

屏東縣第64屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：化學科

組 別：國中組

作品名稱：哇!脫鎂!—使用金屬離子置換葉綠素 a 與螢光反應之探討

關 鍵 詞：葉綠素、金屬置換、螢光反應 (最多三個)

編號：B3020

製作說明：

1. 說明書封面僅寫科別、組別、作品名稱及關鍵詞。
2. 編號：由承辦學校統一編列。
3. 封面編排由參展作者自行設計。(←←←←←灰字請自行刪除)

目錄

■ 摘要	01
■ 研究動機	02
■ 文獻探討與分析	02
■ 研究目的與問題	04
■ 研究設備與器材	04
■ 研究架構、過程與方法	05
■ 研究結果與討論	11
■ 綜合討論	20
■ 研究結論	22
■ 參考文獻	22

摘要

查閱文獻之後發現葉綠素 a 在酸性的環境下容易被氫離子取代中心的鎂離子形成含氫脫美葉綠素 a；令文獻中也提到葉綠素 a 在紫外光的照射下會產生紅紫色反應，可用來檢驗含鎂葉綠素 a 的存在。本研究以以上文獻探討為基礎，使用菠菜萃取液，使用不同金屬離子來替代含鎂葉綠素中央的鎂離子，結果發現在 pH 為 4.7~4 區間可將絕大部分的含鎂葉綠素 a 轉變成為含氫脫鎂葉綠素 a；以銅離子、鋅離子、亞鐵離子置換葉綠素 a 中央鎂離子的實驗中，發現三種另外的金屬離子皆可至葉綠素 a 中央的鎂離子；使用亞鐵離子置換葉綠素 a 中央鎂離子的實驗中發現可能形成類似血紅素的構造，造成該置換後含氧濃度提高。

壹、 研究動機

我們在看新聞時看到了橄欖油造假新聞，為了讓混充油看起來像特級橄欖油，加入染色劑「銅葉綠素」。橄欖油中的天然葉綠素，主要成分是鎂，但鎂的水溶性不好，商人於是用銅取代，而銅在身體中會被分解成銅離子，攝取過多銅可能會傷害消化系統和知覺神經。看到相關的報導後，我們對不同元素置換含鎂葉綠素 a 感到非常有興趣，進而想知道不同金屬離子置換含鎂葉綠素 a 後的情況。

貳、 文獻探討與分析

一、 葉綠素 a、葉綠素 b 結構與功能

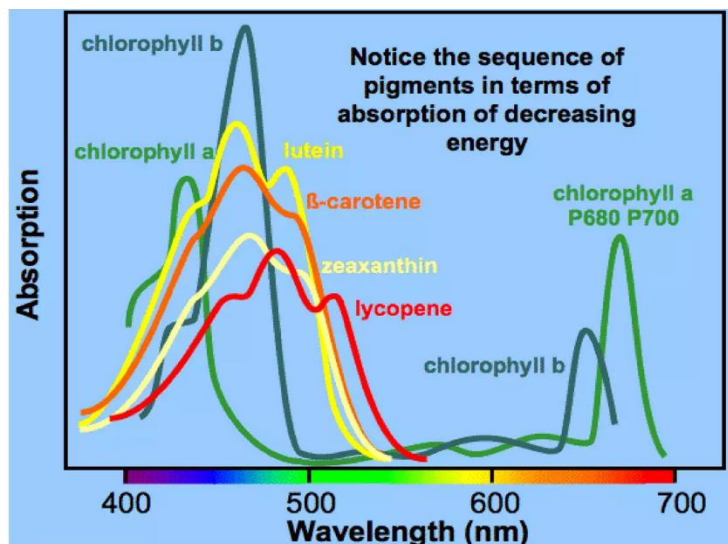
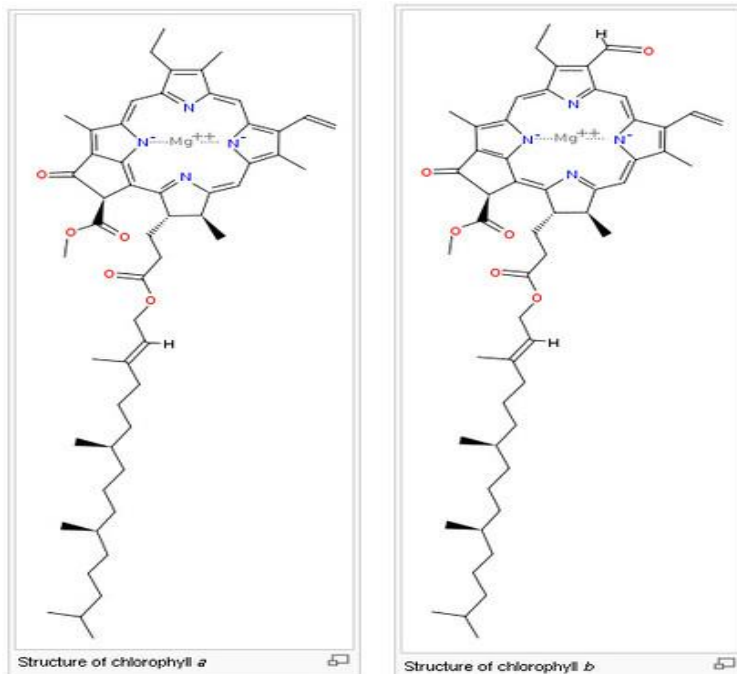
(一) 葉綠素 a、葉綠素 b 結構

葉綠素 a、葉綠素 b 在高等植物中的含量約 3:1，其結構由一個卟啉環，環中中央有一個 Mg^{2+} 離子和長尾的 CH 鏈形成的分子。其中葉綠素 a 的卟啉環上只有兩個氧雙鍵，而葉綠素 b 上則有三個氧雙鍵。

(二) 葉綠素 a、葉綠素 b 不溶於水，溶於有機溶劑中，例如乙醇、丙酮、氯仿之中。其中葉綠素 a 呈現藍綠色，葉綠素 b 呈現黃綠色。

(三) 葉綠素 a、葉綠素 b 在真核生物的細胞中，存在於葉綠體中的類囊體上，其主要功用為傳遞光能電子，協助電子傳遞鏈的形成，最後產生能量與氧氣。

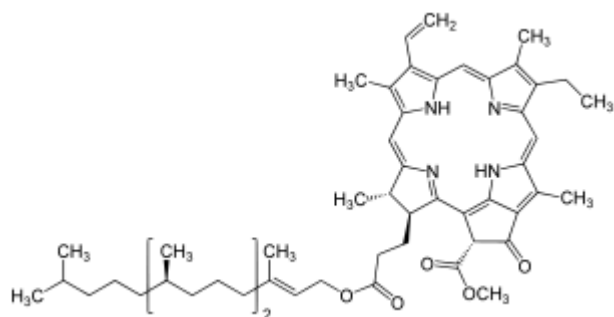
(四) 葉綠素 a 的光吸收光譜約落於 430nm、660nm；葉綠素 b 的光吸收光譜約落在 480nm、650nm 有最大吸收度度值。



