

# 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高級中等學校組 環境學科

### 探究精神獎

052601

「氫」愛的，「ㄉㄨㄨ」把我電倒了一廚餘發電  
探究

學校名稱：六和學校財團法人桃園市六和高級中等學  
校

作者： 高二 卓家弘 高二 周園佑 高二 吳翊誠	指導老師： 陳蓓蓉 王薇琳
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：廚餘、發電、環保

## 摘要

現今環保意識逐漸高漲，全球各地皆不斷積極推動著生質能發電，將原本只能當作垃圾的廢棄食材變成有用的資源，既減少處理廢棄物的成本又提供新的綠色能源。而我國為達成 2025 年非核家園的目標，也以「再生能源發展條例」為推廣政策之法源，規劃 2025 年再生能源發電占比達 20%，因此我們以廚餘發電為研究主題，藉由廚餘種類、改變其菌量、電極表面、反應時間、發酵時間、陰極水溶液濃度，探討各式變因對發電的影響。由研究可發現反應時間對發電影響無顯著差異；水果類發酵天數較適合為 7 天，鳳梨須加菌，芭樂則否；青菜類發酵天數較適合為 14 天，大白菜須加菌，高麗菜則否；混合組，發酵天數較適合為 14 天無須加菌；而電極表面(粗糙面)可幫助降低電阻來提高電功率，陰極溶液濃度越高越能提高電壓、電流，可做為日後建構廚餘發電的實際操作條件參考。

## 壹、研究動機

在日常生活中，時常聽到關於能源危機與環境污染等議題，為解決此問題，具有環保特性的生質能發電所佔的比例也與日俱增。根據環保署估計，全台灣在 2018 年一共回收了 57 萬公噸的廚餘，每人平均每天製造快 1 公斤的廚餘，在臺灣會將廚餘分為兩類，生廚餘(即人類無法食用的的食材，例如：果皮葉菜類、骨頭硬殼類)會拿去作堆肥；熟廚餘(即人類可以食用的食材，例如：任何吃剩的熟食、罐頭、調味料)大多則是由養豬業者拿去餵豬。因此生廚餘除堆肥外，是否可以妥善有效的利用作為生質發電的來源，為臺灣帶來實踐循環經濟、環境永續的效益成為研究焦點。

臺灣生質能源起步較晚，包含已興建完成及完成 BOT 者共有三廠，其中台南於 2017 年規劃廚餘沼氣發電系統，但該系統僅能投入生廚餘。台中外埔於 2018 年蓋好國內首座生質能源廠，於 2019 年六月運轉，目前也以生廚餘為主，預計每七公升廚餘可發一度電。目前臺灣所使用的是乾廚餘的發電，因此我們好奇廚餘發酵時所產生的液體是否也能起到發電之效，而我們在化學課學到基礎化學— 4-2 電池的各種特性，讓我們想利用燃料電池的基本原理探討影響廚餘發電的各種因素。

## 貳、研究目的

一、探討各種因素對廚餘發電的影響

(一)菌量

(二)實驗裝置反應時間

(三)發酵時間

(四)電極作用表面積

(五)陰極水溶液濃度

二、探討各式廚餘種類中較適合發電種類

## 參、研究設備及器材

一、設備

磁石攪拌器	三用電表	電子秤
果汁機		

二、器材

燒杯(100/250ml)	玻棒	秤量紙
刮杓	磁石(30*8mm)	容量瓶(500/1000ml)
安全吸球	分度吸量管 (10ml)	鑷子
廣用試紙	紗布	寶特瓶(6000ml)
碳棒(15cm)	U型管	

三、藥品與菌種

H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (實驗級)	KNO <sub>3</sub> (實驗級)	酵母菌(市售)
--------------------------------------	------------------------	---------

四、各種廚餘

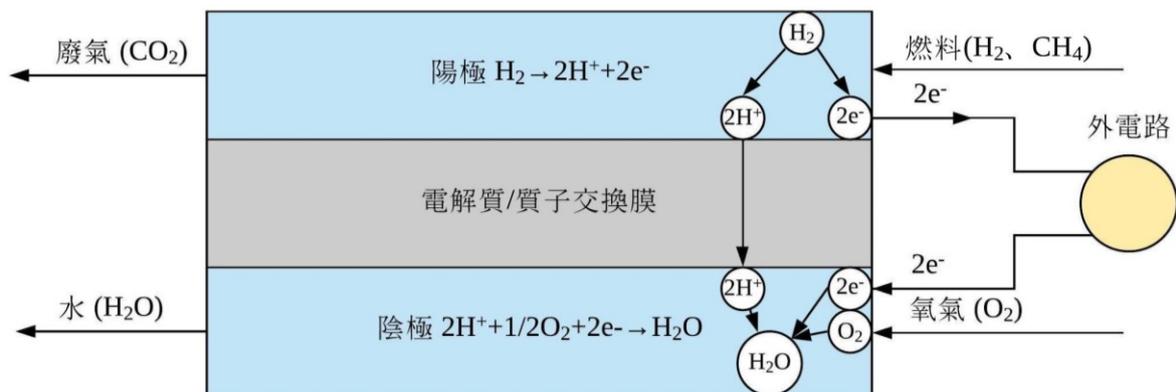
鳳梨皮	芭樂(去籽)	白米飯
大白菜	高麗菜	

## 肆、研究過程與方法

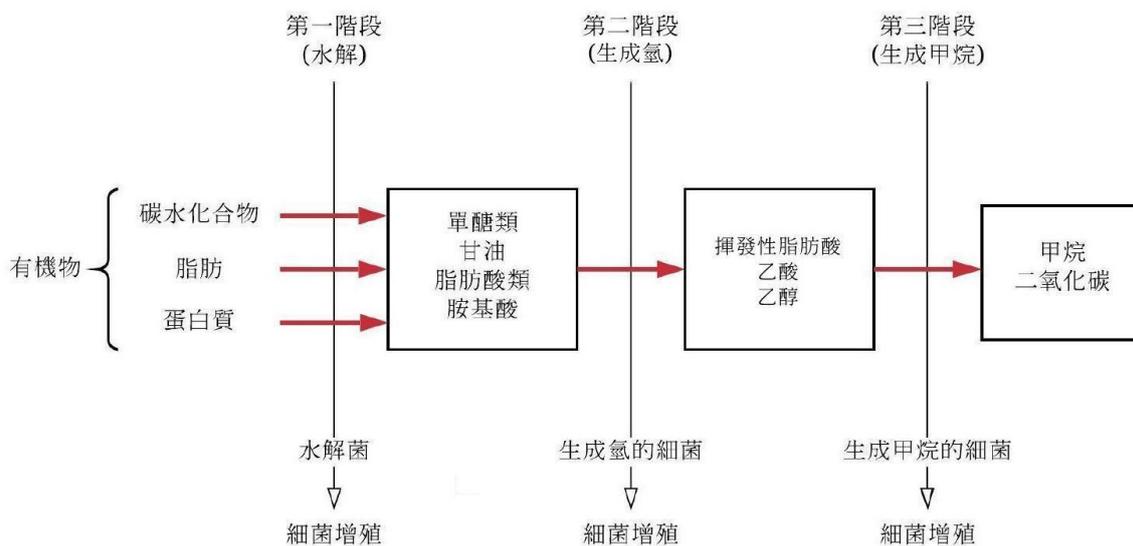
### 一、原理

#### (一)生質能和燃料電池的關係

一般燃料電池就是藉由氫與氧反應以產生電能，在自然界中僅有少量的氫，所以必須透過人工方式來製造，一般會利用天然氣、液化石油氣等化石燃料的重組反應製造氫，但同時也會釋出二氧化碳，所以僅會產生少許二氧化碳就能獲得大量氫氣的方式成為研究議題。而廚餘生質能發電通常是以提供甲烷來作轉化(如圖一所示)，在缺氧的環境下，厭氧微生物將複雜的高分子有機物經由代謝作用進行分解，並轉換為最終產物—沼氣的過程，可概分為水解、酸化(生成氫)及甲烷化三個階段(如下圖二)。



圖一 生質能和燃料電池之關係示意圖



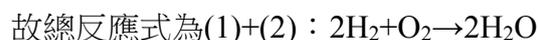
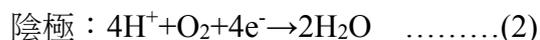
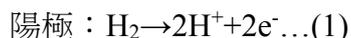
圖二 有機物發酵過程示意圖(本間、上松，2011)

## (二)微生物燃料電池

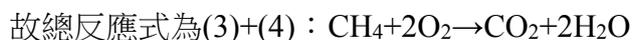
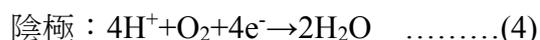
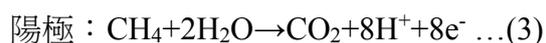
何謂微生物燃料電池，包含微生物、有機物、電極及導線，即可為一個簡單的微生物電池，利用微生物之催化功用，把有機物內含的化學能轉換成電能，就是微生物發電的原理。微生物發電原料可以是一般家庭產生的廚餘、河川底泥、廢水、畜牧廢棄物，甚至連尿液都可以。利用微生物行新陳代謝反應在陽極端把有機原料氧化，分解為生質燃料，產生電子及質子，電子經由外部迴路來到陰極，陽極傳遞過來的質子和電子在陰極表面與氧化劑結合發生還原反應，成為完整的電流通路。

本組嘗試利用廚餘在缺氧的環境下，加入容易取得的酵母菌，當作催化劑，厭氧發酵所產生溶於廚餘液肥中的  $H_2$  與少量的  $CH_4$  來進行發電的探討研究，是否可增加產電效率並減少發酵所需時間，而我們陰極電解質溶液使用  $H_2SO_4(aq)$ ，製作出簡易的電池組，其酸性介質下的燃料電池反應式如下：

主要： $H_2$  於電池中的反應式



少許：CH<sub>4</sub>於電池中的反應式



## 二、實驗方法

### (一)廚餘製備

根據第 49 屆中小學科學展覽會《一『碳』究竟-探討製備廚餘電池之條件》，可知果渣液肥可產生較高的電流與電壓，其次為青菜類組。因此本組選擇蔬果廚餘桶中常見的鳳梨皮、芭樂、大白菜、高麗菜，分別做為水果類和青菜類的廚餘代表。平常也常見學校餐廳廚餘桶中有許多的白飯，得知白飯易取得且數量多，因此本組欲測試其產電之能力。然而考慮到平常廚餘是在不被分類的情況下混在一起，本組設計混合組以此模擬平常未分類的環境。

