

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

第三名

040212

『薑』湖傳說-薑黃素光降解特性之研究

學校名稱：國立臺中文華高級中學

作者： 高二 廖方盈 高二 賴家翎 高二 王靖瑄	指導老師： 陳建志
---	------------------

關鍵詞：薑黃素、光降解、水質淨化

摘要:

本實驗發現有效的水質淨化劑：薑黃素。過去薑黃素常被中醫用來治療牛皮癬等細菌引起的皮膚疾病，並且照光時效果越好，根據本實驗我們發現了薑黃素的光降解現象。

薑黃素的光降解作用在酸性環境下效果有限，在鹼性環境下光降解效果顯著。在高溫沸水中薑黃素不易分解，但在充足氧氣與光源下有較佳的光降解效果，並且也發現日光燈有比紫外燈(短波：254nm)更好的分解效果，供應越多氧氣光降解越顯著。薑黃素也有良好金屬螯合作用，可與金屬形成穩定錯合物，達到水質淨化的目的。

本實驗找到具有可以殺菌、吸附金屬與對環境無害的水質淨化劑，並且我們也將其製作成有用的產品，希望可以提供人們在金屬光觸媒選擇外，另一種較安全、無害的方式。

壹、研究動機

臺灣近幾年，各大地區缺水的現象層出不窮，許多水資源的問題也接踵而至，於此，本實驗欲針對汗水處理方面來作探討及解決。經常在中醫診所看到張貼薑黃素對於皮膚乾癬方面的問題極有幫助，並且在光照之下才得有效作用，與光觸媒的特性相似，所以我們希望能藉由這個特性來淨化水質，於是我們切入薑黃在光觸媒方面的特性，希望藉由此次研究，推出天然又便利的產品，以期能改善汗水問題，增加淨化水質的功效，發揮薑黃天然又強勁的能量。

貳、研究目的

- 一、探討薑黃素的特性。
- 二、探討薑黃素在各種狀況下的變化情形。
- 三、研究薑黃素在分解有機物方面的效能。
- 四、探討薑黃素與金屬之螯合作用。
- 五、運用薑黃素淨化水質。

參、研究設備及藥品

表一：實驗器材

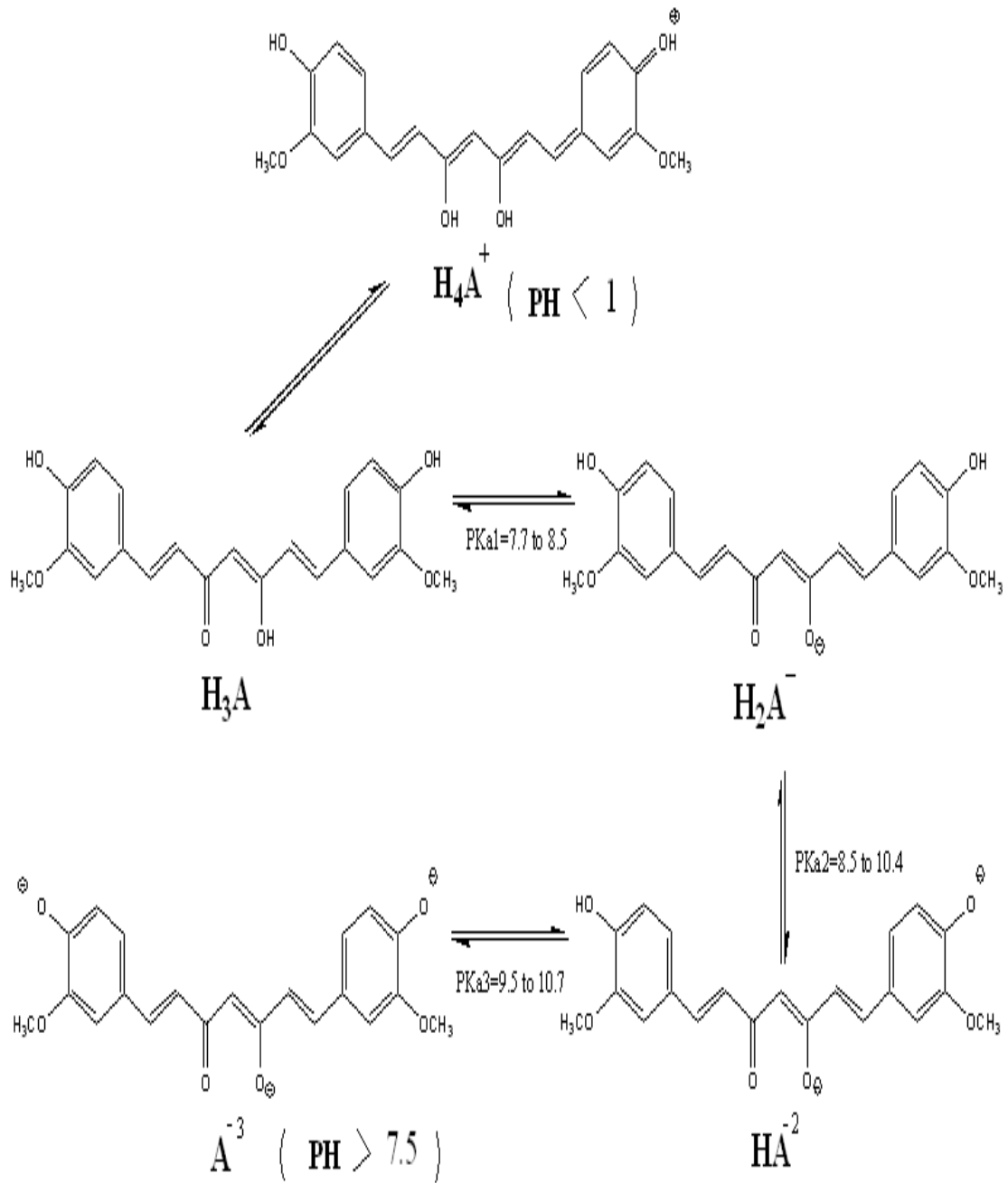
設備	試管(大 x10，小 x50)	滴管 x10
	燒杯(大 x5，小 x5)	定量瓶
	量筒(小 x5)	手套 16 雙
	刮勺 x2	玻璃棒 x1
	秤量紙 x5	電子秤 x2
	抽風櫃 x1	氯化鐵(FeCl_3)
	加熱器	過氧化氫(H_2O_2)
	針筒(大 x10，小 x10)	酒精(95%)
	分光光度計 (SP-830：光譜帶寬 5nm、波長範圍 320~1100nm、 吸收值 0.0001Abs、穿透率 0.01%T) (本實驗測量值，採用薑黃的特性吸收波長 430nm；亞甲藍的特性吸收波長為 662nm)	UV 燈 (UVGL-25：短波：254nm 長 波：365nm) (本實驗採用短波 254nm 做 為實驗光源)
	鹽酸(HCl)	氫氧化鈉(NaOH)
薑黃素(curcumin),98+%	甲烯藍(Methylene Blue)	

肆、研究過程與方法

一、研究構思

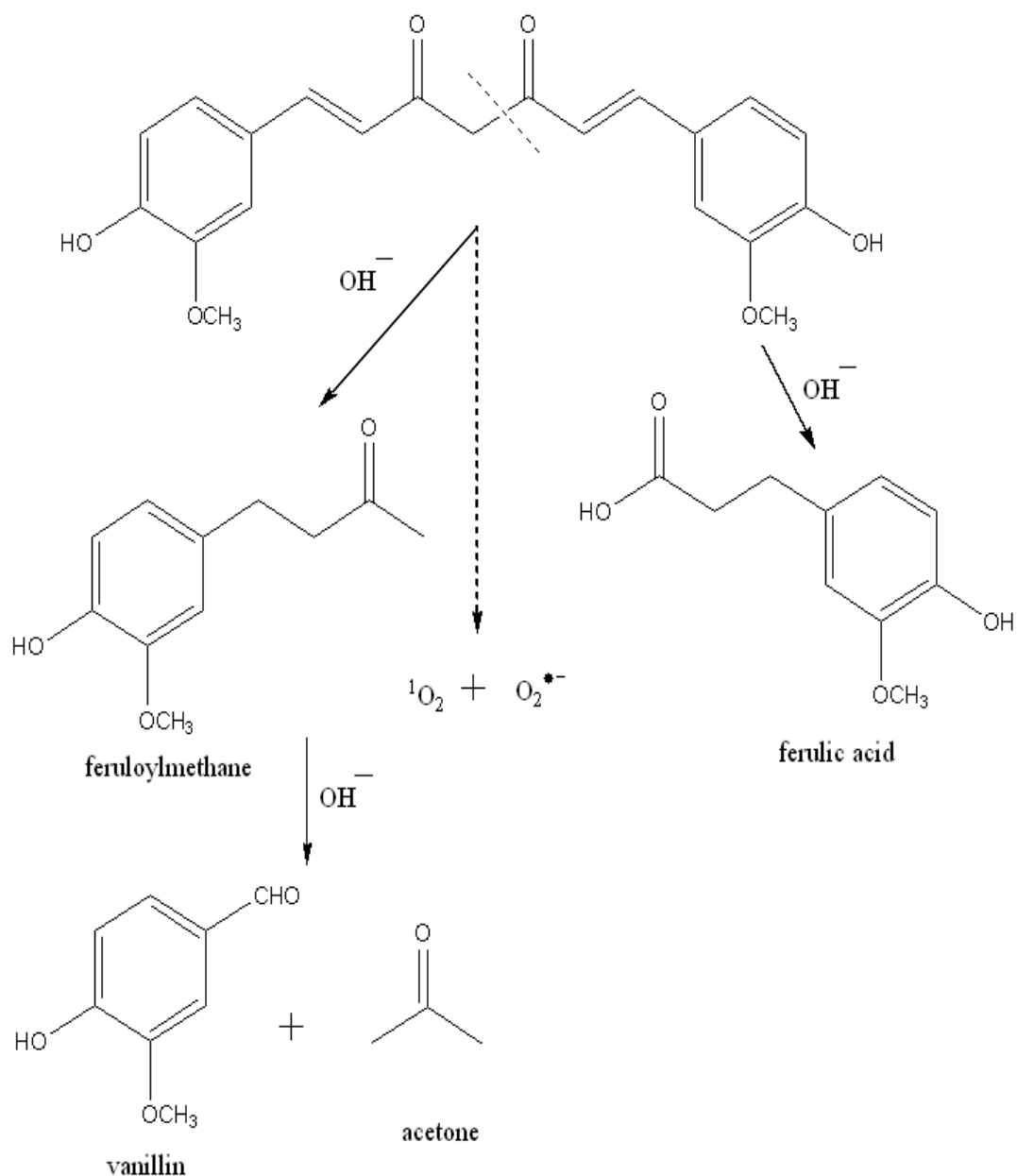
我們查了過去的很多資料，發現薑黃素一般普遍運用在食品添加物、衣料的染色，以及土壤的硼離子的檢測，近年來以薑黃素當成抗癌藥物相關的報導不勝枚舉。其中有一點引起了我們的注意，那就是薑黃在中醫的治療方法：直接將薑黃外敷在患部，可以治療牛皮癬等細菌引起的皮膚疾病，但必須要照光，同時有氧氣存在才有功用，因此我們推測：光與氧氣必定在薑黃殺菌作用上，扮演著很重要的角色。根據以上的推測，我們設計了以下的實驗來驗證我們的推測。

