

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 化學科

第三名

030207

「碳」與「鉛」的邂逅

---奈米發光碳點的合成及其在重金屬鉛的檢測

學校名稱：臺中市立豐南國民中學

作者： 國二 羅羽辰 國二 張君卉 國二 蘇皇睿	指導老師： 高靜儀 李沛晞
---	-----------------------------

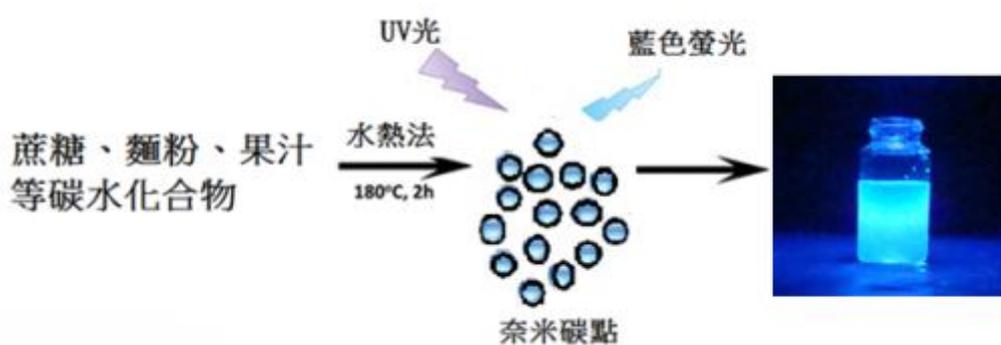
關鍵詞：奈米碳點、藍色螢光、淬滅

摘要

水熱法合成奈米發光碳點，以檸檬酸與乙二胺為反應物，檸檬酸提供碳、乙二胺提供氮，作為奈米碳點上的缺陷，進行反應的裝置是高壓釜，反應的條件，150°C、2.5 小時，產物為黑褐色液體，不需再分離。高壓釜可有效控制合成的產物在奈米的尺寸。綠色雷射光束，進行廷得耳效應，有綠色光徑；照射 UV 光，會發出藍色的螢光，證明產物確定為奈米發光碳點。藍色螢光的偵測，以數位相機的感光元件為偵測器，電腦軟體 DCM 顯示當時照片裡 RGB 的數值，以 B 值作為測量藍光螢光的強度。奈米碳點與多種金屬離子反應，只與 Pb^{2+} 發生聚集，藍色螢光強度會減弱，發生淬滅，具有選擇性，此種奈米碳點可以偵測水中的 Pb^{2+} ，同時， Pb^{2+} 濃度增加，會使藍色螢光強度減弱，為濃度淬滅。

壹、研究動機

在國中二年級的自然與生活科技的單元中「基本測量」¹，老師在介紹長度的公制單位時，說明一個叫做「奈米」的單位，它是 10^{-9} 公尺。當物質的顆粒大小在 1 奈米~100 奈米，達到那麼小的一個尺寸，就具有異於普通材料的光、電、熱、力學等性能，於是翻閱相關的文獻資料，我們有興趣的地方，是歸類在奈米材料中，奈米顆粒。近年來，有許多的奈米顆粒報導^{2,3,4}，都是關於奈米尺寸大小的碳粒子，在照射 UV 光之後，可發出美麗的藍色螢光，稱為奈米發光碳點（如圖一）。想尋找文獻期刊報導中，是否有簡易合成奈米碳點方法，不但可以自己合成，探究其性質及在生活的應用。



圖一

貳、研究目的

1. 參考文獻報導奈米碳點的合成方法，利用國中現有的實驗器材，試圖並找出以簡易的方式，合成奈米碳點。
2. 對於合成出的奈米碳點光學性質的研究。
3. 根據研究報導，有些種類的奈米碳點，會與重金屬反應，但不知其反應是如何。想要得知，我們所合成的奈米碳點是否也會與重金屬發生反應，利用學校實驗室中現有的多種金屬離子，與之反應，會有甚麼結果。
4. 以簡易的光學器材，將奈米碳點應用在生活中，對重金屬檢測。

參、研究設備及器材

一、研究設備

1. 電子天平 1 台
2. 刮勺 2 支
3. 稱量紙 50 張
4. 濾紙 1 盒
5. 水銀溫度計 1 支
6. 攪拌加熱器 1 台
7. 鐵鍋 1 個
8. 壓力釜 1 只
9. 樣本瓶 20mL 20 個
10. UV 燈
11. 滴管 10 支
12. 燒杯 1000mL 1 個
13. 燒杯 500mL 2 個
14. 燒杯 100mL 10 個
15. 雷射筆 1 支

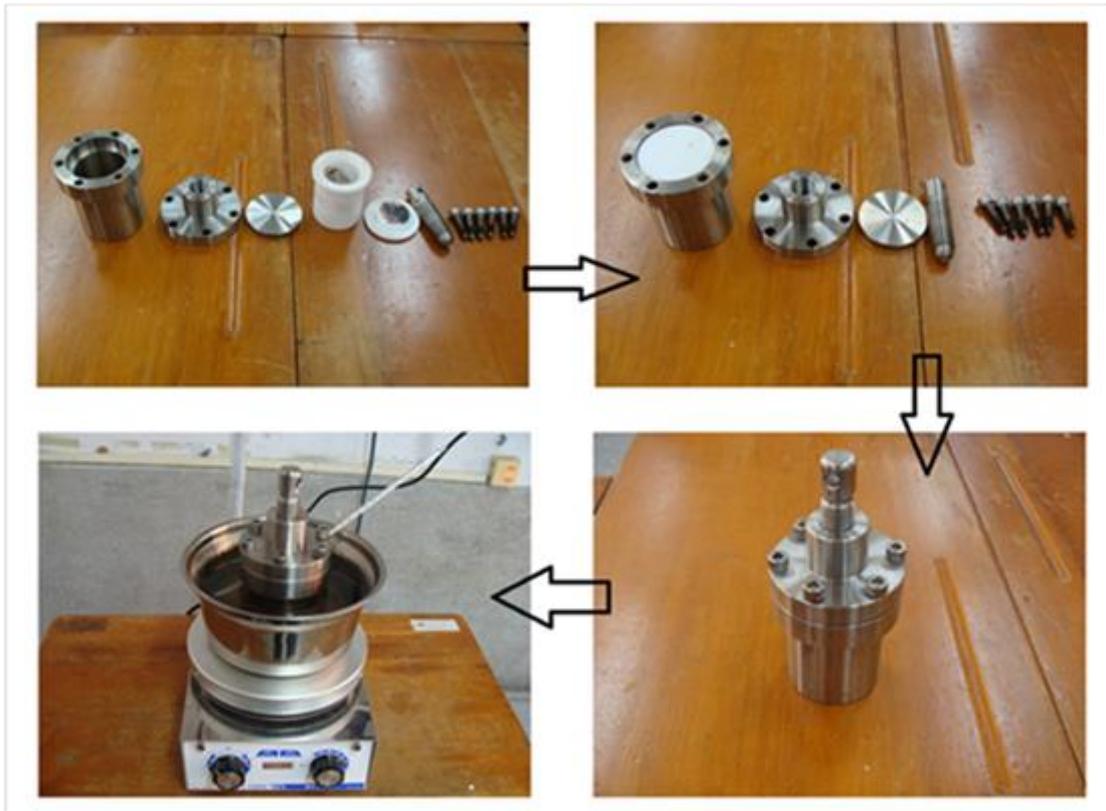
二、研究藥品

1. 檸檬酸
2. 乙二胺
3. 氯化鈣 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 500g 1 瓶
4. 氯化鎂 MgCl_2 溶液 0.1M 500mL 1 瓶
5. 硝酸鉀 KNO_3 500g 1 瓶
6. 氯化鋇 BaCl_2 500g 1 瓶
7. 六水合硫酸銨亞鐵 $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 500g 1 瓶
8. 硫酸銅 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 500g 1 瓶
9. 氯化亞鈷 $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 500g 1 瓶
10. 氯化鈉 NaCl 500g 1 瓶
11. 硝酸鉛 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 溶液 0.5M 500mL
12. 硫酸鋅 ZnSO_4 500g 1 瓶
13. 矽油 500mL 3 瓶
14. R.O 逆滲透水

肆、研究過程或方法

一、水熱法合成奈米碳點

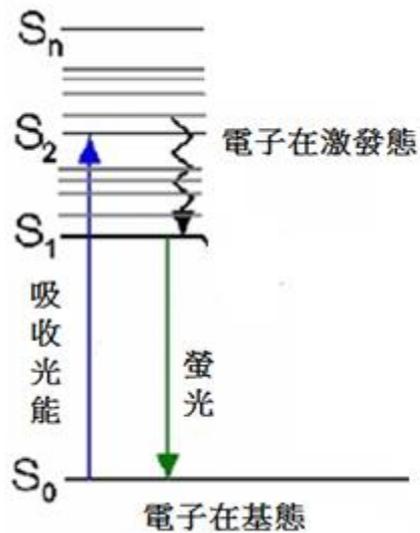
近年來，合成奈米碳點有多種方法，雷射剝蝕法、化學合成、熱分解、微波法和水熱法，其中，本次的研究是採用水熱法。水熱法是指反應於高壓釜中進行，如圖二（釜體不鏽鋼、圓形樺槽、鋼製螺旋、內膽為四氟乙烯）所示，將反應物（含有碳的物質，如果汁、檸檬酸、蔗糖、麵粉等碳水化合物）配置成水溶液在密閉容器內，利用油浴鍋及加熱板，可將溫度調至數百度，隨著對高壓釜加熱，釜內的溫度的上升並且壓力增加。水溶液在高壓、高溫的環境，就能促使水溶液中含碳的物質反應生成奈米碳點，由於產生的奈米碳點，不經過高溫煅燒，可避免奈米碳點再次聚集，變成巨大碳粒。



