

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組 化學科

佳作

050212

萆生藏碳—探究萆葉的螢光碳奈米點

學校名稱：國立臺東女子高級中學

作者： 高二 溫家馨 高二 何薪卉 高二 陳品燁	指導老師： 梁利吉
---	------------------

關鍵詞：萆葉、碳奈米點、螢光

摘要

本研究在開發一種新的原料合成螢光碳奈米點，以台東的特產荖葉當作碳源，研究此碳奈米點在不同條件下的穩定性和螢光特性，進而探討未來的應用。

我們將荖葉烘乾磨成粉以水熱法進行碳化，進一步純化後，合成水溶性螢光碳奈米點，碳奈米點在紫外光下放出藍色螢光，相對螢光量子產率約為 5.4%。在不同條件下檢測環境對碳奈米點螢光的影響時，我們發現在 0 到 1.0 M 的 NaCl 水溶液、紫外光照射 50 分鐘、pH 2.0 ~ 12.0 間，碳奈米點皆有良好的穩定性，其螢光強度沒有明顯的變化。將此碳奈米點與各類金屬離子混合後，只有汞離子會造成碳奈米點的螢光強度下降，經調整或許可以開發出對汞離子有選擇性之碳奈米點。未來可應用此碳奈米點的螢光特性作防偽辨識、生物顯影等功能。

壹、研究動機

近幾年奈米科技迅速發展，目前已經有許多種的螢光奈米材料，而其中螢光碳奈米點因為螢光穩定不容易受環境因素影響、對生物相容性高等優點，成為細胞成像的新興材料（簡雨廷，2012）。參閱文獻，現今螢光碳奈米點已嘗試使用多種天然有機物合成，期盼能開發低毒性並對環境無害的螢光奈米材料（阮鎡儒、林昱晴，2016）。我們便以台東在地農產作為發想，選用特色作物——荖葉為碳源，進一步分析其基本性質，並思考如何發揮此碳奈米點特性，將其應用於不同領域。

貳、研究目的

- 一、研究碳奈米點的基本性質以及探究其在不同條件下的穩定性
- 二、以碳奈米點之特性探究其未來應用

參、研究器材與設備

- 一、實驗試劑

表一 實驗試劑

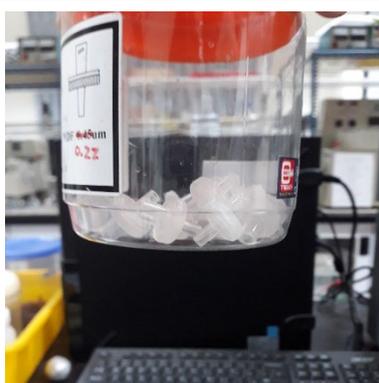
二次水 (ddH ₂ O)	NaCl
硫酸奎寧	硫酸
KBr	CH ₃ COCH ₃
15 種金屬離子溶液 Ag ⁺ 、Al ³⁺ 、Au ³⁺ 、Ba ²⁺ 、Ca ²⁺ 、Co ²⁺ 、 Cu ²⁺ 、Hg ²⁺ 、K ⁺ 、Li ⁺ 、Mg ²⁺ 、Na ⁺ 、Ni ²⁺ 、 Pb ²⁺ 、Zn ²⁺	緩衝溶液 磷酸二氫鈉 (NaH ₂ PO ₄)、磷酸氫二鈉 (Na ₂ HPO ₄)、磷酸三鈉 (Na ₃ PO ₄)、磷 酸 (H ₃ PO ₄)

二、實驗材料與設備

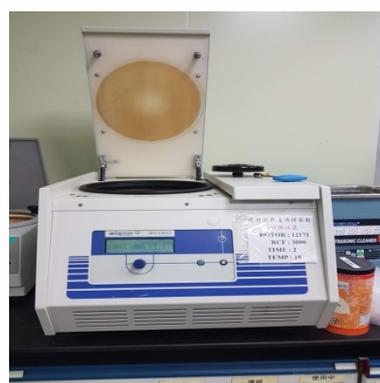
表二 實驗材料與設備



高溫爐（圖一）



0.22 μm 濾膜（圖二）



高速離心機（圖三）



微量吸量管（圖四）



紫外光燈（圖五）



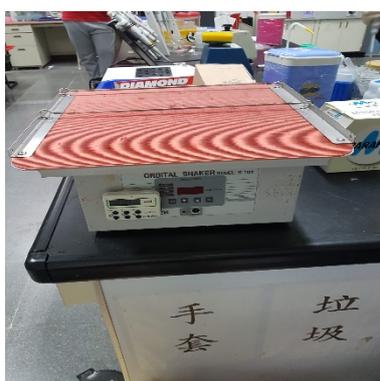
pH 計（圖六）



濾紙（圖七）



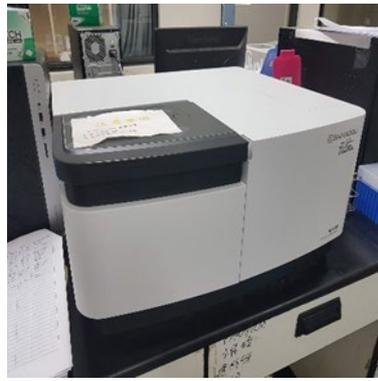
加熱攪拌器（圖八）



迴轉式震盪機（圖九）



2 mL 離心管 (圖十)



RF 6000 螢光光譜儀
(圖十一)



試管振盪器 (圖十二)



U 2900 雙光束吸收光譜儀
(圖十三)



四位數電子天平
(圖十四)



荖葉 (圖十五)



壓片機 (圖十六)



傅立葉轉換紅外線光譜儀
(圖十七)

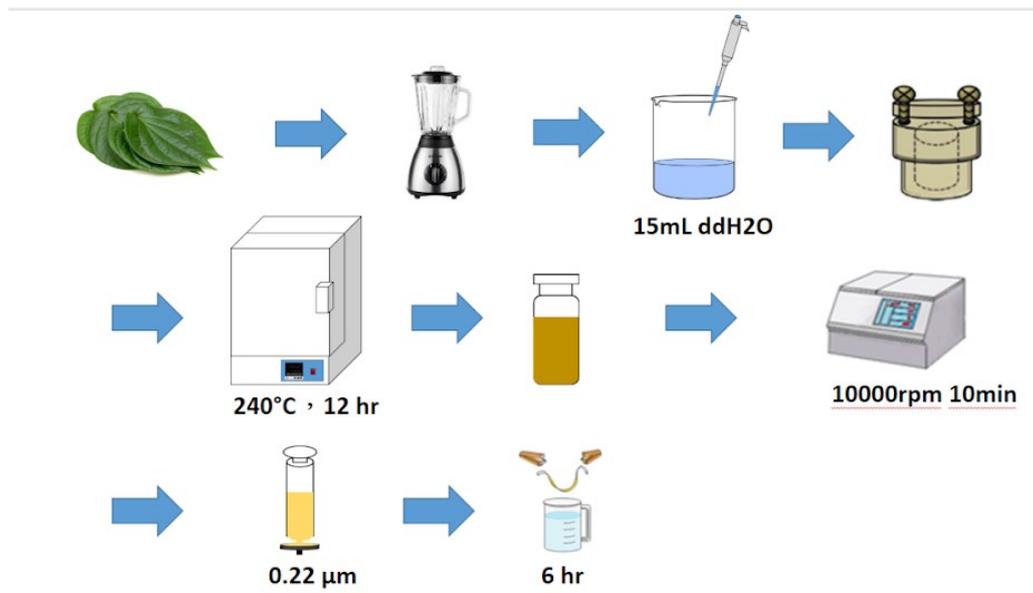
肆、研究過程及方法

一、從有機物中製備碳奈米點

(一) 製備荖葉碳奈米點

1. 目的：將荖葉烘乾磨成粉，透過水熱法（附錄一）合成碳奈米點，並進一步純化取得螢光碳奈米點。
2. 作法：
 - (1) 將荖葉洗淨、烘乾（攝氏 60 度, 12 小時）後放入調理機打成粉狀，用夾鏈袋冷藏保存。
 - (2) 取 0.2 g 的荖葉粉放入瓶中，再加入 15 mL 的水。
 - (3) 以高溫鍛燒爐加熱 12 小時。
（高溫爐設定：溫度攝氏 240 度）
 - (4) 將溶液分裝至 15 mL 離心管中離心。
（離心設定：轉速 10000 rpm、10 分鐘）
 - (5) 將離心過後的溶液以 0.22 μ m 濾膜的針筒過濾器過濾。
將溶液透析(分子量截斷: 3500 Da) 6 小時，每 3 小時換一次水。
 - (6) 即可得碳奈米點溶液。

