

# 第 53 屆國立暨縣(市)公私立高級中等學校第三區科學展覽會

## 作品說明書

科 別：生物科

組 別：高中組

作品名稱：水質澄清，不來「藻」碴

關 鍵 詞：優養化、電混凝、生質酒精(最多 3 個)

編 號：

製作說明：

- 1.說明書封面僅寫科別、組別、作品名稱及關鍵詞。
- 2.編號由主辦單位統一編列。
- 3.封面編排由參展作者自行設計。

## 摘要

當今世上的生活中充斥著許多污染，如：空氣污染、水污染、土壤污染…等，我們從生命中不可或缺的「水」出發，希望能從水源污染中最顯而易見的「優養化」找出再利用的方法，將其中的藻類轉換成新的能源-生質酒精。

我們利用鋁片製成的電極所進行的電混凝法，可以完全去除水中的藻類，同時可去除水中54.9 %的總有機碳(total organic carbon; TOC)污染物質。本研究進一步將蒐集到的藻類，每3.6 g加入10g的葡萄糖和2g的酵母菌，可得17%的酒精。由於減少藻類培養的問題，亦可將原本被視為是優養化污染的藻類做最有效的利用。透過此法，我們試圖發展一套可以回收污染、利用污染，再生成可用的生質能源，以期達成地球資源永續發展的終極目標。

## 壹、 研究動機

因為學校設備老舊，請了外面的人來修理，所以學校停了一天的水。在這一天裡，上完廁所不能沖水、洗手、沒有飲用水可喝，我這時才發現平時不起眼的”水”在生活中扮演多麼重要的角色。在課堂上，上了水資源的相關知識，老師提到目前水資源利用的問題時，”優養化”這詞引起了我們的興趣，在好奇心的驅使下，去翻閱相關書籍資料，發現了優養化後的水不但會影響生態，對水資源利用造成很大的困擾，尤其在優養化現象加劇時，其水體總是被認為是廢水而無法再做任何利用，但其實不然，我們希望優養化的水體不再只是污染的代名詞，而是能將其改頭換面，在水質改善之餘亦能做最有效的利用。

開始從不同角度、不同方法來著手，試著改變，最終帶給人們生活上的便利性及經濟效益。

## 貳、 研究目的

- 一、評估水體優養化程度，以卡爾森指數 (Carlson trophic state index,CTSI)計算
- 二、評估以電混凝方法蒐集優養化藻類之可行性
- 三、評估電混凝對水質淨化的效率
  - (一)、探討以鋁電極對水質淨化之影響
  - (二)、探討以不同電壓對水質淨化的影響
- 四、評估利用所收集藻類製作生質能源(生質酒精)的潛勢

參、 研究設備及器材



電源供應器



電凝反應槽



攪拌器



電極鋁板



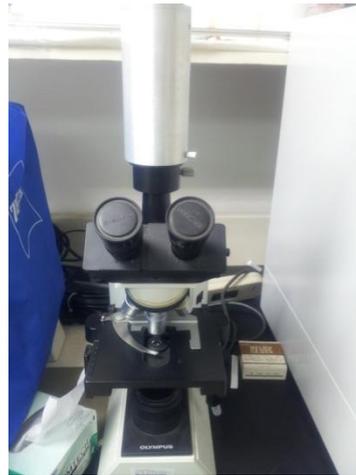
裝有藻類正在發酵的瓶子



氮氣筒



分光光度計



顯微鏡



撈藻類的鐵湯匙



蒐集藻類的瓶子

## 肆、 研究方法

### 一、優養化程度指標

#### (一)、葉綠素a

方法:

取 10 mL 乙醇，加入內含前項濾片之離心管中，置於60 °C 恆溫箱或水浴槽中，在黑暗下萃取 30 分鐘，萃取期間須每 10 分鐘搖混一次，使萃取完全。

取出離心管，用冷水迅速冷卻至室溫後，置入離心機中，以 3000 - 5000 g 離心 10 - 15 分鐘。小心取出離心管，避免震動，用微量吸管自上清液取 3 mL 移置於1 cm光徑之測光管中，用分光光度儀測其在波長 665 及 750 nm 之吸光值，分別為E665a和E750a。

