

# 應用 Na/C1 比追蹤 淺層地下水中之鹽分污染

## The Use of Na/C1 Ratios to Trace Salinity Contamination in Shallow Groundwater

國立宜蘭農工專科學校環境工程科副教授

江 漢 全

Hann-Chyuan Chiang

### 摘 要

非飽和層中之 $\text{CaCO}_3$ 溶離及鹽基交換反應會影響地下水質之Na/C1比，鹽分污染亦之。本研究選擇宜蘭縣新馬地區之17口淺層地下水井，進行兩次採樣，分析地下水中之主要成分，應用Na/C1比來追蹤鹽分污染情形。其結果顯示，雖然在評析水質結構及鹽分污染來源方面，Na/C1比並無法取代Piper's水質菱形圖及Collin's水質柱狀圖，但Na/C1比可正確指出鹽分污染井，故可作為地下水質之重要參數。而以其作為一鹽分污染指標，也比電導度值或氯鹽明確。因此，在一個均勻相的非飽和層，使用Na/C1比追蹤鹽分污染是很好的選擇。

關鍵詞：淺層地下水，水質，Na/C1比，鹽分污染。

### ABSTRACT

The  $\text{CaCO}_3$  dissolution and base exchange reactions in unsaturated zone affect the Na / C1 ratios of ground water qualities. Contamination of salinity also has the same effect in changing the ratios. Seventeen shallow wells in Shin-Ma region, I-Lan County were selected for double samplings to analyze the principal components of groundwater. The use of Na/C1 ratios to trace salinity contamination in shallow groundwater was carried out. The results show that although the Na/C1 ratios can not replace Piper's triangle and Collin's bar charts for evaluating the water quality structure and tracing salinity sources, it may serve as an important parameter to point out wells with salinity contamination exactly. As an indicator of salinity contamination in groundwater, the Na/C1 ratio is more definite than E.C. or chloride. Therefore, in a homogeneous unsaturated zone, it is a favorable choice to use Na/C1 ratios to trace salinity contamination in groundwater.

Keywords: Shallow groundwater, Water quality, Na/C1 ratio, Salinity contamination.

## 一、前 言

淺層地下水廣為台灣農村地區一般家庭所使用，水井之井深約在三十公尺以內，又可區分為寬口井及小管井，前者以人工挖掘，深度少有超過十五公尺者，後者則以機械鑽孔，以塑膠管或鐵管為之，其深度視當地之地下水位高度及需水量而定，地下水位較高，地下水豐富之地區如蘭陽平原地區，一般家庭水井，大都在十五公尺以內，以0.5 HP馬達，2吋管抽水，終日抽取亦不枯竭。由於取水層距地表距離近，易受地表污染質之侵入，淺層地下水受污染的機會多大於深層地下水，因此，由監測淺層地下水水質污染情形，來研判污染源加以追蹤管制，應是保護地下水資源可行且需重視之方法。

台灣省環境保護局（現為台灣省環境保護處）曾於民國七十一年至七十三年進行台灣地區淺層地下水污染調查工作<sup>(1)</sup>，先後完成264口水井，1405個水樣的水質檢驗，結果發現本省確實存在許多淺層地下水井污染的問題，不良之水質項目有電導度、氮氮、砷、鋅等，可知目前台灣地區淺層地下水中鹽分、氮素、重金屬之污染不容忽視。國內外文獻提及常見之地下水污染源包括工業之廢水<sup>(2)</sup>、家庭污水<sup>(3)</sup>、垃圾掩埋場<sup>(4)</sup>、肥料與農藥<sup>(5)</sup>、地下儲油槽及管線之漏油<sup>(7, 8)</sup>、鹹水養殖及海水入侵<sup>(9, 10)</sup>等。其中除地下儲油槽及管線之漏油外，各類污染均易造成地下水中之鹽分含量偏高，因此，地下水中之鹽分污染，頗值加以深入探討。

地下水之鹽分污染，我們可由地下水質結構著手，將地下水質中之主要陰陽離子，如  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 等，繪製於piper's水質菱形圖及Collin's水質柱狀圖加以辨識<sup>(11)</sup>。但有一些指標如E.C.、 $\text{Cl}^-$ 及 $[\text{Cl}^-]/[\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}]$ 等則較為簡便，故亦常被用來顯示鹽分污染情形。

本文擬先從理論上推演Na/C1比在未受污染及受鹽分污染地下水質中之可能範圍及成因，然後介紹一疑受污染致地下水鹽分偏高之現場實例，依地下水中主要成分之分析結果，尤其Na/C1比，來追蹤辨識淺層地下水井之鹽分污染，除與Piper's水質

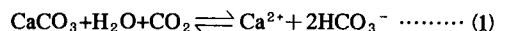
菱形圖及Collin's水質柱狀圖比較外，並討論本方法與一般常用之鹽分污染指標，如電導度(E.C.)、氯鹽( $\text{Cl}^-$ )、氯鹽/碳酸鹽類比( $[\text{Cl}^-]/[\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}]$ )等之優劣。

