

2025年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號

200015

參展科別

環境工程

作品名稱

新型微生物燃料電池於能源/水再生之研發

就讀學校

臺北市立麗山高級中學

指導教師

陳孝行

林獻升

作者姓名

廖若涵

關鍵詞

微生物燃料電池、廢水發電、綠色能源

作者簡介



大家好，我是麗山高中高二的廖若涵。感謝陳孝行教授和林獻升老師的指導，讓我順利完成這份研究。雖然過程中有些辛苦，但這段經歷成為我珍貴且難忘的回憶。

附件三

研究報告封面

2025 年臺灣國際科學展覽會

研究報告

區別：北區

科別：環境工程

作品名稱：新型微生物燃料電池於能源/水再生之研發

關鍵詞：微生物燃料電池、廢水發電、綠色能源（最多三個）

編號：

（編號由國立臺灣科學教育館統一填列）

摘要

本研究探討新型微生物燃料電池(Microbial Fuel Cell, MFC)在能源再生及水資源處理中的應用。隨著全球氣候變遷和污染問題加劇，開發低碳、可持續的綠色能源為當務之急。MFC 利用微生物將廢水中的有機物轉化為電能，不僅達到低成本、低碳排放的優勢，還具有處理廢水、產生電力等功能。本研究使用不含「全氟/多氟烷基物質(per- and polyfluorinated alkyl substances, PFAS)」的煤灰陶瓷隔離膜，並將市售的石墨氈電極進行改質，以探討電極表面積(3×3 、 4×4 、 $5\times 5\text{ cm}^2$)及不同材料(石墨紙、石墨氈、改質石墨氈、碳布)對 MFC 性能的影響。結果顯示，在電極表面積為 $4\times 4\text{ cm}^2$ 表面積時產電效率以及去除污水的效率最佳，顯示較小的表面積差異對 MFC 影響效果不大；電極材質則以石墨紙表現最優，但經改質的石墨氈在發電效果及去除污水的效率上皆接近石墨紙。本研究可為 MFC 在污水處理和能源再生中的應用提供了重要的數據參考。

Abstract

This study explores the application of a novel Microbial Fuel Cell (MFC) in energy regeneration and water resource treatment. With the intensification of global climate change and pollution, developing low-carbon and sustainable green energy has become a pressing priority. The MFC utilizes microorganisms to convert organic matter in wastewater into electricity, offering advantages such as low cost and low carbon emissions, along with the added functionalities of wastewater treatment and power generation. This research employs a coal ash ceramic separator membrane free from per- and polyfluorinated alkyl substances (PFAS) and modifies commercially available graphite felt electrodes to investigate the effects of electrode surface area (3x3, 4x4, 5x5 cm²) and different materials (graphite paper, graphite felt, modified graphite felt, and carbon cloth) on MFC performance. Results indicate that a 4x4 cm² electrode surface area achieves optimal power generation and wastewater removal efficiency, suggesting that minor variations in surface area have a limited impact on MFC performance. Among electrode materials, graphite paper performs best; however, modified graphite felt also shows power generation and wastewater removal efficiencies comparable to graphite paper. This study provides essential data references for the application of MFCs in wastewater treatment and energy regeneration.

壹、前言

一、研究動機

近年來，全球氣候變遷和環境污染問題日益嚴峻，傳統化石燃料的過度使用加劇了溫室氣體排放和環境污染，對人類賴以生存的地球環境造成了嚴重的威脅。在這一背景下，開發清潔、可持續的綠色能源已成為刻不容緩的課題(陳彥銘，2011)。

微生物燃料電池為這些年來被眾多人探討的技術之一。微生物燃料電池作為一種新興之生物能源技術，不只是一個低碳排放、低能耗的可持續性再生能源之外，同時也可以利用微生物代謝廢水中的有機物當成原料，來達到產電的技術，使該過程具有成本效益。通過微生物將有機物轉化為電能，同時減少廢棄物的排放，實現可持續能源的生產。

微生物燃料電池與其他傳統發電方法相比具有成本較低以及設置簡單為主要的優點。微生物燃料電池的應用包括廢水處理、再生能源及生物感測器等方面。相對於傳統的微生物燃料電池，MFC 具有較低的製造成本、簡單的設備和操作方式。

微生物燃料電池具有可將廢水中的有機物轉化為電能，實現廢水資源化和能源利用化、產生的電能可直接使用或儲存，為偏遠地區或災害地區提供可靠的能源保障、具有廣泛的應用潛力，可應用於污水處理、生物傳感、生物修復等領域等優點。且與傳統的能源生產方式相比，MFC 利用廢水中的有機物作為燃料，是一種可再生的能源(楊雲捷，2022)，並且在產電的過程中會在陰極槽產出乾淨的水，這些特點都與聯合國的一系列目標永續發展目標(圖一)中的 SDG 6 中的水質改善和污水管理及 SDG 7: 可再生能源，要求密切相關。且微生物燃料電池具有環境友好性。因此，微生物燃料電池是具有巨大發展潛力的綠色能源技術。



(圖一)永續發展目標(圖片來源:National Library of Medicine)

