

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組 工程學科(二)科

第三名

052407

「鐵」劃「銀」鉤

—奈米銀活性碳磁流體複合物之應用

學校名稱：高雄市立高雄女子高級中學

作者： 高二 莊嫚妮 高二 謝艾樺 高二 黃琬鈞	指導老師： 呂雲瑞 李泐寰
---	-----------------------------

關鍵詞：磁流體、活性碳、奈米銀

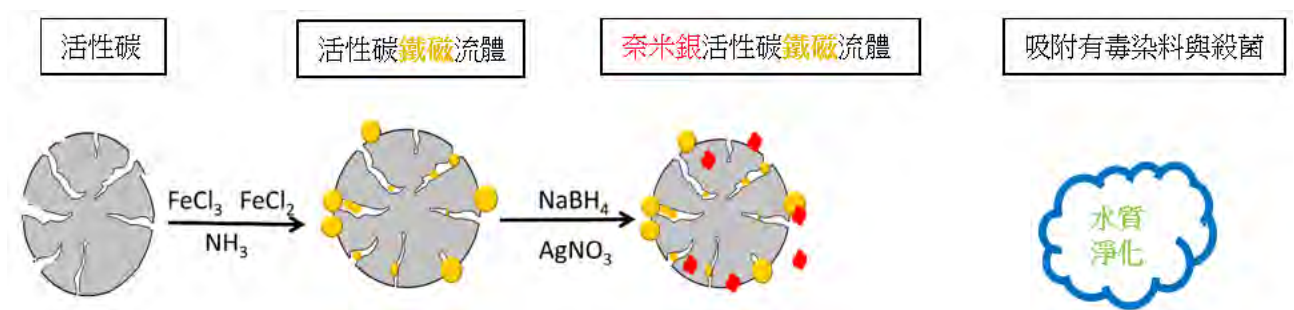
摘要

為了改善自然界常見的兩種水汙染：有毒色素與大腸桿菌，本研究將活性碳接上鐵磁流體，以低成本的活性碳製作成吸附色素並可回收再利用的鐵磁流體，再將奈米銀摻混在本研究複合物多孔性物質的表面，藉由調控活性碳和不同的銀離子濃度及比例，確定最佳的製備條件，並對其抗菌性能進行測試，以達到回收再利用、改善水資源的目的。

本研究摻混奈米銀粒徑在一固定範圍內溶解析出，因此殺菌力強。在選定的溫度範圍內仍保有磁性，具有回收便利，淨化水質後較無污染等優點；此外，在常溫常壓下保存六個月後，發現其磁力並未明顯消失，不僅具有長期性的利用價值，且成本低廉，未來有極大的潛力能夠廣泛應用於大型住家水塔或泳池殺菌除臭，吸附去除有害物質。

壹、研究動機

隨著科技的發展，人們對色彩的追求，產品往往會被過度的加工，相對也產生了對環境汙染所造成的傷害。染色過程產生大量有毒色素，已是不容忽視的議題。一般都市污水、工業廢水及淨水工程之二級或三級處理，經常使用活性碳吸附水中有機物。但是活性碳經過長時間使用後，水中之細菌會吸附於活性碳並繁殖生長，因而形成生物膜，影響後續水質處理狀況，易造成出流水質劣化，且活性碳並無法回收再使用。而水中有害微生物常造成疾病，有除去之必要。查閱文獻資料後發現奈米銀粒子具有長時間抗菌效用，因此，為了改善自然界常見的兩種水汙染：有毒色素與大腸桿菌。在查詢文獻資料與教師討論後，決定以低成本的活性碳製作成吸附色素並可回收再利用的鐵磁流體，透過化學沉積反應將奈米銀摻混在本研究複合物多孔性物質的表面。確定最佳的製備條件，並對其抗菌性能進行測試，以達到回收再利用、改善水資源的目的。



圖(一) 本研究概念圖

一、文獻探討

(一)水處理之殺菌劑

水是人類生活不可一日缺少之物質，飲用水若生菌數過高，會對人體產生致病情形。這些致病菌一旦進入人體，可能引發腸胃炎、傷寒或霍亂等疾病。水質中的微生物主要源自於土壤以及人類和動物的排泄物污染，目前各國皆以大腸桿菌群(total coliform)作為指標微生物，藉此來判斷水質是否有遭受生物汙染的情形。依據我國現行法規，飲用水的標準為每 1 毫升水中細菌總數不超過 100 個；每 100 毫升水中大腸桿菌菌群數不超過 6 個。若超過此數值，表示水源可能受糞便污染且可能有病原菌存在(行政院環保署飲用水水質標準)。

水中之微生物雖然經過沉澱、過濾處理，仍未能完全去除，為了獲得安全的飲用水，必須再加上消毒之過程。一般消毒法有加熱法、紫外光線、氧化劑、金屬離子及表面活性劑，其中氧化劑消毒方式常使用於水處理。氧化劑可分為鹵素及其它氧化劑如高錳酸鉀、臭氧等。淨水廠常用的消毒方式有氯、氯胺、二氧化氯、紫外射線(UV)及臭氧等，其殺菌效率以臭氧最強，依序為二氧化氯、氯及氯胺，如下表(一)所示。臭氧雖是最好的殺菌劑，但其成本高，在水中不具殘餘性，無法提供持續性殺菌效力。目前淨水廠仍然使用具餘氯與高氧化力、成本低廉及操作簡單氯消毒，但含有機物之自來水經加氯消毒處理後會產生總三鹵甲烷、鹵化乙酸類與鹵化乙腈類等具致癌風險消毒副產物。因此已有國家將銀使用在游泳池或飲用水消毒。飲用水中銀過量亦會對人體健康產生影響，根據世界衛生組織(WHO)飲用水中最大容許之 Ag^+ 濃度為 0.1ppm，而美國環境保護局(EPA)則是建議 Ag^+ 濃度為 0.05ppm。

表(一) 消毒劑對 *E. coli* 之 t_{99}

消毒劑	濃度(mg/l)	pH	水溫(°C)	t_{99} (min)
氯	0.2	7.0	25	15
	0.5	7.0	5	30
氯胺	1.0	8.0	22	29-46
二氧化氯	0.3-0.8	7.0	5	0.6-1.8
臭氧	0.29-0.36	7.4	24	0.6

(二)銀與奈米銀

金屬對微生物毒性之強弱順序為 $Ag > Hg > Cu > Cd > Cr > Pb > Co > Au > Zn > Fe > Mn > Mo > Sn$ ，由此可知銀對細菌的殺菌效果最好。雖然銀器具水質淨化之作用，但是若接觸表面積太小，則其殺菌效力有限。銀鹽中如 $AgNO_3$ 在水中雖可解離為 Ag^+ ，但 NO_3^- 對細胞有毒性，當 $AgNO_3$ 使用之劑量高於 1%，則可能對細胞組織產生毒性。因而展開銀奈米化的發展，以提升銀應用效益。銀奈米化之製作有以傳統機械研磨製作方式，奈米銀粒徑極限大約在 100 nm，而且成品的粒徑分布很寬，難以做出粒徑範圍集中之奈米銀產品。奈米銀一般為小於 100 nm 的微粒，單位體積表面積因此而大幅增加，更可提升銀之殺菌效力。

(三)活性碳在水質之處理

廢水或淨水工程之水處理上，由於水中可能含有機物、餘氯、色度及臭味等，可利用較具經濟效益之活性碳以去除。活性碳雖然可吸附水中污染物，但水中之微生物亦會黏附上並繁殖。一旦經過長時間使用後，可能會產生生物膜，使得出流水濁度提高，水中自由餘氯減少情形，影響後續水質處理。本研究活性碳摻混銀主要的目的為利用銀之殺菌能力，釋放出奈米銀後將吸附於活性碳上或懸浮於水中繁殖生長之微生物殺死。

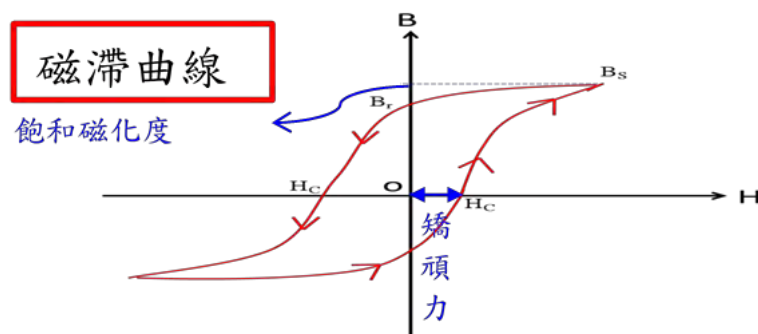
(四) 殺菌溫度挑選

表(二) 一般食品殺菌所需時間及溫度

	低溫長時間 LTLT	高溫短時間 HTST	寬鬆高溫 短時間	超高溫短時間 UHT
殺菌溫度(°C)	62~65	72~75	80~90	125~135
營養完整度	高	→ 低		
保存期限	7 天	12 天	12 天	15~60 天

(五) 磁滯曲線原理

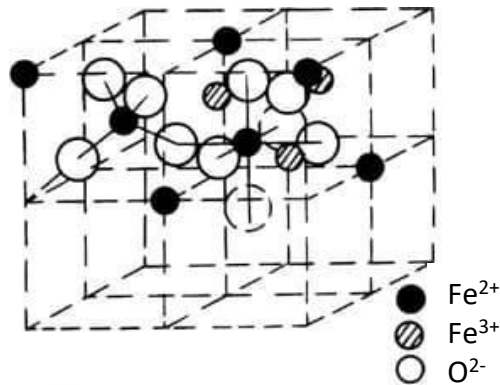
磁滯現象:當強磁物質的磁性狀態，受外加磁場迎想而改變後，幾十磁場減弱或消失，其磁力不會回到原來的旗典或零點，部分磁力將永久性的滯留在物質中，史的磁感應強度落後於磁場強度，這種現象稱為磁滯。



圖(二)磁滯曲線

(六)磁鐵礦(Fe_3O_4)磁性原理

磁鐵礦是在較還原的環境中產生的，它的化學式 Fe_3O_4 中的鐵原子有二價和三價兩種價態，因此又可寫成 $\text{Fe}^{2+}\text{O} \cdot \text{Fe}^{3+}_2\text{O}_3$ ，其中二價鐵離子擁有 2 個成對、4 個未成對的 d 軌域電子，三價鐵離子則含有 5 個未成對的 d 軌域電子。磁鐵礦在晶體結構上屬於反尖晶石結構，不同價態鐵離子在晶體中排列的位置不一樣 ($[\text{Fe}^{3+}]^{\text{T}}[\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}]^{\text{O}}\text{O}_4$)。由於 T 位(八面體位)鐵離子與 O 位(四面體位)鐵離子磁矩反向排列，導致 Fe^{3+} 的磁矩互相抵銷，磁鐵礦整體磁性是由 Fe^{2+} 的磁矩所提供，也就是具有亞鐵磁性，因此磁鐵礦可吸住鐵屑或被磁鐵所吸引。



圖(三) 反尖晶石結構

貳、研究目的

一、 活性碳性質

- (一) 比表面積與孔隙度分析儀測量比表面積
- (二) 測原色素吸附量
- (三) 測量原菌種附著情形

二、 活性碳鐵磁流體色素吸附

- (一) 合成不同含鐵量鐵磁流體
- (二) 磁性分析
- (三) 染劑吸附

三、 活性碳鐵磁流體複合物摻混奈米銀

- (一) 探討不同含鐵量所摻混奈米銀
- (二) 磁性分析

四、複合式奈米銀鐵磁流體殺菌效力

(一)大腸桿菌培養

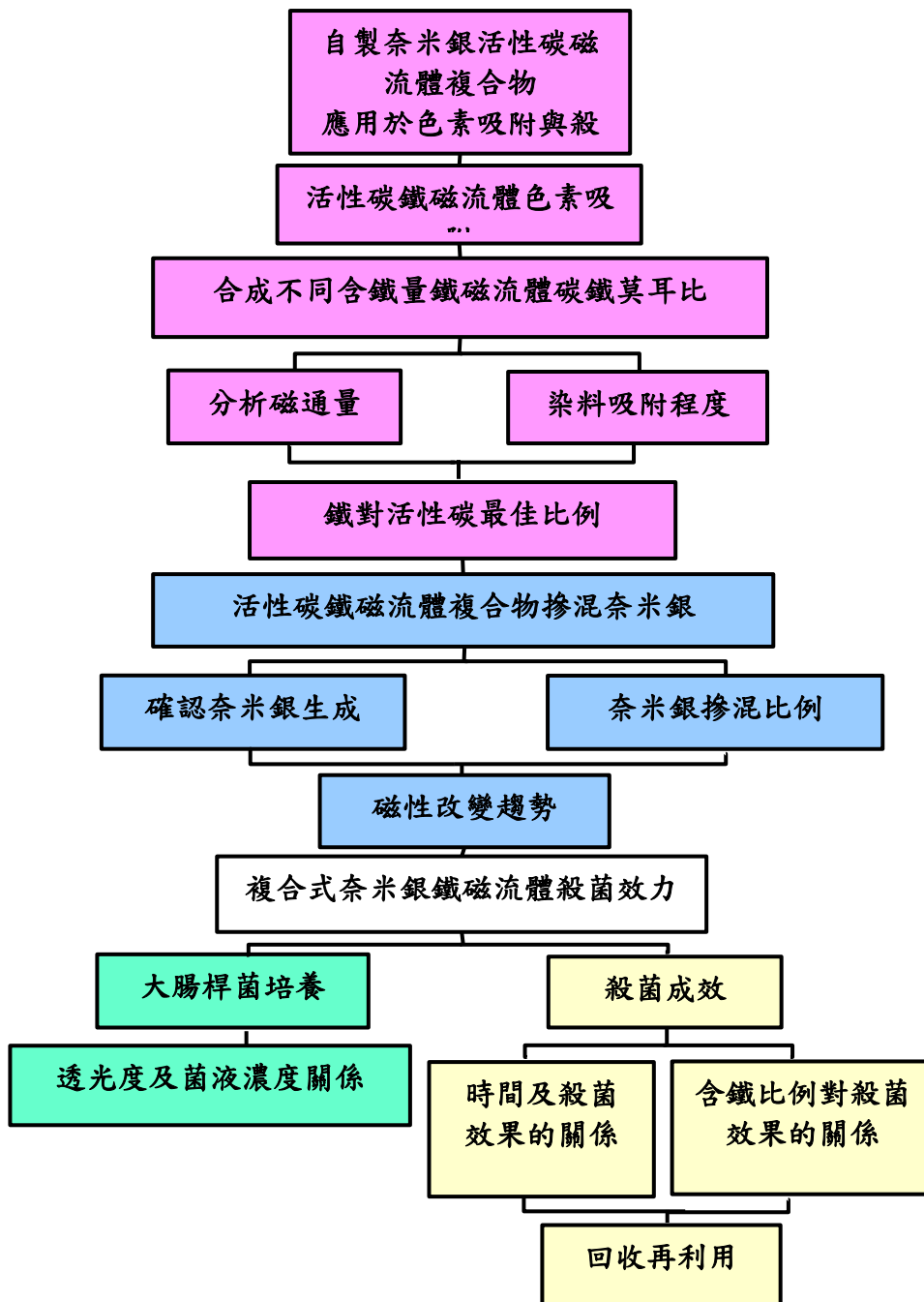
1.活化菌種(吸光度及菌液濃度的關係)

2.繁殖菌種(畫盤及自行養菌)

(二)殺菌成效

(三)重複殺菌

本研究流程圖



參、研究設備及器材

一、實驗設備

(一)本研究藥品

表(三) 主要實驗藥品

活性炭	NH ₃ 濃氨水	C ₂₁ H ₁₄ Br ₄ O ₅ 溴甲酚綠	酒精 C ₂ H ₅ OH
FeCl ₂ 氯化亞鐵	FeCl ₃ 氯化鐵	NaBH ₄ 硼氫化鈉	12M 鹽酸 HCl
AgNO ₃ 硝酸銀	LBB	TSA	大腸桿菌菌粉

(二)主要實驗設備

表(四) 本實驗設備

分光光度計	迴轉式震盪儀	無菌操作台	離心機
pH 指示劑	培養箱	烘箱	高溫滅菌釜

(三)送測檢驗

1.超導量子干涉裝置



圖 (四) 超導量子干涉裝置

超導量子干涉裝置，可以得知所合成的鐵磁流體的磁滯曲線，進而計算其飽和磁力為何（簡單說這個係數越大，感受到外在磁鐵的效應越大），於本研究中可測得此複合體之磁通量。

2.掃描式電子顯微鏡



圖(五) 掃描式電子顯微鏡

SEM（掃描式電子顯微鏡）為樣品表面和近表面提供高解析度和長景深的圖像。由於能夠快速提供非常詳細的圖像，SEM 目前是最廣泛使用的分析工具之一。與 EDS（能量色散 X-射線光譜）的結合測量，讓 SEM 可以提供幾乎整個週期表的元素鑑定，於本研究中可得知鐵磁流體及複合物殺菌前後的 3D 外貌。

