

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 化學科

佳作

030203

「果」真如此-勁量水果電池

學校名稱：嘉義市立北興國民中學

作者： 國二 蘇盈安 國二 蘇盈巨	指導老師： 何金昭
-------------------------	--------------

關鍵詞：改良式電極模組、勁量水果電池、環保電池

作品名稱：「果」真如此-勁量水果電池

摘 要

經本研究發現影響水果電池發電效能的變因有電極種類、電極間距離、電極與電解質的接觸面積、電解質的成分與濃度、電極串聯與並聯方式等。利用數位式電錶測量水果電池的電壓與電流，分析得到主要結果如下：一、利用成本低、容易取得的鋅-銅作為電極，發電效能佳；二、電極間距離近，發電效能佳；三、電極與電解質的接觸面積大，發電效能佳；四、以 70%檸檬汁與 30%雙氧水比例作為電解質，可以有效提升電流；五、以並聯方式製作基本電極模組與改良式電極模組，可以大幅提昇水果電池的電流至數千倍。

應用勁量水果電池可以使 LED 燈及數位式碼錶作用，並可成功驅動小型電動車與風扇馬達，在並聯了兩組改良式電極模組之後，更進一步成功點亮了鎢絲燈泡。

關鍵詞：改良式電極模組、勁量水果電池、環保電池

壹、研究動機

在 2010 年的世界博覽會中，將環保概念、節能減碳、愛護生態的概念，再一次強調並呈現「綠色世博」的精神，因為脆弱的地球環境已無法再承受那麼多的揮霍與嚴重污染。失序般的氣候變化，大自然越來越多的反常現象，一再提醒世人要更珍愛地球，並進而積極地為地球盡一份心力。在廿一世紀時代中，對環境友善的「綠色能源」正扮演著這一項重要的角色。在九年級下學期自然與生活領域的化學課程中，我們學到了有關電池的反應方程式，其中令我們感到最有興趣的是水果電池。水果電池是植物電池的一種，也是一種綠能的環保電池，如果能夠提高水果電池的實用性，就能夠將環保低污染的綠能概念，帶入實際生活的應用中。

搜尋有關水果電池專題研究的過程中，我們找到相當多的資料，如歷屆科展的製作、國中小的實驗專題報告，甚至有關水果電池的實驗用產品都有。在經過詳細的文獻資料彙整分析後發現，普遍製作出來的水果電池，大都僅停留在「實驗」的階段，無法真正應用在日常生活中的電器用品上。究其原因，原來是水果電池的輸出電流過低，以致無法推動功率較大的負載。

以連接一組金屬電極的水果電池為例，其輸出電壓雖然可達約 0.9V（伏特），但其最大輸出電流，大都無法超過 1mA（毫安），因此僅能提供一些功率較小的電子用品使用，如 LED 燈和數位式電子錶。甚至有人認為水果電池的實用性差，終究只能拿來做實驗而已。但實際上果真如此嗎？為了改善水果電池電流過小的缺點，我們與老師討論之後，確定以「大電流」為本次研究水果電池的目標，以突破水果電池電流過小、應用性不高的限制，希望能在強調環保概念的現代生活中，也能提供其他大電流環保電池的研究方向，為綠能地球盡一份小小的心力。

貳、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效能的因素。
- 三、探討影響勁量水果電池發電效能的因素。
- 四、探討接線方式對勁量水果電池發電效能之影響
- 五、應用勁量水果電池於實際日常生活中的電子用品。

參、研究設備及器材

檸檬	壓汁機	電子數位式電表	鋅片（1cm ×10cm）
銅片（1cm ×10cm）	鋁片（1cm ×10cm）	鐵片（1cm ×10cm）	鱷魚夾電線
橡皮筋	溫度計	pH 計	200ml 量筒
500ml 燒杯	雙氧水（濃度 5%）	冰棒棍	塑膠杯

LED 燈(1.5V)	數位式計時碼錶 (1.5V, 20mA)	小型電動車 (0.5~6V, 10mA)	小型馬達風扇 (1.5V, 150mA)
小鎢絲燈泡(1.5V)	硫酸銅	硫酸鋅	

肆、研究過程及方法

一、探討水果電池的發電原理

- (一) 利用課餘時間到圖書館及書局，找尋有關水果電池和植物電池發電的原理說明，並上網去搜尋水果電池的相關資料，特別是歷屆科展中有關水果電池的相關作品。
- (二) 分析水果電池發電原理的必要條件。
- (三) 歸納出水果電池的缺點。

二、探討影響水果電池發電效能的因素

- (一) 測量並分析水果電池的電極種類與電壓、電流之關係。
- (二) 測量並分析水果電池的電極距離與電壓、電流之關係。
- (三) 測量並分析水果電池電極和電解質的接觸面積與電壓、電流之關係。
- (四) 測量並分析水果電池的電解質濃度與電壓、電流之關係。
- (五) 測量並分析水果電池的電解質溫度與電壓、電流之關係。
- (六) 測量並分析水果電池串聯、並聯的接線方式，在電解質合杯或分杯的情況下與電壓、電流之關係。
- (七) 利用水果電池電極的串聯、並聯原理，設計出勁量水果電池的基本電極模組。
- (八) 每個操縱變因都測量三次求平均值，以降低實驗誤差。插入電極後 10 秒鐘後讀取電壓、電流的讀數，每一次測量後均需擦乾電極後，再進行測量下一次的測量。
- (九) 歸納出影響水果電池電壓、電流大小之因素。

三、探討影響勁量水果電池發電效能的因素

- (一) 測量並分析水果電池的電解質在添加雙氧水以改變電解質濃度後，與電壓、電流之關係。
- (二) 測量並分析勁量水果電池之基本電極模組在電解質添加雙氧水後的電壓、電流。
- (三) 測量並分析勁量水果電池之基本電極模組串聯、並聯的接線方式，在電解質合杯或分杯的情況下與電壓、電流之關係。
- (四) 測量並分析勁量水果電池之基本電極模組，與鋅-銅電極串聯後之電壓、電流。
- (五) 每個操縱變因都測量三次求平均值，以降低實驗誤差。插入電極後 10 秒鐘後讀取電壓、電流的讀數，每一次測量後均需擦乾電極後，再進行測量下一次的測量。
- (六) 歸納出影響勁量水果電池電壓、電流大小之因素。

四、探討接線方式對勁量水果電池發電效能之影響

- (一) 改變基本電極模組的接線方式，設計出改良式電極模組。
- (二) 測量並分析改良式電極模組串聯、並聯的接線方式與電壓、電流之關係。
- (三) 每個操縱變因都測量三次求平均值，以降低實驗誤差。插入電極後 10 秒鐘後讀取電

壓、電流的讀數，每一次測量後均需擦乾電極後，再進行測量下一次的測量。

(四) 歸納出勁量水果電池最佳發電效能的方法。

五、應用勁量水果電池於實際日常生活中的電子用品

- (一) 勁量水果電池應用於LED燈。
- (二) 勁量水果電池應用於計時碼錶。
- (三) 勁量水果電池應用於小型電動車。
- (四) 勁量水果電池應用於小型馬達風扇。
- (五) 勁量水果電池應用於小鎢絲燈泡。

伍、研究結果

一、水果電池

(一) 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($C_6H_8O_7 \cdot H_2O$)等電解質，如果以活性大小不同的兩種金屬，如鋅和銅插入水果中，活性較大的鋅此時當成負極，會釋放出電子，再經由外電路流到活性較小的銅（此時當成正極），因而形成迴路發電。反應式如下：

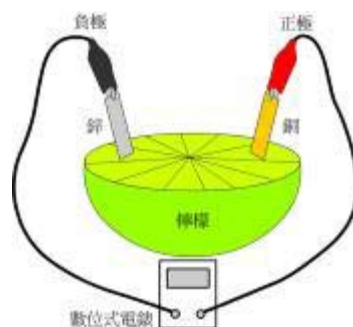
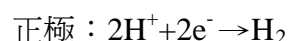
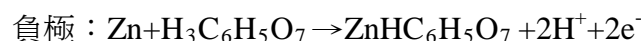


圖 1 水果電池

(二) 水果電池的缺點

水果電池的正、負電極，需由活性大小不同的兩種金屬組成，活性大的金屬當成負極、活性小的金屬當成正極，理論上活性的差距越大，所得到的電壓與電流會越大。曾經有研究以金屬鎂和銅的電極組合，並配合加了食鹽水的果汁，製作出 1.5V 和 220mA 的水果電池（謝仁烽等，2008）。但由於金屬鎂購買成本高，僅適用於實驗階段，普遍應用性不高。

