

# 第二十一屆旺宏科學獎 成果報告書



參賽編號：SA21-104

作品名稱：

開發便宜的魚浮靈試紙

Designing A Cheaper Test Paper for  
Detecting Sodium Percarbonate

姓名：隋乙安

關鍵字：檸檬酸、硫酸鈦、殭屍蝦

摘要 .....	1
壹、研究動機 .....	1
貳、研究目的 .....	2
1. 建立檢驗光催活性的 SOP .....	2
2. 探討硫酸鈦的沉澱性質、吸收光譜 .....	2
3. 探討過氧化氫共熱法製作光觸媒的可行性(硫酸鈦) .....	2
4. 探討加入檸檬酸對所合成二氧化鈦光催化活性的影響 .....	2
5. 製作過氧化氫檢量線(有無緩衝液、硫酸根干擾) .....	2
6. 等重二氧化錳球為對照組探討本研究之自製光觸媒球分解魚浮靈效能 .....	2
7. 探討自製光觸媒分解雙氧水的反應級數 .....	2
8. 製作過氧化氫檢驗試紙並與市售的試紙比較價格、偵測極限 .....	2
參、研究發想與原理 .....	3
肆、實驗原理與準備 .....	4
伍、研究器材與藥品 .....	6
一、藥品 .....	6
二、設備或器材 .....	6
陸、研究過程與方法 .....	7
一、實驗一、雙氧水共熱法(延續 SA20-193 作法並改良) .....	7
二、實驗二、光觸媒球的製作(延續 SA20-193 作法) .....	7
三、實驗三、草酸鈉標定過錳酸鉀 .....	8
四、實驗四、過錳酸鉀標定 0.5 M 雙氧水 .....	8
五、實驗五、製作過氧化氫檢量線 .....	8
六、實驗六、移除硫酸鈦中的硫酸根 .....	9
七、實驗七、分解亞甲藍的光催化標準流程(延續 SA20-193 作法) .....	9
八、實驗八、分解雙氧水的光催化標準流程 .....	10
九、實驗九、測量雙氧水分解的反應級數 .....	11
十、實驗十、調配過氧化氫檢測液 .....	11
十一、實驗十一、製作過氧化氫試紙 .....	11
柒、研究結果與討論 .....	12
討論一、尋找過氧化鈦離子最大吸收波長 .....	12
討論二、製作過氧化氫檢量線 .....	13
討論三、探討以硫酸鈦作為鈦源進行雙氧水共熱法 (延續第 20 屆旺宏科學獎 SA20-193 續再進行研究) .....	16
討論四、探討添加檸檬酸在雙氧水共熱法中的意義 .....	17
討論五、使用檢量線監控魚浮靈分解時的反應級數 .....	19
討論六、綜合探討與比較 .....	20
討論七、未來展望與試紙製作、試紙價格 .....	21
一、殭屍蝦實作以及未來實驗設計 .....	21
二、試紙實作 .....	21
三、新法檢測價格評估 .....	24
捌、目前結論 .....	25
玖、參考文獻 .....	25



## 摘要

食安一直是當前重要課題，魚浮靈( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}_2$ )經常被用來製造蝦子活跳跳的假象，這些因添加劑延續生命的殭屍蝦進到消費者手中，若未經處理，導致不當誤食濃度超標的過氧化氫水體，會對人體造成危害。

本研究使用硫酸鈦、檸檬酸做出快速篩檢試劑，用來檢測水溶液中殘留的過氧化氫，實用上可以檢測市售水產蝦使用「魚浮靈」的殘留量。進一步將試劑做成試紙，對於檢測過氧化氫有相當不錯的實用效果。

本人延續去年旺宏獎佳作(SA20-193)：「以水相氧化法製備二氧化鈦並做成光觸媒球應用於殭屍蝦」。將去年所使用的前驅物改為比較方便獲得亦較為穩定的硫酸鈦，加入檸檬酸及其鹽的緩衝液作為試劑成分，尋找最佳偵測波長、合適的硫酸鈦濃度來製作  $\text{Ti}^{4+}\text{-H}_2\text{O}_2$  比色檢量線，此方法能克服傳統過錳酸鉀或間接碘滴定法去定量過氧化氫濃度既耗時又易造成人為誤差的缺點，我們的比色試劑配合分光光度計可以更快定量殭屍蝦的水質是否非法超標。

本研究另一個預期的目標，是實際解決被檢驗出的殭屍蝦的水質的過氧化氫超標問題，我們由文獻提供二氧化鈦光觸媒可以分解過氧化氫的可行性，實驗延續去年以本氏液成分作為靈感開發的雙氧水共熱方法來製作二氧化鈦，今年改成使用硫酸鈦作為鈦來源，並尋找不同雙氧水、檸檬酸添加比例來合成二氧化鈦光觸媒，透過本研究第一部分所開發的比色試劑與檢量線方程式，鑑別本研究自製光觸媒分解水中過氧化氫的效能，實驗發現：在合成過程中添加檸檬酸所製成的光觸媒效能更好，催化分解水中的過氧化氫更加快速，實驗還透過檢量線監控反應的進行，測量本研究中過氧化氫分解反應的動力學級數。正由於魚浮靈系統的過氧化氫分解屬於一級反應，因此水質能夠被檢測的有效時間較長，甚至可以被試紙檢驗出來。本研究測試自製過氧化氫試紙的實用程度，在肉眼偵測極限可及 ppm 等級，在過氧化氫的偵測雖不及 Quantofix 的過氧化氫試紙，但已足以作為危險參考依據並提醒避免人體攝入超標濃度，而且自製試紙的成本遠低於商用試紙，另一方面由於 Quantofix 的過氧化氫試紙無法用於偵測魚浮靈，因此本研究開發之試紙具有開發潛力市場。

未來可望整合這些技術，為環境盡一份心意。

## 壹、研究動機

主要是想將去年的研究 SA20-193 完成，實驗的目標是從只能偵測試藥雙氧水到能夠實際用於偵測魚浮靈；另一方面，去年所開發出了雙氧水共熱法是使用檸檬酸鈦，因為今年全國四氯化鈦短缺，再尋找其他水溶性鈦來源的時候，找到硫酸鈦，希望將它與檸檬酸鈦製程做比較甚至取代前置作業麻煩的檸檬酸鈦。去年的檢量線並不完美，因此今年預期加入檢量溶液來標定，並且考慮基質效應，希望做出更合適的檢量線以及檢測液。市賽後經老師教導，要將其製作成試紙，與市售的試紙比較。

## 貳、研究目的

1. 建立檢驗光催活性的 SOP
2. 探討硫酸鈦的沉澱性質、吸收光譜
3. 探討過氧化氫共熱法製作光觸媒的可行性(硫酸鈦)
4. 探討加入檸檬酸對所合成二氧化鈦光催化活性的影響
5. 製作過氧化氫檢量線(有無緩衝液、硫酸根干擾)
6. 等重二氧化錳球為對照組探討本研究之自製光觸媒球分解魚浮靈效能
7. 探討自製光觸媒分解雙氧水的反應級數
8. 製作過氧化氫檢驗試紙並與市售的試紙比較價格、偵測極限

## 參、研究發想與原理

本研究旨在建立偵測以及處理殭屍蝦的一系列實驗，包含觸媒材料的製作、檢量線的建立。實驗經由國外文獻發現水合鈦離子接觸到雙氧水會變色，我們將這個現象用來檢驗水中是否含有鈦離子存在，一開始我們是使用  $\text{H}_2\text{O}_2$  來偵測濾液是否仍有殘存鈦離子靈敏度很好。

由於鈦離子與  $\text{H}_2\text{O}_2$  會變色產生可見光吸收峰的特性，因此著手於尋找建立標準檢量線的方法。事實上以高中所學，若要偵測  $\text{H}_2\text{O}_2$  濃度並不困難，可以利用氧化還原滴定：雙氧水是一種氧化還原試劑：

1. 使用過錳酸鉀滴定法，是將其視為還原劑，由無色滴至紫色。
2. 使用間接碘滴定法，是將其視為氧化劑，由藍黑色滴至無色。

只是滴定法本身比較花時間(氧化還原反應速率較慢，雖然 30 內沒有變色，可能靜置後又褪色以致實驗數據產生負偏差)，而且操作上也有較大的人為誤差，除此之外，若待測液中有其他的氧化劑也會使滴定法產生正偏差，當然最重要的，就是滴定法真的是太麻煩了！因此若可以建立一套 SOP 將待測液與自製檢測液混合，只需要以適當波長偵測其吸收度就可以馬上利用經驗數學式計算出其濃度。

在配置檢測液的部分，由於研究所使用的自製檸檬酸鈦濃度常有異動，並不適合做為檢測液的原料，由衛福部提供的文獻提到可以使用試藥硫酸鈦，因此實驗做了硫酸鈦-過氧化氫的吸收光譜，發現沒有相對峰值，實驗經過許多努力才找到最大吸收波長為 410~420 nm 附近，結果與文獻符合，透過不斷調整檢測液的濃度與待測液的添加比例，可以成功製得合適的  $\text{H}_2\text{O}_2$  檢量線以及建立偵測微量  $\text{H}_2\text{O}_2$  的 SOP。

然而，這樣的  $\text{H}_2\text{O}_2$  檢量線並不適合直接量測殭屍蝦中的魚浮靈，魚浮靈的化學式包含碳酸鈉及過氧化氫，因為是鹼性的雙氧水溶液會使得過氧化鈦形成無色的物種型態，有鑑於文獻提到，鈦離子-過氧化氫的可見光吸收峰，會受到 pH 的影響，因此，實驗決定加入檸檬酸及其鹽類的溶液系統來使檢測液具有緩衝能力，實驗確認：緩衝液成分並不會對原  $\text{H}_2\text{O}_2$  檢量線造成太大影響，而 pH3 環境可以使檢量線更直且通過原點。實驗最後成功配製出滿足檢測魚浮靈需求(鹼性過氧化氫)的檢測液以及其檢量線，可以用於直接檢測殭屍蝦的  $\text{H}_2\text{O}_2$  濃度。

除了能夠利用檢量線來抓殭屍蝦，實驗延續過去實驗經驗，改良雙氧水共熱法來製作二氧化鈦光觸媒來分解魚浮靈。雙氧水共熱法所製成的光觸媒效能、經濟產量，可以透過調整合成法的參數，例如雙氧水/檸檬酸鈦的添加比、加熱時間等，最後找到較佳的合成條件。最後，實驗以二氧化錳球作為對照組，發現本研究以雙氧水共熱法所製成的二氧化鈦光觸媒球，此開發材料在處理殭屍蝦的工作上，相當具有發展潛力。

本研究以實驗尋找過氧化氫檢測液最佳比例，接著將其製作成試紙，試紙與檢測液不同的地方在於它的偵測極限是用肉眼來判斷的，實驗發現，試紙用來偵測試藥級過氧化氫可以到 250 ppm，而魚浮靈只能到 500 ppm，由於魚浮靈的分解級數較高，很容易殘留，所以我們認為靈敏度已經足夠用於市面，加上製作價格低廉，可以取代市面上的現有試紙工作，因為市售試紙無法檢驗魚浮靈。

## 肆、實驗原理與準備

### 一、光觸媒原理(延續性)

近幾年來因為奈米科技的發展，奈米粒子的大表面積性質，使得二氧化鈦光觸媒的光催化特性得到進一步的提升。另一方面，由於奈米粒子的量子限量效應，其尺寸越小，價帶與導電帶間的能隙越寬，奈米級二氧化鈦光觸媒會具有更強的氧化力，奈米科技的發達將對光觸媒的發展產生決定性的影響。

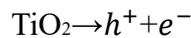
光觸媒照光分解有機物的原理:

二氧化鈦是一種半導體，分別具有銳鈦礦（Anatase）、金紅石（Rutile）及板鈦礦（Brookite）三種結晶結構。只有銳鈦礦結構具有光觸媒特性。1972 年由日本學者 A. Fujishima 及 K. Honda 發表於 Nature 雜誌中，其發現 TiO<sub>2</sub> 半導體在光照下會出現和植物光合作用類似之反應。其先是應用於光能之轉換儲存，然後於環境觸媒中發揚光大，成為現今最熱門之科技話題之一。

銳鈦礦型二氧化鈦的能隙大小約為 3.2 電子伏特，相當於波長約為 380 奈米的光波所攜帶的能量，二氧化鈦經過光照射、吸收光子以後，電子會從價電帶躍遷至導電帶，因而產生電子－電洞對（圖 1）。其中電子具還原性，電洞具氧化性，這些電子和電洞（電子穴），如果能在重新結合以前移動到晶體表面，電洞（電子穴）會將附近水分子游離出的氫氧基（OH<sup>·</sup>）氧化（即奪取其電子），使其成為活性極大的氫氧自由基（OH radical）（圖 2）；這些氧化力極強的氫氧自由基幾乎可分解所有對人體或環境有害的有機物質及部份無機物質。TiO<sub>2</sub> 照光產生電子與電洞，電洞碰上 OH<sup>-</sup> 產生氫氧自由基 OH<sup>·</sup> 分解有機物。

反應式：

光觸媒經照光後被激發形成之電子電洞對



電子與電洞跟附近分子(H<sub>2</sub>O、O<sub>2</sub>)形成自由基(OH<sup>·</sup>)或超氧離子(O<sub>2</sub><sup>-</sup>)

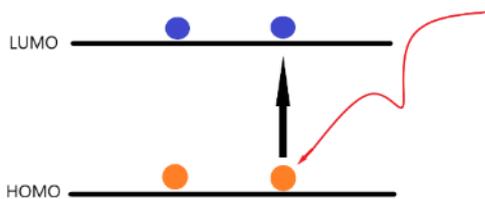
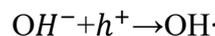


圖 1 TiO<sub>2</sub>能階示意圖

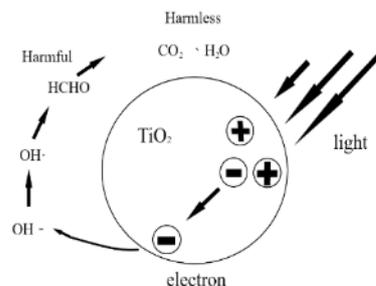


圖 2 TiO<sub>2</sub>光分解示意圖

(改繪自 <http://www.photocatalyst.co.jp>)

