

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 環境學科

052606

探討電場淨化水質的效果及利用超音波輔助電場淨化之可行性

學校名稱：新北市私立金陵女子高級中學

作者：	指導老師：
高一 鄭舒云	蔡建平
高一 吳卉妘	

關鍵詞：水質淨化、電場、超音波

摘要

本實驗是利用電場可吸附水中帶電粒子，以及超音波可將物質震碎的特性，將兩者的效果結合起來，探討是否有助於水質的淨化。實驗結果發現，雖然超音波在開始時確實可以使導電度上升，但與電場一起作用 24 小後，會比單純使用電場的效果差，因此判斷以超音波輔助或加速水質進化的功效是有限的。此外，經過氨氮測試後發現，電場能有效降低水中氨氮的量，而過高的氨氮是造成池水優養化的主要原兇，而一般水族業者或玩家也都希望養殖缸中的氨氮越少越好，而實驗結果證實可利用電場降低水中氨氮量，繼而達到阻止優養化發生的作法是可行的。

壹、前言

一、研究動機：校園中的生態池一直是很吸引大家前往的舒壓場所，但是往往會被它的顏色所驚恐，有時清澈，有時混濁，有時綠意盎然，而有時會散發著特殊的氣味，而這些現象讓我們不禁聯想到是不是池中的某些物質失去平衡，或是呈現汙染的狀態，而傳統的過濾方式既耗電，效率又不高，因此在搜尋文獻時看到有人使用電場來淨化水質，而又查到超音波能破壞水中一些汙染物質，使其沉澱，因此有了此次研究的方向，一方面探討電場對於水質淨化的可行性，而另一方面探討超音波是否能夠扮演協助電場淨化水質的功能，如果可行，未來可作為一項既環保而又不耗電、永續的淨化模式。

二、研究目的

- (一) 以導電度改變為依據探討電場對於淨化水質的功效
- (二) 以導電度與電阻值改變為依據探討超音波對於淨化水質的效果與可行性
- (三) 以氨氮含量改變為依據探討電場與超音波對於預防優養化的可行性

三、名詞釋義與文獻回顧

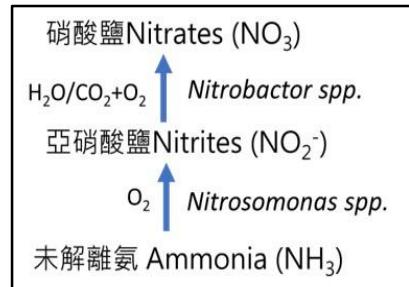
- (一) 魚池廢水常見廢物：魚池廢水通常包含多種成分，這些成分來自魚類的代謝產物、餌料殘渣、環境污染等，主要分為有機物和無機物兩種，有機物例如魚類排泄物、餌料殘渣、微生物；無機物例如氨氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$)、亞硝酸鹽(NO_2^-)、硝酸鹽 (NO_3^-)、磷酸鹽 (PO_4^{3-})，而水中的懸浮物例如魚類活動產生的泥沙、餌料殘渣和有機碎屑，會增加水的渾濁度，可能會導致魚類疾病，其他汙染物，例如來自於

水源污染或魚池中使用的某些藥劑的重金屬，如銅、鋅等，對魚類有毒性、可能會導致魚類疾病的病原微生物，和用於控制病害的殺菌劑、抗生素和其他藥劑的殘留，這些化學物質可能對環境和魚類造成影響。

資料出處：永鴻國際生技公司，《水質顧得好，水產養殖沒煩惱》

(二) 水中的硝化作用：在水中氨是以未解離氨(NH_3)及解離氨(NH^{4+})兩種形式存在，來自於水生動物的蛋白質代謝排泄物以及微生物分解後的有機質，其中未解離氨對於水生動物具有很高的毒性，當水中未解離氨濃度 $>0.1 \text{ mg/L}$ 時及有機會造成氨中毒，氨中毒的症狀包括神經性症狀，對於一些魚類也會造成鰓中毒性壞死、破壞黏膜等，輕則導致生產力及抗病力下降，嚴重者則會導致翻池。

亞硝酸鹽(NO_2^-)：為細菌行有氧硝化作用的中間產物，通常由自營菌(如亞硝酸菌屬 *Nitrosomonas*)結合氧及氨形成，而硝酸鹽(NO_3^-)相較於亞硝酸鹽及未解離氨，硝酸鹽對於水生動物較無毒性，主要由自營菌(硝化細菌



Nitrobacter)氧化亞硝酸形成。 資料出處：永鴻國際生
技公司，《水質顧得好，水產養殖沒煩惱》

圖 1. 水中的硝化作用

(三) 超音波在有機廢水處理的研究及應用現狀：超音波由於其空化效應產生的機械、熱和化學效應而被廣泛應用於有機廢水處理領域，超音波處理後已知 AOB 亞硝化單胞菌屬的比氨氧化速率和優勢度均顯著增強。在 SBR 中經過間歇性超音波處理後已知 AOB 亞硝化單胞菌屬的比氨氧化速率和優勢度均顯著增強。異位估計 μ_{max} ,AOB 隨著超音波強度的逐步增加而逐漸增加，並在處理強度增加時達到峰值，約為初始值的兩倍，超音波處理增加了氨氧化菌(AOB)的活性，同時抑制了亞硝酸鹽氧化菌(NOB)，從而對廢水處理產生了有益的影響。

資料出處：Sustainability 2023 《超音波在有機廢水處理的研究及應用現狀》

(四) 利用離子飄移淨化重金屬廢水：研究團隊提出了一種使用靜電場的水淨化方式，可以使溶解的重金屬離子漂移。電場力將連續流動的污染水中帶正電的金屬離子漂移到放置負電極的一側管壁，使管道的大部分區域得到淨化。對穩態離子分佈以及線性狀態下的時間演化進行了分析研究，並報告了不同電場強度和管道寬度的離子濃

度分佈。此方法在管道寬度小於 10 -3 m 且電極電位為 0.26V 或更高的情況下表現良好。此外，在不到一秒的時間內以低成本實現重金屬濃度顯著降低 90% 以上。

資料出處：特刊《廢水處理領域的新興材料、概念與工藝，實現永續的未來》

(五) 水體優養化：優養化是水體中氮、磷、硝酸鹽、磷酸鹽等植物營養物質含量過多所引起的水質污染現象。由於水體中氮、磷、硝酸鹽、磷酸鹽等營養物質的富集，引起藻類及其他浮游生物的迅速繁殖，使水體溶解氧含量下降，造成植物、水生物和魚類衰亡甚至絕跡的污染現象。而藻類迅速繁殖不僅會在晚間消耗大量水中氧氣進行呼吸作用，進而造成溶氧量下降。更是因為大量藻類覆蓋在水面，使陽光無法透進較深的地方導致長在水底的植物無法進行光合作用，而植物終將死亡造成溶氧量進一步下降。植物死亡則細菌在分解植物過程中進一步消耗氧氣使得溶氧量更一步降低，也可能排放出有毒物質。

資料出處：環境部，《優養化簡介》

(六) 氨氮：氮在廢水中以分子態氮、有機態氮、氨態氮、硝態氮、亞硝態氮以及硫氰化物和氰化物等多種形式存在，而氨氮是最主要的存在形式之一，是水體環境污染的重要指標，以 mg/L NH₃-N 表示。氨氮是指水中以氨分子 (ammonia, NH₃) 及銨離子 (ammonium, NH₄⁺) 兩種形式同時存在的氮，為一種對環境危害影響大的化合物。水中的氨分子 (ammonia, NH₃) 及銨離子 (ammonium, NH₄⁺) 會依據不同的 pH 值和溫度互相進行轉換。在氮循環中，氧氣充足的情況之下，氨氮可經亞硝化細菌及硝化細菌進行硝化作用 (nitrification)，轉換為亞硝酸鹽類 (nitrite) 及硝酸鹽類 (nitrate)，其對人體具有致癌性。而氨氮排入水體中，會使藻類及微生物繁殖，造成優氧化；嚴重優養化則會使水中溶氧量降低，導致魚類大量死亡。另外，氨氮也會促進微生物於輸水管道及其它設備中繁殖使管道設備堵塞。

資料出處：《洛科儀器股份有限公司》

(七) 導電度：導電度表示水傳導電流能力，導電度與水中離子總濃度、移動性、價數、相對濃度及水溫等有關。通常導電度愈高，表示水中電解質含量較多。由於大部分鹽類都可電離，因此導電度也可表示水中總溶解固體的多寡。導電度太高對灌溉有不良的影響，因此導電度為灌溉水質之重要指標項目之一。導電度之量測乃以電流

通過長 1 cm、截面積 1 cm² 之液柱時測得電阻之倒數，因此其單位多以 mho/cm 表示。若導電度較小時，亦會以其 10⁻³ 之 mmho/cm 或其 10⁻⁶ 之 μ mho/cm 表示。水導電度乃借用電化學的概念，為水中所有離子綜合導電程度的指標。導電度越高，表示含有腐蝕或水垢生成要因的物質很多。導電度越低，水中所含離子或導電物質含量越少，故導電度可被使用在於水質管理指標上。農委會「灌溉用水水質標準」中電導度 (EC) 之限值為 750 μ S/cm, 25°C (μ mho/cm, 25°C)。導電度每提高 1°C 其數值大約增大 2%。故工業廢水排入渠道之導電度應小 750 μ S/cm。

資料出處：《全國環境水質檢測資訊網》

四、實驗架構與流程

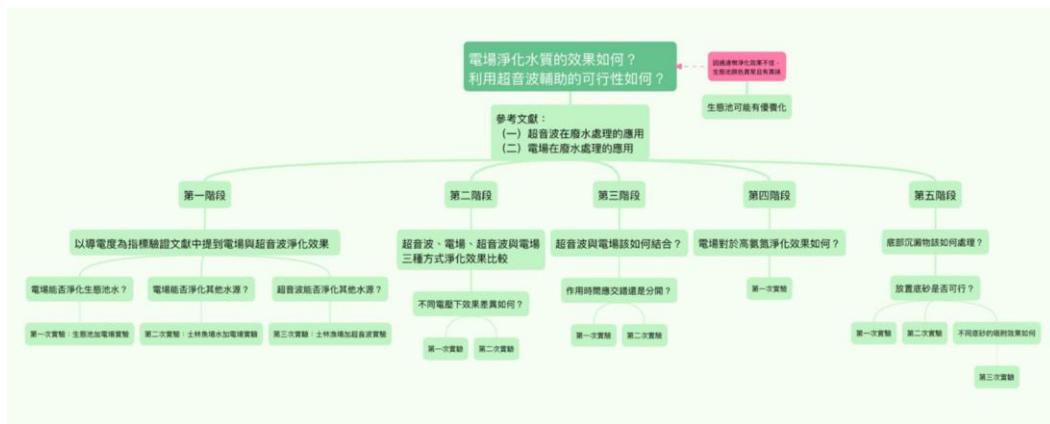


圖2-1. 實驗架構圖

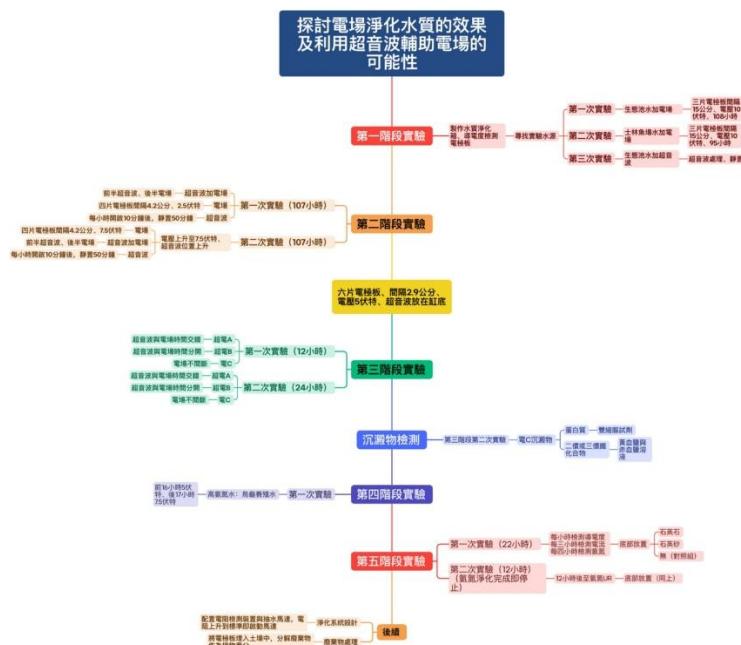


圖2-2. 實驗流程圖

貳、研究設備及器材

一、自製器材



圖 3. 自製水質
淨化箱



圖 4. 自製電場
電極片(大)



圖 5. 自製電場
電極片(小)



圖 4. 自製導電度
電極片

二、非自製器材



圖 7. 直流電源供應器



圖 8. 導電度測試儀



圖 9. 水質檢驗儀器



圖 10. 氨氮檢驗試劑



圖 11. 孔雀魚缸



圖 12-1. 超音波清洗器

最初水平	
L_{min}	72 dB
L_{max}	109 dB
L_{eq}	104 dB
L_{pk}	119 dB
CF	15 dB

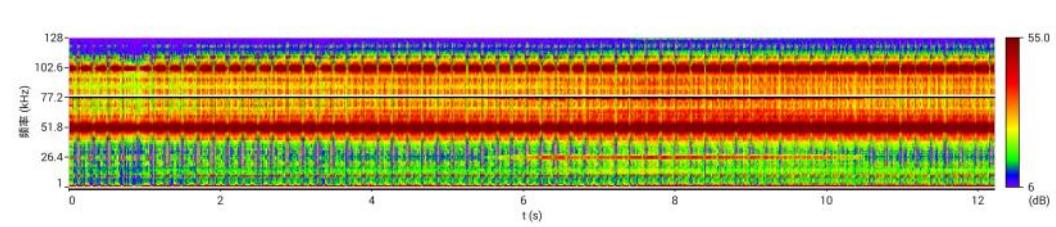


圖 12-2. 超音波清洗器頻率圖(12秒)



圖 13. 濾材(從左至右分別為：火山石、石英砂、石英石、過濾棉、陶瓷濾材)

參、研究過程與方法

一、第一階段實驗

(一) 水質淨化箱設計：我們自行設計了一個水質淨化箱，還有兩種不同深度的導電度檢測裝置作為我們的實驗器材。

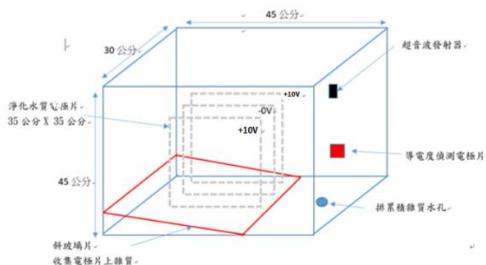


圖 14. 自行設計繪製水質淨化箱設計圖

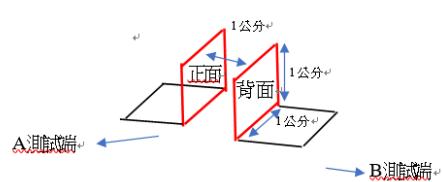


圖 15. 自行設計繪製導電度檢測裝置設計圖

(二) 尋找實驗水源：閱讀關於電場與超音波淨化效果的文獻後，我們想試著將這兩種淨化方式結合應用於有機汙染水源的淨化，因此我們找了兩種水源作為我們實驗樣本，一為學校生態池，二為台北士林雙溪金魚錦鯉養殖場，兩者的共通點在於都有魚生活在裡面，但是周圍環境不同、底質不同、魚群密度不同。



圖 16. 學校生態池



圖 17. 金魚錦鯉養殖場

(三) 第一次實驗：8/21-8-27

為了測試電場對於生態池的淨化效果，我們進行了生態池加電場的實驗，在自行設計的水質淨化箱，放入三片電極板分別連接 10V、0V、10V 電源，每片電極板間隔約 15 公分，每 24 小時檢測一次導電度及電阻值。

初步結果：導電度有下降趨勢，可見電場對於生態池水有淨化效果。

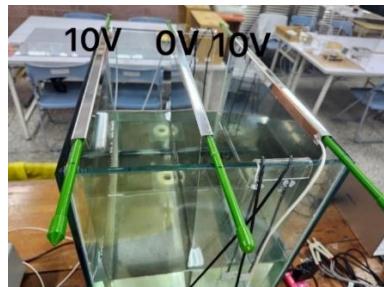


圖 18. 電極板擺放位置

(二) 第二次實驗：8/27-8/31

第一次針對生態池水的加電場實驗發現，電場確實對生態池水有淨化效果，因此我們將實驗對象轉向士林魚場水，對其進行加電場實驗，三片電擊板分別連接 10V、0V、10V 電源，每片電極板間隔約 15 公分，每 24 小時檢測一次導電度及電阻值。

初步結果：士林魚場水的導電度也有下降趨勢，可見電場對於士林魚場水也有淨化效果。

(三) 第三次實驗：9/13

為了測試超音波的淨化效果，我們進行了第三次的實驗，將超音波清洗機吊掛在水質淨化箱中央上方，前端浸入水中(如紅圈所示)，每次啟動十分鐘後記錄電阻值及導電度。

初步結果：在超音波開啟後導電度明顯上升。



圖 19. 超音波淨化測試

二、第二階段實驗

(一) 原理應用：

超音波空化(Cavitation)高能量能使粒子分裂(汙染物質分裂)

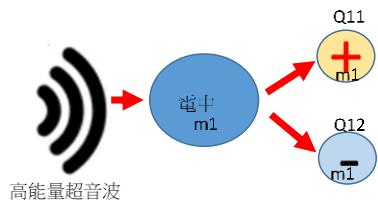


圖 20. 超音波裂解水中微汙染物顆粒示意圖

說明：

1. 質量 m_1 電中性汙染物顆粒，經超音波空化現象後裂解成，質量 m_{11} 帶正電 (Q_{11}) 較小顆粒與質量 m_{12} 帶負電 (Q_{12}) 較小顆粒。

- (1) 此現象會造成水中導電度增加。
- (2) 小質量帶電顆粒受電場吸附作用之加速度會較大。

依 $F = QE = ma$ ； F 是電場對帶電 Q 移動之作用力、 E 是對帶電 Q 作用之電場強

度、 a 是加速度、 m 是帶電顆粒質量。

因此在 F 固定時小質量帶電顆粒受電場吸附作用之加速度 a 會較大，提高場吸附與除汙速度。

- (3) 兩平行板電極之電容與電場

$C = \epsilon \frac{A}{d}$ ， C 是電容、 A 是平行板電極的面積、 d 是兩平行板電極的距離、 ϵ 是兩平行板間之介質係數(與水中之帶電離子成正比)，因此我們使用超音波會讓水中 ϵ 提高。兩平行板電極可儲存電荷 $Q = C V$ ； Q 就是電極板可吸附帶電離子的總電荷量、 V 是兩平行板電極的兩端電壓。

