

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高職組 化工、衛工及環工科

第一名

最佳(鄉土)教材獎

091101

藻生「電」子，百年好「荷」

學校名稱：國立蘇澳高級海事水產職業學校

作者： 職二 簡非凡 職二 張羽呈 職二 陳金鈴	指導老師： 沈必正 葉欽龍
---	-----------------------------

關鍵詞：海藻、光電轉換效率、葉綠素

得獎感言

藻生電子，美夢成真

記得當老師提名我與另外兩名夥伴要參加第五十三屆的科展比賽，當時深深覺得這是一份殊榮而雀躍不已，我與另外兩名夥伴，既是同科系同學，平時也是默契非常契合的朋友。在我就讀國中時，就曾聽聞科學展覽比賽這項資訊，但由於我在班上功課排名並不突出，所以老師選擇功課比較優秀的同學參加科學展覽比賽，從小對科學就有興趣的我，因未能參加科展真的覺得很難過，把對科學的熱情隱藏在心底。直到去年高二的暑假，成為科展選手，開始著手科展研究，心中那份對科學的熱情逐漸甦醒、爆發。

開始接觸到科展，從一開始的忐忑不安到後來的熟能生巧，這段經歷是一輩子都難以忘懷的歲月。初做實驗的時候，對我們來說是一件困難的事，因為我們對研究內容並不熟悉，花了相當多的時間在查閱相關研究、了解書面資料，慢慢的我們越來越進入狀況。研究的過程中常因為實驗失敗而氣餒，但好強的我們總會一試再試，而老師在旁的細心指導、找出錯誤並修正實驗方向，並時時鼓勵我們，要我們堅持貫徹到底的信念。老師的指導、再加上我們永不放棄的信念，是我們科展研究的強大後盾，克服種種困難，才得以完成科展的研究報告。

當我們通過區預賽，取得前往全國賽的資格當下，我與夥伴們的興奮心情並沒有維持太久，因為我們想到即將接受更高一層的考驗，與全國各區的代表隊伍一較高下，想到未來的挑戰，心中既緊張又期待。

在第一天的全國科展競賽評審會場，看到教授朝著本組走過來，心裡緊張不已，當教授開始發問，奇妙的，緊張感不見了，取而代之的是自信的應答，因為我們對研究內容非常熟悉，也做過無數次的模擬訓練。教授口試完畢後，讓我覺得做研究真是一件不簡單的事，知識除了求深之外，還要求廣，才能面面俱到！終於，我們的努力及成果受到肯定，拿下該組別的全國第一。

雖然得到全國第一，但我們不會驕傲，因為我們知道這次的科展研究還有很多可以改良及探討的地方，科學研究像是無底洞，許多不起眼的小細節往往藏著開啟新視界的金鑰匙，仔細及謹慎其實才是前進的關鍵。

希望後進的人能秉持前人的實驗堅持與精神，延續前人的研究給予創意及創新，為科學帶來更多的發現，科學這件事一定要親自觀察動手做，實驗重點不只

僅僅在實驗結果，更是在實驗過程中能找到更多的可行性，讓作品將來有更多方式能進行改良。



在實驗室合照



第一天評審結束後，於體育館二樓入口處，展覽會看板前合照



帶著榮獲第一名的喜悅，於參賽作品海報佈展攤位前合照

藻生「電」子，百年好「荷」

摘要

從台灣東北角海岸中採取日本石花菜等 13 種大型海藻，萃取其濾液做為染料敏化太陽能電池(DSSC)的染料來源，結果顯示，紅藻萃取液的太陽能光電轉換效率較綠藻為高，其中又以日本石花菜最高，在 490 nm 可達 65.8%，綠藻則多在 30~40%。產生電壓方面，則是以孔石蓴(綠藻)與蜈蚣藻(紅藻)萃取液 DSSC 效果最好，可達標準太陽能板(產生電壓 1.33V)的 24.6~25.4%。產生電流方面，日本石花菜 DSSC 在 490 nm 下可產生 $0.91\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 。放置五天後，所有各組的電壓都下降，最好的蜈蚣藻也下降了 50%以上。與商用太陽能板比較，石花菜 DSSC 產生電壓約為 3.5%($24.63\text{ uV}/\text{cm}^2$)，本研究的結果顯示，大型海藻萃取液中的不同葉綠素異構物可以做為 DSSC 的良好染料來源。

關鍵詞：海藻、光電轉換效率、葉綠素

壹、研究動機

由於全球暖化影響，讓原本已十分稀少的地球能源耗減更是迅速，人們開始意識到能源稀少的問題，並追求環保少污染的新生活。在這過程中也發展出了所謂的太陽能電池，來補救能源稀少問題。所謂太陽能電池簡略說就是利用特殊製版來轉換光能，變成我們日常可用的電能，但是製作太陽能電板的材料價格昂貴，於是開始尋找低污染又廉價的材料來替代。

在民國 80 年瑞士科學家 M.Graetzel 發明「染料敏化太陽能電池」，以便宜又容易取得的玻璃為基材，結合染料分子和奈米級的金屬氧化物半導體粉末，即可吸收太陽光轉換成電能，被視為下一代太陽能電池的主力。但染料敏化太陽能電池在染料分子的部分，但因為供應廠商少，染料每公克報價超過萬元，還是十分昂貴。

經過上網搜尋後，發現也有利用海藻中的綠藻萃取液來作為染料來源，不過在光電轉換效率也較低，本研究嘗試利用紅藻來作為染料來源，並以綠藻做為對照來實驗。

貳、研究目的

在全球太陽能電池生產部分，台灣已名列全球第 4 大生產國，僅次於中、日、德。去年台灣太陽能電池廠商整體產值達 430 億元，今年將首度突破千億元關卡，生產的太陽光電裝置容量預計達 1148MW（百萬瓦），成長十分迅速。預估 2020 年市場超過千億美元。

根據經濟部《太陽光電產業分析及投資機會》報告，全球太陽光電累計裝置容量在 2005 年達 4.6GW（10 億瓦），2006 年累積至 6.3GW，2007 年再增加到 9.1GW。全球太陽光電產業產值則從 2006 年的 145 億美元成長到 2007 年的 186 億美元；依此成長率，估計到 2010 年，市場將達 364 億美元，2020 年可望超過 1000 億美元。

太陽能電池在台灣逐漸起步，由於電子相關零組件的企業基礎厚實，在台灣太陽能電池產業的上、中、下游便逐漸發展起來。目前因全球暖化使得太陽能電池產業開始興起，這裡指的上游為太陽能電池矽晶定材料的供應商，中游為電池系統設置及矽晶片廠商。下游則是電池組合的太陽能模組、應用產品製作與發電系統設置廠商。其中又以宜蘭利澤工業區的設廠廠家最多，已達十家以上，成為全台灣最大的太陽能聚落。

在網路資料中得知有關染料敏化太陽能電池的相關訊息，得知了它比一般太陽能電池製作成本相對較低，但因供應商少數的關係，導致染料在價格方面十分昂貴。雖然曾經有人使用海藻中的綠藻萃取液來作為染料敏化太陽能電池（簡稱 DSSC）的染料來源，但相對的光電轉換效率也較差，於是我們便進一步的想找尋出是否有轉換效果較為優良的天然材料來做替代。

在現今的趨勢下，由於染料敏化太陽能電池價格相對較便宜，製作方法簡易，並且有著潛在的高光電轉換效率，因此很有可能取代傳統的矽系太陽能電池，成為未來太陽能電池的主流。

染料敏化太陽能電池，主要由導電玻璃基板上的多孔性薄膜的（半導體薄膜）的工作電極及敏化劑分子（染料）、電解質和對電極組成，經由光照射後會將光子轉換成電子，經過幾個程序後，進而產生電力。（如圖 1 所示）

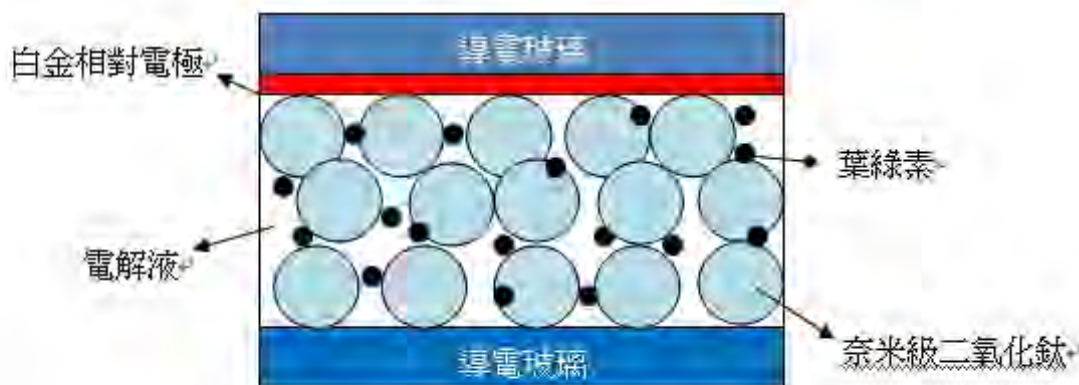


圖 1 染料敏化太陽能電池的示意圖

位在宜蘭縣利澤工業區的山陽科技是國內第一家生產多晶矽的工廠，以環保的生產技術為重點來產出多晶矽，過去太陽能產業面臨的最大問題是，多晶矽得依賴進口，而現今在利澤山陽科技的多晶矽工廠可解決原料供應問題，耀華電子、山陽科技與台灣半導體等企業陸續在今年提出擴廠計畫，在選擇建造工廠的位置上，也很有默契選擇位在宜蘭利澤工業區，近期又有科風的加入，太陽能上中下游產業鏈在利澤工業區儼然成形。根據統計，全台灣目前已有超過 70 家太陽能業者。（來源：經濟日報/戴永華）

宜蘭縣利澤太陽能產業鏈		
產業鏈	廠商名稱	產品
上游	山陽科技公司	多晶矽
	台灣半導體	6吋晶圓
中游	旭泓全球光電公司	太陽能電池
	耀華電子公司	太陽能電池
	太陽能光電能源科技	太陽能電池
	富陽光電利澤廠	薄膜太陽能電池
	科冠股份有限公司	太陽能設備
下游	科風科技公司	太陽能模組
	台灣玻封電子公司	晶圓封裝
	安炬科技公司	設備供應商
資料來源：宜蘭縣工商發展投資策進會		
戴永華／製表		

我們在台灣東北角海岸中採取了日本石花菜等 13 種大型海藻來實驗，萃取其濃液做為染料敏化太陽能電池(DSSC)的染料來源，以下為日本石花菜等 13 種大型海藻的資料統整。

1、日本石花菜：

紅藻的一種，為多年生海藻，可食用，在民間又俗稱為「海燕窩」。顏色多為紫紅色或黃紅色，形狀為扁圓寬長條羽狀分枝狀，長度約 5~20 公分。日本石花菜的細胞壁具有豐富的藻素藻膠。在台灣北部及東北部可見。生長在低潮線附近的 20 米深礁岩上，在水流較急的海域常看見石花菜叢生的景象，全年可見，在每年的 2 月至 5 月為盛產期階段。

2、馬尾藻：

綠藻的一種，為多年生海藻，藻體的主幹為圓柱狀，底部有固著器，形狀有盤狀、假根狀及圓錐狀等。馬尾藻的分枝為圓柱或扁平狀，藻葉則呈扁平狀，而且有氣囊和毛窩。目前種類約有 250 種，大多數為暖水性種類，在暖水和溫水海域能看見它們的蹤跡，台灣是馬尾藻主要產地之一，種類有 60 種。生長環境為低潮帶石沼中或潮下帶 2~3 米水深處的巖石上。

3、肋葉藻：

綠藻的一種，為熱帶性海藻，藻體顏色為濃綠色，扁平葉狀，藻葉形狀為全緣或波浪狀，整體高約 2 至 5 公分，底部有短柄，是以假根狀絲細胞附著在岩石上。內部為多核細胞構造，由多個葉綠體連成網狀。大多生長在低潮線附近有陰蔽的礁岩上，生長期在秋天轉至春天的期間。為常見海藻。

4、牡丹菜：

綠藻的一種，可食用，小型藻體，顏色為草綠色，薄葉狀裂片相互重疊，整體呈圓形狀，高約 2~5 公分，以小盤狀附著在岩石上。生長於潮間帶上部及中部的岩石間。生長區在台灣北部、東北部等可常見到。牡丹菜是終年可見的綠藻類，在 3~10 月能常見到，盛產期為 5~6 月。

5、頭髮菜：

紅藻的一種，為溫帶性紅藻，可食用，民間俗稱為「紅毛苔」。顏色為紫紅或暗紅色，質地柔軟黏滑。藻體為無分歧的長條狀，體長約 3~15 公分。一般生長在浪礁或高潮帶的岩石上，可在長時間的陽光曝曬下仍不枯萎。在台灣北部、東北部等可見。盛產期在 9 月底至 12 月間。

6、櫛齒藻：→

紅藻的一種，多叢生，藻體為鮮紅色的細扁平線狀，具重覆羽狀分歧，底部有圓盤固著器，藻體長度約 15~25 公分。在台灣東北部海域可見到，生長在潮下帶 5~15 公尺深處的礁岩上。→

7、平網地藻：→

綠藻的一種，褐藻類，藻體的顏色呈黃褐色，藻葉平坦，體長約 8 公分，有複數二歧的扇形分枝，分歧的枝。在台灣馬崗及和平島偶爾可見，生長在潮間帶下部的岩石上。→

8、小杉藻：→

綠藻的一種，可食用。叢生或不規則團狀，藻體顏色為紫紅色或暗紅色，軟骨質，分歧為不規則羽狀，其形狀為扁圓或披針形。藻體長度約 2~4 公分。細胞壁含有豐富角叉藻膠。在台灣各地沿岸全年可見，生長在潮間帶中部至低潮線的浪礁附近。→

9、角叉菜：→

紅藻的一種，藻體顏色為黃綠或暗紫紅色，軟骨質，叢生，高約 5~12 公分，底部為圓柱型，隨意分枝，為扇形。生長在高潮帶至低潮帶的岩石上或風浪較平靜的由潮帶石沼中。全年可見，繁殖期在 5~6 月間。→