步驟：

1. 收集鳳梨皮、芭樂、高麗菜、大白菜、白飯廚餘。
2. 將實驗分成 6 組，分別為鳳梨、芭樂、高麗菜、大白菜、白飯和混合組，每種廚餘各三瓶，共 18 瓶。
3. 將廚餘清洗乾淨，切碎後利用電子秤秤至 600g(混合組 1 瓶則為 5 種廚餘各 120g)。
4. 各組廚餘分別加入 0g、15g、30g 酵母菌，和 900g 蒸餾水混合後放置果汁機，打碎攪拌至均勻。
5. 裝入寶特瓶(6000ml)後瓶口捆上一層紗布，以防蚊蠅、異物進入，且瓶蓋無鎖上避免密閉容器被發酵所產氣體撐大、破壞，最後放置實驗室陰涼處，避免陽光照射，製造厭氧的環境。
6. 定期觀察紀錄廚餘各組的溫度、pH 值、電壓、電流。



圖三 以果汁機製備各類廚餘



圖四 各組廚餘發酵瓶

## (二)陰極溶液( $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ )製備

步驟：

1. 以 0.1M 為例，利用公式  $M_1V_1=M_2V_2$ ， $12 \cdot V_1=0.1 \cdot 500\text{ml}$ ，可知配置 0.1M 的硫酸水溶液需要 4.16ml 的  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ，因此先將 400ml 的水加入燒杯，後將 4.16ml 的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  沿玻棒緩慢加入水中，並做攪拌。
2. 將其加入 500ml 定量瓶中，將水加至標線處，再利用陶瓷檯面攪拌器，以轉速 300RPM，使其攪拌至均勻。



圖五 使用分度吸量管製備硫酸水溶液



圖六 使用陶瓷檯面攪拌器製備硫酸水溶液

## (三)鹽橋填充液( $\text{KNO}_3(\text{aq})$ )製備及鹽橋製作

步驟：

1.  $\text{KNO}_3$  分子量為 101.1032 g/mol，因此取  $\text{KNO}_3$  101.1g 加入 800ml 的水，製作出 1M 的  $\text{KNO}_3$  溶液，將其置於陶瓷檯面攪拌器上，以轉速 300RPM 加熱攪拌，以加快溶解速率。
2. 溶解後將其加入 1000ml 的定量瓶中，加水至標線處，再將其置於陶瓷檯面攪拌器上以轉速 300RPM 攪拌至均勻。

3. 將冷卻後的  $\text{KNO}_3(\text{aq})$  加入 U 型管中，兩端用紗布塞住，製作時須注意管中有無氣泡產生，如有即須重做，以避免增加電阻

#### (四)化學電池組裝

步驟：

1. 為避免雜質對產電造成電阻增加，利用移液管取出廚餘液肥上層液 100ml，放入 100ml 燒杯中，以此做為陽極。
2. 取另一 100ml 燒杯，倒入 0.1M 硫酸 100ml 以此作為陰極。
3. 放入先前製備的  $\text{KNO}_3$  鹽橋，並保持每組杯距一致。
4. 使用三用電表測量其電壓、電流，7 天測一次，並探討其相關性。



圖七 本實驗化學電池裝置

### 三、變因探討

實驗一：研究**菌量**對其電壓、電流之影響

(一)目的：運用酵母菌的量不同來觀察電壓、電流比較。

(二)步驟：

1. 設置本實驗化學電池裝置。
2. 利用移液管分別取出加入 0g、15g、30g 酵母菌發酵後之廚餘上清液 100ml 於陽極，陰極倒入 0.1M 硫酸 100ml。
3. 放入鹽橋( $\text{KNO}_3(\text{aq})$  1M)。
4. 使用三用電表測量其電壓、電流，並探討其相關性。

實驗二：研究**電池反應時間**對其電壓、電流之影響。

(一)目的：利用廚餘上清液反應時間的不同，觀察其電壓、電流。

(二)步驟：

1. 設置本實驗化學電池裝置。
2. 利用移液管取各組廚餘上清液 100ml 於陽極，陰極倒入 0.1M 硫酸 100ml。
3. 放入鹽橋( $\text{KNO}_3(\text{aq})$  1M)。
4. 使用三用電表紀錄 0、5、10 分鐘時其電壓、電流，並探討其相關性。

### 實驗三：研究**發酵時間**對其電壓、電流之影響

(一)目的：利用廚餘發酵時間的不同，觀察其電壓、電流。

(二)步驟：

1. 設置本實驗化學電池裝置。
2. 每七日利用移液管取出各組廚餘上清液 100ml 於陽極，陰極倒入 0.1M 硫酸 100ml。
3. 放入鹽橋( $\text{KNO}_3(\text{aq})$  1M)。
4. 使用三用電表測量其電壓、電流，並探討其相關性。

### 實驗四：研究**電極表面**對化學電池所產生電壓、電流之影響。

(一)目的：運用碳棒粗糙度的不同來觀察電壓、電流比較。

(二)步驟:

1. 本組將碳棒分為平滑、粗糙表面，平滑碳棒為未加工，而粗糙碳棒則以砂紙將平滑碳棒磨成粗糙碳棒。
2. 設置本實驗化學電池裝置。
3. 利用移液管取出各組廚餘上清液 100ml 於陽極，陰極倒入 0.1M 硫酸 100ml。
4. 放入鹽橋( $\text{KNO}_3(\text{aq})$  1M)。
5. 分別使用粗糙及平滑的碳棒在陰陽極間做置換，共四種組合，粗糙-粗糙、粗糙-平滑、平滑-平滑、平滑-粗糙。(左為陰極，右為陽極)
6. 使用三用電表測量其電壓、電流。

### 實驗五：研究**陰極溶液濃度**對其電壓、電流之差異

(一)目的：運用陰極溶液濃度的不同來觀察電壓、電流。

(二)步驟：

1. 設置本實驗化學電池裝置。

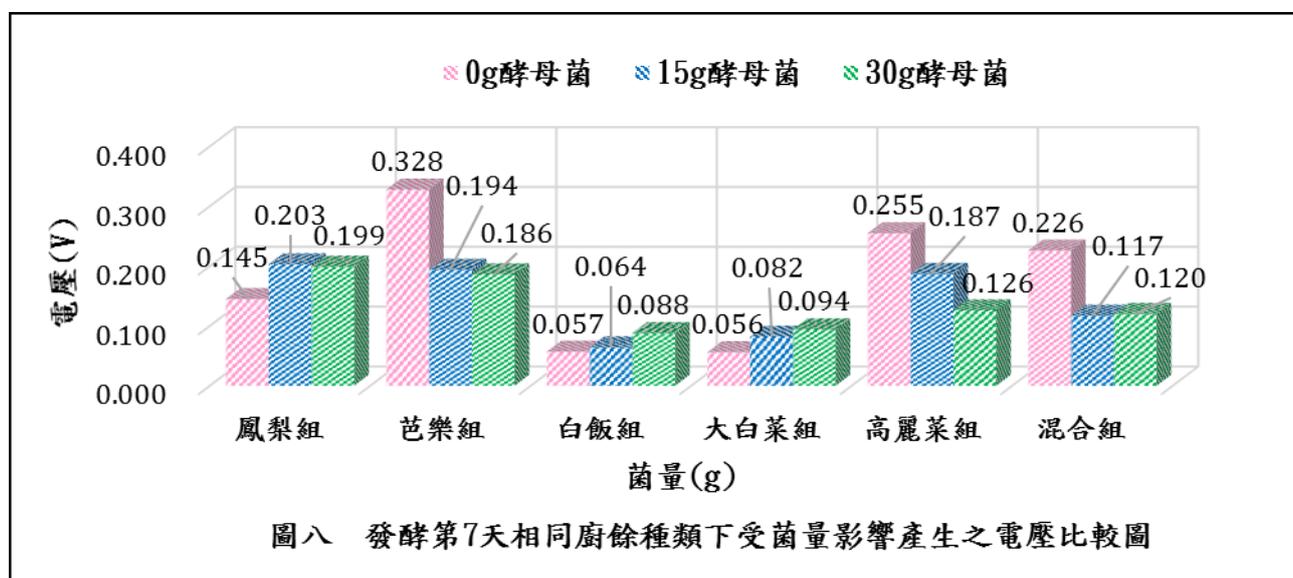
- 藉由實驗一~四的結果選出最符合本研究假設—隨菌量增加而電量增加之廚餘種類。
- 利用移液管取出該組之上清液 100ml 於陽極，分別改變陰極電解溶液之濃度 (0.1M、0.5M、1.0M 各 100ml)。
- 放入鹽橋(KNO<sub>3(aq)</sub> 1M)。
- 使用三用電表測量其電壓、電流，並探討其相關性。

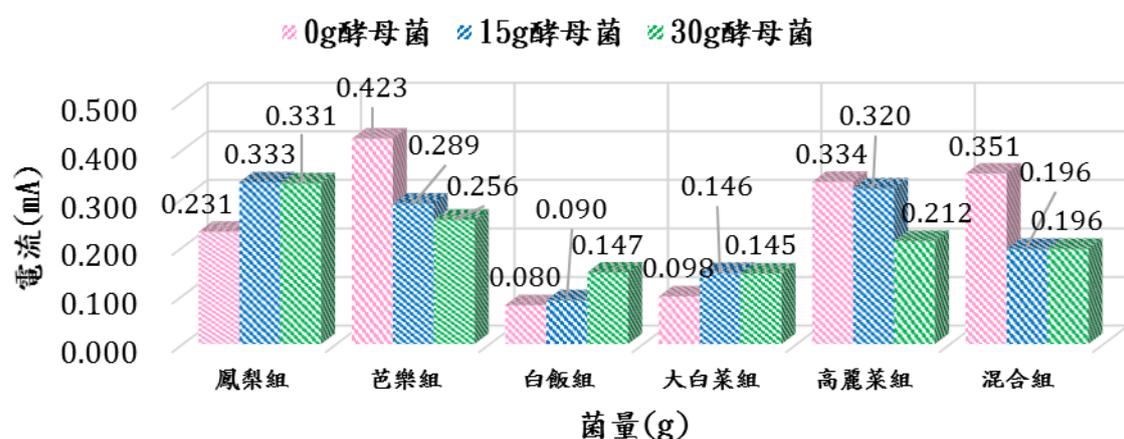
## 伍、研究結果

### 實驗一：研究菌量對其電壓、電流之影響

以先前製備好的各組廚餘，經發酵 7 天，觀察不同酵母菌之菌量(0g、15g、30g)對各項廚餘的電壓、電流之影響，並根據其電壓數據作圖八，電流數據作圖九。

- 菌量增加對每種廚餘其電壓、電流的影響不完全相同。
- 鳳梨、白飯、大白菜的電壓、電流皆隨菌數增加而有所提升，但其中白飯提升之電壓、電流值差異不明顯。
- 芭樂、高麗菜、混合組的電壓、電流隨菌數增加而下降。
- 在此實驗中，芭樂不加酵母菌時其電壓、電流為所有廚餘中最高。