並且根據參考資料，可以得知薑黃本身在不同 PH 值之下有不同的顏色與特性，並且繪製成下圖：



圖一：薑黃素在不同 PH 值時其結構的變化

薑黃素在酸性之下(PH 值<1)，顏色呈現亮黃色(H_4A^+)，其結構較為穩定，隨著 PH 值的增加，其結構漸漸由 H_4A^+ 轉變為 H_3A ，接著轉成 H_2A^- 與 HA^{2-} ，最後轉變成 A^{3-} (PH 值>7.5)。當薑黃結構轉為 A^{3-} 時，其很容易發生光降解作用(Photodegradation)，產生香草醛(vanillin)和阿魏酸(ferulic acid)，以及活性很大的單態氧(1O_2)與超氧自由基(superoxide radical, $O_2^{\cdot -}$)，可經由下圖表示



圖二：薑黃的光降解

由於薑黃光降解(Photodegradation)產生了反應性很大的產物：單態氧($^1\text{O}_2$)與超氧自由基(superoxide radical, $\text{O}_2^{\bullet-}$)，所以我們就想到可以運用薑黃的光降解作用來分解水溶液中的有機物，如同光觸媒照光產生超氧自由基與氫氧自由基可以分解有機物、消毒殺菌一般，以下實驗就是希望能找到薑黃素最佳的反應狀態與其分解有機物的探討，而提供一種較天然，又可分解有機物、淨化水質的「光降解炸彈」。

二、試劑調配

(一)薑黃溶液 10^{-3}M

- 1.在電子秤上放置一張秤量紙，秤得薑黃素 0.184g，將其倒入燒杯中，分次加入酒精(共 350ml)，使用玻璃棒攪拌，直至完全溶化。

2.將混合溶液倒入定量瓶中，加酒精至 500ml，蓋上塞子，搖晃定量瓶片刻，等到溶液已均勻未沉澱，薑黃溶液即調配完成。

(二)酒精相甲烯藍液 10^3M

- 1.在電子秤上放置一張秤量紙，秤得甲烯藍 0.187g，將其倒入燒杯中，分次加酒精(共 350ml)，使用玻璃棒攪拌，直至完全溶化。
- 2.將半成品到入定量瓶中，加酒精至 500ml，蓋上塞子，搖晃定量瓶片刻，等到溶液已均勻未沉澱，甲烯藍液即調配完成。

(三)水相甲烯藍液 10^3M

- 1.在電子秤上放置一張秤量紙，秤得甲烯藍 0.187g，將其倒入燒杯中，分次加水(共 350ml)，使用玻璃棒攪拌，直至完全溶化。
- 2.將半成品到入定量瓶中，加水至 500ml，蓋上塞子，搖晃定量瓶片刻，等到溶液已均勻未沉澱，甲烯藍液即調配完成。

(四)鹼型薑黃溶液 10^3M ($[\text{NaOH}] = 1\text{M}$)

- 1.在電子秤上放置一張秤量紙，秤得薑黃素 0.0364g，將其倒入燒杯中，再秤的 $\text{NaOH} 4\text{g}$ ，分次加水(共 50ml)，使用玻璃棒攪拌，直至完全溶化。
- 2.將混合溶液倒入定量瓶中，加水至 100ml，蓋上塞子，搖晃定量瓶片刻，等到溶液已均勻未沉澱，薑黃溶液 10^3M ($[\text{NaOH}] = 1\text{M}$)即調配完成。

三、薑黃溶液性質檢測

(一)酸性溶液中薑黃溶液性質變化

分別倒出 10ml 薑黃溶液於 A、B、C、D、E、F 試管中，分別在 A 試管加入 2ml $\text{HCl}_{(\text{aq})}(10^3\text{M})$ 與 8ml 酒精，B 試管加入 4ml $\text{HCl}_{(\text{aq})}(10^3\text{M})$ 與 6ml 酒精、C 試管加入 6ml $\text{HCl}_{(\text{aq})}(10^3\text{M})$ 與 4ml 酒精、D 試管加入 8ml $\text{HCl}_{(\text{aq})}(10^3\text{M})$ 與 2ml 酒精、E 試管加入 10ml $\text{HCl}_{(\text{aq})}(10^3\text{M})$ 、F 試管加入 10ml 酒精(對照組)，照光 10 分鐘後，測其吸光度，並定期追蹤 8、16、24 小時。

(二)鹼性溶液中薑黃溶液性質變化

分別倒出 10ml 薑黃溶液於 A、B、C、D、E、F 試管中，分別在 A 試管加入 2ml $\text{NaOH}_{(\text{aq})}(10^3\text{M})$ 與 8ml 酒精，B 試管加入 4ml $\text{NaOH}_{(\text{aq})}(10^3\text{M})$ 與 6ml 酒精、C 試管加入 6ml $\text{NaOH}_{(\text{aq})}(10^3\text{M})$ 與 4ml 酒精、D 試管加入 8ml $\text{NaOH}_{(\text{aq})}(10^3\text{M})$ 與 2ml 酒精、E 試管加入 10ml $\text{NaOH}_{(\text{aq})}(10^3\text{M})$ 、F 試管加入 10ml 酒精(對照組)，照光 10 分鐘後，測其吸光度，並定期追蹤 8、16、24 小時。

(三)氧化劑中薑黃溶液性質變化

分別倒出 5ml 薑黃溶液 10ml $\text{NaOH}(10^3\text{M})$ 於 A、B 試管。A 試管加入 1ml $\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}$ ，B 試管加入 1ml 的水(對照組)，反應 10 分鐘後，測其吸光度，再照光 6 小時後，測其吸光度。

(四)光照下薑黃溶液性質變化

分別倒出 10ml 薑黃溶液和 10ml $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 於 A、B 試管。A 試管置於紫外燈管下，B 試管置於日光燈管下，反應 10 分鐘後，測其吸光度，並追蹤 8、16 小時。

(五)高溫下薑黃溶液性質變化

倒出 5ml 薑黃溶液於 A、B 試管中，A 試管隔水加熱 5 分鐘，B 試管不加熱(對照組)，待其回到室溫後測其吸光度。

四、薑黃溶液的反應

(一)薑黃素與甲烯藍(Methylene Blue)的作用

1.加入不同濃度薑黃溶液

分別倒出 10ml 甲烯藍和 10mlNaOH_(aq)於 A、B、C、D 試管中，A 試管加入 5ml 10⁻⁵M 薑黃溶液，B 試管加入 5ml 10⁻⁴M 薑黃溶液、C 試管加入 5ml 10⁻³M 薑黃溶液、D 試管加入 5ml 10⁻²M 薑黃溶液，照光 10 分鐘後，測其吸光度，並追蹤 8、16、24 小時。

2. 加入不同體積鹼溶液(10⁻³M)

分別倒出 5ml 薑黃溶液、5ml 甲烯藍溶液於 A、B、C、D、E、F 試管中，分別在 A 試管加入 2ml NaOH_(aq)(10⁻³M)與 8ml 酒精，B 試管加入 4ml NaOH_(aq)(10⁻³M)與 6ml 酒精，C 試管加入 6ml NaOH_(aq)(10⁻³M)與 4ml 酒精，D 試管加入 8ml NaOH_(aq)(10⁻³M)與 2ml 酒精，E 試管加入 10ml NaOH_(aq)(10⁻³M)，F 試管加入 10ml 酒精(對照組)，照光 10 分鐘後，測其吸光度，並定期追蹤 8、16、24 小時。

3. 氧氣對反應的影響

分別倒出 5ml NaOH_(aq)、10ml 薑黃溶液與 5ml 甲烯藍溶液於 A、B 試管中，並套上 parafilm，A 試管以氧氣筒連接針頭灌入氧氣，B 試管不灌入氧氣，照光 30 分鐘後，再測其吸光度。

4. 氧化劑對反應的影響

分別倒出 10ml NaOH_(aq)、5ml 薑黃溶液、5ml 甲烯藍溶液於 A、B 試管中，分別在 A 試管加入 1mlH₂O_{2(aq)}(35%)，B 試管加入 1ml 水(對照組)，照光 10 分鐘，測其吸光度，再照光 24 小時後，測其吸光度。

5. 溫度對反應的影響

分別倒出 5ml 薑黃溶液、5ml 甲烯藍溶液於 A、B 試管中，A 試管隔水加熱 5 分鐘，B 試管不加熱(對照組)，待其回到室溫後測其吸光度。

(二)薑黃素與金屬的作用

分別倒出 5ml 薑黃溶液和 5mlNaOH_(aq)於 A、B、C、D、E 試管中，A 試管加入 5ml FeCl_{3(aq)}與 15ml 水，B 試管加入 10mlFeCl_{3(aq)}與 10ml 水、C 試管加入 15ml FeCl_{3(aq)}與 5ml 水、D 試管加入 20 mlFeCl_{3(aq)}、E 試管加入 20ml 水(對照組)，照光 10 分鐘後，測其吸光度，並追蹤 8、16、24 小時。

(三)薑黃素硝酸鹽的作用

將市售的整顆高麗菜打成汁後，過濾後取出濾液 10ml，並加入三顆薑黃水晶寶寶(直徑 0.8cm)，再以硝酸鹽試紙測試照光前與照光十分鐘後 NO²⁻與 NO³⁻的濃度變化。

