

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 工程學科(二)

052408

鈦藻膜—環保光催化材料結合微生物燃料電池
之效能探討

學校名稱： 國立中科實驗高級中學

作者： 高二 黃柏澄 高二 柯亘澤 高一 蔡亞芸	指導老師： 王郁茜 何家齊
---	-----------------------------

關鍵詞： 柴油降解、二氧化鈦、微生物燃料電池

摘要

我們從聯合國永續發展項目SDGs中,選擇與台灣密切相關的第14項“保育海洋生態”作為我們的研究主題。為了解決原油洩漏造成的污染,我們結合課本提到過的光催化技術,自行研製出了奈米級二氧化鈦-海藻酸鈉小球(以下簡稱鈦藻球),並結合MFC微生物燃料電池技術,企圖解決此問題。本實驗我們選了可自然分解的海藻酸鈉凝膠,替代文獻中塑膠海綿作為光催化載體材料,使裝置的光催化部分完全對環境沒有危害。分解的過程中先利用TiO₂的光催化特性,將高分子有機污染物高效分解成小分子有機物,再由MFC微生物燃料電池分解成無害的生物代謝產物,整個過程將相比起現行的處理方式,更加環保,並在過程中產生能源,達到永續目的。

壹、緒論

一、研究動機

我們的組員對環保充滿了興趣,上了高中之後,便決定以相關的題目出發製作科展,並從聯合國永續發展項目SDGs當中,選擇了與台灣密切相關的第14項“保育海洋生態”作為我們的研究主題,為台灣的環保事業出一份心力。因為我們生長的這片土地——台灣,本身就是一座大島嶼,靠著海洋的海產、海運維生,因此保護海洋,我們個人認為對台灣非常重要。後來經過組內的討論,繼續將重心聚焦在了解決海中原油洩漏的問題。用台灣當例子,在2021年6月,高雄中油大林廠的一條石油管線破裂,造成約50噸的石油流入海洋,汙染蔓延在小琉球周遭海域,造成了嚴重的生態破壞,為此,我們認為原油洩漏是個值得被關注並解決的污染種類。

查閱資料後我們發現,台灣現行處理柴油的方法有很多,包含常見的燃燒法、圍堵法、吸附法等處理方法,以及使用介面活性劑直接處理水面上的原油洩漏,但這些方法都易留下殘油,並得留意造成的二次污染。

我們想說「有沒有能夠幫助自然降解這些原油的方法」,為此我們繼續深入研究,最後發現高一課本中有提到多種淨水方法,其中一種是光催化技術,可以透過照光加速分解有機污染物,正與我們的實驗不謀而合。因此我們以光催化技術技術分解用來模擬原油的柴油,作為我們實驗的第一步。

在解決原油洩漏問題的同時,我們也希望材料本身也符合永續發展目標,便想嘗試用常見的環境友善材料當作問題的解方,這個材料要同時滿足低成本、操作單純、最好是天然成分還具有一定韌性,查閱文獻我們選擇海藻酸鈉,這種在自然界中就存在的物質,之後著手進行對其的研究,使其能用於實驗之中,說出我們的環保環保光催化材料。

在完成光催化部分的過程中，我們還關注到微生物燃料電池MFC，它可以透過內部的細菌分解有機物並發電，而這或許可以用於進一步分解光催化部分為分解的柴油，在移除污染物的同時，還能產生新的能源，讓化學和生物兩種方法共同作用，來將有機污染物分解成無害的物質，從而徹底解決原油洩漏的問題。

構築完整的實驗，我們最後希望能做出的就是這樣方法環保，材料環保還能產生能源，一舉多得的複合型裝置，希望能解決前文中所提到的海洋漏油污染問題。

二、研究目的

本實驗同時結合了MFC（微生物燃料電池）以及TiO₂材料的光催化特性，來實現高效降解，如柴油等複雜長碳鏈有機污染物的目的。為此，實驗分為兩個子題進行，分別為「MFC（微生物燃料電池）的架設」和「光催化材料的製作及改良」，以上兩點將在下方列點介紹其目的及作用。

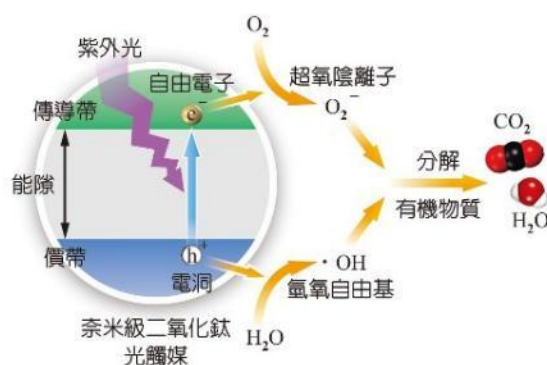
（一）光催化材料的製作及改良

（二）MFC（微生物燃料電池）的架設

（三）以特定正確的流程結合（一）和（二），測試產電量

三、文獻探討

（一）光催化的原理



圖（一）二氧化鈦光催化原理示意圖(翰林教科書-化學)

光催化是催化劑吸收光能後加速化學反應進行。不同光催化劑吸收不同能量的光源，從而降低反應活化能加速反應速率，可以應用於多種領域，包括環境治理、能源轉換、有機合成等。最常見的光催化劑大多是半導體材料，如硫化鎘（CdS）、二氧化鈦（TiO₂）就是種常見的光催化材料。它們吸收光能後會產生電子-空穴對，這些電子-空穴對具有一定的活性，活潑電子與電洞可以催化反應物進行氧化還原反

應而引起一系列的光反應，這一特性使它們通常用於水處理、空氣淨化、光合成氫能等領域。例如，二氧化鈦利用紫外光將丙酮降解為無害的物質（利用真空濺鍍法製備可見光奈米光觸媒進行丙酮分解之研究，2007，中山大學碩士論文），或將水中的有害金屬離子還原為金屬。在能源領域，光催化還可以利用太陽能將水分解為氫氣和氧氣，從而實現可再生能源的生產。總結來說，光催化具有廣闊的應用前景，有望在環境保護、能源轉換等方面發揮重要作用。（Alex Omo Ibadon, Paul Fitzpatrick. (2012)）（林沐謙(2021)）。奈米光觸媒分解油污技術在海洋環境保護的應用）

（二）TiO₂—PVB光催化海綿

將奈米TiO₂藉由PVB材料使其附著在市售清潔海綿之上，在不同的TiO₂及PVB濃度參數比例下，將其製成所謂TiO₂-PVB光催化海綿。12g/LTiO₂-0.2wt%PVB的實驗組分解的效果最佳（盧翊庭、陳宥君、黃柏澄。（2023）。《這真是…鈦酷啦！奈米TiO₂-PVB光催化海綿的製作及建立降解柴油模型》）

本實驗將在TiO₂-PVB光催化海綿的基礎上，將含有微塑料污染的海綿載體替換成可自然分解的海藻酸鈉凝膠，使裝置的光催化部分徹底變成符合環境友善的材料。後續實驗中我們製作的鈦藻材料將與12g/LTiO₂-0.2wt%PVB光催化海綿進行對比，為求達到與其相近的分解柴油的效果。

（三）水域油污處理方式

1.人為處理

- （1）機械清理：使用撈油網、撈油船等工具，直接將水面上的油污撈取上來。這種方法僅適用於油污範圍較小的情況(Smith, L., & Johnson, K. (2016))。
- （2）吸油設備：利用吸油機、吸油器等專業設備，從水面直接吸取油污，並將吸取的油污儲存或回收。這些設備通常適合處理較小範圍的油污(Johnson,D. (2019))。
- （3）燃燒法：需採用各種助燃劑，使大量溢油能在短時間內燃燒完，無需複雜裝置，處理費用低，但其產物對海洋生物的生長和繁殖會有所影響。
- （4）拋灑凝固劑：凝固劑能使油污變為固體，便於後續機械回收。這些凝固劑主要是化學物質，通過改變油的物理性質來達到凝固效果(Kumar,R.,&Sharma, S.(2018))。

- (5) 拋灑吸油劑：吸油劑能夠將油污吸附後進行集中回收。這些吸油劑一般是多孔的材料，能夠有效吸附油類，減少油污在水面上的擴散，用於處理小規模溢油(Vega, L. (2020))。
- (6) 拋灑分散劑：分散劑會將油污分解成微小顆粒，這樣可以減少油污對水生生物的影響並加速微生物的降解作用。分散劑在控制油污蔓延方面非常有效，但對生態系統可能有一定的負面影響(Cunningham, A., & Green, H. (2017))。

2. 水域自淨

水域本身就有降解柴油機制，透過各種物理、化學、生物作用來達到降解的目的，降解方法分成：擴散、蒸發、乳化、溶解、光氧化、生物降解和沉積（簡孜翰，2016）。

3. MFC

- (1) 利用石油汙泥分解之*Rhodococcus erythropolis* NTU-1獨特之生物降解和生物吸附能力，結合生物和物理吸附方法，快速移除石油污染物。1%(10,000 ppm V)原油作為探源的實驗中，NTU-1能夠用C10-C32之正直鏈烷，經過2天培養，污染物移除效率約90%。此外，在 Fed-Batch 中，在適當的pH、通氣條件、培養基置換和間歇性的進料條件下，持續操作2週以上，能達90%的原油移除效率 (Liu, C. & Liu, Hwai-Shen, 2011)。
- (2) D'Ugo等人開發一個可處理漏油污染的漂浮型生物膜燃料電池系統。漂浮的生物膜通過漂浮的細絲直接連結到水面下的水體。研究結果發現，細絲形成由缺氧引起的異常脂質含量所形成的細絲系統，具有與脊椎動物神經系統突膠質細胞中發現的髓鞘相似的顯著超微結構特徵。在水面上的石油碳氫化合物降解生物膜的生長和呼吸作用優養化的爆發，皆會消耗O₂濃度。此外，水面上優養化的現象阻止藻類光合作用產生的氧氣溶解在水中，造成透光區的缺氧環境，進而誘導水體中會產生電子的菌群孳生。因為菌群的呼吸作用，電子接受者除O₂之外，其他如重金屬、硫酸鹽、硝酸鹽或可能造成晶體沉積。因為缺氧環境，連同石油洩漏造成的化學污染物，也可能導致進一步的不利影響魚類 (D'Ugo, E. & Bertuccini, Lucia & Spadaro, F., 2021)。

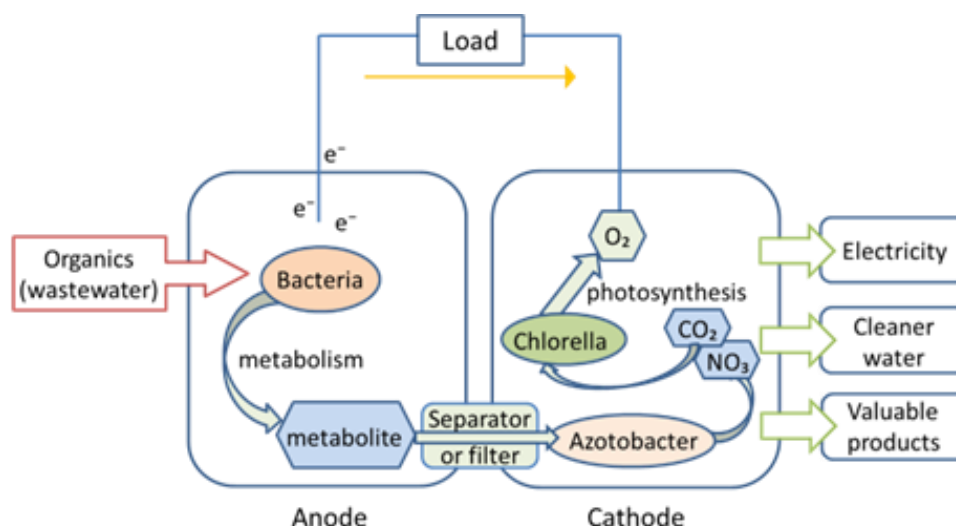
(四) MFC反應化學式

陽極為生物厭氧槽，主要提供微生物進行代謝反應；陰極則置放電解液，並使其呈現好氧狀態。MFC 陽極槽內的微生物將有機物降解後，會釋放質子和電子（如

式1)。電子流經由外部迴路到達陰極，質子則通過質子交換膜到陰極，而在陰極槽內電子、質子與氧結合最終生成水。MFC 的運作即是利用陽極周圍之微生物的代謝作用所產生之能量並將其轉換成電流的一種技術。(Logan & Rabaey,2012)

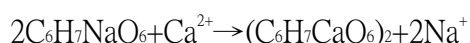
1.陽極： $C_6H_{12}O_6 + 6H_2O \rightarrow 6CO_2 + 24H^+ + 24e^-$ (式一)

2.陰極： $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$ (式二)



圖（二）微生物燃料電池反應途徑圖（彭美娟等，2019）

（五） TiO_2 與柴油降解之關聯



賴奇厚教授曾開發之光催化與生物降解近場耦合體系(Intimately Coupled Photocatalysis and Biodegradation, ICPB)，以多孔海綿為載體，載體表面光催化劑受到光激發發生氧化反應產生易於生物降解的中間產物，載體內部生物膜利用光催化產物進行生物降解作用，並以 PVB- TiO_2 為光催化劑，以活性污泥為植種菌種，成功構建ICPB 協同體系（賴奇厚，2022）。

（六）外加磁場提升微生物燃料電池降解有機物效能

近年來，外加磁場技術被用於廢水處理技術中。賴奇厚教授執行科技部「應用自產電流轉換磁場提升MFC 產電效能之技術開發(MOST 108-2221-E-035 -036 -MY 3)」，第一年的研究在雙槽式立方微生物燃料電池 (Microbial fuel cell, **MFC**) 的外部添加了**釹鐵硼磁鐵**，探討改變磁鐵強度與磁場方向（相吸或相斥磁場）對MFC產電效能之影響。

研究指出，外加磁場技術會影響生物代謝酵素活性與細胞膜滲透性等，進而提升微生物燃料電池的產電效能（賴奇厚，2022）。

（七）物質濃度檢測

1. 分光光度法

分光光度法是一種常用於測量溶液中物質濃度的技術。其原理是基於溶液中物質對特定波長光的吸收特性，來檢測物質的濃度。當特定波長的光線通過溶液後，該光線會被射入光電管，並將偵測到的光能轉換為數據。光的吸光度可以用公式表示：吸光度 $Abs = -\log(I_1/I_0)$ ，其中 I_1 是透射光強度， I_0 是入射光強度。由於樣本溶液和標準溶液中物質的濃度不同，吸光度也會有所不同，通過這個原理可以計算出溶液中物質的濃度。在本研究中，我們使用了正己烷（ C_6H_{14} ）作為萃取溶劑，並選擇225nm作為檢測波長。這是因為飽和烴類化合物主要由單鍵構成，其電子共價鍵中的 σ 電子會從基態躍遷到 σ^* 軌道，這種躍遷的吸收光波段位於200~400nm範圍，稱為R吸收帶。該躍遷所需的能量最高，並且會在遠紫外區產生吸收峰，而在近紫外區和可見光區的吸收光譜較不明顯。因此，含有飽和烴類化合物的有機溶劑（如正己烷）適合用於紫外分光光度法。此外，能使未共用的n電子躍遷到 π 軌道的吸收光波段稱為E吸收帶，其吸收峰通常出現在200~400nm範圍。這種躍遷通常發生在含有C=O、C=S、-N=O、-N=N-等官能基的化合物中。根據我們柴油的全波段吸收光譜的觀察，最終選定225nm為檢測波長。

2. COD化學需氧量(Chemical Oxygen Demand)

COD化學需氧量一般用於表示水中可被化學氧化之有機物含量。化學需氧量係應用重鉻酸鉀為氧化劑，在強酸情況下加熱，將水中有機物氧化為二氧化碳及水，則所消耗之重鉻酸鉀換算成相當之氧量就是化學需氧量。一般工業廢水或含生物不易分解物質之廢水，常以化學需氧量表示其污染程度。（環境部全國環境水質監測資訊網 名詞解釋）。

COD化學需氧量常用於水中有機污染物的檢測，因此我們會在實驗用到這種檢測方法，來檢測水中剩餘的有機污染物。在本實驗中，我們使用COD化學需氧量來檢測經過分解的柴油水混合液，檢測其中的有機化合物含量，計算出光催化-MFC系統對柴油的分解效果。

3. 氣相層析法(Gas Chromatography, GC)

氣相層析法應用於許多領域，例如柴油分析、VOCs檢測或食品香精分析。利用物質間的**沸點差異**，低沸點化合物更容易汽化，移動較快，保留時間（Rt）較短；反之，高沸點化合物更不容易汽化，移動較慢，保留時間較長。這個時間差就可以把不同的物質區分開，在檢測此時間段的物質傳來的信號強度，就可得知此物質在溶液中的相對濃度了。