圖九 發酵第7天相同廚餘種類下受菌量影響產生之電流比較圖

## 實驗二：研究電池反應時間對其電壓、電流之影響

為找出本組實驗裝置能穩定產生電流的時間，於不同時間測量其電壓、電流值。此次選用發電的組別為發酵 7 天的廚餘，本組預測其能穩定產生電流之時間不長，因此以每 5 分鐘為一單位，測量裝置在 0min、5min、10min 的電壓、電流變化，結果如下表一。各組廚餘於 0min、5min、10min 的電壓、電流，皆無太大變化，數據無顯著差異。

表一 發酵第 7 天 電池反應時間影響各組廚餘產生之電壓、電流表

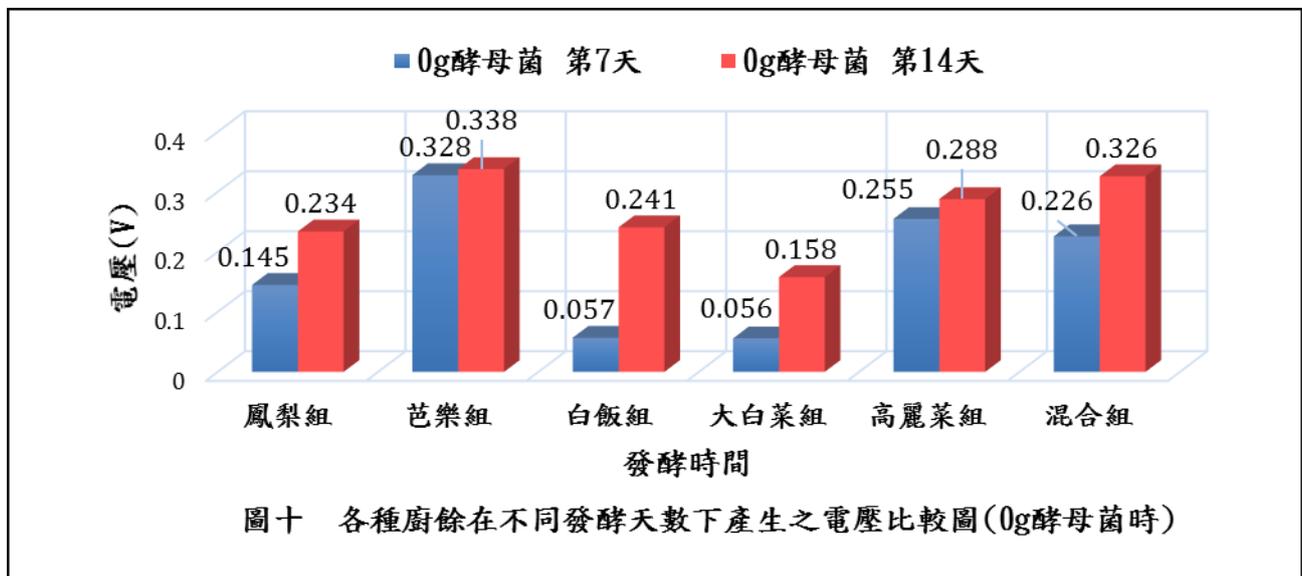
V、I 變化		電壓(V)			電流(mA)		
		0min	5min	10min	0min	5min	10min
鳳梨組	0g 菌	0.148	0.093	0.108	0.204	0.159	0.175
	15g 菌	0.153	0.165	0.168	0.237	0.264	0.270
	30g 菌	0.156	0.174	0.172	0.253	0.284	0.292
芭樂組	0g 菌	0.269	0.277	0.290	0.368	0.369	0.380
	15g 菌	0.168	0.162	0.165	0.242	0.243	0.252
	30g 菌	0.154	0.147	0.156	0.217	0.215	0.212
白飯組	0g 菌	0.047	0.052	0.049	0.064	0.076	0.071
	15g 菌	0.051	0.051	0.051	0.073	0.072	0.073

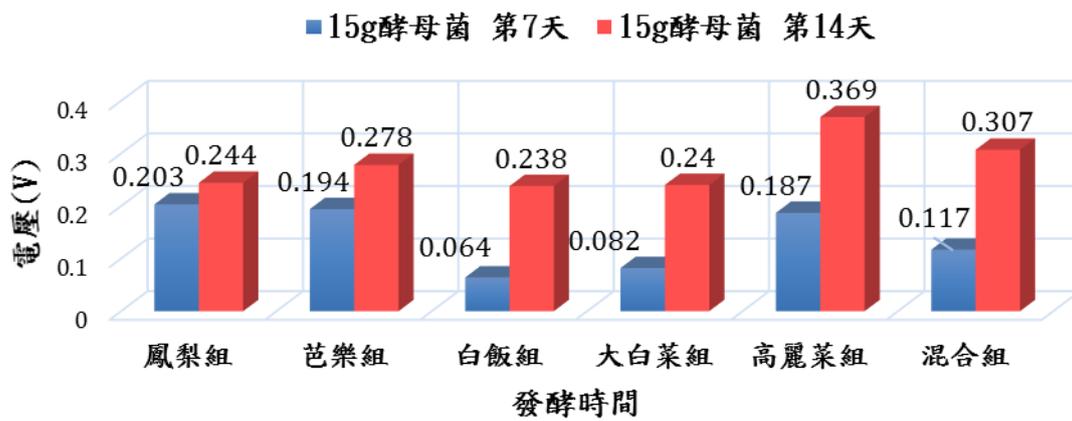
	30g 菌	0.061	0.061	0.062	0.100	0.099	0.102
大白菜組	0g 菌	0.052	0.038	0.033	0.085	0.064	0.058
	15g 菌	0.091	0.080	0.076	0.159	0.146	0.139
	30g 菌	0.071	0.078	0.078	0.110	0.121	0.122
高麗菜組	0g 菌	0.202	0.196	0.209	0.314	0.294	0.293
	15g 菌	0.162	0.174	0.158	0.275	0.243	0.262
	30g 菌	0.092	0.096	0.091	0.168	0.193	0.170
混合組	0g 菌	0.164	0.164	0.177	0.241	0.244	0.276
	15g 菌	0.101	0.098	0.092	0.164	0.161	0.154
	30g 菌	0.095	0.100	0.094	0.155	0.160	0.155

### 實驗三：研究發酵時間對其電壓、電流之影響

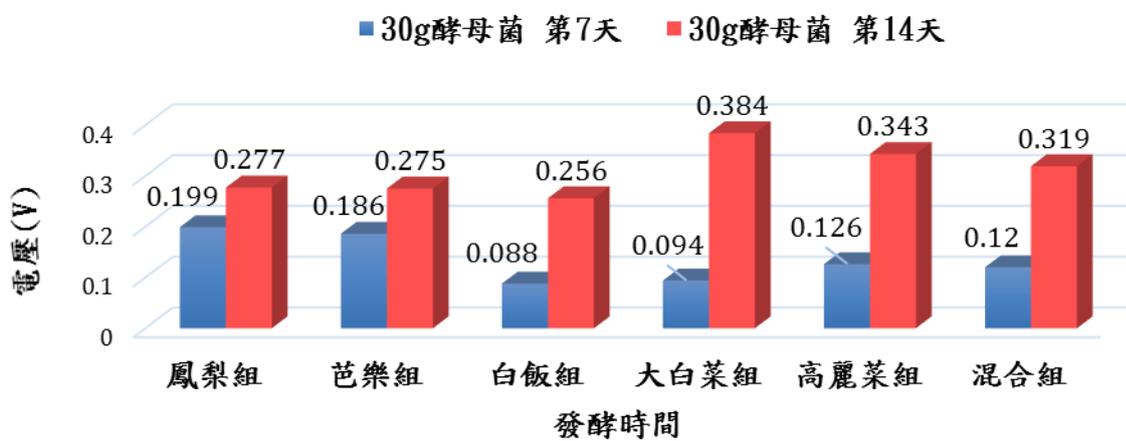
經發酵 14 天，觀察不同菌量(0g、15g、30g)對各項廚餘的電壓、電流之影響，其結果結合第 7 天的電壓整理為圖十、十一、十二，電流整理為圖十三、十四、十五。

1. 根據圖中數據可知，隨著發酵時間增加，各組廚餘電壓、電流皆提升。
2. 在 0g 菌時，白飯組和大白菜組電壓、電流隨發酵時間而倍數增加，白飯組、大白菜組、高麗菜組及混合組在 15g 菌及 30g 菌時，隨著發酵時間增加，電壓、電流皆有倍數的增加。

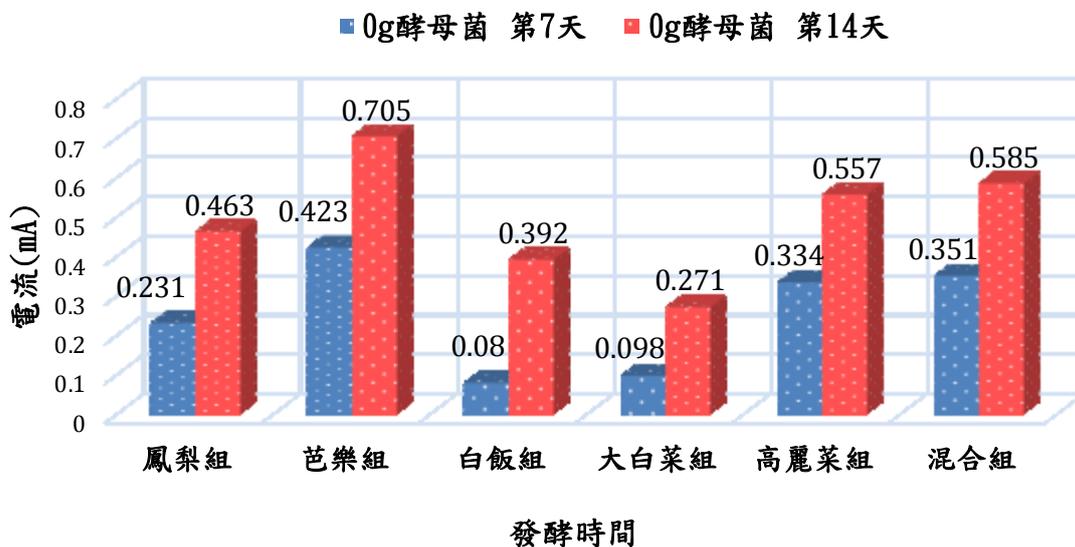




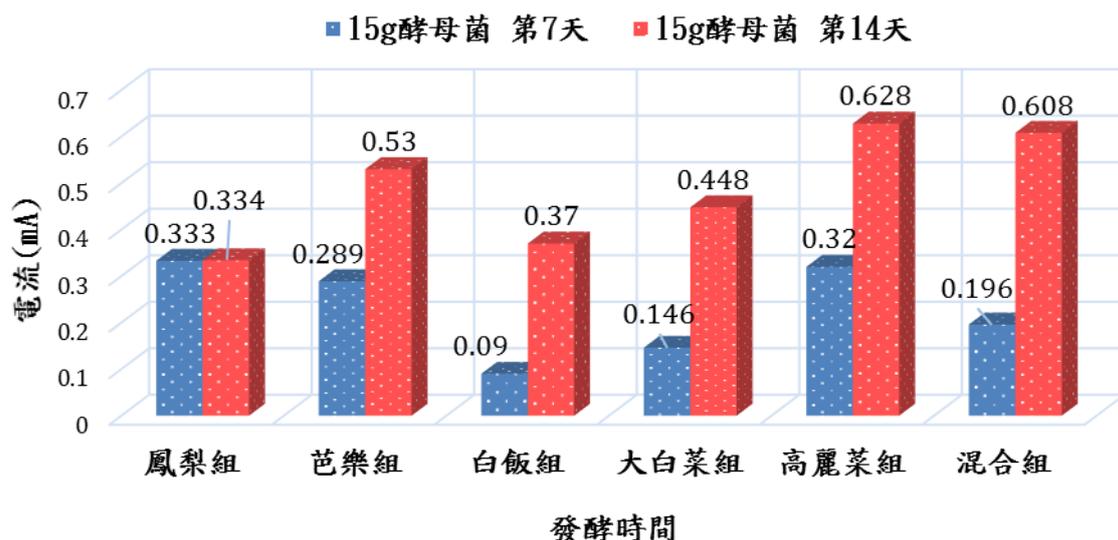
圖十一 各種廚餘在不同發酵天數下產生之電壓比較圖(15g酵母菌時)



