

# 中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 化學科

030207

做透透，玩透透

學校名稱：臺南市私立興國高級中學(附設國中)

作者：  國三 劉議琦  國三 黃丞偉  國三 馬晟晏	指導老師：  黃淑芬
---	------------------

關鍵詞：硫酸紙、半透膜、離子擴散與沉澱

## 摘要

濾紙浸泡在濃硫酸溶液中(75%、10°C、60 s)，再以大量清水沖洗，氨水中和後可以成為有韌性的半透膜。玻璃紙上下兩面同時浸泡於 0.012 M 黃血鹽與 0.024 M 硫酸銅溶液，在表面形成  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  薄膜，改變紙的孔洞大小，成為更理想的半透膜。將硫酸紙(A)、 $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙(B)與蛋膜(C)、透析膜(D)、玻璃紙(E)進行選擇性滲透測試，均可讓葡萄糖、蔗糖通過，但澱粉則被阻擋；葡萄糖水溶液之滲透速率： $B > C > E > A \approx D$ 。蔗糖水溶液之滲透速率： $C > B > E > A \approx D$ 。離子  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Ag}^+$ 、 $\text{Cu}^{2+}$  均可通過。離子擴散實驗， $\text{Cl}^-$  擴散速率： $C > E > B > A > D$ ， $\text{Pb}^{2+}$  擴散速率： $B > C > A > E > D$ 。以半透膜隔開  $\text{Cl}^-$  與  $\text{Pb}^{2+}$  溶液，在  $\text{Pb}^{2+}$  溶液端生成白色針狀之  $\text{PbCl}_2$  沉澱。

## 壹、研究動機

在進行濃硫酸相關性質實驗時，不小心將濾紙掉入裝有濃硫酸的燒杯中，趕緊將其拿出並以大量水沖洗時，發現整張濾紙的感覺變了，有點韌性並可以拉扯不破，因此引起我們的好奇心，到底濾紙與濃硫酸間發生了甚麼反應？所以著手找尋相關資料並進行此科展活動。

## 貳、研究目的

本作品主要是將濾紙與玻璃紙分別經由不同的化學反應，進行本身表面結構的改造，找尋最佳條件，製成具有半透膜性質的硫酸紙與  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙。並利用這些半透膜進行滲透實驗、離子擴散及離子沉澱實驗。

- 一、濾紙改造部分：探討的變因有硫酸濃度、反應溫度、反應時間、清洗時之水溫。
- 二、玻璃紙改造部分：探討的變因有硫酸銅與黃血鹽濃度、反應時間。
- 三、將製成的硫酸紙與  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙與蛋膜、透析膜、玻璃紙進行基本的滲透實驗，並進行一些離子的擴散速率與沉澱實驗。

## 參、研究設備及器材

### 一、研究器材：

(一) 半透膜或紙	市售透析膜 MD44-14(MW: 8000-14000)、蛋膜、玻璃紙、濾紙、秤量紙、描圖紙
(二) 滲透裝置	直中空玻璃管(15cm)、L型中空玻璃管、PVC水管(口徑 1/4、5/16、5分、6分)、PARAFILM 封口膜、壓克力盒、吸盤、塑膠杯
(三) 測量用	電子天平、導電率感測器(簡易感測器 Data Harvest Advanced 數據擷取器)、pH儀、光度計、電子溫度計
(四) 其他	滴管、燒杯、試管、廣用夾、安全吸球及吸量管、酒精燈、陶瓷纖維網及三角架、烘箱、顯微鏡、吹風機、玻璃缸、培養皿、鑷子

## 二、藥品：

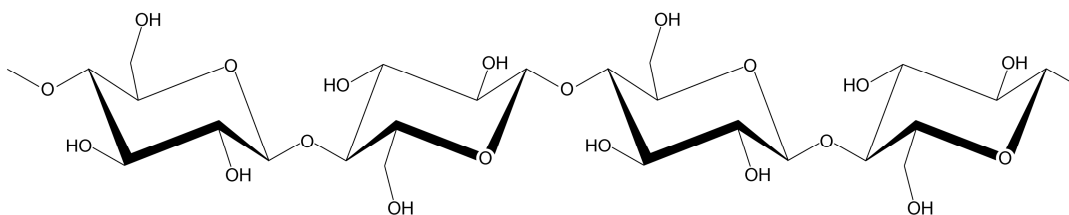
(一) 濾紙改造部分	硫酸( $H_2SO_4$ )、氨水( $NH_3$ )
(二) 玻璃紙改造部分	硫酸銅( $CuSO_4$ )、黃血鹽(亞鐵氰化鉀 $K_4[Fe(CN)_6] \cdot 3H_2O$ )
(三) 滲透與離子擴散、沉澱實驗	蔗糖( $C_{12}H_{22}O_{11}$ )、葡萄糖( $C_6H_{12}O_6$ )、澱粉、氯化鈉( $NaCl$ )、硝酸銀( $AgNO_3$ )、硝酸鉛( $Pb(NO_3)_2$ )、碘化鈉( $NaI$ )、氫氧化鈉( $NaOH$ )、酒精( $C_2H_5OH$ )、酚酞指示劑、本氏液、碘液

## 肆、研究過程與方法

### 一、文獻探討：

濾紙(Filter Paper)是一種常見於化學實驗室的過濾工具，形狀大多是圓形，由棉質纖維製成，表面有無數小孔可供液體粒子通過，而體積較大的固體粒子則不能通過。這種性質可用來分離過濾液態及固態物質混合物。

纖維素(cellulose)是由 $\beta$ -葡萄糖所聚合，結構如圖(一)所示，其能溶於濃硫酸並發生水解反應，將濾紙浸入一定濃度的硫酸中，再以大量清水洗滌則可使黏稠層均勻地附在濾紙表面，使濾紙孔洞變小，可做半透膜的實驗，又因其顏色潔白，故被稱為羊皮紙或者稱為硫酸紙。

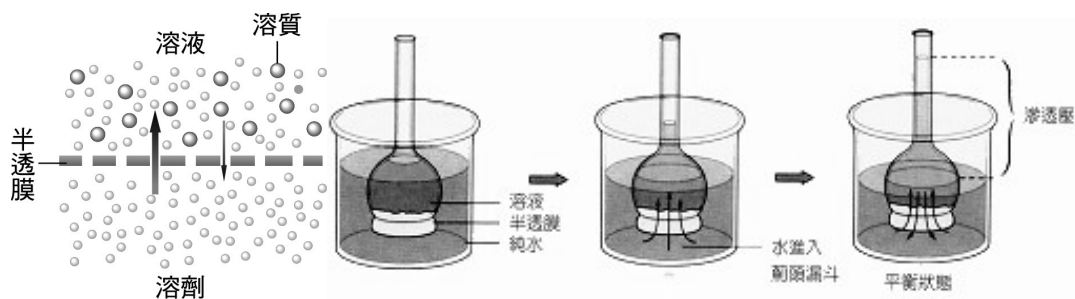


圖(一) 纖維素的結構

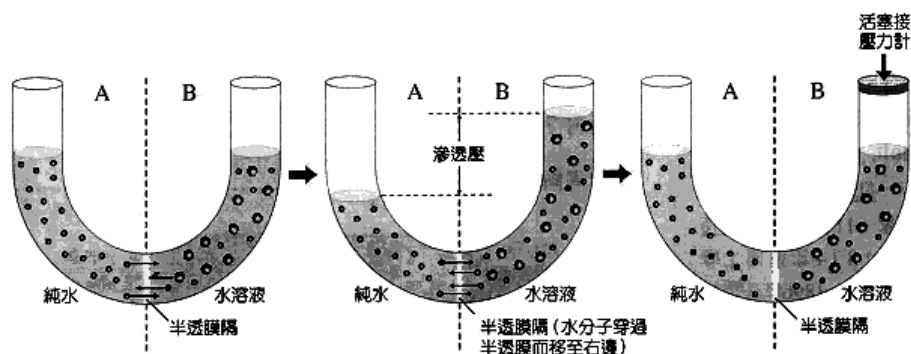
玻璃紙(cellophane)，又稱賽璐玢 (celluloid)。也是一種是以棉漿、木漿等天然纖維為原料，用膠黏法製成的一種透明度高並有光澤的再生硝化纖維素薄膜。玻璃紙可作半透膜。

半透膜(semipermeable membrane)是指一類可以讓小分子物質通過而大分子物質不能通過的薄膜總稱。大分子與小分子的界定依膜的種類不同而不同。

以半透膜隔開有濃度差的溶液，其溶劑分子會從較稀薄溶液經過半透膜滲入較高濃度的溶液，這種現象稱為滲透(osmosis)，如圖(二)所示。最後當二液面高度差足以阻止水分子的淨流動，即二邊水分子的穿透速率相等時達到平衡，此高度差為滲透壓(osmotic pressure)，其可用 U 型容器測量，如圖(三)所示。



圖(二) 滲透現象



圖(三) 滲透壓示意圖

滲透壓具有依數性質，僅與單位體積溶液中溶質的粒子數有關，而與溶質性質無關。且在稀薄溶液中滲透壓  $\pi$  的大小與溶液之體積莫耳濃度絕對溫度及依數成正比。即

$$\pi = C_M RT i$$

$\pi$ ：滲透壓(atm)；  
 $C_M$ ：體積莫耳濃度(M)；  
 $R$ ：理想氣體常數  $0.082 \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K}$ ；  
 $T$ ：絕對溫標(K)  
 $i$ ：凡特荷夫因子

電解質水溶液在電場的影響下，藉離子的移動而導電，其導電性與金屬導體一樣，遵循歐姆定律(Ohm's law)。電阻的倒數 $1/R$ 稱為電導( $G$ , conductance)，其單位以 $\Omega$ 的倒數( $\Omega^{-1}$ )或姆歐(mho)或西門子(siemens)表示之， $G=1/R(\Omega^{-1}, \text{mho}, \text{S})$ 。觀察溶液的電導( $G$ )，會與兩極間的距離 $d$ 成反比，與其面積 $A$ 成正比。利用電導度計，可以測量水中解離性物質總濃度。

## 二、基本操作：

### (一) 製備硫酸紙的操作步驟：

1. 基本裝置參照圖(四)。
2. 在  $10^\circ\text{C}$  下，鑷子夾取 1/2 張濾紙放入裝有硫酸 75% 之方型玻璃缸中。
3. 浸泡 30 秒時以鑷子翻面，再浸泡 30 秒後取出，攤平在玻璃板上。
4. 用大量清水沖洗，沖至表面無滑膩感即可，將紙浸入冷水( $10^\circ\text{C}$ )中約 5 分鐘，將紙取出，再以 1000 mL 冷水沖洗一遍。
5. 以濃氨水中和(試紙檢驗呈鹼性)，再以蒸餾水將硫酸紙表面洗淨。硫酸紙以乾布擦乾，再用吹風機稍微吹乾。若要製作半透膜實驗，則存於蒸餾水中備用。

