

# 2021 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 060004

參展科別 植物學

作品名稱 重金對抗-重金屬對水蘊草抗氧化活性之研究

就讀學校 屏東縣立明正國民中學

指導教師 陳盈吉、鍾梅英

作者姓名 楊承昕、鍾嘉樂、朱芷葶

關鍵詞 抗氧化活性、過氧化氫酶(CAT)、溶氧量

## 作者簡介



我是楊承昕，是屏東縣立明正國中的學生，目前九年級，平時喜歡運動，當初做這個題目的時候才七年級，會想要做這個題目是因為聽見了學長姐告訴我們如何做科展，可以朝哪個方向，並且分享了他們之前的作品，聽到後，我們這組有了做這件作品的想法，可惜在縣內比賽時因為第一次比賽，過於緊張，一直失誤。很開心這次能入選台灣國際科展，這次也認真的準備了許多，希望能拿到一個滿意的名次，不要辜負學長姐們和老師們的期望。



我的名字叫做鍾嘉樂，我是一名國中三年級的學生。我的興趣是閱讀，最喜歡的縣市是台東，因為那裏有著都市中所沒有新鮮空氣及我最愛吃的海鮮。我的個性較為文靜，而且個人感情豐富，對於自己的責任心大，習慣去將事情做到完美，且是較為謹慎的人。

我的休閒活動是陪狗玩、聽音樂、爬山及釣魚。在學校最喜歡的科目是自然，但是帶給我最大成就感的是社會。

我未來的期望是當一位考古學家。



大家好，我是朱芷葶，屏東縣立明正國中九年級的學生。當初做這個題目「重金對抗」的時候我才七年級，雖然當時報的是國中小學科學展覽會的生物組，卻也需要相當多的理化知識，那時尚未接觸國中理化的我，對離子、氧化還原等等概念一竅不通，幸好有老師的指導，得以讓我對上述概念有一些基本的認識。也因為為了要做科展的報告，我學會了一些常用的電腦知識，像是 Excel、SmartArt 與雲端硬碟的用法，這些都是學校很常會需要用到的軟體，所以參加這次科展真的讓我受益良多。

## 摘要

本研究採用水蘊草做為水生植物材料，以 0.1%、0.5%的鎂離子、鈣離子與銅離子為培養液，於一般光照、全光照與全黑暗的環境下，分析溶氧量、葉綠素 a、總抗氧化活性與 CAT 活性的分析。

所得結果發現低濃度、高濃度的鎂離子、鈣離子在光照的環境下都可以提高溶氧量、提高葉綠素 a 含量、提高總體抗氧化活性與 CAT 活性；而銅離子對於水蘊草而言可能是種傷害，都會降低溶氧量、降低葉綠素 a 含量、降低總體抗氧化活性與 CAT 活性。

In this study, *Egeria densa* was used as aquatic plant material, and 1%, 0.5% magnesium ion , calcium ion and copper ion were used as the culture medium. The dissolved oxygen, chlorophyll a, total antioxidant activity and CAT activity were analyzed under general light, full light and total darkness setting.

The results we founded were that low-concentration and high-concentration aqueous solutions of magnesium ion and calcium ion could increase the dissolved oxygen amount, increase the amount of chlorophyll a, and increase the total antioxidant activity and CAT activity in the light environment; while copper ion may be a kind of damage for *Egeria densa*, which would reduce dissolved oxygen amount, reduce chlorophyll a amount, reduce total antioxidant activity and CAT activity.

# 壹、 研究動機

科學班的學姊曾經以水蘊草為材料，探討花青素的應用協助水蘊草抵抗銅離子汙染時所產生的生理威脅。聽到學姊分享之後，引起我們這組對於探討金屬離子對於水蘊草的光合作用、呼吸作用的影響可能為何?於是進行此實驗。

## 貳、 文獻探討與分析

### 一、 重金屬汙染與抗氧化活性

關於重金屬汙染植物之後產生的生理現象，有篇研究利用滿江紅作為植物材料，以重金屬鎘汙染之後發現湖泊中的滿江紅藻類在缺乏鉀離子的狀況以及遭受重金屬汙染的環境下，滿江紅體內會自己產生花青素來抵禦外界汙染。第 56 屆全國中小學科展中也有人以水蘊草作為材料，以銅離子汙染水蘊草後發現其 CAT 活性下降，且遭受汙染的水蘊草其葉綠體會有增生現象。

根據所探討的文獻，我們可以綜合出水生植物較利於做金屬離子汙染的植物材料，且遭受金屬離子汙染之後植物體可能產生花青素(抗氧化物質)來抵禦外來逆境，可是金屬離子也會讓植物體內的抗氧化活性酶(POD、CAT)下降。總和以上摘要，我們認為可再擴充之方向為探究遭受金屬離子汙染之水生植物，其葉綠體增生之後其葉綠素 a 量是否有所改變? 另外不同的金屬離子種類和濃度，對於水生植物的溶氧量、抗氧化活性是否有不同的影響?

### 二、 抗氧化活性

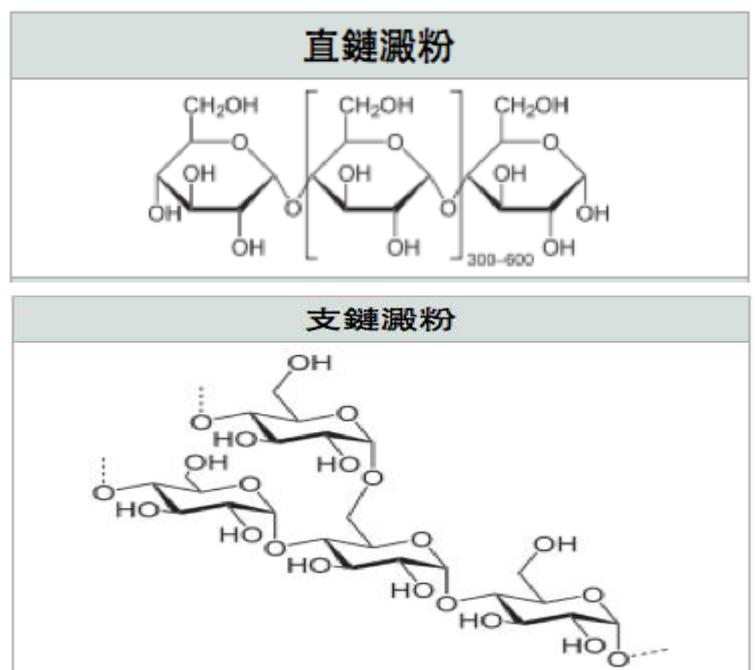
2015 年國內中小學科展以臺灣的原生種小米在鹽類逆境下，小米的根部會累積大量的花青素並增加體內抗氧化活性酶(過氧化酶(Guaiacol Peroxidase, G-POD)、過氧化氫酶(Catalase, CAT))的活性；大部份中小學研究以澱粉碘液滴定法來進行抗氧化活性的檢定，以下第三部份介紹澱粉碘液滴定。

### 三、 澱粉碘液滴定

#### (一)澱粉與碘液反應呈色的原理說明

##### 1. 澱粉的結構說明與碘液呈色說明

- (1) 澱粉約為 180 個以上的葡萄糖為單元體所構成的天然聚合物。
- (2) 澱粉依其分子結構可分為兩大類：天然的澱粉中通常含有直鏈澱粉(20%-30%)，支鏈狀澱粉(70%-80%)。
- (3) 直鏈澱粉與碘溶液作用會變成深

