

2023 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 200006

參展科別 環境工程

作品名稱 「微」電救地球——篩選優勢菌製成新式微生物電池充入手機

得獎獎項

就讀學校 高雄市立高雄女子高級中學

指導教師 蘇政宏、邱崑山

作者姓名 吳惟勻、吳惟嫻

關鍵詞 微生物、電池、智能監控

作者簡介



我們是高雄女中高三雙胞胎吳惟勻、吳惟媗。

我們結合微生物電池來開發智慧微生物循環發電系統，過程屢遭電壓等困難，但終能在數據分析、邏輯表達與實驗設計上大有斬獲。如老師所說：「人只有被逼上絕境才會想出辦法來。」我們從實驗裡被逼出飛翔的能力。科展學到的一切都是時間與努力所賦予的意義，也是我倆青春的在場證明。

摘要

本研究研發出「能用池塘等高氨氮廢水來發電的**新式微生物電池行動循環系統**，搭配程式進行**智能監控**」。為了達成減碳的能源目標，我們設計了一個新式小型微生物電池。利用塑膠針筒連接常見的中藥塑膠罐，配合石墨棒加以改良，中間使用質子交換膜當鹽橋。**串聯第 14 個微生物電池**，電壓可達到 7.53V，配合 **USB 降壓板模塊**，將放出的電能順利**充入手機及行動電源儲存**。首先將學校池塘水中的菌加以篩選出適合高氨氮環境中生存之菌種當成陽極微生物，能將含氨氮廢水以及葡萄糖氧化，配合傳統的**魚菜共生**形成新式微生物電池行動裝置，不僅達到綠能環保，還能行動自如地移動到不同水域進行發電。最後結合 **Arduino Uno 程式監控水質**，利用 Arduino Uno 程式搭配 TDS 感應器及繼電器，可以監測魚池中 TDS



雜質並啟動馬達抽水循環，**Python 程式回報水質**。

本研究可**解決環境汙染與能源缺乏的問題**，期望達成水資源循環利用、永續發展。

Abstract

In this study, a new type of microbial battery mobile circulation system that can generate electricity from ponds and other high ammonia nitrogen wastewater is developed. This system is matched with the program for intelligent monitoring. To achieve the energy goal of reducing carbon, we have designed a new type of small microbial battery. The plastic syringe is used to connect the ordinary plastic cans, with the improvement of graphite rods, and the proton exchange membrane is used as the electrolytic bridge. The 14th microbial battery is connected in series, and the voltage can reach 7.53V. With the USB buck converter module, the electric energy discharged can be successfully charged into the mobile phone and mobile power supply for storage.

First, the bacteria suitable for living in the environment with high ammonia nitrogen in the school pond water are screened out as anodic microorganisms. And these anodic microorganisms can oxidize the wastewater containing ammonia, nitrogen, and glucose and form a new type of microbial battery mobile device with Aquaponics. This device can achieve green energy and move freely to different waters to generate electricity. Finally, we combined the device with the Arduino Uno program to monitor water quality. Using the Arduino Uno program with TDS sensors and relays, we can monitor TDS impurities in the fishponds and start the motor pumping cycle. The Python program can report the water quality to testers.

This study can solve the problems of environmental pollution and energy shortage problems, and we expect our device to achieve the goal of recycling and sustainable development of water resources.

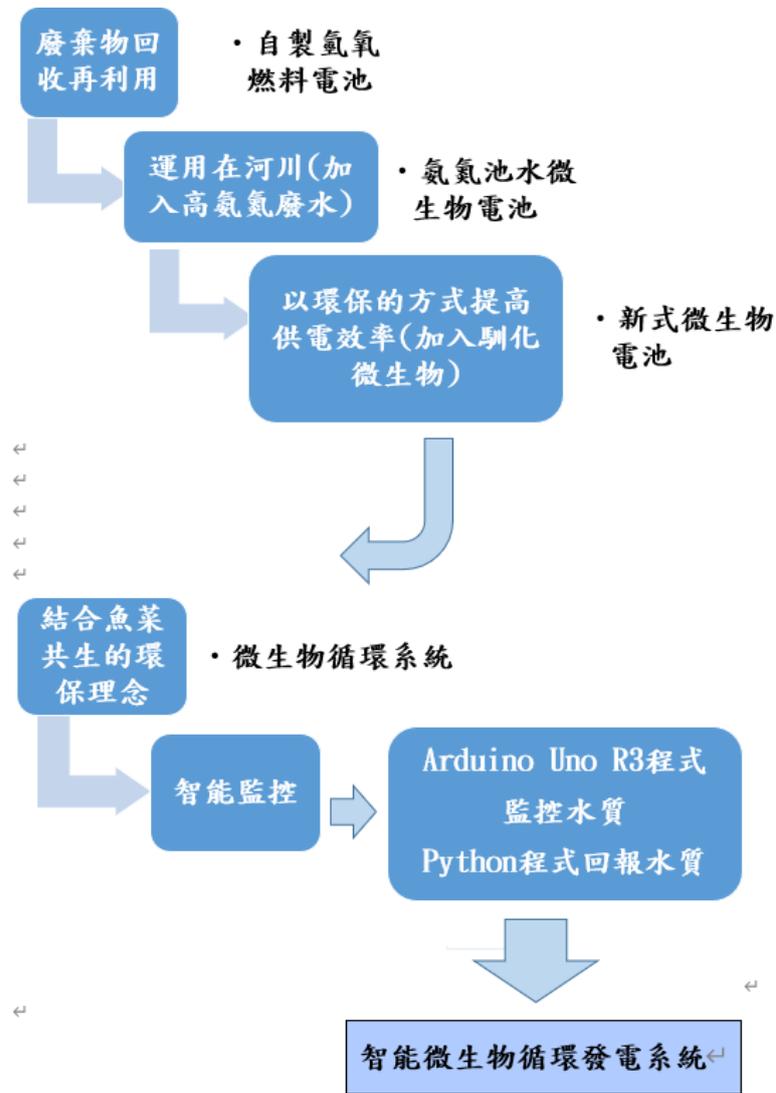
壹、研究動機

隨著社會發展，能源及環保議題廣受重視。而目前普遍使用的化石燃料瀕臨枯竭，火力及核能發電亦有造成污染的疑慮，因此尋找低污染、低成本、高效率之替代能源迫在眉睫。有鑑於上述開發綠色能源的急迫性，我們希望能運用生活中易取得的廢棄物作為材料，自製綠能電池改善缺電的窘境。我們先探討影響燃料電池的變因，再以實驗所得最好變因組合，設計新式微生物電池。

我們期望能篩出廢水中的優勢菌種，應用於自製微生物電池，以處理高氨氮生活廢水。將魚菜共生的環保理念與微生物電池結合，魚的排泄物可滋養水中微生物，幫助產生電能又可回饋循環再利用，發電後的水進入養植池，植物可以吸收含硝酸鹽或亞硝酸鹽養分並淨化水質。如此構成一個可以發電又循環的生態魚池。若能廣泛應用，將可同時解決環境污染與能源缺乏問題，達成水資源循環利用、綠能發電、友善環境及永續發展的目標。目前沒有應用於日常生活中的微生物電池，我們希望研究出可以方便使用於生活中常見的河川或魚池之新式微生物電池，既可發電又環保。

貳、研究目的

- 一、自製新式微生物電池
- 二、研究各種不同電極變因對自製電池之影響
探討「電極種類」、「電極距離」、「電極表面積」、「石墨棒數量」對電壓影響
- 三、研究各種不同變因對新式微生物電池之影響
探討「菌來源」、「菌液量」、「養分種類」、「養分多寡」、「質子交換膜」、「石墨棒纏繞不同金屬」、「陽極包海綿」、「電極鍍上氧化亞銅」、「環境明暗」對電壓影響
- 四、新式微生物電池的電壓、電流效能之討論
- 五、虹吸鐘應用於系統中（植物池、魚缸、硝化養菌池）之可行性
- 六、利用簡易 Arduino Uno 程式應用於水質監測之方法
- 七、利用 Python 程式回報水質
- 八、自製微生物電池系統應用學校池塘水、愛河水、蓮池潭水之可能性
- 九、自製微生物電池用於「行動電源」及「手機」充電之可能性



十、創意發想歷程:

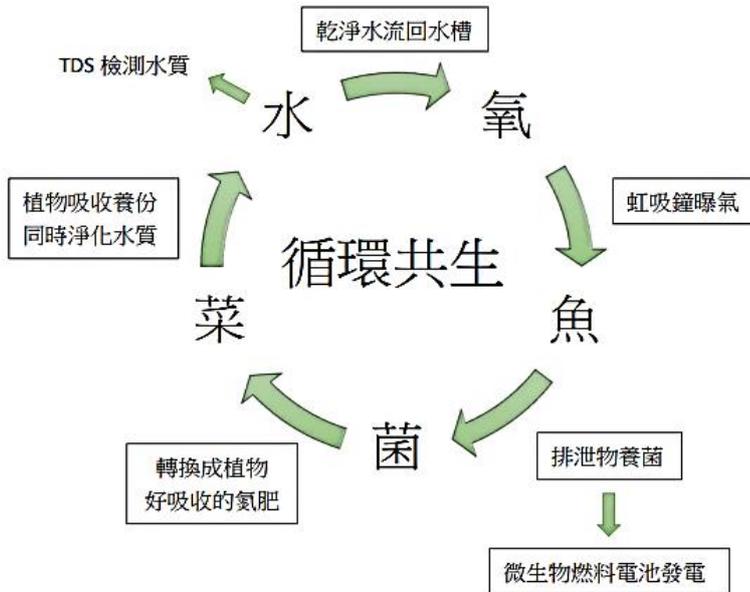


圖 1：行動魚池發電系統

手機充電及行動電源儲電

(圖片來源：研究者繪製及拍攝)

參、器材與藥品

(一)、主要儀器設備與器材

分光光度儀	高溫高壓滅菌釜	Pasco 電流電壓感測器	無菌操作台
-------	---------	---------------	-------

電源供應器 (2 部)	超音波震盪機	指針式毫微安培計	指針式伏特計
培養箱	電子天平	微量吸取器(micro pipette) 1mL	小型沉水馬達 (直流電 6-9V)
金屬螺絲(直徑為 4、6、8mm 之 304 不鏽鋼、12.9 級高碳鋼、8.8 級中碳鋼)		活化後石墨棒(直徑為 4、6、8mm)數支	導電碳布(導電活性碳纖維布)
本生燈	鐵絲網	不鏽鋼鐵絲網(250 目)	pH 計
十進位可變電阻箱	虹吸鐘	注射針筒數支(60ml)	塑膠中藥罐(4 號)
質子交換膜	賽璐玢玻璃紙	精密電阻 1000Ω (0.25W)	精密電阻 100Ω
麵包板	鱷魚夾(連電線)數條	銅線	銅箔
二通閥	三通閥	銅片	焊槍
防水膠帶	容量瓶(100 / 1000mL)	2000mL 大燒杯(2 個)	500ml 燒杯(數個)
滅菌膠帶	橡皮塞	500mL 血清瓶(3 個)	Silicon
不織布	酒精燈	分度吸量管 (25 / 10ml)	吸管
定植板(附海綿)	三用電表	石英管	玻棒
育苗綿	TDS 水質檢測筆	SPARKvue 數據擷取程式	DataStudio

