

2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

普高組 成果報告單

題目名稱：當湖泊開始窒息，電解技術如何帶來生機？

一、摘要

本研究探討以電解法處理水體優養化的可行性，並比較直流電源與自製微型電池的去優養化效果。透過電解產生氯氣以破壞藻類，改善水質。實驗分為兩部分：(1) 使用直流電源，探討電解時間、電壓與食鹽濃度對效果的影響；(2) 使用自製電池，分析串聯電池數對去優養化效能的影響。以葉綠素 a 吸收度與 BOD₅ 作為水質指標。結果顯示，兩種電源皆能有效降低藻類濃度與 BOD₅，且自製電池串聯四顆以上即可達到與直流電源相近的效果，顯著改善水質；串聯電池數越多能使效果更顯著。

二、探究題目與動機

最近我們發現校園生態池水質混濁、表面覆蓋大量藻類，可能因優養化導致水質惡化。優養化是水中營養物質過多造成藻類大量增生的現象。(環境部，2020) 為改善水質並響應 SDGs 第 6 項「淨水與衛生」，我們決定研究處理優養化的方法。

由於去除水中營養物質較為複雜，我們從去除藻類入手。藻類的葉綠素易受氧化劑破壞，而氯氣是高效且易製備的氧化劑。在化學課中，我們學習到鹼氯工業透過電解法製備氯氣。因此，本研究計畫利用電解食鹽水產生氯氣，以殺死藻類，達成水質改善的目標。為提升研究的環保性，我們運用伏打電池原理，製作自製微型電池。此電池體積小，能有效減少化學藥品使用，符合綠色化學「防廢」原則，同時保留伏打電池電壓高的優勢。我們將優化電池功率，並應用於電解去除優養化的實驗中。

三、探究目的與假設

1. 目的

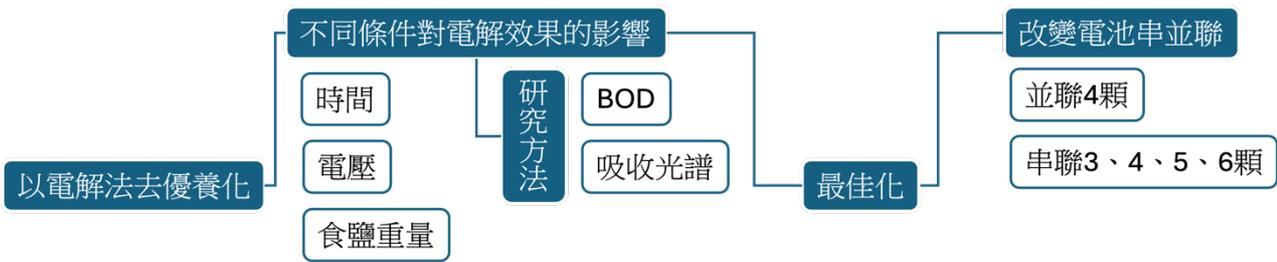
- I. 觀察電解時間、電壓、食鹽用量對電解效果之影響。
- II. 觀察電池串並聯的效果，及其能否成功用於電解去優養化。

2. 假設

- I. 已知 (1) 能量=電流×電壓×電解時間 ($E=IVt$)、(2) 導電度正比於離子濃度(The United States Pharmacopeial Convention, 2021)、(3) 勒沙特列原理：反應物越多，反應向右、產物越多。假設：食鹽用量越多，導電度與電流會越大；增加電流、電壓、電解時間能使電解效果更好。
- II. 根據克希荷夫定則，預測串聯電池組數越多，電壓越高、電解效果越好。我們使用 $Zn_{(s)} | ZnSO_{4(aq)} || KMnO_{4(aq)} | C_{(s)}$ 電池，單顆之電動勢為 2.27V、實測電壓 2.04V，而我們於實驗中所需要的最高電壓為 8V，預測當串聯個數四顆時，始能成功去優養化。
- III. 常用以判斷去優養化的方法：葉綠素 a 濃度，正比於 680nm 紅光吸收度 (農業科技決策資訊平台，2018) (張育唐、陳藹然，2011)、生化需氧量(Uddin, et al., 2021)，葉綠素 a 濃度越低 (吸收度越低)、生化需氧量越低則去優養化效果越好。

