

## 比較市售瓶裝飲用水之元素特徵

梁文睿<sup>1</sup> 彭宗仁<sup>2</sup> 蔡修裕<sup>3</sup> 林娉婷<sup>4</sup> 黃秉益<sup>5</sup> 林毓雯<sup>6</sup> 黃群鈞<sup>7</sup> 劉滄琴<sup>8,\*</sup>

### 摘要

梁文睿、彭宗仁、蔡修裕、林娉婷、黃秉益、林毓雯、黃群鈞、劉滄琴。2017。比較市售瓶裝飲用水之元素特徵。台灣農業研究 66(1):74–86。

本研究之主要目的在分析各類市售瓶裝飲用水、自來水與去離子/逆滲透水之大量及微量元素之濃度，進一步透過主成分分析 (principal component analysis; PCA)，以比較各類瓶裝水間元素特徵之異同，同時評估 PCA 能否作為市售瓶裝水是否以自來水做為原水的鑑別技術。結果顯示，除有一類海水源瓶裝水之部分元素濃度高於自來水外，其餘瓶裝水之大量及微量元素之濃度均都低於自來水，甚至有些瓶裝水之元素濃度甚低且接近去離子水之值。再者，PCA 分析可區分出瓶裝水之水源是來自陸域淡水或海水。淡水源瓶裝水依 PCA 結果可區分為 BW-1、BW-2、BW-3 三類。BW-1、BW-3 之 PCA 元素濃度特徵分別與自來水及去離子水相同，意指 BW-1 及 BW-3 的水源可能分別與自來水和去離子水有關。而 BW-2 之 PCA 元素濃度特徵則介於 BW-1 與 BW-3 間。PCA 分析亦發現有一類標示為海水源的瓶裝水之元素濃度特徵與去離子水相同，該商品之水源標示應該有誤。

**關鍵詞：**瓶裝水、元素含量、主成分分析。

### 前言

水是生命中不可或缺之物質，飲用水之優劣將會直接地影響身體健康與否。然而在台灣，許多水源區受到農業及工業污染，大量之儲水槽與配水管線老舊破損，造成自來水、井水等水源之水質變差 (Schwarzenbach *et al.* 2010)。隨著社會型態及現代人生活習慣之變遷，民眾購買市售包裝飲用水之情形日益增加 (Birke *et al.* 2010a)。根據調查資料，全球瓶裝水產業之銷售估計每年約達 500 億–1,000 億美元，且每年以約 7–10% 之速度成長 (Doria 2006; Gleick & Cooley 2009)。以水量而言，

全球瓶裝水產業每年約 1 億 5,000 多萬公噸；在台灣，瓶裝水產業每年產值約有 55–60 億元，年總銷售量達 45 億瓶，約占全台飲料產品的 25% (Chen *et al.* 2013)。

市面上之瓶裝飲用水琳瑯滿目，依其水源主要可分成陸域淡水來源及海域海水來源兩類。以海水作為水源之市售瓶裝飲用水，是將海水透過適當之海水淡化處理後製備而成；其水源包括表淺層海水及深層海水，深層水源為汲自深度 200 m 以下之海水 (Peng *et al.* 2015)。這類瓶裝水源是將汲取的海水經蒸餾、逆滲透、電解析等方式除鹽 (desalination) 處理後製成 (Mohammadi & Kaviani 2003; Nisan

投稿日期：2016 年 6 月 17 日；接受日期：2016 年 7 月 1 日。

\* 通訊作者：tsliu@tari.gov.tw

<sup>1</sup> 行政院農委會農業試驗所農業化學組研發替代役。台灣 台中市。

<sup>2</sup> 國立中興大學土壤環境科學系教授。台灣 台中市。

<sup>3</sup> 經濟部標準檢驗局花蓮分局課長。台灣 花蓮市。

<sup>4</sup> 中山醫學大學營養學系副教授。台灣 台中市。

<sup>5</sup> 財團法人石材暨資源產業研究發展中心水資源組組長。台灣 花蓮縣。

<sup>6</sup> 行政院農委會農業試驗所農業化學組助理研究員。台灣 台中市。

<sup>7</sup> 國立中興大學土壤環境科學系碩士生。台灣 台中市。

<sup>8</sup> 行政院農委會農業試驗所農業化學組副研究員。台灣 台中市。

*et al.* 2005; Karagiannis & Soldatos 2008; Sadrzadeh & Mohammadi 2008)。在相關單位所推廣之應用產業中，將深層海水透過適當之海水淡化處理後，製備成深層海水包裝飲用水作為商品出售，是目前應用中最具商品特色之產業。然而此類瓶裝水因經過海水淡化處理，其內容物之特徵元素濃度將受影響。部分深層海水包裝飲用水之廠商考量其商品之化學元素含量因淡化處理後而降低甚多，因此以人為方式將深層海水濃縮礦物質液回添至淡化水中，藉此增加商品之元素濃度，以達到廣告宣稱之礦物質多樣性之效果 (Liang 2015)，或藉以提高售價。

另一方面，以陸域淡水為水源之瓶裝飲用水，依其水源或處理方式之不同，常被標示為純水、天然水、礦泉水、礦質水、湧泉水或竹炭水等展售。例如所謂天然水、礦泉水、礦質水、湧泉水，其水源大都為泉水或地下水。泉水或地下水因賦存於地層中之時間較為長遠，因此溶有較多來自岩層的礦質 (Freeze & Cherry 1979)；此類瓶裝飲用水常標榜含有較高濃度的元素成分。標示純水之商品，強調強化過濾處理原水，純淨、無礦質為其特色。而如竹炭水，則謂其原水是流經竹炭介質處理；使用此處理方式，是因竹炭在商業廣告上被稱有除氯、過濾及增加水中礦物質的含量與調整酸鹼值的效能。

以台灣市場瓶裝飲用水之單價而言，使用海水作為水源之瓶裝水，依其品牌、水源地及各國進口之獨有性等而有不同之價位，其價格約為每 1 L 新台幣 30–170 元。另一方面，以陸域淡水為水源之市售瓶裝飲用水，其價格約每 1 L 為新台幣 18–35 元。另外，常見於台灣中、南部地區之投幣式供水機 (其水源大都標示為山泉水)，其價格每 1 L 為 1 元。相較而言，亦可做為飲用水的自來水，其每 1 L 僅約 0.01 元。因此，在單價上市售瓶裝水遠高於自來水。

在台灣，市售瓶裝飲用水從汲取原水到製成瓶裝水販售，受到「飲用水管理」及「衛生標準」等法規所規範，其法律者有「飲用水管理條例」，而法規命令主要包括：「飲用水管理

條例施行細則」、「飲用水水源水質標準」、「飲用水水質標準」等。同時在「飲用水管理條例」第 28 條中指明，所供販賣之包裝或盛裝之飲用水，其容器、包裝與製造過程之衛生、標示、廣告及水質之查驗，須依食品安全衛生管理法之規定。此規定包括「食品良好衛生規範準則」、「包裝飲用水及盛裝飲用水衛生標準」、「食品、器具、容器包裝衛生標準」、「市售包裝食品營養標示規範」及「市售包裝食品營養宣稱規範」等。以上是廠商端必須遵守的規範，然而消費者端普遍較為在乎的是這些單價遠高於自來水的瓶裝飲用水，是否標示屬實值得購買。

