

烏腳病盛行地區井水砷含量之調查

郭宗禮

烏腳病是一種末梢血管病，它主要是發生於臺灣西南沿海地區的臺南縣之學甲鎮、北門鄉及嘉義縣的布袋鎮、義竹鄉這相鄰的四鄉鎮。由1960年代之研究發現，這地區深井水之含砷量相當高，而這地區居民約有11萬人，且約由1920年即開始飲用深井水。由流行病學之研究發現當地居民不但有很高的慢性砷中毒盛行率，同時也有很高的烏腳病盛行率。

本研究將回顧臺灣在1960-1970年代，有關烏腳病盛行地區，深井水砷含量之調查情況，並進一步探討當時所使用之砷定量方法，如靈敏度、再現性、回收率，井水中砷濃度之變化，井水含砷量與水井深度之關係及井水含砷之物種等。

關鍵詞：井深，水中砷含量，砷物種

前言

烏腳病是一種末梢血管病，它主要是發生於臺灣西南沿海地區之臺南縣的學甲鎮、北門鄉及嘉義縣的布袋鎮、義竹鄉這相鄰的四鄉鎮[1]。在1960年代之早期研究，認為飲用水[2-6]、食物[8,9]、營養[10]等可能與烏腳病有關。經由流行病學之研究發現，這地區11萬居民，大約由1920年即開始飲用深井水。經進一步之研究發現這地區深井水之含砷量相當高[2-5]，且當地居民亦有很高的慢性砷中毒盛行率[4]，因此砷與烏腳病之關係乃廣受重視。雖然在1975年之報告[11]發現井水中亦有螢光物質之存在，但在1985年之報告[12]則發現，井水中之螢光物質會和

砷結合成為有機錯合物，因此砷與烏腳病之關係似無法加以排除。

曾文賓教授在第一天之演講中，曾由流行病學之研究資料，及本人有關烏腳病盛行地區井水砷含量之調查資料，說明此地區居民之烏腳病，與砷有劑量效應關係之外[13,14]，其他如肺癌，肝癌，膀胱癌，皮膚癌，及大腸癌等亦與飲用深井水之砷有關[15,16]。再加上近年來公衛學院同仁之研究[17-20]，已知砷對此地區居民健康之影響，可能扮演著重要的角色。由於台灣對烏腳病盛行地區流行病學之研究，及井水砷含量之調查資料相當完整，因此有關砷對人體健康之危害，台灣之研究報告具有相當重要的地位，特別是早期之研究報告，其數據之準確性更形重要。

政府為防治烏腳病之蔓延，由1960年代開始，即一方面加強當地自來水之裝置，一方面廢棄地下井設備，因此目前還存在之深水井已不多。因此，台灣在1960-1970年代有關烏腳病盛行地區深井水砷含量之調查，就成為研究砷對健康影響之重要資料。本文將根據文獻上在1960-1970年代，有關此地區深井水砷含量之調查，作進一步的探討外，並將本人於1964-1967年在烏腳病盛行地區，對砷含量所

