

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 化學科

050208

以多孔洞材料吸附海水中離子之研究

學校名稱：國立屏東女子高級中學

作者： 高二 劉悅庭 高二 張益絃	指導老師： 許瑋育
-------------------------	--------------

關鍵詞：孔洞材料、銀離子、海水淡化

壹、摘要

本研究中，首先找出海水鹽度的最佳測定方式，再使用了多孔洞材料進行海水中離子吸附，並以簡易針筒取代傳統層析管，降低成本並增加攜帶便利性。實驗中發現多孔洞材料中孔洞材料的吸附效率較高，由於孔洞材料表面可藉由酸化前處理使其帶正電荷以提升離子吸附量，並探討溫度、時間、溶液種類及濃度等變因的影響找出最佳化結果。除此之外孔洞材料也可透過離子交換增加吸附能力，利用鹽化前處理將孔洞材料孔洞填入鈉離子後再與銀離子進行交換，提升吸附力。從實驗結果中，我們得知酸化與鹽化前處理的機制雖然不同，但都能有效降低海水鹽度，且與市售陽離子交換樹脂比較，淡化海水的功能大幅提升。期望能藉此基礎在未來開發便利且低成本的海水淡化法。

貳、研究動機

臺灣由於特殊的地理因素，即使降水量是世界平均的 2.5 倍，人均用水量卻只有世界平均的 0.18 倍，再加上氣候變遷日益嚴重，臺灣水庫連年爆出面臨歷年最低水量的噩耗，身為海島國家，若能利用周遭海水，也許能改善此嚴重的民生問題，因而對海水淡化的方法及應用產生興趣，希望能藉由此研究更了解相關科技及原理運用，進而改良市面上產品。

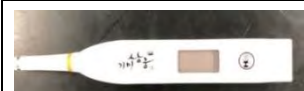




參、研究目的

- 一、測試鹽度最佳量測方式。
- 二、孔洞材料及分子篩無處理時淡化效果比較。
- 三、酸化孔洞材料淡化效果比較。
- 四、鹽化孔洞材料淡化效果比較。
- 五、鹼化孔洞材料淡化效果比較。
- 六、淡化效果最佳化比較。
- 七、孔洞材料淡化機制。
- 八、研發出新型淡化海水材料。

肆、研究設備及藥品

- 一、研究設備：刮勺、鑷子、滴管、玻棒、樣品瓶、濾紙、廣用試紙、層析管、鋁箔紙、磁石、乳膠手套、容量瓶(500、250、100mL)、燒杯(50、100、150、250、500mL)、量筒(100、50、25、10mL)、電子天秤、烘箱、秤量紙、鐵架、通風櫥、三用電錶、脫脂棉、



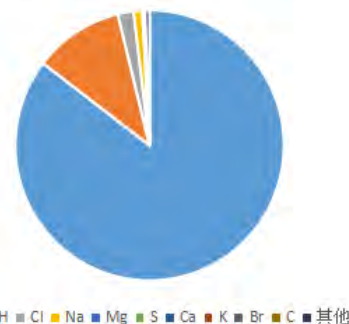
				
鹽度計	曲折度計	針筒 25 mL、10 mL	pH meter	貴級用多功能測量器

二、藥品

							
陽離子交換樹脂	無水硫酸鈉 (Na ₂ SO ₄)	孔洞材料	六水氯化鎂 (MgCl ₂)	分子篩	氯化鈉 (NaCl)	氯化鈣 (CaCl ₂)	硝酸銀 (AgNO ₃)

伍、研究過程及方法

地球海水元素構成百分比



一、海水成分分析

(一)目的：得知海水成分，了解淡化海水欲除去之離子，海水組成成分複雜且以離子化合物占比最高，而氯化物更是所有化合物中最多的，占海水中的 19.3%。

(二)以下為我們查尋之海水元素百分比：

圖一：海水元素構成百分比

元素	O	H	Cl	Na	Mg	S	Ca	K	Br	C	其他
百分比	85.4	10.8	1.9	1.05	0.135	0.0885	0.04	0.038	0.0065	0.0026	0.5394

二、海水中鹽度

(一)定義：ICES 提出的定義為：「每一千克的水內，將溴和碘化物計算為氯化物，將碳酸鹽計算為氧化物，將所有有機化合物計算為完全氧化的狀態，溶解物質的克數。」

(二)計算方式：

- 1.將溴、碘化物計為氯化物、碳酸鹽計為氧化物，而有了根據氯離子含量而推算出的鹽度公式： $S (\%) = 0.03 + 1.805Cl (\%)$ 。而根據鹽度公式，可以透過測量海水氯度推算鹽度，所以我們希望進行銀離子滴定實驗，透過反應式： $Ag^+ + Cl^-$

=AgCl，得出氯化銀沉澱量，換算氯離子濃度，再透過氯度公式換算鹽度。

2.實用鹽度 (Practical Salinity Unit, PSU) 定義：指利用導電度的測量方法，在定溫下測得海水樣本與國際海洋物理科學協會認可之標準海水的導電比。而導電度定義為將電流通過 1cm^2 截面積，長 1cm 之液柱時電阻之倒數單位為 mmho/cm ，並可測量海水導電度，再透過實用鹽度公式推算出食用鹽度。

$$S = 0.0080 - 0.1692 R_t^{0.5} + 25.3851 R_t + 14.0941 R_t^{1.5} - 7.0261 R_t^2 + 2.7081 R_t^{2.5} + \Delta S$$

$$\Delta S = [(t - 15) / (1 + 0.0162(t - 15))] + 0.005 - 0.0056 R_t^{0.5} - 0.0066 R_t - 0.0375 R_t^{1.5} + 0.636 R_t^2 - 0.0144 R_t^{2.5}$$

圖二：食用鹽度公式 (t 是攝氏度)

3.折射率：利用曲折度測量溶液之折射率，再透過折射率與鹽度換算公式求鹽度。

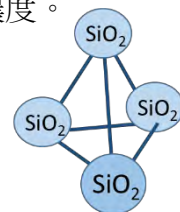
三、多孔洞材料特性

(一)分子篩：

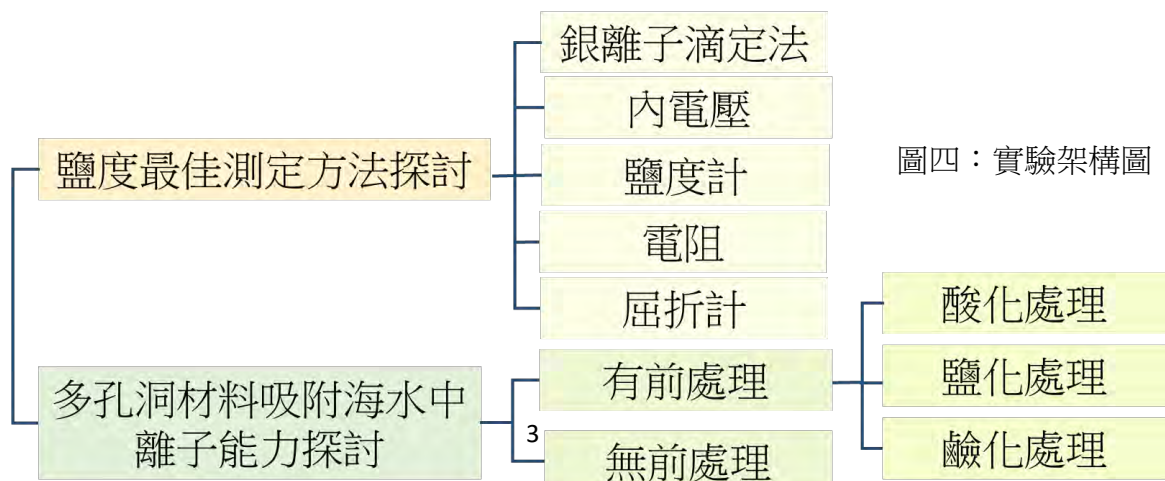
- 1.定義：是一種具單一孔徑的多孔材質，主要由矽、鋁、鎳、鍺、鋅、鈹等等四面體配位的原子之結晶氧化物構成，可吸附特定的液體或氣體，常使用於乾燥劑。
- 2.實驗設計：當目標分子進入孔洞中，分子篩上的金屬離子對於極性大的分子產生作用力，吸附目標分子。因此可利用其吸附海水中離子，降低離子濃度。

(二)孔洞材料：

圖三：孔洞材料結構圖



- 1.定義：主要為二氧化矽為主體的正四面體結構之多孔洞材料。
- 2.實驗設計：由於製作過程使其孔洞中含有少許陽離子，所以當過濾時，離子通過孔洞，海水中陰離子被吸附，降低海水中離子濃度。



圖四：實驗架構圖

陸、實驗結果與討論

研究一、鹽度測定比較

目的：使用不同的鹽度測定方式，以求出最佳的鹽度檢測方法。



圖五：氯化銀沉澱

實驗一、銀離子滴定法

(一)目的：使用硝酸銀進行滴定，以測試能否精準測量鹽度。

(二)步驟：取海水 25mL，用硝酸銀滴定至沈澱產生，烘乾。

(三)實驗結果：為灰紫色片狀沉澱物，有細微粉末，沈澱物含量大約為 3g。

(四)討論：

- 1.沉澱物質顏色為灰紫色與氯化銀顏色有明顯差異，由於海水是由多種不同離子所組成，其成分較為複雜，因此沉澱物質可能不是純的氯化銀。
- 2.氯化銀和氧氣反應產生氧化作用，導致無法準確測量氯化銀質量。
- 3.進行銀離子滴定氯離子時通常會在溶液中加入鉻酸鉀，因為在所有氯離子和銀離子反應完後，會生成紅色的鉻酸銀判斷滴定終點，但由於作為滴定指示劑的鉻酸鉀有毒並容易危害環境，所以對於是否為滴定終點無法判斷。
- 4.我們認為此方法容易受到海水中其他離子影響實驗結果，無法精確檢測鹽度。

實驗二、屈折計測量

(一)目的：使用屈折計檢測不同濃度化合物之折射率，以測試能否精準測量離子濃度。

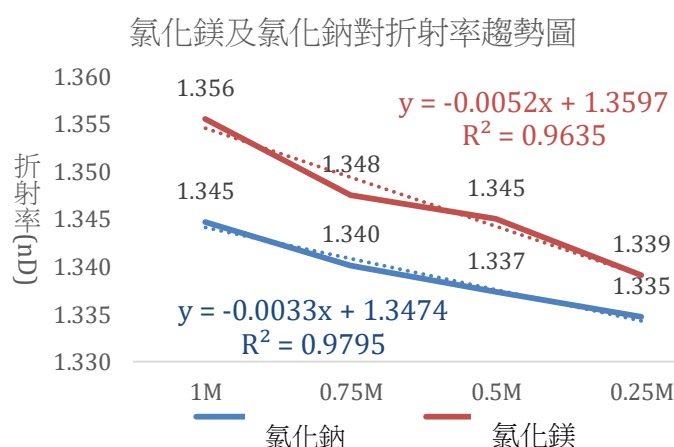
(二)步驟：1.取蒸餾水滴入屈折計，觀測並進行校正。

2.擦乾後，用滴管滴入約 3mL 不同濃度之化合物，並進行觀測。

(三)實驗結果：

圖六：氯化鎂及氯化鈉對折射率趨勢圖

氯化鈉及氯化鎂的濃度和折射率趨勢呈現正比關係，濃度越高，折射率越高。⁴



(四)討論：從數據來看，氯化鈉和氯化鎂之數據大約為等比關係，證明溶液中之離子濃度和折射率具固定比例，因此可知離子濃度和粒子數成正比的線性關係。

實驗三、鹽度計測量

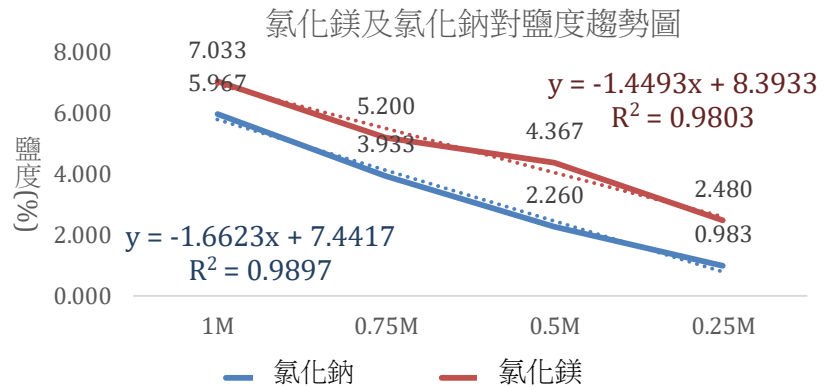
(一)目的：使用鹽度計測量不同濃度離子化合物之鹽度，以測試能否精準測量鹽度。

(二)步驟：將鹽度計測量部分用蒸餾水沖洗擦乾，將待測物倒入 50mL 燒杯並測量鹽度

(三)實驗結果：

圖七：氯化鈉及氯化鎂濃度對鹽度趨勢圖

兩者的趨勢皆顯示濃度和鹽度呈現正比關係，濃度越高，鹽度越高。



(四)討論：氯化鈉解離方程式： $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ 。氯化鎂解離方程式： $\text{MgCl}_2 \rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2\text{Cl}^-$

從溶液中得知氯化鎂離子總數高於氯化鈉，氯化鈉鹽度在0.5M為2.26，1M為4.367，基本為兩倍關係，而氯化鎂鹽度在0.5M為4.367，1M為7.033，也幾乎為兩倍關係，因此得知鹽度和離子濃度為等比關係，所以可精準測量鹽度。

實驗四、內電壓測量

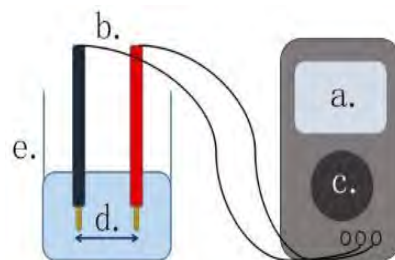
(一)目的：使用三用電錶檢測不同濃度離子化合物之內電壓，以測試能否精準測量鹽度。

(二)步驟：1.取 50mL 燒杯倒入不同濃度的離子化合物。

2.將三用電錶調至電壓 20 伏特檔位，固定兩探棒間距為 1.5cm 後測量。

圖八：內電壓測量示意圖

- a.三用電錶、b.探針、c.檔位：200k Ω 、
d.探針間距：2.5 公分、e.燒杯

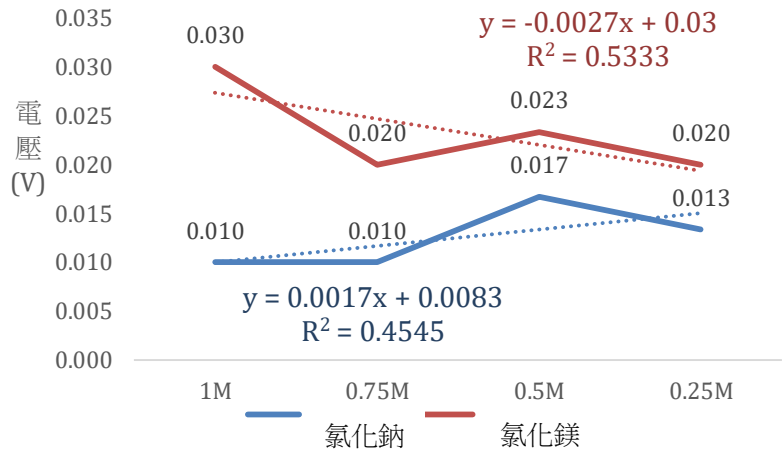


(三)實驗結果：

圖九：氯化鈉及氯化鎂濃度對內電壓趨勢圖

由測量趨勢得出氯化鈉之濃度越高，內電壓越低，氯化鎂之濃度越高，內電壓越高。

氯化鎂及氯化鈉濃度對內電壓趨勢圖

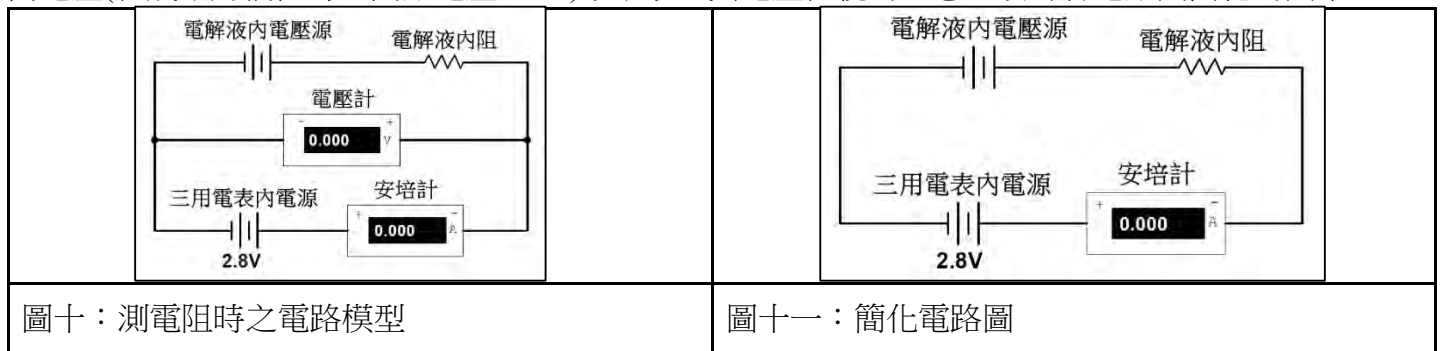


(四)討論：

- 1.由於三用電錶與溶液間的電路為封閉迴路，亦無外接電池，故三用電錶所測得的電壓為離子化合物溶液之內電壓。
- 2.離子化合物解離會產生陰離子與陽離子，電子的移動使電路產生電壓，所以濃度越大的離子化合物溶液，產生的電壓越大。
- 3.化合物溶液內皆同時存在內電阻與內電壓由柯西荷夫定律可以知道，因為溶液內阻與溶液內電壓源為串接，我們將測得比溶液內阻更低的阻值。為了校正此誤差，我們希望使用本實驗所測得的電壓值來計算溶液實際的電阻。

如何校正溶液電阻測值：

下圖十為量測電阻時之電路模型(將三用電錶電阻量測部分展開)，由於量測電阻時三用電錶將提供一內電壓(在幾歐姆檔位時，開路電壓 2.8V)予溶液，其電壓值視為理想，故可將電路圖簡化為圖十一。



其中此三用電錶之提供電壓為 V_t 、溶液內實際電壓為 V_w 、電流為 I_t 、實測電阻為 R_t 、溶液之實際內阻為 R_w 。

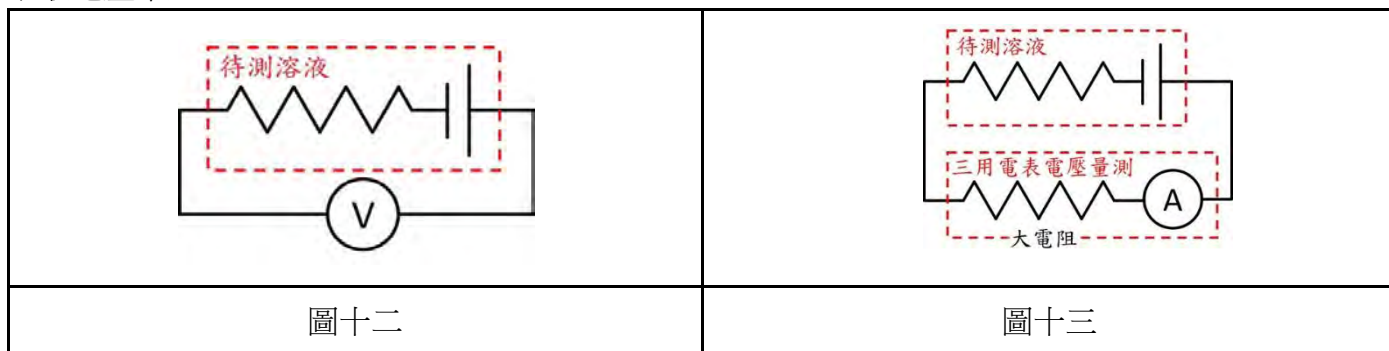
步驟：

1.計算 V_t 與其他參數的關係

$V_t = R_w I_t - V_w$ ，其中 $I_t = V_t / R_t$ (因由 V_t 供電)，得 $V_t = R_w (V_t / R_t) - V_w$ (...第 1 式)

2.將 v_t 帶入第一式

以三用電錶電壓檔位量測電壓，其電路圖如圖十二，電壓計係由高電阻與檢流計串聯而成(如圖十三，由於電壓計之高電阻與溶液之內電阻相差甚遠，因此溶液之內電阻可以忽略，我們可將此實驗測到的溶液電壓帶入 V_t



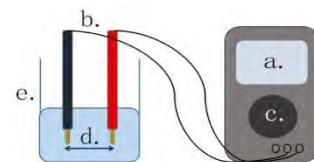
3.綜合第一步與第二步我們可以得到 $R_w = R_t + (V_w R_t) / V_t$ ，其中此方程式右邊為已知，在往後的實驗中，我們將可以此式校正所量測到的電阻值。