二、研究目的

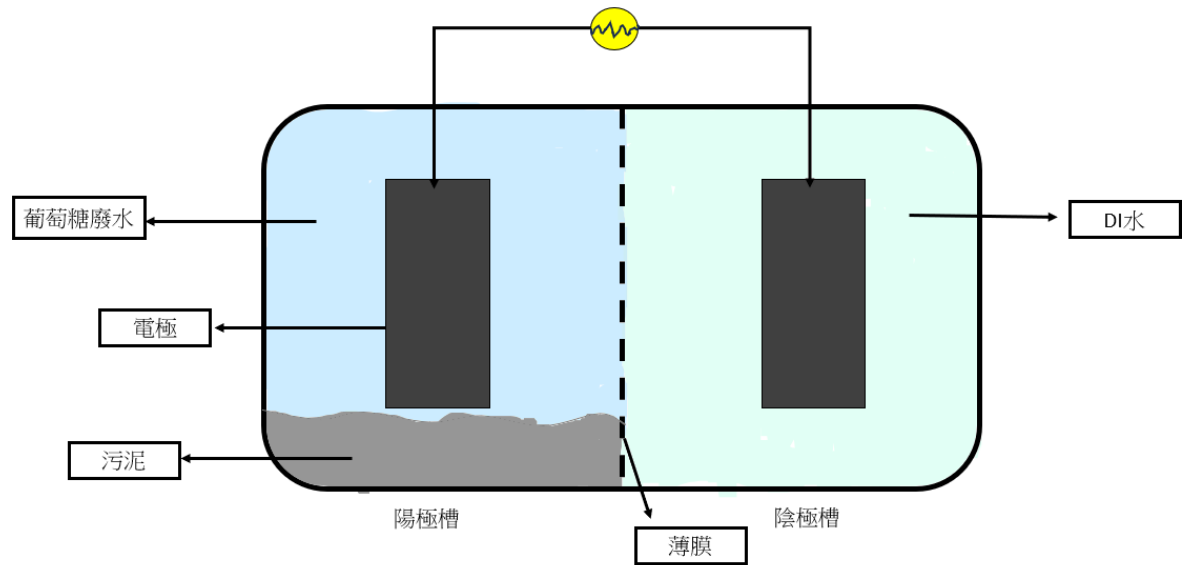
電極材料是微生物燃料電池的重要組件之一，其性能直接影響微生物燃料電池的發電效率。而電極種類繁多，其中包括一些具有良好導電性能但較不常見、取得難度低、取得管道不穩定材料，這些材料無法將微生物燃料電池在日常應用中普及。因此，本實驗旨使用易於獲得的碳材料並將其用多奈米結構碳管(MWCNT)改質，多奈米結構碳管具有優良的導電性與增加表面積的功能，以及探討表面積對微生物燃料電池。因此，本實驗目的為找出在這些材料和不同表面積組合下，能夠有良好的產電性能以及污水處理的效率最佳選擇。

本研究旨在探討電極材料對微生物燃料電池性能的影響機制，並提出提高微生物燃料電池性能的策略。具體研究目標如下：

1. 研究電極表面積 MFC 產電性能的影響
2. 研究電極表面積 MFC 淨化廢水效率的影響
3. 篩選出在 MFC 具有優良產電性能的碳電極材料
4. 篩選出在 MFC 淨化廢水效率較高的碳電極材料

三、文獻回顧

生物燃料電池常見使用的是雙槽式微生物燃料電池系統(Dual chamber MFC)、單槽式微生物燃料電池系統(Single chamber MFC)，而現今為了能夠得到更好的發電效率或是能在微生物燃料電池中有更好的優勢而發展出的系統，像是微型燃料電池、平板式燃料電池、管流式燃料電池等(林志達，2021)。傳統雙槽式微生物燃料電池構造如(圖二)所示，主要是由陽極反應槽、陰極反應槽及中間的質子交換膜組成。在陽極槽厭氧或好氧環境下，有機物在微生物作用下會進行氧化反應產生電子、質子和二氧化碳，電子再通過外電路傳遞到陰極形成電流，然而質子通過薄膜傳遞到陰極，並且氧氣在陰極得到電子進行還原反應生成乾淨的水。



(圖二)雙槽式微生物燃料電池構造與基本反應，反應式：陽極： $C_6H_{12}O_6 + 6H_2O \rightarrow 6CO_2 + 24H^+ + 24e^-$ ，陰極： $6O_2 + 24H^+ + 24e^- \rightarrow 6H_2O$ 。

各個零件作用：電極：傳遞電子、讓微生物附著；廢水：提供有機物作為微生物的食物；污泥：內含大量的微生物；薄膜：防止電子、氧氣和其他離子直接通往另一端選擇性的讓質子通過(圖片來源：作者根據基本理論所繪)

貳、研究方法或過程

一、研究方法

以加入葡萄糖 3.6g/L、無水醋酸鈉 1.1g/L、磷酸二氫鉀 0.021g/L、碳酸氫銨 0.2g/L 來配置葡萄糖廢水，以此廢水為基質，比較以如表(一)所示，電極材質為石墨氈且電極表面積為 9cm²、電極材質為石墨氈且電極表面積為 16cm²、電極材質為石墨氈電極表面積為 25cm²、電極材質為改質石墨氈電極表面積為 25cm²、電極材質為碳布且電極表面積為 25cm²及電極材質為碳紙且電極表面積為 25cm²，比較所產生的電壓、極化曲線、COD 去除率、功率密度曲線等指標，綜合決定出一組產電性能較高及廢水除裡效果較好的電極組合。

