

# 新竹市第四十四屆中小學科學展覽會作品說明書

## 作品說明書

科 別：生活與應用科學(二)

組 別：甲組

作品名稱：「光」有所蹤-天然螢光記號材料之發光與降解研究

關 鍵 字：葉綠素、螢光、薑黃

編號：

## 摘要

本研究探討天然植物色素作為環境友善螢光材料的可行性，並分析不同環境因素對其螢光表現與穩定性的影響。研究以薑黃素與葉綠素為對象，從溫度、光照時間、氧化作用及酸鹼值（pH）四個面向進行實驗，比較其螢光強度變化與衰減情形。結果顯示，兩種色素的螢光強度皆會隨溫度升高與照光時間增加而下降，其中薑黃素在高溫及長時間照光下仍能維持較高亮度，整體穩定性優於葉綠素。氧化實驗顯示薑黃素無論在有氧或無氧環境下皆維持相同的螢光強度。酸鹼實驗則發現葉綠素在鹼性環境中螢光較強且較穩定，在強酸環境下幾乎失去螢光能力。綜合結果顯示，天然植物色素具有低成本與可自然分解的優點，具發展為環境友善短期螢光標記材料的潛力。

## 壹、前言

螢光材料因能被特定波長光源激發並產生可視訊號，已廣泛應用於生物醫學影像、環境監測、防偽辨識與農業示蹤等領域。然而，目前常用的螢光材料多為人工合成染料或含重金屬的量子點，不僅製作成本較高，部分材料也可能對環境造成負擔，限制其在自然環境中的應用。

相較之下，天然植物中的色素，如薑黃素與葉綠素，具有良好的光吸收與螢光放射能力，且來源容易取得、可自然分解，具有發展為環境友善螢光材料的潛力。然而，這類天然螢光物質在不同環境條件下的發光效率與穩定性仍缺乏系統性的研究。

因此，本研究以薑黃素與葉綠素為代表性天然螢光分子，透過調整環境條件，分析其螢光強度變化與持續時間，並探討其在自然環境中的降解行為，希望找出影響螢光表現的重要因素。

本研究期望建立一種低成本且環境友善的天然螢光系統，作為未來戶外短期標記技術的基礎，例如山難搜救路徑標示或生態調查中的暫時性定位記號，並提供未來相關應用研究的參考。因此，為了解天然螢光劑的性質，我們提出以下研究目的：

- 一、分析不同溫度條件對薑黃素與葉綠素螢光表現的影響
- 二、分析不同光照時間對薑黃素與葉綠素螢光衰減的影響
- 三、分析氧化作用對薑黃素螢光性質的影響
- 四、分析不同 pH 環境對葉綠素螢光表現的影響
- 五、綜合實驗結果，初步評估天然螢光劑作為戶外短期標記材料的可行性

## 貳、研究設備及器材

### 一、材料

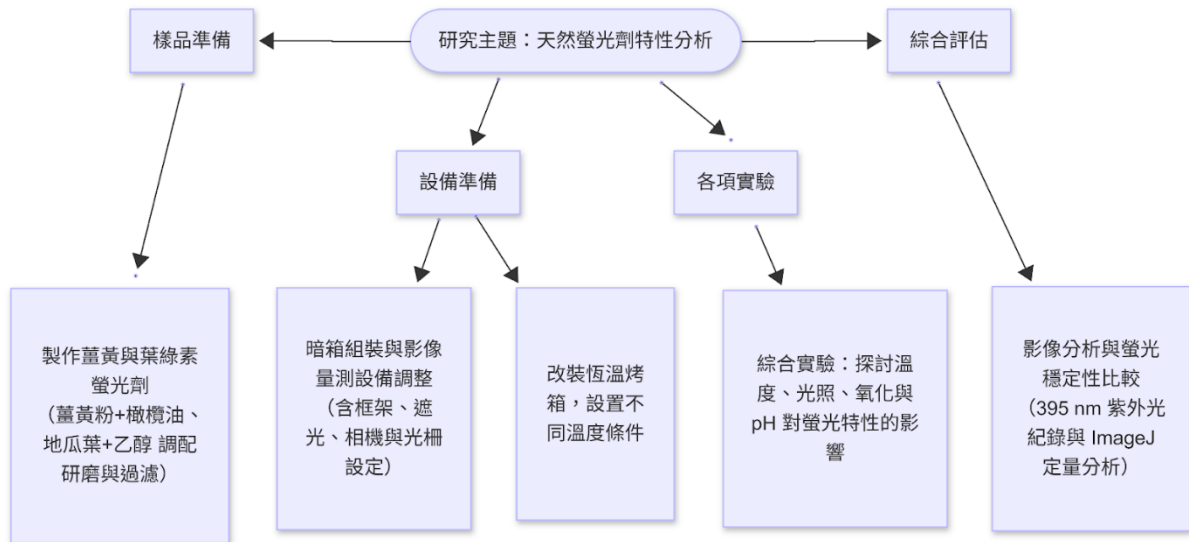
薑黃粉	地瓜葉片	橄欖油	95%乙醇	鹽酸(2M)	氫氧化鈉水 溶液(2M)	蒸餾水
						

表一 研究材料

### 二、主要器材

1. 鋁擠型框架
2. 500cm x 500cm 黑色遮光布
3. 600 線光柵
4. 單眼相機組
5. 1mm 美國黑色卡紙
6. 真空脫泡機
7. 395uv 燈管
8. 紅外線測溫槍
9. 自製恆溫烤箱

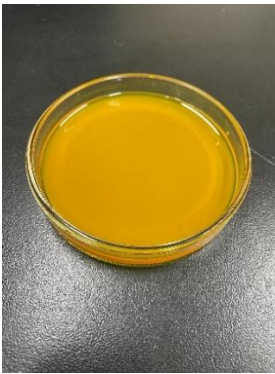
## 參、研究過程及方法



### 一、製作天然螢光劑

#### 1. 薑黃螢光劑

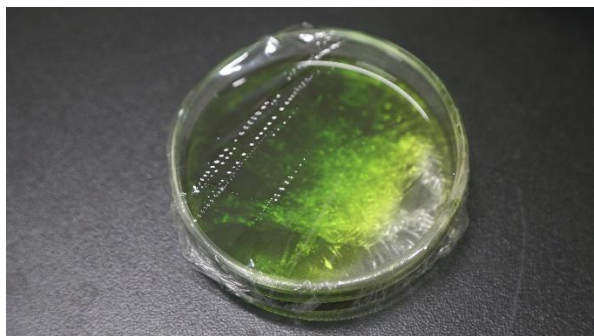
在調配樣品時，使用相同品牌的薑黃粉與橄欖油，並固定薑黃粉與橄欖油的比例 1:10。每次皆使用相同大小與材質的培養皿，並以相同方式攪拌使其均勻混合，再靜置 10 分鐘。(如圖一)



圖一 調製好的薑黃樣品

## 2.葉綠素螢光劑

將地瓜葉片撕碎後，以 1：10 的比例加入乙醇進行研磨，直到溶液呈現深綠色，靜置於冰箱 1 天，使葉綠素充分析出，再將溶液過濾後倒入相同大小的培養皿中。為避免乙醇快速揮發，培養皿上方需覆蓋保鮮膜，同時在製備樣品時使用相同來源的地瓜葉與 95%乙醇(如圖二)。