### (二) 製備 $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$ 紙的操作步驟：

1. 將玻璃紙浸泡放入酒精 2-3 分鐘，取出後用清水沖洗，去掉表面油污。
2. 將 0.024 M 硫酸銅倒入玻璃缸中，將 15cm\*15cm 大小之玻璃紙浸入，只讓玻璃紙下層接觸硫酸銅。裝置如示意圖(五)所示。
3. 倒入 15 mL 0.012 M 黃血鹽於玻璃紙上方，靜置 5 分鐘後將玻璃紙取出，自然風乾即完成。

(三) 半透膜選擇性滲透實驗的操作步驟：

1. 將適當大小之待測膜緊靠在玻璃管的一端，利用口徑稍大於玻璃管口徑之 PVC 水管套塞住膜與玻璃管。
2. 用 PARAFILM 封住水管(有模端)與玻璃管的交接處。
3. 將待測溶液 1 mL 加入玻璃管中，利用束帶與吸盤，將其固定於塑膠盒蓋上。
4. 將玻璃管封有待測膜端插入裝有另一待測溶液的小量杯裡。調整內外液面高度差 4.5cm。組裝之分解步驟與完成之裝置圖，參照圖(六)。
5. 每隔一段時間記錄下方溶液的變化，或進行相關的檢驗實驗。
6. 檢驗方法：

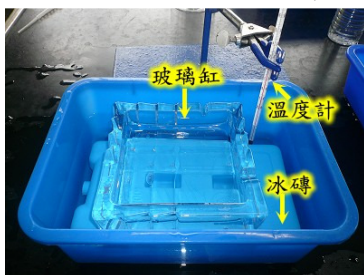
檢驗物質	葡萄糖	蔗糖	澱粉
檢驗試劑	熱的本氏液	先用酸水解，再用本氏液	碘液
判別	變成綠、黃、紅色		變成深藍色
檢驗物質	OH <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Cu <sup>2+</sup>
檢驗試劑	酚酞	AgNO <sub>3</sub>	Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>4-</sup>
判別	變成紅色	產生白色沉澱	產生紅棕色沉澱

(四) 半透膜滲透實驗的操作步驟：

1. 將 L 型玻璃管塞入口徑稍大於玻璃管口徑之 PVC 水管中。
2. 把待測膜放到水管的另一端上，將另一 L 型玻璃管連同膜一塞入 PVC 水管中。
3. 用 PARAFILM 封住水管與玻璃管的交接處。組裝完成之裝置圖，參照圖(七)。
4. 將 2 mL 溶液與蒸餾水分別倒入左邊與右邊的 L 型玻璃管中，調整讓兩者的液面等高。每隔一段時間記錄兩邊的高度。

(五) 離子擴散速率與離子沉澱實驗之操作步驟：

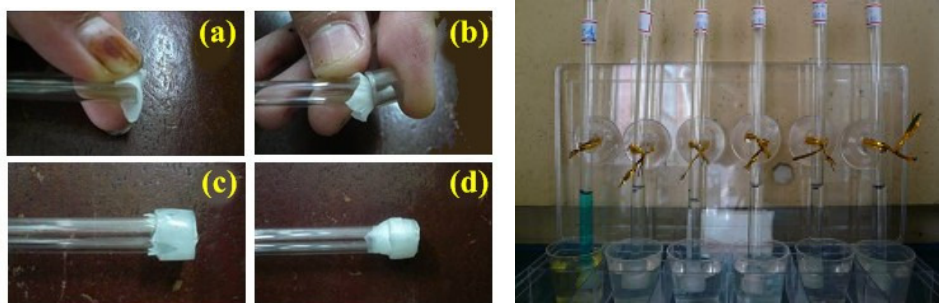
1. 步驟如基本操作(四)，改用口徑 1.7 cm 之 L 型玻璃管與 PVC 水管(6 分)。
2. 將 20 mL 溶液與蒸餾水分別倒入左邊與右邊的 L 型玻璃管中，調整讓兩者的液面等高。將導電率感測器置入右邊水端，開始記錄水端之導電率值，組裝完成之裝置圖，參照圖(八)。
3. 離子沉澱，則在半透膜兩端分別加入會產生沉澱之不同電解質溶液，每隔一段時間測量兩邊溶液之導電率值。



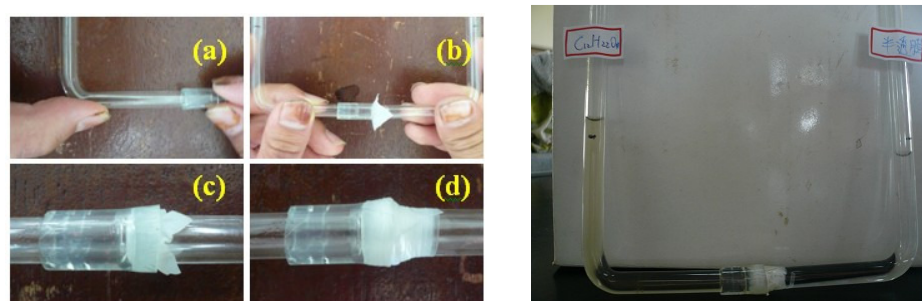
圖(四) 製備硫酸紙基本裝置



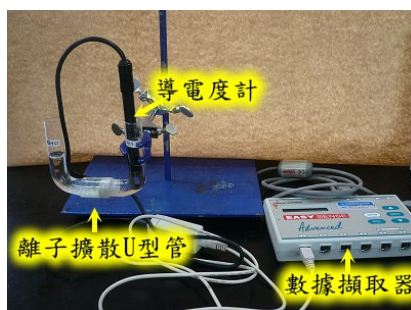
圖(五) 製備亞鐵氰化銅玻璃紙裝置



圖(六) 組裝長直玻璃管滲透裝置之分解步驟與最終裝置圖



圖(七) 組裝 U 型玻璃管滲透裝置之分解步驟與最終裝置圖



圖(八) 測量離子擴散速率與沉澱實驗裝置圖

### 【第一部分：做透透--自製半透膜】

實驗一、比較不同條件(反應容器、濾紙夾取工具、乾燥方式)對硫酸紙製備過程的影響：

(一) 實驗步驟：

1. 在室溫下，將 1/4 張濾紙放入裝有 75% 硫酸之「燒杯」中。
2. 浸泡 30 秒時以「鑷子」翻面，再浸泡 30 秒後取出。
3. 用大量清水沖洗，再以濃氨水中和後，「自然晾乾」去除大部分的水分。
4. 反應容器「燒杯」分別改用培養皿、方型玻璃缸，重複步驟 1~3，比較優缺點。
5. 步驟 1 中使用方型玻璃缸，步驟 2 中夾取濾紙工具「鑷子」改用晒衣夾子與竹筷組合，如圖(九)，重複步驟 1~3，比較優缺點。
6. 步驟 1 中使用方型玻璃缸，步驟 3 中的「自然晾乾」部分改用烘箱烘乾(50°C 烘乾 10 分鐘)、吹風機吹 2 分鐘、或乾布加壓吸水 1 分鐘，比較優缺點。



圖(九) 曬衣夾子

## 實驗二、濾紙與濃硫酸的水解反應測試：

### (一) 實驗步驟：

1. 在室溫下，將 1/4 張濾紙四張分別放入四個裝有濃硫酸之培養皿中。
2. 觀察隨著反應時間長短濾紙外觀的變化。
3. 改以不同濃度的硫酸重覆步驟 1~2。
4. 以顯微鏡觀察濾紙在 75% 濃硫酸之水解反應。

## 實驗三、探討不同水溫的沖洗對製備硫酸紙的影響：

### (一) 實驗步驟：

1. 同硫酸紙基本操作步驟。
2. 步驟 3 之浸入水溫改成溫水(25°C)、熱水(40°C)，重複其他步驟。

## 實驗四、探討不同反應時間對製備硫酸紙的影響：

### (一) 實驗步驟：

1. 同硫酸紙基本操作步驟。
2. 步驟 2 之總反應時間改成 30 秒、120 秒，重複其他步驟。

## 實驗五、探討不同硫酸濃度製備硫酸紙的影響：

### (一) 實驗步驟：

1. 同硫酸紙基本操作步驟。
2. 步驟 2 之「75% 硫酸」改用不同濃度 98%、80%、70%、65%，重複其他步驟。

## 實驗六、探討不同溫度製備硫酸紙的影響：

### (一) 實驗步驟：

1. 同硫酸紙基本操作步驟。
2. 步驟 2 之 10°C 改用不同溫度 25°C、40°C，重複其他步驟。

## 實驗七、探討不同反應時間對製備 $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$ 紙的影響：

### (一) 實驗步驟：

1. 同  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙之基本步驟。
2. 反應時間分別為 2 min、5 min 與 10 min。
3. 以光度計測不同條件下之  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙的光度。

## 實驗八、探討不同濃度對製備 $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$ 紙的影響：

### (一) 實驗步驟：

1. 同  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙之基本步驟。反應時間固定為 5 min。
2. 反應物濃度分別為硫酸銅(0.024、0.05、0.1 M)與黃血鹽(0.012、0.05、0.1 M)。
3. 以光度計測不同條件下之  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙的光度。

## 【第二部分：玩透透--半透膜選擇性滲透實驗】

### 實驗九、比較不同半透膜固定方式對滲透實驗裝置的影響：

#### (一)實驗步驟：

1. 以玻璃紙為半透膜。剪裁適當大小之玻璃紙，用 O-ring 固定於玻璃管下端。
2. 加入 5 mL 的葡萄糖溶液，觀察是否有漏液情形。
3. 改使用 PCV 水管套塞，觀察是否有漏液情形。
4. 比較利用 parafilm、熱熔膠、止洩帶封住交接處之情形。

### 實驗十、探討半透膜的非電解質溶液選擇性滲透情形：

#### (一)實驗步驟：

1. 同半透膜性質實驗的基本操作步驟。玻璃管中置入 1 mL 溶液，下方量杯置入蒸餾水，觀察一天。
2. 操縱變因有不同的非電解質溶液：葡萄糖、蔗糖、澱粉溶液以及不同待測膜(蛋膜、玻璃紙、透析膜、硫酸紙、 $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$ 紙)。
3. 檢驗是否含有非電解質滲透至下方蒸餾水中。

