

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高級中等學校組 化學科

050210

焦焦碳點，洋蔥之中一烤洋蔥碳點之性質分析

學校名稱：國立臺東女子高級中學

作者：  高二 李欣容  高二 王昱婷  高二 紀懿恩	指導老師：  高榮成
---	------------------

關鍵詞：生物成像、螢光奈米碳點、洋蔥

## 摘要

本研究主要探討三個部分：如何從有機物中取得碳點、此碳點在不同條件中的穩定性比較，以及碳點的應用。

結果顯示，一般的食物（如本實驗用的洋蔥）能透過烘烤的方式，由燒焦處沖刷下具有親水性的碳點（簡稱洋蔥碳點），這樣的碳點在紫外光照下會激發出藍色螢光，可穩定的分散於水溶液中。探討不同環境對碳點螢光強度的影響時，我們發現洋蔥碳點在 NaCl 溶液濃度 0 到 1.0 M 之間、紫外光照射 0 到 60 分鐘之間、pH 值 3.0 到 8.0 之間有良好的穩定性。碳點的螢光特性可應用在生物顯影與金離子檢測中。前者結果顯示，洋蔥碳點與細胞混合後，在紫外光照下可清楚描繪出細胞輪廓；後者可透過螢光淬滅的程度與金離子濃度做出回歸直線圖，以線性方程式即可求得金離子濃度。

## 壹、研究動機

在高中基礎化學二課本中，我們學習過由燃燒烴類，再拿玻璃板或紙張放在火源上燻烤，即可得到約為奈米大小的碳粒子。最明顯的特徵是，這些留在平面上的黑色痕跡具有疏水性。經過文獻的探討，我們發現若欲研究其他碳奈米性質，須加入介面活性劑，讓碳點穩定的分散於水溶液中，才能進行下一步測量。這樣的實驗步驟過於繁瑣，因此我們想在生活中是否能找到一種碳點（奈米等級碳粒子），是具有親水性，不必再加入介面活性劑就可以直接在水溶液中實驗測量的。生活中的有機物大多以醣類、蛋白質、脂質組成，這些物質都具有含碳的骨架，而且能在食物中尋得。因此我們決定將研究主題設定為如何從食物中取得碳點，並加以研究所得碳點的性質，再進一步將其應用在不同領域中，以發揮其特性。

## 貳、研究目的

- 一、 是否可從有機物中取出碳點
- 二、 分析碳點溶液在不同條件下的穩定性及基本性質檢測
- 三、 探討如何充分發揮碳點特性，將碳點應用於不同領域

## 參、文獻探討

### 一、 碳點的由來

從「碳點的製備與應用研究進展」一文中可知，2004年，科學家 Scriven 等人在提煉純以電弧放電法製備的單壁碳奈米管時，意外地分離出了碳量子點。

### 二、 碳點的基本性質

1. 碳點是以碳為骨架，尺寸小於 10 奈米的類球型奈米顆粒。
2. 在紫外光照射下可發出螢光。
3. 化學穩定性高。
4. 生物毒性低、生物相容性高。

### 三、 碳點的應用

碳點多應用於以下三方面：

1. 細胞成像：碳點具有許多優點，包括良好的光學性能和光化學穩定性，水溶性好，且基本無毒、環境友好。因此，在醫學上可以用於細胞成像。（目前文獻報導的碳點一般發藍色可見光，不太適用於生物應用，且需要複雜的後處理和昂貴的設備和試劑。）
2. 催化：由於碳點自身的結構特殊，與其紫外吸收和光電效應，使其在一些化學反應中表現出了催化活性。
3. 感測：藉由碳點與特定的分析物作用後，會造成碳點本身螢光的變化，檢測特定分析物的濃度。

### 四、 製造碳點的方法

1. 化學消融法：通過強氧化性的酸對碳進行氧化處理製備碳點。
2. 電化學法：以碳棒作為工作電極製備，但原材料前期處理的工作及後期純化所需透析等步驟繁瑣耗時。

3. 雷射光消蝕法：通過雷射光束對碳靶進行照射消蝕，將碳奈米顆粒從碳靶上剝落下來，以獲得碳點。但其缺點為主要儀器昂貴、合成過程複雜、產率低與雜質多。
4. 微波法：將有機化合物以微波方式合成碳量子點。所得產物粒徑分佈可能較不均勻，需再進一步分離。
5. 水熱法：一種低成本、環境友好且無毒，從多種多樣的前驅體中合成新型碳材料的方法。通常是由一種有機前驅體在高溫下在水熱反應釜中發生反應。
6. 燃燒法：通過燃燒有機物，收集產生的碳粉，經氧化處理以後得到碳量子點的方法。利用燃燒法製備的碳量子點雖然產率很低，粒徑大小也不太均一，不過操作簡單，原料易得。

## 五、 儀器原理

### 1. 螢光光譜產生原理

- (1) 分子吸收特定輻射後會躍遷到較高能階，隨後又躍遷回基態。
- (2) 同時發射與原激發輻射波長不同的輻射即為螢光。

### 2. 廷得耳效應(Tyndall effect)

用一束雷射光透過膠體，從入射光的垂直方向可以觀察到膠體裡會散射出另一條光束，此現象即為廷得耳效應。

3. 表面缺陷：表面上有許多不同含氧或含氮的官能基團，即稱為表面缺陷。其含量決定了碳點的螢光強度與波長，並使碳點有更多不同的應用。

## 肆、研究設備及器材

### 一、 實驗試劑

表一 實驗試劑

洋蔥	二次水(ddH <sub>2</sub> O)
豆干	生理食鹽水
18 種金屬離子溶液 Li <sup>+</sup> 、Na <sup>+</sup> 、K <sup>+</sup> 、Mg <sup>2+</sup> 、Ca <sup>2+</sup> 、Ba <sup>2+</sup> 、Al <sup>3+</sup> 、 Pb <sup>2+</sup> 、Mn <sup>2+</sup> 、Fe <sup>2+</sup> 、Fe <sup>3+</sup> 、Co <sup>2+</sup> 、Ni <sup>2+</sup> 、Cu <sup>2+</sup> 、 Zn <sup>2+</sup> 、Hg <sup>2+</sup> 、Ag <sup>+</sup> 、Au <sup>3+</sup>	緩衝溶液 磷酸二氫鈉(NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> )、磷酸氫二鈉 (Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> )、磷酸三鈉(Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )、磷酸 (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )
28 種農藥 貝芬替(Carbendazim)、大滅松(Dimethoate)、三氯松(Trichlorfon)、二氯松 (Dichlorvos)、四氯異丙腈(Chlorothalonil)、普硫松(Prothiofos)、陶斯松 (Chlorpyrifos)、可尼丁(Clothianidin)、草胺磷(Glufosinate-ammonium)、耐乃 得(Methomyl)、2,4-D (2,4-D(Sodium))、除草靈(Propanil)、年年春 (Glyphosate)、大克蟎(Dicofol)、加保利(Carbaryl)、芬化利(Fenvalerate)、 硫敵克(Thiodicarb)、亞滅培(Acetamiprid)、克收欣(Kresoxim-methyl)、達馬 松 (Methamidophos)、加保扶(Carbofuran)、賓克隆(Pencycuron)、二硫代氨 基甲酸鈉、三賽唑(Tricyclazole)、佈飛松(Profenofos)、益達胺(Imidacloprid)、 畢芬寧(Bifenthrin)、得恩地(Thiram)	

### 二、 實驗器材與設備

表二 實驗材料與設備

		
螢光顯微鏡	0.22µm 濾膜	離心機

 <p>微量吸管</p>	 <p>超音波震盪機</p>	 <p>pH 計</p>
 <p>迴轉式震盪機(附錄 1)</p>	 <p>U2900 雙光束分光光譜儀</p>	 <p>RF6000 螢光分光光度計</p>