我們將經過分解的柴油水混合液透過氣相層析法，分析出柴油當中的幾種關鍵物質，再對比他們的峰面積，交叉比對得出柴油的剩餘含量，佐證我們光催化—MFC系統。

貳、研究設備及器材

一、實驗器材及設備

表（一）、實驗器材及設備（作者自行拍攝）

採氣針筒	批次瓶	定量吸管	血清瓶	恆溫震盪箱
				
金屬蓋與塞子	磁石加熱攪拌器	分光光度計	抽氣櫃	氮氣
				
雙槽式 MFC反應槽	電子pH計	過濾膜	注射針筒	淺盤 (48孔盤蓋子)
				
鈦藻球冷凍模具	石英比色管	洗滌瓶		
				

二、藥品試劑

(一) MFC陽極菌群培養基配方 (ENDO配方):

表 (二) 陽極產氫菌基質 (ENDO配方) (作者製作)

陽極菌群培養基配方 (ENDO配方)	
藥品名稱	濃度
柴油	20g/L
碳酸氫銨	5.24g/L
碳酸氫鈉	8g/L
氯化鈣	0.1g/L
磷酸氫二鉀	0.125g/L
硫酸亞鐵濃縮液	1mL/L
濃縮混合液 (以下為成分): 硫酸錳 (15 g/L) 硫酸銅 (5 g/L) 氯化鈷 (0.125 g/L) 氯化鎂 (100 g/L)	1mL/L

(二) MFC陰極配方:

鐵氰化鉀($K_3[Fe(CN)_6]$): 50mM

(三) 鈦藻球／膜配方:

表 (三) 鈦藻球／膜配方 (作者製作)

鈦藻球／膜配方	
藥品名稱	濃度
海藻酸鈉水溶液	2wt%
乳酸鈣水溶液	4wt%
TiO ₂ (在海藻酸鈉水溶液中的濃度)	3g/L、6g/L、9g/L、12g/L、15g/L

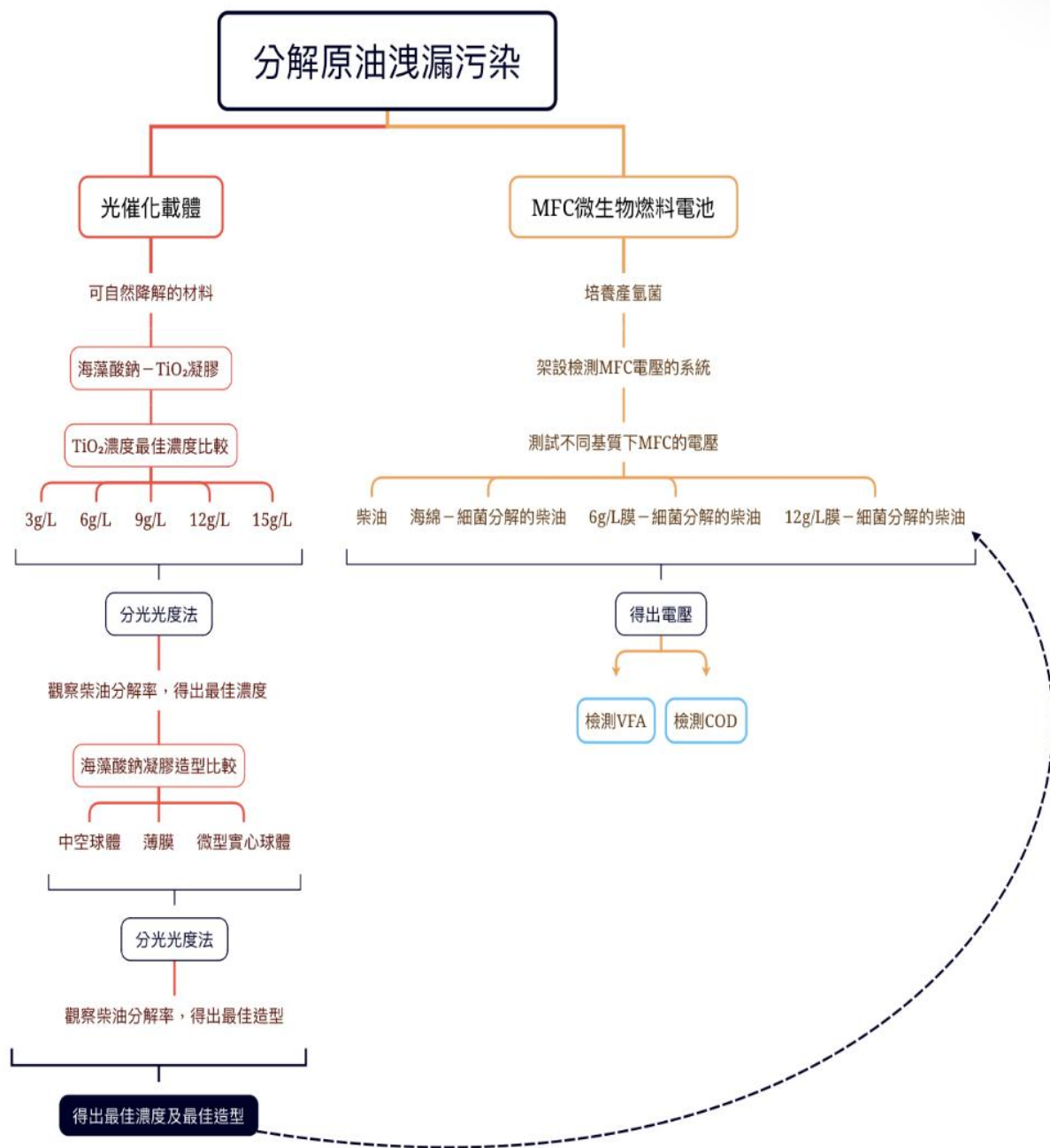
(四) 檢測配方:

1.COD: (1) 重鉻酸鉀 (2) 硫酸銀 (3) 斐羅琳試劑 (4) 0.1M硫酸銨亞鐵

2.柴油含量-分光光度法: (1) 正己烷

參、研究過程或方法

一、研究流程圖



圖（三）研究流程圖（作者自行繪製）

二、菌群篩選流程

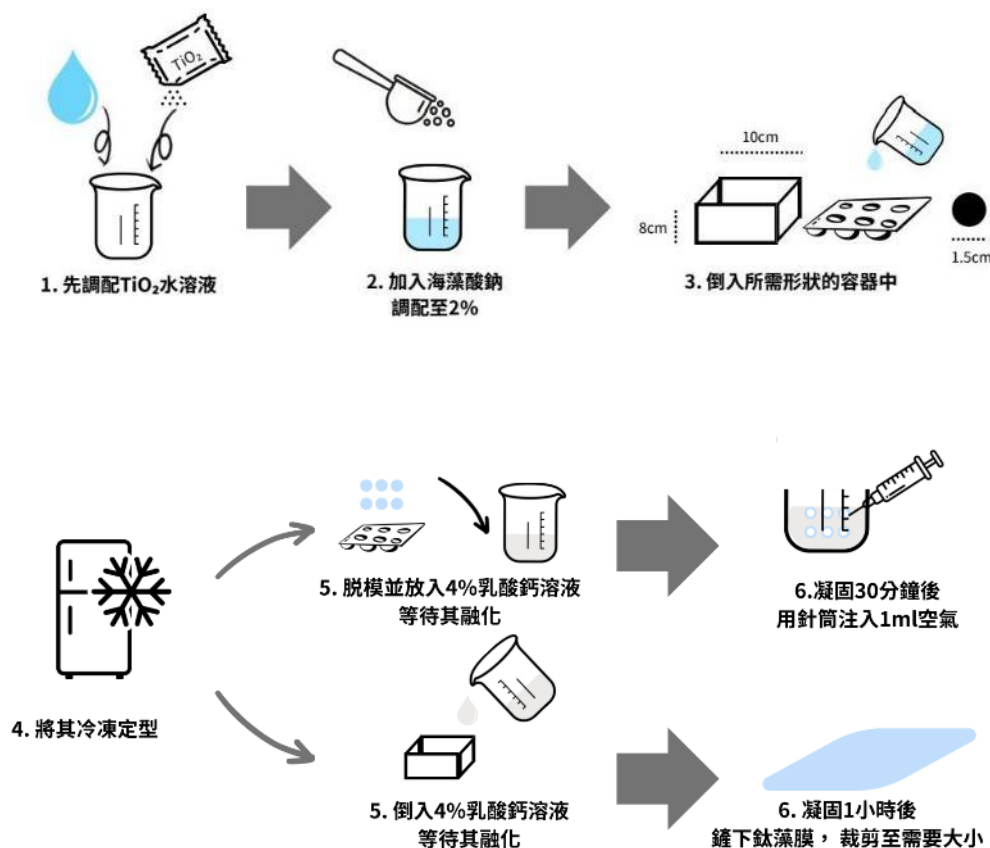
在加入MFC之前，我們使用批次瓶飼養並觀察來源於不同時期的雞糞菌群，觀察其產氣現象篩選出最終使用於MFC的雞糞菌。

（一）流程

1. 熱篩菌群並配置蔗糖基質
2. 以菌:基質為1:1之比例配置150毫升之菌群培養溶液
3. 將溶液充入氮氣為厭氧菌創造低氧環境
4. 將溶液使用瓶密封並放入恆溫震盪培養箱培養（37℃-150RPM）
5. 每天檢測產氣量並以7天為1週期固定更換基質

三、海藻酸鈉-TiO₂混合材料（鈦藻球／膜）製作流程

鈦藻球/膜的製作過程



圖（四）鈦藻球／膜製作過程（作者自行繪製）

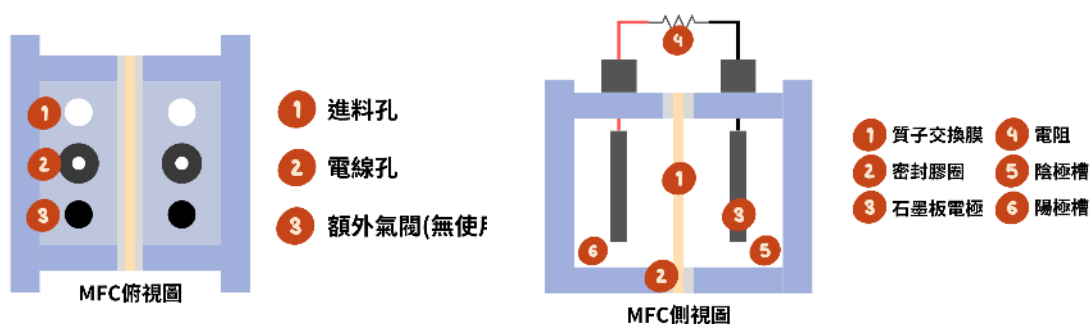
（一）製作步驟

- 1.先配置6g/L TiO_2 的水溶液（後續在此基礎上執行第二步）
- 2.配置重量百分比2%的海藻酸鈉溶液
- 3.配置重量百分比4%的乳酸鈣溶液（另外配置）
- 4.用滴管將海藻酸鈉溶液填入模具中至9分滿
- 5.凍結後放入乳酸鈣溶液中
- 6.用針筒往內部注入空氣使其具有浮力
- 7.將凝固的海藻酸鈉脫模，繼續浸泡在乳酸鈣溶液中保存

補充：「微型鈦藻球」是指體積更小的鈦藻球，製作方法為：接續第3步以後，把混合液倒入滴定管，滴入4%的乳酸鈣溶液之中。

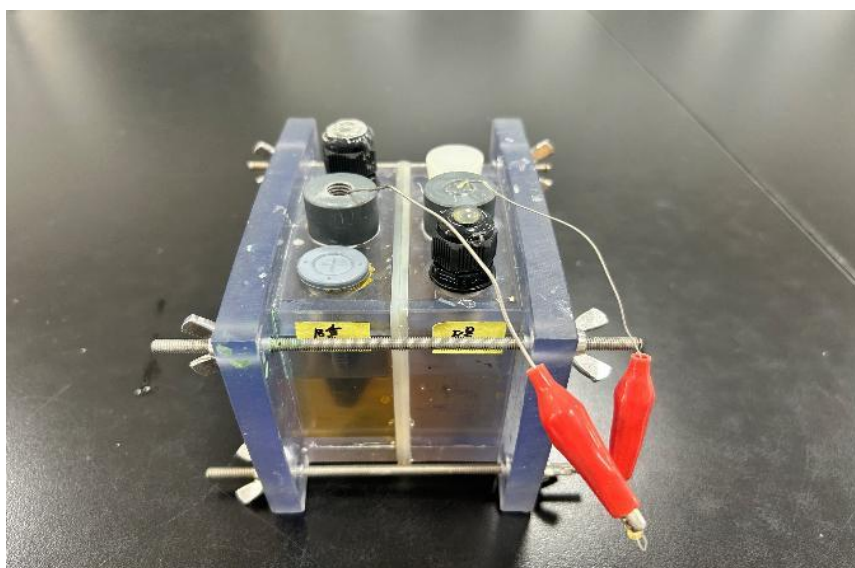
四、MFC的裝置、採用與架設流程

（一）MFC裝置



圖（五）MFC裝置俯、側視示意圖

（作者自行繪製）



圖（六）MFC裝置（作者自行繪製）

(二) 槽體採用

在研究過程中我們發現有各種不同的微生物燃料電池(MFC)(Logan,B.E.& Rabaey, K.,2012)，最終我們採用雙槽型微生物燃料電池，其中具有陰極及陽極反應槽，雙槽中間配有質子交換膜，槽體本身採用厚1cm方形壓克力製成，陰陽極槽上方分別有3孔，除了其中一個孔不作使用，其餘兩個孔分別做為進料孔及電線孔，電線孔拉設電線至外部並連結至數據機。

(三) 架設流程

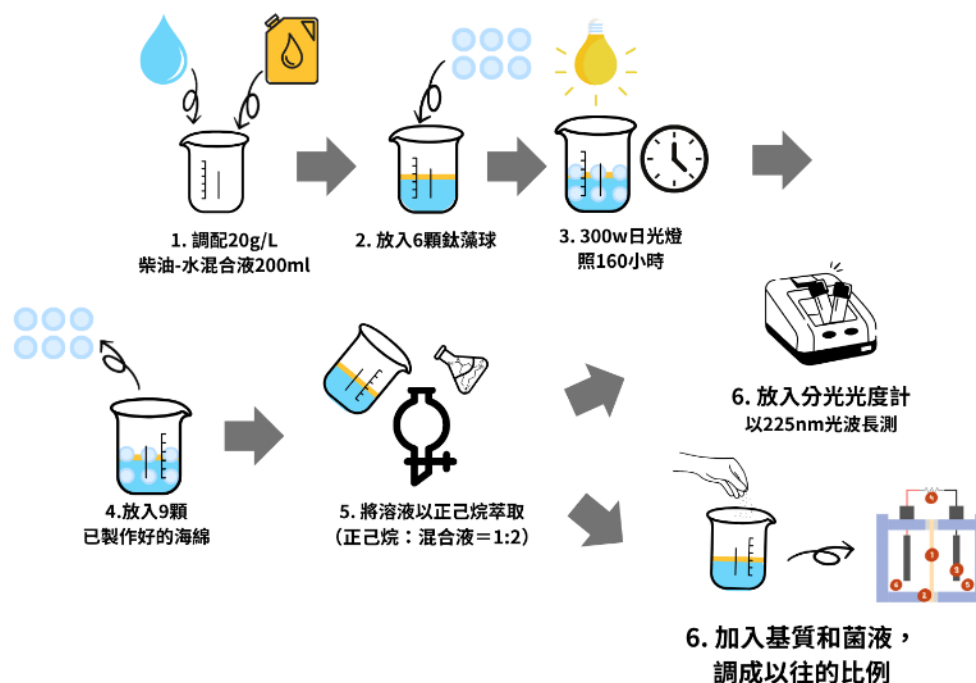
- 1.在組裝之前，確保槽體已清洗並擦拭乾淨
- 2.將陽極槽部分除了電線孔與換料孔，其餘部分使用熱溶膠密封，以利後續為陽極槽製造厭氧環境
- 3.將乾燥的質子交換膜浸泡在5%鹽水內24小時
- 4.使用石墨板作為電極利用鈦線經過電線孔連接至外部並連接上100 Ω 之電阻
- 5.將左右兩部分槽體連帶密封膠圈與已浸泡之質子交換膜結合
- 6.利用螺桿與螺母鎖MFC使其整體得以固定
- 7.陽極加入菌群，陰極加入鐵氰化鉀

(四) MFC實驗條件

表(四) MFC反應條件(作者自行繪製)

反應槽	陽極	陰極
反應槽型態	立方體型雙槽式MFC	
Membrane	Anion exchange membrane	
電極	石墨電極	石墨電極
進料方式	Sequencing batch	Sequencing batch
植種菌群	雞糞厭氧消化菌	-
營養源	碳源：柴油10g/L 營養源：ENDO配方	K ₃ Fe(CN) ₆ 50mM
外加電阻	100 Ω	
Initial pH	7.0	
溫度	37°C	

