

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

第二名

040203

「聚」「金」「費」神

學校名稱：高雄市立高雄女子高級中學

作者： 高二 徐凡涵 高二 黃鈺珈	指導老師： 王俊豪 陳佳琪
-------------------------	---------------------

關鍵詞：吸水複合材料、費頓反應、自製循環系統

摘要

目前工業中使用之費頓法分解物質後，通常會留下大量鐵污泥需待處理污染，爲了避免這個情形發生，故我們搜索一些能夠吸附鐵離子材質，如 PAA、PVA、 γ -PGA 等三種市面上常見的金屬吸附劑，期望藉由吸附材質與金屬離子之螯合反應，能達到重複利用，解決鐵污泥之問題。本實驗首先將這三種藥品初步試驗，發現 PAA 及 γ -PGA 吸附鐵離子後對於亞甲藍的褪色效果良好。我們便逐步篩選出反應速率最佳之條件。結果顯示：現針對單一吸附材料而言，PAA 在濃度 10^{-1}M 的 Fe^{2+} 與 10^{-3}M HCl 中能有最高的效率；而對 γ -PGA 而言，在濃度 10^{-2}M 的 Fe^{3+} 與 10^{-3}M HCl 中能有最高的效率。相較於使用單一種吸附材料，我們發現 PAA 對 Fe^{2+} 及 γ -PGA 對 Fe^{3+} 有相當好的吸附能力，而且費頓反應在進行時，也會進行 Fe^{2+} 及 Fe^{3+} 離子的轉換。因此，我們透過兩者依不同比例混合後，發現能更有效的吸附兩種金屬離子，使其反應會更加迅速，其中以 PAA： γ -PGA=7：3 的比例效果最佳。

壹、研究動機

在社團課時，我們發現費頓反應能使亞甲藍溶液快速褪色，而對此深感驚奇，但隨即發現費頓反應所殘留的鐵污泥會造成環境污染。於是，我們便開始想辦法要將費頓反應加以改良，希望可以收集沉澱物循環再利用，在資料中，我們發現尿布中吸水成分聚丙烯酸(PAA)以及聚羧胺酸(γ -PGA)可螯合水中重金屬離子。因此，我們決定探討改良費頓反應的鐵試劑、利用 PAA、 γ -PGA 及其他吸附材料，並建立循環系統之關係，找出最佳的反應狀態，以達到最高環保效益，向綠色化學邁進。

貳、研究目的

- 1.自行設計一套循環式分析費頓反應的系統。
- 2.探討傳統的費頓反應最佳的反應條件。
- 3.利用 PAA 吸附鐵離子(及亞鐵離子)後，探討其進行費頓反應的情形及最佳反應條件。
- 4.利用 γ -PGA 吸附鐵離子(及亞鐵離子)後，探討其進行費頓反應的情形及最佳反應條件。
- 5.利用 PVA 吸附鐵離子(及亞鐵離子)後，探討其進行費頓反應的情形及最佳反應條件。
- 6.利用混合 PAA 及 γ -PGA 吸附鐵離子(及亞鐵離子)後，探討其進行費頓反應的情形及最佳反應條件。

參、研究設備及器材

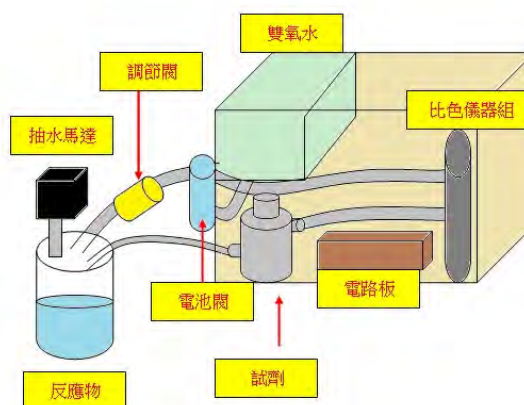
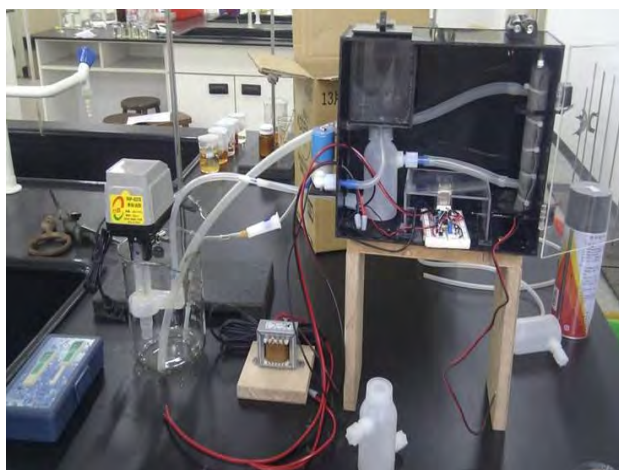
一、器材

儀器名稱	規格	數量
燒杯	100.250.500.1000ml	數個
錶玻璃		數個
量筒	10.25.50.100ml	數個
玻棒		數個
塑膠離心管		數個
滴管		數個
試管		數個
漏斗		數個
刮勺		數個
鑷子		數個
石英管		兩個
分光光度儀		一台
研鉢與杵		一組
電子秤	Precisa BJ610C	一台
烘箱	RHD-452	一台
循環式淨水系統	自製(參考以下說明)	一架


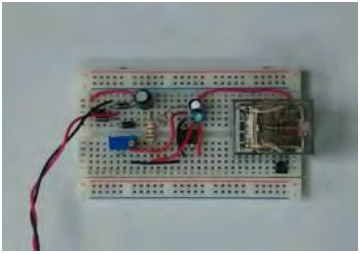




二、藥品

藥品名稱	廠牌
聚乙烯醇 PVA	Choneye Pure Chemicals
聚丙烯酸 PAA	Choneye Pure Chemicals
聚麩胺酸 γ -PGA	Choneye Pure Chemicals
氯化鐵 FeCl_3	Choneye Pure Chemicals
硫酸亞鐵 FeSO_4	島久藥品株式會社
亞甲藍液	島久藥品株式會社
雙氧水 H_2O_2	Choneye Pure Chemicals
鹽酸 HCl	Nihon Saiyaku Reagent

* 自製循環式分析費頓反應的系統：

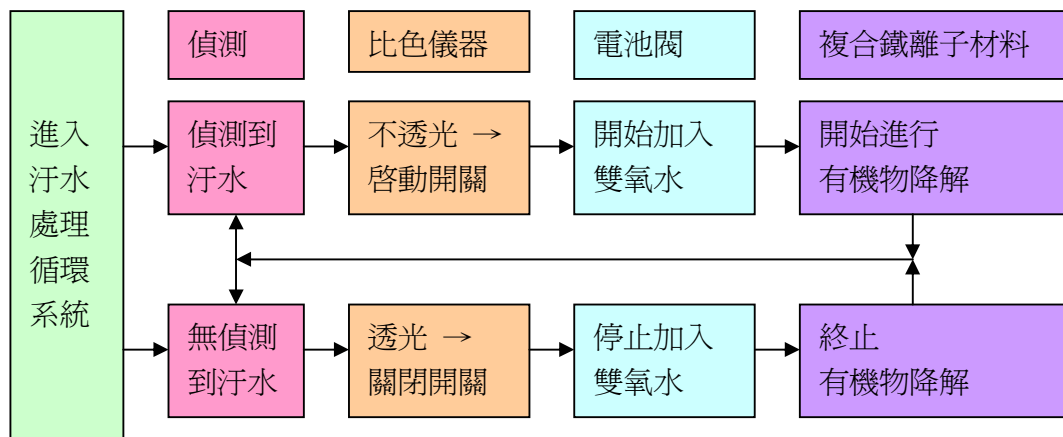


(一)零件介紹：

照片			
名稱	塑膠瓶	電路板	電池閥
功能	將製作好的粉末裝置其中，使汗水進入瓶中能與其內粉末反應。	連接光敏電阻以控制雙氧水滴入大燒杯反應。	控制雙氧水的開關
照片			
名稱	pH 測量儀	比色儀器組	濾泡袋
功能	測量燒杯溶液的酸鹼度，確保它保持在一定酸鹼度。	汗水可通入玻璃管中受 LED 燈之偵測，再控制光敏電阻決定是否滴入雙氧水。	可裝入 rPGA 或 PAA 以過濾汗水，使其淨化。