## 伍、研究過程或方法

### 一、 從有機物中製備碳點

#### (一) 烤洋蔥

1. 目的：透過烘烤洋蔥得到碳點

2. 方法

- (1) 取 10 g 的洋蔥平均擺放在烤盤的烘焙紙上烤 15 分鐘。  
(烤箱設定：溫度 200 度、上火、置於烤箱最上層)。
- (2) 待時間到取出放入瓶中，再加入 30 mL 的水。
- (3) 以超音波震盪機搖晃瓶身 10 分鐘。
- (4) 將溶液分裝至 15mL 離心管中並離心。  
(離心設定：轉速 10000 rpm、10 分鐘、15 度)。
- (5) 將離心過後的溶液以 0.22  $\mu$  m 濾膜的針筒過濾器過濾。
- (6) 將溶液透析 6 小時 (透析設定：轉速 260)。
- (7) 即可得碳點溶液。

### 3. 流程圖



4. 烘烤時間（步驟 2），分為 5、10、15、20、25 分鐘，其餘步驟如上述之步驟，以探討烘烤時間對螢光強度之影響。

### （二） 烤豆干

1. 目的：透過烘烤豆干得到碳點

#### 2. 方法

- （1） 取市售豆干切塊 10 g 置入烤箱烤 5、10、15、20、25、30 分鐘。

（烤箱設定：溫度 200 度、上火、置於烤箱最上層）。

- （2） 將烤焦的豆干取出放入錐形瓶中，並加入 30mL 的水。

- （3） 超音波震盪機震之。

- （4） 分裝溶液至離心管中，每管重量相同，並離心溶液。

（離心設定：轉速 10000 rpm、10 分鐘、15 度）。

- （5） 以 0.22 $\mu$ m 濾膜的針筒過濾器過濾，即可得到螢光碳點溶液。

3. 結果：以紫外光照射溶液後，溶液並沒有發出螢光。因為豆干溶液螢光強度過低，所以決定選用以洋蔥製備的碳點作為後續實驗探討的材料。

## 二、 碳點的基本性質檢測紫外光測試

### （一） 紫外光測試

1. 目的：檢測所得溶液是否含有碳點。

2. 作法：將溶液放置在紫外光燈上，周圍保持黑暗環境，即可清楚見到溶液是否會發出螢光，並可觀察螢光之顏色。

### （二） 廷得耳效應

1. 目的：檢測所得溶液是否為膠體溶液。

2. 作法：以一束雷射光筆直照射溶液，檢測光束是否能穿透溶液。

### (三) 3D 圖

1. 目的：檢測樣品是否可經照射特定光束激發出可見光，並判斷照射光束之激發波長與放射波長。
2. 作法：使用螢光分光光度計與程式(Lab Solutions Rf)進行檢測。

### (四) 最佳稀釋倍率

1. 目的：分析碳點在不同稀釋倍率下的螢光強度，並找到最佳的稀釋倍率進行後續實驗
2. 作法：
  - (1) 將烤 15 分鐘的洋蔥溶液稀釋為原溶液的  $2^1$ 、 $2^2$ 、 $2^3$ 、 $2^4$ 、 $2^5$ 、 $2^6$ 、 $2^7$ 、 $2^8$  倍。
  - (2) 以 EX350 nm 進行螢光圖譜測試。
  - (3) 取圖中不同稀釋倍率的最高峰製成線性關係。

### (五) 吸收光譜和激發放射波長

1. 目的：了解碳點吸收光譜、螢光激發和放射波長。
2. 作法：
  - (1) 激發、放射：取稀釋 20 倍的碳點溶液，以螢光光譜儀、EX350 nm 進行螢光圖譜測試。
  - (2) 吸收：將溶液稀釋 100 倍，以雙光束分光光譜儀檢測。

### (六) 最佳激發光波長

1. 目的：找出能夠驅使碳點發出最強螢光的激發光波長。
2. 作法：
  - (1) 配置稀釋 20 倍的碳點溶液。
  - (2) 參考 3D 圖，得知當右方軸線(激發光波長)約為 350 時，碳點可激發出螢光，因此選擇波長 300nm 到 400nm 為區間測量。
  - (3) 利用程式調整螢光分光光度計發出之激發光波長，從 300nm 到 400nm，以 10nm 為一個單位遞增。

## (七) pH 值

1. 目的：分析碳點在不同 pH 值環境下的螢光強度，並找到最穩定的 pH 值環境。
2. 作法：
  - (1) 緩衝溶液配置：分別將磷酸二氫鈉( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ )、磷酸氫二鈉( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ )、磷酸三鈉( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ )、磷酸( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )配置成 0.1 M 水溶液，再將四者溶液混合調配成 pH 值 3~11 的 0.1 M 磷酸鹽緩衝溶液。
  - (2) 分別取 200  $\mu\text{L}$  緩衝溶液，加 100  $\mu\text{L}$  洋蔥溶液，再加水 1700  $\mu\text{L}$  (即將洋蔥液稀釋 20 倍)。
  - (3) 均勻混合後以 EX350 nm 進行螢光圖譜測試，再由光譜的螢光強度對 pH 作圖。

## (八) 耐鹽性

1. 目的：分析碳點在不同濃度的 NaCl 溶液中螢光強度的變化情形。
2. 作法：
  - (1) 配置 2M 的 NaCl 水溶液 50 mL。
  - (2) 將 NaCl 水溶液分別稀釋成 0.2、0.4、0.6、0.8、1 M。
  - (3) 取 200  $\mu\text{L}$  NaCl 水溶液與 100  $\mu\text{L}$  洋蔥液混合，最後用水填滿 2mL 於離心管中。
  - (4) 以 EX350 nm 進行螢光圖譜測試，由光譜之螢光強度對 NaCl 水溶液濃度作圖。

## (九) 耐光性

1. 目的：分析碳點在不同時間以光照射下螢光強度的變化情形。
2. 作法：
  - (1) 以 365nm 紫外光持續照射稀釋 20 倍的碳點溶液 1 小時。
  - (2) 每 10 分鐘以激發波長 350nm 進行激發偵測。
  - (3) 由光譜之螢光強度對時間作圖分析。

### 三、 應用

#### (一) 生物成像

1. 目的： 將螢光碳點作為螢光探針，應用在生物顯影上。
2. 作法：
  - (1) 將碳點溶液與生理食鹽水混合，將洋蔥表皮細胞浸泡其中。
  - (2) 經過一小時，將洋蔥表皮細胞取出並放置在玻片上。
  - (3) 在正常情形下，以螢光顯微鏡觀察之。
  - (4) 關閉電燈，開起紫外燈。
  - (5) 即可得洋蔥表皮細胞的螢光影像。

#### (二) 金屬離子

1. 不同種類金屬離子對碳點溶液的影響。
  - (1) 目的：測試碳點在不同金屬離子溶液中，螢光強度是否會改變，進而得到碳點對特定金屬離子的線性關係。
  - (2) 作法
    - a. 取 18 種不同的金屬離子 ( $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Ba}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Co}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Hg}^{2+}$ 、 $\text{Ag}^+$ 、 $\text{Au}^{3+}$ )，分別量取  $200\ \mu\text{L}$  裝入  $2\text{mL}$  的離心管中，加入  $100\ \mu\text{L}$  的碳點溶液、 $200\ \mu\text{L}$  的 pH7 緩衝溶液，再補水  $1500\ \mu\text{L}$ 。
    - b. 將離心管包覆鋁箔紙，以 160 的轉速搖晃 30 分鐘，即可得洋蔥碳點與金屬離子的混合液。
    - c. 配置背景溶液，取  $100\ \mu\text{L}$  的碳點溶液、 $200\ \mu\text{L}$  的 pH7 緩衝溶液，補水  $1700\ \mu\text{L}$ 。
2. 金離子對碳點溶液的線性關係：
  - (1) 目的：分析不同金離子濃度對碳點溶液的線性關係。
  - (2) 作法：
    - a. 配置  $10^{-3}\text{M}$  的金離子溶液，再於每個濃度中取 4 個點 (1、2、5、8)，從濃度  $10^{-4}\text{M}$  配置到  $10^{-8}\text{M}$ ，接著各取  $200\ \mu\text{L}$  加入  $2\text{mL}$  離心管中，加入  $100\ \mu\text{L}$  的碳點溶液、 $200\ \mu\text{L}$  的 pH7 緩衝溶液，再補水  $1500\ \mu\text{L}$ 。

