

嗅覺層次分析法應用於水中異臭味物質之分析
Measurement of Odors in Drinking Water Using Flavor
Profile Analysis

高小萍¹，林財富²，蘇意筠³

摘 要

飲用水中之異臭味(taste-and-odor)問題在歐美各國及日本，常是民眾抱怨水質不佳的原因之一，在國內自來水中異臭味問題，則主要發生在南台灣，特別是夏季的時候較為嚴重。本研究探討利用國外水廠常用之嗅覺層次分析法 (Flavor Profile Analysis, FPA) 定性定量南台灣自來水臭味之可行性，期能提供傳統初嗅數法 (Threshold Odor Number, TON) 外之另一個選擇。

本研究最初是以美國賓州大學嗅覺測試簿 (UPSIT) 來篩選測試員，基本成員須有四個以上。經由 11 個訓練課程及兩階段的再訓練，測試者之準確度均有顯著的提升。訓練課程除了 UPSIT 測試外，另包含六個味覺及四個嗅覺的訓練課程，水樣只有在確定是無毒無菌的狀態下才可進行味覺測試，而嗅覺測試部份則是使用 500ml 的錐形瓶，內裝 200ml 的水樣，樣品置於 45°C 恆溫水槽內，測試時才取出，此方式的測試效果比樣品置於室溫底下所得的效果較佳。

經由再訓練的結果，除了準確度提升外，本研究以水中常見之異臭味物質，如 Geosmin 及 2-MIB 標準品為研究對象，其 FPA 強

¹ 成功大學環境工程學系碩士

² 成功大學環境工程學系副教授

³ 成功大學環境工程學系碩士班研究生

度單位與其標準品化學濃度之對數值間存在著一個線性關係。如果經由一個完整的訓練課程，相信對於水中臭度之定性或定量之能力可以提升，並提高其準確度。

前言

自來水水源中臭味形成的原因有很多⁽¹⁾，其中有許多是因為不同化學物質的產生，由於傳統水處理對臭味處理效果不佳，因此飲用水中的異臭味(taste-and-odor)問題在國內、歐美及日本等各國，也常是民眾抱怨水質不佳的原因之一⁽²⁻⁷⁾。

目前大部份國家對於水中臭味的標準檢驗方法都是以界限臭味值(threshold odor number, TON)來表示，此方法適用於飲用水、表面水、家庭廢水及工業廢水等。TON最主要的一個缺點是它對於產生臭味的物質只能提供一個總體強度(overall intensity)，而不能提供單獨味道的個別強度。且水樣須經由多次稀釋，在稀釋過程中，容易因人為誤差而造成所測得的水樣濃度可能比實際值高或低，受測試者個人因素影響甚大⁽⁹⁾。

每個人對於產生味道的化學物質有不同的敏感度，在同一時間，不同的兩個團體來鑑定水樣，若以 TON 方法來分析，其文獻記載 TON 可得到 8 和 128，顯示差異性非常大⁽¹⁰⁾。為了改善 TON 方法的缺點，因而發展出 FPA 方法。FPA 方法最先是被食品工業所發展⁽⁷⁾，而在 1981 年，第一次被美國的南加州都會區水公司(The Metropolitan Water District of Southern California, MWDSC)應用於水中異臭味物質的分析。在過去的幾年裏，FPA 方法已廣泛地應用於許多水廠及研究機構⁽⁹⁾。

FPA 方法採用至少四個測試人員來描述臭味的特徵與強度，相

對於 TON 方法中，臭味強度值是以總體強度來(overall intensity)表示，而在 FPA 方法則是採用每個測試員個別描述出的臭味的特徵與強度來表示。TON 方法需要將水樣經過稀釋的步驟，而 FPA 的方法並不需要採用稀釋法即可訂出強度值出來，因此 FPA 方法可以減少因水樣稀釋等人為因素所造成的誤差。