添加 0.03 mL 1 M HCl 溶液於1 cm光徑之測光管中，搖混 1 分鐘後靜置，5 - 30 分鐘內重新測量其在 665 及 750 nm 之吸光值，此分別為 E665b和 E750b。

## (二)、總磷

方法：

取 50 mL 水樣，置於三角燒瓶中，加入一滴酚酞指示劑，如水樣呈紅色，滴加 11 N 硫酸溶液至顏色剛好消失，再加入 1.0 mL 11 N 硫酸溶液，加入 0.4 g 過硫酸銨。將水樣置於高壓滅菌釜中，以 120°C，1.0~1.4 Kg/cm<sup>2</sup> 加熱 30 分鐘。若以加熱裝置消化，樣品冷卻後以試劑水稀釋至約 30 mL，加入 1 滴酚酞指示劑，以 1 N 或適當濃度之氫氧化鈉溶液，調整樣品至淡粉紅色出現後，再以試劑水定量至 50.0 mL；若使用高壓滅菌釜消化，則冷卻後加入 1 滴酚酞指示劑，以 1 N 或適當濃度之氫氧化鈉溶液，調整樣品至淡粉紅色出現後，再以試劑水定量至 100 mL。取經消化後 50.0 mL 樣品或適量樣品稀釋至 50.0 mL，置於三角燒瓶中，加入 8 mL 混合試劑，混合均勻後，在 10~30 分鐘內以分光光度計於波長 880 nm 處讀取吸光度，並由檢量線求得磷濃度 (mg P/L)。

## (三)、透視度

方法：

透視度計使用前，先以照度計測試外界光源之強度，其照度以 1000~2000 Lux (燭光/M<sup>2</sup>) 為宜，如照度不足時，使用輔助光源調整至適當之照度。水樣充分振盪混合後，注滿透視度計，從上端觀察底部之雙線十字標誌，同時打開下方出之鐵夾 (活栓)，使水樣順暢流出，直到能清楚辨別標誌板上之十字為雙線為止，立即關閉鐵夾 (活栓)，讀出水面之刻度。重複步驟 5 次，求水面刻度之平均值，以公分表示之，即為透視度。

## (四)、CTSI 計算

學者 Carlson 提出卡爾森優養指標 (Carlson trophic state index, CTSI)，是一種多變數指標法，根據水中葉綠素-a (Chl-a)、總磷 (TP) 及透視度 (SD) 三種水質參數，以公式分項計算而發展出水體優養化程度參數。

CTSI 表示水中優養化程度，數值越低表示水體優養化程度越低，反之，當數值越大表示水體優養化程度愈高，其公式如【1-1】所示，CTSI 與優養化程度關係如表 1。

$$TSI (SD) = 60 - 14.41 \ln (SD)$$

$$TSI (Chl-a) = 9.81 \ln (Chl-a) + 30.6$$

$$TSI (TP) = 14.42 \ln (TP) + 4.15$$

$$\text{CTSI} = \text{【TSI (SD) + TSI (Chl-a) + TSI (TP)】} \div 3 \quad \text{【1-1】}$$

式中SD：透視度 (m)

Chl-a：葉綠素-a濃度 ( $\mu \text{g l}^{-1}$ )

TP：總磷濃度 ( $\mu \text{g l}^{-1}$ )

## 二、水質淨化參考指標方法：

高溫下，水樣中的碳酸鹽會分解產生二氧化碳，此時測得的為總碳 (total carbon; TC)。為獲得有機碳含量，可採用兩種方法：將水樣預先酸化，通入氫氣曝氣，驅除各種碳酸鹽分解生成的二氧化碳後再注入總有機碳分析儀測定。第二種是差減法，此方法要使用高溫爐和低溫爐的總有機碳測定儀。將同一等量水樣分別注入高溫爐 (900°C) 和低溫爐 (150°C)，低溫爐的石英管中有機物不能被分解氧化。將高、低溫爐中測得的總碳和無機碳 (inorganic carbon; IC) 二者之差即為總有機碳量，此方法最低檢驗濃度為  $0.5 \text{mg l}^{-1}$ 。

