

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學(二)科

032911

食用酵母菌紙電池之探究

學校名稱：嘉義縣私立協同高級中學(附設國中)

作者： 國三 林佩妤 國三 何家柔 國三 賴亭嘉	指導老師： 陳坤賢 林主旭
---	-----------------------------

關鍵詞：食用酵母菌發電、微生物燃料電池、紙電池

摘要

本報告探討食用酵母菌電池的發電特性，並將酵母菌電池紙製化以方便攜帶與保存。本食用酵母菌紙製電池分為陰極（緩衝溶液）、陽極（緩衝溶液與食用酵母菌）、與鹽橋（緩衝液）三層，皆以紙為載具，並以銅片為電極。經實驗發現第三代紙電池在陰極加入 1.75% 的雙氧水後的電壓最高達 0.335V，但為了乾燥保存將氧化劑改為 0.02g 的過碳酸鈉。結構方面，發現將紙電池墊高使陽極接觸空氣，幫助酵母菌行有氧呼吸作用，可以幫助提高電壓。最後將第三代紙電池陰極加入 0.02g 過碳酸鈉、增加空氣室，並與鋅銅電極結合，電池平均電壓為 1.142V，比傳統化學藥劑版的鋅銅紙電池高了 25%。

壹、研究動機

現今，由於化石燃料的缺乏，能源問題逐漸被人類所重視，任何能夠產生能源的新技術都是人類所努力發展的重點，在我們的文化中，處處可見食用酵母菌的身影，因此，若是能有效利用食用酵母菌作為燃料電池，發展新的能源，可為生活注入一股「動力」，達到環保之效。在課本中，也有讀到關於各種電池的資訊。另外，在歷屆科展作品中，我們找到了有效利用空間發電且材質較傳統電池環保的紙電池，希望能夠透過這次科展，結合燃料電池與紙電池，達成環保發電之功效。

貳、研究目的

- 一、探討食用酵母菌在合適濃度下最高電壓。
- 二、研究如何將其製成紙電池。
- 三、改進食用酵母菌紙電池達到提高電壓之功效。
- 四、製作可實際應用的「食用酵母菌紙電池」。
- 五、將酵母菌發電應用到鋅銅紙電池中，與傳統化學藥劑版鋅銅紙電池比較。

參、研究設備及器材

食用酵母菌乾粉、pH7~8 緩衝溶液 0.1M（磷酸氫二鉀 K_2HPO_4 + 磷酸二氫鉀 KH_2PO_4 ）、pH3 緩衝液（磷酸 + 磷酸二氫鈉）、硝酸鈉 1M、硫酸銅 1M、氯化鈉 1M、葡萄糖、蔗糖、DCPIP、菠菜、35% 雙氧水、過碳酸鈉、蒸餾水、燒杯、U 型管、棉花、量筒、三用電表、銅片（0.1mm 厚，2cm*3cm）、鋅片（規格同銅片）、鱷魚夾、加熱器、自製恆溫箱、離心機、果汁機、紗布、墊板、再生紙、濾紙、甜粿紙、玻璃紙、鋁箔紙、蠟燭、影印紙、試管、滴管、膠帶、雙面膠。

肆、研究過程或方法

一、文獻探討

(一) 細菌發電：

細菌在進行呼吸作用時會產生電子，細菌發電即是利用細菌在無氧環境進行呼吸作用時，被迫經外電路將電子輸送到氧氣較充足的陰極來形成電子流以發電。細菌發電類型分為三種：

- 1.利用外加電子梭將電子從細菌轉移到電極。
- 2.細菌利用本身細胞膜上的色素將電子傳遞到電極上。
- 3.細菌本身製造電子梭將電子送出。

(資料來源：參考資料一)

經查詢得知食用酵母菌不需要外加電子梭來轉移電子。酵母菌屬於真菌，不是細菌，但推測是使用上述第二種方式發電，與細菌發電不同之處在於其需在有氧環境發電。

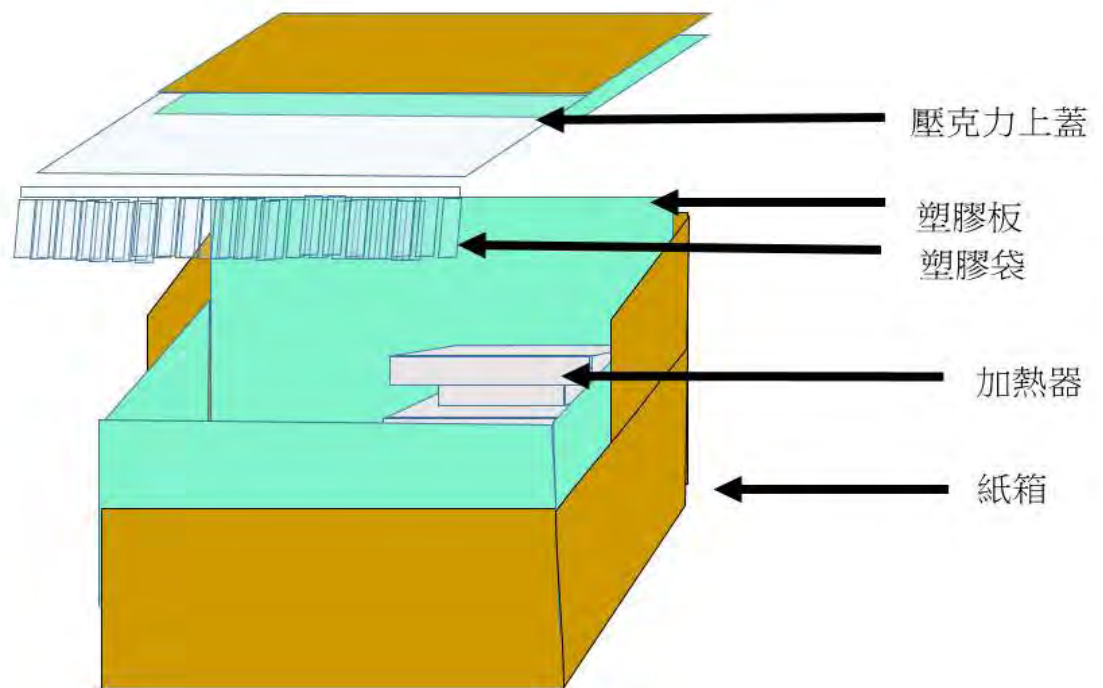
(二) 歷代科展資料：

歷屆作品	作品內容	分析
第 41 屆－ 點石成金－鋁銅 電池－廢鋁罐的 第二春	用回收鋁罐作為陽極，銅片作為陰極，製成鋁銅電池，達成環保與災區實用的目的。	利用廢棄金屬罐來製作鹽橋符合本研究的環保精神，但因回收金屬可能因為加工等因素造成變數，因此在本實驗中不予採用。
第 48 屆－ 發鹽橋語 誰來放 電？探討以金屬 代替鋅銅電池鹽 橋的反應	將伏打電池的鹽橋以金屬代替，發現用某些金屬可創造出更高的電流。	推測以金屬作為鹽橋可能可以減少紙電池的內電阻，但報告中也提及金屬鹽橋造成的數據不穩定，在本實驗中會將金屬鹽橋納入考量並進行相關實驗。
第 52 屆－ 酵中帶電－酵母 菌燃料電池初探	探討酵母菌在不同變因下的發電情形。發現在有氧、pH=3、加入葡萄糖時可測得較高電壓。	研究中使用食用酵母菌發電，但多使用化學藥品增加電壓，且未考慮到溫度因素。
第 57 屆－ 利用摺紙藝術製 作發電裝置	利用噴蠟印表機印製特定圖樣製備隔膜型紙電池，此電池的開路電壓能夠達到 0.915V。	此研究利用紙製作電池，在本實驗中參考了此研究中的紙電池並加以改造成適合食用酵母菌的紙電池。

二、實驗前準備作業：製造恆溫箱。

實驗時為控制溫度變因，應使用恆溫箱使實驗時食用酵母菌的活性相近，但學校並沒有恆溫箱可供使用，因此使用加熱器與廢棄紙箱製作恆溫箱。

將加熱器控制在攝氏 50 度，並用溫度計觀察溫度變化，發現此時箱內溫度可控制在大約攝氏 30 度。若誤差值超過攝氏 1 度，我們會打開箱蓋來降低溫度或調整加熱器升溫。



(恆溫箱示意圖)

		
實驗中恆溫箱	恆溫箱內部	恆溫箱和溫度計(攝氏 30.4 度)

三、實驗流程圖



實驗二十一: 結合最佳條件並與鋅銅電池結合製作酵母菌版鋅銅紙電池, 與傳統化學藥劑版鋅銅紙電池比較

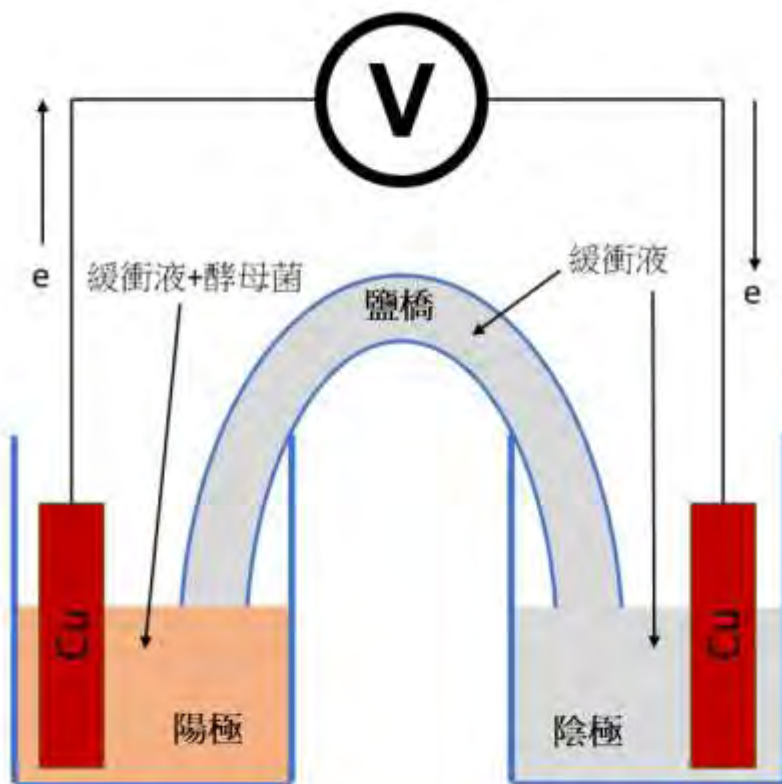
四、實驗：

實驗一：找出最適當發電濃度

(一)實驗目的：找出之後實驗時使用的食用酵母菌溶液濃度。

(二)實驗方法：

- 1.使用緩衝溶液製作鹽橋，並以 20ml 的緩衝溶液作為陰極。
- 2.在 20ml 緩衝溶液中分別加入不同克數的食用酵母菌乾粉。
- 3.用銅片作為兩邊的電極，並以三用電表測量電壓。
- 4.重複以上實驗。
- 5.記錄實驗數據並分析。



實驗使用的是銅電極，而非常見的碳棒，原因是碳棒無法放在紙電池裡使用，而在文獻中發現碳纖維布會溶解在水中，無法使用，因此採用表面積為 4 平方公分的銅片

實驗二：製作食用酵母菌紙電池(第一代)

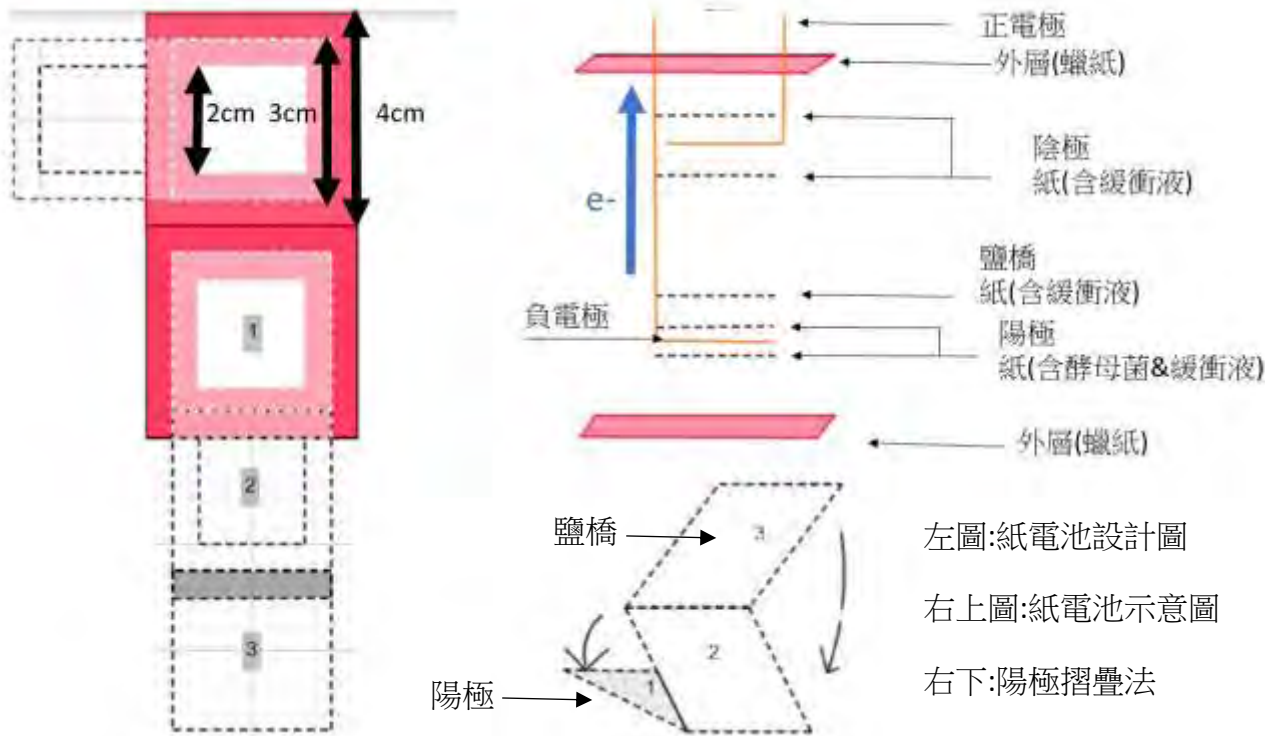
(一) 實驗目的：證實食用酵母菌電池可用紙製造，並測量電壓。

(二) 實驗方法：

1. 製作紙電池。
2. 測量電壓。

(三) 紙電池製作方法

1. 設計



左圖:紙電池設計圖

右上圖:紙電池示意圖

右下:陽極摺疊法

2. 製作

使用再生紙作為食用酵母菌溶液與緩衝溶液的容器，並使用普通的紙沾上融化的蠟作為防水的外殼，並用銅片當作正、負電極以測量電壓。陰極為 0.5ml 緩衝溶液，陽極為 0.5ml 食用酵母菌加緩衝液混合液，鹽橋為 0.25ml 緩衝液。

實驗三：改變陰極溶液為純水，並測量其電壓變化

(一) 實驗目的：實驗中意外發現，若電池接觸到純水電壓會突然升高，因此進行實驗以觀察其反應。

(二) 實驗方法：

1. 與實驗二相同，但更改陰極溶液為純水。
2. 用燒杯版電池進行驗證實驗，實驗方法與實驗一相同，但更改陰極溶液為純水，並持續實驗至十小時以觀察其電壓長期變化。

實驗四：製作第二代紙電池，並比較陽極在上層與陰極在上層的電壓差異

(一) 實驗目的：在資料中發現食用酵母菌行有氧呼吸時電壓較高，嘗試將陽極移到上層與空氣接觸並比較結果。

(二) 實驗方法：

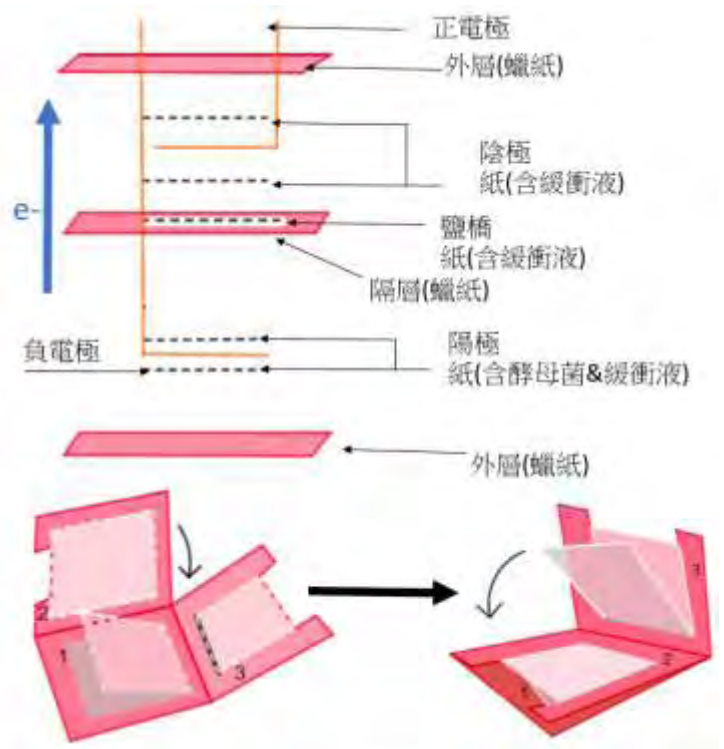
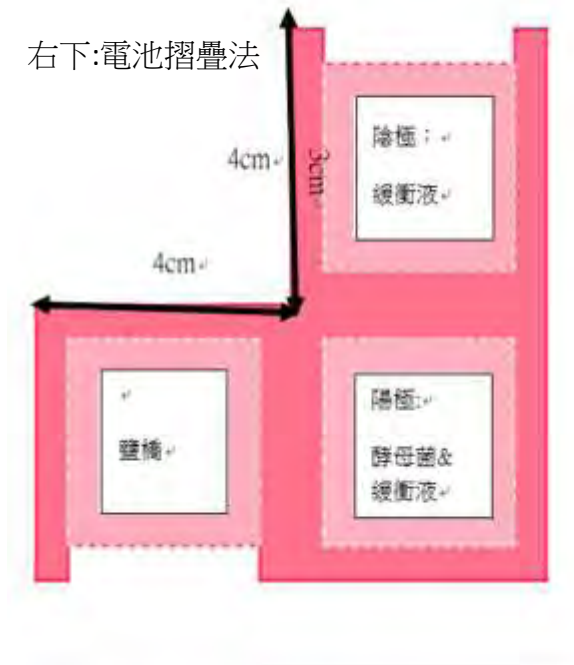
1. 製造第二代的紙電池(見下圖)。
2. 調換陰極、陽極的上下位置，並比較其電壓差異。

在前一個實驗中，發現陽極的食用酵母菌溶液容易流出，並滲透到陰極，造成電壓降低，因此在鹽橋外多加了一層蠟的隔層，以助於隔離食用酵母菌與緩衝液。

左圖:紙電池設計圖

右上圖:紙電池示意圖

右下:電池摺疊法



實驗五：使用不同材質鹽橋，並觀察其對電壓的影響

(一) 實驗目的：透過使用不同材質鹽橋，找出能有最高電壓者。

(二) 實驗方法：

1. 製作第二代紙電池，但更換其鹽橋材質。
2. 測量電壓並比較其差異。

實驗六：將鹽橋溶液改為強電解質（硝酸鈉），並觀察其對電壓的影響

(一) 實驗目的：將鹽橋溶液改為強電解質，降低內電阻以達到增加電壓的功效。

(二) 實驗方法：

與實驗五相同，但以實驗五之最佳鹽橋為鹽橋材料，並將鹽橋溶液改為 1M 硝酸鈉。

實驗七：將鹽橋溶液與陰極溶液改為硝酸鈉，並觀察其對電壓的影響

(一) 實驗目的：利用強電解質降低內電阻。

(二) 實驗方法：與實驗六相同，但以硝酸鈉代替緩衝溶液作為陰極溶液。

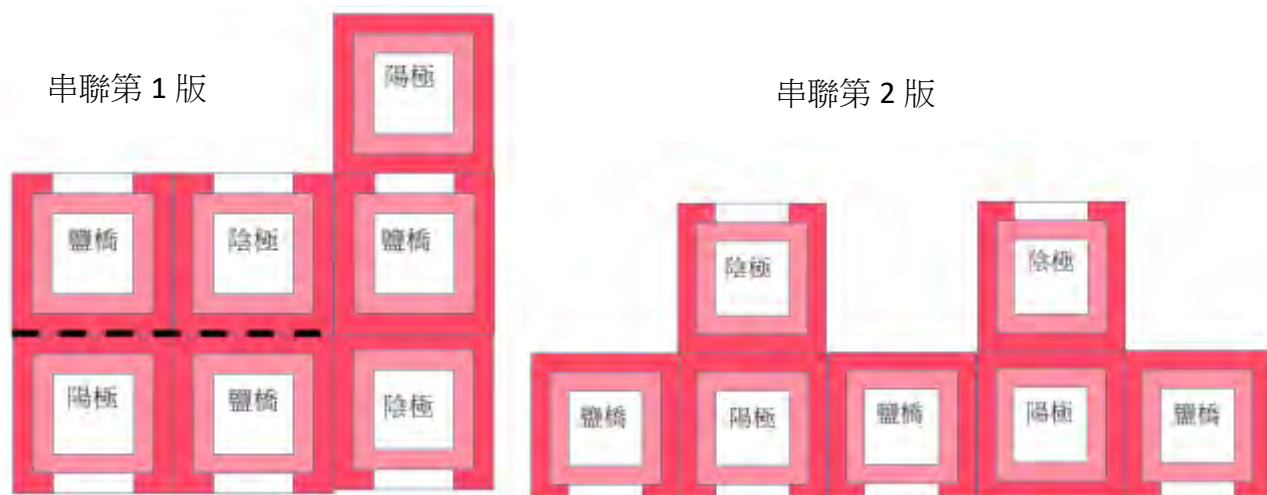
實驗八：將紙電池內芯串聯並觀察其對電壓的影響

(一) 實驗目的：將內芯串聯以提高電壓。

(二) 實驗方法：

1. 製作串聯版紙電池，但更換其鹽橋材質。

2. 測量電壓並比較其差異。



實驗後發現折疊過程中容易有液體漏出造成實驗數據低落，因此改變結構重新實驗。實驗後我們認為隔開兩個電池內芯的材質若更換為隔離效果佳的糯米紙可能有好的影響(糯米紙的孔洞較小，隔離效果較好)，因此也進行了此項實驗。

實驗九：分別將陽極增為兩層及陽極和陰極皆增厚為兩層，並觀察其對電壓的影響

(一) 實驗目的：紙電池使用的酵母菌溶液為 0.5ml，燒杯電池則是 20ml，我們認為將陽極增厚，增加酵母菌含量有助於電壓升高。

(二) 實驗方法：

1. 製作第二代紙電池，並將陽極內芯加厚為兩倍。
2. 測量電壓並比較其差異。

實驗後我們認為電壓沒有明顯的升高與陰極接收電子的物質沒有等比例增加有關，因此將陽極、陰極皆加厚兩倍再次進行實驗。

實驗十：在陽極添加葡萄糖，並觀察其對電壓的影響

(一) 實驗目的：我們查詢如何製作酵母菌乾粉，得知要將酵母菌加入麵團(食物)中後乾燥，為了後續保存紙電池的乾燥實驗，進行在陽極的酵母菌溶液中加入葡萄糖的實驗。

(二) 實驗方法：

1. 製作第二代紙電池，但將陽極酵母菌溶液中的緩衝溶液調配成 0.4 M 的葡萄糖酵母菌溶液。
2. 測量電壓並比較其差異，重複實驗後收集數據並分析。

實驗十一：將紙電池放置至乾燥後，滴入純水並測量其電壓

(一) 實驗目的：測試紙電池是否可以以乾燥方式保存。

(二) 實驗方法：

1. 事先在內芯滴上溶液製成乾燥陰極與陽極，陰極滴上緩衝溶液，陽極滴上緩衝溶液（乾燥後灑上乾粉）或滴上含葡萄糖和酵母菌的緩衝溶液。
2. 使用步驟一的內芯製作第二代紙電池。
3. 由最上層滴入純水 1.25ml，等到純水完全滲透後開始測量電壓。

實驗十二：將使用過後的紙電池放置至乾燥後，滴入純水並測量其電壓

(一) 實驗目的：測試紙電池是否可以乾燥方式保存。

(二) 實驗方法：

1. 將實驗十中使用的紙電池放置乾燥。
2. 由最上層滴入純水 1.25ml，等到純水完全滲透後開始測量電壓。

實驗後因為推測實驗數據與電極上生成物有關，進行了再次使用時更換電極的實驗。

實驗十三：將陰極陽極皆加厚兩倍的紙電池乾燥後測量其電壓

(一) 實驗目的：測量以乾燥方式保存的雙層紙電池（從實驗中得知電壓應為最高的實驗組）

滴入純水後的電壓，以在後續實驗中做比較之用。

(二) 實驗方法：

1. 事先在紙製內芯上滴上溶液製成乾燥陰極與陽極。陰極滴上緩衝溶液，陽極滴上含葡萄糖和酵母菌的緩衝溶液。
2. 使用步驟一的內芯製作乾燥版雙層陰極陽極紙電池。
3. 由最上層滴入純水 2.25ml，等到純水完全滲透後開始測量電壓。