## 二、地下水中之Na/C1比與鹽分污染

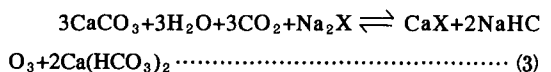
雨水中之化學成分，Na/C1比之範圍依距海邊距離之遠近自0.5至1.0，而海水中之Na/C1比則經計算相當接近0.86<sup>(12)</sup>。由於地下水是由雨水降至地面後，經土層或岩層滲入含水層所形成的，當雨水下滲或上游地下水往下游流動時，若水中之化學成分會與表土發生反應，則Na/C1比的範圍就有可能偏離0.5~1.0之範圍。

氯離子並非構成土壤之主要元素之一<sup>(13)</sup>，且一般認為其為非反應性溶質，在土壤表面無吸附現象<sup>(14)</sup>，Thomas and Swboda(1970)<sup>(15)</sup>指出因其有陰離子排除現象(Anion exclusion)其在土壤中移動速率甚至比水快，此亦由江氏(1992)<sup>(16)</sup>以本省土壤實驗證實，桃園粘壤土有顯著之陰離子排除現象，台中砂壤土則否。然而，鈉離子則不同，它是構成土壤之主要元素之一，土壤中的粘土礦物一般均會吸附鈉、鉀、鈣、鎂等陽離子，鈉在土壤中不僅屬構成元素也可與其他陽離子行鹽基交換反應(base exchange reaction)。因此，當雨水流經土壤後，其原含之氯離子理論上並沒有顯著改變，而鈉離子卻可能由土壤供應而顯著增加。

部分文獻<sup>(17, 18)</sup>提出了以下之模式：(1)含鈣之礦物（如 $\text{CaCO}_3$ ）因溶解而釋出 $\text{Ca}^{2+}$ (2)  $\text{Ca}^{2+}$ 與吸附在粘土礦物上之 $\text{Na}^+$ 行鹽基交換反應。其反應式如下：



將(1)(2)兩式合併，可得第(3)式：



非飽和層中，上列反應可能反覆執行，故往下移動之水中其 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 等離子均會增高，也因此，只要上述反應發生，一般而言，Na/C1比在地下水中應是大於1的。以美國典型之河川水及地下水分析結果為例<sup>(12)</sup>，河川水之Na/C1比值約0.77，地下水則為1.32。這種結果，初步印證了

上述模式係屬可行。

鹽分污染地下水質之情形相當廣泛常見，其污染源甚多，諸如工業、農業、海水及鹹水養殖等，受污染井地下水之Na/C1比將依污染源之性質而變，如此，則與鄰近地區未受污染井比較，將有不同之表現，而在Na/C1比上呈現顯著的差異性，不論偏高或偏低，均將給吾人鹽分污染的訊息。

### 三、材料與方法

#### 3-1研究區域概述

研究之污染區域位於宜蘭縣蘇澳鎮北部，含龍德工業區及其東南側之新城馬賽地區（新馬地區），其範圍泛指隘丁、龍德、頂寮、永榮、港邊、岳明、存仁、新城等里，如圖1所示；面積約為12.5平方公里。本區在宜蘭縣屬於工廠較密集地區，鄰近龍德工業區，然仍有約7.5平方公里，即60%的土地為農耕之用。

採用1958至1986年計29年在本區附近的水利局冬山觀測站之資料，歷年平均雨量約為3378.5mm。降雨之年間分布情形就月雨量率觀之，豐水期在九至十一月，枯水期在三至四月。氣溫方面，依氣象局蘇澳觀測站之資料，民國1982年至1990年月平均溫度最低為元月份的16.1°C，二月份後逐漸上昇，至七月份最高，八月份又逐漸下降，全年平均溫度約22.2°C。本區之河流，以新城溪為主，新城溪屬次要河川，發源於南澳鄉之蘭坎山，於武老坑處進入平原，流經冬山鄉、蘇澳鎮北部而於頂寮里注入

太平洋，該溪水體主要作為灌溉之用，進入平原後承受信大石礦水泥廢水外，並承受市區污水及龍德工業區排放之廢污水，其主流長18.13公里，流域面積50.46平方公里，河床坡陡，平均坡度約1/20~1/300。

依台灣省自水利局在本區之地下水位觀測井地層剖面資料，表土約2.5公尺，以下有粗砂礫石層約12.5公尺，然後至50公尺處均屬中砂層，收集本區其他四口淺層水井之地層特性亦相當類似，礫石及砂為薄的表土覆蓋，形成本地區淺層地下水之主要含水層，其透水性相當良好。依據水位觀測資料，本區地下水位約在海平面上2公尺左右，流向大致為由西流向東及東南。

