

2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

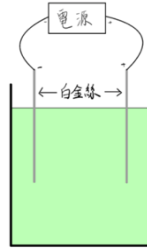
普高組 成果報告表單

題目名稱：電解優養，水美無恙 利用電解法處理水中優養化問題
一、摘要 水質優養化，指的是清潔劑、肥料等含氮營養鹽流入河川中，導致水中營養過剩並促使藻類與水中微生物大量生長，造成水中溶氧量大量下降、水中魚蝦缺氧死亡。為了解決問題，我們發想出將食鹽加入含有藻類的優養化原液並進行電解，利用電解食鹽水產生具有強氧化力的 Cl_2 與 NaClO，去除水中微生物。 實驗中，我們藉改變電解液中食鹽質量、電解電壓、與電解時間，藉由測量水中的 BOD(生物需氧量)，以及測量其電解前後的吸收光譜，探討去優養化之最佳化條件。最後我們選定實驗室的魚缸藻類，發現加入 3g 食鹽、6V 的電解電壓，並持續電解 15min 的效果最佳，而實驗結果也大致與理論結果相符。
二、探究題目與動機 前陣子常在新聞中常常看到多處水庫因水中藻類而微生物過多，出現優養化的現象。經過文獻參考後，我們發現使用 Cl_2 與 NaClO 對藻類的去除效果最佳，而這兩種物質恰巧可使用化學正課中提到的鹼氯工業製備。因此，承襲綠色化學概念，我們發想出利用電解食鹽水來解決水汙染的環境問題，希望在使用隨手可得的材料-氯化鈉並符合 SDGs 永續發展目標的同時，為環境盡一份心力。(Camper and Mcfeters, 1979)
三、探究目的與假設 (一) 目的：探討處理水體優養化之成效。 (二) 假設： ①實驗(一)、改變電解液食鹽質量，食鹽重量越多，效果越好。 ②實驗(二)、改變電解電壓，電壓越大，效果越好。 ③實驗(三)、改變電解電解時間，電解時間越長，效果越好。
四、探究方法與驗證步驟 (一) 實驗器材 1. 白金絲電極(0.5mm×3cm)2 條、樣品瓶 24 個、鱈魚夾 2 個、玻棒 1 個、集氣瓶若干個、燒杯若干個、量筒若干個。 2. 食鹽、30%雙氧水溶液、$\text{MnO}_{2(s)}$、優養化原液(使用魚缸藻類) 3. 超音波振盪器、吸收光譜儀、電子秤、測溶氧儀、直流電源供應器。 (二) 實驗方法 1. BOD(生物需氧量)測試： ① 將 30%雙氧水稀釋後與二氧化錳裝入集氣瓶中，使其產生氧氣(圖一)。 ② 將集氣瓶產生之氧氣通入電解液，當樣品瓶內溶氧量為 14 ppm 時即停止。

- ③ 將瓶蓋蓋上以及包上鋁箔紙避光，並放入恆溫箱靜置 6 天。
- ④ 6 天後取出樣品瓶，測量溶液之水中溶氧量 x 。
- ⑤ 六天的生物需氧量 BOD_6 計算公式： $BOD_6 = 14 - x$ 。



圖一、BOD 測試實驗裝置



圖二、樣品瓶電解槽 設計圖與實際圖

2. 定量分析 (一) ~ (三) 實驗步驟：

實驗 (一)：

- ① 將 15mL 優養化原液加入所需質量的食鹽並以超音波震盪器將其溶解均勻。
- ② 取一樣品瓶，以鱷魚夾將正負極白金絲固定 (圖二)。
- ③ 在瓶內裝入配製好的電解液放入電解槽，並通入 6V 電壓持續電解 6 分鐘。
- ④ 測量電解後的溶液之 BOD_6 ，並測量電解前後溶液的吸收光譜。
- ⑤ 將所需的食鹽質量依序使用 1g / 1.5g / 2g / 2.5g / 3g，重複步驟①~④。

實驗 (二)：(使用實驗一最佳化條件：3g 食鹽)。

將電解電壓依序使用 4V / 5V / 6V / 7V / 8V，並重複步驟①~④。

實驗 (三)：(使用實驗一、二最佳化條件：3g 食鹽/6V)