表 1 為不同水廠所採用的強度表示法，在食品工業及 MWDSC 所採用的是) (到 3 的符號表示法，而在美國費城水管理局 (Philadelphia Water Department, PWD)、費城郊區水公司 (Philadelphia Suburban Water Company, PSWC) 及法國里樣那公司 (Lyonnaise des Eaux, LE) 水廠所採用的則是 1 到 12 的符號表示法。

在美國費城及法國的測試團體中，當有超過 50% 的測試員採用相同的描述及強度，則將其所得到的個別強度平均即為其強度值⁽⁸⁾。但在食品業及 MWDSC，採用的則是一個範圍值，忽略較高或較低的強度值。之後，有人發現感覺反應值(sensory responses)與臭味物質濃度的對數值呈一關係存在(Weber-Fechner law, 即 W-F 定律)^(11,12)，它可以 (1) 式表示其間的關係。一般來說，使用前述的平均強度比較能代表幾何平均值。

$$\text{odor intensity} = \kappa' \times \log(\text{odorant concentration}) \quad (1)$$

式中 κ' 值 = olfactory response constant of the odorant

在文獻中提到⁽¹³⁾一些水廠的研究員將 W-F 定律應用在化合物的味道強度上，此 W-F law 可以改寫為：

$$S = a \text{Log}C + b \quad (2)$$

式中 S = odor intensity

a = constant for slope

C = concentration

$b = \text{constant for y-axis intercept}$

一般而言，人類可以將不同味道區分出，但是對於判斷其強度的精確度甚低，Engen 提到⁽¹⁴⁾，對於混合強度的認定一般會比個別強度的總合來得少。對於某種味道的認定易被較容易認定的味道所遮蔽(masking)。有些人對於某些化合物有所謂的嗅覺遮蔽(scent blind)，這種現象即稱為“嗅覺喪失症(anosmia)”。然而，除了對於強度量測的主觀性外，其味道強度與濃度對數值間存在良好的線性關係。

實驗設備與方法

FPA 訓練方法已被美國及法國多個水廠採用，此套方法提供飲用水中 flavor and odor 所需的相關資料，經由一連串的訓練課程後，對於異臭味物質的描述均能提供一個再現性的結果。以下簡單介紹一下訓練課程的內容及過程：

選擇測試人員

測試人員需有參加訓練的意願，且不易受他人的意見所支配者，在訓練開始前，先以 UPSIT (University of Pennsylvania Smell Identification Test) 嗅覺測試簿^[1]，作為初步篩選成員的選擇。在此測試中，共有四本冊子，有 40 種常見的味道，每本冊子皆有十頁之問題，每頁皆有五種不同之味道，以不含香料之鉛筆刮其上之測試片，判斷味道之種類並記錄之。經由此初步測試，篩選所須之基本成員，最少需要四個以上。

^[1]UPSIT(University of Pennsylvania Smell Identification Test)嗅覺測試簿購買來源：Sensonics, Inc. NJ. USA., <http://www.smelltest.com/>

訓練測試人員

訓練課程綱要如下，詳細內容則請參考高小萍（1998）⁽¹⁵⁾：

課程 1：嗅覺測試

課程 2：初嗅測試

課程 3：四種基本味覺測試

課程 4：強度描述學習

課程 5：區別不同味道學習

課程 6：了解因子學習

課程 7：區別不同味道學習

課程 8：數值強度學習

課程 9：嗅覺參考資料練習

課程 10：臭味強度練習

課程 11：不同水樣練習

方法

1、樣品前準備

(1) 臭味分析

使用 500ml 的錐形瓶，內裝 200ml 的水樣，並在 45°C 的水浴下操作。以單手握取錐形瓶底部，輕晃水樣(勿上下搖動)，以另一手打開玻璃瓶蓋聞之並記錄其味道及強度。

(2) 味覺分析

只有確定水樣是無毒無菌狀態下，才可以使用味覺分析，在 25°C 下操作。

2、強度

FPA 強度單位的符號表示法有二種(如表一)，前述文中曾提及使用平均強度比較能代表幾何平均值，且 FPA 強度與臭味物質之

濃度對數值呈一線性關係(Weber-Fechner law)，為了方便統計與表示，因此本研究小組採用 1-12 scale 的符號表示法來作為對於味道強度單位的表示。

