

第四章、地下水質檢測成果與分析

第一節、頭前溪流域新竹平原區地下水質參數分析

壹、地下水水質描述

一、基本統計量範圍描述

本研究討論地下水主要以生活用水標的及農業用水標的兩者來討論，所依據標準為「生活用水水源標準」及「台灣省灌溉用水水質標準」(表 3-2-1)。各項水質參數如表 4-1-1 所示。冬、夏平均值差異較小，EC 平均值介於 $500\sim600\mu\text{S}/\text{cm}$ ，最大值出現在點南寮漁港

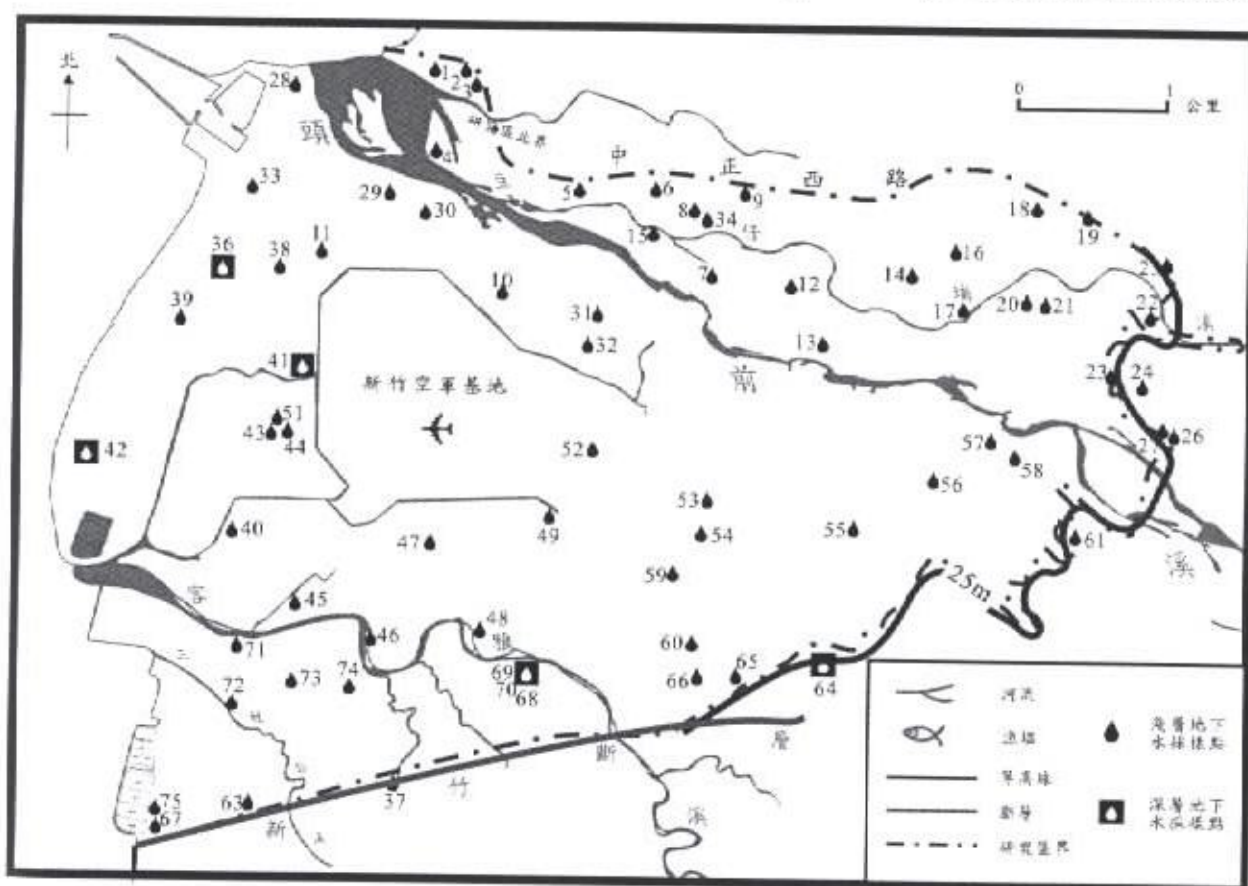


圖 4-1-1 新竹平原地下水採樣點圖

旁(點 28¹)為 $4.69\text{mS}/\text{cm}$ ； pH 大部分介於 6~8 之間，平均值為 6.9； NH_4^+ 、 NO_3^- 被認為

¹ 點 28 位於南寮漁港旁之應公廟內，由於所測得的電導度 $4.69\text{mS}/\text{cm}$ 為極端值，因此獨立探討而不納入各統計描述計算與等值線圖內。

與都市、家庭的人為汙染關係較為密切，各測站所觀測 NH_4^+ 值幾乎小於可偵測範圍，但 NO_3^- 卻偏高。若依農業用水標的而言，地下水平均在適用範圍，但 EC、 NO_3^- 和 NH_4^+ 平均狀況顯示地下水不適合在未經處理的情況下作為飲用水質。

本研究利用皮爾森相關矩陣 (Pearson's correlation matrices) 以找出各參數間的相關性，並將相關係數在 $r > 0.3$ 的值呈現於表 4-1-2 中，所設定之顯著水準為 $p < 0.01$ 。夏季其中 EC、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 彼此對應的相關係數均在 0.65 以上，其間的關係可能與地下水的鹽度相關，詳細情形有待探討。 pH 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 的相關係數介於 0.35~0.45 之間；冬季 pH 和 Eh、 Cl^- 和 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 的相關係數皆在正負 0.8 以上。

表 4-1-1 各樣點水質參數之統計量

	EC	pH	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	NH_4^+	SAR	RSC
夏半年(2006.07)								
最小值	361	6.1	10.4	7.5	0.01	0.01	0.4	-8.3
最大值	1287	8.7	477.4	329.9	93.51	4.15	8.8	0.4
平均數	625	6.9	107.3	32.3	11.20	0.17	1.0	-2.4
中位數	518	6.8	79.4	22.5	8.00	0.01	0.8	-2.1
標準差	234	0.4	84.6	40.9	14.73	0.57	1.1	1.6
	EC	pH	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	NH_4^+	SAR	RSC
冬半年(2007.01)								
最小值	381	6.2	77.2	10.0	0.01	0.01	42.0	-4.9
最大值	1275	7.8	1070.8	85.0	65.10	8.79	3.3	0.3
平均數	568	6.9	205.0	27.3	10.19	0.26	1.1	-1.2
中位數	475	6.9	148.8	20.0	9.11	0.01	0.9	-0.8
標準差	217	0.3	166.4	18.3	12.45	1.15	0.5	1.1

註: EC 單位: $\mu\text{S}/\text{cm}$; SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 單位: mg/L ; RSC 單位: meq/L

表 4-1-2 夏季(2006.07)地下水水質參數皮爾森相關矩陣

	EC	pH	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Mg^{2+}	Na^+	K^+
EC	1.00								
pH		1.00							
CO_3^{2-}		0.45	1.00						
HCO_3^-	0.33	0.36	0.46	1.00					
SO_4^{2-}	0.72				1.00				
Cl^-	0.65			0.36	0.44	1.00			
Mg^{2+}	0.93				0.63	0.57	1.00		
Na^+	0.71				0.49	0.78	0.65	1.00	
K^+	0.35			0.31		0.27			1.00

* $p < .01$

表 4-1-3 冬季(2007.01)地下水水質參數皮爾森相關矩陣

	EC	pH	Eh	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
EC	1.00									
pH		1.00								
Eh		-0.99	1.00							
HCO ₃ ⁻	0.50	0.52	-0.52	1.00						
SO ₄ ²⁻	0.69				1.00					
Cl ⁻						1.00				
Ca ²⁺						0.99	1.00			
Mg ²⁺		0.35	-0.35			0.87	0.87	1.00		
Na ⁺						0.99	1.00	0.87	1.00	
K ⁺		0.35	-0.35			0.87	0.87	1.00	0.87	1.00

* $p < .01$

貳、不同水質指標之時、空變化

本研究之地下水研究區為新竹平原屬於頭前河流域的部分，各項水質指標所呈現的空間差異不盡相同，可分：為沿海與平原、都市與農業區兩部份討論。

一、沿海與平原之時、空變化

(一) 電導度 (EC) 與鈉吸著率 (SAR)

EC、SAR、Cl⁻均呈現出明顯的平原與沿海的空間差異，濃度由內陸向沿海遞增。以 EC 區分灌溉水品質，可將研究區地下水質分為中鹽分 (250~750 μ S/cm) 與高鹽分 (750~2250 μ S/cm)，其中研究區內並無出現低鹽分的樣點，而高鹽分一般並無超過 1500 μ S/cm (圖 4-1-2、4-1-3)。

夏季大多數樣點皆屬於中鹽分，而高鹽分之樣點有點：11、32、33、38、39、40、43、46、47、50、51、67、71、72、73、74，共 17 個；冬季情況與夏季相同，大多屬中鹽分，而高鹽分之樣點有點：11、33、38、39、40、43、51、71、72、73、74 (表 4-1-4)。點分布除了 32、51 以外多集中在沿海地區，因此本研究判斷 EC 升高的原因可能與接近海洋、受海洋影響如漂鹽、古潟湖、都市污水匯集有關² (楊萬全，1997：12)。EC 由內陸向沿海升高，冬夏情形一致。研究區地下水質所呈現的平原區與沿海區兩個明顯的空間差異，研究結果與楊萬全 (1997：12)、韋煙灶 (2003：90) 一致。

以 EC 來評估研究區地下水灌溉水品質，發現內陸區可適用於大多數的作物與土壤，

²作者於沿海地區觀測深水井(井深大於 250m)，發現其地下水 EC 約 300 μ S/cm 左右，與其他沿海地區所觀測 EC 值差異很大，因此研究推測新竹平原受壓地下水質應相當乾淨，且所在的地質層與自由地下水不同所致。

但是越靠海鹽分越高，若以淺層地下水灌溉，則在灌溉之前，宜與引自河水的水圳水充分混合。地下水用作灌溉水時，尚須要稀釋，則雖生活用水水質標準無 EC 此項，但其對水質要求卻高過灌溉用水許多，可見研究區內之地下水並不適合作為生活用水。

