

事業廢棄物非法掩埋場周邊民井水質揮發性有機物之調查研究

王正雄* 陳麗霞 鄭資英
傅千育

CHENG-HSUNG WANG*, LI-SHIAR CHEN, TZU-YIN CHENG, CHIEN-YU FU

行政院環境保護署環境檢驗所, 桃園縣中壢市民族路三段260號

National Institute of Environmental Analysis, Environmental Protection Administration Government of the Republic of China, No.260, Sec 3, Ming Tsu Rd., Chung Li City, Taoyuan County, Taiwan 320, R.O.C.

*通訊作者 Correspondence author. E-mail: cswang@adm.epa.gov.tw

目標：本研究在探討事業廢棄物非法掩埋場址附近民井水質可能受揮發性有機物(Volatile Organic Compounds, 簡稱VOCs)污染之暴露評估。**方法：**本研究於53處事業廢棄物非法掩埋場址附近1公里範圍內, 調查344口民井, 估算井深, 測定水溫, 以密閉容器採取水樣, 攜回實驗室內以吹氣捕捉毛細管柱氣相層析法/串聯式光離子化偵測器及電解導電感應偵測器檢測法, 檢測水樣受揮發性有機物污染之情形。**結果：**344口民井水樣中, 測得69口受七種VOCs污染, 包括: 42個水樣檢出總三鹵甲烷(0.43~24.88 $\mu\text{g/L}$, 平均1.93 $\mu\text{g/L}$)、28個水樣檢出1,1,1-三氯乙烷(0.41~4.03 $\mu\text{g/L}$, 平均1.05 $\mu\text{g/L}$)、15個水樣檢出1,1-二氯乙烯(0.88~12.18 $\mu\text{g/L}$, 平均2.71 $\mu\text{g/L}$)、8個水樣檢出氯乙烯(0.47~0.66 $\mu\text{g/L}$, 平均0.53 $\mu\text{g/L}$)、3個水樣檢出三氯乙烯(0.52~3.45 $\mu\text{g/L}$, 平均1.51 $\mu\text{g/L}$)、3個水樣檢出四氯化碳(0.43~1.54 $\mu\text{g/L}$, 平均0.69 $\mu\text{g/L}$)及2個水樣檢出1,2-二氯乙烷(1.18和1.28 $\mu\text{g/L}$ 、平均1.23 $\mu\text{g/L}$)。大部份水樣可檢出一種VOC, 但部份水樣可同時檢出4種VOCs。個別水樣之VOCs總濃度多在1.0~5.0 $\mu\text{g/L}$ 之間, VOCs污染物中除1,1-二氯乙烯在高雄縣有1件(12.18 $\mu\text{g/L}$)、屏東縣有2件(7.15 $\mu\text{g/L}$ 、7.46 $\mu\text{g/L}$)超出飲用水水質標準(7 $\mu\text{g/L}$)外, 餘均符合規定。**結論：**廢棄物不當掩埋可能會對附近民井之水質造成污染, 建議受VOCs污染之井水須經煮沸後飲用。(中華衛誌 2000; 19(2): 119-129)

關鍵字：廢棄物污染、地下水、揮發性有機化合物。

An investigation on volatile organic compounds in ground water at industrial waste dump sites

Objectives: This research was conducted to investigate the contamination of volatile organic compounds (VOCs) in the ground water obtained from wells near illegal dump sites of industrial wastes. **Methods:** Samples were obtained from 344 wells located within one kilometer in distance from 53 dumping sites identified in 3 counties and cities. The depth of wells and the temperature of samples were measured at the sampling sites and collected using closed containers. VOCs were analyzed at the Environmental Protection Administration Laboratory by purge and trap pretreatment capillary column gas chromatography equipped with photoionization and electrolytic conductivity detectors in series. **Results:** Among 344 wells, 7 VOCs were quantitated in samples from 69 wells (20.1%). These contaminants included: total trihalomethane(0.43~24.88 $\mu\text{g/L}$, averaged 1.93 $\mu\text{g/L}$) in 42 samples, 1,1,1-trichloroethane(0.41~4.03 $\mu\text{g/L}$, averaged 1.05 $\mu\text{g/L}$) in 28 samples, 1,1-dichloroethene(0.88~12.18 $\mu\text{g/L}$, averaged 2.71 $\mu\text{g/L}$) in 15 samples, vinyl chloride(0.47~0.66 $\mu\text{g/L}$, averaged 0.53 $\mu\text{g/L}$) in 8 samples, trichloroethene(0.52~3.45 $\mu\text{g/L}$, averaged 1.51 $\mu\text{g/L}$) in 3 samples, carbon tetrachloride(0.43~1.54 $\mu\text{g/L}$, averaged 0.69 $\mu\text{g/L}$) in 3 samples, and 1,2-dichloroethane(1.18 and 1.28 $\mu\text{g/L}$, averaged 1.23 $\mu\text{g/L}$) in 2 samples. Four VOCs have been identified for few samples. The total VOCs concentrations ranged from 1.0 to 5.0 $\mu\text{g/L}$ for most samples. The concentrations of 1,1-dichloroethene for one sample(12.18 $\mu\text{g/L}$)obtained in Kaoshiung and for two samples(7.15 $\mu\text{g/L}$ 、7.46 $\mu\text{g/L}$)obtained in Pingtung were above the government drinking water quality standard. Other pollutants were below the government drinking water quality standard. **Conclusions:** Improperly dumped waste may contaminate well water. Although contaminated chemicals in well water were not all in high concentrations, it remains a better policy for residents to drink boiled water. (Chin J Public Health. (Taipei): 2000;19(2):119-129)

Key words: industrial waste contamination, ground water, volatile organic compounds.