- b. 將離心管包覆鋁箔紙，以 160 rpm 的轉速搖晃 30 分鐘，即可得洋蔥碳點與金屬離子的混合液。(附錄 3)。
- c. 配置背景溶液，取 100  $\mu$ L 的碳點溶液、200  $\mu$ L 的 pH7 緩衝溶液，補水 1700  $\mu$ L。

### (三) 農藥檢測

#### 1. 不同農藥

(1) 目的：檢測碳點溶液螢光強度與不同農藥的關係

#### (2) 作法

- a. 取 30 種不同的農藥，分別量取 100  $\mu$ L 裝入 1.5mL 的離心管中，再加入 900  $\mu$ L 的水，並以震盪機震之，使其均勻
- b. 取已配置好的農藥水溶液 200  $\mu$ L 裝入 2mL 的離心管中，加入 100  $\mu$ L 的碳點溶液、200  $\mu$ L 的 pH7 緩衝溶液，再補水 1500  $\mu$ L
- c. 將離心管包覆鋁箔紙，以 160 rpm 的轉速搖晃 30 分鐘，即可得洋蔥碳點與金屬離子的混合液
- d. 再配置背景溶液，取 100  $\mu$ L 的碳點溶液、200  $\mu$ L 的 pH7 緩衝溶液，補水 1700  $\mu$ L。

(3) 結果:將所得螢光強度值作長條圖

## 陸、研究結果與討論

### 一、碳點的基本性質檢測

#### (一) 紫外光測試：



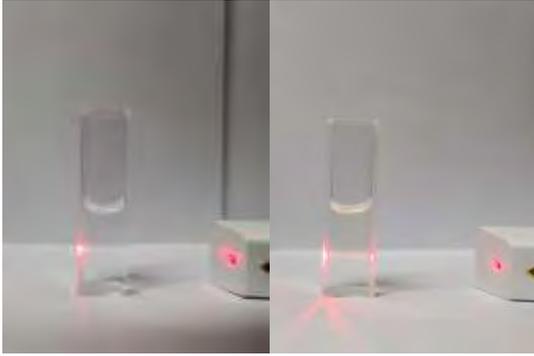
圖一 紫外光與一般燈光下的碳點溶液。



圖二 紫外光照射下的水、生洋蔥與烤洋蔥碳點溶液。

1. 由圖一中，左圖為烤洋蔥溶液在紫外光燈照射下發出螢光的情形，可以清楚發現為藍色螢光。右圖則是一般光照下的洋蔥碳點溶液，呈現澄清狀態，並未發光。
2. 由圖二中，由左而右分別為水、生洋蔥溶液與烤洋蔥溶液在紫外光燈下之情形。可以清楚發現，只有烤洋蔥溶液在紫外光燈下會發出螢光，而水與生洋蔥溶液並不會，因此可知在洋蔥烘烤過後，會有某種物質使原本不具螢光的溶液發出藍色螢光，推估為烤洋蔥後得到的碳點。

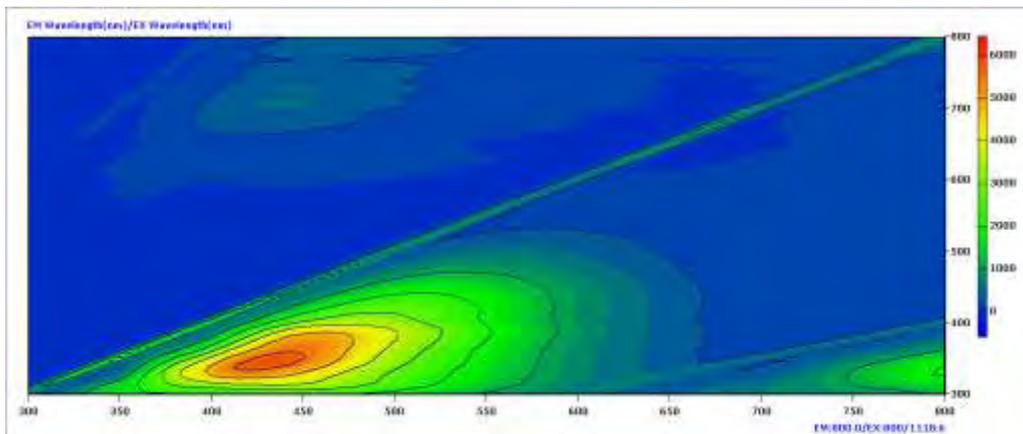
(二) 廷得耳效應：



圖三 水及稀釋 50 倍的碳點溶液經螢光照射。

圖三中，左方為以雷射光束照射水的情形，右方則為以雷射光束照射烤洋蔥溶液的情形，可發現雷射光束會在烤洋蔥溶液中呈現一條明顯的光束，而在水中則不會。因此可證明烤洋蔥溶液為膠體溶液，具有 1 到 100nm 間的粒子。

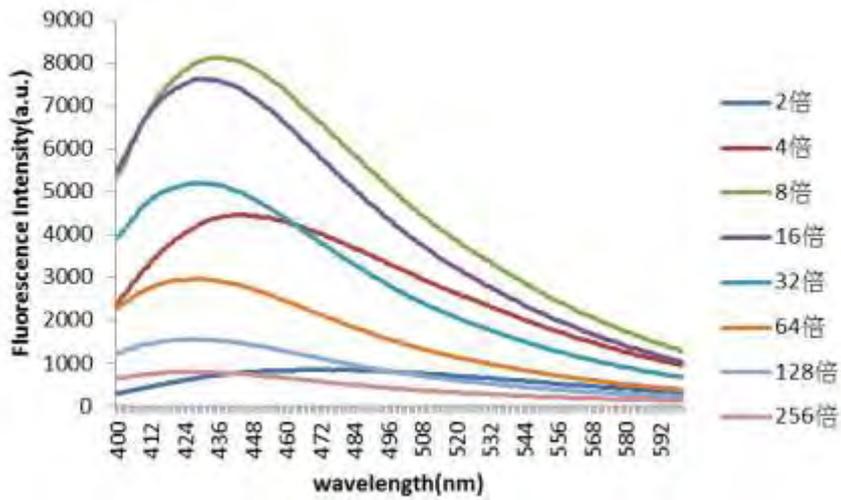
(三) 3D 圖：



圖四 碳點溶液的螢光 3D 圖。

1. 由圖四可得知，右方為照射之特定光束，下方為激發之光波長，圖中不同的顏色代表螢光的強弱。紅色代表螢光較強，藍色代表螢光較弱。當以波長約 350 nm 的光照射樣品時，樣品會發出波長約 400~450 nm 的可見光，而這個區段的螢光強度也最強。
2. 因符合文獻「碳點的製備與應用研究進展」中提到結果：在紫外光照下會發光，可知所得溶液中確實具有碳點。

