

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高中組 化學科

040205

微生物燃料電池的研究

學校名稱：臺北市立大直高級中學

作者： 高二 邱偉誠 高二 翁瑋辰 高二 柯驊原	指導老師： 陳煌仁
---	------------------

關鍵詞：大腸桿菌、葡萄糖、燃料電池

中華民國第五十三屆中小學科學展覽會內容

作品名稱：

微生物燃料電池的研究

摘要：

本實驗首先取乳酸菌、酵母菌、AB 優酪乳、生態池水當作菌種，使用葡萄糖、蔗糖糖當做營養液，觀測其放電電壓。發現無論哪一種菌或營養液，都可以發電，但是以葡萄當營養液的發電電壓最大。以自己培養的大腸桿菌來發電，發現最大電壓可以達到 0.9 伏特，循環營養液持續發電 22 小時，電壓仍可維持在 0.7 伏特以上。

改變燃料電池的造型，圓柱筒型電池，可以得知陽極碳織布的電極面積並非越大越好，且陰極的電極位置越靠近下層碳粉，放電電壓沒有改變，但是放電電流會加大。淺盆型的電池，電壓較小，也較不穩定。利用三個淺盆型的電池串聯，可以使 LED 燈泡發光 4~5 個小時以上。若利用大腸桿菌分解剩飯，也可以測到 0.5 伏特左右的電壓。

壹、研究動機

我們在科學人雜誌裡看到一篇文章，內容是說「人們經常遇上這樣掃興的情況：手機用上幾天就沒電了，突然沒法跟外界交流了。下一次再遇上這種情況，或許先不用著急，只要能找到砂糖，打開手機，將一勺糖澆到手機電池上，等一小會兒，嗨，奇跡出現了，手機又來電了，你又能同世界相連接了。」如果可以將隨手可得的有機物，利用簡單的化學反應來產生電能，將是一種劃時代的發明。因為電池是一種不可或缺的生活用品，傳統的電池都使用汙染嚴重的重金屬當作兩極或填充物，當人們使用完電池後，將電池隨手一丟，造成嚴重的公害問題。如果我們可以用周圍簡單的裝置，利用微生物分解有機物的原理，將有機物的氧化還原反應分成兩極，變成一個燃料電池來發電，既不會造成汙染，也可以作為手機或平板的充電裝置，將會使生活更便利，環境更乾淨。

我們希望以簡單的學校設備，來組裝微生物電池。除了利用學校裡生態池的微生物，以及隨手可以買得的乳酸菌、酵母菌，甚至自己養菌，再添加一些營養液，來比較微生物電池的發電電壓與效率。

貳、研究目的

由於微生物燃料電池尚未發展完備，許多操作條件的效果並不明確，電極的搭配、材料的選擇、微生物的種類和養分的使用都成為重要的研討課題。因此，若能改進操作技術、提升微生物燃料電池的效能，將會成為未來能源發展的新趨勢。

本實驗主要有以下幾個目的

一、組裝微生物電池，觀察不同的營養液與不同的細菌，發電電壓的比較。

(一)改變不同營養液、細菌下的電壓

(二)利用自己培養的細菌來發電

(三)改變不同 pH 值下的電壓

二、微生物電池的實際應用

(一)探討使用燃料電池使電燈泡發光、1 歐姆的實際放電情形

(二)利用廚餘發電

參、研究設備及器材

一、器材

- (一) 開放式壓克力實驗槽(規格：底面積x高，6cm × 6cm × π×40cm，厚度：0.1cm)(如圖3-1)
- (二) 碳織布(廠牌：強固企業有限公司)
- (三) 防水膠
- (四) 不鏽鋼絲
- (五) 蒸餾水
- (六) 生態池池水
- (七) 抽水馬達
- (八) 電子天平
- (九) 塑膠軟管
- (十) 容量瓶(1000mL)
- (十一) 燒杯(500mL)
- (十二) 試管塞
- (十三) 電子式三用電錶(可外接電腦)(型號：TES 2732)



圖3-1 開放式壓克力電池裝置

- (十四) 鱷魚夾
- (十五) 石墨粉
- (十六) 寶特瓶(5800mL)

二、試劑

- (一) 葡萄糖溶液($C_6H_{12}O_6$)
- (二) 蔗糖溶液
- (三) 果糖溶液
- (四) 好菌多多(統一)
- (五) AB優酪乳(光泉)
- (七) 荷花池水

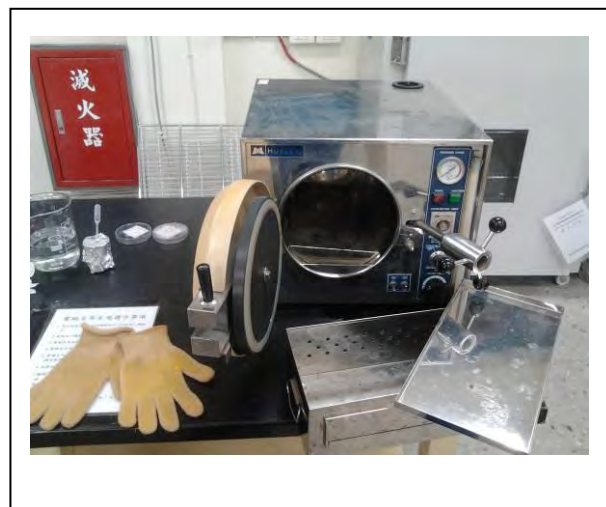


圖3-2 高溫蒸氣滅菌箱

(八) 碳粉

三、養菌器材

- (一) LB broth(培養基)(MERCK)
- (二) 微量滴管/酒精
- (三) 大腸桿菌 JM109 菌液(益生公司)
- (四) 高壓蒸氣滅菌箱(如圖 3-2)(型號: HUX LEY HL-320)
- (五) 培養箱(型號:TKS LTI-601)
- (六) 容量瓶
- (七) 量筒
- (八) 錐形瓶
- (九) 鋁箔紙
- (十) 震盪器(型號:OS-701A)
- (十一) 無菌操作台(如圖 3-3)(型號: HIGH TEN 3HT-24)
- (十二) 分光光度計(型號:DR/2500)