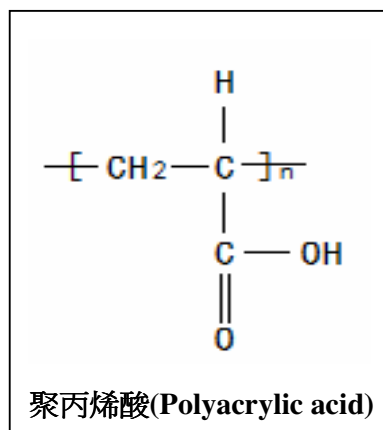
(二)操作方法：

大燒杯中置入所要處理之汗水，並將抽水馬達沒入水中。汗水被抽起後會經由塑膠管進入裝有 PAA、r-PGA 粉末製成過濾茶包的塑膠瓶內淨化。接下來汗水會進入三通閥內，經由 LED 燈測試，若不透光(代表其未褪色)則會啟動光敏電阻，再經由電路板開啓電池閥使雙氧水加入大燒杯內增進反應速率。而經過第一次淨化後的水會再流回大燒杯內，如此循環，直至汗水中染料被反應完全(褪成澄清)，此時比色管可以透光，經光敏電阻後，電路板此時關閉電池閥使雙氧水不再加入大燒杯內，達到藥品節省及環保特性。

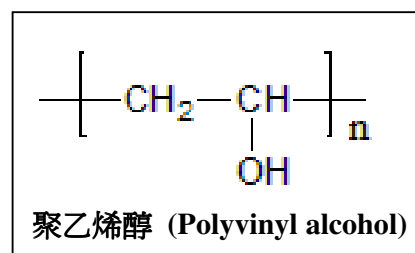


* 藥品介紹：

1. **聚丙烯酸(Polyacrylic acid)**：英文縮寫為 PAA，可由聚丙烯腈或聚丙烯酸酯在 100 度左右的溫度下進行酸性水解而硫酸鈉組成的氧化/還原系統作引發劑的水溶液聚合方法來製取聚丙烯酸。聚丙烯酸由丙烯酸單體直接在水介質中自由基反應聚合而成。異丙醇用分子量調節劑，不僅可以使分子量分佈小範圍較窄，還有降底粘度、移走反應熱的作用。能與金屬離子、鈣、鎂等形成穩定的化合物，對水中碳酸鈣和氫氧化鈣有優良的分解作用。

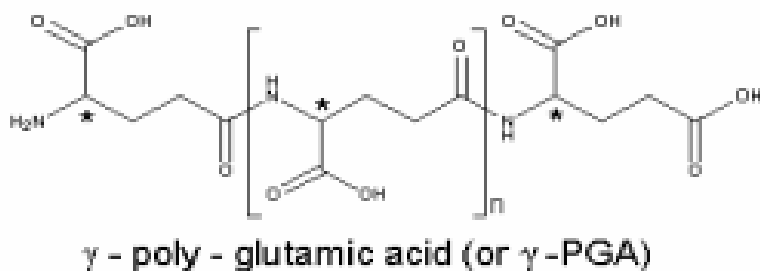


2. **聚乙烯醇 (Polyvinyl alcohol)**：聚乙酸乙烯酯水解或醇解而生成的一種聚合物。英文縮寫為 PVA。聚乙烯醇不能由它聚合而成，而是由聚乙酸乙烯酯的水解(或醇解)反應製得的。乙酸乙烯酯可進行本體、溶液、乳液聚合製得聚乙酸乙烯酯(工業上常採用以甲醇為溶劑的溶液聚合)，然後在鹼催化劑存在下反應生成聚乙烯醇： 聚乙烯醇除了可溶於水外，也可經由改質使他具有不溶

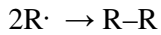
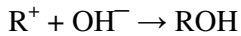
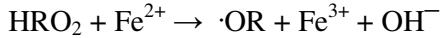
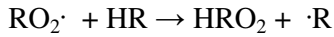
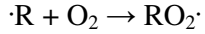
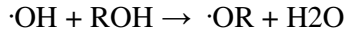
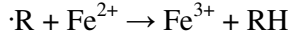
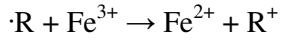
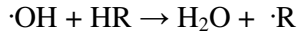


性，因此聚乙烯醇是一種具有價值的高分子聚合物。由與聚乙烯醇具有化學穩定性、熱穩定性、高親水性，是極佳的高分子材料。

3. **聚麩胺酸(gamma-polyglutamic acid)**：英文縮寫為 γ -PGA，為最具潛力的多功能生物可分解性高分子(biopolymers)，具安全又環保的特性，其單一胺基酸構成的蛋白質特性，更具應用價值。聚麩胺酸鹽水膠(γ -Polyglutamate hydrogels)為最具應用潛力的 γ -PGA 衍生產品，其具有超高的吸水保濕功能、柔軟成膜特性、深具保健功效等優點，適用於製成各種高級保濕產品等。聚麩胺酸是一種相當良好的生物性絮凝劑，對很多有機或是無機懸浮物皆有良好之絮凝效果，對二及三價的金屬陽離子有不錯的螯合效果，可吸附金屬陽離子、清除重金屬。



4. **Chen and Pignatello** 提出有機物與 Fenton 試劑的反應機制如下：根據上述機制，有機物會與氫氧自由基進行氧化反應，同時反應的中間產物與自由基會與三價鐵離子反應成亞鐵離子，形成三價鐵與亞鐵的循環，因此加入足量的過氧化氫，氧化有機物的程序可持續進行。



由文獻可知，一般而言，對於 Fenton 試劑與有機化合物氧化能力的影響因素大致上可分為：

- A. 三價鐵與亞鐵離子濃度。
- B. 過氧化氫濃度。
- C. 溶液於反應時的反應溫度。
- D. 溶液中的 pH 值。

肆、研究過程及方法

探討傳統費頓最佳 的反應條件	【實驗一】自製比色儀器並製作亞甲藍的檢量線
	【實驗二】自製簡易比色儀器找出偵測反應過程中，各 溶液濃度變化情形
探討吸附試劑對 亞甲藍、PAA、 γ -PGA、PVA 的吸附效果	【實驗三】以 PAA、 γ -PGA、PVA 分別對亞甲藍進 行空白吸附實驗
	【實驗四】探討 PAA、 γ -PGA、PVA 對 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 之 吸附效果
不同試劑對不同濃 度鐵離子吸附效果	【實驗五】 Fe^{2+} 加 PAA 及 Fe^{3+} 加 γ -PGA 對鐵離子濃度 之比較
在不同條件及不同 pH 值下的吸附與脫 附效果	【實驗六】 $[\text{Fe}^{2+}] 10^{-1} \text{M}$ 加 PAA 及 $[\text{Fe}^{3+}] 10^{-2} \text{M}$ 加 γ -PGA 對酸(先加)濃度之比較
	【實驗七】 $[\text{Fe}^{2+}] 10^{-1} \text{M}$ 加 PAA 及 $[\text{Fe}^{3+}] 10^{-2} \text{M}$ 加 γ -PGA 對酸(後加)濃度之比較
	【實驗八】試驗吸附材料再次利用之可能性以及比較其 速度
自製循環系統儀器 改良式費頓反應	【實驗九】不同吸附材料克數對反應速率的影響
	【實驗十】探討不同混合比例對其褪色效果
	【實驗十一】以自製儀器探討其褪色時間

