

# 中藥（材）伽馬射線滅菌及微量元素檢測方法與規格研訂之研究

Gamma-ray sterilization and trace elements analysis and specification of Chinese herbal medicines

周鳳英

清華大學原科中心同位素組

## 摘要

中藥材因基原不同，成份品質有極大差異，其中微生物及微量元素之含量是直接影響中藥材品質者。本研究目的為建立中藥（材）伽馬線滅菌及微量元素檢測之方法，研究結果將提供行政院衛生署中醫藥委員會作為研訂中藥材規格之參考依據。

八十八年度計畫中選擇黃芩、白果、生地黃、熟地黃、枸杞、人參、川芎、黨參、山藥、當歸 10 種中藥材進行研究。輻射滅菌於清華大學原科中心同位素組三萬居里鈷六十照射熱室中進行照射。內容包括受測中藥材加馬線照射滅菌所需輻射劑量訂定，研訂中藥材加馬線滅菌的照射條件、建立加馬線滅菌照射技術，與輻射滅菌後之中藥材品評。微量元素分析包括中子活化分析及原子吸收光譜分析，並對二種方法之結果進行比對。中子活化於清大原科中心反應器組之水池式反應器中進行。

研究結果顯示枸杞、黃芩、人參以 20 kGy 之伽馬射線照射，白果、生地黃、熟地黃、川芎、黨參、當歸與山藥等以 10 kGy 之伽馬射線照射均可達到完全滅菌。官能品評結果顯示，照射前、後之藥材品評上無顯著性差異。且枸杞及人參照射前後其主要成份亦無明顯差異。本研究並建立受測中藥材原子吸收光譜分析之樣品前處理方法。受測中藥（材）微量元素含量經中子活化分析(NAA)及原子吸收光譜分析(AA)比對，顯示 NAA 及 AA 之測試結果數值無顯著差異。

計畫中完成受測中藥（材）伽馬線照射滅菌之照射劑量與微生物殘存量之相關性、最佳照射劑量之探討，將可提供企業界進行中藥（材）伽馬線照射及行政單位制訂伽馬線滅菌照射劑量法規之參考依據。研究中所建立以 AA 分析中藥（材）中微量元素之偵測方法及前處理步驟，可作為藥廠（商）進行 AA 分析微量元素之依循。並可以本研究之 NAA 偵測結果做為其數值比對，建立中藥（材）微量元素含量分析之資料庫。

關鍵字：中藥材、伽馬線滅菌、微量元素檢測

## ABSTRACT

Chinese herbal medicines originate from many different locations, causing a wide variety in the quality of their components. Of these components the concentrations of microbes and trace elements directly determine the quality of the herbs. The results of this study, which aims to establish methods for gamma radiation decontamination and investigate trace elements in Chinese herbal medicines, will be supplied to the Committee on Chinese Medicine and Pharmacy of the Department of Health, The Executive Yuan, as a reference basis for setting up laws and regulations governing Chinese herbal medicines.

For the 1999 program we have selected the following ten Chinese herbal medicines to be included in our study: *Scutellaria Baicalensis*, ginkgo, dried *Rehmannia Glutinosa*, prepared *Rehmannia Glutinosa*, lycium fruit, ginseng, *Ligusticum Wallichii*, dangshen (*Codonopsis Pilosula*), Chinese yam and Chinese angelica. Irradiation takes place at the 30,000 Curie Cobalt-60 Radiation Cell located at the Tsing Hua University, Nuclear Science and Technology Development Center, Radioisotope Division. Our study comprises determination of the effective gamma radiation dose for each selected herbal medicines, establishment of the radiation conditions, the proper gamma radiation decontamination techniques, as well as analysis of the medicinal herbs after decontamination. Analysis of trace elements includes neutron activation analysis and atom absorption spectrum analysis and the results of both methods are compared.

The results show that complete decontamination of lycium fruit, *Scutellaria Baicalensis* and ginseng can be achieved by administration of a 20 kGy dose of gamma radiation; for ginkgo, dried *Rehmannia Glutinosa*,

prepared *Rehmannia Glutinosa*, *Ligusticum Wallichii*, dangshen (*Codonopsis Pilosula*), Chinese yam and Chinese angelica a dose of 10 kGy gamma radiation is adequate. Further tests show that there are no notable differences in the function of the medicinal herbs before and after radiation. The main components of lycium fruit and ginseng, for instance, indicate no notable difference before and after radiation.

In this study we also establish pre-treatment methods for Chinese herbal medicines samples used for atom spectrum analysis. Comparison between neutron activation analysis (NAA) and atom absorption spectrum analysis (AA) of trace elements in medicinal herbs has shown that there are no notable differences between the results of both measurements.

The correlation between different doses of gamma radiation and the viable counts of microbes, as well as the inquiry into the optimal radiation dose for the medicinal herbs used in this study can supply the industries with a reference for gamma radiation decontamination of Chinese herbal medicines and government agencies with a basis for laws and regulations concerning the dosage of gamma radiation decontamination. The method of investigating trace elements in Chinese herbal medicines by AA analysis and the pre-treatment measures we established in this study can form the basis of AA analysis of trace elements conducted by pharmaceutical plants and manufacturers. In addition, the AA analysis results can be compared with the NAA test results and used to establish a data bank on trace element analysis of Chinese herbal medicines.

Key words: Chinese herbal medicines, gamma-ray sterilization,

## 壹、前言

中藥因基原不同，土壤成份、重金屬、農藥使用，及環境或包裝、貯存、運輸等人為影響，造成各地中藥（材）中微量元素及微生物含量有極大差異。重金屬造成急性中毒事件時有所聞，各藥材中微量元素與藥物之相關性，及長期服食是否會造成慢性中毒，亦有深入研究之必要。另一方面，藥材的療效與其所含之微量元素有密切相關，但學者多偏向藥材中有機成份之研究，鮮少有探討其微量元素之報導。Mertz<sup>(1)</sup>即曾提出營養攝取與功能影響的模式，指出人體對每種元素均有其安全和適當的曝露量，在恒定濃度狀況下可維持適當功能；但超過安全與適當性的曝露時，

每種元素均有其潛在毒性。因此中藥(材)中微量元素的含量為重要的測定專案，在微量元素的分析及規格上有必要研訂。

中藥材為華人常使用者，許多中藥材由中國大陸等地輸入臺灣，經加工處理後轉銷世界各地。中藥材常因原產地之微生物，或因運輸、貯存環境中之微生物污染、腐敗而降低品質，適當的儲存對藥物的品質保持非常重要。輻射照射用於食品之保存已被多數國家承認是一種食品加工及保存方法，因加馬射線照射對食品無殘毒，食品可在新鮮狀態或包裝後照射，以延長食品的保存期限，不須加熱或添加防腐劑等<sup>(2-6)</sup>。在中國大陸已有廣西中醫院、第四軍醫大學西藥醫院、湖南醫科大學藥劑科、長春市中醫院、湖南醫科大學附二醫院及上海市中藥研究所等單位，對鈷六十照射在中藥材及成藥之輻射滅菌上有相當深入的研究與應用<sup>(7-10)</sup>。國外已有許多草藥及肉桂、豆蔻等香料使用輻射滅菌<sup>(11)</sup>。國內外已有許多食物、醫療用品及藥物如抗生素等以輻射滅菌保存<sup>(12-22)</sup>。世界各國對藥草之滅菌、滅蟲核可照射劑量如下：比利時、中國大陸、加拿大、法國、挪威、波蘭與南斯拉夫之許可劑量為 10 kGy，丹麥與荷蘭為 15 kGy、美國為 30 kGy，韓國核可人參照射之劑量為 7 kGy。美國食品藥物管理局(FDA)於 1986 年通過兩項食品照射法規，其中指出乾燥或脫水的芳香蔬果植物，如香辛料及蔬菜調味料，可使用 30 kGy 之劑量進行處理<sup>(23)</sup>。同時 FDA 也認為經低劑量照射之食品是安全的，不需毒性試驗。各國已有多項食品、藥材進行輻射照射滅菌。我們曾對花粉之輻射滅菌及食品微生物之輻射抗性進行探討，輻射照射對花粉等健康食品具有良好的滅菌效果<sup>(24-26)</sup>。

中子活化分析(NAA)及原子吸收光譜分析(AA)：NAA 是具有非破壞性、可信度高及可同時做多元素分析之優點，且受測物質無需做多步驟的前處理，準確性高是國內外已知的元素測試方法，常被用於植物成份、礦石、動物組織之成份分析。計畫主持人對 NAA 的分析已有多篇文章發表<sup>(27-30)</sup>。AA 為一般常見之分析儀器，但樣品前處理及消化過程常影響元素分析的數值。NAA 與 AA 二項分析技術是清大原科中心同位素組對外服務工作專案之一，對於 NAA 與 AA 本組具有完善之設備及分析技術，並接受國內之重大重金屬污染事件委託分析，以此二項分析技術比對提供可信資料。

## 貳、材料與方法

### 一、中藥輻射照射：

#### (一) 輻射源及輻射劑量率測定

樣品照射於清華大學原子科學技術發展中心同位素組之三萬居里鈷-60 照射熱室中進行。照射劑量範圍由 1 kGy 至 20 kGy (劑量率為 5 kGy/h)，輻射劑量測定以硫酸亞鐵水溶液劑量計(Frick's dosimeter)進行。其成分包括

0.001M FeSO<sub>4</sub>，0.001M NaCl 及含飽和空氣之 0.8N 硫酸水溶液。因輻射能之作用使亞鐵離子(Fe<sup>2+</sup>)氧化成鐵離子(Fe<sup>3+</sup>)，以 304 nm 光譜通過劑量計溶液分析鐵離子的濃度測量之。此系統測量之劑量範圍較大，誤差較小 (1~2%)。且若以 0.01 M 之 CuSO<sub>4</sub> 加入硫酸亞鐵溶液中，因銅離子的還原作用減少溶氧之消耗，可使劑量範圍增至 10<sup>5</sup> Gy。

## (二) 中藥(材)取樣與輻射照射

研究所用 10 種中藥(材)，分別於臺北、中壢、新竹的中藥行及中藥進口商金保安公司取樣。對每一中藥材樣品進行五次取樣，每一取樣點做三重復取樣。每一樣品以無菌方式稱取 15 g 置於樣品瓶中，將樣品瓶攜入鈷-60 照射熱室，置於距離射源特定距離之照射架上，照射架以每分鐘 10 轉旋轉，使照射樣品瓶中之樣品得到均勻的輻射劑量率。樣品經不同照射時間取樣，以得到所需之照射劑量。照射後樣品立刻取出進行微生物含量測試。

## (三) 培養基及磷酸緩衝液之配製

1. 平面培養基 Plate Count Agar (PCA; Difco. Co.)、Potato Dextrose Agar (PDA; Difco. Co.)之製備：取 PCA 粉末 23.5g、PDA 粉末 39g 分別加入三角瓶中，以少量蒸餾水攪拌均勻，繼續加入蒸餾水使最後之體積為 1 L，置於高壓滅菌鍋中滅菌，待其溫度降至 50-60°C 時，分別倒入直徑 9 cm 之培養皿中，每皿約 10-15 mL，冷卻備用。
2. 液態培養基 Tryptic Soy Broth(TSB; Difco. Co.)、及 Potato Dextrose Broth (PCB; Difco. Co.)製備：取 TSB 粉末 30 g，PCB 粉末 17 g，分別加入含有蒸餾水之三角瓶中，最後體積為 1 L，待攪拌均勻，分別分裝入玻璃試管中，每管 9 mL，如上述狀況高壓滅菌，置冰箱冷藏備用。
3. 磷酸緩衝液之製備：取 4.54 g KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>，5.43 g Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O 先溶於少許水中，再將體積加至 1 L (pH 值為 7.2)。加入磁石攪拌均勻分裝至玻璃試管中，每管 9 mL，加蓋後高壓滅菌，冷卻後置於冰箱冷藏備用。

## (四) 微生物之菌數測定及分離

經不同輻射劑量照射處理或未經處理的中藥材樣品以下列二種方式進行微生物含量及殘存計數：

1. 表面平板計數法(surface plate count)：樣品照射後取出即加入磷酸緩衝液，於 4°C 下浸泡 30 分鐘，再置於振盪器中以 75 rpm、7°C 振盪 30 分鐘，使樣品中之微生物懸浮於緩衝液中。懸浮液經適當稀釋後塗抹於 PCA 及 PDA 培養基上。將之置放 25°C 培養箱中，第二天取出計數生長較快之菌落，第三、四天再取出，計數生長較緩慢之菌落。每一測試濃度均作三重覆計數。

2. 樣品微生物殘存直接觀察法：將中藥樣品直接置入無菌之平板培養基表面，置於 25°C 培養箱中 1~7 天。以目測及顯微鏡觀察記錄樣品上及周圍之微生物生長狀況，每一照射劑量之樣品均做五重覆測試觀察。

#### (五) 官能品評

1. 以目測及顯微鏡觀察，並照相記錄照射前、後的樣品之外觀形狀、顏色等是否變化。
2. 請品評員就樣品的外觀與氣味等進行品評，就可直接生食的樣品進行風味上的品評測試，以瞭解照射是否影響樣品的官能品質。

#### (六)、放射活性偵測

稱取中藥材樣品 10 克以其輻射滅菌所需劑量進行加馬輻射照射，人參樣品 10 克以 10 kGy 之加馬線輻射照射後取出，以 HPGe 偵測器之加馬能譜偵測系統進行加馬能譜分析。隨後將樣品以 115°C 烘乾 17 小時，再以 450°C 灰化處理 24 小時。混合均勻後，取 200 mg 灰化樣品裝入不銹鋼培養皿（直徑 47 mm，厚 1 mm），加少許去離子水及酒精使樣品均勻散開，再以紅外線燈烘乾。最後樣品以  $\alpha$ 、 $\beta$  計測系統（ $\alpha$ 、 $\beta$  counting system, LB5100, Tenclec）偵測樣品中之總量  $\alpha$ 、 $\beta$  核種活性。

## 二、微量元素的檢測—中子活化分析與原子吸收光譜分析

### (一) 中子活化分析

將中藥材乾燥後以磨粉機磨成粉末，秤取 200~300 mg 裝入 PE 袋中密封，每一中藥樣品進行三重複取樣。上述樣品於清華大學核反應器 THOR 進行中子照射。依分析樣品元素活化後核種特性的不同，區分為短時間照射(short irradiation)及長時間照射(long irradiation)，如表 I。短時間照射是將樣品由快速氣送管送入爐心，進行 5 分鐘之短時間照射後，送出冷卻二分鐘後偵測約五分鐘。而長時間照射則是將上述經短時間照射並完成短半衰期核種分析後的樣品，冷卻一周後送入 THOR 垂直管照射 30 小時，做較長時間之冷卻及核種測定，時間方法如表一。爲了修正每次照射期間 THOR 熱中子通率可能的波動，每一短時間樣品照射時，以 10~30 毫克鎳粉連同一起照射，而每批長時間照射樣品則用含 4 微克鈷溶液滴到濾紙上伴隨照射。本方法可分析中藥（材）中 Al、Cl、Co、Cr、Fe、K、Mg、Mn、Na、Rb、Sc、Se、V、Zn 等元素含量。

表 I、樣品中子活化分析照射及偵測時間方法

照射條件	冷卻時間	偵測時間 <sup>a</sup>
5 分鐘氣送管短時間照射	2 分鐘	300 秒
(中子通率 $\phi=3.5 \times 10^{12} \text{n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	7 分鐘	300 秒(測鎳)
30 小時垂直管長時間照射	7 天	0.5 小時
(中子通率 $\phi=1.0 \times 10^{12} \text{n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	25-50 天	2-5 小時
	25-50 天	2 小時(測鈷)

<sup>a</sup>: 樣品與偵測器距離短時間照射為 10 公分，長時間照射為 2 公分

中子活化的樣品經適當時間冷卻後，是以加馬能譜分析術進行元素分析。其偵測分析的設備包括(1)高純度鍺(HPGe)偵檢器—相對效率為 15%，在 <sup>60</sup>Co 加馬能量 1332.5 keV 解析度為 2.31 keV；(2)多頻道分析介面卡--System-100 (S100; Canberra) (3)能譜分析軟體—Sampo 90 (Canberra)；(4)個人電腦及其周邊設備。此批中藥材進行中子活化分析(NAA)：先將樣品送入原子爐心進行短時間照射後，立即取出進行短半衰期核種強度分析。之後，再送入爐心做較長時間照射，經適當冷卻後偵測較長半衰期核種含量，並以標準樣品 Lichen(IAEA336)或 Bovine Liver(SRM1577a)同時照射，以估算樣品中之元素含量。

## (二) 原子吸收光譜分析

中藥材乾燥後以磨粉機磨成粉末，秤取 1 克置入鐵氟龍高壓瓶中，加入 3 ml 硝酸(14 N)與 0.5 ml 雙氧水(30%)對樣品進行二段式微波消化(MLS 1200 Miesfone, Italia)，待溶液呈現澄清即達完全消化，將其以蒸餾水稀釋後備用。就其中擬測試之元素含量多寡決定測試方式，含量較高者如鉀、銅、鎂、鐵、鋅等以火焰式原子吸收光譜測之。含量較低者如鉛、鎘、鎳、鉻等以石墨爐式原子吸收光譜(GFAAS spect AA-30, Varian)測之。而砷及汞則以氫化法測之。砷之氫化系以 NaBH<sub>4</sub>/HCl 為還原劑，汞之氫化系以 SnCl<sub>2</sub>/HCl 為還原劑。

## 參、結果

### 一、中藥材加馬線照射滅菌

黃芩、白果、生地黃、熟地黃、枸杞、人參、川芎、黨參、山藥與當歸等十種中藥材加馬線照射及微生物含量測定，以表面平板計數法計數不同照射劑量樣品中微生物之殘存率。結果顯示，同一中藥樣品因批次的不同其微生物量有很大差異。如表 1、2、3 所示，十種中藥材中以枸杞、人參、黃芩之微生物污染情形

