

2024 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 成果報告表單

題目名稱：永續綠能水質清淨機

一、摘要

我們設計製作了「永續綠能水質清淨機」，將清淨機放置於戶外生態池或養殖池的水面上，太陽能板會將太陽能轉換成電力儲存於行動電源。水泵會以行動電源所儲存的電力驅動，讓水緩慢的流過水流閘。當污水以水泵從進水口的格子送進光觸媒水流閘通過無數的格子，水流通道貫穿每一格與內側塗佈的二氧化鈦接觸以進行含氮廢物的降解，最後由出水口排出光觸媒水流閘。陽光照射在光觸媒水流閘結構，經過日光的曝曬，便會降解含氮廢物及磷酸鹽等化合物。在夜間或陰天的低光環境，會利用光敏電阻控制啟動紫外線 LED 燈照射二氧化鈦光觸媒讓裝置進行除污，除此之外為了節省能源消耗，於日光充足的時候能透過光敏電阻的感應控制將紫外線 LED 燈關掉，僅由陽光照射二氧化鈦光觸媒；於無太陽的夜間或陰暗日才啟動紫外線 LED 燈。另外，可動的屏蔽於使用紫外線 LED 燈時防止紫外線外溢環境，當陽光充足時才利用水泵的水力將屏蔽推開改由日光提供光觸媒所需光源。



永續綠能水質清淨機

二、探究題目與動機

台灣各地水資源問題一直以來都是政府及相關單位極力解決的課題，因為水族及養殖相關產業在台灣一直是蓬勃發展的，曾寫下輝煌歷史與經濟奇蹟，其影響深遠不容忽視。但是，不論是水體較小的水族或是水體較大的公園生態池，甚至整個養殖產業，不可避免的就是面臨水質不良的問題，其中最具影響的就是水質的污染及其所造成的溶氧量下降。

如果水中生物的排泄物過多或飼食的餌料有剩餘就會造成含氮廢物(氨氮、亞硝酸氮、硝酸氮)以及磷酸鹽等化合物暴增的水質污染情況。不僅會直接造成生物體中毒，也會間接導致溶氧量下降。其中，溶氧量的下降主要是由於細菌轉換含氮廢物過程中會消耗大量氧氣，文獻顯示 1ppm 的含氮物質轉換約需耗費 4.6ppm 的氧。此外過多磷酸鹽則會增加水體優養化的可能性，導致藻類會過量滋生，其結果亦使得溶氧量大幅下降。而目前要處理優養化的水域仍屬於相當棘手的難題，幾乎只能依靠更換乾淨的水來解決。由此可知水質不良的困境是水族、生態池以及高經濟價值的養殖業皆會面臨的。

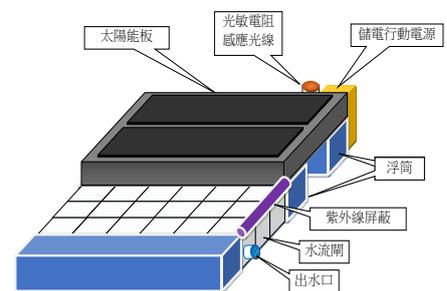
目前為了解決水質不良問題，大多使用額外添加的微生物(硝化細菌)來處理。但是在微生物藥劑的製成及運輸部分會耗費了不少的能源，且使用上必需定期添加更是所費不貲。再者，當大面積的養殖時除了添加菌種外改善之外，為了預防溶氧量不足則需利用大量耗電的水車不斷的曝氣。整體而言，小範圍的水體以換水改善，或持續添加微生物製劑，至於大範圍的水域則仰賴高耗電的水車，都是大量的資源消耗。

三、探究目的與假設

由於台灣地狹人稠且都會區高度發展、空氣污染的日益嚴重，使得空氣清淨機在市場上隨處可見。同樣是為了解決污染問題，因此我們思考是否能有水質清淨機的出現呢？家中常見的水族箱、校園的生態池與台灣西部海邊的養殖池，都面臨水質污染的問題。不論是有毒物的累積或是更嚴重的優養化，都與水中的含氮物質與磷化物有關。因此清除這些有害的化合物，即能達成清淨水質的目標。文獻查詢發現，光觸媒的空氣機已有市售機種出現。這讓我們想到：是否能利用相同的光觸媒方式來解決水質中的污染源呢？

