

# 新竹市第四十三屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

科別：化學科

組別：國中組

作品名稱：「幾」度防衰，「保」「醇」護甲抗衰弱-自製負極保護膜以改善銅鋁電池效能的研究

關鍵詞：幾丁聚醣、保麗龍膠、負極保護膜

編號：

## 摘要

本研究探討以幾丁聚醣，製作披覆在負極上的膠膜，減緩銅鋁電池電功率的下降速度。當銅鋁電池搭配氯化鈉電解液時，負極的鋁在釋放電子後，形成帶正電的鋁離子溶在電解液中，並與帶負電的氫氧根離子在負極周圍形成不導電的氫氧化鋁，進而使電池的電功率下降。文獻回顧中提到，幾丁聚醣、保麗龍膠皆可對金屬離子產生吸附。因此我們選用這兩種成分來製作膠膜，用以減少鋁離子與氫氧根離子反應產生氫氧化鋁，並加入酒精使膠膜黏稠度降低，讓粉末得以均勻的混和於膠膜中。研究數據顯示，加入 3g 保麗龍膠+2.4g 幾丁聚醣+18ml 酒精，為最佳減緩電功率下降的膠體比例，使塗抹此膠膜的銅鋁電池在最後一天的電功率比未塗抹任何膠膜的銅鋁電池高了近 7 成。

## 壹、前言

### 一、研究動機

產生能源是人類科技一個重要的課題，但這卻在無形之中對環境造成不可逆的傷害。我們認為除了想盡辦法增加能源，應該同時減少電池的損耗。所以近年來，人們著重研究如何提升能源使用的時間、效能，還有電池壽命的延長。我們參考各種資料，發現幾丁聚醣被運用在很多延長電池壽命的研究上，但幾丁聚醣本身並不導電，所以我們很疑惑，不導電的東西到底可以對電池有什麼幫助? 所以我們想進一步研究，希望用簡單的方式，找出提升電池效能的方法。

### 二、研究目的

本研究想利用石墨、幾丁聚醣、保麗龍膠、酒精製作電池之負極保護塗層，來提高電池的效能，延長電池壽命。

具體研究目的如下：

- (一)、探討電極的距離對電功率的影響
- (二)、探討塗層中幾丁聚醣、保麗龍膠、石墨及酒精所造成的影響
- (三)、建立最佳化幾丁聚醣塗層

### 三、文獻回顧

#### (一)、電池

基本的化學電池組由兩個電極、電解液及鹽橋 (或多孔性隔板)所組成，如圖 1-1 是傳統的銅鋅電池[1]。時至今日進而發展出各種電池，譬如可反覆充電的鋰離子電池等。而隨著電池應用的廣泛，如何提高電池效率及延長電池壽命便成了一個重要的課題。

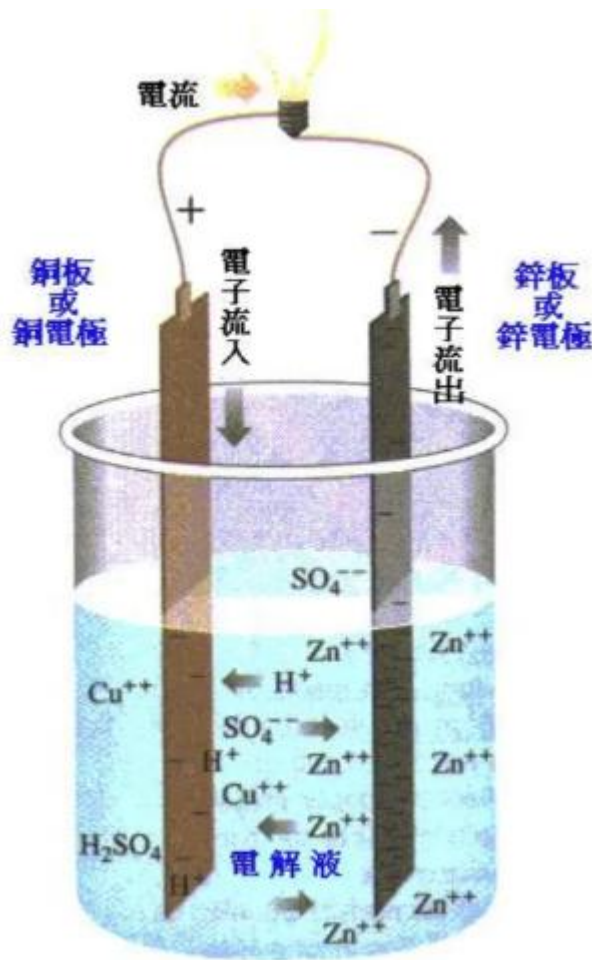


圖 1-1 傳統的銅鋅電池

▲以上為固也泰電子股份有限公司提供

#### (二)、幾丁聚醣

幾丁聚醣(chitosan)是由幾丁質(chitin,又稱甲殼素)經鹼液或酵素進行脫乙醯基反應，使原來幾丁質上的乙醯胺基(-NHCOCH<sub>3</sub>)轉變為胺基(-NH<sub>2</sub>)，製得幾丁聚醣[2][3]。

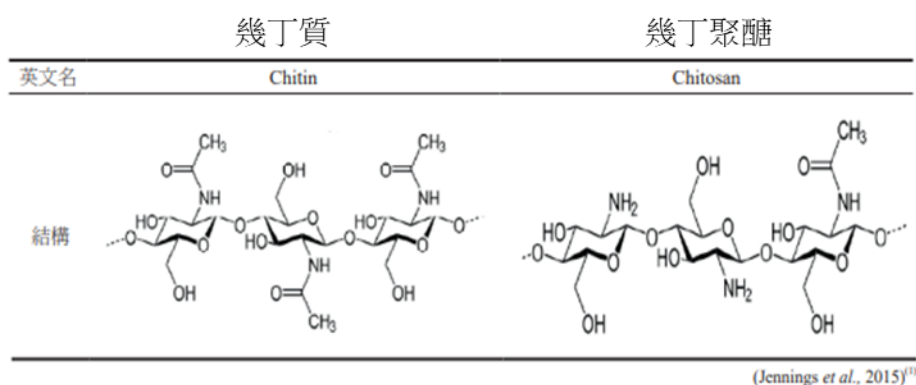


圖 1-2 幾丁質與幾丁聚醣的結構

▲以上圖片出自於洪甄敏等。原料「幾丁聚醣」中去乙醯化程度之檢驗研究。食品藥物研究年報. 11：27-36 2020

幾丁質主要是從廢棄的海洋無脊椎生物的外殼上取得，如蝦殼等。因為幾丁質來自於天然聚合物，所以具有高度的生物相容性與生物分解性，對人體的排斥性低，可製成人工皮膚、人工韌帶等醫療器材。此外，以幾丁質為原料可製得環保塑膠，在自然界可被微生物或植物所分泌的幾丁質酵素所分解，不會引起環境污染問題。幾丁聚醣可藉由高分子糖環對重金屬離子產生吸附，從廢液中將重金屬離子移除。在酸性環境中，帶正電荷的胺基易吸引廢液中帶負電荷的離子而脫除。由此可見，幾丁聚醣的確是優良的吸附劑[4]。

