中華民國第57屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組　化學科

050207

反「薑」一「金」
—探討薑黃素對於金屬離子的螯合作用

學校名稱：臺北市立中山女子高級中學

作者：	指導老師：
高二 詹昀臻 高二 劉若婕	陸仲文

關鍵詞：薑黃素、金屬離子、螯合作用

摘要

本研究以市售料理用薑黃粉分別製備水溶液及酒精溶液，測量薑黃素溶解度的差異。再以薑黃素酒精溶液分別與硫酸銅、硝酸鐵溶液充分反應後離心，利用 Cu^{2+}和鐵氰化鉀、Fe^{3+}和硫氰化鉀的變色反應，以確認螯合後濾液是否仍有金屬離子或薑黃素殘留。接著，測量不同濃度薑黃素水溶液、硫酸銅溶液與硝酸鐵溶液的吸收光譜，並以不同濃度、不同 pH 值下的 Cu^{2+}、Fe^{3+}水溶液與足量薑黃粉反應後測量其濾液的吸收光譜，分別建立其特徵吸收峰檢量線，並比較螯合前後的差異。結果發現，薑黃素在一般環境(不改變 pH 值)對 Cu^{2+}和 Fe^{3+}的螯合能力優於在酸性環境(pH＝2)下。未來可將本研究所建立的操作步驟應用於廢水中 Cu^{2+}、Fe^{3+}檢測。

壹、 研究動機

工業快速發展後，臺灣各地發生多起金屬離子汙染事件，不僅影響生態環境，也危害人類的健康，於此，本實驗欲針對金屬離子廢水的處理進行探討。我們在一份研究報告中，發現薑黃素具有與金屬離子螯合的作用，而且薑黃素天然，並不會對生物體和環境構成威脅，於是我們開始研究薑黃素與金屬離子的螯合作用，希望藉由此研究，訂定以薑黃素檢測銅離子溶液與鐵離子溶液濃度之標準。

貳、 研究目的

一、 探討薑黃素對於不同溶劑的溶解度，以及不同 pH 值下薑黃素水溶液的吸收光譜。

二、 探討在不同 pH 值下，薑黃素-金屬螯合物的吸收光譜。

三、 研究在不同 pH 值下，薑黃素與 Cu^{2+}的螯合作用。

四、 研究在不同 pH 值下，薑黃素與 Fe^{3+}的螯合作用。

參、　研究設備及器材

藥品		器材		
料理用薑黃粉 (葵果股份有限公司)	鐵氰化鉀 $K_3Fe(CN)_{6(s)}$	分光光譜儀 (T60 UV-VIS Spectrophotometer)	電子秤	刮勺
95%藥用酒精	硫氰化鉀 $KSCN_{(s)}$	離心機	燒杯	秤藥紙
$HCl_{(aq)}$		加熱器	玻棒	容量瓶
硫酸銅 $CuSO_{4(s)}$		吸量管與安全吸球	蒸發皿	離心管
硝酸鐵 $Fe(NO_3)_{3(s)}$		漏斗及漏斗架	試管	滴管

肆、　研究過程與方法

一、 室溫下，不同溶劑對於薑黃粉溶解度的測量

（一） 測量薑黃素水溶液中，所含薑黃素的實際含量

1. 利用電子秤秤取薑黃粉 1.500 g。
2. 將薑黃粉倒入裝有 30.0mL 蒸餾水的燒杯中，以玻棒攪拌均勻。
3. 將燒杯中的溶液以一般過濾法進行過濾，所得的濾液為薑黃素水溶液。
4. 利用吸量管量取 30.0 mL 薑黃素水溶液，置於蒸發皿（已測量其原重）中，風乾數天，等待溶液蒸發。
5. 利用電子秤秤量蒸發皿與殘留薑黃素總重。

（二） 測量薑黃素酒精溶液中，所含薑黃素的實際含量

1. 利用電子秤秤取薑黃粉 1.500 g。
2. 將薑黃粉倒入裝有 30.0mL 酒精的燒杯中，以玻棒攪拌均勻。
3. 將燒杯中的溶液以一般過濾法進行過濾，所得的濾液為薑黃素酒精溶液。
4. 利用吸量管量取 30.0 mL 薑黃素酒精溶液，置於蒸發皿（已測量其原重）中，風乾數小時，等待溶液蒸發。

