

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 化學科

第二名

團隊合作獎

080203

「葉」「銅」學來殺菌

學校名稱：新竹縣竹北市興隆國民小學

作者：  小六 楊淨霽  小五 林立喆  小六 鄭羽辰  小六 江子維  小六 范鈞硯  小六 張馨云	指導老師：  葉雅宜  洪聖偉
---	-----------------------------

關鍵詞：葉綠素、硫酸銅廢液、置換反應

## 摘要

本研究利用葉綠素卟啉環內的鎂離子置換成銅離子來處理硫酸銅廢液，鎂銅離子的置換目前均使用萃取法，本研究透過實驗確認可以使用葉片的原型來置換，大大減少了廢液處理手續。除了具有表皮蠟質的葉片置換速度較慢，其他葉片結構皆不影響。透過比色法計算出移除率，加上硫化鈉檢驗，確認此方式可以完全去除銅離子。檢測置換後的葉片在土壤中與不同 pH 值的水中，銅離子皆不會再度釋出。

藍綠菌是有葉綠素的微生物，實驗發現藍綠菌鎂銅離子的置換速度優於陸生植物，間隔三天在優養化水域倒入 0.05% 硫酸銅溶液，15 天後水域濁度下降到 4NTU 以下，水生動植物則不受影響。利用葉綠素鎂銅離子的置換可以處理硫酸銅廢液，還能去除藍綠菌，可以說是一舉兩得。

## 壹、研究動機

自然課上「防鏽與防腐」這個單元時，老師在課堂上示範電鍍的過程給我們看，下課後老師說電鍍後的硫酸銅廢液要經過處理無法直接倒入洗手槽中，我們詢問了老師廢液的處理方式，想知道除了目前的方法之外，是否有更好簡單的方法可以處理實驗後所剩的廢液。

## 貳、實驗目的

- 一、了解目前處理硫酸銅廢液的方法
- 二、試著找出新的硫酸銅廢液處理辦法
- 三、確認新的廢液處理方法有效可行
- 四、改良新的廢液處理方法取利避害

### 研究架構：

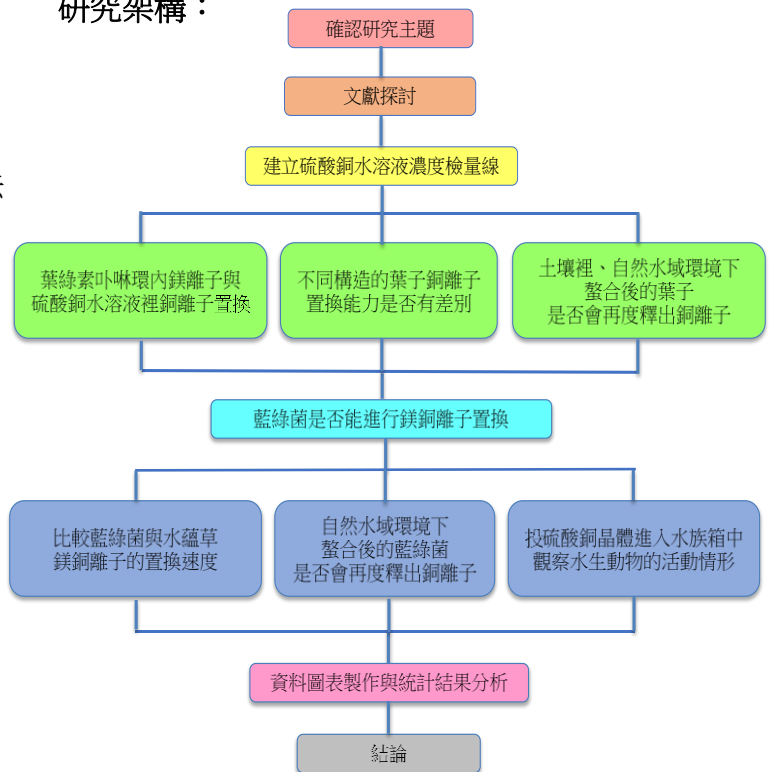


圖 2-1-1 研究架構

## 參、研究設備及器材

表 3-1-1 設備及器材



圖 3-1-1  
濁度計



圖 3-1-2  
磁石攪拌器



圖 3-1-3  
pH 值檢測器



圖 3-1-4  
廣用試紙



圖 3-1-5  
燒杯



圖 3-1-6  
實驗室電子秤



圖 3-1-7  
一般電子秤



圖 3-1-8  
定性濾紙



圖 3-1-9  
量筒



圖 3-1-10  
漏斗



圖 3-1-11  
氫氧化鈉



圖 3-1-12  
鹽酸



圖 3-1-13  
硫化鈉



圖 3-1-14  
乙酸



圖 3-1-15  
五合水硫酸銅



圖 3-1-16  
鋁箔紙



圖 3-1-17  
無粉乳膠手套



圖 3-1-18  
平板電腦



圖 3-1-19  
魚缸



圖 3-1-20  
不鏽鋼網篩

## 肆、研究方法與過程

### 一、文獻探討：

目前廢水中銅離子的去除，大致上常用以下三種方法，資料來源為經濟部工業局（2009）〈硫酸銅廢液再利用技術〉一文，我們整理成下表：

表 4-1-1 廢水中銅離子的去除方法比較

方法	步驟	缺點
化學沉澱去除法	於廢水中添加氫氧化鈉、氫氧化鈣等鹼劑，以調高 pH 值（一般為 9~10），讓銅離子形成不溶性之氫氧化物，再添加聚合物以形成較大具黏性的小顆粒後等它沉降再去除。	1.需藉經過多次的化學形態的轉化才能回收利用。 2.耗費大量藥品。
硫化物沉澱法	讓銅離子和硫離子反應生成難溶的金屬硫化物沉澱，然後再過濾分離。	硫化物沉澱顆粒細小，需要添加化學藥劑輔助沉澱，使處理費用增加。硫化物在酸性溶液裡還會產生有毒的氣體。

方法	步驟	缺點
化學銅廢液	1. 硫酸亞鐵處理法：先加入硫酸亞鐵，將銅離子從螯合劑中分離，再用重金屬化學沉降去除。 2. 鈣鹽處理法：原理同上。 3. 硼氫化鈉還原法：利用該強還原劑將銅離子從螯合劑中分離，再用重金屬化學沉降去除。 4. 鋁沉積法：加入鋁使成電荷交換，使銅離子還原為金屬銅沉積析出。	1. 單一的化學沈澱法難以符合污水排放標準。 2. 必須還要配合其他處理方法一起操作，使得處理費用增加。

使用化學沉澱法雖然銅有較高純度，但不容易還原再次利用，利用電解法也因為溶液銅離子濃度低，因此銅的回收也不容易。若要再次回收硫酸銅晶體，處理的步驟多且繁複。

我們在學校是使用「鋁沉積法」來處理硫酸銅廢液，加入了鋁箔紙反應之後，硫酸銅水溶液外表看起來的確是變澄清了，但是加入硫化鈉下去檢驗，還是會產生黑色沈澱物（CuS），代表裡面還是有銅離子。



圖 4-1-1

電鍍後的硫酸銅廢液裡加入鋁箔紙進行「鋁沉積法」



圖 4-1-2

加入了鋁箔紙反應之後，硫酸銅水溶液變澄清了



圖 4-1-3

澄清的水溶液，加入硫化鈉進行檢測，還是有硫化銅黑色沈澱物

我們詢問老師是否有生物處理的方法，老師說葉綠素中的卟啉環在天然的环境下螯合鎂離子，但是也能與其他正二價金屬離子置換，硫酸銅裡的銅離子就是正二價金屬離子，或許我們可以試試看這辦法。

葉綠素的化學式結構

銅離子進入卟啉環中置換鎂離子

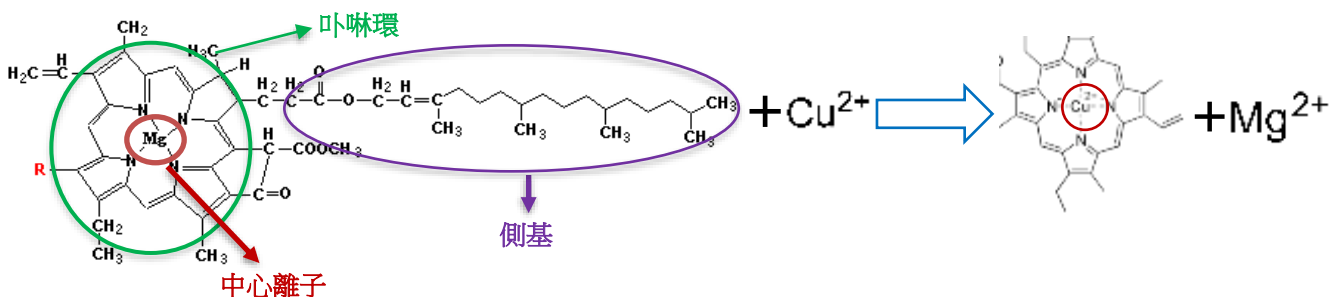


圖 4-1-4 銅離子置換鎂離子螯合卟啉環示意圖

經過文獻探討我們歸納出兩個重點：

- (一) 目前常見去除銅離子的方法各有優缺點，但是對於在學校數量不多的實驗廢液，這些方法都過於繁瑣與花費較多。
- (二) 葉綠素卟啉環內的鎂離子可以被銅離子置換，我們可以用這個方法來去除廢液內的銅離子。

## 二、 實驗流程與方法

本研究有八項實驗，各實驗步驟詳述如下：

### (一) 建立硫酸銅水溶液濃度檢量線

#### 實驗說明：

因為我們沒有儀器測定銅離子的濃度，於是我們選擇用「比色法」來建立硫酸銅水溶液濃度的檢量線。曾耀寰（2018.8）在<智慧手機在比色法濃度檢驗的運用>此論文中指出光通過介質會有各種的交互作用，而光被吸收的多寡和通過介質的距離，以及介質濃度有關，主要的理論來自「朗伯比爾定律」。

#### 實驗步驟：

1. 取一紙箱，交界邊緣用絕緣膠帶貼起避免光線進入，當作暗房。
2. 紙箱上方挖開一個與燒杯口相同大小的圓孔，以利樣本水溶液放入。
3. 紙箱左邊固定平板電腦，右邊固定手機，平板電腦與手機皆需下載 colorimeter app，平板電腦設定為  $R = 255$ ， $G = 1$ ， $B = 1$ ，讓平板只發出紅光，當作初始光源強度  $I_0$ 。
4. 因為此數據是為對照組，所以用來調製硫酸銅的蒸餾水必須先浸泡過葉子七天，與實驗反應時間相同，再用浸泡過葉子的蒸餾水來調製硫酸銅水溶液。
5. 放入 3%、6%、9%、12%、15% 等濃度的硫酸銅水溶液，按下手機拍照，即可取得 R 值，每個 R 值為最接近中點三個讀數的平均值。
6. 記錄數據並計算出吸收度，畫出此線斜率即為本研究的銅離子濃度檢量線。



圖 4-2-1

拿一個紙箱當暗房，在紙箱上開一個圓孔可以放入一個燒杯大小



圖 4-2-2

在紙箱的左邊固定平板，平板固定  $R = 255$ ， $G = 1$ ， $B = 1$



圖 4-2-3

用來調製硫酸銅的蒸餾水必須先浸泡過葉子，再用浸泡過葉子的蒸餾水來調製硫酸銅水溶液



圖 4-2-4

手機固定在紙箱的右邊，固定距離，紙箱上方的圓孔放入不同濃度的硫酸銅水溶液

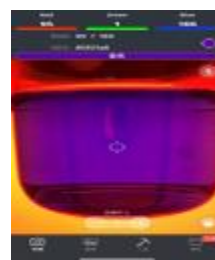


圖 4-2-5

按下手機拍照，即可取得 R 值

## 伯朗比爾定律

### 1. 穿透率： $T = I / I_0$

經過數學轉換定義吸收度  $A = -\log T$

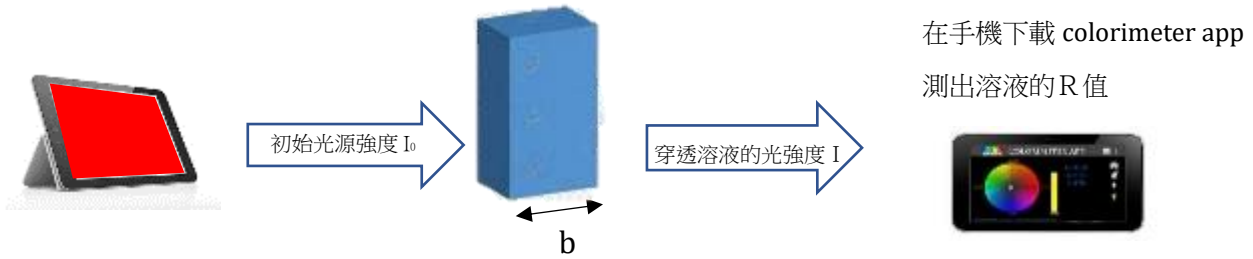


圖 4-2-6 平板電腦發出固定頻率的紅光，通過裝有不同濃度的硫酸銅水溶液，由智慧手機的攝影機接收，並記錄顏色強度的數值

### 2. 吸收度

(1) 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。

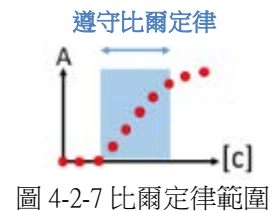
$[c]$  是物質的濃度

(2) 當吸收度與物質濃度呈現正比關係稱為比爾定律。而比爾定律還有以下三項需要注意：

(i) 當物質濃度過高會使物質吸收度偏離正比關係。

(ii) 物質的吸收度低於儀器的偵測極限時會導致實驗誤差。

(iii) 遵守比爾定律者才適合作為檢驗物質濃度的光度檢量線。



(3) 實驗儀器偵測值實驗

#### 實驗說明：

我們持續降低硫酸銅水溶液濃度，拍攝濃度的 RGB 值，直到拾色器 app 拍出來與濃度 0% 的 R 值相同 (254) 為止。把拍攝出 R 值為 254 的硫酸銅水溶液用硫化鈉檢測，看看是否能檢測出銅離子的存在。如果有硫化物沈澱，代表我們的儀器在此濃度以下已經無法拍出 R 值的變化，也代表這個濃度是我們儀器的偵測極限值。



不同濃度的硫酸銅水溶液



拍攝濃度的 RGB 值



拍到的 R 值為 254 為止



硫酸銅水溶液用硫化鈉檢測

### 3. 移除率計算

$$\text{移除率}\% = 100\% - \text{殘留率} = \frac{A_{\text{移除後}}}{A_{\text{移除前}}} \times 100\%$$

## (二) 進行葉綠素卟啉環內鎂離子與硫酸銅水溶液裡銅離子的置換

### 實驗說明：

葉綠素卟啉環內鎂離子與銅離子的置換一般都使用萃取法，先從葉子裡萃取出葉綠素，然後再加入硫酸銅溶液進行反應，之後再加入正己烷萃取出反應液。

我們想嘗試**直接從葉子的原型進行置換**，如果可行那麼未來就可以直接把葉子放入硫酸銅水溶液裡進行反應，減少處理廢液的手續。

### 2-1 葉綠素卟啉環先去除中心離子鎂離子後，再進行銅離子螯合

#### 實驗步驟：

1. 取 8g 的油桐與印度榕的葉子五片。
2. 在酸性條件下葉綠素分子很容易失去卟啉環內的中心離子鎂離子，所以我們把葉子浸泡在室溫 25°C 濃度 5% 的乙酸水溶液中 24 小時，使鎂離子從卟啉環中脫離。
3. 24 小時之後，取出葉子用大量的蒸餾水沖洗去除掉葉面上的乙酸，再用紙巾吸乾葉面上的水份。
4. 把處理好的葉子浸泡入濃度 3%、6%、9%、12%、15% 30ml 的硫酸銅水溶液內。
5. 連續七天每隔 24 小時取出葉子，拍照取硫酸銅水溶液的 R 值，計算水溶液裡銅離子的移除率。



圖 4-2-8  
把油桐葉子浸泡在乙酸水溶液 24 小時



圖 4-2-9  
把印度榕葉子浸泡在乙酸水溶液 24 小時



圖 4-2-10  
取出葉子用大量的蒸餾水沖洗，用紙巾吸乾水份



圖 4-2-11  
把處理好的葉子浸泡入不同濃度的硫酸銅水溶液內



圖 4-2-12  
拍照取硫酸銅水溶液的 R 值，計算水溶液裡銅離子的移除率。

### 2-2 葉綠素卟啉環內還有中心離子鎂離子的情況下，直接進行銅離子螯合

#### 實驗步驟：

1. 取 8g 的油桐與印度榕的葉子五片。
2. 把葉子直接浸泡入濃度 3%、6%、9%、12%、15% 30ml 的硫酸銅水溶液內。
3. 連續七天每隔 24 小時取出葉子，拍照取硫酸銅水溶液的 R 值，計算水溶液裡銅離子的移除率。