二、葉綠素 a 在酸性環境下的中央離子置換

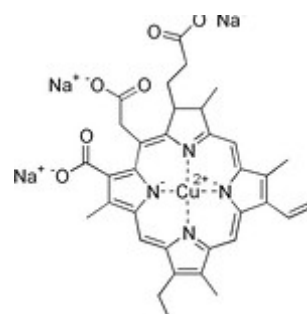
(一) 在酸性環境下，脫鎂葉綠素 a 形成

在酸性的環境下，葉綠素 a 中的 Mg^{2+} 離子回脫去形成脫鎂葉綠素 a，使得顏色變為黃褐色，這也是葉片為何會變成黃褐色的主要原因。



(二) 含銅葉綠素 a

在酸性的環境下，脫鎂葉綠素 a 在有銅離子存在下，容易形成含銅葉綠素 a，也不溶於水，可溶於油性溶液或是有機溶液中，顏色呈現深綠色。可做為食物的綠色色素添加劑。



三、血紅素與葉綠素 a 之比較

以下表表示血紅素與葉綠素 a 的比較：

比較項目	血紅素	葉綠素 a
結構式		
紫質中央金屬離子	亞鐵離子(Fe^{2+})	鎂離子(Mg^{2+})
功能	攜帶氧氣	進行光合作用，主要吸收光能進行電子傳遞鏈

由上表比較可知道，血紅素和葉綠素 a 的外圍結構相似，大致上已紫質中央的金屬離子不同為主要差異。

四、葉綠素 a 在紫色螢光燈下的反應

朱韋銘、莊濬鴻、許令煌、黃品翔、鍾昭國、李承修(2008)以菠菜為材料，以丙酮和石油醚為溶劑，探討紫外光照射菠菜萃取液的照光反應，發現照射紫外光的菠菜萃取液會產生橘紅色的顏色，此為葉綠素 a 吸收螢光之後所產生的螢光反應。用此可判斷植物萃取液中是否含有葉綠素 a。

五、研究探討對於本研究的啟示

- (一) 葉綠素 a 和葉綠素 b 在陸生植物的植物體上比例約為 3:1，且葉綠素 a 普遍存在於各類植物中，故本研究以葉綠素 a 作為主要探討，而暫時忽略葉綠素 b 的影響。
- (二) 葉綠素 a 在酸性的環境下，其紫質中央的鎂離子容易被氫離子置換形成脫鎂葉綠素 a，其環境酸性的強弱是否會影響葉綠素 a 形成脫鎂葉綠素 a 的形成，可成為本研究的探究主題。
- (三) 根據朱韋銘等(2008)以紫外線照射菠菜萃取液，得知若含有葉綠素 a 在照射紫外光下會產生橘紅色反應，此檢驗方法可使用在本實驗的相關質性檢測上。
- (四) 在酸性環境下，葉綠素 a 中央的鎂離子容易被取代，那麼何種金屬離子最易取代中央的鎂離子呢?也形成本研究的探究主題。

參、 研究目的與問題

本研究設立四個研究目的，其目的與衍生研究問題如下表所示：














研究目的	研究問題
一、探討萃取液在紫外光下的顏色反應。	1.1 紫外光照射菠菜萃取液，是否會產生顏色反應?
二、探討不同酸性環境下，比較脫鎂葉綠素 a 產生。	2.1 酸性越強，脫鎂葉綠素 a 是否產生越多? 2.2 酸性越強，脫鎂葉綠素 a 在紫外光照射下的螢光反應為何?
三、探討在酸性環境下，比較不同金屬離子置換葉綠素 a 紫質中央的鎂離子強弱。	3.1 不同金屬離子置換葉綠素 a 紫質中央的鎂離子的能力為何? 3.2 不同金屬離子置換葉綠素 a 紫質中央的鎂離子的濃度比較為何?
四、談討被亞鐵離子置換的葉綠素 a 結構其含氧量變化。	3.1 被亞鐵離子置換的葉綠素 a 結構其含氧量變化為何?

肆、 研究設備與器材

一、藥品

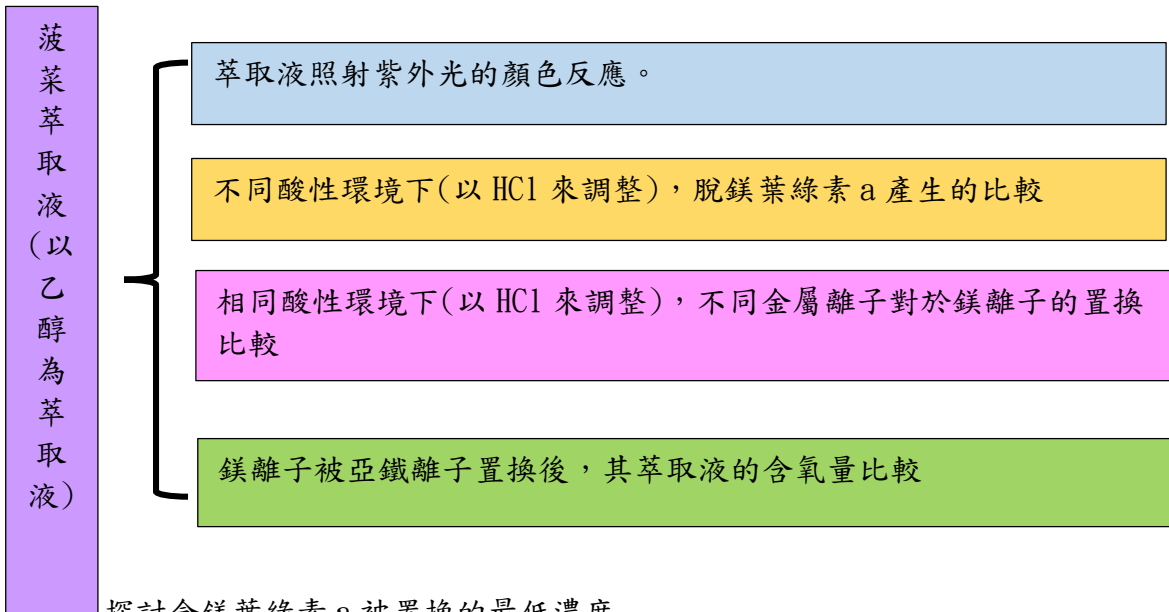
			
乙醇 99.5%(圖)	硫酸銅(圖)	硫酸鋅(圖)	硫酸亞鐵(圖)

二、器材

			
果汁機(圖 1-1)	濾網(圖 1-2)	洗愛玉袋(圖 1-3)	燒杯(圖 1-4)
			
激光筆(圖 1-5)	調味瓶(圖 1-6)	菠菜(圖 1-7)	針管 (圖 1-8)
			
滴管(圖)	分光光度計(圖)	比色管(圖)	激光筆(圖)
			
玻璃瓶(圖)	鹽酸(HCl)	溶氧計	

伍、 研究架構、過程與方法

一、 研究架構



二、 探討含鎂葉綠素 a 被置換的最低濃度

(一) 實驗構想


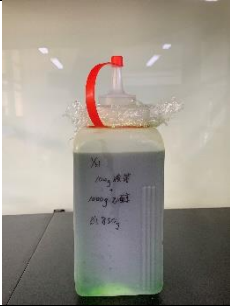
我們想知道不同水溶液置換含鎂葉綠素 a 的最低濃度，所以我們取用了醋酸鹽類與硫酸鹽類兩大類別，而醋酸類取用醋酸銅、硫酸鹽類則分為硫酸鋅、硫酸銅、硫酸亞鐵。

(二) 前置原液配置.

