

# 中華民國第 55 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高職組 化工、衛工及環工科

第三名

最佳團隊合作獎

091105

微生物燃料電池

學校名稱：國立新竹高級工業職業學校

作者：  職二 田浚緯  職二 吳玉凱  職二 林鴻宇	指導老師：  范碧雲  戴曉玫
---	-----------------------------

關鍵詞：纖維素、水解、燃料電池

## 摘要

微生物燃料電池是一種創新又環保的能源之一。在本實驗，我們以富含纖維素的農業廢棄物為原料，以物理處理法與氨水浸泡法將原料做前處理，再將處理後的原料加酸水解，經過  $\text{CaCO}_3$  的中和後，得到葡萄糖液，再以葡萄糖液做為養分，供微生物代謝發電，並改變不同的變因製作不同的微生物燃料電池。

在研究過程中，我們發現，椰子渣在 1.5% 硫酸的存在下水解 90 分鐘，所得的葡萄糖濃度最高，以此溶液在電子接受者為 5% 的赤血鹽溶液與酵母菌 反應時，所得的電壓最高為 386mV，而且此電壓能持續放電達數小時以上，並且能維持在 300mV 以上。

微生物燃料電池是一種綠色能源，希望能改良此實驗，求得最佳的電壓與放電時間，能對未來的能源、科技、環保帶來貢獻。

## 壹、研究動機

在普通化學課本第十四章介紹各種電池。其中燃料電池是一種低污染、高效能的電池，並且以 KOH 溶液當做電解液，由於課本只有簡略敘述燃料電池，我們想再深入了解燃料電池，於是開始收集有關燃料電池的資料，後來發現了微生物燃料電池。

微生物燃料電池利用葡萄糖作為微生物的養份來源，經過代謝轉換成電能，我們想利用椰子殼、甘蔗渣、木屑、稻稈等廢棄物，把它水解轉化成葡萄糖，運用在微生物燃料電池中，這樣不僅可以做為廢棄物的再利用，也可以為我們帶來更多的綠色能源。

## 貳、研究目的

- 一、尋找纖維素的最佳水解條件
  1. 比較不同纖維素如:椰子殼、甘蔗渣水解的效果
  2. 比較不同的酸液與濃度，對纖維素水解效果的影響
  3. 利用Bertrand法測量水解後的纖維素中，所含的糖量
- 二、設計並製作出一個小型的微生物燃料電池
- 三、測量不同變因對微生物燃料電池電壓的影響
  1. 改變微生物的種類
  2. 改變電子接受者的種類與濃度
  3. 以溶氧的蒸餾水代替陰極電子接受者進行實驗
  4. 進行對照試驗(不含微生物)
- 四、尋找出最佳的實驗條件，製作微生物燃料電池
- 五、測量電池功率

## 參、研究設備及器材

### 一、器材

器材名稱	數量
 電池裝置	一組
打氣泵浦	一組
離心試管	若干個
抽氣過濾裝置	若干個
血糖機	一組
磁石加熱攪拌器	若干個
滴定裝置	若干個
特製壓克力	一組
三用電錶	一組
矽利康	一組

### 二、藥品

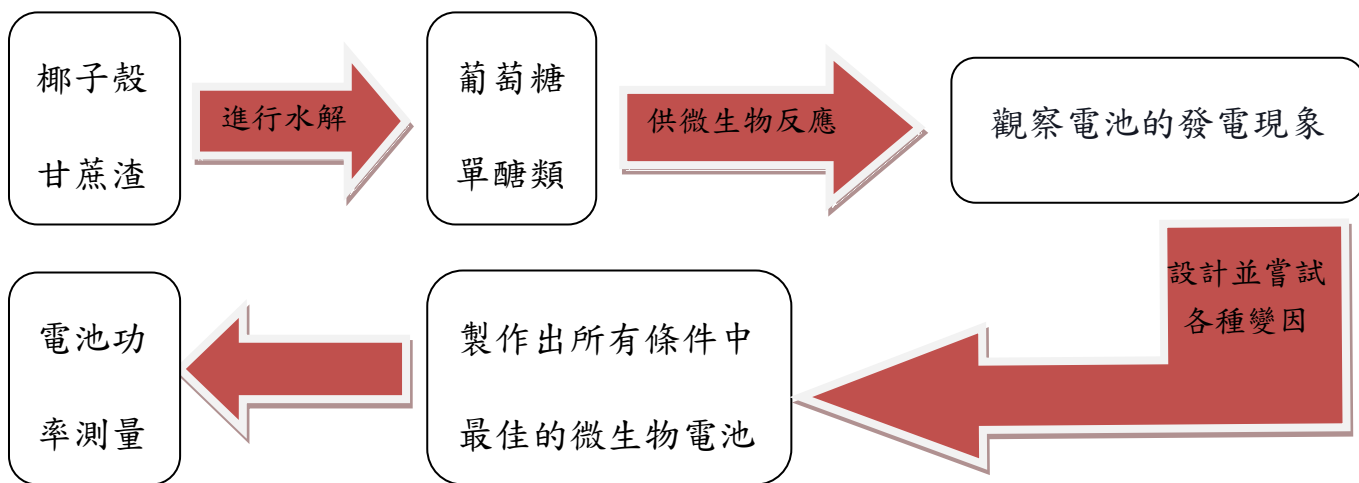
鹽酸	硫酸
硫酸銅(含結晶水)	硫酸鐵
酵母菌	碳酸鈣
氨水溶液	葡萄糖
澱粉	水果酵素
酒石酸	赤血鹽
磷酸鹽	氯化鈉
過錳酸鉀	氫氧化鈉

草酸	醋酸鈉
蒸餾水	甘蔗渣
市面販售酵母與自製水果酵素 	椰子渣 

## 肆、研究過程或方法

### 一、實驗流程圖

在本實驗，我們將進行下列程序。



### 二、實驗步驟

#### (一)纖維素的水解

##### 1.前處理

(1)將椰子殼和甘蔗渣洗淨切碎後烘乾並利用研磨機處理呈粉狀。



(2)將乾燥後的甘蔗渣粉和椰子殼粉分別加入 1L 10%的氨水溶液，靜置兩天。

(3)過濾，分別取出甘蔗渣粉及椰子殼粉。



## 2.纖維素水解

(1).在 8 個燒杯中，各加入 4 克的椰子殼粉，再分別加入 0.5%、1%、1.5%、2% 的 125ml 的硫酸及鹽酸溶液

(2)在 8 個燒杯中，各加入 4 克的甘蔗渣粉，再分別加入 0.5%、1%、1.5%、2% 的 125ml 的硫酸及鹽酸溶液



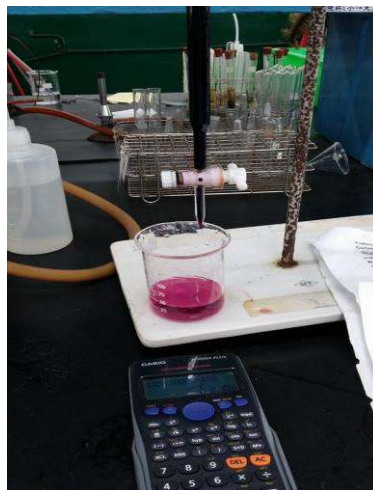
(3)將各個試樣加熱溫度至 175°C，每 30 分鐘取 20ml 的溶液出來檢驗，總共取 6 次