較嚴重。樣品所含菌數約  $10^3$ - $10^6$  CFU/g，照射劑量需 10-16 kGy 方能達到良好滅菌效果。中藥樣品經不同輻射劑量處理後分別浸於緩衝液中振盪，取懸浮液經適當稀釋後塗抹於培養基表面，於第 1 與第 3 天觀察微生物相。表 1 中枸杞經 0、2、4、6、8、10、12、16 kGy 加馬輻射劑量照射後其單位重量所含菌數為  $10^3$ - $10^5$  CFU/g，不同次取樣之樣品間微生物含量及微生物相具有極大差異。部份樣品於 8 kGy 劑量照後可達完全滅菌；而有些樣品經 12 kGy 之輻射劑量照後仍有微生物殘存，需以 16 kGy 之照射劑量後方可達完全滅菌。圖 1 為枸杞未經輻射照射與經 10 kGy 照射後浸泡之懸浮液，塗抹於培養基平板上之微生物相，可明顯看出未經照射者有多種不同顏色及菌落形態的微生物繁殖，而經 10 kGy 照射者則殘存單一菌種。圖 2 所示為未經輻射處理之枸杞樣品，直接置於無菌之 PCA 平板表面經三天後目測微生物之生長狀況。可見得平板表面上每個枸杞樣品上所污染之微生物種類及含量差異十分明顯，有些枸杞上滿佈黴菌，而有些枸杞表面主要為污染酵母。顯微鏡下觀察 PCA 平板上之未經輻射照射的枸杞，可見到真菌菌絲由枸杞周圍長出，且枸杞表面及周圍之 PCA 平板已長滿黃色酵母菌，此酵母菌經鑑定為 *Cryptococcus laurentii* (圖 2A)。由培養基平板之底面可見酵母菌生長後大量產氣的狀況(圖 2B)。圖 3 a、b、c、d、e、f 之平板所示為未經照射及分別經 2、4、6、8、10 kGy 照射後之枸杞樣品于第四天時觀察樣品上微生物之殘存狀況。隨著輻射照射劑量的增加，枸杞中之微生物相呈現明顯變化。未經輻射照射之枸杞上首先長滿酵母及黴菌，經 4 天後平板表面已漸為黴菌密布 (圖 3a)。而分別經 2、4、6 kGy 照射後，酵母菌含量已明顯漸減，而黴菌漸成為優勢菌株 (圖 3b、c、d)。經 8 kGy 照射後樣品中除少量黴菌仍殘存外，主要菌株為一乳白色菌株 (圖 3e)。經 10 kGy 照射後枸杞樣品上只有上述乳白色純種菌株殘存 (圖 3f)。圖 4A 中經 8 kGy 照射後之枸杞樣品於培養基表面之殘存菌落種類已相當少，將圖 4 A 平板中之菌落局部放大如圖 4B 之初步目測及顯微鏡下觀察為純種菌落，此菌株應為枸杞樣品中之主要抗輻射菌落。將此菌株分離觀察，證實與圖 1B 中之菌株為相同菌株，為兼氣性革蘭氏陰性桿菌 (facultatively anaerobic Gram-negative rods)，鑑定結果此菌株應是 *Enterobacter agglomerans*。由上述結果顯示酵母菌 *C. laurentii* 為枸杞中主要菌株，而經 10 kGy 照射後殘存之 *E. agglomerans* 為枸杞中主要抗輻射菌株。

人參經 0、2、4、6、8、10 kGy 鈷六十照射後微生物殘存結果示於表 1。人參中所含菌數為  $10^4$ ~ $10^3$  CFU/g，經 6 kGy 照射後其微生物含量已有明顯下降，而至 10 kGy 輻射照射後，樣品之浸泡懸浮液中已測不到菌數。將未經照射之人參樣品以磷酸緩衝液浸泡經 10000 倍稀釋後塗於培養基上以目測 (圖 5A) 及解剖顯微鏡下觀察 (圖 5B)，可見其中單位重量之微生物高達  $10^4$  CFU/g，但微生物種類並不複雜。將未經照射及經 2、4、6、8、10 kGy 照射之人參直接置於 PCA

平板上第 5 天觀察之微生物生長情形，可看到未經照射之樣品上及其周圍生長大量微生物，經 4 kGy 劑量照射後人參樣品上微生物含量明顯遞減，經 6 kGy、8 kGy 照射後多數樣品中已不見微生物生長(圖 6)，10 kGy 照射後人參樣品已無微生物生長，此圖 6 之結果與表 1 相符合。

表 1 中可見黃芩樣品之原始菌數高達  $10^4$ - $10^6$  CFU/g，經照射後其殘存菌數有明顯下降，但其中一批樣品經 16 kGy 照射後仍未達完全滅菌，此高度污染的樣品是進行加馬線照射滅菌時應注意的。圖 7a、b、c、d 分別為黃芩未經照射與經 4、10、12 kGy 照射後直接取樣於平面培養基上經 3 天後觀察之結果，可見培養基上有許多細菌與黴菌菌落。經 10 kGy 照射者仍未達完全滅菌。此結果與表 1 相符。

表 2 為川芎、黨參、白果、生地黃樣品經不同照射劑量後之微生物殘存量，其微生物量約為  $10^2$ - $10^3$  CFU/g，所需輻射滅菌劑量為 8 kGy。圖 8A 所示為未經輻射照射之川芎樣品，置於培養基表面之微生物相，圖 8B 所示為川芎樣品浸泡於磷酸緩衝液中經振蕩後取浸泡液，經 10 倍稀釋後取 1 mL 塗抹於培養基表面所生成之微生物相，可見其微生物相並不複雜。

而圖 9A 為所採之黨參樣品值於 PCA 培養基平板表面經 3 天後於解剖顯微鏡下觀察，由圖中可見許多細菌及黴菌由黨參樣品中長出，此外，樣品中亦可見一粒粒昆蟲卵（箭頭所示）由圖 9B 所示為不同批次取樣之黨參樣品置於 PCA 表面有許多相同之菌落生長，由菌落型態及顏色判斷與圖 9A 中不同批次取樣黨參樣品中之菌落顯然不明，但由圖 9B 之 b 平板上所見之菌落外觀初步判別，菌之種類不多，已形成主要存在菌種。

圖 10 所示為未經照射生地黃樣品之微生物生長狀況，圖 10A 中所示為生地黃樣品放置於培養基平板 2 天後平板表面除明顯可見 2 粒細菌菌落外，目測生地黃樣品上微生物生長不明顯，經繼續置於室溫中，於第七天時觀察除原有之菌落加大外，目測生地黃樣品上已見許多微菌生長於其上，生地黃樣品中之菌株生長較為緩慢，經輻射照射後殘存的菌體生長將更趨緩慢。因而，計數菌體之時間應延長方可達菌數計數之準確性。

圖 11 所示為未經輻射照射白果樣品，置於 PCA 培養基表面之微生物生長狀況，由圖 11Aa 之白果粒周圍並無明顯向外生長之角落，圖 11Aa 劃圓處係為原置果粒處，將白果粒移開後，可見果粒下聚生許多菌落生長，此菌落與圖 11B 中之菌落外觀相同。比較圖 11Ab 及圖 11B 可見白果粒上已發展出選擇性生長於白果上之微生物。環境中有白果存在時，其菌株會選擇性生長於白果粒上，當環境中無白果存在時菌株才利用培養基之成分於培養基上生長。

而山藥、當歸、熟地黃在三批樣品中菌數均最少，如表 3 所示。大多低於  $10^2$  CFU/g，6 kGy 即可達良好滅菌效果。圖 12 所示為山藥樣品經 0、2、4、6kGy

之加馬輻射照射後，置於培養基上，經三天後所見之微生物生長狀況由圖 12 平板 a 可見未經照射山藥之平板中以長滿黴菌，而圖 12 平板 B 中之黴菌量明顯較平板 A 為少，2 kGy 之照射對山藥之細菌量或微生物生長已明顯受抑制，由平板 c 及 d 中已不見微生物生長，顯然 6 kGy 之輻射照射對山藥樣品已達滅菌效果。

## 二、官能品評測試

由目測及顯微鏡觀察照射前後之中藥材，結果顯示中藥材的外觀、顏色並無變化。另篩選 10 位品評員進行枸杞風味與氣味之差異性測試，品評員直接生食枸杞，結果顯示樣品照射組與未照射對照組無顯著差異( $p > 0.05$ )，即十位品評員中答對人數少於 9 人<sup>(31)</sup>。即表示照射不影響枸杞生食時的風味與氣味。

## 三、人參與枸杞照射前後之成份分析

經 10 kGy 加馬線照射與未經照射之人參樣品分別各取 10 克，以高效率液體層析儀(HPLC)測定其主要藥用成份 ginsenoside Rb1 及 ginsenoside Rg1 之含量，結果如表 4 所示。經 10 kGy 輻射照射後，人參中之 ginsenoside Rb1 及 ginsenoside Rg1 含量無顯著變化。

將 15 kGy 伽馬線照射與未經照射之枸杞樣品，分別測定其水分、粗蛋白、維生素 A、維生素 C、果糖、葡萄糖與檸檬酸、蘋果酸、琥珀酸、延胡索酸及草酸等有機酸含量，結果如表 5 所示，每 100 克枸杞輻射照射前、後水分含量分別為 7.5 及 7.6 g；粗蛋白含量分別為 13.44 及 13.19 g；維生素 A 分別為 1865 及 1879 IU；而果糖含量分別為 25.03 與 24.99 g；葡萄糖含量分別為 22.84 與 22.78 g；檸檬酸含量分別為 4.2 及 4.39 g；蘋果酸含量分別為 2.46 及 2.55 g；琥珀酸含量分別為 1.18 與 1.35 g；延胡索酸含量分別為 0.02 與 0.02 g；草酸含量分別為 0.14 及 0.16 g；維生素 C 於照射前含量為 8.35 mg，照射後含量未能測得數值。以上數值顯示枸杞中之主成份經輻射照射後大多未有明顯變化，尤其枸杞中具高含量之維生素 A，照射後不受影響，唯有原含量較低之維生素 C 經照射後含量有減低的現象。

## 四、伽馬線照射枸杞之放射活性

將接受 10 kGy 伽馬線照射之人參與 15 kGy 伽馬線照射之枸杞，於照射後立即分析其  $\gamma$  射線核種、強度，及其總  $\alpha$ 、 $\beta$  核種強度，並與未經照射之人參與枸杞之偵測結果比較，計數時間為 600 分鐘。結果顯示照射前、後人參樣品及枸杞樣品中所測得之主要核種皆為 K-40，為生物樣品存在核種，照射前樣品之總  $\alpha$ 、 $\beta$  計測值為 210.72，照射後樣品之計測值為 199.91，即鈷六十伽馬線照射人參與枸杞並未生成具放射性之物質或核種。

## 五、中藥材微量元素檢測

### (一)、原子吸收光譜分析測定中藥材微量元素之前處理

取樣之中藥材微量元素含量以中子活化分析(NAA)及原子吸收光譜分析

法(AA)測定：AA 法需先以硝酸與雙氧水對樣品進行二段式微波消化，其消化條件須分二階段，第一階段為 300 瓦消化 3 分鐘第二階段為 600 瓦消化 5 分鐘。皆 30 分鐘冷卻降壓後取出。若高壓瓶中之液體未澄清則須進行第二次消化。此時須再加入 1 ml 硝酸與 0.5 ml 雙氧水，再以 600 瓦 5 分鐘進行再次消化。上述條件對本次受測中藥材均能達完全消化程度。

就其中擬測試之元素含量多寡決定測試方式，含量較高者如鉀、銅、鎂、鐵、鋅等以火焰式原子吸收光譜測之。火焰式原子吸收光譜測定元素含量其靈敏度如下鉀：0.04~2.0  $\mu\text{g/ml}$ 、銅：0.01~2.0  $\mu\text{g/ml}$ 、鎂：0.007~0.7  $\mu\text{g/ml}$ 、鐵：0.15~15.0  $\mu\text{g/ml}$ 、鋅：0.03~2.0  $\mu\text{g/ml}$ 、錳：0.06~5.0  $\mu\text{g/ml}$ 。含量較低者(ppb 間)如鉛、鎘、鎳、鉻等以石墨爐式原子吸收光譜測之。其靈敏度與原子化之最適溫度、時間如下：鉛之靈敏度為 1 ng/ml、灰化溫度為 600  $^{\circ}\text{C}$ 、原子化溫度為 2100  $^{\circ}\text{C}$  時間 1 sec；鎘之靈敏度為 0.5 ng/ml、灰化溫度為 300  $^{\circ}\text{C}$ 、原子化溫度為 1800  $^{\circ}\text{C}$ 、時間 0.8 sec；鎳之靈敏度為 1 ng/ml、灰化溫度為 900  $^{\circ}\text{C}$ 、原子化溫度為 2400  $^{\circ}\text{C}$ 、時間 1.1 sec；鉻之靈敏度為 0.5 ng/ml、灰化溫度為 1100  $^{\circ}\text{C}$ 、原子化溫度為 2600  $^{\circ}\text{C}$ 、時間 1.2 sec。而砷及汞則以氫化法測之。砷之氫化系以  $\text{NaBH}_4/\text{HCl}$  為還原劑，汞之氫化系以  $\text{SnCl}_2/\text{HCl}$  為還原劑。上述二種元素完全反應時間僅須 40 秒，且整套系統可自動控制。

## (二)、以中子活化與原子吸收光譜分析法測定中藥材微量元素

本計畫選取十種中藥，以 AA 及 NAA 兩種方法進行其元素分析。在 AA 部份共分析十二種元素(As、Cd、Cr、Cu、Fe、Hg、K、Mg、Mn、Ni、Pb 及 Zn)，其分析結果如表 6 所示；而 INAA 則分析十四種 (Al、Cl、Co、Cr、Fe、K、Mg、Mn、Na、Rb、Sc、Se、V 及 Zn)，其濃度分析結果如表 7 所示。其中相同元素兩種方法均分析的元素有 Cr、Fe、K、Mg、Mn 及 Zn 等六種元素。以 AA 方法分析的結果，在相同中藥的五批取樣間，顯示元素含量在不同批次取樣間有許多差異。取其中濃度數值最大與最小者進行比較，設定比值在五倍以上表示有極大變異，結果如圖 13 所示。可見當歸中的 Cd、Cr、Hg 及 Ni 含量，黨參中的 As，山藥中的 As、Hg 及 Mg，人參中的 As、Cu、Hg 及 Ni，白果中的 As 及 Cd，與川芎中的 As 含量等，在不同批次取樣間存在極大的差異。在這些差異中，以川芎的 As 含量差 40.2 倍為最大。由 AA 分析結果顯示，造成中藥中批次取樣間元素含量變異大的元素為 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Mg、及 Ni，這些主要為重金屬類。而以 NAA 方法分析比值在五倍以上差異的元素，比較結果如圖 14 所示。其中以當歸中之 Al、Co 及 Cr，黨參中之 Al 及 Cr，山藥中的 Al、Cr 及 Na，人參之 Al 及 Na，熟地黃中的 Al，白果及川芎中的 Na，枸杞中的 Cr，生地

黃中之 Al 等含量測定在不同批次取樣間存在較大的差異。由 NAA 分析結果顯示，造成中藥中批次取樣間元素含量變異大的元素主要為 Al、Cr、Co 及 Na，而其他元素變異則小於五倍以下。綜合 AA 與 NAA 結果可知 Cr 為其中最具變異者。由此得知中藥材的批次不同，其中之微量元素含量有極大變異。

進一步比對 AA 與 INAA 共同分析六種元素所測得之數值。以二種分析方法所測數值之濃度比值是否大於 2 來界定，以瞭解此二種方法測定中藥材元素含量之可信度。結果顯示 Cr 在 50 個樣品中（10 種中藥、5 個來源），有 20 個樣品在兩種分析方法測定值之比對值大於 2（如圖 15），此顯示 Cr 在本計畫中藥分析的不穩定性。黃芩比對值大多相符，而其他九種中藥均有至少一批樣品表現出分析的差異。Fe 的分析，僅有人參的一批分析在兩種分析方法間有差異（如圖 16），顯示兩種方法適於鐵的分析。K 在黨參與山藥有一批分析結果差異較大（圖 17）。鎂在山藥中有二批之含量有較大差異（圖 18），錳在黨參中有一批分析差異大（圖 19），而鋅則分別在黨參、人參與川芎各有一批二組分析結果有較大差異（圖 20）。比對 AA 與 INAA 二種方法對六種元素分析的結果，顯示僅 Cr 的含量在二種方法比對下不很理想，而其他五種元素（Fe、K、Mg、Mn、Zn）二種方法測得之符合度大於 94 %，因此二種方法用於中藥材元素含量測定值得信賴。而找出二種方法在分析 Cr 過程中可能造成之誤差原因，則是值得探討的問題。

## 肆、討論

對本研究所採集之中藥材樣品測試結果顯示，不同種類中藥材間微生物含量有明顯差異；同一種中藥材因基原不同，微生物含量亦有明顯差異。多數中藥材由於長期的包裝運輸，已發展出特殊之微生物相及主要菌株。中藥材輻射照射後，以直接置於培養基上觀察微生物生長及測其浸泡於磷酸緩衝液之懸浮菌數二種方法比對，可切確瞭解其生菌數及微生物相。污染嚴重之中藥材樣品經 15~20 kGy 之鈷六十伽馬線照射後可達完全滅菌效果，其他樣品則在 10 kGy 時達完全滅菌。藥材中之微生物含量雖是決定輻射照射劑量之重要因素，但其中微生物分佈之均勻度及主要菌株之輻射抗性亦是決定輻射照射劑量之重要因素。樣品中微生物局部高密度分佈及主要菌株之高度抗輻射性是造成輻射劑量提高之主要原因。

而元素分析方面，綜合 AA 與 NAA 二種方法所進行的十種中藥材元素分析結果，可知不同種類中藥材間各元素含量有明顯不同；且同一種中藥材因批次的不同，其元素含量亦有明顯差異。中藥材因來源、產地、品質等級等不同，對其微量元素含量多寡有極大差異。因此應明確制定安全之中藥材其微量元素含量的規格，以確保

消費者權益。將每種中藥元素的分佈範圍及平均值整理如表 8 所示。此結果可作為中藥元素成分分析普查基本資料，有助於中藥類別鑑識工作，同時可由元素功能的角角度探討其對中藥藥效可能之影響。

