

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

030323

LED「油亮」小球藻

學校名稱：新竹市立建功高級中學(附設國中)

作者： 國二 陳宜暄 國二 林孳敏 國二 吳昀杰	指導老師： 王意如
---	------------------

關鍵詞：小球藻、發光二極體(LED)、藻油

摘 要

微藻行光合作用，為生長最為快速的植物，其養殖具有二氧化碳減量、生產生質柴油之功能。為了使微藻的養殖更有效率，可夜間養殖施以人工光照，而 LED 因具有省電、使用壽命長等優點，加上部分 LED 所發射的光波長為植物行光合作用之所需，因此本實驗探討 LED 光照利用於微藻養殖的可行性。本實驗主要結果如下：(1)在紅光與白光 LED 光照下，微藻生長速率比藍光 LED 光照顯著快速，但與一般的 T5 燈管光照相近；(2)在紅光 LED 光照下，小球藻生長速率隨著光照強度增加而上昇；(3)紅光和藍光 LED 光照的微藻油脂含量為 17-18%，而 T5 燈管光照之微藻油脂含量約 18~19%。我們的實驗結果顯示，紅光 LED 可用於微藻的養殖，唯目前 LED 的生產成本仍高，因此用於微藻養殖的經濟效益仍須評估。

壹、研究動機

近二十年來工商業快速成長，無論是先進的或發展中的國家，都需要大量的能源，可近石油資源日漸耗竭，而面臨不敷使用的問題。而石化資源的過度使用也存在不少問題，其中最嚴重的便是造成全球的暖化效應，在石化燃料價格逐漸高漲與國家能源自主的政策下，尋求替代能源更顯得重要，而以生質能源替代化石燃料是現在可行方法之一。

生質柴油使用的環保優勢，就是進行環境碳中和，降低溫室效應氣體和環境廢氣的排放。研究顯示如果使用 20% 生質柴油比例混合的柴油，空氣微粒的排放可以減少 12%，碳氫化合物排放可以降低 20%，一氧化碳的排放會減少 12%。現今，歐美等先進國家主要都以大豆與玉米等第一代糧食作物的油脂製造生質柴油。然而這些植物與人類、牲畜的糧食衝突，造成國際糧食作物價格上漲。而且，第一代產物的產油效率並不高，一公頃玉米只能生產 172 公升的油脂，一公頃大豆也只能生產 446 公升。而微藻的脂類含量約在 20 ~ 70%，一公頃藻田可產生的油脂量可達驚人的 95,000 公升。其同時俱備了體積小、產油效率高、產油量大、生長週期短、可以消耗大量二氧化碳等優點。

除了生質能源以外，其實微藻的商機也無限。微藻細胞內具有豐富的營養成分具有醫藥或保健價值，可用來製造健康食品。微藻含有鈣、磷、鐵等多種礦物元素，更富含 β -胡蘿蔔素、泛酸、葉酸、生物素及 A、B 群、C 及 E 等多種維生素，有些微藻更富含人類必需多元不飽和脂肪酸，例如廿碳五烯酸 (EPA; 20:5 ω -3) 及廿二碳六烯酸 (DHA; 22:6 ω -3)，具有預防或減輕心臟血管疾病的功能。微藻也可用來作為養殖飼料，包括魚蝦幼苗的餌料，部份藻類亦可作為家畜飼料的添加物。

在 1961 年，知名半導體公司德州儀器的 Robert Biard 與 Gary Pittman 發現了砷化鎵；1962 年，美國奇異公司的 Nick Holonyak, Jr. 開發出第一種可實際應用的可見光發光二極體 (Light-Emitting Diode; LED)。LED 是由半導體材料所製成之發光元件，建構有 p (陽極) 和 n (負極)，在其兩個電極端子之間施加電壓並通入極小的電流，經由電子電洞之結合可將剩餘能量以光的形式激發釋出。而 LED 所發出的光的波長 (顏色) 則是由組成 p 與 n 架構的半導體物料的禁帶能量決定 (表一)。LED 的技術應用十分廣泛，擁有諸多的優點包括省電、閃爍頻率高、使用壽命長、耐震盪等機械衝擊、體積小、單色性強等等。

我們希望找到使微藻的生產量高卻不失環保精神的方法，利用有限的資源來增加微藻的油脂含量，才能達到事半功倍的效益。因此，以 LED 光照養殖微藻，並加以提煉微藻為升質能源，可說最為符合現今這強調環保世代的期望。

表一、發光二極體的發光顏色、波長與正向偏壓

顏色	波長
紅	760~610
橙	610~590
黃	590~570
綠	570~500
藍	500~450
紫	450~380
白	混合紅、藍、綠光波長

貳、研究目的：

本研究之主要目的在探討小球藻於不同光照環境下的生長效率與油脂產量：

- 一、不同種類的光照，對微藻生長與脂肪含量的影響：以 T5 的白色長型燈管，以及 LED 燈光照，進行微藻生長與油脂含量的檢測與比較。
- 二、不同光波長的 LED 光照，對微藻生長與脂肪含量的影響：以藍、紅、白色 LED 燈光照進行微藻生長與油脂含量的檢測與比較。
- 三、不同 LED 光照強度，對微藻生長的影響：以裝置不同強度的紅色 LED 燈光照進行微藻生長與油脂含量的檢測與比較。