光觸媒須利用紫外光來激發二氧化鈦以達成清除有害物質，而天然的紫外線，就是源源不絕的陽光；但在夜晚及多雲的天氣，紫外線微弱時，人工紫外線的提供就顯得十分重要。於是，我們也開始思考，是否能以在日夜均可提供紫外線的方式來淨化水質？

綜合以上，我們嘗試設計製作「永續綠能水質清淨機」，期待能改善不同水域遭遇的污染問題，並將太陽能轉換的電能進行有效利用，以達成綠能循環經濟與節能。小至水族（淡、海水魚缸）的含氮、磷化物的清除，大至生態池、養殖業的全天候持續有毒物質處理。以下是我們的探究目的與假設：



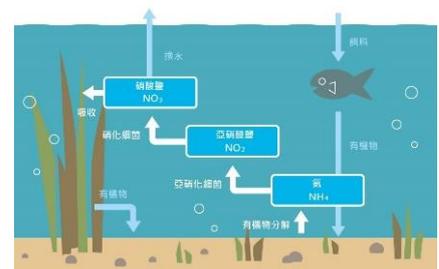
永續綠能水質清淨機設計圖

1. 假設光觸媒黏著劑選擇及塗佈方式能提升耐用度
2. 探究運用光觸媒能否有效降解水中含氮廢物及磷酸鹽
3. 假設低流速長距離水流閘可增加光觸媒接觸總面積及總作用時間以提升效能
4. 運用太陽能板供電及光控紫外線 LED 可達成節能永續的運作

四、探究方法與驗證步驟

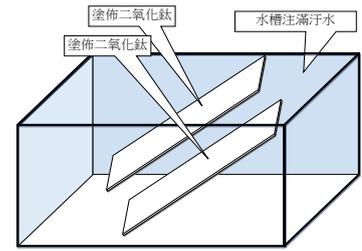
(一)背景知識：水中含氮有機物主要來自動物排泄物及遺骸之分解，分解時先形成胺基酸，再依氨氮、亞硝酸鹽氮及硝酸鹽氮程序而漸次穩定。

因此當水體中存在氨氮表示該水體受污染時間較短。硝化菌族群的亞硝酸菌群會將氨氮轉換變成亞硝酸鹽氮。亞硝酸鹽氮易再被氧化成硝酸鹽氮，硝酸鹽氮為氮循環中硝化作用的最終產物，因此硝酸鹽氮可表示水體曾遭受污染的程度。水中的磷幾乎是以磷酸鹽型式存在，為構成土壤養分及動植物原生質的要素。磷是植物生長的重要養分，當過量的磷進入水體，將造成藻類大量繁殖及死亡，並會因其腐敗分解大量耗氧，導致水中溶氧耗盡，形成優養化的現象。



(二)探究目標：我們的永續綠能水質清淨機可分成三個階段：第一階段為光觸媒裝置的設計，包括探討光觸媒效能及透過載體選擇及塗佈方式來改進。第二階段為光觸媒水流閘結構的設計，以低速長程水流閘增加光觸媒接觸總面積及總作用時間。第三階段為全天候潔能節能永續環保的設計，運用太陽能板供電及光控紫外線 LED 來達成。以下分部說：

首先運用光觸媒淨化水質：嘗試將細小的二氧化鈦粉末使用各種黏著劑(如：保麗龍膠、熱熔膠、填縫膠、矽利康)塗佈黏著在平面載體。經由反覆測試，最後選出高黏著力對環境無害又方便操作的黏著劑。將其塗佈並黏附二氧化鈦粉末於平面載體(如玻璃片)，放入裝盛含有汙染物的水族箱，經紫外線曝曬，來降解含氮廢物(氨、硝酸、亞硝酸)以及磷酸鹽(如右圖)。