兩平行板電極間之電場強度 $E = \frac{V}{d}$ ； V 是兩平行板電極的兩端電壓、 d 是兩平行板電極的距離。 d 的距離近電場強度強，離子吸附作用力強容易吸附。

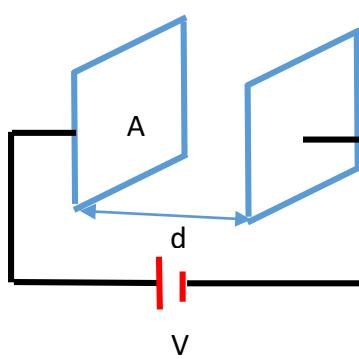


圖 21-1. 兩平行板電極之電容示意圖

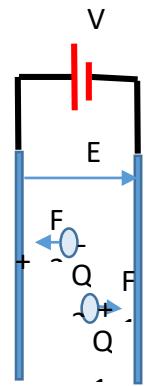


圖 21-2. 兩平行板電極間電場強度與離子吸附作用力示意圖

基於以上理由，我們將水缸尺寸縮小為 24cmx23cmx14cm，電極片尺寸縮小為 23cmx23cm，電極片間隔距離縮短為 4.2cm，電壓調整為 2.5V 實驗時間，縮短至 107 小時，導電度測量電極片改為距底部 10 公分。

(一) 第一次實驗：12/02-12/06(107小時)

考量到實驗的方便性和現有超音波作用範圍，我們決定改為使用孔雀魚缸進行實驗，同時縮小電極板尺寸，而為了比較電場、超音波、超音波加電場，三種淨化方式對於導電度與氨氮含量的影響，設置四個水缸中加入相同高度的生態池水樣，從第一天8點到第五天的19點，每小時檢測一次導電度，每天17點採水檢測氨氮，分別進行超音波、電場、超音波加電場，三種不同淨化方式的實驗，共107小時，具體實驗步驟如下：

1. 超音波缸：進行超音波處理，每小時開啟十分鐘後，靜置五十分鐘後測量電阻，循環107次，共107小時。
2. 電場缸：四片電極板，間隔4.2公分，連接2.5伏的直流電源進行107小時不間斷電場處理。
3. 超音波加電場缸：第一天8點至第三天12點進行超音波處理，第三天12點後放入四片電極板，進行電場處理，共107小時。



圖 22. 實驗設置情況



圖 23. 電極片連接方式

(一) 第二次實驗：12/16-12/20(107 小時)

由於第一次實驗的導電度變化不明顯，我們推測是電場作用力不夠強並且超音波擺放位置過低，使作用範圍過小導致淨化效果不佳，因此我們將電壓調整為 7.5V，超音波清洗器擺放位置上升為距底部 14 公分後，與第一次一樣的實驗步驟再次進行實驗。



圖 24. 小缸第二輪實驗裝置圖

三、第三階段實驗

(一) 第一次實驗：2/6(12 小時)

為了找出超音波加電場最佳的組合方式，我們構思了兩種超音波加電場的淨化方式，讓超音波與電場在作用時間一樣的情況下進行實驗對比，我們取生態池水樣對其進行淨化，與電場進行對比，共三個實驗組，進行共 12 小時的實驗，每小時檢測一次導電，每四小時檢測一次氯氮含量，嘗試找出更有效率的淨化方式。

電場設置：六片電極板各間隔 2.9 公分，連接 5V 直流電源

1. 超電 A：超音波與電場交錯進行淨化，超音波開啟 10 分鐘，靜置 10 分鐘，超音波再次開啟 10 分鐘，放入電極片進行 30 分鐘電場處理，以上流程共 60 分鐘，重複 12 次。
2. 超電 B：先進行超音波處理，再進行電場處理，超音波開啟 10 分鐘，靜置 10 分鐘，超音波再次開啟 20 分鐘，靜置 10 分鐘，超音波再次開啟 10 分鐘，以上流

程共 60 分鐘，重複 6 次後，更換成電場，開啟 6 小時。

3. 電 C：不間斷電場處理 12 小時。

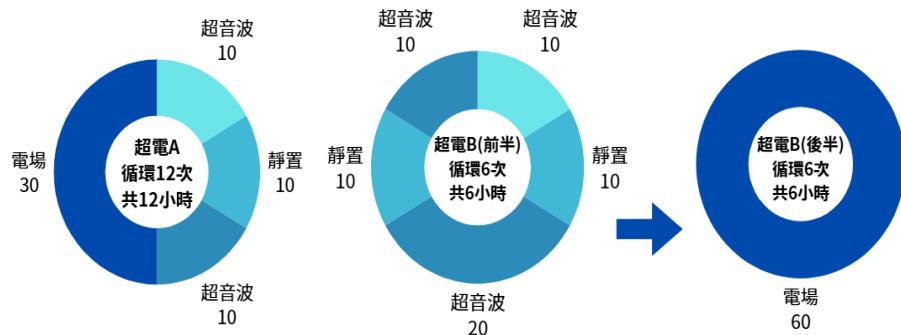


圖 25. 超電 A 及超電 B 實驗時間示意圖(分鐘)

(二) 第二次實驗：2/14-2-15(24 小時)

由於第一次實驗各實驗組的淨化前後差異不明顯，我們決定保持原本的實驗步驟，將實驗拉長至 24 小時，希望觀察到更明顯的變化。

電場設置：六片電極板各間隔 2.9 公分，連接 5V 直流電源

1. 超電 A：超音波與電場交錯進行淨化，超音波開啟 10 分鐘，靜置 10 分鐘，超音波再次開啟 10 分鐘，放入電極片進行 30 分鐘電場處理，以上流程共 60 分鐘，重複 24 次。
2. 超電 B：先進行超音波處理，再進行電場處理，超音波開啟 10 分鐘，靜置 10 分鐘，超音波再次開啟 20 分鐘，靜置 10 分鐘，超音波再次開啟 10 分鐘，以上流程共 60 分鐘，重複 12 次後，更換成電場，開啟 12 小時。
3. 電 C：不間斷電場處理 24 小時。

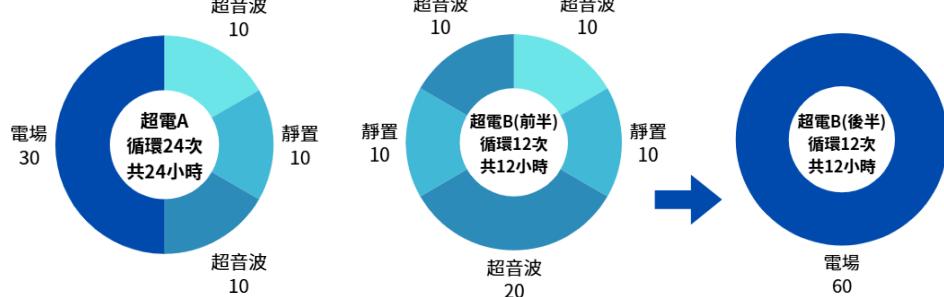


圖 26. 超電 A 及超電 B 實驗時間示意圖(分鐘)

四、第四階段實驗

(一) 第一次實驗：在前次實驗，我們發現了電場對於氨氮的顯著淨化效果，而在這次實驗中，我們取了氨氮濃度更高的烏龜養殖水作為測試對象，探討電場對於高濃度氨氮水體的淨化效果。

(二) 實驗設置：放置六片電極板，間隔 2.9 公分，連接 5V 直流電源，進行共 33 小時。

五、第五階段實驗

(一) 第一次實驗：在第三階段實驗中，我們觀察到水缸底部堆積了一些沉澱物，為了避免沉澱物隨著淨化後的水流回水池，我們在水缸底部放置濾材，讓沉澱物順著縫隙被吸附到底部，不被馬達吸起。

另外為了了解整個淨化過程需消耗的能量，我們針對電流進行了測試。

實驗設置：取生態池水，分別在兩個實驗組缸底部放置了厚度約 1 公分的大礫砂(A)、美國細砂(B)及對照組(C)，放置六片電極板，連接 5V 直流電源進行 22 小時電場淨化，每小時測量一次導電度，每三小時測量一次電流，每四小時檢驗一次氨氮濃度。

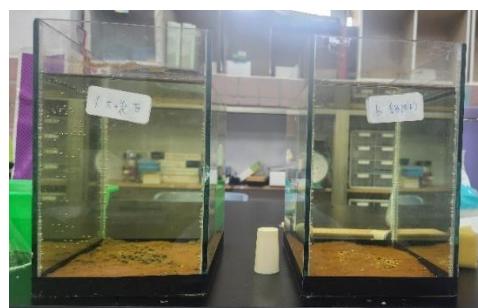


圖 27. 沉澱約 1 小時後

(三) 第二次實驗：在前一次的實驗中，放置了底砂的實驗組，氨氮都有穩定下降，雖然使用抽水馬達將上澄清水抽出也不會吸入沉澱物，但還是有少許沉澱物在底砂的表面，並且不同沙子也會對水體的其他指標造成影響，因此我們決定將對五種不同底材進行沉澱物吸附的測試，準備 5 個 500ML 燒杯，放入約 1.5 公分厚的底材，倒入經過電場淨化 24 小時後，將沉澱物攪混的生態池水，靜置一晚。



圖 28. 燒杯中的底材
(從左至右分別為火山石、石英砂、石英石、過濾棉、陶瓷濾材)



圖 29. 剛倒入水樣



圖 30. 沉澱 12 小時後

肆、研究結果

一、第一階段實驗

(一) 第一次實驗結果：

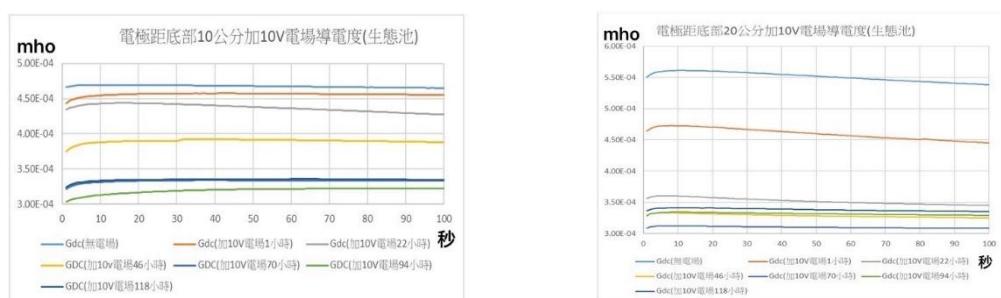


圖 31. 電極距底部 10 公分加
10V 電場—導電度圖

表 1. 第一階段第一次實驗導電度與電阻

圖 32. 電極距底部 20 公分加
10V 電場—導電度圖

時間	A 測試點(深度 10 公分)		B 測試點(深度 20 公分)	
	電阻平均值 (KΩ)	導電度平均值 (umho)	電阻平均值 (KΩ)	導電度平均值 (umho)
未加電場	2.14	468	1.81	551
加 10V 電場(1 小時)	2.19	456	2.18	460
加 10V 電場(22 小時)	2.29	437	2.84	352
加 10V 電場(46 小時)	2.57	390	3.04	329
加 10V 電場(60 小時)	3.0	330	3.22	310
加 10V 電場(84 小時)	3.13	319	3.02	332
加 10V 電場(108 小時)	2.99	334	2.96	338



圖 33. 8/21 水質狀況



圖 34. 8/27 水質狀況

(二) 第二次實驗結果：

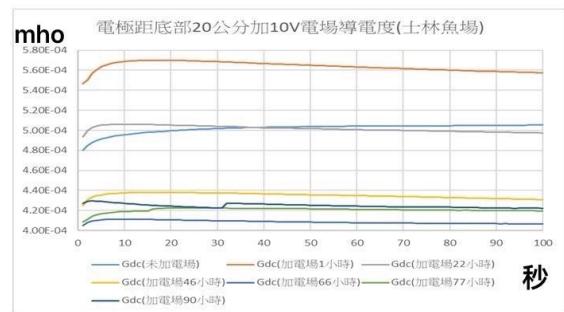
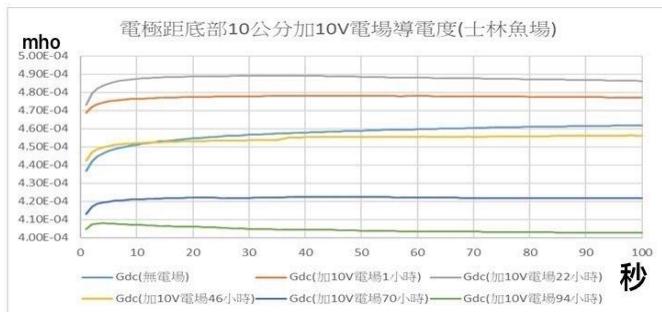
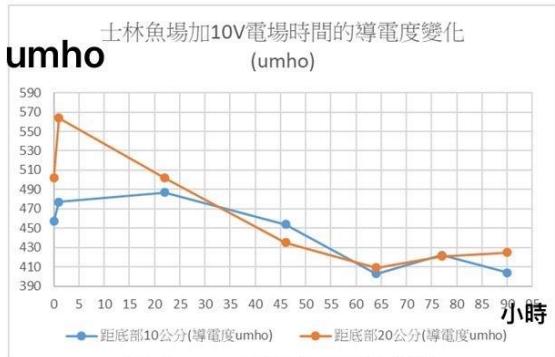


表 2. 第一階段第二次實驗導電度與電阻



	A 測試點(深度 10 公分)		B 測試點(深度 20 公分)	
	電阻平均值 (KΩ)	導電度平均值 (umho)	電阻平均值 (KΩ)	導電度平均值 (umho)
未加電場	2.19	457	1.99	502
加 10V 電場(1 小時)	2.1	477	1.77	564
加 10V 電場(22 小時)	2.05	487	1.99	502
加 10V 電場(46 小時)	2.2	454	2.3	435
加 10V 電場(64 小時)	2.48	403	2.45	409
加 10V 電場(77 小時)	2.34	422	2.38	421
加 10V 電場(90 小時)	2.47	404	2.36	425

圖 37. 加 10V 電場的導電度變化



圖 38. 8/27 水質狀況



圖 39. 8/31 水質狀況

(三) 第三次實驗：

表 3. 第一階段第三次實驗導電度與電阻

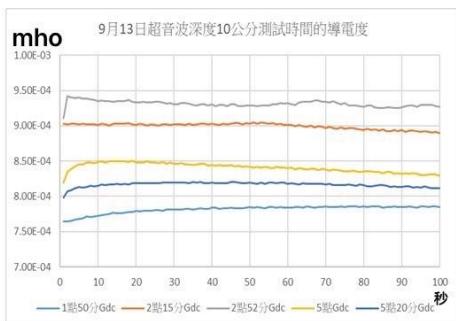


圖 40. 經超音波測試的導電度圖

測試時間	深度 20 公分(100 秒平均值)		深度 10 公分(100 秒平均值)		備註
	電阻(KΩ)	導電度(umho)	電阻(KΩ)	導電度(umho)	
13:50	1.28	782			
13:55			1.45	689	
14:15	1.11	900			超音波 14:00-
14:20			1.41	709	14:10ON10 分鐘
14:52	1.07	931			超音波 14:40-
14:55			1.4	714	14:50ON10 分鐘
17:00	1.19	841			
17:03			1.24	807	超音波 17:05-
17:20	1.22	817			17:15ON10 分鐘
17:23			1.32	757	
16 日 17:15	1.13	882			靜置 2 天
16 日 17:18			1.35	738	

