

# 中華民國第 61 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

團隊合作獎

052601

以藻類淨化畜牧廢水並進行後續藻體增值利用

學校名稱：臺中市立文華高級中等學校

作者：  高二 王亭歲  高二 薛秩棋  高二 李柏叡	指導老師：  簡秀娟
---	------------------

關鍵詞：藻類、畜牧廢水處理、微藻液肥

## 摘要

畜牧廢水中含有大量的氮、磷，排放前需先經過適當的處理過程。本研究利用五種不同的微藻藻株 SU1、TU5、ESP-6、Tai-03、FSP-E 來淨化畜牧廢水。先將上述五種藻株放入 BG-11 培養基中，觀察五種藻株的生長曲線和氮殘餘量，其中 SU1 的生長速率是最快的，但五種藻株最後一天的氮殘餘量是差不多的。再將 SU1 放入不同濃度的畜牧廢水，觀察藻株對廢水處理的表現，包括氮、磷的去除率、生長曲線、化學需氧量的變化等。最後將在廢水中生長最佳的藻株大量生產，並利用微藻中所含的養分製成液態肥料，提供植物生長所需養分，觀察植物的生長速率及外觀、判斷微藻液肥是否有效促進植物生長。種植後發現適量的液肥確實能夠加快植物生長速率並且順利的生長。

## 壹、研究動機

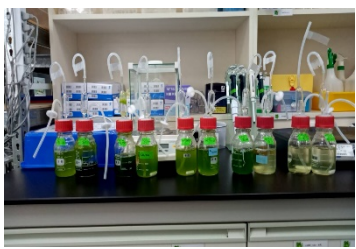




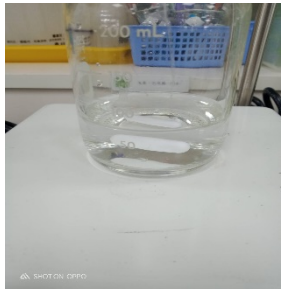
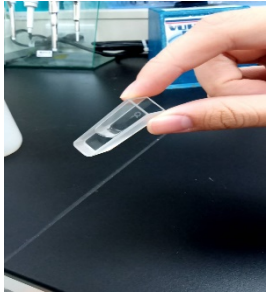

由台灣讀報教育指南得知，近年來，人口成長的速度極快，2050 年將到達 80 億，到了世紀末更會達到 100 億，因此，我們對於農業及畜牧業的需求量會大幅增加。在新聞及報章雜誌上經常會看到廢水不當排放的議題，雖然現在許多養豬場與養牛場都設有廢水處理設備，但是仍有一些業者尚未安裝，因此不當排放廢水的狀況依舊普遍難以改善，所以我們想要利用物理及化學以外的廢水處理法，更自然、環保且永續循環的方式來淨化廢水。

於是，上網查資料得到此資訊：「培養本土微藻同時進行養豬廢水處理以及微藻藻體」的論文(資料八)，其中內容提到利用微藻去除廢水中的氮、磷是一種有效的解決方案，且微藻進行養豬廢水處理，除了處理效果優異外，處理廢水後所得到的微藻藻體，具高蛋白質及高葉黃素含量，因此有極高的潛力能夠做為畜牧及水產飼料添加劑，所以我們想要利用微藻來降低廢水中高濃度的氮、磷以及化學需氧量(有機污染物的濃度)來處理及淨化廢水。而微藻不僅能夠淨化廢水，所產生的藻體還可以後續運用於植物施肥以及製作水產魚蝦飼料等(資料十二)，因此利用淨化完廢水所產生的大量藻體，將其收集起來並加入益生菌共發酵製作成液態肥料，能加強提供給植物生長所需的營養，我們認為比起使用化學方式，利用藻類來淨化廢水是更有效益且永續循環，可達到更大的經濟效能。

## 貳、研究目的

- 一、找出在 BG-11(BG-11 為藍綠培養基，成分如表一)中生長最快速的藻株。
- 二、利用生長最快速的藻株進行後續實驗條件之測試，找出最適合的廢水濃度，及觀察其處理廢水的效能。
- 三、將在廢水處理過程中產生的藻株結合益生菌共發酵製作成液態肥料，並進行植物培育，紀錄觀察植物的生長狀況。

## 參、研究設備及器材

		
血清瓶光合反應器	分光光度計 型號：Ratio Beam Spectrophotometer U-5100	pH 酸鹼測定儀
		
無菌操作台	微量吸管	六點式攪拌器
		
磁石	石英管	CO <sub>2</sub> 氣體偵測器



恆溫震盪器

型號：JSL-530  
 溫度：0°C~60°C  
 震盪速度：10~250 rpm  
 震幅：25 mm  
 震盪盤：W 540 x D 440 mm  
 內 W 600 x D 500 x H 500 mm  
 外 W 710 x D 730 x H 940 mm



離心機

電壓：230 V  
 頻率：50/60 Hz  
 消耗功率：1400 W  
 輸出電流：8 A



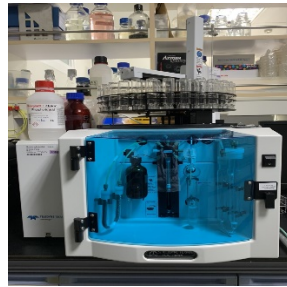
高溫高壓滅菌釜

型號：YUX-Q40  
 規格：最高使用壓力  
 (1.5kg/cm<sup>3</sup>)  
 最高溫度：127°C



微電腦型分光光度計

型號：Genesys20  
 波長範圍：325~1100 ± 2.0 nm  
 光學帶寬：8 nm  
 測定範圍：0~1999C  
 光學系統：grating-based ,  
 1200 lines/mm



Torch 高溫燃燒式  
 總有機碳分析儀

溫度：680°C~1000°C  
 儀器偵測極限值：  
 TOC 50ppb~30000 ppm  
 TN 50 ppb~2000 ppm  
 載氣壓力：  
 TOC 65~100 psi / TN 30~35 psi



COD 分解爐

型號：H06-010  
 分解槽孔：16 x 100 mm  
 溫度設定：100~150°C  
 加熱槽體：  
 W 11.4 x D 11.4 x H 6.3 cm



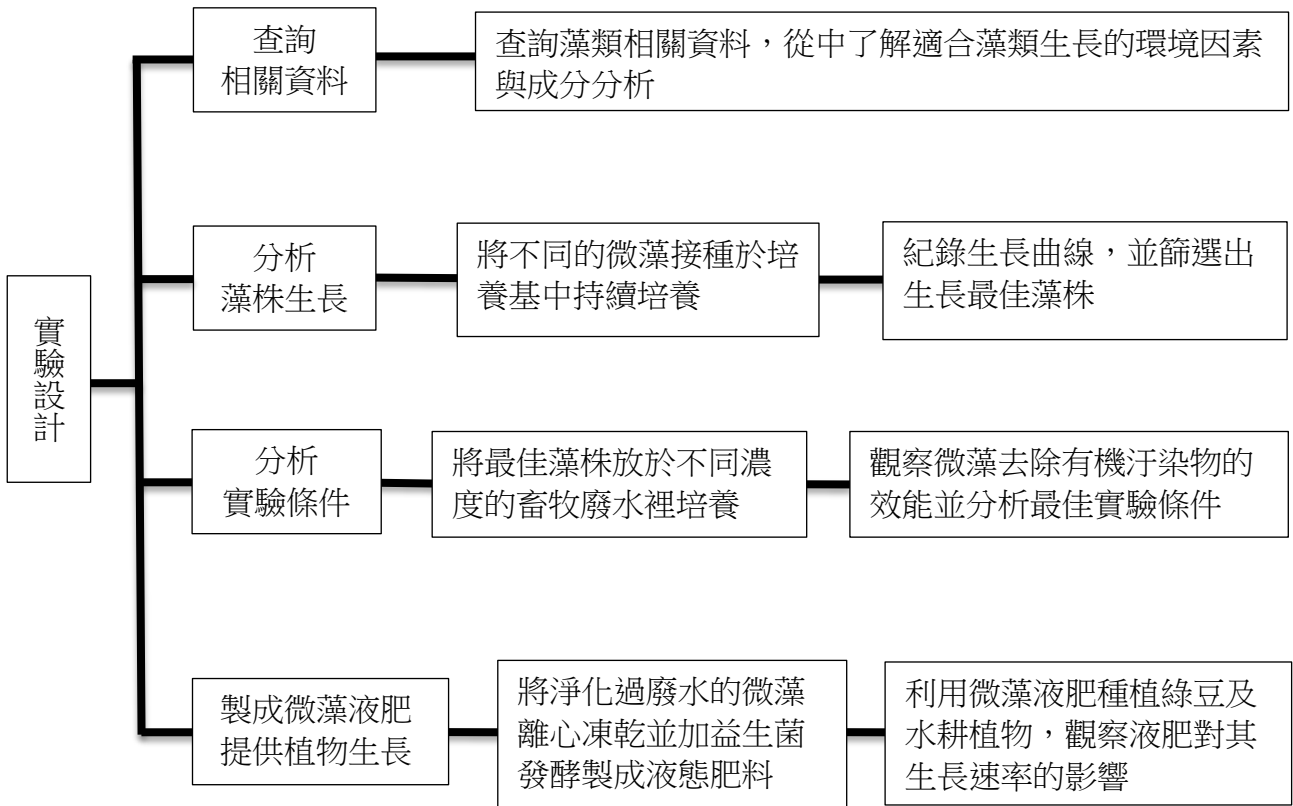
電子天秤



錐形瓶


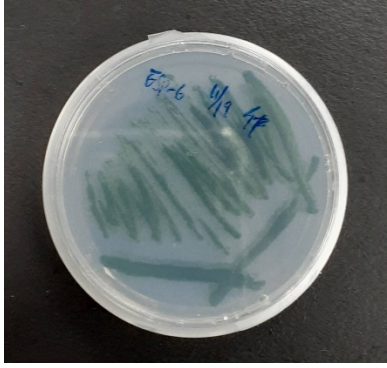

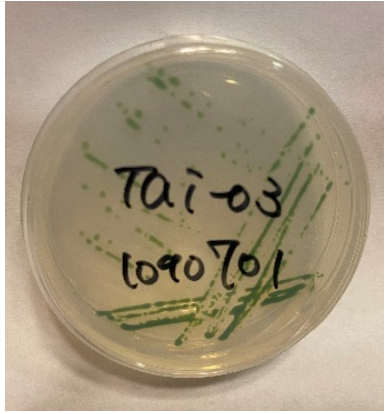
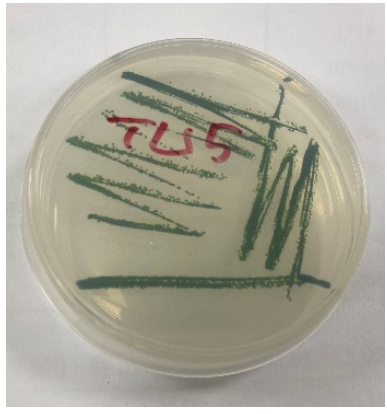
## 肆、研究過程與方法

### 一、實驗架構



## 二、微藻篩選

### (一) 微藻篩選與藻株塗盤

<i>Chlorella sorokiniana</i> SU1	<i>Chlorella vulgaris</i> ESP-6	<i>Chlorella vulgaris</i> FSP-E
		
