

# 蘭陽平原海岸地區養蝦池對地下水質主要成分之影響

## The Effect of Shrimp Ponds at Coastal Area in Lan-Yang Plain on Principal Components of Groundwater Quality

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

鹹水養蝦魚塢分佈地區，地下水質鹽化的情形已在蘭陽平原沿海地區發生，鹽化原因可能包含養蝦池水鹽分滲透抑或海水入侵。以養蝦魚塢區之上游對照井及區內鹽分污染井之水質主要成分分析統計，污染井可由Piper氏水質結構圖及Collin氏柱狀圖加以明顯區隔。另選擇電導度值、氯鹽、氯鹽／碳酸鹽類比、SAR等常用之鹽分污染指標分別予以統計討論本區地下水質之性性。SAR值在對照井中偏高，推測與非飽和層中發生之鹽類溶解及鹽基置換等作用有關。進一步探討魚塢底質剖面分析及受污染土柱淋洗試驗之結果，顯示養蝦池鹽水之滲漏，應為蘭陽平原沿海地區地下水質鹽化之主要原因之一。

關鍵詞：地下水質，主要成分，養蝦池，海岸地區。

### ABSTRACT

The problem of groundwater with high salinity in the region under brackish water cultivation was found in coastal area of Lan-Yang Plain. The source of higher degree of salt in groundwater may be resulted from seawater intrusion or brackish water infiltration. The field investigation on groundwater quality was carried out by sampling the wells located at upgradient and inside of the aquacultural region. The results of chemical analysis for groundwater samples are calculated by "principal components" statistical method. The identification of contaminated wells can be attained by Piper's diagram or Collin's bar graph. The indicators such as E.C., Chloride,  $[Cl]/[CO_3+HCO_3]$  and SAR also are used to evaluate the characteristics of groundwater quality. The high SAR value in upgradient wells maybe seem as a result of the salt dissolution and base exchange in unsaturated zone. Futhermore, the results of analysis for samples of soil profiles under shrimp pond bottom and leaching experiment for the polluted soil column show that brackish water infiltration is one of the most important sources of salinity in groundwater in coastal area of Lan-Yang Plain.

Keywords : Groundwater quality, Principal component, Shrimp pond, Coastal area.

## 一、前言

地下水與地表水為水資源之兩大部分，地下水之使用受時間與空間之限制甚少，其開發容易，成本亦低，在乾旱時期，地下水更提供了水資源調配應急的空間，占有重要的地位。近年來，台灣地區各地公共給水、農工業用水及養殖魚塢用水量劇增，大量開發抽取地下水之結果，若干地區已發生超抽，導致地下水位急速下降，引發地層下陷與水質變劣等惡果，如蘭陽平原、濁水溪沖積扇、嘉南平原、屏東平原等<sup>(1-5)</sup>。在上列眾多破壞地下水資源之產業活動中，影響最大者，以海岸地區養蝦魚塢之擴展最受矚目。養蝦魚塢為取海水之便，多位於沿海地區，一般均需抽取地下水與海水調合鹽分後養殖，這種經營方式，極可能造成地下水含水層受魚塢滲漏水污染。簡氏(1989)<sup>(6)</sup>及江氏(1992)<sup>(7)</sup>之調查資料，均顯示鹹水養蝦魚塢分佈地區，有地下水質鹽化之情形發生，鹽化原因可能包含養蝦池水鹽分滲透抑或海水入侵。本文擬從探討蘭陽平原沿海養蝦魚塢分佈區地下水質結構特性展開，繼而分析養蝦魚塢底質剖面之化學成分，並以受鹽分污染之土柱進行淋洗試驗，希能釐清研究區中地下水質鹽化之原因，以供地下水污染防治之參考。

## 二、理論分析

### 2-1地下水水質結構

地下水之主要成分，一般指其濃度大於1ppm者，陽離子有 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ ；陰離子則有 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 等，上述水質分析的結果，可用Piper水質結構圖及Collin水質柱狀圖來表示<sup>(8)</sup>。

Piper水質結構圖係依地下水中陰陽離子當量濃度相對百分比來表現，該菱形水質圖分為四區：

I區Carbonate hardness係以 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 為主，深層自由地下水、雨水、河水等在此範圍。

II區Carbonate alkali以 $\text{NaHCO}_3$ 為主，正常深層受壓地下水在此範圍。

III區Non-carbonate hardness以 $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{CaCl}_2$ 為主，農業污染之地下水、火山地區地下水等在此範圍。

IV區Non-carbonate alkali以 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaCl}$ 為主，海水或受海水污染之地下水在此範圍。

養蝦魚塢區由於引用海水養殖，預測其地下水質應歸類於菱形水質圖之IV區內。

Collin水質柱狀圖係將陽離子分為 $\text{Na}+\text{K}$ 、 $\text{Mg}$ 、 $\text{Ca}$ 三組，陰離子也分為 $\text{Cl}$ 、 $\text{SO}_4$ 、 $\text{CO}_3+\text{HCO}_3$ 三組，繪成柱狀比較。這類柱狀圖，若陽離子（或陰離子）總合在10meq/L以上時，通常已受污染。養蝦魚塢區內之地下水，自柱狀圖之分析，應很容易發現其鹽分污染情形，及污染之主要陰、陽離子係以那些為主。

### 2-2鹽分污染指標

養蝦魚塢密集分佈的海岸地區，其地下水質鹽化情形，茲依單一項目：電導度、氯鹽；及二項目以上：SAR (Sodium absorption ratio)、 $\text{Cl} / [\text{CO}_3 + \text{HCO}_3]$ 等鹽分污染指標分別討論之。

