

# 中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 化學科

佳作

080214

「鏽」除「碳」魔力~探究粉鏽銅的光催化作用

學校名稱：彰化縣鹿港鎮文開國民小學

作者：	指導老師：
小六 梁呈宇	謝淑鳳
小五 林珈妘	曾明海
小五 石凱馨	
小五 楊千又	
小五 吳柏陞	
小五 黃朝群	

關鍵詞：粉鏽銅光觸媒、光催化降解抑菌、二氧化碳轉化

# 「鏽」除「碳」魔力~探究粉鏽銅的光催化作用

## 摘要

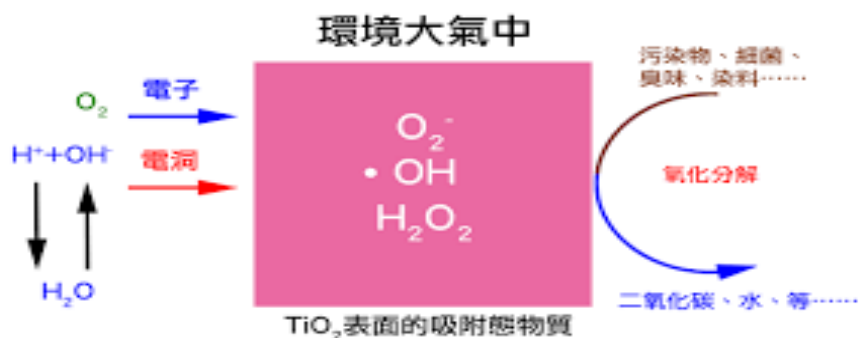
本研究探討以粉筆灰、鐵鏽、及銅粉的混燒物製成粉鏽銅光觸媒，成功運用於二氧化碳的還原、抑菌、及分解有機物。首先探討粉筆灰、鐵鏽、銅粉的最佳混和比例條件，將粉鏽銅光觸媒塗佈在玻璃片上，進行光催化功能試驗。研究中，利用高壓釜及微波爐進行鍛燒，使用自製簡易工具，用於光催化降解、抑菌、二氧化碳還原、透光度等測量。結果顯示，以粉筆灰 3 公克、鐵鏽 1 公克、及銅粉 1 公克比例燒成的光觸媒，於紫外燈 365 nm 照射 3 小時有較佳的光催化效果；將蛋白質降解最多，較能抑菌，及吸附二氧化碳轉為醇類。每天將粉鏽銅在 365nm 紫外光照射 3 小時，其光催化效率可維持至少七天。研究顯示，粉鏽銅確實有效降解有機物、抑菌，還原二氧化碳效果。

## 壹、前言

近來有關碳的議題一直在新聞及課堂上出現<取自：自然科學五下，康軒出版社，2024>。溫室效應、環境汙染、水質汙染等充斥於我們生活周遭。根據報導，環境中的各種汙染和致癌物質、微生物、懸浮微粒等，使用光觸媒分解是一個極佳的選擇，許多科學研究證實它能有效解決上述問題。光觸媒是利用光能來加速化學反應進行的催化劑，當啟動光能時，它會與附在物體表面的外來物質產生氧化或還原作用，進而達到抑菌、除汙、或還原碳的效果。

光觸媒又稱作光催化劑，是能夠加速光化學反應的催化劑，這種現象被稱為光催化。最廣泛使用的是二氧化鈦，它能靠光的能量來進行抑菌。光子具有一定能量，當照射到二氧化鈦，原子的電子吸收一定的能量後，便會從價帶躍升到導帶，而原本電子存在的地方就會出現一個帶正電的電洞。由於這種電子和電洞分別具有較強的還原性和氧化性，因此能使半導體上的物質發生氧化還原反應，將光能轉換為化學能。<取自：光催化/維基百科>

圖片 1 來源:本圖片引自：光催化/維基百科



光觸媒材料除了以二氧化鈦為基體，後來陸續研究有加入各種金屬或元素，如鋅、銅、鐵、銮、鎢、鋁、矽等，來強化其功能或改變照射光的波長。在歷屆的科展活動中，也有不少相關光觸媒研究的作品。在第 44 屆的作品“神奇的奈米光觸媒”，以二氧化鈦光觸媒，在可見光的 UV-A (365nm) 的燈管照射下，分解在 pH=3 的工廠染料廢水。第 49 屆的作品“江山鈦有人才出-以氮化鈦製備光觸媒”，利用水熱-化學電池法製備網狀光觸媒薄膜，想要改良光觸媒薄膜問題。第 52 屆的作品“鈦神奇—二氧化鈦光觸媒的製備及應用”，在玻璃球上面塗佈金屬鈦，擬解決重金屬離子、可溶於水及浮於水面的有機污染物等水質汙染問題。第 54 屆的作品“新式光觸媒奈米磁鐵分解玫瑰紅染料之研究”，採用奈米光觸媒結合奈米磁鐵對有機物質進行分解，取得更有效分解有機污染物的新方法，達到減少藥劑和回收利用的目的。第 59 屆的作品“蛋蛋的幸福-探討以蛋殼製造光觸媒在可見光照射下將  $\text{CO}_2$  還原為  $\text{CH}_3\text{OH}$  之效率”，將蛋殼回收再利用，利用水熱法及直接鍛燒法將蛋殼製成光觸媒，把二氧化碳還原成有機物，降低碳排放。第 60 屆的作品“光銮疏水-硫化銮/氧化銮光觸媒複合材料的探討與應用”，以不同比例之硫與銮於光觸媒配方中，進行鍛燒後，分析探討作為光觸媒降解染料之可行性。第 63 屆的作品“「磁」「明」無雙—磁性碘氧化銻可見光光觸媒對淨水效率之研究”，以不同化學方法自製磁性奈米粒子，並用水熱法合成可見光光觸媒碘氧化銻，再以不同比例複合出具磁性的光觸媒，用於分解工業廢水中的染料。在 2023 年臺灣國際科展，北一女的呂之甯、陳葦庭和陳品好的光催化研究，發現摻雜銅確實有助於二氧化碳的轉換。這些研究中，都有其特色，在“蛋蛋的幸福-探討以蛋殼製造光觸媒在可見光照射下將  $\text{CO}_2$  還原為  $\text{CH}_3\text{OH}$  之效率”的作品，以蛋殼製造光觸媒，將  $\text{CO}_2$  還原轉化為  $\text{CH}_3\text{OH}$ ，高雄大學化材系鍾宜璋教授以廢棄蛋殼製作光觸媒降解有機污染物，友善環境滅菌。指出蛋殼經過微波加熱處理後，可轉化為氧化鈣 ( $\text{CaO}$ )，這是一種具有多孔性的材料，非常適合作為光觸媒的基底。

## 貳、研究動機

綜合前面文獻所述，光觸媒所用的原料如氧化鐵、氧化銅、及氧化鈣(可從碳酸鈣分解生成)等都是垂手可得的廢棄物品。我們想利用這幾種隨手可得的廢棄物(如粉筆、鐵鏽、銅粉)製成光觸媒，期待能分解有機物及抑菌外，也能將空氣中的二氧化碳吸附，轉變成為有利用價值的有機物質，具有碳循環的功能。如果可以的話，就可以達到一舉數得的效果。

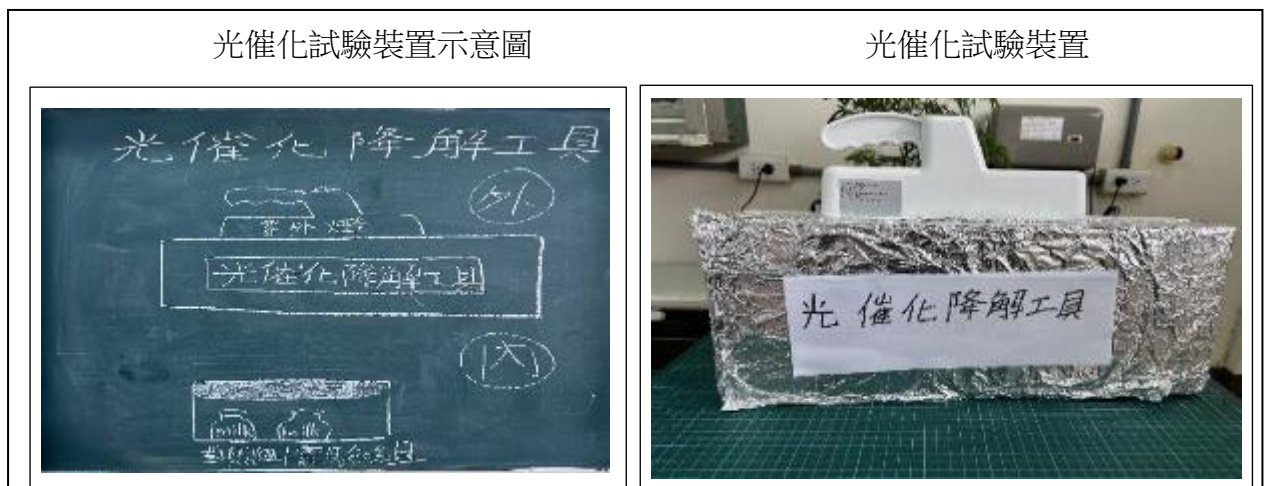
## 參、研究目的

- 一、鐵鏽、粉筆灰、銅粉如何調製成粉鏽銅光觸媒。
- 二、探究粉鏽銅的光催化降解能力。
- 三、探究粉鏽銅的光催化抑菌能力。
- 四、探究粉鏽銅的光催化二氧化碳還原能力。
- 五、探究粉鏽銅的光催化效率變化。