為了讓後續實驗及測量值較為準確，我們先配製了菠菜混和乙醇的原液。首先取用 300g 的菠菜及 1000ml 乙醇(選用菠菜是因為葉綠素較多，而乙醇可以更好的提取葉綠素)，放入果汁機混和後用篩網過濾，由於篩網的孔洞只能過濾掉較大的殘渣，我們使用了洗愛玉袋來二次過濾較細小的雜質。其步驟如下。

1. 取 300g 菠菜、1000ml 乙醇
2. 放入果汁機混和
3. 用篩網過濾雜質
4. 用洗愛玉袋過濾較細小雜質
5. 將過濾後原液倒入調味瓶中(剩餘約 800ml)
6. 完成

		
取 300g 菠菜、1000ml 乙醇(圖 2-1)	放入果汁機混和(圖 2-2)	用篩網過濾雜質(圖 2-3)


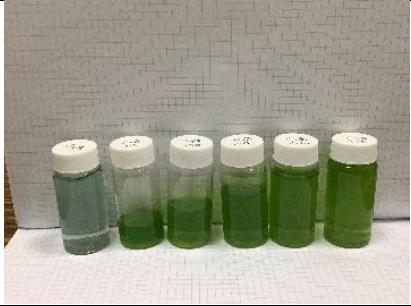
		
用洗愛玉袋過濾較細小雜質(圖 2-4)	將過濾後原液倒入調味瓶中(圖 2-5)	原液(圖 2-6)

(三)配置所需溶液

1. 乙醇菠菜汁稀釋液

接著我們想用不同量的乙醇將原液稀釋為不同比例的乙醇菠菜汁混和液，我們取用了原液:乙醇=1:1、1:2、1:3、1:4、1:5來配製。其步驟如下。



- (1)取原液:乙醇=1:1(1:2, 1:3, 1:4, 1:5)(1表示乙醇菠菜原液體積，後面數字表示加入的乙醇體積)
- (2)配製為不同比例混和液
- (3)分裝於小玻璃瓶

	
配製為不同比例混和液(圖)	分裝於小玻璃瓶(圖)

2. 醋酸銅菠菜汁混合液

接著我們想用醋酸銅來做為稀釋劑配製不同比例的醋酸銅菠菜汁混和液，我們取用了原液:醋酸銅=1:1、1:2、1:3、1:4來配製。其步驟如下。






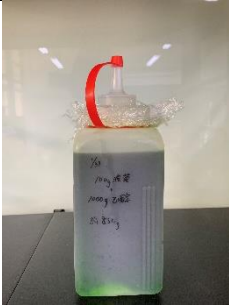
- (1)取原液:醋酸銅=1:1(1:2, 1:3, 1:4)
- (2)配製為不同比例混和液
- (3)分裝於小玻璃瓶

	
配製為不同比例混和液(圖)	分裝於小玻璃瓶(圖)

3. 配置更低濃度乙醇菠菜汁原液

由於使用分光光度計後乙醇菠菜汁混合液1:1至1:4的數值接近爆表(我們使用的分析軟

體之吸光度值最高為3，之前使用的菠菜萃取液濃度高過於3，無法讀取)，所以我們決定配置更低濃度的乙醇菠菜汁原液，為菠菜100g+乙醇1000mL。

		
取 100g 菠菜、1000ml 乙醇(圖-1)	放入果汁機混和(圖-2)	用篩網過濾雜質(圖-3)
		
用洗愛玉袋過濾較細小雜質兩次(圖-4)	將過濾後原液倒入調味瓶中(圖-5)	原液(圖-6)

4. 配置更低濃度乙醇菠菜汁稀釋液

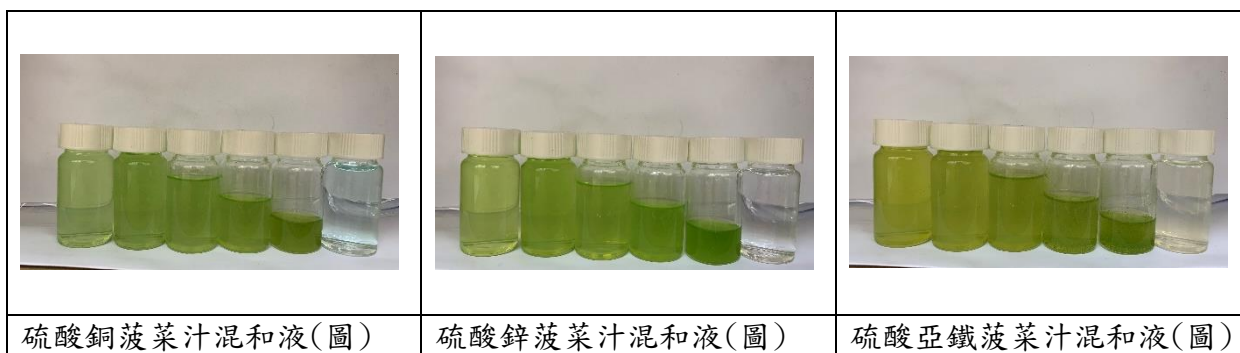
由於使用分光光度計後乙醇菠菜汁混合液1:1至1:4的數值接近爆表，所以我們決定調配濃度更低的乙醇菠菜汁混合液，分別為1:5、1:10、1:15、1:20、1:25(1表示第二次乙醇菠菜原液體積，後面數字表示加入的乙醇體積)



乙醇菠菜汁稀釋液(圖)

5. 金屬離子菠菜汁混和液

我們使用三種不同的硫酸水溶液(皆為0.01M)，分別為硫酸銅、硫酸鋅、硫酸亞鐵，以原液:硫酸水液為1:5、1:10、1:15、1:20、1:25來配置混和液。(原液表示第二次配置的菠菜萃取液)