## 伍、結論與建議

藥材中之微生物含量是直接影響中藥材品質者，微生物的長期生長腐蝕，將耗損藥材成份、抑低療效，甚或產生不良物質，尤其生服之藥材將更直接影響食用者之衛生安全。進口中藥材常因微生物嚴重污染而整批銷毀，而污染情形輕者則難免將就使用，其污染可能原因為藥材攜帶產地之微生物、運輸途中外來之微生物污染、再加上運輸與貯存過程微生物繼續滋生所致。若能在藥材仍新鮮的狀況下，於產銷上游即先進行規格化包裝與輻射滅菌，可避免長途運輸中微生物大量滋生，可以延長商品時間、保持藥材品質。輻射滅菌在低溫下進行，無須添加任何物質，可於藥材包裝後再進行滅菌，可以避免包裝時之二次污染，故為中藥材滅菌最好方法，有必要研發拓展。本計畫研發中藥（材）之伽馬線滅菌：研究結果顯示以 10 kGy 之伽馬射線照射，對中藥（材）已有良好的滅菌效果。由枸杞之官能品評結果顯示，照射前、後之藥材品評上無顯著性差異。計畫中探討中藥（材）伽馬線照射滅菌，測試照射劑量與微生物殘存量之相關性，確認最佳照射劑量等條件，提供企業界進行中藥（材）伽馬照射及行政單位制訂伽馬線滅菌之照射劑量法規參考依據，並進行照射後藥材之品評，建立消費者之認同，以開發輻射滅菌中藥（材）市場，提高中藥（材）之經濟效益。減少中藥材中的微生物含量，改善中藥材之衛生條件及防止藥物療效之降低，便於中醫藥委員會對中藥包裝規格之研訂。

中子活化分析是具有非破壞性、可信度高及可同時做多元素分析之優點，且受測物質無需做多步驟的前處理，是國內外已知的元素測試方法，常被用於植物成份、礦石、動物組織之成份分析。但需於具有核反應設施處方能進行。原子吸收光譜分析為一般常見之分析儀器，但樣品前處理及消化過程常影響元素分析的數值。本計畫建立以 AA 分析中藥（材）中微量元素之偵測方法及前處理步驟，可作為藥廠（商）進行 AA 分析微量元素之依循，並以本研究之 NAA 偵測結果做為其數值比對，建立中藥（材）微量元素含量分析之資料庫，提供中藥材微量元素含量規格研訂所需之資料。

## 陸、重要參考文獻

1. Mertz W. The essential trace elements. Sci. 1981, 213 (18): 1332-1338.
2. Ehlermann DAE. Dosimetry and Identification as a Tool for Official Control of

- Food Irradiation. *Radia. Phys. Chem.*, 1995, 46:693-698.
3. Loaharanu P. Cost/benefit aspects of food irradiation. *Food Technol.*, 1994, 48:104-108.
  4. Mayermiebach E. Food irradiation-a means of controlling pathogenic microorganisms in food. *Food Sci. Technol.-Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 1993, 26: 493-497.
  5. Takehisa M, Ito H. Experiences of Food Irradiation in Japan. *Food Rev. Int.*, 1986, 2(1):19.
  6. Thakur BR, Singh RK. Food Irradiation-Chemistry and Applications. *Food Rev. Int.*, 1994, 10:437-473.
  7. 王暉, 劉仁, 王麗, 蜂王漿輻射技術的研究, *中草藥*, 1992, 296-297, 中國天津。
  8. 向大雄, 趙緒元, 鈷-60 輻射滅菌在中成藥中的應用, *時珍國藥研究*, 1994, 35-37, 中國黃石。
  9. 周學優, 鈞藤 Co 輻照滅菌前後生物活性比較試驗, *中成藥*, 1995, 45, 中國上海。
  10. 陳金月, 60 鈷- $\gamma$  射線輻照滅菌對大黃主要成分的影響, *時珍國藥研究*, 1996, 154-155, 中國黃石。
  11. Aziz NH, Refia MK, Abd El-Aal SS. Occurrence of aflatoxin and aflatoxigenic molds in coffee beans and decontamination by gamma-irradiation. *J. Egypt Vet. Med. Ass.* 1990, 49:951-961.
  12. Abou-Shady MR, El-Beih Fawkia M, Tawfik Zahira S. Role of lipids in bacterial radioresistance. 5 th conf. *Nucl. Sci. App.*, 1992, 2:513-523.
  13. Akamine E K, Moy JH. Delay in Post Harvest Ripening and Senescence of Fruit. Chapter in Preservation of Food Ionizing Radiation, (E. S. Josephson, M. S. Peterson, Eds.) CRC Press, Boca Raton, FL, U. S. A., 1983, III : 129.
  14. Aziz NH, Abd El-Aal SS. Influence of potassium sorbate and sodium denzoate on gamma irradiated conidia of *Aspergillus ochraceus*, *Penicillium chrysogenum* and *Fusarium moniliforme*. *Isot. Rad. Res.* 1990, 22:113-150.
  15. Aziz NH, El-Fouly MZ, Abu-shady MR, Moussa LAA. Effect of gamma radiation on the survival of fungal and actinomycetal flora contaminating medicinal plants. *Appl. Radiat. Isot.* 1997, 48(2):71-76.
  16. El-Far F, Aziz NH, Hegazy S. Inhibition by gamma-irradiation and antimicrobial food additives of aflatoxin B<sub>1</sub> production by *Aspergillus flavus* in poultry diet. *Die Nahrung* 1992, 36: 143-149.
  17. El-Fouly MZ, Salam YI, Hammad AA. Extension of shelf life of pathogenic

- microorganisms from semi-dried fish(*Tilapia nilotica*) by gamma irradiation. In Proc. VI. Conf. Microbial. Food Microbial.No.25, Cairo, Egypt (Egyptian Society of Applied Microbiology). 1986.
- 18.Redpath JL, Patterson LK. The effect of membrane fatty acid composition on radiosensitivity of *E. coli*. *Radiat Res.* 1978, 75:443-447.
  - 19.Salama AM, Ali MI, El-Kirdassy ZH, Ali TM. A study on fungal radioresistance and radiosensitivity. *Zbl. Bakter. Abt. II. Bd.* 1977. 132,1-13.
  - 20.Singh L, Mohan MS, Sankarann R, Sharma R, Sharma TR. The use of gamma irradiation for improving qualities of spices. *J. Foods Sci. Technol* 1988, 25:357-360.
  - 21.Sommer NF, Fortlage RG. Ionizing radiation for control of post-harvest diseases of fruits and vegetables. *Adv. Food Res.* 1996, 51:147-193.
  - 22.Stone CA, Odin C, Howard J, Mumaw LD. High-School Experiments in Food Irradiation. *Abs. Pap. Am. Chem. Soc.*, 1994, 207(MAR):91-NUCL.
  - 23.Cottee J, Kunstadt P, Fraser F. Commercialization of Food Irradiation in the USA. *Radia. Phys. Chem.*, 1995, 46(4-6): 669-672.
  - 24.Chou FI, Tan ST. Manganese(II) Induces Cell Division and Increases in Superoxide Dismutase and Catalase Activities in an Aging *Deinococcus* Culture. *J. Bacteriol.*, 1990, 72: 2029-2035.
  - 25.Chou FI, Tan, ST. Salt-Mediated Multicell Formation in *Deinococcus radiodurans*. *J. Bacteriol.*, 1991, 173:3184-3190.
  - 26.Chou FI. Pollen Gamma-ray Irradiation. *Nucl. Sci. J.* 1998, 35(3):165-171.
  - 27.Liu SM, Chung C, Chung JT, Wang CF, Aras NK. Daily dietary intake of minor and trace elements by upper social groups in Taiwan. *Radioanal. Nucl. Chem., Articles.* 1991, 150:397-415.
  - 28.Chou FI, Lin HD, Wei JC, Wang AY, Lo JG. Simplified measurement of protein-bound iodine with epithermal neutron activation analysis. *Nucl. Med. Biol.* 1993, 20(5) : 631-636.
  - 29.Wu CW, Wei YY, Chi C W, Lui WY, P'eng F K, Chung C. Tissue potassium, selenium, and iron levels associated with gastric cancer progression. *Digest Dis. Sci.* 1996, 1: 119-125.
  - 30.Wei YY, Chung C. Elemental analysis in liver, ascites, and blood of tumor-bearing mice. *J. Radioanal. Nucl. Chem., Articles*, 1993, 171: 383-400.
  - 31.Meilgaard M, Civille GV, Carr BT. *Sensory Evaluation Techniques*. 2nd ed., pp.71-72, 339, CRC Press, Boca Raton, Boston London. 1991.

表 1、中藥材經加馬線照射後之殘存微生物量

樣品	編號	照射劑量							
		0 kGy	2 kGy	4 kGy	6 kGy	8 kGy	10 kGy	12 kGy	16 kGy
人參	I	35000	214	56	6	0	0	-	
	II	3760	2580	853	150	0	0	-	
	III	10667	3616	955	221	96	0	-	
	IV	2760	580	180	24	0	0	-	
	V	4000	1520	680	170	0	0	-	
枸杞	I	86200	2800	125	4	0	0	0	-
	II	62800	5900	3500	440	79	80	6	0
	III	170250	5620	4160	915	126	35	17	0
	IV	7600	1200	240	0	0	0	0	0
	V	20400	1900	560	44	0	0	0	0
黃芩	I	2520	113	285	0	0	0	0	
	II	38600	7365	1950	900	309	56	0	
	III	1160000	680000	250000	77000	64000	18500	4700	3400
	IV	33000	9100	930	309	120	8	0	0
	V	49000	13400	1250	460	21	0	0	0

表 2、中藥材經加馬線照射後之殘存微生物量

樣品	編號	照射劑量					
		0 kGy	2 kGy	4 kGy	6 kGy	8 kGy	10 kGy
川芎	I	290	49	20	6	0	0
	II	69	2	2	0	0	0
	III	2	0	0	0	0	0
	IV	138	46	18	0	0	0
	V	2040	280	72	18	0	0
黨參	I	810	56	4	2	0	0
	II	3398	56	4	2	0	0
	III	141	73	11	5	0	0
	IV	636	48	4	0	0	0
	V	1093	95	7	2	0	0
白果	I	42	16	4	0	0	0
	II	2850	250	10	4	0	0
	III	1280	97	10	0	0	0
	IV	8710	2030	127	10	0	0
	V	3740	2520	80	6	0	0
生地黃	I	200	54	4	0	0	0
	II	1860	500	13	4	0	0
	III	69	21	5	0	0	0
	IV	1435	200	59	0	0	0
	V	1700	536	60	2	0	0

表 3、中藥材經加馬線照射後之殘存微生物量

樣品	編號	照射劑量				
		0 kGy	2 kGy	4 kGy	6 kGy	8 kGy
山藥	I	3	0	0	0	0
	II	5	2	0	0	0
	III	3	0	0	0	0
	IV	5	2	0	0	0
	V	73	27	2	0	0
當歸	I	70	6	0	0	0
	II	4	0	0	0	0
	III	30	0	0	0	0
	IV	49	18	0	0	0
	V	160	26	2	0	0
熟地黃	I	24	10	0	0	0
	II	16	0	0	0	0
	III	27	6	0	0	0
	IV	18	0	0	0	0
	V	42	15	7	0	0

表 4、人參照射前後之成份含量變化

Items	Radiation Dose	
	0 kGy	10 kGy
Ginsenoside Rb1 (%)	0.263	0.261
Ginsenoside Rg1 (%)	0.254	0.215

表 5 枸杞照射前後之成份含量變化

Items	Radiation Dose	
	0 kGy	15 kGy
Moisture (g/100g)	7.51	7.60
Crude protein (g/100g)	13.44	13.19
Vit. A (IU/100g)	1865	1879
Vit. C (mg/100g)	8.35	ND
Fructose (g/100g)	25.03	24.99
Glucose (g/100g)	22.84	22.78
Citric acid (g/100g)	4.20	4.39
Malic acid (g/100g)	2.46	2.55
Succinic acid (g/100g)	1.18	1.35
Fumaric acid (g/100g)	0.02	0.02
Oxalic acid (g/100g)	0.14	0.16

表6 以原子光譜分析法(AA)測定中藥材元素含量

品名	批號	濃度 (μg/g)											
		As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Ni	Pb	Zn
當歸	I	0.373	0.010	5.48	10.67	600.2	0.000	7743	1833	25.68	3.59	0.125	14.59
	II	0.181	0.004	0.91	14.19	255.3	0.009	7490	1683	17.92	0.66	0.025	20.96
	III	0.153	0.012	8.28	14.70	445.4	0.000	11535	2291	23.90	2.39	0.082	23.65
	IV	0.262	0.021	15.20	12.27	519.0	0.026	9700	2020	22.87	5.06	0.091	24.03
	V	0.216	0.013	1.73	13.89	321.8	0.005	9848	2368	19.47	0.76	0.061	28.04
黨參	I	0.421	0.322	4.91	5.02	1247.2	0.000	5057	1116	49.03	4.33	0.304	13.50
	II	0.713	0.261	2.29	5.52	985.9	0.000	5153	1016	39.46	3.92	0.164	12.11
	III	0.089	0.148	0.16	3.48	28.5	0.017	5340	519	2.29	0.14	0.155	4.14
	IV	0.398	0.342	7.40	4.54	1412.8	0.008	7490	1734	51.59	5.17	0.427	17.73
	V	0.366	0.414	4.02	4.24	1060.2	0.000	6439	1400	35.88	4.05	0.207	13.88
黃芩	I	0.073	0.015	1.81	10.17	151.2	0.011	4194	9523	20.81	1.04	0.194	12.68
	II	0.104	0.022	2.34	14.79	497.7	0.021	4785	10670	37.74	3.23	0.244	16.98
	III	0.088	0.022	2.16	10.76	290.2	0.026	5654	10662	21.98	1.26	0.369	15.09
	IV	0.096	0.012	3.11	11.88	343.2	0.021	5812	9454	23.39	1.08	0.284	15.46
	V	0.203	0.015	1.85	9.93	253.5	0.025	5620	10227	20.90	1.24	0.233	12.31
山藥	I	0.379	0.007	0.09	5.08	34.9	0.002	2439	293	2.37	0.11	0.026	3.65
	II	1.264	0.010	0.05	4.86	34.9	0.016	2261	54	2.29	0.08	0.058	2.52
	III	0.109	0.008	0.14	5.50	25.3	0.016	6090	729	3.15	0.22	0.079	5.85
	IV	0.095	0.011	0.04	2.72	29.3	0.000	2293	113	2.62	0.07	0.017	2.98
	V	0.444	0.027	0.17	3.96	33.4	0.013	3714	402	4.19	0.20	0.035	3.84
人參	I	0.275	0.027	1.40	2.81	96.3	0.000	7538	1303	27.22	1.02	0.101	8.62
	II	0.137	0.054	0.33	8.06	79.1	0.021	6044	1200	28.31	1.18	0.078	10.65
	III	0.090	0.059	0.90	13.32	117.3	0.067	10430	1822	68.57	3.51	0.133	16.04
	IV	0.152	0.131	1.55	15.72	139.4	0.016	11623	2133	52.90	4.45	0.141	23.09
	V	1.177	0.052	0.68	7.15	97.4	0.011	8909	1366	34.99	0.81	0.163	12.49

表6 以原子光譜分析法測定中藥材中元素含量(續)

品名	批號	濃度 ( $\mu\text{g/g}$ )											
		As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Ni	Pb	Zn
熟地黃	I	0.833	0.059	2.22	4.95	463.7	0.000	6826	1111.5	12.58	2.20	0.410	9.55
	II	1.044	0.030	1.49	4.94	786.1	0.000	5925	1087.9	14.37	2.10	0.406	8.35
	III	0.433	0.053	2.53	4.27	749.6	0.000	7422	1255.9	12.79	1.57	0.760	8.19
	IV	0.867	0.024	2.60	3.67	701.3	0.000	7030	1047.2	15.71	1.58	0.281	7.27
	V	0.504	0.022	2.46	3.60	454.8	0.000	8542	2087.3	11.94	1.24	0.439	8.46
白果	I	0.304	0.010	0.34	6.14	31.1	0.025	7260	944.1	6.84	1.01	0.050	8.77
	II	0.119	ND	0.10	5.32	26.9	0.010	5752	771.4	10.61	1.391	0.047	8.52
	III	0.010	0.001	0.70	5.55	34.8	0.014	6805	1193.2	7.92	1.85	0.068	8.69
	IV	0.269	ND	0.70	5.67	34.7	0.000	7426	1153.3	8.25	1.92	0.069	7.83
	V	2.362	0.002	0.38	5.45	29.1	0.007	5675	953.7	7.54	1.98	0.076	6.42
川芎	I	0.292	0.501	5.21	15.97	282.9	0.054	5322	2854.2	43.47	6.05	0.315	22.46
	II	0.009	0.333	2.69	15.22	292.7	0.031	3671	2393.8	35.95	5.45	0.194	19.36
	III	0.092	0.364	3.66	12.39	245.4	0.046	6565	2448.0	22.59	3.87	0.498	31.67
	IV	0.250	0.445	6.17	12.96	318.5	0.024	6111	2902.5	39.73	5.42	0.334	25.53
	V	0.362	0.377	7.21	11.88	297.7	0.013	10394	2994.9	40.21	5.44	0.264	22.12
枸杞	I	0.000	0.046	1.03	15.95	95.8	0.048	10911	809.0	13.13	0.77	0.309	13.85
	II	0.000	0.158	0.07	17.31	97.5	0.048	11375	636.1	9.88	0.44	0.157	19.63
	III	0.209	0.065	0.20	13.91	108.6	0.060	12121	1161.7	22.19	0.64	0.171	17.87
	IV	0.165	0.070	0.16	11.87	121.2	0.042	12360	1212.6	10.89	0.47	0.394	15.68
	V	0.185	0.107	0.22	13.83	107.1	0.037	9493	1042.6	12.28	0.56	0.264	16.50
生地黃	I	0.608	0.022	1.16	3.81	267.6	0.045	6132	808.9	9.09	1.21	0.283	10.35
	II	0.193	0.015	1.07	4.63	296.3	0.017	8624	653.5	8.05	1.13	0.265	8.55
	III	0.474	0.014	0.73	3.74	256.5	0.023	8522	1134.2	9.02	0.79	0.223	9.24
	IV	0.327	0.013	0.73	3.40	245.2	0.021	8817	904.6	8.38	0.76	0.338	10.04
	V	0.341	0.016	1.13	3.46	298.9	0.011	9069	896.9	10.86	0.98	0.241	8.39