#### 3-2淺層地下水水井水質採樣與分析

新馬地區各採樣井基本資料列如表1所示，均屬淺層地下水井，井深在3.0~15.0公尺之間。採樣共進行兩次，第一次於81年2月26日採得17個地下水水樣，第二次則於81年4月18日採得16個水樣，有效樣品數總計為33個，其中編號為A-12的水樣第二次採樣因故未能取得。現場採樣時需先抽水或以手搖排除5倍以上積存於井管內之水，然後立即測定水溫及pH值，再以1L PE採樣瓶盛裝，依環保署公告之標準<sup>(19)</sup>，適當保存水樣並儘速送實驗室分析。

水質檢驗項目共7項，分別為pH值、電導度(E.C.)、氯鹽(Cl<sup>-</sup>)、硫酸鹽(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)、鈉(Na)、鎂(Mg)、鈣(Ca)等，其分析主要係依環保署已公告之水質檢驗方法<sup>(19)</sup>，未公告之水質項目則參照美國公共衛生協會(APHA)等所提出之「水與廢水標準檢驗法」第十七版<sup>(20)</sup>進行之，各項目之分析方法、依據及方法偵測極限列如表2所示。實驗室在收到樣品後，依其保存時效決定該批樣品各檢驗項目之分析先後次序，且均在環保署公告之保存期限內完成分析。

為監測現場採樣及實驗室檢驗過程中可能發生之誤差，每批次取樣準備1個野外空白(field blank)樣品，每10個水樣做1個重複空白(duplicate sample)，每20個水樣做1個添加樣品(spike sample)，實驗室內檢驗時，針對各檢驗項目所使用之試劑水作試劑空白(reagent blank)分析，並於各項目分析每10個樣品分析一個查核樣品(check sample)。

#### 3-3水質資料之統計

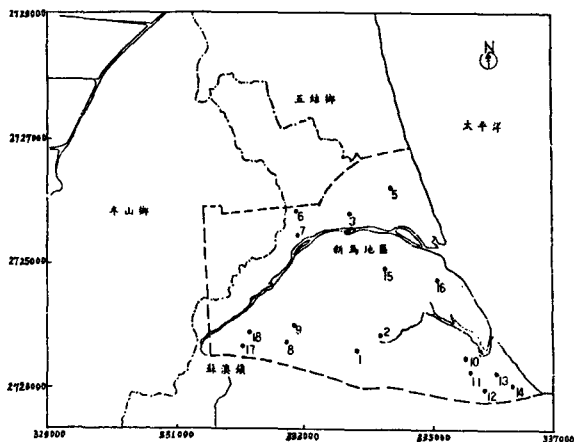


圖1 採樣點分佈圖

表1 新馬地區地下水井基本資料表

採樣編號	採樣井井址	井管管徑(in)	井深(m)	用途
A-1	蘇澳鎮隘丁里仁愛路45號	3.0	15.0	飲用
A-2	蘇澳鎮隘丁里隘丁路52號	1.0	15.0	飲用
A-3	蘇澳鎮龍德里濱海路 3段41號	1.5	10.0	飲用
A-5	蘇澳鎮頂寮里頂寮路18巷 9號	1.0	15.0	洗滌
A-6	蘇澳鎮龍德里隆恩路33號	1.5	7.0	洗滌
A-7	蘇澳鎮龍德里福德西巷 2號	1.5	7.0	洗滌
A-8	蘇澳鎮永榮里新榮路32號	1.0	4.0	洗滌
A-9	蘇澳鎮永榮里大同西巷13號	1.0	4.0	洗滌
A-10	蘇澳鎮港邊里嶺腳路133號	1.5	3.0	洗滌
A-11	蘇澳鎮港邊里港口路71號	1.5	3.0	洗滌
A-12	蘇澳鎮港邊里港邊路 8號	1.0	15.0	洗滌
A-13	蘇澳鎮岳明里岳明新村162號	2.0	5.0	飲用
A-14	蘇澳鎮岳明里岳明新村49-1號	2.0	5.0	洗滌
A-15	蘇澳鎮存仁里存仁路18號	1.0	4.0	洗滌
A-16	蘇澳鎮存仁里大成路77號	1.0	4.0	洗滌
A-17	蘇澳鎮新城里新城北路27號	1.5	3.0	洗滌
A-18	蘇澳鎮新城里新榮路127號	1.5	5.0	洗滌

表2 各檢驗項目之分析方法、依據及方法偵測極限

項次	檢驗項目	分析方法	依 據	方法偵測極限
1	pH值	pH計法	環保署424.1	—
2	電導度	比電導度計法	環保署203.1	—
3	氯鹽	硝酸汞滴定法	環保署407.2	0.5 mg/L
4	硫酸鹽	濁度法	環保署430.1	0.19 mg/L
5	鈉	A.A.	APHA* 3500-Na	0.02 mg/L
6	鎂	A.A.	APHA 3500-Mg	0.015 mg/L
7	鈣	A.A.	APHA 3500-Ca	0.03 mg/L

\* Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17Edition<sup>(20)</sup>

將水質分析資料中之 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 當量濃度之和設為陽離子之總和，依陰陽離子總量平衡方法，計算 $\text{HCO}_3^-$ 之濃度。依據各陰陽離子之當量濃度則可計算 $\text{Na}/\text{Cl}$ 比及 $[\text{Cl}]/[\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}]$ 比，並繪製Piper's水質菱形圖，Collin's水質柱狀圖等供比較討論。

#### 四、結果與討論

水質水析的結果，先就數據之品質管制作說明，野外空白之分析值在兩倍方法偵測極限以內，顯示在採樣保存的過程中，並無污染情形發生。試劑空白分析之結果亦相同，均在可接受標準之內，

可知實驗室所用之試劑水純度合乎標準，且在分析過程中並沒有受到額外污染。在「水與廢水標準檢驗法」中，列出金屬元素及陰離子之回收率可接受極限均為80~120%內<sup>(20)</sup>，本研究各檢驗項目查核樣品之分析結果在94.9%至113.6%之間，顯示皆位於查核樣品管制圖之管制上限及管制下限之間；添加樣品之平均回收率在94.9%至116.4%之間，亦均位於添加樣品管制圖之管制上限及管制下限之間；顯示本研究水質分析之準確度(accuracy)可符合要求。重覆樣品之相對誤差百分率平均值金屬元素在11.2%以內，陰離子在8.0%以內，每一重覆樣品分析值皆位於重覆樣品管制圖之管制界限內，顯示

表3 第一次採樣地下水水質分析數據統計表

No.	pH	E.C.	Cl	SO <sub>4</sub>	(HCO <sub>3</sub> )	Na	Mg	Ca	Na/Cl	Σcation	Cl/(HCO <sub>3</sub> )
		μ S/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		meq/L	
A-1	6.56	202	9.4	13.1	97.8	12.0	2.7	28.0	1.97	2.14	0.17
A-2	6.27	264	10.4	8.9	133.9	13.4	3.4	36.3	1.99	2.67	0.13
A-3	6.65	254	18.8	8.9	103.7	19.6	2.5	27.2	1.61	2.42	0.31
A-5	6.82	230	13.5	5.6	116.5	14.3	12.3	15.5	1.63	2.41	0.20
A-6	6.25	255	18.8	15.2	126.0	18.0	14.6	18.6	1.48	2.91	0.26
A-7	6.04	111	7.3	10.6	36.9	10.4	1.7	8.8	2.20	1.03	0.34
A-8	6.53	220	14.6	11.6	97.4	11.0	2.3	31.7	1.16	2.25	0.26
A-9	6.70	1082	234.5	64.5	—	22.2	2.5	121.0	0.15	7.21	—
A-10	6.59	231	9.4	10.2	123.3	12.9	3.9	32.4	2.12	2.50	0.13
A-11	6.60	534	29.2	27.4	308.2	29.0	6.0	94.0	1.53	6.45	0.16
A-12	6.87	2150	52.6	77.1	348.6	36.3	40.5	78.0	1.07	8.80	0.26
A-13	6.50	129	14.6	7.3	49.4	13.9	4.3	8.3	1.47	1.37	0.51
A-14	7.05	388	8.3	24.4	216.6	13.8	23.9	34.6	2.57	4.29	0.07
A-15	6.49	1234	283.5	7.7	296.0	88.5	8.7	169.0	0.48	13.00	1.65
A-16	6.75	389	31.8	21.5	144.8	36.3	10.7	25.2	1.76	3.72	0.38
A-17	7.03	1627	375.7	60.3	887.9	133.1	3.0	408.0	0.55	26.40	0.73
A-18	6.91	1227	253.3	46.6	348.6	113.4	2.5	174.0	0.69	13.82	1.25
Min.	6.04	111	7.3	5.6	—	10.4	1.7	8.3	0.15	1.03	—
Max.	7.05	2150	375.7	77.1	887.9	133.1	40.5	408.0	2.57	26.40	1.65
Mean	6.62	619	81.5	24.8	202.1	35.2	8.6	77.1	1.44	6.08	0.40
S.D.	0.27	592	117.3	22.2	200.6	37.1	9.8	97.4	0.65	6.31	0.42