## 三、電混凝

將鋁片製成的電極分別插入優養化水體樣本，通電後正極會釋放出金屬鋁離子，並與水中的藻類產生混凝作用，再利用電極產生的氫氣與氧氣將藻類團聚在反應槽上層，將藻類濃縮收集，如圖 1、圖 2、圖 3、圖 4 所示。

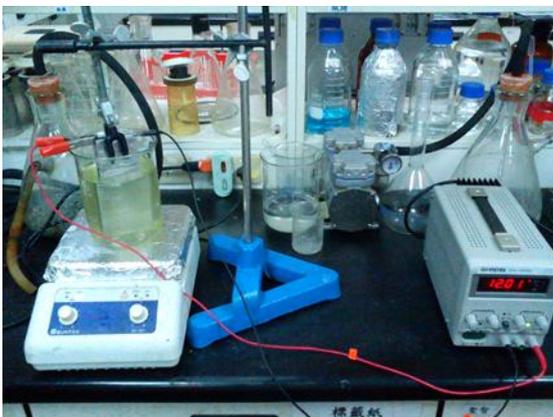


圖 1 電混凝/浮除設備



圖 2 通電後電極產生混凝效果(1)



圖 3 通電後電極產生混凝效果(2)

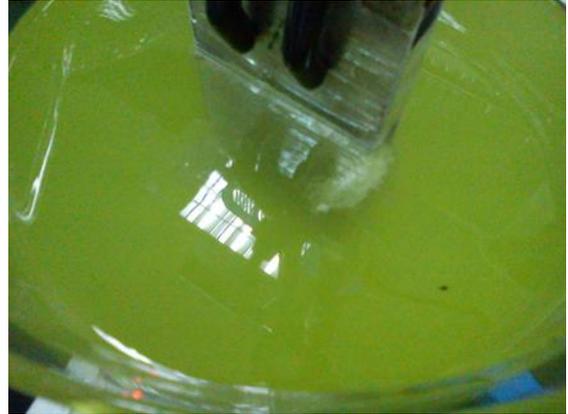


圖 4 藻類經由浮除效果團聚在上層

#### 四、超音波破碎

破碎目的是為了將濃縮後藻類之細胞壁打破，利用其細胞中的碳水化合物以產酒精，如圖 5、圖 6 所示。



圖 5 超音波粉碎機破壞藻類細胞壁(1)



圖 6 超音波粉碎機破壞藻類細胞壁(2)

#### 五、發酵：

將破碎的藻類加入事先活化的酵母菌，放入所設計的實驗裝置中（如圖 7、圖 8 所示），在缺氧的環境下進行發酵反應，化學反應式如下：





圖 7 酒精發酵裝置(1)



圖 8 酒精發酵裝置(2)

#### 六、酒精濃度測定(%)：

依據 CNS(國家標準)之檢測方法，以手持式酒精度計(AL80, Taiwan)測定發酵液，依據比重與乙醇含量對照表，求出發酵液中乙醇之含量(%v/v)。

## 伍、 實驗結果

### 一、卡爾森指數(測量是否優養化)

我們以南投縣某一天然湖泊作為本研究的探討對象，統整紀錄連續三個月份所測得之數據，包含總磷(TP)、葉綠素-a(chl-a)、透視度(SD)及卡爾森指數，如圖 9、圖 10、圖 11 所示，並依據表 1 來判定其是否為優養化之水體，結果顯示所採集的水域之水體確屬「優養」狀態。