訓練結果與討論

本研究利用 UPSIT 嗅覺測試簿作為篩選測試人員之工具，測試結果顯示除了對於測試本上國內不常見之味道外，大部份的測試者均能得到良好的測試結果，其準確度均大於 85% 以上，本研究之測試小組經篩選後共有六位基本成員。

訓練課程開始之前的半個小時，測試人員不得進食或擦洗任何會影響測試的刺激物品，且必須沒有感冒及過敏，以避免影響測試的準確度。FPA 測試需要良好的測試環境，室內空氣良好，無異臭味物質的存在，本研究初以實驗室為測試地點，但因環境品質欠佳而選擇本系教室作為測試地點。

本訓練共有 11 個課程，其中除了 UPSIT 嗅覺測試簿測試外，另含六種味覺的訓練課程及四種嗅覺的訓練課程。本研究小組經由兩階段課程來加強對於味道的定性定量的判斷，由表二可看出，在五種不同的課程裏，每個測試員於第二階段的準確度大多都比第一階段來的好，除了少數成員因當天的身體狀況不佳而影響其準確度外，很清楚的可以知道經由再訓練的結果可提升對於味道判斷的準確度。

為了解測試人員受訓練結果，研究中以兩種水中常見常見之土臭味物質 Geosmin 及 MIB，配製成不同濃度之水溶液，進行 FPA 測試。將不同濃度與各受測試者之 FPA 強度及平均值 FPA 強度單位作圖，由圖 1 及圖 2 可看出個別受測試者之 FPA 強度與平均值甚

為接近，且與兩臭味物質之濃度對數值呈線性關係，這與文獻中所提及之 Weber-Fechner law 相符(式 1 及式 2)。

應用

本研究首次以 FPA 方法替代傳統之初嗅數(TON)方法應用在高雄第七區管理處澄清湖給水廠原水、清水、混沉池及過濾池這四種處理單元的水質，及屏東港西抽水站之原水、混沉池、RBC 處理後段池及清水這四種處理單元的水質進行分析。現場採樣記錄各水樣之 pH、溫度及餘氯，樣品不加任何藥品，並貯存在 4°C 下運回實驗室進行分析。樣品在 48 小時內分析完畢。

以 FPA 方法進行聞臭測試，取 200ml 的水樣置於 500ml 錐形瓶內，置於 45°C 的恆溫水槽中加熱，一小時後進行聞臭實驗並記錄結果。兩水廠採樣分析結果之資料經整理後，發現各水質味道的強度與水溫間並沒有很一致的相關係數，這可能跟水質的環境變化因素有關，有待更進一步的研究與調查。

圖 3 至 7 分別為兩水廠各處理單元餘氯與各味道間 FPA 強度單位的關係圖，一般而言，當水中餘氯量大時，氣味相對的也比較重，而土臭味的強度很低甚至聞不出來。研究中試著加入適當的硫代硫酸鈉去除氯味，此時原被氯味覆著的土臭味普遍可以聞到，但測試者反應會產生另一種臭味而影響判斷。將兩水廠餘氯與氣味整理如圖 8 所示，並無法看出水中餘氯濃度與氣味間的關係，若將兩水廠清水中餘氯與氣味的關係整理如圖 9，很明顯可以看出當清水中餘氯含量大時，氣味也顯得較重。

由採樣分析結果看來，兩水廠各處理單元的水質均出現土臭味，將兩水廠歷次採樣各處理單元與土臭味整理如圖 10 及圖 11，

可看出經由這些處理流程，土臭味大致可以降低。澄清湖及港西兩水廠水質在混沉時土臭味即大幅降低，可能因加氯位置的關係，澄清湖水廠加氯位置在原木後，而港西則在 RBC 之後，因此，土臭味在澄清湖的混沉單元即被氯覆蓋，而港西則在 RBC 仍有味道，但在混沉池至已無土臭味。