由表 4-1-4 所示，地下水 SAR 值皆偏低，夏季 SAR 最低值為 0.4，最高為樣點 28，其值為 8.8，次高為樣點 9 其值為 3.3，平均多分布在 0~2 之間，屬於低含量；冬季最低值為 0.4，最高為樣點 28，其值為 18.4，屬極端值。以灌溉水質用水標準為 6.0 而言，研究區冬、夏 SAR 皆遠小於標準。依空間分佈情形來看，SAR 值由平原區向沿海地區稍偏高(圖 4-1-4、4-1-5)。

綜合 SAR 與 EC 所訂定出的灌溉水品質圖解(圖 4-1-6)，分析的結果研究區地下水品質為 C3-S1 (高 EC 低 SAR)、C2-S1 (中 EC 低 SAR)、C1-S1 (低 EC 低 SAR)。另外，以 RSC 分析的結果顯示出本區灌溉水質為安全施灌範圍，地下水水質受鹽害問題較為明顯，且無明顯的鹼害問題。

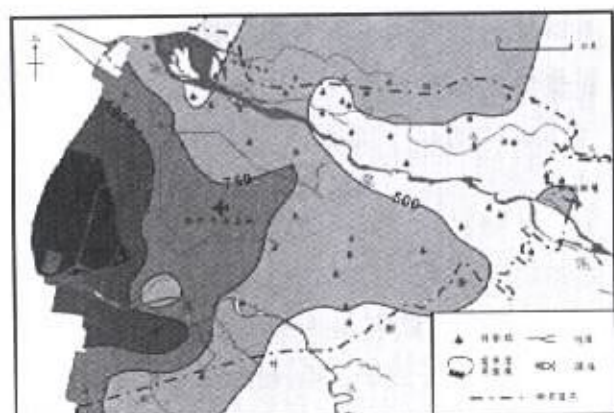


圖 4-1-2 夏季地下水 EC 等值線圖 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

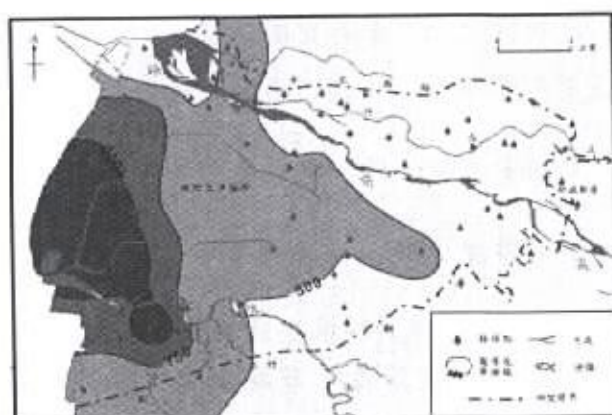


圖 4-1-3 冬季地下水 EC 等值線圖 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

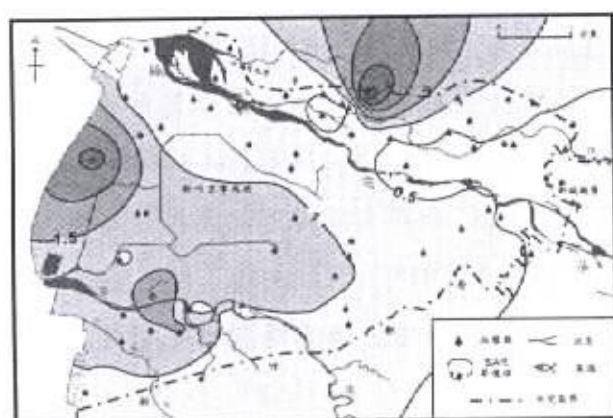


圖 4-1-4 夏季地下水 SAR 等值線

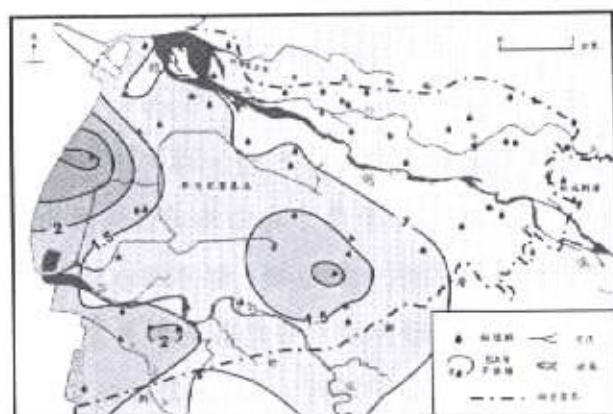


圖 4-1-5 冬季地下水 SAR 等值線

表 4-1-4 地下水研究區冬、夏 EC 與 SAR 值

採樣編號	SAR(夏)	SAR(冬)	EC(夏)	EC(冬)	採樣編號	SAR(夏)	SAR(冬)	EC(夏)	EC(冬)
1	0.6	--	404	--	35	0.6	1.0	735	590
2	0.6	--	379	--	37	0.8	0.9	601	609
3	0.8	1.0	569	556	38	1.1	1.5	911	783
4	0.6	0.7	504	497	39	2.7	3.3	1253	1085
5	0.7	0.8	535	459	40	0.9	1.0	1287	1243
6	0.5	0.6	482	437	43	1.2	1.7	1117	1009
7	0.7	0.7	361	441	44	1.4	--	742	--
8	0.6	0.8	381	467	45	2.1	--	478	--
9	3.3	0.7	589	501	46	0.9	0.9	791	573
10	0.8	0.9	493	533	47	1.3	--	1056	--
11	0.6	1.0	1054	1049	48	1.0	1.3	556	498
12	0.5	0.6	476	413	49	1.1	1.8	676	611
13	0.4	0.6	420	437	50	1.1	--	863	--
14	0.5	0.7	495	434	51	1.2	1.6	810	780
15	0.4	0.5	480	475	52	1.1	1.6	548	502
16	0.6	0.7	490	449	53	0.9	1.5	613	538
17	0.5	0.7	469	428	54	0.9	1.6	528	498
18	0.8	1.1	534	449	55	0.7	1.1	627	525
19	0.5	0.7	466	392	56	0.6	0.9	473	442
20	0.5	0.6	460	435	57	0.6	0.6	450	401
21	0.4	0.7	446	382	58	0.4	0.6	483	447
22	0.4	0.6	451	383	59	1.3	2.3	516	498
23	0.4	0.5	487	457	60	0.8	1.4	518	467
24	0.4	0.6	490	396	61	0.5	0.7	486	473
25	0.5	0.7	448	413	62	0.6	0.7	496	478
26	0.4	0.4	474	381	63	0.9	1.5	509	458
27	0.5	0.6	540	405	65	0.6	--	438	--
28	8.8	18.4	4690	4530	66	0.9	1.3	445	440
29	1.0	1.4	406	469	67	0.7	--	904	--
30	0.8	1.2	595	531	71	1.2	1.6	1055	925
31	0.9	1.1	574	442	72	1.2	1.8	995	881
32	0.9	1.0	762	672	73	1.4	2.0	1191	1275
33	0.8	1.0	829	758	74	1.6	2.2	1004	897
34	0.6	0.7	486	425	75	0.9	1.1	712	630

註：EC 單位：μS/cm

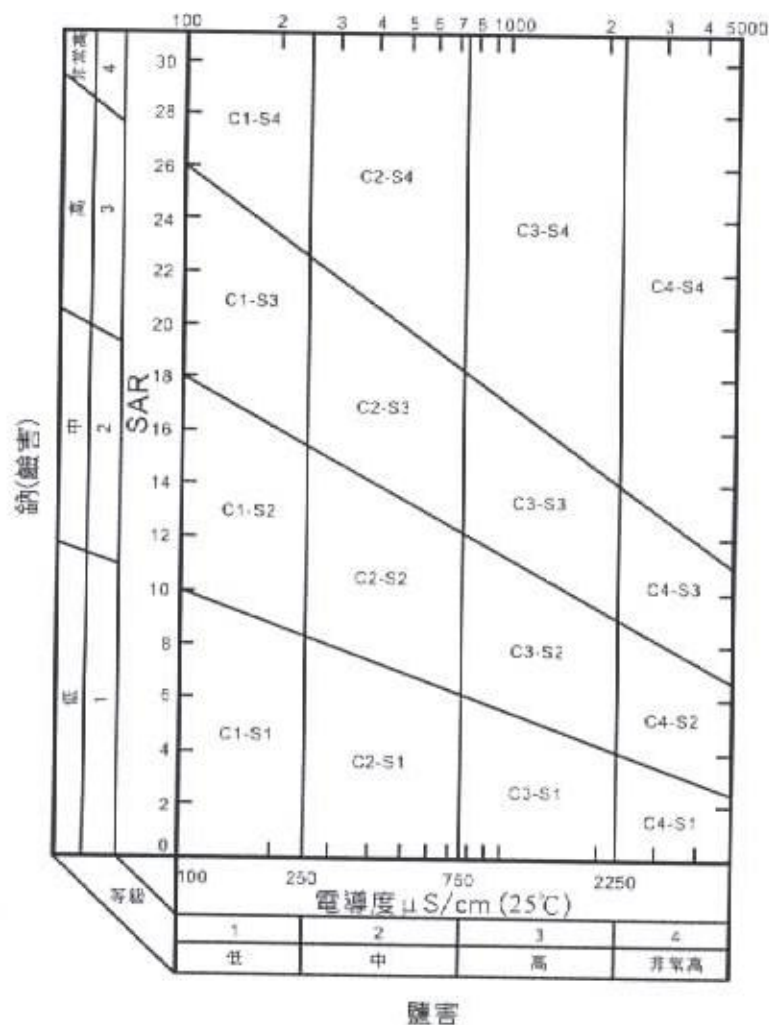


圖 4-1-6 灌溉水品質圖解

資料來源：陳賈，1979：7

(二) 硫酸鹽 (SO_4^{2-}) 與氯離子 (Cl^-) 濃度的分析

在地下水中的 Cl^- 幾無氧化、吸附、沈澱等反應的關係，所以不必考慮化學變化的因素。地下水中的 Cl^- 來自自然界氯鹽的溶解，海水、家庭污水、農藥、工業廢水等（楊萬全，1993；韋煙灶，2003：128）。

