

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 生活與應用科學科

040804

會發電與自循環的魚缸

—底泥微生物燃料電池之探討與應用

學校名稱：國立宜蘭高級中學

作者：  高二 許祐瑄  高二 許栢睿  高二 沈敬耀	指導老師：  黃國修
---	------------------

關鍵詞：微生物燃料電池、底泥微生物燃料電池

## 摘要

淤泥的處理和再生能源的議題近年來大受重視，本研究首先利用校園生態池底泥自製微生物燃料電池 (**Sediment Microbial Fuel Cell, SMFC**)，進行前置實驗，確認此裝置可產電且電壓為泥土中的菌所產生，才能進行接續的探討。在前置實驗中，我們進行新舊土、陰陽極中間的隔層材料的電壓大小比較，進而找出發電效率最高的設置條件。

根據前置實驗的結果，我們改良裝置，結合魚缸和底泥微生物燃料電池，設計出一個會發電與自循環的小型生態缸，並分別針對魚種、電極種類、電極表面積、底泥種類、添加硝化菌進行電壓大小或菌數的比較，並以串連方式提高電動勢，結果發現利用底泥微生物的確可作為生態缸的發電源，且不影響魚的生存，未來將可應用在發展發電與自循環的魚缸上，也可擴大應用範圍至野外溪流與湖泊。

## 壹、研究動機

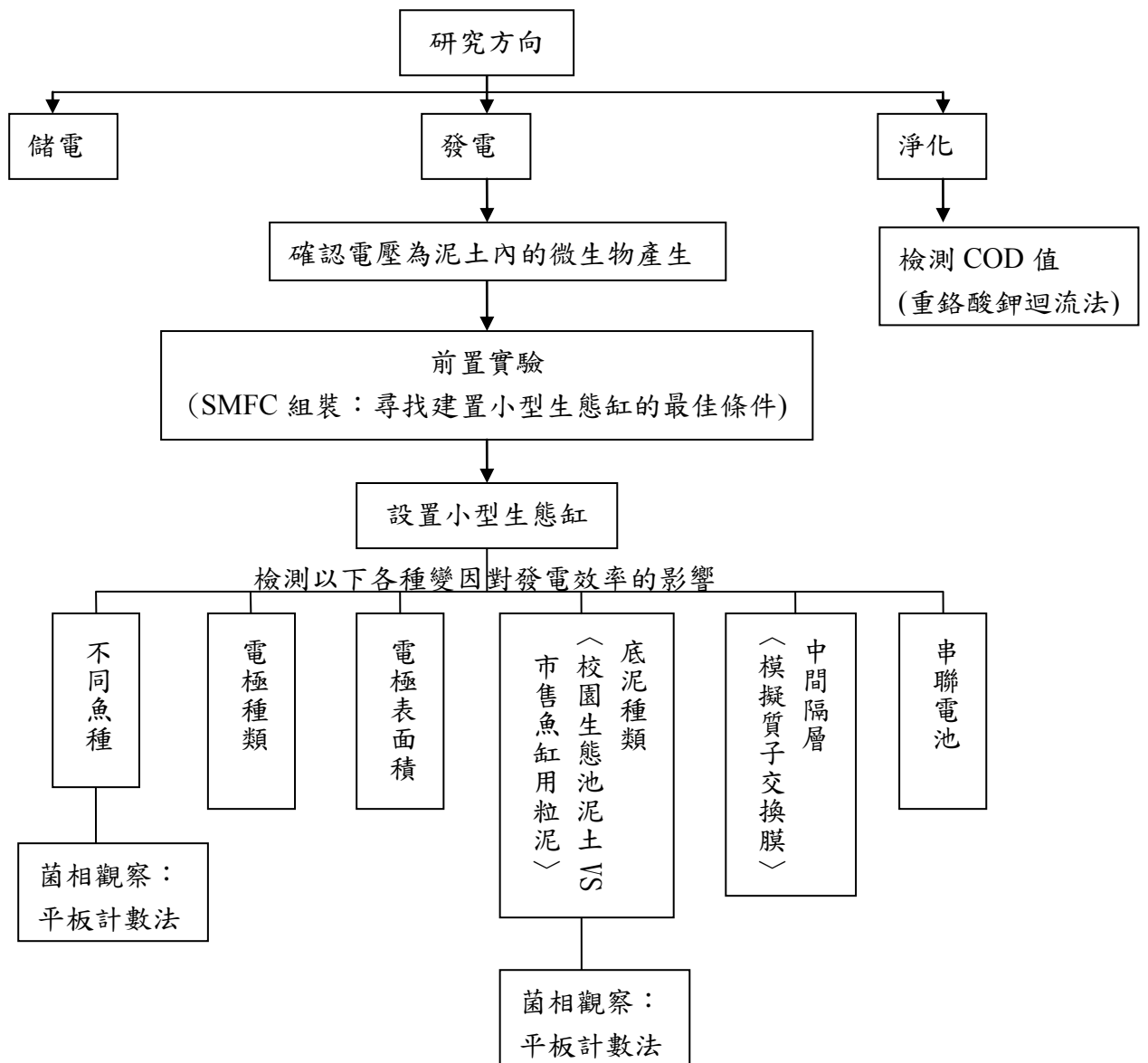
全球非再生能源已漸漸消耗殆盡，因此科學家們正積極尋找可再生的新能源，微生物燃料電池（**Microbial Fuel Cell, MFC**）可將化學能直接轉換成電能，即是實現能源轉換的新概念和裝置，而微生物燃料電池中的底泥微生物燃料電池具有設置成本低廉，不需額外觸媒，也不需在特定溫度操作，只要於室溫就能運作，綜合上述幾項優點，微生物燃料電池就是一種有潛力且能產電的綠色新型能源。

但目前應用於居家生活的這種低污染、低成本的微生物燃料電池少之又少。因此，我們靈機一動，若可將魚缸與微生物燃料電池結合，魚的排泄物恰好可作為魚缸底泥中微生物的養分，而微生物產生的電能又可回饋於生態缸的照明或過濾器上，如此就構成一個可以發電又自循環的魚缸。

## 貳、研究目的

- 一、探究底泥微生物燃料電池產電的原因
- 二、探究養分的供給對底泥微生物燃料電池的影響
- 三、探究不同魚種、中間隔層、底泥種類、電極種類、電極表面積、串聯電池、添加硝化菌與發電的關係
- 四、探究電壓與菌數之間的關係
- 五、將底泥微生物燃料電池與魚缸結合並應用於生活

### 研究架構圖



## 參、實驗器材

### 一、電池裝置

1. 燒杯 1000 毫升八個
2. 軟鐵絲網
3. 生態池泥土
4. 蒸餾水
5. 無菌操作臺
6. 導電布
7. 魚缸
8. 泥土 (生態池泥及粒泥)
9. 生態池的池水
10. 大肚魚 *Gambusia affinis*(生態池魚)
11. 打氣機
12. 飼料
13. 碳氈
14. 魚飼料 FF-222S
15. 孔雀魚 *Poecilia reticulate*
16. 硝化菌

### 二、電壓測定

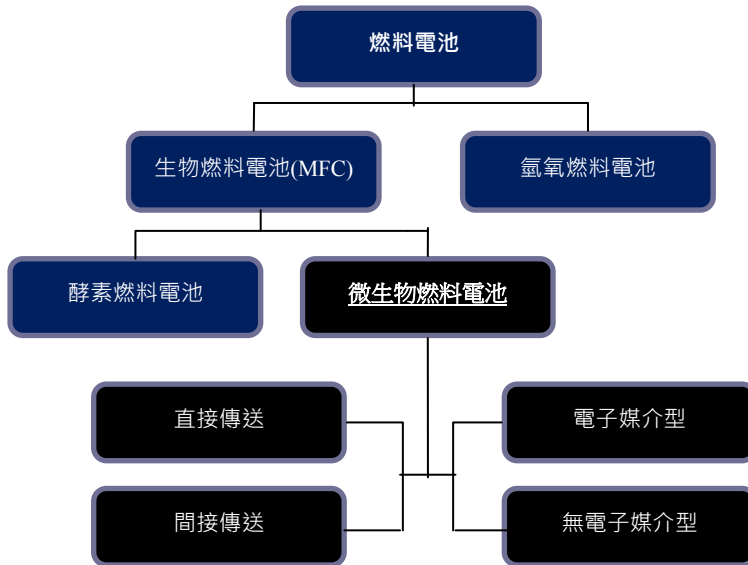
1. 電線
2. 可變電阻箱
3. 三用電錶
4. 鱷魚夾

### 三、菌數測量

1. 無菌操作台
2. 微量吸管 (pipet)
3. 微量吸管的替換式吸管尖頭
4. 洋菜粉 Agar
5. 培養基 Luria-Bertani
6. 高溫高壓滅菌閥
7. 石蠟封膜
8. 培養皿

## 肆、基本介紹

### 一、燃料電池基本介紹

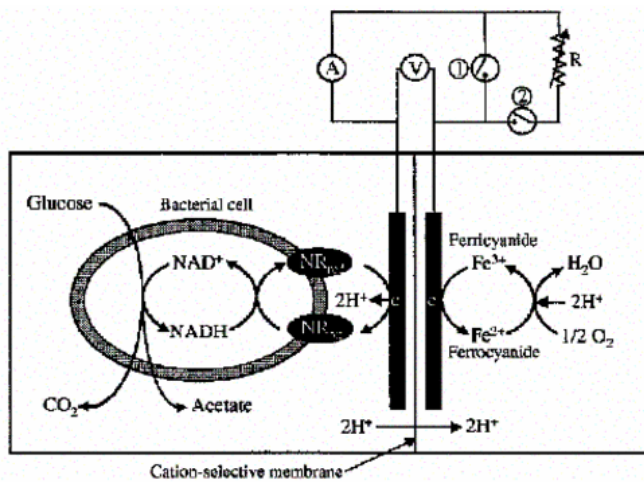


### 二、微生物燃料電池基本原理

微生物燃料電池 (Microbial fuel cell, MFC)，是一種利用微生物為催化劑，可轉換生物基質 (bioconvertible substrate) 將其分解並直接產生電流的裝置，如下圖所示。