海水為大約1.1M之鹽類水溶液，其主要成分已為吾人所熟知，陽離子諸如 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ ，陰離子諸如 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Br}^-$ 等<sup>(9)</sup>，其電導度粗估為53900 $\mu$  mhos/cm，受養蝦池鹽水污染及海水入侵污染之地下水，其電導度均會急劇升高。而一般地下水之氯鹽含量低，但海水中之氯鹽，高達19000ppm，受海水入侵污染之地下水，氯鹽含量必然急劇升高，由於土壤對其吸附力甚低，養蝦池鹽水中的氯鹽，預測亦相當容易移動至地下水中。

美國鹽分研究所 (U. S. Salinity Laboratory) 提出SAR指標，以描述在灌溉水或土壤溶液中鈉與鈣、鎂之相對值，其計算式為：

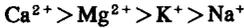
$$\text{SAR} = [\text{Na}^+] / ([\text{Ca} + \text{Mg}] / 2)^{0.5}$$

其中所有濃度單位為 me/L。灌溉水質標準中有SAR低於6.0之限值，而一般地下水之SAR值均低於此值，但依典型之海水水質，則SAR高達56.4，故海水入侵之地下水，其SAR值必然升高。而鹽分若經由養蝦池鹽水中滲透而來，因 $\text{Na}^+$ 較 $\text{Ca}^{2+}$ 及 $\text{Mg}^{2+}$ 不易被吸附，滲透出之鹽水，其SAR值預測亦相當高。氯鹽/碳酸鹽類 ( $[\text{Cl}] / [\text{CO}_3 + \text{HCO}_3]$ ) 比值係由Reveler R.所提出，當其值增高，則顯示受海水污染程度增加，在海水中，其值可大於200。不論受海水入侵污染或養蝦池鹽水污染之地下水，其值均顯著增高。

### 2-3土壤吸附及脫附

土壤中的粘土礦物一般均會吸附陽離子，由於

電荷關係，多價陽離子較易取代單價陽離子而聚積於土壤粒子表面<sup>(10-11)</sup>，主要陽離子交換能力大小如下：



故知 $\text{Ca}^{2+}$ 和 $\text{Mg}^{2+}$ 等二價陽離子較 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 等單價陽離子易聚積於土壤中。在陰離子方面，氯鹽一般認為是土壤非反應性溶質，無吸附現象，Thomas and Swboda (1970)<sup>(12)</sup>指出因其在土壤中可能有陰離子排除現象 (Anion exclusion)，其在土壤中移動甚至比水快，此亦由江氏 (1992)<sup>(13)</sup>以本省土壤 (桃園粘壤土) 實驗證實。硫酸鹽之吸附現象比氯離子顯著，但吸附力亦低<sup>(14)</sup>。土壤 pH 值及粘土礦物種類對陰離子吸附有很大影響，pH 值低時， $\text{Cl}^-$  有輕微吸附，但微酸至中性土壤不吸附  $\text{Cl}^-$ ， $\text{SO}_4^{2-}$  則有相似的現象<sup>(10)</sup>。綜上所述，當養蝦池所用鹽分含量甚高的水經土層向下滲透時，鹽分為土層所吸附之量應不多，其餘鹽分存在於土壤溶液或移動至地下水， $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  等陽離子可能吸附量稍大於  $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  等陰離子，而陽離子中之  $\text{Na}^+$  及陰離子中之  $\text{Cl}^-$  分別為兩種離子中最容易移動至地下水者。

### 三、材料與方法

#### 3-1 地下水水質調查分析

如圖1所示，以宜蘭縣礁溪鄉大塢養蝦專業區為調查之污染區，於其上游選擇兩口水利局觀測井編號為 TW-1 及 TW-2，做為未受污染之對照井，專業區中一口民井編號為 TW-3 為中游採樣井，專業區靠海一口水利局觀測井及一口民井，編號為 TW-4 及 TW-5，為下游採樣井，總共為 5 口井，各採樣井之井深在 25-50m 之間，於 1990 年 9 月至 1992 年 6 月間各井分別取樣 3-5 次，測定地下水之 pH 值、E.C. 值、碳酸鹽、重碳酸鹽、氯鹽、硫酸鹽、鈣、鎂、鈉、鉀等水質項目。

#### 3-2 養蝦魚塢底土調查分析

為瞭解養蝦魚塢底質至地下水水位間之鹽分分佈，尋得位於宜蘭縣頭城鎮下埔里之兩處養蝦池作為試驗魚塢，此兩試驗魚塢以前亦屬水田，約於民國 76 年間開闢為魚塢，養殖斑節蝦，一般於 4-6 月休養兩個月，進行清池、曬池、施用石灰之工作，利用曬池期間，於 81 年 4 月前往採樣。取表層至地下水水位間之土壤樣品，其中 A 處取 3cm，30cm，60