(4)在 20ml 溶液中加入  $\text{CaCO}_3$  調成中性，再過濾



(5)利用 Bertrand 法測定糖的產率



(二)Bertrand 法測含糖量

### 1. 試劑製備

(1) 酒石酸鈉溶液：72.83g 酒石酸和 44.34g 氫氧化鈉加水至 250 毫升。

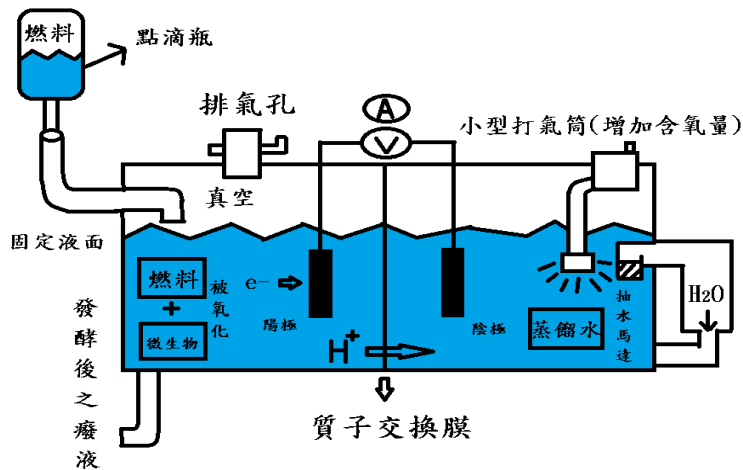
- (2) 硫酸銅溶液：11.074g 硫酸銅加水至 250 毫升。
- (3) 硫酸鐵溶液：取 50g 硫酸亞鐵加水至 200 毫升再緩慢加 100 毫升濃硫酸。
- (4) 過錳酸鉀溶液：1.012g 過錳酸鉀加水配成 200 毫升（濃度 0.03M）

## 2. 步驟

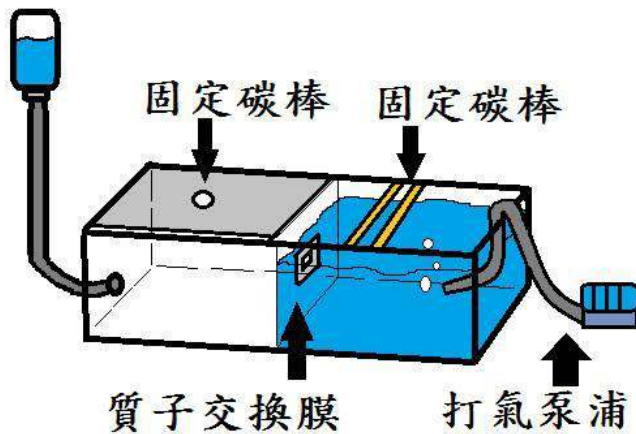
- (1) 取定量的水解葡萄糖液置於錐形瓶中，分別加入 15ml 酒石酸鈉水溶液及硫酸銅溶液。
- (2) 將混合溶液放置本生燈持續加熱至沸騰約 10~20 分鐘，並有紅色氧化亞銅沉澱出現，持續加熱等待 5~10 分鐘，直至紅色沉澱不再增加為止。
- (3) 把混和液(含沉澱)倒入離心試管內並利用離心機分離沉澱後並將藍色上澄液移除後，以少量的溫水沖洗離心試管內的紅色氧化亞銅沉澱多次並在離心多次，使上澄液呈現透明並約為中性後，將沉澱移至錐形瓶。
- (4) 在氧化亞銅沉澱中加入硫酸鐵水溶液 15 毫升，使沉澱消失後，再用過錳酸鉀溶液 0.03M 滴定至當量點，並記錄過錳酸鉀溶液的用量。
- (5) 作空白試驗，取等量的硫酸鐵溶液與試樣放入錐形瓶中，加入蒸餾水至與原實驗之相同的量，再以高錳酸鉀滴定至微粉紅並記錄此時高錳酸鉀消耗的體積，實驗的消耗量-空白試驗消耗量=實際消耗量。



### (三)電池設計



(理想裝置設計圖)



(實際電池裝置圖)

- (1)第一張圖是我們理想中的電池裝置，後來發現有些設備無法取得，於是我們就把電池裝置改良成第二張圖。
- (2)電池裝置的陽極加蓋並用矽膠將所有縫隙填補，使陽極維持缺氧狀態，並在陽極槽上方打洞連接管子灌入葡萄糖液，以確保陽極內無空隙；陰極則是設計成開放式的槽，維持較高濃度的含氧量，並且加掛打氣泵浦提升含氧量。
- (3)取約 20g 的酵母菌和 1000ml 的葡萄糖液倒入陽極，將電子接受者倒入陰極，讓液面蓋過質子交換膜，在陰極、陽極分別插入碳棒連接電路並接上三用電錶測量並記錄其電壓。

### (四)不同變因對微生物燃料電池電壓的影響

#### 1.微生物

我們利用一般市售的酵母菌與自製的水果酵素當作陽極的微生物，比較兩者對微生物燃料電池電壓的影響。

#### 2.電子接受者的濃度對電壓之影響



### (1) 赤血鹽

用磷酸鹽緩衝溶液將系統調整至適合之 pH 值，在電池陽極加入微生物及基質，在陰極加入 1% 赤血鹽溶液，測量電壓。改變赤血鹽溶液的濃度，觀察不同濃度對電壓的影響。

### (2) 高錳酸鉀

用磷酸鹽緩衝溶液將系統調整至適合之 pH 值，在電池陽極加入微生物及基質，在陰極加入 1% 的高錳酸鉀溶液，測量電壓。改變高錳酸鉀溶液的濃度，觀察不同濃度對電壓的影響。

### 3. 以溶氧的蒸餾水代替陰極電子接受者

用磷酸鹽緩衝溶液將系統調整至適合之 pH 值，在電池陽極加入微生物及基質，在陰極則加入曝氣後的蒸餾水，測量電壓。

### 4. 對照試驗

因為電池兩極的溶液濃度不同，會有電位差，形成濃差電池，我們為了證明微生物燃料電池是靠微生物新陳代謝所發電的，所以我們製作了一組對照試驗(即陽極不加入微生物)來檢驗微生物是否運作。