韋煙灶認為在無外來污染物進入地下水中的情況下，同一個時期形成的地下水中 Cl^- 濃度，可以相當程度地反應新竹地區沈積環境的差異：淺海相沈積環境 > 陸濱相沈積環境 > 陸相沈積環境，故氯鹽及其他鹽基物(base materials)濃度，呈現東北向西南漸次增加的趨勢，受沈積環境差異的影響，具有空間規律性（韋煙灶，2003：128-129）。本研究之 Cl^- 濃度呈現出此空間規律性，由內陸向沿海升高，趨勢如圖 4-1-9、4-1-10 所示。

依據灌溉用水水質標準， Cl^- 之限值為 175mg/L， SO_4^{2-} 為 200mg/L（表 3-2-1）。採樣點之 Cl^- 高於 175mg/L 者夏季有點：28、39， SO_4^{2-} 高於 200 mg/L 者夏季有點：11、27、

28、39、40、43、71、72、73、74。 Cl^- 高於 175mg/L 者冬季有點：28， SO_4^{2-} 高於 200mg/L 者冬季有點：3、9、11、26、28、32、33、37、40、43、46、51、55、57、58、62、71、72、73、74、75（表 4-1-5）。

兩者在空間上的特性除了少數點為區內陸外，其餘皆分布在海岸地區。 Cl^- 濃度雖以沿海地區最高，但是都在灌溉水範圍內。反之 SO_4^{2-} 超過標準值的樣點較多，且冬季多於夏季。濃度最大值集中在頭前溪以南的地區，尤其是客雅溪南、北兩岸。

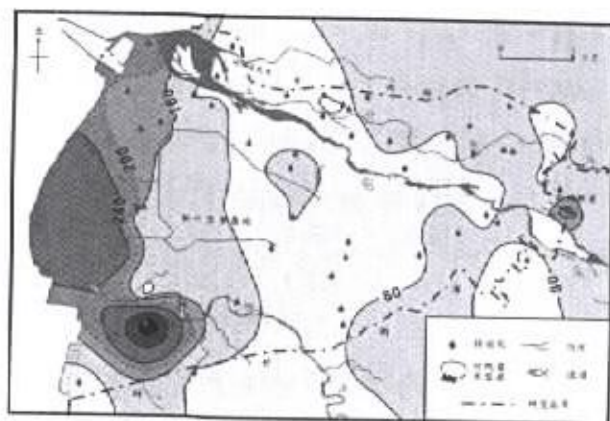


圖 4-1-7 夏季地下水 SO_4^{2-} (mg/L) 等值線圖

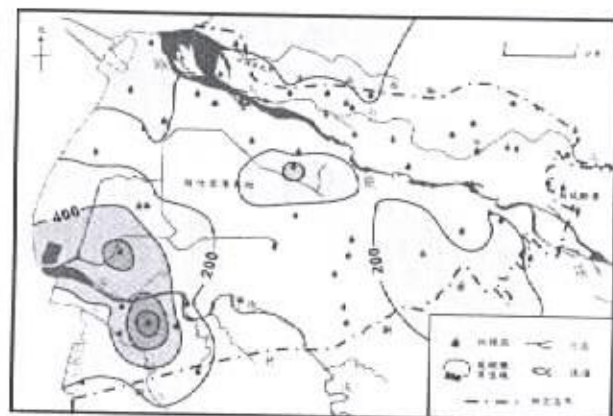


圖 4-1-8 冬季地下水 SO_4^{2-} (mg/L) 等值線圖

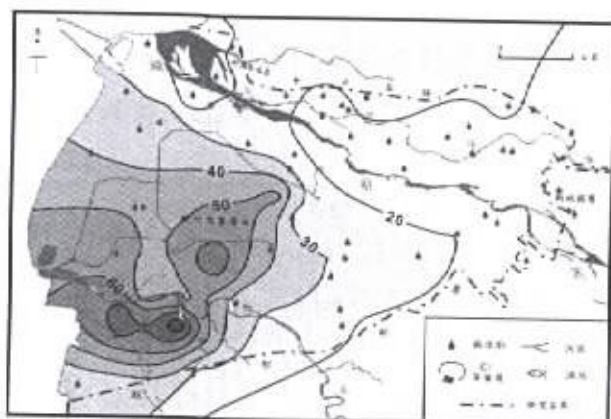


圖 4-1-9 夏季地下水 Cl^- (mg/L) 等值線圖

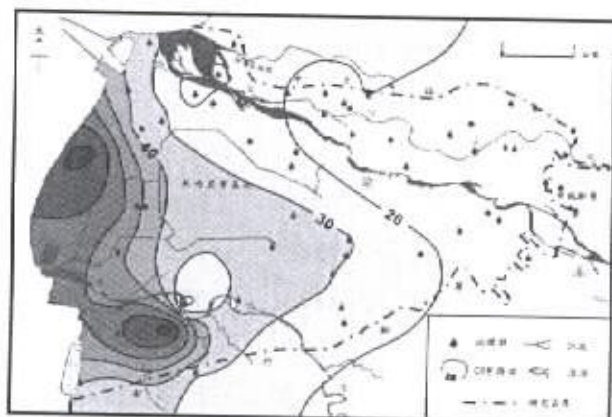


圖 4-1-10 冬季地下水 Cl^- (mg/L) 等值線圖

表 4-1-5 地下水研究區冬、夏 SO_4^{2-} 與 Cl^- 值

採樣編號	SO_4^{2-} (夏)	SO_4^{2-} (冬)	Cl^- (夏)	Cl^- (冬)	採樣編號	SO_4^{2-} (夏)	SO_4^{2-} (冬)	Cl^- (夏)	Cl^- (冬)
1	42.3	--	19.0	--	35	169.9	117.5	35.0	28.5
2	28.7	--	16.5	--	37	66.2	227.2	27.5	30.0
3	58.1	219.6	28.1	26.5	38	138.3	181.3	30.0	32.5
4	42.6	114.7	16.5	17.5	39	246.3	132.0	329.9	82.5
5	50.1	198.3	22.5	20.0	40	306.5	694.7	55.0	51.5
6	39.4	183.1	16.5	16.5	43	213.4	372.6	49.0	57.5
7	45.9	165.5	11.0	12.5	44	75.1	--	45.0	--
8	37.1	163.9	14.0	18.5	45	45.1	--	36.5	--
9	129.5	212.4	32.5	20.0	46	175.3	217.3	50.0	16.5
10	60.3	135.5	25.0	26.5	47	128.3	--	68.5	--
11	259.7	433.8	45.0	40.0	48	116.4	128.4	32.5	32.5
12	103.6	132.8	12.5	16.5	49	37.4	128.7	40.0	39.0
13	52.5	172.9	10.0	10.0	50	67.5	--	53.5	--
14	71.7	93.4	15.0	19.0	51	135.2	219.1	41.5	47.5
15	44.7	107.9	12.5	16.0	52	83.6	85.5	25.0	32.5
16	103.5	145.2	15.0	15.0	53	28.0	134.2	31.5	31.5
17	92.9	122.4	15.0	15.0	54	37.0	125.9	30.0	30.0
18	156.0	120.1	22.5	20.0	55	69.4	358.1	22.5	22.5
19	65.8	104.2	15.0	13.5	56	135.1	128.4	20.0	16.5
20	83.4	116.2	17.5	15.0	57	38.2	205.9	12.5	12.5
21	108.6	102.9	15.0	15.0	58	105.0	203.7	10.0	12.5
22	78.4	104.3	12.5	15.0	59	29.1	77.2	29.0	30.0
23	79.4	110.1	10.0	10.0	60	34.2	84.8	27.5	27.5
24	93.4	100.8	11.9	12.5	61	43.8	182.6	15.0	12.5
25	78.9	101.9	15.0	11.0	62	63.9	232.3	15.0	15.0
26	175.5	212.0	7.5	10.0	63	110.5	118.6	30.0	30.0
27	247.1	148.8	10.0	11.5	65	125.6	--	17.5	--
28	286.8	419.0	1324.6	1499.5	66	36.6	102.2	25.0	22.5
29	77.1	77.9	10.0	14.0	67	10.4	--	31.5	--
30	98.5	185.5	22.5	26.5	71	244.0	405.9	72.5	60.0
31	83.2	85.9	22.5	21.0	72	279.0	421.9	72.5	67.5
32	114.1	529.2	27.0	25.0	73	477.4	1070.8	70.0	80.0
33	161.6	239.8	31.5	40.0	74	273.5	417.9	89.0	85.0
34	66.8	181.2	17.5	18.5	75	12.5	200.5	32.5	40.0

單位：mg/L

(三) 氯/碳酸比

本文所稱之「氯/碳酸比」之操作定義為 $\text{Cl}^- / (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ 之當量濃度(epm) 比值，正常地下水約在 2 以下，海水約為 234，受污染後 epm 大增，可作為污染的指標，比值 2 以上可視為已受污染，比值 3 以上為受海水嚴重污染（楊萬全，1993：461；劉乃綺，1988：263）。歸納結果如表 4-1-6。

由表 4-1-6 可整理出研究區所採地下水夏季 $\text{Cl}^- / (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ 比值介於 1~2 者有 11、14、16、17、18、30、31、37、38、40、52、53、55、56、57、59、60、61、62、65 共 20 個點³；比值介於 2~3 者有 10、39、44、46、48、49、50、54、63、66 共 10 個點；大於 3 者有點⁴28 (16.96)、35 (3.55)、45 (4.63)、47 (5.61)、71 (3.68)、72 (4.60)、73 (5.92)、74 (6.46) 共 8 個點， $\text{Cl}^- / (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ 比值超過正常地下水比值 2 者以平原西側為多。冬季 $\text{Cl}^- / (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ 比值介於 1~2 者有 73、74 兩個點、大於 3 者有 28 (19.04)。

