

屏東縣第65屆國民中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：化學科

組 別：國小組

作品名稱：「鋅」力「銅」盟——「匙」「檸」來電

關 鍵 詞：水果電池、鋅銅鑰匙、檸檬發電

編號：A3013

目錄

摘要.....	01
壹、前言(含研究動機、目的、文獻回顧).....	01
貳、研究設備及器材.....	07
參、研究過程及方法.....	09
肆、研究結果.....	15
伍、討論.....	26
陸、結論.....	29
柒、參考資料及其他.....	30

摘要

本實驗中，我們嘗試去探討各種影響水果電池發電功效的因素，如電解液的成分、新鮮狀態及鹽度、金屬電極種類、水果浸泡水溶液種類等，並設法運用一顆檸檬產生最大的發電功效。經實驗後發現以下結果：

- 一、果汁的電功率主要受酸鹼值影響較大。
- 二、果汁製成的電解液在新鮮狀態下和冷凍後恢復常溫狀態時，電流、電壓及電功率都相近。
- 三、電解液加入食鹽水可以提高電流值與電功率，50%時電功率最高。
- 四、透過浸泡小蘇打水、醋和雙氧水，水果電池電流、電壓都會升高，可提升發電效果。
- 五、「鎂－銅」電極組合使LED燈發亮或電子計時器發亮的效果優於「鋅－銅」電極組合。
- 六、串聯組數增加可以提高水果電池發電效果。
- 七、運用一顆檸檬及家用鋅製、銅製鑰匙進行串聯，可提供緊急時使用低功率的電子產品。

壹、前言

一、研究動機

我們四年級上課時曾經聽自然老師分享利用水果來發電的例子，覺得能用水果發電很神奇，不僅比較不會產生有毒物質，也可以達到環境永續的目的。上了五年級後，自然課水溶液的單元，做了比較不同種類水溶液導電效果的實驗，也讓我們感到很好奇。之前凱米颱風、山陀兒颱風來襲，都造成許多住家有停電的情形，所以我們就想了解為什麼能用水果發

電，並試著研究如何用家裡常見的物品及水果來發電。

二、研究目的

(一)探討水果電池的發電原理。

(二)探討影響水果電池發電功效的因素。

- 1.比較水果帶皮榨汁與去皮榨汁所產生的電功率。
- 2.比較電解液新鮮狀態、冷藏後、冷凍後所產生的電功率。
- 3.比較不同鹽度之電解液所產生的電功率。

(三)探討如何運用一顆檸檬產生最大的發電功效。

- 1.比較檸檬浸泡不同水溶液所產生的電功率。
- 2.比較檸檬浸泡水溶液不同天數所產生的電功率。
- 3.比較不同串聯組數產生的電功率。

(四)探討利用家用鑰匙作為電極的可能性。

三、文獻回顧及前置實驗

(一)探討實驗電極間距—5cm

在實驗的過程中，金屬電極間距關係到實驗時裝電解液的容器大小與電解液的用量，我們希望在實驗時能用最少的電解液(能源)完成研究。閱讀相關研究，都說明電極間距愈近效果愈好(鄭甯、臧曼晴、吳欣叡、王宗臻，2016；蘇盈安、蘇盈宣2010)，我們進行實驗來比較效果。這時候剛開始進行實驗，所以我們沒有搾取新鮮果汁，而是用市售100%香檬原汁來進行實驗，也透過反覆練習來熟悉實驗的操作。

實驗A—間距由遠至近

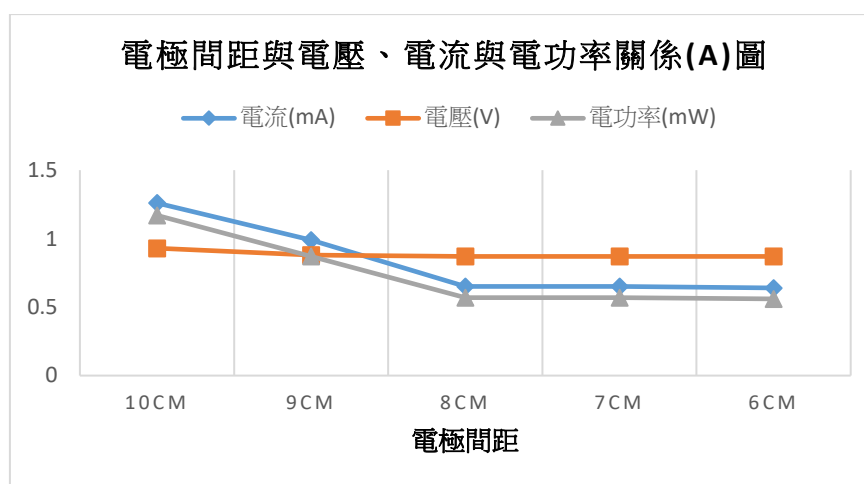
- 1.以量杯量取 300mL 的香檬原汁倒入容量 1000mL 塑膠盒內，以鋅片(1x10 公分)作為負極，銅片(1x10 公分)作為正極，電極深度為 3cm，電極間距從 10cm 開始，每次測量遞減 1cm。電極放入電解液中，再以三用電表測量電壓、電流並計算電功率(電壓值 x 電流值=電功率)。
- 2.每個操縱變因都測量三次求取平均值，降低實驗誤差。電極插入電解液 10 秒後讀

取數值，每次測量後均以清水清洗電極並擦乾，再進行下一次測量。

表1：電極間距與電壓、電流與電功率關係(A)表

電極間距	10cm	9cm	8cm	7cm	6cm
電流(mA)	1.26	0.99	0.65	0.65	0.64
電壓(V)	0.93	0.88	0.87	0.87	0.87
電功率(mW)	1.17	0.87	0.57	0.57	0.56

圖1：電極間距與電壓、電流與電功率關係(A)圖



實驗結果與討論：

1. 電極間距從10cm到6cm，電壓並沒有明顯的改變，電流則是以間距10cm最高，9cm次高，8cm、7cm、6cm都沒有明顯差異。
2. 我們推測可能是使用同一組鋅片和銅片，實驗初始的效果最佳，隨著實驗進行離子流失，發電效果變差，因此接下來的實驗，我們決定由電極間距相近者開始測量。

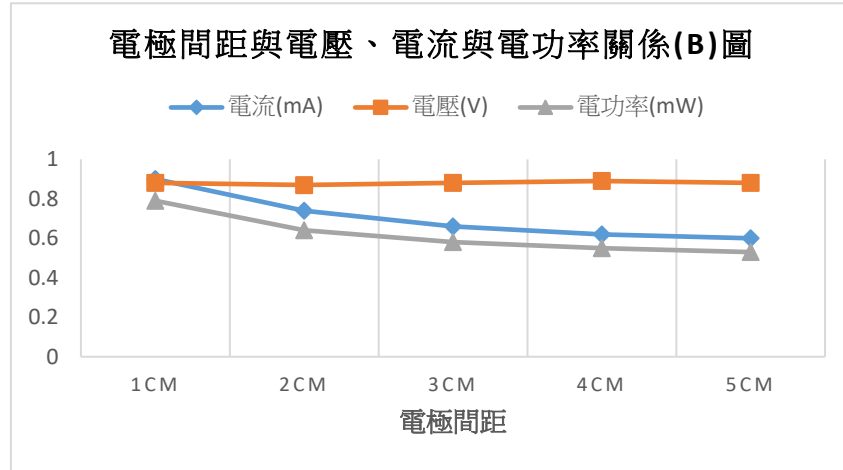
實驗 B—間距由近至遠

1. 實驗步驟與實驗A相同，僅改變電極間距由1cm開始，每次測量遞增1cm。

表2：電極間距與電壓、電流與電功率關係(B)表

電極間距	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm
電流(mA)	0.9	0.74	0.66	0.62	0.6
電壓(V)	0.88	0.87	0.88	0.89	0.88
電功率(mW)	0.79	0.64	0.58	0.55	0.53

圖2：電極間距與電壓、電流與電功率關係(B)圖



實驗結果與討論：

- 1.電極間距從1cm到5cm，電壓並沒有明顯的改變，電流則是以1cm最高，2cm次之，隨著間距增加，電流呈現遞減的趨勢，但3cm到5cm間的降低幅度不大。
- 2.這時候我們還是使用同一組鋅片和銅片，依照前項實驗及相關研究發現來推論，電極間距愈大電流應有明顯的差異，但是實際測量3cm到5cm電流差異並不大。可能是因實驗電極深度只有3cm，接觸面積3cm²，測量所得電流數值不高，不容易看出差異。
- 3.綜合實驗發現及器材使用的便利性，我們決定以電極間距5cm來進行實驗，這是100mL燒杯的直徑，對於剛開始進行實驗的我們，比較方便進行實驗操作。

(二)探討實驗電極深度—3cm

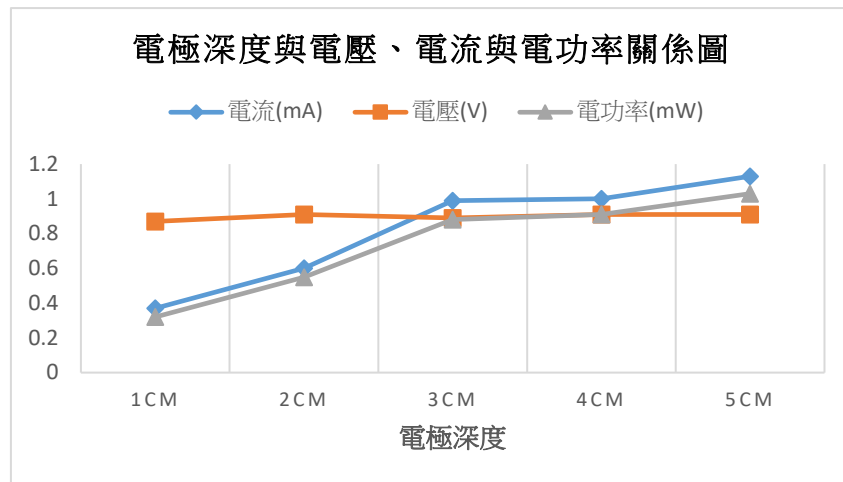
在實驗的過程中，金屬電極要放入電解液中多深，也會影響到實驗時電解液的用量及裝電解液的容器大小，我們希望能用最少的電解液(能源)完成研究。閱讀相關研究，都說明電極深度愈深，效果愈好，我們進行實驗來比較效果。