以消費者而言，會購買市售瓶裝飲用水主要在於其飲用便利性及攜帶性。其次，一些商品常以其機能性廣告用詞吸引消費者購買。例如，部分海水源之瓶裝飲用水或礦泉水之商品，廣告上常用其含特別之離子種類或含量以宣稱其特性，但在商品標示上則未明顯標示出這些特別離子的種類或含量。這些含糊的廣告宣傳用辭，或有誤導消費者之嫌。另一方面，或有商品是以自來水做為其製程之水源，因為以自來水做為瓶裝飲用水源之製作成本遠較汲取自山泉、地下水或海水為低。若如此，僅考量取水成本而不含其他費用，再比較瓶裝飲用水之銷售價格，該項商品實為一高利潤之商品。

在統計技術上，多變量分析中之主成分分析 (principal component analysis; PCA) 可將一組具大量數據的原始數據組簡化成幾個代表性指標，以達到資料簡化與解釋的目的 (Selle *et al.* 2013)；因此，PCA 常被用來將水質特徵化的一個技術 (Morell *et al.* 1996; Jalali & Khanlari 2008; Liu *et al.* 2008; Bong *et al.* 2009; Peng *et al.* 2015)。基於此，本試驗將水樣元素濃度測定後，再利用 PCA 將所有分析元素之濃度轉化成統計特徵，用以解釋各類水樣間的水質特徵異同。

本試驗之主要目的在於分析各水源瓶裝飲用水與自來水之主要元素及微量元素之濃度，以瞭解市售瓶裝飲用水與自來水間之元素特徵差異 (Bertoldi *et al.* 2001; Birke *et al.* 2010b;

Cicchella *et al.* 2010; Dinelli *et al.* 2012)。另一方面，本試驗進一步將所測得各類水樣之元素濃度以 PCA 進行統計分析，藉以瞭解各類水樣商品間的元素特徵異同，進而評估 PCA 作為市售瓶裝水是否使用自來水作為原水的鑑別技術。

## 材料與方法

### 瓶裝水樣本

本試驗購買市售瓶裝水包括淡水來源及海水為來源兩類。海水源之瓶裝水來自不同品牌或同品牌不同批次製造共計 17 個之不重覆樣本，依其取水深度分為表層海水源 (SSW) 與深層海水源 (DSW) 2 類 (表 1)。淡水源之瓶裝水共有 19 個來自不同品牌之不重覆樣本，依

其水源地，可分為台灣北部、中部及南部地區 (表 2)。北部地區有 7 個樣本，包括台北 (TP) 1 個、宜蘭 (IL) 5 個、及桃園 (TY) 1 個樣本。中部地區有 9 個樣本，包括苗栗 (ML) 1 個、彰化 (CH) 2 個與南投 (NT) 6 個樣本。南部地區有 3 個樣本，包括高雄 (KS) 1 個及屏東 (PT) 2 個樣本。此組淡水源瓶裝水樣本若依水體類別，可分為地下水體 (10 個樣本)、地表水體 (6 個樣本)、自來水 (2 個樣本)、其他水體 (1 個樣本)。

此外，本試驗取台中中興大學實驗室之自來水做為對照組 (表 3)。以自來水源製備的對照組樣本包括自來水 (TW)，以自來水製成之逆滲透水 (ROW)，以及由逆滲透水製成之去離子水 (DIW)。

表 1. 本試驗海水源瓶裝水之商品標示。

**Table 1.** Descriptions of the examined bottled waters labeling made from sea water sources.

Sample	Description on bottle	Desalination method
SSW		
SSW-1	Surface seawater, Yilan, Northeastern Taiwan. Manufactured in March, 2012.	
SSW-2	Seawater 12 m below sea surface, Miaoli, Western Taiwan. Manufactured in February, 2012.	Distillation
SSW-3	Seawater 12 m below sea surface, Miaoli, Western Taiwan. Manufactured in May, 2012.	Distillation
SSW-4	Seawater 12 m below sea surface, Miaoli, Western Taiwan. Manufactured in May, 2012.	Distillation
DSW-A		
DSW-5	Seawater 618 m below sea surface, Hualien, Eastern Taiwan. Manufactured in January, 2012.	Reverse osmosis
DSW-6	Seawater 618 m below sea surface, Hualien, Eastern Taiwan. Manufactured in December, 2011.	Reverse osmosis
DSW-7	Seawater 618 m below sea surface, Hualien, Eastern Taiwan. Manufactured in June, 2012.	Reverse osmosis
DSW-8	Seawater 618 m below sea surface, Hualien, Eastern Taiwan. Manufactured in October, 2011.	Reverse osmosis
DSW-9	Seawater 618 m below sea surface, Hualien, Eastern Taiwan. Manufactured in February, 2012.	Reverse osmosis
DSW-10	Seawater 618 m below sea surface, Hualien, Eastern Taiwan. Manufactured in February, 2012.	Reverse osmosis
DSW-11	Seawater 618 m below sea surface, Hualien, Eastern Taiwan. Manufactured in May, 2012.	Reverse osmosis
DSW-12	Seawater 618 m below sea surface, Hualien, Eastern Taiwan. Manufactured in June, 2012.	Reverse osmosis
DSW-13	Seawater 618 m below sea surface, Hualien, Eastern Taiwan. Manufactured in June, 2011.	Reverse osmosis
DSW-14	Seawater 618 m below sea surface, Okinawa, Japan. Manufactured in December, 2011.	
DSW-B		
DSW-15	Seawater 610 m below sea surface, Oahu, Hawaii, U.S.A. Manufactured in August, 2012.	
DSW-16	Seawater 610 m below sea surface, Oahu, Hawaii, U.S.A. Manufactured in August, 2012.	
DSW-17	Seawater 610 m below sea surface, Oahu, Hawaii, U.S.A. Manufactured in August, 2012.	

表 2. 本試驗陸域淡水源瓶裝水之商品標示。

Table 2. Descriptions of the examined bottled waters labeling made from terrestrial fresh water sources.

Sample	Description on bottle	Water processes	Note
TP01	Unknown water of Ruifang, New Taipei County. Manufactured in August, 2012.	Physical filtration membranes	BW-2
IL01	Groundwater of Yuanshan, Yilan County, Northern Taiwan. Manufactured in March, 2013.	0.2 $\mu\text{m}$ filtration membranes (three times) and ozone sterilization	BW-3
IL02-1	Surface water of Toucheng, Yilan County, Northern Taiwan. Manufactured in October, 2012.	Sand, activated carbon and ultra-thin membrane filtration, and ozone sterilization	BW-3
IL02-2	Surface water of Toucheng, Yilan County, Northern Taiwan. Manufactured in September, 2012.	Sand, activated carbon and ultra-thin membrane filtration, and ozone sterilization	BW-3
IL02-3	Surface water of Toucheng, Yilan County, Northern Taiwan. Manufactured in October, 2012.	Accurate filtration technology	BW-3
IL03	Surface water of Toucheng, Yilan County, Northern Taiwan. Manufactured in August, 2012.	Boiling sterilization and 5 $\mu\text{m}$ , 1 $\mu\text{m}$ , and 0.2 $\mu\text{m}$ filtration membranes	BW-3
TY01	Tank water of Zhongli, Taoyuan County, Northern Taiwan. Manufactured in September, 2012.	Removal of anions and cations, and purification treatment by reducing electric conductivity	BW-3
ML01	Groundwater of Tongluo, Miaoli County, Central Taiwan. Manufactured in October, 2012.	Multiple filtration equipment, reverse osmosis, and boiling sterilization with 105°C	BW-3
CH01-1	Groundwater of Beidou, Changhua County, Central Taiwan. Manufactured in July, 2012.	Reverse osmosis	BW-3
CH01-2	Groundwater of Beidou, Changhua County, Central Taiwan. Manufactured in August, 2012.	Activated carbon and reverse osmosis (seven filtration membranes)	BW-3
NT01-1	Surface water of Puli, Nantou County, Central Taiwan. Manufactured in September, 2012.	Multiple filtration equipment and ozone sterilization	BW-2
NT01-2	Surface water of Puli, Nantou County, Central Taiwan. Manufactured in October, 2012.	Multiple filtration equipment, ozone sterilization, and charcoal-filtered	BW-1
NT02-1	Groundwater of Puli, Nantou County, Central Taiwan. Manufactured in October, 2012.	Multiple filtrations and reverse osmosis	BW-3
NT02-2	Groundwater of Puli, Nantou County, Central Taiwan. Manufactured in September, 2012.	Reverse osmosis and ozone sterilization	BW-3
NT03	Groundwater of Caotun, Nantou County, Central Taiwan. Manufactured in November, 2012.	Reverse osmosis, 5 $\mu\text{m}$ filtration membrane, and ultraviolet sterilization	BW-3
NT04	Groundwater of Puli, Nantou County, Central Taiwan. Manufactured in October, 2012.	Specific filter (not reverse osmosis) and ozone sterilization	BW-2
KS01	Tank water of Renwu, Kaohsiung City, Southern Taiwan. Manufactured in September, 2012.	Activated carbon, reverse osmosis and ozone sterilization	BW-3
PT01-1	Groundwater of Wanluan, Pingtung County, Southern Taiwan. Manufactured in August, 2011.	Cation exchange measurement, ceramic resonator, and ultraviolet combining ozone sterilization	BW-3
PT01-2	Groundwater of Wanluan, Pingtung County, Southern Taiwan. Manufactured in October, 2011.	1 $\mu\text{m}$ , 0.7 $\mu\text{m}$ , 0.4 $\mu\text{m}$ , and 0.2 $\mu\text{m}$ filtration membranes, and ultraviolet combining ozone sterilization	BW-3

