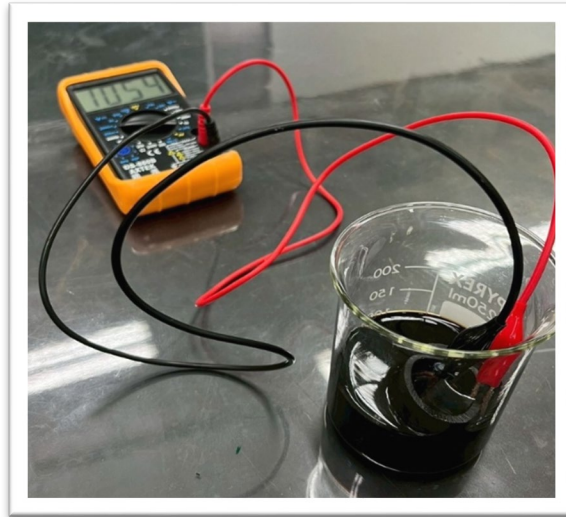


花蓮縣第 66 屆國民中小學科學展覽會

作品說明書



(作者拍攝)

科別：生活應用科學科(三)

組別：國中組

作品名稱：

在廚房也能發電-探討醬油在鋅空氣電池中的秘密

關鍵詞：醬油、鋅空氣電池、竹炭

內容

摘要.....	1
壹、 研究動機.....	1
貳、 研究目的.....	1
參、 研究方法與設備器材.....	2
肆、 研究過程.....	3
一、研究一：文獻探討及尋找生活中的電解液與電極.....	4
(一)文獻探討.....	4
實驗 1-1 在生活中哪些電極與電解液適合當電池.....	5
二、研究二：竹炭如何影響氧氣供給.....	7
實驗 2-1 有竹節的竹炭與無竹節的竹炭對鋅空氣電池的影響.....	7
實驗 2-2 竹炭直放與橫放在有電阻的情況下哪個較好.....	8
實驗 2-2-1 探討空氣是否能在竹炭內橫向聯通.....	9
實驗 2-2-2 鋅片與炭片距離是否影響電壓電流.....	11
實驗 2-3 竹炭有無包膜對鋅空氣電池的影響.....	13
三、研究三：醬油中各成分對電壓電流的比較.....	14
實驗 3-1 不同濃度鮮味粉水溶液發電情形的比較.....	14
實驗 3-2 不同濃度的味精水溶液發電情形的比較.....	15
實驗 3-3 不同濃度的鹽水溶液發電情形的比較.....	18
實驗 3-4 濃度 0.1M 的胺基乙酸的發電情況.....	19
實驗 3-5 IMP+GMP 在鋅空氣電池發電.....	20
四、研究四：醬油中各成分對鋅空氣電池續航力影響。.....	22
實驗 4-1 鮮味粉電解液，放電電壓電流續航力 35 小時。.....	22
實驗 4-2 鹽水電解液放電電壓電流續航力 35 小時。.....	23
實驗 4-3 鹽水、I+G 混合電解液放電電壓電流續航力 35 小時。.....	24
伍、 討論.....	27
陸、 總結.....	28
柒、 參考文獻.....	28

摘要

探討鋅空氣電池用醬油當電解液其電壓(1135mV)電流(44mA)大於飽和鹽水電壓(1043mV)電流(45mA)的原因。經過對比實驗發現，關鍵於醬油成分在鹽和調味劑：核苷酸（IMP 與 GMP）。這些成分具有強大的吸附能力，能在鋅片表面形成一層保護膜。這層膜能改變化學反應產生的「氧化鋅」形狀，從原本會阻礙反應的硬塊，變成像雲朵般鬆軟、容易掉落的粉末。如此一來，鋅片就不會被雜質堵住，讓電池發電更持久。搭配竹炭片良好的供氧能力，本研究證實利用廉價、環保的食品添加劑，能讓空氣電池導致電池提高持久性，為未來開發生活化的綠能電池提供重要方向。

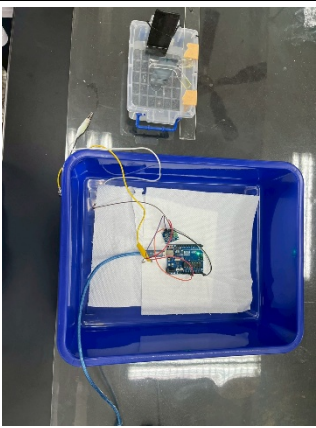
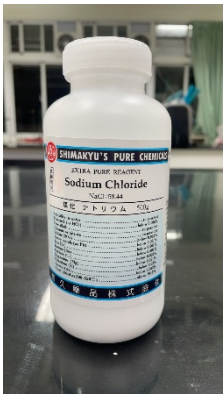
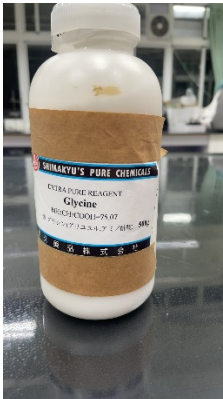
壹、研究動機

在網路上看到有人用空氣電池充手機，覺得很神奇。目前大部分電池產生的方式會造成環境汙染，我們不禁思考是否可以用生活中可見的溶液當作電解液，不僅對環境汙染小，如果可以使其長期運作，連接 LED 燈等工具，在天災發生時或許是救命的稻草。

貳、研究目的

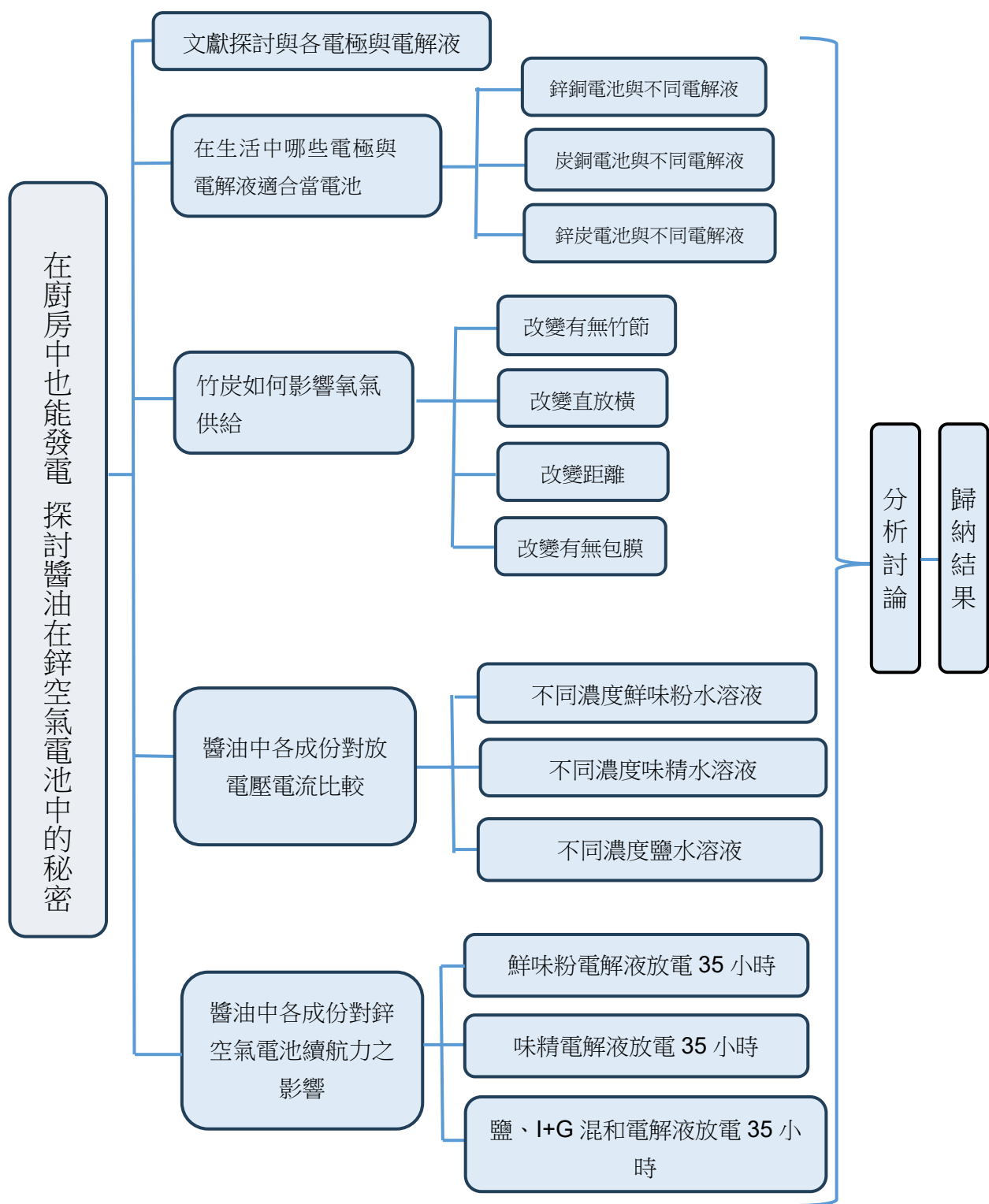
- 一、 在生活中哪些電極與電解液適合當電池
- 二、 竹炭如何影響氧氣供給
- 三、 醬油中各成分的電壓電流之比較
- 四、 醬油中各成份對鋅空氣電池續航力之影響

參、研究方法與設備器材

			
三用電表(作者拍攝)	INA219、Arduino 開發版(作者拍攝)	鋅片、銅規格 3X10cm (作者拍攝)	有竹節、無竹節及長條型的竹炭 (作者拍攝)
			
純鹽(作者拍攝)	生活中的各種電解液 (作者拍攝)	烤箱(作者拍攝)	鮮味粉(作者拍攝)
			
胺基乙酸(作者拍攝)	味精(L-麩胺酸) (作者拍攝)	羧甲基(作者拍攝)	5'-次黃嘌呤核苷磷酸二鈉+5'-鳥嘌呤核苷磷酸二鈉 (IMP+GMP) (作者拍攝)

研究過程

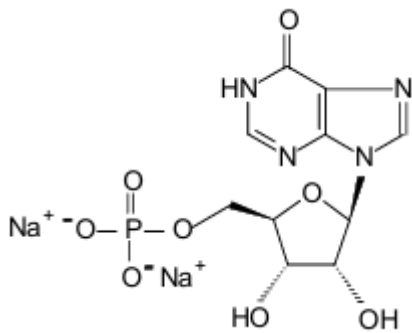
研究架構：



一、研究一：文獻探討及尋找生活中的電解液與電極

(一)文獻探討

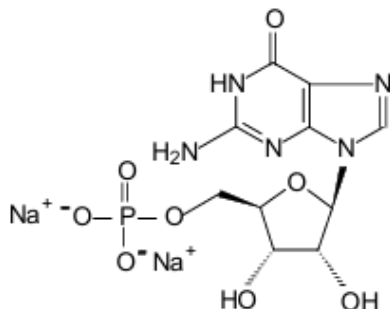
1. 電池的重要性：電池是現代文明的「能量載體」，它徹底解放了電力對插座的依賴。透過能源隨身化，電池支撐了行動通訊與醫療救命設備；作為綠能轉型的核心，它有效儲存不穩定的再生能源並驅動電動車，是達成碳中和的關鍵。本質上，電池將電力轉化為可隨時調度的資產，定義了人類行動的自由度與永續發展的上限。
2. 空氣電池：能源界的「呼吸」革命
 - (1) 原理：空氣電池採半開放式設計，核心在於「以氧氣為正極」。其運作如同受控的金屬氧化過程：負極使用活性金屬（如鋅、鋁或鋰），正極則是布滿多孔碳材料。放電時，電池從大氣中吸入氧氣，與金屬負極產生化學反應並釋放電子。由於正極燃料取自外界，不佔體積與重量，打破了傳統電池的能量儲存限制。
 - (2) 價值：輕量與低成本：鋁等材料在地殼中含量豐富，極具商業競爭力。
 - (3) 綠色環保：反應產物多為穩定的金屬氧化物，回收價值高且對環境衝擊小。
3. 醬油：
 - (1) 我們使用的醬油是統一公司的四季醬油。原料：脫脂大豆(非基因改造)、食鹽、小麥、轉化液糖(蔗糖、水)、酒精、調味劑(胺基乙酸、5'-次黃嘌呤核苷磷酸二鈉、5'-鳥嘌呤核苷磷酸二鈉)。
 - (2) 5'-次黃嘌呤核苷磷酸二鈉（Sodium 5'-Inosinate，簡稱 IMP-Na₂）是一種常用的食品鮮味增味劑。其化學分子式主要為 $C_{10}H_{11}N_4Na_2O_8P$



(衛生福利部食品藥物管理署 2013 年 9 月 4 日)

在食品工業中常作為核苷酸類調味劑。

- (3) 5'-鳥嘌呤核苷磷酸二鈉（Sodium 5'-Guanylate，簡稱 5'-GMP, 2Na）是一種常見的食品鮮味增強劑（高鮮味精成分），其分子式為 $C_{10}H_{12}N_5Na_2O_8P$



(衛生福利部食品藥物管理署 2013 年 9 月 4 日)