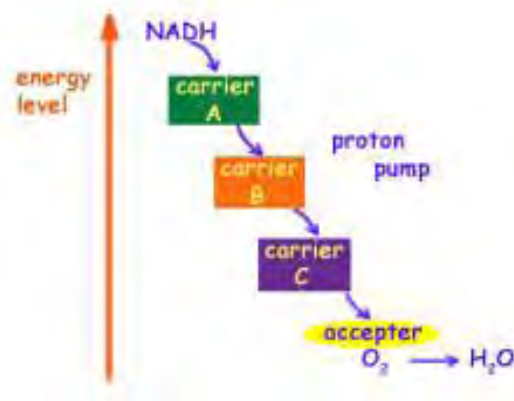
在缺乏氧氣的情況下，電子傳遞鏈會因為沒有接收者的存在而無法傳遞電子，造成能量無法釋放；此時若接通一電路到含氧量高的陰極槽中，電子便會被迫離開細胞膜，經由電路到達陰極並還原水中的溶氧。

微生物燃料電池便是將微生物控制在無氧化劑的環境下，在其氧化有機物時，因周遭缺乏可還原的氧氣而釋出電子至電路中。



以能量的階層來看，最高位能的 NADH 釋出氫離子與電子並還原一個膜蛋白，且釋放能量；接著這個膜蛋白再將電子與氫離子傳遞至下一個膜蛋白，同時

再釋放能量。如此經過一系列膜蛋白的傳遞之後，氧氣接受最後的電子，與氫離子結合還原為水分子。



### 三、生態池基本環境介紹

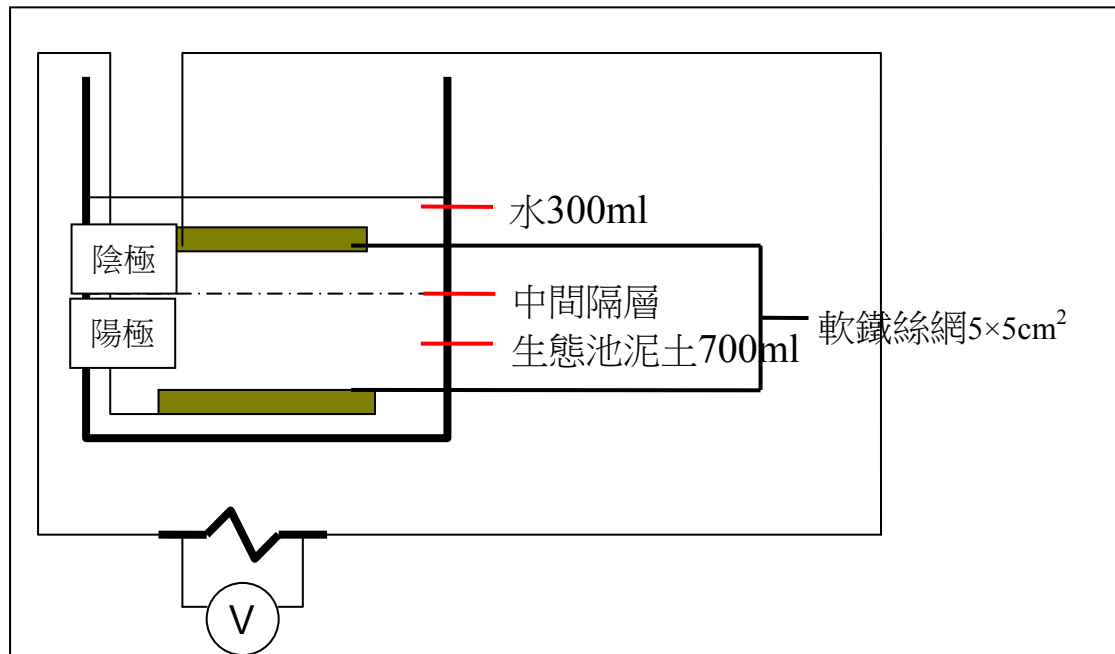
取樣點\測量項目	溫度(°C)	銨根(ppm)	溶氧量(mg/L)	亞硝酸鹽(ppm)	酸鹼值(pH)
雷公埤	23.0	0~0.5	5.6	<0.10	6.8
武荖坑溪	22.50	<0.5	6.50	<0.10	7.1
宜蘭河	25.0	0~0.25	4.5	<0.10	6.7
校內生態池	23.0	1.0	3.5	0.10	7.6

為了瞭解底泥採用地：本校生態池的基本環境並和宜蘭其他水域比較，我們查閱了林務局的資料，也就其有缺少的數值實地測量。由以上幾點比較可發現，生態池的溶氧量明顯低於其他取樣點，可推測是生態池的水流動性不如其他地區大，使水中溶氧下降，而此也使生態池內的有機物較豐富，造成銨根和亞硝酸鹽的含量較高。

## 伍、研究過程及方法

### 一、裝置一

- (一) 取一個乾淨 1000ml 燒杯。
- (二) 將生態池泥土裝少許至燒杯，再放入軟鐵絲網做為電極，此部分為陽極，再將泥土裝至 700ml 刻度處。
- (三) 在泥土上放上中間隔層。
- (四) 在中間隔層上加入 300ml 的蒸餾水，並放入另一片軟鐵絲網，此部分為陰極。
- (五) 連接電路，分別測量以三用電表為電阻的電壓和串連 500Ω 外電阻的電壓，每天測量一次，實驗為期八天。



註：電極面積  $5 \times 5 \text{cm}^2$



## 二、裝置一改良：裝置二

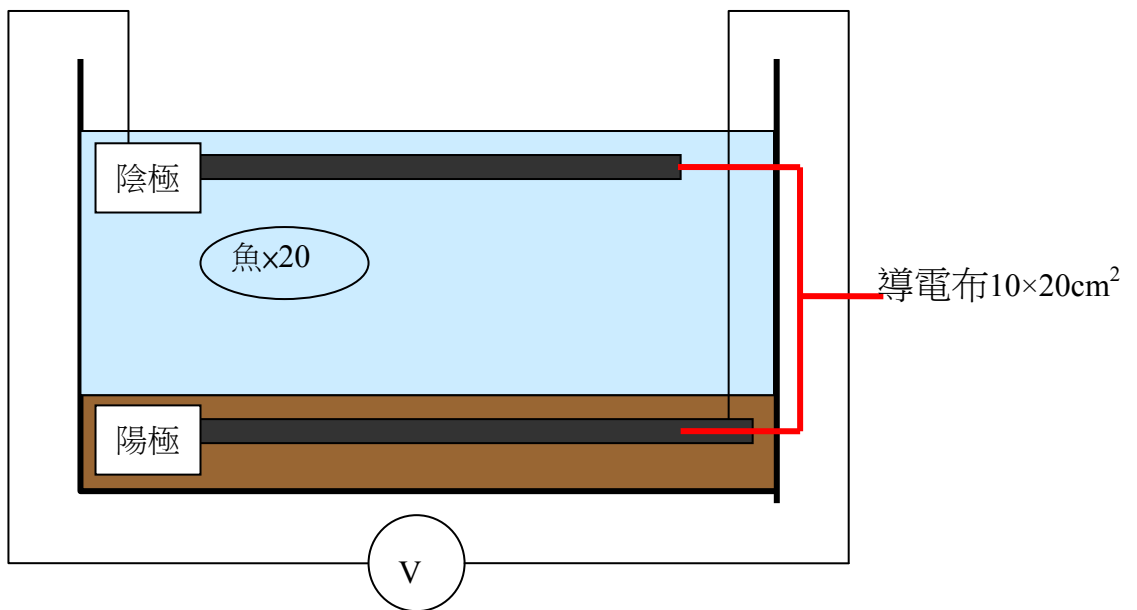
因為使用裝置一的實驗進行到第四天時，軟鐵絲網便開始生鏽，為了避免影響實驗結果，因此在裝置二中，我們的電極材料改用導電良好的導電布。

前置實驗中，因為沒有養分供給，造成實驗後期菌種生存不易，電壓急遽下降，因此我們把微生物燃料電池的槽體從燒杯改成魚缸，並在魚缸中每缸各加入 20 隻大肚魚，利用牠們的排泄物做為養分來源。且為避免魚和電極接觸可能造成魚的死亡，因此加裝了一片壓克力板來隔離魚與電極，避免魚和電極接觸受到電流的影響。

根據前置實驗結果，使用硬不織布作為陰陽極的中間隔層的發電效果最好，因此裝置二的中間隔層皆採用硬不織布。

實驗步驟如下：

- (一) 取一個魚缸，加入一公升的泥土，平鋪後放入電極，再加入泥土一公升。
- (二) 加入生態池的池水（各個魚缸等高）。
- (三) 放入淡水魚 20 隻（固定飼料量：每天 0.03 克/缸）。
- (四) 接成通路，並與三用電表並聯。
- (五) 每天測量電壓，實驗為期 10 天。