- 1.取前項實驗的香檬原汁，以量杯量取100mL的倒入燒杯內，以鋅片(1x10公分)作為負極，銅片(1x10公分)作為正極，電極深度1cm、2cm、3cm、4cm、5cm做測試。電極放入電解液中，再以三用電表測量電壓、電流並計算電功率(電壓值x電流值=電功率)。
- 2.每個操縱變因都測量三次求取平均值，降低實驗誤差。電極插入電解液10秒後讀取數值，每次測量後均以清水清洗電極並擦乾，再進行下一次測量。
- 3.每種電極深度測試時，均使用新的鋅片及銅片作為電極，降低實驗誤差。

表3：電極深度與電壓、電流與電功率關係表

電極深度	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm
電流(mA)	0.37	0.6	0.99	1	1.13
電壓(V)	0.87	0.91	0.89	0.91	0.91
電功率(mW)	0.32	0.55	0.88	0.91	1.03

圖3：電極深度與電壓、電流與電功率關係圖



實驗結果與討論：

- 1.電極深度從1cm到3cm時，電流升高，電壓沒有太大差異，電功率大小隨電流改變。
- 2.電極深度從3cm到5cm時，電流並未升高太多，電壓也沒有太大差異。

綜合上述實驗發現，我們決定以電極深度3cm來進行實驗。

(三)探討實驗使用的金屬電極—「鋅—銅」效果佳易取得，「鎂—銅」效果更好

我們閱讀過去的科展報告及網路相關資料後，發現以「鋅片」作為負極，「銅片」作為正極的金屬片組合能獲得較高的電功率(黃淪捷，2024；鄭甯、臧曼晴、吳欣叡、王宓臻，2016；蘇盈安、蘇盈宣，2010)，且鋅片與銅片容易取得，因此在研究前半部分，我們都以「鋅—銅」的電極組合測量電功率。

然而，後來閱讀的資料發現以「鎂片」作為負極，「銅片」作為正極的金屬片組合較「鋅—銅」的組合效果更好，因此在進行實驗測量後，研究後半部分，我們加入「鎂—銅」組合進行實驗。

- 1.將一顆新鮮檸檬對半切成兩塊，分別以1x4公分的「鋅—銅」電極組合及「鎂—銅」電極組合，電極深度為2cm，將電極插入檸檬中，再以三用電表測量電壓、電流並計算

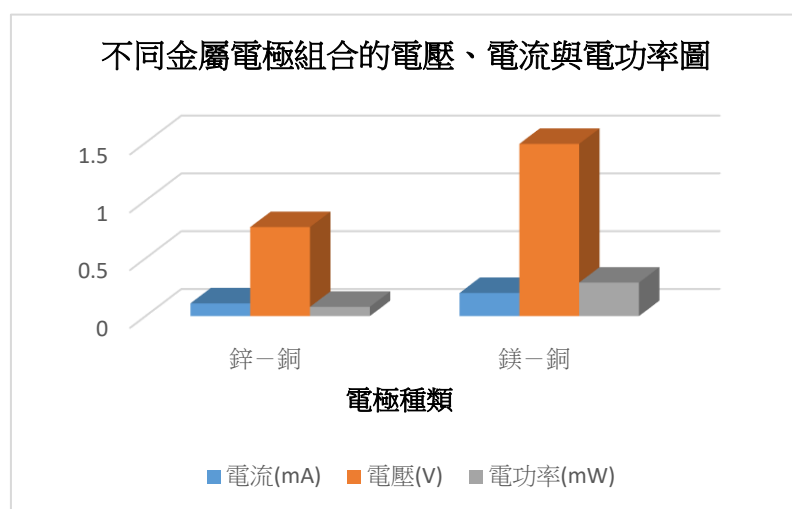
電功率(電壓值 $\times$ 電流值=電功率)。

- 2.每個操縱變因都測量三次求取平均值，降低實驗誤差。電極插入檸檬30秒後讀取數值，每次測量後均以清水清洗電極並擦乾，再進行下一次測量。
- 3.每種電極組合測試時，都使用新的鋅片及銅片作為電極，降低實驗誤差。

表4：不同金屬電極組合的電壓、電流與電功率表

金屬電極組合	鋅－銅	鎂－銅
電流(mA)	0.11	0.20
電壓(V)	0.77	1.49
電功率(mW)	0.08	0.29

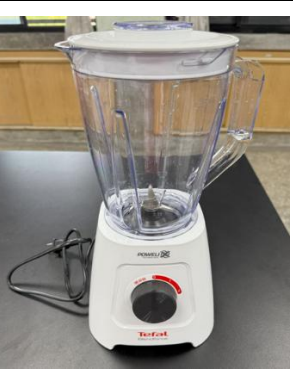
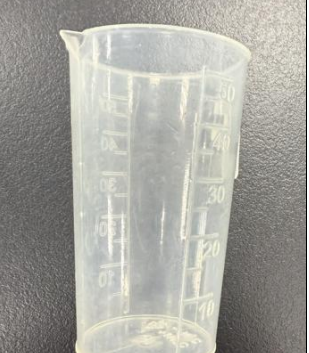
圖4：不同金屬電極的電壓、電流與電功率圖



實驗結果與討論：

- 1.「鎂－銅」電極組合無論是電流或電壓值都明顯優於「鋅－銅」電極組合。
- 2.雖然「鎂－銅」電極組合效果較好，但由於實驗用鋅片較鎂片易取得，因此在實驗後期我們想利用一顆檸檬產生最大發電效能時，還是分別以「鎂－銅」和「鋅－銅」的金屬電極來進行嘗試與比較。

貳、研究設備及器材

			
檸檬	葡萄	奇異果	果汁機
			
燒杯	量杯	電子秤	電子式三用電表
			
鱷魚夾電線	瓦楞板	多用途酸鹼指示筆	糖度計
			

銅片	鋅片	鎂片	LED燈
			
計時器	市售檸檬原汁	市售香檬汁	夾鏈袋
			
食鹽	小蘇打粉	雙氧水	醋
			
鋅製鑰匙	銅製鑰匙	滴管	

參、研究過程及方法

一、探討水果電池的發電原理

上網查詢水果電池的相關資料，並閱讀「歷年水果電池相關科展作品」作為研究參考。

二、探討影響水果電池發電功效的因素

(一)比較水果帶皮榨汁與去皮榨汁作為電解液所產生的電功率

我們閱讀之前的相關研究，發現檸檬、奇異果、葡萄的果汁發電效果較好，因此我們決定以這三種水果來實驗，看看帶皮和去皮榨汁過後的效果是否會有差異。

另外，因為在課堂上學習到，鹽是很好的電解質，而糖水不容易導電，所以在測量果汁的酸鹼值之外，我們還同時測試果汁的糖度和鹽度。

- 1.將檸檬、奇異果、葡萄等水果分別帶皮榨汁、去皮後榨汁備用。
- 2.用滴管吸取適量果汁，滴入糖度儀測試水溶液糖度，並用酸鹼指示筆測試果汁 pH 值和鹽度。
- 3.各種果汁以量杯量取 100mL 倒入燒杯內，用瓦楞板製成的固定模組，以鋅片(1x5 公分)作為負極，銅片(1x5 公分)作為正極，電極深度為 3cm，電極間距為 5cm，將電極放入電解液中，再以三用電表測量電壓、電流並計算電功率(電壓值 x 電流值=電功率)。
- 4.每個操縱變因都測量三次求取平均值，降低實驗誤差。電極插入電解液 10 秒後讀取數值，每次測量後均以清水清洗電極並擦乾，再進行下一次測量。
- 5.每種電解液測試時，都使用新的鋅片及銅片作為電極，降低實驗誤差。

(二)比較電解液新鮮狀態、冷藏後、冷凍後所產生的電功率

- 1.取前項實驗的六種果汁以量杯量取100mL倒入燒杯內，以保鮮膜包覆燒杯，並以橡皮筋加強封口封閉性，分別放入冰箱冷藏及冷凍庫一週，從冰箱取出後自然退冰至常溫。
- 2.用滴管吸取適量果汁，滴入糖度儀測試水溶液糖度，並用酸鹼指示筆測試果汁 pH 值和鹽度。

- 3.用瓦楞板製成的固定模組，以鋅片(1x5 公分)作為負極，銅片(1x5 公分)作為正極，電極深度為 3cm，電極間距為 5cm，將電極放入電解液中，再以三用電表測量電壓、電流並計算電功率(電壓值 x 電流值=電功率)。
- 4.每個操縱變因都測量三次求取平均值，降低實驗誤差。電極插入電解液 10 秒後讀取數值，每次測量後均以清水清洗電極並擦乾，再進行下一次測量。
- 5.每種電解液測試時，都使用新的鋅片及銅片作為電極，降低實驗誤差。

(三)比較不同鹽度之電解液所產生的電功率

- 1.綜合前兩項實驗結果，以電功率最佳的果汁作為電池的電解液，分別加入不同比例的食鹽水，調製成10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%(以加入ml為比例)的果汁。
- 2.用滴管吸取適量果汁，滴入糖度儀測試水溶液糖度，並用酸鹼指示筆測試果汁 pH 值和鹽度。
- 3.各種比例果汁以量杯量取 100mL 倒入燒杯內，用瓦楞板製成的固定模組，以鋅片(1x5 公分)作為負極，銅片(1x5 公分)作為正極，電極深度為 3cm，電極間距為 5cm，將電極放入電解液中，再以三用電表測量電壓、電流並計算電功率(電壓值 x 電流值=電功率)。
- 4.每個操縱變因都測量三次求取平均值，降低實驗誤差。電極插入電解液 10 秒後讀取數值，每次測量後均以清水清洗電極並擦乾，再進行下一次測量。
- 5.每種電解液測試時，都使用新的鋅片及銅片作為電極，降低實驗誤差。