圖 4-2-13  
取油桐的葉子各 8g，直接浸泡入不同濃度的硫酸銅水溶液內

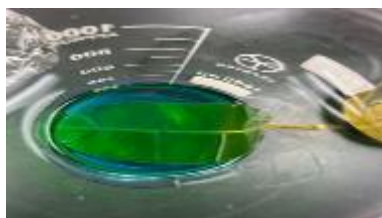


圖 4-2-14  
取印度榕的葉子各 8g，直接浸泡入不同濃度的硫酸銅水溶液內



圖 4-2-15  
連續七天每隔 24 小時取出葉子，拍照取硫酸銅水溶液的 R 值，計算水溶液銅離子移除率

### (三) 探討不同構造的葉子銅離子置換能力是否有差別

#### 實驗說明：

上述實驗可知可以直接從葉子的原型進行卟啉環中心離子的置換，我們想進一步了解葉子的結構會影響到置換的速度或是置換能力嗎？

#### 3-1 厚薄不同、葉子有無表皮蠟質、平行脈與網狀脈的葉子置換能力比較

##### 實驗步驟：

1. 杜仲與秋楓的葉子分成一組，這是不同厚薄葉子的實驗組別。油桐與印度榕的葉子分成一組，這是不同有無表皮蠟質葉子的實驗組別。蘆葦與網紋草的葉子分成一組，這是平行脈與網狀脈葉子的實驗組別。
2. 把所有葉子裁剪成等重，分別浸泡入濃度 6% 30ml 的硫酸銅水溶液內。
3. 連續七天每隔 24 小時取出葉子，拍照取硫酸銅水溶液的 R 值，計算水溶液裡銅離子的移除率。



圖 4-2-16

杜仲與秋楓的葉子為不同厚薄組



圖 4-2-17

油桐與印度榕的葉子為有無表皮蠟質組



圖 4-2-18

蘆葦與網紋草的葉子為平行脈與網狀脈組

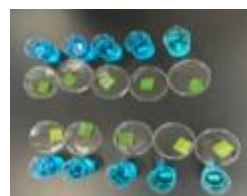


圖 4-2-19

裁剪成等重後，分別浸泡入濃度 6% 30ml 的硫酸銅水溶液內



圖 4-2-20

拍照取硫酸銅水溶液的 R 值

#### 3-2 解決混濁印度榕汁液移除率計算的問題

##### 實驗說明：

當我們把印度榕的葉子浸泡入硫酸銅水溶液內，硫酸銅水溶液開始變得混濁，混濁的汁液代表有其他物質混入其中，如此的液體拍攝的 R 值無法以標準檢量線來計算移除率，所以我們思考是否有解決的辦法。

##### 實驗步驟：

1. 取印度榕葉子一片，完整泡入蒸餾水中，觀察蒸餾水是否變混濁。
2. 取印度榕葉子一片，除了葉梗之外，其他葉面完整泡入蒸餾水中，觀察蒸餾水是否變混濁。
3. 取印度榕葉子一片，剪碎葉片除掉葉梗之後浸泡入蒸餾水中，觀察蒸餾水是否變混濁。
4. 確認不會使蒸餾水變混濁的方法後，把印度榕的葉子泡入蒸餾水中，再用泡過葉子的蒸餾水來調製成濃度 3%、6%、9%、12%、15% 30ml 的硫酸銅水溶液，然後利用比色法取得 R 值，每個 R 值為中點附近三個讀數的平均值。
5. 記錄數據並計算出吸收度，畫出此線斜率即為印度榕的銅離子濃度檢量線。
6. 有了檢量線便可以計算出移除率。





圖 4-2-21  
取印度榕葉子一片，完整泡入蒸餾水中，觀察蒸餾水是否變混濁



圖 4-2-22  
取印度榕葉子一片，除了葉梗之外，其他葉面完整泡入蒸餾水中，觀察蒸餾水是否變混濁



圖 4-2-23  
取印度榕剪碎葉片除掉葉梗之後浸泡入蒸餾水中，觀察蒸餾水是否變混濁



圖 4-2-24  
把印度榕的葉子泡入蒸餾水中，再用泡過葉子的蒸餾水來調製成不同濃度的硫酸銅水溶液



圖 4-2-25  
利用比色法取得 R 值，記錄數據並計算出吸收度，畫出此線斜率即為印度榕的銅離子濃度檢量線

### 3-3 探討有表皮蠟質的葉子讓硫酸銅水溶液由混濁變澄清的原因

#### 實驗說明：

當我們把印度榕的葉子浸泡入硫酸銅水溶液內，硫酸銅水溶液開始變得混濁，但是當置換到第二天之後，原本混濁的硫酸銅水溶液逐漸變澄清，我們想知道原因。

#### 實驗步驟：

1. 從實驗 3-2 可知避開葉梗，與不剪碎葉片可以維持蒸餾水的澄清，所以推論混濁汁液的來源來自葉梗，或是葉片裡的汁液。
2. 把印度榕葉子捲曲，使只有葉梗浸泡在蒸餾水裡，再另取印度榕葉子剪碎浸泡在蒸餾水裡。
3. 取出葉子後用這兩種來泡成硫酸銅水溶液觀察硫酸銅水溶液的變化。
4. 再把沒有剪碎的印度榕葉子避開葉梗放入硫酸銅水溶液裡觀察水溶是否會從混濁變澄清。



圖 4-2-26  
把印度榕葉子捲曲，使只有葉梗浸泡在蒸餾水裡



圖 4-2-27  
印度榕的樹梗汁液流入蒸餾水中



圖 4-2-28  
取印度榕葉子剪碎浸泡在蒸餾水裡



圖 4-2-29  
把沒有剪碎的印度榕葉子避開葉梗放入硫酸銅水溶液裡觀察水溶液的變化

#### (四) 探討在土壤裡、自然水域環境下螯合後的葉子是否會再度釋出銅離子

#### 實驗說明：

透過持續把葉綠素卟啉環內鎂離子與硫酸銅水溶液裡銅離子的置換，只要時間足夠便可

以讓硫酸銅水溶液裡的銅離子完全地螯合進入葉綠素的卟啉環內，使得硫酸銅水溶液變澄清。但是螯合的銅離子在土壤裡、自然水域環境會不會再度的釋出呢？

### 實驗步驟：

1. 分別把油桐與印度榕葉子浸泡到濃度 3%的硫酸銅水溶液裡，直到硫酸銅水溶液銅離子計算出來的移除率接近 100%。
2. 取出葉子用大量的蒸餾水沖洗，用紙巾吸乾水份。
3. 取 8g 葉子放入土壤裡掩埋，直到完全腐化之後，取土壤樣本送至農改場土壤保育研究室進行土壤重金屬化驗。
4. 配置 pH 值約 8.63 的硫化鈉水溶液，模擬微鹼水質，把 8g 葉子放入硫化鈉水溶液裡，如果有銅離子釋出，硫化鈉水溶液會由無色變褐色。
5. 配置 pH 值約 6.52 的乙酸水溶液，模擬微酸水質，把 8g 葉子放入乙酸水溶液，再加入硫化鈉，如果葉子有銅離子釋出，則會有金屬硫化物沉澱。
6. 把螯合銅離子的葉子分別放入蒸餾水、微酸與微鹼的水質中檢測。連續檢測三天。

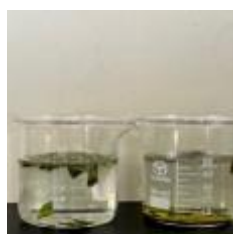


圖 4-2-30

把葉子浸泡到硫酸銅水溶液裡，直到計算出來的移除率接近 100%



圖 4-2-31

取出葉子用大量的蒸餾水沖洗，用紙巾吸乾水份



圖 4-2-32

取置換完畢的 8g 葉子放入土壤裡掩埋



圖 4-2-33

配置 pH 值約 8.63 的硫化鈉水溶液



圖 4-2-34

配置 pH 值約 6.52 的乙酸水溶液

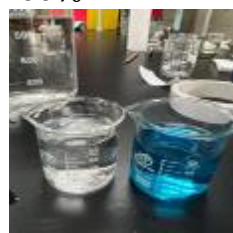


圖 4-2-35

把硫酸銅水溶液倒入左邊無色的硫化鈉水溶液中



圖 4-2-36

無色的硫化鈉水溶液接觸到銅離子而變色



圖 4-2-37

內有銅離子，接觸到硫化鈉，會有硫化物沈澱



圖 4-2-38

8g 葉子放入硫化鈉水溶液裡



圖 4-2-39

把 8g 葉子放入乙酸水溶液

### (五) 探討藍綠菌是否能進行鎂銅離子置換

#### 實驗說明：

經過以上的實驗得知只要有葉綠素的葉子都能進行鎂銅離子的置換，差別只是置換所需的時間。而葉子必須要新鮮的葉子，因為葉子落下之後就會進入「失去鎂離子的過程」(逐漸枯黃可證)，若要完全置換硫酸銅水溶液裡的銅離子便要摘取不少新鮮的葉子，我們覺得這對植物是一種傷害。於是我們思考是否能找到「擁有葉綠素的生物但是是有害的」，讓我

們可以拿來做置換處理廢液。

後來我們想到了藍綠菌。藍綠菌舊稱藍綠藻，過去長期被歸類為藻類，事實上藍綠菌沒有核膜，也沒有細胞器(organelle)，因此現在已經被歸為細菌界，改稱藍綠菌。藍綠菌有葉綠素能行光合作用而獲取能量，不論土生和水生的藍菌生物皆含有神經毒素 BMAA，BMAA 已證實會對動物產生強烈的毒性，加速動物腦神經退化、四肢肌肉萎縮等等，有記錄證明飲用或於被藍菌污染的水源接觸會引致中毒現象。

藍綠菌雖然微小肉眼無法看見，但是大量的藍綠菌會產生有腥臭味的「藻華現象」，最大危害是藻華會蓋住池水令魚類缺氧死亡，裡面所含的神經毒素會造成水中動物中毒，若是污染人類的飲用水源，則會影響到健康。



圖 4-2-40  
藍綠菌產生的藻華現象



圖 4-2-41  
藍綠菌產生的藻華現象



圖 4-2-42  
藍菌毒素令魚類死亡

於是我們想如果藍綠菌葉綠素吡啉環內鎂離子與硫酸銅水溶液裡銅離子能夠置換，那麼藍綠菌就會因為無法行光合作用而死亡，這樣一來既可以處理硫酸銅廢液，還能殺死有害的藍綠菌，不是一舉兩得嗎？

### 實驗步驟：

1. 到學校住家附近撈取有被藍綠菌污染的水圳水。
2. 把有藍綠菌的水倒入實驗室裡的水族箱裡，並且倒入氮肥與磷肥使其繁殖。
3. 一週後，水族箱的水表面已經有一層薄薄的膠狀物質，那就是藍綠菌產生的藻華現象。
4. 把這些受污染的水撈起，在不鏽鋼網篩上鋪上定性濾紙過濾雜質，濾出藍綠菌。
5. 用實驗室電子秤秤出 8g 藍綠菌，放入 3%、6%、9% 硫酸銅水溶液裡進行置換。
6. 連續七天每隔 24 小時取出藍綠菌，拍照取硫酸銅水溶液的 R 值，計算水溶液裡銅離子的移除率。



圖 4-2-41  
把有藍綠菌的水倒入實驗室裡的水族箱裡，並且倒入氮肥與磷肥使其繁殖

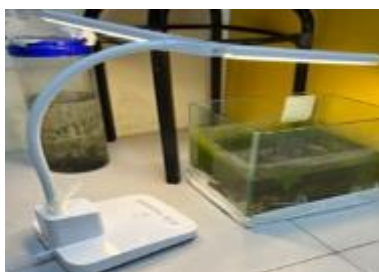


圖 4-2-42  
白天曬太陽，傍晚打開燈使藍綠菌行光合作用，可以大量繁殖



圖 4-2-43  
一週後，水族箱的水表面已經有一層薄薄的膠狀物質，那就是藻華現象



圖 4-2-44

在不鏽鋼網篩上鋪上定性濾紙過濾雜質，濾出藍綠菌

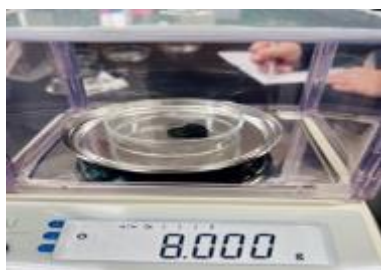


圖 4-2-45

用實驗室電子秤秤出 8g 藍綠菌



圖 4-2-46

放入 3%、6%、9% 硫酸銅水溶液裡進行置換

## (六) 比較藍綠菌與水蘊草鎂銅離子的置換速度

### 實驗說明：

藍菌主要分布在含有機質較多的淡水中，若我們使用鎂銅離子的置換，使藍綠菌因無法行光合作用，無法製造能量而死亡，也要擔心其他有葉綠素的水生植物也會因為鎂銅離子的置換而導致死亡的可能性。於是我們進行藍綠菌與水蘊草的置換實驗，比較兩者的置換速度。

### 實驗步驟：

1. 各取 8g 藍綠菌與水蘊草分別放入 3%、6% 硫酸銅水溶液裡進行置換。
2. 連續七天每隔 24 小時取出藍綠菌與水蘊草，拍照取硫酸銅水溶液的 R 值，計算水溶液裡銅離子的移除率。



圖 4-2-47

取水蘊草 8g

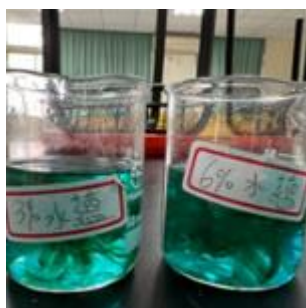


圖 4-2-48

水蘊草放入 3%、6% 硫酸銅水溶液裡進行置換



圖 4-2-49

藍綠菌放入 3%、6% 硫酸銅水溶液裡進行置換



圖 4-2-50

拍照取硫酸銅水溶液的 R 值，計算水溶液裡銅離子的移除率

## (七) 探討自然水域環境下螯合後的藍綠菌是否會再度釋出銅離子

### 實驗說明：

藍綠菌葉綠素卟啉環內鎂離子與硫酸銅水溶液裡銅離子置換後，藍綠菌因無法行光合作用，無法製造能量而死亡。我們想知道死亡後的藍綠菌其葉綠素卟啉環內螯合的銅離子是否會再度釋出回到水域環境裡，於是設計了這個實驗。

### 實驗步驟：

1. 把螯合後的藍綠菌取出用蒸餾水沖洗乾淨，並用紙巾吸乾水份。
2. 配置 pH 值約 8.63 的硫化鈉水溶液，模擬微鹼水質，把螯合後的藍綠菌放入硫化鈉水溶液裡，如果有銅離子釋出，硫化鈉水溶液會由透明變褐色。

3. 配置 pH 值約 6.52 的乙酸水溶液，模擬微酸水質，把螯合後的藍綠菌放入乙酸水溶液，再加入硫化鈉，如果螯合後的藍綠菌有銅離子釋出，則會有硫化物沉澱。
4. 把螯合銅離子的藍綠菌分別放入蒸餾水、微酸與微鹼的水質中檢測，連續檢測三天。



圖 4-2-51

螯合後用蒸餾水沖洗乾淨的藍綠菌



圖 4-2-52

藍綠菌放入乙酸中，再加入硫化鈉



圖 4-2-53

藍綠菌放入硫化鈉水溶液



圖 4-2-54

藍綠菌放入蒸餾水中，再加入硫化鈉

#### (八) 投放硫酸銅晶體進入水族箱中觀察水生動物的活動情形

##### 實驗說明：

硫酸銅進入水中，銅離子對魚類與其他的水生動物是有毒的，所以我們想用藍綠菌葉綠素卟啉環內鎂離子與硫酸銅水溶液裡銅離子置換來殺死藍綠菌，也相同得冒殺死水中魚類與其他水生動物的風險，於是我們在合格獸醫的指導下謹慎的控制硫酸銅濃度來觀察魚的活動情形。

##### 實驗步驟：

1. 在水量 4000ml 的水族箱內，安置有水蘊草與三隻蓋斑鬥魚在裡面，再把藍綠菌放入水族箱裡，利用濁度計測量水族箱水質。
2. 直到藍綠菌開始污染水質之後，取出水質，測量其濁度。
3. 再投放 3.2g 的五合水硫酸銅晶體，使水族箱環境接近濃度約為 0.05% 的硫酸銅水溶液。
4. 每隔三天再投 3.2g 的五合水硫酸銅晶體，每一天測量一次水族箱內的水質。



圖 4-2-55

把藍綠菌放入水族箱裡



圖 4-2-56

直到藍綠菌開始污染水質之後，測量水質濁度

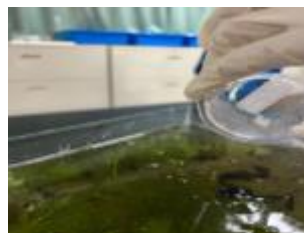


圖 4-2-57

再投放 3.2g 硫酸銅晶體



圖 4-2-58

每天用濁度計測量一次水質

## 伍、實驗結果與討論

針對前章節所述八項實驗之結果，說明如下：

### 一、硫酸銅溶液濃度檢量線數據分析

實驗數據：

表 5-1-1 硫酸銅溶液濃度檢量線數據分析表

濃度 (%)	拾色器測量的 R 值				吸收度
	第一次	第二次	第三次	平均	
0	254	254	254	254.0	0
3%	191	188	191	190.0	0.1261
6%	134	136	135	135.0	0.2745
9%	91	93	92	92.0	0.4410
12%	63	65	64	64.0	0.5987
15%	42	43	41	42.0	0.7816