大多數有關水果電池的研究顯示，單一個水果電池所產生的電壓和電流並不大，小到不足以點亮LED燈（趙家平等，2007），就算將水果電池串聯增加電壓之後，能夠使用的電子產品大多只是LED燈或是小型數位式時鐘而已（林廉捷等，2004；余宛蓁，2008）。在許多研究中也發現，水果電池電流過小且無法維持長時間發電的原因之一，是因為正極所產生的氣體（氫氣），使得電解質的電阻增加了。根據歐姆定律 V （電壓）= I （電流） $\times R$ （電阻），在電壓不變的情況之下，電阻變大而使電流下降

了（林廉捷等，2004；余宛蓁，2008）。

綜合上述有關於水果電池的研究，發現水果電池有以下的缺點：

1. 活性差距較大的兩種電極在日常生活中取得不易，如發電效果最好的電極組合-鎂和銅兩種金屬的成本就很高。
2. 水果電池所產生的電壓、電流過低，只能夠供應小LED燈等低功率的電子產品。
3. 利用簡單串聯或並聯的接線方式，難以同時增加水果電池的電壓和電流。
4. 水果電池所產生的電壓、電流無法長時間維持穩定。

二、影響水果電池的發電效能的因素

根據文獻資料顯示，影響水果電池電壓和電流的大小，與水果的種類、金屬電極的種類、電極間的距離、電極與電解質的接觸面積、電解質的溫度、電解質的濃度等因素有關係（林廉捷等，2004；趙家平等，2007；余宛蓁，2008；林唐煜等，2009）。由於歷屆科展對於水果的種類已有許多研究，因此在本研究中，我們決定選擇發電效果較好的檸檬當作電解質，並且針對我們想要改善水果電池電流過小的缺點，設計出相關的操縱變因有：電極的種類、電極間的距離、電極與電解質的接觸面積、電解質的溫度、電解質的濃度和電極的接線方式等因素，以達成勁量水果電池的目的。

（一）電極種類與電壓、電流之關係

在不花費高成本的前提下，我們選擇日常生活中較容易取得的鋅、銅、鋁、鐵等金屬，當作水果電池的電極組合，並以檸檬作為水果電池的電解質，固定電極的間隔距離為 1cm，插入的深度為 1cm，測量出六種電極組合的電壓和電流如下：

表 1 水果電池（檸檬）的電極種類（鋅、銅、鋁、鐵）與電壓之關係

電壓單位：伏特（V）

電極種類	鋅-銅	鋁-銅	鋅-鋁	鋅-鐵	鐵-銅	鋁-鐵
第 1 次	0.91	0.56	0.36	0.63	0.22	0.41
第 2 次	0.87	0.46	0.4	0.67	0.24	0.3
第 3 次	0.82	0.49	0.35	0.64	0.22	0.38
平均值	0.867	0.503	0.37	0.647	0.227	0.363

表 2 水果電池（檸檬）的電極種類（鋅、銅、鋁、鐵）與電流之關係

電流單位：毫安（mA）

電極種類	鋅-銅	鋁-銅	鋅-鋁	鋅-鐵	鐵-銅	鋁-鐵
第 1 次	0.113	0.023	0.013	0.056	0.012	0.01
第 2 次	0.106	0.015	0.015	0.06	0.019	0.009
第 3 次	0.084	0.012	0.017	0.073	0.015	0.011
平均值	0.101	0.017	0.015	0.063	0.015	0.01

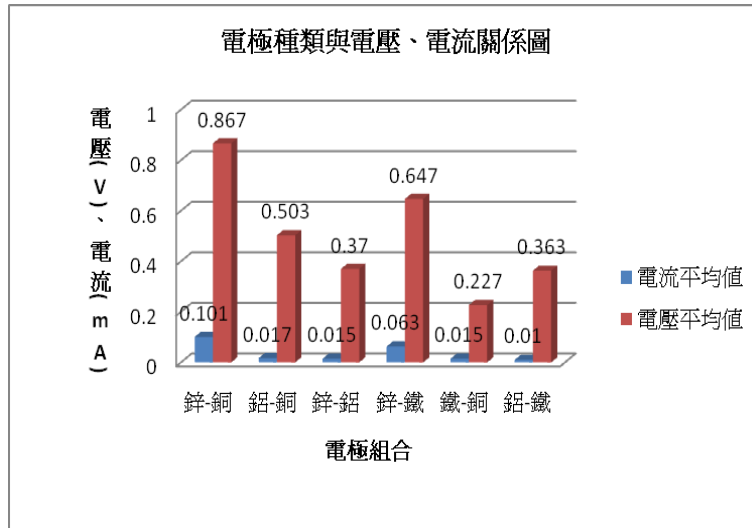
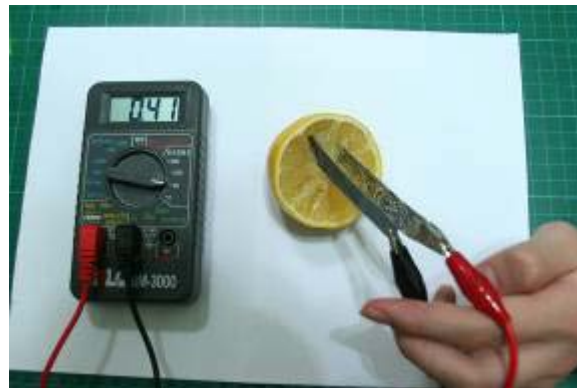


圖 2 水果電池的電極種類與電壓、電流之關係圖



照片 1 測量電極種類與電壓、電流的關係

從圖 2 電極種類與電壓、電流之關係圖發現，以鋅-銅當作電極，其電壓與電流都是最高的，發電效能最佳。

(二) 電極距離與電壓、電流的關係

以檸檬當作水果電池的電解質，選定發電效能較佳的鋅-銅電極，固定電極插入的深度為 1cm，分別測量出電極距離 0.5cm、1cm、2cm、3cm、4cm 的電壓和電流如下：

表 3 電極距離與電壓之關係

電壓單位：伏特 (V)

電極距離	0.5cm	1cm	2cm	3cm	4cm
第 1 次	0.87	0.85	0.82	0.86	0.81
第 2 次	0.88	0.83	0.84	0.83	0.85
第 3 次	0.81	0.86	0.82	0.86	0.82
平均值	0.853	0.847	0.827	0.850	0.827

表 4 電極距離與電流之關係

電流單位：毫安 (mA)

電極距離	0.5cm	1cm	2cm	3cm	4cm
第 1 次	0.224	0.084	0.075	0.072	0.073
第 2 次	0.315	0.091	0.073	0.068	0.068
第 3 次	0.361	0.096	0.071	0.075	0.068
平均值	0.3	0.09	0.073	0.072	0.07

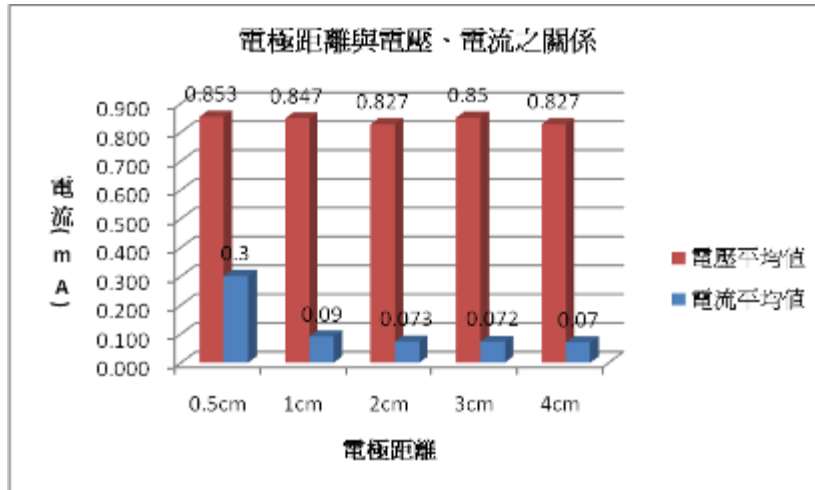


圖 3 水果電池的電極距離與電壓、電流之關係圖



照片 2 距離 1cm

照片 3 距離 3cm

照片 4 距離 4cm

照片 2~4 測量不同的電極距離與電壓、電流的關係

從圖 3 電極距離與電壓、電流之關係圖發現，雖然兩電極間的距離對於電壓的影響不大，但是當電極距離越近時，所產生的電流越高，也越接近了「大電流」的目的。

(三) 電極與電解質的接觸面積與電壓、電流之關係

以檸檬當作水果電池的電解質，選定發電效能較佳的鋅-銅電極，固定電極間的距離為 1cm，電極的寬度固定為 1cm，分別測量出電極深度 0.5cm、1cm、2cm、3cm、4cm 的電壓和電流如下：