三、含鎂葉綠素 a 是否被加入的水溶液的溶質置換

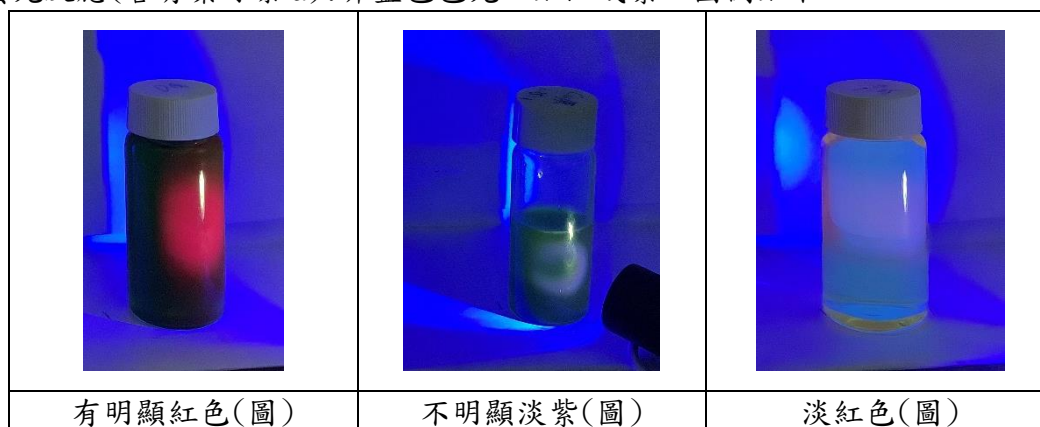
(一)實驗構想

我們想知道含鎂葉綠素 a 是否被加入的混合液的溶質置換。根據文獻可知，葉綠素照射紫外光後會產生螢光，於是我們將各種不同比例混和液，照射紫外光，並以肉眼觀察，之後再以分光光度計來進行更進階的檢測。

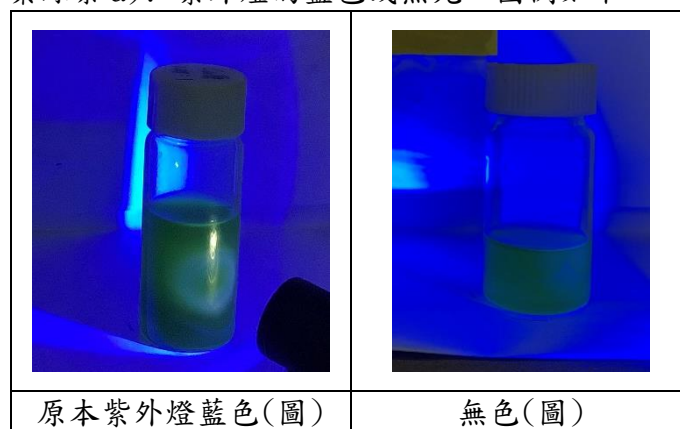
(二)定義:

經過實際操作紫外燈後，以利後續觀察，我們將紫外燈照射後顏色定義為兩種情況，分為有螢光反應與無螢光反應。

1. 有螢光反應(含有葉綠素 a): 非藍色色光，如紅或紫。圖例如下



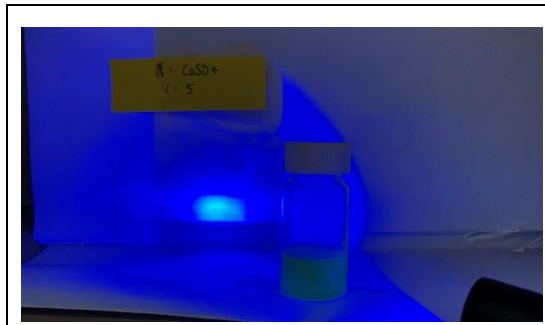
2. 無螢光反應(不含葉綠素 a): 紫外燈的藍色或無光。圖例如下



(三)實際操作

1. 初步觀察-紫外光照射

我們在暗處內將混合液分別照射紫外光，並以肉眼觀察是否有螢光反應。圖例如下。



照射紫外燈示意圖(圖)

2.. 進階檢測-分光光度計

根據文獻分析，我們可以得知葉綠素 a 的吸收光譜約落在430nm、660nm，為了更精準檢測混合液中是否有葉綠素 a 存在，我們使用分光光度計來檢測混和液的吸收光譜，讀取660nm 的吸光度值作相對葉綠素 a 濃度分析。

(1) 實驗器材



分光光度計(圖)



比色管(圖)

陸、 研究結果與討論







一、 1單位葉綠素 a 以不同濃度稀釋後照射紫外光之紅紫色反應

我們將各種原液以不同量乙醇稀釋後分別照射紫外光後，發現照射紫外光後皆有出現螢光反應。雖然螢光反應隨著乙醇濃度上升而漸漸變得微落，但1:25的螢光反應卻還是可以清楚看見。(如下表6-1-1、表6-1-2所示)

表6-1-1 1單位葉綠素 a 照射紫外光是否呈現紅紫色整理表

1單位葉綠素 a 照射紫外光是否呈現紅紫色					
	01:05	01:10	01:15	01:20	01:25
原液:乙醇	0	0	0	0	0

表6-1-2 1單位葉綠素 a 照射紫外光是否呈現紅紫色照片整理

		
原液(圖)	1:5(圖)	1:10(圖)
		
1:15(圖)	1:20(圖)	1:25(圖)

二、 葉綠素 a 中心鎂離子被換成中心為氫離子的脫鎂葉綠素 a 之 pH 值比較

表6-1-1 不同 pH 值下，葉綠素 a 於66nm 波段下的吸光度值變化表
與假設含氫脫鎂葉綠素 a 形成的相對量

pH 值	7.2	7	6.8	6.5	6.3	6	5.7
葉綠素 a	1.45	1.41	1.22	1.12	1.03	0.99	0.78
含氫脫鎂葉綠素 a	0	0.04	0.23	0.33	0.42	0.46	0.67
pH 值	5.5	5.3	5	4.7	4.5	4.2	4
葉綠素 a	0.54	0.23	0.13	0.06	0.06	0.06	0.06
含氫脫鎂葉綠素 a	0.91	1.22	1.32	1.39	1.39	1.39	1.39