5. 利用電子秤秤量蒸發皿與殘留薑黃素總重。

二、 在不同 pH 值下，不同濃度薑黃素水溶液吸光度的測量

（一） 一般環境下（不改變 pH 值），不同濃度薑黃素水溶液吸光度的測量。

1. 利用電子秤秤取 0.500 g 的薑黃粉，加入裝有 10.0 mL 蒸餾水的燒杯中。
2. 攪拌混合溶液 1 分鐘，並靜置 1 分鐘，之後將溶液以一般過濾法過濾。
3. 取過濾後之澄清溶液，將其分別稀釋為原來 1/2、1/4、1/6、1/8、1/10 倍的 10.0 mL 薑黃素水溶液。
4. 測量其吸光度。

（二） 酸性環境下（pH=2），不同濃度薑黃素水溶液吸光度的測量。

1. 利用電子秤取 0.500 g 薑黃粉，加入裝有 10.0 mL $HCl_{(aq)}$（pH=2）的燒杯中。
2. 攪拌混合溶液 1 分鐘，並靜置 1 分鐘，之後將溶液以一般過濾法過濾。
3. 取過濾後之澄清溶液，將其分別稀釋為原來 1/2、1/4、1/6、1/8、1/10 倍的 10.0 mL 薑黃素水溶液。
4. 測量其吸光度。

三、 在不同 pH 值下，不同濃度 $CuSO_{4\,(aq)}$ 吸光度的測量

（一） 一般環境下（不改變 pH 值），不同濃度 $CuSO_{4\,(aq)}$ 吸光度的測量。

1. 配製不同濃度 $CuSO_{4\,(aq)}$（0.1 M、0.08 M、0.06 M、0.04 M、 0.02 M；不改變 pH 值）。
2. 測量其吸光度。

（二） 酸性環境下（pH=2），不同濃度 $CuSO_{4\,(aq)}$ 吸光度的測量。

1. 配製不同濃度 $CuSO_{4\,(aq)}$（0.1 M、0.08 M、0.06 M、0.04 M、 0.02 M；pH=2）。
2. 測量其吸光度。

四、 在不同 pH 值下，不同濃度 $Fe(NO_3)_{3\,(aq)}$ 吸光度的測量

（一） 一般環境下（不改變 pH 值），不同濃度 $Fe(NO_3)_{3\,(aq)}$ 吸光度的測量。

1. 配製不同濃度 $Fe(NO_3)_{3\,(aq)}$（0.025 M、 0.02 M、0.015 M、0.010 M、0.005 M；不改變 pH 值）。
2. 測量其吸光度。

（二） 酸性環境下（pH=2），不同濃度 $Fe(NO_3)_{3\,(aq)}$ 吸光度的測量。

1. 配製不同濃度 $Fe(NO_3)_{3\,(aq)}$ （0.025 M、0.02 M、0.015 M、0.010 M、0.005 M；pH=2）。

2. 測量其吸光度。

五、 在不同 pH 值下，改變 Cu^{2+}的用量，Cu^{2+} 與薑黃素的螯合作用

（一） 薑黃素酒精溶液與 Cu^{2+}的螯合作用與檢測

1. 取 0.1 M $CuSO_{4\,(aq)}$ 2 mL 至離心管中，再加入 1 mL 薑黃素酒精溶液，待其反應。

2. 將離心管放入離心機中，離心 5 分鐘。

3. 將上層溶液（澄清部分）1 mL 分到兩個離心管中。

4. 一離心管加入 0.01 M $K_3Fe(CN)_{6\,(aq)}$ 1 mL ，另一離心管加入薑黃素酒精溶液 1 mL，待其反應後，離心，觀察其變化。

（二） 一般環境下（不改變 pH 值），Cu^{2+}與薑黃素的螯合作用。

1. 分別取 0.500 g 的薑黃粉，與不同濃度 $CuSO_{4\,(aq)}$（0.1 M、0.08 M、0.06 M、0.04 M、 0.02 M）混合。

2. 攪拌混合溶液 1 分鐘，並靜置 1 分鐘。

3. 將溶液以一般過濾法過濾。

4. 取澄清溶液，測量其吸光度。

（三） 酸性環境下（pH=2），Cu^{2+}與薑黃素的螯合作用。

1. 分別取 0.500 g 的薑黃粉，與不同濃度 $CuSO_{4\,(aq)}$（0.1 M、0.08 M、0.06 M、0.02 M、 0.01 M；pH=2）混合。