<i>Chlamydomonas</i> sp. Tai-03	<i>Chlorella sorokiniana</i> TU5	
		

### (二) 五種微藻的特性及選擇原因

1. SU1（又名 AK-1）：抵抗力強較能夠適應各種髒水(資料十一)。
2. FSP-E：生長過程中能產生較多的蛋白質(資料九、資料十)。
3. ESP-6：生長過程中能產生較多的碳水化合物且葡萄糖占 50% (資料九)。
4. Tai-03：特性穩定，最常被當作保養品，是保養品首選。
5. TU5：生產速率普通，作為對照組。

### 三、實驗配置方法與操作步驟

#### (一) BG-11 培養基配方

表一：BG-11 培養基藥品配製

Medium	g/L	Medium	g/L
NaNO <sub>3</sub>	4.5	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	2.9
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.12	MnCl <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	1.8
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.24	ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.2
CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	0.12	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	0.4
Citric acid	0.018	CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	0.08
Ferric	0.018	Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0.049
EDTA	0.003	Acetate	0.5
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.06	5N NaOH	0.6

#### (二) 微藻活化

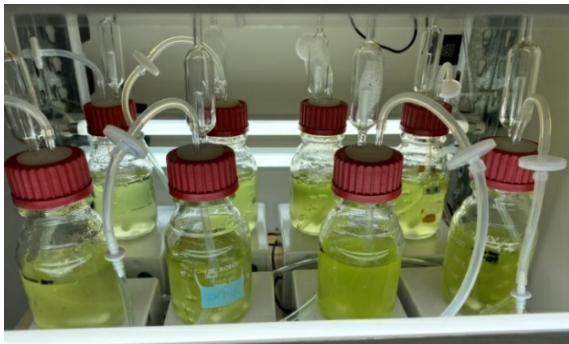
將 BG-11 培養基混入 Agar 並滅菌，將空的 plate 盤置入無菌操作台並待其凝固。凝固後用 tip 沾取一顆藻體，以序列稀釋法畫於製作完成的 Agar plate 盤上，放於系統光源下持續照光一個禮拜，每天旋轉 plate 盤 90°，均勻光線分布以其健康活化。



圖一：微藻活化

### (三) 前期培養

1. 將 250ml 血清瓶定量 200ml 並加入 BG-11 培養基混合 RO 水，運用磁石攪拌均勻，待藥品完全溶解後，放於高溫高壓的滅菌釜裡進行滅菌，操作條件為溫度 121°C 時間 20 分鐘。
2. 待滅菌完成並冷卻後，將之置於無菌操作台內，首先將細胞生物專用的植藻棒，用酒精燈的火源仔細燒過以避免細菌汙染，待鐵棒徹底紅透後，才能將建康活化一個禮拜的藻盤，利用處理過的植藻棒順著同一方向挖取部分藻體，再植入血清瓶反應器培養基內。
3. 將反應器的氣液分離瓶和氣體過濾膜及各零件滅菌完成，並組裝於挖孔蓋上，再結合於已完成植藻的血清瓶上方，放置於光合系統和磁石攪拌器上，二十四小時提供充足光源並且給予曝氣 2% 的二氧化碳，持續培養並紀錄觀察一個禮拜。



圖二：前期培養一天的生長狀態



圖三：前期培養七天的生長狀態

### (四) 主培養

1. 將 1000 ml 血清瓶定量並加入 BG-11 培養基混合 RO 水，運用磁石攪拌均勻，待藥品完全溶解後，放於高溫高壓的滅菌釜裡進行滅菌，操作條件為溫度 121°C 時間 20 分鐘。
2. 待滅菌完成並冷卻後，將之置於無菌操作台內，取下前期培養並運用分光光度計分析生長濃度，再計算植藻量需要的體積，重複將前期培養的藻液倒入 50ml 離心管，放置於離心機內，操作條件為 6000 rpm 2~3 分鐘，並移除上清液累積藻體。
3. 將離心好的微藻，加入新滅菌完成的培養基混合均勻，完成後倒入 1000ml 血清瓶內，將反應器的氣液分離瓶和氣體過濾膜及各零件滅菌完成，並組裝於挖孔蓋上，再結合於已完成植藻的血清瓶上方，放置於光合系統和磁石攪拌器上，二十四小時提供充足光源並且給予曝氣 2% 的二氧化碳，持續培養並紀錄觀察其生長曲線。





圖四：主培養一天的生長狀態



圖五：主培養七天的生長狀態

## 五 畜牧廢水採樣現況



圖六：廢水採樣

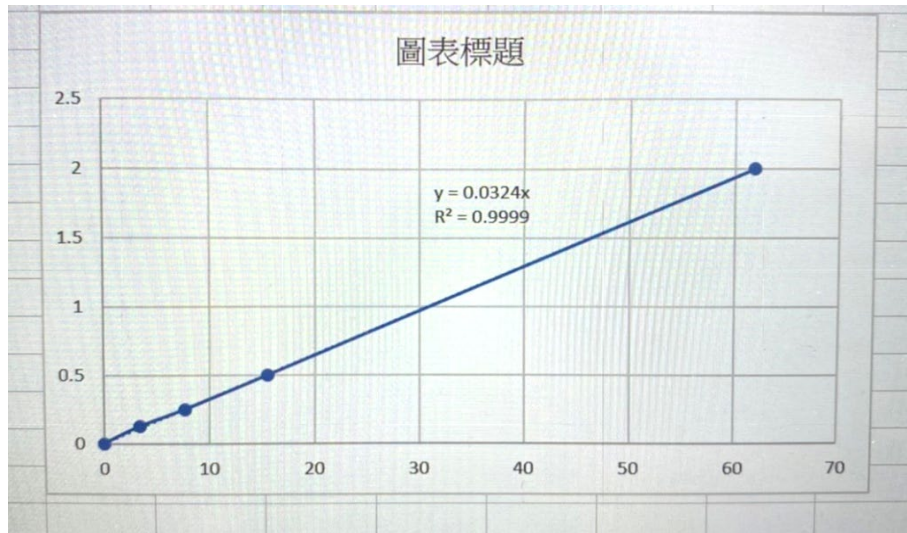


圖七：廢水採樣

## (六) 藻體濃度及總氮、總磷、化學需氧量分析

1. 使用針筒將主培養的取樣口取 10ml 樣品。
2. 將分光光度計設波長為 685nm，稀釋至 0.2~0.8 範圍，分析藻體濃度。
3. 將分光光度計設波長為 220nm，稀釋至 0.2~0.8 範圍，分析氮源濃度。
4. 利用 pH 酸鹼測定儀分析酸鹼度。
5. 利用 Torch 高溫燃燒式總有機碳分析儀分析總氮濃度。
6. 利用微電腦型分光光度計分析總磷濃度。
7. 利用 COD 分解爐分析化學需氧量濃度。

※分光光度計氮源減量線方程式： $y = 0.0324x$



圖八：分光光度計氮源減量線

### (七) 收藻

培養完一個禮拜且生長期平緩後的藻液即可取下反應器，並運用離心機設備收集藻體，重複將培養的藻液倒入 50ml 離心管，放置於離心機內，操作條件為 11,000rpm 3 至 5 分鐘，並移除上清液累積藻體，收集完成的藻體放置於負 20°C 冰箱冷凍一天，再使用凍乾機凍乾以其保存。

### (八) 高密度發酵培養

1. 準備 2000ml 血清瓶定量並加入兩倍濃度的 BG-11 培養基混合 RO 水，運用磁石攪拌均勻，待藥品完全溶解後，放於高溫高壓的滅菌釜裡進行滅菌，操作條件為溫度 121°C 時間 20 分鐘。
2. 待滅菌完成並冷卻後，將之置於無菌操作台內，加入額外配方的高濃度葡萄糖，混合攪拌均勻後，用滅過菌的量筒平均分別定量 200ml 並倒入錐形瓶內，再用植藻棒以順著同一方向挖取部分藻體，植入錐形瓶反應器培養基內並蓋上透氣蓋子。
3. 將植藻完成的錐形瓶，放入恆溫震盪培養箱，設條件為溫度 28°C 速度 200rpm，並開啟四周光源，持續高密度培養並紀錄觀察其生長曲線。



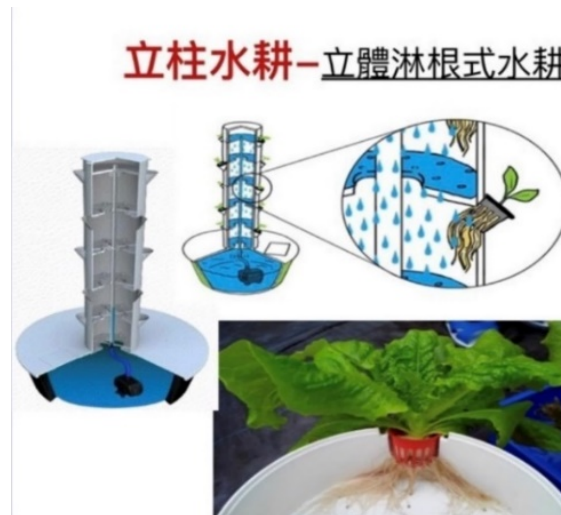
圖九：微藻之高密度發酵培養

#### (九) 製作微藻液肥並培育植物

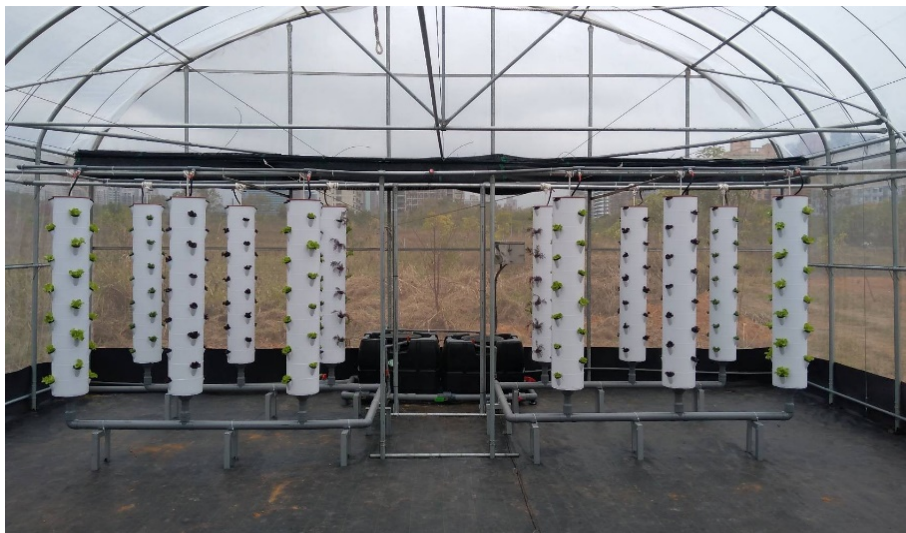
1. 將處理過畜牧廢水的微藻離心收集，再結合益生菌共開發酵製成微藻液肥。
2. 在起始種植植物時，分別以 0ml、1ml、2ml、3ml、4ml 的微藻液肥進行施肥，並於種植植物第五天進行再次施肥。
3. 每隔兩天測量植物的長度，觀察微藻液肥是否能夠加快植物的生長速率。