伍、實驗結果

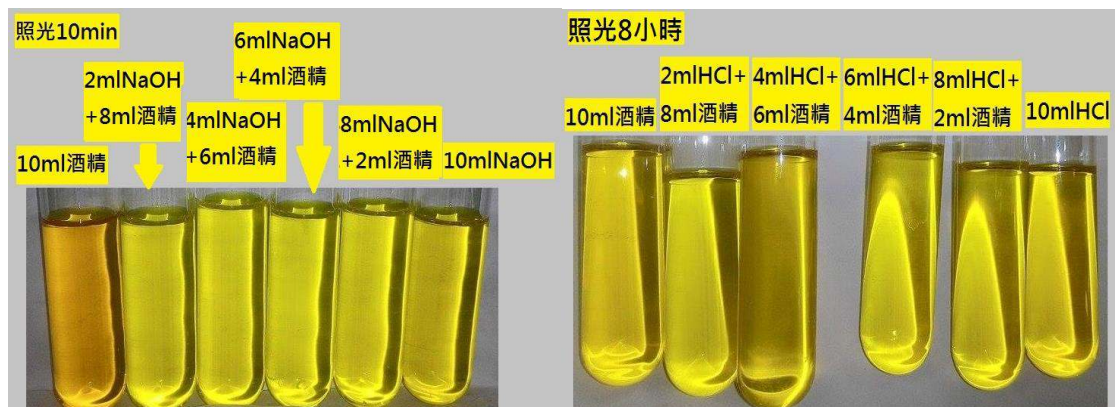
一、薑黃溶液性質檢測

1. 酸性溶液中薑黃溶液性質變化

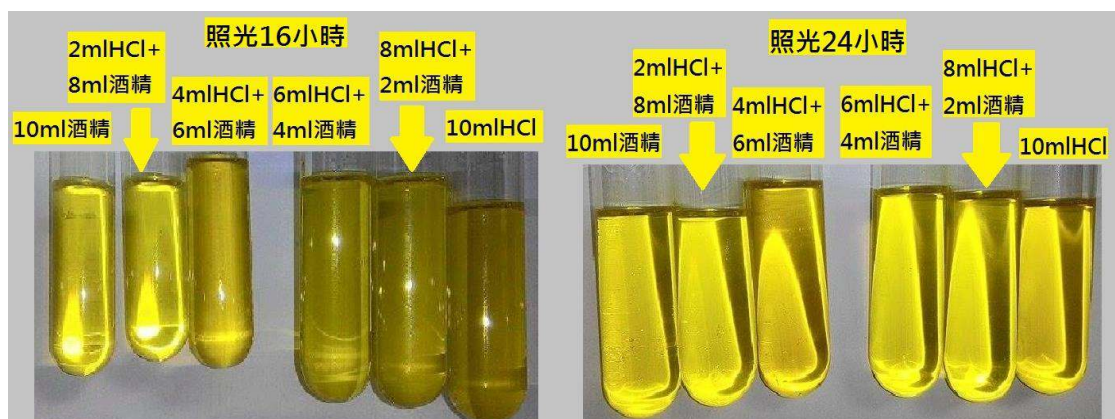
薑黃溶液加入不同體積的 $\text{HCl}_{(aq)}$ (總體積相同) 反應後，再進行吸光度的比較，可以發現薑黃溶液在酸性中顏色比加酒精的薑黃溶液還淡，且吸光度變化不大。(總體積相同)

表二：薑黃溶液加入不同體積 $\text{HCl}_{(aq)}$ 之吸光度比較

10ml 薑黃(10^{-3}M)+ $\text{HCl}_{(aq)}$ (10^{-3}M) (測量薑黃素特性吸收 430nm)						
background：酒精						
	2mlHCl	4mlHCl	6mlHCl	8mlHCl	10mlHCl	10ml 酒精
照光 10min	3.06	3.05	3.05	3.01	3.02	3.07
照光 8hr	3.08	3.07	3.05	3.06	3.03	3.09
照光 16hr	3.09	3.06	3.08	3.07	3.06	3.09
照光 24 hr	3.07	3.07	3.06	3.06	3.05	3.08
PH 值	4.18	3.72	3.59	3.44	3.37	6.78



圖三：薑黃溶液加入不同濃度 $\text{HCl}_{(aq)}$ 之比較 (左：10 分鐘；右：8 小時)



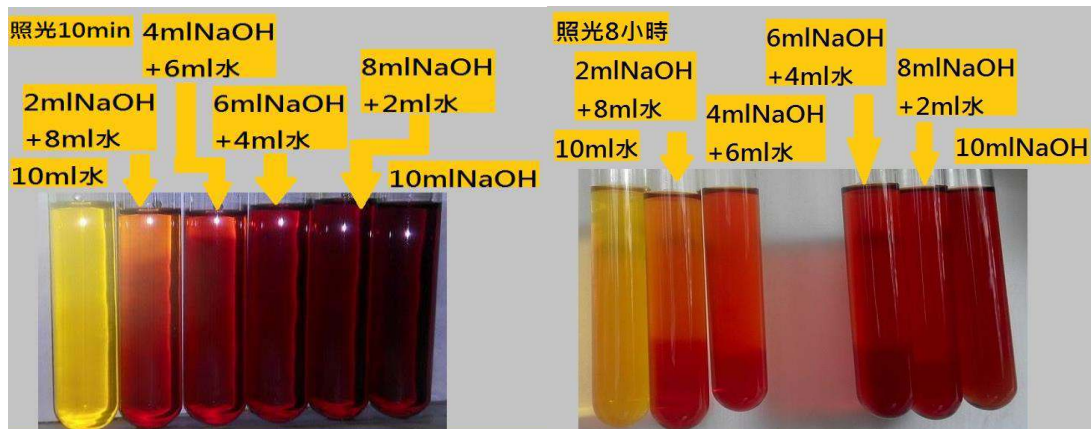
圖四：薑黃溶液加入不同濃度 $\text{HCl}_{(aq)}$ 之比較(左：16 小時；右：24 小時)

2、鹼性溶液中薑黃溶液性質變化

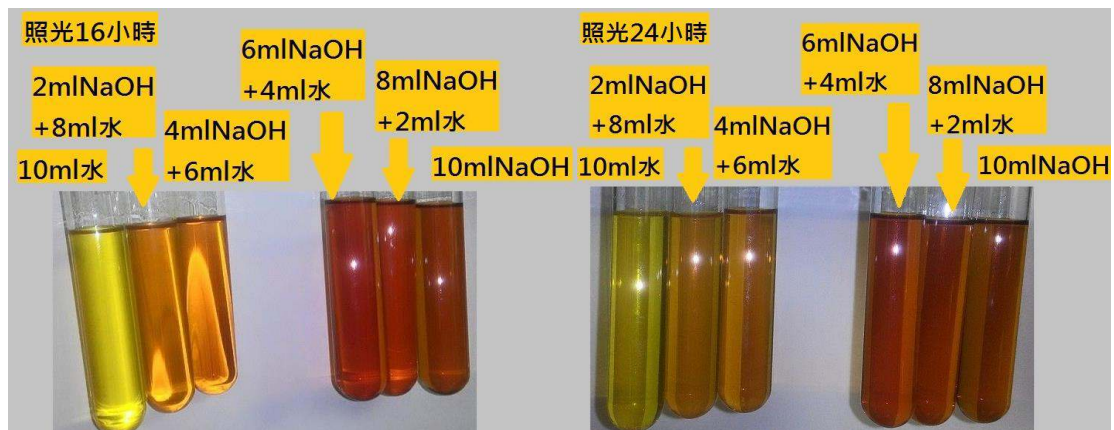
薑黃溶液加入不同體積的 $\text{NaOH}_{(aq)}$ (總體積相同)反應後，再進行吸光度的比較，可以發現薑黃溶液在鹼性中顏色變為紅褐色，且 $\text{NaOH}_{(aq)}$ 的體積愈大，顏色愈深，剛照光 10min 發現加入 $\text{NaOH}_{(aq)}$ 的組別吸光度差不多，但卻比對照組(加酒精)高很多。隨著照光時間增加，加入越多 $\text{NaOH}_{(aq)}$ 的組別吸光度下降越多，而其對照組吸光度卻沒有多大變化(維持在 3.08 左右)。

表三：薑黃溶液加入不同體積 $\text{NaOH}_{(aq)}$ 之吸光度比較

10ml 薑黃(10^{-3}M)+ $\text{NaOH}_{(aq)}$ (10^{-3}M)測量薑黃素特性吸收 430nm)						
background：酒精						
	2mlNaOH	4mlNaOH	6mlNaOH	8mlNaOH	10mlNaOH	10ml 酒精
照光 10min	3.29	3.28	3.29	3.30	3.29	3.07
照光 8hr	3.21	3.21	3.19	3.19	3.18	3.09
照光 16hr	3.25	3.25	3.26	3.24	3.26	3.09
照光 24hr	3.24	3.25	3.25	3.24	3.21	3.08
PH 值	9.90	10.02	10.47	10.72	11.09	6.78



圖五：薑黃溶液加入不同濃度 $\text{NaOH}_{(aq)}$ 之比較(左：10 分鐘；右：8 小時)



圖六：薑黃溶液加入不同濃度 $\text{NaOH}_{(aq)}$ 之比較(左：16 小時；右：24 小時)

3、氧化劑中薑黃溶液性質變化

將薑黃溶液加入 $\text{H}_2\text{O}_{2(aq)}$ ，置於紫外燈管下反應，再進行吸光度的比較，可以發現對照組(加入水)的顏色呈現橘黃色，並且照光後吸光度由 3.37 轉變為 3.31；加入 $\text{H}_2\text{O}_{2(aq)}$ 的薑黃液顏色轉成亮黃色，並且其吸光度大幅下降為 0.063，隨著照光時間增加其吸光度逐漸下降為 0.041。



圖七：薑黃溶液加入 $\text{H}_2\text{O}_{2(aq)}$ 與對照組的比較

表四：薑黃加入 $\text{H}_2\text{O}_{2(aq)}$ 之吸光度

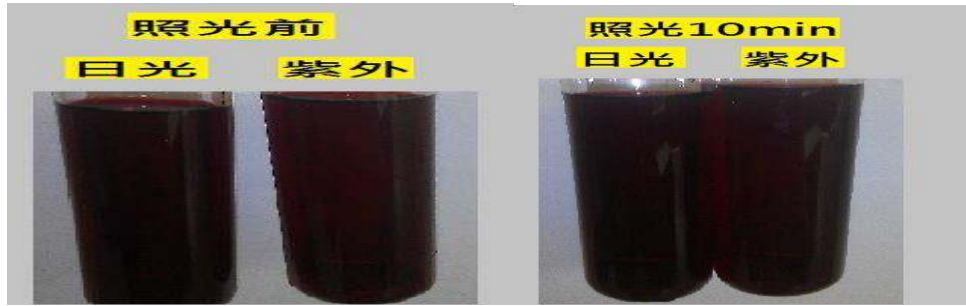
5ml 薑黃(10^{-3}M)+10mlNaOH(10^{-3}M)+... (測量薑黃素特性吸收 430nm)		
background: 5ml 酒精+11ml 水		
	1ml H_2O	1ml H_2O_2
吸光度(照光前)	3.37	0.063
吸光度(照光 6hr)	3.31	0.041

4、光照下薑黃溶液性質變化

薑黃溶液用紫外燈與日光燈照射 10min、8hr 與 16hr 後，再進行吸光度的比較，可以發現照射紫外燈管組別吸光度由 3.32 下降為 3.23；而照射日光燈管的組別吸光度由 3.32 下降為 3.19。可以明顯的發現：照射日光燈使薑黃素的吸光度下降更多。

表五：薑黃素照射紫外光與日光燈後，其吸光度的比較

10ml 薑黃(10^{-3}M)+10mlNaOH(10^{-3}M) (測量薑黃素特性吸收 430nm)		
background:10ml 酒精+10ml 水		
	紫外光	日光燈
吸光度(照光前)	3.32	3.32
吸光度(照光 10min)	3.31	3.28
吸光度(照光 8hr)	3.25	3.20
吸光度(照光 16hr)	3.23	3.19



圖八：薑黃照紫外光與日光燈之比較(左：照光前；右：10分鐘)



圖九：薑黃照紫外光與日光燈之比較(左：8小時；右：16小時)

5、高溫下薑黃溶液性質變化

薑黃溶液隔水加熱 5 分鐘後，再進行吸光度的比較，可以發現加熱後的吸光度由 1.253 下降為 1.252。

表六：薑黃溶液隔水加熱後之吸光度比較

5ml 薑黃($10^{-3}M$)(測量薑黃素特性吸收 430nm)		
background:酒精		
	不加熱	加熱 5min
吸光度(照光前)	1.253	1.252