參、研究設備與器材：

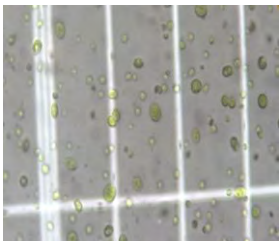






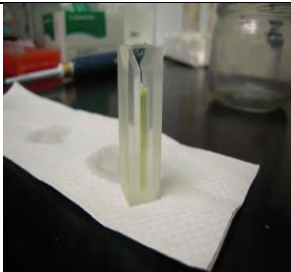

- 一、生物材料：小球藻 (*Chlorella* sp.)。
- 二、化學藥品：氯化鈉(NaCl)、氯化鉀(KCl)、硫酸鎂(MgSO₄·7H₂O)、硝酸鈉(NaNO₃)、磷酸氫鈉(NaH₂PO₄)、乙二胺四乙酸二鈉(Na₂·EDTA)、氯化鐵(FeCl₃·6H₂O)、氯

化錳($MnCl_2 \cdot 4H_2O$)、氯化鈷($CoCl_2 \cdot 6H_2O$)、硫酸銅($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)、氯化鈣($CaCl_2 \cdot 2H_2O$)、硫酸鋁($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$)、維生素 B1 (Vitamin B1)、維生素 B12 (Vitamin B12)、生物素(Biotin)、氯仿(Chloroform)、甲醇(Methanol)

三、儀器設備：光生物反應器、T5 燈管、不同波長之 LED 燈（藍、紅、白 LED 燈條）、分光光度計、光度計、電子秤、離心機、烘箱、吹氮設置、超音波震盪器

四、其他器材：微量吸取器、微量吸取尖、微量離心管、OD 測量石英管、RO 水、燒杯、錐形瓶、玻璃管

五、本實驗之儀器設備、器材及化學藥品。

		
<p>小球藻</p>	<p>分光光度計</p>	<p>離心機</p>
		
<p>烘箱</p>	<p>吹氮設置</p>	<p>超音波震盪器</p>
		
<p>離心管</p>	<p>OD 測量石英管</p>	<p>氣相層析儀</p>

肆、研究過程及方法：

一、藻類培養

(一)、藻 種

我們採用小球藻 (Chlorella) 作為培養藻種。小球藻在分類學上是綠藻門、綠球藻綱、綠球藻目、綠球藻科、綠球藻屬中的綠球藻。小球藻為一球狀或橢圓形單細胞體的海水浮游生物，直徑約 $10\ \mu\text{m}$ 。

微藻光合作用效率顯著高於陸生植物，其生長快速，在良好狀況下每天可達到兩倍以上的生物質 (biomass) 產量，是陸生植物的數十倍以上。小球藻的生長培養因子有光照、水中 CO_2 含量、溫度、營養源、pH 值等等。

(二)、培養溶液

海水小球藻培養相關溶液：包括人工海水、f2 培養液 3 mL/L、微量金屬元素溶液 1 mL/L、Vitamin 溶液 1 mL/L

人工海水成份	使用量 (g/L)
NaCl	29.23
KCl	1.10
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	11.09
NaNO_3	0.23
NaH_2PO_4	0.15
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.83

f2 培養液	使用量 (mg/L)
NaNO_3	75
NaH_2PO_4	5
微量金屬元素溶液	1 mL
Vitamin 溶液	1 mL

微量金屬元素溶液	使用量 (g/L)
$\text{Na}_2 \cdot \text{EDTA}$	4.36
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	3.16
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.18
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.01
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.01
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.83
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.023
Na_2MoO_4	0.006