實驗一、自製比色儀器並製作亞甲藍的檢量線

(一)參考文獻，利用發光二極體、光敏電阻，自製微型比色儀器。



(二)實驗過程

1. 亞甲藍

(1) 在不同的pH 值下，偵測亞甲藍溶液，以不同的LED燈測定其電阻值變化。

(2) 亞甲藍溶液的檢量線

以微量吸管取0.1%亞甲藍溶液40mL（比重1，亞甲藍分子量319.85），再的去離子水於量瓶中稀釋到總體積為100mL，得到 $1.25 \times 10^{-3} \text{M}$ 亞甲藍溶液。在10mL 量瓶中以1/10，2/10，3/10，4/10，5/10，6/10，7/10，8/10，9/10的比例稀釋，置入比色槽中，以最佳的LED燈下，進行電阻值的測量。

實驗二、傳統的費頓反應最佳的反應條件

(1)探討不同pH值對亞甲藍褪色速率的影響

- 1.在50mL 量筒中放入約40mL去離子水，以微量吸管固定吸取 10^{-2}M $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液1mL，1M H_2O_2 溶液1mL，再稀釋到總體積為50mL。
- 2.倒入100mL小燒杯中，以 H_2SO_4 或 NaOH 微量調製出不同pH值1~6。
- 3.將適量的亞甲藍溶液、氯化鐵及雙氧水溶液，分別加入不同的pH值溶液內，觀察其退色情形，每5秒採集一次數據。

(2)探討不同 Fe^{3+} 濃度對亞甲藍褪色速率的影響

- 1.在50mL 量筒中放入約40mL去離子水，以微量吸管固定吸取1M H_2O_2 溶液1mL。
- 2.逐次分別加入0.2，0.4，0.6，0.8，2 或3mL的 10^{-2}M $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液，再稀釋到總體積為50mL，然後倒入100mL小燒杯中。
- 3.以 H_2SO_4 或 NaOH 微量調整pH值為3，加入適量的亞甲藍溶液，觀察其退色情形，每5秒採集一次數據。

(3)探討不同的 H_2O_2 濃度對亞甲藍褪色速率的影響

- 1.在50mL 量筒中放入約40mL 去離子水，以微量吸管固定吸取 10^{-2}M $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液1mL。
- 2.逐次分別加入0.2，0.4，0.5，0.6，0.8，1，1.5，2，2.5 或3mL的1M H_2O_2 溶液，再稀釋到總體積為50mL，然後倒入100mL小燒杯中。
- 3.以 H_2SO_4 或 NaOH 微量調整pH值為3，加入適量的亞甲藍溶液，觀察其退色情形，每5秒採集一次數據。

實驗三、探討 PAA、 γ -PGA、PVA 對亞甲藍的吸附效果

1. 將四杯亞甲藍溶液分別加入 PVA、PAA、 γ -PGA 各 0.5g 及一杯作為比較值，並進行攪拌。
2. 經過過濾，將其濾液分光比較，在紫外-可見光儀進行波長 652nm 下的吸光值測試。

實驗四、探討 PAA、 γ -PGA、PVA 對 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 之吸附效果

1. 配製 10^{-2}M 的黃血鹽及赤血鹽，並分別針對 $10^{-2}\sim 10^{-3}\text{Fe}^{3+}$ 及 Fe^{2+} 離子進行比色，並製作檢量線變化。
2. 將其中三杯分別加入 FeSO_4 各 2.23g，其它三杯分別加入 FeCl_3 各 2.18g，製成鐵離子濃度各為 10^{-1}M 。
3. 各取 FeSO_4 、 FeCl_3 一杯加入 PAA (γ -PGA、PVA 同理)。
4. 經過過濾，將其濾液分光比較，其剩餘物以 100 度烘乾 20 分鐘。
5. 得烘乾後之物體，分別加入 80ml 10^{-3}M HCl 內含有 3 滴亞甲藍與 2mL H_2O_2 之溶液，利用費頓反應比較其速度。

實驗五、 Fe^{2+} 加 PAA 及 Fe^{3+} 加 γ -PGA 對鐵離子濃度之比較

1. 配製 80ml 10^{-3}M HCl 溶液六杯，分別加入 FeSO_4 、 FeCl_3 各三杯，使鐵離子濃度為 10^{-1}M 、 10^{-2}M 、 10^{-3}M
2. FeSO_4 中加入 PAA、 FeCl_3 中加入 γ -PGA，各 0.5g
3. 過濾後，將其濾液分光比較，固體以 100 度烘乾 20 分鐘
4. 再次配製 80ml 10^{-3}M HCl 溶液六杯，滴入亞甲藍 3 滴與 2mL H_2O_2
5. 各取烘乾後之產物 0.1g 加入上述之六個燒杯，觀察其褪色速率

實驗六、探討不同 pH 值下， 10^{-1}M [Fe^{2+}] 加 PAA 及 [Fe^{3+}] 加 γ -PGA 下其吸附與反應效果

1. 配製 10^{-2}M 、 $10^{-2.5}\text{M}$ 、 10^{-3}M 、 $10^{-3.5}\text{M}$ HCl 溶液四杯，分別加入 10^{-1}M [FeSO_4] 及 [FeCl_3]。
2. FeSO_4 中加入 PAA、 FeCl_3 中加入 γ -PGA，各 0.5g
3. 過濾後，以 100 度烘乾 20 分鐘
4. 再次配製 80ml 10^{-3}M HCl 溶液六杯，滴入亞甲藍 3 滴與 2mL H_2O_2
5. 各取烘乾後之產物 0.1g 與 2mL H_2O_2 加入上述之六個燒杯，比較其褪色速率

實驗七、探討 10^{-1}M [Fe^{2+}] 加 PAA 及 [Fe^{3+}] 加 γ -PGA 在不同 pH 值下，其脫附與反應效果

1. 分別在 10^{-1}M FeSO_4 中加入 PAA、 10^{-2}M FeCl_3 中加入 γ -PGA，各 0.5g 過濾後，以 100 度烘乾 20 分鐘
2. 再次配製 80ml 10^{-2}M 、 $10^{-2.5}\text{M}$ 、 10^{-3}M 、 $10^{-3.5}\text{M}$ HCl 溶液四杯，滴入亞甲藍 3 滴與 2mL H_2O_2 ，比較其褪色速率

實驗八、試驗吸附材料再次利用之可能性以及比較其速度

1. 選取先前實驗： Fe^{2+} 與 Fe^{3+} 之比較中 Fe^{2+} 加 PVA、 Fe^{3+} 加 PAA、 Fe^{3+} 加 γ -PGA 三杯已澄清的溶液。
2. 再次加入 3 滴亞甲藍作檢驗，試驗其再次利用之可能性

3.並重複試驗，探討其是否能再順利褪色

實驗九、不同吸附材料克數對反應速率的影響

1. 利用自製儀器取前面已配製好的 FeSO_4 加 PAA 試劑及 FeCl_3 中加入 γ -PGA 試劑，分別取不同克數，並配製好相同 pH 值的 H_2O_2 溶液備用。
2. 於循環系統的燒杯中加入 300ml、1M 的亞甲藍，配製成 pH=3 之溶液，並偵測其褪色速率。

實驗十、探討不同混合比例對其褪色效果

1. 利用自製儀器：並放入不同重量比例的 PAA 及 γ -PGA，並配製好相同 pH 值的 H_2O_2 溶液備用。
2. 於循環系統的燒杯中並加入 300ml、1M 的亞甲藍溶液，配製成 pH=3 之溶液，並偵測其褪色速率。

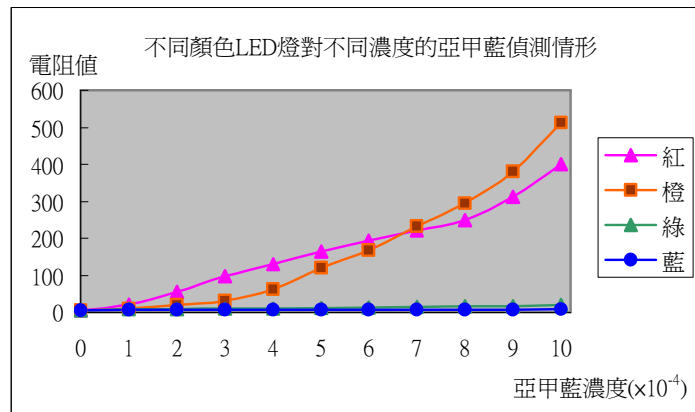
實驗十一、探討在不同溫度下對其褪色效果

1. 利用自製儀器並配製 $\text{HCl } 10^{-3}\text{M}$ 之溶液：並放入的 0.07gPAA、0.03 g γ -PGA，並配製好相同 pH 值的 H_2O_2 溶液備用。
2. 於循環系統的燒杯中加入 300ml、1M 的亞甲藍溶液，配製成 pH=3 之溶液並進行恆溫加熱，進行不同的溫度下，偵測其褪色速率。