3.感應耦合電漿原子發射光譜儀




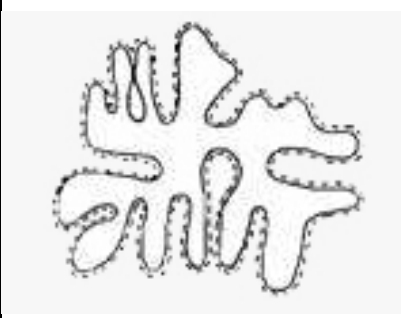
圖(六) 感應耦合電漿原子發射光譜儀

感應耦合電漿分析技術可以定量測量材料的元素含量。將樣品溶液噴入感應耦合電漿的核心中，電漿溫度高達 8000°C，在高溫下，所有的分析物種都會被離子化和熱激發，然後它們可以被 OES 或 MS 偵測和定量。測量從熱激發分析離子的特定元素特性波長發射的光。這種發射光可以在分光計中分離和測量強度，通過和校正標準品進行比對，轉換為元素濃度，於本研究中可得知鐵磁流體的 Fe(III)與 Fe(II)莫爾分佈的比率、奈米銀接上的比例。

4. 比表面積與孔隙度分析儀 (BET)

氣體吸附法測定比表面積原理，是依據氣體在固體表面的吸附特性，在一定的壓力下，被測樣品顆粒表面在超低溫下對氣體分子具有可逆吸附作用，並對應一定壓力存在確定的平衡吸附量。通過測定出該平衡吸附量，利用理論模型來等效求出被測樣品的比表面積。由於實際顆粒外表面的不規則性，該方法測定的是吸附質分子所能到達的顆粒外表面和內部通孔總表面積之合，如下表所示意位置。

表 (五) 以 BET 法則定固體比表面積

	
比表面積分析儀	原理示意圖

肆、研究過程或方法

一、活性炭性質

(一) 測量比表面積

以比表面積與孔隙度分析儀 (BET) 測量活性炭之比表面積。

(二) 測原色素吸附量

1. 配置 0.1% 的溴甲酚綠溶液。
2. 取活性炭加入溴甲酚綠溶液中震盪。
3. 將上部水取出，以分光光度計比較受汙染水加入活性炭前後之吸光值。

(三) 測量原菌種附著情形

1. 將培養基放入培養箱 10 ~ 30 分鐘烘乾。
2. 取原菌液 0.1 毫升滴至培養基上。
3. 將塗抹棒浸在 95% 酒精中，再用酒精燈燃燒。
4. 待火熄滅放涼後，用塗抹棒將菌液從中心點開始均勻塗開，倒放置於 37°C 的培養箱中 12 ~ 14 小時。
5. 將活性炭置於 30 毫升的原菌液中，用迴轉式震盪器分別震盪 10、20、30、40、50、60、90、120 分鐘。

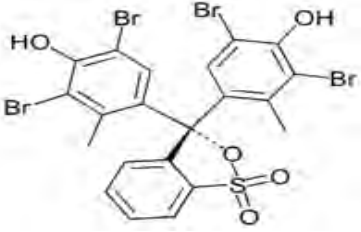
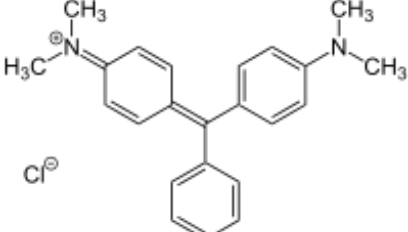
6 取 0.1 毫升此液體滴至培養基上，用塗抹棒將菌液從中心點開始均勻塗開，倒放置於 37°C 的培養箱 12~14 小時。

7.計算培養基上所生長的菌落數

二、活性碳磁流體色素(溴甲酚綠)吸附

溴甲酚綠 (Bromocresol green, 簡稱 BCG), 常做為酸鹼指示劑之用途, 與孔雀石綠皆屬於三芳基甲烷染料, 化性相似, 本實驗以溴甲酚綠作為實驗藥劑替代孔雀石綠。孔雀石綠可用作治理魚類或魚卵的寄生蟲、真菌或細菌感染。但對於脂鯉和鮫魚等海產, 孔雀石綠有高度毒性、高殘留等副作用, 人類若進食含孔雀石綠的魚類, 其中的三苯甲烷基團可引致肝癌, 並影響胎兒成長。

表(六) 溴甲酚綠及孔雀石綠

	
<p>溴甲酚綠 (Bromocresol green, 簡稱 BCG)</p>	<p>孔雀石綠 (Malachite green)三芳基甲烷染料</p>

(一)合成不同含鐵量鐵磁流體。

1.合成活性碳磁流體

(1)將氯化鐵、氯化亞鐵以及活性碳混合並均勻攪拌，過程中滴加 1.4M 氨水。

(2)攪拌完成後將燒杯置於強力磁鐵上使鐵奈米沉澱，將上部溶液(奈米顆粒因磁力被吸附在杯底)傾倒，再用蒸餾水清洗 3~4 次。如圖(七)。



圖(七)本研究合成之活性碳磁流體

2.改變含鐵量

由於合成鐵磁流體， Fe_3O_4 會附著於活性碳孔隙中，降低吸附率。因此我們調整 Fe 與 C 的比例，完成不同比例的鐵磁流體。

(1)原始比例為 $\text{Fe}^{2+}:\text{Fe}^{3+}:\text{C} = 6:12:25$ (莫耳數比)

(2)再調整比例為 $\text{Fe}^{2+}:\text{Fe}^{3+}:\text{C} = 3:6:25$ (莫耳數比)

3.活性碳鐵磁流體回收率

(1)取上述的活性碳鐵磁流體加入純水中，放到強力磁鐵上 5~10 分鐘

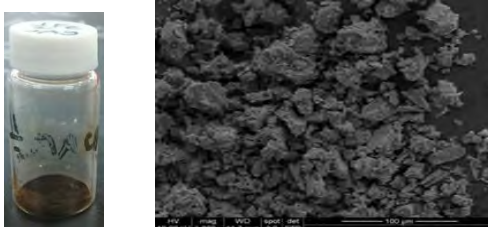
(2)回收活性碳鐵磁流體並去除其上之水分，以電子秤秤量回收之活性碳鐵磁流體質量

$$\text{回收率} = \text{回收質量}(\text{g}) / \text{原質量}(\text{g})$$

4.測量活性碳鐵磁流體對溴甲酚綠之吸附度

5.檢測項目(活性碳鐵磁流體吸附染料之最佳比例)

- (1)超導量子干涉裝置分析磁通量。
- (2)pH 計量測酸鹼度是否改變。
- (3)比表面積與孔隙度分析儀(BET)量測比表面積



圖(八) 鐵磁流體及其在 SEM 下的樣貌(1000x)

三、活性碳磁流體複合物摻混奈米銀

(一)活性碳磁流體摻混奈米銀

1.接上奈米銀粒子

(1)將硼氫化鈉溶液及與上述不同含鐵量比例的磁流體活性碳倒入燒杯中，冰浴下攪拌，如圖(九)所示，過程中將硝酸銀溶液滴入。

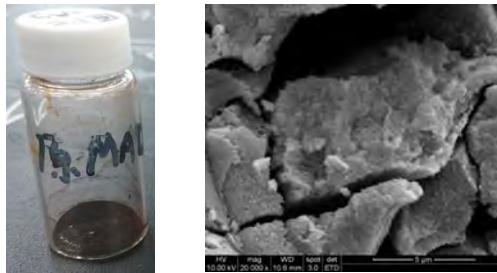
(2)將燒杯置於強力磁鐵上使奈米銀活性碳磁流體沉澱，將上部液體(奈米顆粒因磁力被吸附在杯底)傾倒，再用蒸餾水清洗。



圖(九) 冰浴下攪拌

(二)探討不同含鐵量對複合式奈米銀鐵磁流體之影響

- 1.以分光光度計確認奈米銀生成
- 2.透過超導量子干涉裝置可得知摻混奈米銀後磁流體磁通量。
- 3.透過感應耦合電漿原子發射光譜儀量測活性碳磁流體與奈米銀摻混比例。
- 4.以 pH 計量測酸鹼度。
5. 比表面積與孔隙度分析儀(BET)量測比表面積



圖(十) 複合式奈米銀鐵磁流體及其在 SEM 下的樣貌(10000x)

四、複合式奈米銀鐵磁流體殺菌效力

(一)大腸桿菌培養

- 1.活化及繁衍菌種(吸光度及菌液濃度的關係)

(1)培養液配置：

將 LBB 粉末加入二次水中攪拌均勻，置於滅菌釜以 121°C 滅菌後，放置冷卻後，加入菌粉，置入培養箱。

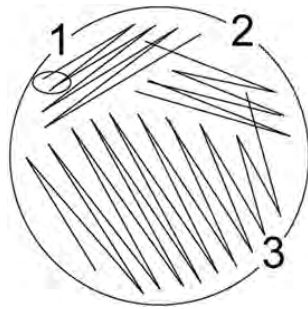
(2)培養基配置：

將 TSA 粉末加入二次水中攪拌均勻，放入滅菌釜中以 121°C 滅菌，待溫度下降後分裝至培養皿中，放置冷卻後備用。

(3)繁衍菌種

a.將培養一天之培養液經離心 3600rpm 後，倒出上方液體，加入滅菌水均勻混合下方菌體，以接種環沾取菌液放入新的培養液進行繼帶培養到第三代。

b.將培養至第三代之菌液，以劃盤的方式製作出帶有菌種的培養基，如下圖(十一)。



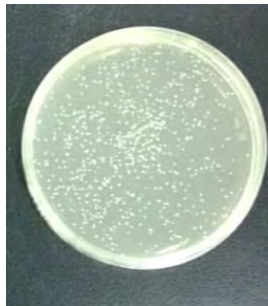
圖(十一) 劃盤圖示

(5)計算菌液濃度

用分光光度計(波長 640nm)測量其 OD 值，分別為 1.2、1.1、1.0、0.9、0.8，再進行序列稀釋及塗盤，放入培養箱 12~14 小時後算其菌落數帶入下列公式並計算出菌液濃度。

如下圖(十二)。

$$\text{原菌液濃度} = (\text{顆數} / 0.1) * \text{稀釋倍數}$$



圖(十二) 塗盤結果

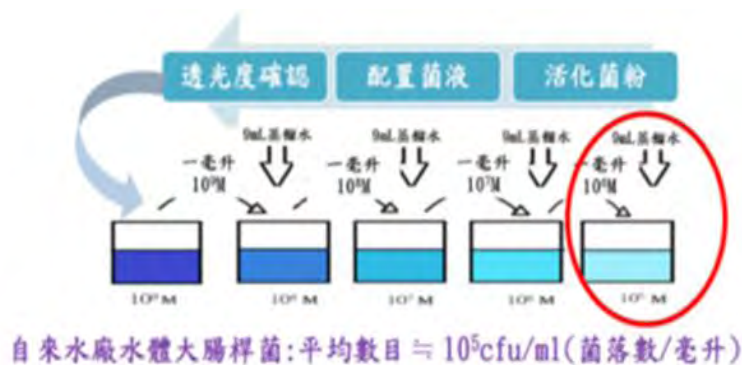
2.菌液配置(參照自來水廠原水體大腸桿菌平均數目= 10^5 cfu/ml(菌落數/毫升))

(1)以接種環沾取菌落加入 LBB 中，用橡皮塞塞住後放入 37°C 的培養箱中的迴轉式震盪器培養 12-14 小時。

(2)將此溶液用 3600rpm 離心後倒出上方液體，將下方殘留菌體加入滅菌水混合。

(3)用分光光度計(波長 640nm)測量其 OD 為 0.9，此時的菌液濃度為 10^8 cfu/ml(菌落數/毫升)。

(4)透過序列稀釋，將此菌液稀釋至 10^5 cfu(菌落數)，如下圖(十三)。



圖(十三) 本研究序列稀釋原理

(二) 複合式奈米銀鐵磁流體殺菌力檢測

- 1.將 6 毫升的原菌液加入接銀的鐵奈米中，用迴轉式震盪器分別震盪 10、20、30、40、50、60、90、120 分鐘。
- 2.將燒杯至於強力磁鐵上使接銀的鐵奈米沉澱，將上部液體倒出
- 3.以前述方法培養菌種
- 4.計算培養基上所生長的菌落數

(三)重複使用

將回收的複合式奈米銀鐵磁流體用酒精清洗，再用水清洗 1 次，放入烘箱烘乾，將其加入 10^5 (cfu/ml)0.1 毫升菌液，用迴轉式震盪器分別震盪 10、20、30、40、50、60、90、120 分鐘，測其重複利用的殺菌效果。

伍、研究結果

一、活性炭性質

(一) 測量比表面積

表(七) 以 BET 量測活性炭比表面積

名稱 \ 量測項目	比表面積(m ² /g)	Pore volume(mL/g)
活性炭	1100	0.42

(二) 測原色素吸附量

表(八) 溴甲酚綠加入活性炭前後之波峰吸光度

名稱 \ 量測項目	0.1%溴甲酚綠	活性炭
吸光度($\lambda=434\text{nm}$)	2.35	0.06

本研究定義

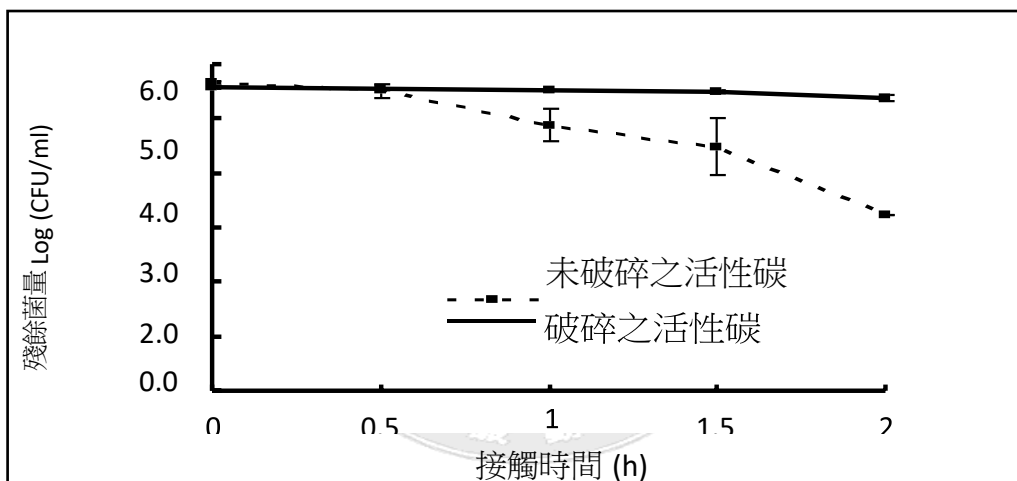
吸附率=【(吸附前波峰之吸光值-吸附後波峰之吸光值)/ 吸附前波峰之吸光值】*100%

求得活性炭的吸附率=97.45%

(三) 測量原菌種附著情形

活性碳具多孔洞之特性，一般可用於吸附水中之污染物質，也包含吸附細菌之效果。為了區別活性碳對細菌之殺菌力與吸附作用，本研究首先探討活性碳吸附細菌之能力。未破碎之活性碳(2.38-4.76 mm)與*E. coli* 接觸2 h 後，菌數由 4.3×10^5 CFU/ml 降至 1.7×10^3 CFU/ml；破碎後之活性碳(0.42-0.84 mm)與細菌接觸2 h 後，其菌數未下降(圖十四)。

理論上，當活性碳表面積愈大時，其吸附污染物質速度會提高，而圖(九)顯示破碎後之活性碳表面積增加，吸附效果卻不佳。造成此現象可能為活性碳內部孔徑是不均勻情形，經破碎後，雖表面積增加，但活性碳孔徑比細菌細胞小，細菌難以被吸附進入，而活性碳孔徑比細菌大時，細菌較易脫附出。由此可知，活性碳不易吸附細菌或易脫附，本研究奈米銀複合物之殺菌能力應可排除其中活性碳之吸附作用。