表4 第二次採樣地下水水質分析數據統計表

No.	pH	E.C.	Cl	SO <sub>4</sub>	(HCO <sub>3</sub> )	Na	Mg	Ca	Na/Cl	Σcation	Cl/(HCO <sub>3</sub> )
		μ S/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		meq/L	
A-1	6.54	216	6.3	10.9	116.5	10.8	2.9	32.2	2.65	2.32	0.05
A-2	6.23	238	9.4	10.9	125.4	11.4	3.1	36.0	1.87	2.55	0.07
A-3	6.80	231	14.6	9.7	111.0	15.2	3.1	30.4	1.61	2.43	0.13
A-5	6.88	226	16.2	5.2	129.7	14.6	14.8	16.8	1.39	2.69	0.12
A-6	6.49	223	21.4	16.8	60.3	15.6	3.7	19.2	1.13	1.94	0.35
A-7	6.09	131	13.0	21.6	21.3	14.8	1.6	7.8	1.76	1.16	0.61
A-8	6.66	225	9.9	13.7	107.3	10.6	2.5	33.2	1.65	2.32	0.09
A-9	6.82	448	70.4	24.4	167.6	37.7	3.1	67.0	0.83	5.24	0.42
A-10	6.48	215	14.6	10.9	97.8	11.4	3.7	28.9	1.21	2.24	0.15
A-11	6.66	463	27.1	28.9	240.8	25.7	5.5	75.0	1.46	5.31	0.11
A-13	6.30	280	10.4	8.4	60.3	9.8	6.7	9.6	1.45	1.46	0.17
A-14	7.20	395	12.5	32.5	197.6	12.9	23.9	34.9	1.59	4.27	0.06
A-15	6.60	1421	370.5	32.4	288.8	132.2	9.9	186.0	0.55	15.85	1.28
A-16	6.70	308	22.4	32.6	106.4	27.7	9.5	21.4	1.91	3.05	0.21
A-17	7.02	1553	399.2	53.0	415.1	146.2	4.5	249.0	0.57	19.15	0.96
A-18	6.82	1483	409.1	49.4	192.5	113.6	3.5	210.0	0.43	15.71	2.13
Min.	6.09	131	6.3	5.2	21.3	9.8	1.6	7.8	0.43	1.16	0.05
Max.	7.20	1553	409.1	53.0	415.1	146.2	23.9	249.0	2.65	19.15	2.13
Mean	6.64	504	89.2	22.6	152.4	38.1	6.4	66.1	1.38	5.48	0.43
S.D.	0.28	480	146.8	14.1	95.2	45.4	5.6	74.4	0.57	5.65	0.55

分析之精密度(precision)符合要求。

兩次在研究區進行之地下水質採樣分析，其結果列如表3及表4所示。就Na/C1比而言，第一次分析顯示所有水樣之Na/C1比在0.15~2.57之間，平均值為 $1.44 \pm 0.65$ (mean $\pm$ SD)；其中第9、15、17及18號井之Na/C1比均小於1，在0.15~0.69之間，平均僅0.47，第二次分析則所有水樣之Na/C1比在0.43~2.65之間，平均值為 $1.38 \pm 0.57$ ，同樣地，其中第9、15、17及18號井之Na/C1比亦均小於1，在0.43~0.83之間，平均僅0.59。而由最簡易之鹽分污染指標E.C.值判斷，這些井均為E.C.值偏高者，均很有鹽分污染之可能。Na/C1比大於1之各井間差異不大，可能係在同一地區未受鹽分污染井，雨水與非飽和層間之交互作用類似，致Na/C1值相當平穩；而Na/C1比小於1之各井，與未受污染井間相比，則由於Cl<sup>-</sup>顯著升高，Na<sup>+</sup>濃度相對升高不多，致整個Na/C1比降低甚多，並由分析數據可推測污染源之主要鹽類為CaCl<sub>2</sub>。上述結果，顯示Na/C1比是一個值得考慮之鹽分污染界定指標。

將主要陰陽離子成分繪製於Piper's水質菱形圖中，如圖2及圖3所示，第一次採樣分析之結果，除編號第9、15、及18號井落於菱形圖之第Ⅲ區外，其餘各井皆位於第Ⅰ區中；第二次採樣分析之結果，則有編號第15、17及18號井落於菱形圖之第Ⅲ區，第7號井落於菱形圖之第Ⅳ區，其餘各井則位於Ⅰ區中。由於第Ⅲ區係顯示水質主成分為CaSO<sub>4</sub>及CaCl<sub>2</sub>，以農業污染為主，第Ⅳ區則為Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>及NaCl為主之海水或其他鹽類污染，故本研究區中之第15及18號井可由Piper's菱形圖確認爲有鹽類之污染現象，其污染以農業爲主，但由研究區域中工廠分佈多，亦不排除有工業污染源；第17號及第7號井則各有一次數據顯示有農業或工業上其他鹽類污染。與Na/C1比所得之結果比較，Piper's菱形圖僅辨認出第15號井及18號井之鹽類污染，忽略了第9號井E.C.及Cl<sup>-</sup>鹽偏高之污染問題，而對於第17號井之污染則靈敏度不佳，另認爲第7號井受海水污染，則爲誤判，故在本研究之條件下，Na/C1比在追蹤鹽分污染之表現較Piper's菱形圖爲優。