伍、結果與討論

實驗一、自製比色儀器並製作亞甲藍的檢量線

(1) 作出不同亞甲藍濃度的校正曲線，並找到合適的偵測光源。



結果與討論：

1. 利用自製比色儀器，發現亞甲藍的濃度偵測上，橙光電壓值不易穩定，因此我們採用紅色光源作為本儀器使用的光源。

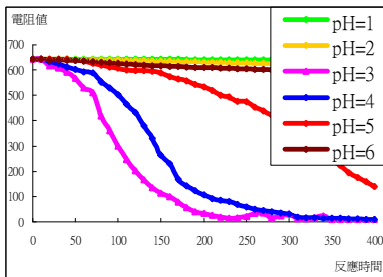
實驗二、自製簡易的比色儀器找出偵測反應過程中，各溶液濃度變化情形。

(1) 不同 pH 值下的反應：

[亞甲藍] = 1×10^{-4} M ;

[Fe^{3+}] = 1×10^{-3} M ;

[H_2O_2] = 10^{-3} M



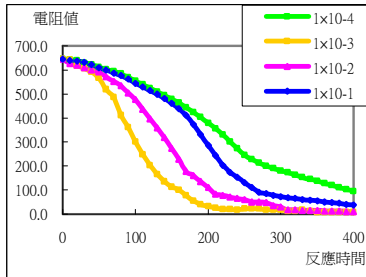
(2) 不同 Fe^{3+} 濃度對亞甲藍

褪色速率的影響：

[亞甲藍] = 1×10^{-4} M ;

[H_2O_2] = 10^{-3} M

pH 值 = 3 ;



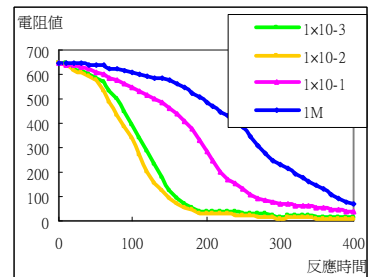
(3) 不同 H_2O_2 濃度對亞甲藍

褪色速率的影響：

[亞甲藍] = 1×10^{-4} M ;

[Fe^{3+}] = 1×10^{-3} M

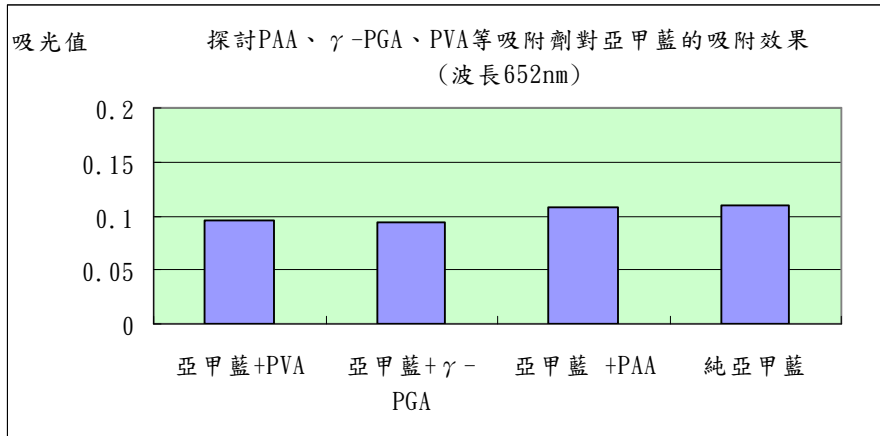
pH 值 = 3 ;



結果與討論：

1. 傳統的費頓反應在本儀器下偵測，在 pH 值=3 時、 Fe^{3+} 濃度= 1×10^{-3} M 及 H_2O_2 濃度為= 1×10^{-2} M 時反應速率最快。其中以酸的影響較大，當 pH 值太高或太低時，反應不易進行，而 H_2O_2 濃度太高則會抑制反應進行。

實驗三、以 PAA、 γ -PGA、PVA 分別對亞甲藍進行空白吸附實驗



結果與討論：

- 我們以 PAA、 γ -PGA、PVA 三種吸附試劑進行亞甲藍的吸附實驗，結果發現，其添加前後，亞甲藍前後的吸光度相差不大，表示這三種試劑的添加並不影響亞甲藍的褪色，這也表示亞甲藍褪色與試劑無關。

實驗四、探討PAA、 γ -PGA、PVA對 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 之吸附效果

(1)產物外觀

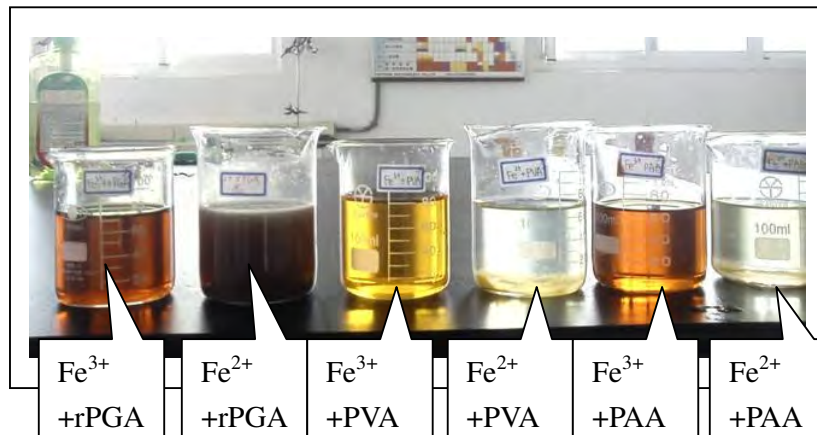
	PAA	PVA	γ -PGA
Fe^{2+}	棕色粉末	淡橘色、薄片狀	棕色粉末
Fe^{3+}	橘紅色粉末	黃色、薄片狀	淡橘色、肉狀

(2)產物重量(單位:g)

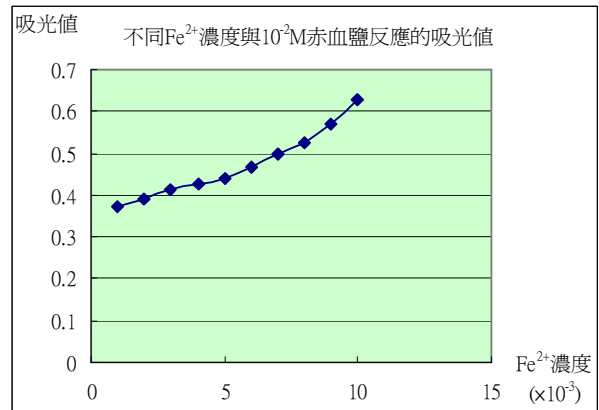
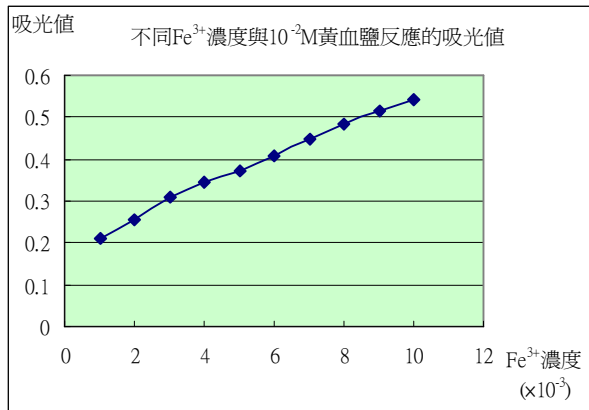
	PAA	PVA	γ -PGA
Fe^{2+}	0.5	0.13	不到 0.01
Fe^{3+}	0.5	0.4	0.6