### 實驗十一、探討半透膜的電解質溶液選擇性滲透情形：

#### (一)實驗步驟：

1. 同半透膜性質實驗的基本操作步驟。
2. 操縱變因有不同的電解質溶液：食鹽水、氫氧化鈉溶液、硫酸銅溶液以及不同待測膜。
3. 玻璃管中的溶液與下方的檢驗溶液：

玻璃管	NaOH	NaCl	CuSO <sub>4</sub>
量杯	酚酞+蒸餾水	AgNO <sub>3</sub>	K <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]

4. 記錄下方溶液之情形與待測膜之變化。

### 實驗十二、探討非電解質溶液在不同半透膜的滲透速率：

#### (一)實驗步驟：

1. 同半透膜滲透實驗的基本操作步驟。左端玻璃管中置入 2 mL 溶液，右端加入蒸餾水，每隔一段時間記錄兩邊液面高度。
2. 操縱變因有不同的非電解質溶液：葡萄糖、蔗糖、澱粉溶液以及不同待測膜。

## 【第三部分：玩透透--離子擴散與沉澱實驗】

### 實驗十三、探討離子溶液在不同半透膜之擴散速率：

#### (一)實驗步驟：

1. 同離子擴散速率與沉澱實驗之基本操作步驟。左端玻璃管中置入 20 mL 0.05M NaCl 溶液，右端加入 25 mL 蒸餾水，每隔一段時間記錄水端與離子端之電導率值。
2. 操縱變因有同濃度(均為 0.05 M)、不同的離子溶液：NaCl、NaI、 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 、CuSO<sub>4</sub> 溶液以及不同待測膜。



#### 實驗十四、探討離子溶液在不同半透膜之沉澱情形：

##### (一) 實驗步驟：

1. 同離子擴散速率與離子沉澱實驗之基本操作步驟。左端玻璃管中置入 20 mL 0.1 M NaCl 溶液，右端加入 25 mL 0.1 M  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ，每隔一段時間記錄水端與離子端之電導率值。
2. 操縱變因分別有同濃度(均為 0.1 M)、不同的離子溶液： $\text{NaCl} + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{NaI} + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{NaCl} + \text{AgNO}_3$  溶液以及不同待測膜。

## 伍、研究結果

#### 實驗一、比較不同條件(反應容器、濾紙夾取工具、乾燥方式)對硫酸紙製備過程的影響：

首先在製備硫酸紙的裝置上，我們先參考文獻上的製作方式後，並不是非常的順暢。所以先嘗試就裝置上做一些改變，其相互比較列於表(一)。

表(一)製備硫酸紙各項裝置之比較

變因：反應容器	來源	價錢	酸用量	濾紙大小	其他說明
燒杯	易	30 元	約 30 mL	1/4 張	製備過程中濾紙容易黏在一起
培養皿	易	80 元	約 15 mL	1/4 張	低溫控溫實驗時，較輕，易浮起
方型玻璃缸	易	90 元	約 20 mL	1/2 張	最能符合需求

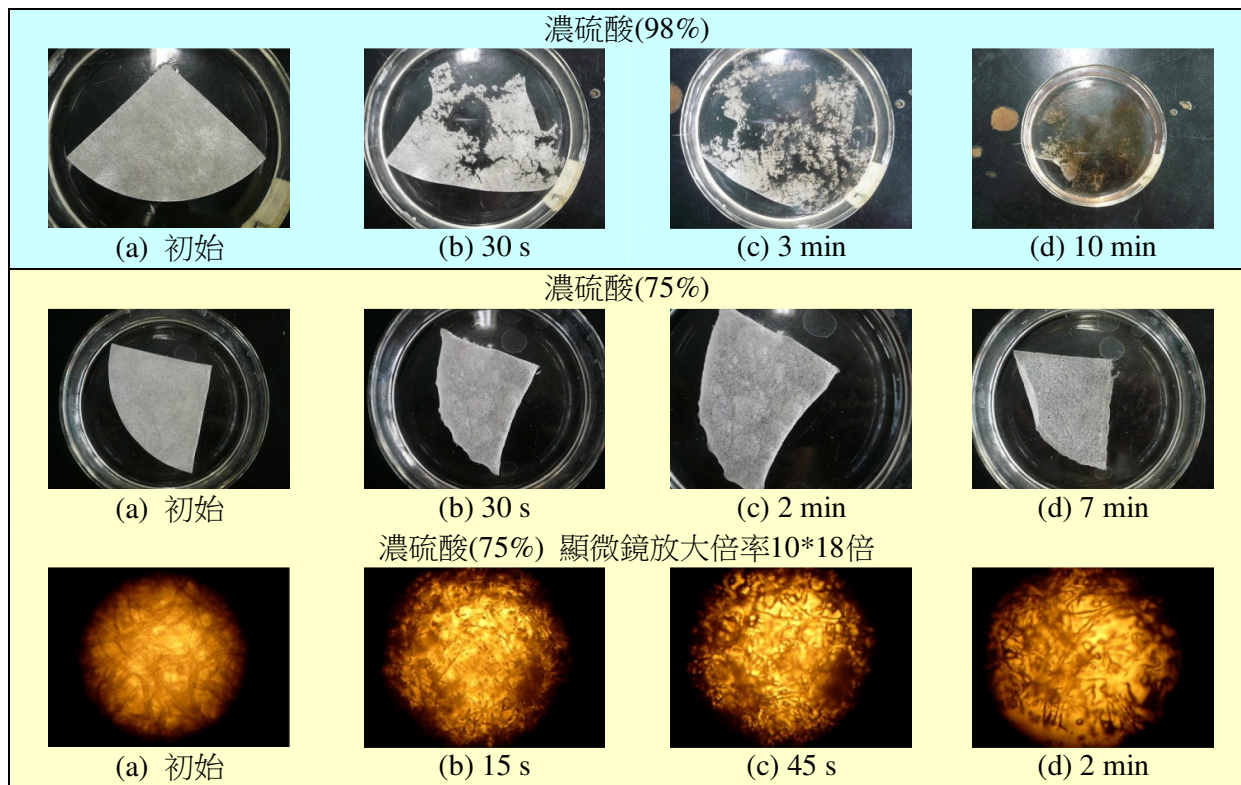
夾取工具	來源	優缺點	乾燥方式	來源	優缺點
鑷子	易	較好使用但容易留下夾痕	烘箱烘乾	較不易	可控溫，硫酸紙容易碎裂
晒衣夾子、竹筷	易	方便拿取但紙容易斷裂，無法製造較大面積之硫酸紙	吹風機	易	方便操作，較花時間，不可定點吹太久
			乾毛巾吸壓	易	方便較不容易乾

最後進行濾紙與濃硫酸反應時的容器，均是採用方型玻璃缸。夾取濾紙仍是使用鑷子夾取，但是剛反應完的濾紙不以鑷子夾取沖水，而是先平攤在玻璃板上，待其與水反應後變成比較有韌性之後，鑷子夾取就不會對硫酸紙造成影響。因為所製得之硫酸紙仍以半透膜的性質實驗為主，所以不須要完全乾燥，以吹風機稍吹乾，以乾布加壓吸濕，即裝入密封袋保存，但時間較長，約過了 2 個星期後，硫酸紙會出現黑色物質，像是發霉般，所以最後採用浸泡在蒸餾水的保存方式。

#### 實驗二、濾紙與濃硫酸的水解反應測試：

濃硫酸有很強的脫水性，會將碳水化合物脫水後碳化，將濾紙直接置於濃硫酸觀察，約 30 s 濾紙即有溶解情形，約 10 min 即出現黑色的碳，15 min 整個濃硫酸溶液呈現黑色。見圖(十)。而將濾紙置於濃度 75% 之硫酸溶液中觀察，約 30 s 濾紙外觀非溶解而是邊緣有內縮之情形，且有變薄，7 min 左右濾紙邊緣才稍有溶解情形。

進一步使用複式顯微鏡觀察濾紙纖維在 75% 硫酸溶液中的微觀變化，可以看到纖維之間明顯有溶解再聚合的情形，纖維間之空隙也一直在改變中。



圖(十) 濾紙在不同濃度硫酸之水解或分解情形

實驗三~實驗六、探討不同變因下對製備硫酸紙的影響：

我們總共探討了沖洗水溫、反應時間、硫酸濃度、反應溫度下對製備硫酸紙的影響。所有變因與其基本差異性整理於表(二)。

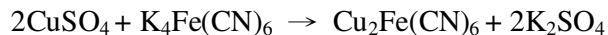
整體而言，沖洗以 10 °C 冰水，反應時間 60 s，硫酸濃度 75%，反應裝置控溫在 10°C，可以得到觸感滑順，有韌性，較耐拉扯，其與原濾紙之拉扯與大小尺寸情形，見圖(十一)。

經過計算，原 1/4 張之濾紙經由與硫酸作用成為硫酸紙，面積縮小約 37%。

實驗七與八、探討不同變因下對製備  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙的影響：

我們總共探討了反應時間、濃度對製備  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙的影響。變因與其基本差異性整理於表(三)。 $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙的外觀，見圖(十二)。

硫酸銅與黃血鹽反應生成亞鐵氰化銅之反應方程式如下：

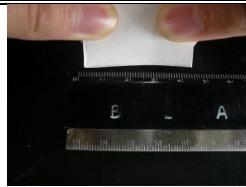


反應 2 分鐘時即開始有顏色變化，隨著時間愈長，紅褐色會愈明顯，代表  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  生成量越多，5 分鐘時表面要均勻，但反應時間過長，玻璃紙表面也會愈皺且粗糙。

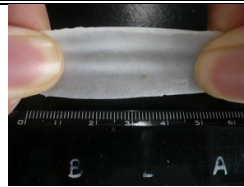
就反應方程式來看，理論上，[硫酸銅]：[黃血鹽] = 2：1，但對於膜的生成，大多仍以硫酸銅為過量試劑，遂決定採取兩者一樣濃度，後來選定 0.05M 及 0.1M 為對照組實驗。0.024M 硫酸銅及 0.012M 黃血鹽製成之硫酸紙透光度較好，表面粗糙，顏色稍為偏淡；濃度愈濃生成較多量的  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$ ，外觀看起來顏色也較深。