二、第二階段實驗

(一) 第一次實驗結果：

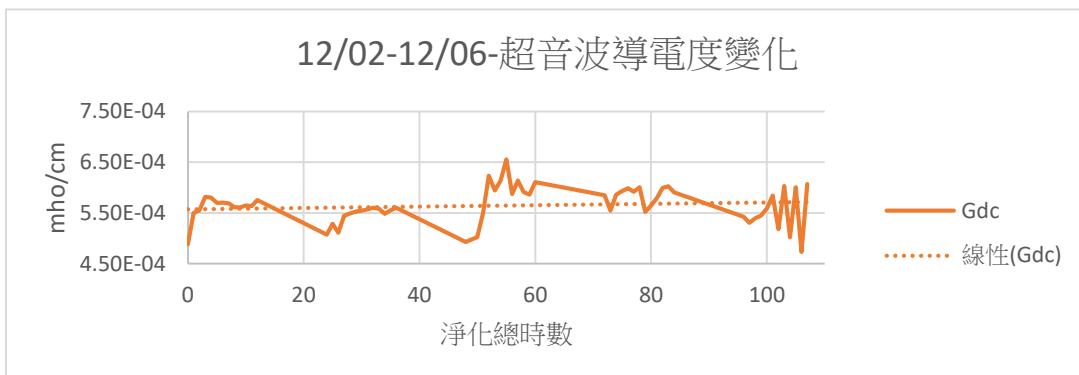


圖 41. 第一次實驗超音波導電度變化

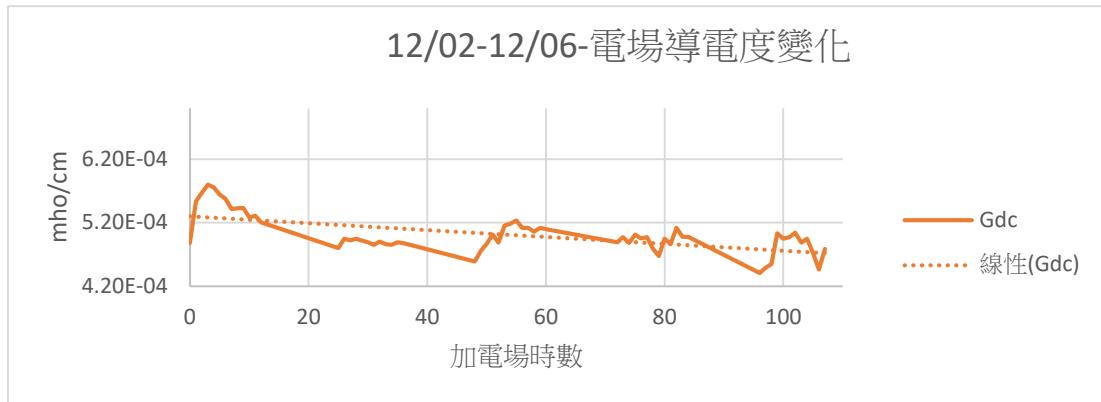


圖 42. 第一次實驗電場導電度變化

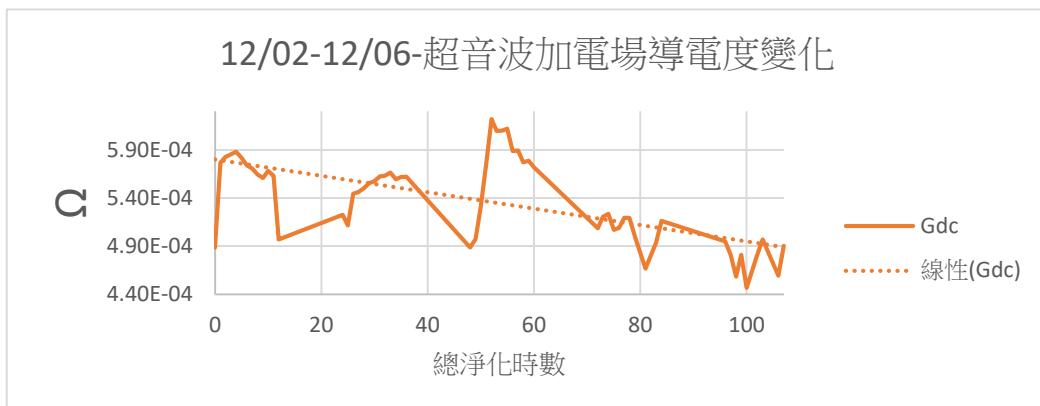


圖 43. 第一次實驗超音波加電場導電度變化

表 4. 第二階段第一次實驗導電度統整表

淨化時間 淨化方式	0	1	2	3	4	5	6	7	8	淨化時間 淨化方式	29	30	31	32	33	34	35	36	48
	粗	4.88E-04	5.50E-04	5.55E-04	5.82E-04	5.80E-04	5.70E-04	5.70E-04	5.69E-04	5.61E-04	5.53E-04	5.55E-04	5.57E-04	5.60E-04	5.58E-04	5.48E-04	5.55E-04	5.60E-04	4.93E-04
電	4.88E-04	5.54E-04	5.67E-04	5.80E-04	5.76E-04	5.64E-04	5.57E-04	5.41E-04	5.43E-04	電	4.92E-04	4.89E-04	4.85E-04	4.90E-04	4.86E-04	4.85E-04	4.89E-04	4.88E-04	4.59E-04
粗+電	4.89E-04	5.77E-04	5.83E-04	5.86E-04	5.88E-04	5.82E-04	5.74E-04	5.71E-04	5.64E-04	粗+電	5.55E-04	5.58E-04	5.62E-04	5.63E-04	5.66E-04	5.59E-04	5.62E-04	5.62E-04	4.89E-04
淨化時間 淨化方式	9	10	11	12	24	25	26	27	28	淨化時間 淨化方式	49	50	51	52	53	54	55	56	57
粗	5.61E-04	5.65E-04	5.63E-04	5.75E-04	5.07E-04	5.29E-04	5.11E-04	5.44E-04	5.49E-04	粗	4.98E-04	5.02E-04	5.50E-04	6.23E-04	5.95E-04	6.13E-04	6.55E-04	5.87E-04	6.13E-04
電	5.49E-04	5.28E-04	5.31E-04	5.21E-04	4.83E-04	4.80E-04	4.95E-04	4.92E-04	4.95E-04	電	4.76E-04	4.86E-04	5.01E-04	4.89E-04	5.15E-04	5.18E-04	5.23E-04	5.12E-04	5.12E-04
粗+電	5.61E-04	5.68E-04	5.63E-04	4.97E-04	5.22E-04	5.12E-04	5.45E-04	5.46E-04	5.50E-04	粗+電	4.97E-04	5.30E-04	5.74E-04	6.22E-04	6.10E-04	6.10E-04	5.89E-04	5.89E-04	
淨化時間 淨化方式	58	59	60	72	73	74	75	76	77	淨化時間 淨化方式	98	99	100	101	102	103	104	105	106
粗	5.91E-04	5.86E-04	6.11E-04	5.85E-04	5.55E-04	5.86E-04	5.93E-04	5.98E-04	5.92E-04	粗	5.39E-04	5.45E-04	5.59E-04	5.84E-04	5.18E-04	6.03E-04	5.02E-04	6.01E-04	4.73E-04
電	5.09E-04	5.12E-04	5.10E-04	4.89E-04	4.97E-04	4.88E-04	5.01E-04	4.95E-04	4.97E-04	電	4.55E-04	5.01E-04	4.95E-04	4.97E-04	5.04E-04	4.89E-04	4.95E-04	4.72E-04	4.46E-04
粗+電	5.77E-04	5.79E-04	5.72E-04	5.09E-04	5.21E-04	5.23E-04	5.07E-04	5.09E-04	5.20E-04										
淨化時間 淨化方式	78	79	80	81	82	83	84	96	97	淨化時間 淨化方式									
粗	6.01E-04	5.52E-04	5.64E-04	5.79E-04	5.99E-04	6.02E-04	5.90E-04	5.43E-04	5.31E-04										
電	4.80E-04	4.67E-04	4.95E-04	4.87E-04	5.12E-04	4.98E-04	4.98E-04	4.41E-04	4.49E-04										
粗+電	5.13E-04	5.00E-04	4.83E-04	4.93E-04	4.67E-04	4.93E-04	5.16E-04	4.95E-04	4.81E-04										

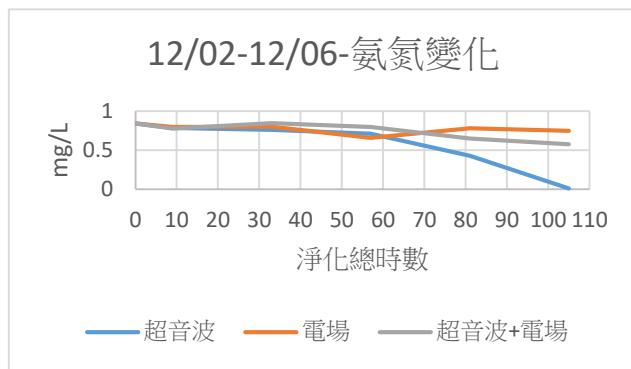


圖 44. 第一次實驗氯氮變化

表 5. 第二階段第一次實驗氯氮統整表

淨化方式 \ 時長 濃度	0 小時	9 小時	33 小時	57 小時	81 小時	105 小時
超音波	0.844mg/L	0.784 mg/L	0.761 mg/L	0.712 mg/L	0.429 mg/L	0.01 mg/L
電場	0.844 mg/L	0.798 mg/L	0.802 mg/L	0.659 mg/L	0.783 mg/L	0.748 mg/L
超音波+電場	0.844 mg/L	0.779 mg/L	0.845 mg/L	0.798 mg/L	0.65 mg/L	0.575 mg/L

(二) 第二次實驗結果：

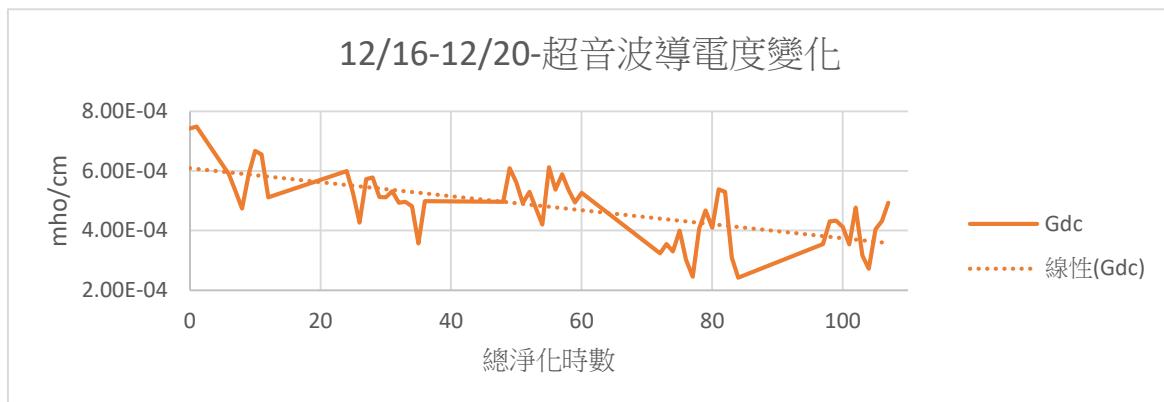


圖 45. 第二次實驗超音波導電度變化

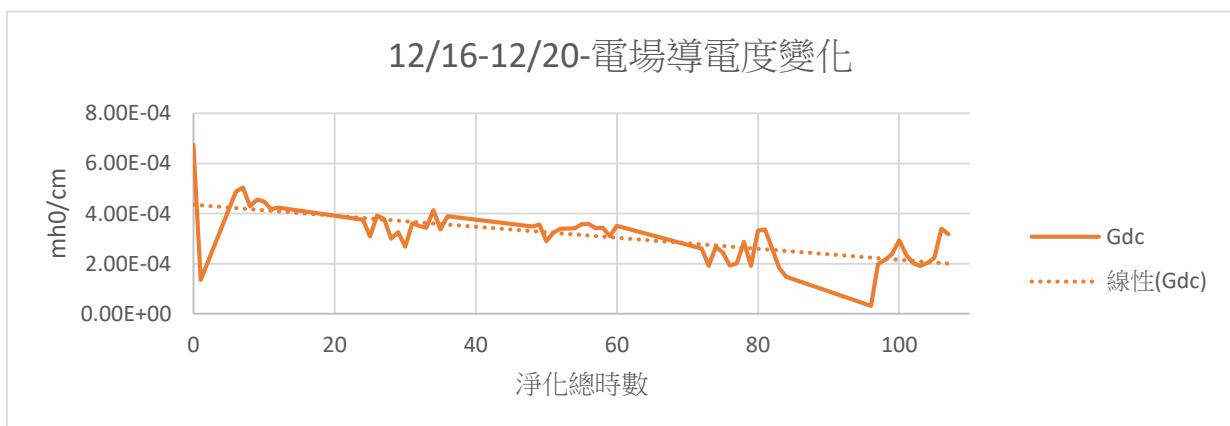


圖 46. 第二次實驗電場導電度變化

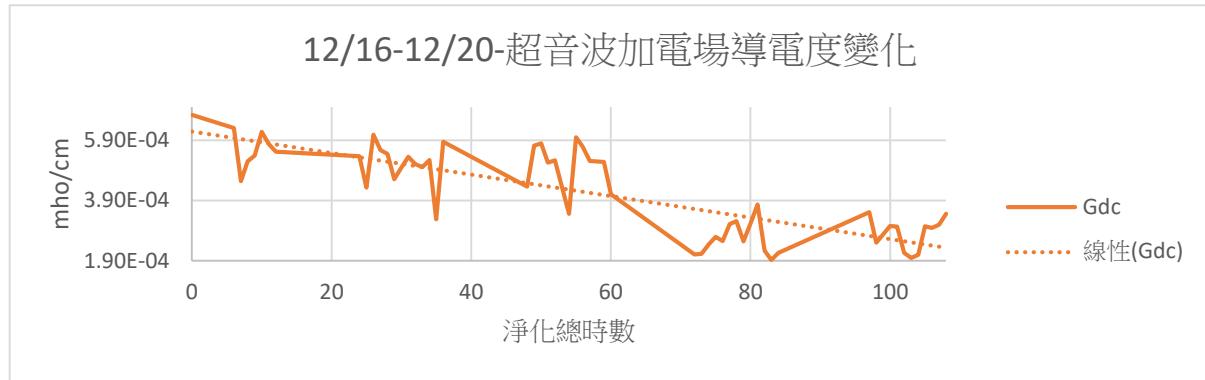


圖 47. 第二次實驗超音波加電場導電度變化

表 6. 第二階段第二次實驗導電度統整表

淨化時長												淨化時長											
淨化方式												淨化方式											
超	7.42E-04	7.49E-04	5.89E-04	5.31E-04	4.74E-04	5.90E-04	6.67E-04	6.55E-04	5.11E-04			超	4.97E-04	4.81E-04	3.57E-04	4.99E-04	4.97E-04	6.09E-04	5.61E-04	4.92E-04	5.30E-04		
電	6.75E-04	1.35E-04	4.88E-04	5.04E-04	4.29E-04	4.55E-04	4.48E-04	4.17E-04	4.24E-04			電	3.43E-04	4.14E-04	3.37E-04	3.89E-04	3.49E-04	3.56E-04	2.90E-04	3.24E-04	3.39E-04		
超+電	6.75E-04	7.75E-05	6.31E-04	4.54E-04	5.21E-04	5.40E-04	6.18E-04	5.78E-04	5.53E-04			超+電	5.01E-04	5.25E-04	3.28E-04	5.85E-04	4.36E-04	5.72E-04	5.79E-04	5.17E-04	5.24E-04		
淨化時長	24	25	26	27	28	29	30	31	32			淨化時長	54	55	56	57	58	59	60	72	73		
淨化方式												淨化方式											
超	5.99E-04	5.24E-04	4.27E-04	5.72E-04	5.77E-04	5.12E-04	5.12E-04	5.32E-04	4.93E-04			超	4.20E-04	6.12E-04	5.37E-04	5.89E-04	5.36E-04	4.94E-04	5.27E-04	3.24E-04	3.55E-04		
電	3.75E-04	3.09E-04	3.91E-04	3.79E-04	3.00E-04	3.25E-04	2.68E-04	3.61E-04	3.51E-04			電	3.41E-04	3.58E-04	3.59E-04	3.42E-04	3.44E-04	3.10E-04	3.51E-04	2.61E-04	1.91E-04		
超+電	5.38E-04	4.33E-04	6.09E-04	5.57E-04	5.45E-04	4.60E-04	4.99E-04	5.35E-04	5.11E-04			超+電	3.46E-04	6.00E-04	5.68E-04	5.22E-04	5.18E-04	4.11E-04	2.11E-04	2.13E-04	2.44E-04		
淨化時長	74	75	76	77	78	79	80	81	82			淨化時長	104	105	106	107							
淨化方式												淨化方式											
超	3.30E-04	3.99E-04	3.02E-04	2.45E-04	4.06E-04	4.68E-04	4.09E-04	5.38E-04	5.30E-04			超	2.72E-04	4.04E-04	4.32E-04	4.93E-04							
電	2.67E-04	2.44E-04	1.92E-04	2.01E-04	2.86E-04	1.91E-04	3.32E-04	3.36E-04	1.84E-04			電	2.23E-04	3.39E-04	3.17E-04	3.17E-04							
超+電	2.69E-04	2.56E-04	3.12E-04	3.21E-04	2.54E-04	3.14E-04	3.77E-04	2.24E-04	1.93E-04			超+電	2.99E-04	3.10E-04	3.46E-04	3.46E-04							
淨化時長	83	84	97	98	99	100	101	102	103														
淨化方式																							
超	3.09E-04	2.42E-04	3.55E-04	4.30E-04	4.33E-04	4.11E-04	3.53E-04	4.77E-04	3.15E-04														
電	1.47E-04	3.14E-05	2.15E-04	2.39E-04	2.93E-04	2.35E-04	2.01E-04	1.91E-04	2.02E-04														
超+電	2.16E-04	4.25E-05	2.50E-04	3.06E-04	3.03E-04	2.16E-04	1.99E-04	2.10E-04	3.05E-04														

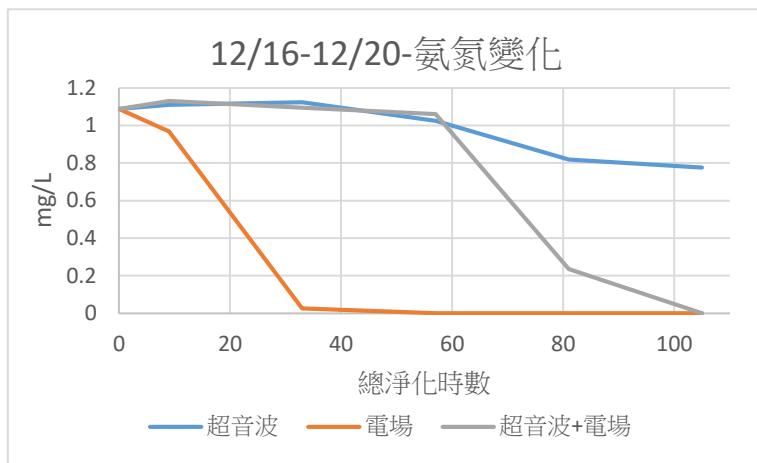


圖 48. 第二次實驗氯氮變化

表 7. 第二階段第二次實驗氯氮統整表

淨化時長 淨化方式	0 小時	9 小時	33 小時	57 小時	81 小時	105 小時
超音波	1.088 mg/L	1.11 mg/L	1.124 mg/L	1.025 mg/L	0.818 mg/L	0.775 mg/L
電場	1.088 mg/L	0.969 mg/L	0.026 mg/L	UR	UR	UR
超音波+電場	1.088 mg/L	1.131 mg/L	1.094 mg/L	1.06 mg/L	0.235 mg/L	UR