實驗五、電阻測量

(一)目的：使用三用電錶檢測不同濃度離子化合物之電阻，以測試能否精準測量鹽度。

(二)步驟：1.取 50mL 燒杯倒入不同濃度的離子化合物。

2.將三用電錶轉至 200k Ω ，固定兩探針間距為 1.5cm 後測量。



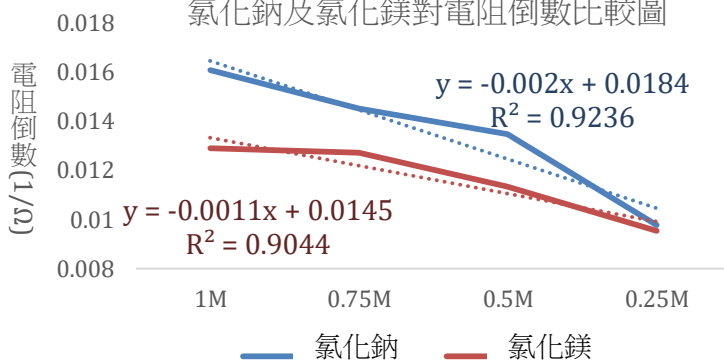
圖十四：電阻測量示意圖

(三)實驗結果：

a.三用電錶、b.探針、c.檔位：200k Ω 、d.探針間距：2.5 公分、e.燒杯
氯化鈉及氯化鎂對電阻倒數比較圖

圖十五：氯化鈉及氯化鎂濃度對電阻倒數趨勢圖

由測量趨勢得出氯化鈉之濃度越高，電阻倒數越低，氯化鎂之濃度越高，電阻倒數越高。



(四)討論：不論是以氯化鈉或氯化鎂作為待測溶液，濃度越高時，溶液中所含的離子數目

會越多，所以導電度會越好，而前述導電度的定義為電阻倒數，因此電阻倒數與離子

濃度呈正比，亦可說明濃度和導電度呈正比。

(五)問題：

1.三用電錶雖容易取得且便於操作，但由於量測溶液濃度較小，測量之電壓不穩

定，數據時常跳動，使紀錄的紀錄之數據變動大。

2.使用三用電錶測量時，是將待測溶液視為一迴路，在測量時所量測之數值含離子通過機器時產生之電阻，不是精確的溶液電阻，較為無法精確測量鹽度。

3.原本所使用之關於電導度換算鹽度的數據以電阻倒數為換算數據，但由於使之三用電錶所測量之電阻也含有儀器本身的內電阻，不適精確的溶液電阻，所以我們決定改使用電導度計測量，所以延伸進行實驗六。

實驗六、導電度測量

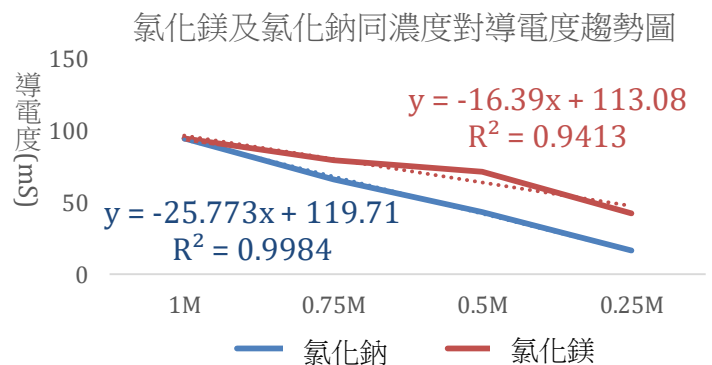
(一)目的：使用實驗用多功能測量儀測量導電度，以檢測能否精確測量鹽度。

(二)步驟：取50mL燒杯倒入不同濃度的離子化合物，並將實驗用多功能測量儀調整電導度模式進行測量。

(三)實驗結果：

圖十六：氯化鈉及氯化鎂濃度對導電度趨勢圖

由測量趨勢得出濃度越高，導電度越高。



(四)討論：由氯化鎂及氯化鈉對導電度趨勢圖可看出，氯化鈉及氯化鎂濃度與導電度皆呈線性關係且1M和0.5M呈現倍數關係，代表其離子濃度和電導度具比例關係，較能精確量測鹽度。

研究二、多孔洞材料對海水吸附離子能力之研究

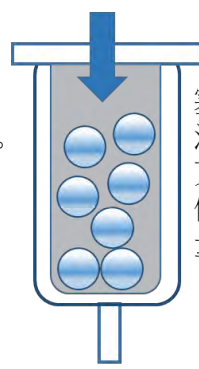
目的：為降低海中離子濃度，所以取多孔洞材料過濾海水，以測試其吸附海水中離子能力。

實驗一、多孔洞材料吸附離子能力

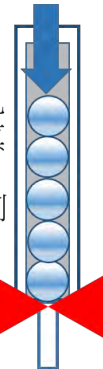
(一)目的：測試孔洞材料及分子篩在無前置處理時吸附海水中離子之效果。

(二)步驟：

- 1.使用層析管：以層析管進行過濾。
- 2.使用針筒：以針筒進行過濾。

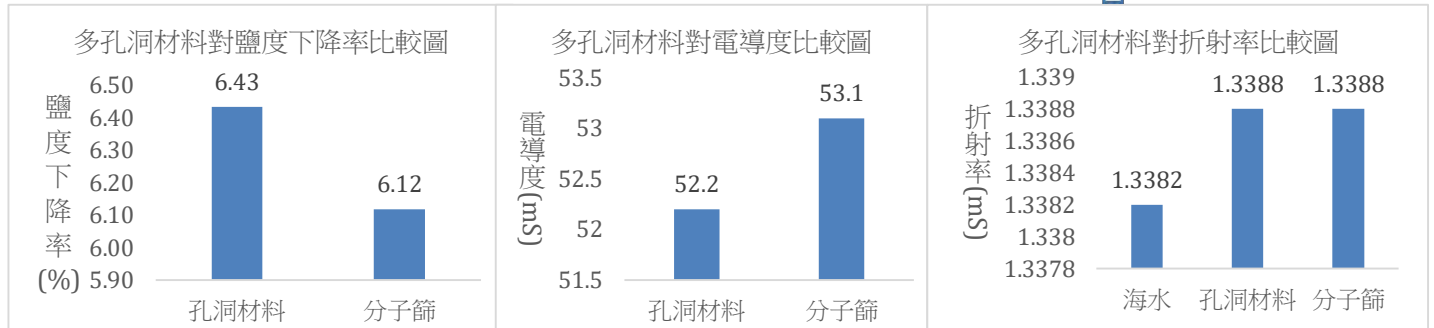


塞入托脂棉後取孔洞材料或分子篩填充至刻度15ml處，倒入25ml海水後測量電阻及鹽度。



塞入托脂棉後取3g的孔洞材料或分子篩到層析管中，倒入25ml海水後測量電阻及鹽度。

(三)實驗結果：



孔洞材料鹽度下降率高於分子篩，且電導度低於分子篩，但兩者之折射率一樣。

(四)討論：

- 1.從數據看孔洞材料能使海水鹽度下降幅度高於分子篩，且所測量出之電導度也低於分子篩，所以我們可以推知經孔洞材料過濾後的海水離子數較少，也就是說相同質量的孔洞材料所能吸附的離子多於分子篩。
- 2.孔洞材料為以二氧化矽為結構主體的正四面體，空隙中含有陽離子，所以過濾海水時，空隙中之陽離子吸附海水中陰離子，使得鹽度下降。
- 3.分子篩的孔洞半徑為400pm，而大部分海水中的離子半徑落在30pm到200pm間，過濾時離子會通過分子篩的孔洞，因為分子篩孔洞中的金屬離子(例：矽、鋁、鎂等)會對離子產生分子間作用力（凡德瓦力或靜電力等等），使海水中的離子能附著於孔洞而鹽度下降。
- 4.不論是經孔洞材料或分子篩過濾後之海水，折射率經換算後皆為1.3388，雖然和海水之折射率(1.3382)不同，但差距僅有0.0002，可能因海水離子成分複雜，抓取的離子對溶液的折射率影響不大，所以無法藉由折射率判斷海水鹽度的比較，因此決定後續實驗不採用此標準。

(五)問題：



(I)改善過濾器材：

- 1.使用層析管進行過濾時，因為學校層析管管徑為 5mm，管徑太細，導致過濾緩慢，且過濾結束後孔洞材料及分子篩取出困難，造成操作上的阻礙。圖十七：針筒及層析管過濾圖
- 2.為了改善層析管操作之不便，我們利用針筒進行過濾實驗，發現針筒能夠改善過濾速度緩慢及過濾後材料不易取出之困擾，所以後續實驗我們決定以針筒進行過濾。

(II)折射率的討論：

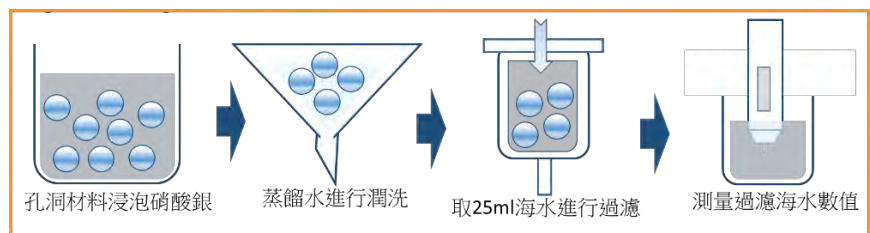
- 1.進行過濾後折射率上升 0.0002，數據差異小，說明以折射率看來過濾後的海水離子改變，並不足以影響光的折射速率。
- 2.不論是經孔洞材料或分子篩過濾後之海水，折射率經換算後皆為1.3388，雖然和海水之折射率(1.3382)不同，但差距小，可能因海水離子成分複雜，抓取的離子對溶液的折射率影響不大，所以無法藉由折射率判斷海水鹽度的比較，因此決定後續實驗不採用此標準。

實驗二、將多孔材料浸泡硝酸銀實驗

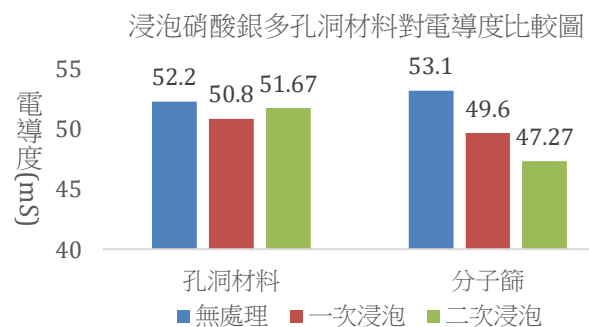
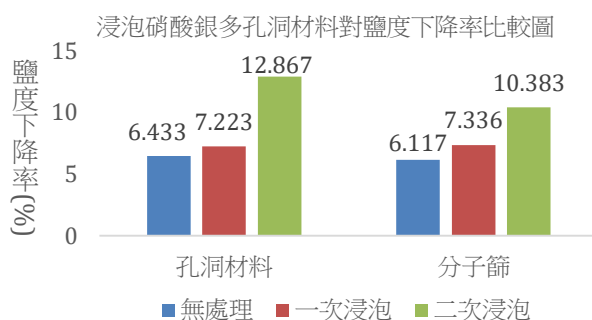
(一)目的：將孔洞材料及分子篩表面攜帶銀離子後增進多孔洞材料吸附海水中離子能力。

(二)步驟：取實驗一過濾後之多孔洞材料，浸泡硝酸銀(如圖十八步驟)，並重複兩次。

圖十八：孔材料浸泡硝酸銀實驗示意圖



(三)實驗結果：



孔洞材料及分子篩過濾及兩次的浸泡硝酸銀實驗，皆使海水鹽度下降，且幅度逐漸提升，從電導數據來看，孔洞材料一次浸泡時電導度最低，而分子篩隨實驗進行電導度逐漸下降。

(四)討論

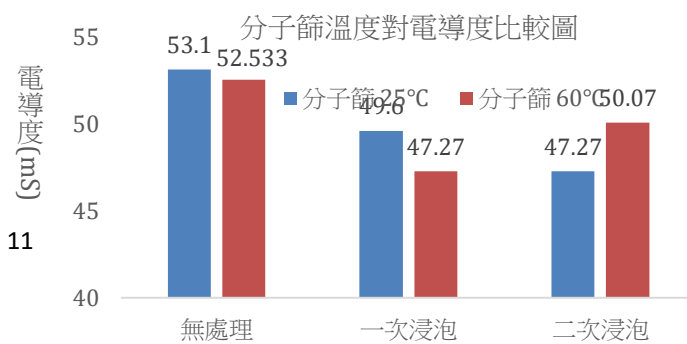
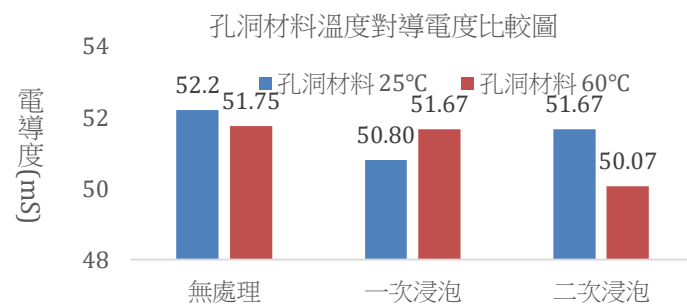
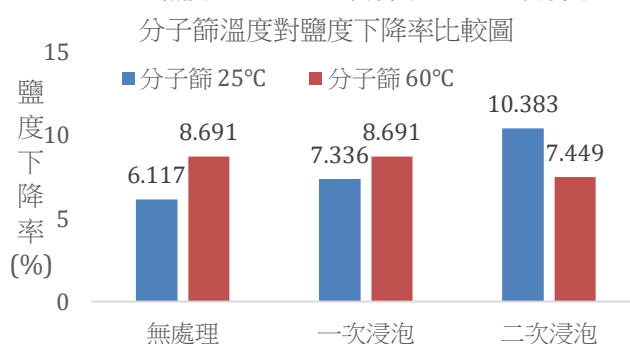
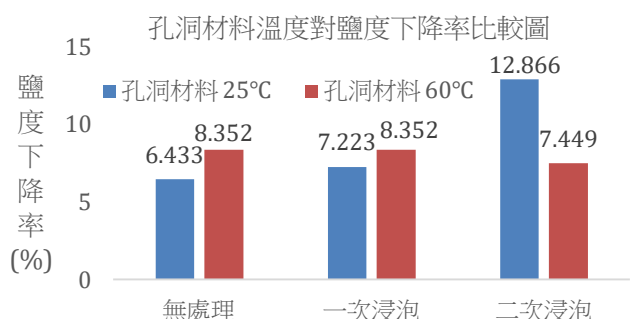
- 1.一次浸泡硝酸銀後，孔洞材料和分子篩皆使海水鹽度下降，且孔洞材料的下降幅度提升 0.79%，分子篩則提升 1.22%，除了海水中的陰離子吸附於孔洞中，因為浸泡在硝酸銀而附著孔洞材料的上銀離子也會跟海水中的氯離子結合使氯離子數減少，因此鹽度較無處理時更低。
- 2.在第二次浸泡硝酸銀時，因已進行兩次海水過濾，使孔洞中能和銀離子交換的陽離子數增加，銀離子吸附量提升，因此過濾海水時，能抓取的氯離子變多，鹽度變得更低。

實驗三、溫度對多孔洞材料吸附海水中離子能力影響

(一)目的：比較不同溫度時孔洞材料和分子篩吸附海水中離子的差異。

(二)步驟：將孔洞材料與分子篩放入 60°C 的烘箱後進行過濾，接著將孔洞材料及分子篩浸泡硝酸銀並放入 60°C 烘箱 24 小時過濾，浸泡硝酸銀實驗重複二次。

(三)實驗結果：



孔洞材料的常溫組於一次浸泡硝酸銀時鹽度下降率較60°C低0.03%，而二次浸泡硝酸銀時60°C的鹽度下降率則較常溫組低0.16%，分子篩的常溫組一次浸泡硝酸銀時鹽度下降率較60°C低1.35%，而二次浸泡硝酸銀時60°C的鹽度下降率較常溫組低2.94%。

(四)討論：60°C 的條件可以提升無處理及一次浸泡實驗的過濾效果，因為溫度提升所以離子移動速度增加，經過多孔洞材料通道的機率上升，因此附著離子數也跟著提升，導致鹽度下降，而二次浸泡時 60°C 的鹽度下降率低於常溫的，是因為 60°C 的多孔洞材料之孔洞在之前已被填滿，能吸附的離子數較少。

研究二結論：

- 1.無處理之孔洞材料和分子篩的確造成鹽度下降，但下降幅度最大為 12.87%，因此我們接著思考假使在多孔洞材料表面製造適當環境是否使其吸附效果更佳，因為海水中氯離子所含的比例最多，所以如果讓孔洞材料帶正電則可以吸附更多氯離子，因此我們想到可以讓孔洞材料浸泡酸性溶液附著正電荷以增加氯離子吸附率，因此接續進行孔洞材料酸化實驗。
- 2.雖然分子篩的鹽度也呈現下降趨勢，但過濾海水時約有 5mL 會被分子篩吸收，且分子篩填充入銀後容易破裂，因為我們使用的分子篩孔洞直徑為 4Å 而銀離子直徑為 2.68Å，所以當銀離子附著時，可能因為通道產生的作用力彼此擠壓而使通道壓力過高產生破裂。
- 3.因分子篩本身特性傾向先吸附水分子而非海水中離子，因此在後續利用孔洞材料進行實驗，並先將孔洞材料浸泡酸性溶液後進行過濾效果的比較後，再進行浸泡硝酸銀之實驗。

研究三、孔洞材料經酸化處理後對海水之過濾效能探討

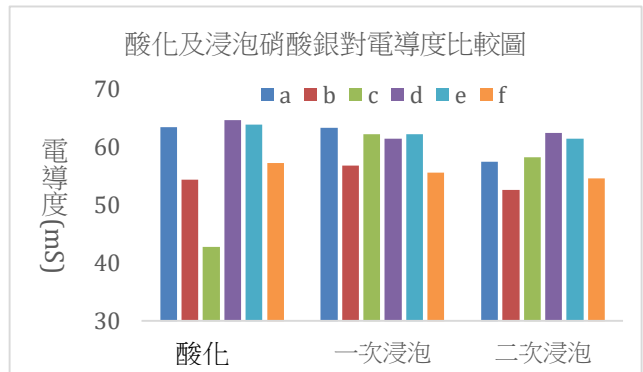
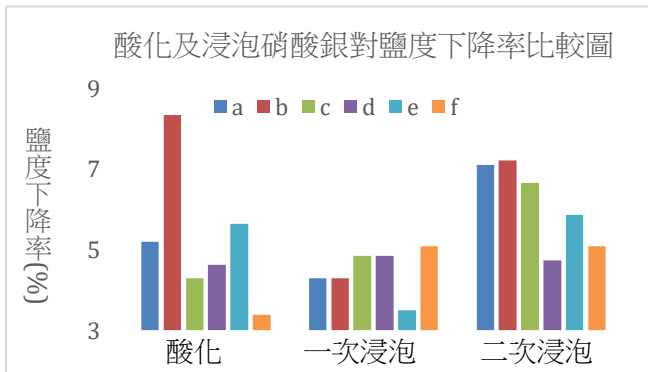
目的：孔洞材料浸泡酸性溶液後，使其表面帶正電，進而增加吸附海水中離子效果。

實驗一、酸化及浸泡硝酸銀實驗

(一)目的：將孔洞材料浸泡不同酸性溶液並接著浸泡硝酸銀，比較孔洞材料吸附海水中離子之效果。

- (二)步驟：1.取適量孔洞材料分別浸泡六種酸性溶液，浸泡 24 小時後潤洗並過濾海水。
- 2.測量過濾後海水導電度及鹽度。
- 3.進行浸泡硝酸銀之實驗並重複兩次。

