

中的濃度有高度關聯，因此分析牧草中 Cu、Se 含量可分辨各類牧草來源。

自古以來，茶便是世界重要的飲品。不同產區的茶葉會有不同的風味，因此鑑別茶葉的來源地在農產品是一重要的議題。過去對於茶葉產地鑑別的研究也都應用上述元素含量特徵的觀念，也就是分析茶葉中元素含量的特徵，進而透過化學計量分析 (chemometrics) 予以區別 (Marcos *et al.* 1998; Fernández-Cáceres *et al.* 2001; Moreda-Piñero *et al.* 2001; Moreda-Piñero *et al.* 2003; Karak & Bhagat 2010)。例如，Marcos *et al.* (1998) 分析產自孟加拉、斯里蘭卡、中國、印度、日本、非洲，以及 2 個未知茶葉之元素包括鋁 (Al)、鋇 (Ba)、鈣 (Ca)、鎘 (Cd)、鈷 (Co)、鉻 (Cr)、銫 (Cs)、銅 (Cu)、鐵 (Fe)、汞 (Hg)、鐳 (La)、鋰 (Li)、鎂 (Mg)、錳 (Mn)、釷 (Nd)、鎳 (Ni)、鉛 (Pb)、鐳 (Po)、鉀 (Rb)、硒 (Se)、錫 (Sn)、銦 (Sr)、鈦 (Ti)、釩 (V)、鋅 (Zn) 和鋯 (Zr) 的含量，經主成分分析 (principal components analysis; PCA) 後可區分出非洲茶葉、非中國茶葉、中國茶葉、未知茶葉及各別獨立的茶葉 5 個部分；其主要之區分元素為 Al、Ca、Fe、Mg 及 Mn；這些元素與氣候因子有關，因為高溫高濕氣候會造成高度風化的土壤，而此高度風化的土壤其中 Al、Fe、Mn 含量會偏高，而 Ca、Mg 含量會偏低 (Kämpf *et al.* 2000)。再者 Pilgrim *et al.* (2010) 收集中國、印度、斯里蘭卡及台灣 4 個地區的茶葉，分析茶葉中的鋇 (Ba)、鉍 (Bi)、鎘 (Cd)、銻 (Ce)、鈷 (Co)、鉻 (Cr)、銫 (Cs)、銅 (Cu)、鎔 (Eu)、鎳 (Ga)、鐳 (La)、銱 (Nb)、鎳 (Ni)、鉛 (Pb)、鐳 (Pr)、鉀 (Rb)、銦 (Sr)、鈦 (Ti)、鉍 (Tl)、鉕 (Y) 以及碳 (C)、氫 (H) 同位素，並以線性判別分析 (linear discriminant analysis; LDA) 結果可區分中國與台灣、印度及斯里蘭卡 3 群產地。

本研究團隊長期研究目標是擬透過分析農產品中的元素特徵，佐以相關統計分析，期能建立區別台灣農產品與他國農產的方法及經驗，而茶葉是我們第一個是標的試驗作物。茶樹 (*Camellia sinensis*) 為台灣重要的經濟作物，台灣製茶技術更是世界聞名，因此如何鑑

別是否為台灣原產之茶葉至為重要。如前述過去文獻的研究中，在利用化學計量分析時對於化學元素 (參數) 之擇取並未被探討過。不適當的化學元素進入統計分析可能造成不正確之判釋。因此，本篇試驗即探討常見之不同元素類別如微量元素、風化特徵元素及肥料特徵元素在 PCA 處理的適用性，期能以此初步試驗之經驗成果，作為後續應用在其他農產品鑑別之重要參考依據。

材料與方法

茶葉標本

在本試驗中主要分 2 個族群去比較：台灣茶及非台灣茶 (外國茶)；台灣茶 12 個標本，非台灣茶 8 個，在統計處理上此 2 族群數目尚可匹配。台灣茶葉 12 標本於 2011–2012 年間直接購自南投縣境內之茶農，計有名間鄉標本 6 個 (茶種計有紅玉 1 個、金萱 2 個、四季春 1 個、烏龍茶 2 個)，鹿谷鄉標本 4 個 (均為烏龍茶)，仁愛鄉 2 個 (金萱及烏龍茶各 1 個)。國外茶葉共計 8 個，包含中國標本 3 個 (烏龍茶 2 個及紅茶 1 個)，越南 1 個 (未標示茶種)，馬來西亞 1 個 (紅茶)，印度 1 個 (未標示茶種)，斯里蘭卡 2 個 (紅茶)。由於國外茶葉由當地直接取得不易，因此這些標本是在台灣購買而在包裝上標示明確國家產地之茶葉。

元素分析

本試驗分析之元素，依其來源特性可分為三類：(1) 微量元素，包括銀 (Ag)、砷 (As)、硼 (B)、鋇 (Ba)、鎘 (Cd)、銻 (Ce)、鈷 (Co)、鉻 (Cr)、銫 (Cs)、銅 (Cu)、鎳 (Ga)、鎘 (Ge)、鉬 (Mo)、鎳 (Ni)、鉛 (Pb)、鉀 (Rb)、硒 (Se)、銦 (Sr)、鈦 (Ti)、釩 (V)、鎢 (W)、鋅 (Zn)、鋯 (Zr)。一般而言，微量元素在植物中的含量少，且人為添加的機率低，故可真實地反映茶葉產地之土壤母質特徵。(2) 風化特徵元素，包括鋁 (Al)、鐵 (Fe)、錳 (Mn)。在土壤中 Al、Fe、Mn 氧化物為土壤風化程度指標 (Kämpf *et al.* 2000)；風化程度較高之土壤其 Al、Fe、Mn 氧化物含量也高。同一國家內不