圖二 高壓釜裝置

二、螢光產生¹³

螢光是物質受某波長光線（例如紫外線或 x 射線）照射而吸收能量後，消耗部分能量，而釋放出另一較長波長的光線（通常是可見光），即是我們所能見到的螢光。螢光物質並非主動發光體，而是「光致發光」的現象，本身並不放出熱量，所以是一種冷發光。螢光產生的機制如圖三：



圖三 螢光產生機制

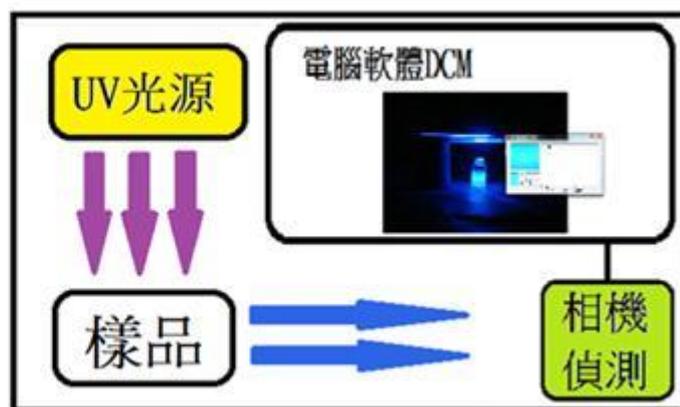
螢光物質吸收入射光能量後，電子從基態 S_0 躍遷至激發態 S_2 ，處於激發態 S_2 的電子可經多種途徑回到基態。例如電子可從 S_2 躍遷至較低能階的 S_1 ，再從 S_1 以發光方式釋出能量回到基態 S_0 ，即 $S_0+h\nu_{EX} \rightarrow S_2 \rightarrow S_1 \rightarrow S_0+h\nu_{EF}$ （入射光頻率 ν_{EX} ，螢光頻率 ν_{EF} ），並且 Zhu et al (2013) 研究⁷得知，奈米碳點的螢光與其表面的缺陷有關，當碳奈米與氮混雜時，其螢光強度會增強。

三、螢光偵測

對於奈米碳點所發出藍色螢光的偵測，除了可以使用螢光儀，我們參考文獻的方法⁸，設計簡易螢光偵測法，如圖五的示意圖。先製作暗箱，取得 UV 光源，UV 光源置於樣品上方，在與樣品水平等高處，架設照相機，即光源、樣品、相機三者為互相垂直。以數位相機作為偵測器，數位相機的感光元件，記錄照片的 RGB 值（R：紅光、G：綠光、B：藍光），有個電腦的軟體 DCM（Digital Color Meter），可顯示當時照片中，紅光、綠光、藍光的數值，我們此次的實驗，就是採用 B 值，作為測量藍光螢光的強度。



圖四 偵測螢光的暗箱



圖五 示意圖

四、奈米碳點的合成過程

1. (1) 微波法²⁵：將市面上的冬瓜，去皮、切碎，放入榨汁機，取得白黃色冬瓜汁 20mL，以燒杯盛裝，放入家用微波爐，選取微波功率值，每次 60W，加熱 1.5 分鐘，連續 5 次，溶液呈棕色，表示已有碳粒生成。

(2) 取棕色液體 5mL，放入 500mL 燒杯，再加水至整體體積為 500mL，即稀釋成 100 倍，液體呈淡黃色。

(3) 取 50mL 淡黃色溶液，以雷射筆照射溶液，觀察是否有廷得耳效應。

(4) 取 50mL 淡黃色溶液，放入暗箱中，以 UV 光源照射該溶液，觀察該溶液是否有藍色螢光。

2. (1) 微波法²⁵：稱取 2 g 蔗糖，以燒杯盛裝，加入 5mL 純水，再加入甘油至體積為 20mL，

放入家用微波爐，選取微波功率值，每次 60W，加熱 1.5 分鐘，連續 7 次，溶液呈黏稠狀、棕黑色，還有焦糖的味道，表示已有碳粒生成。

(2) 取棕黑色液體 5mL，放入 500mL 燒杯，再加水至整體體積為 500mL，即稀釋成 100 倍，液體呈淡黃色。

(3) 取 50mL 淡黃色溶液，以雷射筆照射溶液，觀察是否有廷得耳效應。

(4) 取 50mL 淡黃色溶液，放入暗箱中，以 UV 光源照射該溶液，觀察該溶液是否有藍色螢光。

3. (1) 熱分解法⁷：稱取 5 g 麵粉，以坩鍋盛裝，蓋上蓋子，隔絕空氣，以酒精燈加熱 40 分鐘。加熱期間，有大量的白煙，當白煙不再生成時，停止加熱。

(2) 待坩鍋回到室溫，打開蓋子，坩鍋內有黑色焦油，及一塊黑色的碳塊，取出放在研鉢內，以杵研磨，當呈細小顆粒粉末，將粉末倒入燒杯，並加水至體積 50mL。

(3) 以雷射筆照射溶液，觀察是否有廷得耳效應。

(4) 放入暗箱中，以 UV 光源照射該溶液，觀察該溶液是否有藍色螢光。

4. (1) 蠟燭燃燒法⁹：將蠟燭燃燒，玻璃片接近內焰處，則有不完全燃燒的黑煙，玻璃片被燻黑，根據報導，燻黑處有奈米碳粒，將其刮下，以燒杯盛裝，加入 50mL 水，可看見黑色的碳粒懸浮水中。

(2) 以雷射筆照射溶液，觀察是否有廷得耳效應。

(3) 放入暗箱中，以 UV 光源照射該溶液，觀察該溶液是否有藍色螢光。

5. (1) 類似水熱法⁶：取 100mL 市售柳橙汁，放在鋼碗裡，在家用壓力鍋，放入 3 公升水，鋼碗放入壓力鍋內，隔水加熱，將壓力鍋蓋上蓋子，以瓦斯爐加熱，先以大火加熱，當開始鳴笛時，轉成中火，使鳴笛聲持續，表示壓力鍋內的水是在沸騰的狀態。家用壓力鍋的說明書表示，此壓力鍋內的水溫最高可達 125°C，因此我們就以鍋內的溫度為 125°C。

(2) 當壓力鍋鳴笛聲不再，已加熱 1.5 小時，關火，等壓力鍋回到室溫。

(3) 取在鋼碗內呈現咖啡色的柳橙汁 10mL，放在離心管，以 8000rpm 離心 20 分鐘，取上層液 1 mL，加水稀釋至體積為 100mL，溶液呈淡黃色。

(4) 取 50mL 淡黃色溶液，以雷射筆照射溶液，觀察是否有廷得耳效應。

(5) 取 50mL 淡黃色溶液，放入暗箱中，以 UV 光源照射該溶液，觀察該溶液是否有藍色螢光。

有鑑於奈米碳點的合成 1-5 實驗過程中，都沒有觀察到碳點發光，改變合成的方法，參考文獻⁴的配方，但文獻是以不沾鍋加熱，並且所得的產物要以透析膜分離，於是採用，

6. (1) 水熱法：稱取 0.315g 的檸檬酸、量取水 25mL 及 1mL 的乙二胺，溶液呈無色透明，一起放入聚四氟乙烯罐中。

(2) 高壓釜體下墊片向下，放入聚四氟乙烯罐與上墊片，先擰緊釜蓋，然後用螺桿把釜蓋旋

扭擰緊釜蓋，然後用螺桿把釜蓋旋扭擰緊為止。

(3) 將水熱合成高壓釜置於矽油鍋，以加熱板加熱，調整加熱速度，於 30 分鐘後，矽油鍋內溫度到達 150°C，再繼續加熱 2.5 小時。

(4) 停止加熱後，等到裝置回到室溫，用螺桿把釜蓋旋扭扭開，打開釜蓋，為黑褐色溶液。

(5) 以玻棒沾取一點黑褐色溶液，點於濾紙上，等待濾紙乾後，放在暗處，以 UV 燈照射，觀察是否有螢光產生。

五、奈米碳點的性質

在上述的奈米碳點過程，以 6.的方法確定可以合成出發光的物質，將在高壓釜中的黑褐色液體產物倒出，以樣本品保存於陰暗中，對於產物的研究，皆以滴管量取

1. 取 1mL 的黑褐色液體，放入 100mL 的燒杯中，加水稀釋到體積為 100mL，即產物稀釋成 1/100，溶液呈黃褐色，以雷射光照射溶液。

2. 取 0.5mL 的黑褐色液體，放入 500mL 的燒杯中，加水稀釋到體積為 500mL，即產物稀釋 1/1000，溶液呈無色，以雷射光照射溶液。

3. 取 0.5mL 的黑褐色液體，放入 1000mL 的燒杯中，加水稀釋到體積為 1000mL，即產物稀釋 1/2000，溶液呈無色，以雷射光照射溶液。

4. 選擇稀釋為 1/1000 的液體，與純水一起照射雷射光，比較其廷得耳效應。

六、奈米碳點與金屬離子的反應

1. 取 1mL 的黑褐色液體，放入 500mL 的燒杯中，加水稀釋到體積為 500mL，即產物稀釋成 1/500，溶液呈黃色，選取實驗室中常見的金屬離子，有 Na⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、Ba²⁺、Zn²⁺、Fe²⁺、Co²⁺、Cu²⁺、Pb²⁺與奈米碳點的反應。