國立台灣大學醫學院法醫學科

聯絡人：郭宗禮

聯絡地址：台北市仁愛路一段1號台灣大學醫學院法醫學科

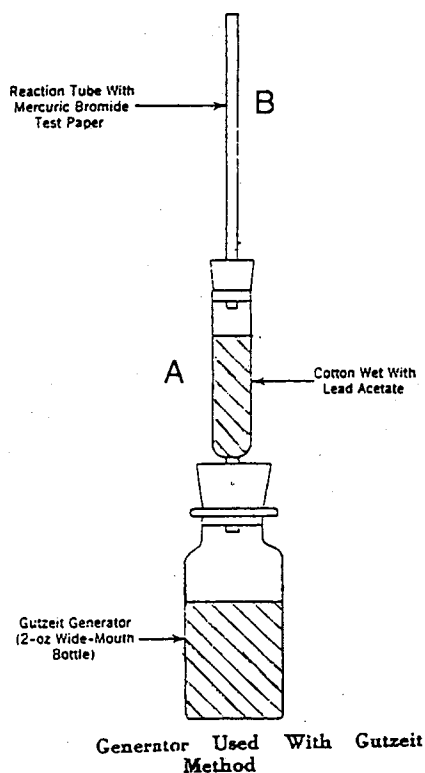
收稿日期：85年3月

接受日期：85年6月

調查之資料重新整理、分析，以供對當時烏腳病盛行地區井水砷含量調查情況之了解。

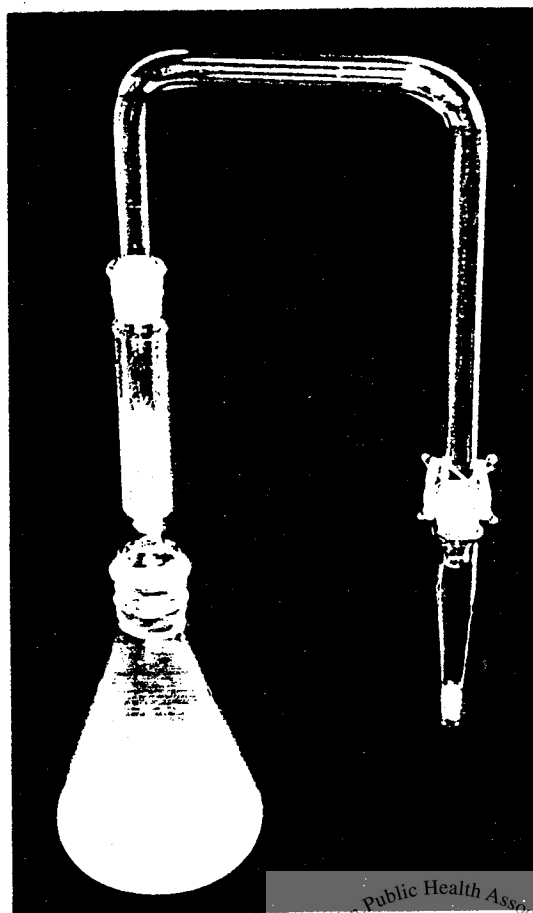
一、台灣在 1960-1970 年代有關砷之定量方法

由於科技之水準及儀器之缺乏，臺灣當時有關水中砷之定量方法有兩種，其中之一是半定量法[21]，乃是使用目測之方法。如圖一，井水置於三角燒瓶中，經加入鹽酸及鋅粒之後，使砷變為氣體 (Arsine, AsH_3)，經 A 處之醋酸鉛 (Lead Acetate) 吸收硫化氫 (Hydrogen Sulfide, H_2S) 之後，與浸過溴化汞 (Mercuric Bromide) 之試紙 (B 處) 接觸後，試紙會變為黃色。由於砷之濃度與試紙黃色之長度成正比。因此水中砷之濃度可與標準砷濃度比較而定量之。此方法非常簡便，僅用眼睛看即可，不需儀器。當然其結果之準確性也較差。如使用 25 mL 之水樣，其水中砷濃度之可偵測極限 (LOD, Limit of Detection) 約為 $0.04 \mu\text{g/mL}$ (ppm)，而可定量極限 (LOQ, Limit of Quantification) 約為 $0.2 \mu\text{g/mL}$ 。



圖一 Apparatus of semiquantitative determination of arsenic water (Gutzeit)

另一種為 Natelson 之定量方法[22]，其原理與上述之方法相近，不同的是以浸過 $HgBr_2$ 之玻璃棉 (glass wool) 代替試紙 (如圖二)。但以 sodium hypobromite 及硫酸 (H_2SO_4) 將玻璃棉上之砷洗出，然後加入 ammonium molybdate 及 hydrazine sulfate 使成為 molybdenum blue 之藍色溶液。並以光譜儀 (845 nm) 或比色儀 (配用 66 號色片) 測其吸光值。同時根據砷濃度之標準曲線定量井水中砷濃度[23]。如同樣的使用 25mL 之水樣，其水中砷濃度之可偵測極限 (LOD) 約為 $0.03 \mu\text{g/mL}$ ，而可定量極限 (LOQ) 約為 $0.08 \mu\text{g/mL}$ 。



圖二 Apparatus of quantitative determination of arsenic in water (Natelson)

砷之檢量線：圖三為利用 Natelson方法 [22] 定量砷之檢量線。上線為利用光譜儀，下線為利用比色儀所得之砷檢量線，各為 $Y=403.39X+4.9$, $r=0.9998(n=3)$ 及 $Y=18.85X-2.1$, $r=0.9994(n=3)$ 。其中 Y 為砷濃度， X 為吸光值， r 為相關係數。由此結果可知此二檢量線之線性皆相當良好，但光譜儀之靈敏度約為比色儀之二倍。