表 5 電極和電解質的接觸面積與電壓之關係

電壓單位：伏特 (V)

電極深度	0.5cm	1cm	2cm	3cm	4cm
電極面積	0.5cm ²	1cm ²	2cm ²	3cm ²	4cm ²
第 1 次	0.82	0.89	0.91	0.98	0.9
第 2 次	0.86	0.83	0.95	0.95	0.95
第 3 次	0.83	0.86	0.92	0.95	0.89
平均值	0.837	0.86	0.927	0.96	0.913

表 6 電極和電解質的接觸面積與電流之關係

電流單位：毫安 (mA)

電極深度	0.5cm	1cm	2cm	3cm	4cm
電極面積	0.5cm ²	1cm ²	2cm ²	3cm ²	4cm ²
第 1 次	0.084	0.095	0.155	0.276	0.671
第 2 次	0.086	0.094	0.184	0.266	0.461
第 3 次	0.088	0.09	0.158	0.255	0.332
平均值	0.086	0.093	0.166	0.266	0.488

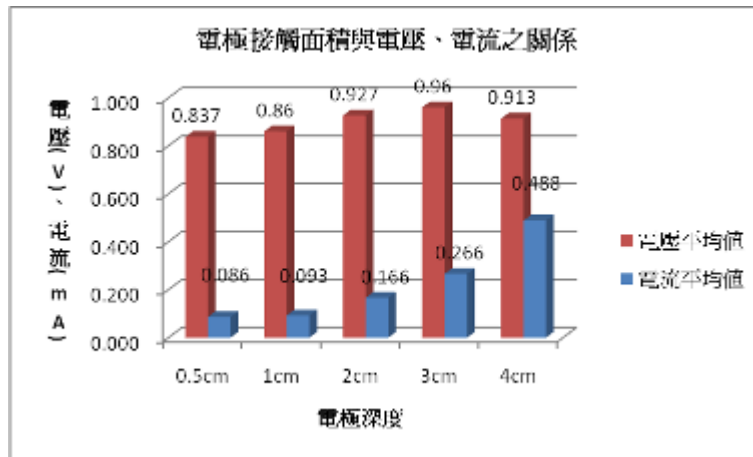


圖 4 水果電池的電極接觸面積與電流之關係圖



照片 5 深度 1cm

照片 6 深度 2cm

照片 7 深度 3cm

照片 5~7 測量不同的電極接觸面積與電壓、電流的關係

從圖 4 分析發現，當電極與電解質的接觸面積越大時，也就是插入的深度越深時，對於電壓的影響雖不大，但其所產生的電流明顯增加了。

(四) 電解質濃度與電壓、電流之關係

以檸檬榨汁當作水果電池的電解質，選定發電效能較佳的鋅-銅電極，以冰棒棍固定兩電極間的距離，如照片 8。



照片 8 以冰棒棍固定兩電極間的距離

將檸檬汁加水稀釋配製成 0%、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100% 等不同濃度，固定電極插入深度為 4cm，分別測量出電壓和電流如下：

表 7 電解質濃度與電壓之關係

電壓單位：伏特 (V)

檸檬汁濃度	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
第 1 次	0.95	0.94	0.97	0.91	0.93	0.91	0.91	0.9	0.88	0.91	0.88
第 2 次	0.93	0.94	0.92	0.93	0.92	0.9	0.9	0.89	0.9	0.87	0.89
第 3 次	0.92	0.94	0.94	0.91	0.92	0.93	0.91	0.91	0.87	0.9	0.9
平均值	0.933	0.94	0.943	0.917	0.923	0.913	0.907	0.90	0.883	0.893	0.89

表 8 電解質濃度與電流之關係

電流單位：毫安 (mA)

檸檬汁濃度	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
第 1 次	0.2	2.25	2.99	3.53	3.74	4.23	4.42	4.51	4.52	4.69	4.77
第 2 次	0.16	2.35	2.98	3.65	3.82	4.22	4.4	4.58	4.58	4.62	4.78
第 3 次	0.16	2.47	3.02	3.57	3.69	4.19	4.4	4.59	4.49	4.7	4.76
平均值	0.17	2.36	3.00	3.58	3.75	4.21	4.41	4.56	4.53	4.67	4.77

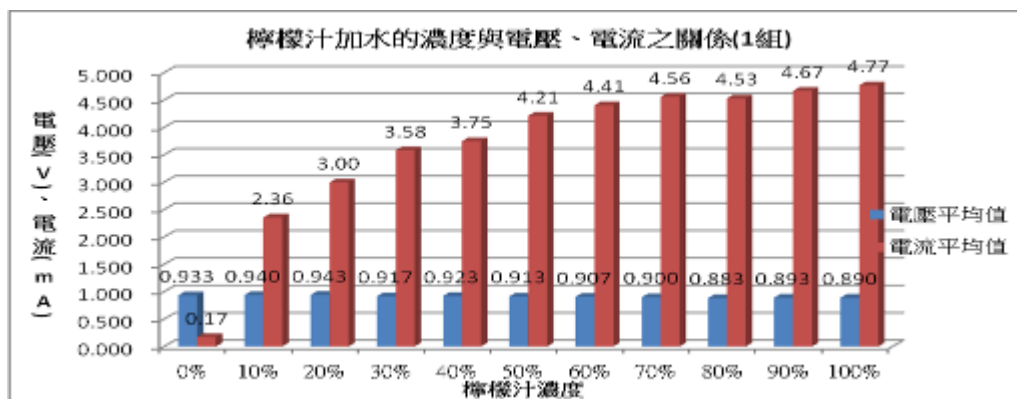


圖 5 電解質濃度與電壓、電流之關係圖



照片 9 測量電解質濃度與電壓、電流的關係

從圖 5 電解質濃度與電壓、電流之關係圖分析發現，檸檬汁在稀釋前後，其所產生的電壓與電流並沒有很大的改變。

(五) 電解質溫度與電壓、電流之關係

以檸檬榨汁當作水果電池的電解質，選定發電效能較佳的鋅-銅電極，以冰棒棍固定兩電極的距離，將檸檬汁以冷藏或隔水加熱成不同的五種溫度後，分別測量出電壓和電流如下：

表 9 電解質溫度與電壓之關係

電壓單位：伏特 (V)

電解質溫度	7°C	10°C	20°C	30°C	40°C
第 1 次	0.72	0.63	0.67	0.71	0.91
第 2 次	0.83	0.79	0.88	0.73	0.79
第 3 次	0.59	0.61	0.78	0.8	0.77
平均值	0.713	0.677	0.777	0.747	0.823

表 10 電解質溫度與電流之關係

電流單位：毫安 (mA)

電解質溫度	7°C	10°C	20°C	30°C	40°C
第 1 次	0.883	0.9	1.246	1.406	1.559
第 2 次	0.847	0.913	1.279	1.374	1.54
第 3 次	0.87	0.875	1.258	1.38	1.534
平均值	0.867	0.896	1.261	1.387	1.544

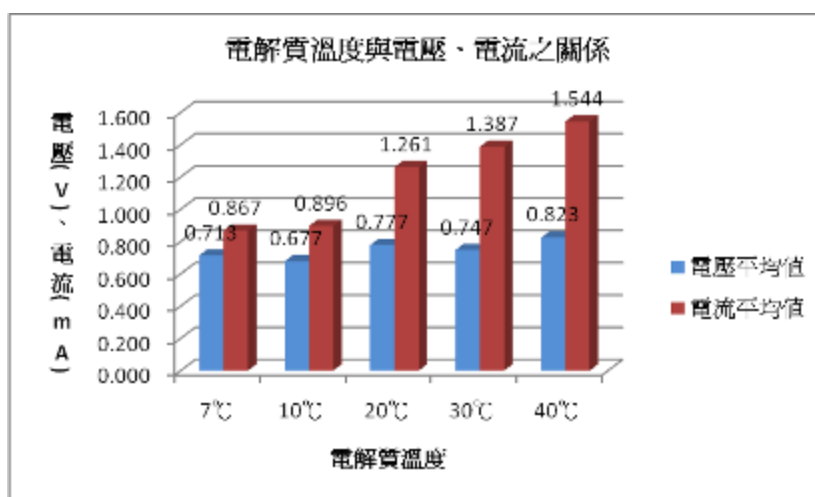


圖 6 電解質溫度與電壓、電流之關係圖



照片 10 測量電解質溫度與電壓、電流之關係圖

從圖 6 電解質溫度與電壓、電流之關係圖分析發現，溫度較高時電流有變大的趨勢，電壓則沒有明顯的變化。

(六) 電極接線方式（串聯、並聯）與電壓、電流之關係

以檸檬榨汁當作水果電池的電解質，選定發電效能較佳的鋅-銅電極，以冰棒棍固定兩電極的距離，做出 5 個鋅-銅電極。在電解質溶液合杯與分杯的兩種情形下，以電極串聯、並聯的接線方式，分別測量出電壓和電流如下：