2. 奈米碳點與 Na⁺（氯化鈉）溶液反應

(1) 稱取氯化鈉 NaCl 固體 0.54g，加水至溶液體積為 100mL，配置成 [NaCl] = 0.1M。

(2) 以乾淨的玻棒沾取 1.中的奈米碳點液體，點在濾紙上，左右兩點。

(3) 再以另一乾淨的玻棒，再沾取 [NaCl] = 0.1M 溶液，點於 (2) 中濾紙上的右點。

(4) 當濾紙乾後，分別在日光及放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。

(5) 取 2 個相同的樣本瓶，1 個放入 10mL 為奈米碳點稀釋成 1/1000，並再加水 10mL 稀釋成 1/2000，使整體體積為 20mL；另 1 個也放入 10mL 為奈米碳點稀釋成 1/1000，並在加入 10mL [NaCl] = 0.1M，使整體體積為 20mL，奈米粒子的濃度為 1/2000，[NaCl] = 0.05M，放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。

3. 奈米碳點與 K⁺（硝酸鉀）溶液反應

(1) 稱取硝酸鉀 KNO₃ 固體 1.01g，加水至溶液體積為 100mL，配置成 [KNO₃] = 0.1M。

(2) 以乾淨的玻棒沾取 1.中的奈米碳點液體，點在濾紙上，左右兩點。

(3) 再以另一乾淨的玻棒，再沾取 [KNO₃] = 0.1M 溶液，點於 (2) 中濾紙上的右點。

(4) 當濾紙乾後，分別在日光及放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。

(5) 取 2 個相同的樣本瓶，1 個放入 10mL 為奈米碳點稀釋成 1/1000，並再加水 10mL 稀釋成 1/2000，使整體體積為 20mL；另 1 個也放入 10mL 為奈米碳點稀釋成 1/1000，並在加入 10mL $[\text{KNO}_3] = 0.1\text{M}$ ，使整體體積為 20mL，奈米粒子的濃度為 1/2000， $[\text{KNO}_3] = 0.1\text{M}$ ，放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。

4. 奈米碳點與 Mg^{2+} (氯化鎂) 溶液反應

- (1) 直接取得 $[\text{MgCl}_2] = 0.1\text{M}$ 。
- (2) 以乾淨的玻棒沾取 1. 中的奈米碳點液體，點在濾紙上，左右兩點。
- (3) 再以另一乾淨的玻棒，再沾取 $[\text{MgCl}_2] = 0.1\text{M}$ 溶液，點於 (2) 中濾紙上的右點。
- (4) 當濾紙乾後，分別在日光及放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。
- (5) 取 2 個相同的樣本瓶，1 個放入 10mL 為奈米碳點稀釋成 1/1000，並再加水 10mL 稀釋成 1/2000，使整體體積為 20mL；另 1 個也放入 10mL 為奈米碳點稀釋成 1/1000，並在加入 10mL $[\text{MgCl}_2] = 0.1\text{M}$ ，使整體體積為 20mL，奈米粒子的濃度為 1/2000， $[\text{MgCl}_2] = 0.05\text{M}$ ，放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。

5. 奈米碳點與 Ca^{2+} (氯化鈣) 溶液反應

- (1) 稱取氯化鈣 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 固體 1.47g，加水至溶液體積為 100mL，配置成 $[\text{CaCl}_2] = 0.1\text{M}$ 。
- (2) 以乾淨的玻棒沾取 1. 中的奈米碳點液體，點在濾紙上，左右兩點。
- (3) 再以另一乾淨的玻棒，再沾取 $[\text{CaCl}_2] = 0.1\text{M}$ 溶液，點於 (2) 中濾紙上的右點。
- (4) 當濾紙乾後，分別在日光及放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。
- (5) 取 2 個相同的樣本瓶，1 個放入 10mL 為奈米碳點稀釋成 1/1000，並再加水 10mL 稀釋成 1/2000，使整體體積為 20mL；另 1 個也放入 10mL 為奈米碳點稀釋成 1/1000，並在加入 10mL $[\text{CaCl}_2] = 0.1\text{M}$ ，使整體體積為 20mL，奈米粒子的濃度為 1/2000， $[\text{CaCl}_2] = 0.05\text{M}$ ，放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。

6. 奈米碳點與 Ba^{2+} (氯化鋇) 溶液反應

- (1) 稱取氯化鋇 BaCl_2 固體 2.08g，加水至溶液體積為 100mL，配置成 $[\text{BaCl}_2] = 0.1\text{M}$ 。
- (2) 以乾淨的玻棒沾取 1. 中的奈米碳點液體，點在濾紙上，左右兩點。
- (3) 再以另一乾淨的玻棒，再沾取 $[\text{BaCl}_2] = 0.1\text{M}$ 溶液，點於 (2) 中濾紙上的右點。
- (4) 當濾紙乾後，分別在日光及放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。
- (5) 取 2 個相同的樣本瓶，1 個放入 10mL 為奈米碳點稀釋成 1/1000，並再加水 10mL 稀釋成 1/2000，使整體體積為 20mL；另 1 個也放入 10mL 為奈米碳點稀釋成 1/1000，並在加入 10mL $[\text{BaCl}_2] = 0.1\text{M}$ ，使整體體積為 20mL，奈米粒子的濃度為 1/2000， $[\text{BaCl}_2] = 0.05\text{M}$ ，放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。

7. 奈米碳點與 Zn^{2+} (硫酸鋅) 溶液反應

- (1) 稱取硫酸鋅 ZnSO_4 固體 1.47g，加水至溶液體積為 100mL，配置成 $[\text{ZnSO}_4] = 0.1\text{M}$ 。
- (2) 以乾淨的玻棒沾取 1. 中的奈米碳點液體，點在濾紙上，左右兩點。

- (3) 再以另一乾淨的玻棒，再沾取 $[\text{ZnSO}_4] = 0.1\text{M}$ 溶液，點於 (2) 中濾紙上的右點。
- (4) 當濾紙乾後，分別在日光及放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。
- (5) 取 2 個相同的樣本瓶，1 個放入 10mL 為奈米碳點稀釋成 1/1000，並再加水 10mL 稀釋成 1/2000，使整體體積為 20mL；另 1 個也放入 10mL 為奈米碳點稀釋成 1/1000，並在加入 10mL $[\text{ZnSO}_4] = 0.1\text{M}$ ，使整體體積為 20mL，奈米粒子的濃度為 1/2000， $[\text{ZnSO}_4] = 0.05\text{M}$ ，放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。

8. 奈米碳點與 Fe^{2+} (硫酸亞鐵) 溶液反應

- (1) 稱取六水合硫酸銨亞鐵 $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 固體 4.48g，加水至溶液體積為 100mL，配置成 $[\text{FeSO}_4] = 0.1\text{M}$ 。
- (2) 以乾淨的玻棒沾取 1. 中的奈米碳點液體，點在濾紙上，左右兩點。
- (3) 再以另一乾淨的玻棒，再沾取 $[\text{FeSO}_4] = 0.1\text{M}$ 溶液，點於 (2) 中濾紙上的右點。
- (4) 當濾紙乾後，分別在日光及放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。
- (5) 取 2 個相同的樣本瓶，1 個放入 10mL 為奈米碳點稀釋成 1/1000，並再加水 10mL 稀釋成 1/2000，使整體體積為 20mL；另 1 個也放入 10mL 為奈米碳點稀釋成 1/1000，並在加入 10mL $[\text{FeSO}_4] = 0.1\text{M}$ ，使整體體積為 20mL，奈米粒子的濃度為 1/2000， $[\text{FeSO}_4] = 0.05\text{M}$ ，放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。

9. 奈米碳點與 Co^{2+} (氯化亞鈷) 溶液反應

- (1) 稱取氯化亞鈷 $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 固體 2.38g，加水至溶液體積為 100mL，配置成 $[\text{CoCl}_2] = 0.1\text{M}$ 。
- (2) 以乾淨的玻棒沾取 1. 中的奈米碳點液體，點在濾紙上，左右兩點。
- (3) 再以另一乾淨的玻棒，再沾取 $[\text{CoCl}_2] = 0.1\text{M}$ 溶液，點於 (2) 中濾紙上的右點。
- (4) 當濾紙乾後，分別在日光及放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。
- (5) 取 2 個相同的樣本瓶，1 個放入 10mL 為奈米碳點稀釋成 1/1000，並再加水 10mL 稀釋成 1/2000，使整體體積為 20mL；另 1 個也放入 10mL 為奈米碳點稀釋成 1/1000，並在加入 10mL $[\text{CoCl}_2] = 0.1\text{M}$ ，使整體體積為 20mL，奈米粒子的濃度為 1/2000， $[\text{CoCl}_2] = 0.05\text{M}$ ，放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。

10. 奈米碳點與 Cu^{2+} (硫酸銅) 溶液反應

- (1) 稱取硫酸銅 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 固體 2.5g，加水至溶液體積為 100mL，配置成 $[\text{CuSO}_4] = 0.1\text{M}$ 。
- (2) 以乾淨的玻棒沾取 1. 中的奈米碳點液體，點在濾紙上，左右兩點。
- (3) 再以另一乾淨的玻棒，再沾取 $[\text{CuSO}_4] = 0.1\text{M}$ 溶液，點於 (2) 中濾紙上的右點。
- (4) 當濾紙乾後，分別在日光及放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。
- (5) 取 2 個相同的樣本瓶，1 個放入 10mL 為奈米碳點稀釋成 1/1000，並再加水 10mL 稀釋成 1/2000，使整體體積為 20mL；另 1 個也放入 10mL 為奈米碳點稀釋成 1/1000，並在加入 10mL $[\text{CuSO}_4] = 0.1\text{M}$ ，使整體體積為 20mL，奈米粒子的濃度為 1/2000， $[\text{CuSO}_4] = 0.05\text{M}$ ，放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。