而在強化電池效能方面，幾丁聚醣也屢被提及，如 2023 年科展，林邑柔等有關光電強化銅鋁電池的研究[5]，利用幾丁聚醣的吸附特性，探討加入電解液中來強化電池壽命。但研究中，增減幾丁聚醣在電解液中的量效果並不顯著，其研究最大作用還是在葉綠素加上照光來減緩電池壽命衰減。但幾丁聚醣在強化電池壽命的應用，應該仍是可研究的方向。於是我們便思考，將幾丁聚醣製成保護膜覆蓋於負極上的可行性。搜尋到呂家揚於 2019 年發表的碩士論文[6]，透過交聯磺酸化幾丁聚醣作為負極保護層以改善鋰離子電池之效能。在鋰離子電池的運作中，電解質與活性電極(負極)材料反應，導致電解液的消耗與負極表面非導電層變厚，從而使充放電的效率逐漸衰減。藉由開發含交聯磺酸化幾丁聚醣的高分子複合材料保護層，披覆在活性負極上，抑制電解質與負極材料的反應與減緩非導電層的變厚，改善鋰離子電池之效能。這也證實我們的想法是可行的。但**如何在國中實驗室用經濟又有效的方法，開發出含幾丁聚醣的高分子複合材料**，便成為我們要研究課題。

### (三)、保麗龍膠






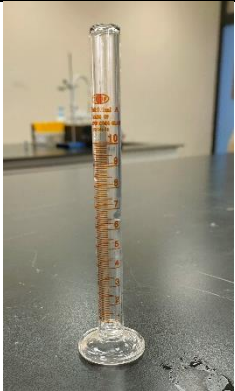



保麗龍膠成分是聚醋酸乙烯樹脂，其成分與濾水器中陽離子交換樹脂的成分接近。由鄭玉辰的論文[7]，將保麗龍磺酸化為離子交換樹脂，可用來吸附水中有害的重金屬離子。因此，本實驗結合了幾丁聚醣與保麗龍膠來自製負極保護膜。除了有機會運用保麗龍膠的黏性，與幾丁聚醣混合，附著於電極負極表面，形成保護層，保麗龍膠本身過濾金屬離子的能力，也有機會進一步降低負極表面非導電層的生成，提升電池效率。

### (四)、石墨

石墨的導電性相當高，其導電性比不銹鋼高 4 倍，比碳素鋼高 2 倍，比一般的非金屬高 100 倍 [8]。由楊宇博等在導電膠的探索與製作的研究中[9]，石墨粉是很好的導電膠材料。本研究嘗試加入石墨粉，觀察是否對電池效能有幫助。






## 貳、研究設備及器材

### 一、實驗器材(圖 2-1):

燒杯	玻棒	壓克力條	壓克力膠	三用電表
				
量筒	滴管	銅片	鋁片	
				

▲以上圖片皆為自行拍攝

## 二、實驗藥品及材料(圖 2-2):

氯化鈉	石墨	幾丁聚醣	保麗龍膠	酒精
				

▲以上圖片皆為自行拍攝

## 參、研究過程與方法

為固定兩極之間的距離，我們決定用壓克力條作出一個架子，如圖 3-1，放入盛有電解液燒杯中，之後在架子的兩端插上金屬片，測量電流與電壓。

### 一、預備基本膠體與器具

(一)、在燒杯中加入 300ml 水及 1.74 公克氯化鈉，配製 0.1M 的氯化鈉水溶液，並攪拌均勻。

(二)、取保麗龍膠置於燒杯中分別與所需材料以玻棒混合均勻。（材料種類及用量會因各實驗變因不同而改變）

(三)、用尺測量並畫記一條直線於鋁片長邊 8cm 處(圖 3-2)，用滴管吸取已製作好的膠體 0.5g，滴在鋁片直線下方，並用玻棒塗抹均勻。

(四)、用壓克力條自製架子,有格子能調整電極距離為 0.5 cm、1.0 cm、1.5 cm、2cm、2.5cm、3cm(每格大小為 0.5cm)，以找出最佳電極距離。(圖 3-3)

(五)、將銅片和鋁片依據所需電極距離插入壓克力架子。銅為正極，鋁為負極。(圖 3-4)

(六)、以三用電表測量電壓(V)及電流(mA)，再將兩數值相乘，得到電功率(mW)





圖 3-1 調整電極距離的壓克力架子(每 0.5cm 一間隔) 圖 3-2 塗上膠體的鋁片

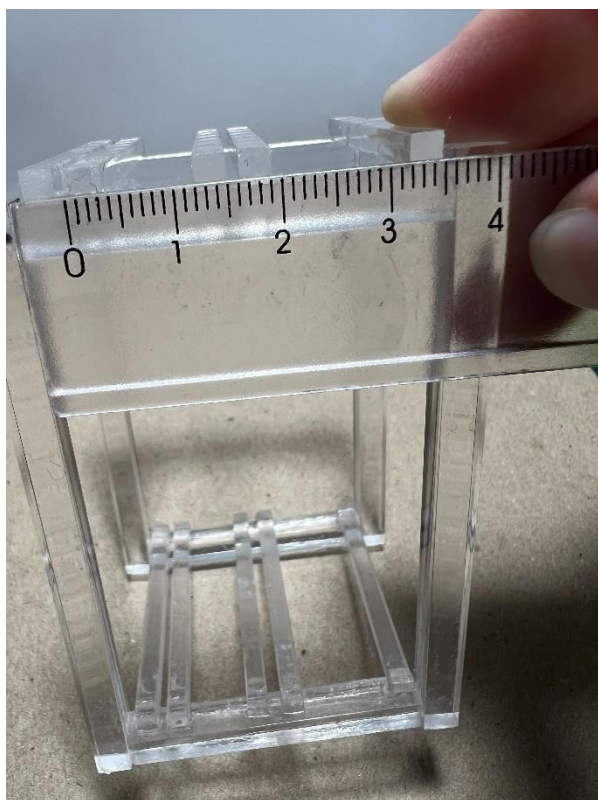


圖 3-3 固定電極距離的壓克力架子

▲以上圖片為自行拍攝

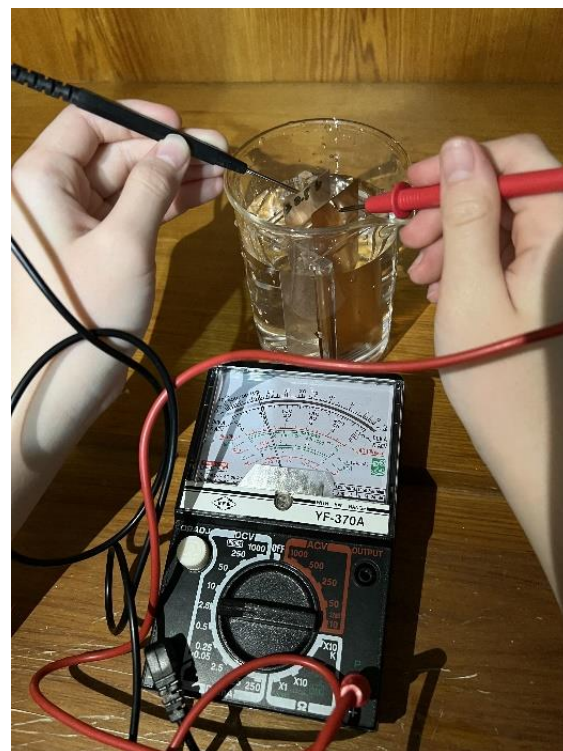


圖 3-4 用三用電表測量電壓及電流

## 二、實驗過程

### 實驗一、探討電極距離對電功率的影響

將壓克力架子置於電解液中，依 0.5 cm、1.0 cm、1.5 cm、2cm、2.5cm、3cm 的間隔，分別插入銅片及鋁片。

### 實驗二、探討加入保麗龍膠和粉末的保護層對電池效能的影響

膠膜配製:

控制變因:保麗龍膠 6g、粉末 0.5g

操縱變因:粉末種類(石墨、幾丁聚醣)

取 6g 保麗龍膠分別與 0.5g 石墨、0.5g 幾丁聚醣混合均勻配置成膠體，用滴管吸取製作好的膠體 0.5g，滴在鋁片直線下方，並用玻棒塗抹均勻

### 實驗三、探討幾丁聚醣與石墨是否有助於增加電池效能(加入酒精)

將保麗龍膠的比例減半，並加入酒精稀釋膠膜

(一)

膠膜配製:

控制變因:保麗龍膠 3g、幾丁聚醣 0.2g、酒精 3ml

操縱變因:是否加入石墨 0.2g

3g 保麗龍膠、0.2g 石墨、0.2g 幾丁聚醣、3ml 酒精，與 3g 保麗龍膠、0.2g 幾丁聚醣、3ml 酒精做電功率比較

用滴管吸取製作好的膠體 0.5g，滴在鋁片直線下方，並用玻棒塗抹均勻

(二)

膠膜配製:

控制變因:保麗龍膠 3g、粉末 0.4g、酒精 3ml

操縱變因: 粉末種類(石墨、幾丁聚醣)

取兩組 3g 保麗龍膠、3ml 酒精，再分別加入 0.4g 石墨或幾丁聚醣，做電功率比較

用滴管吸取製作好的膠體 0.5g，滴在鋁片直線下方，並用玻棒塗抹均勻



#### 實驗四、探討幾丁聚醣+保麗龍膠+酒精的膠膜對電池效能的影響

膠膜配製:

控制變因:保麗龍膠 3g、酒精 3ml

操縱變因:幾丁聚醣的量(0g、0.2g、0.4g)

分別加入 0g、0.2g、0.4g 幾丁聚醣在 3g 保麗龍膠+3ml 酒精中，與完全不塗抹物質的做電功率比較

用滴管吸取製作好的膠體 0.5g，滴在鋁片直線下方，並用玻棒塗抹均勻

#### 實驗五、探討增加幾丁聚醣和酒精對電功率的影響

固定保麗龍膠的量為 3g，只改變幾丁聚醣、酒精的量

膠膜配製:

控制變因:酒精、幾丁聚醣的比例 (酒精:幾丁聚醣=3ml:0.4g)

操縱變因:幾丁聚醣、保麗龍膠的比例

分別加入 0.4g、0.8g、1.2g、1.6g 幾丁聚醣在 3g 保麗龍膠中，而酒精與幾丁聚醣的量，等比例放大

用滴管吸取製作好的膠體 0.5g，滴在鋁片直線下方，並用玻棒塗抹均勻

#### 實驗六、建立最佳化幾丁聚醣塗層

膠膜配製:

控制變因:酒精、幾丁聚醣的比例 (酒精:幾丁聚醣=3ml:0.4g)

操縱變因: 幾丁聚醣、保麗龍膠的比例

製作一個極端值，將幾丁聚醣的量大幅增將到 2.4g，並搭配上 18ml 的酒精、3g 保麗龍膠，與加入 0.4g、0.8g、1.2g、1.6g 幾丁聚醣的組別進行電功率比較。

用滴管吸取製作好的膠體 0.5g，滴在鋁片直線下方，並用玻棒塗抹均勻

### 三、實驗流程圖



## 肆、研究結果與討論

下列為各實驗的結果與數據，在圖表中的保、幾、酒，分別代表保麗龍膠、幾丁聚醣與酒精。

### 實驗一、電極距離

在化學電池中，電極距離皆保持固定，而通常來說距離越小，電阻會越小、電功率會越大。於是我們用壓克力條做 6 組不同距離的架子來實驗。由圖 4-1 來看，電極距離 1.5cm 的電功率以分毫之差成為第一高，所以在之後的實驗我們選用 1.5 公分當作電極距離。

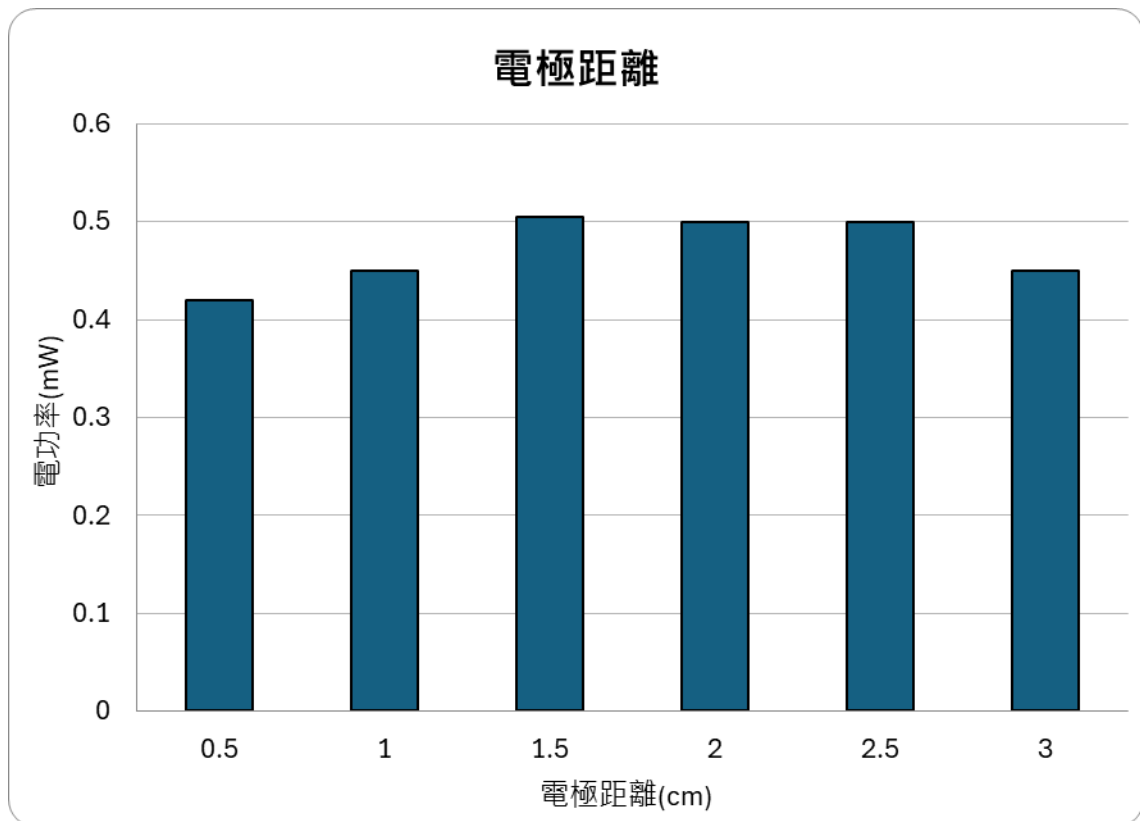


圖 4-1 電極距離電功率圖表:

電極距離(cm)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
電功率(mW)	0.420	0.450	0.505	0.500	0.500	0.450