註：電極面積  $10 \times 20 \text{ cm}^2$

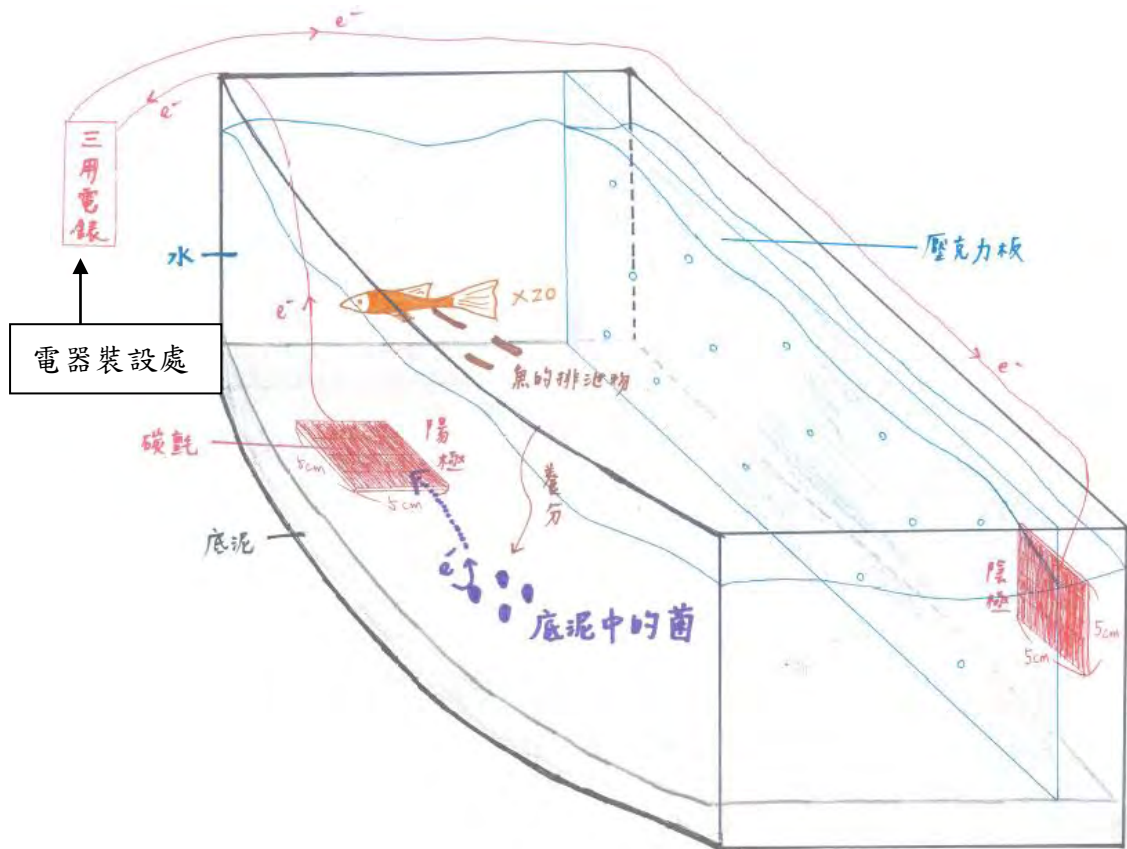
### 三、裝置二改良：裝置三

使用裝置二的實驗，優點是電壓因為養分的補充，會在第七天左右達到穩定電壓，此點與前人文獻結果相同，但缺點是導電布在實驗後期會從原本的深褐色變成銅的顏色，且魚缸的水也會跟著變色；再者，因為導電布質地過軟，在摺疊時容易相黏致使表面積計算不明確，因此改用微生物燃料電池常使用的電極：碳氈，來解決上述問題。

在裝置二的實驗結果中，因為使用孔雀魚和大肚魚排泄物作為微生物養分的電壓差異不大，但孔雀魚較大肚魚容易存活，考量實驗進行的流暢度，因此裝置三的魚種皆使用孔雀魚。

註：電極面積  $5 \times 5 \text{ cm}^2$

裝置三手繪示意圖

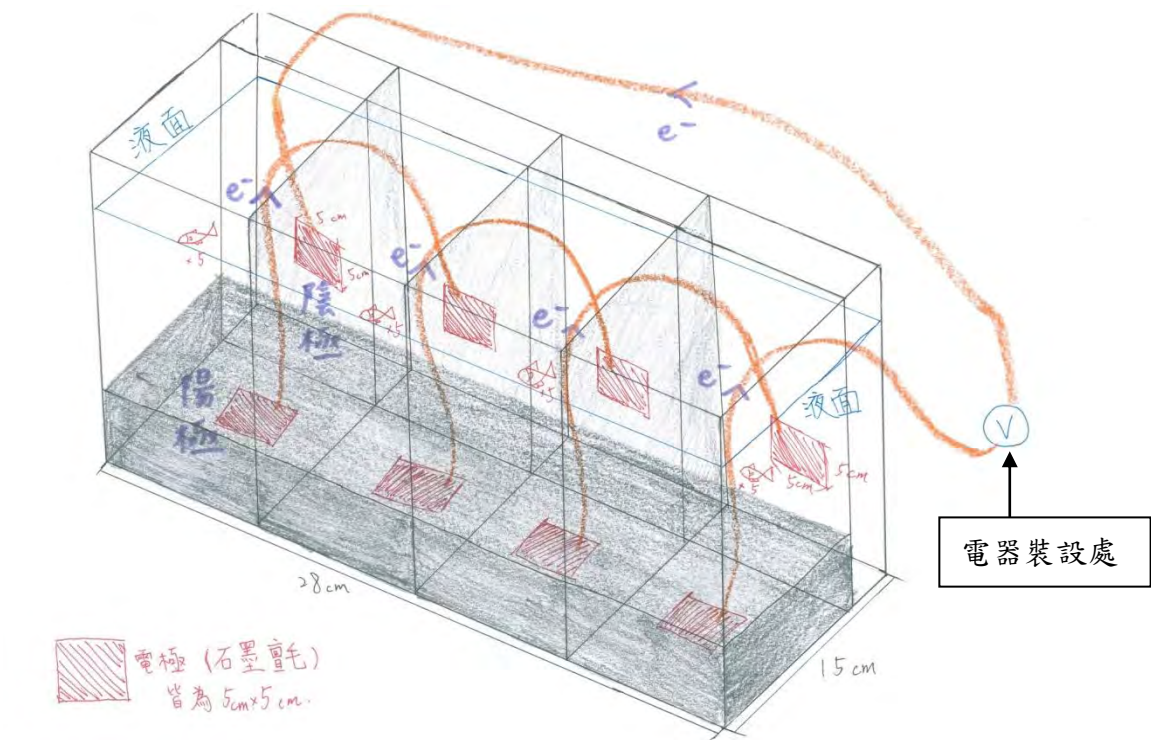


#### 裝置四：裝置三改良

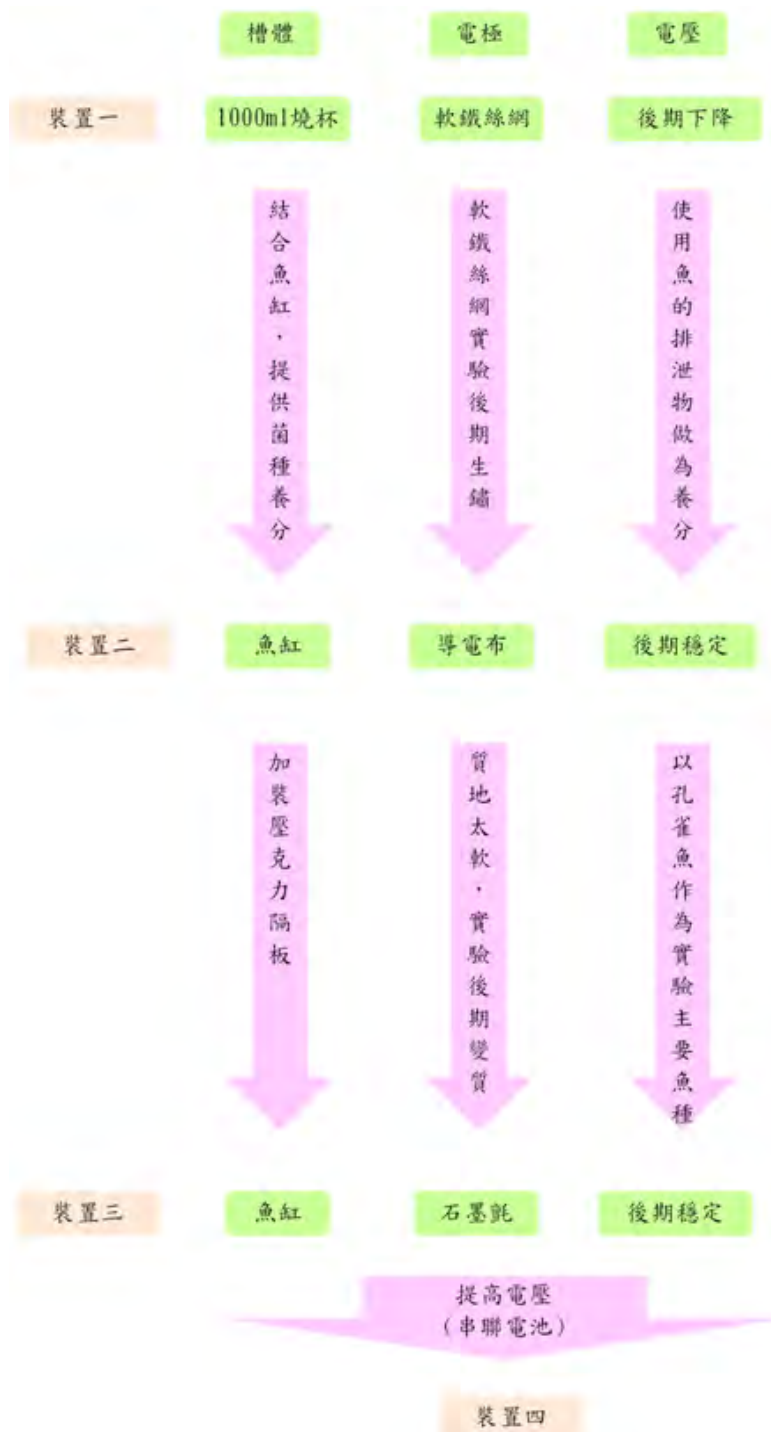
使用裝置三裝設的電池已可產生近 1 伏特的電壓，為了提升單一魚缸所產生的電壓，於是將和裝置三同體積魚缸隔成四格，換言之，每一格都是一個微生物燃料電池，也就是串連四個微生物燃料電池，希望藉此提高電壓。