(赤血鹽)

(高錳酸鉀)

(溶氧蒸餾水)

(對照試驗)

### (五) 尋找出最佳的實驗條件，製作微生物燃料電池

#### 1. 最佳的葡萄糖溶液

(1) 由之前的實驗結果得知，椰子渣粉在 1.5% 硫酸溶液、溫度 175°C、水解時間 90 分鐘的電壓最大。

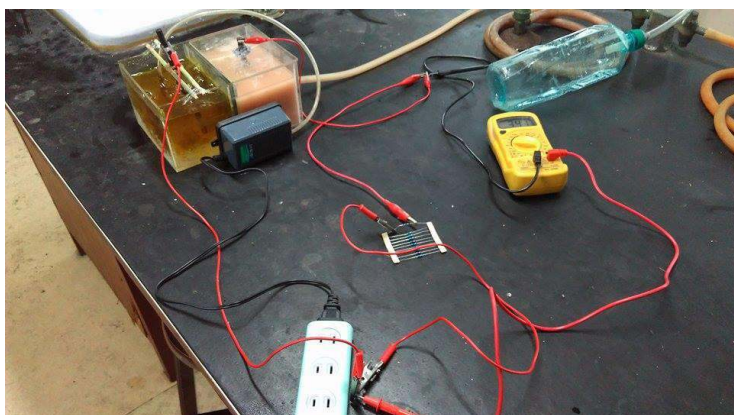
(2) 取 20 克已處理的椰子渣粉，置於燒杯中，加入約 500 毫升的 1.5%  $H_2SO_4$ ，在 175°C 度攪拌加熱 90 分鐘，以  $CaCO_3$  中和後過濾，此濾液即為陽極微生物之營養來源

#### 2. 最佳微生物來源為市售酵母菌

- 3.最佳電子接受者為 5% 赤血鹽溶液
- 4.上述的最佳條件，組合成微生物燃料電池
  - (1)每 15 分鐘紀錄一次電壓
  - (2)觀察電池放電時產生的現象

#### (六)電池功率測量

- 1.每 20 分鐘測量電壓、電流及電阻
- 2.計算出電池功率



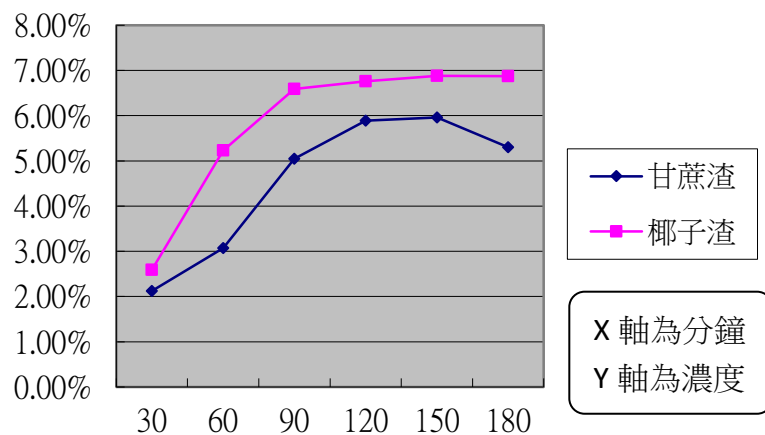
## 伍、研究結果

### (一)酸液對纖維素水解結果的影響

#### 1. 0.5%的硫酸溶液

(表一)葡萄糖濃度(mg/ml)

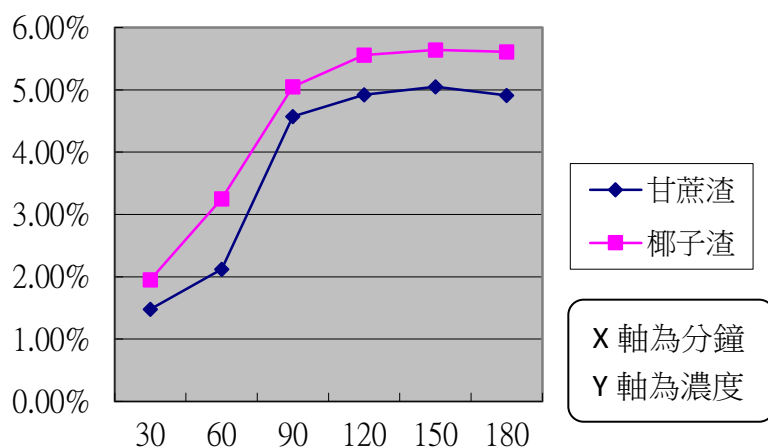
	30 分鐘	60 分鐘	90 分鐘	120 分鐘	150 分鐘	180 分鐘
甘蔗渣	2.12%	3.07%	5.05%	5.89%	5.96%	5.30%
椰子渣	2.59%	5.23%	6.59%	6.76%	6.88%	6.87%



2. 0.5%的鹽酸溶液

(表二)葡萄糖濃度(mg/ml)

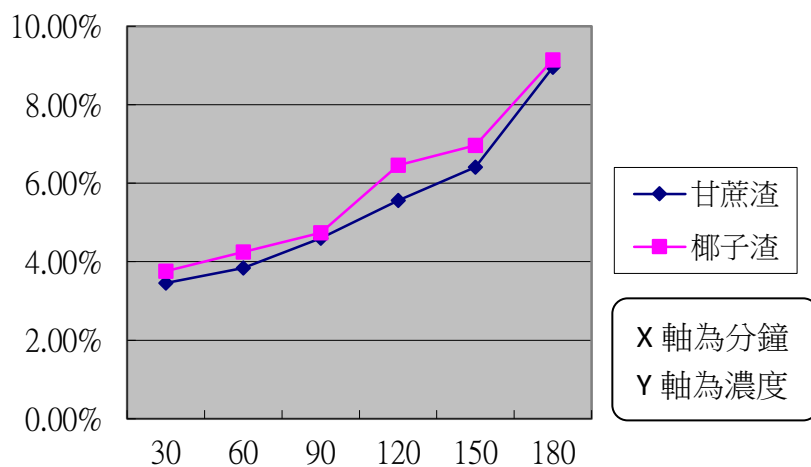
	30 分鐘	60 分鐘	90 分鐘	120 分鐘	150 分鐘	180 分鐘
甘蔗渣	1.48%	2.12%	4.57%	4.92%	5.05%	4.91%
椰子渣	1.95%	3.25%	5.05%	5.56%	5.64%	5.61%



3. 1.0%的硫酸溶液

(表三)葡萄糖濃度(mg/ml)