10、孔石蓴：→

綠藻的一種，藻體為青綠至濃綠色，質地為稍硬的片狀，體長 20~30 公分，底部有盤狀附著器。生長在低潮帶的岩石上，在台灣沿岸可見得，全年可見，繁殖期在 3~6 月。→

11、蜈蚣藻：→

紅藻的一種，為海產紅藻，顏色為青紅、紅或黃紅色，軟骨具彈性，藻體為扁平細線狀。體長約 5~40 公分不等，基部為圓柱狀短莖。藻體表面會長出許多羽狀分枝，末端尖。主要生長在有浪潮、低潮帶的岩石上。在台灣東北部及北部可見得，繁殖期為 3~5 月間。→

12、海膜：→

紅藻的一種，藻體顏色為鮮紅、紫紅到暗紅色，藻體為直立扁平狀，底部直接以一個圓盤狀為固著器。有著 3~4 回的不規則羽狀分枝，藻體表面及邊緣有齒狀突起，形成不規則斑紋。一般生長在低潮帶附近至潮下帶 20 公尺深處的礁石上或池沼內。在台灣北部及東北部可見得，全年可見，繁殖期在 5~6 月。→

13、鋸齒麒麟菜：→

紅藻的一種，為海產紅藻，藻體顏色為暗紅色或黃白色，軟骨質多肉，主體為扁圓柱狀，寬約 0.1~0.4 間，呈不規則分枝或羽狀分枝，分枝間常互相黏著形成 10~15 公分的團狀。底部為塊狀附著器。生長於低潮帶以下 10 公尺左右的礁岩上，在潮流強勁的突岬海岸可見叢生現象。全年可見。在台灣北部及東北部可見得，繁殖期為 3~6 月。→

參、研究設備及器材

材料：本研究所採用的染料敏化劑，係採自台灣東北角海域，共有十三種大型海藻，經過和黃(民 89)的海藻名錄比較後，確定為圖 1 中的日本石花菜等，其中紅藻七種，綠藻六種。將海藻清洗後，秤取 60 g，加入 300 g 的水，用果汁機攪拌 1 分鐘後，取上層液(以下稱為海藻萃取液)，倒入不同的培養皿中待用。標準太陽能板係購自智高公司的太陽能船模組中取得。



圖 1. 本實驗所使用的十三種大型海藻，標準太陽能板和海藻葉綠體附著情形

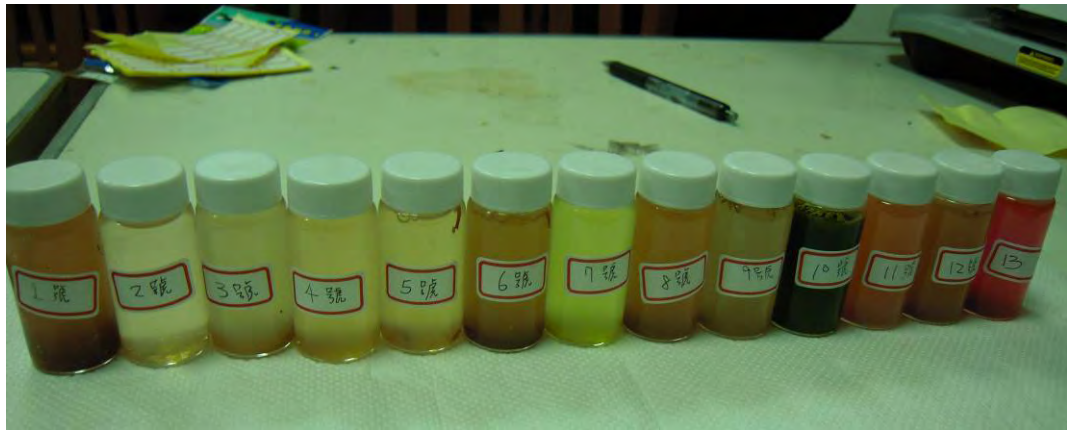


圖 2 十三種海藻的萃取液

試藥：二氧化鈦(Degussa P25 奈米級粉末)，碘酸鈉，Triton 100 界面活性劑，碘，醋酸等均購自 Sigma, USA。導電玻璃(ITO)則購自台灣的 AimCore Technology 公司。酒精購自台糖公司。塑膠培養皿，1 ml 吸管，安全吸球，塗抹棒，洗瓶，蠟燭，矽膠，滴管，等均購自市售品。

使用的設備：

- A.全波段分光光度計(V630 series, Jasco Co. Ltd., Japan) ，
- B.三用電錶(Kilter 249 DMM,連騰電錶廠，台灣)
- C.正立位相差研究級顯微鏡(Eclipse 50i, Nikon Co. Ltd., Japan) ，
- D.可定溫之加熱器(SP131825, Thermo Sci. Co. Ltd., USA) ，
- E.光照度計(TES 1333, TES Co. Ltd., Taiwan)
- F. 單波長之光子-光電流檢測儀(Newport U.S.A) ，



圖 3 研究過程圖示

肆、研究過程

- 1.染料敏化太陽能電池的製備：用微量天平稱取數克的奈米級二氧化鈦結晶型粉末。放入研鉢中，加入數滴 0.05M 之醋酸溶液，反覆研磨。加入少許的 Triton X-100 乳化劑，繼續研磨直到獲得近似膏狀之均勻膠體。以三用電表判別導電玻璃之導電面，把導電玻璃的導電面朝上，用魔術膠帶將其中四個邊緊緊的貼在實驗檯面上，用棉花棒沾酒精擦拭導電面後，等待酒精揮發製完全乾燥。
- 2.將二氧化鈦稀態膠體，以棉花棒均勻的平鋪在導電玻璃的導電面上。塗佈完成後待完全乾燥後把膠帶移除。
- 3.用平板加熱器將塗有此導電玻璃以 130 度加熱烘烤 10~20 分鐘至完全乾燥。
- 4.將完成之二氧化鈦電極，浸泡不同海藻萃取液中一周後，另取一片等面積的導電玻璃，將導電面用蠟燭燃燒的火焰來回移動，鍍上一層碳膜。
- 5.把兩電極鍍膜面相對組裝起來，三邊塗上矽膠留下一邊準備加入電解液。配製電解液 (0.5M 的碘化鉀和 0.05M 的碘，用乙二醇作為溶劑)。以吸管沿兩電極間之縫隙，加入少許之電解液，將電池直立後，利用滲透現象，讓整個電池充滿電解液，以矽膠封好第四邊，即製備完成。
- 6.不同光照度下產生電壓的比較：將所製備的 DSSC 電池(三重複)，分別在不同光照強度下，以光照度計測得其光照度後(以 Lux 為單位)，以三用電錶量測在此光照度下，DSSC 所能產生的電壓，以瞭解其 DSSC 的產生電壓的能力，並以標準太陽能板作為對照組。
- 7.DSSC 儲存實驗：取一個檯燈，測定其對桌面上照射後之光照度後，每天量測 DSSC 之電壓，記錄其電壓之變化，並以標準太陽能板作為對照組。(三重複)
8. DSSC 的太陽能光電轉換效率：將 DSSC 以單波長之光子-光電流檢測儀，測定其在不同波長下的光能轉換效率，繪製入射光波長與轉換效率，產生電流關係圖。(三重複)
- 9.染劑吸光特性測定：取海藻萃取液放入厚度 1 mm 的石英試管中，並以全波段分光光度計，在 200-1000 nm 波長下測定其吸收光譜，繪製波長和吸光值的關係圖。
- 10.由某校裝設的太陽能板蒐集中午時間產生電壓，電流和功率之數據，經過統計後，和我們所製作的 DSSC 的數據進行比較。

伍、研究結果

1.不同海藻萃取液 DSSC 之光電轉換效率

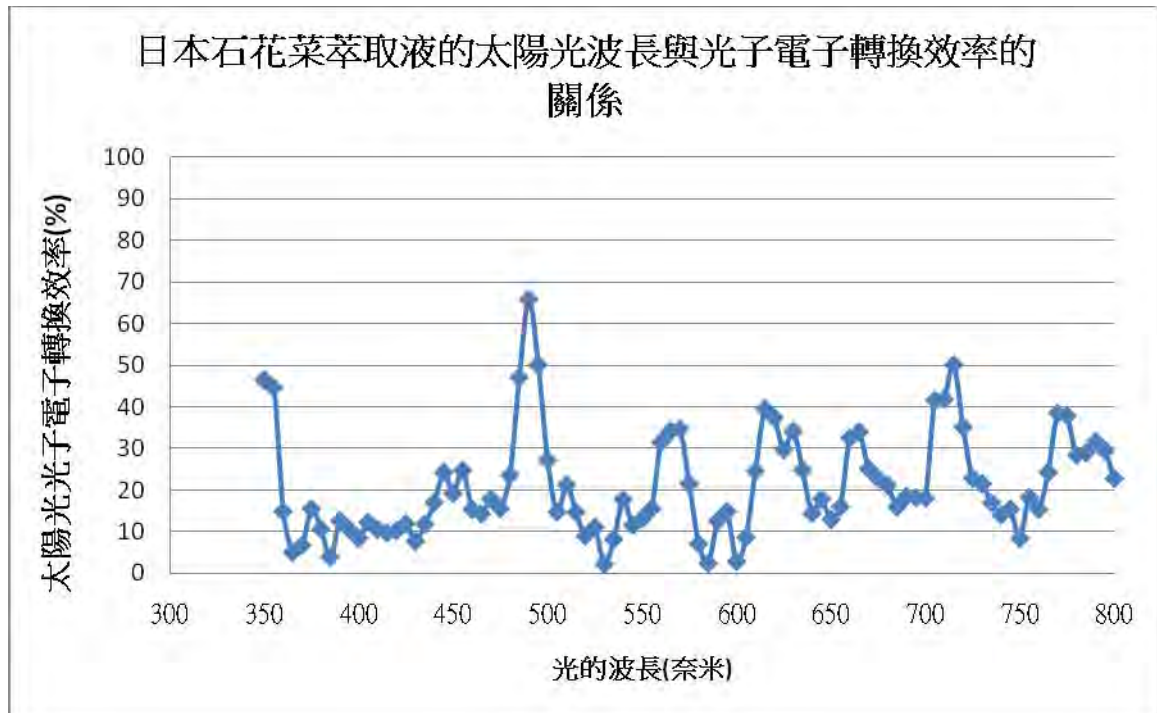


圖 4 日本石花菜萃取液的太陽光波長與光電轉換效率的關係

從圖 4 可以看出，日本石花菜(紅藻)萃取液 DSSC 除了一般 DSSC 在紫外光區有較大的光電轉換效率外，另外在 490 nm 這裡有 65.8% 的光電轉換效率，是 13 種海藻 DSSC 中轉換效率最大的，也比 Wang 等人(民 96)以群帶菜 DSSC 的結果為佳。此外，日本石花菜萃取液在 630 nm 和 730 nm 附近另有兩個較大的光電轉換效率(40% 及 50%)，顯示，日本石花菜 DSSC 可以在可見光區大量的吸收太陽能轉換成為電子。基礎化學的課本指出，葉綠素 a 最大的吸收光的波長在 420-663nm，葉綠素 b 的最大吸收波長範圍在 460-645nm。而葉綠素吸收光譜的最強區域有兩個：一個是在波長為 640nm-660nm 的紅光部分，另一個在波長為 430nm-450nm 的藍紫光部分。葉綠素 a，所有綠色植物中，紅光和藍紫光；葉綠素 b，高等植物、綠藻、眼蟲藻、管藻，紅光和藍紫光；葉綠素 c，矽藻、甲藻、褐藻、鹿角藻，紅光和藍紫光，兩個吸收波峰為 628, 447nm。葉綠素 d，紅藻、藍藻，紅光和藍紫光，兩個最大吸收波峰分別是 688nm 和 447 nm。日本石花菜 DSSC 的光電轉換效率這三個波峰正好落在裡面，所以我們認為，日本石花菜 DSSC 是靠葉綠素 a，葉綠素 b 與葉綠素 d 產生光電轉換能力的。

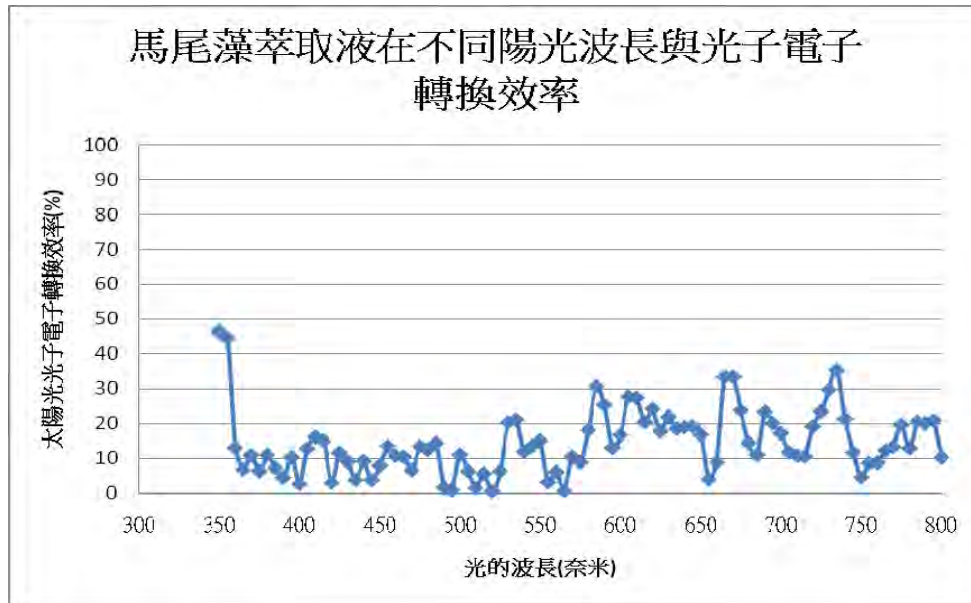


圖 5 馬尾藻萃取液的太陽光波長與光電轉換效率的關係

從圖 5 可以看出，馬尾藻(綠藻)萃取液 DSSC 除了一般 DSSC 在紫外光區有較大的光電轉換效率外，另外在 670 nm 和 735 nm 這裡有 33.49 和 35.42 % 的光電轉換效率，顯示不同的海藻萃取液做為染料時，會在不同的波長下有最好的光電轉換效率，這和水果電池的反應是完全不同的。基礎化學的課本指出，葉綠素 a 最大的吸收光的波長在 420-663nm，葉綠素 b 的最大吸收波長範圍在 460-645nm。而葉綠素吸收光譜的最強區域有兩個：一個是在波長為 640nm-660nm 的紅光部分，另一個在波長為 430nm-450nm 的藍紫光部分。葉綠素 a，所有綠色植物中，紅光和藍紫光；葉綠素 b，高等植物、綠藻、眼蟲藻、管藻，紅光和藍紫光；所以我們推測，馬尾藻 DSSC 主要是靠葉綠素 a 產生光電轉換能力的。