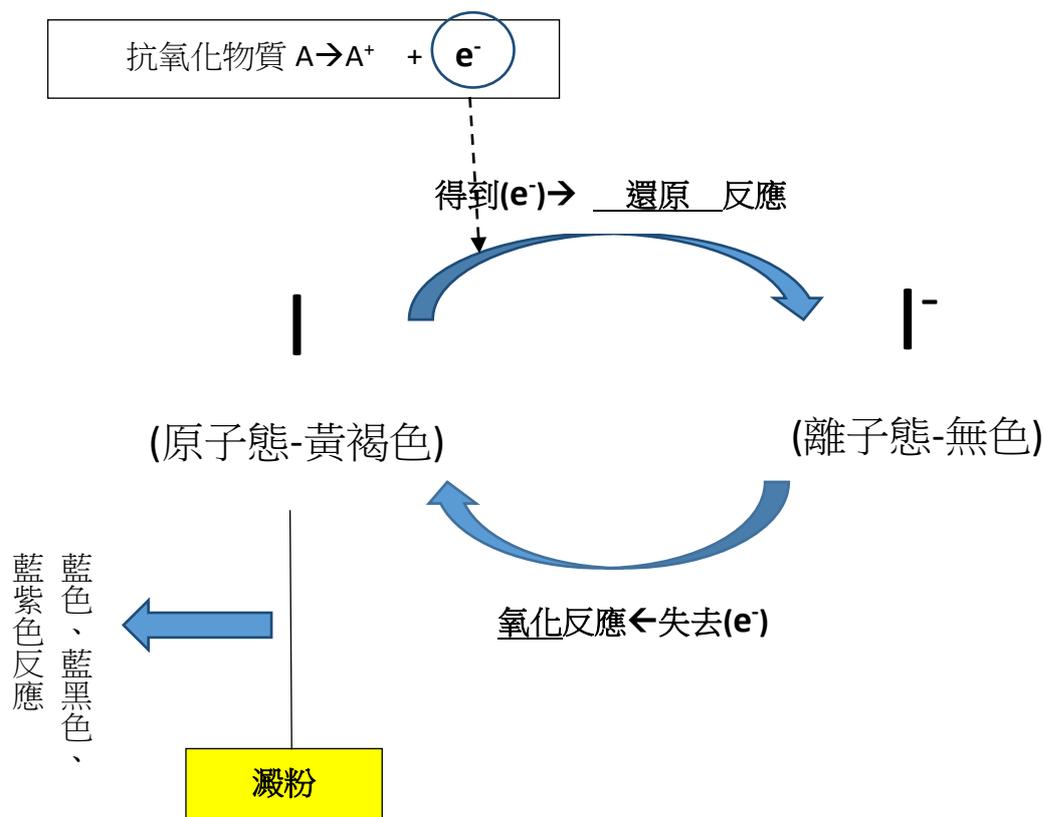




#### 4. 碘澱抗氧化滴定原理

(1) 抗氧化劑為本身氧化，促使他物產生還原反應。

(2) 碘澱抗氧化滴定原理



### 參、 研究目的與問題

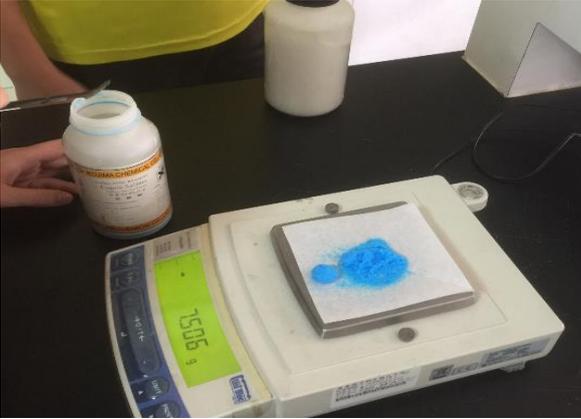
- 一、金屬離子對於水蘊草之葉綠體發育的影響(環境正常日照、全光照、全黑暗)
  - (一) 不同種類的金屬離子對於水蘊草之葉綠體發育之影響?
  - (二) 不同種類的金屬離子對於水蘊草之葉綠素 a 含量之影響?
  - (三) 不同種類的金屬離子對於水蘊草培養水域之溶氧量影響?
- 二、金屬離子對於水蘊草之抗氧化活性的影響(環境正常日照、全光照、全黑暗)
  - (一) 不同種類的金屬離子對於水蘊草之總體抗氧化活性之影響?
  - (二) 不同種類的金屬離子對於水蘊草之過氧化氫酶(CAT)之活性影響?

### 肆、 研究設備與器材

水蘊草、氯化鈣、氯化鎂、硫酸銅、燒杯、pH 計、溶氧計、分光光度計、比色管、碘液、澱粉、微量吸管、日光燈、培養箱、電子磅秤。

## 伍、 研究方法

- 一、準備重量百分濃度為 0.1%、0.5 的氯化鈣、氯化鎂、硫酸銅水溶液。
- 二、將水蘊草放入燒杯中，加入不同濃度的金屬溶液至 500mL 處，對照組則以 RO 水培養。

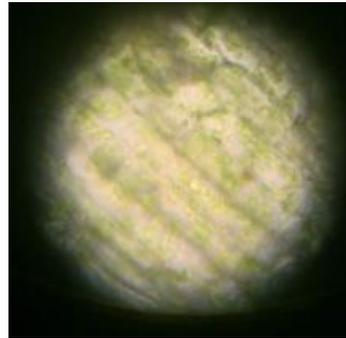
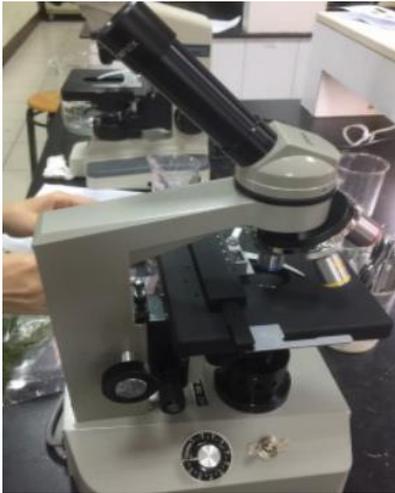


- 三、設置正常光照(有日照和黑暗交替)、全光照、全黑暗等三種不同培養環境。



- 四、測量溶氧量(一開始、24 小時、48 小時、96 小時)。

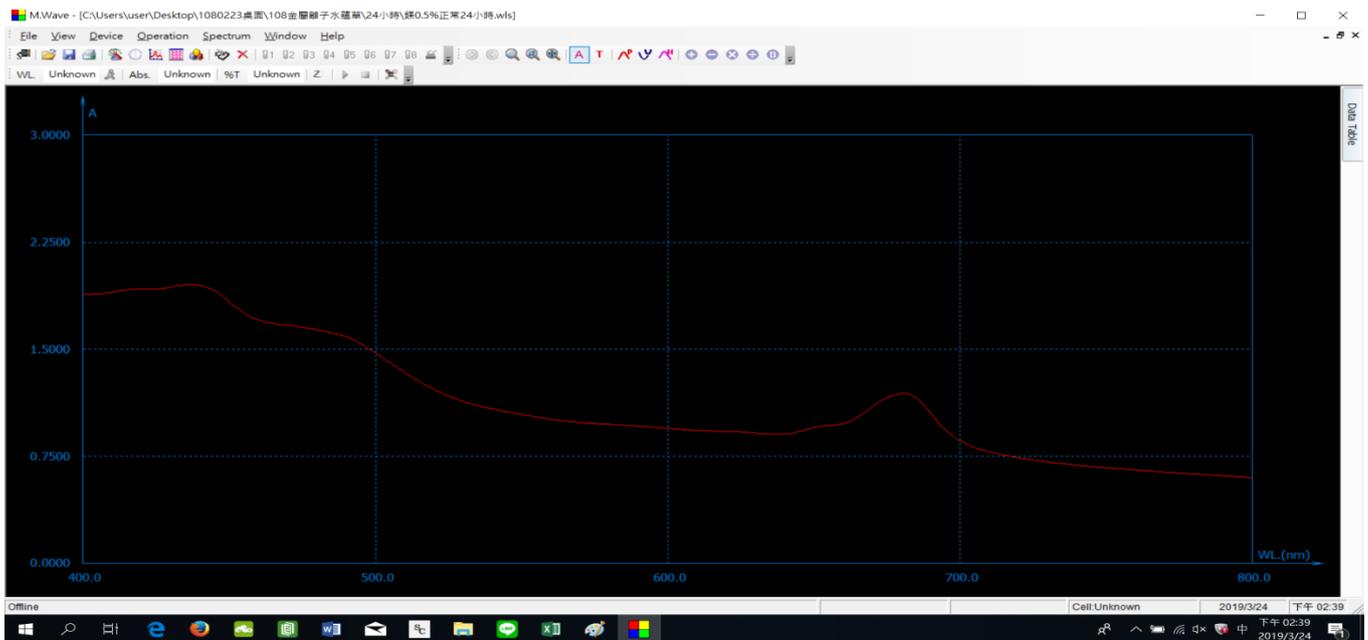
五、測量葉綠體增生狀況：摘下一開始、24 小時、48 小時、96 小時之各培養水溶液中的水蘊草之中央葉片，使用複式顯微鏡以 10X10 倍率進行觀察與攝影拍照。



#### 六、檢測抗氧化活性

- (一) 摘下水溶液中水蘊草的中間葉片，標示完成之後，以 20mLR.O 水於研鉢中進行磨碎。
- (二) 接著以紗布過濾，得到初級萃取液。
- (三) 其中 10mL 放入乾淨試管內，以稀釋 500 倍之後的碘液，以微量吸管每次以 0.05mL 的碘液加入 10mL 的葉片萃取液中，記錄讓萃取液顏色變成藍黑色的碘液量，當成總體抗氧化活性物質檢定量。
- (四) 另 10mL 葉片萃取液，取 5mL 放入比色管中，以分光光度計波長 200nm~850nm 進行掃描，測量 680nm 的吸收光譜值，當成葉綠素 a 的含量比較。
- (五) 再取 5mL 葉片萃取液，加入 8% 的雙氧水作用 30 秒之後，放入比色管中進行分光光度計掃描，測量 649nm 波段的數據，當成過氧化氫酶(CAT)的量進行比較。





## 陸、 研究結果與討論

### 一、 不同離子種類於 0.1%濃度之下，其經過 96 小時的溶氧量比較

此段分析將鎂、鈣、銅離子分別配成重量百分濃度 0.1%的狀況下培養水蘊草，分別測量一開始、經過 24 小時、48 小時、96 小時之水溶液內的溶氧量，其結果如下表 6-1 所示。

