

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 化學科

最佳團隊合作獎

040204

深思熟「綠」才會螢-葉綠素螢光的探討

學校名稱：國立新莊高級中學

作者： 高二 朱韋銘 高二 莊濬鴻 高二 許令煌 高二 黃品翔	指導老師： 鍾昭國 李承修
---	---------------------

關鍵詞：葉綠素 螢光 隱形墨水

# 深思熟「綠」，才會「螢」



## --- 葉綠素螢光的探討

### 壹、摘要：

利用簡單的濾紙層析法，可從植物葉片中萃取光合色素的成分，而利用紫外光照射以及紫外-可見光電子吸收光譜和放光光譜的測量，可判斷各成分所得結果是否有所差異。另外，我們試著加入純水或數種不同金屬離子配製的溶液來檢測對葉綠素螢光強度的影響。

我們也嘗試著將萃取出來之葉綠素汁液製作成趣味隱形墨水，書寫在紙上的筆跡在一般光線下是無法以肉眼觀察到，特別的是，在暗室中經過紫外線照射後，便可清楚的看到所有紙上的筆跡。

### 貳、研究動機：

在一次化學老師談到：「葉綠素是一種錯合物，光合作用的反應機制是比想像中複雜許多的！」，聽完之後，由於好奇心的驅使，便向老師詢問更多細節，老師還告訴我們：「若將葉綠素從樹葉中分離出來，照光之後，會發出螢光。」當我們聽到這裡，大夥皆覺得一個平凡無奇的物質，竟然會發出螢光，由於葉綠素具有這種非常特殊且有趣的性質，引發了我們想要研究的興趣，便請教老師是否可以進行這方面的實驗研究，老師聽了也覺得有研究的價值，於是我們便進行了一系列有關於葉綠素的螢光檢測實驗，希望能夠藉由此研究將物質科學化學篇（上）「3-1 原子結構的探討」之課程內容做更多的延伸學習。

### 參、研究目的：

- 一、菠菜葉直接照射紫外光，是否會產生螢光？
- 二、菠菜葉的光合色素經過濾紙層析後，以紫外線照射，是否產生螢光？
- 三、菠菜葉中光合色素的何種成分，以紫外線照射，會產生螢光？
- 四、利用何種層析展開液，可以達到最好的層析結果？
- 五、層析之後所得的葉綠素成分，於甲醇溶液或水溶液中的螢光現象變化為何？
- 六、層析之後所得的葉綠素成分，若於甲醇溶液加入數種不同的金屬離子，其螢光現象變化為何？
- 七、是否可以利用葉綠素會發出螢光的特性，製作出隱形葉綠素螢光墨水？

### 肆、研究器材與設備：

- 一、器 材
  - (一)、菠菜、刀片、玻棒、烘箱、研鉢、膠帶、剪刀、紗布、毛細管、毛筆
  - (二)、超音波震盪器、加熱攪拌器、玻璃樣品瓶、石英比色槽、滴管、樣品瓶(20mL)
  - (三)、試管(15~20mL)、量筒(10mL、50mL及100mL)
  - (四)、長條厚濾紙(長25cm、寬1.5cm)、圓形濾紙
  - (五)、筆記型電腦主機、商用軟體 Origin pro7.0、商用軟體 Microsoft Office 2003

## 二、藥品

- |  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| (一)、丙酮 ( $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ )  | (二)、甲醇 ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) |
| (三)、石油醚                                | (四)、蒸餾水 ( $\text{H}_2\text{O}$ )  |
| (五)、硝酸鎂 ( $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ) | (六)、氯化汞 ( $\text{HgCl}_2$ )       |
| (七)、硝酸錳 ( $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ ) | (八)、氯化鎘 ( $\text{CdCl}_2$ )       |
| (九)、硝酸鐵 ( $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ) | (十)、氯化銅 ( $\text{CuCl}_2$ )       |

## 三、儀器

- (一)、紫外-可見光電子吸收光譜儀 (UV-Vis electronic absorption spectra)  
位於國立台灣師範大學化學系張一知教授實驗室提供，型號為 HP-8453
- (二)、放光光譜儀 (Luminescence spectra)  
我們是使用位於國立台灣師範大學化學系張一知教授實驗室提供，型號為 Aminco-Bowman Series 2 的放光光譜儀。以波長 400 nm 的光源當作激發光，並在垂直方向收集 500 至 800 nm 的放光光譜。