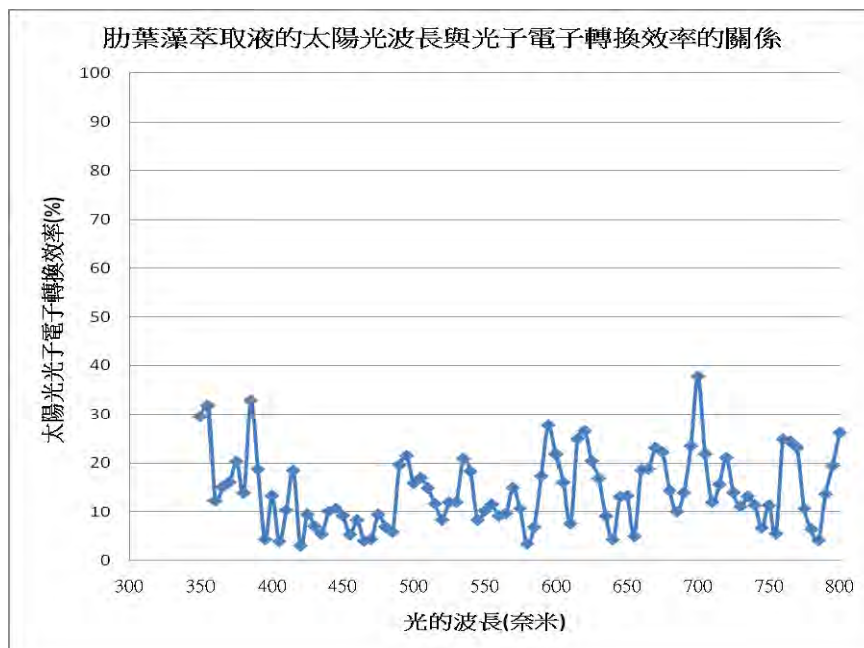


圖 6 肋葉藻萃取液的太陽光波長與光電轉換效率的關係

從圖 6 可以看出，肋葉藻(綠藻)萃取液 DSSC 除了一般 DSSC 在紫外光區有較大的光電轉換效率外，另外在 700 nm 這裡有 37.75% 的光電轉換效率，顯示不同的海藻萃取液做為染料時，會在不同的波長下有最好的光電轉換效率。基礎化學的課本指出，葉綠素 a 最大的吸收光的波長在 420-663nm，葉綠素 b 的最大吸收波長範圍在 460-645nm。而葉綠素吸收光譜的最強區域有兩個：一個是在波長為 640nm-660nm 的紅光部分，另一個在波長為 430nm-450nm 的藍紫光部分。葉綠素 a，所有綠色植物中，紅光和藍紫光；葉綠素 b，高等植物、綠藻、眼蟲藻、管藻，紅光和藍紫光；所以我們推測，肋葉藻 DSSC 主要是靠葉綠素 a 產生光電轉換能力的。

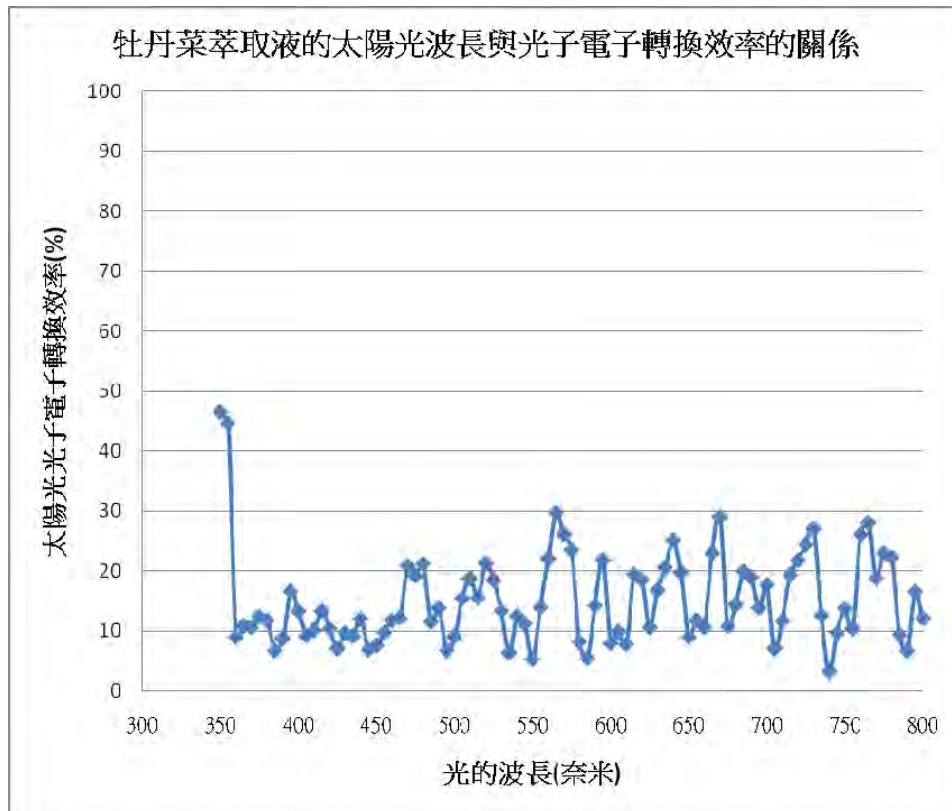


圖 7 牡丹菜萃取液的太陽光波長與光電轉換效率的關係

從圖 7 可以看出，牡丹菜(綠藻)萃取液 DSSC 除了一般 DSSC 在紫外光區有較大的光電轉換效率外，565nm 處有 29.74% 及 670nm 處有 29.07% 轉換效率，顯示不同的海藻萃取液做為染料時，會在不同的波長下有最好的光電轉換效率，基礎化學的課本指出，葉綠素 a 最大的吸收光的波長在 420-663nm，葉綠素 b 的最大吸收波長範圍在 460-645nm。而葉綠素吸收光譜的最強區域有兩個：一個是在波長為 640nm-660nm 的紅光部分，另一個在波長為 430nm-450nm 的藍紫光部分。葉綠素 a，所有綠色植物中，紅光和藍紫光；葉綠素 b，高等植物、綠藻、眼蟲藻、管藻，紅光和藍紫光；所以我們推測，牡丹菜 DSSC 主要是靠葉綠素 a 產生光電轉換能力的。但是由於它生長在海岸邊岩石上，光照比較充足，所以轉換效率較差。

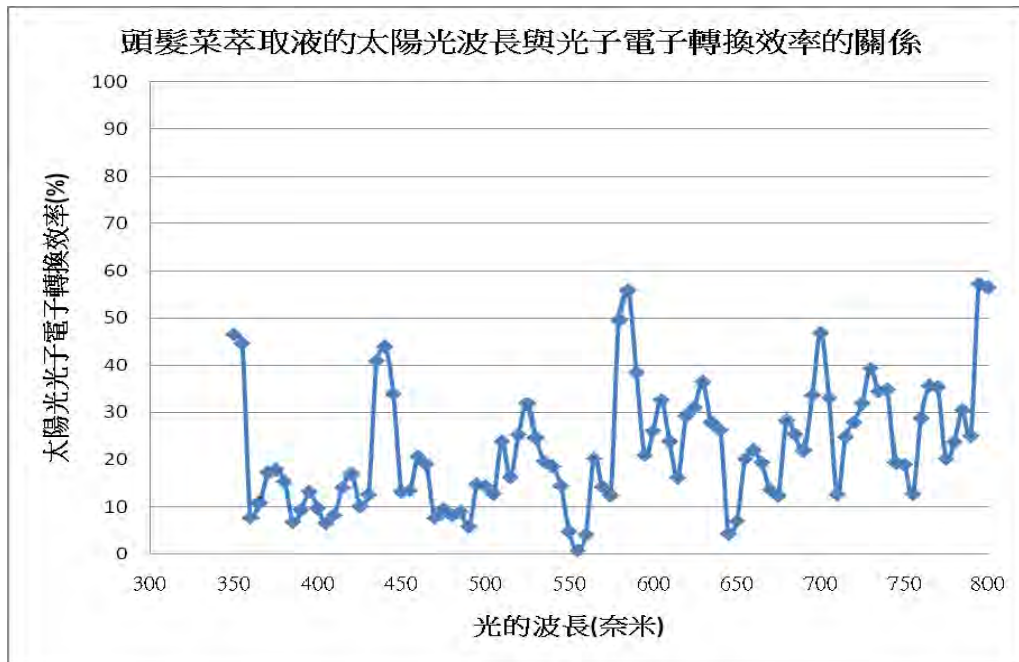


圖 8 頭髮菜萃取液的太陽光波長與光電轉換效率的關係

從圖 8 可以看出，頭髮菜(紅藻)萃取液 DSSC 除了一般 DSSC 在紫外光區有較大的光電轉換效率外，另外在不同的波長下，共有 24 個超過 30% 的光電轉換效率波峰，是 13 種海藻 DSSC 中最多的，585 nm 處之光電轉換效率可達 55.86%，800 nm 可達 56.49% 與 795 nm 可達 57.2%。也比 Wang 等人(民 96)以群帶菜 DSSC 的結果為佳。顯示，頭髮菜 DSSC 可以在可見光區大量的吸收太陽能轉換成為電子。基礎化學的課本指出，葉綠素 a 最大的吸收光的波長在 420-663nm，葉綠素 b 的最大吸收波長範圍在 460-645nm。而葉綠素吸收光譜的最強區域有兩個：一個是在波長為 640nm-660nm 的紅光部分，另一個在波長為 430nm-450nm 的藍紫光部分。葉綠素 a，所有綠色植物中，紅光和藍紫光；葉綠素 b，高等植物、綠藻、眼蟲藻、管藻，紅光和藍紫光；葉綠素 c，矽藻、甲藻、褐藻、鹿角藻，紅光和藍紫光，兩個吸收波峰為 628，447nm。葉綠素 d，紅藻、藍藻，紅光和藍紫光，兩個最大吸收波峰分別是 688nm 和 447 nm。頭髮菜 DSSC 的光電轉換效率這些波峰正好落在裡面，所以我們認為，頭髮菜 DSSC 是靠葉綠素 a，葉綠素 b 與葉綠素 d 產生光電轉換能力的。

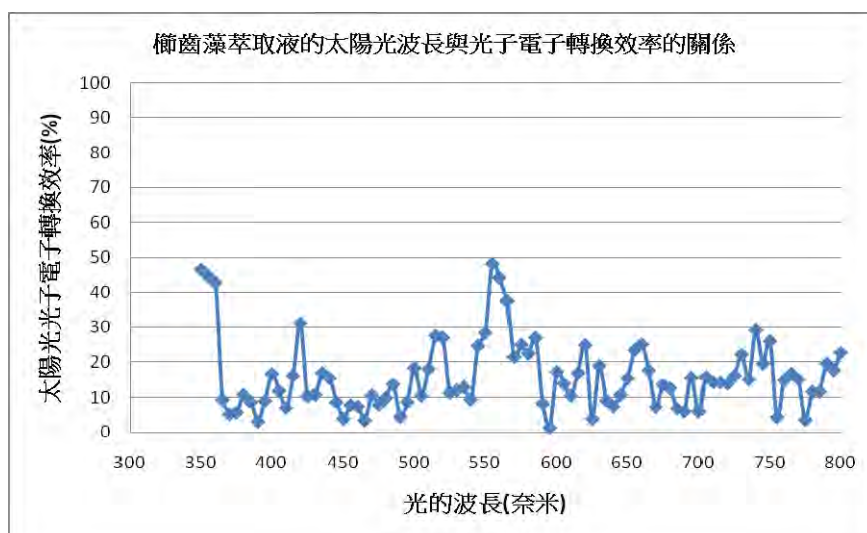


圖 9 櫛齒藻萃取液的太陽光波長與光電轉換效率的關係

從圖 8 可以看出，櫛齒藻(紅藻)萃取液 DSSC 除了一般 DSSC 在紫外光區有較大的光電轉換效率外，另外在不同的波長下共有 4 個超過 30% 的光電轉換效率波峰，是 13 種海藻 DSSC 中第三高的，其中 555nm 處之光電轉換效率可達 48.2% 與 560nm 可達 44.14%。也比 Wang 等人(民 96)以群帶菜 DSSC 的結果為佳。顯示，櫛齒藻 DSSC 可以在可見光區大量的吸收太陽能轉換成為電子。基礎化學的課本指出，葉綠素 a 最大的吸收光的波長在 420-663nm，葉綠素 b 的最大吸收波長範圍在 460-645nm。而葉綠素吸收光譜的最強區域有兩個：一個是在波長為 640nm-660nm 的紅光部分，另一個在波長為 430nm-450nm 的藍紫光部分。葉綠素 a，所有綠色植物中，紅光和藍紫光；葉綠素 b，高等植物、綠藻、眼蟲藻、管藻，紅光和藍紫光；葉綠素 c，矽藻、甲藻、褐藻、鹿角藻，紅光和藍紫光，兩個吸收波峰為 628，447nm。葉綠素 d，紅藻、藍藻，紅光和藍紫光，兩個最大吸收波峰分別是 688nm 和 447 nm。櫛齒藻 DSSC 的光電轉換效率這些波峰正好落在裡面，所以我們認為，櫛齒藻 DSSC 是靠葉綠素 a，葉綠素 b 與葉綠素 d 產生光電轉換能力的。