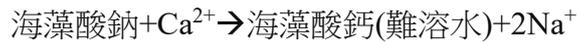
污染物質遇上氫氧自由基即被分解，形成中間產物，或是無害的水及二氧化碳，因此可以達到除污及滅菌的目標  $\text{OH}^{\cdot} + \text{pollutant} + \text{O}_2 \rightarrow \text{products} (\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \dots)$

### 二、合成微囊型 TiO<sub>2</sub> 球原理(延續性)

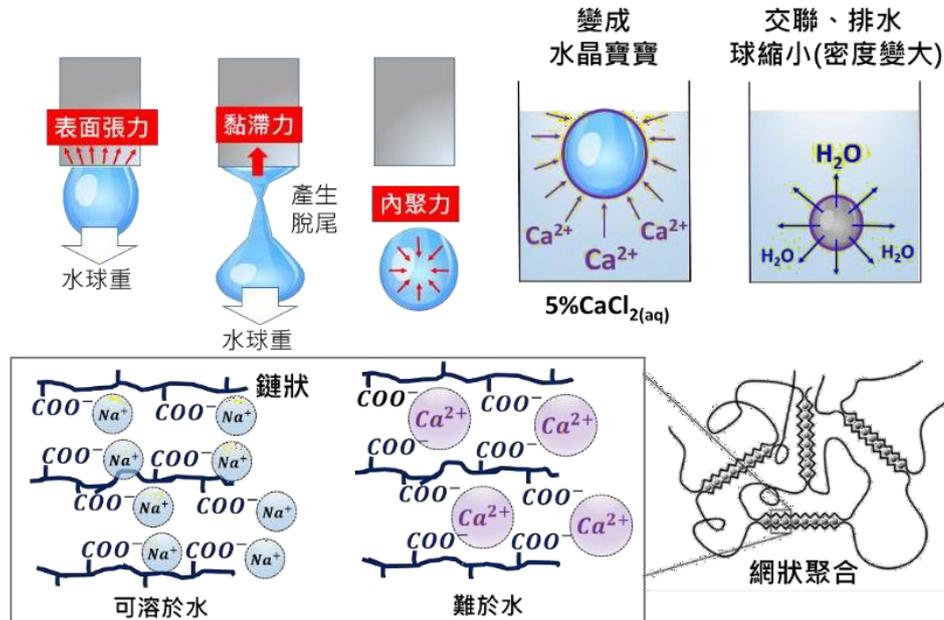
機制：

海藻酸鈣的成球機制是利用分液漏斗控制漿料在管口先形成水球，水球的主要成分是水，水會帶著被海藻酸鈉分散的稠狀 TiO<sub>2</sub> 粉，在管口聚集成鈦漿水球，直到表面張力支撐不住水球重量而滴落，滴落的滯空期間呈水滴狀，落至水面可能是水滴狀(TiO<sub>2</sub> 漿黏度太高)、球狀，然後表面的海藻酸鈉

會瞬間與水面的鈣離子產生交聯，原本具有水溶性的海藻酸鈉鏈狀聚合物，會變成不溶於水的網狀聚合物，化學反應為鈣離子與兩個鈉離子進行交換：



由於表面的海藻酸鈣薄膜具有良好的通透性，因此外部的鈣離子又會滲透進來，而鈉離子則會再滲透出去，最終水球中的海藻酸鹽質量會減輕，但是由於交聯後薄膜張力緣故，球體萎縮，大量的水被趕出水球，所以水球的總質量下降，體積變小，最終沉入乳酸鈣水溶液底部。



### 三、吸光度與分光光度計

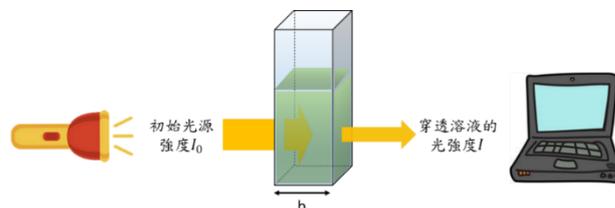
#### (一) 穿透率(transmittance)

$$T = I/I_0$$

經過數學轉換

$$\text{定義吸收度 } A = -\log T$$

例如  $A=1$  與  $A=2$  表示兩個不同濃度的溶液其吸光程度差 10 倍



#### (二) 吸收度(Absorbance)

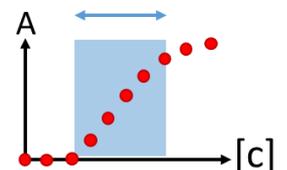
公式  $A = \epsilon b [c]$ ：吸收度在特定濃度範圍與物質濃度成正比

$\epsilon$  稱為吸光係數：與物質種類有關

$b$  稱為光徑：通常為 1 cm

$[c]$  是物質的濃度：單位通常為體積莫耳濃度 M

遵守比爾定律



#### (三) 催化分解率計算

實驗發現 0~2.5A 的過氧化鈦，遵守比爾定律，因此過氧化氫分解前後，水中剩下的過氧化氫比例為

$$\text{殘留率} = \frac{[\text{過氧化鈦}]_{\text{反應後}}}{[\text{過氧化鈦}]_{\text{反應前}}} = \frac{A_{\text{反應後}}}{A_{\text{反應前}}}$$

因此可計算得

$$\text{催化分解率}\% = 100\% - \text{殘留率}$$

## 伍、研究器材與藥品

### 一、藥品

名稱	學名	化學式	來源
檸檬酸	Citric acid	$C_6H_8O_7$	立統
氫氧化鈉	Sodium hydroxide	NaOH	立統
過氧化氫	Hydrogen peroxide	$H_2O_2$	立統
硫酸鈦	Titanium sulfate	$Ti(SO_4)_2$	立統
亞甲藍	Methylene blue	$C_{16}H_{18}ClN_3S$	立統
去離子水	Deion water	$H_2O$	立統
海藻酸鈉	Sodium alginate	$(C_6H_8O_6)_n$	立統
氯化鈣	Calcium chloride	$CaCl_2$	立統
魚浮靈	Sodium percarbonate	$Na_2CO_3 \cdot 1.5H_2O_2$	立統

### 二、設備或器材

名稱	學名	名稱	學名
鍛燒爐	Calciner	分光光度計	Spectrophotometer
燒杯	Beaker	烘箱	Oven
漏斗	Funnel	洗滌瓶	Wash bottle
滴管	Drop	定量瓶	Graduated flask
濾紙	Filter paper	試管架	Tube holder
試管	Tube	酸鹼計	pH meter
磁石加熱攪拌器	Magnetic stirrer	超音波震盪器	Ultrasound oscillator
防風電子秤	Balance	濾網	Filter screen
量筒	Graduated cylinder	微量吸量管	Pipette
錐形瓶	Conical flask	分液漏斗	Separating funnel
離心機	Centrifugal	坩堝	Crucible
攪拌子	Stir bar	刮勺	Spatula

圖示					
說明	陶藝社高溫爐	分光光度計	三位數防風天平	酸鹼計	紫外光燈
圖示					
說明	烘箱	超音波震盪器	微量吸量管	離心機	攪拌器

## 陸、研究過程與方法

### 一、實驗一、雙氧水共熱法(延續 SA20-193 作法並改良)

#### (一) 步驟

步驟 1 秤取 1 g 硫酸鈦原液至燒杯後補蒸餾水至 100 g

步驟 2 滴入 7.5 M 檸檬酸溶液 1/0.8/0.6/0.4/0.2/0 mL

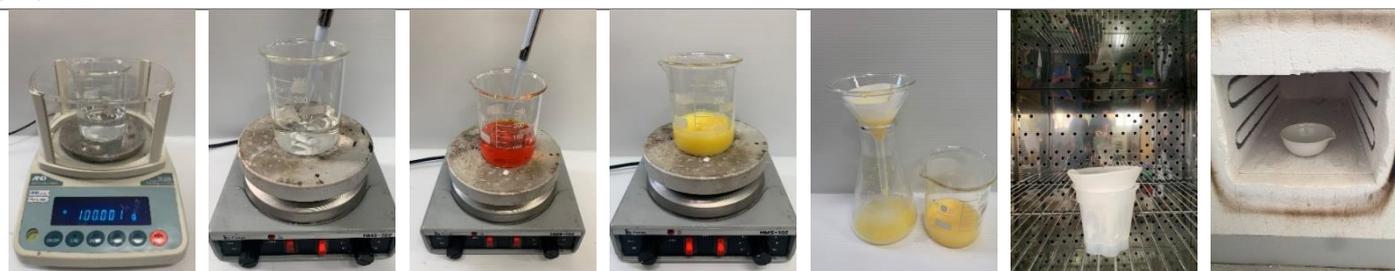
步驟 3 使用微量吸量管滴 35% 雙氧水 5/4/3/2/1/0 mL 入燒杯

步驟 4 利用磁石攪拌器攪拌並持續加熱四十分鐘

步驟 5 利用重力過濾得到濾餅並烘乾

步驟 6 將濾餅放入坩堝，使用高溫爐加熱 500°C 2 小時

#### (二) 圖例說明



步驟 1	步驟 2	步驟 3	步驟 4	步驟 5	步驟 5	步驟 6
秤取硫酸鈦及蒸餾水	滴入不同濃度檸檬酸溶液	滴入不同體積雙氧水	攪拌加熱四十分鐘	過濾取得濾餅	放入烘箱烘乾	加熱濾餅 500°C 2 小時

### 二、實驗二、光觸媒球的製作(延續 SA20-193 作法)

#### (一) 步驟

步驟 1 秤取海藻酸鈉(食品級)+ 二氧化鈦 (1% : 1~15%) 並將粉末攪拌均勻

步驟 2 加入蒸餾水利用磁石攪拌機攪拌到溶解

步驟 3 秤取乳酸鈣及蒸餾水配製乳酸鈣水溶液

步驟 4 將混和漿料倒入分液漏斗

步驟 5 將調配好的 5% 乳酸鈣水溶液放至分液漏斗底部

步驟 6 開啟分液漏斗開始製作光觸媒球

步驟 7 將滴入乳酸鈣水溶液的球取出

步驟 8 放入烘箱烘乾並得到成品

步驟 9 使用游標尺測量直徑

#### (二) 圖例說明



步驟1	步驟2	步驟2	步驟3
秤粉體並攪拌均勻	秤取蒸餾水	加入水並攪拌到溶解	秤取乳酸鈣



步驟3  
加入蒸餾水攪拌



步驟4  
到漿料進分液漏斗



步驟5  
放置乳酸鈣水溶液



步驟6  
開啟分液漏斗



步驟6  
滴入乳酸鈣溶液



步驟7  
將球倒出



步驟8  
放入烘箱烘乾



步驟9  
用游標尺量直徑

### 三、實驗三、草酸鈉標定過錳酸鉀

#### (一) 步驟

步驟 1 配製 0.05 M 之草酸鈉水溶液

步驟 2 將 0.05 mL (使用 pipette 吸取) 草酸鈉加入適量水中並以硫酸酸化

步驟 3 加熱到 80°C

步驟 4 使用未知濃度  $\text{KMnO}_4$  開始滴定至當量點 (淺粉色)

步驟 5 計算  $\text{KMnO}_4$  的濃度  $M_1V_1n_1=M_2V_2n_2$  (當量數  $n$ , 過錳酸根及過氧化氫分別為  $5e$ 、 $2e$ )

### 四、實驗四、過錳酸鉀標定 0.5 M 雙氧水

#### (一) 步驟

步驟 1 配置 0.5 M 雙氧水

步驟 2 配置 0.005 M 過錳酸鉀水溶液並倒入滴定管中

步驟 3 將雙氧水酸化 (硫酸)

步驟 4 開始滴定至當量點 (淺粉色)