三、第三階段實驗結果

(一) 第一次實驗：



圖 49. 第一次實驗導電度變化圖

表8. 第三階段第一次實驗導電度統整表

淨化時數 淨化方式	0	1	6	7	8	9	10	11	12	淨化時數 淨化方式	33	34	35	36	48	49	50	51	52
超	7.42E-04	7.49E-04	5.89E-04	5.31E-04	4.74E-04	5.90E-04	6.67E-04	6.55E-04	5.11E-04	超	4.97E-04	4.81E-04	3.57E-04	4.99E-04	4.97E-04	6.09E-04	5.61E-04	4.92E-04	5.30E-04
電	6.75E-04	1.35E-04	4.88E-04	5.04E-04	4.29E-04	4.55E-04	4.48E-04	4.17E-04	4.24E-04	電	3.43E-04	4.14E-04	3.37E-04	3.89E-04	3.49E-04	3.56E-04	2.90E-04	3.24E-04	3.39E-04
超+電 U	6.75E-04	7.75E-05	6.31E-04	4.54E-04	5.21E-04	5.40E-04	6.18E-04	5.78E-04	5.53E-04	超+電 U	5.01E-04	5.25E-04	3.28E-04	5.85E-04	4.36E-04	5.72E-04	5.79E-04	5.17E-04	5.24E-04
淨化時數 淨化方式	24	25	26	27	28	29	30	31	32	淨化時數 淨化方式	54	55	56	57	58	59	60	72	73
超	5.99E-04	5.24E-04	4.27E-04	5.72E-04	5.77E-04	5.12E-04	5.12E-04	5.32E-04	4.93E-04	超	4.20E-04	6.12E-04	5.37E-04	5.89E-04	5.36E-04	4.94E-04	5.27E-04	3.24E-04	3.55E-04
電	3.75E-04	3.09E-04	3.91E-04	3.79E-04	3.00E-04	3.25E-04	2.68E-04	3.61E-04	3.51E-04	電	3.41E-04	3.58E-04	3.59E-04	3.42E-04	3.44E-04	3.10E-04	3.51E-04	2.61E-04	1.91E-04
超+電 U'	5.38E-04	4.33E-04	6.09E-04	5.57E-04	5.45E-04	4.60E-04	4.99E-04	5.35E-04	5.11E-04	超+電 U'	3.46E-04	6.00E-04	5.68E-04	5.22E-04	5.18E-04	4.11E-04	2.11E-04	2.13E-04	2.44E-04
淨化時數 淨化方式	74	75	76	77	78	79	80	81	82	淨化時數 淨化方式	104	105	106	107					
超	3.30E-04	3.99E-04	3.02E-04	2.45E-04	4.06E-04	4.68E-04	4.09E-04	5.38E-04	5.30E-04	超	2.72E-04	4.04E-04	4.32E-04	4.93E-04					
電	2.67E-04	2.44E-04	1.92E-04	2.01E-04	2.86E-04	1.91E-04	3.32E-04	3.36E-04	1.84E-04	電	2.23E-04	3.39E-04	3.17E-04	3.17E-04					
超+電	2.69E-04	2.56E-04	3.12E-04	3.21E-04	2.54E-04	3.14E-04	3.77E-04	2.24E-04	1.93E-04	超+電	2.99E-04	3.10E-04	3.46E-04	3.46E-04					
淨化時數 淨化方式	83	84	97	98	99	100	101	102	103										
超	3.09E-04	2.42E-04	3.55E-04	4.30E-04	4.33E-04	4.11E-04	3.53E-04	4.77E-04	3.15E-04										
電	1.47E-04	3.14E-05	2.15E-04	2.39E-04	2.93E-04	2.35E-04	2.01E-04	1.91E-04	2.02E-04										
超+電	2.16E-04	4.25E-05	2.50E-04	3.06E-04	3.03E-04	2.16E-04	1.99E-04	2.10E-04	3.05E-04										

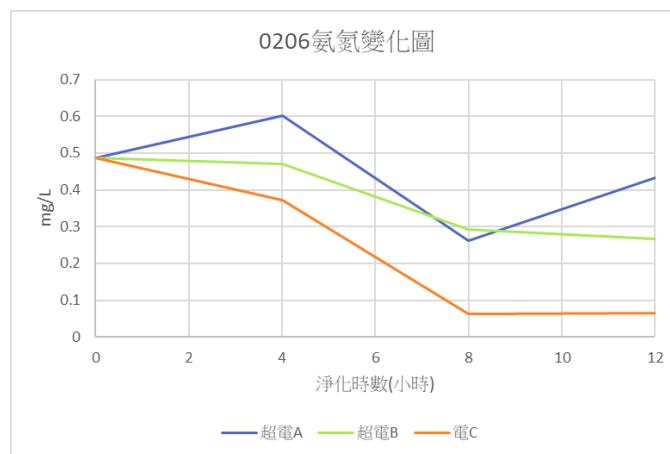


圖50. 第一次實驗氯氮變化

表9. 第三階段第一次實驗氯氮統整表

淨化時長 淨化方式	0 小時	4 小時	8 小時	12 小時
超電 A	0.486 mg/L	0.601 mg/L	0.261 mg/L	0.434 mg/L
超電 B	0.486 mg/L	0.471 mg/L	0.293 mg/L	0.266 mg/L
電 C	0.486 mg/L	0.371 mg/L	0.062 mg/L	0.65 mg/L

(二) 第二次實驗：

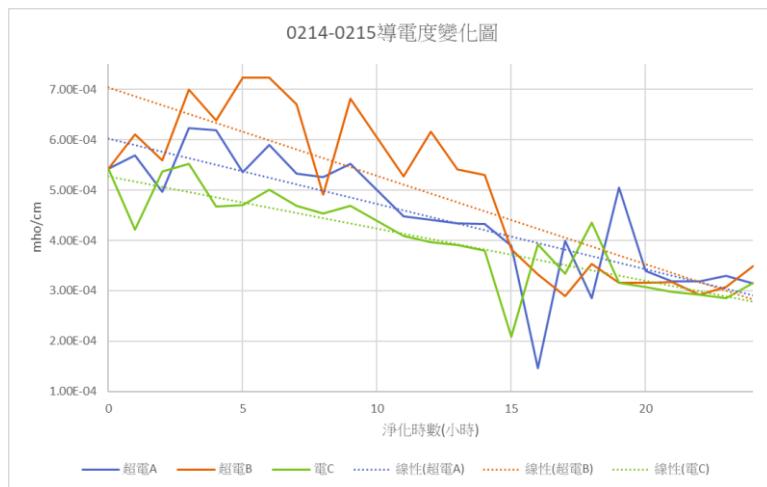


圖 51. 第二次實驗導電度變化圖

表 10. 第三階段第二次實驗

淨化時間(小時)	0	1	2	3	4	淨化時間(小時)	11	12	13	14	15
超電 A	5.42E-04	5.69E-04	4.97E-04	6.21E-04	6.19E-04	超電 A	4.48E-04	4.41E-04	4.34E-04	4.32E-04	3.89E-04
超電 B	5.42E-04	6.11E-04	5.59E-04	6.99E-04	6.38E-04	超電 B	5.27E-04	6.17E-04	5.41E-04	5.30E-04	3.83E-04
電 C	5.43E-04	4.22E-04	5.38E-04	5.52E-04	4.67E-04	電 C	4.08E-04	3.96E-04	3.91E-04	3.80E-04	2.08E-04
淨化時間(小時)	5	6	7	8	9	淨化時間(小時)	16	17	18	19	20
超電 A	5.36E-04	5.90E-04	5.33E-04	5.77E-04	5.59E-04	超電 A	4.46E-04	4.00E-04	2.85E-04	5.05E-04	3.39E-04
超電 B	7.21E-04	7.24E-04	6.70E-04	4.91E-04	6.81E-04	超電 B	3.22E-04	2.90E-04	2.52E-04	3.16E-04	3.16E-04
電 C	4.70E-04	5.01E-04	4.69E-04	4.53E-04	4.69E-04	電 C	3.53E-04	3.54E-04	4.35E-04	3.16E-04	3.07E-04
淨化時間(小時)	11	12	13	14	15	淨化時間(小時)	21	22	23	24	
超電 A	4.49E-04	4.41E-04	4.34E-04	4.23E-04	3.89E-04	超電 A	3.19E-04	3.19E-04	3.29E-04	3.12E-04	
超電 B	5.27E-04	6.17E-04	5.41E-04	5.30E-04	3.83E-04	超電 B	3.17E-04	2.92E-04	3.08E-04	3.49E-04	
電 C	4.08E-04	3.96E-04	3.91E-04	3.80E-04	2.08E-04	電 C	2.96E-04	2.92E-04	2.86E-04	3.16E-04	

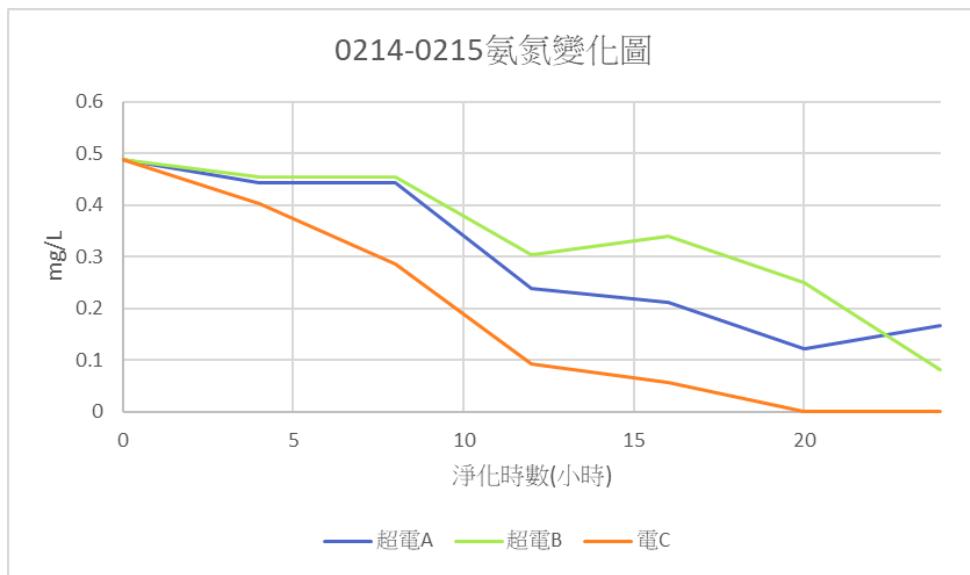


圖 52. 第二次實驗氨氮變化圖

表 11. 第三階段第二次實驗氨氮變化圖

淨化時長 實驗組	0 小時	4 小時	8 小時	12 小時	16 小時	20 小時	24 小時
超電 A	0.489 mg/L	0.443 mg/L	0.444 mg/L	0.238 mg/L	0.213 mg/L	0.123 mg/L	0.168 mg/L
超電 B	0.489 mg/L	0.455 mg/L	0.455 mg/L	0.303 mg/L	0.339 mg/L	0.249 mg/L	0.082 mg/L
電 C	0.489 mg/L	0.403 mg/L	0.287 mg/L	0.094 mg/L	0.056 mg/L	UR	UR

四、第四階段實驗結果

(一) 第一次實驗：

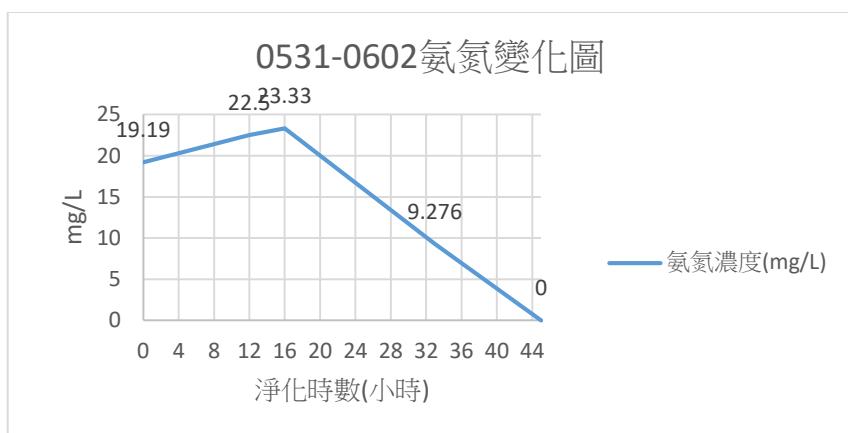


圖 53. 0531-0602 氨氮變化圖

表 12. 0531-0602 氨氮變化表

淨化時長	0 小時	12 小時	16 小時	33 小時	45 小時
氨氮濃度	19.19 mg/L	22.5 mg/L	23.33 mg/L	9.276 mg/L	UR

五、第五階段實驗結果

表 13. 0529-0530 氨氮變化表

淨化時長 實驗組	0 小時	4 小時	8 小時	12 小時	16 小時	20 小時	22 小時
A	10.04 mg/L	7.47 mg/L	6.1 mg/L	4.32 mg/L	UR	UR	UR
B	10.04 mg/L	6.15 mg/L	7.24 mg/L	5.08 mg/L	1.85 mg/L	UR	UR
C	10.04 mg/L	8.77 mg/L	8.74 mg/L	7.11 mg/L	4.11 mg/L	3.45 mg/L	1.88 mg/L

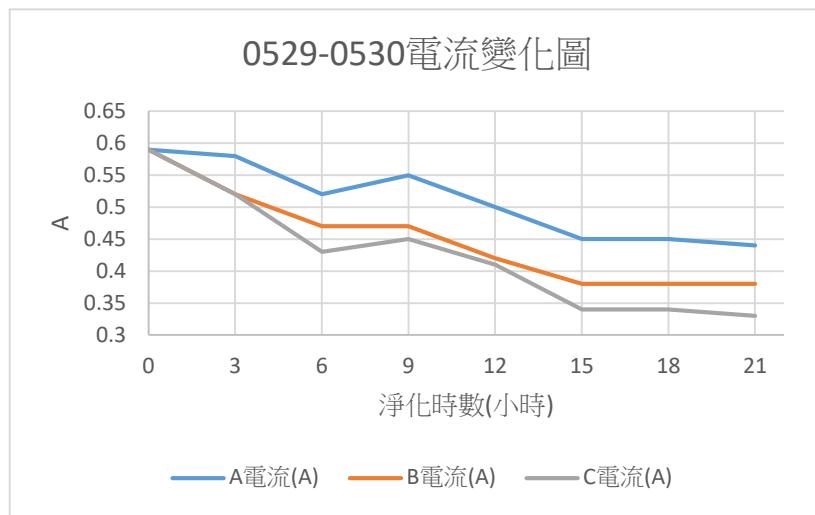


圖 55. 0529-0530 電流變化圖

表 14. 0529-0530 電流變化表

淨化時數 (小時)	0 小時	3 小時	6 小時	9 小時	12 小時	15 小時	18 小時	21 小時
A 電流(A)	0.59	0.58	0.52	0.55	0.5	0.45	0.45	0.44
B 電流(A)	0.59	0.52	0.47	0.47	0.42	0.38	0.38	0.38
C 電流(A)	0.59	0.52	0.43	0.45	0.41	0.34	0.34	0.33

(二) 第二次實驗：

在五種底材的測試中，讓沉澱物由縫隙掉到底下的效果以火山石最佳。



圖 56. 五種底材沉澱結果

伍、討論

一、第一階段實驗

在先前的大缸實驗中我們已知：電場測試生態池水為例，電場開啟後，導電度有下降趨勢，而電阻值有上升趨勢，推測這是因為電極板吸附了水中的離子，如：鹽類及礦物質等，使得導電度下降，繼而電阻值上升，以此觀點來看，電場對水質的淨化是有益處的。

以超音波振動測試生態池水後，發現導電度有上升，而電阻值有下降的趨勢，推測是由於超音波震動後，使的水中物質被破壞，繼而解離或帶電，因此造成導電度上升、電阻值下降。

由初步實驗可得知，電場能有吸附帶電雜質的功能，而超音波能破壞物質的結構使其帶電或解離，若同時進行作用，超音波將水中未帶電的物質轉換成帶電物質後，再利用電場將帶電物質做吸附，推測即可再提升電場淨化水質的功效。

二、第二階段實驗

(一) 超音波

1. 導電度：在第一次實驗中，可以從導電度變化圖(圖 39、43)的線性趨勢線看出導電度整體呈現平緩上升的趨勢，上升幅度不大，12/16-12/20 的實驗中，導電度反而呈微幅下降趨勢，推論是超音波作用範圍改變而造成的。
2. 氨氮值：在第一次的實驗中，氨氮值是穩定下降，而在 12/16-12/20 的實驗中，氨氮值變化不明顯，推論超音波作用範圍改變會影響氨氮的淨化。

(二) 電場

1. 導電度：在第一次實驗中，可以從導電度變化圖(圖 40)的線性趨勢線中看出導電度呈下降狀態，但是變化不太明顯，因此我們將電壓由 2.5V 調到 7.5V，由第二次實驗的導電度變化圖(圖 44)中可看出，導電度下降的趨勢更加明顯。由此可知，電壓加強後，確實電場淨化水體的效果也會跟著加強。
2. 氨氮值：在 12/02-12/06 的實驗中，氨氮值變化不明顯，但加強電壓後，氨氮值

可在兩天內降低到無法測量，推論電場能有效去除水體中的氨氮物質，氨氮物質也是造成優養化的元兇，因此施加電場在水質淨化與預防優養化上，具有相當好的效用。

(三) 超音波加電場

1. 導電度：在第一次實驗中，導電度呈下降趨勢，而在第二次實驗裡，由於電場強度增強，但超音波因位置改變而作用降低，而整體導電度卻還是呈現下降趨勢，因此可推論電場是淨化水體的主要力量，而超音波也可以輔助淨化的進行。
2. 氨氮值：在第一次實驗中，相較於單獨只有超音波或電場作用，氨氮淨化效果較為顯著，而提升電壓後，可發現超音波與電場在共同作用上可能會影響氨氮的淨化，也可能是因為超音波作用位置改變而影響電場的效果，但時間拉長到第五天，氨氮值也會達到無法量測的數值，可推論在氨氮淨化上，電場的效果會比超音波明顯。

三、第三階段實驗

(一) 第一次實驗

1. 導電度：在第三階段第一次實驗，三組實驗組量測出的導電度均上下震盪，沒有呈現出穩定下降的效果，在實驗結束時也沒有顯著的降低，無法看出三組實驗組明顯的對比，我們推測這是因為實驗時間過短，電場與超音波沒有足夠的作用時間，因此我們在第二次實驗將時間拉長到 24 小時。
2. 氨氮：在第三階段第一次實驗，超電 A、超電 B、電 C 氨氮值都有下降，其中電 C 下降最為明顯，在 12 小時的淨化結束後，氨氮含量電 C<超電 B<超電 A，可見電場對於氨氮淨化有顯著作用，並且將超音波與電場的啟動時間完全分開的氨氮去除效果會比將啟動時間交錯的好。
3. 沉澱物：我們發現淨化後三組實驗組的水色有差異，超電水中有許多沉澱物，我們推測這可能是水中物質因獲得電子而發生氧化還原反應形成的物質。

(二) 第二次實驗

1. 導電度：三組的實驗組導電度都顯著降低，在經過 24 小時的淨化後，三者的導電度相差不大。

2. 氨氮：三組實驗組的氨氮值都顯著降低，在經過 24 小時的淨化後氨氮的最終含量電 C<超電 B<超電 A，可見電場淨化氨氮效果顯著
3. 沉澱物：在第三階段第二次實驗後，我們發現電 C 的水色相較其他兩缸呈棕黃色，並且沉澱物也較多，我們對沉澱物分別使用雙縮脲試劑、黃血鹽、赤血鹽進行了檢測，發現沉澱物並不是蛋白質，也不是二價或三價鐵化合物。



