

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

國中-地球科學科

科 別：地 球 科 學 科

組 別：國 中 組

作品名稱：井水不犯海水？地層下陷與海水倒灌的問題探究

關 鍵 字：海水倒灌、地下水鹽化、滲透壓

編 號：030508

學校名稱：

臺中縣立豐東國民中學

作者姓名：

賴宜萍、陳柏昀、張君如、黃玉婷

指導老師：

賴月琴、陳佳龍



作品名稱：井水不犯海水？地層下陷與海水倒灌的問題探究

一、摘要

將實驗室現有的器材及日常生活中可回收利用的材料，自製小型水耕容器來「了解鹽化的水質對農作物生長的影響」。自製長型凹型管可「模擬抽地下水致海水入侵的情形」，以側漏圓柱型水壓比較管及模擬地層實驗槽能「了解超抽地下水及過度人為開發導致地層下陷的情形」，設計模擬沿海地區狂風下雨、海水倒灌的模型箱能「警示人為恣意破壞環境的惡果」，自製簡易太陽能蒸餾器及逆滲透裝置以「了解海水淡化的原理」。

二、研究動機

納利颱風來襲，沿海地區出現海水倒灌、農地鹽化的現象，可憐的農民種植的農作物非乾即枯無法收成，又得被迫休耕幾年，農民生計再次陷入困境了。

沿海地區養殖業興盛，過度超抽地下水而致地層下陷情形嚴重，大雨過後，地層下陷區域較低窪的民宅浸泡在積水之中，排水不易，即使是晴天，積水仍久久無法消退，居民長期浸泡在鹽水裡，雙腳易生皮膚病，苦不堪言。

想到地科第四章課本所說的「我們可用水資源僅占不到 0.5%」！如果再讓海水倒灌一再重演、濫抽地下水破壞水的平衡，以致於地下水又被鹽化的話，那不是很嚴重嗎？身為學生的我們能夠做的就是為環保盡一份心力，所以我們在老師的指導下，希望能做出配合國中環保教育的有用實驗！

三、研究目的

1. 用鹽水作水耕栽培以了解鹽化的水質農作物生長情形
2. 以水壓平衡原理設計了解超抽地下水會導致海水入侵、地下水鹽化的實驗
3. 模擬沿海地區超抽地下水會導致地層下陷的實驗
4. 模擬沿海地區過度的人為開發會導致地層下陷的實驗
5. 模擬沿海地區地層下陷、海水倒灌、排水不易的實驗
6. 設計農地鹽化處理再生及海水淡化的可行性

四、研究設備器材

電動天平、電動打蛋器(改裝扇葉)、回收保特瓶、回收塑膠容器、回收大塊保麗龍盒、珍珠板、圓形玻璃水槽、過期報紙、黑色紙、紙箱、培養皿、1號濾紙、U形管、刻度板、鑽子、鑽孔器、硬質吸管、刻度尺、各種質量的砝碼和金屬塊、膠帶、塑膠管、吸管、矽膠及注射器、薊頭漏斗、中空玻璃管、L型玻管、玻璃紙、大型置物箱、燒杯、漏斗、漏斗架、玻棒、軟管、軟木塞、錐形瓶、小白菜種子、洋菜、砂子、鹽、石子、砂子、泥土、水、綠豆