三、探討如何運用一顆檸檬產生最大的發電功效。

(一)比較檸檬浸泡不同水溶液所產生的電功率

我們從自然課的實驗中得知，水溶液的導電性以食鹽水、醋及小蘇打水最好，而過去的研究報告也曾經提到檸檬汁加入雙氧水可以提高電功率(蘇盈安、蘇盈宣 2010)，這些都是家庭中容易取得或製作的水溶液。另外，從前面進行的實驗中，我們發現水果榨汁後新鮮狀態和冷凍後恢復常溫的狀態，電流、電壓及電功率差異不大。

為了讓水果電池方便取得與使用，我們將檸檬浸泡不同的水溶液後冷凍再恢復常

溫，看看是否能提高發電效能。另外，我們也做了測量時間的調整—從10秒到30秒，因為希望發電的時間能維持長久一點。

- 1.以熱水及市售食鹽、小蘇打粉調配飽和食鹽水、飽和小蘇打水，冷卻後備用。準備市售白醋(工研醋)及 5%雙氧水備用。
- 2.將檸檬對半切開，切面朝下放入保鮮袋中，分別倒入常溫的飽和食鹽水、飽和小蘇打水、白醋及 5%雙氧水各 150mL，盡可能擠出袋中空氣，並將袋口封緊。
- 3.檸檬浸泡上述四種水溶液後靜置 1 日，將水溶液倒出，盡可能擠出袋中空氣，將袋口封緊，放入冰箱冷凍庫 1 日後，取出自然退冰至常溫。
- 4.用瓦楞板製成的固定模組，以鋅片(1x4 公分)作為負極，銅片(1x4 公分)作為正極，電極深度為 2cm，電極間距為 1cm，將電極插入檸檬中，再以三用電表測量電壓、電流並計算電功率(電壓值 x 電流值=電功率)。
- 5.每個操縱變因都測量三次求取平均值，降低實驗誤差。電極插入檸檬 30 秒後讀取數值，每次測量後均以清水清洗電極並擦乾，再進行下一次測量。
- 6.每種檸檬測試時，都使用新的鋅片及銅片作為電極，降低實驗誤差。
- 7.將 LED 燈泡連接「鋅—銅」金屬電極，觀察燈泡是否會發亮。
- 8.將 LED 燈泡連接「鎂—銅」金屬電極，觀察燈泡是否會發亮，如果發亮，再進行電流值、電壓值的測量，並計算電功率。

(二)比較檸檬浸泡水溶液的日數所產生的電功率

我們進行前項實驗後，發現檸檬浸泡不同水溶液相較於新鮮狀態，可以產生較高的電功率，於是想進一步了解，浸泡的日數是否會影響電功率。

- 1.以熱水及市售食鹽、小蘇打粉調配飽和食鹽水、飽和小蘇打水，冷卻後備用。準備市售白醋(工研醋)及 5%雙氧水備用。
- 2.將檸檬對半切開，切面朝下放入保鮮袋中，分別倒入常溫的飽和食鹽水、飽和小蘇打水、白醋及 5%雙氧水各 150ml，盡可能擠出袋中空氣，並將袋口封緊。
- 3.檸檬浸泡上述四種水溶液後分別靜置 1 日、3 日、5 日、7 日後，將水溶液倒出，盡可能擠出袋中空氣，將袋口封緊，放入冰箱冷凍庫 1 日後，取出自然退冰至常溫。

- 4.用瓦楞板製成的固定模組，以鋅片(1x4 公分)作為負極，銅片(1x4 公分)作為正極，電極深度為 2cm，電極間距為 1cm，將電極插入檸檬中，再以三用電表測量電壓、電流並計算電功率(電壓值 x 電流值=電功率)。
- 5.每個操縱變因都測量三次求取平均值，降低實驗誤差。電極插入檸檬 30 秒後讀取數值，每次測量後均以清水清洗電極並擦乾，再進行下一次測量。
- 6.每種檸檬測試時，都使用新的鋅片及銅片作為電極，降低實驗誤差。
- 7.將 LED 燈泡連接「鋅－銅」金屬電極，觀察燈泡是否會發亮。
- 8.將 LED 燈泡連接「鎂－銅」金屬電極，觀察燈泡是否會發亮，如果發亮，再進行電流值、電壓值的測量，並計算電功率。

(三)比較不同串聯組數產生的電功率

從以前的研究中，我們知道電池以串聯的方式比並聯的方式可以得到較高的電功率，而且串聯組數越多，可以產生更高的電功率。因為我們想嘗試以一顆檸檬產生最佳發電效果，因此，一顆檸檬最多切成四分之一塊串聯4組，如果再細切，金屬電極的深度及接觸面積都會太小。

我們分別以「鋅－銅」和「鎂－銅」的電極組合來測試產生的電功率，並以LED燈和電子計時器做發電的測試。

- 1.將一顆新鮮檸檬對半切成兩塊，分別以1x4公分的「鋅－銅」電極組合及「鎂－銅」電極組合，電極深度為2cm，將電極插入檸檬中，進行串聯1組及2組的測試，再以三用電表測量電壓、電流並計算電功率(電壓值x電流值=電功率)。
- 2.前項實驗之檸檬再分別對半切成四分之一顆，分別以1x4公分的「鋅－銅」電極組合及「鎂－銅」電極組合，電極深度為2cm，將電極插入檸檬中，進行串聯3組及4組的測試，再以三用電表測量電壓、電流並計算電功率(電壓值x電流值=電功率)。
- 3.每個操縱變因都測量三次求取平均值，降低實驗誤差。電極插入檸檬 30 秒後讀取數值，每次測量後均以清水清洗電極並擦乾，再進行下一次測量。
- 4.每種串聯組數測試時，都使用新的鋅片、銅片、鎂片作為電極，降低實驗誤差。
- 5.將 LED 燈泡連接金屬電極，觀察燈泡是否會發亮。

6.將電子計時器連接金屬電極，觀察電子計時器是否能通電。

四、探討利用家用鑰匙作為電極的可能性

(一)為了使水果電池容易取得及使用，我們以鋅製鑰匙及銅製鑰匙作為金屬電極組合，測試其發電功效。

(二)實驗步驟

- 1.將一顆新鮮檸檬對半切成兩塊，以鋅製鑰匙為負極，銅製鑰匙為正極，電極深度為2cm，將電極插入檸檬中，進行串聯1組及2組的測試，再以三用電表測量電壓、電流並計算電功率(電壓值 $\times$ 電流值=電功率)。
- 2.前項實驗之檸檬再分別對半切成四分之一顆，以鋅製鑰匙為負極，銅製鑰匙為正極，電極深度為2cm，將電極插入檸檬中，將電極插入檸檬中，進行串聯3組及4組的測試，再以三用電表測量電壓、電流並計算電功率(電壓值 $\times$ 電流值=電功率)。
- 3.每個操縱變因都測量三次求取平均值，降低實驗誤差。電極插入檸檬 30 秒後讀取數值，每次測量後均以清水清洗電極並擦乾，再進行下一次測量。
- 4.將 LED 燈泡連接金屬電極，觀察燈泡是否會發亮。
- 5.將電子計時器連接金屬電極，觀察電子計時器是否能通電。



將水果進行去皮處理



水果榨汁備用



果汁封裝好進行冷藏、冷凍



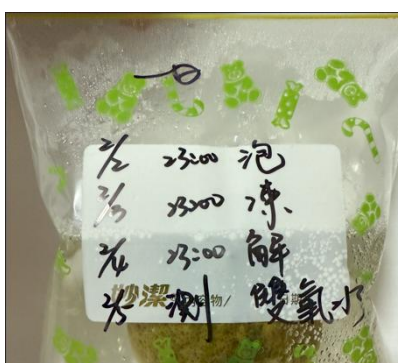
吸取果汁以糖度計測試糖度



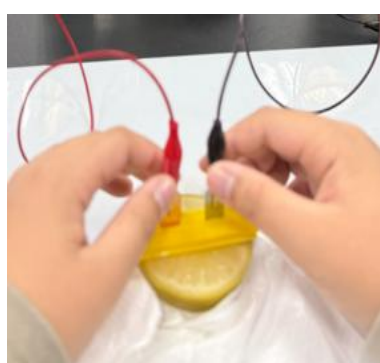
測量pH值和鹽度



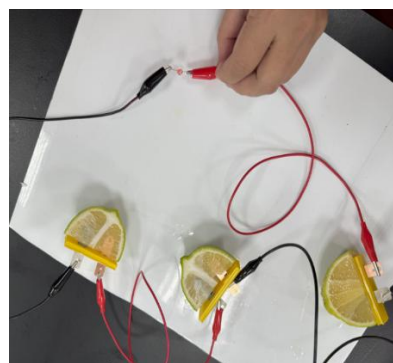
以三用電表測量電流及電壓



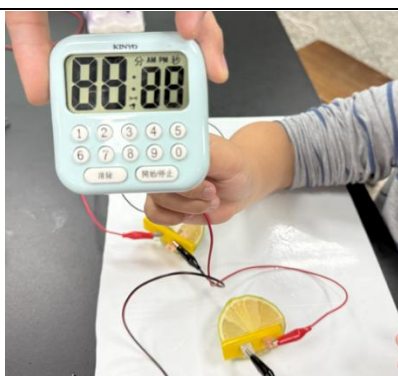
檸檬浸泡水溶液放入夾鏈袋並做標示



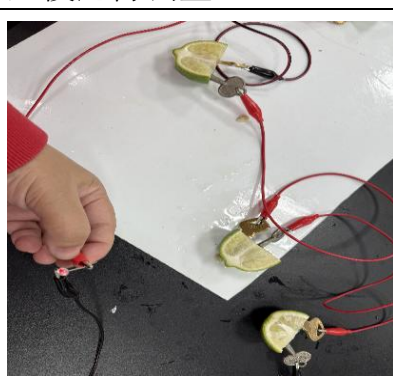
用塑膠瓦楞板固定電極間距後進行測量



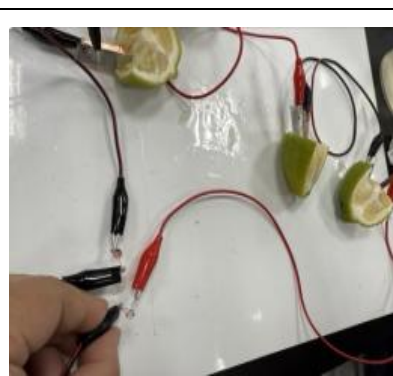
測試LED燈發電效果



測試電子計時器發電效果



以鋅、銅鑰匙進行LED燈發電測試



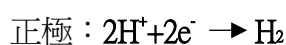
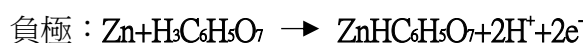
測試能否使2顆LED燈發亮