圖二 調製好的葉綠素樣品

### 二、暗箱與拍攝設備準備

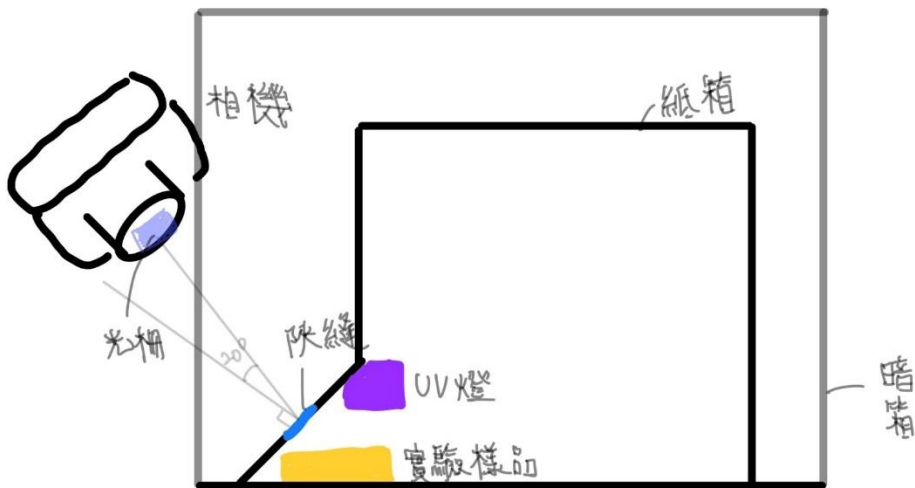
- 1.使用鋁擠型支架組裝成一個長 64 cm、寬 44 cm、高 32 cm 的框架，作為整體實驗設備的支撐基礎。
- 2.將紙箱放入框架中，裁短兩處長邊與一處短邊。將剩餘的一處短邊加工成斜坡構造，並於斜坡處預留開孔(如圖三)。
- 3.用 1mm 美國黑色卡紙，以美工刀裁切出寬度為 1mm 的狹縫，固定於紙箱斜坡的開口處。
- 4.在相機鏡頭前貼上光柵片
- 5.調整相機位置，使相機中軸線與狹縫平面呈現 20 度夾角(如圖五)。此角度為前期測試所得之最佳觀測角，能讓光譜位於相機正中間(如圖六)。
- 6.在框架四周覆蓋黑色遮光布。



圖三 箱子與暗箱的相對位置固定



圖四 箱子與暗箱的拍攝位置固定



圖五 暗箱拍攝實驗裝置圖



圖六 光柵成像測試照

#### 如何得知夾角 20 度:

在相機鏡頭前貼上光柵片，作為簡易光譜觀測裝置。接著拍攝頭頂的日光燈管，並調整相機位置，使日光燈的成像位於畫面中央(如圖六)，計算出相機觀測方向與光源之間的夾角，以確認拍攝角度與光路方向是否符合實驗需求，並作為後續光譜觀測裝置調整的參考依據。