ND: 無法定量

表7. 以中子活化法(NAA)分析中藥材中元素含量 I

品名	批號	濃度( $\mu\text{g/g}$ )							
		Al	Cl	K	Mg	Mn	Na	V	
當歸	I	778± 47	1130± 110	6100± 300	1875± 167	21.0± 3.4	320± 40	1.11± 0.12	
	II	352± 37	1810± 220	6500± 800	1762± 54	14.3± 2.0	330± 20	0.52± 0.07	
	III	105± 3	970± 60	14700± 700	1836± 41	19.7± 1.0	120± 10	1.02± 0.07	
	IV	145± 11	50± 80	12000± 1700	1679± 128	18.7± 2.0	150± 10	1.57± 0.23	
	V	69± 1	1450± 100	13000± 1900	1762± 105	15.6± 0.4	200± 20	0.84± 0.02	
黨參	I	1307± 707	200± 10	4300± 100	1373± 37	44.6± 2.8	110± 10	3.75± 0.18	
	II	1882± 908	190± 10	3800± 100	896± 30	22.9± 8.6	80± 10	1.78± 0.23	
	III	183± 18	190± 10	6900± 200	812± 49	28.8± 2.1	60± 10	3.72± 0.77	
	IV	380± 48	300± 70	11800± 2300	1322± 41	47.1± 9.0	170± 50	4.31± 0.61	
	V	415± 102	480± 130	14000± 1000	ND	52.8± 19.7	200± 50	4.19± 0.35	
黃芩	I	311± 31	200± 30	5120± 610	8247± 800	23.5± 2.4	1270± 40	0.44± 0.01	
	II	1147± 281	150± 40	4590± 470	6955± 271	54.2± 0.4	480± 20	1.76± 0.44	
	III	575± 31	220± 10	9410± 940	9344± 413	23.1± 0.7	680± 40	0.65± 0.06	
	IV	799± 62	370± 10	9560± 790	8419± 517	27.0± 1.2	790± 70	0.79± 0.06	
	V	510± 19	200± 10	10750± 1130	9495± 661	20.8± 2.2	770± 50	0.51± 0.01	
山藥	I	7± 1	990± 20	3480± 530	456± 78	2.6± 0.2	440± 20	0.06± 0.01	
	II	14± 1	1030± 190	3170± 480	171± 13	1.6± 0.2	30± 10	0.06± 0.02	
	III	1	1000± 200	8190± 1400	658± 153	2.4± 0.4	410± 80	ND	
	IV	2	1480± 340	7720± 2480	377± 107	1.5± 0.3	340± 80	0.07± 0.01	
	V	5	930± 80	7230± 440	525± 63	4.5± 1.6	390± 40	0.12± 0.01	
人參	I	68± 32	370± 60	6570± 80	1203± 35	31.8± 6.9	40± 10	0.10± 0.01	
	II	86± 6	340± 10	7250± 80	1578± 212	32.0± 1.3	110± 10	0.10± 0.01	
	III	180± 54	400± 10	18990± 430	2272± 212	75.9± 2.31	360± 10	0.17± 0.05	
	IV	30± 1	530± 10	23160± 1490	2642± 220	62.5± 0.9	820± 10	0.29± 0.03	
	V	95± 5	450± 30	16520± 10	1842± 109	43.7± 1.2	120± 20	0.15± 0.02	

ND: 無法定量

表7. 以中子活化法分析中藥中元素含量 I (續)

品名	批號	濃度(μg/g)							
		Al	Cl	K	Mg	Mn	Na	V	V
熟地黃	I	1122± 421	1160± 90	7040± 80	1335± 132	15.2± 4.5	1310± 110	1.40± 0.51	
	II	200± 97	870± 80	4750± 60	1186± 104	13.3± 1.3	1540± 90	1.47± 0.24	
	III	147± 6	990± 60	9030± 1170	1018± 53	10.3± 0.6	1200± 100	1.16± 0.08	
	IV	1347± 134	1020± 60	9630± 1080	1215± 152	14.5± 2.1	1230± 80	1.40± 0.26	
	V	141± 30	940± 170	11560± 1930	1934± 294	10.5± 1.6	1040± 150	1.08± 0.25	
白果	I	6± 1	120± 10	13900± 500	1186± 44	7.1± 0.4	600± 20	ND	
	II	ND	260± 60	5530± 70	847± 29	10.1± 2.1	180± 50	ND	
	III	22± 5	190± 10	11370± 560	1303± 44	8.1± 0.2	200± 10	ND	
	IV	5± 2	110± 10	12120± 3060	1528± 69	8.9± 0.5	100± 10	ND	
	V	17± 6	160± 10	9690± 810	1158± 100	8.5± 0.6	120± 10	0.38± 0.01	
川芎	I	504± 37	720± 10	5370± 540	2484± 317	41.2± 0.2	2050± 140	0.96± 0.01	
	II	366± 6	590± 10	4960± 390	2382± 187	35.0± 0.6	1870± 10	0.76± 0.07	
	III	429± 33	780± 20	13120± 240	2456± 46	26.9± 0.5	230± 20	0.67± 0.01	
	IV	958± 119	610± 60	10610± 470	3022± 200	45.9± 2.1	2110± 140	1.39± 0.19	
	V	663± 124	780± 60	12440± 960	3482± 449	48.1± 5.7	1860± 170	0.94± 0.14	
枸杞	I	77± 19	4540± 440	8360± 140	826± 5	9.2± 0.2	4510± 70	ND	
	II	92± 5	3890± 680	7610± 90	652± 60	7.2± 1.1	4760± 100	0.18± 0.01	
	III	294± 113	5520± 1640	14270± 2250	1216± 134	18.5± 3.4	7290± 380	0.42± 0.16	
	IV	313± 91	4200± 460	15370± 3060	1115± 45	10.0± 1.8	4890± 920	0.25± 0.03	
	V	230± 74	3110± 650	14330± 190	909± 19	10.6± 0.3	4820± 460	0.31± 0.04	
生地黃	I	680± 333	1240± 280	7230± 80	725± 27	7.5± 0.3	810± 30	0.65± 0.05	
	II	586± 105	1140± 90	5870± 900	802± 110	8.2± 1.1	890± 30	0.82± 0.05	
	III	99± 6	900± 90	13740± 1900	1158± 69	9.0± 0.9	1220± 120	0.82± 0.06	
	IV	87± 1	1100± 10	12830± 390	882± 15	7.8± 0.1	760± 30	0.71± 0.02	
	V	991± 7	1110± 120	13520± 1810	947± 149	10.3± 1.5	940± 120	0.90± 0.13	

表7. 以中子活化法分析中藥中元素含量 II (續)

品名	批號	濃度(μg/g)									
		Co	Cr	Fe	Rb	Sc	Se	Zn			
當歸	I	0.334±0.17	2.09±0.31	520±112	8.1±1.3	156±46	0.20±0.02	29±3			
	II	0.013±0.005	0.63±0.02	285±17	4.8±7	84±9.2	ND	32±3			
	III	0.226±0.04	8.88±0.90	411±30	5.1±1.1	115±13	0.26±0.03	22±2			
	IV	0.025±0.004	12.34±0.11	624±25	7.7±2.8	180±13	ND	25±5			
	V	0.139±0.02	2.26±0.13	293±16	5.6±1.5	88±4	ND	31±3			
黨參	I	0.645±0.126	3.83±0.34	1502±470	12.9±3.1	496±118	0.86±0.10	26±7			
	II	0.401±0.066	1.53±0.19	1042±57	8.1±1.7	357±18	0.72±0.18	16±2			
	III	0.344±0.004	12.82±2.87	690±19	8.0±0.8	222±3	2.96±0.29	14±1			
	IV	0.491±0.014	5.70±0.07	1196±151	11.0±2.0	395±49	1.35±0.55	17±5			
	V	0.378±0.052	4.57±0.18	915±72	9.8±1.4	300±19	1.07±0.45	15±2			
黃芩	I	0.150±0.012	1.06±0.03	166±13	4.3±7	48±7	ND	20±4			
	II	0.341±0.093	2.89±0.44	591±34	3.8±0.1	175±35	ND	29±9			
	III	0.168±0.021	2.52±0.40	208±50	6.4±1.8	58±15	ND	13±3			
	IV	0.165±0.001	4.48±0.16	307±8	6.1±0.8	88±4	ND	17±1			
	V	0.145±0.044	1.38±0.41	154±39	5.8±0.1	41±8	ND	11±2			
山藥	I	0.025±0.008	1.55±0.62	34±5	1.0±0.1	3±1	0.17±0.05	5±1			
	II	0.024±0.006	0.51±0.14	46±1	4.0±0.4	4±1	0.14±0.01	4±1			
	III	0.032±0.005	0.29±0.06	20±4	2.1±0.1	3±1	0.14±0.03	7±1			
	IV	0.031±0.005	3.02±0.05	24±5	1.4±0.2	3±1	ND	6±2			
	V	0.094±0.027	0.36±0.04	43±7	2.6±0.9	7±1	0.37±0.01	6±1			
人參	I	0.177±0.056	1.60±0.41	217±61	14.0±3.1	43±7	ND	18±8			
	II	0.103±0.03	1.07±0.21	99±9	9.6±0.5	13±2	ND	16±2			
	III	0.142±0.042	2.08±0.50	97±6	20.6±1.5	21±1	ND	19±1			
	IV	0.170±0.066	1.90±0.52	100±39	19.2±4.6	21±8	0.11±0.02	22±6			
	V	0.162±0.051	0.72±0.18	81±6	15.1±1.6	11±1	ND	14±1			

表 7. 以中子活化分析法分析中藥中元素含量 II (續)

品名	批號	濃度( $\mu\text{g/g}$ )									
		Co	Cr	Fe	Rb	Sc	Se	Zn			
熟地黃	I	0.236±0.026	4.21±1.51	517±141	6.7±0.7	0.152±0.052	0.75±0.07	12±1			
	II	0.330±0.017	1.57±0.04	850±29	6.8±0.8	0.275±0.017	1.22±0.18	11±3			
	III	0.232±0.015	1.22±0.04	457±21	7.7±0.8	0.148±0.012	0.59±0.09	8±2			
	IV	0.308±0.032	2.39±0.52	815±178	8.5±1.8	0.234±0.043	1.25±0.28	10±1			
	V	0.250±0.007	1.06±0.19	618±49	7.7±1.3	0.191±0.024	0.76±0.19	10±1			
白朮	I	0.067±0.020	0.64±0.20	43±7	13.6±1.1	0.002±0.001	ND	12±1			
	II	0.028±0.005	0.97±0.03	44±6	13.4±1.2	0.003±0.001	ND	16±2			
	III	0.032±0.005	0.78±0.21	34±6	8.2±0.1	0.003±0.001	ND	9±1			
	IV	0.035±0.006	0.58±0.02	31±5	9.0±0.1	0.003±0.001	ND	6±1			
	V	0.034±0.005	0.62±0.06	33±3	9.3±0.1	0.003±0.001	0.84±0.06	8±1			
川芎	I	0.389±0.019	1.67±0.04	343±19	7.8±1.1	0.099±0.009	ND	57±7			
	II	0.514±0.078	2.67±0.65	370±90	9.4±3.4	0.092±0.024	3.52±1.05	32±8			
	III	0.316±0.025	4.84±0.37	216±22	8.6±0.8	0.053±0.010	ND	30±1			
	IV	0.439±0.077	6.96±0.68	427±4	10.1±0.8	0.130±0.005	ND	27±1			
	V	0.518±0.023	4.58±0.07	316±18	8.3±1.6	0.079±0.008	2.93±0.50	30±5			
枸杞	I	0.084±0.002	0.45±0.04	95±8	2.6±0.5	0.023±0.002	ND	18±3			
	II	0.031±0.018	0.30±0.03	58±18	2.5±0.5	0.014±0.006	ND	12±6			
	III	0.127±0.048	0.82±0.08	112±13	3.9±1.4	0.028±0.001	ND	21±4			
	IV	0.074±0.036	1.74±0.42	108±30	4.4±0.8	0.025±0.009	ND	19±1			
	V	0.120±0.038	1.71±0.99	171±62	1.8±0.2	0.036±0.005	ND	17±5			
生地黃	I	0.214±0.095	3.14±0.87	393±187	4.3±0.7	0.113±0.049	0.74±0.33	14±4			
	II	0.258±0.016	2.87±0.05	449±21	6.3±1.2	0.135±0.012	0.59±0.12	13±3			
	III	0.209±0.038	1.18±0.28	361±172	7.1±1.1	0.111±0.039	0.54±0.06	12±1			
	IV	0.207±0.067	1.13±0.26	376±151	6.6±1.0	0.107±0.065	0.47±0.12	12±1			
	V	0.214±0.021	0.85±0.07	339±18	4.6±0.7	0.106±0.006	0.39±0.08	13±1			

表 8 各種中藥元素濃度分布範圍及平均含量

元素	中藥名稱									
	當歸	黨參	黃芩	山藥	人參	熟地	白果	川芎	枸杞	生地
Al (μg/g)	69-778 <sup>a</sup> (290) <sup>b</sup>	183-1882 (833)	311-1147 (668)	1-14 (6)	30-180 (92)	141-1347 (791)	5-22 (12)	366-958 (584)	77-313 (201)	87-997 (489)
As (μg/g)	15-0.37 (0.24)	09-0.71 (0.48)	07-0.20 (0.11)	09-1.26 (0.46)	09-1.18 (0.37)	43-1.04 (0.74)	12-2.36 (0.76)	09-0.36 (0.25)	16-0.21 (0.19)	19-0.61 (0.39)
Cd (ng/g)	4-21 (12)	148-414 (297)	12-22 (17)	7-27 (13)	27-131 (65)	22-59 (38)	1-10 (4)	233-501 (404)	46-158 (89)	13-22 (16)
Cl (mg/g)	75-1.81 (1.22)	19-0.48 (0.27)	15-0.37 (0.23)	99-1.48 (1.09)	34-0.53 (0.42)	87-1.16 (1.00)	11-0.26 (0.17)	59-0.78 (0.70)	11-5.52 (4.25)	90-1.24 (1.10)
Co (ng/g)	13-334 (147)	344-645 (452)	145-341 (194)	24-94 (41)	103-177 (151)	232-330 (271)	28-67 (39)	316-518 (435)	31-127 (87)	207-258 (220)
Cr (μg/g)	91-15.20 (5.78)	53-12.82 (5.23)	06-4.48 (2.36)	04-3.02 (0.62)	33-2.08 (1.22)	06-4.21 (2.18)	10-0.97 (0.58)	67-7.21 (4.57)	07-1.74 (0.67)	73-3.14 (1.40)
Cu (μg/g)	11-15 (13)	3-6 (5)	10-15 (12)	3-6 (5)	3-16 (9)	4-5 (4)	5-6 (6)	12-16 (14)	12-17 (15)	3-5 (4)
Fe (μg/g)	255-624 (427)	690-1502 (1117)	151-591 (296)	20-46 (32)	79-217 (112)	454-850 (641)	26-44 (34)	216-427 (311)	58-171 (107)	245-449 (328)
Hg (ng/g)	5-26 (13)	8-17 (12)	11-26 (21)	2-16 (12)	11-67 (29)	ND	7-25 (14)	13-54 (34)	27-60 (47)	11-45 (23)
K (mg/g)	7-13.0 (5.8)	8-14.0 (7.0)	2-10.8 (6.5)	2-8.2 (4.7)	0-23.2 (11.7)	9-11.6 (7.8)	5-13.9 (8.6)	7-13.7 (7.9)	61-15.4 (11.6)	9-13.7 (9.4)
Mg (mg/g)	68-2.37 (1.91)	52-1.73 (1.13)	95-10.67 (9.30)	05-0.73 (0.38)	20-2.64 (1.74)	02-2.09 (1.31)	77-1.53 (1.10)	38-3.48 (2.74)	63-1.22 (0.96)	65-1.16 (0.89)
Mn (μg/g)	3-25.7 (20.0)	9-52.8 (41.3)	8-50.2 (27.3)	5-4.5 (2.7)	2-75.9 (45.8)	3-15.7 (13.1)	8-10.6 (8.4)	6-48.1 (37.9)	2-22.1 (12.4)	5-10.9 (8.8)
Na (mg/g)	12-0.33 (0.22)	06-0.20 (0.12)	48-1.27 (0.80)	03-0.44 (0.32)	04-0.82 (0.29)	04-1.54 (1.26)	10-0.60 (0.24)	23-2.11 (1.62)	51-7.29 (5.25)	76-1.22 (0.97)
Ni (μg/g)	66-5.06 (3.14)	92-5.17 (4.37)	04-3.23 (1.57)	07-0.22 (0.14)	81-4.45 (2.19)	24-2.20 (1.74)	01-1.98 (1.63)	87-6.05 (5.25)	44-0.77 (0.85)	76-1.21 (0.97)
Pb (ng/g)	25-125 (77)	155-427 (251)	194-369 (265)	17-79 (43)	78-163 (123)	281-760 (459)	47-76 (62)	194-498 (321)	157-394 (259)	223-338 (270)
Rb (μg/g)	8-8.1 (6.3)	0-12.9 (10.0)	8-6.4 (5.3)	0-4.0 (2.2)	6-20.6 (15.7)	7-8.5 (7.5)	2-13.6 (10.7)	8-10.1 (8.8)	8-4.4 (3.0)	3-7.1 (5.8)
Sc (ng/g)	84-180 (125)	222-496 (354)	41-175 (82)	3-7 (4)	11-43 (22)	148-275 (200)	2-3 (3)	53-130 (91)	14-36 (25)	106-135 (114)
Se (μg/g)	20-0.26 (0.23)	72-2.96 (1.39)	ND	14-0.37 (0.11)	11 (0.11)	59-1.25 (0.91)	84 (0.84)	93-3.52 (3.22)	ND	39-0.74 (0.55)
V (μg/g)	52-1.57 (1.01)	78-4.31 (3.55)	44-1.96 (0.83)	06-0.12 (0.08)	10-0.29 (0.16)	08-1.47 (1.30)	38 (0.38)	67-1.39 (0.94)	18-0.42 (0.29)	65-0.90 (0.78)
Zn (μg/g)	14-32 (25)	4-26 (15)	11-29 (16)	3-7 (5)	8-23 (16)	7-12 (9)	6-16 (9)	19-57 (30)	12-21 (17)	8-14 (11)