它是鳥苷酸（GMP）的二鈉鹽形式，通常以水合物形式存在，常與次黃嘌呤核苷磷酸二鈉（IMP）配合使用。

4. 竹炭

我們是從花蓮鳳林的讚炭工房買的竹炭有良好的導電性且竹炭有多孔性結構方便空氣儲存。「讚炭工房」位於中央山脈西側的花蓮鳳林山腳下，2005 年起以獨創技術燒製台灣唯一的高溫養生竹炭，其遠紅外線發射率達到 94.1%，為台灣中最優質竹炭。

5. 螯合作用

螯合作用（Chelation）是一個化學過程，簡單來說，就是一個具有多個「觸手」的分子（稱為螯合劑），像螃蟹的螯一樣，緊緊地抓住一個中心金屬離子的過程。它是如何運作的？在一般的化學結合中，一個分子可能只跟金屬連接一個點。但在螯合作用中，螯合劑會透過兩個或更多個位點與同一個金屬離子結合，形成一個穩定的環狀結構。這種「多點抓取」的方式讓結合變得非常牢固，金屬離子會被「鎖」在螯合劑的結構中，從而改變該金屬的性質（例如使其更容易溶解或失去原本的反應活性）。

實驗 1-1 在生活中哪些電極與電解液適合當電池

目的：使用三用電表找出較好的電極與電解液

步驟：

1. 在固定兩極的裝置中，放入生活中常見的液體(可樂、紅茶、美粒果、雪碧、醋、運動飲料、綠茶、醬油、飽和鹽。
2. 分別取用鋅銅、鋅炭、炭銅當作電極，把電極沒入電解液中三公分高。
3. 使用三用電表進行測試，裝置觀察如圖(1-1-1、1-1-2)並紀錄之電壓電流。

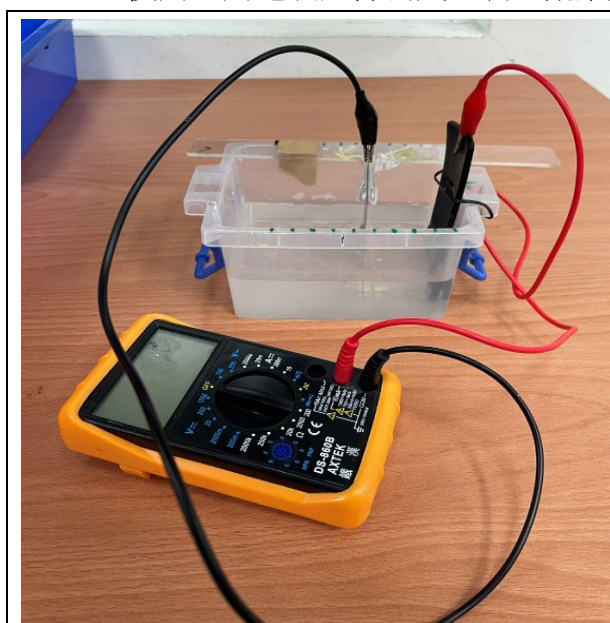


圖 1-1-1 用三用電表測量電壓電流(側視)(作者拍攝)

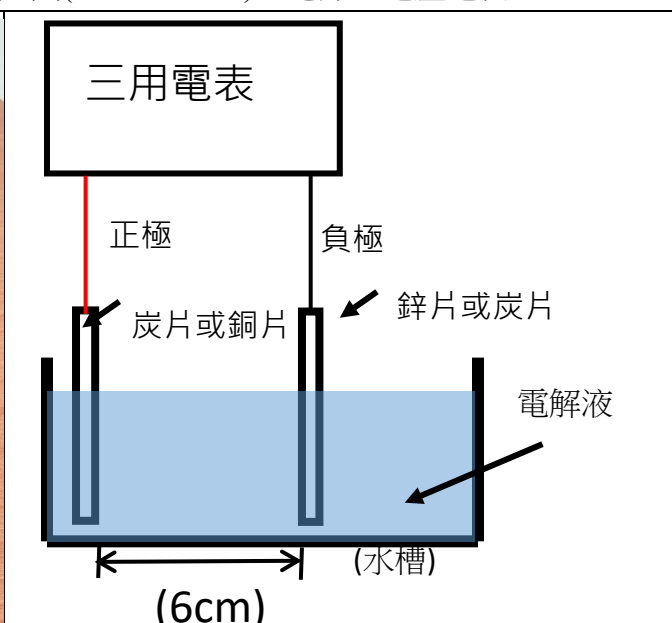


圖 1-1-2 使用三用電表找出較好的電極與電解液之裝置圖(作者自製)

結果：

1. 電壓電流的表現中電極最高的是鋅炭電極。在各電極中的第一名分別如下：鋅炭電極：(醬油 1135mV 44mA) > 鋅銅電極：(綠茶 1016mV 1.1mA) > 炭銅電極：(醬油 384mV 8mA)。
2. 電解液在鋅炭的情況下最高的是醬油：醬油(1135mV、44mA) > 飽和鹽(1070mV、45mA)

(表 1-1-1 不同的電極在不同電解液使用三用電表的情況下 mV 與 mA) (作者自製)

	鋅炭		鋅銅		炭銅	
	電壓 mV	電流 mA	電壓 mV	電流 mA	電壓 mV	電流 mA
可樂	920	0.2	1007	1.4	114	0
紅茶	902	1.3	956	0.9	17	0
美粒果	914	0.5	998	1.2	45	0
雪碧	920	1.4	969	1.0	-20	0
醋	1008	0	767	1.1	-96	0
運動飲料	991	5.8	993	1.5	-77	0
綠茶	1017	1.8	1016	1.1	-17	0
醬油	1135	44	766	10	-384	-8
飽和鹽	1070	45	715	7.68	-365	-12

討論：

1. 在炭銅電池中有些是負的，是正負極需交換，但有正有負值得探討
2. 醬油在鋅炭無電阻情況下高於鹽水很有趣，醬油的鹽水的含量一定沒有飽和時鹽水高高，照常理來說飽和食鹽水的 NaCl 離子最多導電性因該最好，所以醬油能比鹽水好值得探討
3. 是甚麼成分讓醬油有那麼好電壓電流表現。
4. 我們想知道在有負載的情況下醬油是否還是那麼好電壓電流表現。

研究一小結：

1. 用三用電表鋅炭電極電解液是醬油時，醬油(1135mV、44mA) > 飽和鹽(1070mV、45mA)
2. 經文獻探討醬油中確實有些成分幫助空氣電池。
3. 用醬油當電解液是否能讓空氣電池發電效能有良好表現?

二、研究二：竹炭如何影響氧氣供給

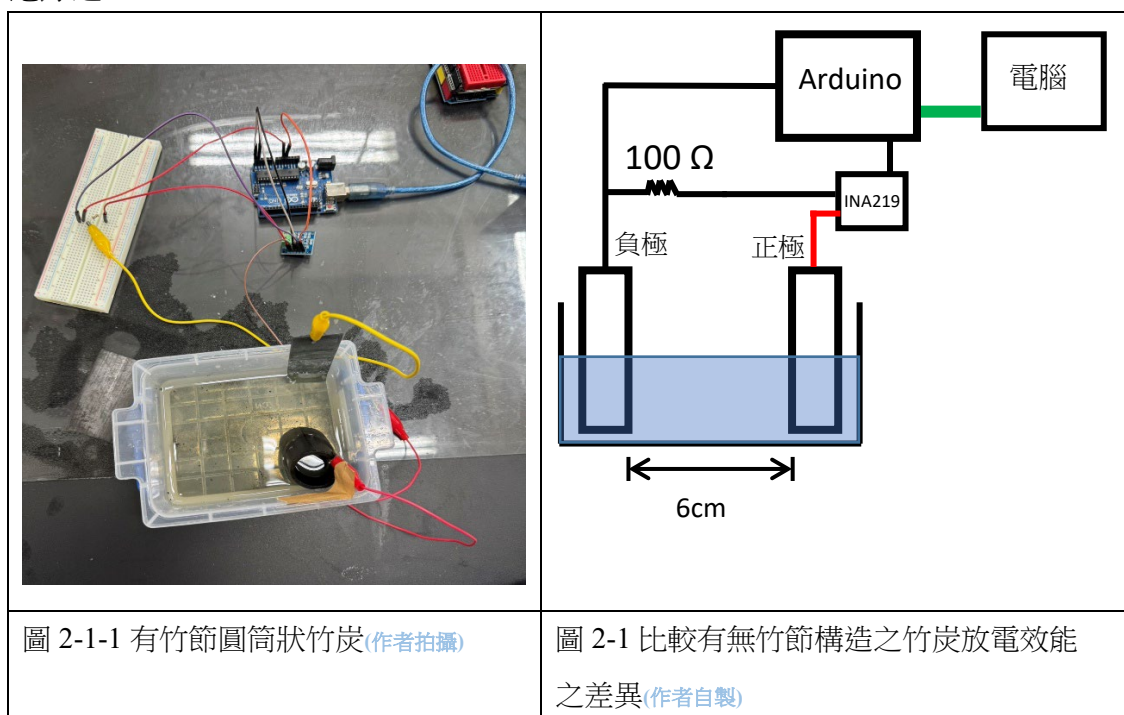
我們想要找出竹炭有哪些結構會影響及直放與橫放有無影響及醬油的大分子會不會堵塞醬油的大分子影響電壓電流

實驗 2-1 有竹節的竹炭與無竹節的竹炭對鋅空氣電池的影響

實驗目的：比較有無竹節構造之竹炭放電效能之差異

實驗步驟：

1. 準備有竹節竹炭和無竹節竹炭大小差不多的圓筒竹炭各五個如圖，分別秤重
2. 電解液是 300ml 的飽和鹽水，以鋅炭作為電極，並開始測個別竹炭電壓與電流觀察與紀錄之。



結果：

1. 將表 2-1-1 與 2-1-2 之數據除以竹炭之質量獲得數據入下：有竹節 64.243(mV/g)，0.659(mA/g)，無竹節 122.74(mV/g)，1.262(mA/g)故可知 沒竹節比有竹節好。

表 2-1-1 有竹節電壓電流重量(作者自製)

	質量 (g)	電壓 mV	電流 mA	$\frac{mV}{g}$	$\frac{mA}{g}$
1	12.95	781	8.058	60.3	0.622
2	16.01	871	8.924	54.4	0.55
3	13.07	739	7.588	56.8	0.58
4	11.96	891	9.126	81	0.82
5	7.51	669	6.876	89.2	0.9
平均	12.3	790.2	8.1144	64.22	0.65

表 2-1-2 無竹節電壓電流重量(作者自製)

沒竹節	質量 (g)	電壓 mV	電流 mA	$\frac{mV}{g}$	$\frac{mA}{g}$
1	11.79	832	8.555	75.6	0.73
2	7.94	804	8.274	101	1.18
3	5.67	789	8.116	143	1.62
4	5.70	736	7.563	129	1.32
5	8.47	786	8.092	93.5	0.955
平均	7.914	789.4	8.12	99	1.02

討論：

1. 由上表可知雖然無竹節竹炭(789.4mV、8.12mA)無竹節竹炭(790.2mV、8.11mA)相差不大，可是竹炭數值除以質量後數值為：有竹節 64.243(mV/g)，0.659(mA/g)，無竹節 122.74(mV/g)，1.262(mA/g)可以知道單位重量中有竹節對於氧氣的供應是障礙。

實驗 2-2 竹炭直放與橫放在有電阻的情況下哪個較好

目的：了解在相同的浸泡面積下放置方式對於氧氣提供的效能影響

步驟：

1. 裝置如實驗 2-1。
2. 準備 300ml 的飽和鹽水，以鋅炭作為電極，其中改變竹炭的方向，橫放與直放分別測量電壓與電流開始，每秒 1 次，累積 300 秒平均紀錄之。

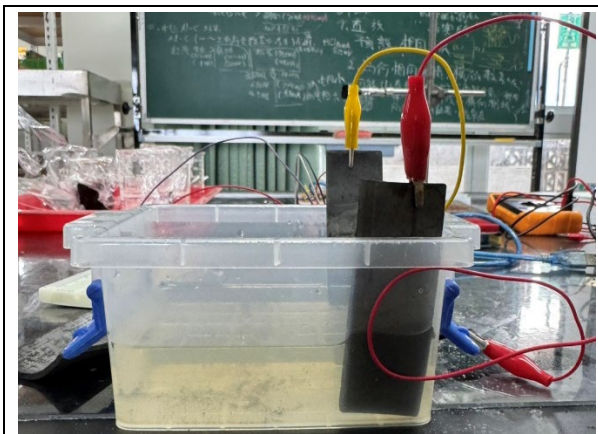


圖 2-2-1 竹炭直放方式(作者拍攝)

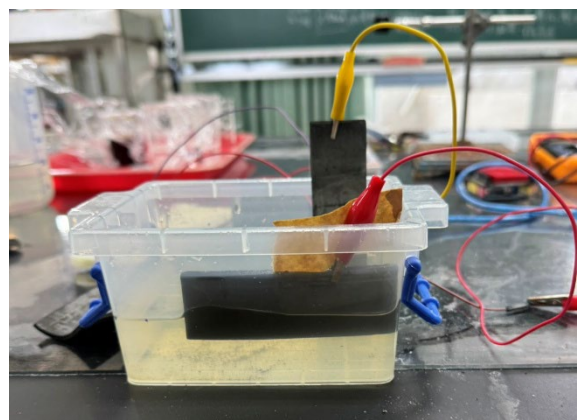


圖 2-2-2 竹炭橫放方式(作者拍攝)