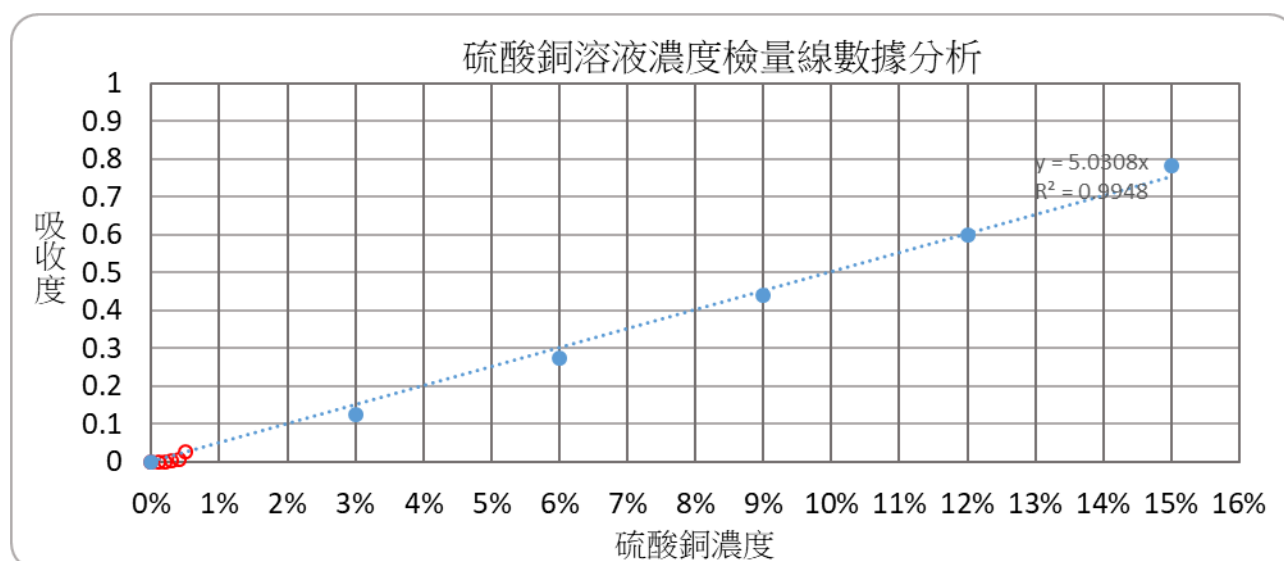


圖 5-1-1 硫酸銅溶液濃度檢量線數據分析圖

實驗討論：

1. 因為此條線為對照組，所以本實驗把會使用到不同種類的葉子都先浸泡入蒸餾水中，再用浸泡過葉子的蒸餾水來調製不同濃度的硫酸銅水溶液。實驗後發現，不同葉子所溶出的雜質過於微量，R 值幾乎沒有差異，所以之後實驗都適用此條檢量線。
2. 根據比爾定律，濃度和吸收度成正比，透過 excel 數據處理的線性擬合功能，可以得到擬合後的直線斜率，也就是比爾定律裡的比例常數為 5.0308。
3. 從我們的數據中得知，硫酸銅水溶液濃度和吸收度成正比關係，所以由測得之吸收度可以換算得知硫酸銅水溶液之濃度，進一步得知銅離子的移除率。
4. 濃度低於 0.5% 的硫酸銅水溶液限於我們儀器的極限值所以拍出來 R 值皆為 254。意思是雖然移除率算出來為 100%，但是用硫化鈉檢驗有硫化銅沈澱，代表有銅離子的存在，但是比色法已經無法檢測，於是我們用空心點來說明。
5. 濃度 15% 的硫酸銅水溶液因為濃度過高而偏離了比爾定律的正比關係，所以我們之後的實驗都不採計 15% 濃度以上的數據。

## 二、葉綠素卟啉環內鎂離子與硫酸銅水溶液裡銅離子的置換數據

### 2-1 葉綠素卟啉環先去除中心離子鎂離子後，再進行銅離子螯合

實驗數據：

表 5-2-1 葉綠素卟啉環去鎂再進行銅離子螯合，在硫酸銅各濃度水溶液的銅離子移除率記錄表

		葉子種類		硫酸銅濃度		3%		6%		9%		12%		15%	
				油桐	印度榕	油桐	印度榕	油桐	印度榕	油桐	印度榕	油桐	印度榕		
天數	第 1 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	189	188	136	135	93	92	64	64	46	45		
			第 2 次	192	191	137	136	94	93	63	63	45	44		
			第 3 次	193	192	135	134	93	92	65	65	45	46		
			平均	191.3	190.3	136.0	135.0	93.3	92.3	64.0	64.0	45.3	45.0		
		吸收度	0.1230	0.1253	0.2713	0.2745	0.4348	0.4395	0.5987	0.5987	0.7484	0.7516			
		移除率 (%)	18.47	16.97	10.12	9.06	3.97	2.94	0.84	0.84	0.82	0.40			
	第 2 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	192	191	137	136	94	92	66	64	48	45		
			第 2 次	192	191	139	136	93	92	65	65	46	47		
			第 3 次	191	190	137	138	93	93	66	65	46	45		
			平均	191.7	190.7	137.7	136.7	93.3	92.3	65.7	64.7	46.7	45.7		
		吸收度	0.1223	0.1246	0.2660	0.2692	0.4348	0.4395	0.5875	0.5942	0.7358	0.7452			
		移除率 (%)	18.97	17.47	11.87	10.83	3.97	2.94	2.68	1.58	2.49	1.24			
	第 3 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	192	192	138	137	94	93	66	65	46	46		
			第 2 次	193	191	139	137	93	93	66	65	47	47		
			第 3 次	191	190	138	138	94	92	66	65	48	45		
			平均	192.0	191.0	138.3	137.3	93.7	92.7	66.0	65.0	47.0	46.0		
		吸收度	0.1215	0.1238	0.2639	0.2671	0.4332	0.4379	0.5853	0.5919	0.7327	0.7421			
		移除率 (%)	19.47	17.97	12.57	11.53	4.31	3.28	3.05	1.95	2.90	1.66			
	第 4 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	194	192	139	138	94	92	66	65	47	47		
			第 2 次	194	191	138	137	95	93	66	66	47	46		
			第 3 次	193	192	139	137	94	94	67	65	48	46		
			平均	193.7	191.7	138.7	137.3	94.3	93.0	66.3	65.3	47.3	46.3		
		吸收度	0.1178	0.1223	0.2629	0.2671	0.4302	0.4364	0.5831	0.5897	0.7297	0.7389			
		移除率 (%)	21.96	18.97	12.92	11.53	4.99	3.63	3.41	2.32	3.31	2.08			
第 5 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	195	194	138	138	94	94	66	66	48	46			
		第 2 次	195	193	139	139	95	94	67	66	47	47			
		第 3 次	194	194	140	137	95	93	67	65	47	46			
		平均	194.7	193.7	139.0	138.0	94.7	93.7	66.7	65.7	47.3	46.3			
	吸收度	0.1155	0.1178	0.2618	0.2650	0.4286	0.4332	0.5809	0.5875	0.7297	0.7389				
	移除率 (%)	23.44	21.96	13.26	12.22	5.33	4.31	3.77	2.68	3.31	2.08				
第 6 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	194	195	139	138	94	95	66	67	47	48			
		第 2 次	194	193	139	138	95	93	68	67	48	46			
		第 3 次	196	193	139	138	96	93	68	65	47	46			
		平均	194.7	193.7	139.0	138.0	95.0	93.7	67.3	66.3	47.3	46.7			
	吸收度	0.1155	0.12	0.2618	0.26	0.4271	0.43	0.5766	0.58	0.7297	0.74				
	移除率 (%)	23.44	21.96	13.26	12.22	5.67	4.31	4.49	3.41	3.31	2.49				

硫酸銅濃度		3%		6%		9%		12%		15%		
葉子種類		油桐	印度榕	油桐	印度榕	油桐	印度榕	油桐	印度榕	油桐	印度榕	
第 7 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	194	195	139	139	95	95	69	68	48	47
		第 2 次	195	194	139	138	96	95	66	67	47	47
		第 3 次	196	193	140	137	96	94	68	65	48	47
		平均	195.0	194.0	139.3	138.0	95.7	94.7	67.7	66.7	47.7	47.0
	吸收度	0.1148	0.1170	0.2608	0.2650	0.4241	0.4286	0.5745	0.5809	0.7266	0.7327	
移除率 (%)		23.94	22.46	13.61	12.22	6.34	5.33	4.84	3.77	3.71	2.90	

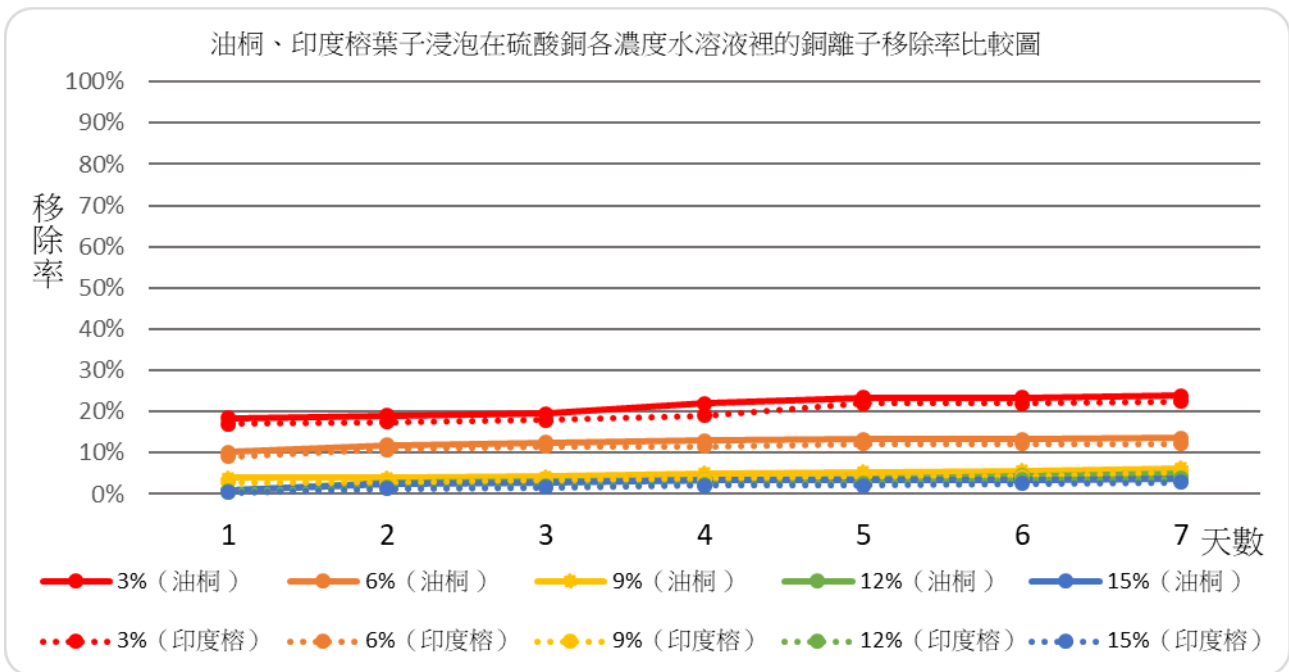


圖 5-2-1 葉綠素卟啉環先去除中心離子再進行銅離子螯合，硫酸銅各濃度水溶液的銅離子移除率圖

## 2-2 葉綠素卟啉環內還有中心離子鎂離子的情況下，直接進行銅離子螯合

### 實驗數據：

表 5-2-2 葉綠素卟啉環還有中心離子鎂離子的情況下，直接進行銅離子螯合記錄表

硫酸銅濃度		3%		6%		9%		12%		15%			
葉子種類		油桐	印度榕	油桐	印度榕	油桐	印度榕	油桐	印度榕	油桐	印度榕		
天數	第 1 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	225	196	163	141	98	93	65	65	46	45
			第 2 次	226	195	159	140	99	95	68	66	48	46
			第 3 次	222	198	162	138	100	96	66	66	45	46
			平均	224.3	196.3	161.3	139.7	99.0	94.7	66.3	65.7	46.3	45.7
	吸收度	0.0539	0.1118	0.1971	0.2597	0.4092	0.4286	0.5831	0.5875	0.7389	0.7452		
移除率 (%)		64.26	25.90	34.70	13.95	9.62	5.33	3.41	2.68	2.08	1.24		



硫酸銅濃度		3%		6%		9%		12%		15%		
葉子種類		油桐	印度榕	油桐	印度榕	油桐	印度榕	油桐	印度榕	油桐	印度榕	
第 2 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	231	206	177	155	105	97	69	68	46	47
		第 2 次	230	208	172	160	108	100	67	67	48	46
		第 3 次	232	210	170	158	102	98	70	68	49	47
		平均	231.0	208.0	173.0	157.7	105.0	98.3	68.7	67.7	47.7	46.7
	吸收度		0.0412	0.0868	0.1668	0.2071	0.3836	0.4121	0.5681	0.5745	0.7266	0.7358
	移除率 (%)		72.69	42.51	44.74	31.39	15.27	8.98	5.90	4.84	3.71	2.49
第 3 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	236	220	192	172	106	102	68	68	49	49
		第 2 次	232	216	186	176	109	102	72	70	48	48
		第 3 次	230	218	182	178	110	104	70	69	50	48
		平均	232.7	218.0	186.7	175.3	108.3	102.7	70.0	69.0	49.0	48.3
	吸收度		0.0381	0.0664	0.1338	0.1610	0.3701	0.3934	0.5597	0.5660	0.7146	0.7206
	移除率 (%)		74.76	56.02	55.68	46.67	18.27	13.11	7.28	6.25	5.30	4.51
第 4 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	235	226	188	180	116	108	70	70	50	50
		第 2 次	231	225	186	182	114	110	71	69	50	49
		第 3 次	236	228	191	180	115	111	73	70	51	49
		平均	234.0	226.3	188.3	180.7	115.0	109.7	71.3	69.7	50.3	49.3
	吸收度		0.0356	0.0501	0.1299	0.1480	0.3441	0.3648	0.5515	0.5618	0.7030	0.7117
	移除率 (%)		76.40	66.81	56.96	50.98	23.99	19.44	8.64	6.94	6.84	5.69
第 5 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	236	233	189	188	120	116	72	71	50	50
		第 2 次	238	235	190	187	118	116	71	70	51	51
		第 3 次	236	233	191	190	117	115	73	72	51	50
		平均	236.7	233.7	190.0	188.3	118.3	115.7	72.0	71.0	50.7	50.3
	吸收度		0.0307	0.0362	0.1261	0.1299	0.3317	0.3416	0.5475	0.5536	0.7001	0.7030
	移除率 (%)		79.66	75.99	58.23	56.96	26.73	24.55	9.31	8.30	7.22	6.84
第 6 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	236	237	191	190	118	119	73	72	50	49
		第 2 次	238	236	190	190	120	119	71	72	52	51
		第 3 次	238	238	191	191	119	118	73	73	50	52
		平均	237.3	237.0	190.7	190.3	119.0	118.7	72.3	72.3	50.7	50.7
	吸收度		0.0295	0.0301	0.1246	0.1253	0.3293	0.3305	0.5455	0.5455	0.7001	0.7001
	移除率 (%)		80.47	80.07	58.73	58.48	27.27	27.00	9.64	9.64	7.22	7.22
第 7 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	238	238	192	192	120	120	75	73	50	51
		第 2 次	237	236	190	190	118	118	71	72	51	50
		第 3 次	240	240	191	191	122	122	73	74	51	51
		平均	238.3	238.0	191.0	191.0	120.0	120.0	73.0	73.0	50.7	50.7
	吸收度		0.0276	0.0283	0.1238	0.1238	0.3257	0.3257	0.5415	0.5415	0.7001	0.7001
	移除率 (%)		81.68	81.28	58.99	58.99	28.08	28.08	10.30	10.30	7.22	7.22