### 三、改裝恆溫烤箱

為了能更精準地控制溫度，我們使用了 PID 溫控器來取代烤箱原本的溫控器

#### 名詞解釋:

P(比例):溫度差越大，加熱越強

I(積分):修正長時間的誤差

D(微分):預測溫度變化，減少震盪

### 1.將烤箱內部風扇獨立接線

重新配置風扇電源線路，使風扇不受原溫控系統影響，能持續運轉，以促進箱內熱空氣循環，使溫度分布更均勻。

### 2.拆除原有機械式溫控裝置，改裝為 PID 溫控系統

移除原本的溫控器，改由 PID 溫度控制器控制加熱元件，使溫度變化更穩定，減少溫度震盪，達到精準控溫的目的(如圖八)。

### 3.加裝 PID 專用溫度感測器

將溫度感測器安裝於烤箱內適當位置，並連接至 PID 控制器，即時偵測箱內溫度，作為調整溫度的依據。



圖七 改裝後的烤箱



圖八 PID 溫控器

## 實驗一、分析不同溫度條件對薑黃素與葉綠素螢光表現的影響

### 1.樣品準備

將已製備完成之薑黃素螢光劑與葉綠素螢光劑分別取等量，置入培養皿中。

### 2.溫度條件設定

本實驗設置八種溫度條件：

(1)10 °C（冰箱環境）

(2)20 °C（室溫環境）

(3)30 °C、40 °C、50 °C、60 °C、70 °C、80 °C（恆溫烤箱）

各溫度條件皆放置一組薑黃樣品與一組葉綠素樣品，同時進行處理，以確保比較基準一致。

### 3.恆溫處理

將樣品置於對應溫度環境中維持 6 小時，使螢光劑在固定溫度下接受相同時間的熱影響。處理期間避免開關烤箱，以維持溫度穩定。

### 4.螢光量測

加熱時間結束後，立即將樣品取出並放入暗箱，在相同位置與距離下，以 395 nm 紫外光燈照射樣品，並使用固定拍攝參數之相機進行影像紀錄。

### 5.資料分析

將拍攝影像匯入影像分析軟體 image j，擷取螢光區域亮度數值，比較不同溫度條件下螢光強度變化，並分析其隨溫度上升之趨勢。

## 實驗二、分析不同光照時間對薑黃素與葉綠素螢光衰減的影響

### 1.樣品準備

將已製備完成之薑黃素螢光劑與葉綠素螢光劑分別取等量，置入培養皿中。

### 2.光照條件設定

將樣品置於暗箱內，以波長 395 nm 紫外光燈作為固定光源持續照射。紫外光燈與樣品距離固定，照射角度保持垂直，以確保各樣品接受相同光照強度。

### 3.光照時間處理

樣品在持續光照下放置，以不同累積照光時間作為觀測條件，並於實驗期間避免移動樣品位置。

### 4.螢光影像紀錄

每間隔 24 小時，將樣品維持在原位置進行拍攝紀錄。相機之所有拍攝設定皆固定，以確保不同時間點的影像可直接比較。

### 5.資料分析

將影像匯入影像分析軟體 image j，選取相同區域量測螢光亮度值，比較螢光強度隨照光時間增加之變化情形，分析其耐光性與衰減趨勢。

### 實驗三、分析氧化作用對薑黃素螢光性質的影響

#### 1.樣品準備

將已製備完成之薑黃素螢光劑取等量置入培養皿中。

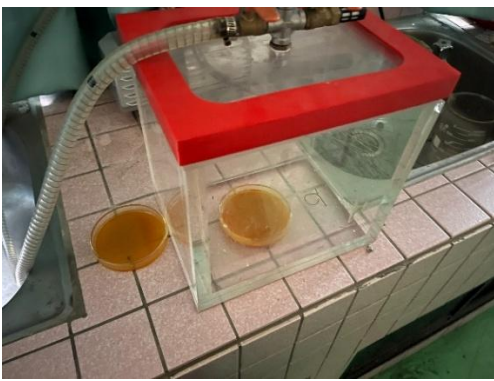
#### 2.環境條件設定

本實驗設置兩種環境條件，以比較氧氣存在與否對螢光的影響：

(1)無氧組：將樣品置入真空箱中抽氣，使箱內氧氣量降低，並保持密閉狀態。

(2)有氧組：將樣品置於一般空氣環境中，作為對照組(如圖九)。

兩組樣品皆以黑布遮光保存，並放置於相同溫度環境，以避免光照與溫度成為干擾變因。



圖九 左邊:有氧組 右邊:無氧組

#### 3.靜置處理

樣品於上述條件下持續放置，期間不任意開啟容器，以維持各組環境狀態穩定，使薑黃素在不同氧氣條件下自然變化。

#### 4.螢光影像紀錄

於 30 天後取出樣品，在暗箱中以 395 nm 紫外光燈照射，並使用固定拍攝參數進行影像紀錄。

#### 5.資料分析

將影像匯入影像分析軟體 image j，量測相同區域之螢光亮度，比較有氧與無氧條件下螢光強度的衰減情形，以評估氧化作用對螢光穩定性的影響。

## 實驗四、分析不同 pH 環境對葉綠素螢光表現的影響

### 1. 樣品準備

將已製備完成之葉綠素螢光劑取等量，分別置入五個培養皿中，確保各組樣品初始條件一致。

### 2. pH 條件配置

使用鹽酸溶液與氫氧化鈉溶液調整水溶液酸鹼值，配置成五種不同 pH 條件：pH 3、pH 5、pH 7、pH 9、pH 11。

以廣用試紙確認酸鹼值後，將 5mL 之各 pH 溶液分別加入葉綠素螢光劑樣品中，使其在不同酸鹼環境下作用。

### 3. 靜置與保存條件

各組樣品置於相同溫度環境並以黑布遮光保存，避免光照造成額外影響，使實驗主要比較 pH 對螢光的影響。

### 4. 螢光影像紀錄

每隔 24 小時將樣品取出，在暗箱中以 395 nm 紫外光燈照射，並以固定拍攝參數進行影像紀錄，完成後放回原環境繼續觀察。

### 5. 資料分析

將影像匯入影像分析軟體 image j，量測相同區域之螢光亮度值，比較不同 pH 條件下螢光強度的變化與衰減趨勢，以探討酸鹼環境對葉綠素螢光穩定性的影響。

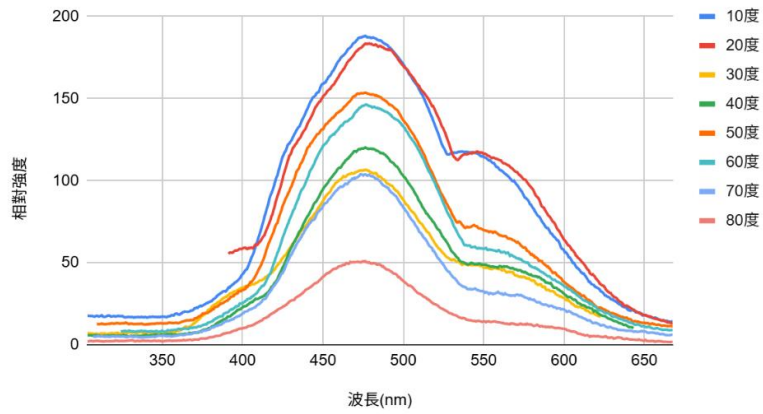
## 肆、研究結果

### 一、分析不同溫度條件對薑黃素與葉綠素螢光表現的影響

#### 實驗 1-1 薑黃素在不同溫度環境下之螢光光譜演變分析

本研究探討薑黃素於不同溫度條件（10°C - 80°C）下的螢光光譜變化（量測波長範圍約 400 nm ~ 700 nm）(如圖十)

不同溫度薑黃素之螢光光譜



圖十 不同溫度薑黃素之螢光光譜

10 度	20 度	30 度	40 度
50 度	60 度	70 度	80 度

表二 不同溫度薑黃素之拍攝樣本照

(一) 螢光波峰分佈與穩定性

1. 波峰位置的穩定性

在所有實驗溫度範圍內（10°C 至 80°C），薑黃素的主要螢光波峰皆穩定出現在 約 530 - 550 nm 區間，未因溫度改變而產生明顯位移。

## 2.未出現紅移或藍移現象

光譜結果顯示，升溫並未造成波峰向長波長或短波長移動，代表溫度變化並未改變薑黃素的電子能階結構，也未生成新的螢光物質。因此，溫度主要影響的是發光效率，而非發光種類。

## (二)螢光強度的溫度敏感性變化

### 1.螢光強度與溫度呈現明顯負相關

隨著溫度逐步升高，螢光強度呈現規律且持續下降的趨勢，顯示薑黃素對溫度變化具有高度敏感性。

### 2.低溫環境（10°C）表現最佳

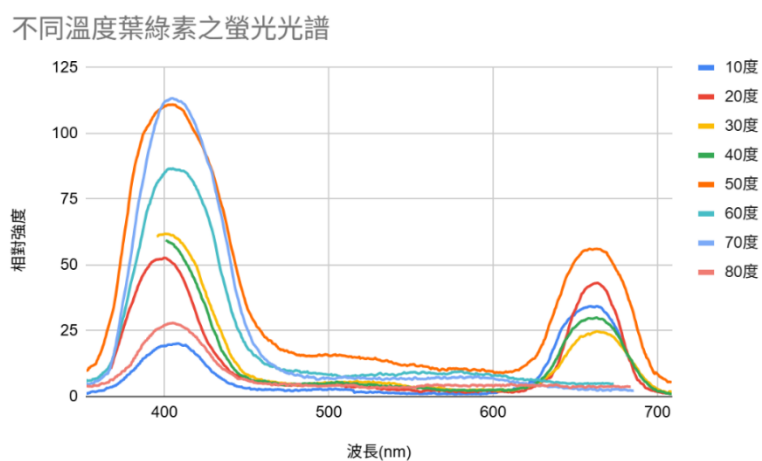
在 10°C 時量測到最強螢光訊號，強度接近 200 單位，顯示低溫條件下分子結構較穩定，能有效以螢光形式釋放能量。

### 3.高溫環境（80°C）螢光大幅衰減

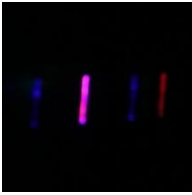
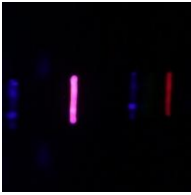
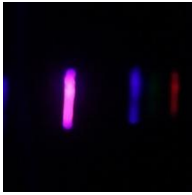
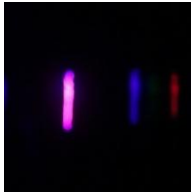
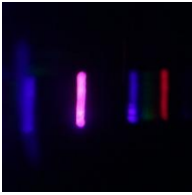
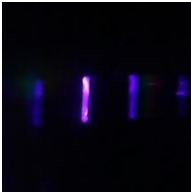
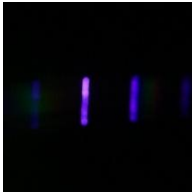
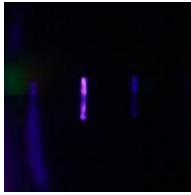
當溫度升至 80°C 時，螢光強度降至僅約 20 - 30 單位，相較於低溫時衰減超過 85%，顯示高溫會顯著降低其發光能力。

## 實驗 1-2 葉綠素在不同溫度環境下之螢光光譜演變分析

本研究探討葉綠素於不同溫度條件（10°C - 80°C）下的螢光光譜變化（量測波長範圍約 400 nm ~ 700 nm）（如圖十一）



圖十一 不同溫度葉綠素之螢光光譜

10 度	20 度	30 度	40 度
			
50 度	60 度	70 度	80 度
			

表三 不同溫度葉綠素之拍攝樣本照

(一)波峰分布情形:

在本實驗所量測的光譜中，可於約 400 nm（紫光區）與約 680 nm（紅光區）觀察到兩處明顯波峰。

(二)光譜位置與葉綠素特性的比對:

查閱相關植物生理學資料可知葉綠素受到激發後，其典型螢光放射波段應位於紅光區，本實驗所觀察到的部分訊號卻位於 350 nm~450 nm，與葉綠素真正的螢光特性並不相符。推測此訊號為樣本保鮮膜反射出的紫外光，並進行驗證。