五、研究過程或方法

研究大綱導引

井水不犯海水？ 地層下陷與海水倒灌的問題探究

鹽化的水質對農作物生長的影响

模擬沿海地區超抽地下水、過度人為開發所造成的影响

農地鹽化處理再生及海水淡化的簡易設計

種子發芽率試驗
長型凹型管

觀察白菜種子的發芽率生長情形
低濃度
高濃度
以三用電錶測出低電阻

可模擬超抽地下水(清水致海水(染色的鹽水)入侵的情形
找出相等液壓下，清水與不同濃度鹽水的高度比較

自製小型水耕容器

模擬超抽地下水各地層補注水的情形
模擬超抽地下水會導致地層下陷的情形

不同濃度鹽水導電試驗

模擬沿海地區過度人為開發導致地層下陷的情形

警示人為恣意破壞環境及設計不當的惡果

了解水壓平衡的原理

利用太陽能模擬海水淡化的方法

模擬以逆滲透法原理將海水淡化的簡易實驗

自製簡
側漏圓柱型水壓比較管

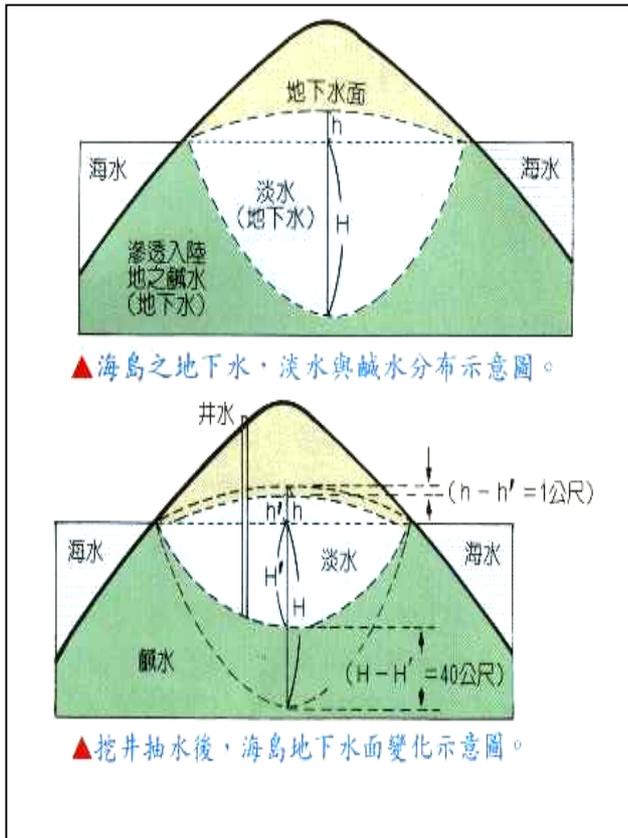
簡易組裝逆滲透裝置
簡易且裝設沿海地區地層實驗槽

設計模擬沿海地區狂風又下雨、海水倒灌的模型箱

【理論說明】我們從所有的參考資料中了解、分類並整理出的內容只保留「海水入侵鹽化」的理論說明，其他如附件以做為我們設計後面實驗的依據。

在海島或臨海地區，超抽地下水也會帶來另一種危險，那就是海水滲入地下含水層中，而使地下水不堪使用。

- A. 因超抽地下水，使得地下水位降低，地下水層厚度減少，相對的鹹水中升高而滲入井水。
- B. 淡水和鹹水的密度比是 40:41，也就是淡水高 41 公尺的重量等於鹹水高 40 公尺的重量。
- C. 若地下水面因抽取而降低 1 公尺，則下方的鹹水面將上升 40 公尺，若鹹水面達井底以上時，則井水就變鹹而不能飲用了。(國中地球科學 81 年課本，地球科學教師手冊 88 年)



圖一.地下水高度 $h+H$ ，密度為 1.000，鹹水高度 H ，密度為 1.025，淡水和鹹水在交界面處，壓力應保持平衡狀態，即 $(h+H) \times 1.000 = H \times 1.025$

$$\text{得 } (h+H) / H = 1.025/1.000 \quad h / H = 1/40$$

圖二.淡水被抽後高度降為 $h'+H'$ ，密度為 1.000，鹹水高度 H' ，密度為 1.025，淡水和鹹水在交界面處，壓力應保持平衡狀態，即 $(h'+H') \times 1.000 = H' \times 1.025$

$$\text{得 } (h'+H') / H' = 1.025/1.000 \quad h' / H' = 1/40$$

依據分比性質 $h / H = 1/40$ 及 $h' / H' = 1/40$ ，得 $(h - h') / (H - H') = 1/40$

此即代表當地下水面下降 1 公尺，下方的鹹水面將上升 40 公尺。

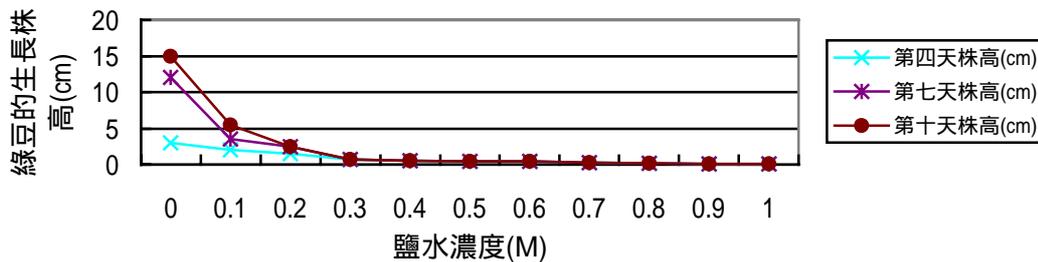
(一) 用鹽水作水耕栽培以了解鹽化的水質農作物生長情形

實驗一、鹽化的水質綠豆的水耕生長情形

鹽水濃度(M)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
鹽水比重	1	1.01	1.015	1.02	1.02	1.02	1.03	1.04	1.04	1.04	1.05
第三天綠豆發數	150	150	150	150	150	68	65	57	54	38	18
第四天綠豆發數	150	150	150	150	150	150	150	70	66	40	20
第四天株高(cm)	3	2	1.5	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1
第七天株高(cm)	12	3~4	2~3	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1
第十天株高(cm)	15	5~6	2~3	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1
第十天生長情形			×	×	×	×	×	×	×	×	×

符號 表生長情形良好， 表生長情形遲緩，x表生長情形抑制、開始發臭

圖一、鹽化的水質綠豆的水耕生長情形



全部的水耕試驗組



清水對照槽生長情形良好，鹽水槽則生長遲緩受抑制



實驗二、鹽化的水質小白菜種子的發芽率生長情形

鹽水濃度(M)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
第一天發芽數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第二天發芽數	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第三天發芽數	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
發芽率(%)	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

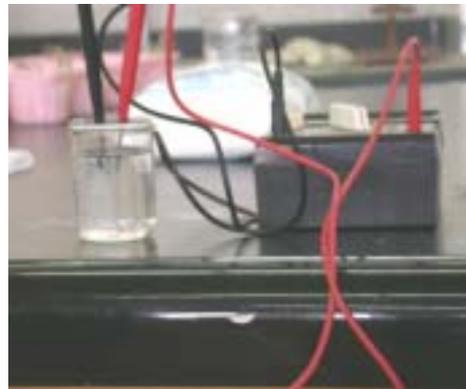
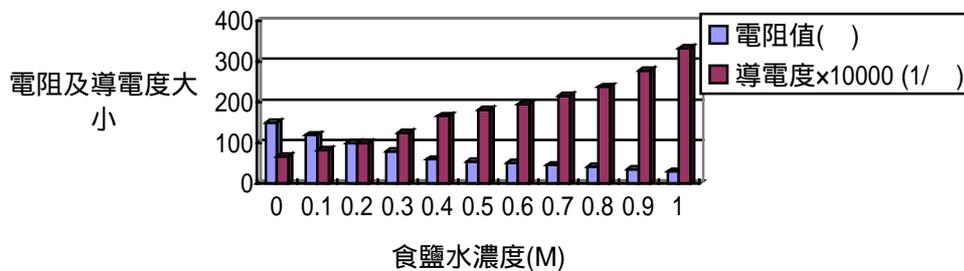


各依編號加入 10ml 清水或不同濃度的鹽水 三天後只有清水槽會發芽而鹽水槽都不會

實驗三、不同濃度食鹽水溶液的導電情形試驗

鹽水濃度(M)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
電阻值()	150	120	100	80	60	55	51	46	42	36	30
導電度×10000 (1/)	67	83	100	125	167	182	196	217	238	278	333