註：本實驗為求實驗進行方便，避免占據空間過大，故不串連四個魚缸，而是將同一魚缸隔層四格，其他串聯方式結果可由本實驗結果類推。

裝置四手繪示意圖

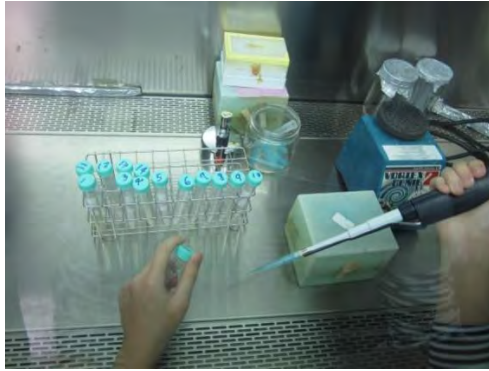


裝置一至裝置四演變流程圖



## 五、菌數測量（平板計數法）實驗步驟：

1. 將試管編號①~④
2. 編號①試管加入 RO 去離子水 9ml，再以微量滴管滴入 1ml 菌液。
3. 將編號①試管用超音波震盪器混合均勻後，在編號②試管中加入 RO 去離子水 9ml 再取 1ml 編號①試管中的菌液加入編號②試管。重複此一動作分別配置編號③、④試管。(圖四)
4. 從編號②~④試管各取 0.025ml 稀釋後的菌液分別滴入 LB 培養基(培養皿)培養，再使用塗菌棒以繞圈的方式塗抹，至其表面不再有水分出現後，封上石蠟封膜。
5. 將塗好菌的培養皿置於室溫下，兩天後取出觀察，觀察培養皿上的菌相與菌數。