2. 攪拌混合溶液 1 分鐘，並靜置 1 分鐘。

3. 將溶液以一般過濾法過濾。

4. 取澄清溶液，測量其吸光度。

六、 在不同 pH 值下，改變 Fe^{3+}的用量，Fe^{3+} 與薑黃素的螯合作用

（一） 薑黃素酒精溶液與 Fe^{3+}的螯合作用與檢測

1. 取 0.1 M $Fe(NO_3)_{3(aq)}$2 mL 至離心管中，再加入 1 mL 薑黃素酒精溶液，待其反應。

2. 將離心管放入離心機中，離心 5 分鐘。

3. 將上層溶液（澄清部分）1 mL 分到兩個離心管中。

4. 分別加入 0.01 M $KSCN_{(aq)}$ 1 mL 或薑黃素酒精溶液 1 mL 至離心管中，反應後離心並

觀察其變化。

（二） 一般環境下（不改變 pH 值），Fe^{3+} 與薑黃素的螯合作用。

1. 分別取 0.500 g 的薑黃粉，與不同濃度 $Fe(NO_3)_{3(aq)}$（0.025 M、0.02 M、0.015 M、0.010 M、0.005 M）混合。
2. 攪拌混合溶液 1 分鐘，並靜置 1 分鐘。
3. 將溶液以一般過濾法過濾。
4. 取澄清溶液，測量其吸光度。

（三） 酸性環境下（pH=2），Fe^{3+} 與薑黃素的螯合作用。

1. 分別取 0.500 g 的薑黃粉，與不同濃度 $Fe(NO_3)_{3(aq)}$（0.025 M、0.02 M、0.015 M、0.010 M、0.005 M；pH=2）混合。
2. 攪拌混合溶液 1 分鐘，並靜置 1 分鐘。
3. 將溶液以一般過濾法過濾。
4. 取澄清溶液，測量其吸光度。

伍、 研究結果

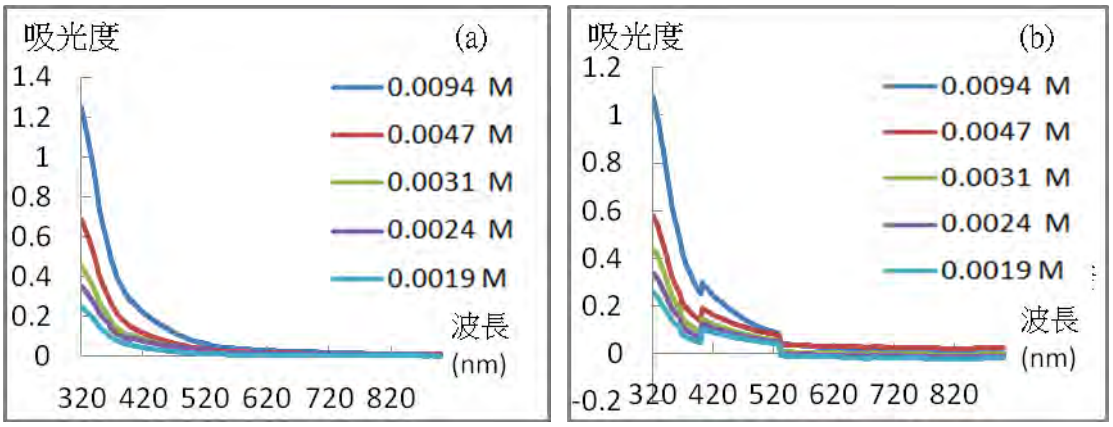
一、 室溫下，不同溶劑對於薑黃粉溶解度的測量

我們使用水和酒精萃取薑黃素，可發現用酒精萃取的溶液顏色偏橘黃色，較用水萃取的溶液深。為了實際比較其萃取的效果，我們將圖 1 中的(a) 、(b)分別倒入蒸發皿中，風乾後秤重。