(表一)比較不同電極表面積或不統電極材質的 MFC

表面積\材質	碳布	石墨紙	石墨氈	改質石墨氈
5*5cm ²	✓	✓	✓	✓
4*4cm ²			✓	
3*3cm ²			✓	

二、研究過程

研究過程如(圖三)所示，步驟依序為：馴養汙泥、製作微生物燃料電池、測量各項數值，詳細方法為以下所示：



(圖三)實驗步驟流程圖

(一) 馴養汙泥

以人工葡萄糖廢水作為基質，兩天換一次新的基質，並在進料前曝氣 30 分鐘，以減少水中的溶氧量。COD 去除率穩定後，則以相同條件進行餵養，以供日後實驗備用。

(二) 製作微生物燃料電池

1. 電極改質

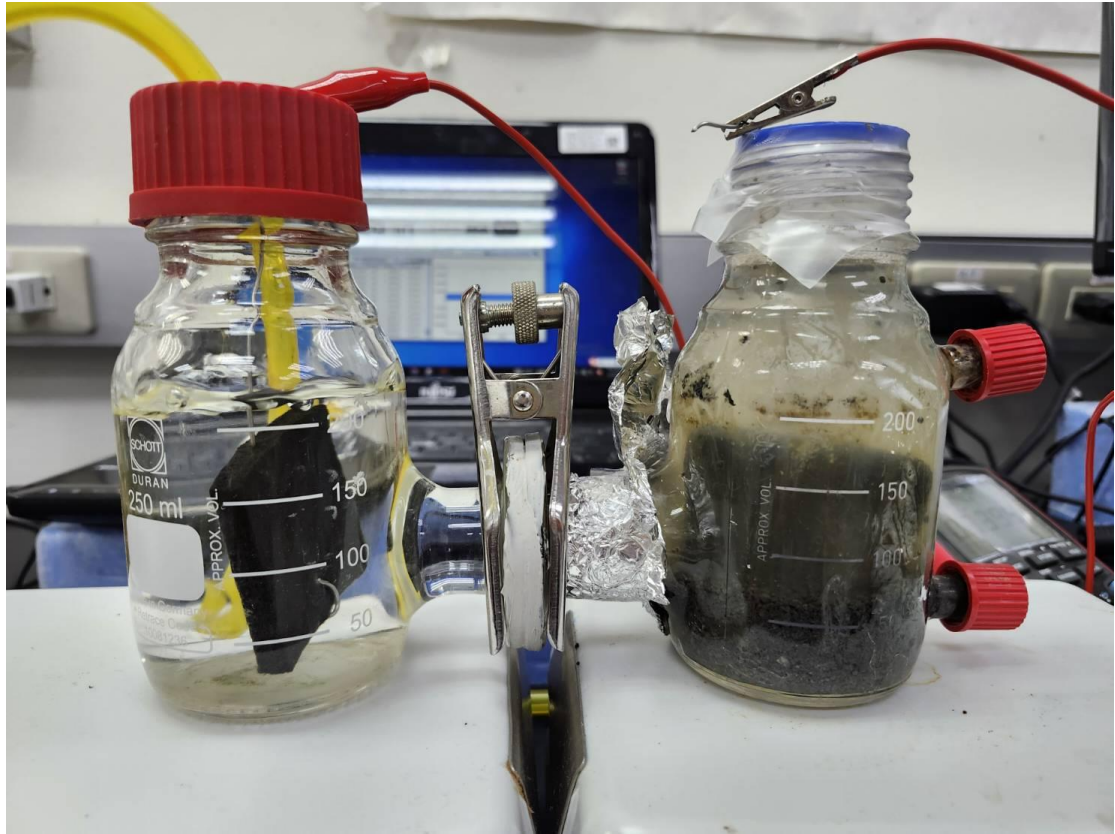
將 3mg 的聚乙烯醇(Polyvinyl Alcohol, PVA)加 DI 水至 20ml，加熱到 80°C 並等到 PVA 融化，再將 17mg 的 MWCNT 加入並搖晃均勻。再利用手壓式噴筆均勻塗抹在石墨氈表面，接著放至烘箱 14 小時烘乾就可使用。

2. 組裝

先將電池外殼如(圖四)所示組裝，再用煤灰膜隔開兩極，接著將厭氧汙泥 50ml 及葡萄糖廢水 200ml 放置微生物燃料電池的陽極中，陰極放入 DI 水，並放入電極，再接上導線及外電組(1000 歐姆)，接著密封陽極並包上鋁箔紙。

(三) 測量

紀錄電壓、pH 值、ORP 等數據，並用分光光度計測量餵養前、後人工廢水的 COD 濃度，用以探討電流密度、極化曲線、COD 去除率、電動勢、功率密度等數值。



(圖四)為微生物燃料電池拼裝完成圖與示意圖，陽極槽還未包上錫箔紙。(圖片來源:作者拍的)

