

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 地球科學科

佳作

030501

走出梓官鄉~探索地下水~ 從高雄區地下水導電度延伸，探究淡水泡對鹹化淡水之可逆

學校名稱：高雄市立國昌國民中學

作者： 國二 蘇心慧 國二 郭森儀 國二 林昭榮	指導老師： 陳惠玲
---	------------------

關鍵詞：淡水泡、地下水、導電度

摘要：

我們先從地下水的認識與探勘著手，發現梓官區距離地底下 9~10 公尺就有地下水，地下水資源豐富（**研究一**）。藉著行政院環保署 環境資源資料庫，找出梓官區地下水數據，並與其他高雄沿海地區相比，分析導電度、溶氧量、水位，發現導電度與離海遠近影響不大（**研究二**）。接著自製地下水水箱模型，模擬鹹化地下水、沙石層，從補助及抽取淡水數據，可清楚觀察出淡水泡的形成與回縮，邊緣過渡帶不大，確實可在鹹水層中儲存淡水（**研究三**）。

本研究以在地觀點出發，關心沿海區地下水鹹化的議題，並研究淡水泡的現象。希望能以簡單易懂的報告，使更多人了解地下水特性，隨時關心水質，以少為人知的淡水泡現象，引入思索，為我們的地下水資源，添加諸多可能性！

壹、研究動機：

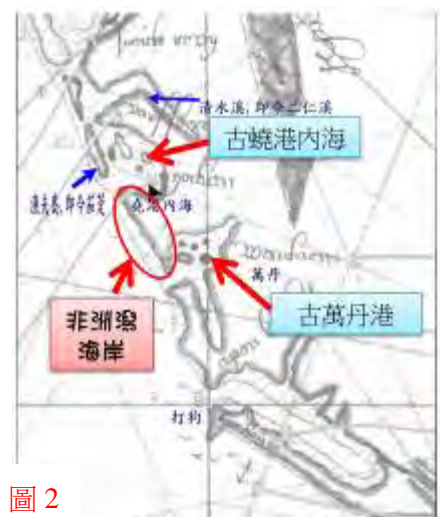
我們的家都住梓官區，家後的菜園以及附近的田地，到處都是農業抽水幫浦。富足的地下水源讓梓官區為台灣三大蔬菜集貨產銷中心之一。近年來沿海地區超抽地下水造成地層下陷與海水鹹化憂慮不斷。我們也很關心梓官地下水的品質與供給問題。

我們也想了解同樣位於沿海的其他地區地下水鹽度與梓官區有何不同。我們認為淡水鹹化從海邊開始，而梓官南方蚵寮一帶海岸線已經後退嚴重，影響水質，梓官北端是否也有可能變成如此？於是我們決定實地探勘，進行研究，更進一步了解家鄉地下水資源。

貳、文獻探討：

一、梓官區介紹（圖 1）：

梓官區位於臺灣高雄市西部沿海，東臨橋頭區，北臨彌陀區、岡山區，西濱臺灣海峽，東北連岡山區，南接楠梓區。本區位於沿海平原地帶，地勢平坦，氣候上屬熱帶季風氣候，年均溫約 23~25°C，年雨量約 1500 公釐。產業方面以農業及漁業為主，設有蔬菜專業區，是南台灣重要的蔬菜生產中心以及台灣三大蔬菜集貨產銷中心之一。（參一）



二、梓官區地形地貌：

梓官區因受潔底山噴泥堆積的影響，在赤崁至蚵仔寮的沙岸地區，竟出現高達十公尺左右，居民稱為「**崁**」的沙質海岸。因有土崁阻擋風沙，沙地下又有淡水資源，為昔日討烏漁民搭蓋漁寮最適合的地點，因此梓官區南部的濱海漁村以**赤崁及蚵仔寮**直接臨海，漁業最盛。此段突起的海岸也成為古蟻港內海和古萬丹港兩大瀉湖間的分界地帶，是高雄唯一的一段「非洲瀉海岸」（如圖 2）（參二）。

梓官全區屬於海岸沖積平原，區境內地勢平坦，但由於彌陀鄉境內的潔底泥火山南麓延伸至本區西北部，使得此區成為全鄉地勢最高之處，高度約有海拔 25 公尺，本區的地勢便由此向東、向南遞降，向東降至典寶溪沿岸，高度僅剩海拔約 3 公尺；向南降至典寶溪出口一帶，高度已接近海平面。（參三）

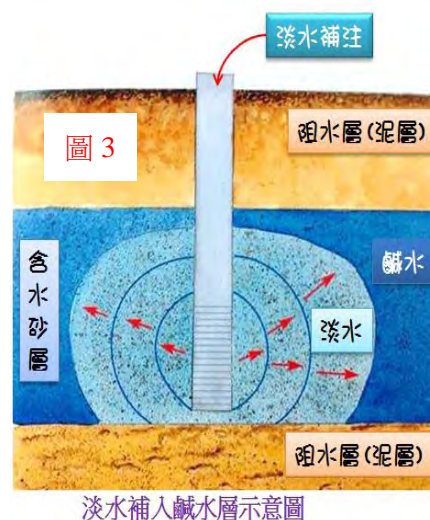
三、梓官區產業發展：

典寶溪自上游帶來大量沖積物，故本區北半部大部分皆為來自沙頁岩母質的新沖積土，土壤肥沃，適合農業發展。於民國八零年後，本區農作逐漸以蔬菜的單作為主。現已成為全國重要的蔬菜專業生產區。本區的南半部濱臨台灣海峽，地勢低窪，區境最南的信蚵村已在昔日萬丹港瀉湖的範圍內，靠海吃海，居民或築塹養魚或造船下海，使此區成典型得漁村風貌。梓官區坐擁了北部肥沃的平原以及南部豐饒的內海，農漁兼具的地理環境，造就了梓官區「北農南漁」的產業景觀。

（參三）

四、淡水泡：（參四，詳見附錄一）

地下含水層的特性，如果在鹹水層中灌入淡水，淡水並不會和鹹水相混，而是形成淡水泡，水灌得越多，淡水泡就越大（圖 3）。



參、研究目的：

研究一： 實地探勘訪談梓官農地地下水使用現狀

研究二： 到行政院環境保護署環境資源資料庫(參五)，摘錄高雄沿海地區地下水觀測井導電度、溶氧量、水位的資料，並加以比較、綜合分析數據及地區的關聯性。

研究三： 以海沙與海水實作淡水泡實驗，探討地下水鹹化之可逆性。

肆、研究器材與流程：

中型收納箱抽屜一個、滴管數支、鹽度計兩隻、海水、淡水、海沙、針筒數個、直尺兩把、水桶一只、鏟子一隻、水管一隻、細吸管數支、60cc 針筒兩隻。



伍、研究過程：

研究一、梓官區實地探勘與訪談 105 年 10 月 1 日

緣起：

為了瞭解梓官北區地下水資源使用概況，我們實地走訪探勘。

(一)梓官區農田探勘(圖 5)：



處處農田

抽水設備

抽水馬達電表

定時開關

圖 5

(二)鑽井設備材料行參觀(圖 6)：



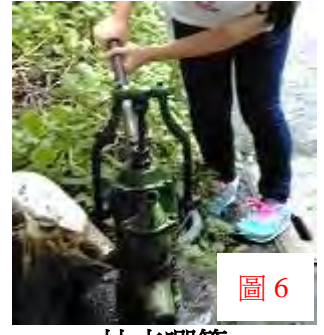
沉水式馬達



地下水井材料



沉水幫浦



抽水唧筒

圖 6

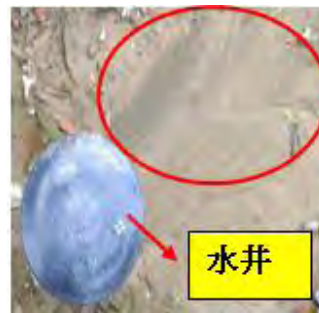
(三)拜訪地方耆老(圖 7)：



成員與耆老合影



鄰居新裝的抽水馬達



新水井挖出黃泥沙層



沙子黃泥相混的土層

圖 7

(四)探勘發現：

1. 經過初次探勘，我們發現梓官北區處處農田。
2. 農田旁都有電表、輸水管、定時開關等器材，由此可證明農田抽地下水來灌溉。
3. 大部分的農田都使用**沉水式抽水井**灌溉，代表農田處處地下淡水資源豐富。

(五)從耆老訪談中得知：

1. 透過大舍里耆老的訪談，梓官區距離地底下 **9~10 公尺**就有地下水，
2. 從耆老印象，當初裝抽水唧筒時，先挖出**黃泥很快就是沙層**，從鄰居家新鑽不到一個月的井旁，挖出的依然是潔底山噴泥堆積而形成的泥層以及梓官區原先沉積的粉沙層。
3. 梓官地區多年來一直傳承使用地下水，自來水普及時代，依然以地下水灌溉為先。

發想：梓官區地下水水質與其他沿海地區有何不同？於是我們尋找地下水數據開始研究二。

研究二、比較、綜合分析沿海地區地下水導電度、水位、含氧量數據及地區的關聯性。

(一) 研究方法：我們從行政院環境保護署 環境資源資料庫(參五)中選了十一個觀測站地點，選擇導電度、含氧量與水位，加上從 google 測量的離海距離，探討數據相關性。

(二) 選取觀測站地圖(圖 8) (數字為 2016 年四月導電度，只有成功為 2015 年 10 月導電度)

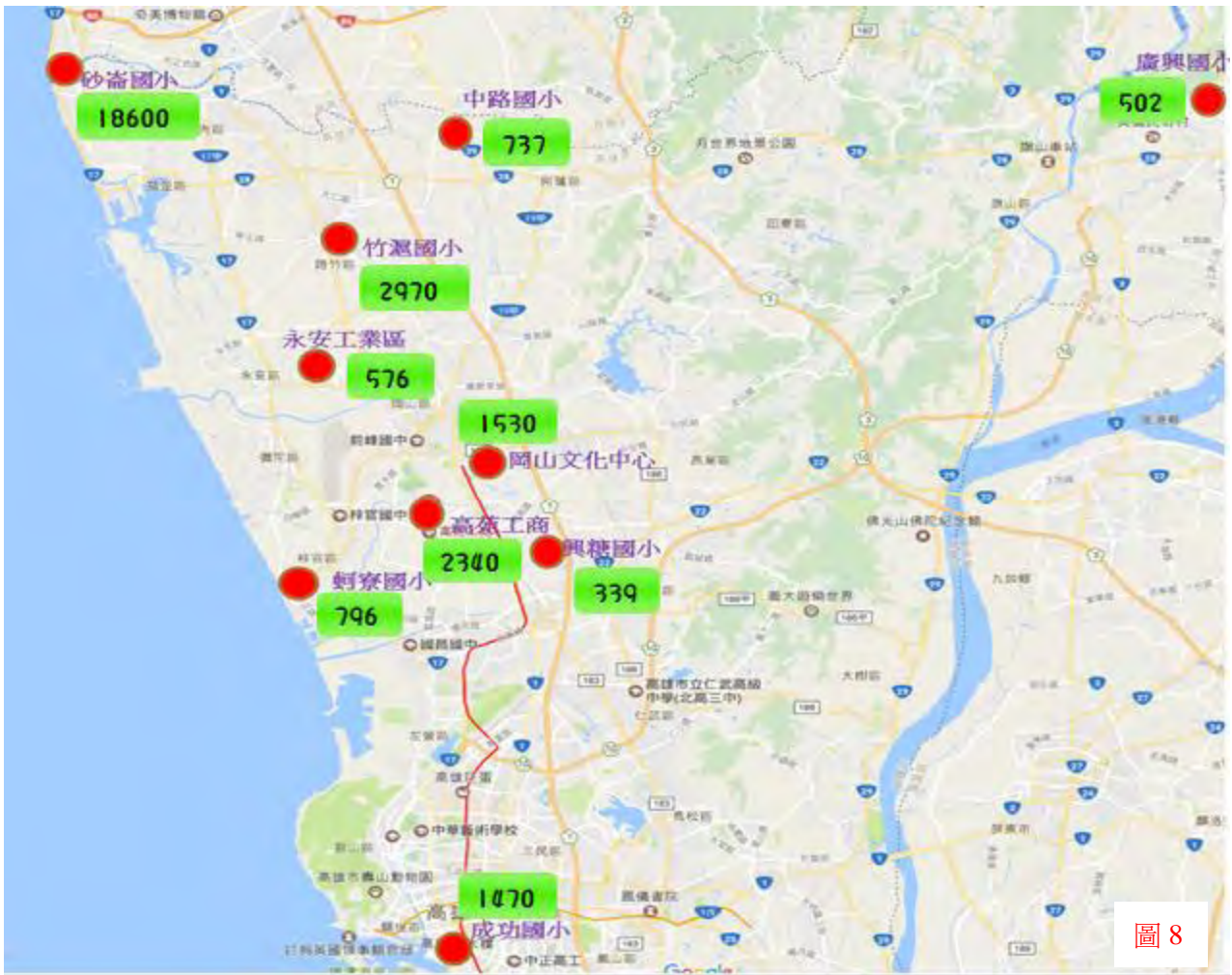


圖 8



圖 9 監測井

(三) 數據結果：(導電度與含氧量 表 1)

地點	離海距離 km	含氧量	含氧量	導電度	導電度
		mg/L 2016/4 月	mg/L 2016/10 月	μ S/cm 2016/4 月	μ S/cm 2016/10 月
成功國小(高雄市)	0.15	無	1.1	※1470	898
*塭豐村(屏東佳冬)	0.37	2.2	1.5	4120	4280
沙崙國小	0.46	1.9	1.9	18600	8000
蚵寮國小	0.62	2	1.8	796	920
永安工業區	4.09	0.2	2.1	576	540

高苑工商	5.68	2	1.6	2340	2080
竹滬國小	7.66	1.6	1.9	2970	2850
岡山文化中心	7.91	1	2.3	1530	1450
興糖國小	8	2.1	1.2	339	422
中路國小	11.92	0.4	3.3	737	723
廣興國小(高雄美濃)	42.5	4.2	5.8	502	510

※1470 μ S/cm 為成功監測井 2015 年 4 月導電度的數據。*塭豐村測站為美園國小監測井



圖 10

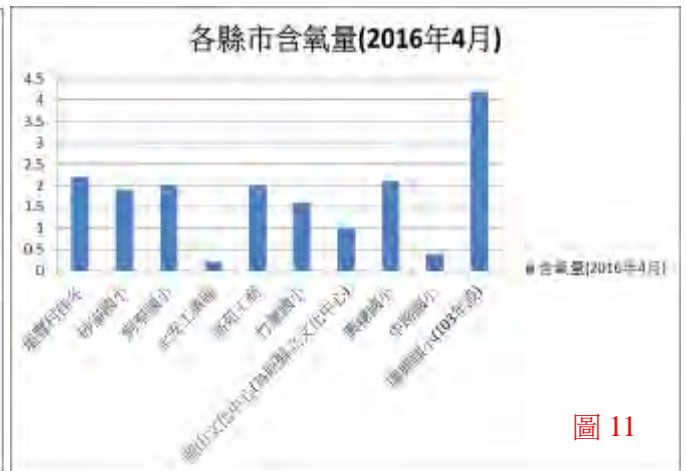


圖 11

(四) 討論：

1. **導電度**：

地下水導電度數據探討的地點，我們原先取了北高雄區的蚵寮、高苑工商、岡山、興糖、中路、永安觀測站，後來發現，沙崙、竹滬的數據偏高爆表，猜想導電度是否與海距離有關，於是再取成功國小、美濃的廣興與塭豐觀測站。從數據我們發現 2016 年 4 月導電度有以下特點：

- (1) 廣興國小水源來自荖濃溪，上游少開發，水質優良，導電度相對較小。
- (2) 中路國小位於二仁溪附近，東邊五公里為人煙較少的月世界，導電度只有 730 左右，推測此處地下集水未受二仁溪影響。
- (3) 永安工業區地下水導電度比周遭觀測站較低(576)，藉此推測地下水並未受到工業區的汙染。
- (4) 從 google 地圖(圖 12)發現，從興糖國小往東 5 公里內全是台糖的腹地，大部分都是農田，開發相對較少，鄰近阿公店水庫，再向右則為阿里山脈末端丘陵地，導電度只有 400 左右，推測此處地下水質優良。



圖 12

(5) 竹滬國小距離海更遠，但數據遠高於鄰近監測井，從 google 地圖(圖 13)發現，從竹滬國小到沙崙國小沿岸都是魚塭還有竹滬鹽田，由此推測，竹滬是受到產業發展影響而使其鹽度偏高。



(6) 高苑工商與鄰近地區相比數據偏高，此地鄰近典寶溪，一公里外有燁輝、中鴻、鑫陽等大型鋼鐵廠，由此推測地下水體不是淡水鹹化，而是此處有過多可溶溶質疑似水質汙染。

(7) 成功國小(0.15 公里)離海距離較沙崙國小(0.45 公里)近，但是兩者的導電度相差甚大(1470-18100 μ S/cm)，由此可知**導電度與離海距離無直接關係**。

(8) 塭豐村地層下陷嚴重、羌園國小監測站離海距離近且導電度高達 4370(相對鹽度 2.7)，確定塭豐村地下水已經鹹化。

(9) 沙崙國小導電度已達 18100(相對鹽度 11.3)，比全國知名地層下陷的塭豐村高出甚多(數據過高不在圖上)。後來探勘，那一帶海岸，處處抽水馬達，管線雜亂(如圖 14)。這代表高雄市北端沙崙國小地下水已經鹹化，而且比塭豐村更嚴重約四倍。