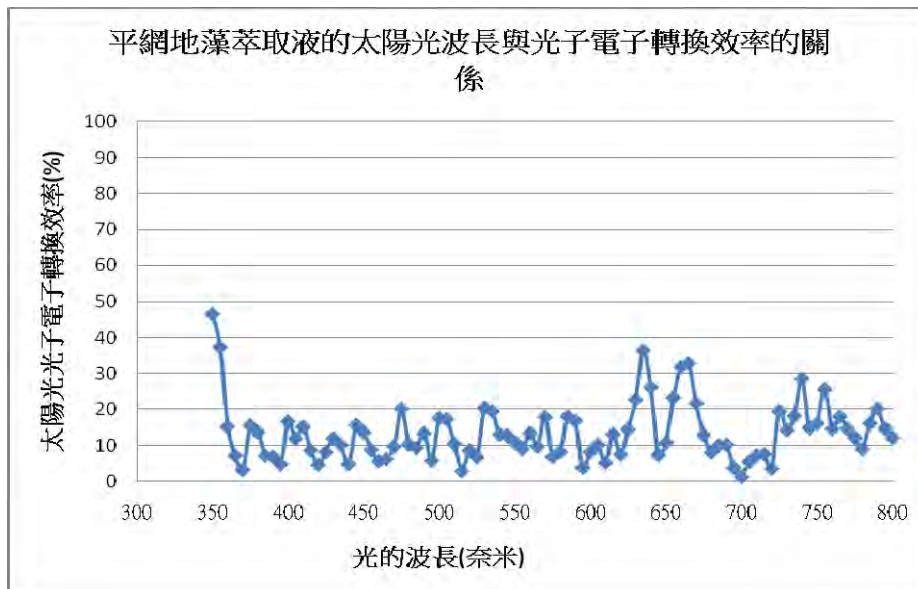


圖 10 平網地藻萃取液的太陽光波長與光電轉換效率的關係

從圖 10 可以看出，平網地藻(綠藻)萃取液 DSSC 除了一般 DSSC 在紫外光區有較大的光電轉換效率外，660nm 處有 31.76%，665 nm 處有 32.78% 及 635 nm 36.28% 之轉換效率，顯示不同的海藻萃取液做為染料時，會在不同的波長下有最好的光電轉換效率，基礎化學的課本指出，葉綠素 a 最大的吸收光的波長在 420-663nm，葉綠素 b 的最大吸收波長範圍在 460-645nm。而葉綠素吸收光譜的最強區域有兩個：一個是在波長為 640nm-660nm 的紅光部分，另一個在波長為 430nm-450nm 的藍紫光部分。葉綠素 a，所有綠色植物中，紅光和藍紫光；葉綠素 b，高等植物、綠藻、眼蟲藻、管藻，紅光和藍紫光；所以我們推測，平網地藻 DSSC 主要是靠葉綠素 a，和葉綠素 b 產生光電轉換能力的。但是由於它生長在海岸邊岩石上，光照比較充足，所以轉換效率較差。

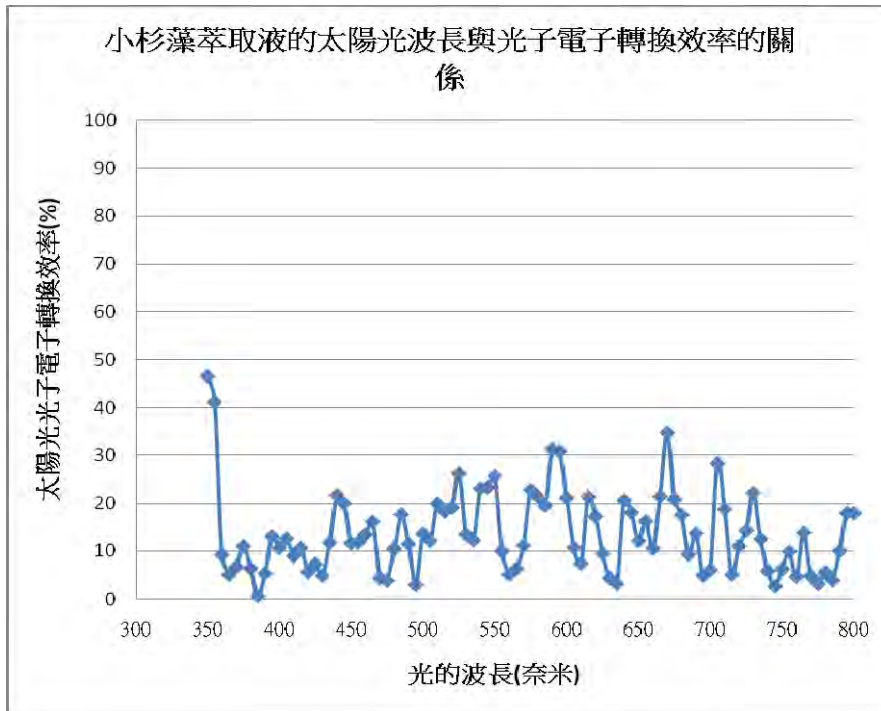


圖 11 小杉藻萃取液的太陽光波長與光電轉換效率的關係

從圖 11 可以看出，小杉藻(綠藻)萃取液 DSSC 除了一般 DSSC 在紫外光區有較大的光電轉換效率外，595 nm 有 30.85%，590 nm 處有 31.27% 及 670 nm 處有 34.77% 之轉換效率，顯示不同的海藻萃取液做為染料時，會在不同的波長下有最好的光電轉換效率，基礎化學的課本指出，葉綠素 a 最大的吸收光的波長在 420-663nm，葉綠素 b 的最大吸收波長範圍在 460-645nm。而葉綠素吸收光譜的最強區域有兩個：一個是在波長為 640nm-660nm 的紅光部分，另一個在波長為 430nm-450nm 的藍紫光部分。葉綠素 a，所有綠色植物中，紅光和藍紫光；葉綠素 b，高等植物、綠藻、眼蟲藻、管藻，紅光和藍紫光；所以我們推測，小杉藻 DSSC 主要是靠葉綠素 a，和葉綠素 b 產生光電轉換能力的。但是由於它生長在海岸邊岩石上，光照比較充足，所以轉換效率較差。

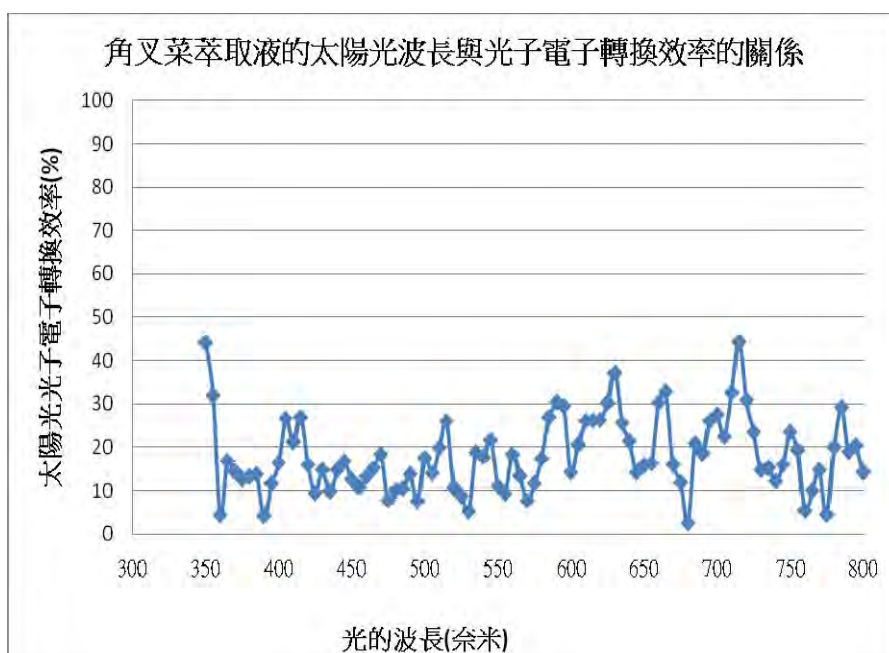


圖 12 角叉菜萃取液的太陽光波長與光電轉換效率的關係

從圖 12 可以看出，角叉菜(紅藻)萃取液 DSSC 除了一般 DSSC 在紫外光區有較大的光電轉換效率外，另外在不同的波長下，共有 8 個超過 30% 的光電轉換效率波峰，是 13 種海藻 DSSC 中第二多的，分別是 625 nm 處有 30.21%，660 nm 處有 30.27%，590 nm 處有 30.38%，720 nm 處有 30.89%，710 nm 處有 32.53%，665 nm 處有 32.74%，630 nm 處有 37.19%，715 nm 處有 44.24% 等，也比 Wang 等人(民 96)以群帶菜 DSSC 的結果為佳。顯示，角叉菜 DSSC 可以在可見光區大量的吸收太陽能轉換成為電子。基礎化學的課本指出，葉綠素 a 最大的吸收光的波長在 420-663nm，葉綠素 b 的最大吸收波長範圍在 460-645nm。而葉綠素吸收光譜的最強區域有兩個：一個是在波長為 640nm-660nm 的紅光部分，另一個在波長為 430nm-450nm 的藍紫光部分。葉綠素 a，所有綠色植物中，紅光和藍紫光；葉綠素 b，高等植物、綠藻、眼蟲藻、管藻，紅光和藍紫光；葉綠素 c，矽藻、甲藻、褐藻、鹿角藻，紅光和藍紫光，兩個吸收波峰為 628，447nm。葉綠素 d，紅藻、藍藻，紅光和藍紫光，兩個最大吸收波峰分別是 688nm 和 447 nm。頭髮菜 DSSC 的光電轉換效率這些波峰正好落在裡面，所以我們認為，角叉菜 DSSC 是四種不同形式的葉綠素都在其中，故都可以產生光電轉換能力的。

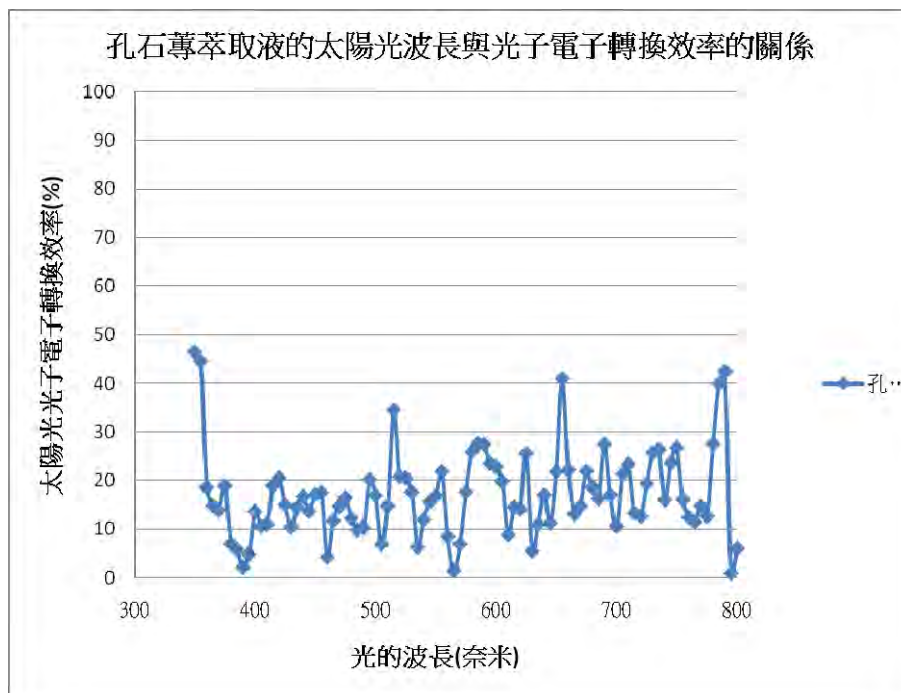


圖 13 孔石蓴萃取液的太陽光波長與光電轉換效率的關係

從圖 13 可以看出，孔石蓴(綠藻)萃取液 DSSC 除了一般 DSSC 在紫外光區有較大的光電轉換效率外，515nm 處有 34.56%，785 處有 40.01%，655 處有 41.02%，790 nm 處有 42.49%，顯示不同的海藻萃取液做為染料時，會在不同的波長下有最好的光電轉換效率，基礎化學的課本指出，葉綠素 a 最大的吸收光的波長在 420-663nm，葉綠素 b 的最大吸收波長範圍在 460-645nm。而葉綠素吸收光譜的最強區域有兩個：一個是在波長為 640nm-660nm 的紅光部分，另一個在波長為 430nm-450nm 的藍紫光部分。葉綠素 a，所有綠色植物中，

紅光和藍紫光；葉綠素 b，高等植物、綠藻、眼蟲藻、管藻，紅光和藍紫光；所以我們推測，孔石蓴 DSSC 主要是靠葉綠素 a 產生光電轉換能力的。但是由於它生長在海岸邊岩石上，光照比較充足，所以轉換效率較差。