Collin's柱狀圖亦常用於辨認地下水質之鹽分污染，經由Na/C1比及Piper's菱形圖之辨認，可能有鹽分污染之地下水井爲第7、9、15、17及18號井，其

Collin's柱狀圖繪製如圖4及圖5所示，陰離子濃度大於10 meq/L者，兩次採樣均僅第15、17及18號井三口井。此指標雖穩定性佳，比Piper's圖情況好，但仍對少數井，如第9號井，未能顯示其水質與其他未受污染井有所不同，相對於Na/C1比之明確，其實用性較差。此外，值得注意的是，不論Piper's圖或Collin's圖，均需測定多項水樣中主要成分，如陰離子中之CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>；陽離子中之Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>等，比起Na/C1比只要測定Na<sup>+</sup>及Cl<sup>-</sup>，相對較不簡便。然而，在評估整體水質結構及污染來源方面，則Na/C1比無法取代Piper's菱形圖或Collin's柱狀圖。

E.C. 值之大小常被用於判斷是否有鹽分污染<sup>(2 9)</sup>，但其值受不同立地條件之影響，並無明確之標準，若依台灣省灌溉水水質標準之限值750 μmhos/cm，則超出標準之井，在第一次採樣有9、12、15、17及18號井，第二次採樣除第12號井未採得水樣無法評析外，第9號井之E.C.已降至標準值內。Na/C1比分析兩次採樣均指出第9、15、17、18四口井可能有鹽分污染，與E.C.值之研判相當接近。氯鹽亦是常用之鹽分污染指標<sup>(2 21)</sup>，然與E.C.類似，並無明確之標準可供遵循，而據以推斷是否鹽分污染。台灣省自來水水質標準之最大容許量定爲250mg/L，依此標準，則在第一次採樣有第9、15、17及18號井，第二次採樣則只有第15、17及18號井超出標準，大致上雖與Na/C1比所研判之污染井相符，但在第二次採樣分析之資料中，未能覺查第9號井之污染，爲其缺失。以Reveller R.氏之[Cl<sup>-</sup>]/[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>+CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>]比來表示鹽分污染，一般常用於評估受海水污染程度<sup>(22)</sup>，其值在0~1間爲未受海水污染，1~2之間爲輕度海水污染，本研究兩次採樣分析結果統計均只有第15號及第18號兩井疑有輕度之海水污染。依Piper's菱形圖之研判，研究區各水井受海水污染之可能性極微，且上述兩井並非位於海邊，且無養蝦魚塭污染之疑慮，故依此指標來追蹤本研究之鹽分污染於理論與實務上皆不可行。

綜上所述，Na/C1比用於追蹤本研究區之鹽分污染井有明確、簡便及穩定之優點，比起常被使用之Piper's水質菱形圖、Collin's水質柱狀圖、E.C.值、Cl<sup>-</sup>濃度、[Cl<sup>-</sup>]/[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>+CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>]比等研判是否鹽分污染之結構圖或指標均不遜色，故使用Na/C1比追

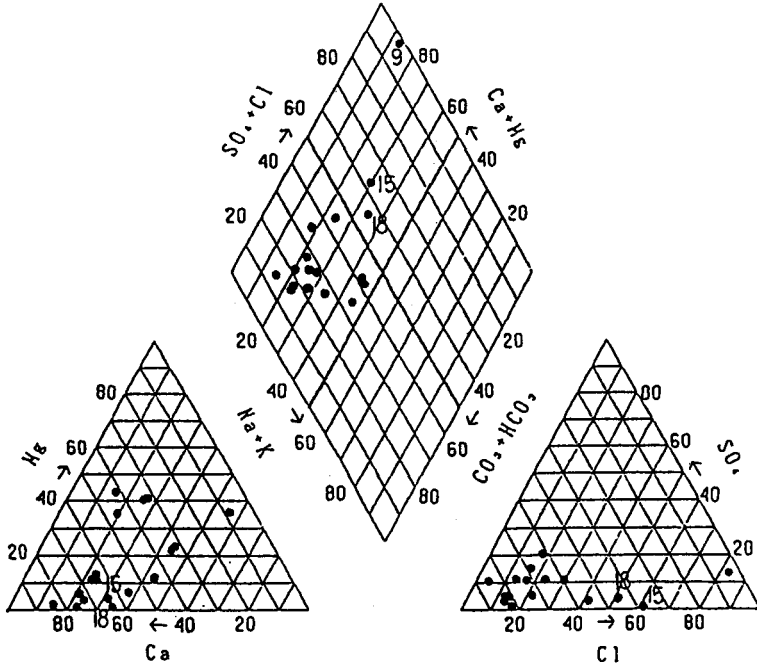


圖2 Piper水質菱形圖 (第一次採樣分析)