步驟 5 以所需體積換算莫爾數是否相符

#### (二) 圖例說明



步驟1  
配置雙氧水



步驟2  
配置過錳酸鉀水溶液



步驟3  
將雙氧水酸化



步驟4  
開始滴定至當量點

### 五、實驗五、製作過氧化氫檢量線

#### (一) 步驟

步驟 1 調配 2 M 雙氧水，並使用蒸餾水連續往下稀釋 1/5，共六杯

步驟 2 在六杯小瓶子中各加入 5% 檢測液 (使用 pH3 檸檬酸緩衝液) 2 mL

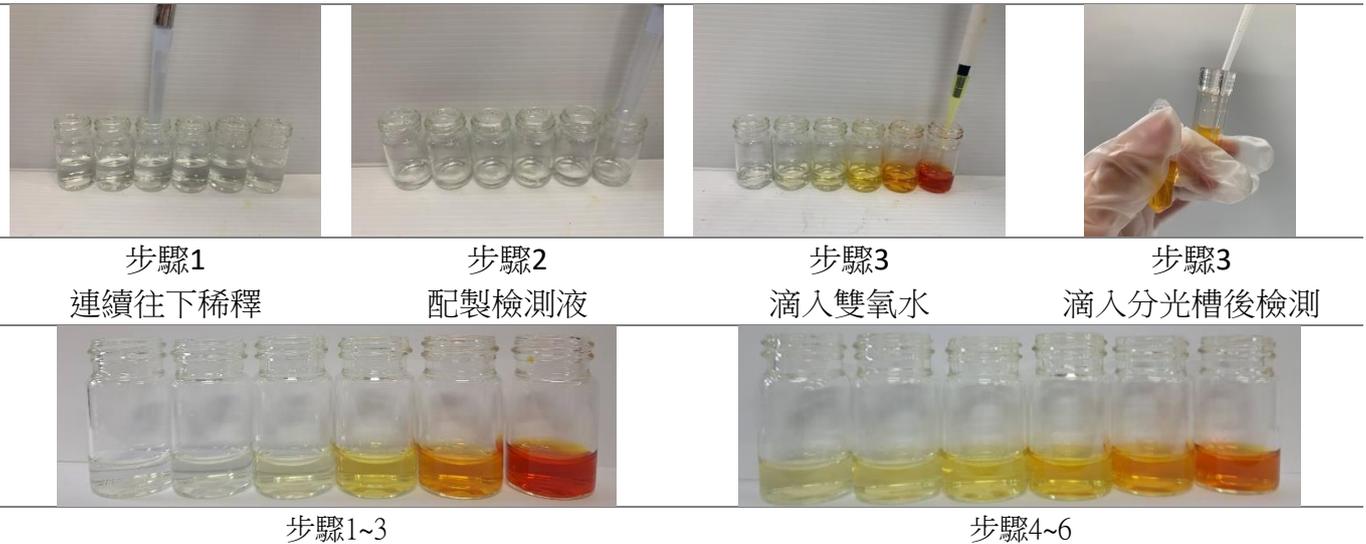
步驟 3 取步驟一之雙氧水 20 mL 滴入小瓶子，並使用分光光度計檢測吸收度

步驟 4 調配 0.2 M 雙氧水，並連續往下稀釋 1/2，共六杯

步驟 5 在六杯小瓶子中各加入 5% 檢測液（使用 pH3 檸檬酸緩衝液）2 mL

步驟 6 取步驟四之雙氧水 20 mL 滴入小瓶子，並使用分光光度計檢測吸收度

## (二) 圖例說明



## 六、實驗六、移除硫酸鈦中的硫酸根

### (一) 步驟

步驟 1 使用微量吸量管吸取 1 mL 硫酸鈦原液至燒杯中

步驟 2 秤取 0.36 g 硝酸鋇並加入裝有 9mL 蒸餾水的燒杯中

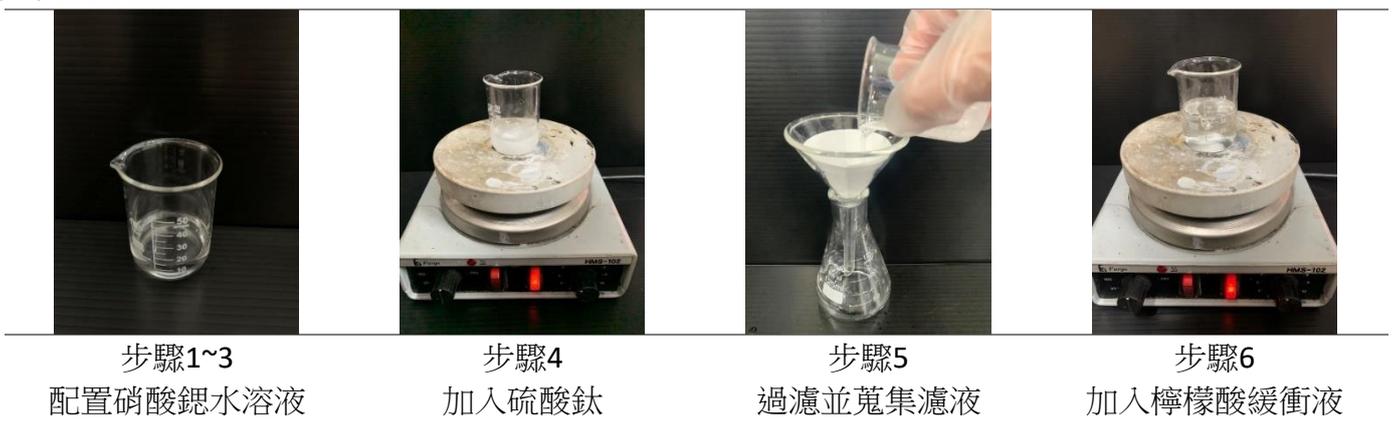
步驟 3 置於磁石攪拌器上攪拌至完全溶解

步驟 4 將硝酸鋇水溶液倒入步驟一之燒杯中，並以磁石攪拌器攪拌

步驟 5 使用漏斗與濾紙過濾並蒐集濾液

步驟 6 取所需濾液體積至 pH3 檸檬酸緩衝液

### (二) 圖例說明



## 七、實驗七、分解亞甲藍的光催化標準流程(延續 SA20-193 作法)

### (一) 步驟

步驟 1 以分光光度計尋找亞甲藍的最大吸收波長(以蒸餾水歸零)

步驟 2 以波長 664 配製 1A 亞甲藍水溶液(蒸餾水)

步驟 3 秤取 0.002 克的產物，放入離心管中

步驟 4 使用微量吸量管吸取 2mL 的 1A 溶液滴入裝有 0.002 克粉末的離心管中

步驟 5 放入超音波震盪器震盪 7 分鐘

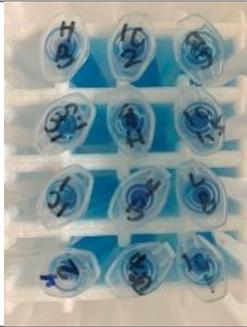
步驟 6 取出後放入離心機中離心

步驟 7 使用滴管吸取上層液滴入分光槽，以分光光度計測量吸收度

(二) 圖例說明



步驟 1、2  
配製 1A 亞甲藍



步驟 2  
裝入產物  
和亞甲藍



步驟 3  
震盪與吸附



步驟 4  
離心



步驟 5  
取上層液  
測吸收度

八、實驗八、分解雙氧水的光催化標準流程

(一) 步驟

步驟 1 稱取光觸媒粉、光觸媒球、或二氧化錳球 0.006 g 至離心管中

步驟 2 加 0.4 M 雙氧水或魚浮靈 1.5 mL 至離心管

步驟 3 加 100 mL 1% 檢測液至離心管

步驟 4 震盪後光催 10 分鐘

步驟 5 將離心管放入離心機離心

步驟 6 使用微量吸量管取上層液至分光槽

步驟 7 使用分光光度計檢測吸收度

步驟 8 重複步驟-3 到步驟-6 五次，並以吸收度數據繪製分解時間軸

(二) 圖例說明



步驟 1  
加入檢測物 0.006 g



步驟 2  
加入待測液 1.5 mL



步驟 3  
加入 100 mL 檢測液



步驟 4  
超音波震盪



步驟 4  
光催 10 分鐘



步驟 5  
放入離心機離心



步驟 6  
取出上層液



步驟 7  
檢測分解率

## 九、實驗九、測量雙氧水分解的反應級數

### (一)步驟

- 步驟 1 秤取光觸媒粉、光觸媒球 0.006 g 至離心管中
- 步驟 2 加 0.4 M 或 0.2 M 雙氧水或魚浮靈 1.5 mL 至離心管
- 步驟 3 加 100 mL 1% 檢測液至離心管
- 步驟 4 震盪後光催 10 分鐘
- 步驟 5 將離心管放入離心機離心
- 步驟 6 使用微量吸量管取上層液至分光槽
- 步驟 7 使用分光光度計檢測吸收度
- 步驟 8 紀錄數據並繪製曲線圖

(

## 十、實驗十、調配過氧化氫檢測液

### (一)步驟

- 步驟 1 秤取 1 mL 硫酸鈦並補水至 125 mL
- 步驟 2 配製檸檬酸飽和水溶液
- 步驟 3 將檸檬酸飽和水溶液調至 pH 3 當作緩衝溶液
- 步驟 4 將硫酸鈦水溶液與檸檬酸緩衝溶液混合

## 十一、實驗十一、製作過氧化氫試紙

### (一) 步驟

- 步驟 1 將濾紙裁剪成適合的大小
- 步驟 2 滴上配製好的檢測液
- 步驟 3 將試紙烘乾
- 步驟 4 得到成品

### (二)圖例說明



步驟 1



步驟 2



步驟 3

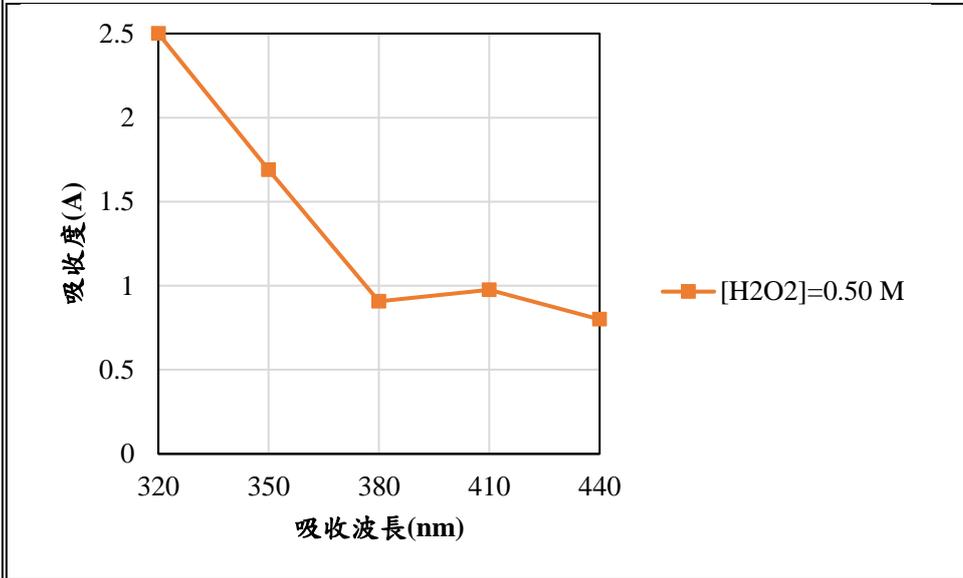


步驟 4

# 柒、研究結果與討論

## 討論一、尋找過氧化鈦離子最大吸收波長

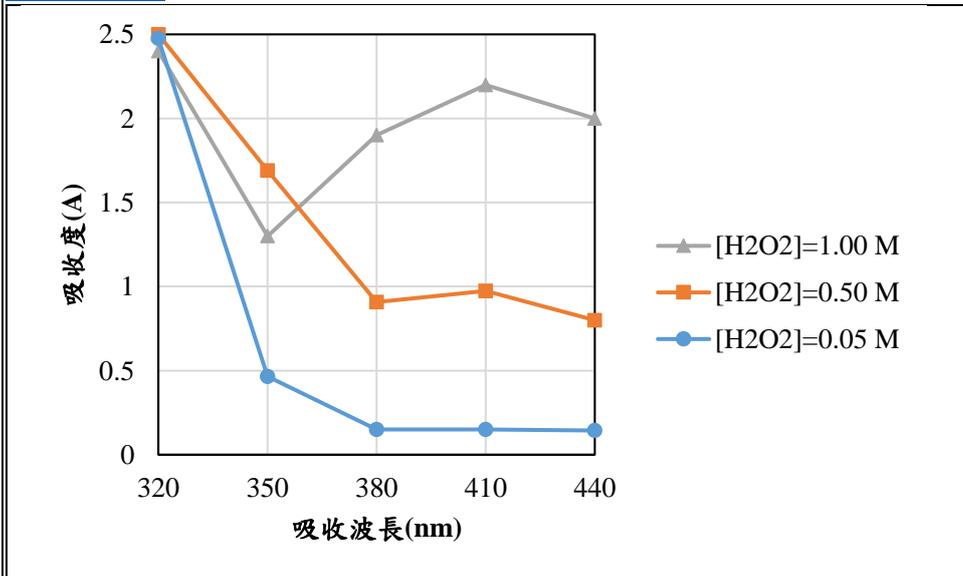
實驗為了建立檢量線，必須選擇適當的吸收波長來偵測四價鈦與過氧化氫所形成的橘色物質深淺來判斷水中過氧化氫濃度，如下圖，沒有觀察到有特別明顯的吸收峰。



【圖】低濃度硫酸鈦與雙氧水混合後的水溶液吸收光譜

實驗發現， $Ti(H_2O_2)^{4+}$  過氧化鈦的訊號，在 320 nm 附近有很強的吸收，推測其具有紫外線區的吸收峰，但是選擇 320 nm 對製作檢量線毫無意義，因為分光光度計幾乎是呈現爆表的狀態。由於確信具有顏色的物質應該具有其它可見光的吸收，因此實驗改變過氧化氫濃度，發現 $[H_2O_2]$ 要到 0.5 M 以上時可見光吸收峰才會跑出來，大約在 410 nm，與文獻[1]所提的 415 nm 相符。

[1] [生物体内过氧化氢含量测定的不同方法 | 每日生物评论 \(bio-review.com\)](http://bio-review.com)



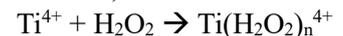
【圖】低濃度與雙氧水混合後的水溶液吸收光譜

故往後製作檢量線的波長都以 410 nm 為主。

### 實驗筆記：

事實上，實驗發現若四價鈦與不同濃度雙氧水混合時的吸收光譜會發生些許的變化，例如四價鈦若與雙氧水原液混合時，原 320 nm 紫外線吸收會消失，也就是吸收光譜的左側訊號會消失，這點我們並不知道是什麼原因導致的。

混合後即使濃度再調稀，原先的 320 nm 也不會再出現，由這點，實驗推測當雙氧水濃度夠高的情況下，平衡會趨於完全反應(勒沙特列原理)，



由於在真實檢驗雙氧水濃度的情況下，不可能有這麼高濃度雙氧水的情況，因此，實驗數據只放較稀雙氧水與四價鈦混合的情況。

### 實驗筆記：

事實上，吸收峰呈現較寬的情況，也就是 380~440 nm 其實都適合用來偵測過氧化鈦存在。

但是 380 nm 以下的部分會受到 320 nm 吸收峰的干擾，不適合作為檢量線的吸收波長。

吸收光譜的吸收峰呈現較寬的情況是一件好事，表示製作的檢量線在較低濃度時，仍可以吸收較大範圍波長的光線，顏色會比較深，能偵測到更低濃度的雙氧水。

## 討論二、製作過氧化氫檢量線

偵測水中  $\text{H}_2\text{O}_2$  並非是一件難事，根據高中所學，只要利用(1)間接碘滴定法(將  $\text{H}_2\text{O}_2$  當作氧化劑)，或是(2)過錳酸鉀滴定法(將  $\text{H}_2\text{O}_2$  當作還原劑)就能得到水中過氧化氫的濃度。但事實上，在真實情境中還必須考慮到其他事情：

1. 考慮基質效應，水中除了  $\text{H}_2\text{O}_2$  外還存在其他的氧化劑或是還原劑可能影響滴定結果偏差
2. 使用滴定法來測量未知液濃度的方式，實在不如檢量線快速(只要直接測吸收度代方程式即可，不需要額外配製大蘇打或是過錳酸鉀水溶液)

為了製作準確的  $\text{H}_2\text{O}_2$  檢量線，實驗利用草酸標定過後的過錳酸鉀來確定雙氧水的準確濃度，

實驗發現市售雙氧水在密封下、且  $\text{pH}=2$  環境能夠維持其中過氧化氫的濃度，一旦開封暴露於空氣或被稀釋過後，水中的 $[\text{H}_2\text{O}_2]$ 會隨時間下降，如右圖，從這邊可知道：實驗的檢量線必須在 10 分鐘內完成。