(三)實驗結果：



■ a：磷酸 ■ b：鹽酸 2M ■ c：硫酸 3M ■ d：甲酸 ■ e：乙酸 ■ f：硝酸 6M

無處理時鹽酸的鹽度下降率最高，硝酸的最低，一次浸泡時，不同酸間差距不大，二次浸泡時都較一次浸泡時提升，而導電度除三次浸泡中都差異不大。

(四)討論：

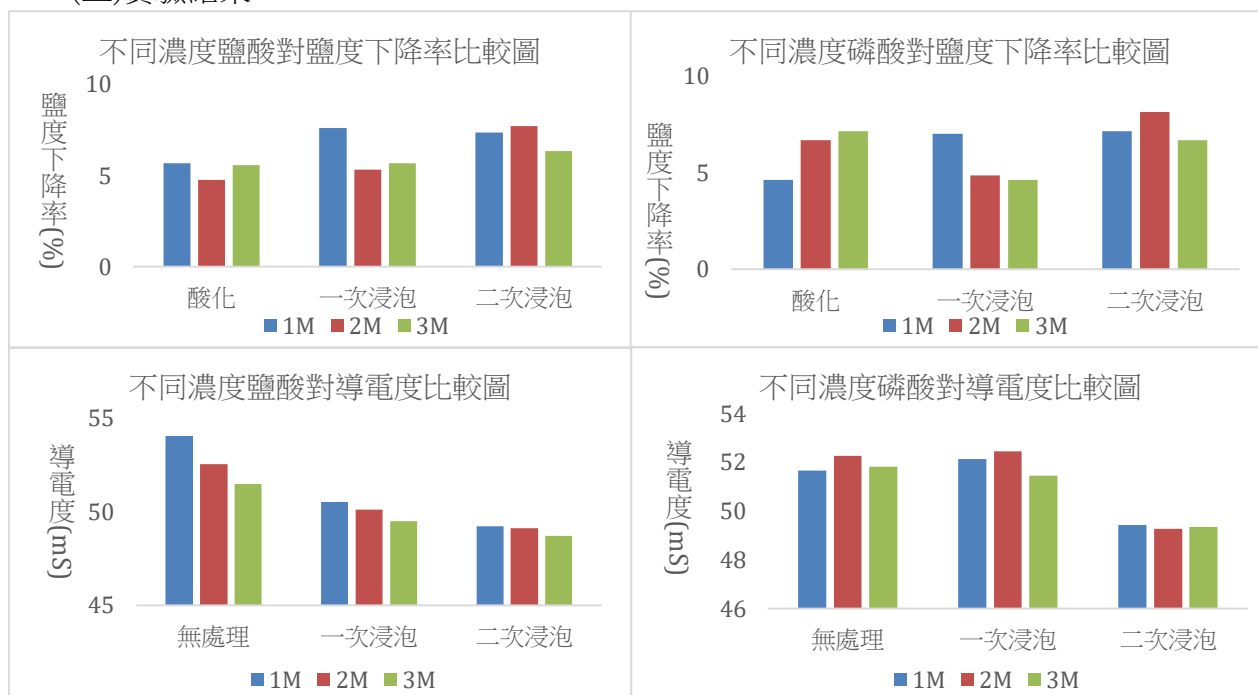
- 1.酸化孔洞材料的鹽度下降率大致落在 4~5%之間，但是硝酸 6M 卻較其他的低，可能是硝酸的濃度太濃，所以破壞了孔洞材料中的晶體結構，導致離子吸附效果下降。
- 2.鹽酸鹽度下降率會較其他的高的原因是因為鹽酸解離度高，所以能讓較多 H^+ 離子附著於孔洞材料，因此在過濾時能吸附更多陰離子。
- 3.一次浸泡硝酸銀時，除硝酸和鹽酸外，其他酸性溶液的鹽度都呈現下降趨勢，會提升的原因可能是因過濾時孔洞中含鈉離子，所以和銀離子交換後，過濾海水時吸附氯離子，使得鹽度下降。

實驗三、濃度對酸化孔洞材料吸附海水中離子能力影響

(一)目的：取淡化效果較佳的鹽酸及磷酸進行對不同濃度的比較。

(二)步驟：將孔洞材料浸泡 1、2、3M 鹽酸和磷酸並進行浸泡硝酸銀實驗。

(三)實驗結果：



鹽酸及磷酸在二次浸泡硝酸銀時 2M 的鹽度下降率都是最高的，而鹽酸的導電度呈現濃度越低導電度越高的趨勢，磷酸的則是除二次浸泡硝酸銀外，2M 皆為最高的。

(四)討論：

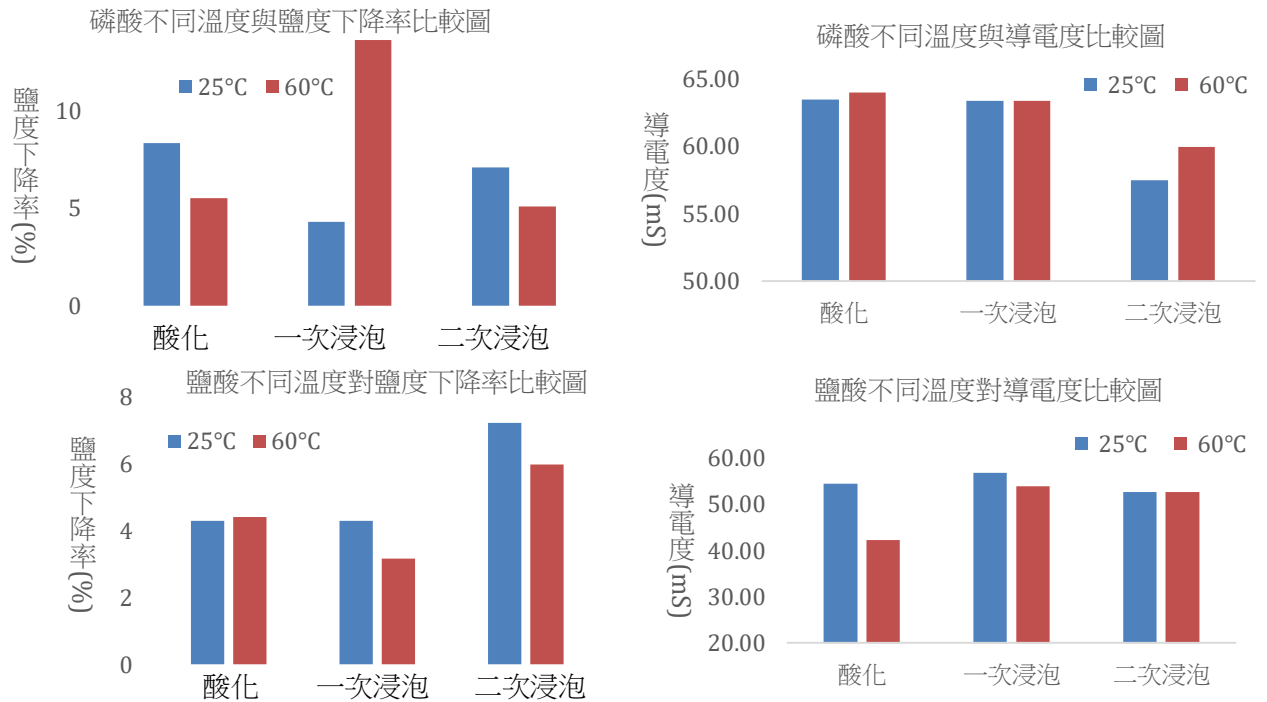
- 1.鹽酸及磷酸的 3M 鹽度下降率低於 1M 及 2M，推測可能是濃度太高，使其表面結構被破壞，能吸附之離子數下降。
- 2.鹽酸導電度隨濃度成反比關係，但經過浸泡硝酸銀實驗後，不同濃度差距縮短，可能是因所實驗之孔洞材料隨著實驗進行過濾海水，能吸附離子之空間逐漸減少。
- 3.兩者效果最好之樣本皆為 2M 二次浸泡硝酸銀，因 3M 濃度過高，而 1M 能吸附的離子少於 2M，所以浸泡 2M 吸附離子的效果為三者最佳。

實驗四、溫度對酸化孔洞材料吸附海水中離子能力影響

(一)目的：比較不同溫度時孔洞材料和分子篩吸附海水中離子的差異。

(二)步驟：孔洞材料浸泡酸性溶液及硝酸銀時放入 60°C 烘箱，並比較與 25°C 的差異。

(三)實驗結果：



由於篇幅問題，只取效果最好之鹽酸及磷酸進行比較。除磷酸一次浸泡的 60°C 及鹽

酸酸化的鹽度下降率高於常溫，其餘的兩者皆低於常溫。而導電度方面，磷酸 60°C

高於常溫，但鹽酸 60°C 則低於常溫。

(四)討論：從兩種溫度的導電度中我們可以發現兩者溫度的差異並不明顯，所以孔洞材

料對導電度較不會受到溫度的影響。

研究三討論：

- 1.將孔洞材料浸泡酸性溶液時，會與孔洞材料產生反應： $M-OH+H^+A^- \rightarrow MOH_2^++A^-$ ，使得孔洞材料表面帶正電，而能抓取陰離子。
- 2.浸泡硝酸銀時，孔洞材料孔洞中因酸化實驗過濾海水而具有海水中之陽離子會和硝酸銀

中的銀離子發生離子交換： $M-OH^+ + C^+ \rightarrow MOC^+ + H^+$ ，讓銀離子能附著於孔洞材料孔洞中，在過濾海水時 Ag^+ 離子和 Cl^- 離子結合，所以鹽度會下降，但因為 MOH_2^+ 濃度較高且海水為鹼性，根據勒沙特烈原理，反應傾向逆反應方向： $M-OH + H^+ A^- \rightleftharpoons MOH_2^+ + A^-$ ，釋出離子，導致電阻下降。

3.二次浸泡硝酸銀時，孔洞材料中的孔洞大部分已被填滿，所以能再吸附的離子減少，鹽度下降幅度和一次浸泡硝酸銀相近，但孔洞材料中已恢復了酸鹼值，所以帶走海水中的氯離子後並沒有釋出其他離子，整體離子濃度下降，電阻上升。

4.從實驗中發現，浸泡硝酸銀的離子附著效果可以提升，因為浸泡硝酸銀時，陽離子會與銀離子產生離子交換，而讓更多氯離子可以吸附，因此我們假設讓孔洞材料提升吸附陽離子，便可增加離子交換的數量，而海水中最多的陽離子為鈉離子，因此我們決定進行浸泡氯化鈉和海水的鹽化實驗。

研究四、孔洞材料經鹽化處理後對海水之過濾效能探討

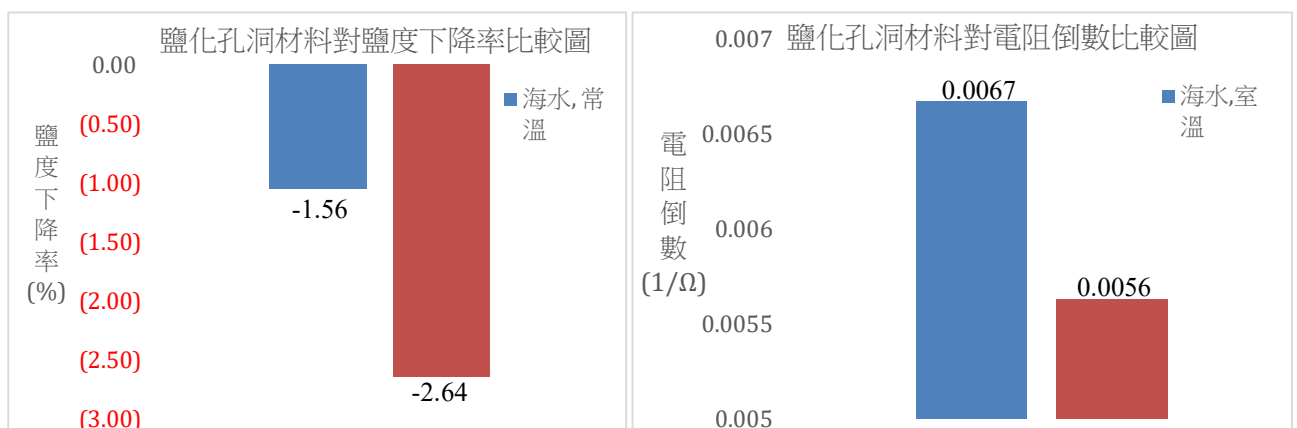
目的：利用海水及氯化鈉溶液中的陽離子提升孔洞材料吸附氯離子能力

實驗一、鹽化實驗

(一)目的：將孔洞材料浸泡海水及氯化鈉溶液，後測試過濾海水之效果。

(二)步驟：取孔洞材料分別浸泡氯化鈉及海水，浸泡 24 小時後過濾並測量導電度及鹽度。

(三) 實驗結果：



以鹽度下降率及電阻倒數而言，海水高於氯化鈉

(四)討論：

1.鹽化時氯化鈉溶液中的鈉離子附著於孔隙內，並使氯離子也吸附於孔洞，但因鈉離子

以金屬離子之吸力吸附於孔洞內，而氯離子則以較弱之分子間作用力吸附於孔洞內並於過濾時溶於濾液，根據鹽度定義，氯離子濃度上升，使得鹽度也上升，同時因為吸附於孔洞內的氯離子溶於氯液，吸附空間增加，海水中陽離子得以吸附於孔隙內，使得過濾後海水導電度下降。

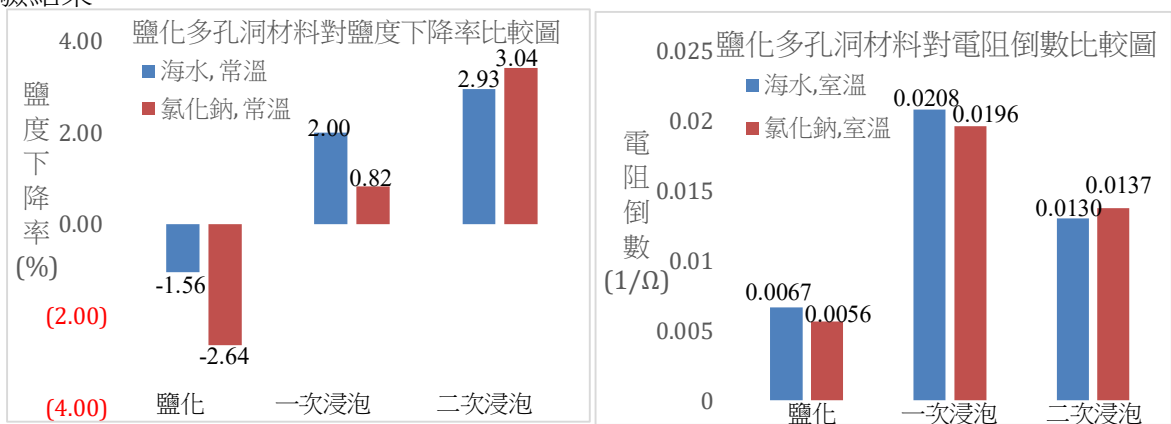
2.海水在鹽化的鹽度下降率及電阻倒數高於浸泡氯化鈉，根據先前的討論，吸附於孔洞內的氯離子因作用力較弱流入濾液，而推測因為海水中氯離子總個數低於 1M 氯化鈉氯離子總個數，因此浸泡海水之孔洞材料在過濾時較少氯離子流入濾液，過濾時也較少海水中陽離子吸附於孔洞內，使得鹽度下降率及電阻倒數較高。

實驗二、鹽化後浸泡實驗

(一)目的：將孔洞材料浸泡海水及氯化鈉溶液後浸泡硝酸銀溶液，後測試過濾海水之效果。

(二)步驟：重複實驗一之步驟後，浸泡硝酸銀 24 小時並重複兩次

(三)實驗結果：



以鹽度下降率及電阻倒數而言，海水於一次浸泡高於氯化鈉，二次浸泡則低於氯化鈉。

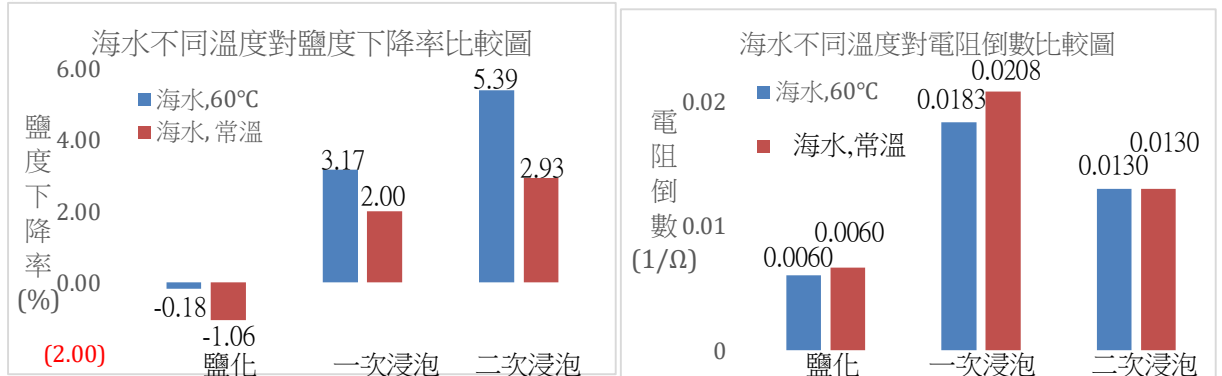
(四)討論：

- 1.以鹽度下降率而言，根據實驗一的討論，浸泡海水的孔洞材料在過濾時流出的氯離子數量較少，其孔洞內吸附之陽離子數量也較少，一次浸泡海水的鹽度下降率較低，但海水卻高於氯化鈉，推測是因為海水中的其餘陽離子，與銀離子產生之離子交換效率較氯化鈉中的鈉離子佳，使得一次浸泡時海水的鹽度下降率高於氯化鈉
- 2.以氯化鈉及海水一次浸泡及二次浸泡的鹽度下降率而言，在經過一次浸泡硝酸銀後，孔洞內吸附了銀離子，且二次浸泡後，鹽度下降率提升，皆比鹽化的孔洞下降率高，因此可推論浸泡硝酸銀有助於孔洞材料吸附氯離子。

實驗二、比較溫度

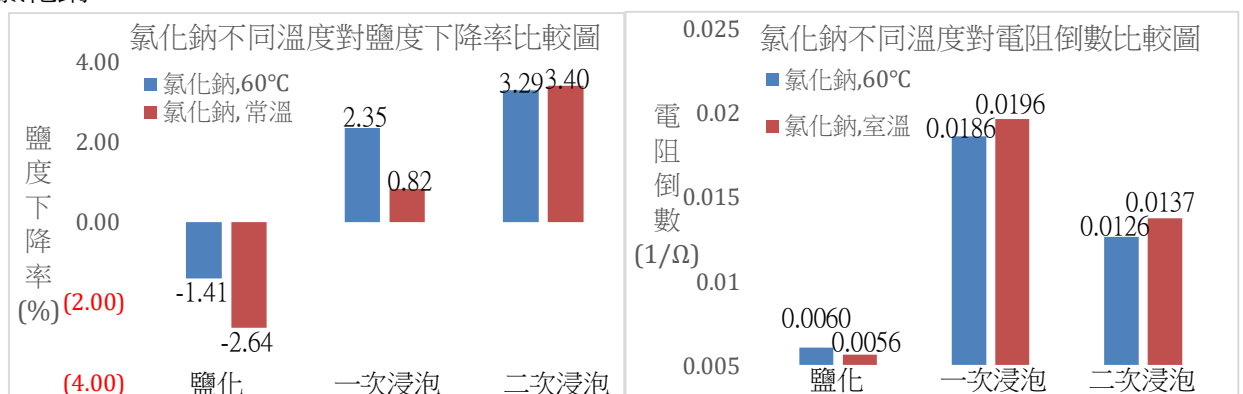
- (一)目的：比較溫度對鹽化孔洞材料淡化效果之影響。
- (二)步驟：重複實驗一之步驟並分別存放於室溫下及 60°C 烘箱內
- (三)實驗結果

1.海水



以鹽度下降率而言，浸泡於 60°C 海水之孔洞材料效果優於浸泡常溫之孔洞材料

2.氯化鈉



從氯化鈉鹽度下降率而言，60°C 在鹽化及一次浸泡硝酸銀時優於常溫。

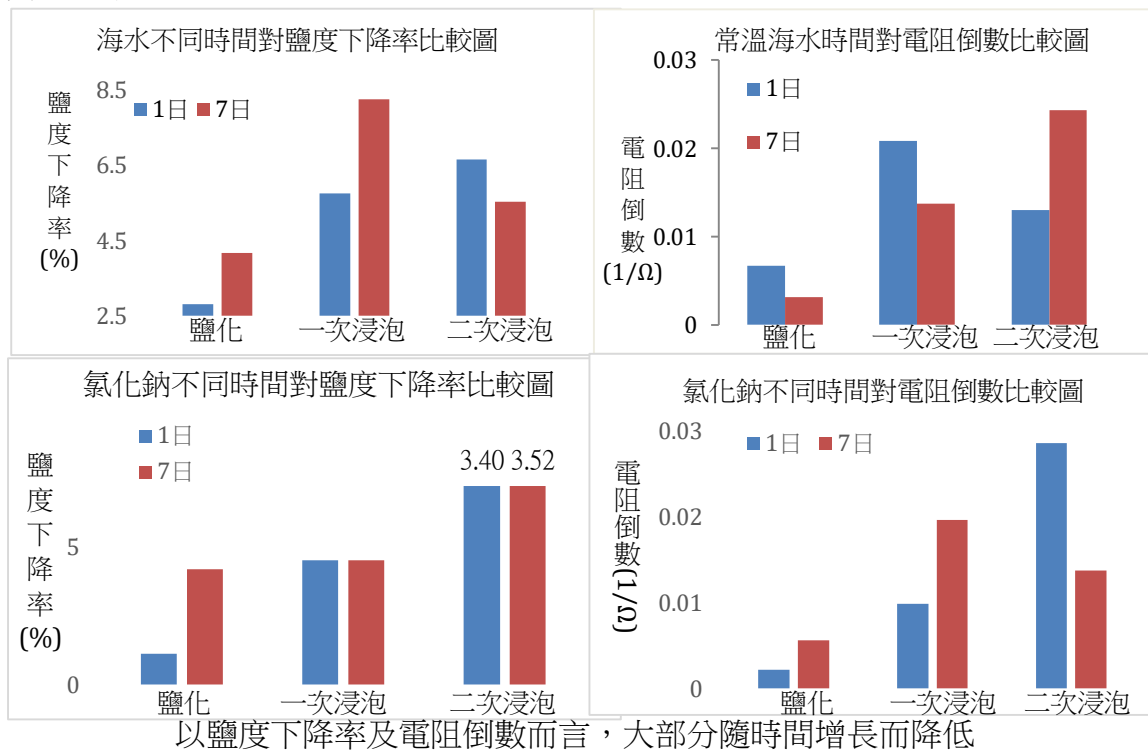
(四)討論：以鹽度下降率而言，浸泡於 60°C 海水效果優於浸泡常溫，推測是因為高溫提升了解離度，使得在高溫下浸泡的孔洞材料的孔隙內陽離子含量較高，於浸泡硝酸銀時與銀離子產生離子交換，使得鹽度下降率提升。