光催化柴油



圖（七）光催化柴油過程（作者自行繪製）

- 1.調配20g/L柴油-水混合液200ml
- 2.放入6顆鈦藻球／9顆海綿／1片鈦藻膜／27顆微型鈦藻球
- 3.300w日光燈照160小時
- 4.放入9顆已製作好的海綿
- 5.將溶液以正己烷萃取（正己烷：混合液=1:2）
- 6.（檢測）放入分光光度計以225nm光波長測
- 7.（產電）加入基質和菌液，調成以往的比例

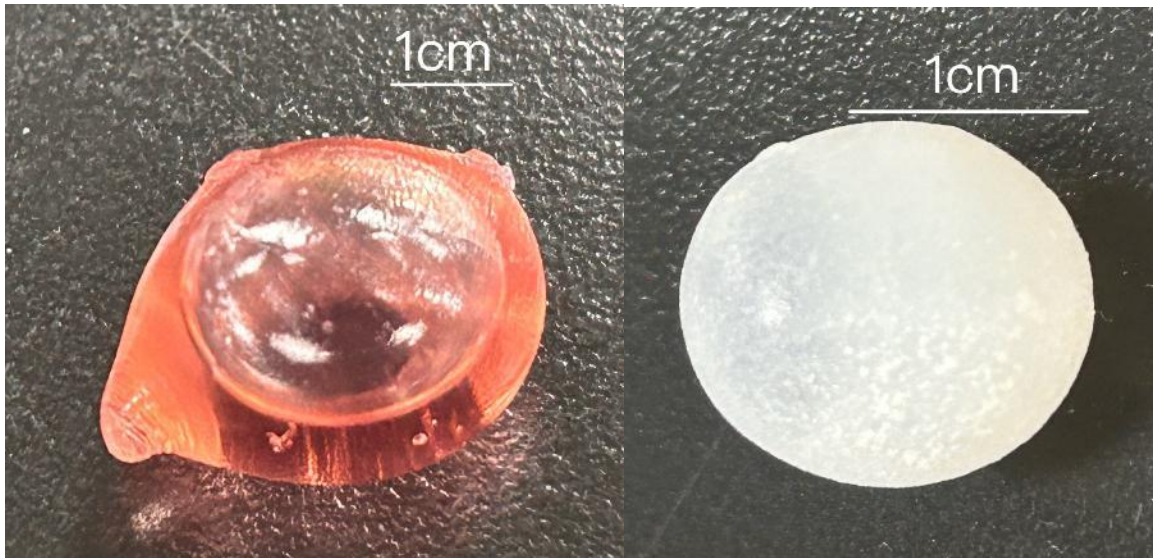
肆、研究結果

一、鈦藻球／膜的製作

（一）鈦藻球／膜製作過程

研究TiO₂—海藻酸鈉複合材料的過程十分波折，因為海藻酸鈉相關的文獻多半是食品方面的報告書，有關結構強度的文獻少之又少，做法也只有簡單地滴出成型。因此，我們只能自己試驗適合的製作方式以及材料比例，進行分解的時候會取重量相當的鈦藻材料進行照光分解。

1.鈦藻球／膜的外型製作



圖（八）鈦藻球雛形（添加紅色色素利於觀察） 圖（九）鈦藻球最終成品
（作者自行拍攝）

（1）鈦藻球（二氧化鈦—海藻酸鈉球形凝膠）

我們首先想到將海藻酸鈉凝膠做成球狀，但是第一代成品出來之後其形狀不規則，且製作成功率很低，無法批量製造，為了解決這個問題，我們想過要利用模具來固定他們的形狀，但又會導致模具開口的那面先凝固，依舊造成鈦藻球形狀和密度不規則。我們總結失敗的原因是因為液體具有流動性，無法在固定形狀的狀態下與另外一種液體接觸，因此，我們將液體變成固體，把海藻酸鈉溶液倒入模具中冷凍使其結冰，再放入乳酸鈣溶液中待其融化即可做出適當的球體。在水溫30度放下的後30分鐘往其中注入1ml空氣（如果要使鈦藻球球殼更加均勻，可以使用攪拌器使其凝固過程中內部液體均勻流動）。



圖（十）結冰的鈦藻球（作者自行拍攝）圖（十一）在冷凍模具中的鈦藻球
（作者自行拍攝）

經過最後確定了海藻酸鈉的適宜濃度為2%，濃度過低則豈不易在水中形成固定形狀，過高時折容易影響整體的透水性，使水不易與其中的 TiO_2 粉末發生反應。讓海藻酸鈉凝固的乳酸鈣濃度在4%以上時鈦藻球的凝固狀況較佳，如果濃度更低，凝固速度過慢，容易使內部尚未凝固的海藻酸鈉液體流出球體，使其不夠飽滿。

（2）鈦藻膜（二氧化鈦—海藻酸鈉薄膜形凝膠）



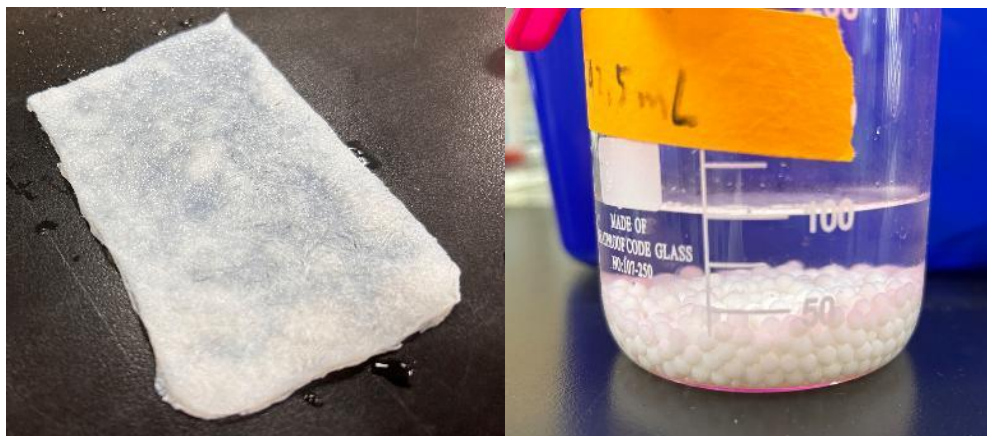
圖（十二）未凝固鈦藻膜（作者自行拍攝）

鈦藻球的接觸面積會影響到光催化反應的效率，因此我們打算提升表面積，改進材料對柴油的分解效率。我們先想到把形狀改成薄膜，提升材料的比

表面積。我們沿用之前用模具和冷凍定型的方式製作薄膜。長方形比圓形要好控制的多，但需要注意凝固時間不能過短且在凝固前不能將鈦藻膜翻面，因為背面接觸不到乳酸鈣水溶液，因此需等鈣離子慢慢滲透過去。此過程大約需要一個小時即可，之後將薄膜撿起來，裁剪至需要的大小。

(3) 微型鈦藻球

除了鈦藻膜外，我們嘗試縮小鈦藻球的體積，用滴定管滴出方法，快速製作多顆小球，但是形狀過小，沒辦法充氣，會沉在底部。



圖（十三）凝固鈦藻膜（作者自行拍攝） 圖（十四）凝固鈦藻球（作者自行拍攝）

（二）鈦藻球／膜成品參數

表（五）鈦藻球／膜各項參數（作者自行繪製）

項目	鈦藻球	鈦藻膜	微型鈦藻球
（直徑）長寬	1.5cm	7cm*4.5cm	0.5cm
（球殼）厚度	0.2cm	0.2cm	實心
體積	1.7671cm^3	6.3cm^3	0.06544cm^3
表面積	7.0686cm^2	67.6cm^2	0.7853cm^2
密度	0.5885g/cm^3	$\doteq 1\text{g/cm}^3$	$\doteq 1\text{g/cm}^3$
比表面積	$4.0001\text{cm}^2/\text{g}$	$10.7302\text{cm}^2/\text{g}$	$12.0003\text{cm}^2/\text{g}$

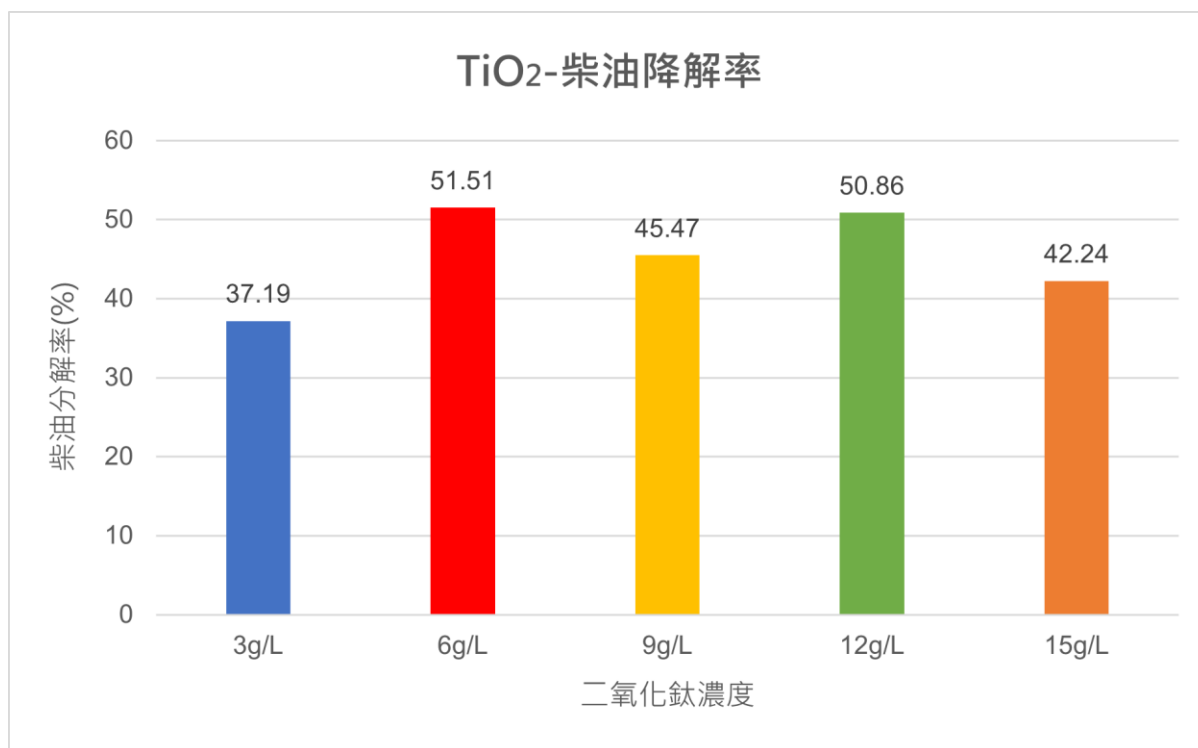
由表（五）的數據結果，比較各項參數，可知：

- 1.鈦藻球與鈦藻膜兩者的厚度差異並不大，皆為0.2cm，這是為了將厚度這一變因控制，以確保材料不會過厚使物質無法穿透。
- 2.比較三者的比表面積，鈦藻膜和微型鈦藻球的數值較鈦藻球大，由此可知，在相同厚度下，鈦藻膜和微型鈦藻球可接觸的表面積遠大於鈦藻球。
- 3.鈦藻膜和微型鈦藻球因為製作時無法注入空氣，因此密度相較於鈦藻球更大，無法穩定停留在水面與柴油反應，但鈦藻膜仍可以因其結構觸及水面，而微型鈦藻球則不易直接與柴油接觸，導致其無法完整發揮分解柴油的功能。

（三）鈦藻球／膜分解效率

影響分解效率的變因，主要有兩個方面：一方面是材料的形狀；另一方面，是材料的TiO₂濃度。我們分開進行了兩種變因的測試，皆是使用了分光光度法，將得到的Abs數據換算成柴油的分解率，得出了各自的最佳參數。

1.TiO₂濃度最佳濃度比較

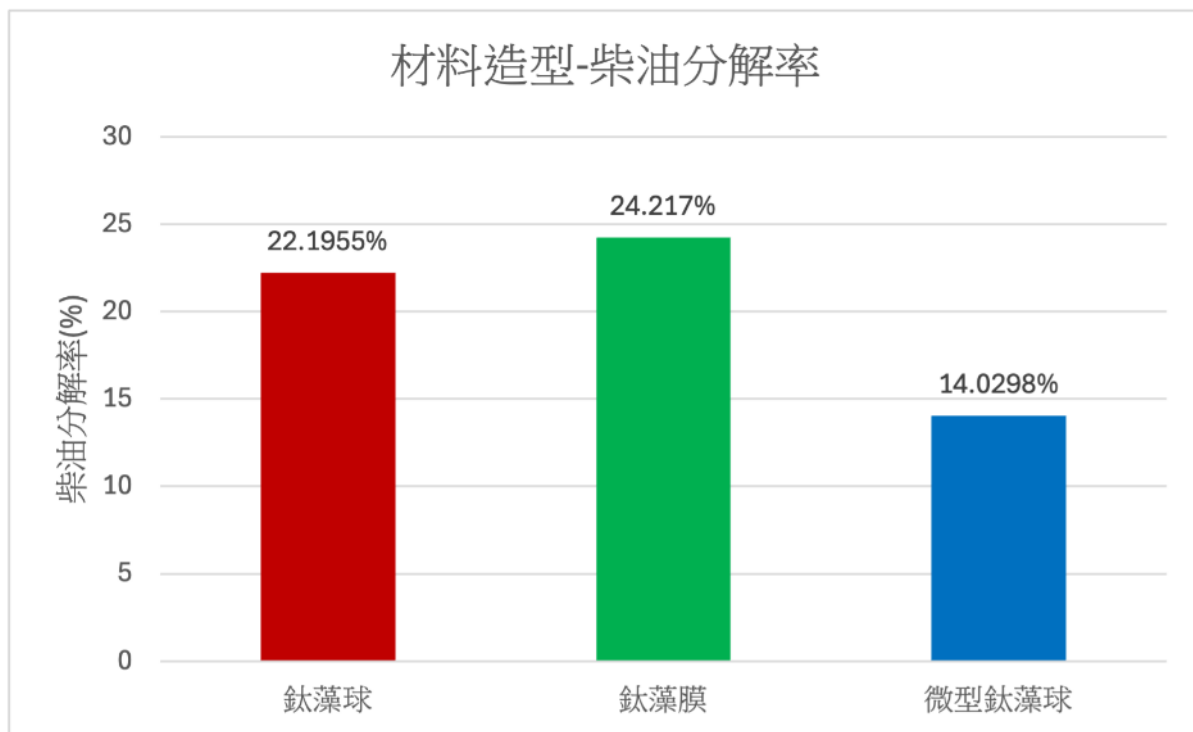


圖（十五）TiO₂濃度對柴油分解率的影響（作者自行繪製）

分析圖表（十五），觀察到TiO₂濃度對的柴油降解率的影響：

- （1）當濃度從3g/L升至6g/L時，柴油降解率明顯提升至51.51%，但濃度升至9g/L時降解率卻下降回45.47%，近一步將濃度升至12g/L，降解率又回升至50.86%，但濃度到了15g/L，又再次下降至42.24%。
- （2）比較五種濃度後，6g/L為最佳濃度，可以達到最佳的降解效果，其次則為12g/L，較接近最高值，後續我們會同時以這兩個濃度作為實驗組進行實驗。

2.海藻酸鈉凝膠造型比較



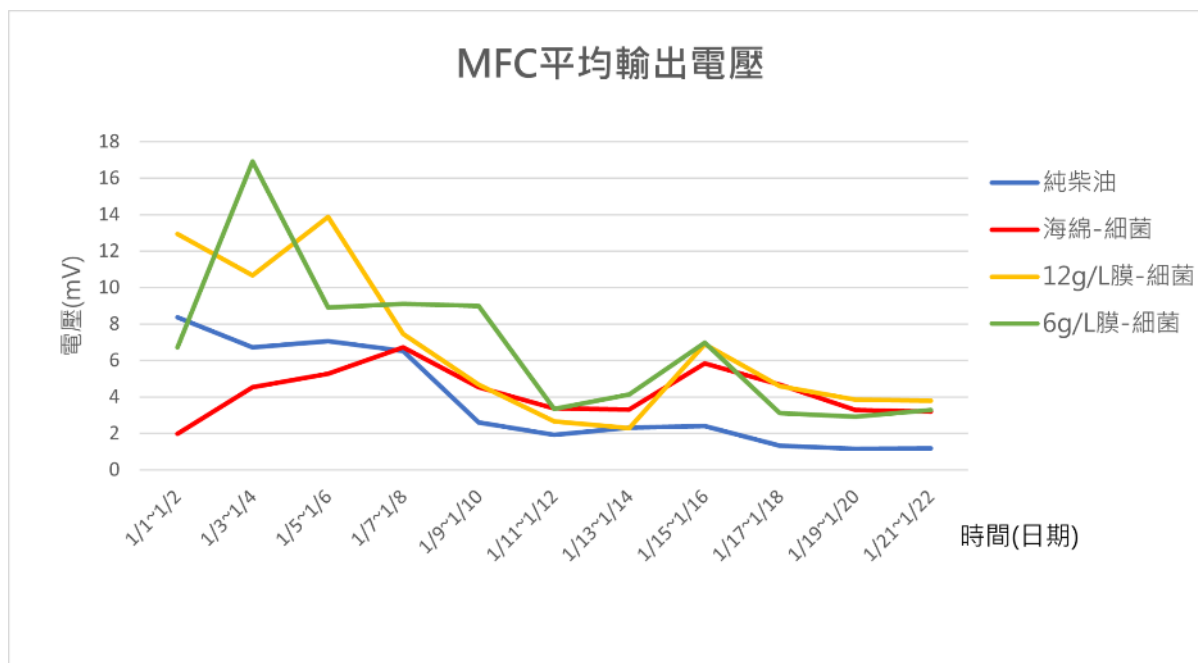
圖（十六）材料造型對柴油分解率的影響比較圖（作者自行繪製）

分析圖表（十六），觀察到材料造型對的柴油降解率的影響：

- （1）比較鈦藻球（22.1955%）以及微型鈦藻球（14.0298%）可知，雖然微型鈦藻球的表面積擴大，但是其分解效果並無較好，甚至沒有比過鈦藻球。
- （2）比較三種不同的材料造型，鈦藻膜的柴油降解效果（24.217%）為最高，其次則為鈦藻球(22.1955%)，後續將以鈦藻膜作為分解效果最佳的造型進行實驗。