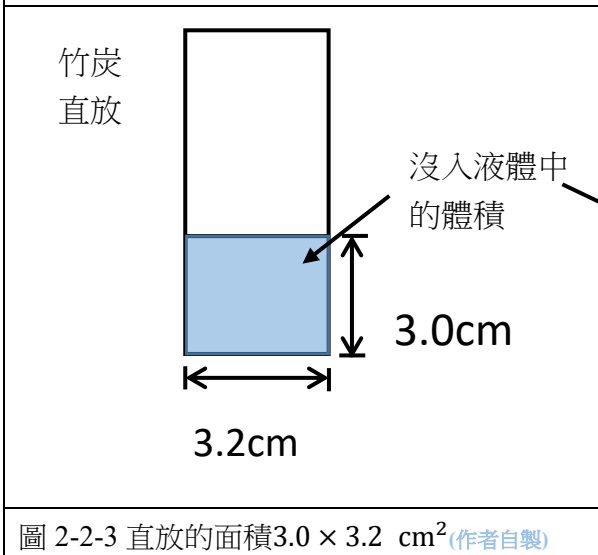


圖 2-2-3 直放的面積 $3.0 \times 3.2 \text{ cm}^2$ (作者自製)

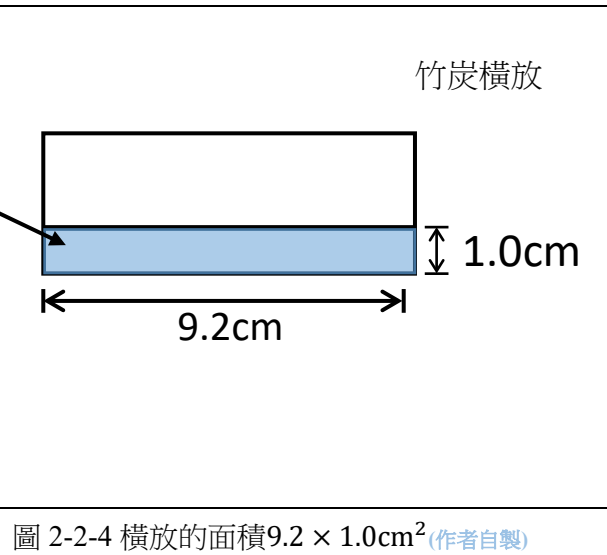


圖 2-2-4 橫放的面積 $9.2 \times 1.0 \text{ cm}^2$ (作者自製)

結果：

1. 將結果紀錄於表 2-2-1。

表 2-2-1 竹炭直放橫放平均之結果(作者自製)

	電壓 mV	電流 mA	電功率 mW
直放	536	5.487	2.946
橫放	444	4.551	2.028

2. 由表 2-2-1 竹炭直放(536mV、5.487mA、2.946mW)橫放(444mV、4.551mA、2.028mW)之結果直放較高。

討論：

- 竹炭直放電壓電流較高，與預設相同。其原因有可能是：
 - 雖然因為竹子維管束往上長水分、養分要上下運輸可是經過乾餾後應該橫向也會相通是否會影響直放的氧氣供應值得在實驗 2-2-2 再深入探討。
 - 竹炭橫放時與鋅片的平均距離會比直放時更長，有可能因此影響結果，值得在實驗 2-2-3 探討鋅片與竹炭的距離的影響

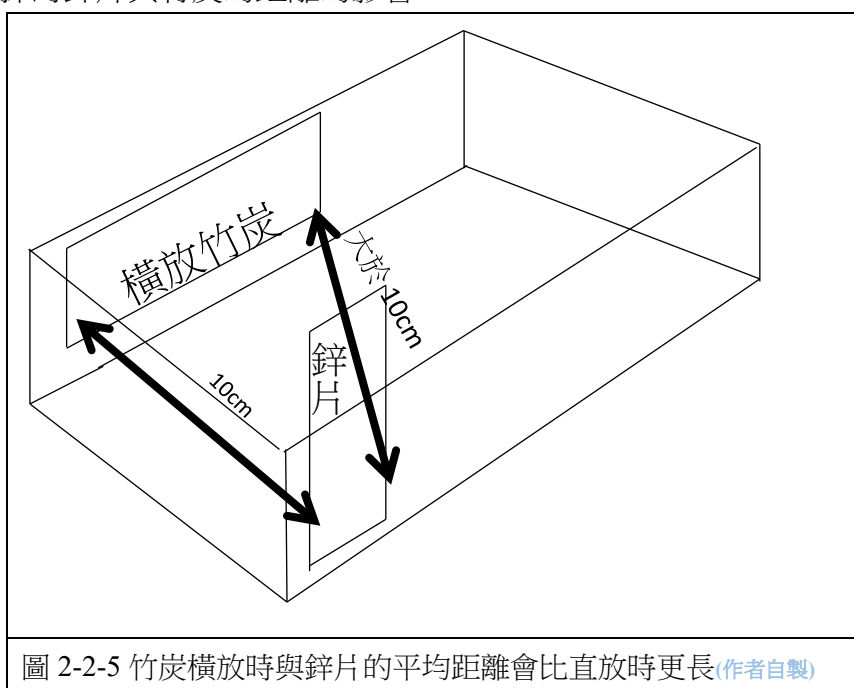


圖 2-2-5 竹炭橫放時與鋅片的平均距離會比直放時更長(作者自製)

實驗 2-2-1 探討空氣是否能在竹炭內橫向聯通

目的：直放的竹炭氧氣供應比較好，利用硫酸銅溶液透過維管束後橫放的纖維利於硫酸銅結晶；以證明橫向的纖維的方向氧氣依然能夠通過。

步驟：

- 將竹炭橫放直浸泡水溶液 15 天觀察結果，裝置如圖 2-2-1-2 至如圖 2-2-1-3。
- 觀察空氣是否能在竹炭內橫向聯通。

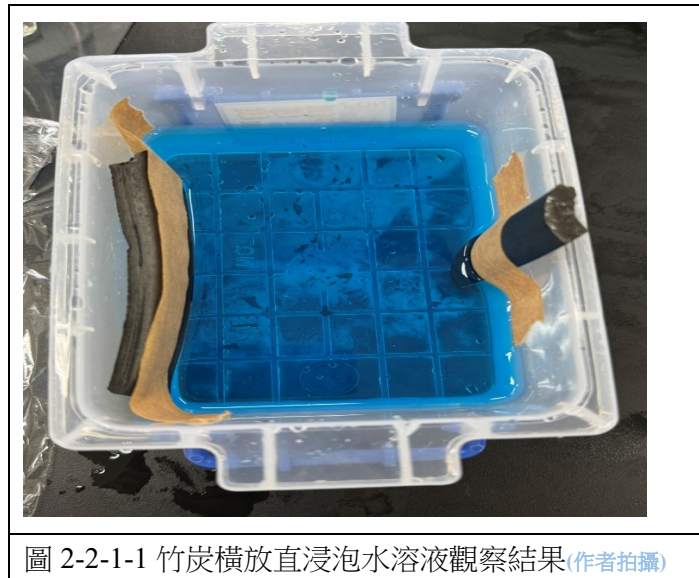


圖 2-2-1-1 竹炭橫放直浸泡水溶液觀察結果(作者拍攝)

結果：

1. 經 15 天浸泡後如圖 2-2-1



圖 2-2-1-2 竹炭直放頂端多出很多晶體(作者拍攝)

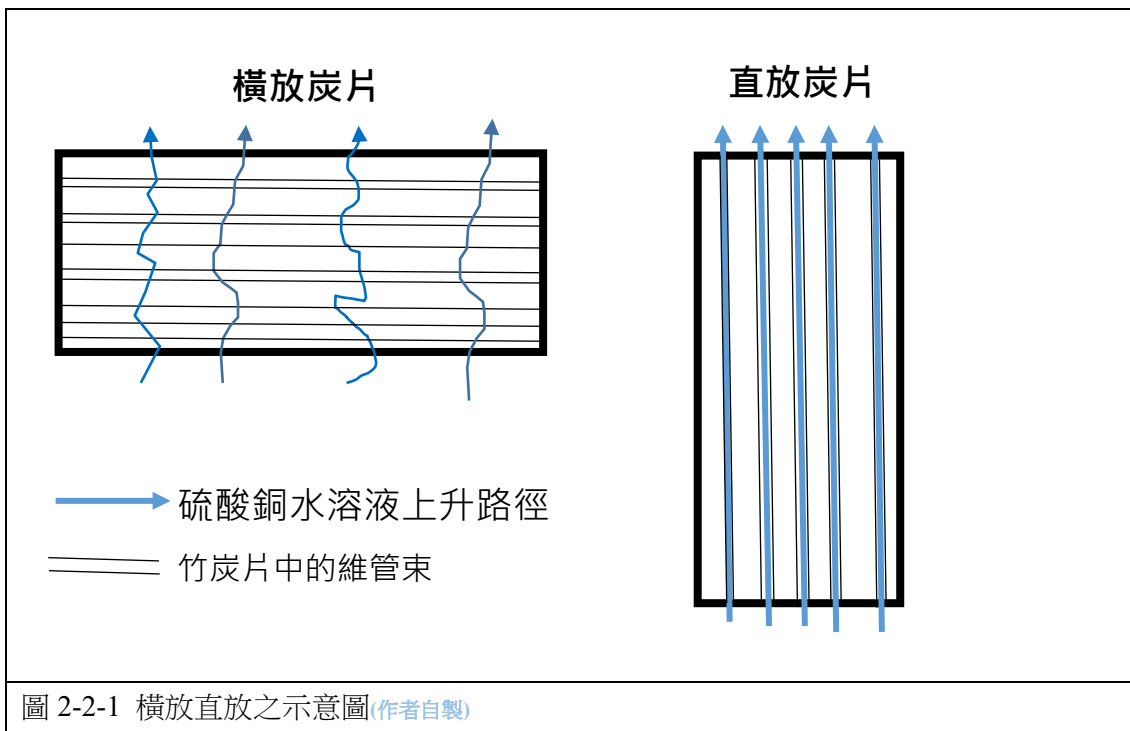


圖 2-2-1-3 竹炭橫放頂端較少晶體(作者拍攝)

2. 可知直放結晶較多橫放上端結晶較少，所以直放氧氣運輸較好
3. 由此可知橫放直放都能通，但直放運輸比橫放好故可知直放有利於氧氣的供應

討論：

1. 由以上可知經過乾餾後的竹炭，直放的竹炭硫酸銅溶液會依維管束纖維的走向上升而蒸發結晶，橫放的竹炭會因乾餾後跑走的分子會有孔隙，所以硫酸銅溶液會由孔隙向上升而蒸發結晶。
2. 故橫放跟直放都會通，因有通道之直放竹炭產生的硫酸銅晶體較多所以直放纖維比橫放。
3. 所以恆放竹炭內的空隙也是可以與頂部相通，但是與直放相比更有利於輸送，所以竹炭當正極時有利於氧氣輸送。此結果與 2-2 相同直放有利於氧氣輸送電壓電流較好。

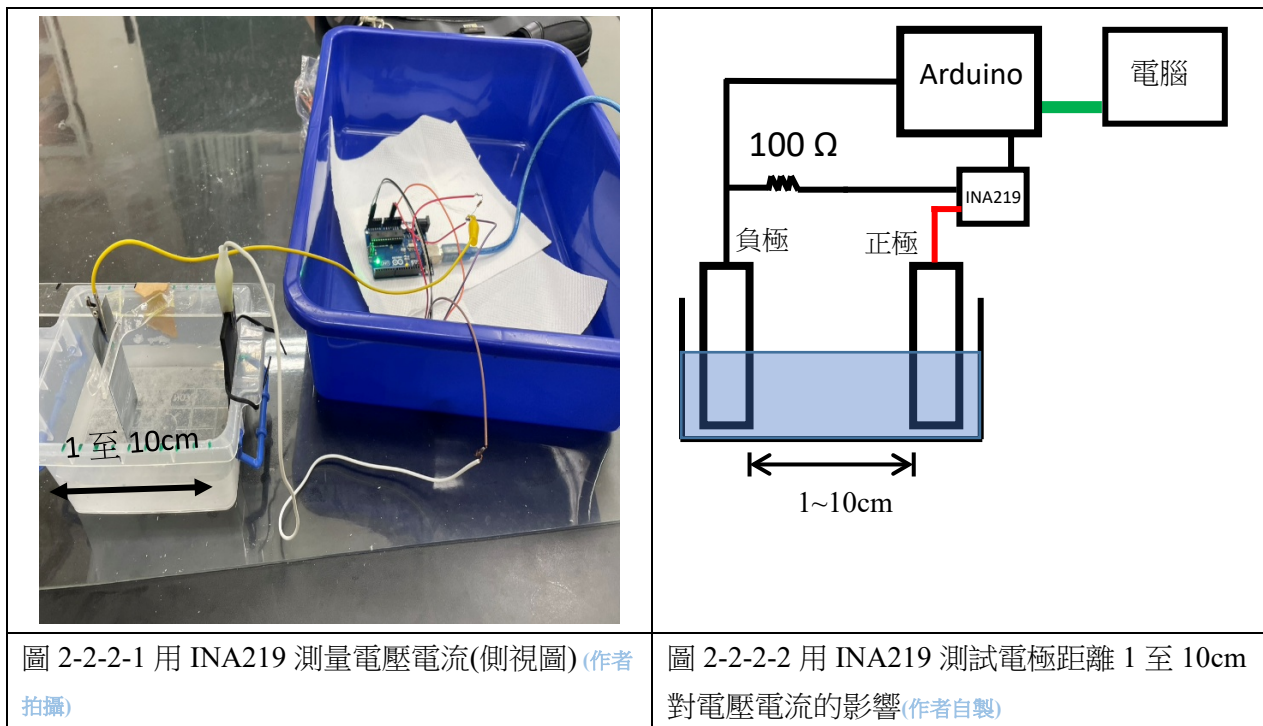


實驗 2-2-2 鋅片與炭片距離是否影響電壓電流

目的：了解在相同的浸泡面積下放置方式鋅片與炭片不同距離對於發電效能影響

步驟：

1. 裝置如實驗 2-2-2-1 與 2-2-2-2。



2. 以鋅炭為電極泡入飽和鹽水深度 3cm 其中改鋅片與竹炭距離分別為 1 至 10cm，放分

別測試個別距離的電壓與電流。開始 1 秒 1 次測 60 秒，每秒平均紀錄之。

結果：

1. 將實驗結果平均至表 2-2-2-1

表 2-2-2-1 不同距離之電壓電流(作者自製)