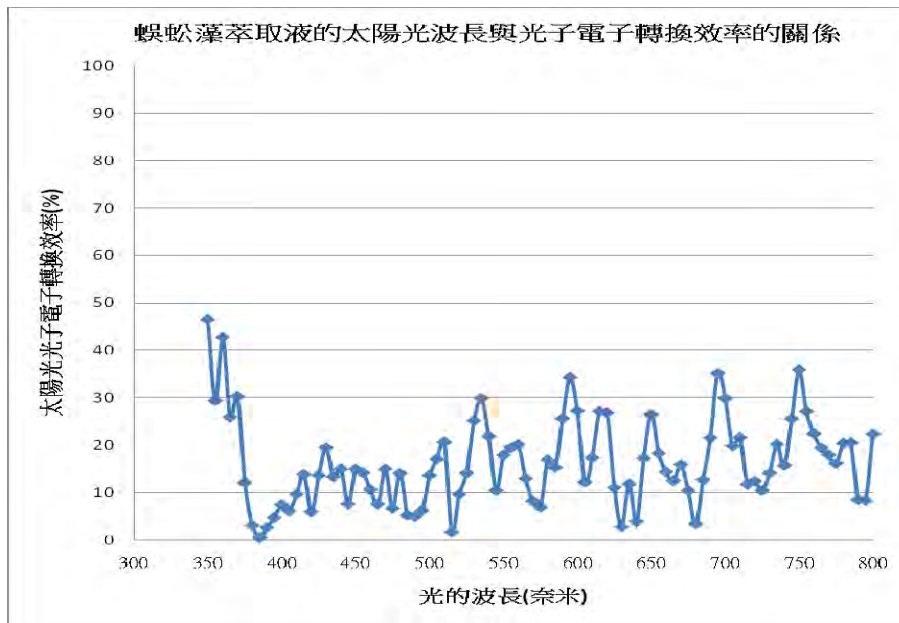


圖 14 蜈蚣藻萃取液的太陽光波長與光電轉換效率的關係

從圖 14 可以看出，蜈蚣(紅藻)萃取液 DSSC 除了一般 DSSC 在紫外光區有較大的光電轉換效率外，另外在不同的波長下，共有 3 個超過 30% 的光電轉換效率波峰，595nm 處有 34.29%，695nm 處有 35.17%，750nm 處有 35.89%，也比 Wang 等人(民 96)以群帶菜 DSSC 的結果為佳。顯示，蜈蚣藻 DSSC 可以在可見光區大量的吸收太陽能轉換成為電子。基礎化學的課本指出，葉綠素 a 最大的吸收光的波長在 420-663nm，葉綠素 b 的最大吸收波長範圍在 460-645nm。而葉綠素吸收光譜的最強區域有兩個：一個是在波長為 640nm-660nm 的紅光部分，另一個在波長為 430nm-450nm 的藍紫光部分。葉綠素 a，所有綠色植物中，紅光和藍紫光；葉綠素 b，高等植物、綠藻、眼蟲藻、管藻，紅光和藍紫光；葉綠素 c，矽藻、甲藻、褐藻、鹿角藻，紅光和藍紫光，兩個吸收波峰為 628，447nm。葉綠素 d，紅藻、藍藻，紅光和藍紫光，兩個最大吸收波峰分別是 688nm 和 447 nm。頭髮菜 DSSC 的光電轉換效率這些波峰正好落在裡面，所以我們認為，蜈蚣藻 DSSC 是其中的葉綠素 a，b 及 d 產生光電轉換能力的。

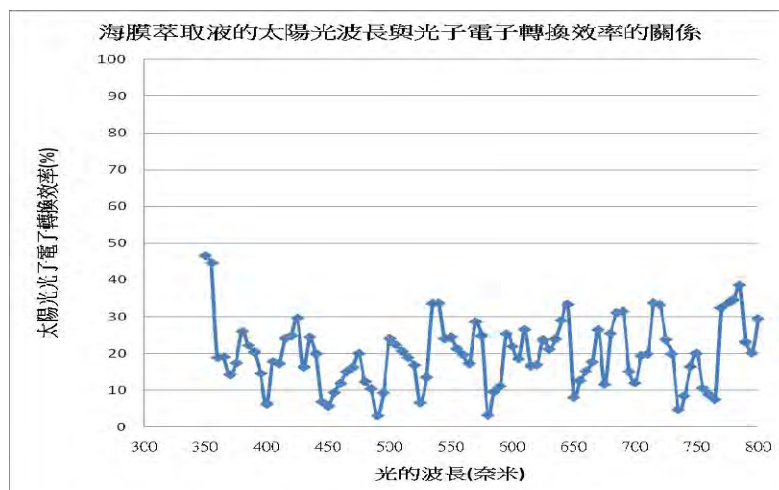


圖 15 海膜萃取液的太陽光波長與光電轉換效率的關係

從圖 15 可以看出，海膜(紅藻)萃取液 DSSC 除了一般 DSSC 在紫外光區有較大的光電轉換效率外，另外在不同的波長下，共有 11 個超過 30% 的光電轉換效率波峰，685 nm 處有 31.02%，690 nm 處有 31.38%，770 nm 處有 32.38%，720 nm 處有 33.25%，645 nm 處有 33.33%，775 nm 處有 33.47%，535 nm 處有 33.55%，540 nm 處有 33.63%，715 nm 處有 33.75%，780 nm 處有 34.6%，785 nm 處有 38.52% 等，也比 Wang 等人(民 96)以群帶菜 DSSC 的結果為佳。顯示，海膜 DSSC 可以在可見光區大量的吸收太陽能轉換成為電子。基礎化學的課本指出，葉綠素 a 最大的吸收光的波長在 420-663nm，葉綠素 b 的最大吸收波長範圍在 460-645nm。而葉綠素吸收光譜的最強區域有兩個：一個是在波長為 640nm-660nm 的紅光部分，另一個在波長為 430nm-450nm 的藍紫光部分。葉綠素 a，所有綠色植物中，紅光和藍紫光；葉綠素 b，高等植物、綠藻、眼蟲藻、管藻，紅光和藍紫光；葉綠素 c，矽藻、甲藻、褐藻、鹿角藻，紅光和藍紫光，兩個吸收波峰為 628，447nm。葉綠素 d，紅藻、藍藻，紅光和藍紫光，兩個最大吸收波峰分別是 688nm 和 447 nm。海膜 DSSC 的光電轉換效率這些波峰正好落在裡面，所以我們認為，海膜 DSSC 是所有的葉綠素的不同形式都在其中產生光電轉換能力的。

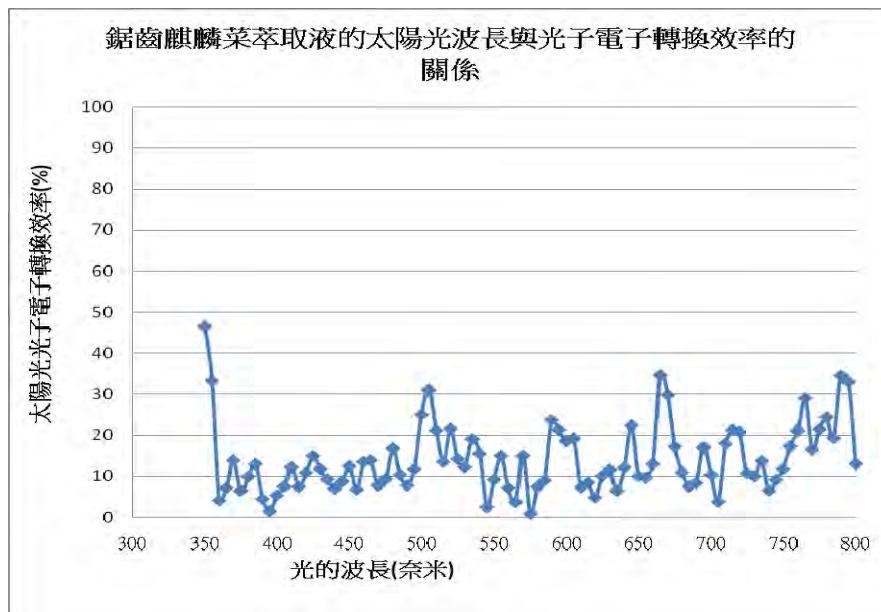


圖 16 鋸齒麒麟菜萃取液的太陽光波長與光電轉換效率的關係

從圖 16 可以看出，鋸齒麒麟菜(紅藻)萃取液 DSSC 除了一般 DSSC 在紫外光區有較大的光電轉換效率外，另外在不同的波長下，共有 4 個超過 30% 的光電轉換效率波峰，505 nm 處有 31.02%，795 nm 處有 32.92%，790 nm 處有 34.54%，665 nm 處有 34.66%，也比 Wang 等人(民 96)以群帶菜 DSSC 的結果為佳。顯示，鋸齒麒麟菜 DSSC 可以在可見光區大量的吸收太陽能轉換成為電子。基礎化學的課本指出，葉綠素 a 最大的吸收光的波長在 420-663nm，葉綠素 b 的最大吸收波長範圍在 460-645nm。而葉綠素吸收光譜的最強區域有兩個：一個是在波長為 640nm-660nm 的紅光部分，另一個在波長為 430nm-450nm 的藍紫光部分。葉綠素 a，所有綠色植物中，紅光和藍紫光；葉綠素 b，高等植物、綠藻、眼

蟲藻、管藻，紅光和藍紫光；葉綠素 c，矽藻、甲藻、褐藻、鹿角藻，紅光和藍紫光，兩個吸收波峰為 628，447nm。葉綠素 d，紅藻、藍藻，紅光和藍紫光，兩個最大吸收波峰分別是 688nm 和 447 nm。鋸齒麒麟菜 DSSC 的光電轉換效率這些波峰正好落在裡面，所以我們認為，鋸齒麒麟菜 DSSC 是其中的葉綠素 a，b 及 d 產生光電轉換能力的。

2.不同海藻萃取液之全波段掃描圖

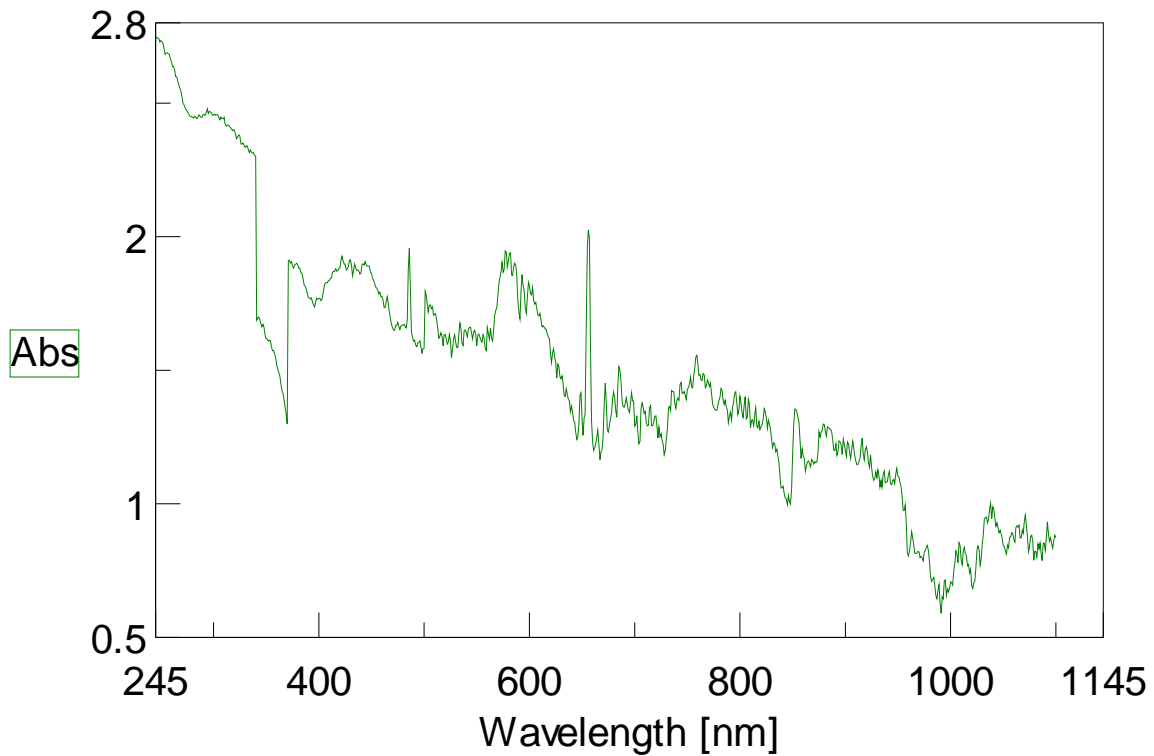


圖 18 日本石花菜萃取液的全波段掃描圖

圖 18 的結果顯示，日本石花菜的萃取液，在 490 nm，600 nm 和 630 nm 附近有最大的吸收波長，此結果可以印證圖 4 的結果，也就是日本石花菜萃取液 DSSC 的光電轉換能力，是來自於 3 種葉綠素的轉換。