圖二、不同濃度食鹽水溶液的電阻及導電度的比較

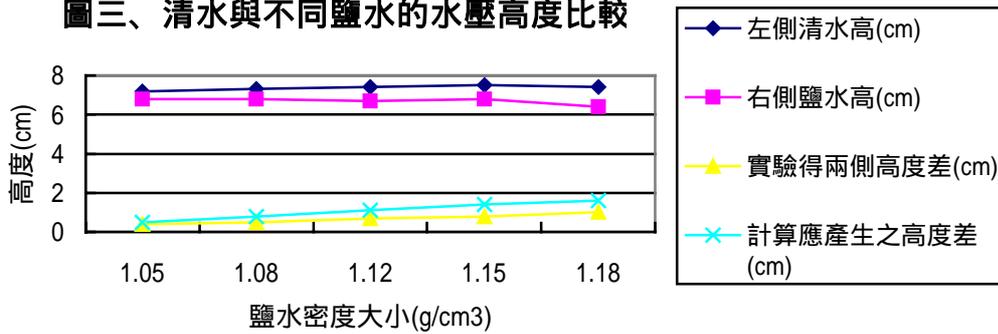


以三用電錶測各不同濃度的鹽水電阻大小 探針等距浸入鹽水面下測出電阻大小

(二) 以水壓平衡原理設計了解超抽地下水會導致海水入侵、地下水鹽化的實驗 實驗四、清水與不同鹽水的水壓高度比較

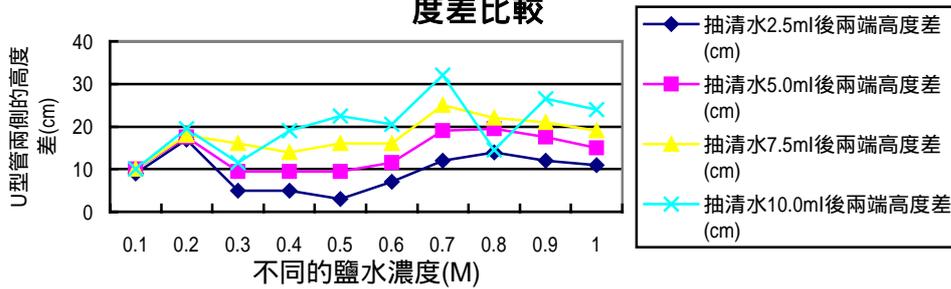
鹽水濃度(M)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
鹽水密度(g/cm ³)	1.05	1.08	1.12	1.15	1.18
左側清水高(cm)	7.2	7.3	7.4	7.5	7.4
右側鹽水高(cm)	6.8	6.8	6.7	6.8	6.4
實驗得兩側高度差(cm)	0.4	0.5	0.7	0.8	1.0
計算清水與鹽水的高度比	1 : 0.952	1 : 0.926	1 : 0.893	1 : 0.869	1 : 0.847
計算應產生之高度差(cm)	0.5	0.8	1.1	1.4	1.6

圖三、清水與不同鹽水的水壓高度比較

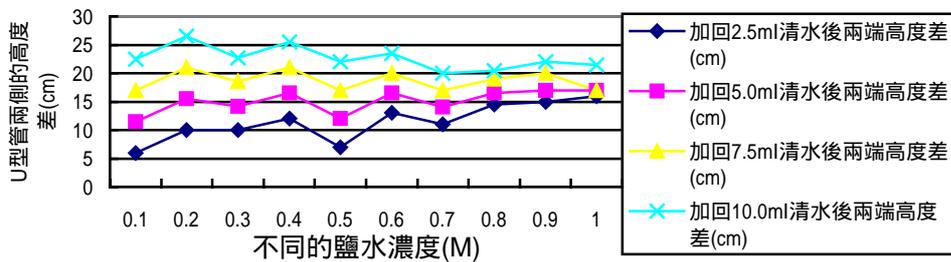


實驗五、模擬超抽地下水會導致海水入侵、地下水鹽化的實驗(表格如附件三)

圖四、模擬超抽地下水使濃度不同的鹽水入侵後的高度差比較



圖五、模擬超抽地下水使濃度不同的鹽水入侵時回補地下水的高度差比較



凹型管左側抽清水的情形



觀察長型凹型管兩側的高度差



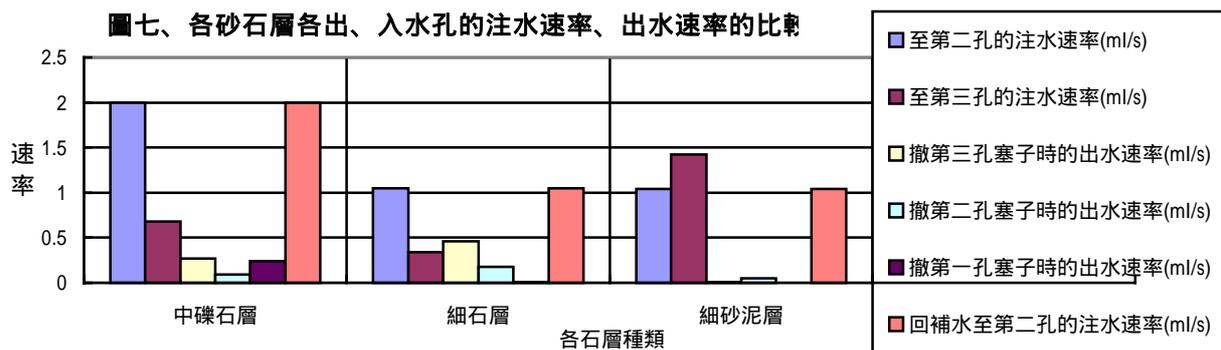
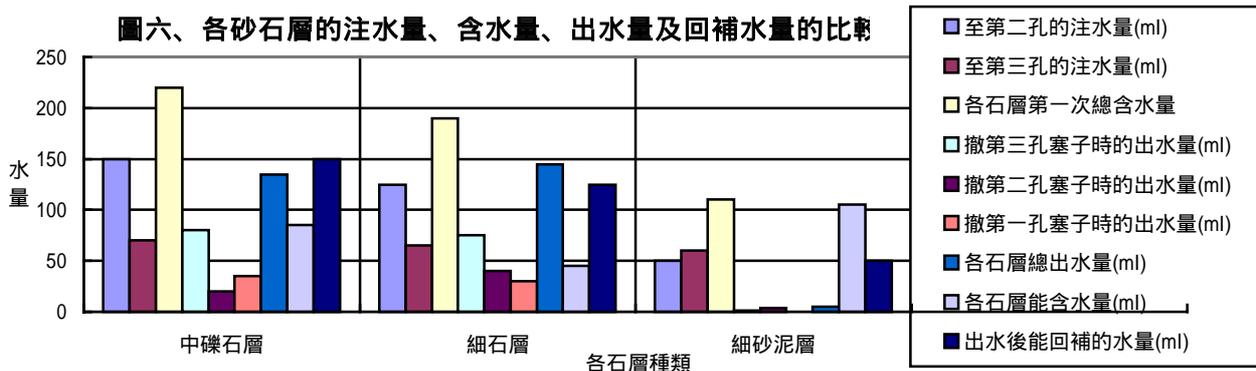
凹型管左側補注清水的情形