(3)濾液顏色

	PAA	PVA	γ -PGA
Fe^{2+}	透明無色	透明無色	黑褐色
Fe^{3+}	褐色	土黃色	紅棕色

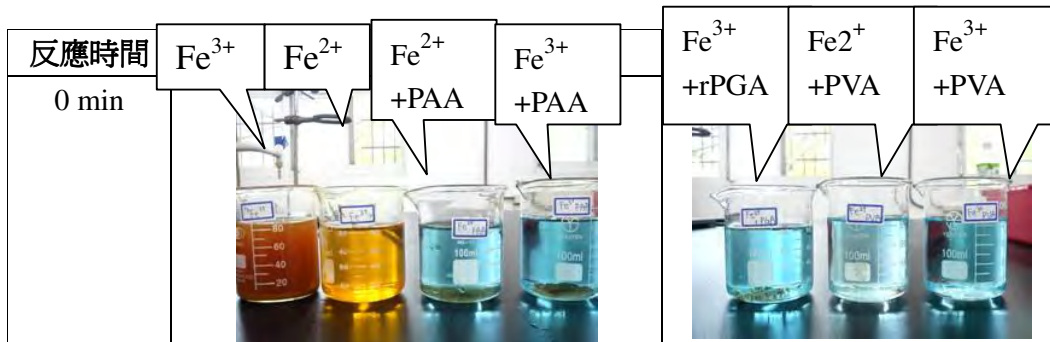


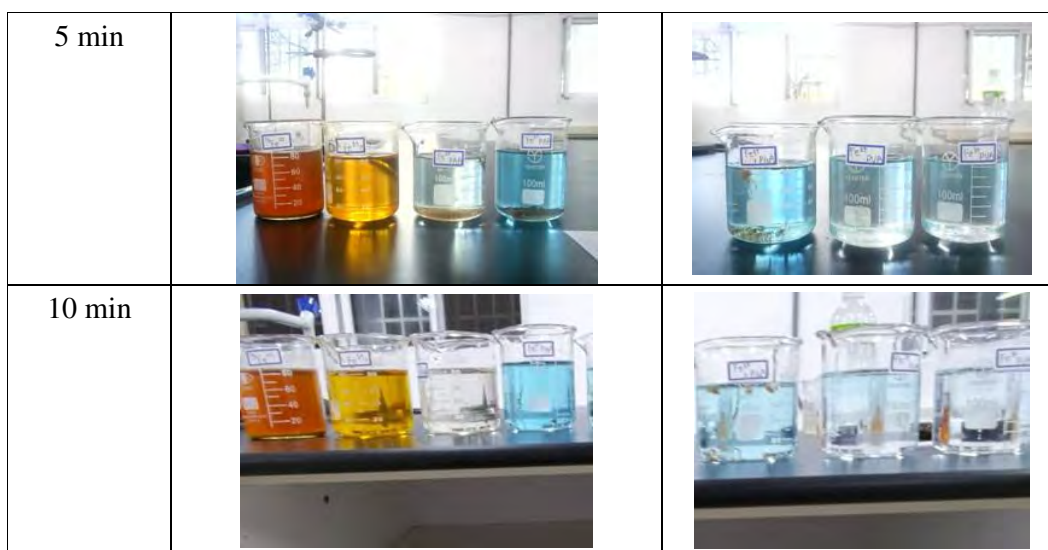
(4) Fe^{3+} 對黃血鹽及 Fe^{2+} 對赤血鹽的顏色變化檢量線



(5) 產物加入亞甲藍液後的變化

	PAA	PVA	γ -PGA	不加試劑
Fe^{2+}	1.亞甲藍液褪色，溶液呈淡黃色。 2.PAA 螯合 Fe^{2+} 顆粒的顏色無明顯改變	1.亞甲藍液褪色，溶液可至澄清透明。 2.PVA 螯合 Fe^{2+} 顆粒仍存在只是顏色從淺橘變為無色	1.產物的量過於稀少，不易進行實驗	1.亞甲藍液褪色，溶液呈現土黃色。
Fe^{3+}	1.亞甲藍液褪色，溶液可至澄清透明。 2.PAA 螯合 Fe^{3+} 顆粒的顏色無明顯改變	1.亞甲藍液褪色，溶液可至透明澄清透明。 2.PVA 螯合 Fe^{3+} 的顆粒仍存在只是顏色從黃色變為無色	1.亞甲藍液褪色，溶液可至澄清透明。 2. γ -PGA 螯合 Fe^{3+} 顆粒仍存在，然而顏色變淡，有些甚至褪為白色	1.亞甲藍液褪色，溶液呈現紅褐色。





結果與討論：

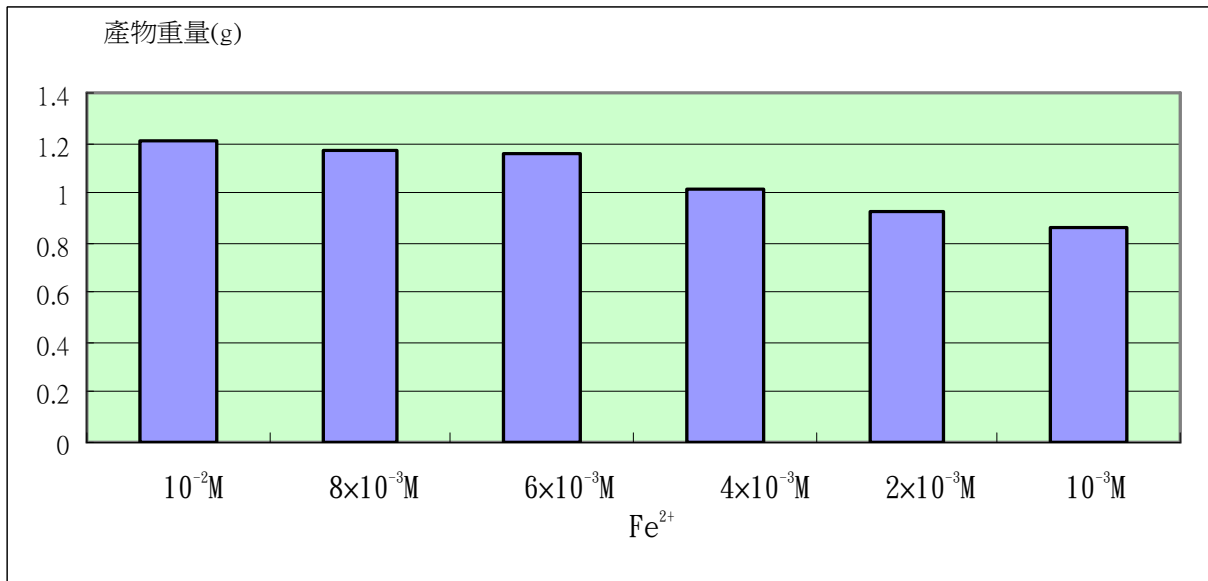
1. 若以 PAA 作為吸附材料，其螯合 Fe^{2+} 後的產物相較於螯合 Fe^{3+} 的產物，在使亞甲藍褪色的試驗上速率較快。
2. γ -PGA 與 Fe^{2+} 螯合後所能收集到的粉末甚為稀少，取得不易，不適合作為我們淨水系統茶包內之材料，在亞甲藍褪色實驗中予以排除。
3. 若以 PVA 作為吸附材料，其螯合 Fe^{2+} 後的產物相較於螯合 Fe^{3+} 的產物，在使亞藍褪色的試驗上速率較快。
4. PVA 使亞甲藍液褪色的效果頗佳，但有收集較困難的缺點。在過濾出顆粒並使用烘箱蒸發其多餘的水分後，PVA 會形成一塊堅硬的固體，緊黏在濾紙上，難以將兩者分離。原本我們認為是因濾紙的表面較不光滑所致，所以又嘗試在烘乾前先將之從濾紙上刮下，直接置於表玻璃上，然而情況依然沒有改善。由於收集不易，使用效率較低，不符合環保效益，所以在往後的實驗(四)(五)(六)(七)予以排除。
5. 將實驗組的五杯進行速率的比較可得：
 $\text{Fe}^{2+} + \text{PAA} > \text{Fe}^{2+} + \text{PVA} > \text{Fe}^{3+} + \text{PVA} > \text{Fe}^{3+} + \gamma\text{-PGA} > \text{Fe}^{3+} + \text{PAA}$