前言

台灣地區自來水普及率雖已達89.5%[1]，惟各縣市之自來水分布極不均勻，部分鄉鎮(如屏東縣、高雄縣等)自來水普及率極低[2]，甚至於沒有自來水供應，民眾以井水維生；因此，地下井水之水質是否受到污染，關係當地居民健康至鉅。

過去之井水水質污染以微生物為主，近年來則因工業發達，地下水常受工廠廢水、廢棄物滲漏水污染，尤其是一些廢棄物代清除處理業者在偏遠郊區，將地底下的砂石挖掘出售，再以事業廢棄物非法回填掩埋，造成嚴重地下水之污染，美國super fund曾有廢棄物非法掩埋造成污染之案例[3]。環保署除委託財團法人工業技術研究院等篩選出事業廢棄物非法掩埋最嚴重之彰化、高雄、屏東三個縣進行清除評估外[4]，本研究擬針對附近之民井進行飲用水水質標準中揮發性有機物(Volatile Organic Compounds，簡稱VOCs)項目之檢測。

飲用水中的揮發性有機物多數具有致癌性[5]，對人體健康影響至鉅，聯合國世界衛生組織(World Health Organization，簡稱WHO)1993年公布二十六項飲用水中有害揮發性有機物[6]。據Westrick(1990)之報告[7]，美國環保署自1975年至1981年分區展開地下水中VOCs之調查，結果發現地下水中可檢測出60種揮發性有機物(偵測極限為0.2 $\mu\text{g/L}$)，其後幾經評估，而於1995年針對24種揮發性有機物訂有最大污染容許量(Maximum Contaminant Level，簡稱MCL)[8]，1996年則增加至26種[5]。國內飲用水水質標準過去由省市自行訂定，因標準不一，執行屢生困擾，飲用水管理條例於1997年修正公布之後，飲用水水質標準改由中央主管機關統一訂定，行政院環保署於1997年參考美國之MCL，將12種揮發性有機物列為飲用水水質之管制項目[9]，其中屬於消毒副產物之氯仿、一溴二氯甲烷、二溴一氯甲烷及溴仿四種化合物合併為總三鹵甲烷一項，加上其餘8

項，共訂定9項管制值。

飲用水源中VOCs之污染調查為美國近年來熱門的環保課題，據James(1998)之報告[10]，美國國家工程隊於1985年在Logistics Center之淺層地表檢測到trichloroethylene (TCE)等VOCs。1987年美國環保署確認附近之地下水已受此TCE之污染，其距離達一英里。1989年以後，超級基金(Superfund)地下水之污染調查設計多以污染源半徑一英里作羽狀的系統分布調查。Eckhardt and Stackelberg(1995)在紐約長島調查地下水證實VOCs之出現與人口密度有關[11]，意即地下水之VOCs污染源自於人為污染。Lapham(1997)編輯美國地下水VOCs之污染調查評估報告指出工業廢棄物掩埋處理為地下水VOCs污染最主要原因之一[3]，美國政府並將之列為優先整治(National Priority List Sites)。Gilliom(1995)曾設計水源調查評估之流程[12]，Daly and Lindsey(1996)依據此流程在美國賓州及馬利蘭州調查118口飲用水淺層水井(Shallow ground water)[13]，32口水井檢測出24種VOCs，其中以Methyl tert-butyl ether(簡稱MTBE)最普遍，其次為Chloroform，但均未超過USEPA所訂之MCL或LHAL(Lifetime Health Advisory Levels)，且都市地下水井受VOCs之污染要高於農業地區。

在國內飲用水受VOCs污染之調查研究起步較晚，蔣本基等(1990)[14]首先著手飲用水中揮發性有機物之探討。據樓基中(1996)[15]對自來水淨水場原水採樣30件，其中2件(6.7%)檢測出VOCs。另林財富(1997)[16]於自來水淨水廠原水採樣26件，僅1件(3.8%)分析檢測得一溴二氯甲烷。林又於1999年[17]採原水33件，檢測得1,2-二氯乙烷3件(9%)；33件樣品中，有5件地下水樣品中皆未檢出VOCs。

本調查研究係針對已被發現之53處事業廢棄物非法掩埋場址[4]附近1公里內可能受污染之344口民井，進行水質採樣、檢驗分析其受VOCs污染情形。

投稿日期：88年9月3日

接受日期：89年3月16日



材料與方法

(一) 採樣計畫

採樣地點為高雄縣、屏東縣、彰化縣偏遠地區，在1999年2月至6月之春季期間，於日間針對已被發現之53處事業廢棄物非法掩埋場址附近一公里範圍內之344口民井採取水樣，均為淺層水井(井深：10-50公尺)。依環保署公告之地下水採樣方法[18]，井水由馬達抽取，經水龍頭流出，採樣時先讓水由水龍頭持續流出，直至水溫達到穩定時(22-30℃約10分鐘)，將水樣40ml流入採樣瓶內，加入2滴1:1 HCl，然後將瓶蓋旋緊密封，並確認瓶內無氣泡，每一口井採取2個水樣，第一個水樣作為測試濃度之用，第二個水樣作為真實樣品分析或添加樣品分析之用。採樣後之樣品於4℃下冷藏，送回實驗室檢測，樣品於十四天內完成分析。

(二) 檢測方法

本研究以環保署公告之飲用水中揮發性有機化合物檢測方法—吹氣捕捉毛細管柱氣相層析法/串聯式光離子化偵測器及電解導電感應偵測器檢測法(NIEA W784.50C)檢測水樣[19]。若測出含有揮發性有機化合物時，樣品再以USEPA M524.2「飲用水中揮發性有機化合物檢測方法-吹氣捕捉/氣相層析質譜儀法」確認分析之[20]。

(三) 儀器裝置

本研究使用之主要儀器裝置有(1)氣相層析系統(Hewlett Packard 5890 series II GC)，(2)吹氣捕捉濃縮儀(Tekmar LSC 2000型)，(3)自動進樣器(ALS 2016型)，(4)氣密式樣品注射器，(5)微量注射針，(6)樣品瓶，(7)圓底燒瓶，和(8)加熱包。

(四) 試藥

本研究使用之試藥皆為最高純度(純度皆在99.5%以上)，主要有(1)十二種揮發性有機物混合儲備標準溶液(2000μg/mL, Supelco 或 Accu Standard)，成分包括：氯乙烯、1,1-二