實驗為了製作本研究之過氧化氫檢量線，將分成三個部分來討論檢測液的配製參數。

- (一) 探討硫酸根多寡對檢量線的影響
- (二) 緩衝液  $\text{pH}$  對實驗數據的影響
- (三) 檢測液配製的材料經濟考量

### (一) 探討硫酸根多寡對檢量線的影響

首先實驗為了固定檢測液中四價鈦的量，因此不能夠使用本研究合成時所使用的檸檬酸鈦溶液，這是因為其中溶劑酒精的揮發問題。實驗選擇使用試藥硫酸鈦來進行實驗，由於只能買到 24%硫酸鈦水溶液，而且經由實驗確認藥品中除了硫酸鈦之外，還需要大量硫酸來維持四價鈦在較低的  $\text{pH}$  而不水解，所以若使用這個藥品的話，必須確認硫酸根的變動不會對檢量線造成影響(可能每次買來的硫酸鈦濃度固定但硫酸濃度不固定)。

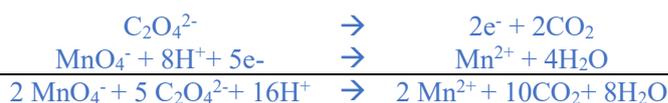
### 結論(一)

實驗通過不斷的測試，確定：檢測液中硫酸根多寡不會影響實驗。

實驗是利用了硝酸鋇來移除硫酸根，並做出了：有無移除硫酸根的檢量線，發現去除硫酸根的檢量線與沒有去除硫酸根的檢量線是幾乎重合的，由此可知：有無去除硫酸根對實驗結果並沒有太大的影響。

【表】使用  $80^\circ\text{C}$  草酸鹽標定本實驗部分之過錳酸鉀

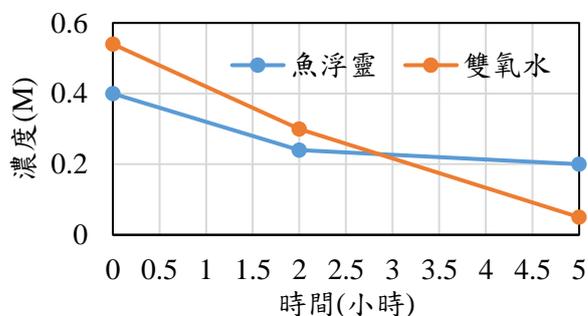
	0.05 M 草酸鹽	? M 過錳酸鉀
第一次	0.5 mL	1.9 mL
第二次	0.5 mL	2.1 mL
第三次	0.5 mL	2.0 mL
	標定之過錳酸鉀濃度為 0.005 M	



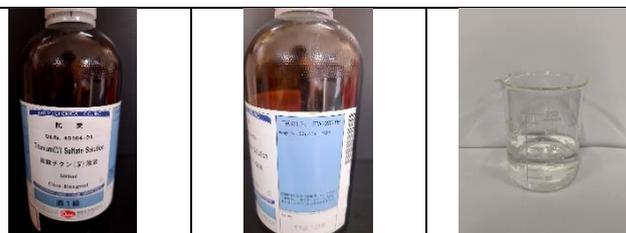
※草酸鈉是二級標準品



【圖】以過錳酸鉀滴定雙氧水(變色終點為紫色)



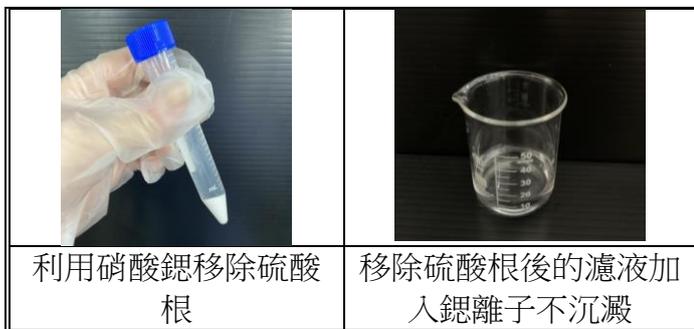
【圖】雙氧水或魚浮靈濃度隨時間遞減情況



【圖】市售 24% 硫酸鈦

【表】不同成分檢測液與過氧化氫反應之吸收度

校正後 $[\text{H}_2\text{O}_2]/\text{M}$	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6
無移除 $\text{SO}_4^{2-}$	0.084	0.284	0.462	0.758	1.500	2.600
有移除 $\text{SO}_4^{2-}$	0.114	0.236	0.432	0.802	1.502	2.728



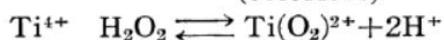
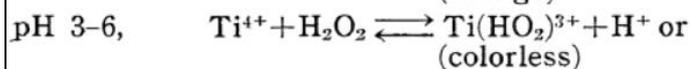
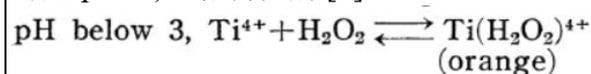
利用硝酸鋇移除硫酸根

移除硫酸根後的濾液加入鋇離子不沉澱

在實驗操作上，雖然硫酸鋇的  $K_{sp}$  比較小，沉澱趨勢較大，應該選硝酸鋇，但硝酸鋇的溶解度很差，在少量的硫酸鈦水溶液中即使加入飽和的硝酸鋇也無法一次將所有硫酸根移除，因此實驗選擇加入硝酸鋇是因為它的溶解度很大，可一次就移除所有水中大部分硫酸根。

### (二) 緩衝液 pH 對實驗數據的影響

由於檢量線的目的是為了用來檢驗魚浮靈，但是只有使用硫酸鈦作為檢測液，是無法偵測魚浮靈中的  $[H_2O_2]$ ，這是因為魚浮靈的鹼性很強(0.1 M 可達  $pH > 9$ )，根據文獻[2]：



[2]

Motoshichi MORI, Muraji SHIBATA, Eishin KYUNO and Syu ITO, Reaction of Hydrogen Peroxide with Titanium (IV) at Different pH Values, Bulletin of the Chemical Society of Japan 29(8), 904-907, 1956.

因此，實驗必須控制過氧化氫與四價鈦的環境，才能使其正常顯色，作為本研究可見光檢量線的依據。實驗所選擇的緩衝液是檸檬酸/檸檬酸鈉的共軛酸鹼對，這是因為檸檬酸的  $K_{a1}$  較接近  $10^{-2}$ 。公式  $pH = pK_a + \log\left(\frac{[C_5H_7O_5COO^-]}{[C_6H_8O_7]}\right)$

緩衝液除了必須添加，可以從圖可見，加了緩衝液難免會影響一點顏色，事實上也會使檢量線產生小幅度的波動，實驗希望可以挑選出一條更接近比耳定律、且適用範圍更廣的檢量線。

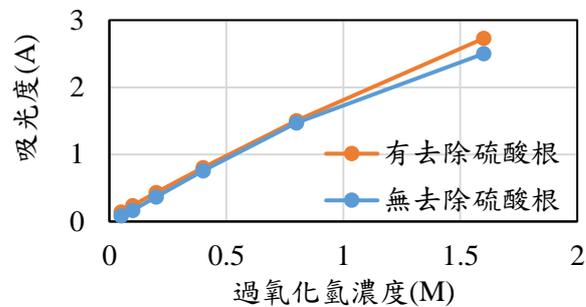
### 結論(二)

實驗通過不斷的測試，確定：緩衝液  $pH=3$  最佳。

從圖可以看到  $pH=1、2$  都在過氧化氫濃度  $> 0.5 M$  時已經偏離直線，以下是  $pH=3、4$  的檢量線：

pH3	$y = 1.4035x + 0.055$	$R^2=0.9945$
pH4	$y = 1.1814x + 0.0019$	$R^2=0.9997$

站在定量化學的角度，要選一條的話，會選擇一



【圖】有無移除硫酸根對過氧化氫檢量線的影響

【表】硝酸鋇與硝酸鈦的溶解平衡數據

	20°C溶解度 (M)	100°C溶解度 (M)	其硫酸鹽的溶度積 $K_{sp}$
硝酸鋇	0.28	0.97	$2.8 \times 10^{-7}$
硝酸鈦	0.04	0.13	$1.5 \times 10^{-9}$

硫酸鈦檢測液加入不同濃度雙氧水 ( $H_2O_2$ )



硫酸鈦檢測液加入不同濃度魚浮靈 ( $H_2O_2 + Na_2CO_3$ )



硫酸鈦檢測液 (pH2 緩衝液) 加入不同濃度魚浮靈 ( $H_2O_2 + Na_2CO_3$ )

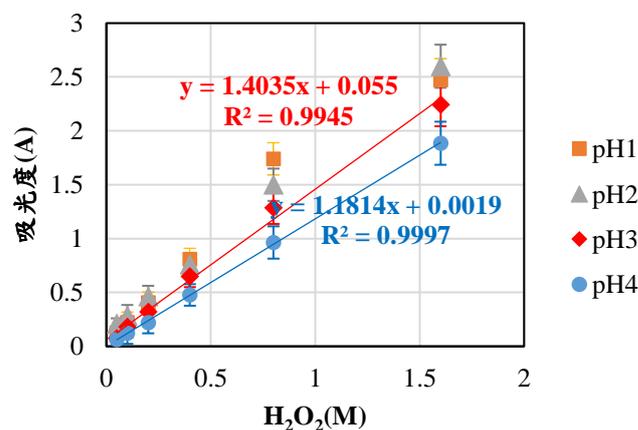


由左而右依序為 0.05、0.1~1.6 M

【圖】檢量線之溶液外觀顏色

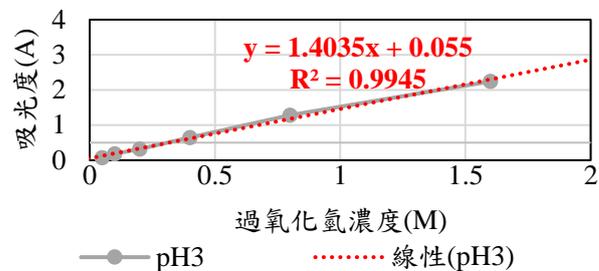
【表】不同 pH 檢測液與過氧化氫反應之吸收度

校正後 $[H_2O_2]/M$	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6
pH1	0.125	0.219	0.405	0.81	1.74	2.471
pH2	0.21	0.284	0.462	0.758	1.5	2.6
pH3	0.073	0.181	0.319	0.649	1.286	2.243
pH4	0.063	0.123	0.221	0.477	0.964	1.885



【圖】不同 pH 緩衝液之檢量線

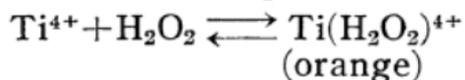
條斜率更大的、y 截距更小的。斜率更大意味著靈敏度更高，低濃度時吸收度較大；y 截距更小意味著低濃度時吸收度會通過原點，表示此檢量線適用於低濃度。由於 y 截距都相當小，因此本研究會首選 pH3 的緩衝液來配製檢測液製作檢量線。



【圖】 本研究所選用的檢量線

### (三) 檢測液配製的材料經濟考量

在決定檢測液中該使用多少四價鈦的實驗劑量部分，首先，由於檢測液中的過氧化氫莫耳數很少，所以四價鈦肯定是過量試劑，所以照理來說，橘色產物的量應該是直接由限量的過氧化氫莫耳數決定，但考慮到文獻[2]所提：過氧化氫與四價鈦結合成橘色產物的方程式是一個可逆反應，也就是若要使平衡趨於向右完全反應的話，四價鈦的濃度應越高越好，故實驗先以硫酸鈦原液 1/10 倍作為對照組來實驗。



我們是利用硫酸鈦原液的十分之一倍和二十分之一倍做比較，發現兩者差異不大(幾乎完全重合)，由此可知，硫酸鈦為過量試劑，且在稀釋成 1/20 倍之內，四價鈦的濃度都足夠使此平衡趨於向右完全反應。

考量到了成本，為了降低每次檢測的花費，我們嘗試減少硫酸鈦的使用量，利用了原液的一百分之一濃度來使用，發現三者檢量線皆重合。在這之後我們嘗試了其他不同的濃度，分別為千分之一、五百分之一、兩百五十分之一和百分之一，在做千分之一時，發現千分之一的檢測液在調配時會因硫酸鈦水解沉澱的特性而產生混濁，而五百分之一也有類似的情形，所以我們最後選擇了不會產生混濁且濃度較低的兩百五十分之一當作往後實驗的檢測液。

#### 結論(三)

實驗通過不斷的測試，確定：檢測液中可以使用 1/250 稀釋倍率的硫酸鈦作為四價鈦的來源，並得以降低每次檢測的成本。

### (四) 討論檢量線的偵測極限

#### 【表】

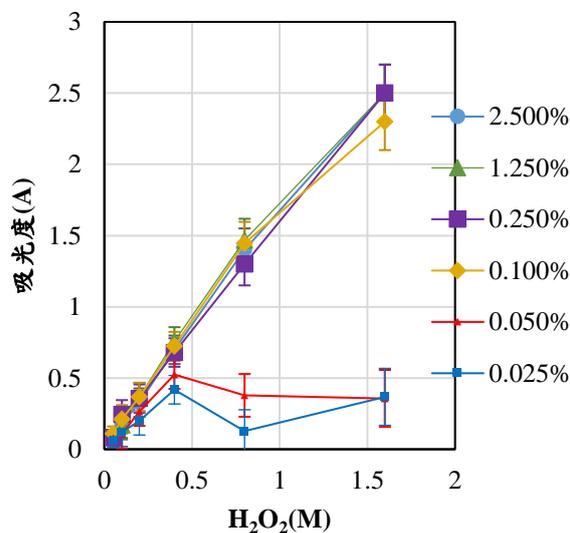
校正後 [H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ]/M	0.0125	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6
1/250	-0.013	-0.05	0.11	0.21	0.367	0.724	1.446	2.3

如表在 0.025 M 以下不遵守比爾定律

由此可知，本實驗所做出的檢量線偵測極限為 0.05 M。

【表】 不同[Ti<sup>4+</sup>]檢測液與過氧化氫反應之吸收度

校正後 [H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ]/M	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6
1/10	0.079	0.179	0.327	0.698	1.4	2.5
1/20	0.084	0.169	0.366	0.757	1.468	2.5
1/100	0.081	0.245	0.355	0.679	1.3	2.5
1/250	0.11	0.21	0.367	0.724	1.446	2.3
1/500	0.079	0.107	0.264	0.524	0.378	0.357
1/1000	0.065	0.12	0.2	0.418	0.127	0.368