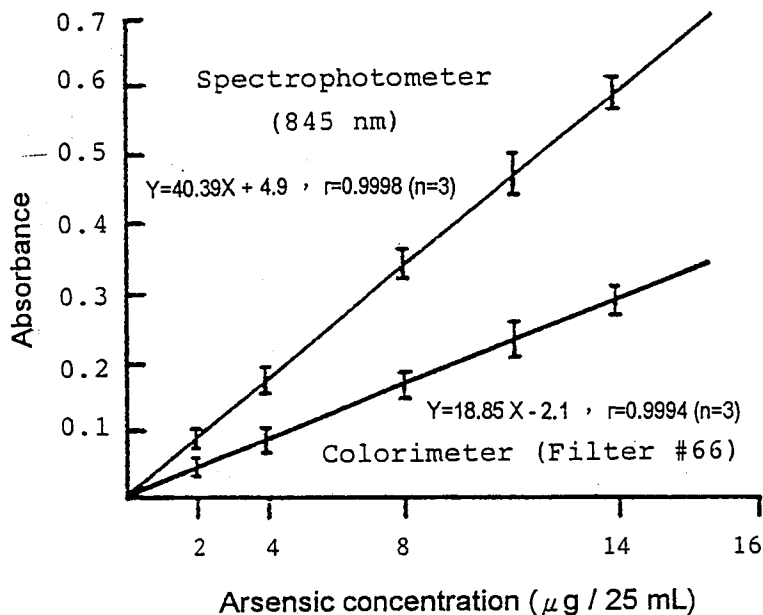
準確性及回收率：利用 Natelson 方法 [22]，定量水中含 $0.32 \mu\text{g/mL}$ 砷時，其變異係數 (Coefficient of Variation, C.V.) 為 5.5% ($n=10$) 顯示其再現性良好。另外，將 $1-16 \mu\text{g}$ 之砷加入水中，利用此方法定量之結果，其回收率由 93.5%-102.4%，顯示此方法之回收率亦很理想。

雖然在 1960 年代所使用定量水中砷之 Natelson 方法 [22] 相當簡易，但此方法由上述之結果顯示其可信性很好。1987 年 MacCarthy 等之 Review paper [24]，曾討論有關使用此方

法定量水中砷的結果，與利用氫化原子吸光儀，HGAAS (Hydride Generation Atomic Absorption Spectrophotometer) 之結果完全一致，所以台灣在 1960 年代所使用之方法，以 Natelson [22] 之方法定量水中砷之可靠性亦獲肯定。

二、台灣在 1960-1970 年代中有關烏腳病盛行地區井水含砷量之調查

回顧 1960-1970 年代，台灣早期有關烏腳病盛行地區，井水砷含量之論文報告，主要有五篇 (如表一)。Blackwell 等 [6] 及 Chen and Wu [2] 之報告沒有說明所調查的村數及烏腳病盛行地區的村數，只有調查之井數，而 Yeh [4]，Kuo [23] 及 Lo 等 [25] 則皆有烏腳病盛行地區之村數及井數。另外，Blackwell [6]、Chen [2]、Yeh [4] 及 Kuo [23] 所調查的全部是深井水，而 Lo [25] 所調查的則包括了淺井水及深井水。



圖三 Standard curves of arsenic in water

表一 Arsenic Levels in the Well Water Investigation in Taiwan

Total		BFD-Endemic*								
Village	Well	Village	Well	Arsenic concentration (µg/mL)						
No.	No.	No.	No.	Mean	Median	Min	Max.	Method		Ref.
UN**	13 a	UN	8 a	0.60	0.78	0.34	0.96	Quant.	1961	Blackwell(6)
UN	119 b	UN	34 a	UN	0.78	0.35	1.10	Semi.	1962	Chen (2)
9	9 a	9	9 a	0.59	0.53	0.34	0.90	Quant.	1963	Yeh (4)
29	126 a	23	97 a	0.51	0.50	0.01	1.10	Quant.	1968	Kuo (23)
1446	62,010 b	50	844 b	UN	UN	0	0	Semi.	1977	Lo (25)