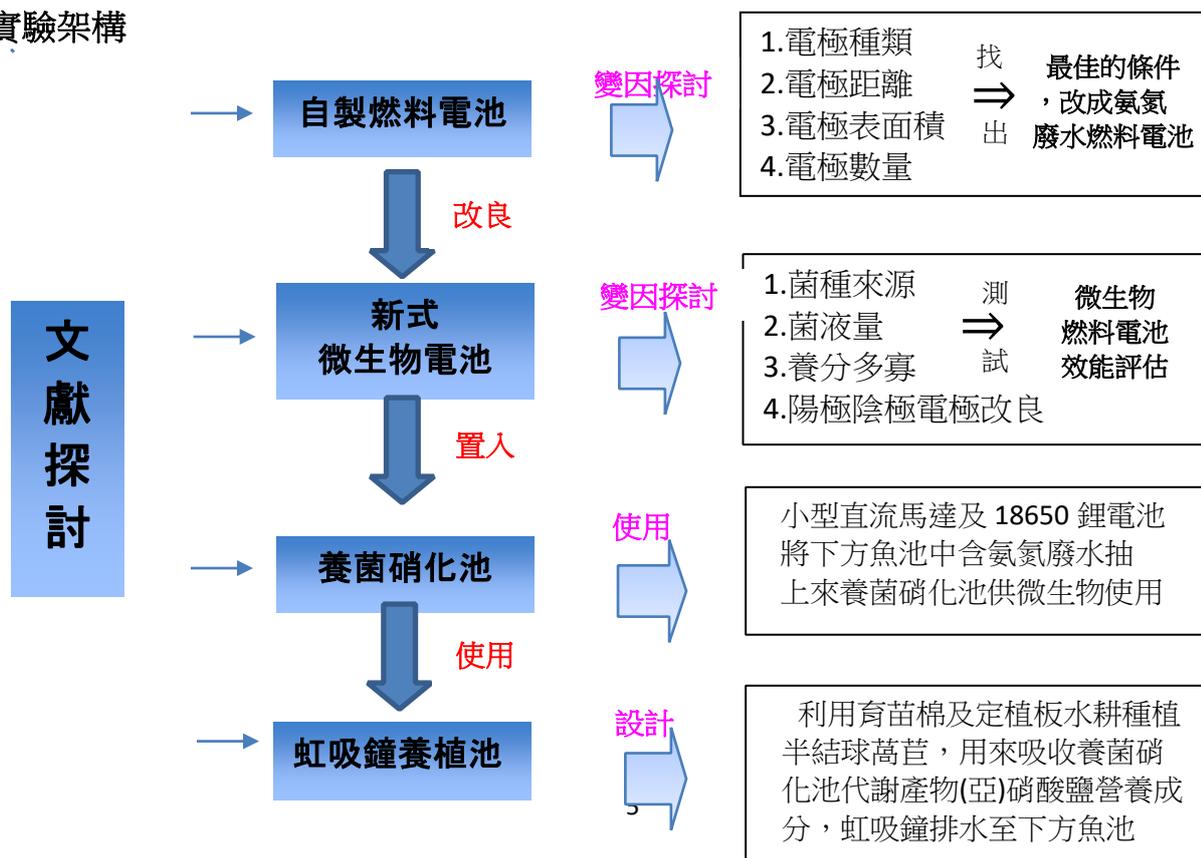
(二)、藥品：

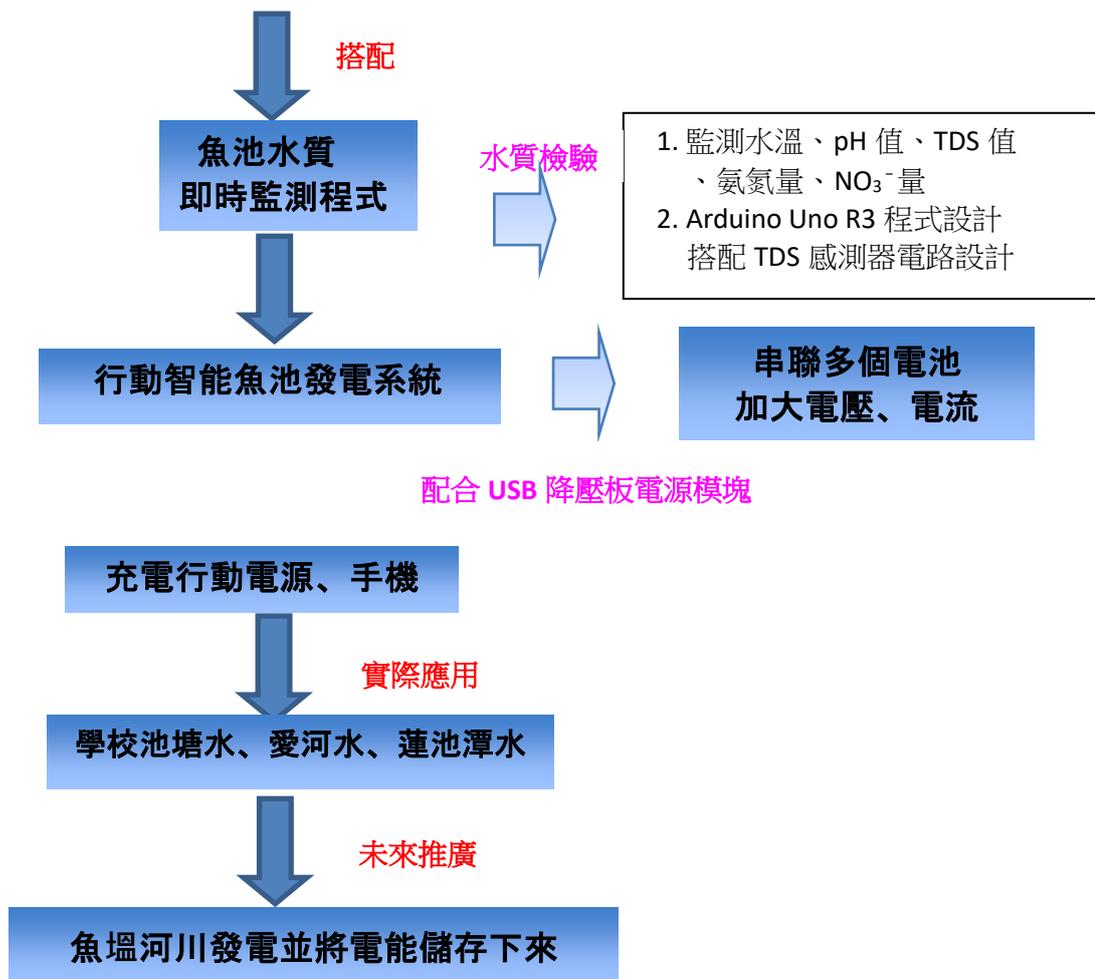
LB 培養基粉末[島久藥品株式會社]	洋菜粉 [島久藥品株式會社]
硫酸銅 [聯工股份有限公司]	硫酸 [聯工股份有限公司]
氯化銨 [博堂儀器股份有限公司]	氫氧化鈉 [聯工股份有限公司]
正己烷 [博堂儀器股份有限公司]	氯化鉀 [博堂儀器股份有限公司]
葡萄糖 [島久藥品株式會社]	蔗糖 [島久藥品株式會社]
乙醇 [博堂儀器股份有限公司]	丙酮 [博堂儀器股份有限公司]
氨氮測試劑[台灣 TBS 翠湖公司]	氨氮測試劑[台灣 TBS 翠湖公司]

高氨氮培養基成分：

NH₄Cl 1g/L、KH₂PO₄ 1g/L、K₂HPO₄ 1g/L、MgSO₄ 0.1g/L、FeCl₃ 0.05g/L、CaCl₂ 0.02g/L、LB 25g/L

實驗架構





(實驗架構：研究者繪製)

肆、研究過程與方法

實驗一：自製實驗用簡易型燃料電池

【實驗 1-1 自製燃料電池】

一、原理：

電解水產生氫氣及氧氣。再利用逆反應進行氫氣、氧氣生成水的化學反應，將化學能轉為電能，製作氫氧型燃料電池。

二、石墨棒再活化處理：

(一)目的：為了去石墨棒雜質及表面產生細微孔洞(增加表面積)，須將石墨棒均勻燒至高溫再處理。

(二)方法：

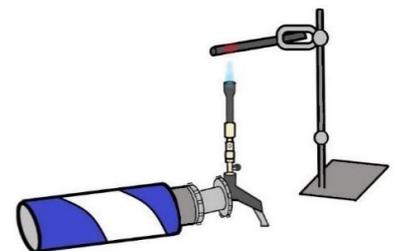


圖 1-1：石墨棒高溫再活化

(圖片來源：研究者繪製)

- 1.將石墨棒泡入正己烷中，用超音波震盪機清洗數次後，等正己烷揮發。
- 2.用本生燈將石墨棒均勻燒至紅熱(最高溫約 1250°C)，再迅速放入冰水中，使其急速冷卻。
- 3.重複上述步驟，使石墨棒因充分活化而在表面出現細微孔洞以增加接觸面積。

三、探討「電極」對燃料電池之影響

(一) 變因一：研究「不同電極種類」對電壓變化之影響

1. 操縱變因：不同電極種類 (304 不鏽鋼螺絲釘、12.9 級高碳鋼螺絲釘、8.8 級中碳鋼螺絲釘、石墨棒當成電極)
註：304 不鏽鋼：18：8 鉻鎳比的不鏽鋼；高碳鋼：含碳量 0.55-2.0%；
中碳鋼：含碳量 0.25-0.55%
2. 控制變因：兩電極最近距離固定 3cm、電極直徑 6mm，電解液為 1.0M NaOH_(aq)
3. 實驗步驟：自製簡易氫氧燃料電池及操作
 - (1) 利用兩個 60mL 的塑膠針筒製成陰極和陽極。上方使用三通閥當液體注入的開關，下方橡皮塞挖洞，中間放入外面包不織布(CD 棉布)的石墨棒當燃料電池的電極。兩石墨棒電極最近距離固定為 3cm，中間吸管放入飽和 KCl 溶液洋菜凍當鹽橋。
 - (2) 由兩塑膠針筒上方三通閥各注入滿 1.0M NaOH_(aq)電解液。
 - (3) 以直流電源供應器提供 9.0V 電壓，使 NaOH_(aq)電解 20 分鐘產生氫氣及氧氣。
 - (4) 停止電解後，接上 100Ω 精密電阻負載，利用電壓電流感測器 SPARKvue 程式，設定每 30 秒紀錄一次測量數值，連續紀錄 450 秒的電壓值。
(測量氫氣和氧氣在電解液中放電反應的情形)
 - (5) 將石墨棒電極更換為高碳鋼釘、中碳鋼釘、不鏽鋼等電極，重複步驟 (2)~(4)。

(二) 變因二：研究「電極表面積」對電壓變化之影響

1. 操縱變因：長度相同表面積不同 (使用直徑分別為 4、6、8mm 的石墨棒)
2. 實驗步驟：
 - (1) 以直徑 6 mm 外面包不織布(CD 棉布)的石墨棒作為自製燃料電池的電極，使其距離固定為 3.0 cm。中間吸管放入飽和 KCl 溶液洋菜凍當鹽橋。
 - (2) 重複變因一的步驟(2)~(4)，連續紀錄 450 秒的電壓值。
 - (3) 改以直徑分別為 4mm、8mm 的石墨棒來進行實驗。

(三) 變因三：研究「電極距離」對電壓變化之影響

1. 操縱變因：石墨棒電極最近距離：3cm、5cm、8 cm
2. 實驗步驟：
 - (1) 使用外面包不織布(CD 棉布)的石墨棒作為自製燃料電池之電極，使之最近距離固定為 3.0 cm。中間吸管放入飽和 KCl 溶液洋菜凍當鹽橋。
 - (2) 重複變因一的步驟(2)~(4)，連續紀錄 450 秒的電壓值。
 - (3) 改以石墨棒電極最近的距離分別為 5 cm、8 cm 來進行實驗。

(四) 變因四：研究「石墨棒數量」對電壓變化之影響

1. 操縱變因：陽極為一個直徑 8 mm 長度 12 cm 石墨棒(1 支)、環繞式石墨棒(共 5 支)
2. 方法：石墨棒電極纏繞小石墨棒可以增加電極的接觸面積，
一根大支石墨棒環繞一圈 4 支小石墨棒(直徑 2 mm)當作主電極。

3. 實驗步驟

- (1) 使用外面包不織布(CD 棉布)的石墨棒作為自製燃料電池之電極，使之最近距離固定為 5.0 cm。中間吸管放入飽和 KCl 溶液洋菜凍當鹽橋。
- (2) 重複變因一的步驟(2)~(4)，連續紀錄 450 秒的電壓值。
- (3) 改以「環繞式石墨棒」電極來進行實驗。

