

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 化學科

第三名

030209

『微』『錳』先生-乾電池中可回收、可替換式之  
二氧化錳微膠囊試紙研究

學校名稱：臺中市立居仁國民中學

作者：  國一 沈鈺堂  國二 李柏緯  國二 黃湘容	指導老師：  潘瑾卿  蔡明致
---	-----------------------------

關鍵詞：乾電池、微膠囊、明膠

## 摘要

明膠作為殼材包覆乾電池去極劑，在 10% 二氧化錳-明膠溶液(明膠與水質量為 1:13)中以 10% 草酸交聯可得到最佳功能效率、最佳承受應力並且能將二氧化錳 100% 包覆回收的去極劑紙膜，該紙膜可以較散佈式二氧化錳提供 38% 的電壓，卻能與氯化銨等低污染性電解糊料作 100% 分離與回收，減少重金屬汙染問題，值得開發利用。在微膠囊製程，建議配方為 15% 酒精水溶液、0.5% 明膠、1% 二氧化錳之中性溶液，待噴霧成膠囊後用 5% 草酸水溶液進行交聯。使用超音波霧化器控制其噴濺高度與時間，得到 15-25 公分間以 20 分鐘為最佳噴濺時間，此模組化條件能幫助開發家用微膠囊製備系統，用以居家清潔、替換式電解質試紙與美妝保養品之小型家電中。

## 壹、研究動機

說到我實驗課的初體驗是利用二氧化錳來催化雙氧水分解，實驗完畢後黑黑的二氧化錳水溶液佈滿整個錐形瓶。老師說：「二氧化錳是催化劑，可以回收下次再用」，要我們將二氧化錳倒回台上的瓶子中，看著我那被二氧化錳溶液沾濕的「黑手」，心裡想：「這樣回收率會很低吧！」因為許多二氧化錳早已懸浮在溶液中。

二氧化錳主要用途為製造乾電池，**每年約有 50 萬噸用於電池電解液中**；二氧化錳常為化學反應中的催化劑；或作為酸性溶液中的強氧化劑(維基百科，2018 年 2 月)，亦可用於廢水淨化去除氨氮廢物(陳琪婷，2003)。打開廢棄乾電池後發現，外包裝鋅殼當作負極，中間有一根碳棒當作正極，一堆散落的『黑粉』混合物為電解質，廢乾電池回收過程中最難收集的是粉狀電解質，**經常發生電解質漏液與回收不完全的情況，如果電解液外漏更會使人體皮膚過敏潰爛並且汙染環境**(張偉明，黃慧馨，2012)，**重金屬如：鎳、鎘、錳外漏會造成土地與水質汙染。**



圖一:拆卸廢電池的內容物，左為乾電池粉末，右為鋅殼、碳棒與包裝

查閱文獻後發現，「微膠囊包覆」的技術已廣泛應用於食品、醫療、農業等領域。微膠囊包覆(micro capsulation)原理是利用高分子材料為殼材物質(shell material)，將微小的核材物質(core material)包覆形成微膠囊的一種技術，微膠囊構造主要分為殼模與蕊材兩部分，主要目的是利用殼材來將核物質與外界環境隔離，以達到包裝、保護、儲存或是藥物控制釋放等目的(賴育辰、陳忠益、張志鵬，2011)。康軒版理化課本(2017)有提到:物質的顆粒愈細，則總表面積愈大，粒子碰撞的機會愈多，反應速率愈快。

所以，我們想研究如何增加乾電池中去極劑二氧化錳回收率，又因為增加反應表面積可以增進化學反應速率，我們製作  $MnO_2$  成受膠體保護的微膠囊塗佈於試紙上，設想經交聯後去極劑紙膜能增加回收率並設計為替換式試紙，製作新型態電池。





我們決定先尋找合適的天然包材，接著模擬乾電池在正常使用下會遇到受外力震盪與電流熱效應的情況，進行『明膠-二氧化錳』穩固性實驗與交聯後的受熱脫膠實驗，在找出穩固性與耐熱性最好的膠體濃度與交聯劑濃度後，設計微膠囊製備系統來將膠體-二氧化錳粒子包覆成微米粒子，將受熱脫膠後的質量變化代表回收率、實驗中利用雙氧水在二氧化錳催化下生成氧氣多寡來代表二氧化錳功能效率。將微膠囊製備系統模組化後，不只可以應用在改變電池去極劑型態中，亦可改變不同包材與核材來產生其他微膠囊分子，例如應用在空氣清淨機中產生光觸媒二氧化鈦  $TiO_2$  微膠粒子或開發成家用微膠清潔劑等小型家電。

## 貳、研究目的

- 一、前測-交聯劑濃度對產氧速率的影響
- 二、天然膠體種類對產氧速率的影響
- 三、二氧化錳濃度對產氧速率的影響
- 四、天然膠體濃度對穩固性的影響
- 五、天然膠體黏度性實驗
- 六、膠體-二氧化錳的交聯程度對電流熱效應的影響
- 七、去極劑膜紙與電解質的接觸面積對電池電壓的影響
- 八、微膠囊製備系統的建立
- 九、噴濺高度對明膠分子粒徑大小的影響
- 十、噴濺時間對微膠囊粒子產氧速率的影響

## 參、研究設備及器材

### 一、研究器材

					
1	2	3	4	5	6
<p>1. 超音波霧化器 振動片:16mm(材質:鈷鎳合金)</p> <p>2. 直尺 15cm, 最(小)刻度 1mm)</p> <p>3. 恆溫攪拌加熱器 (110V, 1000W, 50-500°C, 100-1500rpm)</p> <p>4. 載玻片(25.4X76.2mm, 厚度 1-1.2mm) 蓋玻片(18X18mm, 厚度 0.17mm)</p> <p>5. 風扇(110V-60Hz 15W)</p> <p>6. 燒杯(250ml, 最小刻度 50ml)</p>					
					
7	8	9	10	11	12
<p>7. 寶特瓶(600ml, PE 聚乙烯)</p> <p>8. 量筒(20ml, 最小刻度 1ml)</p> <p>9. 電暖氣機(110V, 800-1400W)</p> <p>10. 鐵架(原直徑 80mm)</p> <p>11. PVC 塑膠水管 (3/4" 口徑)</p> <p>12. 滴管(5ml, 最小刻度 1ml)</p>					
					
13	14	15	16	17	18
<p>13. 研鉢(3 寸)</p> <p>14. 電子天平 (600g、最小刻度 0.001g)</p> <p>15. 黏度檢測裝置(薊頭漏斗、乳頭滴管、單孔橡皮塞、錐形瓶、組裝)</p> <p>16. 碳鋅電池規格: 3 號 1.5V</p> <p>17. 5 公升家用攪拌機 1200W, 9 公斤</p> <p>18. 機身 43x25x39cm 數字三用電表 型號:DM-3000 尺寸 : 126H × 70W × 26D / mm</p>					
		<p>19. 品諾 磨豆機 額定電壓: 110V 60Hz 額定功率: 120W</p> <p>20. 35ml 噴霧罐</p>			
19	20				

## 二、研究藥品與規格

				
1	2	3	4	5
1 酒精 500ml	2 95%草酸粉末 500g	3.含水硼砂(粉末 100% 500g)	4. 二氧化錳粉末 100%	5.愛玉子(台中第二市場，固體)
				
6	7	8	9	10
6.明膠動物膠(E441)	7. 粉末，10g 膠水(聚乙烯醇、水)	8. 氯化銨粉末 500g	9. 澱粉 75% 500g	10. 氯化鋅粉末 500g

## 肆、研究過程或方法

### 一、重要名詞解釋

(一)微膠囊: 張鴻奇(1998)提到現在的主張則是將微膠囊的大小定在 1 至 1000  $\mu\text{m}$ ，大於 1000  $\mu\text{m}$  視為膠囊，小於 1  $\mu\text{m}$  稱為奈米膠囊；金安兒(2009)指分子直徑介於 1 微米到 1 毫米之間的粒子，**本實驗將分子直徑小於 10 微米(um)的粒子稱為微膠囊。**

(二) 乾電池(Dye cell): 理化課本(康軒版，2017)中提到，電池是化學能轉電能的一種裝置，分為一次電池與二次電池。乾電池的定義是以糊狀電解液來產生直流電的化學電池。乾電池的電壓約為 1.5V，正極為碳棒、負極為鋅、電解質為氯化銨、二氧化錳、澱粉等物質混合物，便宜方便，電容量較低，電壓比較容易不穩定，適合一般用途為遙控器，兒童玩具等較低耗電，對電能供應的穩定性要求較低的電器上。一般碳鋅電池所進行的反應式於下，**本實驗稱二氧化錳為去極劑，本實驗將附有二氧化錳的紙膜稱為去極劑紙膜。**

陽極反應： $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$  與  $\text{Zn}^{2+} + 2\text{NH}_4\text{Cl} \rightarrow \text{Zn}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2 + 2\text{H}^+$

陽極全反應： $\text{Zn} + 2\text{NH}_4\text{Cl} \rightarrow \text{Zn}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

陰極反應： $2\text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{MnO}(\text{OH}) + 2\text{OH}^-$

電池全反應： $Zn+2MnO_2+2NH_4Cl\rightarrow 2MnO(OH)+Zn(NH_3)2Cl_2$ ---式一

(三)黏度(Viscosity): 指流體黏滯性的程度，可分為絕對黏度(Absolute Viscosity)與運動黏度(Kinematic viscosity)，運動黏度為絕對黏度除以液體密度，一般而言，物質的黏度與流體間的凝聚力和分子間的動量轉移率有關。液體分子與分子間距離較小，因此流體層間的凝聚力是造成液體黏度的主因，溫度與壓力對於液體黏度的影響為溫度升高液體黏度下降，一般壓力下，黏度變化與壓力大小較無關聯。由普瓦醉方程式(Poiseuille's law)描述流體流經毛細管時，影響黏度係數  $\eta$  之因素黏如下:

$$\eta = \frac{\pi \Delta P r^4}{8 V l} t = \frac{\pi g h \rho r^4}{8 V l} t \quad \text{----式二}$$

$l$  為毛細管之長度、 $r$  為毛細管之半徑、 $\Delta P$  為毛細管兩端之壓力差( $\Delta P=gh\rho$ ； $g$ : 重力加速度、 $\rho$ :密度， $h$ :管身長度)、 $V$  為流體於時間  $t$  內流經毛細管之體積。

當固定同一支毛細管進行實驗時， $r$ 、 $h$ 、 $V$ 、 $l$ 均為固定值，而  $8$ 、 $\pi$ 、 $g$  為常數，因此公式可改寫為  $\eta=C\rho t$ ，其中  $C$  為毛細管半徑、毛細管長度、流體體積等數字組成的常數，**在本實驗的絕對黏度採流體密度乘以通透時間來表示。**