<sup>a</sup> 表示分析濃度範圍，<sup>b</sup> 表示平均分析值; ND: 無法定量

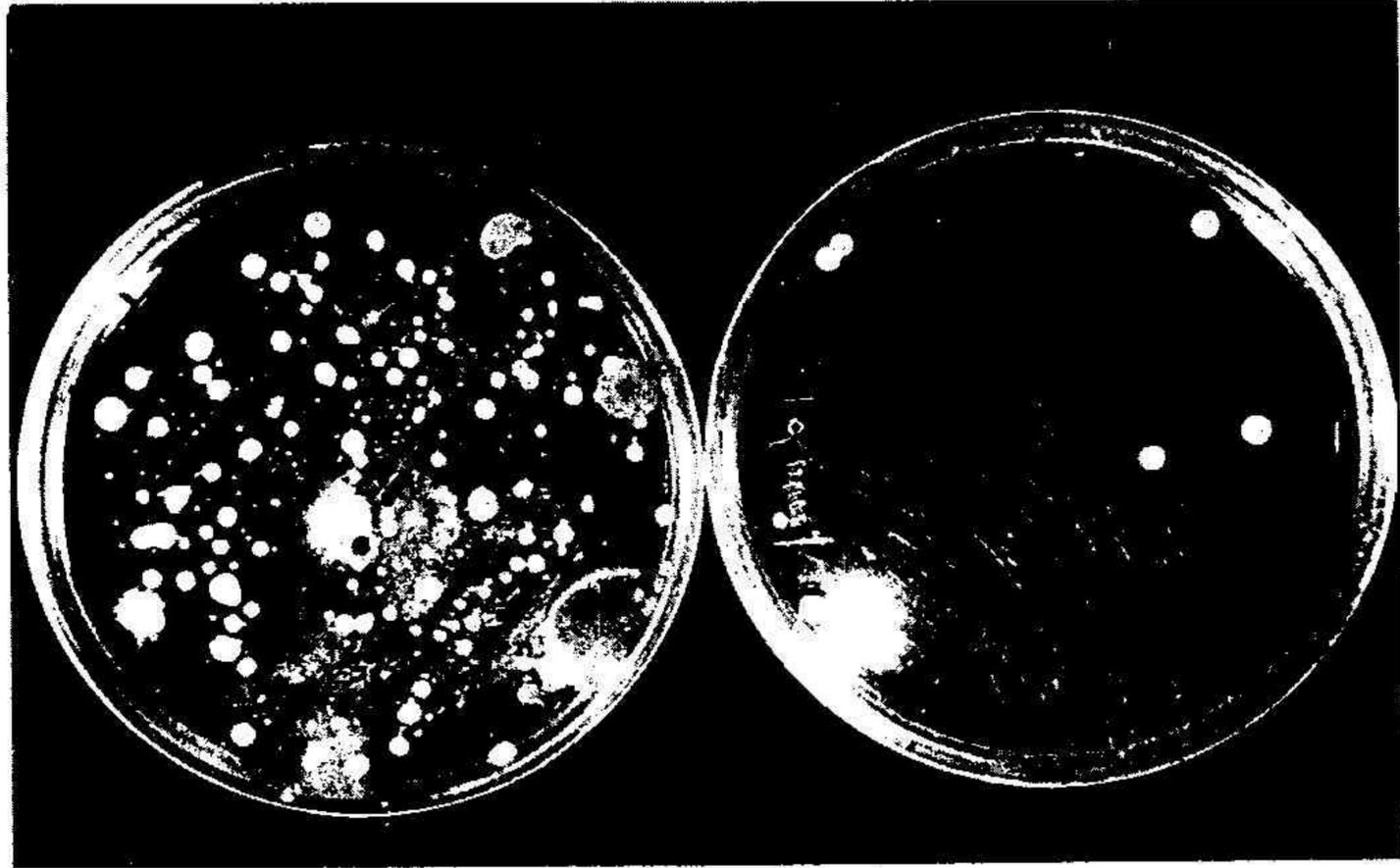


圖 1 枸杞(a)未經照射與(b)經 10kGy 照射樣品的磷酸緩衝液於培養基  
上之微生物相

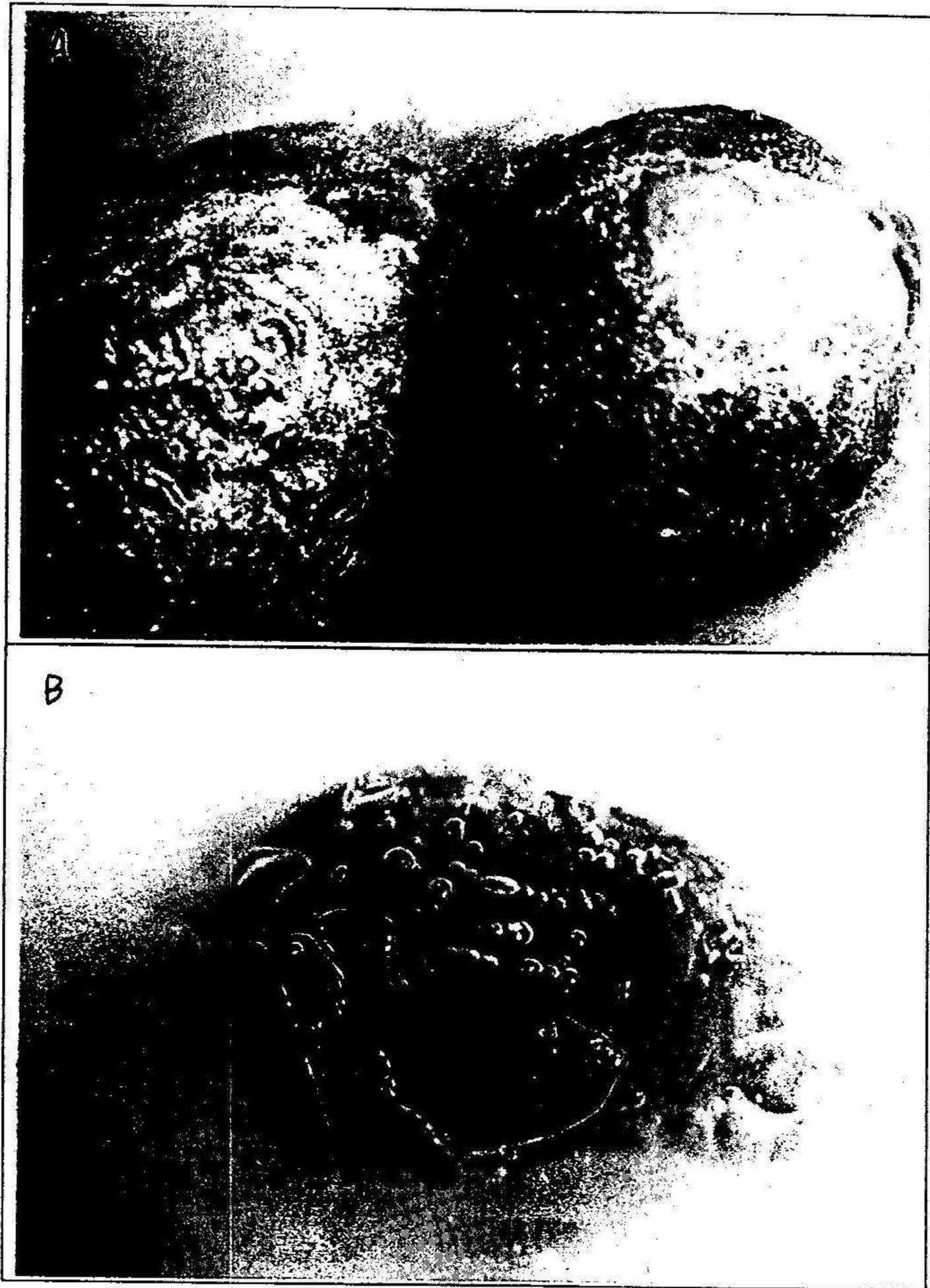


圖 2 解剖顯微鏡下觀察未經輻射處理之枸杞樣品於 PCA 培養基上經三天後之(A)微生物生長與(B)微生物產氣情形

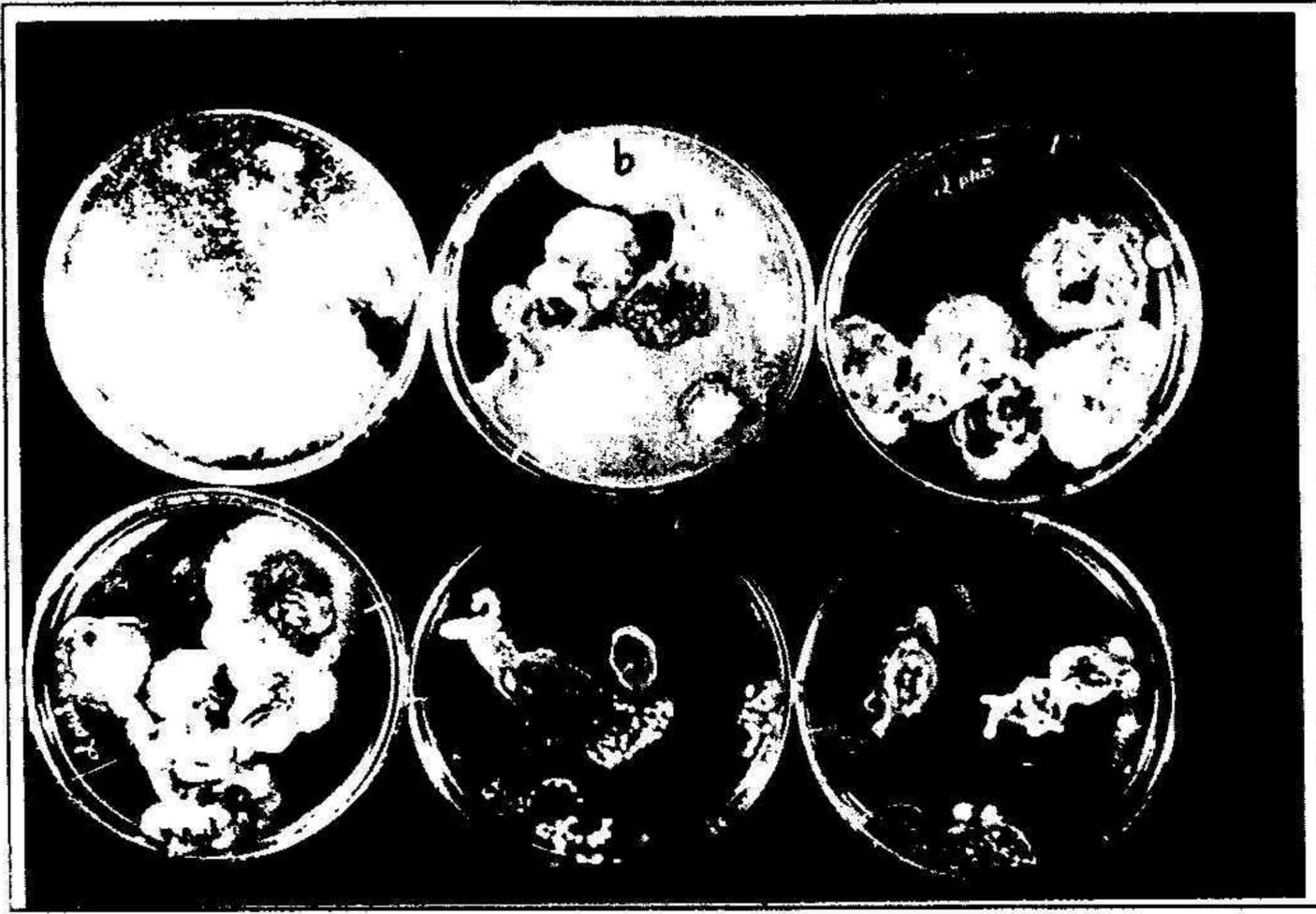


圖3 枸杞樣品經0、2、4、6、8、10 kGy 照射處理後於培養基上之微生物相。

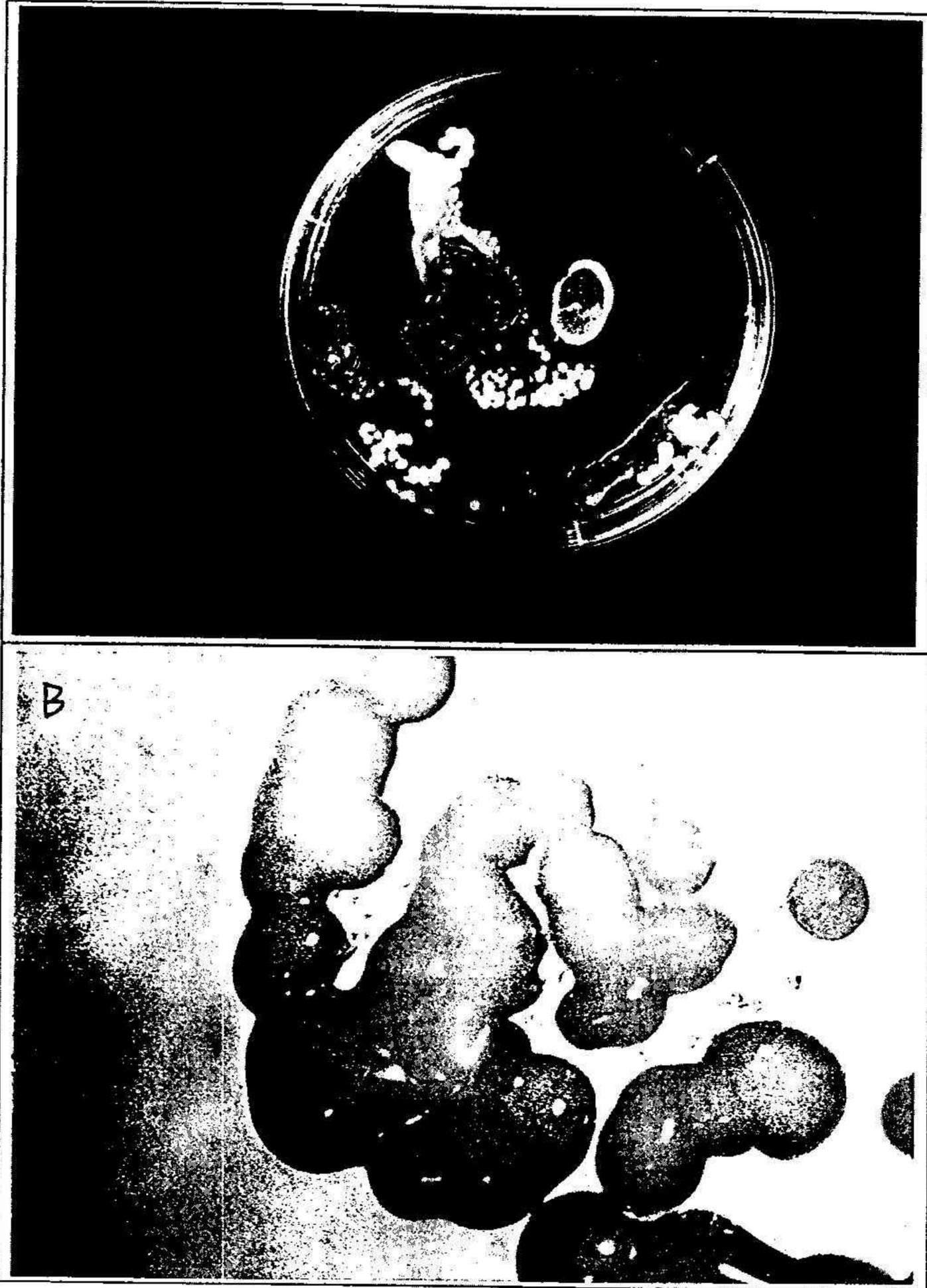


圖 4 枸杞樣品(A)經 8 kGy 照射後於培養基上之微生物相與(B)菌株局部放大

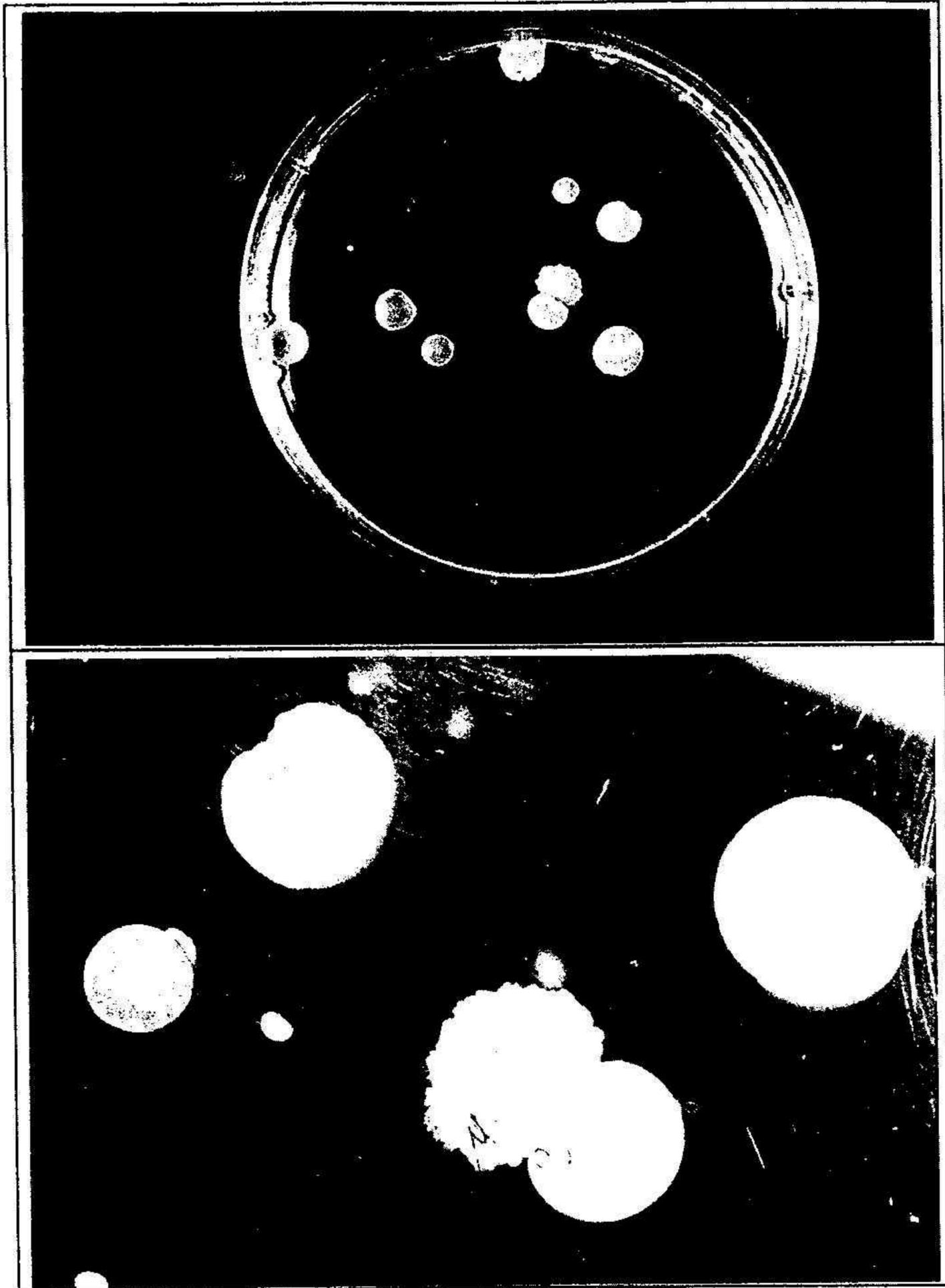