400 nm 波峰形狀與變化模式異常，其波峰形狀尖銳且頻寬極窄，且未隨溫度呈現漸進式變化，顯示其來源並非分子螢光。

綜合實驗條件推測，此訊號應為光源照射至保鮮膜表面所產生的物理反射，導致在約 400nm 處形成假性波峰，此現象屬於物理反射訊號，而非葉綠素本身的發光現象。

### (三) 螢光強度的溫度敏感性變化

600 - 650 nm 區段呈現一致的溫度反應規律，在此區段內，各溫度組別展現一致的變化趨勢：

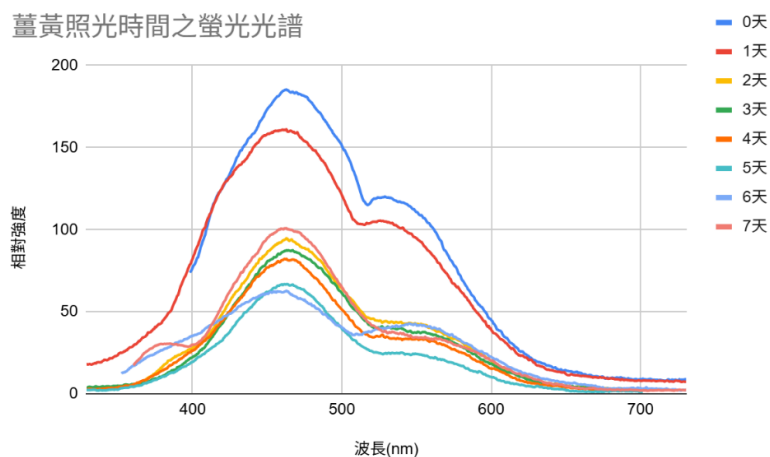
1. 溫度愈低（10°C），螢光強度愈高、曲線上升愈陡。
2. 溫度愈高（80°C），強度明顯下降、曲線趨於平緩。這種隨溫度連續變化的現象符合生物分子的熱效應，而非隨機光學干擾。

由數據可知，葉綠素對熱極為敏感。在 10°C 至 40°C 之間，600-650 nm 的降幅尚稱穩定，但當溫度超過 50°C 後，此區間的訊號強度出現斷層式的變化，這顯示了在此溫度以上，葉綠素與複合蛋白質物質的穩定性可能已經惡化。

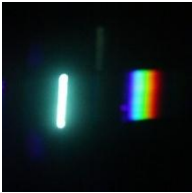
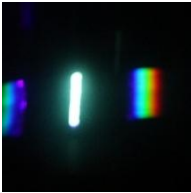
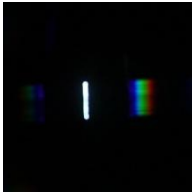
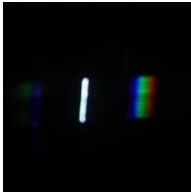
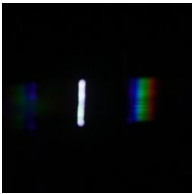
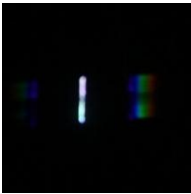
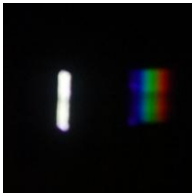
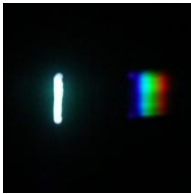
## 二、分析不同光照時間對薑黃素與葉綠素螢光衰減的影響

### 實驗 2-1 薑黃素在不同光照時間的螢光光譜演變分析

本實驗量測薑黃素樣本在連續照光 0~7 天之螢光光譜（量測波長範圍約 400 nm~700 nm）(如圖十二)



圖十二 薑黃照光時間之螢光光譜

0 天	1 天	2 天	3 天
			
4 天	5 天	6 天	7 天
			

表四 薑黃照光時間之拍攝樣本照

### (一) 螢光波峰分佈:

#### 1. 光譜特徵與波長範圍:

薑黃樣本的螢光光譜呈現單一明顯主峰，螢光訊號自約 450 nm 開始上升，主要集中於 500~600 nm，並在 700 nm 附近逐漸趨於平緩，顯示其發光位於可見光綠光至黃光區域。

#### 2. 最高峰位置的穩定性:

無論照光時間長短，主要螢光波峰皆穩定落在 約 530 - 550 nm 之間，表示產生螢光的核心分子其基本發光能階並未因短期光照而產生明顯改變。

#### 3. 未出現明顯紅移或藍移現象:

實驗中波峰位置大致維持固定，顯示光照主要造成的是分子數量減少、濃度降低，而非生成大量具有不同發光波長的新物質，因此光降解屬於結構破壞型反應，而非轉化為其他螢光產物。

### (二) 螢光強度隨照光時間之變化

#### 1. 整體呈現隨時間遞減的趨勢

隨著照光天數增加，螢光強度大致呈現規律性下降，顯示薑黃中的螢光成分對光具有高度敏感性。

#### 2. 初始狀態 (第 0 天)

未照光樣本具有最高螢光強度 (接近 200 單位)，代表薑黃素分子完整且活性最佳。

### 3.快速衰減期（第 1~3 天）

在照光初期，螢光強度明顯下降：

(1)第 1 天即出現顯著落差，至第 3 天時，強度約降至初始值的一半左右。

此階段顯示光能已快速破壞部分分子結構，為典型的光降解初期反應。

### 4.趨緩衰減期（第 4~6 天）

之後螢光強度仍持續下降，但速率變慢，推測剩餘分子多為較不易被分解的部分，整體反應進入較穩定的降解階段。

### 5.第 7 天強度出現回升現象之原因分析

原始觀測中，第 7 天的螢光強度並未持續下降，反而出現局部回升。經重新檢視實驗條件後發現，此現象並非化學性恢復，而是與樣本螢光分佈不均勻有關。

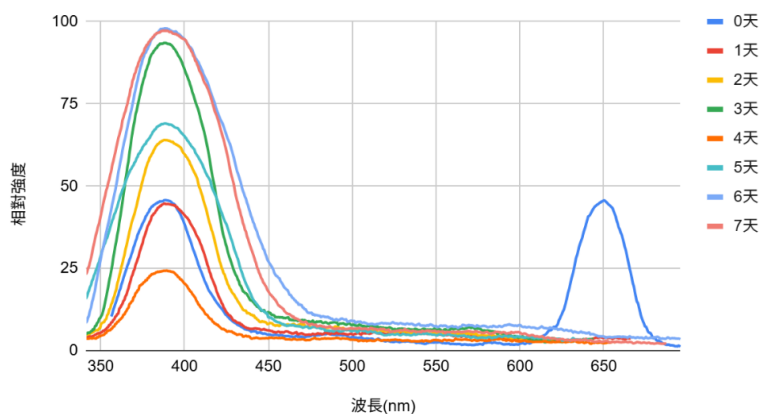
薑黃粉末與其萃取物中，螢光物質的分散並不完全均一，不同區域可能存在濃度較高的「亮區」與較暗的區域。在第 7 天量測時，研究者將螢光最強的區域對準儀器狹縫，使偵測到的訊號集中於高強度位置，因此造成量測值上升。

此結果說明:該回升屬於量測取樣位置差異造成的物理性變化，並不代表薑黃素濃度或結構出現再生現象。

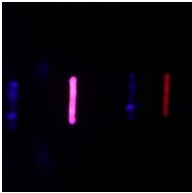
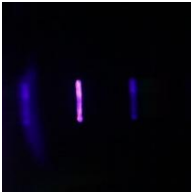
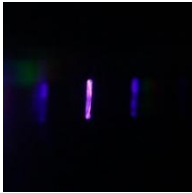
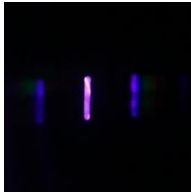
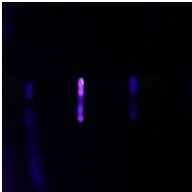
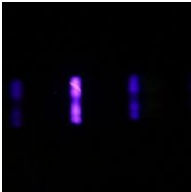
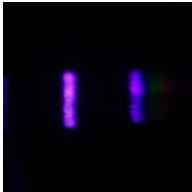
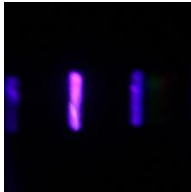
## 實驗 2-2 葉綠素在不同光照時間的螢光光譜演變分析

本實驗量測葉綠素樣本在連續照光 0~7 天之螢光光譜（量測波長範圍約 400 nm~700 nm）(如圖十三)