(四)電流熱效應: 指將電能轉換成熱能的現象，電路中能將電能消耗成光能、動能等其他能量，其中因為電路元件具有電阻，伴隨著熱能散失的現象，查閱網路資料發現電池在使用時最高溫度可以到達  $45^\circ\text{C}$  左右，**本實驗將交聯程度不同的去極劑紙膜以  $45^\circ\text{C}$  的熱水浸泡 5 秒，測量脫膠前後質量，減少質量越少代表該去極劑紙膜抵抗電流熱效應的效果越好。**

## 二、選定微膠囊制備方法

能夠製造微膠囊的方法有許多，化學方法中的界面聚合法、原位聚合法；物理化學法中的水相分離法、油相分離法等，但利用化學溶劑溶解壁材與芯材較不環保，且國中實驗設備無法精細調整酸鹼值與壓力。故本實驗傾向於使用機械方法如銳孔凝固浴法、噴霧乾燥法與微通道乳化法等，但我們無法買到微通道裝置，只能嘗試模擬噴霧乾燥法進行實驗。本實驗試圖在常壓下、一般溫度中(室溫到  $100^\circ\text{C}$ )製造出微膠囊，設計出方便製造的微膠囊製程，進而模組化後應用在家用電器中。

噴霧乾燥法是目前國內外使用最普遍的微膠囊化方法，其方法是將核材和壁材的溶液合併在一起後通過噴霧乾燥處理或噴霧冷卻處理進行微膠囊化，使霧化後的液滴在氣流中乾燥。噴霧乾燥法的優點為操作簡單，生產成本較低；生產全過程是密閉式的，避免塵粉飛揚與外界汙染，適用於工業化生產等(圖一)。微膠囊的製備方法參考韓旭，畢良武，趙振東，李大偉(2011)的文章以表格方式整理如下。

表一 微膠囊置備方法整理

方法	溫度	壓力	優點	缺點
複凝聚法	無強調	無強調	不使用有機溶劑和化學交聯劑、可將非水溶性液體微膠囊化、產率較高	較難控制反應條件
單凝聚法(沉澱法)	高溫	無強調	不需事先制備乳液、不使用有機交聯劑	微膠囊粒徑較大
界面聚合法	無強調	無強調	適合包裹液體、微膠囊緻密性佳	較難控制反應條件
原位聚合法	高沸點	無強調		
銳孔凝固浴法	45 度	無強調	包埋率較高、顆粒圓整、粒徑大小均勻	需借助於微孔裝置
噴霧乾燥法	高溫	無強調	操作方法簡單、綜合成本較低	活性物質容易失活性、微膠囊的囊壁容易出現裂縫
分子包埋法	無強調	無強調	操作方法簡單、綜合成本較低	芯材必須含有疏水端
微通道乳化法	無強調	無強調	尺寸大小均一、球形較好、單分散性良好	
超臨界流體快速膨脹法	無強調	小	顆粒度均勻、顆粒超細微	
層層自組裝法	無強調	無強調	結構完整、性能穩定、能在奈米尺度上對大小、組成、結構、形態和囊壁厚度進行精確控制	

1 熱風進氣筒噴

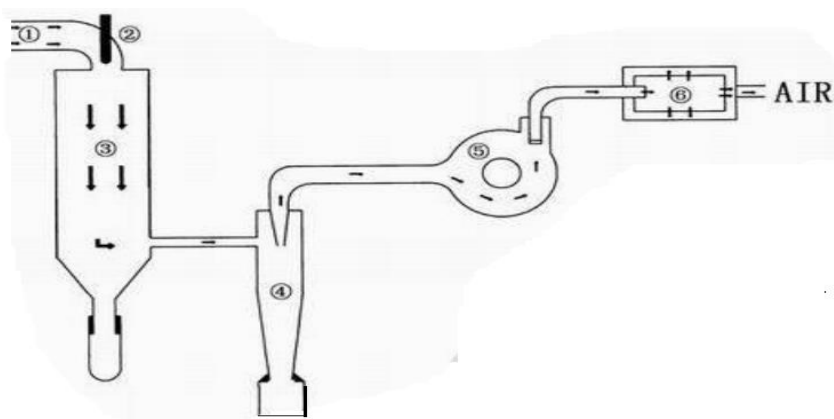
發

2 乾燥塔

3 旋風分離器

4 引風機

5 出口過濾器



圖一 噴霧乾燥法過程簡圖

故本實驗參考噴霧乾燥法過程(圖一)，在一般溫度中(室溫到 100°C)將膠體與二氧化錳經過適當比例混合成溶液後通入霧化器中進行噴發，再以合適交聯劑交聯膠體-二氧化錳粒子，得到微膠粒子加入 10%的雙氧水溶液測量其產氧速率。

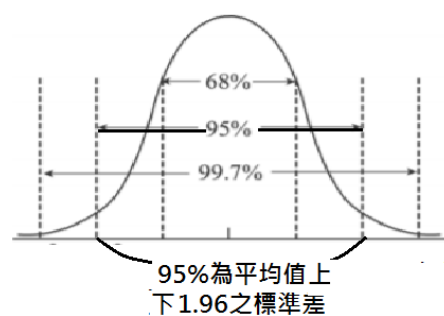
### 三、實驗數據處理流程

(一) 測量值:以國中理化課程所教授，測量結果必須包含數字與單位部分，其中數字部分必須包含準確值與一位估計值，單位部分選用合適且公認的單位即可。

(二) 平均值: 是統計中的一個重要概念。為集中趨勢的最常用測度值，目的是確定一組數據的均衡點。**本實驗中任何一個應變變量均進行 3 次的測量，再以算數平均數取其平均值。**

(三) 標準差( $\sigma$ , SD):為機率統計中作為測量一組數值離散程度之數值。標準差定義為變異數開算術平方根；例如兩組數據(2, 5, 8)與(1, 3, 5)之平均值均為 3，但**兩組數據的分散程度不同，標準差不同，標準差越小代表應變變量越為集中。**

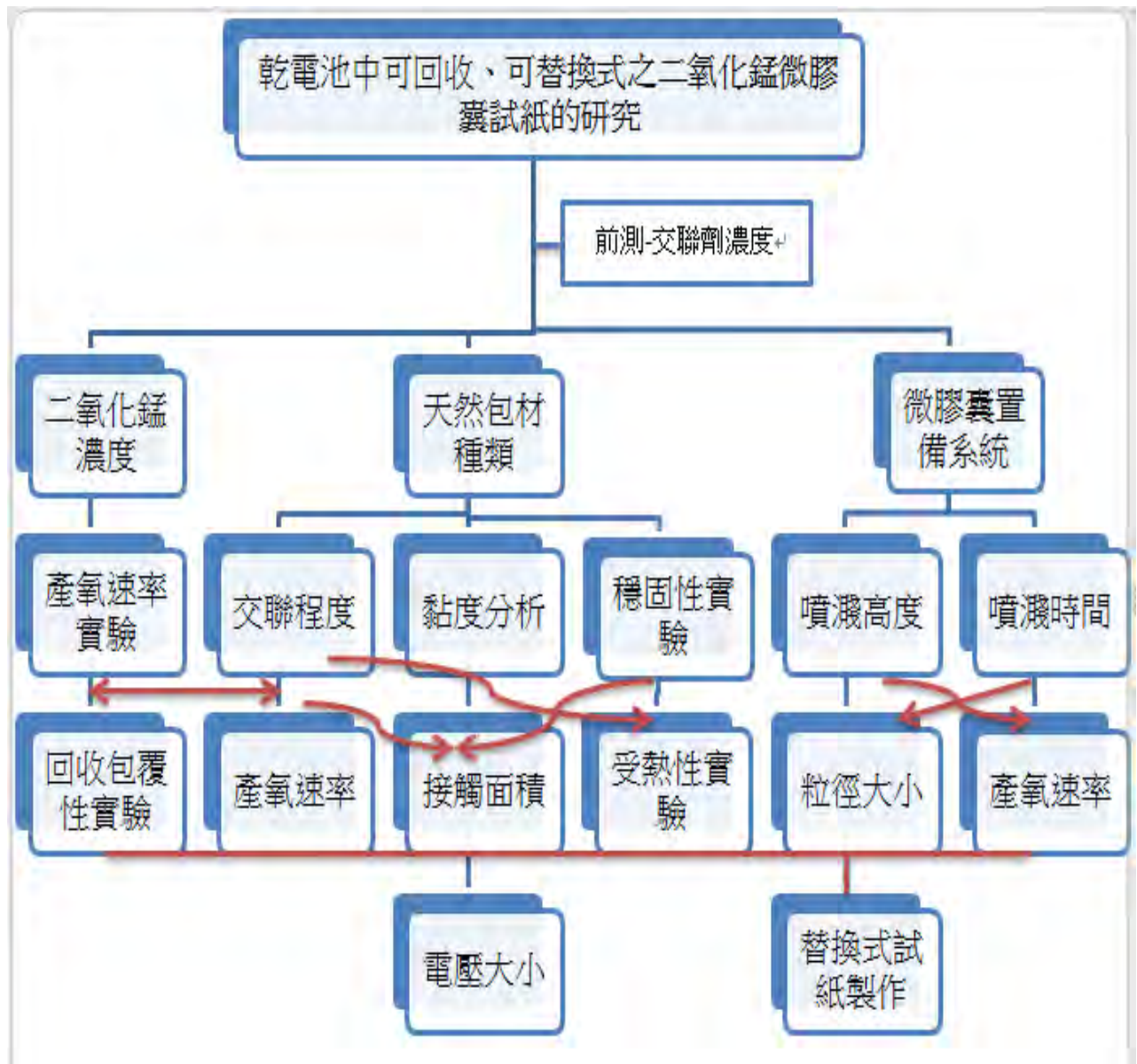
(四)標準誤差 (SE) 為母群標準差 (standard deviation ; SD)，除以本數之平方根。因此樣本數目 n 愈大，標準誤差就愈小。標準誤差  $SE \times 1.96$  之值為應變量平均值在 95% 的信心水準下分布的上下限。**在平均值數據中多加標示標準誤差數值，可提供平均值的精準程度，標準誤差越小，平均值越準確。本研究圖表中均有呈現標準誤差(SE)供觀察者判斷數據精準程度。**



圖二 在 95%信心水準下分布上下限



#### 四、實驗流程圖

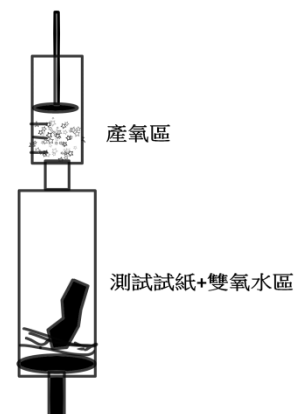


圖三 實驗流程架構圖

#### 五、研究步驟

##### (一) 前測-交聯劑濃度對產氧速率的影響

- 1.將 1 毫升 1% $MnO_2$  溶液加入 1 毫升 PVA 溶液中，再分別加入 1 毫升不同濃度的硼砂溶液(0%,2%,5%,8%,10%)。
- 2.將 3ml 的混合液均勻滴在已曬乾的濕紙巾(4.5cmX6cm)上
- 3.將已滴上混合液的濕紙巾烘乾。



4.將步驟 3 所製成成品分 3 等分(各 1.5cmX6cm)

圖四 連通針筒測量裝置

5.將步驟 4 之成品放入連通針筒裝置中與 5 毫升 10%雙氧水反應

6.每 30 秒紀錄其產氧速率至 2 分 30 秒止

### (二) 天然膠體種類對產氧速率的影響

1.將 1 公克愛玉子加入 50ml 水中搓成愛玉溶液備用

2.將 1 公克明膠粉末加入 50ml 水中加熱溶解形成明膠溶液備用

3.將 1 毫升 1%之  $MnO_2$  溶液加入等體積的各種天然膠體中

4.將步驟 3 混合液(3ml)均勻滴在已曬乾的濕紙巾(4.5cmX6cm)上

5.將已滴上混合液的濕紙巾烘乾.