(十) 以藻菌發酵液肥種植水耕植物

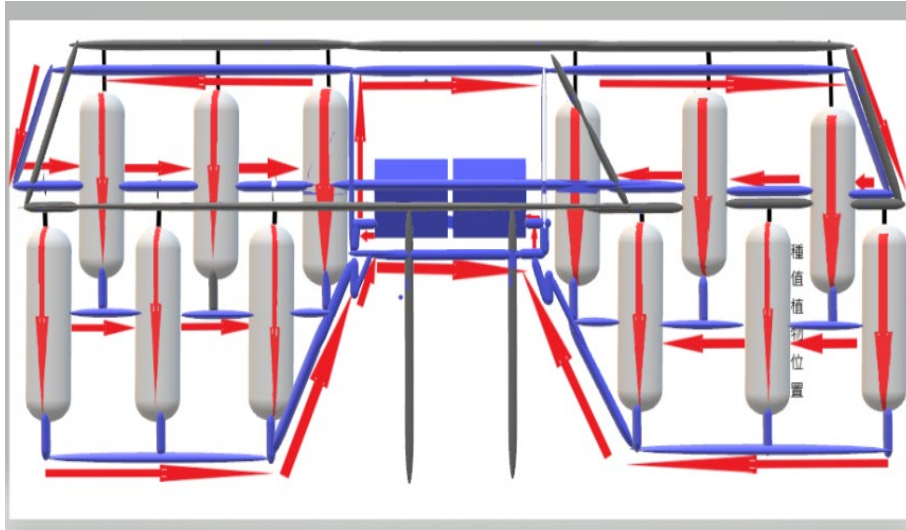
1. 利用立柱水耕系統(圖十)來培育水耕植物和草莓，並加入藻菌發酵液於營養劑桶內(圖十三)，培育生長過程中，藻菌發酵液肥將透過立柱水耕循環系統二十四小時持續淋根，讓立柱水耕系統內的植物根部持續吸收豐富營養。
2. 同時再搭配東海大學開發的 AI 監測系統，來觀測生長過程的溫度、pH 酸鹼度、及 EC 電導度，並設立 QR code 以方便線上監測水質狀態。



圖十：立柱水耕系統



圖十一：植物溫室圖



紅色箭頭：水流方向 灰色管子：柱子 藍色管子：水管 藍色方塊：水箱

圖十二：水流流動示意圖



圖十三：藻菌發酵液肥

## 1. 立體淋根式優點

- (1) 無需培養土且根部高效率吸收水分與空氣
- (2) 減少蒸發量及精準計量液肥吸收量與精確補充水分
- (3) 運用水、空氣、肥料充分發揮吸收效果，既能節水又能節省土壤成本和環保。

## 2. 立體淋根式水耕與傳統水耕的比較

傳統水耕較耗能源和水資源，而立體淋根式水耕較能省水並節能且容易控制，栽培植物有其優勢。

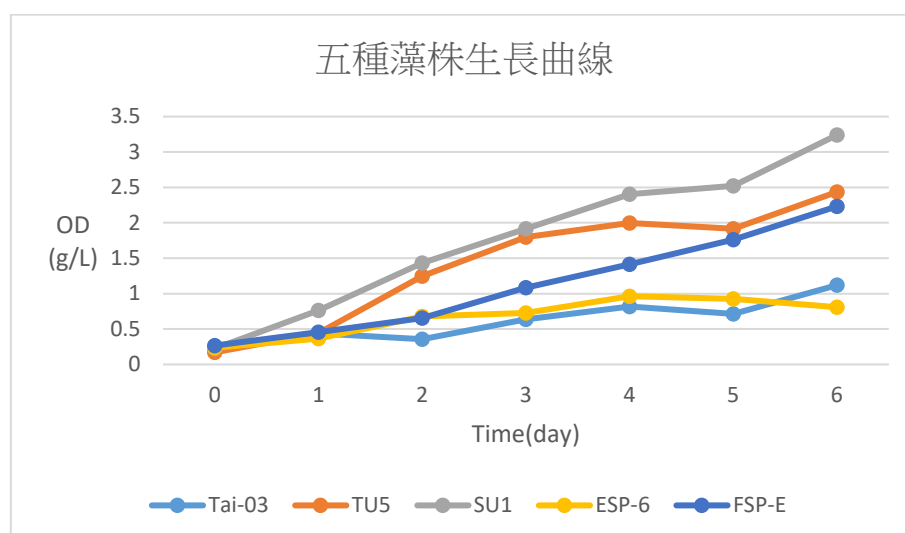
# 伍、研究結果與討論

## 一、實驗第一階段

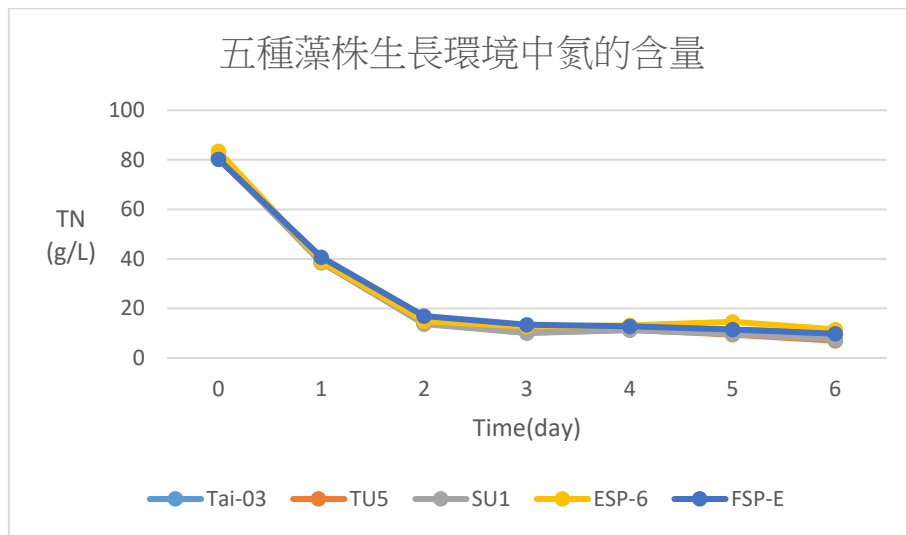
首先將五種不同功能的藻株植入 BG-11 培養基，進行培育並紀錄觀察其生長曲線的變化(藻類於培養基中的濃度以 OD 表示)以及環境中氮源的遞減變化(總含氮量以 TN 表示)來決定後續要以何種藻株進行後續各種實驗條件之測試。

藻類種類：SU1、ESP-6、FSP-E、TU5、Tai-03

### (一) 實驗數據



圖十四：五種藻株第零天到第六天濃度的變化



圖十五：五種藻株第零天到第六天生長環境中氮源的變化

## (二) 實驗結果

由圖十四的五種藻株生長曲線數據圖來看，所有的生長曲線皆逐漸上升，由此可知每種藻株均順利成長，其中 SU1 的生長曲線是最為陡峭的，故 SU1 生長情形為五種藻株中最佳的。而由圖十五可得知，五種藻株生長環境中總含氮量均降低的趨勢，說明這些微藻皆可有效消除氮源，因此決定選用 SU1 這株藻來進行後續的實驗。