同地區土壤雖有相似之母質(微量元素特徵)，但可能因風化程度相異造成各地植體內 Al、Fe、Mn 含量變異大。因此，Al、Fe、Mn 之風化特徵元素亦如微量元素，可能有區域性之差異。(3) 肥料特徵元素，包括鈣(Ca)、鉀(K)、鎂(Mg)、磷(P)、硫(S)。這些元素為肥料中常見之元素，亦為植體中的大量元素。各茶葉產地茶農之施肥習性可能不同，因此，Ca、K、Mg、P、S 等肥料特徵元素的差異可反映在植體中。

茶葉標本採集編錄後以瑪瑙研鉢磨碎成細粉，再置於烘箱(RHD602, RISEN, Taichung, Taiwan)以 70°C 烘乾 12 h。之後秤取 0.25 g 的樣品放置於消化瓶中，加入 5 mL 的濃硝酸及 0.5 mL 的過氧化氫之消化液，放入微波萃取系統(Microwave Extraction System, MARS 6 Extraction, CEM, Matthews, NC, USA)中加熱至 200°C，維持 10 min。當定量至 100 mL 再以 Whatman 42 號濾紙過濾，濾液保存待測。本試驗以感應耦合電漿原子發射光譜分析儀(Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy; ICP-OES; Jobin Yvon ULTIMA 2C, HORIBA, Kyoto, Japan)測定肥料及風化特徵元素，及以感應耦合電漿質譜儀(Inductively Coupled Plasma-Mass Spectroscopy; ICP-MS; 7500 ICP-MS, Agilent, Santa Clara, CA, USA)測定微量元素。

茶葉標本分析同時以空白試驗及標準添加，確認樣品中有無基質干擾或所用的檢測方法是否適當。分析結果原則以 mg kg^{-1} 表示，如濃度過大則以 % 表之。至少每 10 個樣品執行一個重複樣品分析。若重複分析差異大於 5%，則重複樣品之分析。

主成分分析 (PCA)

PCA 主要是藉由多數數據整合為單一變項的線性組合來解釋其變項的共同變數結構，以達到資料簡化與解釋的目標。簡單來說，將茶葉元素測得的元素含量之數據作為資料點，透過資料點找到一條軸(線性函數或成分)，當資料點投影至軸時，讓各點的距離在軸上有最大的變異量，達到區分的效果。再利用同方法找到

第 2 條新軸，再找第 3、4、5 條軸等，且各軸相互垂直，使資料點在兩軸的變異不會重疊。

各軸資料點(投影點)的變異量被稱為特徵值，擁有最大特徵值的軸被命名為主成分一(PC1)；第 2 大解釋變異量的軸為主成分二(PC2)，以此類推。資料點在主成分中得到的大小，也就是負荷量(loading)，亦為資料點與主成分的相關係數，資料點的在主成分的負荷量越大，代表它對此主成分的影響力越高。

本研究使用 SPSS 19.0 版軟體執行 PCA，各成分是以主成分方法萃取，得點(score)則是以迴歸方法計算儲存。結果解釋如下：(1) 使用主成分分析可透過樣品於成分上的得點，並相互作用圖，作為區分來源。(2) 主成分分析能萃取樣品之間的一致性(communality)，也就是根據各成分中主特徵之關係，找出隱藏因子，通常會給予隱藏因子名稱。(3) 依據特徵與成分的相關係數大小，也就是負荷量大小，萃取出主要特徵，而負荷量越大，則此特徵於成分的影響力越高；反之，若特徵與成分負荷量越小，則此特徵於成分的影響力越小。(4) 主成分分析中會依據成分的解釋量選擇負荷量最大的幾個特徵作為主特徵，主特徵代表影響此成分最大的幾個特徵。

結果與討論

元素含量特徵

微量元素

由 21 個微量元素含量分析結果顯示，台灣茶葉的鈦及硒含量似有異於國外茶葉的現象。台灣茶葉的鈦含量分布範圍從 0.566–0.723 mg kg^{-1} (圖 1A)，平均值為 0.627 mg kg^{-1} ；此值低於國外茶葉平均含量的 1.083 mg kg^{-1} 。然而中國茶葉鈦含量範圍為 0.522–1.957 mg kg^{-1} ，部分與台灣茶葉重疊。此外，台灣茶葉的硒含量範圍為 0.018–0.043 mg kg^{-1} (圖 1B)，平均為 0.028 mg kg^{-1} 。其他國家茶葉除馬來西亞與印度外，硒含量則皆大於 0.05 mg kg^{-1} 。馬來西亞茶葉與印度茶葉的硒含量落於台灣茶葉之範圍內，分別為 0.019 mg kg^{-1} 及 0.032 mg kg^{-1} 。