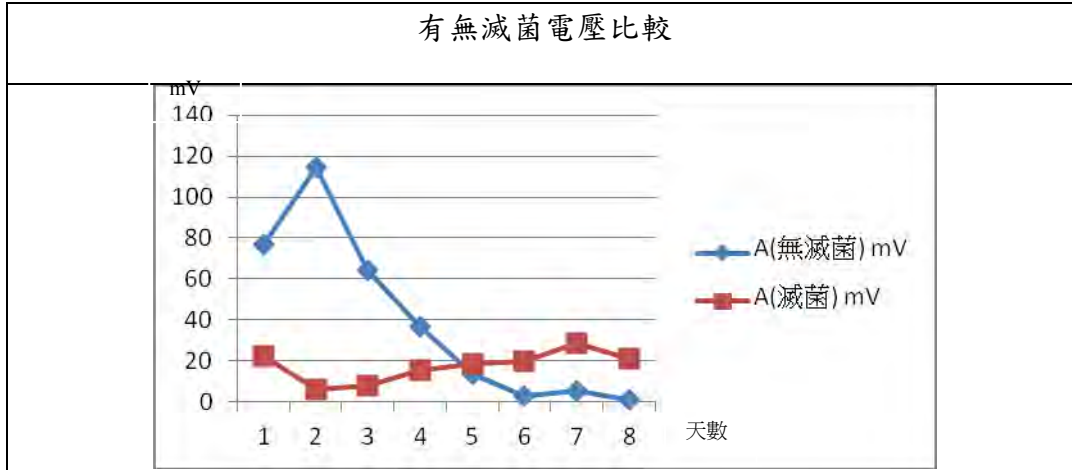
系列稀釋

## 陸、研究結果

裝置一：前置實驗

### 一、滅菌與否對淤泥發電的影響

為了確認電壓是否為泥土的微生物所產生，依照是否有經過高溫高壓滅菌閥處理為操作變因，比較電壓變化與大小。

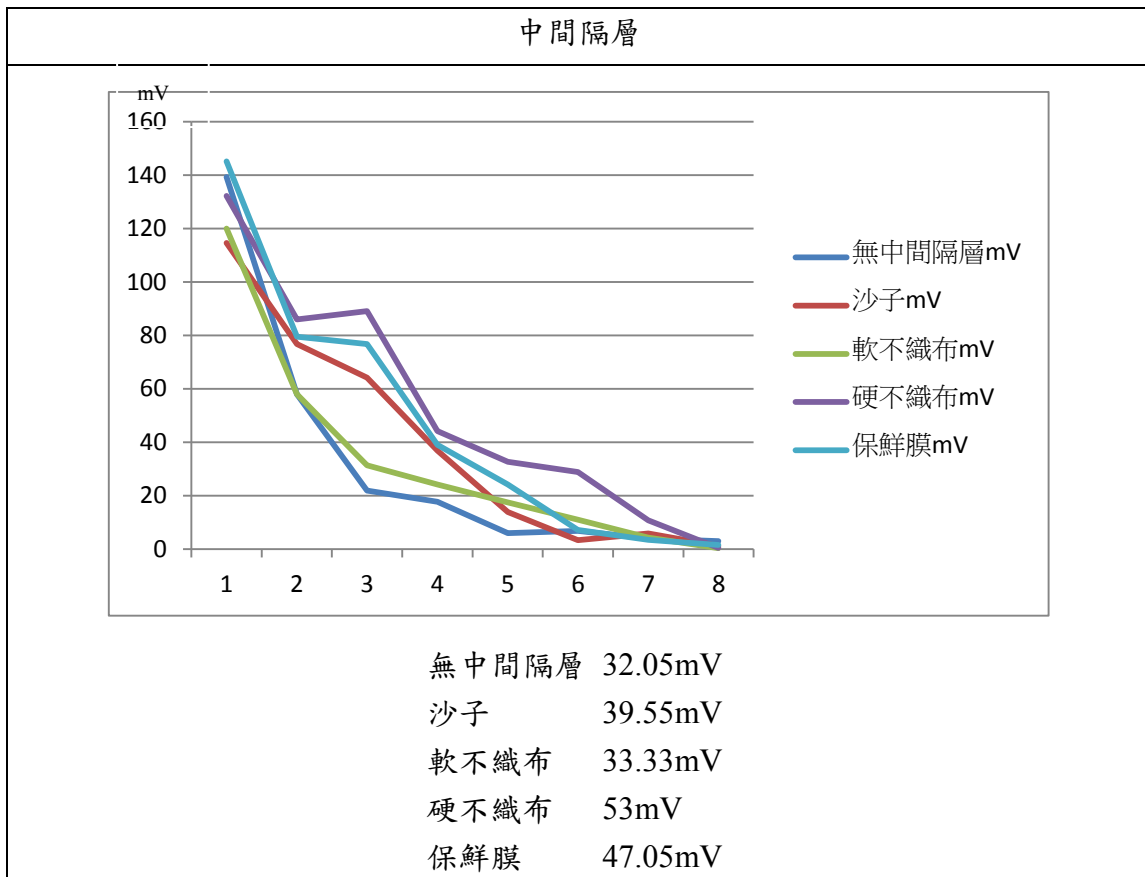


圖一：無滅菌組初期電壓明顯較滅菌組高，而後幾天明顯下降；滅菌組則皆維持一波動不大，較低的穩定電壓。



## 二、中間隔層材質選用

為了挑選出最適合的材質，我們設置了四組裝置，分別是沒有加中間隔層，中間隔層為沙子、軟不織布、硬不織布來比較電壓的變化與大小。

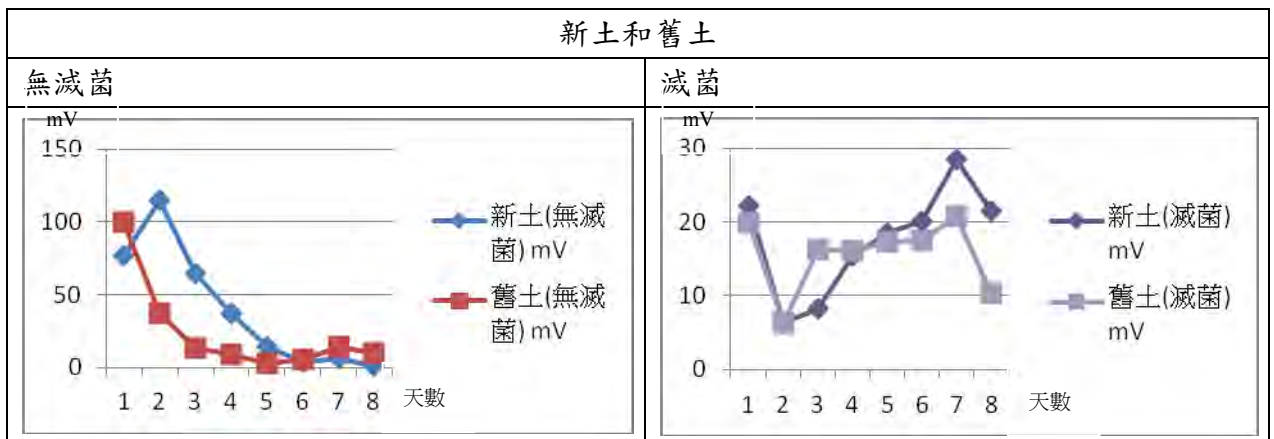


圖二：由這八天的電壓曲線圖和電壓平均，都可以看出電壓的大小為：硬不織布 > 保鮮膜 > 軟不織布 > 沙子 > 無中間隔層。

## 三、比較新土與舊土

兩批土分別為當天挖出來的生態池泥土，和已挖出來置於室內兩個月且未接上電路的舊土，測量電壓比較新土和舊土的發電效果。

本實驗採用裝置一設置：不外加養分，兩組都使用沙子作為中間隔層，電極種類為軟鐵絲網，電極面積  $5 \times 5 \text{cm}^2$ 。



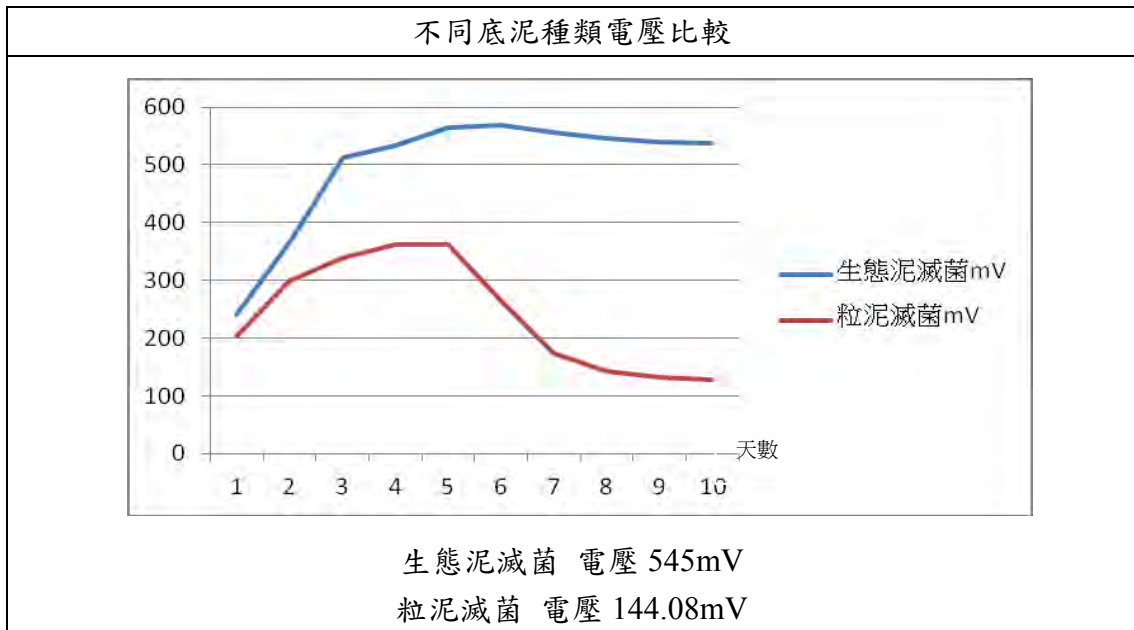
圖三：由圖可看出，不論是否有滅菌處理，新舊土電壓大小變化的趨勢差異不大。

## 裝置二：裝置魚缸

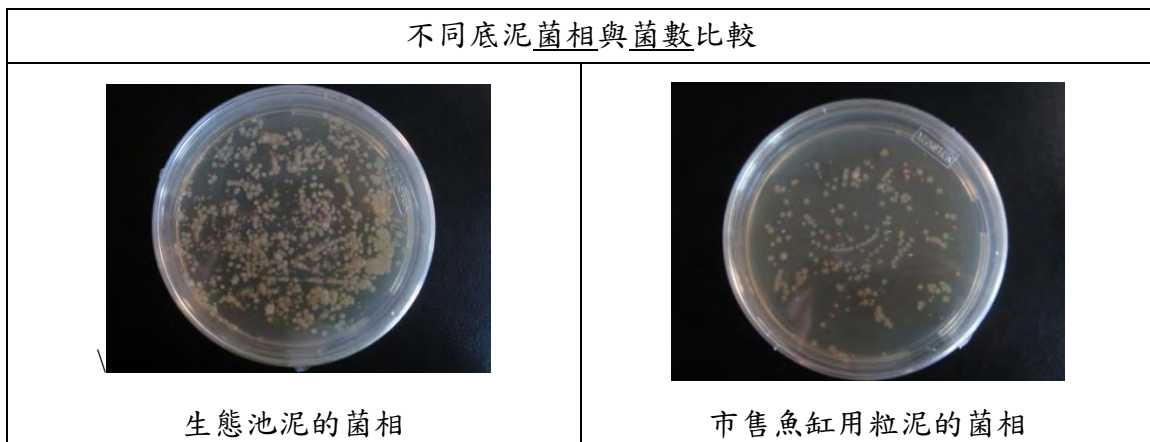
### 一、不同底泥種類比較

本實驗採用裝置二的設置：中間隔層皆為硬不織布，使用魚的排泄物作為菌種養分補充（魚飼料均為每缸 0.03g/day），電極材料為導電布，電極面積  $10 \times 20 \text{ cm}^2$ ，魚種皆為生態池中的大肚魚。泥土的種類則分別是生態池底泥和市售魚缸專用粒泥。

註：因為市售粒泥並未接觸過生態池水，為了使生態池泥和粒泥原本存在的菌種數接近相同，因此我們將兩缸都滅菌處理，使兩缸中的起始菌數接近完全相同。而魚缸裡的水使用的是生態池的池水，因此菌種的類型應是相同的，兩個生態缸的差別僅在菌種生活的環境（底泥類型）的不同。



圖四：兩種不同底泥，都可以明顯看出電壓在第七天左右達到穩定（因此電壓的計算是取的七天後的平均），且可明顯看出生態池泥的電壓大幅高於使用粒泥的電壓。

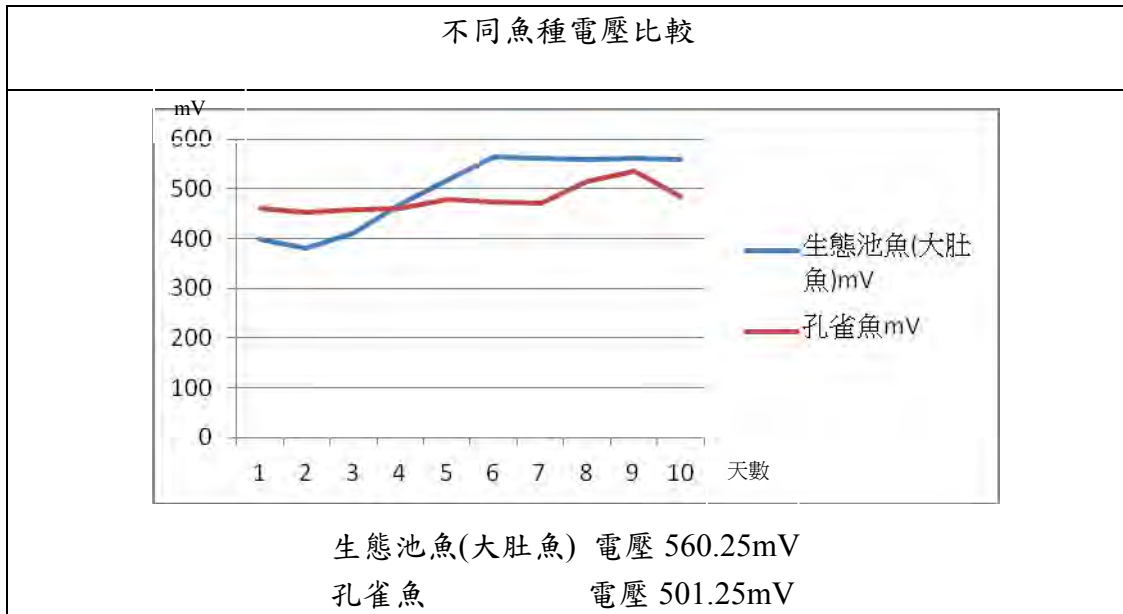


圖五：由這兩張圖可以明顯看出菌相差別，生長在這兩種底泥的菌類不同。由於兩組稀釋的比例相同（皆以滅菌過的水稀釋 100 倍），可以看出生態池泥的菌種數量和種類高於粒泥。