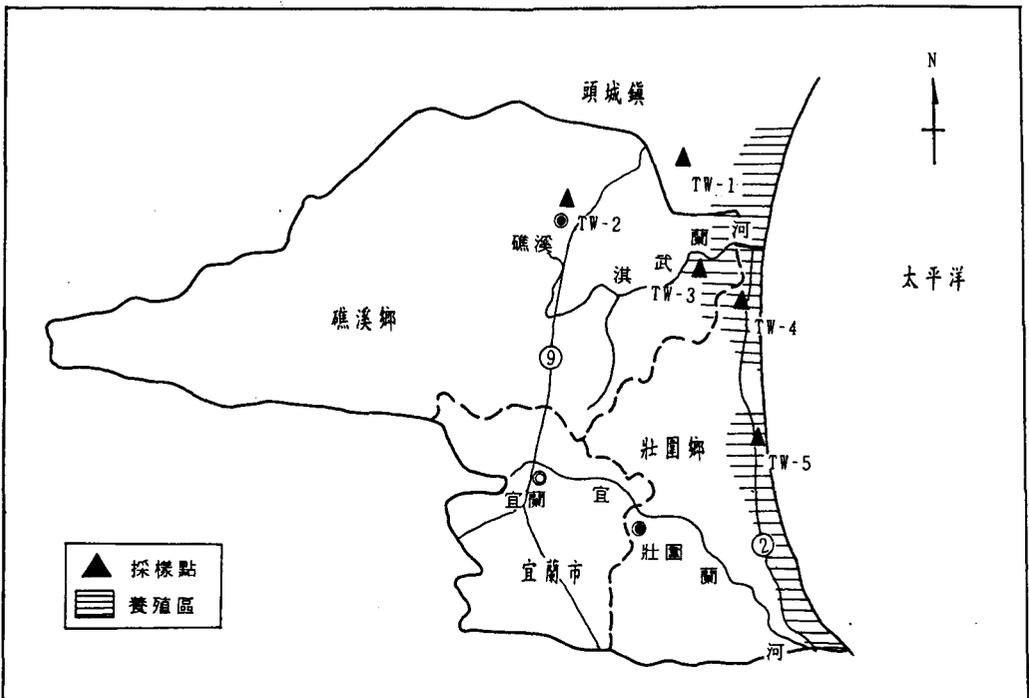


圖1 地下水採樣井分佈示意圖

cm, 90cm, 120cm, 150cm, 240cm共7個土樣；B處取3cm, 30cm, 60cm, 90cm, 120cm, 150cm, 210cm共7個土樣，進行pH、機械分析、電導度、氯鹽、硫酸鹽、Ca、Mg、Na、K等項目之分析。

### 3-3 養蝦魚塢底土淋洗脫附試驗

取上述編號為A處，經風乾過篩（2mm）後之底土，將0~240cm各層土樣依等比例混合成供試土壤，將其填入內徑9cm，長10cm的壓克力管柱中，裝填時予輕敲，並儘量使之均一，土柱下端鋪上濾紙、橡皮水封、3mm玻璃珠、細目鋼網，土柱上端則鋪上濾紙後，上下方壓板之螺絲旋緊，壓板與管柱間以防水膠粘塗，以防滲水；稱得土壤重量後，以去離子水由土柱下方進入反方向飽和，以推除土柱中之空氣。土壤共裝填2支土柱作二重覆。本試驗於實驗室內進行，其溫度約 $25 \pm 0.2^\circ\text{C}$ ，實驗開始時，以去離子水為進流液，正向由蠕動泵浦注水，定時採樣及測定平均流速，流出液係以分段收集器(fraction collector)收集後，測定其E.C.、Cl、SO<sub>4</sub>、Ca、Mg、Na、K。

### 3-4 水質及土壤分析方法

水質檢驗方法主要係依環保署已公告之水質檢驗方法<sup>(15)</sup>，或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17版<sup>(16)</sup>進行之，各項目之分析方法、偵測極限及依據詳列如表1所示。

魚塢底質土壤樣品攜回實驗室經風乾、磨碎，過2mm篩後分析。pH值之測定土水比為1:2.5。以水飽和抽出液測定電導度、鈣、鎂、鈉、鉀、氯鹽及硫酸鹽等，方法均與表1中所列相同。

## 四、結果與討論

於宜蘭縣礁溪鄉及壯圍鄉所設五個地下水採樣井，經3~5次採樣分析，將五個水井水樣中主要陰陽離子分析結果列如表2所示，綜合言之，上游位於二城的TW-1井，其水質型態屬於Na-HCO<sub>3</sub>-CO<sub>3</sub>型，也是魚塢區上游，位於礁溪的TW-2號井，其水質型態屬於Na-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>型，水質基本型態類似，而位於魚塢區之中，礁溪的TW-3號井，水質型態轉為Na-Cl型，位於魚塢區下游，靠海的大福TW-4號井及壯圍TW-5號井，亦皆屬於Na-Cl型，故顯然可由主成分之分析統計明顯區隔上游、中下游兩類不同的

水質。將各井之平均水質，繪於piper水質結構圖如圖2所示，上游的TW-1及TW-2位於第Ⅱ區 (carbonate alkali) 內，屬正常深層受壓地下水；中游及下游的TW-3，TW-4及TW-5三口井水質則位於第Ⅳ區 (Non-carbonate alkali)，為受鹽水污染之地下水。依水質成分當量百分比分析，五口井之陽離子當量百分比並無顯著分別，均以Na離子最高，鈣與鎂離子相當接近，而陰離子方面則有顯著差異性，上游兩口井均以碳酸、重碳酸離子為主，中下游的三口井則轉為以氯離子為主。依當量濃度繪製之Collin柱狀圖則如圖3所示，位於上游的TW-1及TW-2主要陰陽離子當量濃度最低，中游的TW-3次之，下游的TW-4及TW-5最高，尤以TW-5顯著高於TW-