表 11 電極串聯數與電壓之關係（合杯）

電壓單位：伏特 (V)

電極串聯數	1 個	2 個	3 個	4 個	5 個
第 1 次	0.89	0.97	1.01	1	1.07
第 2 次	0.88	0.96	1	1.03	1.06
第 3 次	0.93	0.97	1.02	1.05	1.02
平均值	0.900	0.967	1.010	1.027	1.050

表 12 電極串聯數與電壓之關係（分杯）

電壓單位：伏特（V）

電極串聯數	1 個	2 個	3 個	4 個	5 個
第 1 次	0.93	1.84	3.05	2.94	3.42
第 2 次	0.89	1.68	2.88	3.18	3.31
第 3 次	0.91	1.69	3.01	2.96	3.26
平均值	0.910	1.737	2.980	3.027	3.330

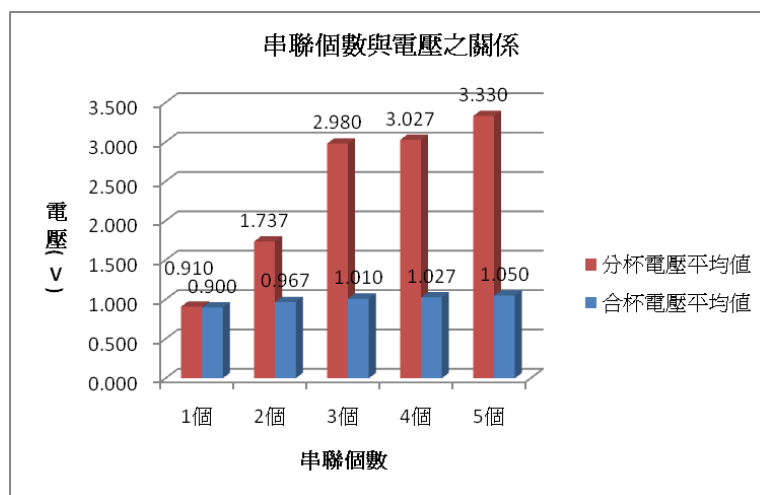


圖 7 分杯與合杯之串聯電壓關係圖

表 13 電極串聯數與電流之關係（合杯）

電流單位：毫安（mA）

電極串聯數	1 個	2 個	3 個	4 個	5 個
第 1 次	3.25	3.12	3.23	3.31	3.03
第 2 次	3.2	3.21	3.09	3.17	3.19
第 3 次	3.16	3.27	3.2	3.22	3.1
平均值	3.20	3.200	3.17	3.233	3.107

表 14 電極串聯數與電流之關係（分杯）

電流單位：毫安（mA）

電極串聯數	1 個	2 個	3 個	4 個	5 個
第 1 次	3.35	3.06	3.42	3.05	2.94
第 2 次	3.29	3.13	3.31	2.88	3.18
第 3 次	3.22	2.59	3.26	3.01	2.96
平均值	3.29	2.927	3.33	2.980	3.027

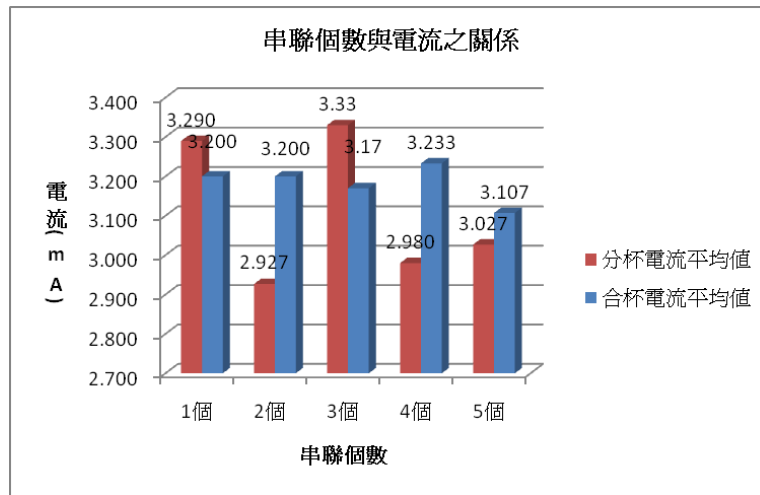


圖 8 分杯與合杯之串聯電流關係圖

表 15 電極並聯數與電壓之關係 (合杯)

電壓單位：伏特 (V)

電極並聯數	1 個	2 個	3 個	4 個	5 個
第 1 次	0.89	0.9	0.86	0.84	0.86
第 2 次	0.88	0.87	0.85	0.83	0.85
第 3 次	0.93	0.89	0.88	0.86	0.86
平均值	0.900	0.887	0.863	0.843	0.857

表 16 電極並聯數與電壓之關係 (分杯)

電壓單位：伏特 (V)

電極並聯數	1 個	2 個	3 個	4 個	5 個
第 1 次	0.93	0.93	1	0.89	0.98
第 2 次	0.89	0.93	0.87	0.89	0.88
第 3 次	0.91	0.88	0.9	0.86	0.89
平均值	0.910	0.913	0.923	0.880	0.917

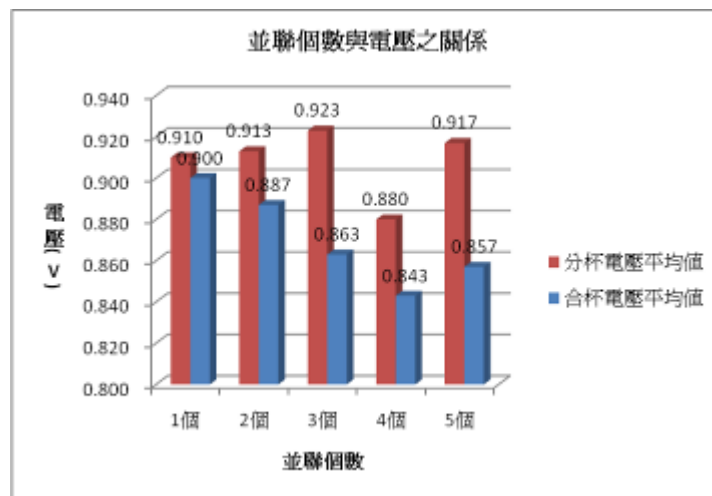


圖 9 分杯與合杯之並聯電壓關係圖

表 17 電極並聯數與電流之關係（合杯）

電流單位：毫安（mA）

電極並聯數	1 個	2 個	3 個	4 個	5 個
第 1 次	3.25	4.98	6.37	7.22	8.76
第 2 次	3.2	5.02	6.52	7.19	8.72
第 3 次	3.16	5.14	6.17	7.36	8.69
平均值	3.20	5.047	6.4	7.257	8.72

表 18 電極並聯數與電流之關係（分杯）

電流單位：毫安（mA）

電極並聯數	1 個	2 個	3 個	4 個	5 個
第 1 次	3.35	5.63	7.52	8.25	9.21
第 2 次	3.29	5.66	7.63	8.48	9.94
第 3 次	3.22	5.75	7.2	8.68	9.24
平均值	3.29	5.680	7.5	8.470	9.46

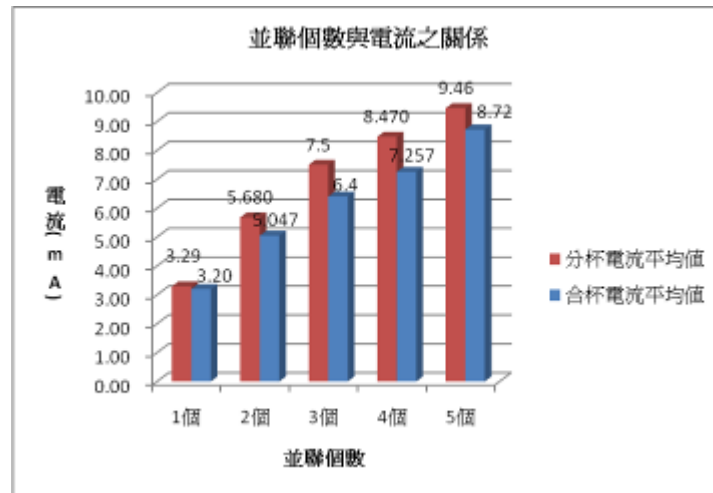


圖 10 分杯與合杯之並聯電流關係圖

從圖 7 發現，在串聯增加電壓的表現上，以電極分杯的處理下較為明顯；從圖 8 發現，在串聯電流不變的表現上，以電極合杯的情形下較為穩定；從圖 9 發現，在並聯電壓不變的表現上，以電極分杯的處理較穩定；從圖 10 發現，在並聯增加電流的表現上，不管電解質是分杯或合杯，都有明顯的變化。