實驗十四：將第三代（雙層陰極陽極）紙電池重複使用並觀察其電壓變化

(一) 實驗目的：確認酵母菌紙電池可實際應用的能力。

(二) 實驗方法：

1. 製作乾燥版第三代紙電池。
2. 滴入純水 2.25ml 等待純水滲透後開始記錄電壓。
3. 將使用後的紙電池放置至乾燥，並再次使用，記錄電壓變化。

實驗十五：在陽極加入電子梭（甲基藍）觀察其對電壓的影響

(一) 實驗目的：探討酵母菌是否可以用電子梭提高發電電壓。

(二) 實驗方法：

1. 製作乾燥版第三代紙電池，並在陽極添加加入甲基藍(比例 1.5g 酵母菌：5ml 甲基藍)後再次乾燥。
2. 滴入純水 2.25ml 等待純水滲透後開始記錄電壓。

實驗十六：將紙電池的表面積加大並觀察其對電壓的影響

(一) 實驗目的：嘗試透過增加表面積增加電池與空氣的接觸面大小，增加電壓。

(二) 實驗方法：

1. 製作加大版紙電池(將紙電池的內芯攤開成原本的兩倍大)。
2. 記錄電壓並分析。

實驗十七：將紙電池墊高使底層陽極可以接觸空氣，並觀察其對電壓的影響

(一) 實驗目的：嘗試透過墊高紙電池使陽極可接觸氧氣而作用。

(二) 實驗方法：

1. 製作第三代紙電池，將底部懸空墊高。
2. 滴入純水 2.25ml 等待純水滲透後開始記錄電壓。

實驗十八：在陰極加入雙氧水並觀察其對電壓的影響

(一) 實驗目的：在陰極加入雙氧水，以幫助電池陰極進行還原反應。

(二) 實驗方法：

1. 製作乾燥版第三代紙電池陰極。
2. 在陰極加入 1ml 的 35% 雙氧水，鹽橋和陽極成分與普通第三代紙電池無異。

實驗後發現數據下降，為證實是因為雙氧水殺死酵母菌，又進行了燒杯版的實驗驗證。之後也嘗試將雙氧水濃度稀釋為 3.5%、1.75%，並實驗使用裸紙作為鹽橋是否較能保護酵母菌。

實驗十九：在陰極加入過碳酸鈉並觀察其對電壓的影響

(一) 實驗目的：從實驗十八證實雙氧水能幫助提高電壓，但雙氧水不能乾燥處理，因此我們使用了固態且同樣能釋出氧氣的過碳酸鈉進行實驗，並且比較濃度對電壓的影響。

(二) 實驗方法：

1. 製作第三代紙電池乾燥版。
2. 在陰極上灑上 0.02g(或 0.05g)的過碳酸鈉。
3. 滴入純水 2.25ml 等待純水滲透後開始記錄電壓。

另外，過碳酸鈉碰到水後會有鹼性成分，資料中顯示酵母菌較偏好酸性環境，因此我們又找來了 pH3 的緩衝溶液進行實驗(實驗過程相同，但將緩衝溶液替換)。為了觀察其可重複利用的可能，也將模組再次使用進行實驗。

實驗二十：在紙電池加入葉綠素，並觀察其對電壓的影響

(一) 實驗目的：若葉綠素在乾燥後依然可行光合作用，可為紙電池提供氧氣。

(二) 實驗方法：

1. 製作乾燥版第三代紙電池，在陰極(或是陽極)加入 1ml 的葉綠素萃取液後再次乾燥。

2. 滴入純水 2.25ml 等待純水滲透後開始記錄電壓。
3. 實驗結束後滴入 DCPIP 檢驗其是否進行光合作用。

實驗後發現數據不理想，因此改變了結構，將葉綠素 0.25ml 乾燥在 3*3cm 的紙片上另外貼在陰極上方，再次進行實驗(此時純水要滴入 2.5ml)。

實驗二十一：將第三代紙電池的銅電極更換成鋅、銅電極，在陰極添加過碳酸鈉、增加墊高裝置，並與紙製傳統化學藥劑鋅銅電池比較

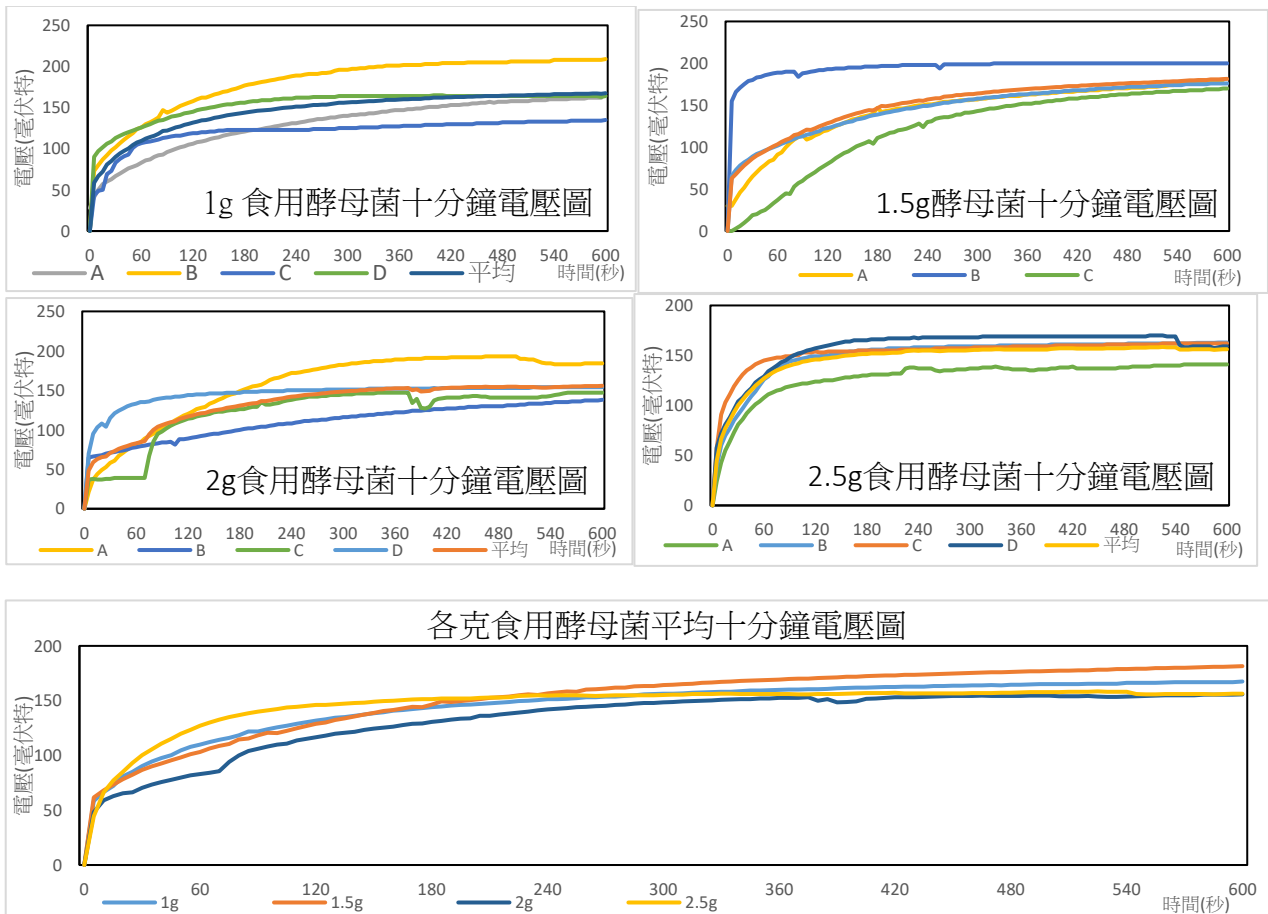
(一) 實驗目的：綜合前面實驗中測試出效果最好之結構進行測試，並與傳統化學藥劑版鋅銅電池做比較。

(二) 實驗方法：

1. 製作第三代乾燥版紙電池，並將酵母菌版的紙電池添加墊高裝置，陰極添加 0.02g 的過碳酸鈉。
(傳統化學藥劑版：陰極為 1M 硫酸銅溶液，陽極為 1M 氯化鈉溶液，鹽橋為 0.1M 硝酸鈉)。
2. 由最上層滴入純水 2.25ml，等到純水完全滲透後開始測量電壓。
3. 重複實驗後收集數據並分析。

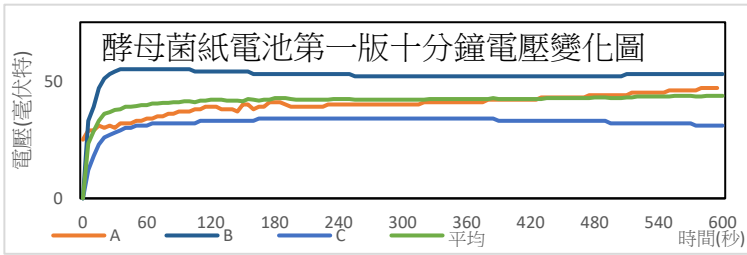
伍、研究結果

實驗一：找出最適當發電濃度



經由實驗得知 20ml 緩衝溶液加入 1.5g 的食用酵母菌乾粉發電效果最好。在本研究後續實驗中，皆使用此比例。

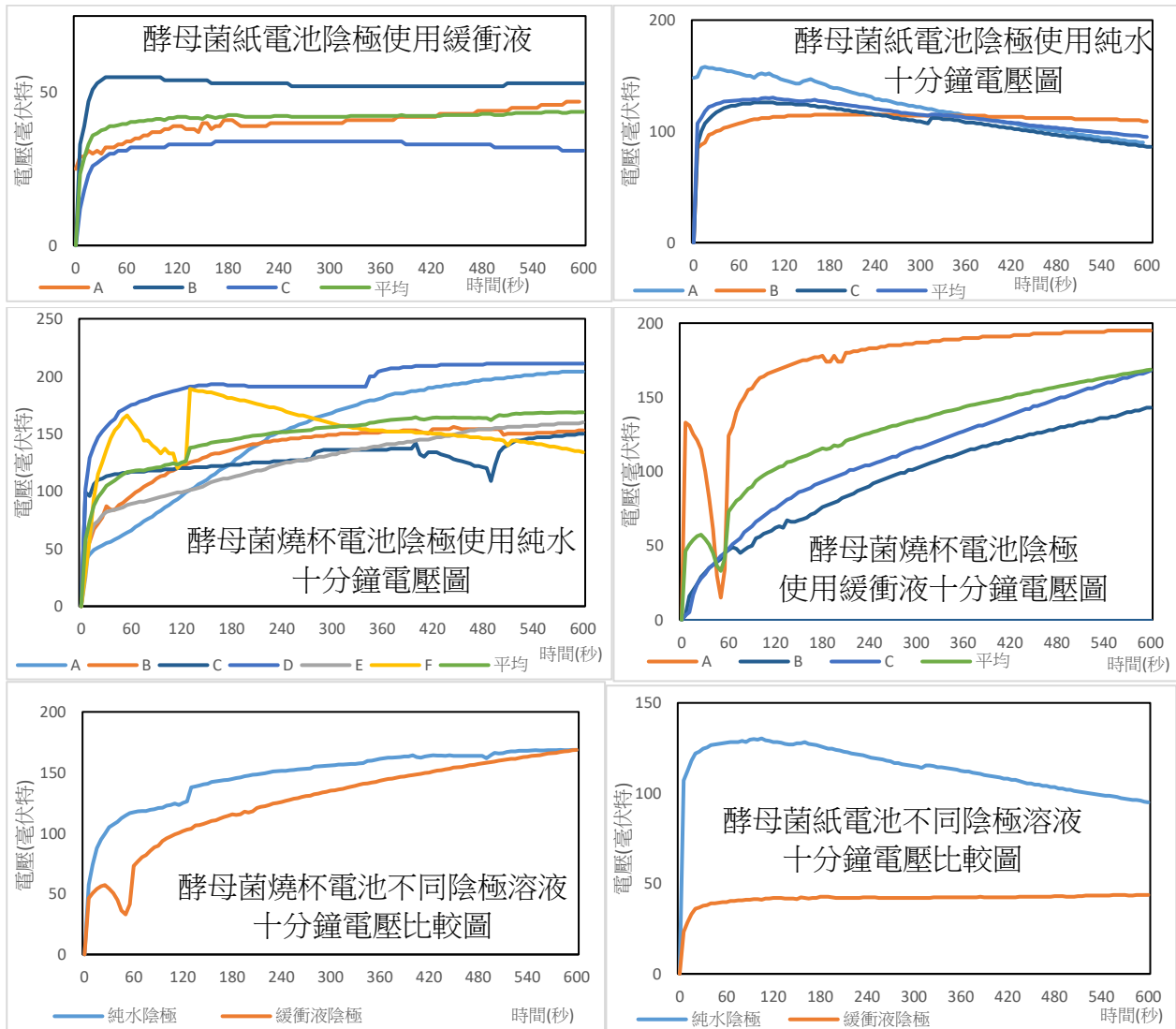
實驗二：製作食用酵母菌紙電池(第一代)



實驗數據如下：

食用酵母菌紙電池電壓大約 0.042V 左右，只有原本的 23%。

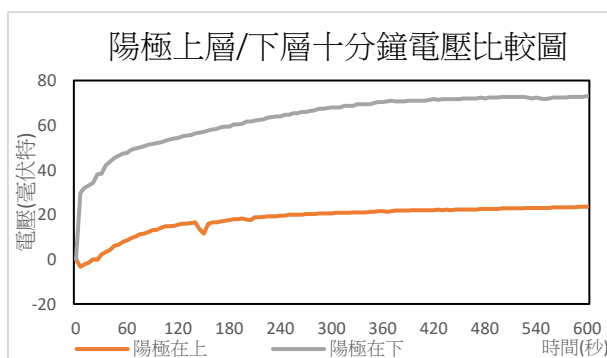
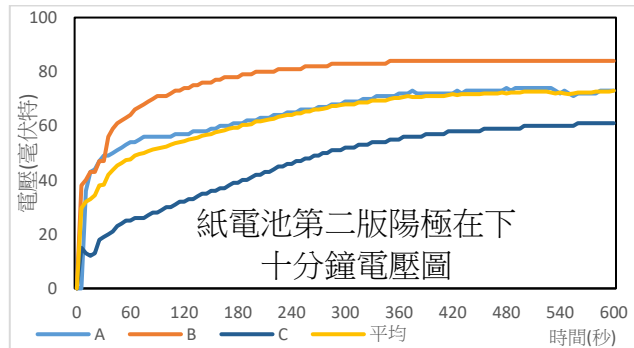
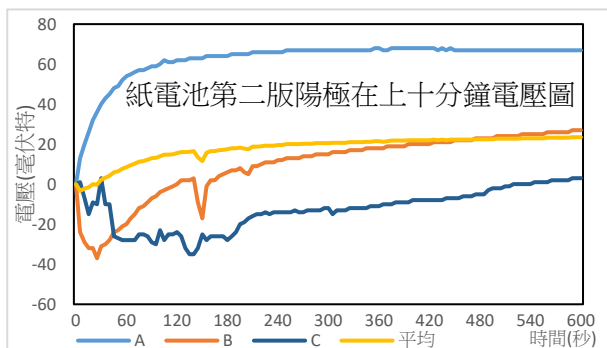
實驗三：改變陰極溶液為純水，並測量其電壓變化



由實驗可以發現，雖然一開始陰極使用純水的數據較高，但十分鐘之後燒杯版的食用酵母菌電池中，純水陰極與緩衝液陰極的數據幾乎相同，紙電池版的食用酵母菌電池中，純水陰極的數據雖然在結束時依舊高於緩衝溶液陰極，但呈現下降的趨勢。推測若再將實驗時間拉長，即可證明純水陰極的發電效果只有一開始優於緩衝溶液。

因此我們將燒杯版的食用酵母菌紙電池放置發電十小時，期間保持攝氏 30 度，十小時後純水電極的電壓約為 0.149V，緩衝溶液的電壓為 0.236V。緩衝溶液陰極的電壓為純水陰極的 1.6 倍。由此判定使用緩衝溶液的發電效果比用純水作為陰極來的好。

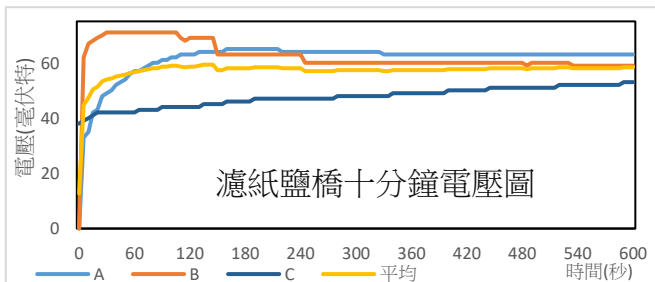
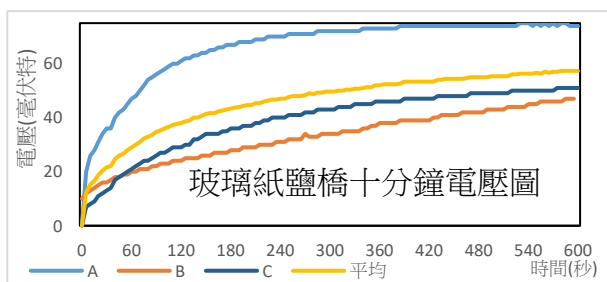
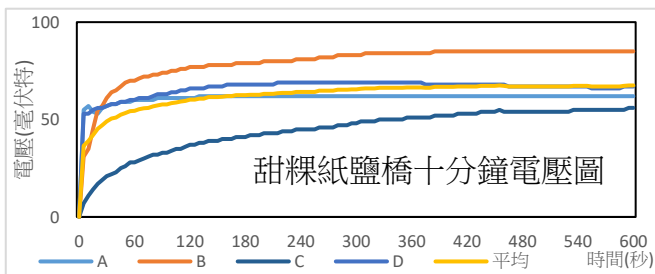
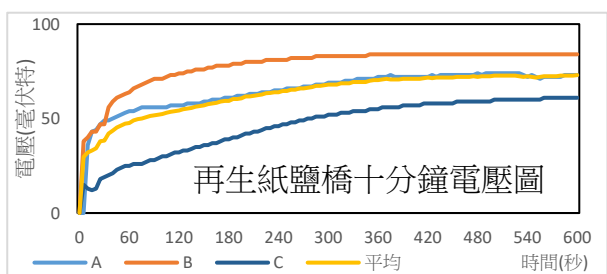
實驗四：製作第二代紙電池，並比較陽極在上層與陰極在上層的電壓差異

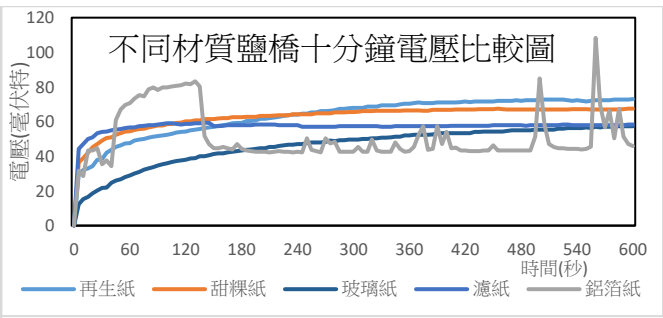
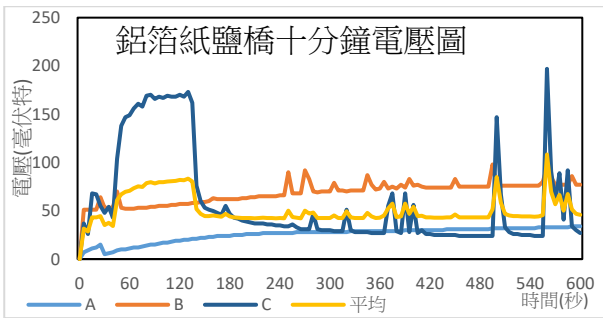


實驗中發現陽極在紙電池上層時電壓容易不穩定，且數據明顯比在下層的狀態低，因此將維持陽極在下層的模式。在第二代的紙電池中增加了一層蠟紙作為鹽橋的外框及隔層，電壓由第一代的 0.043V 升高至 0.073V，因此之後實驗皆採用第二代的紙電池。

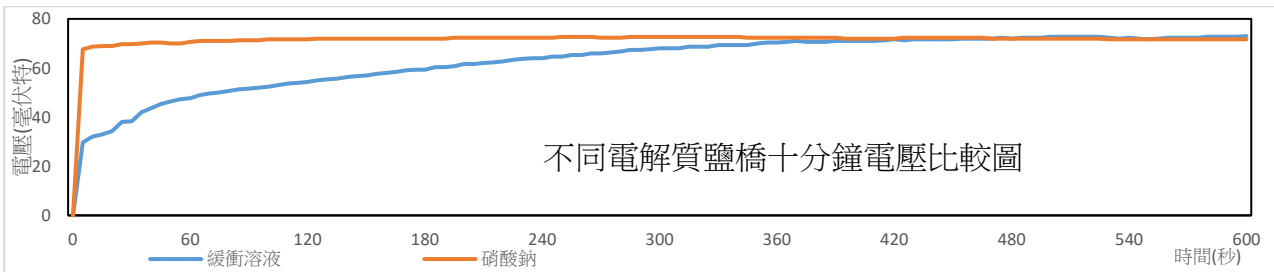
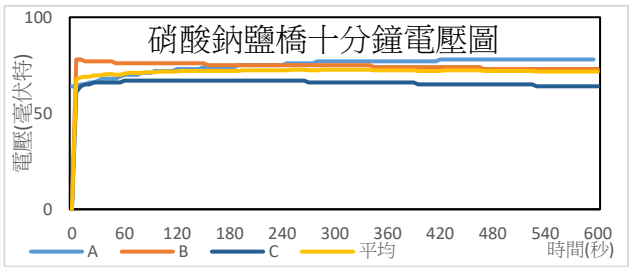
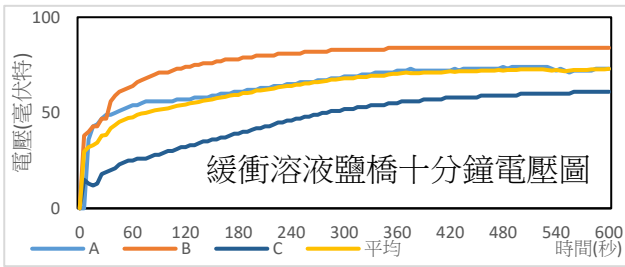
實驗五：使用不同材質鹽橋，並觀察其對電壓的影響

實驗中使用了再生紙、甜粿紙、玻璃紙、濾紙及鋁箔紙作為鹽橋材料並進行實驗。實驗中以再生紙的電壓最高，因此決定使用再生紙作為鹽橋。實驗中發現鋁箔紙的電壓極不穩定，實驗結束後發現壓緊此電池會有 0.35~0.4V 的電壓（但會突然升高或下降），但在進行沒有使用食用酵母菌，兩邊都是緩衝溶液的空白實驗後，發現單純的銅-鋁-銅結構便可有 0.32V 左右的電壓，且數據不穩定，因此沒有採用鋁鹽橋來進行食用酵母菌電池的實驗。



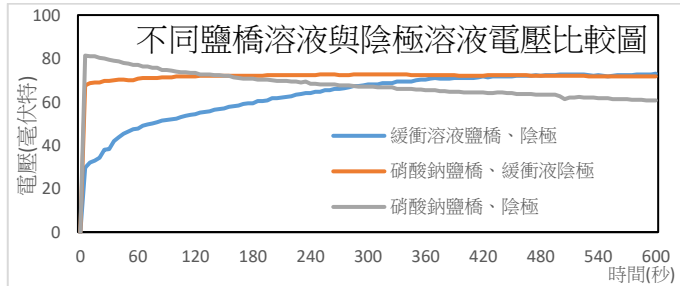
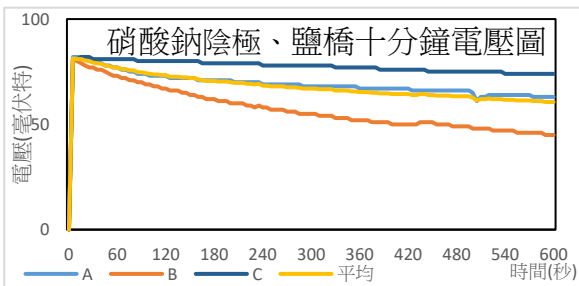


實驗六：將鹽橋溶液改為強電解質，並觀察其對電壓的影響



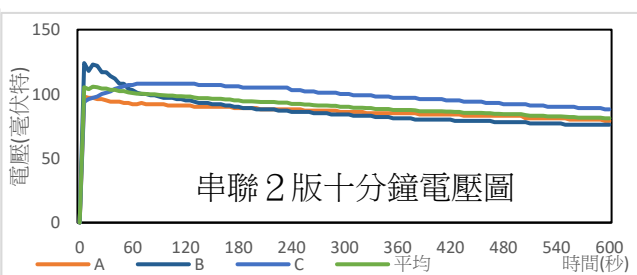
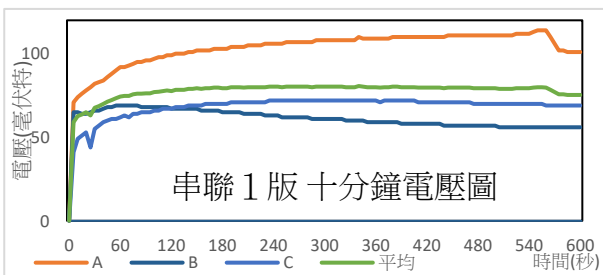
由圖表顯示，硝酸鈉的電壓升高較快，且電壓較穩定，但緩衝溶液的數據稍微高過硝酸鈉，我們認為是緩衝溶液與硝酸鈉混合後電壓差距會越來越小，因此將進行陰極與鹽橋皆為硝酸鈉的實驗。