步驟一、假設光觸媒黏著劑選擇及塗佈方式能提升耐用度

(1) 觀察二氧化鈦不同黏著劑的黏附能力

細小的二氧化鈦粉末需要塗附於其他的載體否則會於水中造成污染，所以我們首先找尋常見的黏附材料~用保麗龍膠、熱熔膠、填縫膠及矽利康黏附於載玻片進行測試。



圖 1 將二氧化鈦黏附於載玻片上



圖 2 製備不同黏附材料載玻片



圖 3 水中靜置並觀察粉末脫落量

結果：選擇矽利康為黏著劑，因其易於操作塗附能平鋪薄層，粘著力最佳、脫落量最少。

填縫膠於水中易脫落，熱熔膠太快硬化不易黏附，保麗龍膠太慢乾不易黏附。

步驟二、探究運用光觸媒能否有效降解水中含氮廢物及磷酸鹽

(1) **探討降解含氮廢物的能力：**先配製初始濃度為 3ppm 的亞硝酸鈉水溶液，分別置入 100ml 燒杯中，3、1.5、1.0ppm 三種濃度各設立三組。放入二氧化鈦載玻片照射紫外燈 48 小時之後，以亞硝酸試劑進行濃度測定。並且以分光光度計測定 OD 值判別降解表現。



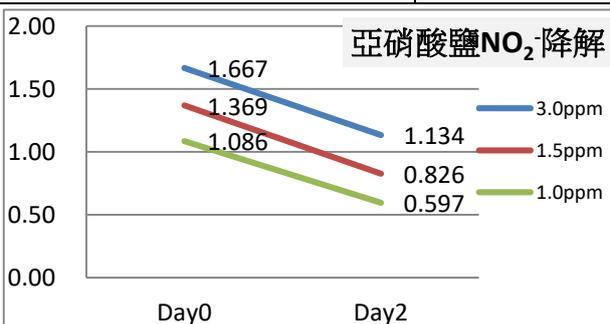
圖 4 配製亞硝酸鈉水溶液



圖 5 塗佈 TiO₂ 玻片照射紫外燈



圖 6 以亞硝酸試劑進行濃度測定



結果：以塗佈二氧化鈦玻片放置於 3ppm、1.5ppm、1.0ppm 三種濃度亞硝酸水溶液中，照射紫外線燈，2 天後均呈現一致的降解速率及效果可以有效降解水中亞硝酸。

(2) **探討降解磷酸鹽的能力**：我們又配製初始濃度為 2ppm 的磷酸鹽水溶液，分別置入 100ml 燒杯中，2.0、1.0、0.5ppm 三種濃度各設立三組。放入二氧化鈦載玻片照射紫外燈 48 小時之後，以磷酸試劑進行濃度測定。另外加入顯色劑以測定 OD 值判別降解表現。

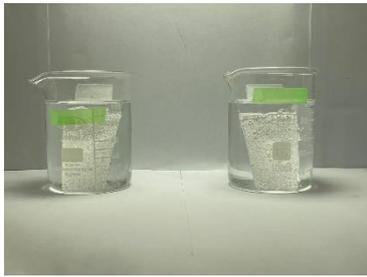


圖 7 玻片塗佈 TiO₂ 照射紫外燈



圖 8 以磷酸試劑進行濃度測定

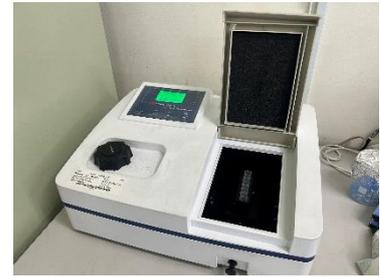
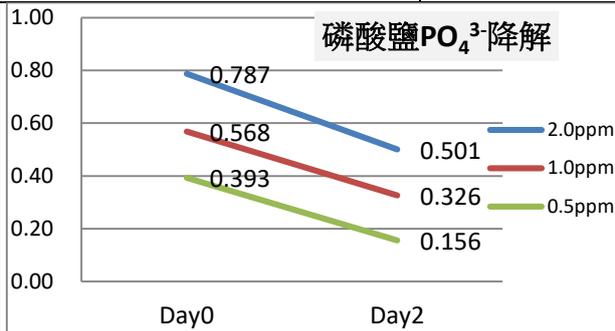
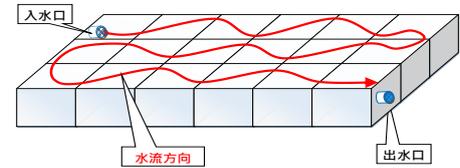