結論與建議

1. 本研究首先採用 Flavor-Profile Analysis(FPA)的方法，代替傳統初嗅數(TON)，來建立量化臭味強度的能力。最初以 UPSIT 嗅覺測試簿來篩選決定測試員。FPA 測試人員最少需要四個人，兩階段分別有 11 個的訓練課程，發現測試員大多能提高對於味道判斷之準確度。
2. 在澄清湖給水廠及港西抽水站各四個處理單元均出現土臭味，由兩水廠的四種處理單元來看，土臭味在此二廠經處理單元可明顯的降低臭味強度，推測可能是因加氯而覆蓋土臭味。
3. FPA 方法就單一種臭味物質，理論上可以達到定性定量的目的，但由於台灣水質不佳，水中產生多種異臭味物質，再加上水廠中加氯量過高，導致許多異臭味的強度被氯味掩蓋，降低判斷的準確度。

誌謝

本研究承成大環工系葉宣顯教授提供資料，台灣省自來水公司澄清湖給水廠及港西抽水站協助採樣分析，在此一併誌謝。

參考文獻

1. 李俊德、陳是瑩、王月花、鄭明蕊、李明輝, “澄清湖水源臭味控制方法之研究”, 國立成功大學環境工程研究報告第 45 號, 民國 74 年.
2. Medsker, L.L., Jenkins, D. & Thomas, J.F. “Odorous Compounds in Natural Waters. An Earth Smelling Compound Associated with Blue-Green Algae and Actinomycetes,” *Envir. Sci. Technol.* 2:461, 1968.
3. Persson P.-E. “Off-Flavours in Aquatic Ecosystems-An Introduction”, *Water Science and Technology*, Vol.15, p2, 1983.
4. Yugi, M. et al., Odor Problems in Lake Biwa. *Wtr. Sci. Technol.*, 15:6/7:311, 1983.
5. Krasner, S.W., Hwang, C.J. & McGuire, M.J., A Standard Method for the Quantification of Earthy-Musty Odorants in Water, Sediments, and Algal Cultures. *Wtr. Sci. & Technol.*, 15:6/7:127, 1983.
6. Edward G Means III and Michael J. Mc Guire, “An Early Warning System for Taste and Odor Control.”, *J. AWWA*, March, 1986.
7. Jensen S.E., Anders C.L., Goatcher L.J., Perley T., Kenefick S. and Hruddy S.E., “Actinomycetes as a Factor in Odour Problems Affecting Drinking Water From the North Saskatchewan River” *Wat. Res.*, Vol.28, No.6, pp.1393-1401, 1994.
8. Krasner, S.W., McGuire, M.J. & Ferguson, V.B., Tastes and Odors : The Flavor Profile Method. *Jour. AWWA*, 77:3:34, 1985.
9. Mallevialle, J. and Suffet I.H.(eds) *Identification of Taste and Odor Compounds in the Drinking Waters*. American Water Works Association Research Foundation and Lyonnaise des Eaux, Denver, Colo., 1987.
10. Popalisky, J.R., Pogge, F. & McMurtrey, D., Analytical

Instrumentation : A Tool for Solving Taste and Odor Problems in
Water Treatment. Proc. AWWA Ann. Conf., Atlanta, Ga., 1975.

11. Fechner, G., *Elemente der Psychophysik. Leipzig.*, 1859.
12. Wright, R.H., *The Sense of Smell.* CRC Press, Inc., Boca Raton, Fla., 1982.
13. Diana M.C. Rashash, Robert C. Goehn, Andrea M. Dietrich, Thomas J. Grizzard, and Bruce C. Parker, *Identification and Control of Odorous Algal Metabolites.* American Water Works Association Research Foundation and American Water Works Association, 1996.
14. Engen, T., *The Perception of Odors.* New York: Academic Press., 1982.
15. 高小萍, "水中異臭味物質的分析", 國立成工大學環境工程學系碩士論文, 民國 87 年

表一、不同水廠採用的 FPA 強度符號表示法

Verbal Description	Intensity Scale	
	Original FPA Test and MWDSC	PWD, PSWC, LE
Threshold) (1
Very slight	1/2	2
Slight	1	4
Slight to moderate	1 1/2	6
Moderate	2	8
Moderate to Strong	2 1/2	10
Strong	3	12