表(二) 製備硫酸紙之控制變因實驗

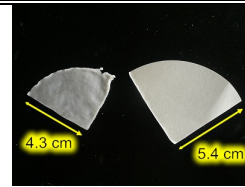
實驗編號	沖洗水溫 (°C)	反應時間 (s)	硫酸濃度 (%)	反應溫度 (°C)	其他說明
A-1	10	60	75	10	外表有膠結凍狀的感覺，觸感滑順
A-2	20	60	75	10	外表稍微透明，觸感稍有粗糙
A-3	40	60	75	10	外表不太透明，觸感粗糙
B-1	10	30	75	10	取出時較硬 清洗時間可較短
B-2	10	60	75	10	取出時稍軟
B-3	10	120	75	10	取出時紙質很軟易破，清洗時間長
C-1	10	60	65	10	處理後紙過軟無法取出，製備失敗
C-2	10	60	70	10	紙張較厚，取出時較硬較好取出
C-3	10	60	75	10	厚度中等，紙質稍軟
C-4	10	60	80	10	紙張較薄，取出時較軟
D-1	10	60	75	10	紙較有塑性，較好取出及處理
D-2	10	60	75	25	取出時很軟稍不小心會弄破
D-3	10	60	75	40	紙容易軟爛，失敗機率高



(a) 濾紙



(b) 硫酸紙

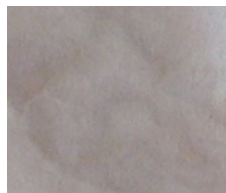


(c) 兩者尺寸比較

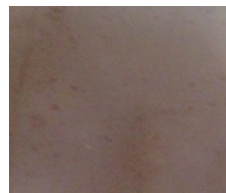
圖(十一) 濾紙與硫酸紙之拉扯與尺寸比較

表(三) 製備  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙之控制變因實驗

實驗編號	反應時間(min)	$\text{CuSO}_4$ (M)	黃血鹽(M)	光度(lux)	其他說明
E-1	2	0.024	0.012	12	非常透明，表面感覺較光滑
E-2	5	0.024	0.012	12	表面感覺稍粗糙，顏色稍淡
E-3	10	0.024	0.012	11	表面粗糙，顏色稍淡
F-1	5	0.05	0.05	11	表面較粗糙，顏色深
F-2	5	0.1	0.1	10	表面光滑，顏色深



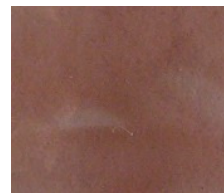
(a) E-1



(b) E-2



(c) E-3



(d) F-1

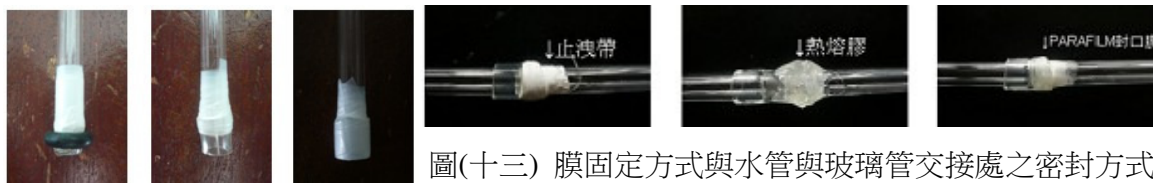


(e) F-2

圖(十二) 自製  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙外觀

實驗九、比較不同半透膜固定方式對滲透實驗裝置的影響：

我們只要觀察現象並沒有定量記錄，所以選用小長直玻璃管，小塑膠量杯可達減量。膜採用 O-ring 卡住，但因為硫酸紙的吸濕性更佳，在上方易有漏液，改採用 PVC 水管連同膜與玻璃管套塞，但置入下方溶液中，易有空氣干擾，最後只用約 0.8 cm 長之 PVC 水管套塞到膜外露，再以 PARAFILM 封住水管與玻璃的交接處。而滲透速率實驗之 U 型玻璃管是以兩 L 型玻璃管與 PVC 水管套接而成，交接處不容易密封，在嘗試了止洩帶、熱熔膠後，均有使用不方便或漏液，最後均使用 PARAFILM。見圖(十三)。



圖(十三) 膜固定方式與水管與玻璃管交接處之密封方式

實驗十與十一、探討半透膜的非電解質與電解質溶液選擇性滲透情形：

選擇性滲透的情形結果整理於表(四)，○代表可透過，×代表不可通過。

製備條件 溶質		表(四) 不同半透膜之選擇性滲透結果											
		水洗溫度			反應時間			硫酸濃度			硫酸紙		
		10°C	25°C	40°C	30 s	60 s	120 s	70%	75%	80%	10°C	25°C	40°C
非電解質	葡萄糖	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	澱粉	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
電解質	NaOH	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	NaCl	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	CuSO <sub>4</sub>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

製備條件 溶質		Cu <sub>2</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> 紙					
		反應時間			濃度 [CuSO <sub>4</sub> ] / [K <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> ]		
		2 min	5 min	10 min	0.024M/0.012M	0.05M/0.05M	0.1M/0.1M
非電解質	葡萄糖	○	○	○	○	○	○
	澱粉	×	×	×	×	×	×
電解質	NaOH	失敗	失敗	失敗	失敗	失敗	失敗
	NaCl	○	○	○	○	○	○
	CuSO <sub>4</sub>	○	○	○	○	○	○

溶質		蛋膜	透析膜	玻璃紙	濾紙	秤量紙	描圖紙
非電解質	葡萄糖	○	○	○	濾紙與秤量紙耐拉扯性或韌性均不足，濾紙遇水時，紙張呈現吸濕現象，並有漏水情形，秤量紙遇水易爛會漏液；描圖紙可以勉強套塞在玻璃管口，但遇水後破裂。三者並沒有半透膜性質。		
	蔗糖	○	○	○			
	澱粉	×	×	×			
電解質	NaOH	失敗	○	失敗			
	NaCl	○	○	○			
	CuSO <sub>4</sub>	○	○	○			

自製硫酸紙與  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙均可以使葡萄糖通過而澱粉無法通過。比較特別的是，很多書上說蛋膜無法讓葡萄糖通過，透析膜應該只會讓溶劑水通過，但經由我們的測試，蛋膜、透析膜不僅葡萄糖會通過，蔗糖也可以透過，我們自製的硫酸紙或  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙性質很相似，均非最理想的半透膜。而離子  $\text{OH}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Cu}^{2+}$  測試，除了蛋膜與玻璃紙類的膜無明顯法承受鹼性溶液而破裂外，其餘均可以透過。

### 實驗十二、探討非電解質溶液在不同半透膜的滲透速率：

進一步將自製的硫酸紙與  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙與蛋膜、透析膜、玻璃紙做滲透實驗，觀察 U 型管兩端的高度差，進行滲透速率的比較。高度差隨時間的變化整理於表(五)，圖(十四)。

表(五)葡萄糖溶液在半透膜中之滲透高度差

常見半透膜 葡萄糖溶液(1 M)			
$\frac{h(\text{cm})}{t(\text{min})}$	蛋膜	透析膜	玻璃紙
0	0.00	0.00	0.00
90	0.91	0.22	0.50
180	1.52	0.62	0.90
270	1.61	0.91	1.12
360	1.83	1.12	1.46
1420	1.62	2.93	3.52

硫酸紙 (操縱變因：水洗溫度)			
$\frac{h(\text{cm})}{t(\text{min})}$	10°C	25°C	40°C
0	0.00	0.00	0.00
90	0.40	0.10	0.10
180	0.60	0.40	0.40
270	0.81	0.60	0.60
360	1.11	0.80	0.80
480	1.31	1.10	1.00
1350	2.30	2.00	2.21

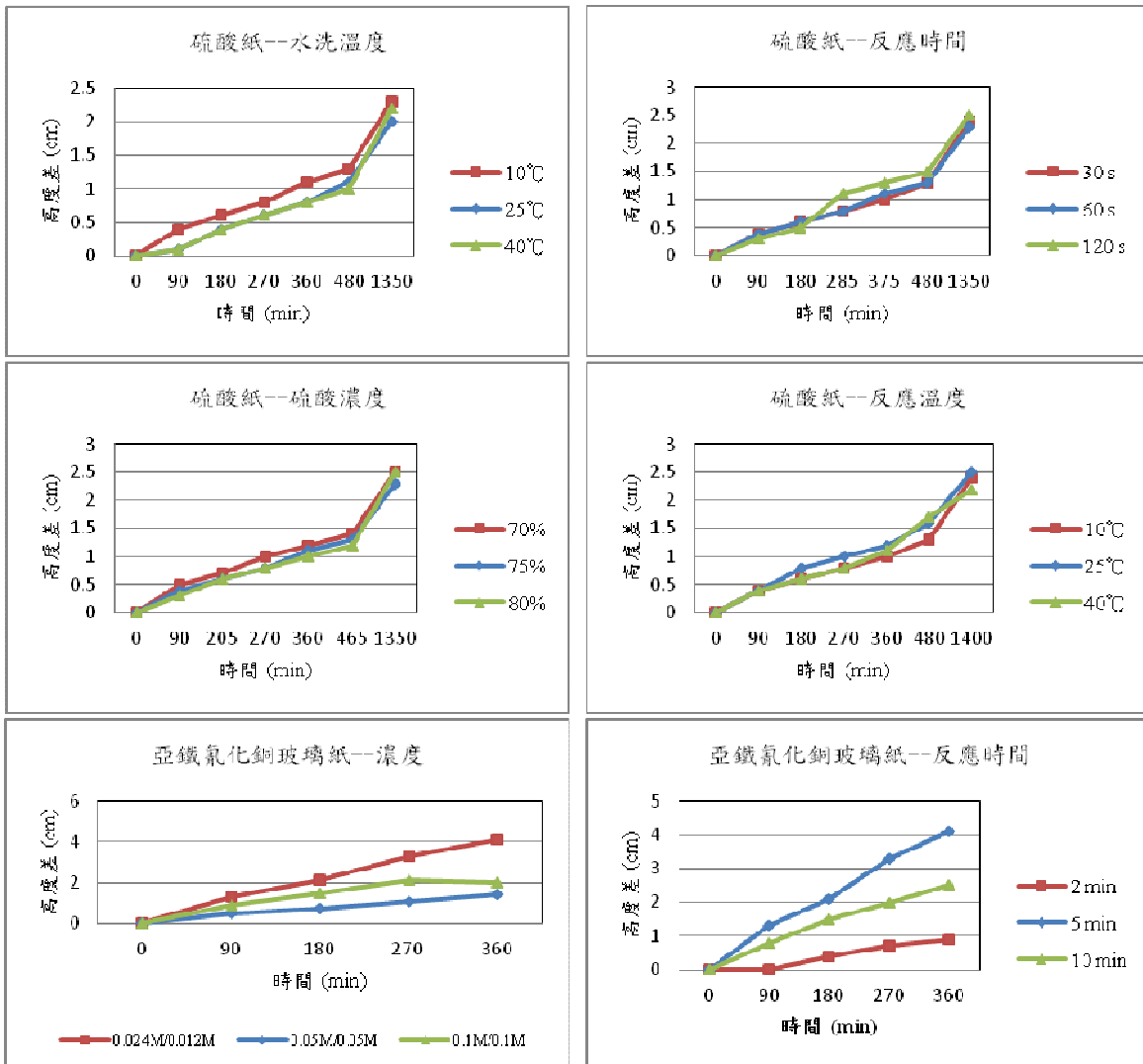
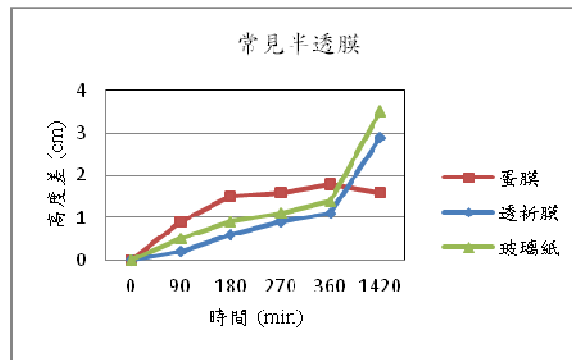
硫酸紙 (操縱變因：反應時間)			
$\frac{h(\text{cm})}{t(\text{min})}$	30 s	60 s	120 s
0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.40	0.40	0.30
180	0.61	0.61	0.51
285	0.83	0.83	1.10
375	1.00	1.10	1.30
480	1.30	1.30	
1350	2.42	2.31	