6 將步驟 5 所製成成品分 3 等分(各 1.5cmX6cm)

7 將步驟 5 所製成成品放入連通針筒裝置中與 5 毫升 10%的雙氧水反應

8.每 30 秒紀錄其產氧速率至 2 分 30 秒止

### (三) 二氧化錳濃度對產氧速率的影響

1.以邊加邊攪拌的方式，取 0.3 公克之二氧化錳粉末加於 3 毫升明膠溶液中，配成 10%之二氧化錳-明膠溶液

2.加水稀釋步驟 1 溶液成濃度為 8%、6%、4%、2% 之二氧化錳-明膠溶液，

3.將已經烘乾的濕紙巾(4.5 公分 X6.0cm)浸泡於上述溶液中

4.將 5%的草酸交聯劑在 20 公分左右處用噴霧罐噴灑於步驟 3 的試紙上

5.將試紙片置於烘碗機烘乾(60°C，30 分鐘)

6.用連通針筒裝置測量試紙催化雙氧水產氧的速率

### (四) 天然膠體濃度對穩固性的影響

1. 依照明膠外包裝所示:布丁食譜之明膠粉末與水量比例 1:40 進行調配明膠溶液

2. 依序以水與明膠之質量比為 37、30、23、16、11 倍進行溶液調配

3. 攪拌以上明膠溶液，以 80°C 加熱 5 分鐘

4. 承步驟 3，將加熱完之明膠溶液放置冰箱中冷藏 24 小時，待其凝固。

5. 用手搖晃以上比例之明膠溶液，發現水與明膠之質量比為 40 與 37 倍時，用手以一般搖晃力道左右搖晃 3 下即會出水，代表膠體穩定性不佳。
6. 將水與明膠之質量比為 30、23、16、11 倍之凝膠溶液以固定轉速進行離心搖晃試驗 5 分鐘，找出初略凝膠出水與不出水之界線
7. 將藉由步驟 6 找到之界線比例記下，重覆步驟 1-6 找出外力作用下，溶膠與否的臨界點。

### (五) 天然膠體黏度性實驗

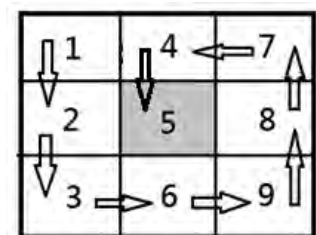
- 1 以 60°C 溫水溶解明膠，並以溫水浴溶解明膠溶液 70ml(水比明膠質量:18、16、14、12 與 10 倍)
2. 將步驟 1 之配好試液放入冰箱冷藏 30 分鐘後凝結。
3. 將凝結的明膠溶液倒入磨豆機中研磨 30 秒，使其呈現可流動性的膠態
4. 以刮勺刮除表面上的氣泡(圖五)
5. 取澄清膠態溶液各 20ml，通入黏度檢測裝置
6. 測量並記錄膠體溶液的密度與通過黏度檢測裝置所需時間。
7. 將密度與時間相乘積，代表絕對黏度。 $\mu = \rho \times t$



圖五 明膠溶液磨打後氣泡現象

### (六) 膠體去極劑之交聯程度對受熱性實驗

- 1.配置承受力量最好的明膠比例溶液共 20ml 於二氧化錳 10%溶液中
- 2.將步驟 1 之溶液在加熱下攪拌使之混合均勻
- 3.將步驟 2 溶液各取 1ml 用滴管滴在試片上
- 4.用噴霧罐在約莫 15-20cm 處將交聯劑(2%、5%、8%、10%)，噴於試片上，使溶液固化交聯
- 5.將試片進入烘碗機中烘乾(60°C、30 分鐘)
- 6.將烘乾的試片進行質量測量(前測重量)
- 7.將個別試片泡入 45°C 之熱水 5 秒鐘後取出進行烘乾
- 8.進行後測質量測量
- 9.計算不同交聯劑濃度下受熱脫膠後減少的質量，公式如下:



圖六 改變去極劑紙膜與白料電解質接觸面積的順序，5 為中央位置

$$\text{減少質量} = \text{前測質量} - \text{後測質量} \text{---式三}$$

### (七) 去極劑紙膜與電解液接觸面積對電池電壓的影響

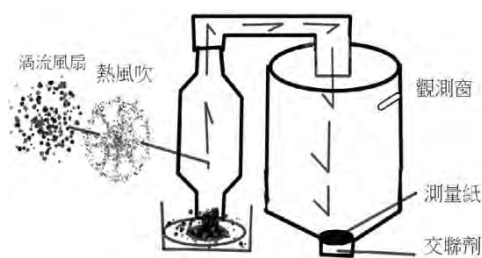
1. 製作不含二氧化錳之白料電解質
2. 測量拆解下來的鋅片面積大約為 4 公分x4 公分大小
3. 製作 10% 二氧化錳 10% 交聯劑之 13 倍明膠溶液 3ml
4. 將步驟 3 溶液以滴管滴 1ml 在烘乾的濕紙巾上製作試片
5. 將試片剪成約 1/9 之鋅片面積大小數片，按照上面圖六之箭頭順序將白料電解質覆蓋並進行電壓測量
6. 每一種去極劑試紙的接觸面積均為操作變因，均以位置⑤為對照組電壓(位置⑤為鋅片之正中央，為面積 1/9 到 8/9 之對照組位置)

### (八) 微膠囊系統的製備

1. 霧化器噴濺條件測試: 找出可以噴濺的二氧化錳溶液與明膠溶液濃度最大值。
2. 測試攪拌與否、溫度高低、吹風高度、吹風強弱、桶罐材質(金屬或非金屬)對於微膠囊粒子生成的優劣比較。



圖七 微膠囊製備實驗裝置



圖八 微膠囊製備實驗裝置示意圖

### (九) 噴濺高度對明膠粒徑大小的影響

1. 配置 0.05% 明膠溶液 150 毫升
2. 加入二氧化錳於上杯溶液配成 1% 二氧化錳之明膠溶液
3. 每次取 30ml 於霧化器中進行霧化
4. 利用 1000ml 寶特瓶架設樓層，在 15cm、20cm、25cm、30cm、35cm 分別挖洞可以放置玻片收集霧化的液滴。
5. 將不同距離的玻片霧化噴濺 30 分鐘，靜置乾燥後噴上交聯劑草酸，置於顯微鏡下以碘液染色觀察，記錄膠囊顆粒大小(放大倍率 40 倍)。

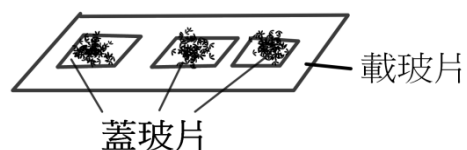


圖九 噴濺高度對明膠粒徑影響實驗裝置

## (十) 噴濺時間對微膠囊粒子產氧速率的影響

1.將二氧化錳、明膠與酒精分別配成 1%、0.5%和 15%之酒精混合溶液 40 毫升

2.利用 600ml 寶特瓶在 15cm 處架設樓層放上載玻片，並於霧化器上方 5cm 處架設過濾網



圖十 微膠囊粒子收集示意圖

3. 將步驟 1 之混合溶液置於霧化器中進行霧化

4.設定不同噴濺時間(5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘、20 分鐘、25 分鐘)

5.將收集到的蓋玻片烘乾後，滴上 2%草酸交聯劑

6.將步驟 5 之試片烘乾，至於顯微鏡下滴入 10%雙氧水一滴時觀察產氧速率

7.觀察顯微鏡下產氧狀況，將有產氧且粒徑小於 10um 之粒子視為成功、其他情況則式為失敗並計算試片成功機率。公式如下式四

$$\text{成功機率(\%)} = \frac{\text{成功試片數目}}{\text{總試片數目}} \times 100\% \text{-----式四}$$