Vitamin 溶液	使用量 (mg/L)
Vitamin B1	100
Vitamin B12	0.5
Biotin	0.5

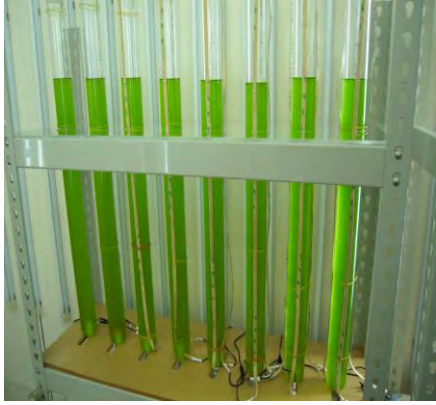





(三)、微藻養殖

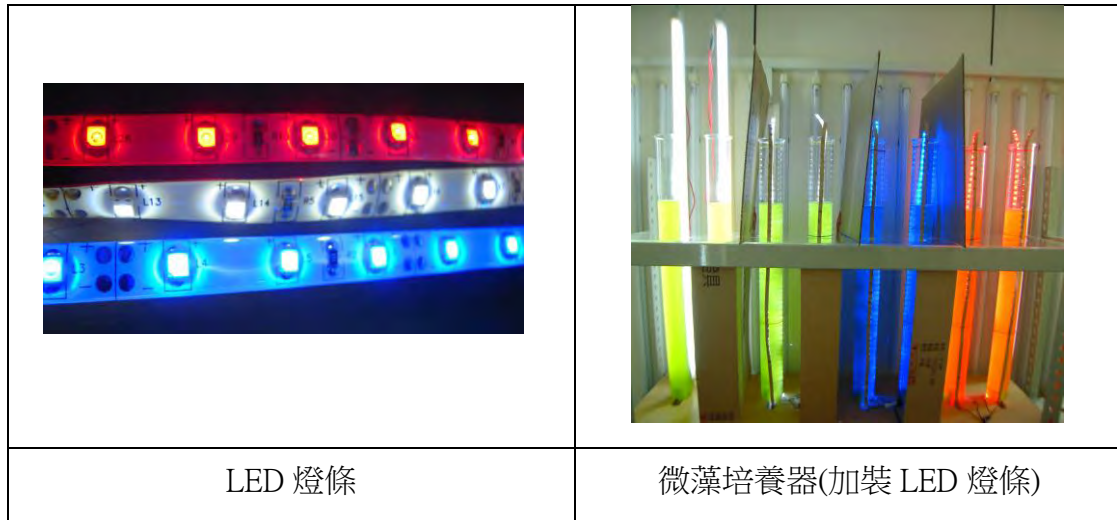
- 1、微藻培養器：以圓柱狀的光生物反應器 (photobioreactor：高度 80 cm、直徑 6 cm) 培養微藻，每支反應器內培養 1,000 mL 之藻液。小球藻在實驗前三天要前置培養至 OD_{682} 吸光值約為 4，實驗進行當天，利用海水小球藻培養液將之稀釋

至 OD₆₈₂ 吸光值為 0.5，再分裝於各支光生物反應器中。

2、微藻的培養：微藻的培養通入含 2% CO₂ 的空氣，通氣之效率 0.25 vvm (volume of air / volume of broth / minute)，培養溫度為 25 ± 2°C。利用 T5 或 白、紅、藍 LED 燈持續光照。

3、微藻培養裝置如下

	
微藻培養器	二氧化碳調節器
	
CO ₂ 檢測器	培養基
	
氣閥	小球藻培養



(四)、小球藻生長的測量

小球藻的生長以分光光度計方法 (OD; optical density) 測量之，以波長 682 nm 測量微藻培養液中微藻密度。OD₆₈₂ 主要為小球藻葉綠素的吸收值，故本實驗用 OD₆₈₂ 測量小球藻的生長狀況，OD₆₈₂ 量測值越高表示小球藻細胞密度越高 (即微藻數目越多)。

(五)、微藻的回收、乾燥及粉製

- 1、進行藻體及培養液分離。將實驗所收取下來的藻液以 3,000 × g、5 分鐘條件進行離心去除藻液中水份。
- 2、離心沉澱的藻體用同體積之水洗滌 2~3 次，以去除殘留鹽分及雜質。
- 3、將離心沉澱的藻泥置入 60°C 烘箱中 24 小時。
- 4、確認藻體完全乾燥後，利用研鉢將乾燥的藻體磨成粉末狀。藻粉可用於油脂的萃取。

二、油脂的萃取

- (一)、取 0.2 g 藻乾至 50 mL tube (使用微量天平：歸零→秤重)
- (二)、加入 6 mL solvent (chloroform : methanol = 2 : 1)

氯仿(Chloroform)：親油性（溶出油脂）

甲醇(Methanol)：親水性（溶出油脂以外液體）

(三)、試管震盪後超音波震盪 60 分鐘、50°C

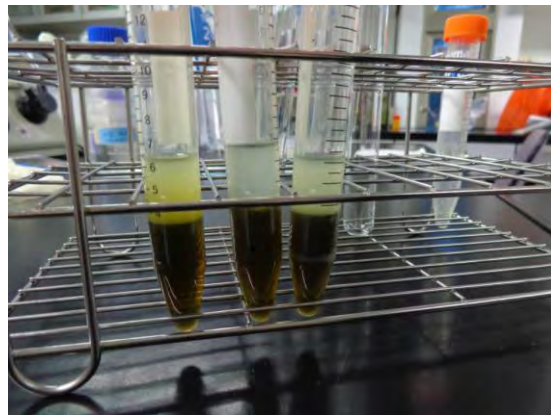
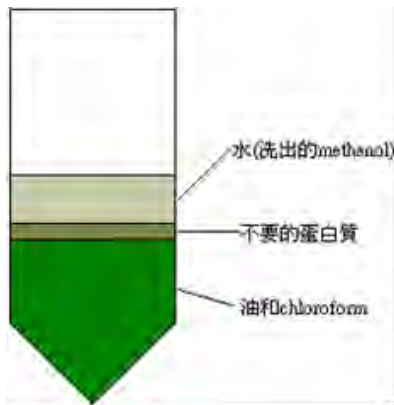
(四)、離心 3,000 × *g*、常溫、10 分鐘以分離藻渣