以季節差異來看，夏季 $\text{Cl}^- / (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ 比值超過 2 以上的點佔了三分之一，冬季除了點 28 為極端值以外，其餘皆在 1 以下。以空間差異來看，夏季頭前溪以北地區比值小於 2，污染程度最嚴重的比值大於 3 者多集中於客雅溪南、北兩岸，尤其以南岸居多，冬季值平均較小，但比值高者集中在客雅溪南北岸附近，整體而言有內陸向沿海地區升高的趨勢（圖 4-1-11、4-1-12）。

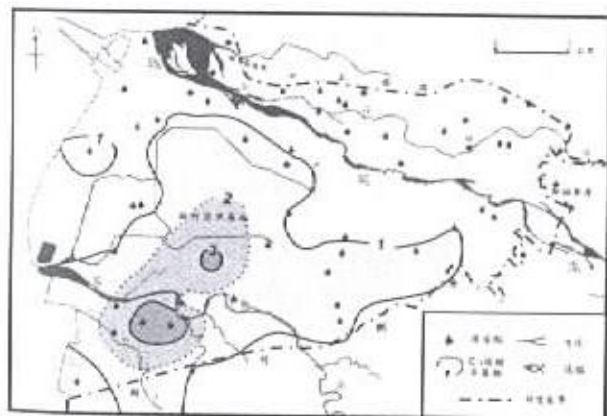


圖 4-1-11 夏天氯/碳酸比等值線圖

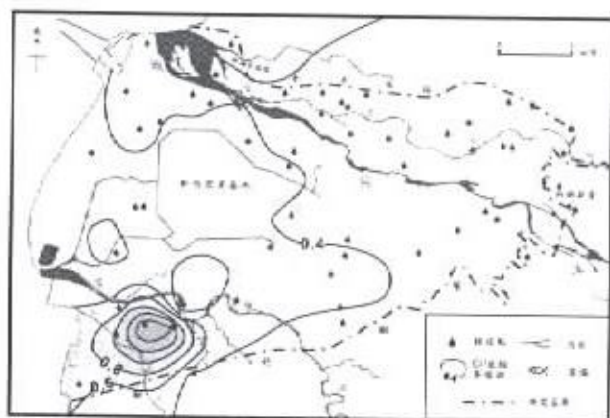


圖 4-1-12 冬天氯/碳酸比等值線圖

³其中 54、66 位於都市地區，與海岸已有相當距離， $\text{Cl}^- / (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ 比值分別為 2.18、2.05，污染程度較輕，且電導度值為 400~500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 間，尚屬於正常範圍，由此判斷可能受到都市污染可能性較大。

⁴點 28 為極端值。

表 4-1-6 地下水研究區冬、夏 $\text{Cl}^- / (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-)$

採樣編號	$\text{Cl}^- / (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-)$		採樣編號	$\text{Cl}^- / (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-)$	
	(夏)	(冬)		(夏)	(冬)
1	0.77	--	35	3.55	0.54
2	0.69	--	37	1.40	0.30
3	0.92	0.54	38	1.06	0.24
4	0.33	0.25	39	2.41	0.56
5	0.66	0.38	40	1.75	0.35
6	0.38	0.31	43	0.34	0.42
7	0.37	0.21	44	2.14	--
8	0.43	0.31	45	4.63	--
9	0.90	0.34	46	2.54	0.21
10	2.12	0.45	47	5.61	--
11	1.50	0.31	48	2.06	0.47
12	0.28	0.26	49	2.12	0.44
13	0.30	0.17	50	2.89	--
14	1.26	0.29	51	0.55	0.69
15	0.27	0.20	52	1.59	0.34
16	1.27	0.22	53	1.60	0.36
17	1.36	0.25	54	2.18	0.51
18	1.90	0.27	55	1.73	0.38
19	0.27	0.21	56	1.69	0.24
20	0.32	0.25	57	1.06	0.25
21	0.28	0.25	58	0.85	0.21
22	0.20	0.27	59	1.84	0.44
23	0.36	0.15	60	1.75	0.40
24	0.18	0.18	61	1.15	0.21
25	0.26	0.19	62	1.31	0.30
26	0.38	0.20	63	2.18	0.51
27	0.73	0.22	65	1.48	--
28	16.96	19.04	66	2.05	0.38
29	0.16	0.24	67	0.22	--
30	1.43	0.41	71	3.68	0.68
31	1.36	0.30	72	4.60	0.98
32	2.74	0.51	73	5.92	1.62
33	0.29	0.37	74	6.46	1.44
34	0.43	0.31	75	0.39	0.68

二、都市與農業區之時、空變化

地下水中氮氮可視為來自地表的污染物（韋煙灶，2003：127）。地下水中三氮的形式為 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NH}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ ，它們在一定條件下相互轉化。在淺層地下水中， NH_4^+ 和 NO_2^- 都不穩定，很易轉變為 NO_3^- ，故其含量很低，一般為百分之幾或十分之幾 ppm，而 NO_3^- 含量一般為十分之幾道 100 多 ppm，甚至達幾百 ppm（沈照理 等，1991：674）。

本研究之 $\text{NH}_3\text{-N}$ 標準系根據環保署（1997.09.24）公告之「飲用水水源水質標準」：地面水體或地下水體作為社區自設公共給水、包裝水、盛裝水及公私場所供公眾飲用之連續供水固定設備之飲用水水源者，其單一水樣水質應符合 $\text{NH}_3\text{-N}$ 之含量必須在 0.1mg/L 以下，其地面水體分類屬於甲類，適用於一級公共用水、游泳、乙類、丙類、丁類及戊類。而乙類陸域水體（適用於二級公共給水及一級水產用水等）及丙類陸域水體（適用於三級公共給水、二級水產用水及一級工業用水等）之 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量必須在 0.3mg/L 以下。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 作為飲用水之「可能影響健康物質」的上限為 10mg/L； $\text{NH}_3\text{-N}$ 作為飲用水之「影響適飲性物質」的上限為 0.1mg/L。（行政院環保署，2006）。

研究區 $\text{NH}_3\text{-N}$ 幾乎低於可偵測範圍（即 0.1mg/L 以下），夏季 $\text{NH}_3\text{-N}$ 介於 0.1-0.3mg/L 的有編號：2、10、11、28、53、62、67、71、75 共 9 口水井；大於 0.3mg/L 的有編號：16、30、32、39、44、49、65、66 共 8 口水井。冬季 $\text{NH}_3\text{-N}$ 介於 0.1-0.3mg/L 的有點 10、11、30、53、63、66、73、74 共 8 口水井；大於 0.3mg/L 的有編號：16、32、34、35、46、48、49、54、75（表 4-1-7）。受污染樣點多分佈於人口眾多的市區（圖 4-1-13、4-1-14）。

地下水中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量超過 10mg/L 的有：編號 1、2、3、5、6、7、8、12、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、23、24、25、34、35、47、51、55、57、58、61、62、63、74 等 32 口水井；介於 5-10mg/L 的有：編號 9、27、45、56 共 4 口水井。其中數值最高的兩點位於機場以西的地區，最靠近沿海，其值分別為 35（93.51mg/l）、51（43.79 mg/l），大多數水井的空間分布，多位於農作區，市區比例不高，且多位在頭前溪北岸或靠近河岸地區（圖 4-1-15）。冬季 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量超過 10mg/L 的有：3、5、6、8、14、15、16、17、18、19、20、21、23、24、34、35、39、46、51、55、56、57、58、61、62、63、74；介於 5-10mg/L 的有：7、12、22、25、27、73。濃度較高地區集中於沿海及非都市農作區（圖 4-1-16）。

$\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 以人為污染為主， $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度大於 10mg/L 多集中在都市以外的郊區，多以農作區為主，如頭前溪以北以及新竹機場以西的地區； $\text{NH}_3\text{-N}$ 則相反，濃度較高的地方多集中在人口較多的新竹市區及竹北市區。