8.以國一下所教的「生物樣區法」將顯微鏡下視野區分成 25 等分(5\*5)，計算氧氣所佔的面積比例。公式如下式五

$$\text{產氧速率} = \frac{\text{氧氣佈滿格數}}{25} \times 100\% \text{---- 式五}$$

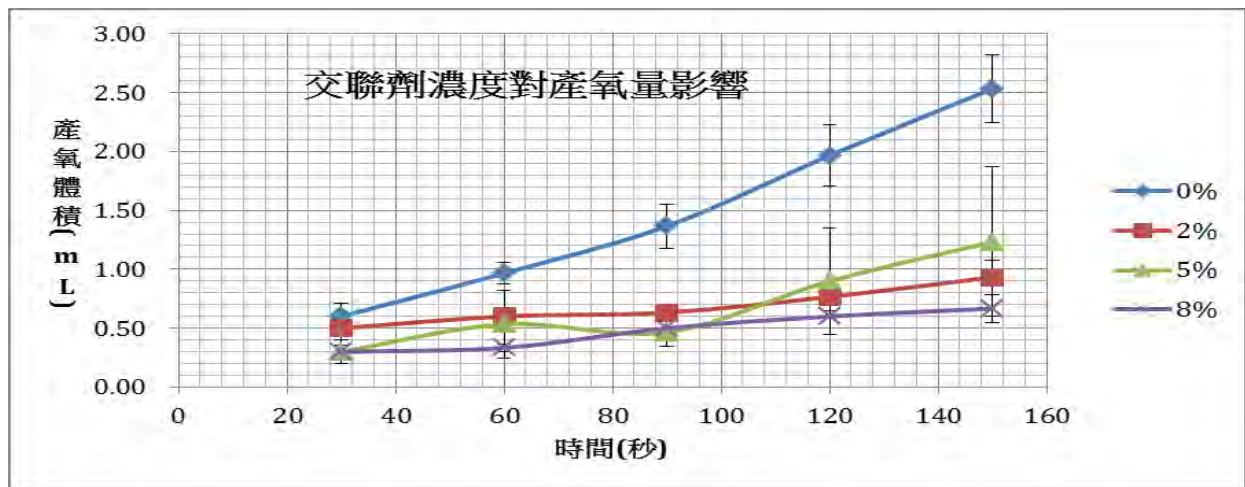
## 伍、研究結果

### 一、前測-交聯劑濃度對產氧速率的影響

表二 交聯劑硼砂濃度對於 PVA 膠體通透性影響

交聯劑濃度	0%			2%			5%			8%		
產氧量(ml)	測	測	測	測	測	測	測	測	測	測	測	測
時間(秒)	試	試	試	試	試	試	試	試	試	試	試	試
	一	二	三	一	二	三	一	二	三	一	二	三
30	0.4	0.6	0.8	0.7	0.4	0.4	0.2	0.5	0.2	0.3	0.2	0.4
	平均產氧量:0.6			平均產氧量:0.5			平均產氧量:0.3			平均產氧量:0.3		
	標準差:0.2			標準差: 0.2			標準差: 0.8			標準差: 0.1		
	標準誤差:0.1			標準誤差: 0.1			標準誤差: 0.1			標準誤差:0.1		

60	1.0	0.8	1.1	0.7	0.6	0.5	0.3	1.1	0.2	0.3	0.3	0.4
	平均產氧量:1.0			平均產氧量:0.6			平均產氧量:0.7			平均產氧量:0.3		
	標準差:0.2			標準差: 0.1			標準差: 0.5			標準差: 0.1		
	標準誤差:0.1			標準誤差: 0.1			標準誤差: 0.3			標準誤差:0.0		
90	1.5	1	1.6	0.7	0.7	0.5	0.3	0.7	0.4	0.6	0.4	0.5
	平均產氧量:1.4			平均產氧量:1.0			平均產氧量:1.0			平均產氧量:1.0		
	標準差:0.3			標準差: 0.1			標準差: 0.2			標準差: 0.1		
	標準誤差:0.2			標準誤差: 0.1			標準誤差: 0.1			標準誤差:0.1		
120	2.0	1.5	2.4	0.7	1.0	0.6	0.5	1.8	0.4	0.9	0.4	0.5
	平均產氧量:2.0			平均產氧量:0.8			平均產氧量:0.9			平均產氧量:0.6		
	標準差:0.5			標準差: 0.2			標準差: 0.8			標準差: 0.3		
	標準誤差:0.3			標準誤差: 0.1			標準誤差: 0.5			標準誤差:0.2		
150	2.6	2.0	3.0	0.7	1.2	0.9	0.6	2.5	0.6	0.9	0.5	0.6
	平均產氧量:2.5			平均產氧量:0.9			平均產氧量:1.2			平均產氧量:0.7		
	標準差:0.5			標準差: 0.3			標準差: 1.1			標準差: 0.2		
	標準誤差:0.3			標準誤差: 0.2			標準誤差: 0.6			標準誤差:0.1		



圖十一 交聯濃度對產氧速率的影響

#### (一)實驗結果

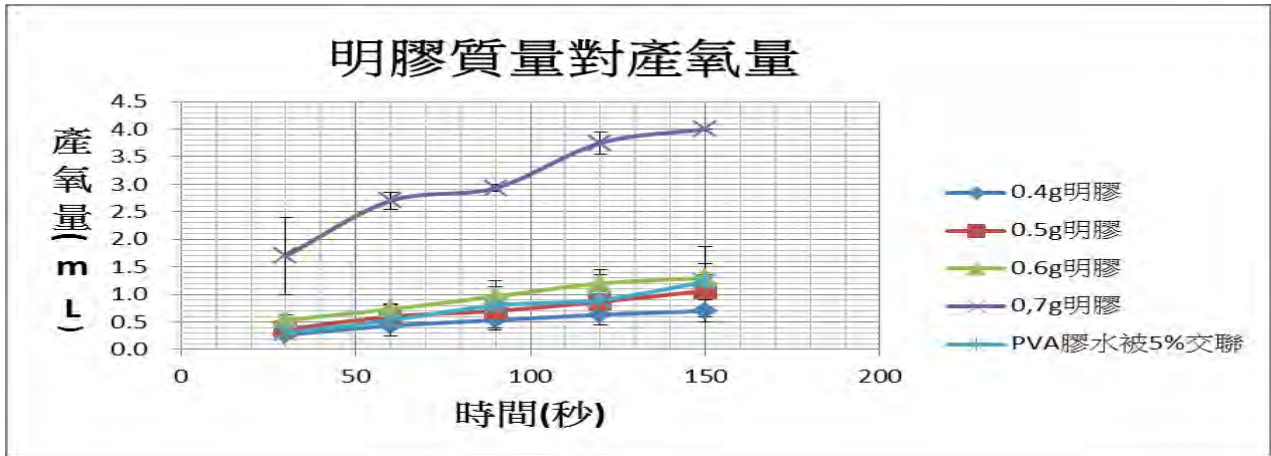
1. 未經交聯後之 PVA 膠體(包含二氧化錳)產氧量最大，所以交聯程度會降低膠膜的通透性，推測是因為影響接觸面積進而影響產氧速率，也代表交聯劑能有效固化膠體達到延長催化劑釋放時間的目的。
2. 實驗發現 5%交聯濃度之產氧量最高，明顯優於其他交聯濃度。
3. 適當的交聯作用可兼顧防降解並維持膠膜通透性，使二氧化錳能包覆於膠體包材中，進而增加回收率，符合本實驗假設，接下來實驗，將以 5%之交聯劑濃度試驗不同天然壁材，找出效果最佳的包覆材料。

## 二、天然膠體種類對產氧速率的影響

### (一) 明膠膠體

表三 明膠質量對產氧速率影響

種類 產氧(ml) 時間	0.4g 明膠			0.5g 明膠			0.6g 明膠			0.7g 明膠		
	測 試 一	測 試 二	測 試 三	測 試 一	測 試 二	測 試 三	測 試 一	測 試 二	測 試 三	測 試 一	測 試 二	測 試 三
30	0.3	0.3	0.2	0.5	0.5	0.1	0.7	0.4	0.5	0.6	3.0	1.5
	平均產氧量:0.3			平均產氧量:0.4			平均產氧量:0.5			平均產氧量:1.7		
	標準差:0.1			標準差:0.2			標準差:0.2			標準差:1.2		
	標準誤差:0.0			標準誤差:0.1			標準誤差:0.1			標準誤差:0.7		
60	0.5	0.5	0.3	0.7	0.7	0.4	0.9	0.6	0.7	2.6	3.0	2.5
	平均產氧量:0.4			平均產氧量:0.6			平均產氧量:0.7			平均產氧量:2.7		
	標準差:0.1			標準差:0.2			標準差:0.2			標準差:0.3		
	標準誤差:0.1			標準誤差:0.1			標準誤差:0.1			標準誤差:0.2		
90	0.5	0.8	0.3	0.8	0.8	0.5	1.3	0.8	0.8	2.8	3.0	3.0
	平均產氧量:0.5			平均產氧量:0.7			平均產氧量:1.0			平均產氧量:2.9		
	標準差:0.3			標準差:0.2			標準差:0.3			標準差:0.1		
	標準誤差:0.1			標準誤差:0.1			標準誤差:0.2			標準誤差:0.1		
120	0.5	1.0	0.4	1.2	0.9	0.5	1.7	1.0	0.9	3.8	4.0	3.5
	平均產氧量:0.6			平均產氧量:0.9			平均產氧量:1.2			平均產氧量:3.8		
	標準差:0.3			標準差:0.4			標準差:0.4			標準差:0.4		
	標準誤差:0.2			標準誤差:0.2			標準誤差:0.3			標準誤差:0.2		
150	0.5	1.1	0.5	1.5	1.2	0.5	1.8	1.1	1.0	4.0	4.0	4.0
	平均產氧量:0.7			平均產氧量:1.0			平均產氧量:1.3			平均產氧量:4.0		
	標準差:0.3			標準差:0.5			標準差:0.4			標準差:0.0		
	標準誤差:0.2			標準誤差:0.3			標準誤差:0.3			標準誤差:0.0		



圖十二 明膠與產氧量作圖

1. 實驗結果:實驗結果發現，在 5%草酸交聯劑濃度下，明膠質量越大，單位時間內產氧量越大(0.7g>0.6g>0.5g>0.4g)，且在 150 秒內 0.7 克明膠分子配方可以產生的氧氣量是 0.6 克明膠配方的 4 倍左右。

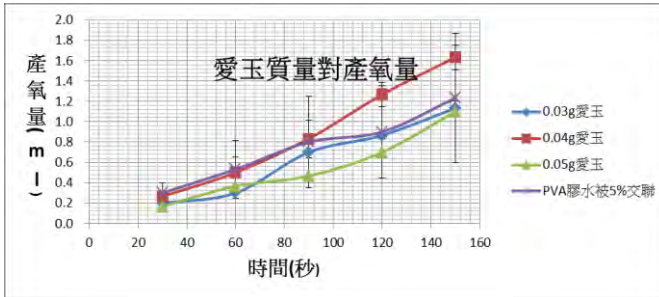
## (二) 愛玉膠體

表四 愛玉質量對產氧速率影響

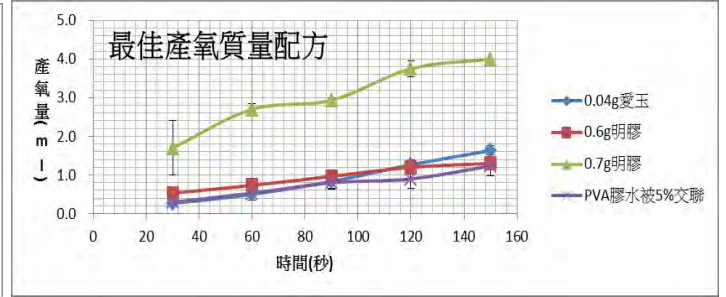
時 間	0.03g 愛玉			0.04g 愛玉			0.05g 愛玉			5%硼砂交聯 PVA		
	一	二	三	一	二	三	一	二	三	一	二	三
30	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4
	平均產氧量:0.2			平均產氧量:0.3			平均產氧:0.2			平均產氧量:0.3		
	標準差:0.0			標準差:0.1			標準差:0.1			標準差:0.2		
	標準誤差:0.0			標準誤差:0.0			標準誤差:0.1			標準誤差:0.1		
60	0.3	0.3	0.3	0.8	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.5	0.5
	平均產氧量:0.3			平均產氧量:0.5			平均產氧:0.4			平均產氧量:0.5		
	標準差:0.0			標準差:0.3			標準差:0.1			標準差:0.5		
	標準誤差:0.0			標準誤差:0.2			標準誤差:0.2			標準誤差:0.3		
90	0.7	0.7	0.7	1.2	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
	平均產氧量:0.7			平均產氧量:0.8			平均產氧:0.5			平均產氧量:0.8		
	標準差:0.0			標準差:0.3			標準差:0.1			標準差:0.8		
	標準誤差:0.0			標準誤差:0.2			標準誤差:0.2			標準誤差:0.5		
120	0.9	0.8	0.9	1.5	1.1	1.2	0.8	0.6	0.7	0.6	0.8	1.0
	平均產氧量:0.9			平均產氧量:1.3			平均產氧:0.7			平均產氧量:0.9		
	標準差:0.1			標準差:0.2			標準差:0.1			標準差:0.8		