將電解時間依序使用 3min / 6min / 9min / 12min / 15min，並重複步驟①~④。

(四) 實驗驗證

1. 定量實驗 (一)、改變電解液食鹽質量

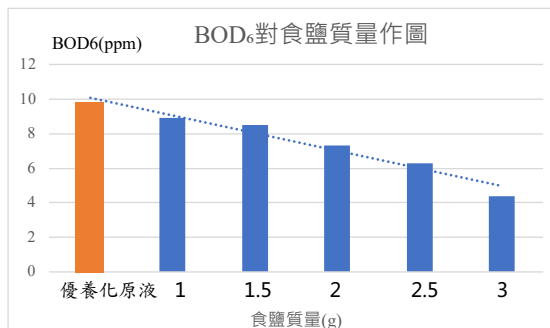
① 數據整理：

實驗 類型	對 照 組 A ₀	對 照 組 A ₁	對 照 組 A ₂	對 照 組 A ₃	對 照 組 A ₄	對 照 組 A ₅	實 驗 組 B ₁	實 驗 組 B ₂	實 驗 組 B ₃	實 驗 組 B ₄	實 驗 組 B ₅
優養化 溶液	優養 化原 液	優養 化原 液+ 食鹽 1g	優養 化原 液+ 食鹽 1.5g	優養 化原 液+ 食鹽 2g	優養 化原 液+ 食鹽 2.5g	優養 化原 液+ 食鹽 3g	優養 化原 液+ 食鹽 1g	優養 化原 液+ 食鹽 1.5g	優養 化原 液+ 食鹽 2g	優養 化原 液+ 食鹽 2.5g	優養 化原 液+ 食鹽 3g
電壓							6V	6V	6V	6V	6V
時間							6min	6min	6min	6min	6min
初始溶 氧量	14 ppm	14 ppm	14 ppm	14 ppm	14 ppm	14 ppm	14 ppm	14 ppm	14 ppm	14 ppm	14 ppm

6 天後 溶氧量	4.2 ppm	3.7 ppm	3.3 ppm	2.9 ppm	2.4 ppm	2.1 ppm	5.1 ppm	5.5 ppm	6.7 ppm	7.7 ppm	9.6 ppm
BOD ₆	9.8	10.3	10.7	11.1	11.6	11.9	8.9	8.5	7.3	6.3	4.4

表一、改變電解液食鹽質量實驗數據

② BOD 作圖與分析：



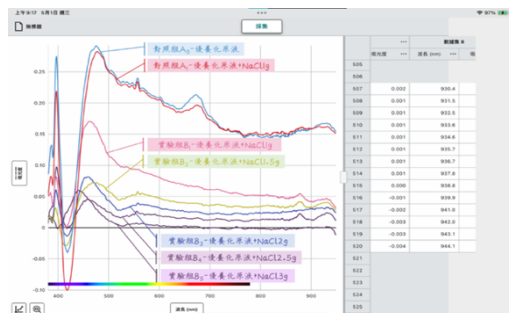
表二、BOD₆對電解液食鹽重量做圖

分析：

由圖中可發現，BOD₆代表水中有機微生物分解有機廢料所消耗氧氣的量，在添加較多食鹽的情況下，微生物所消耗之氧氣較少。我們推測是因為在較多電解質的情況下，電解效果比較明顯，能夠產生比較多的氯氣，導致樣品瓶內藻類被去除。此實驗結果可驗證添加食鹽確實能夠藉由氯氣的產生而有效去除藻類，造成BOD₆的降低，因而達到去優養化的目的。

③ 吸收光譜圖與分析：

(註：A₁-A₅為添加食鹽，但不電解的藻類溶液，BOD₆應相近，故取A₁做為代表)



圖三、改變電解液食鹽質量的吸收光譜圖

分析：

- (1) 此葉綠素吸收光譜峰值大約位於 680nm 紅光區。
- (2) A₀與A₁峰值幾乎符合，代表添加食鹽但未通電的效果差不多。
- (3) B₁相較於A₁峰值下降甚多，驗證電解確實能有效去除水體優養化。
- (4) 吸光度大小：A₀≅A₁>B₁>B₂>B₃>B₄>B₅，意味食鹽添加越多，效果越好。