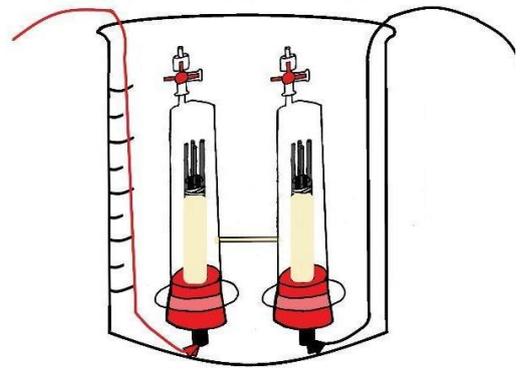


圖 1-2：環繞式石墨棒電極加不織布 圖 1-3：自製燃料電池
(圖片來源：研究者拍攝與繪製)

圖 1-4：自製燃料電池示意圖

【實驗 1-2 改良成氨氮池水微生物燃料電池】

一、原理：

微生物燃料電池與傳統化學電池一樣，也需要有陽極與陰極，兩極中間利用質子交換膜阻隔。陽極會加入微生物進行有機物氧化作用，有機物被氧化過程會產生電子及產生代謝生成物。微生物代謝所釋出之電子由陽極(負極)經外部電路傳至陰極(正極)，並由陰極的氧氣進行還原，電子流動產生電能。跟燃料電池相比，微生物燃料電池的優勢是成本，因為不需要使用貴金屬鈀、鉑等當觸媒，也不需要特定高溫下進行反應。

二、自製氨氮池水微生物燃料電池：

- (一) 目的：本實驗考量材料容易取得及成本，希望利用【實驗 1-1】的燃料電池來改良成適合用於含氨氮培養基之微生物燃料電池，並測試不同變因對電壓之影響，找出最好的變因組合。
- (二) 問題：將自製氫氧燃料電池改良設計成高氨氮培養基之微生物燃料電池，需要解決的是鹽橋，因為「洋菜凍」容易破碎，我們嘗試用「賽璐玢玻璃紙」及「質子交換膜」當鹽橋。不僅可以減少電解液使用即可進行離子導電，我們預期還可以提高電壓。
 1. 方法：藉由【實驗 1-1】燃料電池研究，找出最佳變因條件，再將其調整組合，希望能自製氨氮微生物燃料電池。
 2. 改良過程與方法：
 - (1) 為了減省空間可以也為了將來多個電池串聯準備，我們將【實驗 1-1】左右並排的兩極燃料電池，嘗試改成上下兩極。考慮使用賽璐玢玻璃紙或質子交換膜當鹽橋。
 - (2) 【實驗 1-1】的燃料電池，石墨棒包覆不織布是為了要捕捉吸附更多電解水時產生的氫氣與氧氣，但接下來的實驗不需要吸附氫氣與氧氣，反而需要增加導電性，因此考慮將不織布改成有導電性的碳布來包覆石墨棒，作為微生物燃料電池的電極。



圖 1-5：自製氨氮廢水微生物燃料電池放入學校池塘水測電壓
(圖片來源：研究者拍攝與繪製)

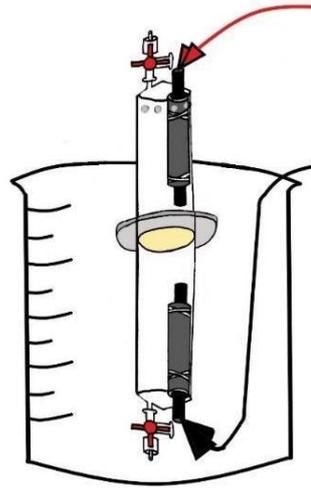


圖 1-6：氨氮廢水微生物燃料電池示意圖

三、探討「電極」對燃料電池之影響

(一) 變因一：研究「鹽橋種類」對電壓變化之影響

1. 操縱變因：質子交換膜、賽璐玢玻璃紙
2. 控制變因：直徑 8mm 石墨棒最近距離 5cm、陽極加池塘水 50mL 提供菌種來源，再利用高氨氮液態培養基將陽極填充加滿，陰極加入 30mL 飽和 $\text{KCl}_{(aq)}$ 電池液
3. 實驗步驟
 - (1) 在兩個 60mL 針筒有尖頭的那端利用鎳鉻鐵分別燒一個洞，將石墨棒長度的 10 公分穿過洞並用防水膠黏好，剩下 2 公分(石墨棒)在塑膠針筒外以便夾鱷魚夾。
 - (2) 以防水膠固定 3.5cm×3.5cm 質子交換膜於兩針筒開口之間，並用防水膠帶纏繞針筒外圍避免滲水。
 - (3) 上方陰極三通處加入 30mL 飽和 $\text{KCl}_{(aq)}$ 電池液，下方陽極三通處加入學校池塘水 50mL 提供菌種來源，再填充裝滿高氨氮液態培養基。
 - (4) 接上小精密電阻負載，利用電壓電流感測器 SPARKvue 程式，測量連續 7 小時電壓值變化。
 - (5) 質子交換膜更換為賽璐玢玻璃紙，重複步驟(2)~(4)

註：實驗過程於無菌操作台進行操作。

(二) 變因二：研究「改良電極(加不織布或導電碳布)」對電壓變化之影響

1. 操縱變因：石墨棒包覆不織布(6.0cm×3.0cm)或碳布(6.0cm×3.0cm)
2. 實驗步驟：
 - (1)在兩個 60mL 針筒有尖頭的那端利用鎳鉻鐵分別燒一個洞，將石墨棒長度的 10 公分包上不織布穿過洞並用防水膠黏好，剩下 2 公分(石墨棒)在塑膠針筒外以便夾鱷魚夾。
 - (2)重複變因一的步驟(2)~(4)，連續紀錄 7 小時的電壓值。
 - (3)電極分別更換為石墨棒包覆導電碳布來進行實驗。



(三) 變因三：研究陰極「飽和 KCl(aq)電池液加入量」對電壓變化之影響

1. 操縱變因：陰極飽和 KCl(aq)電池液加入量：20、30、40mL
2. 實驗步驟
 - (1)重複變因一的步驟(1)~(4)。
 - (2)陽極 50mL 學校池塘水以及高氨氮液態培養基填滿，陰極改成加入 20mL、40mL 飽和 KCl(aq)電池液來進行實驗。

圖 1-7：碳布包覆石墨棒

實驗二：自製實驗用新式微生物電池

一、原理：

微生物降解營養源釋出電子，經由外電路以電能形式利用。若將高氨氮生活廢水作為其營養源，陰極使用氧氣作為氧化劑。本研究先以高氨氮培養基仿效魚池廢水之高氨氮環境，篩出優勢菌種並置於電池陽極，優點是材料取得容易、成本低、內電阻低，電壓穩定、可長時間持續放電之新式微生物電池，實用價值極高。持續性良好且產物乾淨又無污染。

陽極：

有機物(經微生物作用) $\rightarrow e^- + \text{代謝產物} (\text{CO}_2 + \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O})$

$\text{NH}_4^+ + 2\text{H}_2\text{O}$ (經 Nitrosomonas 作用) $\rightarrow \text{NO}_2^- + 6e^- + 8\text{H}^+$

$\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$ (經 Nitrosomonas 作用) $\rightarrow \text{NO}_3^- + 2e^- + 2\text{H}^+$

陰極： $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ 及 $\text{O}_2 + 4\text{H}^+$ (經質子交換膜傳至陰極) $+ 4e^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

二、研究過程

- (一) 從廢水中篩選出適合於氨氮環境中生存的優勢菌種
- (二) 探討微生物電池各種變因的影響
 - 1.不同菌源 2. 不同養分 3. 養分濃度 4.陽極包海綿或碳布
 - 5.陽極纏繞長度固定不同金屬 6. 陰極是否鍍上氧化亞銅 7.環境明暗
- (三) 探討以高氨氮廢水作為營養源之微生物燃料電池之性能

三、篩出優勢的菌種

- (一) 目的：從水中篩出能適應高氨氮環境的細菌，確保其在高氨氮廢水中為優勢菌種(混菌)。
- (二) 方法：
 1. 取得蓮池潭、愛河、學校池塘，並分析其基本特性(水溫、pH 值...)
 2. 配置液態高氨氮培養基，並從汗水中篩出厭氧耐高氨氮的純菌，為其命名。
 3. 將學校池塘篩出的菌命名為菌 A；愛河的菌命名為菌 B；蓮池潭的菌命名為菌 C，觀察其生長情形。
- (三) 步驟：

1. 配置培養基

- (1) 調配 LB 培養液：60 克培養基粉末溶於 1500mL 蒸餾水中，以玻璃棒攪拌輔助其溶解。
- (2) 分裝入 3 個 500mL 血清瓶，並在瓶蓋上黏貼滅菌膠帶，以便滅菌後檢視其滅菌環境的溫度是否達到高溫(紋路變黑色)。
- (3) 檢查高溫高壓滅菌機氣閥和水閥是否成密閉，以及確認「滅菌進行」的提示燈並未亮燈。確認完可打開高溫高壓滅菌機的閥門。
- (4) 1000mL 的水倒入高溫高壓滅菌機，使水位淹過底層鐵片。
- (5) 將裝有 LB 培養液的 3 個 500mL 血清瓶的旋緊瓶蓋後稍微轉開，使其留有縫隙，以利滅菌。
- (6) 將 3 個血清瓶置於高溫高壓滅菌機的鐵網上。
- (7) 啟動高溫高壓滅菌機。



圖 2-1：將裝有 LB 培養液的 3 個血清瓶旋緊瓶蓋後稍微轉開，留有縫隙以利滅菌。



圖 2-2：將 3 個血清瓶置於高溫高壓滅菌機

2. 培養優勢菌

- (1) 打開高溫高壓滅菌機，拿出已滅菌的血清瓶。
- (2) 打開無菌操作台以形成無菌空間。
- (3) 拿微量吸取器(micro pipette) 1mL，裝上 tip。
- (4) 按微量吸取器的第一段吸取池塘水。
- (5) 按微量吸取器的一段加二段將池塘水加入經過滅菌的培養基五次 (1ml× 5=5ml)。
- (6) 旋上血清瓶瓶蓋，並拔下微量吸取器的 tip。
- (7) 血清瓶旋緊後旋開一個縫，放入培養箱。
- (8) 定時查看培養箱中養菌的情況。



圖 2-3：按微量吸取器將池塘水加入



圖 2-4：配置完成的 LB 培養基（已滅菌）



圖 2-5：置於培養箱內以室溫 28°C 培養

3. 置於培養箱內以室溫 28°C 培養，一週後觀察細菌生長的型態與分布。
4. 待其冷卻，於無菌操作臺內倒入培養皿中，製得液態培養基。
5. 將自學校池塘、愛河、蓮池潭所取得的水樣品稀釋 10 倍，分別倒入血清瓶內，置於培養箱以室溫培養。
6. 一週後，觀察細菌生長的情況。(液態培養基內是否混濁及有無微生物漂浮)
7. 海綿浸入液態高氨氮培養基，沾取液態培養基之混合菌。(於無菌操作台進行)
8. 一週後，重複步驟 6。
9. 將學校池塘篩出的菌命名為菌 A；愛河的菌命名為菌 B；蓮池潭的菌命名為菌 C



圖 2-6：學校池塘菌 A



圖 2-7：愛河菌 B



圖 2-8：蓮池潭菌 C

附註 1：

波長(nm)	506
濃度(C)	1.002
吸光值 OD(506nm)	0.626

附註 2：

一特定物質若可吸收某一特定波長的光，利用比爾定律公式，可知該物質在溶液中的濃度，會與溶液對該波長的吸光值(absorbance)成正比關係，使用分光光度儀測定吸光值後，即可推算該化學物質在溶液中的濃度。



圖 2-9：分光光度儀



圖 2-10：混合菌的吸光值 OD(506nm)

附註 3：

化學物質在波長 λ 的吸光值(AI; absorbance)定義為 $AI = \log(I_0/I)$ 。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。 I_0 (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 I_0 經過溶液及石英管後，所穿透出的光束強度