四、探究方法與驗證步驟

一、實驗流程



二、研究設備與器材

藻類、吸收光譜儀、測溶氧機、直流電源供應機、樣品瓶、鋁箔、15% 雙氧水、 MnO_2 、食鹽

三、實驗步驟

I. 不同條件對電解效果的影響

(A) 將樣品瓶內之優養化原液 15mL 與食鹽充分混合後接上電極 (筆芯)，以 7V 直流電源電解 5 分鐘。

(B) 以吸收光譜儀測量其吸收光譜。將 15% 雙氧水加入含 MnO_2 之集氣瓶使其產生氧氣，將對照組 1 (優養化原液)、對照組 2 (原液+食鹽)、實驗組 (電解後) 三瓶樣品瓶都通入氧氣，並控制三者之 DO_1 相同。

(C) 將樣品瓶密封後，再以鋁箔紙包覆避光，置入 30°C 恆溫箱五天後以測溶氧機測此時的溶氧量 DO_2 ，計算 BOD_5 。

(D) 以不同電解時長、電壓、食鹽重量電解，重複實驗。

II. 改變電池串並聯

(A) 將自製的微型電池以四個並聯為單位分別串聯 3、4、5、6 組

(B) 將優養化原液 15ml 與食鹽 3g 充分混合後分別接上電池組，電解 60 分鐘

(C) 分別以吸收光譜儀測量其吸收光譜並比較差異

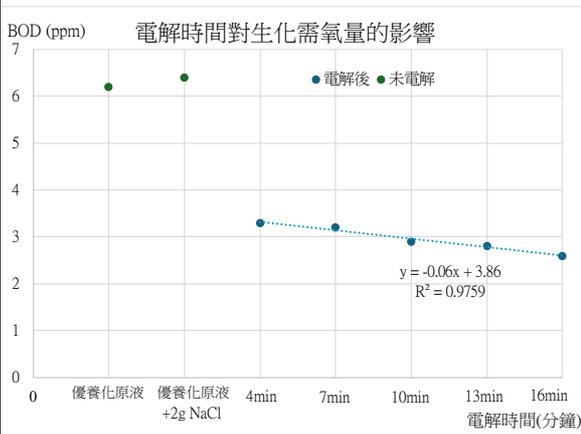
(D) 以能達到去優養化效果之最小電池數 (四顆)，與直流電源供應器之結果比較