11. 奈米碳點與 Pb^{2+} (硫酸鉛) 溶液反應

- (1) 直接取得 $[\text{PbSO}_4] = 0.5\text{M}$ 。
- (2) 以乾淨的玻棒沾取 1. 中的奈米碳點液體，點在濾紙上，左右兩點。
- (3) 再以另一乾淨的玻棒，再沾取 $[\text{PbSO}_4] = 0.5\text{M}$ 溶液，點於 (2) 中濾紙上的右點。
- (4) 當濾紙乾後，分別在日光及放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。
- (5) 取 2 個相同的樣本瓶，1 個放入 10mL 為奈米碳點稀釋成 1/1000，並再加水 10mL 稀釋成 1/2000，使整體體積為 20mL；另 1 個也放入 10mL 為奈米碳點稀釋成 1/1000，並在加入 10mL $[\text{PbSO}_4] = 0.5\text{M}$ ，使整體體積為 20mL，奈米粒子的濃度為 1/2000， $[\text{PbSO}_4] = 0.25\text{M}$ ，放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。

七、奈米碳點在重金屬鉛的應用

1. 滴定法求不同濃度的鉛離子 (硝酸鉛溶液) 對奈米發光碳點的影響

- (1) 取 0.5mL 的黑褐色液體，放入 1000mL 的燒杯中，加水稀釋到體積為 1000mL，即產物稀釋 1/2000，溶液呈無色。
- (2) 取 10mL 奈米發光碳粒，放入樣本瓶中，放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DGM 分析其 B 值。
- (3) 取 1mL 0.5M 硝酸鉛溶液加入於 (2) 中， $[\text{Pb}^{2+}] = 0.045\text{M}$ 放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。
- (4) 取 2mL 0.5M 硝酸鉛溶液加入於 (2) 中， $[\text{Pb}^{2+}] = 0.083\text{M}$ 放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。
- (5) 取 3mL 0.5M 硝酸鉛溶液加入於 (2) 中， $[\text{Pb}^{2+}] = 0.115\text{M}$ 放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。
- (6) 取 4mL 0.5M 硝酸鉛溶液加入於 (2) 中， $[\text{Pb}^{2+}] = 0.142\text{M}$ 放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。
- (7) 取 5mL 0.5M 硝酸鉛溶液加入於 (2) 中， $[\text{Pb}^{2+}] = 0.166\text{M}$ 放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。
- (8) 取 6mL 0.5M 硝酸鉛溶液加入於 (2) 中， $[\text{Pb}^{2+}] = 0.187\text{M}$ 放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。
- (9) 取 7mL 0.5M 硝酸鉛溶液加入於 (2) 中， $[\text{Pb}^{2+}] = 0.205\text{M}$ 放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。
- (10) 取 8mL 0.5M 硝酸鉛溶液加入於 (2) 中， $[\text{Pb}^{2+}] = 0.222\text{M}$ 放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。
- (11) 取 9mL 0.5M 硝酸鉛溶液加入於 (2) 中， $[\text{Pb}^{2+}] = 0.236\text{M}$ 放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。

(4) 取 10mL 0.5M 硝酸鉛溶液加入於 (2) 中， $[Pb^{2+}] = 0.255M$ 放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。

2. 比較法：求不同濃度的鉛離子對奈米發光碳點的影響

(1) 取 1mL 的黑褐色液體，放入 1000mL 的燒杯中，加水稀釋到體積為 1000mL，即產物稀釋 1/1000，溶液呈無色。

(2) 取 2 個 樣本瓶，皆放入 10mL 奈米發光碳粒，1 瓶再加水 10mL，使體積 20mL，稀釋成 1/1000，作為標準瓶；另 1 瓶加入 0.5mL $[Pb^{2+}] = 0.5M$ ，再加水至體積 20mL，則此樣本瓶中，有 $[Pb^{2+}] = 0.0125M$ ，奈米發光碳粒 1/1000，將此兩樣本瓶放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。

(3) 取 2 個 樣本瓶，皆放入 10mL 奈米發光碳粒，1 瓶再加水 10mL，使體積 20mL，稀釋成 1/1000，作為標準瓶；另 1 瓶加入 1mL $[Pb^{2+}] = 0.5M$ ，再加水至體積 20mL，則此樣本瓶中，有 $[Pb^{2+}] = 0.025M$ ，奈米發光碳粒 1/1000，將此兩樣本瓶放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。

(4) 取 2 個 樣本瓶，皆放入 10mL 奈米發光碳粒，1 瓶再加水 10mL，使體積 20mL，稀釋成 1/1000，作為標準瓶；另 1 瓶加入 5mL $[Pb^{2+}] = 0.5M$ ，再加水至體積 20mL，則此樣本瓶中，有 $[Pb^{2+}] = 0.125M$ ，奈米發光碳粒 1/1000，將此兩樣本瓶放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。

(5) 取 2 個 樣本瓶，皆放入 10mL 奈米發光碳粒，1 瓶再加水 10mL，使體積 20mL，稀釋成 1/1000，作為標準瓶；另 1 瓶加入 10mL $[Pb^{2+}] = 0.5M$ ，再加水至體積 20mL，則此樣本瓶中，有 $[Pb^{2+}] = 0.25M$ ，奈米發光碳粒 1/1000，將此兩樣本瓶放入暗箱照射 UV 燈，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。