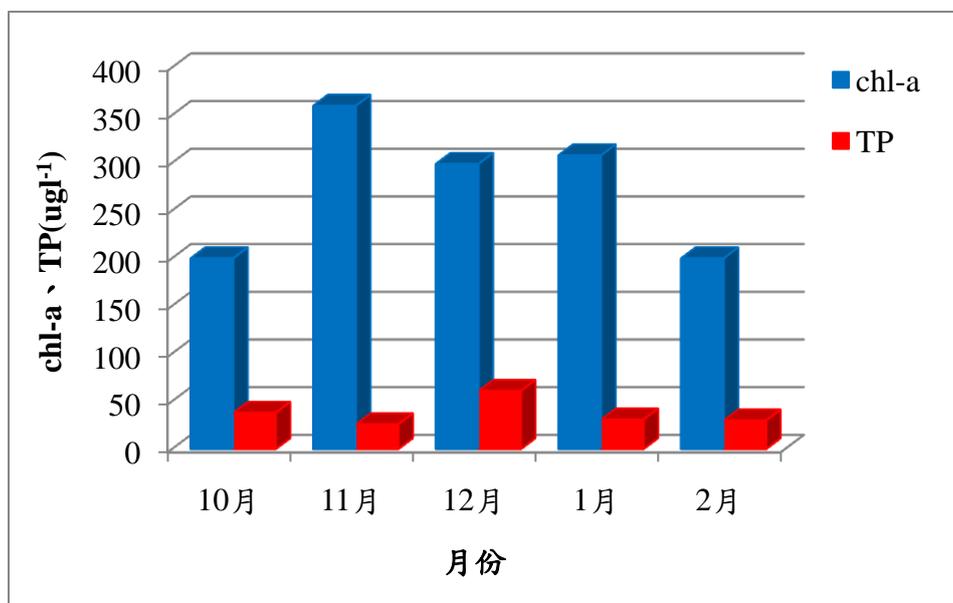


圖 9 10-2 月份某自然湖泊的總磷及葉綠素 a 變化情形

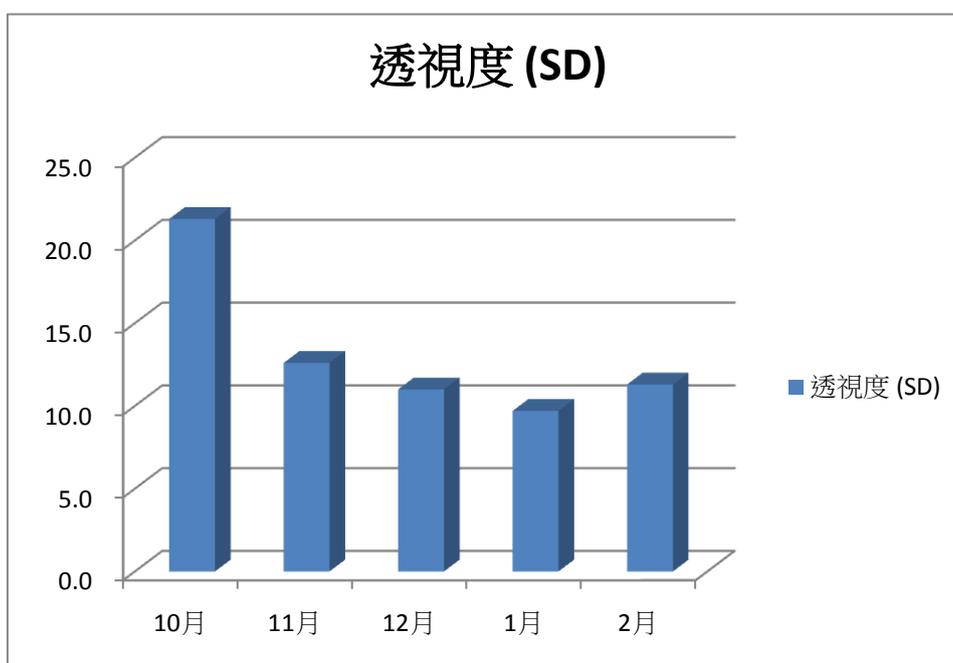


圖 10 10-2 月份某自然湖泊的透視度變化情形

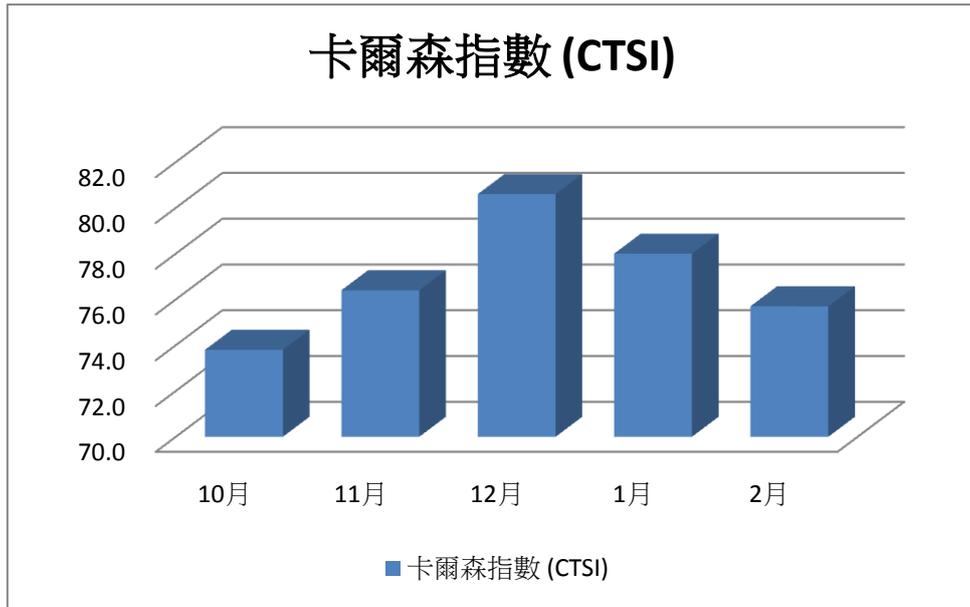


圖 11 10-2 月份某自然湖泊的卡爾森指數變化情形

表 1 CTSI 與優養化程度關係

Attributes	CTSI
Oligotrophic	< 40
Mesotrophic	40~50
Eutrophic	51~60
Hypereutrophic	> 60

## 二、水質淨化

由於優養化會造成水質惡化，透過電混凝技術可以改善水質問題，因此本研究將優養化水體(景觀池)透過電混凝技術去除水體中的藻類及水中污染物質 (TOC)，結果如圖 12、圖 13、圖 14 所示。

我們利用葉綠素-a 的數值來代表水中的含藻量，如數值越大代表水體藻類濃度越高，反之則否。利用不同電壓(9、18V)，相同極板間距(1cm)來探討水中藻類去除的情形，由圖 12 可發現，原水體中的葉綠素 a 為  $249 \mu\text{g l}^{-1}$ ，電混凝經過 30 分鐘後，在電壓為 18V 時，可將葉綠素 a 完全去除，而電壓為 9V 時去除率也高達 98%，且電壓越高去除速率愈快。

利用不同電壓(9、18V)，相同極板間距(1cm)來探討水中 TOC 去除的情形，由圖 13、14 可發現，原水體中的 TOC 為  $9.70 \text{ mg l}^{-1}$ ，電混凝經過 60 分鐘後，電壓為 18V 的試程，其水中剩餘 TOC 濃度為  $4.37 \text{ mg l}^{-1}$ ，去除率為 54.9%；電壓為