圖 3-3 無菌操作台

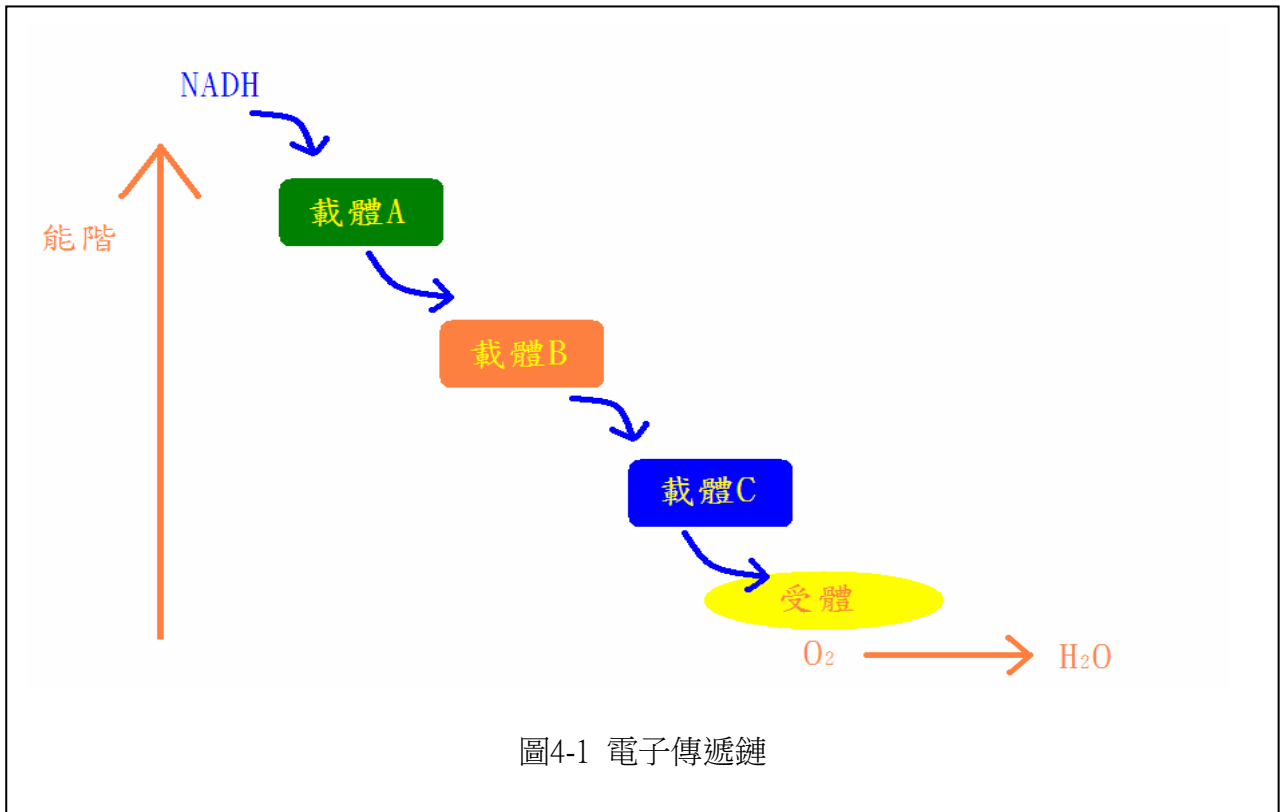
肆、研究過程及方法

一、原理

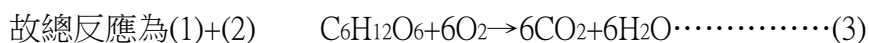
微生物可經呼吸作用分解有機物，以葡萄糖為例，先將葡萄糖糖解成兩個丙酮酸和少量 ATP，接著丙酮酸進入粒線體經過一連串反應，產生 CO_2 和 H_2O 以及少量 ATP 和接受電子的 NAD^+ 及 FAD ，將能量儲存於 NADH 及 FADH_2 。接著 NADH 及 FADH_2 自身氧化還原成 NAD^+ 及 FAD 和釋出氫離子與電子並還原一個膜蛋白，且釋放能量，膜蛋白會再將電子與氫離子傳遞至下一個膜蛋白，並繼續釋放能量，此過程重複數次後，經過一系列膜蛋白的傳遞之後，氧為最後的電子接受者行成氧離子，並與氫離子形成水。過程中，電子在內外膜之間，在此不斷累積，最後通過蛋白通道釋放出能量，將 ADP 和一個磷酸根合成 ATP 。(如圖 4-1)

微生物電池是使微生物在無氧環境下分解有機物，因缺乏可還原的氧氣，電子傳遞列就會受阻，此時接通一個電路到含氧量較高的環境中，電子傳遞列便能進行，根據高中生物課程的說明，電子經過一連串的反應後，最後能進入導體，形成電路。

換言之，微生物以將糖類氧化，獲得氧化能，而被還原的氧位於上層水面，電子經由導線由下而上形成電路。



溶液中各反應方程式如下：



二、基本裝置

(一) 電極製作

陽極：(圖4-2)

- 1.將碳織布裁為長寬各10cm，並將其周圍用針線縫一圈。
- 2.用鋼索串住碳織布的四個角落，並用鱷魚夾夾住一角。
- 3.用防水膠把鱷魚夾包住。

陰極製作：(圖4-3)

- 1.用鱷魚夾夾住12cm折半的鋼索

2.用防水膠把鱷魚夾包住。

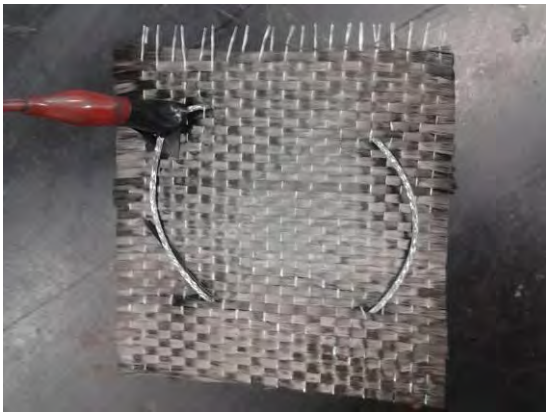


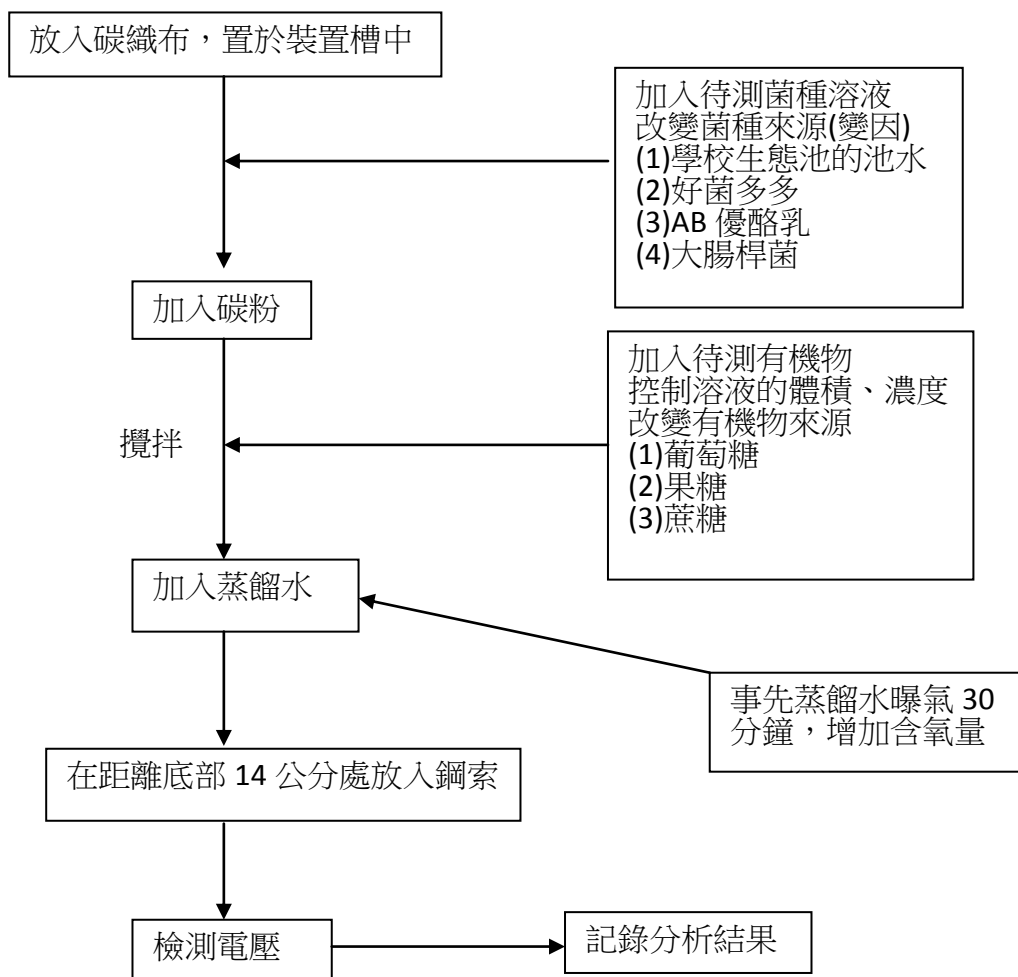
圖 4-2 陽極電極(碳織布)



圖 4-3 陰極電極(鋼索)