圖 9 以分光光度計檢測降解情形



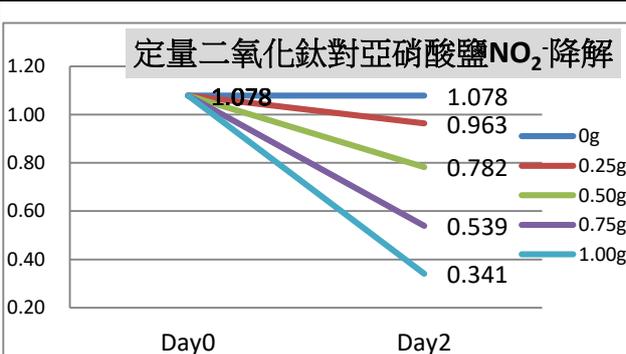
結果：以塗佈二氧化鈦玻片放置於 2.0ppm、1.0ppm、0.5ppm 三種濃度磷酸鹽水溶液中，照射紫外線燈，2 天後取出加入顯色劑並以分光光度計測定(654nm)，OD 值均呈現一致的降解速率及效果可以有效降解水中磷酸鹽。

接著為了提升淨化效能，我們嘗試設計光觸媒水流閘結構用水泵讓水緩慢的流過以增加污水與二氧化鈦接觸面積(如右圖)，並以低流速增加污水與二氧化鈦的作用時間。我們選擇具有許多小型方格塑膠盒，並將相鄰的方格依次打通形成只有唯一通道貫穿每一格。當污水以水泵從入水口的格子送進光觸媒水流閘，與每個格子內側塗佈的二氧化鈦接觸並降解，最後通過所有的格子並由另一側出水口排出。經過紫外線的曝曬，提升降解含氮廢物(氨、硝酸、亞硝酸)以及磷酸鹽等化合物的效能。



步驟三、假設低流速長距離水流閘可增加光觸媒接觸總面積及總作用時間以提升效能

(1) **探討不同二氧化鈦接觸量的降解能力**：配製濃度 2ppm 的亞硝酸鈉水溶液，分別置入 100ml 燒杯中，將不同二氧化鈦含量塗佈於不織布放入燒杯共設立 5 組，照射紫外燈 48 小時之後，以亞硝酸試劑進行濃度測定。並且以分光光度計測定 OD 值判別降解表現。



結果：以不同量二氧化鈦塗佈於不織布放置於濃度 2.0ppm 亞硝酸水溶液中，照射紫外線燈，2 天後均呈現接觸二氧化鈦愈多降解水中亞硝酸速率越快。

實驗得知將二氧化鈦薄層塗佈於不織布經紫外線照射可有效降解含氮廢物，而且接觸二氧化鈦的量越多降解效果越好。

經多次試驗我們改以紙板展開圖作為紙模型，將二氧化鈦薄層塗佈於不織布並裁剪成紙模大小，在背面塗上矽利康薄貼於格內，不但矽利康使用量變少，而且二氧化鈦附著量倍增，如此可增加降解效果。



圖 10 以紙板展開圖作為紙模型

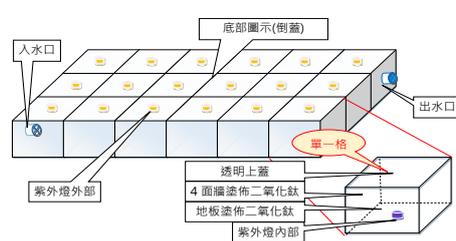


圖 11 二氧化鈦薄層塗佈於不織布



圖 12 再以矽利康薄貼於格內

最後我們加上紫外線 LED 並透過光敏電阻的感應控制照射二氧化鈦光觸媒讓夜間或陰天低光環境也能降解污染物(如右圖)，加上太陽能板以及儲電行動電源，儲存電能以供應水泵及紫外線 LED 使用，讓清淨機不只能淨化環境更是使用潔淨能源。