## 肆、研究設備與器材

### 一、研究設備

(一) 光催化試驗裝置(自組裝)：圖片 2 來源:本圖片由作者親自拍攝






#### 1. 使用材料及組裝：

- (1) 材料：365nm 紫外光燈、紙箱、鋁箔紙、膠帶
- (2) 組裝：圖片 3 來源:本圖片由作者親自拍攝



2. 操作方法：圖片 4 來源:本圖片由作者親自拍攝

		
1. 將反應物放入燒杯內	2. 再放入光催化試驗工具內	3. 打開紫外光照射反應物



(二) 抑菌能力測量工具：圖片 5 來源:本圖片由作者親自拍攝

抑菌能力測量工具示意圖	抑菌能力測量工具

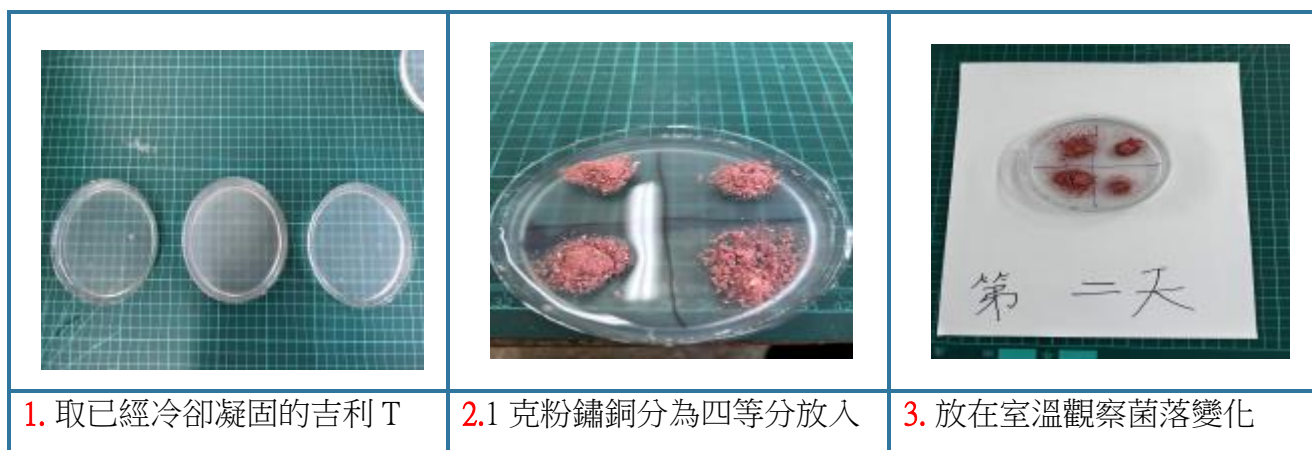
1. 使用材料及組裝：

(1) 材料：培養皿、吉利 T、玻棒、熱水

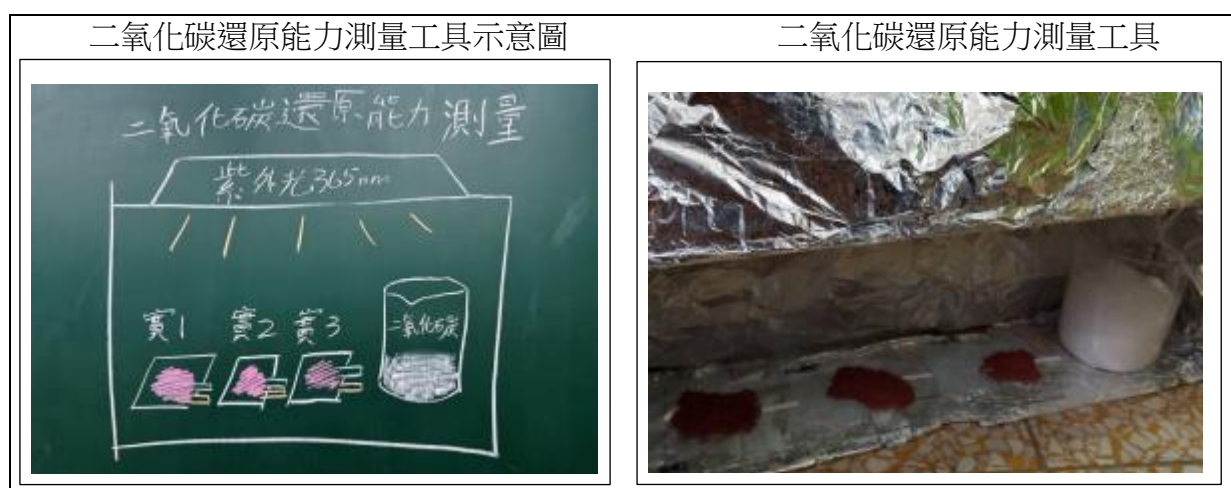
(2) 組裝：圖片 6 來源:本圖片由作者親自拍攝

		
1. 吉利丁 130 克加 370 克熱水	2. 用玻棒攪拌讓吉利 T 溶解	3. 再倒入 4 個培養皿中冷卻

2. 操作方法：圖片 7 來源:本圖片由作者親自拍攝



(三) 二氧化碳還原能力測量工具：圖片 8 來源:本圖片由作者親自拍攝



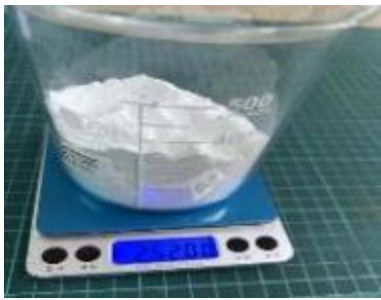


1. 使用材料及組裝：

(1) 材料：透明玻璃片、雙面膠、光催化試驗裝置、酒精試紙、廣用試紙、粉鏽銅、小蘇打粉、白醋

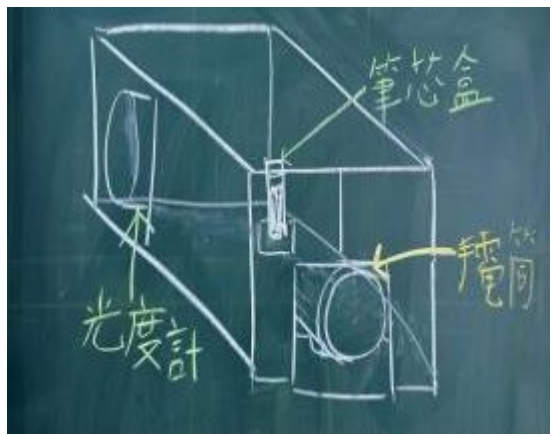
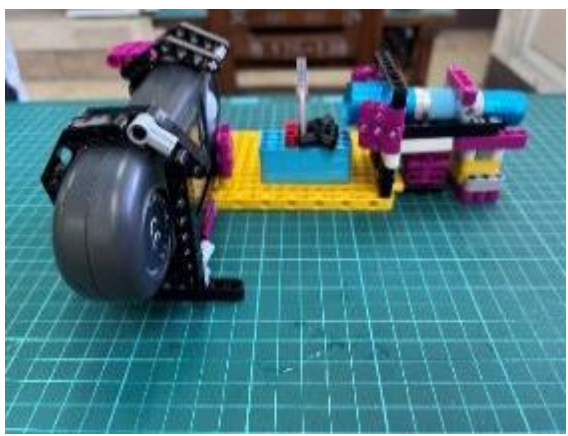
(2) 組裝：圖片 9 來源:本圖片由作者親自拍攝



2. 操作方法：圖片 10 來源:本圖片由作者親自拍攝




		
<p>1. 小蘇打粉 252g 加白醋 180g 產生二氧化碳</p>	<p>2. 塗抹光觸媒玻璃片 3 個放入試驗裝置，再放步驟 1</p>	<p>3. 膠帶封住開口並打開 UV 燈照射</p>

(四) 透光度測量工具：圖片 11 來源:本圖片由作者親自拍攝

透光度測量工具示意圖	透光度能力測量工具
	

1. 使用材料及組裝：

- (1) 材料：樂高、光度計、LED 手電筒、紙盒、筆芯盒
- (2) 組裝：圖片 12 來源:本圖片由作者親自拍攝

		
---	---	---

1. 組裝樂高底座	2. 組裝光度計及筆芯盒	3. 放上 LED 手電筒罩上紙盒 形成暗室
-----------	--------------	---------------------------

2. 操作方法：圖片 13 來源:本圖片由作者親自拍攝

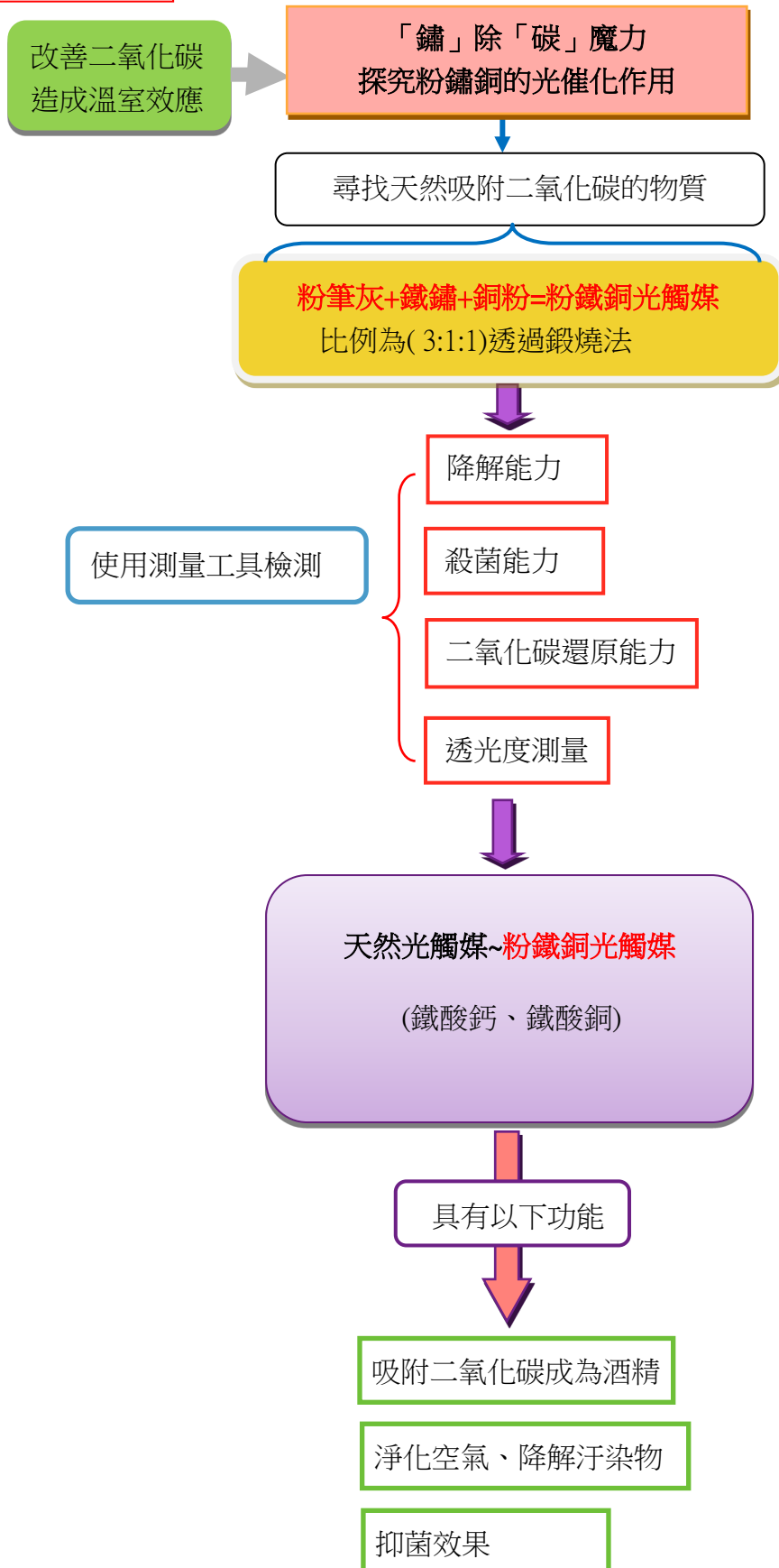
		
1.將待測液體放入筆芯盒，再放入樂高底座中	2. 打開 LED 手電筒並蓋上盒子	3.打開光度計觀察並記錄透光數值

二、材料或藥品：圖片 14 來源:本圖片由作者親自拍攝

		
樂高	牛奶/吉利 T	粉筆灰/鐵鏽/研鉢
		
藥勺/光度計/ 手電筒/筆芯盒	電子秤/pH 筆 /溫度計	小蘇打粉/白醋
		
酒精試紙/廣用試紙/蒸發皿	鋁箔紙/玻璃片/雙面膠	高壓釜
		
聯禾微波爐(功率 1100w)	燒杯/溫度計/攪拌棒/銅線	蒸餾水/洗滌瓶

## 伍、研究過程或方法

### 一、實驗流程圖



## 二、實驗 1：探討粉筆灰及鐵鏽在不同比例下加熱結果

(一) 實驗目的：粉筆灰及鐵鏽在不同比例下加熱（微波爐溫度為 180 度）後會不會變質為鹼性物質？

(二) 實驗變因：

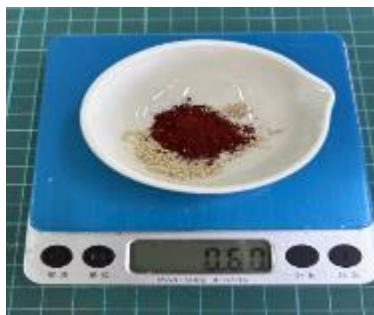
1. 操縱變因：不同比例粉筆灰及鐵鏽。
2. 控制變因：相同加熱時間及溫度。

(三) 實驗步驟：

1. 研磨粉筆灰及鐵鏽，並秤取出下列比例(粉筆灰:鐵鏽 0.8:0/0.6:0.2/0.4:0.4/0.2:0.6/0:0.8)，混合後放入蒸發皿內。
2. 微波爐預熱，五種比例的粉料，放進微波爐加熱 1 小時。
3. 粉料冷卻後加蒸餾水 16 公克攪拌均勻。溫度計檢測是否放熱並檢測 pH 值。
4. 步驟圖解：圖片 15 來源:本圖片由作者親自拍攝



1. 研磨粉筆灰及鐵鏽



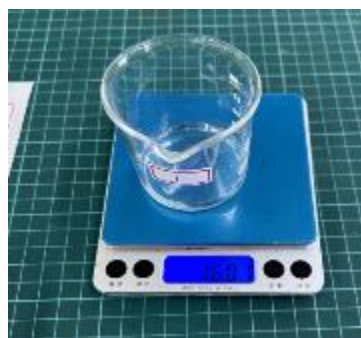
2. 秤不同比例粉筆灰及鐵鏽



3. 混合粉筆灰及鐵鏽



4. 放入微波爐進行加熱



5. 加蒸餾水 16 公克攪拌均勻



6. 檢測是否放熱及測 pH 值

### 三、實驗 2：探討粉筆灰:鐵鏽(0.6:0.2)在銅粉不同比例下加熱結果

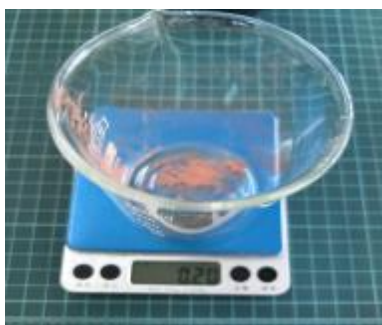
(一) 實驗目的：從資料中知道銅具有跟鐵鏽一樣的功效，所以我們加入銅粉試看看可否增強粉料的反應。(微波爐溫度為 180 度)

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：不同比例銅粉。
2. 控制變因：相同比例的粉筆灰:鐵鏽(0.6:0.2)、相同加熱時間及溫度。

(三) 實驗步驟：

1. 取粉筆灰:鐵鏽(0.6:0.2)，並加入銅粉比例 (0.1/0.2/0.3/0.4/0.5)。
2. 混合後放入蒸發皿內。
3. 微波爐預熱，五種比例的粉料，放進微波爐加熱 1 小時。
4. 粉料冷卻後，加蒸餾水 16 公克攪拌均勻。
5. 再用溫度計檢測是否放熱及用 pH 計檢測 pH 值。
6. 步驟圖解：圖片 16 來源:本圖片由作者親自拍攝



