivated in Taiwan (dry weight basis)¹

Element	<i>D. alata</i> L var.					
	<i>D. alata</i> L.	<i>purpurea</i> M. Pouch.	<i>D. batatas</i> Decne	<i>D. esculenta</i> (Lour.) Burk.	<i>D. doryophora</i> Hance	<i>D. japonica</i> Thunb.
Variety number	10	4	3	2	1	1
K (g/kg)	19.42 ± 0.52	24.98 ± 1.29 ^a	20.20 ± 0.95 ^{ab}	17.60 ± 1.18 ^{abc}	14.40 ± 1.40 ^{abcd}	23.30 ± 0.80 ^{acde}
Cl (g/kg)	1.43 ± 0.05	3.18 ± 0.81 ^a	1.61 ± 0.14 ^{ab}	0.62 ± 0.13 ^{abc}	1.73 ± 0.33 ^{bd}	2.70 ± 0.21 ^{acde}
Na (g/kg)	0.20 ± 0.01	0.20 ± 0.01	0.15 ± 0.01 ^{ab}	0.20 ± 0.01 ^{ac}	0.34 ± 0.01 ^{abcd}	0.11 ± 0.02 ^{abcde}
Mg (mg/kg)	364 ± 19	427 ± 18 ^a	759 ± 25 ^{ab}	340 ± 29	493 ± 5 ^{acd}	591 ± 61 ^a
Al (mg/kg)	154 ± 6	45 ± 1 ^a	38 ± 7 ^{ab}	97 ± 4 ^{abc}	27 ± 12 ^{ad}	209 ± 28 ^{abcde}
Fe (mg/kg)	88 ± 2	48 ± 1 ^a	66 ± 2 ^{ab}	127 ± 5 ^{abc}	67 ± 5 ^{abd}	46 ± 1 ^{acde}
Zn (mg/kg)	25 ± 1	21 ± 1 ^a	30 ± 2 ^{ab}	16 ± 1 ^{ac}	21 ± 3 ^{cd}	23 ± 2 ^{cd}
Cu (mg/kg)	2.16 ± 0.08	2.09 ± 0.16 ^a	1.74 ± 0.12 ^{ab}	1.21 ± 0.05 ^{bc}	-	0.30 ± 0.08 ^{abcde}
Rb (mg/kg)	2.68 ± 0.08	3.35 ± 0.16 ^a	2.58 ± 0.15 ^b	2.49 ± 0.55 ^b	3.27 ± 0.35 ^{cd}	4.70 ± 0.09 ^{abcd}
Mn (mg/kg)	1.64 ± 0.07	2.33 ± 0.08 ^a	3.58 ± 0.11 ^{ab}	2.62 ± 0.11 ^{abc}	1.39 ± 0.28 ^{bcd}	0.94 ± 0.10 ^{abcde}
Br (mg/kg)	1.51 ± 0.04	1.42 ± 0.06 ^a	1.67 ± 0.04 ^{ab}	1.05 ± 0.06 ^{abc}	0.35 ± 0.02 ^{abcd}	1.36 ± 0.10 ^{cde}
V (mg/kg)	0.31 ± 0.01	0.45 ± 0.06 ^a	-	0.41 ± 0.06 ^{ac}	-	0.30 ± 0.04 ^{bce}
Co (μg/kg)	98 ± 2	103 ± 4 ^a	74 ± 2 ^{ab}	83 ± 14 ^b	46 ± 4 ^{abcd}	42 ± 3 ^{abcd}
As (μg/kg)	99 ± 7	-	92 ± 7	-	113 ± 24 ^{acd}	75 ± 13 ^d
Se (μg/kg)	49 ± 4	92 ± 12 ^a	59 ± 11 ^b	58 ± 15 ^b	-	42 ± 4 ^{abc}
La (μg/kg)	99 ± 5	28 ± 2 ^a	83 ± 4 ^{ab}	118 ± 10 ^{ab}	21 ± 2 ^{abcd}	25 ± 6 ^{acd}
Sb (μg/kg)	17 ± 1	18 ± 3 ^a	14 ± 2 ^{ab}	13 ± 2 ^{ab}	-	-
Sc (μg/kg)	28 ± 1	11 ± 1 ^a	11 ± 3 ^a	-	10 ± 1 ^a	10 ± 2 ^a
Sm (μg/kg)	22 ± 1	6 ± 1 ^a	5 ± 1 ^a	-	5 ± 1 ^a	-

¹ $p < 0.05$ (t test) comparing *D. alata* L. with other species; ^b $p < 0.05$ comparing *D. alata* L var. *purpurea* M. Pouch. with other species except *D. alata* L.; ^c $p < 0.05$ comparing *D. batatas* Decne with *D. esculenta* (Lour.) Burk., *D. doryophora* Hance, *D. japonica* Thunb.; ^d $p < 0.05$ comparing *D. esculenta* (Lour.) Burk. with *D. doryophora* Hance, *D. japonica* Thunb.; ^e $p < 0.05$ comparing *D. doryophora* Hance with *D. japonica* Thunb.