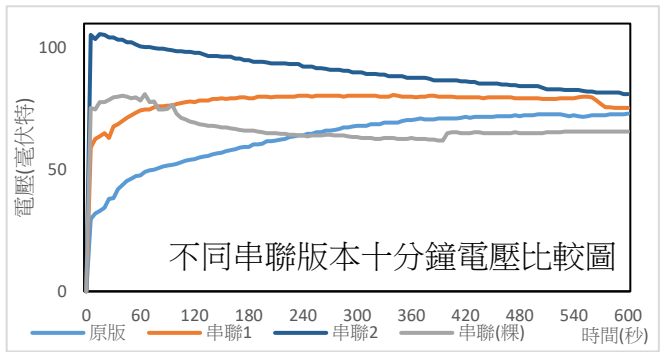
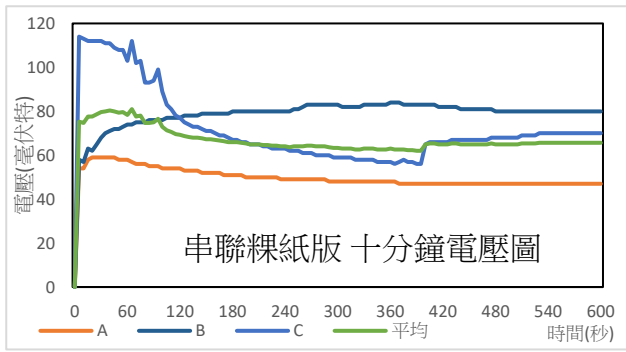
實驗七：將鹽橋溶液與陰極溶液改為硝酸鈉，並觀察其對電壓的影響



用硝酸鈉溶液取代緩衝液陰極後發現電壓明顯的下降趨勢。

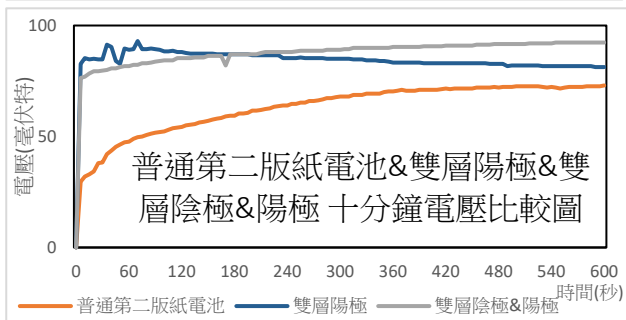
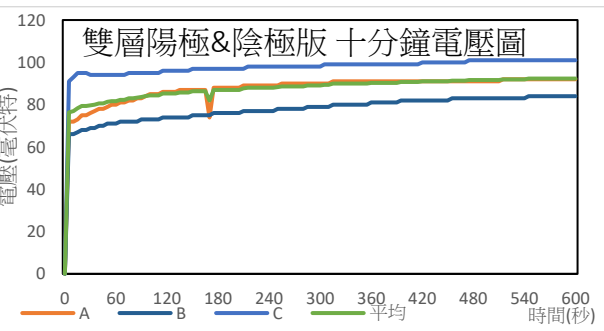
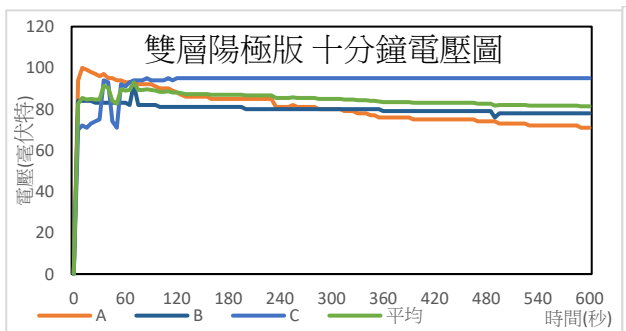
實驗八：將紙電池內芯串聯並觀察其對電壓的影響





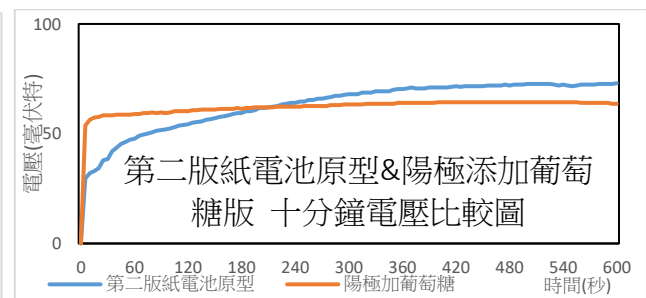
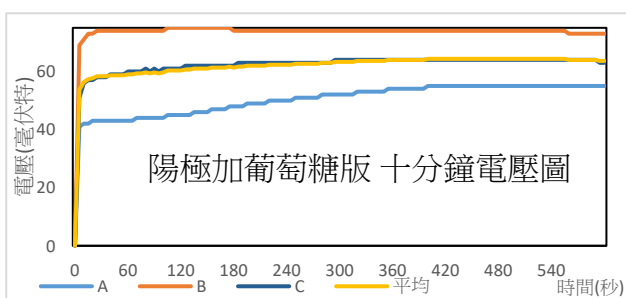
串聯第二代數據較其他組高，但呈現下降的趨勢，因此在日後實驗中不予採用。

實驗九：分別將陽極、陽極和陰極增厚為兩層，並觀察其對電壓的影響



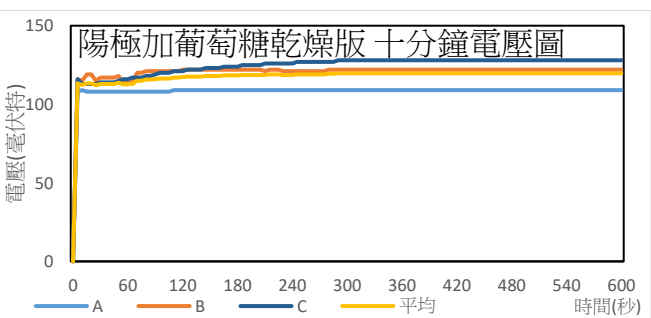
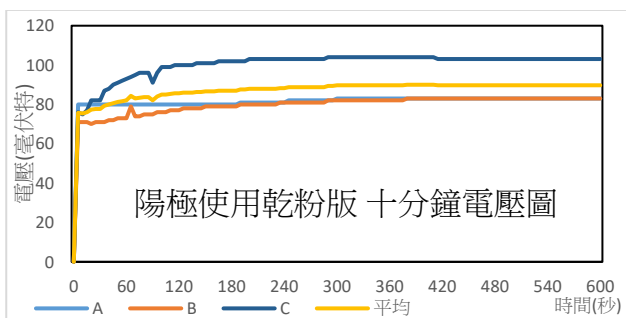
陰極和陽極均增加為雙層的電壓最高，為 0.092V，比第二代原型紙電池(0.073V)高了 30%。後續實驗中，我們將陰極和陽極皆增厚為兩倍的版本視為第三版紙電池。

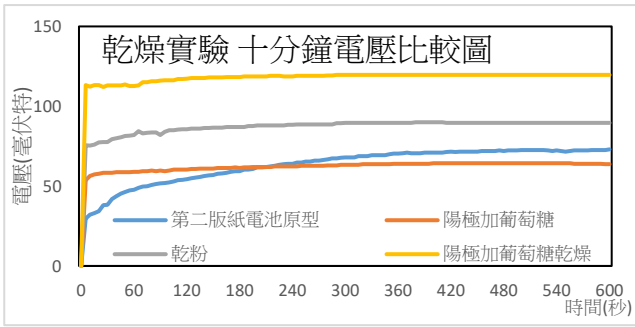
實驗十：在陽極添加葡萄糖，並觀察其對電壓的影響



加葡萄糖後電壓降低 10%(0.073V→0.064V)，但因乾燥需要，會加在乾燥的紙電池中。

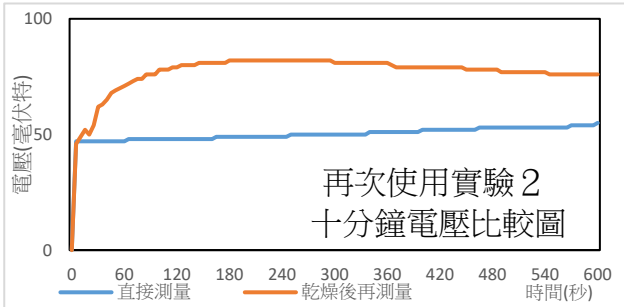
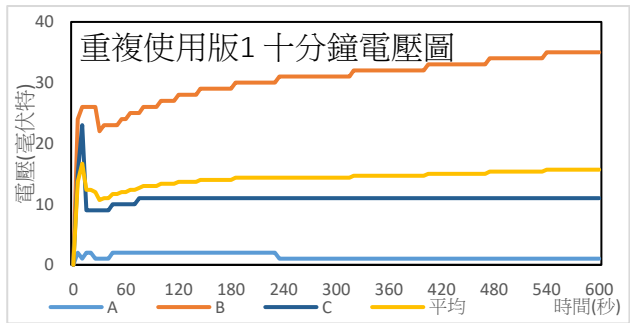
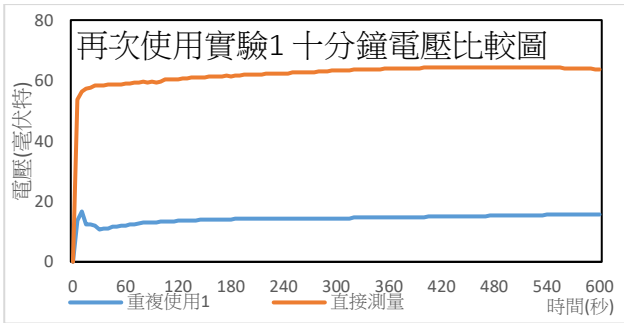
實驗十一：將紙電池放置至乾燥後，滴入純水並測量其電壓





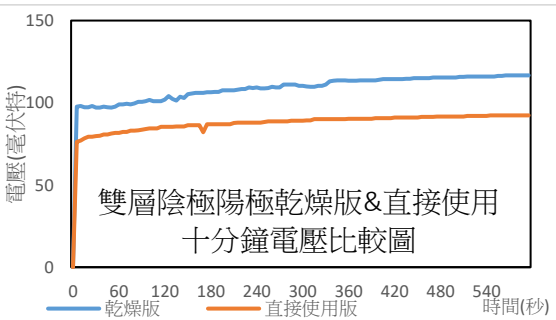
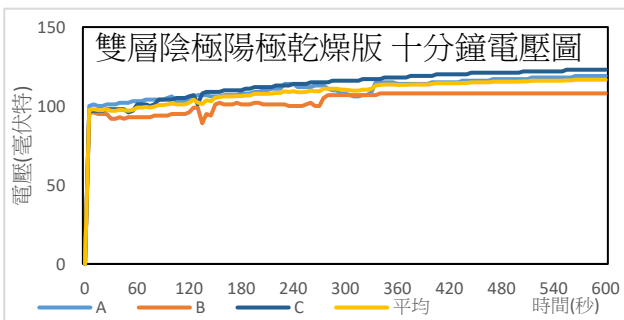
陽極放置酵母菌乾粉版本十分鐘後電壓為 0.089V，是原本的(0.073V)1.2 倍；陽極上滴入含葡萄糖和酵母菌的緩衝溶液乾燥版本電壓為 0.116V，是原本紙電池的 1.6 倍，也是直接加入葡萄糖的紙電池的 1.9 倍。

實驗十二：將使用過後的紙電池放置至乾燥後，滴入純水並測量其電壓



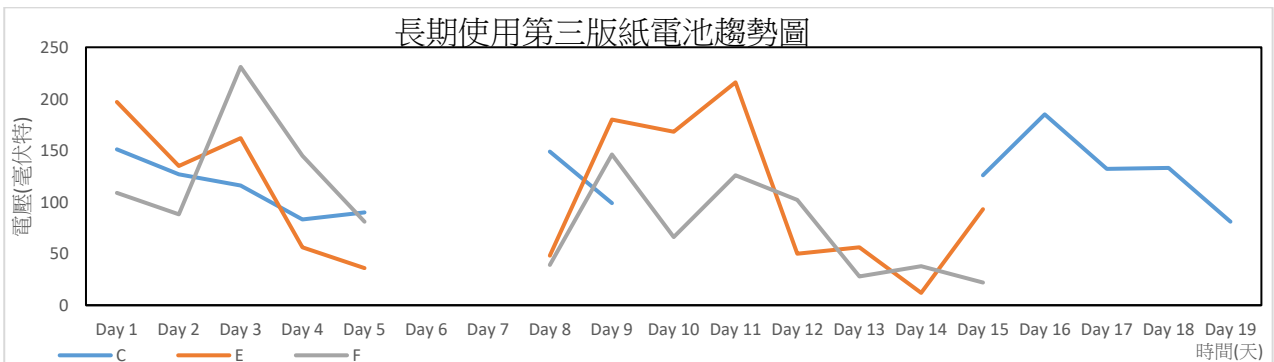
實驗十的紙電池放置乾燥後再使用，電壓由 0.064V 降至 0.015V，只有原本的 24%。我們認為與電極上的反應物有關，因此更換電極進行另一輪實驗，實驗結果如左，電壓由 0.055V 升至 0.076V，證實更換電極會造成差異。

實驗十三：將陰極陽極皆加厚兩倍的紙電池乾燥後測量其電壓



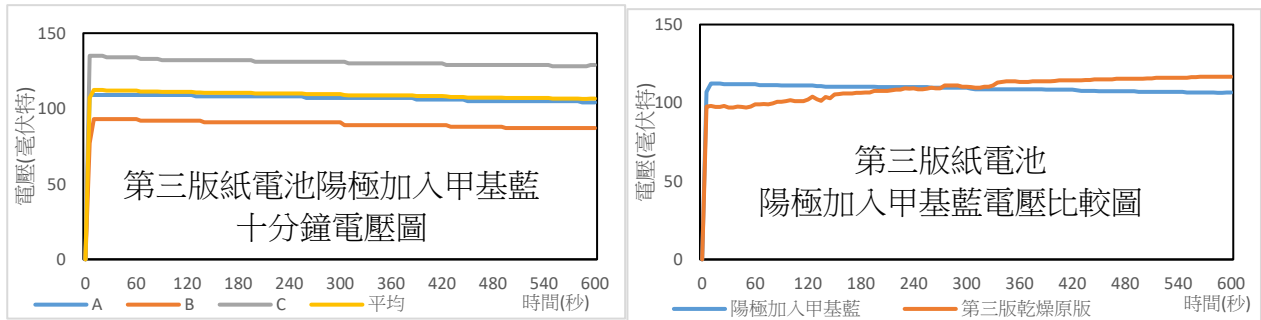
乾燥版十分鐘後的電壓是 0.116V，是直接使用（實驗九，0.092V）的 1.2 倍。

實驗十四：將第三代（雙層陰極陽極）紙電池重複使用並觀察其電壓變化



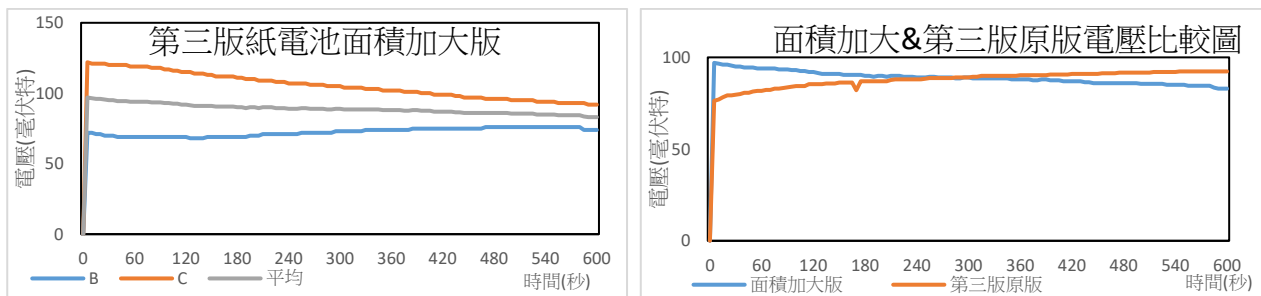
重複使用時發現每天的數據都有明顯的變化，大致呈現遞減的狀態。

實驗十五：在陽極加入電子梭（甲基藍）觀察其對電壓的影響



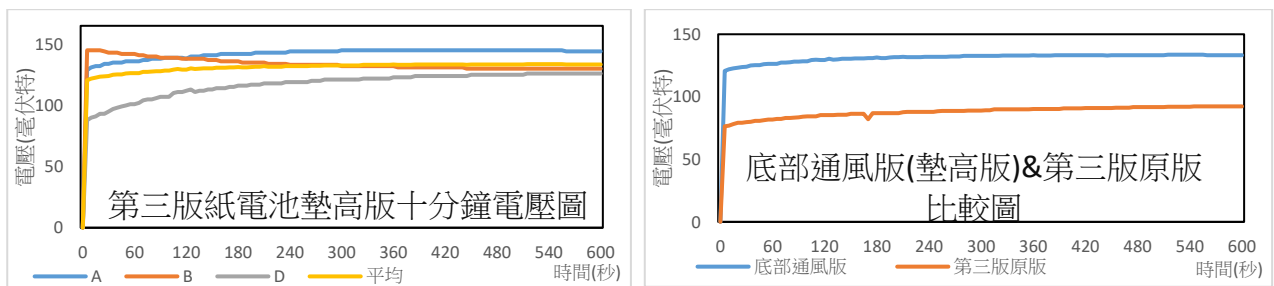
加入甲基藍後平均數據為 0.106V，顯示加入甲基藍並無提高電壓的作用。

實驗十六：將紙電池的表面積加大並觀察其對電壓的影響



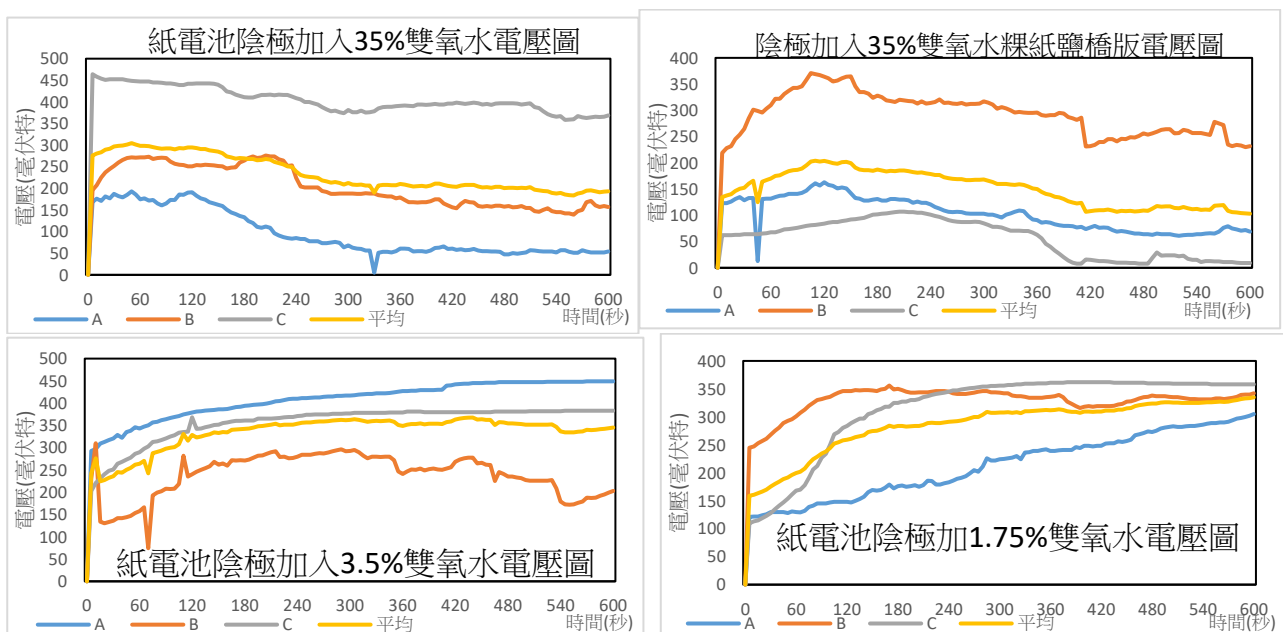
面積加大後數據為 0.083V，且數據呈現下降的趨勢，因此此結構不予採用。

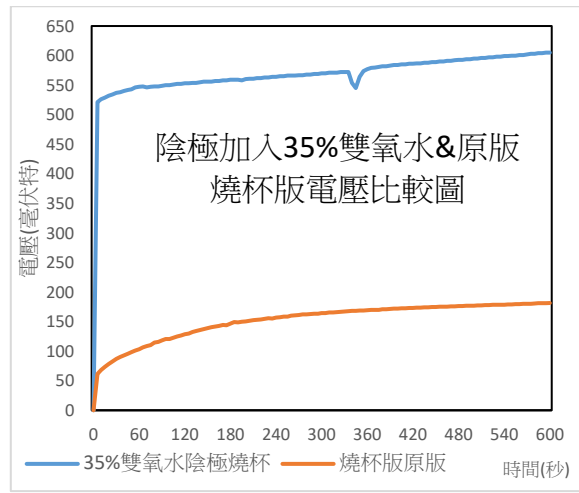
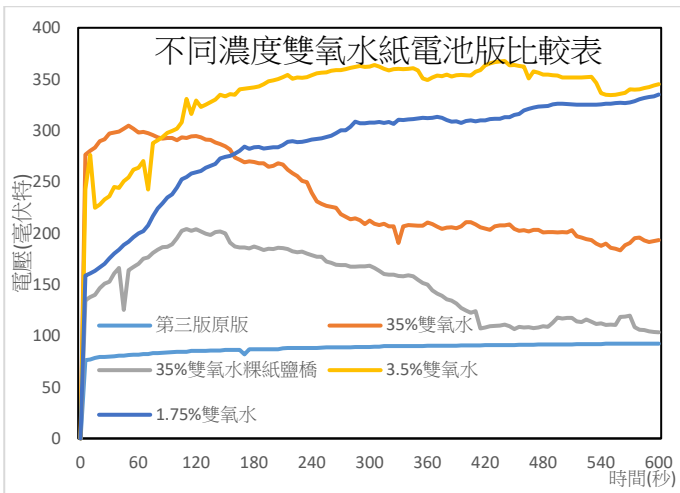
實驗十七：將紙電池墊高使底層陽極可以接觸空氣，並觀察其對電壓的影響



底部墊高後平均電壓為 0.133V，是原本的 1.4 倍。

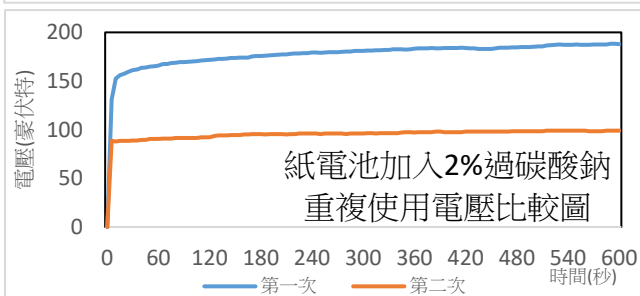
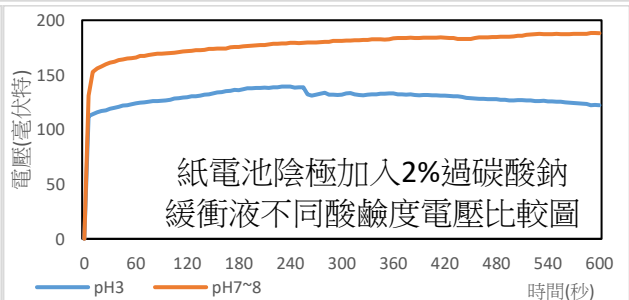
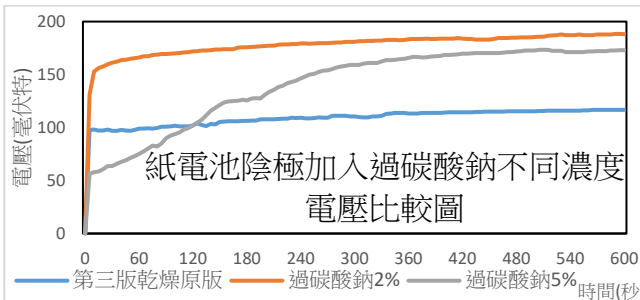
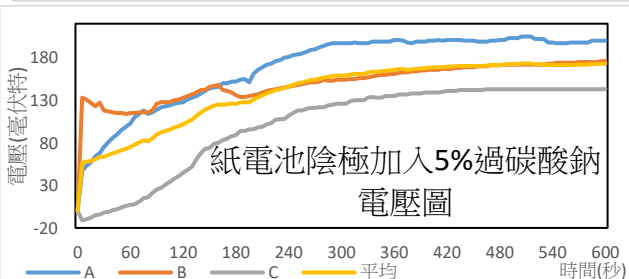
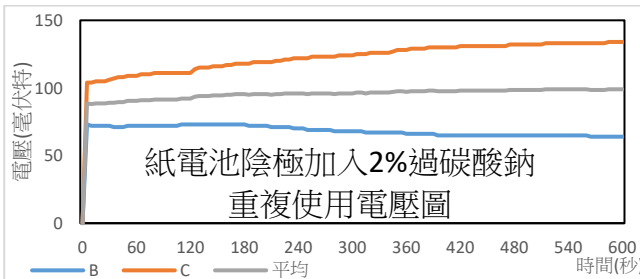
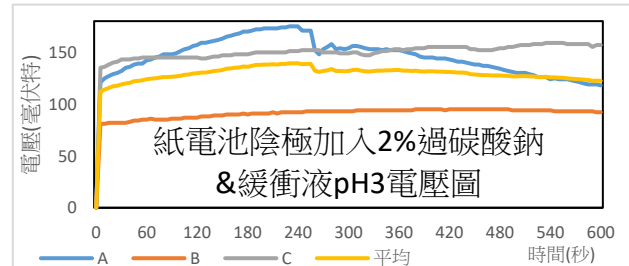
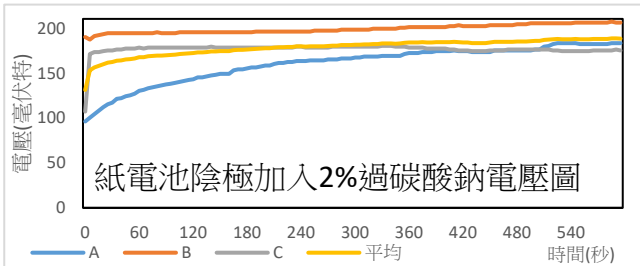
實驗十八：在陰極加入不同濃度雙氧水並觀察其對電壓的影響