圖(十四) 活性碳吸附 *E. coli* 之情形

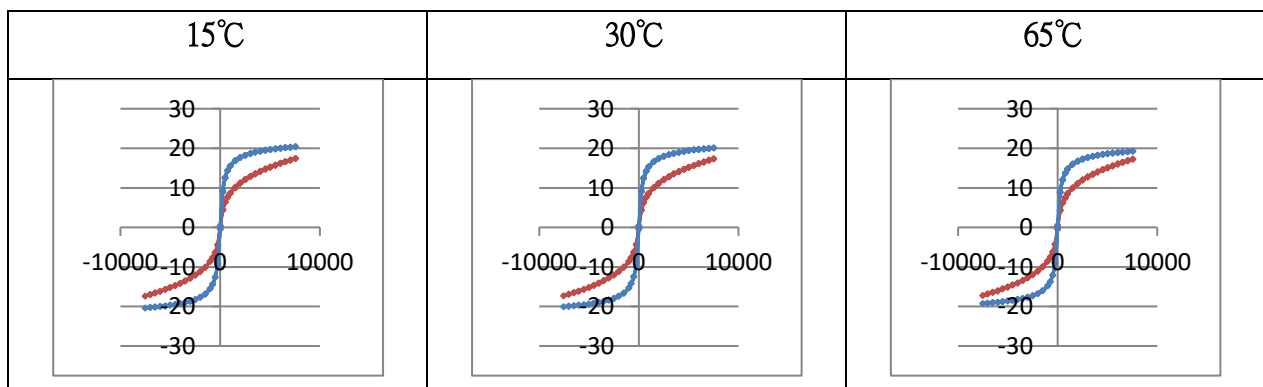
二、活性碳磁流體色素吸附

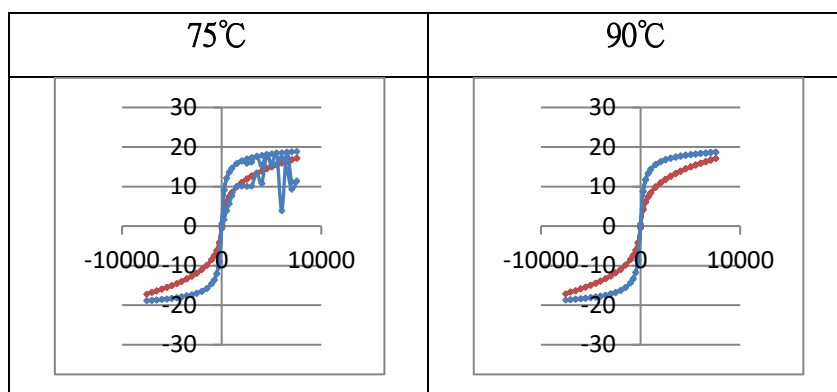
(一) 合成不同環鐵量鐵磁流體

樣品 A: $\text{Fe}^{2+}:\text{Fe}^{3+}:\text{C}=3:6:25(\text{mol})$ 樣品 B: $\text{Fe}^{2+}:\text{Fe}^{3+}:\text{C}=6:12:25(\text{mol})$

(二) 磁性分析

1. 超導量子干涉裝置分析磁通量





圖(十五) 樣品 A 及樣品 B 磁滯曲線

表(九) 樣品 A 及樣品 B 矯頑力與飽和磁場強度

樣品名稱	檢測項目	15°C	30°C	65°C	75°C	90°C
樣品 A	矯頑力 (Oe)	0.329	0.323	0.321	0.347	0.277
	飽和磁場強度 (emu/g)	17.39	17.34	17.31	17.28	17.16
樣品 B	矯頑力 (Oe)	0.385	0.490	0.535	0.710	0.598
	飽和磁場強度 (emu/g)	20.38	19.83	19.25	18.88	18.71

飽和磁化度大於 16.3 emu/g 說明此材質可以透過磁鐵使其與水溶液分離，由圖可知，在 15°C 到 95°C 下，樣品 A 及樣品 B 皆可透過磁鐵使其與水溶液分離

2.磁流體之磁性

表(十)樣品 A 及樣品 B 以磁力計所測出磁性

測量項目 \ 樣品名稱	樣品 A	樣品 B
磁性(G)	0.9	1.1

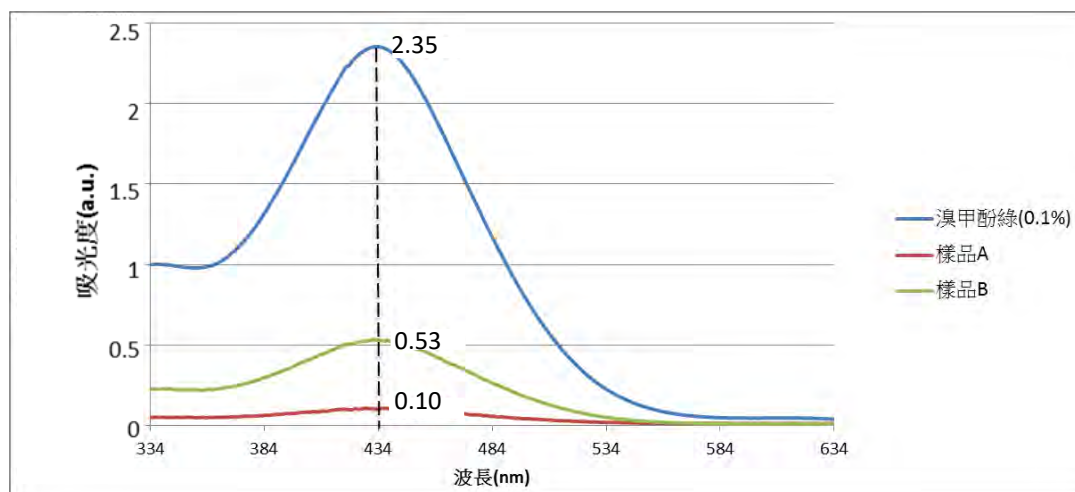
3.磁流體之回收率

表(十一)樣品 A 及樣品 B 之回收率

測量項目 \ 樣品名稱	樣品 A	樣品 B
原質量(g)	0.110	0.110
回收質量(g)	0.1094	0.1099
回收率	99.53%	99.91%

(三)染劑吸附

1.分光光度計測取染劑吸附度



圖(十六) 溴甲酚綠(吸收 $\lambda = 434\text{nm}$)加入活性碳磁流體前後之吸光度

表(十二) 溴甲酚綠加入活性碳磁流體前後之波峰吸光度

名稱 \ 量測項目	0.1% 溴甲酚綠	樣品 A	樣品 B
吸光度($\lambda = 434\text{nm}$)	2.35	0.10	0.53

本研究定義

吸附率=【(吸附前波峰之吸光值-吸附後波峰之吸光值)/ 吸附前波峰之吸光值】*100%

求得之吸附率如下表(十三)：

表(十三) 各樣品之吸附率

名稱 \ 量測項目	樣品 A	樣品 B
吸附率($\lambda=434\text{nm}$)	95.74%	77.45%

由吸收光譜可知，溴甲酚綠溶液最大吸收峰波長為 434nm，吸光值為 2.35，經由樣品 A 吸收後，其值下降到 0.10，經本研究定義之公式推算，吸附度為 95.74%；由樣品 B 吸收後，吸光值則下降為 0.53，吸附度為 77.45%。由此可知，樣品 A 對溴甲酚綠之吸附率較樣品 B 佳。

2.測量比表面積

表(十四) 以 BET 量測各樣品比表面積

名稱 \ 量測項目	比表面積(m^2/g)	Pore volume(mL/g)
樣品 A	528.75	0.2618
樣品 B	505.11	0.2664

由量測結果可推論樣品 A 的比表面積較大，吸附率較佳，與吸附實驗結果相符。

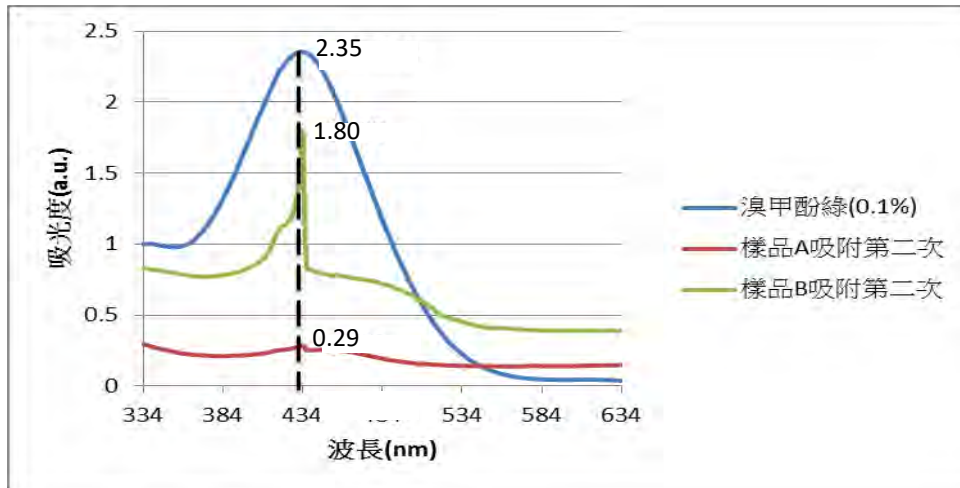
3.pH 計量測吸附前後酸鹼度

表(十五) 各樣品吸附前後之酸鹼度

名稱 \ 量測項目	樣品 A	樣品 B
吸附前 pH 值	6.23	6.54
吸附後 pH 值	6.37	6.42

吸附溴甲酚綠前後，樣品 A 與樣品 B 皆接近中性，加入水中不會大幅影響其酸鹼值。

4.重複吸附



圖(十七) 溴甲酚綠加入使用過的活性碳磁流體前後之吸光度

表(十六) 溴甲酚綠加入使用過的活性碳磁流體前後之波峰吸光度及吸附度

名稱 量測項目	樣品 A 第二次吸附	樣品 B 第二次吸附
吸光度(λ =434nm)	0.29	1.80
吸附率(λ =434nm)	87.66%	23.40%

本研究定義

$$\text{重複吸附率} = (\text{吸附第二次之吸附率} / \text{吸附第一次之吸附率}) * 100\%$$

求得之吸附率如下表(十)：

表(十七) 各樣品之重複吸附率

名稱 量測項目	樣品 A	樣品 B
重複吸附率	91.56%	30.21%

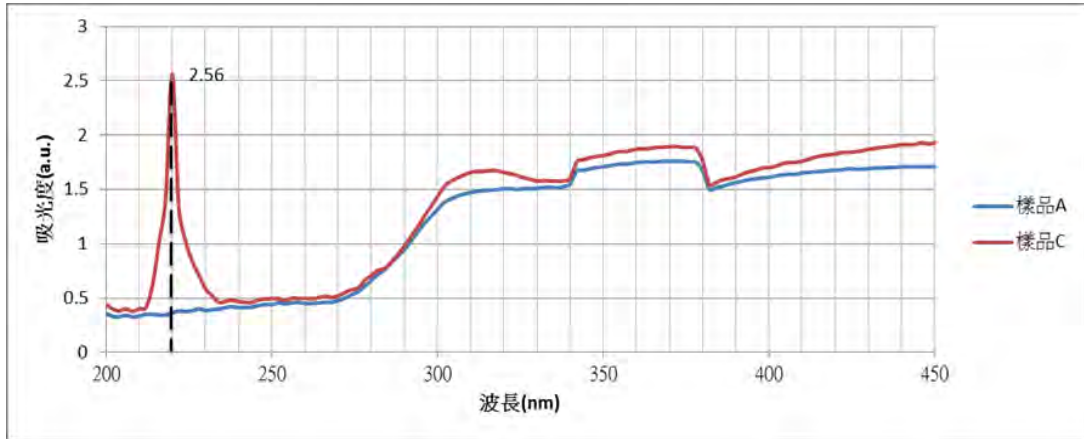
由吸收光譜可知，溴甲酚綠溶液經由樣品 A 吸收後，其值下降到 0.29，吸附度為 87.66%；由樣品 B 吸收後，吸光值則下降為 1.80，吸附度為 23.40%。經本研究定義之公式推算，樣品 A 的重複吸附率為 91.56%，樣品 B 的重複吸附率為 30.21%。由此可知，樣品 A 對溴甲酚綠吸附之重複使用率較樣品 B 佳。

二、活性碳磁流體複合物摻混奈米銀

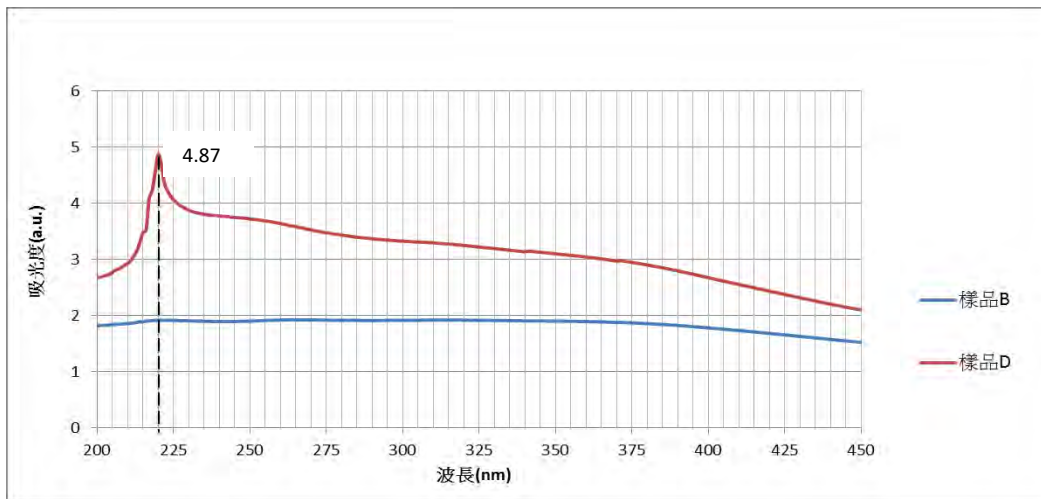
(一)探討不同含鐵量所摻混奈米銀

樣品 C: $\text{Fe}^{2+}:\text{Fe}^{3+}:\text{C}:\text{Ag}^+=1500:3000:12500:3$ (mol) 樣品 D: $\text{Fe}^{2+}:\text{Fe}^{3+}:\text{C}:\text{Ag}^+=3000:6000:12500:3$ (mol)

1. 以分光光度計確認奈米銀生成，如下圖(十八)、(十九)所示



圖(十八) 樣品 A 接合奈米銀前後之吸光度



圖(十九) 樣品 B 接合奈米銀前後之吸光度

奈米銀的最大吸收峰波長為 220nm，由圖可看出接銀後的樣品在 220nm 時有明顯的吸收峰，表示其確實有接上奈米銀。

2. 以感應耦合電漿原子發射光譜儀量測奈米銀摻混比例，如表(十八)所示

表(十八) 奈米銀摻混比例

名稱 \ 量測項目	^{57}Fe (mole)	^{107}Ag (mole)	莫爾數比 ($^{107}\text{Ag}/^{57}\text{Fe}$)
樣品 C	1.707×10^{-6}	1.665×10^{-9}	9.754×10^{-4}
樣品 D	9.831×10^{-6}	8.775×10^{-8}	8.926×10^{-3}

經過量測結果發現，樣品 D 的銀摻混比例較高，殺菌力較佳，與吸附實驗結果相符。

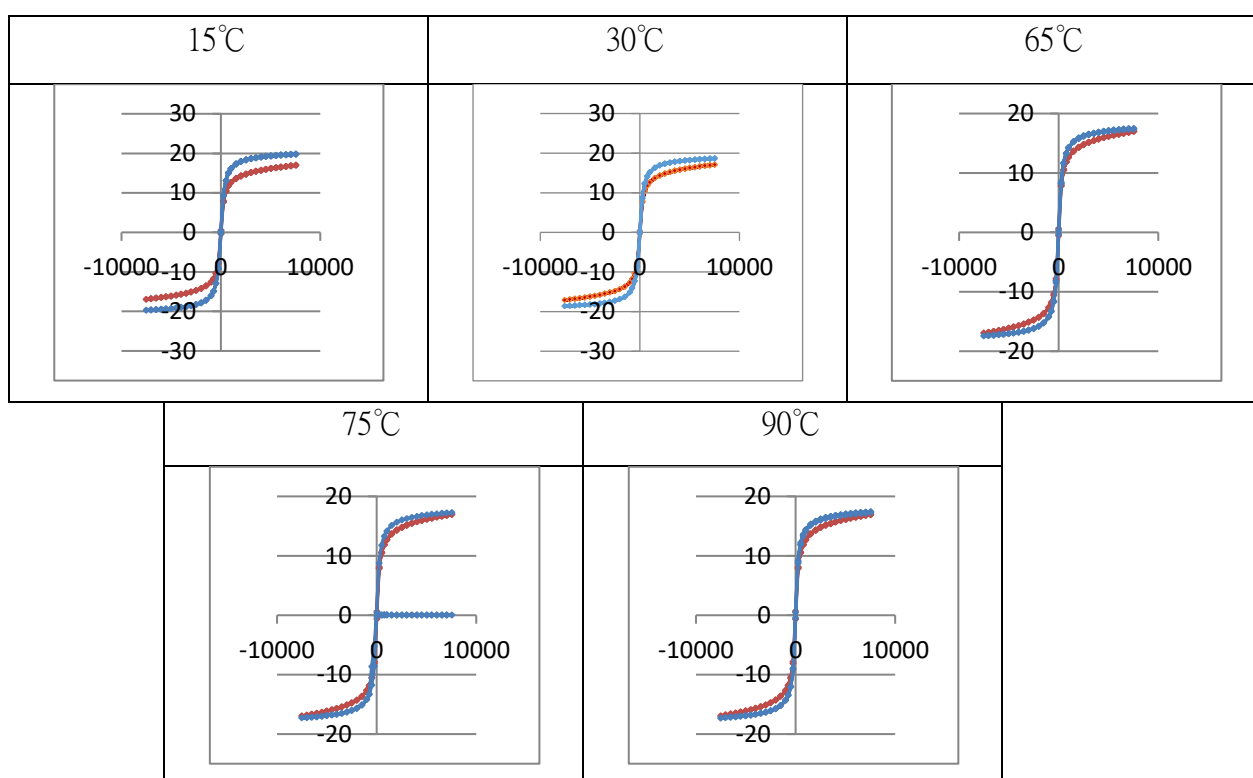
3. 測量比表面積

表(十九) 以 BET 量測各樣品比表面積

名稱 \ 量測項目	比表面積(m ² /g)	Pore volume(mL/g)
樣品 C	336.95	0.2117
樣品 D	348.54	0.2254

(二)磁性分析

1. 超導量子干涉裝置分析磁通量



圖(二十) 樣品 C 及樣品 D 磁滯曲線

表(二十) 樣品 C 及樣品 D 矯頑力與飽和磁場強度

樣品名稱 \ 檢測項目	15°C	30°C	65°C	75°C	90°C
樣品 C 矯頑力 (Oe)	0.408	0.486	0.591	0.641	0.667

	飽和磁場強度 (emu/g)	17.12	16.98	16.96	16.93	16.90
樣品 D	矯頑力 (Oe)	0.170	0.259	0.325	0.228	0.463
	飽和磁場強度 (emu/g)	19.76	18.67	17.39	17.30	17.24