3. 流程圖



流程圖（圖十八）

二、碳奈米點的基本性質檢測

(一) 紫外光測試

1. 目的：檢測所得溶液是否有碳奈米點，且發出螢光。
2. 作法：將溶液置於暗室中，再以紫外光燈照射，觀察其是否能產生螢光，以及觀察其螢光顏色。

(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：以雷射筆照射溶液，觀察是否有光徑形成。

(三) 紅外線光譜分析 (FTIR)

1. 目的：分析碳奈米點表面的官能基
2. 作法：
 - (1) 將 1 mL 荖葉碳奈米點溶液加入 1 g KBr 攪拌後烘乾成晶體
 - (2) 將晶體加入固體 KBr 磨成粉再壓成薄片
 - (3) 利用傅立葉轉換紅外線光譜儀作出紅外線光譜
 - (4) 分析紅外線光譜找出其官能基

(四) 3D 圖

1. 目的：檢測樣品是否可經照射特定光束激發出螢光，並判斷碳奈米點之激發波長與放射波長波段。
2. 作法：使用螢光光譜儀與程式 (Lab Solutions Rf) 進行檢測。

(五) 最佳稀釋倍率

1. 目的：螢光物質在高濃度時，會發生自吸收的情形。因此透過分析碳奈米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. 作法：
 - (1) 將荖葉碳奈米點溶液稀釋為原溶液的 2^1 、 2^2 、 2^3 、 2^4 、 2^5 、 2^6 倍。
 - (2) 以 EX 340 nm 進行螢光圖譜測試。
 - (3) 取圖中不同稀釋倍率的峰高強度製圖，找出線性關係的範圍。

(六) 吸收光譜和激發放射波長

1. 目的：找出碳奈米點吸收光譜、螢光激發和放射波長。
2. 作法：

(1) 激發、放射：取稀釋 10 倍之碳奈米點溶液，以螢光光譜儀，EX 340 nm 進行螢光圖譜測試。

(2) 吸收：將溶液稀釋 100 倍，以雙光束吸收光譜儀檢測。

(七) 最佳激發及放射波長

1. 目的：找出能驅使碳奈米點發出最強螢光的激發波長及碳奈米點之放光波長。

2. 作法：

(1) 配置稀釋 10 倍的碳奈米點溶液。

(2) 參考 3D 圖，得知當右方軸線（激發光波長）約 340 nm 時，碳奈米點可激出螢光，因此選擇波長 290 nm 到 390 nm 為區間測量。

(3) 利用程式調整螢光光譜儀發出之激發光波長，從 290 nm 到 390 nm，以 10 nm 為一個單位遞增。

(八) 量子產率計算

1. 目的：計算碳奈米點之相對螢光量子產率。

2. 作法：

(1) 以硫酸奎寧 ($\psi_R = 54\%$, $\lambda_{EX} = 340 \text{ nm}$) 作為參考螢光化合物，將硫酸奎寧溶於 0.1 M 之硫酸溶液 (refractive index = 0.133)。

(2) 測量對於參考螢光化合物與碳奈米點之吸收值。

(3) 測量後以相同濃度測其螢光值。 ($\lambda_{EX} = 340 \text{ nm}$)。

(4) 利用以下公式計算量子產率 (簡雨莛, 2012)。

$$\phi = \psi_R \times \frac{I}{I_R} \times \frac{A_R}{A} \times \frac{n^2}{n_R^2}$$

ϕ : 量子產率 A : 吸收值 I : 螢光強度

n : 折射率 R : 螢光標準物質

(九) pH 值

1. 目的：分析此碳奈米點在不同 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 (NaH_2PO_4)、磷酸氫二鈉 (Na_2HPO_4)、磷酸三鈉 (Na_3PO_4)、磷酸 (H_3PO_4) 配置成 0.1 M 水溶液，再依不同的混合比例調配成 pH 值 2.0~12.0 的 0.1 M 磷酸鹽緩衝溶液。

- (2) 分別取 200 μL 緩衝溶液，加 200 μL 荖葉碳奈米點溶液，再加水 1600 μL 。
- (3) 均勻混合後以 EX 340 nm 進行螢光圖譜測試，再由光譜的螢光強度對 pH 作圖。

(十) 耐鹽性

1. 目的：分析此碳奈米點在不同濃度的 NaCl 溶液下螢光強度的變化。
2. 作法：
 - (1) 配置 2 M 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 μL 不同濃度的 NaCl 水溶液與 1600 μL 的二次水溶液混合，最後再加入 200 μL 的荖葉碳奈米點溶液於離心管中。
 - (4) 以 EX 340 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。

(十一) 耐光性

1. 目的：分析此碳奈米點在不同時間以紫外光照射下螢光強度的變化情形。
2. 作法：
 - (1) 以 365 nm 紫外光持續照射稀釋 10 倍的碳奈米點溶液 1 小時。
 - (2) 每 10 分鐘以激發波長 340 nm 進行激發偵測。
 - (3) 由光譜之螢光強度對時間作圖分析。

(十二) 金屬離子檢測

1. 目的：測試碳奈米點在不同金屬離子溶液中，螢光強度是否會改變，進而得到碳奈米點對特定金屬離子的線性關係。
2. 作法：
 - (1) 取 15 種不同的金屬離子 (BK、 Ag^+ 、 Al^{3+} 、 Au^{3+} 、 Ba^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Co^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Hg^{2+} 、 K^+ 、 Li^+ 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 Ni^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+})，分別量取 200 μL 裝入 2mL 的離心管中，加入 200 μL 的碳奈米點溶液、200 μL 的 pH 7.0 緩衝溶液，再補水 1400 μL 。
 - (2) 將離心管包覆鋁箔紙，以 150 的轉速搖晃 30 分鐘，即可得荖葉碳奈米點與金屬離子的混合液。
 - (3) 配置背景溶液，取 200 μL 的碳奈米點溶液、200 μL 的 pH 7.0 緩衝溶液，補水 1600 μL 。

(4) 以 EX 340 nm 進行螢光圖譜測試。

三、應用

(一) 螢光列印

1. 目的：將螢光碳奈米點作為墨水，使用噴墨印表機印出圖案。
2. 作法：
 - (1) 將製作好圖片先列印在白紙上。
 - (2) 將碳奈米點溶液放入乾淨的藍色墨水槽中。
 - (3) 在有圖案的範圍上黏濾紙。(濾紙較白紙少雜質)
 - (4) 將影印時的藍色彩度調至 255，紅色為 0，綠色為 0。
 - (5) 重複列印 10 次。
 - (6) 將濾紙取下，關閉電燈，開啟紫外燈。
 - (7) 即可得以荖葉碳奈米點溶液做墨水的圖案。

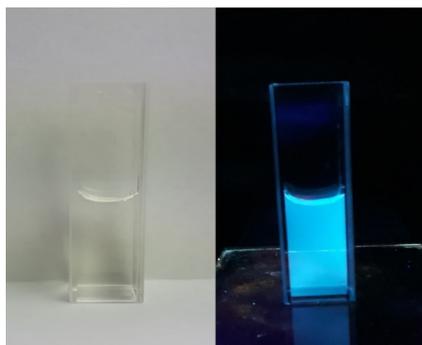
(二) 生物成像

1. 目的：將碳奈米點做螢光探針，應用於細胞顯影。
2. 作法：
 - (1) 取出洋蔥表皮細胞。
 - (2) 將其浸泡在碳奈米點水溶液、生理食鹽水混合液中。
 - (3) 浸泡 30 分鐘將其置於玻片在顯微鏡下以紫外光照射並觀察、拍照。
 - (4) 關掉紫外光後，接著再浸泡 30 分鐘。
 - (5) 再次開啟紫外光觀察細胞顯影成果並拍照

伍、研究結果

一、碳奈米點的基本性質

(一) 紫外光測試：



(圖十九) 一般燈光下與紫外光的碳奈米點溶液。

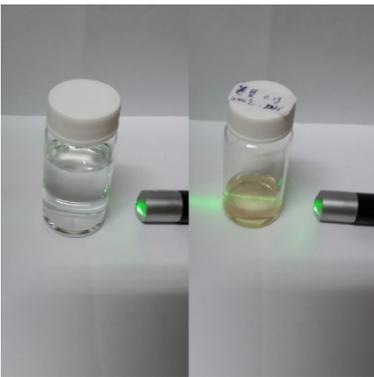


(圖二十) 紫外燈下的水、荖葉粉與經過水熱之荖葉碳奈米點溶液。

由圖十九中，右圖為荖葉碳奈米點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。左圖則是一般光照下的荖葉碳奈米點溶液，呈現澄清狀態。