表 4-1 電極距離電功率數據

### 實驗二、加入保麗龍膠和粉末的保護層

(一)我們考慮到金屬片在販售前為避免氧化，而塗上物質，可能會對我們的實驗造成不必要的變數。所以我們在對照組的基礎下，分別做了有用砂紙磨的金屬片、與沒磨金屬片(兩組的鋁片皆未塗抹膠膜)。如圖 4-2 兩條未加保護塗層的初始電功率不同，有表面處理用砂紙磨的橘線，第一天電功率較高,但後續逐漸靠近鋁片沒磨的深藍線。我們推測是隨著時

間增加，金屬片逐漸氧化、回復到與沒磨金屬片相同的狀態。過了第四天後，電功率幾乎沒有差別，所以表面處理只會對初始電功率造成影響。為減少每次人工表面處理所帶來的不穩定及誤差，後續就以"沒有表面處理"做為基準，並比較第八天以後的電功率。

(二)由圖 4-2 可知，可以發現 3 個加入保麗龍膠與粉末作為保護膜的組別雖然下降趨勢並不顯著，但是從第一天起，不管是添加幾丁聚醣、石墨或沒添加粉末(只有保麗龍膠)的組別，電功率都遠遠低於對照組，因此我們猜測是保麗龍膠太過黏稠、不易塗抹，塗層太厚導致隔絕了大部分的導電路徑，並沒有達到維持電池高效能的目的。由圖 4-3，可看出單獨保麗龍膠的塗層偏厚且不均勻，加入酒精的塗層則較薄且均勻。考慮到塗層太厚會使電功率偏低，所以在後續的實驗中，我們皆控制膠膜的量在 0.5g。

為了兼顧導電路徑的通暢與膠膜的保護作用，於是我們決定加入酒精作為溶劑，使膠膜黏稠度降低，粉末得以均勻的混和在其中，也更利於塗抹，避免膠膜阻礙電子通過的路徑，且酒精最後會揮發掉，並不影響實驗結果。

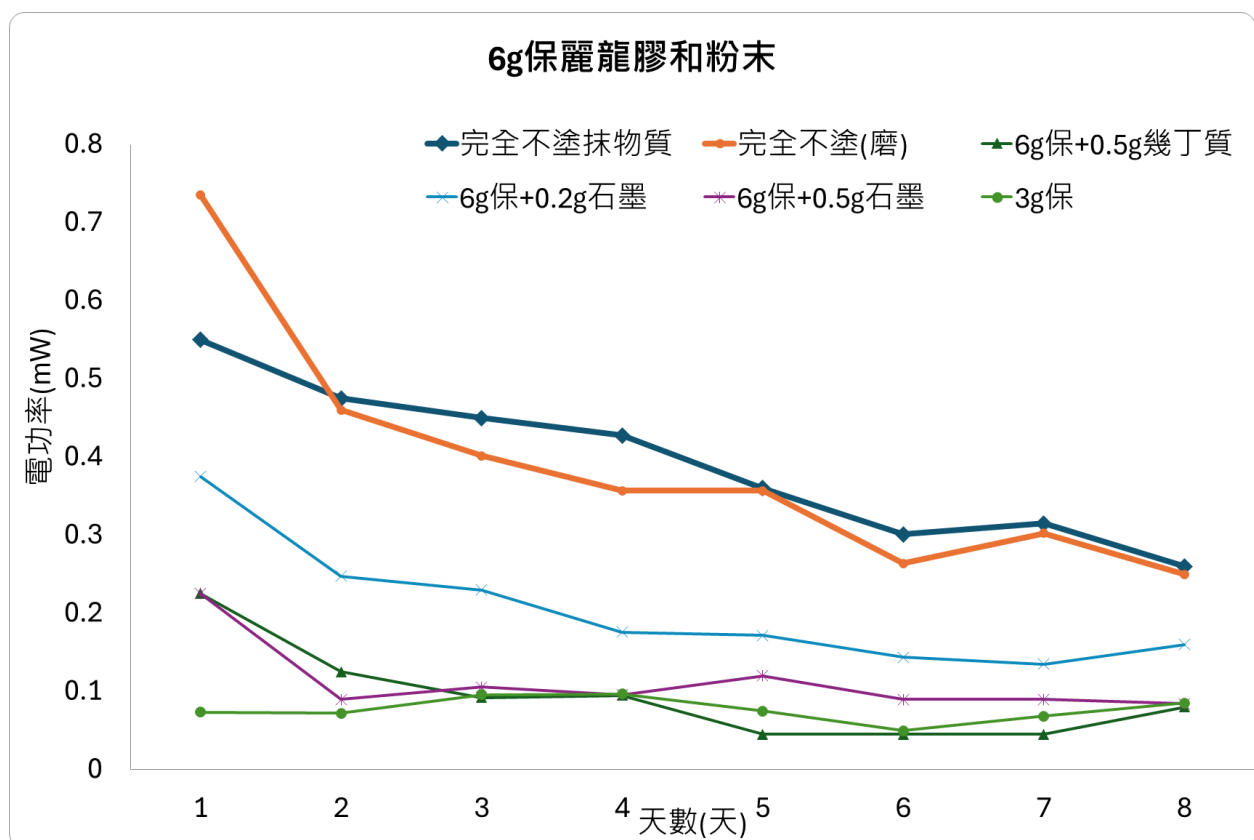


圖 4-2 加入 6g 保麗龍膠和粉末的電功率



圖 4-3 a)單獨保麗龍膠的塗層偏厚且不均勻，b)加入酒精的塗層則較薄且均勻

▲以上圖片皆為自行拍攝

### 實驗三、比較幾丁聚醣與石墨是否有助於增加電池效能

(一) 添加石墨觀察電功率的影響：我們為了探討幾丁聚醣、石墨所帶來的影響，是否有助於增加電池效能。我們做了兩組，分別是以混和保麗龍膠、酒精、石墨、幾丁聚醣四種材料，與去掉石墨成分的兩組。由圖 4-4，從第一天起，兩組的電功率皆低於對照組，雖然只加幾丁聚醣這一組，一開始低於有加石墨的組別，但因為只加幾丁聚醣的組別電功率在之後幾天未下降太多，所以從第三天開始，就明顯高於有加石墨的組別，到了第 8 天只加幾丁聚醣的組別仍然比較高，為 0.25mW。

(二) 幾丁聚醣及石墨分開添加於塗層(並增加比例 0.2g→0.4g)，觀察石墨的影響：我們在 3g 保麗龍膠、3ml 酒精的膠體基礎上分別加入 0.4g 石墨、0.4g 幾丁聚醣，以及沒加入粉末的三組。由圖 4-5，在加入 0.4g 石墨、0.4g 幾丁聚醣的兩組可以發現，從第一天起，兩組就有很明顯的差距，加入幾丁聚醣的組別 8 天皆大於等於對照組，而加入石墨的隨之相反，到了第 8 天兩組差了約 0.09mW。只加入保麗龍膠、酒精的組別，與加入石墨的組別，同樣從第一天起電功率就一直處於對照組下方，兩條線的下降趨勢皆不大，從第 5 天開始兩條線幾乎重疊，顯示出加入石墨對於減緩電功率下降並沒有甚麼幫助，且在第八天也低於完全沒塗的對照組，第 8 天對照組與加入石墨的電功率分別為 0.26mW、0.20mW。