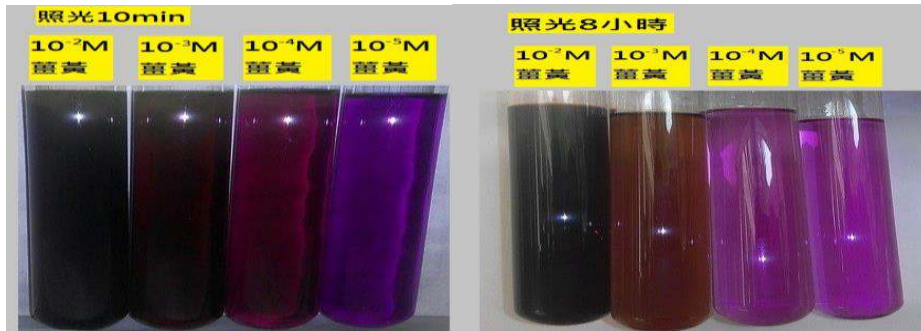
二、薑黃素與甲烯藍(Methylene Blue)的反應

1. 加入不同濃度的薑黃溶液

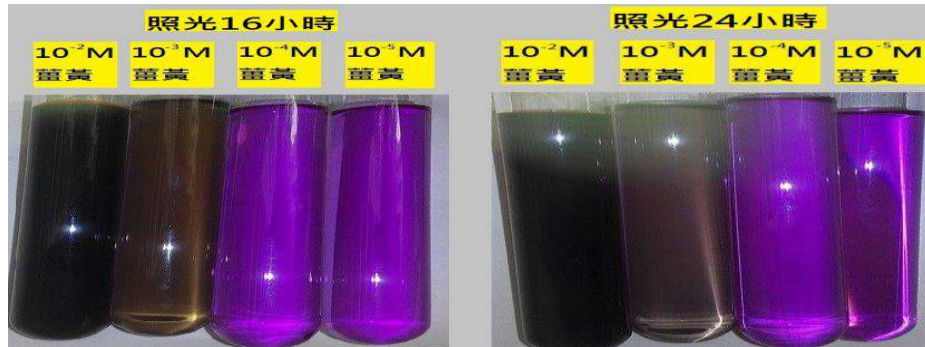
將不同濃度的薑黃溶液加入 10ml 的甲烯藍溶液中，置於日光燈管下反應，進行吸光度比較，可以發現 $10^{-2}M$ 、 $10^{-3}M$ 、 $10^{-4}M$ 和 $10^{-5}M$ 薑黃溶液，照光後吸光度有下降趨勢。

表七：甲烯藍加入不同濃度薑黃溶液之吸光度比較

10ml 甲烯藍($10^{-3}M$)(酒精相)+10mlNaOH($10^{-3}M$)+5ml.(測量甲烯藍特性吸收值 662nm)				
background：酒精				
	$10^{-2}M$ 薑黃溶液	$10^{-3}M$ 薑黃溶液	$10^{-4}M$ 薑黃溶液	$10^{-5}M$ 薑黃溶液
照光 10min	1.419	0.227	0.122	0.118
照光 8hr	0.978	0.200	0.013	0.008
照光 16hr	0.981	0.206	0.021	0.011
照光 24hr	0.949	0.140	0.010	0.004



圖十：甲烯藍溶液加入不同濃度的薑黃溶液之比較(左：10分鐘；右：8小時)



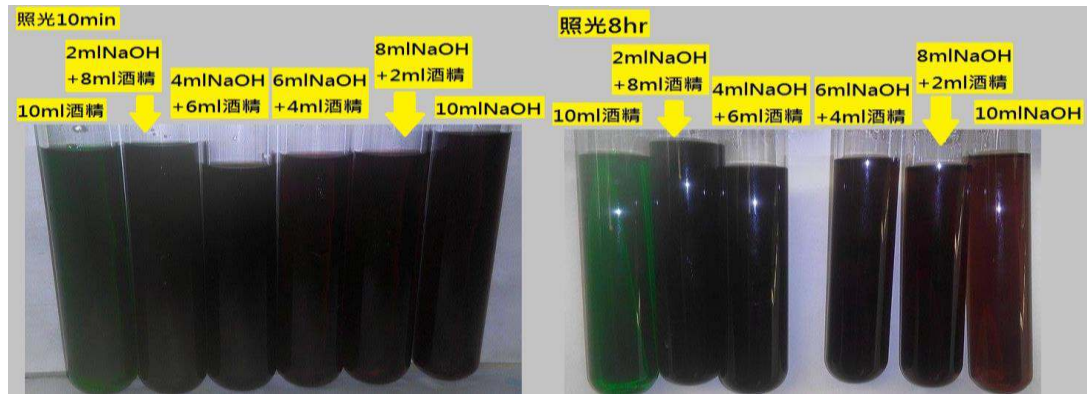
圖十一：甲烯藍溶液加入不同濃度的薑黃溶液之比較(左：16小時；右：24小時)

2. 薑黃素與甲烯藍在不同體積 NaOH 溶液($10^{-3}M$)的反應

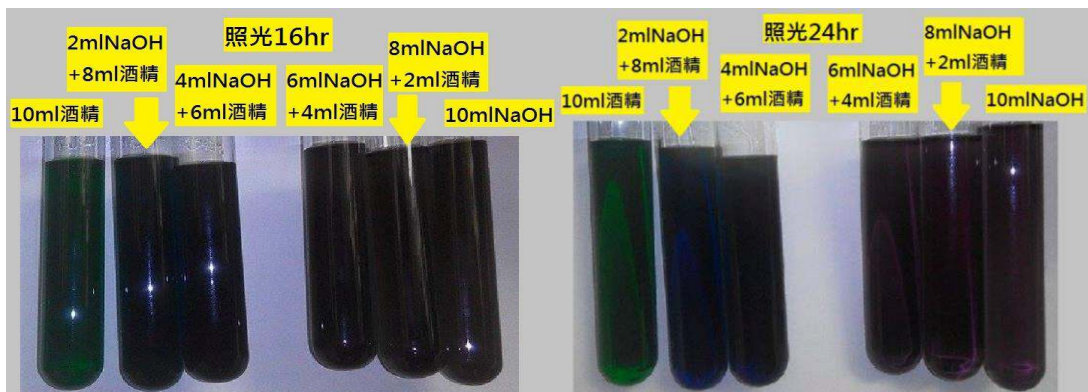
將薑黃溶液和甲烯藍溶液加入不同體積的 $\text{NaOH}_{(aq)}$ (總體積相同)反應後，再進行吸光度的比較。照光 10min 後，發現加入 $\text{NaOH}_{(aq)}$ 越多其吸光度下降越多，並且隨著光照時間增加，有加入 $\text{NaOH}_{(aq)}$ 的組別吸光度繼續下降，而其對照組(加入酒精)的吸光度則沒有明顯變化。

表八：薑黃與甲烯藍加入不同體積氫氧化鈉之吸光度比較

5ml 甲烯藍($10^{-3}M$) (酒精相)+5ml 薑黃($10^{-3}M$)+ $\text{NaOH}_{(aq)}$ ($10^{-3}M$)(測量甲烯藍特性吸收值 662nm)						
background:酒精						
	10ml 酒精	2mlNaOH +8ml 酒精	4mlNaOH +6ml 酒精	6mlNaOH +4ml 酒精	8mlNaOH +2ml 酒精	10mlNaOH
照光 10min	2.809	2.762	0.860	0.261	0.255	0.248
照光 8hr	2.805	2.795	1.817	0.644	0.504	0.327
照光 16hr	2.801	2.780	1.669	0.501	0.399	0.314
照光 24 hr	2.806	2.726	1.586	0.356	0.294	0.236
PH 值	6.74	9.88	10.07	10.29	10.94	11.13



圖十二：薑黃溶液與甲烯藍溶液加入不同體積的氫氧化鈉之比較(左：10分鐘；右：8小時)



圖十三：薑黃溶液與甲烯藍溶液加入不同體積的氫氧化鈉之比較(左：16小時；右：24小時)

3. 氧氣對反應的影響

將薑黃溶液與甲烯藍混合溶液打入 100ml 氧氣後，置於日光燈管下反應，再進行吸光度的比較，可以發現甲烯藍與薑黃混合液觸氧後顏色馬上由酒紅色轉成黃褐色，並且馬上測其吸光度，發現其吸光度有明顯下降。6 小時後，觸氧的混合液變成幾乎無色。

表九：薑黃與甲烯藍觸氧與否之吸光度比較

10ml 薑黃(10^{-3} M)+5ml 甲烯藍(10^{-3} M)(水相)+5mlNaOH(10^{-3} M)(662nm)		
background:10ml 酒精+10ml 水		
	隔氧	觸氧
吸光度	0.273	0.101



圖十四：薑黃與甲烯藍混合液氧氣造成的影響(反應前)



圖十五：薑黃與甲烯藍混合液氧氣造成的影響(6hr 後)

4. 氧化劑對反應的影響

將 NaOH_(aq)、薑黃溶液和甲烯藍溶液加入 H₂O_{2(aq)}後，再進行吸光度的比較，可以發現加入 H₂O_{2(aq)}的吸光度明顯低於水的吸光度，且兩者皆有下降的趨勢，隨照光時間增加，加入 H₂O_{2(aq)}的組別測得吸光度最後幾乎為零。

表十：氫氧化鈉、薑黃與甲烯藍加入過氧化氫之吸光度比較

5ml 薑黃(10 ⁻³ M)+5ml 甲烯藍(10 ⁻³ M)(水相)+10mlNaOH(10 ⁻³ M)+...(測量甲烯藍特性吸收值 662nm)		
background:5ml 酒精+16ml 水		
	1mlH ₂ O ₂	1mlH ₂ O
吸光度(照光前)	0.064	2.091
吸光度(照光 24hr)	0.001	0.203



圖十六：薑黃與甲烯藍在鹼性環境下加入氧化劑與對照組之比較

5. 溫度對反應的影響

將薑黃溶液和甲烯藍混合溶液在沸水中隔水加熱 5 分鐘，待其冷卻後測其吸光度，進行吸光度的比較，可以發現加熱後，吸光度略為上升，但仍無明顯的改變。

表十一：薑黃與甲烯藍加熱後之吸光度比較

5ml 薑黃(10 ⁻³ M)+5ml 甲烯藍(10 ⁻³ M)(水相)(測量甲烯藍特性吸收值 662nm)		
background:5ml 酒精+5ml 水		
	不加熱	加熱 5min
吸光度	2.887	2.902