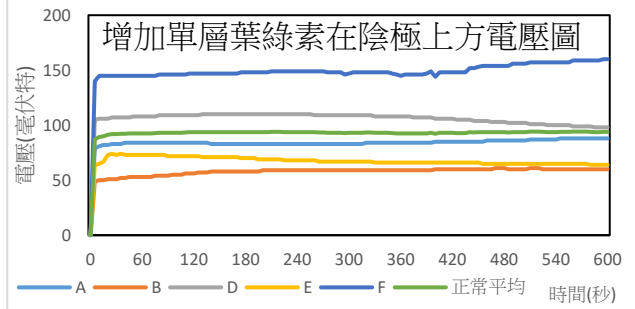
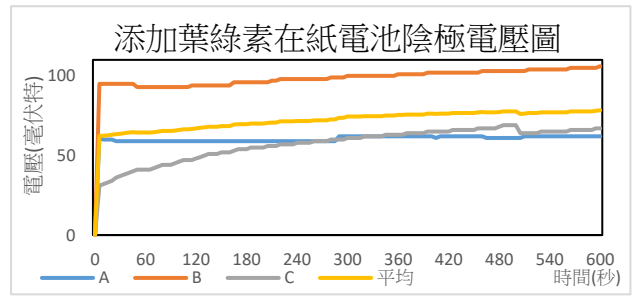
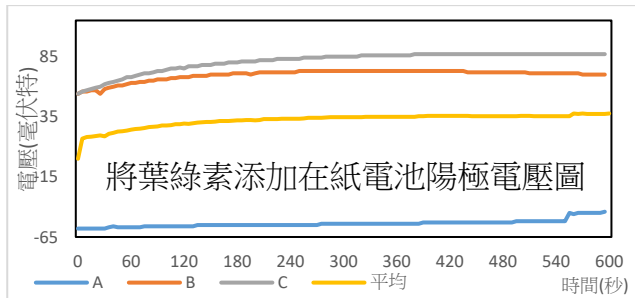
燒杯版加入雙氧水後，電壓為 0.605V，是原版(0.181V)的 3.3 倍，證實雙氧水確實能幫助提高電壓；紙電池版的以 3.5%雙氧水的效果最好，但實驗過後數據持續下降，1.75%雙氧水則是持續上升至 0.335V 左右後保持穩定，因此 1.75%雙氧水的實用性較佳。

實驗十九：在陰極加入過碳酸鈉並觀察其對電壓的影響

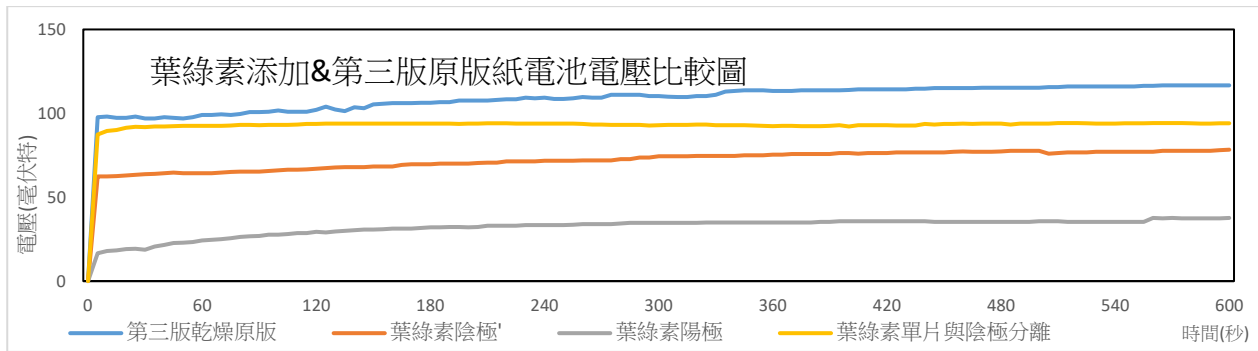


實驗中以添加 2%過碳酸鈉、維持 pH7~8 緩衝溶液酸鹼度的效果最好。另外，重複使用後電壓大幅下降，因此重複使用的可能性有待觀察。

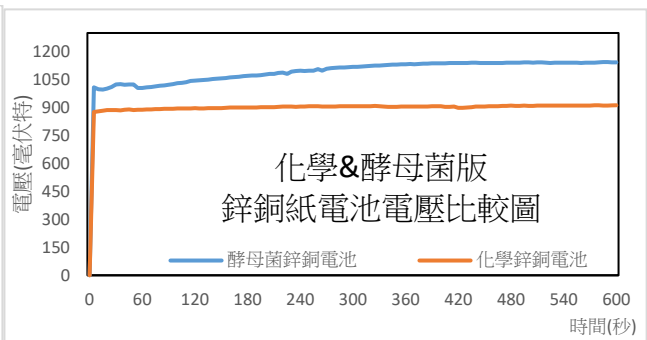
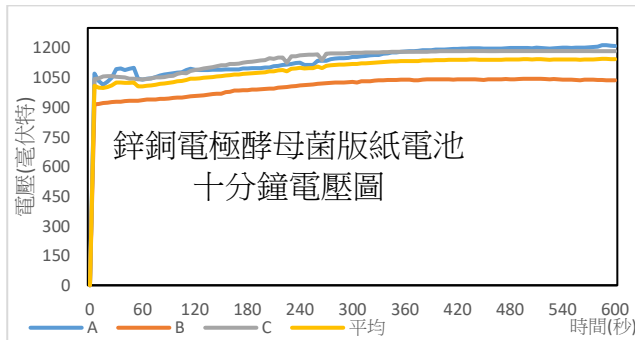
實驗二十：在紙電池加入葉綠素，並觀察其對電壓的影響



由實驗可以發現增加單層葉綠素的效果最好(0.094V)，但依然低於第三代乾燥原版(0.116V)，因此在本實驗中不會再使用葉綠素。



實驗二十一：將第三代紙電池的銅電極更換成鋅、銅電極，在陰極添加過碳酸鈉、增加墊高裝置，並與紙製傳統化學藥劑鋅銅電池比較



實驗中酵母菌版的平均電壓為 1.142V，傳統化學藥劑版的平均電壓為 0.911V，酵母菌版的電壓比傳統化學藥劑版高了 25%。

陸、討論

一、找出最適當發電濃度

實驗中以 1.5g 的食用酵母菌乾粉加到 20ml 的緩衝溶液中效果最佳(0.181V)，推測因為食用酵母菌同時會形成內電阻，在數量超過 1.5g 後電阻的作用大於對端電壓的增強，造成電壓下降。

二、製作食用酵母菌紙電池(第一代)

此實驗中數據只有燒杯版的(0.042V/0.181V)約兩成，推測可能性有三：

- (一) 陽極的食用酵母菌溶液流動到陰極，造成電壓降低和各數據較大的落差。
- (二) 紙電池內電阻太大。
- (三) 紙電池內含的食用酵母菌數量較少，造成電壓較低的現象。

三、改變陰極溶液為純水，並測量其電壓變化

實驗中發現純水雖然一開始數據會上升較快，但長時間而言純水陰極版本的數據會出現大幅下降。從中提出幾點可能性：

- (一) 純水和緩衝溶液之間本身就有電位差，因此一開始的電壓會較高。
- (二) 純水溶氧量較緩衝溶液高，氧氣可進行還原反應幫助電壓升高。
- (三) 反應一段時間後，鹽橋溶液會擴散至純水中，總體離子數比緩衝溶液陰極的版本少，因此會出現電壓下降的情形。
- (四) 紙電池版的食用酵母菌電池因為鹽橋溶液量較少，不像燒杯版的有足夠的鹽橋溶液幫助平衡離子濃度，因此下降出現的幅度較大且更為快速。

四、製作第二代紙電池，並比較陽極在上層與陰極在上層的電壓差異

實驗後發現陽極在上層時電壓會極不穩定，而陰極在上層時的電壓則較為穩定，且數據為第一代紙電池的 1.7 倍(0.073V/0.043V)。我們以實驗數據提出幾個論點：

- (一) 陽極在上層時酵母菌溶液容易滲透到陰極，造成電壓下降。
- (二) 陰極在下時缺乏氧氣無法有足夠的還原反應造成電壓下降。
- (三) 鹽橋的外框有幫助隔離陰陽極的作用，因此在日後實驗將予以保留。

五、使用不同材質鹽橋，並觀察其對電壓的影響

從實驗發現使用再生紙電壓最高(0.073V)，使用鋁箔紙的電壓有劇烈的波動。我們有以下推論：

關於再生紙的電壓較高：

- (一) 再生紙的孔洞較大，可以減少電阻。
- (二) 再生紙較厚，能夠過濾食用酵母菌。

關於鋁箔紙鹽橋造成的電壓不穩定：

- (一) 鋁箔紙與銅電極發生反應產生電壓。
- (二) 鋁箔紙可能與溶液發生反應，造成電壓。
- (三) 銅片——鋁箔紙——銅片的反應，相當於鋁銅電池相互反接，造成電壓不穩定。

六、將鹽橋溶液改為強電解質，並觀察其對電壓的影響

使用硝酸鈉鹽橋會使電壓較快上升至平衡電壓(0.071V)，但不會造成電壓劇烈升高。推測原因包括：

- (一) 緩衝溶液本身就是鹽類，是一種電解質，因此改用硝酸鈉的差別不大，不會達到預期的成效。
- (二) 硝酸鈉滲入陰極與陽極，與溶液產生反應，且硝酸鈉具有毒性可能殺死部分食用酵母菌，我們並未證明這點，但將其納入考量。

七、將鹽橋溶液與陰極溶液改為硝酸鈉，並觀察其對電壓的影響

使用硝酸鈉作為陰極後，數據有明顯下降趨勢(0.072V→0.06V)，除了第六點的理由以外，列出以下可能性：

- (一) 陰極的硝酸鈉會向下滲透且其具有毒性，可能殺死酵母菌使其電壓下降。
- (二) 大量硝酸鈉溶液解離後透過鹽橋與陽極離子交換，造成紙電池發電效果不佳。

八、將紙電池內芯串聯並觀察其對電壓的影響

內芯串聯後電壓雖有上升，但之後都有下降的趨勢，在十分鐘後的電壓與原本第二代紙電池(0.073V)差不多，推測原因如下：

- (一) 內芯串聯後電阻太大，影響電壓。
- (二) 串聯兩組電池內芯，酵母菌溶液向下滲透造成電壓隨時間下降。當酵母菌滲透至陰極時，會形成類似於兩個不同濃度的陽極反接的狀態，降低電壓。

九、分別將陽極、陽極和陰極增厚為兩層，並觀察其對電壓的影響

陽極增厚為兩層後，電壓有所上升(0.073V→0.092V)，但並沒有等比例升高，我們認為陽極增厚同時造成電阻與電壓的上升造成了這個結果；在實驗中也將陰極與陽極雙雙加厚，推測陰極加厚所造成的影響是因為提供了更多的氧化劑，加劇反應，導致電壓上升。

十、在陽極添加葡萄糖，並觀察其對電壓的影響

加入葡萄糖後數據平穩，但較第二代紙電池原型低(0.073V→0.064V)。我們認為葡萄糖使一部份的酵母菌沒有進行有氧呼吸作用，而是進行無氧發酵作用，發酵作用屬於還原反應，而非陽極應該要有的氧化反應，因此造成電壓的降低。但若要實現酵母菌紙電池的保存，需給予酵母菌葡萄糖生存，因此乾燥版的紙電池依然會加入葡萄糖。

十一、將紙電池放置至乾燥後，滴入純水並測量其電壓

酵母菌乾粉紙電池(0.089V)與酵母菌葡萄糖緩衝溶液乾燥紙電池(0.116V)均有比原本的第二代紙電池更高的電壓，酵母菌葡萄糖緩衝溶液乾燥紙電池更是原型紙電池(0.073V)電壓的1.6倍，我們認為電壓提高的原因如下：

- (一) 滴入純水後增加陰極與陽極的含氧量，使電壓上升，而在紙中乾燥的緩衝溶液又使水溶液中的離子數充足，不會像純水版一樣呈現下降趨勢。
- (二) 進行乾燥版滴水實驗時，需等待水完全滲透紙電池，在等待時間內紙電池已經開始反應，因此一開始乾燥版的數值就較高。

十二、將使用過後的紙電池放置至乾燥後，滴入純水並測量其電壓

使用實驗十的紙電池(0.064V)放置至乾燥後重複使用，電壓只有原本的四分之一(0.015V)不到，我們認為是因為放置至乾燥時並沒有移除銅電極，導致銅電極與電池內的溶液發生反應，造成再次實驗時電壓下降。在進行完實驗十二後，將紙電池拆開，發現銅電極上有綠色的生成物，這是在其他實驗的電極中沒有見到的，推測此生成物降低了紙電池的電壓。



(←實驗後的銅電極，上面有綠色生成物)

因此我們又進行了一次實驗，在使用過一次紙電池後馬上將銅電極抽出清洗乾淨，等紙電池乾燥後再次使用，電壓不減反升(0.055V→0.076V)，證明電極上的生成物確實會影響實驗結果。

十三、將陰極陽極皆加厚兩倍的紙電池乾燥後測量其電壓

與其他實驗相同，乾燥過後實驗數據較乾燥前更高(0.092V→0.116V)。數據沒有更高的原因，我們認為包括雙層的陽極消耗過多氧氣等等，在第九點與第十點已提及，故不加以敘說。

十四、將第三代(雙層陰極陽極)紙電池重複使用並觀察其電壓變化

從數據上來看，每日電壓的變化頗大，大致呈現下降的趨勢，但中間相隔兩日(因周末無法到學校做實驗)之後數據會略微上升，我們認為酵母菌在沒做實驗時能夠繁殖增加菌量；平日則因不斷反覆使用而造成電壓下降。

十五、在陽極加入電子梭(甲基藍)觀察其對電壓的影響

實驗中我們添加電子梭——甲基藍，嘗試提高電壓卻成效不彰(0.116V→0.106V)，推測如下。

- (一) 酵母菌發電本身就不全然仰賴外加電子梭，因此不需要添加。
- (二) 若甲基藍使用過量，會造成反效果。

十六、將紙電池的表面積加大並觀察其對電壓的影響

由實驗數據可發現，電壓不僅沒有增加，還不斷下降(0.083V)，推測有兩個原因：

(一) 面積加大後，電子須經由更長的路徑傳送，電阻增加。

(二) 因為面積加大，陽極跟陰極的溶液更容易混合造成電壓下降。

因此日後實驗不會使用面積加大版做為改良後模組。

十七、將紙電池墊高使底層陽極可以接觸空氣，並觀察其對電壓的影響

我們假設將紙電池墊高後，底部的陽極可以接觸空氣，因此酵母菌可行有氧呼吸作用，提高發電電壓。而實驗數據也證實了推測，電壓提高為原本的 1.4 倍(0.092V→0.133V)。

十八、在陰極加入雙氧水並觀察其對電壓的影響

我們得知進行細菌發電實驗時，會在陰極添加用來進行還原反應的氧化劑，以增加發電電壓，通常會添加赤血鹽。但赤血鹽是有毒物質，因此我們想以雙氧水作為取代，因為在分解後只會產生無害的水和氧氣。但當使用實驗室的 35%雙氧水進行實驗時，電壓一開始雖有升高接著就不斷的下降，推測有以下原因：

(一) 雙氧水反應完了，因此電壓會下降到原本的狀態。

(二) 雙氧水的殺菌特性將酵母菌殺死了。

為了確認原因，我們以雙氧水不會滲透到陽極的燒杯版進行實驗，結果數據為原本的 3.3 倍(0.181V→0.605V)，且不斷上升，因此我們將目標轉移到如何隔絕雙氧水和酵母菌。我們嘗試使用稜紙當作鹽橋兼隔離膜，但效果不好，因此將雙氧水稀釋十倍，也就是 3.5%，大概是平常清潔傷口的濃度。

此時數據在十分鐘內沒有下降趨勢，但在停止數據紀錄後不久電壓便開始下降，且數據因為有些模組滲透的較嚴重而較不穩定，因此我們將雙氧水再稀釋成 1.75%，得到的數據比 3.5%的數據略低，但能穩定維持在 0.335V 左右。

十九、在陰極加入過碳酸鈉並觀察其對電壓的影響

由實驗十八可得知添加適量的雙氧水在陰極確實可幫助電壓的升高，但雙氧水無法乾燥後滴水再重新使用，因此我們上網查到俗稱「固態雙氧水」的過碳酸鈉，其具有加水即會釋放氧氣的特性。實驗中，我們嘗試了兩種不同的濃度：2%和 5%，也就是在陰極添加 0.02g 或 0.05g 的過碳酸鈉(過碳酸鈉的重量過小因此不納入濃度計算)。其中以 2%的效果較好，我們認為其原因有三種可能：

(一) 過碳酸鈉像雙氧水一樣具有殺菌功能，濃度過大會殺死酵母菌。

(二) 過碳酸鈉沒有充分溶解，因此就算添加較多也不會幫助發電，而是徒增電阻。

(三) 過碳酸鈉溶解時會產生鹼性物質，而有些文獻中主張酵母菌偏好酸性環境。

為證實第三項推測，我們將原 pH7~8 的緩衝液替換成 pH3 的緩衝液，重新進行實驗，但數據並沒有因此提高，證明第三項推測是錯誤的。最後我們想探討添加過碳酸鈉後紙電池重

複利用的可行性，因此進行了實驗，但實驗數據顯示在下一次使用後比原本低了許多，我們認為是因為過碳酸鈉已經消耗完了，因此不再具有增加電壓的優勢。

二十、在紙電池加入葉綠素，並觀察其對電壓的影響

由實驗十九可得知，過碳酸鈉不具備能夠重複利用的特性，因此我們想使用能夠永續環保且能產生氧氣的物質。我們從每 9ml 的菠菜汁裡萃取出 1ml 的葉綠素，並將葉綠素分別乾燥在陰極、陽極上，想利用光合作用為紙電池製造氧氣。

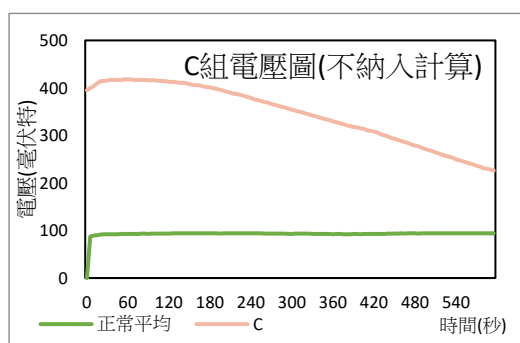
葉綠素陽極的數據極低(0.037V)，而葉綠素陰極的略高(0.078V)，但依然比原版的數據(0.116V)還要低，我們認為是因為陽極照不到太陽，而陰極雖然能照到太陽(實驗中使用距離實驗品 40cm 的太陽燈模擬光照)，但因為四層葉綠素裡只有一層能行光合作用，而葉綠素為不良導體會造成很大的電阻，所以才會有比較低的數據。

因此我們將葉綠素與陰極、陽極分離，製作單層的葉綠素黏貼在陰極的上方，再次進行實驗，但結果依然不如預期(0.094V)，我們認為有以下可能：

- (一) 葉綠素無法在乾燥後加水的狀況下行光合作用反應。
- (二) 葉綠素在保存時所受的光照不夠，因此在實驗時已經無法作用。
- (三) 葉綠素單層的透氣性太差(在滲透時發現滲透很難進行)，妨礙陰極的反應。
- (四) 光合作用的產物不足以提供我們所需的氧氣。

因此無法將其應用在實驗二十一最終版的實驗上。

實驗後我們有使用 DCPIP 進行是否有光合作用的驗證，由結果判斷應該有進行微弱的光



合作用。另外，在進行單層葉綠素 A、B、C 組的實驗時，發現 C 組滲透的非常快速，且電壓高達 0.4V，但隨時間迅速的下降，推測是因為氧氣入不敷出的關係。但再進行了三次實驗，卻沒有發生相同的現象，因此將 C 組視為例外，不納入數據計算。我們認為 C 組的現象可作為延伸研究的對象。

二十一、將第三代紙電池的銅電極更換成鋅、銅電極，在陰極添加過碳酸鈉、增加墊高裝置，並與紙製傳統化學藥劑鋅銅電池比較

此實驗中集合了前面實驗所有最佳的變因(但為了乾燥使用，因此是使用 0.02g 過碳酸鈉而非 1.75% 雙氧水)來提高電壓，並跟傳統化學藥劑版鋅銅電池做比較。

實驗中酵母菌版的數據(1.142V)高過傳統化學藥劑組，為傳統化學藥劑組(0.911V)的 1.25 倍。我們認為是酵母菌發電的電量增加了鋅銅電池的電壓，與預期相符。沒有更大幅超越傳統化學藥劑組，我們認為有以下原因：







(一) 緩衝溶液的濃度較低，比起傳統化學藥劑組的強電解質，解離效果較差。

(二) 傳統化學藥劑鋅銅電池的電解質電阻較小，因此電壓較高。

在此實驗中，我們認為酵母菌鋅銅紙電池最高電壓有 1.205V，有發展的潛力。實驗結束後，發現經過發電時劇烈的化學反應，傳統化學藥劑組的電極上均有大量生成物（如左圖），可能會影響接續的使用。但酵母菌電池使用後電極上並沒有這個現象，幾乎像沒有使用過一樣。（如右圖）可將此視為酵母菌發電的一項優勢。



*以下為實驗中的照片

			
實驗中的紙電池	添加葉綠素的紙電池	最終版的酵母菌紙電池陰極	墊高版的(底下通風)紙電池。
			
加甲基藍的陽極溶液	第一代串聯的展開圖	第二代紙電池側面圖	燒杯版電池

柒、結論

一、食用酵母菌紙電池的結構與材料

(一) 食用酵母菌應以 1.5g : 20ml 緩衝溶液的比例為最佳

(二) 使用第二代紙電池，將陰極陽極均加厚為兩倍(也就是第三代紙電池)，並將底部墊高使陽極能夠接觸到空氣，會得到較高的電壓

--- 加厚兩倍的陰極和陽極能夠增加發電量，而能接觸空氣即可行有氧呼吸作用，會得到較高的電壓。

- (三) 食用酵母菌紙電池中，應使陰極接觸空氣或是加入電子接收者
- 氧氣與赤血鹽等化學物質通常做為細菌電池中的電子接受者，執行還原反應以增加電壓，但本實驗希望盡量減少對環境有害的化學藥劑的使用，因此要使陰極接觸空氣，使空氣中的氧氣能參與反應。可以另外添加對環境無害的藥品，如雙氧水以 1.75%的濃度為最佳，缺點是不能乾燥使用，可以 2%的過碳酸鈉來代替雙氧水。
- (四) 食用酵母菌紙電池的鹽橋應選擇可過濾食用酵母菌但透氣的材料
- 實驗中發現再生紙鹽橋和甜粿紙鹽橋的電壓最高，兩者皆能過濾、隔離食用酵母菌，且具有透氣性（再生紙孔洞大但有很多層，甜粿紙材質幫助製作甜點時能讓甜點透氣，因此判斷有透氣性質）。
- (五) 使用金屬鹽橋作為紙電池的鹽橋易造成電壓不穩定
- 根據本實驗的分析，金屬鹽橋（實驗中為鋁箔紙）會與電極和溶液發生反應，造成電壓的不穩定，不適合作為鹽橋使用。且實驗中無法證明金屬鹽橋能有效降低內電阻。
- (六) 將鹽橋、陰極的緩衝液調換為硝酸鈉，並沒有有效提高電壓
- 實驗中發現使用緩衝溶液作為鹽橋、陰極的紙電池電壓高於使用其他溶液，且硝酸鈉具有毒性，不適合用在環保電池中。
- (七) 使用純水可以提高食用酵母菌紙電池的電壓
- 實驗中可以發現將陰極溶液更改為水後會有短暫的上升，但接著便會開始下降。但在使用純水濕潤乾燥電池時，電壓便會比原先的數據高，且不會下降。水中的氧氣幫助酵母菌電池提高電壓，而乾燥版的紙電池也不會因為缺乏離子而造成電壓下降。
- (八) 加入葡萄糖造成食用酵母菌紙電池的電壓下降
- 葡萄糖使原本就處於缺氧環境的酵母菌行無氧發酵呼吸作用，造成電壓下降。
- (九) 使用葉綠素行光合作用來增加氧氣的作法有待探討
- 實驗六組中只有一組能夠有效的提升電壓，且很快就開始下降，若能突破這個困境，就可以達成真正永續環保的酵母菌發電。
- (十) 使用較酸的緩衝液無法有效提高電壓
- (十一) 添加甲基藍等電子梭無法幫助酵母菌提高發電效率
- (十二) 若使用化學材料提供氧氣，需再探討重複利用的可行性
- 沒有添加化學材料的酵母菌電池雖然在每天重複使用時會減少電壓，但放置一陣子就可以慢慢有所恢復，但使用的化學材料為消耗品，若沒有補充就沒有增加電壓的優勢。因此應該積極尋找能自行產生氧氣的材料，我們認為實驗二十的 C 組很有研究價值。