9V 的試程，其水中剩餘 TOC 濃度為  $5.40 \text{ mg l}^{-1}$ ，去除率為 44.3%，顯見電壓越高，對 TOC 的去除效率越佳。

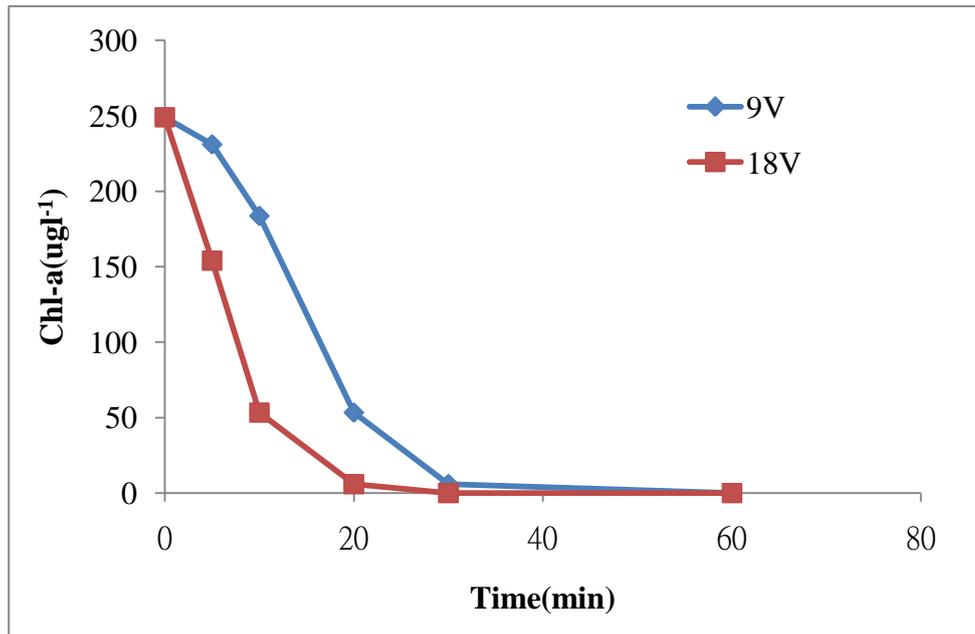


圖 12 電混凝試驗中不同電壓對葉綠素 a 去除之影響

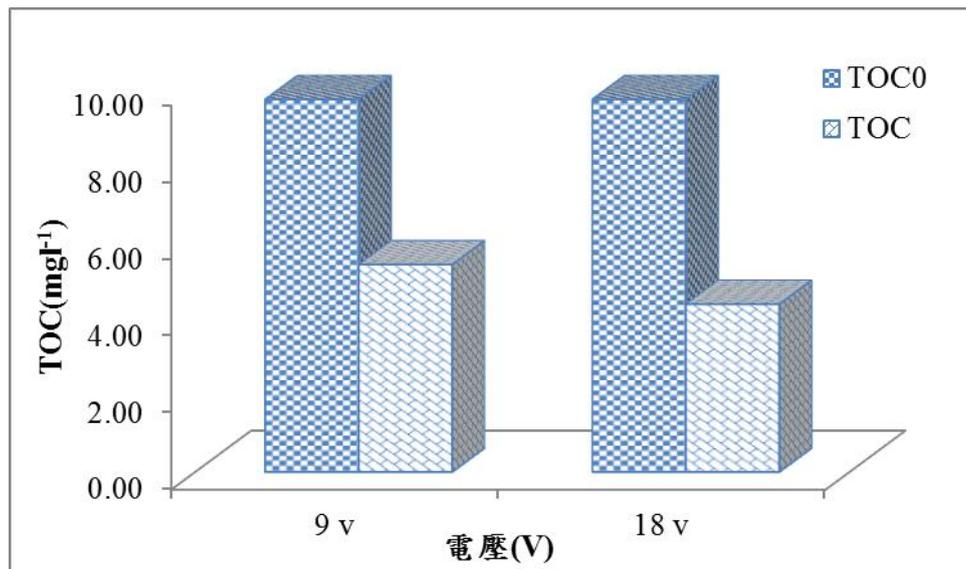


圖 13 電混凝試驗中不同電壓對 TOC 去除之影響

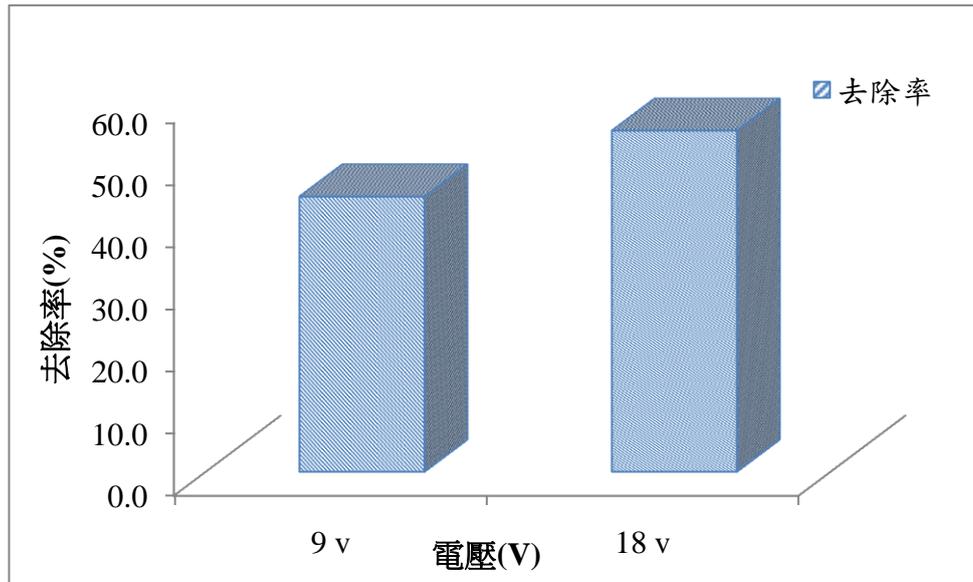


圖 14 電混凝試驗中不同電壓對 TOC 去除率之影響

### 三、藻類超音波破碎之結果

破碎是為了將藻類之細胞壁破碎，利用其細胞中的碳水化合物以產酒精，如圖 15、圖 16 所示。

