

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 化學科

團隊合作獎

080212

「柚」～「果」然來電！

學校名稱：基隆市七堵區七堵國民小學

作者： 小六 羅勝君 小六 徐婉榕 小五 吳昕潔 小五 張心慈	指導老師： 林秀蓁
---	------------------

關鍵詞：水果電池、葡萄柚汁電池、「柚見石花凍電池」

摘要

進行水果電池實驗時，蒐集相關文獻得知，大部分水果電池測得電壓相差不大，產生電流也不大，心想也許是不同水果電池的內電阻太大而影響發電效能，因此嘗試加入不同角色添加物減少內電阻，及碳化電極延長電池壽命等，提升其發電效能，進行一系列實驗發現：

- 一、大部分芸香科水果果汁產生的電功率較高，其中**葡萄柚汁電池**發電效能較佳。
- 二、以 40mL 葡萄柚汁加入 60mL 石花凍液比例，製成「**柚見石花凍電池**」的發電效能最佳。
- 三、以赤血鹽水溶液加入葡萄柚汁，能**降低「柚見石花凍電池」內電阻**，提升其發電效能。
- 四、將電極片(鎂鋁片)碳化，能**延長「柚見石花凍電池」的使用期限**。
- 五、應用**改良**之「**碳化柚見石花凍電池**」，能製作易攜帶、電力持久的「**柚時鐘**」。

壹、前言

一、研究動機

在自然課水溶液導電課程裡，曾經有同學拿營養午餐發放的番茄，當做電解液，發現LED燈竟然亮了！所以想將市場中賣相不佳、過熟或即將腐爛的葡萄柚，製成水果電池。

在蒐集相關文獻後，發現不同水果電池測得電壓差異不大，也都只能產生較低的電流，心想是不是因為受到水果電池內電阻的影響？同時也發現，水果電池的使用期限較短暫，因此，我們決定探討：

- (一) 將生活中易取得的水果榨成果汁(泥)製成電解液的發電效能？
- (二) 不同水果電池測得電流不同，是否因為其內電阻不同，進而影響其發電效能？
- (三) 在葡萄柚汁中加入添加物，是否可以降低葡萄柚汁電池內電阻，提升其發電效能？
- (四) 是否可以將發電效能佳的葡萄柚汁，混合以在地石花菜熬煮的石花凍液，製成不易漏液、易攜帶且可產生較高電流的「柚見石花凍電池」？
- (五) 將電極片-鎂鋁片「碳化」，是否能延長「柚見石花凍電池」的使用期限？

相關教學單元:奇妙的電路(四下)、水溶液(五上)

二、研究目的

(一) 探討將生活中常見水果果汁製成電解液的發電效能

1. 嘗試製作固定電極片之支架裝置。
2. 比較使用不同水果種類果肉進行榨汁(泥)製成電解液，對發電效能的影響。

(二) 探討將葡萄柚汁製成「葡萄柚汁電池」的發電效能

1. 比較不同濃度電解液，對電壓、電流、電功率及電子產品運轉情形的影響。
2. 比較不同電極片及不同電路連接方式組合，對發電效能的影響。

(三) 探討將葡萄柚汁加入石花凍液，製成「柚見石花凍電池」的發電效能

1. 探討葡萄柚汁加入不同比例石花凍液，製成「柚見石花凍電池」的發電效能。
2. 應用「柚見石花凍電池」發電原理，製成「柚石鐘」及「音樂閃光卡」。

(四) 提升「葡萄柚汁電池」發電效能的探討

1. 探討將葡萄柚汁加入不同添加物，是否能**降低內電阻**，進而提升其發電效能。
2. 探討將電極片「**碳化**」後，是否能**延長**「柚見石花凍電池」的**使用期限**。
3. 應用**改良後**之「柚見石花凍電池」發電原理，製作「緊急求救鈴」及「小風扇」。

三、文獻回顧

(一) 水果電池發電原理

從認識電池發電原理探討水果電池發電原理，發現只要有電解質及不同電極片當作正極、負極，即可形成迴路發電。

(二) 相關課程及科展作品的內容探討

參考國小五上自然與生活科技-水溶液導電課程及歷屆相關科展作品，將本研究依據文獻提及相關的水果發電實驗內容，進行可再探討內容整理成下表 1-1。

表 1-1 自然與生活科技課本及科展作品中可再探討的內容

文獻中探討的相關內容	本研究可再探討的內容
自然與生活科技五上水溶液： 使用食鹽水、醋接通電路，藉由觀察 LED 的發亮情形，檢測水溶液的導電性。	我們發現番茄也可以當作電解液，使 LED 燈亮了！ 實驗設計 我們試著將菜市場中賣相不佳、過熟或即將腐爛被丟棄的 20 種(包含「不同品種」)水果，榨成果汁製成電解液，並探討其發電效能。
全國科展國中組第 48 屆 電不電有關係--『奇、檬』子的問題： 用果汁加食鹽水當作電解液，設計出環保的電池。	左列 48 屆及 50 屆科展實驗中，發現水果電池產生電流都不大，因此皆在果汁中加入添加物，且發現可以使電池電流變大，進而提升發電效能。 因此我們推測是否因水果電池內電阻不同而影響其電流?是否可以找出可降低葡萄柚汁電池內電阻之添加物，加入葡萄柚汁中，提升葡萄柚汁電池發電效能? 實驗設計
全國科展國中組第 50 屆 「果」真如此-勁量水果電池： 將 70%的檸檬汁混合 30%的雙氧水作為電解液，可以有效提升電流。	實驗設計 1.將不同水果電池連接已知電阻，測量電壓、電流及已知電阻電壓，計算出內電阻。 2.調配不同角色添加物水溶液(糖水-非電解質、食鹽水-電解質、維他命 C 水溶液-提升柑橘類成分及赤血鹽水溶液-促進電子轉移)，加入葡萄柚汁當做電解液，製成電池，找出可以最佳提升發電效能的添加物水溶液。
全國科展國中組第 51 屆 “凍”未條！水果在放電～番茄「果凍」鋅銅乾電池： 將自製番茄果凍電池進行串、並聯後，連接紅光 LED 燈及鬧鐘，並使其運轉。	我們發現左列科展實驗中只連接紅光 LED 燈，心想連接其他色光 LED 燈，發亮情形是否也相同? 實驗設計 將「柚見石花凍電池」串、並聯後，分別連接單一色光或不同色光串聯的 LED 燈，觀察其發亮情形。
全國科展國小組第 56 屆- 動「池」凍「池」--水果電池 利用洋菜條製成的檸檬果凍電池，發電效能最佳。	實驗設計 1.我們想以在地石花凍液代替洋菜條，製成發電效能佳的「柚見石花凍電池」。 2.將鎂鋁片碳化，延長「柚見石花凍電池」使用期限。

貳、研究設備及器材

一、固定電極片支架裝置及水果電池裝置

表 2-1 固定電極片裝置

第一代固定電極片裝置	第二代固定電極片裝置

表 2-2 水果電池裝置

第一代水果電池裝置	第二代水果電池裝置

二、製作電解液的實驗材料：

表 2-3 製作電解液的實驗材料

(共 20 種水果，含 2 種品種檸檬、番茄、奇異果、火龍果、3 種品種番茄、4 種品種橘子)

水果分類	芸香科	檸檬	四季檸檬	葡萄柚	柳丁
		年柑	椪柑	茂谷柑	砂糖橘
	茄科	黑柿番茄	牛番茄	玉女番茄	
	獼猴桃科	黃金奇異果	綠色奇異果		
	仙人掌科	紅肉火龍果	白肉火龍果		
	其他	百香果 (西番蓮科)	蘋果 (薔薇科)	香蕉 (芭蕉科)	芭樂 (桃金娘科)
鳳梨 (鳳梨科)					
電解液 凝固材料	石花菜科	石花菜			

三、實驗測試的水溶液與器材：

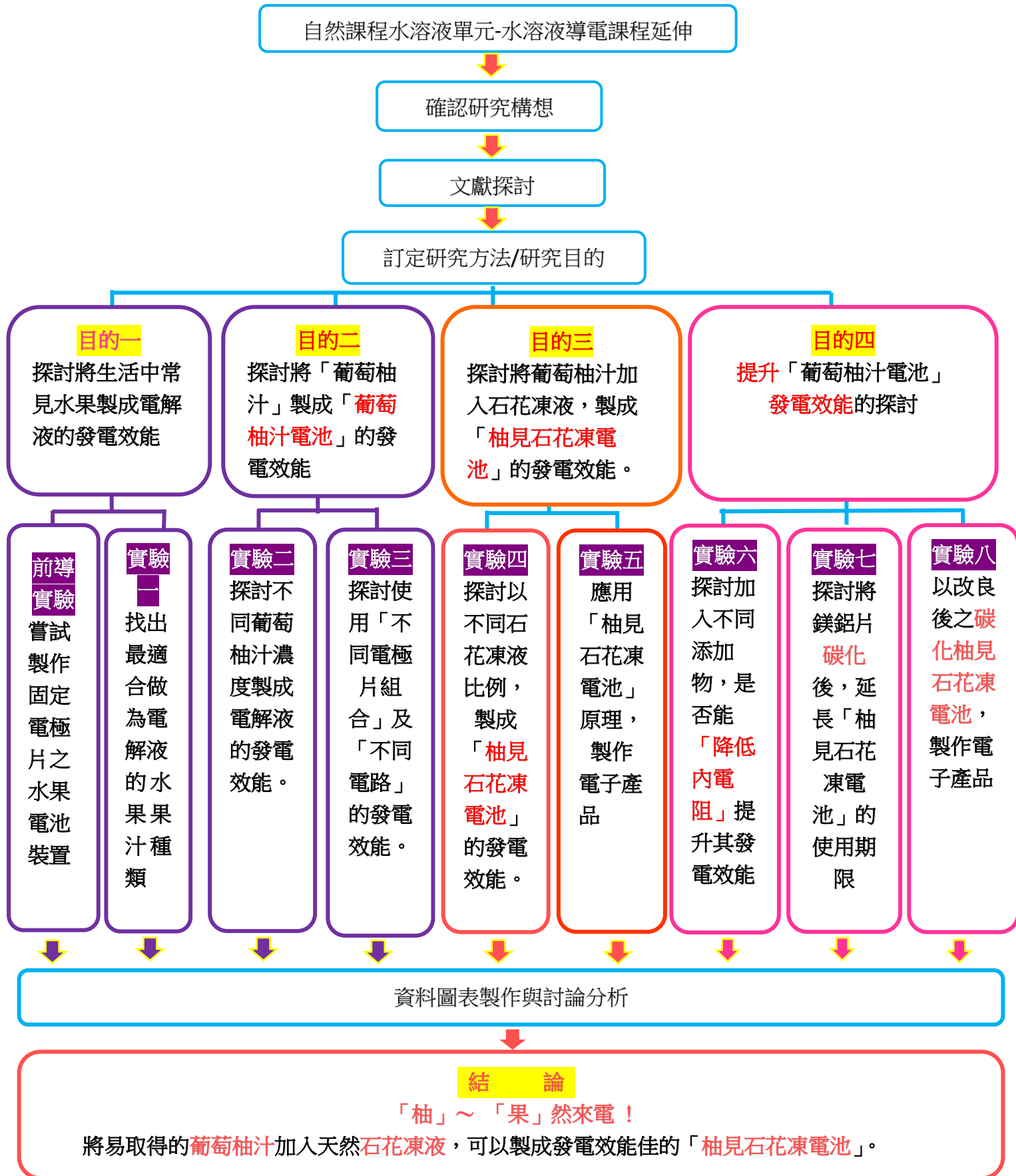
鋅片	銅片	鎂片	鎂鋁片	鎂合金片	鋁片	鐵片	鉛片	燒杯
100Ω 電阻	蒸餾水	pH 計	校正液	電子秤	榨汁機	單頭、雙頭鱷魚夾電線		

四、實驗測試的電子產品：

電子產品	紅光 LED 燈	彩光 LED 燈	綠光 LED 燈	藍光 LED 燈	蜂鳴器	電子時鐘	風扇小馬達
驅動電壓	1.5-1.6V	1.5-1.6V	1.8V	3.0-3.6V	1.5/3.0V	1.5V	3.0 V

參、研究過程與研究方法

一、研究架構圖



二、研究方法

依據表 1-1 提及課本及科展作品中可再探討的內容，設計本研究之實驗，如研究架構所述的前導實驗～實驗八，實驗步驟分述如下：

其中本研究所有實驗相關照片及圖片，皆為作者們親自拍攝及手繪


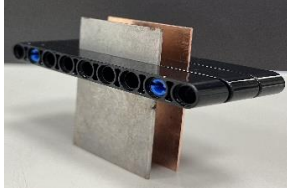

前導實驗：嘗試製作固定電極片支架之水果電池裝置

1. 製作固定電極片裝置之水果電池

步驟如表 3-1 所示：

- (1) 取 2 個樂高連接器及 3 個直臂零件合併組裝固定，完成電極片支架裝置。
- (2) 將鋅、銅電極片插入電極片支架縫隙中固定後，即完成電極片裝置。
- (3) 將塑膠瓶裁至容量 50mL 的高度，使電極片裝置插入各種果汁中，深度為 3cm，電極片間距為 1cm，即完成簡易水果電池裝置。

表 3-1 製作固定電極片之水果電池裝置實驗步驟

		
(1) 將樂高零件組裝成電極片支架	(2) 將電極片插入電極片支架	(3) 簡易水果電池裝置完成

(一)實驗一：找出最適合做為電解液的水果果汁種類

1. 將果肉榨汁(泥)，步驟如表 3-2 所述：

- (1) 蒐集表 2-3 中不同水果種類的 20 種水果，並取其果肉。
- (2) 以電子秤秤取上述水果果肉各 100 g，加入 10 mL 蒸餾水，分別放入榨汁機中將果肉榨汁(泥)，即完成各種果汁(泥)電解液。

表 3-2 取果肉榨成汁(泥)的實驗步驟

		
(1) 取果肉 100 g	(2) 加 10 mL 蒸餾水至榨汁機	(3) 製成不同果汁電解液

2. 取果汁進行發電，步驟如表 3-3 所述：

- (1) 取 50 mL 果汁(泥)當做電解液，放入 50 mL 塑膠瓶中。
- (2) 取銅片(3 x 5cm)當正極、鋅片(3 x 5cm)當負極，以自製電極片支架裝置固定電極間距離為 1cm，再將電極片插入各種果汁(泥)並將深度固定為 3cm。
- (3) 將電極片插入各種果汁(泥)中，先用三用電表分別測量其電壓、電流，並計算電功率 (電壓值 x 電流值 = 電功率)，再連接電子產品觀察其運轉情形。

表 3-3 以不同水果果汁(泥)進行發電實驗步驟

		
(1)將電極片裝置放入果汁中	(2)水果電池連接三用電表	(3)水果電池連接 LED 燈

3. 每種果汁(泥)皆進行三次實驗求其平均值，以減少實驗誤差。
4. 每次插入電極片皆先等待 2 分鐘，待電壓數值穩定後讀取電壓數值，再繼續等待 2 分鐘，等待電流值較穩定後讀取電流數值，最後將電極片洗淨、擦乾後，再進行下一次實驗。

(二)實驗二：探討「不同葡萄柚汁濃度」製成電解液的發電效能

取**實驗一**中，電功率排名第二，但便宜且易取得的葡萄柚果肉榨汁，作為電池的電解液。

1. 調配不同濃度的葡萄柚汁。
步驟如表 3-4 所示：
 - (1) 調配 10 種果汁濃度時，皆事先一次將所需葡萄柚汁容量 300mL 裝入同一個量筒中，讓調配各種濃度的葡萄柚汁品質相同。
 - (2) 取葡萄柚原汁分別加入蒸餾水，調配成濃度為 10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%及 100%的葡萄柚汁。

表 3-4 調配不同濃度葡萄柚汁方法

	
(1)將所需葡萄柚汁容量裝入同一量筒中	(2)調配成 10 種不同濃度葡萄柚汁

2. 進行不同葡萄柚汁濃度發電效能實驗。
 - (1) 如**實驗一**果汁發電實驗方法，取 10 種葡萄柚汁濃度，進行不同葡萄柚汁濃度發電效能實驗，觀察並記錄其電壓、電流、電功率及使電子產品運轉情形。

(三)實驗三：探討使用「不同金屬電極片組合」及「不同電路」連接方式的發電效能

1. **實驗 3-1**：「不同金屬電極片組合」發電效能實驗步驟，如表 3-5 所述：
 - (1)取**實驗二**電功率最佳濃度的「100%葡萄柚汁」，作為此實驗的電解液。
 - (2)如**實驗一**水果發電實驗方法，取「鋅-銅」、「鋁-銅」、「鐵-銅」、「鉛-銅」、「鎂-銅」、「鎂鋁-銅」、「鎂合金-銅」共 7 種金屬電極片組合，進行發電效能實驗。