(五)、使用玻璃滴管取出上層液（避免吸取到下層藻渣）

(六)、加入 0.9% NaCl (NaCl : Sample = 1 : 5)，將親水性物質溶出。

(七)、試管震盪後離心 2,000 × *g*、常溫、10 分鐘 將油脂與其他物質分離

(八)、取下層溶液至玻璃 tube，避免吸取上層水及蛋白質



(九)、吹氮濃縮 70°C、30 分鐘，以高溫揮發 chloroform

(十)、計算：油脂總重量/樣品重量 (g) × 100% = 微藻樣品油脂平均含量

三、轉酯化與脂肪酸甲基酯分析

(一)、取 Methanol (3.4 mL)、硫酸 (0.6 mL) 及 chloroform (4.0 mL) 加入試管中混和之

(二)、加入所萃取之微藻油脂（約 0.5 g），使其充分混合

(三)、以超音波震盪反應 60 分鐘

(四)、加入 2 mL RO 水進行液相分離

(五)、靜置 30 分鐘待其反應分層結束，回收下層液（避免吸取到下層藻渣）

- (六)、回收之下層液，藉由吹氫濃縮儀器進行濃縮至化學溶液揮發完全，於試管內存留者是為經轉酯後微藻油脂之脂肪酸甲基酯
- (八)、將轉酯化後之脂肪酸甲基酯注入氣相層析儀中分析之。各種不同碳鏈之脂肪酸，是根據實驗室之前利用各項已知碳數之脂肪酸在氣相層析儀結果中之相對位置制定之

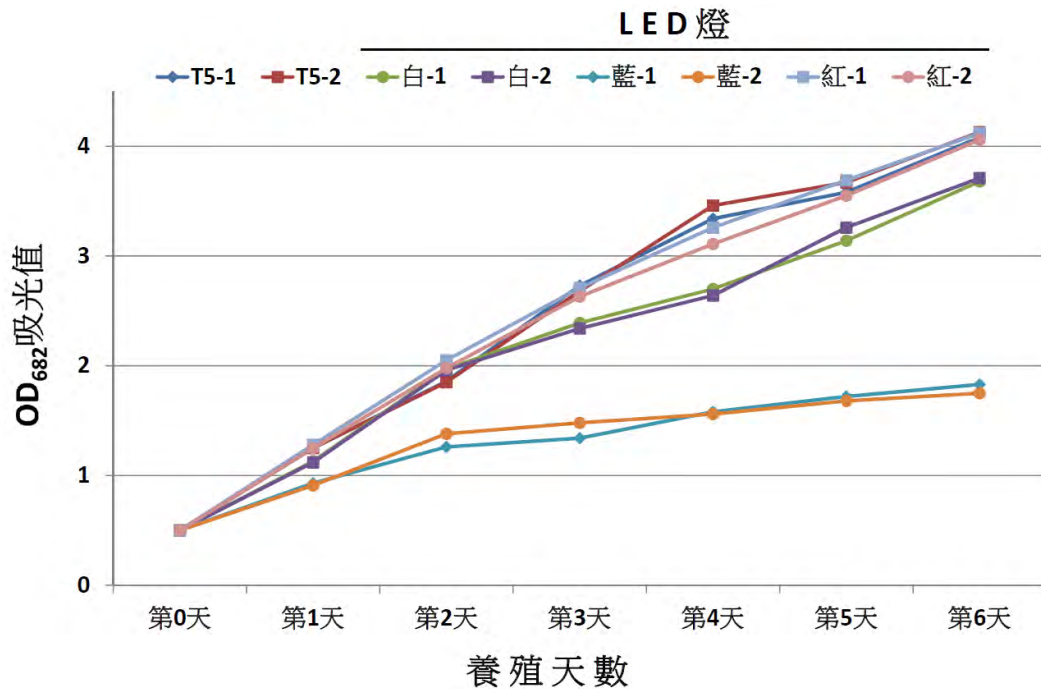
伍、研究結果

一、不同種類的燈照與不同波長的 LED 光照對微藻生長的影響

用於養殖小球藻的光源共分為：「T5 長型燈管」、「紅光 LED」、「白光 LED」及「藍光 LED」四組，每組的光照強度皆為 100 ($\mu\text{mol photons /m}^2\text{/sec}$)，每組皆培養兩管微藻(表二)，培養時間為一週。如圖一所示結果得知，利用 T5 燈管培養小球藻的 OD₆₈₂ 吸光值升到 4.08 及 4.13，平均值為 4.11；利用白光 LED 燈管培養小球藻的 OD₆₈₂ 吸光值升到 3.68 及 3.71，平均值為 3.7；利用藍光 LED 燈管培養小球藻的 OD₆₈₂ 吸光值升到 1.83 及 1.75，平均值為 1.79；利用紅光 LED 燈管培養小球藻的 OD₆₈₂ 吸光值升到 4.12 及 4.06，平均值為 4.09。實驗結果顯示，T5 燈管所培養的微藻生長狀況最佳，但其僅稍高於紅光與白光 LED 光照實驗組；而藍色 LED 燈光照所培養的微藻生長速率則顯著較他三組低很多。