飽和磁化度大於 16.3 emu/g 說明此材質可以透過磁鐵使其與水溶液分離，由圖可知，在 15°C 到 90°C 下，樣品 C 及樣品 D 皆可透過磁鐵使其與水溶液分離

4. 複合物之磁性

表(二十一)樣品 C 及樣品 D 以磁力計所測出磁性

測量項目 \ 樣品名稱	樣品 C	樣品 D
磁性(G)	0.4	1.0

5. 複合物之回收率

表(二十二)樣品 C 及樣品 D 之回收率

測量項目 \ 樣品名稱	樣品 C	樣品 D
回收前重量(g)	0.110	0.110
回收後重量(g)	0.1070	0.1094
回收率	97.33%	99.48%

三、複合式奈米銀磁流體殺菌效力

(一)大腸桿菌培養

1.活化菌種(吸光度及菌液濃度關係)

表(二十三) 各菌液之透光度及濃度

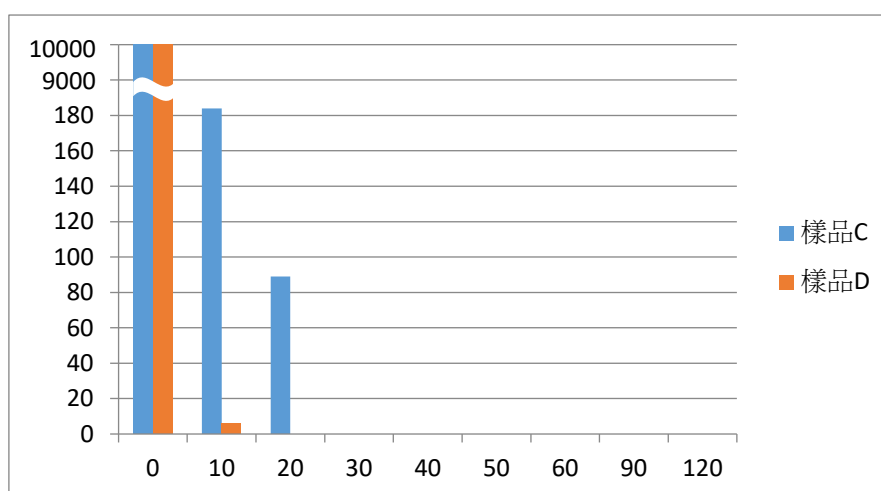
透光度 (a.u.)	稀釋 10 ⁵ 倍後塗 盤菌落數(c.f.u.)	由稀釋 10 ⁵ 倍後 塗盤菌落數推算 原菌液濃度 (c.f.u/ml)	稀釋 10 ⁶ 倍後塗 盤菌落數 (c.f.u.)	由稀釋 10 ⁶ 倍後 塗盤菌落數推算 原菌液濃度 (c.f.u/ml)
1.00	6229	6.229x10 ⁹	340	3.4x10 ⁹
0.95	1746	1.746x10 ⁹	151	1.51x10 ⁹
0.90	206	2.06x10 ⁸	82	8.2x10 ⁸

(二)殺菌成效

1.時間及殺菌效果的關係

表(二十四)各樣品之菌落數與殺菌時間關係

名稱 \ 時間	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	90 min	120 min
樣品 C	10000	184	89	0	0	0	0	0	0
樣品 D	10000	6	0	0	0	0	0	0	0



圖(二十一) 各樣品之菌落數與殺菌時間關係

2.含鐵比例對殺菌效果的影響

本研究定義

t_{99} = 殺死 99%細菌的時間 (由內插法求得)

求得：

表(二十五) 各樣品之 t_{99} 值

名稱	樣品 C	樣品 D
量測項目		
t_{99} (分鐘)	18.842	9.906

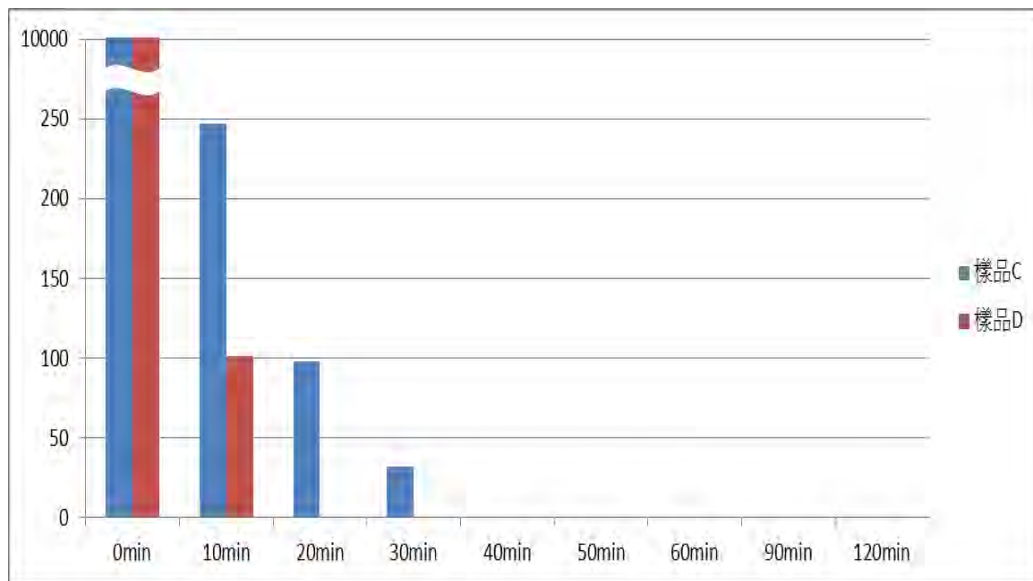
經過 t_{99} 殺菌實驗，樣品 D 的殺菌時間較短，與奈米銀摻混比例顯示出相同結果。

(三)重複殺菌

1.重複殺菌之效力

表(二十六)各樣品之菌落數與重複殺菌時間關係

時間	0	10	20	30	40	50	60	90	120
名稱	min	min	min	min	min	min	min	min	min
樣品 C	10000	247	98	32	0	0	0	0	0
樣品 D	10000	101	0	0	0	0	0	0	0



圖(二十二) 各樣品之菌落數與重複殺菌時間關係

表(二十七) 各樣品重複殺菌之 t_{99} 值

名稱	樣品 C	樣品 D
量測項目		
t_{99} (分鐘)	19.834	10.099

本研究定義

$$\text{重複殺菌率} = (\text{第一次殺菌之 } t_{99} / \text{第二次殺菌之 } t_{99}) * 100 \%$$

求得：

表(二十八) 各樣品之重複殺菌率(本研究以三次重覆計算平均值)

名稱 \ 量測項目	樣品 C	樣品 D
重複殺菌率	94.99%	98.09%

2.pH 計量測殺菌前後酸鹼度

表(二十九) 各樣品殺菌前後之 pH 值

名稱 \ 量測項目	樣品 C	樣品 D
殺菌前 pH	6.87	6.78
殺菌後 pH	6.83	6.50

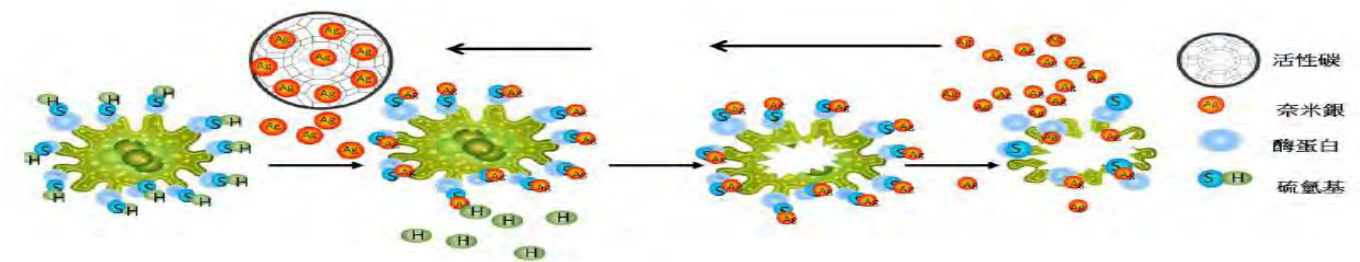
殺菌前後，樣品 C 與樣品 D 皆接近中性，加入水中不會大幅影響其酸鹼值。

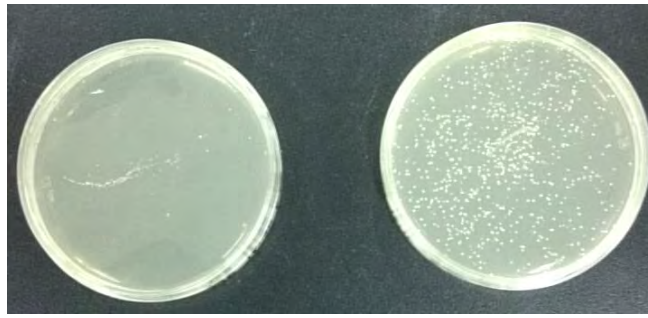
陸、討論

一、活性碳磁流體色素(溴甲酚綠)吸附

在實驗一活性碳磁流體吸附溴甲酚綠結果中，顯示接鐵量較少的樣品 A 吸附溴甲酚綠程度較樣品 B 高，配合活性碳上具有許多孔洞之因素，推測由氯化鐵及氯化亞鐵合成的三氧化四鐵會附著於活性碳上的孔洞，減少活性碳表面孔洞面積，進而影響活性碳磁流體對染料之吸附效能。

二、活性碳磁流體複合物摻混奈米銀





圖(二十四) 自製奈米銀活性碳磁流體複合物殺菌(E-coli)成效(左:殺菌後；右:殺菌前)

從以上殺菌機制可以得知，奈米銀摻混過後的活性碳，不但增加了極佳的抗菌功能，也具有活性碳的吸附力，使活性炭的功能更進一步彰顯。本研究自製奈米銀活性碳磁流體複合物，具有殺菌力強、奈米銀粒徑在一定範圍內均勻分布、不易造成水質污染等優點，使活性炭的使用更具效率。如下表(三十)。

表(三十) 本研究活性碳磁流體與複合物摻混奈米銀性質

外觀	黑色懸浮液體	
成分	活性碳、四氧化三鐵	奈米銀、活性碳、四氧化三鐵
活性碳平均孔徑	30 μ m	40 μ m
pH 值	6~7	6~7
溶解出粒子平均粒徑(nm)	70~130nm(Fe_3O_4)	200~650nm(Ag)

根據行政院環境保護署規定標準，銀離子濃度若低於 0.5 毫克／公升，則對人體不造成生理傷害，因本實驗自製複合物殺菌機制，須考慮使用時添加量，以下為計算方式：

複合物物質重量比為硝酸銀：奈米銀磁流體複合物 = 1: 2058.82 (假設加入之銀離子全部附著)
 又一般家用水塔常見容量為 500 公升，故約可加 650 公克本實驗複合物作為清理用物。又以成本計入考量：本實驗複合物花費為 0.3 元／公克，所需費用為 196 元，與傳統淨水方式相比，成本較為低廉。

三、參混奈米銀對磁性之影響

因本實驗步驟為先合成磁流體複合物，再參混奈米銀，故須考慮奈米銀粒子之嵌附是否對接合於活性碳上的四氧化三鐵產生影響，以下為假設反應：



表(三十一) 各反應還原電位

反應式	$\text{Fe}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Fe}(s)$	$\text{Fe}^{3+} + e^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$	$\text{Ag}(s) \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + e^-$
還原電位	-0.44	0.77	0.8

由上表可知，假設反應皆非自發反應，故參混奈米銀粒子不會影響本實驗複合物磁力。

柒、結論

一、本研究奈米銀活性碳磁流體複合物

表(三十二) 本研究合成複合物

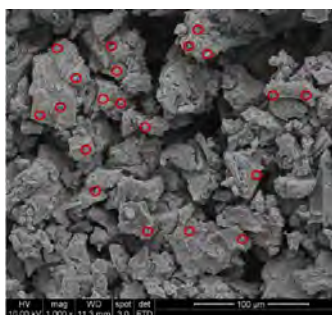
名稱	樣品 A	樣品 B	樣品 C	樣品 D
成分				
$\text{Fe}^{2+}:\text{Fe}^{3+}:\text{C}:\text{Ag}^+(\text{mole})$	3:6:25:0	6:12:25:0	1500:3000:12500:3	3000:6000:12500:3
實驗結果	色素吸附最佳			殺菌效力最佳

(一)鐵含量較少的樣品 A 對水中污染物的吸附效果較好，但是回收率較差，因為其含鐵量較少(與樣品 B 比較)。

(二)為了增加其回收量，鐵含量較多的樣品 D，在相同大腸桿菌濃度下內，殺菌力較樣品 C 佳，且相對於其他物種，本研究使用的銀離子的量較不易造成水質中金屬污染。

三、 生活應用

活性碳主要是用作為氣體、液體或各種物質選擇性吸附的材料，用途廣泛。有關化學品、醫藥品的生產製程，廢水處理、含戴奧辛 (Dioxin) 之廢氣處理等環保領域，也用於淨水、廢水處理、甜味料脫色、化學、醫藥和礦物加工、食品加工、空氣或其他氣體吸附純化與溶劑回收。因為活性碳具有高吸附性，也因此容易造成吸附物質後而產生細菌，而目前市面上載銀活性碳之相關產品雖然使用範圍廣、且為對細菌不產生抗藥性之殺菌劑，若活性碳表面載銀多為非奈米級的銀顆粒，其大幅降低載銀活性碳的吸附效果，也使得載銀活性碳容易因為銀過度局部聚集而使抗菌效果不穩定，或是銀添加過多使銀容易脫落，又或是銀添加不足使其沒有抗菌作用，本研究的奈米銀活性碳磁流體複合物，其具有殺菌力強而穩、奈米銀粒徑分佈均勻、使用方便、不易脫落，提高載銀活性碳的使用效率。根據下圖的掃描式電子顯微鏡檢查結果，顯示奈米銀活性碳結構上的銀(紅色圈處，圓形白色小點)，是以呈晶狀體、均勻分佈地固著在活性碳上。反應前後活性碳粒徑及吸附值變化差異不大，奈米銀活性碳磁流體複合物具有高度吸附力與殺菌力。



圖(二十五) 掃描式電子顯微鏡(SEM)－奈米銀活性碳複合物(紅圈為銀)

表(三十三) 本研究複合物與一般常見磁鐵比較

種類	一般強力磁鐵	鈷鐵硼磁鐵	活性碳鐵磁流體 (每克)	奈米銀複合物 (每克)
矯頑力 O_e	640~2000	10000~12000	18~24	3~15

未來期望於活性碳磁流體上摻混更少的銀而達到最佳的殺菌效果，進而開發出減少化學試劑使用及成本較低的殺菌淨水藥劑。可將本材料和自來水管或淨水設備做結合，未來有極大的潛力運用在醫療保健上，例如高效能且無害有較強殺菌功能的噴霧劑。

進行不同菌種殺菌測試(如致病性傷寒桿菌之殺菌能力)、奈米銀保存時效及排放水標準(銀在水溶液中析出量)。銀在水溶液中析出量是否符合飲用水規範標準(台灣金屬濃度需低於 0.05 ppm)。

捌、本研究亮點

一、染料吸附

比較	吸附過程	反應後
傳統吸附劑 (生物降解、 氧化劑添加)	1.須特定環境下作 2用且過程多為繁雜	高污泥產量 副產物生成
磁流體複合物	1.操作簡易 2.迅速吸附	可因磁力回收 重複再利用