二、食用酵母菌紙電池的優勢

- (一) 以環保材質製作，減少汙染。
- (二) 以食用酵母菌為發電材料，安全又降低環境成本。
- (三) 製作簡單，材料取得容易。
- (四) 能夠乾燥保存，且能重複使用。
- (五) 使用鋅銅電極時，電壓較一般鋅銅電池紙電池高。
- (六) 電極不會因為劇烈的化學反應而產生大量反應物，電極壽命延長。
- (七) 使用的材料僅需要燒杯版的極少量，就可發出一樣甚至更高的電壓。
- (八) 體積小而扁平，節省空間。
- (九) 搭配鋅銅電極電壓最高可達 1.2V，接近真正的電池。

三、食用酵母菌紙電池的應用

根據本實驗，在添加雙氧水的狀況下電壓可以達到 0.335V，為了乾燥而使用過碳酸鈉的狀況下也可達到 0.188V，就算不做任何添加，電壓也約有 0.133V 以上。文獻中一般食用酵母菌電池的電壓約為 0.1~0.2V，因此本實驗中紙電池的電壓並不遜色，尤其一個紙電池約使用 0.075g 的食用酵母菌乾粉，成本很低，又使用環境友善的材質製作(紙、蠟為主體)。在與鋅銅電極結合後電池電壓約有 1.142V，最高電壓達到 1.205V，比傳統化學藥劑版鋅銅紙電池還要高，又不會過度損耗電極，能夠延長電極的壽命，具有相當的發展潛力。且本電池可以乾燥保存，只要滴入水便可使用，還可以重複使用，若經過充分發展，應能成為綠色能源的一種選擇。

四、食用酵母菌紙電池外來的延伸研究

實驗中未能解決重複使用時電壓的變動問題，同時使用化學藥品來增加陰極的氧氣。經過查詢，發現一些光合細菌能和酵母菌一樣在乾燥時進行休眠，沾濕即能行光合作用，但以國中生而言難以取得因此沒有進行實驗，若能以此與酵母菌發電，或許能解決現在的困境。另外，葉綠素的應用也是一個能夠深入研究的議題。在實驗二十的「單層葉綠素」實驗中，模組 C 的滲透速率較其他組更快，表面也觀察到生成的氣泡，且電壓提高到 0.4V 左右才開始下降，但之後再進行實驗無法再還原此情況，我們認為此現象值得深入探討。

捌、參考資料及其他

一、醇中帶電－酵母菌燃料電池的初探

<https://actiVity.ntsec.gov.tw/actiVity/race-1/51/pdf/040210.pdf>

二、「紙」能生電?!－自製薄膜電池效能分析

<https://actiVity.ntsec.gov.tw/actiVity/race-1/58/pdf/NPHSF2018-030204.pdf>

三、利用摺紙藝術製作發電裝置

<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=83&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=13550>

四、點石成金－廢鋁罐的第二春

<https://actiVity.ntsec.gov.tw/actiVity/race-1/41/%B0%EA%A4%A4%B2%D5/%A4%C6%BE%C7%AC%EC/2303.pdf>

五、發鹽橋語 誰來放電? 探討以金屬代替鋅銅電池鹽橋的反應

<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=45&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=4&sid=3510>

六、石墨烯微生物燃料電池綠能研究

<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=65&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=2&sid=13651>

七、靠細菌發電! 「摺紙電池」成本只要 5 美分

<https://technews.tw/2015/06/17/origami-battery-to-generate-energy-by-bacteria/>

八、「紙飛鏢電池」僅靠幾滴水就能發電

<https://www.eettaiwan.com/news/article/20160616NT01-bio-sensors>

Bacteria-powered battery made from a single sheet of paper

<https://www.treehugger.com/clean-technology/paper-fuel-cell-runs-bacteria.html>

九、微生物電力公司－微生物燃料電池之變因探討

<https://actiVity.ntsec.gov.tw/actiVity/race-1/47/senior/040210.pdf>

十、簡易微生物燃料電池製作(The Simple Microbial Fuel Cell)

<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=3335>

十一、充電只要一張紙? 紙電池顛覆傳統想像

<http://technews.tw/2015/12/28/storing-electricity-in-paper/>

十二、Microbial fuel cell

https://en.wikipedia.org/wiki/Microbial_fuel_cell

十三、天然酵母的製作方法

<http://laterre23.pixnet.net/blog/post/19866798-%E5%A4%A9%E7%84%B6%E9%85%B5%E6%AF%8D%E7%9A%84%E8%A3%BD%E4%BD%9C%E6%96%B9%E6%B3%95>

【評語】 032911

1. 本作品探討食用酵母菌電池的發電特性，並將酵母菌電池紙製化以方便攜帶與保存。近幾年類似微生物燃料電池的科展作品不少，此部分未見分析，研究大多參考文獻中的想法(酵母菌電池和紙電池)，故題目不具新穎性。
2. 題目與作品內容之間出現落差，但結論與直覺不符。本研究之變因過多，應可就創新部份加強說明即可。例如若能從中挑選出特定變因(例如葉綠素之濃度)進行電池性質測試，會使整份報告更有可信度。
3. 可從電池基本的學理探討如何提高電壓，實驗設計的邏輯會更清楚且更有效。此外，應以數據支持其推論。另，實驗過程中的緩衝液，並沒有明確標示是哪一種溶液，宜清楚地說明。

摘要

本報告探討食用酵母菌電池的發電特性，並將酵母菌電池紙製化以方便攜帶與保存。本食用酵母菌紙製電池分為陰極（緩衝液）、陽極（緩衝液與食用酵母菌）、與鹽橋（緩衝液）三層，皆以紙為載具，並以銅片為電極。經實驗發現第三代紙電池在陰極加入1.75%的雙氧水後的電壓最高達0.335V，但為了乾燥保存可將氧化劑改為0.02g的過碳酸鈉。結構方面，發現將紙電池墊高使陽極接觸空氣，幫助酵母菌行有呼吸作用，可以幫助提高電壓。最後將第三代紙電池陰極加入0.02g過碳酸鈉、增加空氣室，並與鋅銅電極結合，電池平均電壓為1.142V，比傳統化學藥劑版的鋅銅紙電池高了25%。

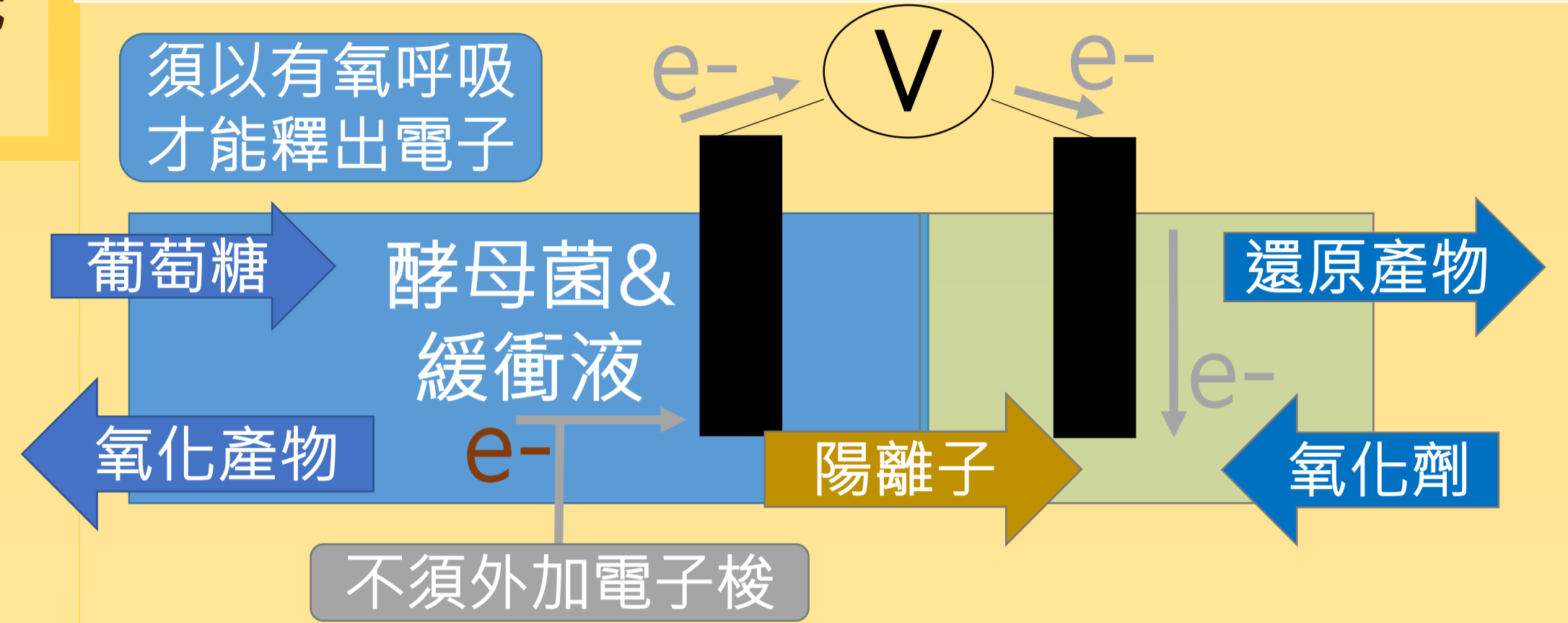
研究目的

- 一、探討食用酵母菌在合適濃度下最高電壓
- 二、研究如何將其製成紙電池
- 三、改進酵母菌紙電池達到提高電壓之功效
- 四、製作可實際應用的"食用酵母菌紙電池"
- 五、將酵母菌發電應用到鋅銅紙電池中，與化學版鋅銅紙電池比較。

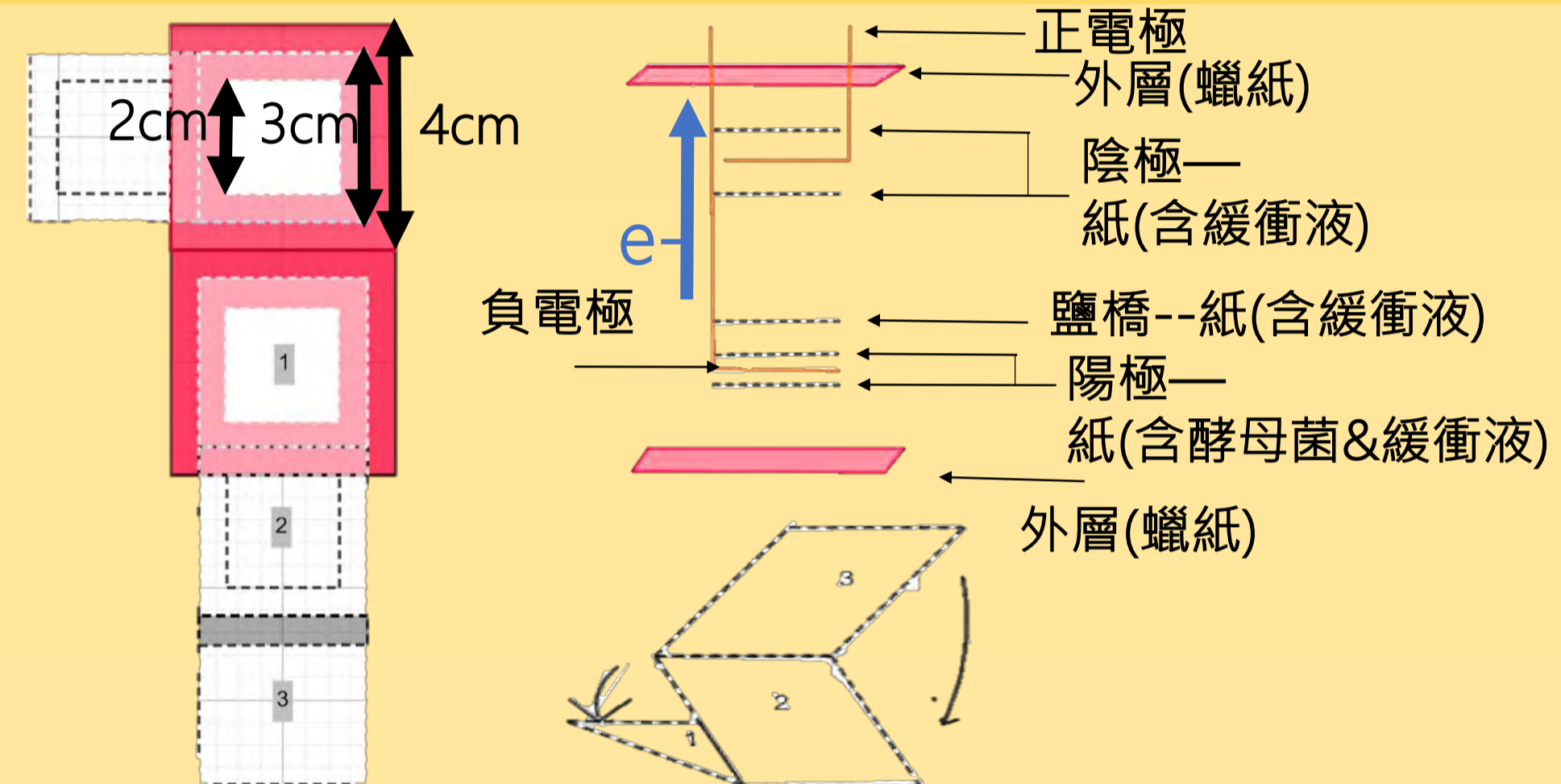
研究材料(略，見實驗報告書)