二、MFC電壓分析

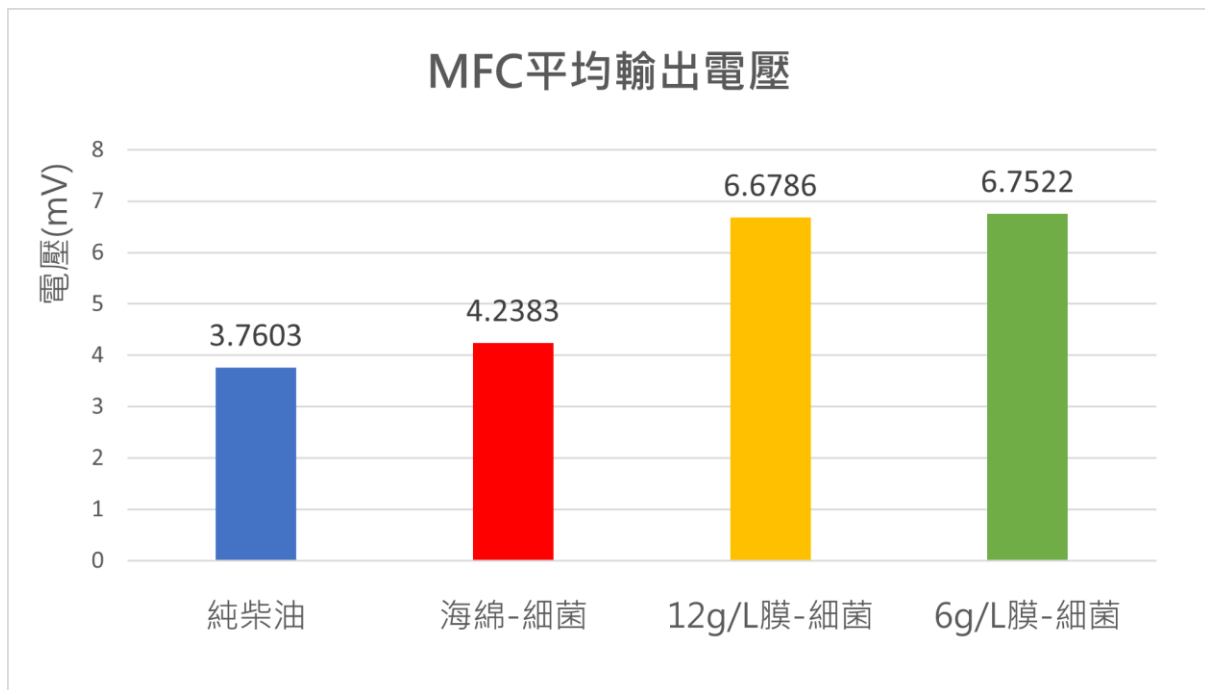
圖表中，「海綿—細菌」代表光催化部分使用海綿，光催化後的有提供給細菌進行二次分解；「6g/L—細菌」代表光催化部分使用6g/LTiO₂濃度的鈦藻膜，光催化後的有提供給細菌進行二次分解，以此類推。沒有「—細菌」表示該實驗組沒有經過在MFC中細菌分解這一環節。



圖（十七）MFC電壓記錄折線圖（作者自行繪製）

分析圖表（十七），觀察MFC1/1~1/22的電壓折線圖：

- 1.比較最初與最終的產電變化量，除了分解柴油-海綿有微幅上升，其餘三組皆下降。
- 2.6g/L-細菌初期輸出電壓表現良好，達到全部最高峰(16.90mV)，後期持續下降，到1/21~1/22輸出電壓表現與分解柴油-海綿相當。
- 3.分解柴油-海綿、12g/L鈦藻膜-細菌、6g/L鈦藻膜-細菌幾組經過預先分解的柴油使得輸出電壓皆大於只加純柴油的組別，表明預先分解後的柴油有助於細菌的生長。



圖（十八）MFC平均電壓比較圖（作者自行繪製）

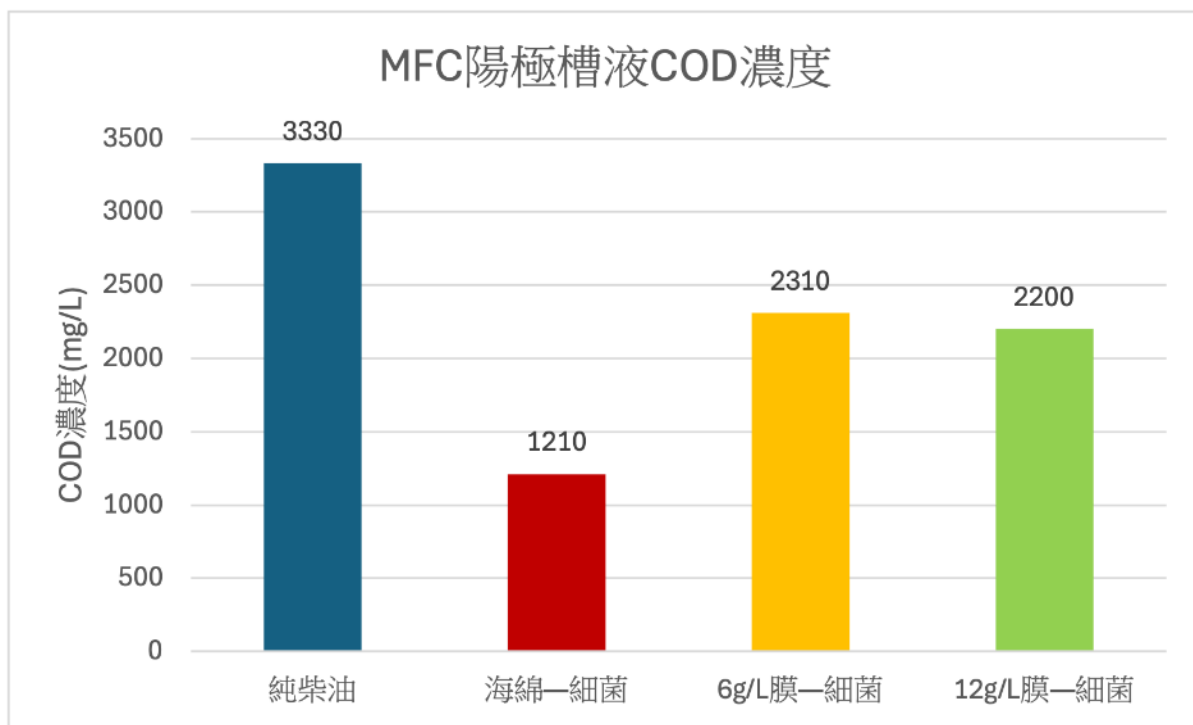
分析圖表（十八），觀察MFC平均電壓：

- 1.比較6g/L鈦藻-細菌(6.6786mV)與12g/L鈦藻膜-細菌(6.7522mV)的平均輸出電壓，雖然兩者的濃度不同，但電壓卻十分接近，由此可知，膜的濃度對於MFC產生電壓的影響並不大。
- 2.比較圖（十八）四種不同的組別，電壓最高者為6g/L鈦藻膜-細菌(6.6786mV)，其次為12g/L鈦藻膜-細菌(6.7522mV)，再來為海綿-細菌(4.2383mV)，最低的則是純柴油(3.7603mV)。

三、COD與GC數值的檢測

（一）柴油COD數值檢測

在本實驗中，我們使用COD（化學需氧量）來檢測經過分解的柴油水混合液，檢測其中的有機化合物含量，計算出光催化－MFC系統對柴油的分解效果。



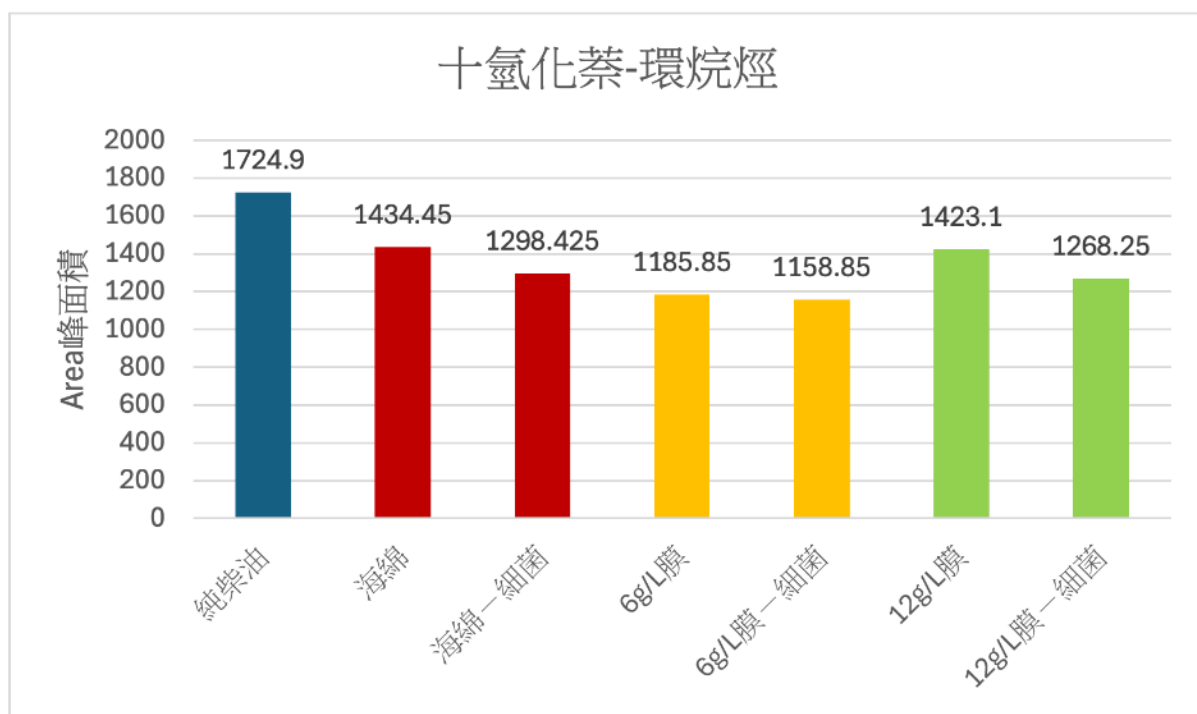
圖（十九）MFC陽極槽液COD濃度比較圖（作者自行繪製）

觀察各實驗組間的COD濃度數據，我們發現：

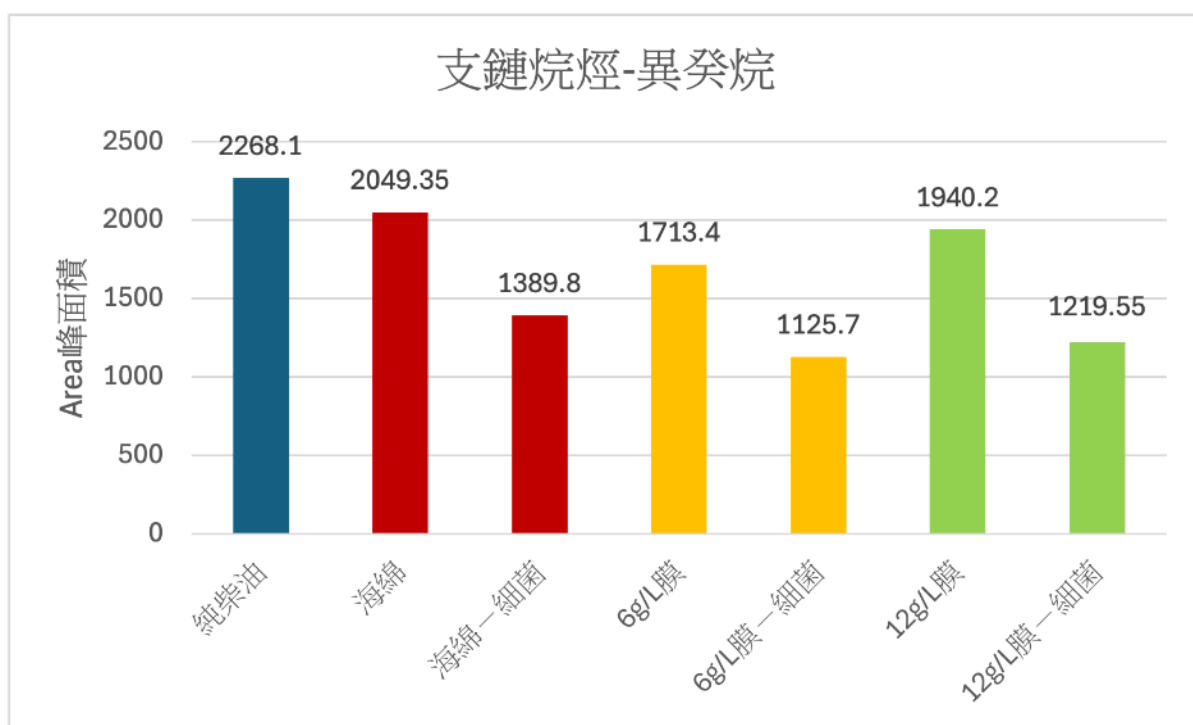
1. 首先，對比各組數據，有經過分解的三組實驗組COD濃度皆小於純柴油對照組，初步證明整套系統皆有分解柴油的能力。
2. 檢測完成之後，我們發現在這個檢測中，海綿—細菌的COD濃度反而較兩組鈦藻膜低。

（二）柴油GC（氣相層析法）檢測

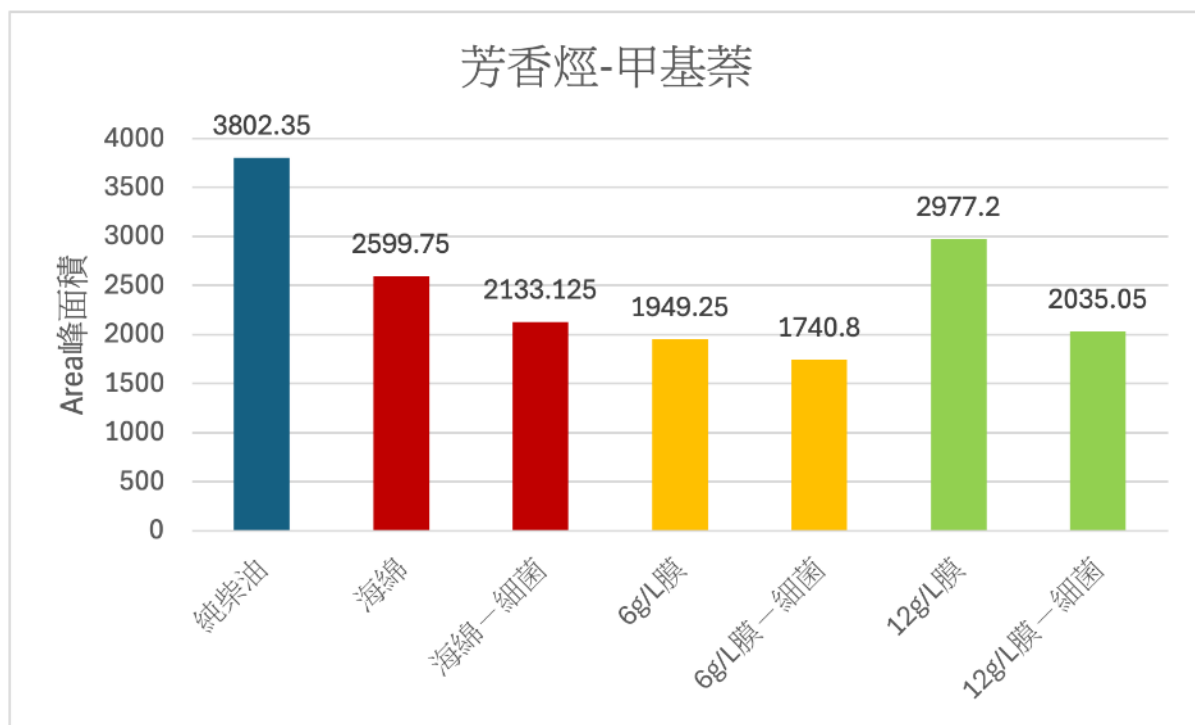
我們選出了幾種柴油中的有機化合物族類，透過對比他們的峰面積，推斷此實驗組對柴油的分解效果。圖（二十）、圖（二十一）、圖（二十二）為此物質在不同實驗組中的峰面積，對比他們可以得到他們之間的相對濃度關係，從而判斷出哪種變因下，分解柴油的狀況最好。