肆、研究結果

一、探討水果電池的發電原理

水果電池發電的主要原理是因為水果中含有檸檬酸、酒石酸等電解質，如果以活性大小不同的兩種金屬，如「鋅－銅」或「鎂－銅」作為電極，活性較大的金屬(鋅或鎂)當作負極，會釋放出電子，再經由外電路流到活性較小的銅(正極)，因而形成迴路發電。

反應式如下：



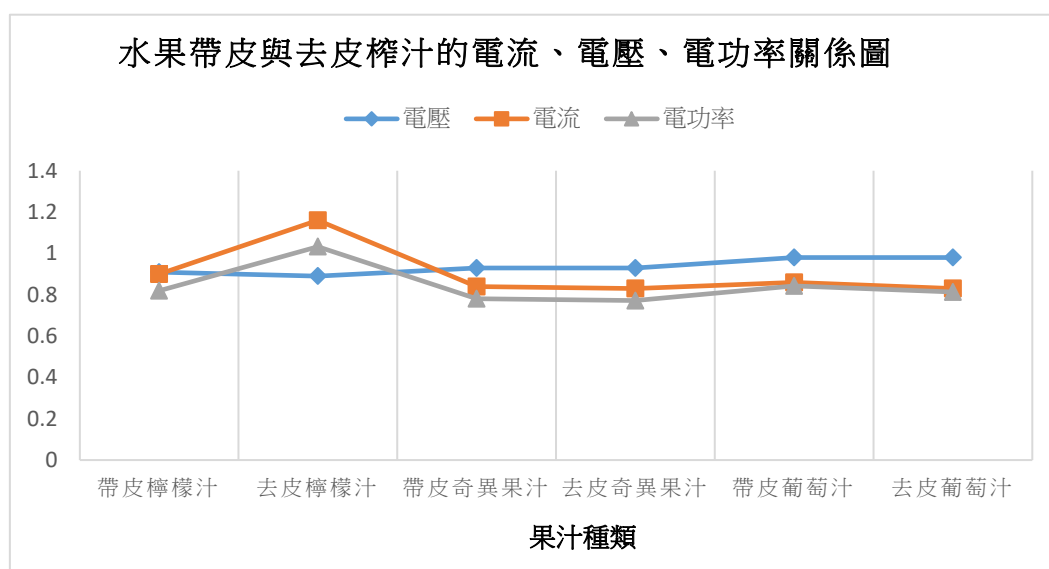
二、探討影響水果電池發電功效的因素

(一)比較水果帶皮榨汁與去皮榨汁作為電解液所產生的電功率

表5.水果帶皮與去皮榨汁的電流、電壓、電功率關係表

果汁名稱:	帶皮 檸檬汁	去皮 檸檬汁	帶皮 奇異果汁	去皮 奇異果汁	帶皮 葡萄汁	去皮 葡萄汁
pH 值	2.75	2.46	3.53	3.43	3.43	3.22
糖度	7.6	7.7	15	19.8	16.4	17.4
鹽度	0.19	0.15	0.22	0.21	0.07	0.1
電壓(mA)	0.91	0.89	0.93	0.93	0.98	0.98
電流(V)	0.9	1.16	0.84	0.83	0.86	0.83
電功率(mW)	0.82	1.03	0.78	0.77	0.84	0.81

圖5.水果帶皮與去皮榨汁的電流、電壓、電功率關係圖



研究結果：

- 1.電流值：去皮檸檬>帶皮檸檬>帶皮葡萄>帶皮奇異果>去皮葡萄=去皮奇異果。
- 2.電壓值：帶皮葡萄=去皮葡萄>帶皮奇異果=去皮奇異果>帶皮檸檬>去皮檸檬。
- 3.電功率：去皮檸檬>帶皮葡萄>帶皮檸檬>去皮葡萄>帶皮奇異果>去皮奇異果。
- 4.不同果汁間的電壓值差異不大，但去皮檸檬汁的電流遠大於其他果汁，電功率也最高。
- 5.去皮檸檬汁的酸鹼值最低(酸)，電流值最高，但電壓值沒有太大影響。

(二)比較電解液新鮮狀態、冷藏後、冷凍後所產生的電功率

表6.去皮檸檬汁不同狀態電流、電壓、電功率關係表

去皮檸檬汁	新鮮	冷藏後	冷凍後
pH 值	2.64	2.78	2.68
糖度	7.7	7.1	7.3
鹽度	0.15	0.15	0.16
電流(mA)	1.16	0.87	1.16
電壓(V)	0.89	0.90	0.83
電功率(mW)	1.03	0.79	0.97

圖6.去皮檸檬汁不同狀態電流、電壓、電功率關係圖

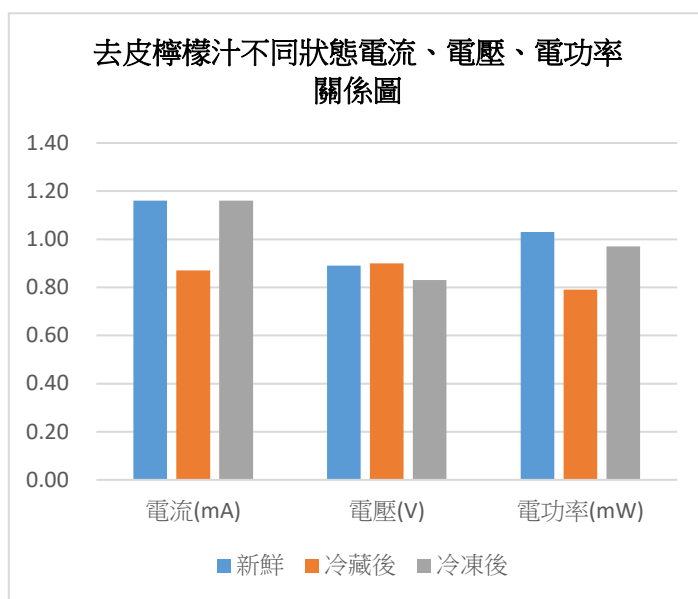


表7.去皮奇異果汁不同狀態電流、電壓、電功率關係表

去皮奇異果汁	新鮮	冷藏後	冷凍後
pH 值	3.43	3.39	3.34
糖度	19.8	14	14
鹽度	0.21	0.21	0.22
電流(mA)	0.83	0.85	0.84
電壓(V)	0.93	0.54	0.95
電功率(mW)	0.77	0.46	0.8

圖7.去皮奇異果汁不同狀態電流、電壓、電功率關係圖

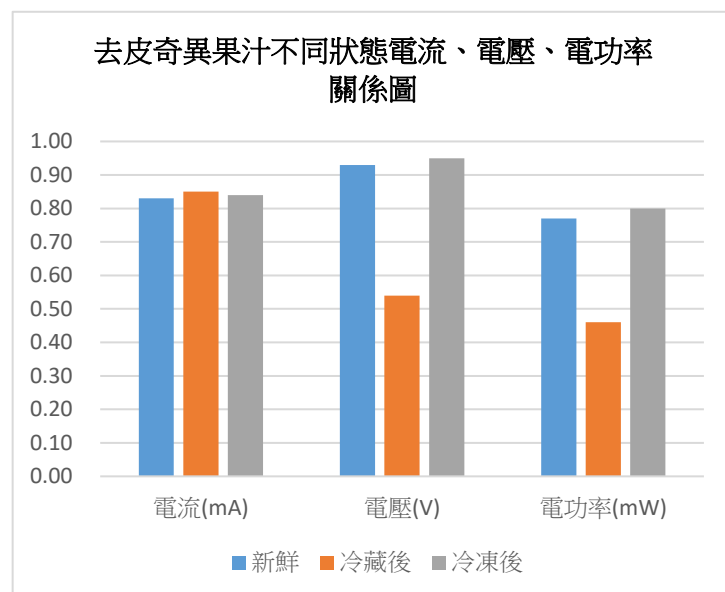


表8.去皮葡萄汁不同狀態電流、電壓、電功率關係表

去皮葡萄汁	新鮮	冷藏後	冷凍後
pH 值	3.22	3.28	3.28
糖度	17.4	16.9	17.2
鹽度	0.1	0.11	0.11
電流(mA)	0.83	0.84	0.82
電壓(V)	0.98	0.99	0.98
電功率(mW)	0.81	0.83	0.80