表 3. 本試驗取自國立中興大學實驗室之對照水樣。

Table 3. Reference waters collected from the laboratory at National Chung Hsing University for this study.

Water type	Description
TW	Tap water in laboratory. Collected in September, 2012.
ROW	Reverse osmosis water in laboratory. Collected in September, 2012.
DIW	Deionized water in laboratory. Collected in September, 2012.



## 儀器分析

本試驗分析之元素計 40 種，包括硼 (B)、鈣 (Ca)、鐵 (Fe)、鉀 (K)、鎂 (Mg)、錳 (Mn)、鈉 (Na)、磷 (P) 和硫 (S) 等 9 種大量元素，及鉍 (Be)、釩 (V)、鉻 (Cr)、鈷 (Co)、鎳 (Ni)、銅 (Cu)、鋅 (Zn)、鎵 (Ga)、鍮 (Ge)、砷 (As)、硒 (Se)、銣 (Rb)、銶 (Sr)、鉕 (Y)、鈮 (Nb)、鉬 (Mo)、銀 (Ag)、鎘 (Cd)、銦 (In)、銻 (Sb)、銇 (Cs)、鋇 (Ba)、鐳 (La)、銪 (Ce)、鐮 (Pr)、釷 (Nd)、鎔 (Eu)、釷 (Gd)、汞 (Hg)、鉍 (Tl) 和鉛 (Pb) 等 31 種微量元素。9 種大量元素濃度，是利用感應耦合電漿原子發射光譜分析儀 (inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy; ICP-OES) (HORIBA Jobin Yvon ULTIMA 2C, Longjumeau, France) 測定，而微量元素濃度是利用感應耦合電漿質譜儀 (inductively coupled plasma-mass spectroscopy; ICP-MS) (Agilent 7500 ICP-MS, Tokyo, Japan) 測定。

分析過程中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。至少每 10 個樣品執行一個重複樣品分析，若每批次樣品數少於 10 個，則每批次應執行一個重複樣品分析。若重複分析差異大於 5%，則分析值視為不可靠，應立即檢視原因，確定原因後採取必要之修正措施，並重複樣品之分析。主要元素之單位以  $\text{mg L}^{-1}$  表示，微量元素則以  $\mu\text{g L}^{-1}$  表示 (Birke *et al.* 2010a)。

另一方面，電導度 (electrical conductivity; EC) 分析是利用電導度計 (WTW pH/Cond 340i, Weilheim, Germany) 進行測量，單位以  $\mu\text{S cm}^{-1}$  表示。

## 主成分分析 (PCA)

水樣元素含量測定後，本試驗另利用 PCA 將元素濃度 (包括 EC 值) 轉化成統計特徵參數，以解釋各類水樣間的水質特徵異同。在處理過程中，首先將水樣之元素所測得的濃度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，讓各點之距離在軸上產生最明顯之變異量，藉此

達到區分效果。後續再利用同方式找到第 2 條新軸，並以此類推至找到第 3、4、5 條軸等。各軸間相互垂直，使資料點在兩軸之變異不會重疊。

各軸資料點 (投影點) 之變異量被稱為特徵值 (eigenvalue)，擁有最大特徵值之軸被命名為主成分 1 (PC1)；第二大解釋變異量之軸為主成分 2 (PC2)，以此類推 (Selle *et al.* 2013)。資料點 (所分析的各個元素) 經 PCA 會得到與各主成分之相關係數，其值之大小稱為負荷量 (loading)。資料點之主成分的負荷量越大，代表它對此主成分之影響力則越高。此外，經 PCA 會得到各樣本與各主成分關係之程度，以得點 (score) 表之。若 A 樣品在 PC1 得點大於 B 樣品，而 PC1 之主特徵為硒，代表 A 樣品受硒含量影響的情況較 B 樣品為大。

本試驗以二階段進行 PCA 分析，以檢驗 PCA 技術是否可以達到區別不同類別水樣之目的。首先將所有測定元素進行第一次 PCA 分析，篩選出解釋變異量高於 10% 之各主成分。接續以第一次 PCA 分析所篩選出各主成分內的所有特徵元素進行第二次 PCA 分析，以提高 PCA 對不同類水樣之鑑別能力 (Brandolini *et al.* 2005; Carter *et al.* 2015)。本試驗使用 IBM SPSS 22.0 版軟體執行 PCA。

## 結果與討論

### 主成分分析

以所有測定元素進行第一次 PCA 分析之結果顯示，在 1-PC3 以下的成分能解釋變異量已低於 10% (表 4)，能反映的特徵已過少，故選取 1-PC1 至 1-PC3。1-PC1 的主要特徵為 Be、Se、Rb、Mo、B、K、Mg、S 和 EC 等 9 個 (表 4)，解釋變異量為 22.9%；1-PC2 的主要特徵為 Ga、Y、Cs、Ba、La、Nd 和 Ca 等 7 個，解釋變異量為 18.4%；1-PC3 的主要特徵為 Ni、Cu、Nb、Hg 等 4 個，解釋變異量為 10.0%。此 3 個主成分於累積百分比對全體變數之解釋能力已達約 51.3%。

接續以上述第一次 PCA 分析所篩選出的 20 個特徵元素進行第二次 PCA 分析。結果顯

示，在 2-PC3 以下的成分能解釋變異量已低於 10% (表 4)，能反映的特徵已過少，故選取 2-PC1 至 2-PC3。2-PC1 的主要特徵為 Se、Rb、Mo、Mg、S 和 EC 等 6 個，解釋變異量為 33.9% (表 4)；2-PC2 的主要特徵為 Ga、Y、Cs 和 Ba 等 4 個，解釋變異量為 24.8%；2-PC3 的主要特徵為 Ni 和 Cu，解釋變異量為 13.6%。此 3 個主成分於累積百分比對全體變數之解釋能力已達約 72.2%。與 1-PCA 比較，2-PCA 提高約 21% 之解釋數據變異的能力。