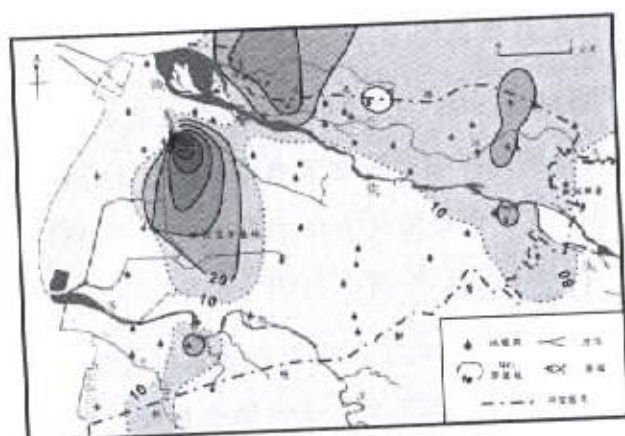


圖 4-1-13 夏天地下水 NO_3^- (mg/L) 等值線圖

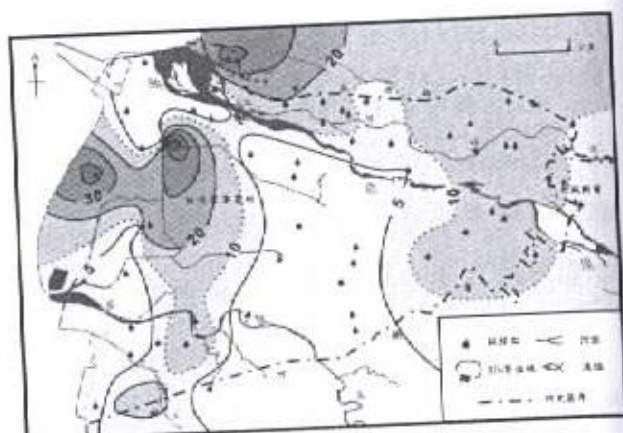


圖 4-1-14 冬天地下水 NO_3^- (mg/L) 等值線圖

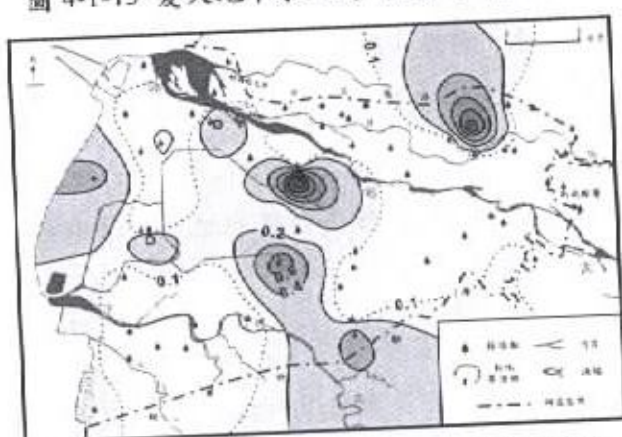


圖 4-1-15 夏天地下水 NH_4^+ (mg/L) 等值線圖

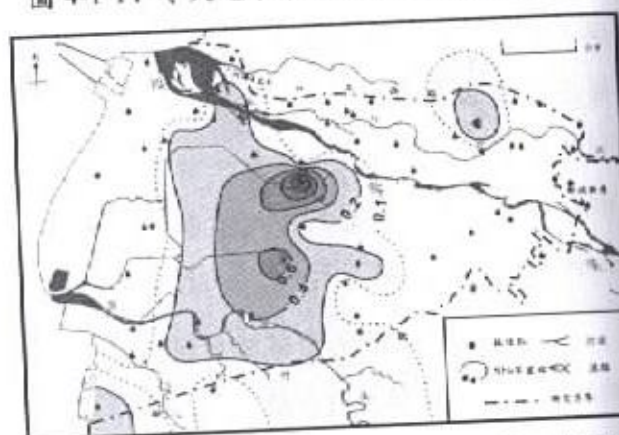


圖 4-1-16 冬天地下水 NH_4^+ (mg/L) 等值線圖

表 4-1-7 地下水研究區冬、夏 NO_3^- 與 NH_4^+ 值變化

採樣編號	NO_3^- (夏)	NO_3^- (冬)	NH_4^+ (夏)	NH_4^+ (冬)	採樣編號	NO_3^- (夏)	NO_3^- (冬)	NH_4^+ (夏)	NH_4^+ (冬)
1	26.40	--	N.D	--	35	93.51	65.10	N.D	0.36
2	25.07	--	0.14	--	37	0.40	0.23	N.D	N.D
3	38.70	46.93	N.D	N.D	38	0.32	0.35	N.D	N.D
4	8.00	1.50	N.D	N.D	39	0.18	46.62	0.48	N.D
5	37.64	19.97	N.D	N.D	40	N.D	N.D	N.D	N.D
6	13.20	13.10	N.D	N.D	43	0.29	0.38	N.D	N.D
7	12.33	8.10	N.D	N.D	44	N.D	--	0.53	--
8	11.27	14.36	N.D	N.D	45	8.24	--	N.D	--
9	6.73	3.47	N.D	N.D	46	0.51	12.49	N.D	0.31
10	2.17	0.41	0.13	0.25	47	23.44	--	N.D	--
11	0.45	0.69	0.24	0.21	48	1.67	0.63	N.D	0.42
12	13.37	9.11	N.D	N.D	49	1.09	1.42	0.83	0.73
13	10.69	4.60	N.D	N.D	50	2.60	--	N.D	--
14	16.22	15.08	N.D	N.D	51	43.79	32.42	N.D	N.D
15	14.22	12.86	N.D	N.D	52	0.47	0.59	N.D	N.D
16	10.42	19.17	1.24	0.48	53	N.D	0.45	0.10	0.11
17	17.03	12.30	N.D	N.D	54	1.31	1.23	N.D	0.53
18	23.36	15.58	N.D	N.D	55	10.30	13.60	N.D	N.D
19	18.94	12.30	N.D	N.D	56	7.57	10.02	N.D	N.D
20	25.43	12.57	N.D	N.D	57	19.18	13.31	N.D	N.D
21	16.10	12.81	N.D	N.D	58	22.33	16.92	N.D	N.D
22	10.69	9.87	N.D	N.D	59	N.D	0.21	N.D	N.D
23	11.78	14.00	N.D	N.D	60	3.29	2.20	N.D	N.D
24	12.49	12.06	N.D	N.D	61	16.88	12.29	N.D	N.D
25	13.22	9.83	N.D	N.D	62	10.92	12.10	0.16	N.D
26	0.49	3.44	N.D	N.D	63	15.29	17.36	N.D	0.27
27	7.26	7.87	N.D	N.D	65	2.43	--	4.15	--
28	0.32	0.25	0.15	N.D	66	0.20	0.75	0.49	0.18
29	N.D	N.D	N.D	N.D	67	N.D	--	0.27	--
30	4.38	2.49	0.47	0.28	71	N.D	N.D	0.10	N.D
31	N.D	0.01	N.D	N.D	72	0.71	1.44	N.D	N.D
32	N.D	0.39	1.55	1.36	73	4.44	5.86	N.D	0.23
33	0.58	1.17	N.D	N.D	74	29.84	20.75	N.D	0.29
34	20.20	16.42	N.D	8.79	75	N.D	N.D	0.17	0.42

單位：mg/L

註：N.D 表示低於可偵測範圍。

第二節、Piper水質結構圖分析

由第一節的討論已將本研究之地下水質進行空間分布之分析，發現研究區地下水具有沿海-內陸、客雅溪南岸-北岸、頭前溪南岸-北岸及都市區-農業區等空間差異，且研究結果顯示地下水質已受到某種程度的污染。Piper水質菱形圖分區中，可表現出水質特性，用以判斷其是否受到海水、農業活動或自然環境等的影響，可加強本研究所發現的地下水空間特性的分佈論述。因此將地下水的化學成分以水質菱形圖來表現，可進一步確立不同空間的污染形態與原因。

本研究將陰離子與陽離子換算成當量濃度後，依據其百分比，將各樣點之 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$ 和 $\text{CO}_3^{2-}+\text{HCO}_3^{-}$ 、 $\text{Cl}^{-}+\text{SO}_4^{2-}$ 、 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 點於左右陰陽離子三角型圖上以及菱形圖以及左右陰陽離子三角型圖上（如圖 4-2-2~4-2-9）⁵。

根據主要的陰離子和陽離子位於 Piper 圖上的位置，可將研究區地下水類型分為六種類型，分別為：1. $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 、2. CaSO_4 、3. Na_2SO_4 、4. NaHCO_3 、5. NaCl 、6. CaCl_2 。其中類型 NaHCO_3 所佔比例最少， CaSO_4 所佔比例最高。研究區中地下水質化學型態是根據各樣點在 Piper 圖上的位置來辨別及分類。若依山本莊毅（1989：380）的四個分區來區分水質，則 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 屬於第 I 區、 NaHCO_3 屬於第 II 區、 CaSO_4 與 CaCl_2 屬於第 III 區， Na_2SO_4 與 NaCl 屬於第 IV 區。研究區地下水則幾乎落於第 III 區。

夏季水質類型中以 CaSO_4 的水質最多，佔了 69%，其次為 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 。屬於 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 的水質類型包括：4、6、8、15、19、22、29、67、75，屬於 Na_2SO_4 的水質類型包括 9、44、45、51，屬於 NaCl 的水質類型樣點為 28， CaCl_2 的水質類型樣點：39、49、50、53、54、59、60。冬季水質樣點產生了變化， CaSO_4 的水質類型從 69% 增加至 87%，水質類型屬於 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 樣點為：29、31、38、52、60，屬於 NaHCO_3 水質樣點為：39、59。

⁵ 受限於 Piper 圖的空間限制，本研究將樣點依據空間分佈的不同，分為頭前溪以北、頭前溪以南客雅溪以北之沿海地區、頭前溪以南客雅溪以北之平原區、客雅溪以南以及沿岸四區。樣點區分如下：

a. 頭前溪以北平原區：1、2、3、4、5、6、7、8、9、12、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、23、24、25、26、27、34（圖 4-2-2、4-2-3）。

b. 頭前溪以南客雅溪以北之平原區：10、31、32、49、50、52、53、54、55、56、57、58、59、60、61、62、65、66（圖 4-2-4、4-2-5）。

c. 頭前溪以南客雅溪以北之沿海地區：11、28、29、30、33、35、38、39、40、43、44、47、51（圖 4-2-6、4-2-7）。

d. 客雅溪以南以及沿岸區：37、45、46、48、63、67、71、72、73、74、75（圖 4-2-8、4-2-9）。

以冬、夏變化比較，水質類型在 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 與 CaSO_4 間相互轉變居多，以樣點 4、6、8、15、19、22、31、38、52、75 為主。由 CaCl_2 變為 NaHCO_3 、 CaSO_4 、 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 者的有樣點 39、49、53、54、59、60；從 Na_2SO_4 變為 CaSO_4 出現在點 9、51，其餘樣點則冬、夏一致。若以山本莊毅所區分的四個分區（見：圖 1-2-1）來比對可發現，地下水化學成分雖產生變動，但各樣點的冬、夏水質類型分區變動不大，水質類型雖從 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 變化成 CaSO_4 ，然而分區依舊屬於第Ⅲ區→第Ⅲ區，只有少數由第Ⅰ區→第Ⅲ區。因此新竹平原地下水質類型多分佈於第Ⅲ區，且以為主 CaSO_4 。⁶

雖然冬、夏皆以 CaSO_4 的水質類型為主，但往往水質菱形圖所表現的是各離子的相對濃度而非絕對濃度。如第一節所提到，依據各個水質項目的空間分佈及濃度大小，可發現研究區地下水質有空間差異，因此就同一類型的地下水質而言，不同地區可能代表不同的現象。