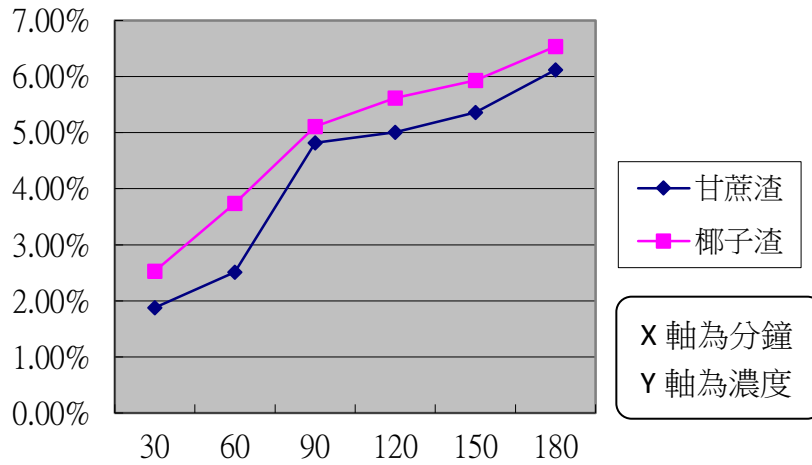
	30 分鐘	60 分鐘	90 分鐘	120 分鐘	150 分鐘	180 分鐘
甘蔗渣	3.46%	3.84%	4.60%	5.56%	6.41%	8.95%
椰子渣	3.76%	4.25%	4.74%	6.46%	6.96%	9.14%



4. 1.0%的鹽酸溶液

(表四)葡萄糖濃度(mg/ml)

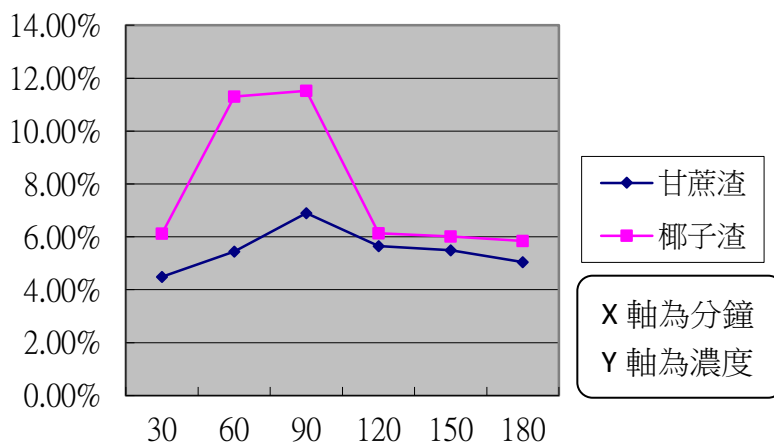
	30 分鐘	60 分鐘	90 分鐘	120 分鐘	150 分鐘	180 分鐘
甘蔗渣	1.88%	2.51%	4.82%	5.01%	5.36%	6.12%
椰子渣	2.53%	3.74%	5.11%	5.62%	5.93%	6.54%



5. 1.5%的硫酸溶液

(表五)葡萄糖濃度(mg/ml)

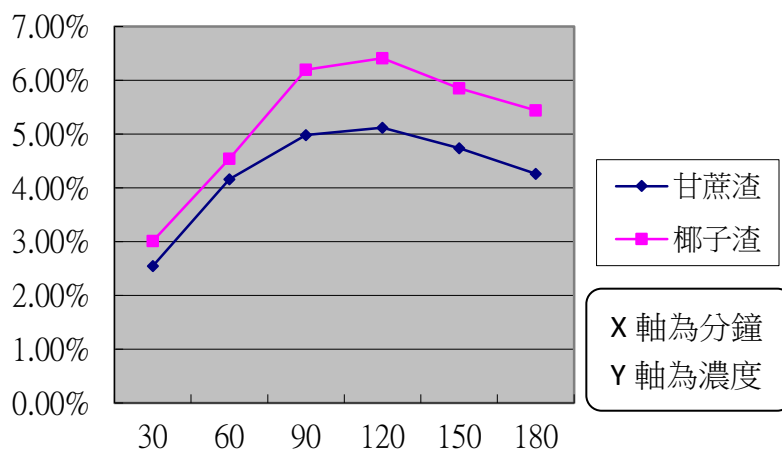
	30 分鐘	60 分鐘	90 分鐘	120 分鐘	150 分鐘	180 分鐘
甘蔗渣	4.49%	5.45%	6.90%	5.65%	5.49%	5.05%
椰子渣	6.12%	11.30%	11.52%	6.13%	6.02%	5.84%



6. 1.5%的鹽酸溶液

(表六)葡萄糖濃度(mg/ml)

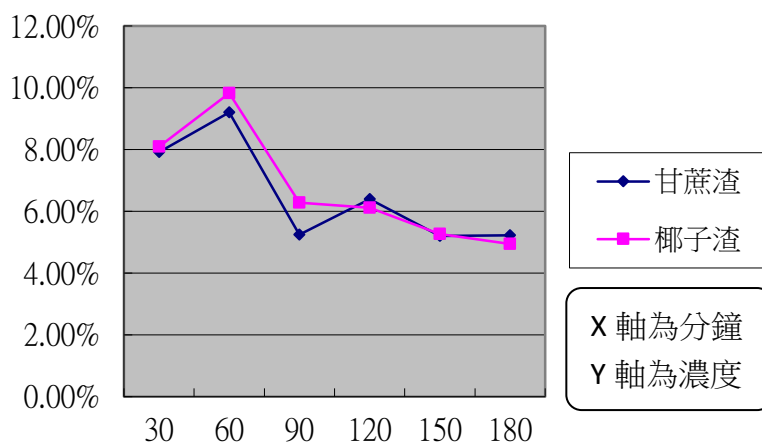
	30 分鐘	60 分鐘	90 分鐘	120 分鐘	150 分鐘	180 分鐘
甘蔗渣	2.55%	4.16%	4.98%	5.12%	4.74%	4.26%
椰子渣	3.01%	4.54%	6.20%	6.41%	5.85%	5.44%



7. 2.0%的硫酸溶液

(表七)葡萄糖濃度(mg/ml)