【實驗 2-1 從池水中篩選出適合於高氨氮環境中生存的菌種】

一、製作新式微生物電池裝置

(一) 目的：希望製作一材料容易取得且內電阻低的微生物燃料電池。為了確保其實用性，因此我們在電池裝置中加入以培養基培養池水中優勢菌，並加入葡萄糖。

(二) 製作步驟：

1. 將針筒內包碳布的石墨棒嘗試改成石墨棒鍍氧化亞銅，作為陰極並連接電線，針筒開口處連接一底部鑽洞的 4 號中藥塑膠罐。
2. 塑膠罐蓋子上鑽孔固定一網石墨棒(5 支)，作陽極並拉電線，以便測量電壓。
3. 將塑膠罐底部鑽孔固定一個二通閥以便注入高氨氮溶液和葡萄糖溶液，將滅菌過的

海綿(10.0cm×3.0cm×3.0cm)放入塑膠罐內固定，將整個裝置噴 75%酒精滅菌。

- 將質子交換膜(3.5cm×3.5cm)固定於針筒開口及塑膠罐底部開口的連接處，由上方二通閥注 30mL 飽和 KCl 溶液入陰極。陽極海綿注入液態高氨氮培養基，並種入篩出的菌，即沾取液態培養基上之優勢菌。(於無菌操作台進行操作)

二、探討新式微生物電池各種變因之影響

(一) 變因一：研究「不同菌源」對電壓變化之影響

- 操縱變因：於微生物燃料電池中種入不同來源的菌(不同地點所培養的優勢菌)與沒有加入菌之對照組比較，觀察電壓變化。

- 實驗步驟：

- (1) 製作 4 個新式微生物電池，分別編號為 A、B、C、D。

- (2) 於編號 A 中種入學校池塘菌 A；編號 B 中種入愛河菌 B；編號 C 中種入蓮池潭菌 C；沒有菌之對照組為編號 D。

- (3) 分別觀察其 1 週的電壓變化。

(二) 變因二：研究「不同種類養分」對電壓變化之影響

- 操縱變因：菌在不同種類養分的培養基，觀察其對電壓變化之影響。

- 實驗步驟：

- (1) 製作 3 個新式微生物電池裝置，分別在液態培養基加入葡萄糖、蔗糖、高氨氮培養基，並種入菌 A。

- (2) 分別觀察其 1 週的電壓變化。

(三) 變因三：研究「養分濃度不同」對電壓變化之影響

- 操縱變因：細菌體積固定不同濃度的葡萄糖，觀察其對電壓變化之影響。

- 實驗步驟：

- (1) 製作 3 個新式微生物電池裝置，分別在陽極加入 50mL 葡萄糖溶液並以高氨氮培養基填滿陽極塑膠罐，裝置加滿濃度分別為 5g/L、10 g/L、20 g/L 葡萄糖溶液。

- (2) 分別觀察其 10 天的電壓變化。

(四) 變因四：研究「陽極包海綿或導電碳布」對電壓變化之影響

- 操縱變因：探討陽極包海綿或碳布，觀察其對電壓變化之影響。

- 實驗步驟：

- (1) 製作一個新式微生物電池裝置。

- (2) 以針筒吸取菌液注入陽極塑膠罐。

- (3) 以海綿沾取菌液(菌 A)，探討電壓的穩定性。

- (4) 在陽極石墨棒上海綿改成綁導電碳布，用以吸附反應物和菌 A (和海綿的功能相同)，比較兩者電壓關係。分別觀察 1 週電壓變化。

(五) 變因五：研究「陽極纏繞固定長度之不同金屬」對電壓變化之影響

- 操縱變因：在陽極石墨棒外圍纏繞不同的金屬作為陽極，觀察對電壓變化之影響。

- 實驗步驟：

- (1) 製作 4 個新式微生物電池裝置，分別在液態培養基加入葡萄糖、蔗糖、高氨氮培養基，並種入菌 A。以外圍纏繞不同的金屬石墨棒作為陽極。

- (2) 依序在陽極加上粗不鏽鋼網、細不鏽鋼網、銅箔、銅線，觀察 1 週電壓變化。

(六) 變因六：研究「陰極鍍上氧化亞銅」對電壓變化之影響

1. 操縱變因：陰極石墨棒上是否鍍上氧化亞銅
2. 實驗步驟：氧化亞銅電鍍法：
 - (1) 石墨棒以電鍍法均勻鍍上金屬銅。以蒸餾水洗乾淨鍍銅的石墨棒後用丙酮擦拭。
 - (2) 將鍍銅的石墨棒放在本生燈上高溫加熱。當鍍上銅的石墨棒加熱至呈現粉紅色時（約一分半鐘），瞬間泡入冰水中急速冷卻（約 3 分鐘），即製成裹著氧化亞銅的石墨棒。
 - (3) 將陰極鍍上氧化亞銅的石墨棒外面**不要**包上碳布，置入新式微生物電池上方針筒內做為陰極。
 - (4) 由二通閥灌入 30mL 飽和 KCl 溶液入陰極。陽極海綿浸入液態高氨氮培養基，並種入細菌，即沾取液態培養基上之菌 A。（於無菌操作台進行）
 - (5) 於自然光線下 1 週，並觀測電壓變化。

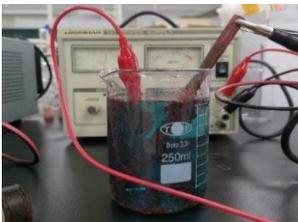


圖 2-11：氧化亞銅電鍍法



圖 2-12：用丙酮擦拭鍍銅的石墨棒



圖 2-13：石墨棒在本生燈上加熱後，泡入冰水中急速冷卻

(七) 變因七：研究「環境明暗」對其電壓變化之影響

1. 目的：改變裝置所在環境的明暗，觀察其對氧化亞銅電壓變化之影響。
2. 步驟：
 - (1) 將陰極鍍上氧化亞銅的石墨棒外面**不要**包上碳布，由二通閥灌入 30mL 飽和 KCl 溶液入陰極。陽極海綿浸入液態高氨氮培養基，並種入細菌，即沾取液態培養基上之菌 A。（於無菌操作台進行）
 - (2) 取 2 個新式微生物電池作為改變環境明暗的對象。
 - (3) 其一置於暗室中 1 週，另一個電池置於自然光線下 1 週，分別觀測電壓變化。



圖 2-14：質子交換膜固定於針筒開口及 PS 4 號塑膠罐底部開口的連接處



圖 2-15：二代微生物燃料電池裝置



圖 2-16：二代微生物燃料電池裝置測電壓

【實驗 2-2 新式微生物電池之 V-I 曲線與電壓測試】

一、原理探討

利用電壓電流特性曲線來評估自製微生物燃料電池效能。透過改變電阻來測量電壓、電流，並畫出電池的電壓-電流曲線圖，曲線中可找到最大功率點($P=I \times V$)，而此點與原點所圍的面積為最大功率，此點與原點連線的斜率為電池及所接負載的電阻值。

二、實驗方法

(一) 線路圖：

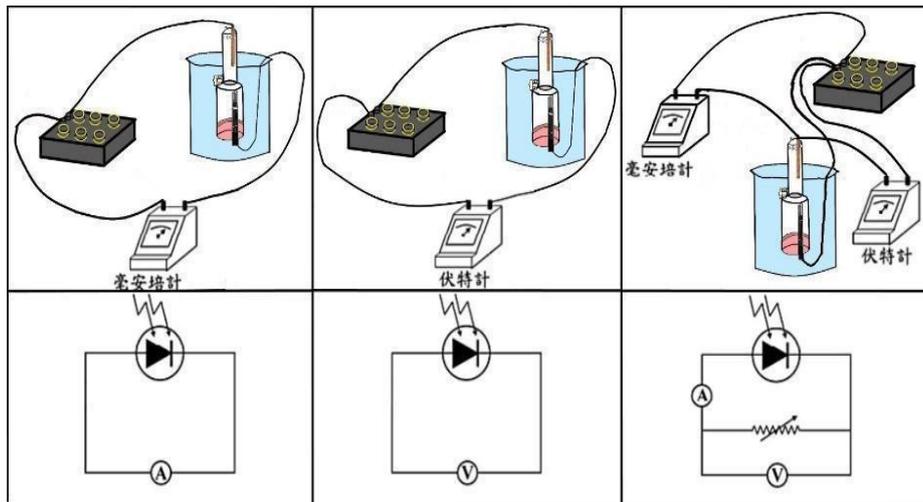


圖 2-17：測量短路電流

圖 2-18：測量開路電壓

圖 2-19：測量 V-I 曲線

(圖片來源：研究者繪製)

附註 1：電壓測量方式：

外電路為『斷路』時，接上三用電表，待其電壓上升達穩定，記錄電池的輸出的電壓，稱為開路電壓(V_{oc})。

附註 2：電流測量方式：

外電路為『短路』時，將指針式毫/微安培計接上裝置，測量其最大瞬間輸出的電流，稱為短路電流(I_{sc})。

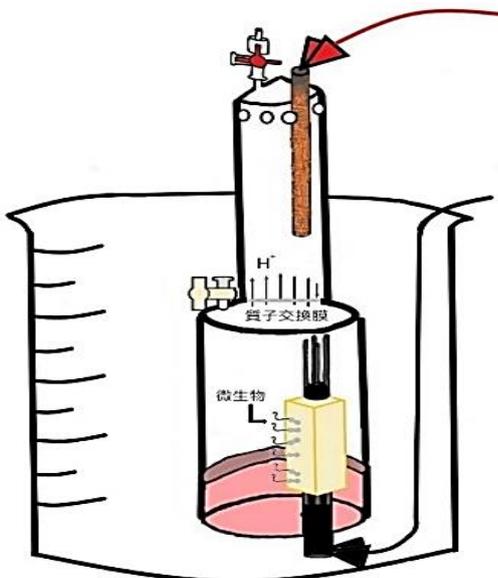


圖 2-20：新式微生物燃料電池示意圖

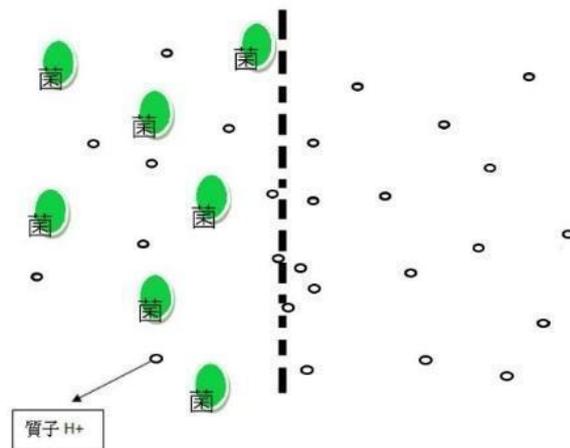


圖 2-21：質子交換膜兩側動態示意圖

(圖片來源：研究者繪製)

(二) 研究方法：

1. 將新式微生物燃料電池接上十進位可變電阻箱，利用電壓電流感測器(SPARKvue 程式)

取代上圖中的伏特器和安培計。

2. 藉由改變電阻，再測量新式微生物燃料電池輸出電壓和電流關係圖時，設定電壓電流感測器(SPARKvue 程式)每秒讀取 10 組數據，描繪出 V-I 曲線。

(三) 研究步驟：

1. 將新式微生物電池連接如圖 2-17，記錄輸出之電流，即為短路電流。

2. 將新式微生物電池連接如圖 2-18，記錄輸出之電壓，即為開路電壓。
3. 將新式微生物電池連接如圖 2-19，改變電阻，紀錄該照度下的電壓(V) 及電流(I)。
4. 利用 Excel 畫 V-I 圖，找出 V×I 的最大座標點，此點與原點所圍之面積即為最大功率。
5. 串聯 2 個新式微生物電池，以加大電壓及電流，並重複(1)~(4)的實驗步驟。



圖 2-22：新式微生物電池



圖 2-23：新式微生物電池性能測試
(圖片來源：研究者拍攝)



圖 2-24：串聯新式微生物電池

三、測試新式微生物燃料電池之穩定性

(一) 實驗方法：將【實驗 2-1】之最佳變因，製作 15 個新式微生物電池，觀測其 1 週電壓之穩定性。

(二) 實驗步驟：

1. 製作 15 個新式微生物電池裝置，分別將其編號 1-15 號。
2. 接上小精密電阻負載，利用電壓電流感測器 SPARKvue 程式，測量連續電壓值變化。觀測其持續放電 1 週電壓變化。

實驗三：行動魚池發電系統之設計

【實驗 3-1：設計虹吸鐘養植池加養菌硝化池應用於魚池中】

一、原理探討

整個系統是利用沉水馬達將魚池的排泄物水，送到硝化池沉澱、過濾，並利用池中的硝化菌以及亞硝化菌進行硝化降解作用，再流到植物池。其中的水中懸浮物與有機分子，經細菌轉化為可供植物吸收的養分後，植物也幫忙淨化水質，最後再送回魚池提供給魚類乾淨的水質生活，形成循環共生系統。

二、實驗方法與過程

1、目的：接續上述各實驗探討得到的最佳變因與組合，改良傳統魚菜共生，再加上虹吸鐘以及新式微生物電池，我們希望此裝置能達到自行發電且能循環回收魚池廢水，將其循環重複使用，以達永續發展之展望。未來可用於大型養殖魚塭或池塘、河川...