實驗五、 Fe^{2+} 加 PAA 及 Fe^{3+} 加 γ -PGA 對鐵離子濃度之比較

(一) 探討 PAA 與 Fe^{2+} 濃度之關係

PAA	PAA 螯合 Fe^{2+} 後的外觀	濾液顏色	反應速度
10^{-1}M Fe^{2+}	紅棕色粉末	土黃色	最佳
10^{-2}M Fe^{2+}	焦糖色薄膜	橘色	次之
10^{-3}M Fe^{2+}	淡膚色薄膜	微黃	最慢

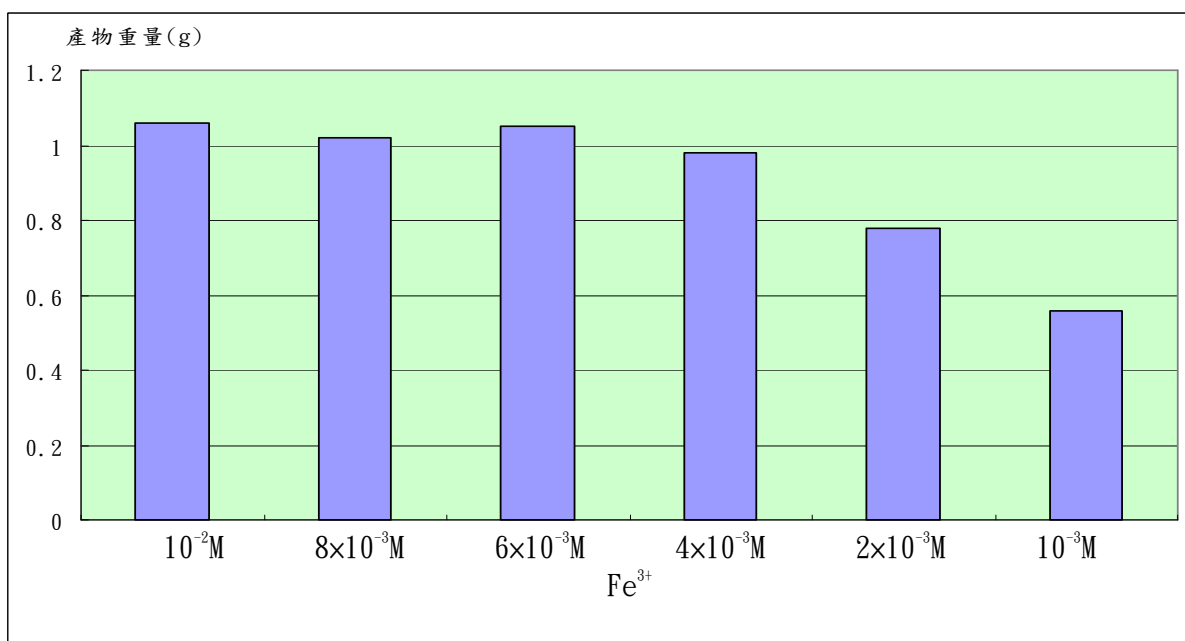
實驗發現 $10^{-1}\text{M} \sim 10^{-2}\text{M}$ Fe^{2+} 的吸附在 0.5g 的 PAA 吸附過程中差異不大，因此我們探討 $10^{-2}\text{M} \sim 10^{-3}\text{M}$ Fe^{2+} 對 PAA 的吸附結果：



(二) 探討 γ -PGA 與 Fe^{3+} 濃度之關係

	γ -PGA 吸附 Fe^{3+} 後的外觀	產物質量(g)	濾液顏色	反應時間
10^{-1}M Fe^{3+}	肉色塊狀	0.92	紅棕色	次之
10^{-2}M Fe^{3+}	肉色粉末	1.06	澄清透明	快
10^{-3}M Fe^{3+}	量過於稀少 不易取得	0.56	橘色	

實驗發現 $10^{-1}\text{M} \sim 10^{-2}\text{M}$ Fe^{3+} 的吸附在 0.5g 的 γ -PGA 吸附過程中差異不大，因此我們探討 $10^{-2}\text{M} \sim 10^{-3}\text{M}$ Fe^{3+} 對 γ -PGA 的吸附結果：



結果與討論：

- 1.前一個實驗已經得知 PAA 螯合 Fe^{2+} 的產物在使亞甲藍液褪色的試驗中效率較佳，再透過此實驗得知鐵濃度在 10^{-1}M 時褪色速率會最快，因此，PAA 螯合 Fe^{2+} 後所得的粉末在鐵濃度 10^{-1}M 環境下是最佳的反應材料。另外，我們發現當 Fe^{2+} 濃度介於 $10^{-3}\text{M} \sim 10^{-1}\text{M}$ 時，反應速率與濃度成正比。
2. γ -PGA 與 Fe^{3+} 在鐵濃度 10^{-2}M 環境下是最佳的反應材料。但 γ -PGA 在鐵濃度 10^{-3}M 下，其產量會過於稀少而不好取得，所以不適合作為淨水系統茶包之材料。透過實驗，我們推測在濃度為 10^{-3}M 時是其螯合的極限，當 Fe^{3+} 濃度低於 10^{-3}M ， γ -PGA 容易與水分子結合，於是螯合 Fe^{3+} 的量便大幅減少，導致產物顏色很淡且產量很少。

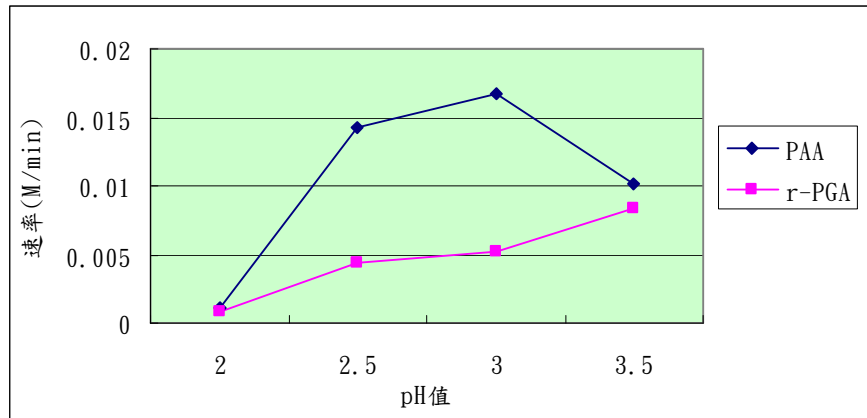
實驗六、探討不同 pH 值下， 10^{-1}M [Fe^{2+}] 加 PAA 及 [Fe^{3+}] 加 γ -PGA 下其吸附與反應效果

(一) 10^{-1}M Fe^{2+} 加 PAA 對酸不同濃度之比較

pH 值	PAA 螯合 Fe^{2+} 後的外觀	產物質量	濾液顏色	反應速度
2	紅棕色粉末	0.94	澄清透明	最差
2.5	紅棕色粉末	0.9	澄清透明	第三
3	紅棕色粉末	0.9	澄清透明	最佳
3.3	紅棕色粉末	0.97	澄清透明	次之

(二). 10^{-1}M Fe^{3+} 加 γ -PGA 對不同酸濃度之比較

pH 值	γ -PGA 螯合 Fe^{3+} 後的外觀	產物質量(g)	濾液顏色	加入亞甲藍液褪色反應速度
2	肉色塊狀	1.33g	澄清	顏色最快變淺，最快完全澄清，至隔天已完全澄清
2.5	肉色塊狀	0.96g	淡黃偏澄清	至隔天已完全澄清
3	肉色塊狀	1.09g	淡黃偏澄清	至隔天已完全澄清
3.3	肉色塊狀	0.46g	鵝黃色	最先褪為黃色，但在隔天仍未能澄清