由圖二十中，由左而右分別為水、荖葉粉水溶液與荖葉碳奈米點溶液在紫外光燈下之情形。可以發現，只有荖葉碳奈米點溶液在紫外光燈下會發出螢光，而水和荖葉粉並不會。因此可知在荖葉經過水熱法處理後，會有某種物質使原本不具螢光的溶液發出藍色螢光，推估為荖葉經過水熱後得到的螢光碳奈米點。

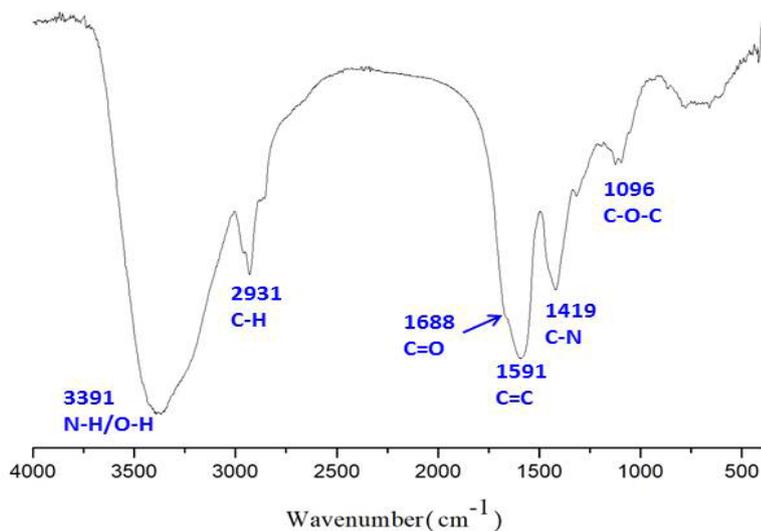
(二) 廷得耳效應：



(圖二十一) 超純水及稀釋 50 倍的碳奈米點溶液經雷射光束照射。

圖二十一中，左方為以雷射光束照射水之情形，右方則為以雷射光束照射荖葉碳奈米點溶液之情形，可以發現，雷射光束會在碳奈米點溶液中呈現一條明顯的光束，在水中則不會。因此可證明荖葉碳奈米點溶液為膠體溶液，具有 1 nm 到 100 nm 間的粒子。

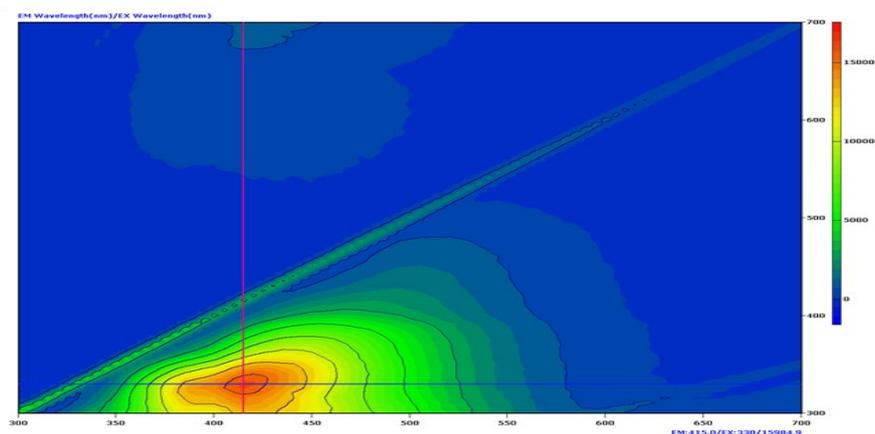
(三) 紅外線光譜分析



(圖二十二) 荖葉碳奈米點的紅外線光譜

由圖二十二可發現 1096 cm⁻¹、1419 cm⁻¹、1591 cm⁻¹、1688 cm⁻¹、2931 cm⁻¹和 3391 cm⁻¹分別代表 C-O-C、C-N、C=C、C=O、C-H、N-H/O-H 的伸縮震動訊號，推測因為碳奈米點表面含有這些親水性官能基，讓此碳奈米點具有良好的水溶性。

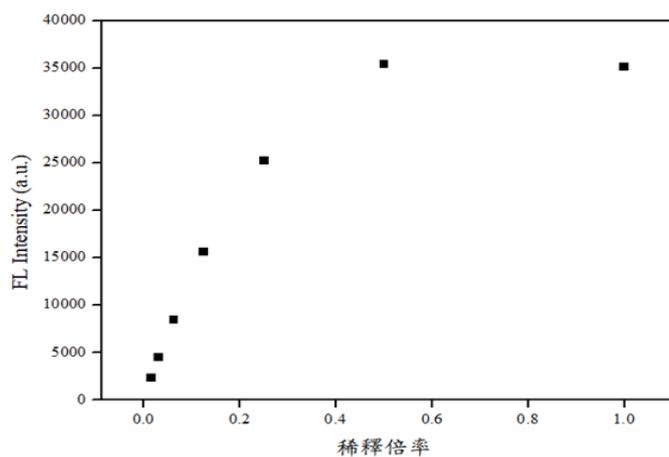
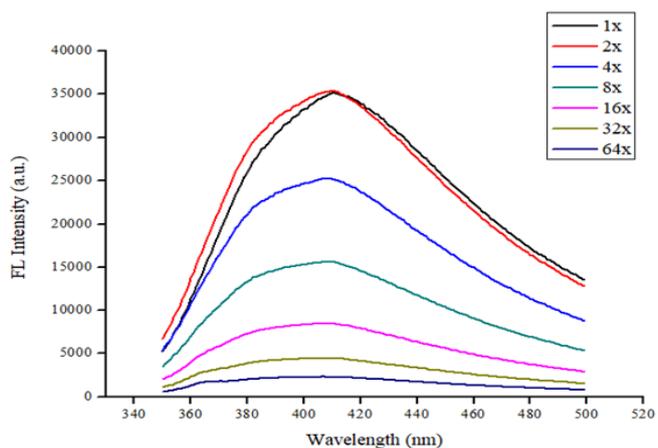
(四) 3D 圖：



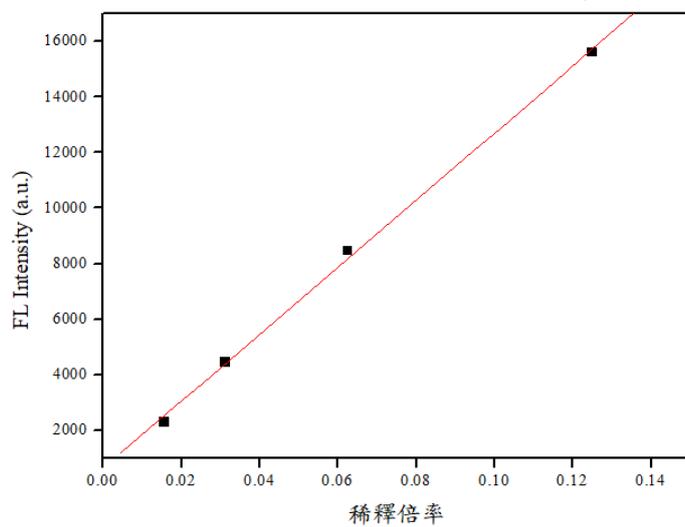
(圖二十三) 碳奈米點溶液的螢光 3D 圖。

由圖二十三可得知，右方為照射之特定光束，下方為放射光的波長，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 290~390 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。