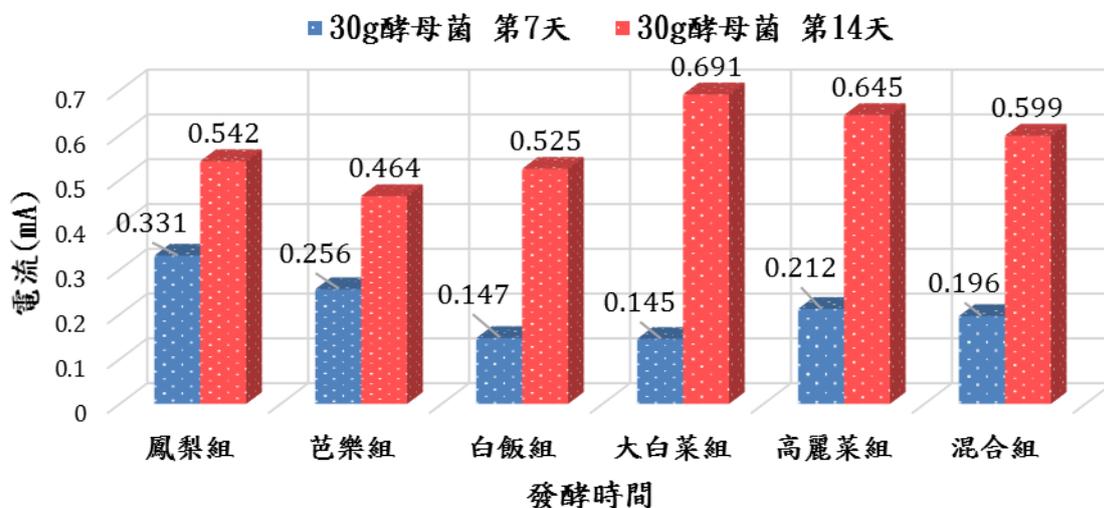
圖十二 各種廚餘在不同發酵天數下產生之電壓比較圖(30g酵母菌時)



圖十三 各種廚餘在不同發酵天數下產生之電流比較圖(0g酵母菌時)



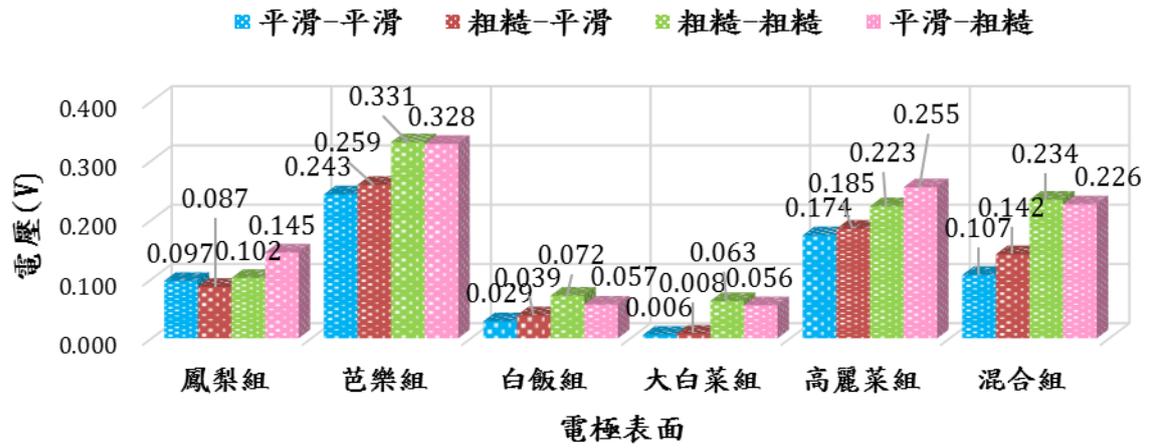
圖十四 各種廚餘在不同發酵天數下產生之電流比較圖(15g酵母菌時)



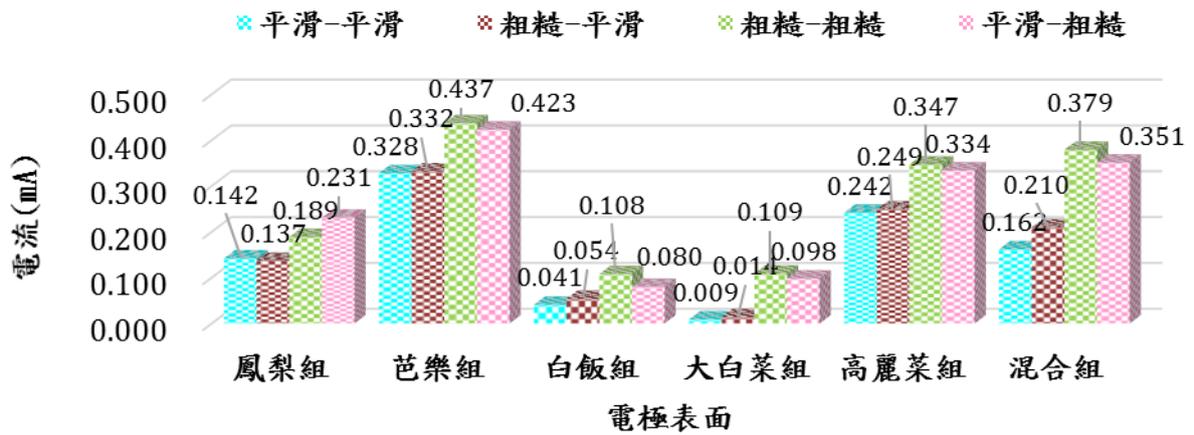
圖十五 各種廚餘在不同發酵天數下產生之電壓比較圖(30g酵母菌時)

#### 實驗四：研究電極表面對化學電池所產生電壓、電流之差異

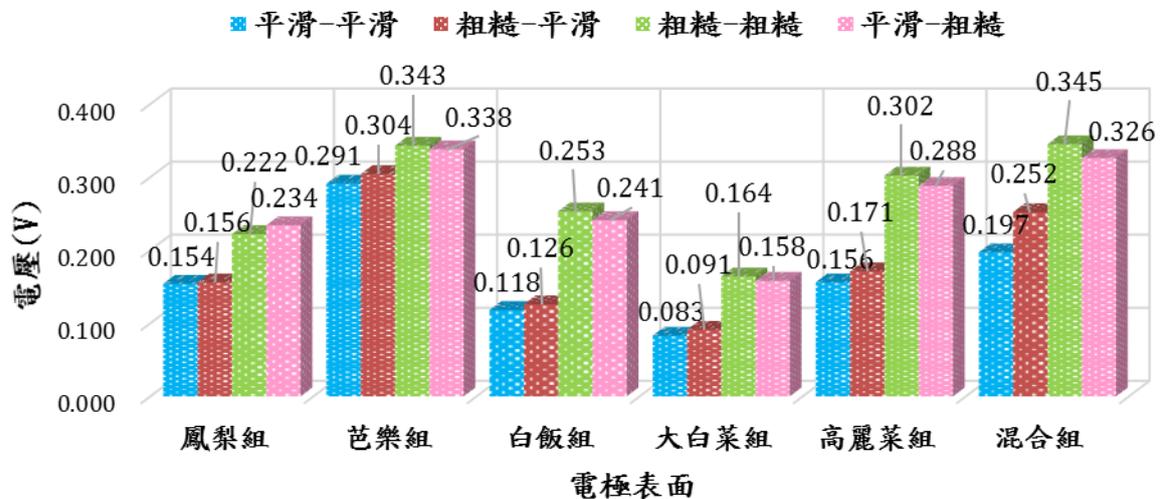
本組推測陽極會因改變碳棒的表面平滑或粗糙，使其電壓改變，也改變其輸出的電子量，使電流改變。故於發酵第 7 天、第 14 天時，以 2 種不同表面性質的碳棒，做 4 種組合 (平滑-平滑、粗糙-平滑、粗糙-粗糙、平滑-粗糙)(左為陰極右為陽極)，測試電極表面對廚餘電壓、電流的影響，結果如圖十六、十七、十八、十九。