研究過程與分析

一、文獻探討



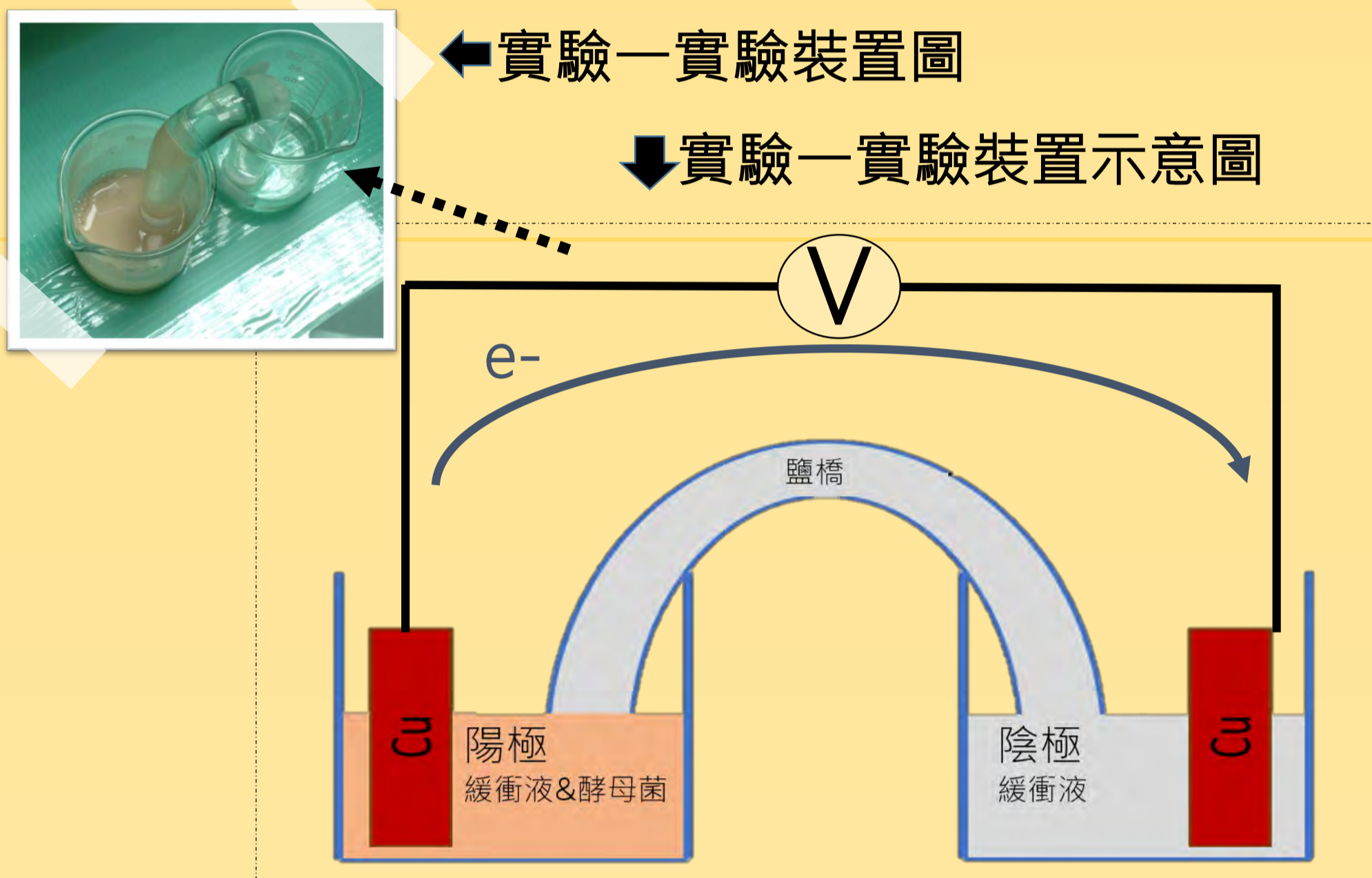
【實驗二：製作第一版紙電池。】



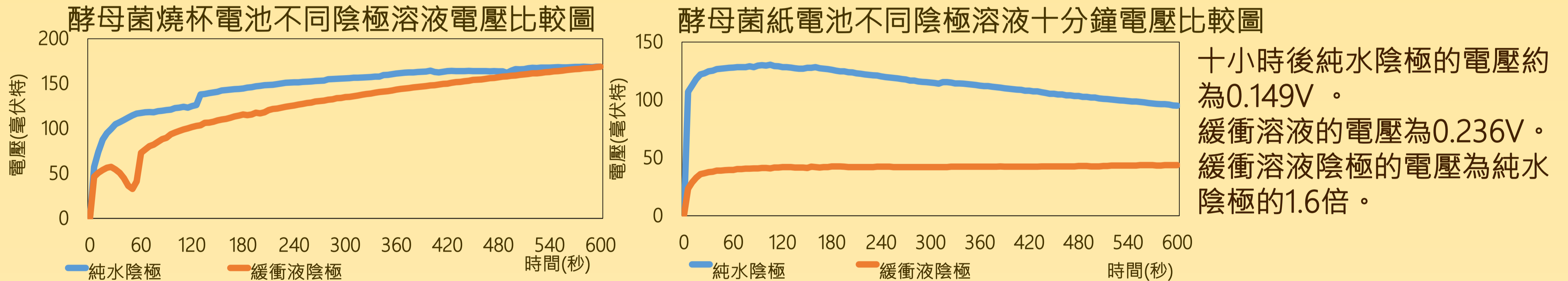
第一版紙電池電壓大約0.042V左右，只有原本的23%

二、實驗與結果分析

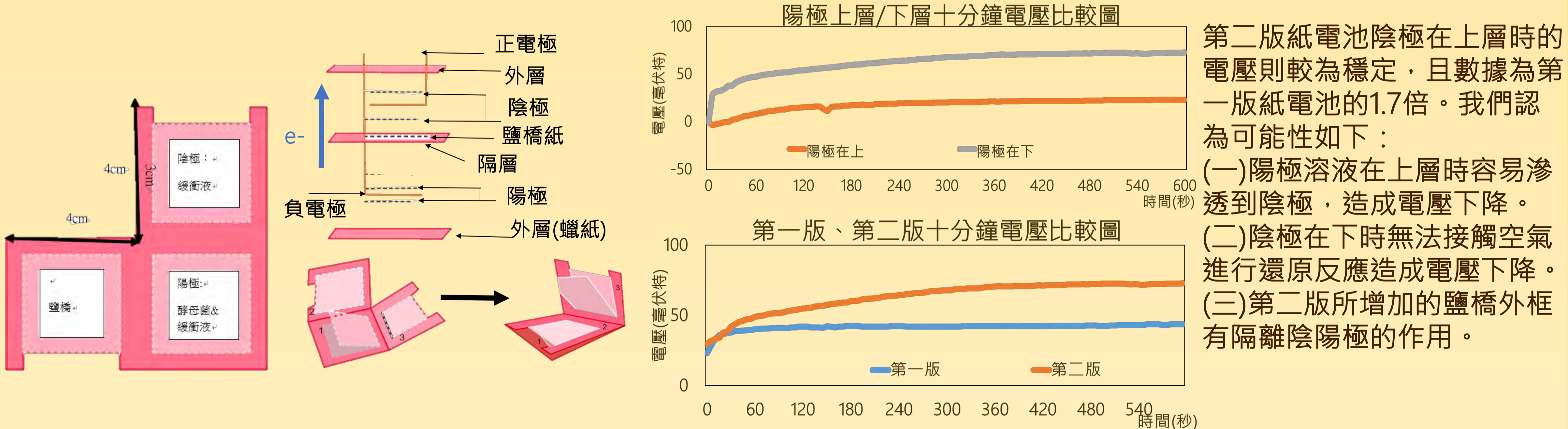
【實驗一：找出最適發電濃度。】



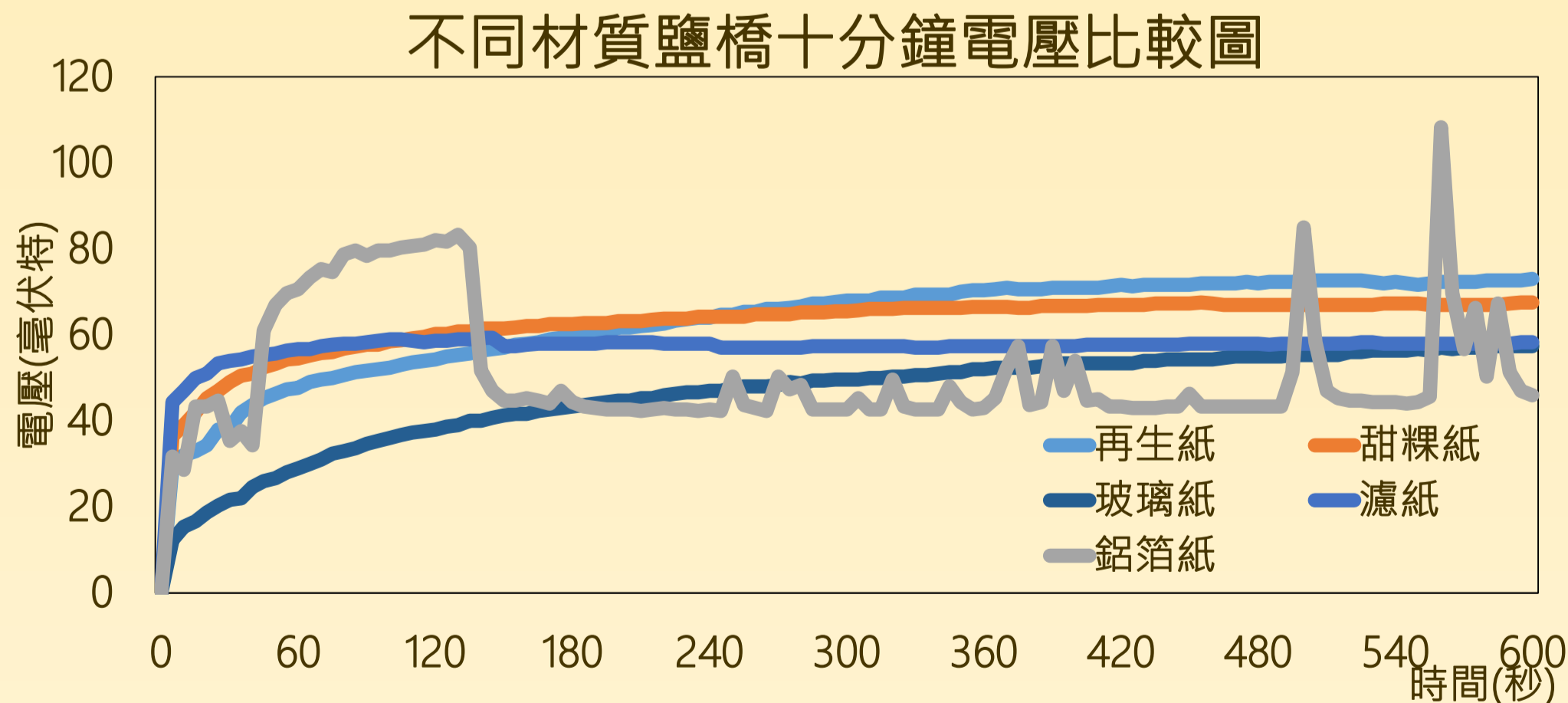
【實驗三：改變陰極溶液為純水，並測量其電壓變化。】



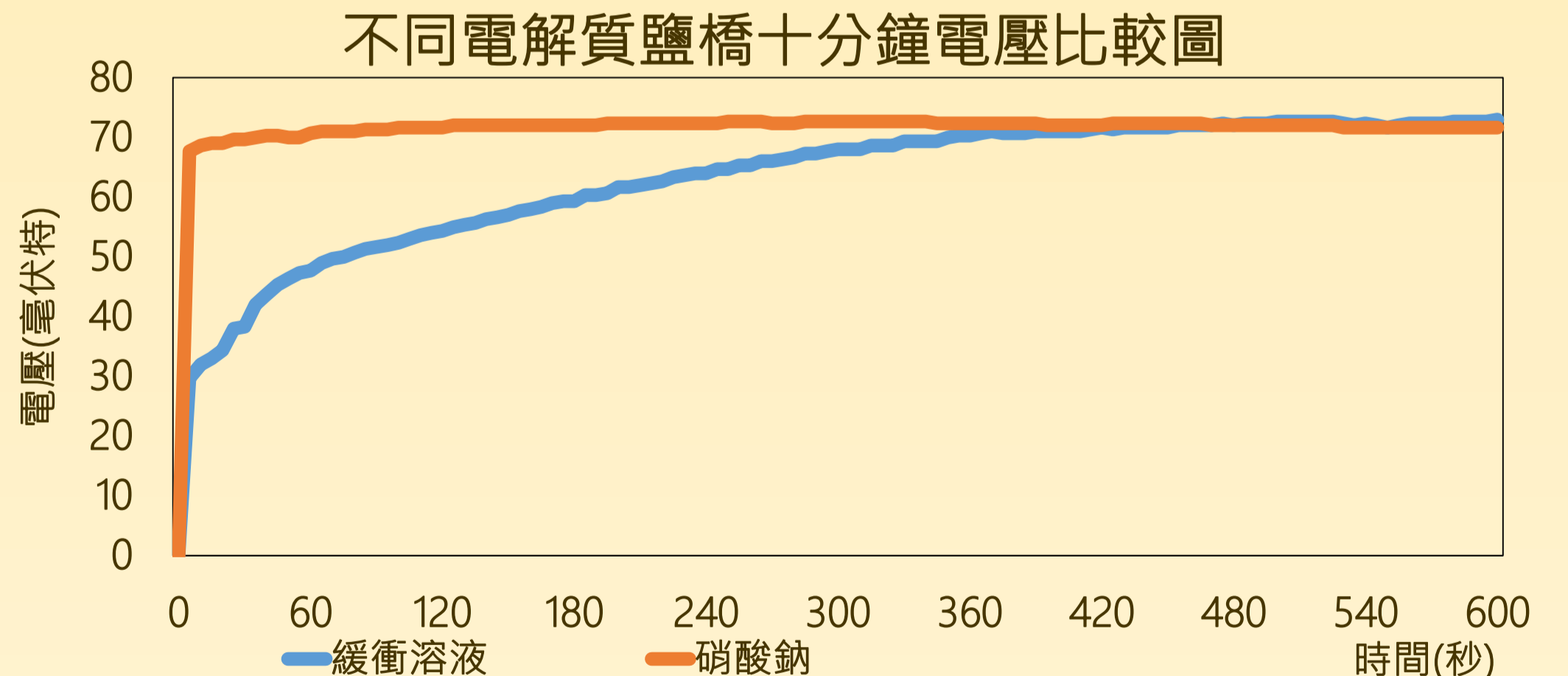
【實驗四：製作第二版紙電池，並比較陽極在上層與陰極在上層的電壓差異】



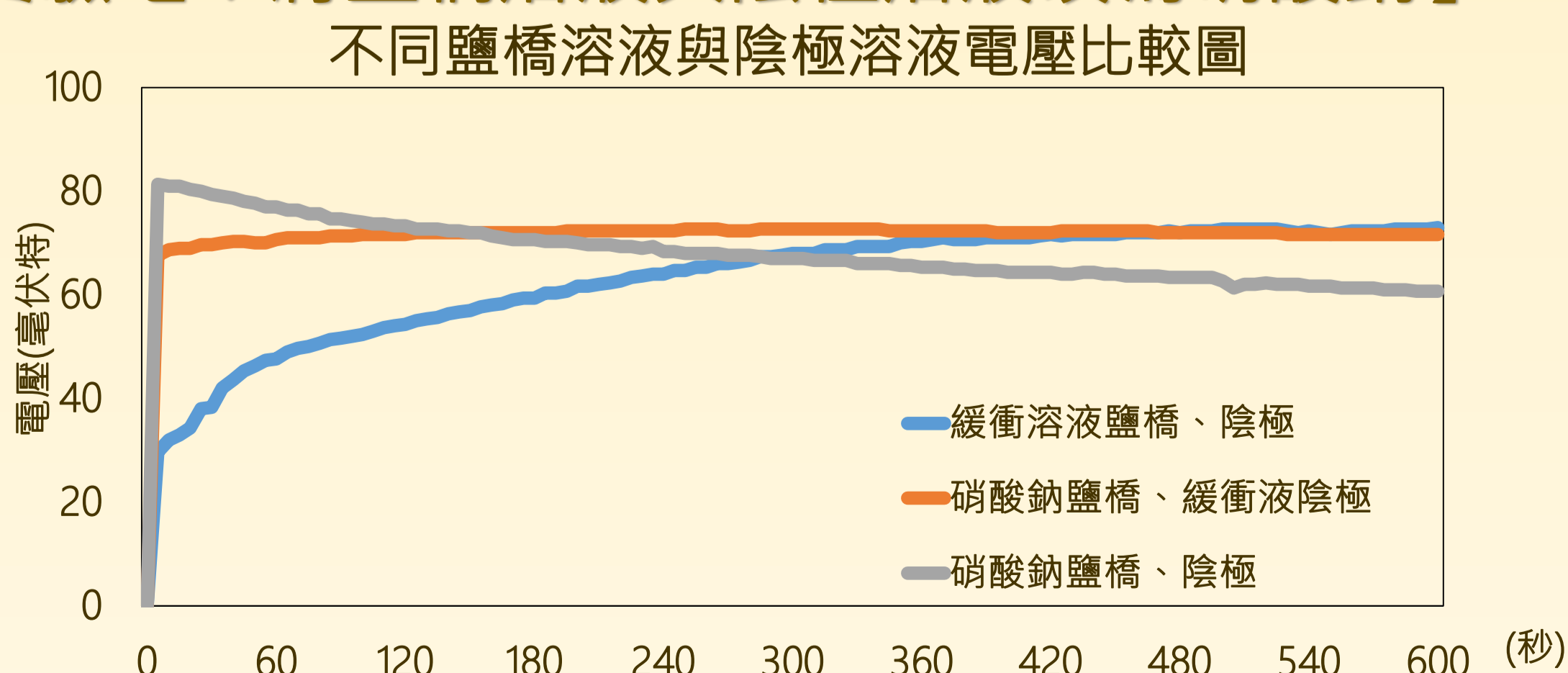
【實驗五：使用不同材質鹽橋，並觀察其對電壓的影響】



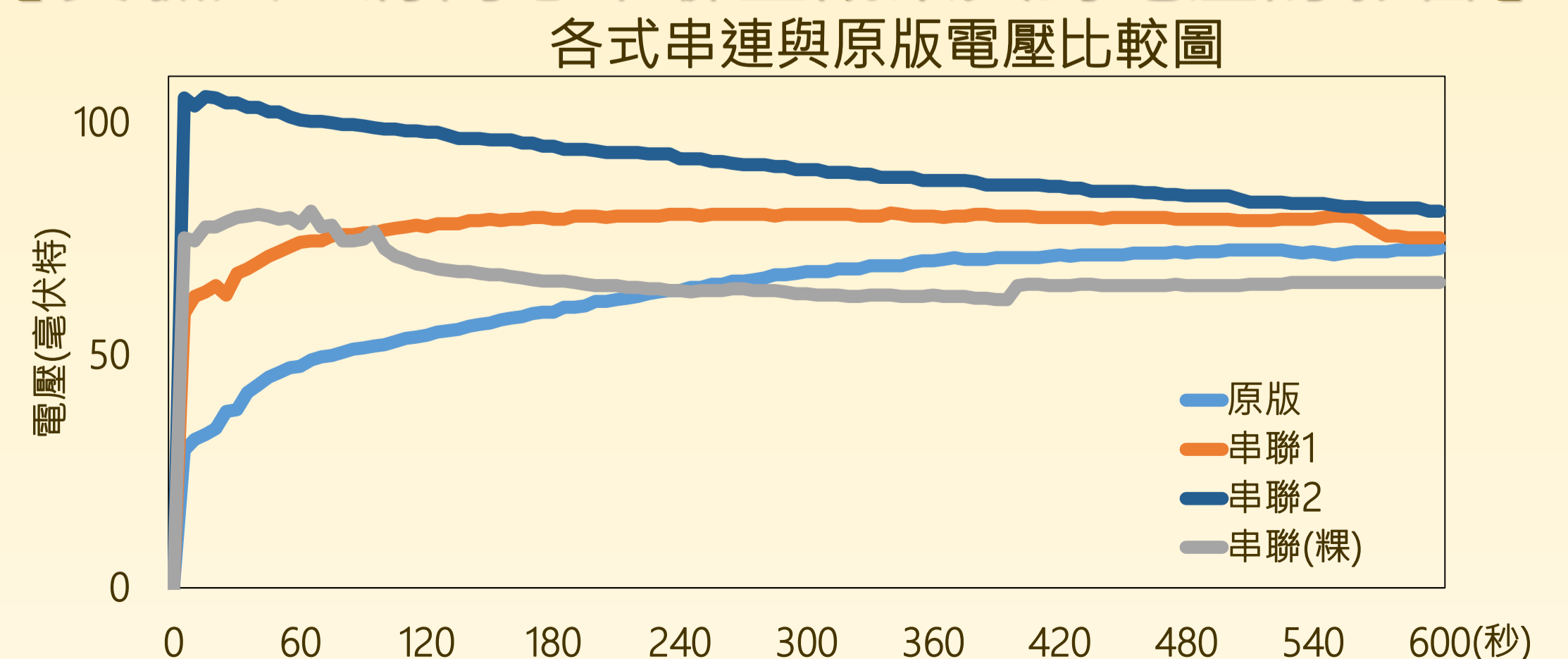
【實驗六：將鹽橋改為強電解質，對電壓的影響】



【實驗七：將鹽橋溶液與陰極溶液改為硝酸鈉】



【實驗八：將內芯串聯並觀察其對電壓的影響】



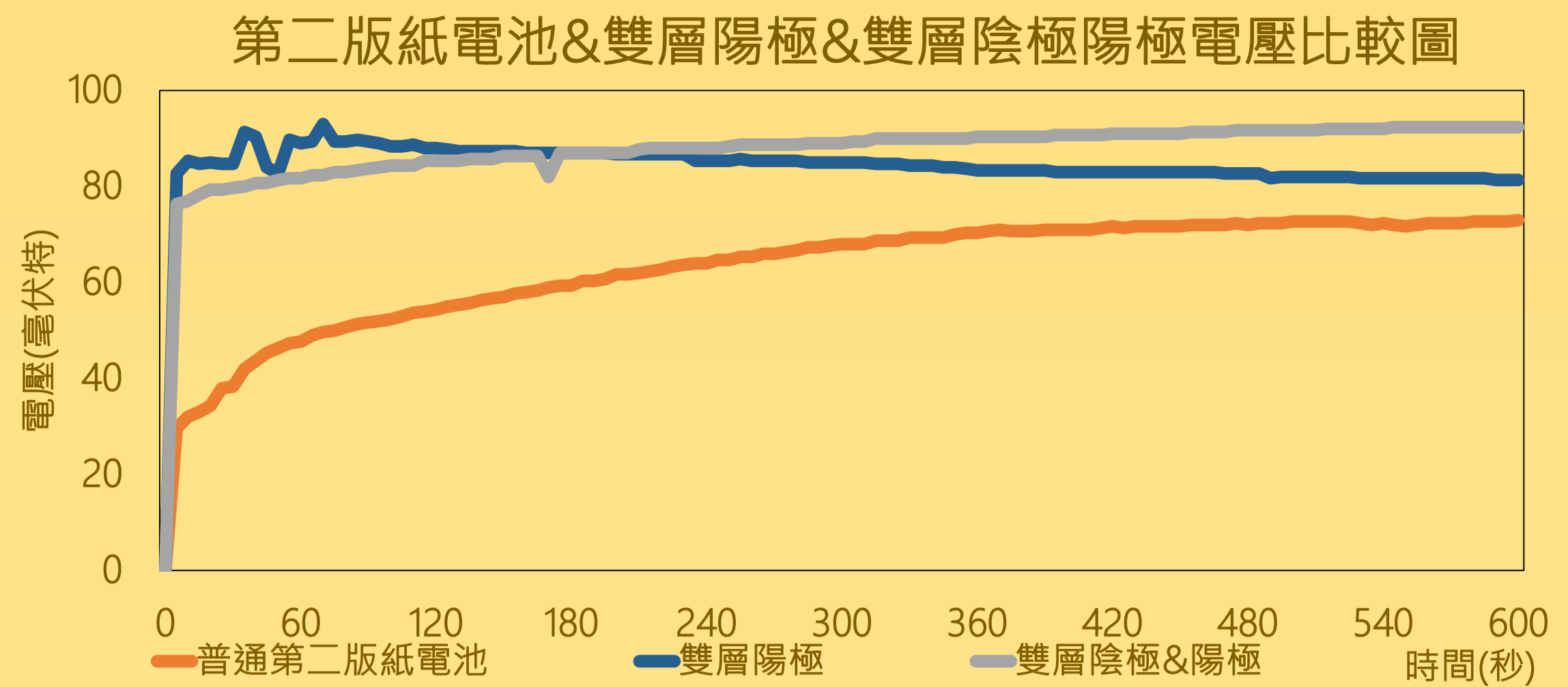
使用硝酸鈉溶液不會造成電壓劇烈升高。我們認為原因包括：

- (一) 緩衝液本身就是鹽類，改用硝酸鈉的差別不大。
- (二) 硝酸鈉具有毒性可能殺死部分食用酵母菌。

內芯串聯後電壓雖有上升，但隨時間下降。推測原因如下：

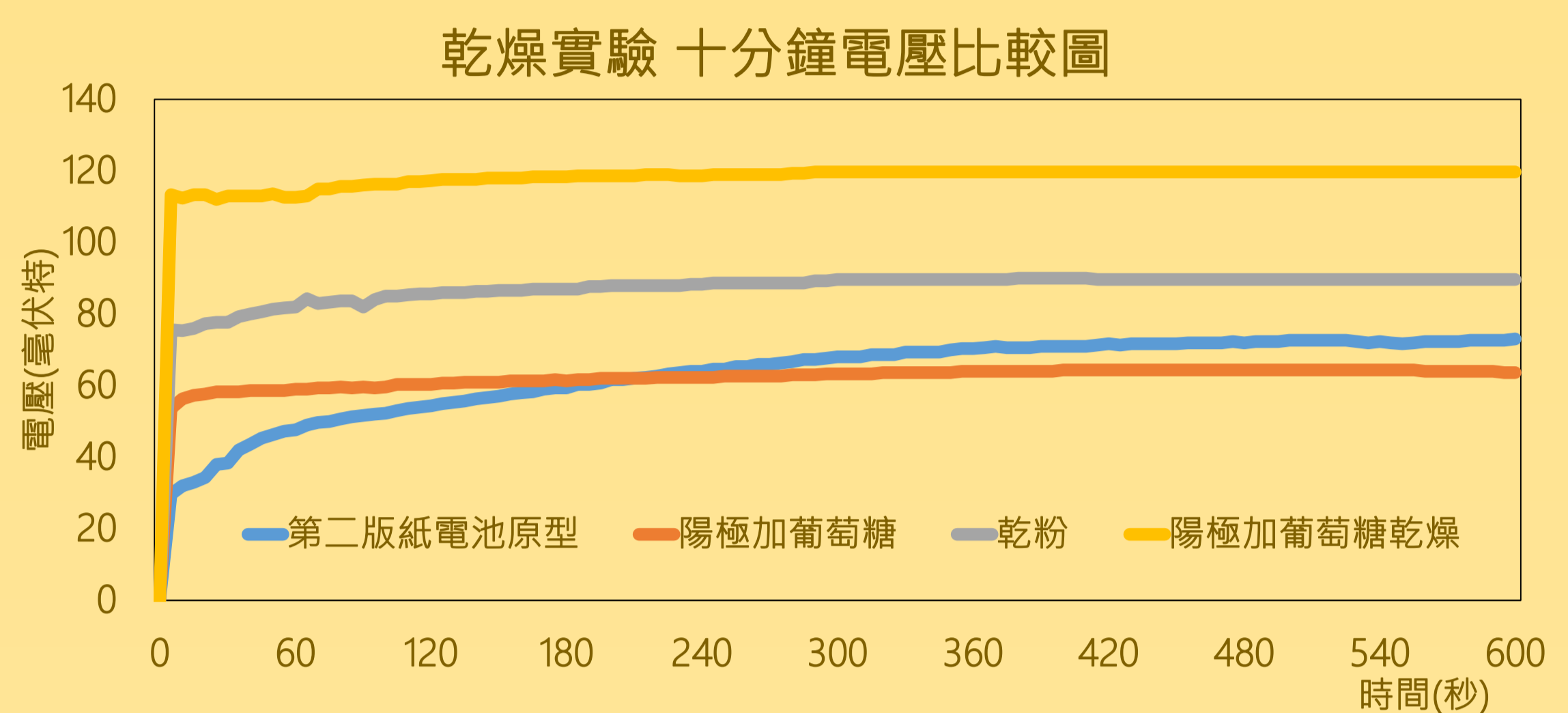
- (一) 內芯串聯後電阻太大，影響電壓。
- (二) 串聯兩組電池內芯，酵母菌溶液向下滲透。

【實驗九：分別將陽極增為兩層、陽極和陰極皆增厚為兩層並觀察其對電壓的影響】



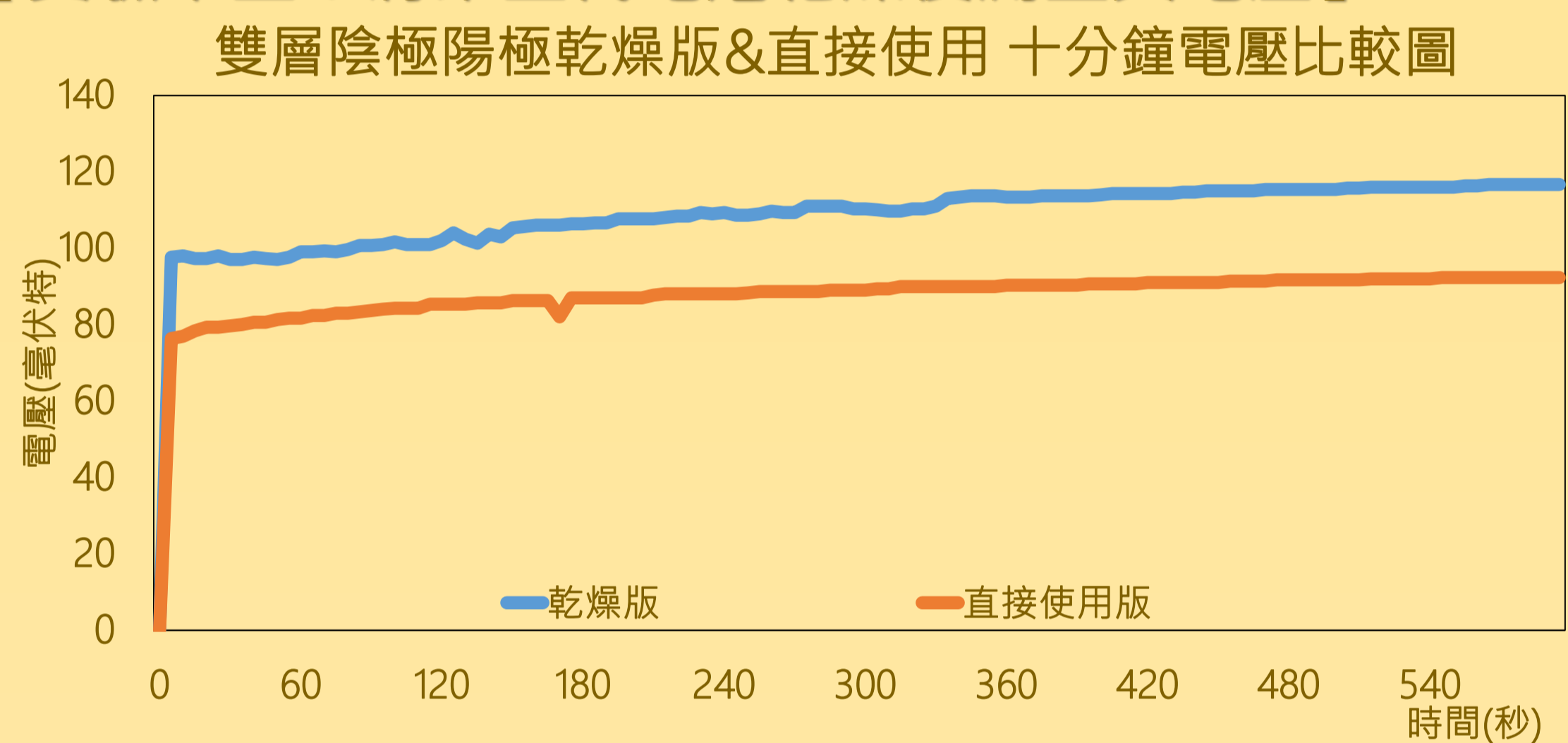
陰極和陽極均增加為雙層的電壓最高，為0.0923V，比第二版原型紙電池高了30%。電壓沒有呈現倍數增加，推測可能是將陰極、陽極增厚同時造成電阻與電壓的上升。
後續實驗中，我們將雙層陰極陽極紙電池做為第三代紙電池。