* BFD-Endemic : Townships of Peimen, Hsuechia, Putai and Ichu

** UN : unknown a : Artesian Well b : Shallow Well + Artesian well

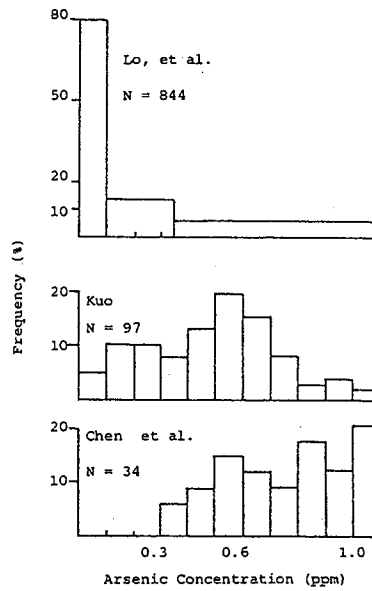
這五篇報告所用定量水中砷之方法，有兩種系統，即 Chen[2] 與 Lo[25] 為使用半定量之目測方法[21]，而 Blackwell[6]、Yeh[4] 及 Kuo[23] 為使用Nelson[22] 之定量方法。由於 Lo[25]使用半定量方法，因此只能將所分析之井水砷濃度大約分為0.1 $\mu\text{g/mL}$ 以下、0.1-0.35 $\mu\text{g/mL}$ 及0.35 $\mu\text{g/mL}$ 以上三種等級而以。因此，沒有平均值(Mean)及中位數(Median)。Blackwell[6]及 Chen[2]之井水砷濃度之中位數為0.78 $\mu\text{g/mL}$ 。而Yeh[4]及Kuo[23]之井水砷濃度之中位數較相近為0.5 $\mu\text{g/mL}$ 。

由於Blackwell[6]及Yeh[4]之井水調查數相當少，因此將Chen[2]、Kuo[23]及Lo[25]三篇報告之井水砷濃度之調查結果，做進一步之比較。圖四顯示Lo [25]雖在烏腳病盛行地區分析844口井水，但超過0.1 $\mu\text{g/mL}$ 的僅有20%，超過0.35 $\mu\text{g/mL}$ 的僅有6.4%，與Kuo所調查的高於0.3 $\mu\text{g/mL}$ 以上之數目相近。因此再將Kuo[23]及 Lo[25]之報告中0.1 $\mu\text{g/mL}$ 以上及0.35 $\mu\text{g/mL}$ 以上之數據分別比較之。結果發現Lo[25]與Kuo[23]在北門鄉之調查井數，超過0.1 $\mu\text{g/mL}$ 及0.35 $\mu\text{g/mL}$ 之數目大致相同，其他三鄉鎮則超過0.1 $\mu\text{g/mL}$ 者 Lo等[25]之數

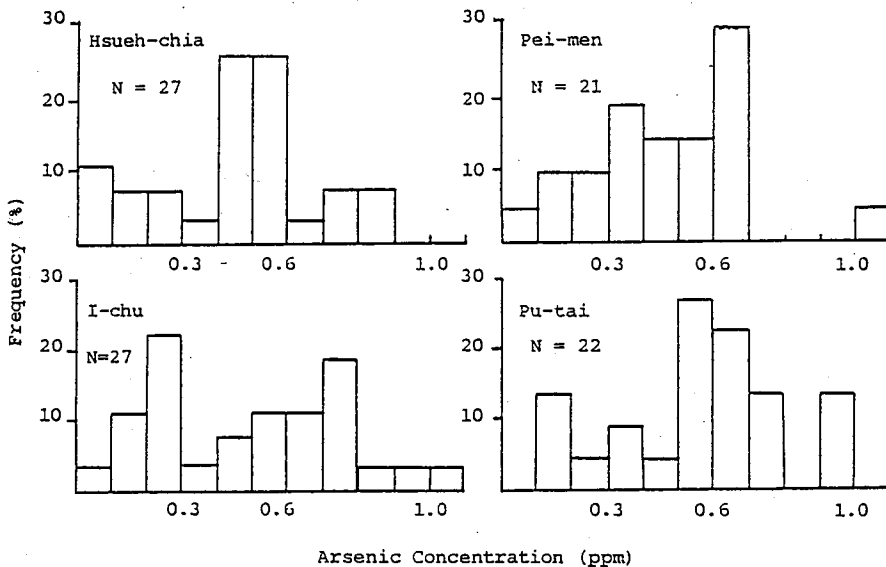
目較多，但超過0.35 $\mu\text{g/mL}$ 者，則與 Kuo[23]之數目大致相同。由此可知，在烏腳病盛行地區，當井水含砷量超過 0.35 $\mu\text{g/mL}$ 者可能大部份皆為深井水，因此兩者數目相一致。而砷濃度在0.1-0.35 $\mu\text{g/mL}$ 之間之井水數，因為Lo等[25]之調查報告中含有不少淺井水，且Lo等之分析方法為目測法，可能在0.1 $\mu\text{g/mL}$ 上下之取捨，難免有些誤差。因此兩人報告中砷濃度為0.1-0.35 $\mu\text{g/mL}$ 之井水數差別較大。圖五則為將Kuo[23]在烏腳病盛行地區，四鄉鎮井水砷濃度之分佈情形，重新加以比較，其中位數約在0.5-0.6 $\mu\text{g/mL}$ 。