實驗二、比較時間

(一)目的：比較時間對鹽化孔洞材料的淡化效果之影響

(二)步驟：將實驗一及二步驟重複並將浸泡時間延長至 7 日。

(三)實驗結果：



以鹽度下降率及電阻倒數而言，大部分隨時間增長而降低

(四)討論：

1.以海水及氯化鈉鹽度下降率及電阻倒數而言，長時間浸泡使得鹽化及一次浸泡的鹽度下降率提升，推測是因為長時間浸泡使得陽離子附著於孔隙內數量較多，使得鹽度下降率提升，電阻倒數降低。

研究四結論：

- 1.經海水及氯化鈉浸泡過之孔洞材料因氯離子以較弱之作用力吸附於，使得過濾時溶於濾液，造成鹽度上升，因此我們接著思考，若能使材料表面帶負電，便能更有利於陽離子吸附，而根據鹽化實驗結果，推測鈉離子對於孔洞材料吸附力較佳，因此接續進行浸泡氫氧化鈉的鹼化實驗。
- 2.在鹽化實驗中，過濾海水時因海水中陽離子吸附於孔隙內，於一次浸泡時溶液中銀離子與孔隙內陽離子進行離子交換，進而在過濾時吸附海水中氯離子，使鹽度下降。

研究五、孔洞材料經鹼化處理後對海水之過濾效能探討

目的：孔洞材料浸泡鹼性溶液後，使其表面帶負電，進而增加吸附海水中離子之效果。

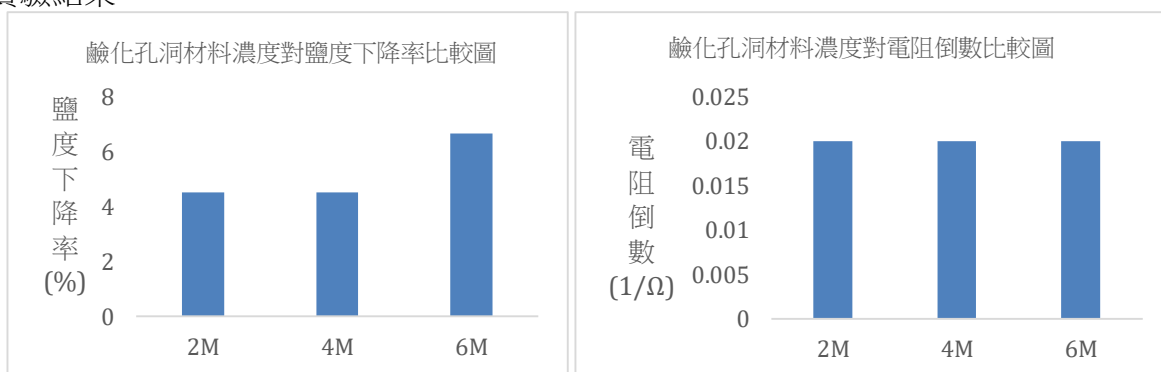
實驗一、鹼化實驗

(一)目的：將孔洞材料浸泡不同濃度氫氧化鈉中，比較孔洞材料吸附海水中離子之效果。

(二)步驟：1.取孔洞材料浸泡 2、4、6M 氫氧化鈉，浸泡 24 小時後使用針筒進行過濾。

2. 測量過濾後海水導電度及鹽度。

(三)實驗結果：



鹽度下降率隨濃度增加而提升，電阻倒數則隨濃度上升而下降

(四)討論：

1.浸泡氫氧化鈉水溶液的孔洞材料過濾海水後鹽度下降，因為在浸泡的過程中，氫氧

化鈉中的 OH 離子與孔洞材料表面的 OH 產生反應： $M-OH+OH^{-}\rightarrow M-O^{-}+H_2O$ ，使得更

多鈉離子能吸附於孔洞材料孔隙內，進而吸附更多海水中的氯離子。

2. 浸泡氫氧化鈉溶液的孔洞材料過濾海水後鹽度下降，因為在浸泡的過程中，氫氧化鈉

中的 OH 離子與孔洞材料表面的 OH 產生反應式： $M-OH+OH^{-}\rightarrow M-O^{-}+H_2O$ ，使得更多

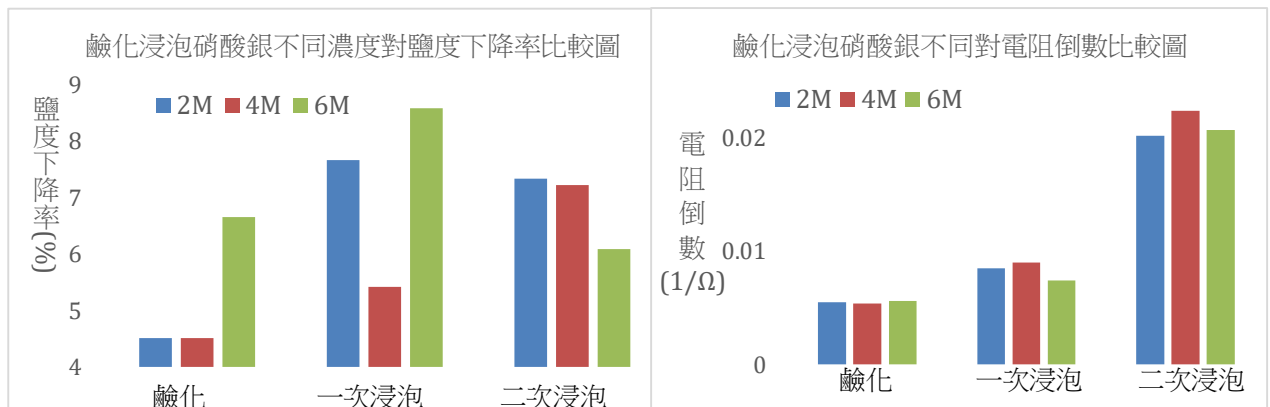
鈉離子能吸附於孔洞材料孔隙內，進而吸附更多海水中的氯離子。

實驗二、鹼化後浸泡實驗

(一)目的：將孔洞材料浸泡酸性溶液後浸泡硝酸銀，後測試並且比較過濾海水之效果。

(二)步驟：重複實驗一之步驟後，浸泡硝酸銀 24 小時並重複兩次。

(三)實驗結果：



以鹽度下降率而言，大部分一次浸泡時最高；以電阻倒數而言，二次浸泡最高，趨勢提升。

(四)討論：

1. 鹼化一次浸泡硝酸銀孔洞材料，海水中離子濃度下降，因為在經過鹼化後孔洞材料表

面呈現帶負電的 M-O⁻，同時將硝酸銀中的銀離子與鹼化時吸附於孔洞材料孔隙內的鈉

離子進行離子交換，使銀離子能更穩定地附著孔洞內，下降率可達 8.58%。

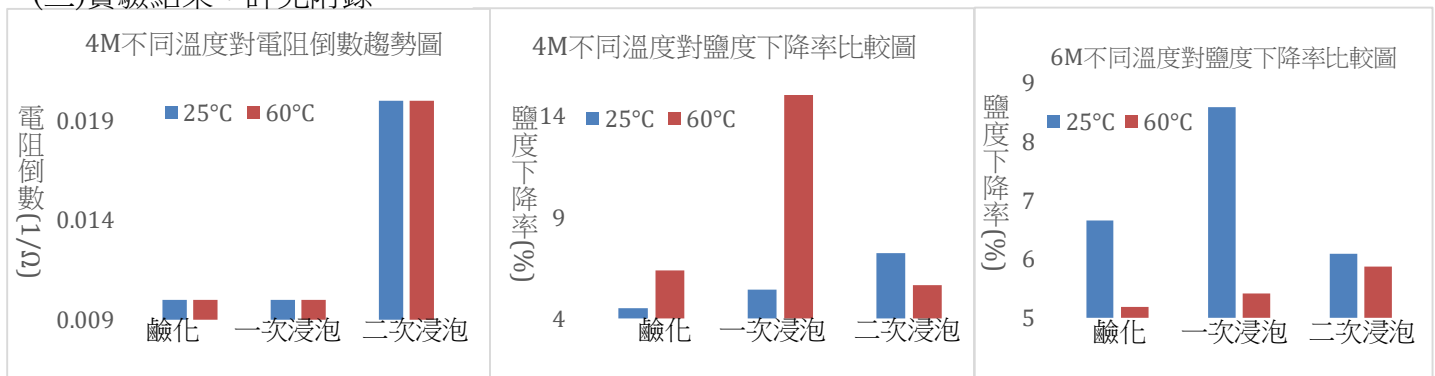
2.二次浸泡硝酸銀時，因鹼化時的 OH 離子幫助孔洞材料孔隙吸附更多鈉離子，在此時孔洞材料孔隙內的鈉離子數量已達飽和，因此效果與鹼化無太大的差別。

實驗三、溫度對鹼化孔洞材料吸附海水中離子能力影響

(一)目的：比較常溫及 60°C 時鹼化孔洞材料吸附海水中離子的差異。

(二)步驟：孔洞材料浸泡氫氧化鈉及硝酸銀時放入 60°C 烘箱，並比較與 25°C 的差異

(三)實驗結果：詳見附錄



1.一次浸泡硝酸銀時氫氧化鈉 6M 25°C 的鹽度下降率高於 60°C 的，而 2M 25°C 的鹽度下降率低於 60°C 的 4.74%，4M 的則低於 10.84%。

2.三種濃度的鹼化，檢測的電阻倒數都相差不大，二次浸泡硝酸銀是三者最高。

(四)討論：

1.除了氫氧化鈉6M的25°C鹽度下降率高於60°C的，其餘兩組所顯現的都是低於的，所以我們推知高溫對於鹼化孔洞材料確實能有幫助，但濃度太高時則會造成反效果。

2.三種濃度的鹼化孔洞材料，所檢測出的電阻倒數都相差不大，二次浸泡硝酸銀是三者中最高，所以孔洞材料在進行二次浸泡硝酸銀時吸附離子的效果會因孔洞中被填滿而下降。

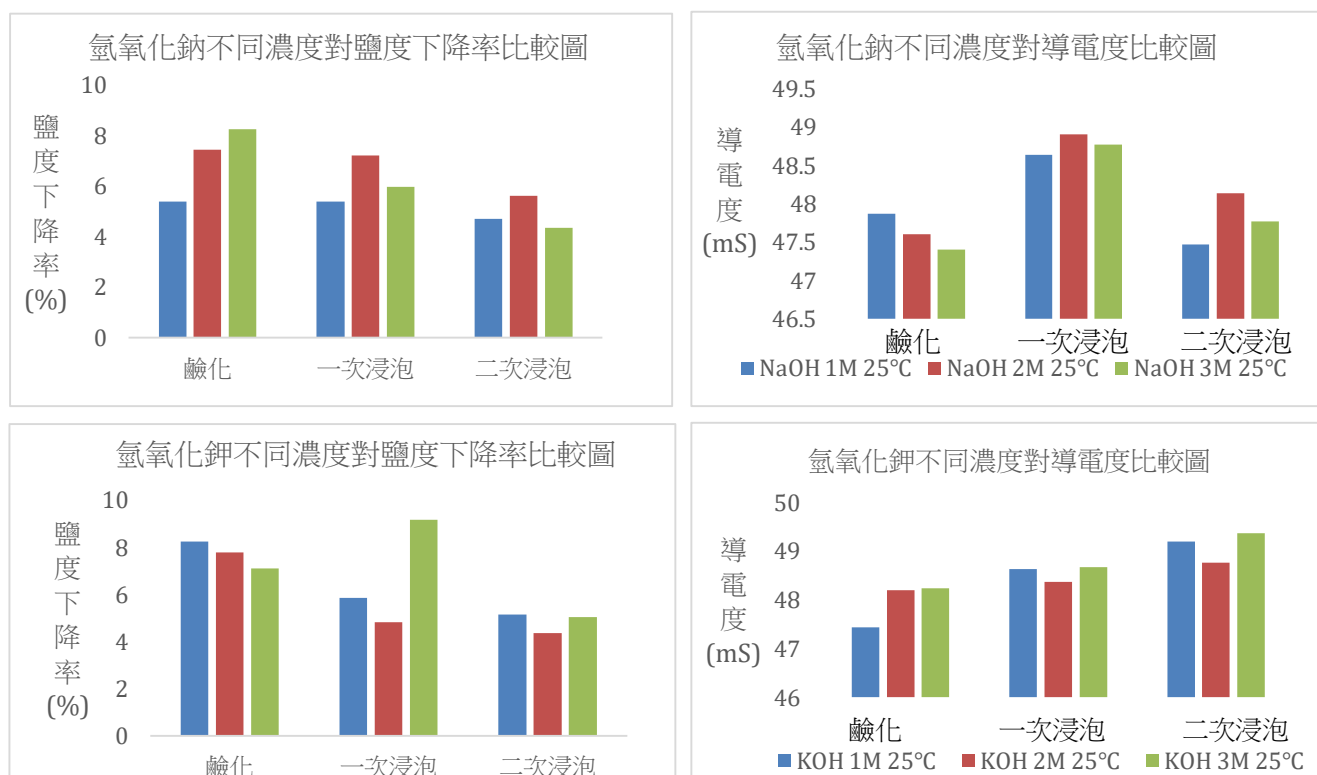
實驗四、不同鹼性溶液比較

(一)目的：將孔洞材料浸泡氫氧化鈉及氫氧化鉀，後測試過濾海水之效果並進行比較。

(二)步驟：1.取適量孔洞材料分別浸泡兩種鹼性溶液，於室溫下浸泡 24 小時後過濾。

2.測量過濾後海水導電度及鹽度。

(三)實驗結果：詳見附錄



浸泡氫氧化鈉的孔洞材料，在鹼化時濃度越高，鹽度下降率越高，而浸泡硝酸銀時則是

2M 的鹽度下降率最高；氫氧化鉀在鹼化時濃度越高，鹽度下降率越高，而浸泡硝酸銀

時則以 3M 的鹽度下降率最高。

(四)討論：

1.兩種鹼性溶液的 60°C 組趨勢皆比常溫組穩定，我們推測是因為夏天溫度較高，

使得存放環境較為不穩定。

2.以鹽度下降率而言，氫氧化鈉組在鹼化時皆高於兩次浸泡硝酸銀及氫氧化鉀組，而氫氧化鉀組則有兩組為一次浸泡硝酸銀高於鹼化，可推知氫氧化鈉溶液因解離數較大，與材料表面反應較為完全，於鹼化時效果較佳，但後續浸泡硝酸銀時則因孔洞已達飽和而效果較為不佳。

研究五結論：

1.孔洞材料浸泡氫氧化鈉的過程中，氫氧化鈉中的 OH^- 離子可與孔洞材料表面的 OH 產生，反應式： $\text{M-OH} + \text{OH}^- \rightarrow \text{M-O}^- + \text{H}_2\text{O}$ ，使得更多鈉離子能夠吸附於孔隙內，進而吸附更多海水中的氯離子。

2.一次浸泡硝酸銀鹼化孔洞材料，在經過鹼化後孔洞材料表面呈現帶負電的 M-O^- ，同時將 AgNO_3 中的銀離子與鹼化時吸附於孔洞材料孔隙內鈉離子進行離子交換，使銀離子能夠更穩定地附著於孔洞材料表面。

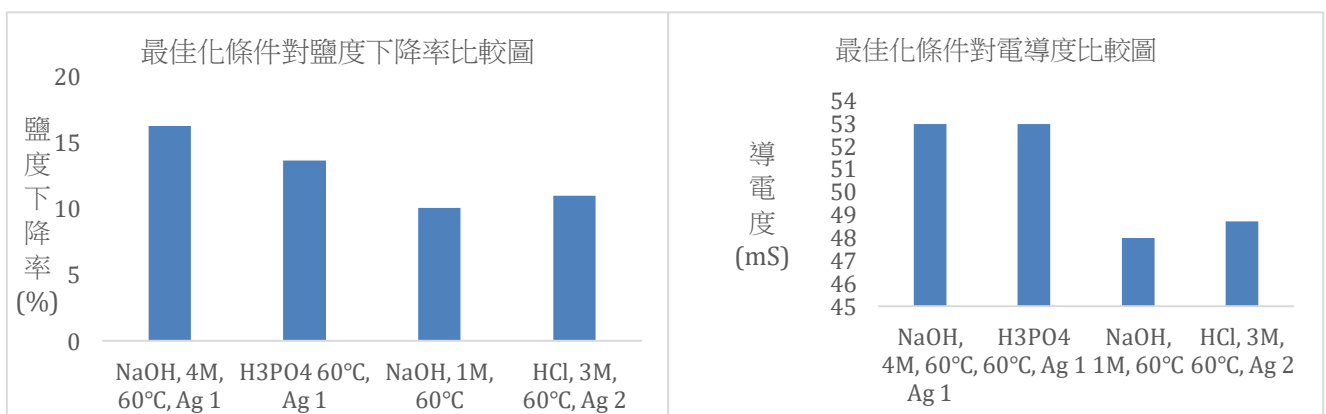
3.二次浸泡硝酸銀時，因鹼化時的 OH^- 離子幫助孔洞材料孔隙吸附更多鈉離子，在此時孔洞材料孔隙內的鈉離子數量已達飽和，所以淡化效果較一次浸泡硝酸銀差。

研究六、取得之最佳化條件比較

(一)目的：從多次實驗結果中取得之最佳化條件進行比較。

(二)步驟：取磷酸 60°C 一次浸泡、氫氧化鈉 4M 60°C 一次浸泡、氫氧化鈉 1M , 60°C 、鹽酸, 3M , 60°C 二次浸泡進行資料分析。

(三)實驗數據：



(一)討論：

- 1.雖然鹼化及鹽化都是讓孔洞材料孔洞吸附鈉離子(Na^+)，但是鹼化的效果卻優於鹽化因為鹼化使用的氫氧化鈉中的 OH^- 離子可以在孔洞材料表面形成 M-O^- 而使得孔洞材料內部孔隙吸附之鈉離子含量更高。
- 2.同樣是鹽化但是浸泡氯化鈉(NaCl)的效果卻高於海水，因為海水中含有的離子種類複雜鈉離子的數量低於氯化鈉(NaCl)中的，所以鹽度下降率也低於氯化鈉
- 3.雖然和能直接引用的礦泉水還相差許多，但我們酸化和鹼化實驗中的孔洞材料樣本，所檢測的結果都比市售的陽離子交換樹脂好。

柒、結論

(一)從鹽度測定實驗中，我們發現海水不適合應用於銀離子滴定法，因為海水中離子成分複雜，和沉澱物質可能不是氯化銀，所以無法精確計算離子含量，而折射率可能因照射到的離子顆粒大小不同而產生差異，而海水離子成分過於複雜，所以容易對鹽度結果產生誤差，所以我們決定以電阻、電壓及鹽度計進行測量。

(二)我們經由實驗二發現，分子篩在過濾海水時，容易連水分子都一起攜帶，且分子篩再浸泡硝酸銀後容易破裂，因為我們使用的分子篩孔洞直徑為 4\AA 而銀離子直徑為 2.68\AA ，所以當銀離子通過通道時，可能因通道產生的作用力彼此擠壓而使通道壓力過高產生破裂，所以我們決定使用孔洞材料作為過濾材料。