圖（二十）環烷烴數值比較圖（作者自行繪製）



圖（二十一）異癸烷數值比較圖（作者自行繪製）（作者自行繪製）



圖（二十二）甲基萘數值比較圖（作者自行繪製）

分析圖（二十）、圖（二十一）、圖（二十二）：

- 1.全部的組別中，6g/L—細菌表現出了最低的環烷烴、異癸烷以及甲基萘濃度，代表擁有有最好得分解效果。
- 2.相比起純柴油對照組，六個實驗組及表現出來分解柴油的能力，降低了溶液中與柴油相關有機化合物含量的，表示各個系統運作符合實驗預期。
- 3.綜觀所有實驗組，各組均表現出經過細菌分解後，剩於有機污燃物濃度都有進一步下降，表示整套系統如我們預測，展現出了光催化系統初步降解柴油，再由細菌進一步分解剩於有機污燃物。

伍、討論

一、鈦藻球／膜分解效率

(一) 濃度比較

5組不同濃度的TiO₂組別以6g/L柴油降解率最高(51.51%)，其次為12g/L(50.86%)，每種材料最適配的TiO₂濃度都不盡相同，因此鈦藻材料之最佳TiO₂濃度不同(TiO₂—PVB海綿為12g/L，鈦藻球／膜為6g/L)屬於正常現象。

(二) 造型比較

鈦藻球、鈦藻膜、微型鈦藻球3種造型，其中以鈦藻膜柴油降解率最高(24.217%)，降解效果最好，其次為鈦藻球(22.1955%)，再來為微型鈦藻球(14.0298%)。微型鈦藻球雖然比表面積較大，但是因為無法像一般鈦藻球注入空氣獲得浮力，浮在表層與柴油接觸反應，所以和其他兩者的柴油降解率具有明顯差異。

二、MFC電壓分析

(一) MFC1/1~1/22電壓紀錄

4組不同的電壓紀錄中，6g/L鈦藻膜-細菌與12g/L鈦藻膜-細菌在前期電壓的發展狀況良好，但到了後期便開始下滑至和海綿-細菌相似的電壓數值，電壓起伏較不穩定，可能是由於前期細菌降解過快，產生大量的代謝物，而使後期電子傳遞受阻。相反的，觀察海綿-細菌，電壓在前期的數值變化溫和，而後期則趨近於一個穩定狀態。

(二) MFC平均電壓

4組MFC平均輸出電壓中，以6g/L鈦藻膜-細菌(6.6786mV)為最高，而相比於純柴油，約提升79.57%的電壓；其次為12g/L鈦藻膜-細菌(6.7522mV)，升高了約77.61%；再來為海綿-細菌(4.2383mV)，只提升12.71%。因此我們得知材質對MFC產生電所的影響較大，推測可能是由於膜中具有機成分，提供細菌更適合的生存環境，而使其產生較海綿大的平均電壓。

三、COD與GC（氣相層析法）數值的檢測

(一) 柴油COD檢測

1. 比較添加海綿與否與不同濃度的TiO₂鈦藻膜對COD濃度的影響顯示，添加海綿的海綿-細菌組別COD濃度最低(1210mg/L)，降解效果最好。加入鈦藻膜的COD

濃度皆較加入海綿高表示分解效率不太好，與預期結果不符。但我們推測原因可能是因為鈦藻膜中海藻酸鈉中的有機成份讓COD濃度上升，而造成了數據不如預期，而不是鈦藻膜本身的分解效果不佳。

（二）柴油GC檢測

1. 我們挑選環烷烴、異癸烷、甲基萘的主要原因是這三類化合物的極性、沸點、結構差異明顯，，在GC分析中能夠被清楚分離，保留時間不會互相重疊，因此各類化合物不會互相干擾。（Rt：十氫化萘8.5 - 9.5min、正壬烷7.5 - 8.5、甲基萘11.5 - 12.5「數據取自NIST資料庫」）
2. 加入6g/L濃度的鈦藻膜在環烷烴、異癸烷以及甲基萘的GC數值最低，表示其濃度降解效果最佳。自此，6g/L濃度的鈦藻膜超越12g/L濃度的鈦藻膜，成為海藻酸鈉最佳TiO₂濃度。
3. 比較所有實驗組別，額外經過細菌分解過程的實驗組GC數值皆較只經過鈦藻膜分解的數值低，顯示除了經過光催化系統分解，經過MFC進行二次分解更有效降解其中有機污染物含量。6組實驗組GC數值皆小於純柴油，符合預期結果。

陸、結論

本實驗用海藻酸鈉凝膠和TiO₂，研製出載體材料可被自然分解的TiO₂光催化複合材料——鈦藻膜，並將初步分解的柴油水混合液，倒入微生物燃料電池MFC，使細菌能進行二次降解並同時發電，最終成功分解模擬出來的原油洩漏污染，使裝置本身達到永續發展以及聯合國SDGs中的保護海洋生命的目標。

- (一) 鈦藻材料的最佳TiO₂濃度為6g/L，最佳造型為膜狀——6g/L鈦藻膜
- (二) 經過預先分解的柴油可以被細菌分解，提升MFC的電壓
- (三) 6g/L鈦藻膜擁有比TiO₂—PVB光催化海綿更優秀的柴油去除率，且可自然分解，這是其他材料無法達到的。

實驗一開始以分光光度法，篩選出降解效果最好的TiO₂濃度6g/L膜狀實驗組，其名為6g/L鈦藻膜，但由於12g/L鈦藻膜的數據與其十分相近，因此將兩組都帶入後續實驗。測試MFC，初步分解的柴油水混合液相比於沒有分解過的柴油，確實使細菌產生的電壓升高，而鈦藻球／膜的平均電壓大於對照組TiO₂—PVB光催化海綿，可知經鈦藻球／膜分解後的柴油更有助於細菌生長。

最後使用COD檢測和GC檢測MFC陽極槽液中剩餘的柴油，因海藻酸鈉本身為有機材料，使COD檢測無法確認鈦藻球／膜是否有較好的分解效果。但GC檢測明顯表明，6g/L鈦藻膜中三項代表性的有機化合物含量，均與12g/L鈦藻膜、TiO₂—PVB光催化海綿拉開差距，分解最多柴油。自此可以下定論：**6g/L鈦藻膜為以最高平均電壓和最高分解效果，成為本實驗的最佳實驗組。**

未來我們將嘗試將海藻酸鈉製作成稀疏多孔構造，再進一步增大其表面，增強其分解能力的同時保留自身可被環境自然分解的優點。接著還將重複確認數據，找出我們實驗結果的精確度和準確度，提升我們實驗的可信度。同時，我們除了希望我們的實驗能實現SDGs第14項保育海洋生態，也希望我們能朝SDGs第7項「可負擔的永續能源」與第9項「永續工業與基礎建設」前進，現代能源需要乾淨又安全且穩定的發電方法，我們希望能放大微生物燃料電池的產電電壓及電量讓電池除了能幫助分解有機化合物之外也能成為另類環保且永續的能源來源，為需要用電的小型工業環境提供電力。

另外，我們在未來也將會加入更多貼近於海洋漏油的變因，讓模擬實驗能更貼近真實環境。像是原油的乳化問題，可以透過測試各種不同的破乳方法，讓環境因素不影響裝置分解效率，提供高準確值的實驗結果以及參考價值，並加強本研究對海洋污染問題應用的貢獻。

最後，希望本研究能夠被用於解決柴油和原油所帶來的水體污染以及關於海藻酸鈉凝膠材料的相關研究，為海洋及河川生態保護做出貢獻。

柒、參考資料及其他

1. 盧翊庭、陳宥君、黃柏澄。(2023)。這真是…鈦酷啦！奈米TiO₂-PVB光催化海綿的製作及建立降解柴油模型》112學年度台中市中小學科學展覽會作品說明書。
2. 郭雲(2020)。光催化与生物降解近场耦合协同作用强化方法与机制。〔學術論文，吉林大学〕。Baidu學術。
3. 范晏瑄, 張芸綺, & 吳書安. (2021, July 30). 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書. 國立台灣科學博物館科展資訊管理系統. <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/61/pdf/NPHSF2021-052403.pdf>
4. 《中油油管破裂致燃料油污染基隆河事件檢討報告》臺北市政府環境保護局 中華民國104年11月17日<https://www-ws.gov.taipei/Download.ashx?u=LzAwMS9VcGxvYWQvMzYzL3JlbGZpbGUvMTg2NTMvNTc2NDE2NC81MTIxMDE0MTk1NzEucGRm&n=NTeyMTAxNDE5NTcxLnBkZg%3D%3D&icon=.pdf>
5. 郭毓璞(2016年7月10日)海上漏油事件的處理--科學Online <https://Highscope.Ch.Ntu.Edu.Tw/Wordpress/?P=74329>
6. 簡孜翰(2016)。基隆港經降解菌之特性分析及其對柴油降解效率之研究。國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系。
7. 楊政憲、林彥妤(2013年8月20日)。小兵立大功～生物燃料電池的原理及應用。科學Online。 <https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=42863>
8. 環境部全國環境水質監測資訊網
9. Liu, C., & Liu, Hwai-Shen . (2011). *Rhodococcus Erythropolis Strain NTU-1 Efficiently Degrades and Traps Diesel and Crude Oil in Batch and Fed-Batch Bioreactors*. 46(1), 202 – 209. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.08.008>
10. D'Ugo, E., Bertuccini, Lucia , Spadaro , F., Giuseppetti , Roberto , Iosi , Francesca , Santavenere, F., Giuliani, Fausto , Gricia, M., Rodomonte, Andrea , Lovecchio, Nicola , Mukherjee, A., Bucci, Paola , Bruno, Milena , Stellacci, Emilia , Bernardo, A., & Magurano, F. (2021). *Electrogenic and Hydrocarbonoclastic Biofilm at the Oil-Water Interface as Microbial Responses to Oil Spill*. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117092>
11. Johnson, D. (2019). *Application of oil skimmers and absorbents for oil spill response*. Environmental Protection Agency.
12. Vega, L. (2020). *Absorbents in oil spill cleanup: Technology and applications*. Marine Pollution Bulletin, 58(9), 1243-1250. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.03.008>
13. Kumar, R., & Sharma, S. (2018). *Use of solidifying agents for oil spill treatment*. Journal of Hazardous Materials, 345, 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.10.013>
14. Cunningham, A., & Green, H. (2017). *Chemical dispersants and oil spill response*. Environmental Toxicology, 36(1), 28-35. <https://doi.org/10.1002/etc.397>
15. Smith, L., & Johnson, K. (2016). *Mechanical recovery of oil from water: Techniques and strategies*. Environmental Engineering Journal, 10(3), 88-92.

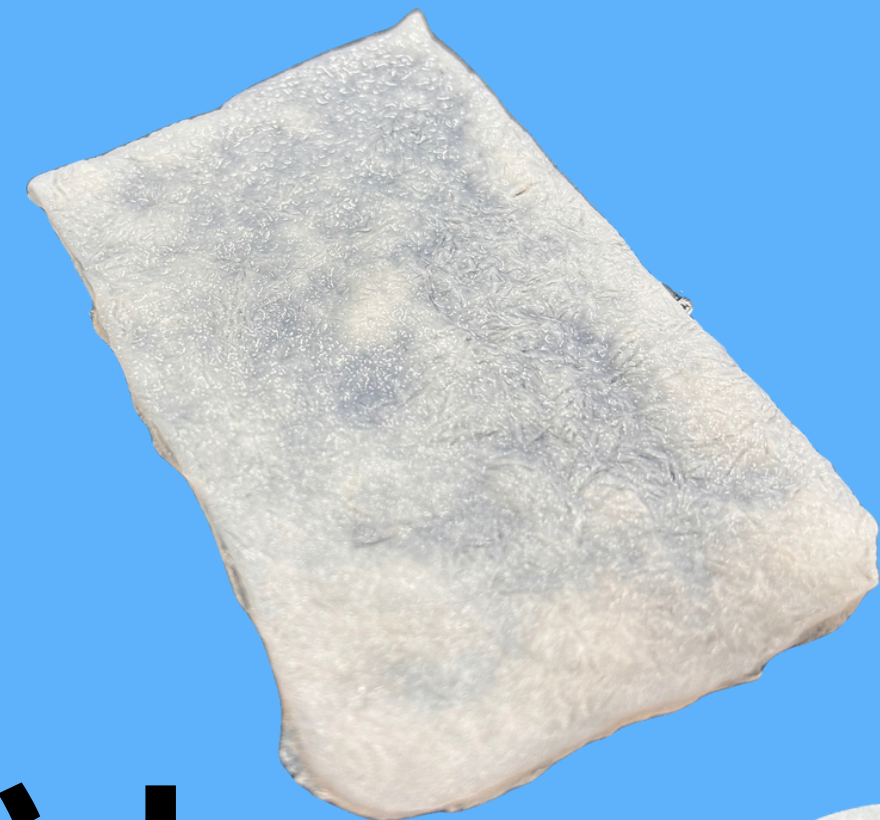
【評語】 052408

該研究以海藻酸鈉作為可自然分解之二氧化鈦光催化觸媒載體(鈦藻球)，將原油中之高分子有機污染物進一步分解成小分子有機物，並進一步將鈦藻球置於微生物燃料電池(MFC)中同時進行生物代謝與發電，實驗結果發現，鈦藻材料最佳 TiO_2 濃度為 6g/L，最佳造型為膜狀，6g/L 鈦藻膜較 TiO_2 —PVB 光催化海綿，具有更佳柴油去除率且可自然分解，研究成果兼具環境保護與應用價值，整體實驗設計發想與規劃契合主題。相較於現行處理方式，整體分解過程更加環保且能產生能源，透過兩階段處理降原油降解後，於 MFC 中的鈦藻球也可被細菌分解達到永續發展之目標。然微生物燃料電池(MFC)設計中，使用了哪些微生物，這也是此 MFC 微生物燃料電池技術重點，而這些微生物的選擇對於降解柴油的效率有何影響？或微生物被是否柴油毒化可為往後研究方向，另外如何評估光催化和微生物降解之間的協同效果？是否有進行相關的實驗來驗證這一點？實驗中選擇海藻酸鈉作為光催化載體材料？相較於傳統材料有何優勢？這些建議或許可以對此計劃有更一層改變或成果。

作品海報



鈦藻膜—環保光催化材料 結合微生物燃料電池之效能探討



摘要

為了解決原油洩漏造成的污染，我們自行研製出了二氧化鈦-海藻酸鈉小球（以下簡稱鈦藻球），併結合MFC微生物燃料電池技術，企圖解決此問題。本次實驗我們選了可自然分解的海藻酸鈉凝膠，替代文獻中塑膠海綿，使裝置的光催化部分完全對環境沒有危害。分解的過程中先利用TiO₂的光催化特性，將高分子有機污染物高效分解成小分子有機物，再由MFC微生物燃料電池分解無害的生物代謝產物，整個過程將相比起現行的處理方式，更加環保永續。**結果表明，鈦藻材料的最佳TiO₂濃度為6g/L，最佳造型為膜狀——6g/L鈦藻膜，可以降解柴油，提升微生物燃料電池的平均電壓。**

研究動機

我們的組員對環保充滿了興趣，上了高中之後，便決定以相關的題目出發制做科展，並從聯合國永續發展項目SDGs當中，選擇了與台灣密切相關的**第14項“保育海洋生態”作為我們的研究主題**，為台灣的環保事業出一份心力。實驗中的光催化技術在高一課本中有提到，可以透過照光加速分解有機污染物，正與我們的實驗不謀而合。在解決原油洩漏問題的同時，我們也希望材料本身也符合永續發展目標，這個材料最好是天然成分，查閱文獻我們選擇海藻酸鈉，這種在自然界中就存在的物質，用於實驗之中。我們同時還關注到微生物燃料電池MFC，它可以透過內部的細菌分解有機物並發電在移除污染物的同時，還能產生新的能源，讓化學和生物兩種方法共同作用，來將有機污染物分解成無害的物質，從而徹底解決原油洩漏的問題。做出一舉多得的複合型裝置。