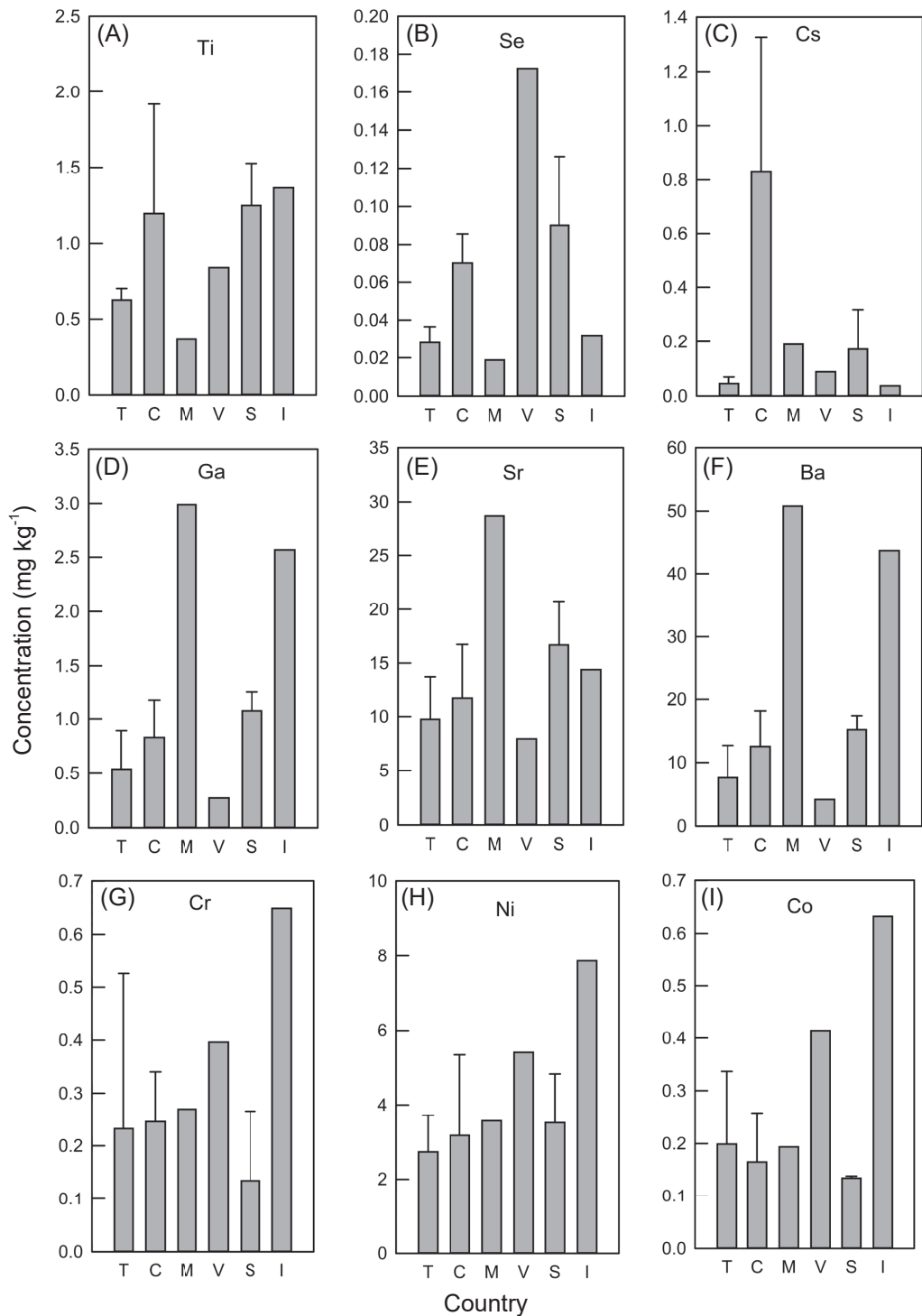


圖 1. 各國茶葉之微量元素含量比較圖。(A) 鈦；(B) 硒；(C) 銫；(D) 鎵；(E) 鋇；(F) 鋇；(G) 鉻；(H) 鎳；(I) 鈷。T：台灣；C：中國；M：馬來西亞；V：越南；S：斯里蘭卡；I：印度。

Fig. 1. Diagrams showing trace-element concentrations of tea samples of each country. (A) Ti; (B) Se; (C) Cs; (D) Ga; (E) Sr; (F) Ba; (G) Cr; (H) Ni; and (I) Co. T: Taiwan; C: China; M: Malaysia; V: Vietnam; S: Sri Lanka; and I: India.

肥料特徵元素

由肥料特徵元素磷、硫、鉀、鈣及鎂的分析結果顯示(圖3)，台灣茶葉所有的肥料特徵元素含量皆與國外茶葉無明顯差異。以磷而言(圖3A)，台灣茶葉含量的平均值及分布範圍分別為0.28% (0.22–0.32%)，國外之值為0.26% (0.18–0.43%)。以硫而言(圖3B)，台灣茶葉

含量的平均值及分布範圍分別為0.21% (0.16–0.27%)，國外之值為0.23% (0.20–0.26%)。以鉀而言(圖3C)，台灣茶葉含量的平均值及分布範圍分別為1.74% (1.36–2.15%)，國外之值為1.80% (1.25–2.35%)。以鈣而言(圖3D)，台灣茶葉含量的平均值及分布範圍分別為0.39% (0.31–0.50%)，國外之值為0.43%