圖 1 為 2-PC1 對 2-PC2 之作圖。在圖 1 中，代表陸域原水的自來水 (TW) 與其他類水樣有明顯區隔，包括由其衍生的逆滲透水及去離子水 (ROW/DIW)。陸域淡水源瓶裝水在圖 1 中有 BW-1、BW-2 及 BW-3 三群分布。BW-1 點群包括瓶裝水 NT01-2 (表 2)，其在圖 1 上靠近 TW。BW-3 點群包括瓶裝水 IL01、IL02-1、IL02-2、IL02-3、IL03、TY01、ML01、CH01-1、CH01-2、NT02-1、NT02-2、NT03、KS01、PT01-1 及 PT01-2 (表 2)。BW-3 點群包括瓶裝水在圖 1 之分布與 ROW/DIW 重疊。BW-2 點群包括瓶裝水 TP01、NT01-1 及 NT04，其在圖 1 之分布介於 BW-1 與 BW-3 點群間。在海水源瓶裝飲用水方面，DSW 有 A 及 B 二組之分布。DSW-B 與 BW-3 點群與 ROW/DIW 重疊，而 DSW-A 與 SSW 二者可與其他類水體區分。

再者，由圖 1 之作圖，本試驗之瓶裝水有 I、II、III、IV 及 V 五類組分布 (圖 1)。I 類組之瓶裝水 BW-1 與 TW 二者 PCA 元素特徵相似，意指此陸域淡水源之瓶裝水水源可

能來自來水。II 類組之瓶裝水包括 DSW-B 與 BW-3 二類水樣，其 PCA 元素特徵與 ROW/DIW 之元素特徵相似，意指 DSW-B 與 BW-3 二類水樣可能來自滲透水或去離子水。III 類組之瓶裝水主要為 BW-2 類水樣，其 PCA 元素特徵介於 I、II 二類組水樣間，意指 III 類組之瓶裝水之水源與自來水，或滲透水 and 去離子水有關。IV 及 V 類組之瓶裝水分別為 SSW 與 DSW-A 二類水樣；由圖 1 顯示，SSW 與 DSW-A 二類海水源瓶裝水可與淡水源之瓶裝水區分。值得注意的是 DSW-B 其瓶身標示為海水源應該有誤。由圖 1 之 PCA 區分圖顯示，DSW-B 之 PCA 元素特徵與實驗室製備之 ROW/DIW 相同，但與 SSW 與 DSW-A 二類海水源瓶裝水明顯區分，顯示 DSW-B 應是由陸域淡水、而不是由海水原水製備而成。此 DSW-B 之原水應是陸域淡水的推斷，與 Peng

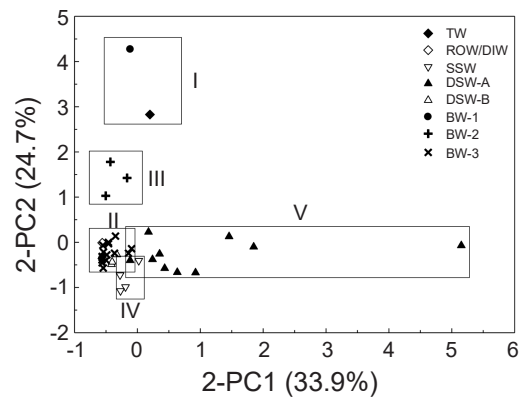


圖 1. 2-PC1 與 2-PC2 之作圖。

Fig. 1. Plot of 2-PC1 vs. 2-PC2.

表 4. 各成分之解說總變異量。

Table 4. Amount of variance for each principal component.

Component	Eigenvalue			Element
	Total	Amount of variance (%)	Cumulative (%)	
1-PC1	9.380	22.877	22.877	Be, Se, Rb, Mo, B, K, Mg, S, and EC
1-PC2	7.564	18.448	41.325	Ga, Y, Cs, Ba, La, Nd, and Ca
1-PC3	4.072	9.932	51.258	Ni, Cu, Nb, and Hg
2-PC1	6.778	33.890	33.890	Se, Rb, Mo, Mg, S, and EC
2-PC2	4.945	24.725	58.615	Ga, Y, Cs, and Ba
2-PC3	2.718	13.591	72.206	Ni and Cu

*et al.* (2015) 由氫氧同位素證據推論的結果相符。

### 大量元素之比較

EC 值可粗略代表水體離子濃度之總和，其值大小主要與大量元素之含量有關。在圖 2 中，EC 值於 DSW-A 之濃度最高，平均值約  $753 \mu\text{S cm}^{-1}$ ；其次為 TW 之值，約  $250 \mu\text{S cm}^{-1}$ 。ROW/DIW 之值約  $7 \mu\text{S cm}^{-1}$ 。DSW-B 之值僅約  $13 \mu\text{S cm}^{-1}$ ，幾與 ROW/DIW 之值相同。BW-1、BW-2 及 BW-3 之值分別為 203、127 及  $74 \mu\text{S cm}^{-1}$ ，略低於 TW 之  $250 \mu\text{S cm}^{-1}$ 。SSW 之值約  $35 \mu\text{S cm}^{-1}$ 。

在所分析之 9 種大量元素中，本文挑選硼、鈣、鉀、鎂、鈉、硫等 6 種元素做進一步比較討論，其理由為這 6 種元素在絕對濃度上有明顯差異，其餘鐵、錳、磷則無。例如，所有水樣之鐵濃度均約  $0.020 \text{ mg L}^{-1}$ ；錳、磷二元素之濃度皆臨偵測極限。各類瓶裝水之大量元素硼、鈣、鉀、鎂、鈉、硫之平均濃度如圖 3 所示，其比較分述如下。

硼元素為人體必需微量元素之一，可促進鈣、鎂、鉀、磷之吸收和代謝，促進骨骼合成並預防骨質疏鬆。若缺乏可能會造成生長遲滯、骨質疏鬆症及蛀牙發生率 (Murray

1995)，有報告認為每日攝取 3 mg 能預防骨質疏鬆症 (Nielsen & Meacham 2011)。在自然水體環境中，河水與海水之硼濃度平均值分別約為  $1 \times 10^{-2} \text{ mg L}^{-1}$  及  $4.5 \text{ mg L}^{-1}$  (Chen 1994)。由圖 3 顯示，以本試驗而言，硼濃度以 DSW-A 之濃度最高，平均值約  $1 \text{ mg L}^{-1}$ ，ROW/DIW 之值則接近  $0 \text{ mg L}^{-1}$ ，而其餘類別水樣之濃度均不超過  $0.1 \text{ mg L}^{-1}$ 。

鈣元素除了建構骨骼和牙齒外，亦可協助神經系統之正常運作，對心臟、甲狀腺、免疫系統、凝血作用及細胞維護等具有重要影響。若長期鈣質攝取不足，可能會引起高血壓、尿道結石、肌肉收縮、手足抽搦症、倦怠虛弱、骨質疏鬆或軟化等症狀 (Yoshinaga *et al.* 1995)。目前鈣元素成人每日建議攝取量為 1,000 mg (Otten *et al.* 2006)。河水與海水之鈣濃度平均值分別約為 15 及  $4.22 \times 10^2 \text{ mg L}^{-1}$  (Faure 1991)。由圖 3 顯示，鈣濃度以 TW 之濃度最高，平均值約  $32 \text{ mg L}^{-1}$ ；ROW/DIW 之值約  $0.3 \text{ mg L}^{-1}$ ，而 SSW 之值與 ROW/DIW 相近。其餘類別水樣之濃度不超過  $3 \text{ mg L}^{-1}$ 。