表二、不同種類的燈照與不同波長的 LED 光照對微藻生長之鑑定

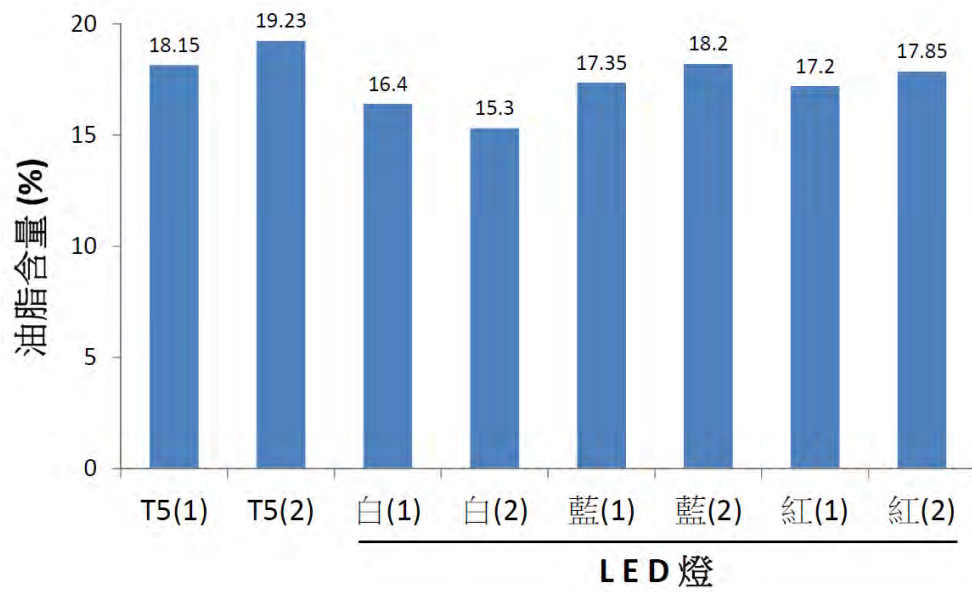
燈管種類 燈管顏色	T5		LED					
			白		藍		紅	
編號	1	2	1	2	1	2	1	2
第 0 天	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
第 1 天	1.25	1.25	1.13	1.12	0.93	0.91	1.28	1.25
第 2 天	1.86	1.85	1.97	1.96	1.26	1.38	2.05	1.98
第 3 天	2.73	2.68	2.39	2.34	1.34	1.48	2.71	2.63
第 4 天	3.34	3.46	2.7	2.64	1.58	1.56	3.26	3.11
第 5 天	3.58	3.67	3.14	3.26	1.72	1.68	3.69	3.55
第 6 天	4.08	4.13	3.68	3.71	1.83	1.75	4.12	4.06