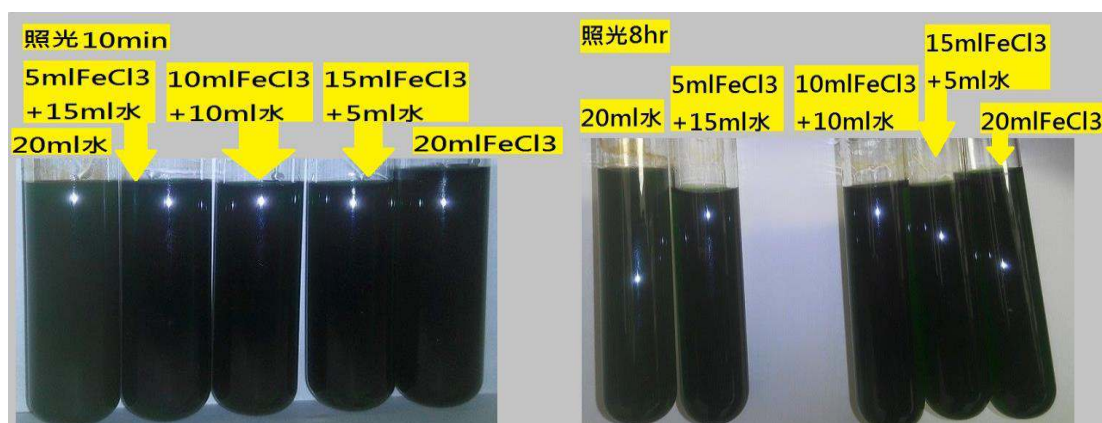
圖十七：薑黃溶液與甲烯藍溶液加熱與否之比較

三、薑黃素與金屬的作用

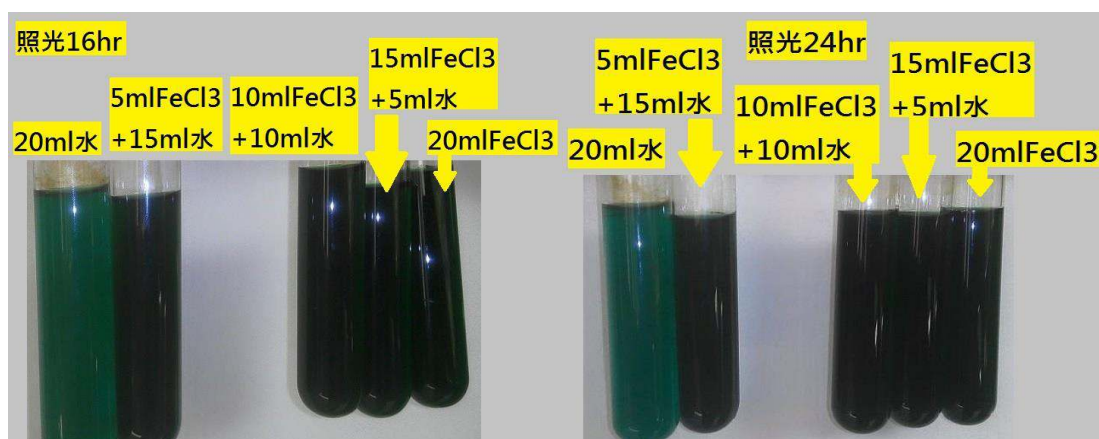
將薑黃溶液與甲烯藍溶液加入不同體積的 $\text{FeCl}_3(\text{aq})$ (總體積相同)中，置於日光燈下反應，再進行吸光度的比較，可以發現薑黃溶液沒有加入 $\text{FeCl}_3(\text{aq})$ 組別隨光照時間增加，其吸光度慢慢下降；而加不同體積的 FeCl_3 溶液的組別，吸光度沒有太大變化。

表十二：薑黃與甲烯藍加入不同體積 $\text{FeCl}_3(\text{aq})$ 之吸光度比較

5ml 薑黃(10^{-3}M)+5ml 甲烯藍(10^{-3}M)(水相)+5mlNaOH(10^{-3}M)+... (測量甲烯藍特性吸收值 662nm)					
background:5ml 酒精+30ml 水					
	20ml 水	5ml FeCl_3 + 15ml 水	10ml FeCl_3 + 10ml 水	15ml FeCl_3 + 5ml 水	20ml FeCl_3
吸光度(照光前)	2.752	2.814	2.801	2.812	2.826
吸光度(照光 10min)	2.405	2.742	2.785	2.797	2.802
吸光度(照光 8hr)	2.285	2.761	2.799	2.835	2.815
吸光度(照光 16hr)	2.082	2.784	2.824	2.855	2.837
吸光度(照光 24hr)	1.042	2.820	2.862	2.888	2.870



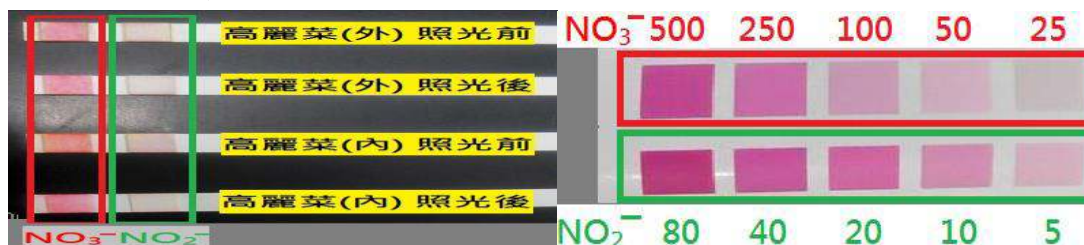
圖十八：薑黃溶液與甲烯藍溶液加入不同體積的 $\text{FeCl}_3(\text{aq})$ 之比較(左：10 分；右：8 小時)



圖十九：薑黃溶液與甲烯藍溶液加入不同體積的 $\text{FeCl}_3(\text{aq})$ 之比較(左：16 小時；右：24 小時)

四、薑黃素與硝酸鹽的作用

將加入三顆薑黃水晶寶寶(直徑 0.8cm)的 10ml 高麗菜內層與外層濾液，分別就照光前與照光十分鐘來加以比較，同時根據硝酸鹽試紙變色加以判斷：照光前後內外層的 NO_3^- 含量相差不多；但不論內外層照光前 NO_2^- 的含量皆較照光十分鐘後的深，即表示照光前 NO_2^- 的含量較多，並且外層高麗菜濾液有較高的 NO_2^- 的含量。



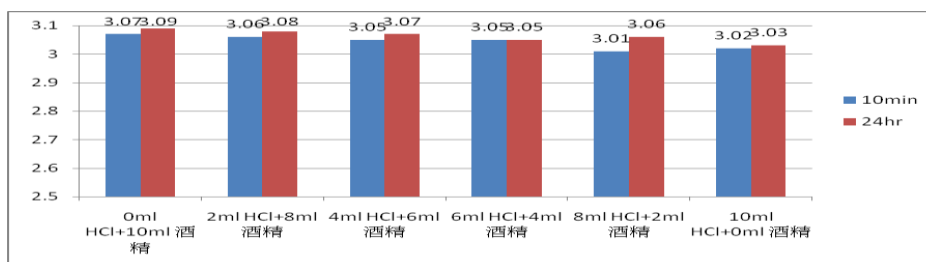
圖二十：高麗菜加入薑黃水晶寶寶照光前後的 NO_3^- 和 NO_2^- 含量比較 圖二十一： NO_3^- 和 NO_2^- 的比色表

陸、實驗討論

一、薑黃溶液性質檢測

1、酸性溶液中薑黃素的性質變化

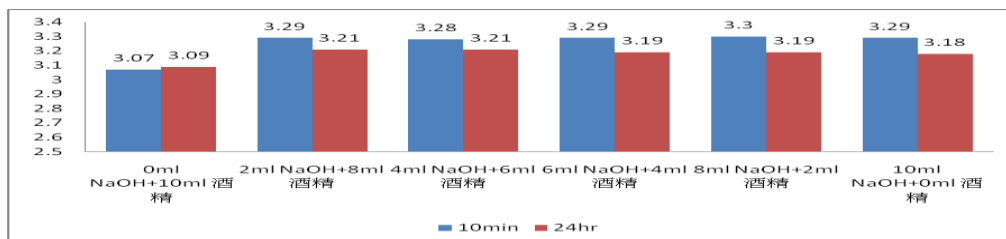
薑黃加入不同體積的 $\text{HCl}_{(aq)}$ ，進行吸光度的比較，可以發現加入越多的 $\text{HCl}_{(aq)}$ 其吸光度保持不變，並且光照時間增加時，其吸光度仍舊不變，故推論薑黃在酸性的環境中，性質較為穩定，不易發生改變。



圖二十二：不同體積的 $\text{HCl}_{(aq)}$ 與吸光度的關係

2、鹼性溶液中薑黃素的性質變化

薑黃加入不同體積的 $\text{NaOH}_{(aq)}$ ，進行吸光度的比較，可以發現加入越多的 $\text{NaOH}_{(aq)}$ 其吸光度下降越多，根據過去資料顯示：薑黃素在鹼性環境下，其結構由 H_3A 轉變 H_2A^- 與 HA^{2-} ，最後改變為 A^{3-} ，而 A^{3-} 照光時本身很容易產生光降解，轉變為香草醛(vanillin)和阿魏酸(ferulic acid)，以及活性很大的單態氧($^1\text{O}_2$)與超氧自由基(superoxide radical, $\text{O}_2^{\cdot-}$)。



圖二十三：不同體積的 $\text{NaOH}_{(aq)}$ 與吸光度的關係(10min 與 24hr)

從以上實驗可以得知：薑黃素在酸性下(轉變為 H_4A^+)較為穩定；在鹼性下(轉變為 A^3-)較不穩定，容易產生光降解作用，因此本實驗皆須控制在鹼性的環境下，使其光降解作用較為明顯。

將薑黃加不同體積鹼後的混合液靜置一天後，發現呈現下圖狀況：



圖二十四：薑黃溶液加入氫氧化鈉後照光 24hr

推測可能是由於空氣中的 $CO_{2(g)}$ 逐漸溶入混合液中，而使混合液逐漸變酸，顏色由鹼型的橘紅色轉變為酸型的黃色，並且加入的鹼越多，其橘紅色的鹼型越多。

同時我們也發現另一個有趣的現象：由於是表面接觸 $CO_{2(g)}$ ，所以理論上應該是由表面先變酸型的黃色，但我們的結果卻剛好相反，表面呈現鹼型的橘紅色。為了要討論這問題，必須得從薑黃的特性說明：薑黃本身不易溶於水，但易溶於酒精或有機溶液中，溶於酒精中大多以 H_3A 狀態存在，當加入鹼性物質時，薑黃素又會轉變成 A^3- 狀態，而 A^3- 狀態的水溶性大幅增加。根據以上我們推測：鹼型的薑黃素易溶於水而存在試管面的水相中，待 $CO_{2(g)}$ 溶入混合液中，使薑黃素轉變為酸型而沉於試管底部的有機相中。

此現象相當有利於本實驗的「光降解炸彈」的製作，由於鹼型薑黃存在溶液表面，易於接觸光降解作用所需的氧氣與光，反應完後的副產物又可沉於底部，而不會影響光降解作用。

將鹼型的薑黃溶液，分別打入 100ml 的 $CO_{2(g)}$ 和 $O_{2(g)}$ ，發現結果如下：



圖二十五：鹼型薑黃溶液加入 $CO_{2(g)}$ 和 $O_{2(g)}$ 後照光 24hr

可以清楚的發現加入等體積 $\text{CO}_2(\text{g})$ 和 $\text{O}_2(\text{g})$ 的鹼型薑黃溶液試管下方顏色皆變淡，而加入 $\text{O}_2(\text{g})$ 的鹼型薑黃溶液試管下方變淡區域較大，從以上結果我們可以推知：酸鹼變化並非鹼型薑黃素變色的主要原因，而較重要的因素是鹼型薑黃在 $\text{O}_2(\text{g})$ 與光作用下產生的光降解反應。