鉀元素是構成細胞之主要成分，亦為細胞內液中最重要之陽離子和鹼性元素；若缺乏可能會造成浮腫、低血鉀症、神經傳導失

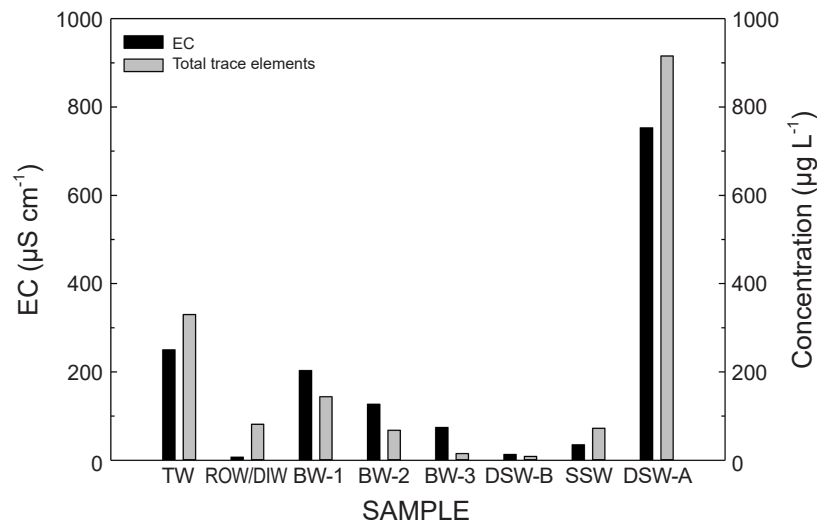


圖 2. 各類水樣之 EC (electrical conductivity) 平均值及微量元素總濃度圖。

**Fig. 2.** Mean EC (electrical conductivity) values and total concentrations of trace-element in selected bottled water samples.

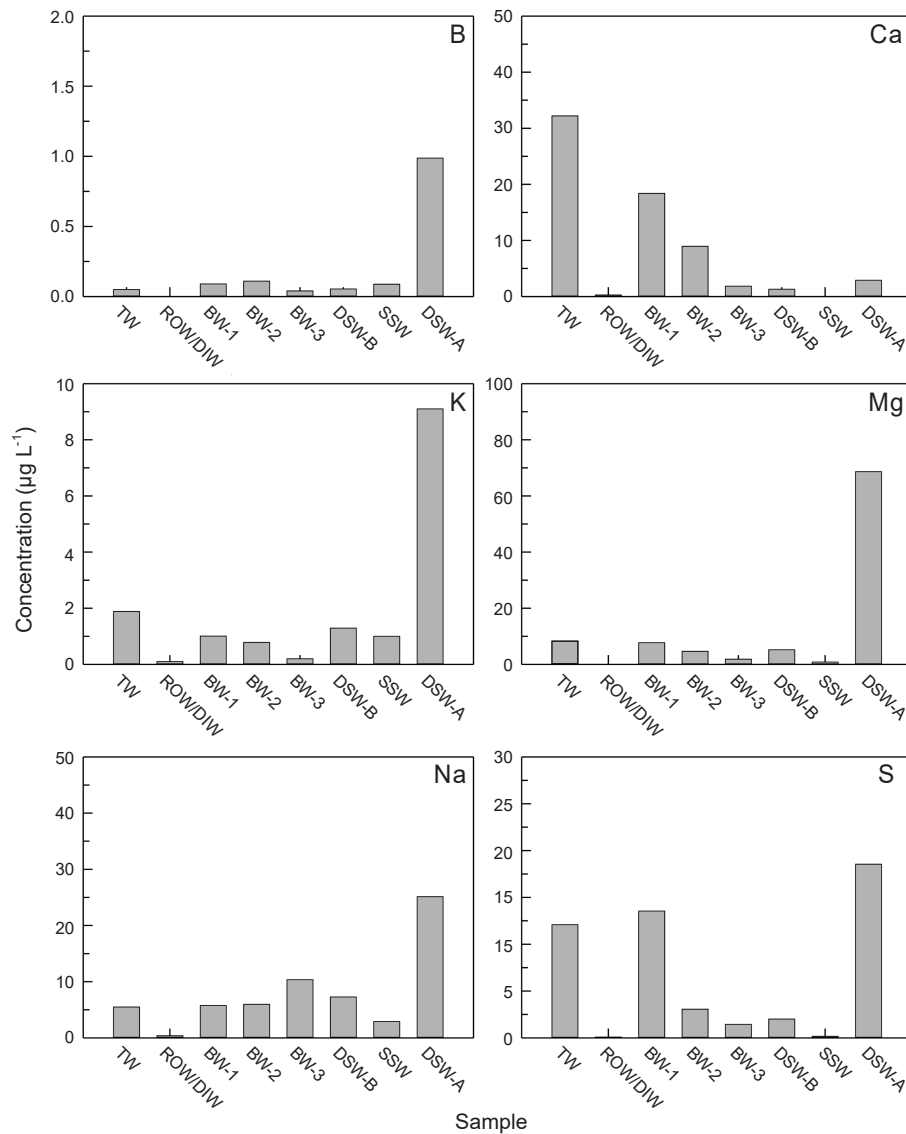


圖 3. 各類水樣大量元素硼、鈣、鉀、鎂、鈉、硫之濃度圖。

Fig. 3. Major-element concentrations of B, Ca, K, Mg, Na, and S in selected bottled water samples.

常及產生倦怠感 (Yoshinaga *et al.* 1995)。目前鉀元素成人每日建議攝取量為約 4.7–5.1 g (Otten *et al.* 2006)。在自然水體環境中，河水與海水之鉀濃度平均值分別約為 2.3 及  $4.16 \times 10^2 \text{ mg L}^{-1}$  (Chen 1994)。由圖 3 顯示，鉀濃度以 DSW-A 之濃度最高，平均值約  $9 \text{ mg L}^{-1}$ ；ROW/DIW 最低，其值約  $0.1 \text{ mg L}^{-1}$ ；TW 之值約  $2 \text{ mg L}^{-1}$ 。其餘類別水樣之濃度不未超過  $2 \text{ mg L}^{-1}$ 。

鎂元素為構成骨骼和牙齒之重要成分，並對人體各項重要功能幾乎都有關聯。鎂元素攝取不足會造成血鈣濃度升高，若攝取過量容易引發狹心症、心肌梗塞和腦中風等心血管疾病。因此必須均衡地攝取鎂，方能維持心臟等循環器官之健康 (Yoshinaga *et al.* 1995)。目前鎂元素成人每日建議攝取量為約 310–380 mg (Otten *et al.* 2006)。在自然水體環境中，河水與海水之鎂濃度平均值分別約為 4.1 及



$1.326 \times 10^3 \text{ mg L}^{-1}$  (Chen 1994)。由圖 3 顯示，鎂濃度以 DSW-A 之濃度最高，平均值約  $70 \text{ mg L}^{-1}$ ；ROW/DIW 最低，其值約  $0.04 \text{ mg L}^{-1}$ ；TW 之值約  $8.3 \text{ mg L}^{-1}$ 。其餘類別水樣之鎂濃度不超過  $10 \text{ mg L}^{-1}$ 。