表 6-1 不同離子種類於 0.1%濃度之下，其經過 96 小時的溶氧量比較

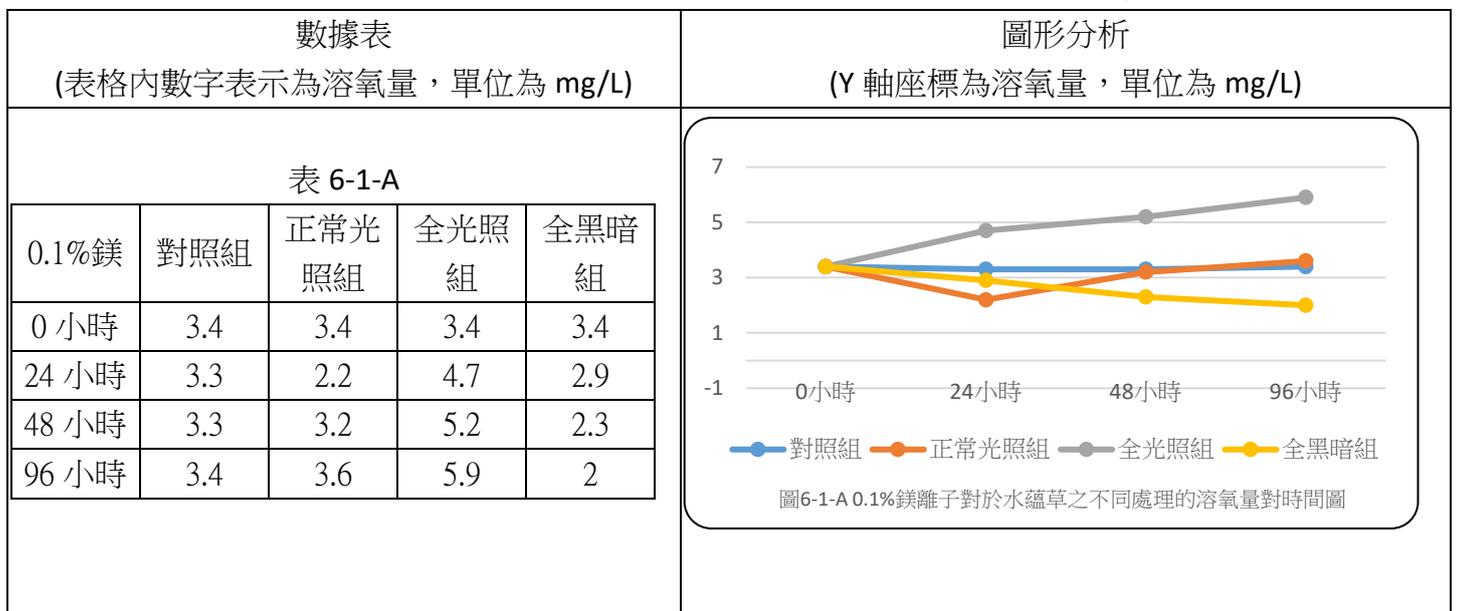


表 6-1-B

0.1%鈣	對照組	正常光照組	全光照組	全黑暗組
0 小時	3.4	3.4	3.4	3.4
24 小時	3.3	2.4	5.5	2.1
48 小時	3.3	2.9	5.4	1.8

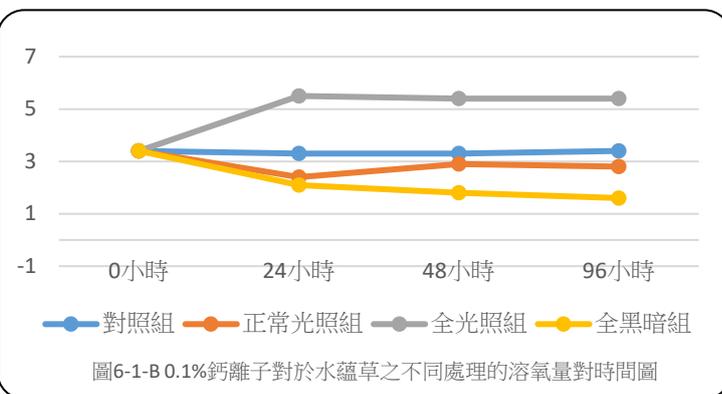
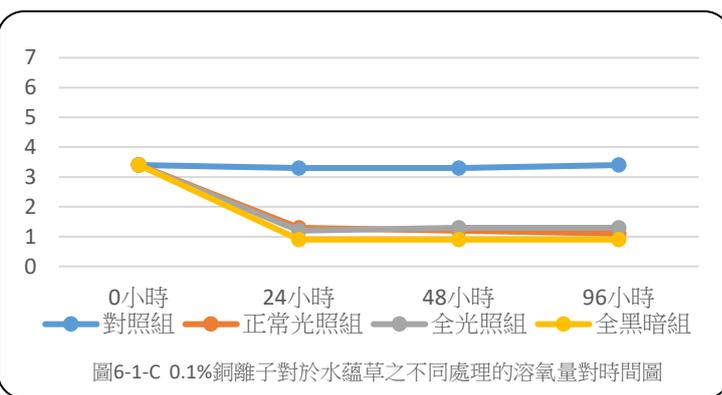


表 6-1-C

0.1%銅	對照組	正常光照組	全光照組	全黑暗組
0 小時	3.4	3.4	3.4	3.4
24 小時	3.3	1.3	1.2	0.9
48 小時	3.3	1.2	1.3	0.9
96 小時	3.4	1.1	1.3	0.9



於上表 6-1-A~C 以及圖 6-1-A~C 中可發現以下幾點：

- (一) 0.1%的鎂離子在全光照環境下，其測量的時間點之溶氧量都優於對照組；其餘正常光照組、黑暗組之溶氧量與對照組相當或是較低，其中以黑暗組溶氧量最低。
- (二) 0.1%的鈣離子在全光照環境下，其測量時間點之溶氧量都優於對照組；其餘正常光照組、黑暗組之溶氧量與對照組相當或較低，其中以黑暗組溶氧量最低。
- (三) 0.1%的銅離子在全光照、全黑暗與正常光照下的溶氧量都低於對照組。
- (四) 得到以上結果，顯示全光照環境在 0.1%的鎂離子和鈣離子的環境中，可能有助於水蘊草進行光合作用，產生較大量的氧氣(光合速率>呼吸速率)。而銅離子對於水蘊草而言可能是種嚴重的外來傷害，其造成水蘊草的光合速率遠低於呼吸速率，造成溶氧量大量下降。

以上結果為 0.1%不同離子對水蘊草於不同光照環境下的溶氧量結果，若是更換成為更高濃度的 0.5%不同離子，則會有哪一種結果呢？

## 二、不同離子種類於 0.5%濃度之下，其經過 96 小時的溶氧量比較

此段分析將鎂、鈣、銅離子分別配成重量百分濃度 0.5%的狀況下培養水蘊草，分別測量一開始、經過 24 小時、48 小時、96 小時之水溶液內的溶氧量，其結果如下表 6-2 所示。

表 6-2 不同離子種類於 0.5%濃度之下，其經過 96 小時的溶氧量比較

數據表 (表格內數字表示為溶氧量，單位為 mg/L)					圖形分析 (Y 軸座標為溶氧量，單位為 mg/L)				
表 6-2-A					<p>圖6-2-A 0.5%鎂離子對於水蘊草之不同處理的溶氧量對時間圖</p>				
0.5%鎂	對照組	正常光照組	全光照組	全黑暗組					
0 小時	3.4	3.4	3.4	3.4					
24 小時	3.3	2.4	3.7	3.2					
48 小時	3.3	2.6	5.2	2.4					
96 小時	3.4	3.1	6.4	2.3					
表 6-2-B					<p>圖6-2-B 0.5%鈣離子對於水蘊草之不同處理的溶氧量對時間圖</p>				
0.5%鈣	對照組	正常光照組	全光照組	全黑暗組					
0 小時	3.4	3.4	3.4	3.4					
24 小時	3.3	3.1	5.2	3.3					
48 小時	3.3	4.4	5.7	2.7					
96 小時	3.4	4.6	5.9	2.3					
表 6-2-C					<p>圖6-2-C 0.5%銅離子對於水蘊草之不同處理的溶氧量對時間圖</p>				
0.5%銅	對照組	正常光照組	全光照組	全黑暗組					
0 小時	3.4	3.4	3.4	3.4					
24 小時	3.3	1.1	1.4	0.8					
48 小時	3.3	1.1	1.2	0.8					
96 小時	3.4	1.2	1.2	0.7					

於上表 6-2-A~C 以及圖 6-2-A~C 中可發現以下幾點：

- (一) 0.5%的鎂離子在全光照環境下，其測量的時間點之溶氧量都優於對照組；其餘正常光照組、黑暗組之溶氧量與對照組相當或是較低，其中以黑暗組溶氧量最低。
- (二) 0.5%的鈣離子在全光照環境下，其測量時間點之溶氧量都優於對照組；一般光照下在經過 48 小時之後其溶氧量也優於對照組；黑暗組之溶氧量與對照組相當或最低。

(三) 0.5%的銅離子在全光照、全黑暗與正常光照下的溶氧量都低於對照組。

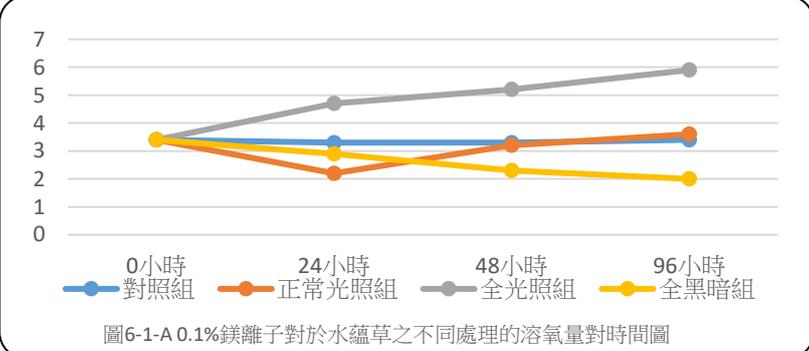
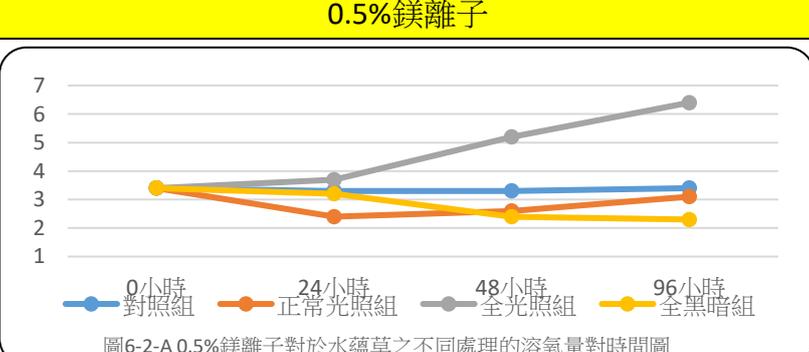
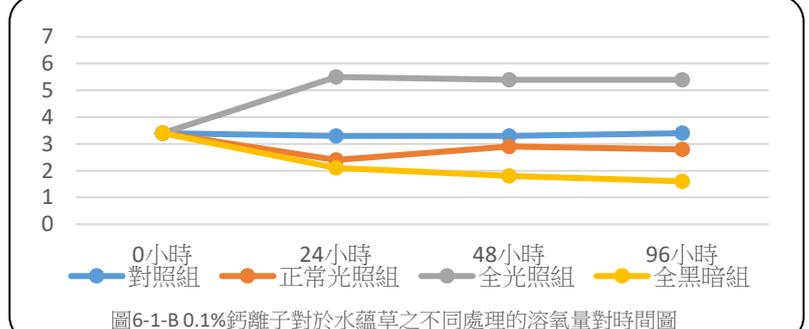
(四) 得到以上結果，顯示全光照環境在 0.5%的鎂離子和鈣離子的環境中，可能有助於水蘊草進行光合作用，或者是 0.5%鈣離子在正常光照下經過 48 小時之後，產生較大量的氧氣(光合速率>呼吸速率)。而銅離子對於水蘊草而言可能是種嚴重的外來傷害，其造成水蘊草的光合速率遠低於呼吸速率，造成溶氧量大量下降。