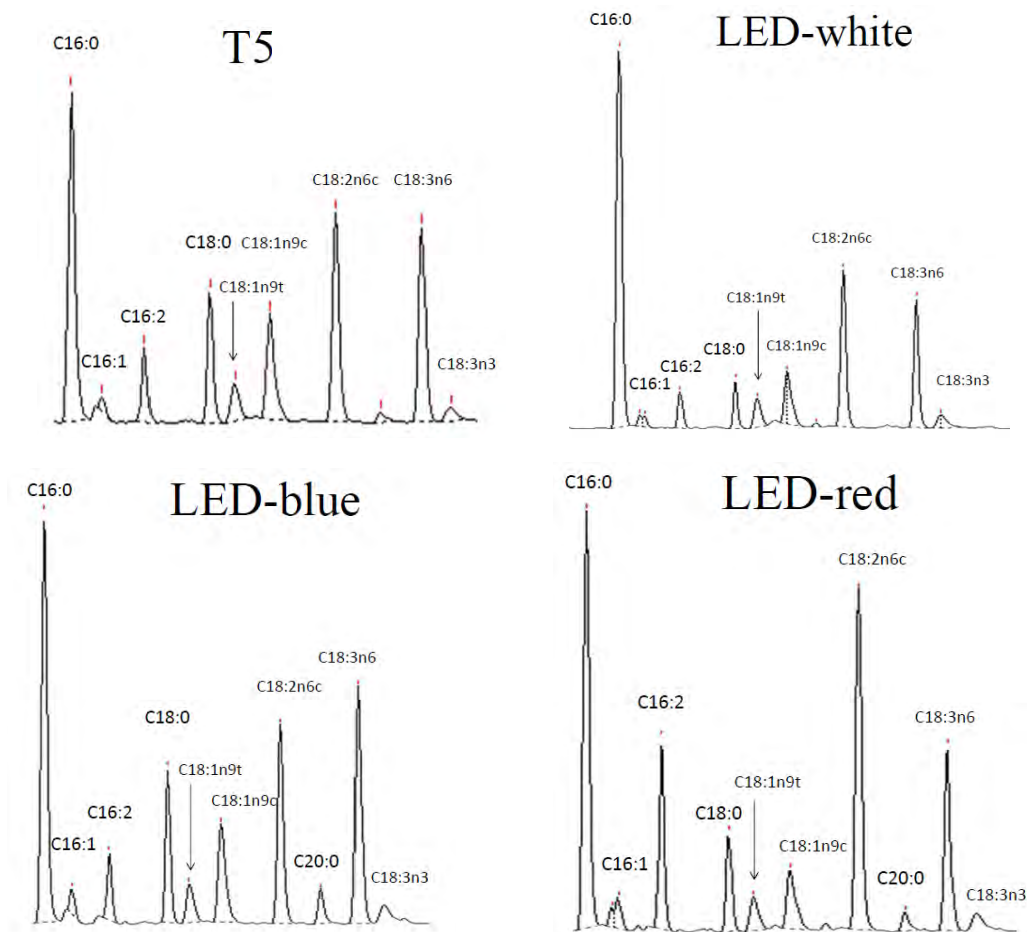
圖一、不同種類的燈照與不同波長的 LED 光照之微藻生長曲線

二、不同種類的燈照與不同波長的 LED 光照對微藻油脂含量的影響

用於養殖小球藻的光源共分為：「T5長型燈管」、「紅光LED」、「白光LED」及「藍光LED」四組，每組皆培養兩管微藻。如圖二所示結果得知，利用T5燈管培養小球藻的油脂產量為18.15%及19.23%，平均值為18.69%；利用白光LED燈管培養小球藻的油脂含量為16.4%及15.3%，平均值為15.85%；利用藍光LED燈管培養小球藻的油脂含量為17.35%及18.2%，平均值為17.78%；利用紅光LED燈管培養小球藻的油脂含量為17.2%及17.85%，平均值為17.53%。實驗結果顯示，T5燈管所培養微藻的油脂含量略高於LED燈管所培養微藻的油脂含量，而白色LED燈管所培養微藻的油脂含量最低。再則，不同種類的燈照與不同波長的LED光照之微藻油脂組成利用轉酯化後之脂肪酸甲基酯，再以氣相層析儀分析之（圖三）。結果顯示，雖然有些影響（表三），例如白色LED光照有較高的 C16:0、白色LED光照有較高的 C16:2 和 C18:2n6c 組成等，但是因為微藻油脂組成受微藻的生長狀況和轉酯化的程序影響較大，所以本項資料目前僅能供為參考，無法作為定論。



圖二、不同種類的燈照與不同波長的 LED 光照之微藻油脂含量之影響



圖三、不同種類的燈照與不同波長的 LED 光照之微藻油脂組成之分析

表三、不同種類的燈照與不同波長的 LED 光照之微藻油脂組成之影響

燈管種類	T5	白色 LED	藍色 LED	紅色 LED
C16:0	32.08	38.56	28.47	27.36
C16:1	0.4	0.98	1.18	2.84
C16:2	4.32	1.87	2.69	11.21
C18:0	5.76	4.36	8.18	5.64
C18:1n9t	2.94	4.4	3.92	3.31
C18:1n9c	7.93	8.55	9.71	6.23
C18:2n6c	19.3	19.03	15.48	26.12
C18:3n6	15.34	14.06	16.89	12.51
C18:3n3	1.3	2.86	0.98	1.52
Others	10.63	5.33	12.50	3.26

三、不同強度的紅光 LED 光照對微藻生長的影響

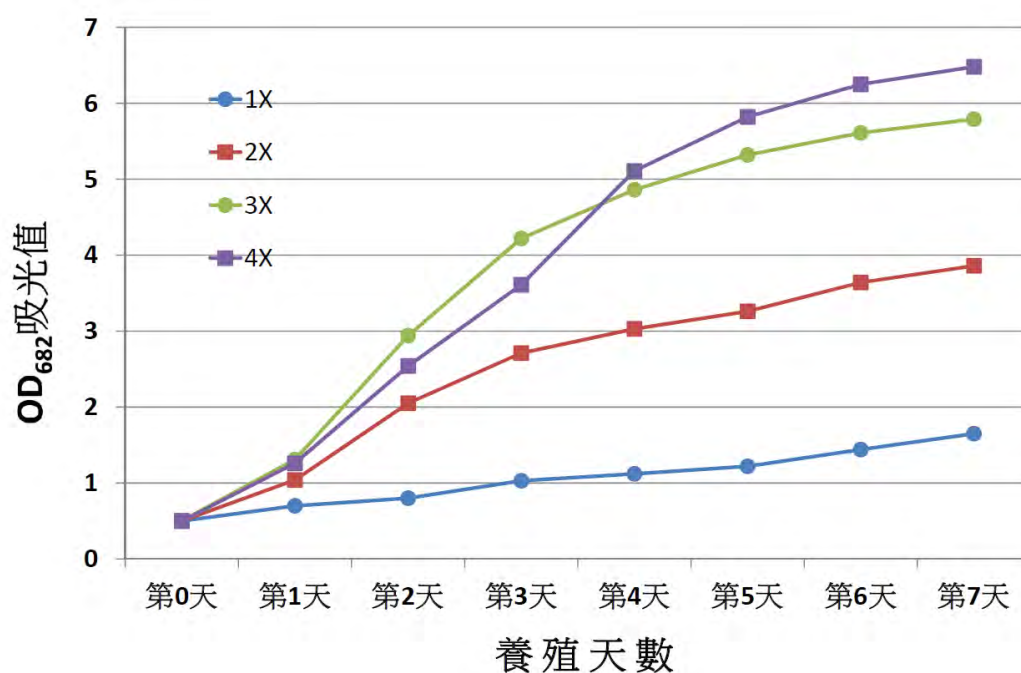
用於養殖小球藻的光源強度分別以 1、2、3、4 條紅色 LED 燈管分為四組(表四)，其光照強度分別為 60、100、135、160 ($\mu\text{mol photons /m}^2/\text{sec}$)，培養時間為一週。如表五所示結果得知，利用 1 條紅色 LED 燈管培養小球藻的 OD_{682} 吸光值升到 1.65；利用 2 條紅色 LED 燈管培養小球藻的 OD_{682} 吸光值升到 3.86；利用 3 條紅色 LED 燈管培養小球藻的 OD_{682} 吸光值升到 5.79；利用 4 條紅色 LED 燈管培養小球藻的 OD_{682} 吸光值升到 6.48。本實驗結果顯示，光照強度越高微藻生長越快速，但光照強度超過 135 ($\mu\text{mol photons /m}^2/\text{sec}$) 時，光照強度似乎已飽和，所以微藻在光照強度為 160 ($\mu\text{mol photons /m}^2/\text{sec}$) 時，其微藻生長速率與 135 ($\mu\text{mol photons /m}^2/\text{sec}$) 光照強度時相近(圖四)。