圖 57.第三階段第二次實驗沉澱情況，由左而右：超電 A、超電 B、電 C、未淨化池水

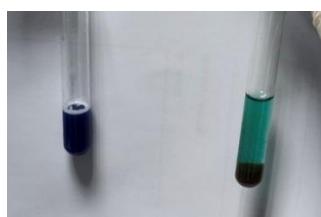


圖 58. 左：呈陽性的雙縮脲試劑
右：電 C 沉澱物

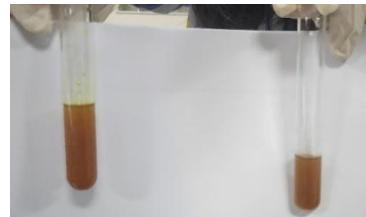


圖 59. 左：電 C 沉澱物加赤血鹽溶液
右：電 C 沉澱物加黃血鹽溶液

四、第四階段實驗

(一) 第一次實驗：

在前 16 小時，氨氮濃度不但沒有下降，反而呈現微幅上升的趨勢，因此在 16 小時後，我們將電壓上升至 7.5V，而後 17 小時，氨氮顯著下降。由此可知，當電場針對高氨氮水淨化時，必須上升功率，低功率長時間的淨化並不能去除氨氮。

五、第五階段

(一) 第一次實驗：

A、B 在有底砂的情況下，氨氮值下降速度會比無底砂快，推測底砂有可能會吸附或中和水中的氨氮，有待未來做進一步的測試，但對電流無較大的影響。

(二) 第二次實驗

在五種底材的測試下，火山石可能因具有較大的孔隙讓沉澱物能順利掉落至底部，

並且在輕微搖晃杯子時，沉澱物也不會被揚起，因此是最適合作為隔絕沉澱物的材料。

六、由三個階段衍生出的水質淨化系統設計

(一) 當水質變好時水質電阻 R_T 會變高，運用 RS 串聯 RT 分壓可取出 V_0 ， $V_0 = 12V$

$$RT/RS+RT$$

(二) 因此水質變好時 V_0 會變高，當 $V_0 > VS$ 時，電壓比較器會使馬達驅動電晶體導通，讓 $12V$ 繼電器動作，驅動抽水馬達抽出較乾淨的水。

(三) 水質檢測電極片位置要低一點。

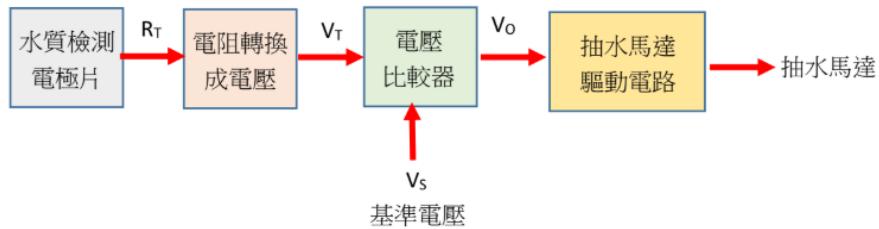


圖 60. 自行設計繪製系統方塊圖

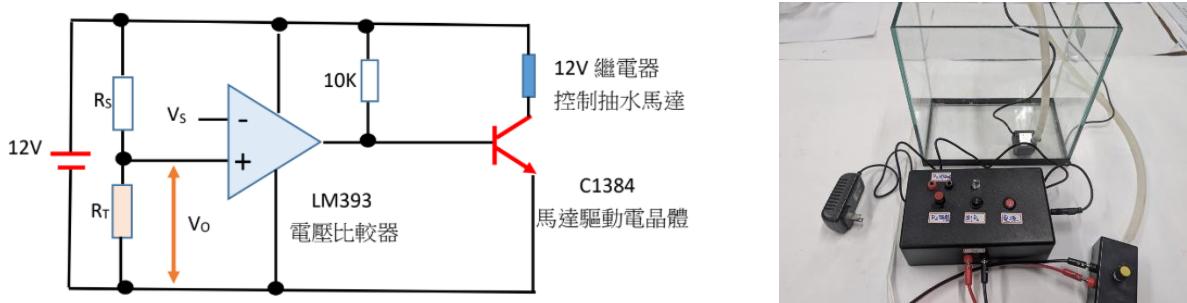


圖 61. 自行設計繪製淨化系統電路圖

(四) 基準電阻：以生態池的第五階段第一、二次實驗，未放置底材的對照組為例，當氨氮淨化完成時對應的電阻約為 $2.24E+03$ 至 $2.38E+03$ 。

五、消耗

(一) 耗能

1. 超音波加電場總耗能

以第三階段第二次實驗超音波與電場結合為例，計算總耗能：

超音波：超音波清洗器的功率為 $50W$ ，開啟時間共 8 小時

$$E=50W \times 8h \div 1000=0.4\text{，共消耗 } 0.4\text{ 度電}$$

電場：初始電流 0.5A，電壓 5V，開啟時間共 12 小時

$$P=5V \times 0.5A=2.5W$$

$$E=2.5W \times 12h \div 1000=0.03\text{，共消耗 } 0.03\text{ 度電}$$

$0.4+0.03=0.43$ ，超音波與電場完整淨化共消耗 0.43 度電，耗時 24 小時，並且不會產生額外廢棄物。

2. 純電場與缸底放置底砂 22 小時淨化耗能

以第四階段第一次實驗為例，根據其電流測量實驗結果計算總耗能：

A: $E=(5V \times 0.59A \times 3h + 5V \times 0.58A \times 3h + 5V \times 0.52A \times 3h + 5V \times 0.55A \times 3h + 5V \times 0.50A \times 3h + 5V \times 0.45A \times 3h + 5V \times 0.45A \times 3h + 5V \times 0.44A \times 1h) \div 1000 = 0.0568\text{ kWh}$

B: $E=(5V \times 0.59A \times 3h + 5V \times 0.52A \times 3h + 5V \times 0.47A \times 3h + 5V \times 0.47A \times 3h + 5V \times 0.42A \times 3h + 5V \times 0.38A \times 3h + 5V \times 0.38A \times 3h + 5V \times 0.38A \times 1h) \div 1000 = 0.05035\text{ kWh}$

C: $E=(5V \times 0.59A \times 3h + 5V \times 0.52A \times 3h + 5V \times 0.43A \times 3h + 5V \times 0.45A \times 3h + 5V \times 0.41A \times 3h + 5V \times 0.34A \times 3h + 5V \times 0.34A \times 1h) \div 1000 = 0.04785\text{ kWh}$

(二) 氨氮淨化：目前學校生態池使用過濾棉配合抽水馬達進行淨化，但是過濾棉無法直接去除氨氮，導致生態池在受到汙染情況下，氨氮累積而無法有效去除，造成藻類大量繁殖，發生優養化，而後藻類死亡釋放氨氮，反覆優養化，形成惡性循環，若搭配使用相對耗電量極低的電場去過濾水質，即可以有效去除氨氮，同時避免過大的能量消耗，也不會產生額外廢棄物，並且水中吸附在電極板上的雜質亦可作為肥料使用。

六、廢棄物處理：電極板上附著的水中廢棄物對植物具有高營養價值，將電極板放在下方埋到種植植物的土裡，使土壤分解附著物質，用自然方法清除廢棄物的方式不會產生額外廢棄物，同時能廢物利用，作為肥料為植物提供養分。



圖 62. 土壤中放入電極板
種植植物示意圖

陸、結論

- 一、超音波能使物質解離，導電度上升，而電場能吸附離子，使導電度下降，兩者在共同作用 24 小時後，對水中帶電粒子的淨化效果跟單獨使用電場的差異不大，所以超音波不適合輔助水中帶電粒子的淨化。
- 二、電場能有效降低水中的氨氮，且加大電壓能縮短淨化的時間，對預防優養化有相當程度的幫助。
- 三、電場處理後的水體會有藻類屍體沉澱，可利用火山石將其吸附並使其沉澱，與淨化後的水體做隔絕，當量多時，可再將石頭與藻類屍體跟泥土做混合，作為天然的有機肥料。

柒、參考資料文獻

1. 陳毓霖、彭嘉貞、林秀雄、蔡利局、甘其銓、王睿騰(2022)。淨水場高錳與氨氮異常水質原水處理對策初探。《自來水會刊》，41(3)，1-2
2. 謝昀珊、童翔新(2021)。利用反應曲面法探討生活污水中氨氮去除之最適化研究。(博士論文)
3. Vasileios Bartzis, Georgios Ninos, Ioannis E. Sarris.(2022,07,31).Water Purification from Heavy Metals Due to Electric Field Ion Drift.Water,14(15),2~4.
4. Nannan Wang, Liangwei Li, Kai Wang, Xitong Huang, Yanhe Han, Xuejiao Ma, Menghan Wang, Xiao Lv, Xinming Bai.(2023,11,01).Study and Application Status of Ultrasound in Organic Wastewater Treatment.Water,15(21).
5. 永鴻國際生技。水質顧的好，水產養殖沒煩惱。檢索時間：2024.04.01。Vetnostrum。
<https://pse.is/6w37ws>
6. 洛科儀器股份有限公司。檢索時間：2024.04.01。廢水檢測。Rocker 洛科儀器。
<https://www.rocker.com.tw/application/cod%E6%B0%B4%E8%B3%AA%E6%AA%A2%E6%B8%AC/>
7. 環境部全國環境水質監測資訊網。優養化(Eutrophication)。檢索時間：2024.04.6。
https://wq.moenv.gov.tw/EWQP/zh/Encyclopedia/NounDefinition/Pedia_01.aspx
8. 環境部全國環境水質監測資訊網。導電度(Electrical conductivity ,EC)。檢索時間：2024.0.24https://wq.moenv.gov.tw/EWQP/zh/Encyclopedia/NounDefinition/Pedia_48.aspx

圖片編號	來源	圖片編號	來源
圖.1	永鴻國際生技公司,《水質顧得好,水產養殖沒煩惱》	圖.30	第一作者
圖.2	第一作者	圖.31	第一作者
圖.3	第二作者	圖.32	第一作者
圖.4	第二作者	圖.33	第一作者
圖.5	第一作者	圖.34	第一作者
圖.6	第一作者	圖.35	第一作者
圖.7	第一作者	圖.36	第一作者
圖.8	第一作者	圖.37	第一作者
圖.9	第二作者	圖.38	第一作者
圖.10	第一作者	圖.39	第一作者
圖.11	第一作者	圖.40	第一作者
圖.12	第一作者	圖.41	第二作者
圖.13	第一作者	圖.42	第二作者
圖.14	第一作者	圖.43	第二作者
圖.15	第一作者	圖.44	第二作者
圖.16	第一作者	圖.45	第二作者
圖.17	第一作者	圖.46	第一作者
圖.18	第一作者	圖.47	第一作者
圖.19	第二作者	圖.48	第一作者
圖.20	第二作者	圖.49	第一作者
圖.21	第二作者	圖.50	第一作者
圖.22	第二作者	圖.51	第二作者
圖.23	第一作者	圖.52	第二作者
圖.24	第一作者	圖.53	第二作者
圖.25	第一作者	圖.54	第二作者
圖.26	第一作者	圖.55	第二作者
圖.27	第一作者	圖.56	第二作者
圖.28	第一作者	圖.57	第二作者
圖.29	第一作者	圖.58	第二作者

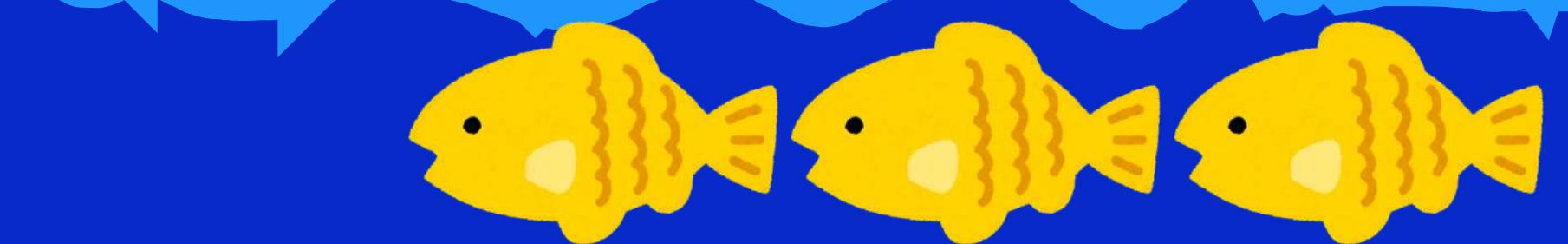
【評語】052606

本研究探討電場結合超音波淨化水質之效能，其研究成果顯示超音波未能去除水中之導電度與氨氮，電場則可有效降低水中氨氮濃度。水質指標眾多，僅以導電度或氨氮為研究指標恐難以說明水質淨化程度，建議先預定好處理的標的物，並透過文獻瞭解電場與超音波對該標的物處理時的作用機制與相關成果，再根據現行技術不足處清楚地提出想釐清的問題或研究創新處，並以此訂立研究標的。其他建議與問題如下：

1. 氨氮的量測方法？
2. 電導度與水質的關係？
3. 處理標的是溶解性物質還是懸浮性物質？
4. 電極板間的距離是否控制一致？
5. 研究中使用生態池水，因此應該有微生物之存在，但於說明書中未進行空白實驗，因此無法探討生物降解氨氮的比例。
此外，於生態池中施加電場對水中生物是否會有影響？

作品海報

探討電場淨化水質的效果 及利用超音波輔助電場淨化之可行性



四、第三階段實驗

(一) 第一次實驗：2/6(12小時)

水源：生態池 總時長：**12小時**

氨氮：每四小時檢測 導電度：每小時檢測

1. 超電A：

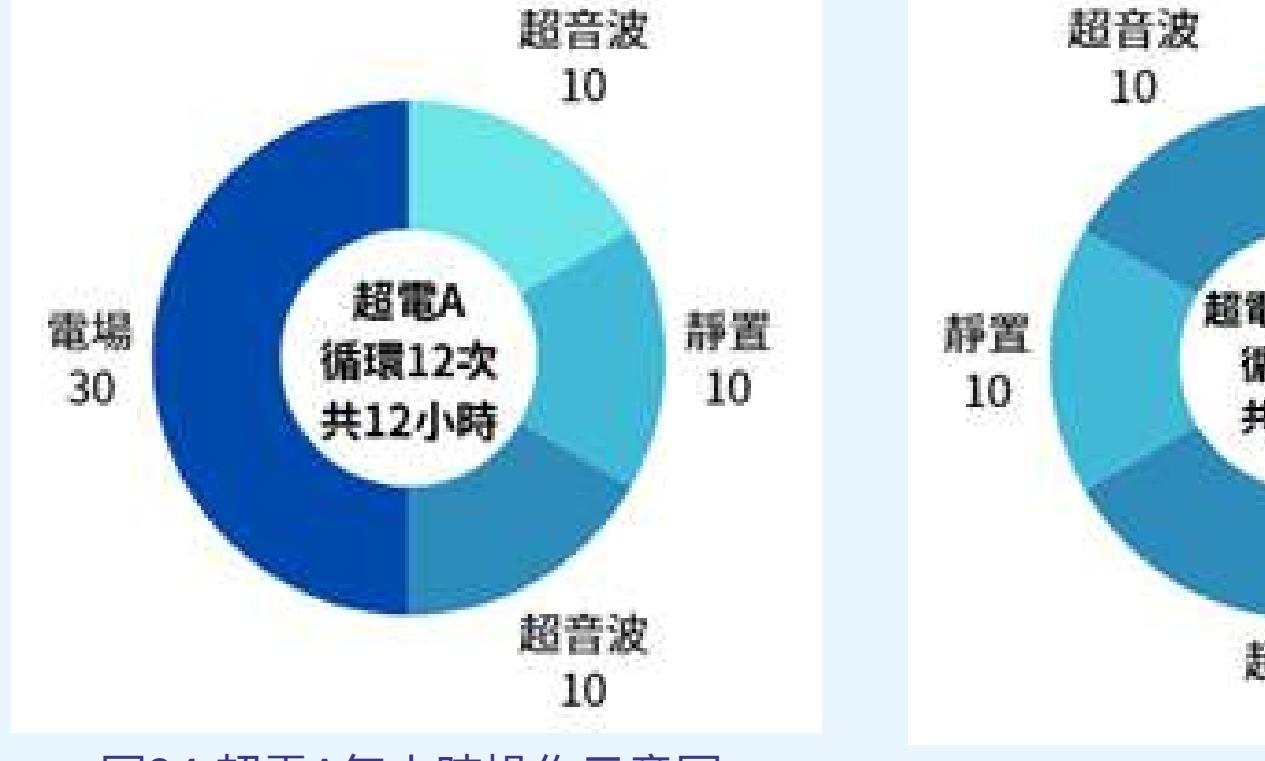


圖24.超電A每小時操作示意圖

2. 超電B：

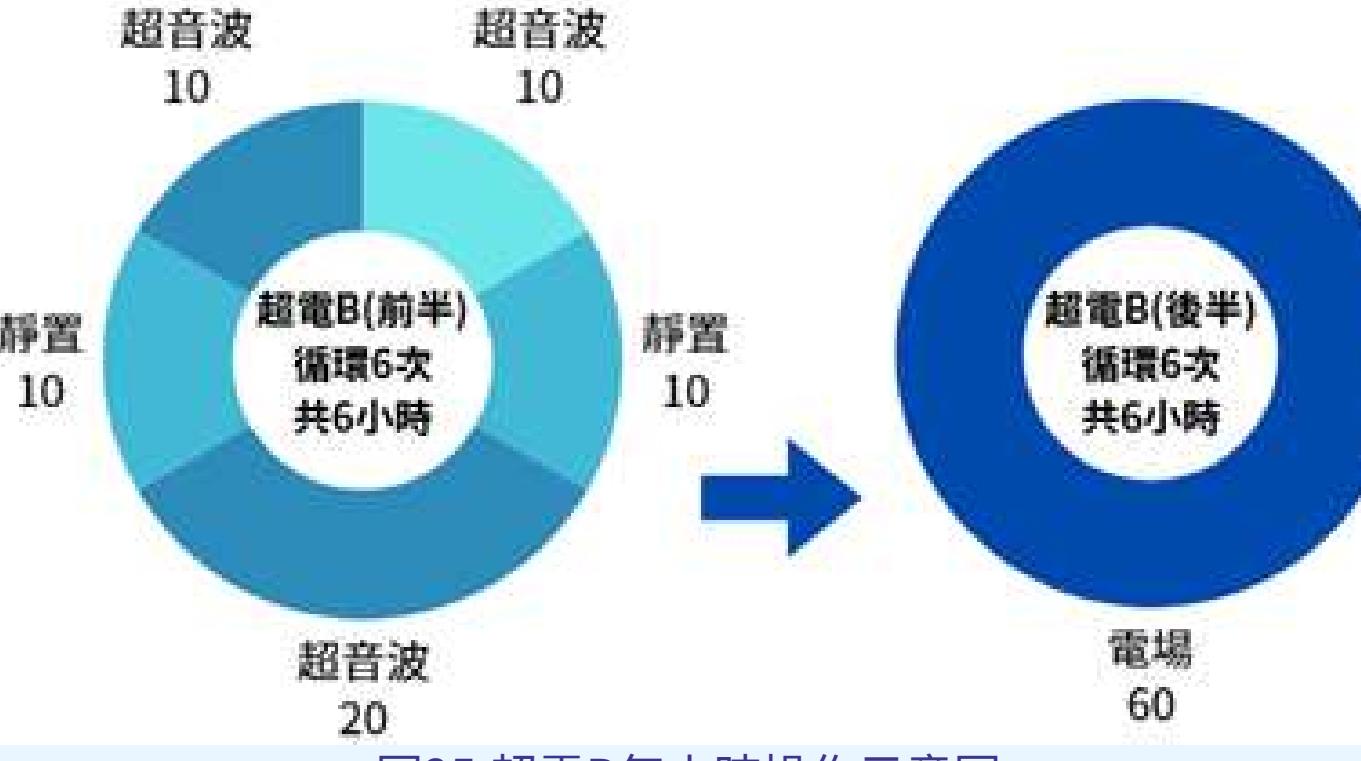


圖25.超電B每小時操作示意圖

3. 電場C：

六片電極板，間隔2.9公分，5V直流電源，不間斷電場處理**12小時**。

五、第四階段實驗

(一) 第一次實驗：

氨氮濃度**19.19mg/L**

水源：烏龜養殖水

總時長：45小時

氨氮：每4小時檢測

導電度：每小時檢測

淨化：電場

(前16小時5V，後29小時7.5V)