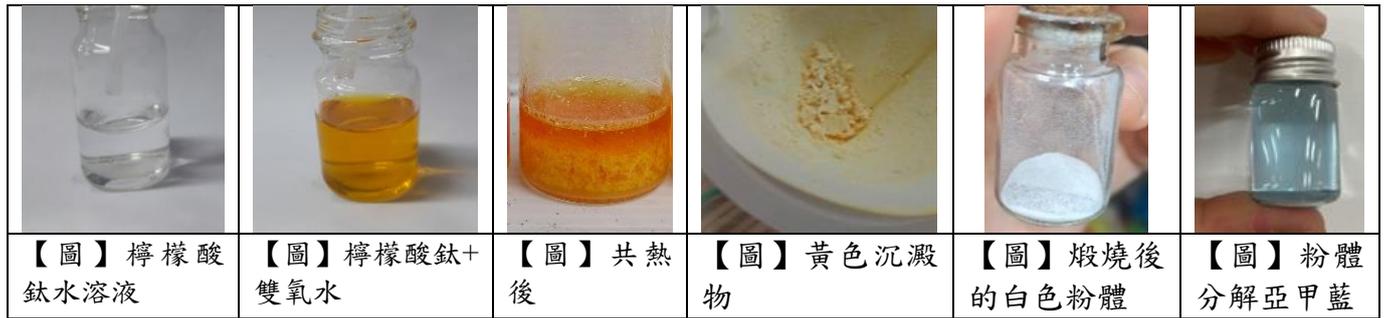
【圖】 不同稀釋倍率之硫酸鈦作為檢測液之過氧化氫檢量線



【圖】 千分之一倍稀釋的硫酸鈦檢測液產生混濁

討論三、探討以硫酸鈦作為鈦源進行雙氧水共熱法 (延續第 20 屆旺宏科學獎 SA20-193 後續再進行研究)

如圖是去年以檸檬酸鈦為水相鈦源，並成功使用雙氧水共熱法製作出  $\text{TiO}_2$  光觸媒。

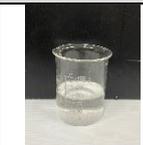
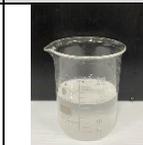


選擇改變不同鈦源進行研究的動機：

1. 從去年到今年因為疫情緣故， $\text{TiCl}_4$  全國短缺(買不到)，我有寄信給網路負責四氯化鈦通路的公司，他來信告訴我目前只能從日本進口，我與老師只好打消念頭，沒辦法獲得製作檸檬酸鈦繼續研究其他實驗變因，因此便思考是否有其他的水相鈦來源可以進行替代。
2. 在第 20 屆旺宏科學獎的報告書 SA20-193 有提到，檸檬酸作為保護基的存在，是雙氧水共熱法製作二氧化鈦光觸媒的優勢。為了探討檸檬酸鈦作為反應物的優勢性，實驗想研究「檸檬酸」在雙氧水共熱法中是不是一個獨特的存在，以及其對我們實驗的影響，於是我們找到了可以溶於水並且可以買得到的「硫酸鈦」來作為沒有檸檬酸存在的水相鈦源，並參考之前以檸檬酸鈦經由雙氧水共熱方法的經驗參數，我們順利地利用雙氧水共熱法做出硫酸鈦所製成的光觸媒。

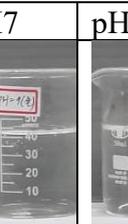
為了比較兩者在合成上的差異，實驗初步比較了「硫酸鈦」以及「檸檬酸鈦」在水中發生水解的沉澱性質。

如下表是硫酸鈦水溶液進行稀釋時發生的情況：

稀釋比例	原液	1/10	1/20	1/100	1/250	1/500	1/1000
酸鹼值	0.88	1.23	1.28	1.34	1.48	1.74	2.08
沉澱情形							
	澄清	澄清	澄清	澄清	澄清	發生沉澱	無法過濾

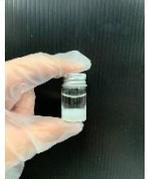
從上表可以得知硫酸鈦約在  $\text{pH}1.5\sim2$  之間產生氫氧化鈦沉澱，產生的沉澱物無法過濾。這點與檸檬酸鈦發生沉澱的情況類似，比較不同的地方是，硫酸鈦沒有複溶的情況，也就是加鹼沉澱後，沉澱在  $\text{pH}7$  時不會再溶解，濾紙也無法過濾任何  $\text{pH}$  沉澱的沉澱物，沉澱物會穿透濾紙，這也意味著硫酸鈦也不適用鹼式沉澱方法來作為製作二氧化鈦的步驟，會太浪費鈦的原料。

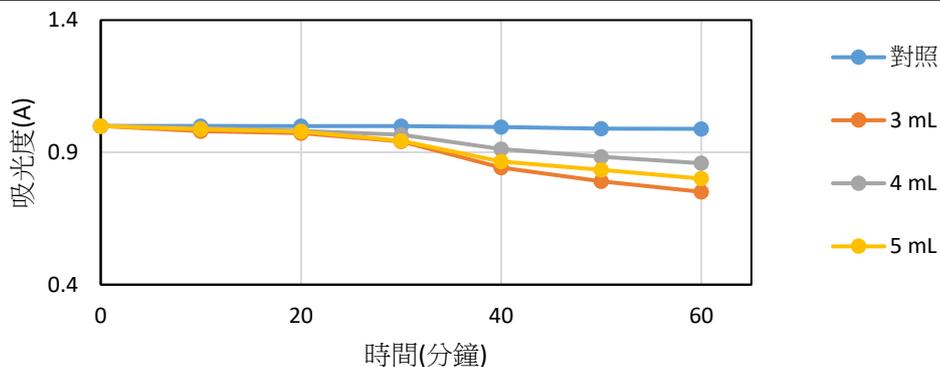
以下附上 SA20-193 報告書上作為參考資料

pH2	pH3	pH4	pH5	pH6	pH7	pH8	pH9	pH10	pH11	pH12
										
澄清	沉澱	沉澱	沉澱	澄清	澄清	澄清	沉澱	沉澱	沉澱	沉澱
	無法過濾						無法過濾(仍有部分會穿透濾紙)			

## 討論四、探討添加檸檬酸在雙氧水共熱法中的意義

參考 SA20-193 當時建立的雙氧水共熱法，延續將檸檬酸鈦替換成硫酸鈦進行實驗：

雙氧水(35%)	1 mL	2 mL	3 mL	4 mL	5 mL
反應顏色					
濾液+鹼					
沉澱物烘乾顏色	當雙氧水添加體積少於 3 mL 進行雙氧水共熱時，持續加熱攪拌溶液仍呈紅色，無法像雙氧水 3 mL 以上時溶液由紅轉黃且產生沉澱物。因此將溶液過濾時，無法取得濾餅，且濾液加鹼有沉澱物。				
加熱後的顏色			粉體	粉體	粉體
轉換率 光觸媒/黃粉	0%	0%	75%	74%	76%

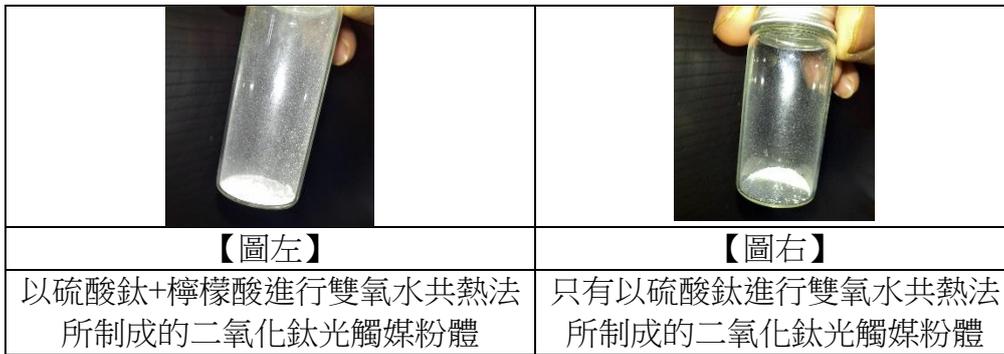


【圖】在不同比例雙氧水/硫酸鈦共熱法製成之二氧化鈦光觸媒的光催化效能(0.002 g/1.5 mL 亞甲藍，紫外光燈)

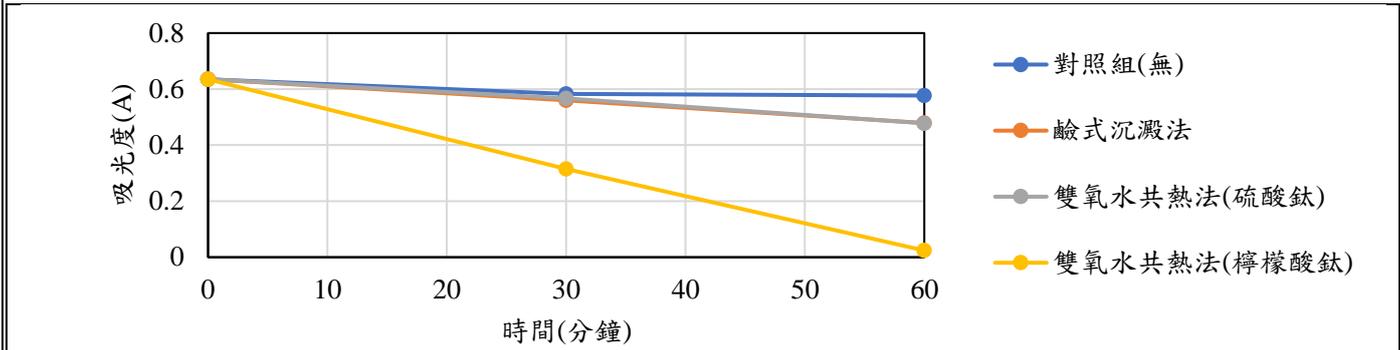
### 實驗發現

1. 硫酸鈦也可以成功利用雙氧水共熱法得到二氧化鈦光觸媒
2. 硫酸鈦與雙氧水混合後發生水解的速率較快
3. 當雙氧水添加量過高時（如同添加 5 mL 雙氧水時）分解能力變差，推測是因為沉澱速度太快導致顆粒較大，此結果與檸檬酸鈦的雙氧水共熱法相符

我們聯想到實驗使用的檸檬酸鈦當中有檸檬酸的成分，主要是可以保護鈦離子，先跟雙氧水反應，鈦離子再跟氫氧根離子結合，因為有檸檬酸的保護，降低四價鈦水解反應速率，可以得到顆粒較小的二氧化鈦，使得光觸媒的特性得以提升，所以我們在想，如果改成使用硫酸鈦加入檸檬酸進行雙氧水共熱法時，會不會有類似的效果，提升光觸媒的能力。



如圖(左)可以看見，硫酸鈦有添加檸檬酸所作成的光觸媒粉體較黏，老師說這是奈米材料的特性，因為容易帶有電荷，很容易附著在邊壁上；反之圖(右)是只有使用硫酸鈦來合成，幾乎無法附著在邊壁，最後的光催效果也很差。



**【圖】** 不同做法之粉體分解雙氧水曲線圖

實驗發現有添加檸檬酸的效果確實比較好，而我們推測這是因為檸檬酸會與四價鈦螯合，當有檸檬酸時，鈦水解產生  $Ti(OH)_4$  的速率會變慢，速率慢的話可以使產生出的顆粒較小，不同的顆粒大小可導致光催效果的差異，顆粒大的話在等重光催時總表面積較小，反之顆粒小等重總表面積較大，較大的表面積光催的降解效果會較好。且添加 0.2 mL 檸檬酸飽和水溶液一起反應時效果最佳。

**【表】** 實測以雙氧水共熱法(檸檬酸)合成光觸媒之分解雙氧水的效果

飽和檸檬酸水溶液體積(mL)	0 (對照組)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
分解 0 分	0.621 A	0.621 A	0.621 A	0.621 A	-	-
分解 30 分	0.450 A	0.315 A	0.373 A	0.322 A	-	-
分解 60 分	0.422 A	0.024 A	0.109 A	0.047 A	-	-
說明	沒有添加檸檬酸，直接使用硫酸鈦(1 g/100 mL)進行雙氧水(35%、3 mL)共熱(加熱 40 分鐘)法所得固體經 500°C 鍛燒 2 小時之粉體與 1.5 mL、0.4 M 雙氧水進行催化分解的效果不好。	加了 0.2 mL 飽和檸檬酸水溶液(7.5 M)一起共熱所得光觸媒粉體的催化效果很好。	當檸檬酸添加量高於 0.2 mL 分解雙氧水的能力變差，其中添加檸檬酸 0.4 mL 時光催效果比 0.6 mL 還要差。	添加 0.8 毫升的飽和檸檬酸溶液，在雙氧水共熱法中在 40 分鐘內，是無法產生產物沉澱的，產物沉澱大約在 90 分鐘後產生(這表示檸檬酸正在消耗雙氧水，此時雙氧水不能跟四價鈦反應)，太耗時，因此 0.8 mL 之後就不考慮。		

1. 添加檸檬酸後，發現加熱時間會變長。  
推測：是因檸檬酸會保護鈦，導致在水解過程中會消耗較多的時間
2. 添加檸檬酸的最佳比例為 1 g 的硫酸鈦、3 mL 的雙氧水配上 0.2 mL 的檸檬酸。  
0.2 mL~3 mL 檸檬酸之間會發現，添加檸檬酸極多或極少時的光催活性會較強，但是檸檬酸在 0.8 mL 毫升以上之後會因為沒辦法在加熱時間內產生沉澱，所以我們就不採納。

## 討論五、使用檢量線監控魚浮靈分解時的反應級數

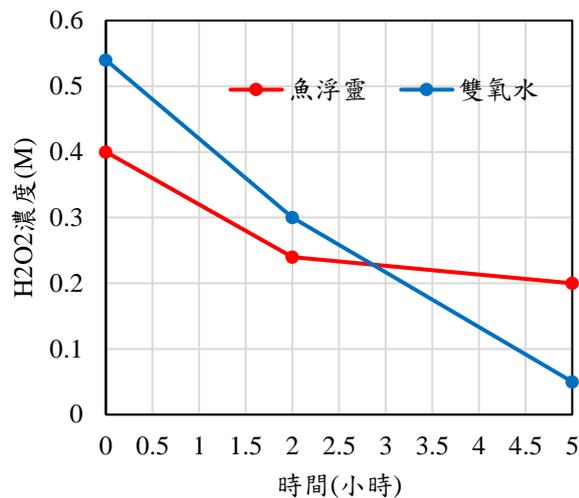
如右圖是魚浮靈水溶液或市售雙氧水接觸空氣時  $H_2O_2$  自行分解的趨勢圖(使用本研究檢量線偵測)，可知魚浮靈一旦殘留在水中，分解速率會趨於緩慢(試藥級雙氧水接近零級分解；市售魚浮靈接近一級分解)，在 5 小時之後，含有魚浮靈的水中仍留有約 0.6% 的過氧化氫，同一時間 5 小時後，試藥雙氧水已經剩下 0.01% 左右。