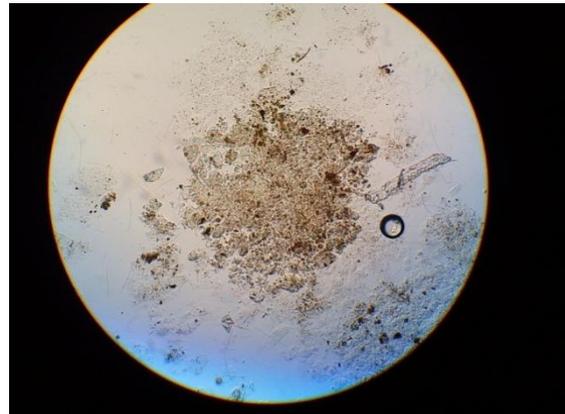
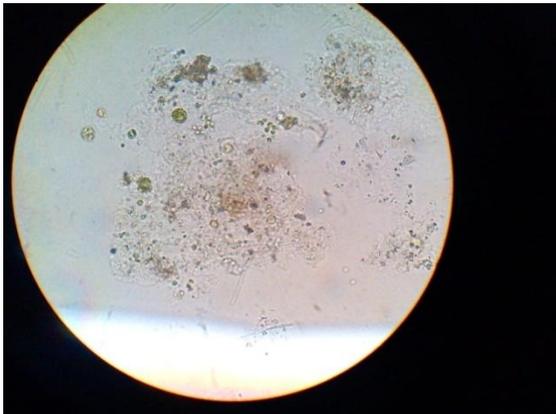


圖 15 顯微鏡照圖(藻類超音波破碎前)

圖 16 顯微鏡照圖(藻類超音波破碎後)

### 四、藻類生質酒精之結果

經超音波破碎以後，本研究嘗試在 3.36g 的藻類中，加入 10g 的葡萄糖和 2g 的酵母菌，進行生質酒精之製作，結果可得到 17% 的酒精。另為瞭解 10% 酒精度中是葡萄糖的貢獻量，本研究則進行控制組實驗，僅以 10g 的葡萄糖和 2g 的酵母菌進行生質酒精的製作，並未摻雜藻體，結果約可產生 6% 的酒精，顯見 3.36g 藻類所貢獻的酒精度為 11%，貢獻量為 3.273% 酒精/g 藻體，與葡萄糖貢獻量 0.6% 酒精/g 葡萄糖相比，高達近 5 倍以上的生質酒精產量，結果如圖 17 所示。