由上述的現象，我們發現加入石墨對電池功率並沒有太大的幫助，在膠膜中並無效果，於是我們決定在之後的實驗中，著重研究幾丁聚醣。

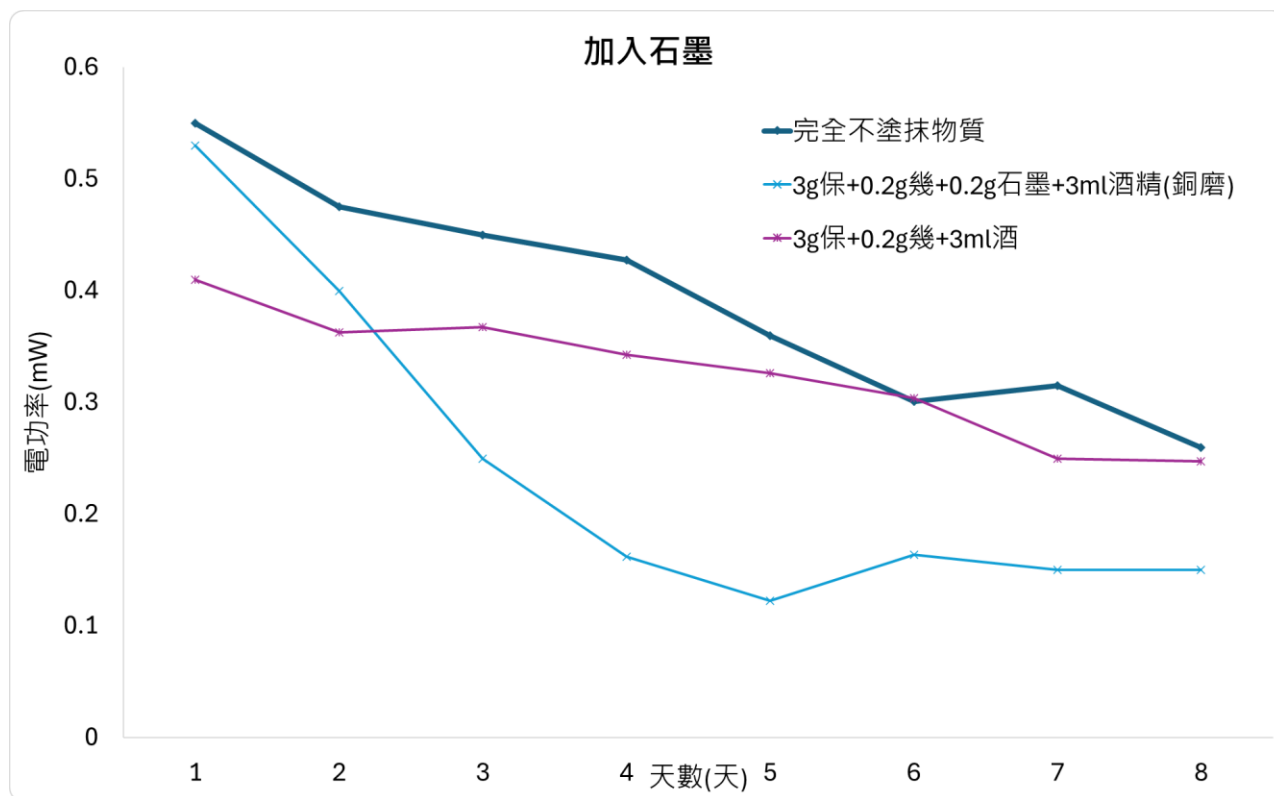


圖 4-4 比較塗層加入石墨對電功率的影響

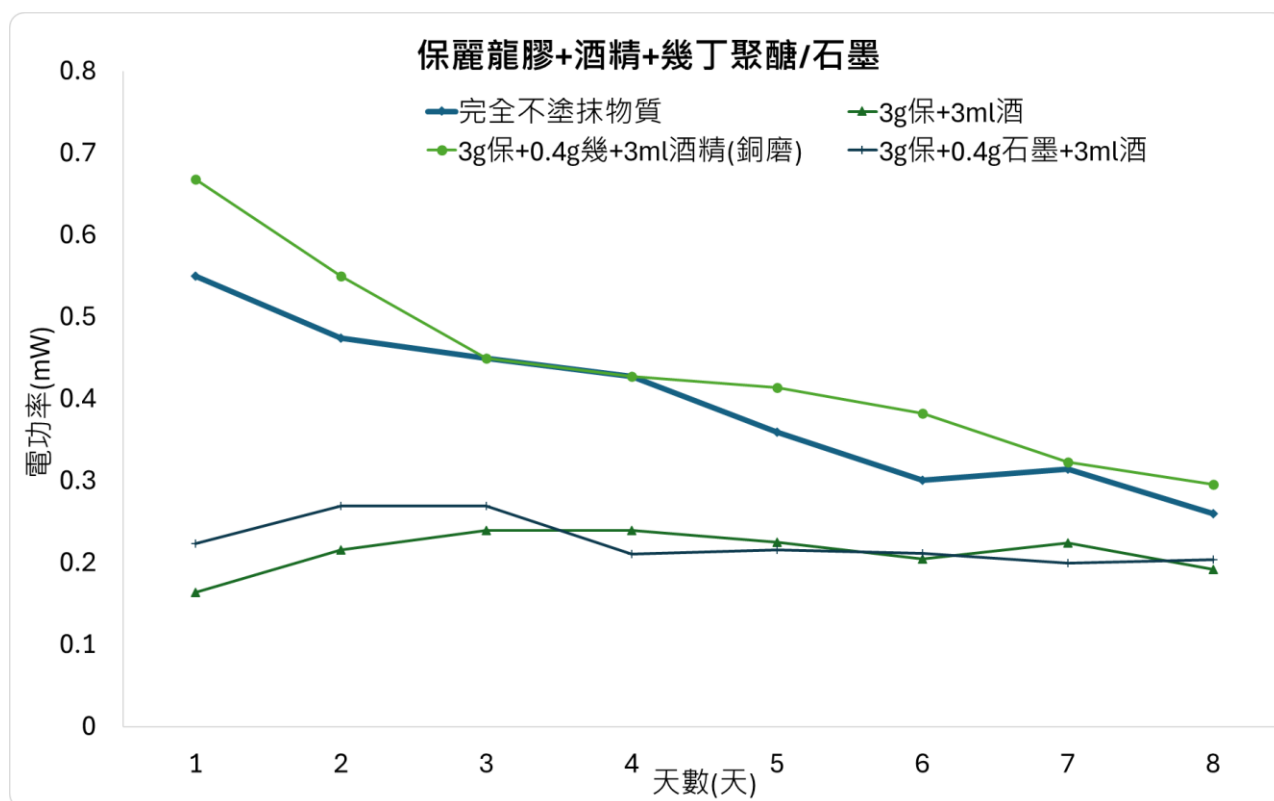


圖 4-5 幾丁聚醣及石墨分開添加於塗層(並增加比例 0.2g→0.4g)的電功率

#### 實驗四、探討幾丁聚醣+保麗龍膠+酒精的膠膜對電池效能的影響

實驗三證明了石墨加入膠膜，並沒有對減緩電功率下降有太大的幫助，所以我們進一步針對幾丁聚醣的比例作探討。我們分別做了加入 0g、0.2g、0.4g 幾丁聚醣，與完全不加的對照組做對比。由圖 4-6 可以發現，當幾丁聚醣從 0g 增加到 0.2g 及 0.4g,電功率依次上升。而加入 0.4g 幾丁聚醣的組別(為先前製作的)，在第一天的電功率明顯比對照組還高，是因為實驗二提到的，跟金屬片表面有用砂紙磨擦有關。到了第 9 天，有加幾丁聚醣的電功率的 2 組都高於對照組的 0.22mW，分別是 0.25mW、0.30mW。有保護塗層，但沒加入幾丁聚醣(0g)的電功率，前 8 天皆低於對照組，直到第 9 天才稍微與對照組並齊。由此實驗可看出加入 0.4g 幾丁聚醣對減緩電功率下降有較明顯正面的影響。由圖 4-7 可以發現，同樣是實驗第 8 天，沒有塗層的負極，周圍的生成物，遠比有塗層的多。由此可知，幾丁聚醣膠膜可以減緩不導電生成物(氫氧化鋁)的產生。