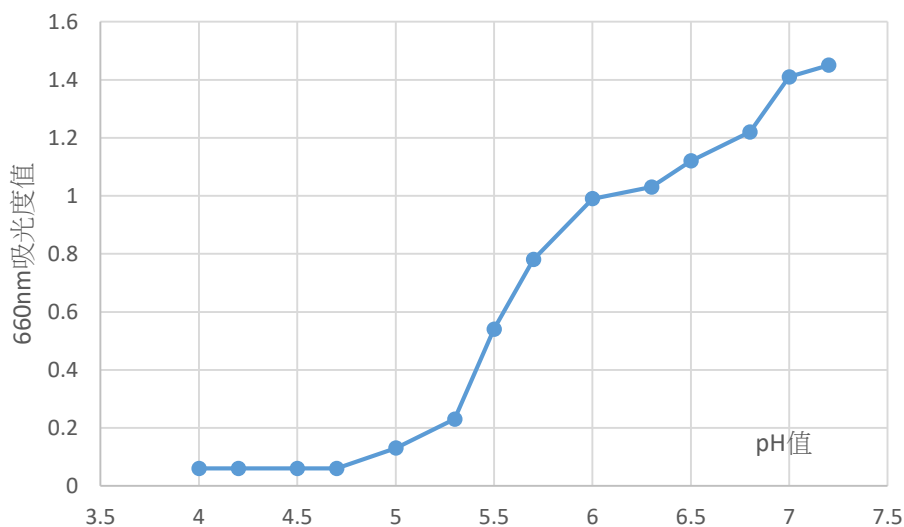


圖6-1-1 不同pH值下葉綠素a含量變化

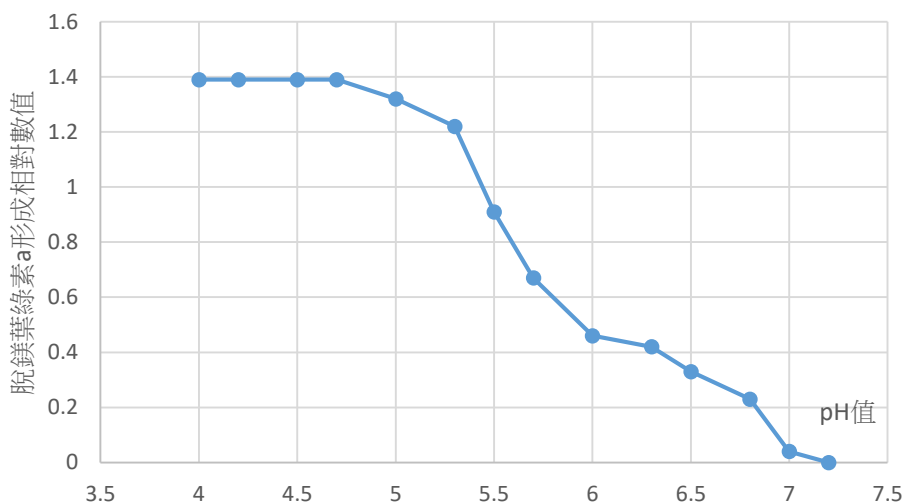


圖6-1-2 不同pH值下含氫脫鎂葉綠素a含量變化

此段分析我們假設以含鎂葉綠素 a 於660nm 波段下的吸光度值做為比較，測量波

菜乙醇原液 pH 值為 7.2，以 0.1M 之 HCl 溶液進行滴入到波菜乙醇溶液中，配出不同 pH 的波菜乙醇萃取液，放入分光光度計中進行掃描，讀取 660nm 的吸光度值。並將 pH=7.2 的原液當成含氫脫鎂葉綠素 a 為 0，pH=7.2 吸光度值減去 pH=7 的吸光度值，所得數字視為含氫脫鎂葉綠素 a 的相對數字(量)進行分析，所得結果如下所示：

1. 圖 6-1-1 中可發現，當 pH 值越低時，含鎂葉綠素 a 的相對含量逐漸降低。
2. 圖 6-1-2 中可發現，當 pH 值越低時，含氫脫鎂葉綠素 a 的相對含量逐漸提高，且在 pH 約為 4.7 的時候達到最大的含氫脫鎂葉綠素 a 含量。
3. 顯示在越酸性的環境下，含鎂葉綠素 a 越有機會被氫離子取代成為含氫脫鎂葉綠素 a。

根據此研究結果，本研究之後的醋酸銅、硫酸銅、硫酸鋅、硫酸亞鐵的與波菜乙醇溶液的不同比例混合，皆以 0.1M 之 HCl 調整到 pH=4.5 進行實驗。

三、 使用 0.01M 醋酸銅置換含鎂葉綠素 a 的最低置換比例和濃度

我們先調配出0.01M 的醋酸銅水溶液，再以不同的比例與菠菜萃取液混和，經不斷嘗試，我們發現原液:醋酸銅有螢光反應與無螢光反應的濃度介於1.25:1到1.125:1之間，為鎂離子能被醋酸銅置換的最低置換比例，其紫外光照射現象如下圖6-3-1、表6-3-1、表6-3-2所示。