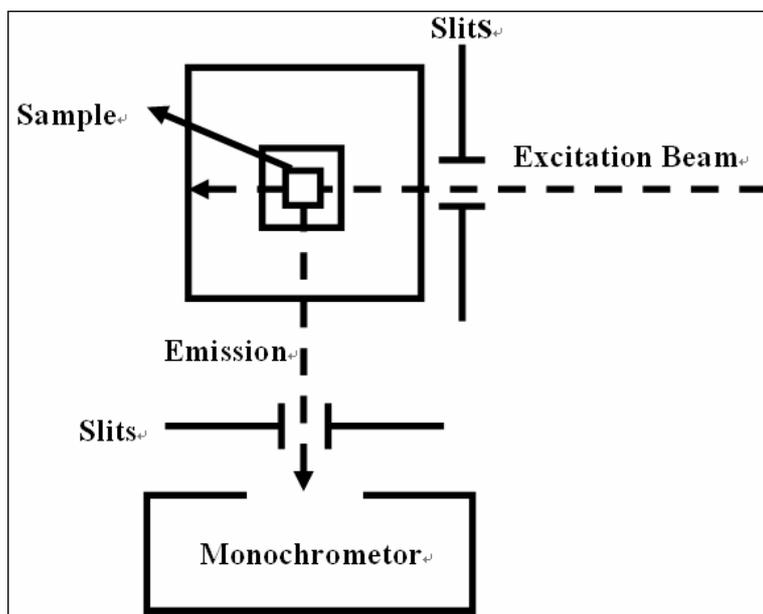


圖 1、放光光譜儀的測量原理及裝置簡單示意圖

## (三)、數據處理

所有數據處理是使用商用軟體 Origin pro7.0 所得。

## 伍、研究過程與方法：

### 一、光合色素之層析分離<sup>參六</sup>

- (一)、任取 5 片嫩綠菠菜葉，經過紫外光照射後，目視發現並無任何發光的現象（實驗結果如圖 3 所示）。

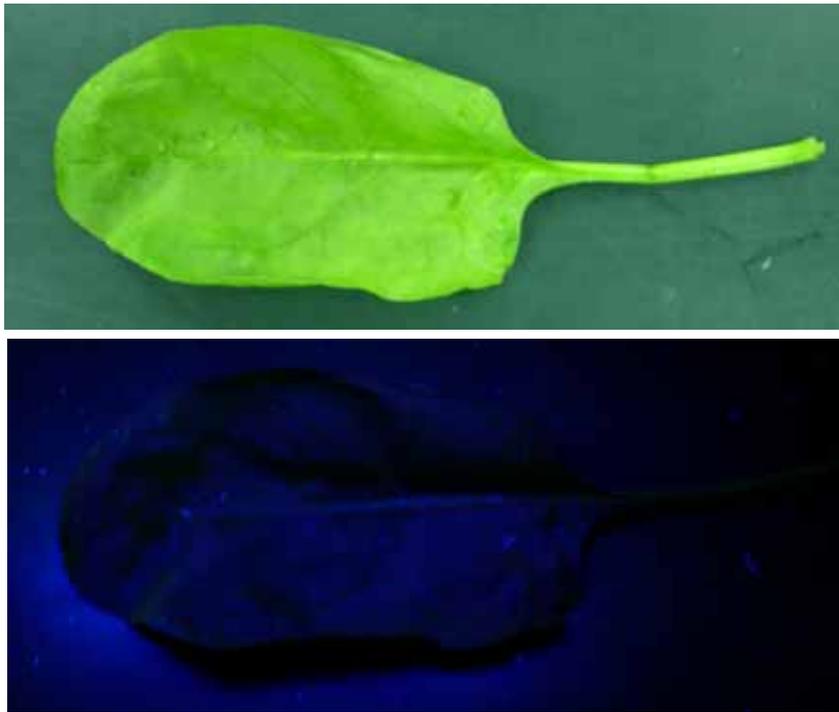


圖 3、尙未經過照射紫外光處理的嫩綠菠菜葉，如上圖，黑暗中照射紫外光，如下圖所示。

- (二)、將此 5 片嫩綠菠菜葉平舖於鋁箔上，置於烘箱內，溫度調至 80 度，大約烘烤兩小時，待葉片烘乾至一觸即碎爲止（如圖 4 所示）。

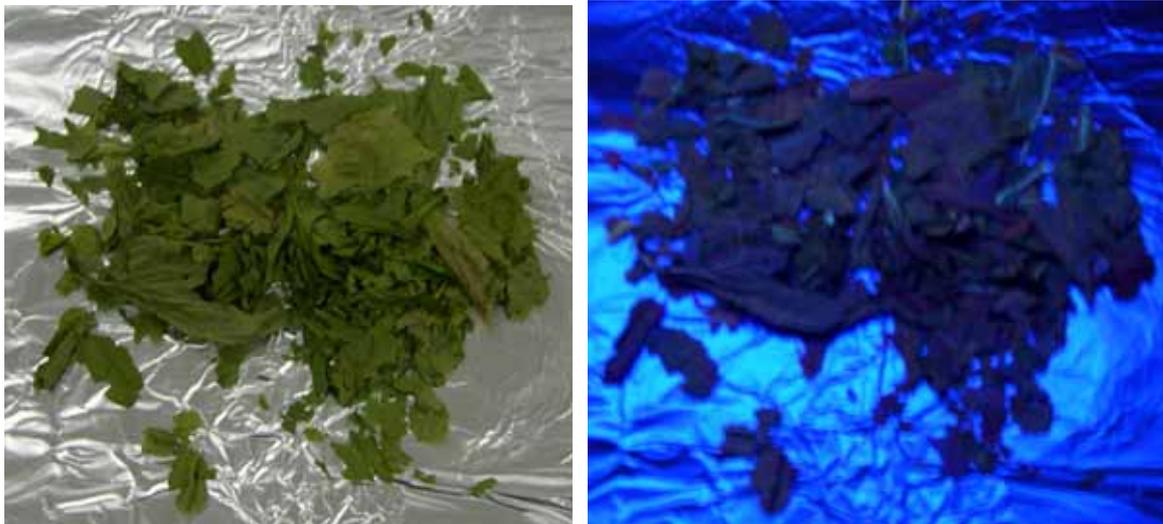


圖 4、左圖：烘乾之後的菠菜葉，照紫外光前  
右圖：照紫外光後的結果

- (三)、取 10mL 量筒一個，倒入石油醚 4.5mL 及 90%丙酮水溶液(體積比→純丙酮：純水=9：1)0.5mL，將此溶液完全混合後，倒入 100mL 量筒內，儘可能不觸及量筒邊緣，再用鋁箔包住量筒口。
- (四)、將烘乾葉片以手捏碎，再放入研鉢中研磨至粉末狀。倒 5mL 90%丙酮水溶液於研鉢中，繼續研磨使呈淤泥狀。將泥狀物置於一小塊紗布上，將四邊摺起，用力擠出數滴於試管中。
- (五)、將過濾後的葉汁照射紫外光之後，發現會發出橘紅色的螢光（實驗結果如圖 5 所示）。

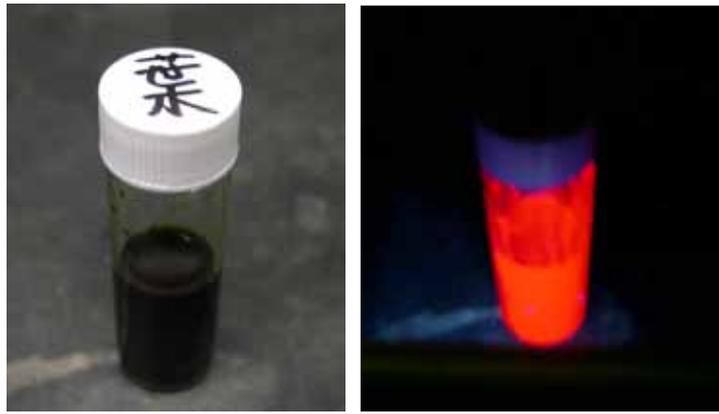


圖 5、左圖：尚未經過層析分離的葉汁濾液

右圖：照射紫外光所發出之螢光

- (六)、取長條厚濾紙一條，在一端 1.5 公分處剪成尖形箭頭，以毛細管吸取葉汁，小心地點在離尖端 3 公分處，待乾後再點。
- (七)、將長條厚濾紙放入量筒中，使尖端約 0.5 公分浸入事先配置的混合液中，而另一端則以膠帶固定於量筒口，並以鋁箔將量筒口封住（如圖 6 所示）。



圖 6、簡易濾紙層析法實驗示意圖

- (八)、當混合液上升至濾紙全長百分之九十時，便取出濾紙（結果如圖 7 所示）。

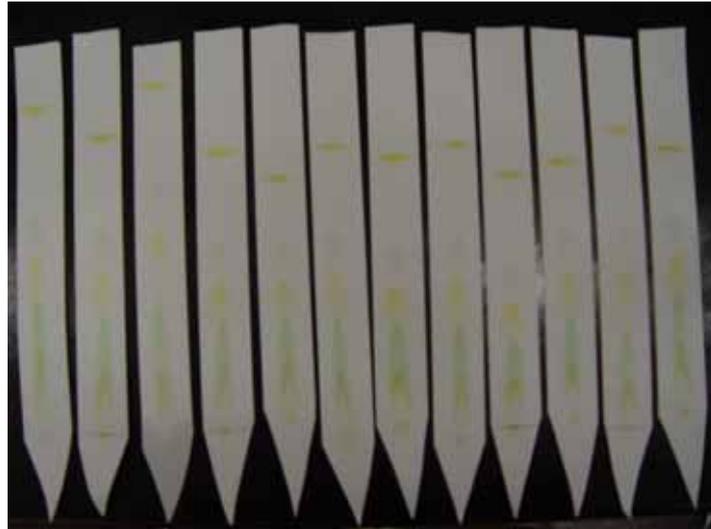


圖 7、經過濾紙層析法分離之光合色素的濾紙

(九)、將光合色素經過層析之後的濾紙於紫外光照射下可觀察到不同區域會發出不同顏色的螢光（實驗結果如圖 8 所示）。

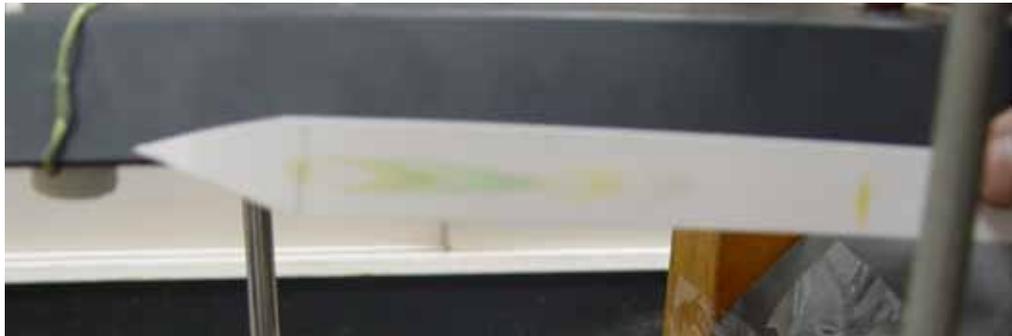


圖 8、上圖：尚未經過照射紫外光處理的層析分離後之光合色素在濾紙上  
下圖：照射紫外光照射層析分離後的結果

## 二、經層析分離之後光合色素放光情形觀察

(一)、將上述一、實驗後所獲得的層析結果，按照眼睛能夠分辨的五個區域（結果及標號如圖 9 所示），用剪刀將其分段剪下並分開收集至燒杯中。

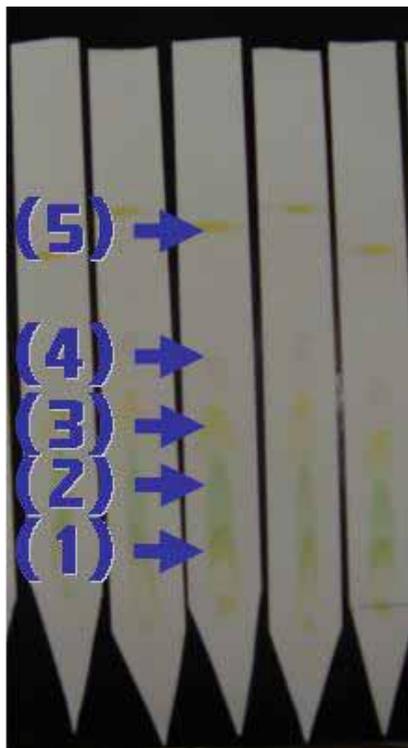


圖 9、層析分離後之光合色素在濾紙上，由下而上可劃分為五個區域

- (二)、分別用滴管吸取 10mL 甲醇沖洗前步驟剪下位於五個燒杯中的濾紙，目的為將濾紙上的光合色素層析物溶出。
- (三)、利用紫外光來照射並觀察每一區域所收集到成分的放光情形（實驗結果如圖 10 所示）。