2、裝置

(1) 白色養菌硝化池 (40.0cm×23.0cm×21.0cm)

1. 將新式微生物電池(陰極為氧化亞銅，陽極為多碳棒包覆海綿，質子交換膜為鹽橋)放入養菌硝化池中的挖洞的硝化棉(已吸附有機養分及無機鹽類)。
2. 最佳狀態是硝化棉上一排挖 5 個洞放入自製微生物燃料電池，並排 3 排最多總共可放置 15 個自製微生物燃料電池串聯。

(2) 深棕色養植池 (81.0cm×66.0cm×23.0cm)

1. 設計方式如圖 3-2，準備養菌硝化池(小的白色)放入大的塑膠箱(深棕色)裡面，養菌硝化池底部和側邊打洞，方便控制水流入養植池(深棕色)。
2. 在養植池底部角落組合一虹吸鐘，使養植池內的水位達一定高度後，因虹吸水塞原理流入下方養魚池，如圖 3-2，且養植池的最低水位能保持一定高度，育苗棉能保持濕潤。
3. 養植池放入定植板使其能漂浮於水上，定植板上挖洞置入杯子和育苗棉，使半結球萵苣(大陸妹)能水耕種於養植池。

(3) 下方橘色養魚池(60.0cm×40.0cm×39.0cm)

1. 養魚池內養 30 隻孔雀魚(選擇體長 3 公分左右)，以產生氨氮廢物供自製微生物燃料電池發電。
2. 設置一小沉水馬達於養魚池底部，並連接一水管至上方的養菌硝化池內，將養魚池產生的氨氮廢水抽出，流入養菌硝化池供自製微生物燃料電池發電。

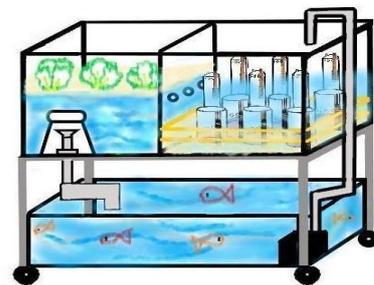


圖 3-1 自製循環系統示意圖

3. 設計 Arduino Uno 程式搭配 TDS 感測器電路置於養魚池(圖片來源：研究者繪製)內，方便監測水質同時雲端儲存。

(4) 整套系統置於鐵架上並加裝輪子方便移動。



圖 3-2 養菌硝化池加養植池



圖 3-3 自製循環魚池系統



圖 3-4
養菌硝化池
和養植池



圖 3-5
虹吸鐘



圖 3-6
直流小型
沉水馬達



圖 3-7
18650 充電
鋰電池

【實驗 3-2 : 應用簡易程式於水質監控】

A. 監控水質

一、原理探討

檢測水質 TDS (Total Dissolved Solids) 溶解性總固體值，是水中所有肉眼看不見的固體物質，可以簡易測量水的乾淨程度，而水的純度如果越高，TDS 數值(mg/L)就會越低。

二、實驗裝置

1. 目的：採取 Arduino Uno 程式搭配 TDS 感測器檢驗水質的目的是

- (1) 自動監測並定時紀錄
- (2) 檢驗數據可傳送到雲端
- (3) 偵測水質不佳會啟動馬達抽水循環

2. 裝置：水質檢測傳統是用 TDS 筆。我們設計利用 Arduino Uno 配合 TDS 感測器控制馬達。

Arduino Uno R3 說明與程式設計：

一、偵測水質並控制發電系統循環

Arduino UNO R3 程式

1. 將類比電位轉為數位電位
2. 設定參考電壓為 5V，每隔 40 毫秒測一次 TDS 值
3. 當 TDS 值大於 200，Arduino 觸發行動魚池發電系統
4. 啟動馬達抽水，使行動魚池發電系統進行循環共生

二、回報水質狀況至手機

python 程式

1. 透過 USB 接到樹莓派上
3. 當 TDS 值大於 200 時，Arduino 發送訊息
4. 系統會回傳訊息至 Line Notify
(水質已經超標，馬達即將啟動)

```

if (tdsValue > 200) {
    digitalWrite(7, HIGH);
    delay(2000);
} else {
    digitalWrite(7, LOW);
    delay(1000);
}
Serial.print("TDS Value:");
Serial.print(tdsValue, 0);
Serial.println("ppm");

```

```

if TDS > 200:
    if Status == 0:
        print("send line")
        # 修改為你要傳送的訊息內容
        message = '水質已經超標，馬達即將啟動'
        # 修改為你的權杖內容
        token = 'fvDDrtgkOZCaJAlTnWs4nwQIuOYh1OBZSaQBeyU0ht1'
        lineNotifyMessage(token, message)
        Status = 1
    else:
        Status = 0

```

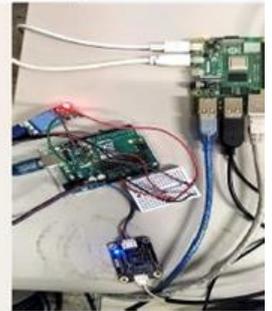




圖 3-8 arduino uno

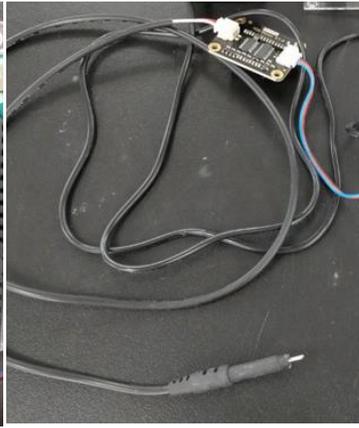


圖 3-9 水質檢測及馬達控制系統



圖 3-10 繼電器

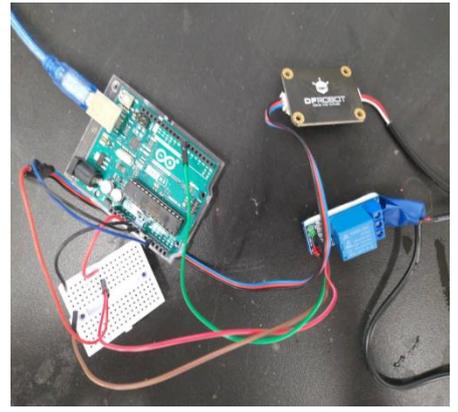


圖 3-11 檢測水質電路系統

圖 3-12 Arduino Uno R3 重要元件

圖 3-13 程式螢幕部分擷取畫面 (1)

圖 3-14 程式螢幕部分擷取畫面 (2)

圖 3-15 程式螢幕部分擷取畫面 (3)

三、Arduino Uno R3 說明與程式設計：如表(一)介紹表(一)

(一) 測試 TDS 程式的準確性方法：

為了瞭解 TDS 程式的準確性，但又缺乏標準品溶液，因此我們利用學校池塘水稀釋成原液濃度的 90%、80%、70%、60%、50%、40%、30%、20%、10%、0%(去離子水)。來測定 TDS 值(mg/L)，作成線性回歸(類似分析化學的檢量線)，並與 TDS 筆的檢驗數值相比較，確認何者較為精準。

(二) 研究步驟：

1. 利用容量瓶與分度吸量管依序將學校池塘的水稀釋成原液濃度的 90%、80%、70%、60%、50%、40%、30%、20%、10%、0%(去離子水)。
2. 分別利用 TDS 筆以及 Arduino Uno 程式 TDS 感測器測定，在電腦以 Excel 繪圖，作線性回歸並畫趨勢線，求 R^2 值比較。

【實驗 3-3：發電系統中電壓穩定性及水質之討論】

一、目的

1. 將新式微生物電池應用於學校池塘水測試發電，並進行充電行動電源及手機。

2. 新式微生物燃料電池發電過程，監測養魚池的 pH 值、TDS 值，以及利用 NO_3^- 測試劑、
 氨氮值測試劑測水質，比較新式微生物電池發電過程中，養植池及養魚池的水質變化。

二、實驗裝置與藥品：如表(二)整理表(二)

設備名稱	設備圖片	用途說明
水質檢測筆 (可測溫度)		1. 用來測定總溶解固體量 (總溶解固體量)可以知道一公升的水中溶有多少毫克 (ppm) 的固體雜質 2. 測定水的溫度
pH 值檢測筆		檢測水質的酸鹼值
氨氮測試劑		含氮廢物主要是來自魚的排泄物及腐壞之動植物在水中被分解，分解時先生成氨氮，再轉化成亞硝酸鹽(氮)及硝酸鹽(氮)後，而逐漸穩定。因此當檢驗水質中存在氨氮，代表該水質受污染的時間不長。 (資料整理:全國環境水質監測資訊網)
NO_3^- 測試劑		魚的排泄物、水中未吃完的飼料、被經由微生物消化菌作用而分解成 NH_3 NH_4^+ ，進一步分解成 NO_2^- (亞硝酸鹽)，進而形成 NO_3^- (硝酸鹽)。 NO_2^- (亞硝酸鹽)以及 NO_3^- (硝酸鹽)適合當植物營養成分被吸收利用。 (資料整理:全國環境水質監測資訊網)

三、實驗方法與過程

- 將新式微生物電池(陰極為氧化亞銅，陽極為多碳棒包覆海綿，質子交換膜)放入養菌硝化池中挖洞的硝化棉。
- 硝化棉上一排挖 5 個洞放入新式微生物電池，並排 3 排，一個一個串聯微生物電池，嘗試進行串聯幾個電池才可以成功充電手機及行動電源，並測試電壓、電流值。
- 自製新式微生物電池發電過程，監測養植池與養魚池的 pH 值、TDS 值，以及利用 NO_3^- 測試劑、氨氮值測試劑檢驗水質，比較微生物電池發電過程中，養植池及養魚池的水質變化，觀察時間為 1 週。



圖 3-16 行動魚池發電系統

伍、結果與討論

實驗一：自製簡易型燃料電池

【實驗 1-1 自製燃料電池】

一、石墨棒再活化處理：

為了去雜質以及增加更多表面細微孔洞，須將石墨棒以超過 1200°C 以上高溫處理再燒製處理。活化後會產生較多的接觸面積來吸附氫氣及氧氣，石墨棒的接觸表面積變大後，對於電解反應以及放電反應的速率都是正面的影響。

二、探討「電極」對燃料電池之影響

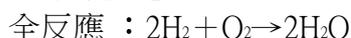
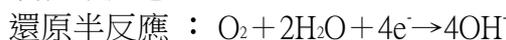
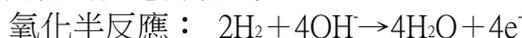
(一) 變因一：研究「不同電極種類」對電壓變化之影響