【實驗十一：將紙電池乾燥化，滴入純水並測量其電壓】

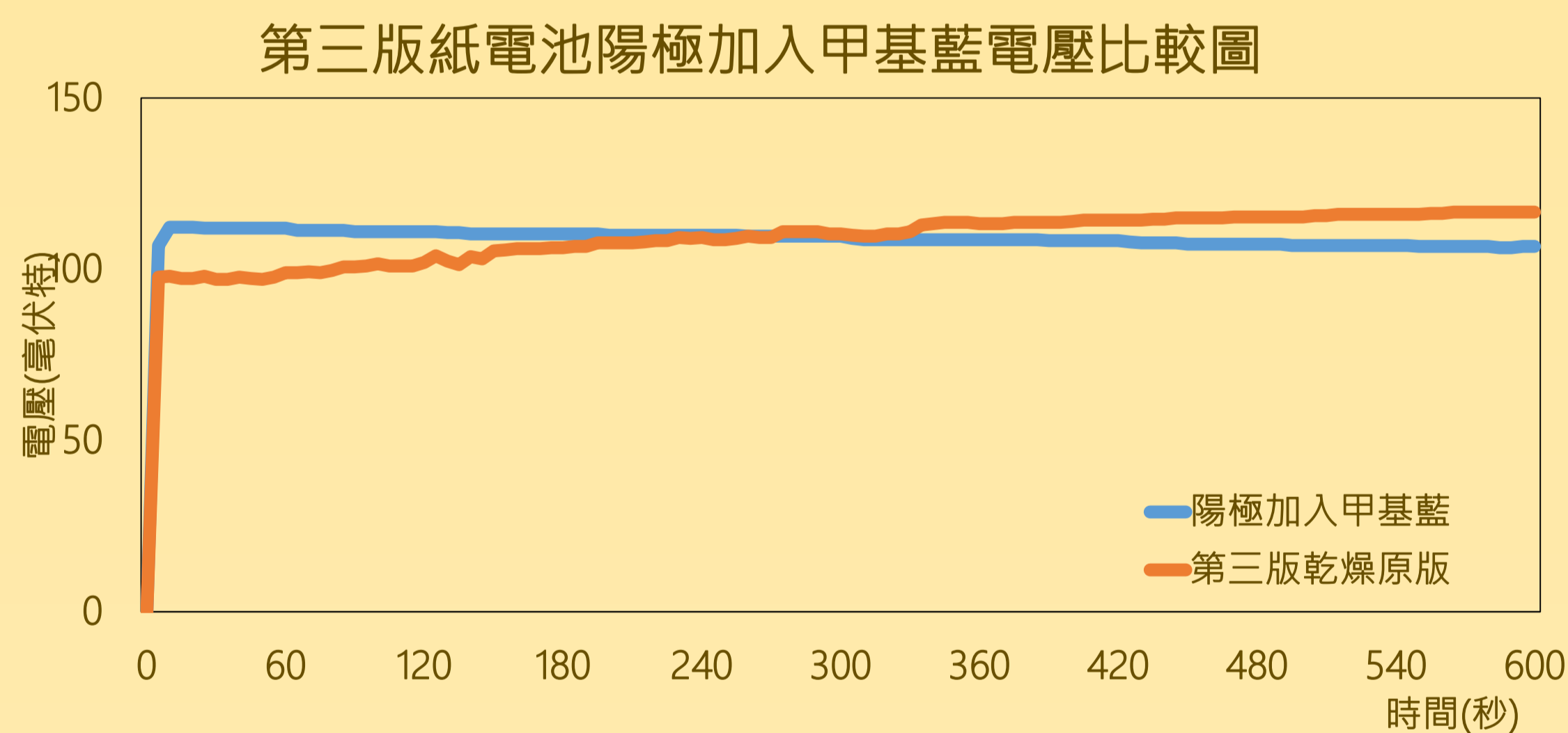


乾燥紙電池電壓均較高，酵母菌葡萄糖緩衝溶液乾燥紙電池更是原型紙電池電壓的1.6倍，我們認為電壓提高的主要原因是滴入純水後陰極與陽極的含氧量增加。

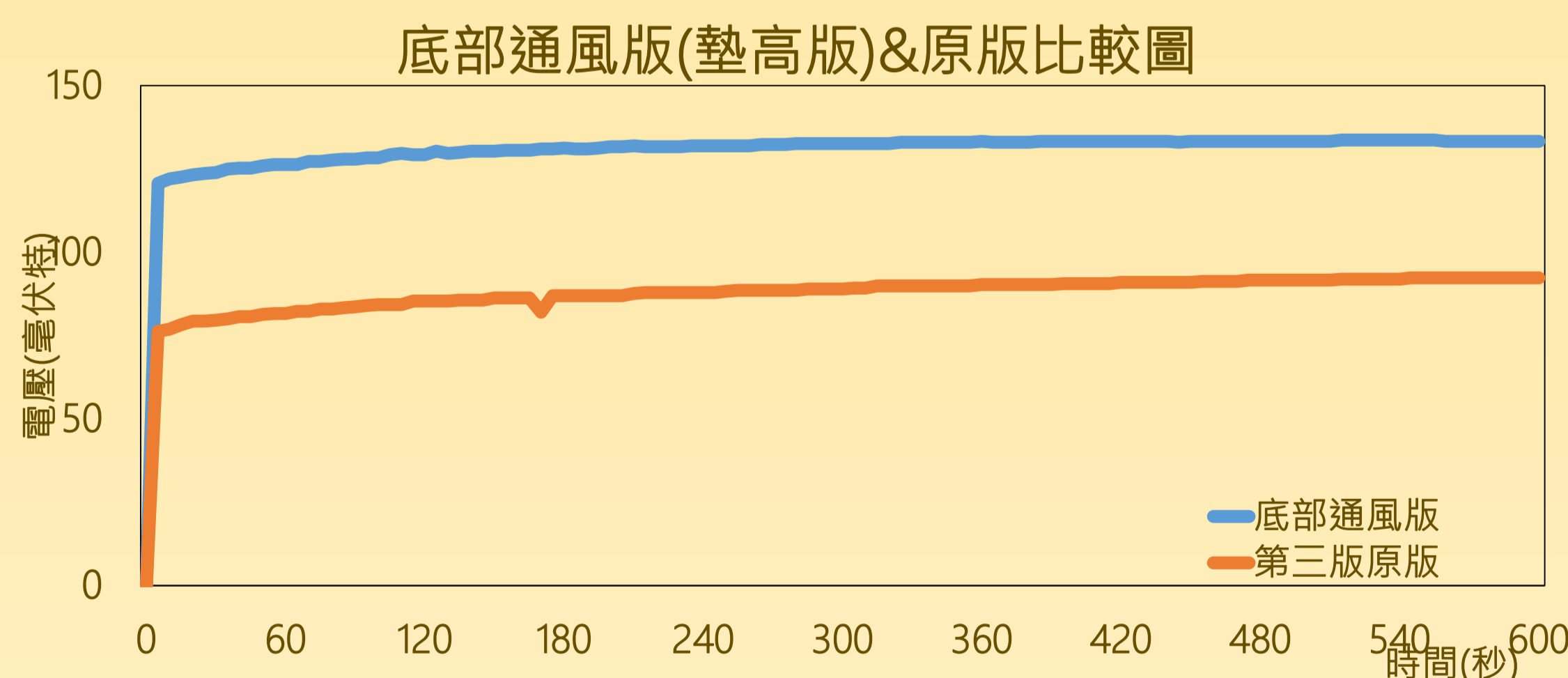
【實驗十三：將第三代電池乾燥後測量其電壓】



【實驗十五：在陽極加入電子梭觀察其對電壓的影響。】



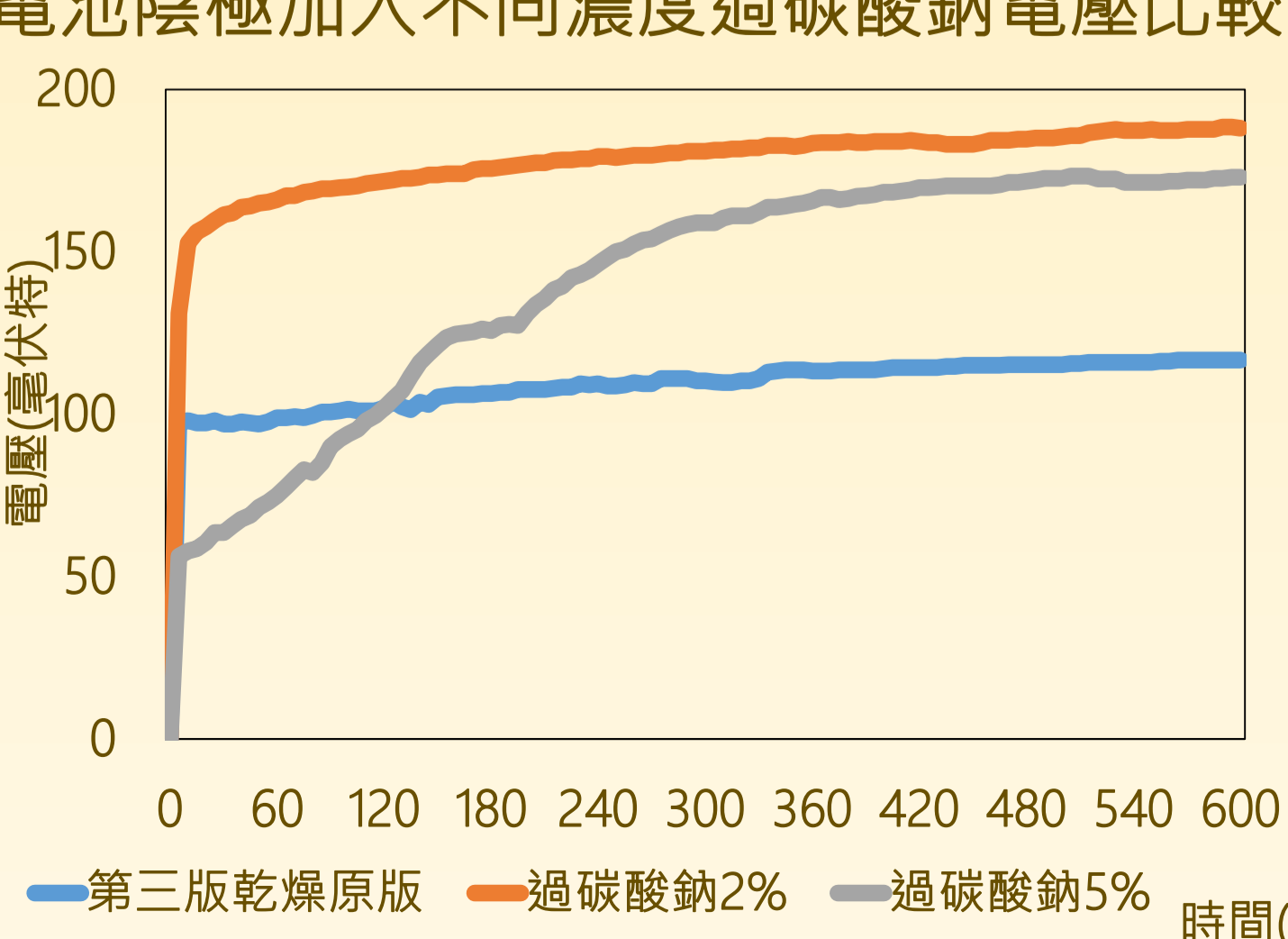
【實驗十七：將紙電池墊高使底層陽極可以接觸空氣，並觀察其對電壓的影響。】



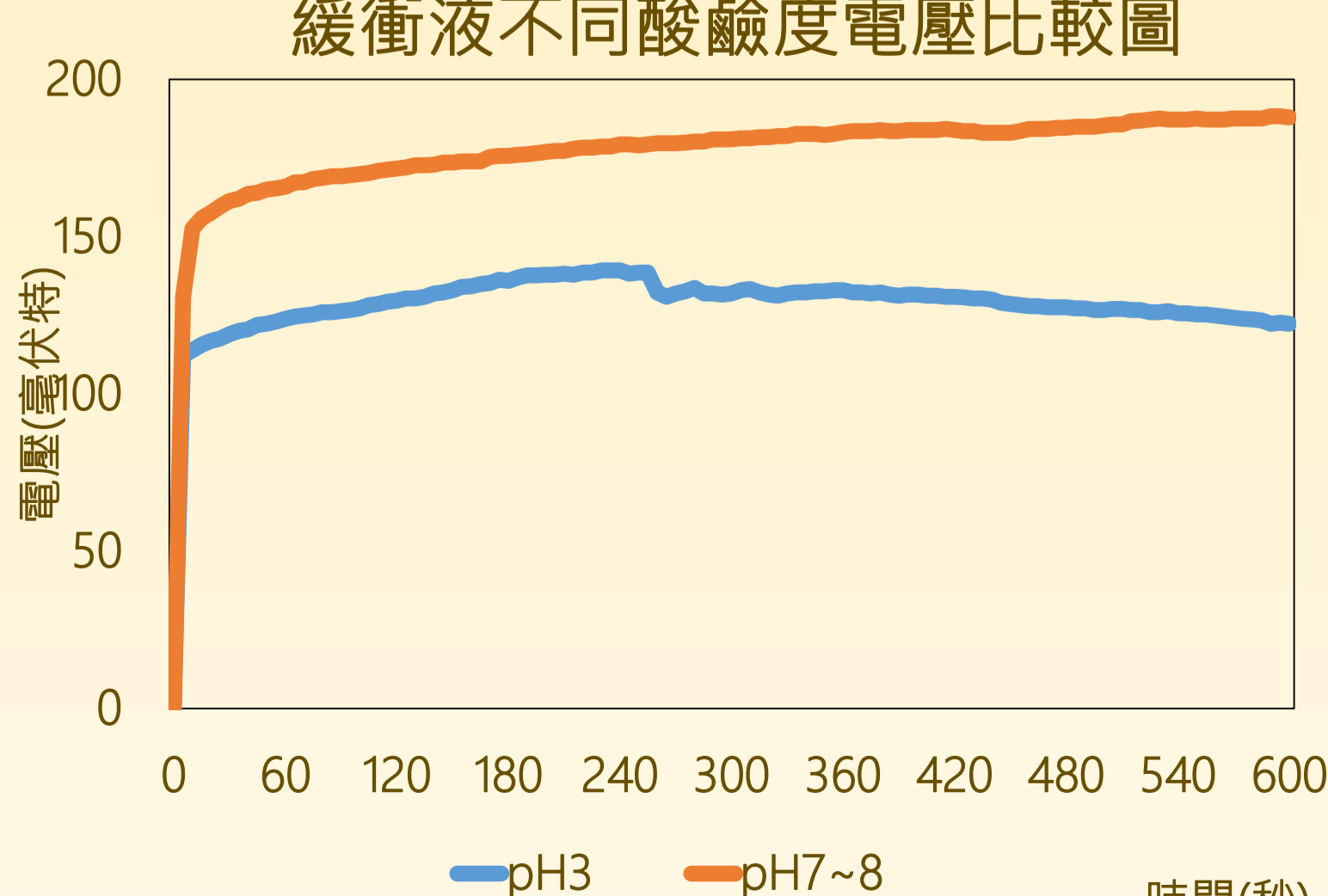
底部墊高後平均電壓為0.133伏，是原本的1.4倍。

【實驗十九：在陰極加入過碳酸鈉並觀察其對電壓的影響】

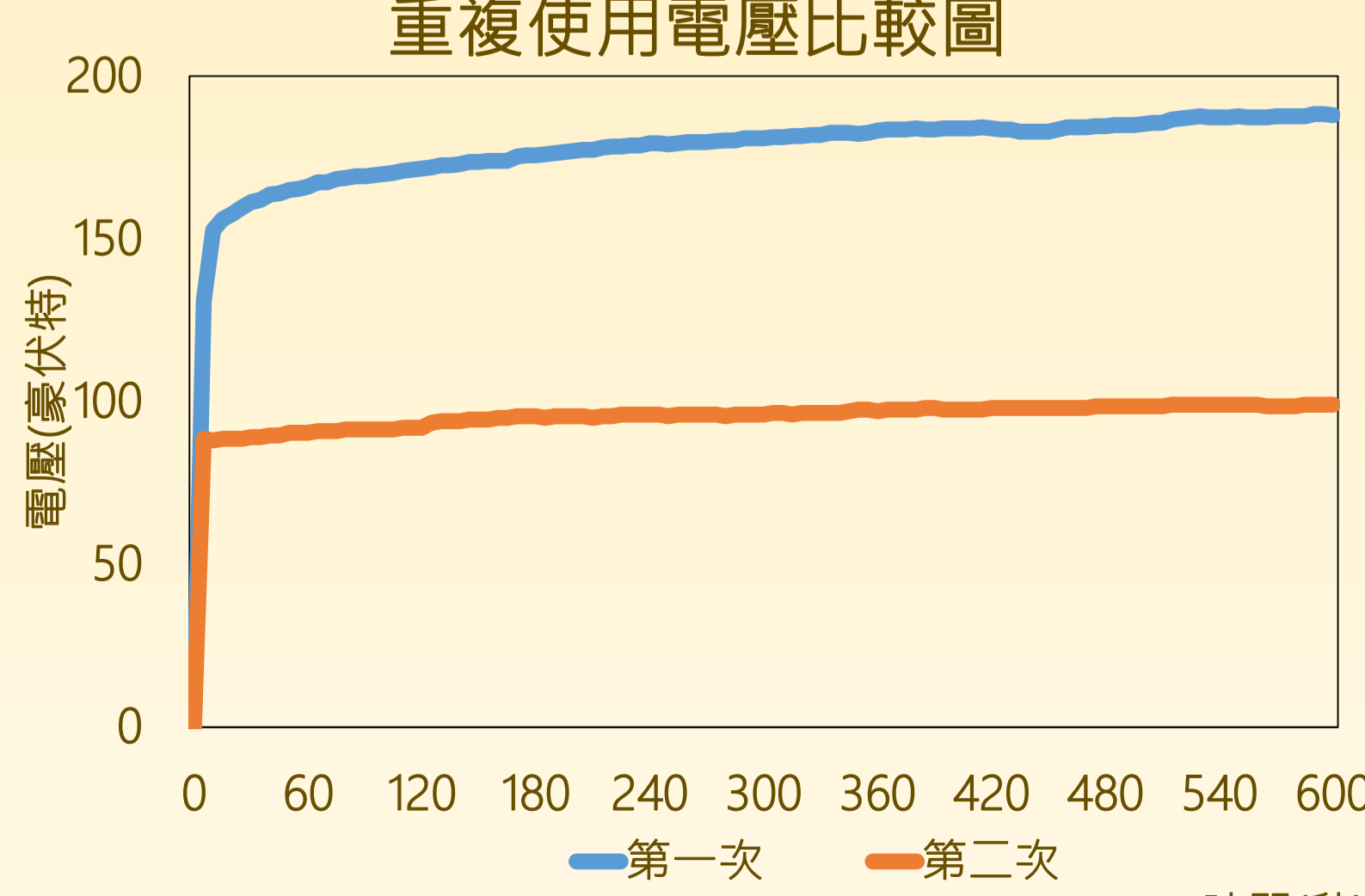
紙電池陰極加入不同濃度過碳酸鈉電壓比較圖



紙電池陰極加入2%過碳酸鈉緩衝液不同酸鹼度電壓比較圖

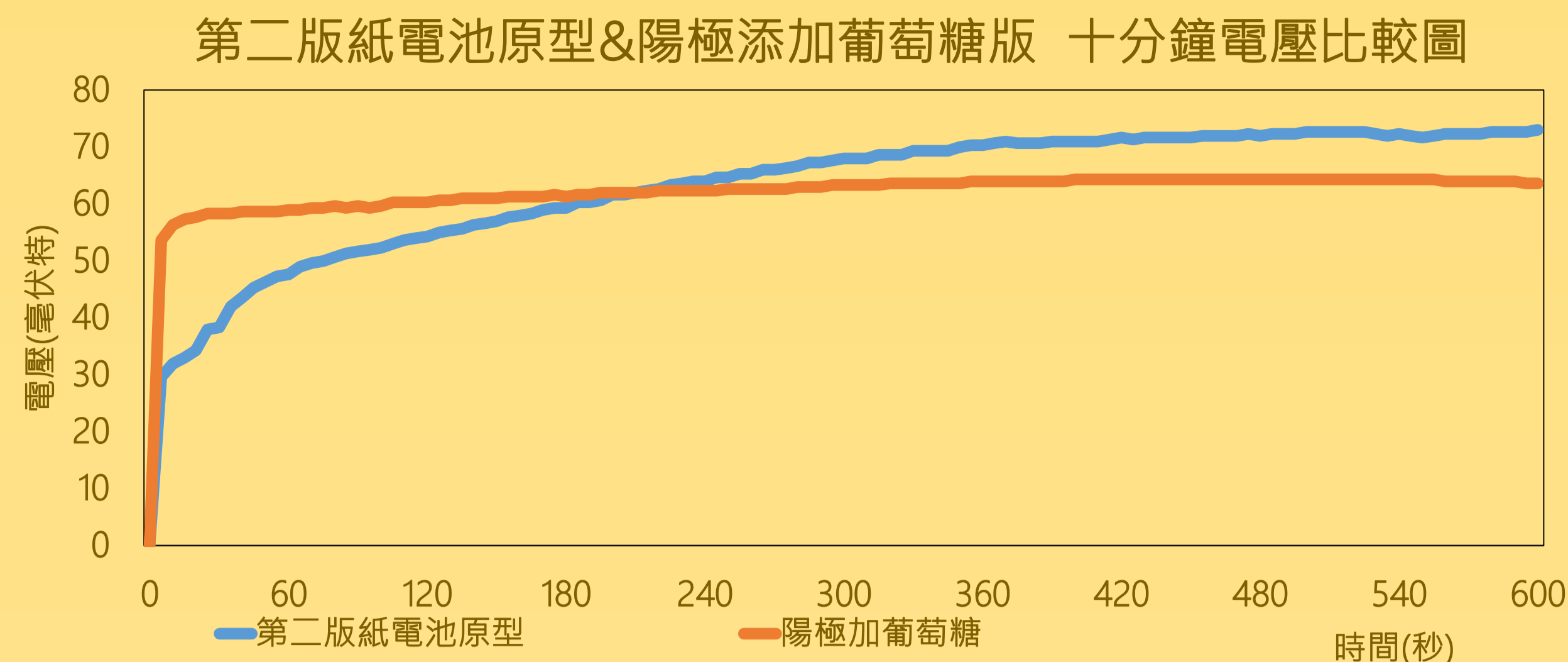


紙電池陰極加入2%過碳酸鈉重複使用電壓比較圖



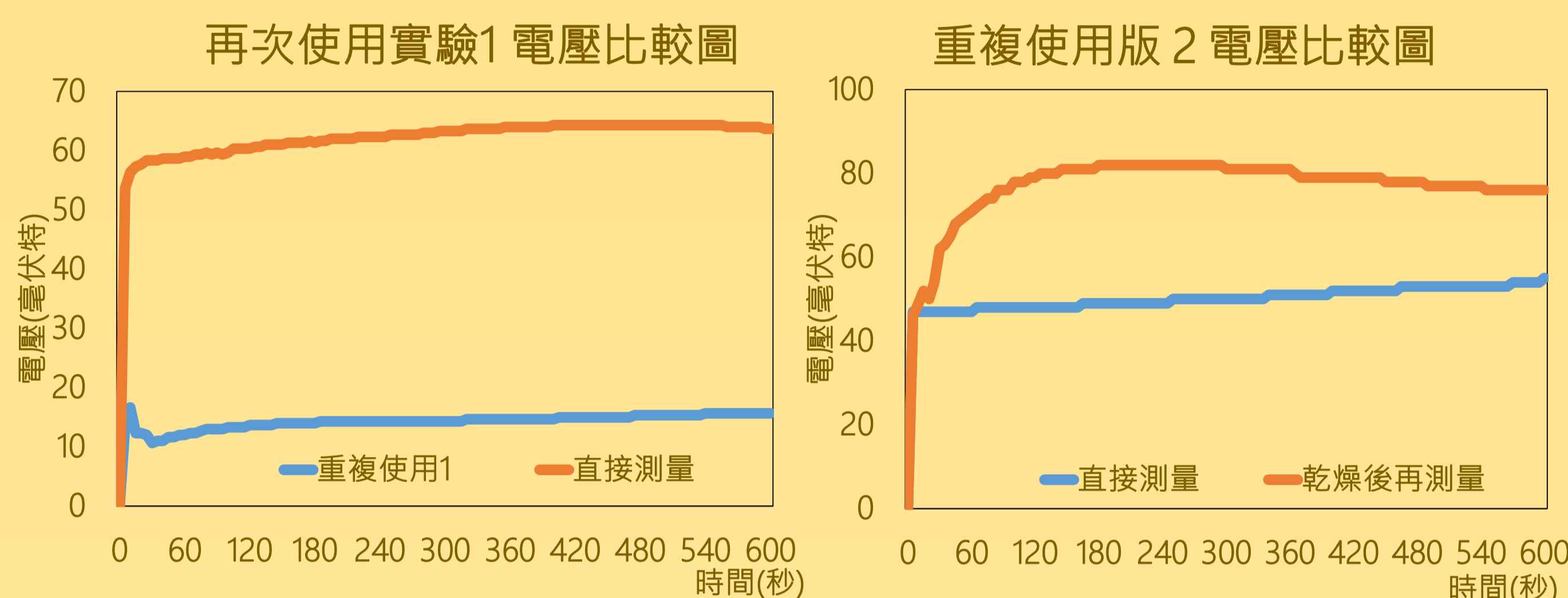
- 添加2%過碳酸鈉、維持Ph7~8緩衝溶液酸鹼度的效果最好。
- 重複使用後電壓大幅下降，因此重複使用的可能性有待觀察。

【實驗十：在陽極加入葡萄糖，並觀察其對電壓的影響】



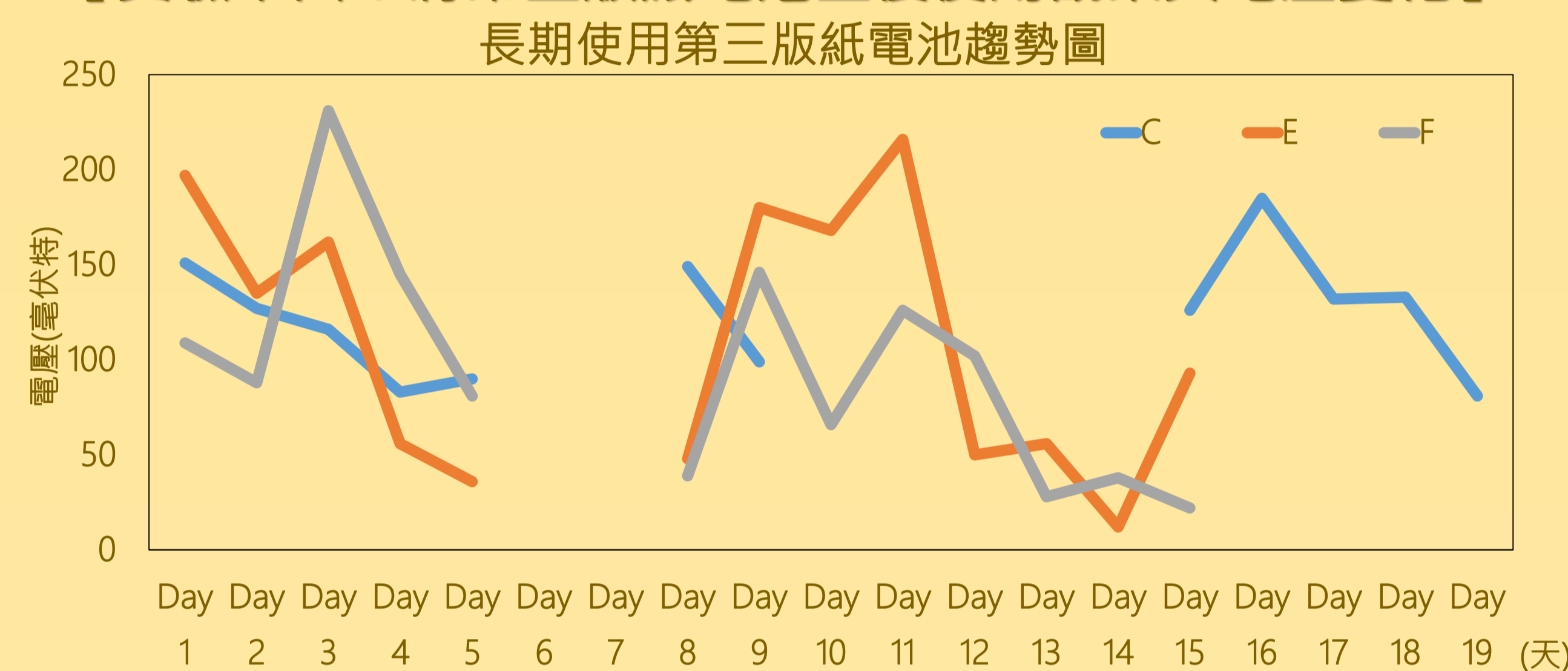
加入葡萄糖後電壓較第二版紙電池原型低。推測是因為葡萄糖使部份的酵母菌轉而進行無氧發酵作用（還原反應）而非陽極應該要有的氧化反應，因此造成電壓的降低。但若要實現酵母菌紙電池的保存，需供給葡萄糖作為養分，因此乾燥實驗的實驗品依然會加入葡萄糖。