硫酸紙 (操縱變因：硫酸濃度)			
$\frac{h(\text{cm})}{t(\text{min})}$	70%	75%	80%
0	0.00	0.00	0.00
90	0.51	0.42	0.32
205	0.73	0.61	0.61
270	1.00	0.80	0.80
360	1.20	1.10	1.00
465	1.42	1.32	1.21
1350	2.50	2.30	2.50

硫酸紙 (操縱變因：反應溫度)			
$\frac{h(\text{cm})}{t(\text{min})}$	10°C	25°C	40°C
0	0.00	0.00	0.00
90	0.40	0.40	0.40
180	0.60	0.80	0.60
270	0.80	1.00	0.80
360	1.00	1.21	1.11
480	1.30	1.62	1.73
1400	2.40	2.50	2.20

$\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$ 紙 (操縱變因：反應時間)			
$\frac{h(\text{cm})}{t(\text{min})}$	2 min	5 min	10 min
0	0.00	0.00	0.00
90	0.00	1.30	0.80
180	0.40	2.12	1.51
270	0.70	3.32	2.00
360	0.90	4.12	2.50

$\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$ 紙 (操縱變因：濃度[ $\text{CuSO}_4$ ]/[ $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ ])			
$\frac{h(\text{cm})}{t(\text{min})}$	0.024M/0.012M	0.05M/0.05M	0.1M/0.1M
0	0.00	0.00	0.00
90	1.30	0.52	0.91
180	2.10	0.72	1.52
270	3.34	1.12	2.10
360	4.12	1.43	2.00



圖(十四) 葡萄糖溶液在半透膜之滲透高度差

不同條件下製備之硫酸紙，在葡萄糖與水之間的滲透速率差異不大，與透析膜相似，僅以 10°C 冰水沖洗所得之硫酸紙有較大之滲透速率。但是不同條件下製備之  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙則有較大的差異性，E-2 的條件下有最大的滲透速率。2 min 下的條件所製成的  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙與玻璃紙相似。濃度濃與反應時間長所生成的  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  量或許較接近，滲透速率也較相似。葡萄糖水溶液之滲透速率(360 min)： $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙 > 蛋膜 > 玻璃紙 > 硫酸紙 = 透析膜。

改使用蔗糖溶液觀察不同半透膜之滲透情形，其 U 型管兩端的高度差隨時間的變化整理於表(六)，圖(十五)。

表(六) 蔗糖溶液在半透膜中之滲透高度差

常見半透膜 蔗糖溶液(1 M)			
$\frac{h(\text{cm})}{t(\text{min})}$	蛋膜	透析膜	玻璃紙
0	0.00	0.00	0.00
90	1.71	0.50	0.80
180	3.12	0.90	1.43
270	3.90	1.32	1.93
360	4.90	1.72	2.43
1420	8.90	5.12	6.51

硫酸紙 (操縱變因：水洗溫度)			
$\frac{h(\text{cm})}{t(\text{min})}$	10°C	25°C	40°C
0	0.00	0.00	0.00
90	0.40	0.30	0.50
180	0.72	0.63	1.00
265	1.00	1.00	1.80
360	1.40	1.40	2.21
450	1.80	1.89	2.50
1625	4.40	4.40	5.21

硫酸紙 (操縱變因：反應時間)			
$\frac{h(\text{cm})}{t(\text{min})}$	30 s	60 s	120 s
0	0.00	0.00	0.00
90	0.50	0.42	0.42
180	0.90	0.72	0.70
265	1.50	1.00	0.90
360	1.90	1.42	1.33
450	2.42	1.82	1.63
1625	5.00	4.43	4.72

硫酸紙 (操縱變因：硫酸濃度)			
$\frac{h(\text{cm})}{t(\text{min})}$	70%	75%	80%
0	0.00	0.00	0.00
90	0.61	0.42	0.61
205	0.80	0.72	1.42
270	1.20	1.00	1.61
360	1.50	1.40	2.10
450	1.80	1.80	2.42
1350	4.40	4.40	5.32
2885	6.40	5.10	6.90

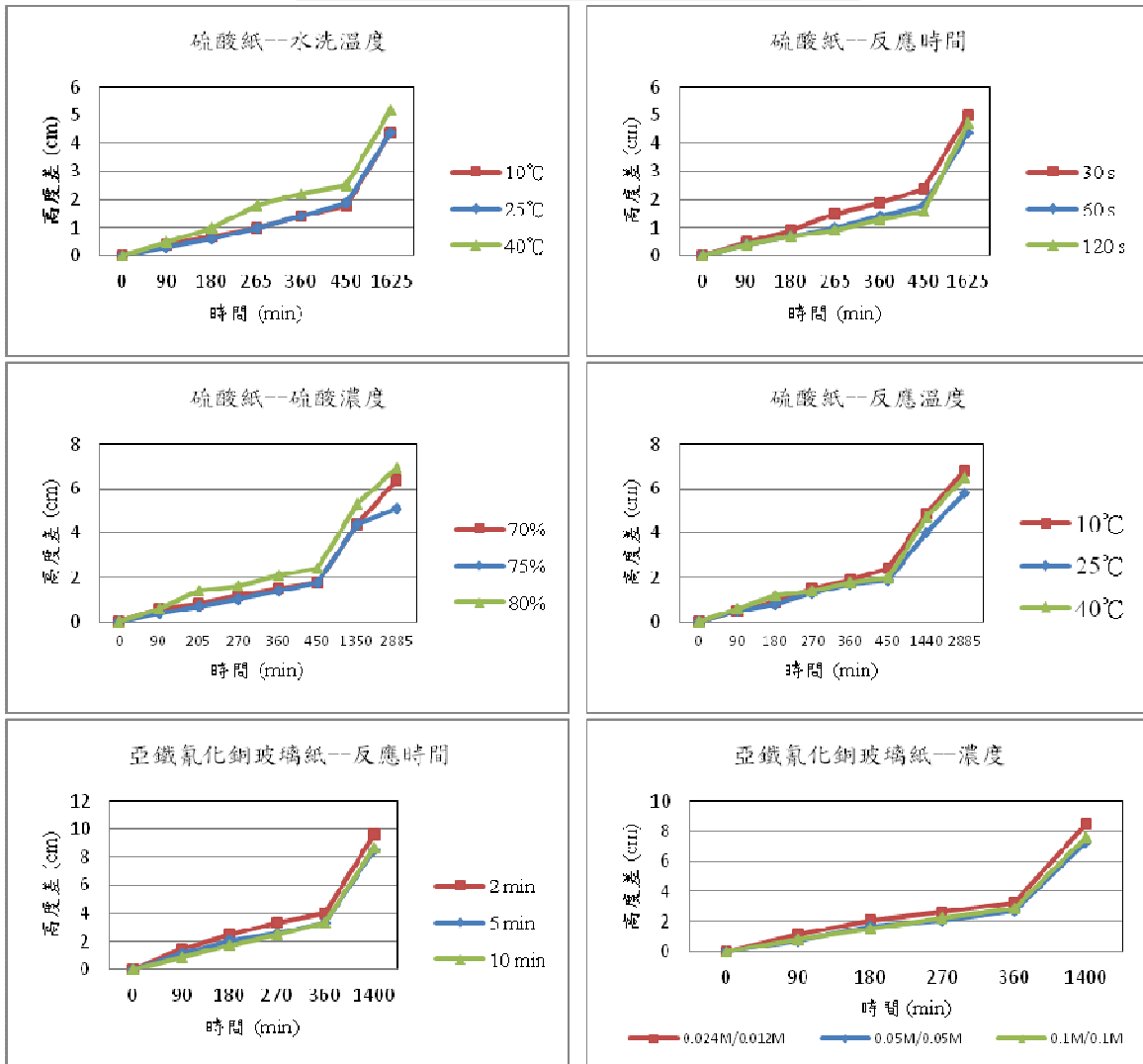
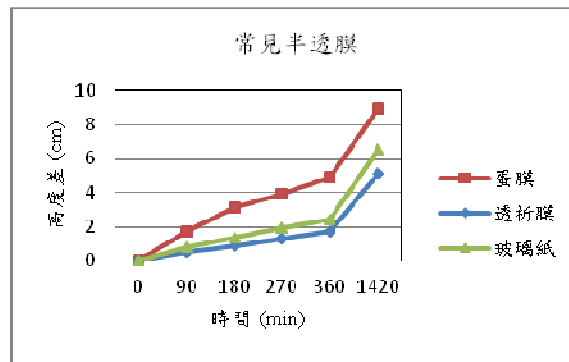
硫酸紙 (操縱變因：反應溫度)			
$\frac{h(\text{cm})}{t(\text{min})}$	10°C	25°C	40°C
0	0.00	0.00	0.00
90	0.50	0.51	0.60
180	0.90	0.80	1.20
270	1.50	1.31	1.41
360	1.90	1.75	1.80
450	2.43	1.94	2.00
1440	4.90	4.00	4.70
2885	6.80	5.80	6.50