## 二、實驗第二階段

SU1 在不同廢水濃度及不同植藻量的生長曲線以及廢水處理效果

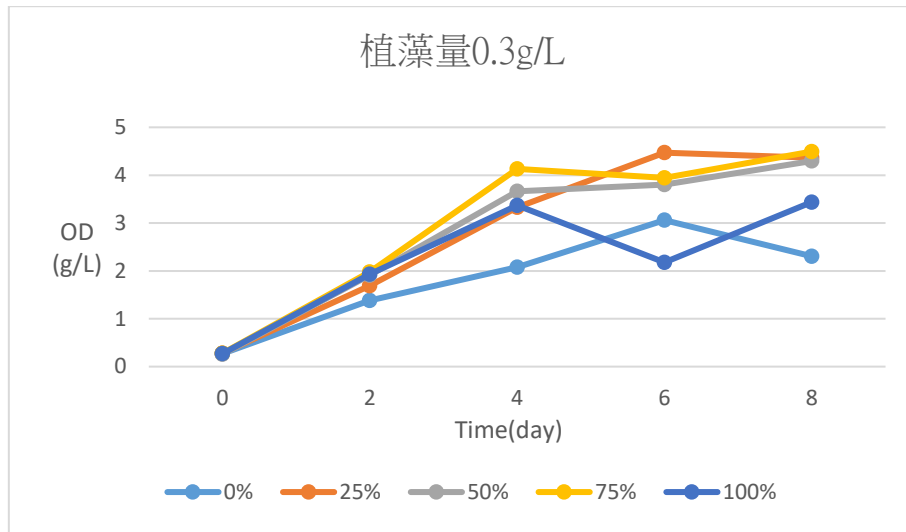
廢水重量百分率：0%、25%、50%、75%、100%

植藻量濃度：植藻量 0.3g/L、植藻量 0.6g/L

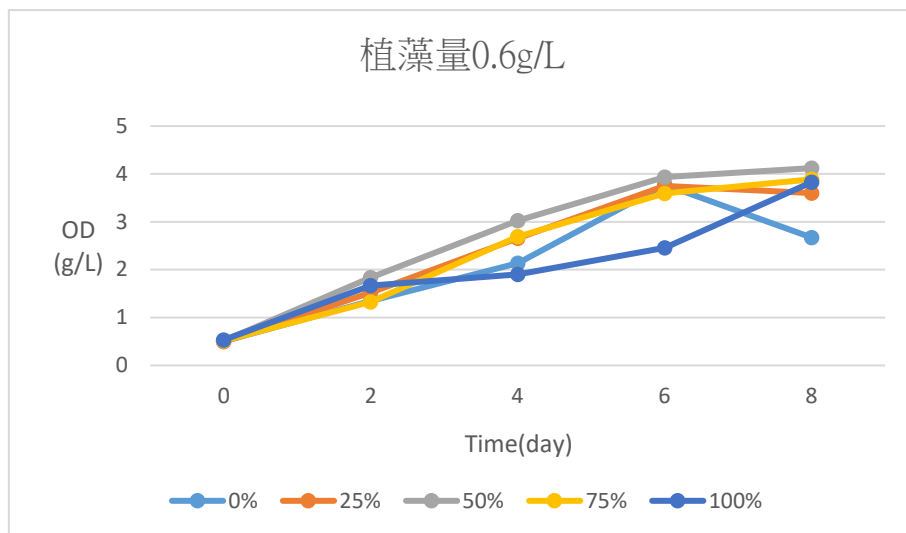
時間間隔：兩天

## (一) 實驗數據

### SU1 生長曲線



圖十六：生長濃度曲線\_植藻量 0.3g/L



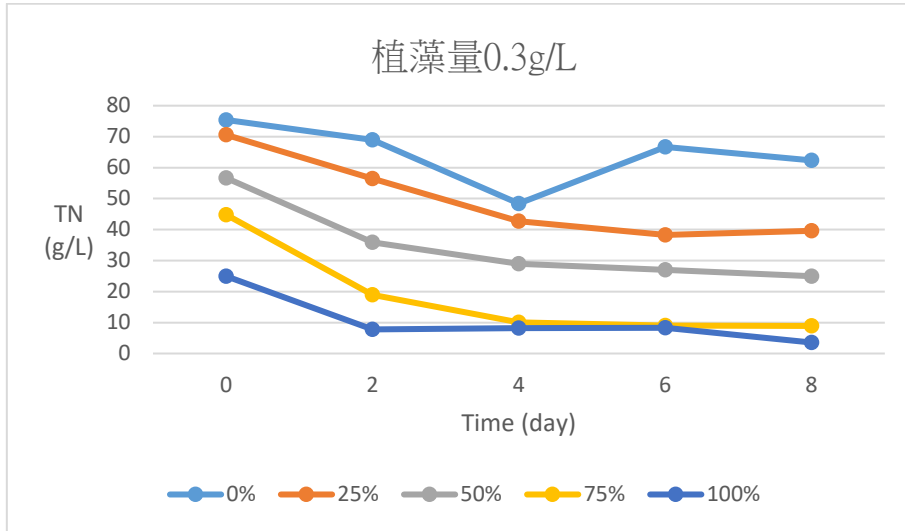
圖十七：生長濃度曲線\_植藻量 0.6g/L

## (二) 實驗結果

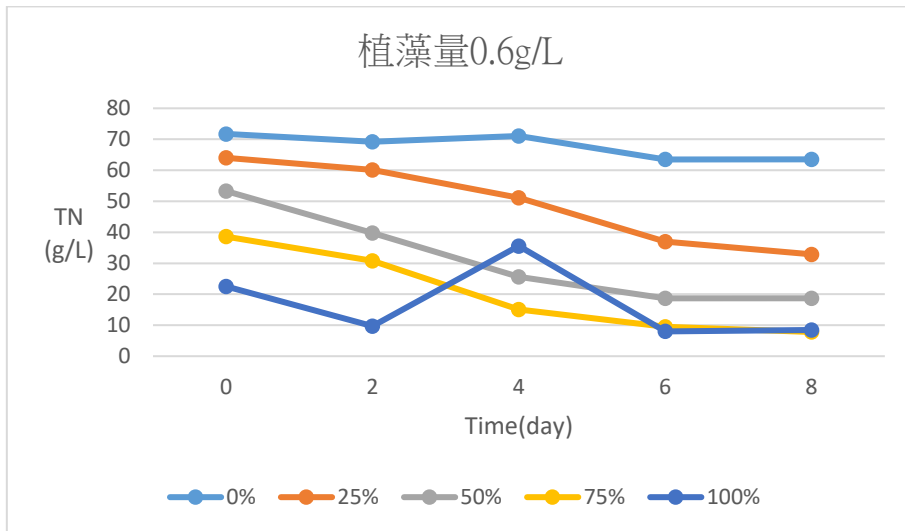
由圖十六、十七的生長曲線實驗數據來看，可得知 SU1 在接種量 0.6g/L、廢水濃度 50%的實驗條件下培養，生長的較為良好。



## 1. 總氮(TN)曲線

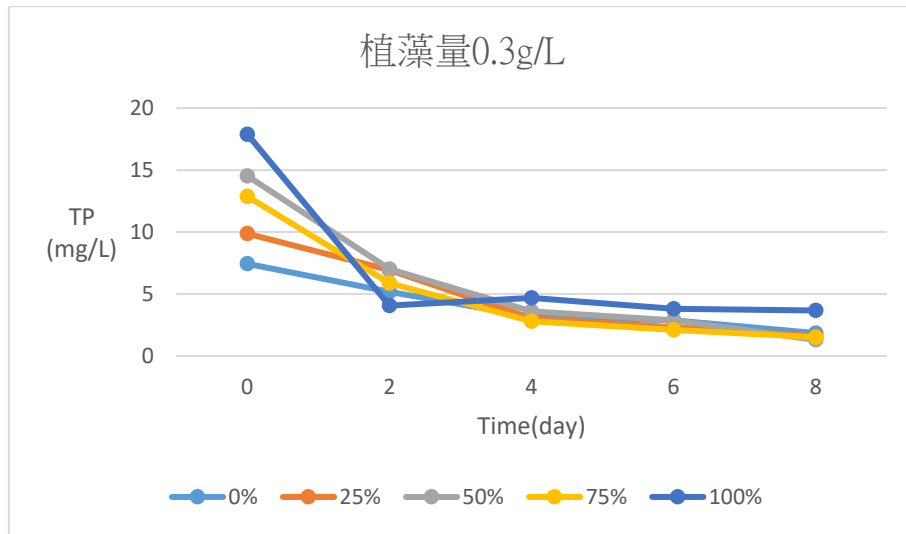


圖十八：總氮曲線\_植藻量 0.3g/L

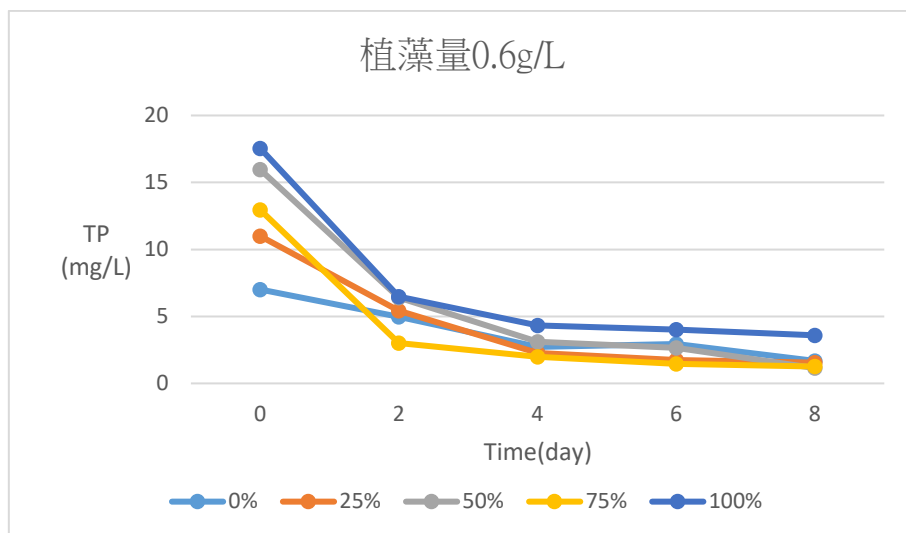


圖十九：總氮曲線\_植藻量 0.6g/L

## 2. 總磷(TP)曲線

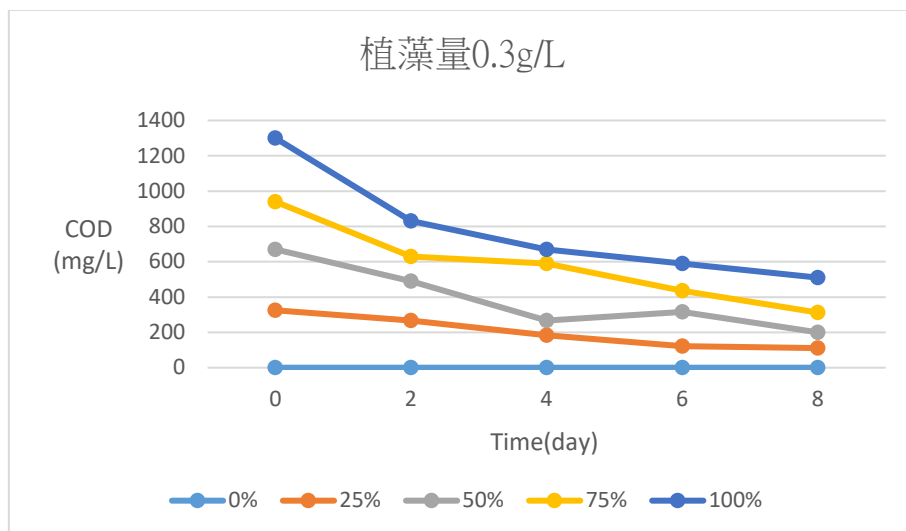


圖二十：總磷曲線\_植藻量 0.3g/L

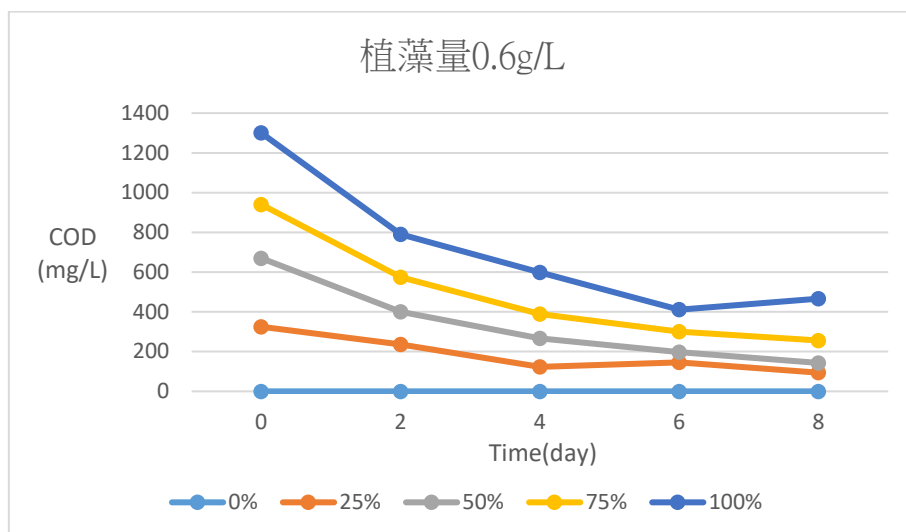


圖二十一：總磷曲線\_植藻量 0.6g/L

### 3. 化學需氧量(COD)曲線



圖二十二：化學需氧量曲線\_植藻量 0.3g/L



圖二十三：化學需氧量曲線\_植藻量 0.6g/L

### (三) 實驗數據

各操作條件下畜牧廢水的總氮、總磷、化學需氧量去除率計算方法如下，其計算結果如表二所示。

$$\text{COD 去除率} = (\text{day0 COD} - \text{day8 COD}) / \text{day0 COD}$$

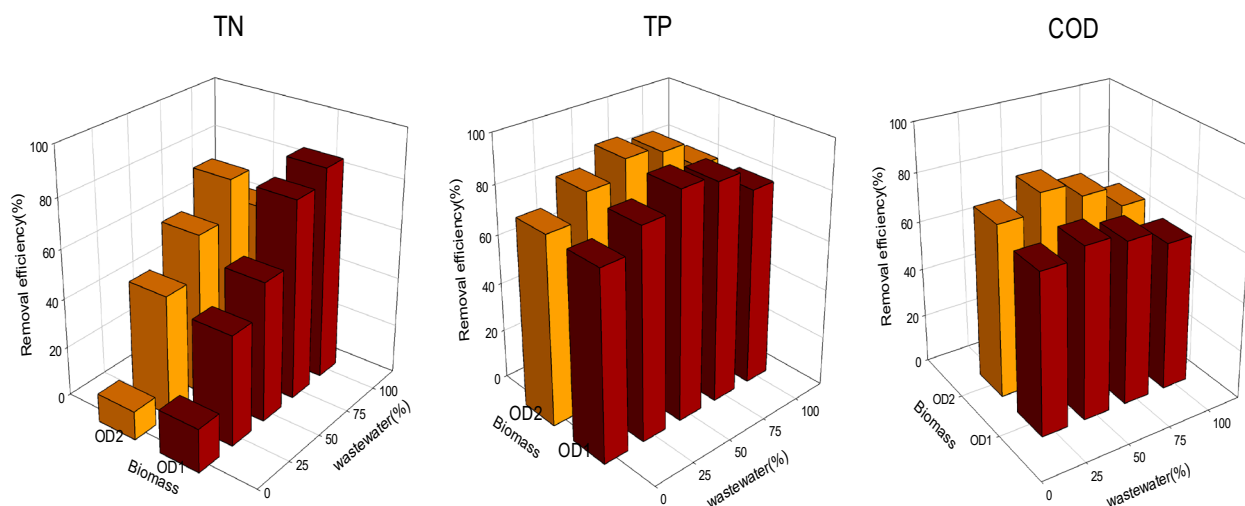
$$\text{TN 去除率} = (\text{day0 TN} - \text{day8 TN}) / \text{day0 TN}$$

$$\text{TP 去除率} = (\text{day0 TP} - \text{day8 TP}) / \text{day0 TP}$$

表二：各個廢水總氮、總磷、化學需氧量去除率

	廢水稀釋倍數(%)	COD 去除率(%)	TN 去除率(%)	TP 去除率(%)
植藻量 0.3g/L	0	NA*	17.36	75.13
	25	65.85	43.94	83.84
	50	70.15	55.95	91.1
	75	66.81	80.13	88.2
	100	60.77	85.78	79.49
植藻量 0.6g/L	0	NA*	11.47	76.03
	25	71.08	48.64	85.9
	50	78.66	64.83	92.83
	75	72.77	79.76	90.27
	100	64.15	62.18	79.54

