

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

團隊合作獎

030211

「優」然而「生」--探討隨手可得的優酪乳與碳
的發電情形

學校名稱：花蓮縣立國風國民中學

作者： 國二 楊典霈 國二 翁維岳 國二 李鎧葳	指導老師： 戴淑萍 黃耀輝
---	-----------------------------

關鍵詞：優酪乳、空氣電池、竹炭

摘要

本研究以鋅和備長炭當電極並以優酪乳當電解液作為研究對象，探討其發電原理。從發酵實驗中得知優酪乳的發電情形與 pH 值無關而是受到微生物的生長量影響，在破壞微生物的電子傳遞鏈後電壓電流下降，且能透過餵與乳酸菌牛奶後能提升其電壓電流，由簡易方式能證明優酪乳內有放電菌參與發電反應，且其產生的電流是柏克萊團隊研究的兩倍。在增加氧氣的實驗中得知氧氣能緩和電壓電流的下降趨勢，且我們證明優酪乳在放電 16 小時後含有 0.5mg/l(ppm)鋅離子，代表鋅會放出電子。本研究成功證明優酪乳發電同時保有空氣電池及微生物電池的特性。

壹、研究動機

我們在科探社團中接觸九年級的鋅銅電池實驗，從而知道電池對生活的重要性。目前有些地區經常發生天災導致停電，若是可以利用日常的物質當作電池的材料，那希望能在緊要關頭時啟動電子產品。

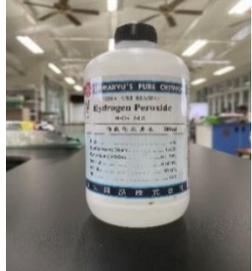
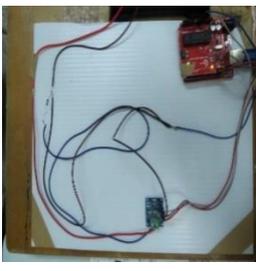
貳、研究目的

- 一、了解微生物電池、空氣電池與優酪乳的相關定義及原理。
- 二、以鋅銅電池發想，探討生活中哪些物品適合當作電池材料。
- 三、探討優酪乳的條件如何影響電壓及電流。
- 四、探討正極炭表面積是否影響優酪乳發電。
- 五、探討優酪乳內的菌死亡是否會影響電壓電流。
- 六、探討優酪乳發電如何應用在生活中。

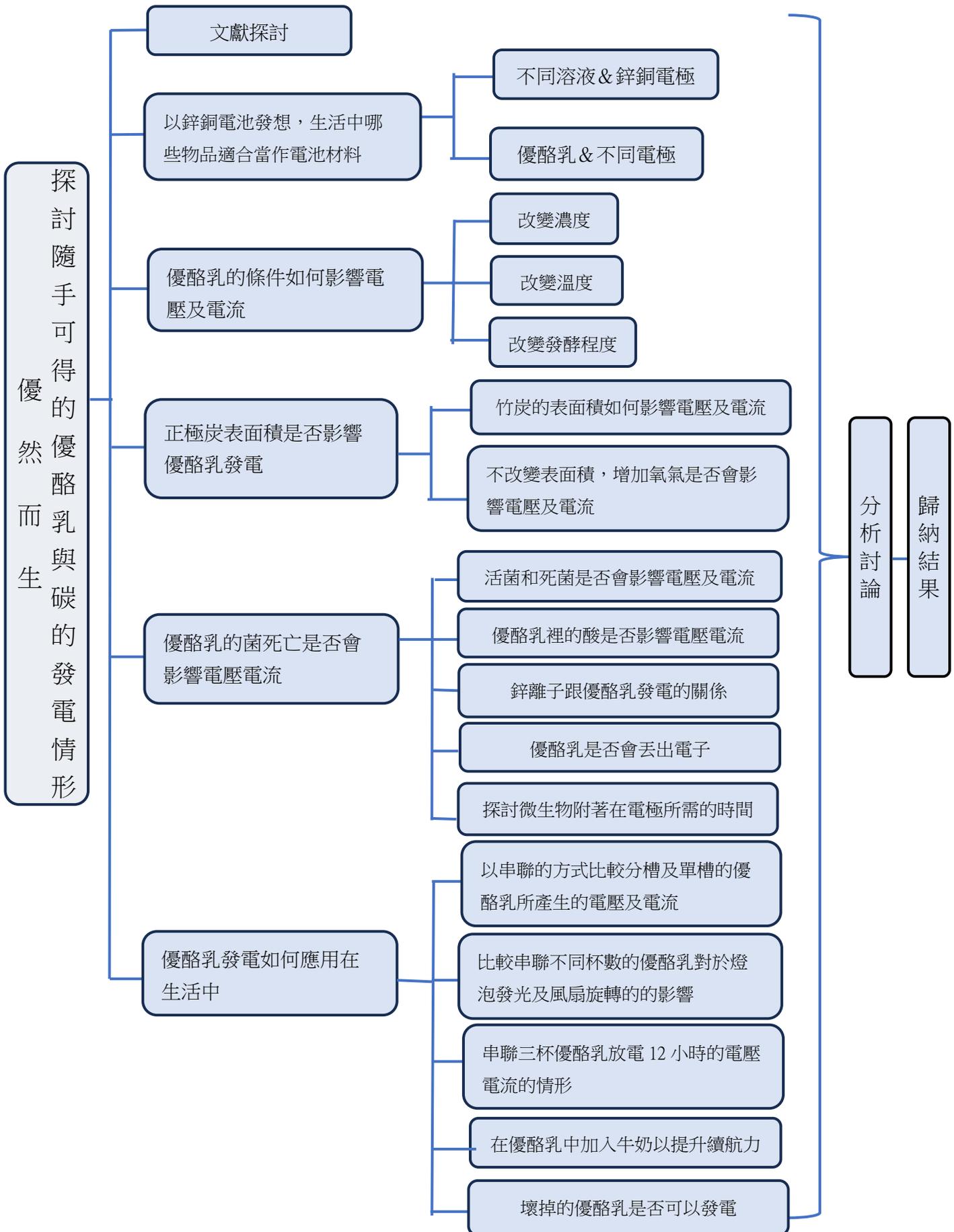
參、研究方法與設備器材

(本件作品中所有照片、圖片、圖表均為作者自攝、自繪、自製。)

			
三用電表	優格機	優酪乳	電鍋

	 長：11cm 寬：2.9cm	 長：8cm 寬：1.5cm	
Zn ⁺² 水質簡易分析器	竹炭	備長炭	銅片 鋁片 鋅片
			
雙氧水	二氧化錳	Arduino程式板及INA219電壓電流感測器	pH值檢測器
			
硫酸銅、硫酸鋅	汽水、可樂、氣泡水	肥皂、純水、糖	小蘇打、鹽
			
黃金	鉑(網)	鉑(條)	風扇 LED 燈 手電筒

研究架構



肆、研究過程

研究一、文獻探討

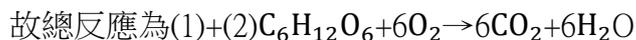
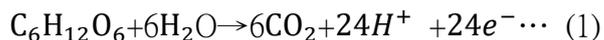
目的：

- (1) 電池對日常生活的重要性為何
- (2) 空氣電池與微生物燃料電池的原理
- (3) 優酪乳的內容

一、**電池的重要性**：電池在現代生活中至關重要，提升了生活便利性和效率，它還在醫療設備和緊急備用中發揮著關鍵作用，確保我們能夠隨時應對各種需求和突發情況。

二、**空氣電池**：空氣電池是一種使用空氣中的氧氣和金屬之間的化學反應來產生電力的電池。它是一種環保和可再生能源的解決方案，因為它不需要使用有害的化學物質或重金屬。目前較受矚目的空氣電池類別有：鋰空氣電池、鎂空氣電池、鋁空氣電池以及鋅空氣電池。空氣電池的工作原理是分隔金屬極（負極）和空氣中的氧氣（正極），並使用以鹼性或中性鹽類電解液為媒介來進行電子傳導。放電過程中，負極的金屬被氧化，正極的氧氣被還原，在外電路產生電流，進而供應電力。換言之，金屬空氣電池是一會呼吸的電池，空氣中的氧氣進入電池中，但氧氣無法快速進行反應，需由正極上的觸媒來進行電子轉移，進而產生氧化還原反應使電池運作。商業上實際主要應用於助聽器的電池。

三、**微生物電池**：微生物可經呼吸作用分解有機物，以生物分解葡萄糖為例，會釋出電子。微生物燃料電池就是以微生物作為媒介，將有機物的化學能轉變為電能。各反應方程式如下：陽極(負極)以葡萄糖為例，產生**氧化反應**：



基本上，微生物燃料電池中可發電的微生物只限於部分的細菌。微生物電池是使微生物在分解有機物時若因缺乏可還原的氧氣，電子傳遞鏈會受阻，此時接通一個電路到含氧量較高的環境中，電子傳遞鏈便能進行，根據高中生物課程的說明，電子經過一連串的反应後，最後能進入導體，形成電路。換言之，微生物以將有機物氧化，獲得氧化能，而被還原的氧，電子經由導線形成電路。

四、**優酪乳**：優酪乳（yogurt）屬於發酵乳的一種，以牛乳、羊乳、綿羊乳或馬乳等為原料，接種乳酸菌經由發酵賦予產品特殊風味的乳製品，也是自古以來一種代表性酸乳。乳酸菌是指能利用碳水化合物發酵產生多量乳酸的細菌總稱。乳酸菌屬於原核生物界，當被加到牛奶之中，遇上牛奶中的乳糖（lactose），對它們而言就像是看到滿滿的生長能量，乳酸菌會將乳糖轉換成乳酸。當乳酸開始產生之後，液體的 pH 值會下降，也就是變得比較酸，同時也讓原先容易流動的牛奶逐漸變得黏稠狀。

五、**什麼是 AB 優酪乳**？在台灣最常見的 AB 菌產品即為 AB 優酪乳。其中即添加有 A

菌與 B 菌，除此外還有優酪乳發酵的基本菌株—Lactobacillus bulgaricus 與 Streptococcus thermophilus。優酪乳命名為 AB 優酪乳，代表其中添加了 A、B 兩種菌。A 菌是指被譽為「腸道守護神」的嗜酸乳桿菌 Lactobacillus acidophilus，B 菌 Bifidobacterium lactis 常見的中文翻譯是「雷特氏 B 菌」，這株菌適合生存在 36~38 °C 的環境之下，具有分解纖維與寡糖的功能。

結論:

1. 電池與我們的生活密不可分，空氣電池是一種使用空氣中的氧氣和金屬之間的化學反應來產生電力的電池。它是一種環保和可再生能源的解決方案，因為它不需要使用有害的化學物質或重金屬。微生物可經呼吸作用分解有機物，當微生物分解葡萄糖為例，會釋出電子，微生物燃料電池就是以微生物作為媒介，將有機物的化學能轉變為電能。

研究二、以鋅銅電池發想，生活中哪些物品適合當作電池材料

實驗 2-1:比較不同電解液進行發電

目的:生活中哪些溶液最適合進行發電。

實驗步驟:

1. 於 500ml 的燒杯中各倒入 500ml 的飽和食鹽水、氣泡水、飽和糖水、硫酸鋅、硫酸銅、飽和小蘇打水、自來水、純水、肥皂水、硝酸鉀、汽水、優酪乳、可樂、工研醋等不同溶液，如圖 2-1-1。
2. 放入鋅和銅當電極連接 Arduino，裝置如圖 2-1-2 來測量外接 200Ω 電阻和無電阻的電壓及電流，觀察並記錄結果。



圖2-1-1 500毫升的不同溶液

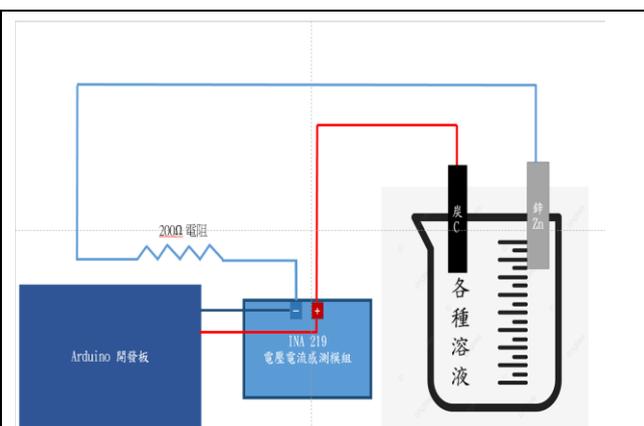
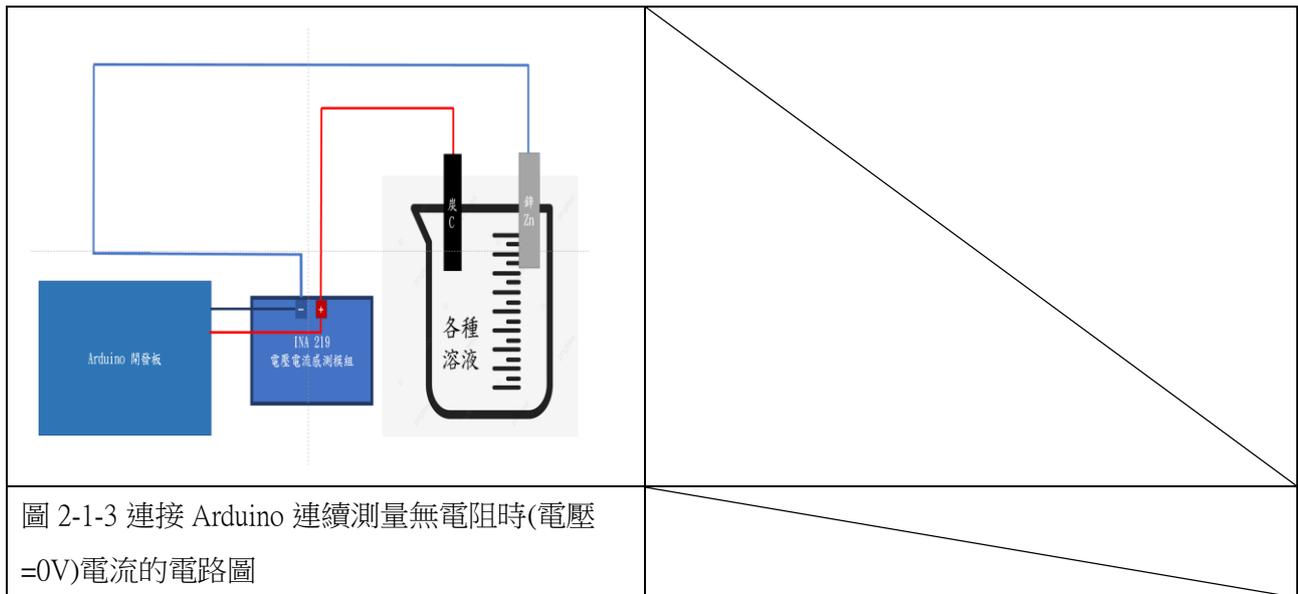


圖 2-1-2 連接 Arduino 連續測量外接 200Ω 電阻的電壓電流的電路圖



實驗結果:

1. 鋅和銅當電極在不同溶液發電紀錄於表 2-1-1。(電壓及電流的前五高以黃色底代表)

表 2-1-1 鋅和銅當電極在不同溶液發電情形

電解液/鋅和銅	200Ω 電壓(V)	200Ω 電流(mA)	無電阻的電壓(V)	無電阻電流(mA)
鹽水	0.37	1.94	0	3.68
氣泡水	0.14	0.79	0	0.64
糖水	0.05	0.27	0	0.61
硫酸鋅	0.21	1.1	0	2.77
硫酸銅	0.89	4.62	0	58.14
小蘇打水	0.32	1.66	0	5.72
自來水	0.18	1	0	0.9
純水	0	0.64	0	0.08
肥皂水	0.12	0.71	0	1.61
雪碧	0.3	1.56	0	2.56
AB 優酪乳	0.52	2.68	0	3.92
可樂	0.66	3.42	0	3.18
工研醋	0.56	2.93	0	7.05

2. 起初測量是用三用電表測量但過程中也發現三用電表測量時數據有連續跳動導致資料不夠完整，所以重新設計 Arduino 程式做此實驗，可以進行長時間測量並平均電壓電流的測量。由表 2-1-1 電極為鋅和銅外接電阻 200Ω/無電阻的電壓電流整理出圖 2-1-4 至圖 2-1-7。