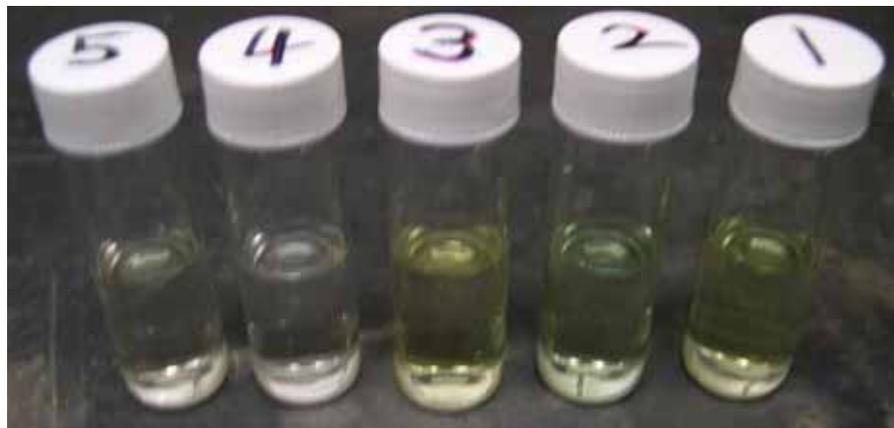


圖 10、上圖：尚未經過紫外線照光的光合色素濾液層析後之五區塊溶出物；  
下圖：經紫外線照射後的結果

(四)、同時也測量了此五區塊的紫外-可見光電子吸收光譜以及放光光譜（結果請見 陸、研究結果與討論）

### 三、濾紙層析分離之光合色素加入水及金屬離子之放光情形

(一)、以甲醇為溶劑配製  $10^{-3}\text{M}$  含  $\text{Cd}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Hg}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  的金屬鹽類共六種溶液。

(二)、取先前收集到的第 2 區層析物，以甲醇溶出之後，分別加入甲醇、水以及含六種金屬離子的溶液以體積比 1:1（第 2 區層析物 1mL + 加入物 1mL）的方式配製出共八種不同成分之樣品，其中我們是以第 2 區層析物：甲醇 = 1:1 這瓶溶液當作對照組，其餘七種溶液則為實驗組。

(三)、利用紫外光照射並觀察放光強度的變化（實驗結果如圖 11 所示）。



圖 11、上圖：葉綠素產物加入水以及金屬離子後，尚未經過紫外光照射  
下圖：經紫外光照射的結果

(四)、同時也測量了此七種溶液的紫外-可見光電子吸收光譜及放光光譜（結果請見 陸、研究結果與討論）

### 四、自製趣味隱形葉綠素螢光墨水

(一)、將菠菜利用前述研究方法一、光合色素之層析分離中第(四)步驟處理所得之葉綠素汁液收集於樣品瓶中，接著滴入適量丙酮，使外觀呈現淡綠色，最好達到使用毛筆寫在紙上，在光線下幾乎無法以肉眼觀察到筆跡的程度。

(二)、準備毛筆吸取稀釋後之葉綠素汁液，在圓形濾紙上書寫文字，待溶劑乾燥後，觀察這些濾紙，在日光燈下及在黑暗中用紫外線照射的差異。

## 陸、研究結果與討論：

### 一、光合色素之層析分離 & 二、經層析分離後光合色素放光情形觀察

(一)、葉綠素在葉片中尚未萃取出來時，照射紫外光並無任何反應，但經過層析分離後，再以紫外光照射則會產生螢光。

造成此現象的原因為：當葉綠素尚未萃取出來時，其位於葉綠體中，在吸收光線後電子的確會被激發，不過由於葉綠體中具有電子載體，會將受激發的電子拉走，導致不會產生螢光現象<sup>參六</sup>；若是萃取出來之後，經照射紫外光之後，不會有電子被拉走的情形，電子會以放出螢光的形式回到基態。

(二)、將菠菜液擠出之葉綠素滴於濾紙，經過層析之後，經過文獻<sup>參七</sup>得知，由下而上分別為(1)葉綠素 b、(2)葉綠素 a、(3)葉黃素、(4)氧化(脫鎂)的葉綠素 a、(5)胡蘿蔔素等五區，而我們發現(2)葉綠素 a 以及(4)氧化(脫鎂)的葉綠素 a 兩區，經過照射紫外光可看到較亮的放光(如圖 12 所示)。



圖 12、上圖：葉綠素五區層析物照光前；  
下圖：照光後的結果

接著，我們測量了此五區塊的紫外-可見光電子吸收光譜(結果如圖 13 所示)。

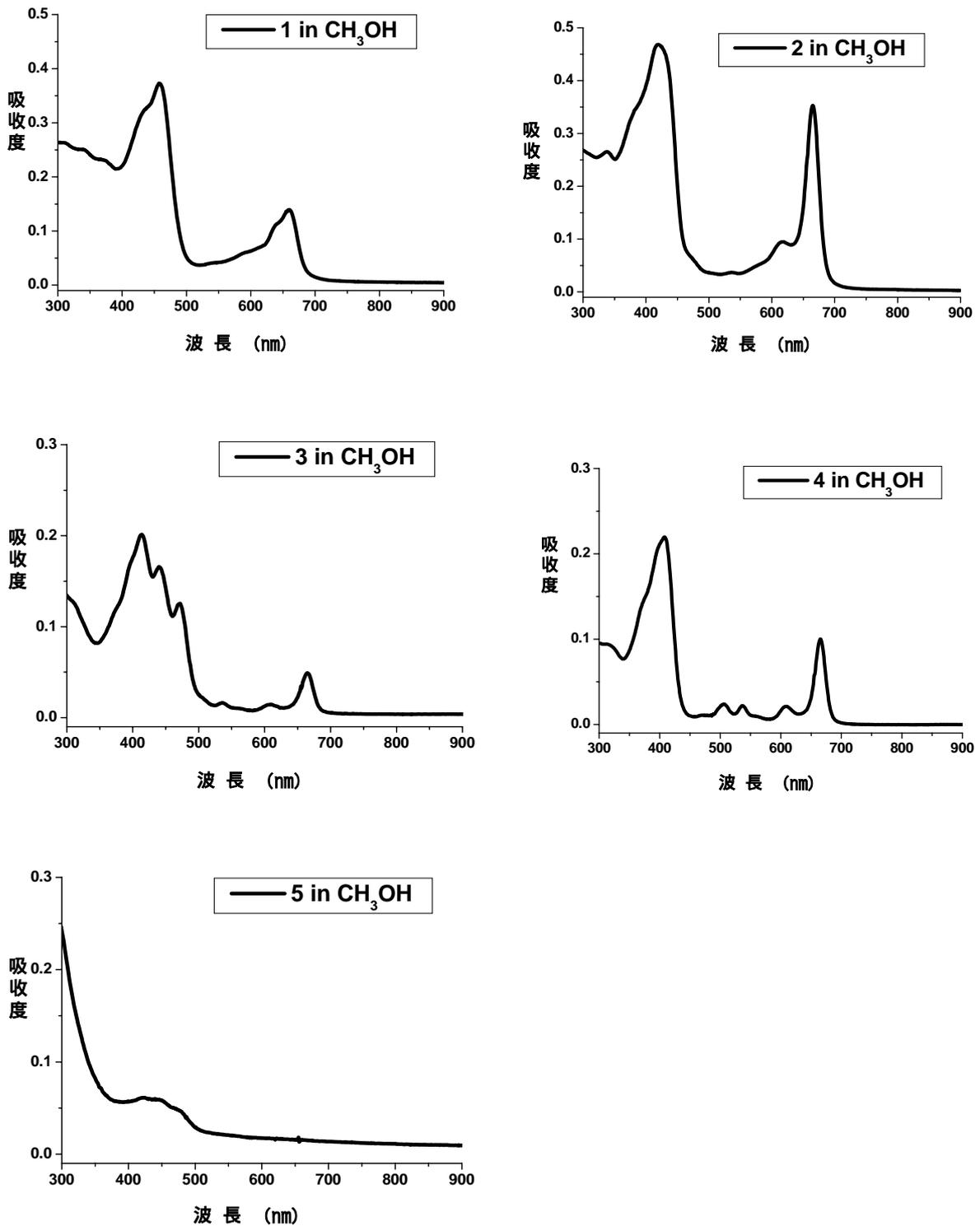


圖 13、葉綠素五區層析物於甲醇溶液中的電子吸收光譜

我們將所測得的紫外-可見光電子吸收光譜圖形與文獻<sup>參八</sup>中所測得的光譜圖（如圖 13）做比對，發現到在(1)葉綠素 b、(2)葉綠素 a 所測得的光譜形狀與文獻大約相似，不過在我們所測得的(1)和(2)的圖形中，有部分重疊的現象，也就是說葉綠素 a、葉綠素 b 無法完全分離，另外，我們再來比對(3)葉黃素與(5)胡蘿蔔素，此兩部分合稱為類胡蘿蔔素<sup>參九</sup>，光譜形狀上也大約類似圖 14。