1. 秤取銅粉(0.1/0.2/0.3/0.4/0.5)



2. 和粉筆灰:鐵鏽(0.6:0.2)混合



3. 放入蒸發皿內混合



4. 放進微波爐加熱



5. 加蒸餾水 16 公克攪拌均勻



6. 檢測是否放熱及測 pH 值

#### 四、**實驗 3：粉筆灰+鐵鏽+銅粉(0.6:0.2:0.2)利用高壓釜鍛燒製成光觸媒**

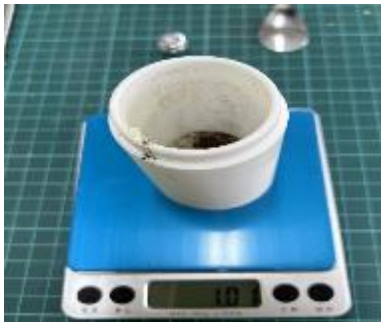





(一) 實驗目的：從資料中知道粉筆灰、鐵鏽和銅要經過高溫高壓鍛燒後，才能形成一個多功能的光觸媒系統用於降解及抑菌，以及將二氧化碳還原。(微波爐溫度為 180 度)

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：有無鍛燒。
2. 控制變因：粉筆灰/鐵鏽/銅粉比例，相同溫度相同時間。

(三) 實驗步驟：

1. 取粉筆灰:鐵鏽:銅粉(3:1:1)，混合後放入高壓釜內。
2. 微波爐預熱，放入高壓釜，微波爐加熱 1 小時。
3. 粉料冷卻後，蒸餾水 20 公克+粉鏽銅 1 公克攪拌均勻。
4. 再用溫度計檢測是否放熱及用 pH 計檢測 pH 值。
5. 步驟圖解：圖片 17 來源:本圖片由作者親自拍攝

		
1. 粉筆灰/鐵鏽/銅粉 3:1:1	2. 將粉料及 30ml 蒸餾水攪拌均勻，再放入高壓釜內	3. 放進微波爐鍛燒 1 小時
		
4. 完成鍛燒後，將粉料拿出緩慢冷卻至室溫。	5. 蒸餾水 20 公克+粉鏽銅 1 公克攪拌均勻	6. 檢測溫度及 pH 值

## 五、實驗 4：探討粉鏽銅的光催化降解反應



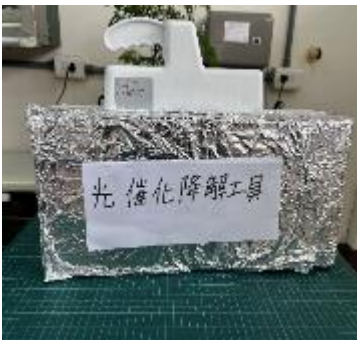

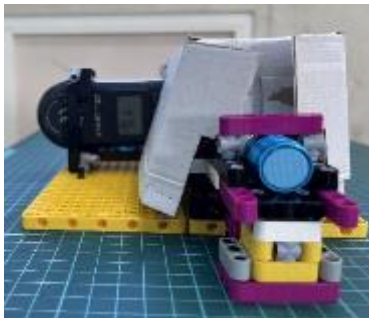
(一) 實驗目的：探討粉鏽銅在紫外光催化下，能否產生氧化還原反應，以達到降解牛奶中的有機物質，使牛奶透明度增加，牛奶中蛋白質反應呈酸性物質。

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：有無紫外光催化的粉鏽銅
2. 控制變因：粉鏽銅重量、牛奶重量

(三) 實驗步驟：

1. 粉鏽銅 1 公克加入牛奶 20 公克，放入光催化降解工具。
2. 365nm 紫外光照射，開始光催化反應，照射 1 小時，測牛奶 pH 值及透光度。
3. 粉鏽銅 1 公克牛奶 20 公克入光催化降解工具，無紫外光照射作為對照組 1。
4. 牛奶 20 公克入光催化降解工具，無紫外光照射作為對照組 2。
5. 步驟圖解：圖片 18 來源:本圖片由作者親自拍攝

		
1. 取粉鏽銅 1 公克	2. 加入牛奶 20 公克均勻混合	3. 放入光催化降解工具
		
4. 365nm 紫外光照射 1 小時	5. 測量牛奶的 pH 值	6. 測量牛奶的透光度

## 六、實驗 5：探討照射紫外光時間對粉鏽銅的光催化降解反應



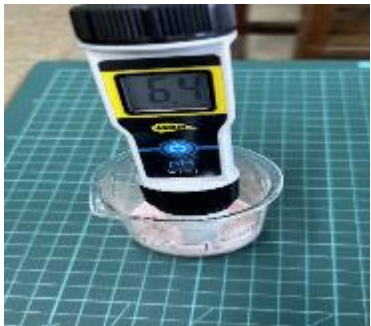
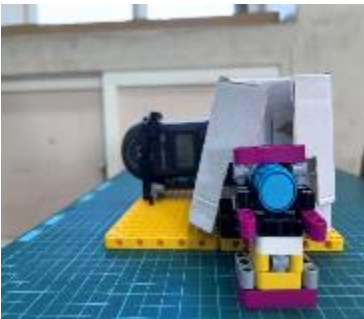
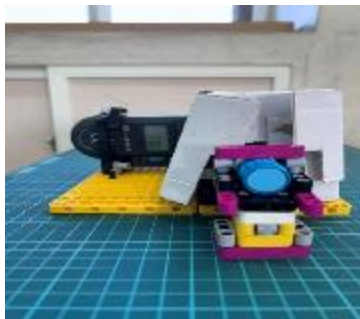
(一) 實驗目的：探討粉鏽銅在紫外光照射下，時間的長短會不會影響光催化降解反應。

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：紫外光照射時間
2. 控制變因：粉鏽銅重量、牛奶重量

(三) 實驗步驟：

1. 粉鏽銅 1 公克加入牛奶 20 公克，放入光催化降解工具。
2. 使用 365nm 紫外光照射，開始光催化反應，
3. 持續照射 1、2、3、4、5 小時，測量牛奶的 pH 值及透光度。
4. 無紫外光照射作為對照組。
5. 步驟圖解：圖片 19 來源:本圖片由作者親自拍攝

		
<p>1. 取牛奶 20 公克</p>	<p>2. 加入粉鏽銅 1 公克</p>	<p>3. 365nm 紫外光照射 1、2、3、4、5 小時</p>
		
<p>4. 測量牛奶的 pH 值</p>	<p>5. 測量牛奶的透光度</p>	<p>6. 測量對照組</p>

## 七、實驗 6：探討粉鏽銅的光催化抑菌能力







(一) 實驗目的：探討粉鏽銅在光催化下，產生具有強氧化能力的活性物質，能否破壞微生物的細胞結構，達到抑菌的目的。

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：有無粉鏽銅
2. 控制變因：紫外光 3 小時、吉利 T 濃度

(三) 實驗步驟：

1. 準備兩個透明培養皿及洋菜凍，將溶解後的洋菜凍倒入透明培養皿內。
2. 對照組：沒有粉鏽銅。實驗組：洋菜凍分四等分，放入粉鏽銅。
3. 放入暗室使用 365nm 紫外光照射，開始光催化反應，持續照射 3 小時。
4. 觀察粉鏽銅光催化後抑菌的效果。
5. 步驟圖解：圖片 20 來源:本圖片由作者親自拍攝

		
<p>1. 吉利 T 溶解後倒入透明圓盤內</p>	<p>2. 吉利 T 分四等分用吸管放入粉鏽銅</p>	<p>3. 各放入粉鏽銅</p>
		
<p>4. 另一個沒有粉鏽銅作為對照組</p>	<p>5. 放入暗室使用 365nm 紫外光照射</p>	<p>6. 粉鏽銅光催化後抑菌的效果</p>

## 八、實驗 7：探討粉鏽銅的光催化二氧化碳還原能力

(一) 實驗目的：探討粉鏽銅在光催化下，能否具有吸附及還原二氧化碳的能力，達到回收再利用的效果。

(二) 實驗變因：

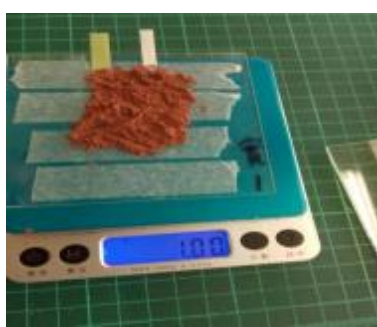
1. 操縱變因：有無照射紫外光
2. 控制變因：玻璃片重量、二氧化碳濃度

(三) 實驗步驟：

1. 反應容器內放入小蘇打粉 252 公克及白醋 180 公克，產出二氧化碳。
2. 粉鏽銅 1 公克塗在貼滿雙面膠玻璃片並貼上廣用及酒精試紙，再秤重。
3. 放入步驟 1 內，5 分鐘後再開紫外光照射，開始光催化反應持續照射 3 小時。
4. 取出玻璃片秤重，並觀察廣用及酒精試紙有無顏色變化。
5. 步驟圖解：圖片 21 來源:本圖片由作者親自拍攝



1. 沒有塗粉鏽銅貼滿雙面膠及試紙的玻璃片秤重



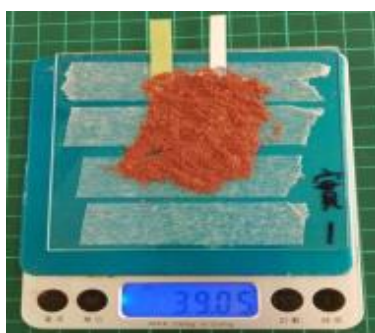
2. 粉鏽銅 1 公克塗在玻璃片上方



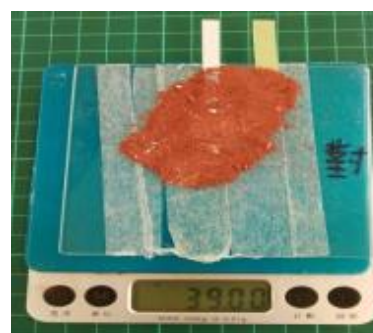
3. 使用小蘇打粉及白醋產出二氧化碳



4. 放入反應容器 5 分鐘後密封紫外光照射 3 小時



5. 實驗組玻璃片秤重觀察試紙顏色



6. 對照組玻璃片秤重觀察試紙顏色

## 九、實驗 8：探討粉鏽銅的光催化效率變化




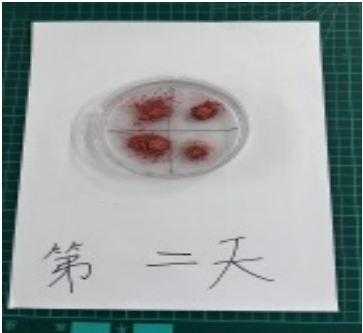

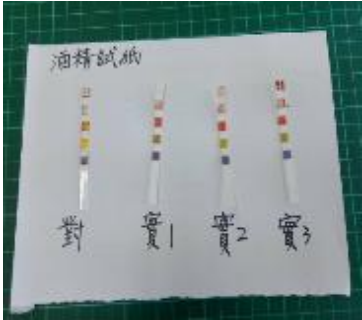
(一) 實驗目的：從實驗 6 我們發現粉鏽銅的光催化抑菌效率在第 6 天似乎下降了，於是設計此實驗探討粉鏽銅的催化效率變化。

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：催化效率
2. 控制變因：粉鏽銅重量、每日紫外光照射 3 小時

(三) 實驗步驟：

1. 連續七天進行並檢測牛奶加入粉鏽銅照紫外光 3 小時降解後的透光度變化。
2. 連續七天進行並檢測粉鏽銅洋菜凍照紫外光 3 小時後的細菌數量變化。
3. 連續七天進行並檢測粉鏽銅照紫外光 3 小時還原二氧化碳的重量變化及試紙顏色變化。
4. 步驟圖解：圖片 22 來源:本圖片由作者親自拍攝

		
<p>1. 每天進行牛奶加入粉鏽銅照 365nm 紫外光 3 小時</p>	<p>2. 進行 7 天，觀察粉鏽銅的降解效率變化</p>	<p>3. 每天進行粉鏽銅洋菜凍照 365nm 紫外光 3 小時</p>
		
<p>4. 進行 7 天，觀察粉鏽銅的抑菌效率變化</p>	<p>5. 每天進行粉鏽銅照 365nm 紫外光 3 小時還原二氧化碳</p>	<p>6. 進行 7 天，觀察粉鏽銅的還原二氧化碳效率變化</p>