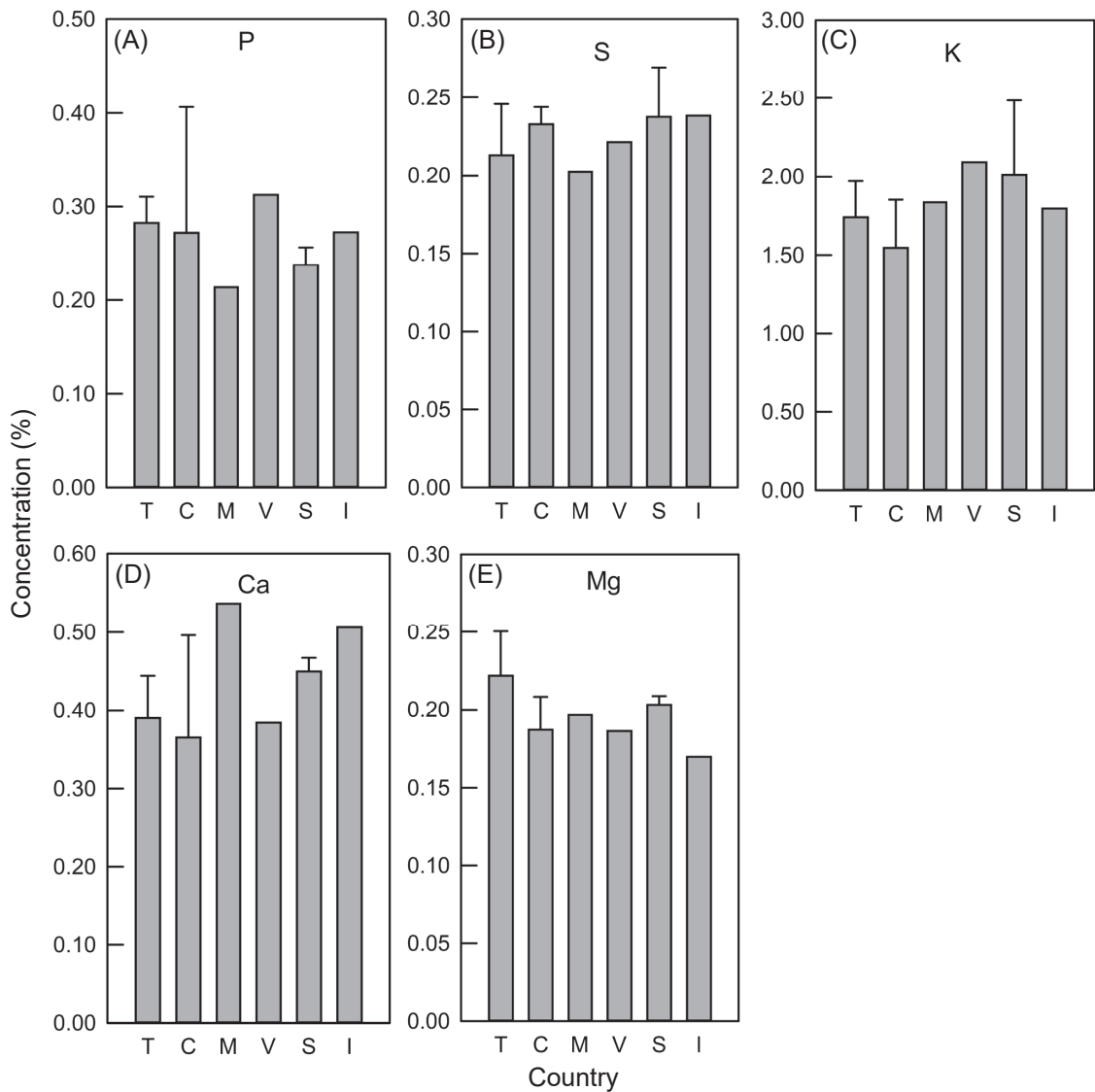


圖3. 各國茶葉之肥料特徵元素含量比較圖。(A) 磷；(B) 硫；(C) 鉀；(D) 鈣；(E) 鎂。T：台灣；C：中國；M：馬來西亞；V：越南；S：斯里蘭卡；I：印度。

Fig. 3. Diagrams showing fertilizer-element concentrations of tea samples of each country. (A) P; (B) S; (C) K; (D) Ca; and (E) Mg. T: Taiwan; C: China; M: Malaysia; V: Vietnam; S: Sri Lanka; and I: India.

(0.29–0.54%)。以鎂而言(圖 3E)，台灣茶葉含量的平均值及分布範圍分別為 0.22% (0.17–0.28%)，國外之值為 0.19% (0.16–0.21%)。由上述肥料特徵元素含量特徵比較，也無法區別台灣茶葉與國外茶葉。

綜上所述，以目前之分析結果而言，目前無一個元素含量特徵可直接清楚辨別出台灣茶葉與國外茶葉。

主成分分析

本試驗分以微量元素 (T)、微量元素和風化特徵元素 (TW)、微量元素和肥料特徵元素 (TF)、所有元素 (A) 等四種數據組進行 PCA 分析。

微量元素數據組 (T)

本數據組共有 23 個元素含量作為特徵，PCA 分析結果顯示(表 1)，在 T-PC4 以下的

表 1. 各成了解說總變異量。

Table 1. Amount of variance of each principal component.

Component	Eigenvalues		
	Total	Amount of variance (%)	Cumulative (%)
T-PC1	5.61	24.40	24.40
T-PC2	4.39	19.07	43.48
T-PC3	3.07	13.36	56.84
T-PC4	2.34	10.18	67.02
T-PC5	2.04	8.86	75.87
TF-PC1	5.90	21.07	21.07
TF-PC2	4.57	16.33	37.40
TF-PC3	4.22	15.06	52.45
TF-PC4	2.91	10.40	62.85
TF-PC5	2.28	8.16	71.01
TW-PC1	6.19	23.80	23.80
TW-PC2	4.68	18.00	41.80
TW-PC3	3.89	14.97	56.77
TW-PC4	2.61	10.05	66.82
TW-PC5	2.06	7.92	74.74
A-PC1	6.38	20.59	20.59
A-PC2	5.39	17.40	37.99
A-PC3	4.62	14.89	52.88
A-PC4	3.14	10.13	63.01
A-PC5	2.36	7.62	70.63