	標準誤差:0.0			標準誤差:0.1			標準誤差:0.4			標準誤差:0.5		
150	1.2	1.2	1	1.7	1.4	1.8	1	0.9	1.4	0.8	1.7	1.2
	平均產氧量:1.1			平均產氧量:1.6			平均產氧:1.1			平均產氧量:1.2		
	標準差:0.1			標準差:0.2			標準差:0.3			標準差:1.1		
	標準誤差:0.1			標準誤差:0.1			標準誤差:0.2			標準誤差:0.6		



圖十三 愛玉與產氧量作圖



圖十四 明膠與愛玉對產氧量作圖

### 1. 實驗結果

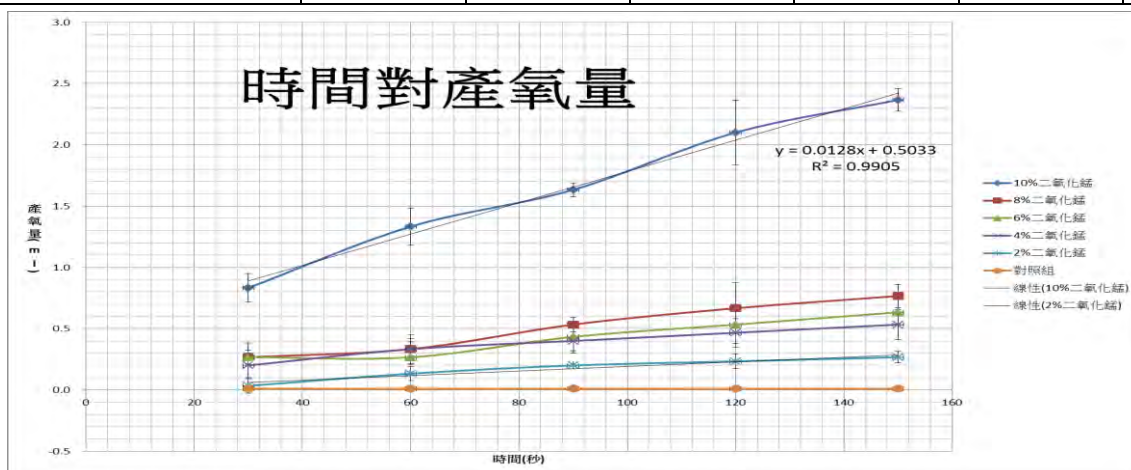
- (1) 實驗結果發現，愛玉質量越多反而不利於二氧化錳進行催化反應( $0.04g > 0.03g > 0.05g$ )
- (2) 將愛玉與明膠中最佳質量配方比較(圖十五)，發現產氧量:  $0.7g$  明膠  $>$   $0.6g$  明膠  $>$   $0.4g$  愛玉  $>$   $5\%$  硼砂交聯 PVA，說明在天然包材的選擇上，明膠分子優於愛玉。

### 三、二氧化錳濃度對產氧速率的影響

表五 二氧化錳濃度對產氧量的影響

二氧化錳濃度(%)反應時間(秒)		10	8	6	4	2	0
30	測試一	0.7	0.3	0.3	0.3	0.0	0.02
	測試二	0.9	0.3	0.2	0.2	0.0	0.01
	測試三	0.9	0.2	0.3	0.1	0.1	0.00
	平均值	0.8	0.3	0.3	0.2	0.0	0.00
	標準差	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.01
	標準誤差	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.00
60	測試一	1.2	0.3	0.3	0.4	0.1	0.02
	測試二	1.5	0.4	0.2	0.2	0.1	0.01
	測試三	1.3	0.3	0.3	0.4	0.2	0.00
	平均值	1.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.00
	標準差	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.01
	標準誤差	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.00
90	測試一	1.6	0.5	0.3	0.4	0.2	0.02
	測試二	1.6	0.6	0.5	0.3	0.2	0.01
	測試三	1.7	0.5	0.5	0.5	0.2	0.00
	平均值	1.6	0.5	0.4	0.4	0.2	0.00

	標準差	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.01
	標準誤差	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.01
120	測試一	2.3	0.5	0.4	0.4	0.2	0.02
	測試二	1.8	0.9	0.5	0.4	0.3	0.01
	測試三	2.2	0.6	0.7	0.6	0.2	0.00
	平均值	2.1	0.7	0.5	0.5	0.2	0.00
	標準差	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.01
	標準誤差	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.00
	150	測試一	2.5	0.7	0.5	0.4	0.3
測試二		2.3	0.9	0.7	0.5	0.3	0.01
測試三		2.3	0.7	0.7	0.7	0.2	0.00
平均值		2.4	0.8	0.6	0.5	0.3	0.00
標準差		0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.00
標準誤差		0.1	0.3	0.2	0.2	0.1	0.00



圖十五 二氧化錳濃度對產氧量的影響

(一) 實驗結果:10%二氧化錳明膠溶液產氧量與產氧速率均為最大，以此濃度進行下列去極劑試紙實驗。

#### 四、天然膠體濃度對穩固性的影響

表六 膠體穩固性分析

水與明膠質量比例(倍)	30	23	16	15	14	13	12	11
明膠濃度	最薄	→						最濃
測試一	○	○	○	○	○	×	×	×
測試二	○	○	○	○	○	×	×	×
測試三	○	○	○	○	×	×	×	×
穩固膠體比例	0%	0%	0%	0%	66.7%	100%	100%	100%

註:符號○為破裂，符號 X 為不破裂

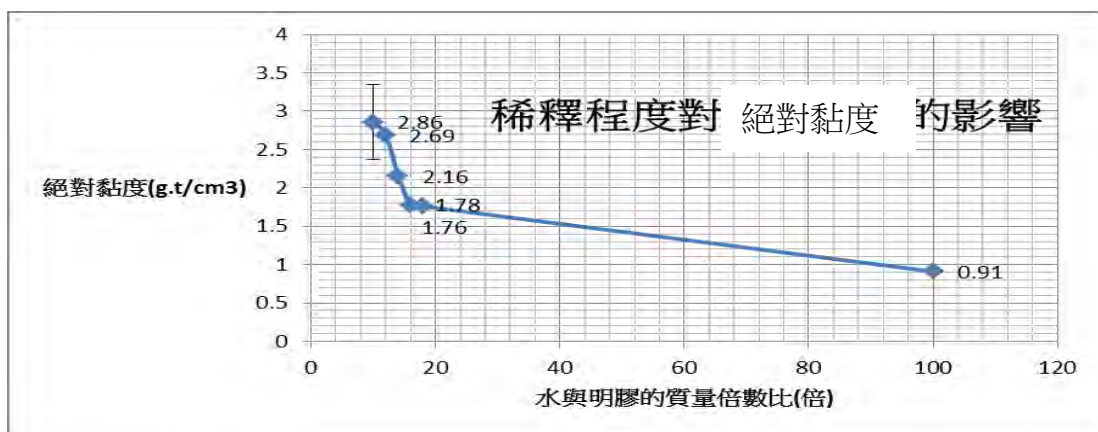
(一) 實驗結果:水質量為明膠質量的 13 倍以下，可以得到受力下仍然穩定不破裂之明膠膠體。

### 五、天然膠體黏度性實驗

表七 水與明膠的質量比與黏度關係

水的倍數		18	16	14	12	10	純水對照組
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	測試 1	0.68	0.72	0.86	0.96	0.98	1.00
	測試 2	0.68	0.70	0.78	1.03	0.92	1.00
	測試 3	0.74	0.68	0.82	0.90	0.92	1.00
	平均值	0.70	0.70	0.82	0.96	0.94	1.00
	標準差	0.03	0.02	0.04	0.07	0.03	0.00
	標準誤差	0.02	0.01	0.02	0.04	0.02	0.00
通透時間(秒)	測試 1	2.53	2.40	2.53	2.87	1.93	0.83
	測試 2	2.63	2.60	2.83	2.57	3.84	0.94
	測試 3	2.37	2.63	2.57	2.97	3.44	0.97
	平均值	2.51	2.54	2.64	2.80	3.07	0.91
	標準差	0.13	0.13	0.16	0.21	1.00	0.07
	標準誤差	0.08	0.07	0.09	0.12	0.58	0.04
絕對黏度(密度 x通透時間; g.t/cm <sup>3</sup> )	測試 1	1.72	1.73	2.18	2.75	1.90	0.83
	測試 2	1.79	1.82	2.21	2.65	3.53	0.94
	測試 3	1.75	1.79	2.11	2.67	3.16	0.97
	平均值	1.76	1.78	2.16	2.69	2.86	0.91
	標準差	0.03	0.05	0.05	0.06	0.86	0.07
	標準誤差	0.02	0.03	0.03	0.03	0.49	0.04
以水為基準(倍)		1.93	1.95	2.38	2.95	3.14	1.00