(三)實驗流程

【裝置一、微生物電池基本裝置】



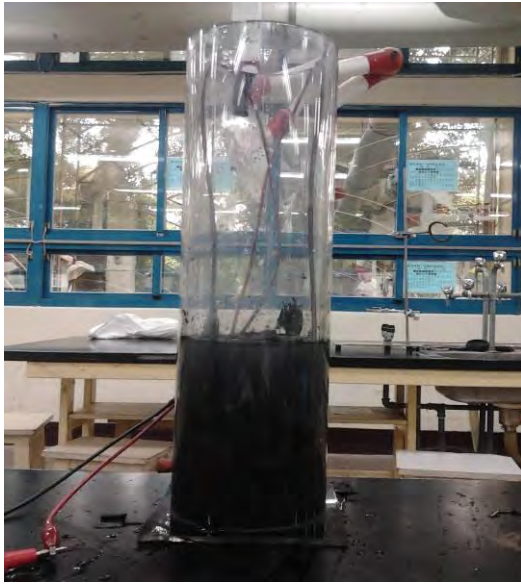


圖 4-4 微生物電池裝置照片

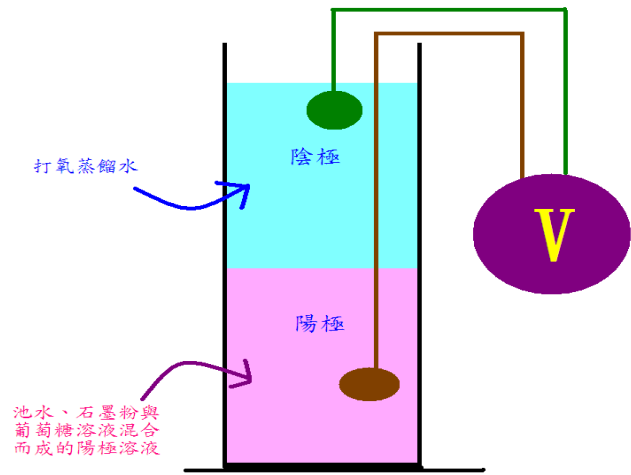


圖 4-5 電池配置解說圖

【裝置二、持續供應營養液基本裝置】

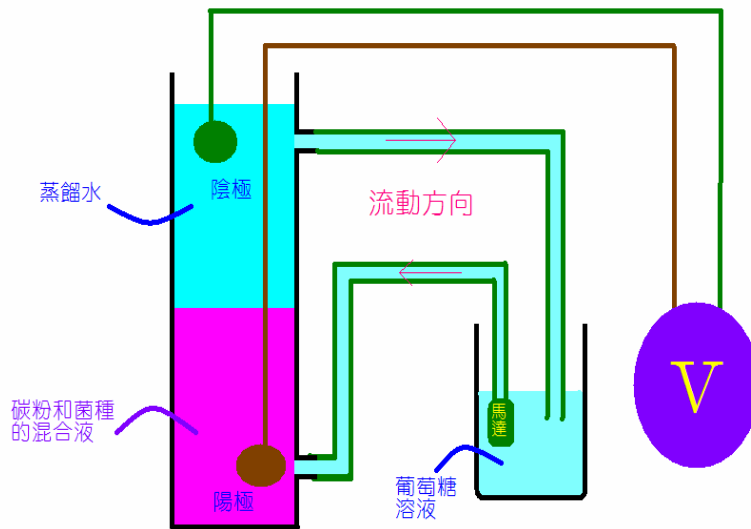


圖 4-6 持續供應營養液裝置解說圖

(四)詳細實驗步驟

【實驗一】組裝電池，觀察其發電情形

實驗目的:利用簡單的設備組裝微生物電池

實驗步驟:

- 1.將蒸餾水曝氣 30 分鐘
- 2.將鋼圈串於碳織布上製作成電極(陽極)
- 3.將製作好的碳織布放入自製發電槽內裝置如圖 4-4
- 4.在發電槽中倒入 1M 225ml 葡萄糖溶液.
- 5.再倒入 300g 石墨粉.
- 6.以玻璃棒適當攪拌 5 分鐘.
- 7.沿玻璃棒加入 600ml 曝氣過的蒸餾水.
- 8.放入陰極於距離底部高度 14cm 處.
- 9.以電錶紀錄，並外接電腦，觀察其電壓變化.

【實驗二】加入微生物，觀察其放電電壓

實驗目的: 觀察微生物電池發電情形

實驗步驟:

- 1.重複【實驗一】，在步驟 5 與步驟 6 之間倒入 75ml 池水(含微生物)。

【實驗三】去除氧氣，觀察其放電電壓

實驗目的:觀察蒸餾水中缺氧，電池發電情形

實驗步驟:

- 1.先將蒸餾水加熱至沸騰，再冷卻至室溫
- 2.重複【實驗二】，惟步驟 7 改為加入加熱冷卻的蒸餾水
- 3.以電錶記錄並觀察其電壓變化.

【實驗四】不同菌種下，觀察其放電電壓

實驗步驟：

1. 重複【實驗一】，在步驟 5 與步驟 6 之間分別倒入 75ml 好菌多多、AB 優酪乳或池水。

【實驗五】不同營養液，觀察其放電情形

實驗步驟：

- 1.將蒸餾水曝氣 10 分鐘
- 2.將鋼圈串於碳織布上製作成電極(陽極)
- 3.將製作好的碳織布放入自製發電槽內裝置如圖 4-4
- 4.在發電槽中倒入 1M 225mL 葡萄糖溶液
- 5.再倒入 300g 石墨粉及 75mL 的荷花池水
- 6.以玻璃棒適當攪拌 5 分鐘
- 7.沿玻璃棒加入 600ml 曝氣過的蒸餾水
- 8.放入陰極於距離底部高度 14cm 處
- 9.以電錶紀錄，並外接電腦，觀察其變化
- 10.重複上述 1~9 步驟，依次改變步驟 4 的營養液為蔗糖、果糖

【實驗六】培養大腸桿菌，觀察電壓變化

實驗目的:純化菌種

實驗步驟:

- 1.取 12.5g 的培養基放入容量瓶加水至 500mL，製成濃度 1M 的液態培養基。
- 2.量取步驟 1 的培養基 50cc 倒入錐形瓶，瓶口以鋁箔紙封好。
- 3.將裝有液態培養基錐形瓶放入滅菌爐，滅菌 1 個小時後取出放入無菌操作台。
- 4.以微量滴管吸取 0.5mL 的菌液，放入無菌操作台之錐形瓶中。
- 5.接著將此錐形瓶放入攝氏 37 度的恆溫箱中，並以震盪器搖晃 16 個小時。
- 6.取出錐形瓶，以分光光度計測量其 OD 值。
- 7.若要同時養很多菌，就多準備幾個錐形瓶，依照上述步驟進行。
- 8.將養好的大腸桿菌，依照實驗二的步驟方式，在步驟 5~6 間加入大腸桿菌，觀察電池電壓。

【實驗七】電極高度、面積對電池電壓的影響

實驗目的: 探討碳織布的大小及陰極高度對微生物電池發電的影響

實驗步驟:

- 1.將蒸餾水曝氣 30 分鐘；依次將鋼圈串於 4x4、8x8、12x12cm²的碳織布上製作成電極(陽極)
- 2.紀錄當天溫度
- 3.計算大腸桿菌的數目
- 4.將製作好(陽極)放入自製發電槽內
- 5.在裝置桶中倒入 1M225ml 的葡萄糖溶液
- 6.在裝置桶中倒入 300 克石墨粉
- 7.在裝置桶中倒入 75ml 大腸桿菌
- 8.以玻璃棒適當攪拌
- 9.在裝置桶中沿玻棒倒入曝氣後的蒸餾水
- 10.靜置十分鐘
- 11.放入陰極於高度 14cm 處(距石墨粉頂部 8 公分)
- 12.連續測 30 分鐘電壓變化
- 13.把鋼索(陰極)高度往下移，每公分記錄一次電壓電流