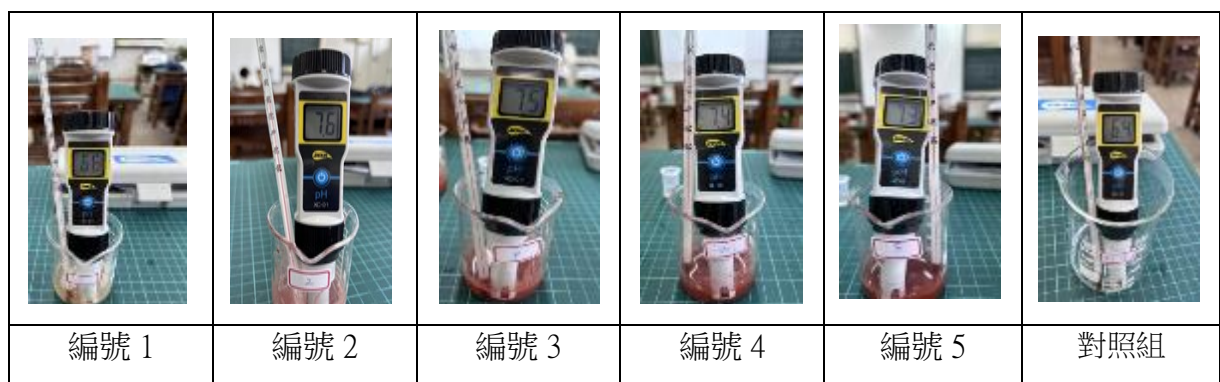
## 陸、研究結果

### 一、實驗 1：探討粉筆灰及鐵鏽在不同比例下加熱結果

#### (一) 實驗結果：

	粉 0.8g 鏽 0.0g (編號 1)	粉 0.6g 鏽 0.2g (編號 2)	粉 0.4g 鏽 0.4g (編號 3)	粉 0.2g 鏽 0.6g (編號 4)	粉 0.0g 鏽 0.8g (編號 5)	對照組 (蒸餾水)
加熱後水溫 1	22	22	22	22	22	22
加熱後水溫 2	22	22	22	22	22	22
加熱後水溫 3	22	22	22	22	22	22
平均值±標準差	22.0 ±0.00	22.0 ±0.00	22.0 ±0.00	22.0 ±0.00	22.0 ±0.00	22.0 ±0.00
pH 值 1	6.6	7.6	7.5	7.4	7.3	6.4
pH 值 2	6.5	7.6	7.4	7.4	7.3	6.3
pH 值 3	6.5	7.5	7.5	7.3	7.2	6.4
平均值±標準差	6.53±0.058	7.56±0.058	7.46 ±0.058	7.36±0.058	7.26±0.058	6.36±0.058

圖片 23 來源:本圖片由作者親自拍攝



#### (二) 結果分析：

1. 從 pH 值來看，在有鐵鏽的狀態下，粉筆灰的量越多，pH 值越高，顯示鐵鏽作為催化劑，有助於粉筆灰分解成氧化鈣。從溫度看不出變化。
2. 在五種比例中，粉筆灰/鐵鏽(0.6:0.2)的 pH 值最高，是介於 7.618-7.502 之間，所以接下來的實驗，我們都採用這個比例。







### 二、實驗 2：探討粉筆灰:鐵鏽(0.6:0.2)在銅線不同比例下加熱結果

#### (一) 實驗結果：

粉 0.6g 鏽 0.2g 銅 0.1g (編號 1)	粉 0.6g 鏽 0.2g 銅 0.2g (編號 2)	粉 0.6g 鏽 0.2g 銅 0.3g (編號 3)	粉 0.6g 鏽 0.2g 銅 0.4g (編號 4)	粉 0.6g 鏽 0.2g 銅 0.5g (編號 5)	粉 0.6g 鏽 0.2g 銅 0.0g (對照組)
--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------

加熱後水溫 1	22	22	22	22	22	22
加熱後水溫 2	22	22	22	22	22	22
加熱後水溫 3	22	22	22	22	22	22
平均值±標準差	22.0 ±0.00	22.0 ±0.00	22.0 ±0.00	22.0 ±0.00	22.0 ±0.00	22.0 ±0.00
pH 值 1	7.5	7.7	7.4	7.6	7.4	7.6
pH 值 2	7.4	7.7	7.3	7.5	7.4	7.5
pH 值 3	7.4	7.6	7.4	7.5	7.5	7.5
平均值±標準差	7.4±0.06	7.7±0.06	7.4±0.06	7.5±0.06	7.4±0.06	7.5±0.06

圖片 24 來源:本圖片由作者親自拍攝

					
編號 1	編號 2	編號 3	編號 4	編號 5	對照組

(二) 結果分析：

1. 從 pH 值的結果知道，編號 2(0.6:0.2:0.2)的 pH 值最高，介於 7.64-7.76 之間，因此我們採用粉筆灰+鐵鏽+銅粉(3:1:1)的比例來進行接下來的實驗。
2. 從溫度看不出變化。





三、

**實驗 3：粉筆灰+鐵鏽+銅粉(3:1:1)利用高壓釜製成光觸媒**

(一) 實驗結果：

	實驗組（蒸餾水 20 公克+粉料 1 公克）	對照組（蒸餾水 20 公克）
pH 值 1	7.5	6.4
pH 值 2	7.4	6.4
pH 值 3	7.6	6.4
平均值±標準差	7.50±0.100	6.40±0.000
溫度 1	25	23
溫度 2	25	23
溫度 3	25	23
平均值±標準差	25.0±0.00	23.0±0.00

圖片 25 來源:本圖片由作者親自拍攝

			
對照組	實驗組 1	實驗組 2	實驗組 3

## (二) 結果分析：







- (1) 我們使用高壓釜鍛燒後，粉鏽銅變成尖晶體狀態，而後加入水中，溫度從 23 度上升到 25 度。
- (2) 粉鏽銅在高壓釜下微波 1 小時後，經由 pH 計測量的結果顯示為平均值為  $7.50 \pm 0.100$ ，顯示粉鏽銅成為尖晶體後，有部分的鈣被固定在晶體裡。

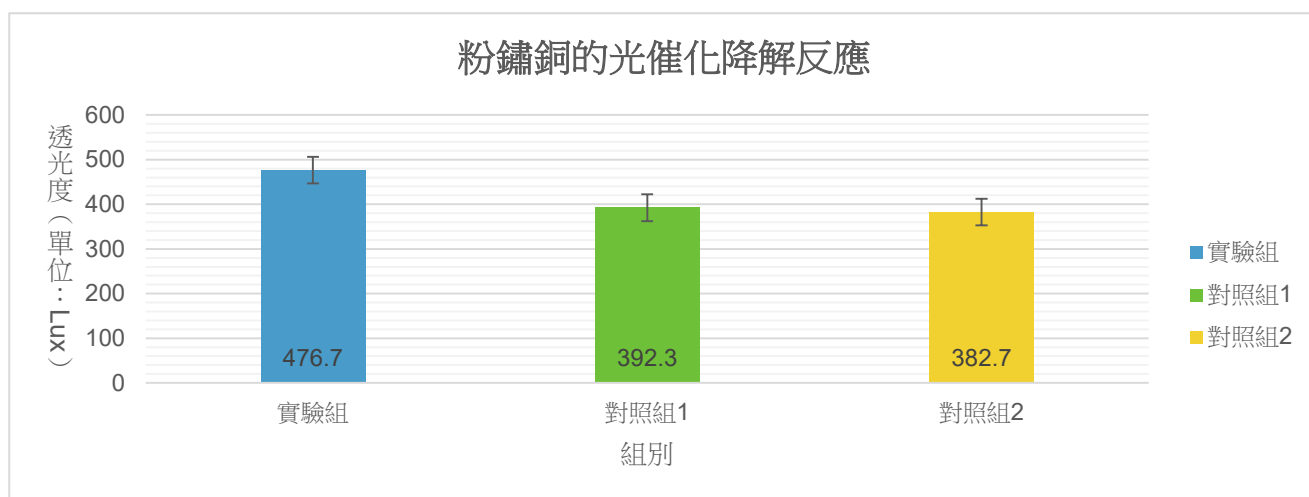
## 四、實驗 4：探討粉鏽銅的光催化降解反應

### (一) 實驗結果：

	有紫外光、有粉鏽銅 (實驗組)	無紫外光、有粉鏽銅 (對照組 1)	無紫外光、無粉鏽銅 (對照組 2)
pH 值 1	6.3	6.7	6.8
pH 值 2	6.4	6.7	6.8
pH 值 3	6.3	6.8	6.8
平均值±標準差	$6.33 \pm 0.058$	$6.73 \pm 0.058$	$6.80 \pm 0.000$
透光度 1	477	393	382
透光度 2	476	392	384
透光度 3	477	392	382
平均值±標準差	$476.7 \pm 0.58$	$392.3 \pm 0.58$	$382.7 \pm 1.15$

圖片 26 來源:本圖片由作者親自拍攝

					
有紫外光、有粉鏽銅(實驗組) pH 值	有紫外光、有粉鏽銅(實驗組) 透光度	無紫外光、有粉鏽銅(對照組 1) pH 值	無紫外光、有粉鏽銅(對照組 1) 透光度	無紫外光、無粉鏽銅(對照組 2) pH 值	無紫外光、無粉鏽銅(對照組 2) 透光度



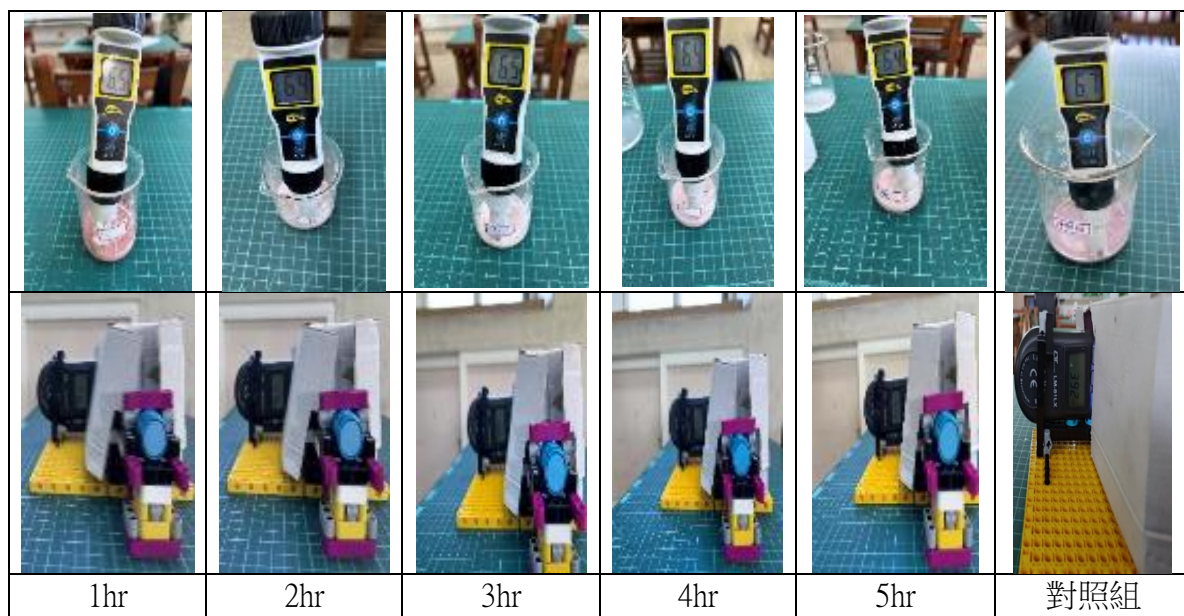
## (二) 結果分析：

- (1) 從酸鹼值來看，加入粉鏽銅的牛奶經過 365nm 紫外光催化後，pH 降低一些，顯示牛奶中一些物質被粉鏽銅降解變為酸性物質，證明粉鏽銅具有光催化降解能力。
- (2) 從透光度數值來看，粉鏽銅牛奶經過 365nm 紫外光催化後，透光度比沒有經過紫外光的粉鏽銅牛奶差距大約 100 左右，顯示牛奶中一些物質被經過 365nm 紫外光催化後的粉鏽銅分解，粒子變少，透光變高，證明粉鏽銅具有光催化降解能力。