導電度小結論：開發較少的地區導電度較低。我們依距海遠近公里數，找導電度的趨勢，發現沙崙國小與蚵寮國小離海距離相似，但兩者導電度大大不同，蚵寮距海近，地下水未必鹹化。導電度還要依其地質、附近地勢、開發汙染，產業結構，等因素共同決定。所以**無法單以距海遠近判斷導電度**。

2. **含氧量**：

地下水含氧量探討的地點，同導電度觀測站。從表 1 與圖 10 我們發現有以下特點：

- (1) 美濃區廣興國小的含氧量較其他地區高，代表地下水較其他地區新鮮，推測有荖濃溪活水補注，流動替換率高。
- (2) 從數據資料得知，中路國小、永安工業區 4 月時地下水含氧量低，可知枯水期地下水流動替換率低；中路國小、永安工業區 10 月時地下水含氧量較高，推測是颱風帶來大量雨水，使其地下水替換率高。
- (3) 高苑工商與蚵寮國小含氧量同為 2，導電度前者比後者高出近三倍，代表就算常有活水補注，若可溶物質過多，水體溶解度依然大增，導電度可看出端倪。
- (4) 佳冬導電度、含氧量皆高，推測此處補充水不斷，地層下陷，海水入侵地下水也不間斷。

含氧量小結論：

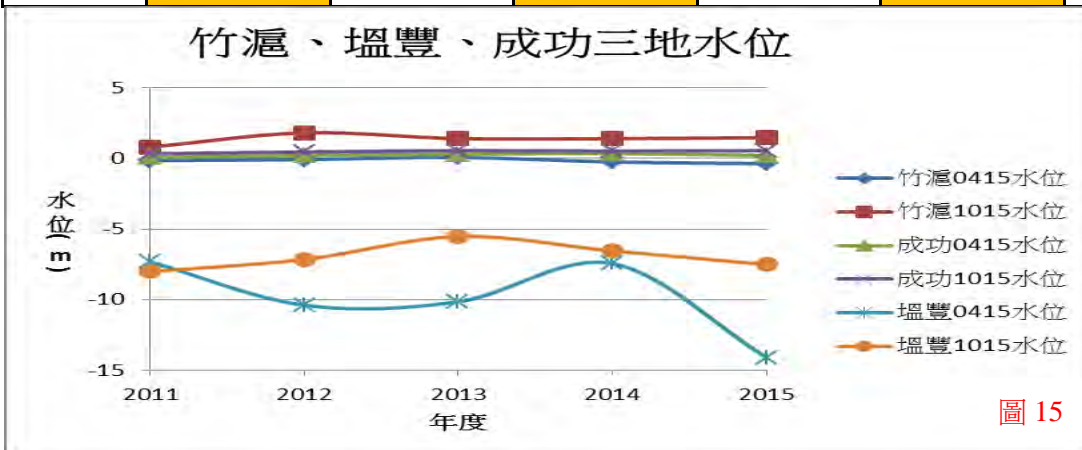
含氧量的高低代表補助新地下水的快慢，與導電度無太大關聯。

3. 地下水位：

我們另外發現資料中有少數觀測站能找到地下水位。我們取數據較完整的成功、塭豐、竹滬三處，找出地下水位變動的意義。

成功、竹滬、塭豐三地數據整理水位(表 2)：

年度	竹滬 0415	竹滬 1015	成功 0415	成功 1015	塭豐 0415	塭豐 1015
2011	-0.15	0.8	0.08	0.33	-7.33	-8.02
2012	-0.08	1.81	0.22	0.46	-10.4	-7.16
2013	0.07	1.4	0.3	0.55	-10.15	-5.53
2014	-0.25	1.4	0.35	0.52	-7.45	-6.55
2015	-0.37	1.47	0.2	0.55	-14.1	-7.52



- (1) 塭豐是全國地層下陷有名的地點(離海 0.37k)，竹滬在茄苳區沿海，(離海 7.66k，但是附近全是養殖魚塭)，成功在八五大樓南高雄(離港口 0.15k)，三者都是沿海地區監測點。各地水位 10 月明顯比 4 月高，因此得知三處地下水補注皆集中於雨季。
- (2) 成功、塭豐離海距離相近，但是塭豐長期超抽地下水，導致地下水位低很多。與其他年度比較，2015 年四月全省乾旱，塭豐村乾季的地下水位比起其他地區驟降到超低，更容易引發地下水鹹化的機制。
- (3) 成功在市區，地下水補注穩定、也無超抽，水位穩定，雨季乾季變動不大。
- (4) 距海較遠的竹滬，旱、雨季較為明顯，由此得知竹滬地下水仰賴雨季補助。
- (5) 塭豐村自 2011 年到 2015 年，水位始終難以上升。豐水年如 2014 水位可以差異不大，枯水年如 2013、2015，水位下降甚多，表示此處長期抽水大於補注水，2017 若遇乾旱，枯水位還是有下降的可能性。

地下水位小結論：

雨季後的 10 月比 雨季前的 4 月，地下水位較高。地下水有鹽化的地區，高低水位變化較大。就算豐水期，地下水位已經降低的地區，在枯水期水位降得更低。

發想：從研究二發現位於沿海的塹豐村、沙崙鹽度極大，而梓官同樣位於沿海，也許未來也會面臨地下水鹹化的問題，因此，我們想找一個方向，是否能讓鹹水得以淡化。

研究三、實作淡水泡實驗

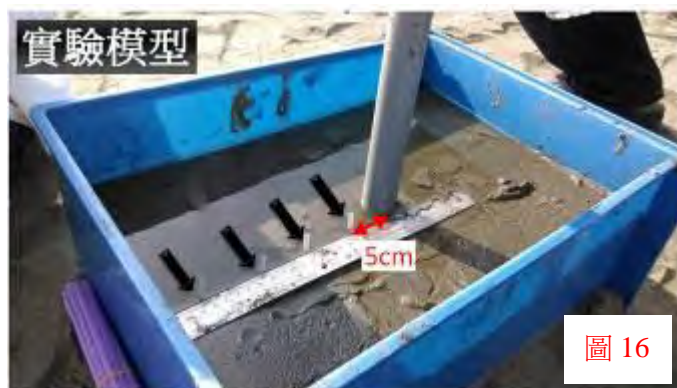
緣起：之前從台灣的地下水一書，看見 2002 年納莉颱風引發總爺觀測站淹水後，導電度從兩萬驟降到三百多，持續兩年才回升，而引出神奇淡水泡概念。鹹水淡水竟然不會混和？我們想實際模擬，找出細節。

研究三-(一)淡水泡水箱實驗

實驗設計發想：水管譬喻井口，加水形成淡水泡。我們想討論沿海地區泥沙鹹化地下水，所以利用海邊海沙、海水與淡水調整為**鹹化水層**。從中心加入淡水，由距中心 5cm 的吸管依序往外讀取下方鹽度，判斷淡水泡是否形成與細節。

步驟：

1. 將塑膠抽屜裝濕海沙八分滿，加入海水(與淡水)均勻混和，鋪平液面，使原始沙體與液面的高度相等為 10.8cm。
2. 找出抽屜中心點(22.5cm*16cm)插入 3cmPVC 管)直通底層，液面上水管高度約 25.7 公分，橫向 5,10,15,20 公分插一隻細吸管。
3. 旋轉插入一水管至抽屜底部，分段倒入定量淡水，倒完算起兩分鐘，以拇指按住吸管上端，依序抽出，測量吸管底部水之鹽度。
4. 重複以上步驟直到水面上升淹過吸管停止，以水管處為抽水點，開始定量抽水並測量各定點鹽度。



五次實驗操縱變因總表(表 3)

	第一次實驗	第二次實驗	第三次實驗	第四次實驗	第五次實驗
起始鹽度	37‰	15‰	12‰	5‰	5‰
每次水量(L)	0.5	0.25	0.25	0.5	0.5
總加水量(L)	3	1.5	1.5	3	1.5
抽水量(L)	1	1.5	1.5	3	1.5
加抽水次數	1	1	1	2	2



圖 17

結果

第一次實驗：海水(起始鹽度為 37‰)



圖 18

第二次實驗：稀釋海水(起始鹽度為 15‰)



圖 19

第三次實驗：稀釋海水(起始鹽度為 12‰)

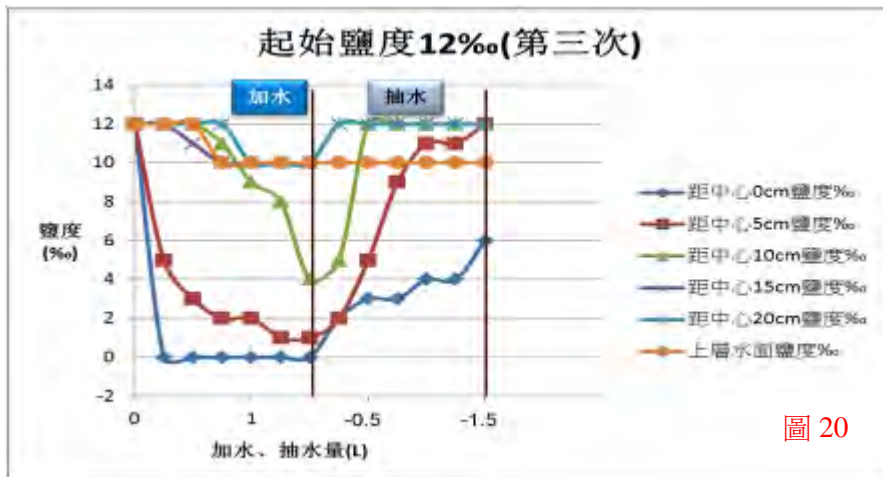


圖 20

第四次實驗：稀釋海水(起始鹽度 5‰)

→每回合加入 3.0 公升淡水，再抽取 3.0 公升淡水，連續兩次。

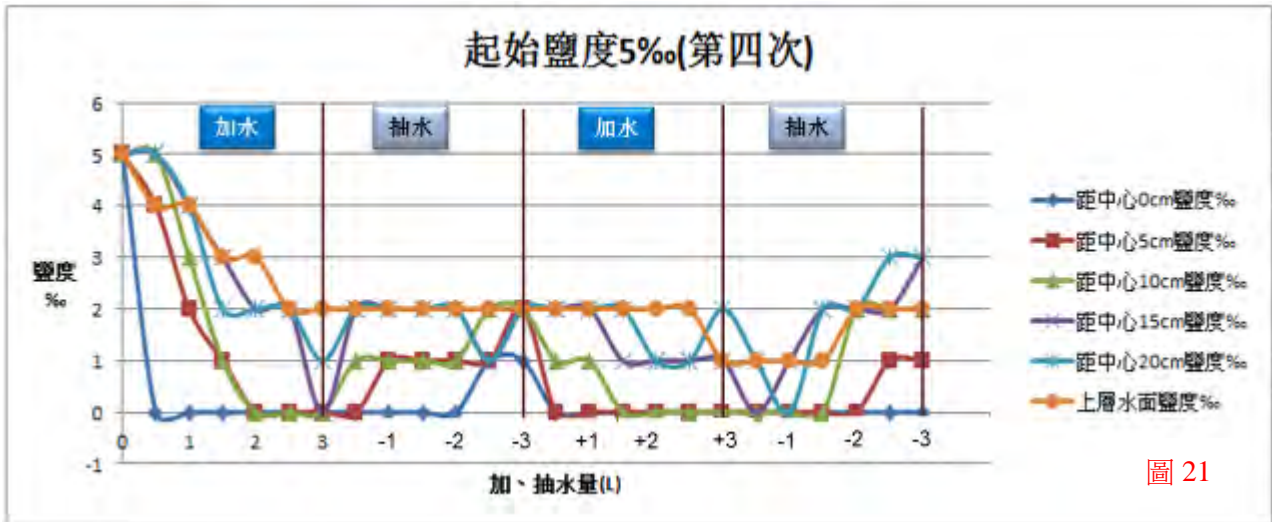


圖 21

第五次實驗：稀釋海水(起始鹽度 5‰)

→每回合加入 1.5 公升淡水，再抽取 1.5 公升淡水。連續兩次。

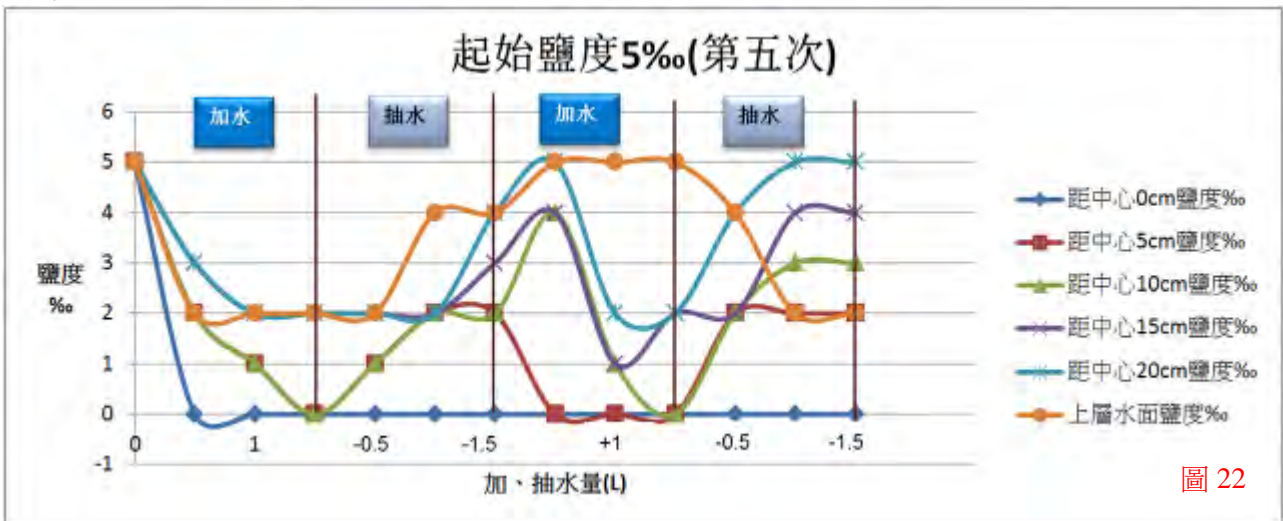


圖 22

淡水泡實驗縱橫討論：

1. 五次實驗結果總表(表 4)：

	第一次實驗	第二次實驗	第三次實驗	第四次實驗	第五次實驗
起始鹽度	37‰	15‰	12‰	5‰	5‰
每次水量(L)	0.5	0.25	0.25	0.5	0.5
總加水量(L)	3	1.5	1.5	3	1.5
抽水量	1	1.5	1.5	3	1.5
加抽水次數	1	1	1	2	2
0cm 處最後鹽度	11‰	6‰	3‰	0‰	0‰
淡鹹水混和速率	兩分鐘	兩分鐘	兩分鐘	兩分鐘	一分半鐘
淡水泡半徑(公分)	5 ≤ 半徑 ≤ 10	5 ≤ 半徑 ≤ 10	10 ≤ 半徑 < 15	15 ≤ 半徑 ≤ 20	15 ≤ 半徑 ≤ 20

2. 數據分析：

(1) 前四次定點底部鹽度變化共有規則性(表 5)

	加水	抽水
鹽度變化量 P‰	$P_{5cm} > P_{10cm} > P_{15cm} > P_{20cm}$	5cm > 10cm > 15cm > 20cm
鹽度開始變化先後順位	5cm → 10cm → 15cm → 20cm	20cm → 15cm → 10cm → 5cm
鹽度回復率 R		20cm > 15cm > 10cm > 5cm

ㄅ. 加水時，淡水依序往外擴散形成淡水泡；抽水時，水泡由外向內縮小。

ㄆ. 加定量淡水時，距中心越近的定點，同樣時間下降的鹽度‰越多。

ㄇ. 實驗中上層水面在加水時有鹽度下降的現象。推測原因有二：一為加水過多，淡水泡長到接近水面，超過表層；二為注入淡水至底部時，由於管壁處沙層孔隙率較大，少許淡水沿著水管外側管壁往上擠，與上層鹹水混和。

ㄏ. 抽水時距中心最遠的鹽度會先回復，因為加水時鹽度下降最少；抽水時又最快的將淡水抽走，鹽度回升最接近起始鹽度。

ㄏ. 起始鹽度影響鹽度回復：起始鹽度越低，各定點回升的鹽度越接近起始鹽度。

(2) 不同鹽度，升降鹽度不盡相同，但我們想知道抽完水鹽度回復的狀況，於是定義鹽度回復率 $R = \Delta P\%_{抽水} / \Delta P\%_{加水}$ ，數據如下(表 6、7、8)。

實驗(二)鹽度回復率 (表 6) 起始鹽度 15‰，加水 1.5 公升，抽水 1.5 公升

	0cm	5cm	10cm	15cm	20cm
起始鹽度(‰)	15	15	15	15	15
加完水後鹽度(‰)	0	5	10	12	15
抽完水後鹽度(‰)	6	13	14	15	15
鹽度回復率(‰)	0.4	0.8	0.8	1	沒變化

我們發現~離中心越遠的位置，鹽度回復率越高。

實驗(三)鹽度回復率(表 7)起始鹽度 12‰，加水 1.5 公升，抽水 1.5 公升

	0cm	5cm	10cm	15cm	20cm
起始鹽度(‰)	12	12	12	12	12
加完水後鹽度(‰)	0	1	4	10	10
抽完水後鹽度(‰)	6	12	12	12	12
鹽度回復率(‰)	0.5	1	1	1	1