\*NA(not applied)：由於 BG-11 的起始 COD=0，所以無 COD 去除率



圖二十四：總氮、總磷、化學需氧量去除率之 3D 立體曲線圖

#### (四) 實驗結果

1. 由圖十八至圖二十三的各種總氮(TN)、總磷(TP)、化學需氧量(COD)分析，趨勢觀察得知，所有趨勢濃度都是有效往下遞減，證明微藻確實能夠有效的將畜牧廢水中各種有機污染物濃度減輕，淨化去除率頗高，相信大量生產微藻可更加有效率的淨化廢水。
2. 綜合三種實驗數據，由圖二十四的總氮(TN)、總磷(TP)、化學需氧量(COD)去除率之 3D 立體曲線圖判斷更確定得知，0.6g/L、廢水濃度 50%的實驗條件確實優於其他不同廢水濃度以及低接種量，有效達到去除畜牧廢水中的有機污染物濃度，大幅淨化畜牧廢水以減少環境污染，大量生產時更可看見污染物去除率的落差。

#### 三、實驗第三階段

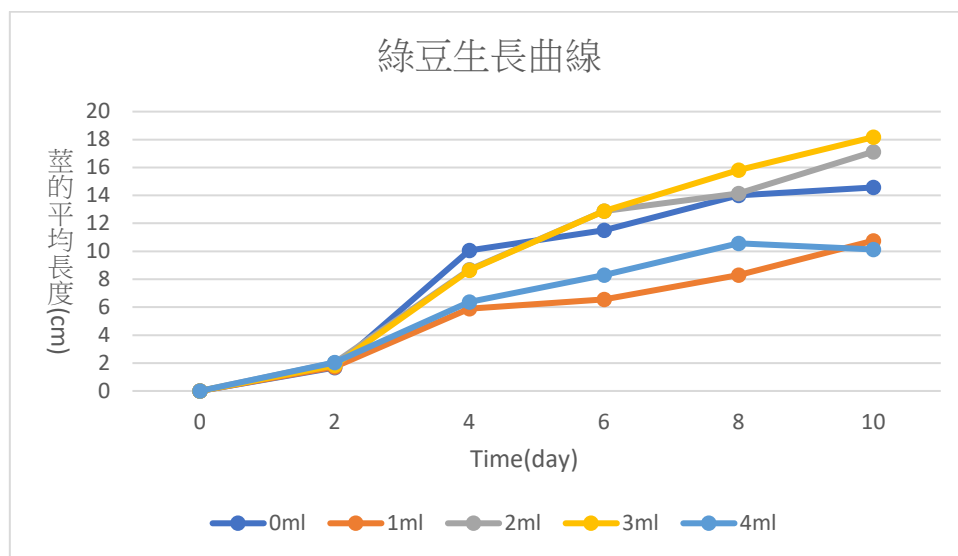
- (一) 將處理過廢水的藻體進行循環利用，達成經濟循環的效用，收集藻體並和益生菌共發酵，製成液態肥料，用於培育綠豆並觀察是否能加快植物的生長速率。

加入液肥體積：0ml、1ml、2ml、3ml、4ml

時間間隔：兩天

##### 1. 實驗數據

綠豆生長曲線



圖二十五：綠豆生長曲線

表三：綠豆增長平均長度(公分)

液肥體積	培育天數					
	第 0 天	第 2 天	第 4 天	第 6 天	第 8 天	第 10 天
0ml(對照組)	0	1.68	10.06	11.51	14	14.57
1ml	0	1.73	5.88	6.56	8.29	10.76
2ml	0	2.01	8.69	12.88	14.15	17.13
3ml	0	1.84	8.63	12.88	15.81	18.17
4ml	0	2.03	6.38	8.3	10.57	10.13

表四：綠豆生長速率

液肥體積	平均生長速率 (cm/day)	相較於對照組 的增加倍率(%)
0ml(對照組)	1.457	0
1ml	1.076	-26.15
2ml	1.713	17.57
3ml	1.817	24.71
4ml	1.013	-30.47

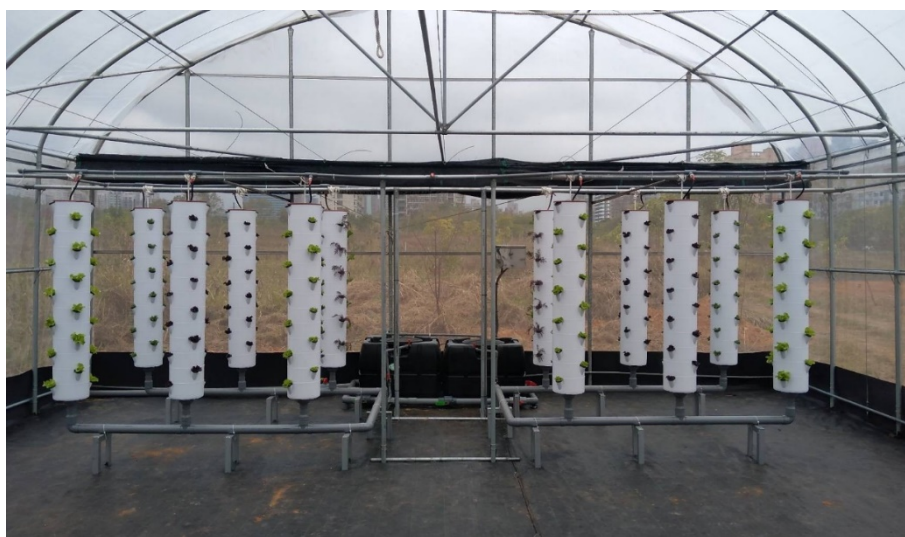
## 2. 實驗結果

由圖二十五綠豆生長曲線數據圖來看，前四天因每顆綠豆發芽速度不同，因此液肥對植物並無太大的影響，但在第五天進行第二次施肥後，發現分別加 2ml 及 3ml 液肥的組別已慢慢超越未加液肥的對照組，證實添加適量微藻液肥可增加綠豆的生長速率，但添加過多或過少的液肥，反而使生長速率下降。



圖二十六：未加入液肥的綠豆(第十天) 圖二十七：加入 3ml 液肥的綠豆(第十天)

(二) 將液態肥料加入於營養劑內，利用立柱水耕系統培育水耕植物，生長過程中藻菌發酵液肥將透過立柱水耕循環系統二十四小時持續替植物淋根，讓植物根部持續吸收豐富營養。實驗結果發現，加入微藻液肥確實有助於水耕植物之快速生長。



圖二十八：立柱水耕植物系統起始植栽



圖二十九：立柱水耕植物系統培育兩週



圖三十：立柱水耕植物系統培育三週



## 陸、結論

- 一、在本研究所測試的五種藻株(SU1、TU5、Tai-03、ESP-6、FSP-E)中發現 *Chlorella sorokiniana* SU1 無論在 BG-11 培養基及 100% 畜牧廢水都有較好的生長狀況，且對廢水有良好的淨化作用。
- 二、將 SU1 分別以接種量 0.3g/L 及接種量 0.6g/L 放入 0%、25%、50%、75%、100% 的廢水中生長，結果發現除了在 100% 廢水的組別，微藻的生長稍緩之外，在其他所有條件下 SU1 皆能快速生長。
- 三、接種量 0.3g/L 及接種量 0.6g/L 的 SU1 在不同濃度的廢水中雖然一開始總磷的殘留濃度有一些差距，但是到最後一天總磷殘留濃度的差距並不大。由去除率可得知，以微藻接種量 0.6g/L 及廢水濃度 50% 的培養條件下，SU1 對磷的去除率最佳，高達 92.83%。
- 四、接種量 0.3g/L 及接種量 0.6g/L 的 SU1 在不同濃度廢水中的總氮都有明顯的下降，以對總氮的去除率來看以微藻接種量 0.3g/L 及廢水濃度 100% 的氮去除情形是最好的，其總氮去除率高達 85.78%。
- 五、在 BG-11 培養基中的化學需氧量(COD)本來就為 0，所以不會有去除率，而 COD 去除率最高的是在微藻接種量 0.6g/L 及廢水濃度 50% 的下，其 COD 去除率可達 78.66%。
- 六、由於 SU1 對 COD、總氮及總磷都具有高去除率，由因此以 SU1 進行畜牧廢水處理，應能有效解決畜牧廢水的問題。
- 七、我們利用淨化廢水一週後所產生的微藻進行收集後製作成微藻液肥，添加適當的液肥量可提升綠豆的生長速率並且提供水耕蔬菜生長所需之營養，顯示藻類循環再利用之可行性。

## 柒、未來展望

未來希望能夠利用本研究的微藻技術來淨化更大規模的廢水、以驗證將微藻實際應用於廢水處理之可行性。此外，除了畜牧廢水，也應針對不同種類的廢水，如工業廢水、家庭廢水等，進行微藻處理廢水之測試，以提升本技術的廣效性。最後，應針對廢水處理所產生的藻體，進行循環經濟的深入研究，除了作成液態肥料之外，也可將微藻轉化為生質燃料或生物炭(biochar)，做更多樣化及高價值的再利用。至於以微藻液肥進行植物栽培的部分，也應做較深入的探討，了解以微藻液肥當作植物的養分跟一般的化學肥料效果的比較，並分析使用微藻液肥時，植物的生長速率、外觀、甜度有多大的改變。