以上結果為 0.5%不同離子對水蘊草於不同光照環境下的溶氧量結果，若是同時比較同種離子在低濃度與高濃度下的溶氧量，有何差異呢？

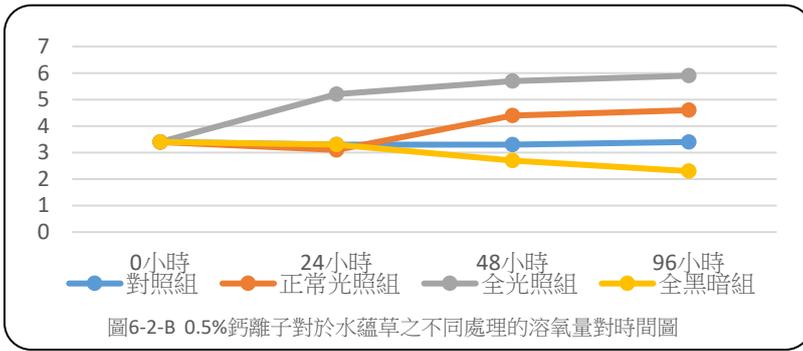
### 三、 比較不同離子種類於 0.1%、0.5%濃度之下，其經過 96 小時的溶氧量比較

此段分析將鎂、鈣、銅離子分別配成重量百分濃度 0.1%、0.5%的狀況下培養水蘊草，分別測量一開始、經過 24 小時、48 小時、96 小時之水溶液內的溶氧量，其結果如下表 6-3 所示。

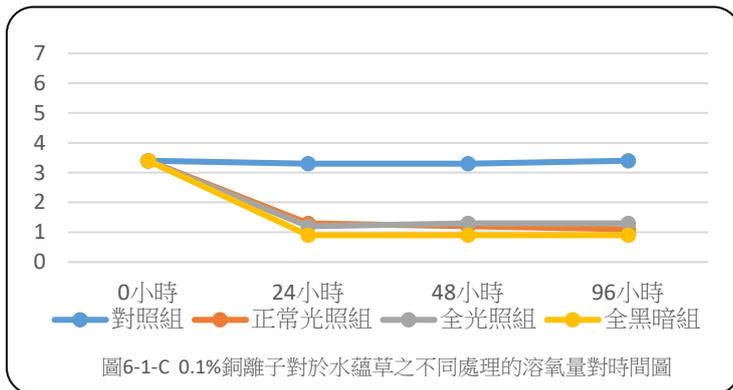
表 6-3 比較不同離子種類於 0.1%、0.5%濃度之下，其經過 96 小時的溶氧量比較

0.1%鎂離子	比較發現
 <p>圖6-1-A 0.1%鎂離子對於水蘊草之不同處理的溶氧量對時間圖</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 低濃度或高濃度的鎂離子在全光照組都是優於對照組。</li> <li>➤ 低濃度或高濃度的鎂離子的正常光組和全黑暗組低於對照組或是與對照組相當。</li> <li>➤ 顯示在鎂離子存在下，全光照有助於溶氧量產生。</li> </ul>
 <p>圖6-2-A 0.5%鎂離子對於水蘊草之不同處理的溶氧量對時間圖</p>	
0.1%鈣離子	比較發現
 <p>圖6-1-B 0.1%鈣離子對於水蘊草之不同處理的溶氧量對時間圖</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 低濃度或高濃度的鈣離子存在下，全光照組的溶氧量都優於對照組。</li> <li>➤ 高濃度的鈣離子存在下，正常光照組在 48 小時之後的溶氧量優於對照組。</li> <li>➤ 顯示鈣離子存在下，有光照的狀況下會增加溶氧量。</li> </ul>

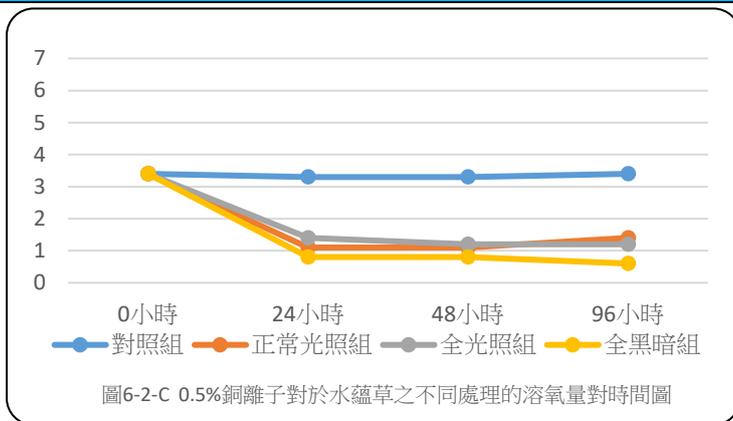
### 0.5%鈣離子



### 0.1%銅離子



### 0.5%銅離子



### 比較發現

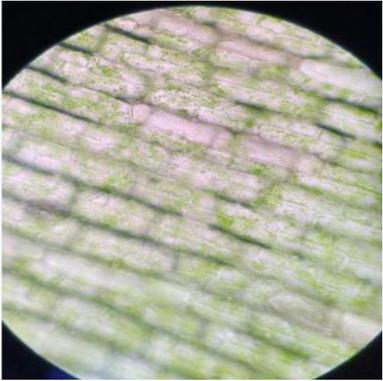
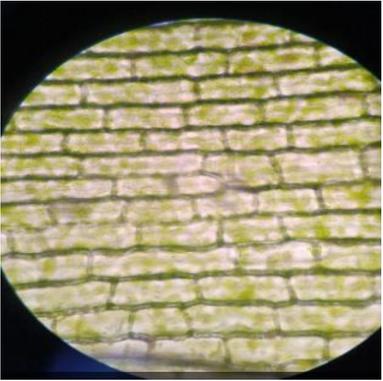
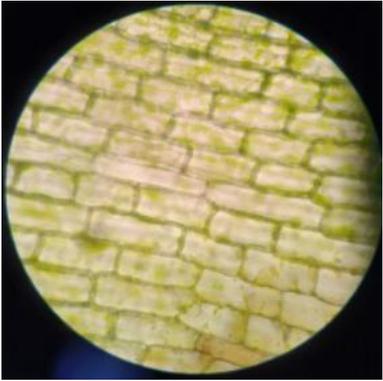
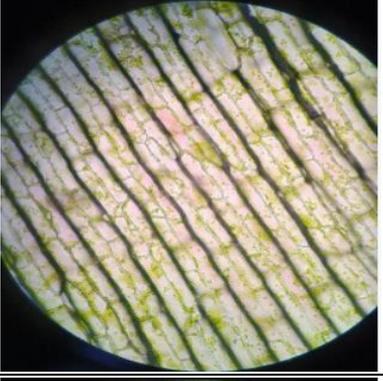
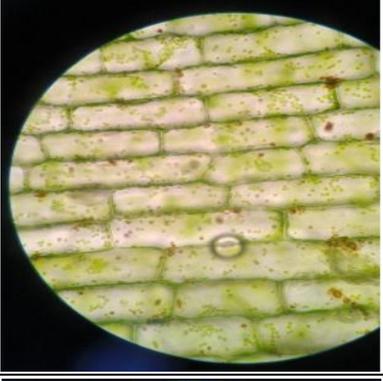
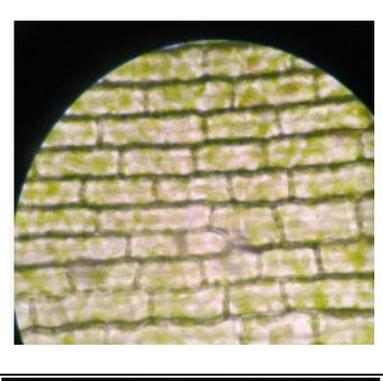
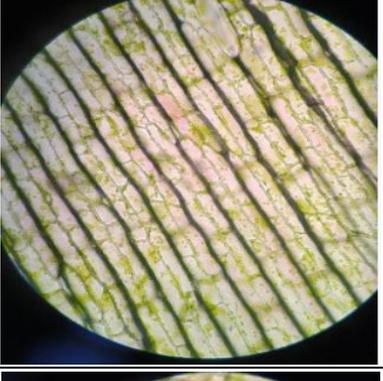
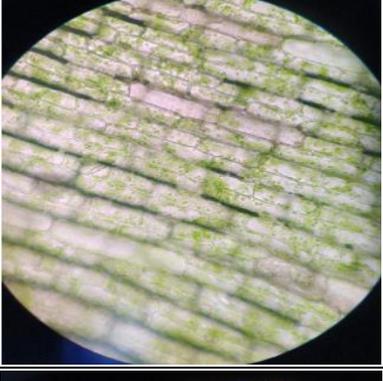
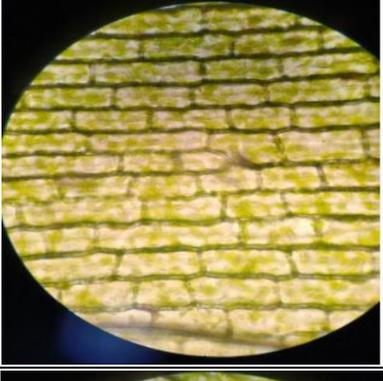
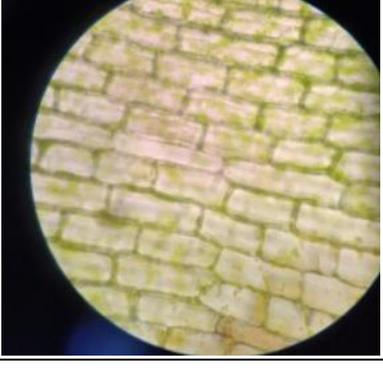
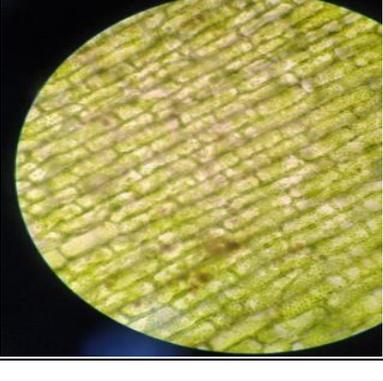
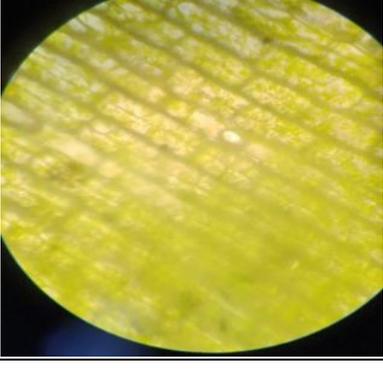
- 無論低濃度或是高濃度的銅離子存在下，任何光照環境的溶氧量都低於對照組。
- 顯示銅離子對於水蘊草的光合作用是抑制的。