我們發現~實驗(二)(三)相比，鹽度較低，鹽度回復率越高。

實驗(四)鹽度回復率(表 8)起始鹽度 5‰，加水 3.0 公升，抽水 3.0 公升

第一輪	0cm	5cm	第二輪	0cm	5cm
起始鹽度(‰)	5	5	起始鹽度(‰)	5	5
加完水後鹽度(‰)	0	0	加完水後鹽度(‰)	0	0
抽完水後鹽度(‰)	1	2	抽完水後鹽度(‰)	0	1
鹽度回復率(‰)	0.2	0.4	鹽度回復率(‰)	0	0.2

連續兩次加抽大量的水，在靠近中心處的鹽度回復率顯得較低，第二輪又更低。

(3) 實驗(一)~(五)組起始鹽度之意義：

- ㄅ. 實驗(一)起始鹽度為純海水之鹽度 37‰。首次實驗想證實淡水泡是否形成，因此使用鹽度極高、取得容易的海水做實驗。
- ㄆ. 實驗(二)起始鹽度為 15‰。我們想知道，當鹹水與淡水混和，是否也有類似的水泡。
- ㄇ. 實驗(三)起始鹽度為 12‰。換算鹽度接近研究二沙崙地下水觀測站鹽度(18600 μ S/cm)，在確定實驗可行的前提下，想知道有實際對應地區的鹽度，淡水泡的模擬為何。
- ㄊ. 實驗(四)取起始鹽度為 5‰。想知道淡水泡在更低鹽度的變化，與鹽度高有何異同。
- ㄊ. 實驗(五)鹽度同實驗(四)。改變插管型態，模擬無抽沙的水井，與前面的實驗相比較。

3. 實驗操作觀察：

(1) 整沙、裝沙

- ㄅ. 乾沙原始所含鹽溶於水中陸續釋放，會造成鹽度不穩，所以我們一律用起始鹽度、溶質物種與海水相同的濕海沙做實驗。
- ㄆ. 加入濕沙、海水(與淡水)混和等高時，透過拍打，孔隙變小會滲出水，沙面下降，類似土壤液化，我們需要將上層液面倒掉，再拍打多次，讓沙體緊實。

(2) 加水

- ㄅ. 比較實驗(一)、(二)：測量時，海水起始鹽度高，水沙各自分開分離快；而鹽度低的則是水與沙越密合分離慢，不易分開。

(3) 抽水

ㄅ. 以 0cm 處為抽水位置，抽出水後水位漸降，水位高度低於管子旁邊未抽水的部位。

ㄆ. 實驗(一)~(四)抽水時除了鹽水，還抽出沙，造成實驗中海沙流失。

(4) 實驗技巧

吸取樣本後，發現水沙不易分離，導致測量時蓋子不易闔上，讀不出數據。對此問題，我們斜放鹽度計，待沙水慢慢從吸管前端流出後，使用黏土棒扁端將沙推離。



圖 23

4. 實驗五特別討論：

(1)緣起：我們發現實驗用針筒抽水時，除鹽水還抽出許多沙，此狀況和一般水井抽水情形不同，於是我們改進器材裝置。

(2)器材：有別於實驗(一)~(四)，本實驗在水管底部套一層薄紗布，防止沙抽水時跑進去(如圖 24)。先將底端包紗布，置入沙水底層，再將沙填平。加水時將上端插在上面，抽水時拔開上端。



圖 24

(3)操作速度：與前四次實驗比較，從紗布水管加入 1.5 公升的淡水，約兩分鐘即倒完，與之前實驗時加水的時間(約四分鐘)比較，快了兩倍，效率高更多。

(4)數據推論：

ㄅ.首次加水後，20cm 處鹽度即從 5‰降到 3‰。推測注入淡水後，淡水直接在底部平行的往兩側散開，非我們前四次實驗淡水是慢慢擴散。

ㄆ.加入 0.5 公升的淡水後，距離中心 5cm 處和 10cm 處水的鹽度皆下降到 2‰。推測薄紗布的裝置能加快淡水散開的速度。

(5)結果：抽水時薄紗布限制抽水範圍(僅中央水管)，純粹抽出鹹淡水，沒有抽沙破壞淡水泡，理論上數據應更準確。但是本實驗數據波動很大，我們懷疑裝紗布管、回填海沙的時候，中央沒有填充緊實，導致一開始就有淡水順著縫隙直通上層水面，於是不細作探討。

5. 從實驗二的淡水泡數據，做出淡水泡伸縮示意圖(圖 25)如下。

(1) 加水 0.5L 時，只有距離中心 5 公分處的鹽度降低，此時的淡水泡半徑約 5 公分。

(2) 加水至 1.5L 時，距離中心 15 公分處的鹽度也降低，此時的淡水泡半徑約 15 公分。

(3) 抽水 1.5L 時，淡水泡半徑可以回到約 5 公分，可見淡水泡的形狀是可逆的。

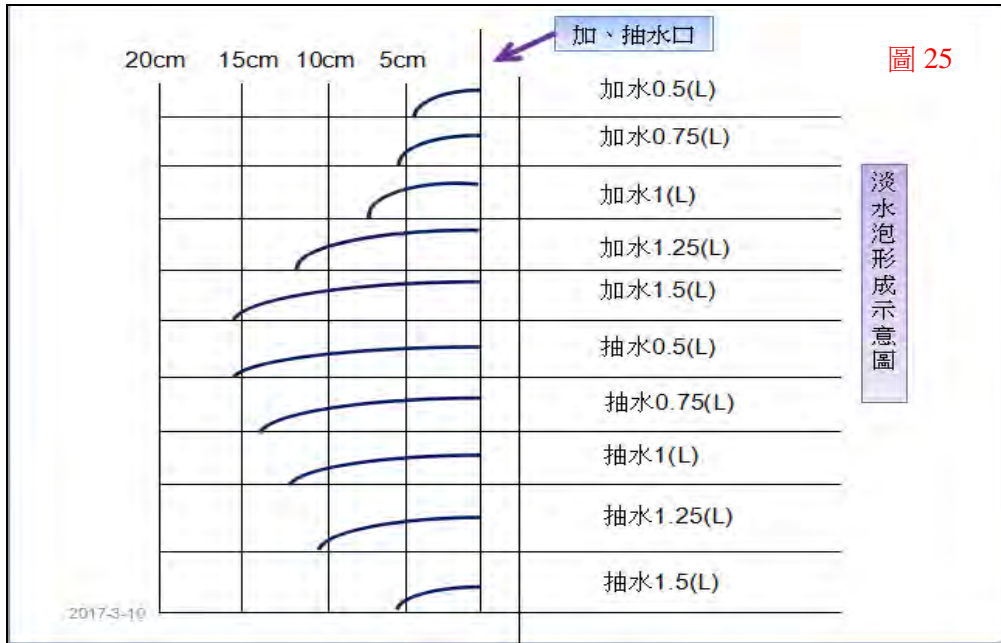


圖 25

淡水泡小結論

1. 鹹水回復率：遠端較大，近端較小。
2. 沙質地層中，鹹化的水加入淡水，非直接混和，而是鹹淡水界面推出，形成淡水泡；淡水泡抽水則縮小，確實可以伸縮。

研究三-(二) 淡水過渡帶小實驗

發想：從實驗知道在鹹水中確實可以形成淡水泡，過程中鹽度並非直接降至 0‰，而是有一段鹽度介於起始鹽度和 0‰ 之間的過渡帶，淡水泡邊界範圍有多大？我們再設計小實驗測試。

步驟：

1. 固定 60mL 針筒並在下方放置量筒。
2. 膠帶封住出水口，加入鹽度 35‰ 的海水與海沙使沙面鋪平至 20mL 處，輕敲外管壁使沙體緊密，將海水水面調到對齊沙面。
3. 用小針筒沿 60mL 針筒內部邊緣，加蒸餾水至 60mL，每滴出 5mL 測量底部水鹽度。
4. 改鹽度 12‰ 的海沙海水，重複步驟 2、3。
5. 將 10‰ 的海沙與海水加至沙水對齊 50mL 處，重複步驟 3。
6. 測 20mL、50mL 水沙含水量。

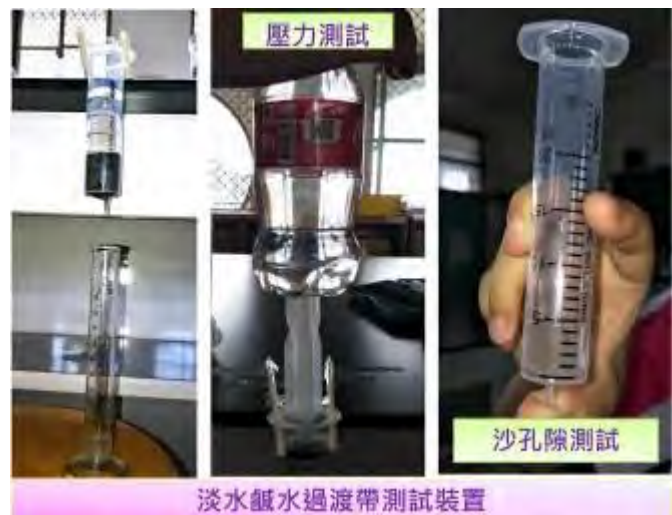


圖 26

結果：

*針筒 10mL 高度為 1.5 公分高；20mL 則為 3 公分高，以此類推。

*體積 20mL 的沙含水量 4mL，體積 50m 的沙含水 7mL，從差值算出每增加 10mL 含水量增加 1mL。

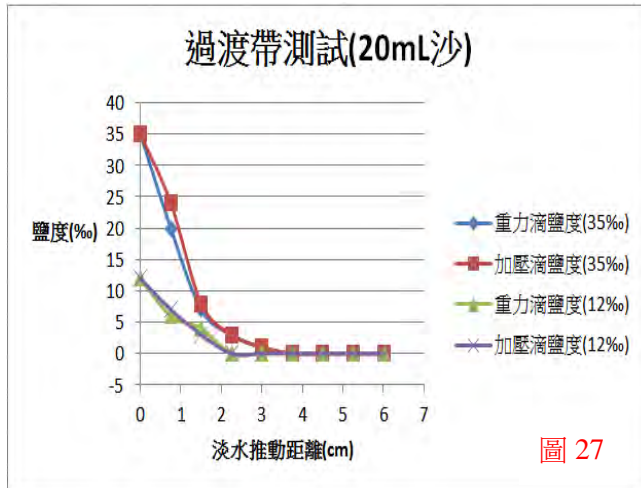


圖 27

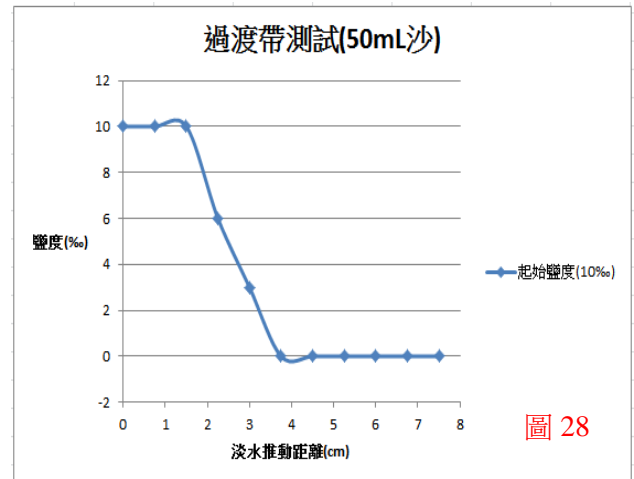


圖 28

討論：

1. 從鹽度 35‰、12‰ 自然滴落及人力加壓的數據發現，兩者所下降的鹽度與滴出量並沒有太大差異。
2. 由圖 27，在裝有 20mL 的沙水中，35‰ 的鹹水滴了 25mL(3.75cm) 的淡水才降到 0‰，而 12‰ 的鹹水滴了 15mL(2.25cm) 就降到 0‰，由此推論鹹水鹽度越大，過渡帶就越大。
3. 由於 20mL 的沙水，一推活栓就滴出鹽度下降的水，懷疑沙含水量過少，無法得知鹽度確實下降的起始點，於是加做 50mL 的沙過渡測試。
4. 由圖 28，從含 50mL 沙的圖表中發現，滴出 10~25mL 水的這段鹽度，介於起始鹽度 10‰ 與 0‰ 之間，由此推測在裝有 7.5 公分的沙中，有 2.25 公分的過渡帶，與鹽度 12‰ 20mL 沙水的寬度數據差異不大，推測過渡帶與海水鹽度較有關，而與沙量無關。
5. 從以上實驗，推測研究三淡水泡實驗，推出淡水泡半徑有 20 公分寬，其過渡帶可能依然是 2.25 公分，若邊緣過渡帶比例不大，則可推知沙質地下水層可以在鹹化水中儲存淡水。

小結論：

1. 淡水過渡帶與壓力、含沙量無關。
2. 鹹水鹽度越大，過渡帶就越大。

陸、整體討論：

一、梓官地質與地下水

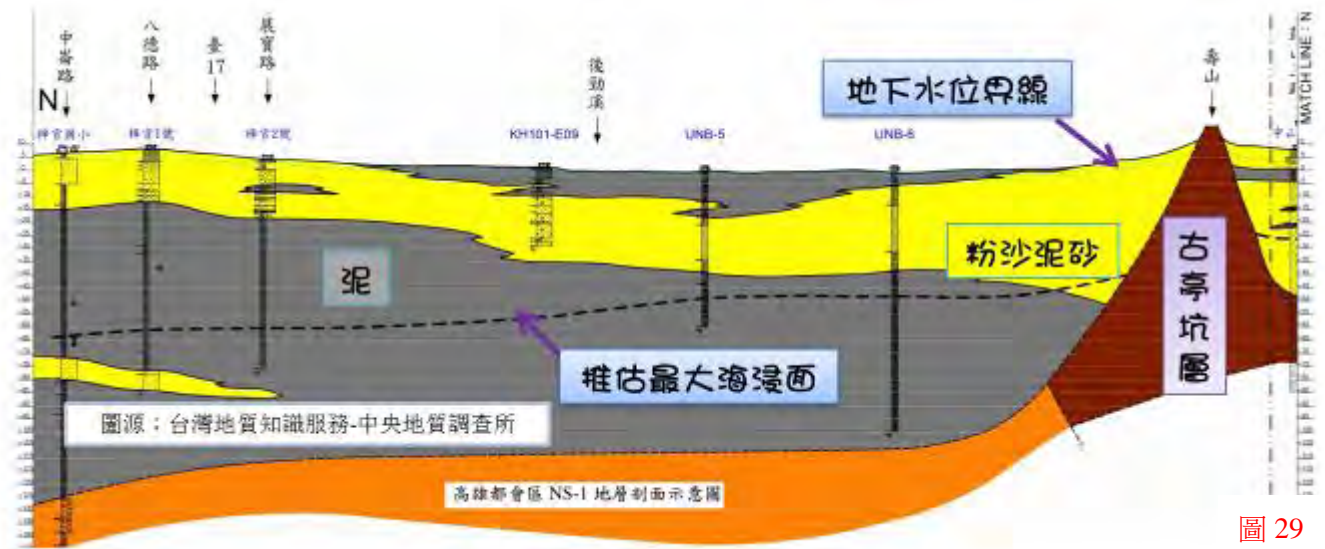


圖 29

- (一) 從高雄市都會區南北向地層剖面圖中(圖 29 參六),我們發現梓官國小往南到蚵子寮以北,淺層 20 公尺以內,是補水性、儲水性佳的砂質層,下方是泥層。
- (二) 從台灣的地下水一書 p.186(參四)如圖 30,得知梓官區因位於中州台地背斜右方,再加上鄉土文獻資料(參二),地方誌所查到潔底山噴泥讓地勢高起所成的崁的阻隔,所以梓官地下水不易流失
- (三) 從以上兩點,淺沙質地層加上背斜與崁的阻隔,打造得天獨厚的地下淡水庫,北梓官農業能蓬勃發展,豐足地下水功不可沒。

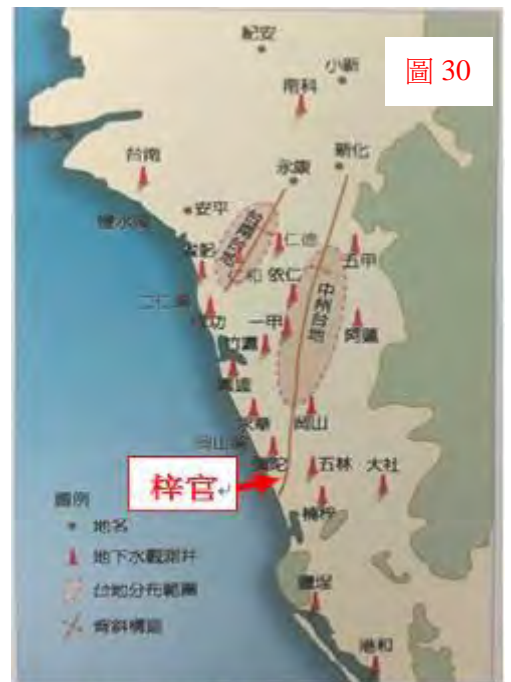


圖 30

高雄地區之台地與背斜示意圖

二、導電度與鹽度

- (一) 定義:導電度(electrical conductivity, E.C)是量測水樣導電能力之強弱,為將電流通過 1 平方公分斷面積,長 1cm 之液柱時電阻(resistance)之倒數,單位為毫姆歐/公分或微姆歐/公分表示。導電度的大小與水中解離之離子含量之多寡以及溫度有關(約攝氏每升高 1 度,增加 2%)(參七)。而鹽度的基本定義為每一千克的水內的溶解物質的克數。(參八)
- (二) 導電度來自水體內溶質解成離子而降低電阻,鹽度僅是單位水體內的溶質總量,二者需要知道溶質種類才進行較精準的換算。