3. 奈米發光碳點在重金屬鉛的檢測

(1) 取一張直徑 11cm 的濾紙，量取互相垂直的對角線。

(2) 連接對角線，畫出一正方形，於正方形畫線，並分成長 7 公分、寬為 1 公分，剪成數條長條狀。

(3) 取 1mL 的黑褐色液體（奈米發光碳點），放入 500mL 的燒杯中，加水稀釋到體積為 500mL，即產物稀釋成 1/500，溶液呈黃色。

(4) 以乾淨鑷子夾取 (2) 中製作的長條濾紙，放入含有 1/500 奈米發光碳點液體中，待濾紙已全部沾有該液體，晾乾，就為奈米發光碳點試紙，如圖六。



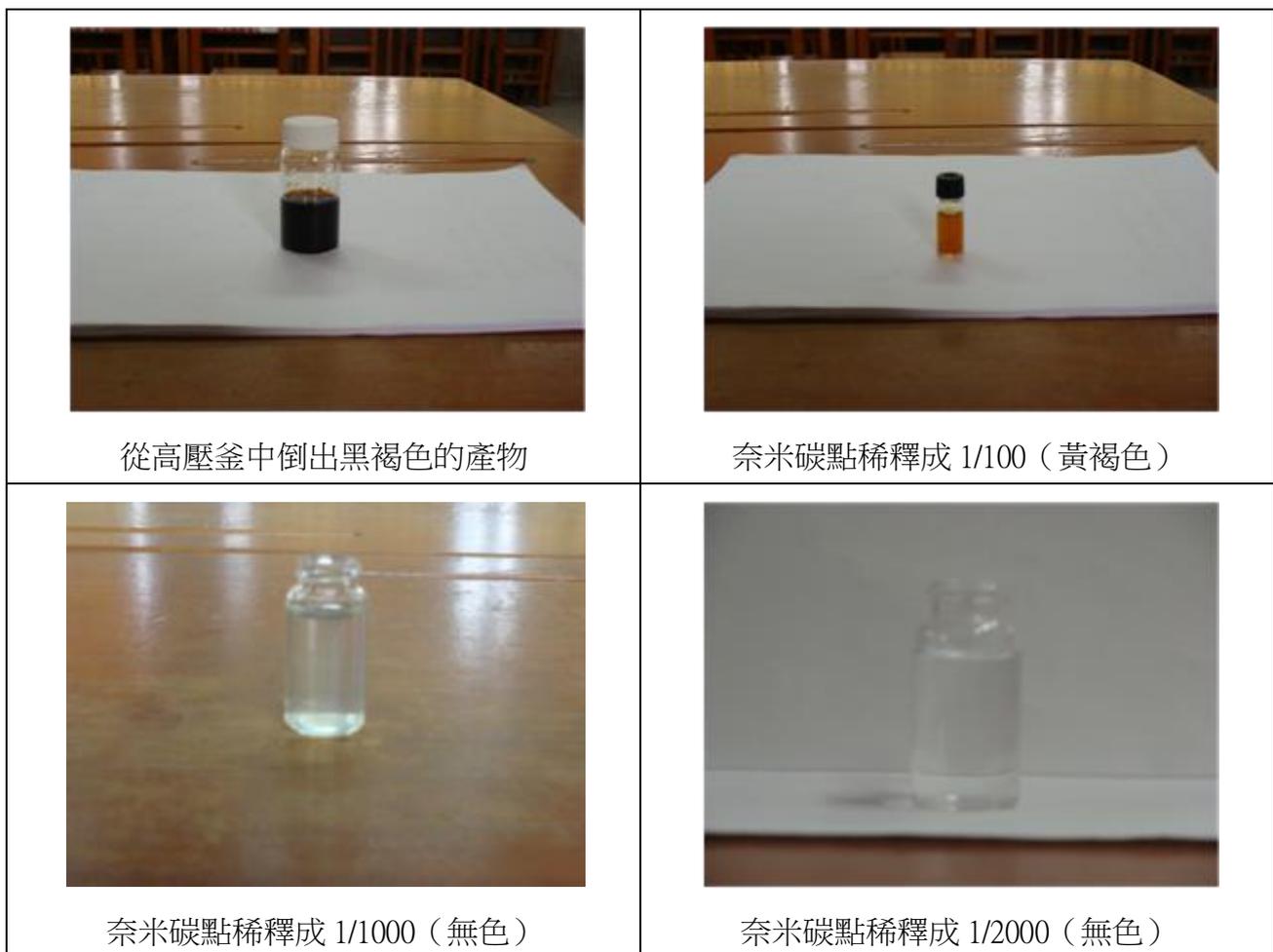
圖六

(5) 取 0.5M 的硝酸鉛溶液，以滴管滴於奈米發光碳點試紙上，待濾紙乾後，放在日光下及 UV 燈下，以相機照相，以 DCM 分析其 B 值。

伍、研究結果

一、奈米發光碳點的鑑定

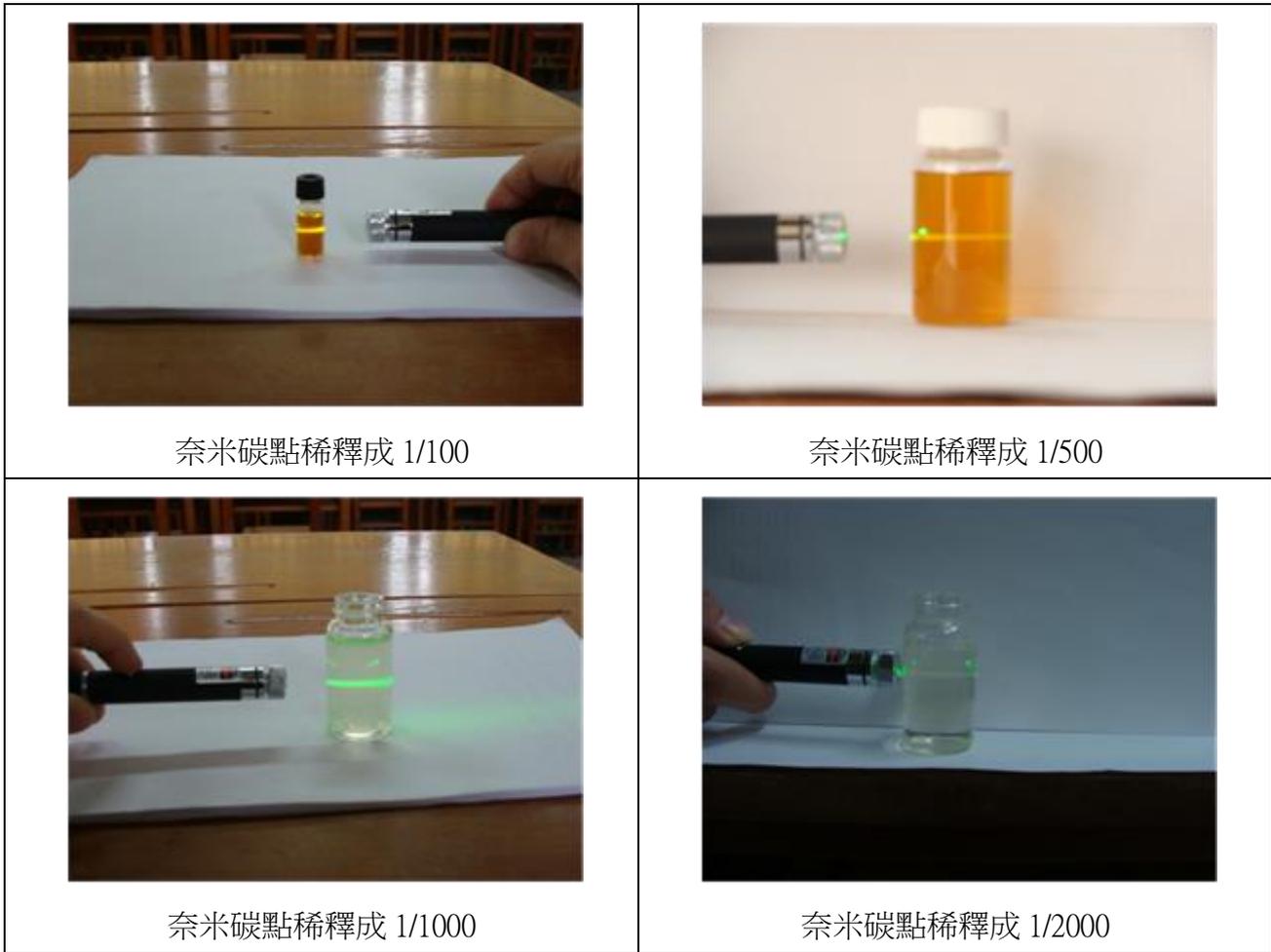
1. 在高壓釜中倒出在樣本瓶的產物及加水稀釋後的外觀（如圖七）



圖七

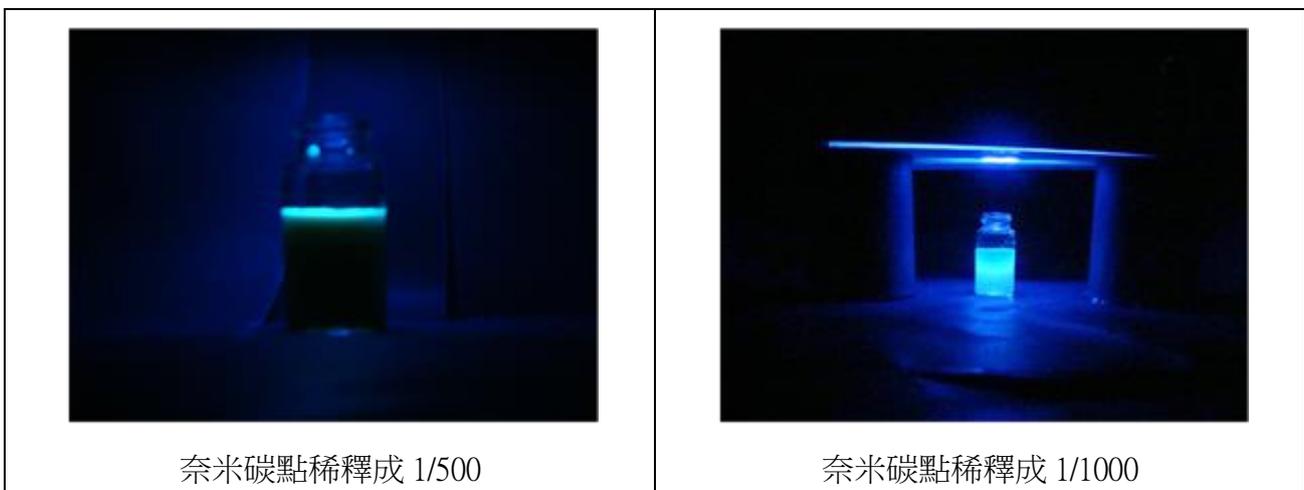
2.廷得耳效應^{7,10}

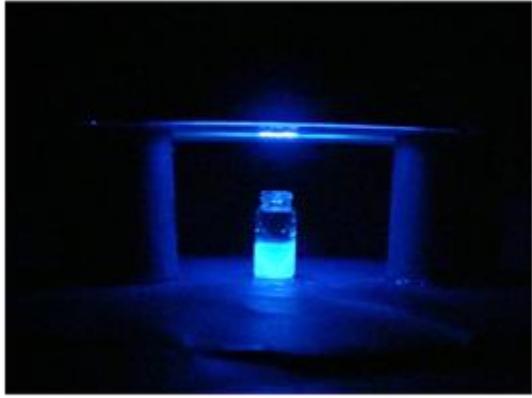
奈米碳點在不同的稀釋比例之廷得耳效應（如圖八）



圖八

3. 奈米碳點不同稀釋比例在 UV 燈下（如圖九）



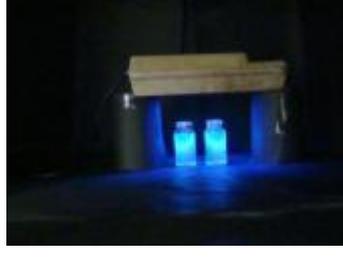


奈米碳點稀釋成 1/2000

圖九

二、奈米碳點與金屬離子的反應（如圖十）

	在日光下	在 UV 燈下	在 UV 燈下，奈米在水中
	 <p>碳點</p>	 <p>中點 B 值= 255</p>	 <p>中點 B 值=255</p>
Na ⁺	 <p>碳點、碳點與鈉離子</p>	 <p>碳點、碳點與鈉離子 (B 值=255、B 值=255)</p>	 <p>碳點、碳點與鈉離子 (B 值=255、B 值=255)</p>
K ⁺	 <p>碳點、碳點與鉀離子</p>	 <p>碳點、碳點與鉀離子 (B 值=255、B 值=254)</p>	 <p>碳點、碳點與鉀離子 (B 值=254、B 值=254)</p>

Mg ²⁺	 <p>碳點、碳點與鎂離子</p>	 <p>碳點、碳點與鎂離子 (B 值=255、B 值=254)</p>	 <p>碳點、碳點與鎂離子 (B 值=255、B 值=253)</p>
Ca ²⁺	 <p>碳點、碳點與鈣離子</p>	 <p>碳點、碳點與鈣離子 (B 值=255、B 值=255)</p>	 <p>碳點、碳點與鈣離子 (B 值=255、B 值=254)</p>
Ba ²⁺	 <p>碳點、碳點與鋇離子</p>	 <p>碳點、碳點與鋇離子 (B 值=255、B 值=254)</p>	 <p>碳點、碳點與鋇離子 (B 值=254、B 值=254)</p>
Zn ²⁺	 <p>碳點、碳點與鋅離子</p>	 <p>碳點、碳點與鋅離子 (B 值=254、B 值=254)</p>	 <p>碳點、碳點與鋅離子 (B 值=254、B 值=253)</p>
Fe ²⁺			