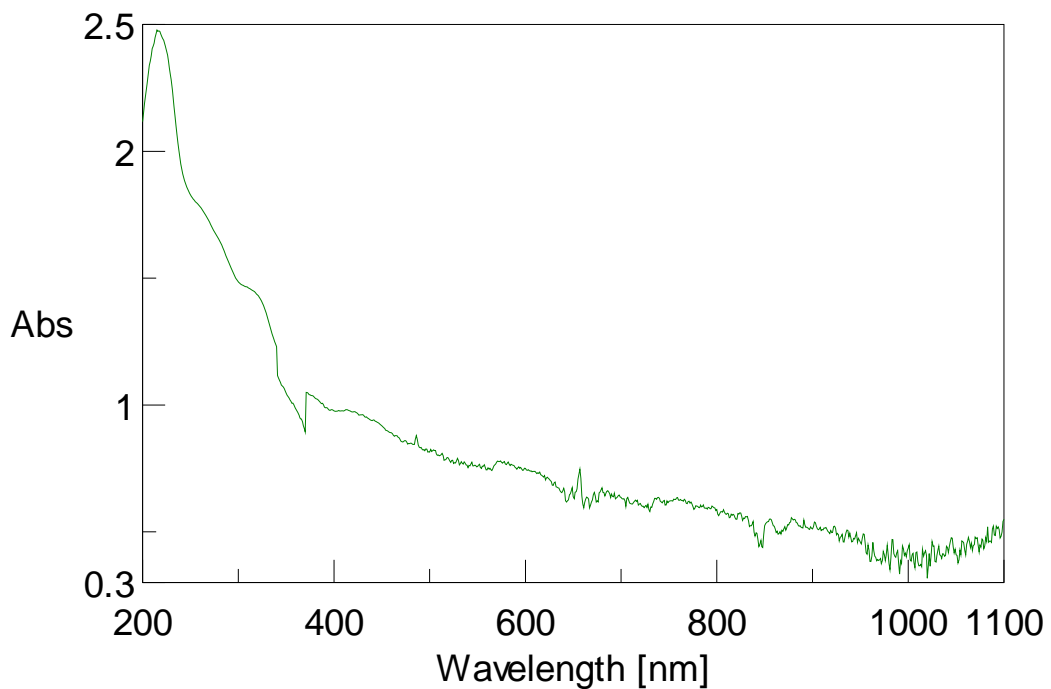


圖 19 馬尾藻萃取液的全波段掃描圖

圖 19 的結果顯示，馬尾藻的萃取液，在 670 nm 附近有最大的吸收波長，此結果可以印證圖 5

的結果，也就是馬尾藻萃取液 DSSC 的光電轉換能力，是來自於葉綠素 a 的轉換。

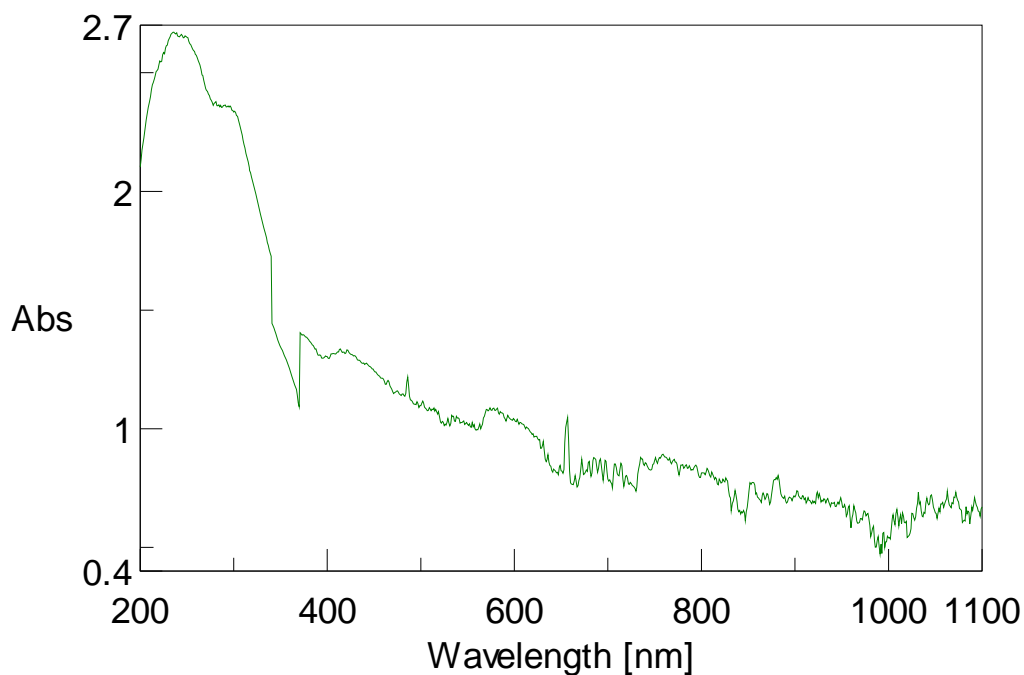


圖 20 .肋葉藻萃取液的全波段掃描圖

圖 20 的結果顯示，肋葉藻的萃取液，在 670 nm 附近有最大的吸收波長，此結果可以印證圖 6 的結果，也就是肋葉藻萃取液 DSSC 的光電轉換能力，是來自於葉綠素 a 的轉換。

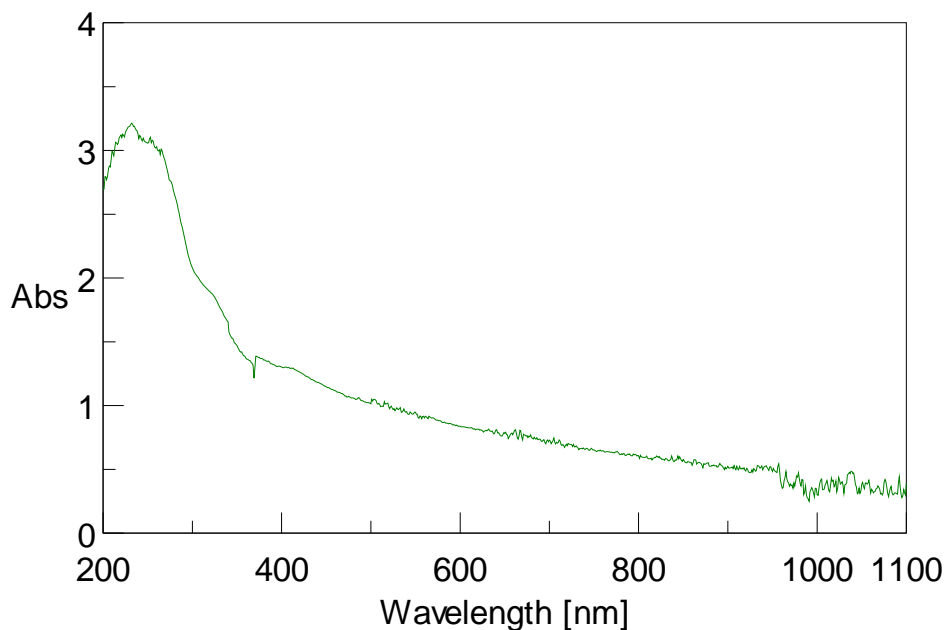


圖 21 .牡丹菜萃取液的全波段掃描圖

圖 21 的結果顯示，牡丹菜的萃取液，並沒有明顯的吸收波峰，此結果可以印證圖 7 的結果，也就是牡丹菜萃取液 DSSC 的光電轉換能力，均低於 30% 的原因。

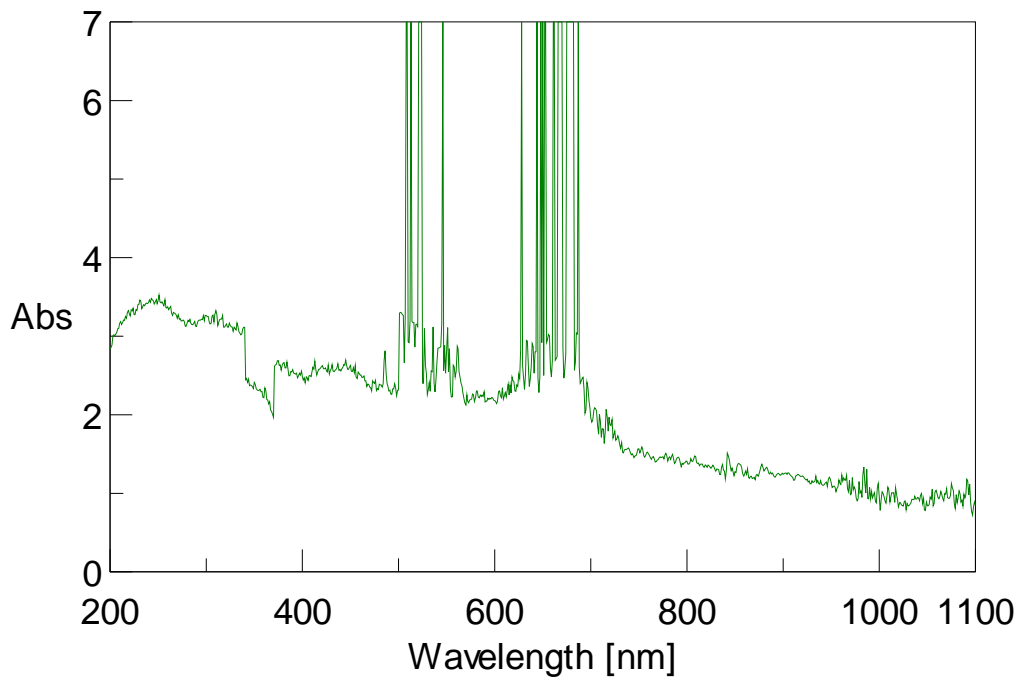


圖 22 . 頭髮菜萃取液的全波段掃描圖

圖 22 的結果顯示，頭髮菜的萃取液，在 500 nm 到 700 nm 間有一堆吸收波峰，此結果可以印證圖 8 的結果，也就是頭髮菜萃取液 DSSC 的光電轉換能力，均低於 30% 的原因。

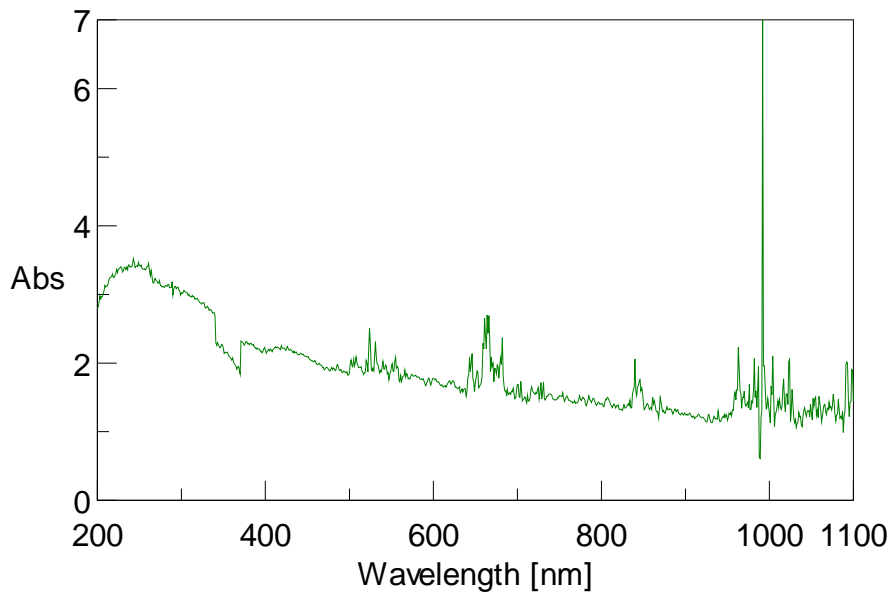


圖 23 櫛齒藻萃取液的全波段掃描圖

圖 23 的結果顯示，櫛齒藻的萃取液，在 520，640 及 980 nm 附近有最大的吸收波長，此結果可以印證圖 9 的結果，也就是櫛齒藻萃取液 DSSC 的光電轉換能力，是來自於葉綠素 a，b 及 d 的轉換。

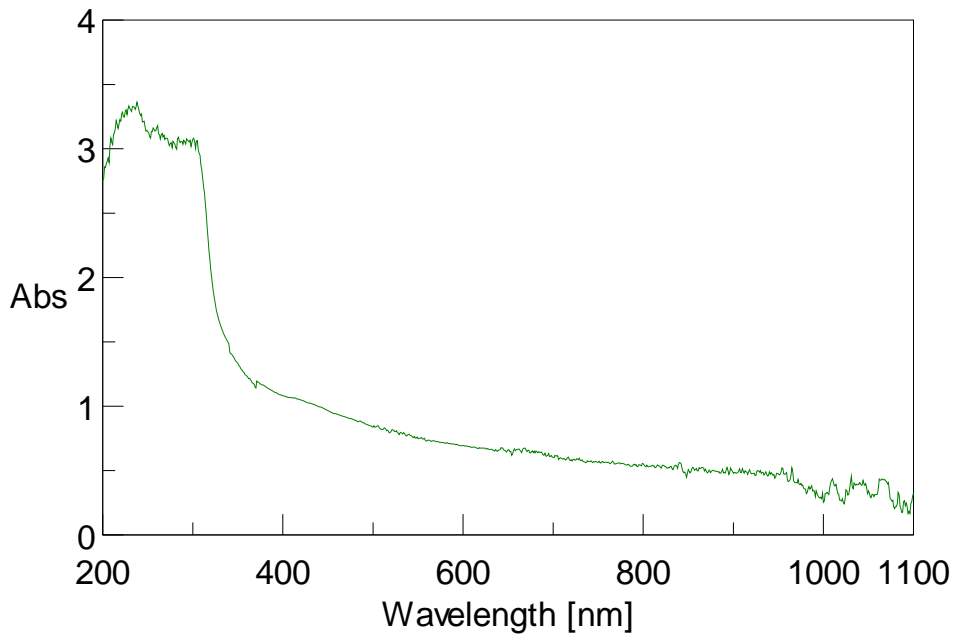


圖 24 平網地藻萃取液的全波段掃描圖

圖 24 的結果顯示，平網地藻的萃取液，並沒有明顯的吸收波峰，此結果可以印證圖 10 的結果，也就是平網地藻萃取液 DSSC 的光電轉換能力，均低於 30% 的原因。

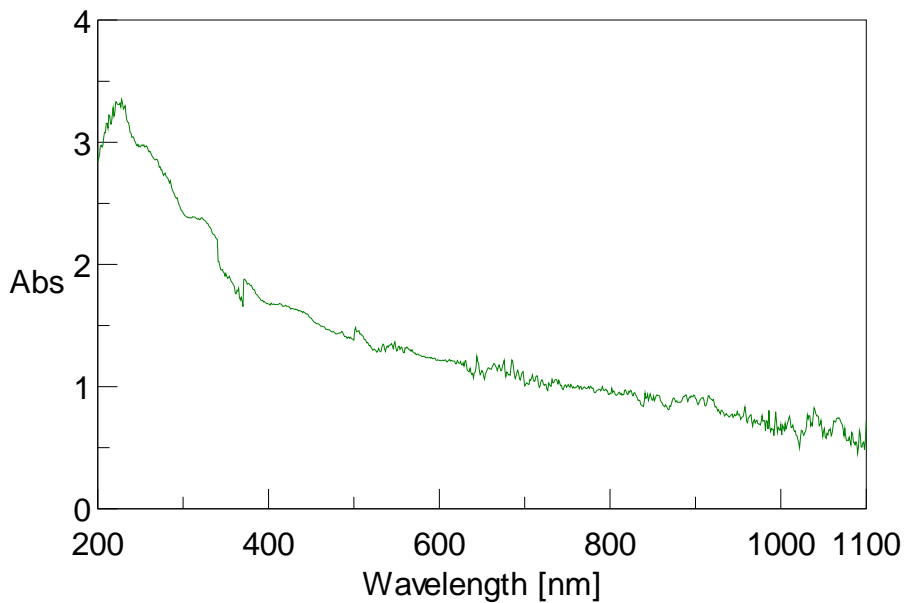


圖 25 小杉藻萃取液的全波段掃描圖

圖 25 的結果顯示，小杉藻的萃取液，並沒有明顯的吸收波峰，此結果可以印證圖 11 的結果，也就是小杉藻萃取液 DSSC 的光電轉換能力，均低於 30% 的原因。