圖 5 人參樣品之磷酸緩衝液經 10000 倍稀釋後塗抹於培養基平板上之微生物相。(A)目測、(B)解剖顯微鏡下觀察



圖 6 人參樣品(a、b、c、d、e、f)經 0、2、4、6、8、10 kGy 照射處理後於培養基平板上之微生物相。

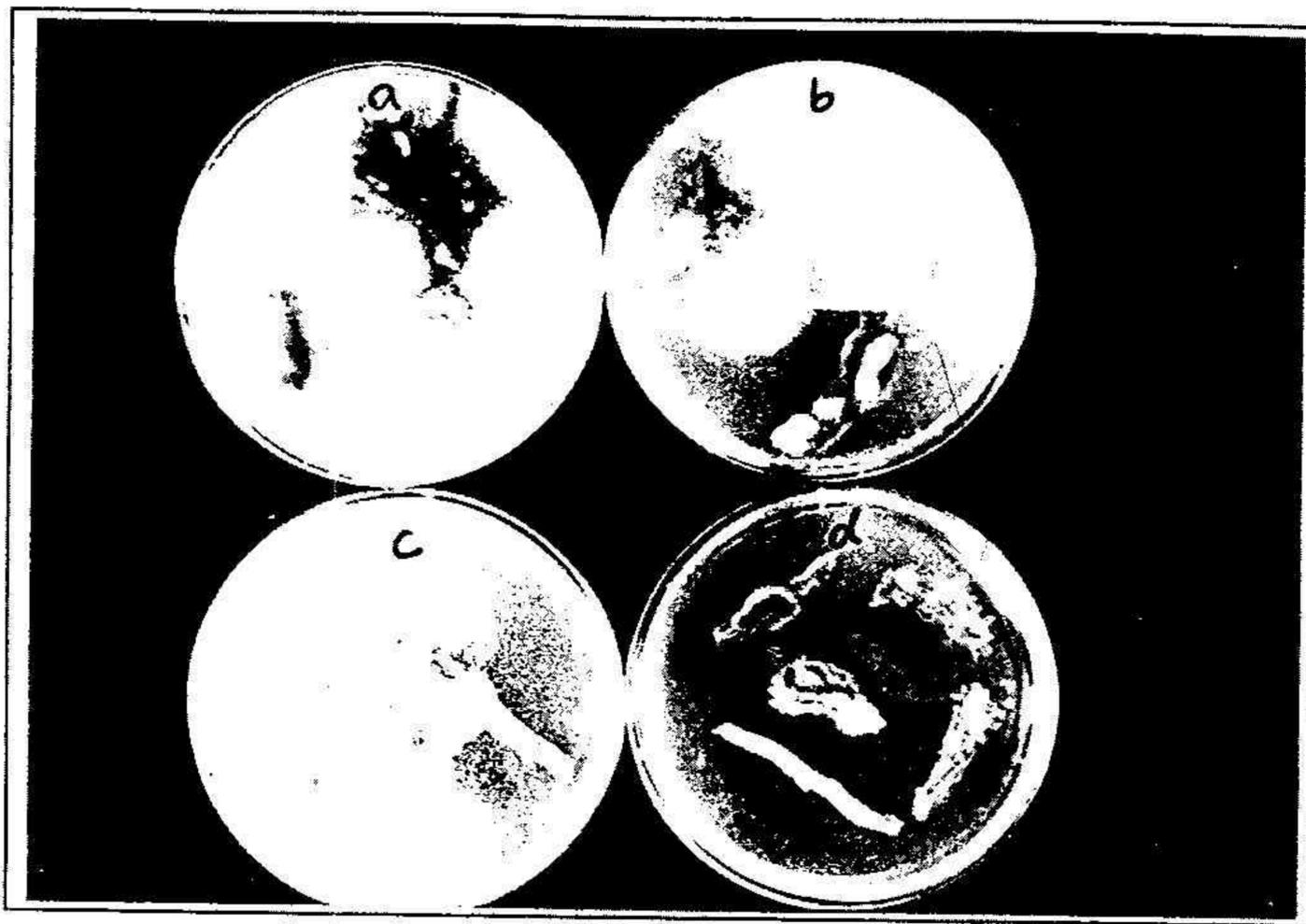


圖 7 黃芩樣品(a、b、c、d)經 0、4、10、12 kGy 照射處理後於培養基平板上之微生物相。

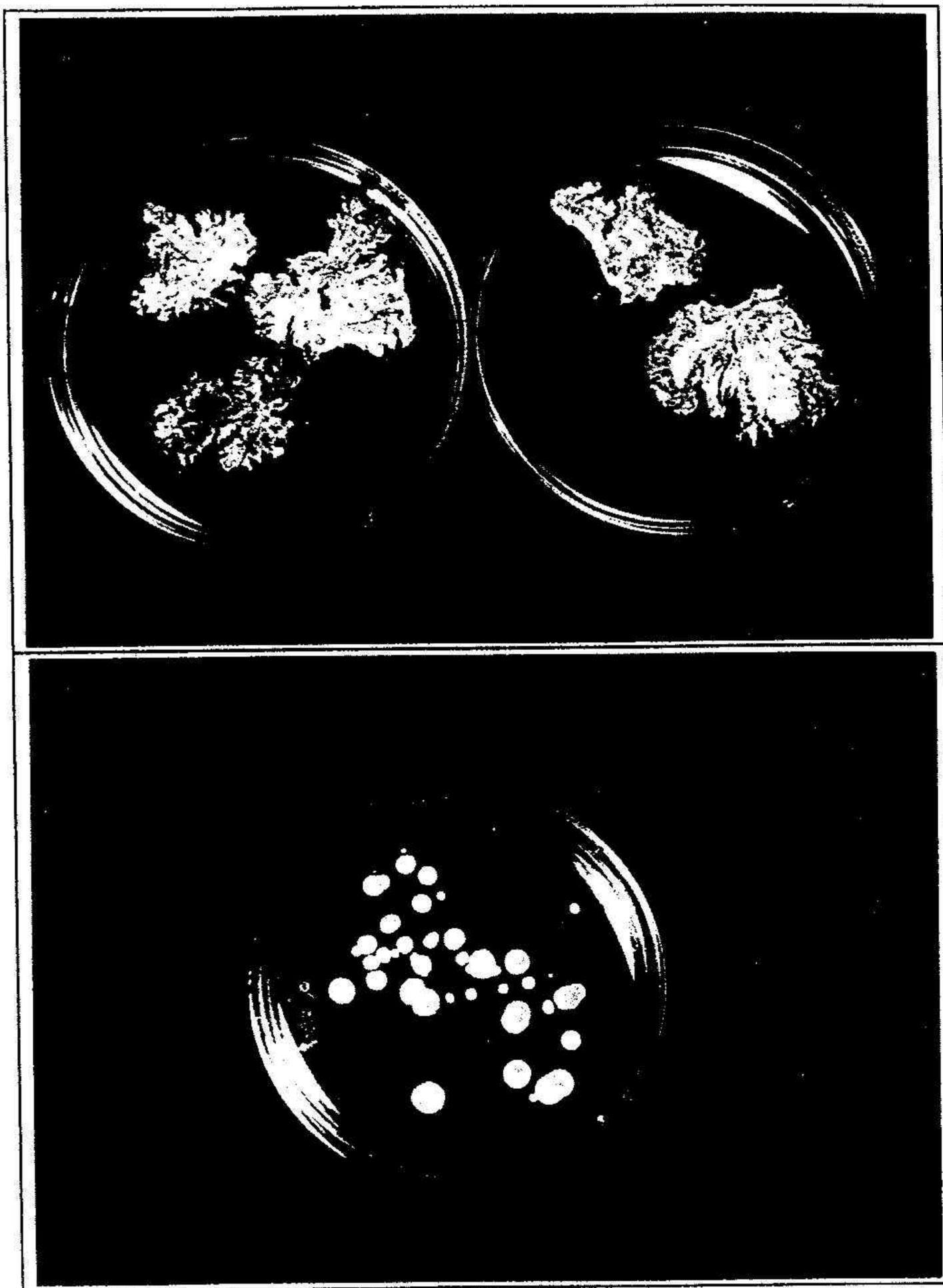


圖 8 (A)培養基上放置 3 天之川芎樣品(未經照射)  
(B)川芎樣品之磷酸緩衝液經 10 倍稀釋後塗抹於培養基上之微生物相。

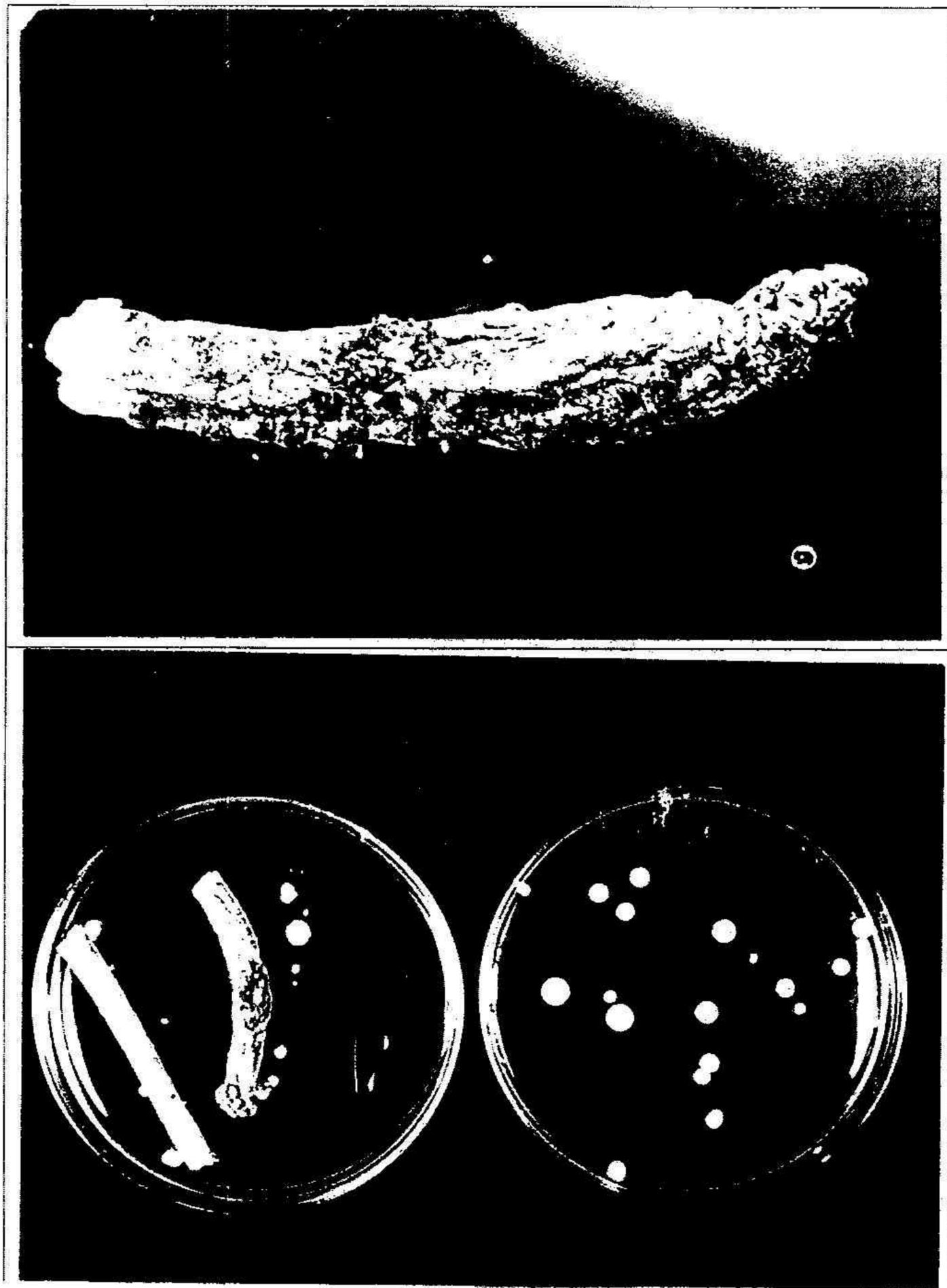


圖 9 (A)黨參樣品中有昆蟲寄生

(B)黨參樣品 a: 於培養基平板上之微生物相、b:其磷酸緩衝液經 100 倍稀釋後塗抹於於培養基上之微生物相。

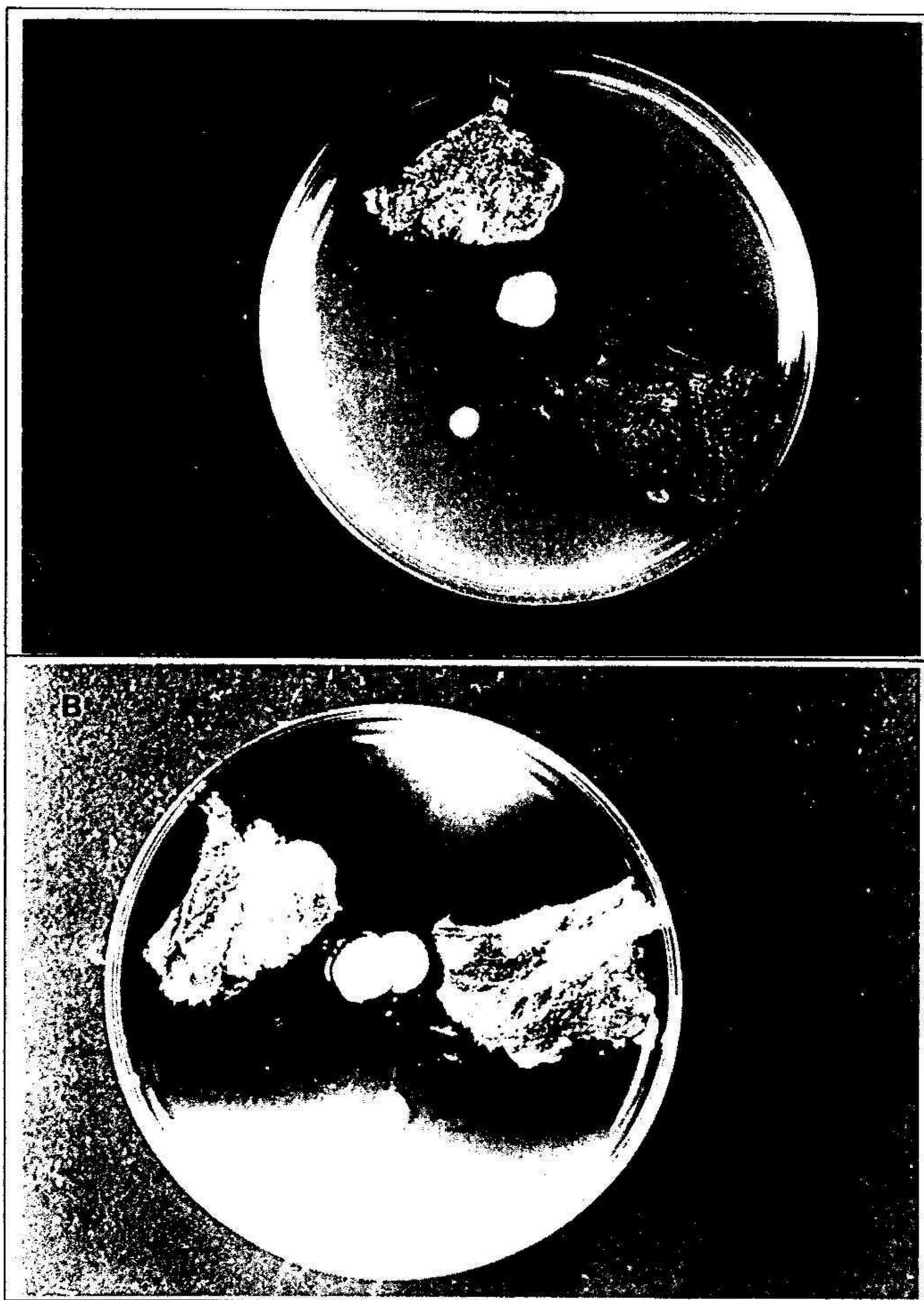