葉綠素照光時間之螢光光譜



圖十三 葉綠素照光時間之螢光光譜

0 天	1 天	2 天	3 天
			
4 天	5 天	6 天	7 天
			

表五 葉綠素照光時間之拍攝樣本照

**(一)波峰分布情形:**

螢光訊號主要集中於 350 nm~450 nm 的紫光與近紫外光區域，根據先前之驗證，在排除 400 nm 附近的假性波峰後，觀察到在 600~650nm 的紅光區域也在第 0 天出現明顯峰值。

**(二)螢光強度隨照光時間下降:**

隨著照光天數增加，僅發現 650nm 處在第 0 天有明顯峰值，隨後在 1 天至 7 天的過程中螢光波峰皆趨於平緩，顯示葉綠素螢光在第 1 天時就出現斷層式的下降。

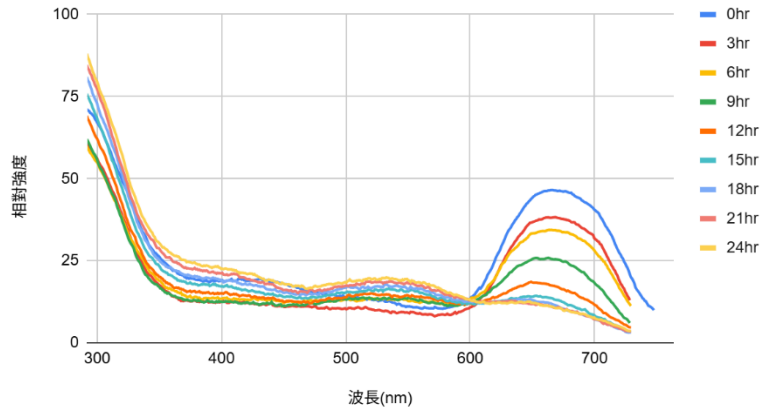
**(三)葉綠素螢光之持久度:**

由光譜圖中 600~650 nm 波段之訊號變化可觀察到，葉綠素螢光強度在照光後短時間內即明顯下降，顯示其螢光持續時間僅有 1 天。此結果與長時間紫外光照射造成葉綠素分子結構光降解及螢光猝滅有關，反映葉綠素對高能量光源具有較低的光穩定性，因此我們將觀察時間縮短至 1 天。

**實驗 2-3 葉綠素在 1 天中的螢光光譜變化分析**

本實驗量測葉綠素樣本在連續光照下，每 3hr 之螢光光譜(量測波長範圍約 300nm~800nm)(如圖十四)

葉綠素照光時間之螢光光譜-2



圖十四 葉綠素照光時間之螢光光譜

0hr	3hr	6hr	9hr
12hr	15hr	18hr	21hr
24hr			

表六 葉綠素照光時間之拍攝樣本照

## (一)波峰分布情形

螢光訊號主要集中於 300 nm~400 nm 的紫光與近紫外光區域，根據先前之驗證，在排除 400 nm 附近的假性波峰後，觀察到在 680nm 的紅光區域開始有明顯幅動。

## (二)螢光強度照光時間下降

根據 0 - 24 小時連續照光實驗的結果，可明顯觀察到葉綠素螢光的快速衰減現象。

### 1.初始狀態 (0 hr)

在實驗開始時，650 - 700 nm 區域出現明顯且高度集中的螢光峰值，顯示葉綠素分子處於完整且活性最高的狀態。

### 2.衰減過程 (3 - 12 hr)

隨著光照時間增加 (3 hr、6 hr、9 hr、12 hr)，680 nm 附近的波峰高度逐漸下降，曲線整體強度明顯降低。

### 3.24 小時狀態 (24 hr)

當照光時間達 24 小時時，原本明顯的螢光波峰已大幅減弱並趨於平緩，強度僅剩初始值的一小部分。

## (三)與實驗 2-2 之比較

將上述結果與 0 - 7 天長時間實驗的光譜數據進行比較，可以進一步驗證葉綠素螢光衰退的時間特性。

### 1.第一天波峰的斷層式下降

從圖表中可清楚觀察到 0 天至 1 天之間的螢光強度出現最大落差。此變化與 24 小時光照實驗的結果一致，顯示葉綠素螢光主要衰減發生在第一天之內。

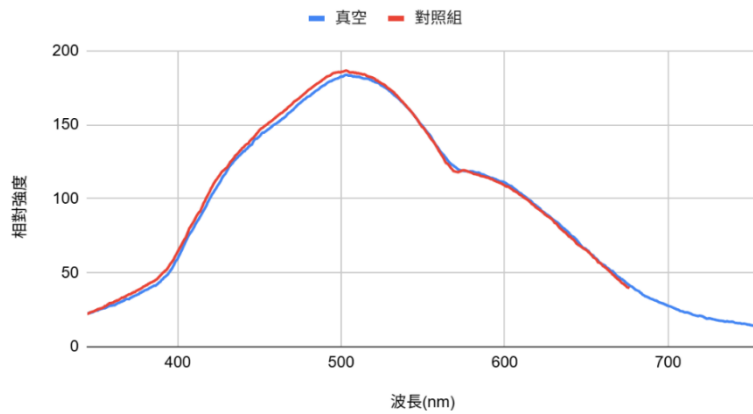
### 2.後續趨勢 (第 2 天至第 7 天)

自第 2 天起至第 7 天，600 nm 以上區域的光譜曲線幾乎完全貼近基線。這代表在經過 24 小時光照後，大部分具有螢光活性的葉綠素已被消耗或降解，後續時間僅剩少量殘餘訊號。

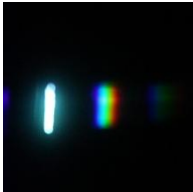
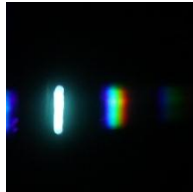
## 三、分析氧化作用對薑黃素螢光性質的影響

本實驗量測薑黃樣本在真空環境與含氧環境兩種條件下的螢光光譜變化(量測波長範圍約 400nm~700nm)，以評估氧化是否會影響其螢光特性與穩定性。(如圖十五)

氧化對薑黃影響之螢光光譜



圖十五 氧化對薑黃影響之螢光光譜

真空	對照組(含氧)
	

表七 薑黃在真空與含氧環境下之拍攝樣本照

### (一) 螢光波峰分布情形

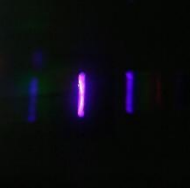

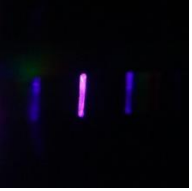
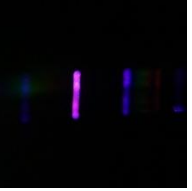
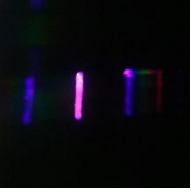
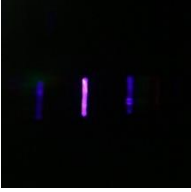
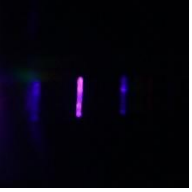
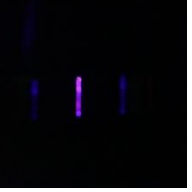
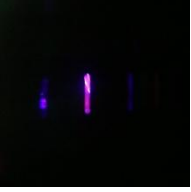
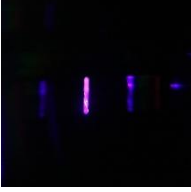
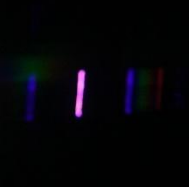
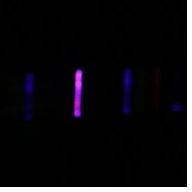
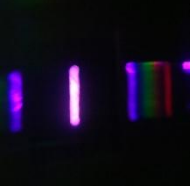
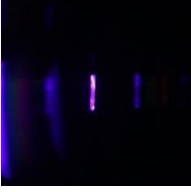
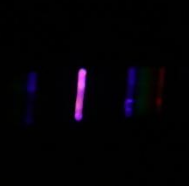
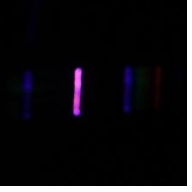
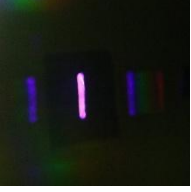
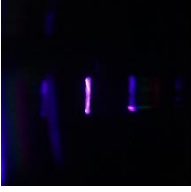