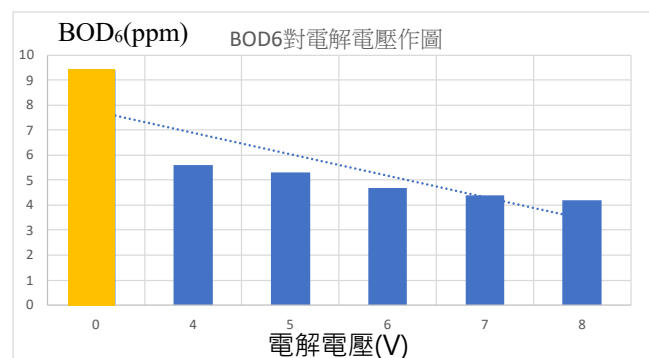
2. 定量實驗 (二)、改變電解電壓

① 數據整理：

實驗類型	對照組A ₀	對照組A ₁	實驗組 B ₁	實驗組 B ₂	實驗組 B ₃	實驗組 B ₄	實驗組 B ₅
優養化溶液	優養化原液	優養化原液+食鹽3g	優養化原液+食鹽3g	優養化原液+食鹽3g	優養化原液+食鹽3g	優養化原液+食鹽3g	優養化原液+食鹽3g
電壓			4V	5V	6V	7V	8V
時間			6min	6min	6min	6min	6min
初始溶氧量	14 ppm	14 ppm	14 ppm	14 ppm	14 ppm	14 ppm	14 ppm
6 天後溶氧量	4.2 ppm	4.6 ppm	8.4 ppm	8.7 ppm	9.3 ppm	9.6 ppm	9.8 ppm
BOD ₆	9.8 ppm	9.4 ppm	5.6 ppm	5.3 ppm	4.7 ppm	4.4 ppm	4.2 ppm

表三、改變電解電壓實驗數據

② BOD 作圖與分析



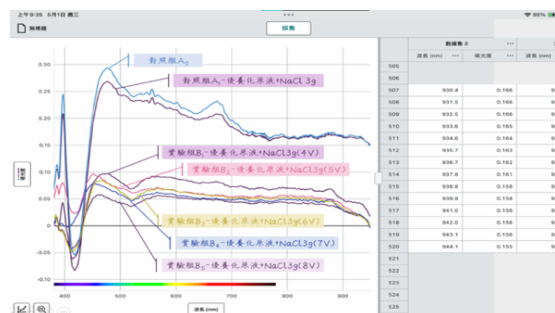
表四、BOD₆對電解電壓作圖

分析：

根據 $E = I V T$ ，當我們提高電壓時，可以讓能量增加，進一步加快電解效率，製造更多氯氣。因此，電解時的電壓愈高，去除藻類的效果愈好。

從上圖來看，在通入較高電壓的情況下，微生物所消耗之氧氣較少。然而，實驗組中 5 種數值的差距卻不如實驗一顯著，甚至在 6V 之後數據呈現停滯。因此我們推論，**6V 電 6min 已達到去除藻類的最大效果**，不論如何提高電壓，效果幾乎相同。不過，其趨勢仍符合我們所預測的：提供越高的電壓，BOD₆ 越小。

③ 吸收光譜圖與分析



圖四、改變電解電壓的吸收光譜圖

分析：

(1) 吸光度大小： $A_0 \neq A_1 > B_1 \neq B_2 \neq B_3 \neq B_4 \neq B_5$ ，施加電解電壓越大，去優養化效果越好，但改變電壓造成的差異較不顯著，與 BOD 之數據相呼應。

(2) 此葉綠素吸收光譜峰值大約位於 680nm 紅色光區。

(註：由於 6V 已達到去除藻類的最大效果，考量到綠色化學後選擇以 6V 作為電解電壓)