## 捌、參考資料

- 資料一：碳再利用養藻創造大商機（2016，4月10日）。TVBS。取自  
<https://www.youtube.com/watch?v=w2sn0Wt2geg>
- 資料二：沈子蘇、張維靖（2017）。科展作品：千「銅」難除，「藻」知道。取自  
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/050201.pdf>
- 資料三：李俊民、洪肇蔚、鄒庭涵（2014）。科展作品：「藻」到bling~bling的養豬廢水。取自 <https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=70&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=12365>
- 資料四：林鉅量、李岳儒、黃庭威（2012）。科展作品：小兵立大功—利用微藻淨化養殖廢水。取自 <https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=&a=0&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=198&sid=9646>
- 資料五：ctkuo（2010）。[技術]用藻類處理廢水-Algae wheel。取自  
<https://bioenergytoday.net/2010/12/31/1231/>
- 資料六：吳俊宗（2012）。台灣藻類-藻類與環境。取自  
<https://www.ntsec.gov.tw/FileAtt.ashx?id=1783>
- 資料七：Phoebe（2019）。養豬汙水的新解法：微藻生質能。取自  
<https://www.biomassdesk.org/new-solution-of-swine-wastewater-microalgae-biomass/>
- 資料八：郭恩璋（2019）。以養豬廢水培養本土微藻同時進行養豬廢水處理及微藻藻體生產。國立成功大學化學工程學系碩士論文，台南市。取自  
<https://hdl.handle.net/11296/zj3x8g>
- 資料九：黃淑雯（2011）。本土微藻產糖能力鑑定與最適化並應用藻糖進行生質酒精之生產。國立成功大學化學工程學系碩博士班碩士論文，台南市。取自  
<https://hdl.handle.net/11296/p64a4e>
- 資料十：賴昱成（2019）。微藻功能性蛋白生產製程優化、鑑定與應用技術。國立成功大學化學工程學系碩博士班碩士論文，台南市。取自  
<https://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh1?DocID=U0026-1308201916590200>
- 資料十一：Chun-YenChena、En-WeiKuob、DilliraniNagarajanbc、Shih-HsinHod、Cheng-DiDongc、Duu-JongLeec、Jo-ShuChang（2020）。Cultivating *Chlorella sorokiniana* AK-1 with swine wastewater for simultaneous wastewater treatment and algal biomass production。取自 <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122814>

資料十二：劉翠玲、許嘉伊（2011）。藻類應用商機無限 全球水產藻類發展現況與趨勢。

取自

<http://www.biotaiwan.org.tw/download/structure4/%E5%8A%89%E7%BF%A0%E7%8E%B2/100/10003%E5%85%A8%E7%90%83%E6%B0%B4%E7%94%A2%E8%97%BB%E9%A1%9E.pdf>

## 【評語】 052601

1. 本研究依據 2014、2017 年科展的作品，進一步分析研究，著重在方法及可行性分析，過去已有許多研究發現微藻藻株具有淨化畜牧廢水的功效，可利用文獻回顧介紹與本研究之目的，說明本研究的創新性。
2. 本研究目的利用生長最快速的藻株進行測試，利用五種不同的微藻藻株 SU1、TU5、ESP-3、Tai-03、FSP-E 來淨化畜牧廢水。找出最適合廢水濃度，觀察其處理廢水的效能。並在廢水處理過程中產生的藻株，結合益生菌共發酵製作成液態肥料，進行植物培育，紀錄觀察植物的生長狀況。實驗設計方法明確，根據實驗紀錄實驗設計及結果，能確實系統性達到研究的目的相關的研究已有不少，但 N、P 之質量平衡也未予探討，研究深度仍可再加強。
3. 實驗結果之表現，建議說明其分析樣本數，並標註其標準偏差，較能呈現實驗之再現性。在數據分析上目前根據原始數據的動力學分析，直接說明結果，在證實結論上稍嫌薄弱，較難以統計測試說明，植體 0.3 與 0.6，在去除率與不同比例廢水之間的顯著性判別將廢水中生長最佳的藻株大量生產，利用微藻中所含的養分製成液態肥料，觀察植物的生長速率及外觀，發現適量的液肥能加快植物生長速率且順利生長。
4. 觀察五種藻株的生長曲線和氮殘餘量，發現 SU1 的生長速率是最快的，但五種藻株最後一天(第 6 天)的氮殘餘量都差不多，TUS 生長速率曲線除了第 4-5 天，其餘表現也不

錯，最後僅選擇 SU1 的主要考量為何？實驗結果顯示生長曲線，沒有統計實證結果，建議說明如何以統計方法來驗證實驗結果。

5. 廢水處理使用過後的藻體用於培養綠豆，量測莖的生長長度，根據照片顯示量測的方法，比較沒有系統性的科學方式，是否考慮由葉綠素或生產率，來比較不同濃度液肥的生長狀況，可更具有科學方法的驗證。
6. 整體資料的呈現、簡報的邏輯性清楚，惟參考文獻的編列及正確性須再改進。

## 作品簡報



# 以藻類淨化畜牧廢水 並進行後續藻體增值利用

組別：高級中等學校組

科別：環境學科

# 摘要

利用五種不同的微藻藻株SU1、TU5、ESP-6、Tai-03、FSP-E來淨化畜牧廢水。觀察藻株對廢水處理的表現，包括氮、磷的去除率、生長曲線、化學需氧量的變化等。將在廢水中生長最佳的藻株大量生產製成液肥，提供植物生長所需養分並觀察植物生長速率的變化。實驗結果顯示SU1皆能使有機汙染物濃度降低，並且將藻類回收製成液態肥料，用於蔬菜的種植，經過兩週後，有添加藻肥的植物皆能順利的生長。

# 研究動機

1. 由於廢水排放不當，所以我們想要利用與物理及化學以外相比，更自然、環保且永續循環的方式來淨化廢水。
2. 查詢資料後得知，微藻可降低廢水中的氮、磷及化學需氧量。
3. 處理完廢水微藻具有豐富的營養，可製成肥料，提供植物生長所需的營養。

# 研究目的

1. 找出在藍綠培養基中生長最快速的藻株。
2. 利用生長最快速的藻株進行後續實驗條件之測試，找出最適合的廢水濃度，及觀察其處理廢水的效能。
3. 將在廢水處理過程中產生的藻株結合益生菌共發酵製作成液態肥料，並進行植物培育，紀錄觀察植物的生長狀況。



# 研究方法

## (一) 微藻活化

將BG-11培養基混入Agar並滅菌，凝固後將藻體以序列稀釋法畫於Agar plate盤上並照光一個禮拜，使其健康活化。



## (二) 前期培養

將BG-11培養基混合RO水並滅菌。將微藻加入培養基內，提供光源和二氧化碳。



7days



## (三) 主培養

- ① 取下前期培養之藻液。
- ② 分析其生長濃度並計算植藻量需要的體積。
- ③ 將藻液加入培養基內並重複前期培養的步驟。
- ④ 持續培養七天並觀察其生長曲線。

## (四) 收集藻體

一週後的主培養

藻液離心

移除上清液

冷凍於-20°C冰箱

凍乾保存

# 研究方法

## (五) 取樣分析

儀器名稱	數據名稱
分光光度計(設波長為685nm)	藻體濃度
分光光度計(設波長為220nm)	氮源濃度
pH酸鹼測定儀	酸鹼度
Torch高溫燃燒式總有機碳分析儀	總氮濃度
微電腦型分光光度計	總磷濃度
COD分解爐	COD濃度

## (六) 高密度發酵培養

- ① 加入兩倍濃度的BG-11並滅菌。
- ② 置於無菌操作台內，加入高濃度葡萄糖。
- ③ 植入微藻並放入恆溫震盪培養箱，持續高密度培養。



## (七) 製作微藻液肥



微藻

+



益生菌

+



營養劑

=



液態肥料



# 研究結果-微藻篩選

## 實驗設計

1. 將五種不同功能的藻株植入BG-11藍綠培養基培育。
2. 觀察其生長曲線以及環境中氮源的遞減變化。
3. 決定後續要以何種藻株進行後續實驗測試。

## 五種微藻的特性


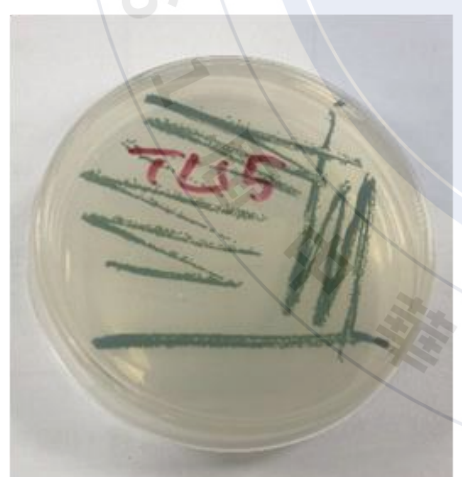
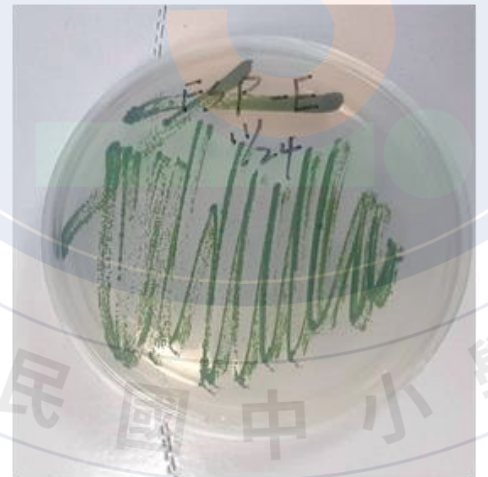
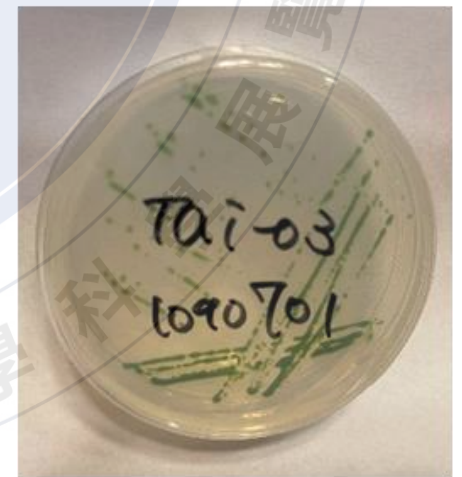
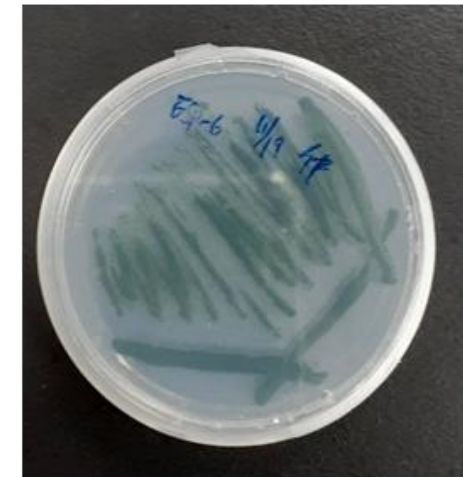
SU1：抵抗力強較能夠適應各種髒水。