(三) 模擬沿海地區超抽地下水會導致地層下陷的實驗

實驗六、模擬超抽地下水會導致地層下陷及補注水的情形

砂石層種類	中礫石層	細石層	細砂泥層
砂石層含空隙的高度(cm)	25	25	25
砂石層含空隙的體積(ml)	590	590	590
注水至第二孔溢水時間(s)	75	118	48

至第二孔的注水量(ml)	150	125	50
至第二孔的注水速率(ml/s)	2.00	1.05	1.04
至第三孔溢水時間(s)	102	190	42
至第三孔的注水量(ml)	70	65	60
至第三孔的注水速率(ml/s)	0.68	0.34	1.42
各石層第一次總含水量	220	190	110
注水時各砂石層的表面現象	無	無	有凹陷
注水高度(cm)	25	25	25
注水後各砂石層下陷量(cm)	0	0	0.5
撤第三孔塞子時的出水量(ml)	80	75	1
撤第三孔塞子時的出水時間(s)	291	161	97
撤第三孔塞子時的出水速率(ml/s)	0.27	0.46	0.01
撤第三孔塞子各砂石層下陷量(cm)	0	0	0.2
撤第二孔塞子時的出水量(ml)	20	40	4
撤第二孔塞子時的出水時間(s)	217	216	80
撤第二孔塞子時的出水速率(ml/s)	0.09	0.18	0.05
撤第二孔塞子各砂石層下陷量(cm)	0	0	0.4
撤第一孔塞子時的出水量(ml)	35	30	0
撤第一孔塞子時的出水時間(s)	143	245	0
撤第一孔塞子時的出水速率(ml/s)	0.24	0.01	0
撤第一孔塞子各砂石層下陷量(cm)	0	0.1	0.5
各石層總出水量(ml)	135	145	5
各石層能含水量(ml)	85	45	105
出水後能回補水至第二孔溢水時間(s)	75	118	48
出水後能回補的水量(ml)	150	125	50
回補水至第二孔的注水速率(ml/s)	2	1.05	1.04





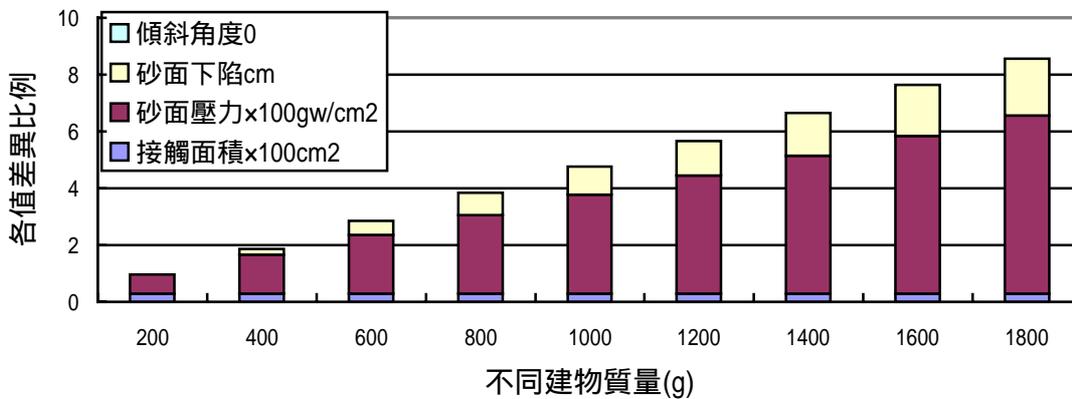
裝各砂石層的側漏水壓比較管 量測至第三孔的溢水時間 撤第二孔塞子時的出水量及時間

(四) 模擬沿海地區過度的人為開發會導致地層下陷的實驗
實驗七、 模擬沿海地區過度人為開發導致地層下陷及不穩定的實驗

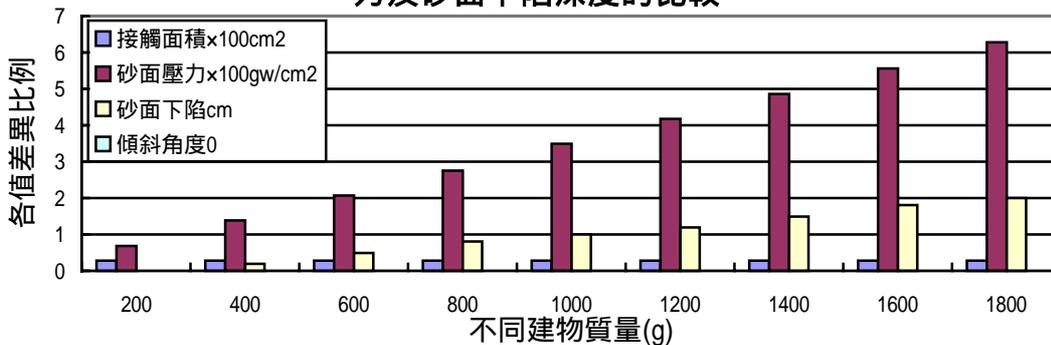
(四) 模擬沿海地區過度的人為開發會導致地層下陷的實驗
實驗七、 模擬沿海地區過度人為開發導致地層下陷及不穩定的實驗