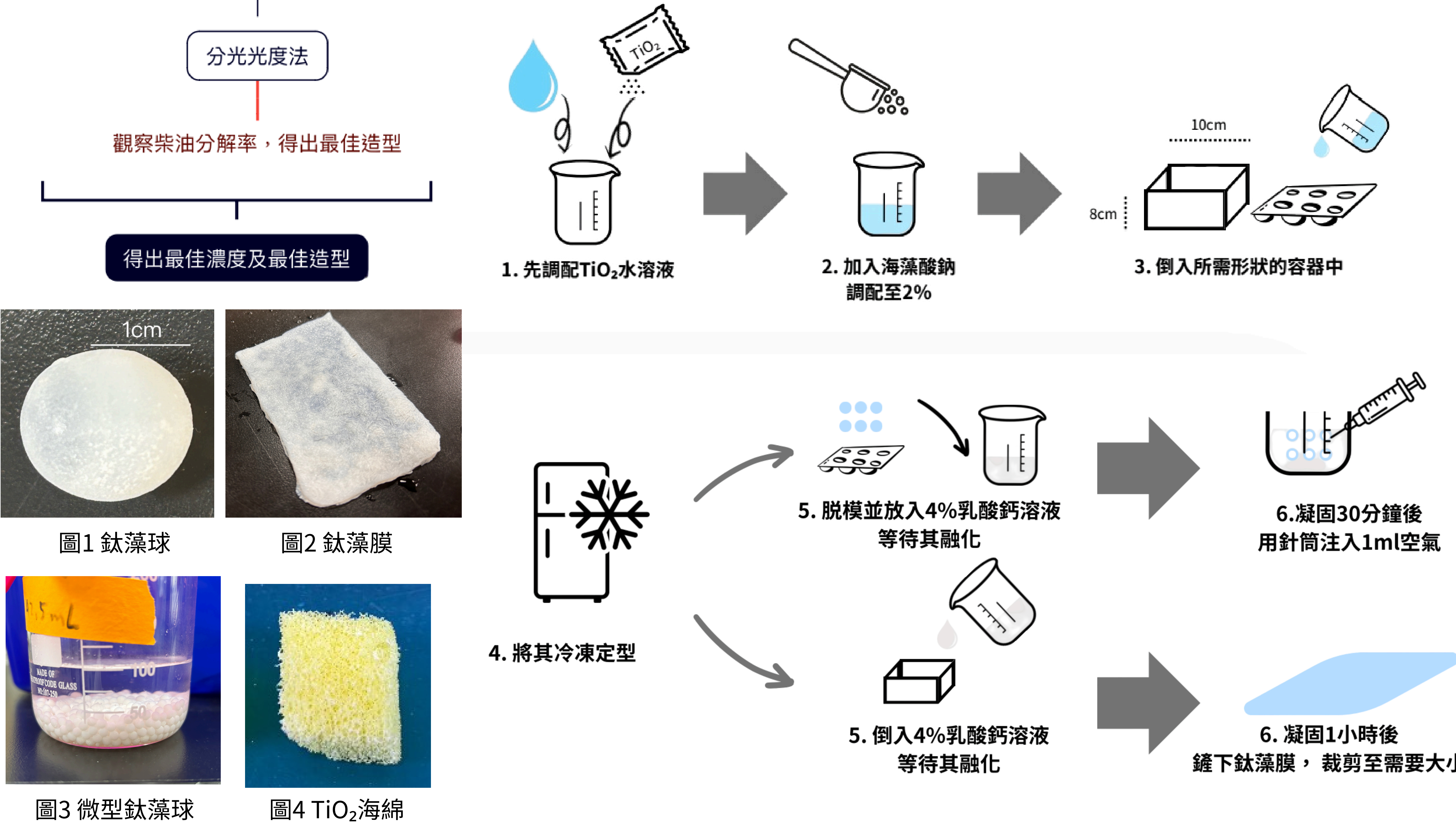
實驗過程與方法

實驗流程圖

以下圖片皆由作者自行繪製

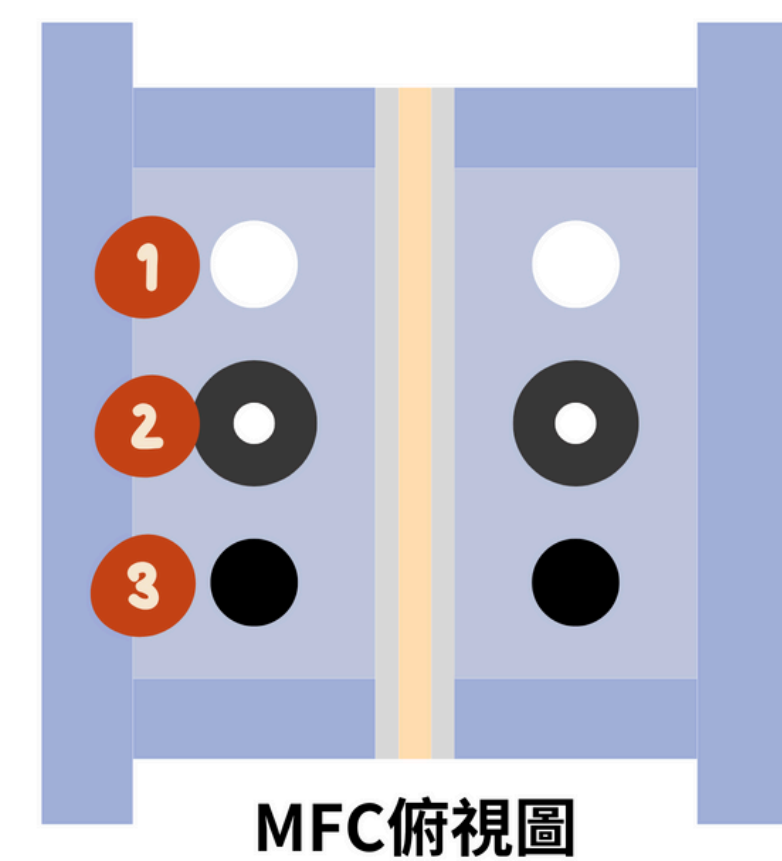
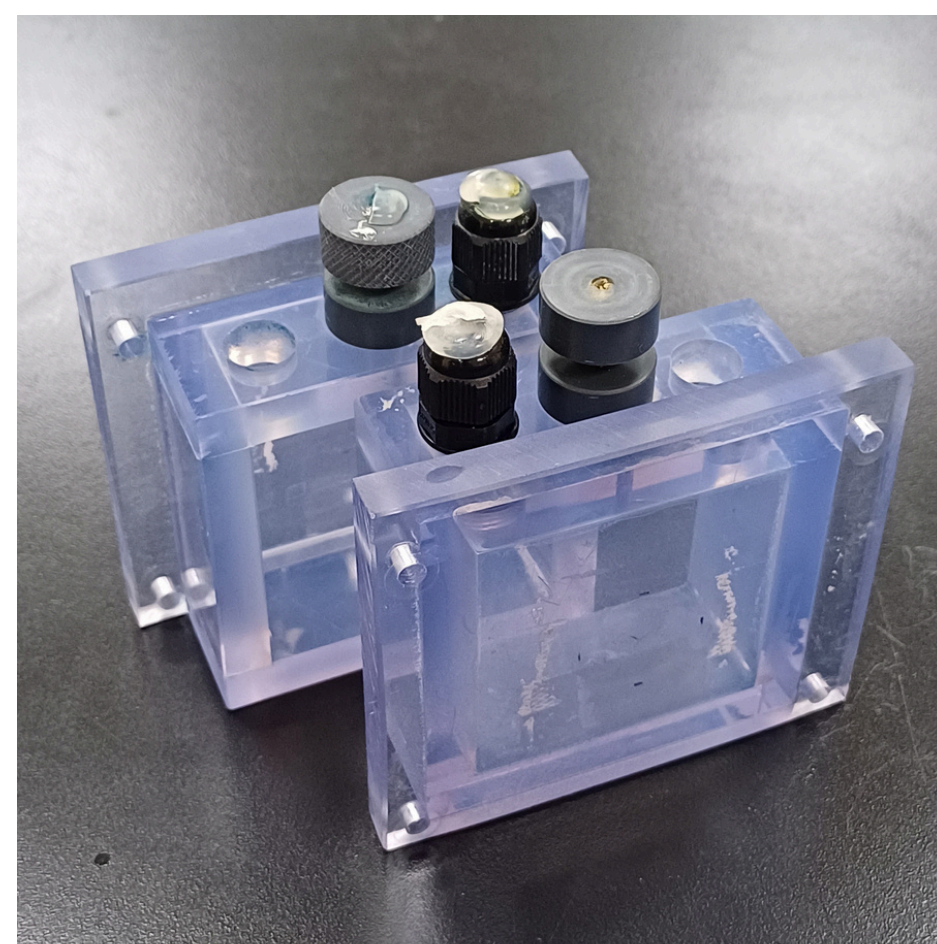


鈦藻球/膜的製作過程

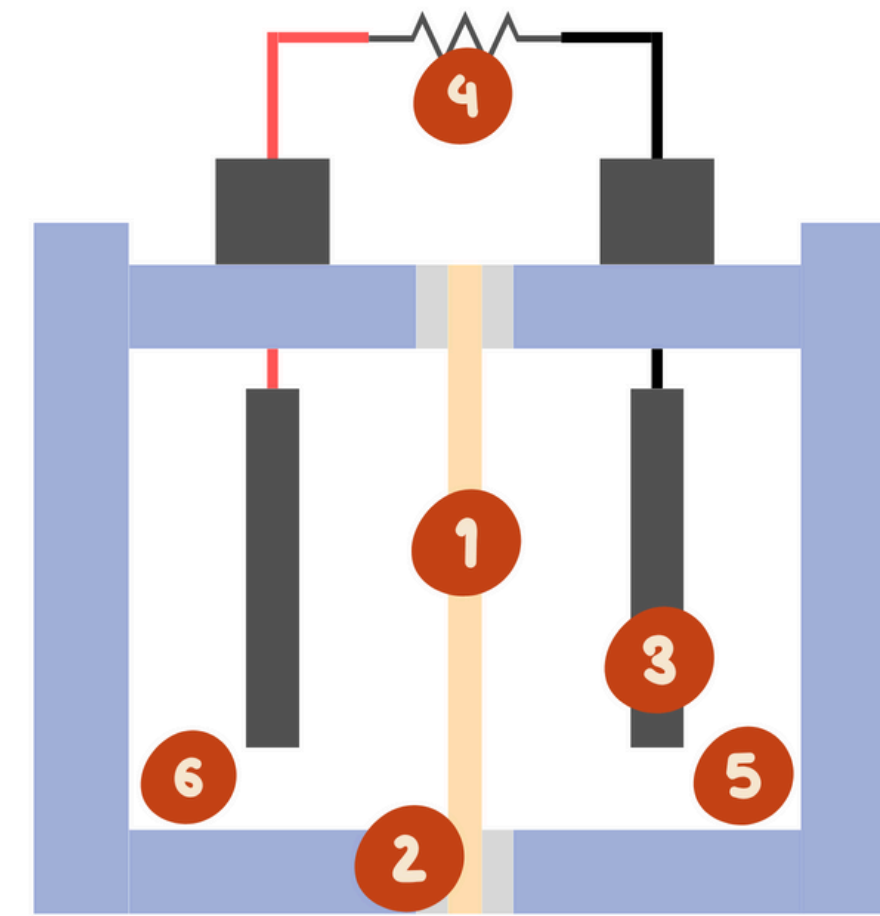
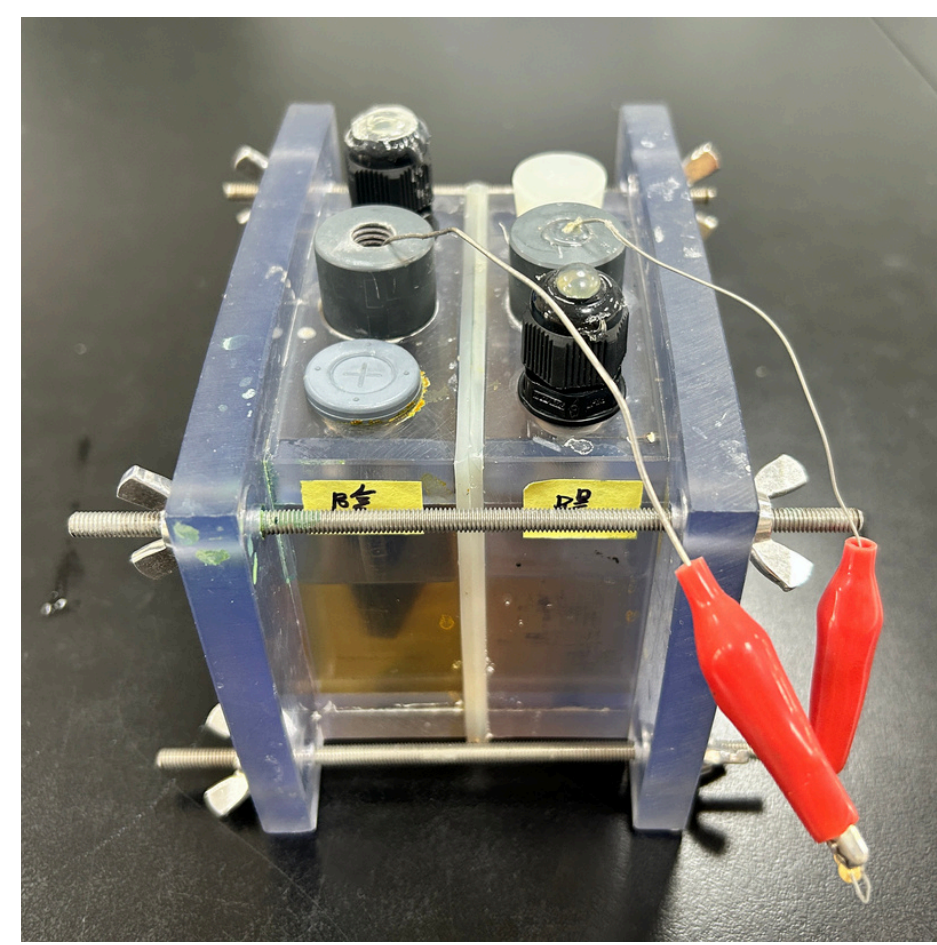


MFC實驗條件

- 1.在組裝之前，確保槽體已清洗並擦拭乾淨
- 2.將陽極槽部分除了電線孔與換料孔，其餘部分使用熱溶膠密封，以利後續為陽極槽製造厭氧環境
- 3.將乾燥的質子交換膜浸泡在5%鹽水內24小時
- 4.使用石墨板作為電極利用鈦線經過電線孔連接至外部並連接上100Ω之電阻
- 5.將左右兩部分槽體連帶密封膠圈與已浸泡之質子交換膜結合
- 6.利用螺桿與螺母鎖MFC使其整體得以固定
- 7.陽極加入菌群，陰極加入鐵氰化鉀



- 1 進料孔
- 2 電線孔
- 3 額外氣閥(無使用)