油桐、印度榕葉子浸泡在硫酸銅各濃度水溶液銅離子的移除率

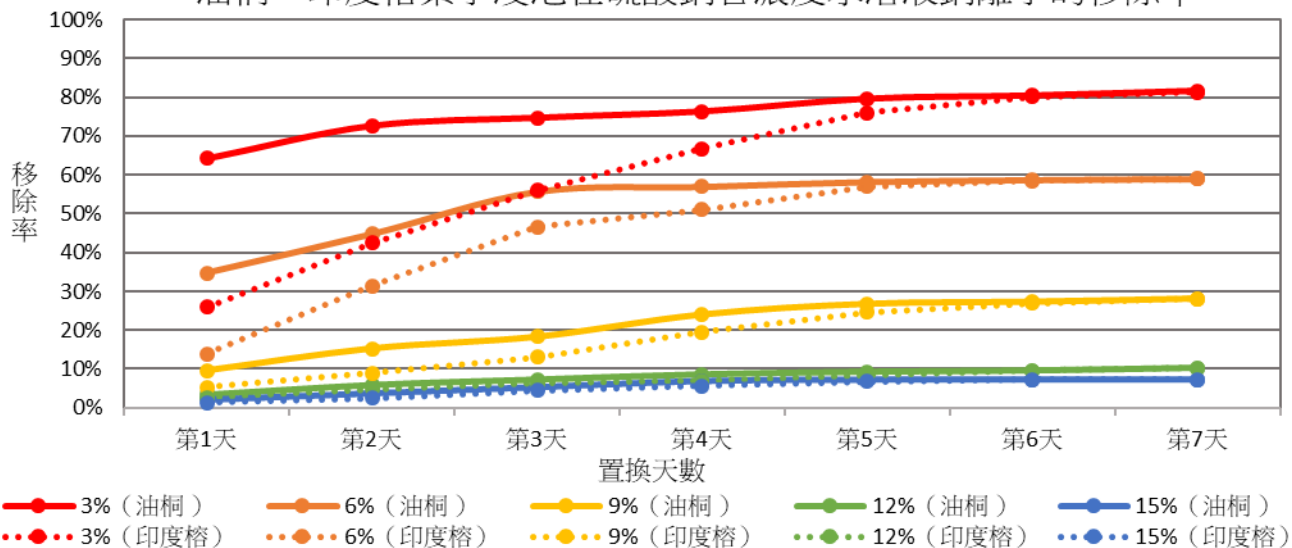


圖 5-2-2 葉綠素卟啉環在還有中心離子鎂離子的情況下直接進行銅離子螯合硫酸銅各濃度水溶液銅離子移除率比較圖



圖 5-2-3

油桐葉子去鎂銅置換與直接銅置換的顏色變化。左邊黃褐色，右邊還是綠色



圖 5-2-4

油桐去鎂銅置換的葉子變黃褐色，直接銅置換的葉子還保持綠色



圖 5-2-5

印度榕葉子去鎂銅置換與直接銅置換的顏色變化。



圖 5-2-6

左邊印度榕去鎂銅置換的葉子變黃褐色，右邊直接銅置換的葉子是深綠色的

### 實驗討論：

1. 從數據中可知鎂離子轉換成氫葉綠素，再進行銅離子螯合的組別，油桐銅離子的移除率介於 0.8%~16%之間。原因可能是因為硫酸銅溶液裡的銅離子不易置換去鎂葉綠素中的氫離子，所以就難以轉化成銅葉綠素。葉子因為失去了鎂，顏色由綠色轉為黃褐色因為銅離子沒有再度進入卟啉環內，所以葉子就枯黃了。
2. 而直接浸泡在硫酸銅水溶液裡的葉子，因為鎂離子脫離之後，銅離子便進入到卟啉環內的中心離子進行螯合，所以葉子又再度呈現綠色的狀態。經過比色法的檢驗，油桐的移除率直接銅離子置換的移除率第一天是 64.23%，而去鎂之後再銅置換第一天的移除率只有 16%。
3. 經過這次的實驗，了解到採取直接銅置換的方式會比去鎂之後再銅置換的效果好。我們確認可以直接從葉子的原型進行置換，不用需要再經過加工萃取出葉綠素才能進行置換，這樣大大減少了廢液處理的手續。

### 三、探討不同構造的葉子銅離子置換能力是否有差別

#### 3-1 厚薄不同、葉子有無表皮蠟質、平行脈與網狀脈的葉子置換能力比較

##### 1. 葉子厚薄不同

實驗數據：

表 5-3-1 葉子厚薄不同在硫酸銅 6%水溶液的銅離子移除率記錄表

天數		第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天	
杜仲	拾色器 測量 R 值	第 1 次	142	148	156	158	161	163	166
		第 2 次	145	150	156	158	162	164	163
		第 3 次	143	151	157	159	160	161	165
		平均	143.3	149.7	156.3	158.3	161.0	162.7	164.7
	吸收度	0.2485	0.2297	0.2108	0.2053	0.1980	0.1935	0.1882	
移除率 (%)		17.68	23.90	30.17	32.00	34.40	35.88	37.64	
秋楓	拾色器 測量 R 值	第 1 次	151	156	158	159	161	163	165
		第 2 次	149	153	155	159	160	163	164
		第 3 次	150	155	157	157	162	162	164
		平均	150.0	154.7	156.7	158.3	161.0	162.7	164.3
	吸收度	0.2287	0.2154	0.2099	0.2053	0.1980	0.1935	0.1891	
移除率 (%)		24.22	28.63	30.48	32.00	34.40	35.88	37.35	

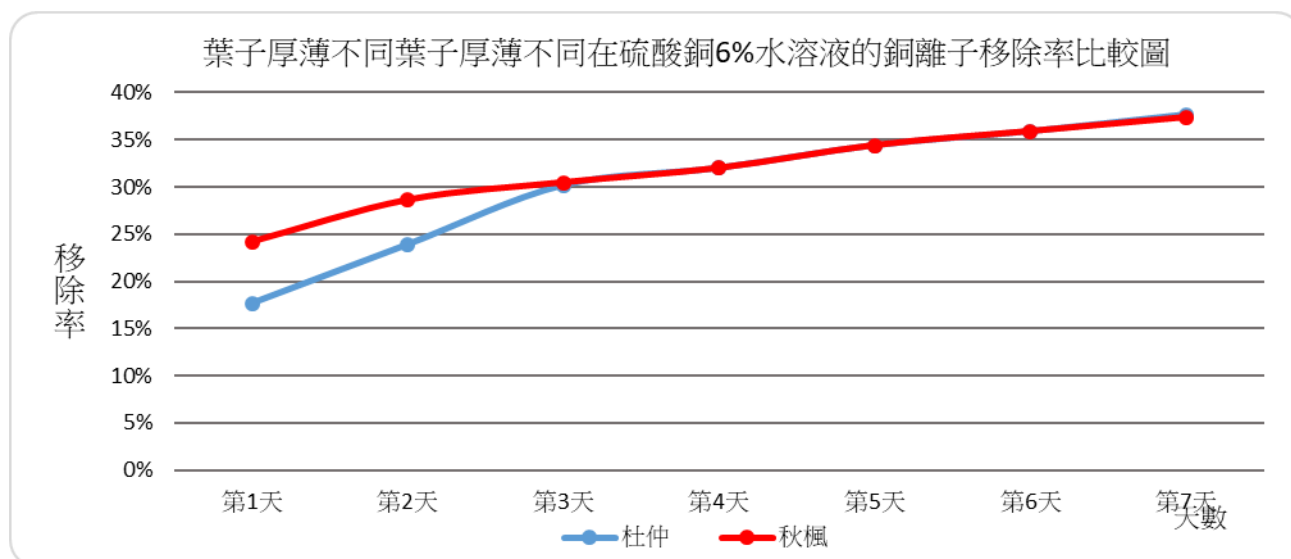


圖 5-3-1 葉子厚薄不同在硫酸銅 6%水溶液的銅離子移除率比較圖

##### 2. 葉子有無表皮蠟質

表 5-3-2 葉子有無表皮蠟質在硫酸銅 6%水溶液的銅離子移除率記錄表

天數		第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天	
油桐	拾色器 測量 R 值	第 1 次	150	154	157	158	160	164	162
		第 2 次	148	152	156	159	161	161	165
		第 3 次	149	155	156	159	160	162	163
		平均	149.0	153.7	156.3	158.7	160.3	162.3	163.3
	吸收度	0.2316	0.2183	0.2108	0.2043	0.1998	0.1944	0.1918	
移除率 (%)		23.26	27.69	30.17	32.30	33.80	35.59	36.47	

天數		第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天
印度榕	拾色器 測量 R 值	第 1 次	不採計	不採計	不採計	不採計	不採計	不採計
		第 2 次	不採計	不採計	不採計	不採計	不採計	不採計
		第 3 次	不採計	不採計	不採計	不採計	不採計	不採計
		平均	不採計	不採計	不採計	不採計	不採計	不採計
	吸收度	不採計	不採計	不採計	不採計	不採計	不採計	不採計
移除率 (%)	不採計	不採計	不採計	不採計	不採計	不採計	不採計	

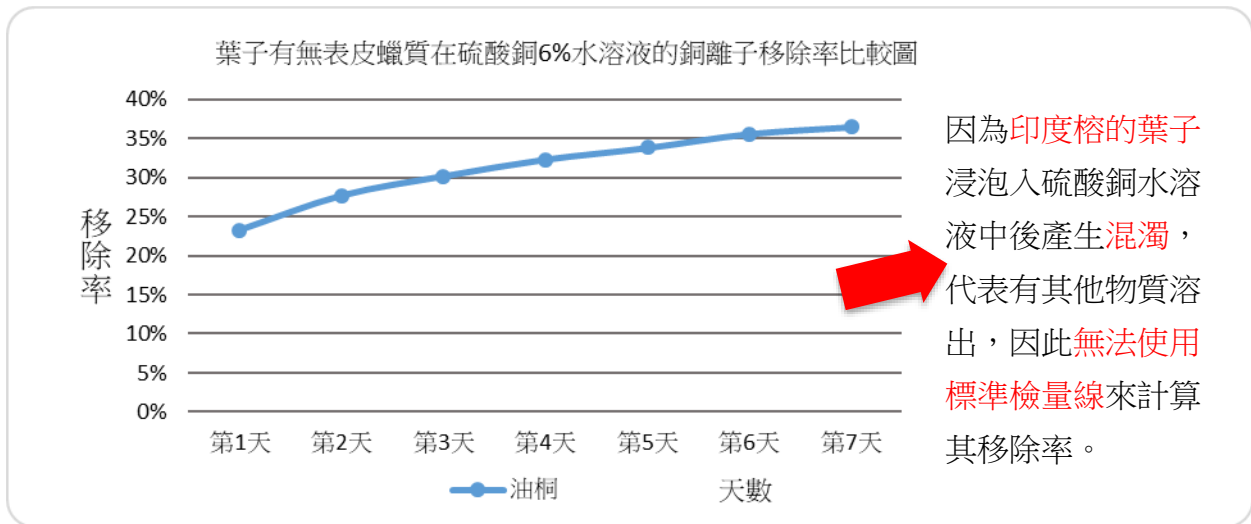


圖 5-3-2 葉子有無表皮蠟質在硫酸銅 6%水溶液的銅離子移除率比較圖

### 3. 葉子平行脈與網狀脈

表 5-3-3 葉子平行脈與網狀脈在硫酸銅 6%水溶液的銅離子移除率記錄表

天數		第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天	
蘆葦	拾色器 測量 R 值	第 1 次	149	153	157	160	161	163	166
		第 2 次	148	154	158	159	161	164	163
		第 3 次	149	155	156	158	162	162	165
		平均	148.7	154.0	157.0	159.0	161.3	163.0	164.7
	吸收度	0.2326	0.2173	0.2089	0.2034	0.1971	0.1926	0.1882	
移除率 (%)	22.93	28.01	30.78	32.60	34.70	36.18	37.64		
網紋草	拾色器 測量 R 值	第 1 次	140	149	158	158	161	164	166
		第 2 次	144	150	156	159	162	164	165
		第 3 次	142	152	156	159	161	162	164
		平均	142.0	150.3	156.7	158.7	161.3	163.3	165.0
	吸收度	0.2525	0.2278	0.2099	0.2043	0.1971	0.1918	0.1873	
移除率 (%)	16.33	24.54	30.48	32.30	34.70	36.47	37.93		

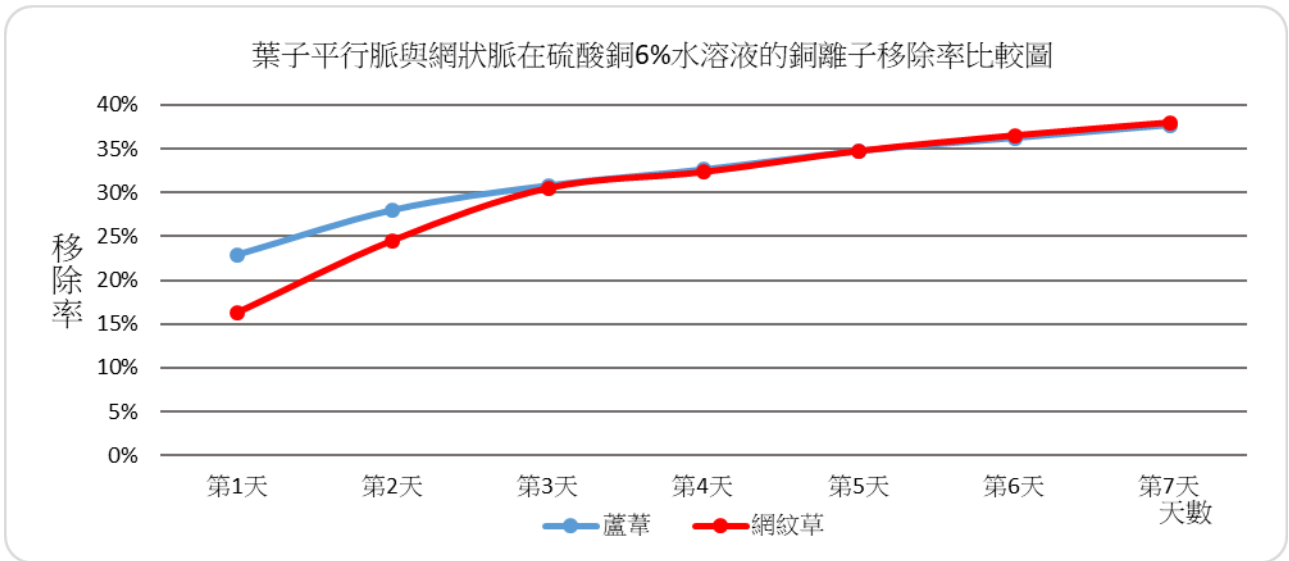


圖 5-3-3 葉子平行脈與網狀脈在硫酸銅 6%水溶液的銅離子移除率比較圖

### 實驗討論：

1. 葉子厚薄組的數據可知，第一二天秋楓移除率高於杜仲，推論秋楓因為葉子薄，在相同重量的情況下截面積比較大，所以葉面接觸到硫酸銅水溶液比較多，置換速度較快。但是第三天後，兩者的移除率非常接近。
2. 有無表皮蠟質組因為印度榕的葉子浸泡入硫酸銅水溶液中後產生混濁，代表有其他物質溶出，因此無法使用標準檢量線來計算其移除率。
3. 平行脈與網狀脈組的數據可以看出，第一二天蘆葦的移除率高於網紋草，推論網狀脈的葉脈佔據葉面比較多，所以置換速度比較慢。但是第三天後，兩者的移除率非常接近。
4. 根據實驗結果，如果要短時間速度比較快的置換，可以選擇葉子較薄或是平行脈的葉子，但是若是硫酸銅濃度較高，需要較長時間置換，則葉子的結構則無太大差別。
5. 我們觀察到印度榕浸泡到硫酸銅水溶液裡，硫酸銅水溶液開始變得混濁，於是我們思考該如何建立印度榕的標準檢量線，以利算出移除率來做比較。

### 3-2 解決混濁印度榕汁液移除率計算的問題

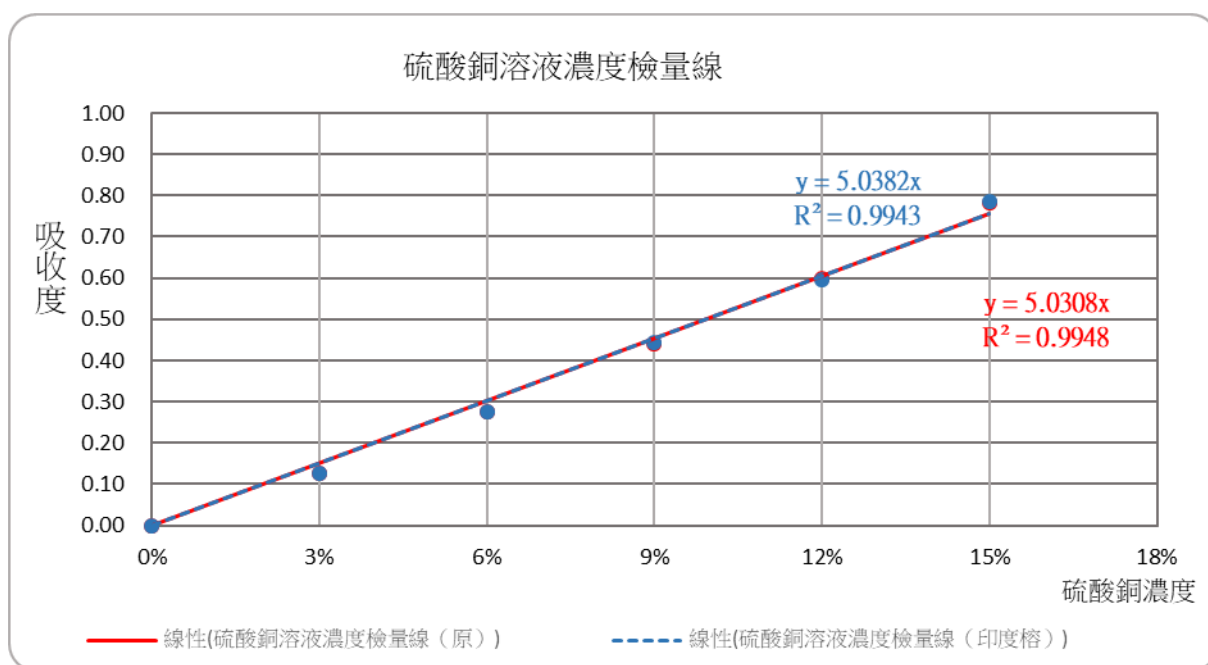
#### 實驗數據：

表 5-3-4 泡過印度榕的葉子蒸餾水調製的硫酸銅溶液濃度檢量線數據分析表

濃度 (%)	拾色器測量的 R 值				吸收度
	第一次	第二次	第三次	平均	
0	254	254	254	254.0	0
3%	192	188	191	190.3	0.1253
6%	135	134	136	135.0	0.2745
9%	93	91	91	91.7	0.4426
12%	62	66	65	64.3	0.5964
15%	43	42	40	41.7	0.7850