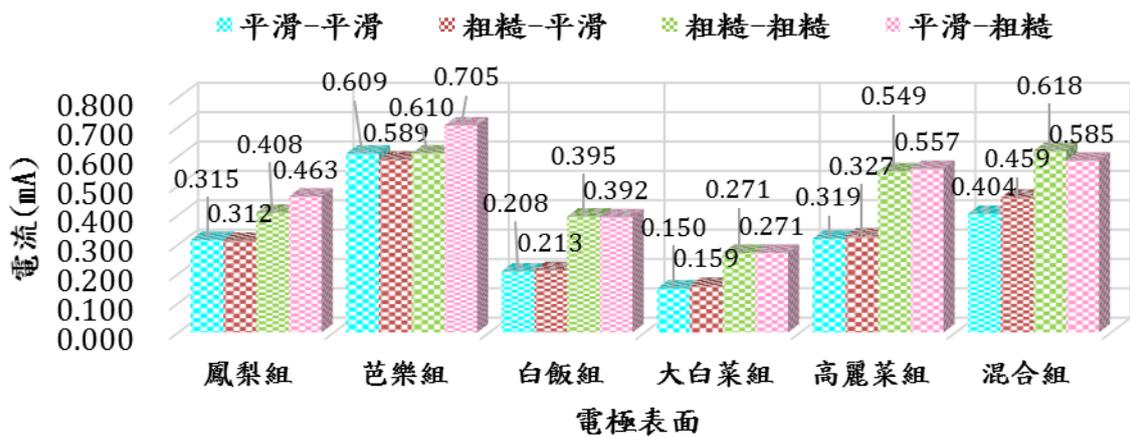
圖十六 發酵第7天各組廚餘在不同電極表面產生之電壓比較圖



圖十七 發酵第7天各組廚餘在不同電極表面產生之電流比較圖



圖十八 發酵第14天各組廚餘在不同電極表面產生之電壓比較圖

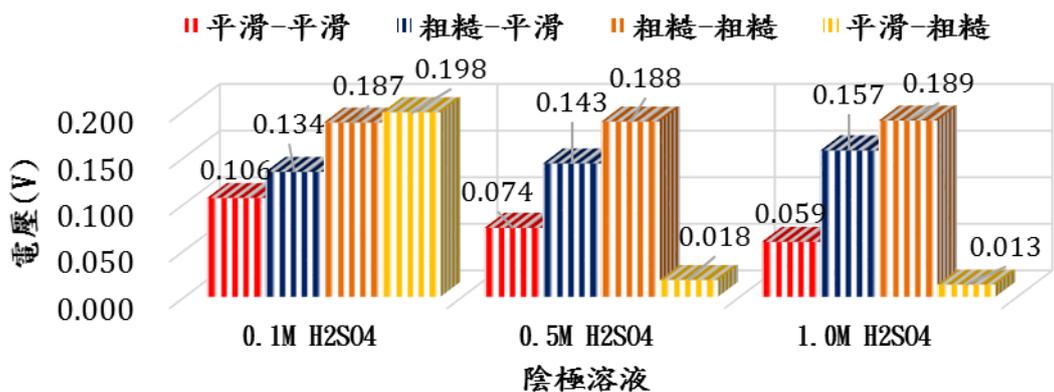


圖十九 發酵第14天各組廚餘在不同電極表面產生之電流比較圖

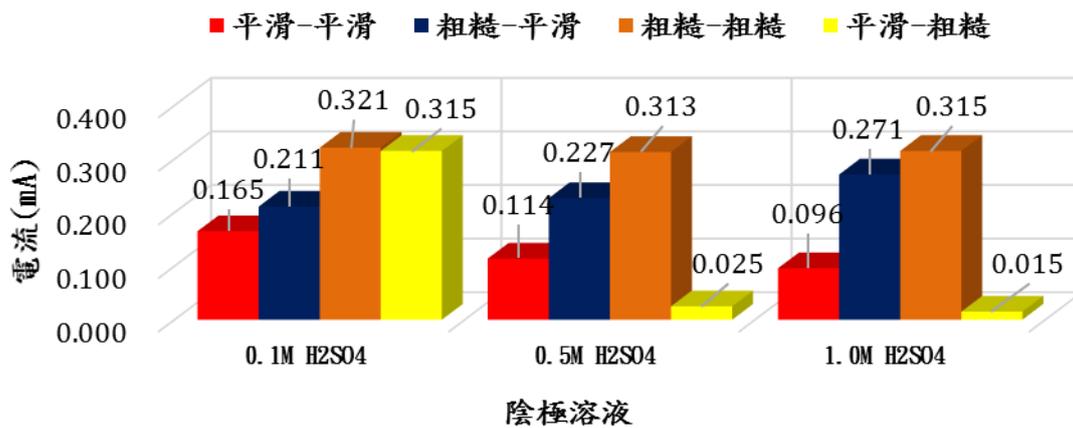
1. 發酵第7天和第14天時，各組廚餘皆是碳棒粗糙-粗糙和平滑-粗糙的電壓、電流最高，顯示陽極的碳棒電極表面若為粗糙時造成電壓、電流較高。
2. 發酵第7天時，大白菜組和混合組碳棒電極表面若為粗糙時造成對電壓、電流影響最大，發酵第14天時，則是白飯組、大白菜組、高麗菜組的電壓、電流受電極表面影響最大。

實驗五：研究陰極溶液濃度對其電壓、電流之差異

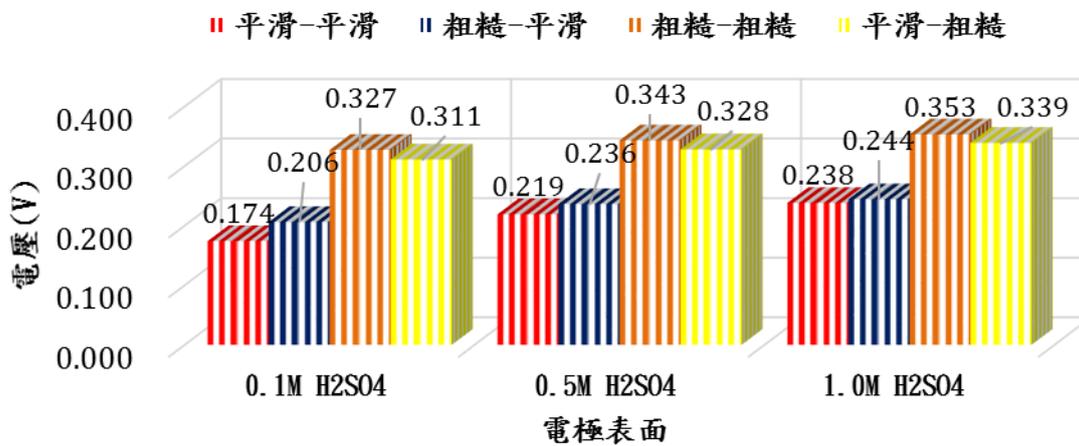
根據實驗一到四的實驗結果，鳳梨 30g 菌組其電壓、電流隨著菌量增加而提升，也隨著發酵時間而升高，符合本組之預測，因此實驗五選擇鳳梨+30g 菌組進行。使用 0.1M、0.5M、1.0M  $H_2SO_4(aq)$ 作為陰極溶液，並測量其電壓、電流(如圖二十、二十一、二十二、二十三)。



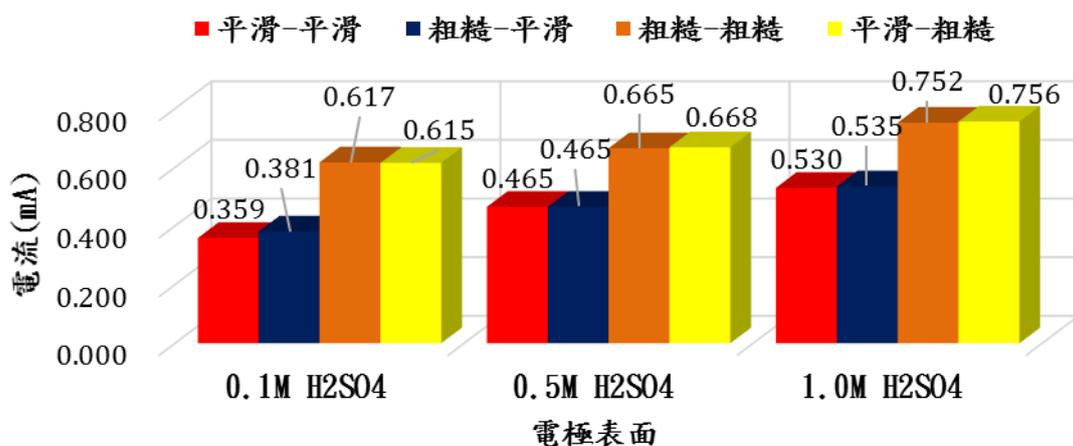
圖二十 發酵第7天相同陰極溶液下各種電極表面產生之電壓比較圖



圖二十一 發酵第7天相同陰極溶液下各種電極表面產生之電流比較圖



圖二十二 發酵第14天相同陰極溶液下各種電極表面產生之電壓比較圖



圖二十三 發酵第14天陰極溶液下各種陰極溶液產生之電流比較圖

1. 發酵第 7 天時，陰極溶液濃度對電壓、電流所造成影響不一，而其中平滑-粗糙組電壓、電流隨濃度提升而驟降。
2. 發酵第 14 天時，所有組別電壓、電流皆隨陰極溶液濃度增加而上升，與濃度成正相關。

## 陸、討論

一、廚餘的製備：本組在廚餘製備共嘗試了五次，並對問題提出改良。

- (1)第一次實驗因未加蒸餾水導致有些廚餘液肥量產生不足，因此於第二次實驗加入蒸餾水。
- (2)第二次實驗因水量不足，未蓋過廚餘而導致上部發黴，因此提高第三次實驗水和菌量的比例。
- (3)第三次實驗因菌量添加比例過高，氣體產生過快且容器太小(600ml)，加上未留洩氣口，以致其無法承受酵母菌產生之氣體的氣壓而爆炸，因此第四次實驗將瓶蓋輕放不拴緊，避免瓶內氣壓過高。
- (4)第四次實驗因瓶蓋僅輕放而無拴緊，吸引果蠅進入瓶內，其可能影響實驗數據，因此第五次實驗於瓶口處套上紗布以防蠅蟲進入。
- (5)第五次實驗將廚餘、菌量、蒸餾水的比例等比放大，以利進行各式變因之測試。其利用果汁機將廚餘與水均勻混和，且將容器換至 6L，最後於瓶口套上一層紗布，完成此次製備。

二、化學電池的製備：原先使用的燒杯為 250ml，碳棒接觸表面積較小，其電壓、電流值較低，本組推測電壓、電流值可能與電極接觸面積成正相關，故將燒杯改為 100ml，使碳棒與溶液接觸面積增大，測試結果如預期電壓、電流有所提升，可知其電壓、電流值與電極接觸面積成正相關。但因為本實驗主要為電極表面性質改變，只能驗證出接觸廚餘上清液之電極表面性質會影響電壓、電流，並不能具體量化接觸面積的影響。

三、探討各種因素對廚餘發電的影響

### (一) 菌量

- 1.本組假設各類廚餘因菌量克數增加，其電壓、電流也應隨之上升，然而根據實驗數據觀察，菌量增加對每種廚餘其電壓、電流的影響不完全呈現正相關，因此本組推測酵母菌並非對每種廚餘都有效，無法當成適合所有廚餘催化產電的菌種。在此實驗

中，芭樂在 0g 酵母菌時，其電壓電流為所有廚餘中最高，本組推測可能是因芭樂使用的是果肉，與其他廚餘相比，擁有較多可利用之營養成分，故其電量在 0g 酵母菌時為最高。而混合組的電壓、電流介於其他五者之間，故可推測若能將廚餘種類純化，將可提高產電能力，但仍需考慮純化所需成本。