(二) 第二次實驗：

氨氮濃度**27.6mg/L**

水源：烏龜養殖水

總時長：28小時

氨氮：每4小時檢測

導電度：每小時檢測

淨化：電場(10V)

六、第五階段實驗

(一) 第一次實驗：

水源：生態池水

總時長：22小時

氨氮：每4小時檢測

電流：每3小時檢測

導電度：每小時檢測

淨化：電場(5V)

石英石(A)、石英砂(B)及對照組(C)

(二) 第二次實驗：

準備5個500ML燒杯，放入約1.5公分厚的底材，倒入經過電場淨化24小時後，將沉澱物攪混的生態池水，靜置一晚



圖28.濾材(從左至右分別是:火山石、石英砂、過濾棉、陶瓷濾材)



圖29.濾材與淨化後生態池水剛到入水樣示意圖(從左至右分別是:火山石、石英砂、過濾棉、陶瓷濾材)

一、第一階段實驗

(一) 第一次實驗結果：

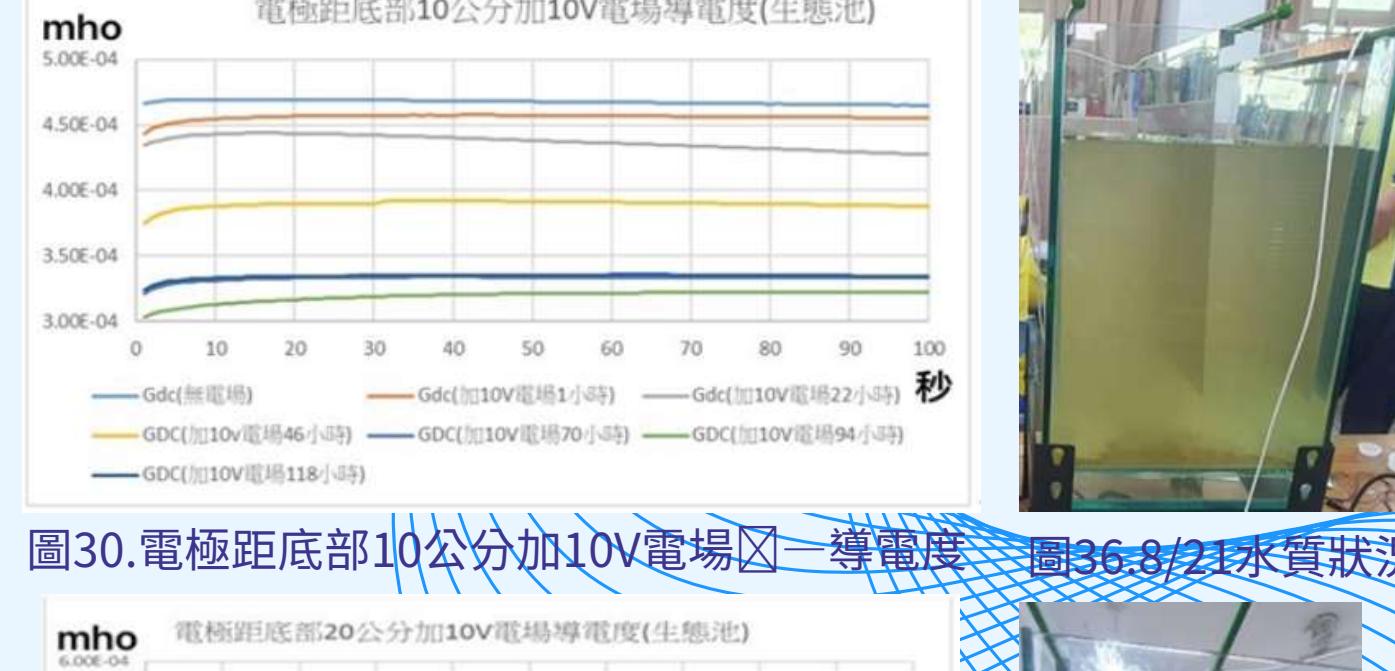


圖30.電極距底部10公分加10V電場區—導電度

圖36.8/21水質狀況

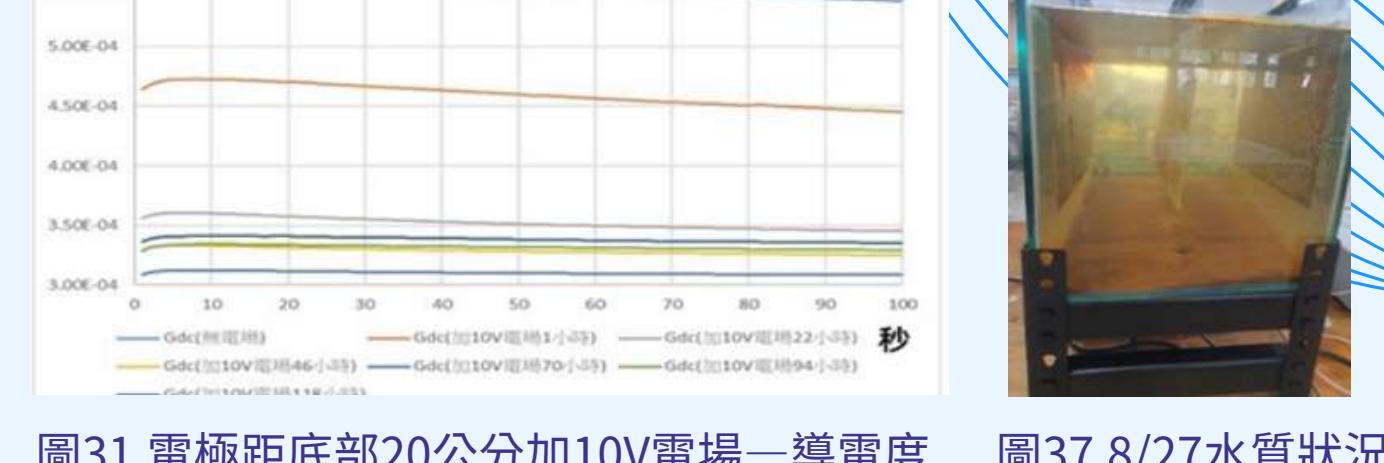


圖31.電極距底部20公分加10V電場—導電度

圖37.8/27水質狀況

(二) 第二次實驗結果：

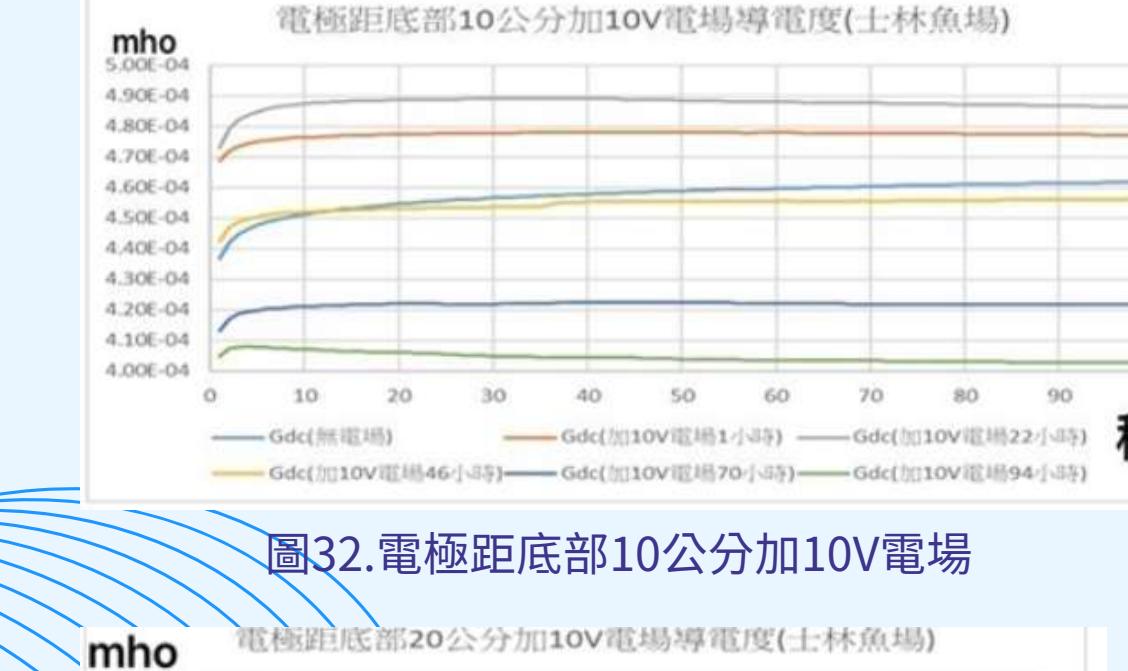


圖32.電極距底部10公分加10V電場

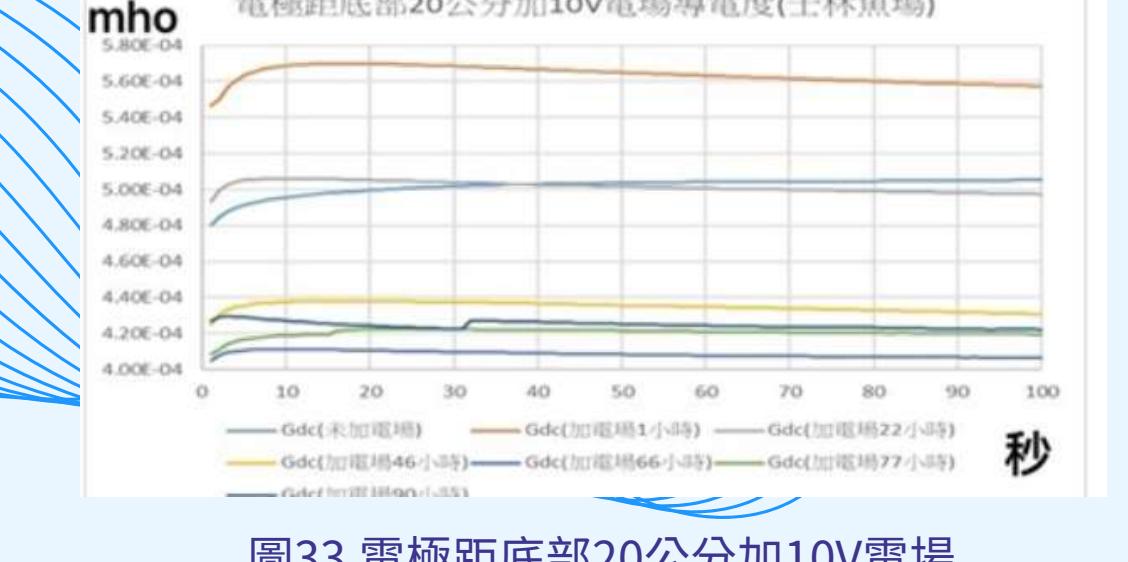


圖33.電極距底部20公分加10V電場

肆、研究結果

(三) 第三次實驗結果：

表1第一階段第三次實驗導電度與電阻

測試時間	深度 20 公分(100 秒平均值)		深度 10 公分(100 秒平均值)		備註
	電阻(KΩ)	導電度(mho)	電阻(KΩ)	導電度(mho)	
13:50	1.28	782			
13:55			1.45	689	超音波 14:00-
14:15	1.11	900	1.41	709	14:10ON10 分鐘
14:20			1.07	931	超音波 14:40-
14:52	1.07	931	1.4	714	14:50ON10 分鐘
14:55					
17:00	1.19	841			
17:03			1.24	807	超音波 17:05-
17:20	1.22	817	1.32	757	17:15ON10 分鐘
17:23					
16 日 17:15	1.13	882			靜置 2 天
16 日 17:18			1.35	738	