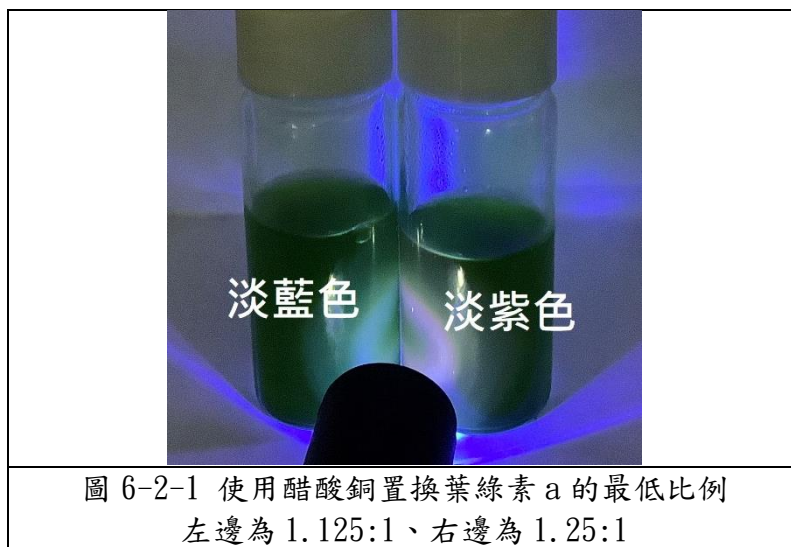


圖 6-2-1 使用醋酸銅置換葉綠素 a 的最低比例
左邊為 1.125:1、右邊為 1.25:1

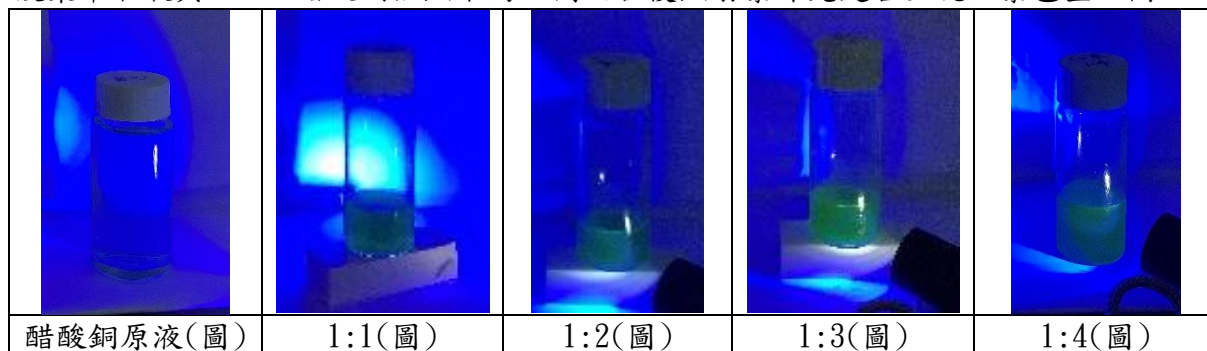
表6-3-1

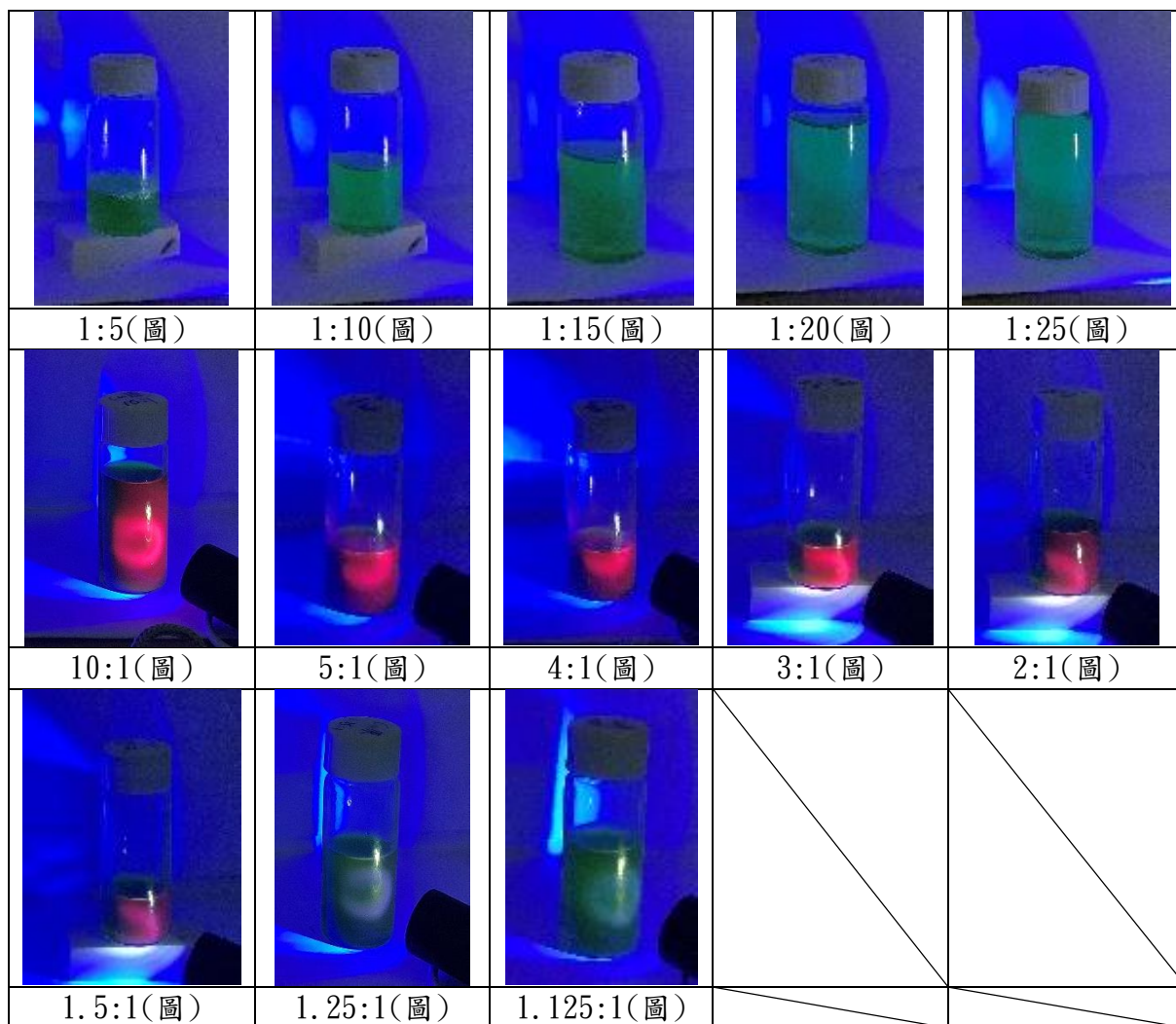
1單位菠菜萃取液與0.01M 醋酸銅依照不同比例混合後照射紫外光是否呈現紅紫色整理表

1單位菠菜萃取液與0.01M 醋酸銅依照不同比例混合後照射紫外光是否呈現紅紫色整理表									
	01:01	01:02	01:03	01:04	01:05	01:10	01:15	01:20	01:25
原液:醋酸銅(0.01m)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	10:01	05:01	04:01	03:01	02:01	1.5:1	1.25:1	1.125:1	
	O	O	O	O	O	O	O	X	

表6-3-2

1單位菠菜萃取液與0.01M 醋酸銅依照不同比例混合後照射紫外光是否呈現紅紫色整理圖





若以0.01M 的醋酸銅1單位與1.125的萃取液混和，其醋酸銅濃度變為0.0047M；若以0.01M 的醋酸銅1單位與1.25的萃取液混和，其醋酸銅濃度變為0.0044M。結果顯示可能可以把1單位葉綠素 a 完全置換成為含銅葉綠素 a 的最低醋酸銅濃度為0.0044M~0.0047M 之間。

四、 0.01M 硫酸銅、硫酸鋅、硫酸亞鐵置換葉綠素 a 中心鎂離子實驗

我們將硫酸銅、硫酸鋅、硫酸亞鐵的不同比例混和液分別照射紫外光後，發現皆不呈紅紫色(表6-4-1、表6-4-2)。由此可知，銅、鋅、亞鐵三種金屬離子在酸性環境下易置換含鎂葉綠素 a 形成含銅葉綠素 a、含鋅葉綠素 a、含亞鐵葉綠素 a





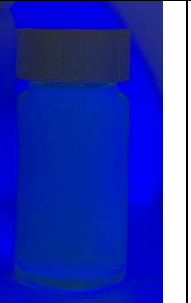





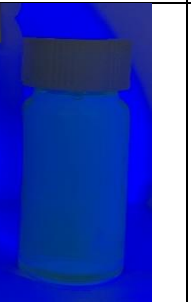





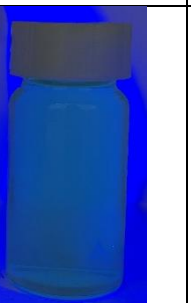

表6-4-1

0.01M 硫酸銅、硫酸鋅、硫酸亞鐵置換葉綠素 a 中心鎂離子照射紫外光是否呈現紅色

照射紫外光是否呈現紅色					
	01:05	01:10	01:15	01:20	01:25
原液:硫酸銅(0.01M)	X	X	X	X	X
原液:硫酸鋅(0.01M)	X	X	X	X	X
原液:硫酸亞鐵(0.01M)	X	X	X	X	X

X 表示照射紫外光沒有呈現紅紫色反應。

表6-4-2 使用硫酸銅、硫酸鋅、硫酸亞鐵置換葉綠素 a 之後照射紫外光是否呈現紅紫色

					
硫酸銅(圖)	1:5(圖)	1:10(圖)	1:15(圖)	1:20(圖)	1:25(圖)
					
硫酸鋅(圖)	1:5(圖)	1:10(圖)	1:15(圖)	1:20(圖)	1:25(圖)
					
硫酸亞鐵(圖)	1:5(圖)	1:10(圖)	1:15(圖)	1:20(圖)	1:25(圖)

此時使用0.01M 硫酸銅、硫酸鋅、硫酸亞鐵依照不同比例去置換一單位的葉綠素 a，發現鹽類溶液已經加到25單位，三種置換溶液照射紫外光之後仍然無紅紫色，表示內部的葉綠素 a 都被置換成為含銅葉綠素 a、含鋅葉綠素 a、含亞鐵葉綠素 a，尚無找到最低置換濃度以致無