- 1 質子交換膜
- 2 密封膠圈
- 3 石墨板電極
- 4 電阻
- 5 陰極槽
- 6 陽極槽

圖5 MFC裝置視示意圖

研究結果

一、鈦藻球/膜分解效率

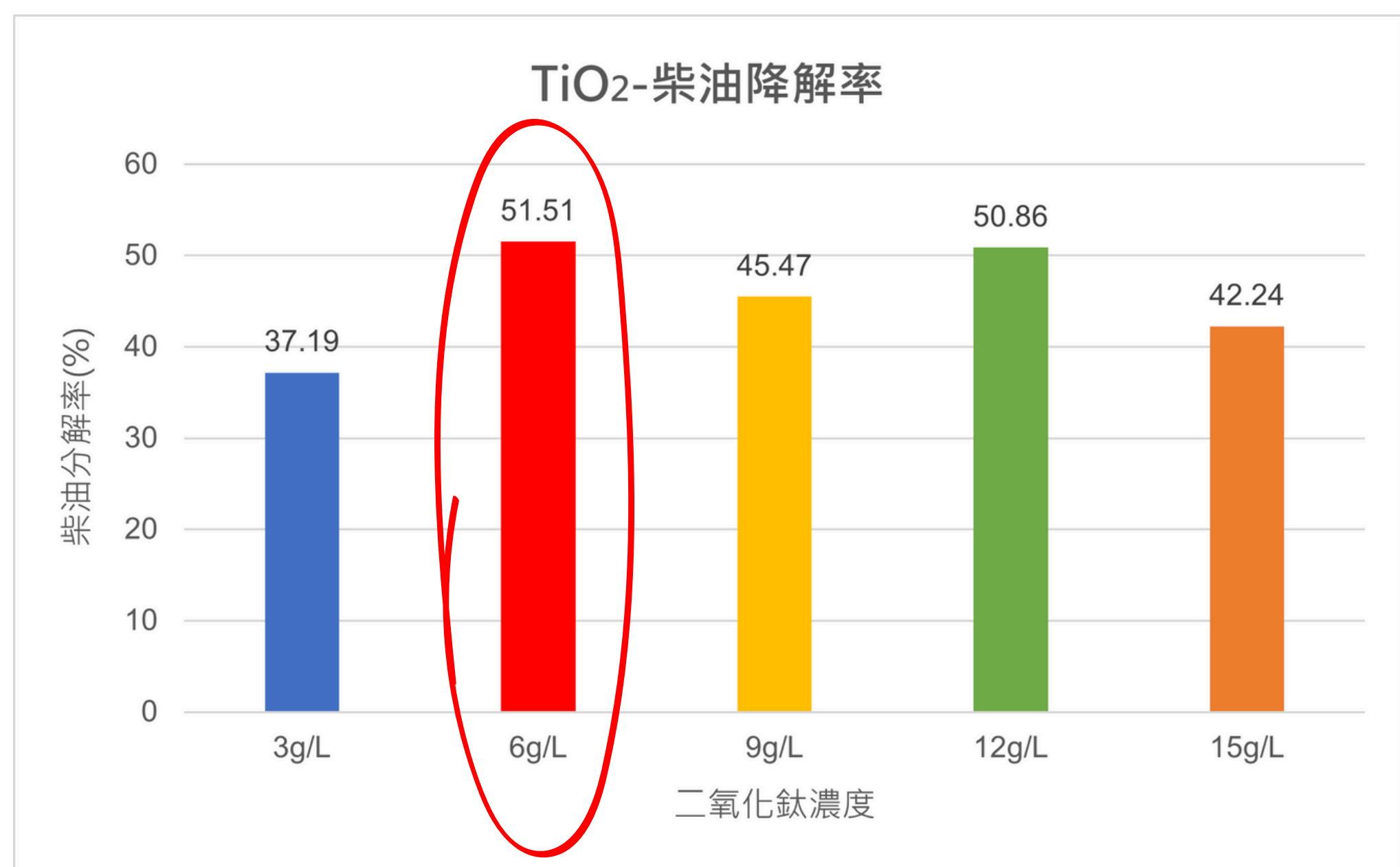


圖6 TiO₂濃度最佳濃度比較

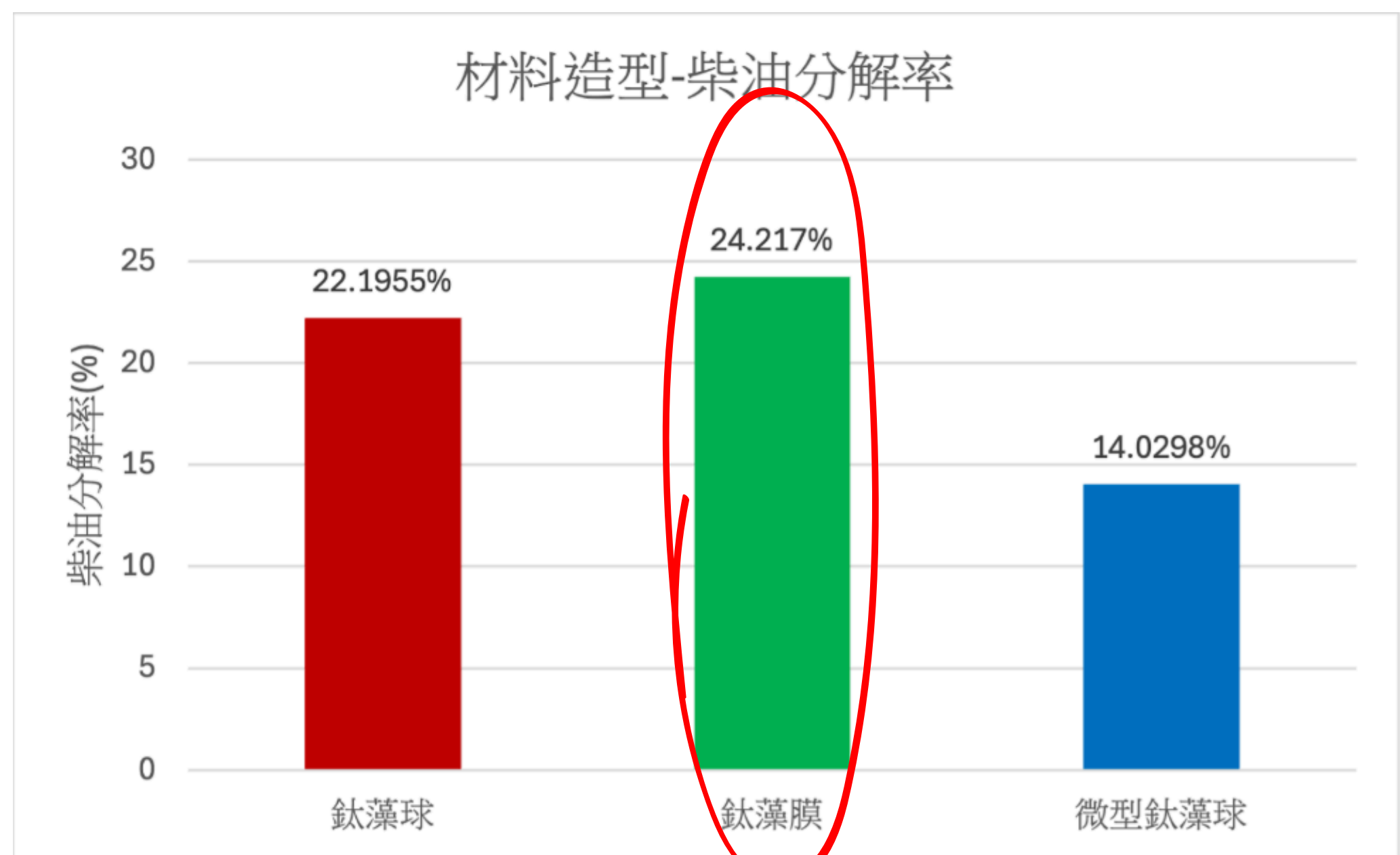


圖7 海藻酸鈉凝膠造型比較

- 1.當TiO₂濃度從3g/L升至6g/L時，柴油降解率明顯提升至51.51%，但濃度升至9g/L時降解率卻下降回45.47%，近一步將濃度升至12g/L，降解率又回升至50.86%，但濃度到了15g/L，又再次下降至42.24%。
- 2.比較五種濃度後，**6g/L為最佳濃度**，可以達到最佳的降解效果，其次則為**12g/L，較接近最高值**，後續我們會同時以這兩個濃度作為實驗組進行實驗。

- (1) 比較鈦藻球（22.1955%）以及微型鈦藻球（14.0298%）可知，雖然微型鈦藻球的表面積擴大，但因為無法浮在表層與柴油接觸反應，兩者的柴油降解率具有明顯差異。
- (2) 比較三種不同的材料造型，**鈦藻膜的柴油降解效果（24.217%）為最高**，其次則為鈦藻球(22.1955%)，後續將以鈦藻膜作為分解效果最佳的造型進行實驗。

二、MFC電壓分析

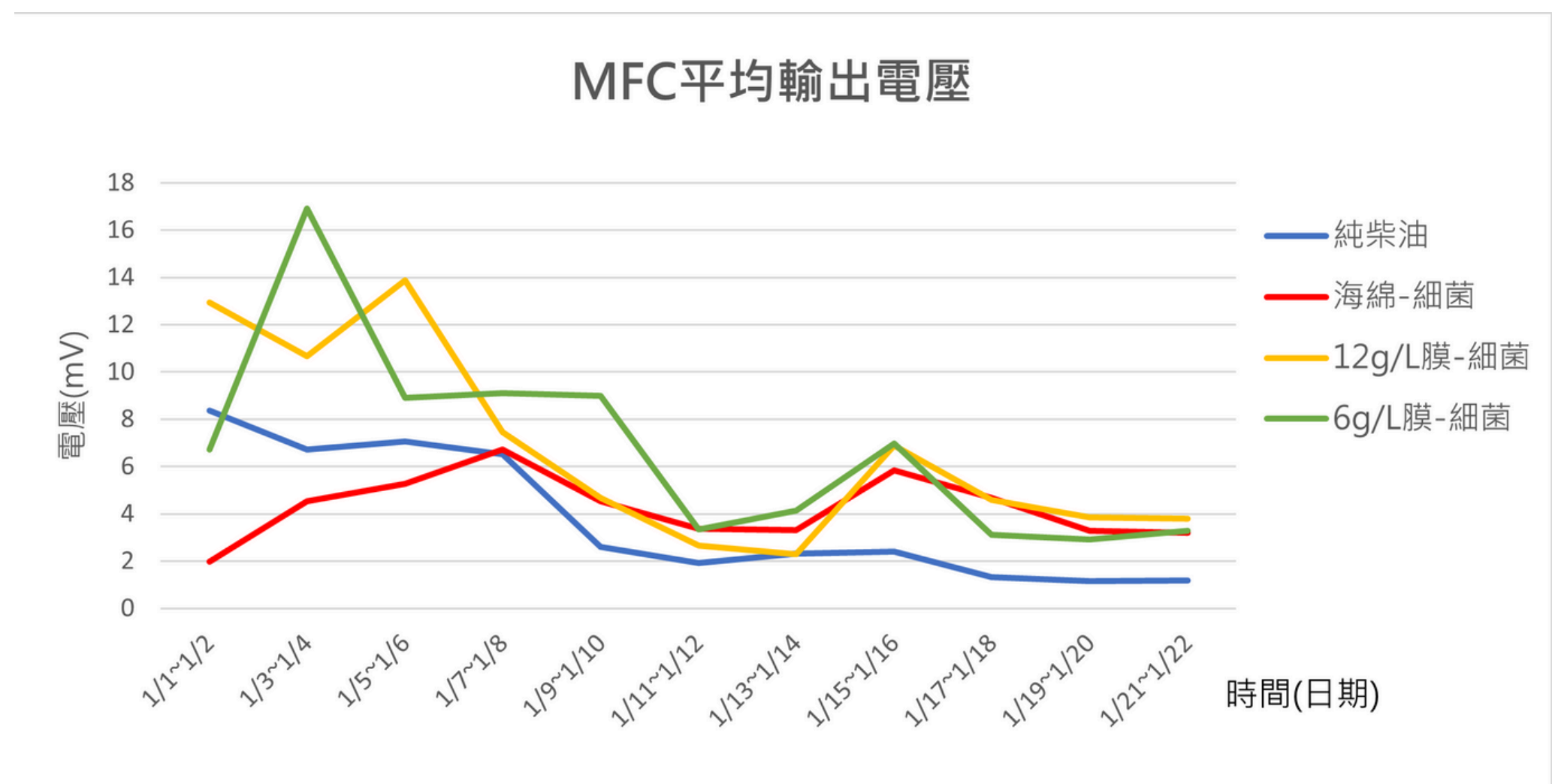


圖8 MFC電壓記錄折線圖

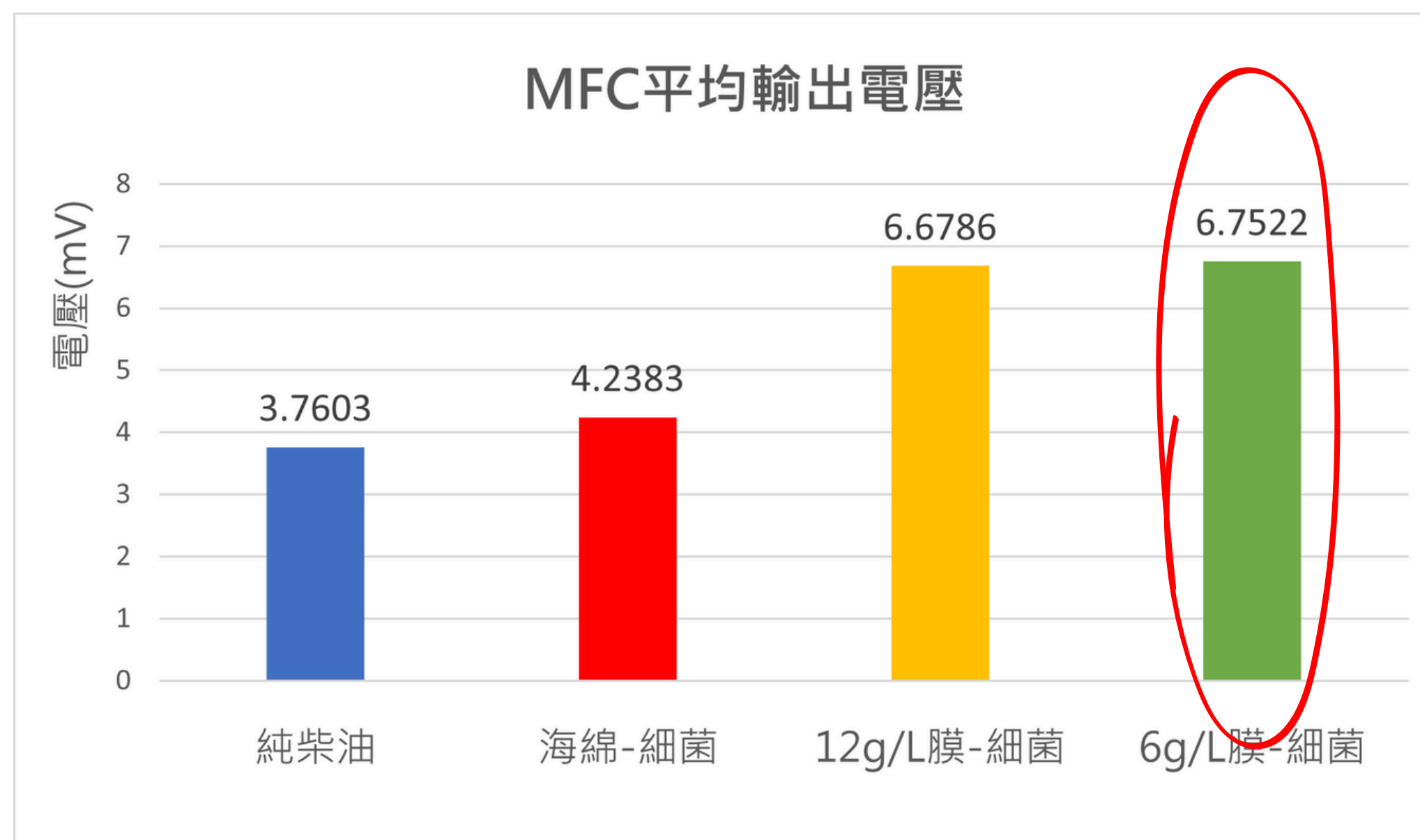


圖9 MFC平均電壓比較

- 1.比較最初與最終的產電變化量，除了分解柴油-海綿有微幅上升，其餘三組皆下降。
- 2.6g/L-細菌初期輸出電壓表現良好，達到全部最高峰(16.90mV)，後期持續下降，到1/21~1/22輸出電壓表現與分解柴油-海綿相當。
- 3.分解柴油-海綿、12g/L鈦藻膜-細菌、6g/L鈦藻膜-細菌幾組經過預先分解的柴油使得輸出電壓皆大於只加純柴油的組別，表明預先分解後的柴油有助於細菌的生長。

- 4.4組MFC平均輸出電壓中，以6g/L鈦藻膜-細菌(6.6786mV)為最高，其次為12g/L鈦藻膜-細菌(6.7522mV)，因此我們可以得知**材質對於MFC的電壓所產生的影響較大**，這可能是由於膜中具有有機成分，提供細菌更適合的生存環境，而使其產生較海綿大的平均電壓。