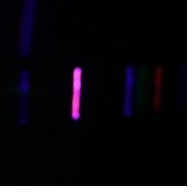
兩組樣本的螢光訊號均在約 450 nm 開始明顯上升，並在 530 – 550 nm 區間形成主要峰值。此波段為薑黃素類化合物的典型螢光發射區域，結果顯示無論樣本是否接觸氧氣，其螢光發射波長與光譜特徵皆維持穩定。

### (二) 螢光強度表現一致

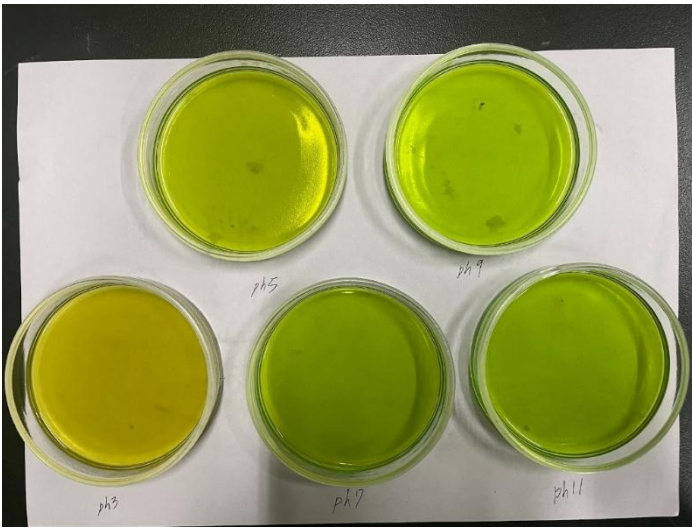
在 400 nm 至 700 nm 的觀測波長範圍內，真空組與暴露於空氣中的樣本，其螢光光譜曲線幾乎完全重疊，整體形狀與變化趨勢高度一致，最高螢光強度均接近 200 單位。兩組樣本在整個光譜區域中未出現明顯分離或偏移現象，顯示氧氣環境並未改變薑黃萃取液的發光行為。

#### 四、分析不同 pH 環境對葉綠素螢光表現的影響

本實驗量測葉綠素樣本在 pH3、5、7、9、11 之螢光光譜（量測波長範圍約 400 nm～700 nm）(如圖十七、十八、十九、二十)排除 400 nm 附近的假性波峰後，主要的生物螢光訊號從 600 nm 處開始爬升，並在 650 nm 至 700 nm 之間形成顯著的波峰

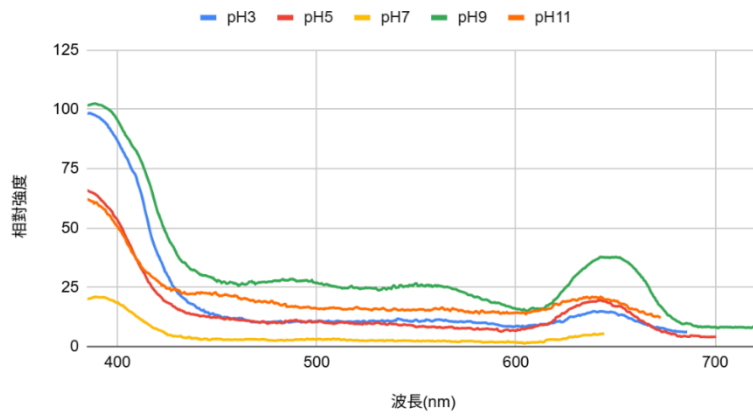
w \	0 天	1 天	2 天	3 天
pH3				
pH5				
pH7				
pH9				
pH11				

表八 葉綠素不同 pH 值之實驗樣本照



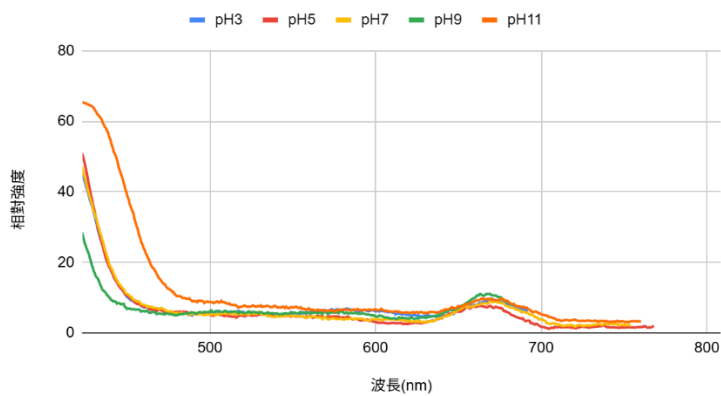
圖十六 葉綠素不同 pH 值之實驗過程

不同pH值葉綠素之螢光光譜(避光放置0天)



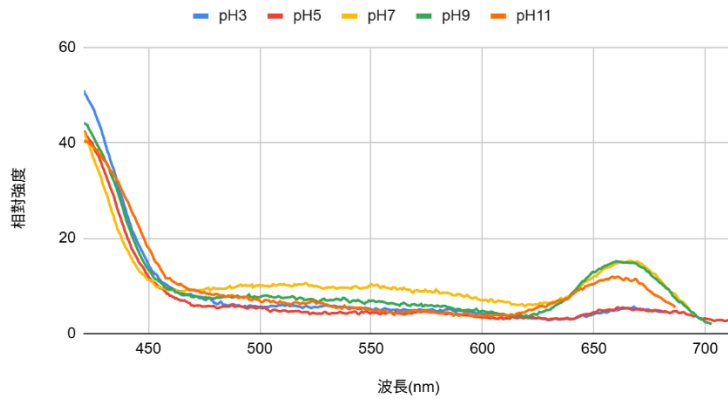
圖十七 葉綠素不同 pH 值放置 0 天

不同pH值葉綠素之螢光光譜(避光放置1天)



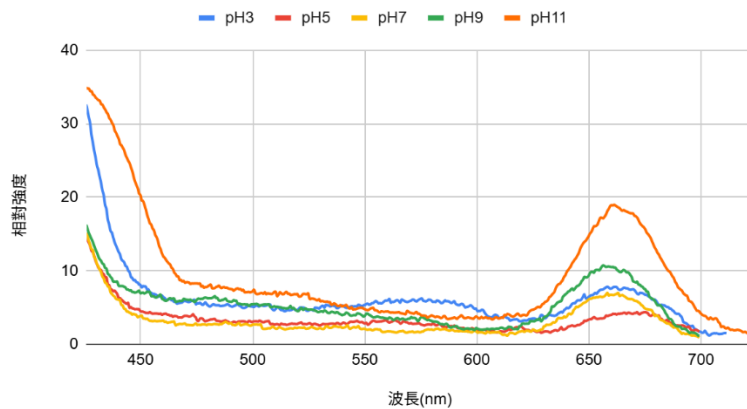
圖十八 葉綠素不同 pH 值放置 1 天

不同pH值葉綠素之螢光光譜(避光放置2天)



圖十九 葉綠素不同 pH 值放置 2 天

不同pH值葉綠素之螢光光譜(避光放置3天)