三、深井水中砷含量之變化

表二為設於台南縣學甲鄉之台大病理科烏腳病研究實驗場，所開鑽之深井水砷含量之變化。此表說明同一口井由1964到1967年連續四年於不同季節時，井水砷之濃度不但有變化，甚至同一天之早上及晚上之砷濃度都有變化，但其濃度仍然維持相當的高。表三乃是以烏腳病盛行地區之10口深井為例，將不同時間採樣所得之井水，比較其砷濃度之變化。其變異係數由 6.8 % 到48.7%，有相當大的差異。



圖四 Comparison of frequency distributions of well in endemic area by concentration of arsenic ($\mu\text{g/mL}$). Lo, et al.[25] contained shallow & artesian wells. Kuo[23] and Chen et al.[2] contained artesian wells alone.



圖五 Comparison of frequency distributions of artesian well in four townships of endemic area by concentration of arsenic ($\mu\text{g/mL}$). Data from Kuo[23].

Taiwan Public Health Association
台灣公共衛生學會

表二 Variation of Arsenic Concentrations in An
Artesian Well Water in BFD Endemic Area*

Date analyzed Year/Mon./day/Tim		Arsenic concentration ($\mu\text{g/ml}$, ppm)
1964/10/10	6:00	0.60
	18:00	0.83
1964/10/13	6:00	0.83
	18:00	0.90
1964/10/14	6:00	1.12
	18:00	0.90
1965/05/14		0.87
1966/06/17		0.54
1966/07/01		0.64
1967/02/05		0.78

* The well water of Blackfoot Disease Experiment Lab.
at Hsuei-chia Hsien, Tainan Hsien.

(台大醫學院病理學研究所烏腳病實驗場之深井水，台南縣學甲鎮)

表三 Variation of Arsenic Concentrations in
Artesian Well Water in BFD Endemic Area

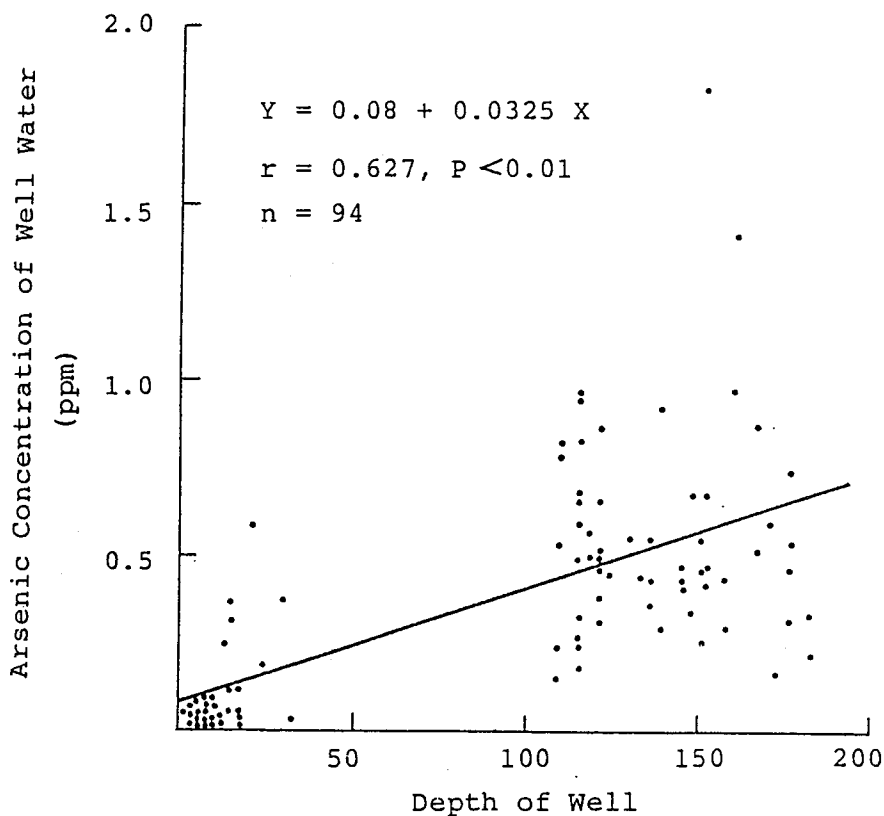
Well	n*	Arsenic concentration ($\mu\text{g/mL}$)	
		Mean (SD)	C.V. (%)
1	6	0.78 \pm 0.15	19.2
2	6	1.14 \pm 0.16	14.0
3	4	0.29 \pm 0.04	13.8
4	4	0.39 \pm 0.05	12.8
5	4	0.77 \pm 0.06	7.8
6	3	0.59 \pm 0.10	16.9
7	3	1.70 \pm 0.11	6.8
8	3	0.65 \pm 0.06	9.2
9	3	0.64 \pm 0.17	26.6
10	3	0.39 \pm 0.19	48.7