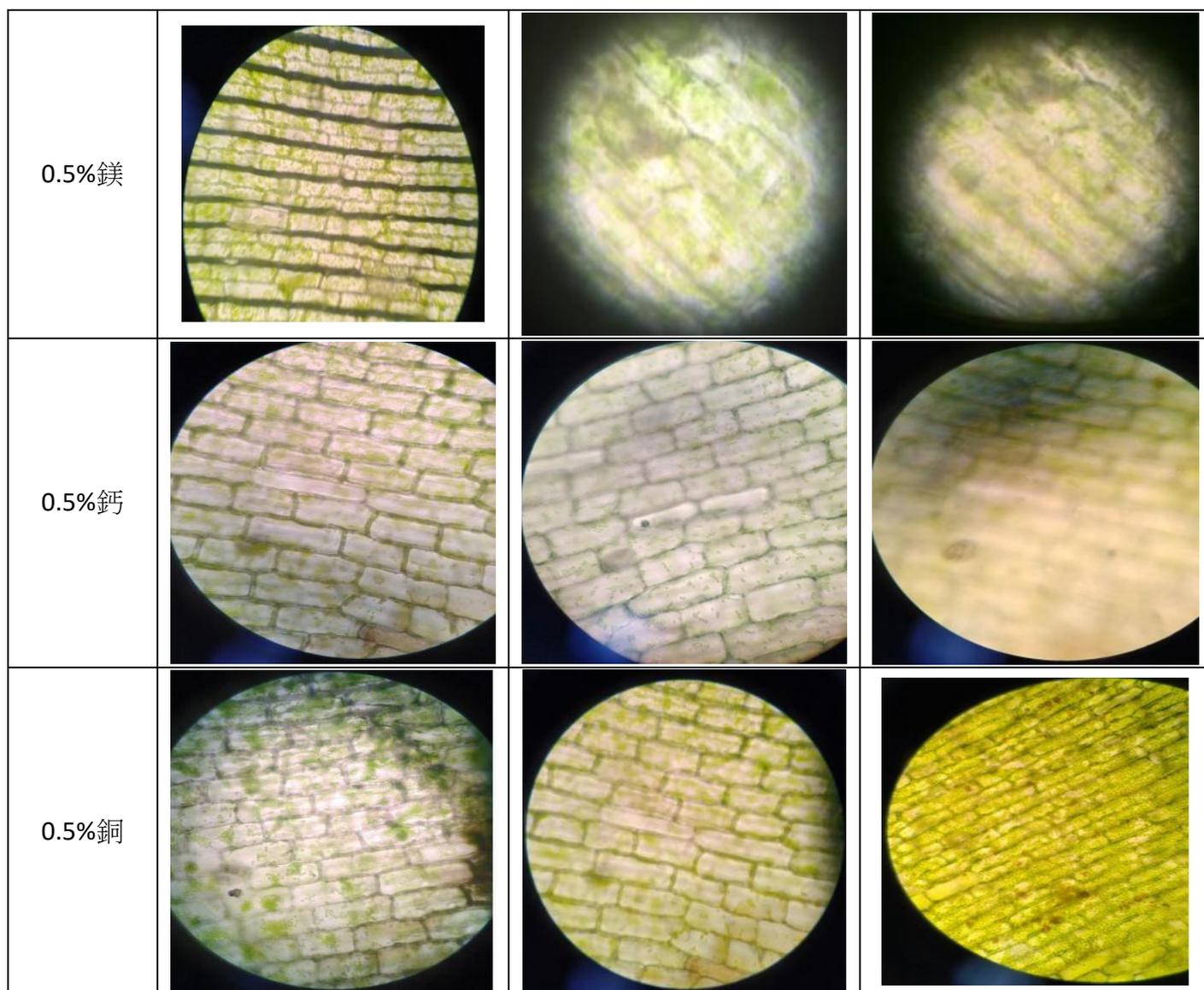
整理以上結果，我們得到銅離子會傷害水蘊草的光合作用功能，可是鈣離子和鎂離子存在且有光照的環境，都會增加光合作用的速率，增加溶氧量。得到這樣的結果，我們認為可能與葉片細胞內部的葉綠體所進行的光合作用有關，所以接下來我們分析在各種實驗設置的水蘊草葉片細胞內葉綠體發育狀況。

四、 比較不同離子種類於 0.1%、0.5%濃度之下，其經過 96 小時的葉綠體發育狀況

此段分析我們取 0.1%、0.5%不同種類的金屬離子放置於正常光照、全光照與黑暗組經過 96 小時之後的葉綠體發育狀況，其結果於下表整理所示：

表 6-4 比較不同離子種類與濃度，在不同光照環境下的葉綠體發育狀況比較

	正常光照	全光照	全黑暗
對照組			
0.1%鎂			
0.1%鈣			
0.1%銅			



- 整理完不同種類離子、濃度放置在不同光照環境下的葉綠體發育，得到以下訊息：
- (一) 正常光照環境下，除了銅離子低濃度、高濃度之外，其葉綠體發育較為平均。而銅離子低濃度、高濃度之葉綠體較為稀疏。
  - (二) 全光照環境下，各不同濃度的離子培養下，葉綠體都有增生的現象。
  - (三) 在黑暗的狀況下，各不同濃度的離子培養下，葉綠體都有增生的現象，以低濃度銅離子、高濃度銅離子的培養液狀況下的發現的葉綠體增生最為茂盛，又濃又綠。

分析到這，我們產生了一個疑問，在前一段分析中銅離子的低、高濃度在黑暗中的環境下溶氧量最低，可是在葉綠體發育中卻發現低、高濃度的銅離子葉綠體增生現象嚴重，葉綠體呈現濃厚現象，這樣的結果不是矛盾嗎？葉綠體越多不是應該光合作用更為旺盛嗎？我們經過討論之後，認為可能需要去探討葉綠素 a 的含量，才能去正確推論與溶氧量的關係。

## 五、 比較不同離子種類於 0.1%、0.5%濃度之下，其經過 96 小時內的葉綠素 a 量

植物的光合色素有葉綠素 a、葉綠素 b、葉黃素與類胡蘿蔔素，其中以葉綠素 a 為光合作用光系統中心，其他色素都是輔助色素。所以我們實驗中選用光合系統 IIP680nm 波段的吸收光譜數值，做為葉綠素 a 的相對量比較，所得結果如下表 6-5 和圖 6-3 所示：

表 6-5 比較不同離子種類於 0.1%、0.5%濃度之下，其經過 96 小時內的葉綠素 a 量

離子	光照環境		
	正常光照	全光照	全黑暗
對照(RO 水)	0.98	1.07	0.87
0.1%鎂	1.02	1.22	0.72
0.1%鈣	0.74	1.12	0.68
0.1%銅	0.68	0.72	0.62
0.5%鎂	0.88	1.22	0.74
0.5%鈣	1.1	1.14	0.72
0.5%銅	0.64	0.68	0.44