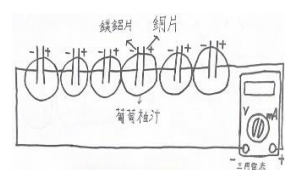

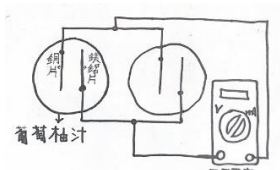
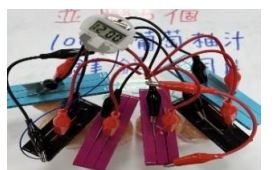
表 3-5 以「不同金屬電極片組合」進行發電效能的實驗步驟

			
1.取 100%葡萄柚汁 50mL 放入塑膠瓶中	2.將不同金屬電極片插入 100%葡萄柚汁中	3.將葡萄柚汁電池連接 三用電表	4.將葡萄柚汁電池連接 電子產品

2. 實驗 3-2：「不同電路」連接方式發電效能實驗步驟，如下：

- (1)取電功率最佳的金屬電極片組合-「鎂鋁-銅」，以分杯方式，進行串聯、並聯發電效能實驗。
- (2)進行「不同電路連接方式」實驗前，事先一次將可能所需葡萄柚汁 500mL 裝入同一個量筒中，盡量讓串聯及並聯分杯中的葡萄柚汁品質相同。
- (3)如**實驗一**果汁發電實驗方法，使用固定電極片的支架固定作為負極的「鎂鋁片」及正極的「銅片」，進行 100%葡萄柚汁電池串聯及並聯發電效能實驗，其實驗裝置如表 3-6。


表 3-6 以「鎂鋁-銅」電極片組合進行「不同電路方式」發電效能的實驗裝置

「串聯」裝置手繪圖	「串聯」裝置實境照片	「並聯」裝置手繪圖	「並聯」裝置實境照視
			

(四)實驗四：探討以不同石花凍液比例，製成「柚見石花凍電池」的發電效能

1. 石花菜屬於紅藻，藻體呈現紅褐色，羽狀分枝，生長於中潮帶或低潮帶的岩石上，全年都可以生長，漁民會在盛產季採收後於空地曝曬，進行保存，且因含有豐富膠質，可熬煮成石花凍液製成果凍，是學校附近潮間帶的在地特產。
2. 製作不同比例之「柚見石花凍」，步驟如表 3-7 所述：
 - (1) 取 60g 石花菜及 960mL 蒸餾水倒入內鍋中，及 180mL 蒸餾水放入外鍋蒸煮大約 1 小時，並以篩網過濾熬煮好 10 種比例所需之石花凍液，共 550 mL。
 - (2) 將葡萄柚汁分別加入石花凍液攪拌均勻，調配葡萄柚汁(mL)與石花凍液 mL 比例為 90：10、80：20、70：30、60：40、50：50、40：60、30：70、20：80、10：90、0：100，共 10 種比例。
 - (3)冷卻 30 分鐘，即完成 10 種不同比例之「柚見石花凍」。

表 3-7 製作不同比例之「柚見石花凍」步驟

			
1. 取 60g 石花菜熬煮石花凍液。	2. 用篩網過濾煮好的石花凍液。	3. 調配 10 種葡萄柚及石花凍液比例。	4. 冷卻後完成 10 種比例「柚見石花凍」。

3. 進行不同比例「柚見石花凍電池」之發電效能實驗。

步驟如表 3-8 所述：

- (1) 取表 3-7 步驟製成 10 種比例之「柚見石花凍」，並將「鎂鋁-銅」電極片組合插入「柚見石花凍」中，使電極片插入深度固定 3cm，間距為 1cm，製成「柚見石花凍電池」。
- (2) 如實驗一果汁電池實驗方法，測量「柚見石花凍電池」之電壓及電流，並計算其電功率及連接電子產品觀察並記錄其運轉情形。

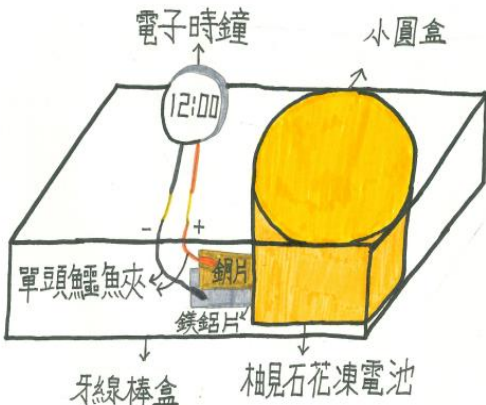
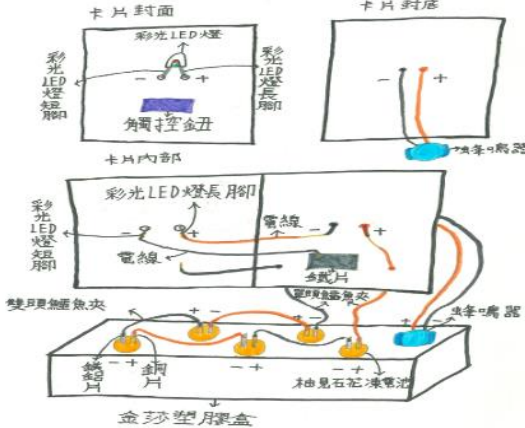
表 3-8 進行不同比例「柚見石花凍電池」發電效能實驗步驟

		
1. 電極片插入「柚見石花凍」，製成「柚見石花凍電池」。	2. 將不同比例「柚見石花凍電池」連接三用電表。	3. 將不同比例「柚見石花凍電池」連接電子產品。

(五)實驗五：應用「柚見石花凍電池」原理，製作日常生活中的電子產品

1. 以自製「柚見石花凍電池」為電力來源，構思「柚石鐘」、「音樂閃光卡」手繪設計圖。
2. 手繪設計圖及所需器材如表 3-9 所示：

表 3-9 應用「柚見石花凍電池」原理設計電子產品之手繪設計圖及所需器材表

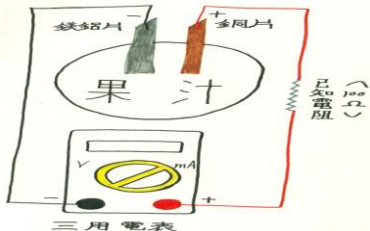

電子產品	柚時鐘	音樂閃光卡
電路連接方式	1. 將 1 個電池連接電子時鐘。	1. 先將 5 個電池串聯，再連接已串聯之 LED 燈及蜂鳴器。
手繪設計圖		

(六)實驗六：探討將不同添加物加入葡萄柚汁，是否能「降低內電阻」，提升發電效能

1. 實驗 6-1：探討「不同果汁內電阻」實驗步驟，如表 3-10 所述：

- (1) 取測得電流最高「檸檬、葡萄柚」及最低「香蕉、鳳梨」，製成電解液。
- (2) 將電極片分別插入 4 種電解液中，連接已知電阻及三用電表，測得總電壓、總電流、已知電阻電壓後，計算出 4 種果汁的內電阻。



表 3-10 「不同果汁內電阻測量」實驗裝置

實驗裝置手繪圖	實驗裝置實境照片
	

2. 實驗 6-2：探討「不同添加物水溶液之內電阻測量」實驗步驟，如表 3-11 所述：

- (1) 分別取糖(5g)、赤血鹽(5g)、食鹽(1.78g)加入 45mL 蒸餾水，及 1 顆維他命 c 發泡錠加入 100mL 蒸餾水，調配出 4 種水溶液。
- (2) 將電極片分別插入 4 種水溶液中，如 6-1 實驗方法，計算 4 種水溶液內電阻。

表 3-11 「不同添加物水溶液之內電阻」實驗步驟

		
1.調配 4 種水溶液。	2.連接已知電阻測量內電阻	3. 連接紅光 LED 燈。

3. 實驗 6-3：探討「不同添加物水溶液加入葡萄柚汁之內電阻」實驗步驟，如表 3-12 所述：

- (1) 分別取糖水、食鹽水、赤血鹽水溶液及維他命 C 水溶液 5 mL，加入 45 mL 葡萄柚汁，製成 4 種電解液。
- (2) 將電極片分別插入 4 種電解液中，如 6-1 實驗方法，計算 4 種電解液內電阻。



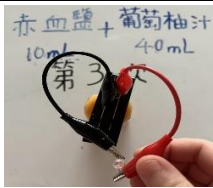
表 3-12 「不同添加物水溶液加入葡萄柚汁之內電阻」實驗步驟

		
1.調配 4 種添加物葡萄柚汁。	2.連接已知電阻測量內電阻	3. 連接紅光 LED 燈。

4. **實驗 6-4：探討「以不同比例赤血鹽水溶液加入葡萄柚汁」製成電池之發電效能**
實驗步驟，如表 3-13 所述：

- (1) 取 6-3 實驗中，可降低內電阻，提升葡萄柚汁電流之赤血鹽水溶液進行實驗。
- (2) 調配赤血鹽水溶液與葡萄柚汁比例如下：5mL：45mL、10mL：40mL、15mL：35 mL，共 3 種比例。
- (3) 將電極片分別插入加入 3 種比例赤血鹽水溶液製成之葡萄柚汁電池，如 6-1 實驗方法，計算出不同比例電池之內電阻，並觀察其連接 LED 燈發亮情形。



表 3-13 「不同比例赤血鹽水溶液加入葡萄柚汁之內電阻測量」實驗步驟

		
1. 調配 3 種比例赤血鹽葡萄柚汁。	2. 連接已知電阻測量內電阻	3. 連接紅光 LED 燈。

(七) 實驗七：探討將鎂鋁片「碳化」後，是否能延長「柚見石花凍」的使用期限

1. 取**實驗 6-4** 發電效能最佳比例之「10 mL 赤血鹽：40 mL 葡萄柚汁」，作為電池的電解液。
2. 取前項比例之電解液 60mL，加入 40mL 石花凍液，製成「柚見石花凍」電池。
3. 用蠟燭讓**奈米級疏水性碳粒**附著在**鎂鋁片**上，以 0.01g/cm² 碳化量的鎂鋁片當作負極，插入「柚見石花凍」電池中，如 6-1 實驗方法，觀察並記錄其平均電壓、電流、電功率及電子產品運轉情形，步驟如表 3-14 所述：

表 3-14 將「鎂鋁片碳化」製成電池進行發電效能的實驗步驟

		
1. 用蠟燭燻黑 碳化 鎂鋁片。	2. 連接三用電表。	3. 連接電子產品。

(八) 實驗八：以改良後之「柚見石花凍電池」，驅動需較高電流的小風扇運轉

1. 取 2 個**實驗七**製成之「柚見石花凍電池」，以串聯方式連接成 1 組電池。
2. 再取前項 6 組電池，以並聯方式連接後，連接三用電表、蜂鳴器及風扇小馬達，觀察並記錄其平均電壓、電流、電功率其電子產品運轉情形。

手繪設計圖如表 3-15 所述：

表 3-15 以改良後「柚見石花凍電池」驅動「緊急求救鈴」及「風扇小馬達」手繪設計圖

電子產品	緊急求救鈴	風扇小馬達
電路連接方式	1. 先將 2 個電池串聯成 1 組電池。 2. 再並聯 2 組電池，連接蜂鳴器。	1. 先將 2 個電池串聯成 1 組電池。 2. 再並聯 6 組電池，連接風扇小馬達。
手繪設計圖		

肆、研究結果與討論

前導實驗：嘗試製作固定電極片支架及水果電池裝置

一、實驗說明：

(一) 嘗試從生活中取材（膠泥、塑膠瓶蓋、樂高零件、塑膠瓶），製作可以使電極片固定深度及間距的「電極片支架裝置」。

二、實驗結果：

(一) 以「第一代」及「第二代」電極片支架裝置插入各種果汁，進行發電效能實驗之水果電池裝置，如下表 4-1。

表 4-1 「第一代」及「第二代」電極片支架之水果電池裝置比較表

第一代電極片水果電池裝置		第二代電極片水果電池裝置	

三、實驗討論：

- (一) 將「第一代電極片支架裝置」放入果汁，發現當使用鱷魚夾電線連接三用電表時，其拉力容易使果汁中的電極片(表 4-1 紅色圈圈處)接觸。
- (二) 以樂高零件改良後的「第二代電極片支架裝置」放入果汁連接三用電表時，可以將插入電極片的深度及間距固定，果汁中的電極片(表 4-1 藍色圈圈處)不會接觸。

四、小結：

(一) 以第二代電極片水果電池裝置放入果汁進行發電效能實驗時，可以使插入電極片的深度及間距固定，進而較準確的測得各種果汁的電壓及電流值，因此最後選用第二代電極片水果電池裝置進行後續相關實驗。

實驗一：找出最適合做為電解液的水果果汁種類

一、實驗說明：

- (一) 嘗試將 20 種水果果肉及 10mL 蒸餾水，放入榨汁機中攪碎，製成電解液。
- (二) 將電極片分別插入不同果汁(泥)，連接三用電表及電子產品並探討其發電效能。
- (三) 以 pH 計檢測果汁酸鹼值，並蒐集相關文獻紀錄不同果汁之維他命 C 含量。
- (四) 找出易取得且發電效能佳的果汁(泥)，來進行後續實驗。

二、實驗結果：

(一) 將電極片插入不同果汁(泥)中，連接三用電表測得電壓、電流及計算出電功率，觀察連接電子產品運轉情形，如下表 4-2、圖 4-1、圖 4-2。

表 4-2 「不同水果果汁」平均電壓、電流、電功率、pH 值、電子運轉及維他命 C 含量比較表

水果種類	比較項目	平均電壓 (V)	平均電流 (mA)	電功率 (mW)	pH 值	紅光 LED 燈	蜂鳴器	維他命 C 含量
芸香科	檸檬	0.94	3.86	3.63	2.8	x	○	34.0mg
	四季檸檬	0.94	2.77	2.60	2.7	x	○	34.0mg
	葡萄柚	0.98	3.56	3.49	3.5	x	○	36.5mg
	年柑	0.97	2.57	2.49	4.3	x	○	31.0mg
	椪柑	0.96	2.65	2.54	4.2	x	○	31.0mg
	茂谷柑	0.98	2.18	2.14	4.2	x	○	26.4mg
	砂糖橘	0.97	2.20	2.13	4.3	x	○	25mg
茄科	柳丁	0.97	2.07	2.01	4.2	x	○	41.2mg
	黑柿番茄	0.95	2.56	2.43	4.4	x	○	27.0mg
	牛番茄	0.89	1.73	1.54	4.4	x	○	27.0mg
	玉女番茄	0.89	1.86	1.66	4.3	x	○	43.5mg

獼猴桃科	黃金奇異果	0.91	2.84	2.58	3.9	x	○	90.1mg
	綠奇異果	0.91	2.14	1.94	3.8	x	○	73.0mg
仙人掌科	紅肉火龍果	0.92	1.68	1.55	5.4	x	○	6.3mg
	白肉火龍果	0.88	1.27	1.18	5.7	x	○	5.3mg
西番蓮科	百香果	0.94	2.10	1.97	3.1	x	○	32.0mg
薔薇科	蘋果	1.02	2.19	2.23	4.0	x	○	4.6mg
芭蕉科	香蕉	0.87	1.07	0.93	9.4	x	○	8.7mg
桃金娘科	芭樂	0.96	2.46	2.36	4.1	x	○	137.9mg
鳳梨科	鳳梨	0.94	1.42	1.33	3.8	x	○	47.8mg