成分能解釋變異量已低於 10%，能反映的特徵已過少，故選取 T-PC1 至 T-PC4。T-PC1 的主要特徵為銅、砷、鈦、釩及鎢，解釋變異量為 24.40%；T-PC2 的主要特徵為硼、鎘、鉛及銻，解釋變異量為 19.07%；T-PC3 的主要特徵為鎘、鋇及鋇，解釋變異量為 13.36%；T-PC4 的主要特徵為鉬及硒，解釋變異量為 10.18%。

由 T-PC1、T-PC2、T-PC3 及 T-PC4 各成分間彼此作圖比較顯示，T-PC1 對 T-PC4 之作圖能明顯區分台灣茶葉與國外茶葉(圖 4)，總解釋變異量為 34.58%。台灣茶葉 T-PC1 的得點分布為 -1.234–0.702，國外茶葉為 -0.469–2.941；台灣茶葉 T-PC4 的得點分布為 -0.231–1.628，國外茶葉為 -2.006–0.197(圖 4)。依 T-PC1 的主要特徵而言，由負荷量大小依序為鈦、釩、銅、砷及鎢(表 1)。目前並不清楚 T-PC1 的隱藏因子為何，除了砷元素以外，其他皆為過渡金屬。另一方面，T-PC4 的主要特徵負荷量為鉬及硒，目前也不清楚 T-PC4 的隱藏因子為何。

微量元素和風化特徵元素數據組 (TW)

本數據組共有 26 個元素含量作為特徵，PCA 分析結果顯示(表 1)，TW-PC4 以下的成了解釋變異量已小於 10%，故選取 TW-PC1 至 TW-PC4。TW-PC1 的主特徵為砷、鈦、釩、鎘及鐵，解釋變異量為 23.80%；TW-PC2 的主特徵為硼、鎘、鉛及銻，解釋變異量為 18.00%；TW-PC3 的主特徵為鋇、鎘及鋇，解釋變異量為 14.97%；TW-PC4 的主特徵為鉬及鉍，解釋變異量為 10.05%。在上述各主成分之主特徵中，鐵、鋁為風化特徵元素。

由 TW-PC1、TW-PC2、TW-PC3 及 TW-PC4 各成分間彼此作圖比較顯示，TW-PC1 對 TW-PC4 作圖亦可區分台灣茶葉與國外茶葉(圖 5)。數據組 T 與 TW 之主特徵相較，T-PC1 中的銅及鎢被鎘及鐵取代；T-PC4 之主特徵則與 TW-PC4 不同。TW-PC1 中的鐵為土壤風化因子，代表土壤風化因子對鑑別能力具有影響力。因此，微量元素加入風化特徵元素的組合亦能區分台灣茶葉與國外茶葉。

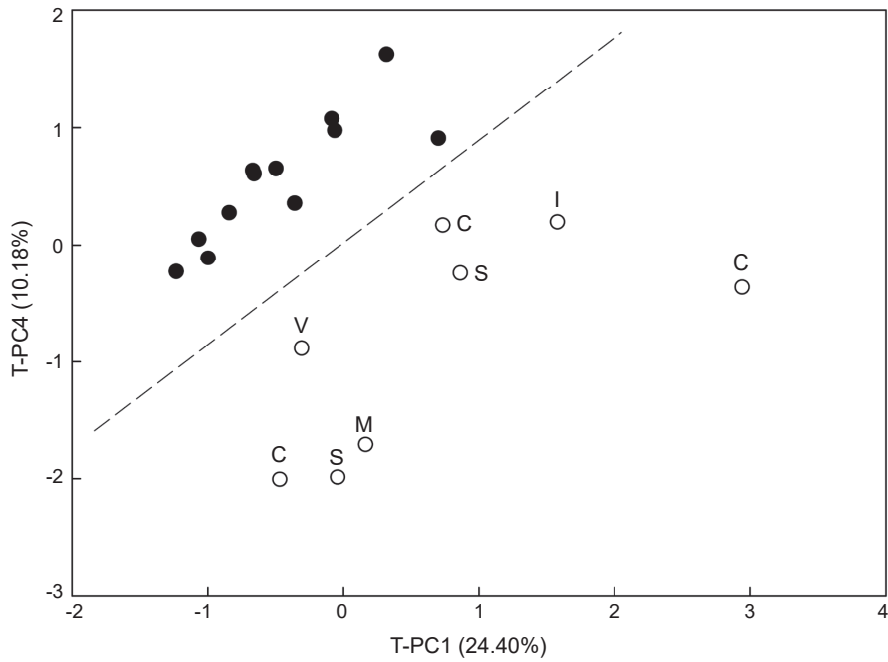


圖 4. T-PC1 與 T-PC4 之作圖。●：台灣茶葉；○：國外茶葉 (C：中國；M：馬來西亞；V：越南；S：斯里蘭卡；I：印度)。

Fig. 4. Plot of T-PC1 vs. T-PC4. ● : Taiwan tea; ○ : Foreign tea (C: China; M: Malaysia; V: Vietnam; S: Sri Lanka; and I: India).