依鹽分污染指標統計各採樣井之平均水質，其結果列如表3所示。位於養蝦區上游的TW-1及TW-2號井，電導度值平均分別為472及276  $\mu\text{mhos/cm}$ ，而養蝦區中游的TW3號井則達3030  $\mu\text{mhos/cm}$ ，位於下游的TW4及TW5更分別高達29082及21015  $\mu\text{mhos/cm}$ ，與海水估計值53900  $\mu\text{mhos/cm}$ 比較，五口井依序鹽分濃度為海水之0.9%，0.5%，5.6%，54.0%及39.0%，由於TW4及TW5之鹽分濃度有逐步上昇現象，以最近一次取樣之結果計算，則鹽分濃度高達海水之122%及61.4%，TW4號井水水質事實上已與海水無異。上述結果，顯見位於養蝦魚塢內之各井鹽分均已偏高，且在研究期間持續惡化中，各井之污染程度以E.C.而言，則為TW4號井最嚴重。

TW1及TW2號井，氯鹽平均為10.6及9.4mg/L，而養蝦區中游的TW3號井則達1292.8mg/L，位於下游的TW4及TW5更分別高達5668.7及7930.8mg/L，與海水估計值19000mg/L比較，五口井依序氯鹽濃度為海水之0.06%，0.05%，6.8%，29.8%及49.6%，TW4及TW5號井以最近一次取樣之結果計算，則氯鹽濃度為海水之92.4%及95.8%，兩井之水質均已接近海水水質。上述氯鹽分析之結果與前述柱狀圖分析一致，TW5號井之鹽分污染較嚴重。

位於養蝦區上游的TW1及TW2號井，SAR值平均分別為10.42及4.58，養蝦區中游的TW3號井SAR則為10.68，位於下游的TW4及TW5較高，達21.20及32.01，雖有隨位置或距海岸線之遠近而增高之趨勢，然若與海水估計值56.4比較，在電導度及氯鹽

表1 水質檢驗項目、分析方法及方法偵測極限

項目	分析項目	分析方法	依據	方法偵測極限
1	pH值	pH計	APHA* 4500-H'.B	——
2	電導度	電導度計	APHA 2510	——
3	碳酸鹽	酸滴定法	APHA 2320B	——
4	重碳酸鹽	酸滴定法	APHA 2320B	——
5	氯鹽	硝酸汞滴定法	環保署 407.2	0.50 mg/L
6	硫酸鹽	濁度法	APHA 4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E	0.19 mg/L
7	鈣	A.A.	APHA 3500-Ca.B	0.25 mg/L
8	鎂	A.A.	APHA 3500-Mg.B	0.02 mg/L
9	鈉	A.A.	APHA 3500-Na.B	0.05 mg/L
10	鉀	A.A.	APHA 3500-K.B	0.10 mg/L

\* Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17th Edition

表2 各採樣井地下水質主要成分分析

Parameter	unit	TW1	TW2	TW3	TW4	TW5
Ca	mg/L	6.8	11.0	160.7	84.3	853.8
	meq/L	0.3	0.6	8.0	4.2	42.7
	x	5.5	13.4	17.3	2.4	15.8
Mg	mg/L	2.3	5.2	101.0	80.9	402.3
	meq/L	0.2	0.4	8.3	6.7	33.1
	x	3.1	10.4	17.9	3.8	12.3
Na	mg/L	121.6	70.8	692.7	3690.8	4467.0
	meq/L	5.3	3.1	30.1	160.5	194.2
	x	85.3	75.0	64.8	92.9	71.9
K	mg/L	14.7	1.9	——	105.0	——
	meq/L	0.4	0.1	——	2.7	——
	x	6.1	1.2	——	1.6	——
Cl	mg/L	10.6	9.4	1292.8	5668.7	7930.8
	meq/L	0.3	0.3	36.4	159.7	223.4
	x	6.0	10.2	72.2	94.2	90.4
SO <sub>4</sub>	mg/L	11.2	25.0	275.8	442.0	832.1
	meq/L	0.2	0.5	5.8	9.2	17.3
	x	4.7	20.1	11.4	5.4	7.0
HCO <sub>3</sub>	mg/L	216.0	100.8	503.6	12.2	396.8
	meq/L	2.7	1.7	8.3	0.2	6.5
	x	53.7	63.6	16.4	0.1	2.6
CO <sub>3</sub>	mg/L	53.2	4.8	0.0	21.8	0.0
	meq/L	1.8	0.2	0.0	0.3	0.0
	x	35.7	6.2	0.0	0.2	0.0

註：各井水質為3~5次平均值

可顯著辨別鹽分污染的情形下，此項指標相對較不顯著，這種結果可能與陽離子Ca、Mg及Na三者在非飽和層中發生之鹽類溶解及進行複雜的離子交換、吸附、脫附等現象有關，由於主要機制不易掌握，致SAR值作為鹽分污染指標並不若其他指標顯著，各井之污染程度以SAR而言，則以TW5號井最嚴重。位於養蝦區上游的TW1及TW2號井， $[Cl^-] / [CO_3 + HCO_3]$  值平均分別為0.09及0.17。而養蝦區下游的TW4號井則高達368.3，已達海水之標準(>200)，各井之污染程度以此指標而言，以TW4號井最嚴重。

養蝦魚塢底土調查分析結果列表4所示，剖面A各樣品E.C.在17.9~43.7mmhos/cm之間，剖面B各樣品E.C.在12.7~28.0mmhos/cm之間，兩養蝦池之底質均受高鹽分污染，以E.C.在4mmhos/cm以上為鹽土之標準，各土樣均屬鹽分含量極高。另各樣品均不因深度增加，而E.C.、氯化物、硫酸鹽、鈣、鎂、鈉、鉀、S.A.R.等呈遞減，顯示土壤鹽分之累積現象在整個剖面皆存在，至2公尺餘仍未有減輕跡象。值得注意的是，A5、A6、B5、B6等樣品之質地含砂量增加，亦即剖面至1.5公尺以後成為砂質粘壤土，已成為良好的地下水含水層，而在採樣時亦發現深層之樣品有大量水存在，可知地下水位已到達，底質鹽分似不可避免地必然污染本區之地下水。池A比池B鹽分累積較高，則在兩者質地相當類似情況下，推測係養殖時間不同或鹽分污染時間不同所致。