相較傳統染料吸附方式，本實驗材料具有多項明顯優勢

二、殺菌效力

比較	磁流體複合物	傳統殺菌 (高溫、高壓)
優缺點	可殺菌且 可回收再利用 不傷害該物質	容易破壞原物 化學結構

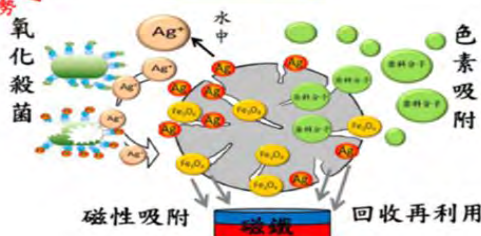
三、本研究亮點

(一) 自來水廠常用淨水方法之缺點

- 一、加氯消毒:易產生致癌物「三鹵甲烷」
- 二、活性炭吸附有機物:活性炭層內會有微生物的增值

(二) 奈米銀活性碳磁流體複合物

- 一、具有色素吸附與殺菌效果
- 二、無有害副產物生成
- 三、銀離子的存在可避免活性炭內微生物增值的問題
- 四、可以回收再利用



玖、參考資料及其他

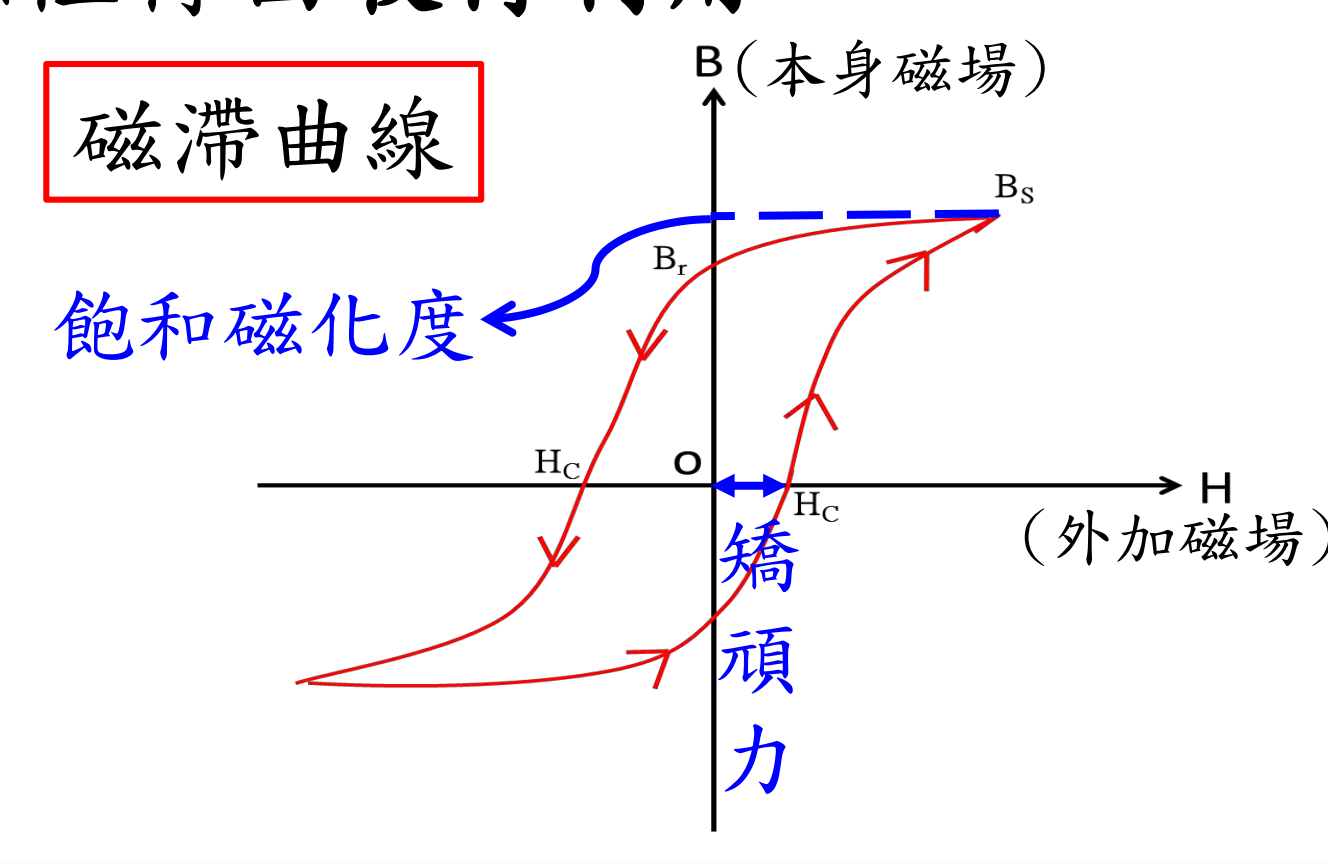
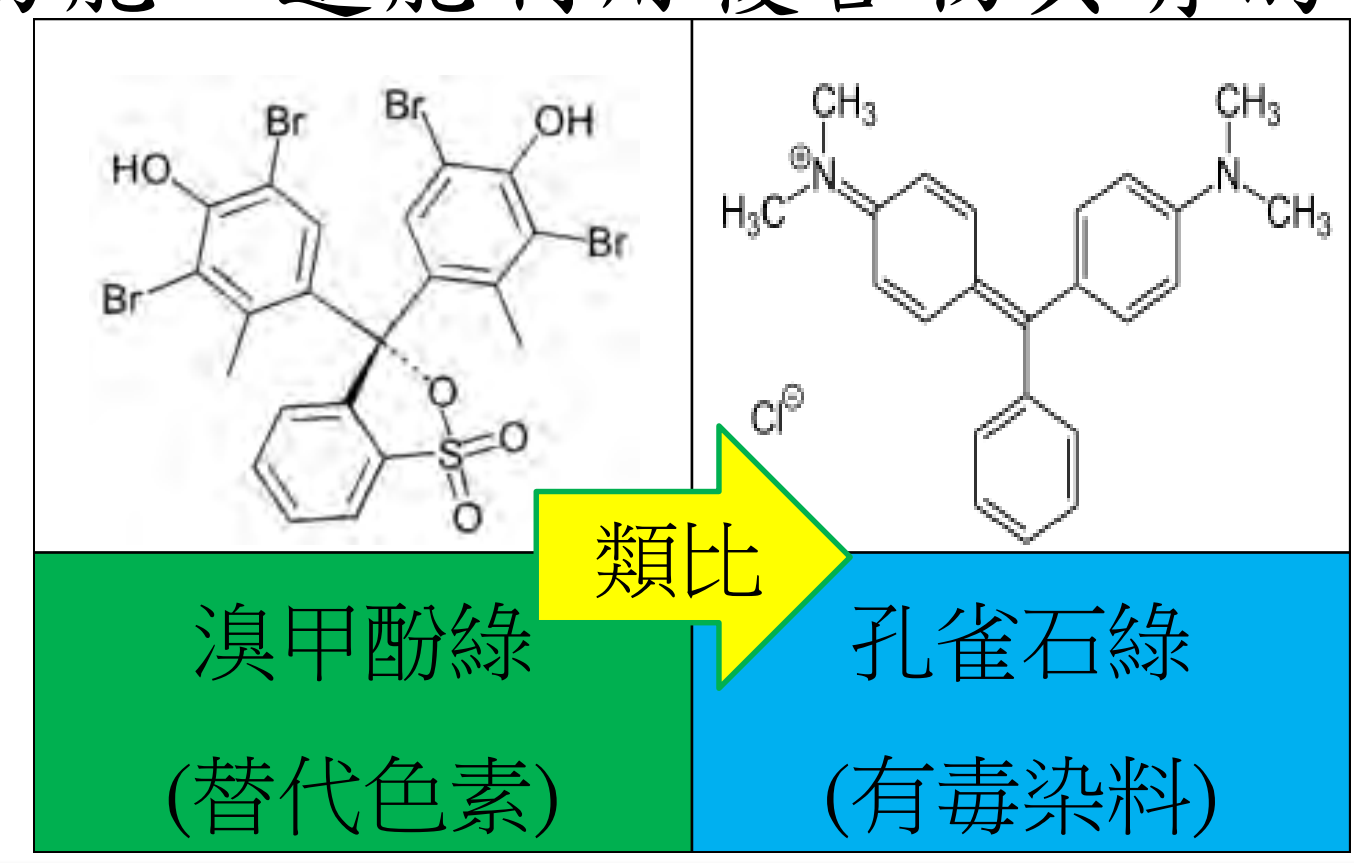
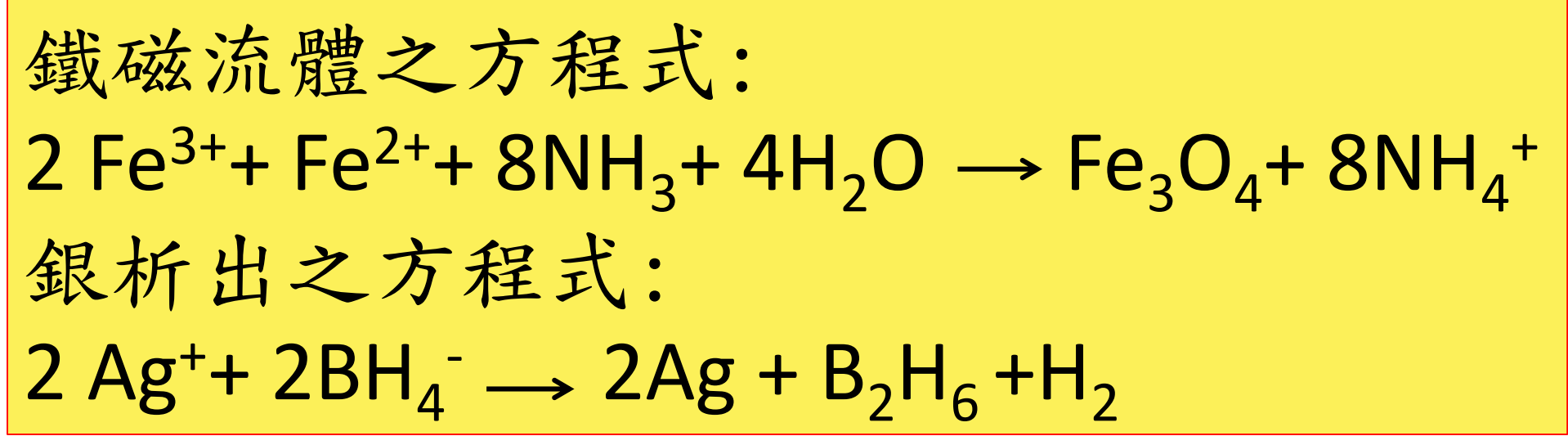
1. 陳文樟，2006，簡介活性炭製造、分類及應用，中鼎月刊，第 321 期，pp. 17-21。
2. 陳鴻烈，鄭慧玲與陳桂梅，1995，以活性炭吸附法去除飲用水源中有機物之研究，中國環境工程學刊，第 5 卷，第 4 期，pp. 351-359。
3. 蔡翠菊、康淑娟與林倚利，1998，以活性炭吸附處理染料廢水之探討，光武學報，第 23 期，pp. 173-190。
4. 王洪水、喬學亮、王小健、陳建國、熊建裕、曹元成，載銀沸石抗菌劑的製備及其抗菌性能，材料科學與工程學報，2006/02，24 卷 1 期。
5. 呂晁志、蔡宜壽，銀系無機抗菌材料的開發(上)，化工資訊與商情，2007 年 3 月，vol.44，pp. 38-45，2007。
6. 呂晁志、蔡宜壽，銀系無機抗菌材料的開發(下)，化工資訊與商情，2007 年 3 月，vol.44，pp. 57-62，2007。
7. 鄭雅云、吳芃蓁、王雨莉 (2014)，新式光觸媒奈米磁鐵(TiO₂ @ Fe₃O₄) 分解玫瑰紅染料之研究。第 54 屆全國中小學科展作品說明書。
8. 王瑜琦、朱鈞耀、廖婉茹，微生物學實驗，永大書局有限公司，台北，pp. 7~21，2003。
9. Raffi, M., Hussain, F., Bhatti, T., Akhter, J., Hameed, A. and Hasan, M. (2008) Antibacterial characterization of silver nanoparticles against E. coli ATCC-15224. J Mater Sci Technol., 24: 192 – 196.
10. Goia, D. V. and Matijevic, E. (1998) Preparation of monodispersed metal particles. New Journal of Chemistry, 22: 1203-1215.
11. Barbaras, S. 1986. Monitoring natural waters for drinking-water quality. WHO Stat. Q 39:32-45.
12. 行政院環保署飲用水管理條例之飲用水水質標準(2009)

【評語】 052407

本作品將活性碳與氧化鐵混合形成所謂活性碳磁流體，用於吸附水中溴甲酚綠；另透過化學沉積反應將奈米銀摻混在複合物多孔活性碳表面，用於殺菌。作者期望活性碳磁流體上摻混少量的銀而達到最佳的殺菌效果，進而開發出成本較低的殺菌淨水藥劑，運用於自來水管或淨水設備。惟宜考量自來水水質差別性問題、複合物製備的穩定性及成本因素等。報告之撰寫宜參考學術報告之格式，實驗條件的設計及實驗結果應有文字說明討論，實驗記錄與討論宜針對圖表具體說明分析，並與其他的文獻比較。

壹、研究動機

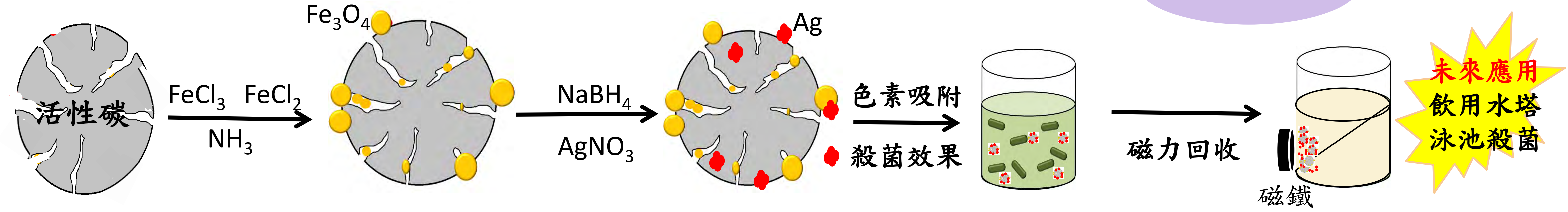
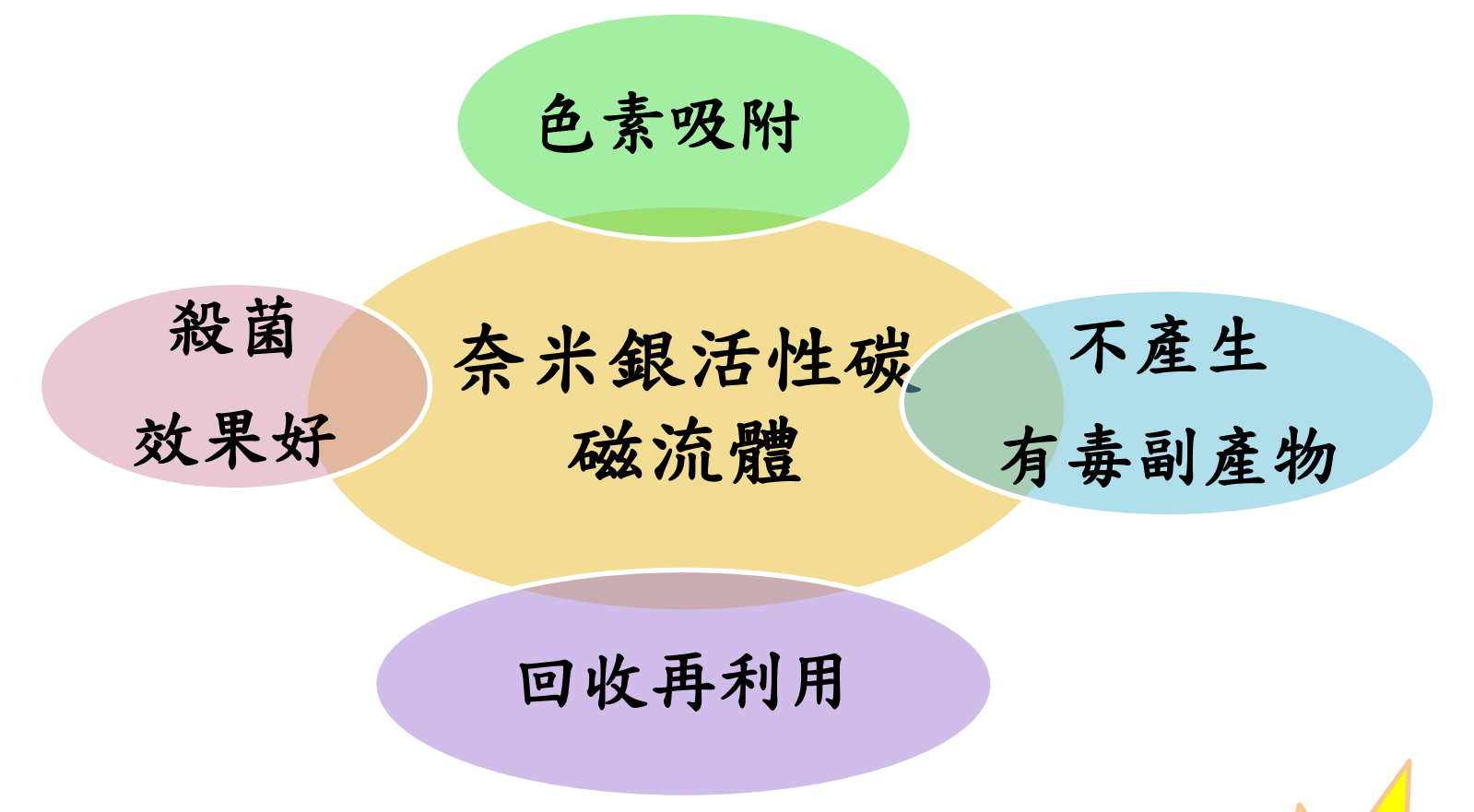
活性碳具有吸附有機物的功能，鐵奈米具有磁性，而銀奈米具有長時間抗菌效用，本研究將此三者結合，不僅能清除水中有毒染料、具有殺菌功能，還能利用複合物具有的磁性行回收再利用