根據上述的結果發現，如果考量水果電池的電壓穩定性與線性關係，以電極分杯的方式較為適當；如果考量水果電池的電流穩定性與線性關係，則以電極合杯的方式較為適當。我們研究的目的，在設計出穩定的「大電流」水果電池，因此我們決定以 5 個鋅-銅電極並聯的方式，設計出如同合杯的「基本電極模組」如圖 11。再利用「基本電極模組」來做水果電池串聯與並聯的運用，以提升整體的電壓與電流。

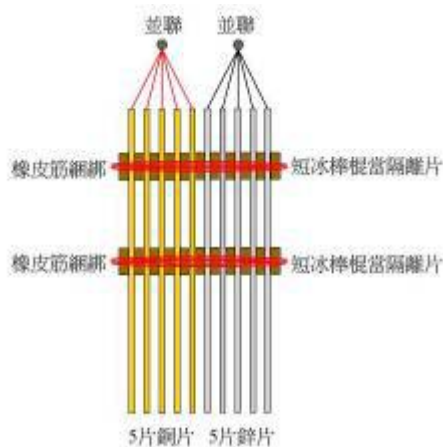


圖 11 基本電極模組設計圖

三、影響勁量水果電池的發電效能的因素

(一) 電解質添加雙氧水與電壓、電流的關係

根據文獻資料顯示，在水果電池中加入其他的水溶液後，如加入食鹽水（謝仁烽等，2008），或醋酸、小蘇打水、糖水、雙氧水等水溶液，會對於水果電池的電壓和電流有所影響。醋酸、小蘇打水及食鹽水是酸、鹼、鹽類等電解質溶液，對於水果電池的導電性有一定程度的影響。其中最令我們感興趣的是，在水果電池中加入雙氧水之後，竟然可以增加水果電池的電流。但可惜的是文獻中並沒有更詳細的研究數據說明。因此我們決定進一步研究雙氧水對水果電池電壓、電流的影響，並提出詳細的實驗數據說明。

以檸檬榨汁當作水果電池的電解質，選定發電效能較佳的鋅-銅電極，以冰棒棍固定兩電極的距離，將檸檬榨汁以雙氧水稀釋成不同濃度（0%、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100%），固定電極插入深度為 4cm，分別測量出電壓和電流如下：

表 19 檸檬汁加雙氧水之濃度與電壓之關係

電壓單位：伏特（V）

檸檬汁濃度	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
第 1 次	1.008	1.026	0.939	0.919	0.949	0.945	0.928	0.926	0.976	0.973	0.972
第 2 次	0.977	1.02	0.973	0.936	0.952	0.936	0.922	0.893	0.965	0.958	0.884
第 3 次	0.95	1.057	1.008	0.926	0.94	0.924	0.925	0.883	0.976	0.97	0.889
平均值	0.978	1.034	0.973	0.927	0.947	0.935	0.925	0.901	0.972	0.967	0.915

表 20 檸檬汁加雙氧水之濃度與電流之關係

電流單位：毫安 (mA)

檸檬汁濃度	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
第 1 次	1.537	18.6	32.7	36.8	47.8	48.7	53.1	65.4	48.8	47	6.21
第 2 次	1.129	17.8	28.8	41.5	48.7	48.6	50.1	62.2	49.2	50.3	5.82
第 3 次	0.914	18.4	30.8	37.2	46.9	48.4	51.5	60.7	51.3	47.8	5.88
平均值	1.19	18.27	30.77	38.50	47.80	48.57	51.57	62.77	49.77	48.37	5.97

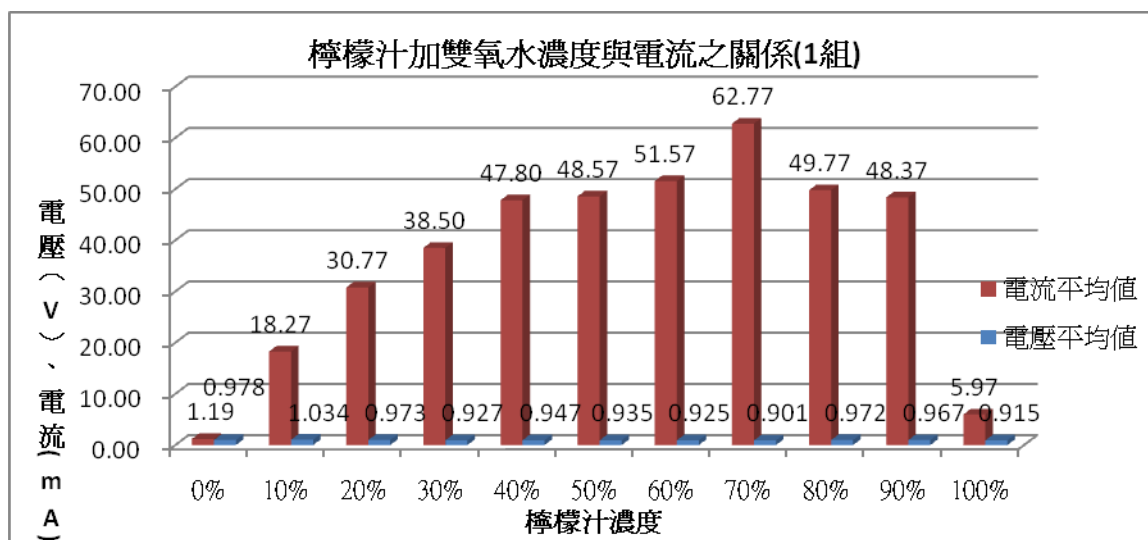


圖 12 檸檬汁濃度與電壓、電流之關係圖

從圖 12 發現，檸檬汁加入雙氧水後，電壓雖沒有明顯改變，電流則明顯上升。但並非加入越多的雙氧水，電流就越高。如果完全以雙氧水當作電解質，平均電流只有 1.19mA 而已。依據本研究的結果顯示，以 70% 檸檬汁與 30% 雙氧水之電解質濃度，可以獲得最大的電流。

(二) 基本電極模組的電解質添加雙氧水與電壓、電流的關係

以圖 11 的基本電極模組設計圖為基礎，製作出水果電池的基本電極模組如照片 11、照片 12。



照片 11 基本電極模組的構造



照片 12 基本電極模組的構造

將檸檬榨汁以雙氧水稀釋成不同濃度（0%、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100%），固定電極插入深度為 4cm，分別測量出電壓和電流如下：

表 21 檸檬汁加雙氧水之濃度與電壓之關係（基本電極模組）

電壓單位：伏特（V）

檸檬汁濃度	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
第 1 次	0.899	1.054	0.905	0.828	0.900	0.889	0.843	0.843	0.961	0.956	0.922
第 2 次	0.916	1.052	0.951	0.942	0.906	0.855	0.869	0.914	0.969	0.968	0.913
第 3 次	0.871	1.019	0.945	0.943	0.888	0.879	0.869	0.946	0.960	0.954	0.918
平均值	0.895	1.042	0.934	0.904	0.898	0.874	0.860	0.901	0.963	0.959	0.918

表 22 檸檬汁加雙氧水之濃度與電流之關係（基本電極模組）

電流單位：毫安（mA）

檸檬汁濃度	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
第 1 次	1.886	24.1	37.4	51.5	52.5	59.1	62.1	73.1	70.7	56.8	14.1
第 2 次	1.463	23.3	39.8	51.6	54.7	58.2	62.5	74.6	70.1	56.2	13.8
第 3 次	1.403	23.1	42.8	55.1	54.9	59.9	63.3	71.7	70.5	56.5	13.4
平均值	1.58	23.50	40.00	52.73	54.03	59.07	62.63	73.13	70.43	56.50	13.77