表四、不同燈管種類及數量之光照強度

燈管種類	T5	紅色 LED			
燈管數量(條數)	1X	1X	2X	3X	4X
光照強度 ($\mu\text{mol photons /m}^2/\text{sec}$)	100	60	100	135	160

表五、不同強度紅色 LED 光照對微藻生長影響之測定

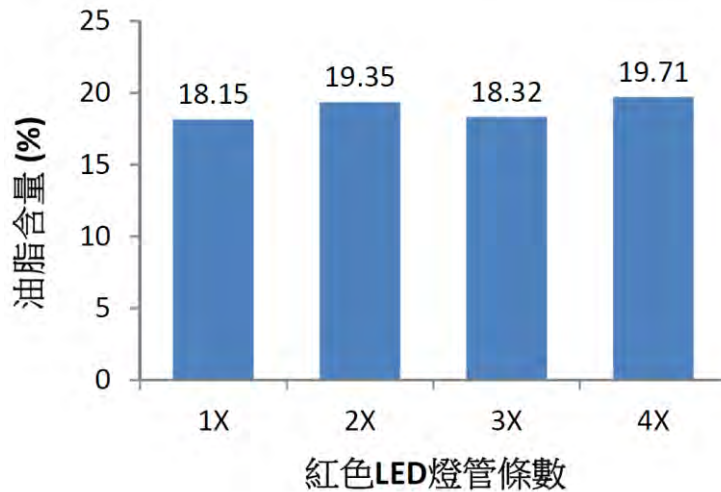
		藻類成長狀況(OD)							
日期		第0天	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	第6天	第7天
燈管數量	1X	0.50	0.70	0.80	1.03	1.12	1.22	1.44	1.65
	2X	0.50	1.04	2.05	2.71	3.03	3.26	3.64	3.86
	3X	0.50	1.31	2.94	4.22	4.86	5.32	5.61	5.79
	4X	0.50	1.26	2.54	3.61	5.11	5.82	6.25	6.48



圖四、不同強度紅色 LED 光照之微藻生長曲線

四、不同強度的紅光 LED 光照對微藻油脂含量的影響

用於養殖小球藻的光源強度分別以 1、2、3、4 條紅色 LED 燈管分為四組，如圖五所示結果得知，利用 1 條紅色 LED 燈管培養小球藻的油脂含量為 18.15%；利用 2 條紅色 LED 燈管培養小球藻的油脂含量為 19.35%；利用 3 條紅色 LED 燈管培養小球藻的油脂含量為 18.32%；利用 4 條紅色 LED 燈管培養小球藻的油脂含量為 19.71%。本項實驗結果顯示紅光 LED 光照強度不影響小球藻的油脂產量。