$\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$ 紙 (操縱變因：反應時間)			
$\frac{h(\text{cm})}{t(\text{min})}$	2 min	5 min	10 min
0	0.00	0.00	0.00
90	1.51	1.11	0.90
180	2.51	2.12	1.74
270	3.30	2.60	2.50
360	4.00	3.30	3.32
1400	9.60	8.50	8.70

$\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$ 紙 (操縱變因：濃度[ $\text{CuSO}_4$ ]/[ $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ ])			
$\frac{h(\text{cm})}{t(\text{min})}$	0.024M/0.012M	0.05M/0.05M	0.1M/0.1M
0	0.00	0.00	0.00
90	1.10	0.70	0.81
180	2.13	1.70	1.54
270	2.62	2.12	2.20
360	3.30	2.70	2.90
1400	8.50	7.32	7.64

不同條件下製備之硫酸紙，在蔗糖與水之間的滲透速率差異不大，與透析膜相似，但在 40°C 沖洗所得之硫酸紙或以 80% 硫酸製備之硫酸紙可與玻璃紙有差不多之滲透速率。而不同條件下製備之亞鐵氰化銅玻璃紙則沒有太大的差異性。蔗糖水溶液之滲透速率(360 min)：蛋膜 >  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙 > 玻璃紙 > 硫酸紙 = 透析膜。

同種膜(蛋膜、透析膜、玻璃紙、硫酸紙)的情形下，蔗糖的上升高度均比葡萄糖高，約 1.7~2.7 倍，可能是因羥基的數目蔗糖為 8 個，葡萄糖為 5 個，所以蔗糖所形成的氫鍵鍵結力量約為葡萄糖兩倍，其餘可能是分子與分子間的作用力造成的。但是  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙的差異性卻不大，甚至有較低情形，應該與所製造的  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙上的孔洞大小有關係。



圖(十五) 蔗糖溶液在半透膜之滲透高度差

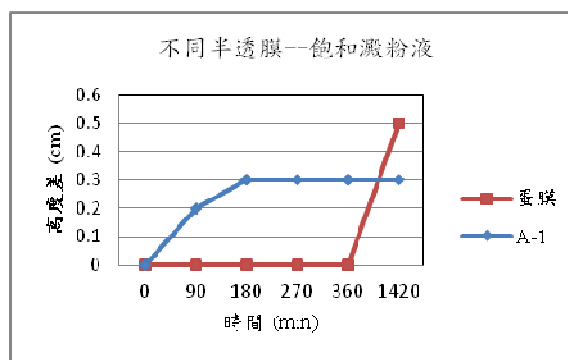
改使用澱粉溶液觀察半透膜之滲透情形，其U型管兩端的高度差隨時間的變化整理於表(七)，圖(十六)。

澱粉液在硫酸紙之滲透高度明顯與蛋膜不同，前 180 min，水分子從蒸餾水端透過硫酸紙的速率遠大於水分子從澱粉端透過硫酸紙的速率，但蛋膜在前 180 min，水分子從蒸餾水端透過蛋膜約等於水分子從澱粉端透過蛋膜的速率。



表(七)澱粉溶液之滲透高度差

飽和澱粉溶液		
h(cm) t(min)	蛋膜	A-1
0	0.00	0.00
90	0.00	0.20
180	0.00	0.30
270	0.00	0.30
360	0.00	0.30
1420	0.50	0.30



圖(十六) 澱粉溶液在半透膜中之滲透高度差

實驗十三、探討離子溶液在不同半透膜之擴散速率：

由實驗十一已經確認  $\text{Cl}^-$  可以透過半透膜與下方的  $\text{Ag}^+$  產生沉澱，所以我們選擇了硫酸紙(A, A-1 條件)與  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙(B, E-2 條件)、蛋膜(C)、透析膜(D)、玻璃紙(E)隔開  $\text{NaCl}$ (或  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ )與蒸餾水兩溶液，以電導計測量水端的導電度，可以了解離子經由半透膜到水端的擴散速率。其導電度隨時間的關係圖見圖(十七)、圖(十八)。導電度值到達 1000  $\mu\text{S}$  為儀器設定之範圍最大值。

由圖(十七)分析， $\text{NaCl}$  離子擴散到水端的速率大小：

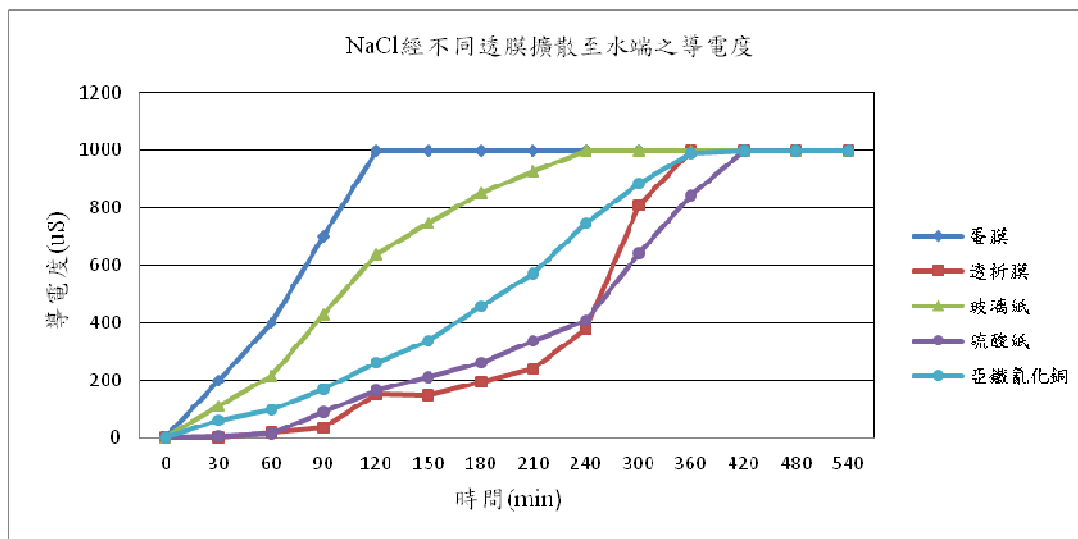
$$C > E > B > A \approx D。$$

由圖(十八)分析， $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  離子擴散到水端的速率大小：

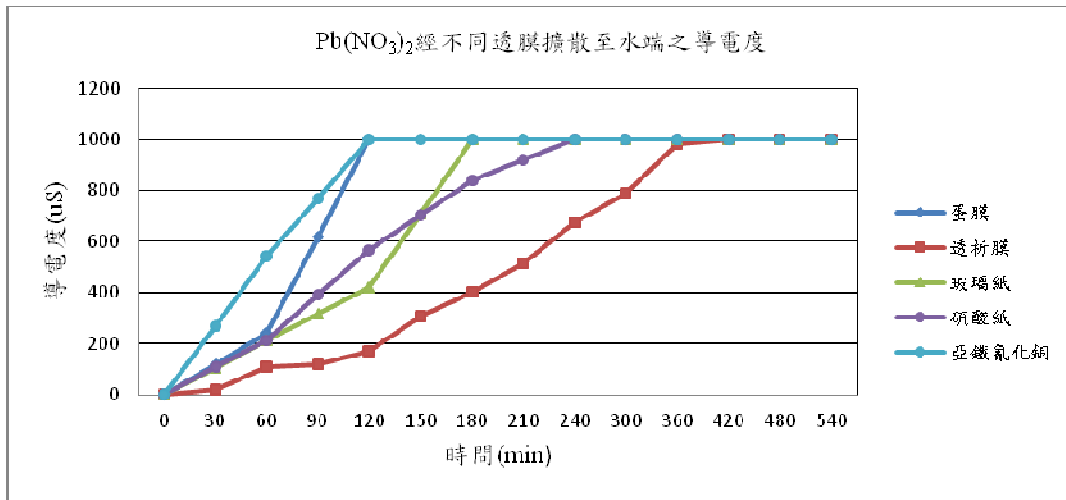
$$\text{在 } 60 \text{ min } B > C \approx A \approx E > D。$$

$$\text{在 } 90 \text{ min } B > C > A > E > D。$$

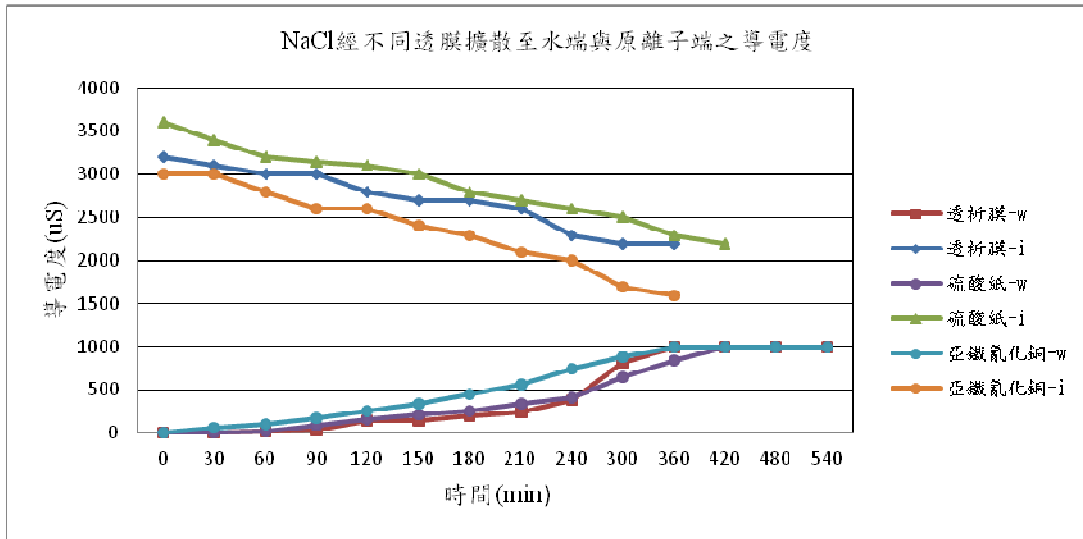
進一步測量  $\text{NaCl}$  水端與原離子端的導電度，其導電度隨時間的關係圖見圖(十九)。由圖(十九)的情形分析，水端的導電度值隨時間增加而增加，而原離子端的導電度隨時間而減少，增加與減少的趨勢差不多。水端的導電度大小： $B > A \approx D$ ；離子端的導電度大小： $A > D > B$ 。