圖 10 生地樣品置於培養基表面(A)2天、(B)7天後之微生物生長狀況

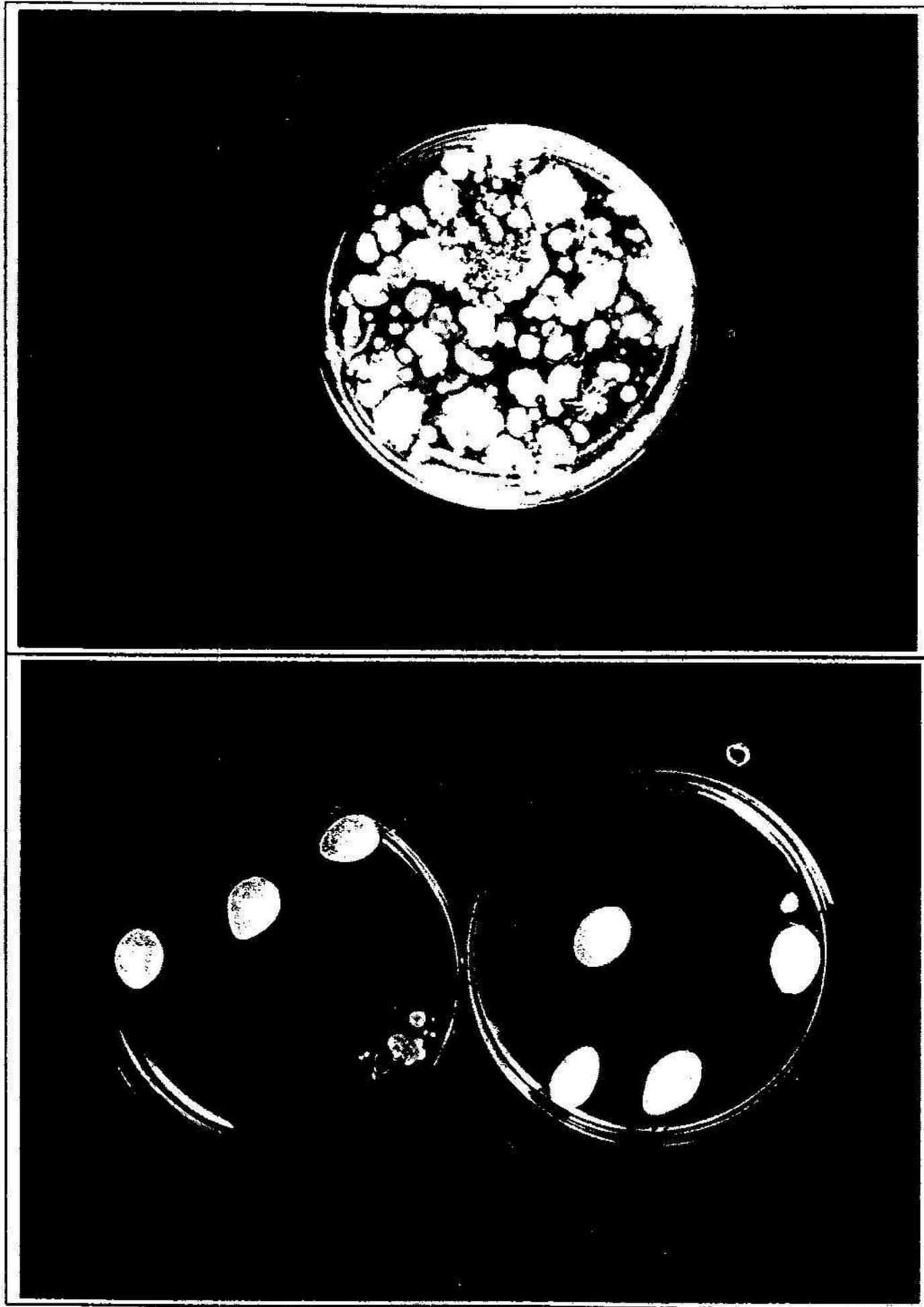


圖 11 (A)白果樣品置於培養基平板上之微生物相  
(B)白果樣品之磷酸緩衝液經 10 倍稀釋後塗抹於培養基上之微生物相

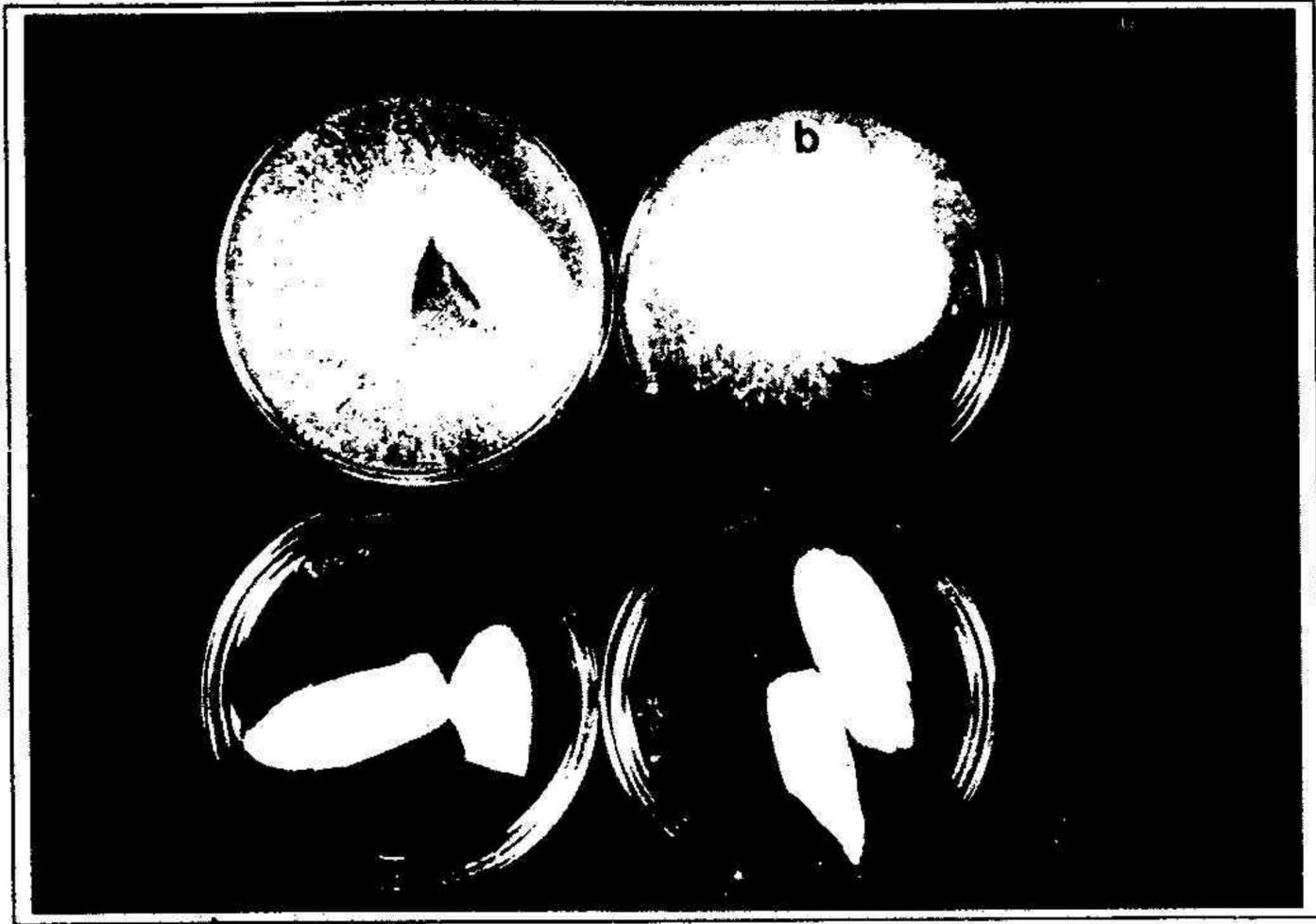


圖 12 山藥樣品(a、b、c、d)經 0、2、4、6 kGy 照射後於培養基平板上之微生物相

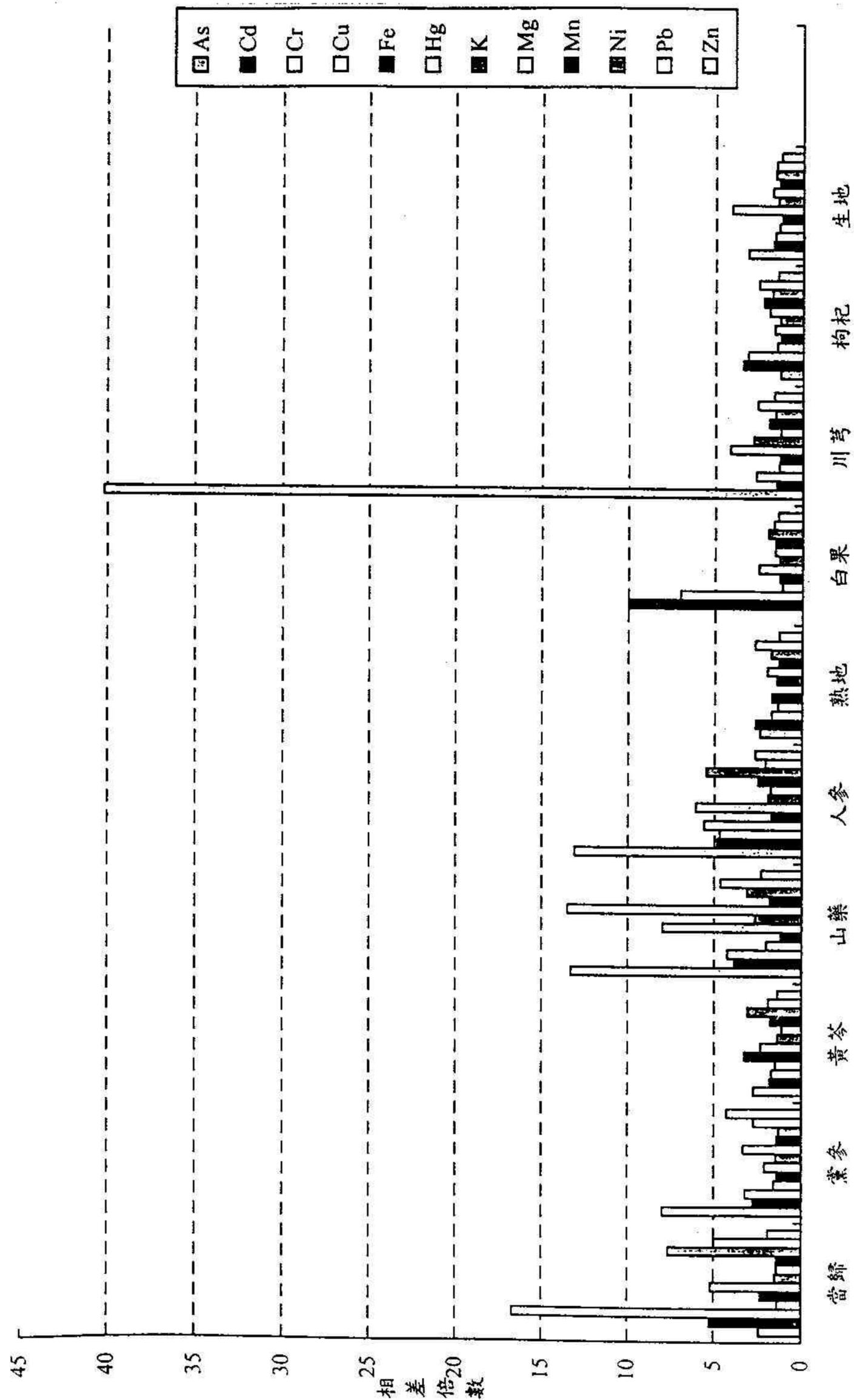


圖13. 中藥以AA分析其元素含量於五批次取樣間之最高與最低濃度比值分析

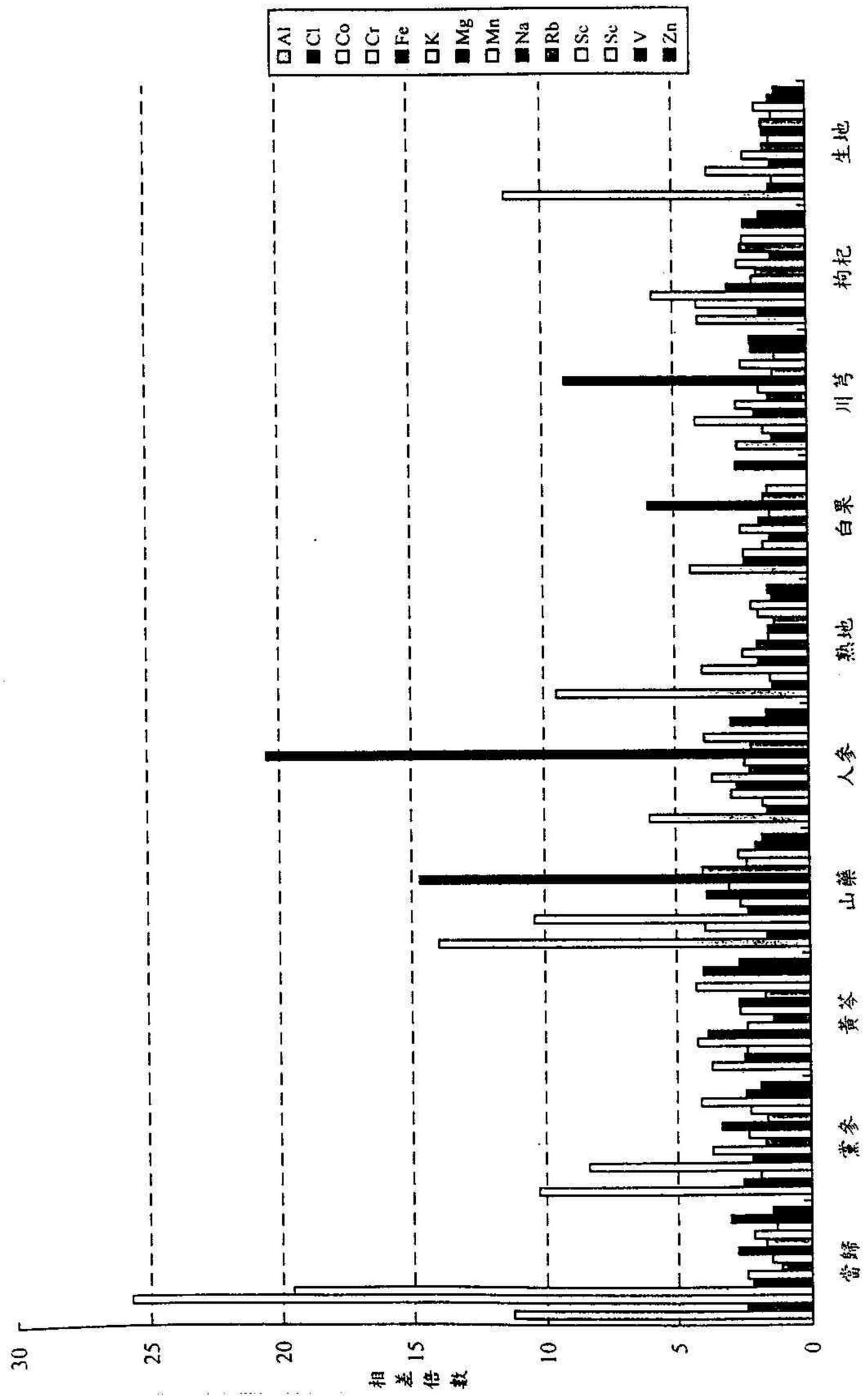


圖14. 中藥材以NAA分析元素含量於五個批次取樣間之最高與最低濃度比值分析

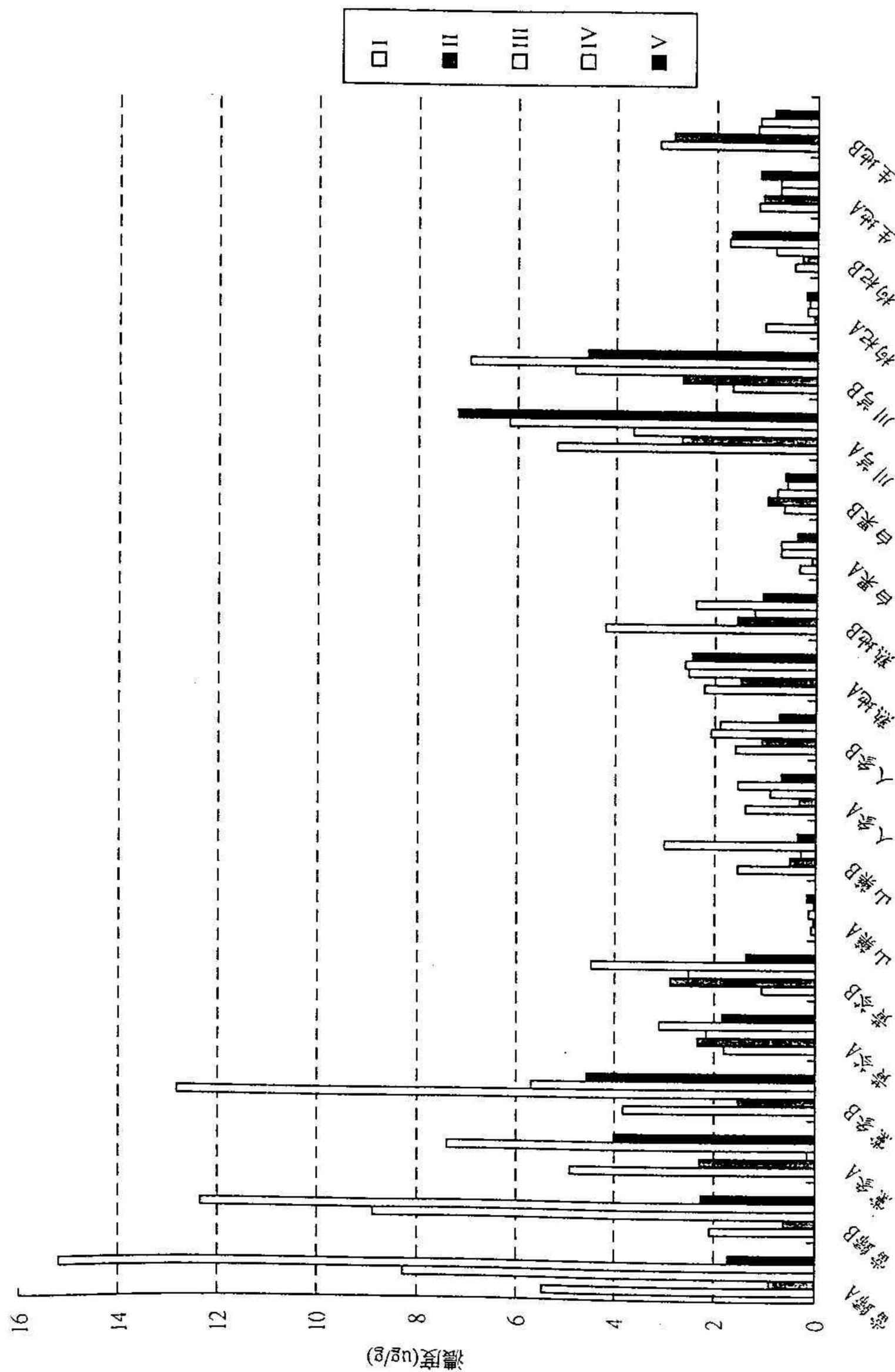


圖15.比較AA與NAA所測得10種中藥材之五批樣品中Cr含量之差異(A=AA;B=INAA)