氯乙烯、1,1,1-三氯乙烷、四氯化碳、苯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、1,4-二氯苯、氯仿、二氯一溴甲烷、一氯二溴甲烷、溴仿等十二種化合物，溶於甲醇中。(2)甲醇、鹽酸、正丙醇、氮氣、氬氣。

(五) 品保品管

本研究之檢量線範圍為0.40μg/L至16.0μg/L，其檢量線線性R值在0.995以上；每十個或每批次樣品分析時，均進行一個查核樣品分析(配製值為8.00μg/L)，所得的回收率範圍在80%至120%之間；每十個或每批次樣品分析時，均進行一個添加樣品分析，其添加濃度為8.00μg/L，所得的回收率範圍在75%至125%之間；每十個或每批次樣品分析時，均進行一個設備空白及實驗室空白分析，其濃度必須低於檢量線最低點0.4μg/L；偵測極限以儀器所能偵測之最低濃度0.4μg/L代表之。

結 果

本調查研究自1999年2月至6月，共計採得屏東縣、高雄縣、彰化縣事業廢棄物非法掩埋場53處附近344口民井井水，每一水井採取2件樣品，進行檢測分析，結果揮發性有機物陽性樣品統計如表一所示。

由表一所示，在53處掩埋場344件樣品中，有32場(60.4%)69口井(20.1%)檢出揮發性有機物。其中彰化縣21場、57口井，有12場(57.1%)14口井(24.6%)檢出VOCs；高雄縣17場141口井，有9場(52.9%)24口井(17.0%)檢出VOCs；屏東縣15場146口井，有11場(73.3%)31口井(21.2%)檢出VOCs。此等檢出VOCs之樣品，有的一口井只檢出一種揮發性有機物，有的則可檢出四種之多(圖一)。

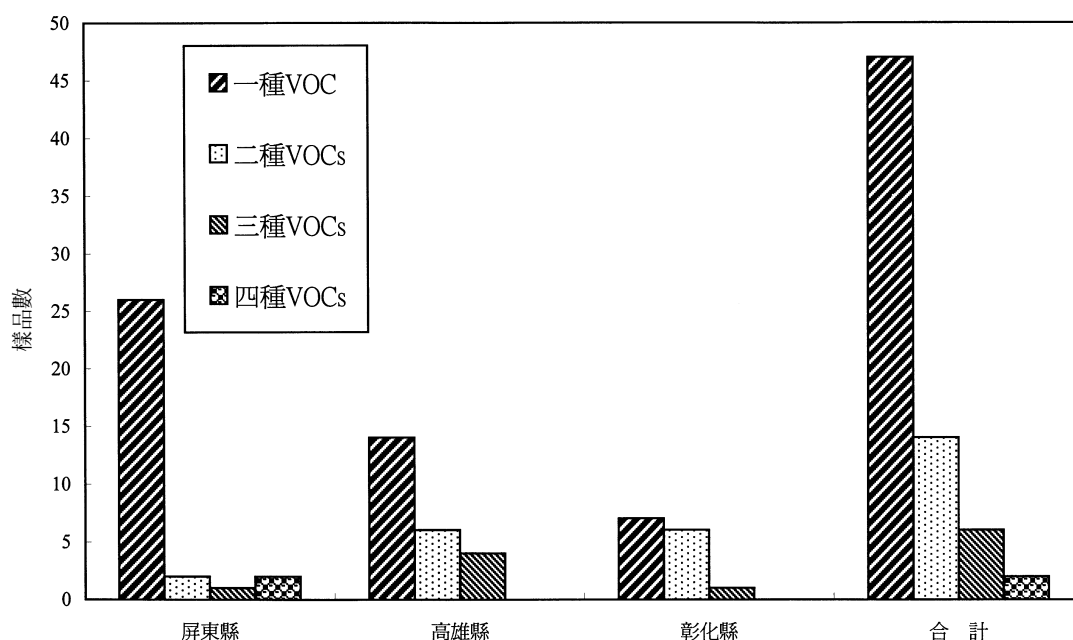
圖一可以顯示，水體樣品檢出VOCs種類之情形，大部分的陽性樣品可檢出一種VOC(68.1%)，檢測出二種VOCs者佔20.3%，檢測出三種VOCs者佔8.7%，四種VOCs者佔2.9%。由各縣來探討發現，屏東檢出一種成份者佔83.9%，平均每一樣品檢出1.32種成份，其中兩件樣品含有四種成份之VOCs；高

表一 事業廢棄物掩埋場附近地下水井揮發性有機物(VOCs)檢出統計表

	屏東縣	高雄縣	彰化縣	合計
廢棄物掩埋場數	15	17	21	53
附近井水檢出VOCs場數	11	9	12	32
檢出率 (%)	(73.3)	(52.9)	(57.1)	(60.4)
民井採樣數(口井)	146	141	57	344
檢出VOCs之樣品數(口井)	31	24	14	69
民井VOCs檢出率(%)	(21.2)	(17.0)	(24.6)	(20.1)

* 本研究之VOCs包括：氯乙烯、1,1-二氯乙烯、1,1,1-三氯乙烷、四氯化碳、苯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、1,4-二氯苯、總三鹵甲烷。

** 本研究之偵測極限為0.4 μ g/L。



圖一 事業廢棄物掩埋場附近各地下水樣品檢出揮發性有機物之種數統計圖

雄縣多為一～二種成份(合佔83.9%)，平均每一樣品檢出1.58種VOCs成份；彰化縣平均每一樣品檢出1.57種VOCs。各水樣所含八種揮發性有機物及總三鹵甲烷之檢出頻率如表二所示。

由表二所示，在69件陽性樣品中，一共檢測出101項次之VOCs，就中以三鹵甲烷的檢出42項次頻率最高，佔VOCs總項次41.6%(主要為氯仿)，其次依序為1,1,1-三氯乙烷28項次(27.7%)、1,1-二氯乙烯15項次(14.9%)、

氯乙烯8項次(7.9%)、三氯乙烯3項次(3.0%)、四氯化碳3項次(3.0%)、1,2-二氯乙烷2項次(2.0%)；苯及1,4-二氯苯則未檢出，各種揮發性有機物之檢出濃度列如表三。