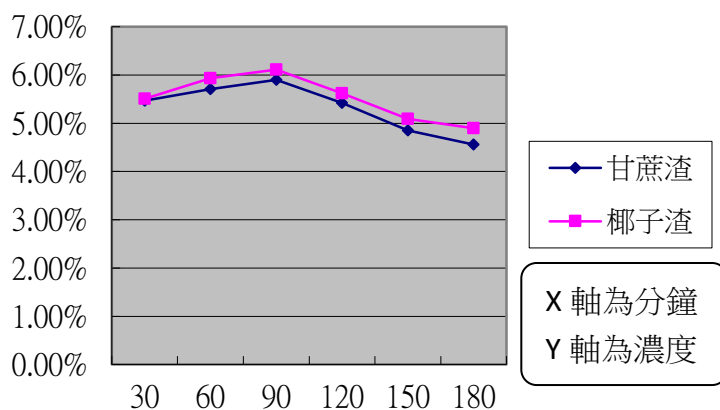
	30 分鐘	60 分鐘	90 分鐘	120 分鐘	150 分鐘	180 分鐘
甘蔗渣	7.92%	9.20%	5.25%	6.40%	5.20%	5.22%
椰子渣	8.09%	9.83%	6.28%	6.12%	5.27%	4.94%



8. 2.0%的鹽酸溶液

(表八)葡萄糖濃度(mg/ml)

	30 分鐘	60 分鐘	90 分鐘	120 分鐘	150 分鐘	180 分鐘
甘蔗渣	5.47%	5.71%	5.90%	5.42%	4.85%	4.56%
椰子渣	5.51%	5.93%	6.11%	5.62%	5.09%	4.90%



(二) 不同變因對微生物燃料電池電壓的影響

1. 不同之微生物(電子接受者為 5% 赤血鹽溶液)

(表九)電壓(mV)

	第一次	第二次	平均值
自製水果酵素	264	259	261.5
販售酵母菌	386	357	371.5

2. 電子接受者濃度

(1) 赤血鹽溶液

(表十)電壓(mV)

	第一次	第二次	平均值
1%	294	291	292.5
2%	301	305	303
3%	305	309	307
4%	316	312	314
5%	386	357	371.5
6%	326	312	319

(2)高錳酸鉀  $KMNO_4$  溶液

(表十一)電壓(mV)

	第一次	第二次	平均值
1%	264	260	262
2%	303	296	299.5
3%	268	273	270.5
4%	260	269	264.5
5%	259	261	260
6%	232	229	230.5

3.以溶氧的蒸餾水代替陰極電子接受者

(1)溶氧蒸餾水

(表十二)電壓(mV)

	第一次	第二次	平均值
溶氧蒸餾水	274	267	270.5

(三)對照試驗(不含微生物)

(表十三)電壓(mV)

	第一次	第二次	平均值
濃差電池	約 192	約 196	約 194

此實驗的電壓不穩定，會隨著時間衰退

五、利用最佳的實驗數據，製作微生物燃料電池

(表十三)電壓(mV)

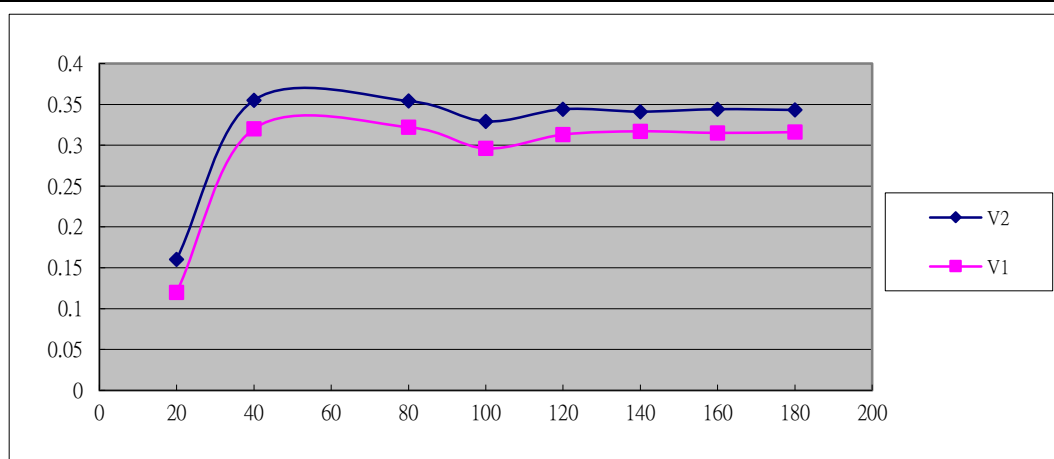
時間(分鐘)	0	15	30	45	60
電壓(mV)	357	386	372	352	355
時間(分鐘)	75	90	105	120	135
電壓(mV)	344	342	335	320	318
時間(分鐘)	150	165	180	195	210
電壓(mV)	305	306	301	297	288

## 六、電池功率測量

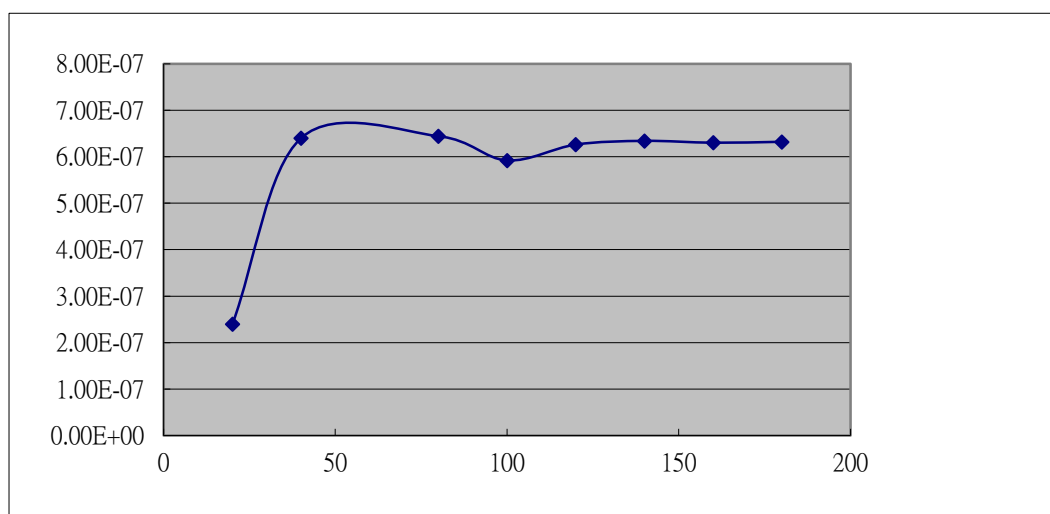
外加 500KΩ 電阻負載

(表十四)