在以高鹽分池水養蝦後，魚塢底質累積大量之鹽分，主要之陰陽離子如氯鹽、硫酸鹽、鈣、鎂、鈉、鉀等一般均移動容易<sup>(17 18)</sup>，故淋洗脫附應亦容易。試驗結果如表5所示，在孔隙體積數 $V / V_0$ 為0.328~0.492時，鹽分被清水淋洗脫附而出之量最大，整體性的鹽分淋洗脫附現象以淋洗液之電導度為代表，以測得最高之濃度，即 $V / V_0 = 0.379$ 之97300  $\mu$  mhos / cm 為 $C_0$ ，求出各淋洗液之相對濃度 $(C / C_0)$ ，作為縱軸， $V / V_0$ 為橫軸，作圖如圖4所示。造成鹽分偏高的主要陰離子： $Cl^-$ 、及 $SO_4^{2-}$ ，其淋洗脫附速率之比較如圖5所示，氯鹽之脫附移動速率略高於硫酸鹽，由於氯鹽在土壤中之傳輸有陰離子排除(Anion exclusion)現象，其移動速率甚至可能比水分子快<sup>(12 15)</sup>，而硫酸鹽本就有稍強

的吸附性<sup>(14)</sup>，故本實驗之結果符合前人之研究結論。在主要陽離子Ca、Mg、Na、K方面，脫附速率之比較如圖6所示，脫附速率有 $Ca > K > Mg = Na$ 之現象，但實際上相差甚為有限，由於陽離子脫附涉及土壤粒子表面複雜之離子交換現象，有待進一步研究。綜合言之，研究區中養蝦池底質至地下水位間之土壤已因養殖時間長短而累積不同量之鹽分，一般鹽分含量極高，這些鹽分在降雨時由於容易自土壤中脫附，將因淋洗迅速進入地下水含水層中，造成地下水之鹽分污染。

## 五、結 論

本研究獲致之各項資料，可得以下之結論：

1. 蘭陽平原沿海養蝦魚塢地區之地下水井，其地下水質主成分由上游之Na-HCO<sub>3</sub>-CO<sub>3</sub>型及Na-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>型向下游轉為受鹽分污染之Na-Cl型。可由Piper氏水質結構圖及Collin氏柱狀圖明顯區隔污染井與未受污染井。
2. E.C.值、氯鹽、 $[Cl^-] / [CO_3 + HCO_3]$ 比、SAR值等常用之鹽分污染指標均可用於評估地下水井是否受鹽分污染，但各井污染程度之評析結果略有不同，以E.C.及 $[Cl^-] / [CO_3 + HCO_3]$ 比之分析，TW-4號井鹽分污染最嚴重，以氯鹽、SAR值之分析則以TW-5號井鹽分污染最嚴重。
3. SAR值在上游對照井中偏高，推測與非飽和層中發生之鹽類溶解及離子交換等作用有關。
4. 兩魚塢底土剖面樣品之分析，顯示累積之鹽分含量極高，為鹽土(4mmhos/cm)之3至11倍間，由於下層樣品已達地下水含水層，可知養蝦魚塢下滲之鹽分已可直接進入地下水中，造成鹽分污染。
5. 受鹽分污染之土柱淋洗試驗，顯示鹽分容易脫附，在孔隙體積數 $(V/V_0)$ 為0.328~0.492時，鹽分被清水淋洗脫附而出之量最大。
6. 蘭陽平原沿海地區養蝦魚塢底質至地下水位間之土壤已因養殖時間長短而累積不同量之鹽分，一般鹽分含量極高，由於容易脫附，這些鹽分在降雨時，將因淋洗迅速進入地下水含水層中，造成地下水之鹽分污染，因此，養蝦池鹽水之滲漏，應為蘭陽平原沿海地區地下水質鹽化之主要原因之一。