【實驗八】 循環供給營養液，觀察電壓隨時間的變化

實驗目的:觀察以循環方式供應營養液，觀察電壓變化

實驗步驟:

- 1.接續實驗六培養出的大腸桿菌，但是使用裝置二的電池(圖 4-6)，將營養液以幫浦以每分鐘 10mL 的流量打入燃料電池的陽極。
- 2.紀錄電壓對時間關係。

【實驗九】 改變不同形狀，觀察放電電壓

目的：改變不同造型，觀察電壓變化

步驟：

1.圓柱筒型

- 1.將鋼圈串於碳織布上製作成電極(陽極)(4x4cm²)
- 2.將製作好電極放入 100mL 玻璃量筒內

3. 倒入 1M 10ml 葡萄糖溶液
4. 倒入 30g 石墨粉
5. 倒入 7.5ml 待測菌種
6. 以玻璃棒適當攪拌
9. 靜置約 10 分鐘
10. 倒入約 50 毫升曝氣過的水於上層
11. 放入陰極於碳粉上方約 10cm 處
13. 以電錶記錄電壓變化

2. 淺盆型

1. 重複上述 1~13 步驟，惟容器改為方型塑膠淺盆，陰極約在碳粉上方 1 公分處。
2. 更換不同大小的淺盆，測量電壓的大小。

【實驗十】實際應用在電燈泡、1 歐姆電阻下的放電情形

目的：觀察微生物電池，在電器中的可行性

<電燈泡>

1. 組裝數個實驗十一的淺盆型電池，並串聯起來。
2. 取一個 LED 小燈泡，淺盆型電池相連，觀察 LED 燈泡是否發光。

<1 歐姆電阻>

3. 另組裝實驗二的長筒型電池，以大腸桿菌為菌液。
4. 取一個 1 歐姆電阻，與電池串聯，再串連一個數位電表，測量其放電電流變化情形。

【實驗十一】用廚餘來發電

目的：觀察以剩飯當營養液，微生物電池發電電壓

步驟：

1. 取剩飯大約 400 克，加入 500 毫升水，放進果汁機中打碎，然後倒入大燒杯中。
2. 靜置約 30 分鐘後，取上層較澄清的液體，約 100 毫升，當作營養液。
3. 組裝實驗二的長筒型電池，以大腸桿菌為菌液。
4. 測量其電壓。

伍、結 果

【實驗一】組裝電池，觀察其發電情形

一、電壓值約於 0.00 到 0.03V 間

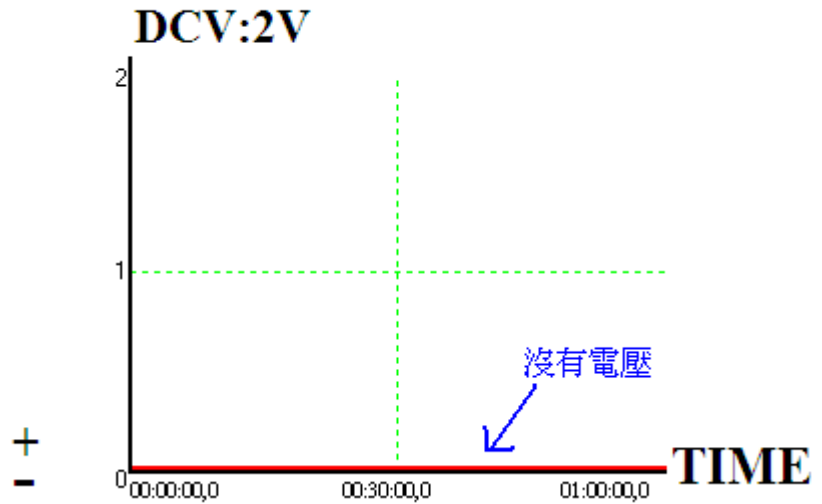


圖 5-1 沒有微生物，電壓對時間關係圖

【實驗二】加入微生物，觀察其放電電壓

1 曝氣

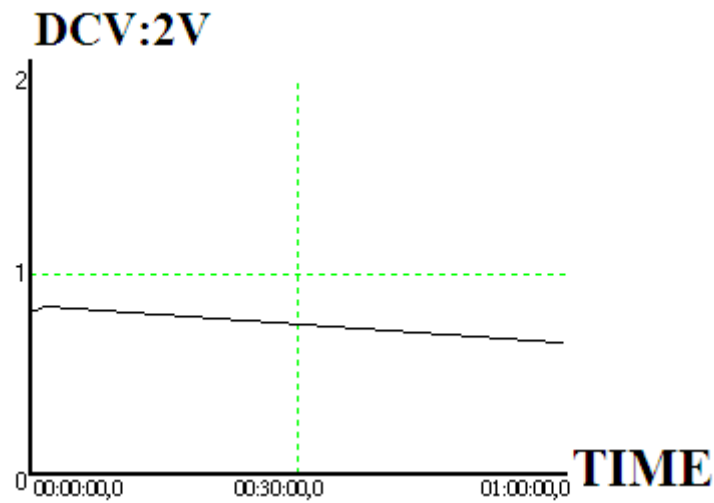


圖 5-2 曝氣，並加入微生物(池水)，電壓與時間關係圖

2 不曝氣，測得電壓約在 0.002 到 0.008 之間(一般蒸餾水)

【實驗三】去除氧氣，觀察其放電電壓

蒸餾水，加熱後再靜置冷卻，測得電壓：0.00 到 0.02V 之間(幾乎是零)

【實驗四】不同菌種下，觀察其放電電壓

表 5-3 不同菌種，分解葡萄糖的電壓比較表(放電一小時)

菌種	池水	好菌多多	AB 優酪乳
葡萄糖	初電壓:0.801V 最高電壓:0.802V	初:0.941V 最高:0.942V	初:0.598V 最高:0.656V

【實驗五】不同營養液，觀察其放電情形

表 5-4 以池水的微生物分解不同營養液之電壓比較表(放電一小時)

醣類	葡萄糖	蔗糖	果糖
池水	初:0.801V 最高:0.802V	初: 0.747V 最高:0.763V	初:0.563V 最高:0.575V

【實驗六】培養大腸桿菌

一、養菌紀錄

1.從震盪機取出菌液時，測其在 600 奈米下的吸光值，若 OD 值小於 0.6，代表養菌失敗，原菌液中大部分的菌都已死亡，以至於沒有繁殖；若 OD 值介於 0.6 到 1 之間，可以以 OD 值直接乘以 8×10^8 ，估算瓶中菌的數量；若 OD 值大於 1 必須稀釋十倍，再將測出來的 OD 值乘以 8×10^9 。

大腸桿菌 養收菌時間紀錄表

取其中一段紀錄：

01/10 10:10 將 0.5ml 原菌液加入含 50ml 培養基的錐形瓶中；放入震盪機震盪(原菌液 OD 值 3)

01/10 15:10 拿出錐形瓶甲，放入冰箱保存

(一週後)

01/17 15:35 取錐形瓶甲各 0.5ml 菌液加入另一個含 50ml 培養基錐形瓶乙、丙、丁、戊中；
將乙~戊瓶放入震盪機震盪 (OD 值 1.490)

(16 小時後)

01/18 08:40 拿出乙~戊錐形瓶，放入冰箱保存

述過程，每培養一次，大約可以得到 200mL 的菌液，OD 值，控制在 0.4~1 之間，菌數粗估量約為 $3.2 \times 10^9 \sim 8 \times 10^9$



圖 5-5 測菌數的分光光度計



圖 5-6 培養基(左)與培養後的菌液(右)