圖二十 葉綠素不同 pH 值放置 3 天

### (一)螢光強度與 pH 值之關係:

在 600 - 700 nm 波段內，各組樣本的螢光強度隨溶液 pH 值提高而逐漸增強，呈現近似正相關的變化情形。

1.pH 11 與 pH 9:螢光曲線上升幅度最大、整體訊號最強，顯示在鹼性環境下葉綠素能維持良好的發光能力。

2.pH 7 與 pH 5 :可觀察到螢光訊號，但強度明顯低於鹼性條件，表示接近中性或微酸環境時，葉綠素的發光效率已有部分下降。

3.pH 3:此區域幾乎偵測不到明顯螢光，曲線接近基線，顯示強酸環境會大幅抑制葉綠素的螢光反應。

此結果說明溶液酸鹼度會直接影響葉綠素分子的發光效率，且酸性越強，螢光衰減越明顯。

## (二)各 pH 值的持久性趨勢觀察:

### 1.初始螢光強度 (第 0 天)

在實驗開始階段，觀察 680 nm 附近的特徵波峰 可發現：

- (1) pH 11、pH 9 的螢光訊號最強。
- (2) pH 7 的螢光強度次之，約為 pH11、pH9 的一半左右。
- (3) pH 5 表現較低，而 pH 3 幾乎沒有可偵測的螢光訊號。

這顯示在初始階段，鹼性環境有利於葉綠素保持高螢光活性，而酸性環境則會抑制螢光生成。

### 2.螢光強度衰減速率 (第 1 至第 3 天)

#### (1) pH 11、pH 9

雖然螢光強度隨時間逐漸下降 (第 0 天約 125 單位 → 第 3 天約 60 單位)，但下降曲線平緩，始終保持全組中最高強度，顯示其結構穩定性及螢光持久性最佳。

#### (2) pH 7、pH 5

螢光衰減速度明顯較快。第 1 天時，pH 7 的強度已明顯低於 pH 9；至第 3 天，其波峰明顯變得平滑，強度大幅下降。

#### (3) pH 3

從第 0 天開始至第 3 天，螢光強度始終維持極低值或無訊號，顯示強酸對葉綠素螢光活性具有立即且不可逆的破壞作用。

### 3.持久性表現

綜合四天數據觀察，可看出，鹼性環境下葉綠素能有效延緩螢光衰減，而酸性環境則會迅速降低其發光能力。

## 伍、討論

### 一、環境因素對天然螢光的影響

#### (一) 溫度的影響

從實驗結果可以發現，不論是薑黃素或葉綠素，當溫度升高時，螢光亮度都會變暗。根據文獻探討，這種現象稱為「熱猝滅效應」(百度百科, 2016)，意思是溫度越高，晶格振動越劇烈，進而增加電聲相互作用，使激發態能量更容易經由多聲子非輻射弛豫方式耗散，導致螢光強度與壽命下降。

其中，根據圖十以及圖十一，葉綠素在超過 50°C 後亮度下降特別明顯，大約從 50 單位降至趨近平緩，表示它的結構對高溫較敏感；薑黃素雖然也會變暗，但下降速度較慢，在 80 度時仍有 50 單位的強度，代表它的耐熱性較佳。

## (二)光照時間的影響

在紫外光持續照射下，兩種螢光物質都會隨時間變暗，表示光會慢慢破壞分子的結構，這種現象稱為「光漂白」，指出螢光劑在長時間光照或高強度雷射照射下，可能因化學反應導致螢光分子失去發光能力，造成螢光強度逐漸降低 (Lin et al., 2024)。

1.根據圖十二，薑黃素約在照光 3 天後仍保有一半亮度，代表耐光性較好。

薑黃的主要螢光成分為薑黃素，其分子結構包含兩個芳香環與中央的共軛雙鍵系統



，此結構具高度光敏感性，容易因吸收光能而被破壞，導致螢光強度降低。研究亦指出，薑黃素在紫外光或可見光照射下會發生光化學分解並產生如 vanillin (香草醛)與 ferulic acid (阿魏酸)等降解產物 (Tonnesen & Karlsen, 1985; Wang et al., 1997)

2.根據圖十三，葉綠素在照光不到 1 天內就明顯變暗，近乎沒有波動，表示對強光非常敏感。根據文獻探討，紫外光與持續光照會導致葉綠素分子發生不可逆的光降解，並形成去鎂葉綠素等降解產物 (Rad. Phys. Chem., 2017)

## (三)氧化的影響

圖十五顯示，無論樣本是否處於真空環境或暴露於空氣中，薑黃素的螢光光譜皆在 530 - 550 nm 附近出現主要波峰，且兩組光譜曲線幾乎完全重疊，螢光強度也接近 200 單位。這表示氧氣的存在並未明顯改變薑黃素的螢光發射波長或強度。此結果推測，在本實驗的時間與環境條件下，氧氣並未對薑黃素分子的發光特性造成顯著影響。

文獻指出，薑黃素的降解主要與光照與溫度等能量因素相關，而在一般空氣環境下，其化學結構在短時間內仍具有一定穩定性 (Waet al., 1997)。且薑黃素溶於油中，氧化反應往往首先影響的是油脂分子本身的氧化，而不是立即破壞薑黃素的分子結構，在短時間內即使樣本暴露於空氣中，氧氣可能主要與油脂發生氧化反應，對溶解於油相中的薑黃素影響較小，因此螢光光譜並未出現明顯變化。因此，本研究觀察到真空組與空氣組之螢光光譜高度重疊的現象，與文獻所指出的薑黃素在短時間氧氣暴露下仍保持穩定的特性相符。

## (四)酸鹼值 (pH) 的影響

本實驗結果顯示，葉綠素在 600 - 700 nm 波段內的螢光強度會隨溶液 pH 值提高而增加。在鹼性條件下，樣本的螢光訊號最強，並在約 680 nm 形成強度約 40 單位的波峰；而在中性或弱酸環境時，螢光仍可被觀察，但整體強度明顯降低，強度僅 20 單位；當環境為強酸時，幾乎無法偵測到螢光訊號。這表示溶液的酸鹼度會影響葉綠素分子的發光效率，且酸性越強，螢光衰減越明顯，而此現象可能與葉綠素的去鎂反應有關。

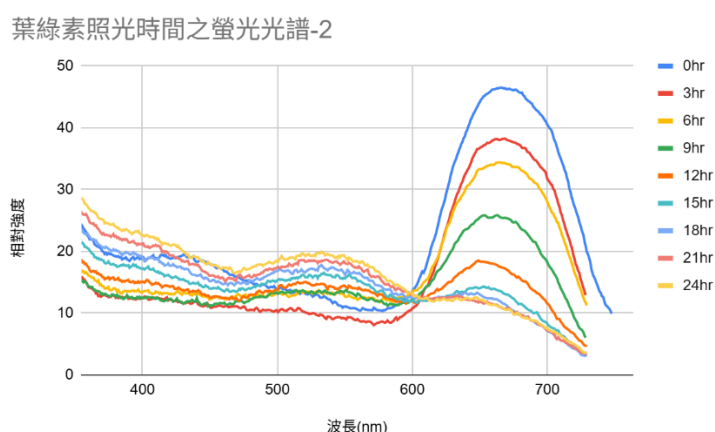
文獻指出，葉綠素分子的中心含有鎂離子，此金屬離子對於維持葉綠素的分子結構與光學特性非常重要。在酸性環境下，溶液中的氫離子容易與葉綠素反應，使中央的鎂離子被取代，形成去鎂葉綠素。此結構轉變會破壞原本的電子能階，使葉綠素的螢光與吸光能力大幅降低 (Taiz et al., 2015)。