放重物 g	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
接觸面積 × 100cm ²	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283
砂面壓力 100g w/cm ²	0.691	1.382	2.072	2.763	3.485	4.176	4.867	5.558	6.280
砂面下陷 cm	0	0.2	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0
傾斜角度 ⁰	0	0	0	0	0	0	0	0	0

圖八-1、 不同建物質量下壓相同接觸面積所形成的砂面壓力及砂面下陷深度的比較



圖八-2、 不同建物質量下壓相同接觸面積所形成的砂面壓力及砂面下陷深度的比較

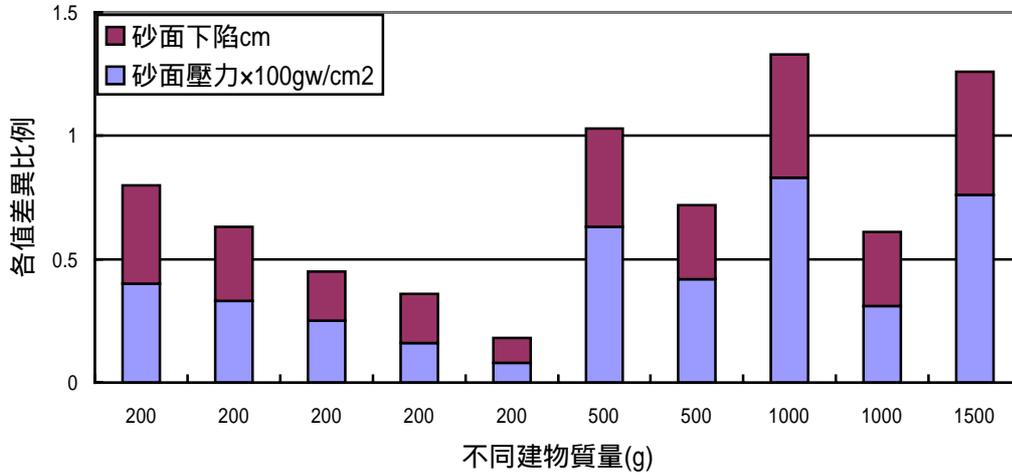


簡易組裝沿海地區地層實驗槽及模擬建物的砝碼

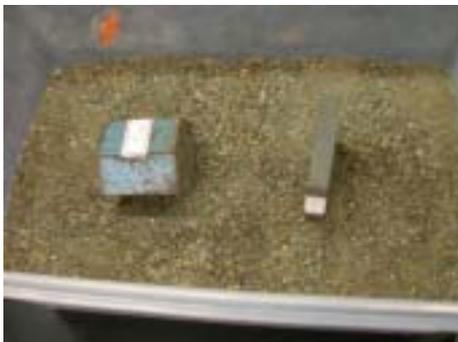
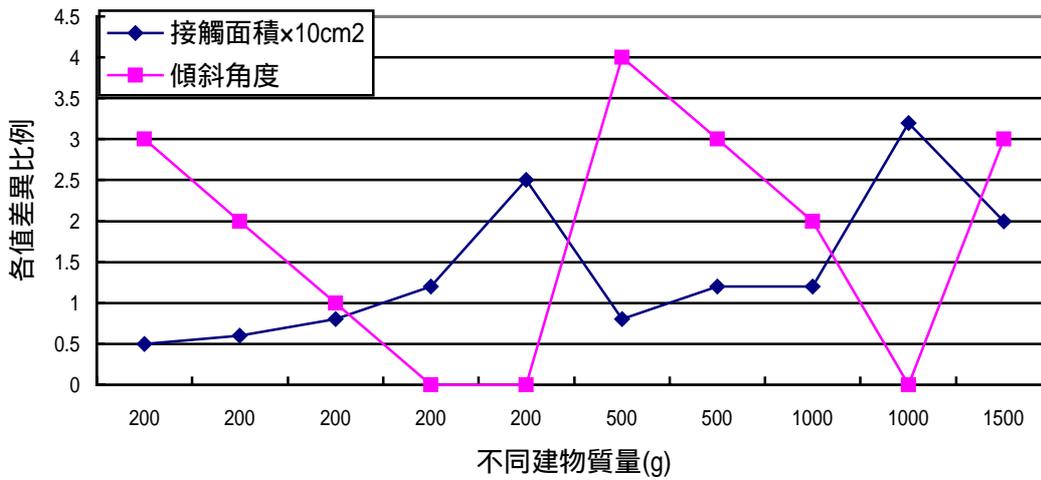