根據鑿井商的描述，頭前溪北地區地下水質較溪南地區為佳，唯地下水多鐵質及石灰。附近居民將地下水送驗的結果，認為地下水還比自來水來得乾淨甘甜，唯石灰質較多，因此使用時都會加裝過濾裝置，目的是要將水中過多石灰質濾掉。因此頭前溪以北多 CaSO_4 類型的原因可能與碳酸鹽礦物的沉澱有關，使得富含 Ca 的礦物如石膏等，經過沉澱而置換出 Ca，因此產生 CaSO_4 類型的水（Adams *et al.*, 2001: 99）。由於一般淺層地下水多及地下水初始的型態多以 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 為主，水質的轉變可能與流經地區的地質型態或是人為活動影響有關。根據韋煙灶（2003：119）的研究發現，客雅溪南岸（工業區密集分布的地區）、河岸附近及海岸地帶自由水有較明顯的汙染，且 CaSO_4 （同 CaCl_2 山本莊毅歸納為Ⅲ類型）類型的水也有可能是因為農業活動的影響（楊萬全，1993：463），因此頭前溪以南及客雅溪以南及河岸附近多 CaSO_4 類型的水質除了農業影響以外不排除工業水混入的可能性。



而沿岸地區受污染的原因不排除是海水的影響。 CaCl_2 與 NaCl 水質除少數兩點出現在都市區以外，其餘皆集中在海岸地區。水質類型 NaCl 以及 CaCl_2 的形成為鹽份逐漸累積的結果（Adams *et al.*, 2001：100）。較高的鹽度之下，陽離子交換過程使得 Na 被置換出來而與 Ca 結合的結果而產生 CaCl_2 的水質類型（圖 4-2-1）；而 CaCl_2 的水質類型也可能

⁶ 研究區內冬、夏地下水樣點落於水質菱形圖中之紅色三角形區域內的情形相當普遍，此現象在Palmer的分類裡，是為無任一組陽離子—陰離子大於50%（Piper, 1944：917,918）。因此研究區地下水點分佈往往是在同一區內移動，雖化學成分有所改變，但整體性質變異不大。為了避免過多分類所帶來的複雜性，本研究以山本莊毅所簡化的Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ四個類型來探討之。

為新注入的淡水與鹹水互相混合的結果。在沿岸地區，水質為 NaCl 的原因與海水影響關係密切，但市區離海已有一段距離，水質受污染可能來自工業或是其他污染源影響。

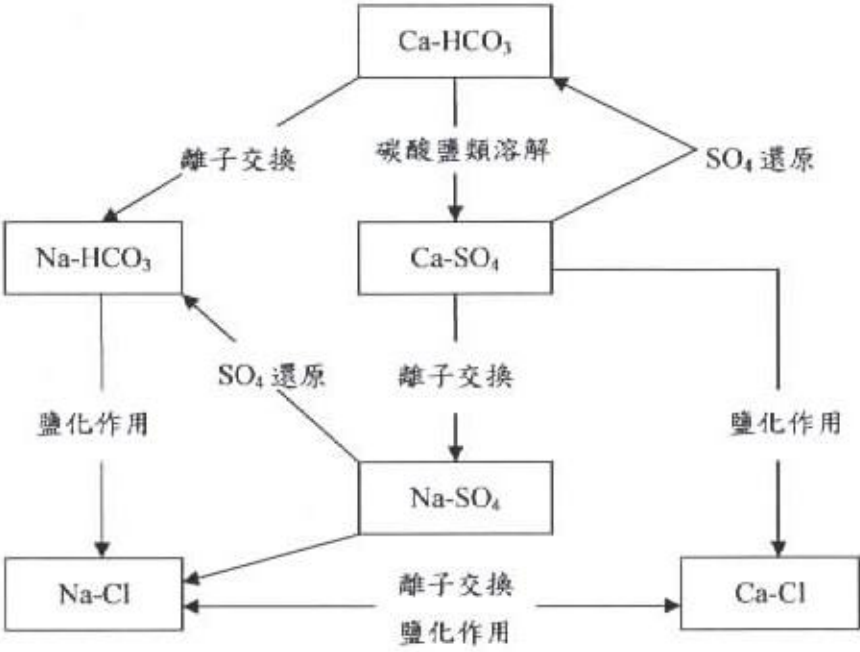


圖 4-2-1 與地下水型態有關的化學型態轉變過程

資料來源：轉譯自 Adams *et al.*, 2001: 100

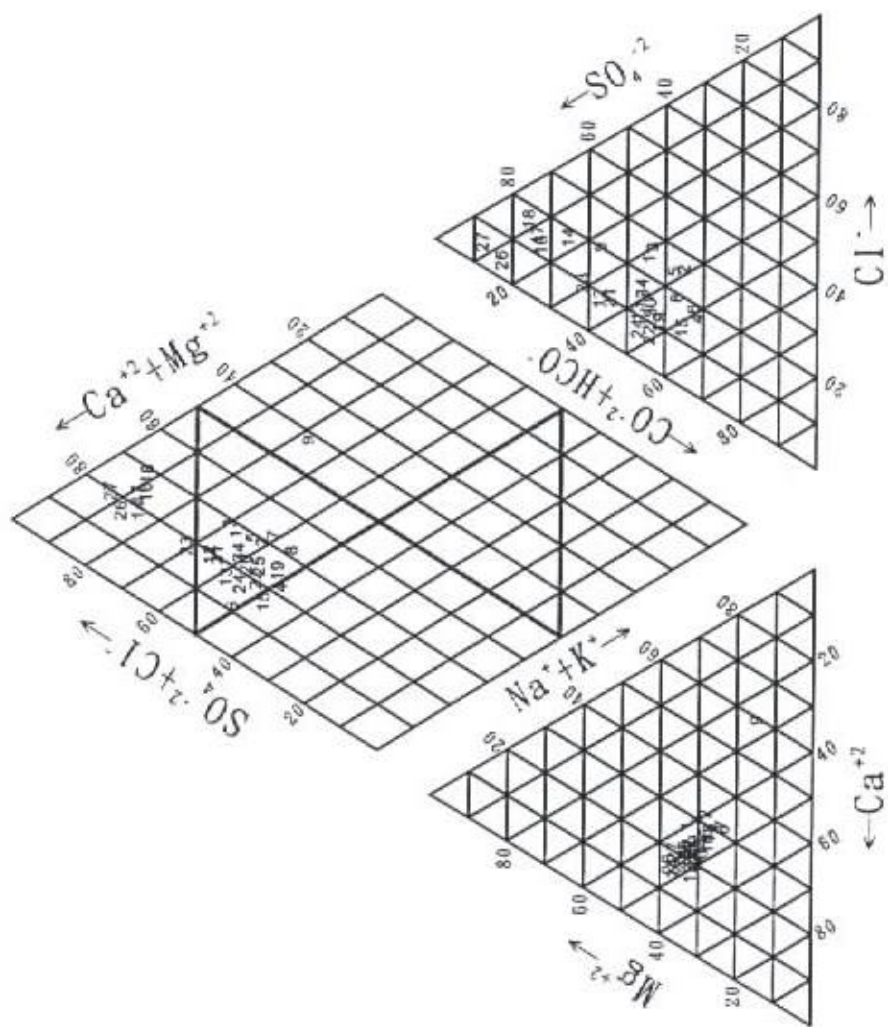


圖 4-2-2 頭前溪以北地區(夏季)

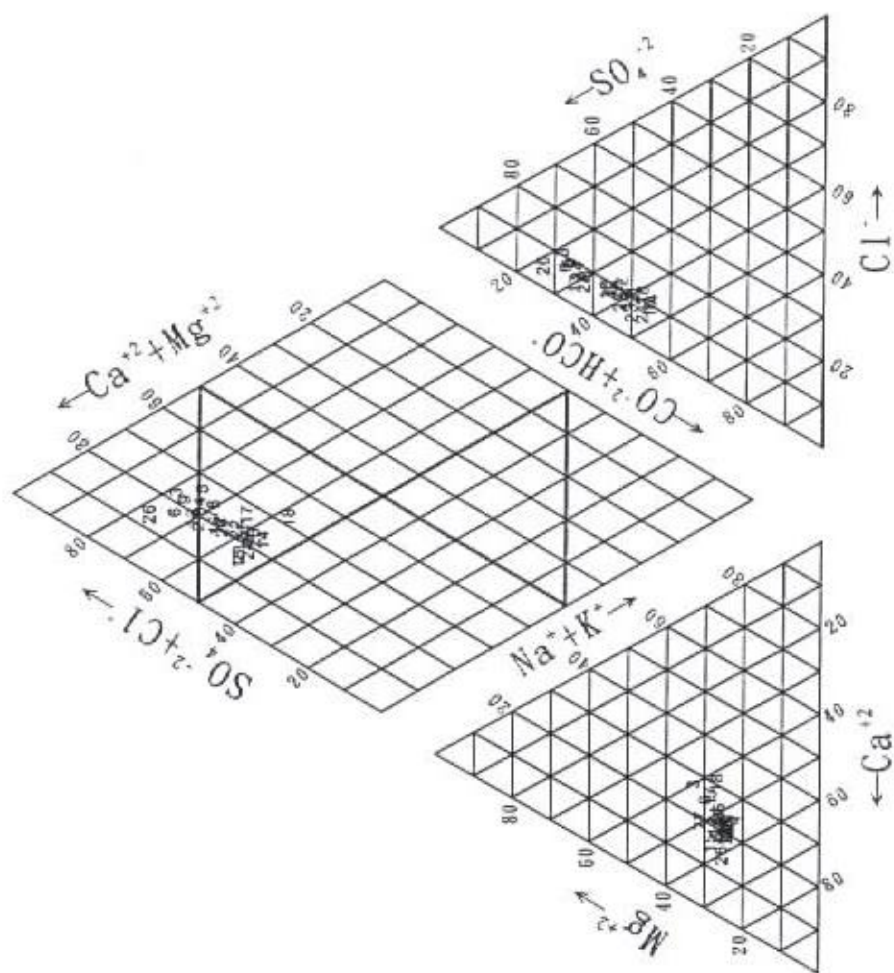


圖 4-2-3 頭前溪以北地區(冬季)