(三) 我們的研究三淡水泡實驗僅討論淡水鹹化，全部用海水來稀釋，將導電度全部用海水鹽度進行換算，並未將其他污染物加入導電度的考量。海水導電度約 $56000 \mu S/cm$ ，內容鹽度相當於 35‰ (ppt 或 psu)，我們將鹽度數據大小*1600 即為導電度大小，這樣將操作的鹽度實驗數據與所查電導度資料整合。

三、砂崙國小、竹滬國小、地下水體鹹化成因探討

(一) 除了產業結構之外，從 1060509 訪談得知，地下水導電度偏高，除原有的認知超抽地下水海水入侵之外，還另有可能是該處原本就是海港，形成陸地後海水就一直封存於地底，成為古鹹水層。

(二) 沙崙國小、竹滬國小之前為台灣三大古滬湖之一的堯港內海。由於河流輸沙持續流進造成淤積，成為為陸地，導電度比周圍地區都高。砂崙國小導電度也比塹豐村高太多，我們認為這一區地下水，**一開始有受到古海水影響而鹹化**，但是隨著長期淡水補助替換，竹滬國小第一層地下水有漸淡趨勢(2012 年 4 月~2016 年 10 月導電度由 4120 降到 $2850 \mu S/cm$)；而砂崙國小導電度 2011 年以來則保持破萬居高不下，颱風爆多的夏季監測偶有大降(2016 年)，乾季四月監測數據就偏高，尤其是 2015 年全省大乾旱，四月導電度上升到三萬，可以直言這一區海水入侵嚴重，需要長期淡水補助才有不再惡化。

砂崙國小 採樣日期	水溫 Water Temperature (°C)	導電度 Conductivity ($\mu mho/cm25^{\circ}C$)
2016/10/04	30.4	8000
2016/04/20	26.4	18600
2015/10/20	29.4	18100
2015/04/22	27.5	31200
2014/10/24	29.2	19600
2014/04/17	26.9	25100
2013/10/18	29.0	22800
2013/04/23	27.4	24400
2012/10/25	29.3	6440
2012/04/25	26.9	18800
2011/10/24	29.2	14900
2011/04/28	27.6	13600

圖 31

四、地下水鹹化與淡化

(一) 地下水水位下降，引發海水上升地下水鹹化機制(圖 32)：

超抽地下水後，陸地上的地下水面下

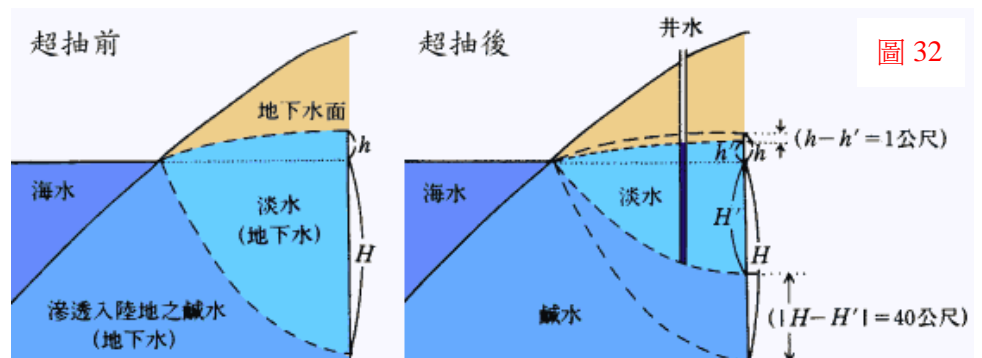


圖 32

降，淡水的水壓隨之減少，原本的淡鹹水壓力平衡被破壞，鹹水因而侵入原來貯存淡水的地層，地下水面每下降 1 公尺，地下鹹水面就會上升 40 公尺。(參九)

(二) 課本曾經提過，超抽地下水，造成地下水位實質下降，引發地層下陷及海水大幅上升，地層及土壤一旦被鹽化，是不可逆的。

(三) 書中淡水泡概念(參四)，經過我們初步實驗驗證，淡水泡確實在沙質層中可以擴張。我們認為**只要能長期補助淡水，增加淡水端的壓力，就能將地下鹹水逼退。**

五、地下水補水議題探討

(一) 圖 33 是台北盆地的地下剖面圖(參四)，是礫石與泥層混層，補注區遠在新店礫石層。從這圖對地下水補注的了解，連動到高雄市都會區梓官區東西向地層剖面圖中(圖 34)(參六)，我們發現，梓官區橫向地區全是淺沙層儲水與補注區，是地下水源豐足的地區。

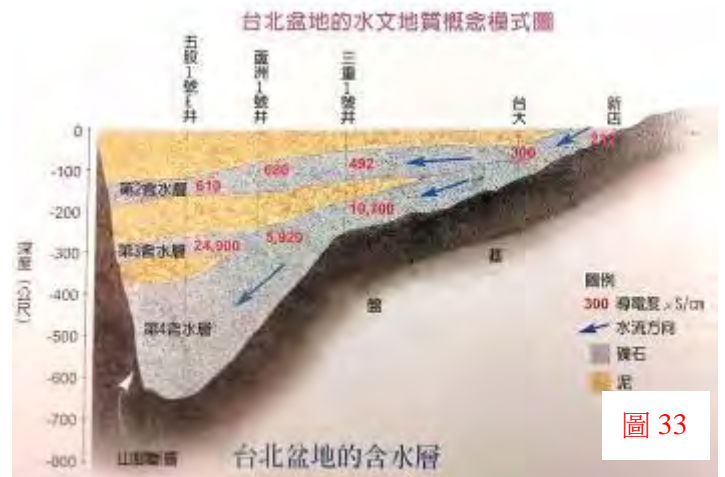


圖 33

(二) 地下水是連通可以補助的！尤其在地面表層為孔隙率大的沙層地表上，不應該覆蓋太多水泥構造(如公共建設、柏油路)，妨害地下水補注。反之若垂直上層為阻水泥層，下層才有沙質保水層，抽水就如採礦，地面沙層若太薄或太遠，注水補助不及，就應設補注

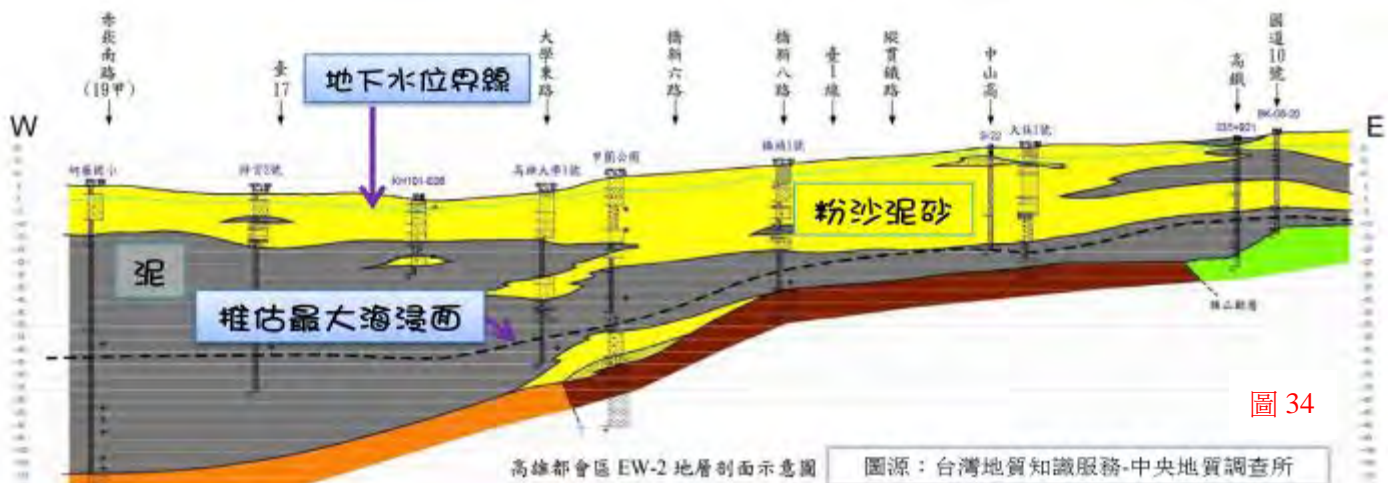


圖 34

井，或另闢水源，不應強用地下水。

(三) 有一種台灣人 10 年前發明的吸水柏油路，叫「多孔滲瀝青混凝土鋪面」(圖 35)，在國外已經紅極一時，但 2015 年才首度在台北試鋪。其表面孔隙率達 20%，比一般瀝青混凝土高，與瀝青有相當的承載力。這款路面能增加滲透雨水效率，避免路面形成水膜確保行車安全，還能降行駛的噪音。這款混凝土相當神奇，能在短短 1 分鐘內吸收 880 加侖(約 3200 公升)的水量，而且是利用塑料回收製成，比起柏油瀝青路面還要環保，除了吸水功能外，路面還有降溫的功能。(參十一)



圖 35

(四) 結合以上三點，我們認為台灣地小缺水，開發度高，除了地表水源之外，應該要好好了解，我們生活所在地下岩層地質屬性，維護補注潔淨的地下水庫，作為淡水的後盾。

六、淡水泡補注地下水界面探討(南台灣篇)

(一) 從訪談與查詢，我們了解沿海地區地下淡水與鹹化水，就像一個龐大的淡水泡，邊界靠水壓維持動態平衡。我們模擬做出沿海地下水層-淡水鹹化界面示意圖(圖 36)。

界面一(正常)：一般沿海地區，岩層與海水間形成淡、海水交界面，水壓平衡

界面二(海水入侵)：若淡水儲量減少，海水向內入侵(距離約 500 公尺)，造成淡水鹹化。

界面三(嚴重入侵)：如佳冬塹豐村超抽地下水、動態平衡界面大幅偏移，海水入侵距離長達數公里。

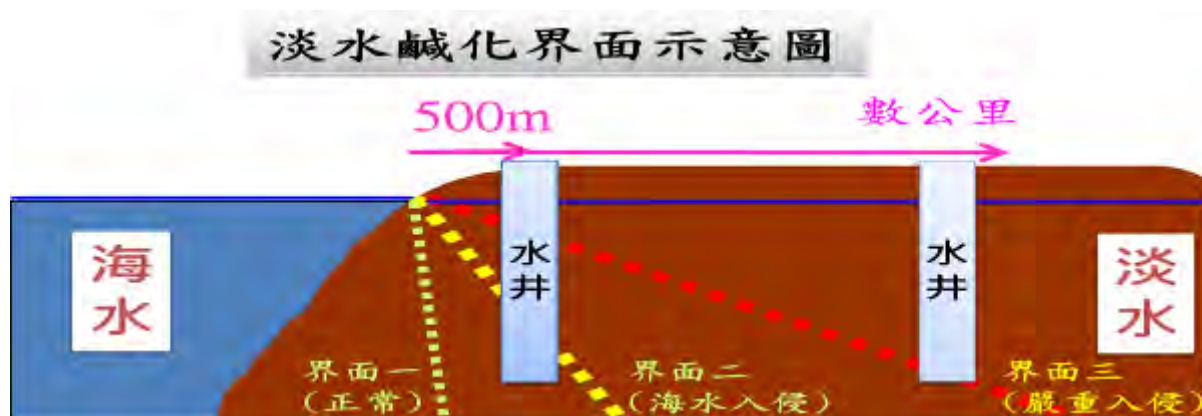


圖 36

(二) 由研究三知道，利用壓力在鹹化地下水中儲存淡水是可行的。此技術已經用於佛羅里達、拉斯維加斯等無法蓋水庫、地下水已鹹化嚴重地區(參十一)，台灣環境並非這類前提，是否此技術有補注地下水的新概念？再上網查詢，找到了潮州大湖工程：在林邊溪上游攔截一段分支引進渠道，再放流至沙礫石層的人工湖，待水慢慢入滲後，含水層補注淡水，增加淡水壓力，擊退海水入侵，減緩地層下陷與改善土壤鹹化(參十三)。

(三) 地層下陷不可逆，但可以藉著墊高地下淡水層，讓下陷減緩甚至不再下陷。地下水沙層地層都是容量很大的地下水庫，不論鹹水或淡水，都可以用淡水泡壓力擴張概念，儲水用水，甚至收復鹹化的水層。

七、地下水用戶該有的認知

(一) 我們家附近，由於地下水豐富，所以還有許多家庭使用地下水，從梓官、楠梓區各選擇一個觀測站，近來導電度連續紀錄如下表 9。

測站	區域	2016/10 月 導電度(μ S/cm25°C)	2015/10 月 導電度(μ S/cm25°C)	2014/10 月 導電度(μ S/cm25°C)	2014/04 月 導電度(μ S/cm25°C)	2013/10 月 導電度(μ S/cm25°C)	2012/10 月 導電度(μ S/cm25°C)	2012/04 月 導電度(μ S/cm25°C)
蚵寮國小	梓官區	920	926	1160	1270	1210	1090	1100
後勁國中	楠梓區	742	640	569	652	593	912	814

我們發現一個地區長期的水質導電度，時有波動，未必是穩定能用的。例如~農田水利會規定後勁溪水質導電度要 $750 \mu S/cm$ 以下(鹽度 $0.47psu$)，才能進行水稻供灌，自來水導電度需 $350 \mu S/cm$ 以下，而許多地下水體數據都高出此數，家庭正常使用堪虞。

- (二) 經過研究一、二，我們逐漸了解梓官的地下儲水，來自沙質岩層，水源來自雨水補助。連通的地下水體，也連通我們家附近惡名昭彰的典寶溪與後勁溪，讓我們不禁膽戰心驚。從數據我們得知，高苑工商鄰近有大型鋼鐵廠，導電度高達 $2340(\mu S/cm25^{\circ}C)$ ，可溶物質沿著典寶溪，順流而下來到了梓官區，地下水想必也是有影響的，沒有自來水廠的監控，不知情的地下水用戶如果正常作息盥洗飲水，可能會讓自身健康長期暴露在危險當中。
- (三) 人人應該對地下水體有基本認識(尤其是有抽地下水的住戶)，例如：了解住處所使用的水的源頭、地下土壤成分，水導電度的意義、以及關心鄰近水質監測站地下水數據，是否有異動而及時找到環境變動成因，展開行動。
- (四) 台灣缺水，水源得來不易。連通地下水體的特質，提高警覺是必需的，平時應注意住家附近的工廠是否有亂排廢水行為、河川、水體是否有汙染，地下水位的波動，淡水補注管道是否流暢。用知識與行動，守護家鄉地下水水源。期待我們的淡水資源與環境，能永續經營，生生不息。

柒、結論與展望：

研究一：梓官區地表是沙層，地下水補注容易，左有中洲台地背斜，與瀑底山噴發形成的泥炭，能阻擋儲水流失，因而呈現水源豐富的先天條件。

研究二：

1. 無法單以距海遠近判斷地下水導電度。還要依其地質、附近地勢、開發汙染等因素共同決定導電度。
2. 含氧量的高低代表補助新地下水的快慢，與岩層地形有關，與導電度無太大關聯。
3. 雨季後的 10 月比 雨季前的 4 月，地下水位較高。地下水有鹽化的地區，高低水位變化較大。就算豐水期，地下水位已經降低的地區，在枯水期水位降得更低

研究三：在鹹化的地下水層中，從井口灌入淡水，從實驗數據可以證明會形伸縮的淡水泡，是壓力造成的邊界偏移而不是混合，這跟所看到的文獻有相似的結果。

展 望：地下淡水是可補助的，建議地表沙質層的地面，將路面鋪「多孔隙瀝青混凝土鋪面」，可讓雨水有較大機會滲入地下水層，豐富地下水儲量。並在地下水鹽化地區，以補注井型態，或在上游礫沙岩地區，在豐雨季節灌水，形成淡水泡，或淡鹹水邊界，逼退鹹水，讓鹽度降低，使鹽化地區，有朝一日再度能有淡水可以使用。