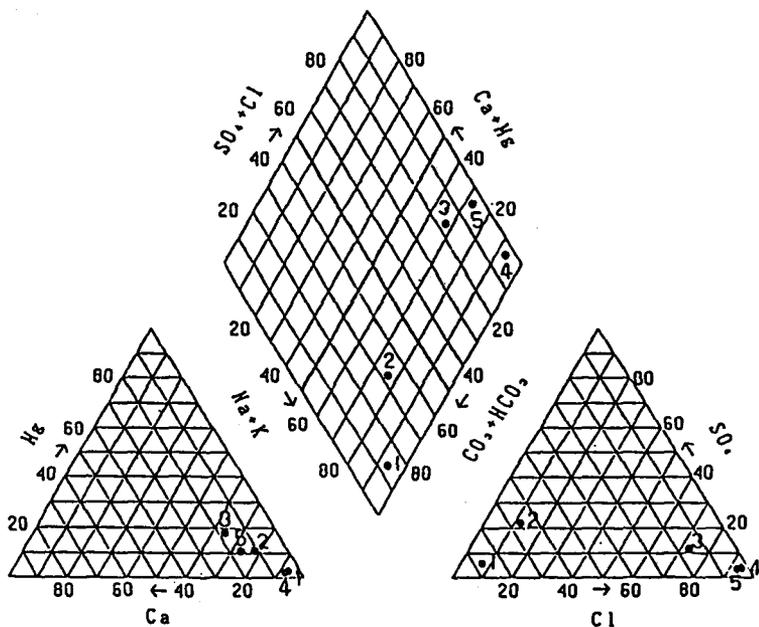


圖2 各採樣井之Piper水質結構圖

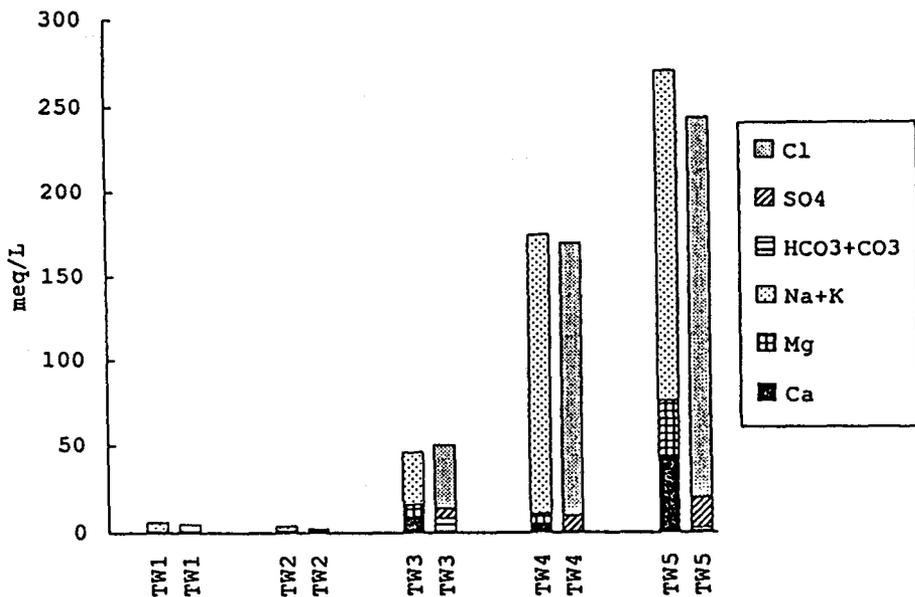


圖3 各採樣井之Collin水質管柱圖

表3 各採樣井鹽分污染指標統計表

Parameter	unit	TW1	TW2	TW3	TW4	TW5
pH	range	8.65~9.01	7.69~8.60	7.52~7.73	7.69~8.94	7.28~7.62
	mean	8.84	7.94	7.61	8.47	7.54
	n	5	5	3	5	4
	CV%	1.44	4.27	1.16	5.24	1.95
EC ( $\mu$ mho/cm)	range	436~491	193~342	1810~4800	5470~65800	15580~33100
	mean	472	276	3030	29082	21015
	n	5	5	3	5	4
	CV%	4.40	20.72	42.28	98.25	34.05
Cl (mg/L)	range	8.7~14.9	8.4~11.1	825~1910	1779~17566	5530~12200
	mean	10.60	9.40	1292.8	5668.7	7930.8
	n	5	5	3	5	4
	CV%	20.86	10.58	35.22	121.24	54.07
Cl/[CO <sub>2</sub> +HCO <sub>3</sub> ]	range	0.07~0.13	0.10~0.27	0.27~8.68	0~1040.8	19.77~53.25
	mean	0.09	0.17	4.41	368.3	34.32
	n	5	5	3	5	4
	CV%	25.28	40.75	99.44	100.99	40.51
S.A.R.	range	9~11.8	3.9~6.4	7.06~15.14	14.1~27.7	25.06~41.36
	mean	10.42	4.58	10.68	21.20	32.01
	n	5	5	3	5	4
	CV%	11.02	20.17	31.37	26.27	18.40

表4 兩處蝦池底質剖面之分析結果

Soil No.	Depth	sand	clay	Texture	pH	E.C.	chloride	sulfate	Ca	Mg	Na	K	S.A.R.
	cm	%	%	(1:1)		mmhos/cm	----- m.e/L -----						
A0	3	27.5	34.0	CL	7.36	17.9	174.4	38.3	13.9	17.4	100.9	3.3	25.5
A1	30	35.5	26.0	CL	7.31	18.5	184.7	43.7	11.5	13.3	85.7	2.3	24.3
A2	60	41.5	28.0	CL	7.21	31.7	229.1	61.8	25.3	59.7	173.9	6.2	26.7
A3	90	37.5	34.0	L	7.58	39.8	288.2	74.5	32.2	75.2	217.4	7.7	29.7
A4	120	42.4	28.0	CL	7.48	35.9	252.7	67.2	28.3	68.1	191.3	6.2	27.6
A5	150	46.4	26.0	SCL	7.21	43.7	329.6	92.6	31.6	91.5	252.2	7.2	32.1
A6	240	49.4	23.0	SCL	7.57	39.5	288.2	76.8	30.0	80.3	200.0	6.2	26.9
B0	3	37.5	26.0	CL	6.74	14.4	130.1	45.5	17.1	31.4	122.6	4.3	24.9
B1	30	35.5	24.0	CL	7.34	12.7	119.7	31.5	19.7	21.3	102.6	2.9	22.7
B2	60	43.5	24.0	CL	7.22	12.8	113.8	47.3	23.6	28.2	102.2	3.0	20.1
B3	90	45.5	38.0	L	7.34	13.8	181.8	66.3	28.7	52.6	104.3	3.9	16.4
B4	120	43.5	26.0	CL	7.36	28.0	190.6	66.3	30.6	64.2	121.7	4.1	17.7
B5	150	51.3	24.0	SCL	7.38	16.4	208.4	78.8	30.0	64.9	152.2	4.1	22.1
B6	210	52.5	24.8	SCL	7.63	13.2	181.8	45.5	21.4	47.8	104.3	3.2	17.7