### 實驗討論：

1. 經過實驗發現只有方法二取印度榕葉子一片，除了葉梗之外，其他葉面完整泡入蒸餾水中，蒸餾水才不會變混濁。代表使蒸餾水變混濁的物質是印度榕的汁液。
2. 避開了印度榕的汁液單純浸泡葉面後再調製的硫酸銅水溶液，從實驗數據發現不同濃度的硫酸銅水溶液拍攝出來的R值所計算出的吸收度與其他葉子差異不大，所畫出的的檢量線是一致的。代表印度榕的葉子表面的蠟質並不會溶到水中。
3. 透過相同的檢量線不僅可以計算出印度榕葉子的移除率，還可以與其他沒有蠟質的葉子互相比較。



圖

5-3-4 泡過印度榕的葉子蒸餾水調製各濃度硫酸銅溶液檢量線與原硫酸銅溶液濃度檢量線比較圖

### 3-3 探討有表皮蠟質的葉子讓硫酸銅水溶液由混濁變澄清的原因

葉子有無表皮蠟質葉子置換能力的比較



圖 5-3-5

避開了印度榕的汁液單純浸泡葉面後再調製的硫酸銅水溶液



圖 5-3-6

固定葉梗在平盤上，再浸泡入不同濃度的硫酸銅水溶液裡



圖 5-3-7

使用淺盤可使印度榕的葉子完整的浸泡在硫酸銅水溶液裡進行置換



圖 5-3-8  
置換一天後的硫酸銅水溶液，非常混濁



圖 5-3-9  
置換四天後的硫酸銅水溶液變成澄清了



圖 5-3-10  
右邊是泡在蒸餾水的印度榕葉子，混濁汁液是白色。左邊是泡在硫酸銅水溶液狀況



圖 5-3-11  
避開葉梗，單單只有葉面的表皮蠟質浸泡在蒸餾水裡。蒸餾水一直保持澄清



圖 5-3-12  
避開葉片的表皮蠟質，直接從葉梗取得的樹液，顏色與剪碎葉子直接泡在蒸餾水裡的顏色一樣



圖 5-3-13  
浸泡印度榕的蒸餾水汁液依然混濁，浸泡印度榕的硫酸銅水溶液逐漸澄清

表 5-3-5 葉子有無表皮蠟質在硫酸銅 6%水溶液的銅離子移除率記錄表

天數		第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天	
油桐	拾色器 測量 R 值	第 1 次	150	154	157	158	160	164	162
		第 2 次	148	152	156	159	161	161	165
		第 3 次	149	155	156	159	160	162	163
		平均	149.0	153.7	156.3	158.7	160.3	162.3	163.3
	吸收度	0.2316	0.2183	0.2108	0.2043	0.1998	0.1944	0.1918	
移除率 (%)		23.26	27.69	30.17	32.30	33.80	35.59	36.47	
印度榕	拾色器 測量 R 值	第 1 次	139	143	146	150	154	156	159
		第 2 次	138	142	145	151	153	157	160
		第 3 次	136	142	147	150	153	157	158
		平均	137.7	142.3	146.0	150.3	153.3	156.7	159.0
	吸收度	0.2660	0.2515	0.2405	0.2278	0.2192	0.2099	0.2034	
移除率 (%)		12.00	16.79	20.45	24.65	27.49	30.58	32.70	

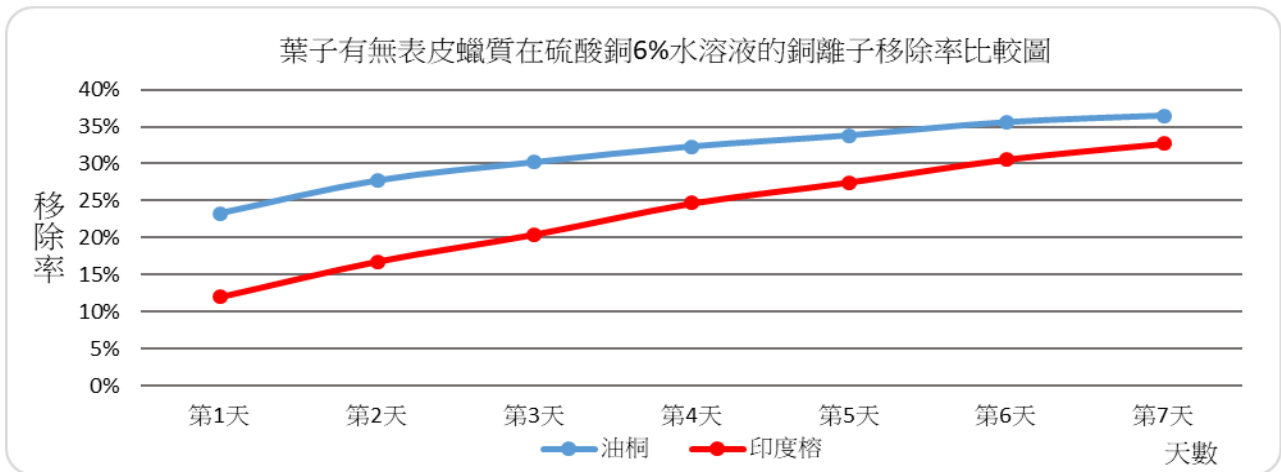


圖 5-3-14 葉子有無表皮蠟質在硫酸銅 6%水溶液的銅離子移除率比較圖

### 實驗討論：

1. 剪碎的印度榕葉子泡在蒸餾水中產生的濁白色液體，一開始我們懷疑是表皮蠟質溶解在蒸餾水中。但是當我們避開葉梗把完整的葉子浸泡入蒸餾水時，蒸餾水卻是澄清透明無色，證明使水混濁的物質並非表皮蠟質。
2. 從實驗數據比較無表皮蠟質的油桐與有表皮蠟質的印度榕移除率可知，第一天油桐的移除率 38%，而印度榕只有 2%，可見**表皮的蠟質的確會影響到置換的速度，但是不會影響到置換的能力**，雖然表皮具有蠟質但是銅離子依然可以進入到卟啉環內與鎂離子進行置換。
3. 我們只把印度榕的葉梗浸泡在蒸餾水中，避開葉子這樣就能確定蒸餾水中沒有碰到表皮蠟質。而收集出來的汁液果然是乳白色的，和我們所看到浸泡在硫酸銅水溶液的顏色相同，證明流出的物質為乳膠。
4. 我們查詢資料得知印度榕又稱為印度橡膠樹，印度榕在葉子折斷處或是枝幹受傷處會流出白色汁液，這些汁液是作為天然橡膠的原料，未經加工時以乳劑的形態存在，稱作為乳膠，大多植物的乳膠都呈「乳白色的」
5. 至於為何浸泡多日之後，硫酸銅水溶液會由混濁逐漸變澄清，我們推論應該是硫酸銅水溶液與乳膠產生了化學反應，所以導致了這個結果。我們查詢資料乳膠是一種微粒聚合物混合而成的乳劑，成分包括蛋白質、生物鹼、澱粉、糖類、植物油、單寧酸、樹脂.....等等。因為成分複雜，需要花時間研究，因為偏離本研究目的，所以暫時擱置以待未來研究。

### 四、探討在土壤裡、自然水域環境下螯合後的葉子是否會再度釋出銅離子

#### 實驗結果：



圖 5-4-1

農改場檢驗結果：銅離子未超標（完整報告放在附件）



圖 5-4-2

酸性水質下的結果，無任何硫化物沈澱



圖 5-4-3

鹼性水質下的結果，硫化鈉水溶液無變色



## 實驗討論：

1. 我們把螯合銅離子的葉子放入土壤裡，等其完全腐化後，按照農改場的檢驗標準送至農改場透過電感耦合電漿體原子發射光譜儀（ICP-AES）分析數據，發現銅離子的含量在標準值內，代表把葉子直接丟掉掩埋也不會造成土壤的污染。
2. 把螯合銅離子的葉子浸泡在酸性水質下用硫化鈉檢驗，無任何硫化物沈澱。把螯合銅離子的葉子直接浸泡在硫化鈉水溶液（鹼性水質）裡，水溶液也沒有變色，代表在微酸或微鹼的水質環境裡，銅離子皆沒有釋出。
3. 因此利用銅鎂離子置換來處理實驗室裡的硫酸銅廢液是有效的，也是安全的，因為螯合過銅離子的葉子並不會再造成二次的環境污染。

## 五、探討藍綠菌是否能進行鎂銅離子置換

### 實驗數據：

表 5-5-1 藍綠菌和油桐在硫酸銅各濃度水溶液的銅離子移除率記錄表

硫酸銅濃度		3%		6%		9%			
葉子種類		藍綠菌	油桐	藍綠菌	油桐	藍綠菌	油桐		
天數	第 1 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	236	226	178	162	109	100
			第 2 次	231	226	172	158	110	99
			第 3 次	233	223	172	163	108	99
			平均	233.3	225.0	174.0	161.0	109.0	99.3
		吸收度	0.0369	0.0527	0.1643	0.1980	0.3674	0.4077	
	移除率 (%)	75.58	65.11	45.57	34.40	18.85	9.95		
	第 2 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	238	232	190	178	118	106
			第 2 次	240	230	190	173	117	108
			第 3 次	236	231	191	171	115	104
			平均	238.0	231.0	190.3	174.0	116.7	106.0
		吸收度	0.0283	0.0412	0.1253	0.1643	0.3379	0.3795	
	移除率 (%)	81.28	72.69	58.48	45.57	25.37	16.18		
	第 3 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	242	235	195	190	121	108
			第 2 次	241	233	193	188	119	110
			第 3 次	243	231	194	186	122	107
			平均	242.0	233.0	194.0	188.0	120.7	108.3
		吸收度	0.0210	0.0375	0.1170	0.1307	0.3232	0.3701	
	移除率 (%)	86.07	75.17	61.23	56.71	28.61	18.27		
	第 4 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	246	236	200	189	130	115
			第 2 次	247	232	198	187	128	116
第 3 次			245	235	200	192	128	118	
平均			246.0	234.3	199.3	189.3	128.7	116.3	
吸收度		0.0139	0.0350	0.1053	0.1276	0.2954	0.3391		
移除率 (%)	90.79	76.81	65.13	57.72	34.76	25.10			
第 5 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	245	237	201	189	131	121	
		第 2 次	248	239	199	189	129	117	
		第 3 次	245	235	199	191	129	119	
		平均	246.0	237.0	199.7	189.7	129.7	119.0	
	吸收度	0.0139	0.0301	0.1045	0.1268	0.2920	0.3293		
移除率 (%)	90.79	80.07	65.37	57.98	35.51	27.27			

硫酸銅濃度		3%		6%		9%		
葉子種類		藍綠菌	油桐	藍綠菌	油桐	藍綠菌	油桐	
第6天	拾色器 測量 R 值	第1次	248	239	200	190	131	119
		第2次	246	237	200	190	130	119
		第3次	246	236	201	192	130	120
		平均	246.7	237.3	200.3	190.7	130.3	119.3
	吸收度	0.0127	0.0295	0.1031	0.1246	0.2898	0.3281	
移除率 (%)		91.57	80.47	65.85	58.73	36.00	27.54	
第7天	拾色器 測量 R 值	第1次	249	239	201	191	132	121
		第2次	245	238	201	192	131	119
		第3次	247	238	202	190	130	122
		平均	247.0	238.3	201.3	191.0	131.0	120.7
	吸收度	0.0121	0.0276	0.1009	0.1238	0.2876	0.3232	
移除率 (%)		91.96	81.68	66.57	58.99	36.49	28.61	

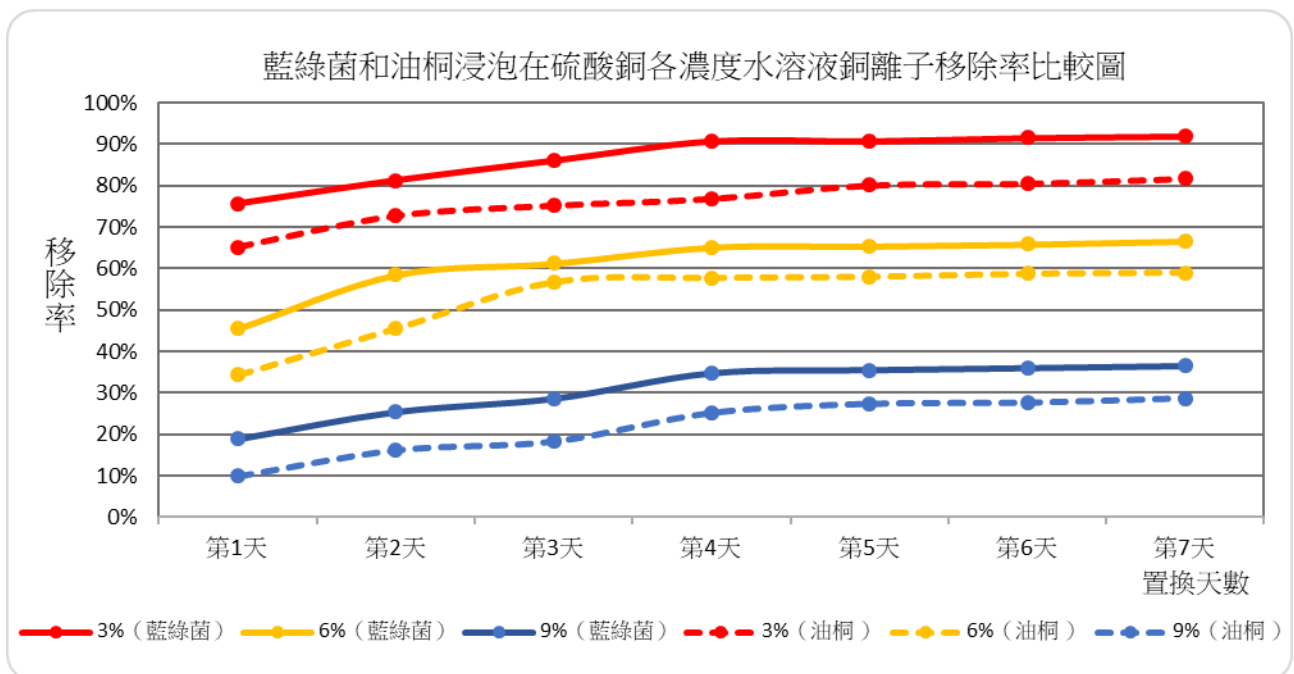


圖 5-5-1 藍綠菌和油桐在硫酸銅各濃度水溶液銅離子移除率比較圖

### 實驗討論：

1. 從實驗數據可知，不論濃度或是置換天數，藍綠菌的移除率皆高於油桐的移除率，在3%的硫酸銅水溶液中移除率高於其他的濃度，這點於陸生植物的葉子相同。
2. 藍綠菌有葉綠素，但不具葉綠體。葉綠素是普遍存在具光合作用能力生物中，主要反射綠光的光合色素的合稱。本實驗就是利用葉綠素中的卟啉環來螯合銅離子。葉綠體是綠色植物和藻類等細胞中專業化亞單元的胞器，不同植物中葉綠體數目相對穩定，大多數高等植物的葉肉細胞含有幾十到幾百個葉綠體，葉綠體的數目因物種、細胞類型而異。藻類通常只有一個巨大的葉綠體。藍綠藻雖然沒有葉綠體，但是因為數量眾多的葉綠素（由肉眼不可見的微生物形成肉眼可見的綠色藻華），所以從數據裡可知置換的銅離子數量可觀。
3. 藍綠菌葉綠素卟啉環內的鎂銅離子置換速度快，所以用硫酸銅來殺菌是一個可行的辦法。