○：代表電子產品可以發亮或運轉 x：代表電子產品無法發亮或運轉

★其中牛番茄及黑柿番茄皆以大番茄維他命 C 含量紀錄。

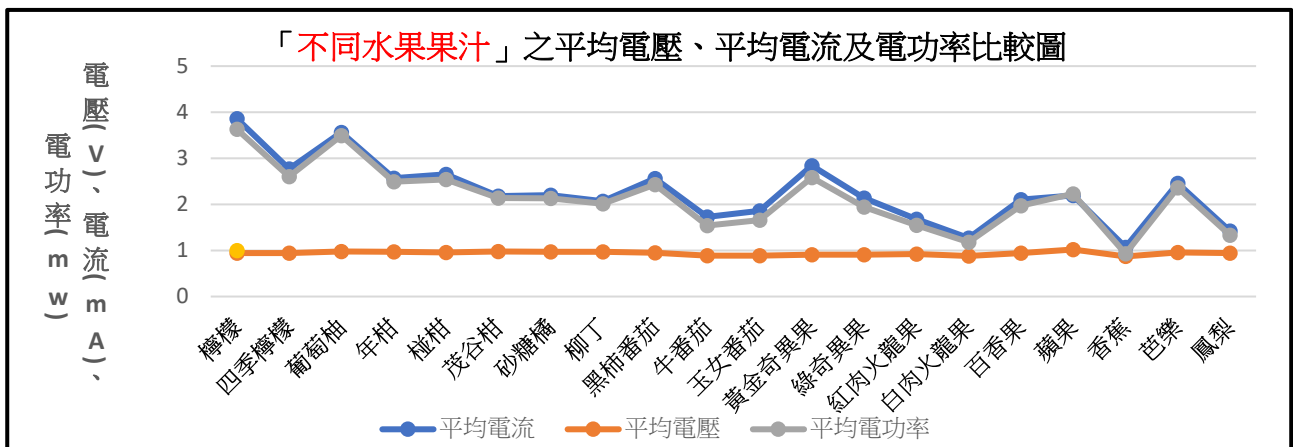


圖 4-1 「不同水果果汁」之平均電壓、電流及電功率比較圖

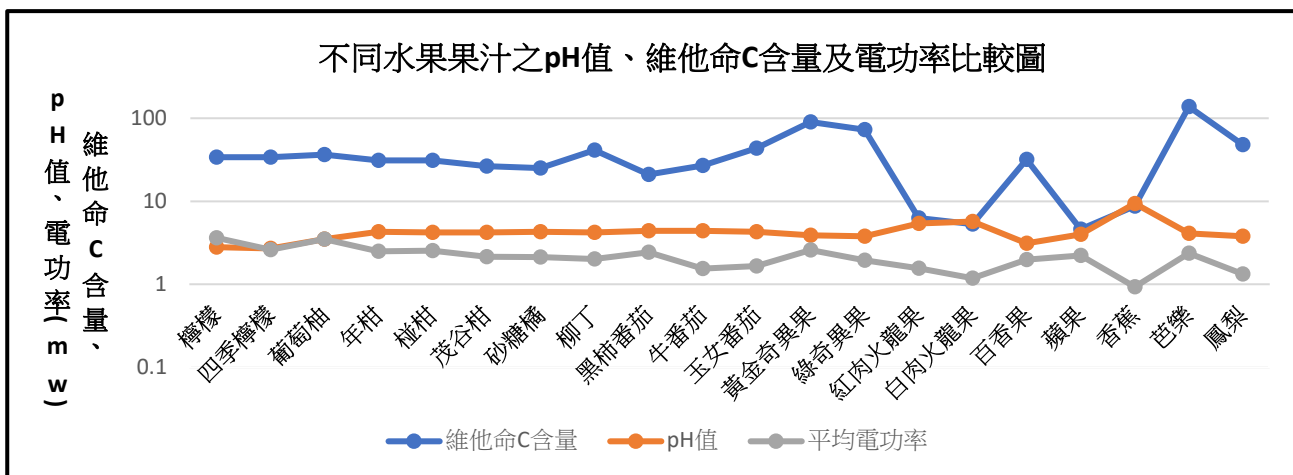


圖 4-2 「不同水果果汁」之維他命 C 含量、pH 值及電功率比較圖

三、實驗討論：

- (一) 不同水果果汁種類對電壓值影響不大。
- (二) 不同水果果汁種類對電流值影響較明顯；平均電流值前 3 名排序如下：
檸檬汁 (3.86mA) > 葡萄柚汁 (3.56mA) > 四季檸檬汁 (2.77mA)。
- (三) 電功率由電壓值及電流值最佳的檸檬汁居冠，而葡萄柚位居第二；電流及電功率排名前三名都是 pH 值較小及維他命 C 含量較高的芸香科柑橘屬，發電效果較佳。
- (五) 不論使用哪一種水果果汁可以使蜂鳴器短暫鳴叫，但皆無法使紅光 LED 燈發亮。
- (六) 不同品種水果果汁(檸檬、橘子、番茄、奇異果、火龍果)會影響其電功率。
- (七) 不同水果果汁的 pH 值及維他命 C 含量，對電功率較無絕對直接的影響。

四、小結：

- (一) 雖然電功率由檸檬居冠，但檸檬價格較貴(1 斤 79 元)，而排名第二葡萄柚價格相對便宜(1 斤 29 元)，過熟後變得賣相不佳的葡萄柚，反而可以榨出更多汁液且不影響其發電效能，因此我們決定使用葡萄柚汁進行「不同濃度水果果汁」的發電效能實驗。

實驗二：探討「不同葡萄柚汁濃度」製成電解液的發電效能

一、實驗說明：

- (一) 取「實驗一」中，電功率排名第二，但便宜且易取得的葡萄柚榨汁，調配 10 種不同濃度的葡萄柚汁作為水果電池的電解液。
- (二) 將電極片分別插入 10 種不同濃度的葡萄柚汁，連接三用電表及電子產品，試著找出發電效果較佳的葡萄柚汁濃度製成之電解液。

二、實驗結果：

- (一) 以不同濃度葡萄柚汁作為電解液，連接三用電表測得發電效能，如下圖 4-3。

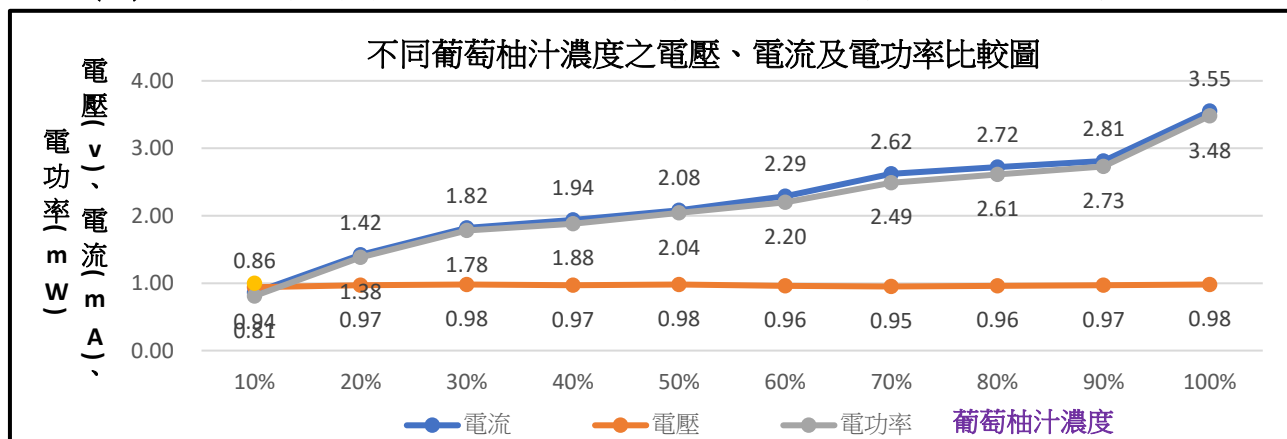


圖 4-3 「不同葡萄柚汁濃度」之平均電壓、電流及電功率比較圖

三、實驗討論：

- (一) 不同葡萄柚汁濃度對電壓值較無影響。
- (二) 葡萄柚汁濃度越高，測得的電流值也越大，因此計算出的電功率也越大。
- (三) 當葡萄柚汁濃度為 100%時，可計算出最佳電功率(3.48mA)。

四、小結：

- (一) 以不同葡萄柚汁濃度當做電解液時，會影響其發電效能。
- (二) 最後選取發電效能**最佳濃度為 100%的葡萄柚汁**，來進行後續探討「不同金屬電極片組合」及「不同電路連接方式」對發電效能影響的實驗。

實驗三：探討使用「不同金屬電極片組合」及「不同電路連接方式」的發電效能

一、實驗說明：

- (一) 取實驗二電功率排名第一，濃度為 **100%的葡萄柚汁**，當做電解液，進行 7 種金屬電極片組合--「鋅-銅」、「鋁-銅」、「鐵-銅」、「鉛-銅」、「鎂-銅」、「鎂鋁-銅」、「鎂合金-銅」之發電效能實驗。
- (二) 取前項實驗電功率**最佳金屬電極片組合**，以分杯方式，進行「不同電路連接方式」--串聯、並聯之發電效能實驗。

二、實驗結果與討論：

- (一) 將 7 種不同金屬電極片組合插入 100%葡萄柚汁中，再連接三用電表及電子產品後，記錄其發電效能如下圖 4-4。

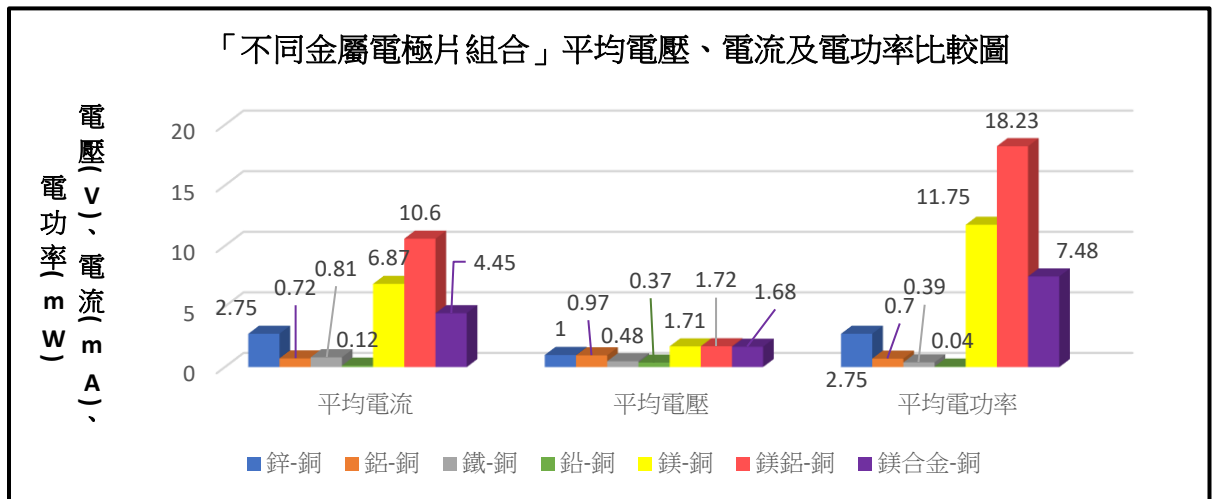


圖 4-4 「不同金屬電極片組合」之平均電壓、電流及電功率比較圖

- 1. 依照上圖 4-4，使用不同金屬電極片組合，進行實驗發電效能如下：
 - (1) 電壓值前三名：**鎂鋁-銅** (1.72V) > **鎂-銅** (1.71V) > **鎂合金-銅** (1.68V)。
 - (2) 電流值前三名：**鎂鋁-銅**(10.60mA) > **鎂-銅**(6.87mA) > **鎂合金-銅** (4.45mA)。
 - (3) 電功率前三名：**鎂鋁-銅**(18.23mW) > **鎂-銅**(11.75mW) > **鎂合金-銅**(7.48mW)。

2. 使用不同電極片組合，電子產品運轉情形如下：

(1) 只有「**鎂鋁-銅**、**鎂-銅**、**鎂合金-銅**」3種金屬電極片組合，皆可以使紅光 LED 燈發亮及使電子時鐘、蜂鳴器運轉。

(2) 不論使用一種電極片組合，都無法使馬達小風扇運轉。

(二) 將**鎂鋁-銅葡萄柚汁電池**以「**串聯電路**」連接方式，進行發電效能實驗，並記錄其電壓、電流、電功率及電子產品運轉情形如下圖 4-5、4-6。

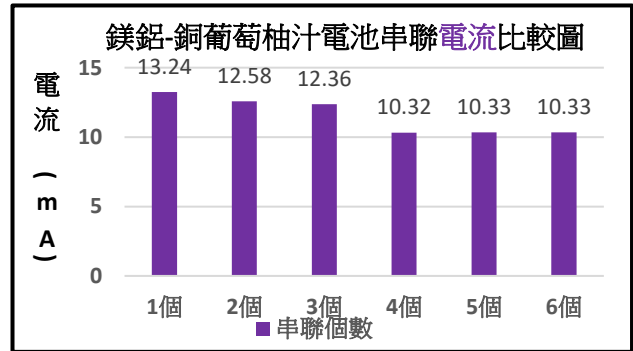
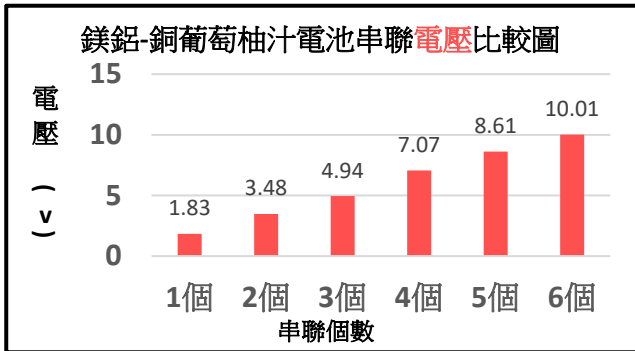


圖 4-5 「串聯電路」平均電壓比較圖

圖 4-6 「串聯電路」平均電流比較圖

1. 依照上圖 4-5、4-6，將**鎂鋁-銅葡萄柚汁電池串聯**結果得知：

(1) 將葡萄柚汁電池串聯進行發電，發現串聯個數對電流影響較不大，而且推測可能因為串聯個數變多，電阻增加，因此測得總電流值有稍微降低。

(2) 將葡萄柚汁電池串聯個數越多，測得總電壓值越大，計算出的電功率也越大；串聯 6 個葡萄柚汁電池，所產生的電功率(103.4mW)最大。










(3) 不管串聯幾個葡萄柚汁電池，都可以使紅光 LED 燈發亮，也可以使蜂鳴器及電子時鐘運轉；但皆無法使風扇小馬達運轉。

2. 分析整理將**鎂鋁-銅葡萄柚汁電池串聯**後，分別連接 4 種不同顏色 LED 燈 (同色光 LED 燈及不同色光串聯)，其 LED 燈發亮情形如下表 4-3、表 4-4。

表 4-3 葡萄柚汁電池串聯驅動「不同色光 LED 燈」發亮情形表-同色光串聯

電池串聯個數、總電壓 (驅動電壓)		1	2	3	4	5
		(1.83V)	(3.48V)	(4.94V)	(7.07V)	(8.61V)
紅光 (1.5-1.6V)	1	○	○ (超亮)	○ (超亮)	○ (超亮)	○ (超亮)
	2	X	○	○	○	○
	3	X	X	○	○	○
	4	X	X	○ (微亮)	○	○
	5	X	X	X	○ (4 微亮1 X)	○ (4 亮1 微亮)
藍光 (3.0-3.6V)	1	X	○	○ (超亮)	○ (超亮)	○ (超亮)
	2	X	X	X	○	○

表 4-4 串聯 3 及 4 個葡萄柚汁電池驅動「不同色光 LED 燈」發亮實際情形說明表

串聯電池個數	實境照片				手繪示意圖			
3 (4.94V)	1 紅 (1.5V)	1 彩 (1.5V)	1 綠 (1.8V)	1 藍 (3.0V)	1 紅	1 彩	1 綠	1 藍
								
	2 紅 (3.0V)	2 綠 (3.6V)	2 藍 (6.0V)	2 彩 (3.0V)	2 紅	2 綠	2 藍 (不亮)	2 彩
								
	1 紅 1 綠 (3.3V)	1 紅 1 藍 (4.5V)	1 紅 1 彩 (3.0V)	1 綠 1 彩 (3.3V)	1 紅 1 綠	1 紅 1 藍	1 紅 1 彩	1 綠 1 彩
								
4 (7.07V)	2 藍 (6.0V)				2 藍 (亮了)			
								

(1) 不同色光 LED 燈所需驅動電壓不同，紅光(1.5-1.6V)、彩光(1.5-1.6V)、綠光(1.8V)、藍光(1.5-1.6V)。

(2) 1 個葡萄柚汁電池，無法使串聯多個紅光 LED 燈發亮，但串聯多個電池提升總電壓，即可驅動串聯多個紅光 LED 燈發亮。

(3) 將 3 個葡萄柚汁電池串聯，無法使串聯 2 個藍光 LED 燈發亮，但串聯 4 個電池提升總電壓至 7.07V，即可驅動串聯 2 個藍光 LED 燈(6.0V)發亮。

3. 小結：

(1) 將葡萄柚汁電池串聯進行發電，總電流值沒有增加，但總電壓值增加。

(2) 將葡萄柚汁電池串聯後，連接不同色光串聯之 LED 燈，發現串聯電池個數越多，因為總電壓值增加，可驅動不同色光 LED 燈發亮，同時發亮的個數變多，亮度也增加。

(3) 將葡萄柚汁電池串聯，可以驅動「串聯」同色光或不同色光的 LED 燈同時發亮，也可以使串聯的蜂鳴器及電子時鐘同時運轉。

(三) 將鎂鋁-銅葡萄柚汁電池以「並聯電路」連接方式，進行發電效能實驗，並記錄其電壓、電流、電功率及電子產品運轉情形如下圖 4-7。

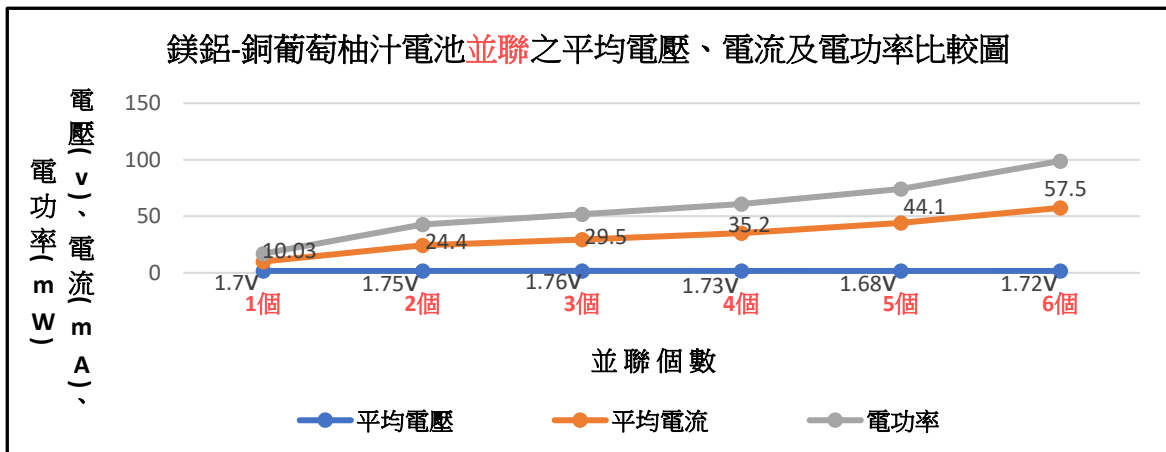


圖 4-7 鎂鋁-銅葡萄柚汁電池並聯之平均電壓、電流及電功率比較圖

1. 依照上圖 4-7，將鎂鋁-銅葡萄柚汁電池並聯結果得知：

- (1) 將葡萄柚汁電池並聯進行發電，發現並聯個數對電壓影響不大。
- (2) 將葡萄柚汁電池並聯個數越多，測得電流值越大，計算出的電功率也越大；並聯 6 個葡萄柚汁電池，所產生的電功率(98.9mW)最大。
- (3) 不管並聯幾個葡萄柚汁電池，雖然可以使蜂鳴器、電子時鐘運轉；但是都只可以使 1 個紅光 LED 燈發亮，也無法使風扇小馬達運轉。