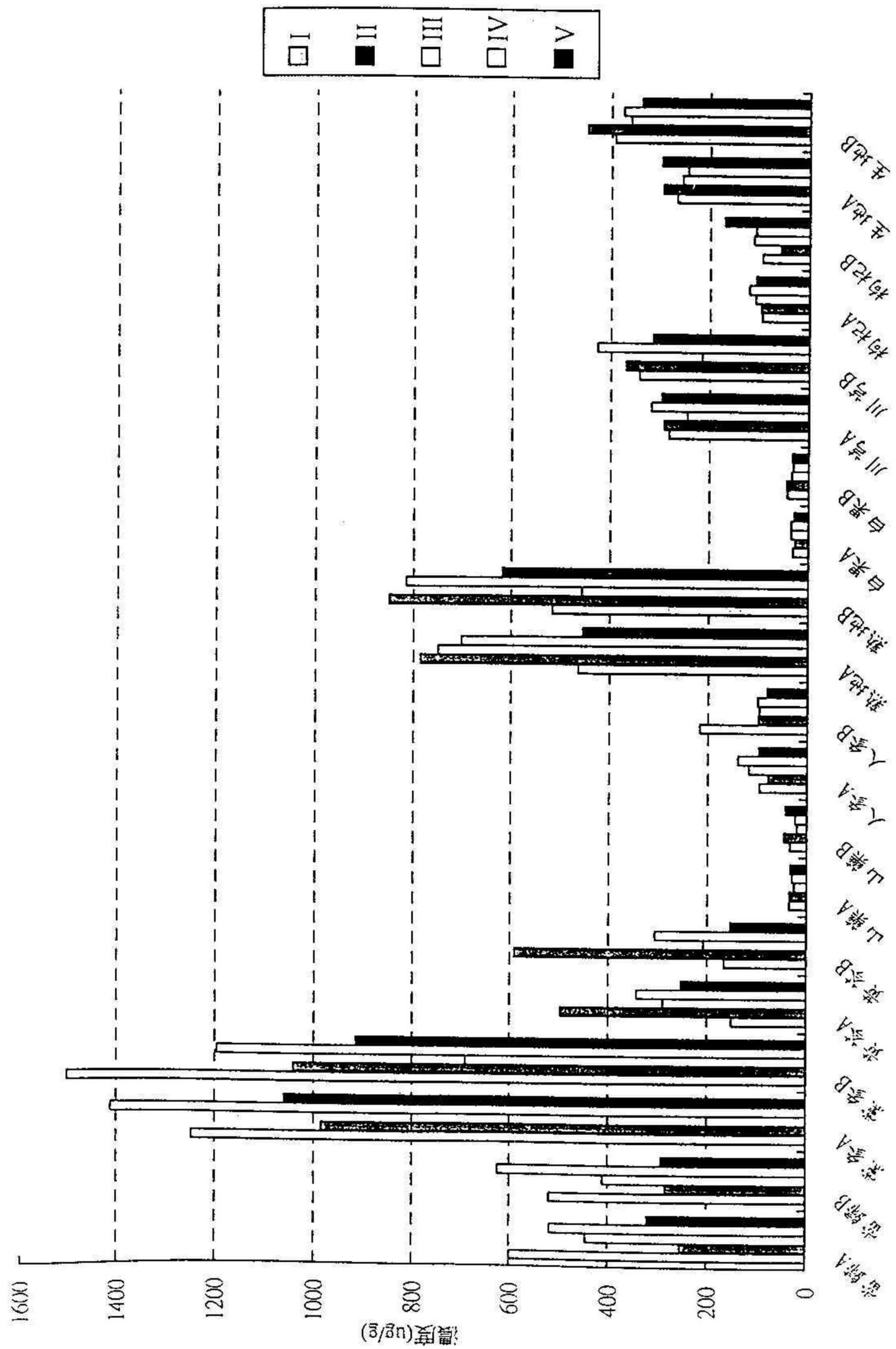


圖16. 比較AA與NAA所測得10種中藥材之五批樣品中Fe含量之差異(A=AA; B=NAA)

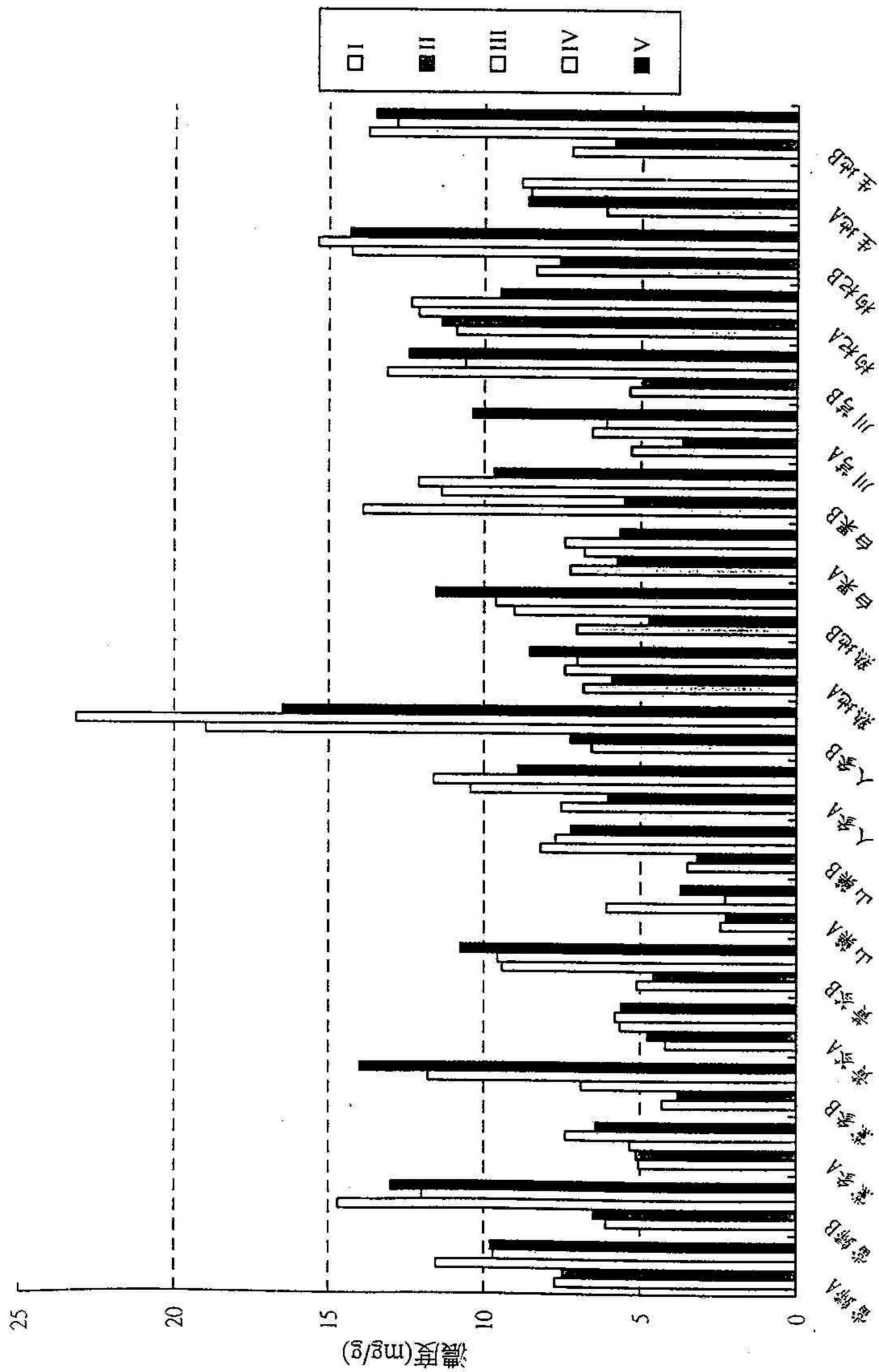


圖17. 比較AA與INAA所測得10種中藥材之五批樣品中鉀含量之差異(A=AA; B=NAA)

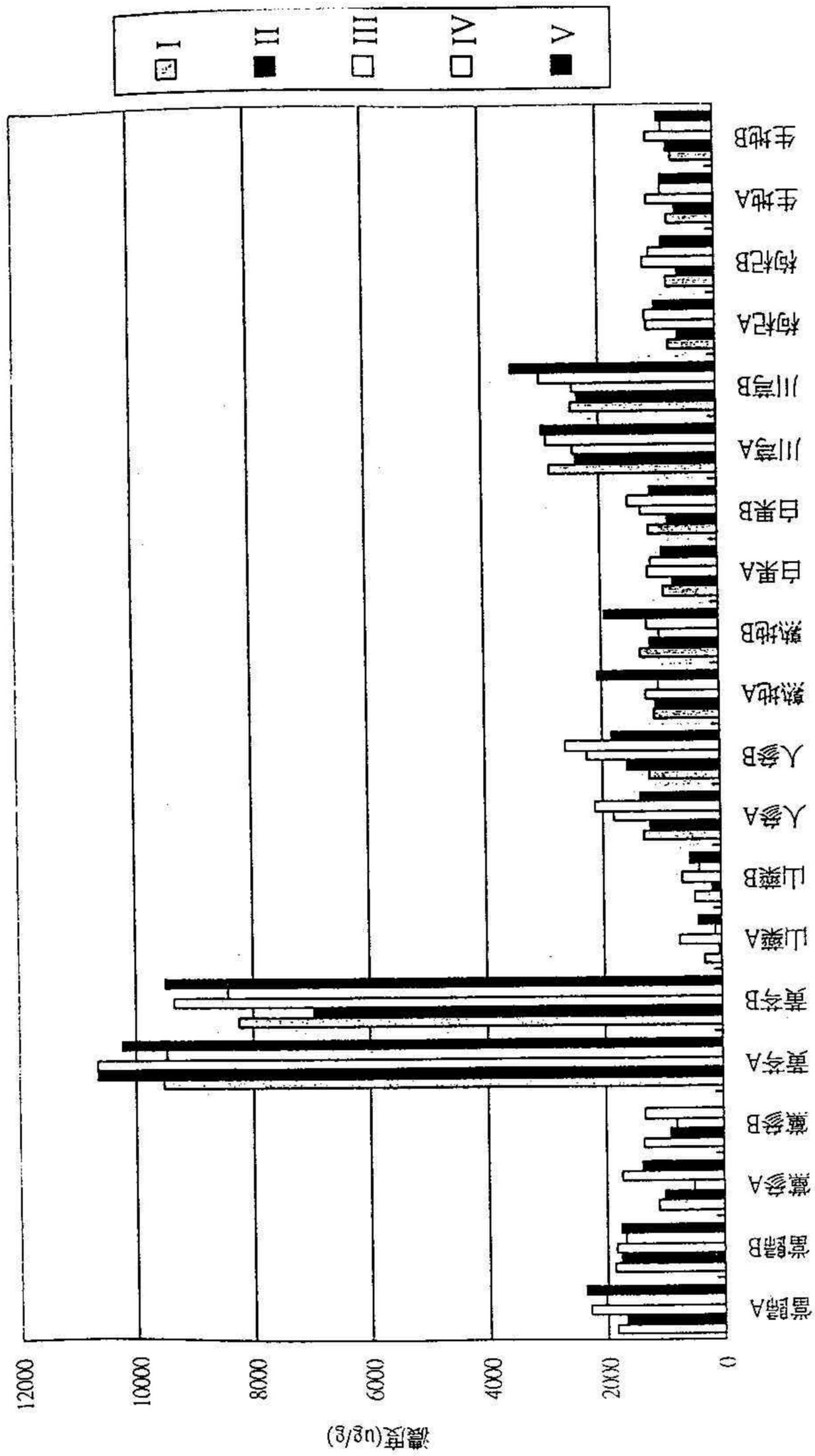


圖 18 比較 AA 與 NAA 所測得 10 種中藥材之五批樣品中鎂含量之差異 (A=AA; B=NAA)

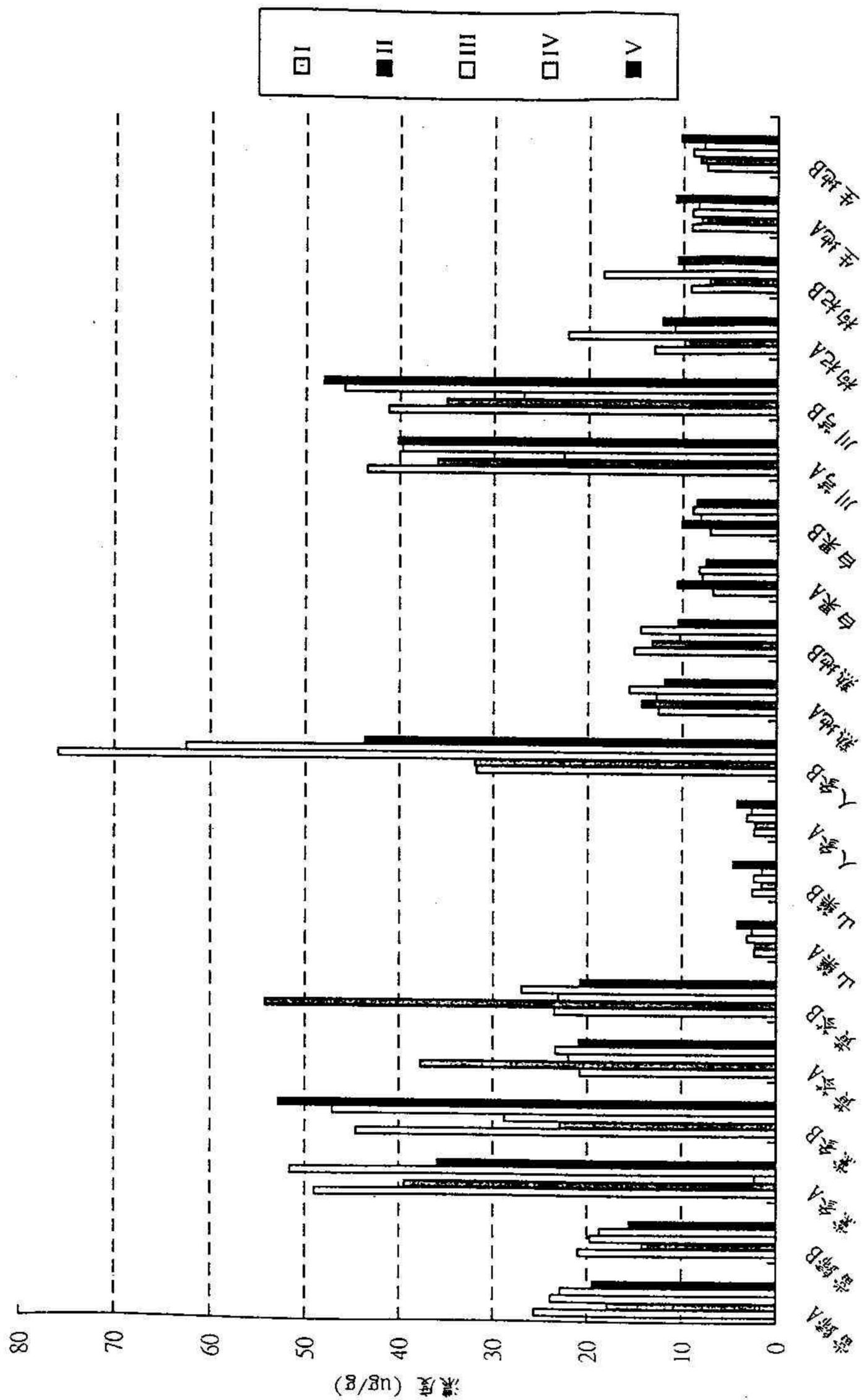


圖19.比較AA與INAA所測得10種中藥材之五批樣品中錳含量之差異(A=AA; B=INAA)

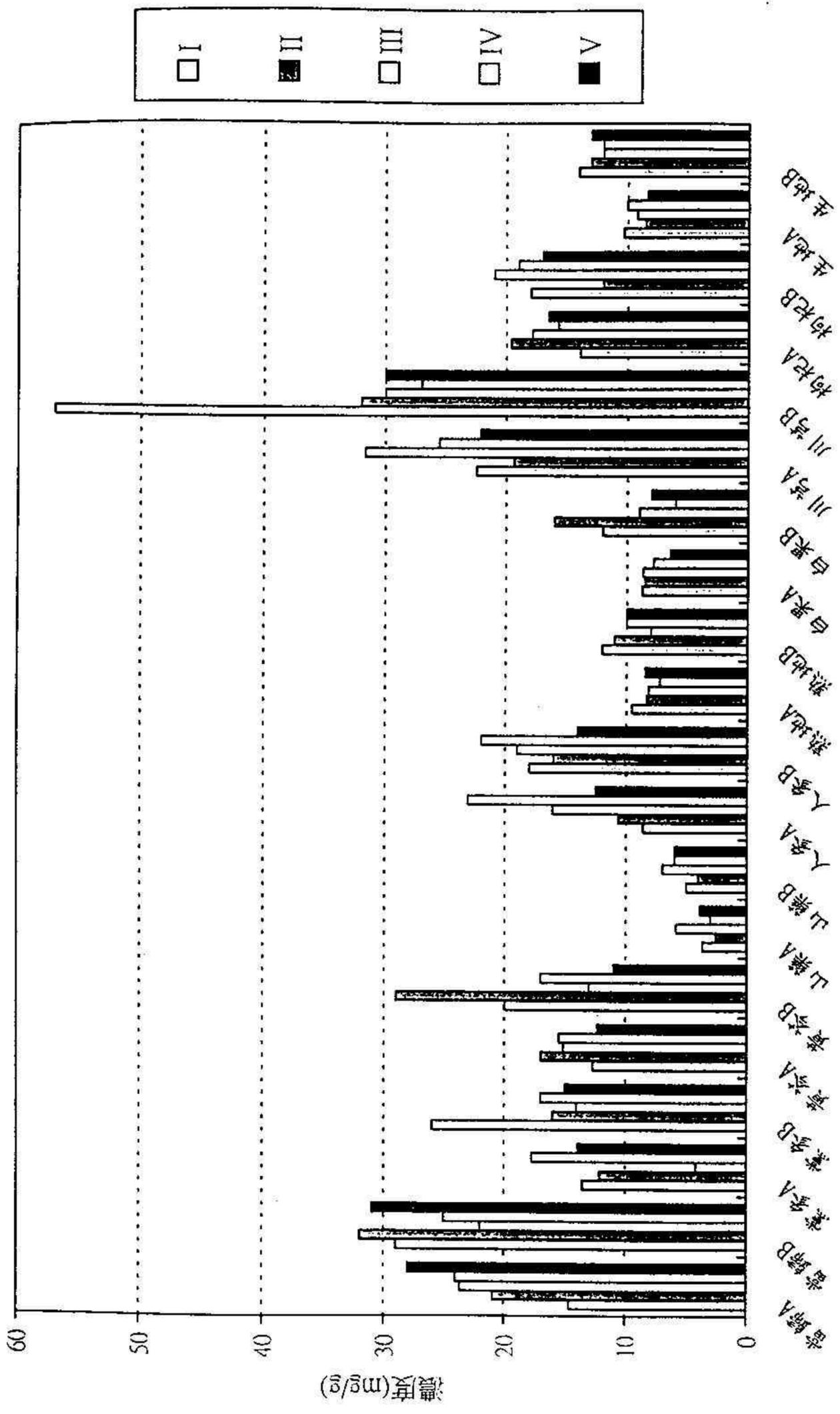


圖20 比較AA與NAA所測得10種中藥材之五批樣品中鋅含量之差異(A=AA; B=NAA)