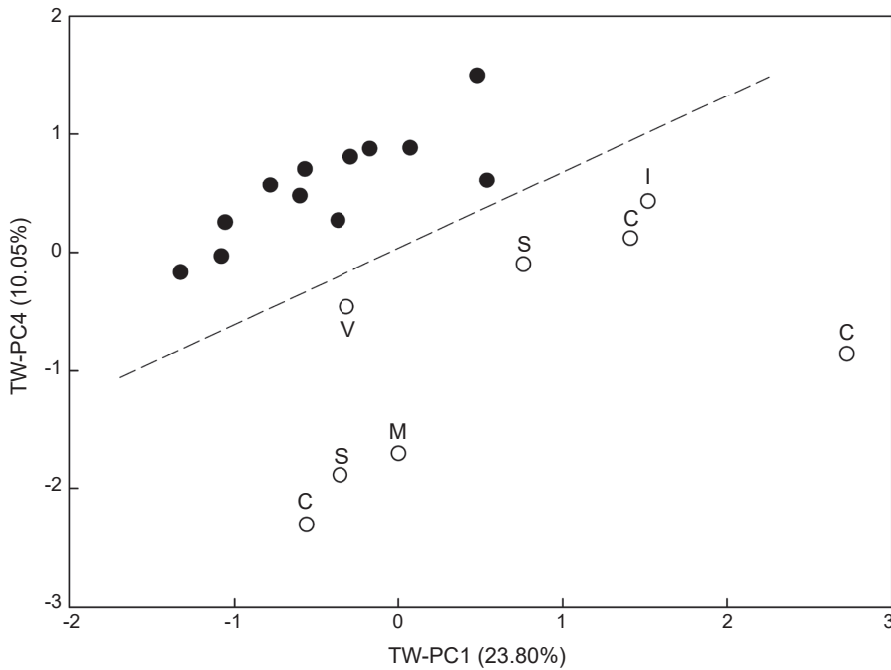


圖 5. TW-PC1 與 TW-PC4 之作圖。●：台灣茶葉；○：國外茶葉 (C：中國；M：馬來西亞；V：越南；S：斯里蘭卡；I：印度)。

Fig. 5. Plot of TW-PC1 vs. TW-PC4. ● : Taiwan tea; ○ : Foreign tea (C: China; M: Malaysia; V: Vietnam; S: Sri Lanka; and I: India).

微量元素和肥料特徵元素數據組 (TF)

本數據組共有 28 個元素含量作為特徵，PCA 分析結果顯示 TF-PC4 以下的成分解釋變異量已小於 10%，故選取 TF-PC1 至 TF-PC4 (表 1)，TF-PC1 的主特徵為銅、鋅、砷、鈦及鈳，解釋變異量為 21.07%；TF-PC2 的主特徵為硼、鎘、鉛及銻，解釋變異量為 16.33%；TF-PC3 的主特徵為銻、鋇、銻及鈣，解釋變異量為 15.06%；TF-PC4 的主特徵為鉬及硫，解釋變異量為 10.40%。在主特徵中，硫為肥料特徵元素。

然而由 TF-PC1、TF-PC2、TF-PC3 及 TF-PC4 各成分間彼此作圖比較，無論何種組合皆無法明顯區分台灣茶葉與國外茶葉。以圖 6 之 TF-PC1 對 TF-PC4 作圖為例，各有 1 個中國茶葉及馬來西亞茶葉落在台灣群組與國外群組之重疊區帶。至於肥料特徵元素的加入造成 PCA 區分能力降低的原因為台灣茶葉與國外茶葉的肥料特徵元素含量差異特徵不及於國外茶葉彼此間含量差異特徵來的明顯。這顯示台灣各地區施肥習性差異頗大，甚至可能大於各國間之

差異，導致模糊 (降低) 了 PCA 區分台灣茶葉與國外茶葉的能力。

所有元素 (A)

本數據組共有 31 個元素含量作為特徵，PCA 分析結果顯示 A-PC4 以下的成分解釋變異量已小於 10%，故選取 A-PC1 至 A-PC4 (表 1)。A-PC1 的主特徵為砷、鈦、鈳、鎘、鎢及鐵，解釋變異量為 20.59%；A-PC2 的主特徵為鋅、鉛、銻、鈣及鋁，解釋變異量為 17.40%；A-PC3 的主特徵為硼、鎘、鋇及鈣，解釋變異量為 14.89%；A-PC4 的主特徵為鉬、硒及硫，解釋變異量為 10.13%。在主特徵中，鐵、鋁為風化特徵元素，及鈣、硫為肥料特徵元素，其餘為微量元素。同時，由本數據組之 A-PC1 對 A-PC4 作圖顯示可區分台灣茶葉與國外茶葉 (圖 7)。

雖然前揭微量元素加入肥料特徵元素後 (TF 數據組)，會使 PCA 無法區分台灣茶葉與國外茶葉；然而，由圖 7 顯示，TF 數據組再加入風化特徵元素後似會降低來自肥料特徵元素的干擾，再度顯現 PCA 的區分能力。此原