(五) 稀釋倍率圖：



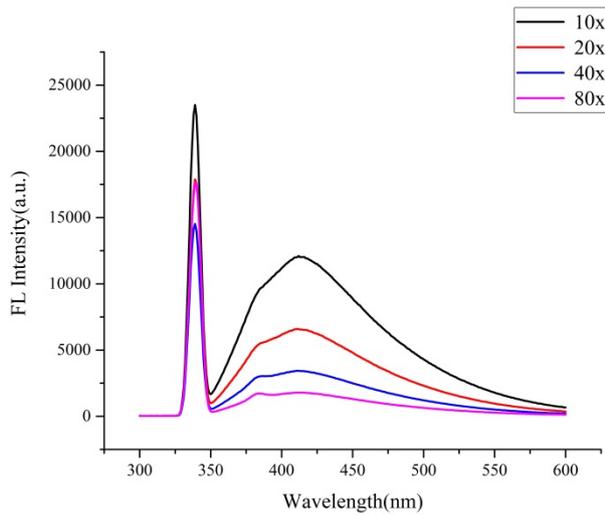
(圖二十四)、(圖二十五) 不同稀釋倍率下對碳奈米點螢光強度關係。



(圖二十六) 不同稀釋倍率下對碳奈米點螢光強度之回歸直線。

線性方程： $y=625.24+120774.5x$

$R^2=0.9986$

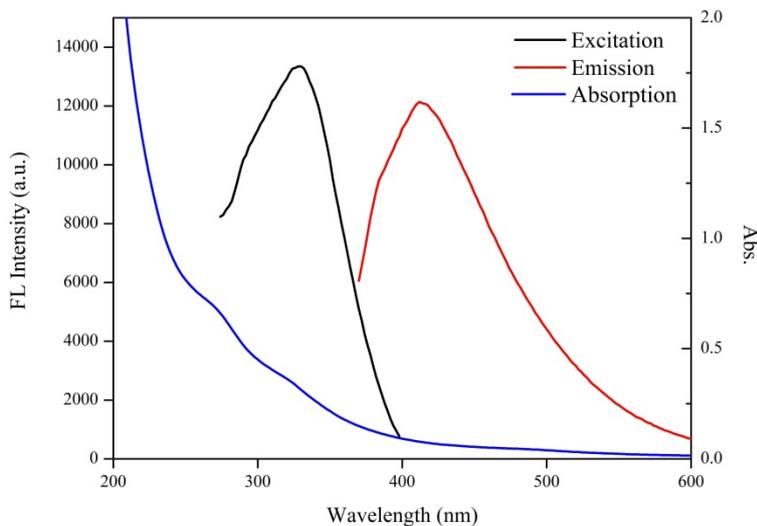


(圖二十七) 不同稀釋倍率下激發光波長對螢光強度關係。

由圖二十四、圖二十五、圖二十六及圖二十七可得知以下幾點：

1. 對碳奈米點溶液進行稀釋時螢光強度會先向上增加，稀釋 2 倍時達到最高峰。
2. 若繼續進行稀釋，螢光強度則會減弱。
3. 當碳奈米點濃度過高時，會發生自吸收現象，使螢光強度減弱。
4. 在稀釋 8 倍時，還是有些微自吸收現象，因此我們決定採用稀釋 10 倍之碳奈米點做後續之研究。

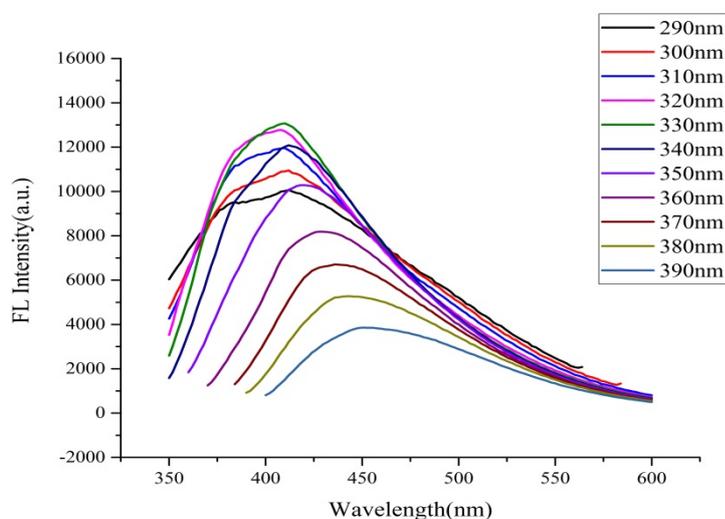
(六) 吸收光譜和激發放射波長：



(圖二十八) 稀釋 10 倍之荖葉碳奈米點的吸收及激發放射激發光譜

圖二十八中藍線為吸收光譜圖，對應右方軸線，從圖中可以觀察到荖葉碳奈米點在 270 和 325 nm 有微弱的吸收峰。黑色和紅色分別為激發與放射波長。由圖我們可以發現激發波長約在 340 nm 的區段，放射波長約在 410 nm 的區段，所以發出藍色螢光。

(七) 最佳激發及放射波長：



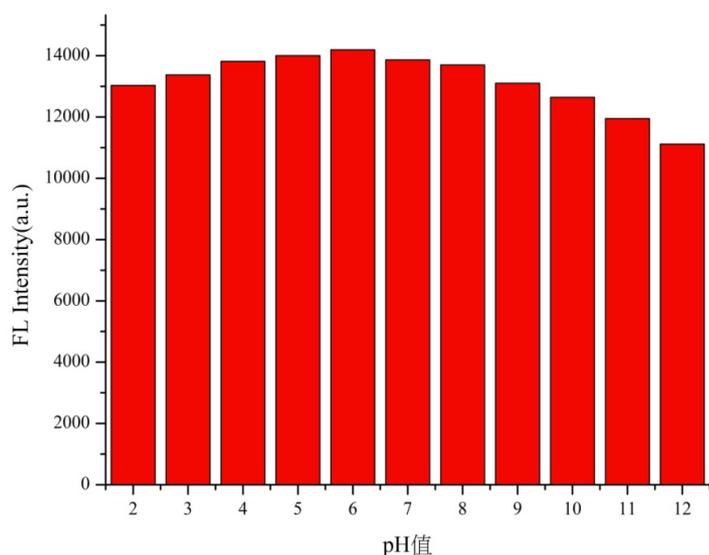
(圖二十九) 碳奈米點在不同激發光下之螢光強度

在圖二十九中，可以發現，碳奈米點之最強激發波長大約為 340 nm，發現放射波長約在 410 nm 的區段，因此後續實驗中，以 340 nm 激發荖葉碳奈米點溶液，取 410 nm 放射波長強度，以此數值為參考。另外，我們亦觀察到隨著激發波長的增加，放射波長也隨著增加，呈現紅移的現象。

(八) 量子產率：

經過檢測，發現硫酸奎寧在 340 nm 之光激發下，螢光強度的積分面積為 2.99×10^7 ，吸收值為 0.133，而碳奈米點溶液的螢光強度積分面積為 1.38×10^6 ，吸收值則為 0.061，帶入公式計算後得出相對螢光量子產率約為 5.4%。