由表三顯示，氯乙烯8個樣品之平均濃度為0.53 μ g/L(濃度範圍0.47~0.66 μ g/L)；1,1-二氯乙烯15個樣品之平均濃度為2.71 μ g/L(濃度範圍0.88~12.18 μ g/L)；1,1,1-三氯乙烷28個樣品之平均濃度為1.05 μ g/L(濃度範圍0.41~4.03 μ g/L)；四氯化碳3個樣品之平均濃

表二 事業廢棄物掩埋場附近地下水井檢出揮發性有機物各管制項目之頻率

	屏東縣	高雄縣	彰化縣	合計
氯乙烯	0	1	7	8
1,1-二氯乙烯	6	9	0	15
1,1,1-三氯乙烷	3	11	14	28
四氯化碳	3	0	0	3
苯	0	0	0	0
1,2-二氯乙烷	0	2	0	2
三氯乙烯	2	1	0	3
1,4-二氯苯	0	0	0	0
總三鹵甲烷*	27	14	1	42
合計	41	38	22	101

* 總三鹵甲烷包括氯仿、一溴二氯甲烷、二溴一氯甲烷及溴仿。

* 採樣期程為1999年2月至6月之春季期間，於八時至十八時採取水樣。

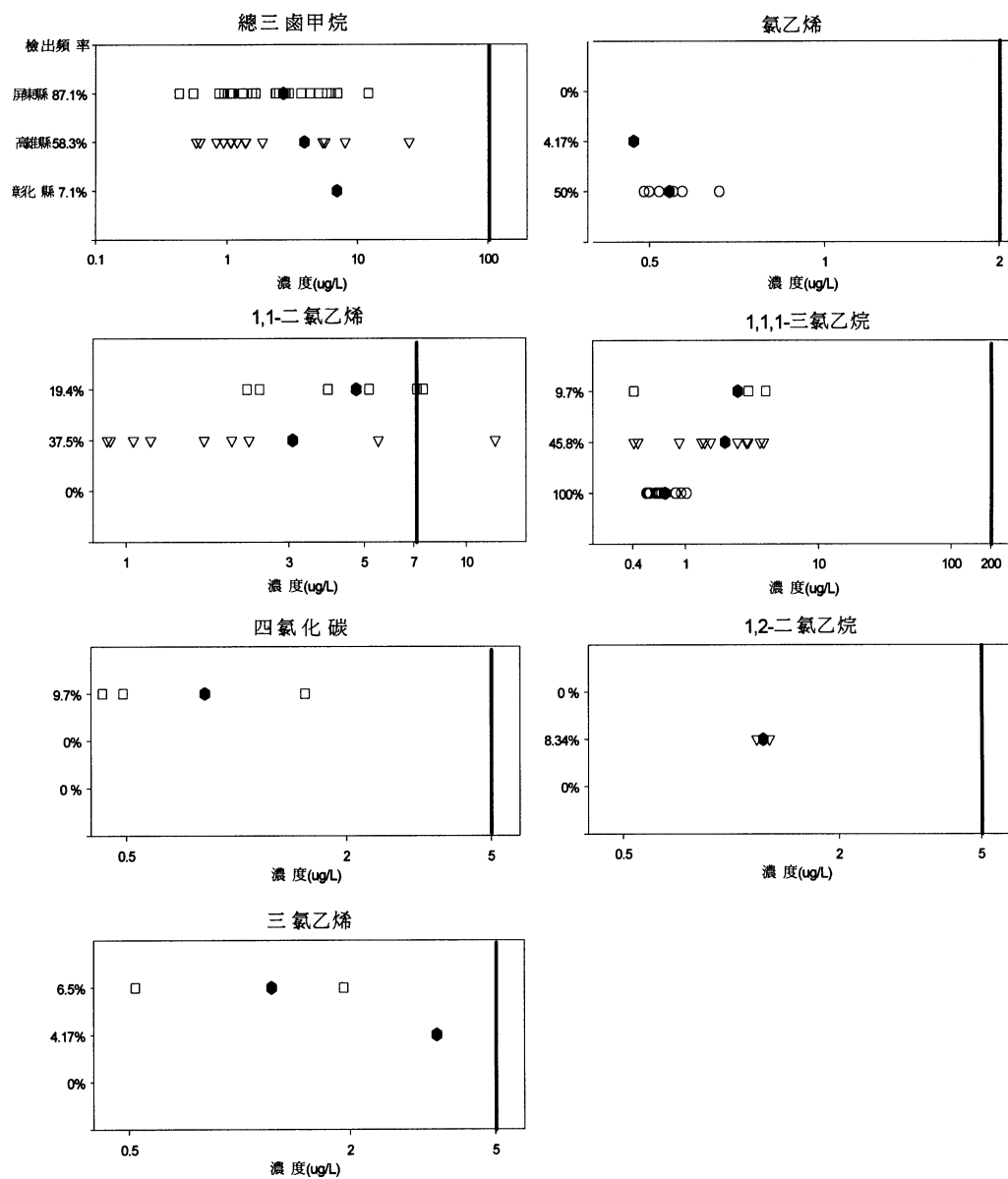
表三 事業廢棄物掩埋場附近地下水井檢出揮發性有機物管制陽性水樣檢出濃度統計表(單位:μg/L)

揮發性有機物	平均值(濃度範圍)			合計
	屏東縣	高雄縣	彰化縣	平均值(濃度範圍)
氯乙烯	0	0.47	0.54(0.49~0.66)	0.53(0.47~0.66)
1,1-二氯乙烯	4.26(2.26~7.46)	2.00(0.88~12.18)	0	2.71(0.88~12.18)
1,1,1-三氯乙烷	1.70(0.41~4.03)	1.57(0.41~3.87)	0.69(0.51~1.02)	1.05(0.41~4.03)
四氯化碳	0.69(0.43~1.54)	0	0	0.69(0.43~1.54)
苯	0	0	0	0
1,2-二氯乙烷	0	1.23(1.18~1.28)	0	1.23(1.18~1.28)
三氯乙烯	1.00(0.52~1.92)	3.45	0	1.51(0.52~3.45)
1,4-二氯苯	0	0	0	0
總三鹵甲烷	1.85(0.43~8.62)	1.91(0.58~24.88)	6.96	1.93(0.43~24.88)