研究結果：

- 1.去皮檸檬汁新鮮狀態時電功率最佳，**冷凍後恢復常溫狀態時和新鮮狀態有較接近的酸鹼值及電功率**，冷藏後恢復常溫狀態的電流值與電功率較差。
- 2.去皮奇異果汁冷凍後恢復常溫狀態時電功率最佳，但和新鮮狀態時沒有顯著差異，酸鹼值較新鮮狀態時稍低(酸)一些。冷藏後恢復常溫狀態時，酸鹼值及電流值差異不大，但電有顯著的降低，因此電功率最差。
- 3.去皮葡萄汁新鮮狀態、冷藏後恢復常溫狀態及冷凍後恢復常溫狀態的酸鹼值、糖度、鹽度都相近，**電流值、電壓值及電功率都相近**。
- 4.三種果汁新鮮狀態和冷凍後恢復常溫狀態時都有相近的電功率。
- 5.這三種果汁做比較，以**去皮檸檬汁的電功率最佳**。

(三)比較電解液加入不同比例食鹽水所產生的電功率

表 9：電解液加入不同比例食鹽水電流、電壓、電功率關係表

食鹽水比例	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
pH 值	2.59	2.4	2.31	2.22	2.03	2.07	2	1.9	1.91	1.91
糖度	8	9.3	11.9	15	16.6	18.2	21.8	22.5	23.6	24.5
鹽度	0.22	2.58	5	7.3	10.1	12.1	13.7	14.5	16.3	16.3
電流(mA)	2.04	5.05	5.26	5.54	6.13	6.58	6.58	6.32	6.48	6.32
電壓(V)	0.95	0.8	0.78	0.78	0.76	0.76	0.74	0.73	0.73	0.73
電功率(mW)	1.95	4.04	4.12	4.32	4.64	5.25	4.89	4.65	4.73	4.61

圖8.去皮葡萄汁不同狀態電流、電壓、電功率關係圖

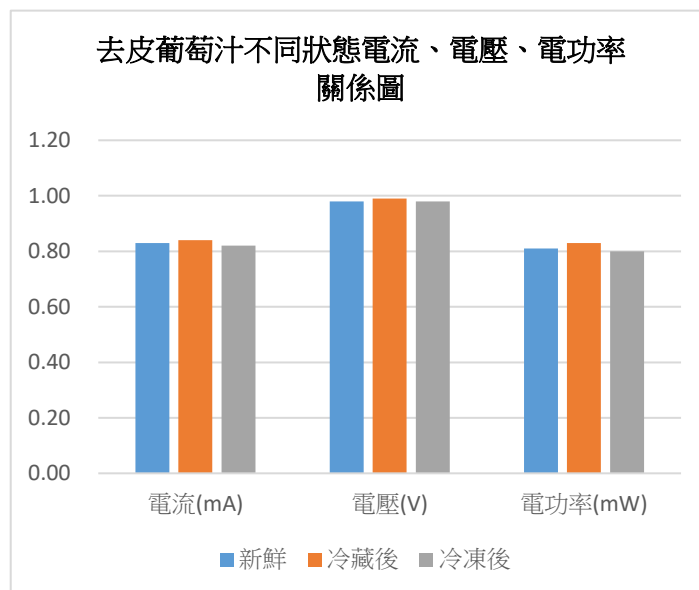
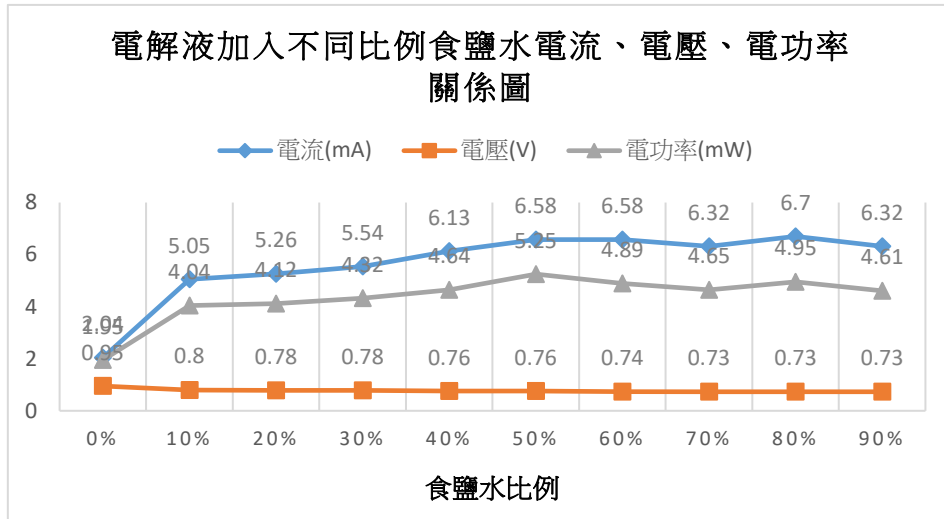


圖9：電解液加入不同比例食鹽水電流、電壓、電功率關係圖



研究結果：

1. 隨著食鹽水比例增加，電解液的酸鹼值降低，糖度增加。
2. 加入食鹽水後的電解液，電壓值降低，但食鹽水比例提升，對電壓值沒有明顯影響。
3. 食鹽水比例50%及60%時，電解液的電流值最高。
4. 食鹽水比例50%時，電功率最高。

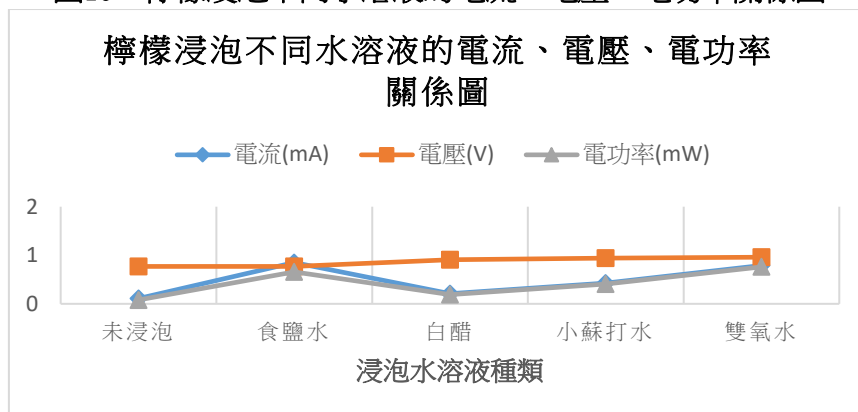
三、探討如何運用一顆檸檬產生最大的發電功效。

(一)比較檸檬浸泡不同水溶液所產生的電功率

表10：檸檬浸泡不同水溶液的電流、電壓、電功率關係表

浸泡水溶液	未浸泡	食鹽水	白醋	小蘇打水	雙氧水
電流(mA)	0.11	0.85	0.21	0.43	0.79
電壓(V)	0.77	0.77	0.91	0.94	0.96
電功率(mW)	0.08	0.66	0.19	0.41	0.76
LED(鋅銅)	X	X	X	X	X
LED(鎂銅)	-	X	X	X	O

圖10：檸檬浸泡不同水溶液的電流、電壓、電功率關係圖



研究結果：

- 1.電流值：食鹽水>雙氧水>小蘇打水>白醋>未浸泡。
- 2.電壓值：雙氧水>小蘇打水>白醋>食鹽水>未浸泡。
- 3.電功率：雙氧水>食鹽水>小蘇打水>白醋>未浸泡。
- 4.以「**鋅—銅**」電極組合連接LED燈**均無法發亮**。
- 5.以「**鎂—銅**」電極組合連接LED燈，**浸泡雙氧水組合**可發亮，電流值1.2mA、電壓值1.5V、**電功率1.8mW**。

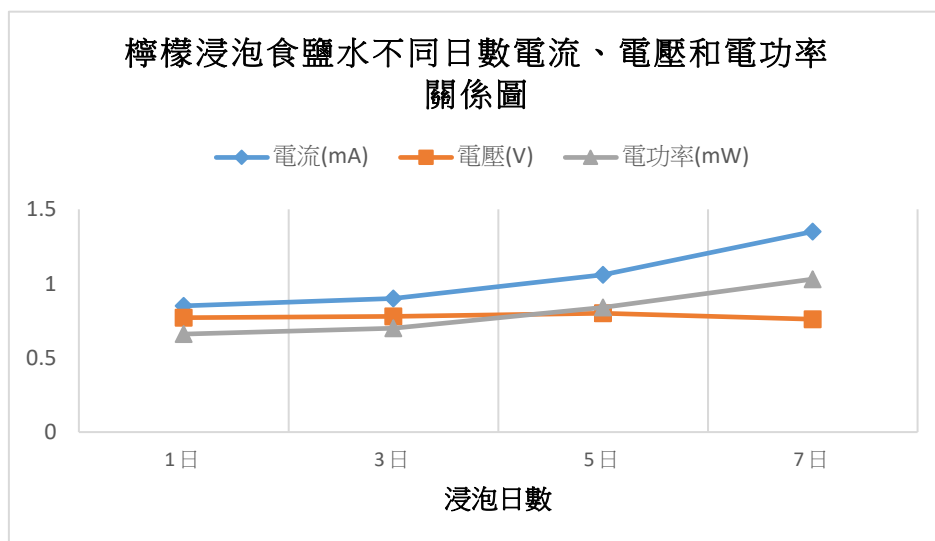
(二)比較檸檬浸泡水溶液不同日數所產生的電功率

1.食鹽水

表 11：檸檬浸泡食鹽水不同日數電流、電壓和電功率關係表

浸泡食鹽水天數	1 日	3 日	5 日	7 日
電流(mA)	0.85	0.90	1.06	1.35
電壓(V)	0.77	0.78	0.80	0.76
電功率(mW)	0.66	0.70	0.84	1.03
LED(鋅銅)	X	X	X	X
LED(鎂銅)	X	X	X	X