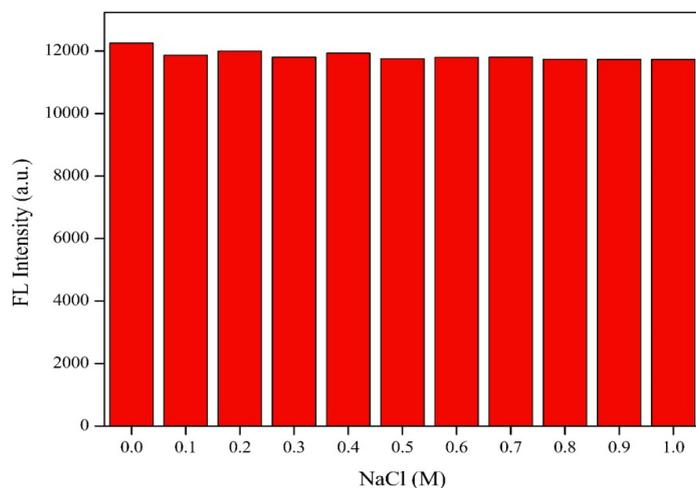
(九) pH 值



(圖三十) 碳奈米點在不同 pH 值下之螢光強度。

由圖三十可得，在 pH 2.0~12.0 之間碳奈米點螢光強度變化不大，故所合成的碳奈米點在這範圍的酸鹼值間都能保持穩定。

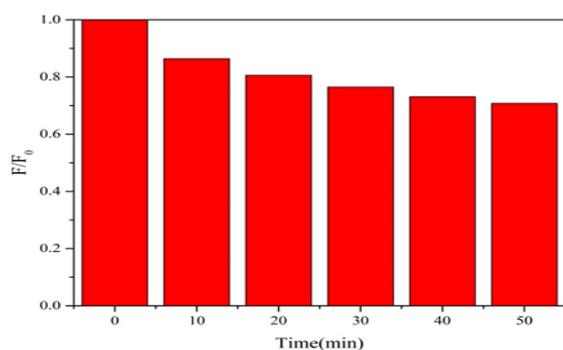
(十) 耐鹽性：



(圖三十一) 碳奈米點在不同 NaCl 水溶液濃度下之螢光強度。

由圖三十一可知在 NaCl 水溶液濃度 0~1.0 M 之間，螢光強度大致穩定，由此可知老葉碳奈米點有良好的耐鹽性。

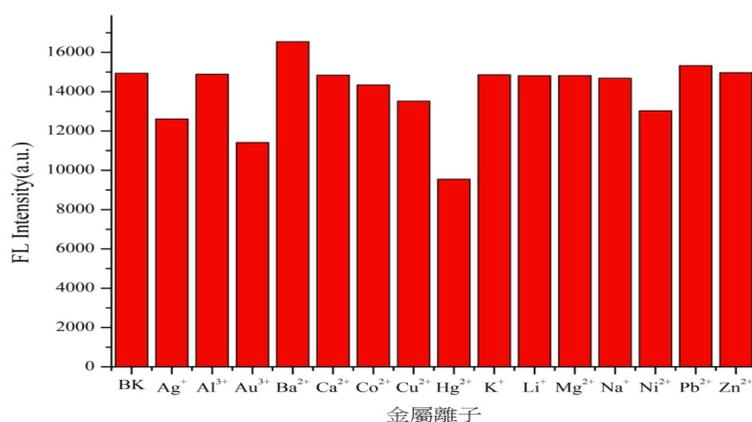
(十一) 耐光性：



(圖三十二) 碳奈米點螢光強度隨照光時間變化

由圖三十二可以發現，雖然經過時間愈長，螢光強度有下降的趨勢，但是以整體而言，下降的幅度並沒有太大。

(十二) 金屬離子



(圖三十三) 碳奈米點在不同金屬離子溶液中螢光強度。

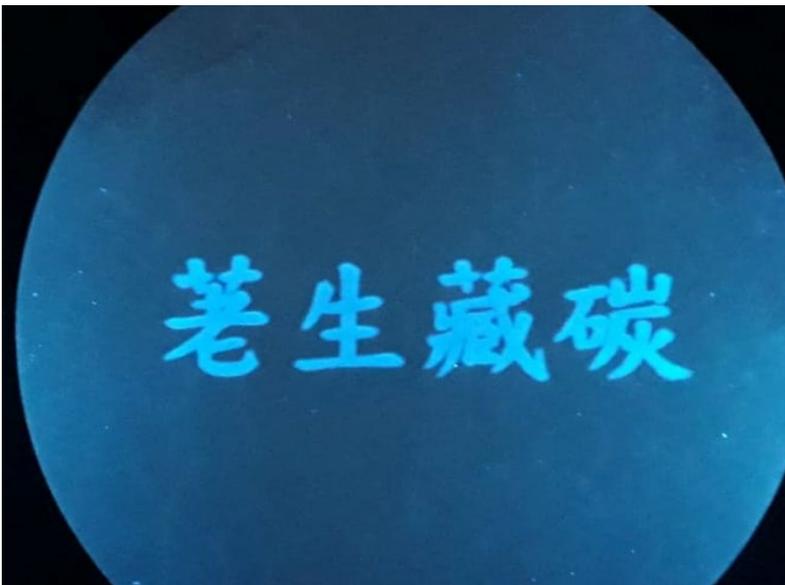
將不同種類之金屬離子所得螢光強度值作長條圖，由圖三十三可看出加入汞離子時，螢光強度下降最多，但下降幅度仍不足以證明其對汞離子有選擇性，推測應為碳奈米點表面之官能基會對與特定金屬離子產生錯合物，造成加入金屬離子溶液後之碳奈米點溶液螢光強度微幅下降。

二、應用

(一) 螢光列印



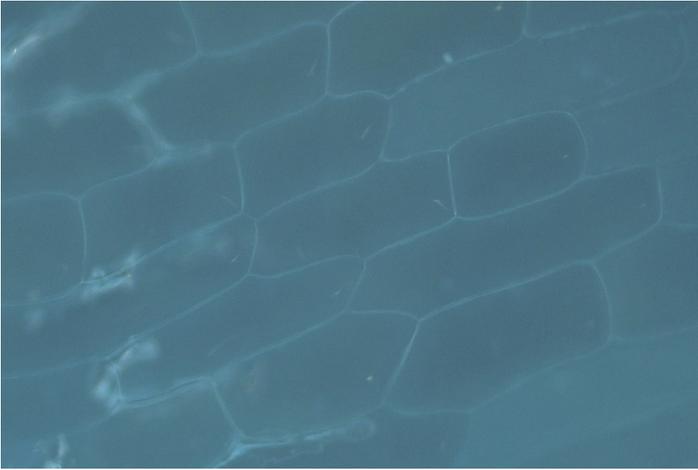
(圖三十四) 以所合成荖葉碳奈米點為墨水列印之成品 (日光燈下)



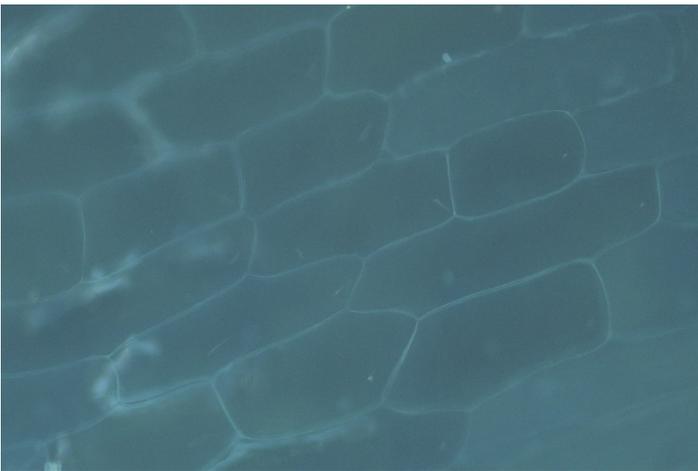
(圖三十五) 以所合成荖葉碳奈米點為墨水列印之成品 (紫外光下)

在影印機之墨水槽中加入碳奈米點溶液，經過列印後，即可得到如上圖之螢光碳奈米點之圖案。以紫外光照射可清晰見到影印之圖案。

(二) 生物成像



(圖三十六) 浸泡 30 分鐘碳奈米點與生理食鹽水混合液



(圖三十七) 浸泡 60 分鐘碳奈米點與生理食鹽水混合液

由圖三十六、三十七可以發現，洋蔥表皮細胞浸泡碳奈米點溶液時間愈長，細胞的染色效果便愈明顯，可以更清晰地看見細胞壁的形狀，

陸、結論與未來展望

我們以荖葉為原料，透過水熱法合成發螢光的碳奈米點。此碳奈米點在紫外光照射下會發出藍色螢光，透過廷得耳效應證明其為膠體溶液。在激發光波長 340 nm 的照射下可發出最強的螢光，相對量子產率方面經過計算約為 5.4%。另外我們透過實驗發現碳奈米點在 pH 2.0 ~12.0 間、0~1.0 M 的 NaCl 以及照光 50 分鐘內的螢光值皆能保持穩定。而在金屬離子的檢測中我們發現此碳奈米點對各種金屬選擇性皆不明顯，推測原因為碳奈米點表面官能基並沒有對特定的金屬離子有較強的作用力，僅造成些微的螢光淬滅。實驗中僅加入汞離子後螢光強度下降較多，若經調整加入其他前驅物，將來或許可以應用於汞離子檢測。實際應用方面，

我們將此碳奈米點作為影印機墨水印製出圖案，一般日光燈下看不出任何圖案，但在紫外光照射下則清晰可見，此應用將來或許可用於防偽辨識與保密等功能。利用碳奈米點的螢光特性，我們將其做細胞顯影，在紫外光下可以清楚看見細胞壁形狀，未來可以應用此特性進行生物成像。

此實驗還有幾個部分未做研究，例如使用穿透式電子顯微鏡（Transmission electron microscope, TEM）（附錄二）進行觀察，直接觀察我們所合成的碳奈米點，並且計算其平均粒徑。我們在實驗中所應用的紫外光照射、廷得耳效應只能算是間接證明。另外，碳奈米點表面官能基檢測，若能搭配 XPS 檢測，能夠更精確地分析結果和碳奈米點的組成原子比例，未來有機會也能朝這個方面做進一步的研究。

柒、參考文獻

- 一、李欣容、王昱婷、紀懿恩（2019）· 焦焦碳點，洋蔥之中—烤洋蔥碳點之性質分析· 中華民國第 59 屆中小學科學博覽會高中組化學科
- 二、阮鎡儒、林昱晴（2016）· 以天然物合成螢光碳奈米點與分析應用· 取自 http://web.fg.tp.edu.tw/~tfghdb/blog/wp-content/uploads/2016/01/WL21_pp260-pp275_%E4%BB%A5%E5%A4%A9%E7%84%B6%E7%89%A9%E5%90%88%E6%88%90%E8%9E%A2%E5%85%89%E7%A2%B3%E5%A5%88%E7%B1%B3%E9%BB%9E%E8%88%87%E5%88%86%E6%9E%90%E6%87%89%E7%94%A8.pdf
- 三、周書玄（2011）· 以咖啡渣合成水溶性螢光碳奈米分子· 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、郭元傑（2018）· 一個基於多功能螢光碳點與金奈米粒子的簡便策略用於簡單與靈敏檢測得恩地·（碩士論文）臺東：國立臺東大學應用科學系
- 六、穿透式電子顯微鏡· 維基百科· 取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%80%8F%E5%B0%84%E7%94%B5%E5%AD%90%E6%98%BE%E5%BE%AE%E9%95%9C>