1. 研究結果：整理數據後，如圖(4-1)所示。

2. 實驗討論：

(1) 石墨棒的起始電壓最大為 1.85V、高碳鋼釘(1.62V)、不鏽鋼釘(1.54V)。當停止電解水時，電極開始對吸附在電極表面的氫氣與氧氣進行非均勻相催化反應。過程包含物理表面吸附與以及化學催化反應。陽極發生氧化反應，電子從氫氣中游離出，並藉由電極的外導線將電子傳送至陰極氧氣，放出電能後，陰極的氧氣會變成水。

(2) 兩極的反應方程式：



(3) 雖然高碳鋼、中碳鋼的電壓穩定性都比石墨佳，但不鏽鋼內含有鐵、鉻、鎳，高碳鋼、中碳鋼內含有鐵，這些金屬的氧化電位都比氫氣大，可能不是單純的氫氣及氧氣反應。綜合上述實驗結果，為了問題單純化，所以最後採用包覆不織布的石墨棒當電極材料。

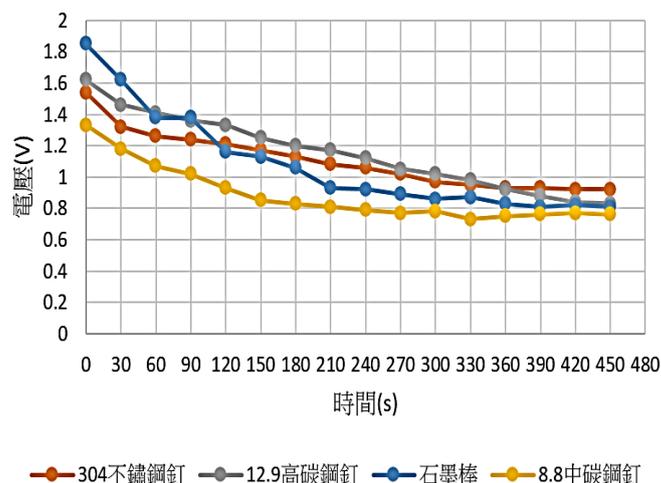
(二) 變因二：探討「電極表面積」對電壓變化之影響

1. 研究結果：整理數據後，如圖(4-2)所示。

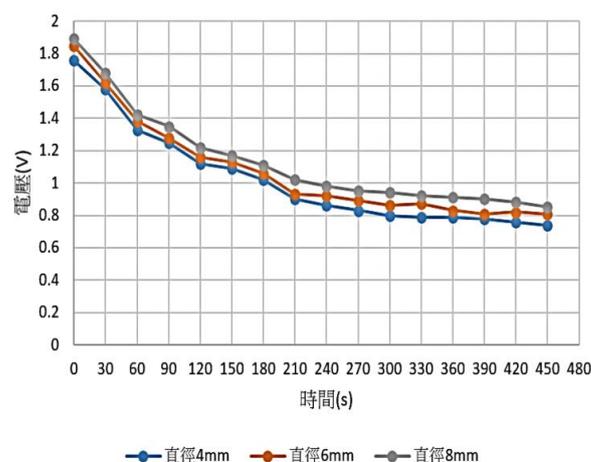
2. 實驗討論：

(1) 直徑 8mm 起始電極電壓最大為 1.89V，直徑 6mm 次之(1.85V)，4mm 最小，但三者數值差異不大。由結果可得增加表面積可提高兩電極氣體吸附量而增加電壓，我們推測起始電壓與表面積有關。

(2) 推測是表面積越大，可以增加氫氣與氧氣的吸附量，因此電池電壓會略增，也可提高石墨的催化效果，降低燃料電池反應的活化能，達成促進反應速率的目的。此外，由實驗結果發現，增加氣體吸附量也可以增加電壓的穩定性。因此推論電極表面積與電壓以及電壓穩定性有關。



圖(4-1) 不同電極種類對電壓影響之關係圖



圖(4-2) 電極表面積對電壓影響之關係圖

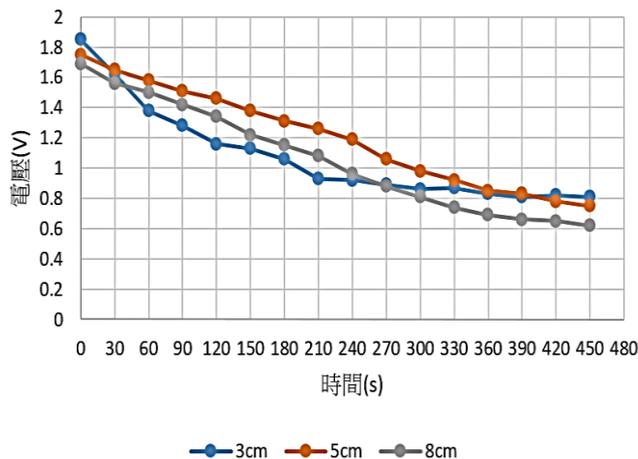
(三) 變因三：探討「電極距離」對電壓變化之影響

1. 研究結果：整理數據後，如圖(4-3)所示。

2. 實驗討論：

(1) 兩極距離 3cm 的起始電壓最高，兩極距離 5cm 時的起始電壓也較距離 8cm 高。主要原因在於內電路是經由離子的傳導；而當電極距離越遠，內電阻就越大(電子流動時，受到其他粒子的影響造成電阻)。因此在電壓固定的情況下，電阻越大，輸出電壓就會越小。

(2) 電極距離對電壓影響不大，不過極距 3cm 的效果最佳，因此選用兩極距離 3cm 的燃料電池裝置做為針對其他變因研究的極距。



圖(4-3) 電極距離對電壓影響之關係圖

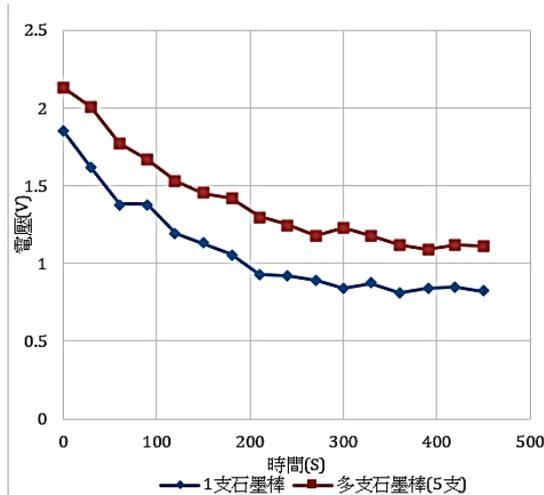
(四) 變因四：探討「石墨棒數量」對電壓變化之影響

1. 研究結果：整理數據後，如圖(4-4)。

2. 實驗討論：

(1) 多個石墨棒(5 支)的電壓可達 2.13V。放電過程均比一個石墨棒的電壓較高。

(2) 多個石墨棒(5 支)的電壓整體趨勢較一支石墨棒的電壓大。**推測原因是**多支石墨棒氣體吸附量較多而增加電壓，與**變因二**的結論完全一致，電壓與碳棒表面積吸附反應氣體量有關。



圖(4-4) 電極數量對電壓影響之關係圖

【實驗 1-2 氨氮廢水微生物燃料電池】

一、燃料電池組裝前的清洗處理：

分別將質子交換膜、碳布浸泡於去離子水中一天，再使用去離子水沖洗兩塑膠針筒，之後將碳布包覆石墨棒。組裝時，首先將質子交換膜放置於兩針筒中間，為了防止兩塑膠針筒間的縫隙滲水，外面纏繞防水膠帶。氨氮燃料電池組裝大至完成。為了確保實驗中不會有漏水發生，我們以蒸餾水注滿兩個針筒，進行防漏水測試。

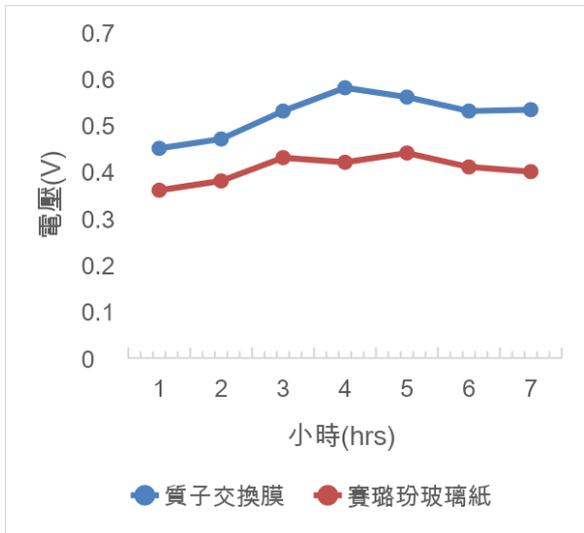
二、探討變因對燃料電池之影響

(一) 變因一：探討「質子交換膜」對電壓變化之影響

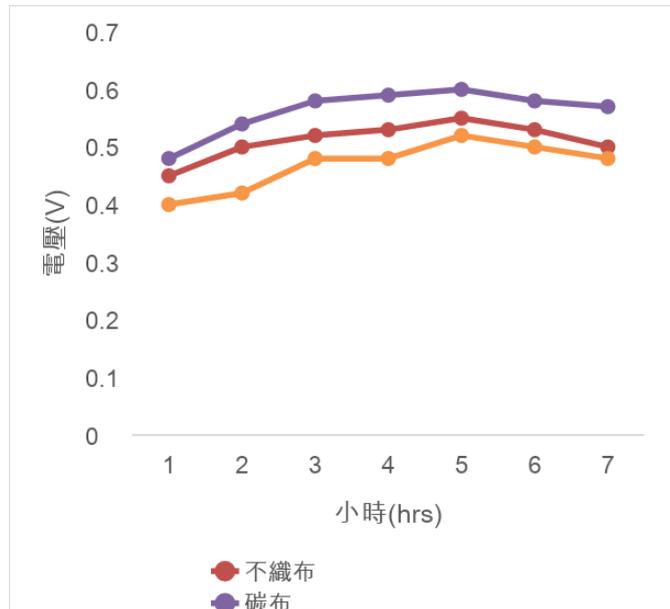
1. 研究結果：整理數據後，如下圖(4-5)所示。

2. 實驗討論：

- (1)使用質子交換膜的最高電壓可達 0.58V。賽璐玢玻璃紙的最高電壓為 0.45V。
- (2)使用質子交換膜的最高電壓可以提升 28.9%，但使用賽璐玢玻璃紙的成本比質子交換膜成本便宜，如果考慮成本，可以使用玻璃紙當鹽橋，但發電效率會減少。



圖(4-5)「質子交換膜」與電壓變化關係圖



圖(4-6)改良電極對電壓影響之關係圖

(二) 變因二：探討改良電極(加碳布或不織布)對其電壓變化之影響

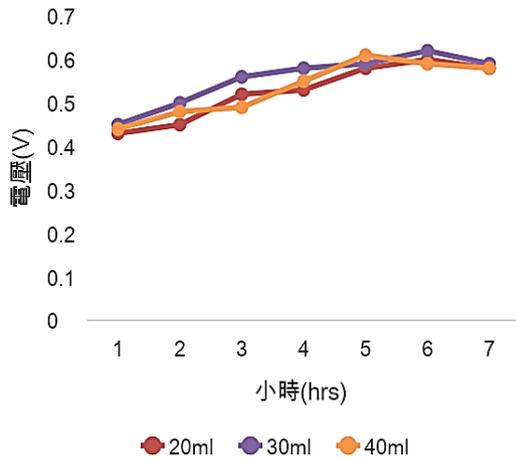
- 1.研究結果：整理數據後，如上圖(4-6)所示。
2. 實驗討論：

- (1)電極加碳布最高電壓可達 0.60V，電極加不織布電壓最高可達 0.55V。
- (2)使用碳布的最高電壓只提升約 9%，推測可能原因是使用不織布的內電阻會比碳布的內電阻稍微大一點，因為不織布不能導電，碳布可以導電。