四、烏腳病盛行地區井水砷濃度與井深之關係

圖六為本人在烏腳病盛行地區，所調查之 94 口井水砷濃度與井深之關係。具有正相關性，其相關係數 $r = 0.627$, $P < 0.01$ 。另外 Lo[25] 於 1967 及 1975 年，在高砷井水地區之台南市安南區之洲南里，開鑿不同深度之井各五口，並分析其水中砷含量。由於第五口井水之採樣有誤，故僅將其四口井水之砷濃度與井深之關係列於表四。由此表可看出井越深，井水砷濃度亦越高之趨勢。另外，比較在同一地點，但相差達 8 年之後，再開鑿之井水砷含量，除了 152

公尺那一口井之外，其他井水似乎並無明顯降低之趨勢。

再根據 Lo[25] 在鄰近烏腳病盛行地區之雲林縣(非烏腳病盛行地區)所調查之 5658 口井水砷含量與井深之關係，亦發現當井深小於 16 公尺時，井水砷濃度超過 0.1 及 0.35 $\mu\text{g/mL}$ 者，僅有 6.4% 及 1.7%，但是井深為 16-50 公尺之井水，其砷含量超過 0.1 及 0.35 $\mu\text{g/mL}$ 者，則高達 59.9% 及 15.3%(表五)。由這些資料可知在烏腳病盛行地區及非盛行地區，井水砷含量與井深皆具有正相關之關係。



圖六 Correlation of the depth of well and arsenic concentration in well water.

表四 Variation of Arsenic Levels in Well Water

Samples obtained	The Depth of Well			
	45 m	136 m	152 m	173 m
1967 a	0.07	0.38	1.24	1.45
1975 b	0.06	0.42	0.50	1.33

* $\mu\text{g/mL}$, ppm.

a: The mean of 11-17 water samples.

b: The mean of 7 water samples.

表五 Correlation of Arsenic Levels in the Ground water and the Depth of Well in a Non-endemic Area*

Well		Arsenic Levels ($\mu\text{g/mL}$, ppm)							
		Below 0.1		0.1-0.35		0.35-1.00		Over 1.00	
Well Depth	No.	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
<16m	4462	4175	93.6	210	4.7	72	1.6	5	0.1
16-50m	1196	479	40.1	534	44.6	160	13.4	23	1.9

Data obtained from Lo et al.(1977)

* Yunlin Hsien (雲林縣)

五、井水砷物種(Species)之分析

上述1960-1970年代之井水砷含量之分析，不論是半定量[21]或定量[22]都是分析所有砷物種之總量。由於砷之毒性與其價數，及有機、無機等物種有關。因此探討井水中砷之物種為一相當重要的工作。

許東榮教授[26]曾由學甲一口深井水中利用Ion-exchange Resin 分析砷物種。結果發現 As^{3+} 為 $0.03 \mu\text{g/mL}$ ， As^{5+} 為 $0.52 \mu\text{g/mL}$ ，有機砷為 $0.03 \mu\text{g/mL}$ 。

在1977年五月，曾文賓教授曾用Chlorox 容器寄送布袋鄉及北門鄉之深井水到美國 Texas A&M University 化學系之Irgolic教授。這些水樣都沒有經過過濾，也沒有加入保存劑

(防氧化劑)。此水樣於與1977年6月24日送達美國，分析結果為 As^{3+} $0.07 \mu\text{g/mL}$ ， As^{5+} 為 $0.57 \mu\text{g/mL}$ [27]。

另外在1980年7月9日，生化科之呂教授也用方形塑膠桶將台南縣鹽水鎮之二個深井水，空運給 Irgolic。每個井水各有三種不同之處理，一為原水不加任何處理，一為加入 0.1% (W/W)之Ascorbic Acid，一為加入 HNO_3 使其最後濃度為 0.1 Mol/L 。Irgolic於7月13日收到並於二星期內分析。經氫化原子吸光儀分析結果，二個井水之總砷量各為 0.85 (Well I) 及 $1.11 \mu\text{g/mL}$ (Well II)。同時發現未加前處理之水樣與加入 Ascorbic Acid之水樣，其結果幾乎相同，各為 As^{3+} $0.022 \mu\text{g/mL}$ ， As^{5+} 0.83