度為0.69μg/L(濃度範圍0.43~1.54μg/L)；1,2-二氯乙烷2個樣品之平均濃度為1.23μg/L(濃度範圍1.18~1.28μg/L)；三氯乙烯3個樣品之平均濃度為1.51μg/L(濃度範圍0.52~3.45μg/L)；總三鹵甲烷42個樣品之平均濃度為1.93μg/L(濃度範圍0.43~24.88μg/L)。茲再就個別的揮發性有機物在各縣檢出之頻率、檢出之最高、最低及平均濃度，並與我國飲用水水質標準比較如圖二。

由圖二所示：可知總三鹵甲烷在彰化、高雄、屏東縣之檢出件數分別為1件、14件、27件，檢出頻率分別為7.1%、58.3%及

87.1%，檢出之平均濃度分別為6.96μg/L、1.91μg/L、1.85μg/L，最高濃度為高雄縣的24.88μg/L，惟尚未超出我國的飲用水水質標準(100μg/L)。氯乙烯在彰化、高雄之檢出件數分別為7件、1件，屏東則未檢出；檢出頻率分別為5%、4.2%；檢出之平均濃度分別為0.54μg/L、0.47μg/L；最高濃度為彰化縣之0.66μg/L，尚未超出我國的飲用水水質標準(2μg/L)。1,1-二氯乙烯在彰化縣未檢出，高雄縣與屏東縣則各檢出9件、6件；檢出頻率分別為37.5%、19.4%；檢出之平均濃度分別為2.00μg/L、4.26μg/L；其中高雄縣1件



圖二 事業廢棄物非法掩埋場附近水中揮發性有機物檢出頻率及濃度統計圖(1999)

(12.18 $\mu\text{g/L}$)、屏東縣2件(7.15 $\mu\text{g/L}$ 、7.46 $\mu\text{g/L}$)超出我國的飲用水水質標準(7 $\mu\text{g/L}$)。1,1,1-三氯乙烷在彰化、高雄、屏東縣之檢出件數分別為14件、11件、3件；檢出頻率分別為100%、45.8%、9.7%；檢出之平均濃度分別為0.69 $\mu\text{g/L}$ 、1.57 $\mu\text{g/L}$ 、1.70 $\mu\text{g/L}$ ；最高濃度為屏東縣之4.03 $\mu\text{g/L}$ ，與飲用水水質標準(200 $\mu\text{g/L}$)距離尚遠。四氯化碳僅在屏東縣檢出3件，檢出頻率為9.7%，平均濃度為0.69 $\mu\text{g/L}$ ，最高濃度為1.54 $\mu\text{g/L}$ ，未超過飲用水水質標準(5 $\mu\text{g/L}$)。1,2-二氯乙烷僅在高雄縣檢出2件樣品，檢出率為8.3%，平均濃度為1.23 $\mu\text{g/L}$ ，最高濃度為1.28 $\mu\text{g/L}$ ，未超過飲用水水質標準(5 $\mu\text{g/L}$)。三氯乙烯在高雄縣檢出1件、屏東縣檢出2件、檢出頻率分別為4.2%、6.5%，平均濃度分別為3.45 $\mu\text{g/L}$ 、1.00 $\mu\text{g/L}$ ，最高濃度為高雄縣3.45 $\mu\text{g/L}$ ，均未超過飲用水水質標準(5 $\mu\text{g/L}$)。

如以每件樣品檢出之VOCs總濃度統計，則各縣VOCs陽性樣品之總濃度比較如表四。69件樣品之VOCs總濃度主要多在1.0~5.0 $\mu\text{g/L}$ (55.1%)範圍內，而彰化縣以檢出0.5~1.0 $\mu\text{g/L}$ (50.0%)之樣品最多。

討 論

揮發性有機物大多具致癌性，或對肝、腎有毒，對人體健康危害至鉅[5,21]，由於國外飲用水中揮發性有機物之出現頻率大多是在受污染的地下水中發現，且通常是不當的廢棄物處置所引起的污染，而造成地下水質受到影響[22]。本調查研究事業廢棄物非

法掩埋場址遍及彰化、高雄、屏東縣，部分鄉鎮之自來水普及率偏低，而屏東縣萬丹鄉、九如鄉甚至於無自來水設施，其自來水普及率為0 [2]。因此，揮發性有機物項目之調查，對於屏東縣以地下水作為飲用水源之水質而言，更形重要。

依Daly and Lindsey(1996)[13]之報告，廢棄物掩埋場或棄置場之VOCs滲漏入地下，可能污染居民賴以維生之井水。Ward(1996)等稱掩埋場之VOCs滲漏入地下水主要在地表9.5公尺深，水平面100公尺範圍呈羽狀分布的污染[23]。另依Lapham(1998)之報告，美國地下水VOCs污染調查有19%進行水文分析[24]。本研究調查係以偏遠地區廢棄物掩埋場周圍1公里範圍內之淺層民井，參考美國環保署superfund地下水污染調查方法進行採樣，採樣點附近無工廠，且人口稀少，採樣點分散，故未作採樣點個案之水脈、水文分析。

本研究調查之344口地下水井，檢測出飲用水水質標準管制之揮發性有機項目者有69口井，檢測出之揮發性有機物包括1,1-二氯乙烯、1,1,1-三氯乙烷、1,2-二氯乙烷、氯乙烯、三氯乙烯、四氯化碳等六種VOCs及總三鹵甲烷。依據蔣本基[14]、樓中基[15]、林財富[16,17]之調查報告，台灣地區地下水過去並無檢出VOCs，而本研究地下水之檢出率則高達20%，而且一口井有同時檢出數種VOCs者，顯示這幾口井的地下水可能已遭到污染，惟其濃度甚低，除3件樣品檢出1,1-二氯乙烯超量外，餘均在我國飲用水水質標準範圍內。