圖(十七)NaCl 經不同膜到水端之導電度隨時間的關係圖



圖(十八) Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 經不同膜到水端之導電度隨時間的關係圖

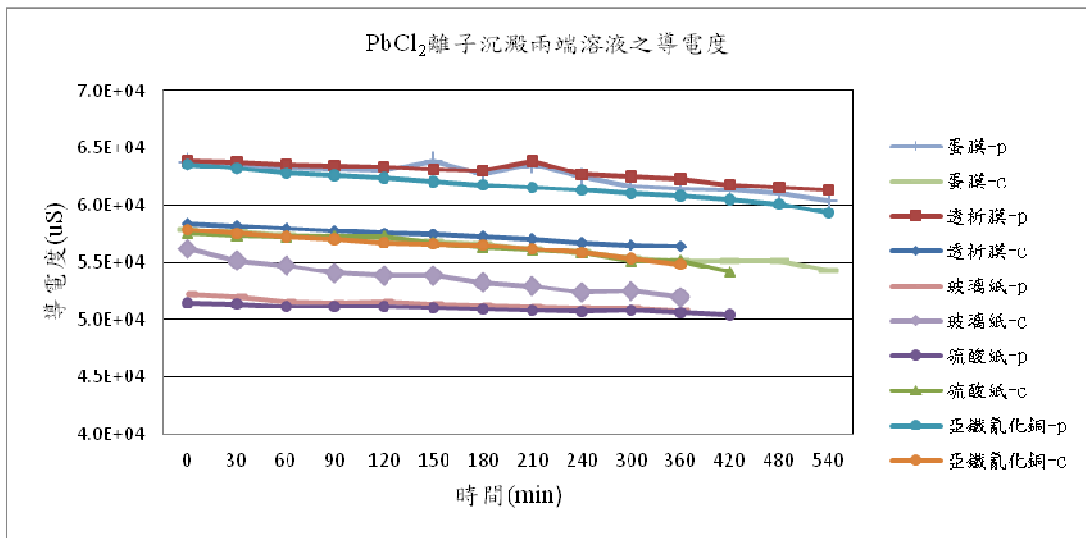


圖(十九) NaCl 經不同膜，水端(w)與原離子端(i)之導電度隨時間的關係

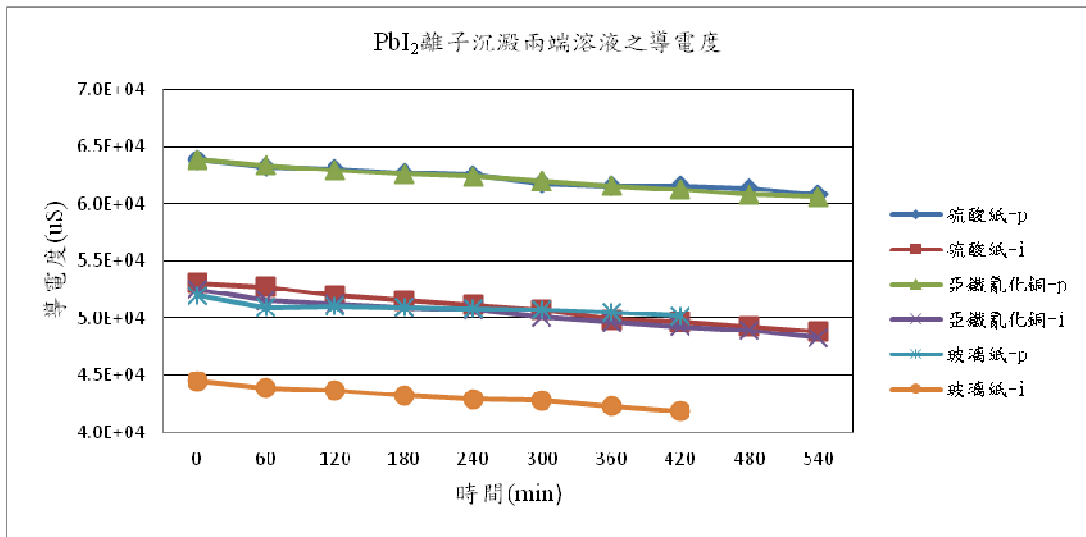
實驗十四、探討離子溶液在不同半透膜之沉澱情形：

以半透膜隔開了同濃度 0.5 M 之 NaCl 與 Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 兩溶液，以電導計測量兩端的導電度，其導電度隨時間的關係圖，見圖(二十)。0.5 M 之 NaI 與 Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 兩溶液，其導電度隨時間的關係圖，見圖(二十一)。以硫酸紙隔開兩溶液分別產生 PbCl<sub>2</sub>、PbI<sub>2</sub>、AgCl 沉澱，其各離子端導電度隨時間的關係圖，如圖(二十二)所示。

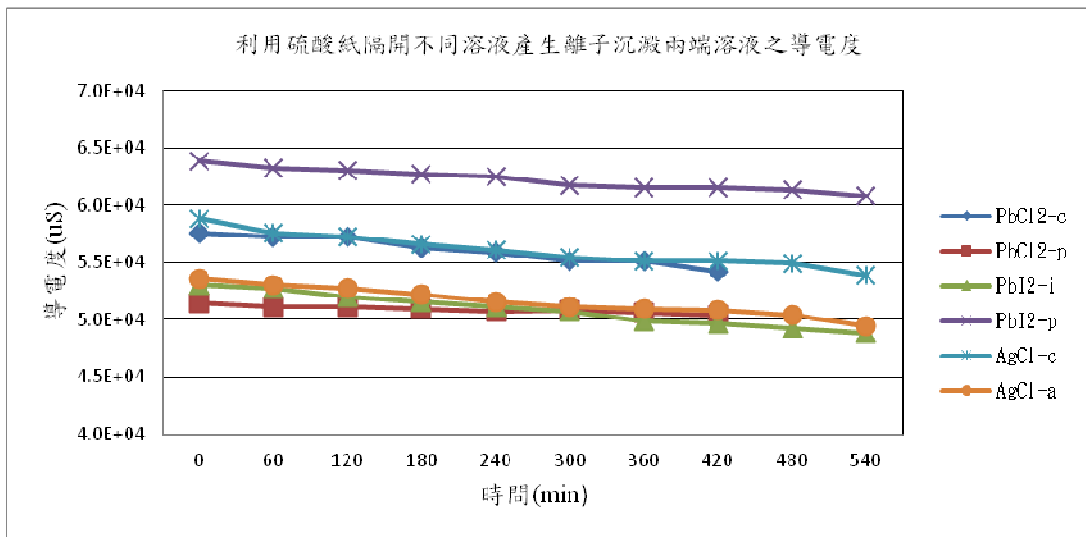
隨著離子與水分子互往兩邊溶液擴散，不管是陰離子 Cl<sup>-</sup> 或 I<sup>-</sup> 端，陽離子 Pb<sup>2+</sup> 或 Ag<sup>+</sup> 端，其導電度均是下降的。因為兩離子相遇會產生沉澱，溶液中可導電之離子數下降，所以導電度下降。而由於離子是慢慢擴散，所以可以生成晶形較大的結晶，且是生成在 Pb<sup>2+</sup> 端的 L 型管中，表示是 Cl<sup>-</sup> 經由半透膜擴散到 Pb<sup>2+</sup> 端。



圖(二十) 經不同膜，PbCl<sub>2</sub>離子沉澱 Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>端(p)與 NaCl 端(c)之導電度隨時間的關係圖



圖(二十一) 經不同膜，PbI<sub>2</sub>離子沉澱 Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>端(p)與 NaI 端(i)之導電度隨時間的關係圖



圖(二十二) 經硫酸紙，PbCl<sub>2</sub>、PbI<sub>2</sub>、AgCl 離子沉澱各離子端之導電度隨時間的關係圖

## 陸、討論

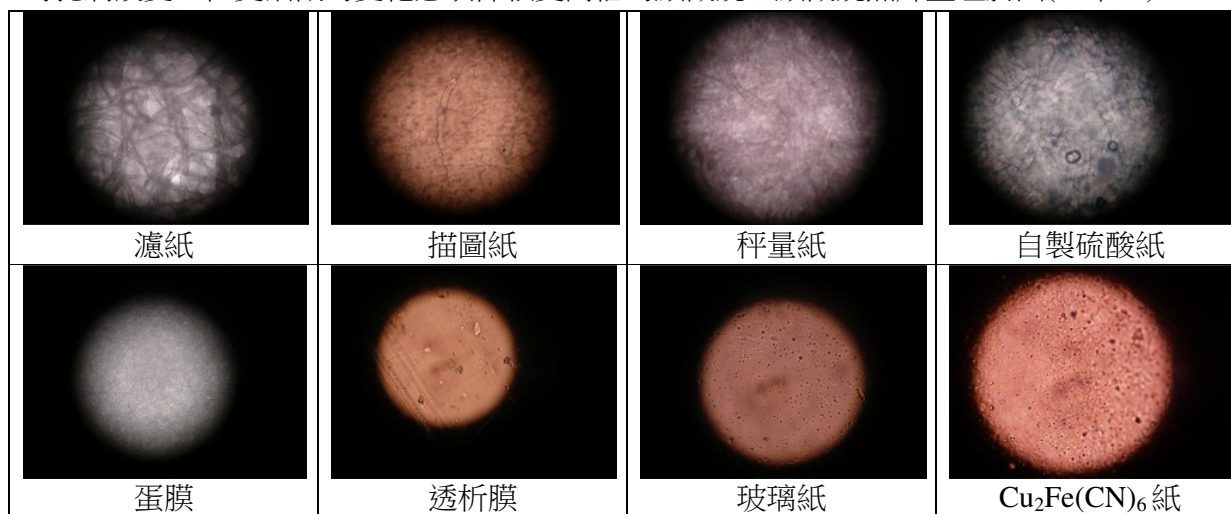
### 一、就濾紙與玻璃紙改造成為半透膜部分：

利用大小來區別分子，阻擋大過薄膜孔洞的分子，而讓較小的分子通過，是最簡單的分子管制方法。

網路上鍵入關鍵字硫酸紙時，總有說其又稱為羊皮紙、仿羊皮紙，或者描圖紙、秤量紙也是硫酸紙的一種，單是光從外觀看來，這三種紙質差異性很大。透過顯微鏡觀察濾紙纖維是呈現細條狀，其孔洞非常明顯，描圖紙、秤量紙與濾紙較為相似，但或許在造紙過程中又有其他步驟，所以濾紙白色易吸水，描圖紙半透明，但不吸濕，秤量紙紙質較不柔軟，但三者與我們經由硫酸水解之濾紙外觀有極大差別的。