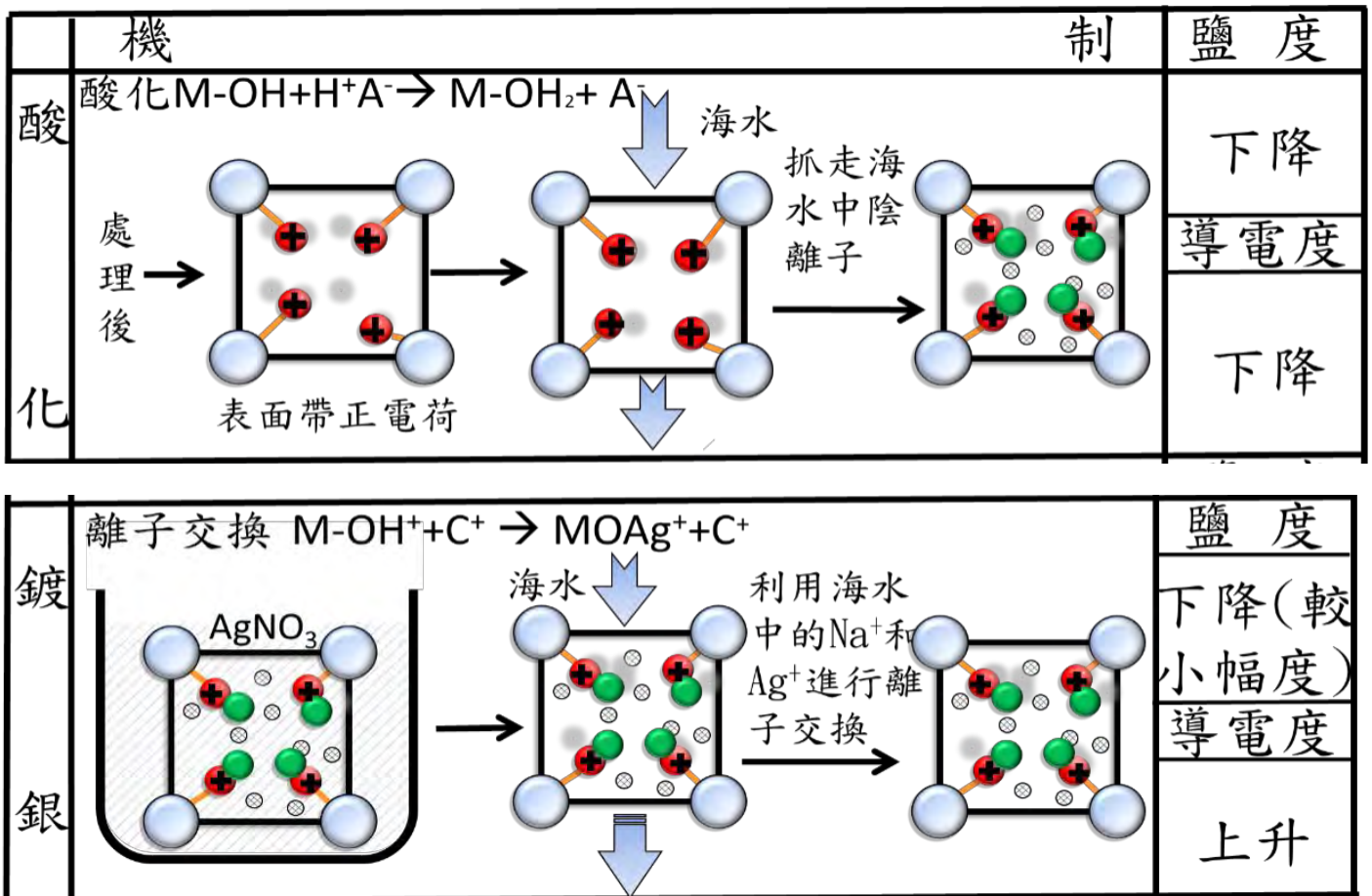
(三)從研究三中我們發現，當酸化後一次浸泡硝酸銀時，孔洞材料的表面會在鹼條件中產生逆反應，使得孔洞材料再生，且酸化的濃度越高，反應越顯著。

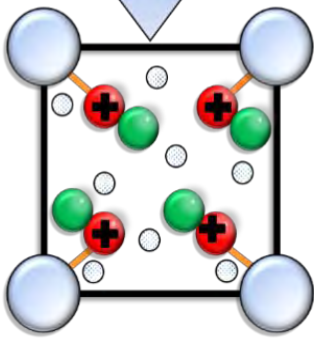
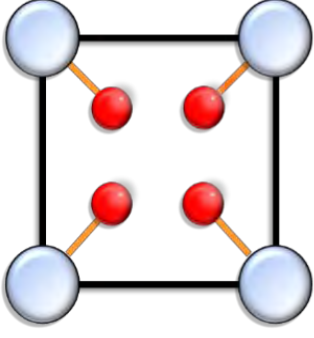
(四)從酸化及鹼化實驗發現，當二次浸泡硝酸銀時，鹽度都與第一次浸泡硝酸銀時差距不大，我們發現是因為孔洞材料的孔洞已被離子填滿，所以能再進行吸附的離子數量下降。

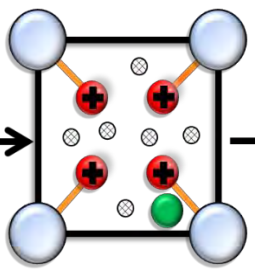
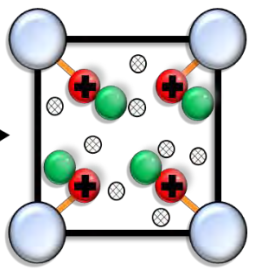
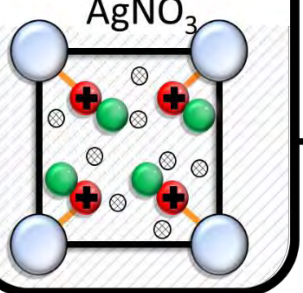
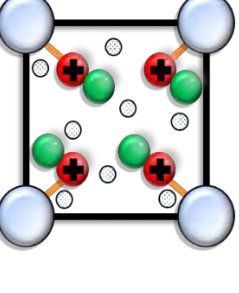
(五)我們從鹼化及鹽化實驗發現，雖然同樣是吸附鈉離子，但鹼化的效果卻優於鹽化，因為鹼化時氫氧化鈉(氫氧化鈉)中的 OH 離子可與孔洞材料表面的 OH 產生，反應式： $M-OH+OH \rightarrow M-O+H_2O$ ，使得更多鈉離子能夠吸附於孔洞材料孔隙內，進而吸附更多海水中的氯離子，淡化效果提升，而海水則因為本身的鈉離子就低於氯化鈉 1M 所以效果為三者最差。

(六)從研究三、四、五中我們發現，孔洞材料的反應再生可於酸化一次浸泡硝酸銀時，因為酸化後過濾海水時，孔洞材料孔洞中具有陽離子和孔洞材料發生離子交換： $M-OH^++C^+ \rightarrow MOC^++H^+$ ，使孔洞材料浸泡硝酸銀時孔洞材料孔隙中的陽離子和銀離子發生離子交換，讓銀離子能附著於孔洞材料孔洞中，在過濾海水時 Ag^+ 離子和 Cl^- 離子結合，所以鹽度會下降，但因為 MOH_2^+ 為酸性所以當過濾鹼性的海水時，反應方程式： $M-OH+H^+A^- \rightleftharpoons MOH_2^++A^-$ 逆反應，釋出離子，導致電阻下降。

(七)從研究五中我們發現，當鹽化的浸泡時間越長，離子吸附於孔隙內的效果越好。



	機	制	鹽度
酸化再生	海水	逆反應 $M-OH + H^+ A^- \rightleftharpoons MOH_2^+ + A^-$	下降
		反應式逆行	導電度
			上升

	機	制	鹽度
鹽化	處理後 表面帶正電荷	海水	上升
		抓走海水中陰離子	導電度
			下降
鍍銀	AgNO ₃	利用海水中的Na ⁺ 和Ag ⁺ 進行離子交換	下降
			導電度
			上升

機		制	鹽度
鹼化	$M-OH + OH^- \rightarrow M-O^- + H_2O$ 		下降
			導電度
			下降
鍍銀	$M-OC^+ + Ag^+ \rightarrow MOAg^+ + C^+$ 		鹽度
			下降(較小幅度)
			導電度
			下降

捌、未來展望與應用

(一)未來展望：

1. 鹼化孔洞材料：由實驗四中得知，氫氧化鈉 4M 的淡化效果最佳，所以我們希望能檢測其他鹼性 4M 的浸泡效果，比較強鹼弱鹼的差異並進行比較。

2. 過濾管柱高、時間、次數等比較實驗：我們進行實驗時，孔洞材料都填充至 25mL 針筒 15mL 的高度，所以我們希望能檢測不同高度、接觸時間、過濾次數等淡化效果差異。

(二)應用：

我們所研究出的裝置較市售的淡化裝置便宜，而且較輕巧又便於攜帶，雖一次的淡化產量不高，但是一次淡化的進行時間較短，且其處理效果較市售陽離子交換樹脂佳。雖然比起能直接用的礦泉水還是鹽度較高，但確實已達成淡化效果 16.25%。

玖、參考文獻

楊迎輝、鄭名洪(2008)。中孔洞分子篩 SBA-15 的製備。

科學 online。2018 年 11 月 5 日，取自網站：shorturl.at/frwQ7

科學 online。2018 年 9 月 12 日，取自網站：shorturl.at/bciIP

Edy Wibowo, Sutisna, Mamat Rokhmat, Riri Murniati, Khairurrijal, and Mikrajuddin

Abdullah(2017). Utilization of natural zeolite as sorbent material for seawater desalination. *Science Direct*.

許宗洲、李念祖(2018)。「新型玻璃奈米孔洞吸附材料於重金屬廢水之吸附處理應用」。工業材料雜誌，376，55。

龍騰版基礎化學第二冊第四章。

【評語】 050208

1. 使用孔洞材料在研究上用於淡化海水，無足夠創意，且對分子篩與孔洞材的基本認知區分不足。
2. 本研究中，首先找出海水鹽度的最佳測定方式，再使用了多孔洞材料(二氧化矽為結構主體的正四面體，空隙中含有陽離子)進行海水中離子吸附，孔洞材料表面可藉由酸化前處理使其帶正電荷以提升離子吸附量，再透過離子交換增加吸附能力。未探討如何增加其所合成孔洞材料對鈉離子的選擇性。
3. 實驗詳盡，但結果不佳淡化產量不高，應用性不大。

摘要

本次研究中，首先找出海水鹽度的最佳測定方式，再使用孔洞材料吸附海水中離子，並以簡易針筒取代層析管，降低淡化成本並增加攜帶便利性。實驗中發現孔洞材料吸附效率較分子篩高，因孔洞材料表面可藉由酸化處理使其表面帶正電荷提升離子吸附量。除此之外孔洞材料也可透過離子交換法增加吸附能力，利用鹽化處理將孔洞材料孔洞填入鈉離子後再與銀離子進行交換，以提升吸附力。從實驗結果中，我們得知酸化與鹽化處理的機制雖然不同，但都能有效降低海水中鹽度，且與市售陽離子交換樹脂比較，淡化海水的的能力亦大幅提升。期望能藉此在未來開發出便利且低成本的海水淡化法。

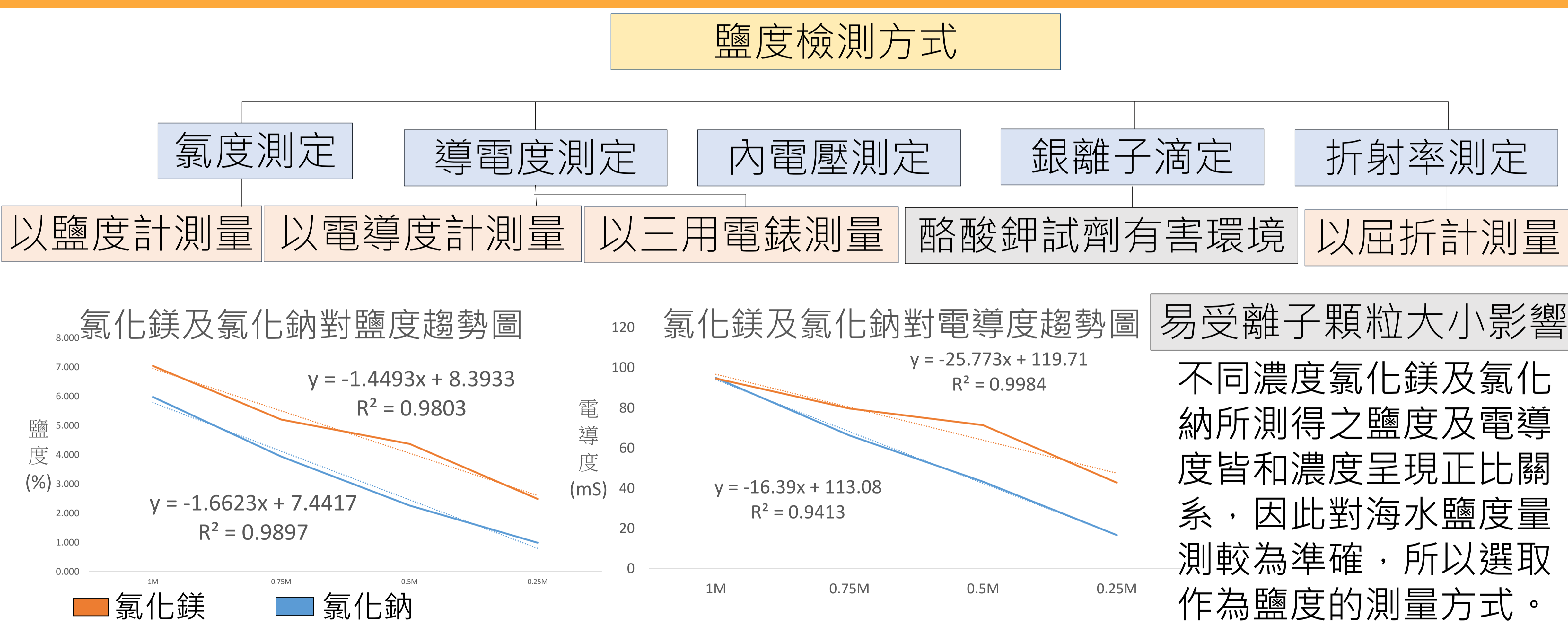
研究動機

臺灣由於特殊的地理因素，即使降水量是世界平均的2.5倍，人均用水量卻只有世界平均的0.18倍，再加上近年氣候變遷日益嚴重，臺灣水庫連年爆出面臨歷年最低水量的噩耗，身為海島國家，若能利用周遭海水，也許能改善此嚴重的民生問題，且在學習化學第三冊時第四章提到化學應用於工業中的例子，因而對海水淡化的方法及應用產生興趣，希望能藉由此研究更了解此科技及原理運用，並基於此基礎改良市面上產品。

研究目的

- (一)測試鹽度最佳量測方式。
- (二)了解多孔洞材料無處理時淡化效果。
- (三)了解多孔洞材料前處理時淡化效果。
- (四)多孔洞材料過濾管柱長淡化效果比較。
- (五)了解多孔洞材料孔洞大小與淡化效果。
- (六)找出多孔洞材料淡化機制。
- (七)自製多孔洞材料與市售陽離子交換淡化效果比較。

研究一、鹽度測定比較



實驗步驟



研究二、無處理多孔洞材料淡化海水效果測量

方法一：層析管
放入孔洞材料後直接過濾海水
速度緩慢且取出困難

方法二：針筒
放入孔洞材料後直接過濾海水
為後續實驗過濾器材

孔洞材料及分子篩對電阻倒數趨勢圖

孔洞材料及分子篩對鹽度下降率趨勢圖

無處理 一次鍍銀 二次鍍銀

■ 多孔洞材料 25°C ■ 多孔洞材料 60°C ■ 分子篩 25°C ■ 分子篩 60°C

分子篩:具有單一孔徑的多孔材質，實驗中發現其吸附水分子優先於吸附離子外，所以後續實驗不使用分子篩。

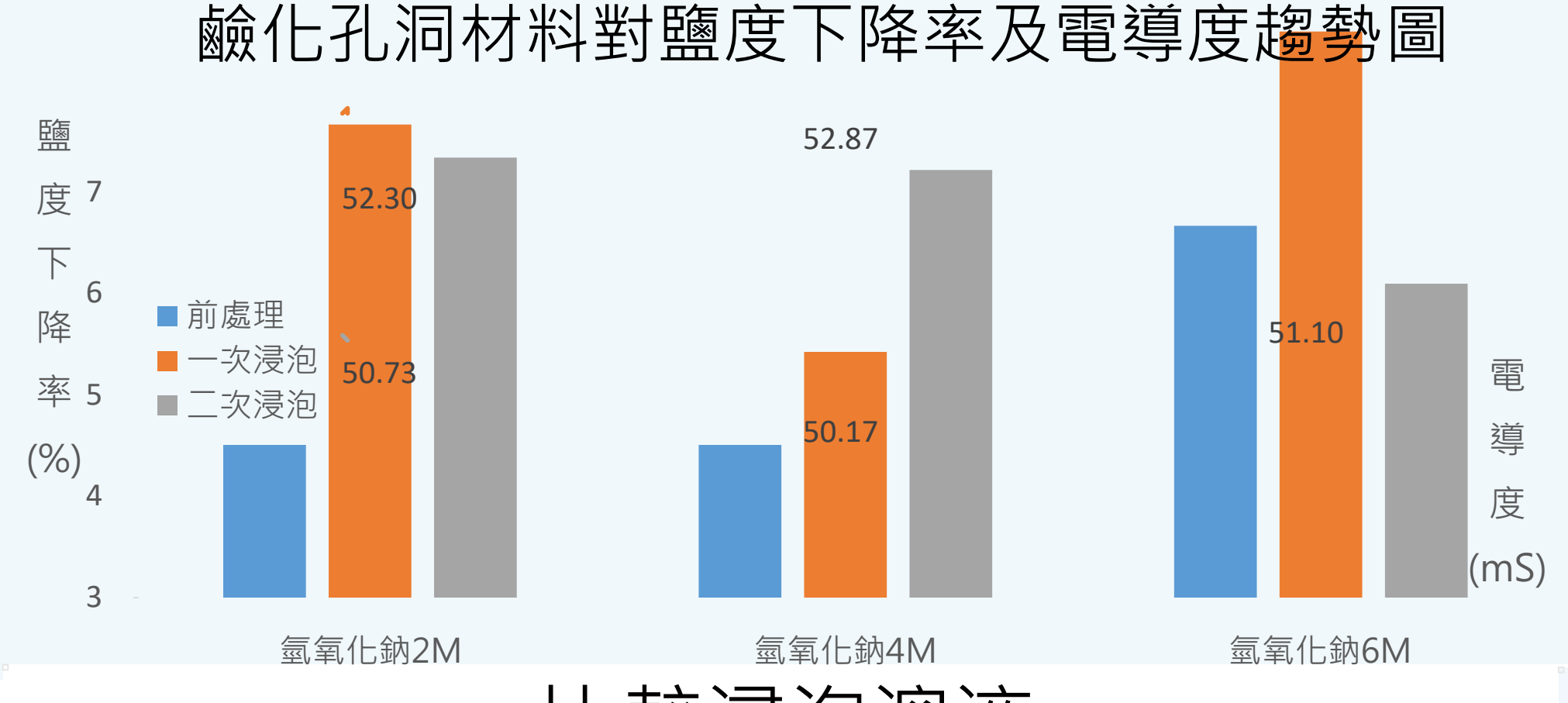
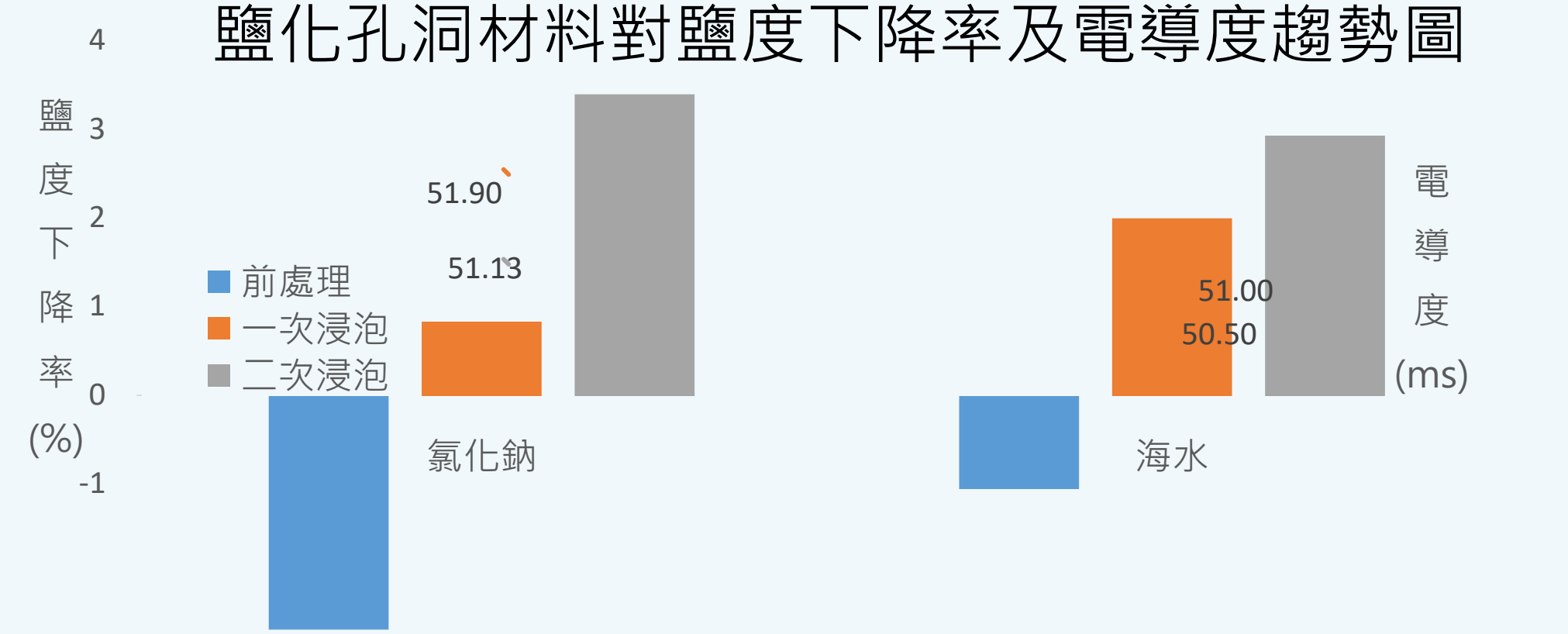
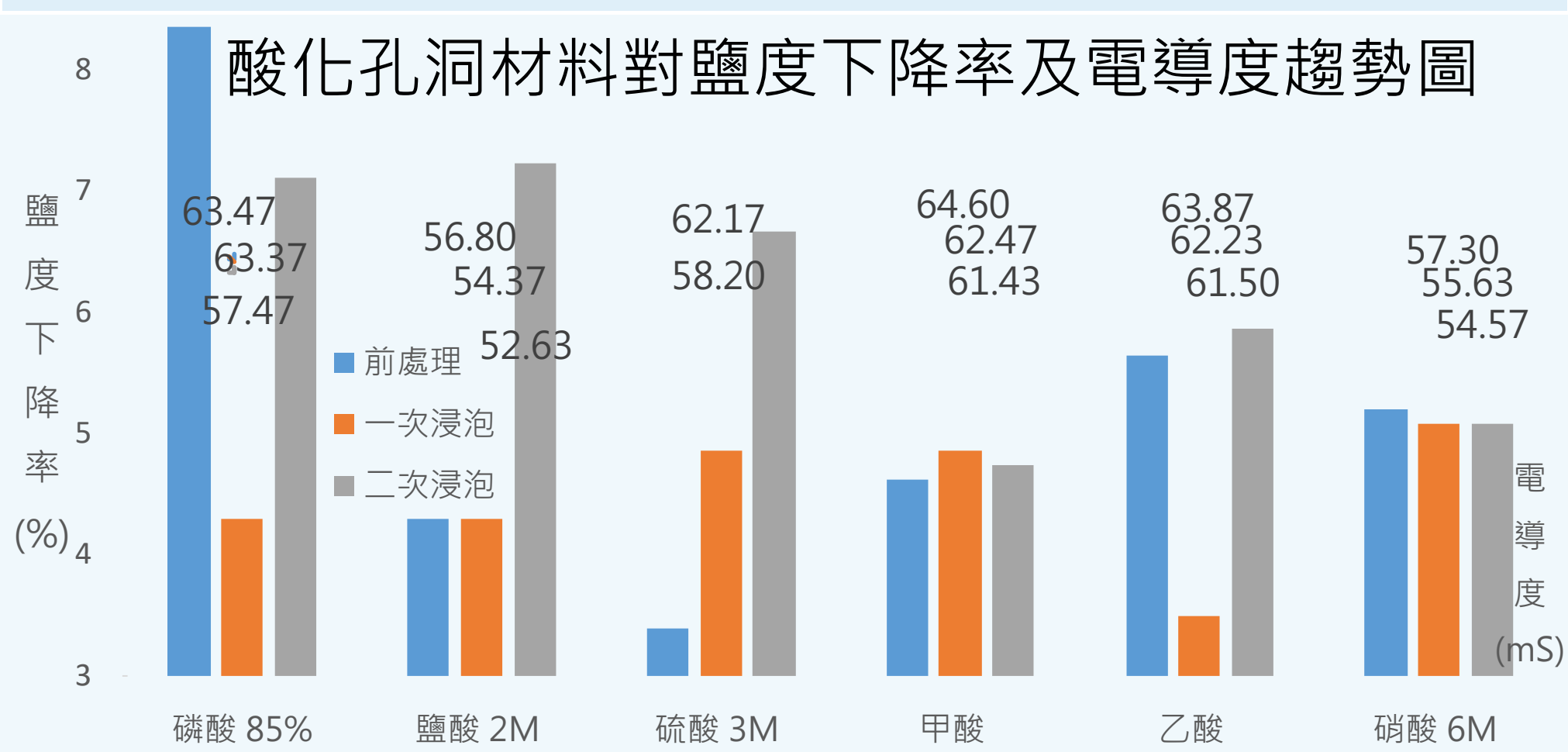
孔洞材料:以二氧化矽主體的四面體，因過濾時離子吸附效果較分子篩佳，作為後續實驗材料。