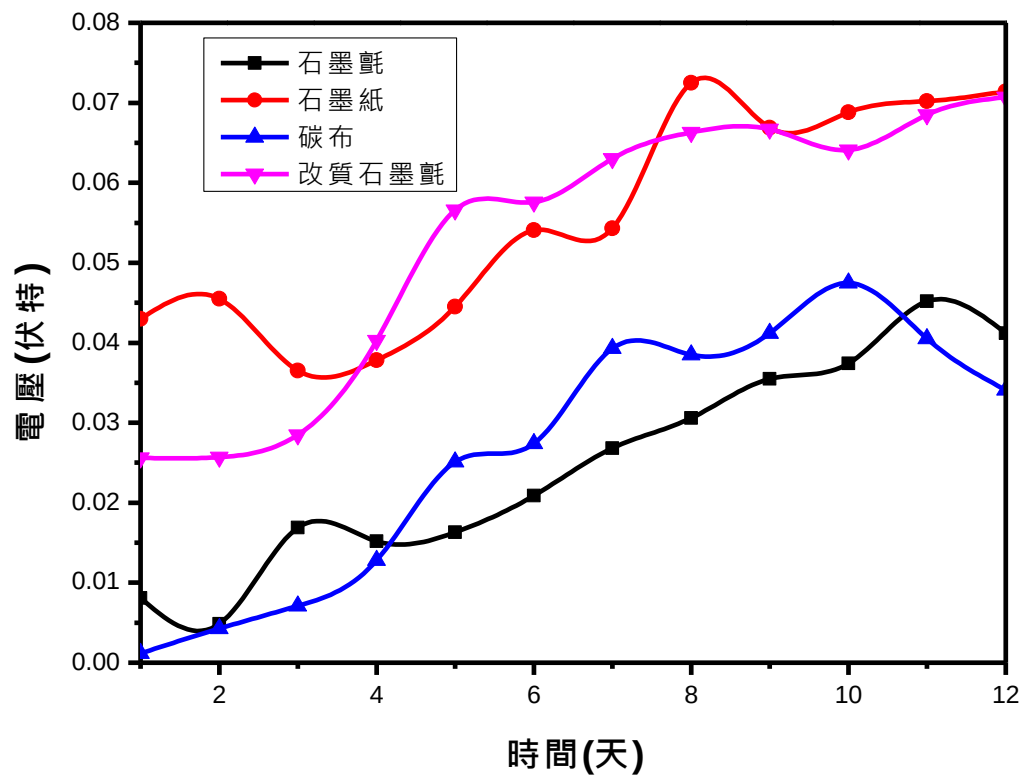
參、研究結果與討論

一、研究結果

(一)電極材質對於微生物燃料電池的影響

1.電壓

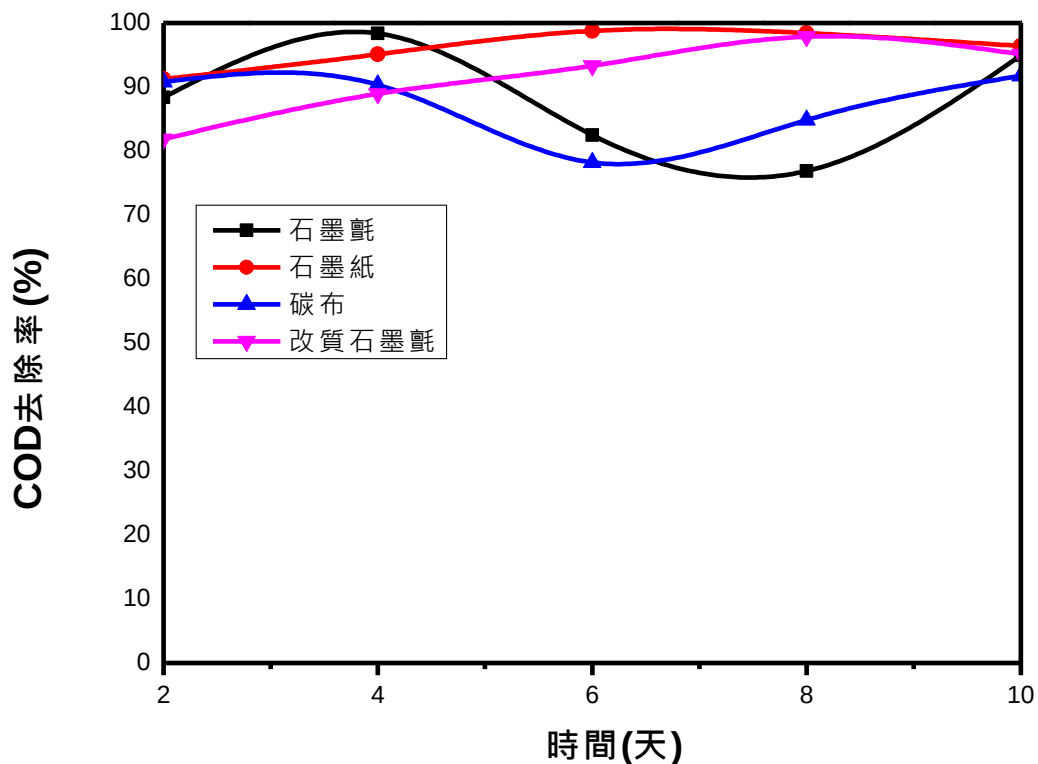
電壓 (Voltage) 是電位差的量度，電壓的大小決定了電流流過電路的能力，並且反映了電源所能提供的能量強度。圖(五)為不同材質的電極在外接 1000 歐姆電組下產生的電壓。從最後穩定的電壓來看，電壓大小為:石墨紙>改質石墨氈>石墨氈>碳布



圖(五)不同材質的電極在外接 1000 歐姆電組下產生的電壓。

2. COD 去除率

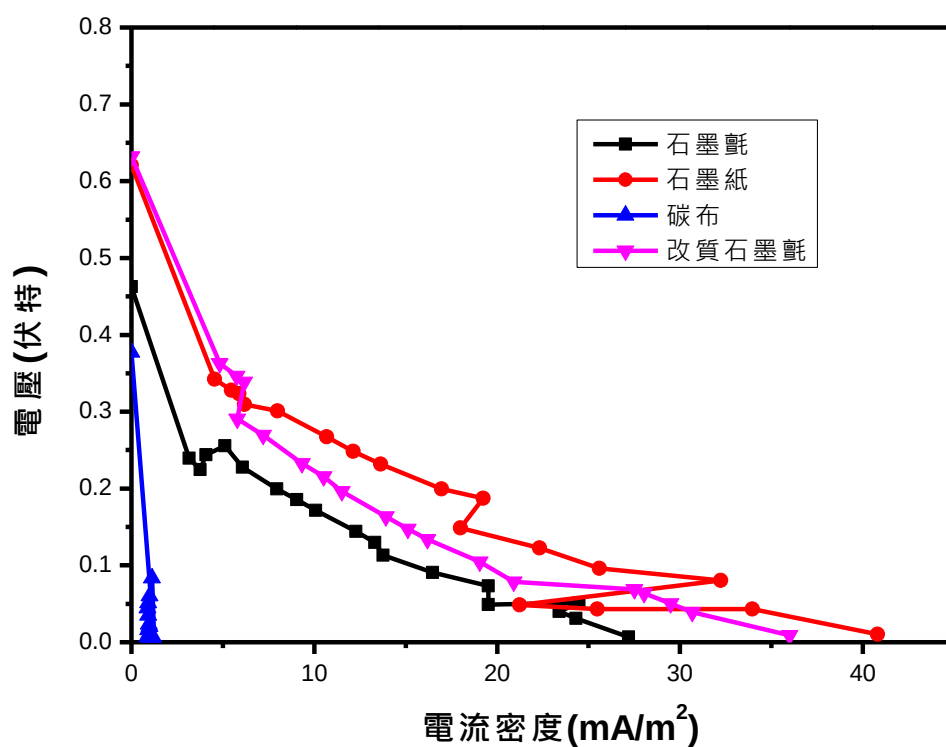
COD 去除率 (Chemical Oxygen Demand Removal Efficiency) 是指在污水處理過程中，污水中化學需氧量 (COD) 被去除的百分比。COD 是一種常用的指標，用來測量水體中的有機污染物的總量。COD 越高，表示水中有機物含量越高。圖(六)為不同材質的電極的 COD 去除率。COD 去除率越高，表示處理系統對有機污染物的去除效果越好。平均來看，COD 去除率高低為：石墨紙>改質石墨氈>碳布>石墨氈