研究結果

二、COD與GC數值的檢測

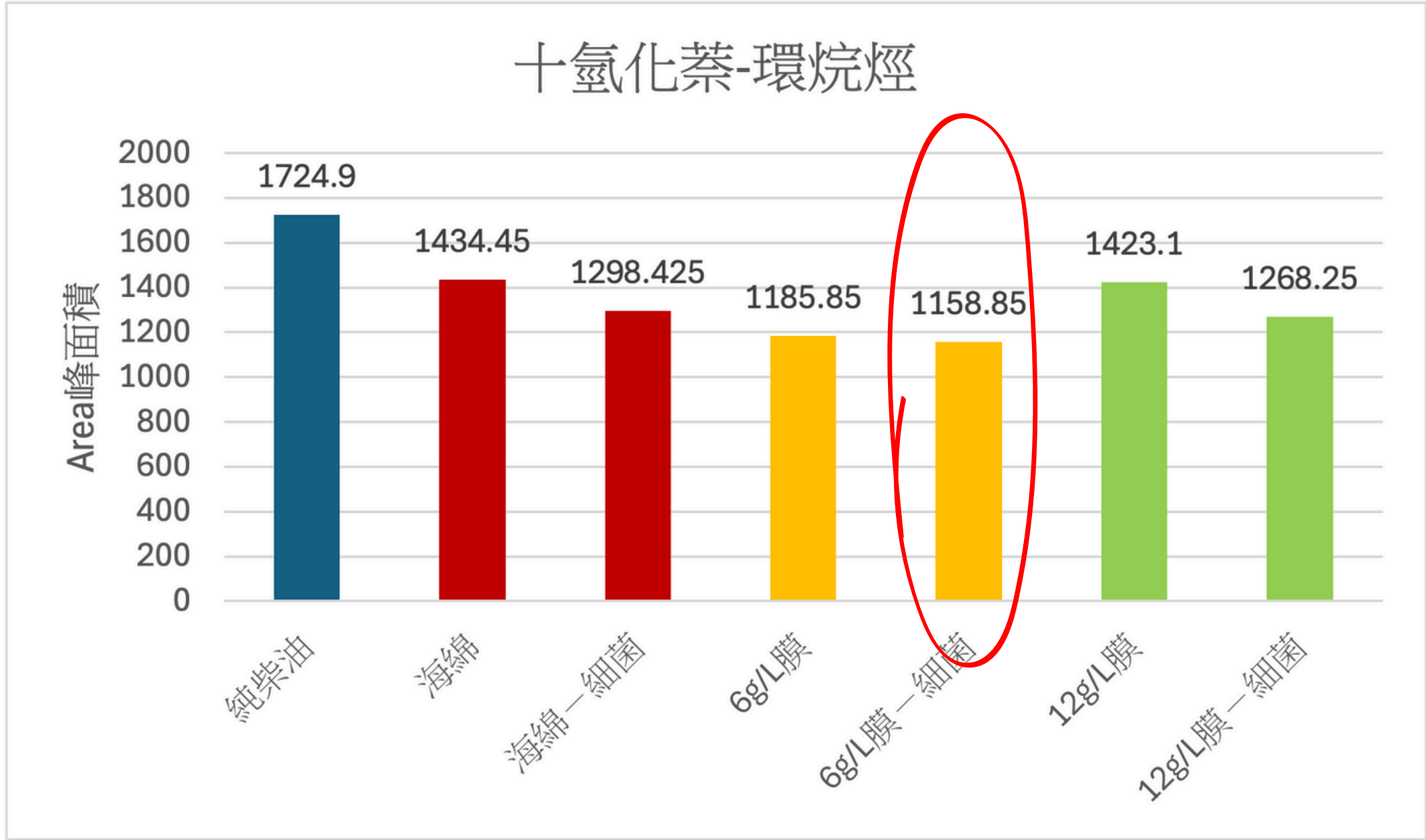


圖11 環烷烴數值

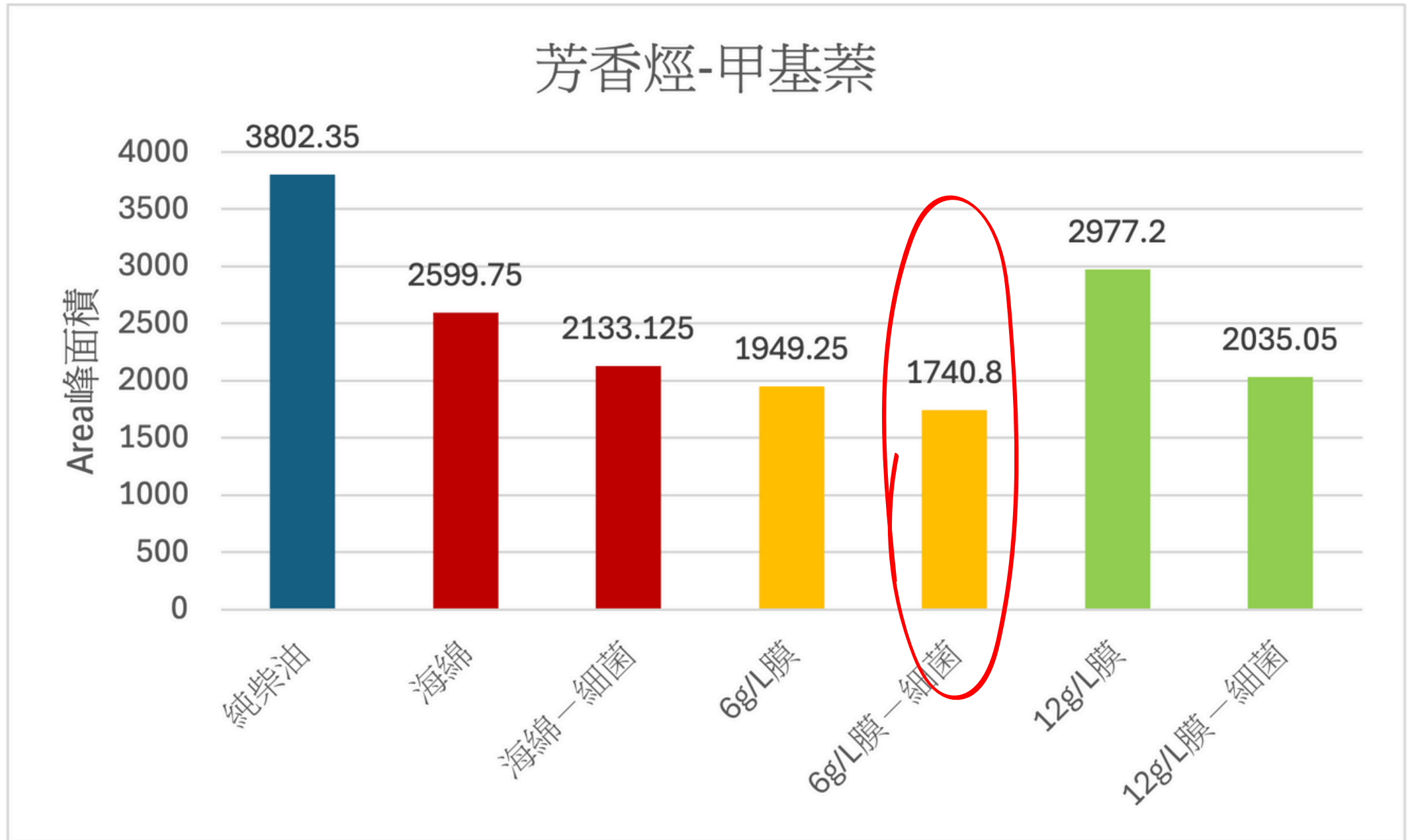


圖12 異癸烷數值

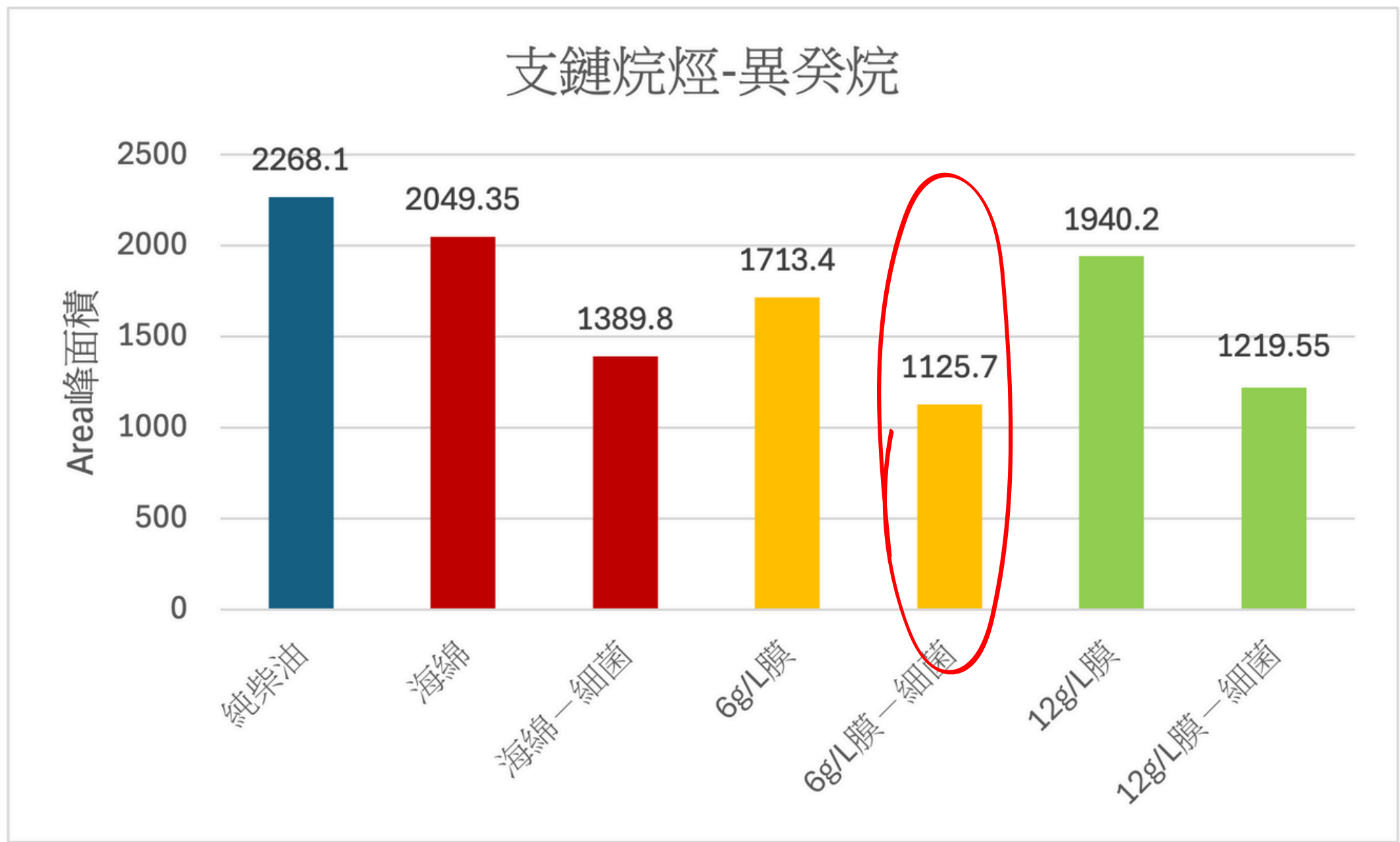


圖13 甲基萘數值

由圖10 的結果判斷：

比較添加海綿與否與不同濃度的TiO₂鈦藻膜對COD濃度的影響顯示，加入鈦藻膜的COD濃度皆較加入海綿高表示分解效率不太好，與預期結果不符。但我們推測原因**可能是因為鈦藻膜中海藻酸鈉中的有機成份讓COD濃度上升**，而造成了數據不如預期，而不是是鈦藻膜本身的分解效果不佳。

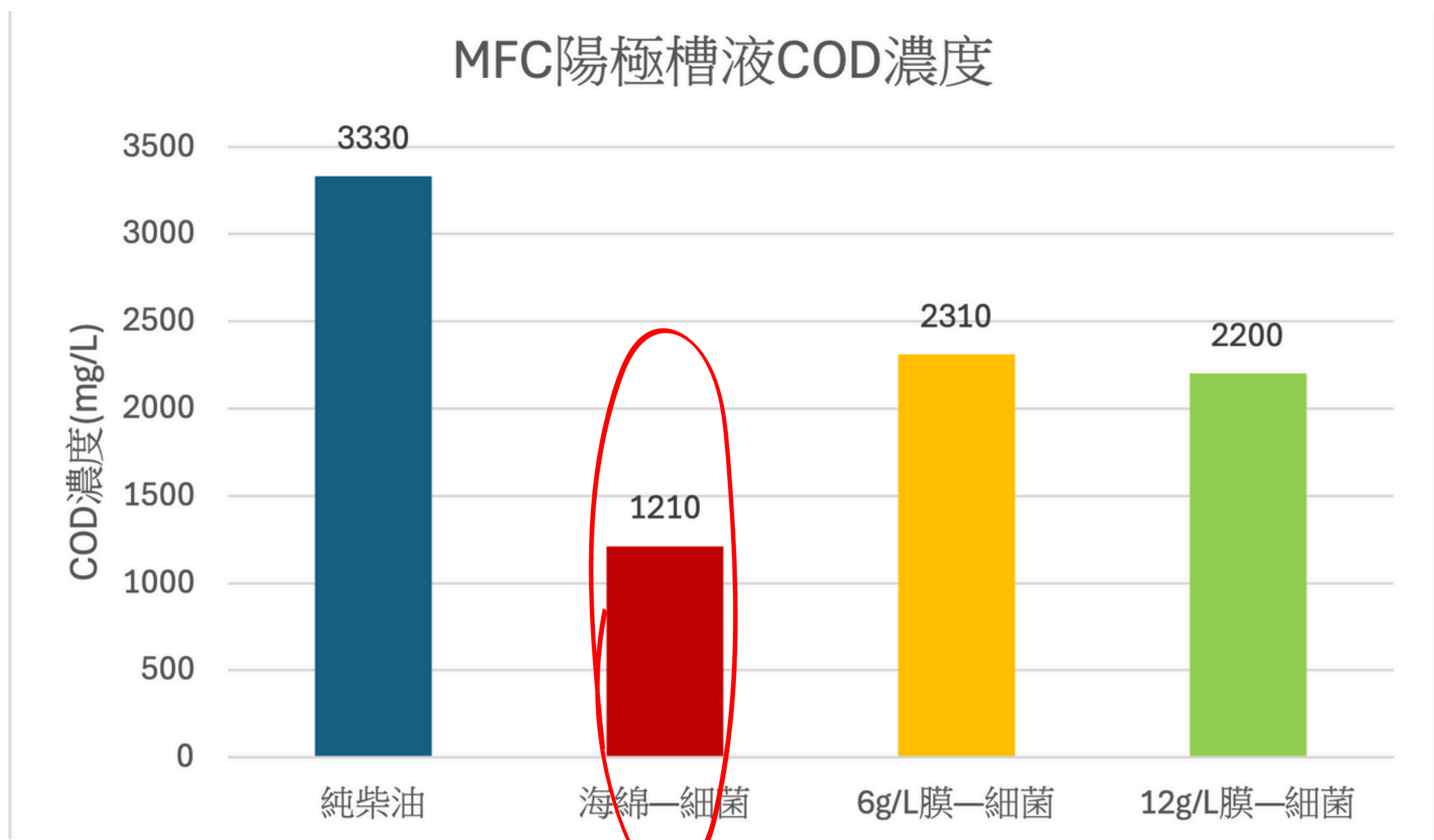


圖10 槽液COD濃度比較

圖11 、圖12 、圖13 顯示：

- 1.全部的組別中，6g/L—細菌表現出了最低的環烷烴、異癸烷以及甲基萘濃度，代表擁有有最好得分分解效果。
- 2.相比起純柴油對照組，六個實驗組均表現出來分解柴油的能力，降低了溶液中與柴油相關有機化合物含量的，表示各個系統運作符合實驗預期。
- 3.綜觀所有實驗組，各組均表現出經過細菌分解後，剩於有機污燃物濃度都有進一步下降，表示整套系統如我們預測，展現出了**光催化系統初步降解柴油**，再由細菌進一步分解剩於有機污燃物。

結論

本實驗用海藻酸鈉凝膠和TiO₂，研製出載體材料可被自然分解的TiO₂光催化複合材料——鈦藻膜，並將初步分解的柴油水混合液，倒入微生物燃料電池MFC，使細菌能進行二次降解並同時發電，最終成功分解模擬出來的原油洩漏污染，使裝置本身達到永續發展以及聯合國SDGs中的保護海洋生命的目標。

- （一）鈦藻材料的最佳TiO₂濃度為6g/L，最佳造型為膜狀——6g/L鈦藻膜
- （二）經過預先分解的柴油可以被細菌分解， 進一步提升MFC的電壓
- （三）6g/L鈦藻膜擁有比TiO₂—PVB光催化海綿更優秀的柴油去除率，且可自然分解，這是其他材料無法達到的。

未來展望

未來我們將嘗試將海藻酸鈉製作成疏鬆多孔的結構再進一步增大其表面， 增強其分解能力的同時**保留自身可被環境自然分解的優點**。 在後續的實驗中加入更多貼近於海洋漏油的變因，讓模擬實驗能更貼近真實環境， 並為適應環境找出對應的解方。接著還將重複確認數據， 找出我們實驗結果的精確度和準確度，提升我們實驗的可信度。在實驗能實現SDGs第14項保育海洋生態，也希望我們能朝SDGs第7項「可負擔的永續能源」與第9項「永續工業與基礎建設」前進，乾淨又穩定的發電方法。

參考資料

盧翊庭、陳宥君、黃柏澄。(2023)。這真是…鈦酷啦！奈米TiO₂-PVB光催化海綿的製作及建立降解柴油模型》112學年度台中市中小學科學展覽會作品說明書。

郭毓璞(2016年7月10日)海上漏油事件的處理--科學Online [Https：//Hightscope.Ch.Ntu.Edu.Tw/Wordpress/?P=74329](https://Hightscope.Ch.Ntu.Edu.Tw/Wordpress/?P=74329)

簡孜翰(2016)。基隆港烴降解菌之特性分析及其對柴油降解效率之研究。國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系。

D'Ugo, E., Bertuccini, Lucia , Spadaro , F., Giuseppetti , Roberto , Iosi , Francesca , Santavenere, F., Giuliani, Fausto , Gricia, M., Rodomonte, Andrea , Lovecchio, Nicola , Mukherjee, A., Bucci, Paola , Bruno, Milena , Stellacci, Emilia , Bernardo, A., & Magurano, F. (2021). Electrogenic and Hydrocarbonoclastic Biofilm at the Oil-Water Interface as Microbial Responses to Oil Spill.