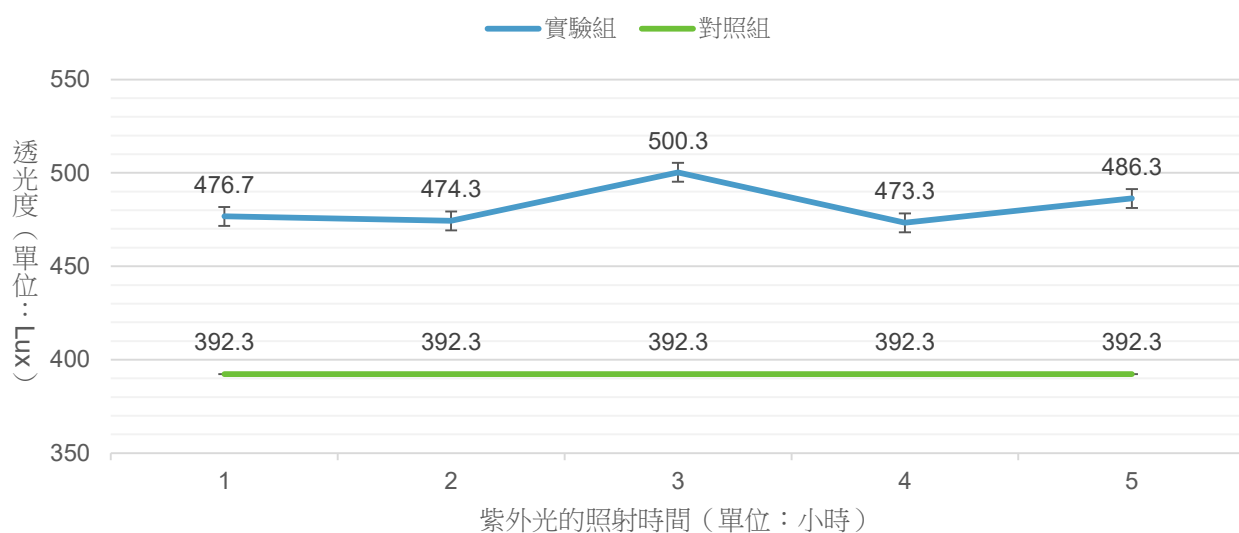
## 五、實驗 5：探討照射紫外光時間對粉鏽銅的光催化降解反應

### (一) 實驗結果：

	1hr	2hr	3hr	4hr	5hr	對照組(1~5hr)
pH 值 1	6.5	6.4	6.5	6.4	6.4	6.7
pH 值 2	6.5	6.4	6.5	6.4	6.4	6.7
pH 值 3	6.5	6.4	6.5	6.4	6.4	6.8
平均值±標準差	6.50±0.000	6.40±0.000	6.50±0.000	6.40±0.000	6.40±0.000	6.73±0.058
透光度 1	477	474	500	473	486	393
透光度 2	476	474	501	474	487	392
透光度 3	477	475	500	473	486	392
平均值±標準差	476.7±0.58	474.3±0.58	500.3±0.58	473.3±0.58	486.3±0.58	392.3±0.58



## 粉鏽銅的光催化降解反應



圖片 27 來源:本圖片由作者親自拍攝

結果分析：

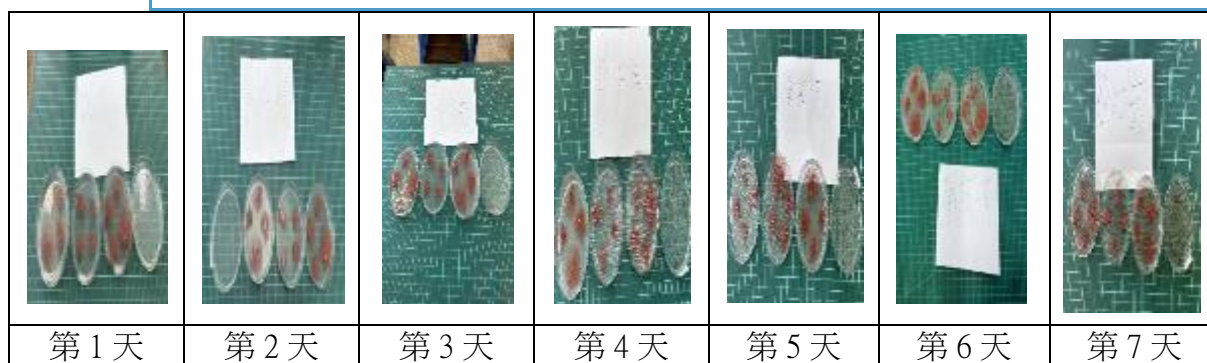
- (1) 從 pH 值來看，對照組 pH 值是  $6.73 \pm 0.058$ ，實驗組大約 6.50 比較酸一些，顯示粉鏽銅經過 365nm 紫外光催化後，把牛奶及水氧化降解了。
- (2) 從透光度來看，3 小時的透光度最好，顯示粉鏽銅經過 365nm 紫外光 3 小時催化後，能最佳化激發電子以氧化降解牛奶及水，所以接下來我們的實驗都使用 3 小時來進行 365nm 紫外光照射。

六、

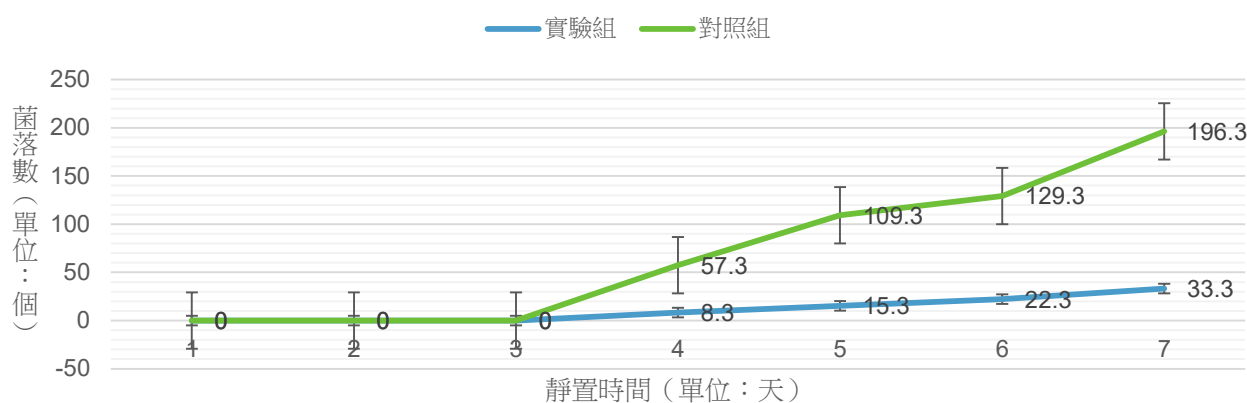
實驗 6：探討粉鏽銅的光催化抑菌能力

(一) 實驗結果：

	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天
實驗組 1	0	0	0	9	16	28	36
實驗組 2	0	0	0	7	17	17	31
實驗組 3	0	0	0	9	13	22	33
平均值±標準差	0.0±0.00	0.0±0.00	0.0±0.00	8.3±1.15	15.3±2.08	22.3±5.51	33.3±2.52
對照組 1	0	0	0	59	114	130	191
對照組 2	0	0	0	61	104	135	200
對照組 3	0	0	0	52	110	123	198
平均值±標準差	0.0±0.00	0.0±0.00	0.0±0.00	57.3±4.73	109.3±5.03	129.3±6.03	196.3±4.73



粉鏽銅的光催化抑菌能力



圖片 28 來源:本圖片由作者親自拍攝

(二) 結果分析：

- 從實驗結果來看，對照組與實驗組同時都在第 4 天長出菌，但是菌數的差異是 7 倍之多，到第 6 及第 7 天也有 5 倍多的差異，可見粉鏽銅有抑菌能力。
- 從分布的菌落來看，有粉鏽銅的培養皿，菌落分布在離開粉鏽銅的周圍，粉鏽

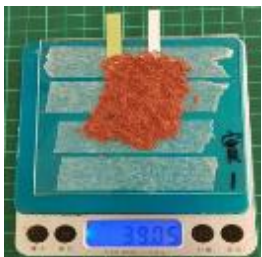
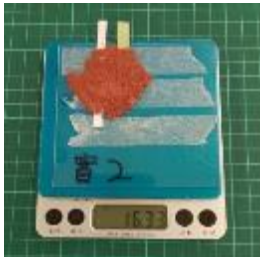
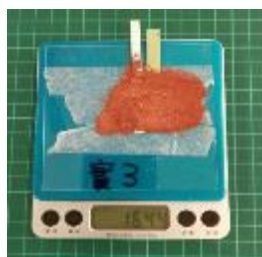
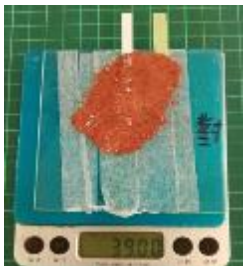
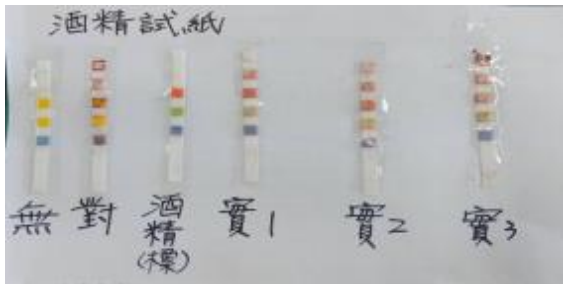
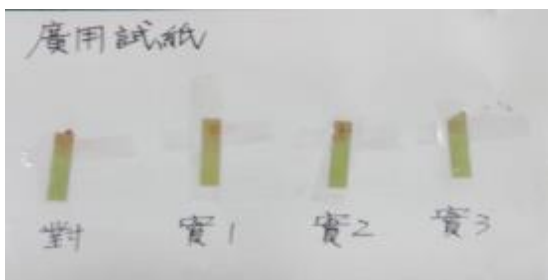
銅附近幾乎沒有菌落，粉鏽銅確實有抑菌能力。

## 七、實驗 7：探討粉鏽銅的光催化二氧化碳還原能力

### (一) 實驗結果：

	實驗組（有紫外光）	對照組（無紫外光）
酒精試紙 1	淺綠色	顏色沒變
酒精試紙 2	淺綠色	顏色沒變
酒精試紙 3	淺綠色	顏色沒變
平均值	淺綠色	顏色沒變
廣用試紙 1	顏色沒變	顏色沒變
廣用試紙 2	顏色沒變	顏色沒變
廣用試紙 3	顏色沒變	顏色沒變
平均值	顏色沒變	顏色沒變
增加的重量(g) 1	0.03	0.00
增加的重量(g) 2	0.02	0.00
增加的重量(g) 3	0.02	0.00
平均值±標準差	$0.023 \pm 0.0058$	$0.000 \pm 0.0000$

圖片 29 來源:本圖片由作者親自拍攝

			
實驗組 1 重量	實驗組 2 重量	實驗組 3 重量	對照組重量
			
酒精試紙顏色變化		廣用試紙顏色變化	

### (二) 結果分析：








- 從實驗結果分析，粉鏽銅重量增加約  $0.023 \pm 0.0058$  公克，可見二氧化碳被吸附及還原成類似酒精一樣的有機物質，使得重量有些許增加。

- (2) 從廣用試紙顏色變化來看，實驗組（有紫外光）及對照組（無紫外光）都沒有變色，顯示在混有鐵鏽下，廣用試紙顏色沒變，然 pH 稍有提升，顯示有碳酸鈣稍有被分解為氧化鈣，提升吸收累積二氧化碳能力，為觸媒轉化為醇類。
- (3) 從酒精試紙顏色變化來看，實驗組（有紫外光）有淺綠顏色變化，顯示粉鏽銅確實可以將二氧化碳吸附並還原成酒精，所以粉鏽銅光觸媒具有還原二氧化碳的能力。

## 八、實驗 8：探討粉鏽銅的光催化效率變化

### （一）實驗結果：

	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天
圖 片							
pH 值 1	6.5	6.5	6.5	6.5	6.4	6.4	6.4
pH 值 2	6.5	6.5	6.5	6.5	6.4	6.4	6.4
pH 值 3	6.5	6.5	6.5	6.5	6.4	6.4	6.4
平均值±標準差	6.50±0.000	6.50±0.000	6.50±0.000	6.50±0.000	6.40±0.000	6.40±0.000	6.40±0.000
牛奶透光度 1	733	768	880	896	1083	1084	1239
牛奶透光度 2	732	768	880	897	1082	1084	1240
牛奶透光度 3	733	769	881	896	1082	1085	1240
平均值±標準差	732.7±0.58	768.3±0.58	880.3±0.58	896.3±0.58	1082.3±0.58	1084.3±0.58	1239.7±0.58
圖 片							
洋菜凍細菌數 1	0	0	0	0	0	0	0
洋菜凍細菌數 2	0	0	0	0	0	0	0
洋菜凍細菌數 3	0	0	0	0	0	0	0
平均值±標準差	0.0±0.00	0.0±0.00	0.0±0.00	0.0±0.00	0.0±0.00	0.0±0.00	0.0±0.00

圖 片							
酒精試紙 1	淺綠色	淺綠色	淺綠色	淺綠色	淺綠色	淺綠色	淺綠色
酒精試紙 2	淺綠色	淺綠色	淺綠色	淺綠色	淺綠色	淺綠色	淺綠色
酒精試紙 3	淺綠色	淺綠色	淺綠色	淺綠色	淺綠色	淺綠色	淺綠色
平均值	淺綠色	淺綠色	淺綠色	淺綠色	淺綠色	淺綠色	淺綠色
廣用試紙 1	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變
廣用試紙 2	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變
廣用試紙 3	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變
平均值	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變
增加的重量(g) 1	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02
增加的重量(g) 2	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02
增加的重量(g) 3	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
平均值±標準差	0.023±0.0058	0.020±0.0000	0.020±0.0000	0.023±0.0058	0.023±0.0058	0.020±0.0000	0.023±0.0058