四、實驗結果與分析

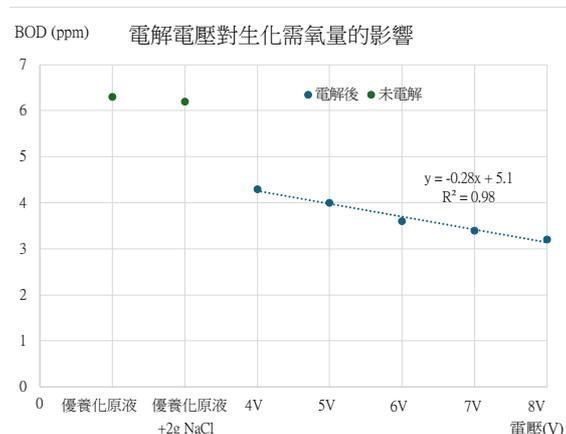
I. 不同條件對電解效果的影響

(A) 生化需氧量

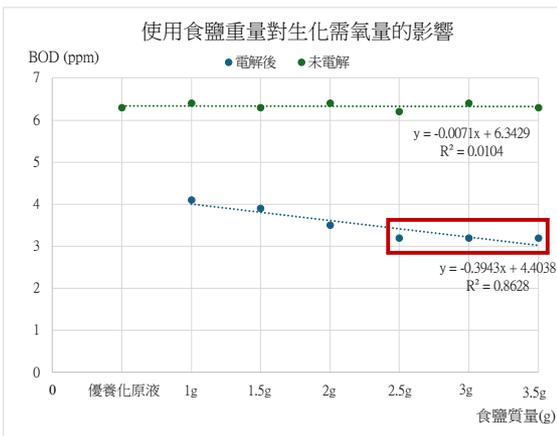
圖一、電解時間對生化需氧量的影響



圖二、電解電壓對生化需氧量的影響

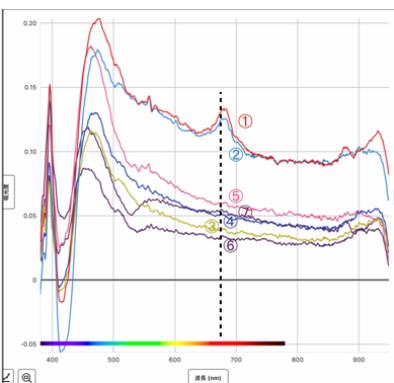


圖三、食鹽用量對生化需氧量的影響



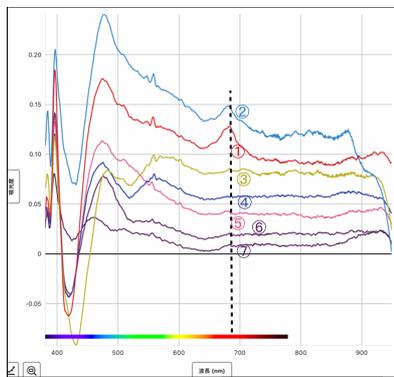
(B) 吸收光譜

圖四、電解時間對吸收光譜的影響



- ① 優養化原液
- ② 優養化原液+2gNaCl
- ③ 電解4分鐘
- ④ 電解7分鐘
- ⑤ 電解10分鐘
- ⑥ 電解13分鐘
- ⑦ 電解16分鐘

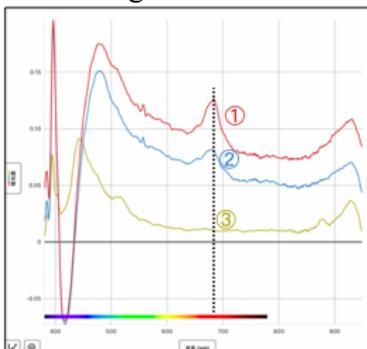
圖五、電壓對吸收光譜的影響



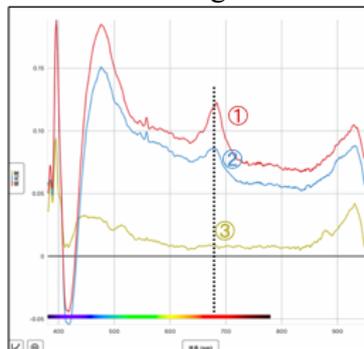
- ① 優養化原液
- ② 優養化原液+2gNaCl
- ③ 以4V電解
- ④ 以5V電解
- ⑤ 以6V電解
- ⑥ 以7V電解
- ⑦ 以8V電解