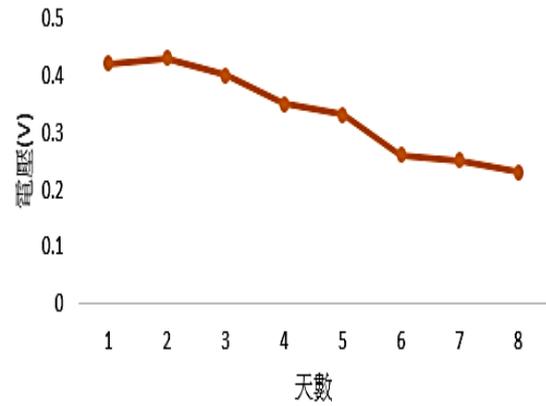
(三) 變因三：探討陰極飽和 $\text{KCl}_{(aq)}$ 電池液加入的量對電壓之影響

1. 研究結果：整理數據後，如下圖(4-7)所示。
2. 實驗討論：

- (1)加入 30mL 飽和 $\text{KCl}_{(aq)}$ 電池液的電壓最高達 0.62V。加入 20mL、40mL 的最高電壓分別為 0.60V 及 0.61V
- (2)加入 30mL 飽和 $\text{KCl}_{(aq)}$ 電池液的電壓趨勢均較大，而加入 20mL、40mL 的電壓趨勢相近但 30mL 差異不大。推測陰極電池液量對電壓的影響不大，因為陰極的反應物為氧氣，電池液的功能只是導電，電池液量越多，上方氧氣接觸碳棒空間會減少，反而不利反應進行。



(圖 4-7) 陰極 KCl(aq)量對電壓影響關係圖



(圖 4-8) 氨氮廢水微生物燃料電池 8 天的電壓變化過程

(圖片來源：研究者繪製)

實驗二：自製實驗用微生物燃料電池

一、探討新式微生物燃料電池可能之反應

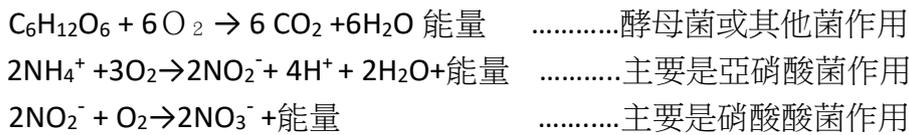


圖 4-9 蓮池潭

【實驗 2-1 從廢水中篩選出適合於高氨氮環境中生存的菌種】

一、物化性質分析: 如表(三)整理表(三)

性質 取水地點	水溫°C (pH 值)	取水深度	TDS 筆測 溶解性總 固體值 mg/L	氨氮測試 mg/L	NO3 ⁻ 測試
學校池塘	24.2°C(8.3)	0.5m	234	0.3	20
愛河	23.8°C(8.1)	1.1m	212	0.1	5
蓮池潭	25.2°C(7.6)	1.1m	203	0.1	5



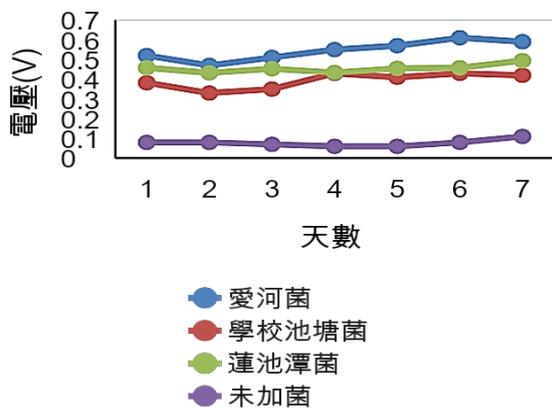
圖 4-10 愛河

(一) 變因一：研究「不同菌源」對其電壓變化之影響

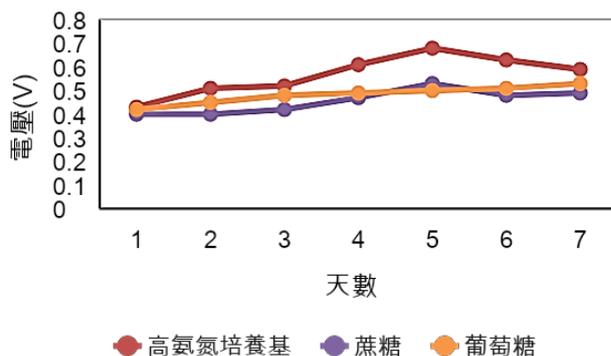
1. 研究結果：整理數據後，如下圖(4-11)所示。

2. 實驗討論：

- (1) 愛河菌的電壓最大可達 0.61V，其電壓趨勢也是四者中最大且前六天電壓均穩定上升。
- (2) 蓮池潭菌最高電壓 0.49V 次之，較學校池塘菌電壓 0.43V 稍大，未加菌電壓極小 0.11V。
- (3) 推測愛河取水處接近出海口，菌種生態豐富，生存下來的優勢菌都是環境適應力極強。



圖(4-11) 「不同菌源」與電壓變化之關係圖



圖(4-12) 「不同養分」與電壓變化之關係圖

(圖片來源：研究者繪製)

(二) 變因二：研究「不同養分」對其電壓變化之影響

1. 研究結果：整理數據後，如上圖(4-12)所示。

2. 實驗討論：

(1) 加入高氮氮培養基的電壓最大可達 0.68V，整體電壓也較其他兩者大。

(2) 加入葡萄糖、蔗糖的電壓兩者之間較無明顯差異。蔗糖在第 5 天後略高於葡萄糖，推測原因是葡萄糖為單醣，蔗糖為雙醣，雙醣分解代謝需要時間。

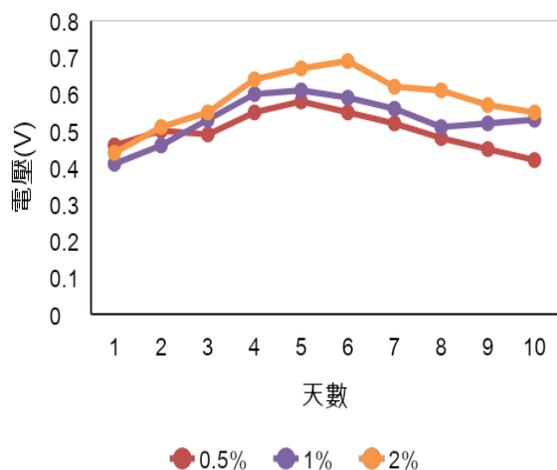
(3) 由此實驗我們考慮可以結合高氮氮培養基加上葡萄糖注入陽極，起始電壓會較大，如果希望微生物電池電壓維持的時間更長，可以考慮高氮氮培養基加上蔗糖的組合。

(三) 變因三：研究「養分濃度」對其電壓變化之影響

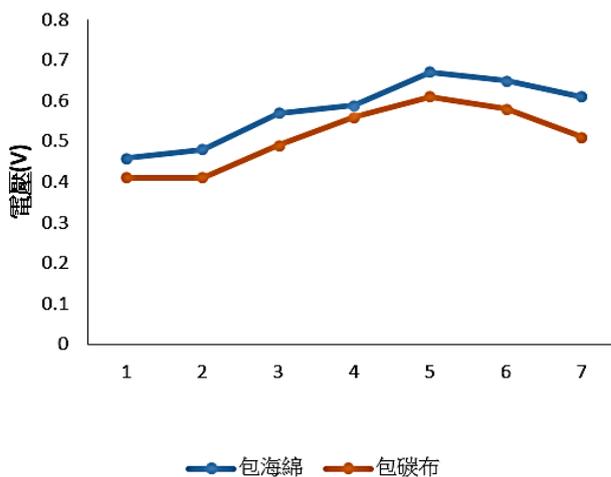
1. 研究結果：整理數據後，如下圖(4-13)所示。

2. 實驗討論：

加入 2% 葡萄糖的電壓 0.67V 最大。證實營養成分葡萄糖濃度大對菌較好，產生的電壓會較大。0.5% 葡萄糖的電壓從第 5 天電壓開始下降，推測可能是養分不夠，菌互相競爭。



圖(4-13) 「養分濃度」與電壓變化圖



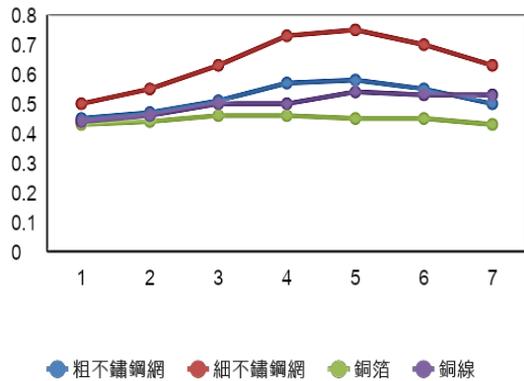
圖(4-14) 「陽極包覆海綿或碳布」電壓變化圖

(四) 變因四：研究「陽極包覆海綿或碳布」對其電壓變化之影響

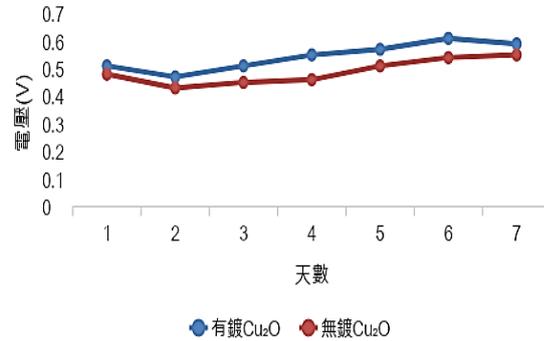
1. 研究結果：整理數據後，如上圖(4-14)所示。

2. 實驗討論：

- (1)陽極有包海綿的電壓較大，最大高達 0.67V。包碳布的電壓最高為 0.61 V。
- (2)推測可能海綿較易吸附含有菌的培養基，海綿上菌的濃度比碳布上更多，故電壓較大。



圖(4-15)「陽極纏繞不同金屬」電壓變化圖



圖(4-16)「陰極是否鍍氧化亞銅」與電壓變化圖

(五) 變因五：研究「陽極纏繞不同金屬」對電壓變化之影響

1. 研究結果：整理數據後，如圖(4-15)所示。

2. 實驗討論：

- (1) 陽極以石墨棒外圍加上細不鏽鋼網的電壓最大高達 0.75V。石墨棒外圍加上粗不鏽鋼網的電壓 0.58V 次之，銅線的電壓 0.54V 第三，銅箔的電壓 0.46V 最小。
- (2) 細不鏽鋼網的接觸面積較粗不鏽鋼網大，不鏽鋼內含有少量鐵、鉻、鎳等氧化電位大的金屬，雖然金屬銅的導電性比鐵、鉻、鎳好，但金屬銅的氧化電位(-0.34V)是很差的金屬。

(六) 變因六：研究「陰極是否鍍上氧化亞銅」對電壓變化之影響

1. 研究結果：整理數據後，如圖(4-16)所示。

2. 實驗討論：

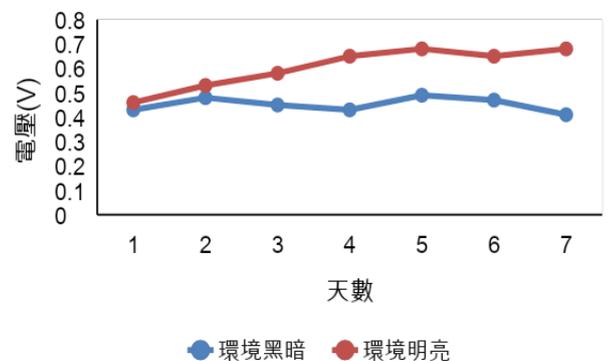
- (1) 陰極鍍上氧化亞銅的電壓最大高達 0.61V。鍍上氧化亞銅的電壓較沒鍍上氧化亞銅的最大電壓 0.55V 高。鍍氧化亞銅的陰極較沒鍍的陰極，最高電壓效能可以提升 10.9%
- (2) 鍍氧化亞銅電極的電壓均較沒電鍍的對照組高，且穩定性與沒電鍍的大，因此我們陰極選擇使用鍍氧化亞銅。查文獻發現可能的原因是氧化亞銅照光時可以當催化劑(光觸媒)。