## 葉綠素的吸收光譜(spectra of chlorophyll)

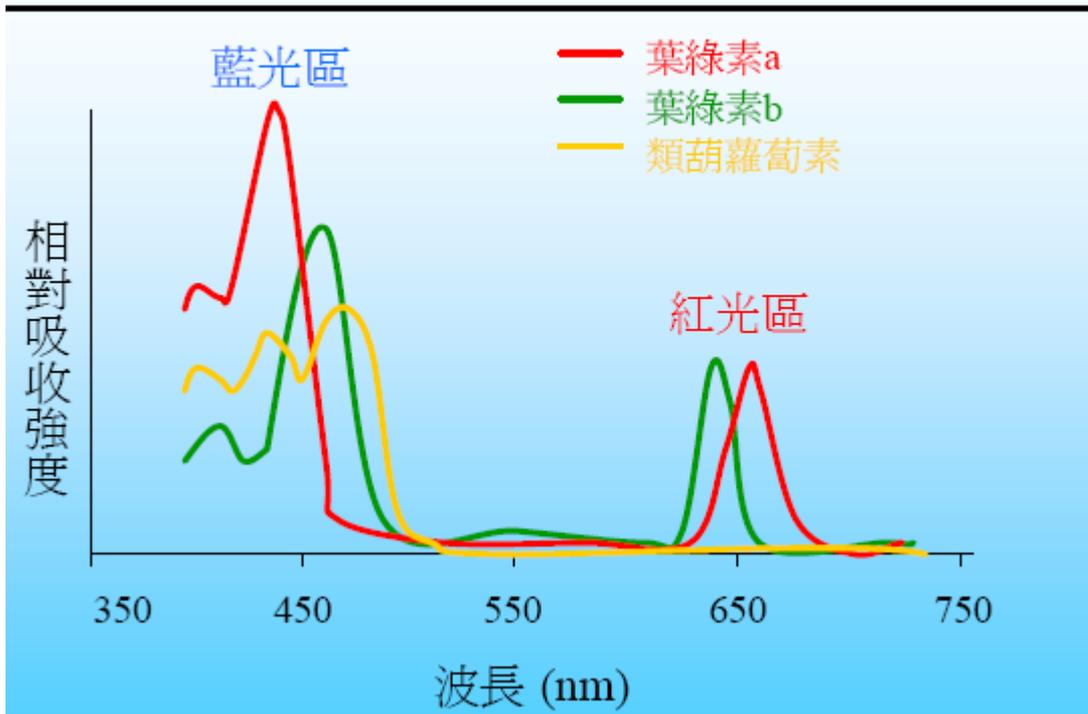
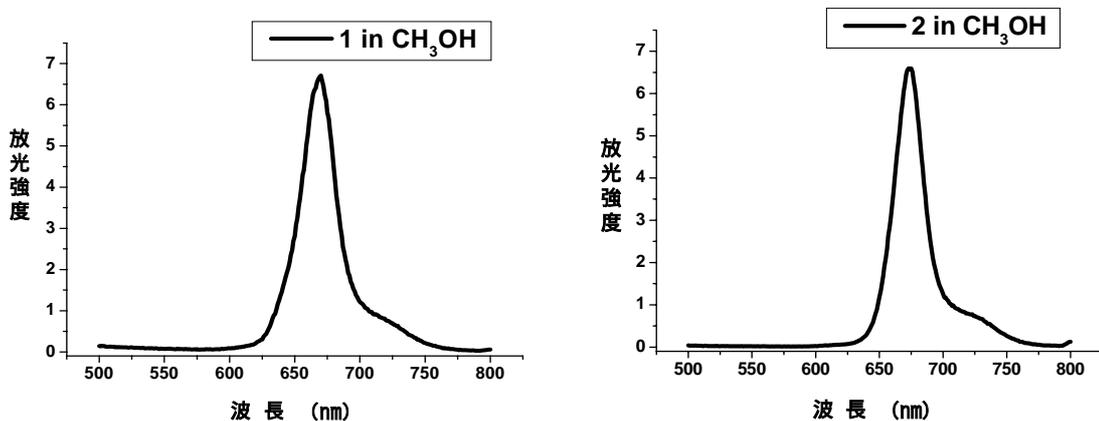


圖 14、各種葉綠素於甲醇溶液中的電子吸收光譜<sup>參八</sup>

不過在(3)圖中仍可發現，尚存有部分葉綠素 a 存在。在(4). 氧化(脫鎂)的葉綠素 a 的圖形中可看到，其圖形非常類似(2). 葉綠素 a，惟在 600~800nm 之間多了兩個小吸收峰。綜合以上電子吸收光譜的結果可以說明我們使用的濾紙層析法，無法有效的單離出純的葉綠素 a、葉綠素 b 以及類胡蘿蔔素，若要達到完全單離，可能要藉助其他的分離方法。

(三)、接著，我們將所分離出來的葉綠素五區層析物進行放光光譜的測量(結果如圖 15 所示。)由圖中可發現(1)~(4)四個圖皆在 600nm 到 800nm 之間呈現一個寬廣的放射峰，這也說明了為何我們用肉眼可觀察到葉綠素照射紫外光後會發出橘紅色的螢光。另外，在(3)圖中發現在 500nm 往前可能會延伸到 300nm 的位置有一寬大的放射峰，這也證明了為何我們會觀察到第(5)區為藍色螢光的原因。



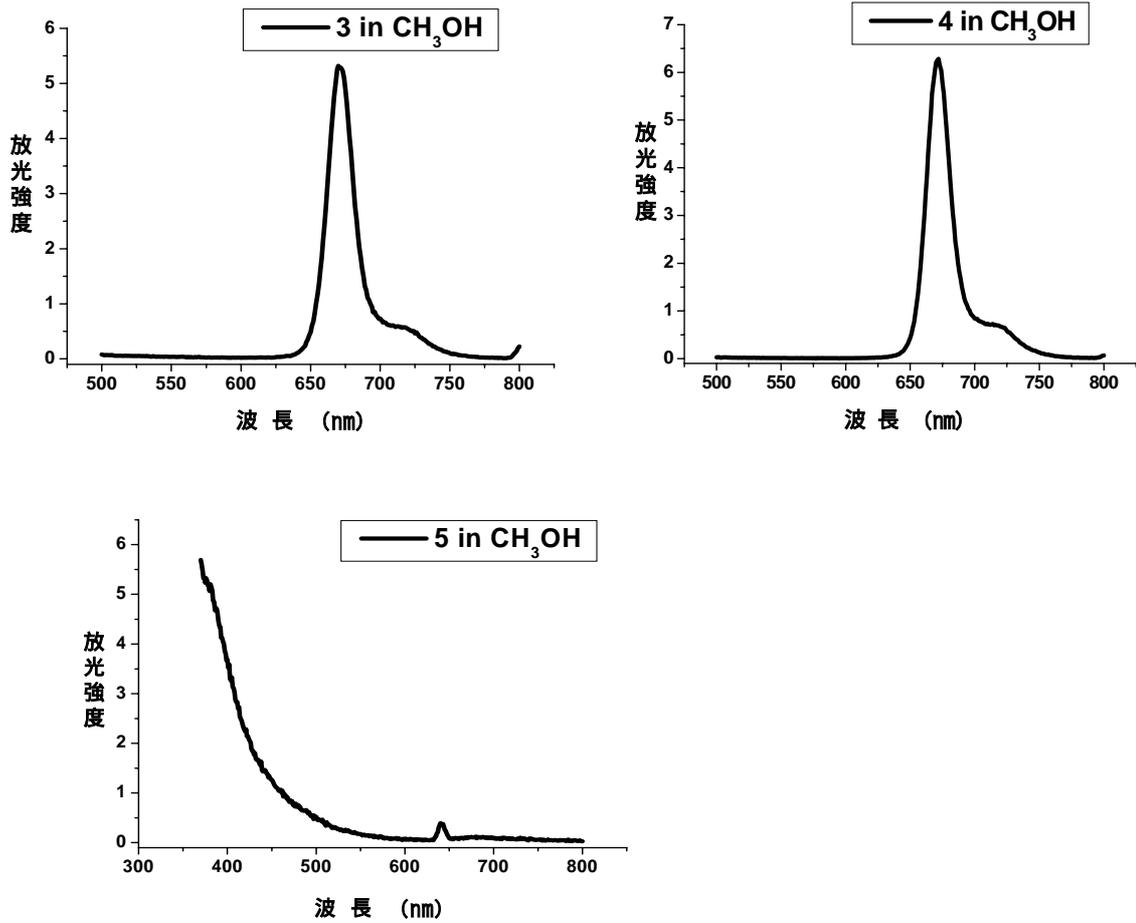


圖 15、葉綠素五區層析物於甲醇溶液中的放光光譜

(四)、由光譜分析的結果，發現濾紙層析法無法有效的分離光合色素的成分，所以在進行層析分離的實驗中，我們有嘗試了四種不同種類的展開液，如下：

- 〈A〉 石油醚 4.5mL、90%丙酮 0.5mL
- 〈B〉 乙酸乙酯 4mL、90%丙酮 1mL
- 〈C〉 乙醚 4.5mL、90%丙酮 0.5mL
- 〈D〉 正己烷 1mL、乙酸乙酯 3mL、90%丙酮 1mL