不同建物質量下壓致砂面下陷的實驗
 模擬沿海地區過度人為開發的情形

圖九-1、各建物質質量在不同砂面壓力下及砂面下陷深度的比較

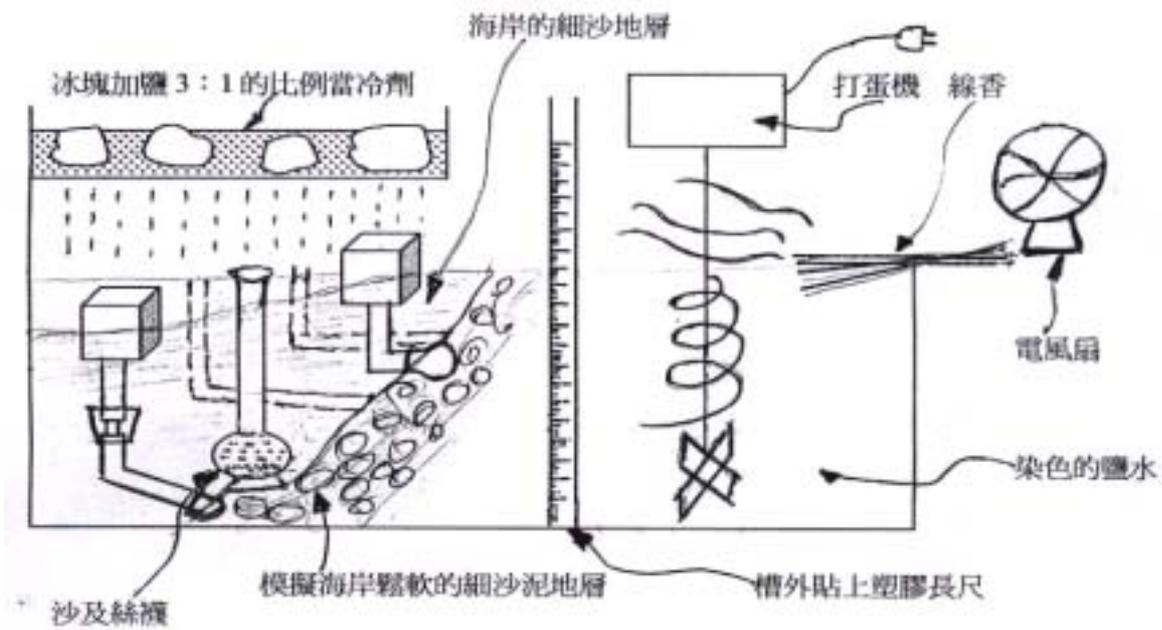


圖九-2、各建物質質量在下壓不同接觸面積時，所形成的不穩定建物傾斜角度的比較



模擬各建物質質量在下壓不同接觸面積下，所導致地層下陷及不穩定(建物傾斜)的實驗

(五) 模擬沿海地區地層下陷、海水倒灌、排水不易的實驗
 實驗八、模擬沿海地區地層下陷、海水倒灌、排水不易的實驗



模擬沿海地區狂風下雨、海水倒灌的模型箱



以酒精燈加熱刀子



熱刀子很輕易的切割保麗龍



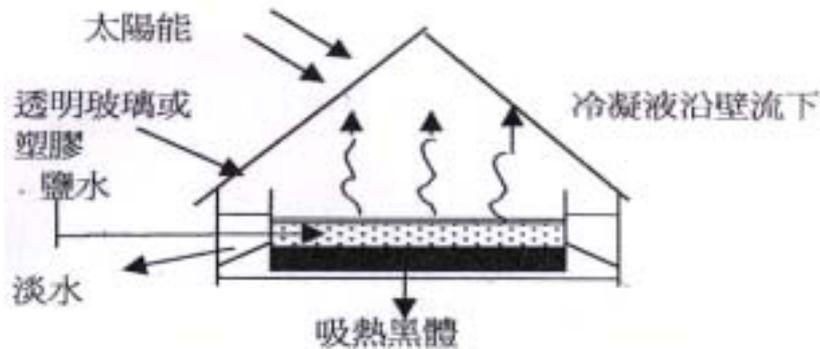
沿海地區模型箱的底座大致完成



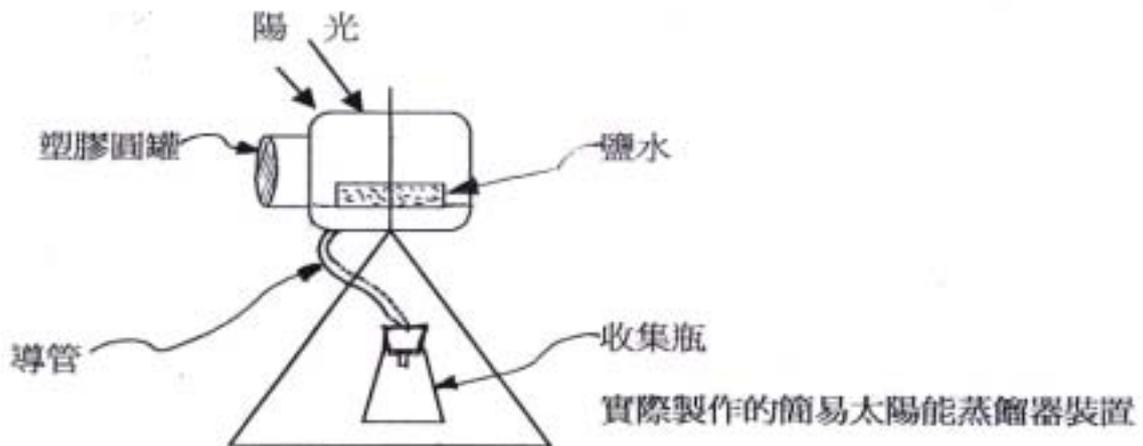
埋設三種規格的排水管

【另有多張模擬沿海地區狂風又下雨，致海水倒灌、排水不易的圖片如現場所示。】

(六) 設計農地鹽化的處理再生及簡易海水淡化的實驗
 實驗九、鹽水變淡水的簡易太陽能低壓蒸餾法設計



【參考簡易型的太陽能蒸餾器圖示】



簡易太陽能蒸餾器正照光時

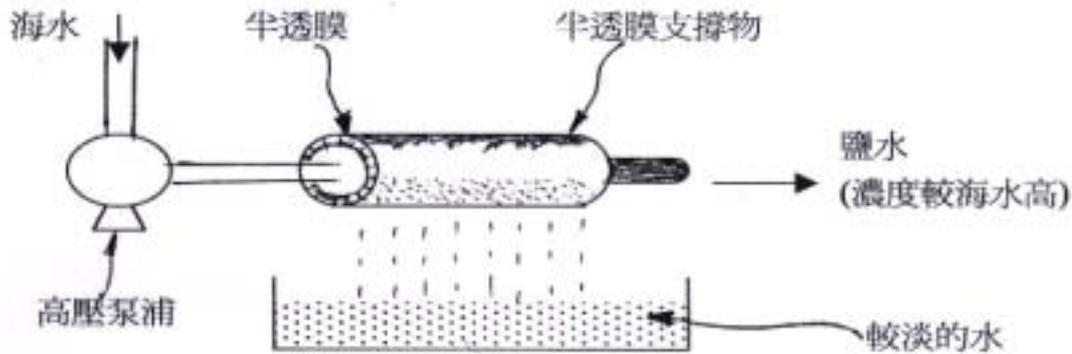


水蒸氣在圓筒壁頂凝結成水滴

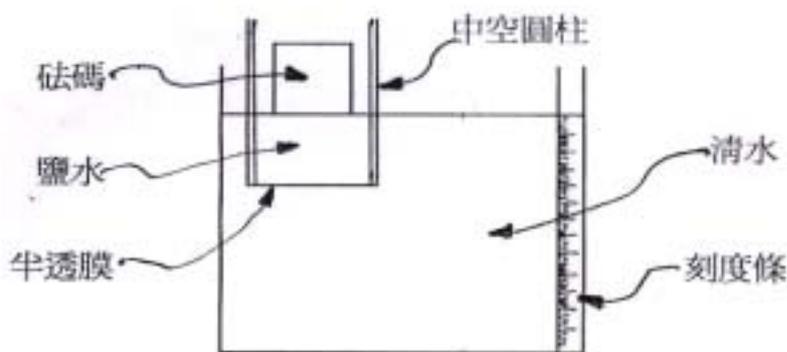


水滴順著筒壁下滑至集中瓶內

實驗十、了解以逆滲透法將海水淡化的簡易裝置設計



【參考逆滲透法將海水淡化的簡圖】