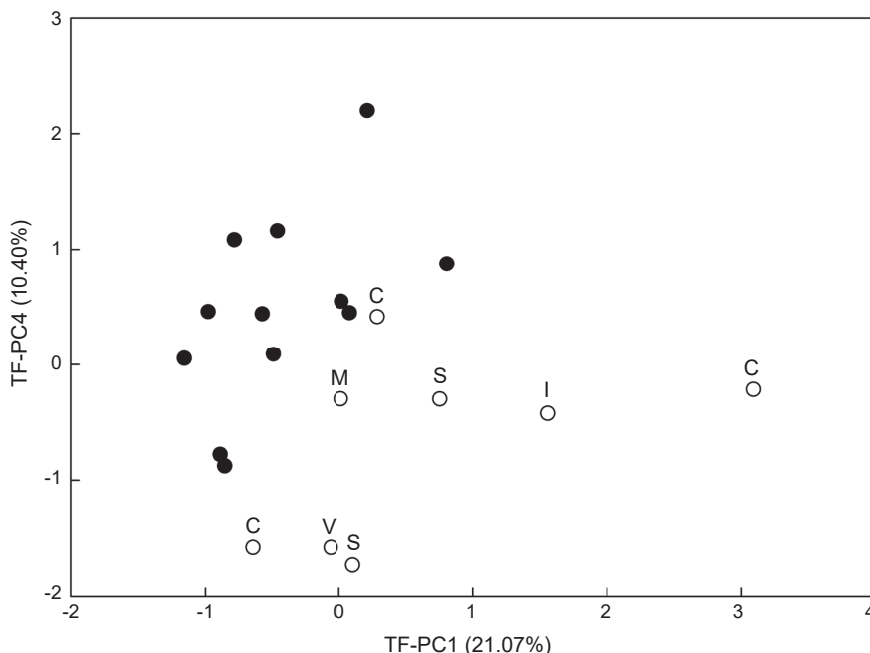


圖 6. TF-PC1 與 TF-PC4 之作圖。●：台灣茶葉；○：國外茶葉 (C：中國；M：馬來西亞；V：越南；S：斯里蘭卡；I：印度)。

Fig. 6. Plot of TF-PC1 vs. TF-PC4. ●：Taiwan tea; ○：Foreign tea (C: China; M: Malaysia; V: Vietnam; S: Sri Lanka; and I: India).

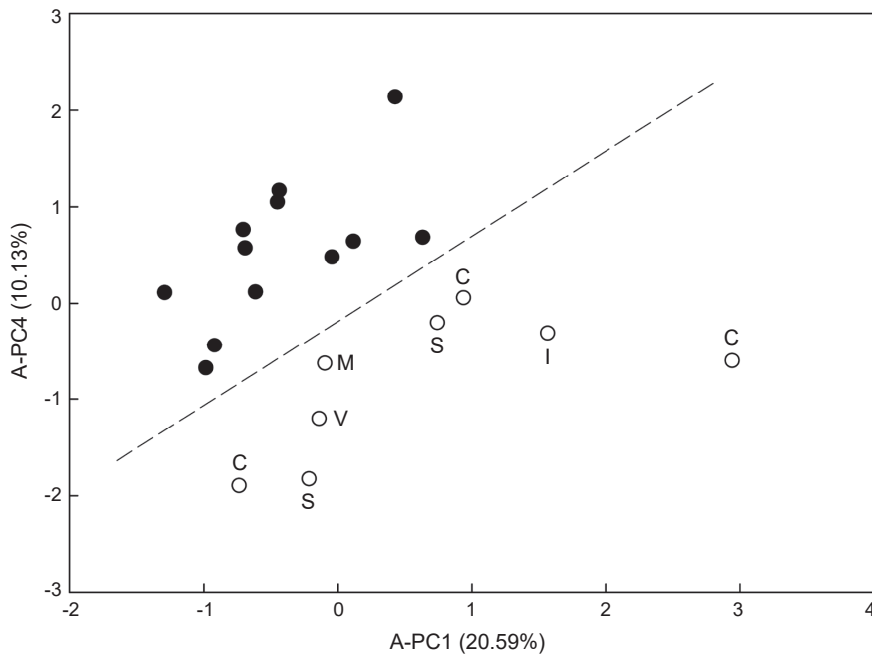


圖 7. A-PC1 與 A-PC4 之作圖。●：台灣茶葉；○：國外茶葉 (C：中國；M：馬來西亞；V：越南；S：斯里蘭卡；I：印度)。

Fig. 7. Plot of A-PC1 vs. A-PC4. ● : Taiwan tea; ○ : Foreign tea (C: China; M: Malaysia; V: Vietnam; S: Sri Lanka; and I: India).

因可能是因為微量元素及風化特徵元素均屬土壤之背景因子，以本試驗而言，台灣茶葉與國外茶葉之土壤背景元素含量差異特徵明顯大於國外茶葉彼此間含量差異特徵，且此特徵差異在 PCA 處理上掩蓋了由肥料特徵元素所帶來的干擾。

結論與建議

本試驗之元素分為微量元素 (T)、風化特徵元素 (W) 及肥料特徵元素 (F)，而任何單一元素含量高低並不能做為茶葉產地區分之依據。雖然，本試驗之國外樣本受限於取得困難而數量不多，然而，本試驗分別以微量元素 (T)、微量元素和風化特徵元素 (TW)、微量元素和肥料特徵元素 (TF)、所有元素 (A) 四類數據組進行 PCA 分析，結果顯示除 TF 數據組外，其餘三類數據組經 PCA 處理後均能區分出台灣茶葉及國外茶葉。因此，土壤背景元素如微量元素及風化特徵元素是造成能以 PCA

處理達到區分出台灣茶葉及國外茶葉的主要原因，而肥料特徵元素為 PCA 鑑別之干擾因子。此試驗之經驗及結果是為後續在其他農產品從事產源鑑別時之重要依循。

如前所述，本試驗在實際應用意義上，是要鑑定出所測試之茶葉是否真的是台灣茶，而不是要鑑定出所測試之茶葉來自哪一個國家。如要達到所測茶葉之產源國家或地區，則各國之茶葉標本則須達到一定數量才有統計意義，這是我們後續希望能達到的目標。