最後發現還是以〈A〉展開液的分離效果最好。不過，仍然無法有效純化。

### 三、層析分離之光合色素加入水及金屬離子之放光情形觀察

- (一)、我們將學校可找到的含  $\text{Cd}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Hg}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  之金屬鹽類，以甲醇為溶劑配製出  $10^{-3}\text{M}$  的溶液。
- (二)、我們會以甲醇來配製金屬離子溶液的原因是因為我們發現到當葉綠素層析物與水加在一起後，層析物的螢光會幾乎完全消失，圖 16 是取第 2 區收集到的溶液來做測試，會取第 2 區是因為其具有較亮的螢光以及是正常(非氧化的)的葉綠素 a。也因為有這樣奇特的結果，我們便開始測量紫外-可見光電子吸收光譜(結果如圖 17 所示)以及放光光譜(結果如圖 18 所示)。



圖 16、左圖：第 2 區層析物照光前；  
右圖：照光後的結果

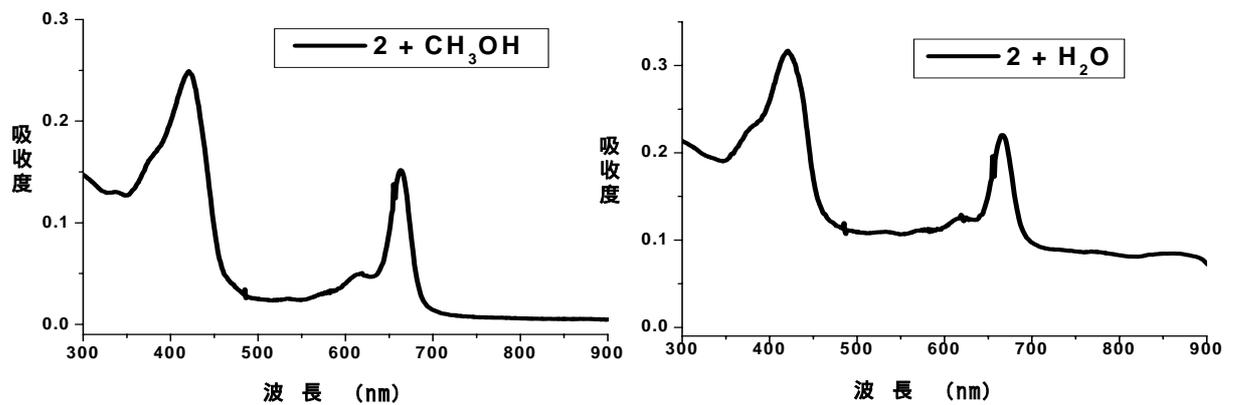


圖 17、左圖：第 2 區層析物：甲醇=1：1 的電子吸收光譜；  
右圖：第 2 區層析物：水=1：1 的電子吸收光譜

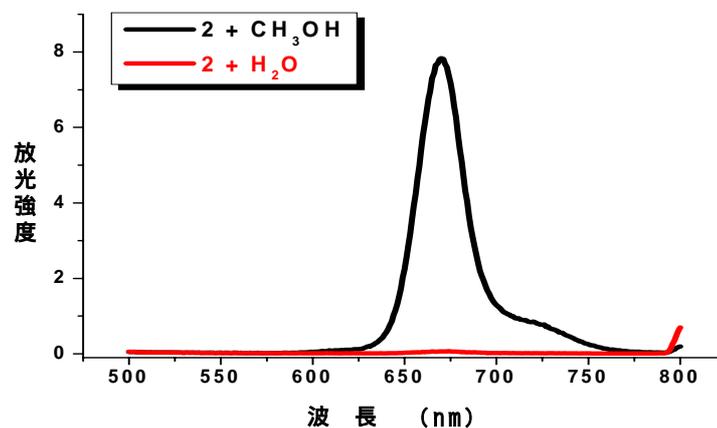


圖 18、第 2 區層析物和甲醇 1：1(黑線)；和水 1：1 (紅線)的放光光譜比較

由電子吸收光譜可以發現當加入水後，兩個主要吸收峰（430nm 和 660nm）並無太大改變；不過，由放光光譜的結果可以發現，利用同樣波長(400nm)及強度的光激發之後，幾乎到達沒有放光的程度。經過觀察葉綠素 a 的結構，我們做了一個可能的推測，因為結構中具有氮原子，若是在含有質子(H<sup>+</sup>)的溶劑中照射能量較強的光線，氮原子可能會有質子化的現象，造成其結構的轉變，導致螢光現象消失，造成目視或放光光譜皆無法觀測到有螢光的反應。

爲了探討上述葉綠素 a 是否會在水中進行質子化的反應？我們另外進行了一組實驗：先將葉綠素 a 溶於甲醇溶液中，且分別加入不同比例的水去測量其放光強度，所得結果如圖 19&圖 20 所示，由圖中可發現當加入水越多時，放光強度便有明顯的下降，直到加入體積比 1：1，放光強度幾乎趨近於零，由此結果可以驗證我們的假設是正確的。

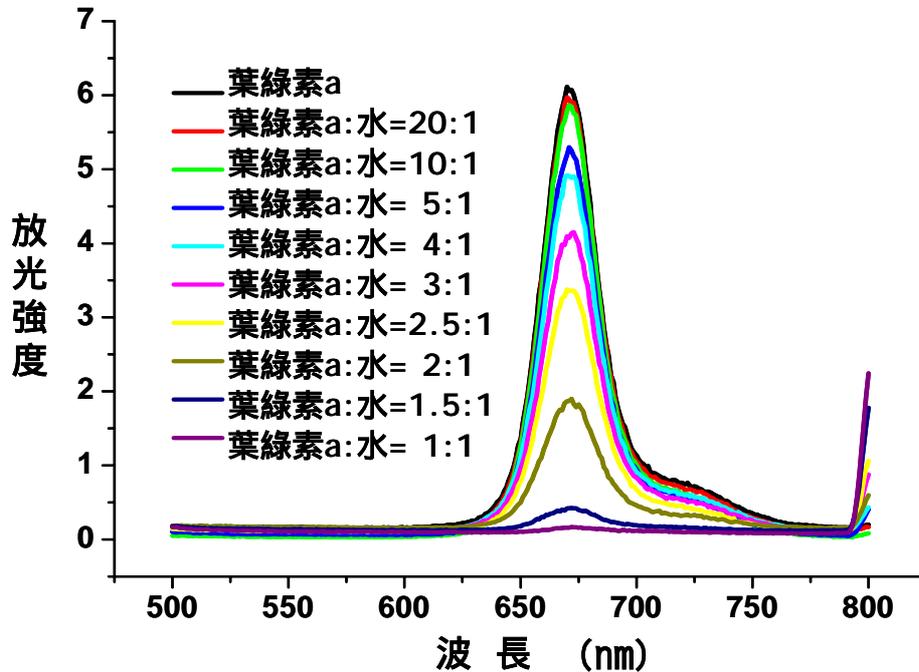


圖 19、第 2 區層析物於甲醇溶液中，加入不同體積比例純水所測得之放光光譜

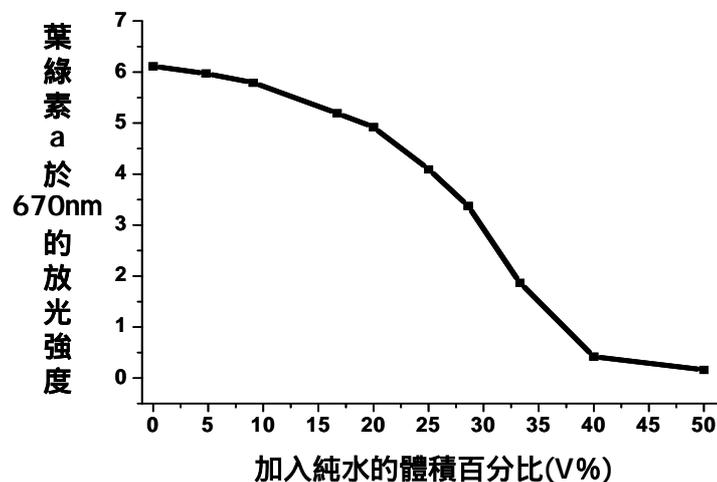


圖 20、第 2 區層析物於甲醇溶液中，於 670nm 放光強度對加入純水的體積百分比關係圖

(三)、含有  $\text{Cd}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Hg}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  金屬離子的甲醇溶液分別加入第 2 區的葉綠素溶液，經過照射紫外光處理及測量其紫外-可見光電子吸收光譜和放光光譜後，結果可以歸納成三組，如下：