【模擬以逆滲透法將海水淡化的製作簡圖】

六、研究結果

1. 實驗一：清水對照組的綠豆生長情形良好，除了 0.1M 的鹽水濃度生長情形遲緩外，其他超過 0.1M 鹽水濃度的綠豆芽生長情形均被抑制，而活不過第四天以上就開始發臭了。
2. 實驗二：所有被鹽化的水質都無法使小白菜發芽，清水對照組的小白菜的發芽率卻達 100%。
3. 實驗三：用三用電錶測出鹽水濃度愈高，電阻值愈小，顯示溶液較易導電，濃度愈低，電阻值愈大，顯示溶液較不易導電。
4. 實驗四：凹型管右側鹽水的密度愈大，其高度就愈小，故與左側清水的高度差距愈大。
5. 實驗五：鹽水的濃度愈高，滲透的速度愈大，表示左右兩側高度回復到平衡的時間越短。
6. 實驗六：顆粒大小為：中礫石層 > 細石層 > 細砂泥層，在各砂石層高度及佔有圓柱體積均相同的情形下，總含水量多寡為：中礫石層 > 細石層 > 細砂泥層，由此顯示，各石層的總空隙量大小為：中礫石層 > 細石層 > 細砂泥層。依序撤除各孔的塞子，比較其總出水量時，細石層 > 中礫石層 > 細砂泥層。
7. 實驗七：建物質愈大，壓力愈大，所以砂面下陷的深度愈明顯，建物傾斜的角度也愈多，而建物接觸面積愈大，壓力愈小，則建物傾斜的角度也愈少；反之亦然！
8. 實驗八：這個實驗裝置在電風扇(狂風)、打蛋機(掀起巨浪)下，可造成海水倒灌的情形；點燃線香的白色煙霧(可使水蒸氣遇冷易凝結成水滴的晶核)被吹至濕氣重的冷劑下方，可以凝結成水滴而模擬下雨的情形；放置重物模擬人為過度的開發致地層下陷而發生排水不良的積水情形。
9. 實驗九：將自製簡易的太陽能蒸餾器置於太陽光下，日曬一天後，可以觀察到收集瓶內已