鈉為人體必需之主要元素之一，對體液平衡及其他生理功能具有高度關聯性。若鈉元素攝取不足則會食慾不振、噁心、產生疲倦感等症狀；若經常攝取過量則容易導致高血壓產生 (Yoshinaga *et al.* 1995)。關於攝取量之部分，目前訂定一般成人之每日上限攝取量約為  $2,400 \text{ mg}$  (Otten *et al.* 2006)。在自然水體環境中，河水與海水之鈉濃度平均值分別約為 9 及  $11.05 \times 10^3 \text{ mg L}^{-1}$  (Chen 1994)。由圖 3 顯示，鈉濃度以 DSW-A 之濃度最高，平均值約  $25 \text{ mg L}^{-1}$ ；ROW/DIW 之濃度最低，平均值約  $0.4 \text{ mg L}^{-1}$ ；TW 之值約  $5 \text{ mg L}^{-1}$ 。其餘類別水樣之濃度不未超過  $10 \text{ mg L}^{-1}$ 。

硫元素是維護毛髮、皮膚、指甲健康之重要元素，它在人體內具有進行氧化還原之能力，以維持體內氧平衡並使腦部機能正常運作，並可幫助人體維持基本代謝 (Kampa & Castanas 2008)，但目前尚未訂定建議攝取量。在自然水體環境中，河水與海水之硫濃度平均值分別約為 3.7 及  $9.28 \times 10^2 \text{ mg L}^{-1}$  (Chen 1994)。由圖 3 顯示，硫濃度以 DSW-A 之值最高，平均值約  $20 \text{ mg L}^{-1}$ ；TW 之值約為  $12 \text{ mg L}^{-1}$ ，而 BW-2 之值與 TW 相當。ROW/DIW 及 SDW 之值約  $0.1 \text{ mg L}^{-1}$ 。其餘類別水樣之值不超過  $5 \text{ mg L}^{-1}$ 。

由上述各類瓶裝水之 EC 值及大量元素濃度比較討論顯示，一般而言 DSW-A 瓶裝水之濃度相較於自來水及其他瓶裝飲用水要高，而其他瓶裝飲用水之濃度低於自來水之值。

### 微量元素之比較

以所有 31 種所分析微量元素之總濃度而言 (圖 2)，濃度最高者為 DSW-A 之  $915.44 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ ，其次為 TW 之  $329.77 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ ；最低者為 DSW-B 之  $8.53 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ 。SSW 與 ROW/DIW 之值分別為 72.53 與  $81.34 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ 。BW-1、BW-2 及 BW-3 之值分別為 143.91、68.02 與  $15.20 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ 。在所分析之 31 種元素中，本文挑選銅、

硒、鈷、鋇、鋅、鋇等 6 種微量元素做進一步比較討論，其理由為這些微量元素在絕對濃度上有明顯差異，其餘 25 種則無，而且部分元素在各類水樣之測定已達偵測極限。各類瓶裝水之微量元素銅、硒、鈷、鋇、鋅、鋇之結果比較如圖 4 顯示，分述如下。

銅元素為人體內許多蛋白質與酵素之重要成分之一，可以由飲食如魚、肉、穀類、堅果類等攝取每日所需之銅。銅攝取不足亦會影響鐵吸收，導致貧血及骨骼相關病症如骨質疏鬆、骨質密度下降、生長遲緩等問題 (Goldhaber 2003; Fraga 2005)；目前訂定一般成人之每日建議攝取量約為不超過  $3 \text{ mg}$  (Fraga 2005)。在自然水體環境中，河水與海水之銅濃度平均值分別約為 7 及  $0.3 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$  (Faure 1991)。由圖 4 顯示，銅濃度以 SSW 之值最高，平均值約  $58.03 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ ；TW 之值約為  $2.95 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ ，ROW/DIW 之值約  $34.99 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ 。其餘類別水樣之值不超過 TW 之值。

硒元素為近年來研究最熱門之營養元素。一些研究指出硒元素具有抗癌和活化免疫系統之作用，能預防特定癌症和腫瘤。人體若缺硒元素則會增加罹患乳癌、大腸癌、肺癌和攝護腺癌之機率 (Rayman 2000; Goldhaber 2003; Fraga 2005)。關於人體膳食營養參考攝取量之部分，目前訂定一般成人之每日建議攝取量約  $50\text{--}70 \text{ } \mu\text{g}$  (Otten *et al.* 2006)。在自然水體環境中，河水與海水之硒濃度平均值分別約為 0.06 及  $0.13 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$  (Faure 1991)。由圖 4 顯示，硒濃度以 DSW-A 之值最高，平均值約  $8.92 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ ；TW 與 ROW/DIW 之值約 1.13 及  $1.10 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ 。此外，SSW 及 DSW-B 之值不超過  $1.70 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ ；BW-1、BW-2 及 BW-3 之濃度不超過  $0.08 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ 。

鈷元素為稀有之鹼金屬元素，其化學性質與鉀元素相似，必要時可以取代鉀離子之電解功能 (Hurley & Keen 1987)。關於人體膳食營養參考攝取量之部分，目前尚未訂定攝取含量標準。在自然水體環境中，河水與海水之鈷濃度平均值分別約為 1 及  $120 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$  (Faure 1991)。由圖 4 顯示，鈷濃度以 DSW-A 之值最高，平均值約  $2.88 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ ；TW 之值約 2.37

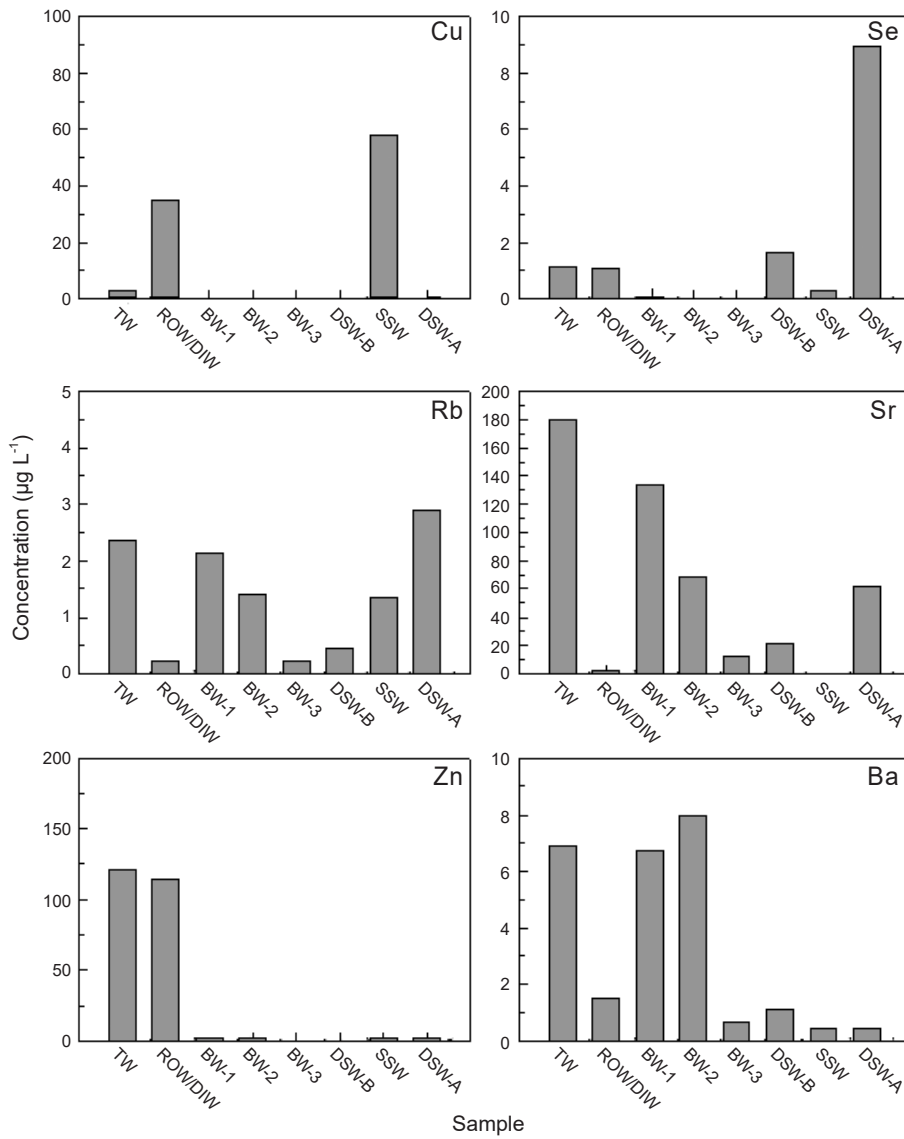


圖 4. 各類水樣微量元素銅、硒、鉀、銣、鋅、鋇之濃度圖。

Fig. 4. Trace-element concentrations of Cu, Se, Rb, Sr, Zn, and Ba in selected bottled water samples.