3、氧化劑中薑黃素的性質變化

根據數據可以發現：薑黃素在鹼性的水溶液環境下，加入 H_2O_2 後可以發現顏色變淺，且吸光度大幅下降，吸光度變為 0.063(對照組吸光度為 3.37)，並且隨著照光時間增加，其吸光度逐漸下降為 0.041，對照組的吸光度稍微下降為 3.31。

根據以上實驗結果我們可以證明：薑黃素要進行有效的降解作用，除了要在鹼性的環境下，並且還須要有氧化劑的存在，當氧化劑的濃度越高，其降解的效果就越好。空氣中的氧氣為薑黃素進行降解的必要元素。

4、光照下薑黃素的性質變化

藉由本實驗數據可以得知：當薑黃素照射紫外光時，其吸光度下降幅度較小(由 3.32 下降為 3.23)；而照射日光燈時，其吸光度下降幅度較大(由 3.32 下降為 3.19)。

並且藉由公式：

$$\text{吸光度下降率} = \text{吸光度下降值} / \text{原吸光度}$$

$$\text{分別計算紫外燈的吸光度下降率} = (3.32 - 3.23) / 3.32 = 2.71\%$$

$$\text{日光燈的吸光度下降率} = (3.32 - 3.19) / 3.32 = 3.91\%$$

根據以上計算結果，我們可以發現照射日光燈的吸光度下降率(3.91%)比紫外光(2.71%)高，所以我們做了以下的推測：薑黃素要產生降解必須吸收特定波長的光，紫外燈管放出較小頻率範圍的光，並且此頻率範圍並無法使薑黃素產生降解。反觀照射日光燈雖然能量較低，但是有較大的光頻率範圍，剛好其中某頻率可以使薑黃素產生降解作用，所以才造成此一特殊現象。

藉由本實驗可以知道，要使薑黃素產生降解必須要有特定頻率波長的光源，單頻高能的紫外光源並無法使薑黃素產生降解作用。

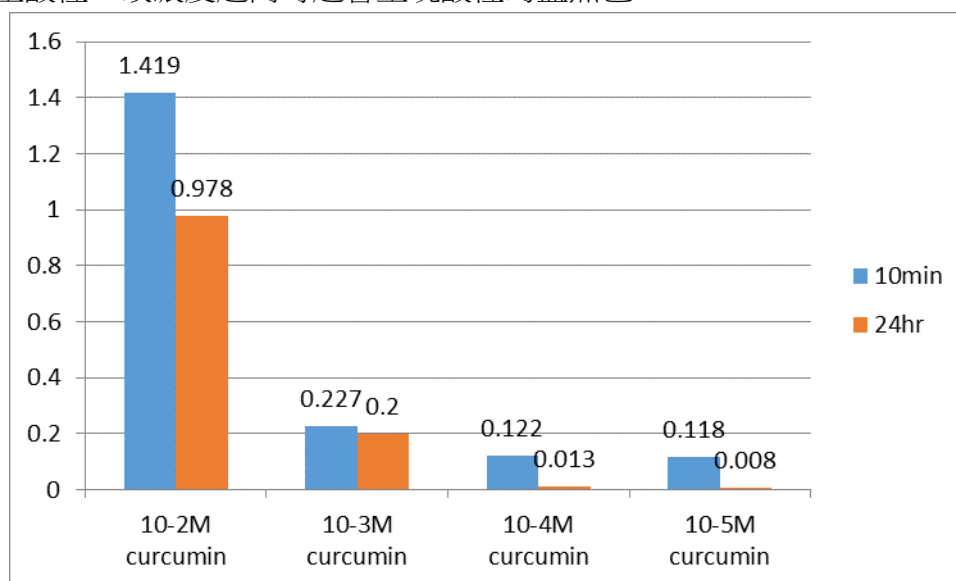
5、高溫下薑黃素的性質變化

我們把薑黃溶液置於 100°C 的熱水中，隔水加熱 5 分鐘後，待其回到室溫，並進行吸光度的比較，發現外觀的顏色並無太大的改變，並且其吸光度亦保持不變，故我們推斷溫度對於薑黃素的降解作用，並不會有太大的影響。

二、薑黃素與甲烯藍(Methylene Blue)的作用

1.加入不同濃度薑黃溶液

為了清楚光降解的產生是否與薑黃的濃度有關，所以我們將不同濃度的薑黃溶液加入 10ml 的甲烯藍酒精溶液中，置於日光燈管下反應，可以發現不同濃度的薑黃與甲烯藍混合液的吸光度沒有太大的改變，並且濃度越高時，越易呈現混濁的藍黑色溶液，根據以上結果說明：一、薑黃溶液本身水溶性較差，當高濃度的薑黃液加入水中時很容易析出，因此本實驗數據皆採用酒精溶液的結果；二、薑黃素根據其結構可以發現呈酸性，故濃度越高時越會呈現酸性的藍黑色。



圖二十六：不同濃度鹼型薑黃素加入甲烯藍(10min 與 24hr)

根據上圖可以發現加入薑黃素濃度越高其吸光度越高，並且隨照光時間增加，其吸光度也慢慢減少。這個結果相當令人驚訝，加入越多的鹼型薑黃素，理論上應該光降解效果會越好，但反倒是加入低濃度的薑黃素的混合液有較低的吸光度。要解釋這個現象，我們從幾方面著手：第一、甲烯藍是否會因其他因素(加入的 10^{-3} M NaOH 和酒精)分解；第二、為何加入薑黃素濃度越高，所造成的吸光度也越高。

我們進一步設計實驗來了解甲烯藍與鹼性的作用，將甲烯藍分別加入酒精與 NaOH 酒精溶液，照光後測其吸光度，得到結果如下：

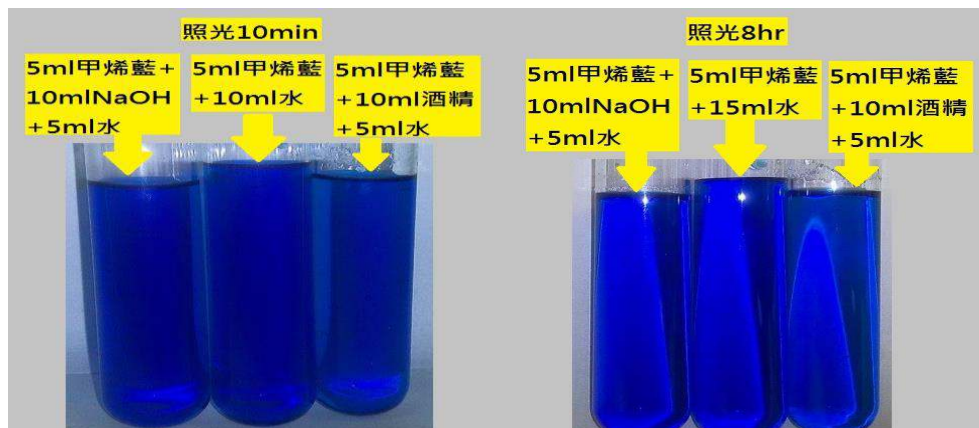
表十三：甲烯藍不同環境狀況時之吸光度比較

5ml 甲烯藍(10^{-3} M)在不同環境狀況時吸光度(測量甲烯藍特性吸收值 662nm)			
	10mlH ₂ O+5mlH ₂ O	10ml 酒精+5mlH ₂ O	10mlNaOH(10^{-3} M)+5mlH ₂ O
照光 10min	2.896	2.856	2.828
照光 8 hr	2.888	2.813	2.806
照光 16 hr	2.896	2.817	2.807

根據以上的數據發現：一、甲烯藍在水相時相當安定，縱使在強烈日照下其吸光度仍沒有太大的變化；二、甲烯藍在酒精相與 NaOH 酒精溶液中都很不穩定，隨反應時間增加，其吸光度下降，並且加入純酒精與加入 10^3M 的 NaOH 酒精溶液，其吸光度差別不大(2.856 與 2.828)，推測 10^3M 的 NaOH 並非造成甲烯藍分解的主因；三、隨時間經過，此三組反應的吸光度不再改變，我們推測變因所造成影響為一次性分解，而非造成持續性的改變。

藉由以上結果，我們得到此結論：甲烯藍單純被 10^3M 的 NaOH 中分解的比例不高，以光照 10min 為例，將 10ml 酒精甲烯藍溶液與 10ml 10^3M 的 NaOH 酒精甲烯藍溶液比較，其吸光度增加下降率為 $= (2.856 - 2.828) / 2.856 = 0.98\%$ ；再將加 10ml H₂O 甲烯藍溶液與 10ml 酒精甲烯藍溶液比較，其吸光度增加下降率為 $= (2.896 - 2.856) / 2.896 = 1.38\%$

因此可以看出加入酒精的甲烯藍下降率比加入 NaOH 的甲烯藍下降率大，即酒精對於甲烯藍的分解有較大的影響，並且從 8hr 後其吸光率都維持恆定的結果看來，此分解效果並不會隨時間增加而增加，即為一次性的影響。因此在甲烯藍中加入不同濃度薑黃溶液的實驗中，使甲烯藍大幅分解，並且持續性的作用(只要有照光就有作用)的主要原因是薑黃素的光降解作用，而並非酒精或是 NaOH 所造成的甲烯藍分解作用。

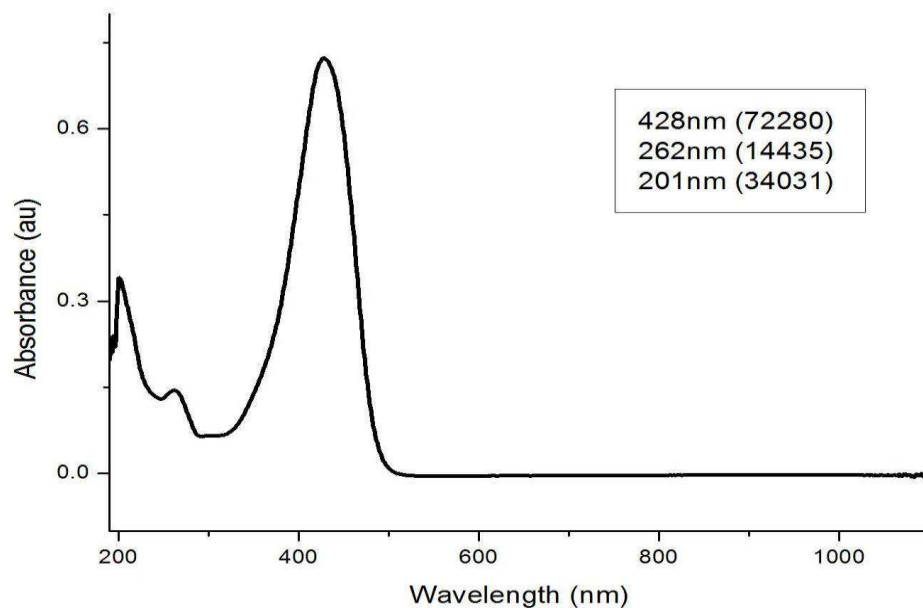


圖二十七：甲烯藍不同環境狀況時之顏色變化(左：10分鐘；右：8小時)