圖 11：檸檬浸泡食鹽水不同日數電流、電壓和電功率關係圖



研究結果：

- 1.電流值：隨浸泡日數增加，浸泡7日最高。
- 2.電壓值：在0.76~0.80間，無明顯差異。

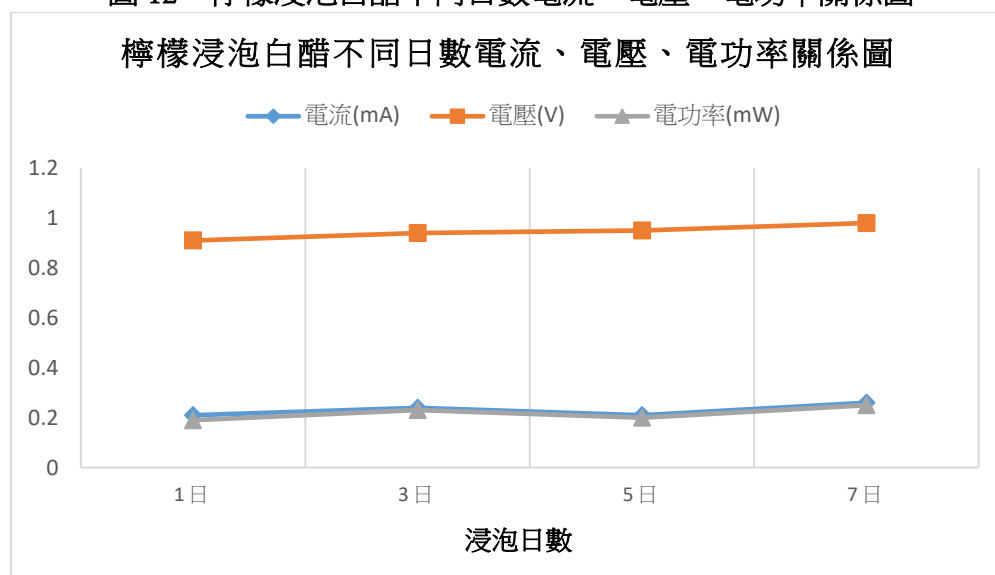
- 3.電功率：隨浸泡日數增加，浸泡7日最高。
- 4.以「**鋅—銅**」及「**鎂—銅**」電極組合連接LED燈**均無法發亮**。
- 5.無論浸泡日數為幾日，**電流均高於電壓值**。

2.白醋

表 12：檸檬浸泡白醋不同日數電流、電壓、電功率關係表

浸泡白醋天數	1 日	3 日	5 日	7 日
電流(mA)	0.21	0.24	0.21	0.26
電壓(V)	0.91	0.94	0.95	0.98
電功率(mW)	0.19	0.23	0.20	0.25
LED(鋅銅)	X	X	X	X
LED(鎂銅)	X	X	O	O

圖 12：檸檬浸泡白醋不同日數電流、電壓、電功率關係圖



研究結果：

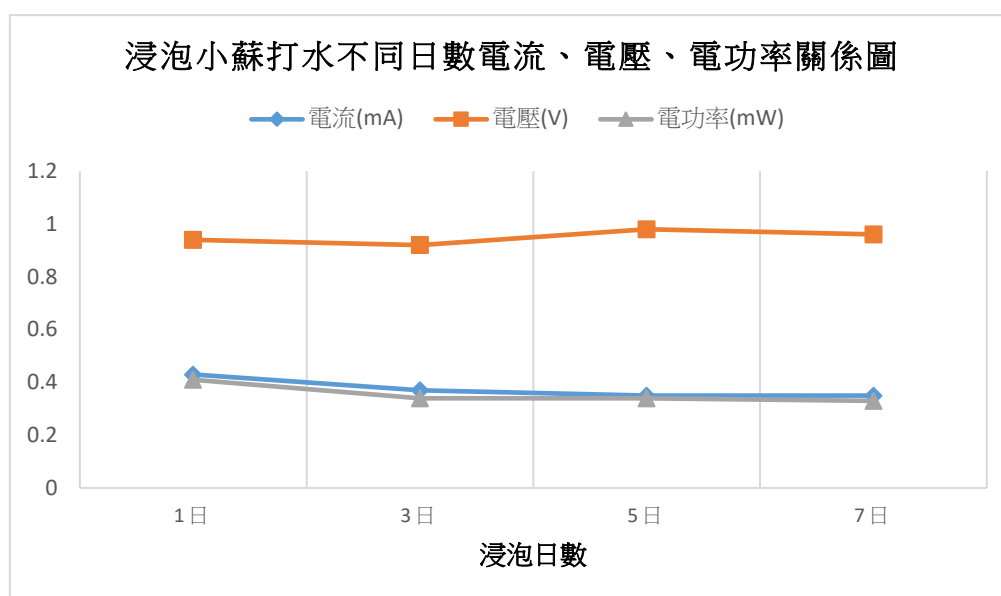
- 1.電流值：7日>3日>5日=1日。
- 2.電壓值：隨浸泡日數增加，浸泡7日最高，但沒有顯著差異。
- 3.電功率：7日>3日>5日>1日。
- 4.以「**鋅—銅**」電極組合連接LED燈**均無法發亮**。
- 5.以「**鎂—銅**」電極組合連接LED燈，**浸泡5日可發亮**，電流值0.9mA、電壓值1.5V、**電功率1.35mW**；**浸泡7日可發亮**，電流值0.5mA、電壓值1.5V、**電功率0.75mW**。**電功率值的高低排序和「鋅—銅」電極組合不同。**

3.小蘇打水

表 13：檸檬浸泡小蘇打水不同日數電流、電壓、電功率關係表

浸泡小蘇打水日數	1 日	3 日	5 日	7 日
電流(mA)	0.43	0.37	0.35	0.35
電壓(V)	0.94	0.92	0.98	0.96
電功率(mW)	0.41	0.34	0.34	0.33
LED(鋅銅)	X	O	X	X
LED(鎂銅)	X	O	X	X

圖 13：檸檬浸泡小蘇打水不同日數電流、電壓、電功率關係圖



研究結果：

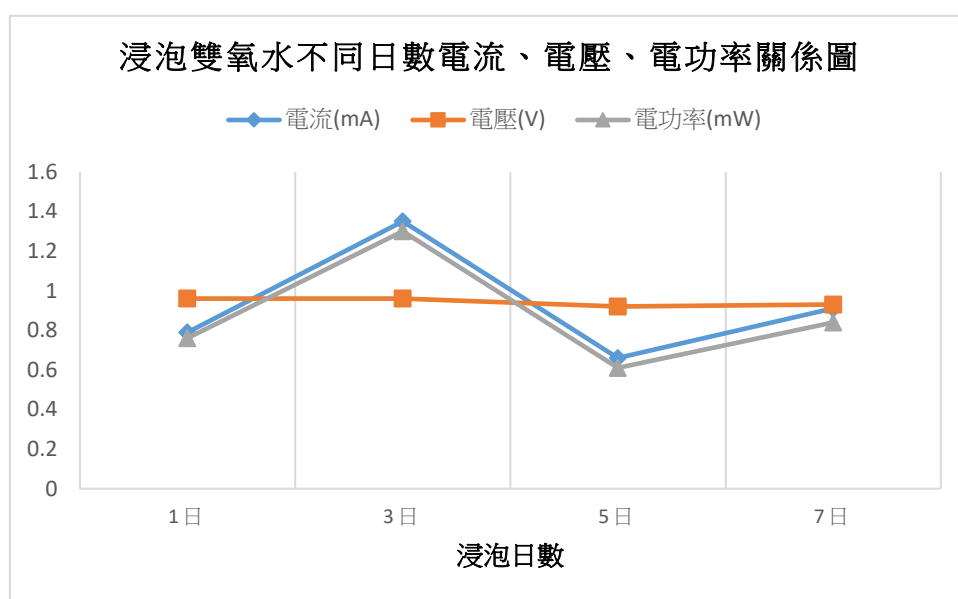
- 1.電流值：1日>3日>5日=7日，除浸泡1日稍高，其餘日數沒有明顯差異。
- 2.電壓值：在0.92~0.98間，沒有規律也沒有顯著差異。
- 3.電功率：1日>3日=5日>7日。
- 4.以「鋅－銅」電極組合連接LED燈，浸泡3日可發亮。
- 5.以「鎂－銅」電極組合連接LED燈，浸泡3日可發亮，電流值1.23mA、電壓值1.53V、電功率1.88mW。
- 6.因以「鋅－銅」電極組合測試電功率，3日和5日均相同，雖然浸泡5日的檸檬以「鎂－銅」電極組合連接LED燈無法發亮，我們也進行測試，電流值1.5mA、電壓值1.4V、電功率2.1mW。

4.雙氧水

表 14：浸泡雙氧水不同日數電流、電壓、電功率關係表

浸泡雙氧水日數	1 日	3 日	5 日	7 日
電流(mA)	0.79	1.35	0.66	0.91
電壓(V)	0.96	0.96	0.92	0.93
電功率(mW)	0.76	1.30	0.61	0.84
LED(鋅銅)	X	X	X	X
LED(鎂銅)	O	X	O	X

圖 14：浸泡雙氧水不同日數電流、電壓、電功率關係圖



研究結果：

- 1.電流值：3日>7日>1日>5日。
- 2.電壓值：在0.92~0.96之間，沒有顯著差異。
- 3.電功率：3日>7日>1日>5日。
- 4.以「鋅－銅」電極組合連接LED燈均無法發亮。
- 5.以「鎂－銅」電極組合連接LED燈，**浸泡1日可發亮**，電流值1.2mA、電壓值1.5V、**電功率1.8mW**；浸泡5日可發亮，電流值1mA、電壓值1.5V、**電功率1.5mW**。