距離	平均電壓 mV	平均電流 mA
1cm	672	6.96
2cm	667	6.89
3cm	682	7.40
4cm	704	7.31
5cm	734	7.59
6cm	717	7.40
7cm	780	8.05
8cm	782	8.09
9cm	735	7.61
10cm	696	7.17

2. 將 2-2-2-1 表會製成長條圖，由表 2-2-2-2 至 2-2-2-3 可知電壓從 667mV 至 780mV 電流從 6.89mA 至 8.09mA 上上下下所以沒甚麼規則，所以對鋅空氣電池而言距離對電壓電流沒有正相關。

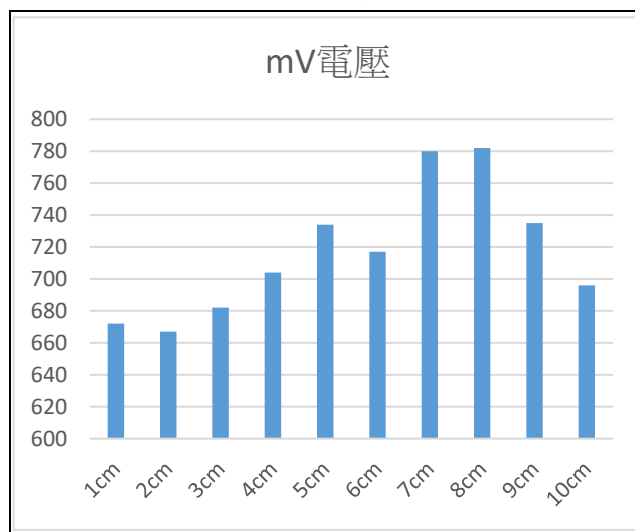


圖 2-2-2-2 飽和食鹽水電壓長條圖(作者自製)

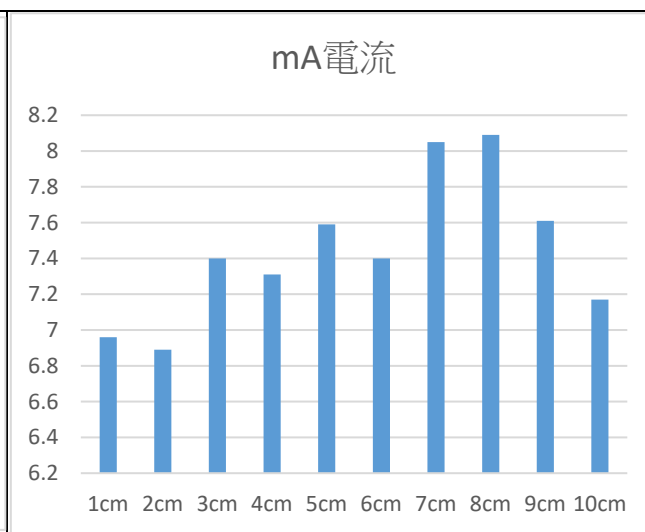


圖 2-2-2-3 飽和食鹽水電流長條圖(作者自製)

討論：

1. 大約都落在 667 至 780 之間與長度沒有絕對關係，由此可知實驗 2-2 假設橫放炭片與鋅片距離不是影響空氣電池的因素

實驗 2-3 竹炭有無包膜對鋅空氣電池的影響

目的：為了解醬油中的有機大分子是否會堵塞竹炭的孔洞而影響發電情形

步驟：

1. 剪下長方形濾紙並且包在竹炭上

結果：

表 2-3-1 醬油的竹炭表現(作者自製)

	電壓 mV	電流 mA	電功率 mW
有包膜	588	6.054	3.563
沒包膜	530	5.434	2.884

1. 由上表可知醬油有包膜(588mV、6.0mA、3.56mW)比沒包膜(530mV、5.434mA、2.8mW)的高

討論：

1. 醬油因為有雜質會堵塞竹炭的多孔性結構，包膜後會阻擋較大的分子有利於竹炭供應氧氣。
2. 我們想了解看看如果去除大分子後是否有其他的物質是造成良好導電度的因素，除了小麥與大豆的大分子外醬油的成分有調味料：胺基乙酸、5'-次黃嘌呤核苷磷酸二鈉、5'-鳥嘌呤核苷磷酸二鈉。與廚房中的鮮味粉成分十分相近，故測試鮮味粉是否有助於空氣電池的表現，試圖了解醬油中是何種成分具有良好的導電性。

研究二小結：

1. 由實驗 2-1 可知：竹炭當電極時無竹節竹炭比有竹節竹炭電壓電流表現較高。
2. 由實驗 2-2 可知：竹炭當電極時直放竹炭比橫放竹炭電壓電流較高。
3. 由實驗 2-2-1 可知：證明橫向的纖維的方向氧氣依然能夠通過，直放竹炭比橫放竹炭電壓電流較高的主因，氧氣空應對電壓電流影響較大。
4. 由實驗 2-2-2 可知：鋅片與竹炭的距離由 1 至 10cm 測量數值大約都落在 667mV 至 780mV 之間與長度沒有絕對關係，由此可證明橫放炭片與鋅片 1 至 10cm 之間距離不是影響空氣電池的因素。
5. 由實驗 2-3 可知：竹炭外部包膜比沒包膜高。醬油因為有大豆大分子會堵塞竹炭的多孔性結構，影響竹炭氧氣供應進而影響電壓電流。
6. 經文獻探討發現醬油當中的 5'-次黃嘌呤核苷磷酸二鈉、5'-鳥嘌呤核苷磷酸二鈉具有螯和作用可以有效抓住 Zn^{+2} 離子，懷疑是否是造成醬油有好的電壓電流好的原因，值得再研究三探討。

三、研究三：醬油中各成分對電壓電流的比較

實驗 3-1 不同濃度鮮味粉水溶液發電情形的比較

實驗目的：各種濃度的鮮味粉放電效果比較

實驗步驟：

1. 配製 10%、15%、20%、25%、30% 的鮮味粉水溶液 100ml。
2. 以不同濃度鮮味粉做電解液，連接至 Arduino 板，每秒測量電壓電流一次，連續五分鐘。

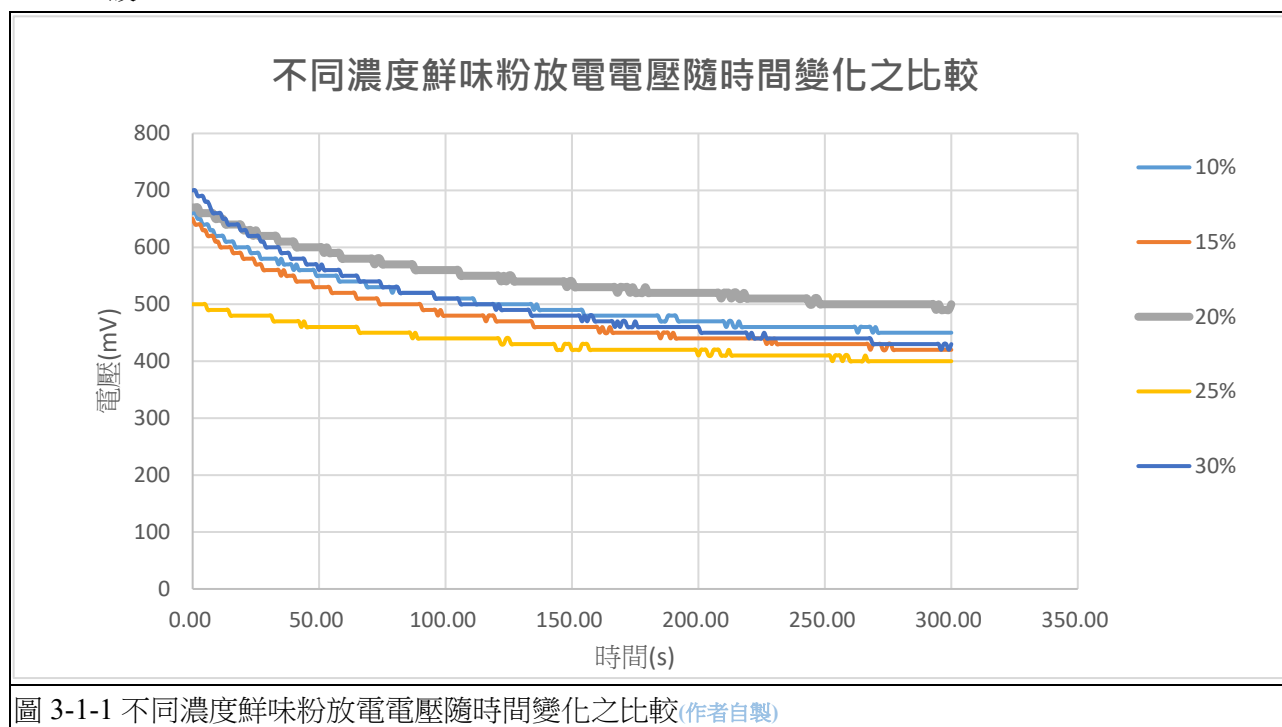
實驗結果：

1. 將 10%、15%、20%、25%、30% 的鮮味粉水溶液放電電壓、電流、功率紀錄於表 3-1-1。
2. 如圖 3-1-2 可知鮮味粉濃度 10-30% 的電壓中，20% 的電壓是最高的。

表 3-1-1 鮮味粉測五分鐘之平均電壓、電流、電功率(作者自製)

	電壓 mV	電流 mA	電功率 mW
10%	499	5.11	2.58
15%	477	4.88	2.36
20%	544	5.31	2.91
25%	428	4.35	1.87
30%	490	5.02	2.51

3. 10%、15%、20%、25%、30% 的鮮味粉電壓結果如圖 3-1-1。
4. 如圖 3-1-1 可知鮮味粉濃度 10-30% 的電壓中，20% 的電壓是最高且下降斜率最為平緩。



- 10%、15%、20%、25%、30%的鮮味粉電流結果如圖 3-1-2。
- 如圖 3-1-2 可知鮮味粉濃度 10-30%的電流 20%的電流是最高且下降斜率最為平緩。

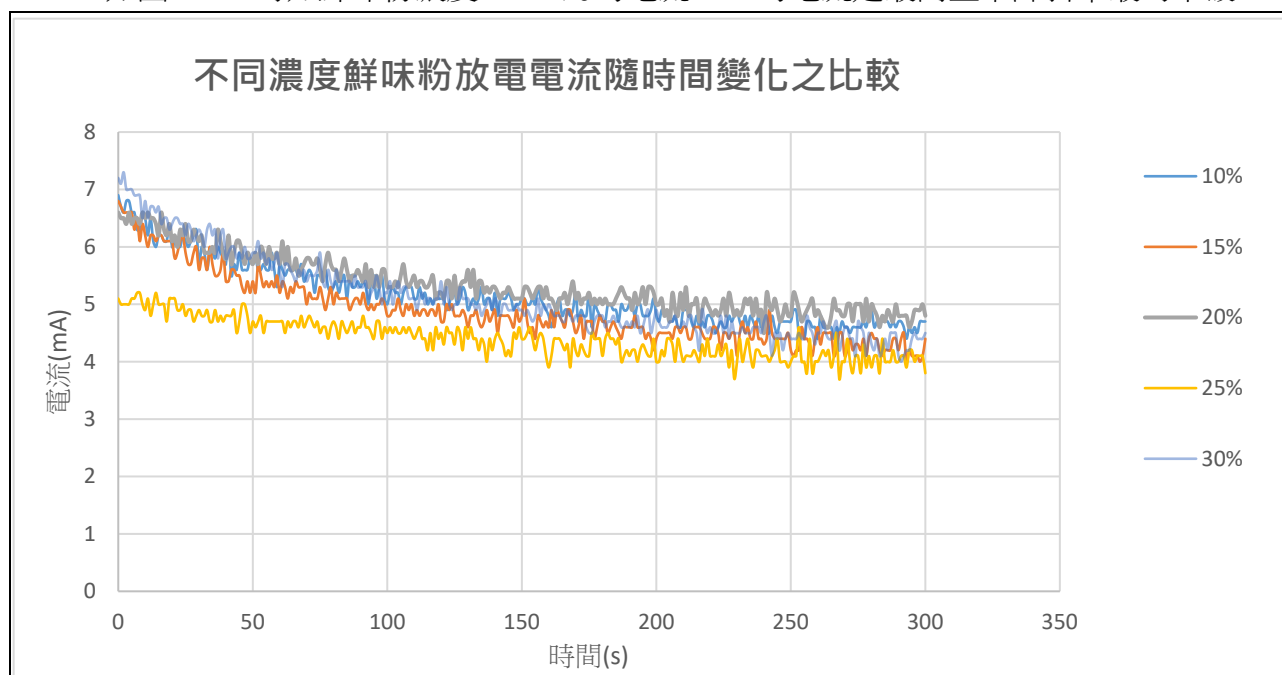


圖 3-1-2 不同濃度鮮味粉放電電流隨時間變化之比較(作者自製)