$\mu\text{g L}^{-1}$ ，而 ROW/DIW 之值約為  $0.23 \mu\text{g L}^{-1}$ 。其餘水樣之濃度不超過 TW 之  $2.37 \mu\text{g L}^{-1}$ 。

銣是人體骨骼和牙齒之組成成分，人體若缺乏銣，將會引起體內代謝紊亂。若攝取銣過量會導致輕微之消化道反應，亦會造成骨骼生長發育過快，引發骨科相關病徵 (Hurley & Keen 1987)。關於人體膳食營養參考攝取量之部分，目前訂定一般成人之每日建議攝取量約為  $1.9 \text{ mg}$  左右 (Hurley & Keen 1987)。在

自然水體環境中，河水與海水之銣濃度平均值分別約為  $70$  及  $7,600 \mu\text{g L}^{-1}$  (Faure 1991)。由圖 4 顯示，銣濃度以 TW 之值最高，平均值約  $180.55 \mu\text{g L}^{-1}$ ，其次為 BW-1，約  $134.40 \mu\text{g L}^{-1}$ ，而 SSW 之值與 ROW/DIW 之值相近，ROW/DIW 之值約  $2.85 \mu\text{g L}^{-1}$ 。其餘水樣之濃度不超過 BW-2 之  $68.53 \mu\text{g L}^{-1}$ 。

鋅元素為蛋白質製造所需之元素，可幫助合成 DNA 及 RNA，維持正常細胞之免疫功

能。若缺乏鋅則會造成生長發育不良、傷口癒合不良與嚴重貧血等狀況 (Goldhaber 2003; Fraga 2005)。鋅建議攝取量目前訂定一般男性每日約 15 mg，女性則為 12 mg (Otten *et al.* 2006)。在自然水體環境中，河水與海水之鋅濃度平均值分別約為 20 及 0.4  $\mu\text{g L}^{-1}$  (Faure 1991)。由圖 4 顯示，鋅濃度以 TW 之值最高，平均值約 121.60  $\mu\text{g L}^{-1}$ ，其次為 ROW/DIW，約 114.06  $\mu\text{g L}^{-1}$ 。其餘水樣之濃度甚微，約不超過 2.20  $\mu\text{g L}^{-1}$ 。

鋇在自然水體環境中，河水與海水之鋅濃度平均值分別約 20 及 14  $\mu\text{g L}^{-1}$  (Faure 1991)。由圖 4 顯示，鋇濃度以 TW、BW-1 及 BW-2 三者較高，分別為 76.90、6.72 及 7.95  $\mu\text{g L}^{-1}$ ，而 ROW/DIW 約 1.50  $\mu\text{g L}^{-1}$ 。其餘水樣之濃度甚微，不超過 ROW/DIW 之值。

由上述各類瓶裝水之微量元素濃度比較討論顯示，一般而言，DSW-A 瓶裝水之濃度相較於自來水及其他瓶裝飲用水要高，而其他瓶裝飲用水之濃度低於自來水之值。同時部分瓶裝水如 DSW-B、SSW 及 BW-3 之微量元素濃度值，只比 ROW/DIW 之值高了一些。

## 結論

由本試驗之大量及微量元素濃度分析結果顯示，除有一類海水源瓶裝水 (DSW-A) 之部分元素濃度高於自來水外，其餘瓶裝水之元素濃度均都低於自來水。甚至有些瓶裝水之濃度甚低，接近去離子水之低濃度值。

再者，PCA 分析可區分出瓶裝水之水源是來自陸域淡水或海水，而淡水源瓶裝水依 PCA 結果又可區分為 BW-1、BW-2、BW-3 三類。BW-1 之 PCA 元素濃度特徵與自來水相同，意指 BW-1 的水源可能與自來水有關；BW-3 之 PCA 元素濃度特徵與去離子水相同，意指 BW-3 的水源可能與去離子水有關。PCA 分析亦發現有一類標示為海水源的瓶裝水 (DSW-B) 之元素濃度特徵與去離子水相同，該商品標示為海水源之資訊應該有誤。

消費者於選用包裝飲用水之消費行為中，一般以方便性、售價及產品特色 (如微量元素含量) 作為參考。由本研究之結果得知，市售

瓶裝水有部分產品在售價及離子濃度上並未優於自來水，或許這亦間接佐證了目前多數消費者係以方便性或售價為優先考量之消費行為。另一方面，本研究中也同時發現，市售瓶裝水存在含有較多大量元素或微量元素的產品。在廣大的包裝飲用水市場中，如何確保本身產品的差異化或提升附加價值，將會是國內外包裝飲用水之生產業者重要的課題。

## 誌謝

本試驗由國立中興大學及行政院農委會農業試驗所提供經費，計畫編號 NCHU-TARI 10201。

## 引用文獻

- Bertoldi, D., L. Bontempo, R. Larcher, G. Nicolini, S. Vorkelius, G. D. Lorenz, H. Ueckermann, H. Froeschl, M. J. Baxter, J. Hoogewerff, and P. Brereton. 2011. Survey of the chemical composition of 571 European bottled mineral waters. *J. Food Comp. Anal.* 24:376–385.
- Birke, M., C. Reimann, A. Demetriades, U. Rauch, H. Lorenz, B. Harazim, and W. Glatte. 2010a. Determination of major and trace elements in European bottled mineral water: Analytical methods. *J. Geochem. Explor.* 107:217–226.
- Birke, M., U. Rauch, B. Harazim, H. Lorenz, and W. Glatte. 2010b. Major and trace elements in German bottled water, their regional distribution, and accordance with national and international standards. *J. Geochem. Explor.* 107:245–271.
- Bong, Y. S., J. S. Ryu, and K. S. Lee. 2009. Characterizing the origins of bottled water on the South Korean market using chemical and isotopic compositions. *Anal. Chim. Acta* 631:189–195.
- Brandolini, V., P. Tedeschi, E. Cereti, A. Maietti, D. Barile, J. D. Coisson, D. Mazzotta, M. Arlorio, and A. Martelli. 2005. Chemical and genomic combined approach applied to the characterization and identification of Italian *Allium sativum* L. *J. Agric. Food Chem.* 53:678–683.
- Carter, J. F., H. S. A. Yates, and U. Tinggi. 2015. Stable isotope and chemical compositions of European and Australasian ciders as a guide to authenticity. *J. Agric. Food Chem.* 63:975–982.
- Chen, C. H., Y. C. Li, H. D. Tsai, F. S. Cheng, W. H. Chang, and C. E. Gan. 2013. Application of ANOVA