二、以大腸桿菌來發電

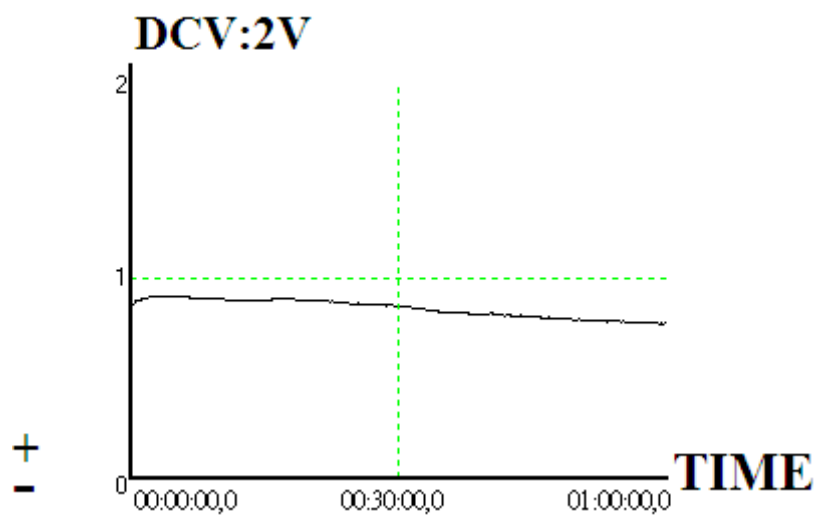


圖 5-7 以大腸桿菌分解葡萄糖電壓與時間關係

【實驗七】電極高度、面積對電池電壓的影響

表 5-8 電極面積與菌數條件控制

電極面積	室溫(攝氏)	菌數	pH 值
4x4	19	4.856×10^9	8.17
8x8	19	5.280×10^9	8.15
12x12	20	6.582×10^9	8.13

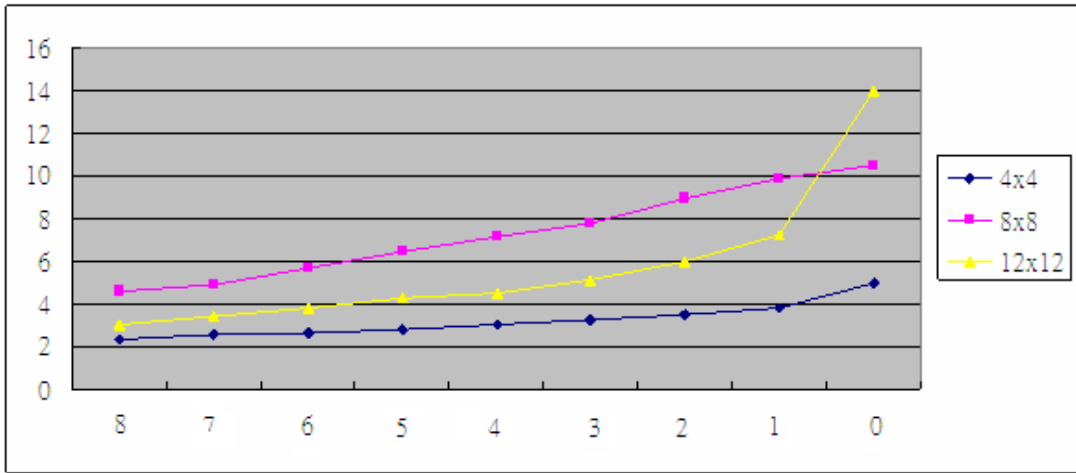


圖 5-9 電流(mA)-距石墨粉頂部距離(公分)，對照電極面積關係圖

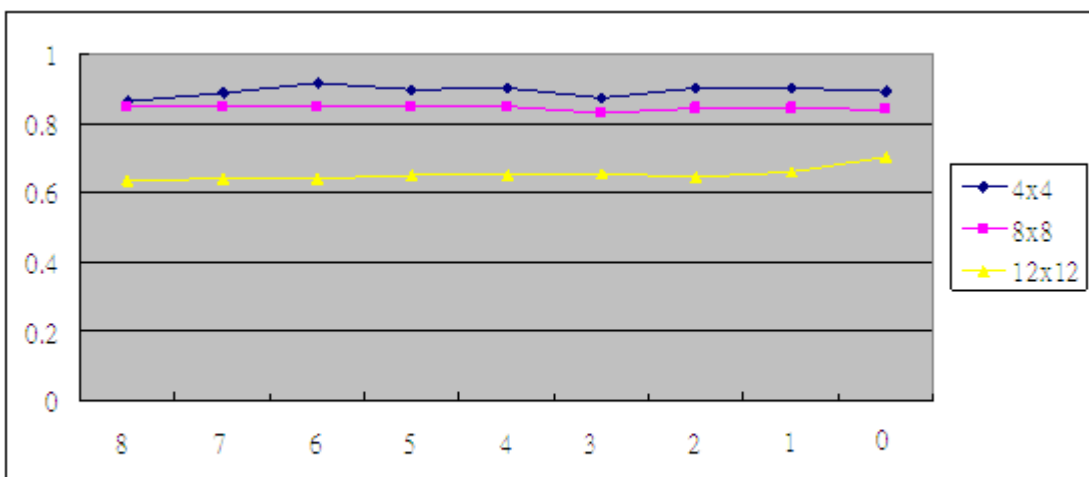


圖 5-10 電壓(v)-距石墨粉頂部距離(公分)，對照電極面積關係圖

【實驗八】循環營養液，觀察電壓隨時間的變化

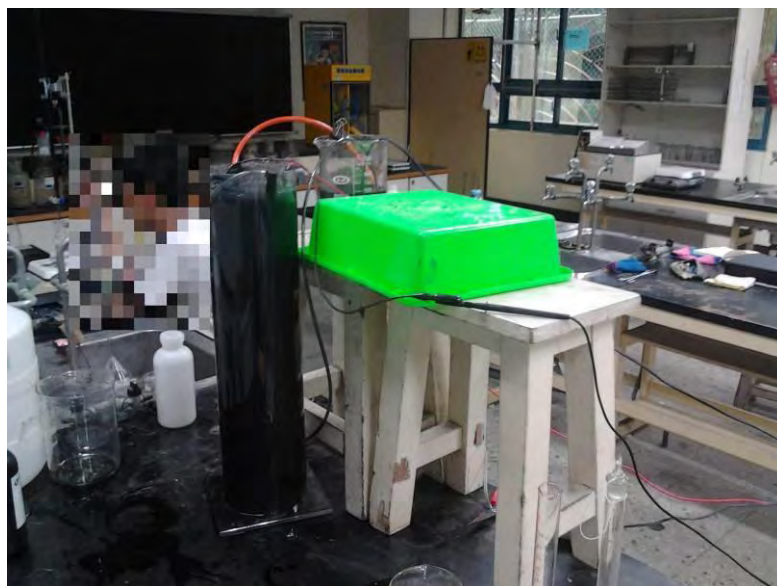


圖 5-12 循環營養液裝置圖

圖 5-11 循環營養液裝置圖

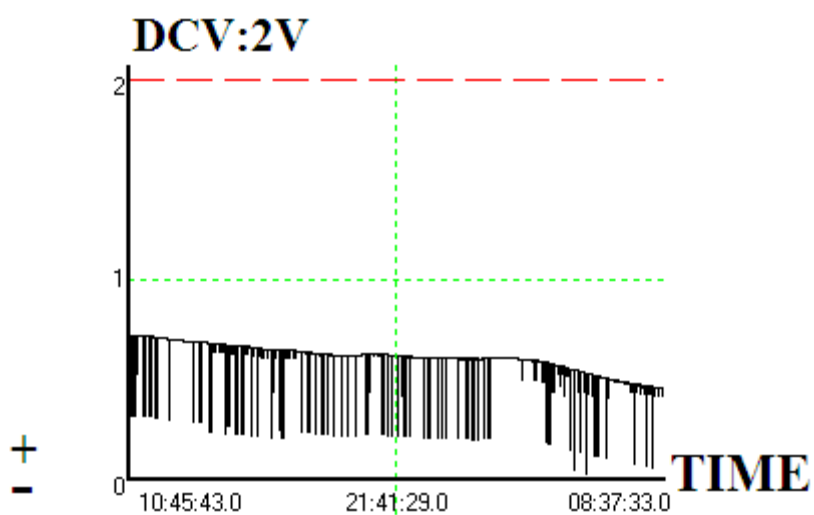


圖 5-13 循環營養液，長時間觀察放電電壓變化圖

【實驗九】改變不同形狀，觀察放電電壓

1. 小淺盆(19x23.5x7cm³)