捌、附錄

一、水熱法：合成碳奈米點最簡便、快速又穩定的方法。能合出含氧或胺基官能化碳點，具有良好的穩定性和生物相容性，並且可透過加入其他前驅物對碳點表面進行修飾，使碳點能擁有不同大小、物理和光學性質，另外能夠利用這些官能基團去與特定的金屬離子或分子進行反應來達到選擇性檢測分析物的結果。（郭元傑，2018）

二、穿透式電子顯微鏡：是把經加速和聚集的電子束投射到非常薄的樣品上，電子與樣品中的原子碰撞而改變方向，從而產生立體角散射。散射角的大小與樣品的密度、厚度相關，因此可以形成明暗不同的影像，影像將在放大、聚焦後在成像器件（如螢光屏、膠片、以及感光耦合組件）上顯示出來。（維基百科）

【評語】 050212

使用荖葉來做螢光奈米點，有應用價值，且鑑定清楚，應用
可以提出更多。

壹、研究動機

螢光碳奈米點是近幾年來新興的螢光奈米材料，被廣泛應用於不同的領域。現今螢光碳奈米點多嘗試使用天然有機物合成，期盼能開發低毒性並對環境無害的螢光奈米材料。我們便以台東在地農產作為發想，選用特色作物——荖葉為碳源，進一步分析其基本性質，並思考如何發揮此碳奈米點特性，將其應用於不同領域。

貳、研究目的

- 一、將荖葉作為碳源製備出成品並檢測其是否為碳奈米點
- 二、研究荖葉碳奈米點的基本性質
- 三、探究荖葉碳奈米點未來的應用

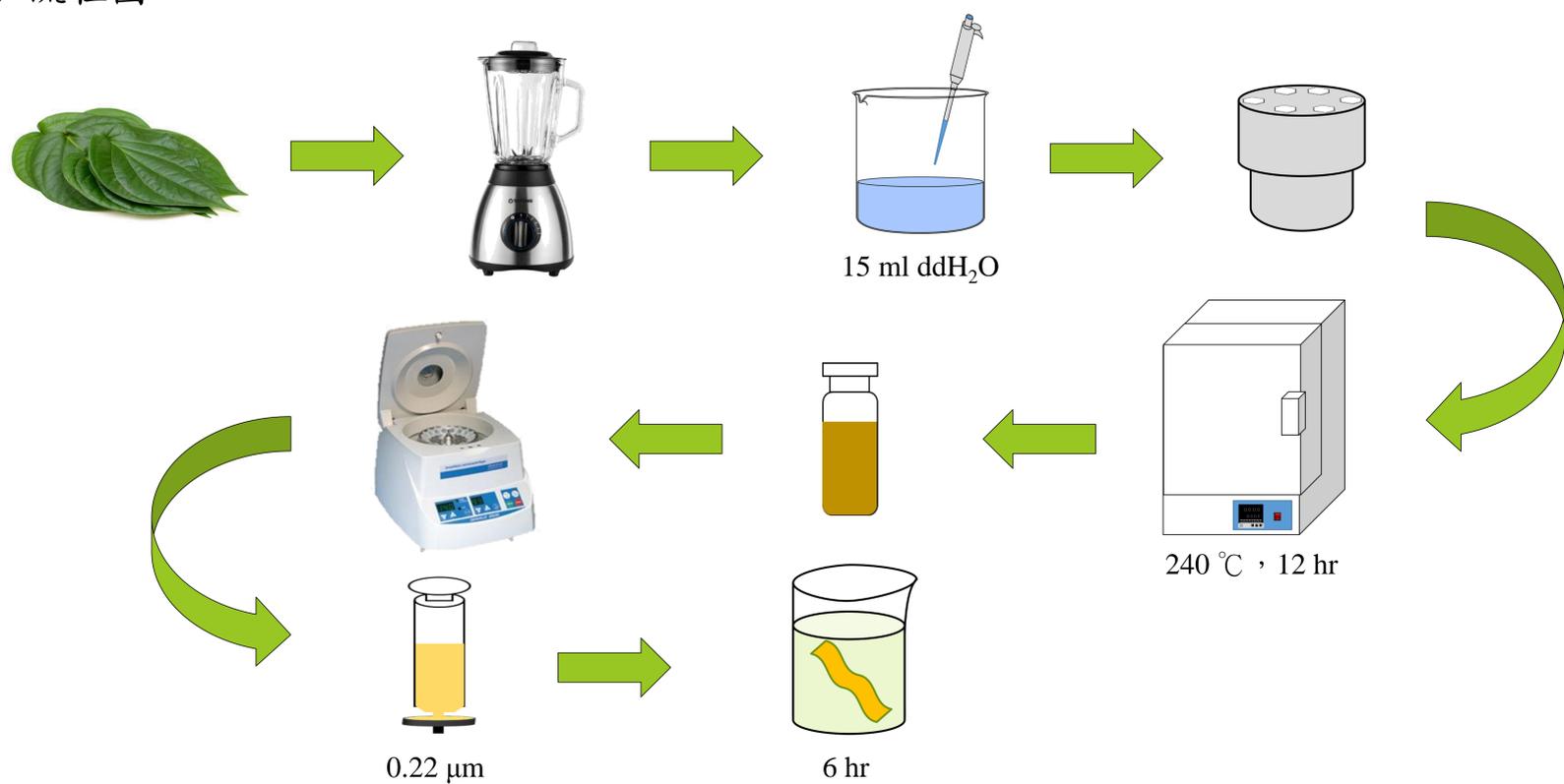
參、研究設備與器材

- 一、實驗材料與試劑：荖葉、二次水 (ddH₂O)、NaCl、硫酸奎寧、KBr、NaH₂PO₄、Na₂HPO₄、Na₃PO₄、H₃PO₄、15種金屬離子溶液。
- 二、實驗設備：高溫爐、高速離心機、微量吸量管、紫外光燈、pH計、RF6000螢光光譜儀、U2900雙光束吸收光譜儀、四位數電子天平、傅立葉轉換紅外線光譜儀。

肆、研究過程與結果

一、製備荖葉碳奈米點

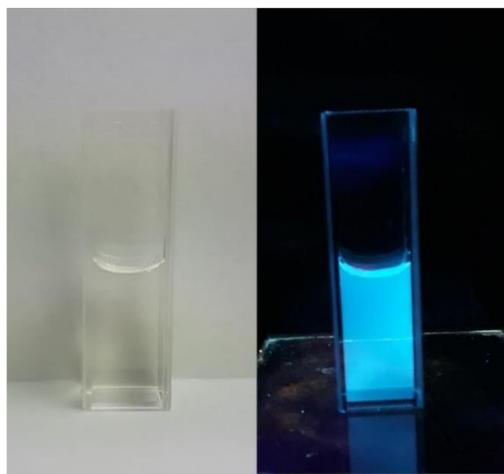
- (一) 目的：將荖葉烘乾磨成粉，透過水熱法合成並進一步純化取得螢光碳奈米點。
- (二) 流程圖



二、碳奈米點的基本性質檢測

(一) 紫外光測試與廷得耳效應

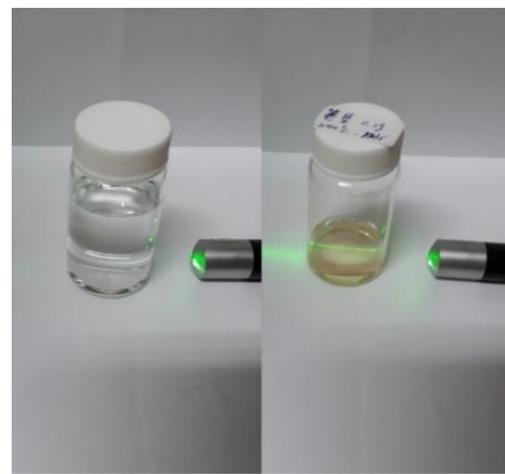
1. 目的：檢測所得溶液是否為碳奈米點。
2. 結果：



(圖一) 一般燈光下與紫外光的碳奈米點溶液



(圖二) 紫外燈下的水、荖葉粉與經過水熱之荖葉碳奈米點溶液

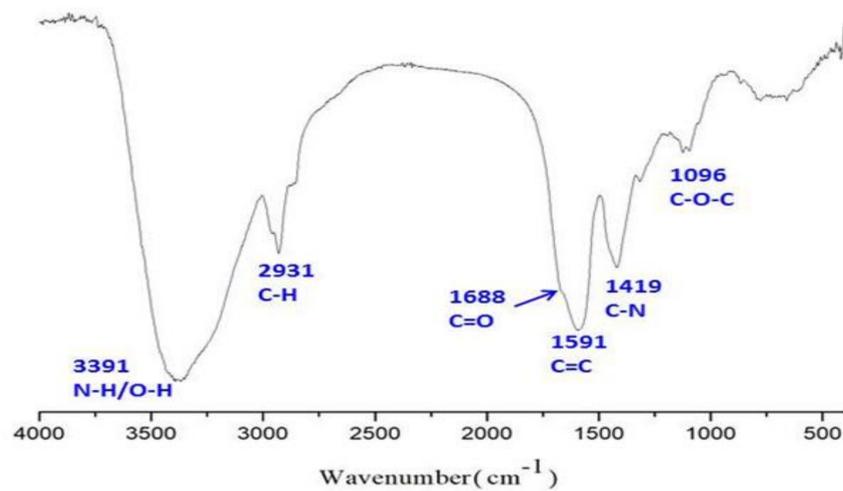


(圖三) 超純水及稀釋50倍的碳奈米點溶液經雷射光束照射

(二) 紅外線光譜分析(FTIR)