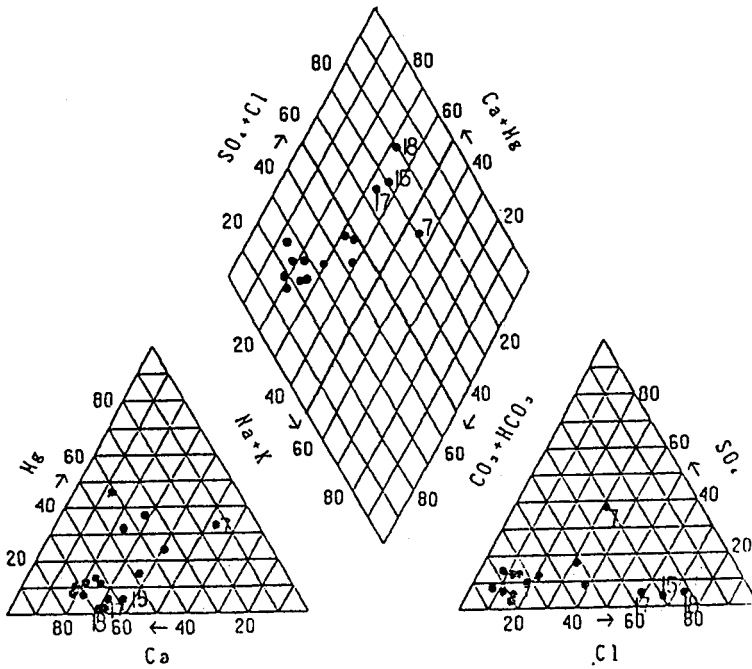


圖3 Piper水質菱形圖 (第二次採樣分析)

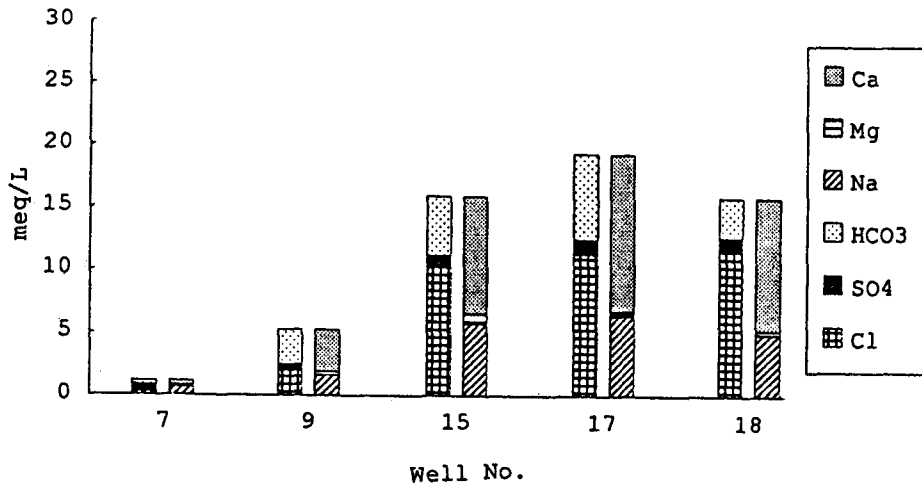


圖4 Collin水質柱狀圖 (第一次採樣分析)

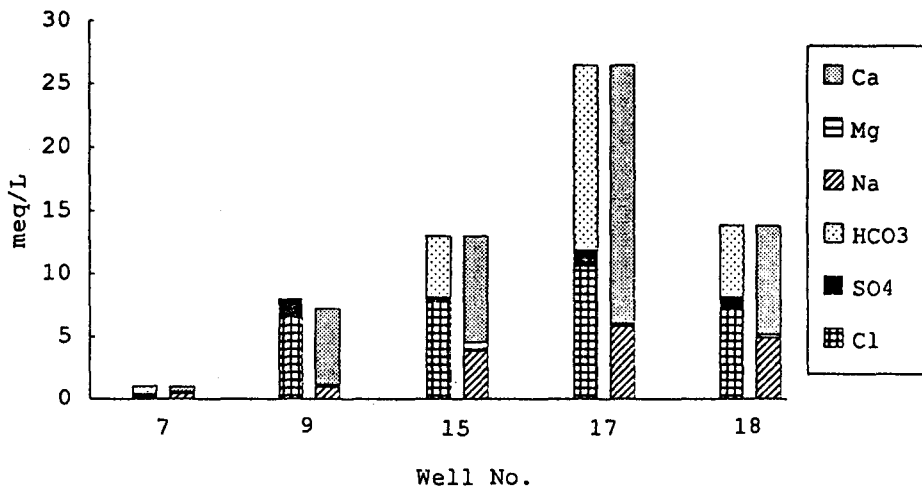


圖5 Collin水質柱狀圖 (第二次採樣分析)

縱地下水中之鹽分污染是很好的選擇。但值得注意的是，本研究區之非飽和層可視為是均勻相的(homogeneous)，在研究現場為物化性質變異大的非飽和層時，是否仍能有好的表現，仍待觀察研究。

## 五、結 論

本研究之結果，可以獲得以下之結論：

1. 研究區中之鹽分污染井，顯示與未受污染井之水質在Na/Cl比方面有顯著之不同。依Na/Cl比評判，兩次採樣分析之結果均顯示研究區中之鹽分污染井為第9、15、17及18號井。
2. 以Na/Cl比追蹤鹽分污染，較Piper之水質菱形圖及