ESP-6：生長過程中能產生較多的碳水化合物。

FSP-E：生長過程中能產生較多的蛋白質。

Tai-03：特性穩定，最常被當作保養品，是保養品首選。

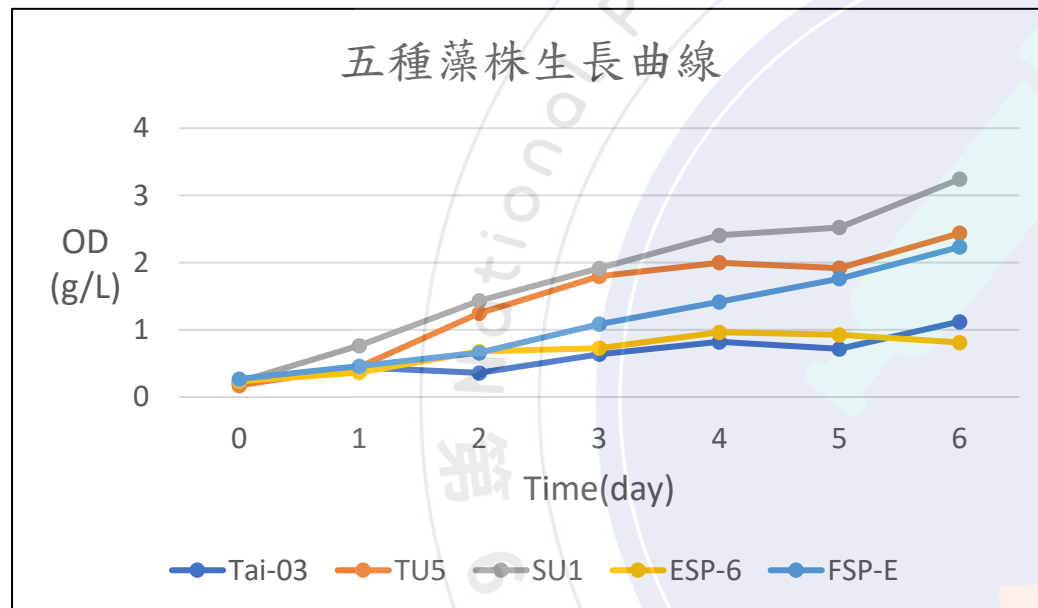
TU5：生產速率普通，作為對照組。

<i>Chlorella sorokiniana</i> SU1	<i>Chlorella vulgaris</i> ESP-6	<i>Chlorella vulgaris</i> FSP-E	<i>Chlamydomonas sp.</i> Tai-03	<i>Chlorella sorokiniana</i> TU5
				

# 研究結果-微藻篩選

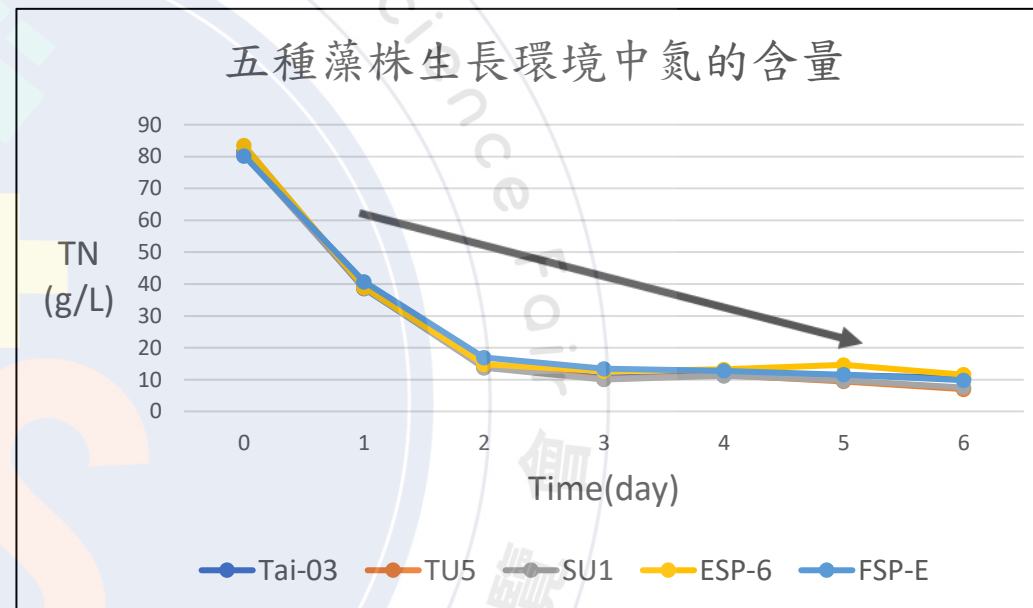
## 實驗結果

OD(g/L) = 每公升微藻的重量



五種藻株第零天到第六天濃度的變化

TN=生長環境中氮的含量



五種藻株第零天到第六天生長環境中氮源的變化

- ◆ 五種藻株的生長曲線皆逐漸上升，由此可知每種藻株均順利成長，其中SU1的生長曲線是最為陡峭的，故SU1生長情形為五種藻株中最佳的，因此決定選用SU1這株藻來進行後續的實驗。
- ◆ 五種藻株生長環境中總含氮量均降低的趨勢，說明這些微藻皆可有效消除氮源。

# 研究結果-廢水處理

## 實驗設計

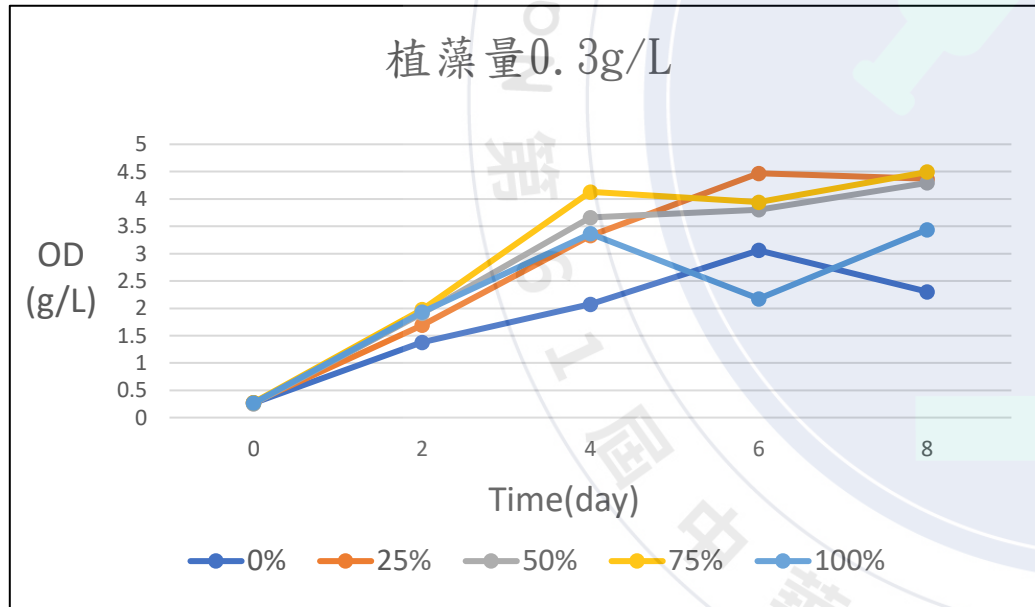
觀察SU1在不同廢水濃度及不同植藻量的生長曲線以及廢水處理效果

廢水重量百分率：0%、25%、50%、75%、100%

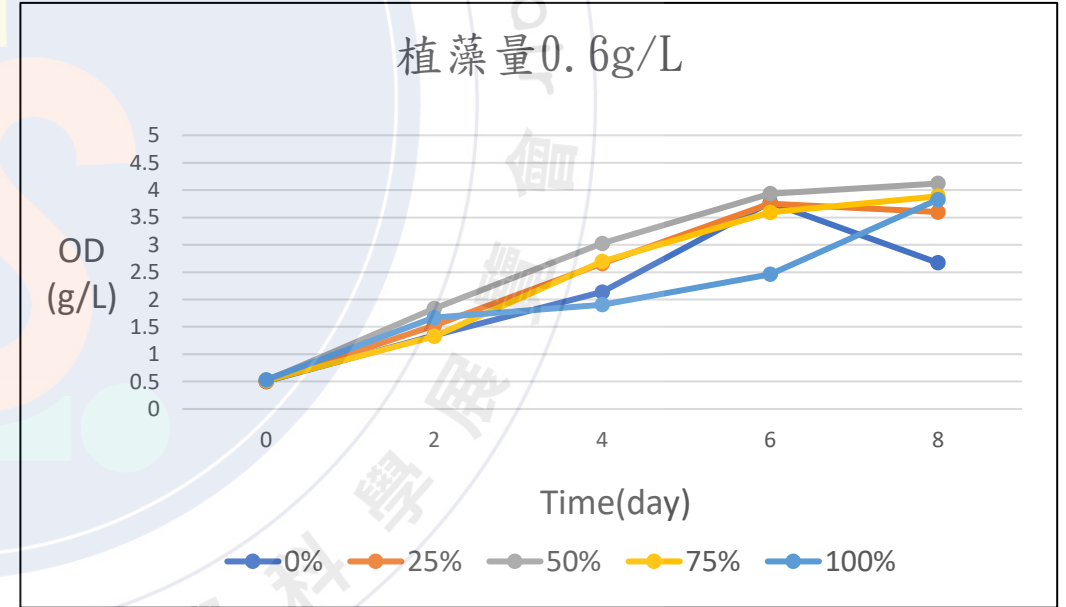
植藻量濃度：植藻量0.3g/L、植藻量0.6g/L

時間間隔：兩天

## 實驗結果



生長濃度曲線\_植藻量0.3g/L



生長濃度曲線\_植藻量0.6g/L

◆ SU1在接種量0.6g/L、廢水濃度50%的實驗條件下培養，生長的較為良好。

# 研究結果-廢水處理

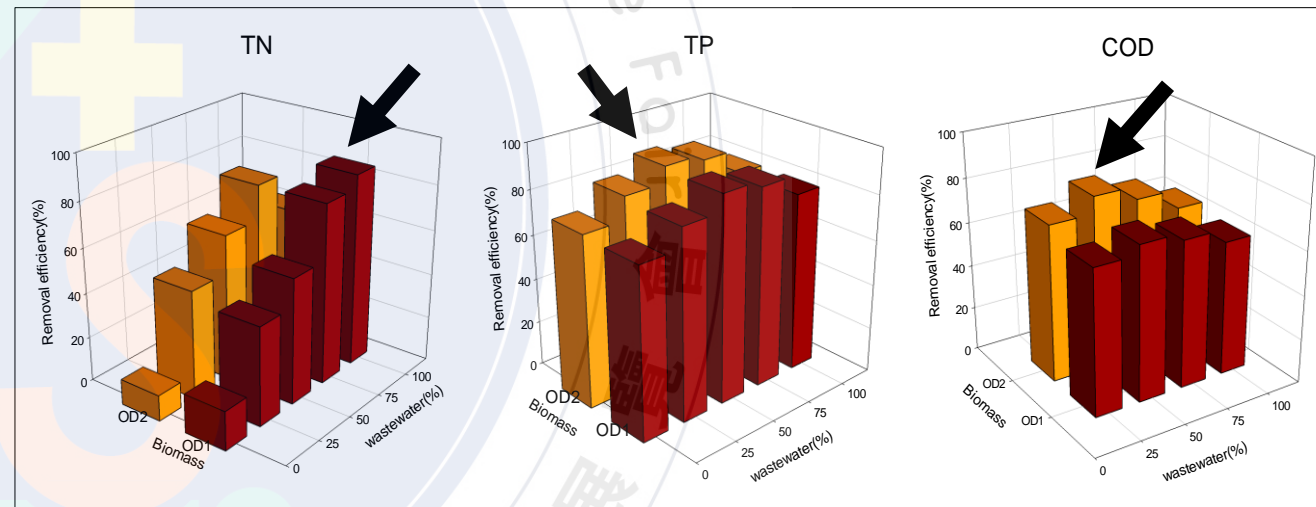
各個廢水總氮、總磷、化學需氧量去除率

	廢水稀釋倍數(%)	COD去除率(%)	TN去除率(%)	TP去除率(%)
植藻量 0.3g/L	0	NA*	17.36	75.13
	25	65.85	43.94	83.84
	50	70.15	55.95	91.1
	75	66.81	80.13	88.2
	100	60.77	85.78	79.49
植藻量 0.6g/L	0	NA*	11.47	76.03
	25	71.08	48.64	85.9
	50	78.66	64.83	92.83
	75	72.77	79.76	90.27
	100	64.15	62.18	79.54