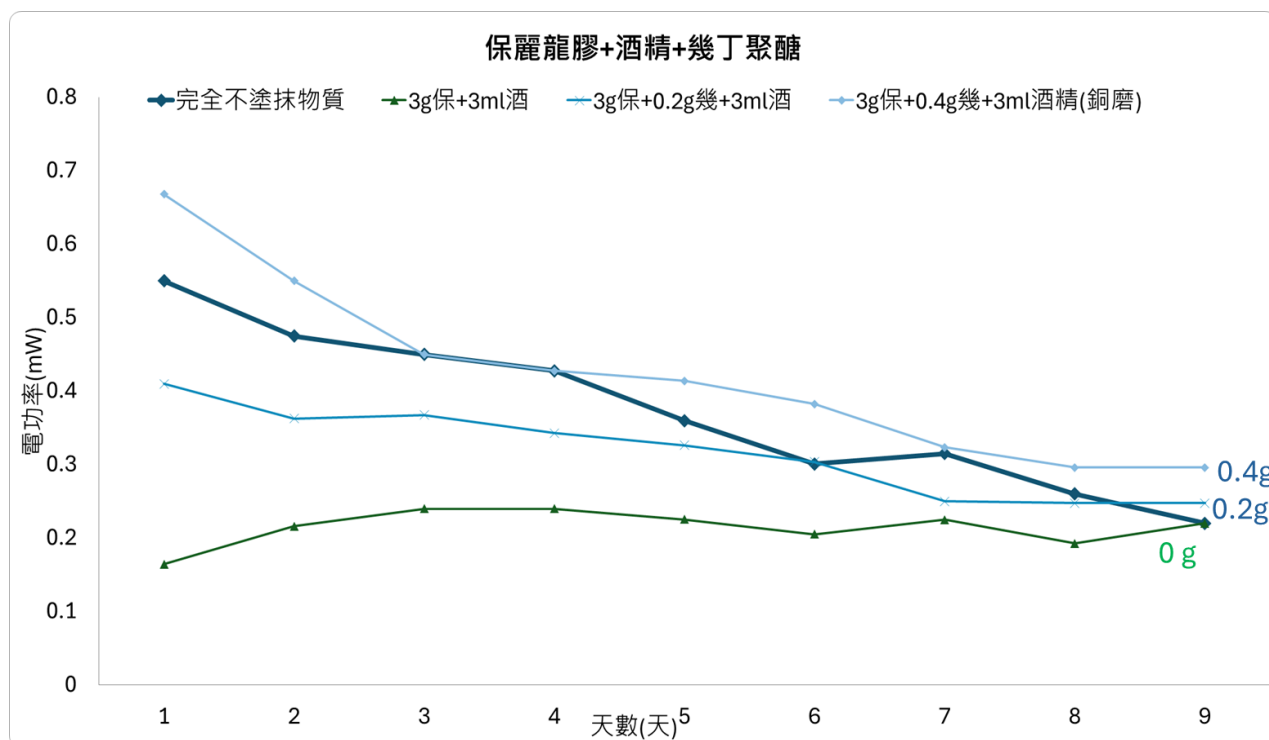


圖 4-6 幾丁聚醣比例對電功率的影響


有塗層		沒有塗層
		
3g 保麗龍膠+0.2g 幾丁聚醣+3ml 酒精		3g 保麗龍膠+0.4g 石墨+3ml 酒精

圖 4-7 生成物照片(實驗第 8 天)

▲以上圖片皆為自行拍攝

### 實驗五、探討增加幾丁聚醣和酒精對電功率的影響

控制變因:酒精、幾丁聚醣的比例 (酒精:幾丁聚醣=3ml:0.4g)

操縱變因: 幾丁聚醣、保麗龍膠的比例

實驗四得出了加入 0.4g 幾丁聚醣對減緩電功率下降有正面的影響，因此我們想探討加入更多的幾丁聚醣，是否有更好的效果。

我們將幾丁聚醣從 0.4g，增加到 0.8g、1.2g 以及 1.6g。為了使幾丁聚醣均勻分佈在保麗龍膠中，酒精也等比例增加。

由圖 4-8 可見，除了一開始做的 0.4g 幾丁聚醣的組別，其餘不做表面處理且有塗層的組別，初始電功率會低於沒有塗層的對照組。隨著時間增加，有加幾丁聚醣的組別電功率下降速度較對照組緩慢，膠膜的成效逐漸顯著，到第八天以後加入 0.4/0.8/1.2/1.6g 幾丁聚醣的電功率皆高於對照組，1.2g 和 1.6g 又優於 0.4 和 0.8g，我們得出一項假設:幾丁聚醣的比例越高，最後的電功率越好。後續可以觀察再增加幾丁聚醣的比例是否有更進一步的改善。