T (分鐘)	V2 (電池開路電壓)V	V1 (負載電壓)V	I1 (負載電流)A	Rs (內電阻) $\Omega$	P (電池功率)W
20	0.16	0.12	$2.40 \times 10^{-7}$	$1.67 \times 10^5$	$2.88 \times 10^{-8}$
40	0.355	0.32	$6.40 \times 10^{-7}$	$5.47 \times 10^4$	$2.05 \times 10^{-7}$
80	0.354	0.322	$6.44 \times 10^{-7}$	$4.97 \times 10^4$	$2.07 \times 10^{-7}$
100	0.329	0.296	$5.92 \times 10^{-7}$	$5.57 \times 10^4$	$1.75 \times 10^{-7}$
120	0.344	0.313	$6.26 \times 10^{-7}$	$4.95 \times 10^4$	$1.96 \times 10^{-7}$
140	0.341	0.317	$6.34 \times 10^{-7}$	$3.79 \times 10^4$	$2.01 \times 10^{-7}$
160	0.344	0.315	$6.30 \times 10^{-7}$	$4.60 \times 10^4$	$1.98 \times 10^{-7}$
180	0.343	0.316	$6.32 \times 10^{-7}$	$4.27 \times 10^4$	$2.00 \times 10^{-7}$

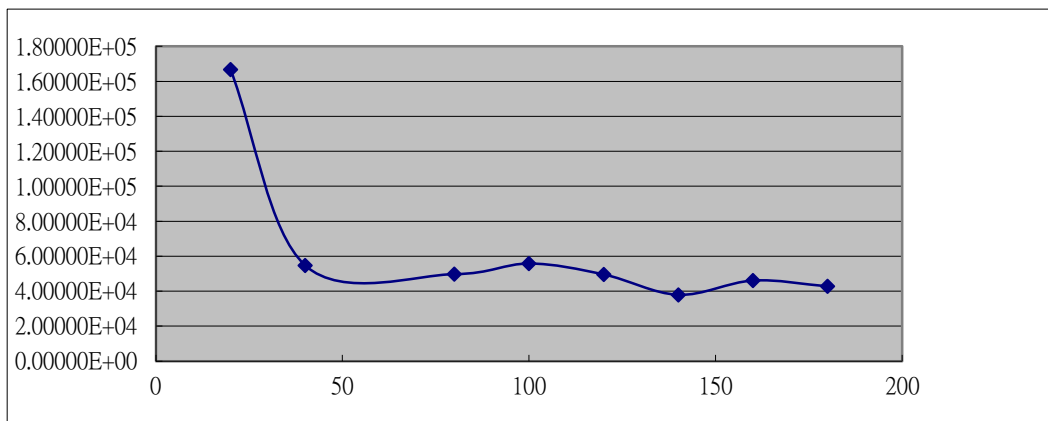


V 對 T 數據圖

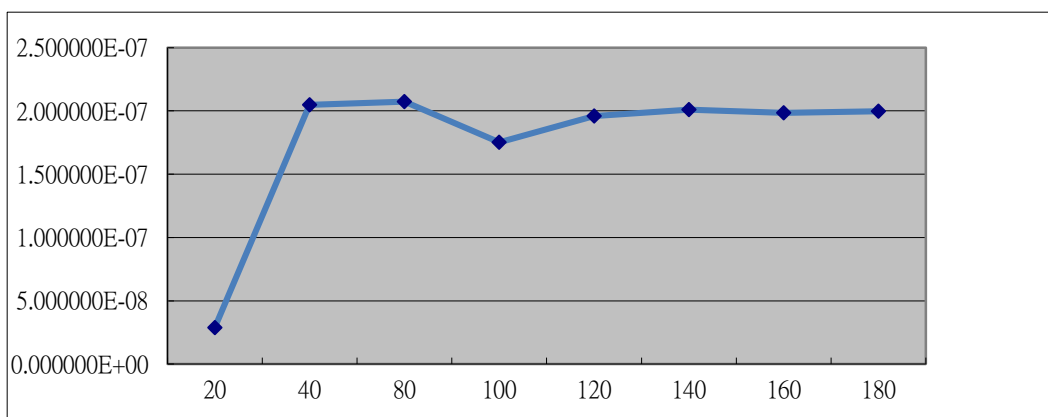


I 對 T 數據圖





Rs 對 T 數據圖

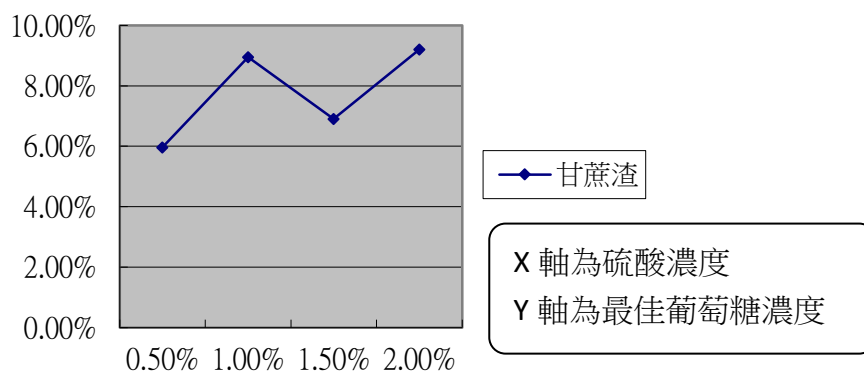


P 對 T 數據圖

## 陸、討論

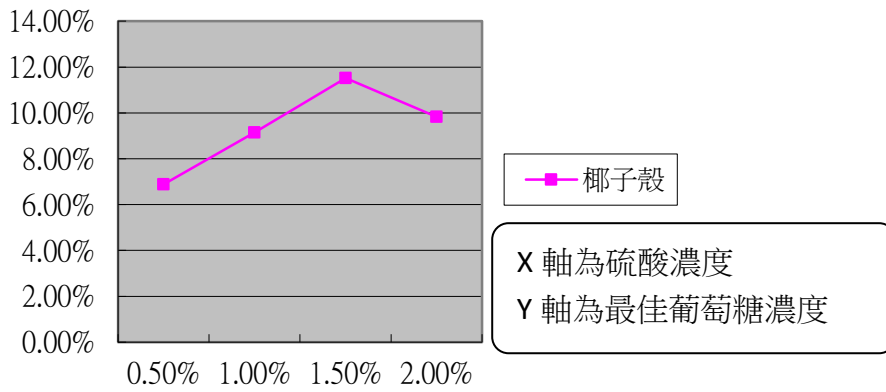
### 一、纖維素水解條件

甘蔗渣+硫酸



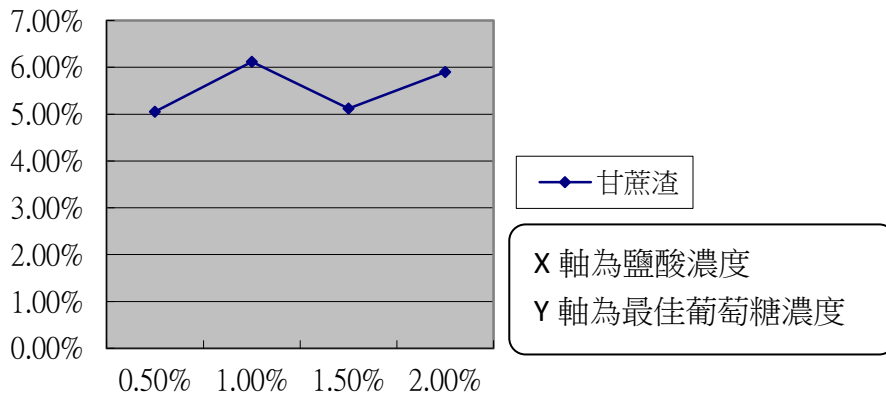
甘蔗渣與不同濃度硫酸水解的最佳葡萄糖濃度比較

椰子殼+硫酸



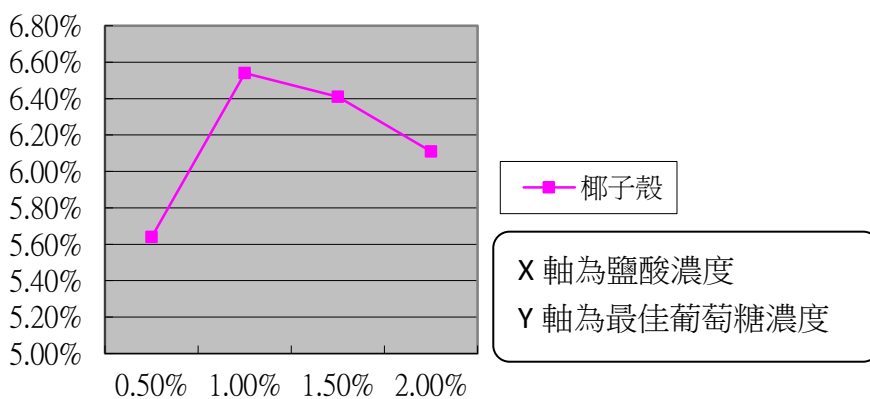
椰子殼與不同濃度硫酸水解的最佳葡萄糖濃度比較

甘蔗渣+鹽酸



甘蔗渣與不同濃度鹽酸水解的最佳葡萄糖濃度比較

椰子殼+鹽酸



椰子殼與不同濃度鹽酸水解的最佳葡萄糖濃度比較