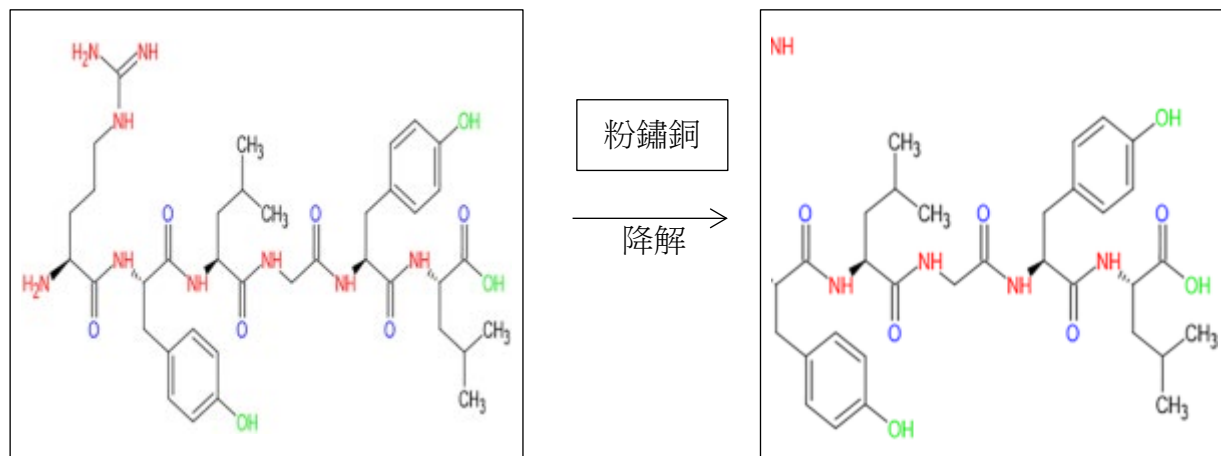
圖片 30 來源:本圖片由作者親自拍攝

## (二) 結果分析：

- (1) 從實驗結果分析，粉鏽銅 pH 值都一直維持酸性狀態，透光度也持續增加，可見得粉鏽銅光觸媒降解能力一直維持在降解狀態，可見得粉鏽銅光觸媒每天照射紫外線，降解能力至少在七天之內維持一定的效率。
- (2) 從實驗結果分析，粉鏽銅抑菌能力一直維持在無菌狀態，可見得粉鏽銅光觸媒每天照射紫外線，抑菌能力至少在七天之內維持一定的效率。
- (3) 從實驗結果分析，粉鏽銅還原二氧化碳能力增加約 0.02~0.03 公克，酒精試紙顏色也一直是淺綠色，廣用試紙顏色也一直是沒有變色，可見得粉鏽銅光觸媒每天照射紫外線，還原二氧化碳能力至少在七天之內維持一定效率。

## 柒、討論

- 一、所謂光觸媒實質上是催化劑，因光觸媒的加入可使光化學反應加速。光化學反應可分為直接照射高能量的光而分解有機物，和利用光觸媒等間接光催化降解有機物兩類。而本實驗採用的為利用光觸媒間接光催化降解有機物方式。光觸媒被紫外光激發後表面對電子具有強烈親和力，扮演著氧化劑之角色。粉鏽銅就是可以扮演光催化降解的角色。
- 二、從實驗 1 來看，鐵鏽作為催化劑，有助於粉筆灰分解成氧化鈣。實驗 2 加入銅粉後又再更催化粉筆灰分解成氧化鈣。實驗 3 放入高壓釜再放入微波爐中加熱，推論粉鏽銅變成尖晶體狀態(鐵酸鈣及鐵酸銅)，而且有部分的鈣被固定在晶體裡，氧化鈣的量沒有增加反而有些減少，所以酸鹼值降低一些。
- 三、實驗 4 中牛奶會呈現白色不透明狀的原因，是因為含有豐富的酪蛋白與鈣磷結合成膠狀粒子，粒子經過光線散射反射而形成白色。酪蛋白經過粉鏽銅光催化降解後，其結構產生降解發生改變，導致溶液散射光的能力下降，顏色變淡透光度值增加。推測其反應可能如下圖：<取自：酪蛋白/泛科學>



圖片 32 來源引自: 酪蛋白/泛科學

- 四、牛奶中的脂肪經過粉鏽銅光催化產生氧化反應後形成乙酸等酸性物質，導致溶液呈現酸性，所以實驗組測得的 pH 值 6.4 會低於對照組的 6.7，其化學反應如下：<取自：脂肪/維基百科>
- $$\text{C}_{18}\text{H}_{31}\text{O}_2\text{H}(\text{脂肪}) \xrightarrow{\text{粉鏽銅}} \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}(\text{己醛}) + \text{CH}_3\text{COOH}(\text{乙酸})$$
- 五、本研究之所以採用 365nm 紫外光照射粉鏽銅光觸媒，是因為查詢資料顯示，紫外光的波長對人體影響如下：<取自：光催化/維基百科>

等級	UV-A	UV-B	UV-C
波長	315nm~400nm	280nm~315nm	100nm~280nm
對人體的影響	過量照射會曬黑	會將皮膚曬傷，量大則會引致皮膚癌及白內障	只要照射數分鐘即會曬傷，並引起其他病變

圖片 33 來源引自: 光催化/維基百科

而光觸媒最適合的紫外光波長是 315-400nm 之間，加上對人體的影響不大，所以本研究採用 365nm 紫外光來進行實驗。

六、由實驗 5 結果來看，365nm 紫外光照射粉鏽銅光觸媒 3 小時能得到最佳反應效率，4、5 小時之後，效率開始降低，所以我們得知紫外光並不是照射越久越好。我們想知道粉鏽銅光觸媒效用是不是在每天照紫外光情況下一直維持？於是我們便設計實驗 8。

七、粉鏽銅光觸媒可以破壞細菌的生長達到抑菌效果，因為粉鏽銅光觸媒具有氧化力，能破壞細菌的細胞壁、細胞質，甚至抑制蛋白質及 DNA 的合成，使得細菌無法生長繁殖。

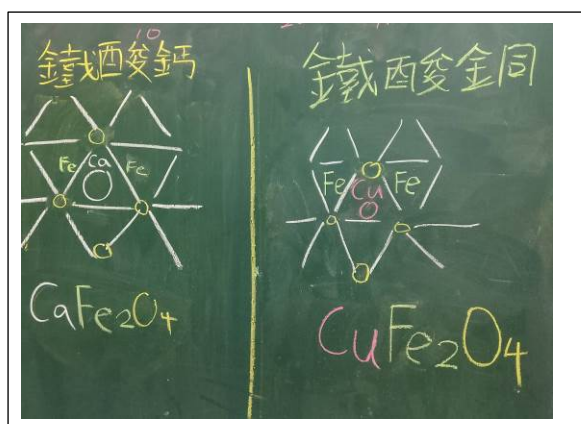
八、實驗 6 結果來看，粉鏽銅光觸媒可以破壞細菌的生長達到抑菌效果，尤其第 5 天達到最佳抑菌效果，第 6 及第 7 天抑菌效果下降一些，如果我們每天照射紫外光 3 小時，粉鏽銅光觸媒抑菌效果，可否一直持續下去？

九、實驗 7 結果來看，粉鏽銅光觸媒酒精試紙變淺綠色，廣用試紙不變色，反應後重量增加一些，可知其可以達到將二氧化碳吸附並還原成酒精效果。我們想要知道，每天照射紫外光 3 小時，粉鏽銅光觸媒將二氧化碳還原成酒精效果，可不可以一直持續下去？

十、實驗 8 結果來看，粉鏽銅光觸媒連續七天照射 365nm 紫外光 3 小時，其降解、抑菌及二氧化碳還原能力都能維持一定的效用。

十一、我們很想知道粉鏽銅光觸媒正確的成分是什麼？於是我們拜託教授將粉鏽銅光觸媒送到實驗室做 XRD 測定，結果發現粉鏽銅光觸媒成分有鐵酸銅及鐵酸鈣，經過資料蒐集知道，鐵酸銅及鐵酸鈣是製作光觸媒的材料，其結構與光電化學反應，我們繪製如下圖：

粉鏽銅光觸媒~(鐵酸銅及鐵酸鈣)結構圖



粉鏽銅光觸媒~光電化學反應



圖片 34 來源:本圖片由作者親自拍攝

## 捌、結論

經由研究後我們證實，粉筆灰 3 公克、鐵鏽 1 公克、銅粉 1 公克，鍛燒後在 365nm 紫外燈照射 3 小時確實具有光觸媒的效用，研究中的粉鏽銅光觸媒能降解牛奶中的蛋白質，使其結構發生改變，顏色變淡透光度值增加，粉鏽銅光觸媒還有抑菌效用，它可以破壞細菌生長，在第 5 天達到最佳抑菌效果，它還可以將二氧化碳吸附及還原成重量較重的有機物質，具有捕捉碳作用，並將二氧化碳還原為酒精等有用物質。另外，我們也發現粉鏽銅光觸媒每天照射 365nm 紫外光 3 小時，它的效用能持續維持至少七天以上。最後，我們做出粉鏽銅光觸媒，有別於市面上用化學合成的光觸媒產品，它是天然無毒無害的綠色優質光觸媒產品，對保護地球環境及人類生活有其助益，如果我們能將它實際使用在學校和家裡，發揮其功能，是值得推廣。

## 玖、參考資料及其他

- 一、自然科學五下，康軒出版社，2024。
- 二、國立臺灣科學教育館：<https://twsf.ntsec.gov.tw>。
- 三、蘇瓦茲，蘇老師化學黑白講，遠見天下文化出版股份有限公司，2013。
- 四、光觸媒：維基百科 <http://www.baolaifa.com/news/1377.html>
- 五、光電化學：AI 摘要 <https://www.google.com/search?>
- 六、高壓釜：維基百科 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%AB%98%E5%8E%8B%E9%87%9C>
- 七、碳酸鈣：維基百科 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%A2%B3%E9%85%B8%E9%88%A3>
- 八、酪蛋白：泛科學 <https://pansci.asia/archives/tag/%E9%85%AA%E8%9B%8B%E7%99%BD>
- 九、脂肪：維基百科 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%84%82%E8%82%AA>

## 【評語】 080214

1. 本研究以粉筆灰、鐵鏽及銅粉混合後鍛燒形成之『粉鏽銅』光觸媒作為研究核心，探討光催化降解、抑菌及二氧化碳還原能力。主題兼具環保與材料科學特色。結合金屬回收再利用及環保議題，展現良好的社會連結性與環境意識。
2. 選用粉鏽銅這種生活中易得但易忽略的材料作為光觸媒，結合太陽光資源，具良好創意潛力。
3. 研究團隊從粉鏽收集、鍛燒轉化、紫外光照射、透光度變化追蹤等步驟有系統性設計與實作。實驗流程可行性高、數據收集詳實，呈現良好的探究能力與環保意識。