1.海水中氯離子佔多數，因此希望讓銀離子附著於表面以增加氯離子的吸附量，所以進行浸泡硝酸銀實驗。

2.雖使鹽度下降率提升，但假使讓孔洞材料表面帶陽離子使銀離子吸附量增加，應能提升淡化效果，因此進行了後續實驗。

研究三、多孔洞材料前處理時淡化效果比較

根據實驗步驟將多孔洞材料浸泡前處理溶液，並比較數據趨勢。



比較浸泡溶液

浸泡酸性溶液時，酸性溶液會與孔洞材料產生反應： $M-OH + H^+A^- \rightarrow MOH_2^+ + A^-$ ，使孔洞材料表面帶正電，而能抓取陰離子，使過濾鹽度下降，其中發現磷酸前處理時的淡化效果最佳。

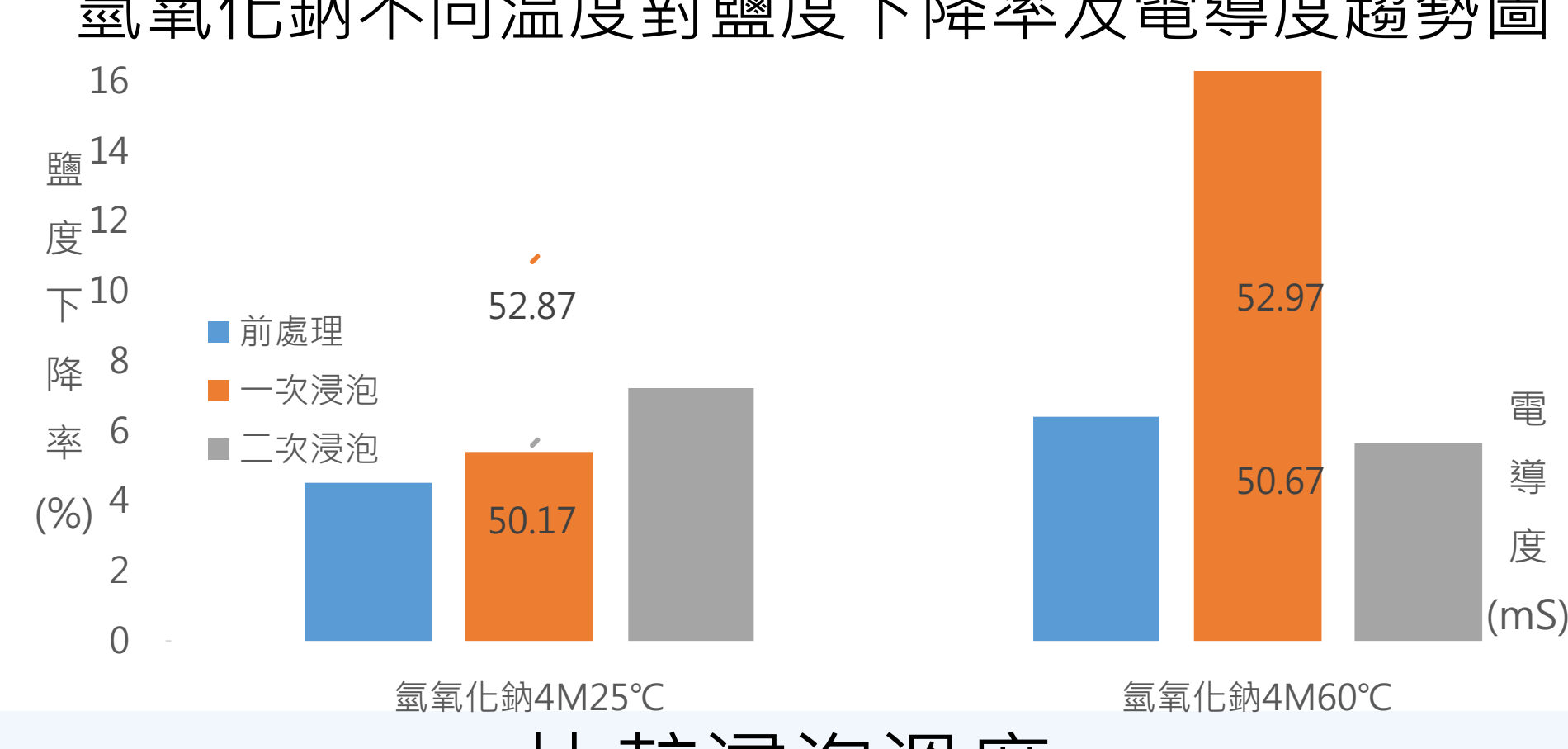
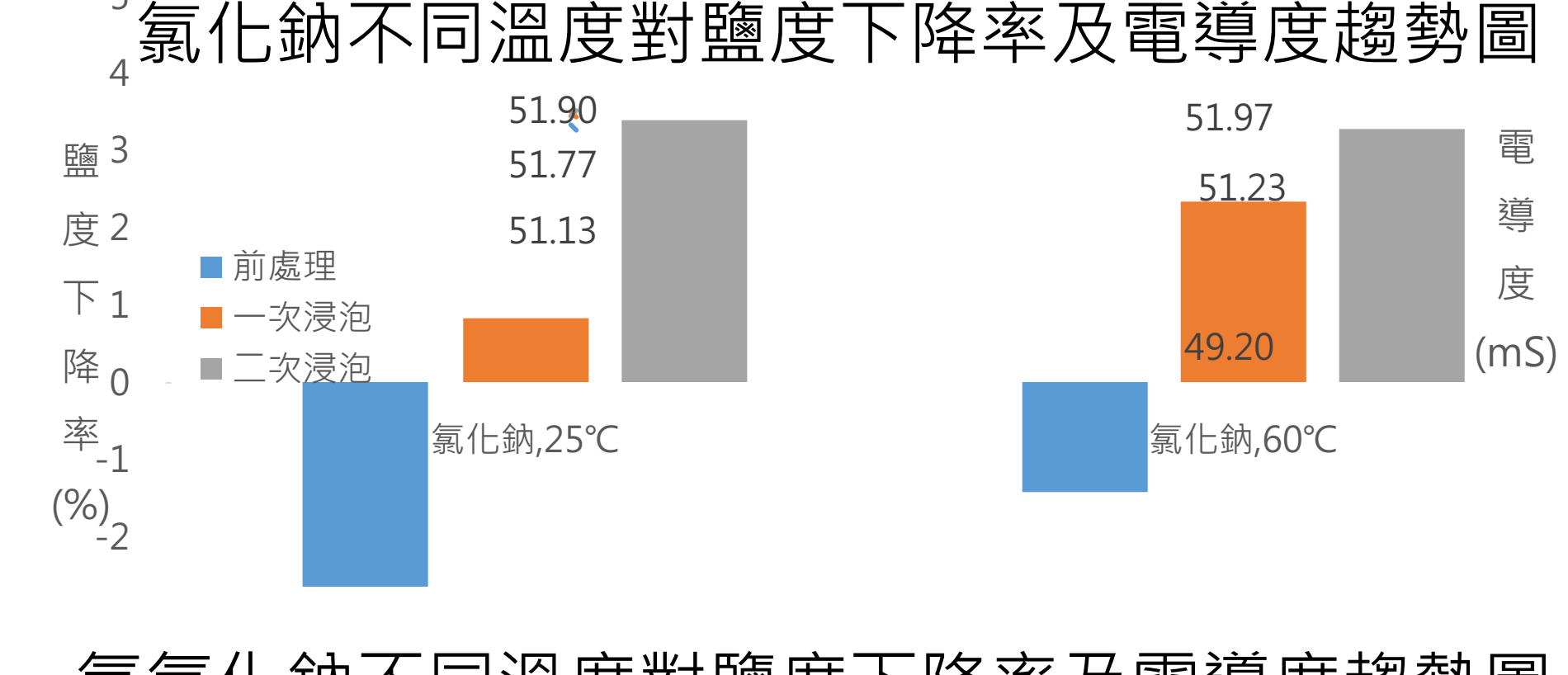
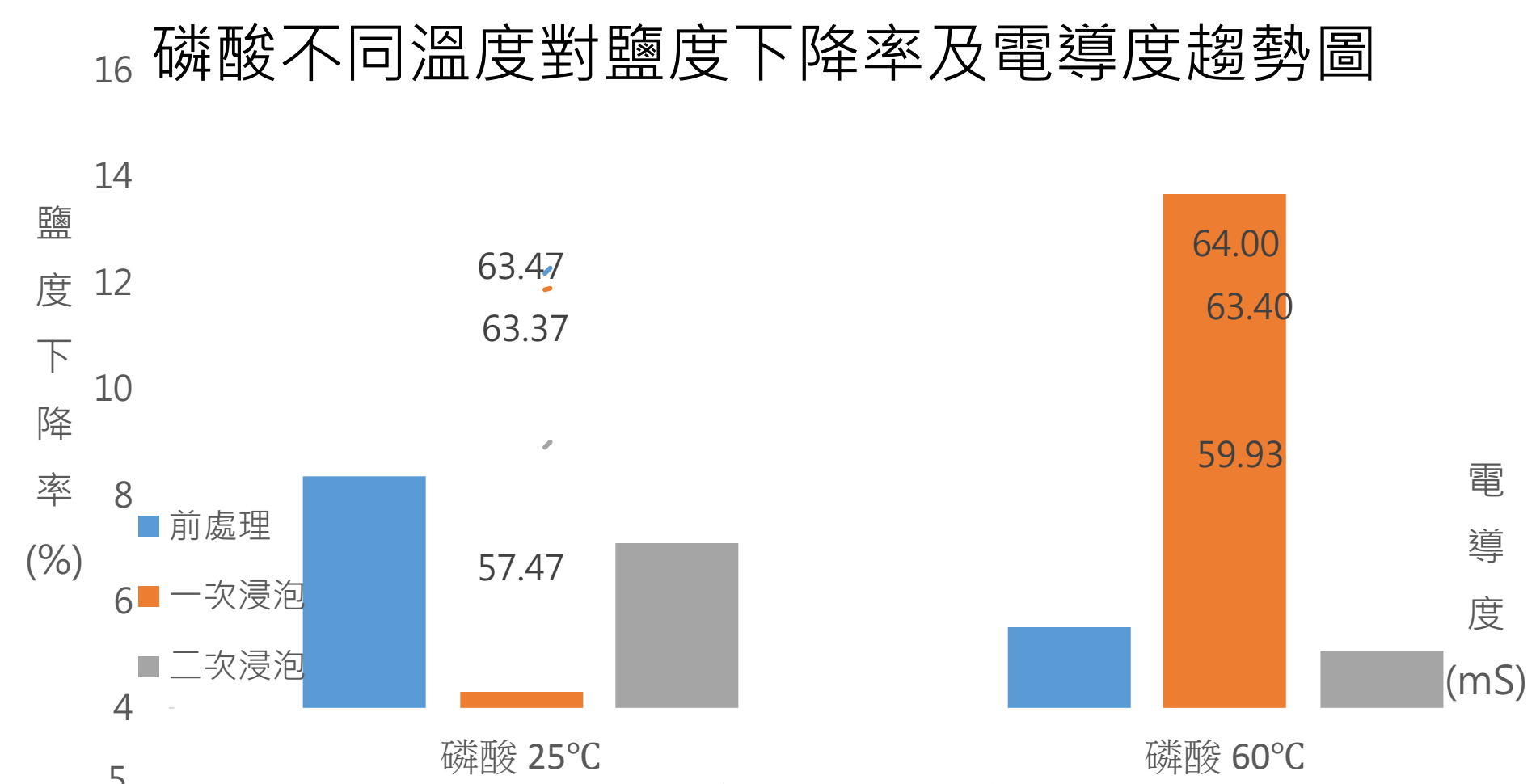
浸泡海水及氯化鈉時，孔洞材料因氯離子以較弱之作用力吸附於表面，在過濾時容易與海水一起流入濾液，使鹽度上升，但在浸泡硝酸銀時，銀離子和其表面帶的鈉離子產生交換作用，提升淡化效果，因海水中成分較複雜且鈉離子還量較氯化鈉少所以淡化效果較差。

浸泡鹼性溶液時，溶液中的OH⁻離子可與孔洞材料表面的OH反應： $M-OH + OH^- \rightarrow M-O^- + H_2O$ ，使得更多正電離子能夠吸附於孔洞材料內，進而吸附更多海水中的氯離子，從實驗中發現因為氫氧化鈉的效果優於氫氧化鉀，所以鈉離子的吸附效果優於鉀離子，且此機制在浸泡硝酸銀時，有更多的鈉離子與銀離子交換，提升銀離子吸附量，淡化效果提升。

接著取淡化效果較好的溶液進行比較浸泡溫度的比較，發現除氯化鈉之外，皆為60°C的效果較好，且皆在一次浸泡硝酸銀時為最佳條件可能是因為在高溫的情況下提升了離子的能量，加速了和銀離子的離子交換作用，使銀離子吸附量增加。