圖二十八：甲烯藍不同環境狀況時之顏色變化(左：16小時；右：24小時)

接下來要解釋為何加入濃度較高薑黃素反倒是有較高的吸光度，根據薑黃素的 UV-VIS 圖，可以發現薑黃素(酒精溶液)在波長 662nm 處並沒有吸收，所以並非是薑黃素濃度提高，造成在波長 662nm 處的吸光度。



圖二十九：薑黃 uv-vis(酒精)

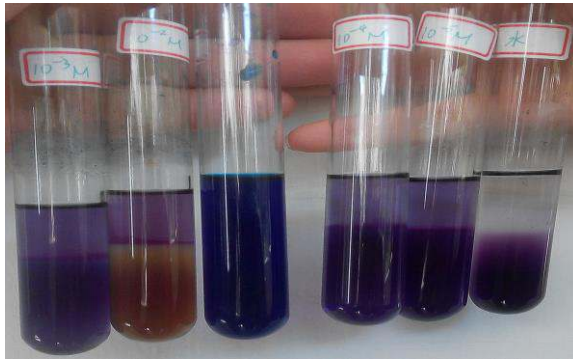
由於薑黃素本身的水溶性不佳，因此需要配製在酒精溶液中，而加入水溶液時常造成薑黃素溶液極性上升而發生沉澱，並且在濃度 10^2M 薑黃溶液中，由於薑黃素溶解度較差，造成有部分析出而使溶液混濁，而由於混濁液的溶質顆粒較大，因此有較大的散射光的比率，造成我們誤以為光線被薑黃溶液吸收，而有濃度越高其吸光度也越高的假象。

最後我們想探討薑黃素是否需要在鹼性的環境下才可分解甲烯藍。所以我們做了相同實驗，並且沒有添加 NaOH，維持在薑黃素本身的弱酸環境下，其結果如下

表十四：甲烯藍加不同濃度薑黃(弱酸性)

10ml 甲烯藍(10^{-3}M)+5ml 薑黃(10^{-3}M)...(測量甲烯藍特性吸收值 662nm)					
background:10ml 水+5ml 酒精					
	10^5M 薑黃溶液	10^4M 薑黃溶液	10^3M 薑黃溶液	10^2M 薑黃溶液	水
照光前	3.08	3.06	3.06	3.13	3.08
照光 10min	3.08	3.06	3.19	3.14	3.09
照光 24hr	3.08	3.04	3.21	3.15	3.08

發現其吸光度幾乎沒有多大變化，由於薑黃素在酸性與中性時，其光降解效果較差，而本實驗中甲烯藍並沒有很明顯的分解反應，所以吸光度並無太大改變；而薑黃素在鹼性中有較好的光降解效應，所以我們將以上的實驗試管各加入 0.5 g NaOH 固體，並置於日光下 24hr 後，觀察到下圖的現象：

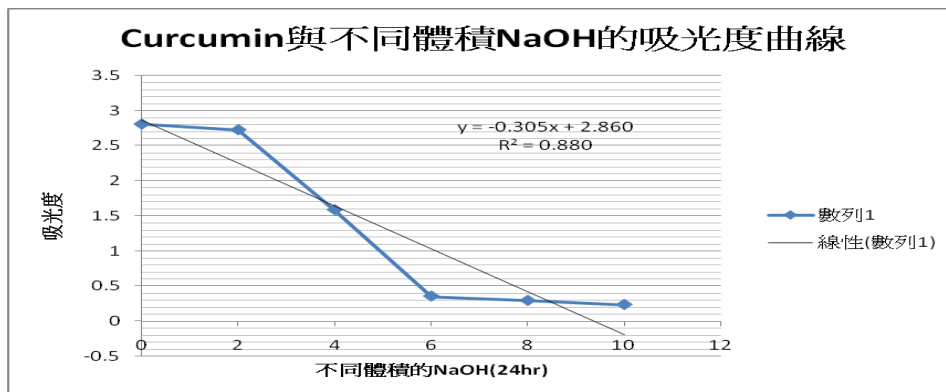


圖三十：(照光 24hr 後)甲烯藍與不同濃度的薑黃各混合溶液分別加入 0.5gNaOH

可以發現：單純的甲烯藍加鹼照光後，試管上方呈現透明，而下方呈現很深的藍紫色，加入不同濃度薑黃素的甲烯藍溶液，也有相同的情形，但其下方藍紫色較淡，甚至當薑黃素濃度到達 $10^{-2}M$ 時，下方已無甲烯藍的藍紫色而呈現黃褐色。根據以上現象推測：一、甲烯藍加入低濃度鹼($10^{-3}M$ 的 NaOH)不產生分解，但是當加入過量強鹼時，就會產生分解；二、薑黃素在鹼性之下才有光降解作用，其光降解作用彷彿被鹼性溶液「喚醒」一般，將所含的甲烯藍分解，當加入越多薑黃素，其甲烯藍分解效果越好；三、我們再次印證鹼型的薑黃素水溶性較好，而未反應的鹼型薑黃素，存在於下方的水相區域；四、薑黃素的光降解反應一定需要氧氣存在，所以表面接觸的到氧氣的部份產生光降解，因而使表面的甲烯藍分解。

2. 加入不同體積 NaOH 溶液($10^{-3}M$)

薑黃加入亞甲藍液後，再加入不同體積的 $NaOH_{(aq)}$ ，進行吸光度的比較：光照 24 hr 後，單純加酒精的樣品吸光度為 2.806，與其照光 10min 的吸光度(2.809)相差不多，因此再次證明薑黃素要進行光降解作用，一定要在鹼性的環境下。固定體積下增加的 $NaOH_{(aq)}$ 比例，發現吸光度由 2.726 (2ml NaOH)、1.586 (4ml NaOH)、0.356 (6ml NaOH)、0.294 (8ml NaOH)、0.236 (10ml NaOH) 可以發現加入越多的 $NaOH_{(aq)}$ 其吸光度會逐漸下降。將以上數據繪製成下圖：



圖三十一：薑黃素加入不同體積的 NaOH 吸光度的關係(24hr)

根據過去資料，可以清楚知道當 $\text{PH} > 7.5$ 時，薑黃素會呈現鹼型的結構(A^3)，而從我們的數據可以發現加入 2ml NaOH 的 PH 值為 9.88，即表示只要有加入 NaOH，其薑黃素的結構皆以 A^3 為主，因此容易產生光降解。從圖上可以發現一個特殊的現象，當加入 6ml NaOH、8ml NaOH 與 10ml NaOH 之薑黃甲烯藍混合液的吸光度數值沒有多大的差別，似乎是 NaOH 的量超過某界線後，吸光度就會維持定值。關於這個現象，首先我們思考到薑黃素與 NaOH 的濃度同為 10^{-3}M ，當加入 6ml NaOH 時其莫耳數約等於 5ml NaOH 薑黃素的莫耳數值，此時薑黃素擁有最大的光降解效率，消耗殆盡的薑黃素其光降解反應將大量的甲烯藍分解，當加入越多 NaOH 時，由於薑黃素已經幾乎被分解，所以剩餘的甲烯藍造成了在波長 662nm 處微弱吸收，並且由於過量的強鹼也會破壞甲烯藍的結構，所以隨著 NaOH 加入越多其吸光也緩慢下降。

並且由加入 6ml NaOH (0.356)、8ml NaOH (0.294)、10ml NaOH (0.236) 的薑黃甲烯藍混合液實驗中，將其列表如下

表十五：不同體積的 NaOH 造成的吸光度差值

6ml NaOH	8ml NaOH	10ml NaOH
吸光度		
0.356	0.294	0.236
差值	0.06	0.06

我們發現當每增加 2ml NaOH，其吸光度就下降約 0.06，這是一個相當有趣的現象，從前面的實驗可以發現：過量的 NaOH 也會造成甲烯藍的分解。本實驗所使用的甲烯藍與 NaOH 的濃度相同(10^{-3}M)，每當增加定量的鹼就會有相當量的甲烯藍跟著分解，並且過量的 NaOH 所造成甲烯藍分解量似乎有一定比例關係存在。

3. 氧化劑對反應的影響

(1) 氧氣有無對光降解影響的實驗中，可以發現隔氧的試管，光照後吸光度為 0.273；而加入純氧的試管，光照後吸光度變為 0.101，其吸光度大幅下降，並且計算氧氣所造成甲烯藍的分解率如下：

$$\text{氧氣因素增加的分解率} = (0.273 - 0.101) / 0.273 = 63\%$$

因此可以確定氧氣在薑黃素光降解過程的重要性。

(2) 直接加入氧化劑的 $\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}$ 實驗中，加入 $\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}$ 的混合液吸光度由光照前的 0.064 降為 0.001，下降率 = $(0.064 - 0.001) / 0.064 = 98.4\%$ ；而其對照組(加入同體積的 H_2O)其吸光度由 2.091 降為 0.203，下降率 = $(2.091 - 0.203) / 2.091 = 90.3\%$ 。

計算氧化劑所造成甲烯藍的分解率如下：

未照光：氧化劑因素增加的分解率= (2.091-0.064) / 2.091= 97.0%

照光 24hr 氧化劑因素增加的分解率= (0.203-0.001) / 0.203 = 99.5%

根據上面數據可以發現：氧化劑加入後，直接造成甲烯藍與薑黃混合液分解，照光前已經造成分解率增加 97.0%，當光照 24h 後分解率變為 99.5%，所以說明了氧化劑加入後馬上就可分解甲烯藍與薑黃混合液，並且隨光照時間增加，其分解率也有增加。從前面的結果顯示：薑黃素的光降解需要氧氣與光的存在，但是否須同時作用才有效果，我們卻未得而知，因此我們藉由將定量 100ml 氧氣加入甲烯藍與薑黃混合鹼性液中進行照光與未照光的實驗比較，結果如下：

表十六：定量氧氣加入甲烯藍與薑黃混合液照光與未照光的吸光度比較

10ml 甲烯藍(10^{-3} M)(酒精相)+10ml 薑黃(10^{-3} M)+10mlNaOH(10^{-3} M)+100mlO ₂ (測量甲烯藍特性吸收值 662nm)		
background:酒精		
	照光	未照光
吸光度(照光前)	0.318	0.317
吸光度(照光 16hr)	0.114	0.314



圖三十二：定量氧氣加入甲烯藍與薑黃混合液照光與未照光的吸光度(左：照光前；右：16小時)

我們可以發現同時加入 100ml 氧氣加入甲烯藍與薑黃混合鹼性液中，照光組(日光燈光照 16hr)的吸光度由 0.318 下降到 0.114(下降率為 64.2%)；而未照光組的吸光度卻是由 0.317 變成 0.314(下降率為 1%)，因此可以發現單純加入定量氧氣，不照光時甲烯藍不會分解，其吸光度也不會下降，因此證明了薑黃素的光降解作用必須要氧氣與光照同時存在下才有作用。