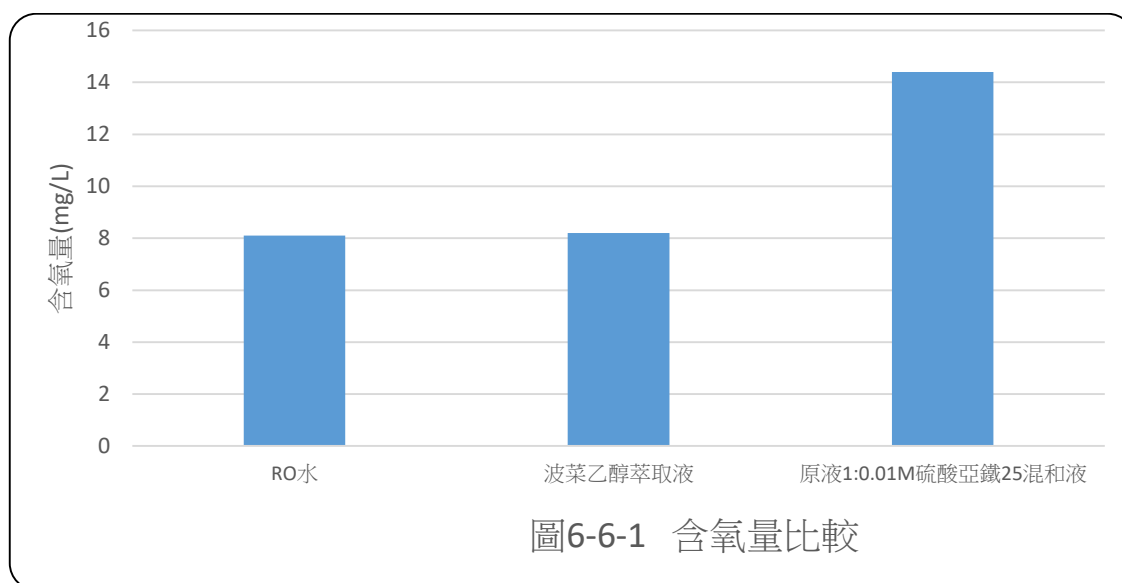
法分辨出銅離子、鋅離子、亞鐵離子和者置換葉綠素 a 的能力較強，此部分的實驗可以繼續再做下去。

五、 使用 0.01M 的硫酸亞鐵置換一單位的葉綠素 a，其置換結果之混和液體之含氧量改變

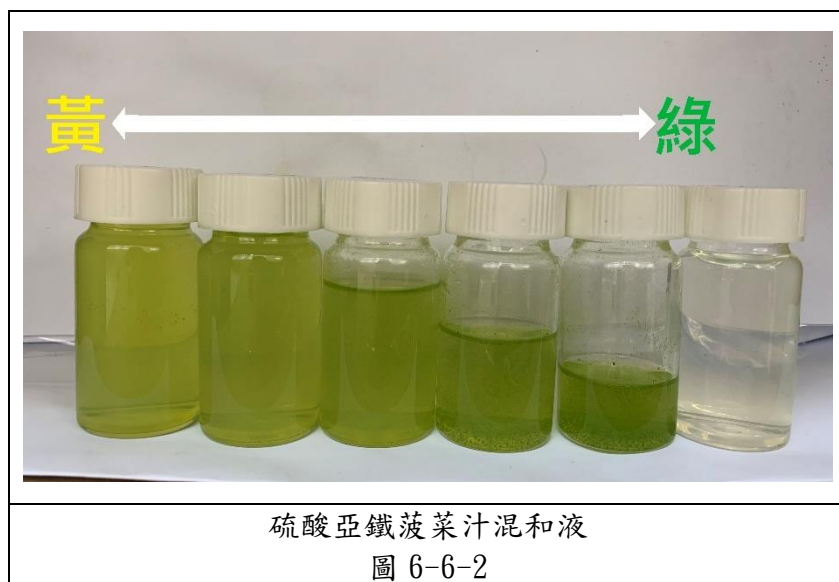
在上段分析中，我們使用0.01M的硫酸亞鐵來置換葉綠素a，形成含亞鐵葉綠素a。由文獻中我們得知葉綠素a的結構與血紅素相似，且血紅素的中心金屬離子為亞鐵離子，於是我們很好奇經過硫酸亞鐵置換的葉綠素a，是否也會提高攜帶氧氣的濃度，於是我們是使用溶氧度計進行測量，其結果於下表6-5-1、圖6-5-1所示。

表6-5-1 含亞鐵葉綠素 a 之含氧量變化

溫度約為 25°C	RO 水	菠菜乙醇萃取液	原液 1:0.01M 硫酸亞鐵 25 混和液
溶氧量*(mg/L)	8.1	8.2	14.4



此段分析中，發現含亞鐵葉綠素的含氧量為14.4mg/L，為 RO 水和菠菜乙醇萃取液的1.78倍左右，顯示含亞鐵葉綠素可以攜帶更多的氧氣，此與血紅素的功能相同。我們將以不同濃度置換成功的含亞鐵葉綠素的小玻璃瓶整理成為下圖6-6-2如下



硫酸亞鐵菠菜汁混和液

圖 6-6-2

血紅素與葉綠素 a 的外圍結構相似，亞鐵離子置換鎂離子後可攜帶氧氣，類似人造血紅素。由(圖)可見硫酸亞鐵濃度越高、混合液顏色越黃。由此可推測，當硫酸亞鐵濃度越高，含氧量越高。

柒、 綜合討論

一、 怎麼確認是葉綠素 a 被置換而非葉綠素 b 被置換？

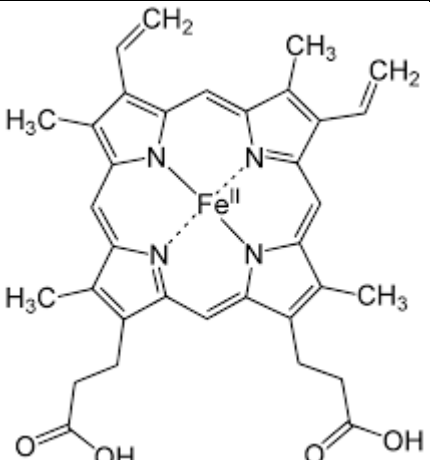
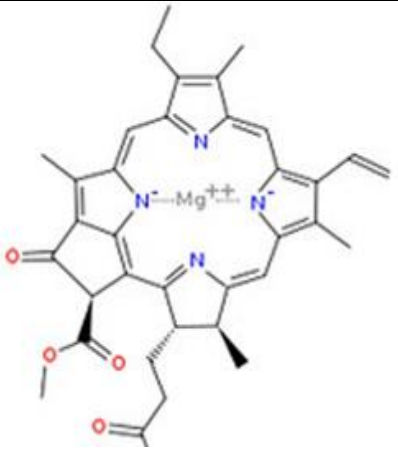
葉綠素 a 和葉綠素 b 在一般陸生植物的比例約為3:1，顯示葉綠素 b 的含量較低，所以我們主要以葉綠素 a 來代表葉綠素。若是要納入葉綠素 b 進入考量，一樣可行。我們的想法是葉綠素 b 於可見光光譜下於460nm、640nm 有最大吸光度值，可選擇其中一個吸光度值判斷葉綠素 b 被取代的狀況來進行分析。本研究以簡化為主，以葉綠素 a 代表葉綠素。