### (一) 硫酸溶液、鹽酸溶液濃度為 0.5%

1. 從(表一)可得知甘蔗渣粉在 120~150 分鐘內的水解效果最好，而過了 150 分鐘後，濃度便有下降的趨勢，前 60 分鐘糖濃度並無明顯的增加，可能是因為水解時間太短，而過了 120 分鐘後可能是因為水解時間過長而過度水解產生了副產物，例如有機酸之類的物質。而從表(二)中得知用鹽酸水解甘蔗渣的效果不如硫酸好，我們推測可能是鹽酸中的氯離子有催化水解的功能而過度水解產生副產物。
2. 從(表一)與(表二)可以看出不管是硫酸還是鹽酸水解，用椰子渣水解出來的葡萄糖濃度幾乎都比甘蔗渣來的高，從這裡可推測椰子殼中的纖維素含量比甘蔗來的高，或是椰子殼中的纖維素組成較鬆散，所以造成了兩者水解上的差別。
3. 從這得知了以椰子渣為原料用硫酸水解時的糖產量為最大。

### (二) 硫酸、鹽酸濃度 1.0%

1. 從(表三)與(表四)可以得知不管是甘蔗渣與椰子渣用鹽酸或硫酸水解時，糖濃度都大約 120 分鐘後便持續上升，可是還是以硫酸的水解效果較佳，椰子渣的糖產值還是比甘蔗渣多。
2. 當酸濃度提升之後，我們發現糖濃度有提升，所以推測在一定酸濃度下，水解效率與酸濃度有成正相關。

### (三) 硫酸、鹽酸濃度 1.5%

1. 從(表五)中可以得知在 90 分鐘時，用椰子渣水解有最佳之糖濃度，但隨著時間增加，糖濃度有下降趨勢，可能是纖維素過度水解產生副產物，造成一些糖的損失。
2. 從(表六)中可得知鹽酸水解的效果並沒有像硫酸那麼的好，可能也是因為氯離子的催化關係，讓原料過度水解產生不必要的副產物。

### (四) 硫酸、鹽酸濃度 2.0%

1. 從(表七)中可得知在水解時間 30~60 分鐘的糖濃度最高，而且甘蔗渣與椰子渣的糖產量居然差不多，我們推測可能是提高濃度造成甘蔗渣更容易被水解的關係。而在 60 分鐘後糖濃度不如之前高了，有可能是在 60 分鐘前都反應完全了。
2. 從(表八)可得知鹽酸的水解效果還是不如硫酸，加上從(表二)(表四)(表六)中的數據得知，鹽酸水解的糖產量最高也差不多只到 5~6% 而已，有文獻指出硫酸的水解效率比鹽酸佳，但也有人指出是鹽酸的水解效率較佳，可能原因應該是鹽酸水解時必須加入某些金屬作為催化劑，才能發揮最大效率。

## 二、不同變因對微生物燃料電池電壓的影響

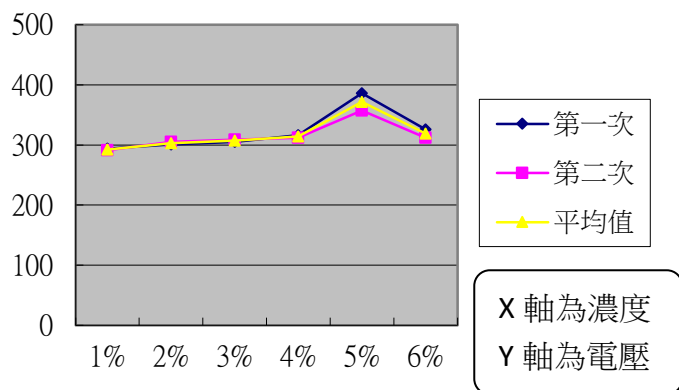
### (一) 微生物

1. 市售之酵母菌所產生的電壓穩定，而且產生之電壓也較自製的水果酵素高，任何 pH 值都容易存活，加上酵母菌不用任何電子載體就可以傳遞電子至陰極，是容易培養的菌種。
2. 自製水果酵素所產生的電壓起初雖然穩定，可是過了一段時間後電壓便會在固定區間內跳動，而且產生的電壓並不像市售酵母菌那樣的高，我們覺得可能是