三、薑黃素與金屬的作用

單純薑黃素與甲烯藍混合液照光後，測其吸光度為 2.752；混合液再加入不同體積的 $\text{FeCl}_3(\text{aq})$ 組別，其吸光度差別分別為 2.814(5ml $\text{FeCl}_3(\text{aq})$)、2.801 (10ml $\text{FeCl}_3(\text{aq})$)、2.812 (15ml $\text{FeCl}_3(\text{aq})$) 與 2.826 (20ml $\text{FeCl}_3(\text{aq})$)。根據以上結果發現：未照光前薑黃溶液加入 $\text{FeCl}_3(\text{aq})$ 後，其吸光度微微上升，並且加入越多 $\text{FeCl}_3(\text{aq})$ ，其吸光度上升越多。隨著光照時間增加，對照組(鹼性薑黃素)的吸光度不斷下降，光照 24hr 後其吸光度為 1.042 (下降率= $(2.752 - 1.042) / 2.752 = 62\%$)，而加入 $\text{FeCl}_3(\text{aq})$ 的組別其吸光度沒有多大的改變(吸光度緩慢上升)，過去資料曾報導薑黃素可以與金屬螯合，產生穩定的金屬錯合物，所以推測薑黃素可能與 Fe^{3+} 離子產生螯合作用，而形成穩定的金屬錯合物，因此當混合液照光時薑黃素不易產生光降解作用，縱使在強烈的日光下，也不產生分解。

根據以上結果我們可以得到薑黃素另一個重要的功能：金屬螯合作用，當金屬與薑黃素螯合後的金屬錯合物又可以穩定存在，不易產生脫去現象，因此我們就想到：可以藉由薑黃素螯合水體中的重金屬，而降低重金屬對生物的毒性，並且薑黃素本身的光降解作用，產生的單態氧 ($^1\text{O}_2$) 與超氧自由基(superoxide radical, $\text{O}_2^{\cdot -}$) 可以分解水體中的有機物質與殺死水中有害的病菌，同時其副產物香草醛(vanillin)和阿魏酸(ferulic acid)(存在自然界的植物中)對生物體的傷害性較小，不易造成額外的影響。過去的研究總希望藉由光觸媒來淨化水質、殺死病菌，而光觸媒對水質淨化也相當有效果，但是大部分的光觸媒試劑，也總是存在著金屬(Ti、Fe、Mn 等金屬化合物)，雖然可以有效的分解有機物，另一方面卻也造成水體的重金屬污染。

根據本研究我們建議將薑黃素作為水質淨化劑，不僅可以螯合水體中的重金屬，降低重金屬離子的傷害，又可以藉由光降解作用分解水中的有機物與殺死水中有害的病菌，並且其分解的副產物對生物體傷害性較小，造成環境的影響也比金屬光觸媒小。

四、薑黃素與硝酸鹽的作用

本實驗使用的水晶寶寶為一種高分子物質，成分由丙烯酸樹脂組成，樹脂內含大量孔隙可以吸水，所以我們將鹼型薑黃素溶於水中，並以樹脂加以吸附，變成新產品：薑黃水晶寶寶。

根據本實驗可以發現：照光前後內外層的 NO_3^- 含量相差不多；但不論內外層照光前 NO_2^- 的含量皆較照光十分鐘後的深，即表示照光前 NO_2^- 的含量較多，並且外層高麗菜濾液有較高的 NO_2^- 的含量。首先就外層高麗菜濾液有較高的 NO_2^- 的含量來加以解釋，根據過去資料可以知道：

採收下來的蔬菜很容易因為細菌的分解而將含氮化合物轉變成 NO_2^- ，而細菌分解時須要氧氣，所以外層蔬菜有較大的機率優先產生分解，造成外層的 NO_2^- 的含量較高。

由於鹼型的薑黃素具有良好的光降解作用，當加入未照光的高麗菜濾液中尚未產生分解作用，但照光後薑黃素的光降解產物(單態氧與超氧自由基)就可以讓毒性較大的 NO_2^- 轉變為較穩定的 NO_3^- 離子，而又已知 NO_2^- 在人體中可以產生致癌的亞硝胺，所以鹼型的薑黃素就可以避免蔬菜中亞硝酸鹽的為害，根據這現象我們開發出眼藥水型的鹼型薑黃滴劑，提供一般民眾在每次洗菜時可以滴入洗菜水中，同時放置 10min 後再進行處理。鹼型薑黃素有幾大特性：在日光燈照射下就可產生分解，所以可有效的降低蔬菜中的亞硝酸鹽；同時薑黃素分解後的產物(香草醛與阿魏酸)皆為抗氧化劑，對於環境無害，還有保持蔬菜新鮮度的功能；最後薑黃素亦可螯合水體中的重金屬，減少重金屬對人體的危害，所以真的為功能強大的水質淨化劑。

柒、實驗結論

- 一、薑黃素在不同酸鹼環境下，有不同的結構型態，當 $\text{PH} < 1$ 時呈現酸型薑黃素型態(H_4A^+)；當 $\text{PH} > 7.5$ 時呈現鹼型薑黃素型態(A^{3-})。並且由實驗結果發現酸型薑黃素較為穩定，鹼型薑黃素容易受光作用，降解成香草醛(vanillin)和阿魏酸(ferulic acid)，以及活性很大的單態氧($^1\text{O}_2$)與超氧自由基(superoxide radical, $\text{O}_2^{\cdot-}$)。本實驗即利用鹼型薑黃素當成水質淨化的「光降解炸彈」。
- 二、鹼型薑黃素的分解作用須要在光照與氧氣的作用下，才會有較好的光降解效果，如有其他氧化劑存在其降解效率更佳，並且在日光燈的照射下，比在紫外光下效果好。
- 三、薑黃素在高溫下(100°C 沸水中加熱 5min)依然很穩定，但在光照環境下很容易分解。
- 四、薑黃素與甲烯藍混合液在水相中呈弱酸性，並且相當穩定，當加入鹼使混合液呈弱鹼性時，薑黃素的光降解能力立即被「喚醒」，而分解甲烯藍。
- 五、根據本實驗結果：薑黃素具有螯合金屬的能力，並且當其形成金屬錯合物後相當穩定，此時薑黃素不易產生光降解作用。
- 六、薑黃素做為水質淨化方面有很好的效果，不僅如同光觸媒一般，可以產生單態氧($^1\text{O}_2$)與超氧自由基(superoxide radical, $\text{O}_2^{\cdot-}$)分解水體中的有機物質與殺死水中有害的病菌，同時其副產物香草醛(vanillin)和阿魏酸(ferulic acid)(存在自然界的植物中)對生物體的傷害性較小，不易造成額外的影響。
- 七、薑黃素可以有效的消除亞硝酸根，並將毒性較大的 NO_2^- 轉變為較穩定的 NO_3^- 離子，可用於蔬菜的清洗方面。

八、薑黃素的運用：

由於本實驗找到了薑黃素最好的光降解環境，根據本實驗結果，我們試著做出薑黃素的幾項水質淨化產品：

(一)水晶寶寶型

作法：將水晶寶寶浸泡於鹼型薑黃溶液(10^{-3} M 薑黃溶液+1MNaOH)中，至水晶寶寶膨脹後，即可取出放入玻璃瓶，最後裝進鋁箔袋中封起，以避免其因為照到光而失去效用。使用時只要將水晶寶寶取出，放入欲淨化的水中，置於陽光或日光燈下，等待數小時即可見效，未使用時請務必將本產品置於陰涼乾燥處，避免照光。



圖三十三：產品一水晶寶寶型

(二)軟膏型

作法：將薑黃素(粉末) 0.1g、白蠟 3g 和芝麻油 15ml 放入燒杯中，加熱後攪拌均勻，倒入盒子中，等待其冷卻至膏狀。最後裝進鋁箔袋中封起，以避免其因為照到光而失去效用。使用時塗抹在污漬上，置於陽光或日光燈下，等待數小時即可見效。



圖三十四：產品一軟膏型

(三)噴霧型

作法：將鹼型薑黃溶液(10^{-3} M 薑黃溶液+1MNaOH)倒入噴霧瓶中，最後裝進鋁箔袋中封起，以避免其因為照到光而失去效用。使用時噴於污漬上，置於陽光或日光燈下，等待數小時即可見效。未使用時請務必將本產品放在陰涼乾燥處，避免日光照射。



圖三十五：產品一噴霧型

(四)眼藥水型

作法：將鹼型薑黃溶液(10^{-3} M 薑黃溶液+1MNaOH)倒入眼藥水瓶中，最後裝進鋁箔袋中封起，以避免其因為照到光而失去效用。使用時滴於污漬上，置於陽光或日光燈下，等待數小時即可見效。未使用時請務必將本產品置於陰涼乾燥處，避免日光照射。



圖三十六：產品一眼藥水型

下圖為薑黃水晶寶寶放入水族箱之情形，可以分解水中有機物與臭味分子。





圖三十七：薑黃水晶寶寶放入水族箱之情形(左：未反應；右：反應結束)

未來發展方向：

- 一、 藉由此次研究，發現了薑黃的光降解功能，藉由這個發現，研發出各種的抑菌產品。應用於各式的環境清潔，落實天然無害藥劑型式。
- 二、 從實驗中我們發現薑黃素對於金屬有極佳的螯合效果，我們可以利用這個特性，來降低水體中重金屬的含量。
- 三、 做為金屬光觸媒的替代產品，減少金屬毒性對環境的傷害性。
- 四、 薑黃素不僅對環境無害，並且薑黃素吸收光線後，分解的副產物也有抗氧化劑的功用，因此可以做為化妝品中抗紫外線與抗氧化的成分。

近幾年台灣的水資源匱乏，同時由於工業的發展，使得台灣的水質狀況與日俱差，河流受到了污染的情形時有所聞。因此我們希望能提升擴展薑黃淨化水質的效果與廣泛性，將我們的產品種類以及適用範圍擴大，並可利用於工業污染的廢水中。薑黃素不僅可以分解有機物、吸附重金屬，而且其分解產物也不會危害環境，相當適合污水的處理。最後也希望我們的研究內容，能為台灣污水處理提供另一種想法與方向。

捌、參考資料

1. Chemical and Technical Assessment 61st JECFA 1 (8) CURCUMIN
Chemical and Technical Assessment (CTA) First draft prepared by Ivan Stankovic.
2. Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews.
Volume 10, Issue 2, June 2009, Pages 81–95
3. 薑黃素的萃取與應用
<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2014/04/2014040110192141.pdf>
4. 薑黃素在藥物中的應用
<http://www.google.com/patents/CN102225919A?cl=zh>
5. 薑黃素的特性
www.elsevier.com/locate/jphotochemrev
6. 薑黃素的 UV-vis 研究
http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/1553/5/296536_ch4.pdf
7. 中華民國第 54 屆全國中小學科學展覽會參展作品：硝魂使者~NO₂ 性質探討與偵測。

【評語】 040212

研究主題有趣而且後續的產品也有很獨特的設計及應用。建議可就光降解的機構多做討論和說明，並針對酸鹼的條件，作準確的量測（實際應用情況）。水族箱應用的觀察可再用較準確的方式說明其效果。