濾紙由天然纖維素組成，將其浸泡於 75% 硫酸溶液中於 10-40°C 溫度範圍內，纖維素會吸取酸基，產生強烈的水解作用，使紙的表面部份纖維素變成「糊精」，此為纖維素之附加化合物，這就是所謂的「膠化」效應。此種附加物很不安定，易受水洗或其他作用而分解或者重新聚合，此種天然纖維之結晶構造與原來之纖維素不大相同，主要是結晶化度之不同。因結構不同，硫酸紙的性質與濾紙有很大差別：有光澤，增強纖維抗張力，可以做為半透膜。經由我們的測試，自製硫酸紙的滲透情形，與市售的透析膜相似，可取代透析膜的相關實驗。

而進一步分析蛋膜，其為生物膜，含有水通道與離子通道，因此性質與其他人工半透膜有較大的差異性；經由顯微鏡(18\*10 倍)外觀來看，玻璃紙與  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙並沒有太大差異性，但在滲透速率或離子的擴散速率上仍有差異，表示經由  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  的沉積確實將玻璃紙的孔洞改變，但更細微的變化必須仰賴更高倍的顯微鏡。顯微鏡照片整理於圖(二十三)。



圖(二十三) 各種紙與膜之顯微鏡放大照片

### 二、就半透膜選擇性滲透部分：

水分子非常小，一般相信可以利用直接擴散的方式進出細胞膜或半透膜，但葡萄糖分子在有些半透膜中，就屬於大分子而無法透過。就我們實驗結果，自製硫酸紙與  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙與蛋膜、透析膜、玻璃紙均可以使葡萄糖分子、蔗糖分子透過，僅能阻擋澱粉分子。常見的離子半徑及其水合半徑如表(八)所列，硫酸紙、 $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙，甚至透析膜，是經由孔洞大小來區分分子的，均無法阻擋這些離子的通過，對於離子是沒有如生物膜般具有選擇性的。

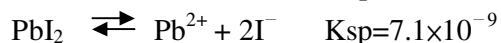
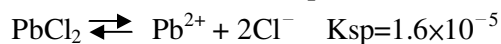
表(八)一些離子半徑與離子水合半徑表

離子	OH <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	I <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ag <sup>+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>
離子半徑 (nm)	0.179	0.181	0.216	0.24	--	0.095	1.26	1.2	0.72
水合半徑 (nm)	0.30	0.33	0.33	0.379	0.28	0.36	--	--	--

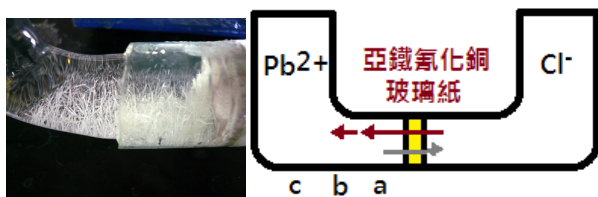
三、就半透膜離子擴散與沉澱實驗部分：

同種濃度 0.05M 下，NaCl 與 Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 在溶液中之解離出之離子數不同，所以導電度有明顯的差異性，兩者導電度比值約與離子個數成正比，為 2：3。當 NaCl 自溶液中分別經由硫酸紙或 Cu<sub>2</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> 紙擴散到水端，導電度到達 1000 uS，所需的時間比約為 1.17：1；Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 自溶液中分別經由硫酸紙或 Cu<sub>2</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> 紙擴散到水端，導電度到達 1000 uS，所需的時間比約為 2：1。

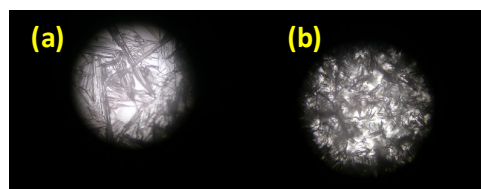
以 Cu<sub>2</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> 紙隔離同濃度 0.1 M Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 與 NaCl 或 NaI，可以觀察 PbCl<sub>2</sub> 或 PbI<sub>2</sub> 的沉澱生成現象，兩者的沉澱方程式與 K<sub>sp</sub> 如下：



同濃度時，Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 端有較大的滲透壓，所以水滲透到 Pb<sup>2+</sup> 端的速率 > 水滲透到 Cl<sup>-</sup> 端的速率，也加速了 Cl<sup>-</sup> 滲透到 Pb<sup>2+</sup> 端的速率，我們發現 PbCl<sub>2</sub> 的沉澱生成，大多在 Pb<sup>2+</sup> 端，而且針狀的結晶與情形如圖(二十四)所示，從 a 位置慢慢往 b 往 c 位置，像是長出一根根白頭髮般，沉澱的生成，並不會阻礙了 Cl<sup>-</sup> 的滲透，而在顯微鏡底下觀察，可觀察到細長針狀的晶體，見圖(二十五)(a)，若直接將 Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 與 NaCl 混合，其結晶顆粒小很多，照片見圖(二十五)(b)。但若是 PbI<sub>2</sub> 的生成，由於其 K<sub>sp</sub> 較小，在兩邊溶液一注入玻璃管中，在半透膜交接處可快就可以看到黃色的生成，結晶形狀也就跟著不同。

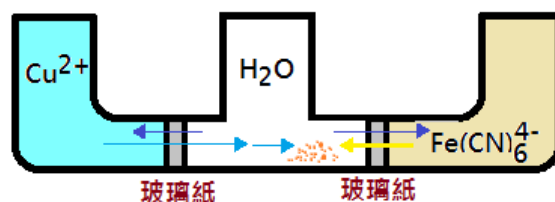


圖(二十四)PbCl<sub>2</sub> 之結晶情形



圖(二十五) PbCl<sub>2</sub> 結晶照片

進一步有嘗試將兩根 L 型管各自隔有玻璃紙，中間再接一 T 字管裝滿蒸餾水，觀察 Cu<sup>2+</sup> 及 Fe(CN)<sub>6</sub><sup>4-</sup> 的擴散情形(Cu<sub>2</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> K<sub>sp</sub> = 1.3×10<sup>-16</sup>)。約不到三個小時的時間，可以看到 Cu<sup>2+</sup> 端及 Fe(CN)<sub>6</sub><sup>4-</sup> 端的水面高度均上升，而中間的蒸餾水水位下降，是因為滲透壓不同所致，而在蒸餾水 T 字管，較靠近 Fe(CN)<sub>6</sub><sup>4-</sup> 端的生成了紅褐色的沉澱，兩個 L 型管內的溶液均沒有沉澱生成，表示 Cu<sup>2+</sup> 及 Fe(CN)<sub>6</sub><sup>4-</sup> 也都曾經由玻璃紙擴散到水端。示意圖如圖(二十五)所示。



圖(二十五) 經由玻璃紙擴散生成 Cu<sub>2</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> 之示意圖

## 柒、結論

- 一、將濾紙浸泡在10°C、濃度75%的硫酸、反應時間60 s，再以10°C冰水大量沖洗，氨水中和後，可以得到觸感滑順，有韌性，較耐拉扯之硫酸紙，硫酸紙的面積縮小了，約為原1/4張之濾紙的0.63倍。
- 二、將玻璃紙上下兩面同時浸泡於0.012 M黃血鹽與0.024 M硫酸銅溶液，在表面可以形成紅褐色的 $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$ 薄膜，可以改變原玻璃紙的孔洞大小與透光性。
- 三、將自製的硫酸紙與 $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$ 紙與蛋膜、透析膜、玻璃紙進行選擇性的滲透，葡萄糖與蔗糖分子均可以通過，但澱粉分子會被阻擋。離子溶液， $\text{OH}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 測試，除了蛋膜與玻璃紙類的膜明顯無法承受鹼性溶液而破裂外，其餘均可以透過。
- 四、不同條件下製備之硫酸紙，在葡萄糖-水與蔗糖-水之間的滲透速率差異不大，與市售的透析膜相似，可以利用此濾紙的改造代替一捲市售2000元的透析膜來進行葡萄糖或蔗糖分子的滲透實驗，也可以藉此反應，了解有機化合物纖維素遇酸水解的情形。
- 五、 $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$ 紙在葡萄糖-水之間的滲透速率可以比玻璃紙快約2.3倍，不僅可以縮短觀察滲透的時間，也可以藉此反應了解 $\text{Cu}^{2+}$ 與 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ 之薄膜生成情形。
- 六、利用電導度的測量，可以了解不同離子經由半透膜擴散到水端的速率。 $\text{NaCl}$  離子擴散到水端的速率大小：蛋膜 > 玻璃紙 >  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙 > 硫酸紙 = 透析膜； $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  離子擴散到水端的速率大小： $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  紙 > 蛋膜 > 硫酸紙 > 玻璃紙 > 透析膜。
- 七、以半透膜隔開了兩種同濃度但相遇會產生沉澱之溶液， $\text{Pb}^{2+} + \text{Cl}^-$ 、 $\text{Pb}^{2+} + \text{I}^-$  分別產生白色 $\text{PbCl}_2$ 與黃色 $\text{PbI}_2$ 沉澱。兩端溶液因互相擴散，濃度降低，導電度降低，又因生成沉澱，溶液中可導電之離子數降低，所以導電度下降。而經由半透膜的擴散，可以讓沉澱慢慢析出，得到比較有晶形的結晶。

## 捌、參考資料及其他

- 一、國中自然與生活科技，第二冊，單元：酸、鹼、鹽；有機化合物，翰林出版社。
- 二、高中化學(上)，單元：溶液的狀態與性質，泰宇出版社。
- 三、王子亮(2006.9.)。利用濾紙作系列創新實驗。化學教學。
- 四、李馥安、黃玟瑜。國立宜蘭高級中學。膜粒通道---蛋膜粒子通道滲透速率之研究。中華民國第四十九屆中小學科學展覽會，高中組化學科。
- 五、王大銘、阮若屈、賴君義(2008)。什麼是薄膜--從馬克斯威爾的幽靈談起。2012年5月20日，取自：<http://web1.nsc.gov.tw/fp.aspx?ctNode=439&xItem=10123&mp=1>

## 【評語】 030207

1. 能由不同角度設計實驗探討。
2. 對於不同膜滲透差異之解釋宜加強。