$\mu\text{g/mL}$ (Well I) 及 As^{3+} $0.024 \mu\text{g/mL}$, As^{5+} $1.08 \mu\text{g/mL}$ (Well II), 主要的成份仍是 As^{5+} [27]。此結果似乎說明在收集樣品到分析這段時間, 水樣尚沒有發生明顯的化學變化。

但是由於曾教授所送之井水為密閉缺氧之情況, 且未添加保存劑, 因此有可能會產生化學變化。而呂教授所送之水樣雖有一個加入 HNO_3 , 但 Irgolic[27] 只有比較加入 Ascorbic Acid 之水樣與原水之差異, 並未分析加入 HNO_3 之水樣與原水之差異。

最近楊末雄教授曾報告[28], 由烏腳病盛行地區之布袋鄉, 以高密度之PE 塑膠桶, 每2個月取回三個深井水, 連續分析一年。取水後, 立即用 $0.45 \mu\text{m}$ Millipore 過濾, 並加入濃硫酸(2 mL/L)酸化後, 保存在 4°C 之冰箱。取回後以PIC-HPLC定量砷之物種。結果發現有機砷之濃度在偵測極限以下($<1 \mu\text{g/L}$)。而無機砷物種 $\text{As}^{3+}/\text{As}^{5+}$ 之濃度為 $0.365 \pm 0.042/0.346 \pm 0.048$ (Well 1), $0.593 \pm 0.041/0.115 \pm 0.060$ (Well 2) 及 $0.451 \pm 0.122/0.128 \pm 0.036 \mu\text{g/mL}$ (Well 3)。由此可知井水砷物種主要為無機砷, 且 As^{3+} 之濃度大於 As^{5+} , 兩者之比例為 1.1-5.2。此結果與許[26]及Irgolic [27]不同。由此可知分析井水中砷物種時, 水樣之前處理及保存相當重要。

結 論

由1960-1970年代, 有關台灣烏腳病盛行地區井水砷含量之調查報告加以深入分析之結果, 發現當時所使用定量井水砷含量之 Natelson 方法[22], 有其可靠性, 此方法與近代之HGAAS相比較, 亦被證實一致而受肯定[24]。

遺憾的是由於早期之科技水準無法區分水中 As^{3+} , As^{5+} 及有機砷等物種, 只能分析總砷量。雖然在1970年代末期及1980年代初, 曾有報告嘗試砷物種分析, 並認為以 As^{5+} 為主[26,27], 但由於採樣之保存, 前處理及分析技術等之限制, 且僅分析少數二、三個樣品, 因此仍不宜以此有限之數據即推論烏腳病地區之深井水砷物種為 As^{5+} 。而楊教授最近之

分析發現 As^{3+} 之濃度高於 As^{5+} [28]。以目前之科技水準, 砷物種分析方法已無問題, 但要在烏腳病盛行地區, 廣泛的採取水樣, 可能不易, 但為追求科學之証據及了解事實真相, 仍有必要繼續從事此方面之調查及研究。

參考文獻

1. Tseng WP, Chen WY, Sung JL, Chen JS: A clinical study of Blackfoot disease in Taiwan :An endemic peripheral vascular disease. In: Memoirs, College of Medicine, National Taiwan University. Vol. 7, pp. 1-8, Taipei, National Taiwan University, College of Medicine, 1961.
2. Chen KP, Wu HY: Epidemiological studies on Blackfoot disease. 2. A study of source of drinking water in relation to the disease. J Formosan Med Assoc 61: 611-618, 1962.
3. Chen KP, Wu HY, Wu TC: Epidemiological study on Blackfoot disease in Taiwan. III. Physico-chemical characteristics of drinking water in endemic Blackfoot disease area. In : Memoirs, College of Medicine, National Taiwan University. Vol. 8, pp.115-129. Taipei, National Taiwan University, College of Medicine, 1962.
4. Yeh S: Studies on endemic chronic arsenism in southwest coast of Taiwan. Reports, Institute of Pathology, National Taiwan University. No. 14: 1-23, 1963. (in Chinese)
5. Blackwell RQ, Yang TH, Ai I : Preliminary report on arsenic levels in water and food from the endemic Blackfoot area. J Formosan Med Assoc 60: 1139-1140, 1961.
6. Blackwell RQ, Yang TH, Tsai J: Preliminary report on selenium levels in water, soil and food from the endemic Blackfoot area. J Formosan Med Assoc 60: 1140-41, 1961.
7. Kuo TP, Chen KC, Suh PC, Shen YS, Tseng CK, Lu PS: Spontaneous gangrene on the south west coast of Taiwan (Report II). J Formosan Med Assoc 57: 829, 1958. (in Chinese)