另外，我們考慮到避免對生物的環境與作息有不良影響，便設計有可動的屏蔽於使用紫外線 LED 燈時防止紫外線外溢環境。

步驟四、運用太陽能板供電及光控紫外線 LED 可達成節能永續的運作

陽光照射光觸媒水流開，便會降解含氮廢物及磷酸鹽等化合物。在夜間或陰天，利用光敏電阻控制啟動紫外線 LED 燈照射二氧化鈦光觸媒進行除污，既節能又可永續運作。

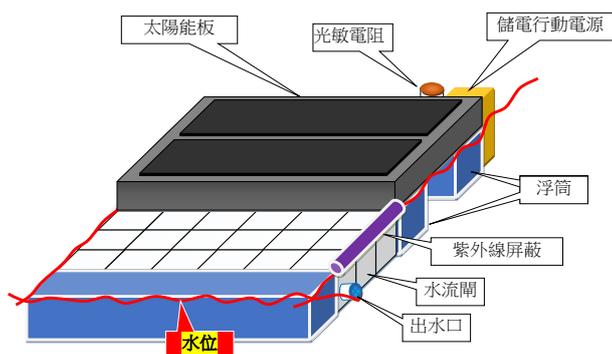


圖 13 戶外生態池或養殖池的水面上工作示意圖

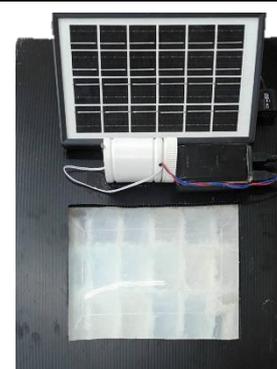


圖 14 太陽能板對行動電源充電



圖 15 對小型水泵供電帶動水流



圖 16 日間陽光經上蓋照射 TiO₂



圖 17 夜間紫外線 LED 照射 TiO₂

五、結論與生活應用

完成作品：



圖 18 完成作品(前視圖)



圖 19 完成作品(右視圖)



圖 20 完成作品(底部)

結論：

一、永續綠能水質清淨機能應用於不同條件下的水域環境。

- (1) 室內水族方面：可用 USB 線將太陽能板裝至窗外，提供水質淨化機能源，並在無光環境下，自動將污水抽至水流閘開啟小型 LED 紫外燈降解再回流，持續清除污染物質。
- (2) 戶外生態池、養殖池：利用陽光及 LED 紫外燈，全天候清除污染源，降解磷化物，預防優養化的發生，降解含氮廢物，有效提升溶氧量，間接節省水車曝氣所需的電能。

二、永續綠能水質清淨機便宜有效、環保節能具有量產可能。

- (1) 便宜有效：本作品的構成主要由方格盒(水流閘)、防水太陽能板、水泵、紫外線 LED 燈、儲電行動電源、二氧化鈦塗佈(矽利康膠+不織布)。經費估算成本約為 1000 元。光觸媒成效部分，已完成試驗，確認光觸媒塗佈層，能有效降解含氮廢物、磷酸鹽等污染。
- (2) 環保節能：本作品綠能水質淨化機之原料皆能方便取得，組裝的工序可再優化改進，成效上可達到環保、節能等永續理念。
- (4) 未來發展：本作品的概念設計在市面上仍未見相關產品，除提出了實際應用效能之外，更提供給相關廠商發展成市售商品的基本建議，而成本性價比更具量產可能。

參考資料

(1)科技大觀園：原來光觸媒是這麼回事

<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/detail?ID=9a00a33d-f4cc-4559-a181-42f813bffb57>

(2)科技大觀園：海洋與漁業科技：滄海良田-海洋營養鹽與基礎生產力

<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/c000003/detail?ID=92cc80ba-f520-40e2-8a9a-1839e526a5c7>

(3)環境百科：磷與優養化

<https://www.encyclopedie-environnement.org/zh/eau-zh/phosphorus-and-eutrophication>