貳、研究目的

- 一、合成不同含鐵量活性碳磁流體對**替代色素**的**吸附效果**。
- 二、再以不同含鐵量活性碳磁流體**摻混奈米銀**，分析其性質差異。
- 三、**自行培養**大腸桿菌並**定量菌種濃度**。
- 四、評估其殺菌**時間與重覆使用效率**，找出最佳複合物比例。

本研究主要概念

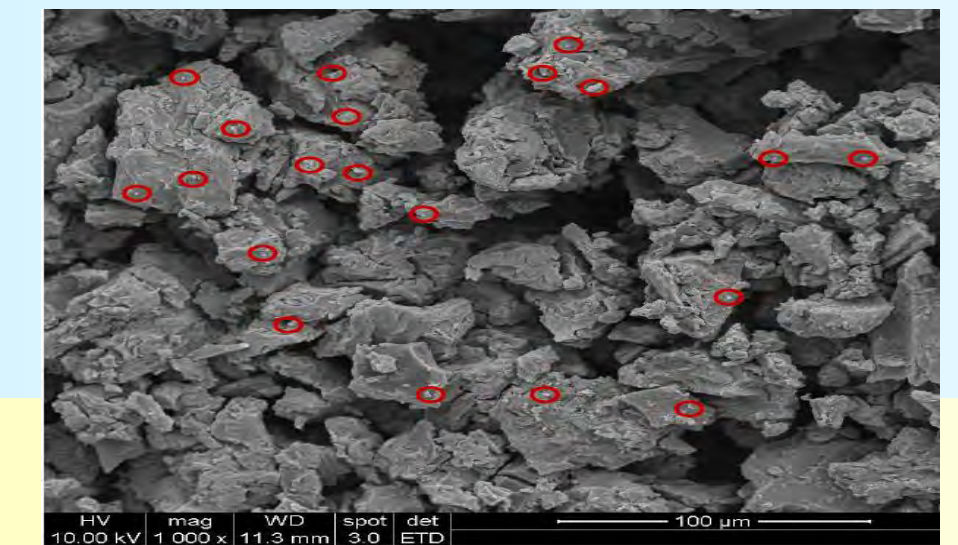
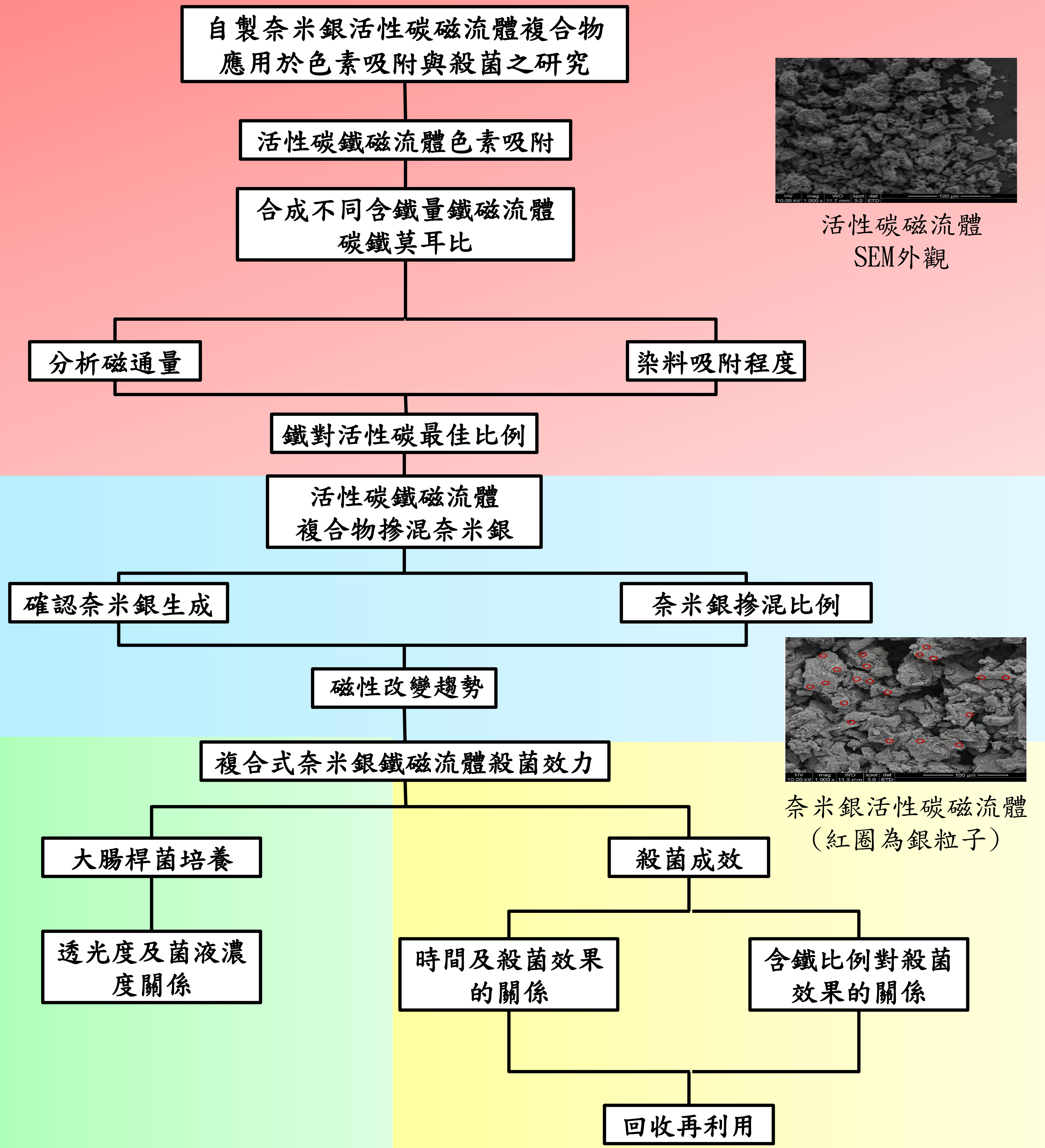
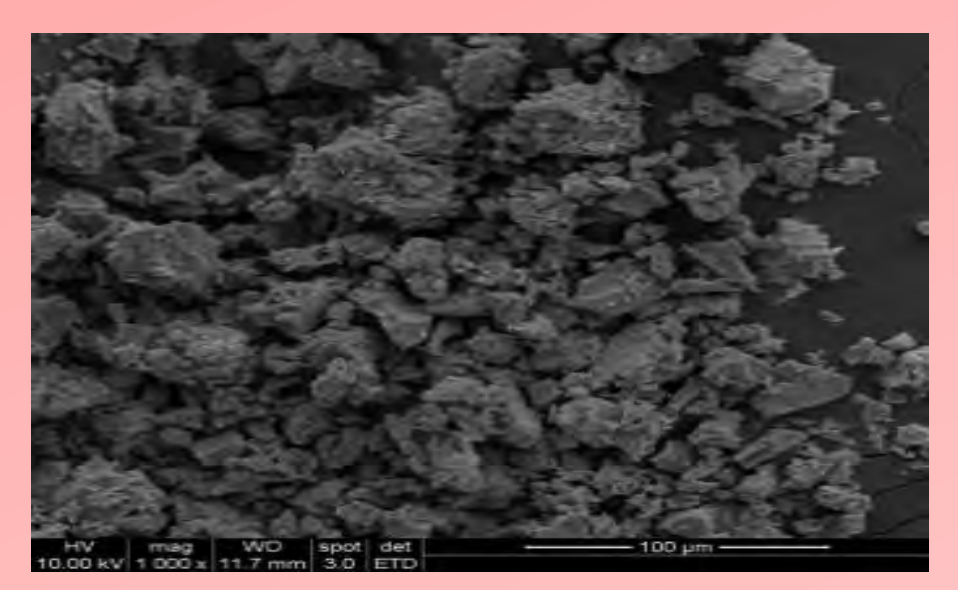


參、實驗藥品與器材

本研究藥品					
活性碳	氯化亞鐵	氯化鐵	硼氫化鈉	硝酸銀	溴甲酚綠

貴重儀器		
超導量子干涉裝置(SQUID)	比表面積與孔隙度分析儀(BET)	感應耦合電漿原子發射光譜儀(ICP)

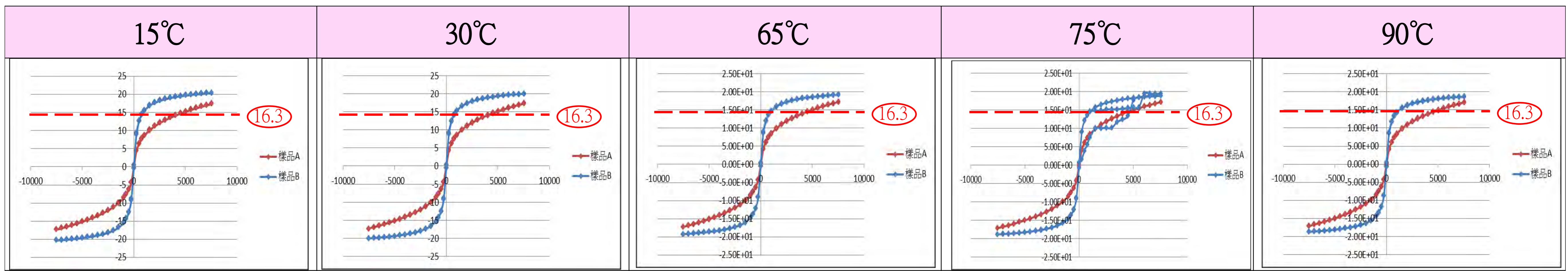
肆、研究流程



伍、研究結果

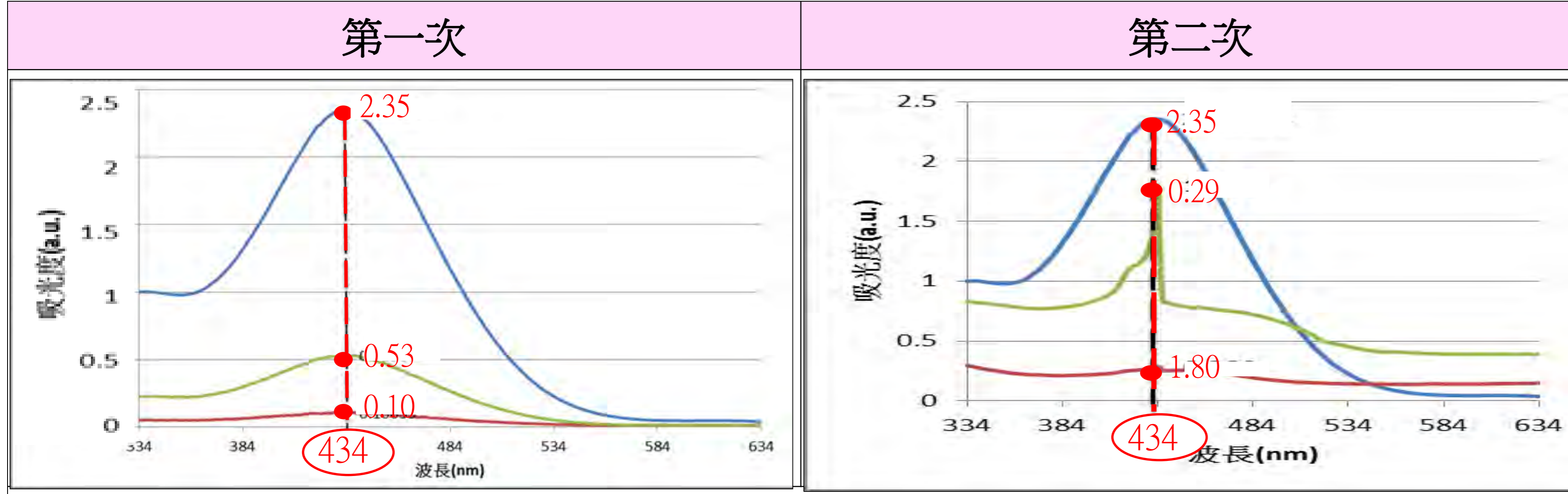
一、活性碳磁流體對溴甲酚綠之吸附

(一)磁滯曲線(本研究選取五種常見食品業殺菌溫度測試)



飽和磁場強度大於16.3 emu/g 說明此材質可以透過磁鐵使其與水溶液分離
在這五個溫度下，兩樣品的飽和磁場強度皆大於16.3 emu/g，表示樣品A、B皆可用磁鐵回收