## (二) 電池反應時間

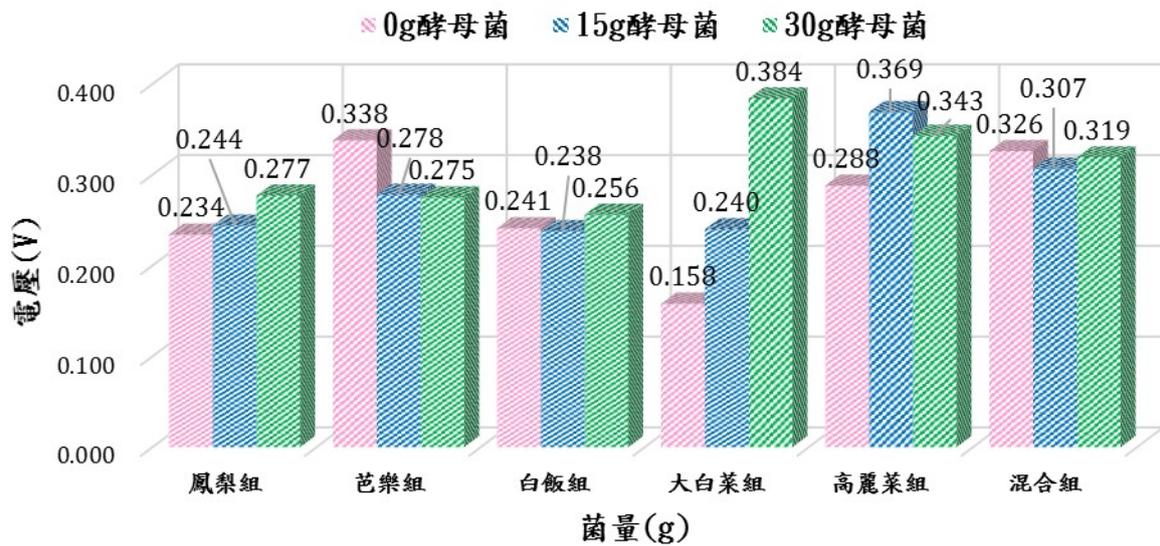
1. 由下表十的數據可發現陽極溶液隨著運作時間 pH 值有下降的現象，可驗證本實驗原理陽極有釋放出  $H^+$ 。陰極反應式： $4H^+ + O_2 + 4e^- \rightarrow 2H_2O$  可知，陰極反應後產生水，因此陰極水溶液的 pH 值會上升。

而陽極反應後產生  $H^+$  和少許的  $CO_2$ ，本組推測有些許  $CO_2$  溶於陽極溶液中解離成碳酸根，而使陽極溶液隨時間變化 pH 值下降。這些均可由實驗中觀察發現。

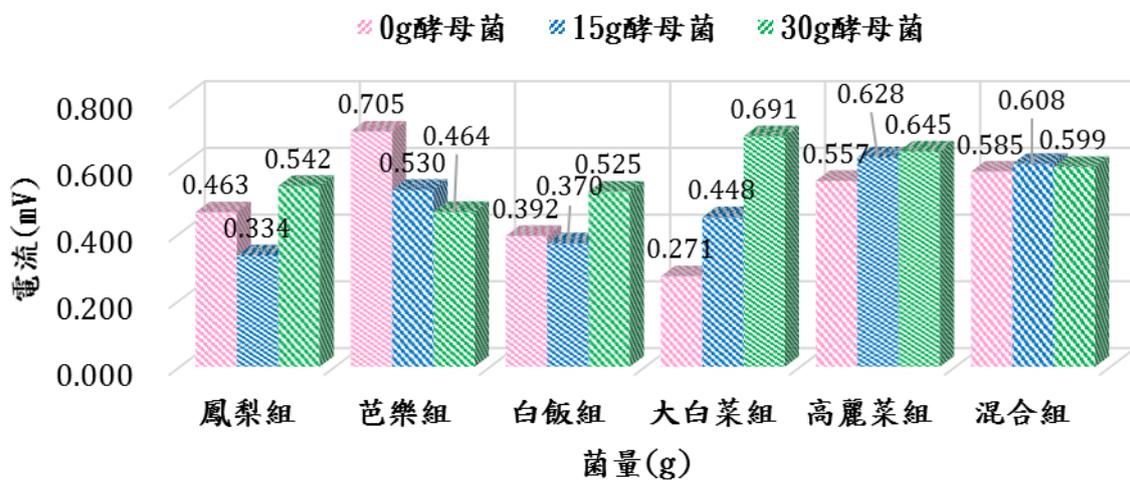
2. 電池隨著使用時間越久，當中反應產生的電解液濃度減少，其電流會降低，因此本組假設電池發電量應隨著時間而下降。然而根據實驗數據觀察，本組電池於 10min 內持續運作，其發電能力並沒有明顯的上升或下降。本組推測可能是因測量時間僅有 10 分鐘，反應時間過短，以至於無法明顯觀察出時間造成之影響。

## (三) 發酵時間

1. 隨著發酵的時間增加，使  $H_2$  及少部分  $CH_4$  增加，造成各種廚餘之電壓、電流皆提升，故使電功率大幅上升。
2. 透過比對圖八、九、二十四、二十五，我們可以得知鳳梨組與大白菜組之不同菌量於發酵第 7 天及第 14 天的趨勢維持一致，皆隨菌量增加而電壓、電流上升，芭樂組則隨菌量增加而電壓、電流下降。高麗菜組趨勢變為 15g 較為突出，因此本組推測若發酵時間更久，可能電壓、電流隨  $H_2$  和  $CH_4$  量的增加而上升。混合組發酵第 7 天維持 0g 菌量為最高值，但發酵第 14 天則沒有顯著差異。



圖二十四 發酵第14天相同廚餘種類下受菌量影響產生之電壓比較圖



圖二十五 發酵第14天相同廚餘種類下受菌量影響產生之電流比較圖

#### (四) 電極表面

1. 本組實驗發酵第7天時與第14天時表面性質對電壓、電流之影響一致，若陽極電極表面性質粗糙則電壓、電流較高，兩電極都是粗糙性質在各組廚餘通常是最高，本組推估電極表面對電阻之下降有影響，因此後續研究可量化作用表面積的差異以探討作用表面積的影響。

#### (五) 陰極水溶液濃度

1. 從實驗中發現，陰陽極的碳棒表面性質在第 7 天之數據較無規律性，其中有一組電壓、電流出現驟降的情形，本組推測其放電反應並未良好進行。而第 14 天之數據，隨陰極溶液濃度的增加，其電壓、電流皆有上升的現象，因此本組據此推測，第 7 天之實驗結果可能有誤差，因此造成兩天結果不一致。

#### 四、探討各式廚餘種類中較適合發電種類

- (一)水果類：水果類對於菌量多寡之影響較穩定，液肥產生量也較多，相較其他種類，於第 14 天時其電壓、電流成長比例較為遜色，發酵 7 天左右較好。其中鳳梨組若繼續提高菌量，其發電量可達到更高境界；芭樂組無添加酵母菌就能達到最高值，具有省成本之功用。
- (二)青菜類：青菜類對於菌量多寡之影響較不穩定，液肥產生量略低於水果類，相較其他種類，於第 14 天時其電壓、電流成長比例較高。發酵 14 天左右能達到較高電壓、電流，相較水果類需花較多時間達到近似的電壓、電流值。
- (三)混合組：混合組較不受菌量多寡影響發電，液肥產生量普通，發酵 14 天時電壓、電流較好。為最接近現實廚餘情形之組合，若以實際發電情形為考量，混合組為最佳選擇。

## 柒、結論

### 一、各種因素對廚餘發電的影響

- (一)菌量：菌量之多寡對各類廚餘有不同之影響，其中兩次測量皆隨菌量增加電壓、電流也隨之上升的組別為鳳梨組。
- (二)電池反應時間：裝置持續運作 0min、5min、10min 對裝置電壓、電流影響不大，應是持續時間不夠久導致無法看出差異。
- (三)發酵時間：各組廚餘電流及電壓皆會隨著發酵時間增加而提升，原先電壓、電流較不規律之廚餘種類，可能隨時間的增加而接近相同趨勢。
- (四)電極表面：電極表面粗糙對電壓、電流有影響，陰極或陽極電極切換成粗糙表面者，電阻皆會有所下降，而使電壓、電流上升。
- (五)陰極水溶液濃度：第 14 天電壓、電流皆隨著陰極濃度增加而上升，第 7 天之數據很可能有誤差。

## 二、各式廚餘種類中篩選出較適合發電種類

1. 如為水果類，發酵天數較適合為 7 天，鳳梨須加菌，芭樂則否。
2. 如為青菜類，發酵天數較適合為 14 天，大白菜須加菌，高麗菜則否。
3. 如為混合組，發酵天數較適合為 14 天，無須加菌。

## 三、未來展望

1. 此次實驗僅使用酵母菌進行研究，於實驗一發現酵母菌並非對所有廚餘皆有效助於產電，故盼能夠使用不同的菌種來比較其產電變化。
2. 本實驗的電極只使用碳棒進行研究，之後可利用不同種電極提升電壓。
3. 於實驗四電極表面性質變化發現，電極表面作用面積的增加有助於降低電阻，希望未來能更深入探討如何增加電極表面積之實驗設計來提升電壓、電流。

## 捌、參考資料

- 一、陳雅玲、楊傑超(2016)。普通高級中學基礎化學(一)全第一冊。新北市：龍騰。
- 二、何念萱、陳昕臨、張藍心、劉瑞臻(2007)。微生物電力公司—微生物燃料電池之變因探討(全國中小學科展第 47 屆優異作品)。
- 三、台灣燃料電池資訊網(2020)。網址：<http://www.tfci.org.tw/index.asp>。擷取日期：2020/1/19。
- 四、趙紫如、劉昀宜、邱憶如、陳昱誼(2009)。『碳』究竟-探討製備廚餘電池之條件(全國中小學科展第 49 屆優異作品)。
- 五、管慶安、楊筱南、張中維(2005)。廚餘來電了(全國中小學科展第 45 屆優異作品)。
- 六、本間琢也、上松宏吉、薛智恆(譯)(2011)。燃料電池。新北市：瑞昇文化。