我與老師也討論過造成此現象的原因，可能是由於過氧化氫在「不同 pH 環境」進行分解有關係。

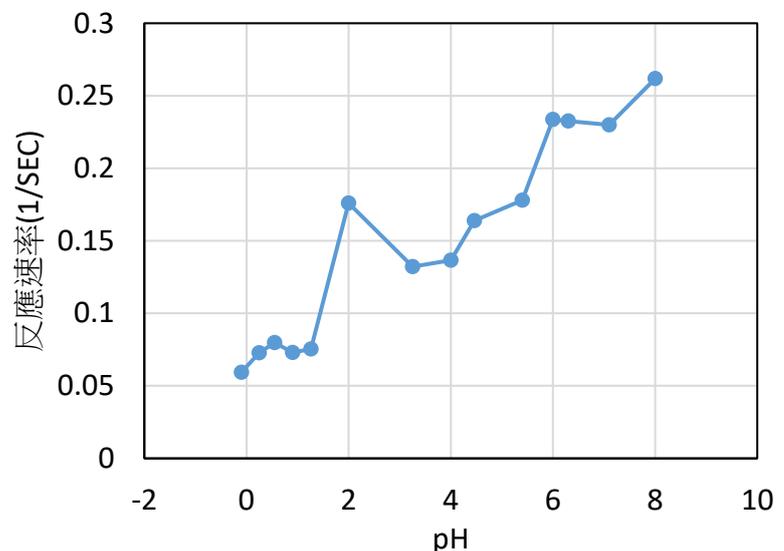
老師拿出之前指導的學生作品提供我參考。他說：

魚浮靈中的  $Na_2CO_3$  提供鹼性環境使成分中的過氧化氫在鹼性下進行分解，如右圖，隨著 pH 上升，過氧化氫的分解速率有越快的趨勢；而市售的試藥級雙氧水通常設計成 pH 2，(因為  $pH < 2$  時雙氧水與二氧化錳的反應會消耗二氧化錳，而  $pH > 2$  的環境二氧化錳都是擔任催化劑，符合國中所學)。

沒想到過氧化氫在不同 pH 環境下，可能還有不同的反應級數。



【圖】利用本研究檢量線監控 0.4 M 試藥級雙氧水或市售魚浮靈水溶液濃度隨放置時間遞減情況(沒有加入催化劑)



【圖】 $MnO_2$  在不同 pH 下催化  $H_2O_2$  分解的製氧平均速率(參考第 59 屆國中縣市科展-探討雙氧水在不同條件的分解速率並活用)

根據高中的一級反應數學表示方式

$$r = \frac{-d[H_2O_2]}{dt} = k[H_2O_2]$$

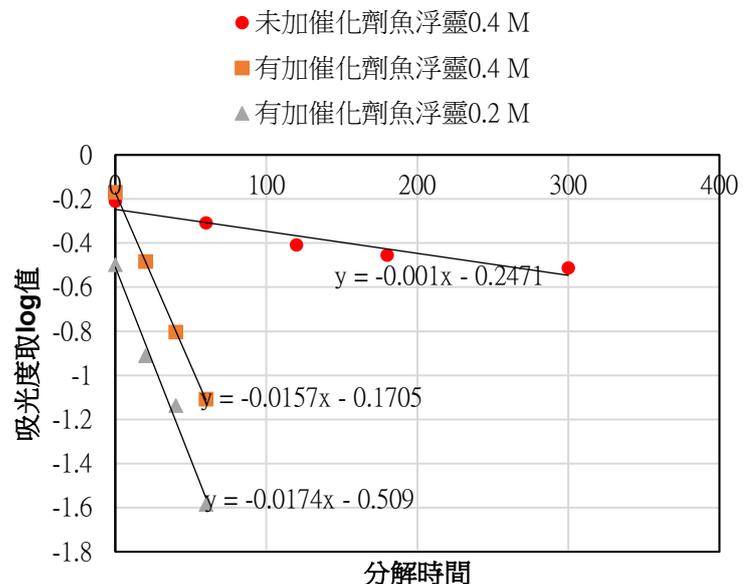
$$\int \frac{d[H_2O_2]}{[H_2O_2]} = \int -k dt$$

$$\log_e[H_2O_2] = \log_e[H_2O_2]_0 - kt$$

- ① 未加催化劑魚浮靈 0.4 M
- ② 有加催化劑魚浮靈 0.4 M
- ③ 有加催化劑魚浮靈 0.2 M

斜率	①	②	③
$k \times \log(e)$	0.001	0.0157	0.0174

由實驗數據可得知，未添加光觸媒催化劑時魚浮靈本身的分解為一級反應，添加催化劑後仍為一級反應，速率常數會變大，且變大 15 倍左右。



【圖】有無添加光觸媒進行催化分解之吸光度取 log 值趨勢圖

## 討論六、綜合探討與比較

一、不同做法之光觸媒分解雙氧水比較  
將鹼式沉澱法所做出的粉體和雙氧水共熱法所做出的粉體拿去分解雙氧水後，我們可以看出由硫酸鈦的雙氧水共熱法所做出的粉體和鹼式沉澱法其實差不多，但是檸檬酸鈦雙氧水共熱法所做出的粉體效果極好，這個結果符合前面我們所說，有添加檸檬酸可提升光觸媒的能力。

### 二、自製光觸媒球之比較

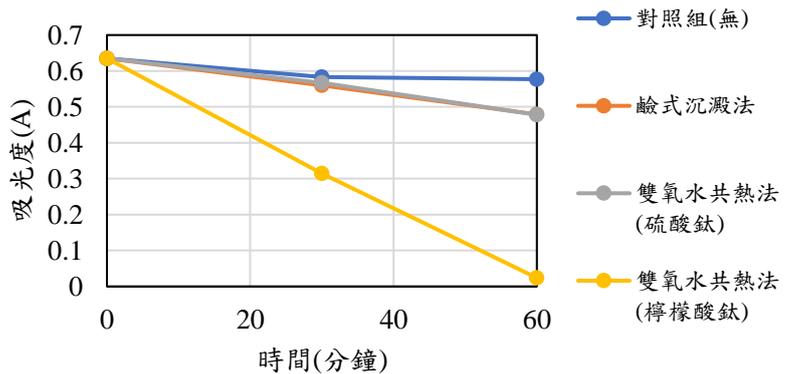
由於光觸媒粉體在回收上較不方便，所以我們想嘗試將它做成球(實驗參考本人原創作品-第 20 屆旺宏科學獎 SA20-193-以水相氧化法製備二氧化鈦並做成光觸媒球應用於殭屍蝦。最佳參數來製作各種球形催化劑，將等重的 P25、MnO<sub>2</sub> 也作成球作對照組，並且將不同方式合成的粉體也作成二氧化鈦球)，我們將市售的 P25 光觸媒做成球，和自製的檸檬酸鈦光觸媒球做比較，並將二氧化錳同樣的做成球當作我們實驗上的第二個對照組，由右圖可以看出，我們自製的光觸媒做成球較市售的光觸媒效果來得好，但和二氧化錳比的話還有一段距離，不過我們的光觸媒球優點是具有生物相容性，對於環境較無汙染，且分解完殭屍蝦後可放心的食用。

以上兩張圖我們可以得知：

1. 在粉體的方面是由檸檬酸鈦的雙氧水共熱法為最佳。
2. 而檸檬酸鈦自製球的效果比市售的光觸媒做成球效果來得好，推測是因為我們自製的光觸媒球吸附效果較市售的 P25 做成球吸附效果來的好，在有限的時間內，我們的自製光觸媒球可以達到較好的效果。

【表】不同做法之粉體分解雙氧水吸收度

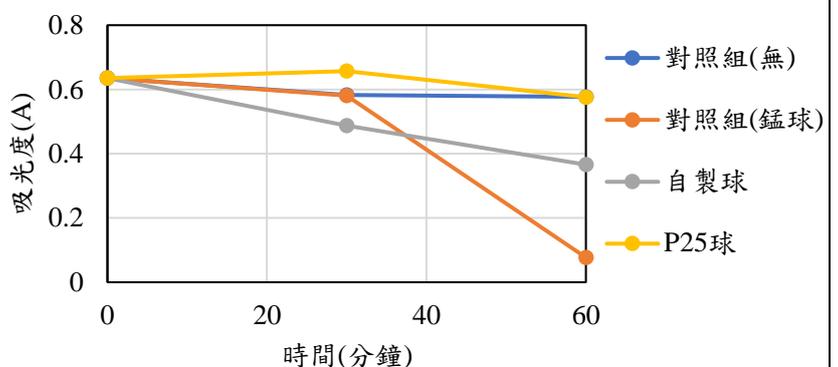
吸光度	0 分鐘	30 分鐘	60 分鐘
對照組	0.635	0.583	0.577
鹼式沉澱法	0.635	0.560	0.479
雙氧水共熱法(硫酸鈦)	0.635	0.567	0.478
雙氧水共熱法(檸檬酸鈦)	0.635	0.315	0.024



【圖】不同做法之粉體分解 0.4 M 雙氧水曲線圖

【表】自製光觸媒球分解雙氧水曲線吸收度

吸光度	0 分鐘	30 分鐘	60 分鐘
對照組	0.635	0.583	0.577
二氧化錳球	0.635	0.581	0.077
雙氧水共熱法(檸檬酸鈦)光觸媒球	0.635	0.487	0.366
P25 球	0.635	0.657	0.576



【圖】自製光觸媒球分解雙氧水曲線圖

## 討論七、未來展望與試紙製作、試紙價格

### 一、殭屍蝦實作以及未來實驗設計

將我們所自製的光觸媒實際應用於殭屍蝦，在此我們與釣蝦場拿來了已死亡的蝦子進行初步研究，在進行的過程中我們發現已死亡的蝦子會慢慢變紅，這是因為包裹蝦紅素的蛋白質受到氧化碰壞的關係而蝦紅素釋放出來，所以如果蝦子變紅的速度過快，我們就可以推測牠在生前可能有服用過魚浮靈，在初步研究的部分，我們嘗試將已死亡的蝦子抽取體液，模擬檢測殭屍蝦。

在我們實驗可以得到兩個檢測魚浮靈的方法：

1. 若有添加魚浮靈的蝦子，死亡後變紅的速度會變快。
2. 抽取體液去檢測過氧化氫的殘留量。

從蝦子體色快速變紅得知，殭屍蝦並不是指能夠存活較久的蝦子，而是使蝦子提早死亡，在死亡前因為魚浮靈的關係，會呈現活跳跳的樣子，商人將正處於這個情況中的蝦子販賣給顧客，使他們認為蝦子很新鮮，卻不知道這些看似活動力強的蝦子不但服用了對他們有害的魚浮靈，且即將面臨死亡。

我們希望能透過檢測魚浮靈的方法，得知哪些蝦子曾服用過魚浮靈，並抓出傷害小動物的不肖業者。

**檢驗魚浮靈的時機是會影響檢測的結果的。**

根據討論五的數據結果，實驗發現，魚浮靈在水中原本就會隨時間消退，數據顯示他是屬於較高級的分解級數，根據高二所學的反應級數可以知道，所以魚浮靈一旦被加入水中，濃度越稀時分解速率越慢，以至於即使經過一段時間，只要在還是有機會可以測得到魚浮靈的！



【圖】蝦子剛死亡時仍為青色

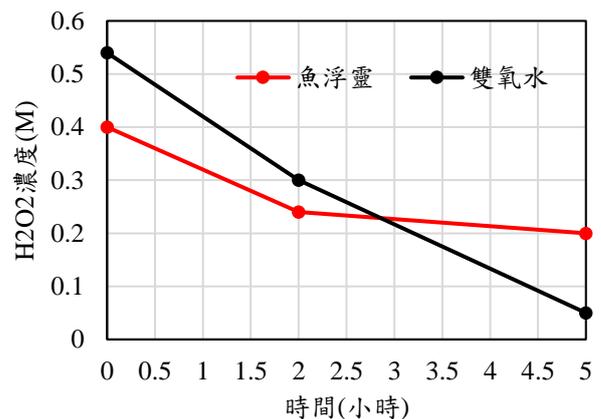


【圖】蝦子死亡後會變成紅色

備註：蝦子死亡後若接觸魚浮靈會使變紅的時間縮短，一般蝦子死亡要過非常久時間才變紅



【圖】模擬：嘗試將已死亡的蝦子抽取體液並檢測體液中殘存[H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]



【圖】討論五結果，利用本研究檢量線監控雙氧水或魚浮靈水溶液濃度隨時間遞減情況(沒有加入任何催化劑)