對於有塗膠膜的組別，前四天的電功率普遍低於對照組的現象，我們推測膠膜的存在還是會帶給電功率些微的負面影響。

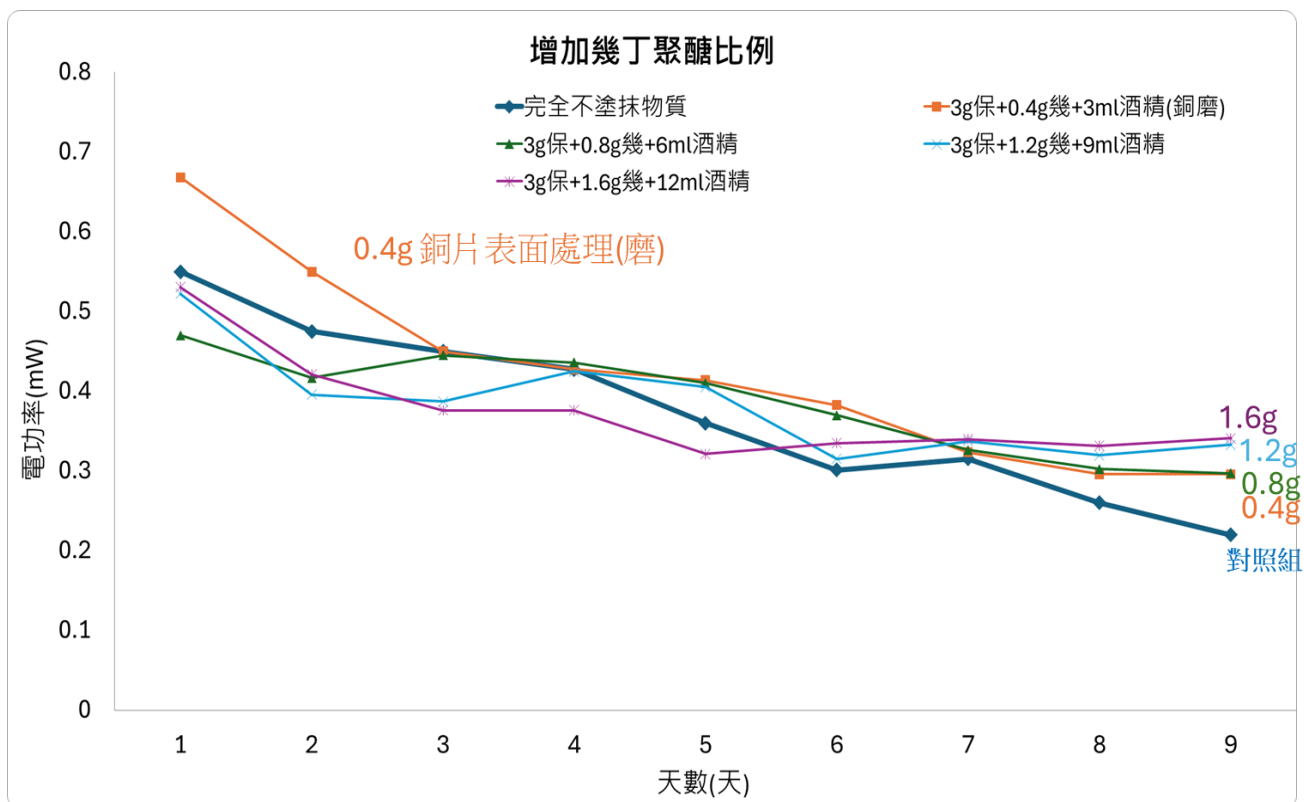


圖 4-8 增加幾丁聚醣比例的電功率

#### 實驗六、建立最佳化幾丁聚醣塗層

繼實驗五，為了驗證幾丁聚醣的比例越高，最後的電功率越好的假設，我們做了一個極端值，將幾丁聚醣的量大幅增將到 2.4g，並搭配上 18ml 的酒精、3g 保麗龍膠。

從圖 4-9 看到，2.4g 的幾丁聚醣從第二天開始電功率就一直高於對照組，保護效果因為幾丁聚醣的量增加，也隨之大幅提升。到了第 6 天，已經與對照組的電功率拉出了明顯差距。在之後 2.4g 的幾丁聚醣保持一定的電功率，做小幅度變動。

到了第 9 天 1.6g、2.4g 的幾丁聚醣電功率分別為 0.34 mW、0.37 mW。由此得知，2.4g 的幾丁聚醣組別為本研究中，最佳的防腐效果比例。

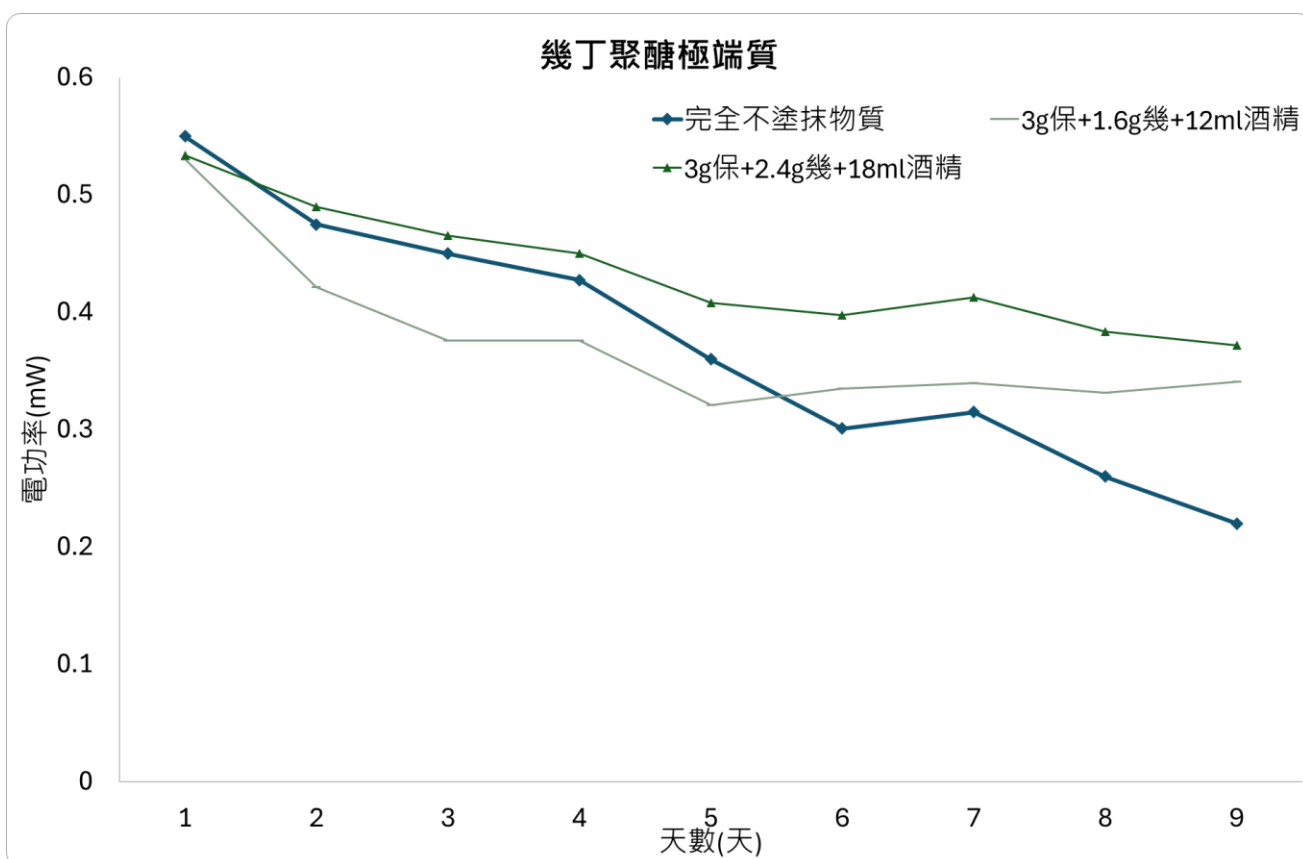


圖 4-9 大幅提高幾丁聚醣到 2.4g 的電功率

電功率(mW)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
完全不塗抹物質	0.550	0.475	0.450	0.428	0.360	0.301	0.315	0.260	0.220
3g 保+0.4g 幾+3ml 酒精 (銅磨)	0.668	0.550	0.450	0.428	0.414	0.383	0.323	0.296	0.296
3g 保+0.8g 幾+6ml 酒精	0.470	0.417	0.445	0.436	0.410	0.370	0.326	0.303	0.297
3g 保+1.2g 幾+9ml 酒精	0.523	0.396	0.387	0.425	0.405	0.315	0.338	0.320	0.333
3g 保+1.6g 幾+12ml 酒精	0.530	0.421	0.376	0.376	0.321	0.335	0.340	0.332	0.341
3g 保+2.4g 幾+18ml 酒精	0.578	0.450	0.385	0.400	0.333	0.410	0.437	0.384	0.372