1.  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Hg}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Cd}^{2+}$

加入這四種金屬離子的甲醇溶液後，經紫外光照射，利用肉眼觀察的結果，並無任何放光強度減弱的現象（結果如圖 21 所示），另外，紫

外-可見光電子吸收光譜（見圖 22）以及放光光譜（見圖 23）。

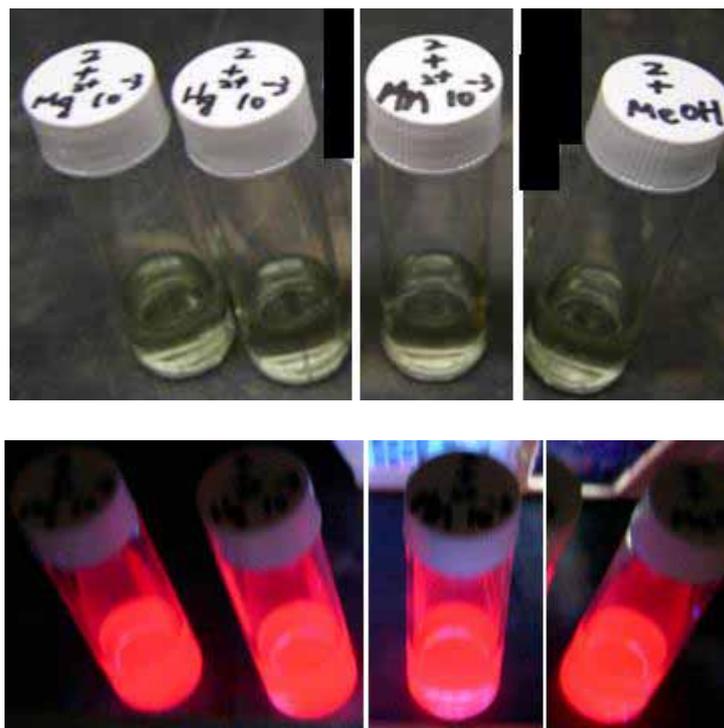


圖 21、上圖：第 2 區層析物： $Mg^{2+}$ 或 $Hg^{2+}$ 或 $Mn^{2+}$ 或甲醇=1：1 溶液照光前；  
下圖：照光後的結果

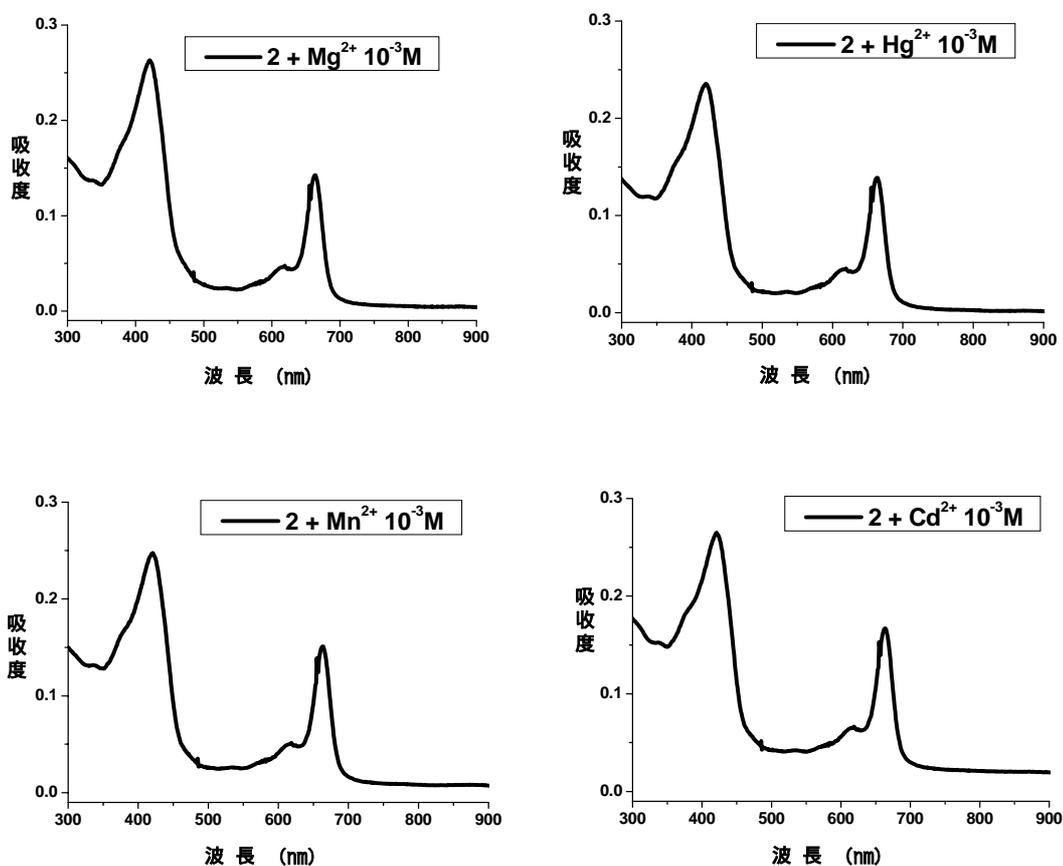


圖 22、第 2 區層析物： $Mg^{2+}$ 或 $Hg^{2+}$ 或 $Mn^{2+}$ 或 $Cd^{2+}$ =1：1 於甲醇中的電子吸收光譜

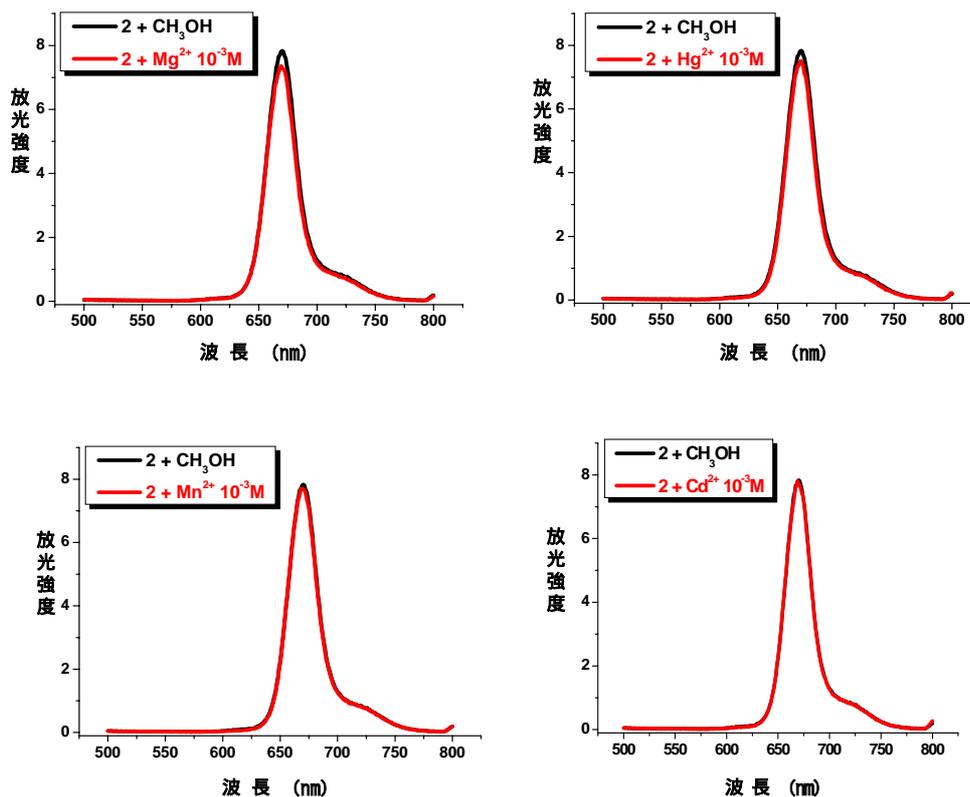


圖 23、第 2 區層析物：甲醇或  $Mg^{2+}$  或  $Hg^{2+}$  或  $Mn^{2+}$  或  $Cd^{2+} = 1 : 1$  於甲醇中的放光光譜