作品海報

鏽

除

碳

魔

力

~探究粉鏽銅的光催化作用~

壹、研究動機

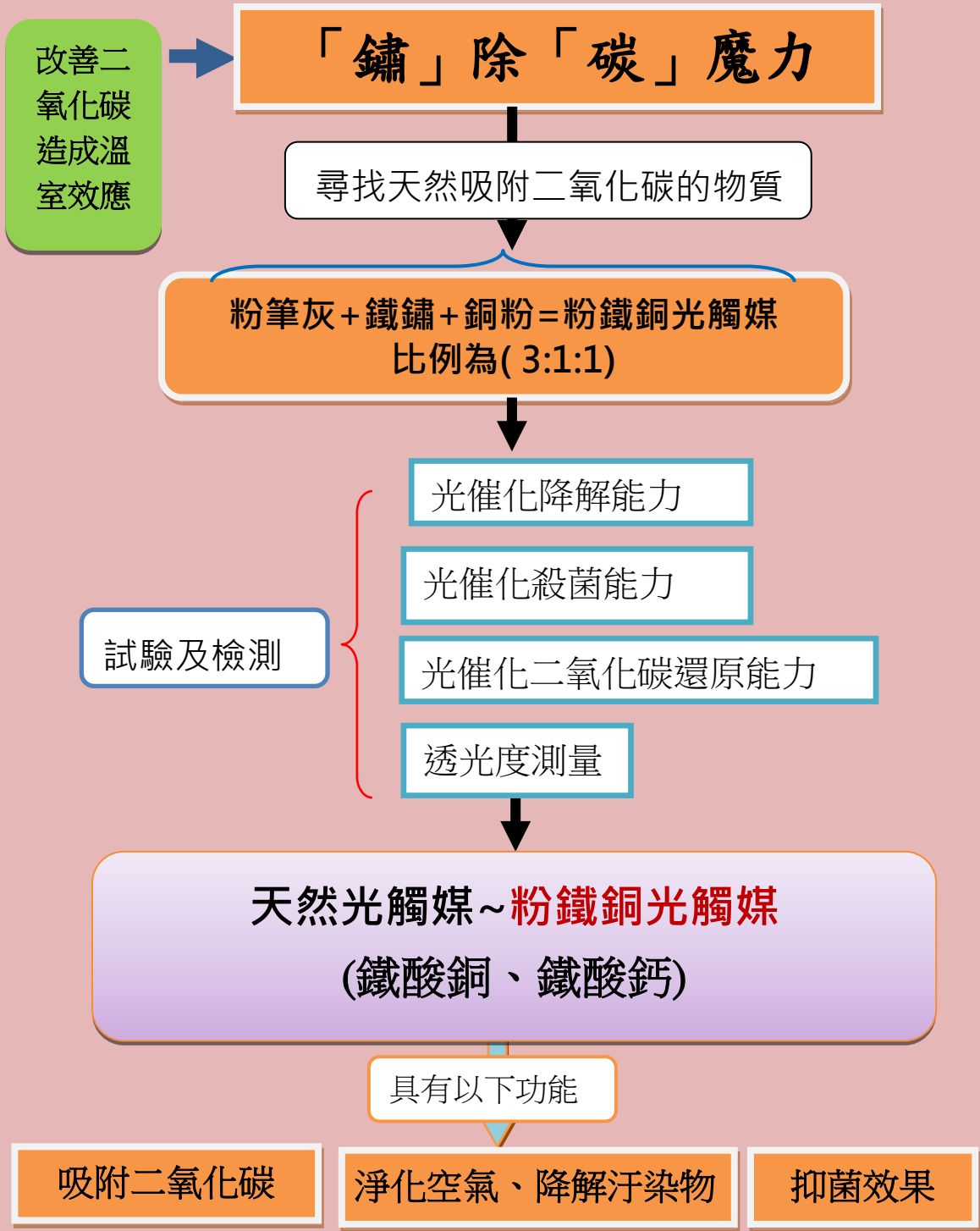
近來有關碳的議題一直在新聞及課堂上出現。溫室效應、環境汙染、水質汙染等充斥於我們生活周遭。根據報導，環境中的各種汙染和致癌物質、微生物、懸浮微粒等，使用光觸媒分解是一個極佳的選擇，許多科學研究證實它能有效解決上述問題。光觸媒是利用光能來加速化學反應進行的催化劑，當啟動光能時，它會與附在物體表面的外來物質產生氧化或還原作用，進而達到抑菌、除汙、或還原碳的效果。

我們想利用隨手可得的廢棄物製成一種光觸媒，看看能不能達到分解有機物、抑菌外，也可以將空氣中的二氧化碳吸附下來，並變成為有利用價值的有機物質，具有碳循環的功能。如果可以的話，就可以達到一舉數得的效果。

貳、研究目的

- 一、鐵鏽、粉筆灰、銅粉如何製成光觸媒。
- 二、探究粉鏽銅的光催化降解能力、光催化抑菌能力  
光催化二氧化碳還原能力。
- 三、探究粉鏽銅的光催化效率變化。

參、研究架構



伍、研究過程及方法

實驗 1：探討粉筆灰及鐵鏽在不同比例下加熱

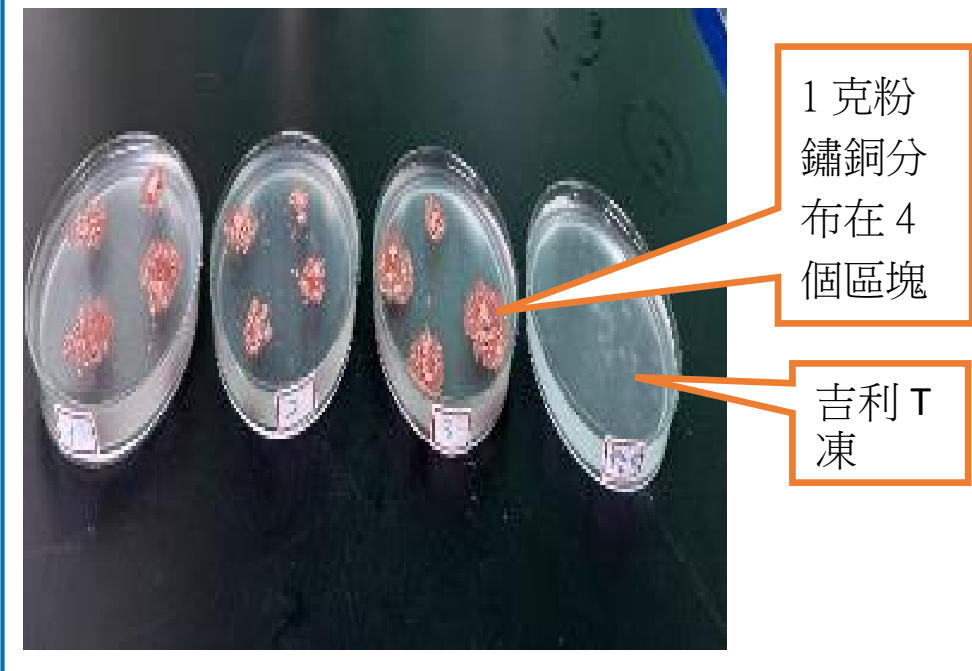
1. 實驗目的：粉筆灰及鐵鏽在不同比例下利用微波爐加熱（紅外線溫度計測得的溫度為 180 度）後會不會變為鹼性物質？
2. 實驗結果：

種類	粉 0.8g 鏽 0.0g	粉 0.6g 鏽 0.2g	粉 0.4g 鏽 0.4g	粉 0.2g 鏽 0.6g	粉 0.0g 鏽 0.8g	對照組 (蒸餾水)
水溫	22.0±0.00	22.0±0.00	22.0±0.00	22.0±0.00	22.0±0.00	22.0±0.00
pH	6.53±0.058	7.56±0.058	7.46±0.058	7.36±0.058	7.26±0.058	6.36±0.058

3. 分析與討論：
- (1)從 pH 值來看，在有鐵鏽的狀態下，粉筆灰的量越多，pH 值越高，顯示鐵鏽作為催化劑，有助於粉筆灰分解成氧化鈣。
- (2)在五種比例中，粉筆灰/鐵鏽(0.6:0.2)的 pH 值最高，是介於 7.618-7.502 之間，所以接下來的實驗，我們都採用這個比例。

肆、研究設備

抑菌能力試驗



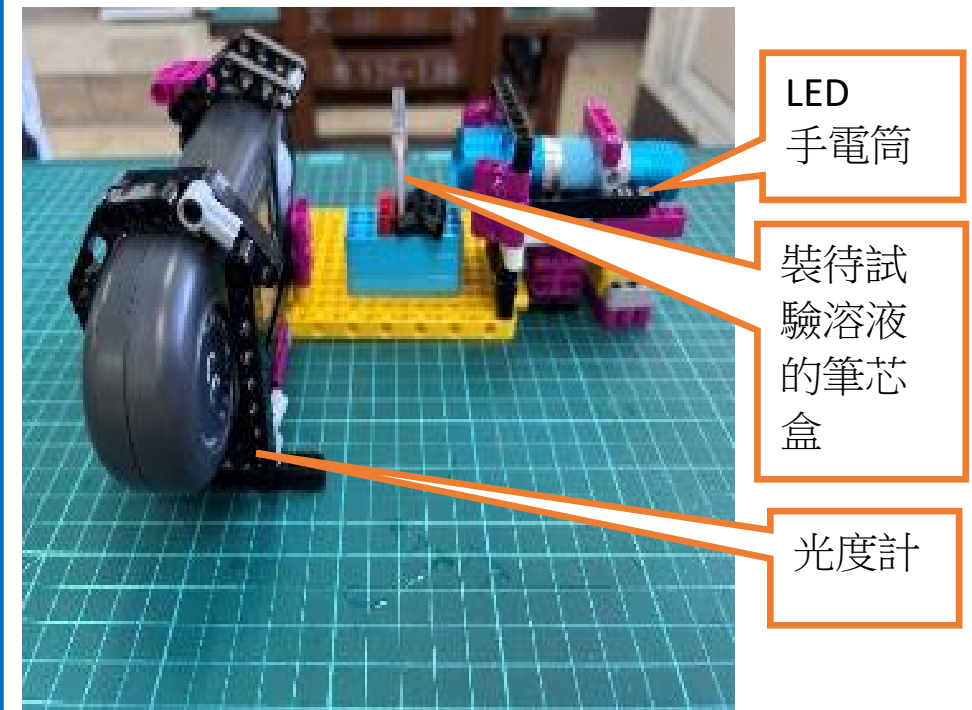
光催化試驗工具



二氧化碳還原能力試驗



透光度試驗工具



實驗 7：探討粉鏽銅的光催化二氧化碳還原能力

1. 實驗目的：探討粉鏽銅在光催化下，能否具有吸附及還原二氧化碳的能力，達到回收再利用的效果。
2. 實驗結果：

	實驗組 (有紫外光)	對照組 (無紫外光)
酒精試紙顏色	淺綠色	顏色沒變
廣用試紙顏色	顏色沒變	顏色沒變
增加重量	0.023±0.0058	0.000±0.0000

實驗組 1 重量	實驗組 2 重量	實驗組 3 重量	對照組重量
酒精試紙顏色變化		廣用試紙顏色變化	

3. 分析與討論：
- (1) 從實驗結果分析，粉鏽銅重量增加約 0.023±0.0058 公克，可見二氧化碳、水被吸附及還原成類似酒精一樣的有機物質，使得重量有些許增加。
- (2) 從酒精試紙顏色變化來看，實驗組（有紫外光）有淺綠色顏色變化，顯示粉鏽銅確實可以將二氧化碳吸附並還原成酒精，所以粉鏽銅光觸媒具有還原二氧化碳的能力。
- (3) 從廣用試紙顏色沒有變化來看，pH 值在 7~8 之間，故看不出顏色變化。

實驗 8：探討粉鏽銅的光催化效率變化

1. 實驗目的：從實驗 6 我們發現粉鏽銅的光催化抑菌效率在第 6 天似乎下降了，於是設計此實驗探討粉鏽銅的催化效率變化。
2. 實驗結果：

	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天
圖 片							
pH 值	6.50±0.000	6.50±0.000	6.50±0.000	6.50±0.000	6.40±0.000	6.40±0.000	6.40±0.000
透光度	732.7±0.58	768.3±0.58	880.3±0.58	896.3±0.58	1082.3±0.58	1084.3±0.58	1239.7±0.58
圖 片							
細菌數	0.0±0.00	0.0±0.00	0.0±0.00	0.0±0.00	0.0±0.00	0.0±0.00	0.0±0.00
圖 片							
酒精試紙	淺綠色	淺綠色	淺綠色	淺綠色	淺綠色	淺綠色	淺綠色
廣用試紙	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變	顏色沒變
重量	0.023±0.0058	0.020±0.0000	0.020±0.0000	0.023±0.0058	0.023±0.0058	0.020±0.0000	0.023±0.0058

3. 分析與討論：
- (1) 粉鏽銅 pH 值都一直維持酸性狀態，透光度也持續增加，可見得粉鏽銅光觸媒降解能力一直維持在降解狀態，可見得粉鏽銅光觸媒每天照射紫外線，降解能力至少維持七天以上。
- (2) 粉鏽銅抑菌能力一直維持在無菌狀態，可見得粉鏽銅光觸媒每天照射紫外線，抑菌能力至少維持七天以上。
- (3) 粉鏽銅還原二氧化碳能力增加約 0.02~0.03 公克，酒精試紙顏色一直是淺綠色，廣用試紙顏色一直是沒有變色，可見得粉鏽銅光觸媒每天照射紫外線，還原二氧化碳能力至少維持七天以上。

陸、討論

- 一、所謂光觸媒實質上是催化劑，因光觸媒的加入可使光化學反應加速。光化學反應可分為直接照射高能量的光而分解有機物，和利用光觸媒等間接光催化降解有機物兩類。而本實驗採用的為利用光觸媒間接光催化降解有機物方式。光觸媒被紫外光激發後表面對電子具有強烈親和力，扮演氧化及還原之角色。粉鏽銅就是可以扮演光催化降解的角色。
- 二、從實驗 1 來看，鐵鏽作為催化劑，有助於粉筆灰分解成氧化鈣。實驗 2 加入銅粉後又再更催化粉筆灰分解成氧化鈣。實驗 3 放入高壓釜再放入微波爐中加熱，推論粉鏽銅變成尖晶體狀態(鐵酸鈣及鐵酸銅)，而且有部分的鈣被固定在晶體裡，氧化鈣的量沒有增加反而有些減少，所以酸鹼值降低一些。
- 三、實驗 4 中牛奶會呈現白色不透明狀的原因，是因為含有豐富的酪蛋白與鈣磷結合成膠狀粒子，粒子經過光線散射反射而形成白色。酪蛋白經過粉鏽銅光催化降解後，其結構產生降解發生改變，導致溶液散射光的能力下降，顏色變淡透光度值增加。
- 四、牛奶中的脂肪經過粉鏽銅光催化產生氧化反應後形成乙酸等酸性物質，導致溶液呈現酸性，所以實驗組測得的 pH 值 6.4 會低於對照組的 6.7。
- 五、採用 365nm 紫外光照射粉鏽銅光觸媒，是因為查詢資料顯示，紫外光的波長對人體影響如下：