8. Blackwell RQ, Yang TH, Yu SH : Preliminary report on the methionine content of food from the endemic Blackfoot area. *J Formosan Med Assoc* 60: 1141-1143, 1961.
9. Blackwell RQ, Phillips RA, Tsao C : Preliminary report on mycological examinations of dried sweat potato chips from the endemic Blackfoot area. *Formosan Med Assoc* 59 : 1346-1347, 1960.
10. Yang TH, Blackwell RQ : Preliminary results of nutritional surveys of afflicted and non afflicted families in the endemic Blackfoot area. *J Formosan Med Assoc* 59: 1344-1345, 1960.
11. Lu FC, Yang CK, Ling KH: Physicochemical characteristics of drinking water in Blackfoot endemic areas in Chia-I and Tainan Hsien. *J Formosan Med Assoc*. 74: 596-605, 1975.
12. Lu FC, Liu TM: Studies on fluorescent compounds in drinking water of Blackfoot disease endemic area: Relationship of fluorescent compounds and arsenic. Reports on Blackfoot Disease Study. Taiwan Provincial Government, Department of Health. 22: 23-40, 1985.
13. Tseng WP: Effects and dose-response relationships of skin cancer and Blackfoot disease with arsenic. *Environ Health Perspect* 19:109-119, 1977.
14. Tseng WP, Chu HM, How SW, Fong JM, Lin CS, Yeh S: Prevalence of skin cancer in an endemic area of chronic arsenicism in Taiwan. *J Nat Cancer Inst* 40: 453-463, 1968.
15. Tseng WP: Study on Blackfoot Disease in Taiwan. *J Jpn Tropical Med*. 5: 19-28, 1964.
16. Tseng WP: Outcome of Patients with Blackfoot Disease. *J Formosan Med Assoc* 74; 37-47, 1975.
17. Chen CJ, Chuang YC, Lin TM, Wu HY : Malignant neoplasms among residents of a blackfoot disease-endemic area in Taiwan : high-arsenic artesian well water and cancers. *Cancer Res* 45; 5895-9, 1985.
18. Chen CJ, Kuo TL, Wu MM : Arsenic and Cancer. *Lancet* II, 414-5, 1988.
19. Lai MS, Hsueh YM, Chen CJ, Shyu MP, Chen SY, Kuo TL, Wu MM, Tai TY: Ingested inorganic Arsenic and Prevalence of Diabetes Mellitus. *Am J Epidemiol* 139; 484-92, 1994.
20. Chen CJ, Hsueh YM, Lai MS, Shyu MP, Chen SY, Wu MM, Kuo TL, Tai TY : Increased Prevalence of Hypertension and long-term Arsenic exposure. *Hypertension* 25; 53-60, 1995.
21. American Public Health Association and American Water Works Association : Standard methods for the examination of water and sewage. 10th Ed. 1955. American Public Health Association, N.Y.
22. Natelson S: Microtechniques of clinical chemistry for the routine laboratory. PP. 113-119. Second Edition, 1961. Springfield, Illinois.
23. Kuo TL: Arsenic content of arsenic well water in endemic area of chronic arsenic poisoning. Reports, Institute of Pathology, National Taiwan University, 19: 7-13, 1968.
24. MacCarthy P, Klusman RW, Rice JA : Water analysis. *Anal Chem* 59;308R-337R, 1987.
25. Lo MC, Hsueh YC, Lin BK :Report on the investigation of artesian content in underground water in Taiwan Province, Taichung: Provincial Institute of Environmental Sanitation, 1975.
26. Hsu TJ: Arsenic in well water. *Industr Water* 199 :20-22, 1975. (In Japanese).
27. Irgolic KJ : Speciation of arsenic compounds in water supplies. Health Effects Research Laboratory, Offices of Research and Development. US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio. HERL-Ci-3543. R 8047-740-10, 1981.
28. Chen SL, Dzeng SR. Yang MH, Chiu KH, Shieh GM, Wai CM : Arsenic species in ground waters of the Blackfoot disease area. Taiwan. *Environ Sci Technol* 28;877-81,1994.