圖五、不同強度紅色 LED 光照對微藻油脂含量之影響

陸、討 論

- 一、目前 LED 除了廣泛被利用於照明外，許多需要光源的電器或儀器設備也大量使用 LED，例如電視背光源、電腦螢幕光源等。近兩年來，LED 更被推廣使用於植物生長工廠。我們的實驗結果證實，可以利用耗電量較低的 LED 光源取代耗電量較大的燈源，作為微藻 24 小時連續培養的光照。使用 LED 除了用電量較少外，LED 光條可塑性高，可緊貼於光生物反應器外圍，因此光照效應高。不過目前 LED 的價格較貴，當然用在微藻養殖的光照上，尚不符合成本效益，不過未來在 LED 製作技術更為進步，使用率更為普遍時，LED 的價格或許會大幅降低，使之有機會運用在微藻養殖工業上。
- 二、LED 有許多光照波段，但由於葉綠素的光合作用吸收峰主要在於紅光和藍光波段，因此紅光和藍光 LED 最常被利用於植物光照。再則，白光 LED 因混合紅、藍、綠光波長，也被我們選用於微藻光照的實驗中。實驗結果顯示，不同光照種類或不同 LED 光對微藻的油脂產生量影響小，但不同 LED 光照確實會影響微藻的生長，其中藍光 LED 光照時微藻生長最慢，紅光和白光 LED 對微藻生長的影響相近。但是，由於目前白光 LED 的生產成本仍然偏高，所以短期內欲使用 LED 於微藻養殖的光照源，以紅光 LED 較具有經濟效益。
- 三、本實驗之光照強度設定在 $100 (\mu\text{mol photons}/\text{m}^2/\text{sec})$ 時，利用一組 T5 燈管一天之耗電量為 672 W (1000 W 等於一度電)，因此一天所需電費為 1.80 元 (非夏季一度電為 2.68 元)；一組 LED 之一天之耗電量為 528 W，一天所需電費為 1.42

元。具上述之數據推算利用 LED 光照養殖微藻之省電效應約為 22%（與 T5 燈管比較）。再則，LED 燈的使用壽命較 T5 燈管久，所以將來會有降低燈具設備成本之效益。不過現在 LED 的製作成本仍偏高，所以這種效益現在仍無法計算之。

- 四、CO₂ 是微藻進行光合作用的碳源，適量供應 CO₂ 能促進微藻的生長，過量的 CO₂ 會降低培養液的pH值。在本實驗中，微藻通入的 CO₂ 濃度維持於2%，並不影響微藻培養液的pH值，微藻培養液pH值維持於6.8-7.5之間。
- 五、藻類對人類的生活極其密切，除了藻油除了可作為生質柴油外，微藻油中若含有大量的多元不飽和脂肪酸（PUFA），如二十碳五烯酸（EPA）與二十二碳六烯酸（DHA）等，也可將之萃取出作為人類的健康食品。事實上，微藻中也含多種色素，這些都是生物活性物質，可以生產為健康食品。所以，若微藻的生產是以高價值的產品為主，或許目前使用LED光照於微藻的養殖，會具有很高的經濟效益。

柒、結 論

- 一、在不同波長 LED 燈照射處理組中，紅色 LED 燈管所培養微藻生長效率最高，藍色 LED 燈管所培養微藻之生長效率最低，但紅色與藍色 LED 燈管所培養微藻之油脂產量相近。就藻油總產率而言，紅色 LED 燈管的利用價值比藍色 LED 燈管高。
- 二、在不同波長 LED 燈照射處理組中，白色 LED 燈管所培養微藻之生長效率低於紅色 LED 燈管照射者，且其所培養微藻之油脂產量也較低，因此就藻油總產率而言，紅色 LED 燈管的利用價值比白色 LED 燈管高。
- 三、以不同強度紅色 LED 燈管照射來培養微藻，所得之結果顯示光照強度越強，微藻之生長狀況越好，其油脂產量也越高。但由於已知光照強度超過一定限度後，微藻生長會受到限制，所以本項結論僅在本實驗光照強度範圍內才成立。
- 四、T5 燈管所培養微藻之生長效率高於 LED 燈管所培養微藻之生長效率，但是紅色 LED 燈管照射的微藻生長速率與 T5 燈管照射處理組相近，因此以紅色 LED 燈管取代 T5 燈管用於微藻養殖有其可行性。

五、 T5 燈管所培養微藻之油脂產量高於 LED 燈管所培養微藻之油脂產量，但是紅光波長之 LED 燈管用於微藻養殖，其油脂產量與 T5 燈管所培養之微藻油脂含量相差僅約 5-8%。對於生質柴油之藻油原料生產效率而言，若 LED 燈管造價能降低至一定程度，加上其省電和使用壽命較長的效應，有機會取代 T5 燈管用於微藻的養殖。

捌、參考資料

陳振正、邱俊彥、廖少威、賴文亮。2009。藻類產製生質柴油。科學發展 438：12-17。

楊純明、李裕娟。2009。從植物之光週期看發光二極體在農業生產上之應用潛力。作物、環境與生物資訊 6：192-200。

發光二極體。維基百科。<http://zh.wikipedia.org/wiki/>

黃昭霖。2008。LED 在微藻養殖之應用。國立宜蘭大學生物機電工程學系學生專題。

潘崇良。2010。利用藻類生產生質能源。科學發展 448：26-32。

鄭俊明、劉清雲。2007。微藻產業。微生物與健康產業專題報導 415：34-40。

謝誌鴻、吳文騰。2009。微藻-綠色生質能源。科學發展 433：36-40。

【評語】 030323

優點：

1. 對未來再生能源的運用有助益。
2. 以生活中的問題出發具實用性。

缺點：

1. 實驗設計與討論宜再嚴謹使結果更具客觀性。
2. 學生表達能力略顯緊張。