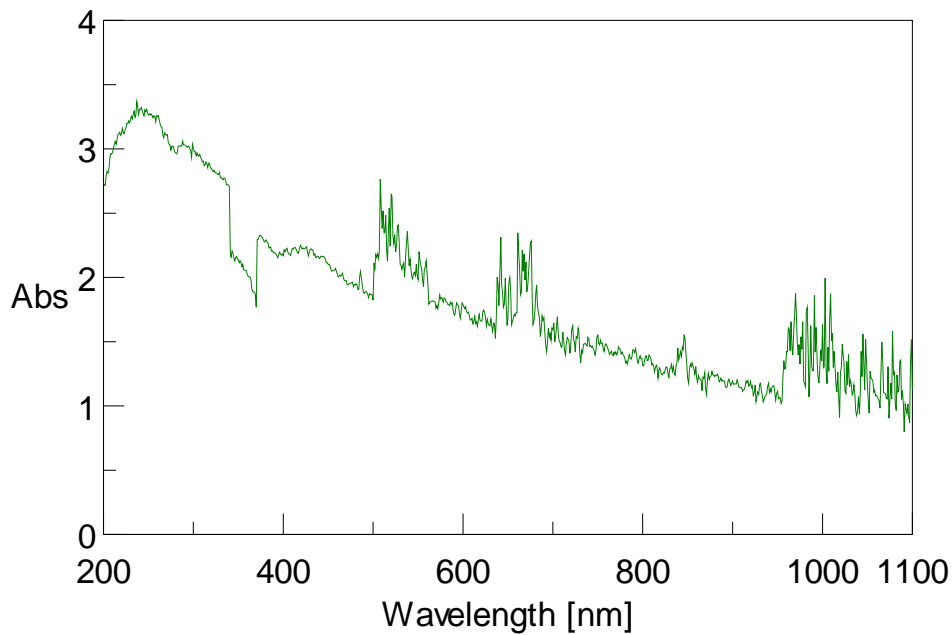


圖 26 角叉菜萃取液的全波段掃描圖

圖 26 的結果顯示，角叉菜的萃取液，在 500~550，620~690 及 980~1000 nm 附近有最大的吸收波長，此結果可以印證圖 12 的結果，也就是角叉菜萃取液 DSSC 的光電轉換能力，是來自於四種葉綠素的轉換能力。

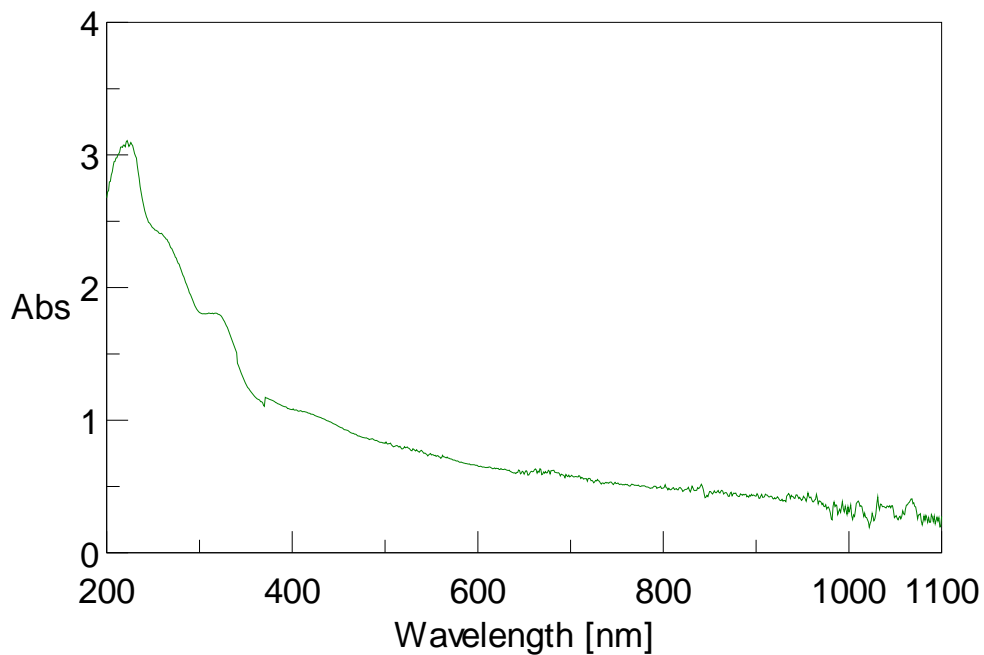


圖 26 孔石蓴萃取液的全波段掃描圖

圖 26 的結果顯示，孔石蓴的萃取液，並沒有明顯的吸收波峰，此結果可以印證圖 13 的結果，也就是孔石蓴萃取液 DSSC 的光電轉換能力，均低於 30% 的原因。

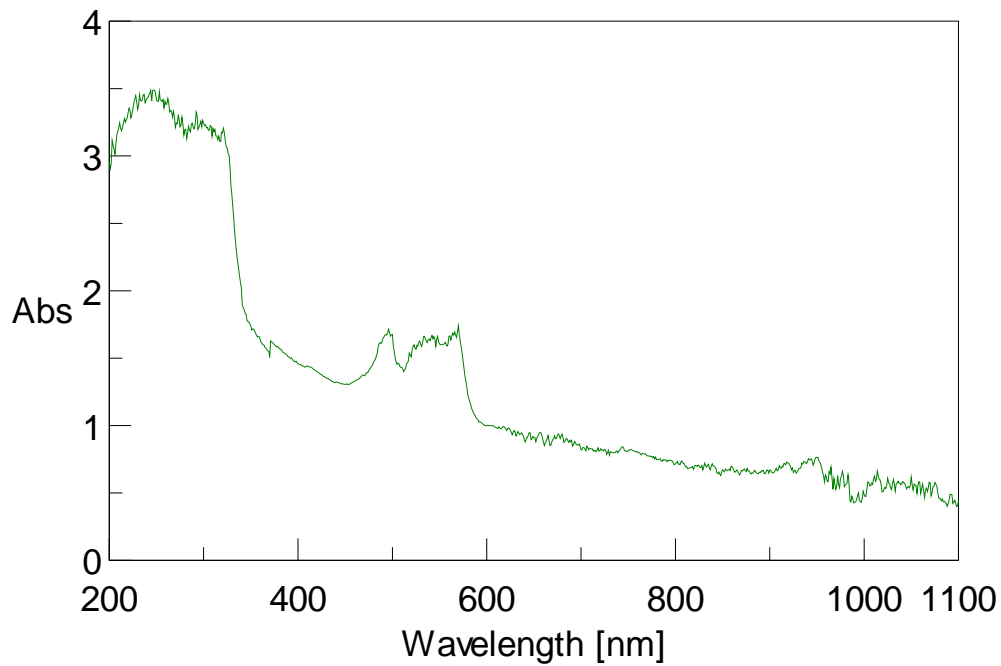


圖 27 蜈蚣藻萃取液的全波段掃描圖

圖 27 的結果顯示，蜈蚣藻的萃取液，在 500，590nm 有明顯的吸收波峰，此結果可以印證圖 14 的結果，也就是蜈蚣藻萃取液 DSSC 的光電轉換能力，是來自於葉綠素 a，b 及 d 的轉換。

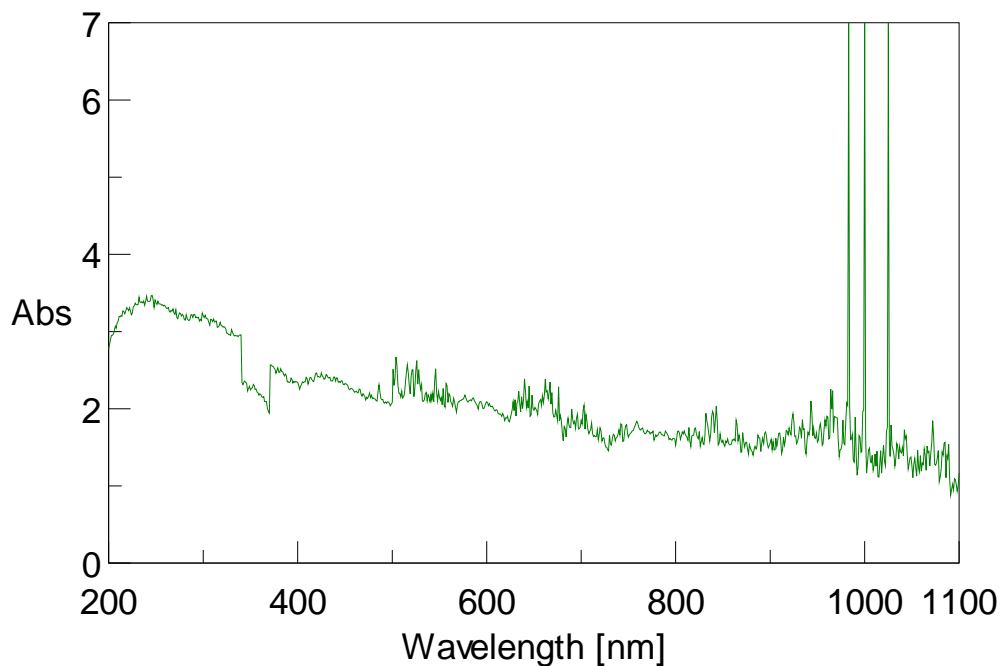


圖 28 海膜萃取液的全波段掃描圖

圖 28 的結果顯示，海膜的萃取液，在 500~550，620~640 及 900~1050nm 有許多的明顯吸收波峰，此結果可以印證圖 15 的結果，也就是海膜萃取液 DSSC 的光電轉換能力，是來自於葉綠素 a，b 及 d 的轉換。

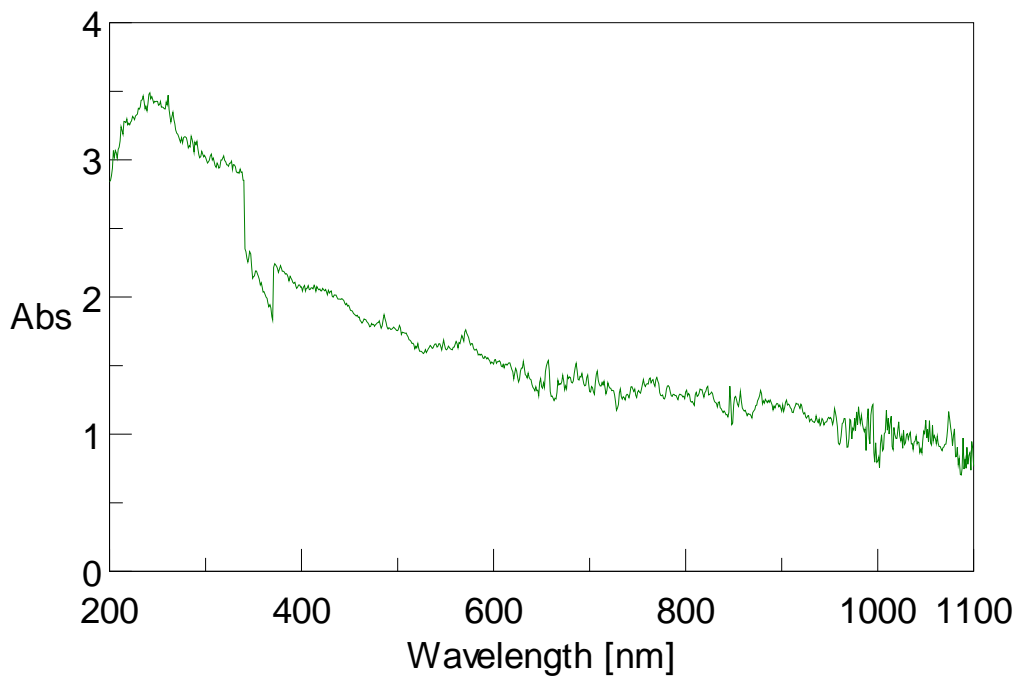


圖 29 鋸齒麒麟菜萃取液的全波段掃描圖

圖 29 的結果顯示，鋸齒麒麟菜的萃取液，並沒有明顯的吸收波峰，此結果可以印證圖 16 的結果，也就是鋸齒麒麟菜萃取液 DSSC 的光電轉換能力，均只有較 30% 稍高的原因。

3. 不同海藻產生電壓的差異性

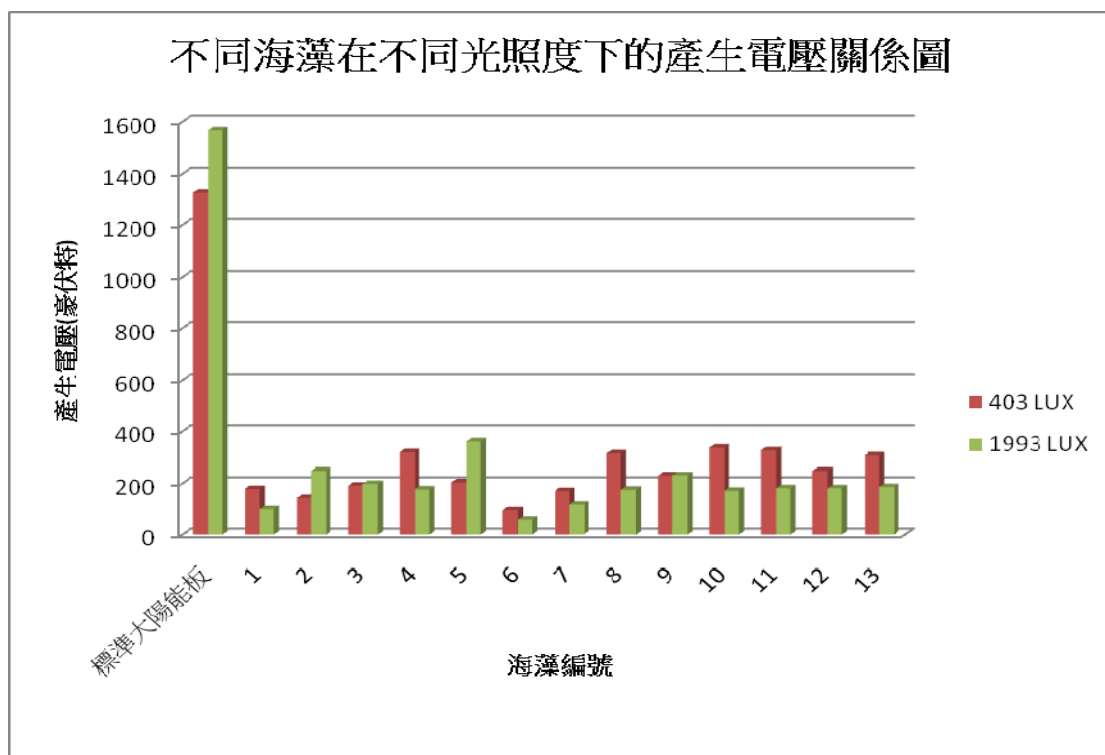


圖 30 不同海藻 DSSC 在不同光照度下產生電壓的影響

圖 30 的結果顯示，5 號的頭髮菜 DSSC 產生的電壓最高，而且會隨著光照度從 403 LUX 上升到 1993 LUX，電壓也會有顯著的上升($p > 0.05$)，4 號牡丹菜，10 號孔石蓴及 11 號蜈蚣藻的樣品反而是光照度較低的時候，產生的電壓較高，推測是這些在海底生長的海藻葉綠素其對低光