等級	UV-A	UV-B	UV-C
波長	315nm~400nm	280nm~315nm	100nm~280nm
對人體的影響	過量照射會曬黑	會將皮膚曬傷，量大則會引致皮膚癌及白內障	只要照射數分鐘即會曬傷，並引起其他病變

- 而光觸媒最適合的紫外光波長是 315-400nm 之間，加上對人體的影響不大，所以本研究採用 365nm 紫外光來進行實驗。
- 六、由實驗 5 結果來看，365nm 紫外光照射粉鏽銅光觸媒 3 小時能得到最佳反應效率，4、5 小時之後，效率開始降低，所以我們得知紫外光並不是照射越久越好。
- 七、粉鏽銅光觸媒可以破壞細菌的生長達到抑菌效果，因為粉鏽銅光觸媒具有氧化力，能破壞細菌的細胞壁、細胞質，抑制蛋白質及 DNA 的合成，使得細菌無法生長繁殖。
- 八、實驗 6 結果來看，粉鏽銅光觸媒可以破壞細菌的生長達到抑菌效果，尤其第 5 天達到最佳抑菌效果，第 6 及第 7 天抑菌效果下降一些，如果我們每天照射紫外光 3 小時，粉鏽銅光觸媒抑菌效果，可否一直持續下去？
- 九、實驗 7 結果來看，粉鏽銅光觸媒酒精試紙變淺綠色，廣用試紙不變色，反應後重量增加一些，可知其可以達到將二氧化碳吸附並還原成酒精效果。我們想要知道，每天照射紫外光 3 小時，粉鏽銅光觸媒將二氧化碳還原成酒精效果，可不可以一直持續下去？
- 十、實驗 8 結果來看，粉鏽銅光觸媒連續七天照射 365nm 紫外光 3 小時，其降解、抑菌及二氧化碳還原能力都能維持一定的效用。
- 十一、我們拜託教授將粉鏽銅光觸媒送到實驗室做 XRD 測定，結果發現粉鏽銅光觸媒成分有鐵酸銅及鐵酸鈣，經過資料蒐集知道，鐵酸銅及鐵酸鈣是製作光觸媒的材料，其結構與光電化學反應，我們繪製如下圖：

(鐵酸銅及鐵酸鈣)結構圖

光電化學反應

柒、結論

經由研究後我們證實，粉筆灰 3 公克、鐵鏽 1 公克、銅粉 1 公克，加熱後在 365nm 紫外燈照射 3 小時確實具有光觸媒的效用，研究中的粉鏽銅光觸媒能降解牛奶中的蛋白質，使其結構發生改變，顏色變淡透光度值增加，粉鏽銅光觸媒還有抑菌效用，它可以破壞細菌生長，在第 5 天達到最佳抑菌效果，它還可以將二氧化碳吸附及還原成重量較重的有機物質，具有捕捉碳作用，並將二氧化碳還原為酒精等有用物質。另外，我們也發現粉鏽銅光觸媒每天照射 365nm 紫外光 3 小時，它的效用能持續維持至少七天以上。最後，我們做出粉鏽銅光觸媒，有別於市面上用化學合成的光觸媒產品，它是天然無毒無害的綠色優質光觸媒產品，對保護地球環境及人類生活有其助益，如果我們能將它實際使用在學校和家裡，發揮其功能，是值得推廣。

實驗 2：探討粉筆灰:鐵鏽(0.6:0.2)在銅粉不同比例加熱結果

1. 實驗目的：從資料中知道銅粉具有跟鐵鏽一樣的功效  
所以我們加入銅粉試看看可否增強粉料的反應。（微波爐加熱溫度經由紅外線溫度計測得為 180 度）

實驗 3：粉筆灰/鐵鏽/銅粉(0.6:0.2:0.2)用高壓釜製成光觸媒

1. 實驗目的：從資料中知道粉筆灰、鐵鏽和銅粉經過高壓釜加熱後，較能形成一個多功能的光觸媒系統用於降解及抑菌，以及將二氧化碳還原。
2. 實驗結果：（蒸餾水 20 公克+粉鏽銅 1 公克）

種類	實驗組 1	實驗組 2	實驗組 3	對照組
pH	7.5	7.4	7.6	6.4
溫度	25	25	25	23

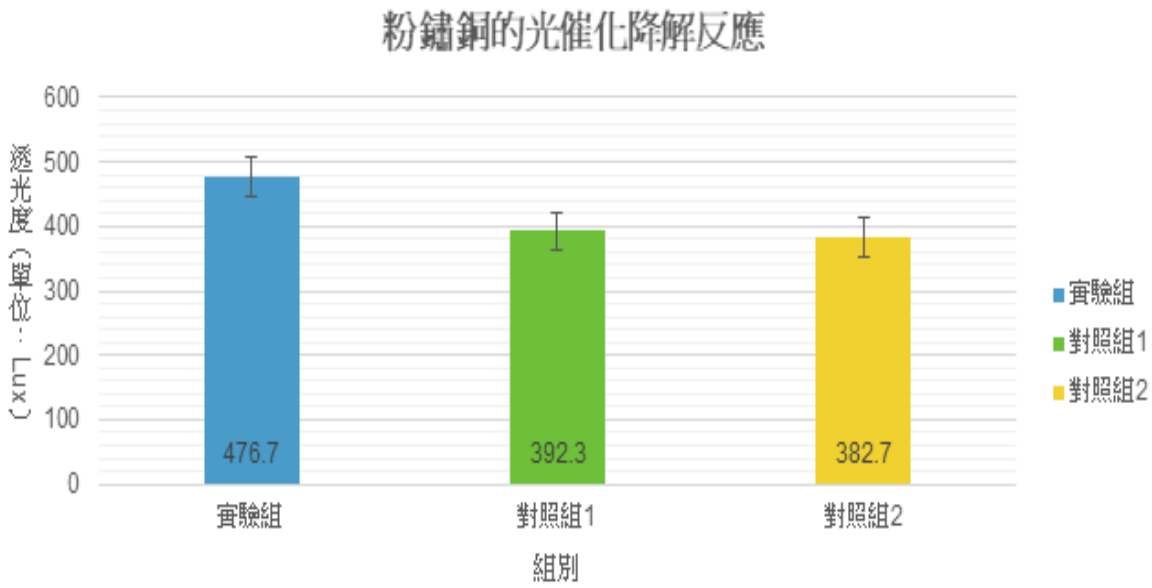
3. 分析與討論：
- (1)我們使用高壓釜後，推測粉鏽銅變成尖晶體狀態，而後加入水中，溫度從 23 度上升到 25 度。
- (2)粉鏽銅在高壓釜下加熱 1 小時後，經由 pH 計測量的結果顯示為平均值為 7.50±0.100，比實驗 2 還要低一些，顯示粉鏽銅成為尖晶體後，有部分的鈣被固定在晶體裡。

實驗 4：探討粉鏽銅的光催化降解反應

實驗目的：探討粉鏽銅在紫外光催化下，能否產生氧化還原反應，以達到降解牛奶中的有機物質，使牛奶透明度增加，牛奶中蛋白質反應呈酸性物質。

2. 實驗結果：

種類	有紫外光、有粉鏽銅（實驗組）	無紫外光、有粉鏽銅（對照組 1）	無紫外光、無粉鏽銅（對照組 2）
pH	6.33±0.058	6.73±0.058	6.80±0.000
透光度	476.7±0.58	392.3±0.58	382.7±1.15



3. 分析與討論：

- (1)從酸鹼值來看，加入粉鏽銅的牛奶經過 365nm 紫外光催化後，pH 降低一些，顯示牛奶中一些物質被粉鏽銅降解變為酸性物質，證明粉鏽銅具有光催化降解能力。
- (2)從透光度數值來看，粉鏽銅牛奶經過 365nm 紫外光催化後，透光度比沒有經過紫外光的粉鏽銅牛奶差距大約 100 左右，顯示牛奶中一些物質被經過 365nm 紫外光催化後的粉鏽銅分解，粒子變少，透光變高，證明粉鏽銅具有光催化降解能力。

2. 實驗結果：

種類	粉 0.6g 鏽 0.2g 銅 0.1g (編號 1)	粉 0.6g 鏽 0.2g 銅 0.2g (編號 2)	粉 0.6g 鏽 0.2g 銅 0.3g (編號 3)	粉 0.6g 鏽 0.2g 銅 0.4g (編號 4)	粉 0.6g 鏽 0.2g 銅 0.5g (編號 5)	粉 0.6g 鏽 0.2g 銅 0.0g (對照組)
水溫	22.0±0.00	22.0±0.00	22.0±0.00	22.0±0.00	22.0±0.00	22.0±0.00
pH	7.4±0.06	7.7±0.06	7.4±0.06	7.5±0.06	7.4±0.06	7.5±0.06

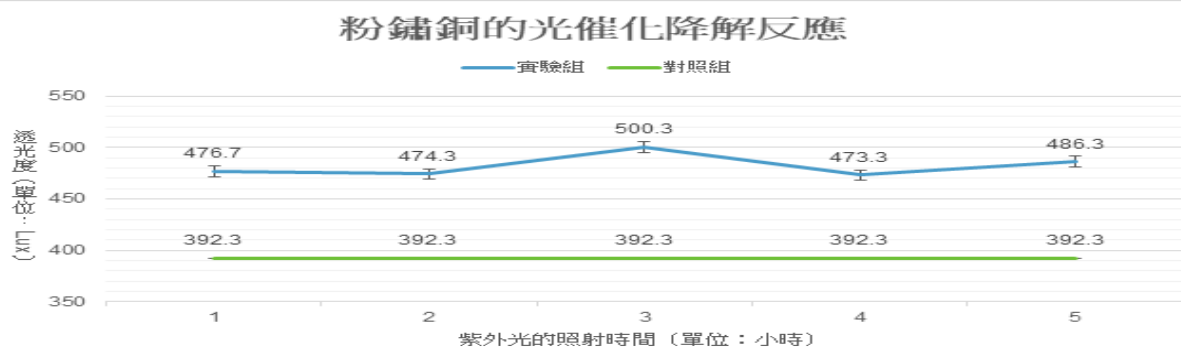
3. 分析與討論：

- (1)從 pH 值結果知道，編號 2(0.6:0.2:0.2)的 pH 值最高介於 7.64-7.76 之間，因此我們採用粉筆灰+鐵鏽+銅粉(3:1:1)的比例來進行接下來的實驗。
- (2)溫度沒有變化，推測可能是水太多，粉鏽銅太少，造成放熱情形不明顯。

實驗 5：探討照射紫外光時間對粉鏽銅的光催化降解反應

1. 實驗目的：探討粉鏽銅在紫外光照射下，時間的長短會不會影響光催化降解反應。
2. 實驗結果：

	1hr	2hr	3hr	4hr	5hr	對照組
pH 值	6.50±0.000	6.40±0.000	6.50±0.000	6.40±0.000	6.40±0.000	6.73±0.058
透光度	476.7	474.3	500.3	473.3	486.3	392.3
平均	±0.58	±0.58	±0.58	±0.58	±0.58	±0.58



3. 分析與討論：

- (1)從 pH 值來看，對照組 pH 值是 6.73±0.058，實驗組大約 6.50 比較酸一些，顯示粉鏽銅經過 365nm 紫外光催化後，把牛奶及水氧化降解了。
- (2)從透光度來看，顯示粉鏽銅經過 365nm 紫外光 3 小時催化後，能最佳化激發電子以氧化降解牛奶及水，所以接下來我們的實驗都使用 3 小時來進行 365nm 紫外光照射。

實驗 6：探討粉鏽銅的光催化抑菌能力

1. 實驗目的：探討粉鏽銅在光催化下，產生具有強氧化能力的活性物質，能否破壞微生物的細胞結構，達到抑菌的目的。
2. 實驗結果：

	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天
實	0.0±0.00	0.0±0.00	0.0±0.00	8.3±1.15	15.3±2.08	22.3±5.51	33.3±2.52
對	0.0±0.00	0.0±0.00	0.0±0.00	57.3±4.73	109.3±5.03	129.3±6.03	196.3±4.73



3. 分析與討論：

- (1)從實驗結果來看，對照組與實驗組同時都在第 4 天長出菌，但是菌數的差異是 7 倍之多，到第 6 及第 7 天也有 5 倍多的差異，可見粉鏽銅確實有抑菌能力。
- (2)從分布的菌落來看，有粉鏽銅的培養皿，菌落分布在離開粉鏽銅的周圍，粉鏽銅附近幾乎沒有菌落，粉鏽銅確實有抑菌能力。