捌、參考資料：

- 一、維基百科(2017)。梓官區。線上檢索日期：2016年10月23日
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%A2%93%E5%AE%98%E5%8D%80>
- 二、漢聲雜誌(1997)。從古地圖看西南沿海地形的變遷。線上檢索日期：2017年3月4日
<http://eportfolio.lib.ksu.edu.tw/~T093000408/repository/fetch/%E5%BE%9E%E5%8F%A4%E5%9C%B0%E5%9C%96%E7%9C%8B%E8%A5%BF%E5%8D%97%E6%B2%BF.pdf>
- 三、通安寶典。蚵子寮通安宮出版 民100
- 四、台灣的地下水。陳文福著，遠足文化 民94
- 五、行政院環保署 環境資源資料庫。線上檢索日期：2016年9月29日
<http://erdb.epa.gov.tw/Subjects/MetaSubject.aspx?topic1=%E6%B0%B4&topic2=%E7%92%B0%E5%A2%83%E5%8F%8A%E7%94%9F%E6%85%8B%E7%9B%A3%E6%B8%AC&subject=%E5%9C%B0%E4%B8%8B%E6%B0%B4>
- 六、台灣地質知識服務網(2013)。高雄都會區地層剖面示意圖。線上檢索日期：2017年3月5日
<http://twgeoref.moeacgs.gov.tw/GipOpenWeb/imgAction?f=%2F2013%2F20134684%2Ff1455787464491.pdf>
- 七、暨南大學(2014)。導電度。線上檢索日期：2017年3月13日
http://www2.nsysu.edu.tw/IEE/lou/part_2/lesson_5/ch5_con.htm
- 八、維基百科(2017)。鹽度。線上檢索日期：2017年3月13日
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%B9%BD%E5%BA%A6>
- 九、教育雲(2016)。地下水災害淡水鹹化。線上檢索日期：2017年3月5日
https://market.cloud.edu.tw/content/senior/earth/tp_ml/unwater/calamity2.htm
- 十、自由時報(2015)。吸水馬路。線上檢索日期：2017年3月10日
<http://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1470799>
- 十一、簡介地下水人工補注技術-ASR 系統。線上檢索日期：2017年5月20日
cgsweb.moeacgs.gov.tw/CGSweb/Result/Plan/AnnualResult/AnnualResult/p60.PDF
- 十二、中時電子報。地下水的消失與重生。線上檢索日期：2017年5月20日
<https://tw.mobi.yahoo.com/news/%E5%9C%B0%E4%B8%8B%E6%B0%B4%E7%9A%84%E6%B6%88%E5%A4%B1%E8%88%87%E9%87%8D%E7%94%9F-180905791.html>
- 十三、三立新聞台(2016)。地層下陷怎救？台灣首創地下水補注工程。線上檢索日期：2017年5月20日
<https://www.youtube.com/watch?v=JMcoffoNbgMhttps://www.youtube.com/watch?v=JMcoffoNbgM>

玖、工作日誌：

研究一：梓官區探勘訪談 (組員一)

1051001 週六下午實地探勘梓官區，我們一位組員的親戚是當地的耆老，此次主要的行程是拜訪並詢問梓官鄉地下水的過往與現狀。在訪談約定時間前，我們提早到台 17 線旁的農田，我們發現農田旁有設置輸水管，這些輸水管連接到一個大水桶上，旁邊的電線桿上還掛著一個電表與定時開關，這些都是抽取地下水的設備，梓官區每一畝農田都有類似的裝置，因此推測梓官的農田幾乎是抽地下水來灌溉。接著我們到進學路上的馬達幫浦專賣行參觀，看到了許多埋在地下，從來沒看過的器材。最後我們到耆老家，從耆老鑽地下水井的經驗談中得知，梓官區距離地底下 9 到 10 公尺就挖得到地下水；湊巧鄰近人家有一口新鑽不到一個月的井，還包著塑膠布，全新的井未啟用，旁邊地面發現許多黃土與沙礫，耆老又向我們解釋，梓官這裡處處挖地下水井，地底下先挖出黃泥再來是砂層。半天的行程很快就結束了，家旁邊農田及處處可見的砂石，在這次的探勘中，開始顯現當地水文地質的意義。

研究二：地下水數據研究歷程(組員二)

原本只取梓官周遭的觀測點，一筆筆找出所在地與周遭環境的相關性，比對其他地區導電度數據，赫然發現許多有趣的現象，如沙崙國小的導電度已破萬長達六年，比台灣地層下陷赫赫有名的屏東塭豐村高出近 3 倍! 永安工業區的測站雖位於工業區，導電度卻只有 500 多，位於美濃區的廣興國小，擁有來自玉山山脈東方荖濃溪活氧精純的水源，地下水的導電度只有約 300，難怪農產豐富! 好奇心促使我們深入探討，才知道，同一地區，不同月份的地下水數據，有些波動，當看到梓官區附近有許多地區導電度都比想像的高，但是問鄰近住戶同學都不知情…。原來螢幕上每一個數據，都有地質特色及形成原因，也影響用戶的起居生活，地下水議題真的很重要，值得我們投入與關心。。

研究三工作日誌：

第一次實驗：(組員三)

1051203 週六下午，我們開始第一次實驗。確認實驗器材備妥後，便動身前往集合地點—蚵子寮。前置作業裝水沙箱完成後，開始我們的實驗。加水時，因為水在水管中的下流速度相當緩慢，全部加入後還要等待約 2 至 3 分鐘，讓淡水能完全留至底部。加完水後要用吸管抽水測鹽度時又遇到問題，我們都沒想到沙會與水一起抽出，過多的沙會使鹽度計無法順利密合。最後我們將吸管與鹽度計平貼，最後再用手將沙塗掉，使留在鹽度計上的沙減少。要抽

取灌入的淡水時，我們油抽的抽水管遭沙石堵住而導致無法抽水…。

由於當天是假日，許多觀光客都前來“關心”還給我們“建議”，還有要我們幫忙拍照的，我和組員的實驗倍受干擾。實地操作不如討論想像般的簡易，凡此種種，點滴在心頭。

第四、五次實驗：(組員一)

1060218 當天我們請公假外出，一清早拿著一大箱的實驗器材下沙灘。這回淡水泡兩實驗的設計是做不同水量比較鹽度的變化，花了很多時間在調整起始鹽度到 5‰，加 3 公升、抽 3 公升的水重複兩次超久的，鹽度計校正之後，盡量小心操作。

這次實驗設計鹽度較淡，水砂分不開特別嚴重，抽水容易破壞了淡水泡的結構，影響鹽度。我們當場一直想，有什麼樣的抽法可以不要破壞到淡水泡又可以讓抽水更順利？於我們想到改用油抽來抽取淡水泡中的淡水，但因水管內的沙會讓油抽的吸油管完全堵塞。為了讓油抽能順利抽水，我們中午將中心的水管拿去鋸成兩截，讓水管在抽水時可以拿掉上層的那一節，使油抽能放到水管底部，在水管底下加上紗布，讓紗布可以過濾水裡的沙，且不會吸走水管裡的水。當水管內的沙子去除後，水就能較快速的流入裝置，抽水時也能直接用油抽來抽取底部的淡水以減少對淡水泡的破壞。看著新方法快速又方便，當下十分興奮。

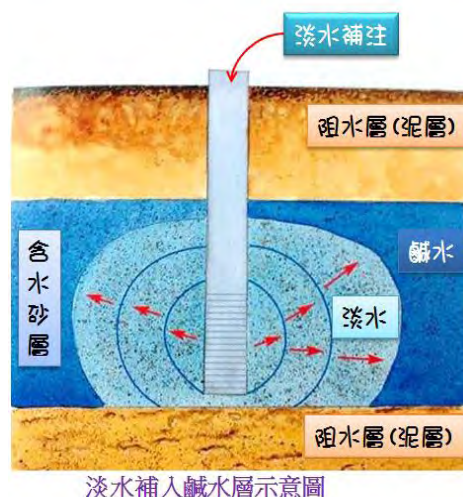
但是等我們打出數據，看到作圖時都快哭出來了，新方法可能因為沙體填充不夠緊實，或淡水滲入速度過快，看得出一開始就淡水亂竄…。原以為改變方法抽灌水對數據影響不大，結果差很大。

過渡帶實驗：(組員二)

高雄市賽，我們被問到淡水泡的邊緣有多大，我們只能含糊回覆。後來訪談陳文福老師，他說地下水水層孔隙率低流動慢，沙子對水的黏滯性不高，所以有壓力淡水很快就前進，而非擴散。儘管如此，我們在最後一刻決定加作過渡帶測試小實驗。知道沙量不影響淡水泡邊緣寬度，眼見為憑，數據與教授說的相符，這真是開心的一件事。

附錄一 淡水泡概念由來

嘉南沿海有些地區淡水與鹹水相鄰，地下水井剛開始抽時，水質較淡，但越抽會越鹹。嘉南地區這些鹹水的含水層是不是就沒有用了呢？其實不然，鹹水的含水層也可以用來做地下水庫！地下含水層的特性，如果在鹹水層中灌入淡水，淡水並不會和鹹水相混，而是形成淡水泡，水灌得越多，淡水泡就越大。例如：麻豆總爺國小的分層觀測井建於 1999 年，當時的地下水導電度是 $21000 \mu S/cm$ 。2001 年的導電度是 $14210 \mu S/cm$ ，2002 年導電度很低，只有 $311 \mu S/cm$ ，2003 年也只有 $331 \mu S/cm$ ，2004 年才又回來 $25400 \mu S/cm$ 。



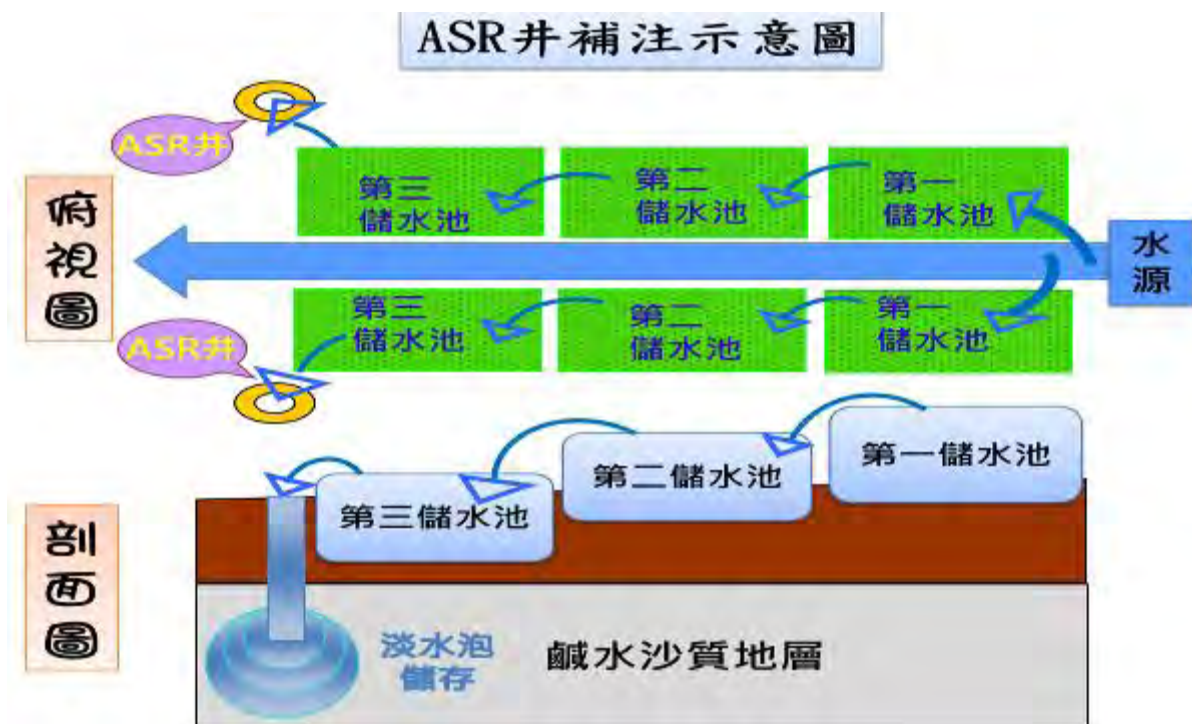
為何原本是鹹水的含水層，突然產生淡水？原來，2001 年 9 月 6~19 日納莉颱風侵台，曾文溪氾濫成災，麻豆地區部分淹水，總爺占地面積水達 1.5 公尺高，而觀測井口離地只有 0.5 公尺高，推測洪水灌入井內，也進入了含水層中。因河水及雨水是淡水，進入含水層後將鹹水往外推，形成了淡水泡(球狀)，所以總爺二井地下水的導電度由 16430 降為 $303 \mu S/cm$ 。另外，抽出的淡水中含有 $1.86mg/l$ 的溶氧，而老的鹹水並不含溶氧，所以此淡水應是新注入的。

在颱風之後抽水，2002 及 2003 年都是淡水，2004 年抽水 10 分鐘後，鹹水才出來。採樣時的抽水率約 2.4 噸/小時，三年間抽水，累計抽 50 分鐘才將淡水抽光，以此估計補助水量大約 2 噸。也就是，老天爺送了 2 噸的淡水到鹹水的含水層中，儲存了三年也沒有變鹹啊！

(參四摘錄~ 台灣地下水 P180-P181)

附錄二~台灣的地下水一書作者陳文福教授訪談收穫

106年5月9日我們到嘉南藥理大學進行訪談，讓我們發問在這一年研究中所發想的問題。教授先說明了淡水泡 ASR 技術(Aquifer Storage Recovery)，此技術是用數個連通且有高低落差的滯洪池收集淨化雨水、河水及處理過的汙水，最後將乾淨的水灌入 ASR 補注井形成淡水泡，這個方法在國外已運用在佛羅里達、拉斯維加斯、以色列及新加坡等地。我們將教授教導手稿，畫成下方 ASR 補注示意圖。而台灣也曾在十幾年前從力力溪引水灌入昌隆農場，嘗試形成淡水泡。這些地方共有的地質特色都是沙層，與許多沿海地區相似。



接著教授講解氧化還原電位及含氧量對地下水的影響，氧化還原電位是水中的電子反應，若呈負數是因為地下水中有生物殘骸，反應偏向分解還原。一般地下水缺氧是還原水，地下水中含氧量高，就不易有重金屬。

教授還補充，地下水導電度偏高，有時並非汙染而是地下水層本身就是海水，稱為古海水，唯一的判斷方式就是去尋找歷史數據，或用地下水溫度判別。是長存地下已久較高溫的地下古海水，還是較低溫的侵入海水。

接著教授向我們介紹了台灣地質，教授說在台灣屏東東港竟有深達 2000 公尺海底山谷，在台灣西南部地底也有許多隆起(山丘，古亭坑層)和凹處(谷)，山丘會將地下水流至在各凹處，古亭坑層則也有天然氣水合物，也就是俗稱的可燃冰，是證據。

最後我們查到沙層的梓官區是土壤液化高危險區，討論水資源豐富與「土壤液化」的衝突。教授說，土壤液化前提是岩層為孔隙多的細沙、含大量水且位於淺層。若位於深層，因細沙有岩層固定住，不易位移，不容易發生液化。若要解決液化，最簡單的方法就是往液化區灌水泥，等水泥凝固減少孔隙並強化結構，讓沙層不易位移，藉此解決液化問題。

附錄三~簡介地下水人工補注技術-ASR 系統

地下水人工補注技術在國外已發展多年，早期是以灌入井（Injection well）來進行地下水補注，地下水人工補注與回用技術（Aquifer Storage Recovery，ASR）已獲致相當的成效，而且被證明是甚具經濟效益的水資源調配方法。ASR 系統的基本觀念為視含水層為一地下水庫，在豐水期時將地面過剩水量，或抽取其它開發度較低之含水層，或以循環用水經適當水質處理，達到飲用水水質標準後，以水井補注至地下含水層中貯存，俟枯水期時再經由同一口水井將補注水源回抽使用，解決枯水期缺水之慮，達到水資源調配之功用。此外，ASR 系統亦可應用於提升地下水水位及水壓以防止地層下陷及海水入侵。

美國加州 Orange County 之地下水人工補注主要以防止海水入侵為目的，並不回抽使用，沿海岸四哩鑽鑿 23 口不同深度的灌注井（Injection well）將乾淨水源灌入地下含水層中以構築一地下水堤（water mound）阻止海水進一步入侵；而佛羅里達州之地下水人工補注及回抽技術則主要應用於水資源調配，尤其南佛州規劃以 ASR 系統配合現有之防洪設施建立防洪及生態保護體系，其內容為在 Okeechobee 湖四周及鄰近地區設置 ASR 系統，在洪水期之前，以 ASR 井將湖水注入地下含水層中貯存，降低湖水水位，以增加 Okeechobee 湖之蓄洪能力，而於枯水期時再回抽注至湖中，及南部之大沼澤區（Everglades），使濕地生態得以保存，達到生態保育之效果。

ASR 系統亦可將經水質處理過之水源儲存於含鹽水或半鹽水的含水層中，而能達到 70% 以上的回用率。其原理為地下水流速甚緩，鹽水和淡水有密度上的差異，一旦淡水的水泡（Water Bubble）形成後，透過擴散作用混合鹽化的水量有限，因此在儲存期內仍能有效地回抽淡水，佛羅里達州已有數個 ASR 系統利用含鹽水之含水層儲存淡水水源，且能達到經濟的效益。我國彰化、雲林、屏東等沿海地區因超抽地下水，導致地層下陷及海水入侵，目前尚無完善解決方案，而國外推行 ASR 系統已有多年經驗且以多元化考量來進行地下水人工補注，已獲致良好成效，應可作為國內進行地下水補注計畫時之參考。**(參十一 摘錄 ~作者 黃智昭)**

附錄四 研究三實驗數據

第一次實驗：海水(起始鹽度為 37‰)

加水量(L)	距中心 0cm鹽度 ‰	距中心 5cm鹽度 ‰	距中心 10cm鹽度 ‰	距中心 15cm鹽度 ‰	距中心 20cm鹽度 ‰	上層水面 鹽度‰
0	37	37	37	37	37	37
0.5	0	26	37	36	35	38
1	0	9	34	35	35	38
1.5	0	10	34	35	36	35
2	0	10	19	34	34	29
2.5	0	8	13	34	35	27
3	0	3	2	35	35	30
抽水量(L)						
0.5	4	14	16	34	35	30
1	11	29	31	32	32	33

第二次實驗：稀釋海水(起始鹽度為 15‰)

加水量(L)	距中心 0cm鹽度 ‰	距中心 5cm鹽度 ‰	距中心 10cm鹽度 ‰	距中心 15cm鹽度 ‰	距中心 20cm鹽度 ‰	上層水面 鹽度‰
0	15	15	15	15	15	15
0.5	0	13	15	15	15	15
0.75	0	10	15	15	15	14
1	0	6	14	15	15	13
1.25	0	6	11	15	15	12
1.5	0	5	10	12	15	11
抽水量(L)						
0.5	1	10	11	11	10	11
0.75	4	10	11	11	15	12
1	5	10	10	12	14	12
1.25	6	12	13	14	15	11
1.5	6	13	14	15	15	11