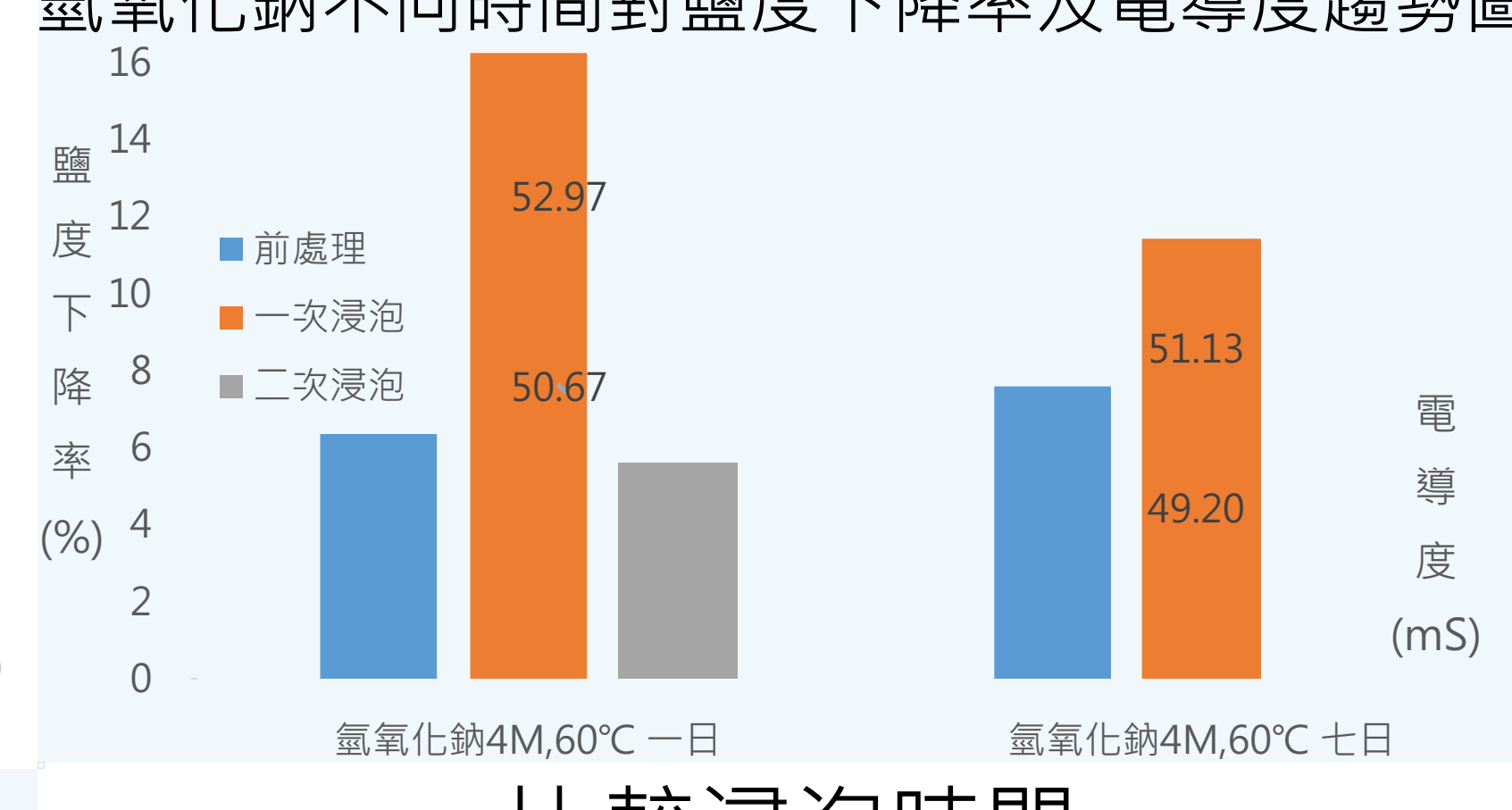
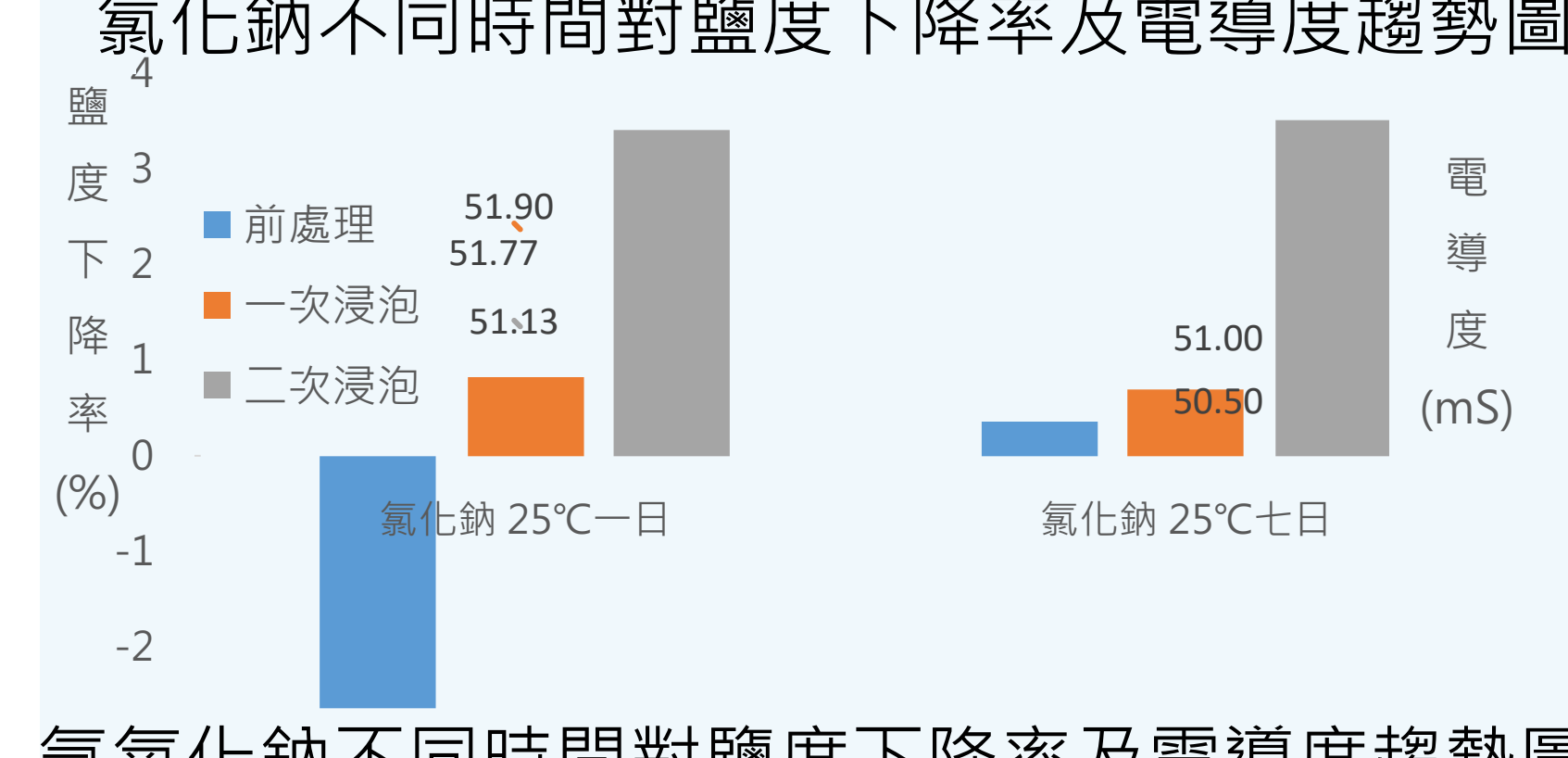
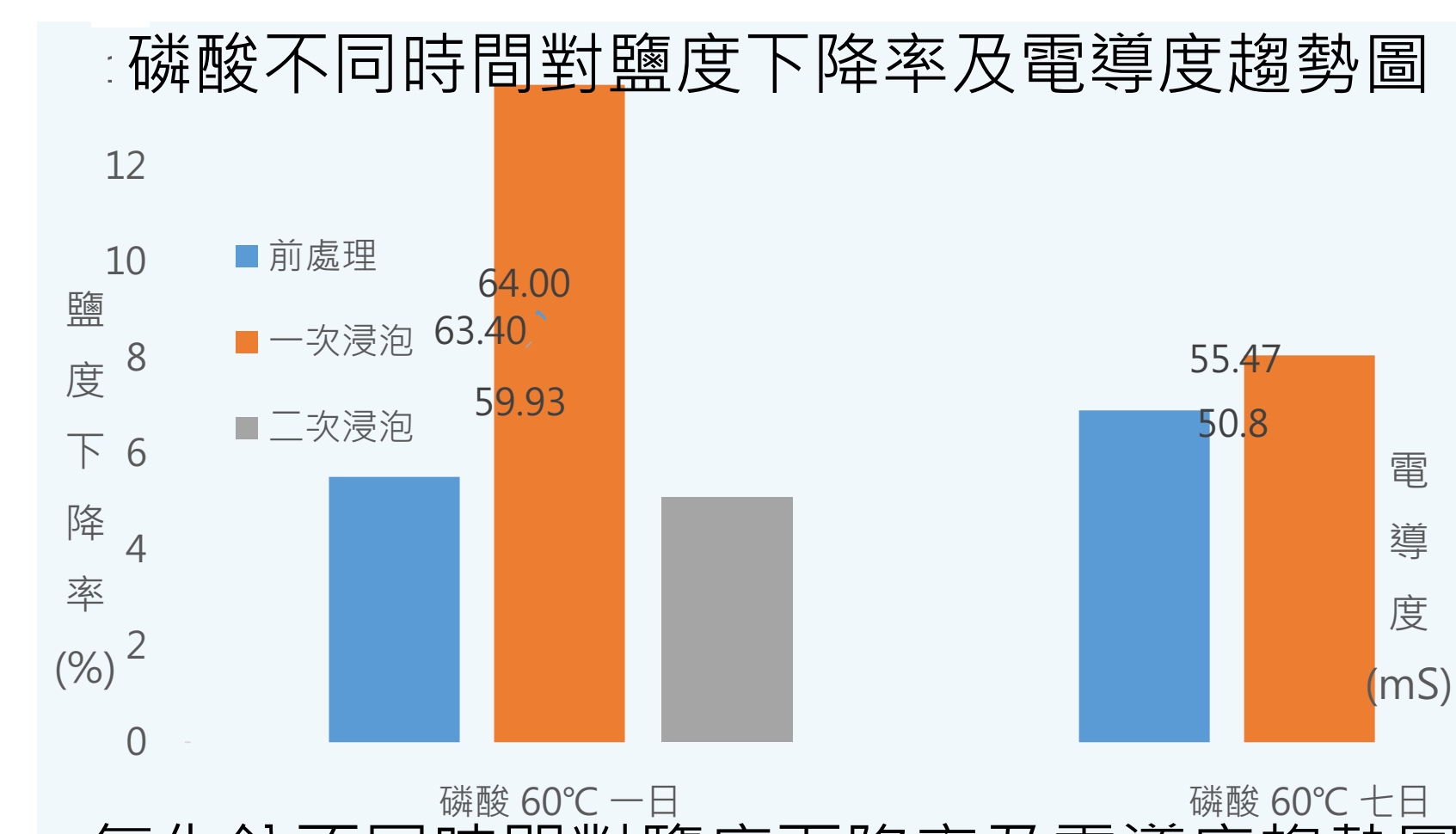
從比較溫度的實驗中，我們取酸化、鹽化、鹼化的最佳化樣本進行比較溫度的實驗，從實驗結果中發現，除氯化鈉之外磷酸及氫氧化鈉4M1日的淡化效果皆優於7日，可能是因為氯化鈉浸泡時間較長時，表面的氯離子就能較牢固的吸附著，但酸化和鹼化則不需要花費較多時間就能達成吸附效果，且其淡化效果也優於氯化鈉。

II.將前處理之最佳化結果進行比較溫度的實驗。



比較浸泡溫度

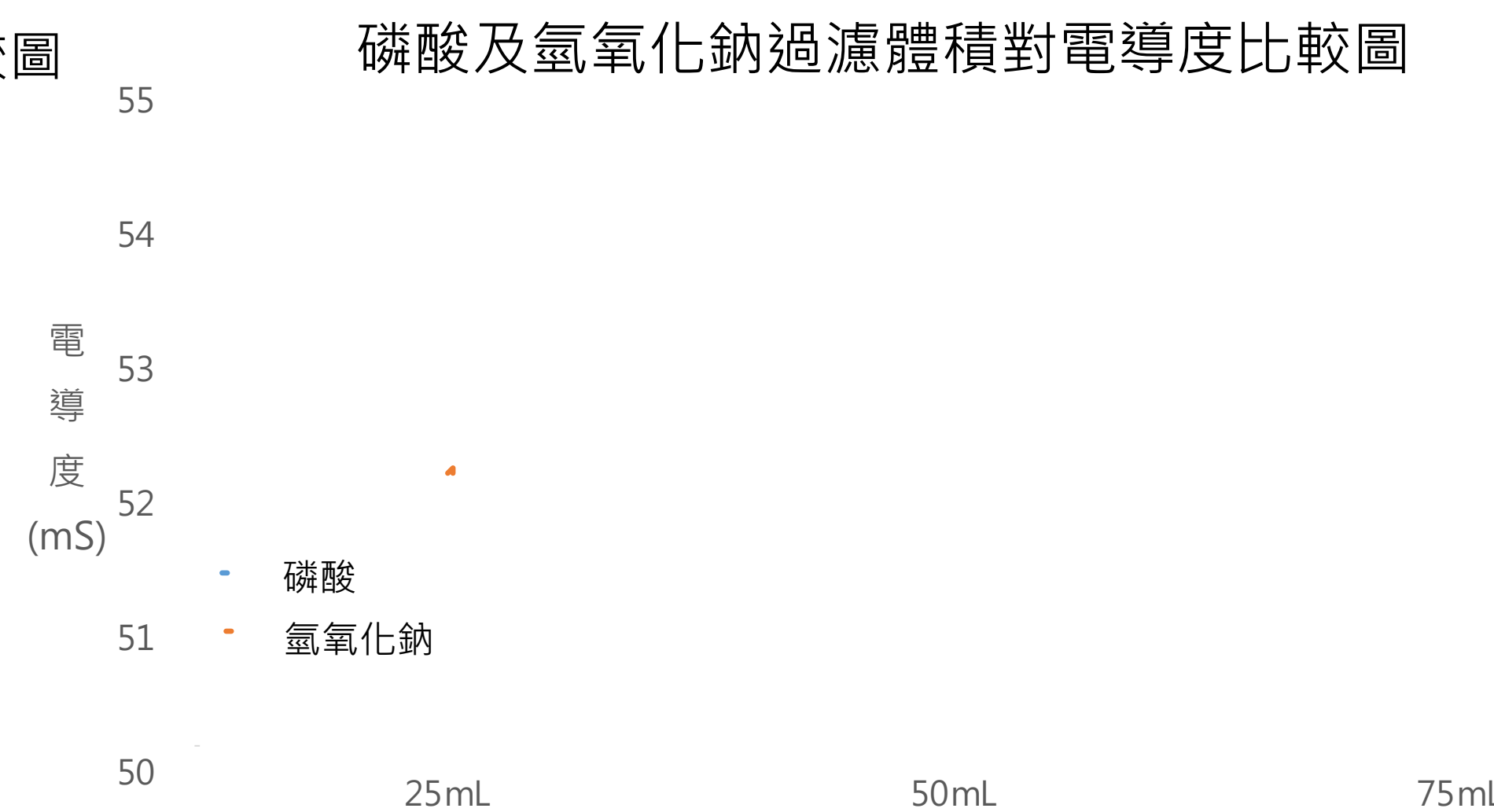
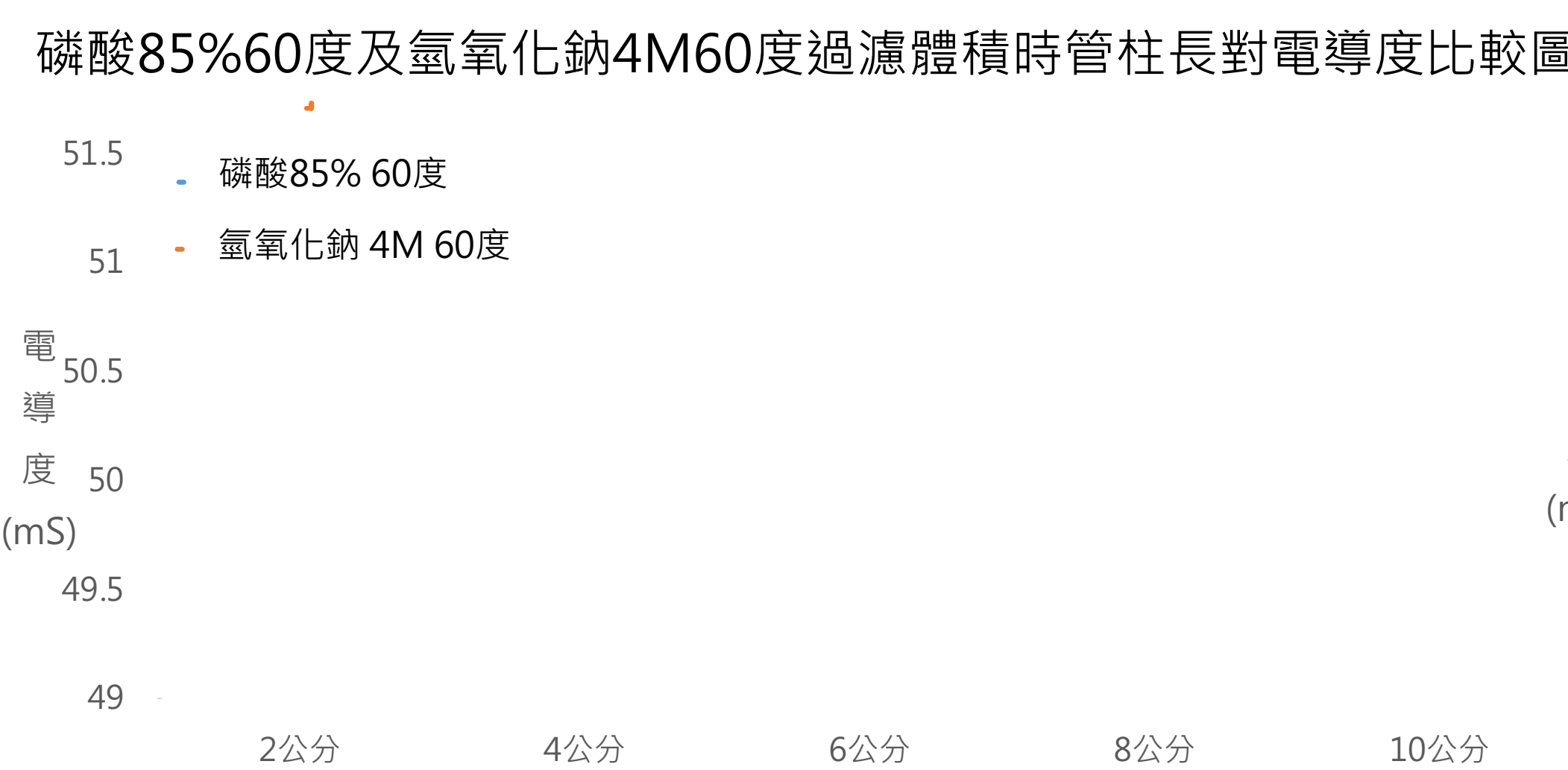
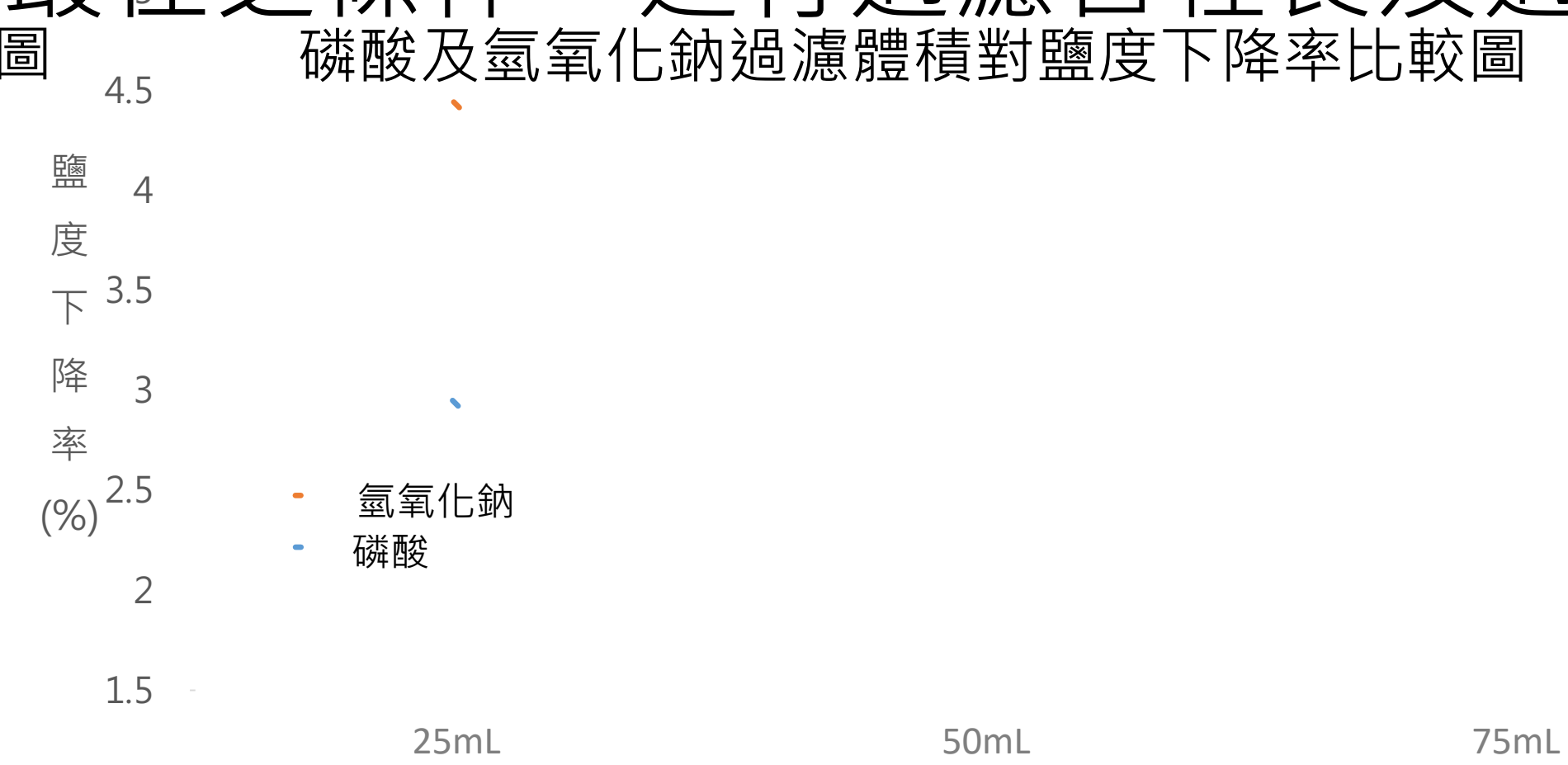
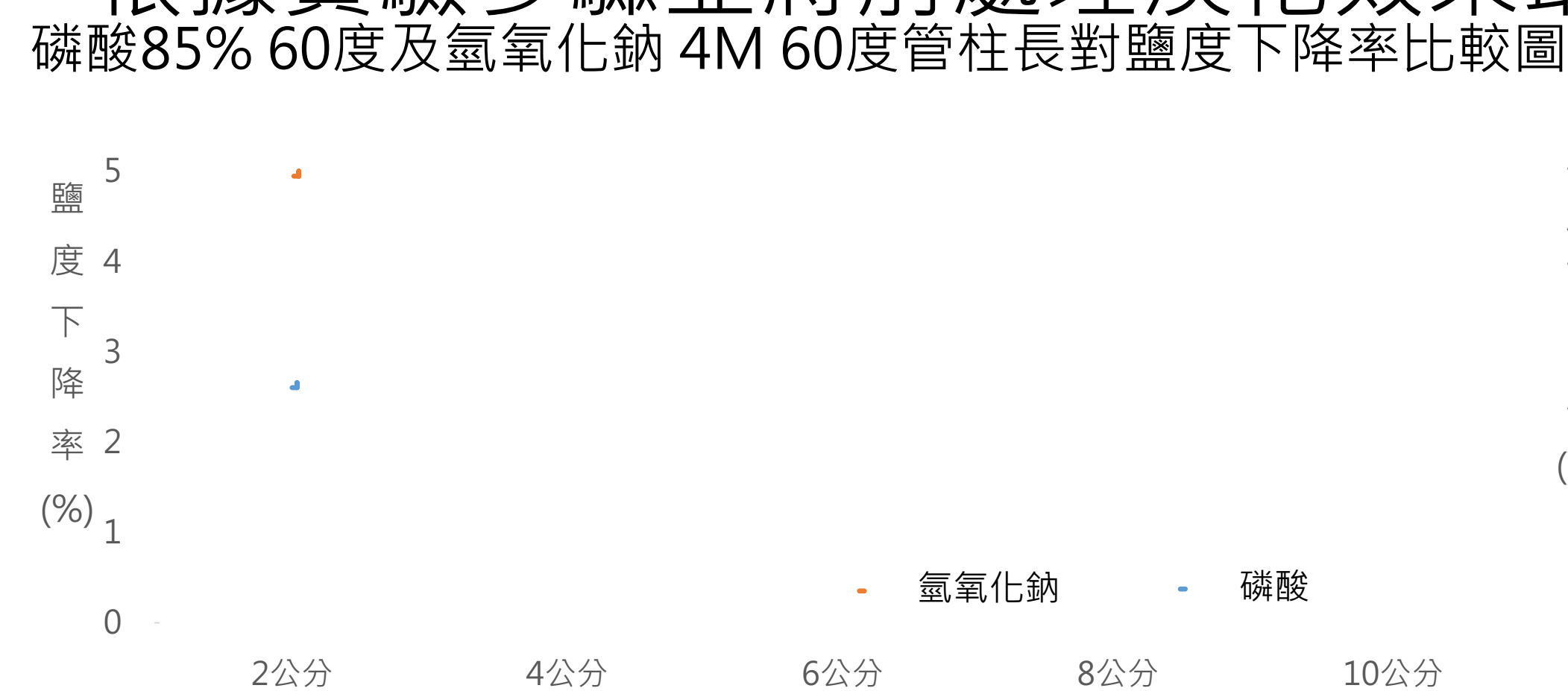
III.將前處理之最佳化結果進行比較時間的實驗。