2. 小結：

- (1) 將葡萄柚汁電池並聯進行發電，對電流值影響較大，因此影響其電功率。
- (2) 將葡萄柚汁電池並聯進行發電時，由於無法增加電壓，因此即使並聯 6 個電池，也只能讓 1 個紅光 LED 燈發亮。

三、總結：

- (一)以「鎂鋁-銅」電極片組合進行發電效能實驗，可產生最佳電功率。
- (二)串聯葡萄柚汁電池的個數越多，所測得總電壓值越高，但無法提升總電流值。
- (二)並聯葡萄柚汁電池的個數越多，所測得總電流值越高，但無法提升總電壓值。
- (三)因串聯電池會增加總電壓數，所以可驅動同時串聯不同色光的 LED 燈同時發亮或亮度增強；而並聯雖然電流增強，總電壓卻無法增加，所以無法驅動串聯不同色光的 LED 燈同時發亮或增強亮度。

實驗四：探討以不同石花凍液比例，製成「柚見石花凍電池」的發電效能

一、實驗說明：

- (一) 取「實驗二」中，電功率排名第一，濃度為 100%的葡萄柚汁，加入石花凍液，調配 10 種比例之「柚見石花凍液」，冷卻後製成「柚見石花凍」。

(二) 將「鎂鋁-銅」金屬電極片組合，分別插入 10 種比例之「**柚見石花凍**」中，連接三用電表及電子產品，觀察及記錄其電壓、電流、電功率及電子產品運轉情形。

二、實驗結果：

(一) 將 10 種比例之「**柚見石花凍電池**」連接三用電表及電子產品，記錄其發電效能如下圖 4-8。

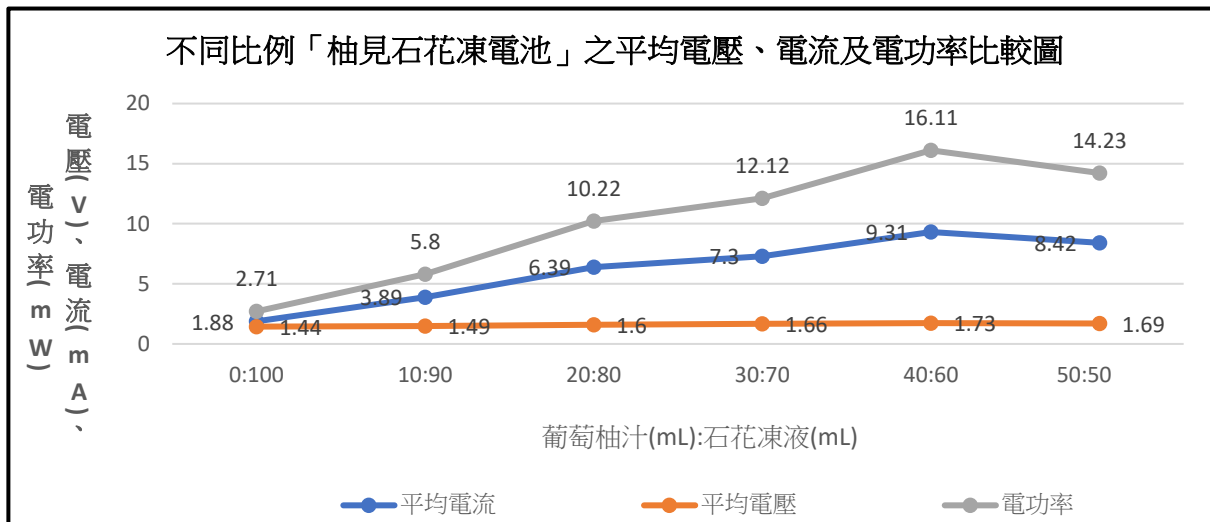


圖 4-8 「不同比例柚見石花凍電池」之平均電壓、電流及電功率比較圖

三、實驗討論：

- (一) 當葡萄柚汁比例大於 50mL 時，就無法凝固成型，因此沒有進行實驗。
- (二) 不同比例製成的「柚見石花凍電池」，對測得電壓值影響不大。
- (三) 不同比例製成的「柚見石花凍電池」，對電流值影響較大。
 1. 以葡萄柚汁比例 0mL~40mL 製成的 5 種「柚見石花凍電池」，隨著葡萄柚汁比例越高，所測得的電流值也越高。
 2. 但當葡萄柚汁比例為 50mL 時，雖有凝固成凍，但進行實驗後，發現最下層部分葡萄柚汁沒有凝固成凍，因此推測上層果凍因所含的葡萄柚汁成分較少，而使發電效能較差。
- (四) 以比例為 40mL(葡萄柚汁):60mL(石花凍液)製成的「柚見石花凍電池」電功率最高，為 16.11mW；並且可以使紅光 LED 燈、蜂鳴器及電子時鐘運轉，但無法使風扇小馬達運轉。
- (五) 將 100%的石花凍液製成的石花凍電池，計算出的電功率較低，雖然無法使紅光 LED 燈發亮，蜂鳴器也只有極微弱的聲音，卻可以使電子時鐘運轉。

四、小結：

(一)以 40mL 葡萄柚汁:60mL 石花凍液比例，可以製成發電效能佳，且兼具不易溢出又攜帶方便優點的「柚見石花凍電池」；因此決定試著將此比例之「柚見石花凍電池」，連接電子時鐘、蜂鳴器及 LED 燈，製成日常生活用的電子產品。

實驗五：應用「柚見石花凍電池」原理，製作「柚石鐘」、「音樂閃光卡」

一、實驗說明：

- (一) 取前項實驗發電效果最佳比例製成的「柚見石花凍」，插入「鎂鋁-銅電極片組合」製成「柚見石花凍電池」。
- (二) 將數個「柚見石花凍電池」串聯後，分別連接電子時鐘、蜂鳴器及 LED 燈，製作「柚石鐘」及「音樂閃光卡」。

二、實驗結果：

(一)「柚石鐘」及「音樂閃光卡」之製作過程，如下表 4-5、表 4-6。

表 4-5 「柚石鐘」製作過程

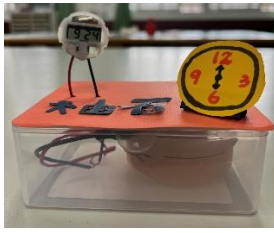
		
1. 電極片橫放插入「柚見石花凍」，製成「柚見石花凍電池」	2. 將「柚見石花凍電池」連接電子時鐘。	3. 實用的「柚石鐘」完成！

表 4-6 「音樂閃光卡」製作過程

			
1. 電極片插入「柚見石花凍」，製成「柚見石花凍電池」。	2. 串聯 5 個「柚見石花凍電池」。	3. 在卡片上組裝觸控式電路，固定在「柚見石花凍電池」上。	4. 連接彩光 LED 燈及蜂鳴器，觸控式「音樂閃光卡」完成！

三、實驗討論：

(一)「柚石鐘」：

1. 將 1 個「柚見石花凍電池」連接電子時鐘，即完成「柚石鐘」，且至少可以運轉 1 個月。

(二) 「音樂閃光卡」：

1. 將 5 個「柚見石花凍電池」串聯，連接串聯的彩光 LED 燈及蜂鳴器，再連接觸控式的電路後，即完成觸控式「音樂閃光卡」。
2. **意外的驚喜**：將蜂鳴器與發出閃爍光芒的彩光 LED 燈串聯後，蜂鳴器竟然會跟著閃爍光的節奏發出像優美的鳥鳴叫聲，因此創作出「音樂閃光卡」。

四、小結：

(一)應用「**柚見石花凍電池**」原理，製成的電子產品至少可運轉 1 個月，是兼具易製作又實用的環保電池。

實驗六：探討將不同添加物加入葡萄柚汁，是否能「降低內電阻」，提升發電效能

一、實驗說明：

(一) **實驗 6-1**：探討「不同果汁內電阻」。

1. 取測得電流最高「檸檬、葡萄柚」及最低「香蕉、鳳梨」製成電解液。
2. 將電極片分別插入 4 種電解液中，連接已知電阻及三用電表，測得總電壓、總電流、已知電阻電壓後，計算出 4 種果汁的內電阻。

(二) **實驗 6-2**：探討「不同添加物水溶液內電阻」。

1. 分別取糖(5g)、赤血鹽(5g)、食鹽(1.78g)加入 45mL 蒸餾水，及 1 顆維他命 c 發泡錠加入 100mL 蒸餾水，調配出 4 種水溶液。
2. 將電極片分別插入 4 種水溶液，如 6-1 實驗方法，計算 4 種水溶液內電阻。

(三) **實驗 6-3**：探討「不同添加物水溶液加入葡萄柚汁之內電阻」。

1. 分別取糖水、食鹽水、赤血鹽水溶液及維他命 C 水溶液 5 mL，加入 45 mL 葡萄柚汁，製成 4 種電解液。
2. 將電極片分別插入 4 種電解液中，如 6-1 實驗方法，計算 4 種電解液內電阻。

(四) **實驗 6-4**：探討「不同比例赤血鹽水溶液加入葡萄柚汁」製成電池之發電效能

1. 取 6-3 實驗中，**可降低內電阻，提升葡萄柚汁至最佳電流之赤血鹽水溶液**進行實驗。
2. 將電極片分別插入加入 3 種比例赤血鹽水溶液製成之葡萄柚汁電池，如 6-1 實驗方法，計算出不同比例電池之內電阻，並觀察其連接 LED 燈發亮情形。

二、實驗結果：

(一) 實驗 6-1：探討「不同果汁內電阻」。

1. 將測得電流最高「檸檬、葡萄柚」及最低「香蕉、鳳梨」製成電解液，連接已知電阻及三用電表，測得總電壓、總電流、已知電阻電壓後，計算出 4 種果汁的內電阻，如下表 4-7、圖 4-9。

表 4-7 不同果汁之電壓、電流及內電阻比較表

水果種類	實際測量值		已知電阻 $R_{外}(\Omega)$	計算值		
	$V_{總}(V)$	$I_{總}(mA)$		$V_{外}(V)$	$V_{內}(V)$	$R_{內}(\Omega)$
檸檬	1.62	4.97	100	0.497	1.123	226.0
葡萄柚	1.76	4.94	100	0.494	1.266	256.3
鳳梨	1.72	4.17	100	0.417	1.303	312.5
香蕉	1.45	3.03	100	0.303	1.147	378.5

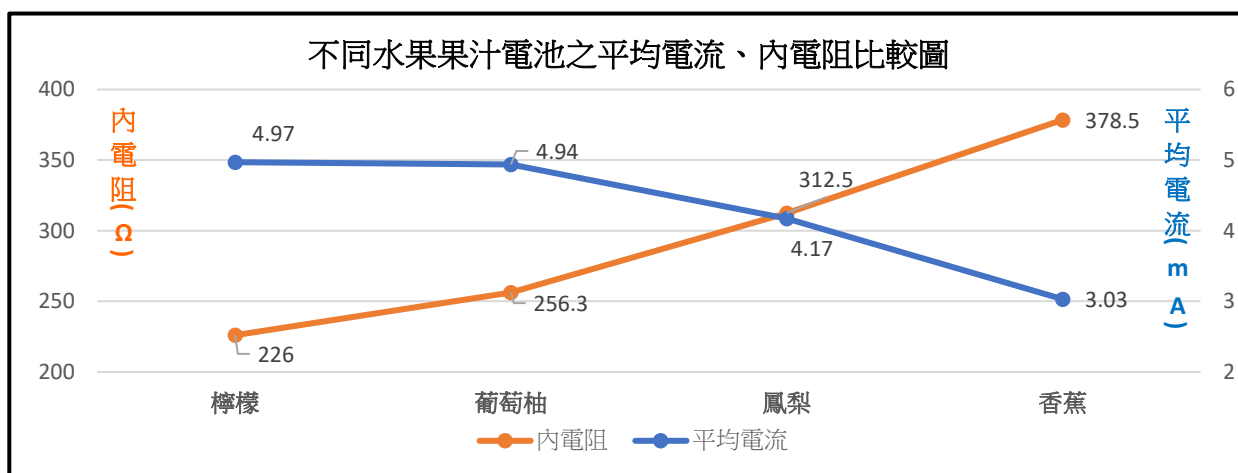


圖 4-9 「不同果汁電池」之平均電流及內電阻比較圖

(二) 實驗 6-2：探討「不同添加物水溶液內電阻」。

1. 將糖水、食鹽水、維他命 C 水溶液及赤血鹽水溶液，如實驗 6-1 方法，計算出 4 種水溶液的內電阻，如下表 4-8、圖 4-10。

表 4-8 不同添加物水溶液之電壓、電流及內電阻比較表

水溶液種類		實際測量值		已知電阻 $R_{外}(\Omega)$	計算值		
	蒸餾水	$V_{總}(V)$	$I_{總}(mA)$		$V_{外}(V)$	$V_{內}(V)$	$R_{內}(\Omega)$
葡萄柚 50mL	0 mL	1.67	4.58	100	0.46	1.21	264.02
糖 5g	45mL	1.34	0.27	100	0.03	1.31	5003.64
食鹽 1.78g	45mL	1.37	3.03	100	0.30	1.07	353.16
赤血鹽 5g	45mL	1.41	7.96	100	0.80	0.62	77.72
維他命 C 錠 1 顆	100mL	1.59	4.55	100	0.46	1.14	250.30

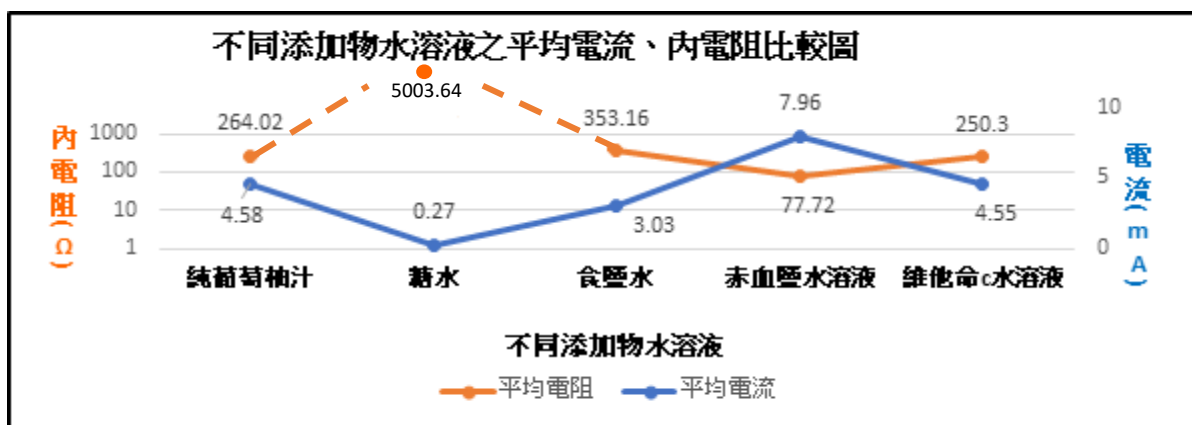


圖 4-10 「不同添加物水溶液」之平均電流及內電阻比較圖

(三) 實驗 6-3：探討「不同添加物水溶液加入葡萄柚汁之內電阻」。

1. 取實驗 6-2 中 4 種添加物水溶液各 5mL，分別加入葡萄柚汁中，如實驗 6-1 方法，計算出 4 種水溶液的內電阻，如下表 4-9、圖 4-11。

表 4-9 不同添加物水溶液加入葡萄柚汁之電壓、電流及內電阻比較表

水溶液種類		實際測量值		已知電阻	計算值		
葡萄柚汁 (mL)	添加水溶液 (mL)	V 總(V)	I 總(mA)	R 外(Ω)	V 外(V)	V 內(V)	R 內(Ω)
50	0 mL	1.67	4.58	100	0.46	1.21	264.02
45	糖水 5mL	1.65	4.16	100	0.42	1.21	296.08
45	食鹽水 5mL	1.59	4.75	100	0.47	1.11	234.17
45	赤血鹽 5mL	1.68	5.66	100	0.57	1.11	197.16
45	維他命 C 5mL	1.65	4.47	100	0.45	1.20	268.51