圖(六)不同材質的電極的 COD 去除率。

3.極化曲線

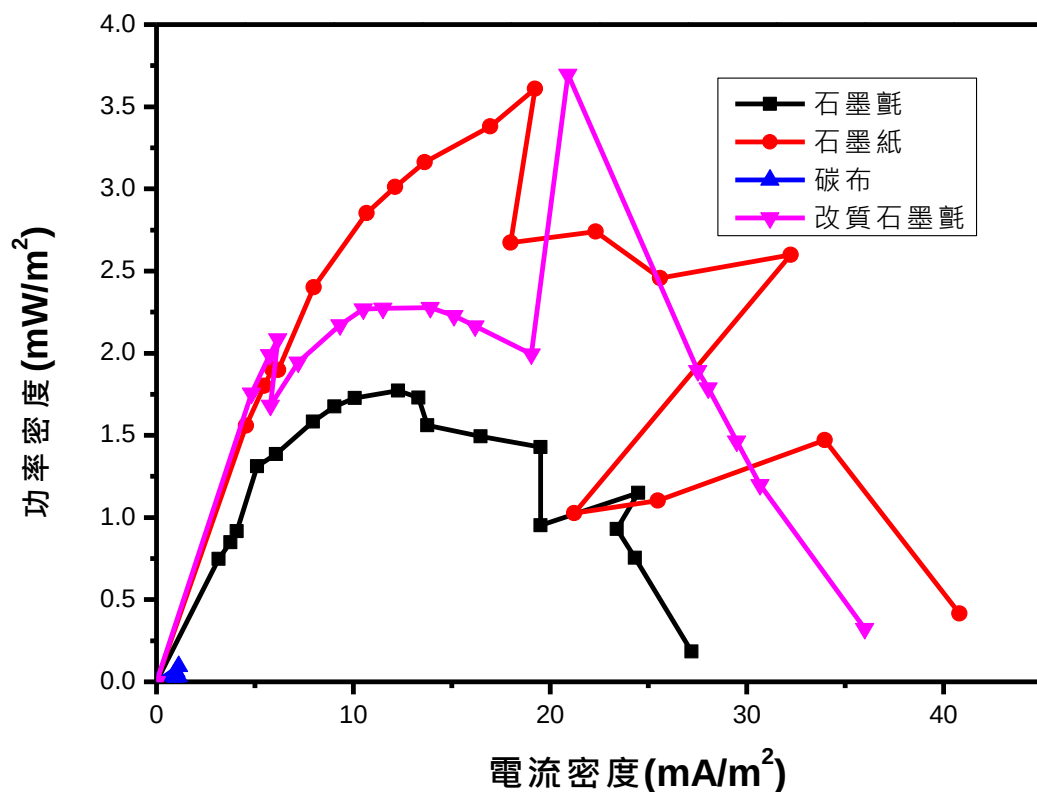
極化曲線（Polarization Curve）是描述燃料電池或電化學系統性能的重要圖表。它顯示了燃料電池中的電壓隨電流密度變化的關係，通常用來評估燃料電池的性能、效率和限制因素。圖(七)為不同電極材質的極化曲線。極化曲線優劣為相同電流密度狀況下的電壓高低，因此極化曲線的好壞為石墨紙>改質石墨氈>石墨氈>碳布



圖(七)不同電極材質的極化曲線。

4.功率密度曲線

功率密度曲線（Power Density Curve）是另一個用來評估燃料電池或電化學系統性能的重要工具。它描述了燃料電池中的功率密度（每單位面積產生的功率）隨電流密度變化的關係。圖(八)為不同電極材質的功率密度曲線。功率密度曲線是看最大電流密度和最大功率密度，因此功率密度曲線的好壞為石墨紙>=改質石墨氈>石墨氈>碳布