綜合電子吸收光譜及放光光譜的結果可知， $Mg^{2+}$ 、 $Hg^{2+}$ 、 $Mn^{2+}$ 、 $Cd^{2+}$  等金屬離子對葉綠素 a 的螢光幾乎不會產生影響。

## 2. $Fe^{3+}$

在加入  $Fe^{3+}$  離子的甲醇溶液，經過紫外光照射後，利用目視觀察的結果，發現到放光強度非常明顯減弱（結果如圖 24 所示），另外，紫外-可見光電子吸收光譜（見圖 25）以及放光光譜（見圖 26）。

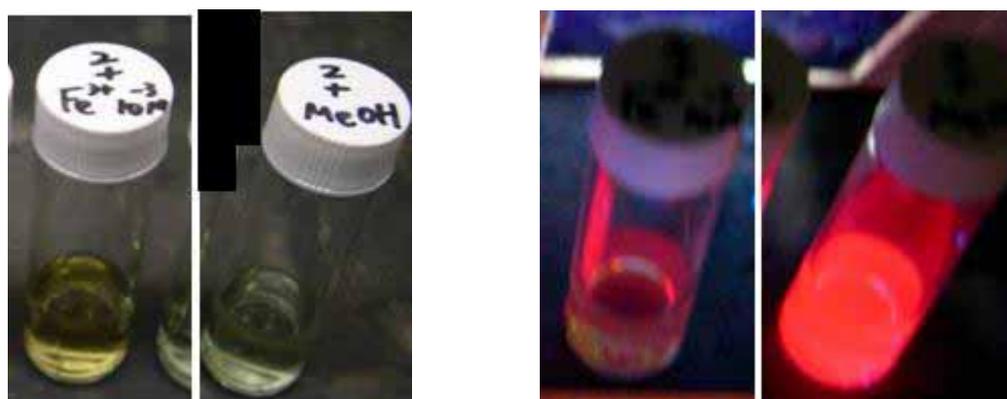


圖 24、左圖：第 2 區層析物： $Fe^{3+}$  或 甲醇 = 1 : 1 溶液照光前；  
右圖：照光後的結果

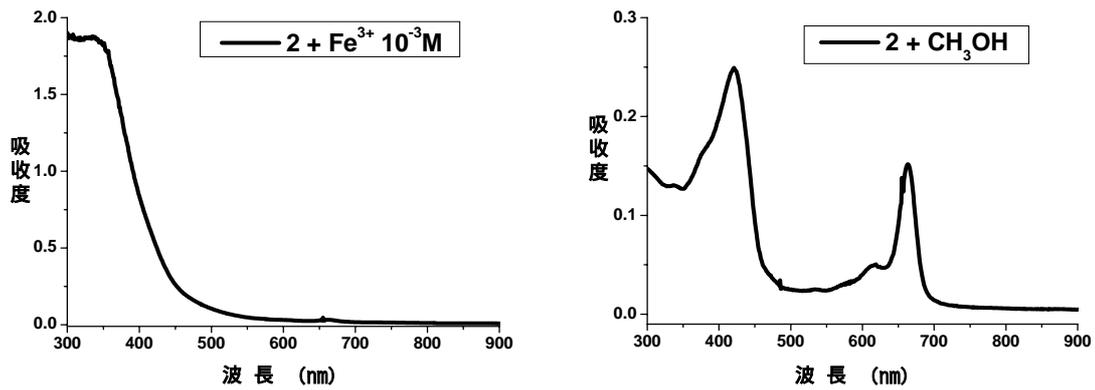


圖 25、左圖：第 2 區層析物： $\text{Fe}^{3+} = 1 : 1$  於甲醇中的電子吸收光譜  
右圖：第 2 區層析物：甲醇 = 1 : 1 於甲醇中的電子吸收光譜

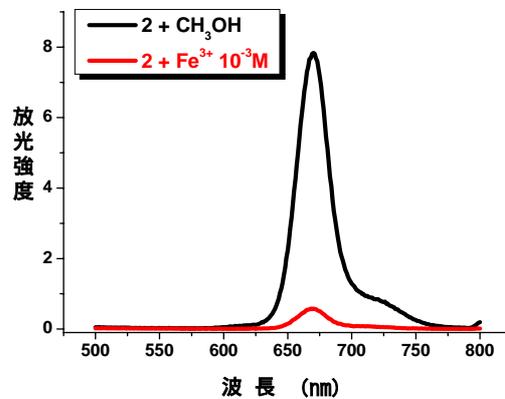


圖 26、第 2 區層析物：甲醇或  $\text{Fe}^{3+} = 1 : 1$  於甲醇中的放光光譜比較

會造成放光強度減弱的關係是因為我們在測量放光光譜時，是利用波長 400nm 的光來激發，由電子吸收光譜的圖形可知，在對照組的電子吸收光譜，於波長 400nm 的吸收度約只有 0.2，而加入  $\text{Fe}^{3+}$  離子之後不但其吸收峰會有明顯的改變，且在波長 400nm 的吸收度變大為 0.83，造成了激發光幾乎都被  $\text{Fe}^{3+}$  離子溶液吸收掉，導致原先第 2 區放光強度減弱的結果。

### 3. $\text{Cu}^{2+}$

加入  $\text{Cu}^{2+}$  離子的甲醇溶液，發現到此溶液並不像先前我們所知  $\text{Cu}^{2+}$  離子於水中會呈現藍色的結果，此現象甚為奇特。接著，將其經過紫外光照射後，利用目視觀察的結果，其放光強度並無明顯減弱（結果如圖 27 所示），同時我們也測量了紫外-可見光電子吸收光譜（見圖 28）以及放光光譜（見圖 29）。

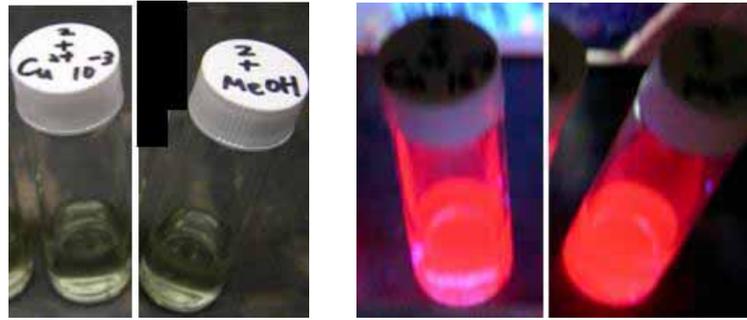


圖 27、左圖：第 2 區層析物： $\text{Cu}^{2+}$ 或甲醇=1：1 溶液照光前；  
右圖：照光後的結果

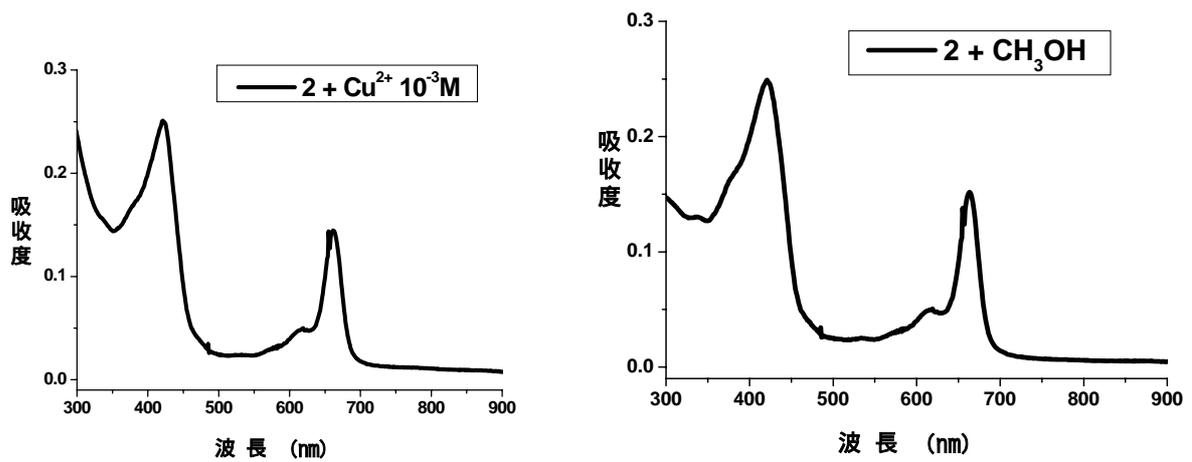


圖 28、左圖：第 2 區層析物： $\text{Cu}^{2+}$ =1：1 於甲醇中的電子吸收光譜  
右圖：第 2 區層析物：甲醇=1：1 於甲醇中的電子吸收光譜