圖六、食鹽用量對吸收度的影響

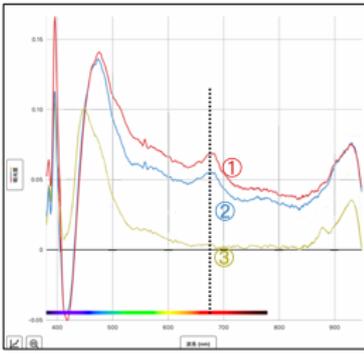
六-一、1g NaCl



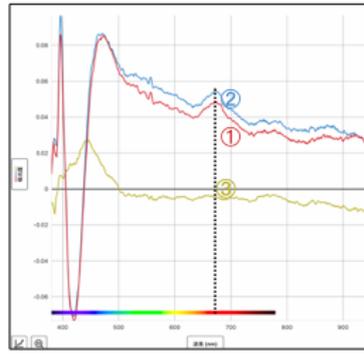
六-二、1.5g NaCl



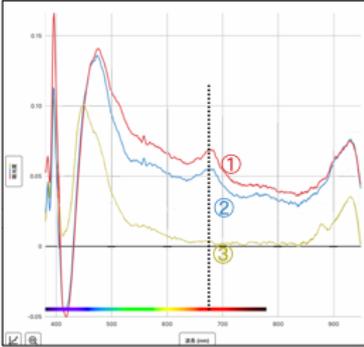
六-三、2g NaCl



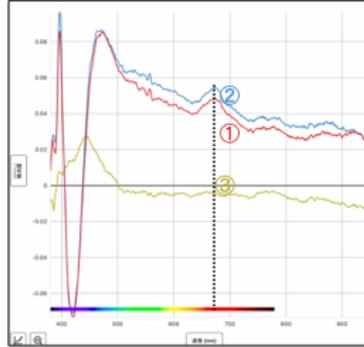
六-四、2.5g NaCl



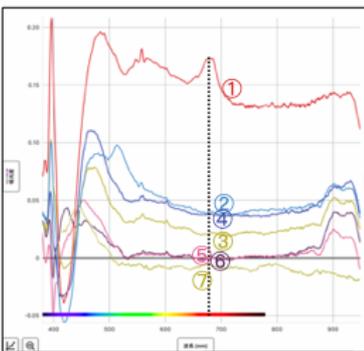
六-五、3g NaCl



六-六、3.5g NaCl



六-七、綜合比較



圖六-一至六-六中：

- ① 優養化原液
- ② 優養化原液+NaCl
- ③ 電解後

圖六-七：

- ① 優養化原液
- ② +1gNaCl電解後
- ③ +1.5gNaCl 電解後
- ④ +2gNaCl電解後
- ⑤ +2.5gNaCl電解後
- ⑥ +3gNaCl電解後
- ⑦ +3.5gNaCl 電解後

(C) 分析

從圖一至圖三可見，加入食鹽前後，BOD₅值並無明顯變化，且食鹽添加量的多寡亦未對BOD₅產生影響；然而，經電解處理後，BOD₅明顯下降。觀察圖四至圖六，在加入食鹽前後，樣品皆在波長 680 nm 處出現明顯吸收峰；電解後此吸收峰消失。由此可推論，單純添加食鹽無法有效去除藻類，而電解處理則具顯著去藻效果。

圖一顯示，電解時間、電解電壓與食鹽用量皆與 BOD₅呈負相關，即時間越長、電壓越高、食鹽越多，去除優養化的效果越顯著。從圖五與圖六中也可發現，電壓升高與食鹽用量增加皆使對 680 nm 紅光的吸收度降低，顯示去優養化效果提升；但圖四中顯示電解時間與吸收度之間無明顯關聯，推測可能是因電解時間過長導致雜質生成，進而影響觀測結果。

根據公式 $E = IVt$ 可知，電解時間越長、電壓越高，輸入的總能量越多，產生的氯氣也越多；而食鹽作為反應物，其用量增加亦有助於提高氯氣產量，因此可增強去優養化效果。此外，在電解過程中觀察直流電源供應器電流時發現，添加食鹽越多，溶液的導電度越高。由於導電度與溶液中離子濃度呈正比 (The United States Pharmacopeial Convention, 2021)，因此電流也隨之升高。綜合上述，根據 $E = IVt$ 的推論，食鹽用量增加亦有助於提

升電解效率與去除藻類的效果。

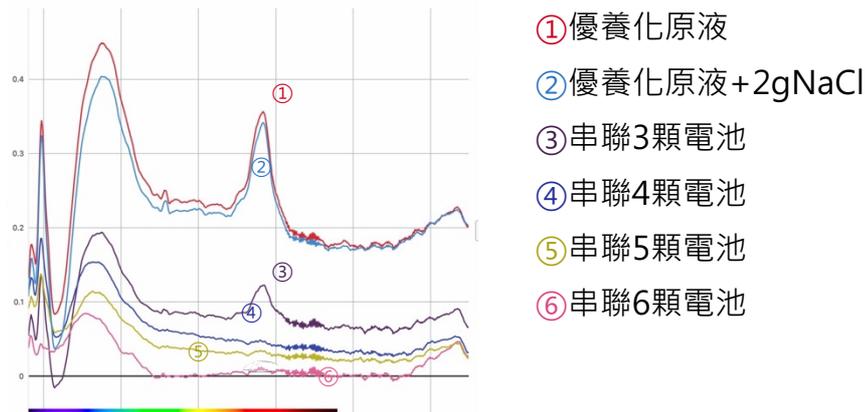
在圖三中可觀察到，當食鹽用量超過 2.5g 時，BOD₅值未再顯著下降；在圖六中亦顯示，當食鹽用量超過 2.5g 後，對 680 nm 紅光的吸收度差異極小。這表示當食鹽添加量達到 2.5g 以上時，進一步增加食鹽對去優養化效果的提升已不明顯。