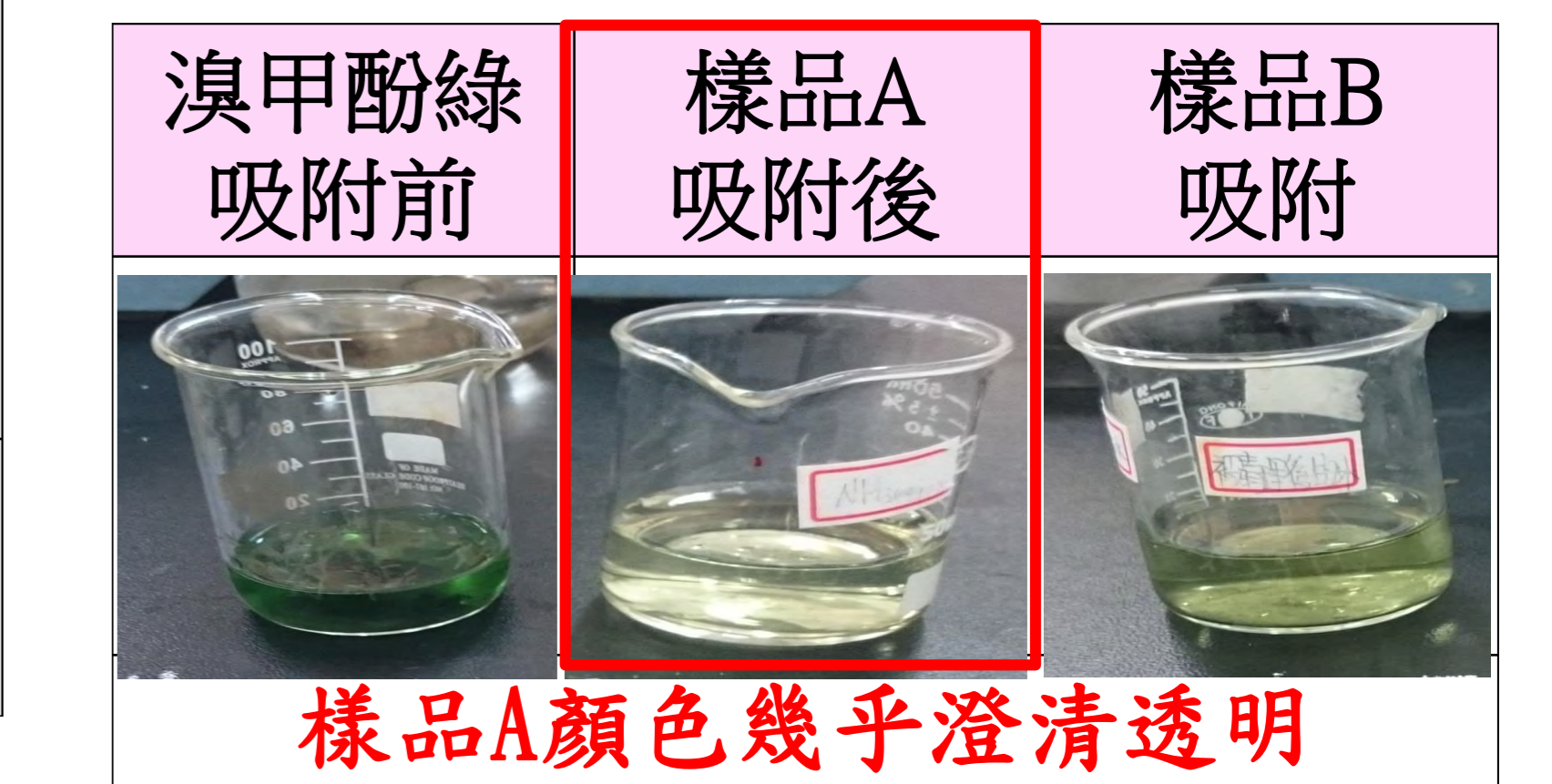
(二)溴甲酚綠吸附光譜圖



不論是第一次還是第二次吸附，樣品A都能使溶液的吸光度下降較多
表示吸附效果與重複使用效果皆比樣品B佳

(三)溶液pH值及顏色

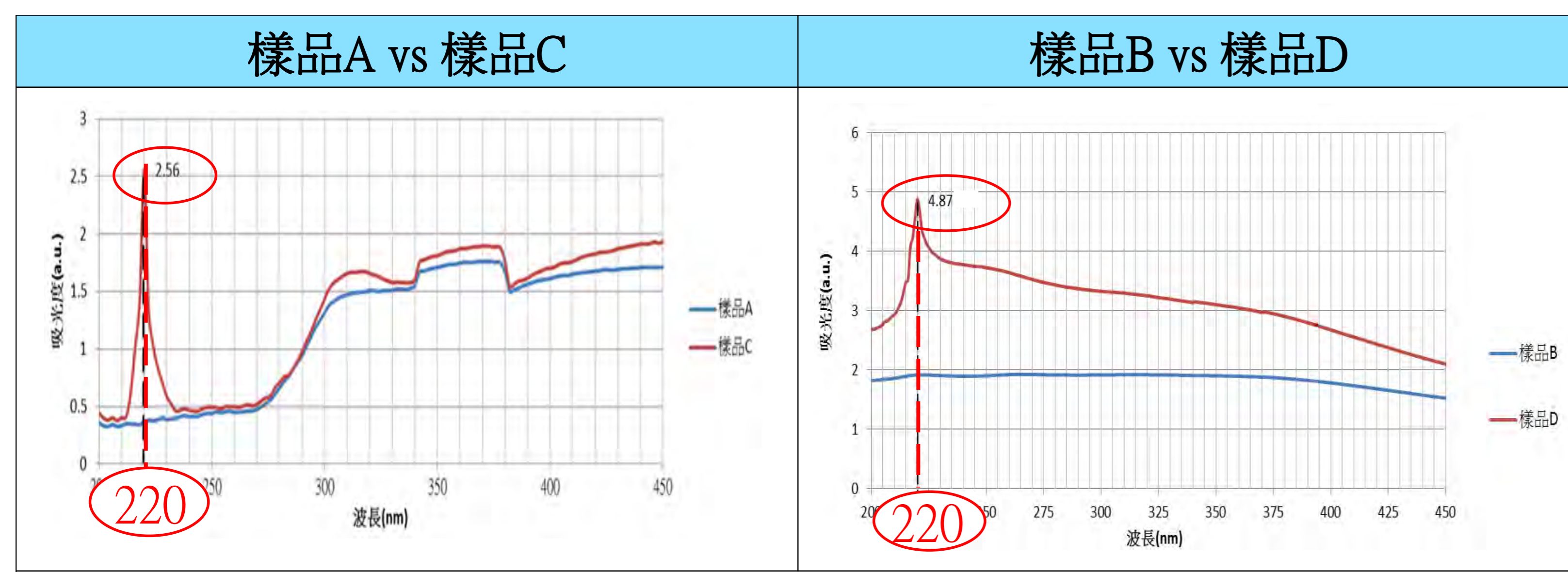
樣品A	樣品B
6.2 → 6.4 (吸附前) (吸附後)	6.5 → 6.4 (吸附前) (吸附後)
A、B樣品吸附前後 皆不會大幅度的影響酸鹼值	



樣品A顏色幾乎澄清透明

二、活性碳磁流體摻混奈米銀

(一)摻混奈米銀前後吸光度



奈米銀的最大吸收峰波長為220nm，由圖可看出接銀後的樣品在220nm時有明顯的吸收峰，表示其確實有接上奈米銀

(二)各元素摻混莫爾數(mole)

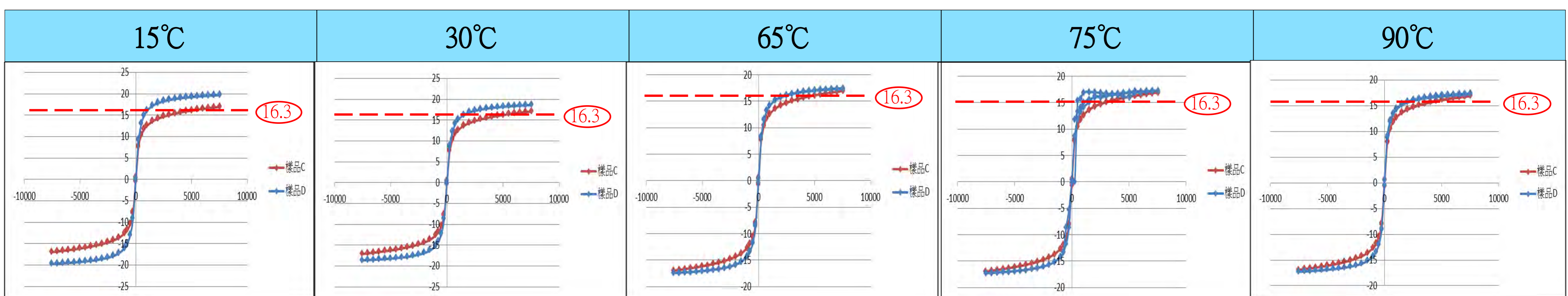
項目	⁵⁷ Fe(mole)	¹⁰⁷ Ag(mole)	¹⁰⁷ Ag / ⁵⁷ Fe
樣品C	1.707x10 ⁻⁶	1.665x10 ⁻⁹	9.754x10 ⁻⁴
樣品D	9.831x10 ⁻⁶	8.775x10 ⁻⁸	8.926 x10 ⁻³

雖然合成時所加入的銀離子莫爾數相同，合成出來的奈米銀粒子卻是樣品D比例較高

(三)溶液pH值

樣品C	樣品D
6.9 → 6.8 (殺菌前) (殺菌後)	6.8 → 6.5 (殺菌前) (殺菌後)
C、D樣品加入水中皆 不會大幅度的影響酸鹼值	

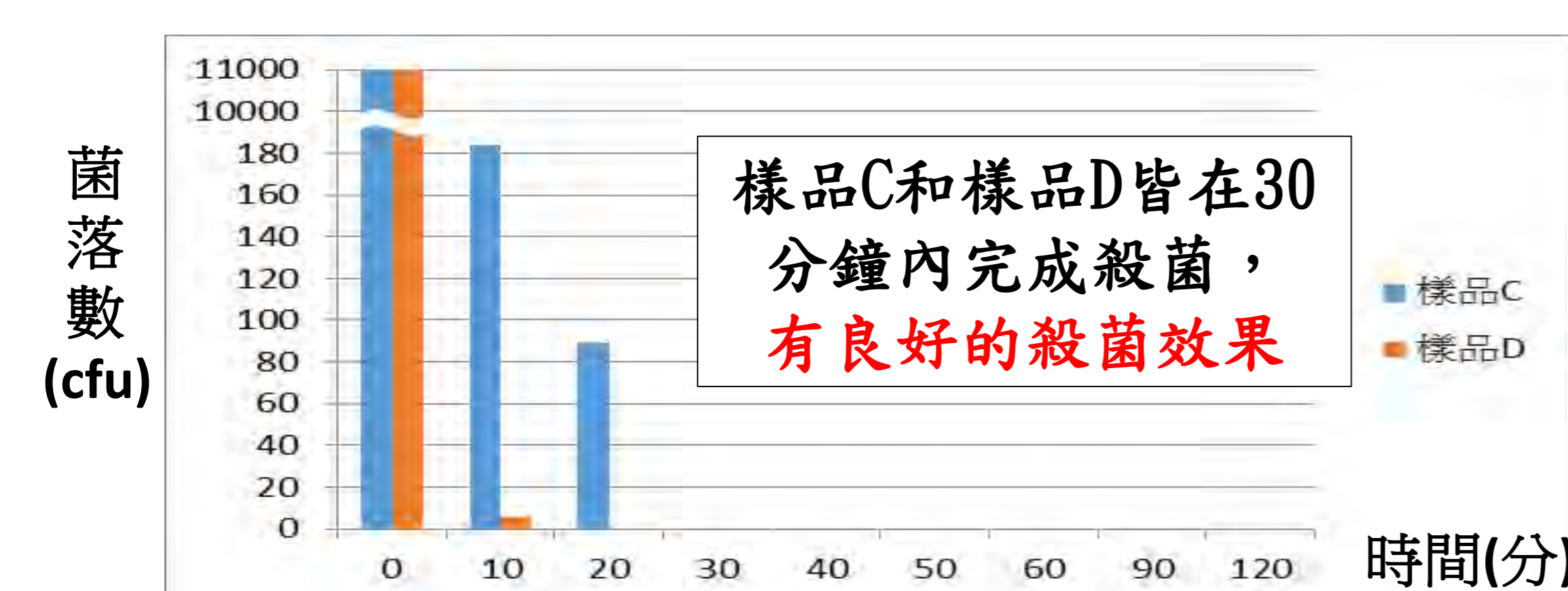
(四)磁滯曲線(本研究選取五種常見食品業殺菌溫度測試)



飽和磁場強度大於16.3 emu/g 說明此材質可以透過磁鐵使其與水溶液分離
在這五個溫度下，兩樣品的飽和磁場強度皆大於16.3 emu/g，表示樣品C、D皆可用磁鐵回收

三、奈米銀活性碳磁流體殺菌效力

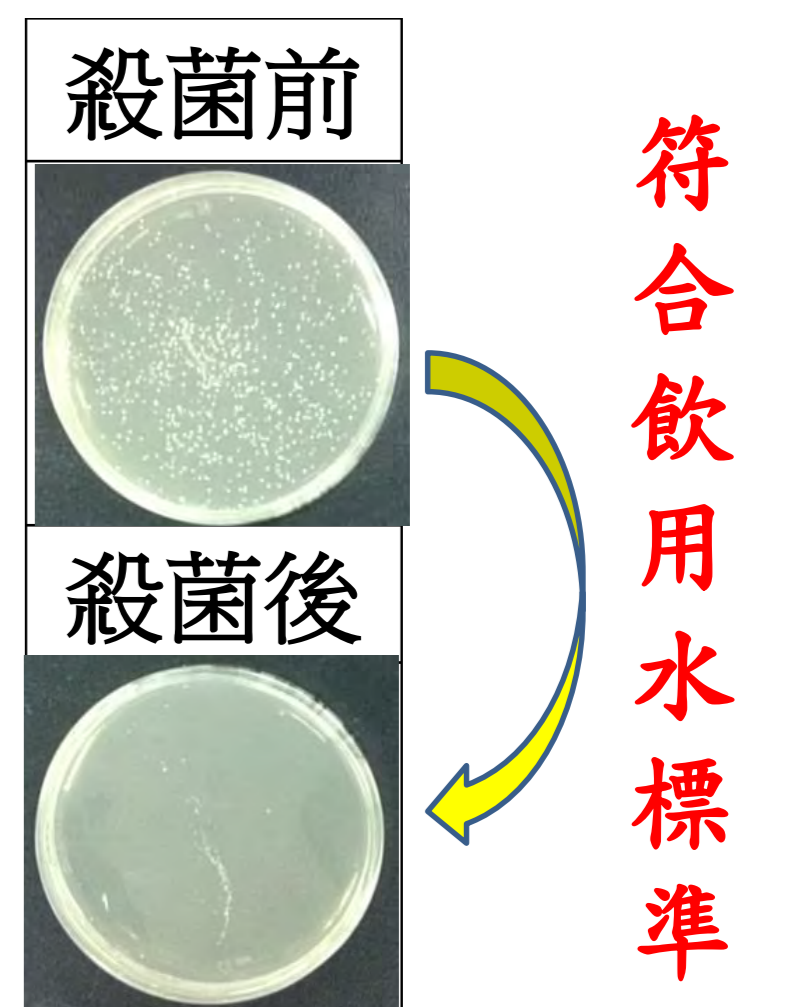
(一)本研究菌落數與殺菌時間關係



樣品C和樣品D皆在30分鐘內完成殺菌，有良好的殺菌效果

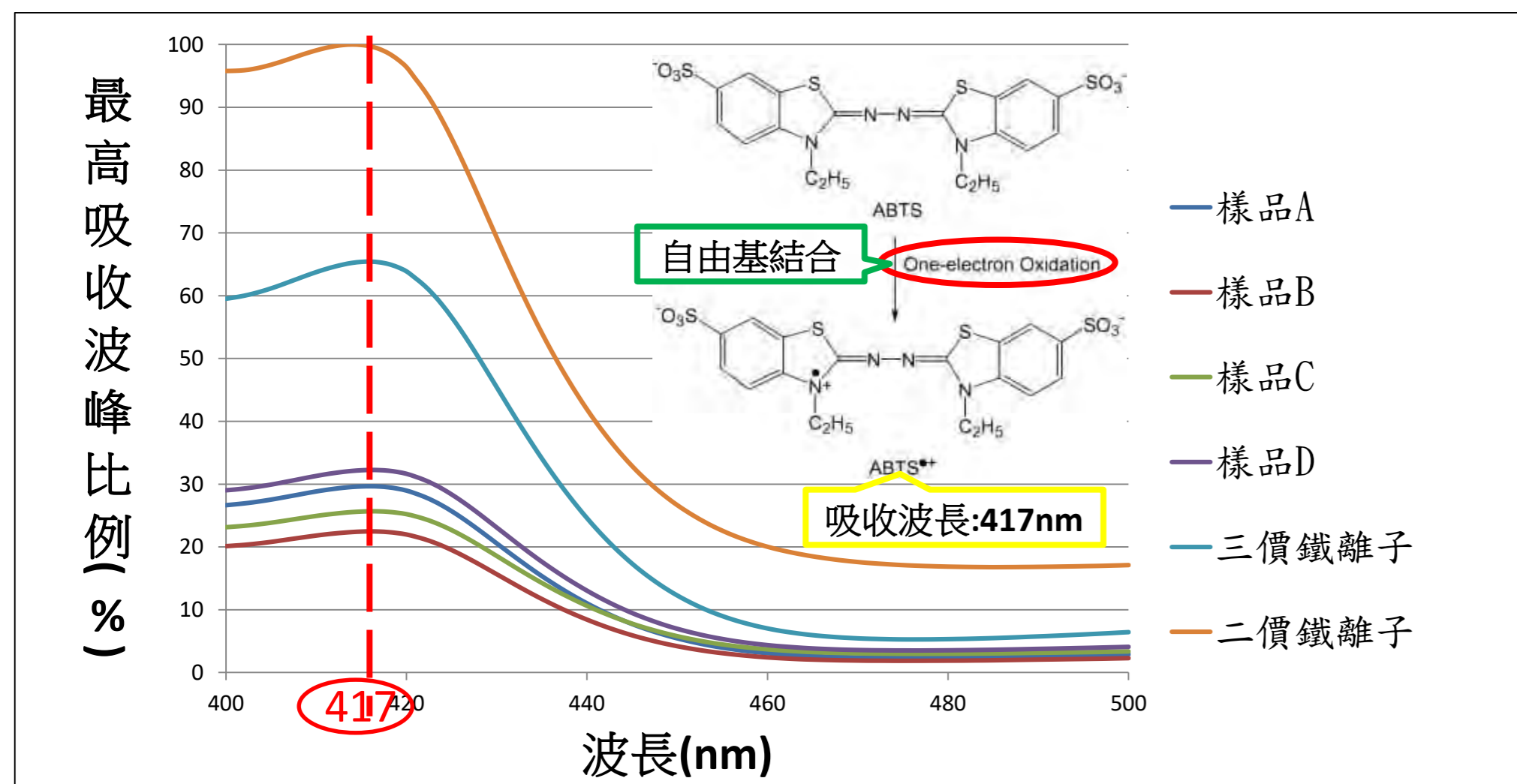
(二)t₉₉與重複殺菌率 * t₉₉=殺死99%細菌所需時間

項目	樣品C	樣品D
第一次t ₉₉ (分鐘)	18.842	9.906
第二次t ₉₉ (分鐘)	19.834	10.006
重複殺菌率	95%	99%
樣品D不論是第一次還是第二次殺菌，所需時間皆比樣品C少，表示其殺菌效力較佳		



符合飲用水標準

四、染劑吸附後續處理—芬頓(fenton)反應:H₂O₂+Fe²⁺+有機染料→CO₂+H₂O+Fe³⁺；◎本研究將最大吸收Fe²⁺訂為100%



項目	樣品A	樣品B	樣品C	樣品D	三價鐵	二價鐵
[樣品波峰 / 二價鐵(最大) 吸收比例(%)]	29.56	22.36	25.57	32.10	65.22	100.00 最大吸收