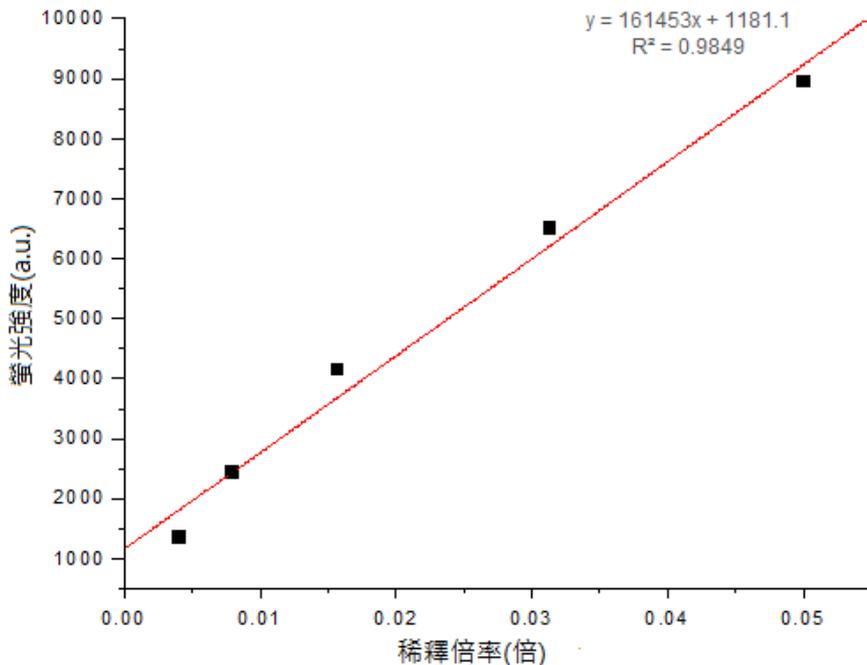
(四) 稀釋倍率：



圖五 不同稀釋倍率下激發光波長對螢光強度關係。

由圖五可得知以下幾點：

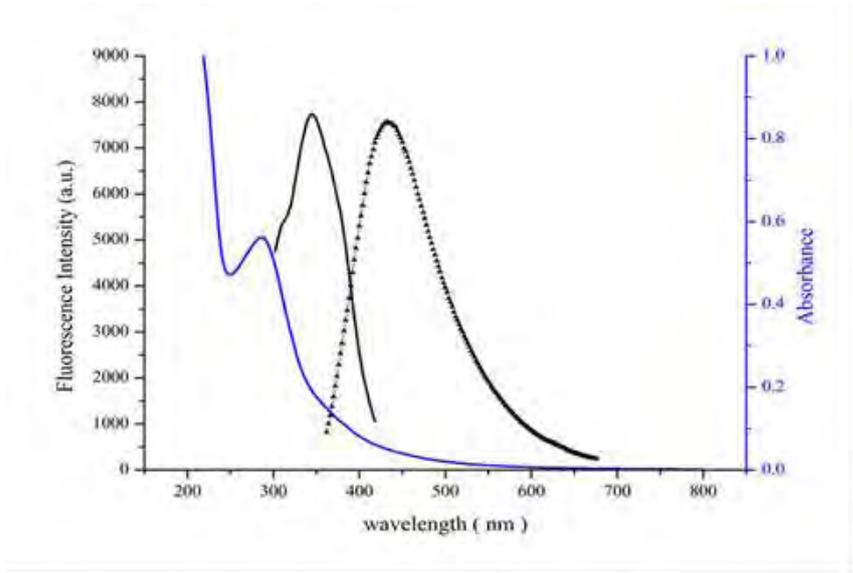
1. 對碳點溶液進行稀釋時螢光強度會先向上增加，稀釋到達 8 倍時會達到最高峰。
2. 若繼續進行稀釋，螢光強度則會減弱。
3. 當碳點濃度過高時，會發生自吸收現象(附錄 2)，使螢光強度減弱。



圖六 不同稀釋倍率最高峰之線性關係。

透過圖六最高峰的線性關係可得知，在稀釋 20 倍時碳點不會發生自吸收，且點落在回歸直線上，因此我們取稀釋 20 倍的溶液進行後續實驗。

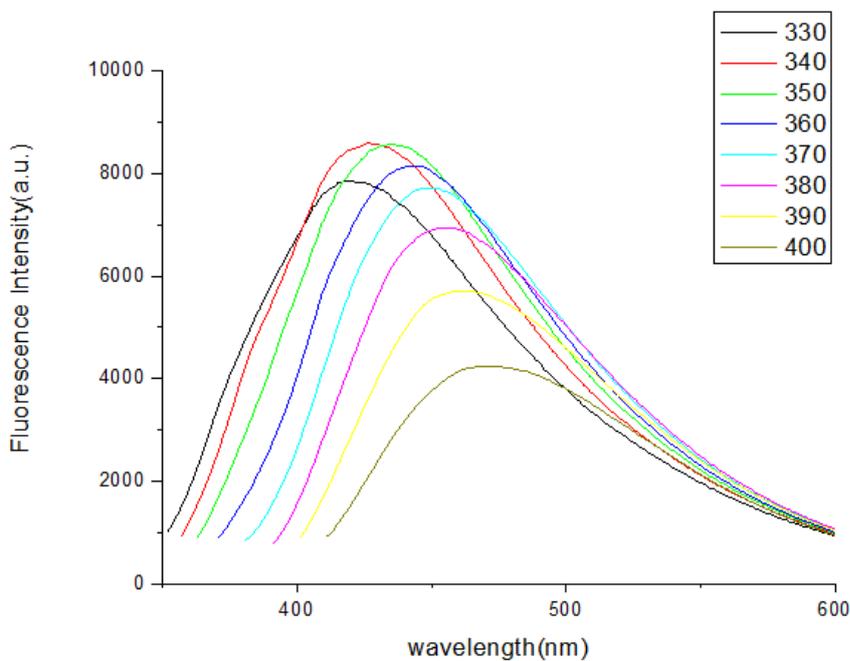
(五) 吸收光譜和放射激發波長：



圖七 稀釋 20 倍碳點溶液之吸收和激發放射激發光譜。

圖七中藍色波為吸收波長，對應到右方的軸線；實線波為放射波長，而虛線波為激發波長。根據此圖，我們可以發現激發波長約在 450nm 的區段，因此後續實驗中，取激發波最高峰時以此數值為參考。

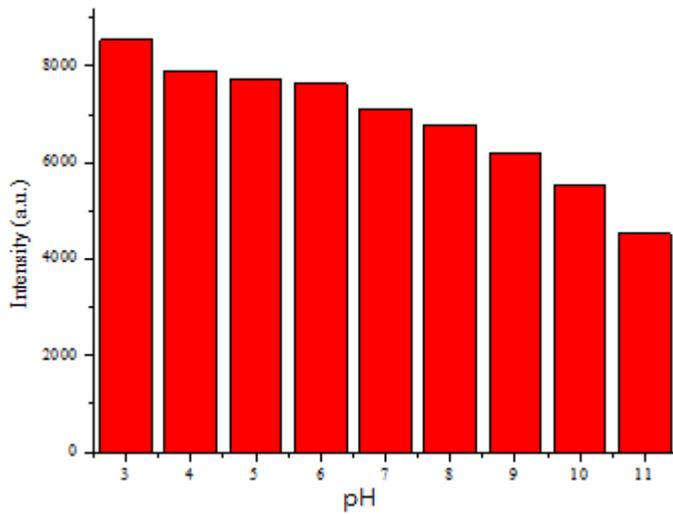
(六) 最佳激發光波長：



圖八 碳點在不同激發光波長下之螢光強度。

根據圖八，可知道當波長約為 350nm 或 360nm 時，會激發出最強螢光，而 350nm 時又略高於後者，因此後續實驗時選擇以 350nm 之激發光為背景值。