1. 目的：分析碳奈米點表面的官能基。
2. 結果：

由圖四可得1095 cm⁻¹、1414 cm⁻¹、1579cm⁻¹、1652 cm⁻¹、2922 cm⁻¹和3387 cm⁻¹分別代表C-O-C、C-N、C=C、C=O、C-H、N-H/O-H的伸縮震動訊號，推測因為碳奈米點表面含有這些親水性官能基，讓此碳奈米點具有良好的水溶性。



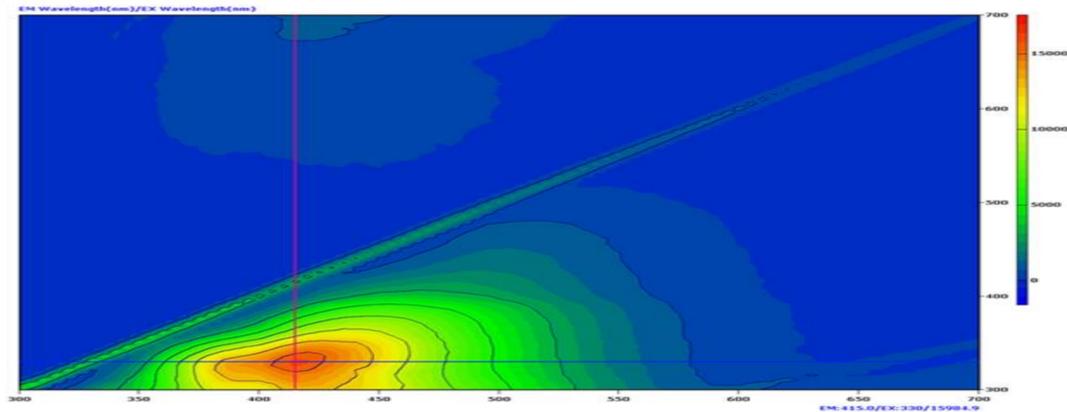
(圖四) 荖葉碳奈米點的紅外線光譜

(三) 3D圖

1.目的：檢測樣品是否可經照射特定光束激發出螢光，並判斷碳奈米點之激發波長與放射波長波段。

2.結果：

當以波長約 290~390 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。

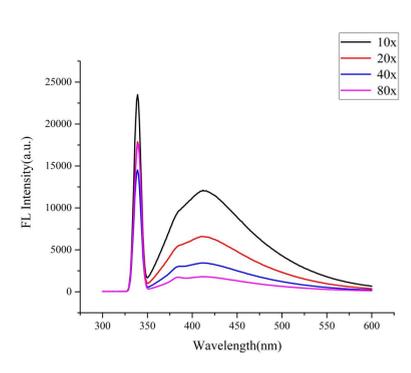
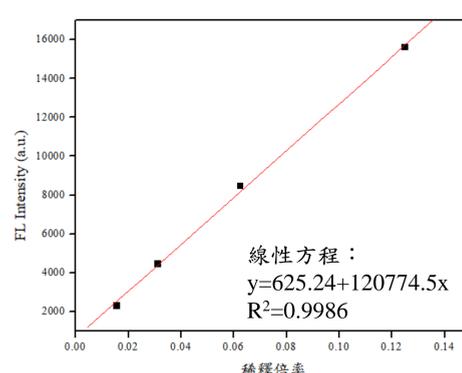
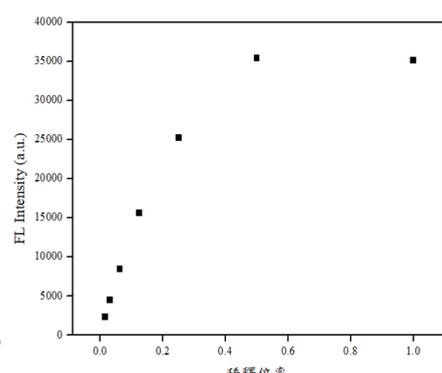
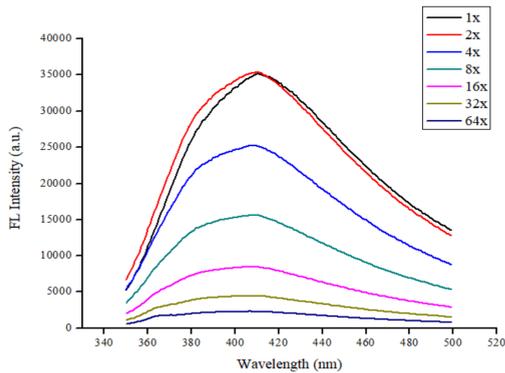


(圖五) 碳奈米點溶液的螢光3D圖

(四) 最佳稀釋倍率

1.目的：螢光物質在高濃度時，會發生自吸收的情形。因此透過分析碳奈米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：



(圖六)、(圖七) 不同稀釋倍率下對碳奈米點螢光強度關係

(圖八) 不同稀釋倍率下對碳奈米點螢光強度之迴歸直線 (圖九) 不同稀釋倍率下激發光波長對螢光強度關係

由圖六、七、八、九可得以下幾點結論：

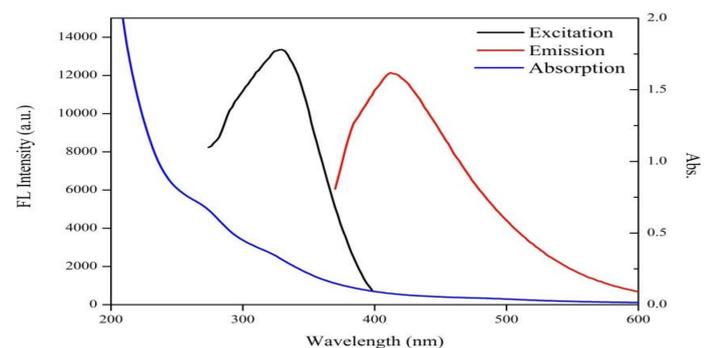
- (1) 對碳奈米點溶液進行稀釋時螢光強度會先向上增加，稀釋2倍時達到最高峰。
- (2) 若繼續進行稀釋，螢光強度則會減弱。
- (3) 當碳奈米點濃度過高時，會發生自吸收現象，使螢光強度減弱。
- (4) 在稀釋8倍時，還是有些微自吸收現象，因此我們決定採用稀釋10倍之碳奈米點做後續之研究。

(五) 吸收光譜和激發放射波長

1.目的：找出碳奈米點吸收光譜、螢光激發和放射波長。

2.結果：

藍線為吸收光譜圖，對應右方軸線，從圖中可以觀察到芨葉碳奈米點在270和325 nm有微弱的吸收峰。黑色和紅色分別為激發與放射波長。由圖我們可以發現激發波長約在340 nm的區段，放射波長約在410 nm的區段，所以發出藍色螢光。



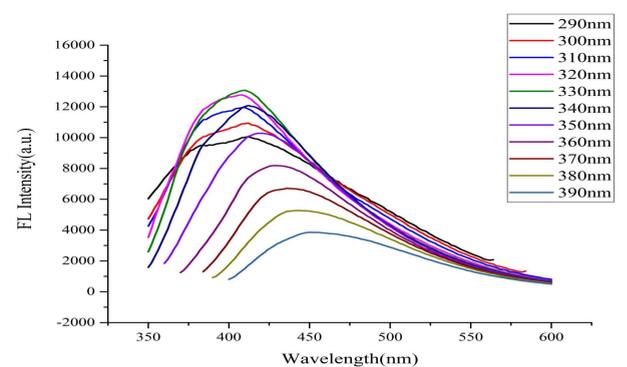
(圖十) 稀釋10倍之芨葉碳奈米點的吸收及激發放射激發光譜

(六) 最佳激發及放射波長

1.目的：找出能驅使碳奈米點發出最強螢光的激發波長及碳奈米點之放光波長。

2.結果：

在圖十一中，可以發現碳奈米點之最強激發波長大約為340 nm，發現放射波長約在410 nm的區段，因此後續實驗中，以340 nm激發芨葉碳奈米點溶液，取410 nm放射波長強度，以此數值為參考。另外，我們亦觀察到隨著激發波長的增加，放射波長也隨著增加。