	碳點、碳點與亞鐵離子	碳點、碳點與亞鐵離子 (B 值=254、B 值=254)	碳點、碳點與亞鐵離子 (B 值=254、B 值=221)
Co ²⁺	 碳點、碳點與鈷離子	 碳點、碳點與鈷離子 (B 值=255、B 值=255)	 碳點、碳點與鈷離子 (B 值=253、B 值=188)
Cu ²⁺	 碳點、碳點與銅離子	 碳點、碳點與銅離子 (B 值=255、B 值=255)	 碳點、碳點與銅離子 (B 值=253、B 值=150)
Pb ²⁺	 碳點、碳點與鉛離子	 碳點、碳點與鉛離子 (B 值=253、B 值=218)	 碳點、碳點與鉛離子 (B 值=255、B 值=112)

圖十

三、奈米發光碳點在重金屬鉛的檢測

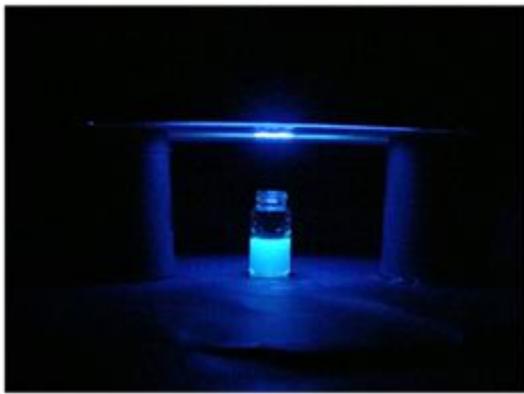
1. 滴定法求不同濃度的鉛離子對奈米發光碳點的影響 (如圖十一)



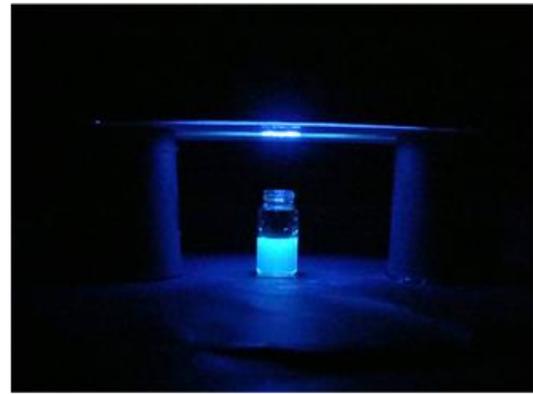
奈米碳點 1/2000 10mL，中點 B 值=254



奈米碳點 1/2000 10mL + 0.5M 1mL 鉛離子
〔 Pb^{2+} 〕 = 0.045M，中點 B 值 254



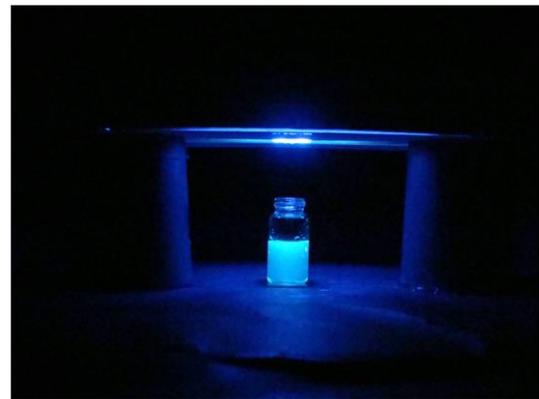
奈米碳點 1/2000 10mL+ 0.5M 2mL 鉛離子
〔 Pb^{2+} 〕 = 0.083M，中點 B 值 254



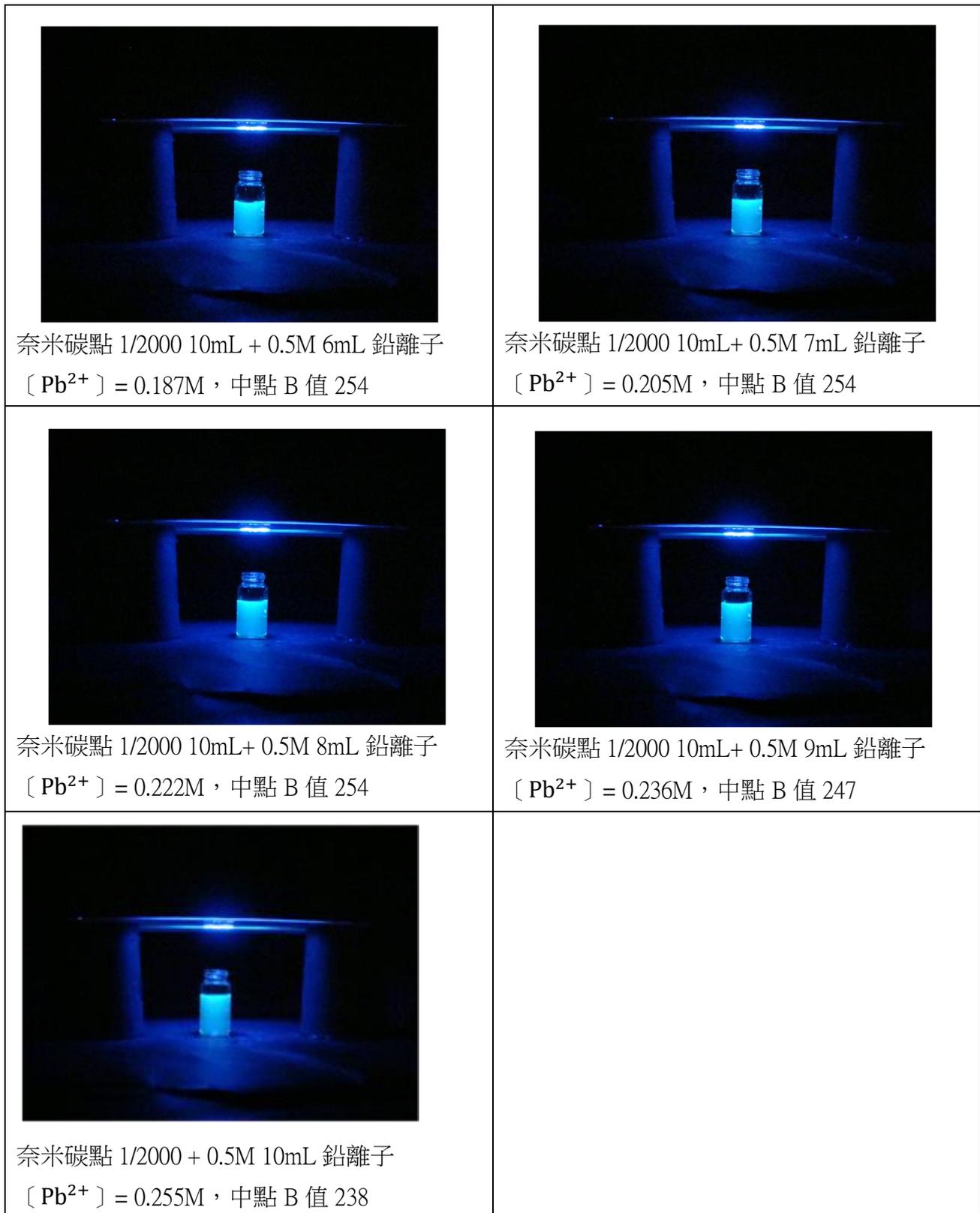
奈米碳點 1/2000 10mL+ 0.5M 3mL 鉛離子
〔 Pb^{2+} 〕 = 0.115M，中點 B 值 254



奈米碳點 1/2000 10mL+ 0.5M 4mL 鉛離子
〔 Pb^{2+} 〕 = 0.142M，中點 B 值 254



奈米碳點 1/2000 10mL+ 0.5M 5mL 鉛離子
〔 Pb^{2+} 〕 = 0.166M，中點 B 值 254



圖十一

2. 比較法求不同濃度的鉛離子對奈米發光碳點的影響（圖十二）



左瓶中點 B 值：255

右瓶中點 B 值：254

奈米碳點 1/2000 液體 20mL (左瓶)、含 0.0125M 鉛離子奈米碳點 1/2000 液體 20mL (右瓶)



左瓶中點 B 值：255

右瓶中點 B 值：206

奈米碳點 1/2000 液體 20mL (左瓶)、含 0.025M 鉛離子奈米碳點 1/2000 液體 20mL (右瓶)



左瓶中點 B 值：255

右瓶中點 B 值：146

奈米碳點 1/2000 液體 20mL (左瓶)、含 0.125M 鉛離子奈米碳點 1/2000 液體 20mL (右瓶)

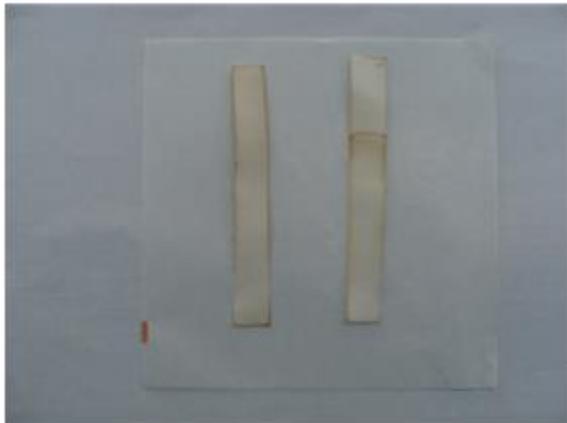


左瓶中點 B 值: 255 右瓶中點 B 值: 116

奈米碳點 1/2000 液體 20mL (左瓶)、含 0.25M 鉛離子奈米碳點 1/2000 液體 20mL (右瓶)