Collin's柱狀圖均簡便，然評估整體水質結構及污染來源方面則無法取而代之。

3. 傳統上使用之鹽分污染追蹤指標，如E.C.及氯鹽雖亦有簡便之優點，但由於並無明確之污染界限，以灌溉或自來水水質標準之E.C. 750  $\mu$  mhos/cm及Cl 250 mg/L限值評估是否受鹽分污染並不妥當，本研究採用之Na/Cl比顯然是較佳之方法。
4.  $[Cl]/[HCO_3^- + CO_3^{2-}]$ 不適合用於評估本研究區之鹽分污染，其原因為本研究區之污染源主要為農業或工業之污染，而非海水入侵或鹹水養殖池之鹽分滲漏污染。
5. Na離子含量之多寡，受非飽和層中陽離子溶離及



土壤粒子，尤其粘土礦物之鹽基交換作用影響很大，故在非飽和層物化性質變異大之情形，以Na/C1比來作鹽分污染之追蹤，可能較不適宜。

6.綜合上述，在非飽和層物化性質穩定區域之地下水質，如本研究區之淺層地下水，以Na/C1比為鹽分污染指標相當明確有效。

## 六、參考文獻

- 1.台灣省環境保護局(1985)台灣地區淺層地下水污染現況調查，行政院農業委員會補助計畫報告，台灣省環境保護局編印，台中。
- 2.Lindorff D.E. (1979) Groundwater pollution-a status report. *Ground Water*, vol. 17(1):9-17.
- 3.Alhajar B. J., G. Chesters and J. M. Harkin. (1990) Indicators of chemical pollution from septic-systems. *Ground Water*, Vol.28(4):559-568.
- 4.吳文新、謝永旭(1991)垃圾掩埋場地下水污染指標之建立探討，中華民國環境工程學會第四屆環境工程與管理研討會論文集，台北。
- 5.Goodrich J. A., B. W. Lykins, Jr., and R. M. Clark. (1991) Drinking water from agriculturally contaminated groundwater. *J. Environ. Qual.*, Vol.20:707-717.
- 6.Spalding R. F., J. R. Gormly, B. H. Curtiss, and M. E. Exner(1978) Nonpoint nitrate contamination of ground water in Merrick County, Nebraska. *Ground Water*, vol.16(2):86-95.
- 7.U.S. Environmental Protection Agency. (1987) Proposed regulations for underground storage tanks : what's in the pipeline?Office of Underground Storage Tanks, Washington, D. C. 20460.
- 8.U.S. Environmental Protection Agency. (1987) Designing and installing underground storage tanks under the new federal law.Office of Underground Storage Tanks, Washington, D. C. 20460.
- 9.江漢全(1991)台灣海岸地區地下水質之探討，海岸地區水資源開發與利用科技(建設科技研討會系列)論文集，11-1~11-10頁，中國工程師學會及中國土木水利工程學會編印。
- 10.簡景樹(1989)海水養殖對地下水及土壤鹽化之研究。行政院環境保護署，EPA-78-003-19-053。
- 11.Zaporozec, A. (1972) Graphical interpretation of water-quality data. *Ground Water*, Vol.10(2):32-43.
- 12.Snoeyink, V. L. and D. Jenkins. (1982) *Water chemistry*, p.6, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- 13.郭魁士(1978)土壤學，中國書局，永和，台北市。
- 14.Bohn, H. L., B. L. McNeal and G. A. O'connor. (1984) *Soil chemistry*. p.171-193.
- 15.Thomas, G. W. and A. R. Swoboda. (1970) Anion exclusion effects on chloride movement in soils. *Soil Sci.*, vol.110:163-167.
- 16.江漢全(1992)氫離子在兩種不同性質土壤中之互溶性流動取代，中國農業工程學會八十一年度學術研討會，地下水調查分析與保育管理論文集，325-335頁，中國農業工程學會學術技術研討會編印。
- 17.Magaritz, M., A. Nadler, H. Koyumdjisky and J. Dan (1981) The use of Na/C1 ratios to trace solute sources in a semiarid zone. *Water Resources Research*, vol.17(3):602-608.
- 18.Thorstenson, D. C., D. W. Fisher and M. F. Croft (1979) The geochemistry of the fox hills-basal hell creek aquifer in southwestern North Dakota and northwestern South Dakota. *Water Resources Research*, vol.15(6):1479-1498.
- 19.行政院環境保護署法規委員會(1989)，環境法令—水質檢驗方法，環保通迅週刊雜誌社，台北。
- 20.APHA (1989) Standard methods for the examination of water and wastewater, 17th ed., Washington, DC 20005, U.S.A.
- 21.Mercado, A., (1976) Nitrate and chloride pollution of aquifers :a regional study with the aid of a single-cell model. *Water Resources Research*, vol.12(4):731-747.
- 22.劉振宇、王暨泉、江漢全、余進利(1992)彰濱工業區附近地下水水質分析，台灣水利，第四十卷，第四期，60-73頁。

收稿日期：民國83年4月30日

修正日期：民國83年5月7日

接受日期：民國83年5月10日