Source: Mallevalle, J. and Suffet I.H.(eds)(1987) "Identification of Taste and Odor Compounds in the Drinking Waters.", pp128., American Water Works Association Research Foundation and Lyonnaise des Eaux, Denver, Colo

*) (為一表示符號，表示聞不到味道之意。

表二 FPA 訓練課程結果(以準確度表示)

	A	B	C	D	E	F	G	H
Class 4								
第一階段	66.7%	55.6%	11.1%	66.7%	77.8%	x	x	x
第二階段	100%	66.7%	83.3%	58.3%	91.7%	83.3%	83.3%	66.7%
Class 5								
第一階段	60%	60%	40%	80%	50%	x	x	x
第二階段	80%	10%	60%	60%	60%	70%	70%	40%
Class 6								
第一階段	20%	50%	100%	50%	100%	x	x	x
第二階段	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Class 8								
第一階段	33.3%	50%	50%	33.3%	50%			
第二階段	83.3%	83.3%	83.3%	100%	100%	50%	100%	50%
Class 11								
第一階段	50%	16.7%	33.3%	66.7%	83.3%	x	x	x
第二階段	16.7%	66.7%	66.7%	x	33.3%	50%	50%	83.3%

A~H：表示測試員之代號

x：表示未參與測試

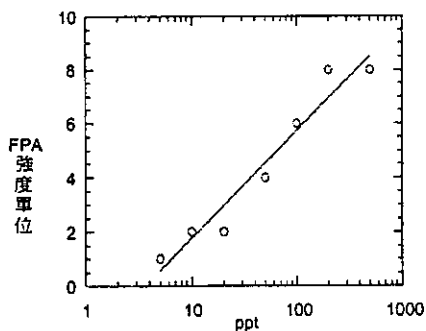


圖 1、不同濃度之 Geosmin 與 FPA 強度單位關係圖

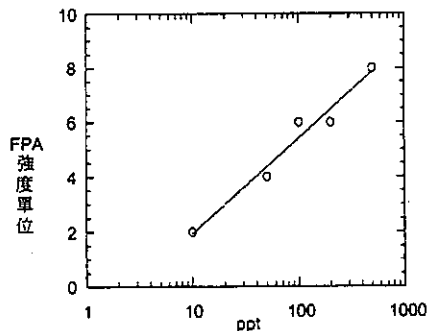


圖 2、不同濃度之 MIB 與 FPA 強度單位關係圖

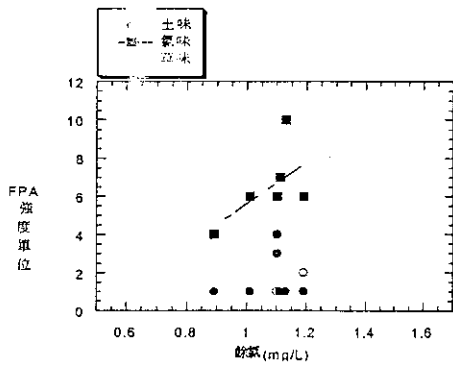


圖 3、澄清湖給水廠清水餘氯與土味及氯味的關係圖

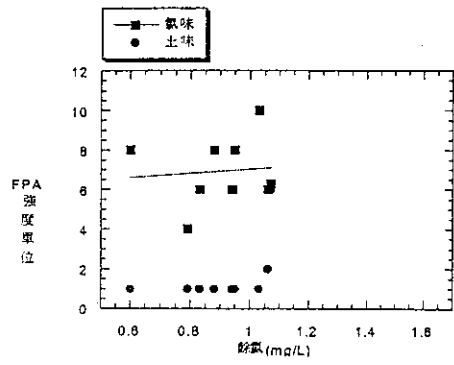


圖 6、港西抽水站清水餘氯與土味及氯味的關係圖

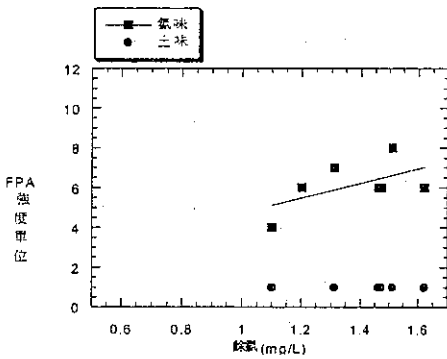


圖 4、澄清湖給水廠混沉池餘氯與土味及氯味的關係圖

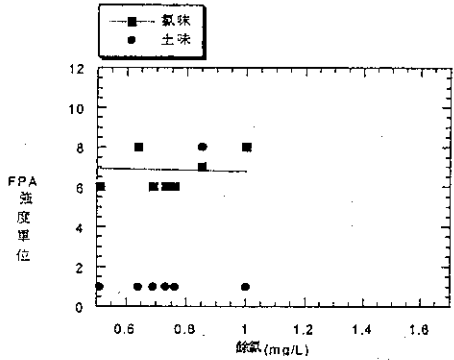


圖 7、港西抽水站混沉餘氯與土味及氯味的關係圖

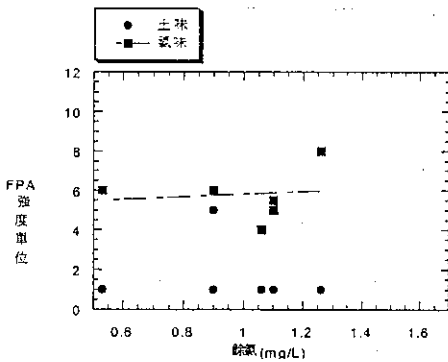


圖 5、澄清湖給水廠過濾池餘氯與土味及氯味的關係圖

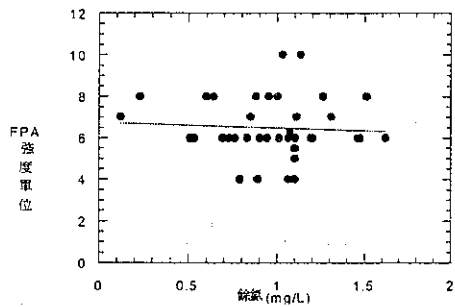


圖 8、澄清湖給水廠及港西抽水站處理單元中餘氯與氯味間的關係

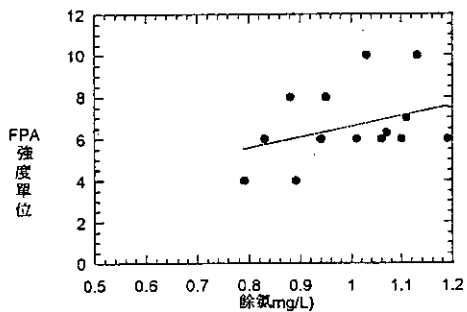


圖 9、澄清湖給水廠及港西抽水站清水中餘氯與氣味的關係圖

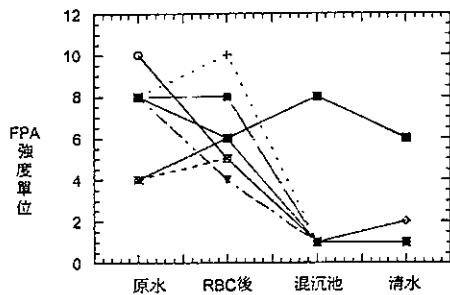


圖 11、港西抽水站歷次採樣土臭味與各處理單元間的關係圖

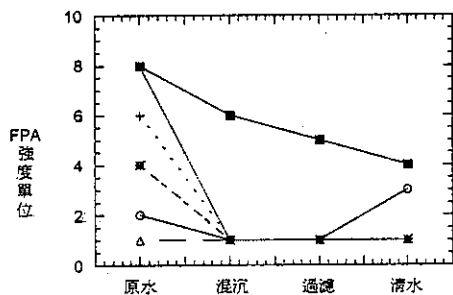


圖 10、澄清湖給水廠歷次採樣土臭味與各處理單元間的關係圖