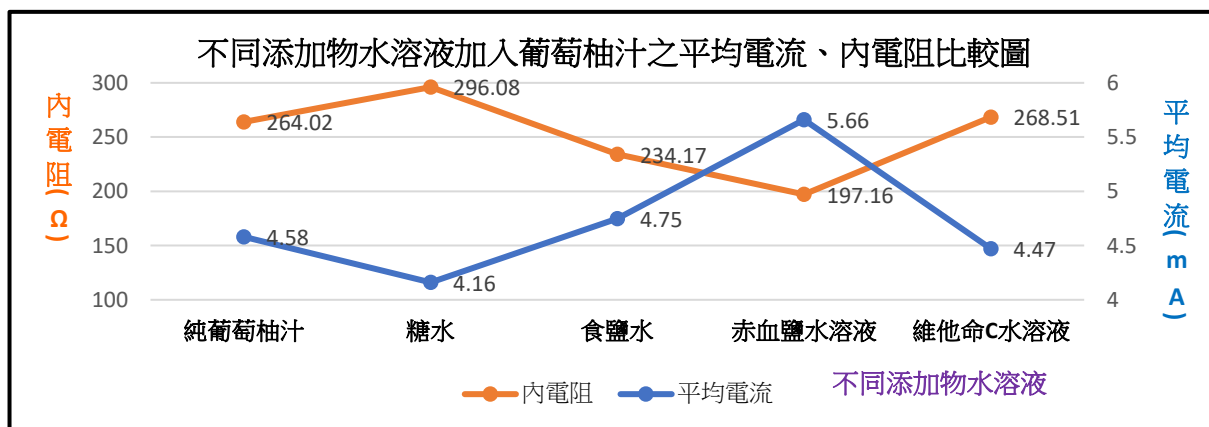


圖 4-11 「不同添加物水溶液加入葡萄柚汁」之平均電流及內電阻比較圖

(四) 實驗 6-4：探討「不同比例赤血鹽水溶液加入葡萄柚汁」製成電池之發電效能

1. 將 3 種比例「赤血鹽水溶液加入葡萄柚汁」製成之電池，如實驗 6-1 方法，計算出 4 種水溶液的內電阻，並觀察其連接紅光 LED 燈，如下表 4-10、圖 4-12。

表 4-10 不同比例之赤血鹽葡萄柚汁之電壓、電流及內電阻比較表

赤血鹽加入葡萄柚汁比例		實際測量值		已知電阻	計算值			紅光 LED 燈
赤血鹽水溶液(mL)	葡萄柚汁(mL)	V 總(V)	I 總(mA)	R 外(Ω)	V 外(V)	V 內(V)	R 內(Ω)	
5mL	45mL	1.69	5.18	100	0.52	1.17	226.20	○
10mL	40mL	1.67	6.14	100	0.61	1.05	171.58	○
15mL	35mL	1.55	7.65	100	0.77	0.76	102.35	X

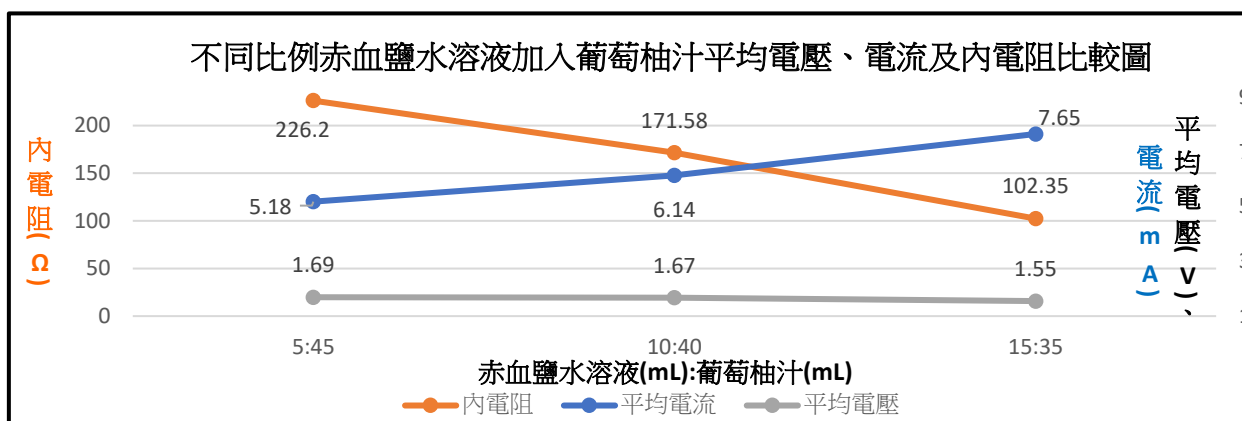


圖 4-12 「不同比例赤血鹽水溶液加入葡萄柚汁」之平均電流及內電阻比較圖

三、實驗討論：

(一) 實驗 6-1：探討「不同果汁內電阻」。

1. 電流最高的檸檬，測量出的內電阻最低，為 226.0 Ω ；電流最低的香蕉，測量出的內電阻最高，為 378.5 Ω 。
2. 內電阻較低的檸檬、葡萄柚，可以測得較高的電流；內電阻較高的鳳梨、香蕉，僅可測得較低的電流。

(二) 實驗 6-2：探討「不同添加物水溶液內電阻」。

1. 電流最高的赤血鹽水溶液，測得的內電阻最低，為 77.72 Ω ；電流最低的糖水，測得的內電阻最高，高達 5003.64 Ω 。
2. 水溶液的內電阻越低，即可測得越高電流。

(三) 實驗 6-3：探討「不同添加物水溶液加入葡萄柚汁之內電阻」。

1. 將 5mL 的赤血鹽水溶液加入 45 mL 葡萄柚汁，可測得電流最高，為 5.66 mA，而其測得的內電阻也最低，為 197.16 Ω 。
2. 將 5 mL 的糖水加入葡萄柚汁，測得電流最低，為 4.16 mA，而其測得的內電阻也最高，為 296.08 Ω 。
3. 將赤血鹽水溶液加入葡萄柚汁後，可使葡萄柚汁測得較高電流，推測其因加入赤血鹽水溶液而降低內電阻，獲得較佳發電效能。

(四) **實驗 6-4**：探討「不同添加物水溶液加入葡萄柚汁之內電阻」。

1. 將 15mL 赤血鹽水溶液加入 35 mL 葡萄柚汁，可測得電流最高，為 7.65 mA，而其測得的內電阻也最低，為 102.35 Ω 。
2. 加入**赤血鹽水溶液濃度越高**，雖然**測得電流值越高**，測得的**電壓值卻降低**，以至於**無法驅動 LED 燈發亮**。
3. 將 10 mL 赤血鹽水溶液加入 40 mL 葡萄柚汁，不僅可測得電壓、電流佳且可以驅動紅光 LED 燈發亮，因此最後選擇其進行加入石花凍液製成柚見石花凍電池。

四、小結：

- (一) 不同果汁電流，會因為內電阻而受到影響，且果汁內電阻越低，測得果汁電流越高；內電阻越高，測得果汁電流越低。
- (二) 不同添加物水溶液，測得之內電阻亦不同，且內電阻越低，測得電流越高；其中，赤血鹽水溶液內電阻最低，為 77.72 Ω ，測得電流值也最高，為 7.96 mA。
- (三) 將 4 種不同添加物水溶液加入葡萄柚汁，發現其中以赤血鹽水溶液加入葡萄柚汁製成電解液，可以降低內電阻，有效提升葡萄柚汁電池最佳發電效能。
- (四) 以 **10 mL (赤血鹽水溶液) : 40 mL(葡萄柚汁)比例**，可以製成**發電效能佳**，且可以**驅動紅光 LED 燈發亮**的葡萄柚汁電池；因此決定以此比例葡萄柚汁製成「柚見石花凍電池」，並進行如何延長「柚見石花凍電池」使用期限的實驗。

實驗七：探討將鎂鋁片「碳化」後，是否能延長「柚見石花凍電池」的使用期限

一、實驗說明：

(一) **實驗 7-1**：探討「不同冷藏天數」保存之「柚見石花凍」的發電效能

1. 取**實驗四**中發電效果最佳比例製成的「柚見石花凍」，放入冰箱冷藏。
2. 每隔 1 週即取出「柚見石花凍」，插入「鎂鋁-銅」電極片組合，再連接三用電表及電子產品，觀察並記錄其電壓、電流、電功率及電子產品運轉情形。

(二) **實驗 7-2**：探討將鎂鋁片「碳化」後，「碳化柚見石花凍電池」的使用期限

1. 取**實驗 6-4**中發電效果最佳比例 10 mL (赤血鹽水溶液) : 40 mL(葡萄柚汁)，製成電解液。
2. 將鎂鋁片「碳化」後，插入含赤血鹽之柚見石花凍，製成改良後之「碳化柚見石花凍電池」，如**實驗 6-1**方法，比較鎂鋁片「碳化前後」之內電阻及電子產品運轉情形。

二、實驗結果：

(一) **實驗 7-1**：探討「不同冷藏天數」保存之「柚見石花凍」的發電效能

1. 將冷藏不同週數之「柚見石花凍」製成電池連接電子產品實境如下表 4-11。

表 4-11 將已冷藏不同週數之「柚見石花凍電池」連接電子時鐘實境照片紀錄表

檢測週次	第一週	第二週	第三週	第四週
連接電子時鐘 實境照片				

(二) 實驗 7-2：探討將鎂鋁片「碳化」後，「碳化柚見石花凍電池」的使用期限

1. 將鎂鋁片碳化後製成之「碳化柚見石花凍電池」，連接三用電表，記錄其內電阻，如下表 4-12、圖 4-13。

表 4-12 「石花凍電池」、「柚見石花凍電池」、「碳化柚見石花凍電池」發電效能比較表

電池種類	實際測量值		已知電阻	計算值		
	V 總(V)	I 總(mA)	R 外(Ω)	V 外(V)	V 內(V)	R 內(Ω)
純石花凍	1.443	1.296	100	0.129	1.314	1032.4
柚見石花凍	1.622	5.270	100	0.527	1.108	210.38
碳化柚見石花凍	1.529	6.340	100	0.634	0.895	142.61

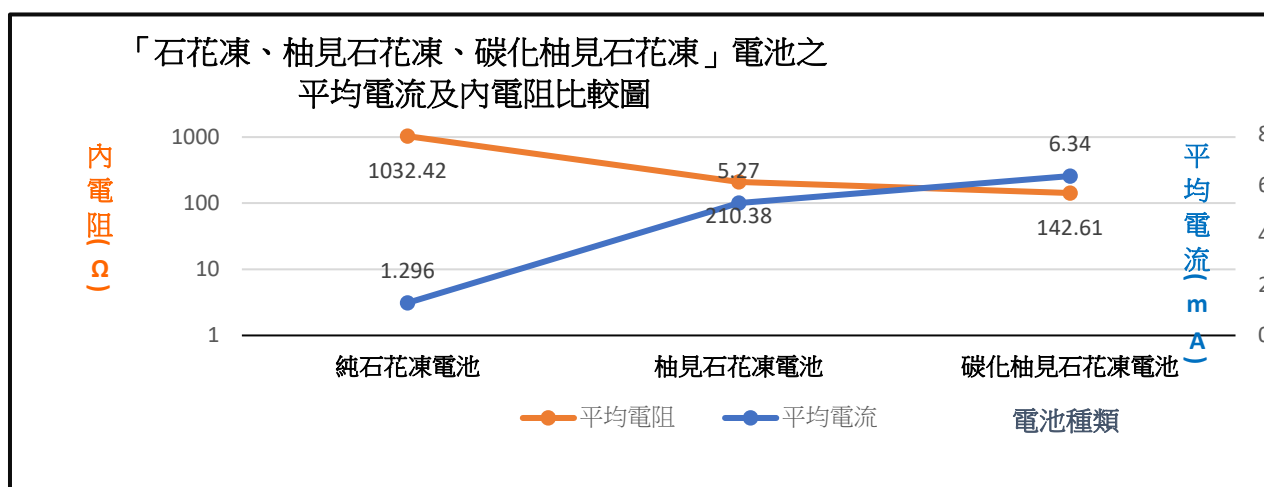


圖 4-13 「不同比例赤血鹽水溶液加入葡萄柚汁」之平均電流及內電阻比較圖

2. 將鎂鋁片碳化後製成之「碳化柚見石花凍電池」，連接電子時鐘，並拍照紀錄實境如下表 4-13。

表 4-13 將已運轉不同天數之「碳化柚見石花凍電池」連接電子時鐘實境照片紀錄表

檢測次數	第一次	第二次	第三次	第四次
連接電子時鐘 實境照片				

三、實驗討論：

- (一) 每隔 1 週取出冷藏於冰箱保存的「柚見石花凍」製成電池，再連接三用電表及電子產品，持續觀察 4 週；「柚見石花凍電池」雖然產生的電功率皆比當天製成的柚見石花凍電池低，但仍可以使 LED 燈發亮，及使蜂鳴器、電子時鐘運轉。
- (二) 將鎂鋁片碳化後改良之「碳化柚見石花凍電池」，並沒有影響其發電效能，仍可以驅動電子時鐘運轉。
- (三) 每隔 2-3 天觀察「碳化柚見石花凍電池」製成之「柚時鐘」，至作品書送件為止共 2 週，且發現鎂鋁片附近，不僅產生較少氣泡，電子時鐘仍正常運轉。

四、小結：

- (一) 以冷藏「柚見石花凍」製成電池測得的發電效能佳，且至少可維持 4 週。
- (二) 以「**碳化柚見石花凍電池**」製作「柚時鐘」，目前至少可運轉 2 週，但仍持續觀察，期望可以在口頭發表前仍可持續運轉，即可至少運轉達至 2 個月。

實驗八：以改良後之「柚見石花凍電池」，驅動需較高電流的小風扇運轉

一、實驗說明：

- (一) 取前項實驗改良後發電效果佳的「柚見石花凍電池」，以串聯 2 個電池成 1 組電池，再並聯 6 組電池，製作「緊急求救鈴」及「小馬達風扇」。

二、實驗結果：

- (一) 觸控式「緊急求救鈴」及「小馬達風扇」之製作過程，如下表 4-14、表 4-15。

表 4-14 觸控式「緊急求救鈴」製作過程





		
1. 將 2 個電池串聯成 1 組電池後，再並聯 2 組電池。	2. 在卡片上組裝觸控式電路，固定在「柚見石花凍電池」上。	3. 連接蜂鳴器，觸控式「緊急求救鈴」即完成！

表 4-15 「小馬達風扇」製作過程

		
1. 電極片插入「柚見石花凍」，製成 12 個「柚見石花凍電池」	2. 將 2 個電池串聯成 1 組電池後，再並聯 6 組電池，並測量電壓、電流。	3. 終於成功驅動需較高電壓、電流的「小馬達風扇」！

三、實驗討論：

(一) 「緊急求救鈴」：

1. 將 1 個「柚見石花凍電池」連接電子時鐘，即完成「柚石鐘」。
2. 每天同一時間觀察「緊急求救鈴」運轉情形，發現至少可以運轉 2 週。

(二) 「小馬達風扇」：

1. 將 2 個改良後之「柚見石花凍電池」串聯成 1 組電池提升**總電壓至 3.31V**，再以並聯 6 組電池方式提升**總電流至 80 mA**，連接 3V 的風扇小馬達，竟然**成功驅動風扇小馬達使其運轉**。

四、小結：

(一)應用改良後「柚見石花凍電池」原理，可以驅動需較高電壓及電流的電子產品運轉，是兼具易製作又實用的環保電池。

伍、結論

- 一、將 20 種水果果肉榨汁進行發電效能實驗，其中易取得且成本低的「**葡萄柚汁**」發電效能佳，適合製成電解液。
- 二、葡萄柚汁濃度越高，所測得的電流值越高，其中以 100%葡萄柚汁發電效能最佳。
- 三、以「鎂鋁-銅」電極片組合製成之葡萄柚汁電池，所產生的電功率最佳。
- 四、將「鎂鋁-銅」葡萄柚汁電池串聯後，總電流值沒有增加，但總電壓值可以增加，且可使所需不同驅動電壓之 LED 燈(紅、彩、綠、藍光)串聯後同時發亮，也可以使串聯之蜂鳴器及電子時鐘同時運轉。
- 五、將「鎂鋁-銅」葡萄柚汁電池並聯後，總電壓值沒有增加，雖然總電流值可以增加，卻無法驅動串聯數個的 LED 燈同時發亮。
- 六、以「40mL 葡萄柚汁: 60mL 石花凍液」比例製成「**柚見石花凍電池**」發電效能最佳。
- 七、不同水果電池因內電阻不同，所測得電流也不同；且**內電阻越低，測得電流越高**。
- 八、將赤血鹽水溶液加入葡萄柚汁，可**降低葡萄柚汁電池內電阻**，有效提升其發電效能。
- 九、將鎂鋁片碳化製成「**碳化柚見石花凍電池**」，可延緩鎂鋁片反應速率，進而**延長電池的使用期限**，是兼具易製作又實用的電池。
- 十、將改良後「**柚見石花凍電池**」進行串聯提升總電壓，及並聯提升總電流，可成功驅動「風扇小馬達」使其運轉。