註:純水對照組以橫軸 100 表示



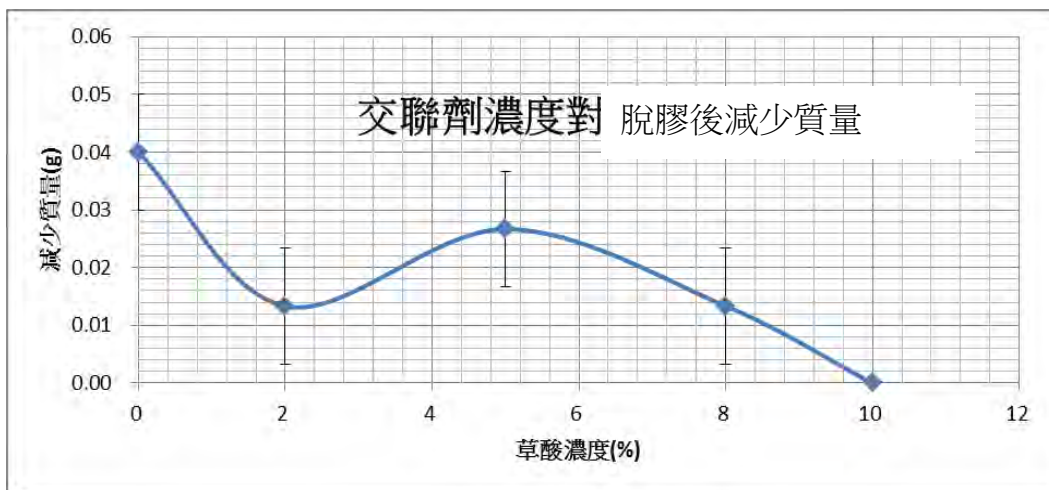
圖十六: 稀釋程度對明膠溶液黏度影響

(一)實驗結果: 明膠溶液中的水量越少，明膠溶液的黏度越高。水質量為明膠之 13 倍時為可受力之最薄透明膠溶液，此時溶液黏度約為水的 2.38-2.95 倍

## 六、明膠-去極劑的交聯程度對受熱性的影響實驗

表八 明膠-去極劑的交聯程度對受熱性的影響

草酸濃度 (%)		0	2	5	8	10
前測質量 (g)	測試 1	0.06	0.06	0.08	0.10	0.08
	測試 2	0.08	0.08	0.06	0.08	0.08
	測試 3	0.08	0.08	0.06	0.08	0.06
後測質量 (g)	測試 1	0.00	0.06	0.04	0.08	0.08
	測試 2	0.04	0.04	0.04	0.08	0.08
	測試 3	0.06	0.08	0.04	0.06	0.06
減少質量 (g)	測試 1	0.06	0.00	0.04	0.02	0.00
	測試 2	0.04	0.04	0.02	0.00	0.00
	測試 3	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00
	平均值	0.04	0.01	0.03	0.01	0.00
	標準差	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00
	標準誤差	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00



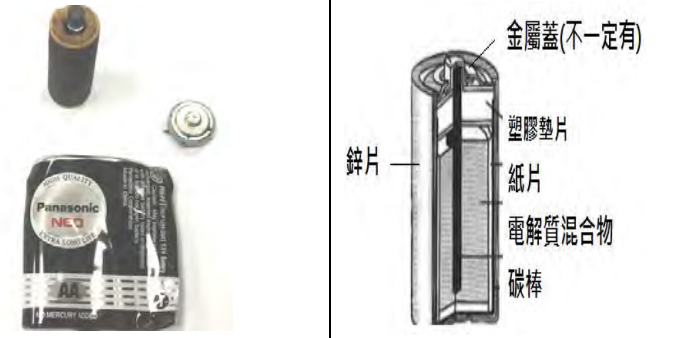
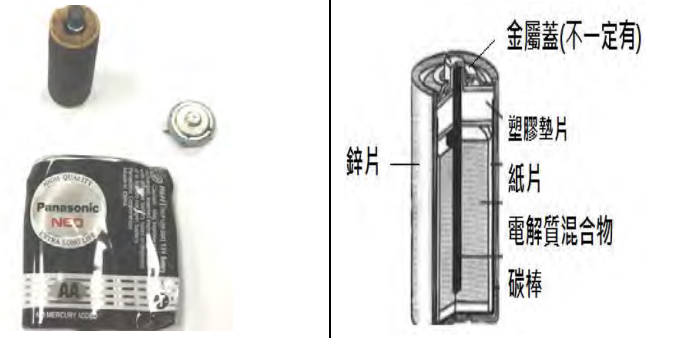
圖十七 交聯劑濃度對脫膠後減少質量作圖

(一)實驗結果:由實驗結果知道，未交聯的去極劑紙膜在電流熱效應下具有較嚴重的脫膠情況 (0.04>0.03>0.01>0.00)。在 10%草酸交聯劑下，去極劑紙膜能不脫膠，具有 100%的包覆回收率。

## 七、去極劑紙膜與電解質之接觸面積對電池電壓的影響

### (一) 拆解廢棄電池

表九 市售 1.5V 乾電池拆解結果與電解質質量比

	用途								
固體部分	鋅片 (正極)、碳棒 (負極)、塑膠墊片(絕緣)、紙片(包覆)、透明塑膠套(包裝)								
粉末部分	外觀黑色的電解質混合物，摸起來濕濕的。								
		圖十八 拆解實物圖與示意圖							
	樣品 1	樣品 2	樣品 3	重量平均	標準差	標準誤差			
未使用電池總重量(g)	17.42	17.26	17.58	17.42	0.16	0.09			
電解質總重量(g)	7.68	7.10	8.00	7.59	0.46	0.26			
電解質質量比例(%)	44.09	41.14	45.51	43.58	2.23	1.29			

註:參考國中課本內容第六冊第一章「常見的電」池內容,乾電池電解質為二氧化錳、氯化銨、澱粉之混合物。

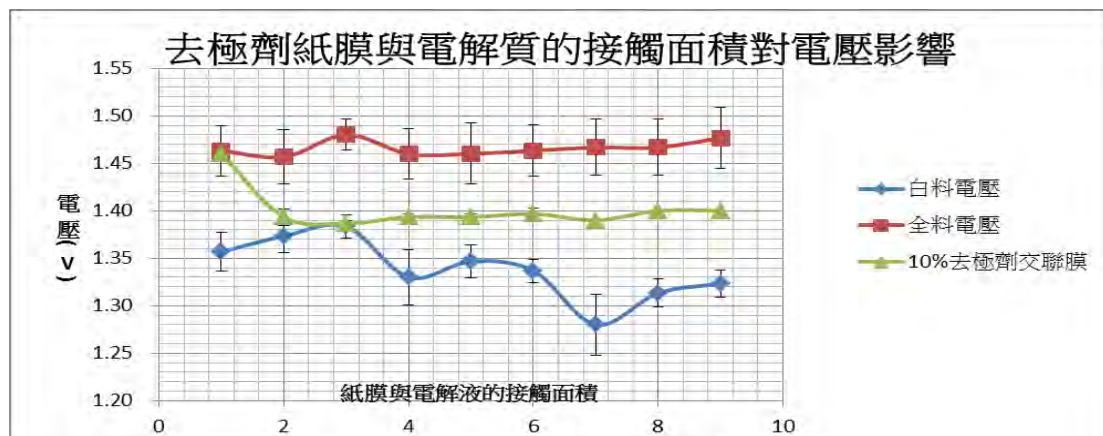
(二) 參考第四十六屆全國中小學科學展覽作品(2002)之研究結果,乾電池電解液中尚含有氯化鋅成分,各自比例為二氧化錳 37%、氯化銨 16%、氯化鋅 28%、澱粉 15%、水 14%。依據我們實驗結果,取整體電解質質量為 7 公克,則二氧化錳佔 2.59 克、氯化銨為 0.42 公克、氯化鋅為 1.96 公克、澱粉為 1.05 公克、水為 0.98 公克,以上比例稱為「全料」,「白料」是指上述配方中不含二氧化錳。以「全料」、「白料」、「0%交聯去極劑膜」、「10%交聯去極劑膜」進行電壓測試。

表十 白料、全料與不同接觸面積去極劑紙膜之電解質的電壓

去極劑試紙與電解液接觸面積		1/9	2/9	1/3	4/9	5/9	6/9	7/9	8/9	1
白料	電壓 1	1.36	1.38	1.39	1.38	1.38	1.32	1.22	1.29	1.30
	電壓 2	1.32	1.34	1.36	1.33	1.34	1.36	1.33	1.34	1.35
	電壓 3	1.39	1.4	1.4	1.28	1.32	1.33	1.29	1.31	1.32
	平均值	1.36	1.37	1.38	1.33	1.35	1.34	1.28	1.31	1.32
	標準差	0.04	0.03	0.02	0.05	0.03	0.02	0.06	0.03	0.03
	標準誤差	0.02	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	0.03	0.01	0.01

全料	電壓 1	1.49	1.48	1.46	1.47	1.47	1.48	1.48	1.48	1.48	
	電壓 2	1.49	1.49	1.50	1.5	1.51	1.5	1.51	1.51	1.53	
	電壓 3	1.41	1.40	1.40	1.41	1.4	1.41	1.41	1.41	1.42	
	平均值	1.46	1.46	1.45	1.46	1.46	1.46	1.46	1.47	1.47	1.48
	標準差	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06
	標準誤差	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
10%交聯去極劑紙膜	電壓 1	1.39	1.37	1.39	1.39	1.39	1.38	1.4	1.4	1.4	
	電壓 2	1.39	1.39	1.39	1.39	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	
	電壓 3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.39	1.4	1.4	1.4	
	平均值	1.39	1.39	1.39	1.39	1.40	1.39	1.40	1.40	1.40	
	標準差	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
	標準誤差	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00

註:白料所有位置電壓總平均為 1.34V。全料所有位置電壓總平均為 1.47V。10%交聯去極劑膜有位置電壓總平均為 1.39V。



圖十九 去極劑紙膜接觸面積大小對電壓的影響

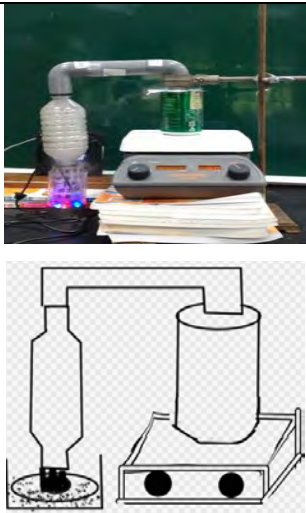


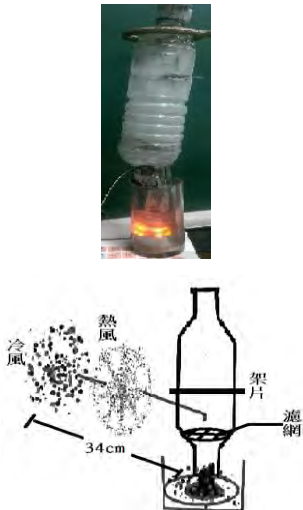
註:紙膜與電解液的接觸面積單位為九分之幾，格線上單位為 2/9、4/9、6/9、8/9。