【實驗十二：將使用過後的紙電池放置至乾燥後再次使用】

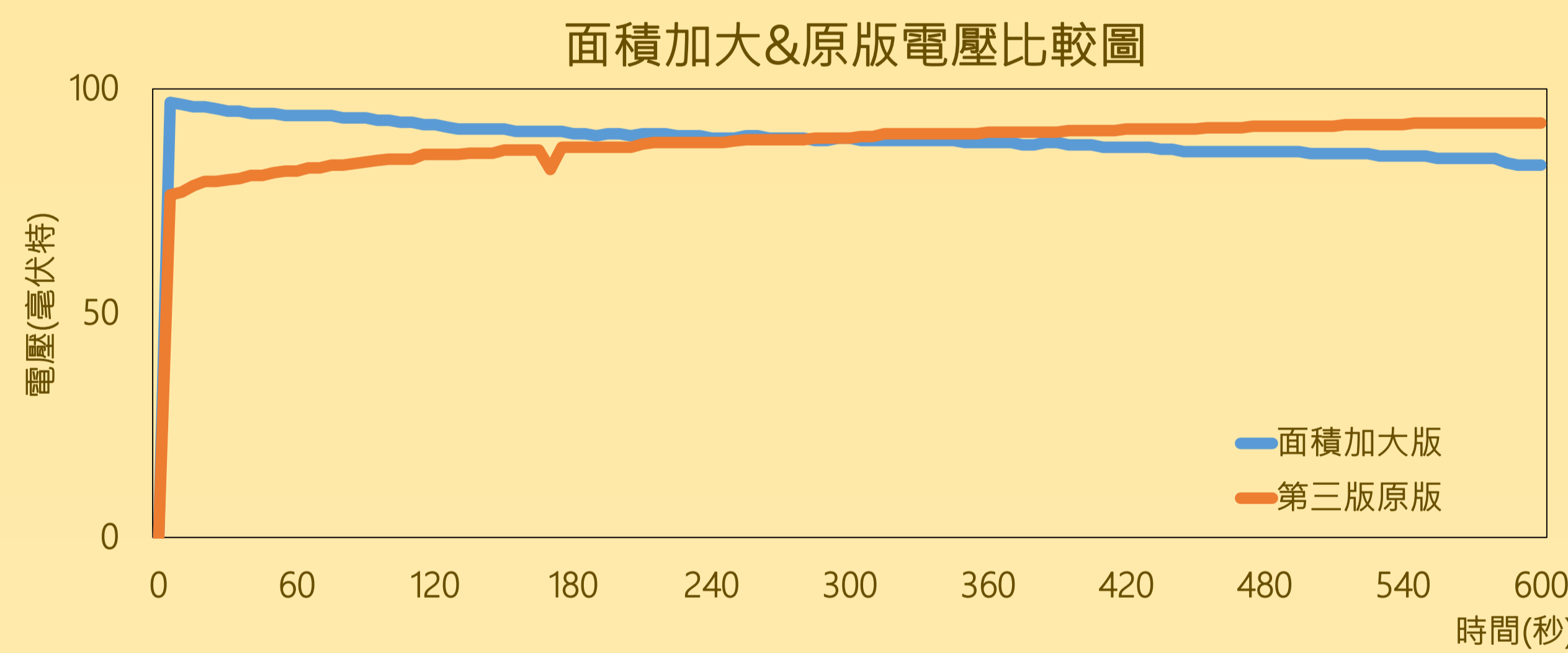


實驗十的紙電池放置乾燥後再使用，電壓只有原先的24%。我們認為與電極上的反應物有關，因此更換電極進行了另一輪實驗，實驗結果如左，電壓由0.055伏升至0.076伏，證實更換電極會造成差異

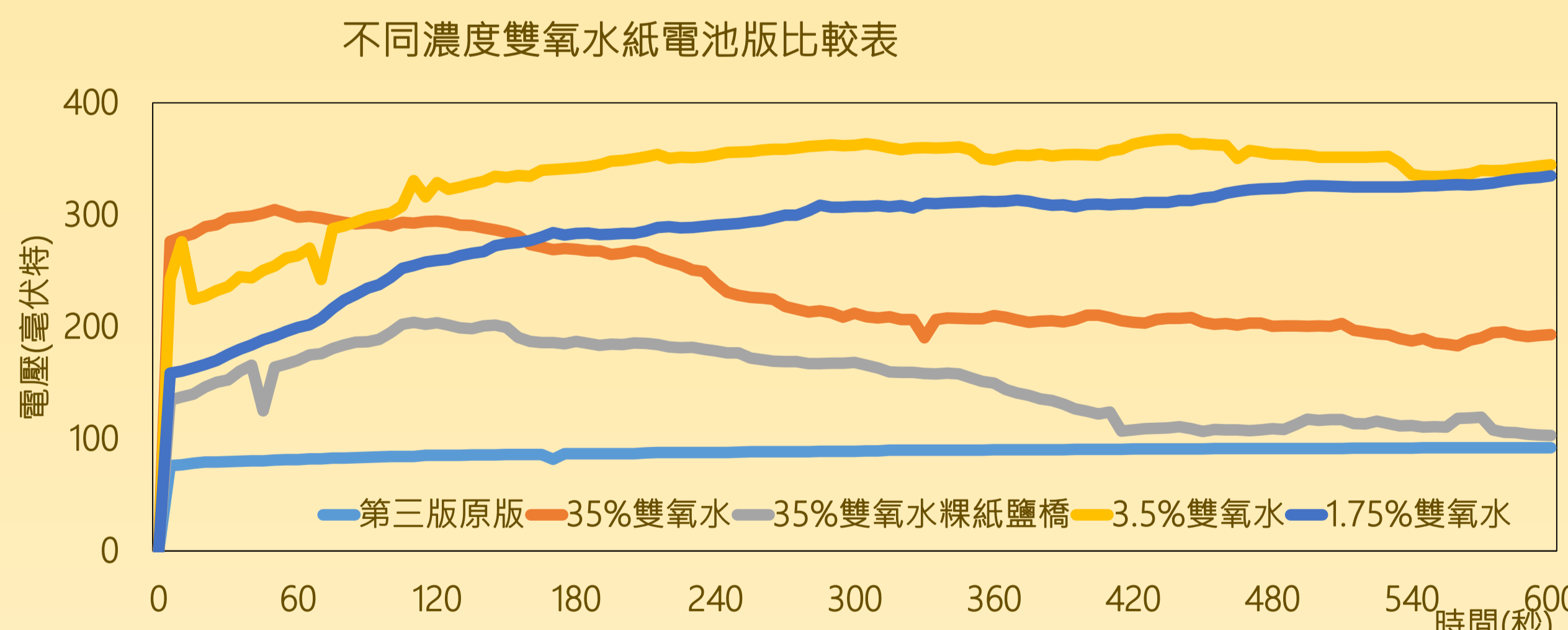
【實驗十四：將第三版紙電池重複使用觀察其電壓變化】



【實驗十六：將紙電池表面積加大並觀察其對電壓的影響。】



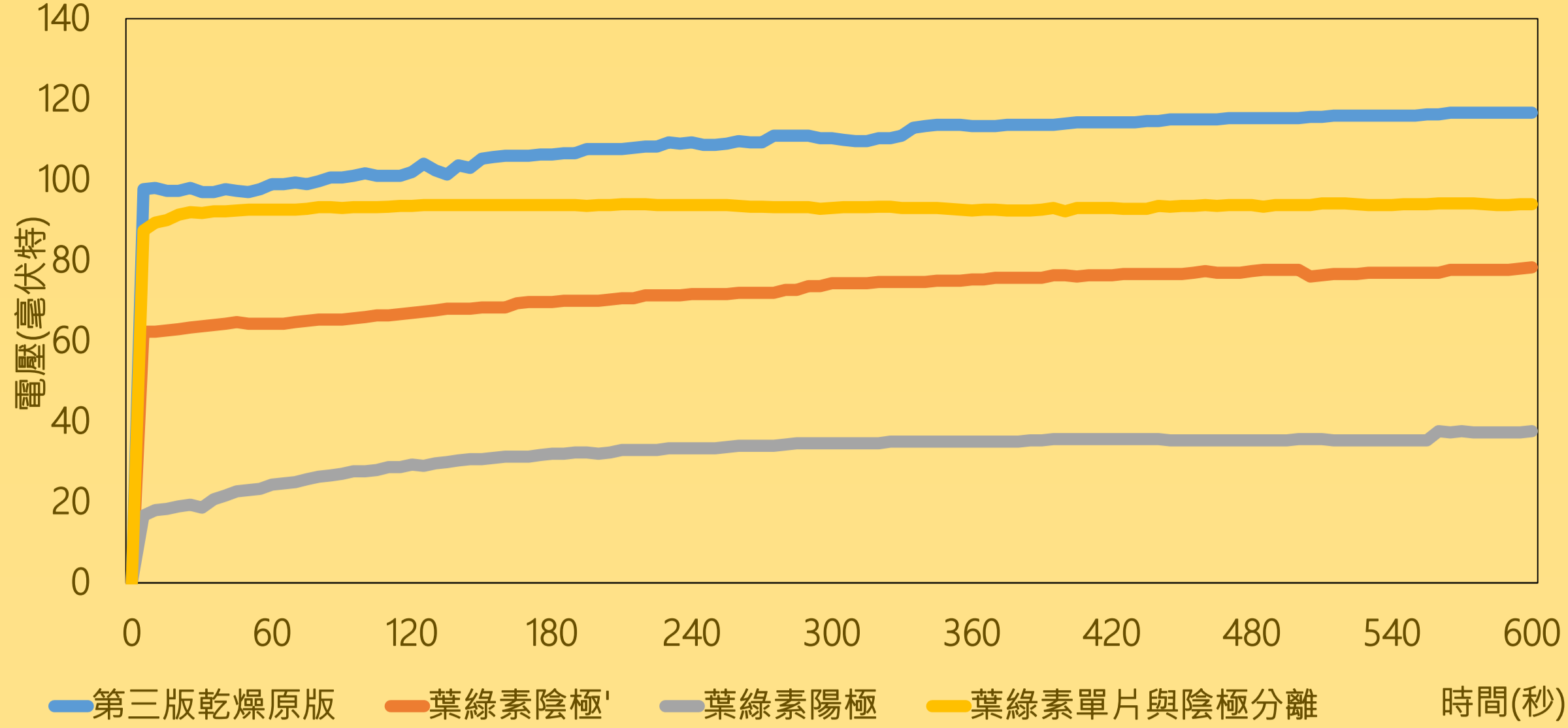
【實驗十八：在陰極加入不同濃度雙氧水，觀察對電壓的影響。】



紙電池第三版以陰極加入3.5%雙氧水的效果最好，但實驗過後數據持續下降，1.75%的數據則是持續上升至0.33伏左右後保持穩定，因此1.75%雙氧水較為適合。

【實驗二十：在紙電池加入葉綠素，並觀察其對電壓的影響。】

葉綠素添加&第三版原版紙電池電壓比較圖

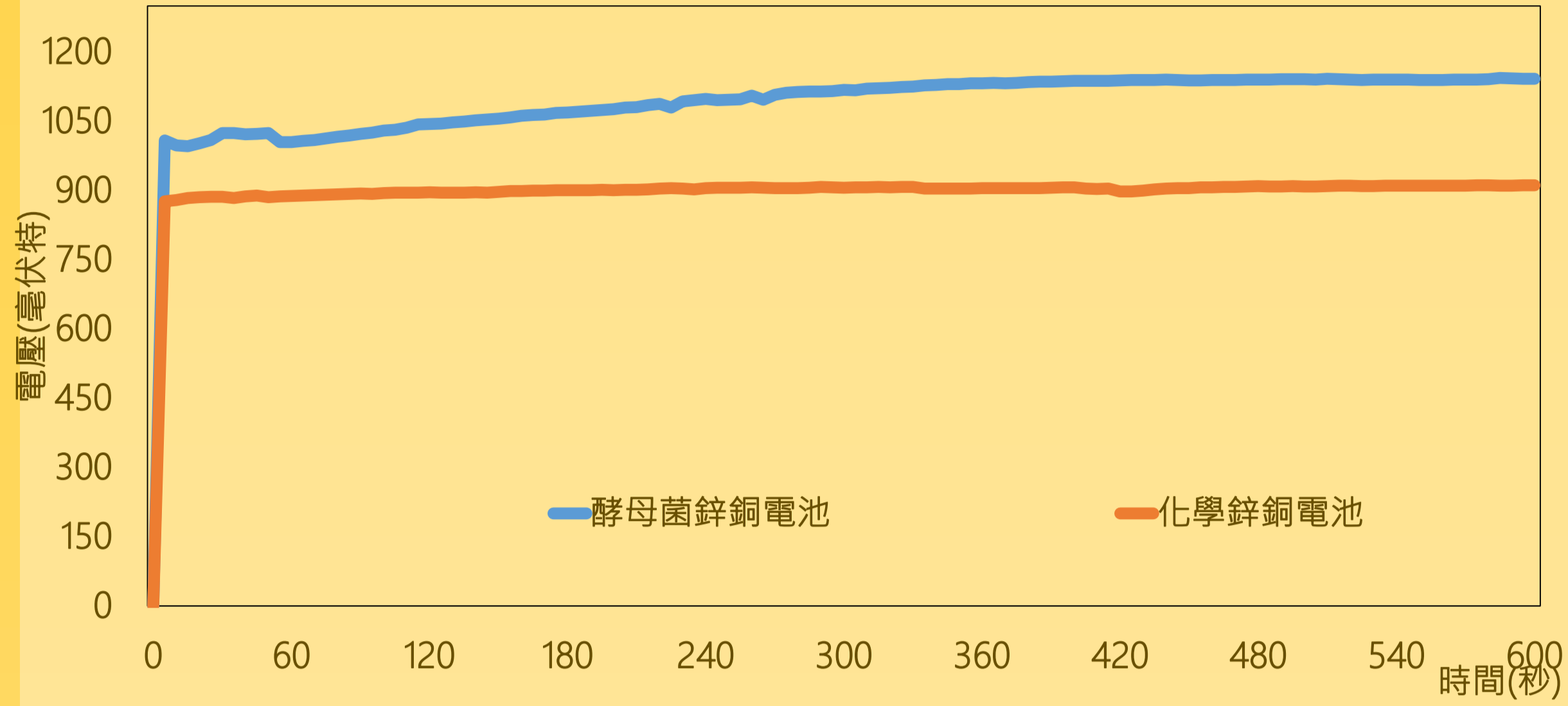


我們將葉綠素乾燥在紙上後進行實驗，希望葉綠素能行光合作用製造氧氣以代替過碳酸鈉或雙氧水等化學藥劑，但實驗結果顯示添加葉綠素沒有幫助，可能原因如下：

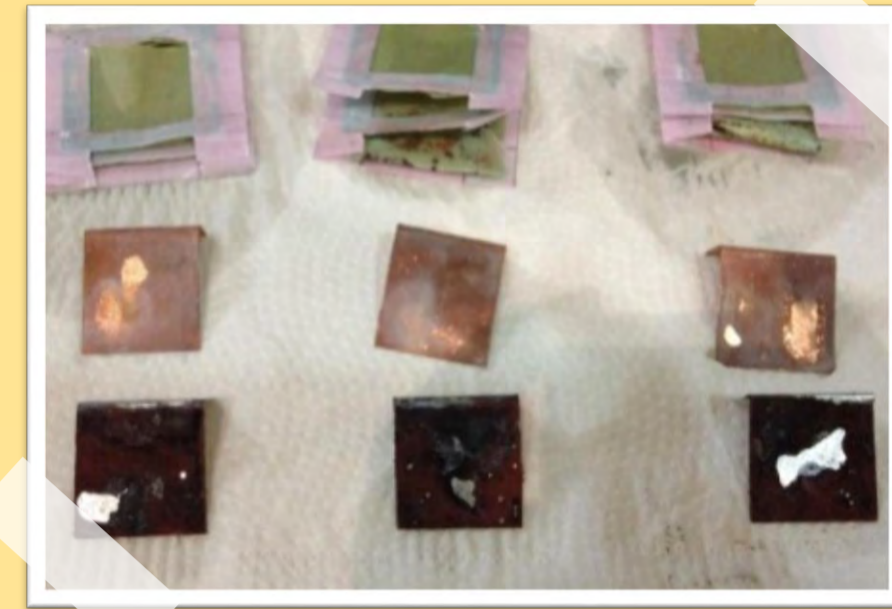
- (一) 葉綠素無法在乾燥後加水的狀況下行光合作用反應。
 - (二) 葉綠素在保存時所受的光照不夠，因此在實驗時已經死亡。
 - (三) 葉綠素單層的透氣性太差(在滲透時發現滲透很難進行)，妨礙陰極的反應。
 - (四) 光合作用的反應不足。
- 因此我們無法將其應用在實驗二十一最終版的實驗上。

【實驗二十一：將第三版紙電池的銅電極更換成鋅、銅電極，在陰極添加過碳酸鈉、增加墊高裝置，並與紙製化學鋅銅電池比較。】

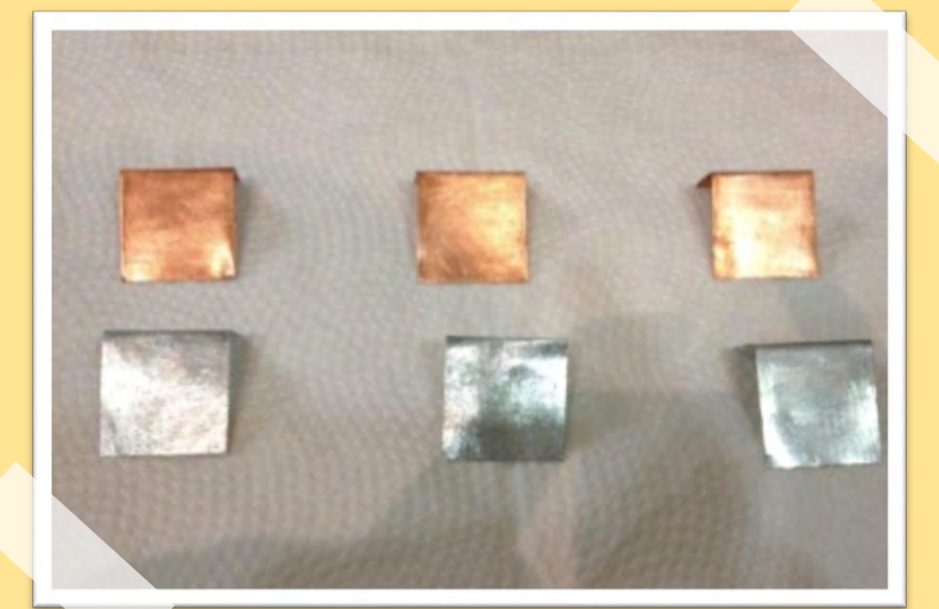
化學&酵母菌版鋅銅紙電池電壓比較圖



實驗中化學版鋅銅紙電池的平均電壓為0.911伏，酵母菌版鋅銅紙電池的平均電壓為1.142伏，比化學版高了25%。實驗結束後，發現經過發電時劇烈的化學反應，化學組的電極上均有大量生成物(如左圖)，可能會影響接續的使用。但酵母菌電池使用後電極上並沒有這個現象，幾乎像沒有使用過一樣。(如右圖)可將此視為酵母菌發電的一項優勢。



化學組電池電極



酵母菌組電池電極

結論

一、食用酵母菌紙電池的結構與材料

- 食用酵母菌應以1.5g：20ml緩衝溶液的比例為最佳。
- 使用第二版紙電池，將陰極陽極均加厚為兩倍(也就是第三版紙電池)，並將底部墊高使陽極能夠接觸到空氣，會得到較高的電壓。
加厚兩倍的陰極和陽極能夠增加發電量，而能接觸空氣即可行有氧呼吸作用，會得到較高的電壓。
- 食用酵母菌紙電池中，應使陰極接觸空氣或是加入電子接收者。
實驗結果顯示雙氧水以1.75%的濃度為最佳，缺點是不能乾燥使用，可以2%的過碳酸鈉來代替雙氧水。
- 食用酵母菌紙電池的鹽橋應選擇可過濾食用酵母菌但透氣的材料
- 使用金屬鹽橋作為紙電池的鹽橋易造成電壓不穩定。
根據本實驗的分析，金屬鹽橋(實驗中為鋁箔紙)會與電極和溶液發生反應，造成電壓的不穩定，不適合作為鹽橋使用。且實驗中無法證明金屬鹽橋能有效降低內電阻。
- 將鹽橋、陰極的緩衝液調換為硝酸鈉，並沒有有效提高電壓。
- 使用純水可以提高食用酵母菌紙電池的電壓
水中的氧氣幫助酵母菌電池提高電壓，而乾燥版的紙電池也不會因為缺乏離子而造成電壓下降。
- 加入葡萄糖造成食用酵母菌紙電池的電壓下降
葡萄糖使原本就處於缺氧環境的酵母菌行無氧發酵呼吸作用，造成電壓下降。
- 使用葉綠素行光合作用來增加氧氣的作法有待探討
實驗六組中只有一組能夠有效的提升電壓，且很快就開始下降，若能突破這個困境，就可以達成真正永續環保的酵母菌發電。
- 使用較酸的緩衝液無法有效提高電壓
- 添加甲基藍等電子梭無法幫助酵母菌提高發電效率。
- 若使用化學材料提供氧氣，需再探討重複利用的可行性
沒有添加化學材料的酵母菌電池雖然在每天重複使用時會減少電壓，但放置一陣子就可以慢慢有所恢復，但使用的化學材料為消耗品，若沒有補充就沒有增加電壓的優勢。

二、食用酵母菌紙電池的優勢

- (一) 以環保材質製作，減少汙染。
- (二) 以食用酵母菌為發電材料，安全又低環境成本。
- (三) 製作簡單，材料取得容易。
- (四) 能夠乾燥保存，且能重複使用。
- (五) 使用鋅銅電極時，電壓較一般鋅銅電池紙電池高25%。
- (六) 電極不會因為劇烈的化學反應而產生大量反應物，電極壽命延長。
- (七) 使用的材料僅需要燒杯版的極少量，就可發出一樣甚至更高的電壓。
- (八) 體積小而扁平，節省空間。
- (九) 搭配鋅銅電極電壓可達1.2伏，接近真正的電池。

三、食用酵母菌紙電池的應用：

根據本實驗，在添加雙氧水的狀況下電壓可以達到0.335伏，為了乾燥而使用過碳酸鈉的狀況下也可達到0.188伏，就算不做任何添加，電壓也約有0.133伏以上，通常食用酵母菌電池的電壓約有0.1~0.2伏，因此本實驗中紙電池的電壓並不遜色，尤其一個紙電池約使用0.075g的食用酵母菌乾粉，成本很低，又使用環境友善的材質製作(紙、蠟為主體)，與鋅銅電池結合後約有1.142伏，最高電壓達到1.205伏，比化學版鋅銅紙電池還要高，同時又不會過度損耗電極，能夠延長電極的壽命，具有相當的發展潛力。且本電池可以乾燥保存，只要滴入水便可使用，還可以重複使用，若經過充分發展，應能成為綠色能源的一種選擇。

四、食用酵母菌紙電池未來的延伸研究

經過查詢，發現一些光合細菌能和酵母菌一樣在乾燥時進行休眠，沾濕即能行光合作用，若能以此與酵母菌發電，或許能解決現在的困境。另外，在實驗二十的「單層葉綠素」實驗中，模組C的滲透速率較其他組更快，表面也觀察到生成的氣泡，且電壓提高到0.4v左右才開始下降，但之後再進行實驗無法再還原此情況，因此在實驗中不採計此結果；但我們認為此現象值得深入探討。