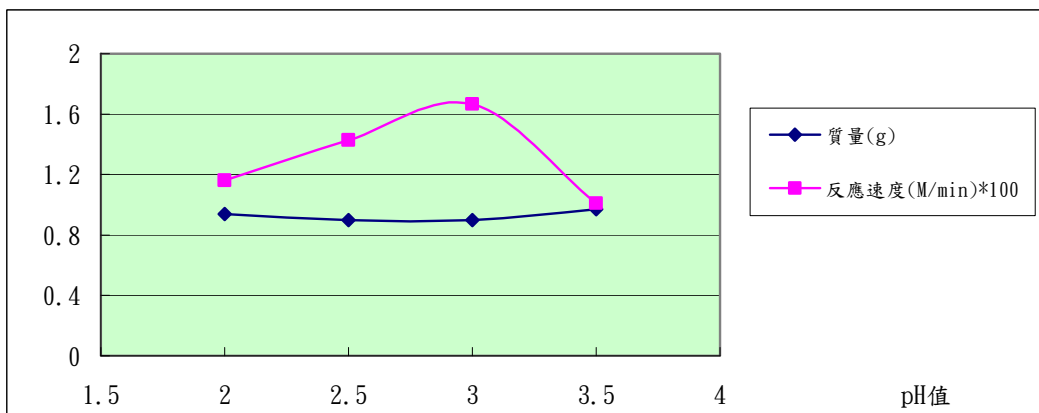


結果與討論：

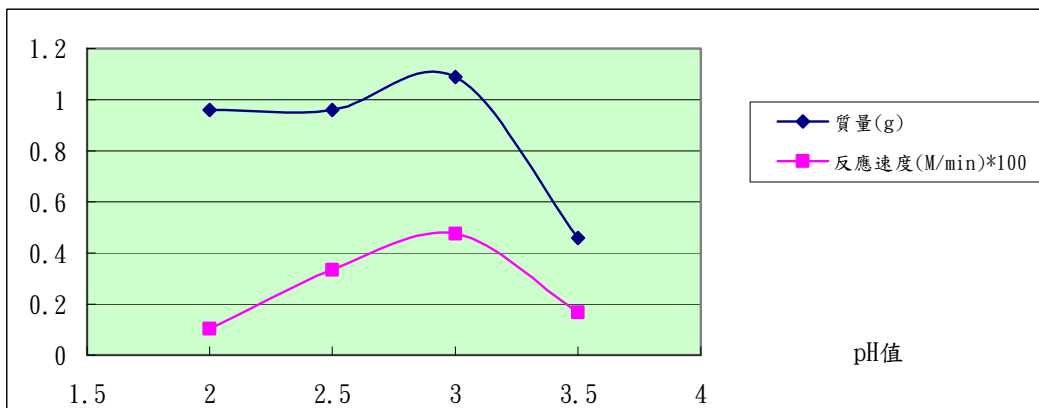
1. PAA 在 pH 值=3 的狀態下螯合 Fe^{2+} ，可使亞甲藍液最快褪色。
2. γ -PGA 在 pH 值=3.5 的狀態下螯合 Fe^{3+} ，可使亞甲藍液最快褪色。

探討 $10^{-1} M [Fe^{2+}]$ 加 PAA 及 $[Fe^{3+}]$ 加 γ -PGA 在不同 pH 值下，其脫附與反應效果

(一) $[Fe^{2+}] 10^{-1} M$ 加 PAA



(二) $[Fe^{3+}] 10^{-2} M$ 加 γ -PGA

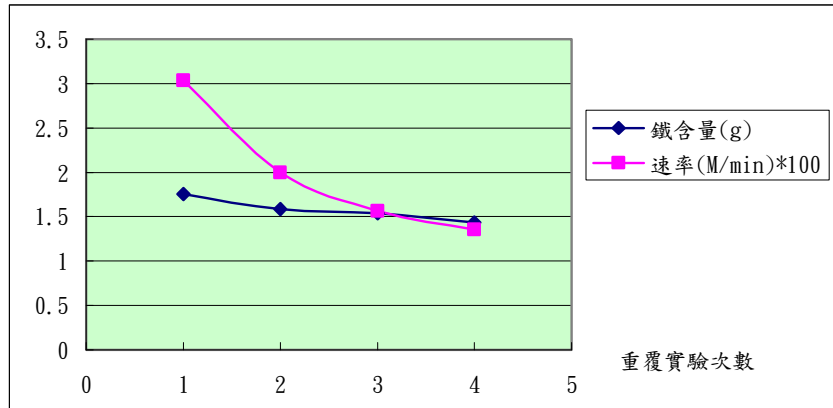


結果與討論：

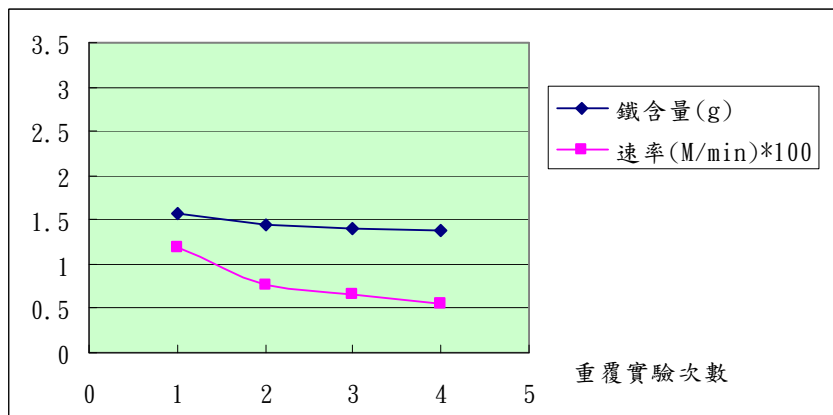
1. 不論事先或事後改變酸的濃度，皆顯現出 pH=3 時為最佳反應環境，因此實驗時 pH=3 時為最佳條件

實驗八、試驗吸附材料再次利用之可能性以及比較其速度

(一) Fe²⁺與 PAA 的再現性



(二) Fe³⁺與 γ -PGA 的再現性



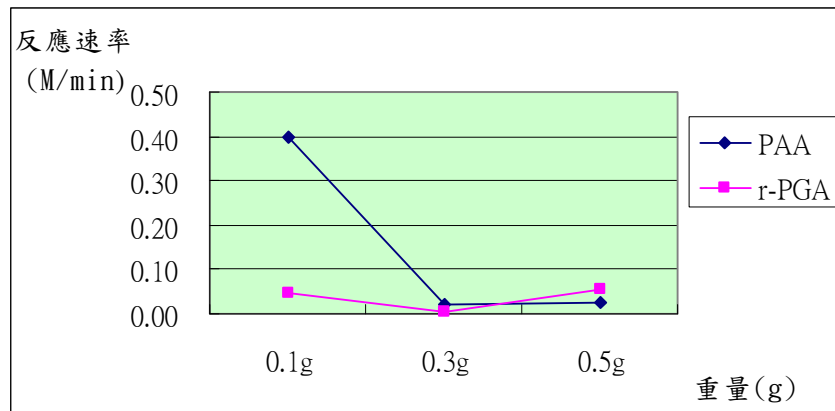
結果與討論：

1. 速度為 Fe³⁺加 γ -PGA > Fe³⁺加 PAA > Fe²⁺加 PVA
2. Fe³⁺加 γ -PGA 與 Fe³⁺加 PAA 反應速度相差不大，PVA 則較為緩慢。
3. 澄清溶液中再次加入亞甲藍，褪色時間會比第一次試驗的褪色時間還要快，且在重複試驗中，都能在數分鐘內褪色。
4. 以速度上而言，第二次反應通常為最佳，第一次之反應時間約需一天，而第二次大約 5~30 分鐘即可完全褪光，如果再繼續試驗，第三次效果比第二次差，但仍比第一次好許多，其後的多次試驗效果呈現遞減，但皆比第一次試驗優良
5. 細部討論為什麼第二次反應會較第一次好，試猜此吸附物類似酵素，需要先活化才可使用，那活化的點則可能在於水含量，由於烘乾後，物體除去水分，因此初次加入時，部分吸附物放開鐵離子改而吸附水分子，釋放出的鐵離子則可開始進行費頓反應，又第二次加入亞