(圖十一) 碳奈米點在不同激發光下之螢光強度

(七) 量子產率

1.目的：計算碳奈米點之相對螢光量子產率

2.結果：

硫酸奎寧在340 nm之光激發下，螢光強度的積分面積為 2.99×10^7 ，吸收值為0.133，而碳奈點溶液的螢光強度積分面積為 1.38×10^6 ，吸收值則為0.061，帶入公式計算後得出相對螢光量子產率約為5.4%。

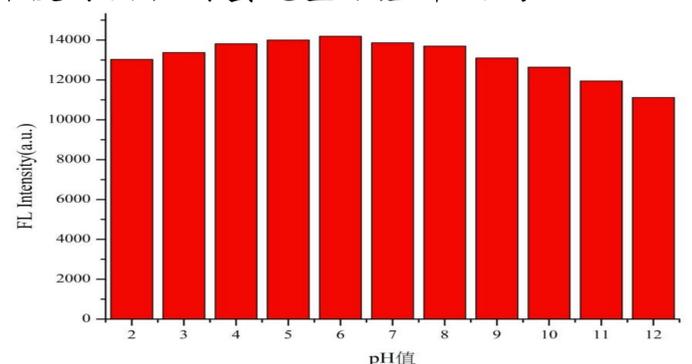
$$\phi = \psi_R \times \frac{I}{I_R} \times \frac{A_R}{A} \times \frac{n^2}{n_R^2}$$

(八) pH值

1.目的：分析此碳奈米點在不同pH值環境下的螢光強度，並找到最穩定的pH值環境。

2.結果：

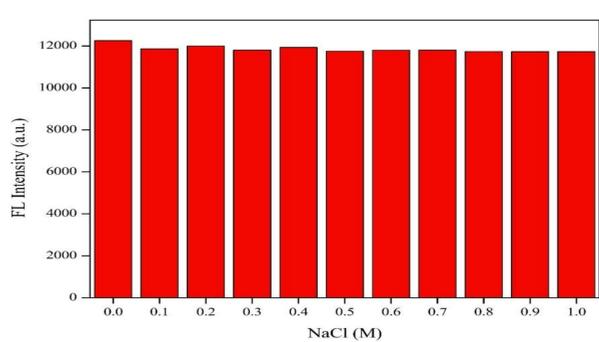
在 pH 2.0~12.0 之間碳奈米點螢光強度變化不大，故所合成的碳奈米點在這範圍的酸鹼值間都能保持穩定。



(圖十二) 碳奈米點在不同pH值下之螢光強度

(九) 耐鹽性

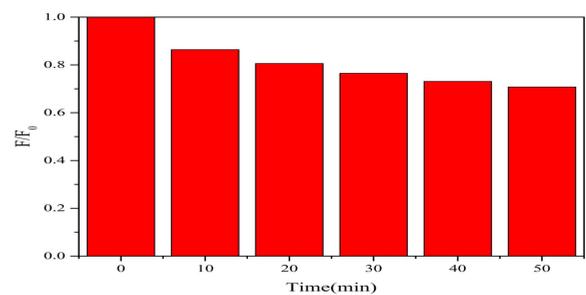
- 1.目的：分析此碳奈米點在不同濃度的NaCl溶液下螢光強度的變化。
- 2.結果：
NaCl水溶液濃度 0~1.0 M 之間，螢光強度大致穩定，由此可知荖葉碳奈米點有良好的耐鹽性。



(圖十三) 碳奈米點在不同NaCl水溶液濃度下之螢光強度

(十) 耐光性

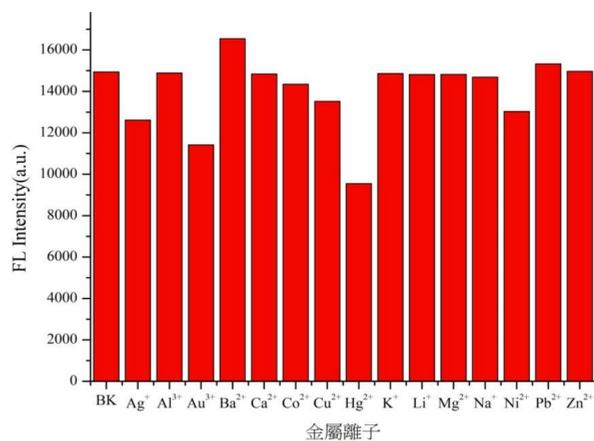
- 1.目的：分析此碳奈米點在不同時間以紫外光照射下螢光強度的變化情形。
- 2.結果：
經過時間愈長，螢光強度有下降的趨勢，但是以整體而言，下降的幅度並沒有太大。



(圖十四) 碳奈米點螢光強度隨照光時間變化

(十一) 金屬離子

- 1.目的：測試碳奈米點在不同金屬離子溶液中，螢光強度是否會改變。
- 2.結果：
將不同種類之金屬離子所得螢光強度值作長條圖，所得之螢光強度部分略微降低，推測應是碳奈米點表面之官能基會對與特定金屬離子產生錯合物，造成加入金屬離子溶液後之碳奈米點溶液螢光強度微幅下降。

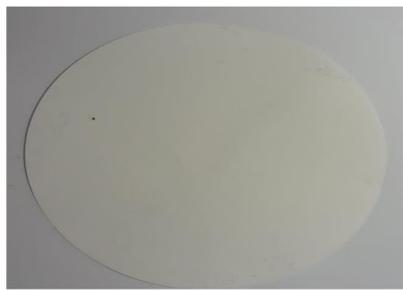


(圖十五) 碳奈米點在不同金屬離子溶液中螢光強度。

三、應用

(一) 螢光列印

- 1.作法：將螢光碳奈米點作為墨水，使用噴墨印表機印出圖案。
- 2.成品：



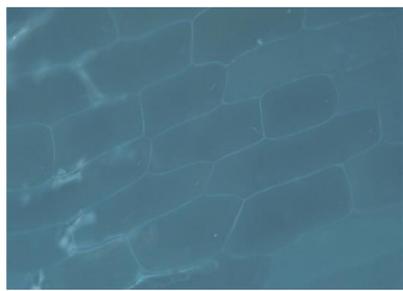
以所合成荖葉碳奈米點為墨水列印之成品 (日光燈下)



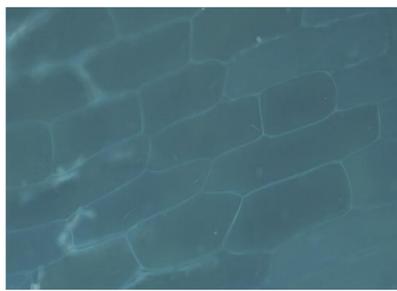
以所合成荖葉碳奈米點為墨水列印之成品 (紫外光下)

(二) 細胞成像

- 1.作法：將碳奈米點做螢光探針，應用於細胞顯影。
- 2.成品：



浸泡30分鐘碳奈米點與生理食鹽水混合液



浸泡60分鐘碳奈米點與生理食鹽水混合液

伍、結論

- 一、透過水熱法合成之荖葉碳奈米點在紫外光照射下會發出藍色螢光。
- 二、經廷得耳效應證實荖葉碳奈米點溶液為膠體溶液。
- 三、荖葉碳奈米點在激發光波長340 nm的照射下可發出最強的螢光，相對量子產率經過計算5.4%。
- 四、此碳奈米點在pH 2.0~12.0間、0~1.0 M的NaCl以及照光50分鐘內的螢光值皆能保持穩定。
- 五、在金屬離子的檢測中我們發現此碳奈米點對各種金屬選擇性皆不明顯，推測原因為碳奈米點表面官能基並沒有對特定的金屬離子有較強的作用力，僅造成些微的螢光淬滅。

陸、未來展望

- 一、金屬離子檢測實驗中僅加入汞離子後螢光強度下降較多，若經調整加入其他前驅物，或許可以應用於汞離子檢測。
- 二、將此碳奈米點作為影印機墨水製出圖案，一般日光燈下看不出任何圖案，但在紫外光照射下則清晰可見，此應用將來或許可用於防偽辨識與保密等功能。
- 三、使用穿透式電子顯微鏡(Transmission electron microscope, TEM)進行觀察，直接觀察我們所合成的碳奈米點，並且計算其平均粒徑。
- 四、碳奈米點表面官能基檢測，若能搭配XPS檢測，能夠更精確地分析結果。