## 【評語】 052601

1. 本作品以廚餘發電為研究主題，藉由廚餘種類、改變其菌量、電極表面、反應時間、發酵時間、陰極水溶液濃度，探討各式變因對發電的影響。研究參數考量完整，並就水果類、青菜類、混合組等三類實驗結果篩選出較適合發電的種類。但本作品僅使用酵母菌進行研究，電極除碳棒外，應可再測試不同電極之提升電壓的效應。
2. 本研究設計是否基於 49 屆的作品，進一步設計，該研究結果已經知道果渣及青菜的產生電流及電壓，本研究是否基於該研究結果，再進一步深入設計，報告中未能看出其應用與本研究設計。
3. 實際產生廚餘時除了果菜市场產出時有分類，但收集後則混合，實驗組如果分別配比不同的果渣（皮）及青菜，是否較模擬現況？厭氣發酵與發酵物的碳含量也就是有機碳的比率相關，是否有測試過有機碳的含量？也可以確認各實驗的重要控制因子，增加文獻回顧中厭氧發酵的主要控制參數，例如有機碳含量？含水率？以與本研究結果比較。
4. 實驗設計中廚餘製備的前處理動作先將廚餘清洗乾淨的目的？是否會影響後續厭氧發酵及發電的機制？廚餘發酵每一組都有三重複，在實驗設計時三重複的目的及應用請說明

5. 各分組實驗的結果分析比較與說明，可以更具體，研究的結果說明混合組效果較佳也符合現況，也回應應該以現況做研究設計的必要性。
6. 實驗設計因子間對產氫與甲烷及產電效能的影響不易釐清，研究並未使用統計方法針對實驗結果進行分析，建議再加強研究結果與文獻之討論。

## 摘要

我們以廚餘發電為研究主題，藉由廚餘種類、改變其菌量、電極表面、反應時間、發酵時間、陰極水溶液濃度，探討各式變因對發電的影響。由研究可發現反應時間對發電影響無顯著差異；水果類發酵天數較適合為7天，鳳梨須加菌，芭樂則否；青菜類發酵天數較適合為14天，大白菜須加菌，高麗菜則否；混合組，發酵天數較適合為14天無須加菌；而電極表面(粗糙面)可幫助降低電阻來提高電功率，陰極溶液濃度越高越能提高電壓、電流，可做為日後建構廚餘發電的實際操作條件參考。

## 壹 研究動機

全台灣在2018年一共回收了57萬公噸的廚餘，每人平均每天製造快1公斤的廚餘，熟廚餘大多則是由養豬業回收，因此生廚餘除堆肥外，是否可以妥善有效的利用作為生質發電的來源，為臺灣帶來實踐循環經濟、環境永續的效益成為研究焦點。

## 貳 研究目的

### 一、探討各種因素對廚餘發電的影響

- (一)菌量
- (二)實驗裝置反應時間
- (三)發酵時間
- (四)電極表面
- (五)陰極水溶液濃度

### 二、探討各式廚餘種類中較適合發電種類

## 參 研究設備及器材

### 一、器材

燒杯(100/250ml)、玻棒、三用電表、磁石攪拌器、磁石(30×8mm容量瓶) (500/1000ml)、安全吸球、分度吸量管 (10ml)、鑷子、廣用試紙、紗布、寶特瓶(6000ml)、碳棒、U型管、秤量紙、刮杓、電子秤

二、藥品： $H_2SO_4$ (實驗級)、 $KNO_3$ (實驗級)、酵母菌(市售)

三、各項廚餘：鳳梨皮、芭樂(去籽)、白米飯、大白菜、高麗菜

## 肆 研究過程與方法

### 一、廚餘製備：

將實驗分成6組，分別為鳳梨、芭樂、高麗菜、大白菜、白飯和混合組，每組各三瓶，共18瓶→每瓶600g(混合組1瓶則為5種廚餘各120g)→各組廚餘分別加入0g、15g、30g酵母菌，和900g蒸餾水混合後放置果汁機，打碎攪拌至均勻。



圖三 以果汁機製備各類廚餘



圖四 各組廚餘發酵瓶

### 二、化學電池組裝：

取出廚餘液肥上清液100ml，以此做為陽極，0.1M硫酸100ml以此作為陰極→放入製備的 $KNO_3$ 鹽橋，使用三用電表測量其電壓電流，7天測一次，並探討其相關性。

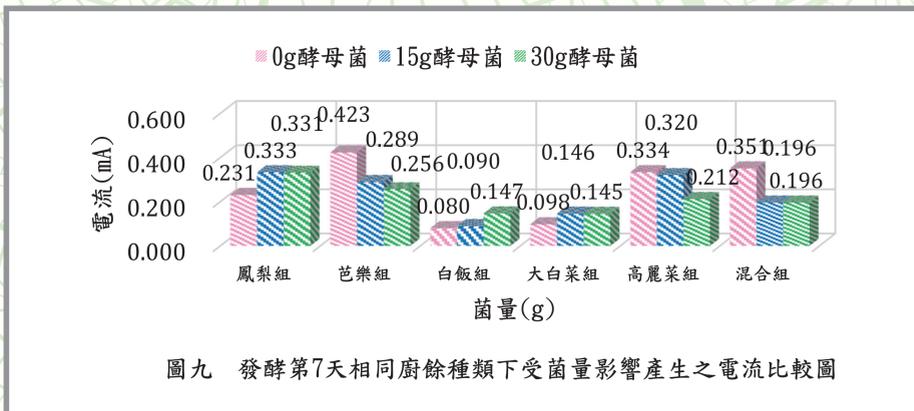
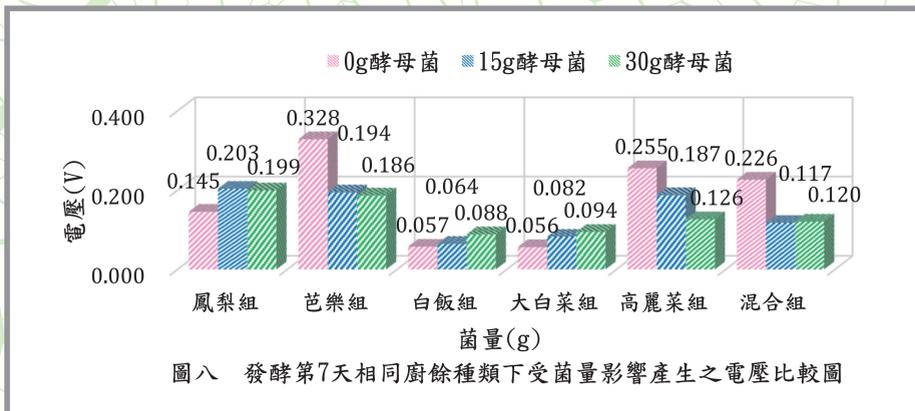


圖七 本實驗化學電池裝置

# 伍 研究結果

## 實驗一：菌量

菌量增加對每種廚餘其電壓、電流的影響不完全相同。

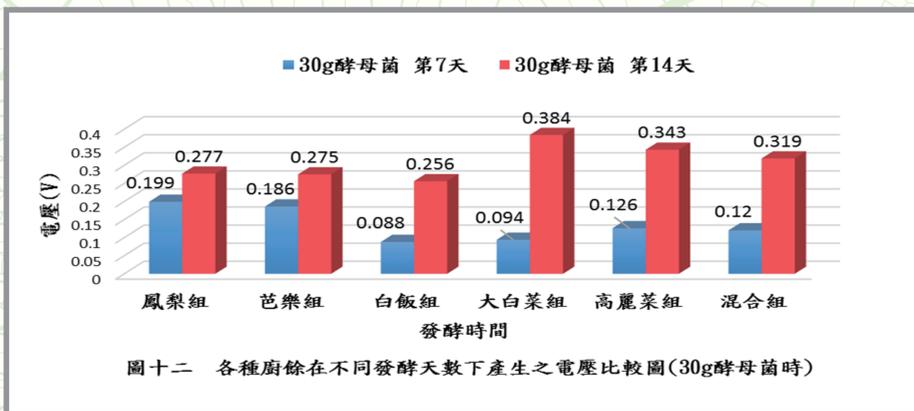
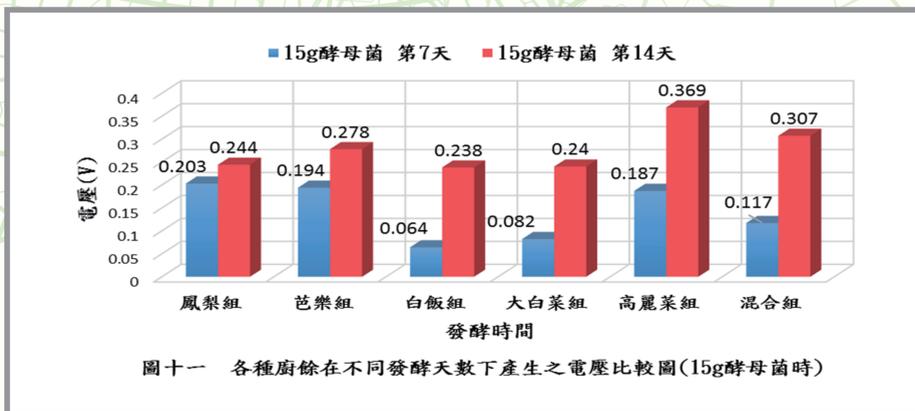
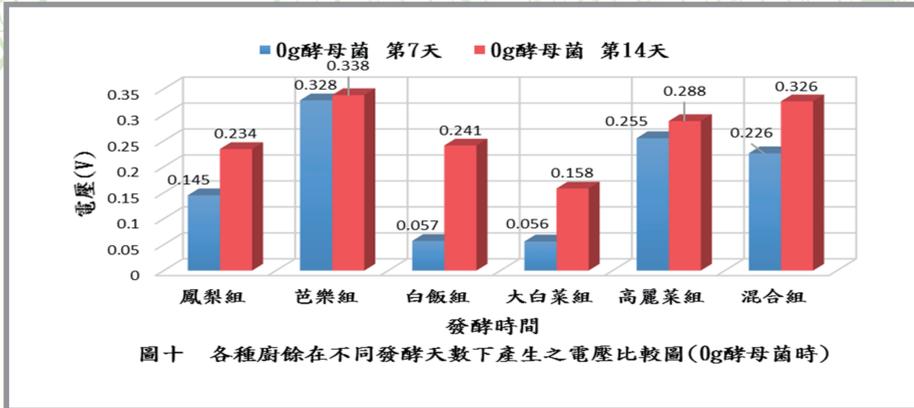