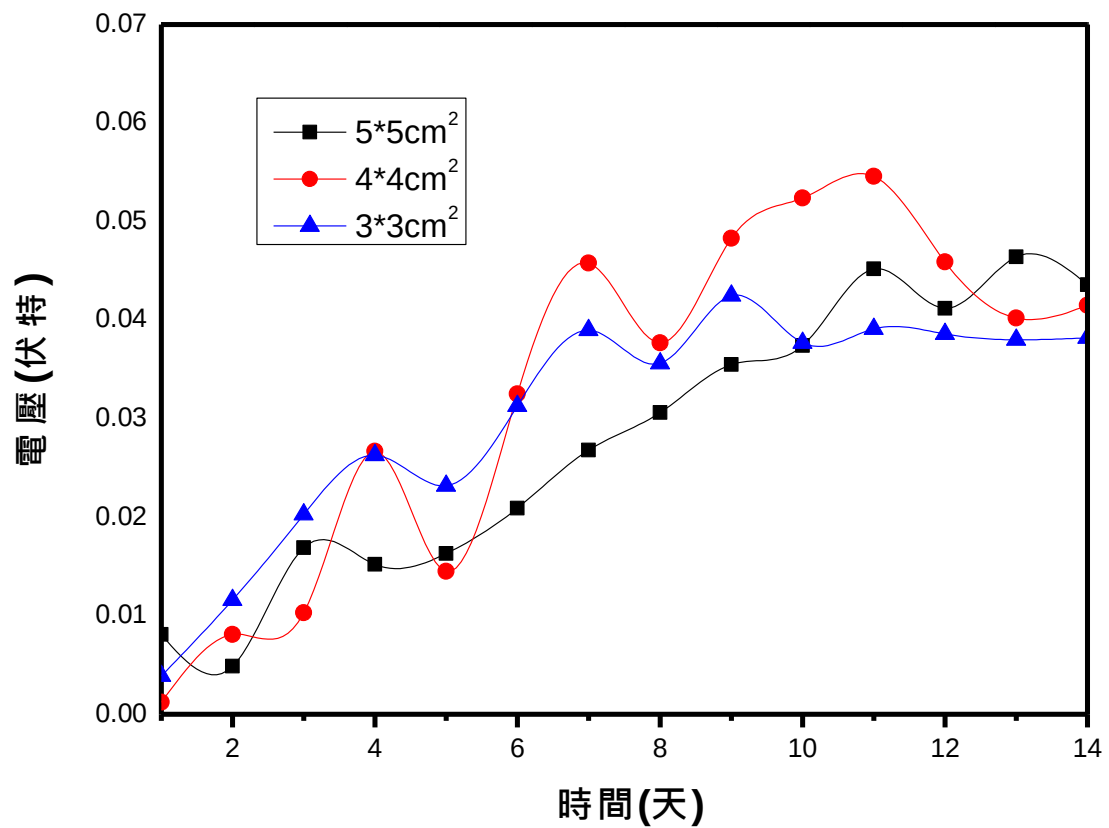


圖(八)為不同電極材質的功率密度曲線。

(二) 電極表面積對於微生物燃料電池的影響

1. 電壓

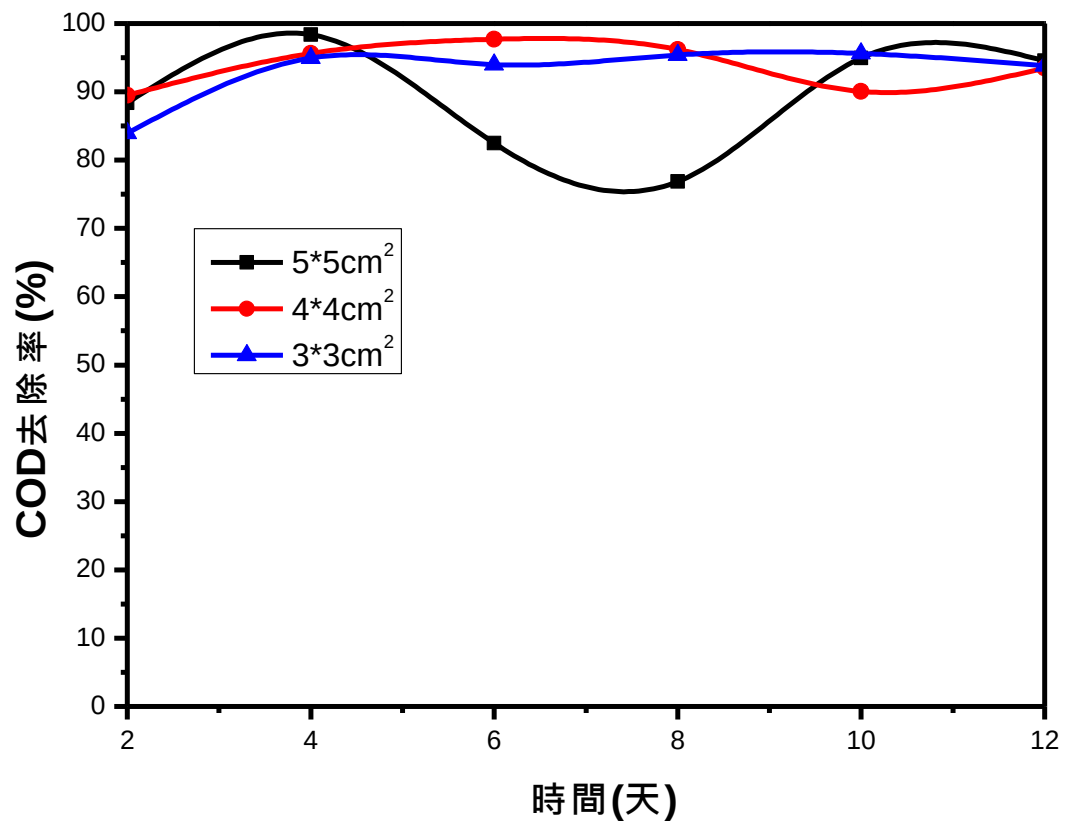
圖(九)為不同電極表面積在外接 1000 歐姆電組下產生的電壓。從最後穩定的電壓來看，電壓大小為： $5*5\text{cm}^2 > 4*4\text{cm}^2 > 3*3\text{cm}^2$