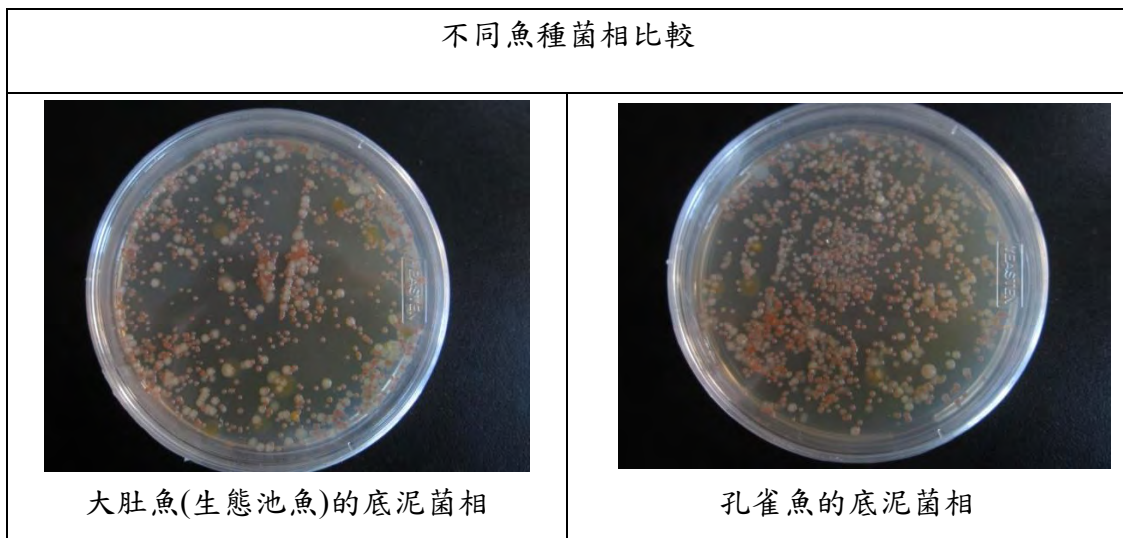


## 二、魚種比較

本實驗採用裝置二：魚的種類分別為生態池中的大肚魚和市售斑馬魚和孔雀魚，泥土的種類則皆是生態池底泥。



圖六：魚種為生態池大肚魚的組別，穩定後的電壓值小幅度高於孔雀魚的組別。

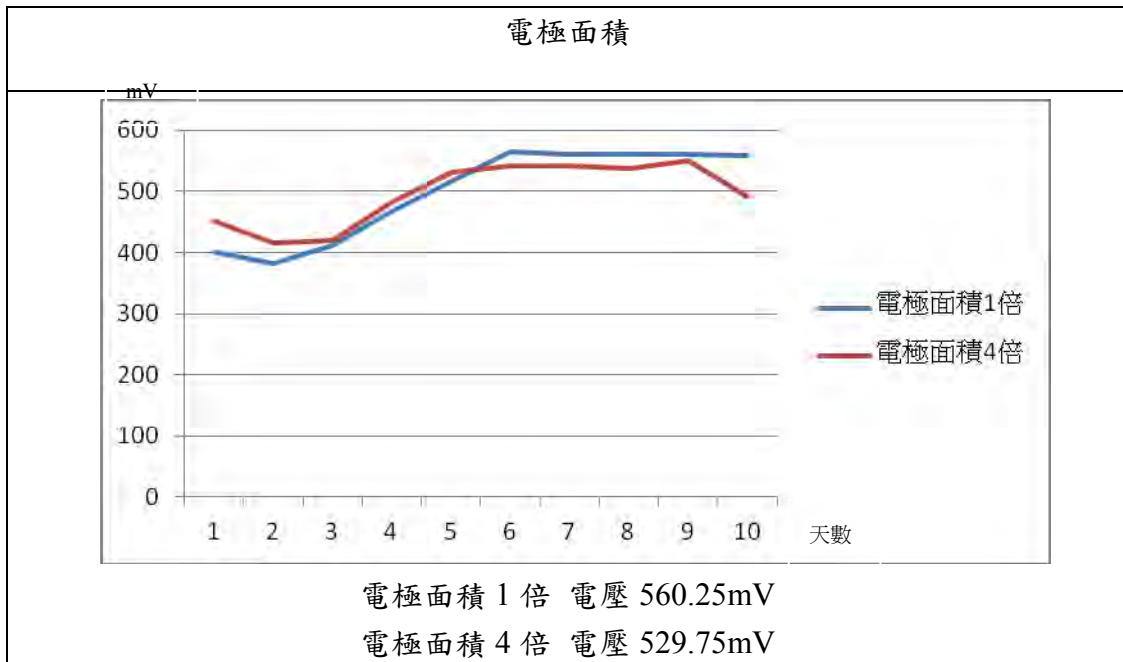


圖七：由這兩張照片可看出，兩組的菌相明顯不同，泥內的微生物種類有很大差異，菌數則沒有明顯差異。

### 三、電極面積對電壓的影響

本實驗採用裝置三裝設：泥土的種類均為生態池泥，魚種皆為大肚魚，電極材料為導電布，兩組的電極面積分別為  $10 \times 20 \text{ cm}^2$ 、 $10 \times 80 \text{ cm}^2$ 。

註：電極面積為  $10 \times 80 \text{ cm}^2$  的導電布，因為範圍超出魚缸長度，需要將電極對折兩次，但其質地較軟，不易固定，因此摺疊的部分可能會互相接觸，造成加大的表面積不是原本的 4 倍。為了改善此誤差，我們在接下來的實驗採用質地較硬的電極——石墨氈，再做一次電極表面積的探討。

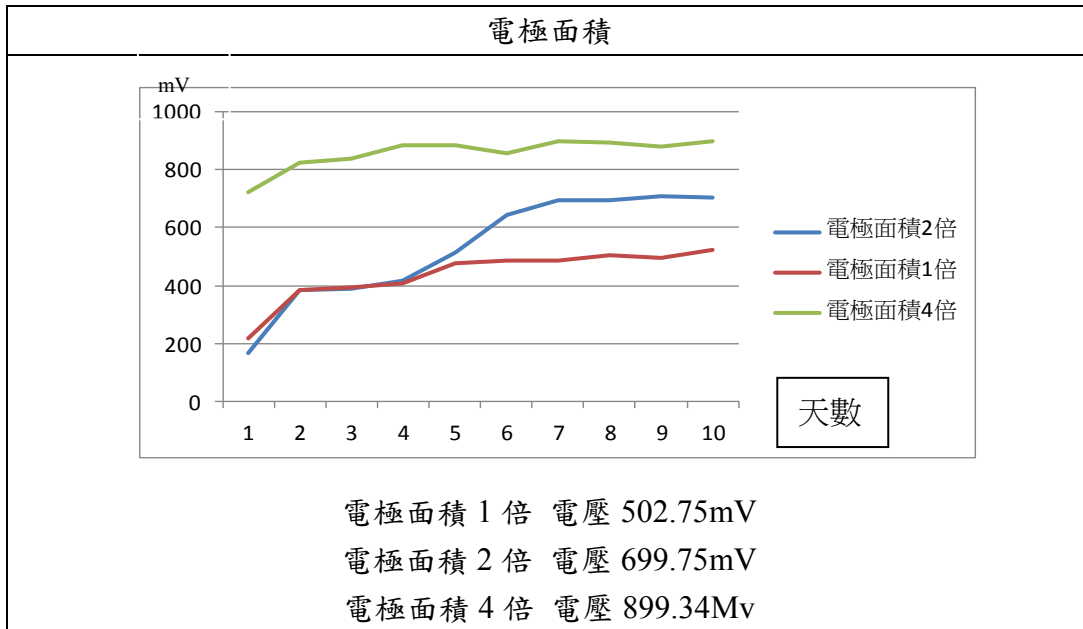


圖八：電壓在第六天趨於穩定，且電極表面積 1 倍和 4 倍的電壓變化曲線幾乎完全重合。

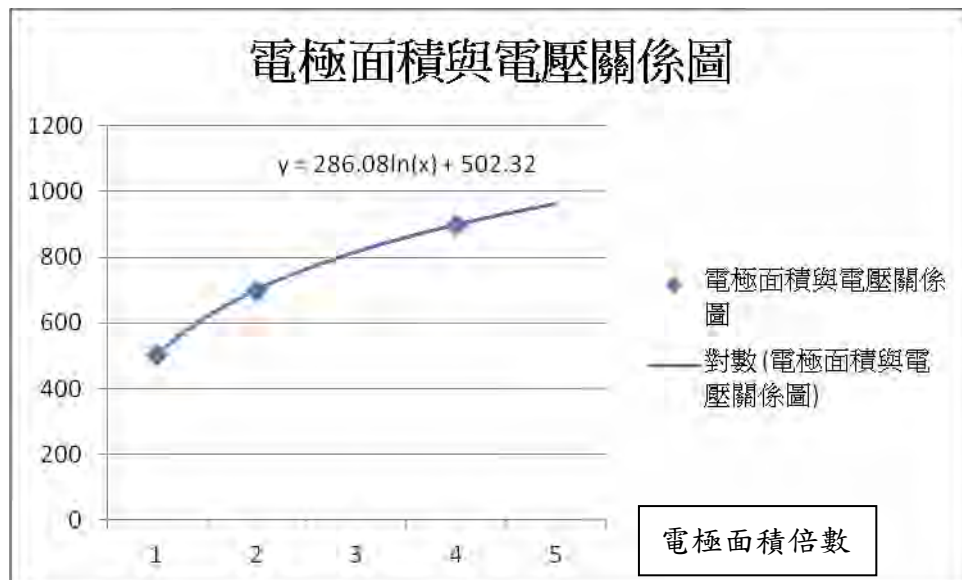
### 裝置三：裝置二魚缸改良

#### 一、電極面積比較

本實驗採用裝置三：底泥為生態池泥，魚種為孔雀魚，中間隔層為硬不織布，電極為石墨氈，電極面積分別為  $5 \times 5 \text{ cm}^2$ 、 $5 \times 10 \text{ cm}^2$ 、 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 。