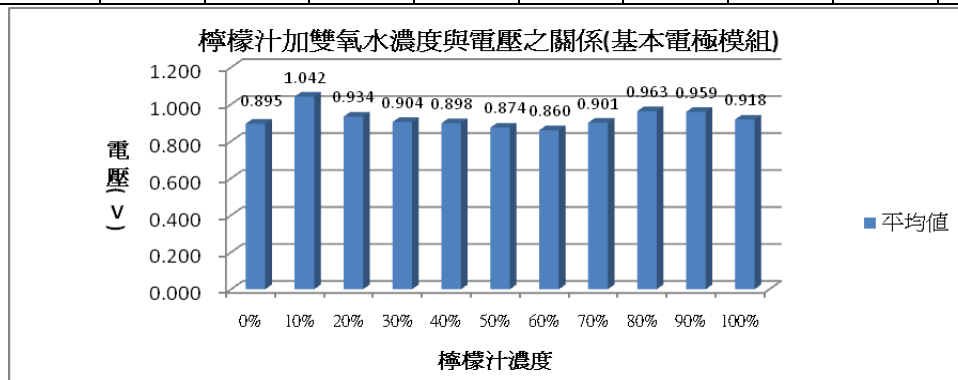


圖 13 基本電極模組的電解質添加雙氧水與電壓之關係

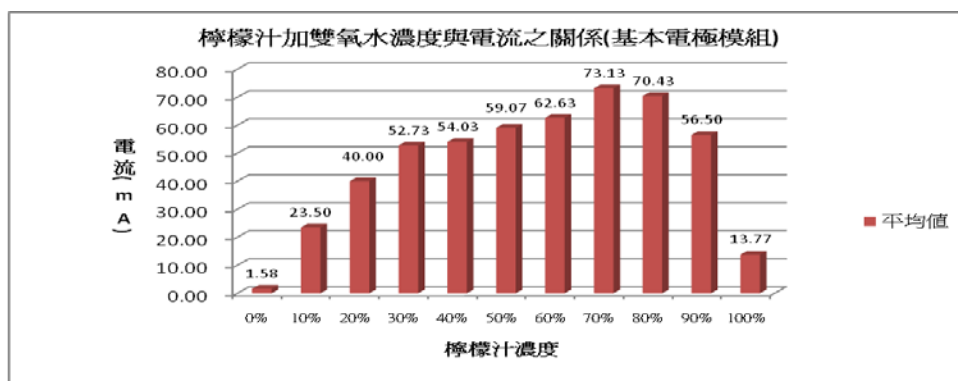


圖 14 基本電極模組的電解質添加雙氧水與電流之關係

從圖 13、圖 14 發現，基本電極模組在以 70%檸檬汁與 30%雙氧水之電解質濃度中，電壓雖沒有明顯改變，平均電流可達 73.13mA，與研究結果二（一）鋅-銅電極水果電池之平均電流 0.101mA 相較，電流提升約 724 倍了。

(三) 基本電極模組的接線方式（串聯、並聯）與電壓、電流的關係

利用「基本電極模組」，以 70%檸檬汁與 30%雙氧水為電解質濃度，在電解質溶液合杯與分杯的兩種情形下，以基本電極模組串聯及並聯等接線方式，分別測量出電壓和電流如下：

表 23 基本電極模組串聯數與電壓之關係（合杯）

電壓單位：伏特（V）

電極串聯數	1 組	2 組	3 組	4 組
第 1 次	0.843	1.345	1.701	1.777
第 2 次	0.914	1.392	1.774	1.882
第 3 次	0.946	1.451	1.82	1.924
平均值	0.901	1.396	1.765	1.861

表 24 基本電極模組串聯數與電壓之關係（分杯）

電壓單位：伏特（V）

電極串聯數	1 組	2 組	3 組	4 組
第 1 次	0.843	1.752	2.753	3.243
第 2 次	0.914	1.803	2.789	3.359
第 3 次	0.946	1.881	2.797	3.427
平均值	0.901	1.812	2.780	3.343

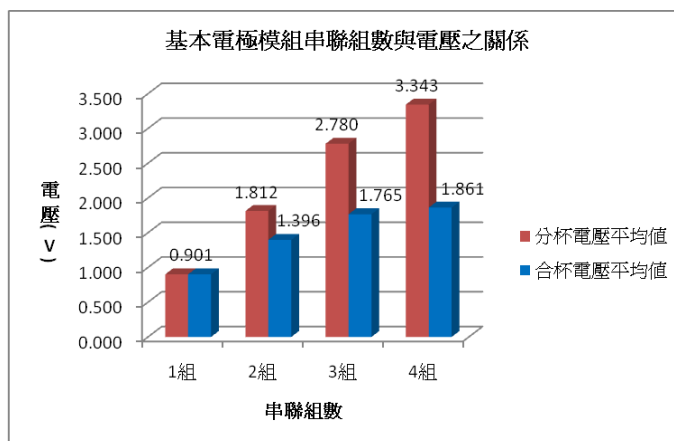


圖 15 分杯與合杯之串聯電壓關係圖

表 25 基本電極模組串聯數與電流之關係（合杯）

電流單位：毫安（mA）

電極串聯數	1 組	2 組	3 組	4 組
第 1 次	73.1	71.4	66.6	64.7
第 2 次	74.6	85.3	76.0	74.4
第 3 次	71.7	73.8	65.6	62.5
平均值	73.13	76.83	69.40	67.20

表 26 基本電極模組串聯數與電流之關係 (分杯)

電流單位：毫安 (mA)

電極串聯數	1 組	2 組	3 組	4 組
第 1 次	73.1	82.4	81.6	75.5
第 2 次	74.6	94.0	92.0	88.3
第 3 次	71.7	88.9	80.2	77.1
平均值	73.13	88.43	84.60	80.30

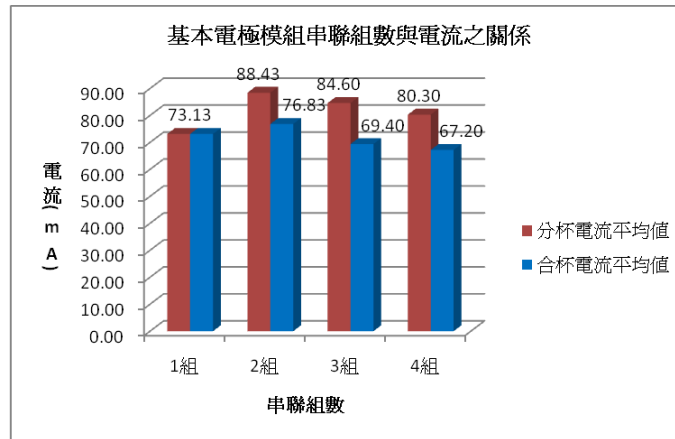


圖 16 分杯與合杯之串聯電流關係圖

表 27 基本電極模組並聯數與電壓之關係 (合杯)

電壓單位：伏特 (V)

電極並聯數	1 組	2 組	3 組	4 組
第 1 次	0.843	0.819	0.818	0.82
第 2 次	0.914	0.882	0.875	0.883
第 3 次	0.946	0.908	0.912	0.913
平均值	0.901	0.870	0.868	0.872

表 28 基本電極模組並聯數與電壓之關係 (分杯)

電壓單位：伏特 (V)

電極並聯數	1 組	2 組	3 組	4 組
第 1 次	0.843	0.833	0.813	0.773
第 2 次	0.914	0.899	0.859	0.879
第 3 次	0.946	0.937	0.847	0.907
平均值	0.901	0.890	0.840	0.853

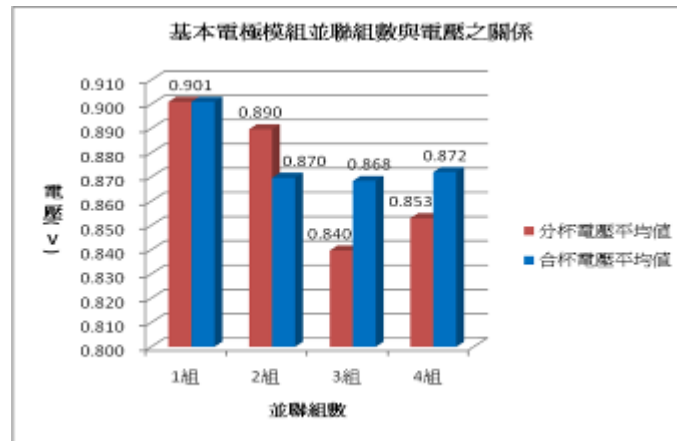


圖 17 分杯與合杯之並聯電壓關係圖

表 29 基本電極模組並聯數與電流之關係 (合杯)

電流單位：毫安 (mA)

電極並聯數	1 組	2 組	3 組	4 組
第 1 次	73.1	122.7	143.6	165.3
第 2 次	74.6	135.6	146.6	159.5
第 3 次	71.7	119.5	127.0	162.1
平均值	73.13	125.93	139.07	162.3

表 30 基本電極模組並聯數與電流之關係 (分杯)

電流單位：毫安 (mA)

電極並聯數	1 組	2 組	3 組	4 組
第 1 次	73.1	110	138.9	179.8
第 2 次	74.6	129.4	160.6	188.3
第 3 次	71.7	113.6	135.3	180.3
平均值	73.13	117.67	144.93	182.80