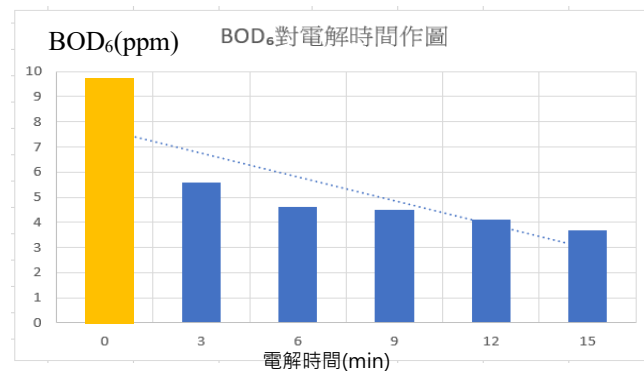
3. 定量實驗 (三)、改變電解時間

① 數據整理：

實驗類型	對照組A ₀	對照組A ₁	實驗組B ₁	實驗組B ₂	實驗組B ₃	實驗組B ₄	實驗組B ₅
優養化溶液	優養化原液	優養化原液+食鹽3g	優養化原液+食鹽3g	優養化原液+食鹽3g	優養化原液+食鹽3g	優養化原液+食鹽3g	優養化原液+食鹽3g
電壓			6V	6V	6V	6V	6V
時間			3min	6min	9min	12min	15min
初始溶氧量	14 ppm	14 ppm	14 ppm	14 ppm	14 ppm	14 ppm	14 ppm
6 天後溶氧量	4.2 ppm	4.6 ppm	5.1 ppm	6.6 ppm	8.2 ppm	9.6 ppm	9.8 ppm
BOD ₆	9.8 ppm	9.4 ppm	5.6 ppm	4.6 ppm	4.5 ppm	4.1 ppm	3.7 ppm

表五、改變電解時間實驗數據

② BOD 作圖與分析：

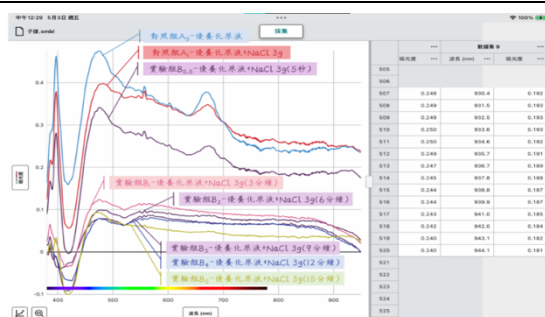


表六、BOD₆對電解時間作圖

分析：

由上圖來看，在長時間的電解下，水中藻類越少，BOD₆越小。然而，實驗組中 5 種數值依然不如實驗一顯著，但其趨勢仍然符合我們的預期：電解時間愈長，效果愈好。

③ 吸收光譜圖與分析：



圖五、改變電解時間的吸收光譜圖

分析：

- (1) 吸光度大小： $A_0 \approx A_1 > B_{0.5} > B_1 \approx B_2 \approx B_3 \approx B_4 \approx B_5$ ，電解時間越長，去優養化效果愈好，而且時間的多寡的差異不顯著，與數據相呼應。
- (2) 為了確認吸收光譜的峰值，我們以 6V 電解 5 秒($B_{0.5}$)。
- (3) 此葉綠素吸收光譜峰值大約位於 680nm 紅色光區。

五、結論與生活應用

(一)結論

1. 由實驗一可發現，添加越多的食鹽越多，所產生的 Cl_2 與 $NaClO$ 越多，效果越好。
2. 由實驗二可發現，固定相同重量的食鹽(3g)，使用越大電壓電解食鹽水，效果越好，但 6V 已達到最佳去除效果。
3. 由實驗三可發現，固定相同重量食鹽(3g)、電解電壓(6V)，電解時間越長，效果越好。

(二)生活應用

1. 水體優養化，過多的藻類大量消耗水中氧氣，造成魚蝦死亡，是現今不可忽視的環境問題。我們參考的鹼氯工業的流程，利用電解 $NaCl$ 產生具有高氧化力的氯氣與次氯酸鈉，既環保又能有效去除藻類。
2. 本實驗僅用小型的電解槽作為模擬，現實情況較樣品瓶更具複雜性。因此，面對龐大的優養化水體中，要如何維持白金絲的電解效率，是我們未來仍須改善的問題。

參考資料

- ①林王昱傑，吳佳晏，陳美晨，林志旻，王帥皓，林重宏(2011 年 11 月)。電場逆境及抗生素處理對共生藻生長生理的影響。大葉大學。<https://reurl.cc/bWEE8y>
- ②蔡韶恬、陳昭錦(2019 年 9 月 24 日)。優養化(Eutrophication)(一)。科學 Online。<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=57141>
- ③A K Camper, G A McFeters(1979,October). *Chlorine injury and the enumeration of waterborne coliform bacteria. asmj journals.* ASM Journals. <https://reurl.cc/nmOrp6>
- ④黃聖智(2022 年 9 月 29 日)。水中餘氯。創新水科技研發服務網。<https://reurl.cc/AMO4De>
- ⑤方國權(2017 年 3 月 28 日)。湖泊會變老？優養化的二三事。科技大觀園。<https://reurl.cc/NYR49m>
- ⑥Water Science School(2018,June). *Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Water.* USGS. <https://reurl.cc/qGNrR0>