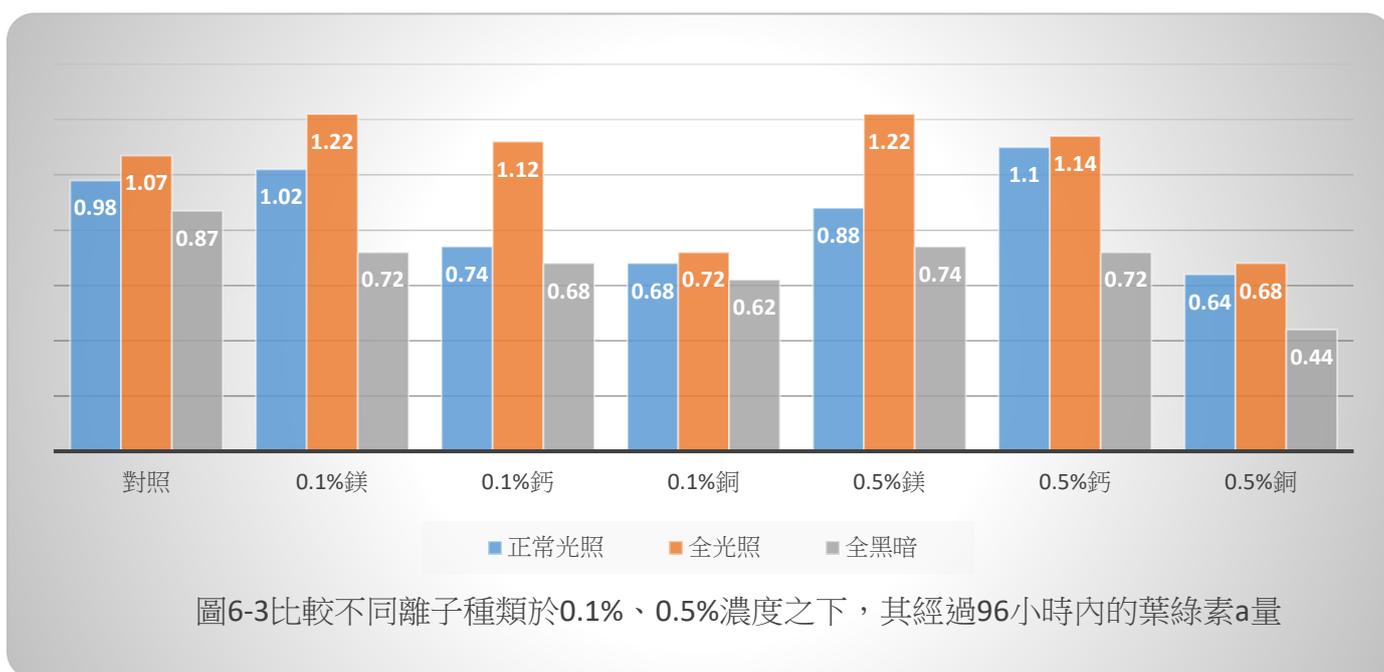


圖6-3比較不同離子種類於0.1%、0.5%濃度之下，其經過96小時內的葉綠素a量

(圖 6-3 之 Y 軸為葉綠素 a 在 680nm 的吸收度值)

此段分析中得知以下訊息：

- (一) 在全黑暗狀況下，葉綠素 a 的含量都會下降。在全光照和光照的狀況下，葉綠素 a 都比全黑暗中較多。顯示光照可以促進葉綠素 a 的產生。
- (二) 不同離子濃度相較於對照組，鎂、鈣離子在光照的環境下，其葉綠素 a 都會提高。顯示鎂、鈣離子有助於葉綠素 a 的合成。
- (三) 推測葉綠素 a 的中心離為鎂離子，所以添加鎂離子可讓葉綠素合成順利；另外添加鈣離子可能可以增加細胞壁合成的速率，可讓新細胞容易增生。

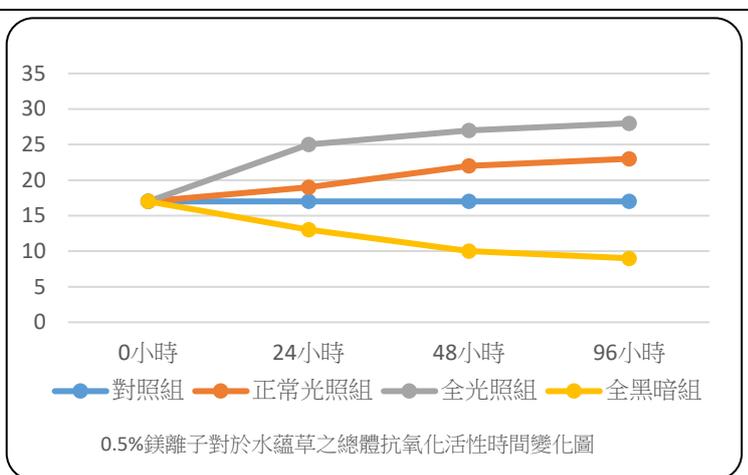
## 六、 比較不同離子種類於 0.1%、0.5%濃度之下，其葉片細胞內的總體抗氧化活性分析

我們以澱粉碘液滴定法測定水蘊草細胞內的總體抗氧化活性，在定量葉片萃取液中加入定量的澱粉液，若加入的碘液量滴數越多，則總體抗氧化活性越高。所得的結果如下表 6-6 所示：

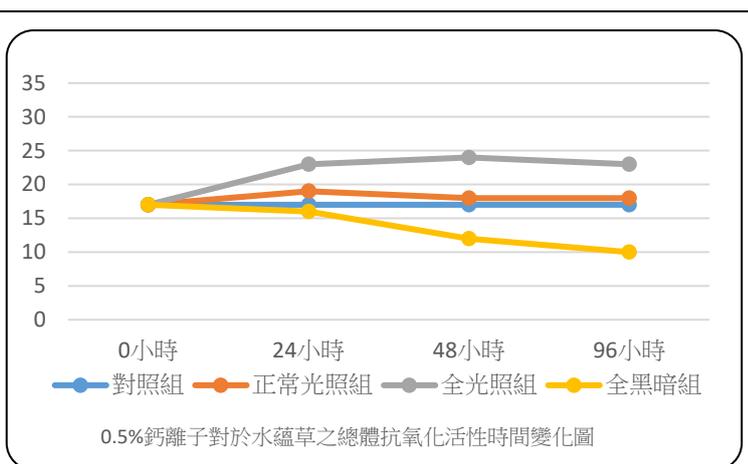
表 6-6 比較不同離子種類於 0.1%、0.5%濃度之下，其總體抗氧化活性分析

數據表 (表格內數字表示為碘液滴數，每滴 0.05 毫升)					圖形分析 (Y 軸座標為碘液滴數)																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>0.1%鎂</th> <th>對照組</th> <th>正常光照組</th> <th>全光照組</th> <th>全黑暗組</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 小時</td> <td>17</td> <td>17</td> <td>17</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>24 小時</td> <td>17</td> <td>17</td> <td>18</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>48 小時</td> <td>17</td> <td>18</td> <td>19</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>96 小時</td> <td>17</td> <td>18</td> <td>21</td> <td>11</td> </tr> </tbody> </table>					0.1%鎂	對照組	正常光照組	全光照組	全黑暗組	0 小時	17	17	17	17	24 小時	17	17	18	15	48 小時	17	18	19	14	96 小時	17	18	21	11	<p>0.1%鎂離子對於水蘊草之總體抗氧化活性時間變化圖</p>				
0.1%鎂	對照組	正常光照組	全光照組	全黑暗組																														
0 小時	17	17	17	17																														
24 小時	17	17	18	15																														
48 小時	17	18	19	14																														
96 小時	17	18	21	11																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>0.1%鈣</th> <th>對照組</th> <th>正常光照組</th> <th>全光照組</th> <th>全黑暗組</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 小時</td> <td>17</td> <td>17</td> <td>17</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>24 小時</td> <td>17</td> <td>26</td> <td>30</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>48 小時</td> <td>17</td> <td>25</td> <td>29</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>96 小時</td> <td>17</td> <td>26</td> <td>29</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>					0.1%鈣	對照組	正常光照組	全光照組	全黑暗組	0 小時	17	17	17	17	24 小時	17	26	30	18	48 小時	17	25	29	15	96 小時	17	26	29	10	<p>0.1%鈣離子對於水蘊草之總體抗氧化活性時間變化圖</p>				
0.1%鈣	對照組	正常光照組	全光照組	全黑暗組																														
0 小時	17	17	17	17																														
24 小時	17	26	30	18																														
48 小時	17	25	29	15																														
96 小時	17	26	29	10																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>0.1%銅</th> <th>對照組</th> <th>正常光照組</th> <th>全光照組</th> <th>全黑暗組</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 小時</td> <td>17</td> <td>17</td> <td>17</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>24 小時</td> <td>17</td> <td>10</td> <td>20</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>48 小時</td> <td>17</td> <td>7</td> <td>14</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>96 小時</td> <td>17</td> <td>4</td> <td>9</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>					0.1%銅	對照組	正常光照組	全光照組	全黑暗組	0 小時	17	17	17	17	24 小時	17	10	20	7	48 小時	17	7	14	4	96 小時	17	4	9	4	<p>0.1%銅離子對於水蘊草之總體抗氧化活性時間變化圖</p>				
0.1%銅	對照組	正常光照組	全光照組	全黑暗組																														
0 小時	17	17	17	17																														
24 小時	17	10	20	7																														
48 小時	17	7	14	4																														
96 小時	17	4	9	4																														

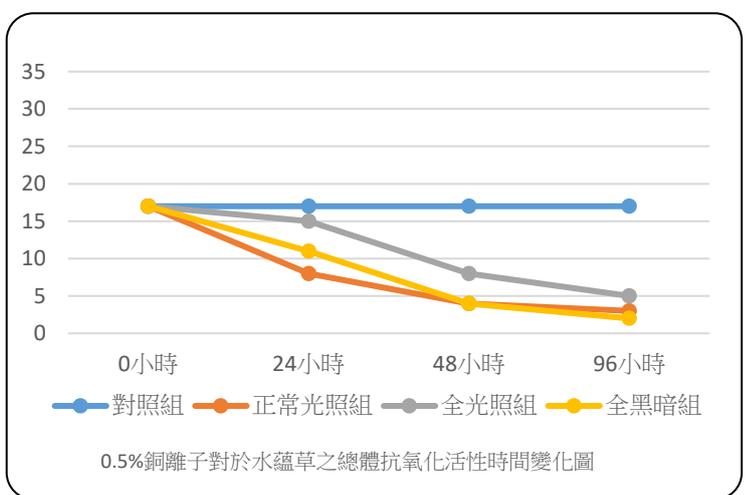
0.5%鎂	對照組	正常光照組	全光照組	全黑暗組
0 小時	17	17	17	17
24 小時	17	19	25	13
48 小時	17	22	27	10
96 小時	17	23	28	9