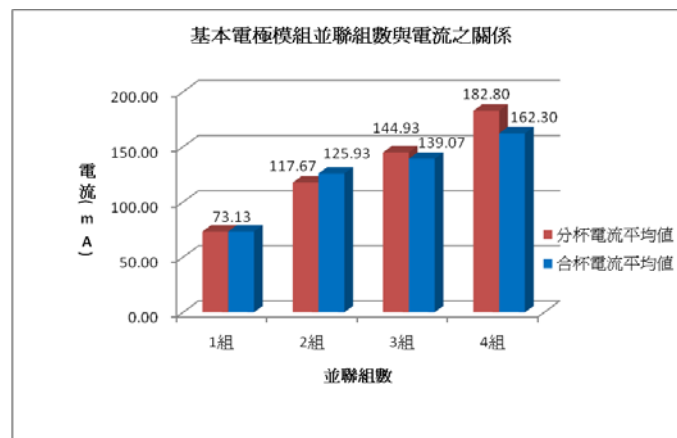


圖 18 分杯與合杯之並聯電流關係圖

從圖 15 發現，在串聯增加電壓的表現上，在基本電極模组分杯的處理下較為明顯；從圖 16 發現，在串聯電流不變的表現上，在基本電極模組合杯的情形下較為穩定；從圖 17 發現，在並聯電壓不變的表現上，在基本電極模組合杯的處理下較為穩定；從圖 18 可以發現，在並聯增加電流的表現上，不管基本電極模组分杯或合杯，都有明顯的變化，而且在基本電極模组分杯並聯之下，電流已經達到 182.80mA。

四、接線方式對勁量水果電池發電效能之影響

(一) 改變基本電極模组的接線方式，設計出改良式電極模組

應用並聯原理所設計的基本電極模組，所產生的大電流使我們信心大增。我們又思考了如果改變基本電極模组的接線方式，讓 5 組鋅-銅電極交錯排列，設計出另一種「改良式電極模組」，如下圖 19。

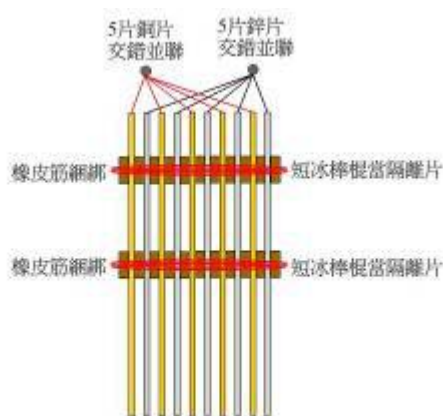


圖 19 改良式電極模組

(二) 改良式電極模组的接線方式（串聯、並聯）與電壓、電流的關係

以圖 19 的改良式電極模組設計圖為基礎，製作出勁量水果電池的改良式電極模組如照片 13、14：



照片 13 改良式電極模組的構造



照片 14 改良式電極模組的構造

將檸檬榨汁以雙氧水稀釋成 70%的濃度，固定電極插入深度為 4cm，以分杯的方式，分別測量出串聯及並聯 2 組改良式電極模組的電壓和電流如下：

表 31 改良式電極模組電極連接方式與電壓之關係

電壓單位：伏特 (V)

電極連接方式	1 組	串聯 2 組	並聯 2 組
第 1 次	0.93	1.86	0.99
第 2 次	0.96	1.94	0.98
第 3 次	0.95	1.95	0.98
平均值	0.947	1.917	0.983

表 32 改良式電極模組電極連接方式與電流之關係

電流單位：安培 (A)

電極連接方式	1 組	串聯 2 組	並聯 2 組
第 1 次	0.54	0.47	0.94
第 2 次	0.5	0.51	0.95
第 3 次	0.55	0.55	1.02
平均值	0.53	0.51	0.97

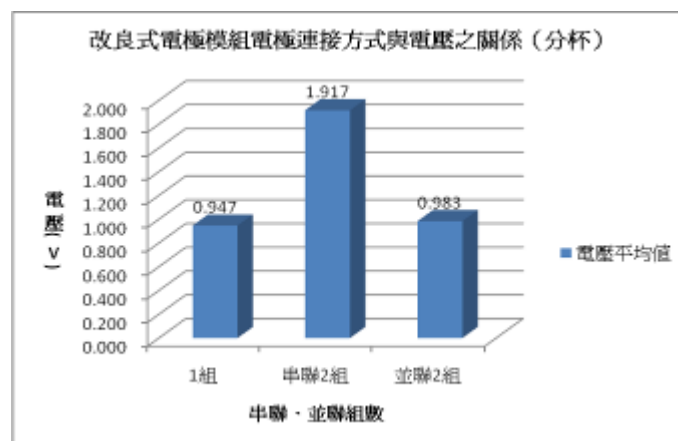


圖 20 改良式電極模組之接線方式與電壓之關係

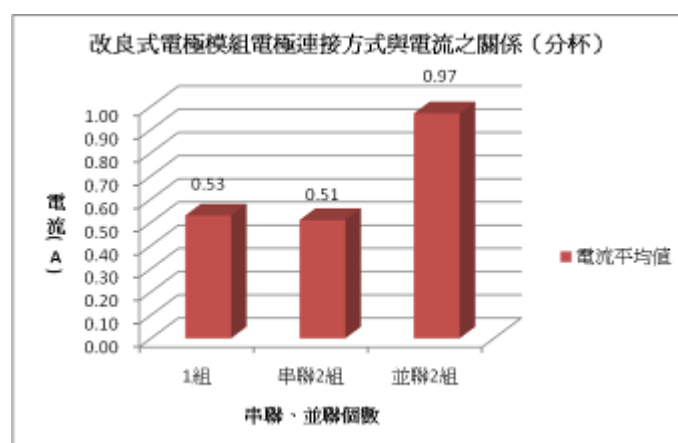


圖 21 改良式電極模組之接線方式與電流之關係



照片 15 並聯 2 組改良式電極模組，電流已經達到 A（安培）的刻度級數

從圖 20、圖 21 發現，改良式電極模組在 70%檸檬汁與 30%雙氧水之電解質濃度中，只需要一組改良式電極模組，平均電流就可達 0.53 安培（530mA），並聯了兩組改良式電極模組，平均電流更高達 0.97 安培（970mA），與研究結果二（一）的鋅-銅電極水果電池之平均電流 0.101mA 相較，電流提升了約 9603 倍，已達成我們所研究「勁量水果電池」之目的。

五、勁量水果電池的應用

應用我們自己設計的勁量水果電池基本電極模組，在 70%檸檬汁與 30%雙氧水之電解質濃度中，以電解質分杯的方式，利用串聯提升電壓與並聯提升電流的原理，接上電子負載後測試結果如表 33、表 34。表 35 則是串聯了 2 組改良式電極模組，以電解質分杯的方式，接上負載後的測試結果。

表 33 基本電極模組在電子負載上的應用測試

電子負載	1 鋅片 1 銅片	基本電極模組 並聯 1 組	基本電極模組 並聯 2 組	基本電極模組 並聯 3 組	基本電極模組 並聯 4 組
LED 燈	不亮	不亮	不亮	不亮	不亮
數位式碼錶	不顯示	不顯示	不顯示	不顯示	不顯示
小型電動車	不動	慢速轉動	慢速轉動	慢速轉動	慢速轉動
小型風扇	不轉動	不轉動	不轉動	慢速轉動	快速轉動

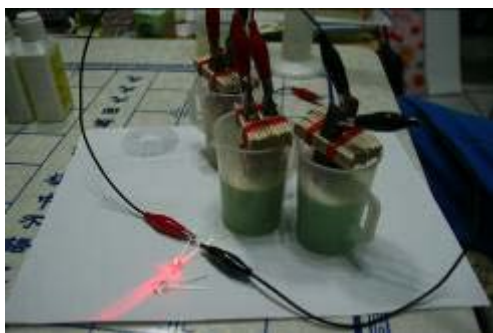
表 34 基本電極模組在電子負載上的應用測試

電子負載	1 鋅片 1 銅片	基本電極模組 串聯 1 組	基本電極模組 串聯 2 組	基本電極模組 串聯 3 組	基本電極模組 串聯 4 組
LED 燈	不亮	不亮	亮	亮	亮
數位式碼錶	不顯示	不顯示	顯示	顯示	顯示
小型電動車	不動	慢速轉動	中速轉動	快速轉動	極快速轉動
小型風扇	不轉動	不轉動	不轉動	不轉動	不轉動