六、比較藍綠菌與水蘊草鎂銅離子的置換速度  
實驗數據：

表 5-6-1 藍綠菌和水蘊草在硫酸銅各濃度水溶液的銅離子移除率記錄表

硫酸銅濃度		3%		6%			
葉子種類		藍綠菌	水蘊草	藍綠菌	水蘊草		
天數	第 1 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	235	193	177	141
			第 2 次	232	192	173	140
			第 3 次	233	194	173	138
			平均	0.0369	0.1193	0.1635	0.2597
		吸收度		0.0369	0.1193	0.1635	0.2597
		移除率 (%)		75.58	20.97	45.85	13.95
	第 2 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	239	196	189	142
			第 2 次	238	195	192	144
			第 3 次	237	197	191	141
			平均	238.0	196.0	190.7	142.3
		吸收度		0.0283	0.1126	0.1246	0.2515
		移除率 (%)		81.28	25.41	58.73	16.67
	第 3 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	243	200	194	145
			第 2 次	242	198	195	147
			第 3 次	240	201	193	146
			平均	241.7	199.7	194.0	146.0
		吸收度		0.0216	0.1045	0.1170	0.2405
		移除率 (%)		85.68	30.74	61.23	20.33
	第 4 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	246	203	199	148
			第 2 次	245	202	199	151
			第 3 次	245	203	200	150
			平均	245.3	202.7	199.3	149.7
		吸收度		0.0151	0.0981	0.1053	0.2297
		移除率 (%)		90.01	35.03	65.13	23.90
	第 5 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	246	205	200	152
			第 2 次	247	206	199	154
			第 3 次	245	207	200	152
			平均	246.0	206.0	199.7	152.7
吸收度		0.0139	0.0910	0.1045	0.2211		
移除率 (%)		90.79	39.73	65.37	26.75		
第 6 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	247	210	201	155	
		第 2 次	245	209	200	158	
		第 3 次	248	209	201	157	
		平均	246.7	209.3	200.7	156.7	
	吸收度		0.0127	0.0840	0.1024	0.2099	
	移除率 (%)		91.57	44.35	66.09	30.48	
第 7 天	拾色器 測量 R 值	第 1 次	248	211	201	156	
		第 2 次	246	210	202	158	
		第 3 次	247	210	202	158	
		平均	247.0	210.3	201.7	157.3	
	吸收度		0.0121	0.0819	0.1002	0.2080	
	移除率 (%)		91.96	45.72	66.80	31.09	

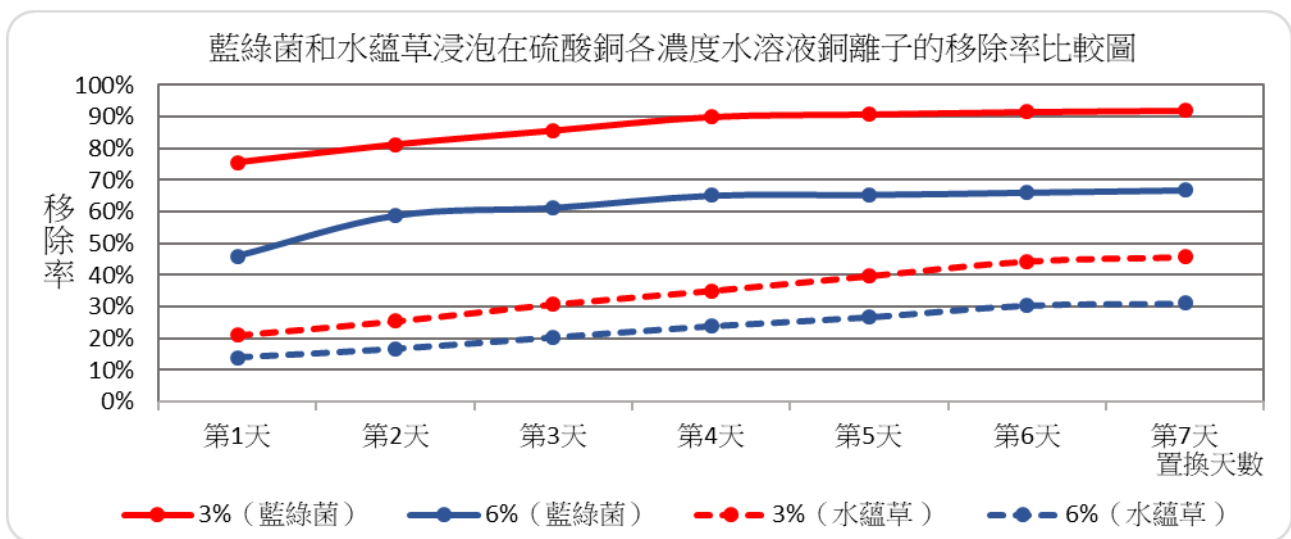


圖 5-6-1 藍綠菌和水蘊草在硫酸銅各濃度水溶液銅離子移除率比較圖

### 實驗討論：

1. 從實驗數據中可知，在相同重量下，不論置換天數多寡，藍綠菌的移除率都高於水蘊草，代表藍綠菌的置換速度快於水蘊草，所以水蘊草葉綠素吡啉環內去螯合銅離子的機會就變低了，也比較不容易造成水蘊草的死亡。
2. 我們查詢了資料，游昕穎（2016）的研究報告指出重金屬會使水蘊草啟動熱休克蛋白保護機制，所謂熱休克蛋白為高度保守的分子伴護蛋白質，主要功能為協助蛋白質折疊，維持細胞正常機能。研究發現其在植物中亦受低溫、失水、高鹽、黑暗、紫外光等環境逆境及病蟲害感染等生物逆境誘導，並直接影響植物對逆境的耐抗性。因此在有金屬離子的環境中可能是因為植物的熱休克蛋白保護機制使其細胞質流流速維持，甚至變快。邱彥璋（2006）在「水生植物在環境毒性檢測之運用」的研究報告指出除了水蘊草之外，其他的水生植物在重金屬的環境中也會啟動熱休克蛋白機制，推論此現象可能與有些蛋白質需金屬離子協助作用有關，如鐵離子、銅離子有助於血紅素及血清素攜帶氧氣，因此推測相關重金屬可能會影響細胞質流的蛋白質。所以水生植物在重金屬的環境下生存能力相對優。
3. 綜合以上兩點，我們可知在同一水域環境下投放硫酸銅晶體，藍綠菌會比水蘊草更早產生鎂銅離子的置換，導致無法行光合作用而死亡。

### 七、探討自然水域環境下螯合後的藍綠菌是否會再度釋出銅離子

#### 實驗結果：



圖 5-7-1

藍綠菌酸性水質下的結果，無任何硫化物沈澱



圖 5-7-2

藍綠菌鹼性水質下的結果，硫化鈉水溶液無變色



圖 5-7-3

藍綠菌在中性水質下的結果，無任何硫化物沈澱

**實驗討論：**

1. 把螯合銅離子的藍綠菌浸泡在酸性水質下用硫化鈉檢驗，無任何硫化物沈澱。把螯合銅離子的藍綠菌直接浸泡在硫化鈉水溶液（鹼性水質）裡，水溶液也沒有變色，代表在微酸或微鹼的水質環境裡，銅離子皆沒有釋出。
2. 因此我們可以用藍綠菌來置換普通的植物葉子進行銅鎂離子置換，而且實驗證明與普通的葉子效果相同，也是安全的，因為螯合過銅離子的藍綠菌不論在酸性或鹼性水質中都不會再度釋出，造成水域環境污染。而且螯後的藍綠菌因無法行光合作用獲取能量而導致死亡，也一併解決掉藻華現象所產生的毒素，可一舉兩得。

**八、 投放硫酸銅晶體進入水族箱中觀察水生動物的活動情形**



圖 5-8-1

藍綠菌投入之後，水族箱內的水質逐漸開始混濁



圖 5-8-2

投放硫酸銅晶體四天後水族箱內的小石頭附近都還有藍綠菌的



圖 5-8-3

7 天之後，濁度逐漸下降肉眼可見的水質逐漸澄清



圖 5-8-4

14 天之後，水質恢復到未放入藍綠菌的濁度，蓋斑鬥魚都存活

**實驗數據：**

表 5-8-1 水族箱濁度變化記錄表

天數	第 1 天	第 2 天	第 3 天 投放	第 4 天	第 5 天	第 6 天 投放	第 7 天	第 8 天	第 9 天 投放
水族箱濁度 (NTU)	5.3	6.4	7.8	9.5	11.6	12.99	11.24	10.33	9.81
天數	第 10 天	第 11 天	第 12 天 投放	第 13 天	第 14 天	第 15 天 投放	第 16 天	第 17 天	第 18 天 投放
水族箱濁度 (NTU)	8.14	7.12	6.33	5.12	4.64	4.13	3.71	3.57	2.85

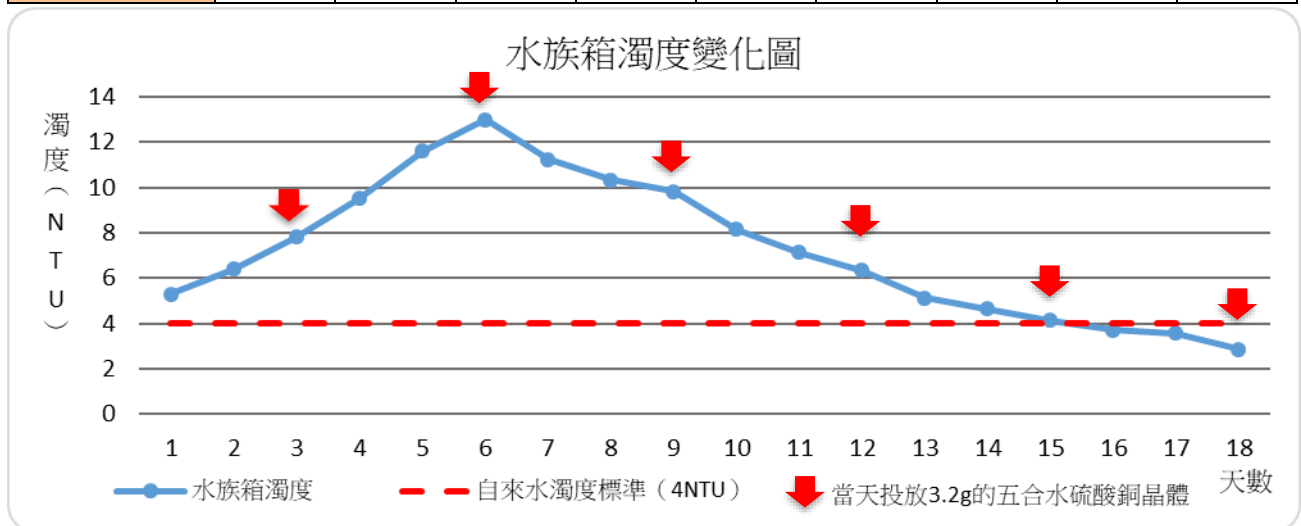


圖 5-8-1 投放硫酸銅晶體進入水族箱濁度變化圖

## 實驗討論：

1. 藍綠菌繁殖非常快速，第一、二次投放硫酸銅晶體濁度皆無降低，推論藍綠菌螯合銅離子成功之後，還需要一頓時間藍綠菌才會死亡，因為藍綠菌並不是被硫酸銅毒死的，而是無法行光合作用製造能量而死亡的，所以需要時間。
2. 到第三次投放的時候，就可以看見濁度開始降低，代表可能已經有效的抑制藍綠菌的繁殖，甚至進一步導致了藍綠菌的死亡。到第五次投放硫酸銅晶體時，濁度已經接近行政院水利署所公告的自來水濁度標準。
3. 第 18 天時我們進行第六次投放，水族箱的水質已經維持非常良好，可見水族箱內的藍綠菌大部分都已經死亡，而三隻蓋斑鬥魚皆存活，水族箱裡的水蘊草也沒有死亡，所以投放硫酸銅晶體透過鎂銅離子的置換，殺死藍綠菌是可行的辦法。

## 陸、結論

- 一、葉綠素卟啉環內鎂離子與銅離子的置換一般都使用萃取法，先從葉子裡萃取出葉綠素，然後再加入硫酸銅溶液進行反應，之後再加入正己烷萃取出反應液。**我們經過實驗確定可以直接從葉子的原型進行置換，不用需要再經過加工萃取出葉綠素才能進行置換，這樣大大減少了硫酸銅廢液處理的手續。**
- 二、探討不同的葉子結構，研究葉子的厚薄、有無表皮蠟質的葉子、網狀脈和平行脈的葉子會不會影響置換速度與能力的實驗發現，**有表皮蠟質的葉子會降低置換的速度但並不影響置換能力，而其他的葉子結構則不會影響。**
- 三、螯合銅離子的葉子不論在土壤裡，或是在微酸或微鹼的水質下，皆無檢測出銅離子再度釋出的情況。**因此利用銅鎂離子置換來處理實驗室裡的硫酸銅廢液是有效的，也是安全的，因為螯合過銅離子的葉子並不會再造成二次的環境污染。**
- 四、選擇有葉綠素但會污染水質與有神經毒素會傷害動物的藍綠菌來進行鎂銅離子置換，實驗證明是可行的，**藍綠菌葉綠素卟啉環內的鎂銅離子置換速度比陸生植物的葉子快，所以用硫酸銅來殺菌是一個可行的辦法。**
- 五、藍綠菌的置換速度快於水蘊草，所以水蘊草葉綠素卟啉環內螯合銅離子的機會變低了，也比較不容易造成水蘊草的死亡。加上重金屬會使水蘊草啟動熱休克蛋白保護機制，所以水蘊草在重金屬的環境下生存能力相對優。因此在同一水域環境下**投放硫酸銅晶體，藍綠菌會比水蘊草更早產生鎂銅離子的置換，導致無法行光合作用而死亡。**
- 六、透過實驗可知**只要把握低濃度，維持固定間隔天數，在同一水域持續投放硫酸銅晶體或是倒入硫酸銅水溶液，水生動物是安全的不會受到影響，而藍綠菌卻會因為銅離子螯合在葉綠素內無法進行光合作用而死亡。因此既可以處理實驗後硫酸銅的廢液，還能殺死水質優養化的元兇而且會產生神經毒素藍綠菌，可以說是一舉兩得。**

## 柒、參考資料

- 一、曾耀寰（2018）智慧手機在比色法濃度檢驗的應用。物理教育學刊，第十九卷第一期，59-72
- 二、鄭宇廷（2020）更靈敏的快速檢測法應用於探討 Cu<sup>2+</sup>在不同環境的沉澱移除條件。第十九屆旺宏科學獎成果報告書。
- 三、王奇隆、王秉謙、許丞蔚（2020）葉綠素酒精冷萃取法。中華民國第 60 屆中小學科學展覽會作品說明書
- 四、游昕頤（2016）瘋流蘊試—水蘊草的細胞質流機制初探。第十五屆旺宏科學獎成果報告書
- 五、邱彥璋（2006）水生生物在環境毒性檢測之利用。行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所技術專刊第 202 號
- 六、經濟部工業局（2009）硫酸銅廢液再利用技術。印刷電路板業資源化應用技術手冊，41-54

附件：

行政院農委會農業改良場檢測報告

行政院農委會 農業改良場檢測報告						
農戶姓名: [ ]	農戶地址: [ ]	樣品編號: 83652				
樣品種類: 土壤	樣品代號: [ ]	作物: [ ]				
檢驗員: 呂修芳	經辦人: 林清德	負責人: 湯運容				
送件日期: 2022/5/10	寄件日期: 2022/4/19	服務電話: 03-6768216轉330-335				
檢測項目	酸鹼度	電導率 (1:2)(mS/cm)	有機質 (%)	磷 (公斤/公頃)	氮 (公斤/公頃)	鉀 (公斤/公頃)
檢測值	7.2	67.2	7.3	6	1262	6359
參考值	5.5 - 6.8	< 0.6	> 3.0	60 - 250	50 - 200	2000 - 4000
檢測項目	氯化物 (公斤/公頃)	鎘 (ppm)	銅 (ppm)	鎳 (ppm)	鉛 (ppm)	砷 (ppm)
檢測值	1864	14.9	672.1	0.04	294.4	302.4
參考值	200 - 400	—	—	—	—	—
檢測項目	鉛 (ppm)					
檢測值	0.5					
備註:	弱酸性，不宜施用石灰資材及鹼性肥料。 總磷極高，減少施肥量，避免積蓄。 增加鉀肥施用。 機台鉀肥。 鉀含量極高，減少吸入。 極高鎳量。					

## 【評語】 080203

葉綠素中的鎂離子與溶液中銅離子交換的實驗在過去科展常出現。本研究用樹葉直接進行鎂銅離子交換，去除廢水中的銅離子，較以往用萃取的葉綠素來進行交換反應簡單。進而使用活體的藍綠藻吸附銅離子，達到將兩個環境污染問題，含銅離子廢水與藍綠藻過度生長之優養化水域，一起解決。具環保實用價值，值得鼓勵。以下幾點可作加強：

1. 比色法用到的標準濃度硫酸銅溶液是如何配製，和實驗的準確度，應加強說明。
2. 置換後的葉綠素仍然有銅離子存在，應進一步將葉片中的銅離子回收，重複進行抓取廢水中的銅離子。
3. 使用銅離子消滅水中的藍綠菌，應注意銅離子造成水的污染。