- to study sale difference of mineral water. Taiwan Assn. Hydr. Eng. Sci. 16:120–123. (in Chinese)
- Chen, C. T. 1994. Marine Chemistry. Nw Chang Book. Taipei, Taiwan. 551 pp. (in Chinese)
- Cicchella, D., S. Albanese, B. De Vivo, E. Dinelli, L. Giaccio, A. Lima, and P. Valera. 2010. Trace elements and ions in Italian bottled mineral waters: Identification of anomalous values and human health related effects. *J. Geochem. Explor.* 107:336–349.
- Dinelli, E., A. Lima, S. Albanese, M. Birke, D. Cicchella, L. Giaccio, P. Valera, and B. De Vivo. 2012. Comparative study between bottled mineral and tap water in Italy. *J. Geochem. Explor.* 112:368–389.
- Doria, M. F. 2006. Bottled water versus tap water: Understanding consumers' preferences. *Water Health.* 4:271–276.
- Faure, G. 1991. Principles and Applications of Inorganic Geochemistry. Macmillan. New York. 626 pp.
- Fraga, C. G. 2005. Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health. *Mol. Aspects Med.* 26:235–244.
- Freeze, R. A. and J. A. Cherry. 1979. Groundwater. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ. 604 pp.
- Gleick, P. H. and H. S. Cooley. 2009. Energy implications of bottled water. *Environ. Res. Lett.* 4:9–14.
- Goldhaber, S. B. 2003. Trace element risk assessment: Essentiality vs. toxicity. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 38:232–242.
- Hurley, L. S. and C. L. Keen. 1987. Manganese. p.185–223. *in: Trace Elements in Human and Animal Nutrition.* 5th ed. (Mertz W., ed.) Academic Press. San Diego, CA. 480 pp.
- Jalali, M. and Z. V. Khanlari. 2008. Major ion chemistry of groundwater in the Damagh area, Hamadan, western Iran. *Environ. Geol.* 54:87–93.
- Kampa, M. and E. Castanas. 2008. Human health effects of air pollution. *Environ. Pollut.* 151:362–367.
- Karagiannis, I. C. and P. G. Soldatos. 2008. Water desalination cost literature: Review and assessment. *Desalination* 223:448–456.
- Liang, W. J. 2015. Assessing the Source Descriptions of Bottled Deep-sea Drinking Waters by Chemical and Isotopic Approaches. Master thesis, National Chung Hsing University. Taichung, Taiwan. 72 pp. (in Chinese with English abstract)
- Liu, C. W., C. S. Jang, C. P. Chan, C. N. Lin, and K. L. Lou. 2008. Characterization of groundwater quality in Kinmen Island using multivariate analysis and geochemical modeling. *Hydrol. Process.* 22:376–383.
- Mohammadi, T. and A. Kaviani. 2003. Water shortage and seawater desalination by electrodialysis. *Desalination* 158:267–270.
- Morell, I., E. Gimenez, and M. V. Esteller. 1996. Application of principal components analysis to the study of salinization on the Castellon Plain (Spain). *Sci. Total Environ.* 177:161–171.
- Murray, F. J. 1995. A human health risk assessment of boron (boric acid and borax) in drinking water. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 22:221–230.
- Nielsen, F. H. and S. L. Meacham. 2011. Growing evidence for human health benefits of boron. *Evid-Based Compl. Alt. Med.* 16:169–180.
- Nisan, S., B. Commercon, and S. Dardour. 2005. A new method for the treatment of the reverse osmosis process, with preheating of the feed water. *Desalination* 182:483–495.
- Otten, J. J., J. P. Hellwig, and L. D. Meyers. 2006. Dietary Reference Intakes: The Essential Guide to Nutrient Requirements. The National Academies Press. Washington, DC. 1330 pp.
- Peng, T. R., W. J. Liang, T. S. Liu, Y. W. Lin, and W. J. Zhan. 2015. Assessing the authenticity of commercial deep-sea drinking water by chemical and isotopic approaches. *Isotopes Environ. Health Stud.* 51:322–331.
- Rayman, M. P. 2000. The importance of selenium to human health. *Lancet* 356:233–241.
- Sadrzadeh, M. and T. Mohammadi. 2008. Sea water desalination using electrodialysis. *Desalination* 221:440–447.
- Schwarzenbach, R. P., T. Egli, T. B. Hofstetter, U. Gunten, and B. Wehrli. 2010. Global water pollution and human health. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 35:109–136.
- Selle, B., M. Schwientek, and G. Lischeid. 2013. Understanding processes governing water quality in catchments using principal component scores. *J. Hydrol.* 486:31–38.
- Yoshinaga, J., T. Suzuki, M. Morita, and M. Hayakawa. 1995. Trace elements in ribs of elderly people and elemental variation in the presence of chronic diseases. *Sci. Total Environ.* 162:239–252.

## Comparison in Mineral Characteristics among Commercial Bottled Waters

Wen-Jui Liang<sup>1</sup>, Tsung-Ren Peng<sup>2</sup>, Shiou-Yuh Tsai<sup>3</sup>, Ping-Ting Lin<sup>4</sup>, Ping-Yi Huang<sup>5</sup>, Yu-Wen Lin<sup>6</sup>, Chun-Chun Huang<sup>7</sup>, and Tsang-Sen Liu<sup>8,\*</sup>

### Abstract

Liang, W. J., T. R. Peng, S. Y. Tsai, P. T. Lin, P. Y. Huang, Y. W. Lin, C. C. Huang, and T. S. Liu. 2017. Comparison in mineral characteristics among commercial bottled waters. *J. Taiwan Agric. Res.* 66(1):74–86.

To evaluate the mineral characteristics of commercial bottled drinking waters sold locally, their concentrations of major and trace elements were analyzed and compared with those of tap water, deionized water and reverse-osmosis water using the principal component analysis (PCA). Whether PCA can be applied to separate the difference between bottled drinking water and tap water was also assessed. Results showed that, except one kind of seawater-sourced bottled water, concentrations of major and trace elements of examined bottled waters were lower than those of tap water, and levels of some bottled waters were low enough to compete with those of deionized water. Furthermore, PCA can not only distinguish bottled water sourced from terrestrial fresh water or sea water, but also divide fresh water-sourced bottled waters into three different groups, BW-1, BW-2 and BW-3. The mineral characteristics of BW-1 and BW-3 were similar to those of tap water and deionized water, respectively, implying that water sources of BW-1 and BW-3 are highly related to tap water and deionized water, respectively. The characteristic of BW-2 lies between the BW-1 and the BW-3. The most concerned about this study is that there was one kind of bottled water claimed a sea water source exhibiting the mineral characteristics similar to that of deionized water, indicating goods carrying incorrect designation of origin.

**Key words:** Bottled water, Elemental concentration, Principal component analysis (PCA).

---

Received: June 17, 2016; Accepted: July 1, 2016.

\* Corresponding author, e-mail: [tsliu@tari.gov.tw](mailto:tsliu@tari.gov.tw)

<sup>1</sup> Research and Development Substitute Services, Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.

<sup>2</sup> Professor, Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC.

<sup>3</sup> Section Chief, Hualien Branch, Bureau of Standards, Metrology, and Inspection, Ministry of Economic Affairs, Hualien, Taiwan, ROC.

<sup>4</sup> Associate Professor, Department of Nutrition, Chung Shan Medical University, Taichung, Taiwan, ROC.

<sup>5</sup> Director, Water Resources Division, Stone & Resource Industry R&D Center, Hualien, Taiwan, ROC.

<sup>6</sup> Assistant Research Fellow, Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.

<sup>7</sup> Master's student, Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC.

<sup>8</sup> Associate Research Fellow, Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.