- 故 20%電壓、電流最穩定，效果最好。

實驗討論：

- 在醬油得成分中有兩種核苷酸鹽，我們就查了文獻，核苷酸鹽是很有可能把鋅離子抓住的導電體，因此醬油之所以能有良好導電性的原因是有兩種核苷酸鹽。
- 核苷酸鹽(5'-次黃嘌呤核苷酸二鈉，5'-鳥嘌呤核苷酸二鈉)，這兩種成分在鮮味粉中也有，因此我們測試了鮮味粉的放電狀況。
- 鮮味粉的電壓表現良好，電流穩定，推論鮮味粉可能是影響醬油的良好導電性成分。
- 鮮味粉的成分中有 L-麩氨酸鈉和羧甲基纖維素鈉這兩種成分是醬油沒有的，需要再釐清清楚。
- 鮮味粉是否可以有效提升空氣電池的效能，值得再探討。

實驗 3-2 不同濃度的味精水溶液發電情形的比較

目的：不同濃度的味精水溶液發電情形的比較

步驟：

- 配製 5%、10%、15%、20%、25%、30%的味精 100ml。
- 以不同濃度味精做電解液，連接至 Arduino 板，每秒測量電壓電流一次，連續五分鐘。

結果：

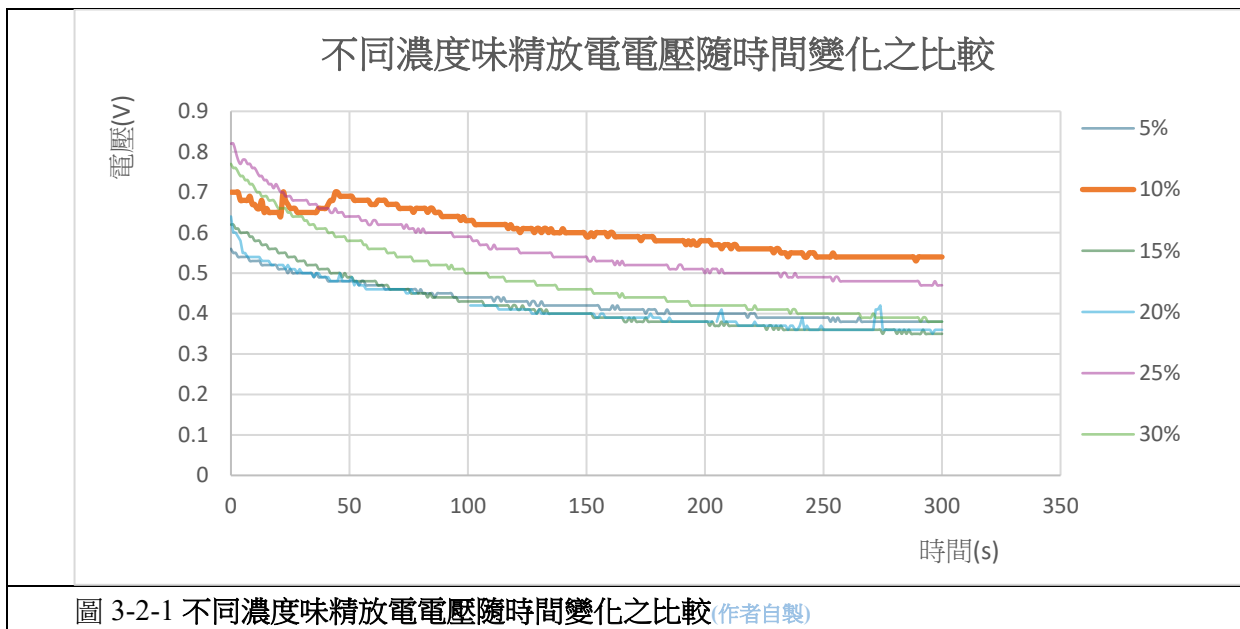
- 將 5%、10%、15%、20%、25%、30%的味精水溶放電電壓、電流、功率紀錄於表 3-2-1。

2. 各濃度放電 5 分鐘，測量數據如圖 3-2-1 至 3-2-2

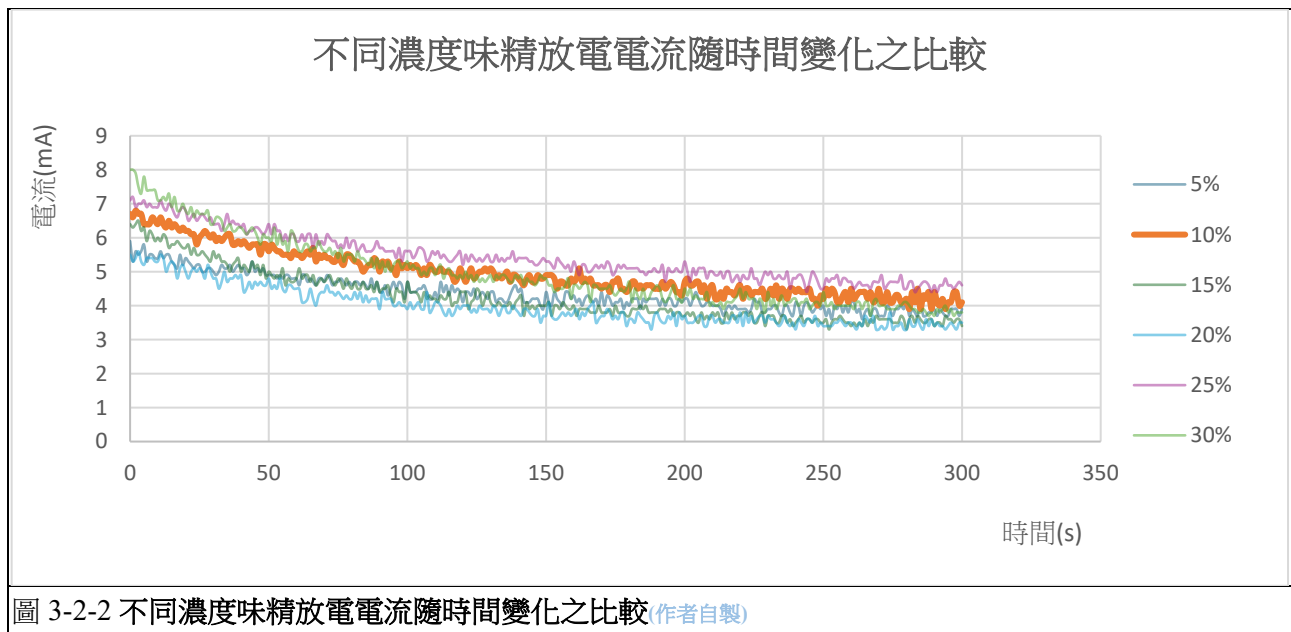
表 3-2-1 味精測 5 分鐘之平均電壓、電流、電功率(作者自製)

	電壓 mV	電流 mA	電功率 mW
5%	429	4.37	1.89
10%	604	4.95	3.02
15%	420	4.24	1.83
20%	425	3.98	1.72
25%	561	5.41	3.09
30%	486	4.95	2.50

3. 由表 3-2-1 中可知味精水溶液 10%電壓電流最大。
4. 各濃度放電 5 分鐘，測量數據如圖 3-2-1、3-2-2，由味精電壓結果如圖 3-2-1。由圖可味精濃度 5-30%的電流 10%的電壓是最高且下降斜率最為平緩，電壓較穩定變化較少。



5. 5%、10%、15%、20%、25%、30%的味精電流結果如圖 3-2-2。由圖可味精濃度 5-30%的電流 10%的電流不是最高且下降斜率與其他濃度相似平緩。



討論：

1. 10%味精水溶液的電壓電流表現是其中最好的(604mV，4.95mA)且有比鮮味粉 20%的電壓電流高。
2. 味精的成分就是 100%L-麩酸鈉，鮮味粉中除了 5'-次黃嘌呤核苷酸二鈉，5'-鳥嘌呤核苷酸二鈉還有 L-麩酸鈉，因此此實驗可得知味素也對鮮味粉有影響，與原實驗假設不符，實驗進入困難，我們需另外把醬油中的成分單獨拿來做實驗。

實驗 3-3 不同濃度的鹽水溶液發電情形的比較

目的：不同濃度的鹽水溶液發電情形的比較

步驟：

1. 配製 5%、10%、15%、20%、25%、30%的鹽水 100ml。
2. 以不同濃度鮮味粉做電解液，連接至 Arduino 板，每秒測量電壓電流一次，連續五分鐘。

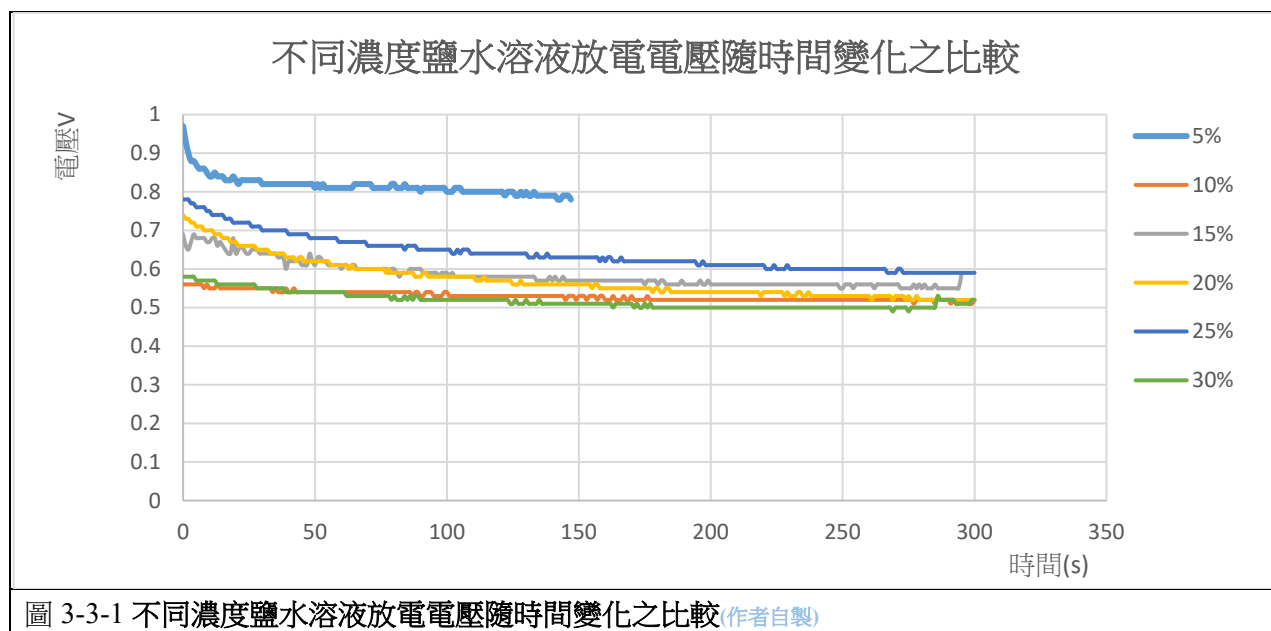
結果：

1. 將 5%、10%、15%、20%、25%、30%的鹽水電壓、電流、功率紀錄於表 3-3-1

表 3-3-1 鹽水個濃度的表現(作者自製)

	mV	mA	mW
5%	815	5.6	4.5
10%	528	5.5	2.9
15%	585	5.6	3.3
20%	567	6.8	3.3
25%	640	6.6	4.2
30%(26%飽和鹽水溶液)	517	5.2	2.7

2. 由表 3-3-1 中可知鹽水 5%電壓電流最大(930mV、5.7mA、5.4mW)。
3. 5%、10%、15%、20%、25%、30%的鹽水放電電壓結果如圖 3-3-1
4. 5%、10%、15%、20%、25%、30%的鹽水放電電流如圖 3-3-2