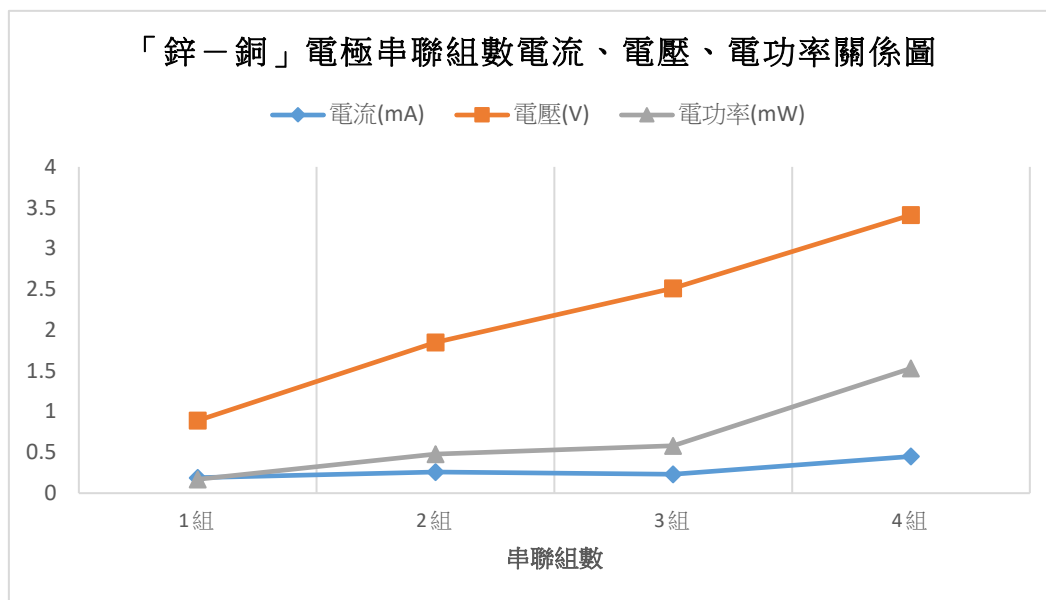
(三)比較不同的串聯組數產生的電功率

1.「鋅－銅」電極組合

表 15：「鋅－銅」電極串聯組數電流、電壓、電功率關係表

串聯組數	1 組	2 組	3 組	4 組
電流(mA)	0.19	0.26	0.23	0.45
電壓(V)	0.89	1.85	2.51	3.41
電功率(mW)	0.17	0.48	0.58	1.53
LED	X	X	X	X
計時器	X	X	O	O (較 3 組亮)

圖 15：「鋅－銅」電極串聯組數電流、電壓、電功率關係圖



研究結果：

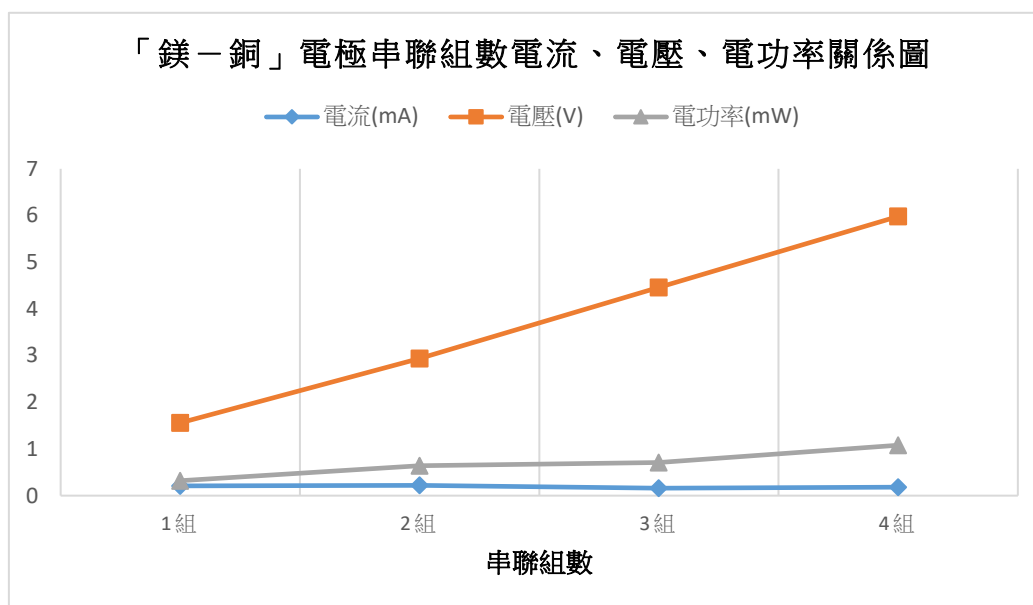
- 1.電流值：串聯4組時達到最高0.45mA。
- 2.電壓值：隨串聯組數增加，串聯4組時最高，達到3.41V。
- 3.無論串聯組數幾組，連接LED燈均無法發亮。
- 4.連接電子計時器，串聯3組時可發亮，電流值0.23mA、電壓值2.51V、**電功率0.58mW**；串聯組時可發亮，電流值0.45mA、電壓值3.41V、**電功率1.53mW**。

2. 「鎂－銅」電極組合

表 16：「鎂－銅」電極串聯組數電流、電壓、電功率關係表

串聯組數	1 組	2 組	3 組	4 組
電流(mA)	0.21	0.22	0.16	0.18
電壓(V)	1.56	2.94	4.46	5.98
電功率(mW)	0.32	0.64	0.71	1.08
LED	O	O	O	O
計時器	X	X	O	X

圖 16：「鎂－銅」電極串聯組數電流、電壓、電功率關係圖



研究結果：

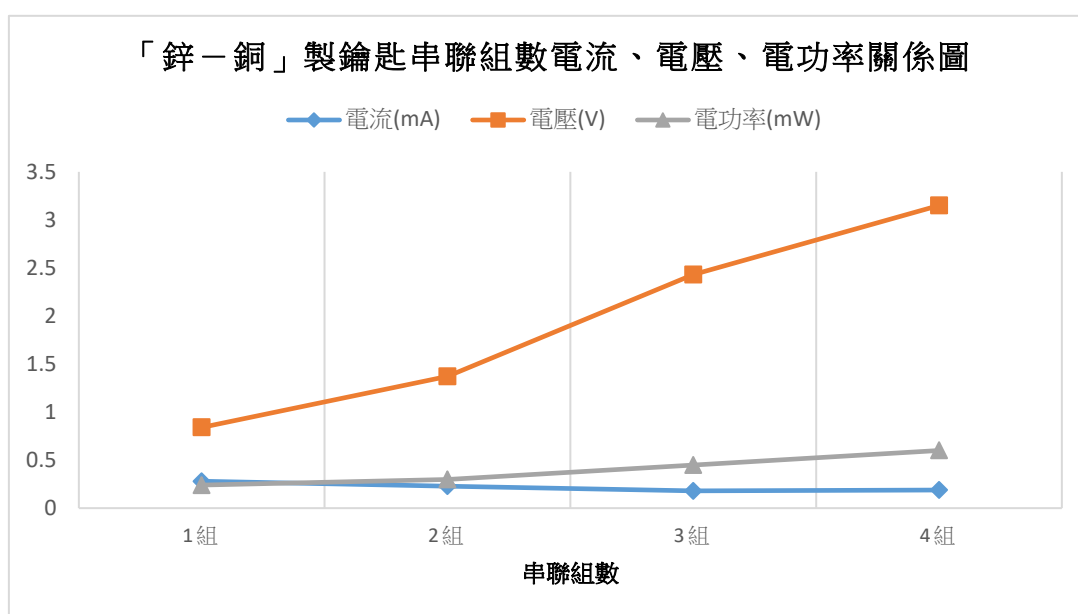
- 1.電流值：沒有隨著串聯組數增加而提高，數值在0.16~0.21間，差異不大。
- 2.電壓值：隨串聯組數增加，串聯4組時最高，達到5.98V。
- 3.無論串聯組數幾組，連接LED燈均可發亮。串聯1組時即可發亮，電流值0.21mA、電壓值1.56V、電功率0.32mW。
- 4.連接電子計時器，僅串聯3組時可發亮，電流值0.16mA、電壓值4.46V、電功率0.71mW。

四、探討利用家用鑰匙作為電極的可能性。

表 17：「鋅－銅」製鑰匙串聯組數電流、電壓、電功率關係表

串聯組數	1 組	2 組	3 組	4 組
電流(mA)	0.28	0.23	0.18	0.19
電壓(V)	0.84	1.37	2.43	3.15
電功率(mW)	0.24	0.3	0.45	0.6
LED	X	X	O	O
計時器	X	X	O (微弱)	O (穩定)

圖 17：「鋅－銅」製鑰匙串聯組數電流、電壓、電功率關係圖



研究結果：

1. 電流值：1組>2組>4組>3組，1組時達到最高0.28mA。
2. 電壓值：隨串聯組數增加，串聯4組時最高，達到3.15V。
3. 電功率：4組>3組>2組>1組。
3. 連接LED燈：串聯3組時可發亮，電流值0.18mA、電壓值2.43V、**電功率0.45mW**；串聯4組時可發亮，電流值0.19mA、電壓值3.15V、**電功率0.6mW**。
4. 連接電子計時器：串聯3組及4組均可發亮，串聯4組時發亮穩定。

伍、討論

一、探討影響水果電池發電功效的因素

(一)比較水果帶皮榨汁與去皮榨汁作為電解液所產生的電功率

- 1.大致上來說，**酸鹼值越低(酸)，電流值愈高**。但是帶皮葡萄汁的酸鹼值和去皮奇異果汁的酸鹼值相同，帶皮葡萄汁的電流值卻高於去皮奇異果汁。
- 2.我們依照課堂上學習到糖水的導電效果較差的原理，推測原因**(1)可能是去皮奇異果汁的糖度高於帶皮葡萄汁不少，因此電流值較低**，但是否有影響，仍須進一步實驗判斷。**(2)可能因為葡萄汁含有較高濃度的酒石酸和蘋果酸，電離度較高，或是葡萄汁中含有較高的金屬離子，可以提高導電度。**

(二)比較電解液新鮮狀態、冷藏後、冷凍後所產生的電功率

- 1.我們對三種水果製成的六種果汁都做了新鮮狀態、冷藏後恢復常溫狀態和冷凍後恢復常溫狀態的電流、電壓測試，並計算電功率，但考量要以一顆完整水果做發電探究時，接觸較多部分會是果肉，因此報告中主要呈現去皮果汁作為電解液的實驗效果。
- 2.去皮檸檬汁和去皮奇異果汁在冷藏一週後，酸鹼值並沒有顯著差異，但電功率卻明顯降低；冷凍一週後酸鹼值也沒有顯著差異，但電功率和新鮮狀態接近，可見**冷凍方式較能維持電解液的導電狀態。**