第三次實驗：稀釋海水(起始鹽度為 12‰)

加水量(L)	距中心 0cm鹽度 ‰	距中心 5cm鹽度 ‰	距中心 10cm鹽度 ‰	距中心 15cm鹽度 ‰	距中心 20cm鹽度 ‰	上層水面 鹽度‰
0	12	12	12	12	12	12
0.25	0	5	12	12	12	12
0.5	0	3	12	11	12	12
0.75	0	2	11	10	12	10
1	0	2	9	10	10	10
1.25	0	1	8	10	10	10
1.5	0	1	4	10	10	10
抽水量(L)						
0.25	2	2	5	12	12	10
0.5	3	5	12	12	12	10
0.75	3	9	12	12	12	10
1	4	11	12	12	12	10
1.25	4	11	12	12	12	10
1.5	6	12	12	12	12	10

第四次實驗(1060218)：稀釋海水(起始鹽度 5‰)

加水量(L)	距中心 0cm鹽度 ‰	距中心 5cm鹽度 ‰	距中心 10cm鹽度 ‰	距中心 15cm鹽度 ‰	距中心 20cm鹽度 ‰	上層水面 鹽度‰
0	5	5	5	5	5	5
0.5	0	4	5	5	5	4
1	0	2	3	4	4	4
1.5	0	1	1	3	2	3
2	0	0	0	2	2	3
2.5	0	0	0	2	2	2
3	0	0	0	0	1	2
-0.5	0	0	1	2	2	2
-1	0	1	1	2	2	2
1.5	0	1	1	2	2	2
-2	0	1	1	2	2	2
-2.5	1	1	2	1	1	2
-3	1	2	2	2	2	2
0.5	0	0	1	2	2	2
1	0	0	1	2	2	2
1.5	0	0	0	1	2	2
2	0	0	0	1	1	2
2.5	0	0	0	1	1	2
3	0	0	0	1	2	1
-0.5	0	0	0	0	1	1
-1	0	0	0	1	0	1
1.5	0	0	0	2	2	1
-2	0	0	2	2	2	2
-2.5	0	1	2	2	3	2
-3	0	1	2	3	3	2

第五次實驗：稀釋海水(起始鹽度 5‰)

加水量(L)	距中心 0cm鹽度 ‰	距中心 5cm鹽度 ‰	距中心 10cm鹽度 ‰	距中心 15cm鹽度 ‰	距中心 20cm鹽度 ‰	上層水面 鹽度‰
0	5	5	5	5	5	5
0.5	0	2	2	3	3	2
1	0	1	1	2	2	2
1.5	0	0	0	2	2	2
-0.5	0	1	1	2	2	2
-1	0	2	2	2	2	4
-1.5	0	2	2	3	4	4
0.5	0	0	4	4	5	5
1	0	0	1	1	2	5
1.5	0	0	0	2	2	5
-1	0	2	2	2	4	4
-1.5	0	2	3	4	5	2
0.5	0	2	3	4	5	2

【評語】 030501

1. 利用導電度、溶氧量、地下水位之差異性來了解沿海地區海水及淡水間之過渡帶的區別，分析資料相當具有邏輯性。
2. 現地調查及各種不同的試驗分析工作，相當有系統，而且研究主題很聚焦。
3. 淡水泡對鹼化淡水之構思，論述清楚，相當具有創意。



2.含氧量

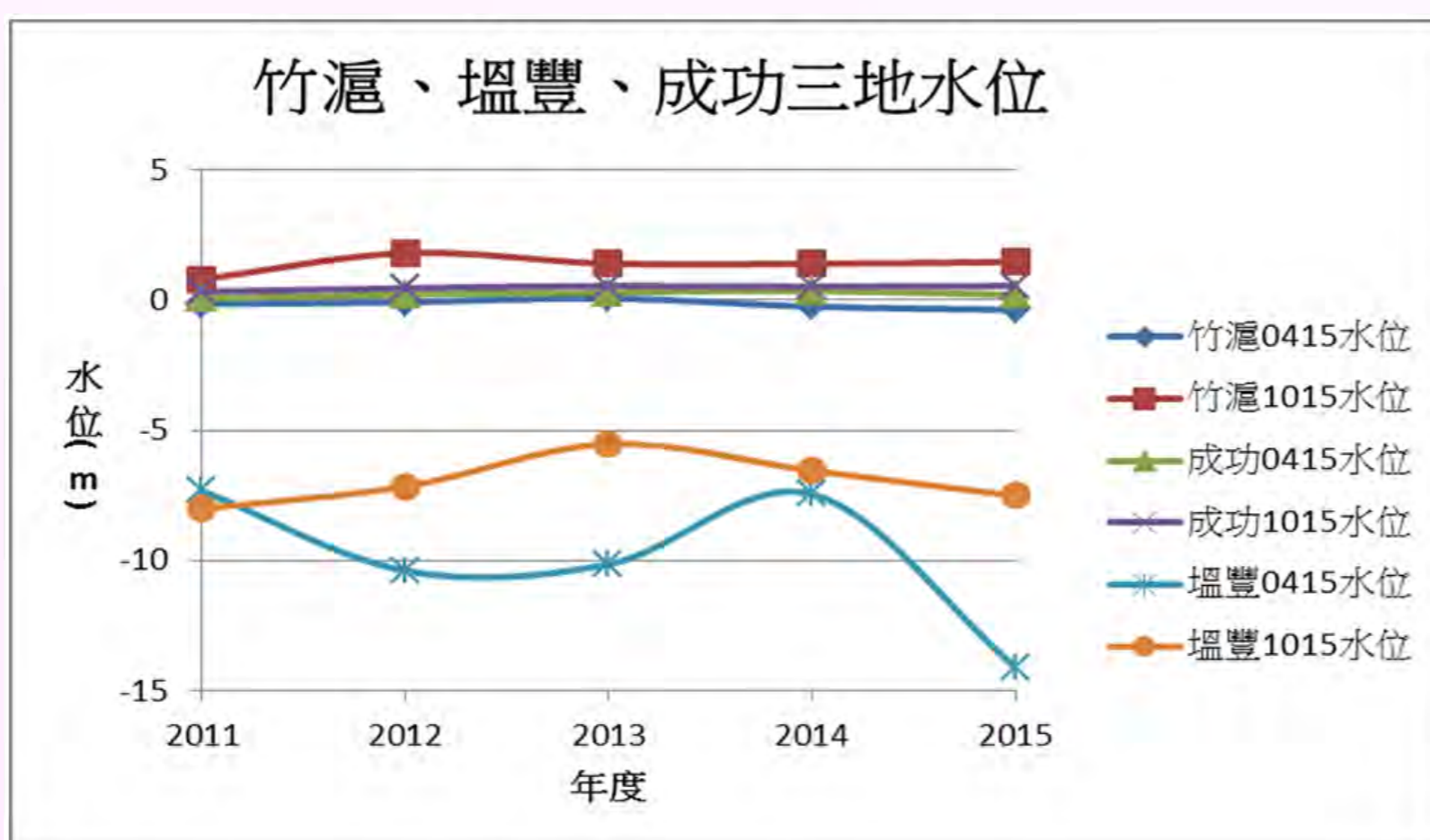
地下水含氧量探討的地點，同導電度觀測站。從表1與圖10我們發現有以下特點：
 (1) 美濃區廣興國小的含氧量較其他地區高，代表地下水較其他地區新鮮，推測有老濃溪活水補注，流動替換率高。
 (2) 從數據資料得知，中路國小、永安工業區4月時地下水含氧量低，可知枯水期地下水流動替換率低；中路國小、永安工業區10月時地下水含氧量較高，推測是颱風帶來大量雨水，使其地下水替換率高。
 (3) 高苑工商與蚵寮國小含氧量同為2，導電度前者比後者高出近三倍，代表就算常有活水補注，若可溶物質過多，水體溶解度依然大增，導電度可看出端倪。
 (4) 佳冬導電度、含氧量皆高，推測此處補充水不斷，地層下陷，海水入侵地下水也不間斷。

含氧量小結論：含氧量的高低代表補助新地下水的快慢，與岩層地形較有關，與導電度無太大關聯。

3.地下水水位

我們另外發現資料中有少數觀測站能找到地下水水位。我們取數據較完整的成功、塭豐、竹滬三處，找出地下水水位變動的意義。

年度	竹滬0415	竹滬1015	成功0415	成功1015	塭豐0415	塭豐1015
2011	-0.15	0.8	0.08	0.33	-7.33	-8.02
2012	-0.08	1.81	0.22	0.46	-10.4	-7.16
2013	0.07	1.4	0.3	0.55	-10.15	-5.53
2014	-0.25	1.4	0.35	0.52	-7.45	-6.55
2015	-0.37	1.47	0.2	0.55	-14.1	-7.52



- 塭豐是全國地層下陷有名的地點(離海0.37k)，竹滬在茄萣區沿海，(離海7.66k，但是附近全是養殖魚塭)，成功在八五大樓南高雄(離港口0.15k)，三者都是沿海地區監測點。各地水位10月明顯比4月高，因此得知三處地下水補注皆集中於雨季。
- 成功、塭豐離海距離相近，但是塭豐長期超抽地下水，導致地下水水位低很多。與其他年度比較，2015年四月全省乾旱，塭豐村乾季的地下水水位比起其他地區驟降到超低，更容易引發地下水鹹化的機制。
- 成功在市區，地下水補注穩定、也無超抽，水位穩定，雨季乾季變動不大。
- 距海較遠的竹滬，早、雨季較為明顯，由此得知竹滬地下水仰賴雨季補助。
- 塭豐村自2011年到2015年，水位始終難以上升。豐水年如2014水位可以差異不大，枯水年如2013、2015，水位下降甚多，表示此處長期抽水大於補注水，2017若遇乾旱，枯水位還是有下降的可能性。

地下水水位小結論：雨季後的10月比 雨季前的4月，地下水水位較高。地下水有鹽化的地區，高低水位變化較大。豐水期地下水水位已降低的地區，枯水期水位降更低

發想：從研究二發現位於沿海的塭豐村、砂崙鹽度極大，而梓官同樣位於沿海，也許未來也會面臨地下水鹹化的問題，因此，我們想找一個方向，有關鹹水得以淡化的議題。

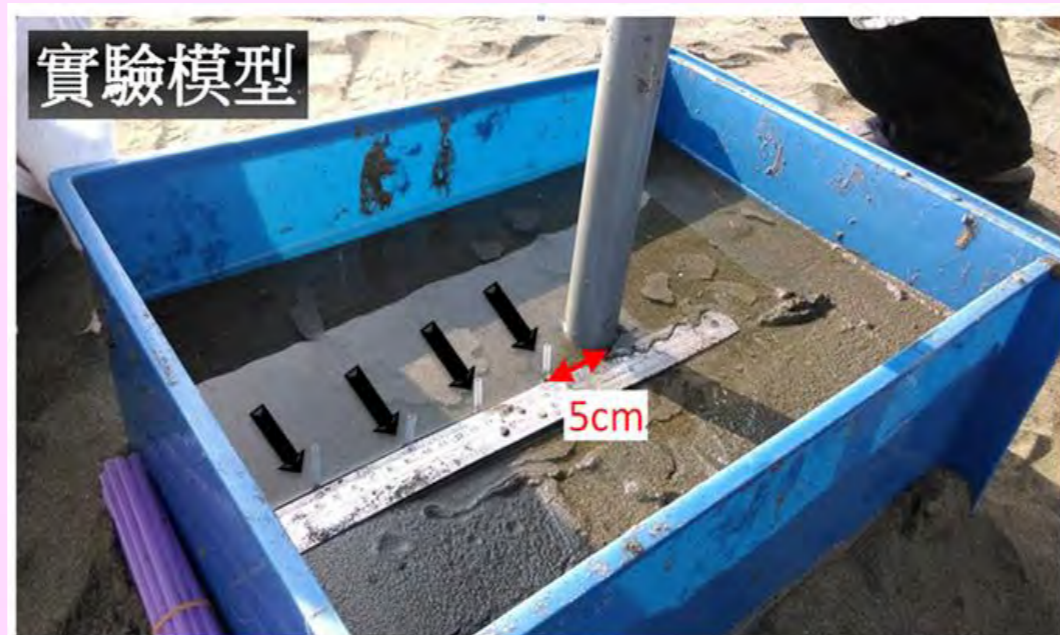
研究三:實作淡水水泡實驗

源起：之前從台灣的地下水一書，看見2002年納莉颱風引發總爺觀測站淹水後，導電度從兩萬驟降到三百多，持續兩年才回升，而引出神奇淡水泡概念。鹹水淡水竟然不會混和？我們想實際模擬，找出細節。