圖(九)不同電極表面積的電壓。

2.COD 去除率

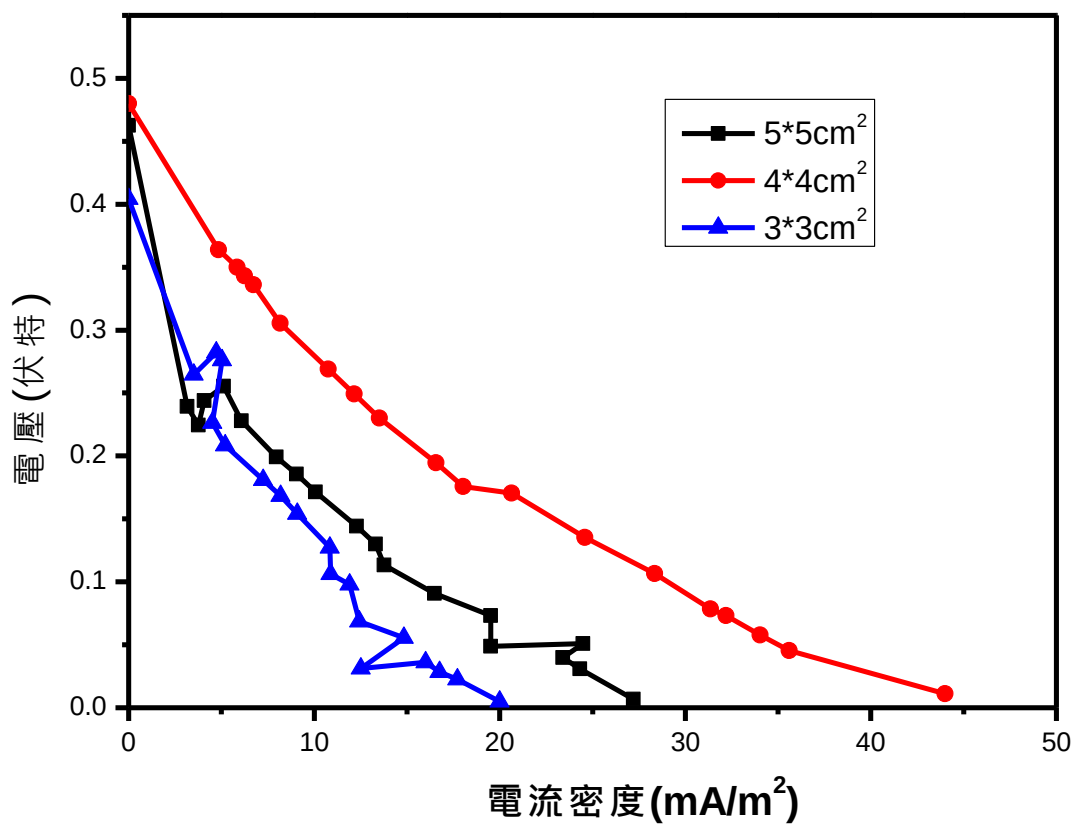
圖(十)為不同電極表面積的 COD 去除率。COD 去除率越高，表示處理系統對有機污染物的去除效果越好。平均來看，COD 去除率高低為： $4*4\text{cm}^2 > 3*3\text{cm}^2 > 5*5\text{cm}^2$



圖(十) 不同電極表面積的 COD 去除率。

3.極化曲線

圖(十一)為不同電極表面積的極化曲線。極化曲線優劣為相同電流密度狀況下的電壓高低，因此極化曲線的好壞為
 $4*4\text{cm}^2 > 5*5\text{cm}^2 > 3*3\text{cm}^2$

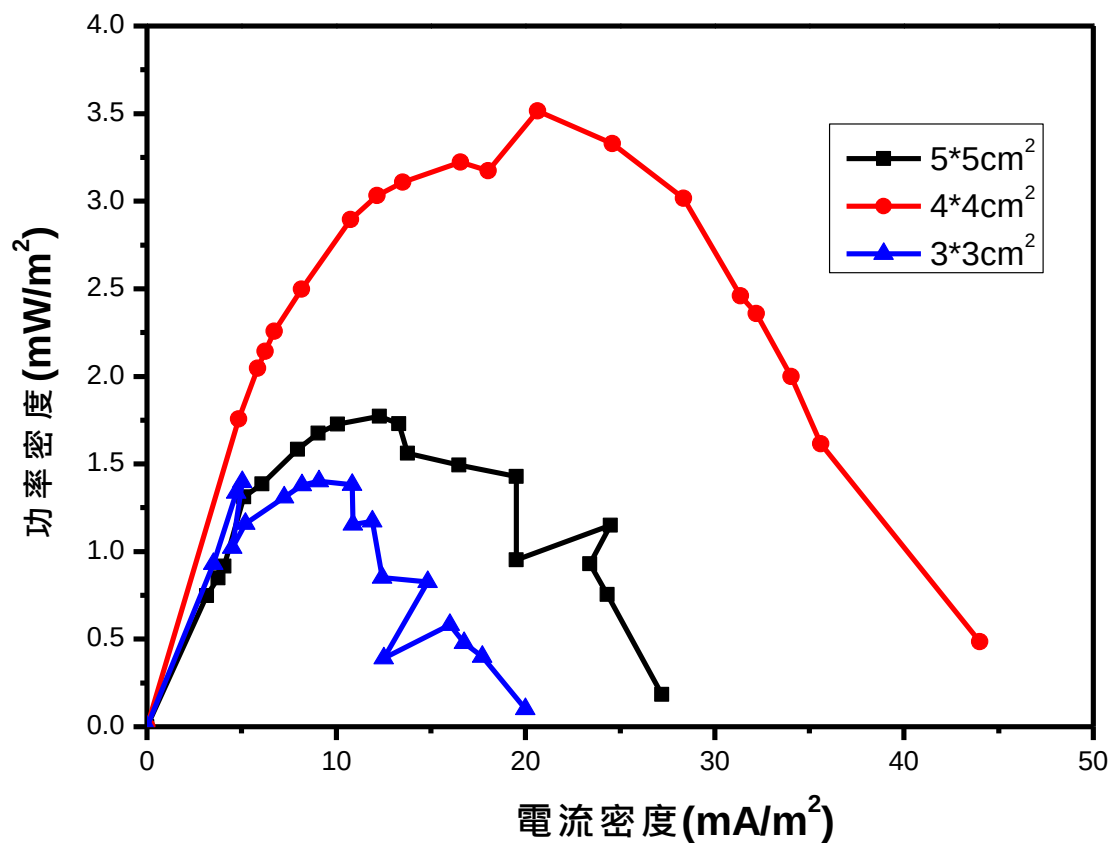


圖(十一) 不同電極表面積的 COD 去除率。

4.功率密度曲線

圖(十二)為不同電極表面積的功率密度曲線。功率密度曲線是看最大電流密度和最大功率密度，因此功率密度曲線的好壞為

$$4*4\text{cm}^2 > 5*5\text{cm}^2 > 3*3\text{cm}^2$$



圖(十二)為不同電極表面積的功率密度曲線。

二、討論

(一)實驗數據

在不同的電極表面積下，從電壓、極化曲線、最大電流密度、最大功率密度來看，產電效率大小為： $4*4\text{cm}^2 > 5*5\text{cm}^2 > 3*3\text{cm}^2$ ；從 COD 去除率來看，汙水處理效果好壞為： $4*4\text{cm}^2 > 3*3\text{cm}^2 > 5*5\text{cm}^2$ 。