圖二 台灣六類山藥礦物質平均含量

Fig. 2. Averaged contents of mineral elements for six species of yam "*Dioscorea* spp." cultivated in Taiwan.

結 論

植育於農試所之臺灣地區生產六類山藥共 22 品系，以清華大學反應器進行最適化儀器中子活化分析，得到鋁、砷、溴、氯、鈷、銅、鐵、鉀、鎳、鎂、錳、鈉、銣、銻、銦、銪、釷、釷、鋅之礦物質含量。試驗證明最適化儀器中子活化分析是可同時分析多種元素，再現性極佳。由於山藥種類不同，各類的元素之間有顯著差異存在，高產量的台農 1、2 號具有最多的鉀、鎂及鐵，含量為 27 g/kg、540 mg/kg、86 mg/kg。這些元素含量實可提供山藥營養/藥膳上基本資料，並為農糧暨農民種植上依據。

致 謝

本研究感謝清華大學原子技術發展中心的協助，使研究得以進行，並感謝國科會計畫 (NSC 89-2313-B-040-007)、中山醫學大學計畫 (CSMC 89-OM-A-082) 經費支援，特致謝忱。

參 考 文 獻

(1) 劉新裕：山藥之品種特性與生產促進研究。1999 藥用植物之開發與利用研討會，pp. 1-19。行政院農業委員會

農業試驗所，台中縣，台灣 (1999)。

- (2) 曾慶瀛、余哲仁、王璧娟、劉新裕：山藥抗氧化活性之研究。1999 藥用植物之開發與利用研討會，pp. 21-36。行政院農業委員會農業試驗所，台中縣，台灣(1999)。
- (3) 劉新裕、盧煌勝、林俊義：2000 年山藥之生產與藥膳利用。行政院農業委員會農業試驗所，台中縣，台灣 (2000)。
- (4) H. Tsukada and Y. Nakamura: Transfer factors of 31 elements in several agricultural plants collected from 150 farm fields in Aomori, Japan. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **236**: 123-131 (1998).
- (5) Y.-Y. Wei, C. Chung and C.-W. Wu: Optimal analytical conditions for determining elements in gastric tissue and blood of cancer patients using neutron activation. *J. Anal. Chem.*, **53**: 776-782 (1998).
- (6) T. Komori: Glycosides from *Dioscorea bulbifera*. *Toxicol.*, **35**: 1531-1536 (1997).
- (7) Y.-Y. Wei and C. Chung: Elemental analysis of Taiwanese areca nut and limes with INAA. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **217**: 45-51 (1997).
- (8) N. Ibrahim: Trace materials in tropical yam species: *Dioscorea* spp. *Food Chem.*, **51**: 5-6 (1994).
- (9) J. P. D. Wanasunders and G. Ravindran: Effects of cooking on the nutrient and antinutrient contents of yam tubers (*Dioscorea alata* and *Dioscorea esculenta*). *Food Chem.*, **45**: 247-250 (1992).
- (10) E. P. Chu and R. C. L. Figueiredo-Ribeiro: Native and exotic species of *Dioscorea* used as food in Brazil. *Econ. Bot.*, **45**: 467-479 (1991).
- (11) 王昭月、賴永昌、譚增偉、劉新裕：山藥之生產促進及

- 省工栽培研究。中華農業研究, 41: 43-52 (1992)。
- (12) 王昭月、劉新裕、宋麗梅、高介志：山藥不同品系間之變異性研究。中華農業研究, 42: 280-291 (1993)。
- (13) 劉新裕、王昭月、徐原田、段中漢：山藥台農一號之育成。中華農業研究, 41: 140-158 (1992)。
- (14) W. Mertz: The Essential Trace Elements. *Science*, 213: 1332-1338 (1981).
- (15) C.-H. Wang, M.-J. Duo, E.-E. Chang and J.-Y. Yang: Essential and toxic trace elements in the Chinese medicine. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 211: 333-347 (1996).
- (16) Canberra Industries, Inc.: MicroSampo software cise 511, LOGION, OY, Helsinki, Finland (Developer) (1986).
- (17) P.-S. Weng: *Treatment of Environmental Radiation Data*. p. 38 Guo-Shing Press, Taiwan ROC (1990).