甲藍液時，原本杯中之鐵離子即開始進行費頓反應，故開始褪色時間較第一次佳。

6. 為何部分溶液反應後為澄清，部分則會在澄清後又轉為黃色? 猜測這與鐵離子濃度有關，顏色偏黃的溶液中，試猜測其所放出之鐵離子也較多，而將澄清之溶液與泛黃之溶液一起做重複試驗，實驗亦可證明此推論
7. 為何第二次為最佳→ 猜想因為第二次加入前 Fe^{2+} 在溶液中濃度最大，則在第二次反應中得到最大速率，其後因為 Fe^{2+} 與 Fe^{3+} 互相變化，故 Fe^{2+} 濃度逐漸下降，導致速率逐漸便慢。
8. 以速度上而言，第一次反應速率為最快，其後的多次試驗效果呈現遞減，趨一個穩定值。

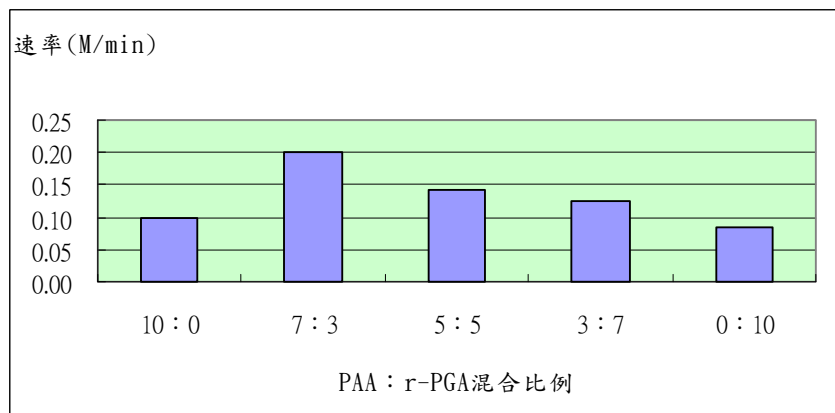
實驗九、不同吸附材料克數對反應速率的影響



結果與討論：

1. PAA 及 γ -PGA 皆在 0.1 克時有最佳的褪色速率，可見其反應量並非與速率成正比，進行費頓反應時需量不多，符合環保效益。

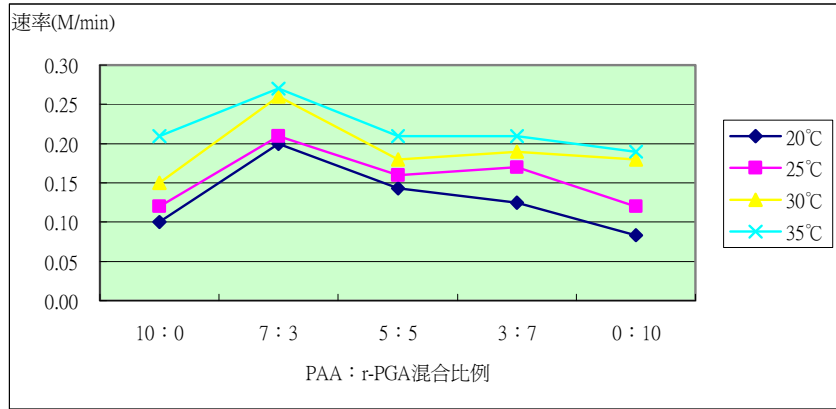
實驗十、探討不同混合比例對其褪色效果



結果與討論：

1. PAA : γ -PGA 不同混合比速率為 7 : 3 > 3 : 7 > 1 : 1
2. 但其中 3 : 7 與 1 : 1 之速率相似，故可視為 7 : 3 > 3 : 7 > 1 : 1
3. 因此我們推論 PAA 越多，速率越快

實驗十一、探討在不同溫度下對其褪色效果



結果與討論：

1. 使用自製儀器微幅加熱可催化褪色反應，其中當反應環境為 35°C 時具最佳反應速率
2. 當溫度超過 40°C 時，其雙氧水對產生大量氣泡，不利於反應的進行。

陸、結論

- 一、本自製比色儀器在亞甲藍的濃度偵測上以紅色為最佳光源。
- 二、我們利用到比色管、電路板、電池閥製作自製循環式分析費頓反應的系統，不但能節約雙氧水的用量，同時也減少鐵離子進行費頓反應過程中的消耗，達到藥品節省及環保特性。
- 三、在吸附材質部分，我們發現針對單一吸附材料，以 PAA 而言，在濃度 10^{-1}M 的 Fe^{2+} 與 10^{-3}MHCl (先加)中，進行費頓反應能有最高的效率；對 γ -PGA 而言，在濃度 10^{-2}M 的 Fe^{3+} 與 10^{-3}MHCl (先加)中進行費頓反應速度最迅速。其結果為： $5. \text{Fe}^{2+} + \text{PAA} > \text{Fe}^{2+} + \text{PVA} > \text{Fe}^{3+} + \text{PVA} > \text{Fe}^{3+} + \gamma\text{-PGA} > \text{Fe}^{3+} + \text{PAA}$ 。
- 四、在不同酸鹼值方面，PAA 在 pH 值=3 的狀態下螯合 Fe^{2+} ，可使亞甲藍液最快褪色； γ -PGA 在 pH 值=3.5 的狀態下螯合 Fe^{3+} ，可使亞甲藍液最快褪色。
- 五、在烘乾後，發置一天以上，其反應第一次會較慢。如再加入亞甲藍後，其反應效果最佳，其原因為鐵離子在吸附材質時，並無自由基的生成，因此，在反應第一次前，需先加入雙氧水，讓鐵離子形成自由基形式，並形成鐵循環後，即可達到較佳反應條件。
- 六、相較於使用單一種吸附材料，我們發現 PAA 對 Fe^{2+} 及 γ -PGA 對 Fe^{3+} 有相當好的吸附能力，而且費頓反應在進行時，也會進行 Fe^{2+} 及 Fe^{3+} 離子的轉換。因此，我們透過兩者依不同比例混合後，發現能更有效的吸附兩種金屬離子，使其反應會更加迅速，其中以 PAA： γ -PGA=7：3 的比例效果最佳。
- 七、使用自製儀器微幅加熱可催化褪色反應，其中當反應環境為 35°C 時具最佳反應速率，而當溫度超過 40°C 時，其雙氧水對產生大量氣泡，不利於反應的進行。
- 八、利用循環系統反應，結果發現在環境在 35°C 時且 $[\text{H}^+]$ 在 10^{-3}M 時有最佳反應速率。

柒、未來展望

目前我們的研究主要著力於使用 PAA 與 γ -PGA 螯合鐵離子，然而 PVA 其實也有不錯的吸附效果，若能克服它易附著於濾紙及表玻璃上的特性，將可以更發揮其高效的吸附能力。我們期許在未來能繼續試驗不同吸附材質，使費頓反應能在最佳反應狀態下，以最低成本、最低汙染、低技術高效能等特色持續進行，且藉由循環系統，使其運用範圍擴展到工業需求。

捌、參考資料

- 1.中華民國第 52 屆中小學科學展覽會-添「丁」、聚福、又吸「金」— 幾丁聚醣結合聚麩胺酸對重金屬離子吸附研究暨應用
- 2.2012 台灣國際科學展覽會-綠色化學-應用吸水高分子螯合銀離子並製成奈米銀
- 3.高中化學南一版 葉名倉博士主編

【評語】 040203

本研究將 Fenton 反應在分子如 PVA、PGA 等處理情況下
檢測，對於分子與 Fe^{2+} 或 Fe^{3+} 的結合對反應速率的影響雖有探究，
稍嫌數據的嚴謹度不足，但研究主題可以進一步深入了解。