### (三) 實驗結果

1. 由全料、白料的電壓平均值之差異可以知道，乾電池中粉末式的二氧化錳大約可以提供 0.13V 的電壓( $1.47-1.34=0.13$ )。
2. 由 10%去極劑膜與白料電壓平均之差可以知道，試紙膜上的二氧化錳大約可以提供 0.05V( $1.39-1.34=0.05$ )。
3. 使用本實驗配方之去極劑試紙可較全料配方提供 38%的電壓，但因受熱效應後不脫膠可以使二氧化錳方便回收，不造成環境汙染。
4. 由實驗結果知道，不論試紙膜與電解液接觸面積大小，均不影響電壓表現

## 八 微膠囊置備系統的建立

表十一 微膠囊置備系統的研發過程

	第一代 攪拌加熱模式	第二代 攪拌模式
實驗裝置照片與示意圖		
設計想法	實驗裝置右側使用金屬罐加熱(內加交聯劑), 用意為希望水分快速蒸發, 得到微膠囊粒子沉降, 與交聯劑交聯固化。	實驗裝置右側使用透明布丁盒當容器(內加交聯劑), 不加熱只攪拌, 微膠囊粒子通過 U 行水管後沉降, 與交聯劑交聯固化。
測試結果	金屬罐口不斷有水珠散出, 推測霧化噴濺出的二氧化錳-明膠分子無法下沉, 測量發現產氧量為 0ml	觀察草酸交聯溶液的表面有片狀物質, 推測二氧化錳-明膠溶液只在表面交聯, 將表面交聯成分進行測量發現產氧量為 0ml
實驗討論	噴濺過程中發現, 微膠囊粒子無法順利沉降, 推測是因為金屬罐加熱與攪拌後使罐內的空氣發升對流, 反而不利於微膠囊粒子順著空氣沉降的想法。	噴濺過程中發現, 微膠囊粒子能較第一袋裝置順利沉降, 但推測因為草酸濃度太高(5%)之故, 使得溶液密度太高, 微膠囊粒子很輕而無法順利沉降。所以決定將交聯劑在噴濺結束後滴加。
	第三代 水箱收集模式	第四代 雙濾網單行直立模式
實驗裝置照片與示意圖		

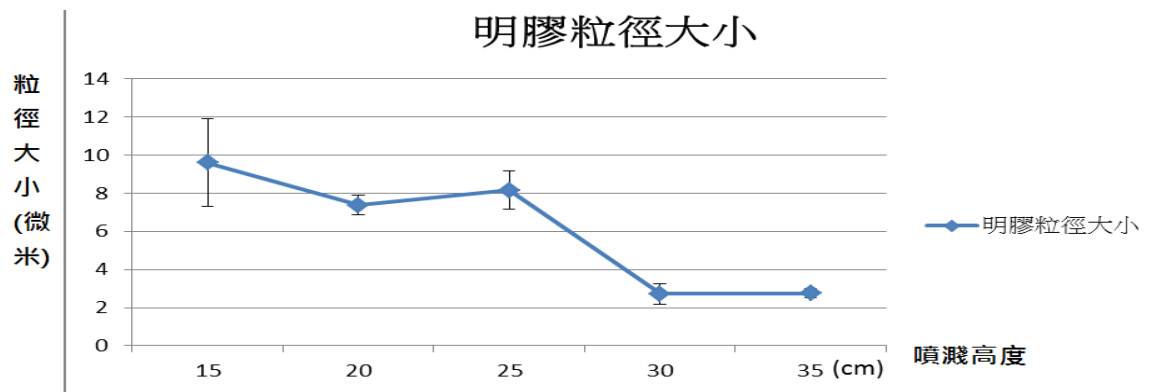
設計想法	加長右側的直線水管並用 2 公升的封閉桶子收集沉降中的微膠囊粒子，提高產量，不加攪拌與加熱，在杯蓋上放入交聯劑，待微膠囊分子因為重力而自行沉降。	經過第一代到第三代的測試發現，無法讓微膠囊分子有效越過塑膠 U 型管區，所以二氧化錳-明膠分子產量少，所以改為單行直立模式，並在保特瓶瓶口與寶特瓶 5cm 處加裝雙層濾網，熱風源距離桶管 34cm，加裝濾網原因是為了讓水珠與較大粒子無法過去達到過濾的目的。熱風可使水珠蒸發旺盛並水蒸氣凝結。
測試結果	觀察草酸交聯溶液的 surface 呈現黃色，代表明膠蛋白變性，推測發生交聯作用，測量結果發現 0 到 150 秒內產氧量僅為 0.3ml	實驗方法改為在顯微鏡下滴入雙氧水並以生物區樣法的百分比來表示氧氣速率快慢，比例越高代表產氧速率越快
實驗討論	第三代實驗裝置可以產氧 0.3ml，代表集中式收集具有效果，但到右側之水氣仍然很多，水氣凝結後會降低交聯劑濃度，減低交聯包覆效果，而且許多微膠囊分子會附著在瓶壁上無法收集。	能得到滿意的微膠囊產量，進行正式實驗詳見實驗(九)與實驗(十)

## 九、噴濺高度對明膠粒徑大小的影響

表十二 噴濺高度對明膠粒徑大小數據

噴濺高度(cm)	明膠粒徑 $\mu\text{m}$					照片
15	6.5	6.0	8.0	12.5	15	 (9.6 $\mu\text{m}$ )
	平均粒徑 :9.6 標準差:4.0 標準誤差:2.3					
20	7.0	6.3	8.8	7.3	7.5	 (7.4 $\mu\text{m}$ )
	平均 7.4 標準差:1.0 標準誤差:0.5					
25	10.0	6.5	7.5	10	6.8	 (8.2 $\mu\text{m}$ )
	平均 8.2 標準差:1.7 標準誤差:1.0					
30	2.0	2.5	2.8	4.3	2.0	 (2.7 $\mu\text{m}$ )
	平均 2.7 標準差:1.0 標準誤差:0.5					
35	2.5	2.3	3.0	2.7	3.3	 (2.7 $\mu\text{m}$ )
	平均 2.7 標準差:0.4 標準誤差:0.2					





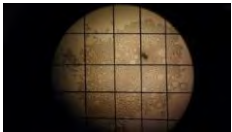
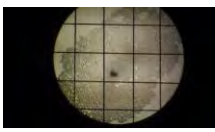


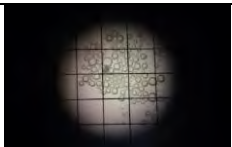
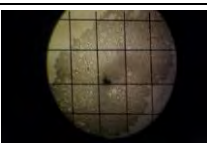
圖二十 噴濺高度對膠囊粒徑作圖

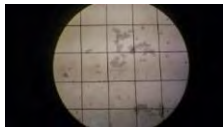
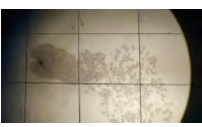
### (一)、實驗結果

明膠溶液濃度 0.5% 時，在 35 公分霧化噴濺距離內均可形成微米尺度膠囊，但噴濺距離為 15 公分時，可能因為膠體重複噴濺而體積太大，所以在玻片上形成連續不斷的流膠狀；噴濺距離 30 公分以上，二氧化錳-明膠分子的量變少。考量粒徑大小與二氧化錳-明膠的噴濺量，本實驗結論取 25 公分的噴濺距離能有效形成二氧化錳微膠囊顆粒。

### 十、噴濺時間對微膠囊粒子產氧速率的影響

表十三 噴濺時間對 15cm 下產氧速率的數據

噴濺時間	測試 1	測試 2	測試 3	平均產氧速率(%)
5 分鐘	 8/25(片狀，失敗[註])	 9/25(片狀，失敗)	無氧	0%
10 分鐘	 6/25(片狀，失敗)	無氧	無氧	0%
15 分鐘	 3/25	無氧	無氧	12%
20 分鐘	 5/25	無氧	 11/25	32%

25 分鐘			無氧	4%
	1/25	約 1/25		

註：顯微鏡中「片狀」之結果非微膠囊，為失敗的試片，片狀的判定法為觀察到一大片二氧化錳(尺度約為 8-20um)會從邊緣產氧,成功的試片為諸多微膠囊聚集成黑色塊狀,則會從中間與周圍同時產氧。

### (一) 實驗結果

- 1.在 15cm 的噴濺距離下，15 分鐘以上才可以收集到微膠囊粒子。15cm 下以 20 分鐘的噴濺時間產氧率最佳。
- 2.噴濺時間越久越有助於分子片狀凝聚情況的減少。本實驗所使用的霧化器具有將粒子均質霧化的功能。
- 3.綜合實驗九與實驗十發現，不論噴發距離 15 公分或 25 公分均需要 15 分鐘以上的時間才能達到產氧目標，所以縮短噴濺距離並無法減少噴濺時間。

## 陸、討論

### 一、交聯劑濃度對產氧速率的影響

實驗發現 5%交聯濃度之產氧量最高，推測可能是 2%的交聯程度過於鬆散，加入雙氧水時膠體會部分溶解形成膠態溶液而降低膠體外膜通透性，8%與 10%之交聯濃度太高使得膠體外緣太過脆化，滲透性下降。

### 二、天然膠體種類對產氧速率的影響

由兩種膠體產氧速率比較可知，微膠囊壁材選擇上明膠優於愛玉，推測明膠分子通透性優於愛玉的原因是因為明膠分子遇到水可以降解，而愛玉一旦交聯固化後不可溶解於水中。

(一) 何盈融(2013)在論文中提到製作微膠囊必須控制外殼厚度與核與殼厚度的比值，核殼厚度對儲存心材穩定性與釋放行為有重要影響，以下設定明膠為微膠囊實驗壁材。

(二) 查閱文章發現明膠 E441 是果凍、膠囊、軟糖中常用的食品添加物(向動物性食品添加物說 NO，2009)，素食者常誤食，建議未來的研究者可以找尋通透性良好的植物膠，造福人類，**電池中添加明膠包覆殼材是天然無汙染的選擇。**

### 三、二氧化錳濃度對產氧量的影響

本實驗結果顯示，二氧化錳濃度越大，化學反應速率最快，符合理論。

#### 四、天然膠體濃度對穩固性的影響

膠溶液越稀薄受力後越容易破裂。可能是明膠與水的的氫鍵鍵結數目較少使之。在乾電池隨身攜帶使用的情況下，實驗結果應選擇耐力強度較高的明膠包膜，但考量二氧化錳在電解液中的穿透濃度，應該選擇濃度不大的明膠膠體包覆，綜合以上，我們選擇水與明膠質量比為 13 倍之膠體進行以下實驗

#### 五、天然膠體黏度實驗

由本實驗可知，常溫下黏度為水之 2-3 倍的溶液適合作為包覆去極劑的殼材；硝基苯、丙醇等溶液的黏度適合，但這兩種溶液均為非電解質溶液，期望後續研究可以研究更多黏度天然電解質溶液來包覆二氧化錳去極劑，以減少環境汙染。