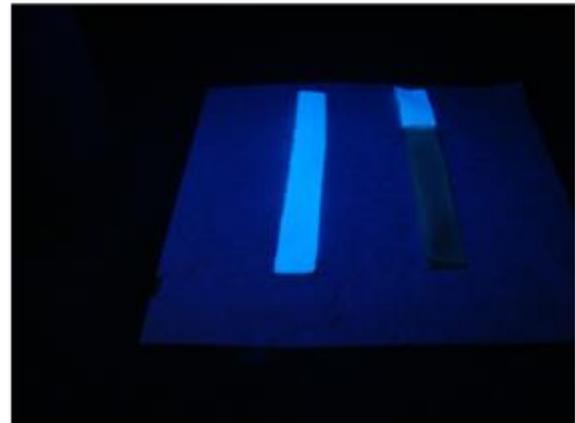
圖十二

3. 奈米發光碳點在重金屬鉛的檢測 (如圖十三)



奈米發光試紙在日光下

奈米發光試紙 (左邊)、奈米發光試紙滴上含鉛離子試紙 (右邊)



奈米發光試紙在 UV 燈下

奈米發光試紙 (左邊) B 值=254、奈米發光試紙滴上含鉛離子試紙 (右邊) B 值=74

圖十三

陸、討論

一、奈米碳點的觀察

要判斷奈米發光碳點是否有生成，可由兩個現象決定：

1. 廷得耳效應

當一束雷射光通過溶液，在入射光的垂直方向可以觀察到溶液散射出另一條光束，此一現象稱為「廷得耳效應」。廷得耳效應可以區別真溶液與膠體溶液的不同，當溶液為膠體溶液時，溶質的粒徑在 1-100 奈米時，因為光的散射就可以觀察到光徑，但真溶液則無法觀察到光徑。如圖十四以綠色雷射光照射純水(左瓶)與所合成的產物(右瓶)，右瓶有明顯綠色光束產生，因為含有 1-100 奈米的粒子存在，這樣的粒子，就是奈米碳點，證明合成的產物為奈米碳點。



圖十四 左瓶：純水、右瓶：含有稀釋成 1/1000 奈米碳點

2. 照 UV 光後產生螢光的現象

如圖十五，奈米碳點放在日光下，為無色透明的液體；以 UV 光照射產物，有出現藍色螢光，說明奈米碳點會發光。



圖十五 奈米碳點在日光、在 UV 光

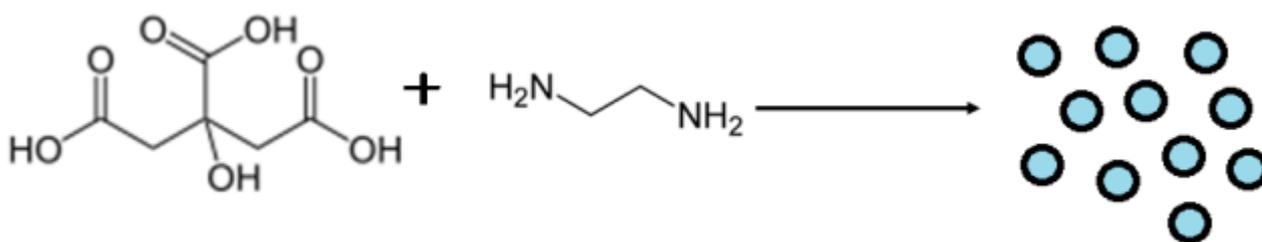
二、奈米碳點合成

1. 我們參考許多文獻的方法，想要以現有的設備，獲得奈米發光碳點，曾嘗試 (1) 微波爐加熱冬瓜汁，待冬瓜汁呈棕色時，即有碳粒產生，但顆粒過大，無廷得耳效應，照 UV 光不

會發光；(2) 微波爐加熱蔗糖甘油溶液，利用甘油有 210°C 的沸點，在微波爐中不易沸騰的優點，有得到棕黑色的液體，即有碳粒產生，稀釋液體 1/1000，有廷得耳效應，但照 UV 光不會發光；(3) 熱分解法，將麵粉以坩鍋在酒精燈上加熱，因麵粉為有機物含有碳，會發生碳化，變成一大塊的黑色焦炭，以杵研磨，加水溶解後，因為沒有超音波儀器震盪，碳粒過大，呈懸浮液，以離心機離心該懸浮液，有廷得耳效應，照 UV 光不會發光，我們推測，可能碳粒聚集過大；(4) 將蠟燭燃燒，玻璃片接近內焰處，則有不完全燃燒的黑煙，玻璃片被燻黑，根據報導，燻黑處有奈米碳粒，將其刮下，以水溶解，可看見黑色的碳粒懸浮水中，有廷得耳效應，照 UV 光不會發光，我們推測，可能碳粒聚集過大；(5) 以家用壓力鍋，家用壓力鍋可達水溫 125°C，將市售柳橙汁，加熱 2 小時，柳橙汁成咖啡色，我們推測，成咖啡色，應該是柳橙汁的成分有碳化，碳粒有聚集，以離心機 8000rpm 離心，取上層液認為應該奈米等級的碳粒，加水稀釋，雖有廷得耳效應，照 UV 光不會發光。

2. 要得到奈米碳點，進行合成時，反應物中必須要有碳的提供者，所以選取含有碳水化合物者，如冬瓜汁、蔗糖、麵粉、柳橙汁。反應的條件，必須要高溫，但上述實驗的溫度，只有使用壓力鍋溫度達 128°C，使用微波爐或以坩鍋加熱，無法確實控制溫度，即使有碳粒的產生，但碳粒因溫度較低，發生聚集，碳粒的尺寸已經比奈米還大，另一問題，即使有合成出奈米碳點，卻不發光，表示其量子產率低，根據文獻上的報導，碳點上最好要有缺陷，在合成過程中，加入含氮物質者，量子產率會增加。

3. 為了能控制合成碳粒的尺寸及有較高的量子產率，參考文獻中的配方，以檸檬酸與乙二胺為反應物，因為檸檬酸 ($C_6H_8O_7$) 含有很多碳，是碳的提供者；乙二胺 ($C_2H_4(NH_2)_2$) 含氮，為合成奈米碳點上缺陷時提供的氮 (如圖十六)，量子產率會很高，也就是會產生強度高的螢光。但不依文獻方式以平底鍋加熱反應，若依文獻上的條件，碳點的顆粒大小不易控制，產物會有大有小，容易有碳粒的聚集，必須使用透析膜，才能得到顆粒大小為奈米尺寸的碳點。選用水熱法合成，在水熱法中，使用高壓釜，高壓釜可以提供反應時的固定高溫、高壓。本次的反應條件為 150°C 高溫 2.5 小時，反應物原是無色溶液，產物為黑褐色液體，沾取黑褐色液體點在濾紙上，以 UV 燈照射，可發出藍光 (如圖十)，將產物以水稀釋，有廷得耳效應 (如圖八)，表示此方法可以合成奈米發光碳點，有效控制反應的溫度、壓力，就不會有碳的聚集，也不需使用離心機、超音波震盪及透析膜分離產物獲得奈米碳點。

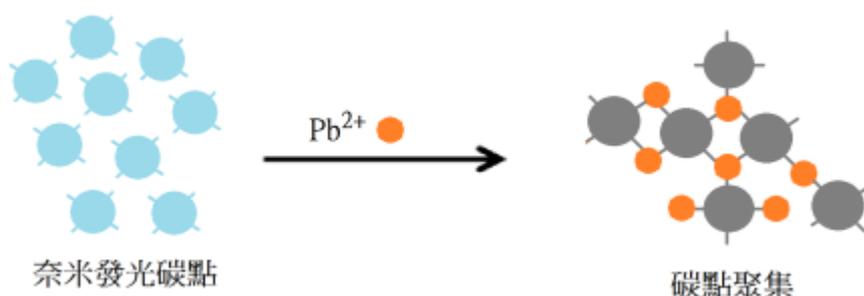


圖十六

三、產物奈米碳點的性質：

1. 從圖七、圖八與圖九，產物由高壓釜倒出時，呈現黑褐色，可以確定有碳粒的產生，但碳點濃度太高，必須加水稀釋，當稀釋為 1/500，溶液呈黃褐色，廷得耳效應明顯，綠色雷射光束，通過溶液會呈黃色光，但照射 UV 光，只有最上一薄層有螢光；當稀釋為 1/1000，溶液呈無色，廷得耳效應明顯，綠色雷射光束，通過溶液成綠光光束，照射 UV 光，整杯溶液藍色螢光非常強；當稀釋為 1/2000，溶液呈無色，廷得耳效應較不明顯，綠色雷射光束，通過溶液成綠光，照射 UV 光，整杯溶液藍色螢光非常強。這說明奈米碳點要觀察廷得耳效應及有較強的藍色螢光，以稀釋成 1/1000 為最佳。

2. 對於生活中，物質的檢驗，通常都製作成試紙的方式，方便又正確，我們利用此一想法，將奈米碳點與實驗室中常見的金屬離子，有 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Ba^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Co^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 直接在濾紙上反應，同時比較在水溶液的反應，放在日光、照射 UV 燈（如圖十）。濾紙上的反應，只有 Pb^{2+} 與奈米碳點有反應，由照片就可以發現螢光強度減弱，DCM 的 B 值，從 253 降至 218。而水溶液有反應的金屬離子，分別 Fe^{2+} 、 Co^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} ，由照片就可以發現螢光強度減弱，DCM 的 B 值， Fe^{2+} 從 255 降至 221、 Co^{2+} 從 255 降至 188、 Cu^{2+} 從 253 降至 218、 Pb^{2+} 從 255 降至 150，這幾個金屬離子，是我們常見的重金屬離子。其中， Fe^{2+} 放在空氣一久，會由淡黃色氧化成黃褐色的 Fe^{3+} ， Co^{2+} 在溶液中呈紅色， Cu^{2+} 在溶液中呈淡藍色，推測是否因為離子的顏色，離子吸收了螢光，螢光強度減弱。而 Pb^{2+} 原本就無色，在水溶液的藍色螢光強度減弱更多，這種使螢光減弱的現象，我們稱為淬滅。因此說明奈米發光碳點對 Pb^{2+} 有選性。