二、 如何確認銅離子、鋅離子和亞鐵離子對於葉綠素 a 的置換能力比較？

在我們其中的一個實驗中，想要找出銅離子、鋅離子、亞鐵離子置換的最低濃度，可是我們已經稀釋到原液:金屬溶液25倍了，我們的樣本平都滿了，還是都沒有出現照射紫外光出現紅紫色反應。建議要更增加金屬溶液的量繼續做下去，才能夠比較三種不同金屬離子對於鎂離子的置換能力比較。

三、 含亞鐵葉綠素 a 為何攜帶氧氣的量會提高？

下表表示血紅素與葉綠素 a 的比較：

比較項目	血紅素	葉綠素 a
結構式		
葉質中央金屬離子	亞鐵離子(Fe ²⁺)	鎂離子(Mg ²⁺)
功能	攜帶氧氣	進行光合作用，主要吸收光能進行電子傳遞鏈

血紅素與葉綠素 a 的外層基質結構類似，僅有中心的金屬離子為主要差異。因此葉綠素 a 中間金屬鎂離子被亞鐵離子取代之後，可能形成一個類似血紅素的構造，可以攜帶氧氣。因此可以增加水溶液的溶氧量。

四、 硫酸根離子在可見光光譜中約落在於哪一個吸光區段中？

我們使用硫酸系列的硫酸銅、硫酸鋅、硫酸亞鐵進行分光光度計分析，其圖形如下圖7-1所示：

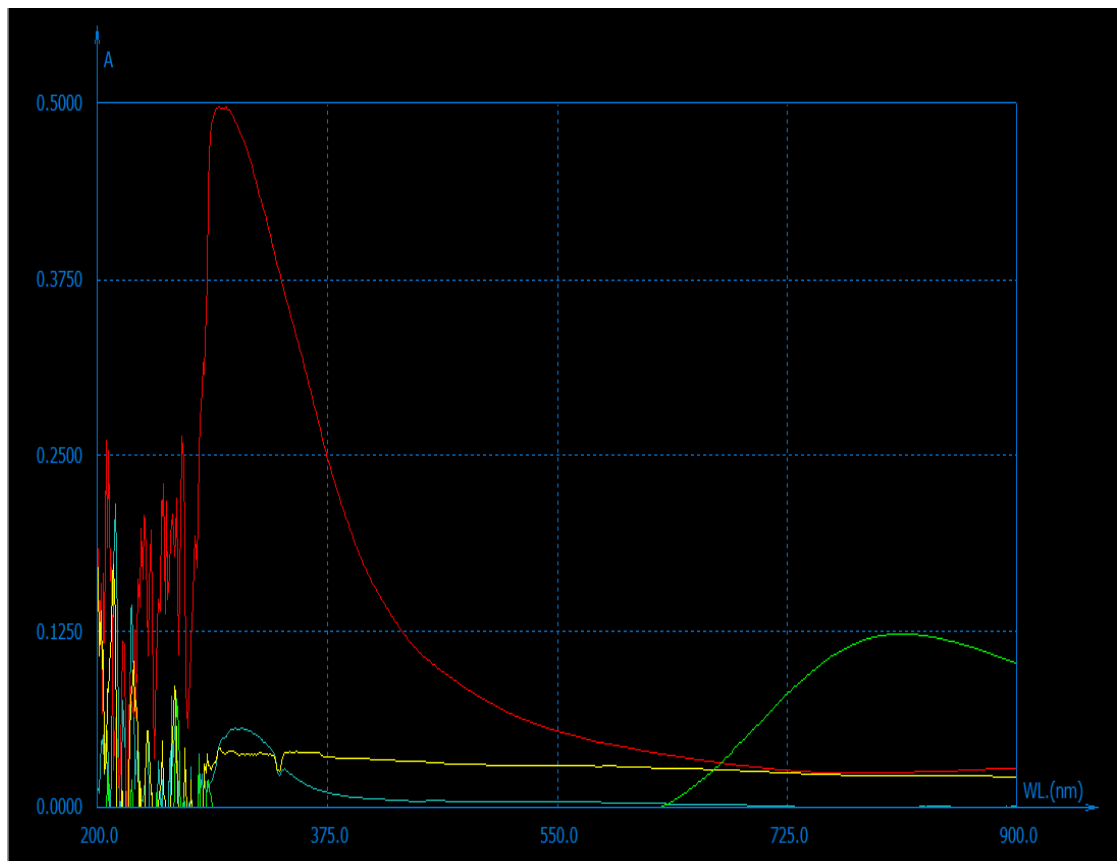


圖7-1 硫酸銅、硫酸鋅、硫酸亞鐵、硫酸的分光光度計曲線

(硫酸為藍色線段、硫酸銅為綠色線段、硫酸鋅為黃色線段、硫酸亞鐵為紅色線段)

上圖中共同出現的硫酸根離子約在288nm有最大的吸收波峰，但是硫酸亞鐵的波風較為明顯，可能與溶解度有關。在本研究中，我們並沒有探討溶解度的問題。

捌、 結論

- 一、以 0.1M 的 HCl 作為酸性調整，發現酸性越強的的狀況下(pH 越低)，含鎂葉綠素 a 更容易被轉換成為含氫脫鎂葉綠素 a。pH 值在 4.5 以下幾乎全部被置換，所以接下的實驗我們都以 pH=4.5 進行實驗。
- 二、使用紫外光照射波菜萃取液或是混和液，若含有葉綠素 a 照射到紫外光後會產生紅紫色反應，可以使用此方法進行簡易的質性判斷溶液中是否具有含鎂葉綠素 a。
- 三、若以 0.01M 的醋酸銅水溶液以不同比例混合一單位的葉綠素 a，發現最低置換濃度約落在 0.0044M~0.0047M 的範圍。
- 四、若以 0.01M 的硫酸銅、硫酸鋅、硫酸亞鐵置換一單位的葉綠素 a，發現金屬離子容易已經達到 25 單位，都可以完全置換一單位的葉綠素 a，只能證明這些金屬離子在酸性環境下容易將含鎂葉綠素 a 置換成為含銅葉綠素 a、含鋅葉綠素 a；含亞鐵葉綠素 a。可是實驗礙於瓶已經裝滿，無法繼續稀釋而無法進一步判斷銅離子、鋅離子、亞鐵離子的置換能力強弱。
- 五、分析水溶液中的含氧量，發現經過亞鐵離子置換的葉綠素 a 形成含亞鐵葉綠素 a，可能與血紅素有類似的構造與相同的金屬離子，其含氧量比 R0 水和波菜乙醇萃取液高出約 1.78 倍。
- 六、硫酸根離子在分光光度計中的吸光度值逾 288nm 有最大的吸光度值，可應用於其他實驗的分析。

玖、 參考資料

- https://gazette.nat.gov.tw/EG_FileManager/eguploadpub/eg013243/ch07/type3/gov60/num24/Eg.htm
- <https://www.slideshare.net/EddieChang3/v2-48879524>
- <https://e-info.org.tw/node/94828>
- <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%A1%80%E7%BA%A2%E8%9B%8B%E7%99%BD>