#### 六、去極劑紙膜的交聯程度對受熱性影響

交聯劑濃度越高，包覆回收率越好，可能是濃度可以影響分子交聯數目所致。

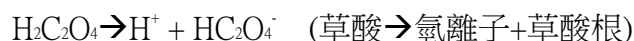
#### 七、去極劑紙膜與電解質之接觸面積對電池電壓的影響

(一)本實驗配方可以提供 38%之原始電壓水準，可以藉由調整其他對環境較無害的化學物來提升電壓使至 100%的水準。

表十四 本次實驗之 0%交聯去極劑膜電壓表現如下:

去極劑試紙與電解液 接觸面積大小	1/9	2/9	3/9	4/9	5/9	6/9	7/9	8/9	9/9	平均
電壓 1	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.35	1.35	1.33	1.35

(二) 上表十四中「0%交聯去極劑膜」平均電壓為 1.35 與「白料」平均電壓 1.34 相較差異不大，但交聯後可使電壓高至 1.39，可能因為極劑膜中含有草酸有助於電壓提升，草酸為電解質可以解離出草酸根與氫離子幫助導電。草酸解離反應式如下:



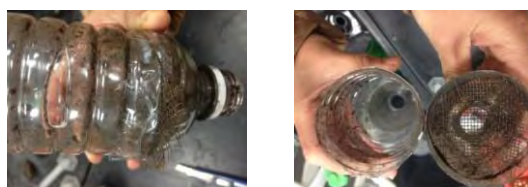
(三)由白料與 10%交聯去極膜的電壓表現可以知道，去極膜有助於電壓穩定表現，可見二氧化錳在乾電池電解液中除了可以提供電壓外尚有平穩反應的效果，二氧化錳可以將乾電池反應時產生的氫氣氧化(顧翼東，1997)。

## 八、微膠囊置備系統的建立

- (一) 微膠囊置備系統第一代重點為攪拌加上加熱，但加熱促進空氣對流，反而不力於微膠囊粒子沉降，所以第二代改為攪拌不加熱，但效果能不佳，交聯只在溶液表面發生。
- (二) 第三代開始利用白努力定律測風吹管桶，希望藉由熱側風吹進管桶中，助於霧化膠囊液滴上升與乾燥，結果發現有明膠分子固化的現象，但產量稀少。究其原因為霧化微膠囊液滴行進距離越遠其產量越低，多數粒子附著於路徑中。
- (三) 第四代裝置改為單行直立式。減少霧化液滴的行進距離以提高產率，但為了得到更均勻的粒子在霧化器上方 5cm 處加裝濾網，出風強度與熱度設定在距管桶 34cm 處，草酸交聯劑改為製得微膠囊粒子後加入。
- (四) 本實驗未探討壓力對明膠-二氧化錳微膠囊影響，曾有研究將殼材海藻酸鈉與核材油性染料芥黃以不同比例之混和溶液置入噴槍中(高度為 60cm，壓力 為  $14\text{kg}/\text{cm}^2$ )，再噴入氯化鈣水溶液中進行交聯硬化形成微膠囊實驗樣本(吳韶莘、張志鵬，2013)。該壓力為大氣壓力之 14 倍左右，提高壓力是否能提高微膠囊產率可待後續研究者進行研究。

## 九、噴濺高度與噴濺時間對明膠分子粒徑大小的影響

- (一) 為了避免微膠囊溶液在 15cm 的噴濺距離造成玻片上形成流膠狀,我們將寶特瓶下方加裝鐵網,阻擋濺起的微膠囊溶液。



圖二十二 管桶中加裝濾網的狀況

- (二) 本實驗結果發現 15cm 的噴濺距離在 20 分鐘的產氧量最高,推測噴濺時間過短,造成微膠囊無法有足夠時間分離沉降與被明膠包覆,噴濺時間過長則會造成膠體重複覆蓋二氧化錳而無法產生氧氣。
- (三) 綜合實驗九與實驗十發現，縮短噴濺距離並無法減少噴濺時間，代表霧化器製造的微膠囊粒子在桶道中分布的很均勻，微膠囊粒子不因距離低而濃度高，所以在 15-25 公分噴濺距離內採適當的噴濺時間都能有效形成微膠囊。

## 柒、結論

### 一、二氧化錳去極劑紙膜的材料選擇

(一)天然微膠囊殼材選擇上明膠更優於愛玉。

(二)10%二氧化錳、水與明膠質量比為 13 倍、草酸交聯劑濃度 10%之比例配方能最佳。二氧化錳功能效率、最佳受應力穩固程度並且能將重金屬去極劑二氧化錳 100%包覆回收。

(三)電池中理想包覆殼材的黏度約為水的 2-3 倍，常溫下血液濃度為水的 3-4 倍，建議後續研究者進行相關研究。

### 二、二氧化錳去極劑紙膜接觸面積對電壓的影響

(一)去極劑紙膜與白料接觸面積大小不影響電壓表現。所以利用該紙膜可以做成任意體積大小的電池，符合製作新型態電池的條件。

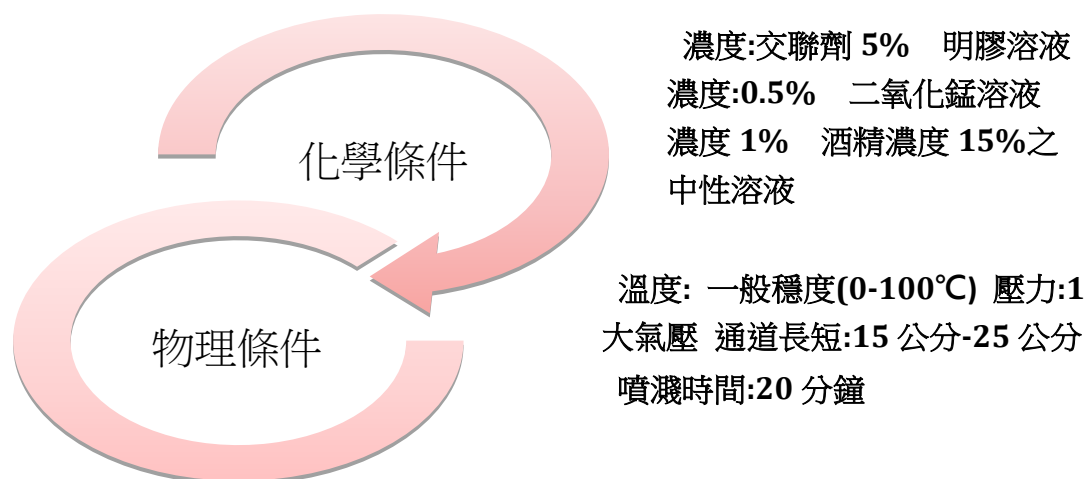
(二)去極劑紙膜相較於粉末散佈狀之二氧化錳提供 38%的電壓。但能減少電解質混合物分離的困擾，100%能回收，不造成重金屬汙染問題。

### 三、微膠囊粒子製備系統的建立

第一代裝置為攪拌加熱模式出現加熱對流加速卻不利微膠囊粒子沉降的狀況；第二代攪拌模式使用 5%交聯劑配方，發現因為攪拌不利沉降與交聯劑濃度太高密度太大，出現表面交聯片狀情況；第三代水箱收集模式出現附著於裝置內壁和沉降路徑過長的問題，經過改良後採第四代雙濾網單行直立式，能收集到滿意的微膠囊產量。

### 四、噴濺高度與噴濺時間對明膠分子粒徑大小的影響

單純以距離來看，20-25 公分是最佳的噴濺距離。而以雙濾網單行直立式進行噴濺時間實驗，15 分鐘以上的時間才能達到產氧目標，20 分鐘左右的噴濺時間可以使產量最大化。家用置備明膠-二氧化錳微膠囊的條件如下：



圖二十二 家用去極劑微膠囊紙膜的製作條件

## 捌、參考資料及其他

向動物性食品添加物說 NO(2009 年 8 月 27 日)。取自: <http://gkilai.pixnet.net/blog/post/460029574-向動物性食品添加物說 NO>。(Feb, 13, 2018)

維基百科-二氧化錳(2018 年 2 月 5 日)。取自: <https://zh.wikipedia.org/wiki/二氧化錳>。(May, 23, 2018)

金安兒(2009)。乳酸菌的微膠囊化。《科學發展》，441，37-41。

吳韶莘、張志鵬(2013 年 5 月)。利用不同濃度海藻酸鈣包覆油性染料微膠囊對釋放性之探討。綠色科技工程與應用研討會(GTEA)發表之論文。國立勤益科技大學。

康軒文教事業股份有限公司(2017)。《自然與生活科技學習領域第四冊課本》。新北市:作者。

康軒文教事業股份有限公司(2017)。《自然與生活科技學習領域第二冊課本》。新北市:作者。

陳琪婷(2003)。以二氧化錳催化降解水中氨氮之研究。國立中山大學海洋環境及工程學系研究所。高雄市:未出版。

張鴻奇(1998)。微膠囊技術之發展及應用回顧。《化工資訊月刊》，第 15 卷，第 8 期。

何盈融(2013)。微膠囊應用於聚氨酯材料之置備與特性研究。國立勤益科技大學化工與材料工程研究所。台中市:未出版

賴育辰、陳忠益、張志鵬(2011)。海藻酸鈣包覆香茅油微膠囊之製備及其釋放性之探討。《華岡紡織期刊》，18(2)，178 - 183。

韓旭，畢良武，趙振東，李大偉(2011)。微膠囊的置備方法研究進展。《生物質化學工程》。第 45 卷，第 3 期，41-46。

張偉明,黃慧馨(2012)。《花小錢，過好日》。台北市:時報文化。

第四十六屆全國中小學科學展覽作品(2002)。《阿乾正傳——乾電池的分析、自製及改良》。國立屏東女子高級中學。

顧翼東(1997)。《化學大辭典》。台北市:建宏。

## 【評語】 030209

本研究為將二氧化錳製備為微型顆粒，藉此提升其回收率及後續應用性，內容對製備條件進行詳盡比較及討論，並於電池上應用上具有創意。建議未來可將試紙以印刷方式製備紙膜，同時可比較回收後之二氧化錳催化效率，將可使本作品更添趣味及實用性。以下幾點建議提供參考：

- (1) 微膠囊製備方法整理很精彩。
- (2) PVA 與硼砂之間如何進行交聯反應建議仔細探討。
- (3) 天然膠體的選擇可以再多樣化。
- (4) 建議算出此系統的反應速率常數。
- (5) 表八的減少質量改為減少質量百分比，數據較有意義。
- (6) 研究中提到可以藉由調整其他對環境較無害的化學物來提升電壓使至 100% 的水準，可是要使得原本只有 38% 提高至 100% 相當困難，研究者應該提出實際的策略。