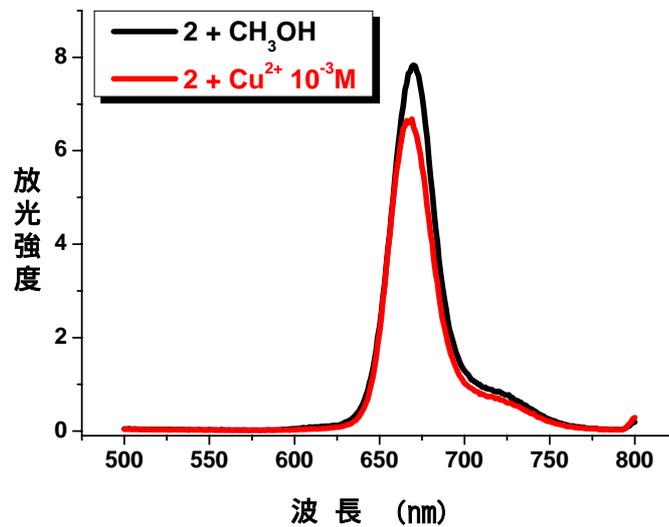


圖 29、第 2 區層析物：甲醇或 $\text{Cu}^{2+}$ =1：1 於甲醇中的放光光譜比較

可發現到加入  $\text{Cu}^{2+}$  離子的溶液和對照組兩者之電子吸收光譜，不論是波形或吸收度皆非常相似，不過在測量放光光譜時，便發現到放光強度有些許的下降，造成此現象的原因可能為所謂的「重原子效應」，當螢光物

質與一些較重的原子放在一起，經過較強能量光線照射後，被激發的電子可能會造成自旋方向改變，不以放出螢光的形式回到基態，而是以另外一種途徑回到基態，導致觀察到之螢光強度會有減弱的現象。

#### 四、自製趣味隱形葉綠素螢光墨水

(一)、將萃取之葉綠素汁液，滴入適量丙酮稀釋，使其外觀呈現淡綠色，最好達到如圖 30 一般的外觀。



圖 30、利用 90%丙酮水溶液萃取的菠菜葉綠素汁液，加丙酮稀釋之理想濃度

(二)、我們準備毛筆吸取稀釋後之葉綠素汁液，在圓形濾紙上書寫文字，待溶劑乾燥後，接著觀察這些寫了文字的濾紙，在日光燈下以及在黑暗中用紫外線照射的結果如圖 31。

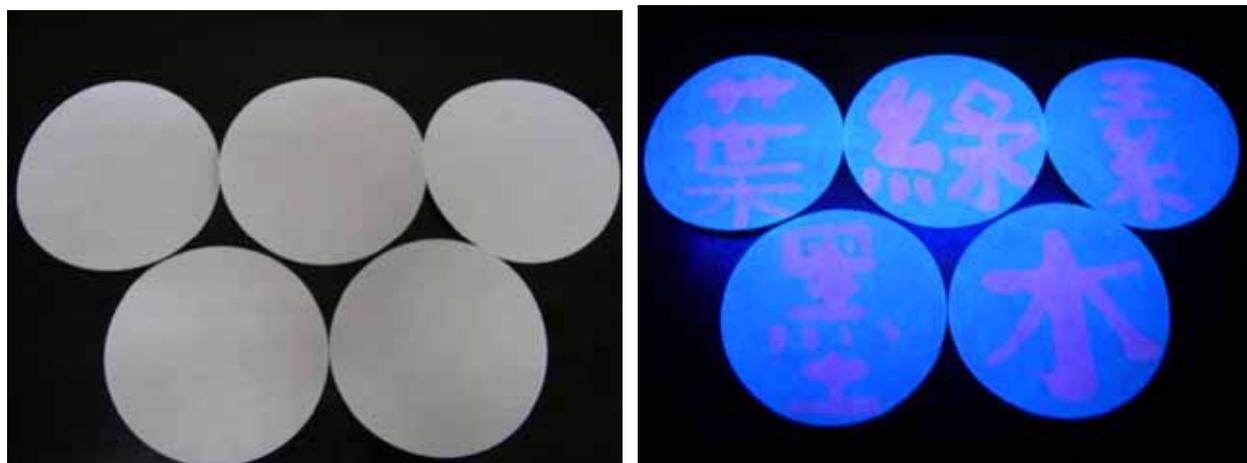


圖 31、左圖：隱形葉綠素螢光墨水於濾紙上，照射日光燈  
右圖：在黑暗中照射紫外光的結果

由圖 31 可發現到，利用此隱形葉綠素螢光墨水，不但可以用作趣味教學，甚至可以用來作為一些機密文件的用途，於平常的光線下是無法觀察到任何文字或圖案，經過紫外線照射後，紙上所要表達的內容便一覽無遺，如此有趣的結果，不但兼具了環保，更有其教學價值以及商業利益呢。

#### 柒、結論：

一、菠菜葉可以經由很簡易的濾紙層析法來分離，不過由電子吸收光譜的測量結果發現，此方法並沒有辦法能夠徹底純化出葉綠素 b、葉綠素 a、葉黃素、氧化(脫鎂)

的葉綠素 a、胡蘿蔔素。

- 二、我們大略分離出來這五個成分經過紫外光照射後，葉綠素 b、葉綠素 a、葉黃素、氧化(脫鎂)的葉綠素 a 會呈現出橘紅色的螢光，而胡蘿蔔素會發出藍色螢光。
- 三、在將水加入葉綠素 a 的實驗中，經過照射紫外光，發現到其螢光強度隨著水的比例變高而減弱。
- 四、將金屬離子加入葉綠素 a 的實驗中，經過照射紫外光以及電子吸收光譜、放光光譜的觀察與測量後，結論可分為三部分：
  - (一)、加入  $Mg^{2+}$ 、 $Hg^{2+}$ 、 $Mn^{2+}$ 、 $Cd^{2+}$  離子到含葉綠素 a 的甲醇溶液中，並不會使螢光有減弱的現象。
  - (二)、加入  $Fe^{3+}$  離子時，螢光會有大幅減弱的現象，因為在以波長 400nm 為激發光源時，大部分的光源會被  $Fe^{3+}$  離子溶液吸收掉，導致葉綠素 a 無法吸收足夠的光源，而有放光強度明顯減弱的現象。
  - (三)、加入  $Cu^{2+}$  離子時，螢光會有小幅減弱的現象，可能的原因為所謂的「重原子效應」，導致觀察到之螢光強度會有減弱的現象。
- 五、自製趣味隱形葉綠素螢光墨水，將萃取之葉綠素汁液，滴入適量丙酮稀釋後，使用毛筆吸取汁液，可在紙上書寫文字，待溶劑乾燥後，可以觀察到其在一般光線下，看不出有任何筆跡，不過，在黑暗中照射紫外光，即可看出紙上所要表達的內容，如此有趣的結果，不但兼具了環保，更有其教學價值以及商業利益。

#### 捌、未來發展：

- 一、可以研發出更好的分離方法來分離光合色素，以期得到純度較高的葉綠素成分。
- 二、可再尋找一些溶液提供質子( $H^+$ )的溶劑來驗證，是否葉綠素 a 的螢光消失，真的是因為結構中的氮原子被質子化的原因所造成。
- 三、可再尋找更多可以溶於甲醇的金屬鹽類來進行此研究，以期能夠發現更多具有重原子效應，而造成葉綠素螢光減弱的金屬離子。
- 四、可再思考如何將自製趣味隱形葉綠素螢光墨水，發展出更實用的用途。

#### 玖、參考資料：

- 一、Arnon, D., M. Allen, and F. Whatley 1954 photosynthesis by isolated Chloroplasts. Nature 174:394.
- 二、Arnon, D. 1967 Photosynthetic phosphorylation. Facts and concepts. In Goodwin T. W.(ed.) Biochemistry of chloroplast. New York. Academic Press.
- 三、<http://www.yzu.edu.cn/bmweb/sbc/basic1/ph/chapter4/4-2.htm> (2007/2/12)
- 四、龍騰版 高三上 生物 教師手冊 P.73
- 五、[www.csghs.tp.edu.tw/student/90science/c/c\\_4.htm](http://www.csghs.tp.edu.tw/student/90science/c/c_4.htm) (2007/2/14)
- 六、龍騰版 高三上 生物 P.74、P.90~91
- 七、活用高三生物精通(上) 林元露 編著 華達出版社
- 八、國立嘉義大學園藝學系植物生理學實驗
- 九、[http://www.sinphar.com/medical/no32/medical\\_01.html](http://www.sinphar.com/medical/no32/medical_01.html) (2007/3/5)

**【評語】** 040204 深思熟「綠」才會螢-葉綠素螢光的探討

本作品以萃取的葉綠素，探測其吸收及放光光譜，並且觀察水溶液中添加金屬離子的影響，工作態度積極用心，四位同學分工合作皆能參與，雖然對最後研究的臨門一腳，只有初步觀察，但是共同合作的精神，建議頒最佳團隊合作獎。