推測其原因：當食鹽用量達到 2.5g 時，溶液中大部分藻類細胞已遭電解破壞，因此藉由進一步增加反應物（食鹽）並未產生更多氯氣或強化去藻效果。

II. 自製電池串並聯

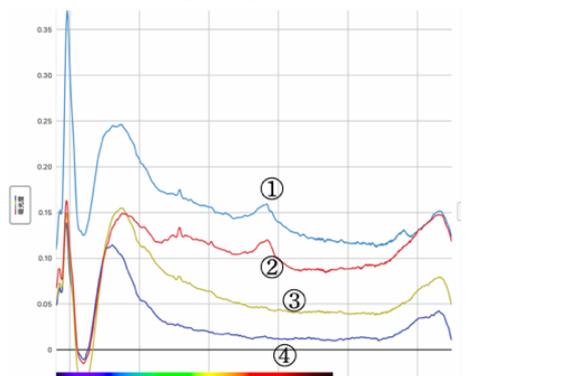
(A) 串聯電池個數

圖七、串聯電池個數對吸收光譜的影響

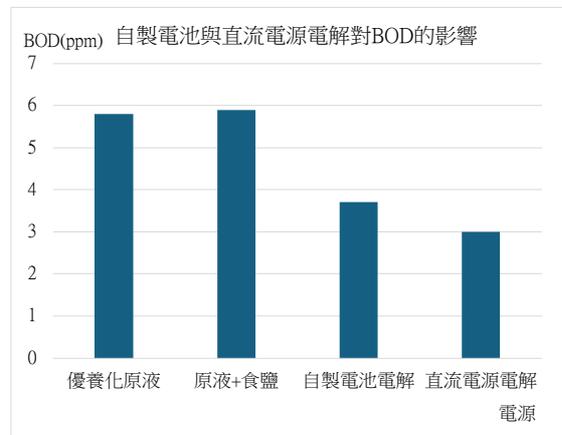


(B) 直流電源與自製微型電池比較

圖八、不同電源電解對吸收度的影響



圖九、不同電源電解對 BOD 的影響



(C) 分析

由圖七可見，電解後樣品對 680nm 紅光之吸收度皆明顯降低，並且當串聯電池大於四顆時能觀察到吸收峰消失。由此可推論，以自製電池電解能達到良好的去優養化效果，然而串聯三顆電池時因電壓不足，無法達到理想的去優養化效果（使吸收峰消失）。除此之外，能看到串聯電池顆數越多，對於 680nm 紅光的吸收度越低，即去優養化效果越好。根據克希荷夫定則，串聯電池越多，電壓越高，又依據 $E=IVt$ ，電壓越高，電解效果會越好，與我們的實驗相符。

由圖八、九可見，自製電池電解後的樣品對 680nm 紅光的吸收度略高於直流電源，但葉綠

素 a 的吸收波段仍未呈現明顯峰值。原液的 BOD 約為 5.8 ppm，經直流電源電解後降至 3 ppm，而自製電池電解後則降至 3.7 ppm。綜合結果顯示，自製電池的電解作用同樣能有效去除水體中的優養化物質，並展現出顯著的處理成效。

五、結論與生活應用

1. 結論

I. 食鹽越多 (指 2.5g 以下)、電壓越高、電解時間越長，生化需氧量越小；680nm 紅光的吸收度與食鹽量無明顯關聯，電壓越高、電解時間越長，吸收度越低。推測食鹽重量、電壓、電解時間與去優養化效果呈正相關，並且最佳化條件為加入 2.5g 食鹽、以 8V 電解 16 分鐘。

II. 串聯四顆以上之自製微型電池，能達到與直流電源相近的去優養化效果，並且串聯電池個數越多，效果越好。

2. 未來展望與應用

I. 研究如何將水中殘留之氯氣去除。

II. 除氯氣之外，酸、鹼亦可破壞葉綠素 (李微等，2013)。可利用鹽類緩衝溶液控制溶液之 pH 值，探討酸與鹼對破壞葉綠素與去優養化的效果。

參考資料

李微、陳昭錦 (2013 年 10 月 31 日)。葉綠素(Chlorophyll) | 科學 Online。

<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=48452>

The United States Pharmacopeial Convention. (2021, May).

〈644〉 CONDUCTIVITY OF SOLUTIONS.

<https://www.usp.org/sites/default/files/usp/document/harmonization/gen-chapter/harmonization-april-2020-m933.pdf>

環境部 (2020 年 1 月 20 日)。優養化 (Eutrophication)。

https://wq.moenv.gov.tw/EWQP/zh/Encyclopedia/NounDefinition/Pedia_01.aspx

張育唐、陳藹然 (2011 年 11 月 8 日)。比爾定律與吸收度 | 科學 Online。

<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=40839>

農業科技決策資訊平台 (2018 年 8 月 3 日)。來自葉綠素 f 的新型光合作用系統。

<https://agritech-foresight.atrri.org.tw/article/contents/1539>