(三)比較不同鹽度之電解液所產生的電功率

- 1.加入食鹽水之後，電流值及電功率有明顯的提升，但是電壓值卻下降，可能是因為**食鹽水中的氯離子會與金屬發生反應，形成氧化物或氯化物，導致電子轉移速率降低，使電壓下降。**
- 2.因為檸檬汁本身是酸性，氫離子濃度較高，有助於金屬電極發生氧化還原反應，**加入食鹽水後，雖然酸鹼值逐漸變低(酸)，但可能影響氫離子的作用，使得反應效率降低，電壓也跟著下降。**
- 3.隨著**食鹽水比例上升，糖度也不斷提升**，當糖度到達一定的程度時，也**可能使電流值下降**，進而影響導電性。

- 3.加入食鹽水比例50%時，電流值及電功率都達到最佳效果，因為導電的離子濃度增加使電流值上升，但離子濃度過高時，離子間的相互作用可能導致導電性稍微下降。

二、探討如何運用一顆檸檬產生最大的發電功效。

(一)比較檸檬浸泡不同水溶液所產生的電功率

- 1.檸檬浸泡食鹽水、白醋、小蘇打水及雙氧水後，無論是電流值或電壓值都有明顯提升，但是電流值提升最高的食鹽水，電壓值卻沒有提升，造成這個結果的原因已經在食鹽水比例實驗時討論過，有前後的一致性。
- 2.連結LED的狀態，「鋅－銅」電極組合都無法發亮，「鎂－銅」電極組合卻能藉由浸泡雙氧水的檸檬使LED發亮，實際測量也證明「鎂－銅」電極組合無論是電流值或電壓值都明顯高於「鋅－銅」電極組合。

(二)比較檸檬浸泡水溶液不同天數所產生的電功率

1. 我們進行浸泡水溶液3日的發電效能實驗時，發現浸泡小蘇打水的檸檬以「鋅－銅」電極組合就可使LED燈發亮，但這個組合產生的電功率比浸泡食鹽水或雙氧水的檸檬還要低很多，於是我們進一步觀察電流值和電壓值的關係，發現：無論電功率多高，只要電流值高於電壓值，就無法使LED燈發亮。
- 2.我們原來以為檸檬浸泡水溶液的時間愈久，就可以得到愈高的電功率，但是只有食鹽水組合有規律，其他水溶液並沒有規律，不過食鹽水的組合無論哪一種電極組合都沒有成功使LED燈發亮，原因是電流值一直高於電壓值。
- 3.我們以為檸檬浸泡醋5日的酸性應該會比3日高，電功率也會比較高，但實際測量卻相反，所以我們查詢資料，發現可能是檸檬浸泡醋的過程中，酸性物質（如檸檬酸）與醋中的醋酸會發生反應，並釋放氫離子使電流較大。但是，隨著日數延長，酸性物質可能達到飽和，或部分酸性物質與醋中的其他成分反應產生新的物質，降低氫離子的濃度，使電流變小。
- 4.無論浸泡哪種水溶液，「鎂－銅」電極組合使LED燈發亮的機率都比較高，在LED燈發亮的狀態下測量，電壓值都會達到1.5V，電流值則從0.5mA到1.2mA不等，電壓值的影響似乎比較大。

5.比較特別的是檸檬浸泡小蘇打水3日和5日的發電狀況，兩者相較，電流值接近，電壓值5日>3日，電功率接近，但是浸泡3日的檸檬搭配兩種電極組合均能使LED燈發亮，浸泡5日的檸檬搭配兩種電極組合均無法使LED燈發亮。我們以「鎂－銅」電極測量，發現電流值為1.5mA高於電壓值1.4V，因此無法發亮。但是為什麼「鋅－銅」電極也無法使LED燈發亮呢？我們查詢相關資料後，發現原因可能有(1)浸泡時間較長可能導致檸檬內部化學環境變化，使得內阻增加，導致實際流經 LED 的電流減少而無法正常發亮。(2)浸泡5日的檸檬可能因小蘇打的影響，使pH值上升，導致鋅溶解減少，影響發電效率。希望未來有機會，我們可以再進一步的探究和驗證。

(三)比較不同的串聯組數產生的電功率

- 1.兩種電極組合在串聯組數增加時，電壓都會跟著大幅提高，電功率也是逐步上升，但是電流呈現不穩定的狀態，可能是因為每塊檸檬都有內部電阻，當串聯組數增加時，內阻變大會限制電流的流動。
- 2.電子計時器多以LCD顯示，需要的電功率較低，但是以「鎂－銅」電極組合測試時，LED都能發亮，計時器卻只有串聯3組時可以發亮，可能是因為LED短暫獲得足夠電壓與電流就能發光，而計時器需要持續穩定的電壓與電流，在水果電池電壓不夠穩定的情況下無法運作。這也可以解釋，我們在測試電子計時器是否會發亮時，常有斷斷續續的情況發生。
- 3.「鋅－銅」電極組合串聯3組時和「鎂－銅」電極組合串聯2組時有相近的電流、電壓和電功率，但是只有「鎂－銅」電極組合能使LED燈發亮，這點也讓我們感到很好奇，可能是因為(1)鎂的活性比鋅高，因此「鎂－銅」電極的內阻較低，能夠提供更大的瞬時電流。(2)「鎂－銅」電極的電子供應能力較好，使LED燈獲得足夠的持續電流。(3)鎂的氧化反應較強，能確保電子流動順暢。

三、探討利用家用鑰匙作為電極的可能性。

- (一)我們希望水果電池不僅是科學研究的主題，也可以真的在生活中使用，因此希望盡量以現成的材料運作，檸檬是常見且導電效果好的水果，而家中容易取得也不需要經過拆裝的鋅製品或銅製品可以利用鑰匙來做嘗試。

(二)同樣是「**鋅—銅**」材質，**鑰匙**的電流值整體看來低於金屬片，電壓的差異並不大，而電功率也普遍低於以金屬片測量。但是串聯3組和4組都能讓LED燈發亮，**效果上比金屬片組合來得好，甚至在串聯4組連接計時器時，除了讓螢幕發亮，還可以發出開機的「嗶」聲。**

(三)綜合本研究各項實驗與探討，我們認為，因為水果具有季節性，若是能**常備浸泡具導電效果水溶液的水果在冰箱冷凍庫，緊急時就能運用家中常見的鋅、同、鎂材質的金屬製品和水果使低功率的電子產品發電。**但是冷凍更久之後，水果的發電效果如何，需要再做進一步的探究。

陸、結論

- 一、水果帶皮榨汁或去皮榨汁對電功率的影響，主要還是受酸鹼值影響較大，去皮檸檬汁的酸鹼值最低(酸)，電功率最高。
- 二、以果汁製成的電解液在新鮮狀態下和冷凍後恢復常溫狀態時，電流值、電壓值及電功率都相近，因此可以嘗試冷凍適合的水果或果汁進行發電。
- 三、電解液加入食鹽水可以顯著提高電流值與電功率，在50%時電功率最高，但過高的鹽度會降低發電效果。
- 四、藉由浸泡小蘇打水、醋和雙氧水，水果電池的電流值和電壓值都會升高，且隨著浸泡時間的增加，可以提升檸檬作為水果電池的發電效果，但浸泡各種水溶液達到最佳發電效果的日數不同。
- 五、「鎂—銅」電極組合使LED燈發亮或使電子計時器發亮的效果整體優於「鋅—銅」電極組合，只有在串聯4組新鮮檸檬時「鋅—銅」電極組合勝過「鎂—銅」電極組合。
- 六、串聯組數增加可以提高電壓值和電功率，整體而言也會提升發電效果。
- 七、運用一顆檸檬及家用鋅製及銅製鑰匙，透過串聯的方式，就能使LED燈發亮，可以提供停電時緊急使用低功率的電子產品。

柒、參考資料及其他

- 一、蘇盈安、蘇盈亘 (2010)。「果」真如此-勁量水果電池，中華民國第五十屆中小學科學展覽會。
- 二、潘建達、曾揚傑、劉承翰 (2011)。「凍」未條!水果在放電~番茄「果凍」鋅銅乾電池，中華民國第五十一屆中小學科學展覽會。
- 三、鄭甯、臧曼晴、吳欣叡、王宥臻(2016)。動「池」凍「池」-水果電池，中華民國第五十六屆中小學科學展覽會。
- 四、謝祥詮、馮子瑜、李建聖、黃奕翔、李星慶、蔡杰睿(2018)。「果」不其然!電來了~環保再製果汁電池之研究與應用。中華民國第五十八屆中小學科學展覽會。
- 五、黃渝捷(無日期)。水果電池的發電原理與研究。線上檢索日期：2024年10月25日。
[http://myhome.msps.tp.edu.tw/myhome2/gift/project/33graduate/idp/PPT/08%E7%9A%AE%E6%9E%9C%E4%B8%98%E4%BC%81%E4%BD%BF%E5%87%BA%E5%8D%81%E8%90%AC%E4%BC%8F%E7%89%B9%E4%BC%81\(0607%E6%9C%80%E6%96%B0%E7%89%88\).pdf](http://myhome.msps.tp.edu.tw/myhome2/gift/project/33graduate/idp/PPT/08%E7%9A%AE%E6%9E%9C%E4%B8%98%E4%BC%81%E4%BD%BF%E5%87%BA%E5%8D%81%E8%90%AC%E4%BC%8F%E7%89%B9%E4%BC%81(0607%E6%9C%80%E6%96%B0%E7%89%88).pdf)
- 六、吳宗勳等編(2024)。國民小學自然與生活科技第五冊(五上)。翰林出版事業股份有限公司。第3單元神奇的水溶液(p.102-p.105)。
- 七、本研究所有照片及圖表均為作者在教師指導下共同拍攝及製作。