表5 土柱淋洗試驗之結果

No of Pore Volume	Leaching Volume	Conc. of leaching solution						
		E. C.	Cl	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	Na	K
	mL	$\mu$ mhos/cm				mg/L		
0.025	9	352	86	38	18.4	9.2	59	7
0.051	18	300	91	38	13.5	7.7	59	9
0.076	27	305	111	38	12.2	7.4	51	7
0.101	36	379	111	74	16.7	10.6	71	10
0.126	45	287	70	38	18.5	7.8	51	7
0.152	54	408	91	80	17.5	10.7	54	9
0.177	63	398	121	84	25.9	13.2	72	11
0.202	72	1420	550	338	93.0	57.0	370	28
0.227	81	3410	1750	395	229.0	133.0	700	60
0.253	90	4090	2000	1468	550.0	179.0	1040	87
0.278	99	8320	2500	1711	550.0	280.0	1720	124
0.303	108	13180	5500	2179	780.0	420.0	2630	165
0.328	117	34900	59400	3000	1390.0	800.0	5300	285
0.354	126	64600	56400	3632	1830.0	1670.0	8200	460
0.379	135	97300	28700	4211	1620.0	2800.0	17600	670
0.404	144	84800	27700	4400	1230.0	2400.0	15300	580
0.429	153	40700	11100	6631	480.0	910.0	6100	280
0.455	162	11860	3500	2947	152.0	209.0	2590	128
0.480	171	6340	1750	1621	81.0	62.0	800	49
0.505	180	3630	1000	211	20.7	30.0	480	36
0.530	189	1860	350	360	6.9	11.4	290	19
0.556	198	1140	150	132	3.5	5.7	300	11
0.581	207	743	60	100	2.7	4.0	140	17
0.606	216	770	35	83	6.3	3.4	180	15
0.631	225	545	25	73	2.2	2.8	140	15
0.657	234	666	40	76	2.0	2.4	150	13
0.682	243	577	40	42	3.1	2.6	156	14
0.707	252	911	20	41	0.9	2.5	165	13
0.733	261	515	131	36	0.9	2.3	135	13
0.758	270	514	20	43	0.5	2.0	133	13
0.783	279	441	20	49	0.6	2.1	123	12
0.808	288	511	15	39	0.5	2.1	129	12
0.834	297	497	35	39	0.6	1.8	240	12
0.859	306	486	15	35	0.5	1.2	125	12
0.884	315	476	35	36	0.6	1.2	157	12
0.909	324	451	15	39	0.8	1.3	104	12
0.935	333	486	30	65	0.5	0.9	125	13
0.960	342	425	20	63	0.8	1.7	113	13
0.985	351	428	25	216	1.1	1.9	90	12
1.010	360	376	35	31	1.1	1.8	81	11