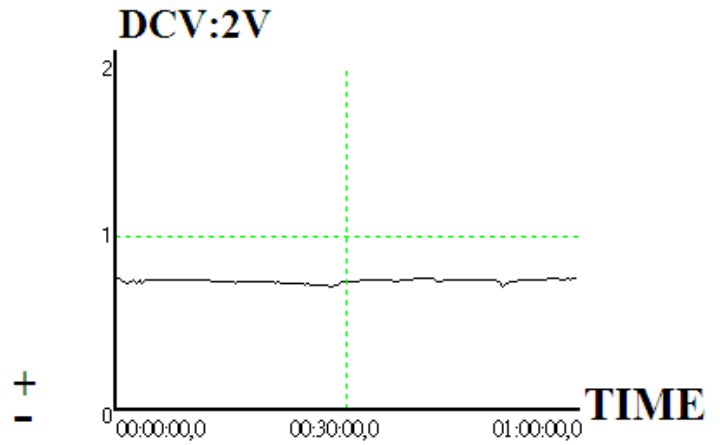


圖 5-14 淺盆型燃料電池(大小淺盆)

圖 5-15 淺盆型電池電壓時間關係(小)

2. 大淺盆(33x25x9cm³)

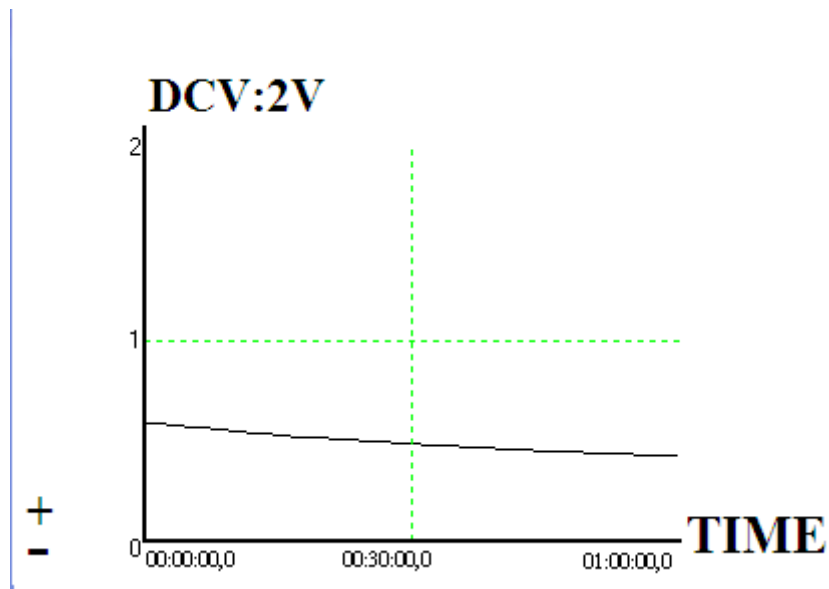


圖 5-16 淺盆型電池電壓時間關係(大)