表四 受揮發性有機物污染井水各水樣總揮發性有機物濃度統計表

濃度範圍($\mu\text{g/L}$)	彰化縣(件)	高雄縣(件)	屏東縣(件)	合計
≤ 0.2	0	0	0	0(0%)
0.2~0.5	0	1(4.2%)	2(6.5%)	3(4.3%)
0.5~1.0	7(50.0%)	4(16.7%)	2(6.5%)	13(18.8%)
1.0~5.0	6(42.9%)	11(45.8%)	21(67.8%)	38(55.1%)
5.0~10.0	1(7.1%)	5(20.8%)	4(12.9%)	10(14.5%)
>10.0	0	3(12.5%)	2(6.5%)	5(7.2%)
合計	14(100%)	24(100%)	31(100%)	69(100%)

屏東縣自來水普及率較高雄縣、彰化縣為低[2]，所以民井亦相形較多，平均每一掩埋場附近調查9.7口井，要比高雄縣的8.3口、彰化縣的2.7口為高；而其掩埋場之滲漏水污染井水之比例(73.3%)亦相對的比高雄縣(52.9%)、彰化縣(57.1%)為高(表一)。但彰化縣VOCs之檢出頻率(24.6%)卻比屏東縣(21.2%)、高雄縣(17.2%)為高，尤其是1,1,1-三氯乙烷，每一陽性樣品皆可檢出。彰化縣調查出來的廢棄物主要為紙漿、皮革、醫療廢棄物[4]，受其污染之井水檢出1,1,1-三氯乙烷之比率最高(100%)，其次為氯乙烯(50%)、總三鹵甲烷(7.1%)。高雄縣掩埋之廢棄物多為廢溶劑、廢塑膠、營建廢棄物，井水檢出總三鹵甲烷(58.3%)最多，其次依序為1,1,1-三氯乙烷(45.8%)、1,1-二氯乙烯(37.5%)、1,2-二氯乙烷(8.3%)、氯乙烯(4.2%)、三氯乙烯(4.2%)。屏東縣掩埋之廢棄物多為污泥、灰渣、營建廢棄物，其井水檢出之VOCs亦以總三鹵甲烷(87.1%)比率最高，其次為1,1-二氯乙烯(19.4%)、1,1,1-三氯乙烷(9.7%)、四氯化碳(9.7%)，三氯乙烯(6.5%)。

在疑遭污染之69口井中，總三鹵甲烷檢出頻率最高(尤其是氯仿)。依Daly and Lindsey(1996)[13]之報告，賓州地下水之VOCs以methyl tert-butyl ether(MTBE)最為普遍，118口井中有32口檢出陽性，其次為Chloroform；MTBE為無鉛汽油之添加劑，我國飲用水水質標準並未列入管制，故本研究並未加以檢測。

三鹵甲烷具致癌性，並可能引起孕婦自發性之流產(spontaneous abortion)[25]，一般多發生於自來水加氯過程中所產生之消毒副產物[26]。據Pereira(1985)之報告[27]，紐約被污染水井氯仿的濃度在67~490 $\mu\text{g/L}$ 之間，荷蘭則為5 $\mu\text{g/L}$ 。Daly and Lindsey(1996)在美國賓州及馬利蘭州之井水調查報告[13]，氯仿之最高濃度為61 $\mu\text{g/L}$ 。蔣本基(1990)對水質較差之六堵淨水場原水檢出氯仿2.08~53.55 $\mu\text{g/L}$ (平均22.5 $\mu\text{g/L}$)[14]。本調查研究檢測出總三鹵甲烷計有42件樣品，其濃度範圍為0.43~24.88 $\mu\text{g/L}$ (平均1.93 $\mu\text{g/L}$)，均在飲用水管制濃度範圍內，且多發現於屏東

縣及高雄縣。

除了三鹵甲烷外，本調查研究檢出之VOCs以1,1,1-三氯乙烷為最頻繁，1,1,1-三氯乙烷依美國國家癌症研究中心(National Cancer Institute)對小白鼠及大白鼠之研究報告尚無致癌性，但口服攝入會導致急速噁心、嘔吐、腎、肝受損[28]。1,1,1-三氯乙烷為極佳之有機溶劑，舉凡天然、人工合成樹脂、乾洗、電子、塑膠工業之清潔劑均可用到。美國環保署在23個城市受污染地下水取樣平均濃度為2.1 $\mu\text{g/L}$ ，最大值3 $\mu\text{g/L}$ ，22%樣品可發現1,1,1-三氯乙烷，但尚未發現有天然存在者，其在水體中出現多是由於工廠廢氣、廢水、廢棄物污染所致[29,30]。蔣本基(1988)對地下水的調查研究並未測出1,1,1-三氯乙烷[31]，而本調查研究檢測出1,1,1-三氯乙烷達28件樣品，其濃度範圍為0.41~4.03 $\mu\text{g/L}$ (平均1.05 $\mu\text{g/L}$)，彰化縣的檢出頻率為100%，高於高雄縣、屏東縣甚多。

1,1-二氯乙烯雖不具致突變性，但對肝臟有毒，亦為人為之污染物，美國環保署在工業廢棄物掩埋場一英里外的地下水檢測出138 $\mu\text{g/L}$ 之二氯乙烯[32]。本調查研究在高雄縣、屏東縣檢測出1,1-二氯乙烯計有15件樣品，其濃度範圍為0.88~12.18 $\mu\text{g/L}$ (平均2.71 $\mu\text{g/L}$)，雖較美國環保署調查結果為低，但高雄縣有一個樣品、屏東縣有二個樣品超出我國的飲用水水質標準。

氯乙烯為人類確定之致癌物，係人工化學合成物，本不存於自然界中，但美國環保署卻在許多地下水中發現有氯乙烯之存在[33]，在紐澤西州1060口井有4口含量超過0.1 $\mu\text{g/L}$ 。本調查研究在彰化及高雄縣檢測出氯乙烯計有8件樣品，其濃度範圍為0.47~0.66 $\mu\text{g/L}$ (平均0.53 $\mu\text{g/L}$)，較美國環保署之報告，不論檢出頻率或檢出濃度均高，惟仍在飲用水水質標準範圍內。