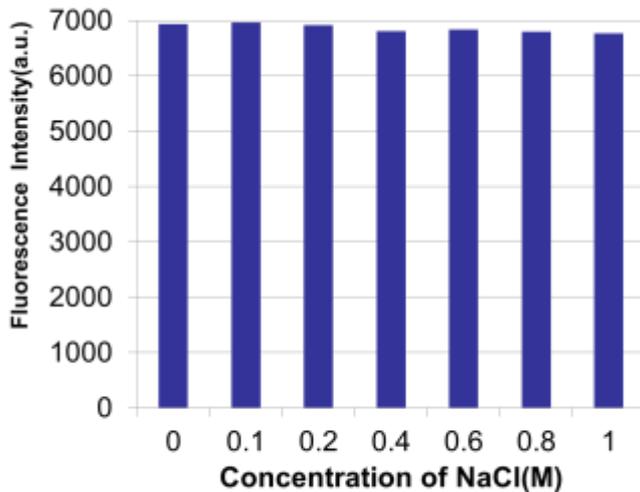
(七) pH 值：



圖九 碳點在不同 pH 值下之螢光強度

由圖九可得，在 pH 3.0~8.0 之間碳點螢光強度比較穩定，但在 pH 8.0 以後螢光強度下降。

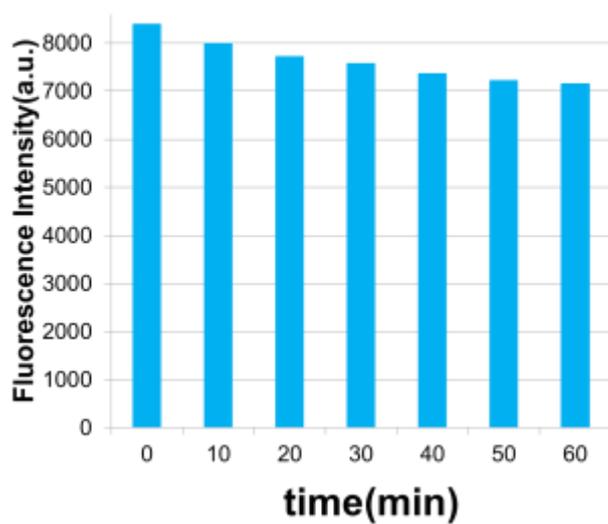
(八) 耐鹽性：



圖十 碳點在不同 NaCl 水溶液濃度下之螢光強度。

由圖十可知在 NaCl 水溶液濃度 0~1.0 M 之間，螢光強度大致穩定，由此可知洋蔥碳點有良好的耐鹽性。

(九) 耐光性：



圖十一 碳點在不同時間紫外光照射下之螢光強度。

由圖十一可知，在光照 1 小時內碳點溶液的螢光強度下降幅度不大，由此可知碳點溶液有穩定的耐光性。

## 二、應用

### (一) 生物成像



圖十二 在黑暗中與洋蔥碳點混合後的洋蔥表皮細胞。



圖十三 以日光燈照射與洋蔥碳點混合後的洋蔥表皮細胞。

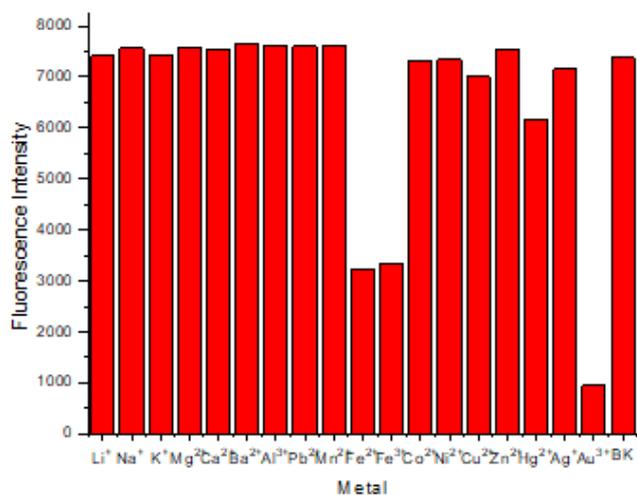


圖十四 以紫外光照射與洋蔥碳點混合後洋蔥表皮細胞。

當洋蔥表皮細胞浸泡於製備好的碳點溶液時，溶液會流入洋蔥表皮的細胞壁中，結合碳點溶液在紫外光照下會發螢光的性質，可將碳點溶液應用於生物顯影中。

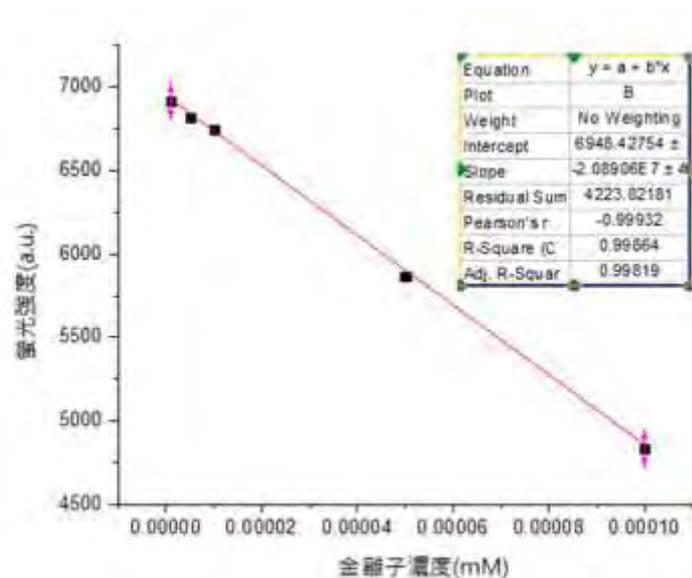
假設未來能夠測得碳點具有的官能基，並檢測何種病菌能與其官能基結合，將官能基結構加以修飾後，注入被病菌感染的植物或動物體中，在紫外光照射下，可快速觀察出生物體內含病毒處，進行處理；更甚應用於水質汙染檢測、特定細胞在體內的變化情形。

## (二) 金屬離子



圖十五 碳點在不同金屬離子溶液中螢光強度。

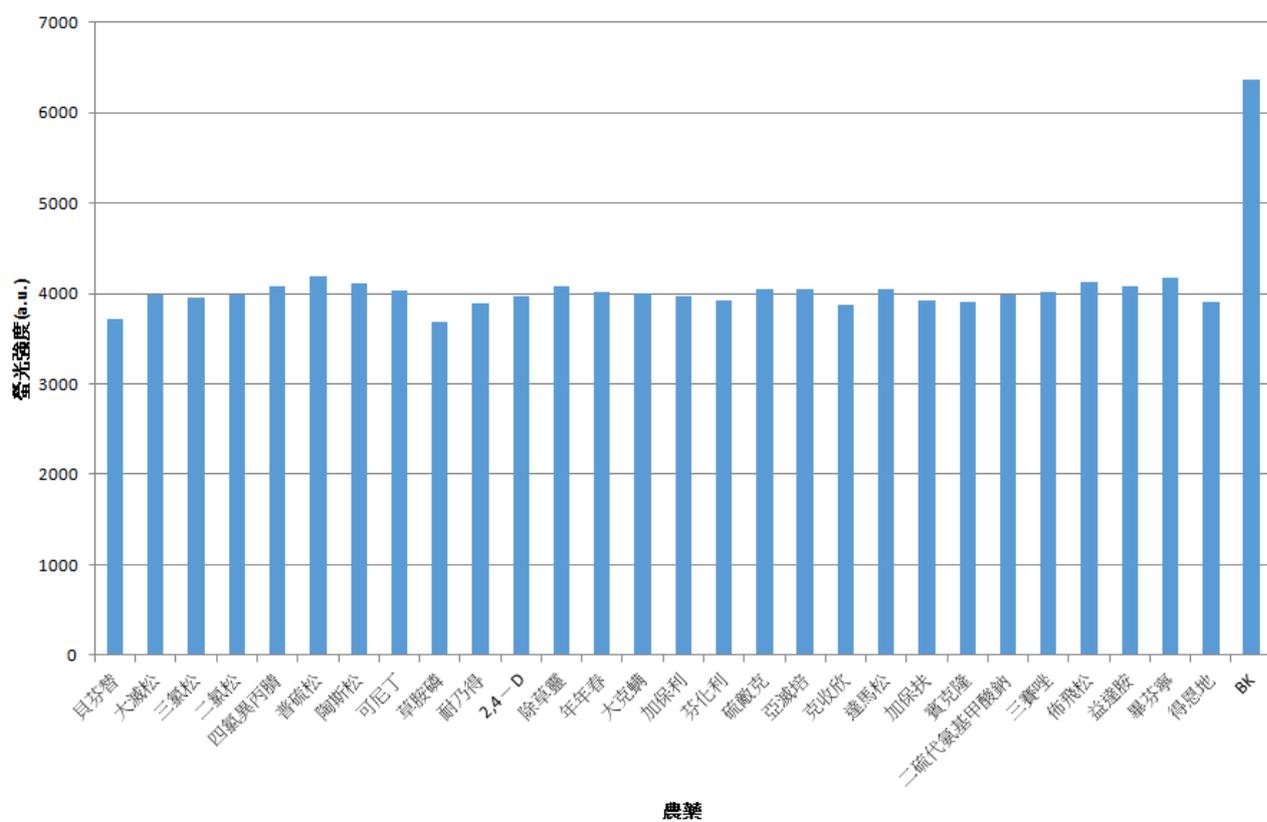
將不同種類之金屬離子所得螢光強度值作長條圖，由圖十五可明顯看出加入金離子時，螢光強度下降最多，因此取金離子另作實驗，配置不同濃度的金離子溶液，觀察其濃度對碳點的線性關係。