2. 圓柱筒型



圖 5-17 各種長筒型電池裝置

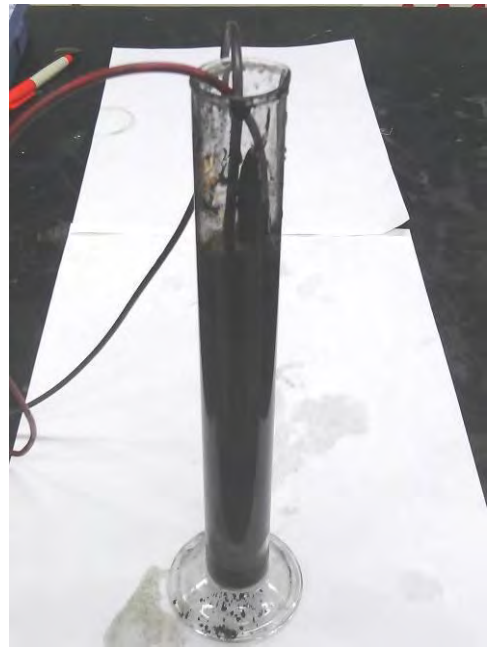


圖 5-18 以 100mL 量筒當燃料電池裝置

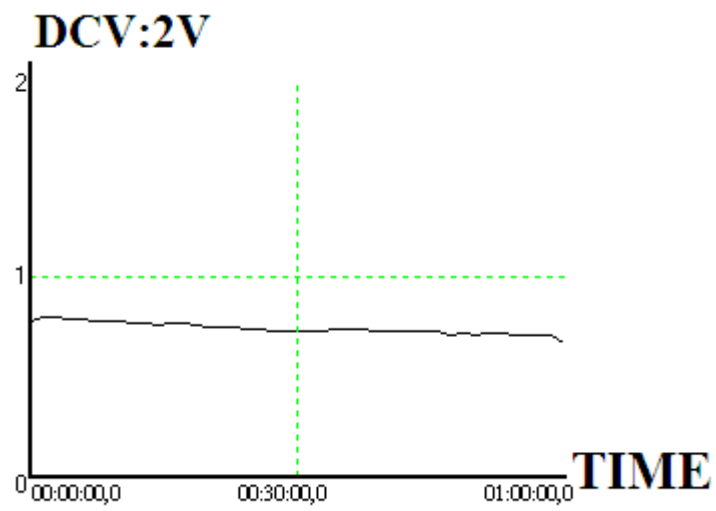


圖 5-19 小圓柱筒型電池放電電壓時間關係圖

【實驗十】實際應用在電燈泡、1 歐姆電阻下的放電情形

一、電燈泡



圖 5-20 三個淺盆電池與 LED 燈泡串聯裝置圖

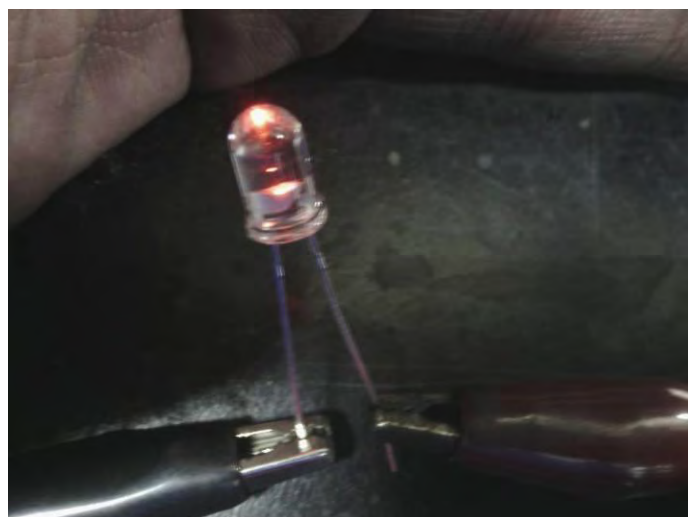


圖 5-21 LED 燈泡與微生物電池串連後發光情形

串聯 1 歐姆電阻的放電電流

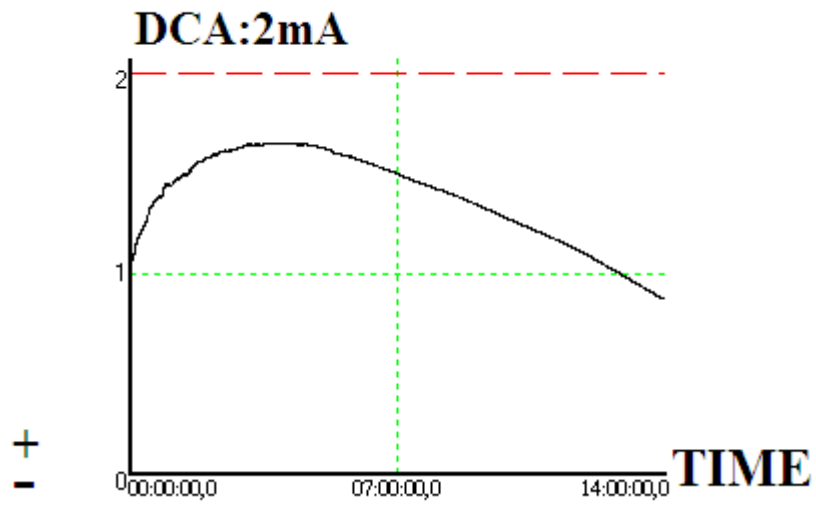


圖 5-22 串聯 1 歐姆電阻，放電電流時間關係圖

【實驗十一】用廚餘來發電

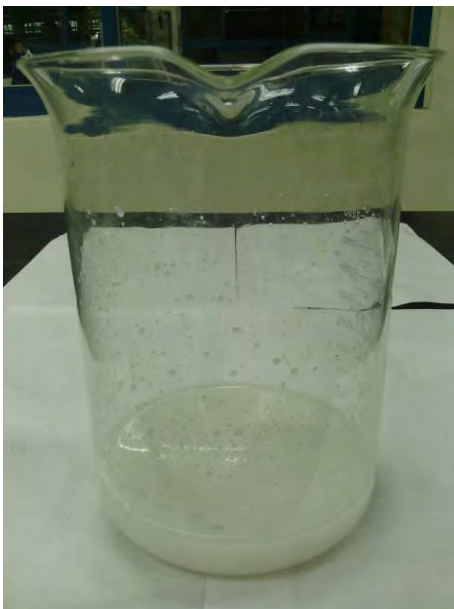


圖 5-23 剩飯打漿傾析的漿汁

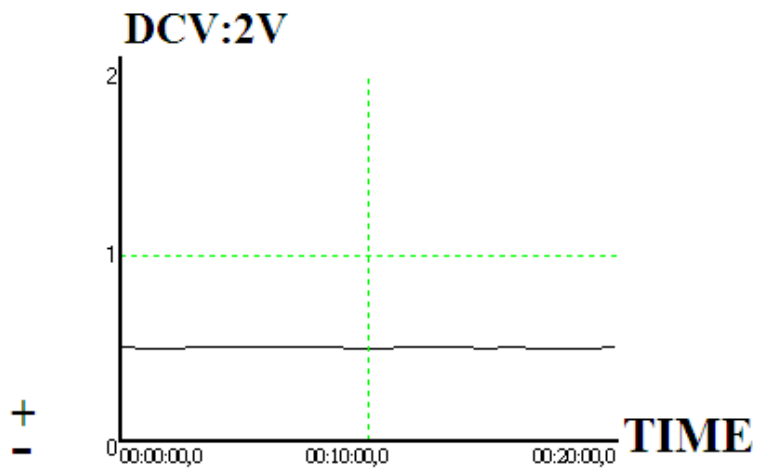


圖 5-24 以大腸桿菌分解剩飯放電電壓時間關係圖

陸、討論

- 一、從實驗一，只有葡萄糖，沒有微生物的電池，幾乎測不到電壓；實驗二，加入微生物及葡萄糖，使用曝氣後的蒸餾水，可以得到一條明顯的電壓曲線(圖 5-2)；實驗三，比較含氧量較高的水(曝氣)，與加熱又冷卻的蒸餾水(除去氧氣)，可以得知，微生物電池若要發電，陽極必須要有微生物分解有機物，陰極必須要有足夠的氧氣。比較圖 5-1~圖 5-2 可知，在充足的氧氣，以校內荷花池水的微生物分解葡萄糖液，就可以最大電壓 0.7 伏特的電壓。
- 二、有了池水可以發電的靈感，於是我們開始嘗試使用市面上的活菌飲料來發電，實驗四，拿了 AB 優酪乳、好菌多多來當微生物電池的菌種，配上葡萄糖當營養液，結果如表 5-3，可以發現，池水以及市面上買的 AB 優酪乳、好菌多多都可以發電，而且都有約 0.6 伏特以上的電壓，惟市面上的飲料，因為添加劑太多，且菌種數目沒有辦法量化，難以有效控制變因，因此設計實驗六，以自行培養的大腸桿菌，來加以控制微生物的總類與數目進行後續實驗。
- 三、接著我們思考，會不會因為不同的營養液，會有不同的電壓，於是設計了實驗五，比較葡萄糖、蔗糖和果糖，三種醣類的水溶液，在相同濃度下，以池水的微生物發電，得到的電壓，結果如表 5-4，可以得知葡萄糖電壓最大，可得到大約有 0.8V 左右的電壓。因此後續的實驗，我們的營養液，一律採用葡萄糖進行後續實驗。
- 四、實驗六，我們利用大腸桿菌的菌液，LB 培養基，在實驗室培養大腸桿菌。然後以分光光度計的 OD 值，來檢測大腸桿菌的菌數。如圖 5-6，可以發現養菌前的培養基，顏色較澄清的褐色，養菌十六小時後，會呈現混濁的顏色，因此吸光值(OD)會上升，通常隨著養菌的時間越長，菌數會越多，因此在光度計中顯現出的吸光值愈高。本實驗從滅菌、無菌操作台裝入菌液，到放入恆溫箱中震盪，最後放入冰箱保存。每次都可培養出 200mL 大腸桿菌的菌液，而菌液中每毫升中的菌數大約 $3.2 \times 10^8 \sim 8 \times 10^8$ ，養菌的成效良好。以自行培養的大腸桿菌來發電，可以得到圖 5-7 的結果，電壓可以達到 0.9 伏特左右，而且放電電壓較為穩定。
- 五、因為實驗二圓柱筒型電池的體積非常大，而陰極電極只是個小鋼索，因此實驗七在探討陰極電極在電池中的位置是否會影響電壓，從結果可以發現，碳粉沉積在圓柱型電池的下半部，鋼索位於碳粉的上半部，距離碳粉越近，電流愈大(圖 5-9)，但是電壓並沒有明

顯變化(圖 5-10)，因此本實驗主要探討電池的電壓，避免每一次陰極擺放位置不同，而造成誤差。而陽極電極使用碳纖維布，電極的面積愈大，電壓反而愈小，我們使用 4x4、8x8、12x12cm²三種尺寸的陽極電極，發現 12x12 的電壓最小，電壓約只有 0.6V，而 4x4 與 8x8 大約有 0.8V 以上的電壓，這可能是因為 12x12 的碳纖維布面積太大，置於電池底部，不容易完全攤開，導電效率反而較差，使電池內部的電阻變大，因此電壓較小。因此，我們進行實驗時，為了控制變因，電極的面積使用 8x8 cm² 的尺寸，而長筒型電池，陰極的位置在碳粉以上 14 公分高處。

六、設計實驗八循環營養液的目的是因為考慮到微生物分解有機物時，可能有兩種狀況，一是微生物的存活率，二是有機物可能會被分解完。微生物的存活率牽涉到很多因素，包括空間大小、環境是否適合生長或繁殖、代謝物會不會毒殺微生物，都是需要考慮的因素，這部分在本實驗先暫時不探討，本實驗先設計循環營養液，也就是讓營養液可以從外添加進來，參考圖 4-6，圖 5-11 及圖 5-12，這種裝置的好處，是當營養液的濃度下降時，可以從外面直接添加進來，就好像幫電池充電一般，這樣可以讓電池的使用時間可以持續更久。圖 5-13 是持續觀察 22 個小時後的電壓時間關係圖，可以發現電壓隨時間會有上下震動的狀況，可能是營養液流入電池中，造成下層碳粉的擾動，以至於碳粉的密合性變差，導電度下降，以至於電壓下降，造成上上下下的狀況。若能控制到一個穩定的狀況，則可以進行添加營養液的實驗，將使電池使用得更久。