## 作品簡報



# 「葉」「銅」學來殺菌

科 別：化學科

組 別：國小組

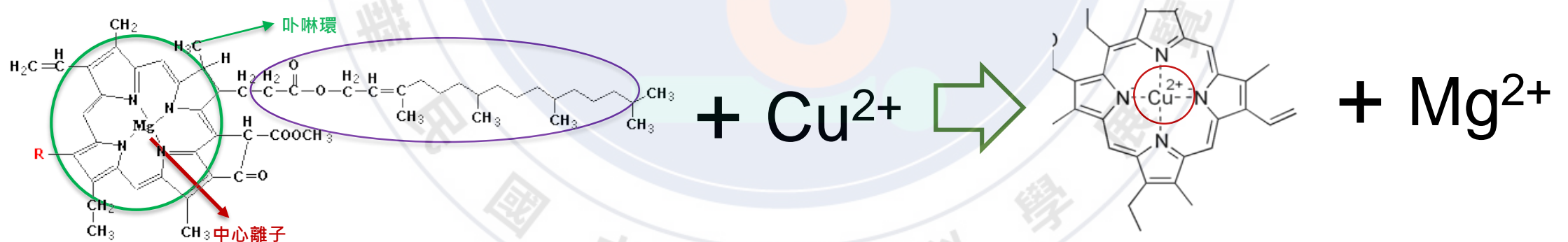
作品名稱：「葉」「銅」學來殺菌

# 研究問題探討

根據經濟部工業局 (2009) <硫酸銅廢液再利用技術>一文，硫酸銅廢液目前常見的處理方法

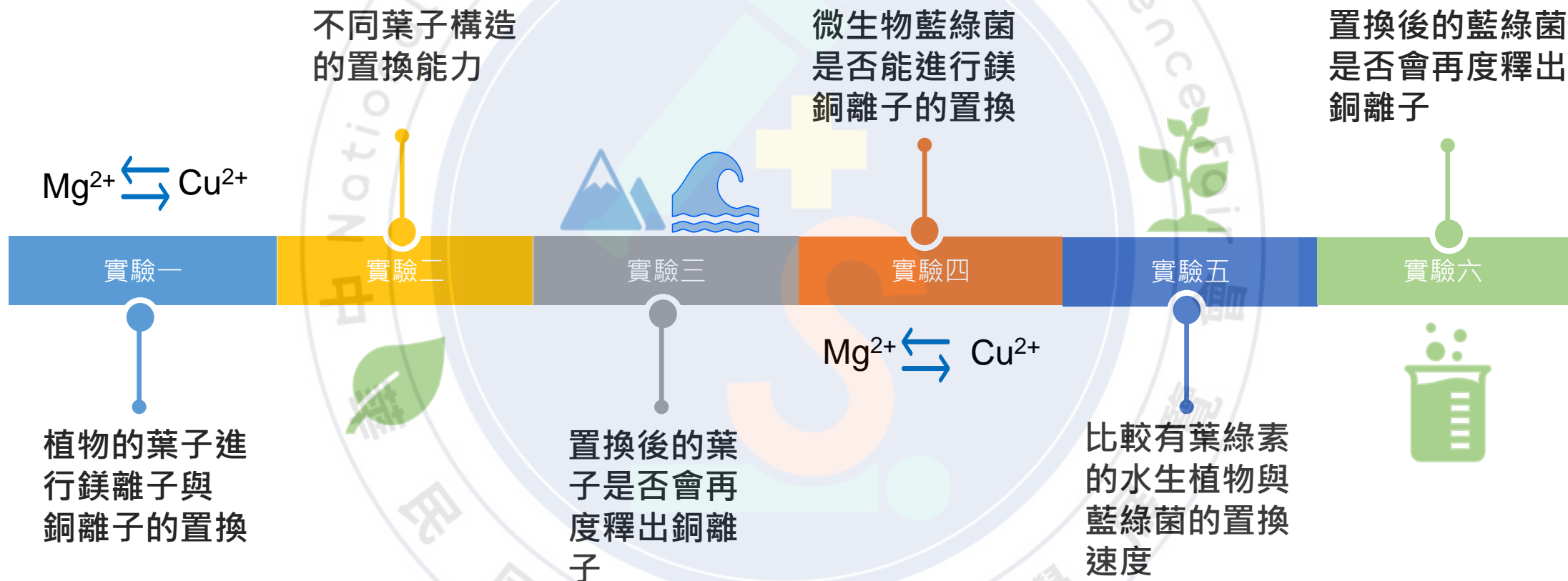
方法	步驟	缺點
化學沉澱去除法	於廢水中添加氫氧化鈉、氫氧化鈣等鹼劑，以調高pH值（一般為9~10），讓銅離子形成不溶性之氫氧化物，再添加聚合物以形成較大具黏性的小顆粒後等它沉降再去除。	1. 需藉經過多次的化學形態的轉化才能回收利用。 2. 耗費大量藥品。
硫化物沉澱法	讓銅離子和硫離子反應生成難溶的金屬硫化物沉澱，然後再過濾分離。	硫化物沉澱顆粒細小，需要添加化學藥劑輔助沉澱，使處理費用增加。硫化物在酸性溶液裡還會產生有毒的氣體。
化學銅廢液	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 硫酸亞鐵處理法：先加入硫酸亞鐵，將銅離子從螯合劑中分離，再用重金屬化學沉降去除。</li> <li>2. 鈣鹽處理法：原理同上。</li> <li>3. 硼氫化鈉還原法：利用該強還原劑將銅離子從螯合劑中分離，再用重金屬化學沉降去除。</li> <li>4. 鋁沉積法：加入鋁使成電荷交換，使銅離子還原為金屬銅沉積析出。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 單一的化學沈澱法難以符合污水排放標準。</li> <li>2. 必須還要配合其他處理方法一起操作，使得處理費用增加。</li> </ol>

📌 學校電鍍後的硫酸銅廢液不多，是否有更簡單方便，而且省錢的處理方法？



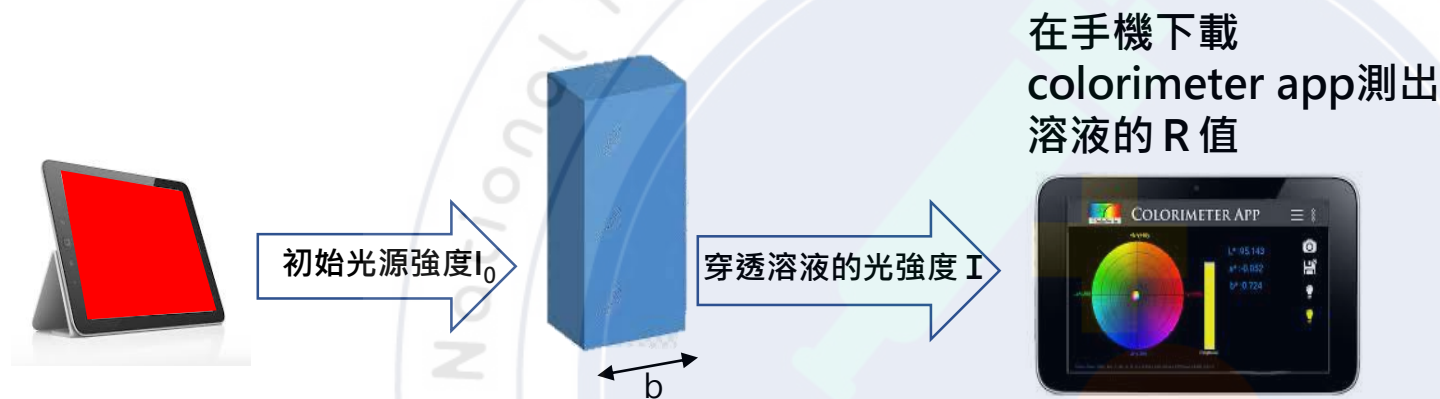
葉綠素中的卟啉環在天然的环境下螯合鎂離子，但是也能與其他正二價金屬離子置換，硫酸銅裡的銅離子就是正二價金屬離子，或許我們可以試試看這辦法。