圖十六 不同金離子濃度對碳點溶液之線性關係。

由圖十六可以看出，五個不同濃度的金離子與螢光強度構成一條回歸係數約為 1 的斜直線。透過獲得此直線方程式，即可由偵測碳點之螢光強度求得金離子的含量。若再測試偵測極限，便能得知可偵測濃度的最低值，在該濃度值以上，帶入直線方程式即可求得金離子濃度。

### (三) 農藥檢測



圖十七 碳點在不同農藥中螢光強度。

由圖十七可知，碳點對不同農藥的螢光強度各不相同，若對極值加以研究，再改變濃度做線性關係圖，即可以測量樣品螢光強度的方式求得特定農藥含量。

## 柒、 結論與未來展望

經由各種分析，我們確定從烘烤的洋蔥中確實可取得碳點，且這種碳點在 pH 3.0~8.0、0.2~1.0 M 的 NaCl、1 小時內的螢光值可以保持穩定，並在激發光波長 350 nm 的照射下可以發出最強的螢光。當應用於生物成像時，紫外光照下的細胞可以呈現如在日光燈下所見之樣貌；基於碳點之官能基對金離子的結合，我們將其應用在金離子濃度的線性關係上，能夠獲得一條回歸係數趨近於 1 的回歸直線。

然而，我們仍有許多部分值得加以探討，如碳點的量子產率(附錄 4)，能夠了解其發出螢光之效率；碳點表面之官能基，能讓我們進一步分析這些官能基對金屬離子之作用；線性關係的偵測極限(limit of detection, LOD)，能表示線性關係所能偵測到的最低濃度；另外，我們也能再進行農藥對碳點螢光強度的檢測，繪製螢光強度對特定農藥濃度之線性關係圖。

## 捌、 參考文獻

一、 碳量子點的製備與應用・取自

[https://image.hanspub.org/Html/3-2370079\\_21503.htm](https://image.hanspub.org/Html/3-2370079_21503.htm)

二、 一種用水熱法合成碳量子點溶液製備複合奈米光催化劑的方法・取自

<https://patents.google.com/patent/CN103480353A/zh>

三、 周書玄（2011）・以咖啡渣合成水溶性螢光碳奈米粒子・

臺東：國立臺東大學應用科學系

四、 簡雨廷（2012）・微波合成螢光碳奈米粒子與其應用・

臺東：國立臺東大學應用科學系

五、 徐晨皓、袁子鈞、劉佳霖、邱泰嘉、胡焯淳（2014.11）・科學教育・利用植物廢棄物合成含奈米碳點的螢光物質・*科學教育月刊*，374， 41-48

六、 陳柏翔（2016.2）・表面缺陷及粒徑對碳點螢光特性之探討・摘要

七、 王 莉、 呂 婷、 阮楓萍、 鄧德剛、 徐時清（2014.6）・水熱法製備的螢光碳量子點

八、 何倚帆、黃怡君、劉家余（2017）・「碳」幽索隱——研究碳量子點的性質與細菌偵測

九、 王林鵬、馬玉、周學華、劉雲、武瑞東（2015）・碳點的製備與應用研究進展・取

自：<http://html.rhhz.net/CLGC/html/20150516.htm>

## 玖、附錄

一、 圖取自 <http://dweb.cjcu.edu.tw/biosci>

二、 自吸收：當溶液濃度過高時，因分子間距離較近，產生螢光的樣品本身會吸收激發出來的螢光，因而降低螢光強度

三、 配置  $10^{-4}\text{M}$  的金屬離子溶液時，取  $10^{-3}$  金屬離子溶液  $200\ \mu\text{L}$ ，再補水  $1800\ \mu\text{L}$ ，即可得之，並以此類推，可得到濃度更低的金屬離子溶液。

四、 量子產率 (quantum yield)

量子產率為在輸入單位的能量後，所能引出的量子數目。而螢光是一種被激發後產生的光，所以當輸入一定的能量後，會激發出一些螢光來，而激發出來的螢光量子數，便是量子產率。

量子產率的定義是指「發光分子的數目」與「被激發分子的總數」的比率。

螢光量子產率即螢光物質吸光後所發射的螢光的光子數與所吸收的激發光的光子數之比值。它的數值在通常情況下總是小於 1。量子產率數值越大則化合物的螢光越強，而無螢光的物質的螢光量子產率則等於或非常接近於零。

螢光量子產率一般採用參比法測定，即在相同激發條件下，分別測定待測螢光試樣和已知量子產率的參比螢光標準物質兩種稀溶液的積分螢光強度（即校正螢光光譜所包括的面積）以及對一相同激發波長的入射光（紫外-可見光）的吸光度，再將這些值分別代入特定公式進行計算，就可獲得待測螢光試樣的量子產率：

$$Y_u = Y_s \cdot F_u/F_s \cdot A_s/A_u$$

$Y_u$ ：待測物質的螢光量子產率

$Y_s$ ：參比標準物質的螢光量子產率

$F_u$ ：待測物質積分螢光強度

$F_s$ ：參比物質的積分螢光強度

$A_u$ ：待測物質在該激發波長的入射光的吸光度

$A_s$ ：參比物質在該激發波長的入射光的吸光度 ( $A = \epsilon bc$ )

運用公式時一般要求吸光度  $A_s$ 、 $A_u$  低於 0.05，參比標準樣最好選擇其激發波長值相近的螢光物質，而有分析應用價值的螢光化合物的  $Y_u$  一般常在 0.1-1 之間。

## 【評語】 050210

以洋蔥燒碳點是一有趣的想法，然對化學成分的探討及其與選擇性感測之關聯性之解說較欠缺，希望未來可增加探討的食材種類，針對不同化學成分能再進一步探討，發展應用。

# 研究動機

經由燃燒烴類可得約為奈米大小的疏水性碳粒，但進一步研究須再加入界面活性劑，才能使碳點穩定分布於溶液中。為了改善步驟，我們嘗試在生活中找出具親水性的碳點（奈米等級碳粒子）。生活中的有機物多為醣類、蛋白質與脂質，上述物質皆可在食物中找到。因此我們決定將食物作為主題，加以研究其中碳點的性質，並應用在其他領域。

# 研究目的

- 一、是否可從有機物中取出碳點
- 二、分析碳點溶液在不同條件下的穩定性及基本性質檢測
- 三、探討如何充分發揮碳點特性，將碳點應用於不同領域

# 研究設備及器材

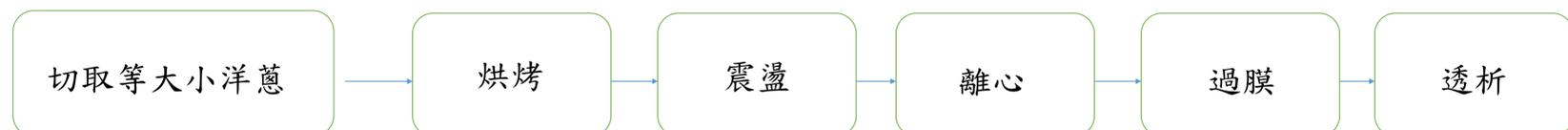
- 一、實驗試劑：洋蔥、二次水(ddH<sub>2</sub>O)、豆干、生理食鹽水、磷酸二氫鈉(NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)、磷酸氫二鈉(Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>)、磷酸三鈉(Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)、磷酸(H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)、18種金屬離子溶液、28種農藥。
- 二、實驗器材與設備：螢光顯微鏡、0.22 μm濾膜、U2900雙光束分光光譜儀、RF6000螢光分光光度計。