照的轉換能力較強。對照標準太陽能板，我們做的 DSSC 約有 24.6~25.4%的產出電壓能力。

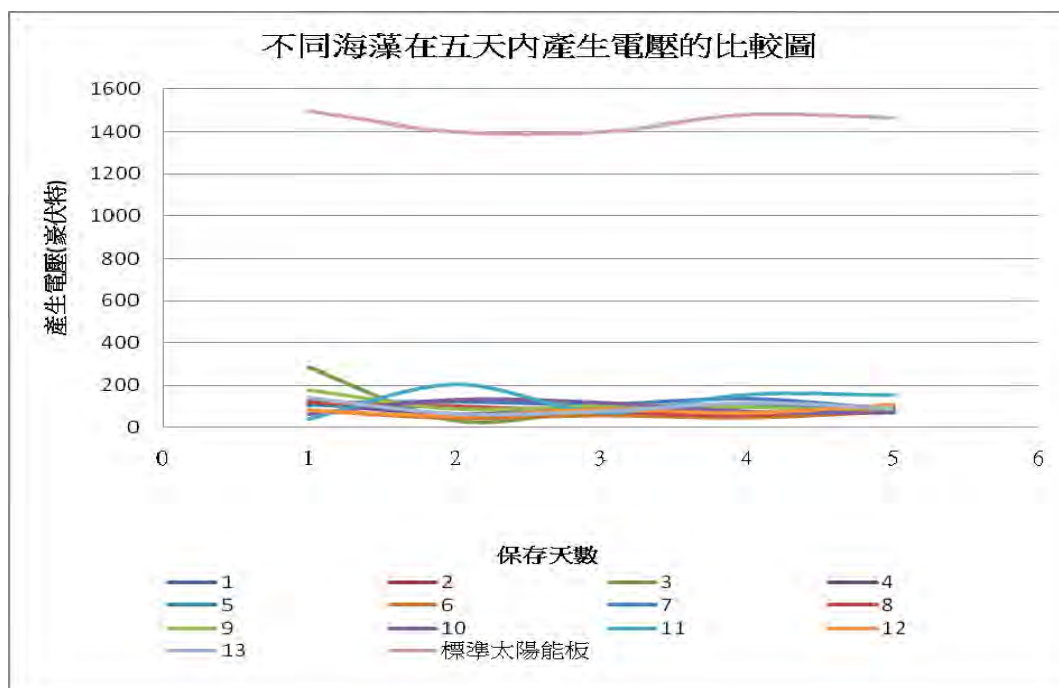


圖 31 不同海藻 DSSC 五天內產生電壓的影響

圖 31 的結果顯示，5 號的頭髮菜 DSSC 在 5 天內殘留的電壓最高(約 200 毫伏特)，對照標準太陽能板的穩定輸出約 1400 毫伏特，我們目前製作的 DSSC 僅有市售品約 14%的能力。

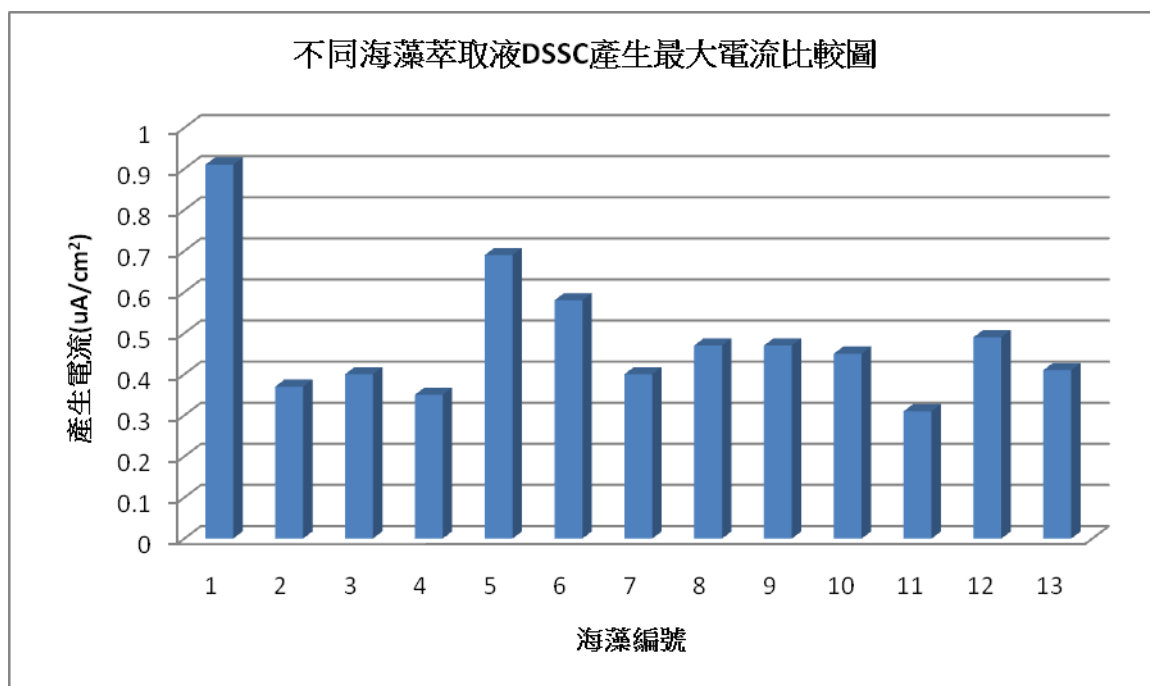


圖 32 不同海藻 DSSC 產生最大電流比較圖

從圖 32 來看，1 號的日本石花菜，5 號的頭髮菜和 6 號的櫛齒藻 DSSC 產生較大的電流，其中又以石花菜 DSSC 產生 0.9 uA/cm^2 最強。

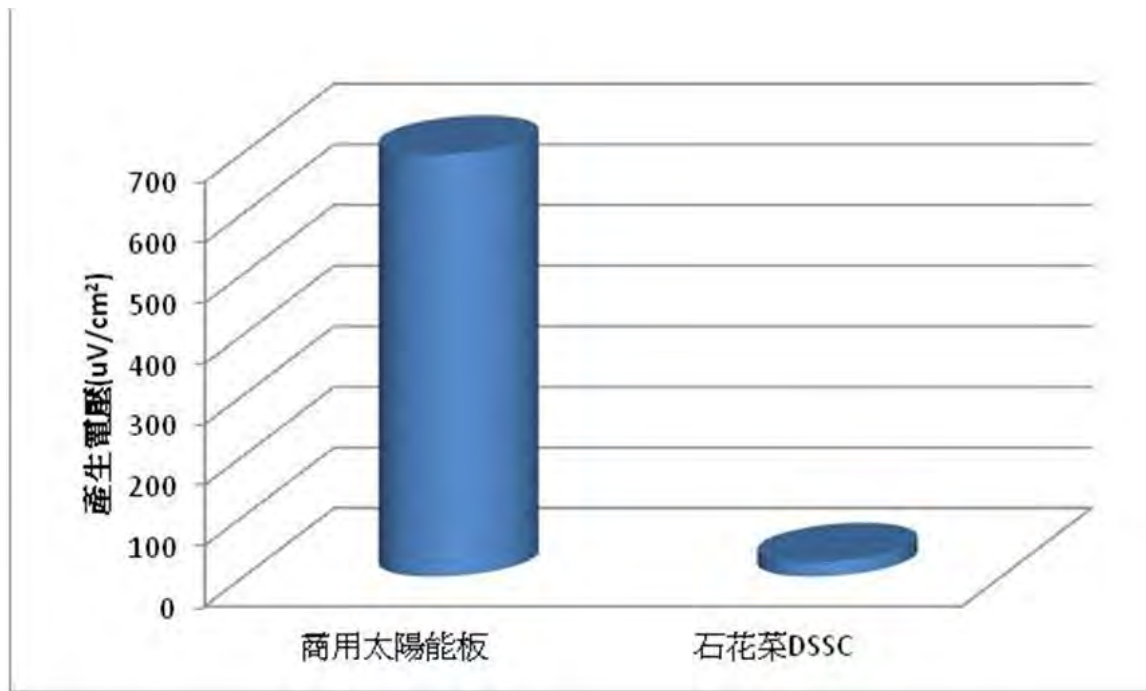


圖 33 石花菜 DSSC 與商用太陽能板產生電壓比較圖

從圖 33 我們可以看出，與商用太陽能板比較，石花菜 DSSC 產生電壓約為商用太陽能板的 3.5% (24.63 uV/cm²)。

陸、討論

經過上網搜尋，目前利用海藻萃取液製作 DSSC 的相關文獻很少，而且多是利用微細藻或是大型海藻中的綠藻萃取液做為染料來源(Amao 等人，民 93)，光電轉換效率也較低，本研究利用紅藻做為染料來源，並以綠藻做為對照，結果顯示，紅藻的效果較好，其原因除了我們的研究結果外，我們認為，這可能是因為宜蘭地區長年多雨，入射的可見光大多是紅光或是藍紫光為主所導致的。

DSSC 的保存效果牽涉到導電玻璃的封裝技術，先前的研究大多是保存約一周左右，本研究的結果與之相仿。產生電壓較標準太陽能電池為低的問題，我們認為可以利用串連的方式或是在燒結時，製作二氧化鈦奈米管或是利用白金蒸鍍法來代替用蠟燭鍍碳膜等方式來解決，但是本研究主要是尋找天然染料的來源，所以，這個問題會在後續的研究中，設法解決。

目前的染料敏化太陽能電池染料研究，主要集中在利用化工技術，以葉綠素做為基礎，改變其結構，增加吸收不同波長的能力，生產紅色的標準染料。本研究的結果顯示，紅藻中的葉綠素衍生物，可以做為染料的優良來源，而且這些海藻的利用率很低，就以日本石花菜來說，它主要是曬乾後，做為石花凍的膠體來源，味道又比較苦，食用價值低，其他的紅藻，除了少數可以做為中藥的藥材外，根本沒有利用價值，本研究的結果，除了可以提供給東北角海岸的漁民撈取大型海藻時，增加額外的收益來源，並且可以增加養殖戶蓄養大型海藻生產染料的誘因，透過海藻的光合作用減少二氧化碳的含量，透過這種環

境工程來為地球降溫。另外，目前 DSSC 的研究，也有人提出混合不同特性的染料做為雞尾酒式的染料來源，本研究的結果也顯示，同時擁有不同衍生物的石花菜和頭髮菜等紅藻，其光電轉換效率和產生電壓，電流效果都比較好。

柒、結論

本研究的結論如下：

1. 東北角海岸的大型海藻萃取液中，富含能夠做為染料敏化太陽能電池的染料來源。
2. 紅藻萃取液 DSSC 的太陽光電轉換效率較綠藻為佳，其中以日本石花菜最佳。
3. 紅藻萃取液 DSSC 的產生電流也較綠藻為佳，其中以日本石花菜最佳。
4. 生長在海底的藻類萃取液所製作的 DSSC 對低光照度環境下的產生電壓效果較好。
5. 放置五天後，仍是以頭髮菜萃取液的 DSSC 殘存電壓較大。
6. 紅藻中含有的多種葉綠素異構物，提供了 DSSC 吸收不同波長的可見光能力。
7. 與標準太陽能電池相比，海藻 DSSC 的產生電壓能力約為 25%。

捌、參考資料及其他

1. 黃淑芳 (民 89)。臺灣東北角海藻圖錄。臺北市：臺灣博物館。
2. 宋金蓮 (民 98)。太陽能發電原理與應用。臺北市：五南。
3. Amai, Y., Komori T. (民 93). Bio-photovoltaic conversion device using chlorine-e6 derived from chlorophyll from *Spirulina* adsorbed on a nanocrystalline TiO₂ film electrode. *Biosen. Bioelect.* 19, 843 - 847.
4. Wang, X.F., Zhan C.H., Maoka, T., Wada, Y., Koyama, Y. (民 96). Fabrication of dye-sensitized solar cells using chlorophylls c1 and c2 and their oxidized forms and from *Undaria pinnatifida* (Wakame). *Chem. Phy. Letters*, 447:79-85.

【評語】 091101

1. 本作品採用臺灣東北角海岸之 13 種大型海藻為研究材料，進行染料敏化太陽能電池之發電研究，具有鄉土性。
2. 本作品取材豐富，研究設計嚴謹，邏輯清晰，具有科學研發之精神。
3. 未來若能更詳細描述不同海藻之葉綠素種類，含量與光電轉化能力之比較及機轉之討論，將更具學術性與應用性。
4. 本作品發現葉綠素產生電壓僅為商用太陽能板發電的 3.5%，如何提升此效率將是未來值得繼續改進與研發之方向。