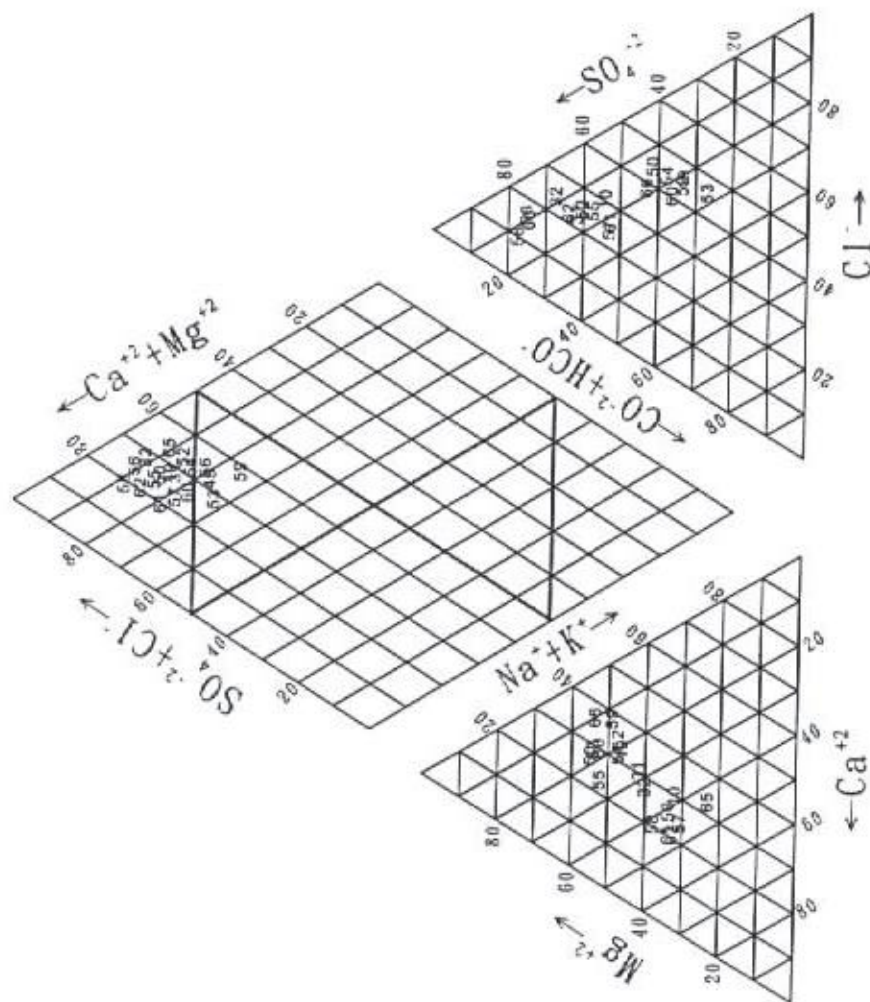


圖 4-2-4 頭前溪以南客雅溪以北平原區(夏季)

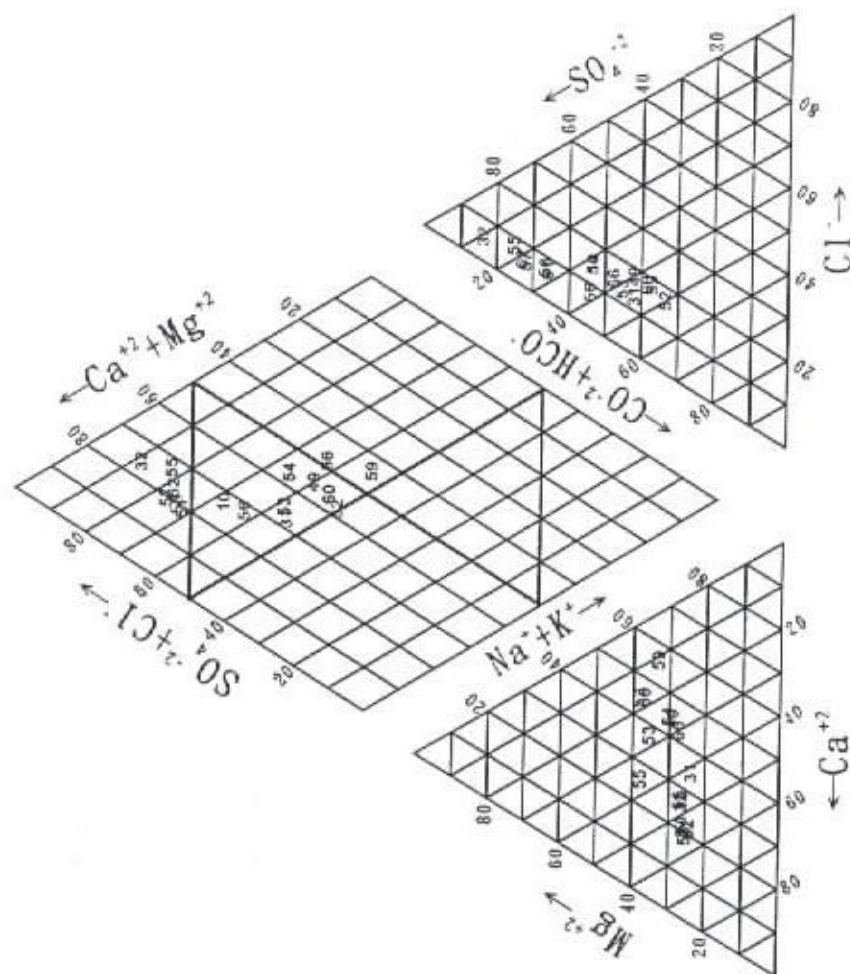


圖 4-2-5 頭前溪以南客雅溪以北平原區(冬季)

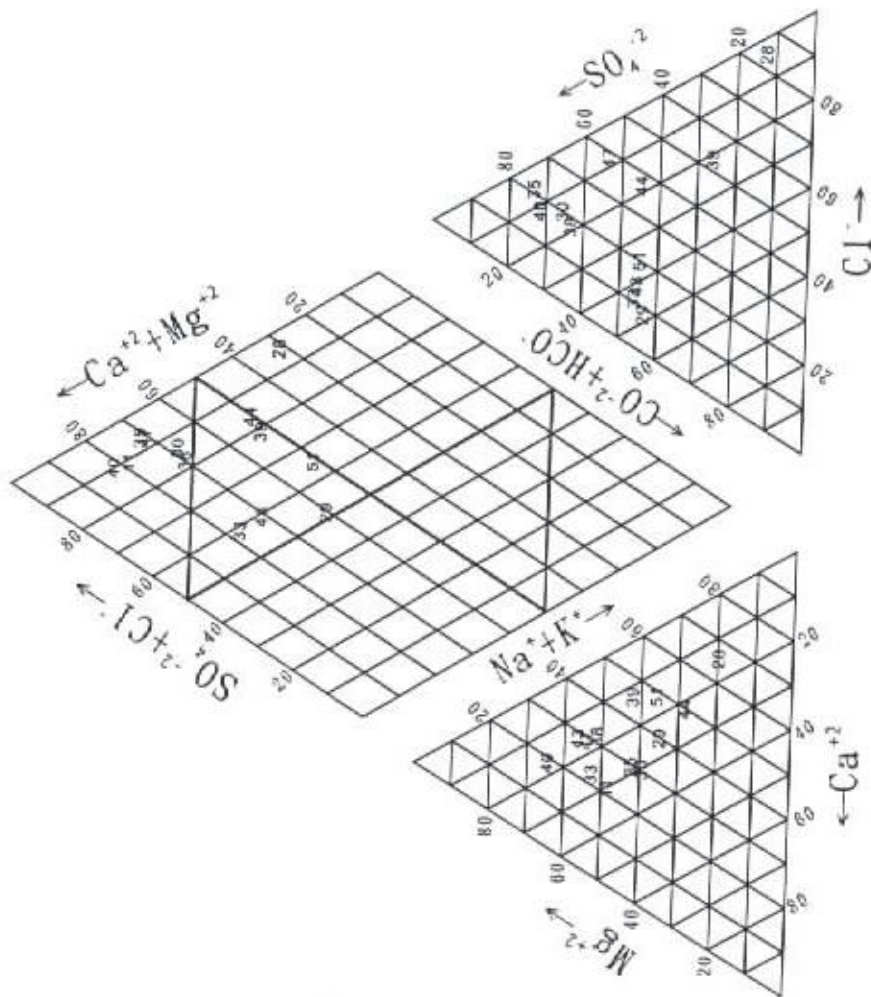


圖 4-2-6 頭前溪以南客雅溪以北沿海區(夏季)

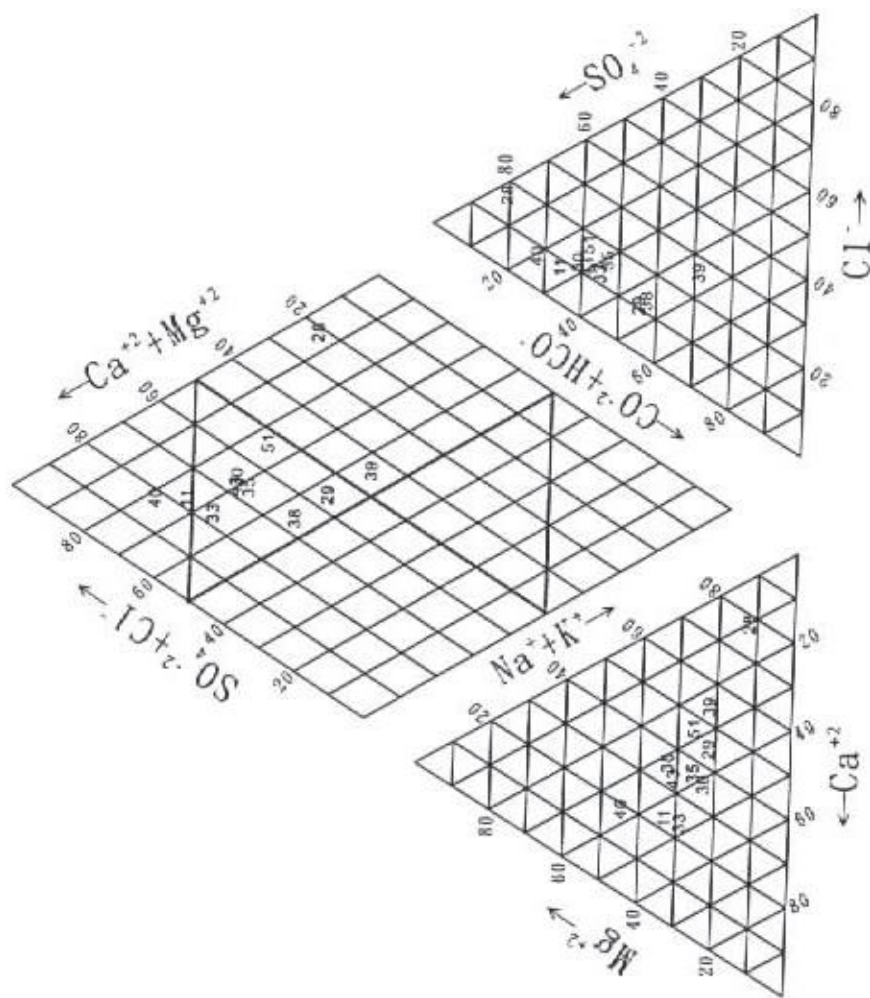


圖 4-2-7 頭前溪以南客雅溪以北沿海區(冬季)