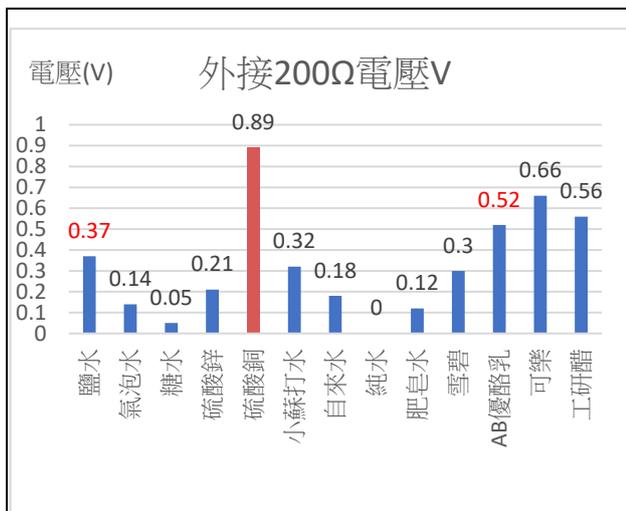


圖2-1-4 外接200Ω的電壓

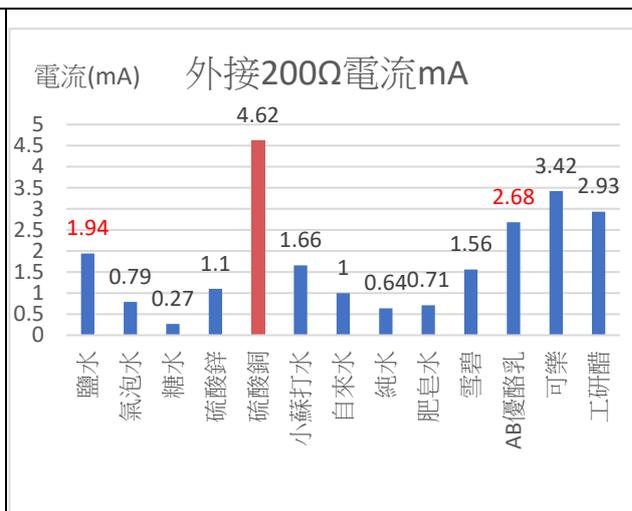


圖2-1-5 外接200Ω的電流

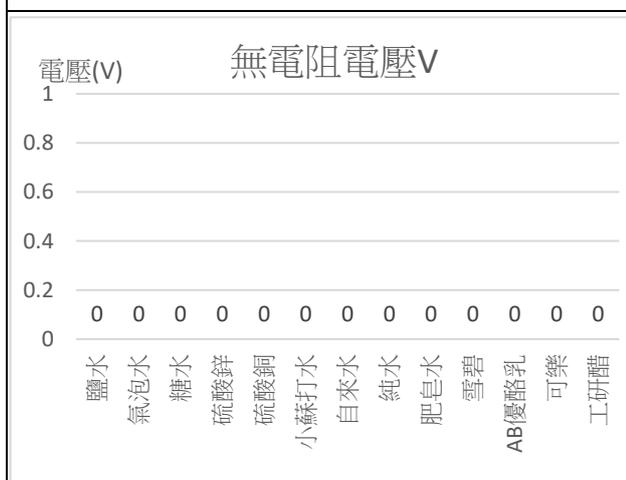


圖2-1-6 無電阻的電壓

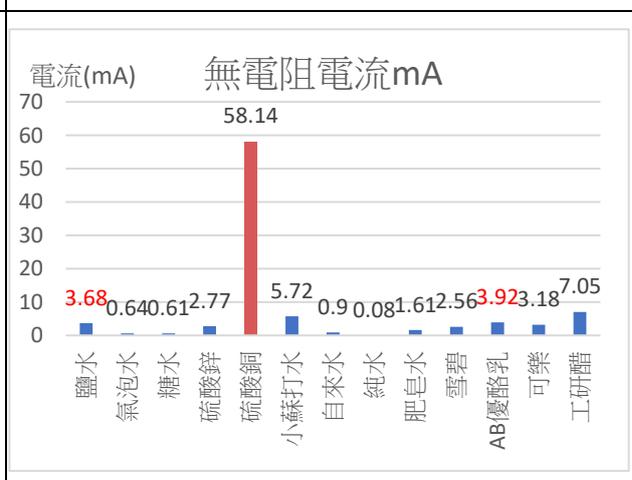


圖2-1-7 無電阻的電流

實驗討論:

1. 硫酸銅的電壓及電流最高，因為銅片不能接收鋅片丟出的電子，所以硫酸銅會幫助銅片接收電子導致電壓及電流較高，但由於硫酸銅不易取得也會汙染環境，所以我們沒有選擇作為實驗主要的電解質。
2. 由如圖 2-1-4 可知電極為鋅和銅，有外接 200 電阻的電壓: 硫酸銅>可樂>工研醋>優酪乳 (0.52V)>鹽水(0.37V)。優酪乳的電壓及電流竟是高於食鹽水，且鋅銅電池的電解液多為電解質。
3. 由如圖 2-1-5 可知電極為鋅和銅，有外接 200Ω 電阻的電流: 硫酸銅>可樂>工研醋>優酪乳(2.68mA)>鹽水(1.94mA)，優酪乳的電壓及電流也是高於食鹽水。
4. 由如圖 2-1-7 可知電極為鋅和銅，無電阻的電流：硫酸銅>工研醋>小蘇打水>優酪乳 3.92(mA)>鹽水(3.82mA)，無電阻的電流越大表示內電阻越小，優酪乳內電阻 < 鹽水內電阻。
5. 起初測量時，數據有連續下降導致資料不夠精準，當時可樂及工研醋的電壓及電流測量時都低於優酪乳，經克服設計 Arduino 程式再做此實驗，可以進行長時間測量並平均電壓電流的測量，數據結果較客觀。

實驗結論:

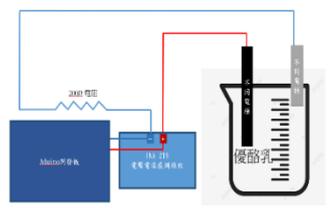
1. 由實驗討論可得知，以鋅銅當電極時，優酪乳的電壓及電流竟是高於食鹽水，雖然鋅銅電池的電解液多為電解質，但以優酪乳當電解液比飽和食鹽水發電情形更適合，真的很有趣。

實驗 2-2:優酪乳使用不同電極

目的:優酪乳當電解液以生活中的物質當電極找出最適合的發電電極

實驗步驟:

1. 將 500ml 優酪乳倒入燒杯中，分別把不同的電極放入優酪乳中。
2. 裝置如圖 2-2-1 分別用 Arduino 測量外接 200Ω 電阻及無電阻的電壓和電流。



2-2-1 裝置圖

實驗結果:

1. 優酪乳使用不同電極發電情形紀錄如表 2-2-1。

表 2-2-1 優酪乳使用不同電極

電極(-/+)	200Ω 電壓(V)	200Ω 電流(mA)	無電阻的電壓(V)	無電阻電流(mA)
鋅/銅	0.25	1.56	0	3.66
鋅/竹炭	0.38	2.16	0	1.46
鋅/備長炭	0.69	3.76	0	29.46
銅/竹炭	0.05	0.46	0	0.76
銅/備長炭	0.04	0.46	0	1.46
竹炭/備長炭	0.04	0.46	0	2.16
鋁/鋅	0	0.26	0	0.06
鋁/銅	0.22	1.46	0	4.66
鋁/竹炭	0.2	1.26	0	6.96
鋁/備長炭	0.94	4.96	0	42.46

2. 由表 2-2-1 整理出圖 2-2-2 至圖 2-2-5 如下。

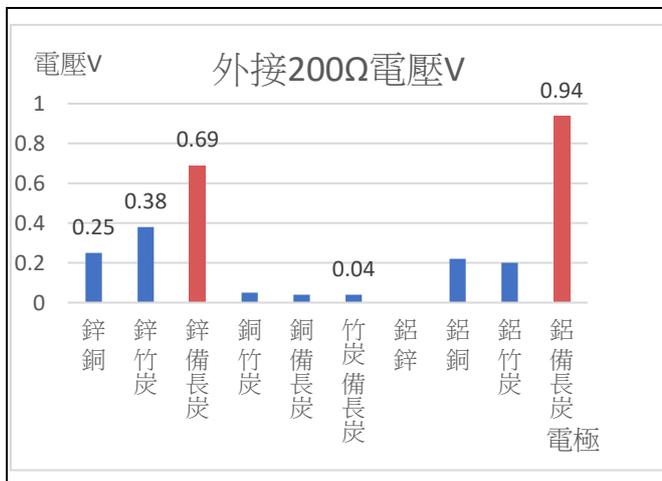


圖2-2-2 外接200Ω 電阻的電壓

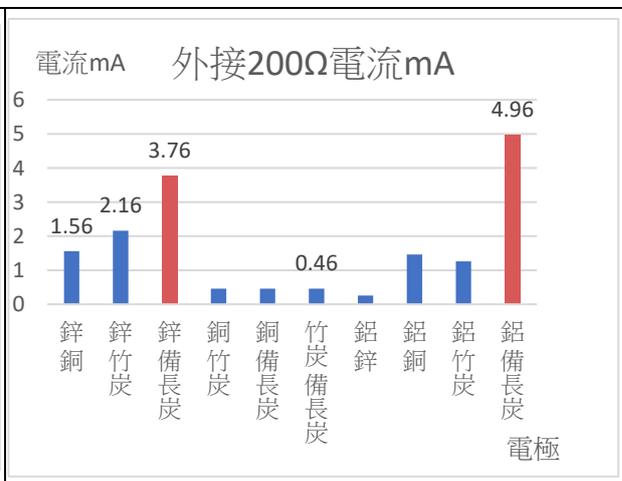
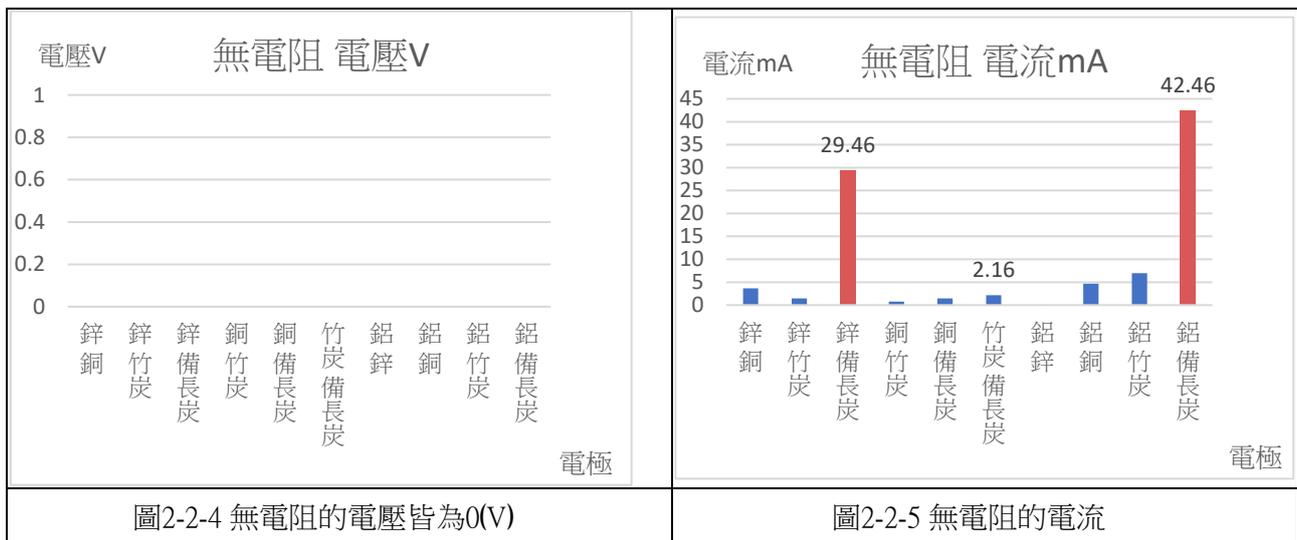


圖2-2-3 外接200Ω 電阻的電流



實驗討論:

1. 由圖 2-2-2 可知外接 200Ω 電阻的電壓:鋁備長炭(0.94V)>鋅備長炭 (0.69V)>鋅竹炭 (0.38V)>鋅銅 (0.25V)>鋁銅>鋁竹炭
2. 由圖 2-2-3 可知外接 200Ω 電阻的電流: 鋁備長炭(4.96mA)>鋅備長炭 (3.76mA)>鋅竹炭 (2.16mA)>鋅銅 (1.56mA)>鋁銅>鋁竹炭
3. 由圖 2-2-4 可知無電阻的電壓:0V
4. 由圖 2-2-5 可知無電阻的電流: 鋁備長炭>鋅備長炭>鋁竹炭>鋁銅>鋅銅>竹炭備長炭。
5. 上述實驗可得知只要電極其中一方為炭，電壓及電流就會越高，但另一方需為活性大的金屬。
6. 竹炭和備長炭當電極也能發電，或許是竹炭和備長炭內有金屬雜質，或優酪乳的乳酸菌有參與發電。

實驗結論:

1. 由此實驗發現鋁和備長炭的電壓及電流最高，但縣賽時我們是用鋅和備長炭，因為當時使用三用電表時測量的不夠準確，導致我們以為鋅和備長炭是最佳的電極組合，所以往後的實驗依然是用鋅和備長炭當作電極。

研究三、優酪乳的條件如何影響電壓及電流

實驗 3-1: 改變優酪乳的濃度

實驗目的:為了能在優酪乳不夠的狀況下仍舊持續發電，本實驗希望探討優酪乳在加水稀釋後，是否能夠有效發電。

實驗步驟:

1. 取四個燒杯並各倒入 250ml 的優酪乳，其中三杯分別到入 25ml、50ml、75ml 的水並攪拌均勻。
2. 放入電極鋅片和備長炭後，使用外接 200Ω 電阻 Arduino 連續測量有電阻的電壓和電流，記錄並分析結果。

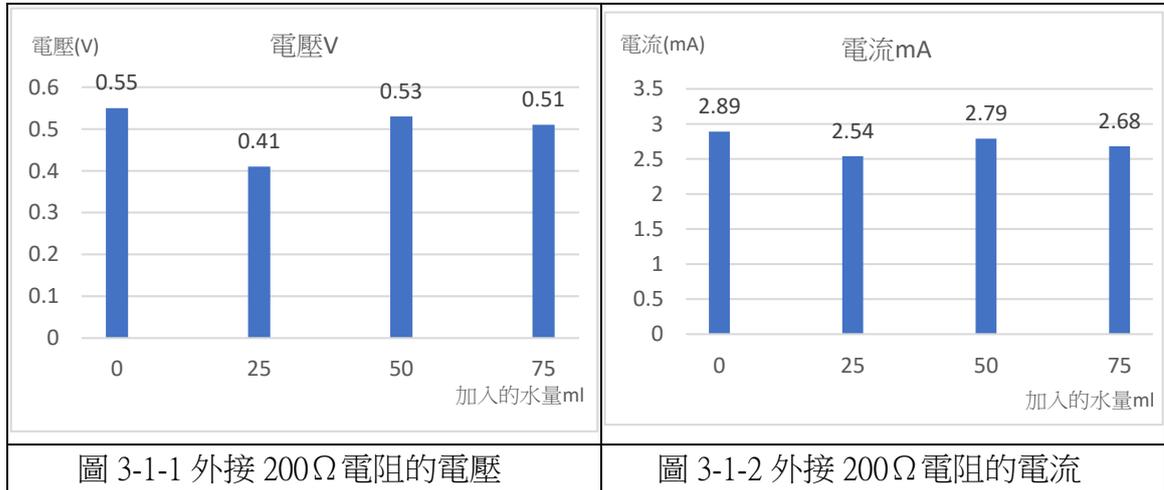
實驗結果:

1. 優酪乳稀釋的發電狀況記錄於表 3-1-1 如下。

表 3-1-1 優酪乳稀釋的電壓電流

加水量(ml)	0	25	50	75
優酪乳體積百分濃度(%)	100%	90.91%	83.34%	76.93%
電壓(V)	0.55	0.41	0.53	0.51
電流(mA)	2.89	2.54	2.79	2.68

2. 由表 3-1-1 優酪乳稀釋的發電狀況整理出圖 3-1-1 至圖 3-1-2。



實驗討論:

1. 由圖 3-1-1 和圖 3-1-2 可知，在稀釋時加入 50ml 的水後，電壓為 0.53V 及電流 2.79mA 最高，在加入 75ml 的水時 0.51V 數值下降。
2. 由圖 3-1-1 和圖 3-1-2 可知，在加入 75ml 的水(濃度為 76.93%)後仍有電壓 0.51V 電流 2.68mA，與未加水的電壓 0.55V 電流 2.89mA 相差不大，加水量 75ml 的電壓與電流都是 100%優酪乳的 93%。

實驗結論:

1. 在 250ml 優酪乳加入 75ml 的水稀釋後，仍與未加水的電壓電流相差不大;所以我們認為就算在優酪乳不足的狀況下，加水稀釋至 76.93%對發電影響不大。

實驗 3-2:改變優酪乳的溫度

實驗目的:因應本研究的研究動機。在災難中可能沒有冰箱可以使用，所以想要知道優酪乳在室溫存放的狀況下是否可以發電。

實驗步驟:

1. 倒入 100ml 優酪乳到燒杯中，分別隔水加熱到 20°C、25°C、30°C、35°C。
2. 以鋅片和備長炭當作電極，測量在有外接 200Ω 電阻狀況下的電壓和電流。
3. 記錄並分析結果。

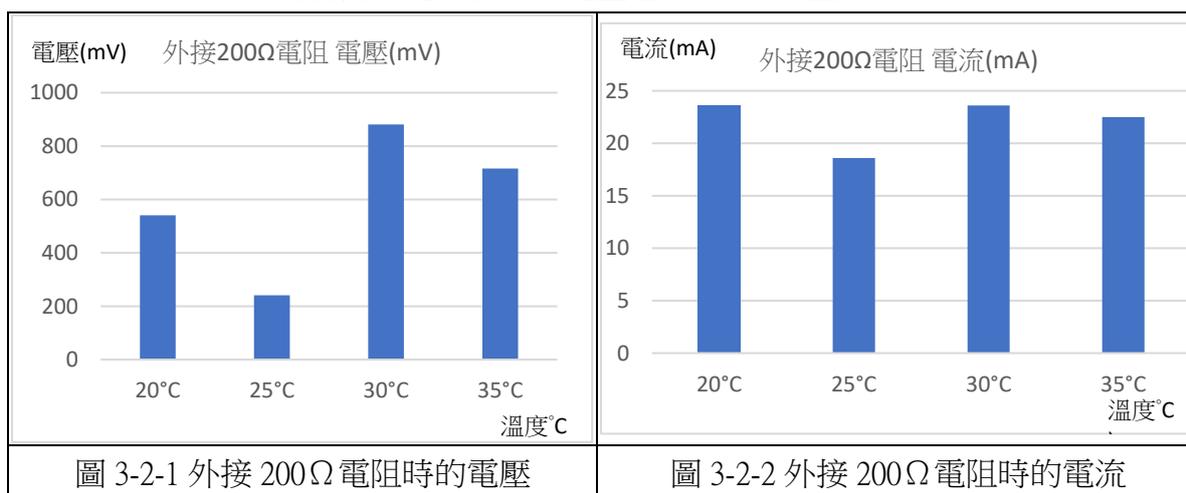
實驗結果:

1. 不同溫度優酪乳的發電狀況記錄於表 3-2-1 如下。

表 3-2-1 不同溫度優酪乳的電流、電壓最高值

溫度(°C)	20°C	25°C	30°C	35°C
電壓(mV)	541	241	881	716
電流(mA)	23.6	18.6	23.6	22.4

2. 由表 3-2-1 不同溫度優酪乳的發電狀況整理出圖 3-2-1 至圖 3-2-2。



實驗討論:

1. 由圖 3-2-1 以及圖 3-2-2 可得知，在有電阻時，30°C 的優酪乳電壓及電流皆最高，電壓電流並沒有隨著溫度的增加而上升。

實驗結論:

1. 由圖 3-2-1 以及圖 3-2-2 可知，電壓及電流為 30°C 時最大，到 35°C 雖下降，依然有 716mV 和 22.4mA。沒有電冰箱時，優酪乳可以在臺灣一般室溫也能有好的發電能力。

實驗 3-3: 改變優酪乳的發酵程度

實驗目的: 在實驗 2-1 中我們發現酸會影響電壓及電流，因此我們想利用改變優酪乳的發酵時間，以降低其 pH 值，探討是否可以增加電壓及電流。

實驗步驟:

1. 在燒杯上寫上編號 0~9。
2. 在編號為 0 的燒杯中倒入 100ml 的牛奶並且放入優格機一小時進行發酵(如圖 3-3-1)。
3. 編號 1~9 皆倒入 75ml 的優酪乳和 25ml 的牛奶，並放入優格機中，照著燒杯上的編號在優格機中放置 1~8 小時(例如: 編號 1 放置 1 小時、編號 2 放置 2 小時以此類推)，而編號 9 則放置 24 小時。
4. 第一天以鋅和銅當電極，外加 200Ω 電阻並測量各編號 1~9 的電壓、電流和 pH 值後，將編號 0~9 放置 24 小時後，再以鋅銅當電極，比較第一天和第二天的差異。
5. 編號 1~9 放到第二天分別以鋅和備長炭當電極，測量電壓、電流和 pH 值，分析比較第二天以鋅銅當電極結果。



圖 3-3-1 優格機

實驗結果:

1. 以鋅銅當電極時比較第一天發酵 1 小時的牛奶及優酪乳之發電情形記錄於表 3-3-1。

表 3-3-1 鋅銅電極發酵 1 小時的牛奶及優酪乳之發電情形

編號	電壓(mV)	電流(mA)	pH值
0(牛奶)	256~301mV	1.39~2.68mA	6.69
1(優酪乳75ml+牛奶25ml)	182~260mV	0.22~1.62mA	5.89~5.90

2. 以鋅銅當電極時比較第二天發酵 1 小時的牛奶及優酪乳之發電情形記錄於表 3-3-2。

表 3-3-2 鋅銅電極發酵 1 小時的牛奶及優酪乳之發電情形

編號	電壓(mV)	電流(mA)	pH 值
0(牛奶)	326~440mV	1.02~3.55mA	6.73
1(優酪乳 75ml+牛奶 25ml)	313~482mV	1.68~3.61mA	5.02

3. 將發酵程度不同的優酪乳之發電狀況記錄於圖 3-3-2 至圖 3-3-9 如下。

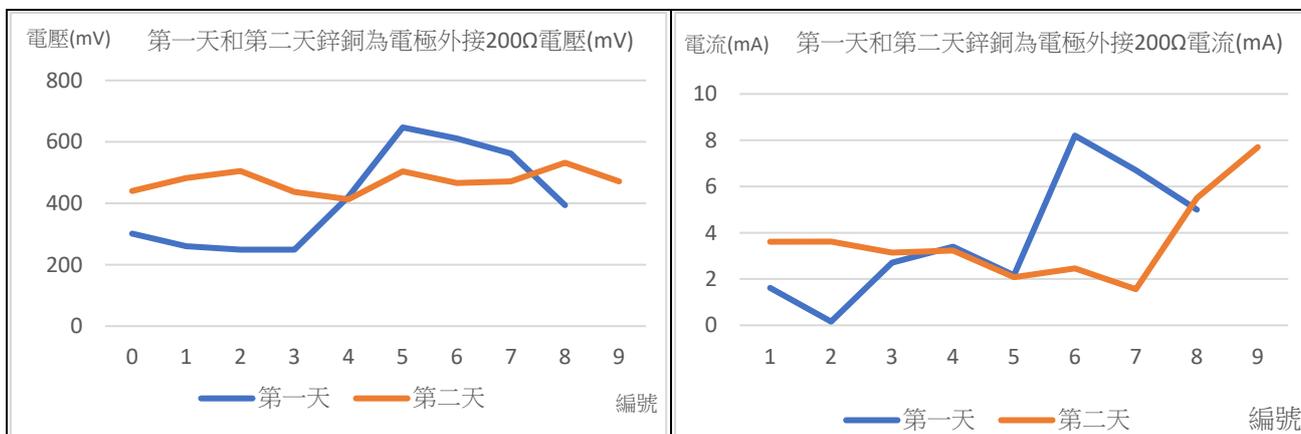


圖 3-3-2 第一天和第二天鋅銅為電極的電壓(mV)

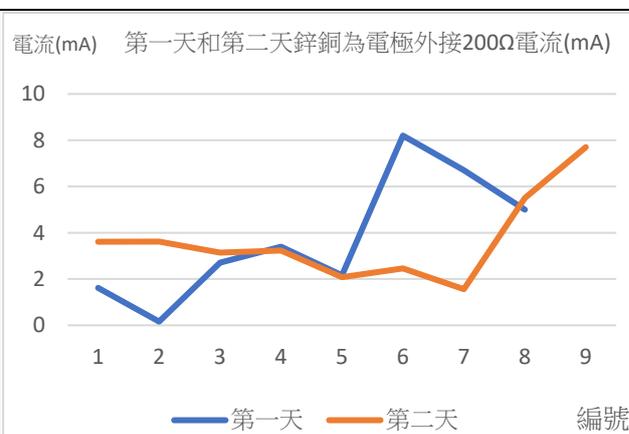


圖 3-3-3 第一天和第二天鋅銅為電極電流(mA)

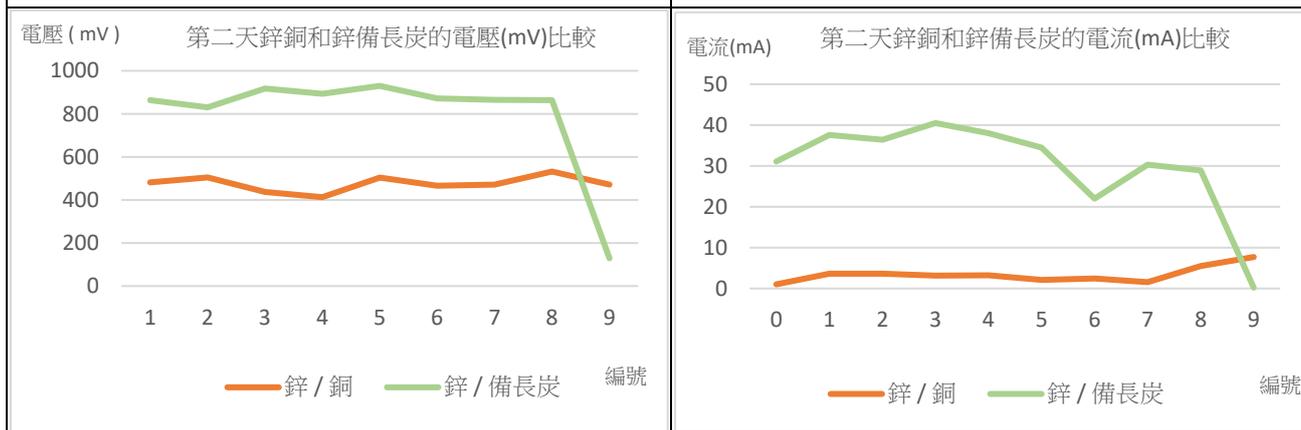


圖 3-3-4 發酵時間不同放至第二天鋅備長炭與鋅銅的電壓(mV) 比較其電壓都大許多

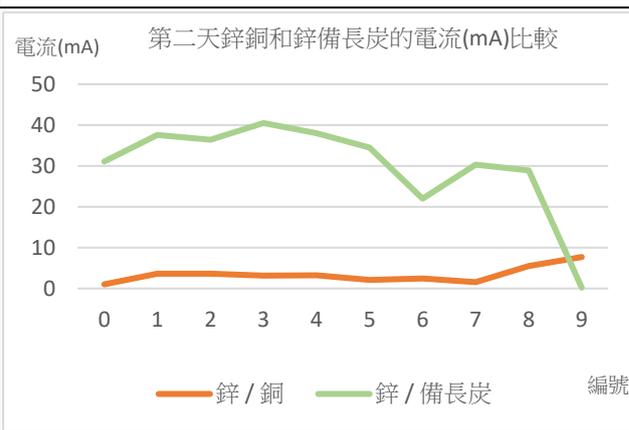


圖 3-3-5 發酵時間不同的優酪乳放至第二天鋅備長炭與鋅銅電極的電流(mA)比較都大許多

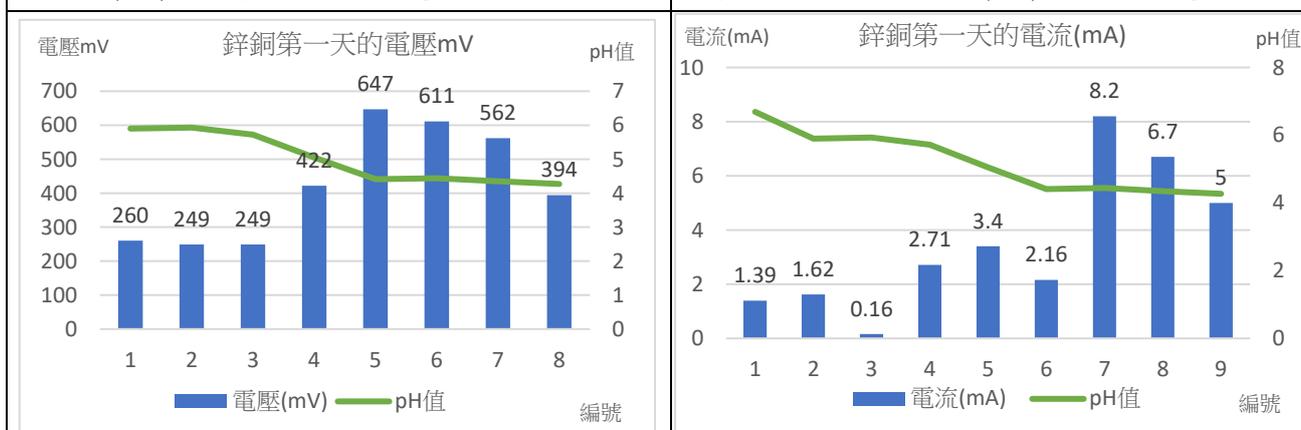


圖 3-3-6 第一天不同發酵時間的電壓與 pH 值

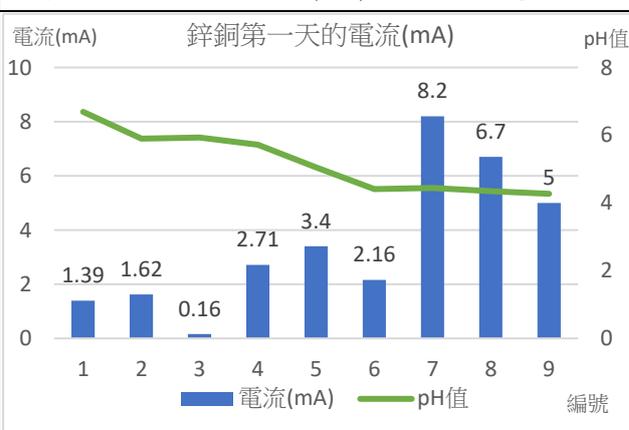


圖 3-3-7 第一天不同發酵時間的電流與 pH 值

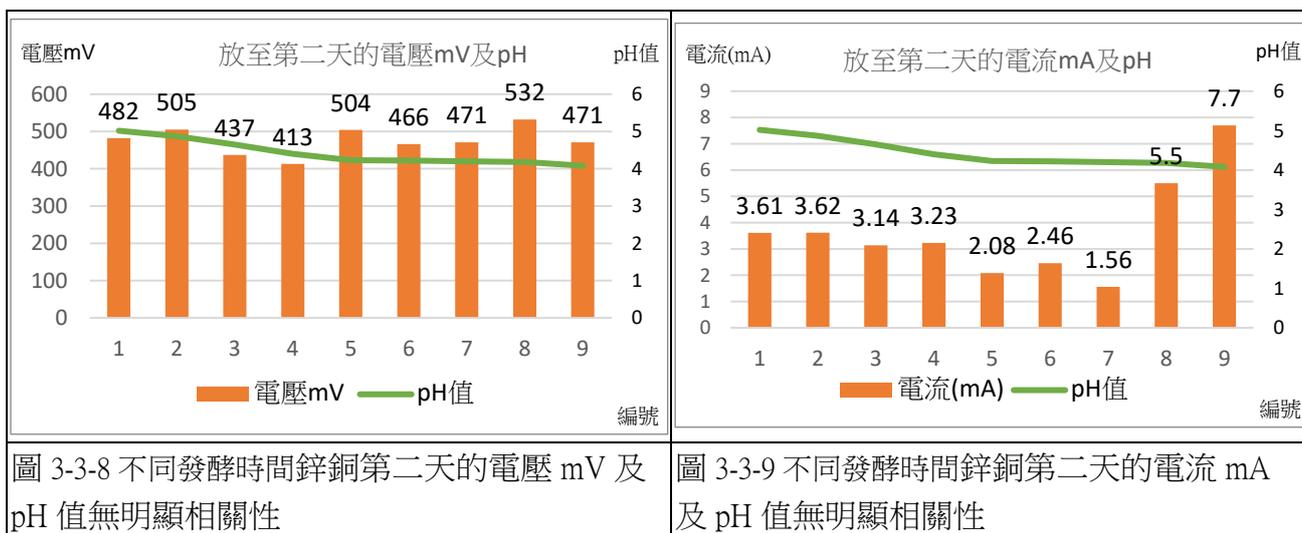


圖 3-3-8 不同發酵時間鋅銅第二天的電壓 mV 及 pH 值無明顯相關性

圖 3-3-9 不同發酵時間鋅銅第二天的電流 mA 及 pH 值無明顯相關性

實驗討論:

- 第一天發酵 1 小時的牛奶及優酪乳之發電情形:
 - (1) 由表 3-3-1 及表 3-3-2 可知在第一天時，牛奶的電壓及電流比優酪乳高，而到了第二天時則是情形相反(優酪乳的電壓及電流比牛奶高)，我們認為應是優酪乳裡的生物族群比第一天旺盛，有助於使電壓電流增高。
- 以鋅和銅當作電極其第一天的電壓、電流與 pH 值關係的變化:
 - (1) 第一天不同發酵時間以鋅銅當電極的電壓與 pH 值關係：由圖 3-3-2 發現有外接 200Ω 的優酪乳測量是在發酵 5 小時後的電壓最高 647mV，可能是因為菌種隨著發酵時間大量繁殖而使電壓增加。
 - (2) 由圖 3-3-2 得知電壓電流在 6 小時後開始下降，圖 3-3-6 及圖 3-3-7 第一天不同發酵時間的電壓與 pH 值，pH 值下降未能幫助電壓與電流增加，此現象與預想的不同，一度令人感到困惑。透過文獻得知微生物在競爭有限的資源時會釋放抗生物素，使部分微生物死亡抑制族群增加率。
- 以鋅和銅當作電極放置一天後電壓及電流的變化: 由圖 3-3-2 及圖 3-3-3 可知第二天的電壓及電流相較於第一天穩定，第二天發酵時間編號 1~8 的優酪乳電壓與電流皆相當接近，由此推測第二天微生物族群已達到飽和穩定。
- 放置一天以鋅和銅當作電極及以鋅和備長炭為電極比較兩者的電壓和電流：
 - (1) 由圖 3-3-4 及圖 3-3-5 可知鋅跟備長炭當電極其電壓及電流都比鋅銅電極高。
- 以鋅銅當電極時第一天及第二天的 pH 值及電壓電流之比較:
 - (1) 由圖 3-3-6 及圖 3-3-7 可知，優酪乳並沒有隨著 pH 值的降低而增加其電壓電流，與原本預想不同。
 - (2) 由圖 3-3-8 及圖 3-3-9 可知道第二天時，電壓電流並不會因為 pH 值的改變而受到太大的影響。

實驗結論:

1. 發酵程度不同的優酪乳會影響發電情形：發酵時間不同優酪乳發電情形不受 pH 值影響，主要與優酪乳內微生物的族群生長情形影響發電。

研究四、正極碳表面積是否會影響發電

實驗 4-1:竹炭的表面積如何影響電壓及電流

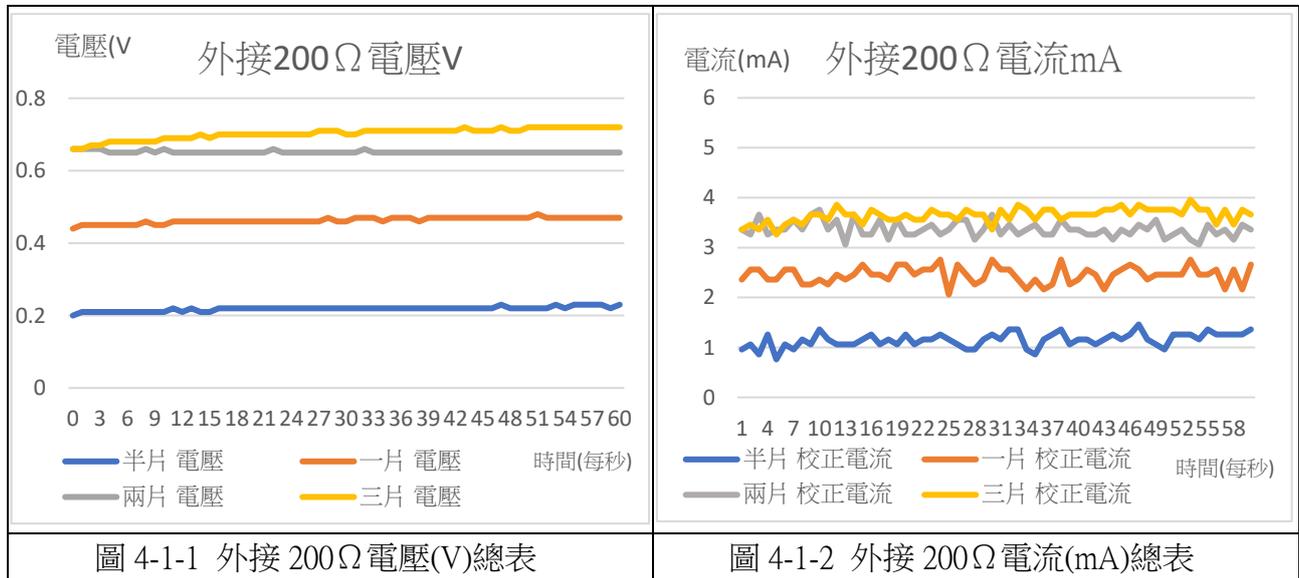
目的: 藉由改變竹炭的表面積觀察是否會影響電壓及電流

實驗步驟:

1. 倒入 500ml 優酪乳到燒杯中，取體積與形狀相接近的竹炭，分別用總片數不同的竹炭當正極搭配負極的鋅片進行實驗，外接 200Ω 電阻使用 Arduino 測量每一秒電壓及電流，記錄一分鐘並分析結果。

實驗結果:

1. 將正極半片、一片、兩片、三片竹炭的電壓電流測得結果合併成圖 4-1-1 至圖 4-1-2



實驗討論:

1. 由圖 4-1-1 和圖 4-1-2 發現電壓電流皆是半片 < 一片 < 二片 < 三片。三片竹炭的電壓 (0.72V) 及電流最高值為 (3.96mA)。
2. 因為竹炭有多孔隙較容易儲存氧氣，我們認為正極竹炭片數越多可以穩定供應較多的氧氣，會影響電壓電流。

實驗結論

1. 因為竹炭有多孔隙較容易儲存氧氣，我們認為正極三片竹炭可以穩定供應較多的氧氣，會影響電壓電流。故正極竹炭的總表面積越多電壓電流隨之越大。因為要證明氧氣的量會影響發電，所以我們進行實驗 4-2。

實驗 4-2: 不改變表面積，增加氧氣是否會影響電壓及電流

實驗目的：了解利用雙氧水增加竹炭的氧氣是否會影響電壓與電流。

實驗步驟:

1. 把化妝棉黏在卸妝棉上，如圖 4-2-1。
2. 再黏一張卸妝棉並塗抹一層二氧化錳，如圖 4-2-2。
3. 再黏上一張卸妝棉後包裹住竹炭當正極，如圖 4-2-3，並將其放入 500ml 優酪乳中。
4. 搭配負極鋅片外接 200Ω 電阻使用 Arduino 測量每 1 分鐘測電壓及電流一次，12 分鐘後再用滴管把雙氧水加到化妝棉上觀察並連續記錄其過程 1 小時並分析結果。
5. 另取一片不做任何處理的竹炭當對照組，再做一次觀察記錄與步驟比較有何不同。

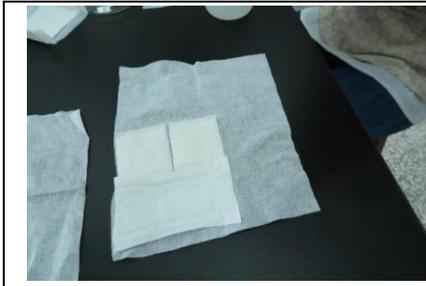


圖 4-2-1 黏化妝棉與卸妝棉



圖 4-2-2 塗抹一層 MnO_2



圖 4-2-3 包裹住竹炭

實驗結果:

1. 產生氧氣的電壓及電流記錄於圖 4-2-4 至圖 4-2-7。

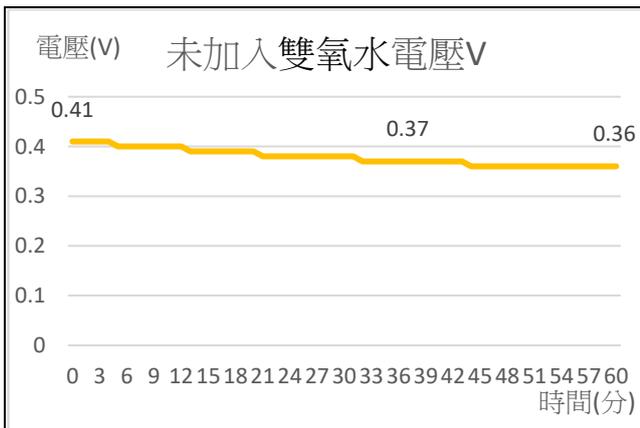


圖 4-2-4 未加入氧氣的電壓 1 小時下降 12.2%

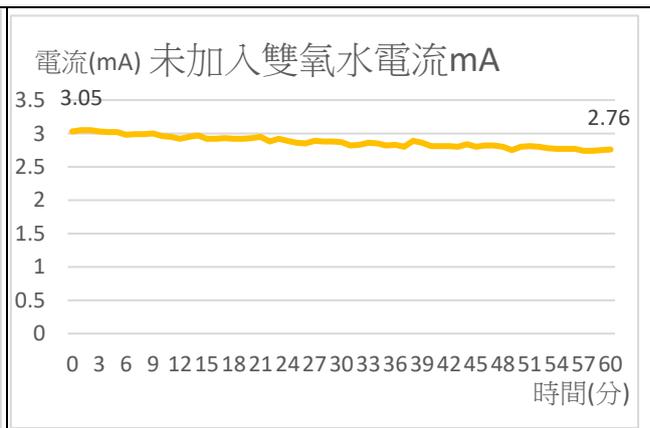


圖 4-2-5 未加入氧氣的電流 1 小時下降 9.5%

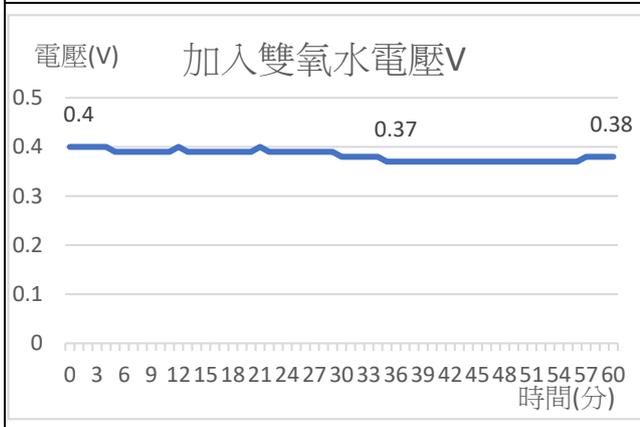


圖 4-2-6 加入氧氣放電一小時電壓下降 5%

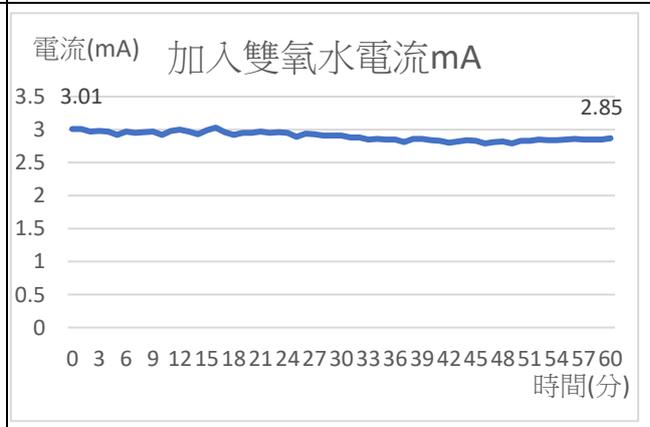


圖 4-2-7 加入氧氣放電一小時電流下降 5.32%

實驗討論:

1. 由圖 4-2-4 以及圖 4-2-5 可知未加入雙氧水時的電壓及電流皆隨著時間下滑。
2. 由圖 4-2-6 以及圖 4-2-7 可知加入雙氧水後，電壓及電流皆在一段時間後下降，接著回升，在測 60 分鐘後都只下降 5%。

實驗結論:

1. 由圖 4-2-6 以及圖 4-2-7 可知加入雙氧水的電壓及電流較穩定且下降趨勢較緩。
2. 我們的預想是加入氧氣後的優酪乳應該要持續上升，但依照實驗結果卻是先下降，接著恢復初始的電壓及電流，由於我們加入氧氣的方式是在竹炭側加入二氧化錳，實驗時再滴加雙氧水，所以我們認為是雙氧水殺死優酪乳裡的菌種，導致電壓及電流下

降。我們便想微生物被殺死後真的會影響電壓及電流的表現嗎?所以我們設計實驗 5-1 進一步探究。

研究五、優酪乳的菌死亡是否會影響電壓電流

實驗 5-1:活菌和死菌是否會影響電壓及電流

目的:了解優酪乳蒸煮後乳酸菌的死亡是否會影響電壓與電流

實驗步驟:

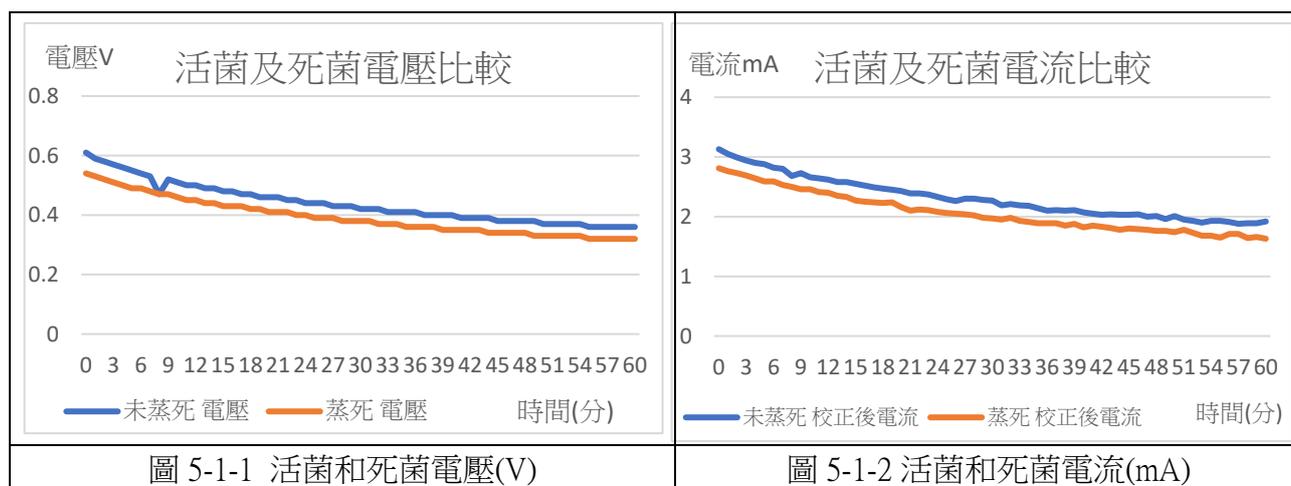
1. 分別倒入 500ml 的優酪乳到燒杯中，先測量兩杯的 pH 值。
2. 其中一杯放入電鍋中，將蒸過的優酪乳從電鍋中拿出放涼。
3. 以鋅和竹炭作為電極外接 200Ω 電阻分別測量兩杯優酪乳，用 Arduino 程式每分鐘測一次連續 1 小時電壓、電流。

實驗結果:

1. 先測量兩杯的 pH 值皆是 4.12。
2. 活菌及死菌的電壓及電流紀錄於表 5-1-1 及圖 5-1-1 至圖 5-1-2。

表 5-1-1 活菌及死菌的電壓及電流

	活菌電壓(V)	死菌電壓(V)	活菌電流(mA)	死菌電流(mA)
最高值	0.61	0.54	3.13	2.81
最低值	0.36	0.32	1.92	1.57



實驗討論:

1. 由表 5-1-1 及圖 5-1-1 至圖 5-1-2 可知活菌的電壓及電流都比死菌的電壓及電流高。

實驗結論:

1. 由實驗結果可知以鋅和竹炭當電極時，活菌的電壓及電流都比死菌高。可知乳酸菌是否活著真的可以影響發電的效果。但死菌依舊有電壓電流，是否是乳酸的酸性物質造成發電的效果，所以我們再設計實驗 5-2 釐清酸是否對電壓電流有所貢獻。

實驗 5-2: 優酪乳裡的酸是否影響電壓電流

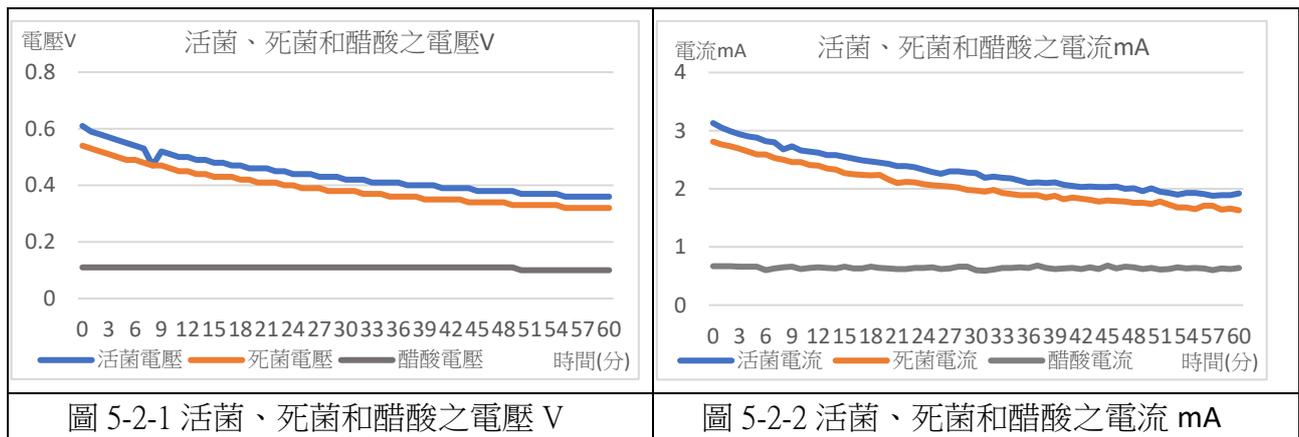
目的: 釐清優酪乳中的酸是否對電壓電流有所貢獻

實驗步驟:

1. 調配 pH 值為 4.12 的醋酸水溶液，以鋅跟竹炭作為電極，外接 200Ω 電阻用 Arduino 連接測量其電壓及電流。

實驗結果:

1. 將醋酸與活菌死菌進行比較之結果紀錄於圖 5-2-1 及圖 5-2-2。



實驗討論:

1. 由圖 5-2-1 以及圖 5-2-2 以相同 pH 值的醋酸水溶液當電解液時的電壓及電流比優酪乳當電解液時小。

實驗結論:

1. 在我們將醋酸水溶液的 pH 值調成和優酪乳的 pH 值相同後，優酪乳的電壓電流仍然高於醋酸水溶液的電壓電流，這代表優酪乳裡除了乳酸外還有其他物質會影響發電情形，所以設計實驗 5-3 釐清負極鋅片是否參與產生電子的反應。

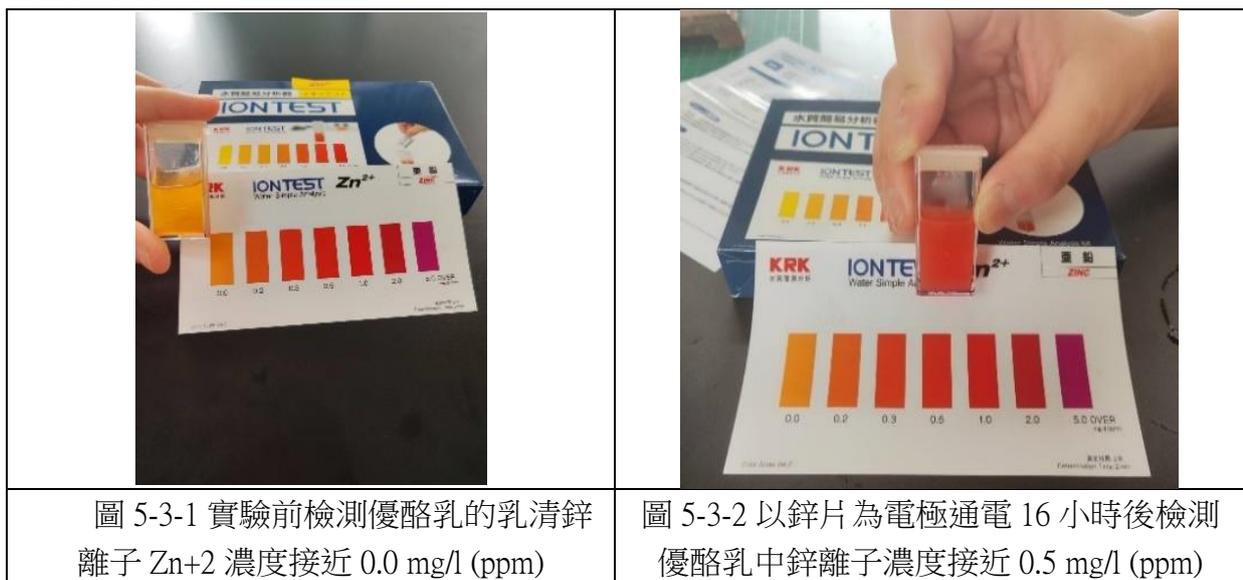
實驗 5-3 鋅離子跟優酪乳發電的關係

目的: 探討優酪乳中除了酸之外，還有什麼會影響發電

實驗步驟:

1. 將鋅片和竹炭一起放入優酪乳中，並用 Arduino 測試電壓電流，觀察並紀錄結果。
2. 使用 Zn^{2+} 水質簡易分析器證明優酪乳中是否有鋅離子。

實驗結果如下:



實驗討論:

1. 鋅片為電極時有產生 Zn^{2+} ，其 Zn^{2+} 濃度 > 優酪乳乳清的 Zn^{2+} 濃度，由此可知電池負

極鋅有參與放電反應。

實驗結論:

1. 檢驗出使用鋅片為電極，通電後的優酪乳中有產生 Zn^{2+} ，故鋅有參與反應，因此我們認定以鋅作電極以優酪乳做電解液，此發電方式是空氣電池的一種。但是優酪乳中的菌是否也會參與發電，所以我們想知道以活性極小的金屬當負極時，會不會放出電子。

實驗 5-4:優酪乳是否會丟出電子

目的:以活性小的金屬當負極觀察優酪乳是否還有電流產生

實驗步驟:

1. 正極為備長炭，改變負極的電極為兩片銅、一片銅、鉑以及金
2. 分別外接 200Ω 電阻用 Arduino 每秒測一次，連續測量其電壓及電流 60 秒，紀錄並分析結果

實驗結果.:

1. 整理成圖 5-4-1 至圖 5-4-2。

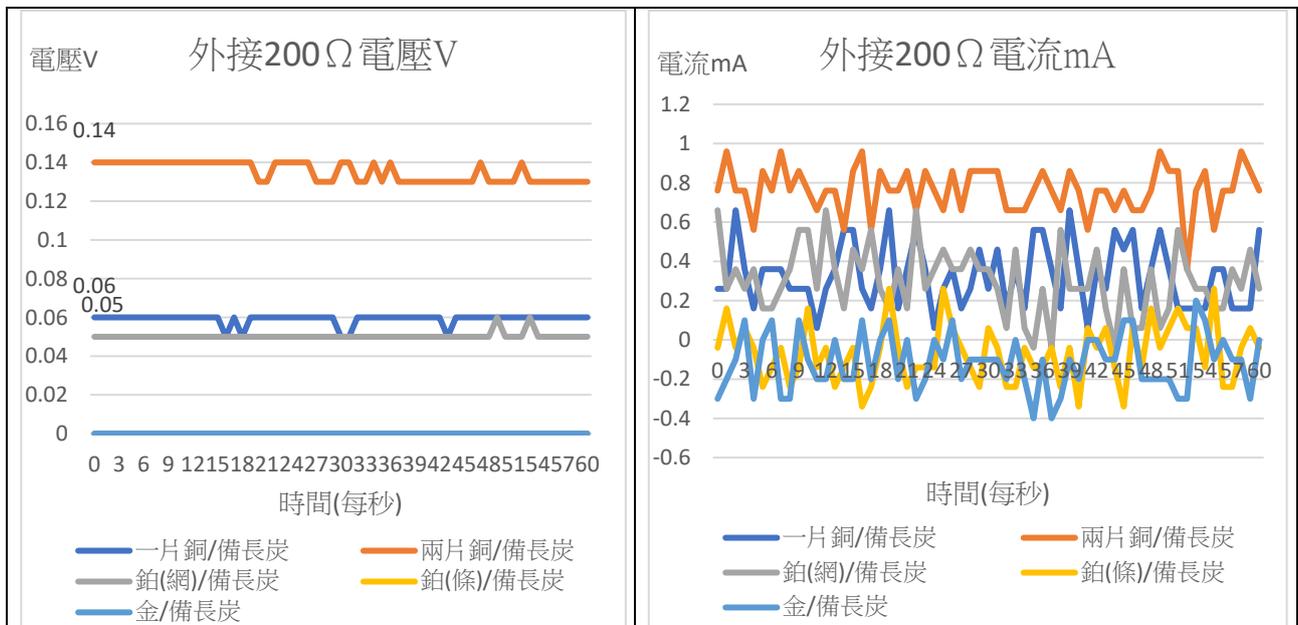


圖 5-4-1 電壓比較表(鉑條和金片 V=0)

圖 5-4-2 電流(mA)比較表

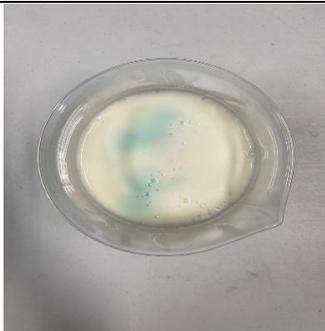
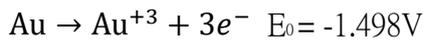
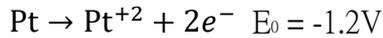
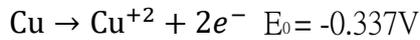
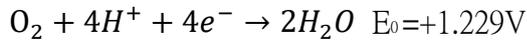


圖 5-4-3 銅離子參與反應

實驗討論:

1. 如圖 5-4-3 優酪乳在負極附近有藍色銅離子，證明銅片有放出電子，變成銅離子，所以像銅這樣安定的金屬也能發電。

- 兩片銅的電壓及電流都高於一片銅，網狀的鉑有電壓而條狀的鉑沒有電壓，可能和接觸面積大小有關。
- 鉑為活性小的金屬在圖 5-4-1 發現有電壓，鉑是很安定的金屬，若鉑不放出電子便可以推論嗜乳菌會丟出電子幫助發電。經查資料各後可知正極 O_2 還原成水 $E_0 = +1.229V$ ，其實鉑金屬是有可能放出電子。



- 金當負極時連續測量 1 分鐘電壓為 0。

實驗結論:

- 銅與鉑接觸面積確實會影響發電。
- 網狀的鉑測量時有電壓，經查資料可得知鉑金屬與備長炭組合當電極時，鉑可以放出電子，所以還是無法確定是否優酪乳會丟出電子，且電極為金時連續測 1 分鐘沒有電壓。我們先前的實驗使用鋅片銅片做電極，實驗前都有先用砂紙磨過，增加表面粗糙度，使微生物容易附著。我們擔心金片表面太光滑細菌不容易附著於表面影響發電，所以我們再延長實驗時間以確認結果。

實驗 5-4-1: 探討微生物附著在電極所需的時間

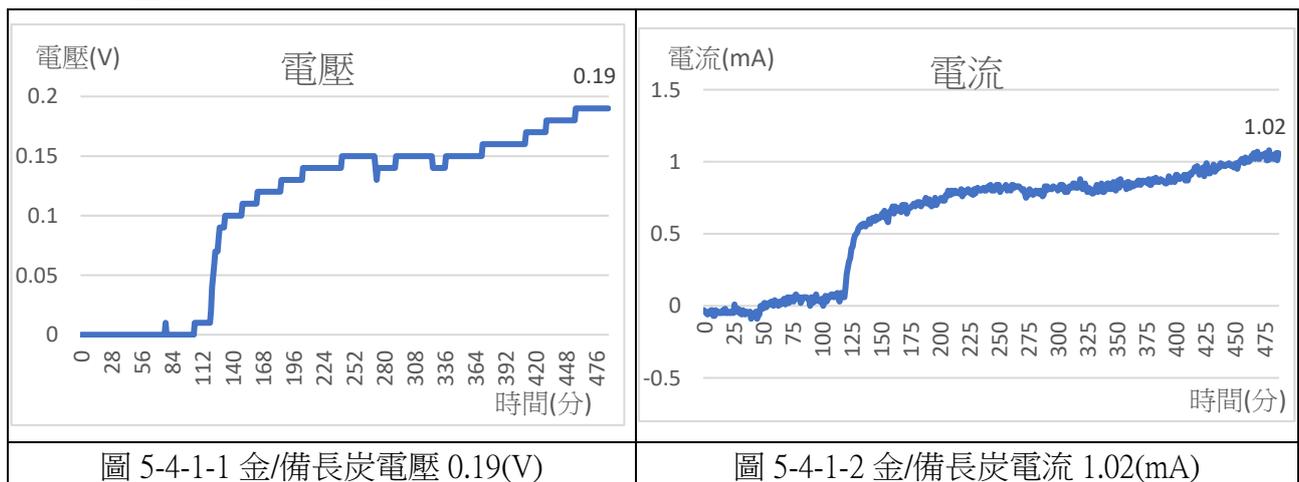
目的: 以金片作為負極時，增加反應時間，了解乳酸菌是否有放出電子

實驗步驟:

- 正極為備長炭負極為金，外接 200Ω 電阻用 Arduino 連續七小時測量其電壓及電流，紀錄並分析結果

實驗結果.:

- 整理成圖 5-4-1-1 至圖 5-4-1-2 如下。



實驗討論:

- 一開始以金當負極、備長炭當正極時不會放出電子，卻在放電 122 分鐘後有電壓及電流產生，此現象證實了優酪乳會放出電子。
- 因為金的表面光滑導致微生物需要一段時間才能附著在金片表面，以放出電子，可說明實驗 5-4 中一分鐘內沒有電壓及電流的原因。

實驗結論:

1. 從討論可以得知優酪乳裡的微生物會放出電子，且其放出的電流是柏克萊團隊研究的(500 微安)兩倍之多，所以優酪乳電池也有微生物電池的特性。
2. 由於金的表面光滑，故微生物附著於其表面需要大約 2 小時的時間。
3. 我們成功證明優酪乳內的乳酸菌能發電，也是一種微生物電池。在冰箱內就可容易取得的放電菌，真是方便又有趣。

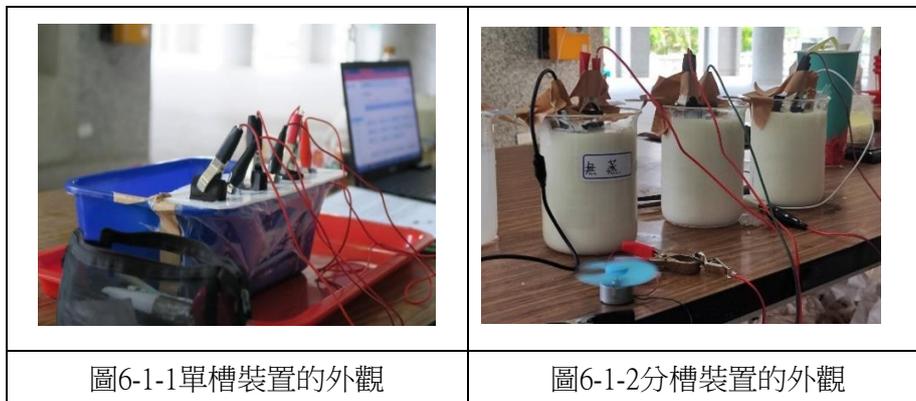
研究六、優酪乳發電如何應用在生活中

實驗 6-1:以串聯的方式比較分槽及單槽的優酪乳所產生的電壓及電流

實驗目的:由於希望能讓優酪乳發電應用在生活中，所以在此研究想要探討如何製作出一個好的優酪乳電池，我們先以串聯的方式，比較單槽(如圖 6-1-1)及分槽(如圖 6-1-2)的優酪乳何者較適合作為發電的裝置。

實驗步驟：

1. 單槽部分:
 - (1) 在盆子中倒入 1500ml(三杯 500ml 優酪乳的量)的優酪乳。
 - (2)在板子上切出三組鋅與竹炭串聯以固定電極的孔洞位置，每一組電極分別都是一片鋅片、三片竹炭，蓋上板子，放入已裝優酪乳的單槽中，三個電池串聯時，電解液可在三個電池間互通。外接 200Ω 電阻使用 Arduino 連續測量電壓及電流一小時，結果如表 6-1-1。
2. 分槽部分：每個燒杯都倒入 500ml 的優酪乳，每杯都放入一組一片鋅片配三片竹炭的電極，電極間的距離與單槽相同，但三個電池的電解液不能互通，使用 Arduino 連續測量方法如單槽，結果如表 6-1-2。
3. 觀察並分析兩者差異。



實驗結果:

1. 分槽優酪乳測得的電壓及電流之結果如表 6-1-1。

表 6-1-1 分槽優酪乳放電一小時測得電壓及電流之結果

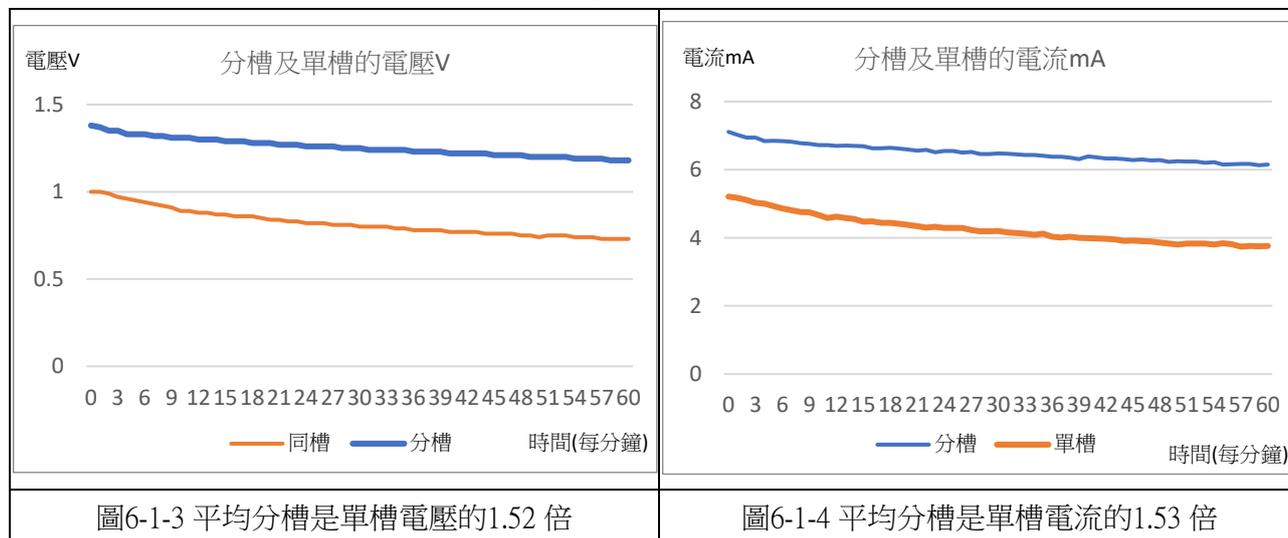
	電壓(V)	電流(mA)
分槽	1.18~1.38 V	6.15~7.11mA
平均	1.25V	6.49mA

2. 單槽優酪乳測得的電壓及電流之結果如表 6-1-2。

表 6-1-2 單槽優酪乳放電一小時測得電壓及電流之結果

	電壓(V)	電流(mA)
單槽	0.73~1.00 V	3.75~5.21mA
平均	0.82V	4.25mA

3. 由表 6-1-1 及表 6-1-2 分槽及單槽優酪乳測得電壓及電流整理出圖 6-1-3 及圖 6-1-4。



實驗討論:

1. 由表 6-1-1 及表 6-1-2 可知分槽的平均電壓及電流都比單槽高。
2. 由圖 6-1-3 及圖 6-1-4 可知在分槽的狀況下其電壓電流在 1 小時之內都比單槽的高 1.52 倍且下降幅度較小。

實驗結論:

1. 上述實驗可得知分槽的電壓及電流都比同槽的高且穩定，因此分槽的優酪乳電池較好的發電表現。

實驗 6-2:比較串聯不同杯數的優酪乳對於燈泡發光及風扇旋轉的影響

實驗目的:在實驗 6-1 中發現分槽較適合做為電池的裝置，因此在本實驗以分槽的方式，比較串聯不同杯數的優酪乳之發電情形，並外接 LED 燈、風扇及小手電筒，觀察其運作狀況。

實驗步驟:

1. 取 500ml 的優酪乳置入三個 500ml 的燒杯內(如圖 6-2-1)，分別標示 A、B、C。
2. 將三片一組的竹炭與鋅片固定於間隔 3cm 處(如圖 6-2-2 及圖 6-2-3)，放入裝有 500ml 優酪乳的燒杯中連接外接 200Ω 電阻使用 Arduino 模組連續測量。
3. 個別用 Arduino 測量，每秒測 1 次，連續一分鐘內電壓、電流變化及平均並紀錄後，分別串聯兩杯(A+B)、三杯(A+B+C)優酪乳重複步驟二並觀察與紀錄其電壓、電流。

4. 觀察串聯後是否可以使 LED 燈泡及風扇成功運轉。

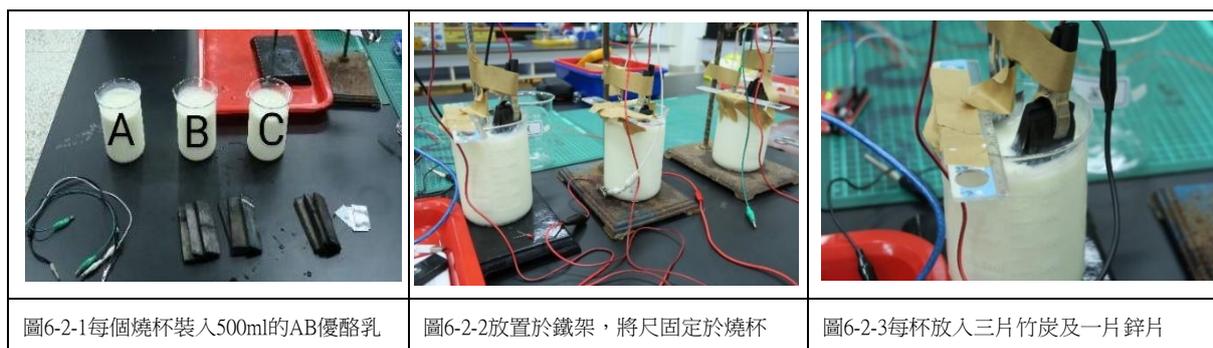


圖6-2-1每個燒杯裝入500ml的AB優酪乳

圖6-2-2放置於鐵架，將尺固定於燒杯

圖6-2-3每杯放入三片竹炭及一片鋅片

實驗結果:

1. 優酪乳 A、B、C 三杯各別測得電壓及電流之結果如表 6-2-1。

表 6-2-1 優酪乳 A、B、C 三杯各別測得電壓及電流之結果

編號	A杯	B杯	C杯
電壓(V)	0.84~0.87 V	0.68~0.7 V	0.83~0.84V
電壓平均值(V)	0.84V	0.69V	0.83V
電流(mA)	4.56~ 4.26mA	3.46~3.66 mA	4.36~ 4.56mA
電流平均值(mA)	4.41mA	3.58mA	4.37mA

2. 一杯 A、串聯 AB 兩杯、串聯 ABC 三杯之結果如表 6-2-2

表 6-2-2 一杯 A、串聯兩杯 AB、串聯三杯 ABC 之結果

串聯杯數	1杯(A杯)	2杯(A+B杯)	3杯(A+B+C杯)
電壓(V)	0.84~0.87 V	1.26~1.34 V	1.58~ 1.62V
電壓平均值(V)	0.84V	1.29V	1.59V
電流(mA)	4.56~4.26 mA	6.66~6.86 mA	8.16~8.26 mA
電流平均值(mA)	4.41mA	6.68mA	8.15mA

3. 由表 6-2-2 不同杯數的優酪乳之發電情形檢測結果整理出圖 6-2-4 及圖 6-2-5

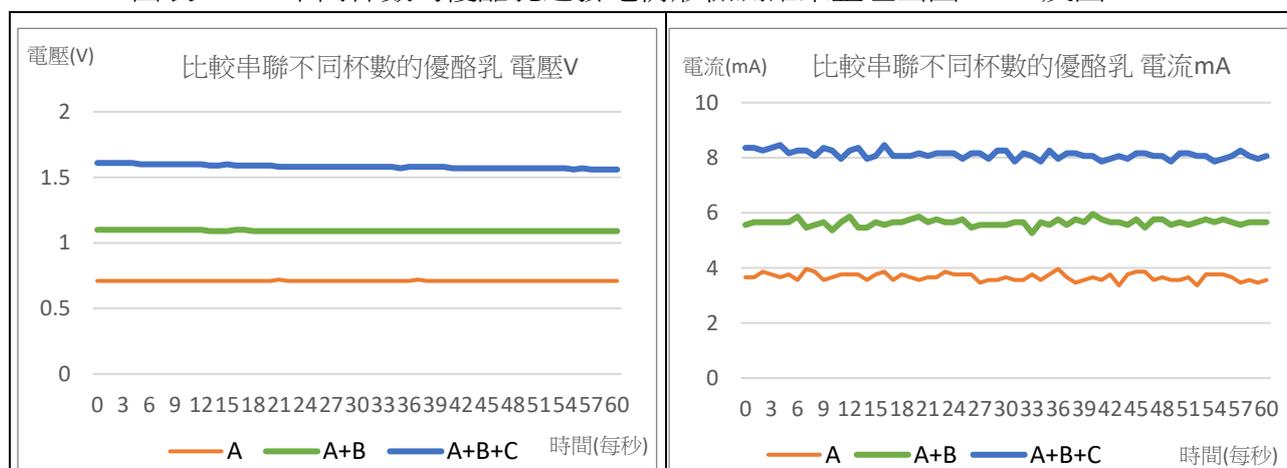
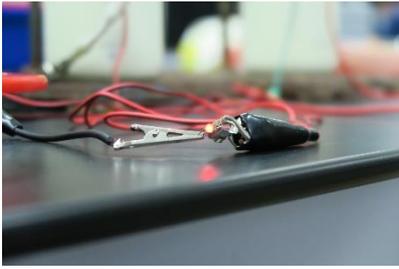
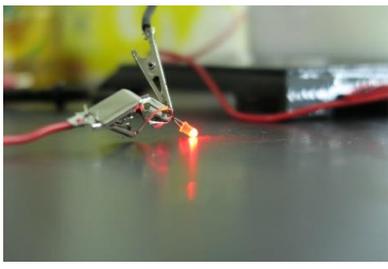
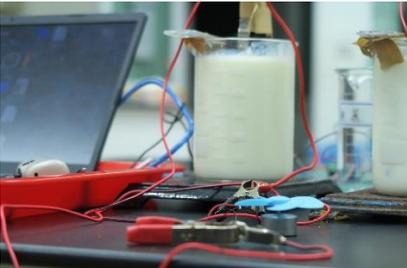
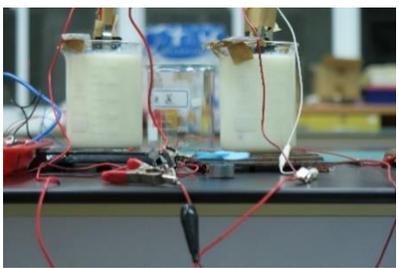


圖6-2-4比較串聯不同杯數優酪乳的電壓V

圖6-2-5比較串聯不同杯數優酪乳的電流mA

4. 圖 6-2-6 至圖 6-2-11 一杯、串聯兩杯、串聯三杯的風扇、LED 運作情形

		
圖6-2-6一杯(A)的不亮	圖6-2-7兩杯(AB)的會亮	圖6-2-8三杯(ABC)的更亮
		
圖6-2-9一杯(A)的風扇不轉	圖6-2-10兩杯(AB)風扇會轉	圖6-2-11三杯(ABC)風扇轉更快

實驗討論:

1. 從表 6-2-2 可知串連杯數越多電壓及電流平均越高，且在圖 6-2-4 及圖 6-2-5 可明顯看出三者差異，串連三杯最高電壓(1.59V)電流(8.15mA)。
2. 由圖 6-2-6 至圖 6-2-11 可知在串連到第二杯優酪乳時，風扇及 LED 燈就會開始運作，串聯到第三杯時發亮及旋轉的情形就會更明顯。

實驗結論:

1. 串聯越多杯數的優酪乳電壓電流會越高。
2. 串連兩杯就可以讓 LED、1.5V 手電筒及風扇運轉，證明優酪乳發電已可以成功應用在生活當中。

實驗 6-3:串聯 3 杯優酪乳放電 12 小時電壓電流的情形

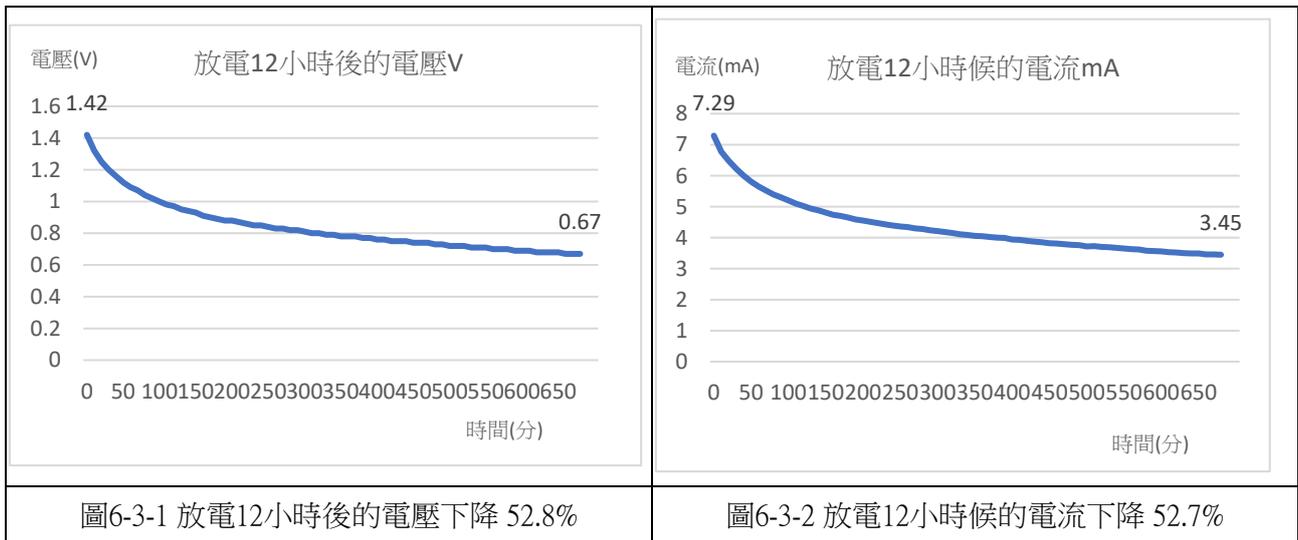
實驗目的:若是需要在日常生活中應用一定需要注重電池的續航能力，故在此實驗中觀察了優酪乳放電 12 小時的發電狀況。

實驗步驟:

1. 如圖 6-3-1 及圖 6-3-2，將測量完風扇及燈泡(發電期間未將優酪乳連接 Arduino 測量電壓電流)的優酪乳連接 Arduino，記錄並觀察連續放電 12 小時電壓電流的變化情形。

實驗結果:

1. 放電 12 小時後的情形如圖 6-3-1 至圖 6-3-2



實驗討論:

1. 由圖 6-3-1 及圖 6-3-2 放置 12 小時後的優酪乳電壓電流雖然有呈現下滑趨勢，但是電壓及電流仍然分別有 0.67 V 和 3.45 mA。

實驗結論:

1. 在外接 200Ω 電阻放電 12 小時後，電壓電流依舊有 0.67 V 及 3.45mA，整體來說續航力算很不錯。

實驗 6-4:在優酪乳中加入牛奶以提升續航力

實驗目的:我們在文獻探討中得知優酪乳中含有嗜乳菌能夠分解牛奶，幫助電壓及電流的提升，故我們在此實驗中，希望透過餵與乳酸菌適當的牛奶以提升其續航力。

實驗步驟：

1. 在燒杯中倒入 500ml 的優酪乳並以鋅和單片竹炭當作電極，使優酪乳外接 200Ω 電阻持續放電 12 小時以 Arduino 測量其電壓電流，記錄放電後的最小電壓與電流當作未加奶的初始情形。
2. 測完後加入 50ml 牛乳。將優酪乳放置於冰箱中，4 小時後拿出並測量其電壓電流，實驗時間 1 分鐘，測完後吸出 50ml 的優酪乳，在剩餘的優酪乳當中加入 50ml 的牛奶，再次放入冰箱 4 小時後拿出並重複此步驟共 15 次。
3. 若電壓電流下降，則於第 16 次更換竹炭，再測量比較有何差異並分析結果。

實驗結果:

1. 鋅和竹炭當作電極使優酪乳持續放電 12 小時其電壓電流記錄於圖 6-4-1 及圖 6-4-2。
2. 將加入牛奶後的電壓電流記錄於圖 6-4-3 及圖 6-4-4。

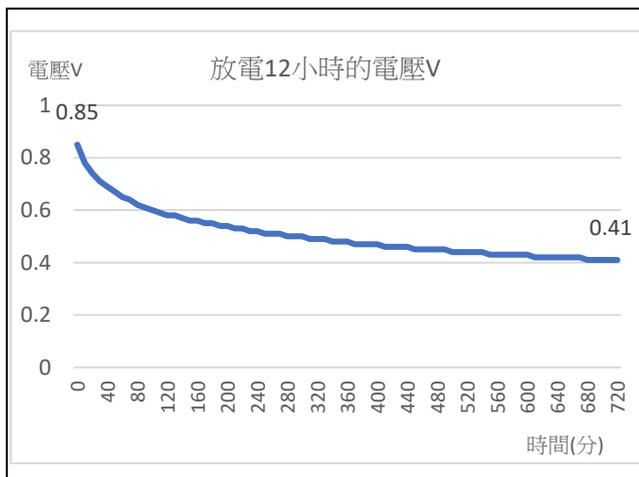


圖6-4-1優酪乳持續放電12小時電壓V

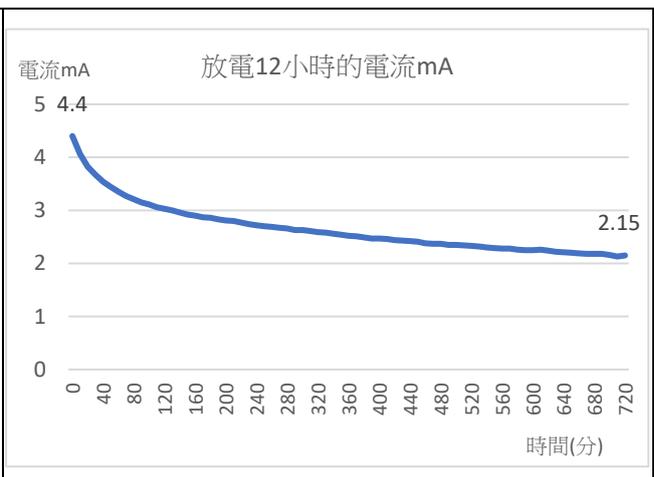


圖6-4-2優酪乳持續放電12小時電流mA

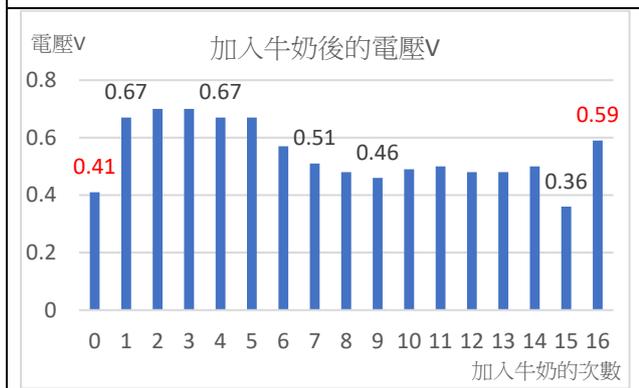


圖6-4-3加入牛奶後的電壓V

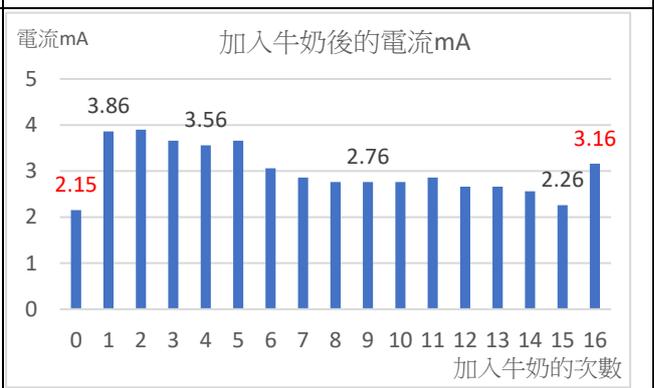


圖6-4-4加入牛奶後的電流mA

實驗討論:

1. 由圖 6-4-1 及圖 6-4-2 可知，優酪乳在 12 小時放電期間電壓電流皆呈現下滑趨勢，電壓從原本的 0.85V 降至 0.41mA，電流從原本的 4.4 mA 降至 2.15 mA。
2. 由圖 6-4-3 及圖 6-4-4 可知優酪乳在加入牛奶後 4 小時電壓從 0.41V 提升至 0.67V，電流從原本的 2.15mA 提升至 3.86 mA，且在加入第 4 次牛奶後達到最高值後開始下降，在第 15 次時電壓電流已降至 0.36V 和 3.16 mA。
3. 在第 16 次時我們將竹炭更新後優酪乳的電壓再次回到 0.59V，雖然沒有回到最一開始的數值，但是仍然有明顯提升，由實驗可知餵加牛奶的確可以提升優酪乳電池的續航力，但竹炭的使用次數會影響發電。
4. 我們認為優酪乳的續航力也會受到竹炭多次使用而影響，可能是竹炭表面有生物膜產生。

實驗結論:

1. 由實驗可知加牛奶的確可以提升優酪乳電池的電壓電流以及續航力。
2. 竹炭在長時間使用後可能會有生物膜產生，這也會導致電壓電流下降。

實驗 6-5:壞掉的優酪乳是否可以發電

實驗目的:若是要放在日常生活中應用，我們考量到優酪乳有可能會壞掉的可能性，所以在此實驗中我們想要探討優酪乳是否可以在壞掉的狀況下成功產出電壓及電流。

實驗步驟：

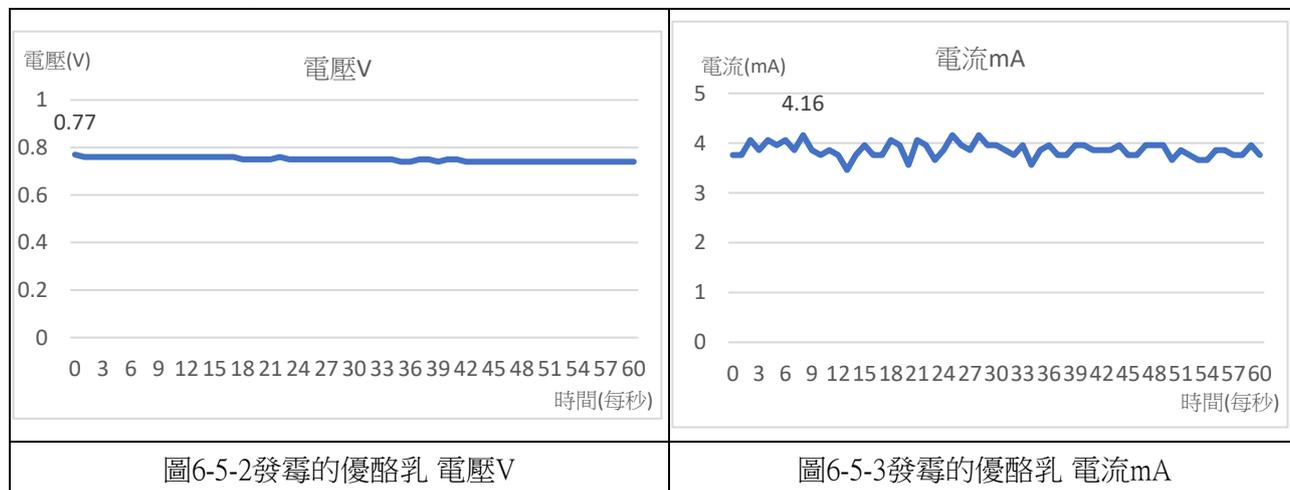


圖 6-5-1 發霉的優酪乳

1. 在燒杯中倒入 500ml 的優酪乳並放置於室溫中多天，等待直到優酪乳外觀明顯有壞掉的狀況例如發霉(如圖 6-5-1)。
2. 以鋅和單片竹炭當作電極，外接 200Ω 電阻用 Arduino 連續測量其電壓電流一分鐘記錄並分析結果。