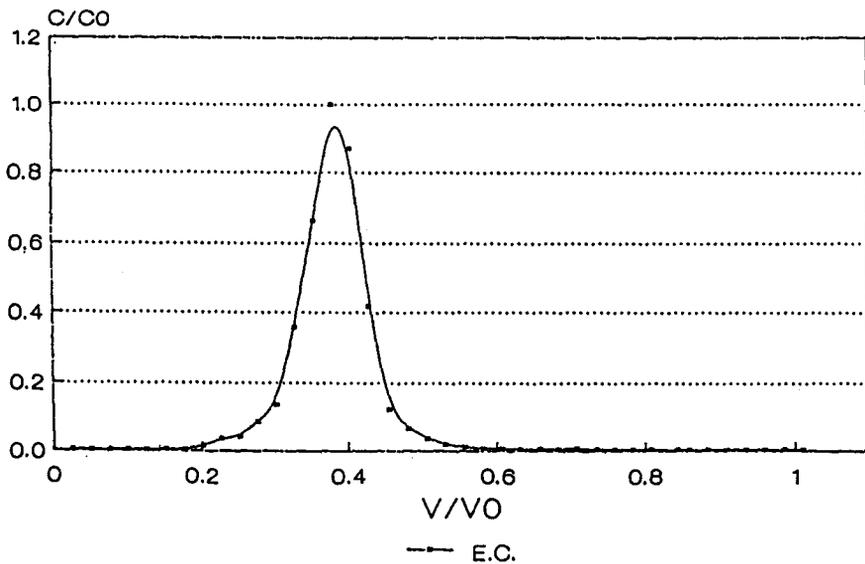


圖4 土柱淋洗脫附實驗淋洗液中電導度值之變化

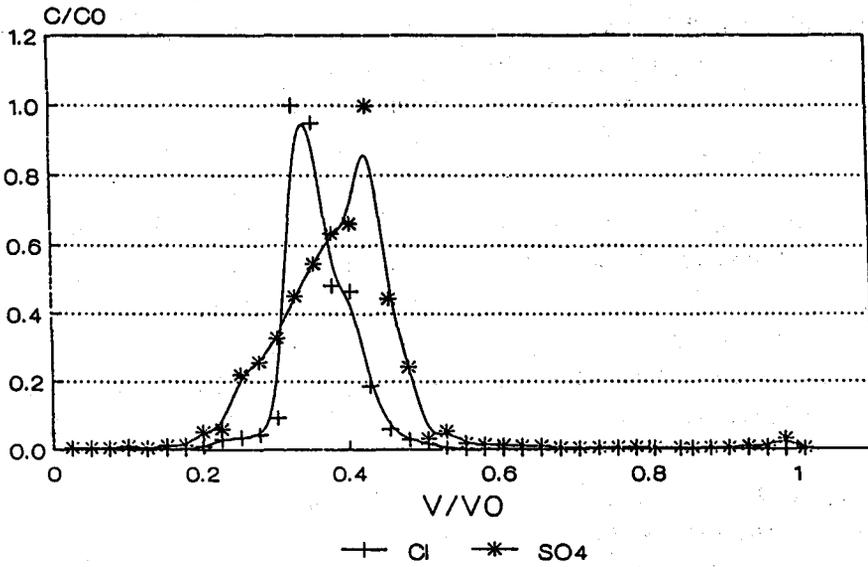


圖5 土柱淋洗脫附實驗淋洗液中氯鹽及硫酸鹽濃度之變化

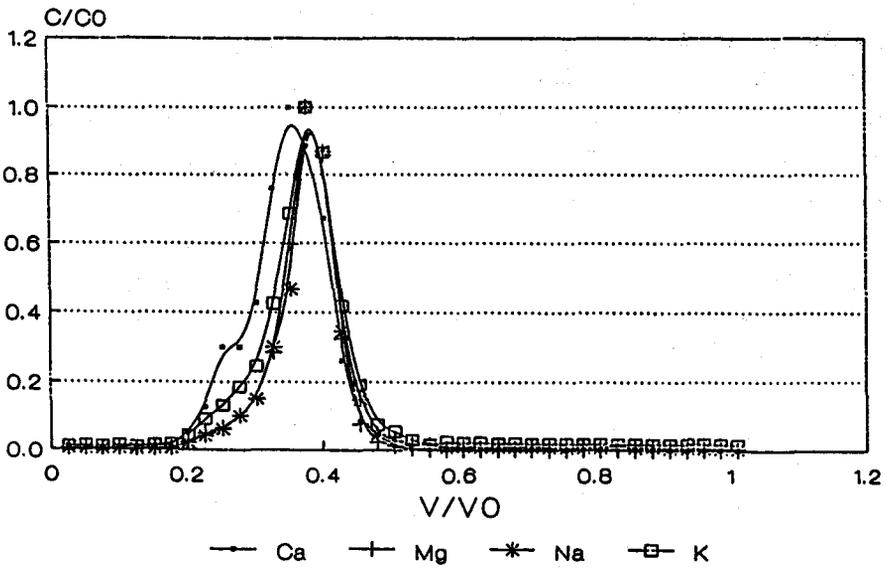


圖6 土柱淋洗脫附實驗淋洗液中鈣、鎂、鈉、鉀等陽離子濃度之變化

## 六、誌 謝

本文為行政院國科會補助計畫（NSC81-0115-E-197-02）之部分成果，承國科會補助經費，游淑桂、陳靜怡小姐協助整理打字，謹致由衷之謝忱。

## 七、參考文獻

1. 江漢全（1991）宜蘭地區地下水污染之調查研究，台灣省政府環境保護處委辦之專案研究計畫期末報告。
2. 沈向白，周良勳（1992）雲林縣沿海地區六鄉鎮地下水調查研究地下水調查分析與保育管理論文集，175-181頁，中國農業工程學會學術技術研討會編印，台北。
3. 謝幟昌，楊萬全（1992）彰化縣和美地區地下水資源之研究，地下水調查分析與保育管理論文集，51-68頁，中國農業工程學會學術技術研討會編印，台北。
4. 李伯當，林明煌（1992）台灣西南沿海地盤下陷區地下水質下陷區地下水質鹽化之研究，地下水調查分析與保育管理論文集，557-568頁，中國農業工程學會學術技術研討會編印，台北。
5. 張智欽（1985）屏東縣佳冬枋寮地區地層下陷之研究。國立台灣師範大學地理研究所碩士論文。
6. 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。
7. 江漢全（1992）宜蘭地區養殖排水對農業環境之影響，行政院農業委員會委辦之專案研究計畫期末報告，81農建-12.1-林-22(2)。
8. Zaporozec, A. (1972) Graphical interpretation of water-quality data. *Ground Water*, 10(2):32-43.
9. Snoeyink, V.L. and D. Jenkins. (1982) *Water chemistry*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
10. Bohn, H.L., B.L. McNeal and G.A. O'connor. (1984) *Soil chemistry*. p.171-193.
11. Hiller, D. (1980) *Fundamentals of soil physics*. p.81 - 83. Academic Press, Inc., New York.
12. Thomas, G.W. and A.R. Swoboda. (1970) Anion exclusion effects on chloride movement in soils. *Soil Sci.*, 110:163-167.
13. 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。
14. Wood, W.W. (1978) Use of laboratory data to predict sulfate sorption during artificial ground-water recharge. *Ground Water*, 16(1):22-31.
15. 行政院環境保護署法規委員會，環境法令—水質檢驗方法（1989）環保通訊週刊雜誌社，台北。
16. APHA (1989) *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 17th ed., Washington, DC 20005, U.S.A.
17. Biggar, J.W. and D.R. Nielsen. (1962) Miscible displacement: V. Exchange processes. *Soil Sci. Soc. Proc.*, 27:623-627.
18. Lai, S.H. and J.J. Jurinak. (1972) The transport of cations in soil columns at different pore velocities. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36:730-733.

收稿日期：民國83年3月21日

修正日期：民國83年4月15日

接受日期：民國83年4月18日