## 實驗二：實驗裝置反應時間

各組廚餘於0min、5min、10min的電壓、電流，皆無太大變化，數據無顯著差異。

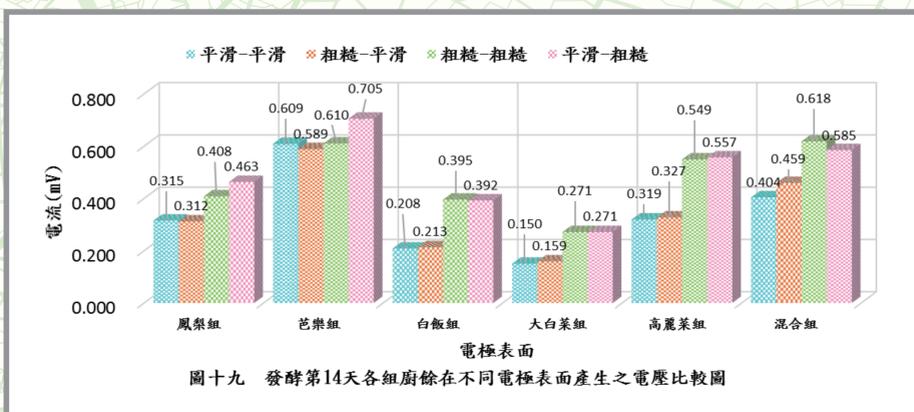
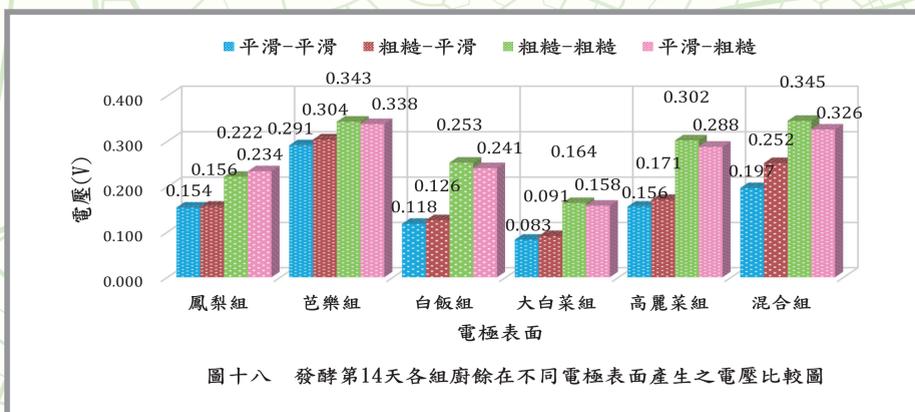
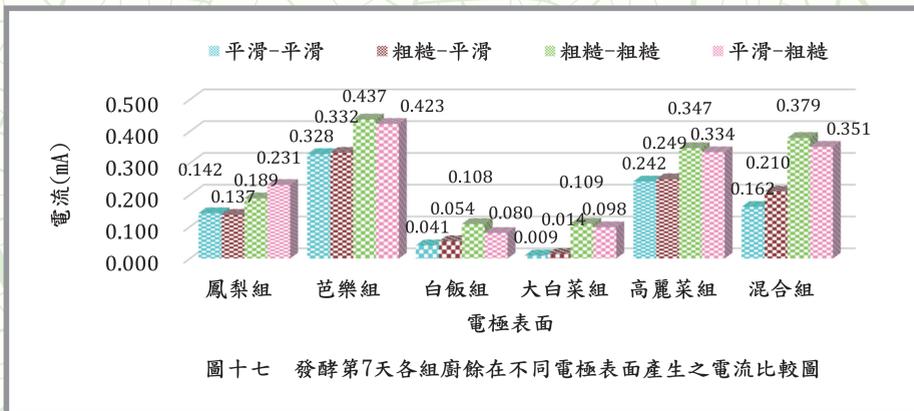
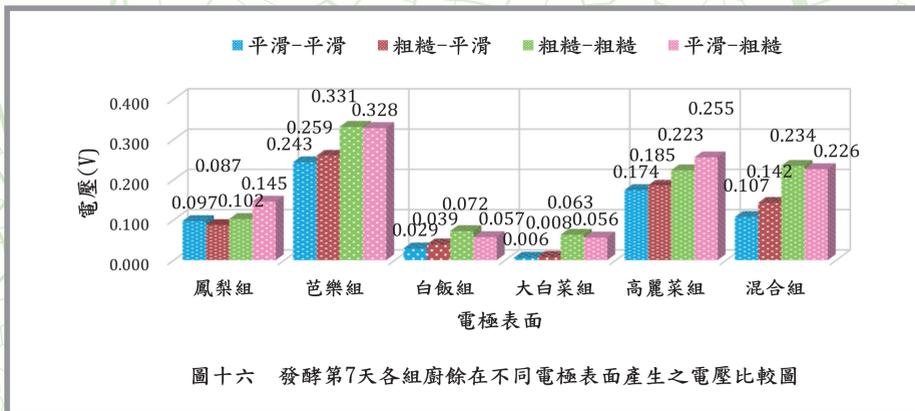
## 實驗三：發酵時間

隨著發酵時間增加，各組廚餘平均電壓、電流皆提升。



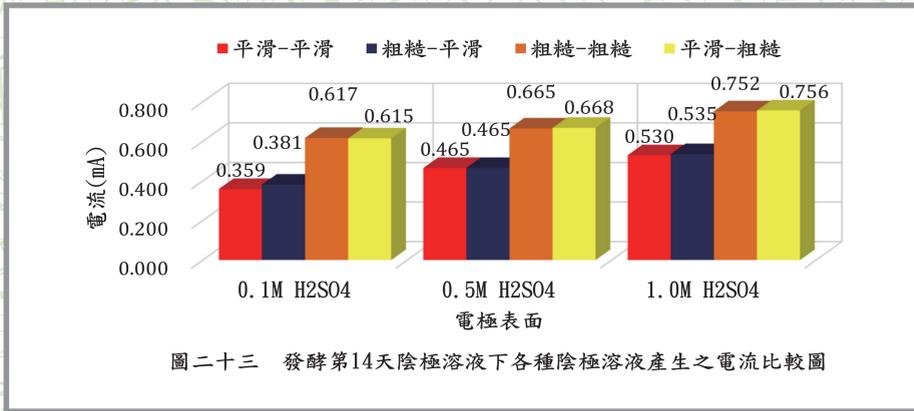
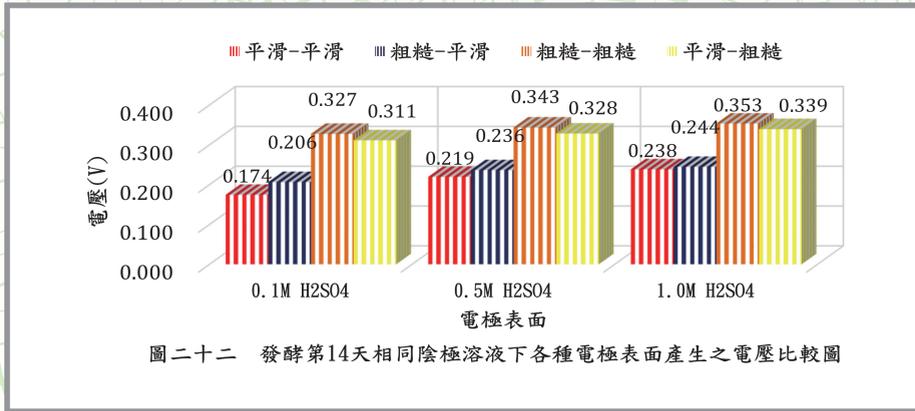
## 實驗四：電極表面

發酵第7天和第14天時，各組廚餘皆是碳棒粗糙-粗糙和平滑-粗糙的電壓、電流最高，顯示陽極的碳棒電極表面若為粗糙時造成電壓、電流較高。



## 實驗五：陰極溶液濃度

發酵第14天時，所有組別電壓、電流皆隨陰極溶液濃度增加而上升，與濃度成正相關。



## 陸 討論

一、廚餘的製備：本組在廚餘製備共嘗試了五次，並對問題提出改良。

二、化學電池的製備：本組推測電壓、電流值可能與電極接觸面積成正相關。

三、探討各種因素對廚餘發電的影響

(一)菌量：菌量增加對每種廚餘其電壓、電流的影響不完全呈現正相關，因此本組推測酵母菌並非對每種廚餘都有效，無法當成適合所有廚餘催化產電的菌種。

(二)電池反應時間：本組電池於10min內持續運作，其發電能力並沒有明顯的上升或下降。

本組推測可能是因測量時間僅有10分鐘，反應時間過短，以至於無法明顯觀察出時間造成之影響。

(三)發酵時間：隨著發酵的時間增加，使 $H_2$ 及少部分 $CH_4$ 增加，造成各種廚餘之電壓、電流皆提升，故使電功率大幅上升。

(四)電極表面：本組推估電極表面對電阻之下降有影響，因此後續研究可量化作用表面積的差異以探討作用表面積的影響。

(五)陰極水溶液濃度：陰陽極的碳棒表面性質在第7天之數據較無規律性，第14天電壓、電流皆隨陰極濃度增加而上升

## 柒 結論

一、各種因素對廚餘發電的影響

1.菌量：菌量之多寡對各類廚餘有不同之影響，其中兩次測量皆隨菌量增加電壓、電流也隨之上升的組別為鳳梨組。

2.電池反應時間：裝置持續運作0min、5min、10min對裝置電壓、電流影響不大，應是持續時間不夠久導致無法看出差異。

3.發酵時間：各組廚餘電流及電壓皆會隨著發酵時間增加而提升，原先電壓、電流較不規律之廚餘種類，可能隨時間的增加而接近相同趨勢。

4.電極表面：電極表面粗糙對電壓、電流有影響，陰極或陽極電極切換成粗糙表面者，電阻皆會有所下降，而使電壓、電流上升。

5.陰極水溶液濃度：第14天電壓、電流皆隨著陰極濃度增加而上升，第7天之數據很可能有誤差。

二、各式廚餘種類中篩選出較適合發電種類

1.如為水果類，發酵天數較適合為7天，鳳梨須加菌，芭樂則否。

2.如為青菜類，發酵天數較適合為14天，大白菜須加菌，高麗菜則否。

3.如為混合組，發酵天數較適合為14天，無須加菌。

三、未來展望

1.此次實驗僅使用酵母菌進行研究，於實驗一發現酵母菌並非對所有廚餘皆有效助於產電，故盼能夠使用不同的菌種來比較其產電變化。

2.本實驗的電極只使用碳棒進行研究，之後可利用不同種電極提升電壓。

於實驗四電極表面性質變化發現，電極表面作用面積的增加有助於降低電阻，希望未來能更深入探討如何增加電極表面積之實驗設計來提升電壓、電流。

## 捌 參考資料

1.陳雅玲、楊傑超(2016)。普通高級中學基礎化學(一)全第一冊。新北市：龍騰。

2.何念萱、陳昕臨、張藍心、劉瑞臻(2007)。微生物電力公司—微生物燃料電池之變因探討(全國中小學科展第47屆優異作品)。

3.台灣燃料電池資訊網(2020)。網址：<http://www.tfci.org.tw/index.asp>。擷取日期：2020/1/19。

4.趙紫如、劉昀宜、邱憶如、陳昱諠(2009)。—『碳』究竟-探討製備廚餘電池之條件(全國中小學科展第49屆優異作品)。

5.管慶安、楊筱南、張中維(2005)。廚餘來電了(全國中小學科展第45屆優異作品)。

6.本間琢也、上松宏吉、薛智恆(譯)(2011)。燃料電池。新北市：瑞昇文化。