不同濃度鹽水溶液放電電流隨時間變化之比較

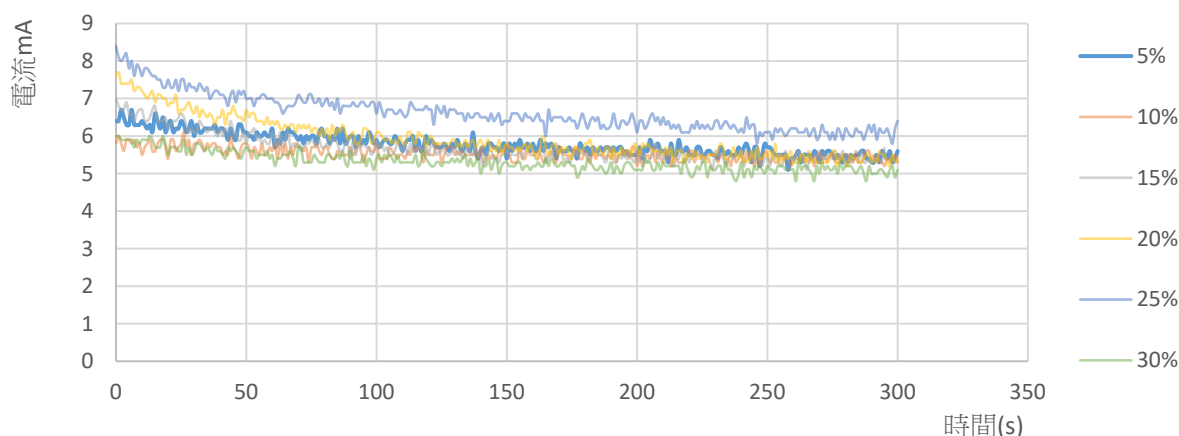


圖 3-3-2 不同濃度鹽水溶液放電電流隨時間變化之比較 (作者自製)

5. 如圖 3-3-2 可知鹽水濃度 5-30% 的電流皆無明顯變化，約 5mA 左右。
6. 由表 3-3-1 可知 10% 鹽水放電電壓最大且最穩定，效果最好(640mV、6.6mA、4.2mW)。

實驗討論：

1. 鹽水溶液放電電流穩定，的電壓表現良好，是影響醬油的良好導電性成分。
2. 5% 濃度的鹽水溶液(815mV、5.6mA、4.5mW)比 30% 飽和食鹽水(517mV、5.2mA、2.7mW)好。

實驗 3-4 濃度 0.1M 的胺基乙酸的發電情況

目的：胺基乙酸的發電情形

步驟：

1. 配置濃度 0.1M 的胺基乙酸 500ml。
2. 以 0.1M 的胺基乙酸做電解液，連接至 Arduino 板，每一秒測一次放電電壓電流，連續測兩分鐘，並觀察與紀錄

結果：

1. 將 0.1M 的胺基乙酸電壓、電流、功率紀錄於表 3-4-1

表 3-3-1 胺基乙酸的發電情形 (作者自製)

胺基乙酸	電壓 mV	電流 mA
0.1M 濃度	0 (8mV)	-0.50

1. 由表 3-4-1 中可知 0.1M 的胺基乙酸電壓、電流皆是 0，用精度更高的三用電表測量電壓為 0.008V
2. 每 1 秒測試一次電壓電流，如圖 3-4-1

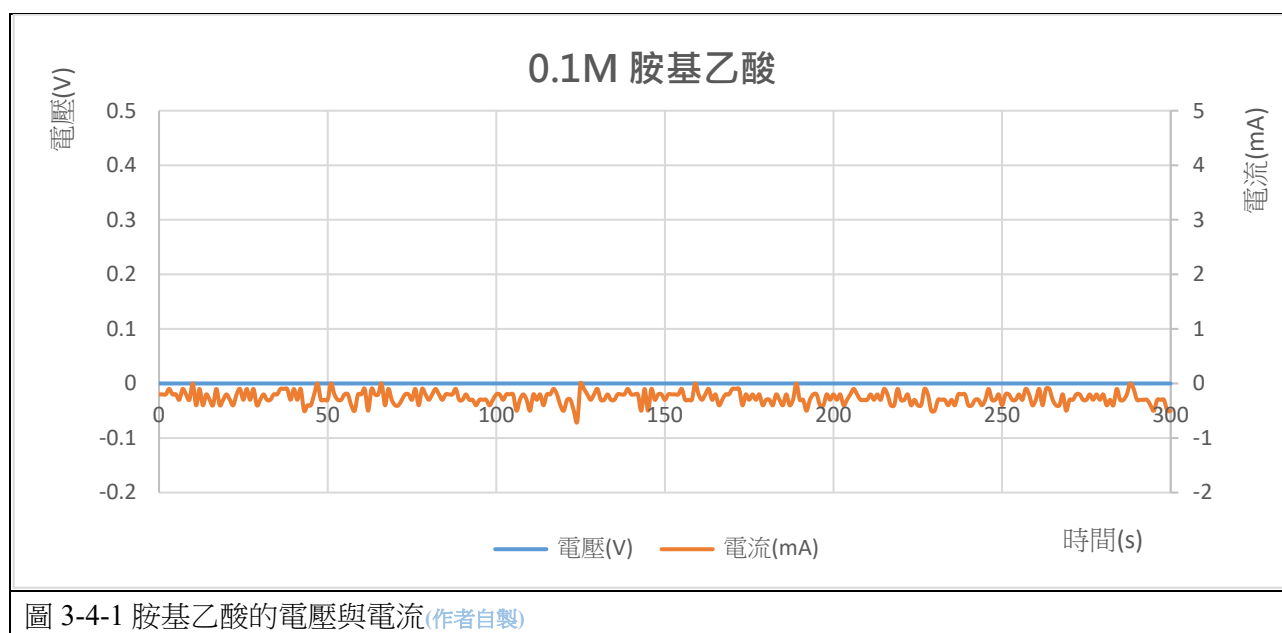


圖 3-4-1 胺基乙酸的電壓與電流(作者自製)

3. 由圖 3-4-1 可知電流有負值的情況，猜測是電池的電壓太小，而 INA219 裝置內部電路複雜，電流可能是由 INA219 內部而來的，導致出現負值電流。

實驗討論

1. 由此實驗可知，胺基乙酸可以導電，但電壓電流不足，不是讓醬油有良好導電物的成分。
2. 我們想比較醬油中的各成份，將濃度換算成體積莫爾濃度，但鮮味粉為混和物，無法知道各成分的比例，所以無法換成體積莫爾濃度，所以，我們去除鮮味粉，單純以醬油中的 IMP+GMP 成份，再次進行實驗。

實驗 3-5 IMP+GMP 在鋅空氣電池發電

目的：了解 0.1M 的 IMP+GMP 在鋅空氣電池中放電之表現

步驟：

1. 配製 0.1M 的 IMP+GMP 500ml
2. 連接至 Arduino 板並且開始每一秒測一次連續測一分鐘並觀察與紀錄

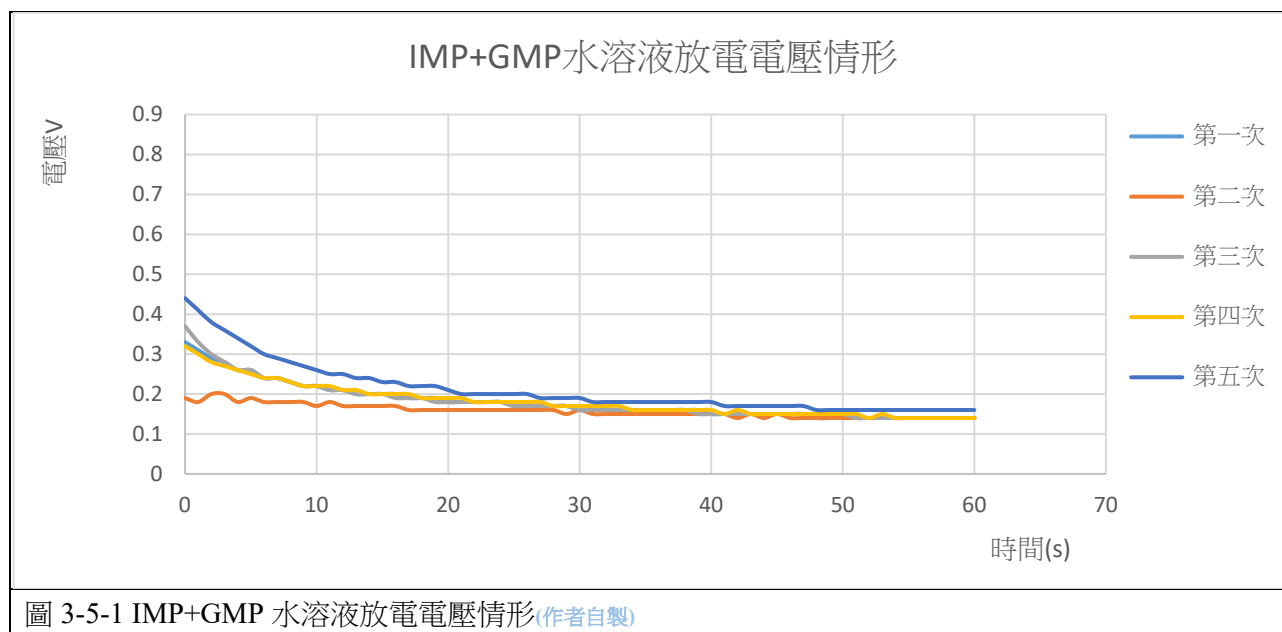
結果：

1. 五次的平均如下表 3-5-1

表 3-5-1 IMP+GMP 水溶液的放電情形(作者自製)

	mV	mA	mW
第一次平均	180	1.76	0.34
第二次平均	157	1.52	0.24
第三次平均	182	1.80	0.35
第四次平均	183	1.79	0.34
第五次平均	212	2.09	0.48

2. 由上表可知，IMP+GMP 的電壓最高 212mV，電流 2.09mA



3. 由上圖 3-5-1 可知 IMP+GMP 的放電情形比鮮味粉、味精、鹽水還大，電壓下降比較快。

討論：

1. 0.1M 的 IMP+GMP 的電壓、電流不如預期。
2. IMP+GMP 比味精還差，可以得知鮮味粉的電壓、電流皆來自味精，而不是 IMP+GMP。

研究三小結：

1. 味精發電效果比鮮味粉還好，可能味精的濃度比較高，但鮮味粉中的味精濃度可能比較低，如果真的比較低，IMP+GMP 可能是協助鮮味粉的角色。
2. IMP+GMP 比味精還要差，因此鮮味粉的發電效果不錯的主力是味精，這也是個不錯的發現。
3. 醬油中的成分有鹽和 IMP+GMP，所以推論醬油主要發電的角色是鹽，次要角色是 IMP+GMP。

四、研究四：醬油中各成分對鋅空氣電池續航力影響。

目的：因為電池需要續航力，所以我們拿了醬油中的各成分來測試續航力。

實驗 4-1 鮮味粉電解液，放電電壓電流續航力 35 小時。

目的：了解鮮味粉電解液在鋅空氣電池中續航力的表現

步驟：

1. 配製 5%的鮮味粉 500ml，加至三公分高，裝置如研究二裝置(圖 2-1)。
2. 測量放電狀況並記錄，10 秒測量 1 次，記錄 35 小時。

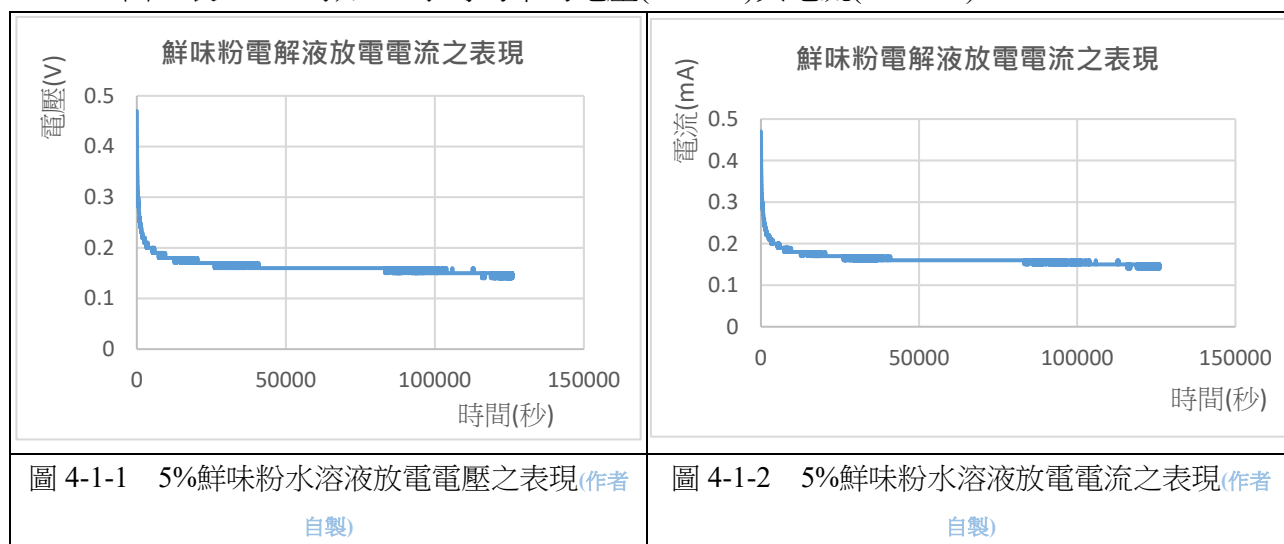
結果：

1. 數據結果如下表 4-1-1。

表 4-1-1 5%鮮味粉水溶液放電電壓電流之表現(作者自製)