表 35 串聯 2 組改良式電極模組在電子負載上的應用測試

電子負載	LED 燈	數位式碼錶	小型電動車	小型風扇	小鎢絲燈泡
結果	亮	顯示	極快速	快速轉動	亮

從表 33、表 34 發現，要使LED燈發亮、數位式碼錶顯示的基本條件是電壓要高（約 1.5V），電流則不一定要高，這也就是為什麼大多數文獻上的水果電池多採用LED燈及數位式碼錶當作負載的原因。小型電動車運轉的基本電壓約需 1V、10mA，因此只要 1 組基本電極模組所產生的電流即可達到運轉的目的，且串聯的組數越多，轉動越快。至於我們挑戰使小型風扇運轉成功的原因在於，雖然運轉需要的電壓不高，但需要並聯約 3 組基本電極模組所產生的電流才能夠運轉，這也是為什麼大多數水果電池無法使小型風扇馬達運轉的原因。表 35 顯示，串聯 2 組改良式電極模組，都能夠使上述的負載作用。接著我們繼續挑戰了更高難度的小鎢絲燈泡，結果也成功地點亮了鎢絲燈泡（如照片 21）。



照片 16 基本電極模組可以點亮 LED 燈



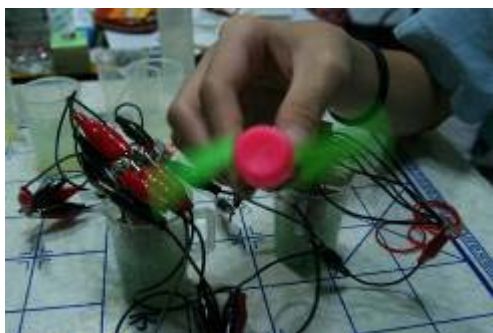
照片 17 基本電極模組可以使數位式碼錶顯示



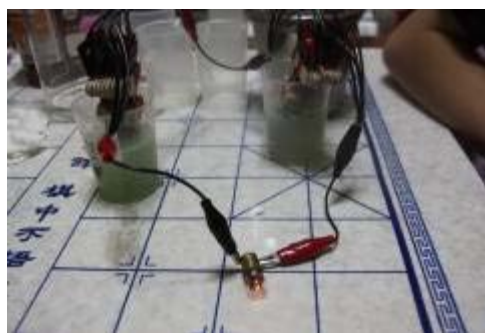
照片 18 基本電極模組可以驅動小型電動車



照片 19 基本電極模組可以驅動小型風扇



照片 20 改良式電極模組可以驅動小型風扇



照片 21 改良式電極模組可以點亮小鎢絲燈泡

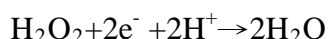
陸、討論

一、實驗時所遭遇到的問題與改進的方法

- (一) 活性差距較大的兩種金屬電極，可以增加水果電池的發電效能，如文獻上發電效果最佳的電極組合-鎂和銅。但因取得不易、成本較高，因此經過電極種類的測試後，選擇發電效果也不錯且容易取得的鋅-銅兩種金屬當作本研究的電極。
- (二) 水果電池兩電極間的距離越近，所產生的電流越大，但又不能夠使兩電極碰觸在一起造成短路。因此我們想到利用冰棒棍來隔開電極，也可讓兩電極產生極近的距離，以產生較大的電流。

二、實驗結果之討論

- (一) 根據本研究的實驗結果驗證，檸檬汁加上雙氧水之後，確實明顯提升了水果電池的電流。我們的推測，可能是雙氧水加速了電解質中的氧化還原反應，因此電流變大了。我們也用pH計檢驗了檸檬汁、雙氧水與加了雙氧水的檸檬汁之酸鹼性，結果發現溶液的酸鹼性並沒有改變。另外，我們也發現加了雙氧水的檸檬汁，在發電之後水溶液的顏色會變成綠色，溫度也上升了，屬於一種放熱反應。在老師的建議下，我們分別使用硫酸銅溶液與硫酸鋅溶液檢驗檸檬汁，驗證了綠色是因為產生銅離子的結果。因此雙氧水扮演了氧化劑的角色，反應式如下：



照片 22 檸檬汁的 pH 值=2.3



照片 23 雙氧水的pH值=4.1



照片 24 檸檬汁加雙氧水的 pH 值=2.3



照片 25：左（檸檬汁加雙氧水）；中（檸檬汁加雙氧水加電極）；右（檸檬汁加電極）

- (二) 基本電極模組能產生較大的電流，可以從增加並聯的電極數量後，電極與電解質接觸

面積增加的原因來解釋。但如圖 22，在基本電極模組中，越外側的鋅、銅片間隔的距離會越來越遠。在改良式電極模組中，由於鋅、銅是以交錯的方式排列，除了可以利用並聯的數量來增加電極與電解質的接觸面積外，可以更有效地縮短每一組鋅、銅間的距離，因此電流會比基本電極模組高出許多。

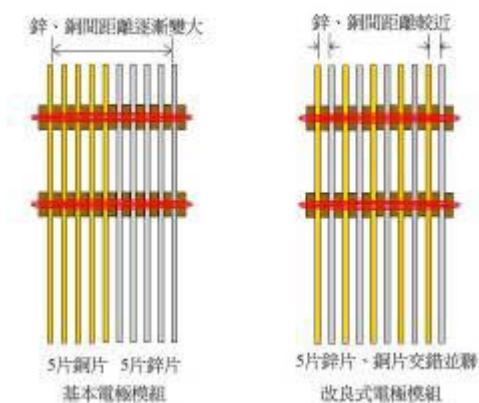


圖 22 改良式電極模組可以有效縮短鋅、銅的距離

三、實驗結果與理論差異性之討論

- (一) 電解質在分杯與合杯的處理下，所測得的電壓和電流並沒有呈現很穩定的規律性。理論上，如以一般電池的串聯和並聯的原理，應該以分杯處理的方式較為適當。因為分杯可以視為個別的一顆電池，合杯則可能發生短路的情形。
- (二) 根據串聯增加電壓、並聯增加電流的原理，在本研究的實驗中發現，實際上並非成線性增加的正比關係。推論原因可能是因為雖然都是基本電極模組，但並非完全一模一樣，彼此間會產生誤差。同理，改良式電極模組間彼此間也會存在著誤差值。

柒、結論

一、根據本研究結果之建議事項：

- (一) 在串聯或並聯水果電池的電極時，宜採用電解質分杯的方式進行，以獲得理想中的電壓與電流。
- (二) 以基本電極模組當作水果電池的電極，可以有效提升水果電池的電流。
- (三) 以改良式電極模組當作勁量水果電池的電極，可以大幅提升水果電池的電流至數千倍，使勁量水果電池能夠真正應用在日常生活中。
- (四) 本研究嘗試整合各種能提升水果電池電流的因素，如電極種類、電極距離、電極與電解質的接觸面積、電解質的成分與濃度、電路連接方式等因素，設計並製作出電極模組，以達成大電流的目的。

二、未來研究的可能方向

- (一) 理論上利用更多基本電極模組或改良式電極模組的串聯和並聯之方式，可以更加提升水果電池的電壓和電流，但相對的也會提高製作成本。如何衡量發電效益與製作成本，是未來可以研究的方向。
- (二) 可以將本研究的結果與推論，運用在其他的植物電池或環保電池的研究中，製作出大電流的改良式綠能電池，提高發電效能。

捌、參考資料及其他

- 一、余宛蓁（2008）。水果動起來-水果電池。嘉義：嘉義女中。
- 二、豆丁網。水果電池之研究。線上檢索日期：2010年3月29日。網址：
<http://www.docin.com/p-7042446.html>
- 三、林唐煜等（2009）。開回收電的鋅銅學。台中：大新國小。
- 四、林廉捷等（2004）。廚房化學-水果電池也瘋狂。宜蘭：復興國中。
- 五、桃園縣內海國民小學。如何自己製作電池。線上檢索日期：2010年2月10日。網址：
<http://xoops.nhes.tyc.edu.tw/classweb/96/>
- 六、張凱雄等（2004）。超級來電王。台北：成功國小。
- 七、郭重吉等編。國民中學自然與生活科技第六冊。台南：南一。(p44-47) (2009)
- 八、楊明杰、許凱程（1995）。改進鋅銅電池的電流至一千倍。中小學科學展覽會優勝作品專輯（國中組）(21-30:6)。科學教育館：台北。
- 九、趙家平等（2007）。幫水果針灸-探討電極與電解質對電池之影響。台中：大道國中。
- 十、劉鳳起、郭哲瑋（2005）。論水果電池。桃園：新興高中。
- 十一、謝仁烽等（2008）。電不電有關係-奇檬子的問題。彰化：和美國中。
- 十二、魏鳳萱、陳建法、李瓊雯、張簡雅菁（2002）。鋅銅電池之改進實驗。中華民國第42屆中小學科學展覽會參展作品。科學教育館：台北。

【評語】 030203

利用自組並聯電極組或水果電磁探討影響電流大小的因素，有其創新性和實用性，值得鼓勵，若能多加些其他水果種類之測試將更好！