# 研究過程

## 一、烤洋蔥

(一)目的：透過烘烤洋蔥得到碳點

(二)流程圖

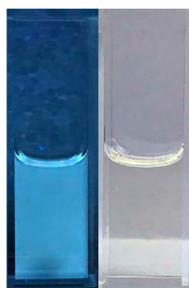


(三)烘烤時間分為 5、10、15、20、25 分鐘，以探討烘烤時間對螢光強度之影響。

## 二、碳點的基本性質檢測

(一)紫外光測試與廷得耳效應

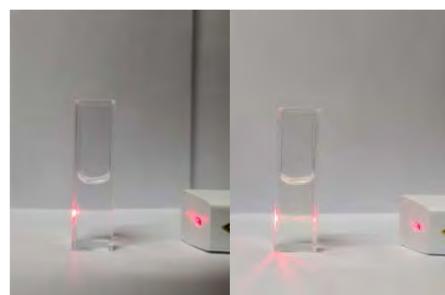
1. 目的：檢測所得溶液是否含有碳點。
2. 結果：



紫外光與一般燈光下的碳點溶液



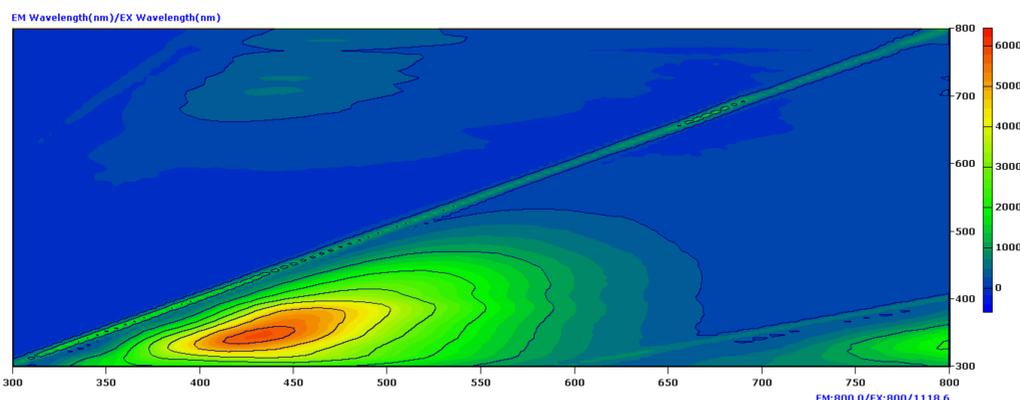
紫外光照射下的水、生洋蔥與烤洋蔥碳點溶液



水及稀釋50倍的碳點溶液經螢光照射

(二) 3D圖

1. 目的：檢測樣品是否可經照射特定光束激發出可見光，並判斷照射光束之激發波長與放射波長。
2. 結果：



碳點溶液的螢光3D圖

- (1) 由上圖可得知，當以波長約 350 nm的光照射樣品時，樣品會發出波長約400~450nm的可見光，而這個區段的螢光強度也最強。
- (2) 因符合文獻中提到結果：在紫外光照下會發光，可知所得溶液中確實具有碳點。

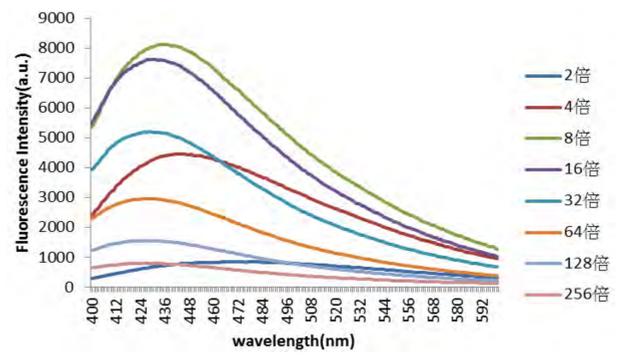
### (三) 最佳稀釋倍率

1. 目的：分析碳點在不同稀釋倍率下的螢光強度，找到最佳的稀釋倍率進行後續實驗

2. 結果：

由圖三可知：

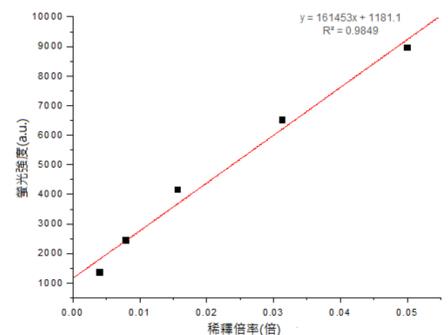
- (1) 對碳點溶液進行稀釋時螢光強度會先向上增加，稀釋到達8倍時會達到最高峰
- (2) 若繼續進行稀釋，螢光強度則會減弱。
- (3) 當碳點濃度過高時，會發生自吸收現象，使螢光強度減弱。



圖三 不同稀釋倍率下激發光波長對螢光強度關係

由圖四可知：

- (1) 透過最高峰的線性關係可得知，在稀釋20倍時碳點不會發生自吸收，且點落在回歸直線上，因此我們取稀釋20倍的溶液進行後續實驗。



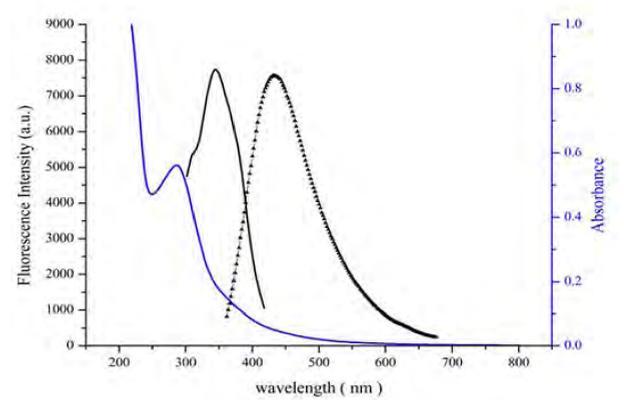
圖四 不同稀釋倍率最高峰之線性關係

### (四) 吸收光譜和激發放射波長

1. 目的：了解碳點吸收光譜、螢光激發和放射波長。

2. 結果：

- (1) 圖五中藍色波為吸收波長，實線波為放射波長，而虛線波為激發波長。
- (2) 根據此圖，我們可以發現激發波長約在450nm的區段，因此後續實驗中，取激發波最高峰時以此數值為參考。