備註：但事實上考慮基質效應，血青素中的 Cu<sup>2+</sup>對過氧化氫的分解也有催化效果。

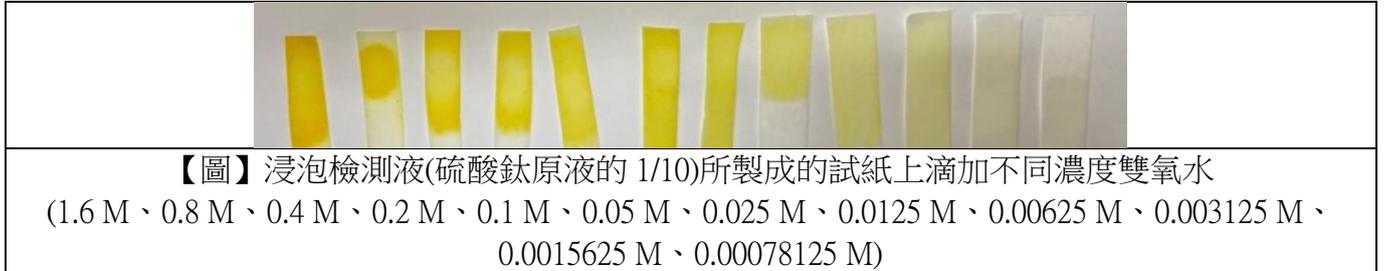
### 二、試紙實作

### (一)試紙實測

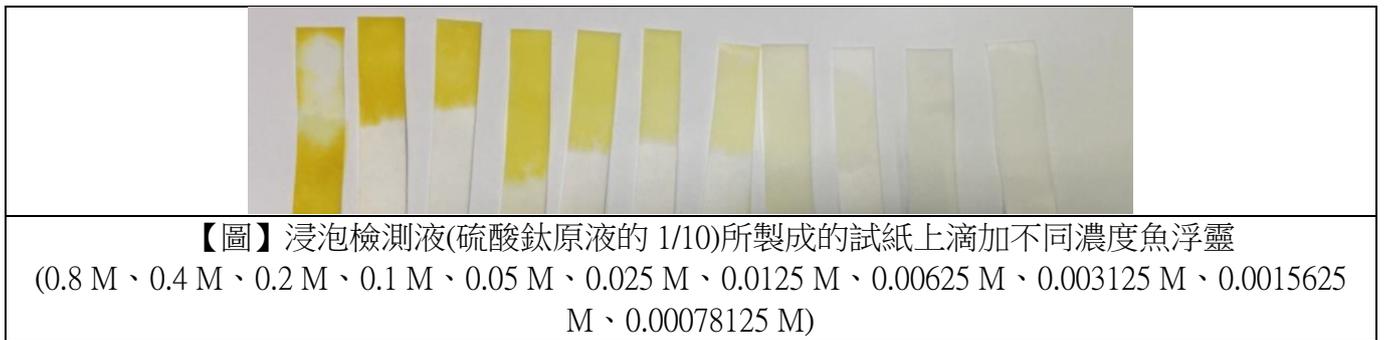
雖然直接以水溶液採檢較準確，但是並不方便。

老師建議我可以將其作成試紙，方法是將試紙浸泡於討論二的檢測液(含檸檬酸鹽的 pH3 緩衝液的硫酸鈦原液的 1/10)中，待其烘乾後再以不同濃度的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 檢量溶液作為待測液滴上去，進行顯色。

如圖，以肉眼無法看出自製過氧化氫試紙變色為依據，試紙的「肉眼偵測極限」大約是 0.025% (250 ppm)附近。

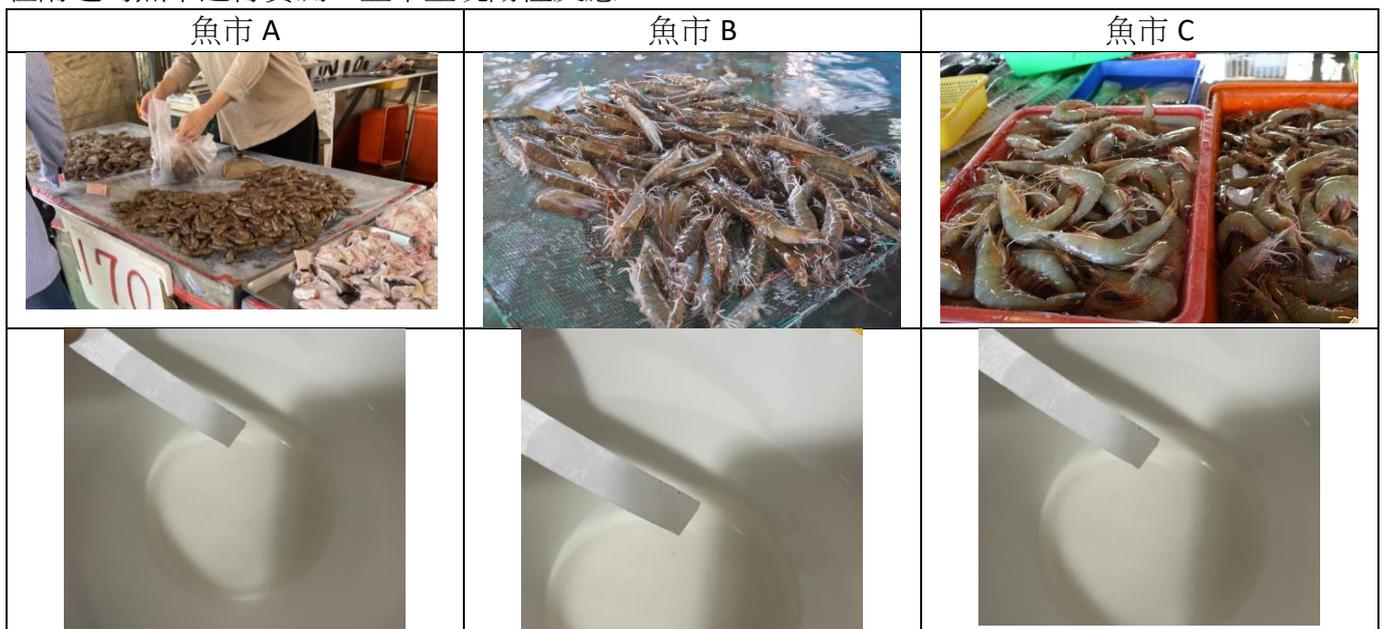


以上是用於偵測試藥級雙氧水，接著要處理的是鹼性的魚浮靈(受限於魚浮靈的溶解度，最濃只能配到 0.8 M~1.0 M)，發現本研究開發的試紙也呈現有效，肉眼偵測極限變成 0.05% (500 ppm)附近



利用試紙檢測的便利性高，直接將待測液滴上試紙即可。

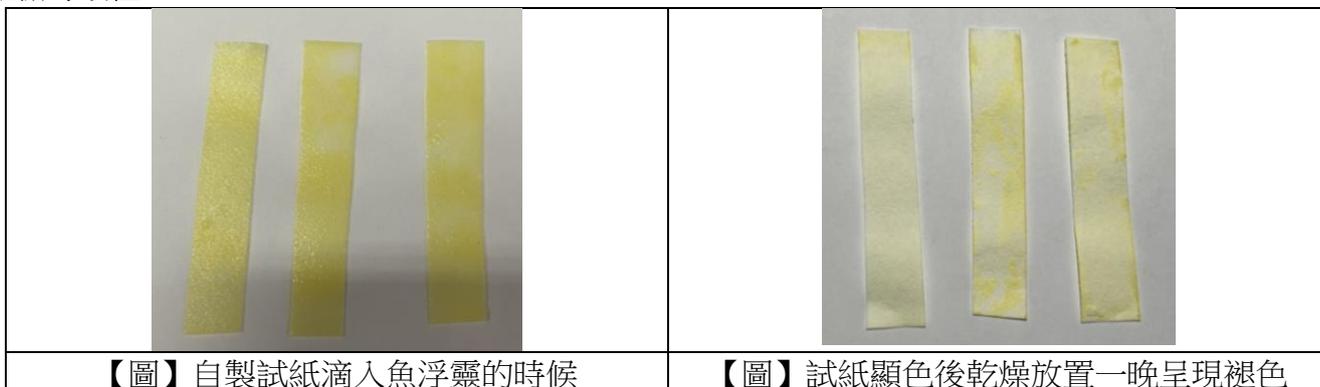
在附近的魚市進行實測，並未呈現陽性反應。



## (二) 濾紙特性探討

實驗每一種參數都會同時做三次(以三張試紙呈現)。時效性分成檢驗時效性及保存時效性，前者是指試紙的實驗結果是否能保存，後者是指試紙被製作出來後能放多久還能保有檢驗魚浮靈的效果。

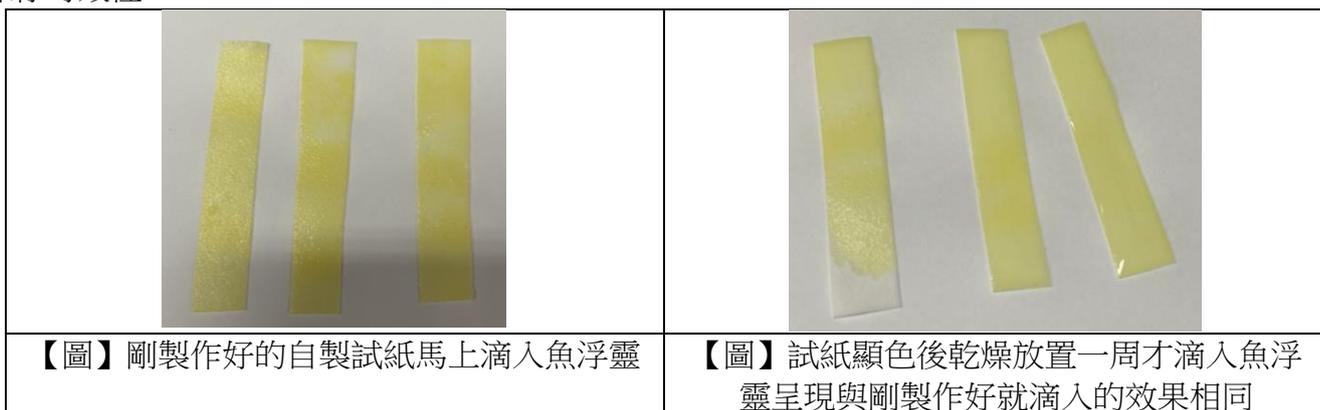
### 1. 檢驗時效性



解釋：

推測是由於試紙上的  $H_2O_2$  汽化或是隨時間分解，但由於硫酸鈦仍在濾紙上，因此再滴入仍會再變色。

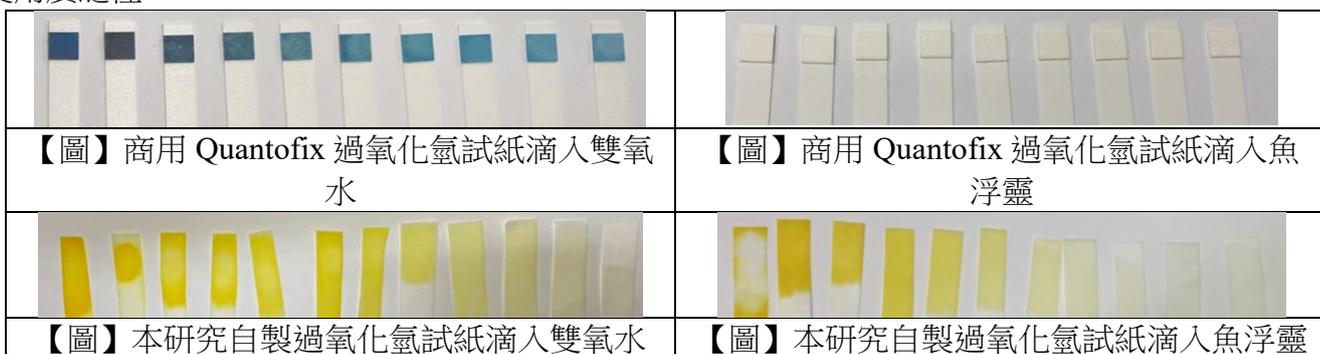
### 2. 保存時效性



解釋：

實驗使用 Picklor 的 RGB 軟體每張試紙都測 10 次色碼，並且看數字，實驗發現三張試紙的平均值幾乎相同，這表示魚浮靈試紙應該可以存放很久，推測當試紙乾燥後，緩衝液中的成分仍可以保留在試紙上，這也很合理，因為檸檬酸、檸檬酸鈉都是非揮發性酸或鹽。所以試紙顯色效果才能不受到存放時間影響。

### 3. 使用廣泛性



可以比較得知：市售的一般過氧化氫試紙無法檢測魚浮靈，而本研究之自製試紙無論是雙氧水或魚浮靈都可以檢測。

### 三、新法檢測價格評估

	偵測極限	價格/測一次
[微杏食安檢驗站]出產之過氧化氫殘留測試劑/3~5 滴	未知(肉眼)	~1.25 元
本研究開發之檢測液/2 mL(配合分光光度計)	1.7 %(遵守比爾定律)	< 0.05 元
Quantofix 過氧化氫試紙	0.5 ppm (實測 0.1 ppm)	~12 元
本研究開發之試紙/張	250 ppm(肉眼)	< 0.05 元

 <p><b>微杏食安檢驗站【過氧化氫殘留測試劑】10 ml (雙氧水含量測定液)</b></p> <p>▶ 微杏過氧化氫快速檢測套組： 判別食品中過氧化氫殘留快速又方便，適合用於一般家庭、餐館業者與食品製造業者之品質自主檢驗</p> <p>▶ 本產品適用於： 豆類製品、魚肉燥製品、麵粉類及其製品、乾貨與可能添加過氧化氫之食品等</p> <p>一次付清特價 <b>49</b> 元 加購品名 <a href="#">【PChome超惠取貨付款 - 贈送運費加購】</a></p>	
<p>[微杏食安檢驗站]出產之過氧化氫殘留測試劑</p>	<p>Quantofix 過氧化氫試紙</p>
<p>參考資料 <a href="https://www.pcstore.com.tw/vaccigen/M40004803.htm">https://www.pcstore.com.tw/vaccigen/M40004803.htm</a></p>	<p>參考資料 <a href="https://www.ritaichemical.com.tw/product-detail-592122.html">https://www.ritaichemical.com.tw/product-detail-592122.html</a></p>



【圖】購買市售試紙使用情形

嘗試使用市售的試紙來檢測過氧化氫，由實驗結果可得知，在它說明書所說的範圍內(圖 1 中左側前十張)會呈現漸層的變化，超出所限定的範圍的話則會不規則的變色，市售試紙的價格較高昂且能夠漸層變色的範圍也較小，能夠檢驗出有過氧化氫的存在，但無法偵測出準確程度為多少。

總結來說，市售的試紙偵測極限比較低，為 0.5 ppm，但對人體有害的過氧化氫濃度為 3%，不需要偵測到那麼低的濃度，所以我們可利用我們自製的試紙來檢測濃度(偵測極限 0.025%)是否含有對人體有害的濃度。

### 四、試紙與試劑的比較

實驗發現將試劑做成試紙後，可以用肉眼偵測到更低濃度的過氧化氫殘留，所以在實用上，製作成試紙不僅民眾較方便檢測，也可以避免每次都要在檢測前才進行試劑配製(因為硫酸鈦若長時間在 pH3 的緩衝液中長時間仍會隨時間沉澱)。