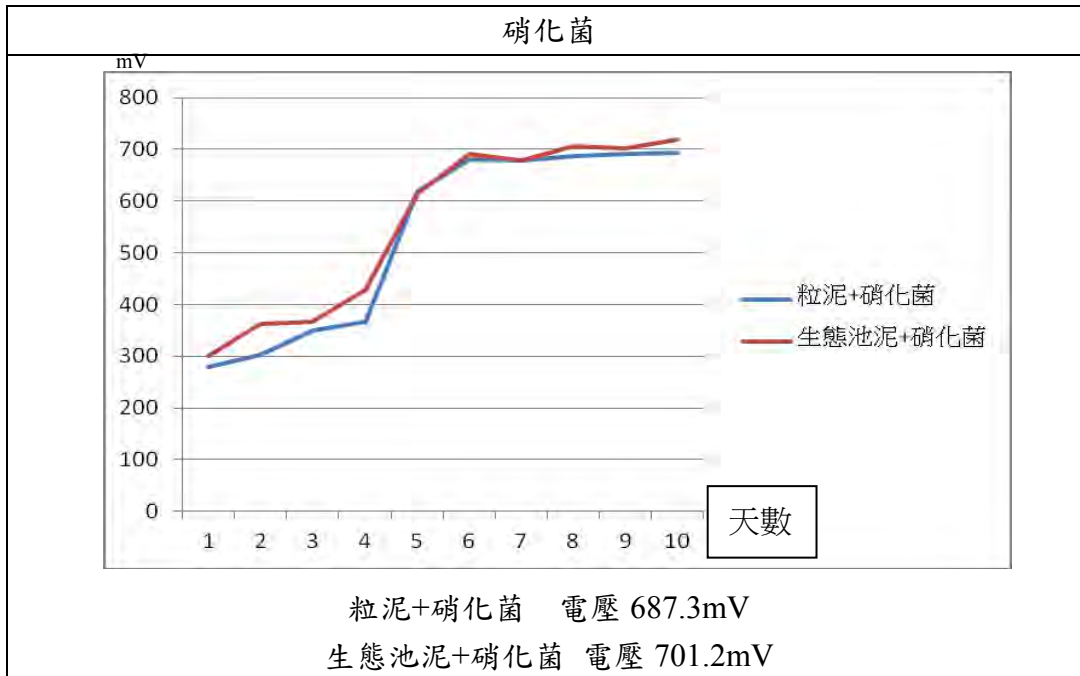
圖九、電壓在第七天開始穩定後，可看出電極面積 2 倍的電壓高於電極面積 1 倍的電壓，約為 1.4 倍；電極面積 4 倍的電壓高於電極面積 1 倍的電壓，約為 1.8 倍。



圖十、以圖八得出各電極面積的穩定電壓繪製關係圖，可發現其呈現自然對數關係，即其電極面積愈大其電壓愈會趨近一穩定值。

## 二、 硝化菌對發電效能的探討

本實驗使用裝置三，電極為石墨氈，電極面積皆為  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ，兩組的底泥分別為生態池泥和市售魚缸專用粒泥。兩組在裝置裝設好後加入硝化菌，待其生態環境穩定後(約兩天)，放入孔雀魚，並開始測量其電壓。



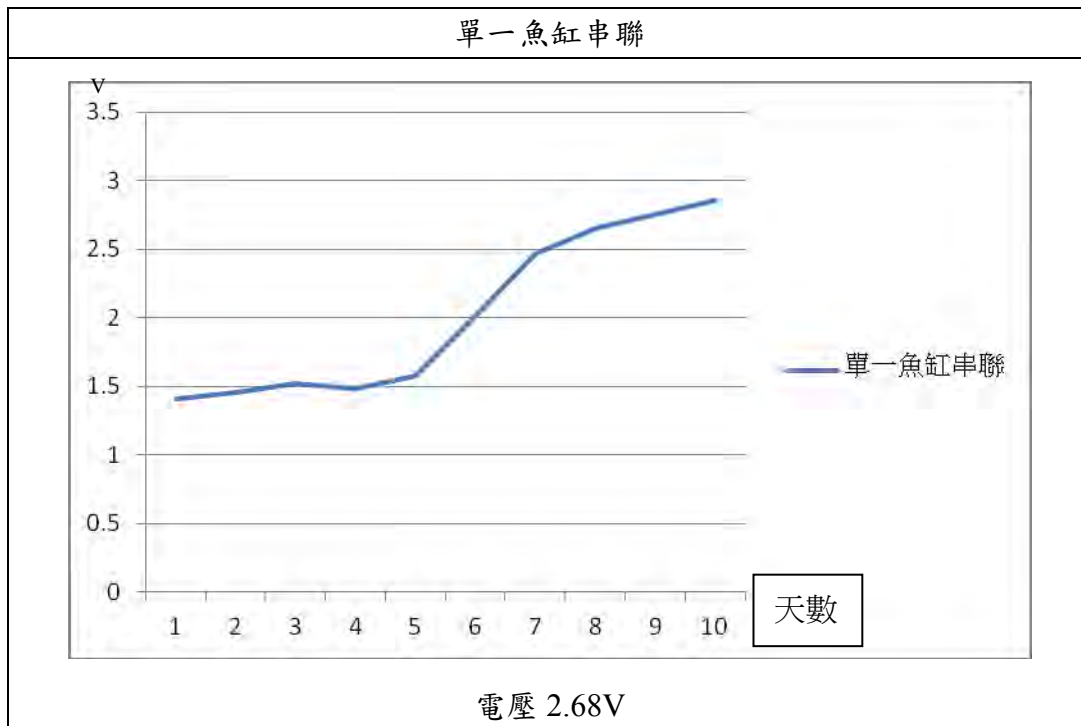
圖十一、兩組電壓穩定後數值相近。

裝置四：裝置三改良

本實驗的槽體為一個與裝置二、三體積相同的壓克力魚缸，並將之分成四格(分別編號為 A、B、C、D)。底泥為生態池泥，電極為石磨氈，電極面積皆為  $5 \times 5 \text{ cm}^2$ 。

	A	B	C	D
個別電壓(V)	0.705V	0.629V	0.780V	0.698V
總電壓(V)	2.87V			

表一、串聯電池的個別電壓與總電壓



圖十二、電壓一開始呈現低穩定狀態，在五天到七天迅速上升，至七天後則呈現高穩定狀態。

## 柒、討論

### 一、裝置一：前置實驗

#### 1. 確認電壓為底泥內的微生物所產生

為了探討本裝置產生的電壓是否由底泥內的微生物所產生，因此依照是否有經過高溫高壓滅菌處理為操作變因，比較電壓變化與大小。實驗結果顯示，無滅菌組的電壓高於有滅菌組，造成此結果的原因可能是因為沒有經過滅菌的組別，底泥內有足夠的微生物可以在行呼吸作用的過程中放出的電子，而此電子可以使裝置構成迴路，產生電壓；而經過滅菌處理的組別，泥內的微生物已在高溫高壓下被去除，因此電壓會大幅低於無滅菌組。

#### 2. 推測實驗後期電壓下降是未補充底泥內微生物養分造成

前置實驗的裝置設計皆是採用 1000ml 燒杯做為底泥微生物燃料電池的槽體，也都未提供電池持續的養分，而在不同變因的探討中，電壓都隨著時間下降，推測可能是因為電池內的微生物因為將化學能轉為電能，又根據能量守恆定律，因為沒有補充底泥內微生物的養分，也就是沒有補回失去的化學能，因此電壓會隨著放電的時間下降。

#### 3. 陰陽極的中間介質材料比較

為了替代價值昂貴的質子交換膜，在本實驗中採用價格便宜、日常生活容易取得的材料。由中間介質不同所產生的電壓之比較中，可以發現：硬不織布 > 保鮮膜 > 軟不織布 > 沙子 > 無中間隔層。中間隔層的設置目的是為了使陰陽極的區別更加明顯。陽極(底泥)需要處在氧氣較少的環境，使泥內的微生物行呼吸作用時因為沒有氧氣作為電子的接收者，電子被迫離開細胞膜，因而放出電子經外電路至陰極；陰極(水)則需要處在含氧量高的狀態，因為氧氣會接收陽極釋出的電子，與氫離子結合還原成水分子。硬不織布的材質相較於在本實驗中選用的其他材料，質地較硬且厚，推測可能是這種材質比較能阻隔氧氣的交換。

#### 4. 未經放電的泥土在室溫下放置的時間不會影響產電效果

為了比較新土與舊土的發電效率，我們裝置的底泥分別使用在室溫下放置兩個月舊土的和當天從生態池內取得的新土，這兩組的差別在於舊土相較於新土沒有持續接受生態池提供的養分，但從實驗結果發現兩組的電壓沒有顯著差異，推論是因為在沒有通電的狀態下，微生物沒有因為放出電子而耗費額外的能量，即是沒有將原本儲存的化學能轉為電能，因此不需要養分的補充。故在電路未接成通路的狀態下，泥土放置的時間不會影響微生物之生長。

## 二、裝置二：會發電與自循環的魚缸

### 1. 證實養分的供給可穩定電壓

在裝置一的前置實驗中，電壓到後期急遽下降，無法穩定，推測是因為沒有養分的供給，而裝置二持續供給底泥微生物燃料電池養分(魚糞)，實驗結果顯示：在測量電壓初期緩慢上升，至第七天左右開始皆能呈現穩定的電壓。因此可驗證前置實驗中的推論，因為微生物放出電子會耗費化學能，若沒有養分補充，產電的效能會漸漸下降，故可得知：養分的供給可以使電壓穩定。

### 2. 生態池泥的發電效果較粒泥的發電效果佳

由圖四中可發現生態池底泥在此裝置環境下發電效能明顯比水族館販售的粒泥高。生態池泥土和粒泥兩種底泥在高溫高壓滅菌之後，泥土中微生物狀況接近相同，因此有幾近相同的起始電壓，皆為 0.2V，且因為魚缸的水皆取自生態池，這兩個組別中只存在泥土種類之差別，故可就微生物生長的环境做更明確的探討。由圖五中可看出兩種底泥的菌相明顯不同，也就是適合生長在這兩種環境下的微生物種類有一定的差異，由以上兩點可得出適合生長在生態池泥的菌比適合生長在粒泥中的菌發電效能佳。

### 3. 不同魚種之電壓與實驗實用性比較

本實驗採用裝置二，並在兩個魚缸分別放入不同魚種(大肚魚 VS 孔雀魚)，此變因造成微生物養分來源的差別，由圖六的菌相比較可看出：兩種排泄物會使泥內生長不同的菌。實驗結果發現使用大肚魚(生態池魚)的組別電壓些微高於使用孔雀魚的組別。造成此結果的原因可能是因為大肚魚的排泄物提供的養分較適合泥內菌的生長，也可能是大肚魚的排泄物能提供較多的微生物生長。就魚的存活率而言，孔雀魚的存活率遠高於大肚魚的存活率，推測是因為生態池魚不適應在小型魚缸生活，造成其較原本就長期生活在魚缸中的孔雀魚有較高的死亡率。綜合以上論述，兩個組別發出的電壓只有小幅差異，且考慮實驗進行的流暢度及未來應用於居家生活的魚的存活率，故之後實驗皆採用孔雀魚做為實驗魚種。