七、設計實驗九的目的是因為圓柱筒型的電池高度高，而且上半部和下半部(碳粉)的接觸面較小，若改成淺盆型的電池，是否會因為接觸面變大，電壓有所改變，我們選擇了兩種不同的淺盆，所得到的電壓，小淺盆(面積約為 19x23.5cm²)、電壓約為 0.7V 左右(圖 5-15)；大淺盆(面積約為 33x25cm²)、電壓約為 0.5V 左右(圖 5-16)，而且電壓下降的趨勢較快。從這個結果可以看出，淺盆的面積並非愈大，電壓愈大。而且因為淺盆面積太大，碳纖維布的面積也要愈大(12x12cm²)，否則電極沒有辦法跟淺盆中的碳粉做有效的接觸，因此每一個位置的電壓都不太一樣，因此難以控制的變因就更多了。此外我們也設計一種縮小版的圓柱筒型電池，得到的電壓也有 0.8V 左右(圖 5-19)，從這個結果可以得知，若我們想要得到更大的電壓，只要將數個燃料電池串聯起來，小量筒型所佔的空間較小，實際使用較為方便。此外圓柱筒型的電池電壓應比淺盆型的電池電壓更高更穩定。

八、實驗十，因為每個燃料電池的放電電壓大約只有 0.6~0.9V 之間，所以我們串連三個小淺盆，得到串聯電壓大約是 1.98 伏特，果然使 LED 小燈泡發光(圖 5-20~圖 5-21)，而且還持

續亮 5 小時以上，這個結果可以顯示，微生物燃料電池只要控制得當，是可以應用在日常生活中的。我們再以 1 歐姆的電阻做放電測量，發現其電流其實並不穩定，會先變大後變小(圖 5-22)，這其中可能的原因是因為我們裝填微生物燃料電池並沒有得到很均勻的相態，且微生物排泄物可能也會產生電阻，有種種原因都有待進一步去探究。

九、最後我們把學校廚餘當中的剩飯，打成漿汁來當作微生物電池的營養液，以大腸桿菌來分解，結果如圖 5-24，得到大約 0.5 伏特的電壓，這個結果顯示，因為廚餘大都是有機物，每天的廚餘量都很多，如果我們可以妥善地將廚餘收集起來，並且利用大腸桿菌或其他微生物來分解，將可以產生可觀的電量，甚至於供應路燈或家庭使用。

柒、結 論

- 一、要使微生物燃料電池發電，必須要有微生物分解有機物(陽極)與曝氣後的水，利用微生物分解有機物需要氧氣的原理，將有機物與水盡量分兩邊，就可以發電。
- 二、無論是市面上買的乳酸菌、好菌多多、或是隨處可見的池塘水、或是自行培養的大腸桿菌，都可以用來當作分解有機物的微生物。只是在本研究中為了純化菌種，統計菌數，自行培養大腸桿菌來分解葡萄糖，可以得到大約 0.9V 的放電電壓。
- 三、使用葡萄糖、果糖、蔗糖對池水的放電電壓比較，葡萄糖的放電電壓較高。
- 四、本實驗利用自行培養的大腸桿菌，將每毫升中的菌數控制在 $3.2 \times 10^8 \sim 8 \times 10^8$ ，分解 0.1M 的葡萄糖，得到大約 0.9V 的電壓。
- 五、本實驗設計兩種類型的電池，一種是圓柱筒型，另外一種是淺盆型。兩種電池都可以發電，圓柱筒型的電池，不論大小，電壓都在 0.8~0.9V 之間，淺盆型的電池，大淺盆電壓較小(0.5V)，小淺盆電壓較大(0.7V)，而且大淺盆需要耗掉的碳粉、葡萄糖液、與碳織布都較多，浪費物資，又未見特別的效果。
- 六、電極在電池當中的位置，會影響電池的電流，不會影響電池的電壓。本研究探討圓柱筒型電池，發現陽極使用各種不同面積大小的碳織布，對電池電壓會有影響，而且未必面積愈大，電壓愈大。陰極的電極位置愈靠近下半部的碳粉，電壓不會變，但是電流會明顯增大。
- 七、適當的串聯燃料電池，可以得到較大的電壓，就可以使用在電子產品上。本實驗串連三個淺盆型的電池，就可以使 LED 小燈泡，持續發光 5 個小時以上。由此可知，燃料電池確實可以應用在一般的耗電產品當中。若對 1 歐姆的電阻，做持續放電觀察，會發現其

電流會先變大後變小，也就是電池當中的內電阻，會變小、再變大。

八、廚餘也可以用來發電。本實驗將廚餘中的剩飯打成漿汁，以大腸桿菌分解發電，可以得到大約 0.5V 的電壓。若能將廚餘做有效分類，利用微生物來分解廚餘發電，是指日可待的。

捌、參考資料及其他

一、參考資料：

- (一) 何念萱等四人。微生物電力公司-微生物燃料電池之變因探討。中華民國第四十七屆科展優秀作品集(化學科第一名)。
- (二) 方泰山(民國七十三年)。化學能轉換成光能－新高中基礎理化中的有趣題材。科學教育月刊，第 68 期，p.58~p.66。
- (三) 陳銘仁(發表時間不詳)。海大發表新菌株能處理汙水也能發電。(海洋大學電子報)。資料取自 <http://www.imb.ntou.edu.tw/shewanella%20sp.htm>。
- (四) 駐英科技組(2012/5/3 發表)。高空菌種或可成未來新電力生產來源。英國生物技術暨生物科學研究委員會。
- (五) 高中選修化學上(民國 101 年)。第五章，氧化還原反應。台北市，龍騰文化出版公司。

二、其他應用：

- (一) 本實驗利用微生物分解有機物的原理來發電，如果可以將每天的廚餘收集起來，利用微生物來分解，順便發電，一方面可以解決用電吃緊的問題，另一方面還可以處理讓廚餘有更大的用途，也符合綠色經濟的概念。
- (二) 本實驗測量電池放電的時間，皆在幾小時內，若能放電一段時間間隔便添加營養液，或微生物，條件控制得當的話，應可以讓電池持續發光很長的時間，這部分還需要進一步做探討。若可以達到微生物電池自行供應營養液或微生物，便可以持續發光，這種電池可以用在寬廣的湖邊(如日月潭)步道的路燈，或者是生態池旁的燈光照明。

三、研究心得與收穫：

我們在這次的研究當中學到了許多，特別是在有機物分解成二氧化碳和水的這麼簡單的反應，若分成兩極，竟然可以用來當作電池。一年多的研究過程的確很辛苦，從一

開始構思，到蒐集資料，設計實驗，到撰寫論文，常常遇到挫折，好在都有同學或老師可以支援及協助，讓我們可以順利的完成這一篇報告，也希望能獲得好成績。

附 錄

一、OD 值是 Optical Density=Absorbance，是指吸收某一波長的光（如 H₂O₂ 可吸收波長 240 nm 的光），則該化學物質在溶液中的濃度，會與溶液對該波長的吸光值(absorbance)成一正比關係，因此利用分光光度儀(spectrophotometer) 測定吸光值後，即可推知該化學物質在溶液中的濃度。在某特定波長的吸光值(A; absorbance)定義為 $A = \log(I_0/I)$ 。吸光值另稱為 optical density (OD)。吸光值(或 OD 值) 只為一個數值，並無單位。I₀ (incident light density): 為分光光度儀所放出波長 λ 的光束強度。I (transmitted light intensity): 為 I₀ 經過溶液及石英管後，所穿透出的光束強度。

【評語】 040205

1. 實驗內容相當豐富，研究題目亦有相當的實用價值。
2. 對類似已發表研究的成果與設計之差異性之說明宜更明確。