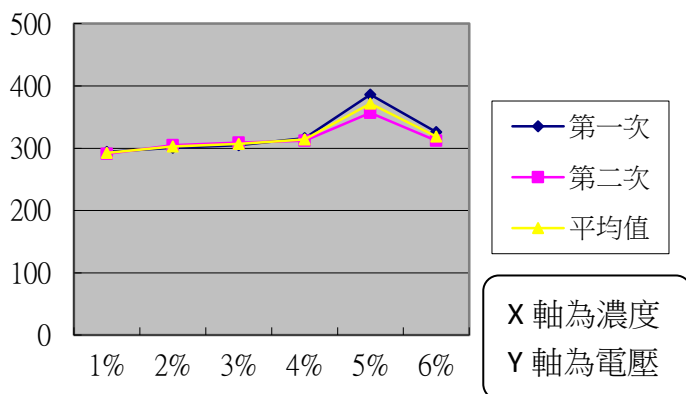
自製水果酵素時在發酵過程中不只有酵母菌參與，應該還有其他雜菌一起參與發酵，造成了不必要的菌種繁殖。

## (二) 電子接受者的濃度對電壓之影響

### 1. 赤血鹽濃度在 5% 時有最佳的電壓



### 2. 高錳酸鉀濃度在 2% 時有最佳的電壓



3. 從文獻得知高錳酸鉀的發電功率應當比赤血鹽還高才對，可是我們做出來的結果卻是赤血鹽的電壓較高，重複幾次後還是出現差不多的結果，我們覺得是電池設計問題或是跟環境與質傳因子、反應速率有關係。所以我們還是選用了 5% 赤血鹽。

## (三) 以溶氧蒸餾水代替陰極電子接受者

氧的標準還原電位是  $E^\circ=1.299V$  而赤血鹽的標準還原電位是  $E^\circ=0.361V$ ，理論上氧的發電效率應該要比赤血鹽好，可是實驗結果卻不是，我們推測應該是氧氣會經由質子交換膜擴散至陽極，破壞陽極的厭氧狀態，另一方面應該是氧氣對水有較低溶解度，所以造成庫倫效率降低。

## (四) 對照試驗

從(表十三)可以得知，我們的微生物燃料電池是靠維生物代謝來發電，若電池中沒有加入微生物，所產生之電壓較低，電壓也會持續衰退，我們推測應該是沒有微生物持續發電所造成的。

### 三、電池功率測量

從(表十四) 可以得知，我們的微生物燃料電池一開始不穩定，等 40 分鐘後，各數值才會趨於穩定，我們推測應該是微生物可能需要一些時間，將養份代謝產才能生能量，使電池運作，過了 40 分鐘後微生物適應了此系統，反應才能持續。

### 柒、結論

#### 一、水解效果與糖產量

椰子渣粉>甘蔗渣粉，硫酸溶液的效果>鹽酸溶液，且濃度是 1.5%>2.0%>1.0%>0.5%，增加酸濃度會使水解速率變快，但不保證與糖產量成正比。前處理過的原料效果>未處理的原料。故最後使用椰子渣粉加 1.5%的硫酸溶液水解。

#### 二、影響發電效率的因子及微生物燃料電池之設計

使用市售酵母菌與電子接受者為 5%赤血鹽溶液時有最高電壓，雖然赤血鹽濃度增加，電壓有增加的趨勢，但是到了 6%後反而下降了。而高錳酸鉀則是到了 3%後便下降，然後趨於穩定。

#### 三、微生物燃料電池

利用最佳實驗結果的條件所做出來的微生物燃料電池電壓最高可達 386mV，且電壓都維持的很穩定，可持續幾小時。

#### 四、測量電池功率及效能

輸出功率於 40 分鐘後穩定落在約  $0.2 \mu W$ ，代表 40 分鐘後可以穩定發電，也可以由電池內電阻發現，40 分鐘後內電阻大幅降低，落在 40K-60K。

#### 五、未來展望

- (一)為了增加水解產率，可以嘗試不同的前處理法，也許可以找出最佳的前處理法，鹽酸和硫酸的濃度還可改變，如果把從葡萄糖液換成對環境有害的有機物，再找出能分解此有機物的菌種，如此不但能淨化環境還能產生電力。
- (二)由於微生物燃料電池目前所需的發電燃料來源是糧食作物的糖類，但世界上卻有些地方連這些基本的糧食作物都缺乏，甚至某些落後國家所種植的甘蔗、番薯等作物都是用來提供生質能源的燃料來源，而不是提供其人民當作糧食自足，對這些饑荒國家的人民來說簡直是大災難。剛好台灣南部盛產椰子，路旁隨時可以見到椰子樹與掉落的椰子殼，我們利用水解技術將這些農業廢棄物水解成糖類當作微生物燃料電池之燃料，不僅能減少資源的浪費之外，也能將資源永續使用，是綠能的革新！
- (三)雖然微生物燃料電池在電能輸出方面沒有競爭優勢，但是在很多方面有很好的應用前景，可以發展為廉價、長效的電能系統。家裡的廚餘要怎麼處理？除了丟棄或做堆肥外，或許未來多了一個新選項，可以用來當做微生物燃料電池的養分。試想這

樣的未來，我們用廚餘產生的電來運用在生活上，微生物燃料電池也能發展成生物感測器，只要有不肖工廠排放污水，微生物會受到影響，輸出的信號也會跟著產生變化，進而監控工廠廢水的排放狀況。

## 捌、參考資料

- 一、蔡永昌·江孟玲(2011)。分析化學 I。取自:台科大圖書股份有限公司
- 二、蔡永昌(2012)。普通化學 II。取自:台科大圖書股份有限公司
- 三、莊智傑(2011)。化工群·基礎有機化學。取自:復文圖書有限公司
- 四、簡易微生物燃料電池製作 (The Simple Microbial Fuel Cell)科技部高瞻自然科學教學資源平台。取自: <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=3335>
- 五、破壞纖維素的剪刀手—纖維素分解酵素 (Cellulase) 科技部高瞻自然科學教學資源平台。取自: <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=54417>
- 六、林頌生:食品檢驗分析實習論文。國立屏東科技大學，食品科學系。2010 年
- 七、中華民國第 50 屆中小學科學展覽會。斐疑所思-斐林世紀之謎
- 八、中華民國第 51 屆中小學科學展覽會。多醣類廢棄物轉化為微生物燃料電池研究

## 【評語】 091105

本研究動機利用富含纖維素的椰子殼與甘蔗渣等農業廢棄物為原料，以物理處理法與氨水浸泡法將原料做處理，再將處理後的原料加酸水解，經過中和後，得到葡萄糖液，再以葡萄糖液做為微生物代謝發電用之養分，以不同變因尋找最佳實驗條件，製作各類微生物燃料電池。葡萄糖濃度之表示法應再釐清其正確性與一致性，此外在椰子殼中含有脂質，建議可進一步探討脂質含量與葡萄糖產量之關係。若未來能分析微生物之菌相、酵母菌濃度與不同實驗條件之酵母菌生理功能，再分析與葡萄糖濃度和發電量之關係，將更具科學性。