### 三、裝置三

#### 1. 電極面積增加可使電壓升高

由此實驗結果可得知，電極表面積改變會影響電壓的大小。電極表面積變成兩倍，電壓僅變成 1.4 倍，電極面積變成 4 倍，電壓則變成 1.76 倍，並沒有呈現正比關係，於是將電壓值做對數，可得到圖十，發現其呈現一個自然對數關係，即電極面積持續增加到一個程度電壓上升趨勢就會趨緩並趨近一定值，有此關係圖就可避免過度增加電極面積卻只能小幅提高電壓，增加經濟實惠性。

#### 2. 穩定的生態環境可產生較高電壓

在裝置二的實驗中，比較市售粒泥與生態池泥的電壓，可以發現粒泥電壓 (144.08mV) 大幅低於生態池泥電壓 (545mV)。在詢問水族館店家後，發現一般魚缸的養殖，都會在新買來的土裡加入維持魚缸有穩定氮循環的硝化菌。於是我們使用裝置三設計實驗，並加入水族館買來的硝化菌，待其生態環境穩定後 (約 2 天) 放入孔雀魚並開始測量其電壓。由第七天後穩定電壓可以發現生態池泥 (701.2mV) 和粒泥 (687.3mV) 的電壓相近，而未加硝化菌且使用電極面積大小相同的生態池泥電壓為 699.75mV，和加入硝化菌後的電壓幾乎相同，可推論是因為生態池泥內的菌種本來就足夠且能為缸內環境提供穩定的循環系統，因此有無加入硝化菌對發電效果並沒有顯著影響；而市售粒泥則是在加入硝化菌後缸內的硝化系統才會穩定，產生的電壓也能趨近生態池泥的電壓。

### 四、裝置四

#### 1. 串聯電池可使電壓相加

將 4 個電池串聯，總電壓等於 4 個電池電壓相加，因此只要串聯接上足夠的電池數，就可以達到使電器運轉的電壓值。

#### 2. 發電效果可能與菌種密度有關

裝置四使用的底泥總體積與裝置一二三皆相同，換言之，每一小格電池的底泥體積均為原本魚缸使用底泥的四分之一，第十天的總電壓為 2.74V，而其每一小格個別電壓 (約 0.7V) 和使用裝置三測出的魚缸電壓 (0.7V) 相近，因此可得知：底泥的體積大小不會影響電壓高低，底泥內的菌種密度可能才是影響電壓高低的關鍵，故不論缸體大小，只要菌相穩定，一般家用生態缸均具有製成 SMFC 的潛力。



## 捌、結論

根據本研究結果，可針對兩個部分做出若干結論如下：

### 一、前置實驗

- 1.在是否經過滅菌處理的實驗中，可得知底泥中的微生物是產電的來源。
- 2.硬不織布是目前發現效果最好的陽極與陰極之間的中間隔層。
- 3.在底泥沒有放電的狀態下，不同時間從生態池挖出的底泥，若一起接成通路使之開始放電，則發電效果相同。

### 二、會發電與自循環的魚缸

- 1.由裝置二和裝置三的數據可得知，養分的供給可以穩定電壓。
- 2.使用不同魚種的排泄物做為微生物的養分，會造成底泥中不同的微生物生長，使電壓的大小有些微不同。
- 3.生態池底泥的發電效果優於未加入硝化菌市售魚缸用粒泥，但加入硝化菌後粒泥的發電效能和生態池底泥相近，原因是因為市售粒泥內沒有足夠菌種構成一穩定硝化系統，添加硝化菌後可使魚缸有一穩定生態環境，使菌種更適合生存，進而使電壓提高。此結果將使整體魚缸更有實際應用性。
- 4.電極面積增加可使電壓上升，且其電極面積增加的倍數與電壓呈現一對數函數關係，即其電極面積增加到一定大小其電壓上升幅度會下降。
- 5.將電池串聯，所得總電壓等於各個電池電壓相加，因而能在同一魚缸中串聯多個微生物燃料電池以提高電壓。
- 6.底泥體積不直接影響發電效能，發電效能與底泥內的菌種密度有關。
- 7.本裝置因為有魚的排泄物持續提供為生物養分，確實可以發出穩定電壓，且未經串聯的魚缸電壓可達 0.9V，而串聯多個底泥微生物燃料電池的魚缸電壓則可達到 2.8V，其電壓值已有實際應用價值。

## 玖、未來展望

### 一、裝置改良

#### (一) 水質來源：

除了淡水環境，我們也將探討海水環境，比較鹹水與淡水的發電效能，一是希望鹹水中豐富的電解質可提高發電效率，二是希望將來可在不傷害環境的前提下，推展應用於海洋區域。

#### (二) 儲電功能：

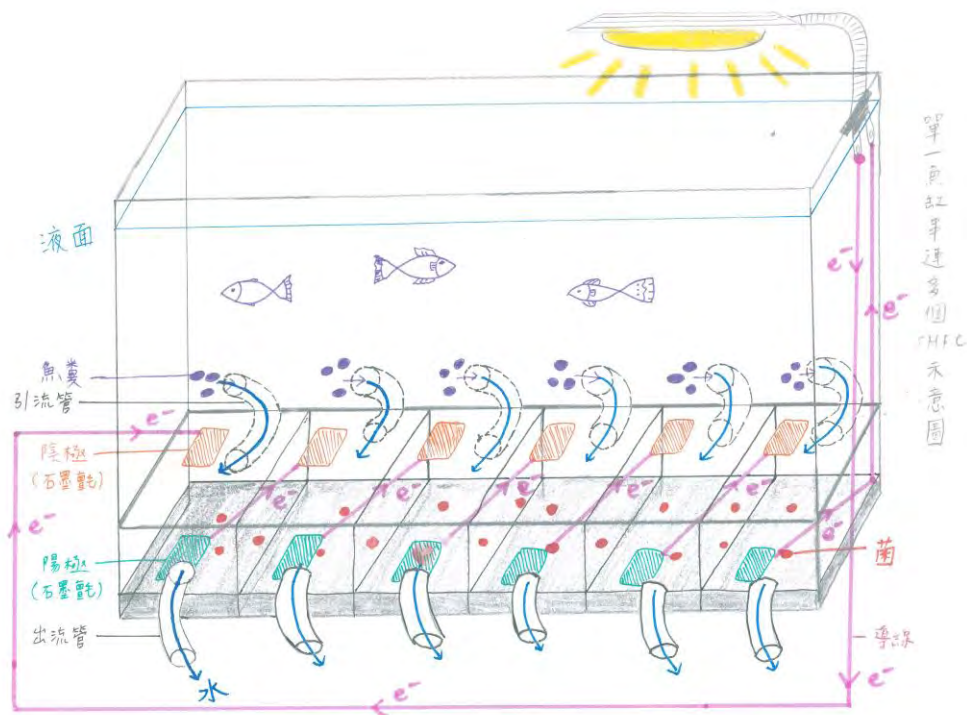
除了穩定發電外，我們希望可以找到儲存 SMFC 電能的方法，使 SMFC 產生的電能可以保留下來，累積至可使用的量之後，再一併使用，如此可將 SMFC 發出的電能做最完善的利用。

### 二、應用

#### (一) 居家：

將本研究設計出與 SMFC 結合的魚缸，再經過以上改良後，希望單一魚缸的電壓即可到達可使用的電壓，也就是串連多個電池在單一魚缸，如此家中的魚缸便不只是美觀，還可以替家裡省下一些電費錢呢！

以下為考量實用性與美觀度，未來欲實際應用於生活的魚缸示意圖。由以上結果可知，串聯多個 SMFC 於同一魚缸可使單一魚缸的電壓提高與串聯各數相同的倍數(裝置四)，而新設計出的這個魚缸不僅可以串聯更多 SMFC，且較不會影響魚的活動空間。



## (二) 野外湖泊、溪流

使用孔雀魚作為魚種的裝置，在十天的實驗中死亡數不會超過兩隻，因此可知道此裝置不會造成魚的傷害，未來找出裝置設置的最佳條件後，可將此裝置裝設於湖泊或溪流，供給電力輸送裝設不易的偏遠地區，可大幅降低電力使用的成本。

## 拾、參考文獻

謝雨澄 (民 100)。以螺旋藻產氧作為陰極電子接受者之微生物燃料電池產電效率研究。國立雲林科技大學環境與衛生工程系碩士論文。雲林縣。

張信堃 (民 100)。微生物燃料電池產電效能之研究—以活性汙泥水解產物為基質。朝陽科技大學環境工程與管理系碩士論文。台中市。

胡苔莉 (民 100)。實驗室建置知底泥微生物燃料電池電力之提升與陽極菌相之探討。逢甲大學環境工程與科學學系碩士論文。台中市。

美科學家發明“細菌電池”細菌吃糖就有電(民92 年9 月15 日)。大洋網。取自：  
<http://big5.southcn.com/gate/big5/www.southcn.com/tech/news/cl/200309150156.htm>

林務局保育研究系列 97-05 號 台灣地區淡水域湖泊、野塘及溪流魚類資源現況調查及保育研究規劃。取自：

<http://www.forest.gov.tw/public/Attachment/9122213595371.pdf>

## 【評語】 040804

1. 本作品提出底泥微生物燃料電池發電與自循環魚缸的概念與實作。團隊合作無間，主題構思新穎。
2. 實務的可行性與成效的改進值得再努力。諸如魚排泄物之阻塞與水質影響及功率與自循環等。