# 研究方法

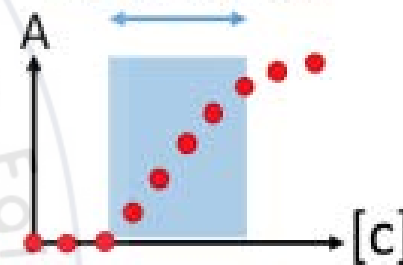


# 建立硫酸銅水溶液濃度檢量線

比色法主要的理論來自朗伯比爾定律：吸收度在特定濃度範圍與物質濃度成正比。



遵守比爾定律



## 選擇比色法的原因

因為學校沒有儀器測定銅離子的濃度

按照朗伯比爾定律  
吸收度  $A = \epsilon b [c]$

$\epsilon$  為吸光係數，本實驗裡皆為硫酸銅水溶液所以為定值。

$b$  稱為光徑，在本實驗裡為燒杯直徑，也為定值。

$[c]$  是物質的濃度  
所以吸收度與物質濃度成正比關係。

透過朗伯比爾定律轉換成數學公式計算便可求得吸收度

吸收度計算公式為  
 $A = -\log T$

$T$  為穿透率： $T = I / I_0$

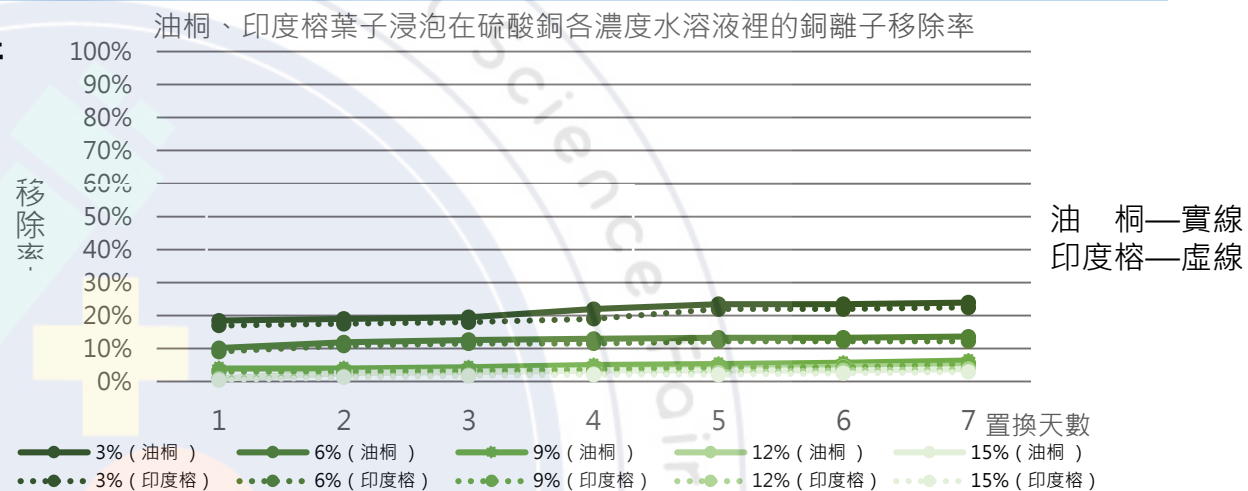
需要注意：

- 1、當物質濃度過高會使物質吸收度偏離正比關係。
- 2、物質的吸收度低於本實驗儀器的偵測極限時，則無法成一正比關係。

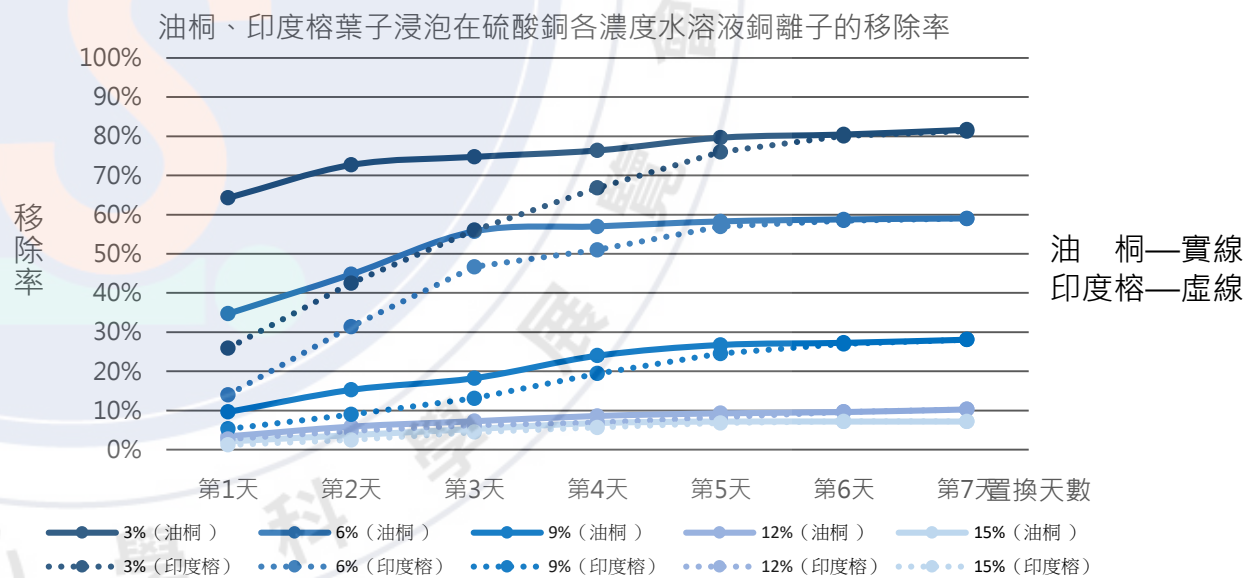
✦ 本實驗之效正曲線，請參閱「作品說明書第13頁」

# 實驗結果-1 葉綠素卟啉環內鎂離子與硫酸銅水溶液裡銅離子的置換

▶ 葉子浸泡乙酸去除中心離子鎂離子後，再進行銅離子置換

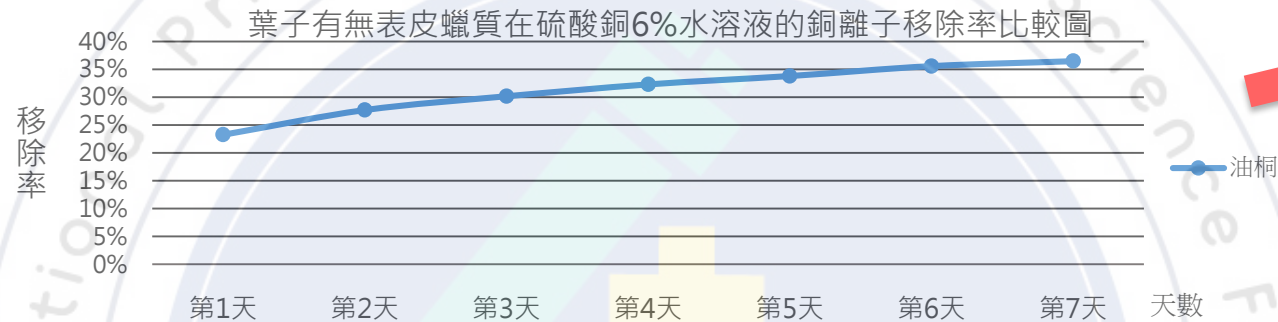


▶ 卟啉環內有中心離子鎂離子的情況下，浸泡入硫酸銅水溶液直接進行銅離子置換



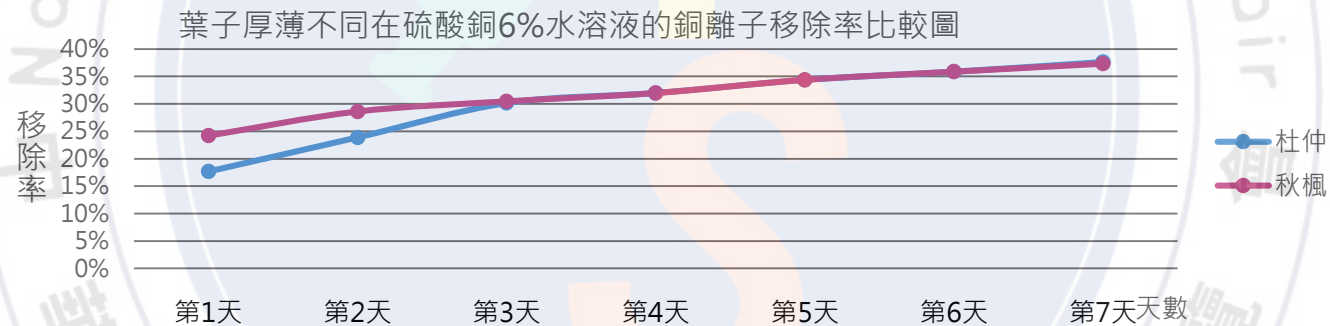
# 實驗結果-2 葉子的構造是否會影響置換的速度

## 1、葉面有無表皮蠟質

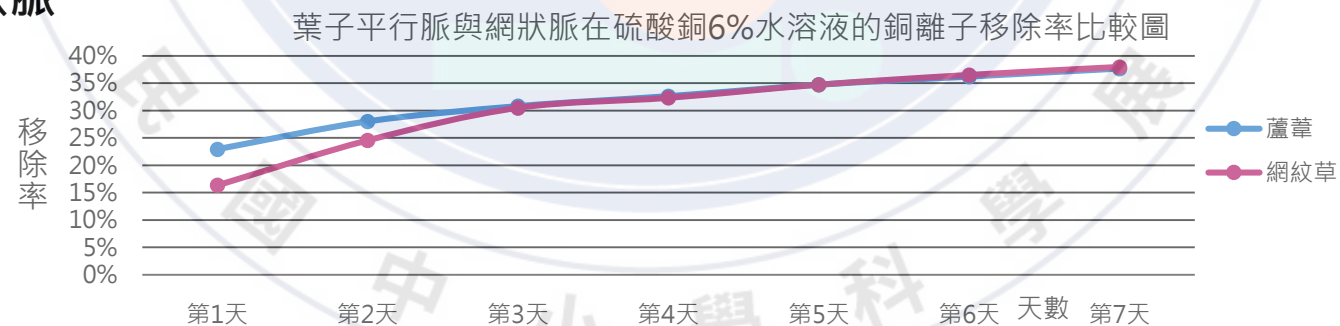


因為印度榕的葉子浸泡入硫酸銅水溶液中後產生混濁，代表有其他物質溶出，因此無法使用標準檢量線來計算其移除率。

## 2、葉子的厚薄



## 3、葉脈平行脈與網狀脈



根據實驗結果，如果要短時間速度比較快的置換，可以選擇葉子較薄或是平行脈的葉子，但是若是硫酸銅濃度較高，需要較長時間置換，葉子的結構則無太大差別。

# 解決混濁印度榕汁液移除率計算的問題

方法一



葉子完整泡入蒸餾水中

方法二



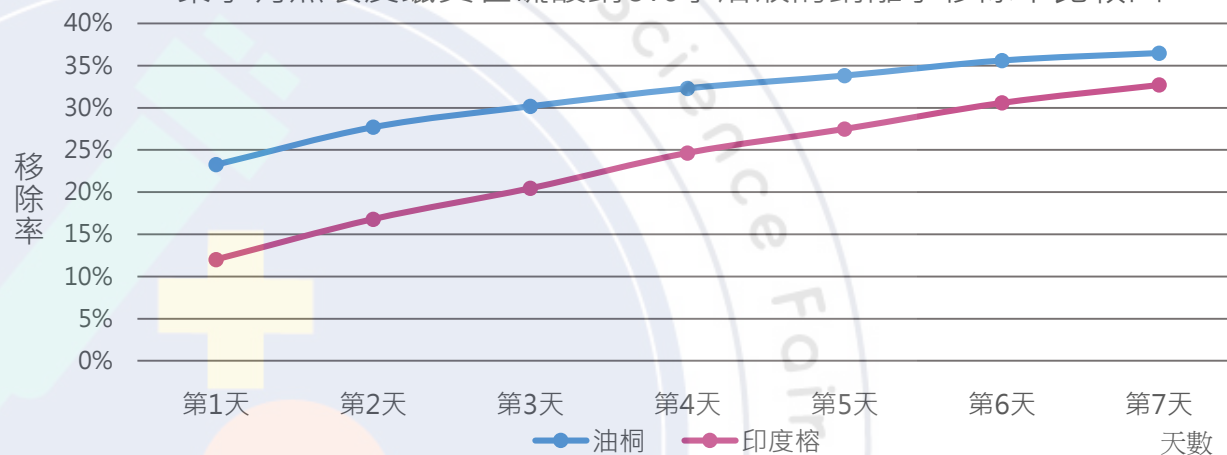
除了葉梗之外，其他葉面完整泡入蒸餾水中

方法三



剪碎葉片除掉葉梗之後浸泡入蒸餾水中

葉子有無表皮蠟質在硫酸銅6%水溶液的銅離子移除率比較圖



## 有表皮蠟質的葉子讓硫酸銅水溶液由混濁變澄清的原因



置換一天後的硫酸銅水溶液，非常混濁



置換四天後的硫酸銅水溶液變成澄清了



蒸餾水浸泡印度榕變得越來越混濁。硫酸銅水溶液浸泡印度榕越來越澄清。

由方法一、二、三推論得知應該是印度榕的乳膠汁液與硫酸銅產生了化學反應，使得硫酸銅水溶液由混濁逐漸變澄清。至於是乳膠內的哪一種成分與硫酸銅產生了化學變化，可留待未來做進一步研究。



# 實驗結果-3 置換後的葉子是否會再度釋出銅離子

## 行政院農委會 農業改良場檢測報告

農戶姓名: ■■■ 農戶編號: ■■■ 樣品編號: 83652  
樣品種類: 土壤 樣品代號: ■■■■■■ 作物: ■■■■■■  
檢驗員: 呂修芳 經辦人: 林勇偉 負責人: 湯雪溶  
送件日期: 2022/3/10 寄件日期: 2022/4/19 服務電話: 034768216轉330-335

檢測項目	酸鹼度	電導度 (1:5)(mS/cm)	有機質 (%)	磷鈣 (公斤/公頃)	氧化鉀 (公斤/公頃)	氧化鈣 (公斤/公頃)
檢測值	7.2	0.72	7.3	6	1262	6339
參考值	5.5 - 6.8	< 0.6	> 3.0	60 - 290	90 - 300	2000 - 4000
檢測項目	氧化鎂 (公斤/公頃)	銅 (ppm)	鋅 (ppm)	鎳 (ppm)	鎳 (ppm)	鉻 (ppm)
檢測值	1864	14.9	672.1	0.04	294.4	102.4
參考值	200 - 400	--	--	--	--	--
檢測項目	鉛 (ppm)					
檢測值	0.5					

建議：  
弱鹼性，不宜施用石灰資材及鹼性肥料。  
酸鹼度偏高，減少施肥量，避免鹽害。  
增加磷肥施用。  
停用鉀肥。  
鈣含量偏高，減少投入。  
停用鎂肥。

### 埋入土中

把置換完畢24g葉子埋入45 X 30 X 20cm的土裡，經60日完全腐化之後取樣本送至農改場檢驗。



### 浸入水中分別經1日、1周與一個月後檢驗



微酸水質



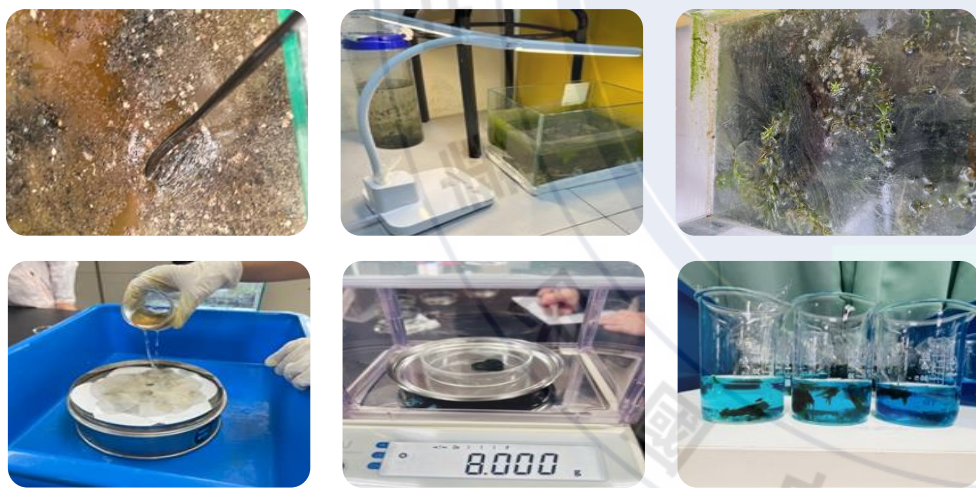
微鹼水質



## 實驗結果-4 藍綠菌能否進行鎂銅離子置換

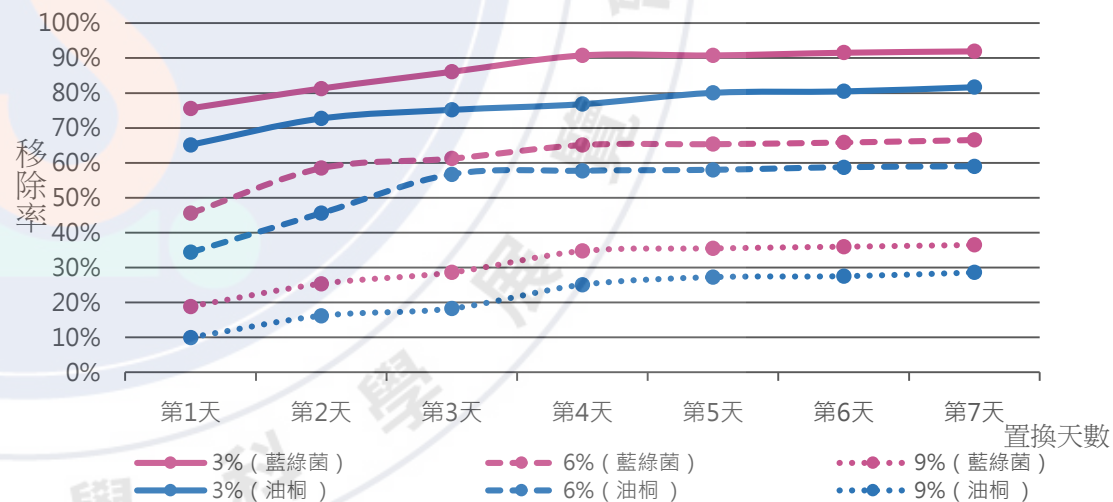
實驗動機：要完全置換硫酸銅水溶液裡的銅離子便要摘取不少新鮮的葉子，我們覺得這對植物是一種傷害。於是我們思考是否能找到「擁有葉綠素的生物但是對環境是有害的」，讓我們可以拿來做置換處理廢液。

- (1) 藍綠菌是擁有葉綠素的微生物，能靠行光合作用而獲取能量。
- (2) 藍綠菌有含有神經毒素，大量的藍綠菌會產生有腥臭味的「藻華現象」，裡面所含的神經毒素會造成水中動物中毒，若是污染人類的飲用水源，則會影響到健康。

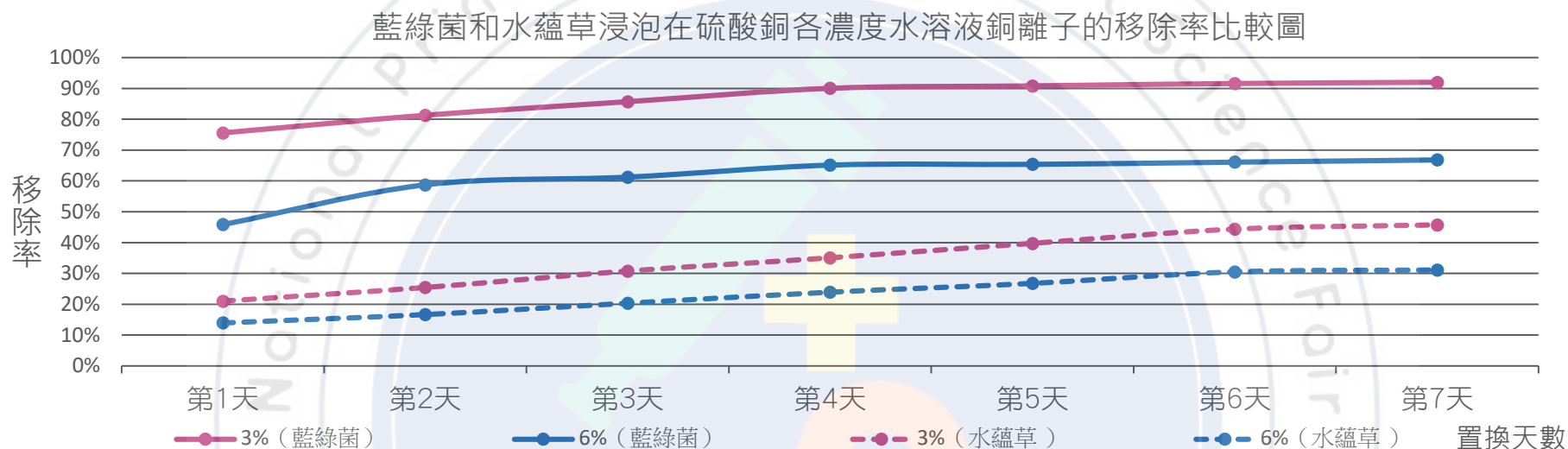


在實驗室裡繁殖藍綠菌的過程

藍綠菌和油桐浸泡在硫酸銅各濃度水溶液銅離子移除率比較圖



## 實驗結果-5 比較藍綠菌與水蘊草鎂銅離子的置換速度



### 實驗討論：

1. 從實驗數據中可知，藍綠菌的移除率都高於水蘊草，代表藍綠菌的置換速度快於水蘊草，比較不容易造成水蘊草的死亡。
2. 研究報告指出重金屬會使水蘊草啟動熱休克蛋白保護機制，因此推測相關重金屬可能會影響細胞質流的蛋白質。所以水生植物在重金屬的環境下生存能力與藍綠菌比較相對優。
3. 綜合以上兩點，我們可知在同一水域環境下投放硫酸銅晶體，藍綠菌會比水蘊草更早產生鎂銅離子的置換，導致無法行光合作用而死亡。

# 實驗結果-6 置換後的藍綠菌是否會再度釋出銅離子

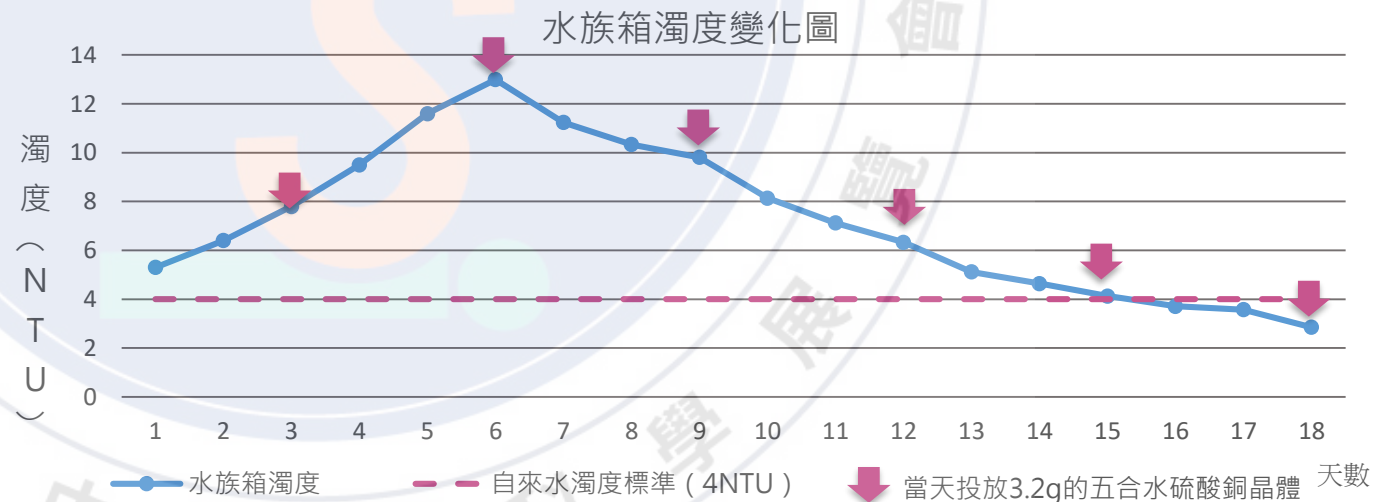
浸入水中分別經1日、1周與一個月後檢驗



## 投放硫酸銅晶體入水族箱觀察水生動物的活動情況



在水族箱放入藍綠菌繁殖，再投放硫酸銅晶體，觀察水質的濁度變化情形



## 結論

- 一. 我們成功地利用葉子的原形進行鎂銅離子的置換，不需要再使用萃取法，大大減少了硫酸銅廢液處理的手續。在學校實驗廢液不多的情況下，比目前其他硫酸銅廢液處理方式都要來得簡單快速，而且經濟。
- 二. 置換後的葉子在土壤裡或水中皆不會再度釋出銅離子，不會造成二次污染。
- 三. 利用有葉綠素的藍綠菌來進行置換，可以避免摘採大量新鮮的葉子，對植物造成傷害。
- 四. 藍綠菌的葉綠素數量眾多，置換速度優於水生植物，且置換後的藍綠菌在水中不會再度釋出銅離子。
- 五. 透過實驗可知只要把握低濃度，維持固定間隔天數，在同一水域倒入低濃度的硫酸銅水溶液，藍綠菌會因為鎂銅離子的置換無法進行光合作用而死亡。此舉既可以處理實驗後硫酸銅的廢液，還能殺死會產生神經毒素的藍綠菌，可以說是一舉兩得。



## 參考文獻

1. 經濟部工業局 (2009) 硫酸銅廢液再利用技術。印刷電路板業資源化應用技術手冊，41-54
2. 曾耀寰 (2018) 智慧手機在比色法濃度檢驗的應用。物理教育學刊，第十九卷第一期，59-72
3. 邱彥璋 (2006) 水生生物在環境毒性檢測之利用。行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所技術專刊第202號