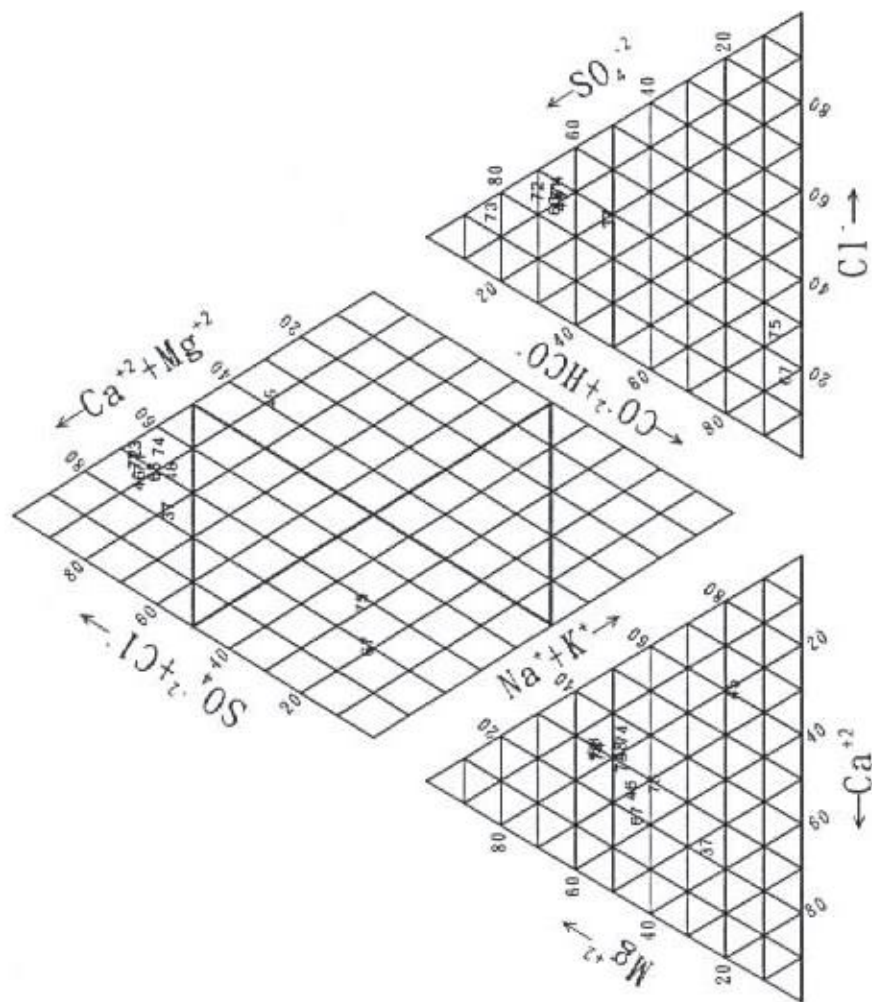


圖 4-2-8 南容雅溪以南沿海區(夏季)

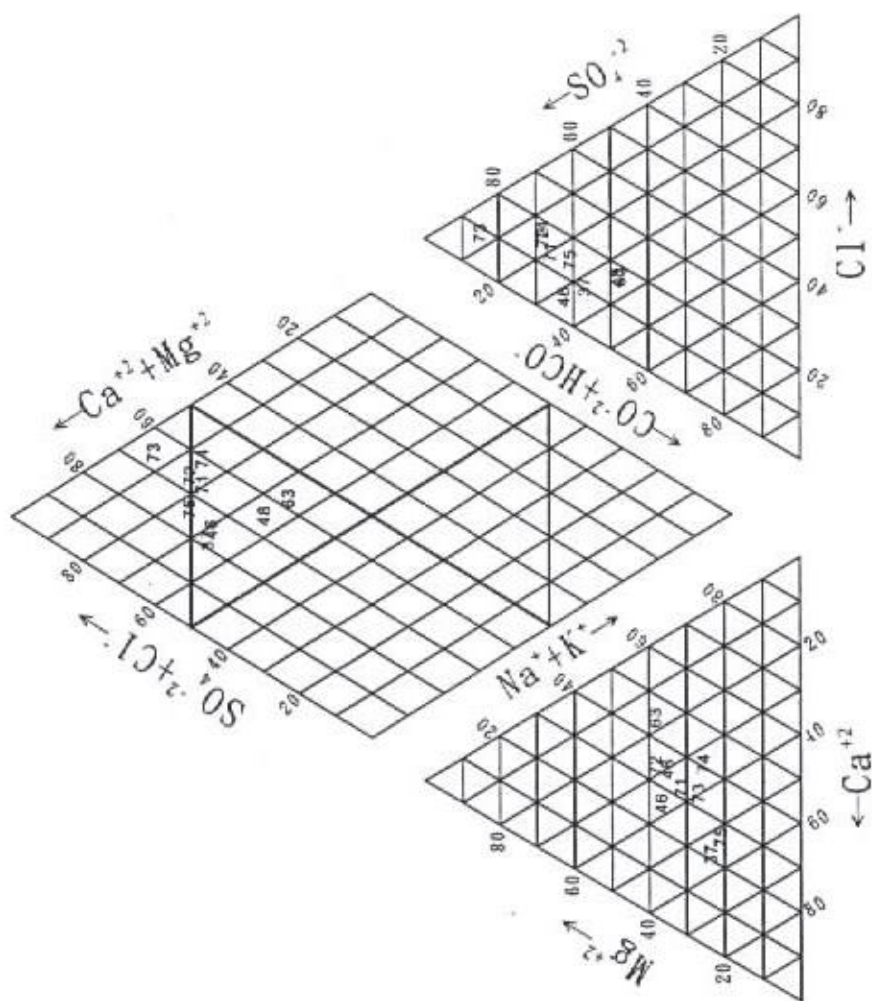


圖 4-2-9 南容雅溪以南沿海區(冬季)

第三節、地下水質綜合評估討論

研究區地下水主要以生活用水及農業用水兩個使用面向為主。依據各項水質指標顯示，地下水已受到污染，EC 與 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 SO_4^{2-} 過高，不符合生活用水之標準。但以農業而言，耐鹽性高的作物還是可以接受中鹽份與高鹽份電導度之灌溉水，且本區灌溉水硫酸鹽雖超過標準值，但還在第二級可用灌溉水範圍內⁷。若施灌時若有足夠的雨水或水圳水混入，可將灌溉水稀釋，還是可以用作灌溉水之用。

根據經濟部水利署 2005 年統計資料，新竹市區自來水普及率 97.76%，而竹北市自來水普及率只達 85.47。因此以生活用水而言，無管線到達之處的居民依舊以食用地下水或買水為主。本研究地下水空間具有差異性，各參數顯示頭前溪以北地區地下水質較優良，但 $\text{NO}_3\text{-N}$ 值過高的現象卻為竹北地區居民飲用水帶來隱憂。不僅如此，竹北越靠海使用地下水情形越普遍，頭前溪以北沿海地區，地下水受海水影響雖不如頭前溪南岸明顯，但各項參數由內陸向沿海地區升高為本區共同現象。因此以目前情況，地下水應作為生活用水之洗滌清潔用途為佳，不適宜作為飲用水來源，甚至作為飲用水也應考慮碳酸鈣過多可能導致的健康問題。反之頭前溪以南之新竹地區，沿海水質普遍受到人為污染及海水污染的影響，尤其以客雅溪沿岸附近最為明顯，即使作為灌溉水用途還是應考慮將水質稍做處理後使用為佳。

研究區地下水質經過分析後，本研究認為作為灌溉水質用途應無太大的問題。回應第二、三章節之水量與地面水質的狀況評估，地下水可作為乾旱時期的農業調節水源，以減低休耕政策對於新竹地區所帶來的衝擊。新竹平原地下水與灌溉之關係可整理為表 4-3-1。考慮水量的因素，地面水與地下水聯合運用的原則留待下一章節探討。

表 4-3-1 研究區地下水灌溉水品質總整理

水質項目	等級區分	與灌溉之關係
EC($\mu\text{S}/\text{cm}$)	中鹽份 250~750	灌溉水施灌時，需要相當之淋洗作用，應選種耐鹽中等之作物
	高鹽 750~2250	應選種耐鹽性次高之作物，施灌時，應有充分之淋洗作用，必要時應行鹽分控制管理
SAR	<2.0	灌溉水質屬鈉含量低之灌溉水，適灌於所有土壤，不致有置換性鈉積聚而產生鈉害之危險。
RSC(meq/L)	<1.25	可安全施灌
SO_4^{2-} (mg/L)	<192	第一級優良灌溉水
	192~336	第二級良好灌溉水
Cl^- (mg/L)	<175	兩期稻作均能成長範圍

⁷ SO_4^{2-} 作為灌溉水評鑑項目時，共分為五個等級，濃度在 192~336 mg/L 之間為第二級良好灌溉水。