(七) 變因七：研究「環境明暗」對電壓變化之影響

1. 研究結果：整理數據後，如圖(4-17)所示。

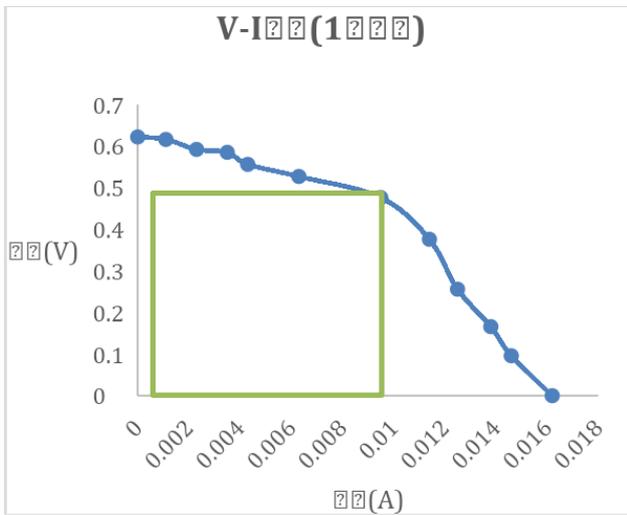
2. 實驗討論：

- (1) 環境明亮時，因為氧化亞銅可以當光觸媒，所以電壓能持續穩定地上升，高達 0.68V。陰暗環境的最高電壓為 0.49V。
- (2) 有光的最高電壓之效能可以提升 38.8%。推論照光有利鍍氧化亞銅陰極的氧氣進行得電子的還原反應，有光時，能降低反應的活化能，增加兩極的電動勢。

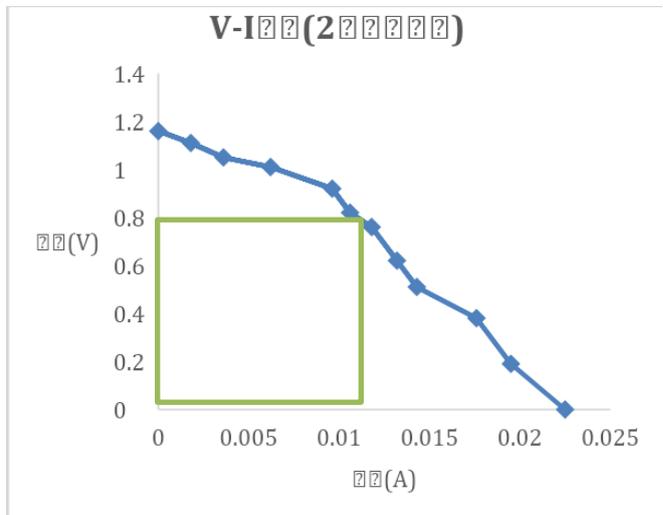


【實驗 2-2 新式微生物電池之 V-I 曲線與電壓一週測試】

一、利用 V-I 曲線圖找自製微生物電池的最大功率以及電池內電阻(含所接負載的電阻值)



圖(4-18) 1 個自製電池 V-I 曲線圖



圖(4-19) 串聯 2 個自製電池 V-I 曲線圖

(圖片來源：研究者繪)

製)

1. 研究結果：整理數據後，如圖(4-18)及圖(4-19)所示。

2. 實驗討論：

(1)以 Excel 繪出 I-V 圖，並找出 $I \times V$ 的最大座標點，此點與原點所圍之面積即為最大功率。

由圖(4-18)可算出，一個電池的最大功率 $P = 0.48 \times 0.0095 = 4.56 \text{ (mW)}$

由圖(4-19)可算出，二個電池串聯的最大功率 $P = 0.82 \times 0.0106 = 8.69 \text{ (mW)}$

由圖(4-18)可算出，一個電池的理想最大功率 $P = 0.63 \times 0.0162 = 10.21 \text{ (mW)}$

由圖(4-19)可算出，二個電池串聯的理想最大功率 $P = 1.16 \times 0.0225 = 26.68 \text{ (mW)}$

(2)以 Excel 繪出 I-V 圖，並找出 $I \times V$ 最大值的座標點，畫出連接該點與原點的直線，此直線的斜率即為電池內電阻(含所接負載)的電阻值。

由圖(4-18)可算出，一個電池的內電阻(含所接負載) $R = \frac{0.48}{0.0095} = 50.53 \text{ (}\Omega\text{)}$

由圖(4-19)可算出，二個電池串聯的內電阻(含所接負載) $R = \frac{0.82}{0.0106} = 79.61 \text{ (}\Omega\text{)}$

由圖(4-18)可算出，一個電池的理想內電阻 $R = \frac{0.63}{0.0162} = 38.88 \text{ (}\Omega\text{)}$

由圖(4-19)可算出，二個電池串聯的理想內電阻 $R = \frac{1.16}{0.0225} = 51.56 \text{ (}\Omega\text{)}$

(3)由圖(4-19)可知，當串聯時自製電池兩端的開路電壓(V_{oc})與短路電流(I_{sc})會隨之增加，故推論理想最大功率($I_{sc} \times V_{oc}$)亦會隨串聯電池數量增加而變大。因此為了提高電池的發電功率，可以從串聯電池數量下手。所以我們總共製作了 15 個新式微生物電池。

二、測試新式微生物燃料電池之穩定性

(一) 將【實驗 2-1】之最佳變因，製作 15 個新式微生物電池，觀測其 1 週電壓之穩定性。

1. 研究結果：整理數據後，如下圖(4-20)所示。

2. 實驗討論：

(1)由結果顯示，15 個自製電池的電壓相當穩定，到第 3 天後大部分均可維持 0.54-0.72V。

(2) 此 15 個電池在第 3 天到第 5 天都可達最高電壓，到第 7 天的最小電壓還維持 0.61 V

(3) 嘗試連續放電 14 天，最小電壓仍還有 0.42V，顯示電池內的微生物持續存在繼續發電。

陸、結論

一、【實驗 1-1】只連續紀錄 450 秒的電壓，是因為氫氣、氧氣用完需要再電解。實驗發現：

- (一) 如果沒有將石墨棒再活化處理，起始電壓最大僅為 1.43V，有經過再活化的石墨棒起始電壓最大為 1.85V，電壓提升 29.4%。所以石墨棒再活化處理是非常重要的。
- (二) 陽極陰極包覆不織布比沒有包電壓穩定性較好，原因在不織布會吸附氣體在布與石墨棒間。因此【實驗 1-1】的控制變因，兩極均採用包覆不織布(6cm×3cm)來討論。
- (三) 我們嘗試過濃度為 2M NaOH_(aq) 初始電壓更大，但是後來電壓下降速率非常快速。推測可能的原因為濃度較高，因此產生氣體濃度較高，反應產生的起始電壓較高。但由於氣體產生速率過快，無法完全吸附於石墨棒上，造成放電時電壓快速下降。所以我們最後採用電化學的標準電位濃度 1M NaOH_(aq)。實驗溫度控制在 24~26°C 的冷氣室中進行。
- (四) 各項最佳變因分別為，直徑 8mm 的石墨棒、兩極最近距離 3cm、多個石墨棒(5 支)放電時電壓最佳。

二、【實驗 1-2】研究中，我們陰極的電池液改成飽和 KCl_(aq)，因為考慮到使用質子交換膜。研究發現：使用質子交換膜的最高電壓可以提升 28.9%，電極加碳布比電極加不織布好，陰極加入 30mL 飽和 KCl_(aq) 電池液效果最好。如圖(4-8)所示，第 1 天電壓為 0.42V，到第 8 天的電壓只剩 0.23 V。推測可能原因是電池陽極的微生物不適合於高氨氮環境中生存。

三、【實驗 2-1】結果顯示，各項最佳變因分別為愛河菌、加高氨氮培養基、加 2% 葡萄糖、陽極有包海綿、陽極外圍加上細不鏽鋼網、陰極鍍上氧化亞銅、環境明亮時的電壓最佳。

四、【實驗 2-2】顯示，理想最大功率($I_{sc} \times V_{oc}$)會隨串聯電池數量增加而變大。

(一) 一個電池的最大功率為 4.56 (mW)，電池的內電阻(含所接負載) 為 50.53 (Ω)

(二) 自製 15 個新式微生物電池，分別到第 7 天的電壓至少維持 0.61V。電壓穩定性極高。

五、【實驗 3-1】顯示，自製微生物燃料電池發電。同時能回收用水重新循環利用。

最佳發電狀態是總共串聯 15 個新式微生物電池，起始最大電壓可達 7.91V~8.28V。

六、【實驗 3-2】實測時，我們發現運用 Arduino Uno 程式搭配 TDS 感測器。反覆測試後將水質 TDS 值設定超過 200(ppm) 沉水馬達會啟動抽水循環淨化魚池的水質。

七、【實驗 3-3】中，我們得到下列成果：

(一) 測試一個微生物電池在第 2 天後，電壓維持 0.56V~0.72V，電流 13.2mA~18.3mA。

(二) 串聯 15 個自製微生物電池在第 2 天後，電壓可以維持 7.91V~9.28V。

(三) 串聯到第 14 個電池，電壓可達到 7.53V，配合 USB 降壓板模塊，可以將電能成功充入手機及行動電源儲存。

八、我們目前雖然還沒有學到很多材料製作的方法，但利用日常生活常見的塑膠注射針筒、塑膠罐，石墨棒、海綿.....等，就可以製作小型新式微生物電池。搭配學習簡單程式設計 rduino Uno 及 TDS 感測器可以雲端儲存檢驗結果，使新式微生物電池智能又環保。

柒、未來展望

我們打算將自製新式微生物電池的塑膠外殼改成陶瓷外殼，質子交換膜改用多孔性素磁來取代，可降低成本。希望能將新式微生物電池發出來的電能，24 小時不間斷用來電解海水或魚塢、池塘、河流水產生氫氣和氧氣儲存。可以接軌氫能，讓綠色能源的使用將來更多樣化。

捌、參考文獻

1. 莫絲羽、陳美琳。綠色能源-天然微生物燃料電池之開發。2014 年臺灣國際科學展覽會。
2. 陳昱勳、顏泓淳、郭品聿。魚菜共生系統延伸-永續發展裝置組合。第 56 屆科展環境學科。
3. 許佑瑄、許栢睿、沈敬耀。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。第 53 屆科展生活與應用科學科。
4. 馬禹平、高婧恬、李茵淇。新式觸媒轉化器電池—利用汽車廢氣發電。2018 年臺灣國際科學展覽會。
5. 彭美娟、吳沛陽、朱詠蘭。「綠」治「微」新-微生物燃料電池結合魚菜共生系統。中華民國第 60 屆中小學科學展覽會
6. 何念萱、陳昕臨、張藍心、劉瑞臻。微生物電力公司-微生物燃料電池之變因探討。第 47 屆科展化學科
7. 郭栢瑾。嗜廢水者為「菌」解-高氨氮廢水於微生物電池的應用及其裝置之探討。第十四屆旺宏科學獎
8. 洪祥耀(民 105)。具太陽能與燃料電池發電之魚菜共生系統之充電控制器設計(未出版的碩士論文)。南投：南開科技大學電子工程學系。
9. 張信堃(民國 100)。微生物燃料電池產電效能之研究-以活性污泥水解產物為基質。
10. 海洋大學海洋生物研究所。細菌讓汙水也能發電-海大發表新菌株能處理污水也能發電。
取自：<http://www.imb.ntou.edu.tw/shewanella%20sp.htm>

【評語】 200006

本研究以一個新式小型微生物電池，利用塑膠針筒連接塑膠罐，配合石墨棒加以改良，中間使用質子交換膜當鹽橋，串聯 14 個微生物電池，電壓可達到 7.53V，配合 USB 降壓板模塊，將放出的電能順利充入手機及行動電源儲存。研究學校池塘水中的菌加以篩選出適合高氨氮環境中生存之菌種當成陽極微生物，能將含氨氮廢水以及葡萄糖氧化，配合傳統的魚菜共生形成新式微生物電池行動裝置，達到綠能環保。整體而言是一優良的高中生科展作品，但建議理論部分可以再加強說明，並加強數據之統計分析。