陸、未來展望





一、「保護鎂鋁片」大發現

(一)在實驗七中發現以蠟燭燻黑「碳化」鎂鋁片，可以在鎂鋁片上包覆一層奈米級疏水性碳粒，就好像幫鎂鋁片罩上一層防護罩，延緩其與果汁反應速率，延長柚見石花凍電池的使用期限，心想包覆在鎂鋁片上碳粒層的厚度，會不會影響其發電效能呢？因此，這次先測量碳化前後的鎂鋁片重量，計算出每1平方公分鎂鋁片有0.01g碳粒包覆，之後期望在鎂鋁片上包覆不同厚度碳粒，探討是否影響其發電效能。

二、「冷凍葡萄柚汁」大發現

(一)在實驗二發現葡萄柚汁為最佳電解液後，因擔心葡萄柚為季節性水果，因此便將葡萄柚汁榨汁後裝瓶冷凍，每隔一段時間便取下退冰後，進行發電效能實驗，驚喜的發現，其發電效能仍佳，如下表6-1。

表 6-1 葡萄柚汁冷凍後製成「葡萄柚汁電池」之發電效能

冷凍1個月又7天		冷凍3個月	
電壓 1.745V	電流 10.04 mA	電壓 1.721V	電流 16.8 mA
			

三、期望綜合以上2點，未來朝向能製作出使用期限更長的電池。

柒、參考文獻資料

- 一、謝仁烽、葉孟婷、張育睿、葉昇榮(2008)。電不電有關係--『奇、檬』子的問題，中華民國第四十八屆中小學科學展覽會。
- 二、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。
- 三、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。
- 四、鄭甯、臧曼晴、吳欣叡、王采臻(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。
- 五、王純姬等編(2019)。國民小學自然與生活科技第五冊(五上)。康軒文教事業股份有限公司。第3單元 水溶液(p.64-p.66)。

【評語】 080212

此研究探討水果電池的發電效能及其改良方面。學生希望利用市場上賣相不佳、過熟或即將腐爛的葡萄柚製成水果電池，探討其發電效能及改良方法。其中探討並且最佳化水果電池的內電阻系統，並製作不易漏液的水果電池。相關主題在過去的科展多有探討，此研究在執行上將相關研究題目加廣，並提升應用性，為本研究的特色。

在報告中經常提到成本或價格，然而食物的成本往往要比一般電解質要來得高很多，因此可能需要有一個更好的理由說服這個研究的目標。

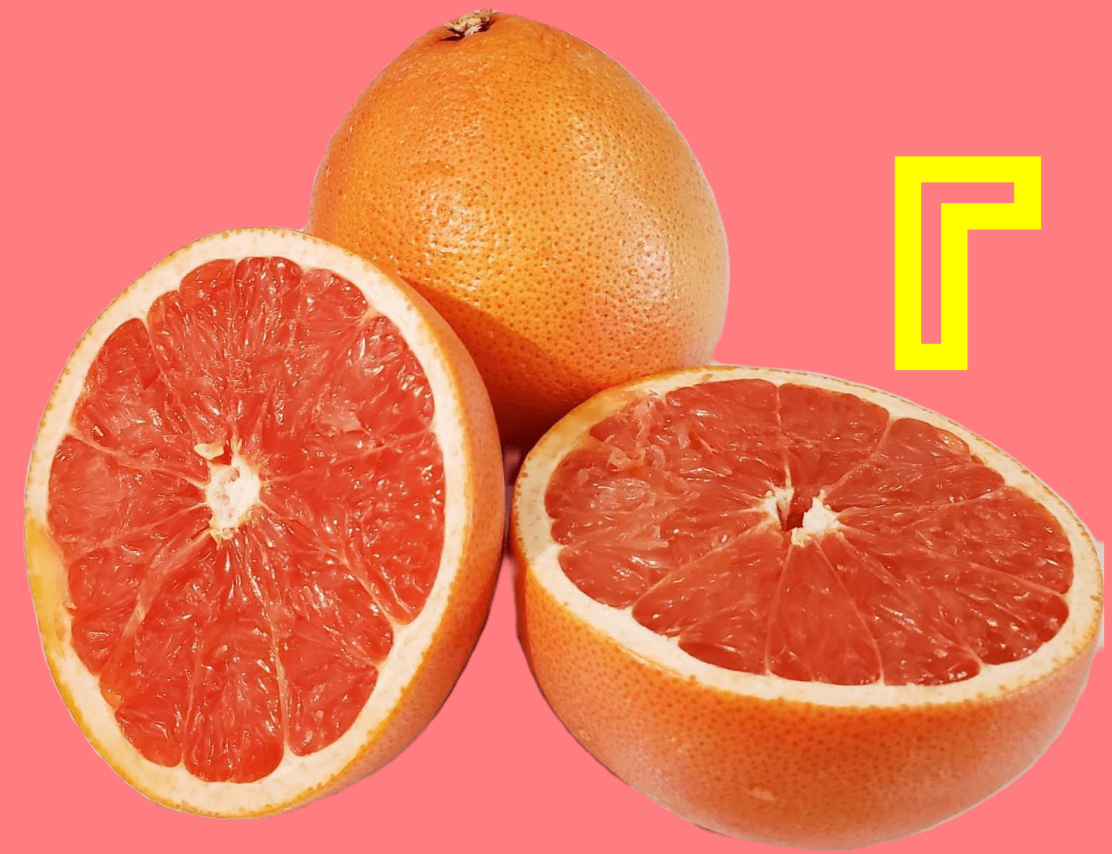
果汁的組成複雜，實驗一的目標應該提供為何要探討維他命 C 含量，以及 pH 值？p15 實驗討論的第三點跟第七點可能要解釋一下是否有邏輯上的誤區。鹽類物質也是良好的電解質，在這邊是不是可以討論？

本研究的實驗觀察及記錄仔細，未來可以嘗試就結果透過科學的方法語言，對更深層成因進行討論。

實驗最終以 LED 燈及蜂鳴器還有時鐘作為驗證，增加實驗結果的應用面向。

對「不同添加物水溶液內電阻」的部分，糖(5g)、赤血鹽(5g)、食鹽(1.78g)加入 45mL 蒸餾水，及 1 顆維他命 c 這樣去做內電阻的比較是否公平？舉例來說為什麼不添加 5 克的食鹽？或是說這個重量是怎樣決定使用的？

作品簡報



『柚』

～

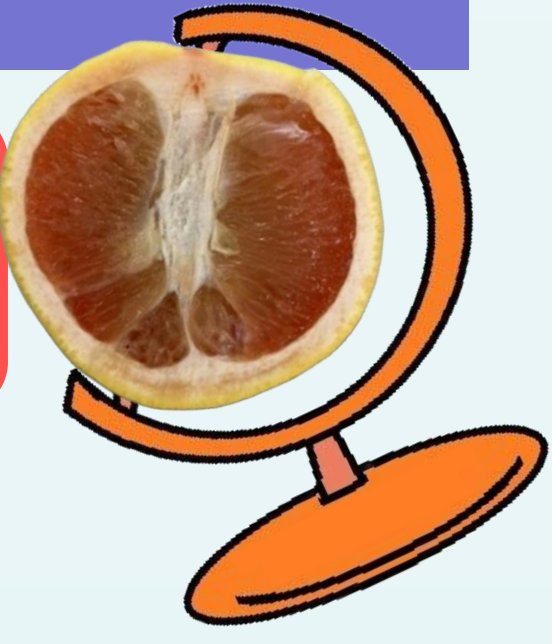
『果』

然來電!



本研究特色

1. 自製水果電池裝置，檢測出不同水果電池電流相差較大，原因為「內電阻」不同。
2. 將葡萄柚汁加入扮演促進電子轉移角色的赤血鹽水溶液，可降低葡萄柚汁電池內電阻，提升葡萄柚汁電池的電流及發電效能。
3. 將葡萄柚汁加入在地石花凍液，可製成不易漏液的「柚見石花凍電池」。
4. 將電極片碳化，改良成使用期限較長的「碳化柚見石花凍電池」。



研究動機

其中本研究所有實驗相關照片及圖片，皆由作者們親自拍攝與手繪



研究目的

- 一、探討將生活中常見水果果汁製成電解液的發電效能。
- 二、探討將葡萄柚汁製成「葡萄柚汁電池」的發電效能。
- 三、探討將葡萄柚汁加入石花凍液，製成「柚見石花凍電池」的發電效能。
- 四、提升「葡萄柚汁電池」發電效能的探討。



研究設備及器材

一、製作電解液的實驗材料：

表1 製作電解液的實驗材料表

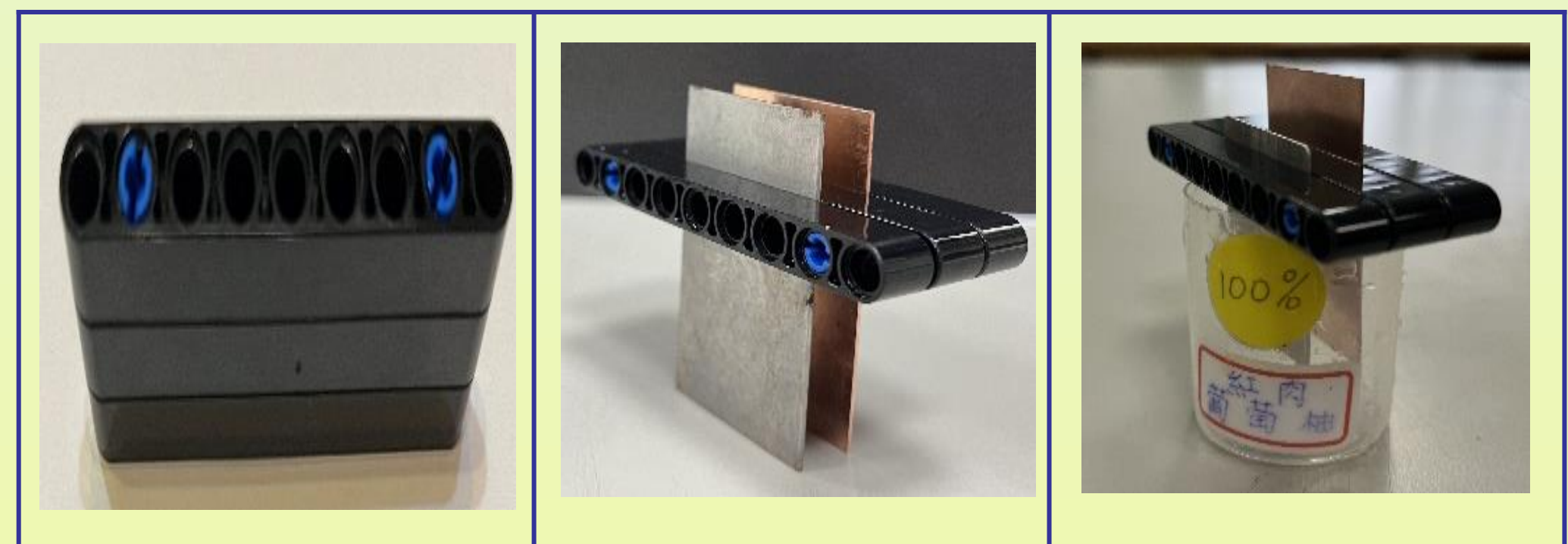
水果分類	芸香科	檸檬	四季檸檬	葡萄柚	柳丁
		年柑	極柑	茂谷柑	砂糖橘
	茄科	黑柿番茄	牛番茄	玉女番茄	
	獼猴桃科	黃金奇異果	綠色奇異果		
	仙人掌科	紅肉火龍果	白肉火龍果		
	其他	百香果(西番蓮)	蘋果(薔薇)	香蕉(芭蕉)	芭樂(桃金娘)
		鳳梨(鳳梨)			
電解液凝固材料	石花菜科	石花菜			

二、實驗測試的電子產品：

表2 實驗測試的電子產品及其驅動電壓

電子產品	紅光LED燈	彩光LED燈	綠光LED燈	藍光LED燈
驅動電壓	1.5-1.6 V	1.5-1.6 V	1.8 V	3.0-3.6V
電子產品	蜂鳴器	電子時鐘	風扇小馬達	
驅動電壓	1.5 / 3.0 V	1.8 V	3.0 V	

三、固定電極片支架裝置DIY：



研究架構



不同
電路

前導實驗

嘗試製作固定電極片支架及水果電池裝置

固定
電極片

★實驗結果：

『第一代』及『第二代』電極片支架之水果電池裝置比較表



★小結：

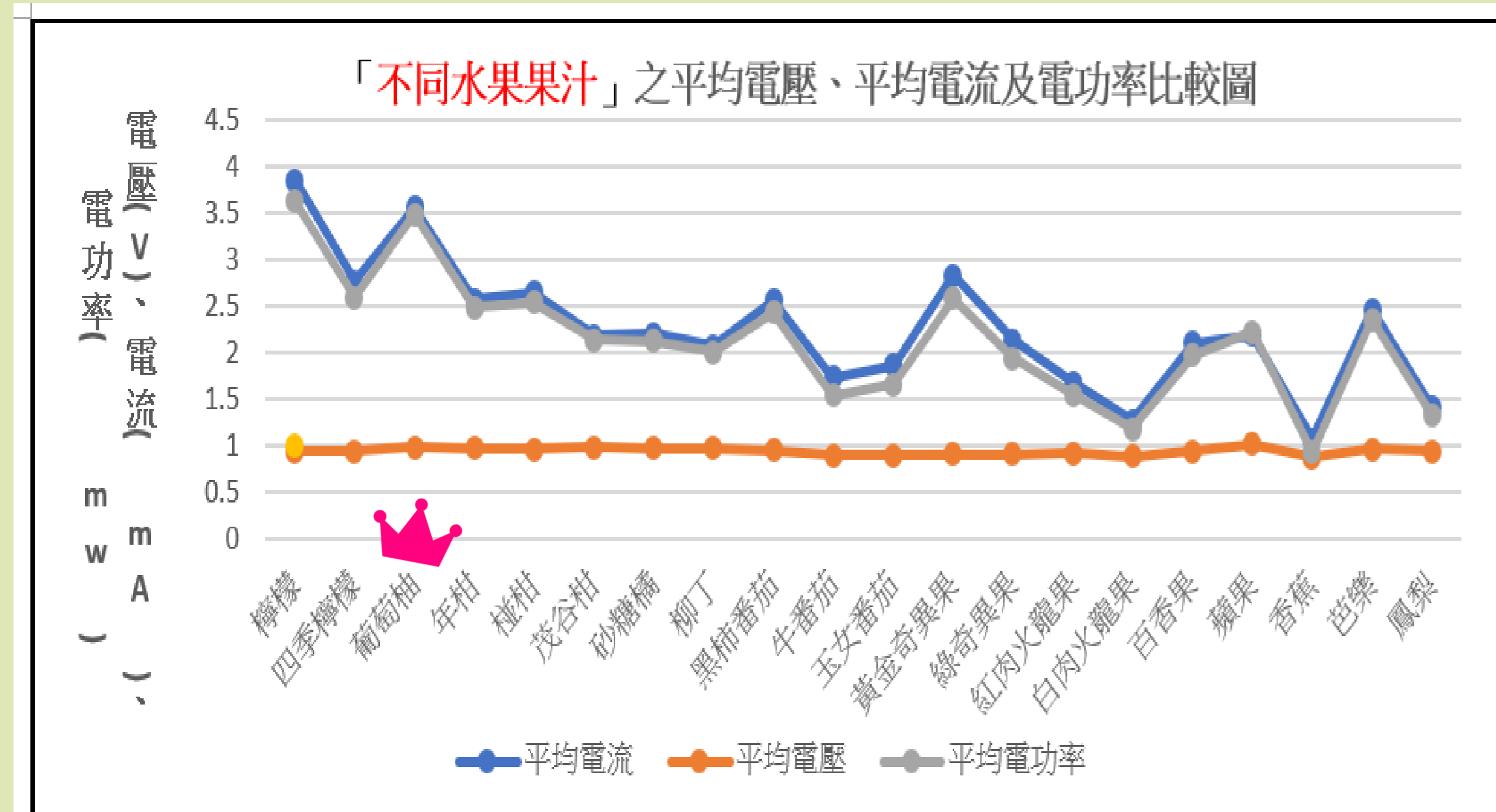
1. 第一代電極片容易使果汁中的電極片接觸，影響發電效能。
2. 以**第二代電極片水果電池裝置**放入果汁進行發電效能實驗時，可以使插入電極片的深度及間距固定，進而準確測得各種果汁的電壓、電流值。

實驗一

找出最適合做為電解液的水果果汁種類

不同
水果

★實驗結果：圖1-1 不同水果果汁之平均電壓、電流及電功率比較圖



★小結：

1. 不同水果果汁種類對電壓影響不大，對電流值影響較大。
2. 電流及電功率排名前三名(檸檬、**葡萄柚**、四季檸檬)都是**芸香科柑橘屬**。
3. 葡萄柚雖排名第二，但因價格相對便宜，而且過熟後賣相不佳反而可以榨出更多葡萄柚汁，因此決定以**葡萄柚汁**進行不同濃度果汁發電效能實驗。