0.5%鈣	對照組	正常光照組	全光照組	全黑暗組
0 小時	17	17	17	17
24 小時	17	19	23	16
48 小時	17	18	24	12
96 小時	17	18	23	10



0.5%銅	對照組	正常光照組	全光照組	全黑暗組
0 小時	17	17	17	17
24 小時	17	8	15	11
48 小時	17	4	8	4
96 小時	17	3	5	2



根據以上資料，我們得到以下幾點發現：

- (一) 黑暗組的處理都會讓總體抗氧化活性降低。
- (二) 低濃度、高濃度的鎂離子、鈣離子都會讓總體抗氧化活性提高(或與對照組相當)。
- (三) 低濃度、高濃度的銅離子會讓總體抗氧化活性降低，其中以全光照組下降程度較為和緩。

綜合此段分析，可以得知鎂、鈣離子培養在有光照的環境下，會增加總體抗氧化活性；銅離子卻會造成水蘊草葉片細胞內部的總體抗氧化活性降低。

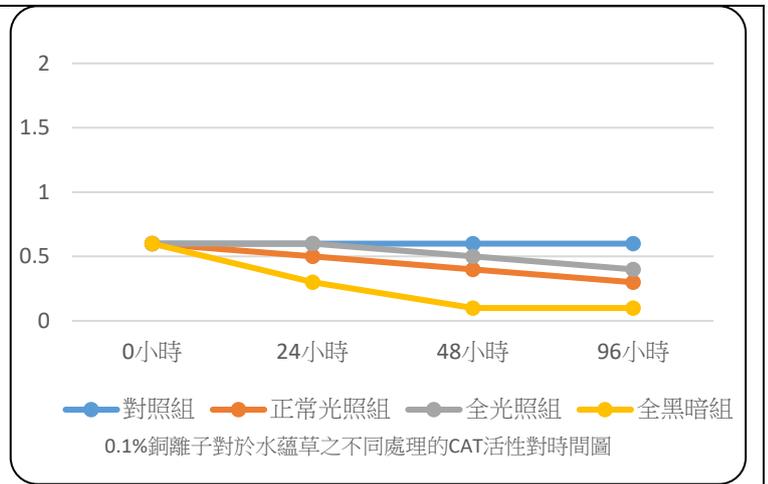
## 七、 比較不同離子種類於 0.1%、0.5%濃度之下，其葉片細胞內的 CAT 活性分析

我們以過氧化氫滴定法測定水蘊草細胞內的總體抗氧化活性，在定量葉片萃取液中加入定量的雙氧水 30 秒之後，測量 649nm 波段的數據，當成過氧化氫酶(CAT)的量進行比較。我們所得的結果如下表所示：

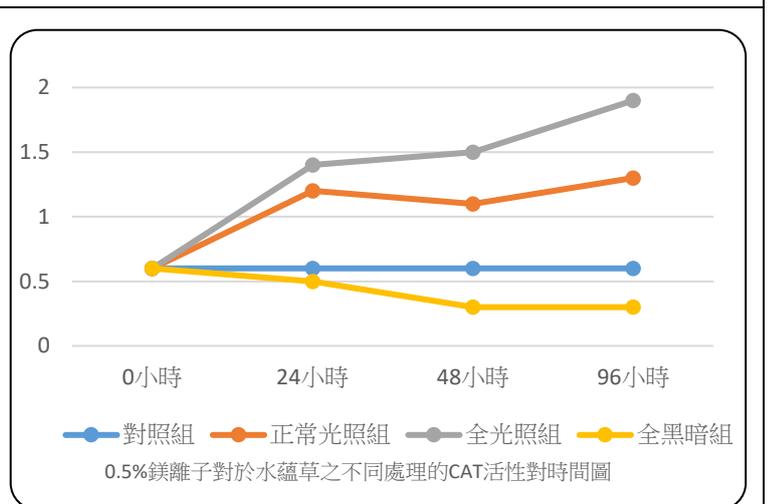
表 6-7 比較不同離子種類於 0.1%、0.5%濃度之下，其 CAT 抗氧化活性分析

數據表 (表格內數字表示為 CAT 吸光度值，吸光度值越高，表示 CAT 量越多)					圖形分析 (Y 軸座標為 CAT 吸光度值)																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>0.1%鎂</th> <th>對照組</th> <th>正常光照組</th> <th>全光照組</th> <th>全黑暗組</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 小時</td> <td>0.6</td> <td>0.6</td> <td>0.6</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>24 小時</td> <td>0.6</td> <td>1.1</td> <td>1.2</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>48 小時</td> <td>0.6</td> <td>1.24</td> <td>1.6</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>96 小時</td> <td>0.6</td> <td>1.32</td> <td>1.8</td> <td>0.3</td> </tr> </tbody> </table>					0.1%鎂	對照組	正常光照組	全光照組	全黑暗組	0 小時	0.6	0.6	0.6	0.6	24 小時	0.6	1.1	1.2	0.5	48 小時	0.6	1.24	1.6	0.5	96 小時	0.6	1.32	1.8	0.3	<p>0.1%鎂離子對於水蘊草之不同處理的CAT活性對時間圖</p>	
0.1%鎂	對照組	正常光照組	全光照組	全黑暗組																											
0 小時	0.6	0.6	0.6	0.6																											
24 小時	0.6	1.1	1.2	0.5																											
48 小時	0.6	1.24	1.6	0.5																											
96 小時	0.6	1.32	1.8	0.3																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>0.1%鈣</th> <th>對照組</th> <th>正常光照組</th> <th>全光照組</th> <th>全黑暗組</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 小時</td> <td>0.6</td> <td>0.6</td> <td>0.6</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>24 小時</td> <td>0.6</td> <td>0.8</td> <td>0.8</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>48 小時</td> <td>0.6</td> <td>0.8</td> <td>0.7</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>96 小時</td> <td>0.6</td> <td>0.7</td> <td>0.7</td> <td>0.2</td> </tr> </tbody> </table>					0.1%鈣	對照組	正常光照組	全光照組	全黑暗組	0 小時	0.6	0.6	0.6	0.6	24 小時	0.6	0.8	0.8	0.5	48 小時	0.6	0.8	0.7	0.4	96 小時	0.6	0.7	0.7	0.2	<p>0.1%鈣離子對於水蘊草之不同處理的CAT活性對時間圖</p>	
0.1%鈣	對照組	正常光照組	全光照組	全黑暗組																											
0 小時	0.6	0.6	0.6	0.6																											
24 小時	0.6	0.8	0.8	0.5																											
48 小時	0.6	0.8	0.7	0.4																											
96 小時	0.6	0.7	0.7	0.2																											

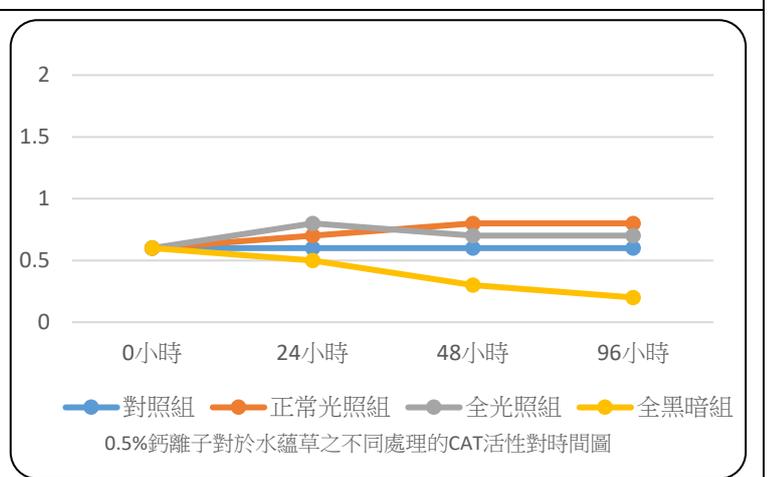
0.1%銅	對照組	正常光照組	全光照組	全黑暗組
0 小時	0.6	0.6	0.6	0.6
24 小時	0.6	0.5	0.6	0.3
48 小時	0.6	0.4	0.5	0.1
96 小時	0.6	0.3	0.4	0.1



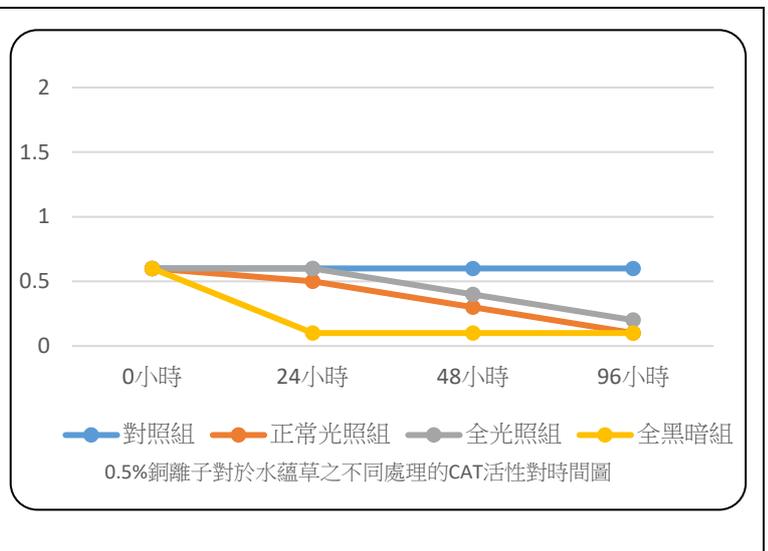
0.5%鎂	對照組	正常光照組	全光照組	全黑暗組
0 小時	0.6	0.6	0.6	0.6
24 小時	0.6	1.2	1.4	0.5
48 小時	0.6	1.1	1.5	0.3
96 小時	0.6	1.3	1.9	0.3