本研究所合成的四種樣品加入過氧化氫後皆會釋出氫氧自由基，皆可催化芬頓(fenton)反應，降解有機分子(替代染料)，達到重覆再利用效果。

陸、討論

一、溴甲酚綠吸附效果

(一) 活性碳磁流體吸附率比較

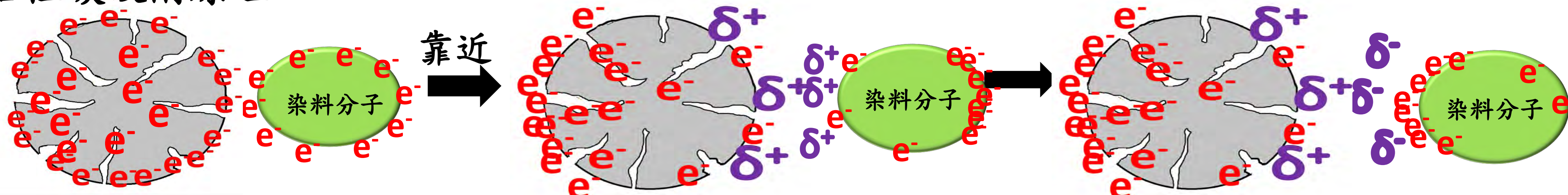
A、B樣品吸附率		
量測對象	樣品A (C:Fe=25:3)	樣品B (C:Fe=25:6)
吸附率 ($\lambda=434\text{nm}$)	95.73%	77.50%

(二) 比表面積分析

比表面積(BET)分析		
不同種類	比表面積(m^2/g)	平均孔洞體積(mL/g)
樣品A	528.75	0.2618
樣品B	505.11	0.2664

樣品A (C : Fe = 25:3) 顆粒較小可以推論**比表面積較大**染料吸附率較佳與吸附實驗結果相符

(三) 活性碳吸附原理

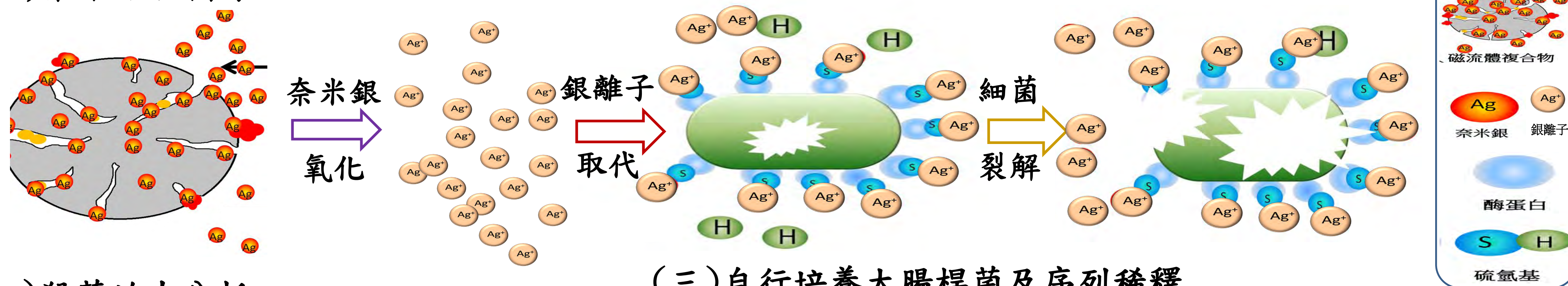


活性碳顆粒與染料分子接近時產生**瞬間偶極矩**，染料及活性碳間分子作用力強，故容易吸附

本研究推測四氧化三鐵會占據活性碳上孔洞，減少染料和活性碳的接觸比例 \rightarrow 吸附效果變差

二、摻混奈米銀

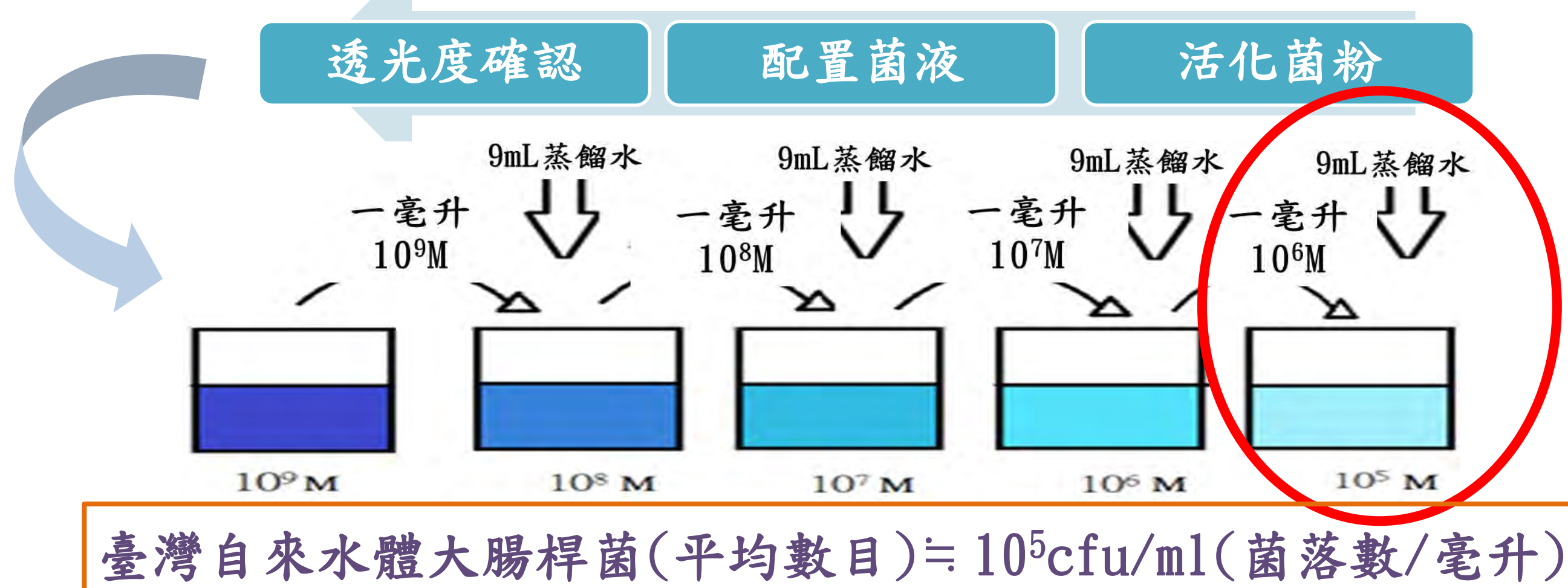
(一) 奈米銀殺菌原理



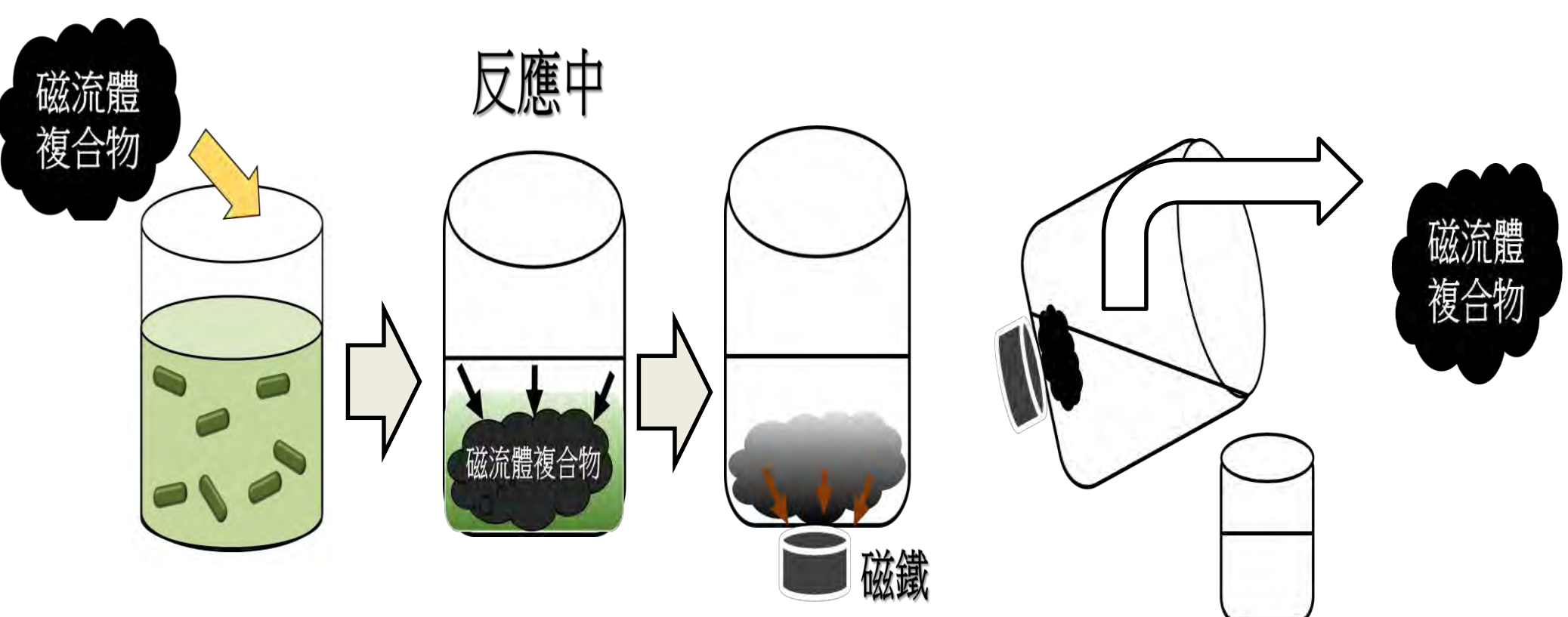
(二) 殺菌效力分析

C、D樣品殺菌效力		
量測對象	樣品C (C:Fe=25:3)	樣品D (C:Fe=25:6)
T ₉₉ (分鐘)	18.842	9.906

(三) 自行培養大腸桿菌及序列稀釋

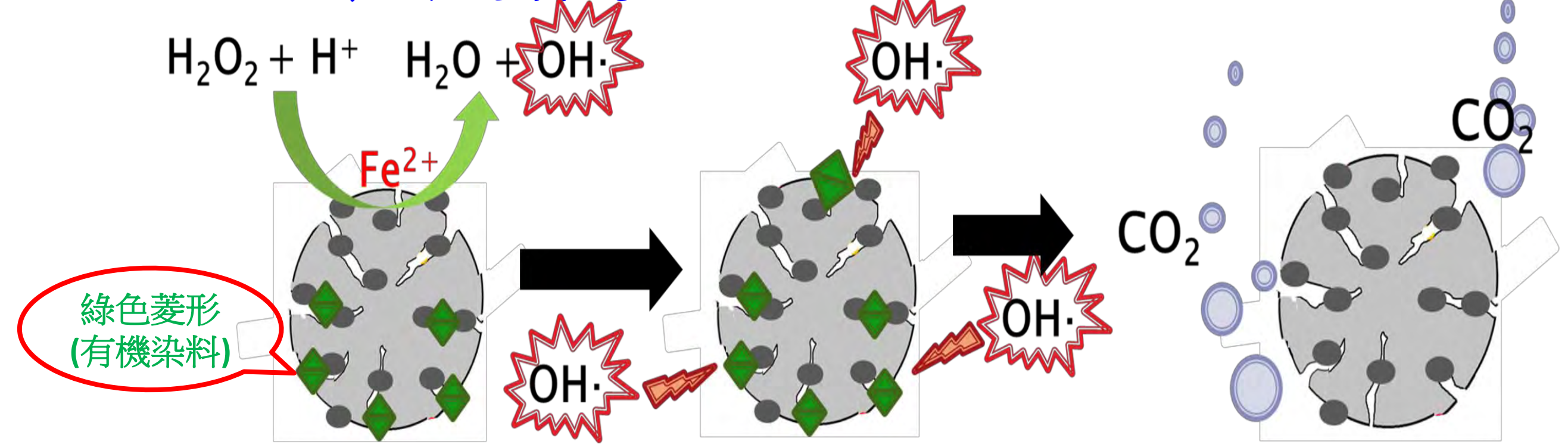


三、回收再利用



飽和磁化度皆大於 16.3emu/g ，說明此材料可以透過磁鐵與水溶液分離，並以乙醇清洗，達重複再利用。

四、染料後續處理



本複合體吸附有機染料後，藉由活性碳上附著的金屬粒子，進行芬頓(fenton)反應，降解除去吸附汙染物。

柒、結論

一、染料吸附

比較	吸附過程	反應後
傳統吸附劑 (生物降解或氧化劑添加)	1. 須特定環境下作 2. 用且過程多為繁雜	高汙泥產量 副產物生成
磁流體複合物	1. 操作簡易 2. 迅速吸附	可因磁力回收 重複再利用

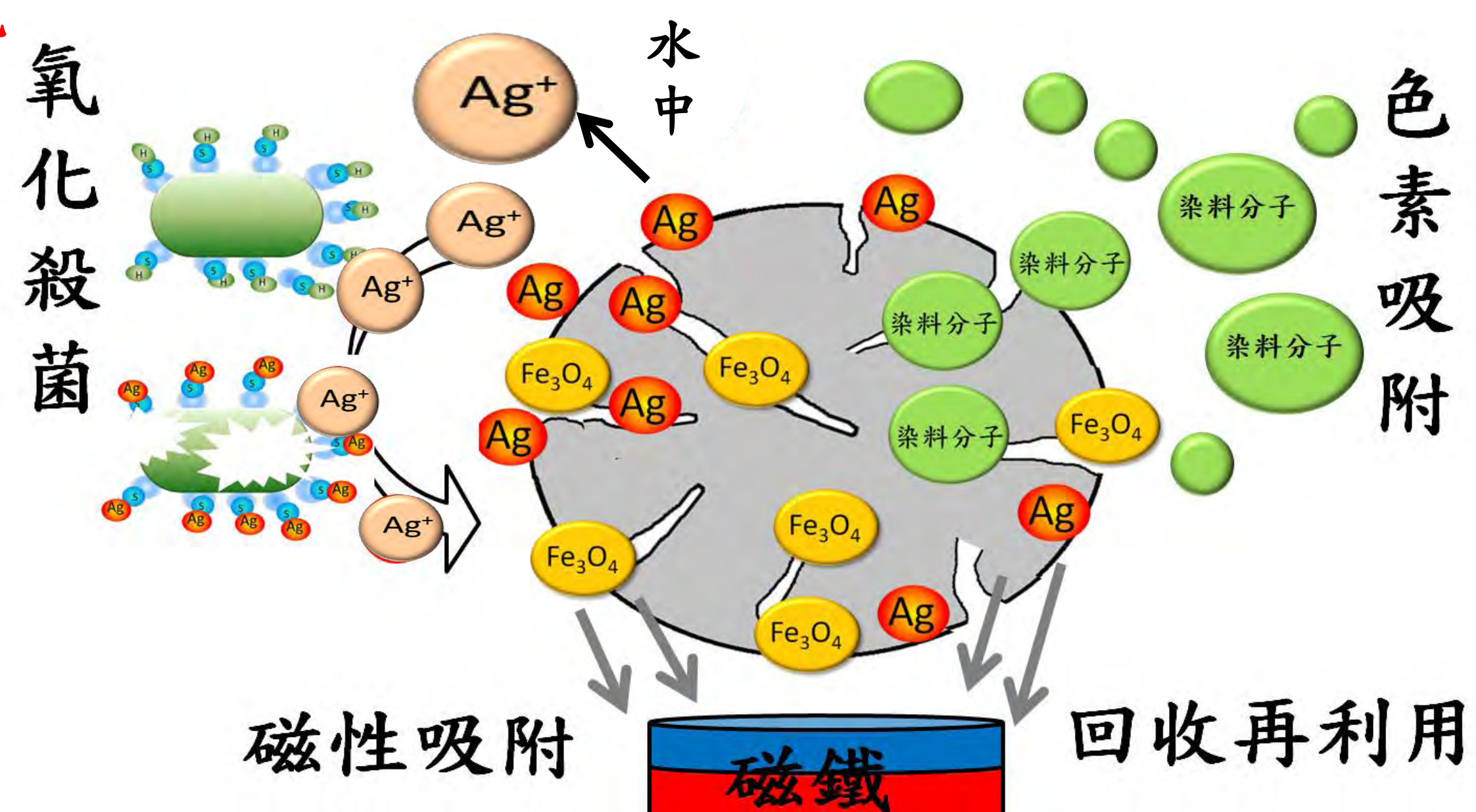
二、殺菌效力

比較	磁流體複合物	傳統殺菌 (高溫、高壓)
優缺點	可殺菌且 可回收再利用 不傷害該物質	容易破壞原物 化學結構

相較傳統染料吸附方式，本實驗材料具有**多項明顯優勢**

三、本研究亮點

- 自來水廠常用淨水方法之缺點
 - 加氯消毒: 易產生**致癌物**「三鹵甲烷」
 - 活性碳吸附有機物: 活性碳層內會有**微生物的增值**
- 奈米銀活性碳磁流體複合物
 - 具有**色素吸附與殺菌效果**
 - 無有害副產物生成
 - 銀粒子的存在可避免活性碳內**微生物增殖**的問題
 - 可以**回收再利用**



捌、參考資料及其他

- Raffi, M., Hussain, F., Bhatti, T., Akhter, J., Hameed, A. and Hasan, M. (2008) Antibacterial characterization of silver nanoparticles against E. coli ATCC-15224. J Mater Sci Technol., 24: 192-196
- 陳文樟, 2006, 簡介活性碳製造、分類及應用, 中鼎月刊, 第 321 期, pp. 17-21