研究三-1淡水水泡箱實驗

(一)實驗設計發想：

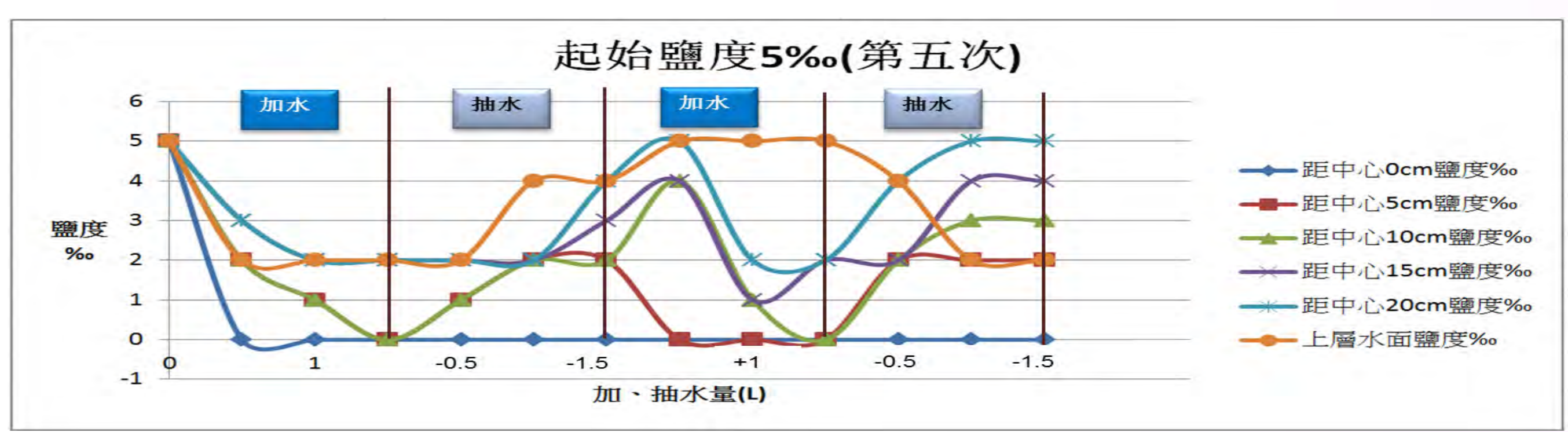
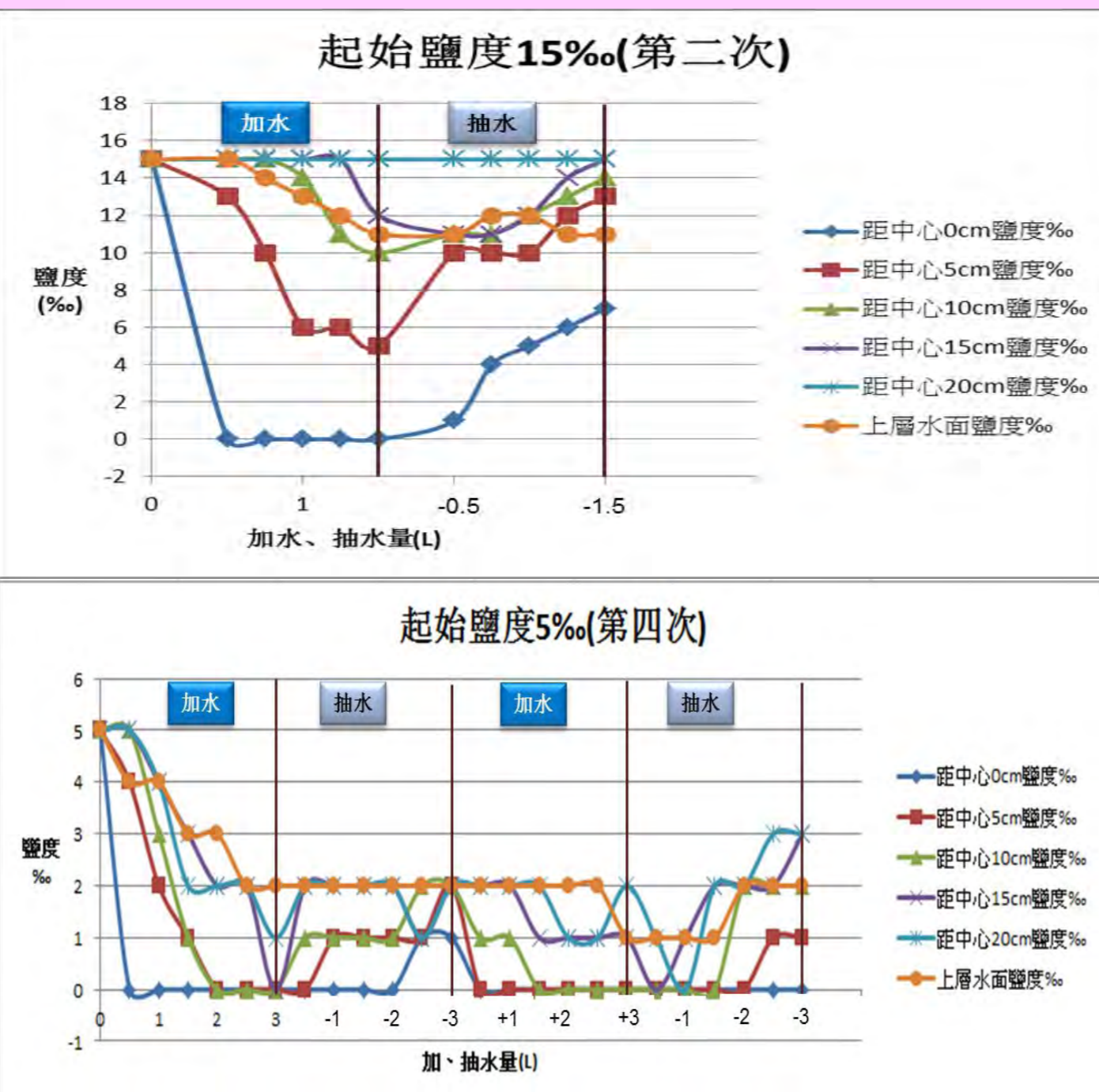
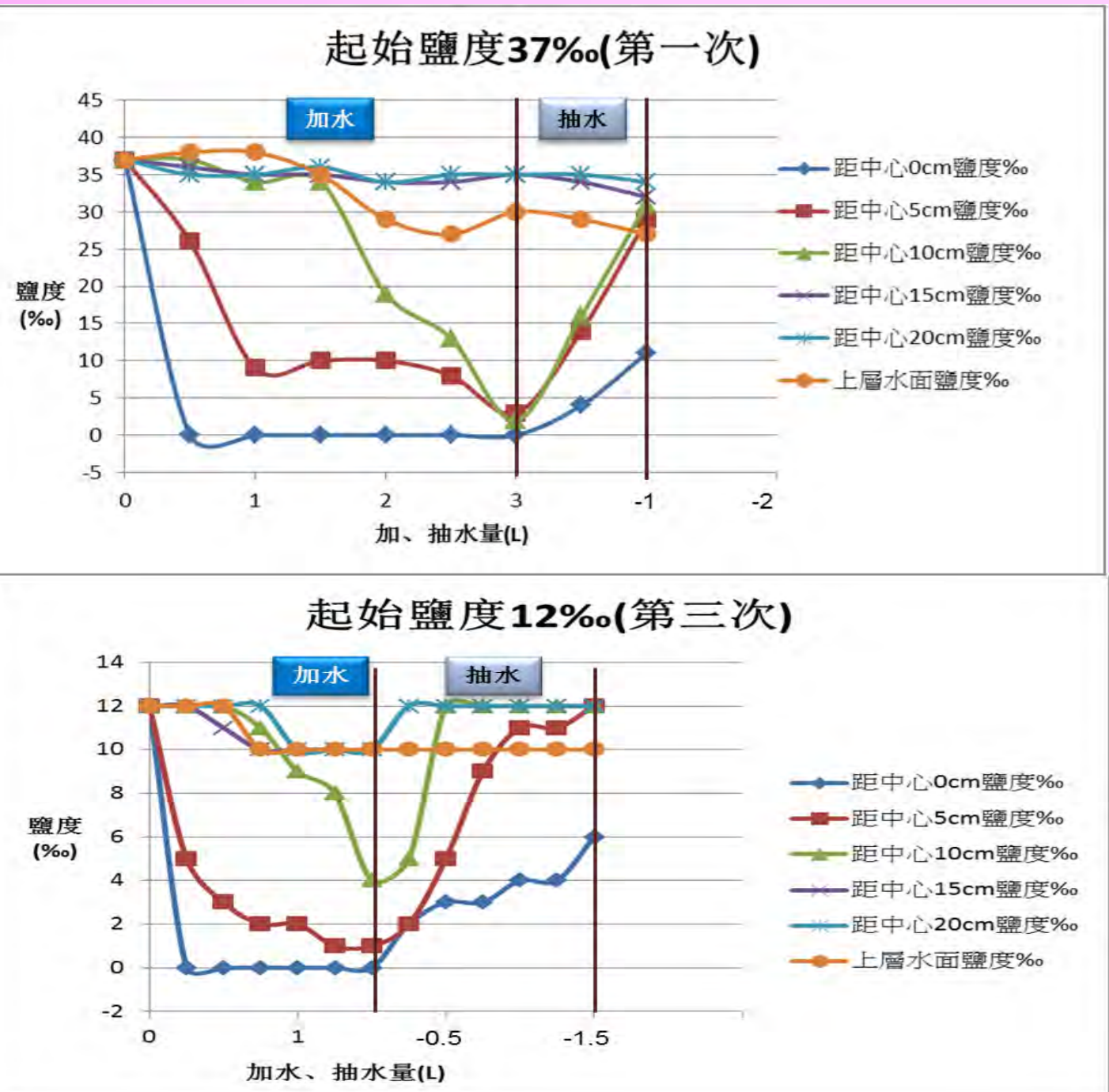
水管譬喻井口，加水形成淡水泡。我們想討論沿海地區泥砂鹹化地下水，所以利用海邊海砂，海水與淡水調整為鹹化水層。從中心加入淡水，由距中心5cm的吸管依序往外讀取下方鹽度，判斷淡水泡是否形成與細節。



(二)實驗步驟：

- 將塑膠抽屜裝濕海沙八分滿，加入海水(與淡水)均勻混和，鋪平液面，使原始沙體與液面的高度相等為10.8cm。
- 找出抽屜中心點(22.5cm*16cm)插入3cmPVC管)直通底層，液面上水管高度約25.7公分，橫向5,10,15,20公分插一隻細吸管。
- 旋轉插入一水管至抽屜底部，分段倒入定量淡水，倒完算起兩分鐘，以拇指按住吸管上端，依序抽出，測量吸管底部水之鹽度。
- 重複以上步驟直到水面上升淹過吸管停止，以水管處為抽水點，開始定量抽水並測量各定點鹽度。

	第一次實驗	第二次實驗	第三次實驗	第四次實驗	第五次實驗
起始鹽度	37‰	15‰	12‰	5‰	5‰
每次水量(L)	0.5	0.25	0.25	0.5	0.5
總加水量(L)	3	1.5	1.5	3	1.5
抽水量(L)	1	1.5	1.5	3	1.5
加抽水次數	1	1	1	2	2



(三)淡水泡實驗縱橫討論：

1.五次實驗結果總表

	第一次實驗	第二次實驗	第三次實驗	第四次實驗	第五次實驗
起始鹽度	37‰	15‰	12‰	5‰	5‰
每次水量(L)	0.5	0.25	0.25	0.5	0.5
總加水量(L)	3	1.5	1.5	3	1.5
抽水量	1	1.5	1.5	3	1.5
加抽水次數	1	1	1	2	2
0cm 處最後鹽度	11‰	6‰	3‰	0‰	0‰
淡鹹水混和速率	兩分鐘	兩分鐘	兩分鐘	兩分鐘	一分半鐘
淡水泡半徑(公分)	5 ≤ 半徑 ≤ 10	5 ≤ 半徑 ≤ 10	10 ≤ 半徑 < 15	15 ≤ 半徑 ≤ 20	15 ≤ 半徑 ≤ 20

2.數據分析:

(1) 前四次定點底部鹽度變化共有規則性

	加水	抽水
鹽度變化量 P‰	P _{5cm} > P _{10cm} > P _{15cm} > P _{20cm}	5cm > 10cm > 15cm > 20cm
鹽度開始變化先後順位	5cm → 10cm → 15cm → 20cm	20cm → 15cm → 10cm → 5cm
鹽度回復率 R		20cm > 15cm > 10cm > 5cm

(2) 不同鹽度，升降鹽度不盡相同，但我們想知道抽水完鹽度回復的狀況，於是定義~鹽度回復率R = ΔP‰_{抽水} / ΔP‰_{加水}，數據如下。

實驗(二)起始鹽度 15‰，加水1.5公升，抽水1.5公升

	0cm	5cm	10cm	15cm	20cm
起始鹽度(‰)	15	15	15	15	15
加完水後鹽度(‰)	0	5	10	12	15
抽完水後鹽度(‰)	6	13	14	15	15
鹽度回復率(‰)	0.4	0.8	0.8	1	沒變化

我們發現~離中心越遠的位置，鹽度回復率越高。

實驗(三): 起始鹽度 12‰加水1.5公升，抽水1.5公升

	0cm	5cm	10cm	15cm	20cm
起始鹽度(‰)	12	12	12	12	12
加完水後鹽度(‰)	0	1	4	10	10
抽完水後鹽度(‰)	6	12	12	12	12
鹽度回復率(‰)	0.5	1	1	1	1

我們發現~實驗(二)(三)相比，鹽度較低，鹽度回復率越高。

實驗(四): 起始鹽度5‰ 加水3.0公升，抽水3.0公升

	第一輪	0cm	5cm	第二輪	0cm	5cm
起始鹽度(‰)	5	5	5	起始鹽度(‰)	5	5
加完水後鹽度(‰)	0	0	0	加完水後鹽度(‰)	0	0
抽完水後鹽度(‰)	1	2	2	抽完水後鹽度(‰)	0	1
鹽度回復率(‰)	0.2	0.4	0.4	鹽度回復率(‰)	0	0.2

連續兩次用大量的水加水抽水，在靠近中心處的鹽度回復率顯得更低，第二輪又更低。

(3) 實驗(一)~(五)組起始鹽度之意義：

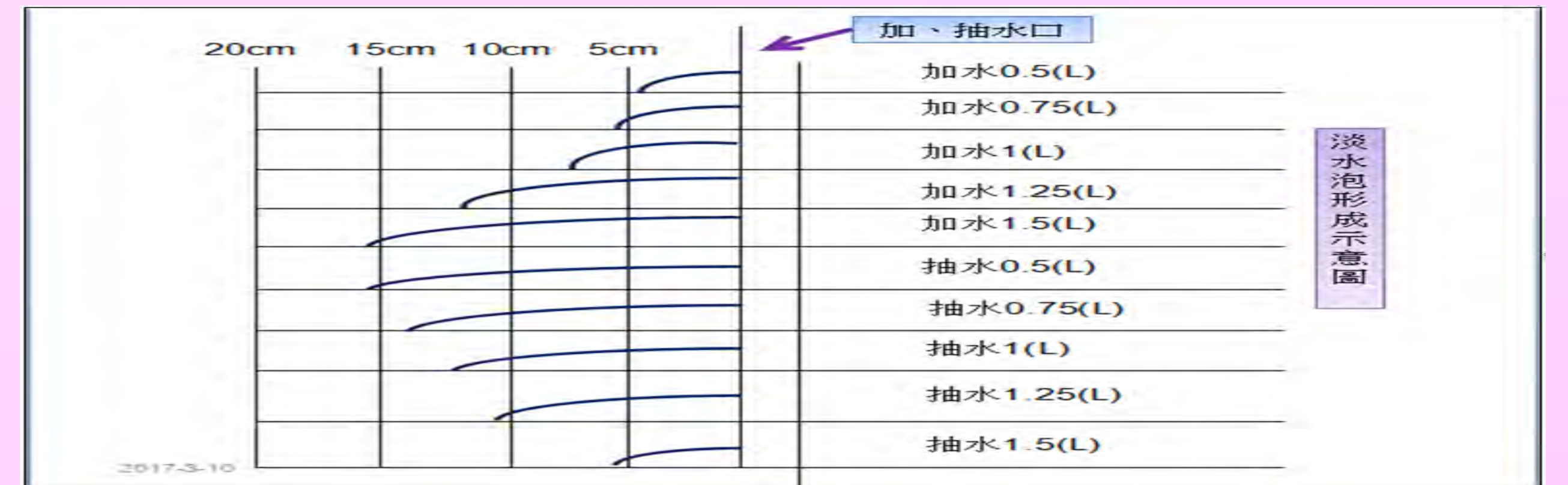
- 實驗(一)起始鹽度為純海水之鹽度37‰。首次實驗想證實淡水泡是否形成，因此使用鹽度極高、取得容易的海水做實驗。
- 實驗(二)起始鹽度為15‰。我們想知道，鹹水淡水混和，是否有類似的水泡。
- 實驗(三)起始鹽度為12‰。換算鹽度接近研究二沙崙地下水觀測站鹽度
- 實驗(四)取起始鹽度為5‰。想知道淡水泡在更低鹽度，與鹽度高有何異同。
- 實驗(五)鹽度同實驗(四)。改變插管型態，模擬無抽沙的水井。

3.實驗五特別討論:

- 緣起：我們發現實驗(四)用針筒抽水時，除了鹽水還抽出許多沙，此狀況和一般水井抽水的情形不同，於是我們再改進器材裝置。
- 器材：有別於實驗一~四，本次實驗在加抽水管底部套了一層薄紗布，防止砂抽水時跑進去。先將14公分一端包紗布，置入沙水底層，再將沙填平。加水將另一端插在上面，抽水拔開上管，方便操作。
- 操作速度：與前四次實驗比較，從紗布水管加入1.5公升的淡水約兩分鐘即卸完，與之前實驗比較，快了兩倍。抽水也能用油抽，效率高更多。
- 結果：薄紗布限制抽水範圍(僅中央水管)，純粹抽出鹹淡水，沒有抽沙破壞淡水泡，理論上數據應更準確。但是本實驗數據波動很大，我們懷疑裝紗布管、回填海沙的時候，中央沒有填充緊實，導致一開始就有淡水順著縫隙直通上層水面，於是不細作探討。



4.從實驗二的淡水泡數據，我們試著做出伸縮示意圖如下。



淡水泡小結論

- 鹹水回復率，遠端較大，近端較小。
- 沙質地層中，鹹化的水加入淡水，非直接混和，而是鹹淡水界面推出，形成淡水泡；淡水泡抽水則縮小，確實可以伸縮。

研究三-2淡水過渡帶小實驗

發想：從實驗知道在鹹水中確實可以形成淡水泡，過程中鹽度並非直接降至0‰，而是有一段鹽度介於起始鹽度和0‰之間的過渡帶，淡水泡邊界範圍有多大？我們再設計小實驗測試。

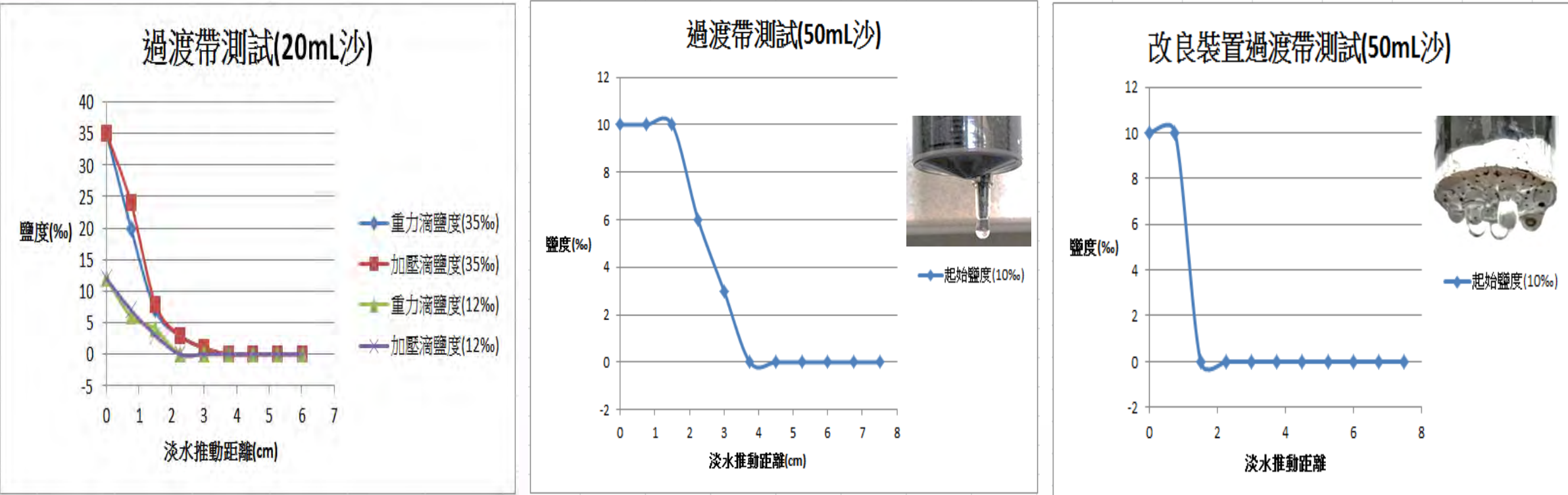
步驟：

- 膠帶封住出水口，加入鹽度35‰的海水與海沙使沙面鋪平至20mL處，輕敲外管壁使沙體緊密，將海水水面調到對齊沙面。
- 用小針筒沿60mL針筒內部邊緣，加蒸餾水至60mL，每滴出5mL測量底部水鹽度。
- 改鹽度12‰的海沙海水，重複步驟1、2
- 將10‰的海沙與海水加至沙水對齊50mL處，重複步驟2。
- 將針筒下方以鋁箔改成蓮蓬頭狀，重試步驟2、4
- 測20mL、50mL水沙推擠含水量。
- 測50mL10‰沙水質量並烤乾測實際含水量