有淡水餾出，並以三用電表測其電阻大小亦與去離子水無異。

- 10.實驗十：模擬以逆滲透法將海水淡化的製作，很不易觀察出明顯的清水高度變化，我們可能是加的砝碼重量不夠，也找不到更合適的砝碼了。

七、討論

- 1.實驗一：清水對照組的綠豆生長情形良好可知，我們自製的水耕容器設計上及綠豆的栽培步驟上都沒有問題。
- 2.實驗二：凡鹽化的水質栽培小白菜發芽率的生長情形，結果均更慘！由此可知農地被海水倒灌後，鹽化的土壤真的不能再直接耕種了。
- 3.實驗三：為什麼鹽化的土壤不能再耕種呢？我們問生物老師得知，應該是滲透現象使植物脫水而死。鹽是強電解質，所以我們可藉由測量被鹽化後水質的電阻大小，來了解土壤鹽化的情形。
- 4.實驗四：實驗測得兩側高度差均比計算求得兩側高度差還要小，由此顯示鹽水的確會入侵清水(模擬海水侵入地下水位)的結果。我們也發現抽清水(模擬抽地下水)時，鹽水濃度愈高滲入淡水的速率愈大，高度差愈大。
- 5.實驗五：這顯示在臨海地區若抽取地下水，會破壞液壓的平衡，且為回復到液壓平衡的狀態，會迫使海入侵地下水層，且抽得愈多，入侵的速率愈快！
- 6.實驗六：第一次注水時各砂石層的表面對均無影響，但細砂泥出現了凹陷的現象，由此顯示，乾的細砂泥層的土壤結構較鬆動，一旦有水的存在，空隙中的空氣不能溶於水，就被水排開了，這時空氣密度小會往上跑，而細砂泥地層因受地球重力作用而下陷。從第一次進水到第一次放水，各石層的能含水量是細砂泥層 > 中礫石層 > 細石層，這顯示細砂泥層的排水相當不易，而中礫石層因石頭內有一些空隙可以留住水，所以排第二所致。從第一次放水到第二次進水，各石層的能回補的水量是中礫石層 > 細石層 > 細砂泥層，再次顯示細砂泥層(模擬沿海地區的淺層地層)的補注進水相當不易，一旦超抽地下水讓地層下陷，就很難恢復！更糟糕的是，只要一撤水量，細砂泥層就會地層下陷，顯示細砂泥層(模擬沿海地區的淺層地層)實在應嚴格禁止超抽地下水。
- 7.實驗七：理化第一冊第六章，計算固體壓力時， $P = F/A$ ，不同建物質下壓相同接面積所形成的砂面壓力是質量愈大，壓力愈大，所以砂面下陷的深度愈深。
- 8.實驗八：這個實驗裝置的警示意味很濃！可以觀察沿海岸的魚塭或農民種植農作物而過度抽取地下水讓鹹水入侵的情形、模擬下雨的情形、在狂風大作，豪雨傾洩而下，海水倒灌，卻因人為過度的開發而發生排水不良的積水情形，我們希望能藉由此裝置，讓所有人看到生活在沿海岸的居民所飽受的水患之苦。
- 9.實驗九：利用實驗室現有材料及回收紙板、塑膠圓筒，做出簡易的太陽能蒸餾器並不困難哩！所以建議可以將我們的設計當 DIY 實驗教材的參考。
- 10.實驗十：根據老師計算滲透壓的大小，如以 0.01M 的鹽水為例，在室溫 27℃ 下，滲透壓 = $0.01 \times 0.082 \times 300 = 0.246 \text{ atm}$ ，而 $W(\text{gw})/10\text{cm}^2 = 0.246 \times 1033.6 \text{ gw/cm}^2$ ，等於 10cm^2 的半透膜上須放 2543g 以上的重物壓鹽水，才会有鹽水中的水逆滲透至外層的大燒杯中，而且隨鹽水的濃度增加，下壓重物須愈重才可以！

八、結論

- 1.我們以研究一【用鹽水作水耕栽培以了解鹽化的水質農作物生長情形】來模擬被鹽化的農地上作物的生長情形，結果證實鹽化的土壤真的不能再直接耕種了，一定得去鹽不可！若不處理這些鹽化的農地，農民只好被迫休耕，生計當然大受影響了。
- 2.【水壓平衡原理設計了解超抽地下水會導致海水入侵、地下水鹽化的實驗】顯示在臨海

地區若抽取地下水，會破壞液壓的平衡，且為回復到液壓平衡的狀態，會迫使海入侵地下水層，且抽得愈多，入侵的速率愈快！

- 3.我們以研究三【模擬沿海地區超抽地下水會導致地層下陷的實驗】結果模擬沿海地區的細砂泥層在注水時細砂泥出現了凹陷的現象，由此顯示，乾的細砂泥層的土壤結構較鬆動，一旦有水的存在，空隙中的空氣不能溶於水，就被水排開了，這時空氣密度小會往上跑，而細砂泥地層因受地球重力作用而下陷而其他的中礫石層及細石層的表面均無影響。
- 4.在排水方面，細砂泥層的排水相當不易，出水速率過慢而小得可憐！想像沿海農民，如果沒有良好的排水設備，那一旦開始積水的話，那可真是會積久不退了。
- 5.各石層能回補的水量是細砂泥層最少(模擬沿海地區的淺層地層)的補注進水相當不易，一旦超抽地下水讓地層下陷，就很難恢復！只要一撤水量，細砂泥層就會地層下陷，顯示細砂泥層(模擬沿海地區的淺層地層)實在應嚴格禁止超抽地下水。
- 6.研究四【模擬沿海地區過度的人為開發會導致地層下陷的實驗】，結果由不同建物質量或接觸面積都顯示，沿海地區過度的人為開發會導致地層下陷、建物傾斜不穩定的情形。
- 7.海水倒灌的主因之一是「盜抽地下水而地層下陷」所致，不去嚴格制止或以『柔性工法及離岸堤 等整合性海岸保護工法』防治（參考永續的鑽石海岸 P75~79），卻每年一再加高築堤，治標應不是最好的方法。我們以研究五【模擬沿海地區地層下陷、海水倒灌、排水不易的實驗】所製作警示意味濃厚的模型箱，可以觀察沿海岸的魚塢或農民因過度抽取地下水、過度的人為開發，如此人禍再加上來個豪雨傾洩、狂風巨浪的天災，而發生鹹水入侵、海水倒灌、排水不易的情形，才是農民永無休止的噩夢！
- 8.我們以研究六【設計農地鹽化的處理再生及簡易海水淡化的實驗】做出鹽水變淡水的簡易太陽能低壓蒸餾法設計，目的在於宣導沒有解決不了的問題，農民與其消極的等待天災後政府的補助而自怨自艾，不如配合政府、防患未然，積極的謀求合理生存的解決之道！

九、參考資料

- 1.召集人：歐善惠 編著：許泰文、張憲國『永續的鑽石海岸』初版 經濟部水資源局，民 90
- 2.國中地球科學課本及國中理化課本
- 3.本校歷屆科展作品
- 4.第二十~三十屆國中組地球科學科優勝科展作品
- 5.環境地質學 潘國樑 編著地景企業股份有限公司
- 6.台灣沿海重要養殖區水質調查及研究 台灣沿海重要養殖區歷年水質之統計分析 委託單位：行政院農業委員會 執行單位：逢甲大學水利工程學系
- 7.經濟部水資源局 地層下陷區土地特性之調查
- 8.網站資料 離島海水淡化處理技術與發展趨勢 林傳鑑 技師
<http://www.ecivil.com.tw/popular/90-05-06.htm>
9. <http://www.ilan.gov.tw/tonshan/map1.htm>
台西及麥寮地區的地層下陷
- 10.莊文星 失落的地平線