實驗結果:

1. 將發霉的優酪乳之電壓電流記錄於圖 6-5-2 及圖 6-5-3 如下



實驗討論:

1. 由圖 6-5-2 及圖 6-5-3 可知優酪乳在發霉的狀況下仍可產出相當高的電壓(0.77V)及電流(4.16mA)。

實驗結論:

1. 由實驗可知優酪乳在壞掉的狀況下也可以發電，在災難時若無冰箱，優酪乳依然有一定量的發電能力。

伍、結論:

一、研究一可知：微生物電池與空氣電池的原理。

二、研究二可知：

(一) 以鋅銅當電極時優酪乳的電壓及電流竟是高於食鹽水，雖然鋅銅電池的電解液多為電解質，但優酪乳當電解液時卻比飽和食鹽水發電情形更適合，真的很有趣。

(二) 以優酪乳作為電解液時在各種不同電極中鋁片和備長炭作為電極組合時的數據最高。

三、研究三可知：

(一) 稀釋優酪乳對發電的影響：原本沒加水的優酪乳發電效果最佳。我們認為就算在災難發生時優酪乳不足的狀況下稀釋依然可以發電。

(二) 優酪乳溫度對發電的影響：可知電壓及電流為 30°C 時最大，在台灣夏季室溫也可以發電。

(三) 優酪乳不同的發酵程度對發電的影響：發酵時間不同，優酪乳發電情形不受 pH 值影響，主要受優酪乳內微生物的族群生長情形影響。

四、研究四可知：

(一) 改變正極竹炭的表面積會有影響：正極竹炭的總表面積越多電壓電流隨之越大。

(二) 加入氧氣的電壓及電流較穩定且下降趨勢較緩。

五、研究五可知：

- (一) 將優酪乳蒸死後可以產生電壓及電流：活菌的電壓及電流都比死菌高。活菌真的可以影響發電的效果。
- (二) 酸對發電的影響：單純用酸所產生電壓及電流比使用相同 pH 值的優酪乳的電壓電流數值相較小了許多。
- (三) 鋅片電極附近優酪乳中有檢測出 Zn^{+2} ，由此可知電池負極鋅片有參與放電反應。
- (四) 使用活性較小的金作為電極發現有電電流，得知嗜乳菌會丟出電子，所以優酪乳內有放電菌為微生物電池。

六、研究六可知：

- (一) 可得知電池串聯時，使用分槽的電壓及電流都比同槽的高且穩定。
- (二) 發現串聯兩杯就可以讓 LED 燈泡發亮，讓風扇運轉；串連三杯所產生的電壓及電流就會越高，LED 燈泡也會越亮，風扇會轉更快。
- (三) 放置 12 小時後，依舊有 0.67 V 電壓只下降 52.8%，3.45 mA 電流只下降 52.7%。續航力佳。
- (四) 由實驗可知餵與牛奶的確可以提升優酪乳電池內的電壓電流以及續航力。而竹炭在長時間使用後，可能會有生物膜產生導致電壓電流下降。
- (五) 由實驗可知優酪乳在壞掉的狀況下也可以發電。

陸、建議

- 一、優酪乳裡有哪些有機物質會影響電壓電流，值得更進一步探討。
- 二、本次實驗沒有探討鋅片片數對優酪乳發電的影響，也值得探討。
- 三、未來希望可以探討不同品牌的優酪乳是否會影響電壓電流。
- 四、探討優酪乳是憑藉哪種菌種在發電。
- 五、提升電壓及電流以搭配更多生活中的裝置。

柒、參考文獻

- 一、邱偉誠、翁瑋辰、柯驊原(2013)。微生物燃料電池的研究。中華民國第五十三屆科展優秀作品集。
- 二、康軒(2023)。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。
- 三、劉哲安、王冰、張維軒、黃亭諭(2010)。嗜甜發電廠。中華民國第五十屆科展優秀作品。
- 四、黃昱傑 Yu-Chieh-Chern(2018, July)。生物燃料電池石墨氈陽極材料改質與特性分析。國立台灣大學化學工程學研究所碩士論文。
- 五、Ho,Nana. (2018年9月18日)。不用去礦坑湖底尋找，科學家發現腸道細菌就能有效產電。經濟部能源署再生能源資訊網

【評語】 030211

本研究以鋅和備長炭當電極並以優酪乳當電解液，探討其發電原理。

證明優酪乳發電同時保有空氣電池及微生物電池的特性。實驗在日常

生活中尋找題材，頗具創意，條列研究架構，初具探究之準備，值得

鼓勵。可進一步探究說明以下數點：

1. 該實驗證明優酪乳裡的微生物會放出電子，而活與死微生物間差異不明顯，且似乎鋅的金屬活性(氧化成 Zn^{+2})釋放電子能力要明顯大於微生物，可思考優酪乳裡是否可能含有會影響電壓電流的有機物質？
2. P13. “電壓電流並不會因為 pH 值的改變而受到太大的影響。然而放置的 2 天時 pH = 8, 9，電流卻明顯增加，並非沒有明顯改變，應敘述為雖出現明顯改變，但與 pH 值趨勢並無相關性。可說明一般化學反應與 pH 值及電解質的關係，以此區別化學電解質與優酪乳的可能差別。

作品簡報

「優」然而「生」

探討隨手可得的優酪乳與碳的發電情形

摘要

本研究以鋅和備長炭當電極並以優酪乳當電解液作為研究對象，探討其發電原理。從發酵實驗中得知優酪乳的發電情形與pH值無關而是受到微生物的生長量影響，在破壞微生物的電子傳遞鏈後電壓電流下降，且能透過餵與乳酸菌牛奶後能提升其電壓電流，由簡易方式能證明優酪乳內有放電菌參與發電反應，且其產生的電流是柏克萊團隊研究的兩倍。在增加氧氣的實驗中得知氧氣能緩和電壓電流的下降趨勢，且我們證明優酪乳在放電16小時後含有0.5mg/l(ppm)鋅離子，代表鋅會放出電子。本研究成功證明優酪乳發電同時保有空氣電池及微生物電池的特性。

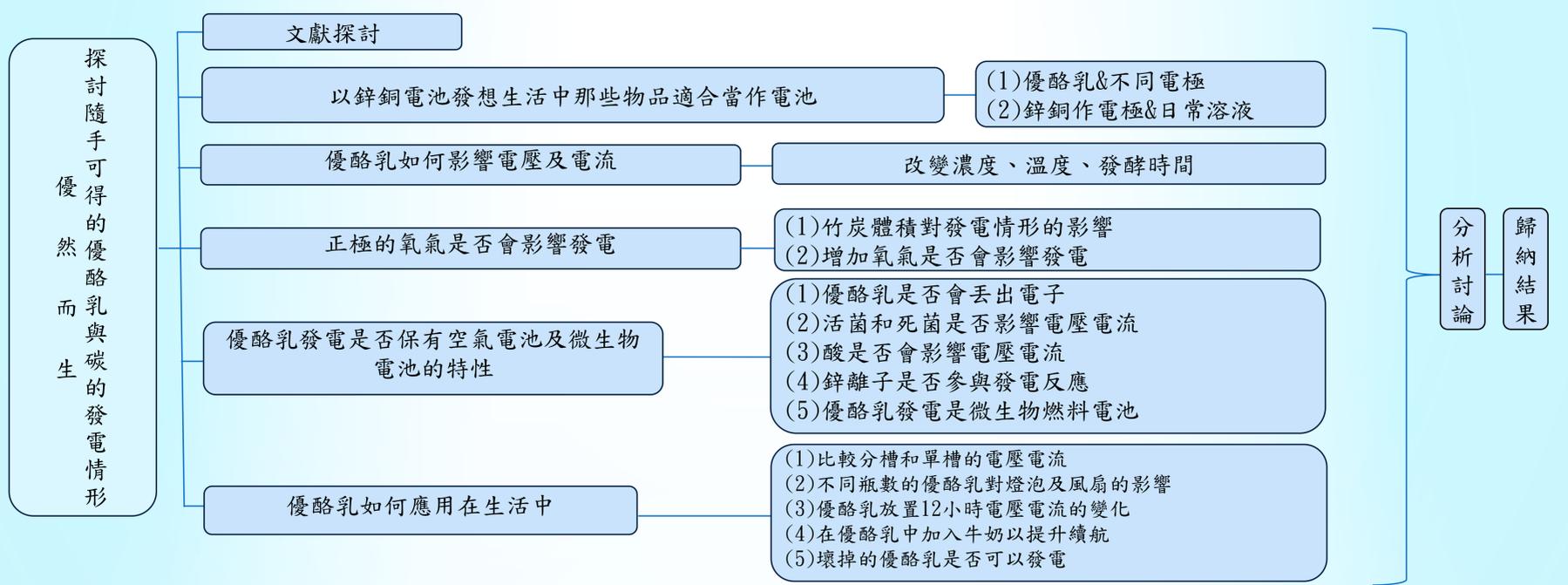
壹、研究動機

我們在科探社團中接觸九年級的鋅銅電池實驗，從而知道電池對生活的重要性。目前有些地區經常發生天災導致停電，若是可以利用日常的物質當作電池的材料，那希望能在緊要關頭時啟動電子產品。

貳、研究目的

- 一、了解微生物電池、空氣電池與優酪乳的相關定義及原理。
- 二、以鋅銅電池發想，探討生活中哪些物品適合當作電池材料。
- 三、探討優酪乳的條件如何影響電壓及電流。
- 四、探討正極炭表面積是否影響優酪乳發電。
- 五、探討優酪乳內的菌死亡是否會影響電壓電流。
- 六、探討優酪乳發電如何應用在生活中。

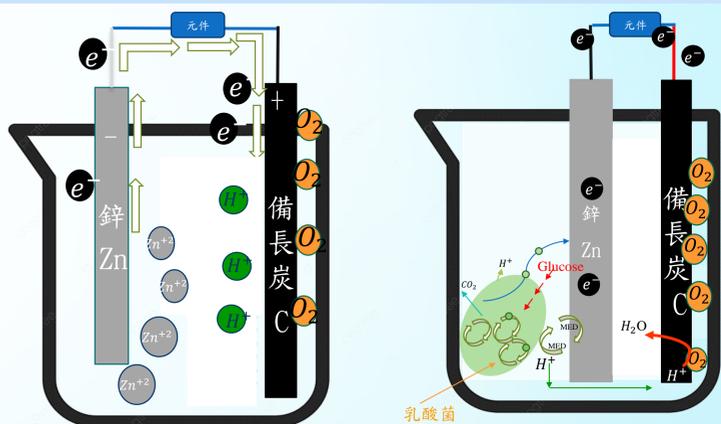
參、研究方法與設備器材



肆、研究過程

研究一、文獻探討

- 空氣電池：**
反應式：
1. 鋅在負極反應： $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^{-}$
2. 氧氣在正極還原： $O_2 + 4H^{+} + 4e^{-} \rightarrow 2H_2O$
- 微生物電池：**
反應式：
1. 有機物質(如葡萄糖)的氧化反應： $C_6H_{12}O_6 + 6H_2O \rightarrow 6CO_2 + 24H^{+} + 24e^{-}$
2. 有機物質的還原反應： $NAD^{+} + H^{+} + 2e^{-} \xrightarrow{microbial} NADH$
3. 負極的氧化反應： $NADH \xrightarrow{microbial} NAD^{+} + H^{+} + 2e^{-}$
4. 正極的還原反應： $O_2 + 4H^{+} + 4e^{-} \rightarrow 2H_2O$



研究二、以鋅銅電池發想，生活中哪些物品適合當作電池材料

實驗2-1：比較不同電解液進行發電
目的：生活中哪些溶液最適合進行發電

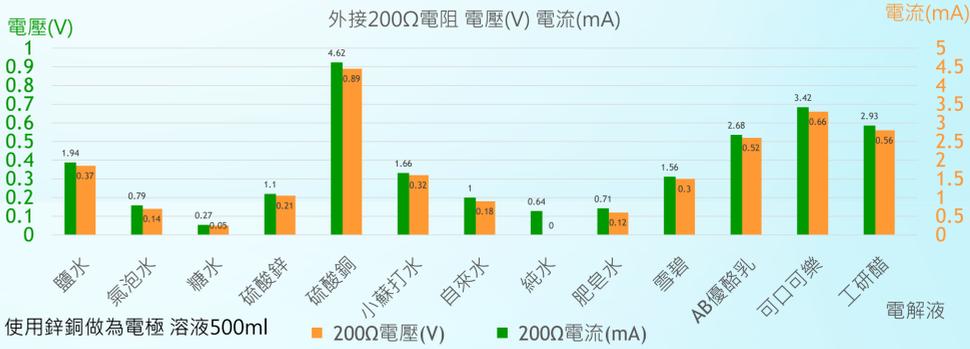
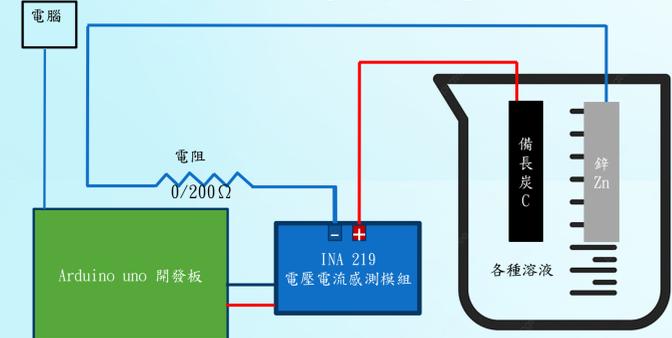


圖2-1-1 連接Arduino連續測量外接200Ω電阻的電壓電流的示意圖

圖1-1-1 空氣電池的示意圖

圖1-1-2 微生物電池的示意圖

圖2-1-2 各種溶液搭配鋅銅的電壓及電流

- 研究討論：**
1. 由如圖2-1-4可知電極為鋅和銅，有外接200電阻的電壓及電流：硫酸銅>可樂>工研醋>優酪乳(0.52V, 2.68mA)>鹽水(0.37V, 1.94mA)。優酪乳的電壓及電流高於100%解離食鹽水。
 2. 由於起初測量時，數據有連續下降導致資料不夠精準，經克服設計Arduino程式再做此實驗，可以進行長時間測量並平均電壓電流的測量，數據結果較客觀。經克服設計Arduino程式再做此實驗，可以進行長時間測量並平均電壓電流的測量，數據結果較客觀。

實驗結論：
以鋅銅當電極時，有機物的優酪乳的電壓及電流竟高於食鹽水，以優酪乳當電解液比飽和食鹽水發電情形更適合，真的很有趣。

實驗2-2：優酪乳使用不同電極
目的：優酪乳當電解液以生活中的物質當電極找出最適合的發電電極

實驗討論：
由圖2-2-2可知外接200Ω電阻的電壓：鋁備長炭(0.94V)>鋅備長炭(0.69V)>鋅竹炭(0.38V)>鋅銅(0.25V)>鋁銅>鋁竹炭，電流也是呈現相同的趨勢。
實驗結論：由此實驗發現雖然鋁和備長炭的電壓及電流最高，但競賽時我們是用鋅和備長炭，因為當時使用三用電表時測量的不夠準確，導致我們以為鋅和備長炭是最佳的電極組合，所以往後的實驗依然是用鋅和備長炭當作電極。



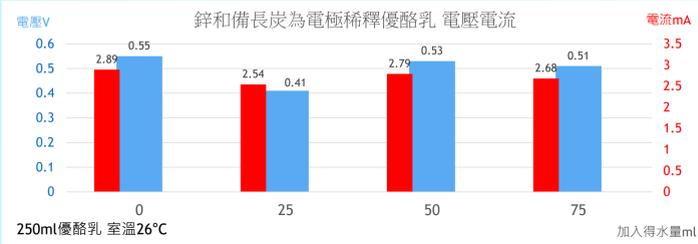
圖2-2-1 優酪乳使用不同電極的電壓

研究三、優酪乳如何影響電壓及電流

實驗3-1:稀釋優酪乳

實驗目的:為了能在優酪乳不夠的狀況下仍舊持續發電,本實驗希望探討優酪乳在加水稀釋後,是否能夠有效發電。

實驗結果:



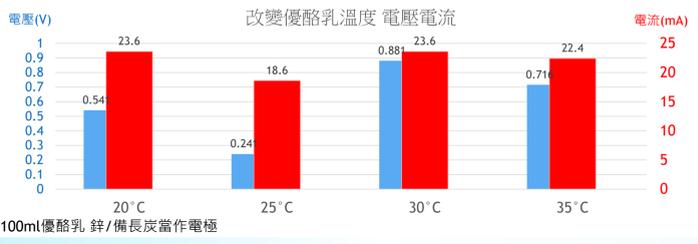
實驗結論:

- 在250ml優酪乳加入75ml的水稀釋後,仍與未加水的電壓電流相差不大;所以我們認為就算在優酪乳不足的狀況下,加水稀釋至76.93%對發電影響不大。

實驗3-2:改變優酪乳的溫度

實驗目的:因應本研究的研究動機.在災難中可能沒有冰箱可以使用,所以想要知道優酪乳在室溫存放的狀況下是否可以發電。

實驗結果:



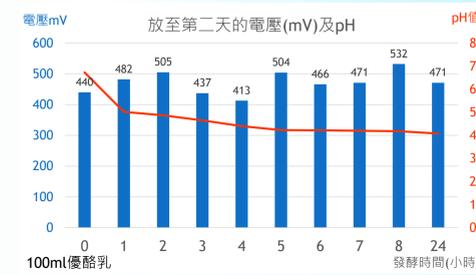
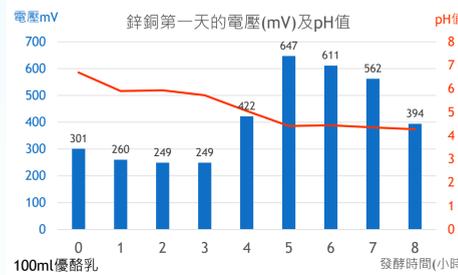
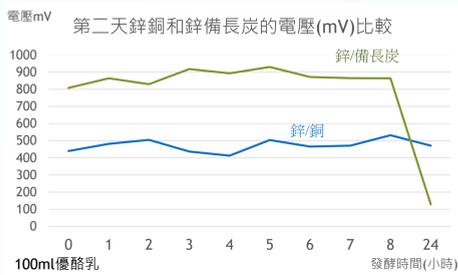
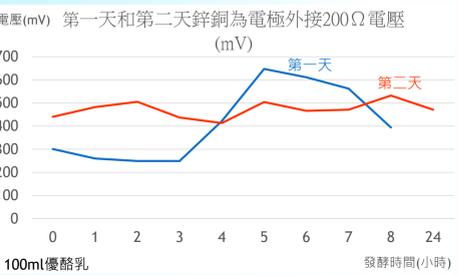
實驗結論:

- 電壓及電流為30°C時最大0.881V及23.6mA,到35°C雖下降,依然有0.716V和22.4mA。沒有電冰箱時,優酪乳可以在臺灣一般室溫也能有好的發電能力。

實驗3-3:發酵程度不同的優酪乳對於不同電極的影響

實驗目的:在實驗2-1中我們發現酸會影響電壓及電流,因此我們想利用改變優酪乳的發酵時間,以降低其pH值,探討是否可以增加電壓及電流

實驗結果:



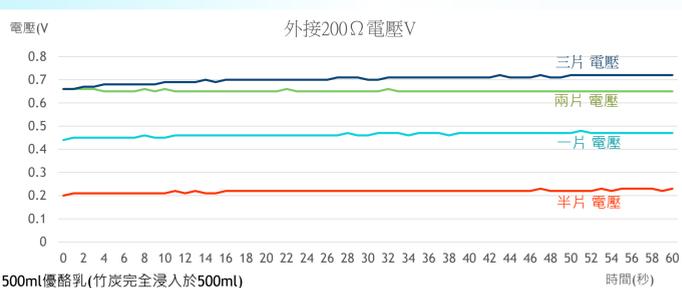
實驗結論:

- 發酵程度不同的優酪乳會影響發電情形:發酵時間不同優酪乳pH4~5時發電情形不受pH值影響,主要與優酪乳內微生物的族群生長情形影響發電。

研究四、改變正極的變因

實驗4-1:竹炭的表面積如何影響電壓及電流

目的:藉由改變竹炭的表面積觀察是否會影響電壓及電流



實驗討論:

- 由圖中發現電壓電流皆是半片 < 一片 < 二片 < 三片。三片竹炭的電壓(0.72V)及電流最高值為(3.96mA)。

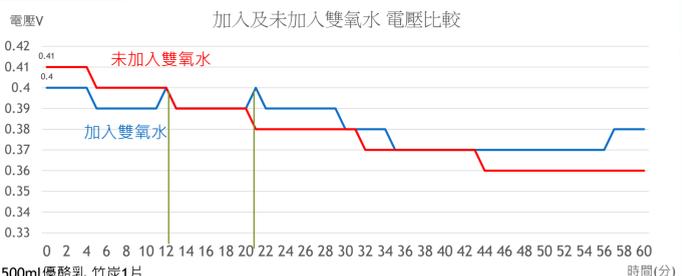
實驗結論:

- 因為竹炭有多孔隙較容易儲存氧氣,我們認為正極三片竹炭可以穩定供應較多的氧氣,會影響電壓電流。故正極竹炭的總表面積越多電壓電流隨之越大。因為要證明氧氣的量會影響發電,所以我們進行實驗4-2。



實驗4-2:不改變表面積,增加氧氣是否會影響電壓及電流

實驗目的:了解利用雙氧水增加竹炭的氧氣是否會影響電壓與電流。



實驗討論:

- 由圖中可知加入雙氧水後,電壓及電流皆在一段時間後下降,接著回升,在測60分鐘後都只下降5%。

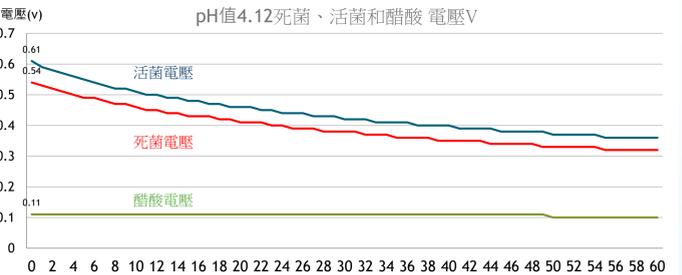
實驗結論:

- 我們的預想是加入氧氣後的優酪乳應該要持續上升,但依照實驗結果卻是先下降,接著恢復初始的電壓及電流,我們認為是雙氧水殺死優酪乳裡的菌種,導致電壓及電流下降。我們便想微生物被殺死後真的會影響電壓及電流的表現嗎?所以我們設計實驗5-1進一步探究。

研究五、改變負極的變因

實驗5-1:活菌和死菌是否會影響電壓及電流

目的:了解優酪乳蒸餾後乳酸菌的死亡是否會影響電壓與電流



實驗5-2:優酪乳裡的酸是否影響電壓電流

目的:釐清優酪乳中的酸是否對電壓電流有所貢獻

實驗討論:

- 由圖中可知活菌的電壓及電流都比死菌的電壓及電流高。
- 由圖中發現以相同pH值的醋酸水溶液當電解液時的電壓及電流比優酪乳當電解液時小。

實驗結論:

- 活菌的電壓及電流都比死菌高但相差不大。
- 優酪乳中的酸對電壓幫助不大。

實驗5-3:錳離子跟優酪乳發電的關係

目的:探討優酪乳中除了酸之外,還有什麼會影響發電

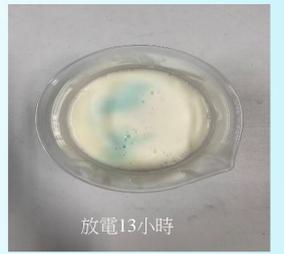


實驗討論:

錳片為電極時有產生 Zn²⁺, 其 Zn²⁺濃度 > 優酪乳乳清的 Zn²⁺濃度, 由此可知電池負極錳有參與放電反應。

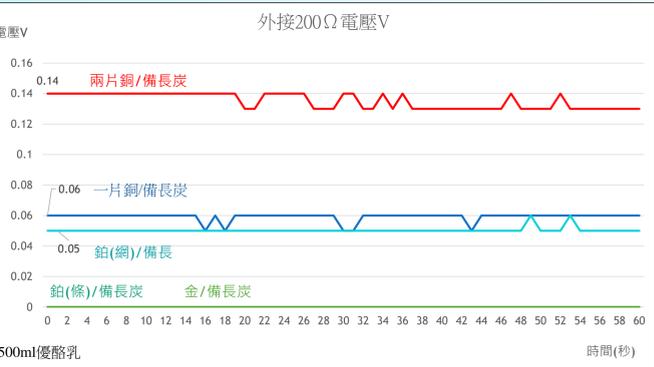
實驗結論:

以錳片為電極,通電後檢驗出優酪乳中有產生 Zn²⁺, 故錳有參與反應,因此我們認定以錳作電極以優酪乳做電解液,此發電方式是空氣電池的一種。但是優酪乳中的菌是否也會參與發電,所以我們想知道以活性極小的金屬當負極時,會不會放出電子。



實驗5-4:優酪乳是否會丟出電子

目的:以活性小的金屬當負極觀察優酪乳是否還有電流產生

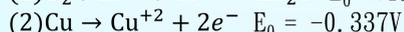
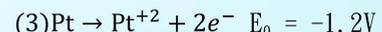


實驗討論:

以銅為負極時發現有電壓,且銅會放出電子變成銅離子(藍色)。銅是活性小的金屬,從下式(1)、(2)得知反應總電壓大於0,所以這個反應會發生。同理,從下式(1)、(3)推論鉑仍然有可能放出電子。(1)、(4)兩式總電壓小於0,所以金當負極沒有電壓產生。

實驗結論:

- 銅與鉑接觸面積確實會影響發電。
- 所以還是無法確定優酪乳的菌是否會丟出電子,且電極為金時連續測1分鐘沒有電壓。



實驗5-4-1:探討微生物附著在電極所需的時間

目的:以金片作為負極時，增加反應時間，了解乳酸菌是否有放出電子



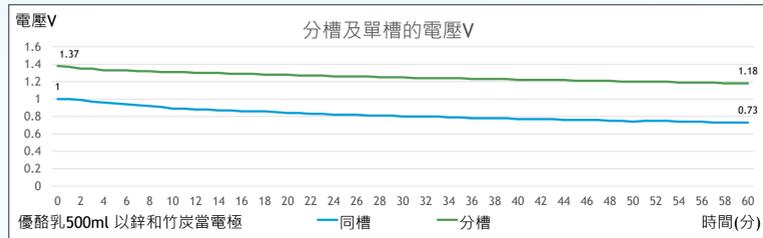
實驗結論:

- 優酪乳裡的微生物會放出電子，電壓為0.19V，且其放出的電流(1.02mA)是柏克萊團隊研究值(0.5mA)的兩倍之多，所以優酪乳電池也有微生物電池的特性。在冰箱內就可容易取得的放電菌。
- 由於黃金的面積光滑，故微生物附著於其表面需要大約2小時的時間。

研究六、優酪乳發電如何應用在生活中

實驗6-1:以串聯的方式比較分槽及單槽的優酪乳所產生的電壓及電流

實驗目的:我們先以串聯的方式，比較單槽及分槽的優酪乳何者較適合作為發電的裝置。

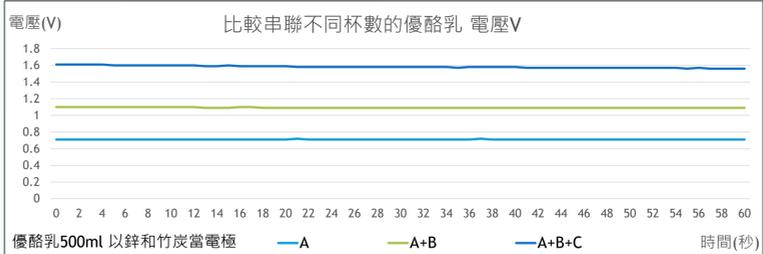
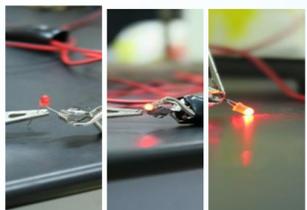
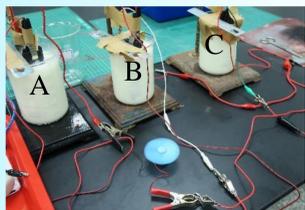


實驗結論:

上述實驗可得知分槽的電壓及電流都比同槽的高且穩定，因此分槽的優酪乳電池較好的發電表現。

實驗6-2:比較串聯不同杯數的優酪乳對於燈泡發光及風扇旋轉的影響

實驗目的:在實驗6-1中發現分槽較適合做為電池的裝置，因此在本實驗以分槽的方式，比較串聯不同杯數的優酪乳之發電情形，並外接LED燈、風扇及小手電筒，觀察其運作狀況。

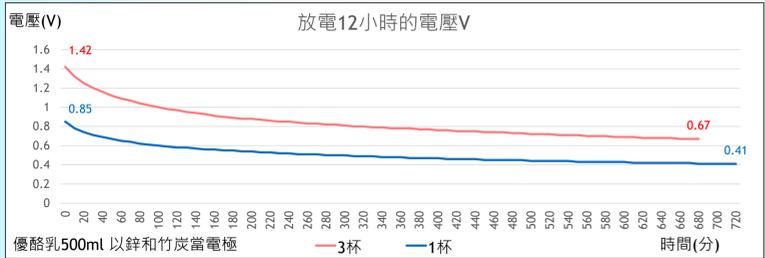


實驗結論:

串連兩杯就可以讓LED、1.5V手電筒及風扇運轉，證明優酪乳發電已可以成功應用在生活中。

實驗6-3:放電12小時電壓電流的情形

實驗目的:若是需要在日常生活中應用一定需要注重電池的續航能力，故在此實驗中觀察了優酪乳放電12小時的發電狀況。

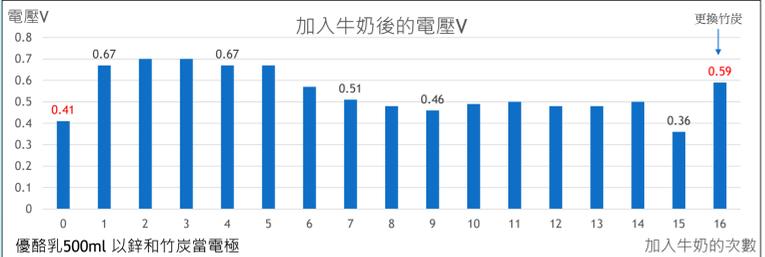


實驗結論:

在外接200Ω電阻放電12小時後，電壓電流依舊有0.67V及3.45mA，整體來說續航力算很不錯。

實驗6-4:在優酪乳中加入牛奶以提升續航力

實驗目的:我們在文獻探討中得知優酪乳中含有嗜乳菌能夠分解牛奶，幫助電壓及電流的提升，故我們在此實驗中，希望透過餵與乳酸菌適當的牛奶以提升其續航力。

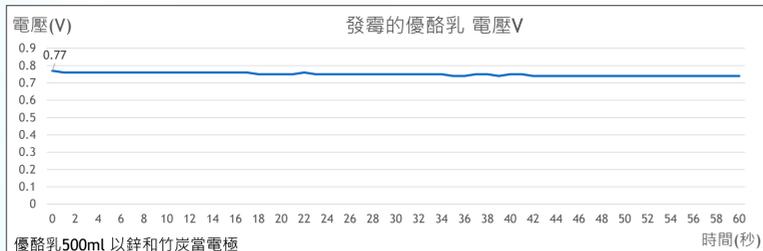


實驗結論:

- 由實驗可知加牛奶的確可以提升優酪乳電池的電壓電流以及續航力。
- 竹炭在長時間使用後可能會有生物膜產生，導致電壓電流下降。

實驗6-5:壞掉的優酪乳是否可以發電

實驗目的:若是要放在日常生活中應用，我們考量到優酪乳有可能會壞掉的可能性，所以在此實驗中我們想要探討優酪乳是否可以在壞掉的狀況下成功產出電壓及電流。



實驗結論:

由實驗可知優酪乳在壞掉的狀況下也可以發電，若無冰箱，優酪乳依然有一定量的發電能力。

伍、結 論

一、研究二可知:

- (一)以鋅銅當電極時，優酪乳的電壓及電流高於飽和食鹽水，優酪乳當電解液時比飽和食鹽水更適合。
- (二)以優酪乳作為電解液時在各種不同電極中，以鋅或鋁搭配備長炭作為電極組合時的數據最高。

二、研究三可知:

- (一)稀釋優酪乳對發電的影響:當優酪乳的濃度稀釋至76.93%時，電壓仍有100%優酪乳的93%。
- (二)優酪乳溫度對發電的影響:可知電壓及電流為30°C時最大，在台灣夏季室溫也可以存放優酪乳使其發電。
- (三)優酪乳不同的發酵程度對發電的影響:優酪乳的發電情形主要受優酪乳內微生物的族群生長量影響，此發電方式是微生物燃料電池。

三、研究四可知:

- (一)改變正極竹炭的表面積會有影響:正極竹炭的總表面積越多電壓電流隨之越大。
- (二)加入氧氣的電壓及電流較穩定且下降趨勢較緩。

四、研究五可知:

- (一)將優酪乳蒸死後可以產生電壓及電流:活菌的電壓及電流都比死菌高。活菌真的可以影響發電的效果。
- (二)酸對發電的影響:死菌所產生電壓及電流都比相同pH值的醋酸高，可見酸不是影響電壓電流的主要因素。
- (三)鋅片電極附近優酪乳中有檢測出 Zn^{+2} ，由此可知電池負極鋅片有參與放電反應，此發電方式是空氣電池。
- (四)使用活性較小的金作為電極發現有電壓電流，所以優酪乳內有放電菌會丟出電子，此為微生物電池。

五、研究六可知:

- (一)電池串聯時，使用分槽的電壓及電流都比同槽的高。
- (二)串聯越多杯優酪乳發電效果越好，且可以使LED燈泡、風扇及手電筒成功運作。
- (三)放置12小時後，都還有初始電壓的50%，續航力佳。
- (四)由實驗可知餵與牛奶的確可以提升優酪乳電池內的電壓電流以及續航力。而竹炭在長時間使用後，可能會有生物膜產生導致電壓電流下降。
- (五)由實驗可知優酪乳在壞掉的狀況下也可以發電。
- (六)若要製作出發電效果最好的電池條件以存放在室溫，使用活性大的金屬(例:鋁或鋅)作負極，以備長炭作正極，增加電極的接觸面積，且以

陸、建 議

- 一、優酪乳裡有哪些有機物質會影響電壓電流，值得更進一步探討。
- 二、本次實驗沒有探討鋅片數對優酪乳發電的影響，也值得探討。
- 三、未來希望可以探討不同品牌的優酪乳是否會影響電壓電流。
- 四、探討優酪乳是憑藉哪種菌種在發電。
- 五、提升電壓及電流以搭配更多生活中的裝置。

柒、參考文獻

- 一. 邱偉誠、翁瑋辰、柯驊原(2013)。微生物燃料電池的研究。中華民國第五十三屆科展優秀作品集。
- 二. 康軒(2023)。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。
- 三. 劉哲安、王冰、張維軒、黃亭諭(2010)。嗜甜發電廠。中華民國第五十屆科展優秀作品。
- 四. 黃昱傑 Yu-Chieh-Chern(2018, July)。生物燃料電池石墨氫陽極材料改質與特性分析。[國立台灣大學院化工程學研究所碩士論文](#)。
- 五. Ho, Nana. (2018年9月18日)。不用去礦坑湖底尋找，科學家發現腸道細菌就能有效產電。經濟部能源署再生能源資訊網