三氯乙烯為人類可能致癌物，亦為工業廢棄物之污染物，一旦擴散到土壤中，它會迅速滲入地下水。美國環保署早年在25個城市之受污染地下水36%檢出三氯乙烯，濃度在0.11~53 $\mu\text{g/L}$ 之間[29]。USGS(1997)則在Connecticut等地調查133口受污染地下水，測

得三氯乙烯最高濃度達 $63\mu\text{g/L}$ [34]。本調查研究則在屏東縣檢出兩個樣品，其濃度範圍為 $0.52\sim 1.92\mu\text{g/L}$ (平均 $1.00\mu\text{g/L}$)，高雄縣檢出一個樣品，其濃度為 $3.45\mu\text{g/L}$ ，尚屬輕微污染。

四氯化碳為疑似致癌物，對肝、腎造成傷害，並可能在食物鏈中有濃縮現象。四氯化碳非天然形成，地下水中如有檢出，均為人為污染所致。根據美國環保署之報告，地下水之污染相當少，不及1%，其濃度在 $0.5\mu\text{g/L}$ 以下[35]，過去國內地下水檢測均為陰性，本調查研究則在屏東縣檢出三個樣品，佔屏東縣樣品之9.7%，其濃度範圍則為 $0.43\sim 1.54\mu\text{g/L}$ (平均 $0.69\mu\text{g/L}$)較美國環保署之報告為高。

1,2-二氯乙烷為疑似致癌物，並對肝臟有害，1,2-二氯乙烷亦非天然形成，且在工業上被限制排放，所以環境中少有此種污染物，據美國環保署之估計0.3%之受污染地下水源其1,2-二氯乙烷之濃度為 $0.5\sim 20\mu\text{g/L}$ [29]。國內地下水過去不曾檢出；本調查研究則在高雄縣之兩個樣品中檢出，其濃度為1.18 和 $1.28\mu\text{g/L}$ 。

本調查研究檢出之六種揮發性有機物及總三鹵甲烷，以總三鹵甲烷檢出頻率最高，多在屏東縣及高雄縣檢出；1,1,1-三氯乙烷在彰化縣、高雄縣普遍存在；至其污染濃度則以高雄縣、屏東縣檢出之1,1-二氯乙烯超出飲用水水質標準較值得重視；氯乙烯檢出之頻率及濃度均超出美國之報告，且多集中在彰化縣。

在檢出VOCs陽性之69件樣品中，各樣品所檢出VOCs之總濃度大多在 $1.0\sim 5.0\mu\text{g/L}$ 範圍(表四)，依Lapham(1998)之分類，屬中度污染[24]；就樣品VOCs濃度之總量而言，高雄縣超過 $5.0\mu\text{g/L}$ 之水樣佔33.3%，其污染程度要比屏東19.4%為高，而以彰化縣為最低(7.1%)。

多數有機污染物在地下水層中其水解效應(Hydrolysis process)不明顯，水解率常數非常小，故半衰期相當長，地下水一旦被有機物污染，整治極為困難。因VOCs容易揮發，Pankow等(1993)[36]曾以氣提法(Air

sparging)，McCann等(1994)[37]以蒸氣萃取法(Vapor extraction)整治污染之地下水；郭明錦(1996)[38]則在國內首先試用，將空氣經由注射井注入受污染之含水層，再由另一口井將空氣回收到地面，當注入之空氣在含水層內傳輸時，會讓原本溶解在水裡的揮發性有機污染物揮發至空氣中，而與空氣一齊由抽氣井被抽出，惟其所費不貲。

據James(1998)在Lewis之調查報告[10]，在石油污泥掩埋之污染點，其地下水三氯乙烯濃度可達 $50,000\text{ppb}$ ，而污染點周圍一哩之污染區則在 $100\sim 200\text{ppb}$ 之間，總污染量估計達110,000磅。如以抽氣處理系統每年可以處理1,400磅，則地下水質要達到美國聯邦MCL為 5ppb 可接受之標準，至少要花78年功夫。由於揮發性有機物之沸點均不高，地下水如受微量揮發性有機物污染，在飲用時可將水煮沸並掀開鍋蓋，讓有機物揮發殆盡，可減少飲用水中揮發性有機物之含量[39]。廢棄物不當掩埋可能會對附近民井之水質造成污染，建議受VOCs污染之井水須經煮沸後飲用。

誌 謝

本報告之完成，首先要感謝黃所長萬居之支持，台大環衛所宋所長鴻樟，王教授根樹之指導，公衛系張慧如老師協助提供上網查資料，還有環保署施雯玲小姐提供飲用水管理實務寶貴意見，蘇科長國澤提供廢棄物非法掩埋場資料，水保處提供地下水資料，彰化縣、高雄縣、屏東縣環保局協助地下水採樣。此外，本所董子棟先生、李宜樺先生協助整理資料及作圖，一併致謝。

參考文獻

1. 行政院環境保護署：中華民國台灣地區環境保護統計年報。台北：行政院環境保護署，1998；326。
2. 台灣省自來水公司：台灣省各縣市鄉鎮自來水供水普及率。台中：台灣省自來水公司，1999；17。
3. Lapham WW. USGS compiles data set for