另一方面，本實驗的持久性觀察也顯示，在鹼性環境中葉綠素的螢光衰減速度較慢。從第 0 天至第 3 天，鹼性環境的樣本雖然出現逐漸下降的趨勢，但整體強度仍維持在各組最高。相對地，中性與弱酸環境的樣本螢光下降較快，強度 1 天約降至原本的一半，而強酸組則幾乎沒有可觀測訊號。相關研究也指出，葉綠素在酸性條件下較容易發生化學降解，而在接近中性或弱鹼環境中，其分子結構相對穩定 (Gross, 1991)。因此，本研究觀察到鹼性條件下螢光較強且持久的現象，與文獻所描述的葉綠素化學穩定性趨勢一致。

## 二、實驗誤差的辨識與修正

### (一)假性波峰的發現

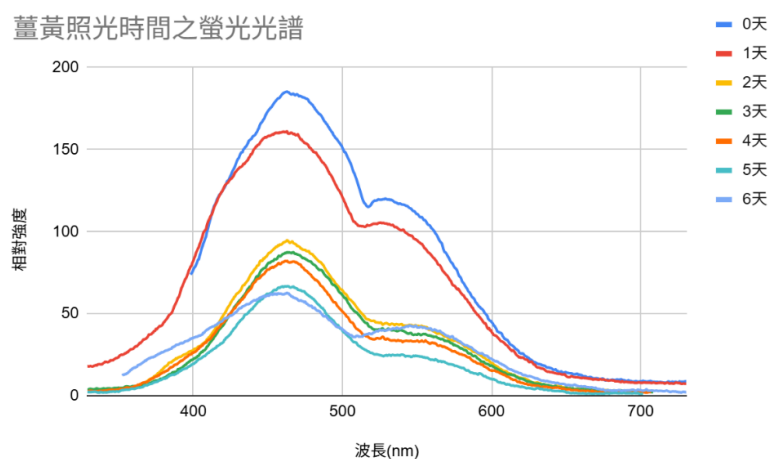
在葉綠素的光譜中，約 400 nm 出現尖銳波峰，但後來發現這不是葉綠素的螢光，而是保鮮膜反射紫外光所造成的假訊號，此現象在所有葉綠素的光譜圖皆能觀察出，無論是何種變因，紫光區的波峰皆呈現不規則的變化。因此，我們將圖表稍作修改，將紫光區的螢光波峰擷取掉，以利往後分析(如圖二十一)。



圖二十一 葉綠素照光時間之光譜

## (二)數據異常的原因分析

在圖十二，可發現薑黃素在第 7 天出現亮度回升，經檢查發現是因為樣品分布不均，而非化學反應導致的亮度回升。在第 7 天量測時因研究者旋轉裝有樣本的培養皿，而讓分布不均的薑黃剛好將較亮的區域對準狹縫，導致數據圖產生異常的變化。但從第 0 天至第 6 天的數據依然能觀察出薑黃隨著照光時間增長，螢光逐漸下降，因此，我們可將容易造成誤導的數據進行去除(如圖二十二)。



圖二十二 薑黃照光時間之螢光光譜

## 陸、結論

1. 薑黃素與葉綠素的螢光強度都會隨溫度升高而降低，在 10°C 時最亮，在 80°C 時最暗。表示高溫會使螢光分子較不穩定。
2. 長時間紫外光照射會讓兩種天然螢光逐漸衰減。
3. 薑黃素約 3 天後仍可觀察到明顯螢光。
4. 葉綠素不到 1 天即明顯變暗。顯示薑黃素的耐光性較佳。
5. 薑黃萃取液的螢光特性對於一般環境中的氧氣並不敏感。在常溫常壓條件下，樣本即使暴露於空氣中，其螢光光譜形狀、波峰位置及強度皆未出現顯著變化。
6. 葉綠素在鹼性環境下螢光最強且較持久；在強酸環境下會迅速失去發光能力。顯示酸鹼值是影響葉綠素穩定性的重要因素。

7.根據以上結果，我們可以做出圖表以方便進行綜合評估。

	溫度	照光	氧化	pH 值
薑黃	低溫發光佳 高溫發光弱	耐光較佳，3 天 後仍有螢光	並未造成影響	
葉綠素		耐光較差，僅 1 天螢光變降解		鹼性環境發光佳 中性環境發光中 酸性環境發光弱

8.實際應用可行性評估:

本研究經綜合評估後發現，薑黃素具有較佳的耐光性與耐熱性，發光表現相對穩定，較適合應用於短期戶外標記，例如山區路徑標示等情境；而葉綠素對光線與酸性環境較為敏感，但在鹼性環境下具有較佳表現，因此較適合用於極短期或夜間的應用情境。然而，本研究僅為初步探討，受限於研究時間與設備條件，相關實驗仍有許多可進一步深入的方向。未來若有機會，可透過更完整的實驗設計與更精密的測量設備，進一步探討不同環境條件對天然螢光劑發光特性的影響。期望能更清楚了解天然螢光物質的穩定性與應用潛力，使其在環境友善材料或戶外標記等領域中具有更實際的應用價值。

## 柒、參考文獻

1. 烤箱改造-機械溫控改 PID 溫控 <https://post.smzdm.com/p/aqmgm52v/>
2. Why does Turmeric glow under black light?<https://www.youtube.com/watch?v=g17psiRwN5s&t=242s>
- 3.阿簡生物筆記 imagej 教學  
[https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=213&v=7yJ\\_1tCVxew&embeds\\_referring\\_euri=https%3A%2F%2Fa-chien.blogspot.com%2F&source\\_ve\\_path=MzY4NDIsMzY4NDIsMjM4NTE](https://www.youtube.com/watch?time_continue=213&v=7yJ_1tCVxew&embeds_referring_euri=https%3A%2F%2Fa-chien.blogspot.com%2F&source_ve_path=MzY4NDIsMzY4NDIsMjM4NTE)
4. Lanfer-Marquez, U. M., Barros, R. M. C., & Sinnecker, P. (2005). *Antioxidant activity of chlorophylls and their derivatives. Food Research International*, 38(8 - 9), 885 - 891.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.02.012>
5. 百度百科. (2016). 熱猝滅. 取自  
<https://baike.baidu.com/item/%E7%86%B1%E7%8C%9D%E6%BB%85/55960216>

- 6.Lin, Y.-S., Chen, H.-Y., & Yang, Y.-P. (2024). *Fluorescence photobleaching and recovery of fluorescein sodium in carbomer film*. *RSC Advances*, *14*, 3841 – 3844. <https://doi.org/10.1039/D3RA08718B>
- 7.Wang, Y. J., Pan, M. H., Cheng, A. L., et al. (1997). *Stability of curcumin in buffer solutions and characterization of its degradation products*. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, *15*, 1867 – 1876.
- 8.Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development*. Sinauer Associates.
- 9.Gross, J. (1991). *Pigments in Vegetables: Chlorophylls and Carotenoids*. Van Nostrand Reinhold.
- 10.Telfer, A. (2017). *Singlet oxygen production by PSII under light stress: Mechanism, detection and the protective role of  $\beta$ -carotene*. *Plant & Cell Physiology*. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0969806X16307927>
- 11.Maxwell, K., & Johnson, G. N. (2000). *Chlorophyll fluorescence—A practical guide*. *Journal of Experimental Botany*, *51*(345), 659 – 668. <https://doi.org/10.1093/jxb/51.345.659>
- 12.螢光淬滅. (n.d.). In *Wikipedia*. Retrieved March 2, 2026, from <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%8D%A7%E5%85%89%E6%B7%AC%E7%81%AD>
- 13.蘇裕昌 (Su, Y.-C.) . (2015). 界面活性劑的基礎及應用. *漿紙技術*, *19*(1), 1 – 25.
- 14.紫外線. (n.d.). In *Wikipedia*. Retrieved November 4, 2025, from <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%B4%AB%E5%A4%96%E7%BA%BF>
- 15.Milanick, M. A. (2011). *Fluorescence using turmeric*. *Journal of Chemical Education*, *88*(3), 259 – 260. <https://doi.org/10.1021/ed1007603>