比較浸泡時間

研究四、多孔洞材料過濾管柱長與過濾次數淡化效果比較

根據實驗步驟並將前處理淡化效果最佳之條件，進行過濾管柱長及過濾次數實驗，比較數據趨勢。

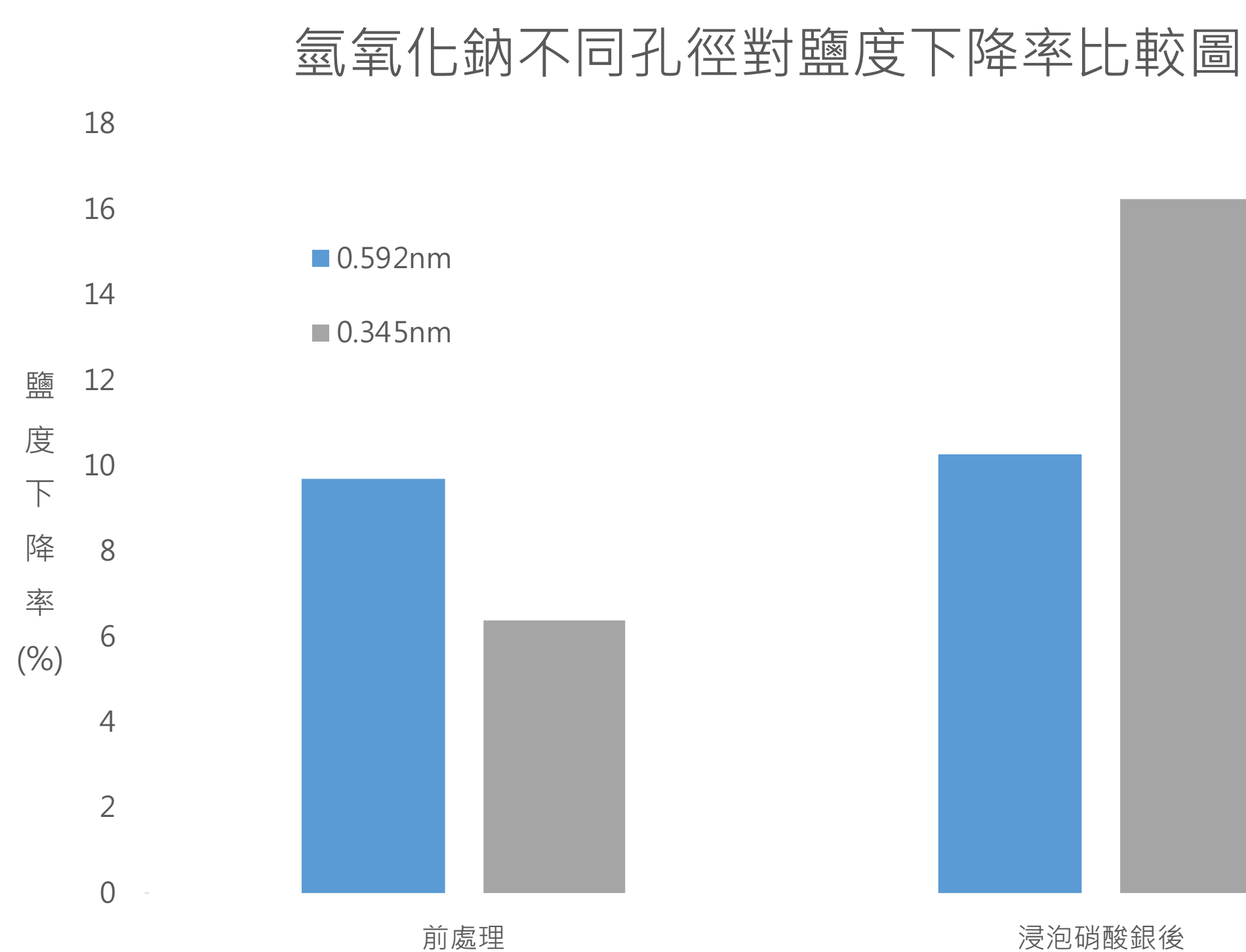
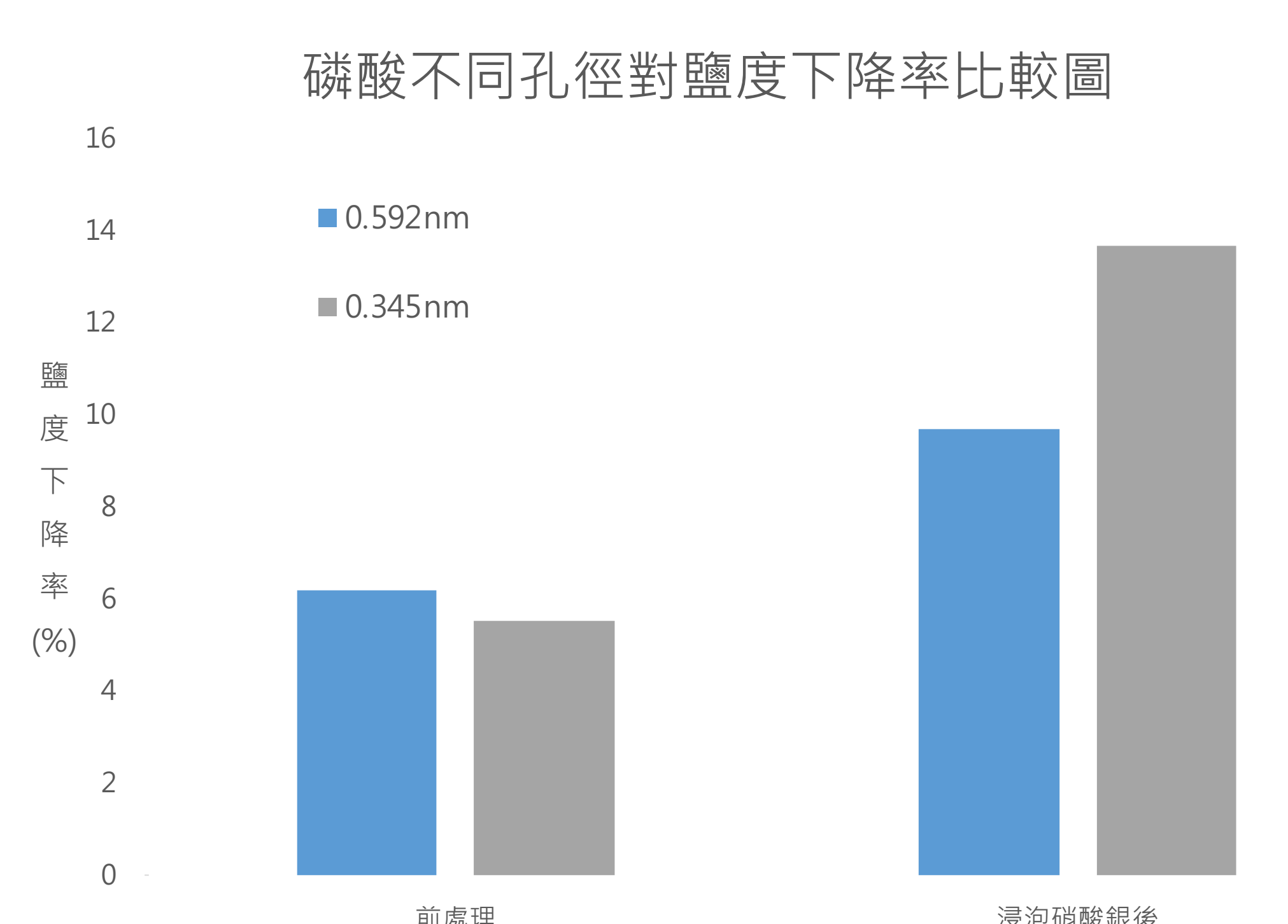


從實驗中發現酸化前處理在不同的管柱長所過濾體積的鹽度下降率沒有太大的差異。而鹼化前處理在較短管柱長的鹽度下降率低於管柱長較高的，但過濾不同體積時，0~25ml的效果大部分都為最佳，說明當過濾體積提升時，鹽度下降率會成反比。

而管柱長低於6公分的可能因過濾的多孔洞材料較少，所以過濾時間較快速，無法有效抓取離子，所以鹽度下降率較低。

研究五、多孔洞材料孔洞大小比較

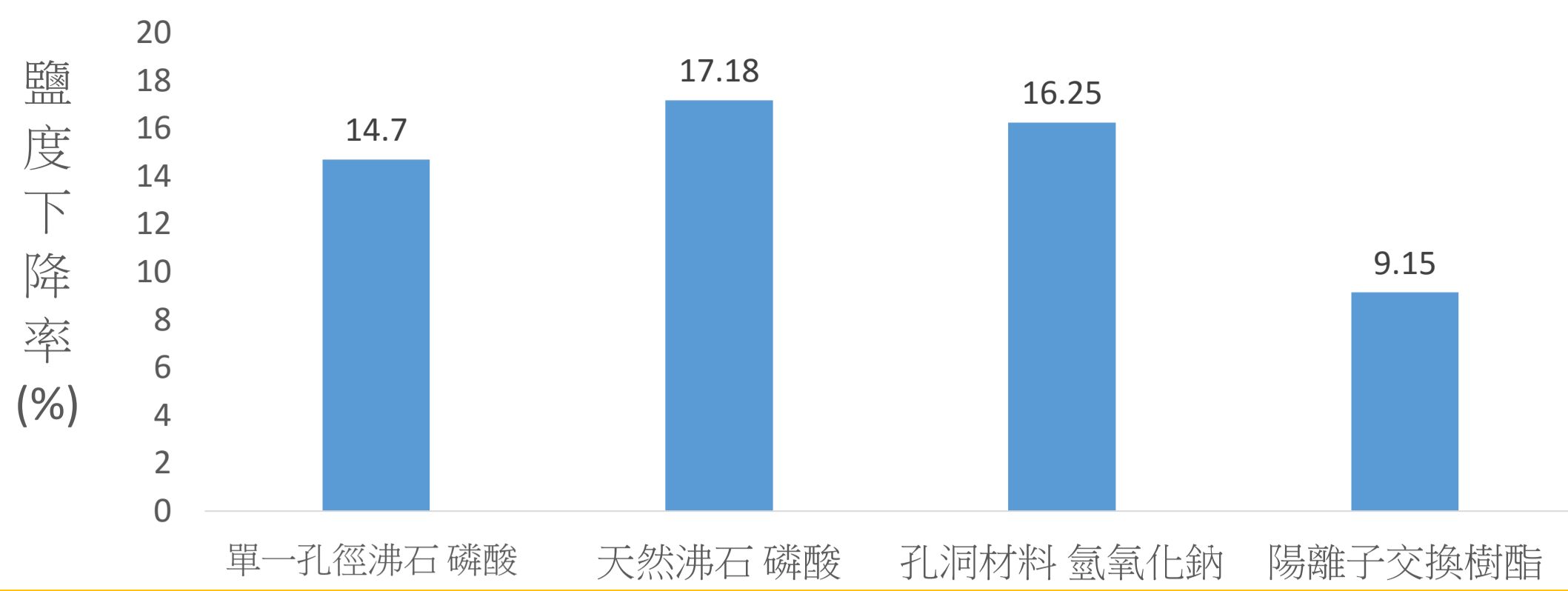
根據實驗步驟並將具不同孔徑大小孔洞材料以淡化效果最佳條件進行前處理，比較數據趨勢。



從實驗結果中發現，進行前處理時，孔徑大小和淡化效果成正比，因為孔徑較大者能附著的離子數較多；浸泡硝酸銀後發現兩者的淡化效果皆提升，但孔徑小的優於孔徑大的，可能是因為孔徑較大的沸石其組成結構中含有金屬離子，影響銀離子的吸附及離子交換作用。

研究七、最佳化條件與不同孔洞材料與市售陽離子交換樹脂比較

最佳化條件與陽離子交換樹脂對鹽度下降率比較圖



以最佳化條件對三種過濾材料進行實驗，發現其淡化效果皆優於市售之陽離子交換樹脂，且鹽度下降率最高的天然沸石較單一孔徑沸石易取得，使淡化系統所需成本降低，並使鹽度下降率達17.18%較9.15%陽離子交換樹脂大幅度提升了淡化效果。

結論

酸化機制		鹼化機制	
<p>酸化</p> <p>機 制</p> <p>酸化 $M-OH + H^+ A^- \rightarrow M-OH_2^+ + A^-$</p> <p>處理後</p> <p>表面帶正電荷</p> <p>抓走海水中陰離子</p>	<p>鹽 度</p> <p>下降</p> <p>導電度</p> <p>下降</p>	<p>鹼化</p> <p>機 制</p> <p>鹽化 $M-OH + Na^+ \rightarrow M-ONa^+ + H^+$</p> <p>處理後</p> <p>表面帶正電荷</p> <p>抓走海水中陰離子</p>	<p>鹽 度</p> <p>上升</p> <p>導電度</p> <p>下降</p>
<p>鍍銀</p> <p>機 制</p> <p>離子交換 $M-OH^+ + C^+ \rightarrow MOAg^+ + C^+$</p> <p>利用海水中的 Na^+ 和 Ag^+ 進行離子交換</p>	<p>鹽 度</p> <p>下降(較小幅度)</p> <p>導電度</p> <p>上升</p>	<p>鍍銀</p> <p>機 制</p> <p>離子交換 $M-OH^+ + C^+ \rightarrow MOC^+ + H^+$</p> <p>利用海水中的 Na^+ 和 Ag^+ 進行離子交換</p>	<p>鹽 度</p> <p>下降</p> <p>導電度</p> <p>上升</p>

酸化再生機制

機 制	鹽 度
<p>酸化再生</p> <p>逆反應 $M-OH + H^+ A^- \rightleftharpoons M-OH_2^+ + A^-$</p> <p>反應式逆行</p>	<p>下降</p> <p>導電度</p> <p>下降</p>

1. 從研究發現，當酸化一次浸泡時，孔洞材料的表面會在鹼條件中產生逆反應使多孔洞材料再生，酸化的濃度和反應成正比。

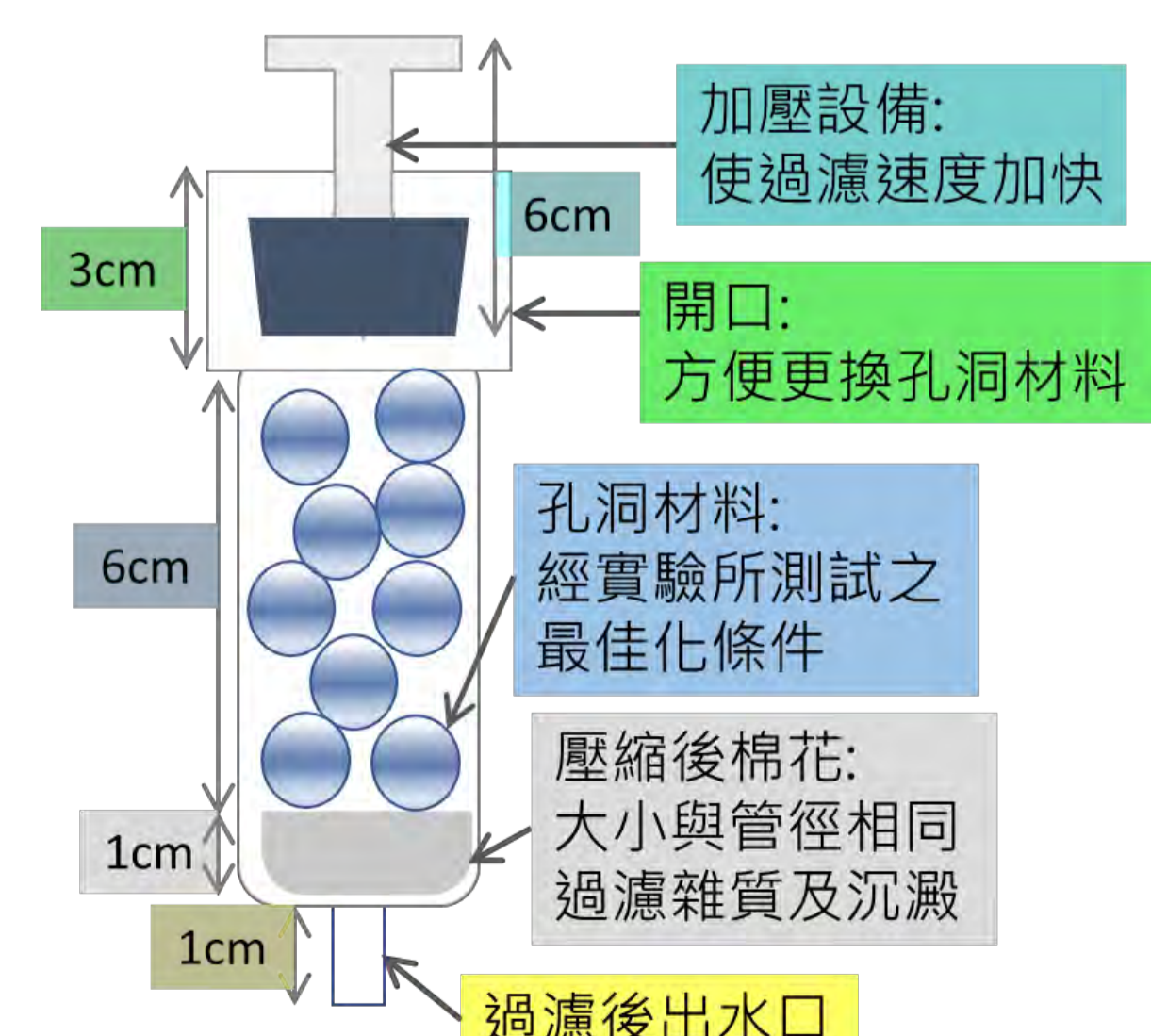
鹼化前處理機制

機 制	鹽 度
<p>鹼化</p> <p>鹼化 $M-OH + OH^- \rightarrow M-O^- + H_2O$</p> <p>處理後</p> <p>表面帶正電荷</p> <p>抓走海水中陰離子</p>	<p>下降</p> <p>導電度</p> <p>下降</p>
<p>鍍銀</p> <p>機 制</p> <p>離子交換 $M-OC^+ + Ag^+ \rightarrow MOAg^+ + C^+$</p> <p>利用海水中的 Na^+ 和 Ag^+ 進行離子交換</p>	<p>鹽 度</p> <p>下降</p> <p>導電度</p> <p>下降</p>

- 從酸化及鹼化實驗發現，二次浸泡時因孔洞材料的孔洞已被離子填滿，所以能再吸附的離子量下降，雖然也能達成淡化效果，但鹽度下降率低於一次浸泡。
- 我們從鹼化及鹽化實驗發現，雖同樣是吸附鈉離子，但鹼化的效果卻優於鹽化，因為鹼化時NaOH中的OH⁻離子可與孔洞材料表面的OH⁻反應，使其表面帶負電，讓更多鈉離子能夠更穩固吸附於孔洞材料孔隙內，進而吸附更多海水中的氯離子，而海水則因為本身的鈉離子就低於NaCl 1M一次所以效果為三者最差。
- 過濾管柱長度低於6公分時，會因過濾材料較少，所以無法較有效率地進行淡化，其中鹼化前處理的影響較酸化的明顯；且因孔洞材料吸附離子量有限，所以鹽度下降率和過濾體積成反比。
- 孔徑越大的材料在進行前處理後，因為能吸附離子較多所以淡化效果越好。
- 酸化及鹼化離子交換機制不同，會因為所使用孔洞材料不同而有不同的影響。

未來展望

- 希望將多孔洞材料敲碎，讓孔洞材料的表面積增加，在浸泡及過濾時能產生反應及附著離子的面積提升，希望在同樣使用量的情形提升淡化效果。
- 將浸泡硝酸銀的時間延長，使銀離子附著率提高，讓鹽度下降率提升至少20%，使其成為半鹼水，應用於養殖業等領域，並進行後續研究，希望開發為方便攜帶的海水淡化系統應用至臨海缺水地帶。



參考文獻

科學online。2018年9月12日，取自網站：shorturl.at/gwJQV
 Edy Wibowo, Sutisna, Mamat Rokhmat, Riri Murniati, Khairurrijal, and Mikrajuddin Abdullah(2017). Utilization of natural zeolite as sorbent material for seawater desalination. Science Direct.
 Acknowledgement: National Sun Yat-sen University department of chemistry Prof. LIANG