圖十七

3. 奈米碳點可以與 Pb^{2+} 反應，使藍色螢光降低，發生淬滅，其機制¹¹可由圖十七說明，原先的奈米發光碳點，當加入 Pb^{2+} 後，推測可能 Pb^{2+} 可以與碳點上的酸根 COO^- 結合，讓碳點聚集，使得粒子變得很大，不再有奈米尺寸，因此發光降低，所見藍色螢光強度就減弱，可以說是 Pb^{2+} 將奈米碳點淬滅。

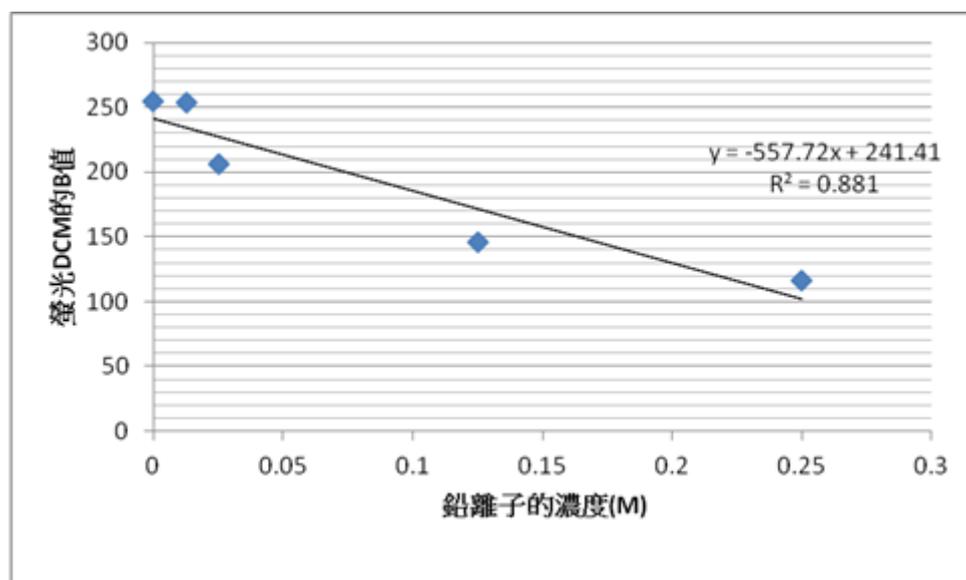
4. 由於這樣的現象，代表該奈米碳點只對 Pb^{2+} 具有選擇性，就可以用於水中 Pb^{2+} 的檢測，將奈米碳點產物稀釋成 1/500，放入較高濃度，是為了奈米碳點較能於濾紙上，並將濾紙剪成條狀，浸在該液體中，讓濾紙充滿奈米碳點，微奈米碳點試紙。當滴入 0.5M 的 Pb^{2+} 時，如圖所示，DCM 的 B 值，由 254 降至 74，藍色螢光強度降低。此種奈米碳點，可做為簡易的 Pb^{2+}

檢測試劑。我們認為，台灣有些地區¹²，自來水管還是鉛管，自來水會將鉛溶出，人們若飲用，會對健康造成極大的傷害，是否可以將此奈米碳點，作為檢測自來水中鉛的試劑，是值得再繼續做研究與討論的。

四、奈米碳粒偵測 Pb^{2+} 濃度

1. 利用滴定的方式，將 Pb^{2+} 逐漸加入奈米碳點水溶液中，再分析 DCM 的 B 值，由圖十一所記錄的 B 值，並沒有隨著 Pb^{2+} 濃度的增加，B 值並沒有將低。推測原因，可能是我們稀釋 1/2000 的奈米碳點與 Pb^{2+} 反應，奈米粒子數量太少，不易發生聚集，必須要 Pb^{2+} 濃度到達 0.26M，螢光強度才減弱，才能發生淬滅。

2. 改以稀釋 1/1000 奈米碳點，雖然在與 Pb^{2+} 進行反應，濃度也是再加入 Pb^{2+} 後，成了稀釋 1/2000，但是樣本瓶中奈米碳點的粒子數已經是兩倍。以 Pb^{2+} 濃度為橫坐標，螢光 DCM 的 B 值為縱座標作圖，直線方程式為 $y = -557.72x + 241.41$ ，如圖十八，得知 Pb^{2+} 的濃度增加，螢光強度減弱有直線斜率負值的線性關係， Pb^{2+} 濃度越高，淬滅越高，是一種濃度淬滅。也說明對於 Pb^{2+} 檢測濃度時，奈米碳點的粒子數不可太少，以稀釋產物 1/1000 是最低的底線。



圖十八

柒、結論

1. 檸檬酸與乙二胺為反應物，檸檬酸是碳的提供者，乙二胺提供氮，其中的氮會使碳點缺陷，提高量子產率，螢光强度高；水為溶劑，反應的條件 150°C、2.5 小時，利用水熱法可以有效合成奈米發光碳點。

2. 水熱法中，由於反應的容器高壓釜，可以提供反應的高溫、高壓環境，合成的產物碳點，就可以控制到粒徑大小達到到奈米（1-100 nm）的尺寸，較不會有碳點聚集。並且產物不需要再做顆粒大小的分離，如離心機高速離心、透析膜選擇小的碳點。

3. 合成的產物，為黑褐色的液體，可直接以玻棒沾取，點在濾紙上，於黑暗處，照射 UV 光，有非常強的藍色螢光。
4. 奈米碳點會發出藍色螢光，數位相機作為偵測螢光強度，以電腦軟體 DCM 分析照片中 B (blue) 值的做為藍色螢光強度的偵測依據。
5. 廷得耳效應判斷合成的產物是奈米碳點，以綠色的雷射光照射產物，有雷射光束。
6. 奈米碳點要能同時有廷得耳效應與藍色螢光，合成的產物以稀釋成 1/1000 的效果最好。
7. 多種金屬離子水溶液，只有重金屬 Pb^{2+} 可以使合成的奈米碳點發生聚集，粒子變大，不再是奈米尺寸，造成藍色螢光強度減弱，這樣的現象，為 Pb^{2+} 淬滅奈米碳點。由於 Pb^{2+} 對奈米碳點發生淬滅具有選擇性，故奈米碳點可以做為檢測水溶中重金屬 Pb^{2+} 的用途，若有機會，能用於自來水管的材質若為鉛，檢測出自來水溶出的鉛。
8. 改變不同的 Pb^{2+} 濃度與藍色螢光強度，是負值斜率線性關係，屬於濃度淬滅，但是進行濃度淬滅實驗時，如將產物稀釋成 1/2000 因奈米碳點粒子數太少，不易發生聚集，故將產物稀釋成 1/1000 是較佳的條件。

捌、參考資料及其他

1. 國民中學自然與生活科技第三冊第一單元基本測量
2. Xin Feng, Yaoquan Jiang, Jingpeng Zhao. Easy Synthesis of Photoluminescent N-doped Carbon Dots from Winter Melon for Bio-imaging. *RSC Adv.*, **2015**, 5,31250.
3. Hui Peng, Jadranka Travas-Sejdic. Simple Aqueous Solution Route to Luminescent Carbogenic Dots from Carbohydrates. *Chem. Mater.*, **2009**, 21, 5563-5565.
4. Md Palashuddin Sk, Aran Chattopadhyay. Induction Coil Heater Prepared Highly Fluorescent Carbon Dots as Invisible Ink and Explosive Sensor. *RSC Adv.*, **2014**, 4,31994
5. Hui Zhu, Xiaolei Wang. Microwave Synthesis of Fluorescent Carbon Nanoparticles with Electrochemiluminescence Properties. *Chem. Commun.*, **2009**, 5118-5120
6. Swagatika Sahu, Birendra Behera. Simple One-Step Synthesis of Highly Luminescent Carbon Dots from Orange Juice Application as Excellent Bio-imaging Agents. *Chem. Commun.*, **2012**, 48,8835-8837
7. 利用植物廢棄物合成奈米碳點的螢光物質，科學教育月刊 第 374 期 41-48，中華民國 103 年 4 月
8. 中華民國第 54 屆中小學科學展覽會國中組化學科：開發葉綠素檢驗微量重金屬的方法
9. 高雄市 53 屆中小學科學展覽會高中組物理科：跟碳黑拚疏螢
10. 奈米教學資料庫：奈米碳來排隊---溶劑記憶效應
11. Zhaosheng Qian, Lujing Chai. Carbon Quantum Dots-Based Recyclable Real-Time Fluorescence Assay for Alkaline Phosphatase with Adenosine Triphosphate as Substrate. *Anal. Chem.*, **2015**, 87(5), pp 2966-2973

12. 網路資料 自來水管不能用鉛 <http://www.branbibi.com/blog/s>.
13. 螢光產生機制 <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=4328>

【評語】 030207

碳奈米為新興的奈米料材，多種方法可合成，但每種方法所獲得的表面官能基不同，純化方法須再進行物理性質鑑定，確定為何種官能基。鉛對碳奈米的螢光有弛緩作用，作者須再確認弛緩的結構為何。本件作品創意佳，品質好。