鮮味粉	電壓 V	電流 mA	電功率 mW
5%	0.163	1.58	0.262

2. 由上表 4-1-1 可知 35 小時的平均電壓(0.163V)與電流(1.58mA)。



3. 一開始急遽下滑，但電壓很快就穩定在(0.2-0.15V)之間，電流則是穩定在(2.5mA-1mA)之間。

實驗討論：

1. 實驗後，鋅片電極上有未知結晶，不是白色的氧化鋅粉末。
2. 實驗 3-3 中鹽水電壓電流表現也不錯，需與鮮味粉做一樣的實驗，看看在鹽水中會不會在鋅片上產生結晶。

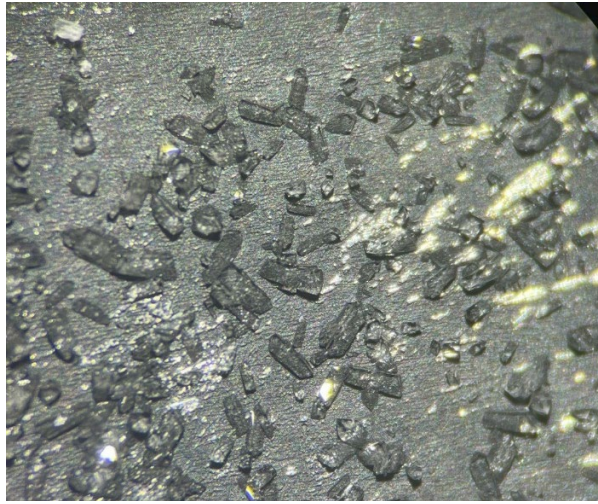


圖 4-1-3 在鋅片上的結晶照(沒有白色氧化鋅只有不明結晶(作者拍攝))

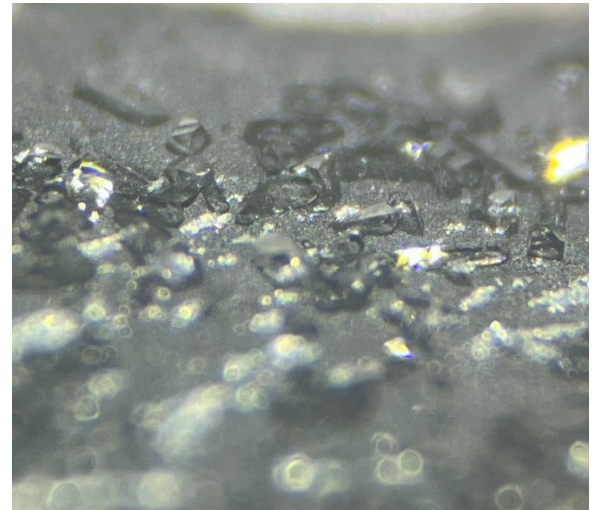


圖 4-1-4 鋅片上的結晶(側視)(作者拍攝)

實驗 4-2 鹽水電解液放電電壓電流續航力 35 小時。

目的：了解鹽水電解液在鋅空氣電池中續航力的表現。

步驟：

1. 配製 5%的鹽水 500ml，加至三公分高，裝置如研究二裝置(圖 2-1)。
2. 測量放電狀況並記錄，10 秒測量 1 次，記錄 35 小時。

結果：

1. 數據結果如下表 4-2-1：

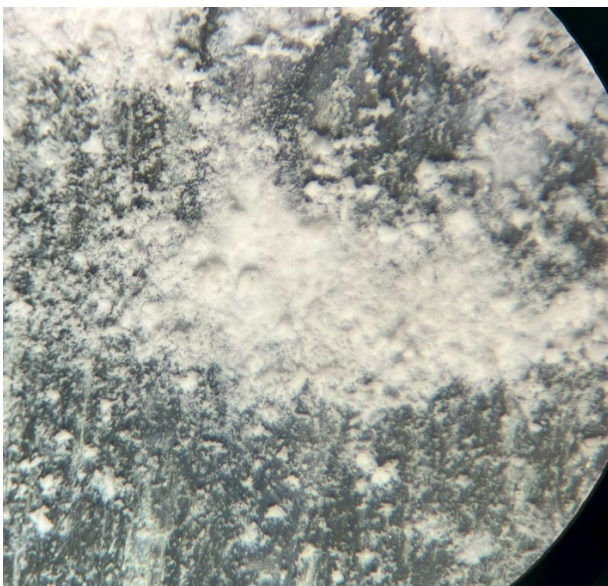


圖 4-2-1 4x 的顯微鏡下(作者拍攝)

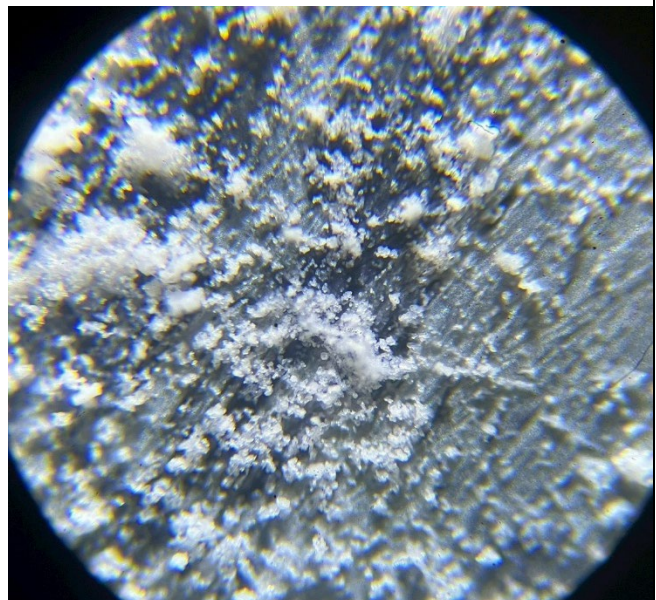


圖 4-2-2 10x 的顯微鏡下(作者拍攝)

表 4-2-1 5%鹽水電解液 35 小時放電電壓電流之表現(作者自製)

5%鹽水	電壓(V)	電流(mA)	電功率(mW)
	0.146	1.40	0.21

2. 由上表 4-2-3 可知鹽水電解液在 5%的情況下 35 小時的平均電壓(0.146V)、電流(1.40mA)

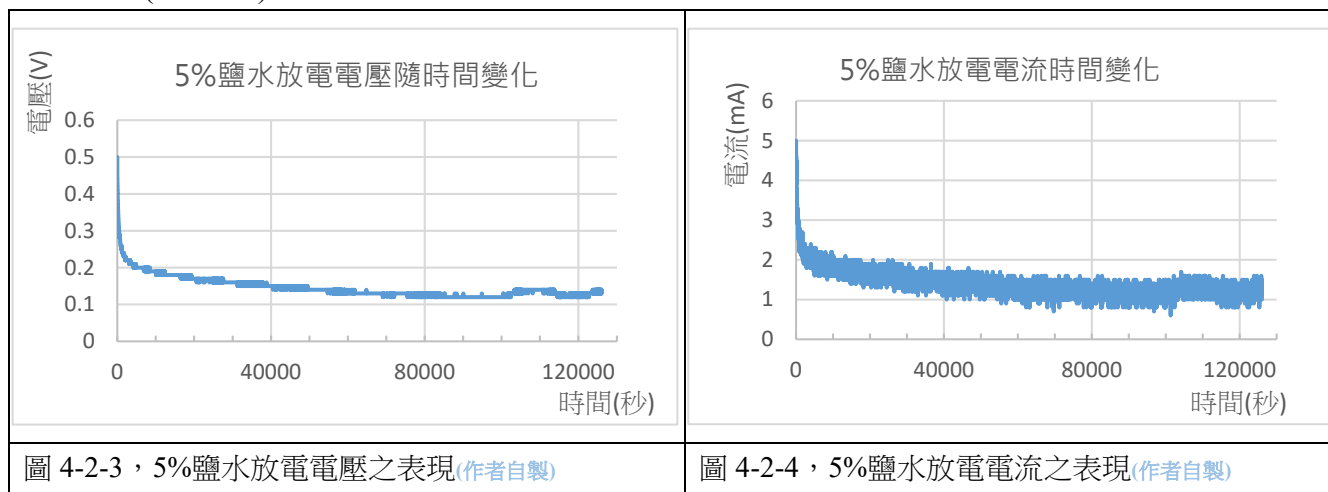


圖 4-2-3，5%鹽水放電電壓之表現(作者自製)

圖 4-2-4，5%鹽水放電電流之表現(作者自製)

討論：

- 一開始急遽下滑，但電壓很快就穩定在(0.2-0.1V)之間，電流則是穩定在(2.mA-1mA)之間。
- 因為之前文獻探討得知：I+G 的溶液裡會有螯合作用，內電阻降低有助於空氣電池的持久性，所以我們要再探討在鹽水中加入 I+G。
- 實驗後，鋅片電極上有會有白色氧化鋅粉末。

實驗 4-3 鹽水、I+G 混合電解液放電電壓電流續航力 35 小時。

目的：了解鹽水、I+G 混合電解液，在鋅空氣電池中續航力的表現。

步驟：

- 配置 0.1M 的鹽水與 0.01M 的 I+G 混合水溶液加至三公分高，裝置如研究二裝置(圖 2-1)。
- 測量放電狀況並記錄，10 秒測量 1 次，記錄 35 小時。

結果

- 數據結果如下表 4-3-1：

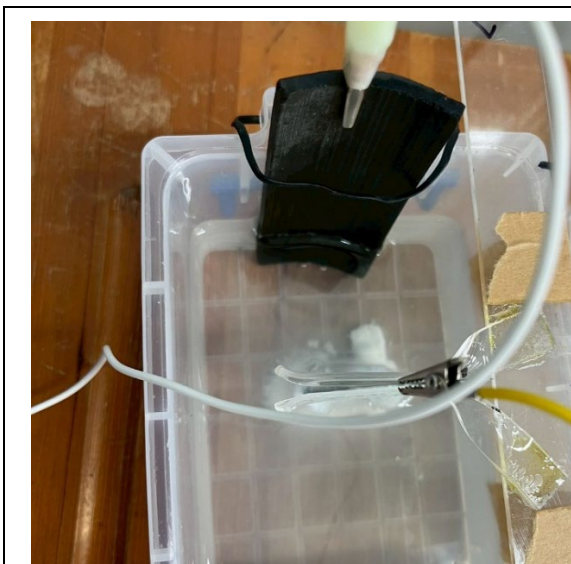


圖 4-3-3 在鋅片旁邊的白色團狀物(作者拍攝)



圖 4-3-4 I+G 加鹽鋅片俯視圖(作者拍攝)

表 4-3-1，0.1M 的鹽水混合 0.01M 的 I+G 水溶液 35 小時放電電壓電流之表現(作者自製)

0.1M 鹽水、 0.01M I+G 混合水溶液	電壓 V	電流 mA	電功率 mW
	0.122	1.17	0.146

2. 由上表 4-3-1 可知 0.1M 的鹽水與 0.01M 的 I+G 的情況下 35 小時的平均電壓(0.122V)、電流(1.17mA)。

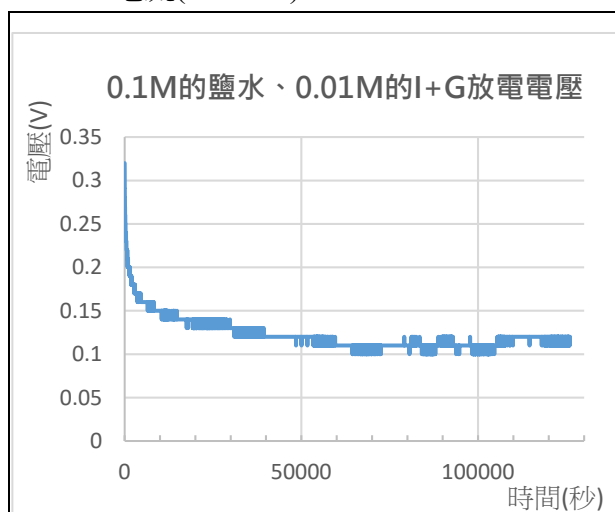


圖 4-3-1，0.1M 鹽水、0.01M I+G 混合水溶液放電電壓之表現(作者自製)

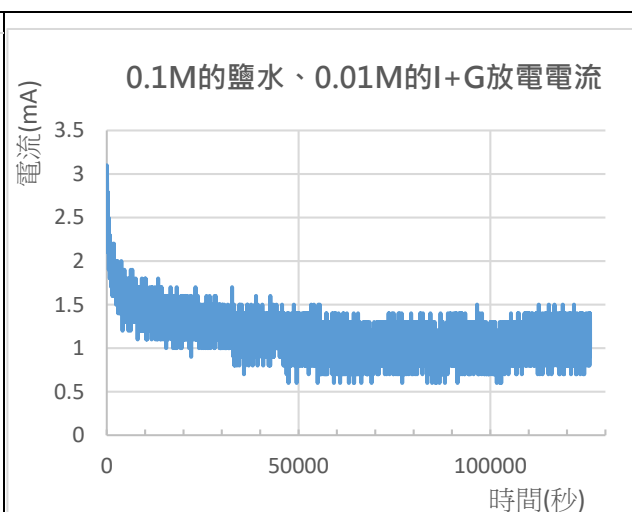


圖 4-3-2，0.1M 鹽水、0.01M I+G 混合水溶液放電電流之表現(作者自製)