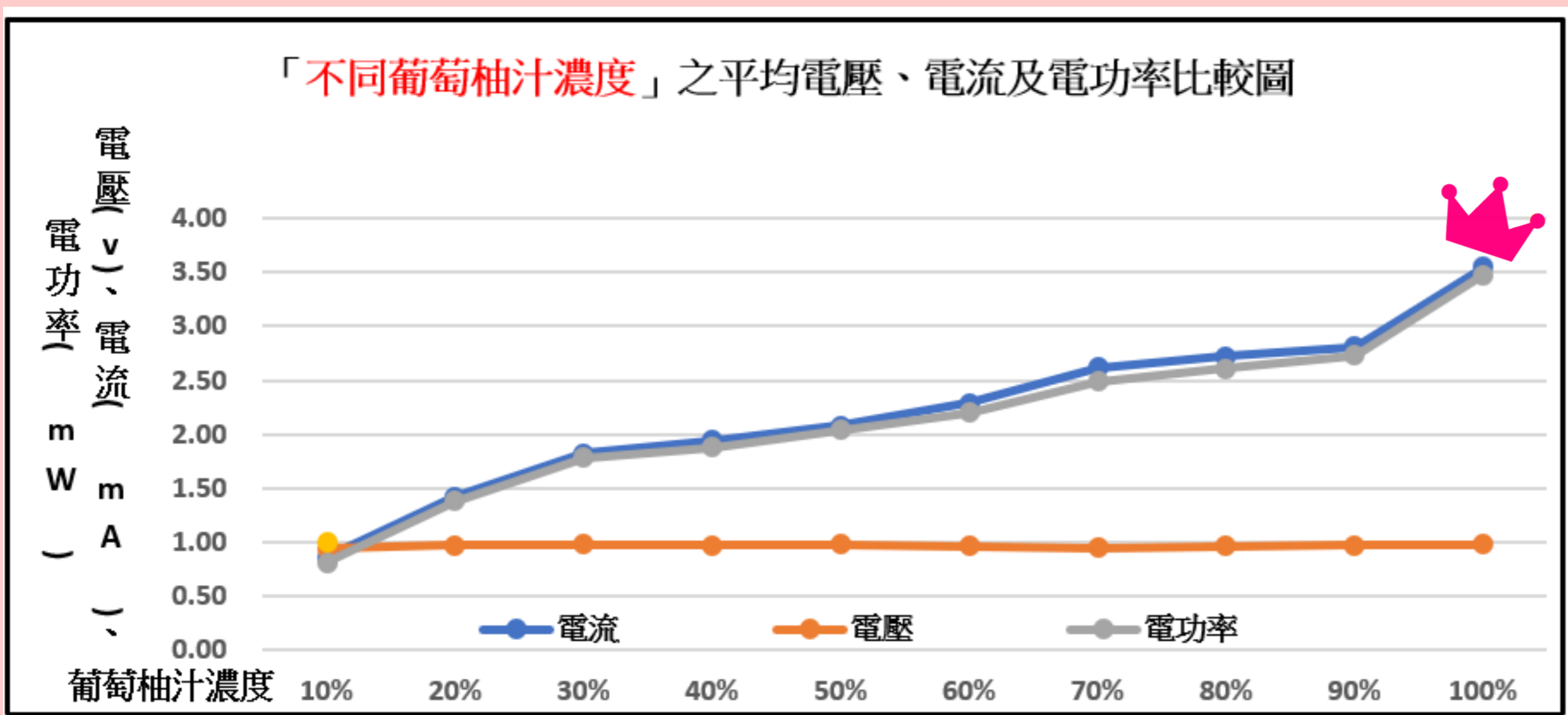
實驗二

探討『不同葡萄柚汁濃度』製成電解液的發電效能

不同
濃度

★實驗結果：

圖 2-1 不同葡萄柚汁濃度之平均電壓、電流及電功率比較圖



★小結：

1. 以不同葡萄柚汁濃度當做電解液，濃度越高，測得的電流值也越大。
2. 以不同葡萄柚汁濃度當做電解液，會影響其發電效能。
3. 以**濃度為100% 葡萄柚汁**製成電解液，發電效能最佳。

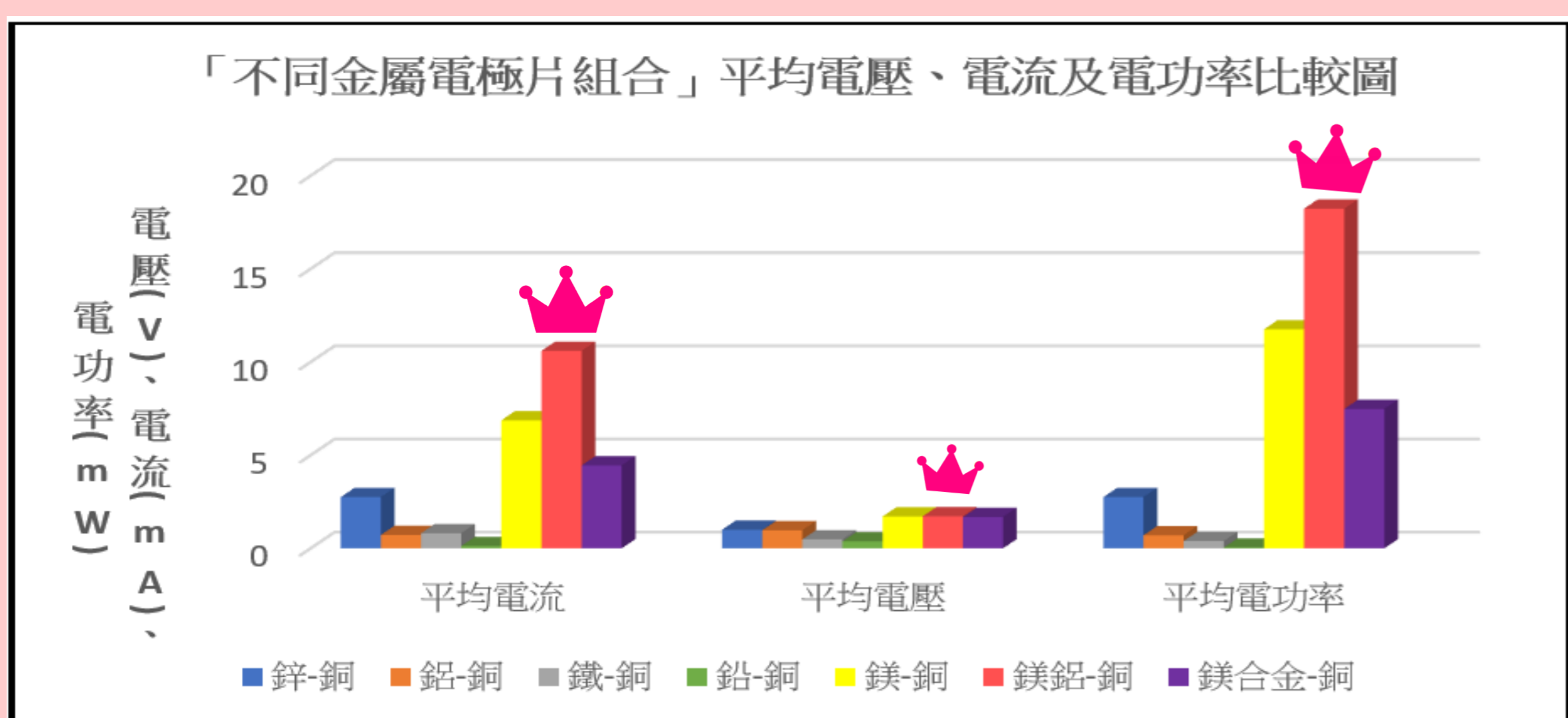
實驗三

3-1 探討使用『不同金屬電極片組合』的發電效能

不同
電極片

★實驗結果：

圖3-1 『不同金屬電極片組合』之平均電壓、電流及電功率比較圖



★小結：

1. 使用不同電極片組合進行發電效能實驗，所產生的電壓值、電流值皆不同，計算出的電功率也不同。
2. 以『**鎂鋁-銅**』電極片組合進行實驗，所產生的電功率最佳。

實驗三

3-2 探討使用『不同電路連接方式』的發電效能

★鎂鋁-銅葡萄柚汁電池串聯實驗結果：

圖3-1 鎂鋁-銅葡萄柚汁電池串聯電壓比較圖

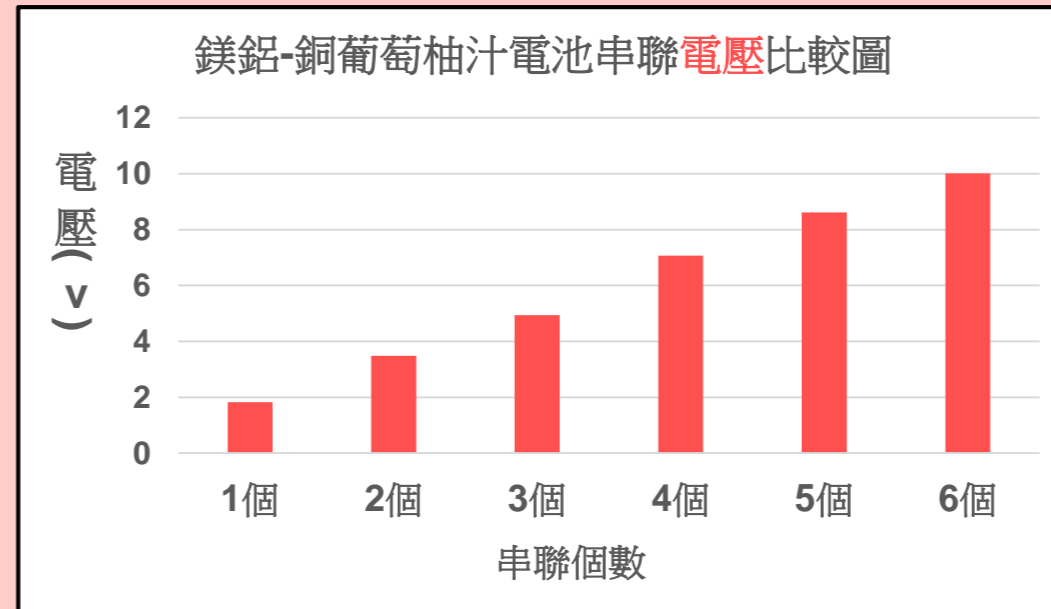


圖3-2 鎂鋁-銅葡萄柚汁電池串聯電流比較圖

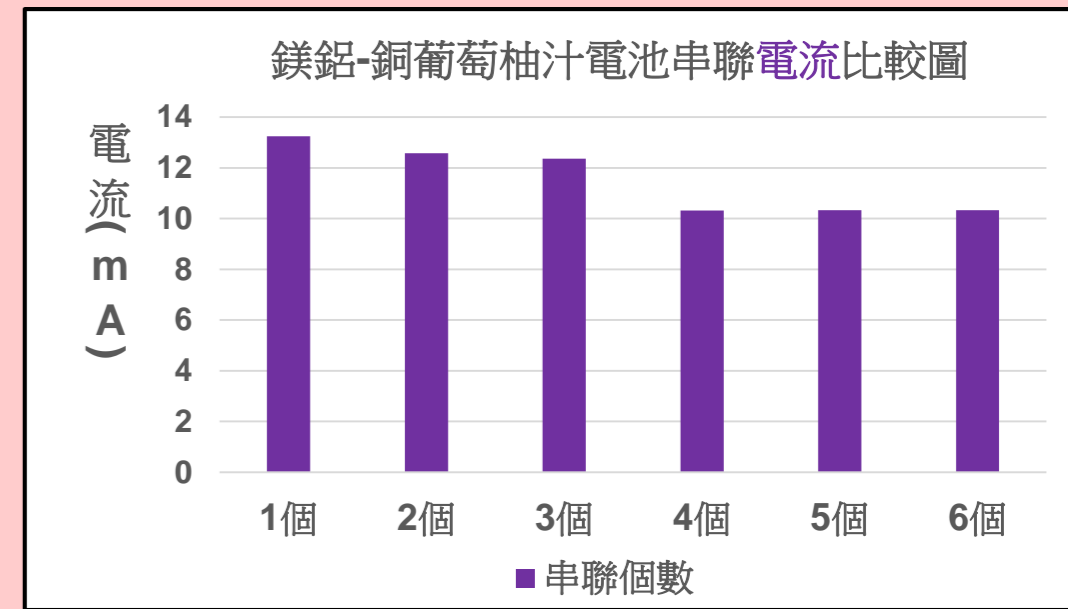
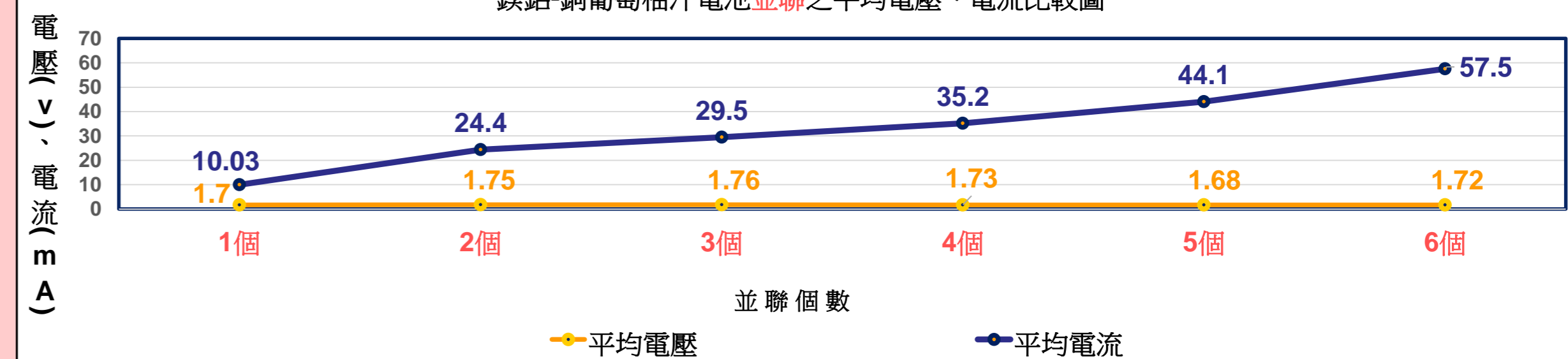


表3-1 串聯5個葡萄柚汁電池使『不同色光LED燈』發亮實際情形說明表

串聯電池個數	實境照片				手繪示意圖			
	1紅 (1.5V)	1彩 (1.5V)	1綠 (1.8V)	1藍 (3.0V)	1紅 (1.5V)	1彩 (1.5V)	1綠 (1.8V)	1藍 (3.0V)
3 (4.94V)								
4 (7.07V)								

★鎂鋁-銅葡萄柚汁電池並聯實驗結果：

鎂鋁-銅葡萄柚汁電池並聯之平均電壓、電流比較圖



★小結：

1. 串聯葡萄柚汁電池個數越多，所得到的**總電壓值**及產生的**電功率**越高，對**總電流值**較無影響；並聯則相反。
2. 因**串聯**電池會增加總電壓值，所以可使**同時串聯不同色光的LED燈**同時發亮或亮度增強。