	試劑	試紙
檢測性	可定量	易操作 不可定量
偵測極限	高	低
檢測後保存性	會發生沉澱	會發生褪色
重複使用	不能	可以

## 捌、目前結論

1. 實驗建立了雙氧水檢量線可以快速偵測水中的過氧化氫濃度。
2. 檢測液中硫酸根多寡不會影響到檢量線的準確度。
3. 魚浮靈的鹼性很強(0.1 M 可達 pH>9)，所以在檢測時必須控制其 pH 值，而我們選用 pH3 的檸檬酸緩衝液。
4. 過氧化氫檢量線中由調整檢測液不同濃度可知硫酸鈦為限量試劑。
5. 實驗通過不斷的測試，確定：檢測液中可以使用 1/250 稀釋倍率的硫酸鈦作為四價鈦的來源，並得以降低每次檢測的成本。
6. 一旦開封暴露於空氣或被稀釋過後，水中的[H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]會隨時間下降，實驗的檢量線必須在 10 分鐘內完成。
7. 硫酸鈦在 pH 值 1.5 左右時會開始產生混濁。因此硫酸鈦在無檸檬酸時必須保存在 pH1.5 以下。
8. 三毫升的雙氧水可抓住 1 g 硫酸鈦中所有的鈦，所以雙氧水共熱法的最佳比例為 1 g 的硫酸鈦配 3 毫升的雙氧水、0.3 mL 飽和檸檬酸、100 g 水。
9. 檸檬酸鈦和硫酸鈦所做成的光觸媒兩者中檸檬酸鈦的效果較佳，由此可見雙氧水共熱法檸檬酸的必要性。
10. 過氧化氫檢驗試紙具有發展潛力。對於試藥級雙氧水以及魚浮靈的肉眼偵測極限分別為 250 ppm、500 ppm 左右。
11. 試藥級雙氧水的分解級數趨近零級，而魚浮靈的分解級數較高。
12. 未添加催化劑時魚浮靈本身的分解為一級反應，添加光觸媒作為催化劑後仍為一級反應，速率常數會變大，從 0.001 變為 0.0157，變大為 15 倍左右。
13. 自製的過氧化氫試紙成本低廉(< 0.05 元)且具有檢驗有害魚浮靈的效果，能夠取代市售試紙工作。

## 玖、參考文獻

### 1. 過去科展文獻

- 第 52 屆全國科展鈦神奇—二氧化鈦光觸媒的製備及應用  
第 54 屆全國科展新式光觸媒奈米磁鐵(TiO<sub>2</sub> @ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) 分解玫瑰紅染料之研究  
第 56 屆全國科展目不轉「晶」—探討海藻酸鈉薄膜的形成與其相關應用  
第 54 屆全國科展「泡膜」雲起「膜」登寶「澱」—澱粉起泡、成膜性質的探討及應用  
第 58 屆全國科展鈣多晶球  
第 58 屆全國科展 Ooho! 「內」個「膜」法—凝膠薄膜性質之探討  
第 59 屆全國科展「混」是「膜」王—探討海藻酸鈉及澱粉混和薄膜的特性  
第 59 屆全國科展蛋蛋的幸福-探討以蛋殼製造光觸媒在可見光照下將 CO<sub>2</sub> 還原為 CH<sub>3</sub>OH 之效率
2. 周淑金，葉信宏，1999，光觸媒技術應用簡介，工業材料，150：168-172.
  3. 周開平、陳郁文(2005)。二氧化鈦光觸媒的應用。科學發展，395，66-69，2013 年 11 月 14 日，取自 [http://ejournal.stpi.narl.org.tw/NSC\\_INDEX/Journal/EJ0001/9411/9411-09.pdf](http://ejournal.stpi.narl.org.tw/NSC_INDEX/Journal/EJ0001/9411/9411-09.pdf)
  4. <http://www.ntsec.gov.tw/activity/race-1/44/E/040217.pdf> 高中化學科科展---神奇的奈米光觸媒
  5. <http://www.ntsec.gov.tw/activity/race-1/44/E/040221.pdf> 高中化學科科展---奈米光觸媒的應用
  6. 奈米科技-基礎、應用與實作-南區奈米科技 K-12 教育發展中心

7. 何翊誠 (2011)。光驅動催化氧化降解結晶紫之可行性探討。國立高雄第一科技大學工學院學生專題。

## 附錄、原始數據

雙氧水共熱法								
鈦原	方法	雙氧水	檸檬酸	加熱溫度	轉換率			
硫酸鈦	雙氧水共熱	1	0	500	0%			
硫酸鈦	雙氧水共熱	2	0	500	0%			
硫酸鈦	雙氧水共熱	3	0	500	75%			
硫酸鈦	雙氧水共熱	4	0	500	74%			
硫酸鈦	雙氧水共熱	5	0	500	76%			
檸檬酸鈦雙氧水共熱法分解亞甲藍時間軸								
雙氧水		0	10	20	30	40	50	60
對照		1.1	1.098	1.081	1.074	1.059	1.032	0.989
	6	1.1	1.064	1.012	0.991	0.965	0.914	0.898
	8	1.1	1.072	1.043	1.002	0.978	0.943	0.921
	10	1.1	1.014	0.912	0.811	0.784	0.714	0.682
	12	1.1	1.007	0.889	0.712	0.616	0.521	0.446
	14	1.1	1.009	0.897	0.752	0.629	0.565	0.501
硫酸鈦雙氧水共熱法分解亞甲藍時間軸								
雙氧水		0	10	20	30	40	50	60
對照		1	1	0.999	0.999	0.996	0.99	0.989
	3 mL	1	0.98	0.973	0.942	0.843	0.791	0.751
	4 mL	1	0.992	0.981	0.967	0.913	0.884	0.859
	5 mL	1	0.987	0.979	0.944	0.865	0.834	0.801
分解雙氧水								
方法		0	30	60				
對照組(無)		0.635	0.583	0.577				
鹼式沉澱法		0.635	0.56	0.479				
雙氧水共熱法(硫酸鈦)		0.635	0.567	0.478				
雙氧水共熱法(檸檬酸鈦)		0.635	0.315	0.024				
分解雙氧水								
球		0	30	60				
對照組(無)		0.635	0.583	0.577				
對照組(錳球)		0.635	0.581	0.077				
自製球		0.635	0.487	0.366				
P25 球		0.635	0.657	0.576				
檢量線								

低濃度 沒移除硫酸根						中濃度 沒移除硫酸根						高濃度 沒移除硫酸根						沒加緩衝液											
320	2.859	320	2.2	320	2.5	320	2.2	320	2.5	320	2.5	320	2.5	0.05	0.141	0.05	0.141	0.1	0.236	0.1	0.236	0.1	0.236	0.1	0.236				
350	1.533	350	0.796	350	3.3	350	0.796	350	3.3	350	3.3	350	3.3	0.2	0.432	0.2	0.432	0.2	0.432	0.2	0.432	0.2	0.432	0.2	0.432				
380	0.158	380	0.948	380	2.4	380	0.948	380	2.4	380	2.4	380	2.4	0.4	0.802	0.4	0.802	0.4	0.802	0.4	0.802	0.4	0.802	0.4	0.802				
410	0.084	410	1.127	410	2.5	410	1.127	410	2.5	410	2.5	410	2.5	0.8	1.502	0.8	1.502	0.8	1.502	0.8	1.502	0.8	1.502	0.8	1.502				
440	0.068	440	0.979	440	2.2	440	0.979	440	2.2	440	2.2	440	2.2	1.6	2.728	1.6	2.728	1.6	2.728	1.6	2.728	1.6	2.728	1.6	2.728				
低濃度 有移除硫酸根						中濃度 有移除硫酸根						高濃度 有移除硫酸根						沒有去除硫酸根											
320	2.476	320	2.5	320	2.4	320	2.5	320	2.4	320	2.4	320	2.4	0.0625	0.2	0.0625	0.2	0.0625	0.2	0.0625	0.2	0.0625	0.2	0.0625	0.2				
350	0.465	350	1.69	350	1.3	350	1.69	350	1.3	350	1.3	350	1.3	0.125	0.315	0.125	0.315	0.125	0.315	0.125	0.315	0.125	0.315	0.125	0.315				
380	0.151	380	0.908	380	1.9	380	0.908	380	1.9	380	1.9	380	1.9	0.2	0.569	0.2	0.569	0.2	0.569	0.2	0.569	0.2	0.569	0.2	0.569				
410	0.151	410	0.975	410	2.2	410	0.975	410	2.2	410	2.2	410	2.2	0.5	1.211	0.5	1.211	0.5	1.211	0.5	1.211	0.5	1.211	0.5	1.211				
440	0.144	440	0.8	440	2	440	0.8	440	2	440	2	440	2	1	2.327	1	2.327	1	2.327	1	2.327	1	2.327	1	2.327				
1/10	1/20	1/100	250/1	1/500	1/1000	1/10	1/20	1/100	250/1	1/500	1/1000	1/10	1/20	1/100	250/1	1/500	1/1000	1/10	1/20	1/100	250/1	1/500	1/1000	1/10	1/20	1/100	250/1	1/500	1/1000
0.079	0.084	0.081	0.11	0.079	0.065	0.079	0.084	0.081	0.11	0.079	0.065	0.079	0.084	0.081	0.11	0.079	0.065	0.079	0.084	0.081	0.11	0.079	0.065	0.079	0.084	0.081	0.11	0.079	0.065
0.179	0.169	0.245	0.21	0.107	0.12	0.179	0.169	0.245	0.21	0.107	0.12	0.179	0.169	0.245	0.21	0.107	0.12	0.179	0.169	0.245	0.21	0.107	0.12	0.179	0.169	0.245	0.21	0.107	0.12
0.327	0.366	0.355	0.367	0.264	0.2	0.327	0.366	0.355	0.367	0.264	0.2	0.327	0.366	0.355	0.367	0.264	0.2	0.327	0.366	0.355	0.367	0.264	0.2	0.327	0.366	0.355	0.367	0.264	0.2
0.698	0.757	0.679	0.724	0.524	0.418	0.698	0.757	0.679	0.724	0.524	0.418	0.698	0.757	0.679	0.724	0.524	0.418	0.698	0.757	0.679	0.724	0.524	0.418	0.698	0.757	0.679	0.724	0.524	0.418
1.4	1.468	1.3	1.446	0.378	0.127	1.4	1.468	1.3	1.446	0.378	0.127	1.4	1.468	1.3	1.446	0.378	0.127	1.4	1.468	1.3	1.446	0.378	0.127	1.4	1.468	1.3	1.446	0.378	0.127
2.5	2.5	2.5	2.3	0.357	0.368	2.5	2.5	2.5	2.3	0.357	0.368	2.5	2.5	2.5	2.3	0.357	0.368	2.5	2.5	2.5	2.3	0.357	0.368	2.5	2.5	2.5	2.3	0.357	0.368
pH1						pH2						pH3						pH4											
0.05	0.125	0.21	0.073	0.063	0.05	0.125	0.21	0.073	0.063	0.05	0.125	0.21	0.073	0.063	0.05	0.125	0.21	0.073	0.063	0.05	0.125	0.21	0.073	0.063	0.05	0.125	0.21	0.073	0.063
0.1	0.219	0.284	0.181	0.123	0.1	0.219	0.284	0.181	0.123	0.1	0.219	0.284	0.181	0.123	0.1	0.219	0.284	0.181	0.123	0.1	0.219	0.284	0.181	0.123	0.1	0.219	0.284	0.181	0.123
0.2	0.405	0.462	0.319	0.221	0.2	0.405	0.462	0.319	0.221	0.2	0.405	0.462	0.319	0.221	0.2	0.405	0.462	0.319	0.221	0.2	0.405	0.462	0.319	0.221	0.2	0.405	0.462	0.319	0.221
0.4	0.81	0.758	0.649	0.477	0.4	0.81	0.758	0.649	0.477	0.4	0.81	0.758	0.649	0.477	0.4	0.81	0.758	0.649	0.477	0.4	0.81	0.758	0.649	0.477	0.4	0.81	0.758	0.649	0.477
0.8	1.74	1.5	1.286	0.964	0.8	1.74	1.5	1.286	0.964	0.8	1.74	1.5	1.286	0.964	0.8	1.74	1.5	1.286	0.964	0.8	1.74	1.5	1.286	0.964	0.8	1.74	1.5	1.286	0.964
1.6	2.471	2.6	2.243	1.885	1.6	2.471	2.6	2.243	1.885	1.6	2.471	2.6	2.243	1.885	1.6	2.471	2.6	2.243	1.885	1.6	2.471	2.6	2.243	1.885	1.6	2.471	2.6	2.243	1.885
魚浮靈 去硫有檸						雙氧水 去硫有檸						雙氧水 去硫 1/10 1/20						沒加緩衝液											
0.03125	0.376	0.0625	0.21	0.047	0.141	0.03125	0.376	0.0625	0.21	0.047	0.141	0.03125	0.376	0.0625	0.21	0.047	0.141	0.03125	0.376	0.0625	0.21	0.047	0.141	0.03125	0.376	0.0625	0.21	0.047	0.141
0.0625	0.489	0.125	0.284	0.196	0.236	0.0625	0.489	0.125	0.284	0.196	0.236	0.0625	0.489	0.125	0.284	0.196	0.236	0.0625	0.489	0.125	0.284	0.196	0.236	0.0625	0.489	0.125	0.284	0.196	0.236
0.125	0.733	0.25	0.462	0.377	0.432	0.125	0.733	0.25	0.462	0.377	0.432	0.125	0.733	0.25	0.462	0.377	0.432	0.125	0.733	0.25	0.462	0.377	0.432	0.125	0.733	0.25	0.462	0.377	0.432
0.25	1.222	0.5	0.758	0.688	0.802	0.25	1.222	0.5	0.758	0.688	0.802	0.25	1.222	0.5	0.758	0.688	0.802	0.25	1.222	0.5	0.758	0.688	0.802	0.25	1.222	0.5	0.758	0.688	0.802
0.5	2.1	1	1.5	1.4	1.502	0.5	2.1	1	1.5	1.4	1.502	0.5	2.1	1	1.5	1.4	1.502	0.5	2.1	1	1.5	1.4	1.502	0.5	2.1	1	1.5	1.4	1.502
1	2.3	2	2.6	2.5	2.728	1	2.3	2	2.6	2.5	2.728	1	2.3	2	2.6	2.5	2.728	1	2.3	2	2.6	2.5	2.728	1	2.3	2	2.6	2.5	2.728
魚浮靈						雙氧水						沒有去除硫酸根																	
-1						0						2																	
0.5						0.4						0.24																	
0.5						0.54						0.3																	