$$\text{COD去除率} = (\text{day0 COD} - \text{day8 COD}) / \text{day0 COD}$$

$$\text{TN去除率} = (\text{day0 TN} - \text{day8 TN}) / \text{day0 TN}$$

$$\text{TP去除率} = (\text{day0 TP} - \text{day8 TP}) / \text{day0 TP}$$



總氮、總磷、化學需氧量去除率之3D立體曲線圖

\*NA：由於BG-11的起始COD=0，所以無COD去除率

◆ 由於淨化去除率頗高，因此證明微藻確實能夠有效的降低畜牧廢水中各種有機污染物的濃度。

◆ 植藻量0.6g/L、廢水濃度50%的實驗條件確實優於其他不同廢水濃度以及低接種量，可有效去除畜牧廢水中的有機污染物。

# 研究結果-微藻液肥種植植物

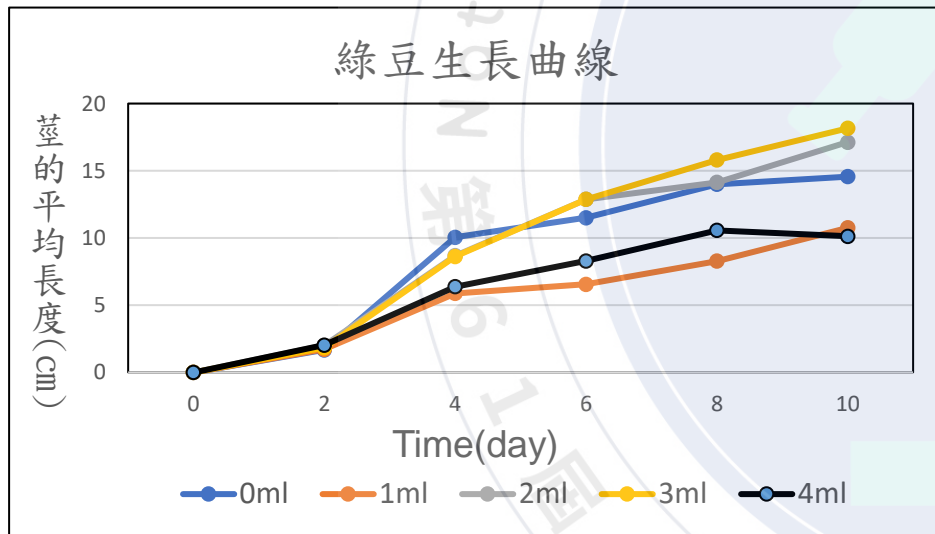
## 實驗設計

將液態肥料用於培育綠豆，觀察植物的生長速率。

加入液肥體積：0ml、1ml、2ml、3ml、4ml

時間間隔：兩天

## 實驗結果



綠豆增長平均長度(公分)

液肥體積	培育天數					
	第0天	第2天	第4天	第6天	第8天	第10天
0ml(對照組)	0	1.68	10.06	11.51	14	14.57
1ml	0	1.73	5.88	6.56	8.29	10.76
2ml	0	2.01	8.69	12.88	14.15	17.13
3ml	0	1.84	8.63	12.88	15.81	18.17
4ml	0	2.03	6.38	8.3	10.57	10.13

綠豆生長速率

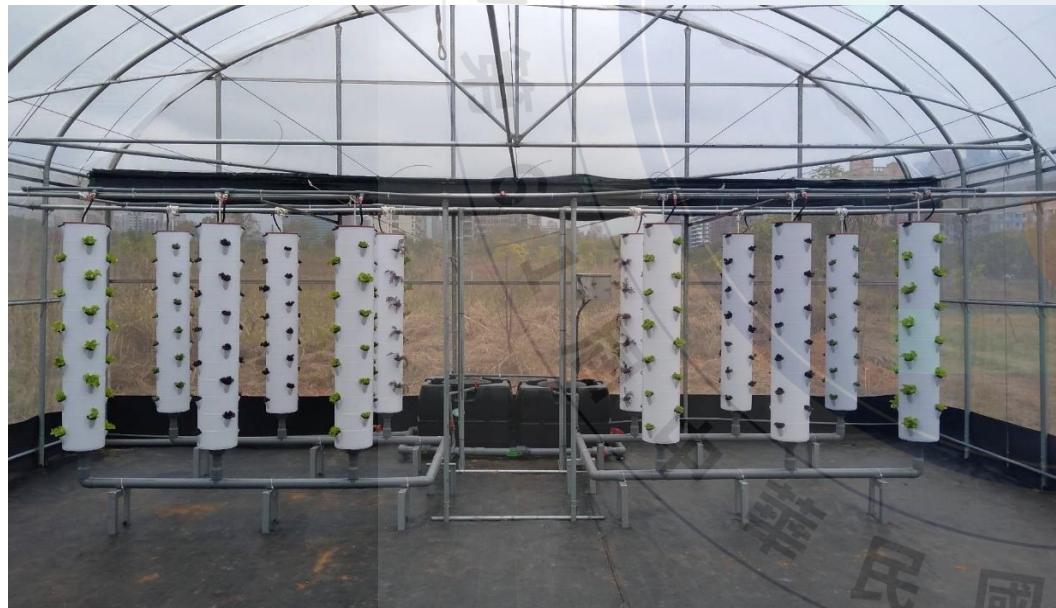
液肥體積	平均生長速率 (cm/day)	相較於對照組 的增加倍率(%)
0ml(對照組)	1.457	0
1ml	1.076	-26.15
2ml	1.713	17.57
3ml	1.817	24.71
4ml	1.013	-30.47

- ◆ 前四天因每顆綠豆發芽速度不同，因此液肥對植物並無太大的影響，但在第五天進行第二次施肥後，發現分別加2ml及3ml液肥的組別已慢慢超越未加液肥的對照組，證實添加適量微藻液肥可增加綠豆的生長速率，但添加過多或過少的液肥，反而使生長速率下降。

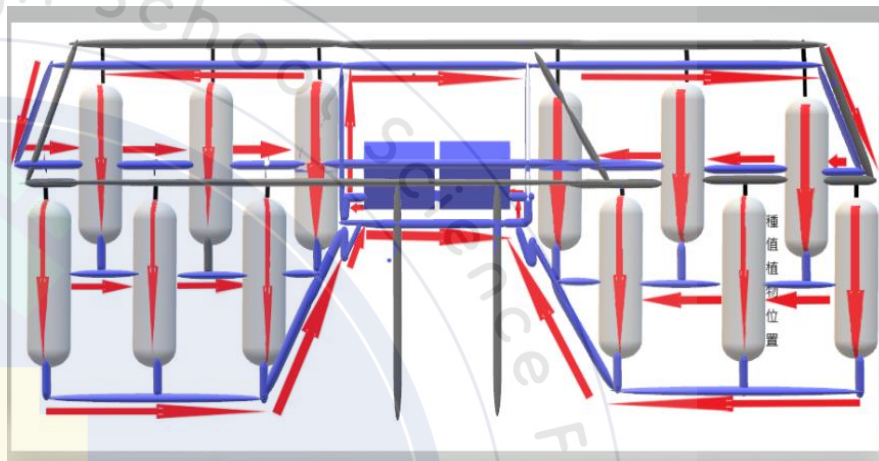
# 研究結果-微藻液肥種植植物

利用立柱水耕系統培育水耕植物，生長過程中微藻液肥將二十四小時持續替植物淋根，讓植物根吸收豐富營養。實驗結果發現，加入微藻液肥確實有助於水耕植物之生長。

## 植物生長情形



立柱水耕植物系統起始植栽



水流流動示意圖



立柱水耕植物系統培育兩週



## 結論

- 一. 在五種藻株中發現SU1無論在BG-11培養基及100%畜牧廢水都有較好的生長狀況，且能有效的淨化廢水。
- 二. SU1在植藻量0.6g/L及廢水濃度50%的條件下，去除廢水中有機污染物的能力是最佳的。
- 三. 淨化廢水後所產生的微藻可製作成微藻液肥，提升綠豆的生長速率並且提供水耕蔬菜生長所需之營養，顯示藻類循環再利用之可行性。

## 未來展望

- 一. 利用微藻技術來淨化更大規模的廢水以驗證將微藻實際應用於廢水處理之可行性。
- 二. 以微藻液肥栽培植物可與一般化學肥料比較，並分析植物生長速率、外觀、甜度的差異。
- 三. 針對不同種類的廢水，如工業廢水、家庭廢水等，進行微藻處理廢水之測試，以提升本技術的廣效性。
- 四. 廢水處理所產生的藻體，除了作成液態肥料之外，也可將微藻做更多樣化及高價值的再利用。

# 參考資料

資料一：李俊民、洪肇蔚、鄒庭涵（2014）。科展作品：「藻」到bling~bling的養豬廢水。取自

<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=70&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=12365>

資料二：林鉅量、李岳儒、黃庭威（2012）。科展作品：小兵立大功—利用微藻淨化養殖廢水。取自

<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=&a=0&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=198&sid=9646>

資料三：Phoebe（2019）。養豬汙水的新解法：微藻生質能。取自<https://www.biomassdesk.org/new-solution-of-swine-wastewater-microalgae-biomass/>

資料四：郭恩璋（2019）。以養豬廢水培養本土微藻同時進行養豬廢水處理及微藻藻體生產。國立成功大學化學工程學系碩士論文，台南市。取自<https://hdl.handle.net/11296/zj3x8g>

資料五：黃淑雯（2011）。本土微藻產糖能力鑑定與最適化並應用藻糖進行生質酒精之生產。國立成功大學化學工程學系碩博士班碩士論文，台南市。取自<https://hdl.handle.net/11296/p64a4e>

資料六：賴昱成（2019）。微藻功能性蛋白生產製程優化、鑑定與應用技術。國立成功大學化學工程學系碩博士班碩士論文，台南市。取自<https://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh1?DocID=U0026-1308201916590200>

資料七：Chun-YenChena、En-WeiKuob、DilliraniNagarajanbc、Shih-HsinHod、Cheng-DiDonge、Duu-JongLeec、Jo-ShuChan（2020）。Cultivating *Chlorella sorokiniana* AK-1 with swine wastewater for simultaneous wastewater treatment and algal biomass production。取自<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122814>