討論：

- 一開始急遽下滑，但電壓很快就穩定在(0.2-0.1V)之間，電流則是穩定在(2mA-1mA)之間。

研究四小結：

- 彙整 0.1M 鹽水、0.01M I+G 混合水溶液、5%濃度鮮粉 5%濃度鹽水三種水溶液電壓、電流之比較圖如圖 4-1、圖 4-2。

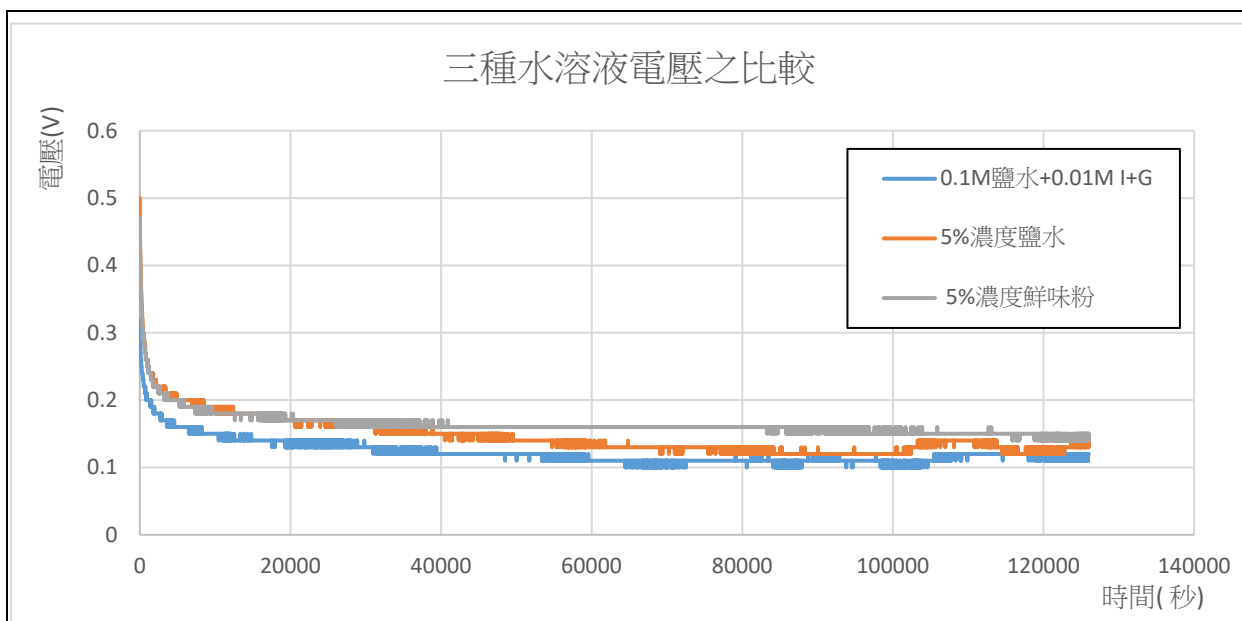


圖 4-1 三種水溶液之電壓比較圖(作者自製)

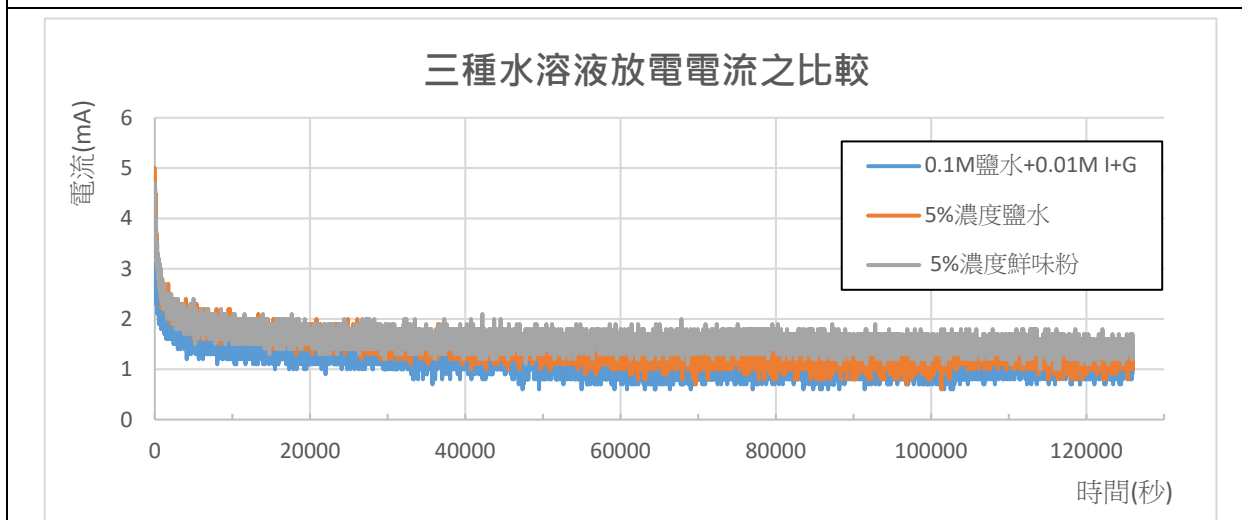


圖 4-2 三種水溶液之電流比較圖(作者自製)

2. 由圖 4-1 與 4-2 整理成表 4-1 與 4-2，比較 0.1M 鹽水、0.01M I+G 混合水溶液、5%濃度鮮粉 5%濃度鹽水之間的差異性。

表 4-1 比較三種溶液電壓持久性(作者自製)

電壓	下降 10%	下降 90%	下降 99%
5%鮮味粉	30 秒	35480 秒(9.86 小時)	94740 秒(26.32 小時)
5%鹽水	10 秒	17490 秒(4.86 小時)	88290 秒(24.53 小時)
0.1M 鹽水、0.01M I+G	20 秒	19260 秒(5.35 小時)	90700 秒(25.19 小時)

3. 由上表 4-1 可知下降 90%時 5%鮮味粉(35480 秒)> 5% 鹽水(17490 秒)，5%鮮味粉是 5%鹽水放電電壓持久性(時間)的 2.03 倍。
4. 因為之前覺得導電主要得成分是 I+G，所以我們做了 I+G 配上鹽的溶液，發現有 I+G 的溶液裡會有螯合作用，會產生棉花糖狀氧化鋅，且讓內電阻降低。

表 4-2 比較三種溶液電流持久性(作者自製)

電流	下降 10%	下降 90%	下降 99%
5%鮮味粉	50 秒	37220 秒(10.3 小時)	102920 秒(28.5 小時)
5%鹽水	20 秒	17340 秒(4.8 小時)	98680 秒(27.4 小時)
0.1M 鹽水、 0.01M I+G	30 秒	17620 秒(4.8 小時)	89660 秒(24.9 小時)

- 由上表 4-2 可知電流下降 90%時，5%鮮味粉(37220 秒)> 5% 鹽水(17340 秒)，5%鮮味粉是 5%鹽水電流持久性(時間)的 2.15 倍。
- 我們發現了，只要有 I+G 的這個成分，持久性就會比較好且溶液較清澈，氧化鋅較不會阻礙反應進行。
- 因為 0.1M(=5.5%)鹽水與 5%鹽水濃度雖不相同但差不多，在相同下降 10%的情況下，有 I+G 的鹽水電壓持久性是沒有的兩倍增加了一些續航力。
- 純鹽水實驗開始電壓數值高於鮮味粉，但是過 25960 秒(7.2 小時)後就不如鮮味粉了。
- 鮮味粉過了 10.5 個小時才下降 90%，是最持久的所以且鋅片上有結晶很特殊，值得探討。

肆、討論

- 研究一用三用電表鋅炭電極電解液是醬油時，醬油(1135mV、44mA)> 飽和鹽(1070mV、45mA)，經文獻探討醬油中確實有些成分幫助空氣電池。
- 研究二鋅竹炭空氣電池中，竹炭要怎麼提升空氣電池的效能：炭片當中的氧氣的供應是效能提升最重要的因素之一
- 研究三經文獻探討發現醬油當中的 5'-次黃嘌呤核苷磷酸二鈉、5'-鳥嘌呤核苷磷酸二鈉具有敖和作用可以有效抓住 Zn^{+2} 離子。在實驗當中我們的濃度無法配製一致，因為 IMP+GMP 在莫爾濃度 0.5M 時，就已經飽和了，因此我們有些溶液無法比較。
- 我們整理了研究一和研究三的資料，釐清醬油和鮮味粉中的成分如表伍之一，醬油的發電量主要是來自鹽的發電，IMP+GMP 的影響並沒有那麼大。

表伍之一 醬油與鮮味粉的成分關係表

	L-麩酸鈉 (味精) 5%~30%	羧甲基纖維素鈉 (增稠劑)	胺基乙酸 0.1M (= 0.745%)	鹽 5%~30%	IMP + GMP 0.1M (= 4%)
醬油 電壓 514mV			電壓 0.008mV	平均電壓 730mV	
鮮味粉 電壓 487.6mV 5%~30%	平均電壓 499.2mV	(增稠劑)			電壓 182mV
*IMP 為 5'-次黃嘌呤核苷磷酸二鈉，GMP 為 5'-鳥嘌呤核苷磷酸二鈉(作者自製)					

- 鮮味粉的發電量主要是來自味精的發電居多。
- 研究四 5%的鹽與 5.5%(1M)鹽加 IMP+GMP 兩者中鹽的濃度相差不大，但加了 IMP+GMP 後，從圖 4-1 可知 5.5%(1M)鹽加 IMP+GMP 的電壓比較大。經過 35 小時

後，5%的鹽的鋅片表面吸附大量的大粒白色 ZnO，粉末 5.5%(1M)鹽加 IMP+GMP 表面產生白色的雲狀物，且取出後直接落入水中。

故可知，IMP+GMP 不只本身能發電，也能讓鋅片上減少被白色 ZnO 阻礙反應，增加持久性。

(七)IMP+GMP 的發電量看起來並沒有那麼好，但是它可讓醬油的發電時間更持久。

伍、總結

研究一用三用電表鋅炭電極電解液是醬油時，醬油(1135mV、44mA)>飽和鹽(1070mV、45mA)，經文獻探討醬油中確實有些成分幫助空氣電池。

研究二鋅竹炭空氣電池中，竹炭要怎麼提升空氣電池的效能：炭片當中的氧氣的供應是效能提升最重要的因素之一。

研究三飽和鹽水的電壓電流(815mV，5.62mA)<飽和鹽水(517mV，5.2mA)，所以醬油中的鹽並無到飽和，因此醬油的發電量比鹽好是合理的。醬油中的成分有鹽和 IMP+GMP，所以推論醬油主要發電的角色是鹽，次要角色是 IMP+GMP。

研究四 5%的鹽與 5.5%(1M)鹽加 IMP+GMP 兩者中鹽的濃度相差不大，但加了 IMP+GMP 後，從圖 4-1 可知 5.5%(1M)鹽加 IMP+GMP 的電壓比較大。經過 35 小時後，5%的鹽的鋅片表面吸附大量的大粒白色 ZnO，粉末 5.5%(1M)鹽加 IMP+GMP 表面產生白色的雲狀物，且取出後直接落入水中。故可知，IMP+GMP 不只本身能發電，也能讓鋅片上減少被白色 ZnO 阻礙反應，增加持久性。

我們成功地解開空氣電池以鋅炭當電極醬油是電溶液時，比飽和食鹽水的電壓電流還好的原因是鹽加上核苷酸，因具備強大的螯合能力與分子極性，能精準吸附於負極的金屬離子，形成一道穩定的生物分子屏障。這道屏障能有效攔截水分子對金屬鋅離子的氧化，形成雲朵團狀白色的氧化鋅導致電池提高持久性的現象。這種取自食品工業的添加劑，成功將廉價、環保與高效能結合，是空氣電池邁向生活用的關鍵研究方向。

陸、參考文獻

- 一、衛生福利部食品藥物管理署 1994 年 10 月 8 日衛署食字第 83060736 號公告訂定 2013 年 9 月 4 日部授食字第 1021950290 號公告修正 5'-鳥嘌呤核苷磷酸二鈉。[https :
//www.fda.gov.tw/upload/133/Content/2013090418511737086.pdf](https://www.fda.gov.tw/upload/133/Content/2013090418511737086.pdf)
- 二、衛生福利部食品藥物管理署 1994 年 10 月 8 日衛署食字第 83060736 號公告訂定 2013 年 9 月 4 日部授食字第 1021950290 號公告修正 5'-次黃嘌呤核苷磷酸二鈉。[https :
//www.fda.gov.tw/upload/133/Content/2013090418504012504.pdf](https://www.fda.gov.tw/upload/133/Content/2013090418504012504.pdf)
- 三、康軒(2025)•國民中學自然科學三上第四章基本的靜電現象與電路•康軒文教事業