而在不同電極材質下從電壓、極化曲線、最大電流密度、最大功率密度來看，產電效率大小為：石墨紙 $>=$ 改質石墨氈 $>$ 石墨氈 $>$ 碳布；而從 COD 去除率來看，汙水處理效果好壞為：石墨紙 $>$ 改質石墨氈 $>$ 碳布 $>$ 石墨氈。

(二)可能產生誤差的原因

由於本實驗系統較小的原因，一些人為操作的誤差都會被放大，例如基質(廢水)的 COD 濃度沒次皆有細微的差距，還可能會有廢水搖晃不均的問；以及電極大小是人工裁切，電極尺寸可能有些微差距

(三)減小誤差的方法

以後實驗可利用本次的基本實驗數據，架設較大的實驗系統，這樣一些人工的誤差就比較不會產生較大的影響。

肆、結論與應用

一、結論

(一)電極表面積

由於產電效率大小為: $4*4\text{cm}^2 > 5*5\text{cm}^2 > 3*3\text{cm}^2$; 從 COD 去除率來看, 汙水處理效果好壞為: $4*4\text{cm}^2 > 3*3\text{cm}^2 > 5*5\text{cm}^2$ 。因此, 較小的表面積差距不會造成太多微生物燃料電池影響。

(二)電極材質

未改質電極產電效率大小為: 石墨紙 > 石墨氈 > 碳布, 但改質過後的石墨氈產電效率可大約等於價格較昂貴的石墨紙; 而汙水處理效果好壞為: 石墨紙 > 改質石墨氈 > 碳布 > 石墨氈

二、應用

本研究的成果可應用於以下幾個方面：

(一) 工業廢水及生活污水的 COD 去除電催化氧化技術

本研究可為工業廢水和生活污水的 COD（化學需氧量）去除提供有效的電催化氧化處理技術支持，從而幫助解決廢水處理中的環境污染問題，促進更清潔的水資源管理。

(二) COD 電催化氧化技術的理論和技術發展

研究結果將為 COD 電催化氧化技術的進一步發展提供關鍵的理論依據和技術支持，推動該技術在實際應用中的更廣泛採用和優化，助力提升污水處理效率。

(三) 微生物燃料電池在廢水處理中的發電應用

本實驗探討不同電極表面積和材質對 MFC 系統發電效率的影響，研究結果可為未來在污水處理過程中利用 MFC 進行同步發電提供技術基礎數據。

伍、參考文獻

- 陳彥銘(2011)。微生物燃料電池之電性改善研究。國立宜蘭大學:碩士論文
- 周廉軒(2022)。改變空氣陰極集電層提高微生物燃料電池性能之研究。國立臺北科技大學:碩士論文
- 楊雲捷(2022)。微生物燃料電池作為生物傳感器線上監測異丙醇應用於生物反應槽之研究。國立臺北科技大學
- 林志達(2021)。應用微生物燃料電池同時處理有機污染物與六價鉻之研究。國立臺北科技大學
- 高振豐(2009)。以導電高分子/碳纖維電極開發藍菌光合/代謝作用微生物燃料電池及其晶片之研究。國立成功大學
- 黃塏鈞(2022)。微生物燃料電池串聯之效能最佳化。國立臺北科技大學:碩士論文
- 李明錚(2023)。利用氮氣電漿表面改質微生物燃料電池發泡金屬電極之研究。國立宜蘭大學:碩士論文
- 李淑君(2022)。探討沼澤紅假單胞菌 PS3 菌株促進有機番茄生長與提高土壤微生物燃料電池電能之效果。國立臺灣大學:博士論文
- 石少華(2007)。構築以紫色不含硫菌為微生物電池基礎之生物反

應器。國立中興大學:學術論文

- 蘇建宇(2012)。台灣原生微生物混合族群在大型微生物燃料電池中的產電分析及發展微型微生物燃料電池進行產電微生物的快速篩選。國立成功大學:碩士論文
- 王永福(2006)。利用大腸桿菌為觸媒進行醋酸鹽電解之特性與應用。國立成功大學:博士論文
- 張家華(2009)。外加電流對微生物電池產電之影響。國立雲林科技大學:碩士論文
- 鄭力菖(2010)。利用糖類發酵過程製作微生物燃料電池之研究。中臺科技大學:碩士論文
- Robin M. Allen & H. Peter Bennetto. (1993) Microbial fuel-cells. Volume 39, pages 27–40, Cite this article
- Rezaei, A., et al., Oxygen reduction reaction enhancement in microbial fuel cell cathode using cesium phosphomolybdate electrocatalyst. Fuel, 2023. 352: p. 129040.
- Peng Liang 1, Xia Huang, Ming-Zhi Fan, Xiao-Xin Cao, Cheng Wang. (2007) Composition and distribution of internal resistance in three types of microbial fuel cells. 77(3):551-8. doi: 10.1007/s00253-007-1193-4.
- Ramaraja P Ramasamy, Zhiyong Ren, Matthew M Mench, John M Regan. (2008) Impact of initial biofilm growth on the anode impedance of microbial fuel cells.1;101(1):101-8. doi:

10.1002/bit.21878.

- Bruce E Logan, Ruggero Rossi, Ala'a Ragab, Pascal E Saikaly. (2019) Electroactive microorganisms in bioelectrochemical systems.17(5):307-319. doi: 10.1038/s41579-019-0173-x.
- Long Zou, Yun-Hong Huang, Zhong-Er Long, Yan Qiao. (2018) On-going applications of Shewanella species in microbial electrochemical system for bioenergy, bioremediation and biosensing. 19;35(1):9. doi: 10.1007/s11274-018-2576-7.

【評語】 200015

本作品利用微生物燃料電池搭配煤灰陶瓷隔離膜，並將市售石墨氈電極進行改質，以探討電極表面積及不同材料對 MFC 性能的影響。實驗在進行葡萄糖水之前，曝氣 30 分鐘，以減少水中的溶氧量，石墨氈與碳布兩組 COD 去除率在 4~8 天有大幅下降，功率密度曲線不規則等問題，應加以說明。