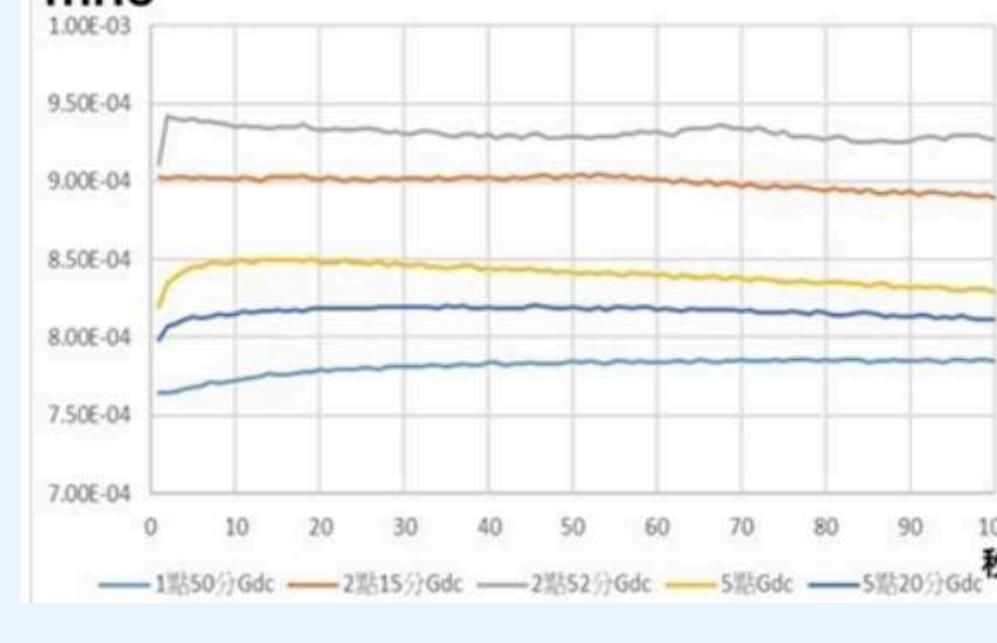


圖35.經超音波測試的導電度圖

二、第二階段實驗

(一) 第一次實驗結果：

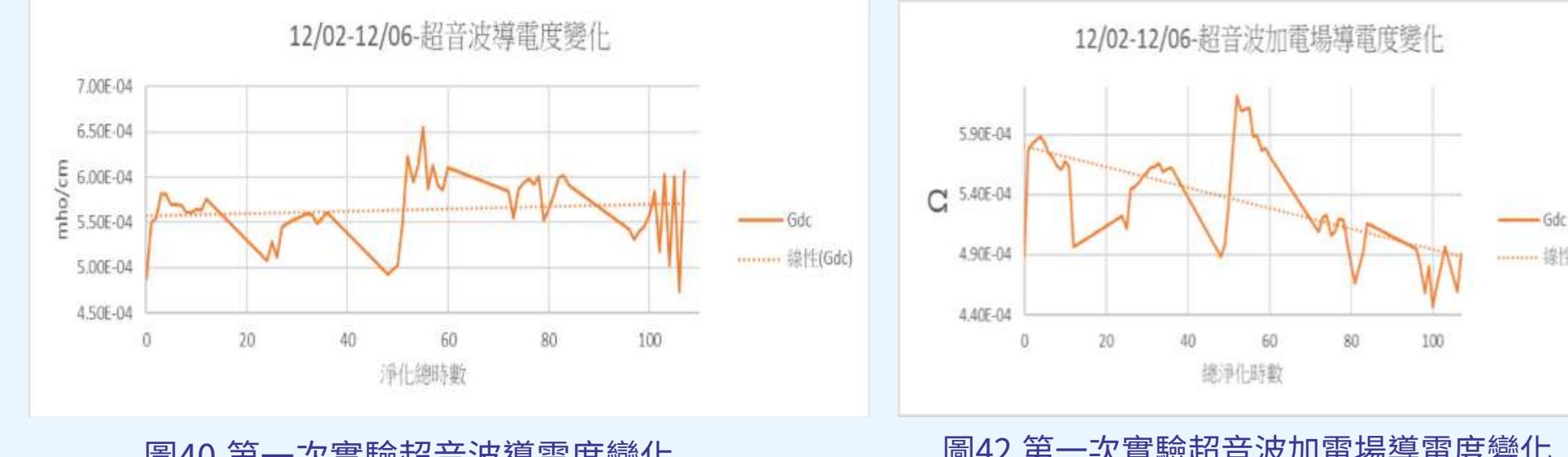


圖40.第一次實驗超音波導電度變化



圖42.第一次實驗超音波加電場導電度變化



圖44.第二次實驗超音波導電度變化

(二) 第二次實驗結果：

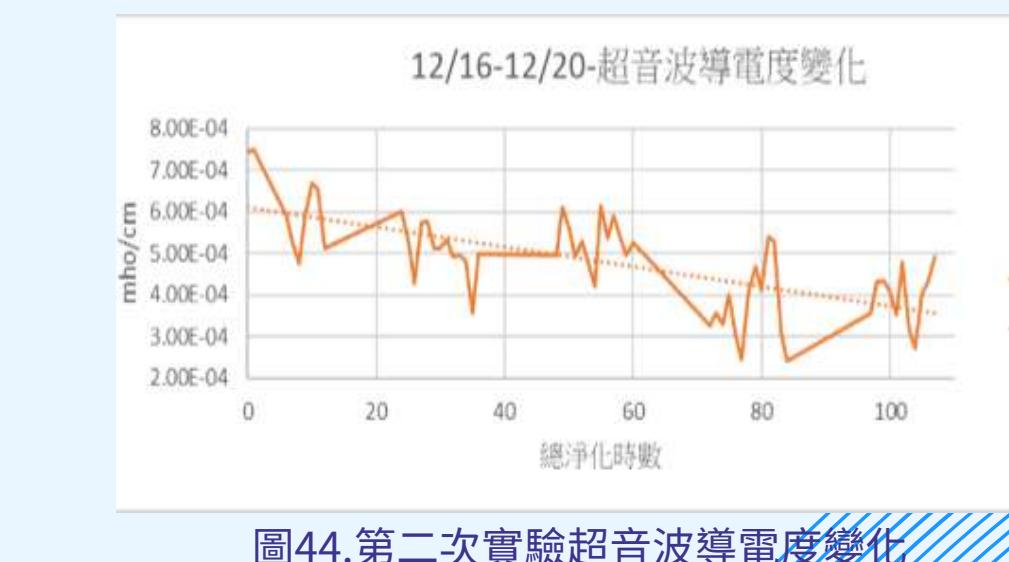


圖46.第二次實驗電場導電度變化



圖48.第一次實驗導電度變化圖



圖50.第二次實驗導電度變化圖

三、第三階段實驗

(一) 第一次實驗結果：

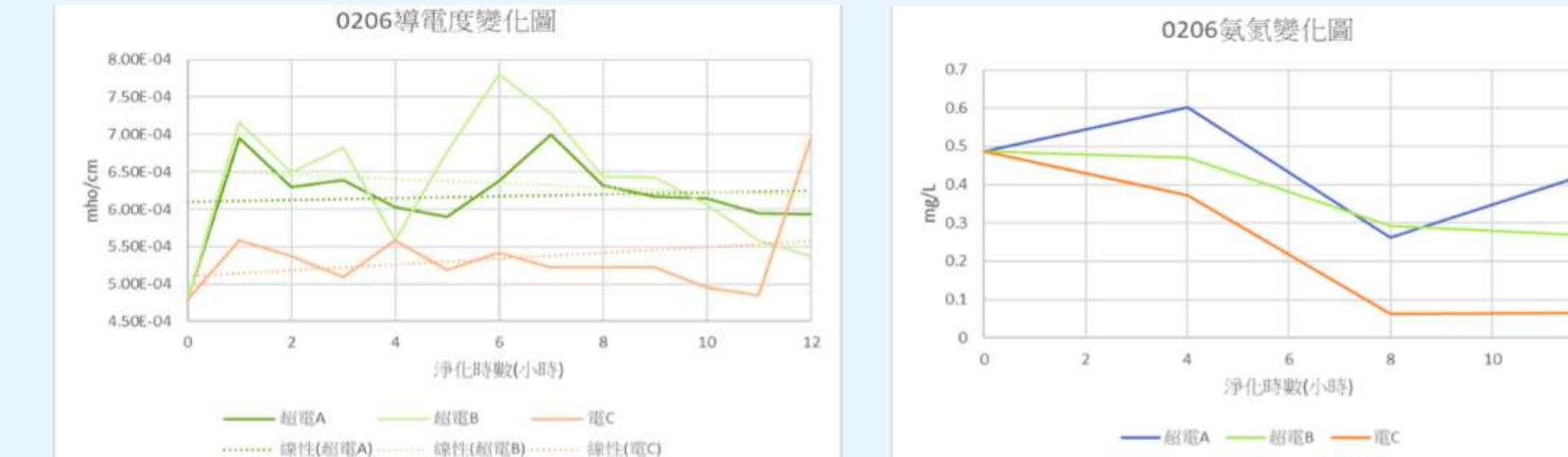


圖49.第一次實驗氨氮變化圖

(二) 第二次實驗結果：



圖51.第二次實驗氨氮變化圖

四、第四階段實驗

(一) 第一次實驗結果：

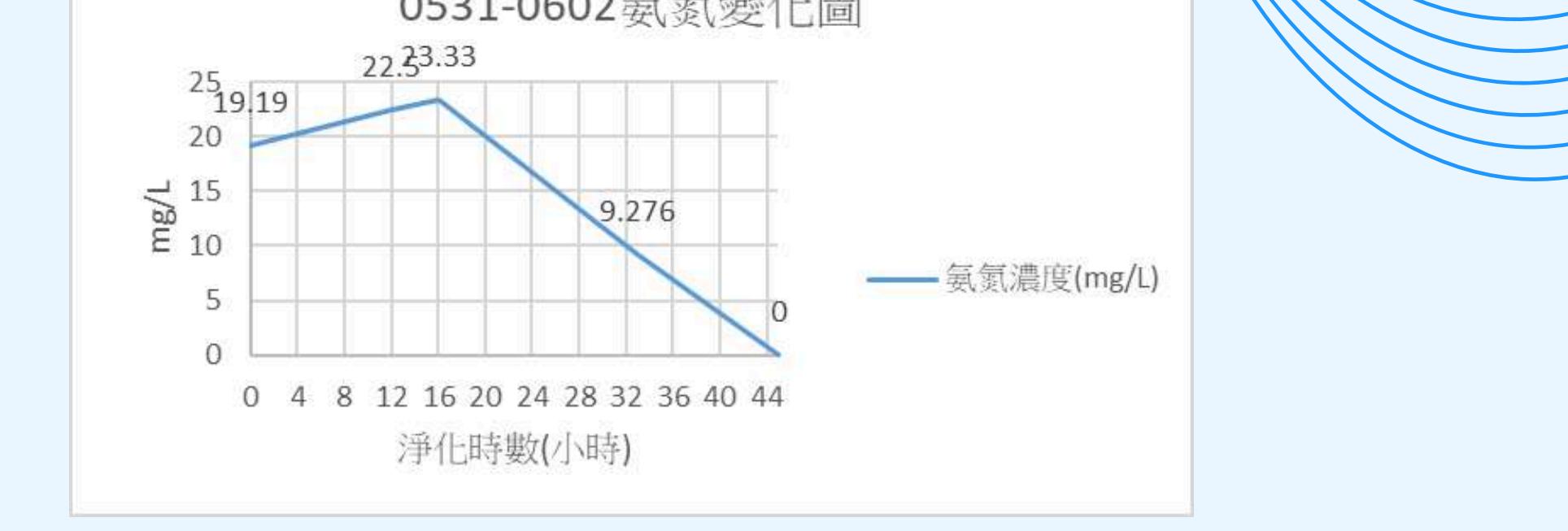


圖53.第四階段第一次實驗氨氮變化圖

(二) 第二次實驗結果：

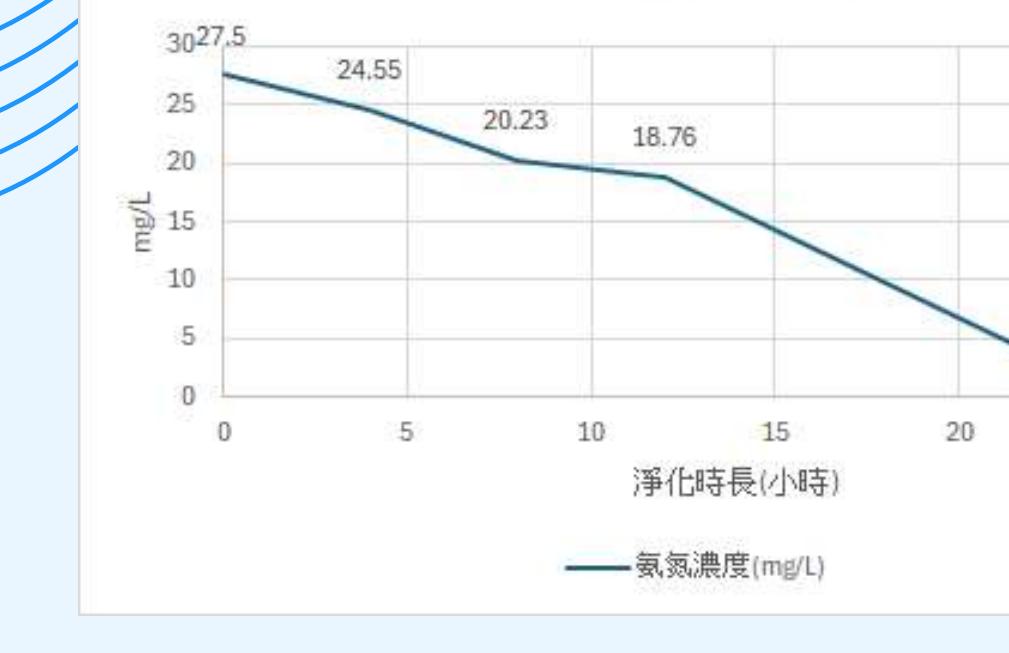


圖55.第四階段第二次實驗氨氮變化圖

表2.第三階段第一次實驗氨氮統整表

	0小時	4小時	8小時	12小時
超電 A	0.486mg/L	0.601 mg/L	0.261 mg/L	0.434 mg/L
超電 B	0.486mg/L	0.471 mg/L	0.293 mg/L	0.266 mg/L
電 C	0.486 mg/L	0.371 mg/L	0.062 mg/L	0.065 mg/L

表3.第三階段第二次實驗氨氮統整表

	0小時	4小時	8小時	12小時	16小時	20小時	24小時
超電 A	0.489mg/L	0.443mg/L	0.444mg/L	0.238mg/L	0.213mg/L	0.123mg/L	0.168 mg/L
超電 B	0.489mg/L	0.455mg/L	0.455mg/L	0.303mg/L	0.339mg/L	0.249mg/L	0.083mg/L
電 C	0.489mg/L	0.403mg/L	0.287mg/L	0.094mg/L	0.056mg/L	0mg/L	0mg/L

圖52.第三階段第二次實驗沉澱情況，由左而右：超電

A、超電 B、電 C、未淨化池水



圖53.左：電C沉澱物加赤血鹽溶液、右：電C沉澱物加黃血鹽溶液



圖54.左：呈陽性的雙縮脲試劑、右：電C沉澱物

摘要

本實驗是利用電場可吸附水中帶電粒子，以及超音波可將物質震碎的特性，將兩者的效果結合起來，探討是否有助於水質的淨化。實驗結果發現，雖然超音波在開始時確實可以使導電度上升，但與電場一起作用24小時後，會比單純使用電場的效果差，因此判斷以超音波輔助或加速水質進化的功效是有限的。此外，經過氮氣測試後發現，電場能有效降低水中氮氣的量，而過高的氮氣是造成池水優養化的主要原因，而一般水族業者或玩家也都希望養殖缸中的氮氣越少越好，而實驗結果證實可利用電場降低水中氮氣量，繼而達到阻止優養化發生的作法是可行的。

壹、前言

一、研究動機

校園中的生態池一直是很吸引大家前往的舒壓場所，但是往往會被它的顏色所驚恐，有時清澈，有時混濁，有時綠意盎然，而有時會散發著特殊的氣味，而這些現象讓我們不禁聯想到是不是池中的某些物質失去平衡，或是呈現汙染的狀態，而傳統的過濾方式既耗電，效率又不高，因此在搜尋文獻時看到有人使用電場來淨化水質，而又查到超音波能破壞水中一些汙染物質，使其沉澱，因此有了此次研究的方向，一方面探討電場對於水質淨化的可行性，而另一方面探討超音波是否能夠扮演協助電場淨化水質的功能，如果可行，未來可作為一項既環保而又不耗電、永續的淨化模式。

二、研究目的

- (一) 以導電度改變為依據探討電場對於淨化水質的功效
- (二) 以導電度與電阻值改變為依據探討超音波對於淨化水質的效果與可行性
- (三) 以氮氣含量改變為依據探討電場與超音波對於預防優養化的可行性

貳、研究設備及器材

一、自製器材



圖1.水質淨化箱



圖2.小電極板



圖3.大電極板



圖4.水質檢測電極片

二、非自製器材



圖5.直流電源供應器

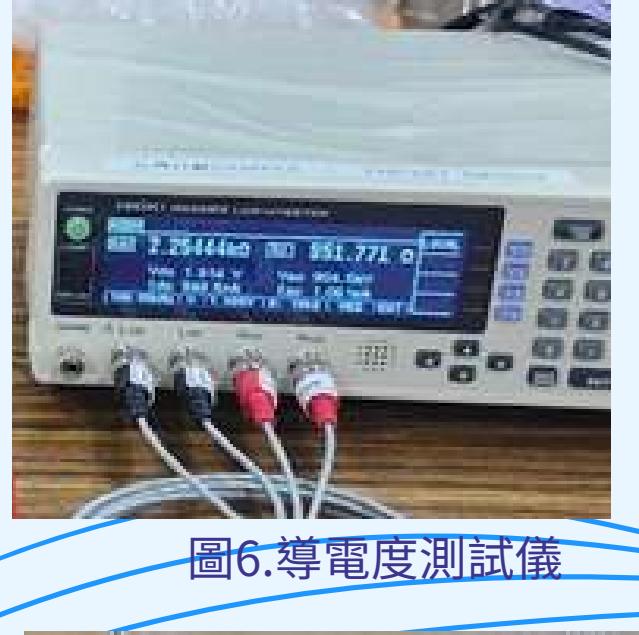


圖6.導電度測試儀



圖7.水質鑑測儀



圖8.超音波清洗器

最初水平	L
L_{min}	72 dB
L_{max}	109 dB
L_{eq}	104 dB
L_{pk}	119 dB
CF	15 dB



圖9.氨氮檢測試劑



圖10.孔雀魚缸

圖11.濾材(從左至右分別是:火山石、石英砂、石英石、過濾棉、陶瓷濾材)

參、研究過程與方法

一、原理應用

(一) 超音波空化(Cavitation)高能量能使粒子分裂(汙染物質分裂)

1. 質量 m_1 電中性汙染物顆粒，經超音波空化現象後裂解成，質量 m_1 帶正電(Q11)較小顆粒與質量 m_1 帶負電(Q12)較小顆粒。
2. 此現象會造成水中導電度增加。
3. 小質量帶電顆粒受電場吸引作用力之加速度會較大。依 $F = QE = ma$ ；
 F 是電場對帶電 Q 移動之作用力、 E 是對帶電 Q 作用之電場強度、 a 是加速度、 m 是帶電顆粒質量。因此在 F 固定時小質量帶電顆粒受電場吸引作用力之加速度 a 會較大，提高電場吸引與除汙速度。