- national assessment of VOCs in ground water: Ground Water Monitoring and Remediation. Fall 1997;147-57.
4. 財團法人工業技術研究院化學工業研究所、能源與資源研究所：不明廢棄物場址危害評估報告。台北：行政院環境保護署，1999；112。
 5. U.S.EPA.Drinking Water Regulations and Health Advisories: Office of Water, Washington DC., EPA 822-R-96-001, 1996;16.
 6. World Health Organization. Guidelines for Drinking Water Quality. Geneva: WHO 1993.
 7. Westrick JJ, Ram NM, Christman RF, Cantor KP. In Significance and Treatment of Volatile Organic Compounds in Water Supplies. Chelsea, MI: Lewis Publishers 1990;103-25.
 8. Frederick WP. An Update of the Federal Drinking Water Regs, J. AWWA 1995;48-57.
 9. 行政院環境保護署：飲用水管理相關法規彙編。台北：行政院環境保護署，1998；21-30。
 10. James RL. Innovative Technologies Join the Superfund Cleanup of Ground Water at Fort Lewis, Washington. U.S. Geological Survey Fact Sheet 1998;82-98.
 11. Eckhardt DAV, Stackelberg PE. Relation of ground-water quality to land use on Long Island. New York: Ground Water, 1995;33: 1019-33.
 12. Gilliom RJ, Alley WM, Gurtz ME. Design of the National Water-Quality Assessment Program-Occurrence and distribution of water-quality conditions: U. S. Geological Survey Circular 1112, 1995;33.
 13. Daly MH, Lindsey BD. Occurrence and concentrations of volatile organic compounds in shallow ground water in the Lower Susquehanna River Basin, Pennsylvania and Maryland: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigation Report 1996;96:4141-8.
 14. 蔣本基、張怡怡、林宜長、羅致述、樓基中：飲用水水質標準研究。台北：行政院環境保護署，1990；203。
 15. 樓基中：飲用水中有機物(含揮發性有機物)管制項目及管制標準之合理性分析(II)。台北：行政院環境保護署，1996；103。
 16. 林財富：飲用水中有機物(含揮發性有機物)管制項目及管制標準之合理性分析(III)。台北：行政院環境保護署，1997；173。
 17. 林財富：供飲用地下水簡易除砷方法之發展。台北：行政院環境保護署，1999；205。
 18. 行政院環境保護署：地下水採樣方法。環境檢測方法增訂本W103.50B。中壢：行政院環境保護署環境檢驗所，1998；16。
 19. 行政院環境保護署：飲用水中揮發性有機化合物檢測方法—吹氣捕捉毛細管柱氣相層析法/串聯式光離子化偵測器及電解導電感應偵測器檢測法。環境檢測方法增訂本W784.50C。中壢：行政院環境保護署環境檢驗所，1998；32。
 20. Eichelberger JW, Budde WL. Measurement of Purgeable Organic Compounds in Water by Capillary Column Gas Chromatography/Mass Spectrometry, Method 524.2 Revision 3.0. U.S. EPA, Environmental Monitoring System Laboratory. Cincinnati: Ohio, 1989;39.
 21. Deloraine A, Zmirou D, Tillier C, Boucharlat A, Bouti H. Case-Control Assessment of the Short-Term Health Effects of an Industrial Toxic Waste Landfill. Environmental Research 1995;68:124-32.
 22. Paul JS, Michael JM, Wayne WL, Curtis VP, Rick MC, John SZ. Volatile Organic Compounds in Untreated Ambient Groundwater of the United States, 1985-1995. U.S. Geological Survey Circular 1608, 1999;12.
 23. Ward RS, William GM, Hills CC. Changes in major and trace components of land-

- fill gas during subsurface migration. Waste Management and Research 1996;14:243-61.
24. Lapham WW, Moran MJ, Zogorski JS. Enhancements of nonpoint-source monitoring programs to assess volatile organic compounds in the Nations's ground water, in National Monitoring Conference, July 7-9, 1998, Reno, Nev., [Proceedings]: National Water-Quality Monitoring Council, 1998; III 371-81.
25. Shanna HS, Kirsten W, Barbara H, Gerald D. Trihalomethanes in Drinking Water and Spontaneous Abortion. J Epidemiology 1998;9:134-40.
26. Bender DA. Selection procedure and salient information for volatile organic compounds emphasized in the National Water-Quality Assessment Program. U.S. Geological Survey Open-File Report OFR 1999;99-132.
27. Pereira MA. Water Chlorination. Chem Environ Impact Health Eff, Proc Conf, 1985; 5th:229-36.
28. U.S.A. National Cancer Institute. Toxicology Review. Amer Indust Hyg Asso J 1979;40:A46.
29. U.S.EPA. Health Advisories for 25 Organics. U.S.EPA Washington DC, 1988.
30. U.S.EPA. Integrated Risk Information System (IRIS) on 1,1,1-trichloroethane. Environmental Criteria and Assessment Office, Office of Health and Environmental Assessment, Office of Research and Development. Cincinnati: OH, 1993.
31. 蔣本基：自來水廠中微量有機物之生成機制及控制技術研究(I)。台北：行政院國家科學委員會，1988；213。
32. U.S.EPA. Ambient Water Quality Criteria Doc: Dichloroethylenes. U.S.EPA 1980; 440/5-80-041.
33. U.S.EPA. Water Related Environmental Fate of 129 Priority Pollutants. U.S.EPA Office of Water Planning and Standards, 1979.
34. U.S.GS. Volatile Organic Compounds in Ground Water in the Connecticut Housonic, and Thames River-Basins, 1993-1995, National Water Quality Assessment. U.S. Geological Survey. <http://massl.er.usgs.gov/publications/Fso2997/index.html>. 1997;9.
35. U.S.EPA. Carbon Tetrachloride Occurrence in Drinking water, Food and Air. U.S.EPA Office of Drinking Water 1983;3.
36. Pankow JF, Johnson RL, Cherry JA. Air sparging in gate wells in cutoff walls and trenches for control of plumes of volatile organic compounds(VOCs), Ground Water 1993;31:654-63.
37. McCann M, Boersma P, Danko J, Guerriero M. Remediation of a VOC contaminated Superfund site using soil vapor extraction, groundwater extraction, and treatment: A case study, Environ Progress 1994;13: 208-13.
38. 郭明錦、黃東昇：現場土壤污染整治技術之開發。台北：行政院國家科學委員會，1996；215。
39. 江木泳、李欽慧、張玉玲：煮沸法去除自來水中三鹵甲烷之研究。行政院環境檢驗所環境調查研究年報第二號。台北：行政院環境保護署環境檢驗所，1994；431-68。