0.5%鈣	對照組	正常光照組	全光照組	全黑暗組
0 小時	0.6	0.6	0.6	0.6
24 小時	0.6	0.7	0.8	0.5
48 小時	0.6	0.8	0.7	0.3
96 小時	0.6	0.8	0.7	0.2



0.5%銅	對照組	正常光照組	全光照組	全黑暗組
0 小時	0.6	0.6	0.6	0.6
24 小時	0.6	0.5	0.6	0.1
48 小時	0.6	0.3	0.4	0.1
96 小時	0.6	0.1	0.2	0.1



此段分析，有以下幾點發現：

- (一) 低濃度、高濃度的鎂離子在全光照、一般光照的環境下，其整體 CAT 活性會提高。
- (二) 低濃度、高濃度的鈣離子在全光照、一般光照的環境下，其整體 CAT 活性與對照組相當。
- (三) 低濃度、高濃度的銅離子，在設計的光照環境下都會降低 CAT 活性，其中以全光照組下降較為和緩。

## 柒、 綜合討論

### 一、 為何鎂離子、鈣離子在有光照的環境下會促進總體抗氧化活性和 CAT 的活性?

我們所得到的數據以低濃度、高濃度的鎂離子和鈣離子，分別在全光照、一般光照的環境下所測得的總體抗氧化活性和 CAT 活性都較對照組高，顯示鎂離子、鈣離子、光照等三種因素都會造成抗氧化活性的提高。

我們推測葉綠素的中心離子為鎂離子，所以添加鎂離子可以增加葉綠素的合成，而葉綠素本身也可提高總體抗氧化活性；植物新細胞的產生在合成細胞壁的時候需要鈣離子的協助，所以添加鈣離子可以促進水蘊草細胞的分裂，產生更多具有葉綠體的葉片細胞。

另外光照為何會造成抗氧化活性提高呢？我們推測為葉綠體在形成的時候會先產生葉綠素原(黃白色)，在接受適當光照之後會轉化成為綠色的葉綠體。所以接受光照之後，也有鎂離子、鈣離子的協助，可以讓更多具有葉綠素的細胞產生，也提高總體抗氧化性。

### 二、 黑暗的時候為何會產生葉綠體增生於濃厚現象?葉綠素 a 含量會跟著提高嗎?

我們的實驗數據中觀察到至於全黑暗環境下的水蘊草葉片細胞內都有葉綠體增生和濃厚的現象，可是去分析葉綠素 a 的含量時，這些有比較多葉綠體增生濃厚的葉片細胞內的葉綠素 a 含量並不高，顯示葉綠體增生不等於葉綠素 a 的含量提高。我們查閱到文獻，細胞內產生的葉綠素原通常呈現黃白色，在接受適當的光照之後才會產生綠色的葉綠體。我們思考這是否與我

們所觀察到的現象有關，可能是在黑暗中為了要平衡光合作用的速率，所以增生許多葉綠體體原，但是卻因為沒有接受到適當的光照，所以葉綠素 a 含量沒有顯著提升。

### 三、 使用銅離子在黑暗中培養的水蘊草，在短暫照光的時候(約 15 分鐘)會有大量的氧氣產生?

在實驗中我們發現了一個很有趣的現象，銅離子培養的水蘊草置於黑暗中生長，在 24、48、96 小時之後，我們認為其水溶液中的溶氧量會大量下降。可是在初步測量的時候卻發現溶氧量大量上升。我們反覆做了四次實驗，都得到類似的結果。去思考過程中的步驟，發現我們是將黑暗中的

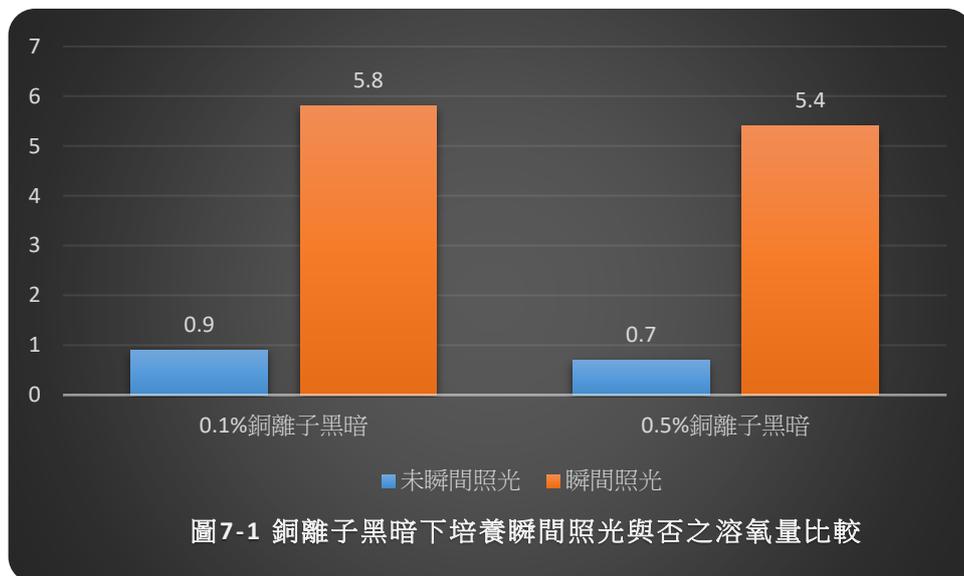


圖 7-1 銅離子黑暗中培養瞬間照光與否之溶氧量比較

的水蘊草從黑暗中的培養箱拿到桌面上，靜置一段時間之後再測量溶氧量，這樣於拿出來到測量的時間約有 10-15 分鐘之久，這樣的時間代表這些於黑暗中培養的水蘊草已經接受了 10-15 分鐘的光照，那樣就會有光合作用的產生，我們也發現在燒杯內的邊緣有許多小泡泡產生(推測為氧氣)，於是我們能重新更正實驗步驟。

更正步驟為拉上窗簾，打開黑暗培養箱，然後給予綠光照射溶氧量測量器的讀數刻度，紀錄，發現溶氧量的確下降沒有提高現象。其結果比較如圖 7-1 所示。如果在短暫的光照下可以瞬間提高氧氣的溶氧量，那麼這個有趣的現象也許可以當成我們下次探究的主題。

## 捌、 研究結論

- 一、低濃度、高濃度鎂離子在全光照下會增加葉綠素 a 的含量。在黑暗中則會有葉綠體增生的濃厚現象，可是葉綠素 a 量卻是最低。在一般光照與全光照狀況下都會增加溶氧量。
- 二、低濃度、高濃度鈣離子在全光照下會增加葉綠素 a 的含量。在黑暗中則會有葉綠體增生的濃厚現象，可是葉綠素 a 量卻是最低。在一般光照與全光照狀況下都會增加溶氧量。
- 三、低濃度、高濃度的銅離子在各種光照環境下，其葉綠素 a 都無法增加含量，甚至於相較於對照組低許多；在黑暗中葉綠體增生濃厚的情況最為明顯；在所有光照環境下其溶氧量都較對照組低。
- 四、低濃度、高濃度的鎂離子、鈣離子大都會增加總體抗氧化活性與 CAT 活性，尤其以全光照環境下

的抗氧化活性提高更為明顯。

- 五、低濃度'高濃度的銅離子會降低總體抗氧化活性與 CAT 活性，以全光照下的降低情況較為和緩。
- 六、光照的環境有利於受到離子逆境的水蘊草葉片細胞提高總體抗氧化活性與 CAT 活性或是降低離子逆境的傷害。
- 七、葉綠體原需要照到適當的光線才能轉變成為葉綠體，至於何種波長的光照，可列入未來探討的主題。
- 八、銅離子逆境下的水蘊草，若於全黑暗狀況下培養一陣子之後，若接受到突然的光照會突然提高氧氣的產生，此現象相當有趣，可列入未來研究的發展。

## 玖、 參考文獻

- 花青素對人體的影響探討，<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2008/10/2008102513123628.pdf>。
- 養我育我的部落勇士—探討小米(becenge)的生存之秘，2013，楊茜雯、巴洛克、陳奕婷、江芝韻、林 恆生。中華民國第 54 屆中小學科展國中組生物科第三名。
- 滿江紅花青素在鎘脅迫下的抗氧化作用，  
<http://wenku.baidu.com/view/b9577933aaea998fcc220e99.html>。
- 兩種滿江紅花青素生成與 PS II 光化學效能之研究，2009，蔡佳娟。國立台灣大學生態學與演化生物 學研究所碩士論文，  
<http://ndltd.ncl.edu.tw/cgi-bin/gs32/gswweb.cgi/login?o=dnclcdr&s=id=%22098NTU05110002%22.&searchmode=basic>
- 「重」「花」了喔!--探究花青素對於重金屬環境下的水生植物之抗氧化活性--，  
<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=12988>，2015，蔡欣蓉、潘怡君、陳盈吉、鍾梅英。中華民國第 56 屆中小學科展國中組化學科佳作。
- 王暉崧、邱耀慶、邱祖歆、郭建載，中華民國第 47 屆全國中小學科展國中組化學科，解開「澱粉~碘」的藍色密碼，<https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/47/high/031628.pdf>，108/01/24。

## 【評語】 060004

1. 利用水蘊草為材料，探討不同濃度鎂鈣銅離子，對於水生植物的溶氧量、抗氧化活性差異，以分析遭受金屬離子污染之水生植物是否影響生長。實驗諸多矛盾之處，例如：銅離子處理溶氧量最低、鏡檢觀察最高，而葉綠素 a 測定卻最低，說明實驗取樣可能有誤差，且實驗需要有三重複取平均值及標準差較能具說服力。
2. 本研究主要重複多個先前使用不同植物材料的實驗，故創新性有待加強，且內容多屬現象觀察及數據量測，結論也多為推測，較為欠缺適當的佐證。
3. 結果紀錄詳實，章節都有結論。
4. 許多實驗在光照下有提升現象，但解釋有點牽強。
5. 為觀測性的實驗，未能提出假說及驗證過程。