結果與討論：

- *針筒10mL高度為1.5公分高等比例類推。
- *體積20mL的沙含水量4mL，體積50m的沙含水量7mL，從差值算出每增加10mL沙，可推擠水量增加1mL。
- *取50mL 10 %砂水，測得總重量111.52g 乾沙86.80g 含水24.72g



1. 從自然滴落及人力加壓的數據沒有太大差異。
2. 裝有20mL的沙水中，35%的鹹水滴了25mL(3.75cm)的淡水才降到0‰，而12%的鹹水滴了15mL(2.25cm)就降到0‰，由此推論鹹水鹽度越大，過渡帶就越大。
3. 由於20mL的沙水，一推活栓就滴出鹽度下降的水，懷疑沙含水量過少，無法得知鹽度確實下降的起始點，於是加做50mL的沙過渡測試。
4. 從含50mL沙的圖發現，滴出10~25mL水的這段鹽度，介於起始鹽度10‰與0‰之間，由此推測在裝有7.5公分的沙中，有2.25公分的過渡帶，與20mL沙水的數據差異不大，推測過渡帶與海水鹽度較有關，與沙量無關。

補做：考慮針筒管流非均質，再將出水口改成平面蓮蓬頭狀，得到原始鹽度降為淡水極迅速，代表均勻推動管流時，邊緣過渡帶極薄。可推知沙質地下水層鹹淡水交界，邊緣非混合，僅靠壓力動態偏移。

陸、整體討論

一、梓官地質與地下水

1. 從高雄市都會區南北向地層剖面圖中，我們發現梓官國小往南到蚵子寮以北，淺層20公尺以內，是補水、儲水性佳的沙質層，下方是泥層。
2. 從台灣的地下水一書p.186(參四)，得知梓官區因位於中州台地背斜右方，再加上鄉土文獻資料(參二)，地方誌所查到漚底山噴泥讓地勢高起所成的埃的阻隔，所以梓官地下水不易流失

二、導電度與鹽度

1. 定義：導電度是量測水樣導電能力之強弱，單位微姆歐/公分表示。導電度的大小與水中解離之離子含量之多寡以及溫度有關。而鹽度的基本定義為每一千克的水內的溶解物質的克數。
2. 我們的研究三淡水泡實驗僅討論淡水鹹化，全部用海水來稀釋，將導電度全部用海水鹽度進行換算，並未將其他汙染物加入導電度的考量。

三、砂崙國小、竹滬國小、地下水體鹹化成因探討

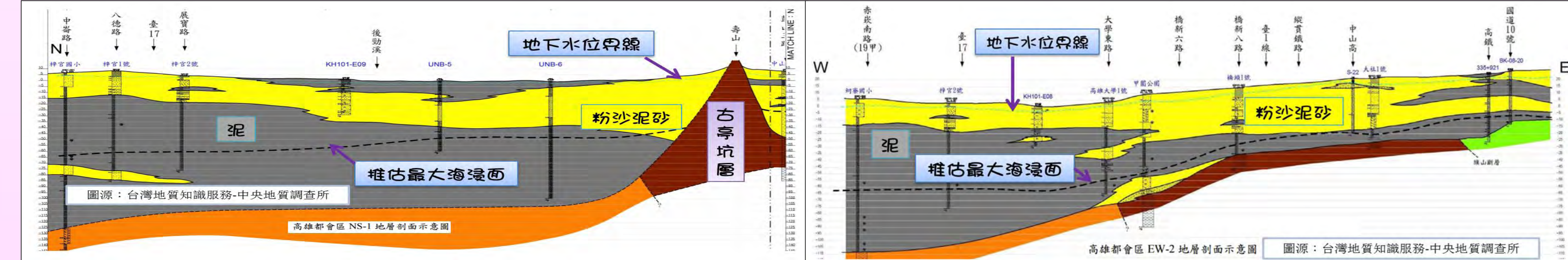
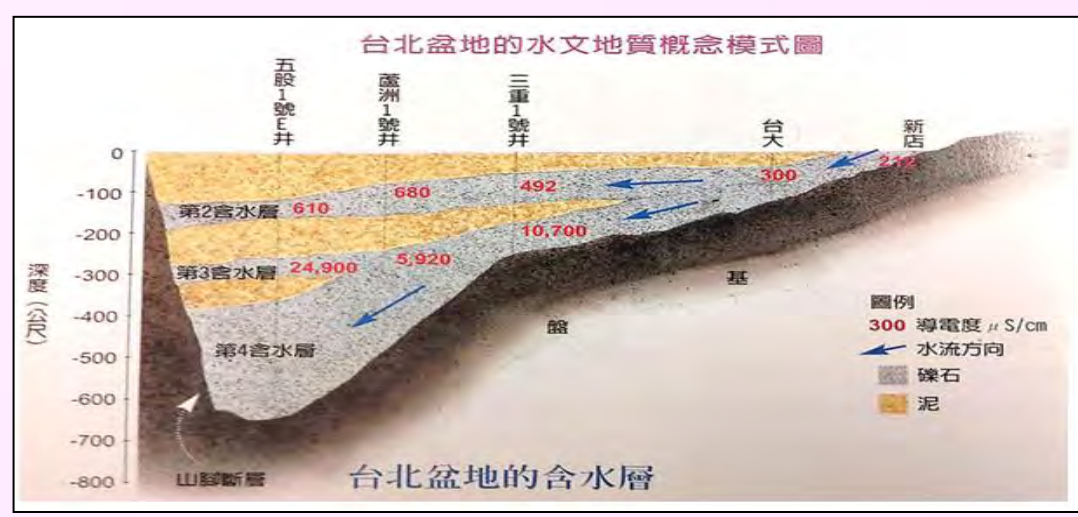
- (一) 除了產業結構之外，從1060509訪談得知，地下水導電度偏高，除原有的認知超抽地下水海水入侵之外，還另有可能是該處原本就是海港，形成陸地後海水就一直封存於地底，成為古鹹水層。
- (二) 砂崙國小、竹滬國小之前為台灣三大古瀉湖之一的堯港內海。由於河流輸沙持續流進造成淤積，成為為陸地，導電度比周圍地區都高。砂崙國小導電度也比塹豐村高太多，我們認為這一區地下水，一開始有受到古海水影響而鹹化，但是隨著長期淡水補助替換，竹滬國小第一層地下水有漸淡趨勢(2012年4月~2016年10月導電度由4120降到2850 $\mu\text{S}/\text{cm}$)；而砂崙國小導電度2011年以來則保持破萬居高不下，颱風爆多的夏季監測偶有大降(2016年)，乾季四月監測數據就偏高，尤其是2015年全省大乾旱，四月導電度上升到三萬，可以直言這一區海水入侵嚴重，需要長期淡水補助才有不再惡化。

四、地下水補水議題探討

- (一) 台北盆地的地下剖面圖，是礫石與泥層混層，補注區遠在新店礫石層。從這圖對地下水補注的了解，連動到高雄市都會區梓官區東西向地層剖面圖中，我們發現，梓官區橫向地區全是淺砂層儲水與補注區，是地下水源豐富的地區。



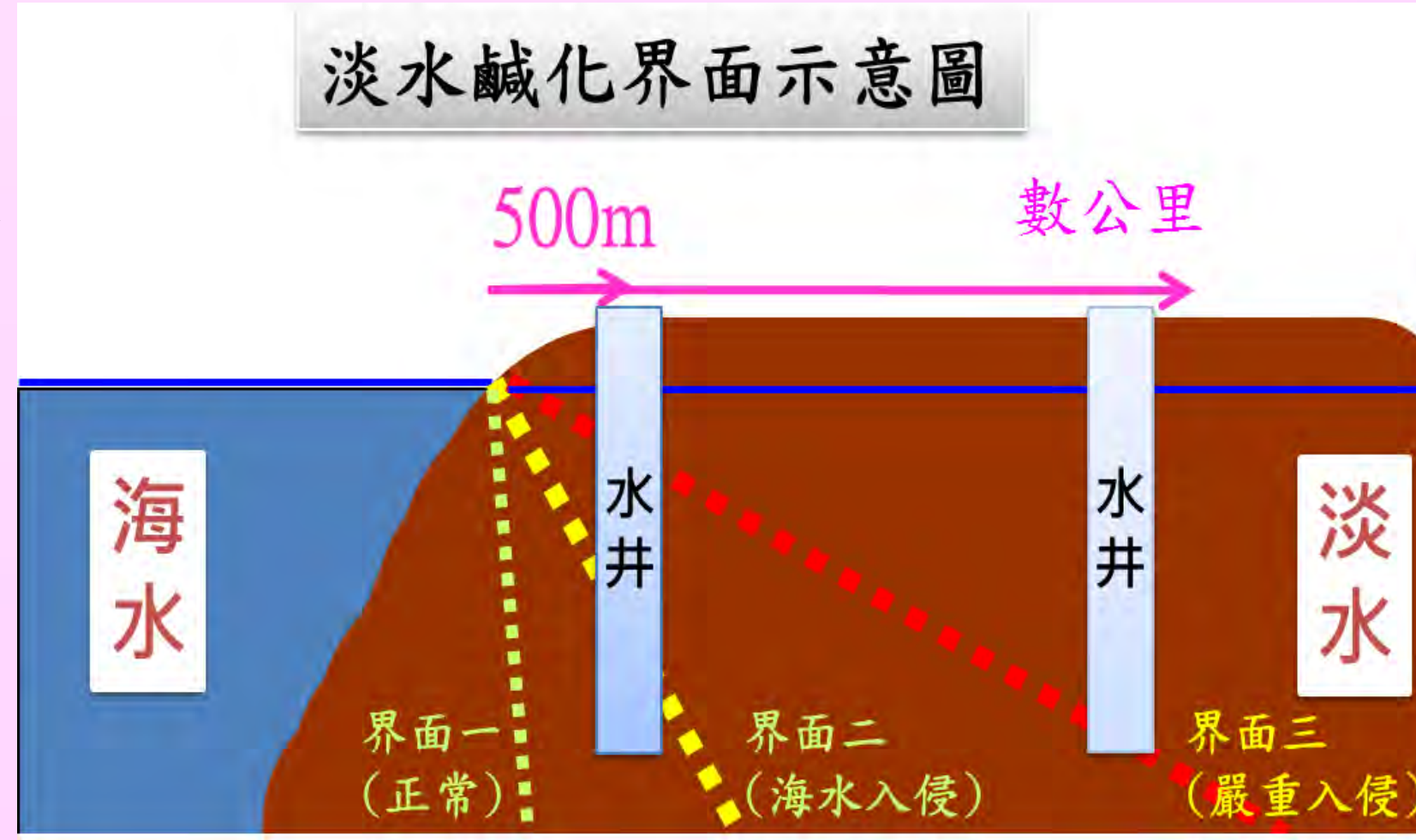
砂崙國小 採樣日期	水溫 Water Temperature (°C)	導電度 Conductivity ($\mu\text{mho}/\text{cm}25^\circ\text{C}$)
2016/10/04	30.4	8000
2016/04/20	26.4	18600
2015/10/20	29.4	18100
2015/04/22	27.5	31200
2014/10/24	29.2	19600
2014/04/17	26.9	25100
2013/10/18	29.0	22800
2013/04/23	27.4	24400
2012/10/25	29.3	6440
2012/04/25	26.9	18800
2011/10/24	29.2	14900
2011/04/28	27.6	13600



- (二) **地下水是連通可以補助的！** 尤其在地面表層為孔隙率大的砂層地表上，不應該覆蓋太多水泥構造(如公共建設、柏油路)，妨害地下水補注。反之若垂直上層為阻水泥層，下層才有砂質保水層，抽水就如採礦，地面砂層若太薄或太遠，注水補助不及，就應設補注井，或另闢水源，不應強用地下水。
- (三) 有一種台灣人10年前發明的吸水柏油路，叫「**多孔隙瀝青混凝土鋪面**」，在國外已經紅極一時，但2015年才首度在台北試鋪。其表面孔隙率達20%，比一般瀝青混凝土高，與瀝青有相當的承載力。這款路面能增加滲透雨水效率，避免路面形成水膜確保行車安全，還能降行駛的噪音。這款混凝土相當神奇，能在短短1分鐘內吸收880加侖(約3200公升)的水量，而且是利用塑料回收製成，比起柏油瀝青路面還要環保，除了吸水功能外，還路面降溫的功能。(參十一)
- (四) 結合以上三點，我們認為台灣地小缺水開發度高，除了地表水源之外，應該要好好了解，我們**生活所在地地下岩層地質屬性**，維護補注潔淨的地下水庫，作為淡水的後盾。

五、淡水泡補注地下水界面探討(南台灣篇)

- (一) 沿海地區地下淡水與鹹化水，就像一個龐大的淡水泡，邊界靠水壓維持動態平衡。我們模擬做出沿海地下水層-淡水鹹化界面示意圖。
界面一(正常)：一般沿海地區，岩層與海水間形成淡、海水交界面，水壓平衡
界面二(海水入侵)：若淡水儲量減少，海水向內入侵(距離約500公尺)，造成淡水鹹化。
界面三(嚴重入侵)：如佳冬塹豐村超抽地下水、動態平衡界面大幅偏移，海水入侵長達數公里
- (二) 由研究三知道，利用壓力在鹹化地下水中儲存淡水是可行的。此技術已經用於佛羅里達、拉斯維加斯等**無法蓋水庫、地下水已鹹化嚴重地區**，台灣環境並非這類前提，是否此技術有補注地下水的新概念？再上網查詢，找到了潮州大湖工程：在林邊溪上游攔截一段分支引進渠道，再放流至沙礫石層的人工湖，待水慢慢入滲後，含水層補注淡水，增加淡水壓力，擊退海水入侵，減緩地層下陷與改善土壤鹹化。
- (三) **地層下陷不可逆，但可以藉著墊高地下淡水層，讓下陷減緩甚至不再下陷。** 地下水沙層地層都是容量很大的地下水庫，不論鹹水或淡水，都可以用**淡水泡壓力擴張概念**，儲水用水，甚至收復鹹化的水層。



六、地下水用戶該有的認知

- (一) 我們家附近，地下水豐富，所以還有許多家庭使用地下水，從梓官、楠梓區各選擇一個觀測站，近來導電度連續紀錄。我們發現一個地區**長期的水質導電度，時有波動，未必是穩定能用的**。農田水利會規定後勁溪水質導電度要750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下(鹽度0.47psu)，才能進行水稻灌溉，自來水導電度需350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下，而許多地下水體數據都高出此數，家庭正常使用堪虞。
- (二) 經過研究一、二，我們逐漸了解梓官的地下儲水，來自沙質岩層，水源來自雨水補助。連通的地下水體，也連通我們家附近惡名昭彰的**後勁溪與典寶溪**，讓我們不禁膽戰心驚。從數據得知，高苑工商鄰近有大型鋼鐵廠，導電度高達2340($\mu\text{S}/\text{cm}25^\circ\text{C}$)，可溶物質沿著典寶溪，順流而下到了梓官區，地下水想必也是有影響的，**沒有自來水廠的監控，不知情的地下水用戶如果正常作息盥洗飲水，可能會讓自身健康長期暴露在危險當中。**
- (三) 人人應該對地下水體有基本認識，關心鄰近水質監測站地下水數據異動而及時找到環境變動成因。用知識與行動，守護家鄉地下水水源。期待我們的淡水資源與環境，能永續經營，生生不息。

測站	區域	2016/10 月導電度 ($\mu\text{S}/\text{cm}25^\circ\text{C}$)	2015/10 月導電度 ($\mu\text{S}/\text{cm}25^\circ\text{C}$)	2014/10 月導電度 ($\mu\text{S}/\text{cm}25^\circ\text{C}$)	2014/04 月導電度 ($\mu\text{S}/\text{cm}25^\circ\text{C}$)	2013/10 月導電度 ($\mu\text{S}/\text{cm}25^\circ\text{C}$)	2012/10 月導電度 ($\mu\text{S}/\text{cm}25^\circ\text{C}$)	2012/04 月導電度 ($\mu\text{S}/\text{cm}25^\circ\text{C}$)
蚵寮國小	梓官區	920	926	1160	1270	1210	1090	1100
後勁國中	楠梓區	742	640	569	652	593	912	814

柒、結論與展望

- 研究一：**
梓官地表是沙層，地底下9~10公尺就有地下水，補注容易，左有中州台地背斜，與漚底山的泥埃，能阻擋儲水流失，呈現水源豐富的先天條件。
- 研究二：**
1. 無法單以距海遠近判斷地下水導電度。還要依其地質、附近地勢、開發汙染等因素共同決定導電度。
2. 含氧量的高低代表補助新地下水的快慢，與岩層地形有關，與導電度無太大關聯。
3. 雨季後的10月比 雨季前的4月，地下水位較高。地下水有鹽化的地區，高低水位變化較大。地下水位已經降低的地區，在枯水期水位降得更低
- 研究三：**
自製地下水鹹化水箱模型，從補助及抽取淡水數據，可清楚觀察出淡水泡的形成與回縮，邊緣過渡帶不大，確實可在鹹水層中儲存淡水，這跟所看到的文獻有相似的結果。

展望： 地下淡水是可補助的，建議地表沙質層的地面，將路面鋪「**多孔隙瀝青混凝土鋪面**」，可讓雨水有較大機會滲入地下水層，豐富地下水儲量。並在地下水鹽化地區，以補注井型態，或在**上游礫沙岩地區**，在豐雨季節灌水，形成淡水泡，或淡鹹水邊界，逼退鹹水，讓鹽度降低，使鹽化地區，有朝一日再度能有淡水可以使用。