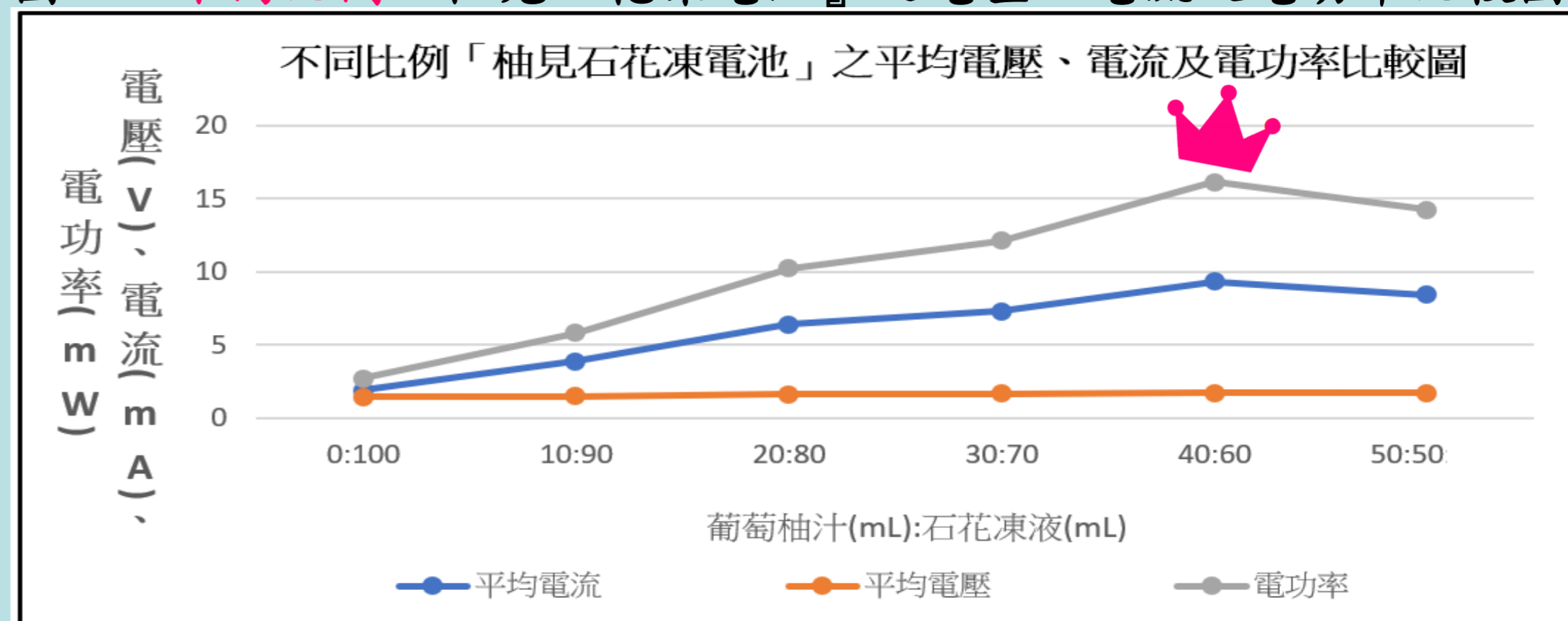
不同
比例

實驗四

探討以不同石花凍液比例，製成『柚見石花凍電池』的發電效能

★實驗結果：

圖4-1 不同比例『柚見石花凍電池』之電壓、電流及電功率比較圖



★小結：

1. 當葡萄柚汁比例大於50mL時，就無法凝固成型，因此沒進行實驗。
2. **不同比例**製成的『柚見石花凍電池』，對電流值影響較大，葡萄柚汁**濃度越高**，產生的**電功率越佳**。
3. 以**40mL葡萄柚汁：60mL石花凍液**的比例，可以製成發電效能佳、不易溢出又攜帶方便的『柚見石花凍電池』。

實驗五

應用『柚見石花凍電池』原理，製作電子產品。

柚石鐘

★實驗說明與結果 表5-1 柚石鐘之手繪設計圖及製作過程



表5-2 音樂閃光卡之手繪設計圖及製作過程



★小結：

1. 只要將**1個『柚見石花凍電池』**連接電子時鐘，即完成『柚石鐘』，且**至少可以運轉1個月**。
2. 將**5個『柚見石花凍電池』**串聯，連接串聯彩光LED燈及蜂鳴器，即完成會跟著閃光節奏鳴叫的『音樂閃光卡』。
3. 應用『柚見石花凍電池』原理，製成電子產品至少可以運轉1個月，是兼具**易製作又實用『環保電池』**。

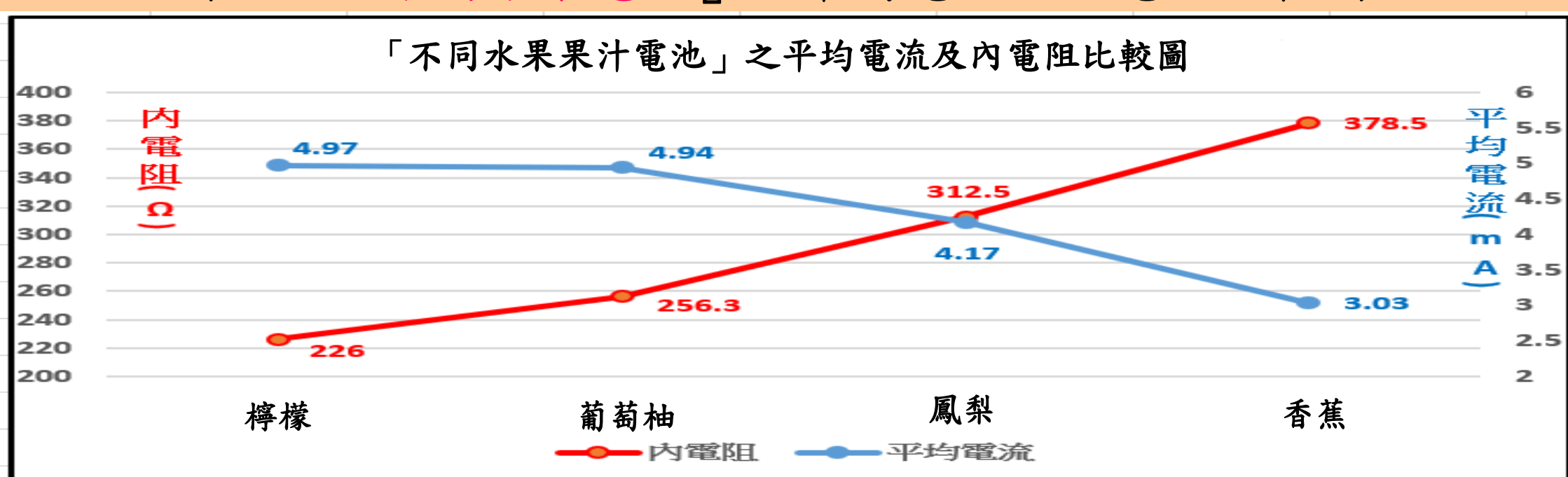
實驗六

探討將不同添加物加入葡萄柚汁，是否能『降低內電阻』，提升發電效能

降低內電阻

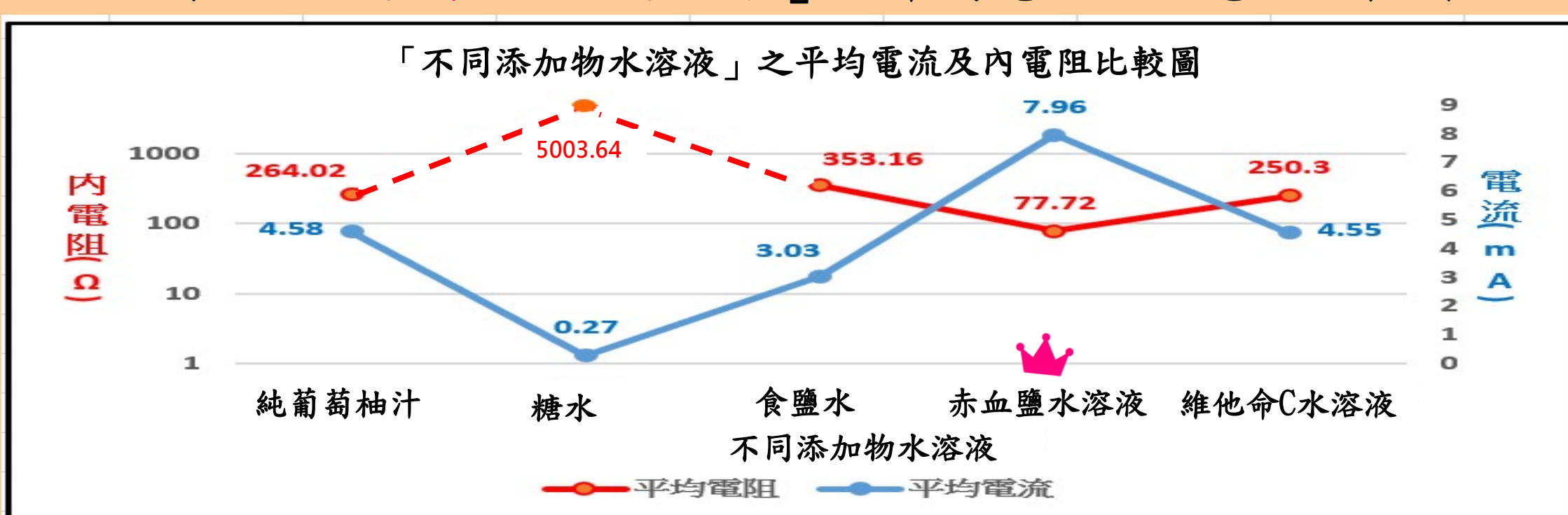
★實驗6-1 探討『不同水果電池內電阻』實驗結果：

圖6-1 『不同水果電池』之平均電流及內電阻比較圖



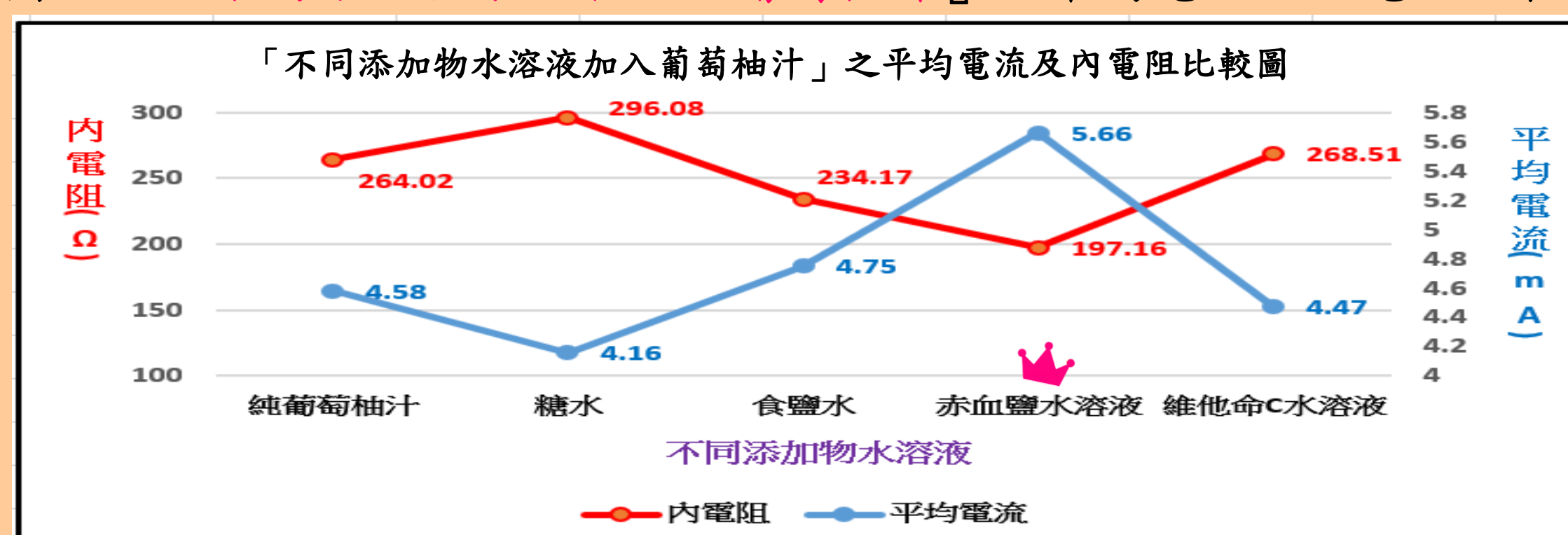
★實驗6-2 探討『不同添加物水溶液之內電阻』實驗結果：

圖6-2 『不同添加物水溶液』之平均電流及內電阻比較圖



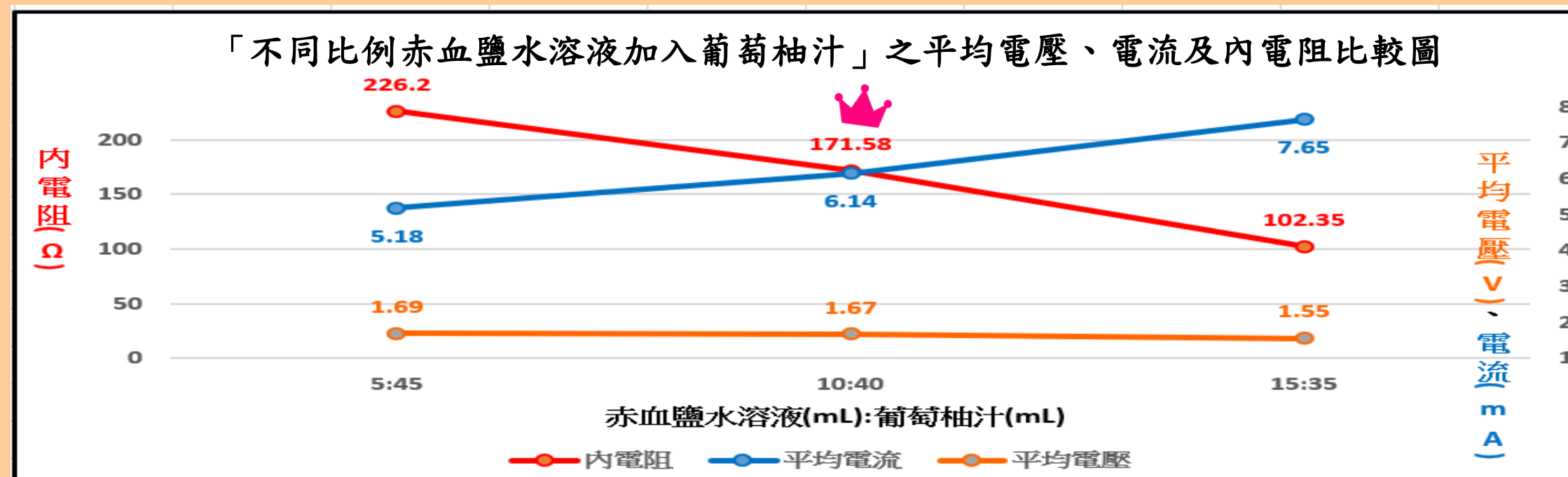
★實驗6-3 探討『不同添加物水溶液加入葡萄柚汁之內電阻』結果：

圖6-3 『不同添加物水溶液加入葡萄柚汁』之平均電流及內電阻比較圖



★實驗6-4 探討『不同比例赤血鹽水溶液加入葡萄柚汁』製成電池之發電效能實驗結果：

圖6-4 『不同比例赤血鹽水溶液加入葡萄柚汁』之平均電流及內電阻比較圖



★小結：

1. 水果內電阻越低，測得電流越高；內電阻越高，測得電流越低。
2. 不同添加物水溶液內電阻越低，測得電流越高；其中，以赤血鹽水溶液內電阻最低，測得電流值也最高。
3. 將赤血鹽水溶液加入葡萄柚汁，可以最有效降低葡萄柚汁電池內電阻，提升葡萄柚汁電池發電效能。
4. 以10 mL(赤血鹽水溶液)：40 mL(葡萄柚汁)比例，可以製成發電效能佳，且可以驅動紅光LED燈發亮的葡萄柚汁電池，最後決定以此比例製成『柚見石花凍電池』，並進行延長『柚見石花凍電池』使用期限的實驗。

實驗七

探討將鎂鋁片『碳化』後，是否能延長『柚見石花凍電池』的使用期限

碳化延壽

★實驗7-1 探討『不同冷藏天數』保存之『柚見石花凍』發電效能實驗結果：

表7-1將已冷藏不同週數『柚見石花凍電池』連接電子時鐘實境照片紀錄表

檢測週次	第一週	第二週	第三週	第四週	第五週	第六週
連接電子時鐘實境照片						

★實驗7-2 探討將鎂鋁片『碳化』後，『碳化柚見石花凍電池』使用期限的實驗結果：

表7-2將已運轉不同天數『碳化柚見石花凍電池』連接電子時鐘實境照片紀錄表

檢測天數	第1天	第10天	第21天	第29天	第37天	第45天
連接電子時鐘實境照片						

★小結：

1. 以冷藏『柚見石花凍』製成『柚見石花凍電池』，測得的發電效能佳，且連接電子時鐘，至少可以運轉6週。
2. 每隔2-3天觀察以改良後之『碳化柚見石花凍電池』製成之『柚石鐘』，至海報送件為止共運轉45天，期望可以在口頭發表前仍可持續運轉，即至少可以運轉達至55天。

實驗八

以改良後之『碳化柚見石花凍電池』驅動需較高電流的小風扇運轉。

小風扇運轉

★實驗說明與結果 表8-1 緊急求救鈴之手繪設計圖及製作過程



表8-2 小馬達風扇之手繪設計圖及製作過程



★小結：

1. 將改良後『碳化柚見石花凍電池』再次連接蜂鳴器，意外發現電流提升使蜂鳴器發出更大的聲響，因此製作緊急求救鈴！
2. 將2個改良後之『碳化柚見石花凍電池』串聯成1組電池提升總電壓，再並聯6組電池提升總電流，竟然成功驅動風扇小馬達使其運轉！

結論



未來展望

參考文獻

★『保護鎂鋁片』大發現：

在實驗七中以蠟燭燻黑『碳化』鎂鋁片延長柚見石花凍電池使用期限，此次實驗是以平均每1平方公分鎂鋁片上包覆0.01g碳粒，心想，包覆在鎂鋁片上的厚度會不會影響其發電效能？因此，之後期望在鎂鋁片上包覆不同厚度碳粒，探討是否影響其發電效能。

★『冷凍葡萄柚汁』大發現：

將葡萄柚汁『冷凍』後製成『葡萄柚汁電池』之發電效能

冷凍1個月又7天		冷凍3個月	
電壓 1.745 V	電流 10.04 mA	電壓 1.721 V	電流 16.80 mA

★期許未來：

期望綜合以上2個意外的發現，未來朝向能製作出可以大幅提升電流及使用期限更長的水果電池。