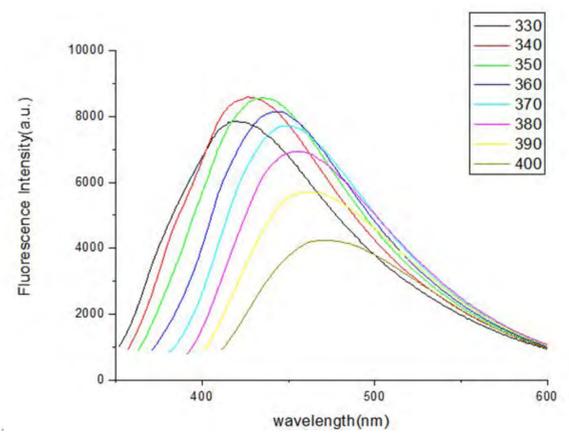
圖五 稀釋20倍碳點溶液之吸收和激發放射激發光譜

### (五) 最佳激發光波長

1. 目的：找出能夠驅使碳點發出最強螢光的激發光波長。

2. 結果：

根據圖六，可知道當波長約為350nm或360nm時，會激發出最強螢光，而350nm時又略高於後者，因此後續實驗時選擇以350nm之激發光為背景值。



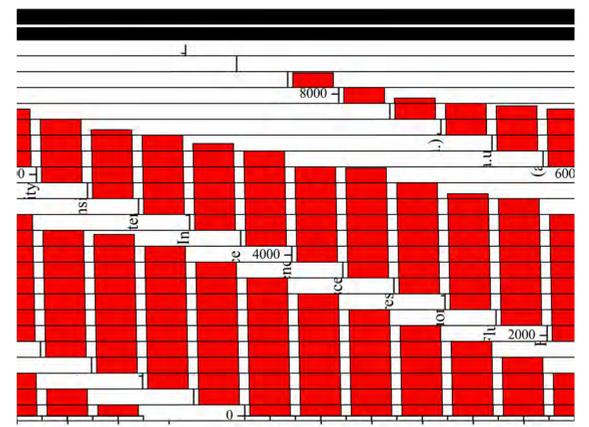
圖六 碳點在不同激發光波長下之螢光強度

### (六) pH值

1. 目的：分析碳點在不同pH值環境下的螢光強度，並找到最穩定的pH值環境。

2. 結果：

由圖七可得，在pH3.0~8.0之間碳點螢光強度比較穩定，但在pH8.0以後螢光強度下降。



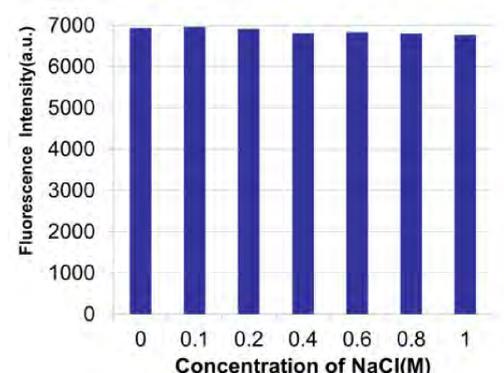
圖七 碳點在不同pH值下之螢光強度

### (七) 耐鹽性

1. 目的：分析碳點在不同濃度的NaCl溶液中螢光強度的變化情形。

2. 結果：

由圖八可知在NaCl水溶液濃度0~1.0 M之間，螢光強度大致穩定，由此可知洋蔥碳點有良好的耐鹽性。



圖八 碳點在不同NaCl水溶液濃度下之螢光強度

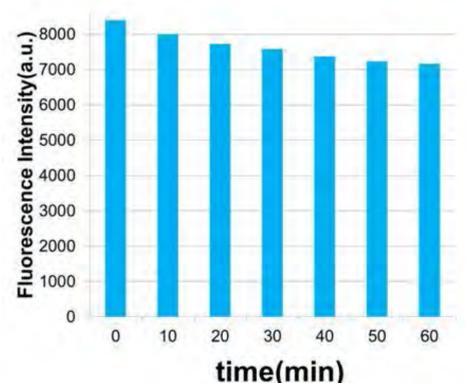
### (八) 耐光性

1. 目的：分析碳點在不同時間以光照射下螢光強度的變化情形。

2. 結果：

由圖九可知，在光照1小時內碳點溶液的螢光強度下降幅度不大，

由此可知碳點溶液有穩定的耐光性。



圖九 碳點在不同時間紫外光照射下之螢光強度

### 三、應用

#### (一) 生物成像

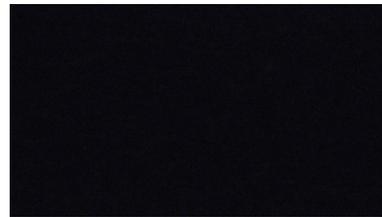
1. 原理：當洋蔥表皮細胞浸泡於製備好的碳點溶液時，溶液會流入細胞壁的空隙中，結合碳點溶液在紫外光照下會發螢光的性質，可將碳點溶液應用於生物成像中。

2. 應用：透過檢測碳點的官能基並加以修飾後，可將其應用於觀察：

- (1) 生物或植物體內被病菌感染處的檢測
- (2) 水質汙染程度的測定
- (3) 特定細胞在生物體內的變化情形



日光燈照射與洋蔥碳點混合後的洋蔥表皮細胞



黑暗中與洋蔥碳點混合的洋蔥表皮細胞



紫外光照射與洋蔥碳點混合的洋蔥表皮細胞

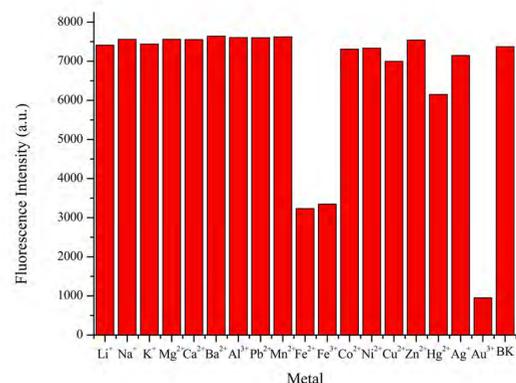
#### (二) 金屬離子

1. 原理：藉由碳點之官能基與特定金屬離子結合會影響其螢光強度的性質，我們能找出一條螢光強度與金屬濃度的回歸直線，未來透過檢測螢光碳點即可知道金離子濃度。

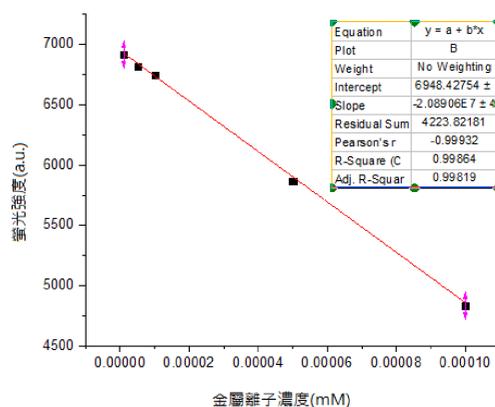
2. 作法：

(1) 將碳點對不同金屬離子螢光強度值作圖，可知碳點溶液加入金離子時螢光強度最低。

(2) 改變金離子濃度，從濃度 $10^{-4}$  M配到 $10^{-8}$  M，再於每個濃度中取4個點（1、2、5、8），檢測螢光強度並繪製線性關係圖，可得回歸係數為1的回歸直線。



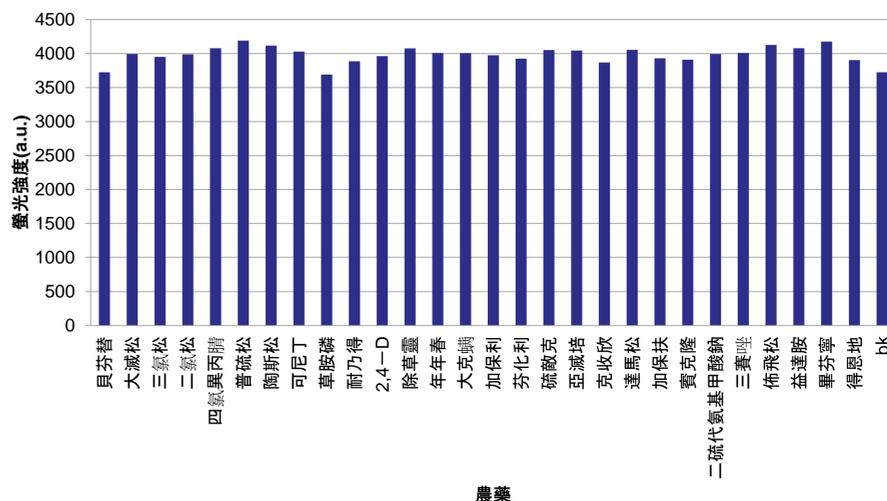
碳點在不同金屬離子溶液中螢光強度



不同金離子濃度對碳點溶液之線性關係

#### (三) 農藥檢測

1. 原理：因碳點表面的官能基與不同農藥結合會影響其螢光強度，我們可如金屬離子檢測般找出一條螢光強度與農藥濃度的回歸直線，透過檢測螢光碳點即可知道樣品農藥殘留量。



## 結論

- 一、藉由烘烤洋蔥中確實可取得螢光碳點。
- 二、碳點在pH3.0~8.0、0.2~1.0M的NaCl、照光1小時內的螢光值可以保持穩定。
- 三、應用於生物成像時，紫外光照下細胞的螢光輪廓如日光燈下所見。
- 四、根據碳點之官能基對金離子的結合，我們應用在金離子濃度的線性關係上，可獲得一條回歸係數趨近於1的回歸直線。

## 展望

- 一、碳點表面之官能基。
- 二、線性關係的偵測極限(limit of detection, LOD)：表示線性關係所能偵測到的最低濃度。
- 三、農藥的濃度對螢光強度的線性關係。

## 參考資料

- 一、徐晨皓、袁子鈞、劉佳霖、邱泰嘉、胡焯淳 (2014.11) · 科學教育 · 利用植物廢棄物合成含奈米碳點的螢光物質
- 二、陳柏翔 (2016.2) · 表面缺陷及粒徑對碳點螢光特性之探討 · 摘要
- 三、何倚帆、黃怡君、劉家余 (2017) · 「碳」幽索隱——研究碳量子點的性質與細菌偵測
- 四、徐晨皓、袁子鈞、劉佳霖、邱泰嘉、胡焯淳 (2014) · 利用植物廢棄物合成含奈米碳點的螢光物質 · 科學教育月刊, 374, 41-48