表 4-3 增加幾丁聚醣比例的電功率數值



由表 4-4 與圖 4-10 可看出，到了第九天，和對照組相比，1.2 克、1.6 克和 2.4g 幾丁聚醣電功率增加皆超過 50%

	電功率(mW)	電功率增加%
對照組	0.22	0
0.4 克	0.296	34.5
0.8 克	0.297	35.0
1.2 克	0.333	51.4
1.6 克	0.341	55.0
2.4 克	0.3717	69.0

表 4-4 不同幾丁聚醣比例的電功率增加百分比

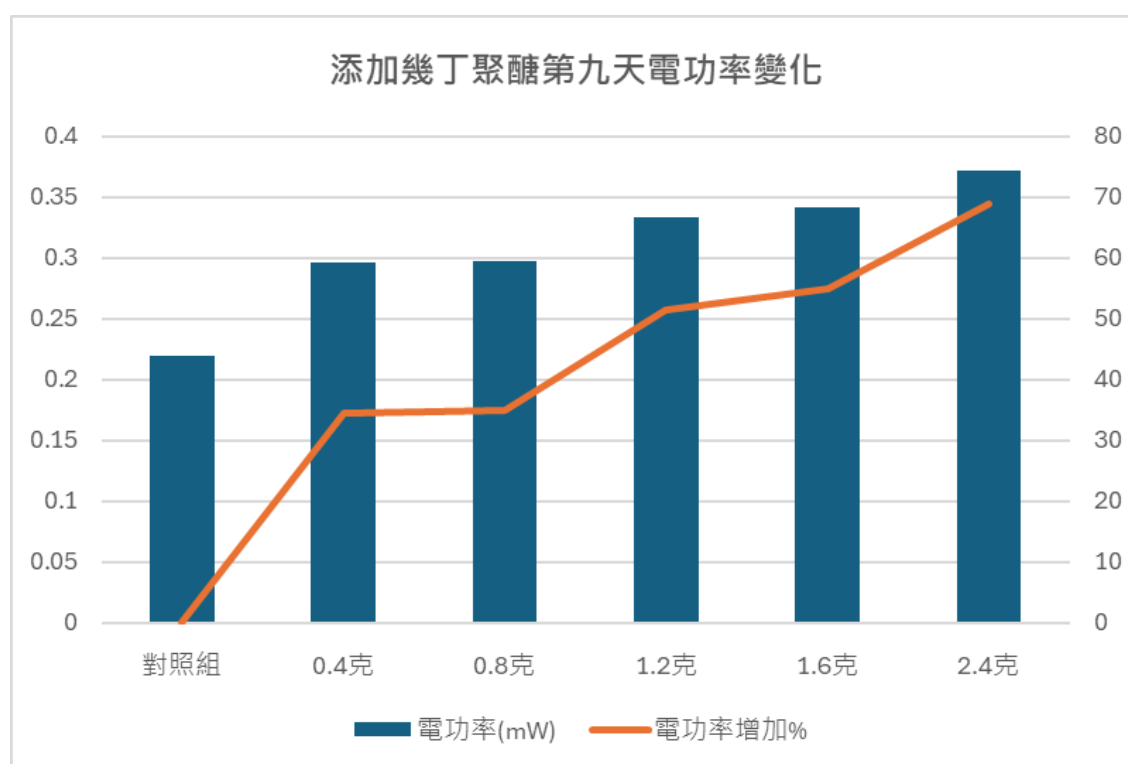


圖 4-10 不同幾丁聚醣比例的電功率增加百分比

由圖 4-10 可發現，隨著加入幾丁聚醣的量提高，最後(第九天)的電功率越高。而上述組別，恰分出了 3 種層次的防衰效果，最佳為 2.4g 幾丁聚醣，次佳為 1.2g、1.6g 幾丁聚醣，改善效果最小的為 0.4g 跟 0.8g 幾丁聚醣。

圖 4-11 在複式顯微鏡 400 倍率下的膠膜。幾丁聚醣可以大致均勻的分佈在膠膜內，發揮作用。



圖 4-11 3g 保麗龍膠+1.6g 幾丁聚醣+12ml 酒精在複式顯微鏡 400 倍率下的外觀

▲以上圖片皆為自行拍攝

## 伍、結論

本實驗成功的利用保麗龍膠、幾丁聚醣及酒精，製造出保護電池負極的膠膜，得以減緩銅鋁電池電功率的衰退速度。綜合實驗結果，得到以下結論：

1. 幾丁聚醣的比例越高，電功率越好。加入 2.4g 幾丁聚醣、18ml 的酒精、3g 保麗龍膠，比未塗的對照組高了近七成

未塗 < 0.4g 幾丁聚醣 < 0.8 g 幾丁聚醣 < 1.2g 幾丁聚醣 < 1.6g 幾丁聚醣 < 2.4 g 幾丁聚醣
--

2. 製作膠膜時，保麗龍膠不能加太多，否則太過黏稠，塗層太厚，會隔絕導電路徑，因此我們從 6g 減量至 3g，並加入酒精，可使膠膜黏稠度降低，粉末也得以均勻的混和在其中。
3. 膠膜加入石墨對電池功率並沒有太大的幫助。

本研究 and 呂家揚於 2019 年發表的碩士論文[6]相比，有異曲同工之處。然而，其開發的交聯磺酸化幾丁聚醣的高分子複合材料保護層，需要在實驗室中開發，而我們運用了簡單的工具、材料與方法，也可達到類似的效果。

## 陸、未來展望

本實驗中，保麗龍膠對減緩銅鋁電池電功率的下降，並沒有顯著的影響，其主要的功用是將粉末黏附於鋁片上。參考文獻[7]，保麗龍膠要經過磺酸化，以濃硫酸煮過後，再造為離子交換樹脂，才有顯著過濾金屬離子的作用。未來可以嘗試以磺酸化的保麗龍膠搭配幾丁聚醣，來觀察是否有更進一步改善銅鋁電池電功率的下降速度，使保護塗層能發揮更進一步的效果。此外，除了將此膠膜應用在銅鋁電池的負極保護上，後續可探討應用在其他電池，如鋰電池等較普遍的電池上，看是否有相同的效果。從而以此較低的成本，廣泛的應用到各種電池，提高電池的效率。

## 柒、參考文獻資料

- 1.電池與充電機。固也泰電子股份有限公司。取自 <https://www.kutai.com.tw/edu/batteries-and-chargers.html>
2. Jennings, J. A. and Bumgardner, J. D. 2017.Chitosan based biomaterials, 1st ed. pp.117-133. Woodhead Publishing, Witney,Oxford, UK.
3. 洪甄敏等。原料「幾丁聚醣」中去乙醯化程度之檢驗研究。食品藥物研究年報. 11：27-36 2020
4. 呂卦南(2006)，幾丁質與幾丁聚醣之製備與鑑定，p157-169，康寧學報 8
- 5.林邑柔等(2023)。蟹葉「銅」「鋁」來電-環境友善光電強化銅鋁電池的探討，中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
6. 呂家揚(2019)，透過交聯磺酸化幾丁聚醣作為負極保護層以改善鋰離子電池之效能。國立台灣大學工學院材料科學與工程研究所 碩士學位論文
7. 鄭玉辰(2003) 吸凍！再造保麗龍的第二個春天－將保麗龍再造為離子交換樹脂對處理重金屬廢水之研究. 第二屆旺宏科學獎優等
8. 泓明科技股份有限公司(2006)，石墨知識介紹
9. 楊宇博等(2019)，一筆來電－導電膠的探索與製作，中華民國第 59 屆中小學科學展覽會