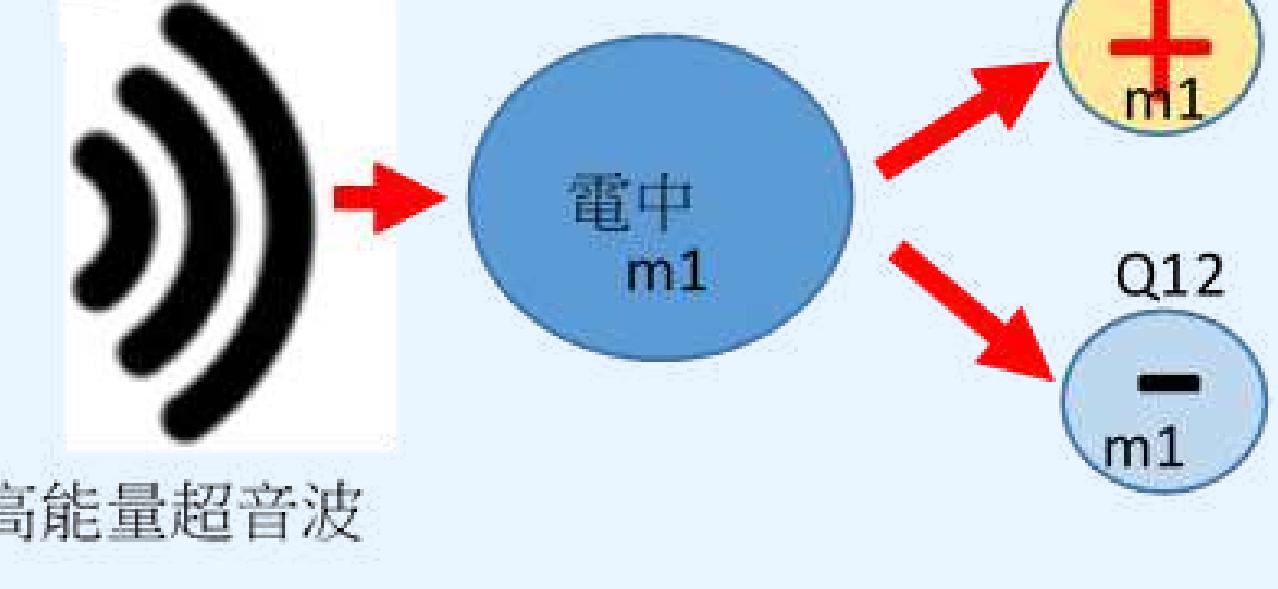


圖12.超音波裂解水中微汙染物顆粒示意圖

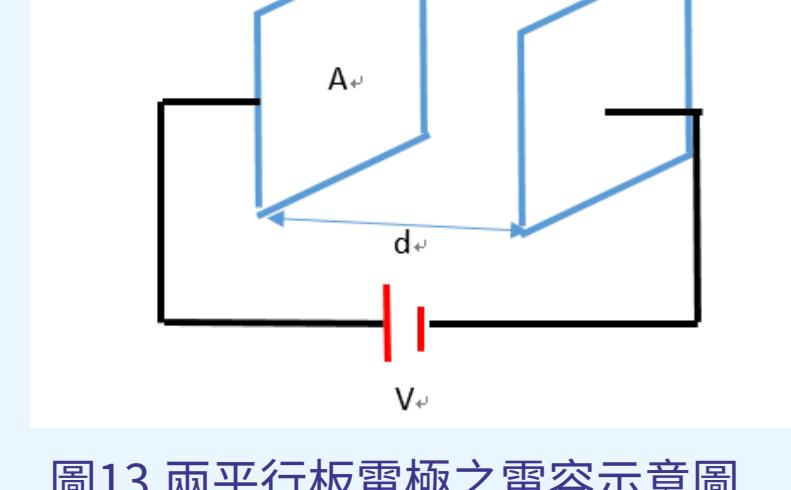


圖13.兩平行板電極之電容示意圖

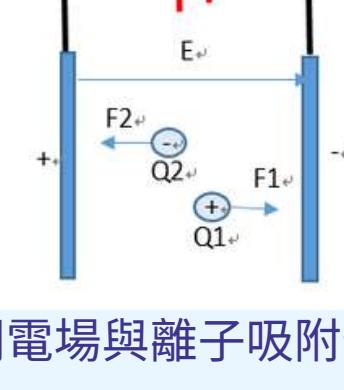


圖14.兩平行板電極間電場與離子吸附作用力示意圖

二、第一階段實驗

(一) 水質淨化箱設計

自行設計一個水質淨化箱與兩種不同深度的導電度檢測裝置。

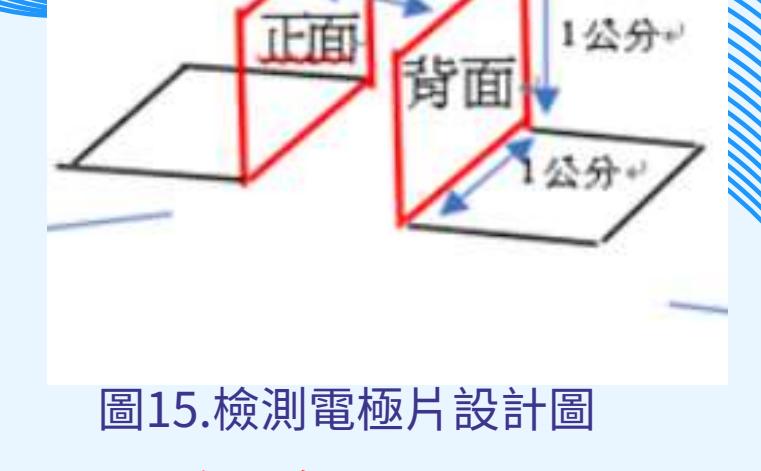


圖15.檢測電極片設計圖

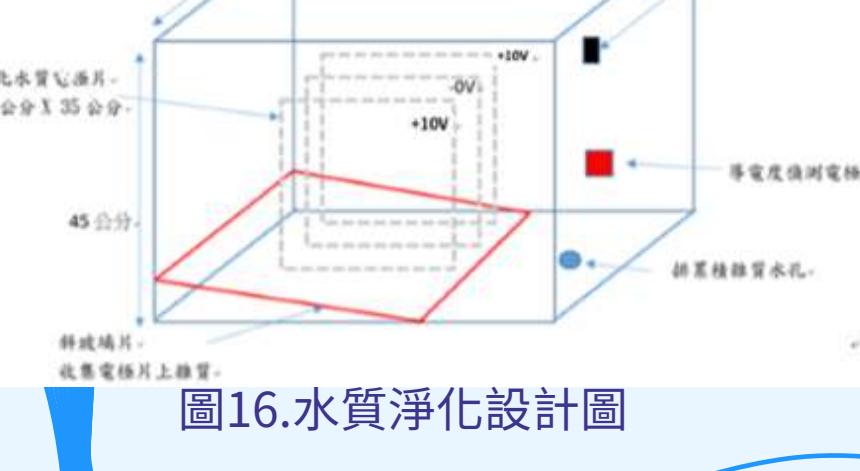


圖16.水質淨化設計圖

(三) 第一次實驗：8/21-8/27

總時長：118小時 水源：**生態池水** 電壓：10V
電極板：三片，間隔15公分 導電度：每24小時檢測

(五) 第三次實驗：9/13

總時長：2小時 水源：生態池 淨化：超音波

三、第二階段實驗

(一) 第一次實驗：12/02-12/06(107小時)

水源：生態池水

總時長：107小時

氨氮：每天17時檢測

導電度：每小時檢測

淨化：超音波、電場、超音波加電場



圖22.電擊板擺放示意圖

(二) 尋找實驗水源



圖17.生態池



圖18.土林魚場

(四) 第二次實驗：8/27-8/31

總時長：94小時 水源：**土林魚場水** 電壓：10V
電極板：三片，間隔15公分 導電度：每24小時檢測



圖19.電擊板擺放位置示意圖



圖20.第二次實驗水缸



圖21.超音波淨化測試

(二) 第二次實驗：12/16-12/20(107小時)

水源：生態池水

總時長：107小時

氨氮：每天17時檢測

導電度：每小時檢測

淨化：超音波、電場、超音波加電場

1. 超音波缸：每小時開啟十分鐘後，靜置五十分鐘後測量電阻
2. 電場缸：四片電極板，間隔4.2公分，連接**2.5V**的直流電源
3. 超音波加電場缸：前52小時進行超音波處理後，進行電場處理



圖23.水缸與直流電源供應器擺放示意圖

五、第五階段實驗

(一) 第一次實驗結果：

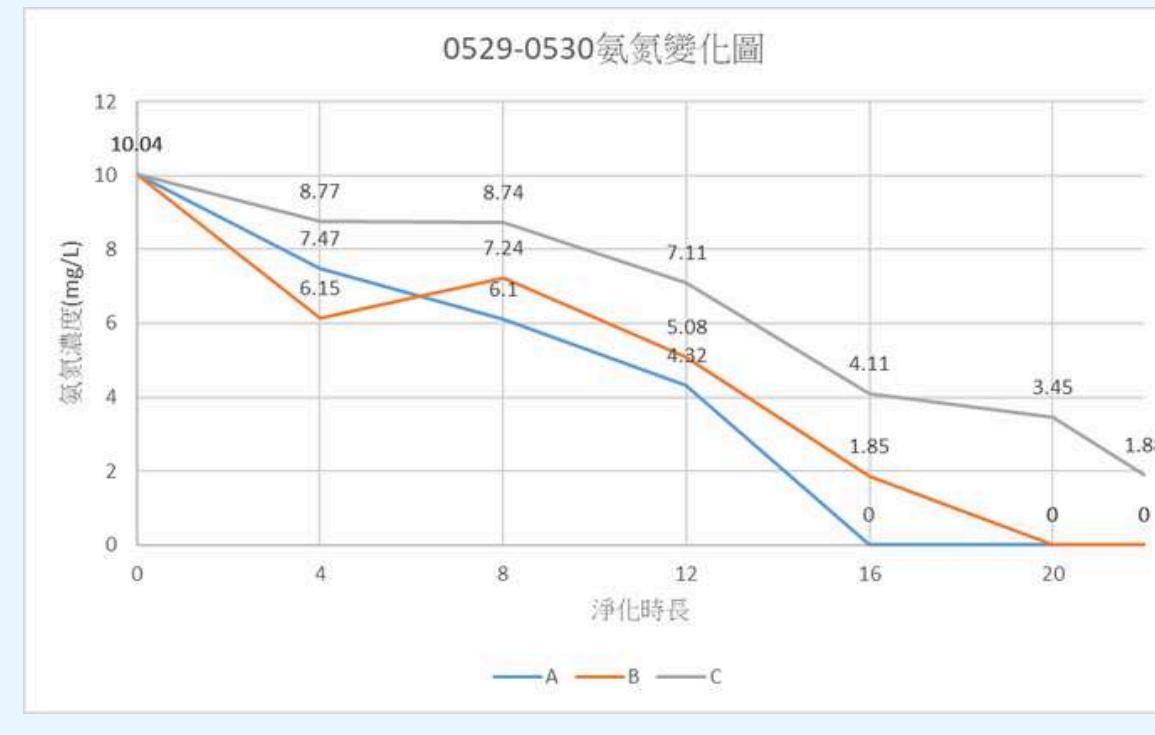


圖57.第五階段第一次實驗氨氮變化圖



圖58.第五階段第一次實驗導電度變化圖

表4.第五階段第一次實驗電流變化表

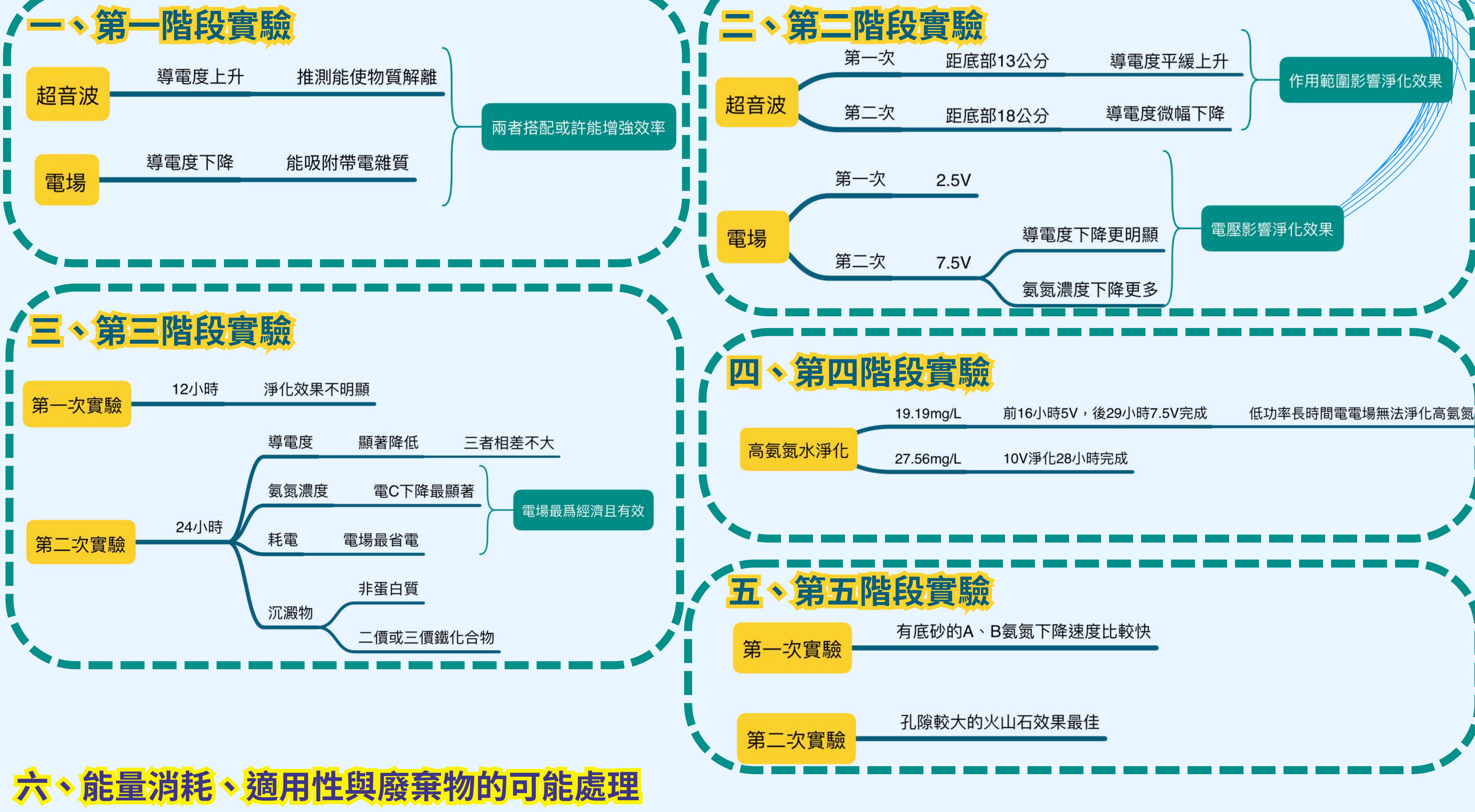
淨化時間 (小時)	0 小時	3 小時	6 小時	9 小時	12 小時	15 小時	18 小時	21 小時
A 電流(A)	0.59	0.58	0.52	0.55	0.5	0.45	0.45	0.44
B 電流(A)	0.59	0.52	0.47	0.47	0.42	0.38	0.38	0.38
C 電流(A)	0.59	0.52	0.43	0.45	0.41	0.34	0.34	0.33

(二) 第二次實驗結果：



圖59.第五階段第二次實驗靜置12小時後示意圖

伍、討論



六、能量消耗、適用性與廢棄物的可能處理

(一) 電能消耗

1. 超音波加電場總耗能以第三階段第二次實驗超音波與電場結合為例，計算總耗能：

超音波：超音波清洗器的功率為50W，開啟時間共8小時 $E=50W \times 8h \div 1000=0.4$ ，共消耗 0.4 度電

電場：初始電流0.5A，電壓5V，開啟時間共12小時

$P=5V \times 0.5A=2.5W$

$E=2.5W \times 12h \div 1000=0.03$ ，共消耗 **0.03kWh**

$0.4+0.03=0.43$ ，超音波與電場完整淨化共消耗 **0.43kWh**，耗時24小時，

並且不會產生額外廢棄物。

2. 高氮氮淨化耗能

以第四階段第二次實驗為例，根據電流測量結果計算，總耗能為：**0.3973 kWh**

3. 純電場與缸底放置底砂22小時淨化耗能

以第五階段第一次實驗為例，根據電流測量結果計算，總耗能各為：

A : 0.0568 kWh

B : 0.05035 kWh

C : 0.04785 kWh

(二) 氨氮淨化

目前學校生態池使用過濾棉配合抽水馬達進行淨化，但是過濾棉無法直接去除氨氮，導致生態池在受到汙染情況下，氨氮累積而無法有效去除，造成藻類大量繁殖，發生優養化，而後藻類死亡釋放氨氮，反覆優養化，形成惡性循環，若搭配使用相對耗電量極低的電場去過濾水質，即可以有效去除氨氮，同時避免過大的能量消耗，也不會產生額外廢棄物，並且水中吸附在電極板上的雜質亦可作為肥料使用。

(四) 廢棄物的可能處理

電極板上附著的水中廢棄物對植物具有高營養價值，將電極板放在下方埋到種植植物的土裡，使土壤分解附著物質，用自然方法清除廢棄物的方式不會產生額外廢棄物，同時能廢物利用，作為肥料為植物提供養分。



圖48.土壤中放入電極板種植植物示意圖

圖49.自行設計繪製系統方塊圖

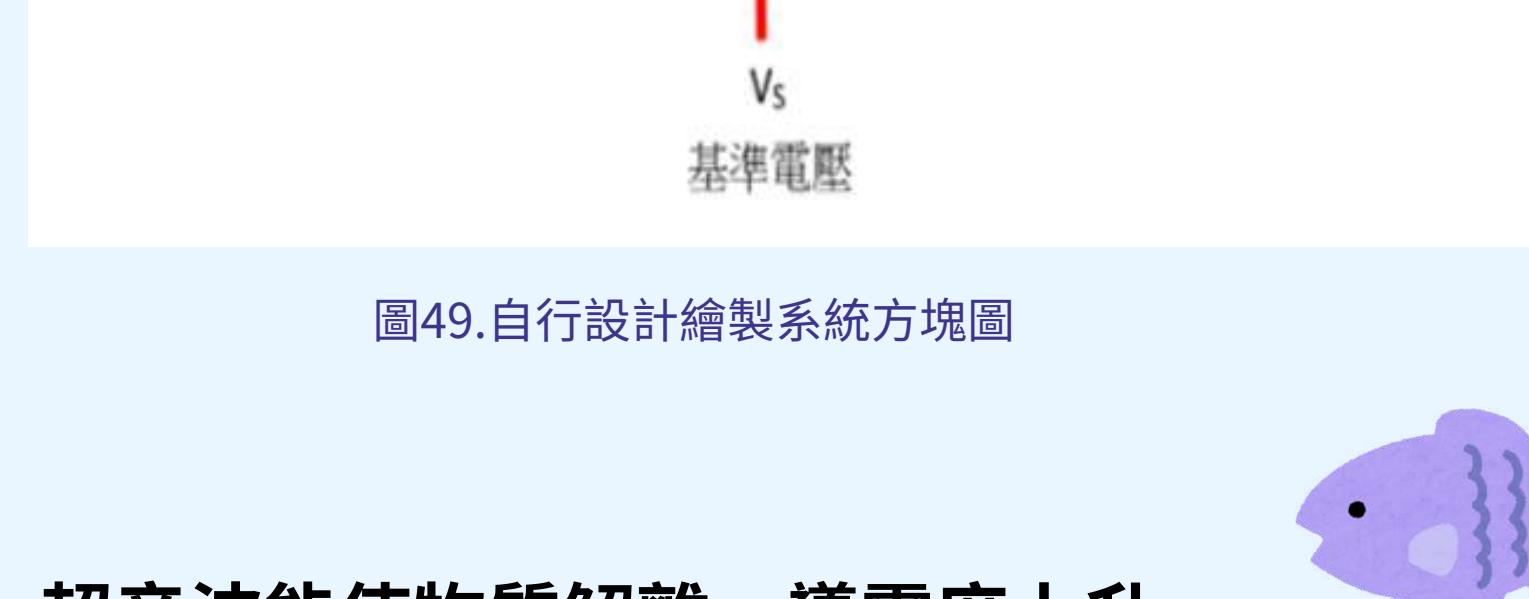


圖50.自行設計繪製淨化系統電路圖



圖51.自行設計淨化系統

陸、結論

一、超音波能使物質解離，導電度上升。

二、電場能吸附離子，使導電度下降。

三、超音波搭配電場的淨化效果與單獨使用電場的效果差異不大。

四、電場能有效降低水中的氨氮，對預防優養化有相當程度的幫助。

捌、參考資料文獻

- 陳毓霖、彭嘉貞、林秀雄、蔡利局、甘其銓、王睿騰(2022)。淨水場高錳與氨氮異常水質原水處理對策初探。《自來水會刊》，41(3)，1-2。
- 謝昀珊、童翔新(2021)。利用反應曲面法探討生活污水中氨氮去除之最適化研究。(博士論文)
- Vasileios Bartzis, Georgios Ninos, Ioannis E. Sarris.(2022,07,31).Water Purification from Heavy Metals Due to Electric Field Ion Drift.Water,14(15),2~4.
- Nannan Wang, Liangwei Li, Kai Wang, Xitong Huang, Yanhe Han, Xuejiao Ma, Menghan Wang, Xiao Lv, Xinming Bai.(2023,11,01).Study and Application Status of Ultrasound in Organic Wastewater Treatment.Water,15(21).
- 永鴻國際生技(2024,04 01)。水質顧的好，水產養殖沒煩惱。Vetnostrum : <https://www.pse.is/6w37tw>
- 洛科儀器股份有限公司(2024,04 01)。廢水檢測。Rocker洛科儀器。<https://www.rocker.com.tw/application/cod%E6%B0%84%E8%B3%AA%E6%AA%A2%E6%B8%AC/>
- 環境部全國環境水質監測資訊網(2024,04 26)。優養化(Eutrophication)。全國環境水質監測資訊網。https://wq.moenv.gov.tw/EWQP/zh/Encyclopedia/NounDefinition/Pedia_01.aspx
- 環境部全國環境水質監測資訊網(2024,03 24)。導電度(Electrical conductivity, EC)。全國環境水質監測資訊網。https://wq.moenv.gov.tw/EWQP/zh/Encyclopedia/NounDefinition/Pedia_48.aspx