誌謝

作者非常感謝二位匿名審查委員提供諸多正面之修正建議。本試驗由國立中興大學及農委會農業試驗所提供經費，計畫編號 NCHU-TARI 10301。

引用文獻

Atkinson, D. 1986. The nutrient requirements of fruit

- trees: Some current considerations. p.93–128. *in*: Advances in Plant Nutrition. Vol. 2. (Tinker, B. and A. Lauchli, eds.) Praeger. New York, NY. 332 pp.
- Briskin, D. 2010. Mineral nutrition. p.107–131. *in*: Plant Physiology. 5th ed. (Taiz, L. and E. Zeiger, eds.) Sinauer Associates Inc. Sunderland, MA. 782 pp.
- Fernández-Cáceres, P. L., M. J. Martín, F. Pablos, and A. G. González. 2001. Differentiation of tea (*Camellia sinensis*) varieties and their geographical origin according to their metal content. *J. Agric. Food Chem.* 49:4775–4779. doi:10.1021/jf0106143
- Junba, I. O., N. F. Suttle, E. A. Hunter, and S. O. Wandiga. 1995. Effects of soil origin and mineral composition and herbage species on the mineral composition of forages in the Mount Elgon region of Kenya. 2. Trace elements. *Trop. Grasslands* 29:47–52.
- Kämpf, N., A. C. Scheinost, and D. G. Schulze. 2000. Oxide minerals. p.F125–F157. *in*: Handbook of Soil Science. (Sumner, M. E., A. W. Warrick, P. M. Huang, E. A. Paul, E. J. Kamprath, L. P. Wilding, J. W. Stucki, I. Shaingberg, and M. F. Baumgardner, eds.) CRC Press. New York, NY. 2148 pp.
- Karak, T. and R. M. Bhagat. 2010. Trace elements in tea leaves, made tea and tea infusion: A review. *Food Res. Intl.* 43:2234–2252. doi:10.1016/j.foodres.2010.08.010
- Liu, T. S., H. Y. Guo, J. L. Chu, and S. Lian. 2007. Preliminary study on heavy metal characteristics in serpentine-developed soil regions in eastern Taiwan. *J. Taiwan Agric. Res.* 56:65–78. (in Chinese with English abstract) doi:10.6156/JTAR/2007.05602.01
- Marcos, A., A. Fisher, G. Rea, and S. J. Hill. 1998. Preliminary study using trace element concentrations and a chemometrics approach to determine the geographical origin of tea. *J. Anal. At. Spectrom.* 13:521–525. doi:10.1039/A708658J
- Moreda-Piñeiro, A., A. Marcos, A. Fisher, and S. J. Hill. 2001. Evaluation of the effect of data pre-treatment procedures on classical pattern recognition and principal components analysis: A case study for the geographical classification of tea. *J. Environ. Monit.* 3:352–360. doi:10.1039/b103658k
- Moreda-Piñeiro, A., A. Fisher, and S. J. Hill. 2003. The classification of tea according to region of origin using pattern recognition techniques and trace metal data. *J. Food Compos. Anal.* 16:195–211. doi:10.1016/S0889-1575(02)00163-1
- Mortvedt, J. J. 2000. Bioavailability of micronutrients. p.D71–D86. *in*: Handbook of Soil Science. (Sumner, M. E., A. W. Warrick, P. M. Huang, E. A. Paul, E. J. Kamprath, L. P. Wilding, J. W. Stucki, I. Shaingberg, and M. F. Baumgardner, eds.) CRC Press. New York, NY. 2148 pp.
- Pilgrim, T. S., R. J. Watling, and K. Grice. 2010. Application of trace element and stable isotope signatures to determine the provenance of tea (*Camellia sinensis*) samples. *Food Chem.* 118:921–926. doi:10.1016/j.foodchem.2008.08.077

Preliminary Study of Differentiating Imported Tea from Taiwan Tea by Elemental Characteristics

Cheng-Hsiang Tsai¹, Tsung-Ren Peng², Tsang-Sen Liu^{3,*}, Yu-Wen Lin⁴, and Wen-Jun Zhan⁵

Abstract

Tsai, C. H., T. R. Peng, T. S. Liu, Y. W. Lin, and W. J. Zhan. 2021. Preliminary study of differentiating imported tea from Taiwan tea by elemental characteristics. *J. Taiwan Agric. Res.* 70(4):231–242.

This study analyzed the amounts of various elements of tea samples and applied principal component analysis (PCA) to process the elemental data to differentiate imported tea from Taiwan tea. The imported samples included tea made from China, Vietnam, Malaysia, India, and Sri Lanka, and the analyzed elements were classified into trace elements (Ag, As, B, Ba, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Ga, Ge, Mo, Ni, Pb, Rb, Se, Sr, Ti, V, W, Zn, and Zr), weathering elements (Al, Fe, and Mn), and fertilizer elements (Ca, K, Mg, P, and S). Our results showed that no single element could be used as an index to distinguish imported tea from Taiwan tea; however, PCA analyses showed differences between domestic and imported tea. Four data sets included trace elements (T), trace elements and weathering elements (TW), trace elements and fertilizer elements (TF), and all analyzed elements (A) were used for PCA. The results revealed that, besides TF, the remaining data sets could differentiate imported tea from Taiwan tea. Data processing experience and the results derived from this study provide an important reference for subsequent identification of the origin of other agricultural products.

Key words: Elemental concentration, Identify non-Taiwan tea, Principal component analysis (PCA).

Received: March 19, 2021; Accepted: June 15, 2021.

* Corresponding author, e-mail: tsliu@tari.gov.tw

¹ Bachelor, Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University, Taichung City, Taiwan, ROC.

² Professor, Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University, Taichung City, Taiwan, ROC.

³ Researcher, Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.

⁴ Associate Researcher, Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.

⁵ Research Assistant, Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University, Taichung City, Taiwan, ROC.