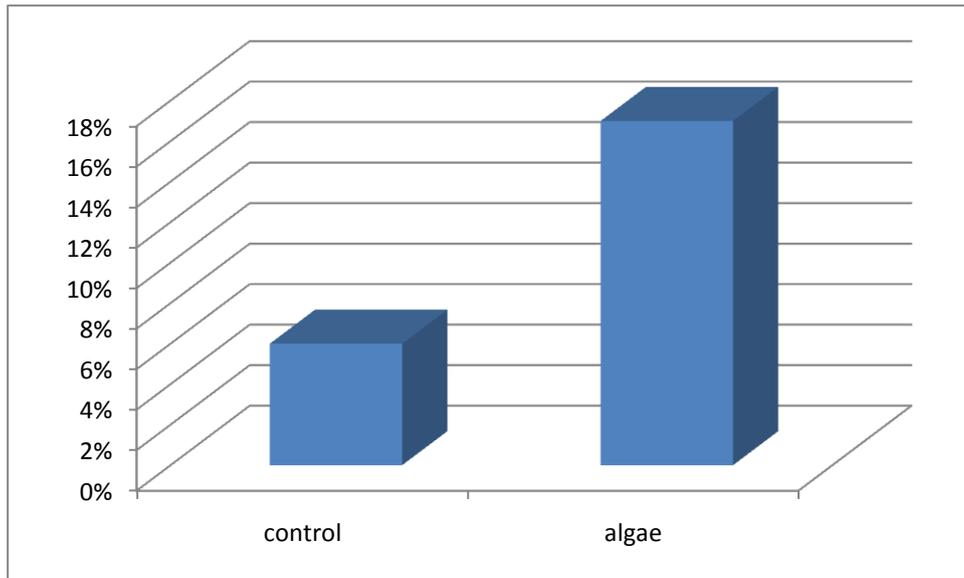


圖 17 葡萄糖（控制組）及藻類+葡萄糖實驗組產酒精之濃度

## 陸、結論

### 一、電混凝方法蒐集優養化藻類之可行性

由實驗結果可得知，利用鋁片製成的電極所進行的電混凝程序，在電壓為 18V 時，除可以完全去除水中的藻類，更可以去除水中 54.9 % 的水中污染物質 (TOC)。

### 二、優養化藻類生成生質酒精之可行性

我們使用電混凝蒐集優養化水體藻類，並使用超音波震碎法使藻類的細胞壁破碎，讓藻類內碳水化合物流出，再加入葡萄糖及酵母菌以加速酒精的生成，過了三個星期後，可得含 17% 的酒精，且每克藻體產酒精量約為每克葡萄糖產酒精量的五倍以上，由此可知，此法為一低成本、效果良好的轉化方式，確實有其應用價值。

比較目前常見的化學轉化法，此發酵法所消耗的能源較低，若能進一步找出發酵效率更高的酵母菌，甚至運用其他廢棄果皮回收所製成的酵母來發酵，便能真正達到資源回收再利用、能源永續發展的願景。

## 柒、參考資料

- Rojan P. John, G.S. Anisha b, K. MadhavanNampoothiri , Ashok Pandey (2011)  
“Micro and macroalgal biomass: A renewable source for bioethanol” Bioresource Technology 102 186 - 193.
- C.G. Alfafara, K. Nakano, N. Nomura, T. Igarashi, M. Matsumura (2002)  
“Operating and scale-up factors for the electrolytic removal of algae from eutrophiedlakewater” , J. Chem. Technol. Biotechnol. 77 871 - 876.
- 劉淑娟(98) ” 情人湖水質優養化評估” ，國立台灣海洋大學環境資訊系碩士學位論文 / P.12 P.18
- 吳建威(96) ” 能源海藻開發研究” ，行政院農業委員會水產試驗所九十六年度科技計畫研究報告。
- 水中氨氮之流動注入分析法－靛酚法  
(<http://www.niea.gov.tw/niea/WATER/W43751C.htm>)
- 總有機碳量  
(<http://www.niea.gov.tw/niea/WATER/W53151C.htm>)
- 水中葉綠素a檢測方法－乙醇萃取法  
(<http://www.niea.gov.tw/niea/LIVE/E50800B.htm>)