▲圖 1 (a)為薑黃素水溶液 (b)為薑黃素酒精溶液

二、 在不同 pH 值下，不同濃度薑黃素水溶液吸光度的測量

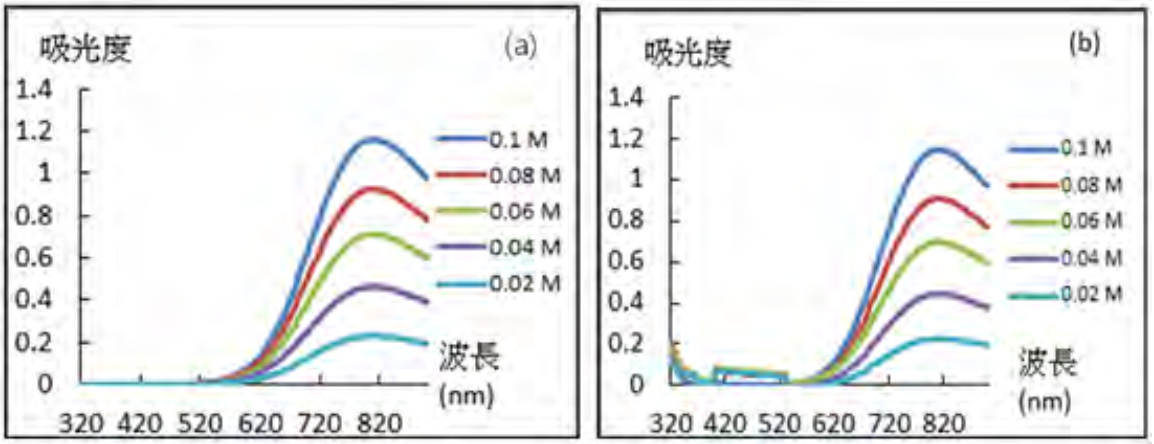
由圖 2 得知，在一般環境和酸性環境下，不同濃度薑黃素水溶液於波長 320 nm～520 nm 處皆有明顯的吸收，且在一般環境下，薑黃素水溶液的吸光度略高於在酸性環境下時的吸光度。



▲圖 2 不同濃度薑黃素水溶液的吸收光譜（(a)為一般環境、(b)為酸性環境）。

三、 在不同 pH 值下，不同濃度 $CuSO_{4\,(aq)}$ 吸光度的測量

由圖 3 得知，一般環境下，$CuSO_{4(aq)}$ 的吸收峰位於波長 810 nm；酸性環境下 $CuSO_{4(aq)}$ 的吸收峰位於波長 818 nm。

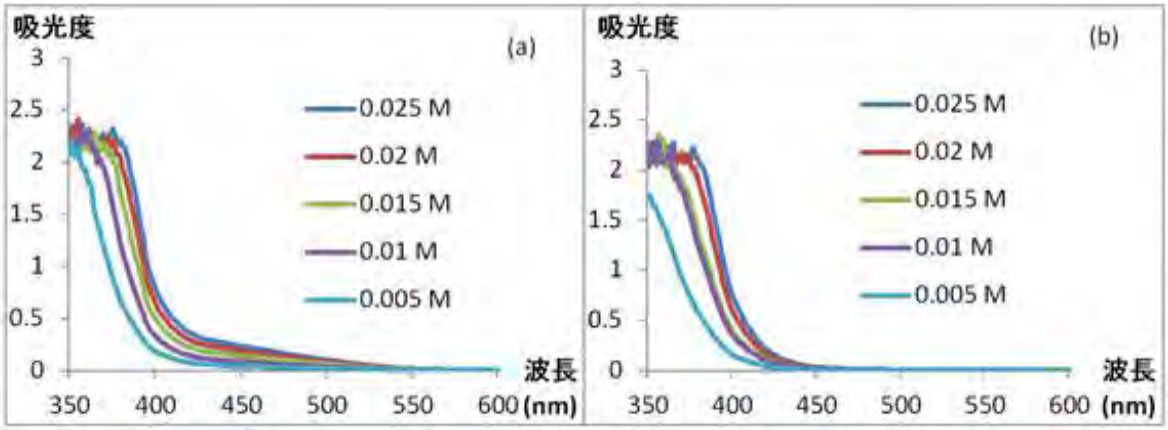


▲圖 3 不同濃度 $CuSO_{4(aq)}$ 的吸收光譜((a)為一般環境、(b)為酸性環境)。

四、 在不同 pH 值下，不同濃度 $Fe(NO_3)_{3(aq)}$ 吸光度的測量

由圖 4，在一般環境下，於波長 480~550 nm 處可觀察到較高的肩狀曲線，而酸性環境下則無，我們推斷在此圖中所產生的肩狀曲線為 $Fe(NO_3)_{3(aq)}$中 Fe^{3+}和水中的 OH^-反應而成的膠狀

物 $Fe(OH)_3$。

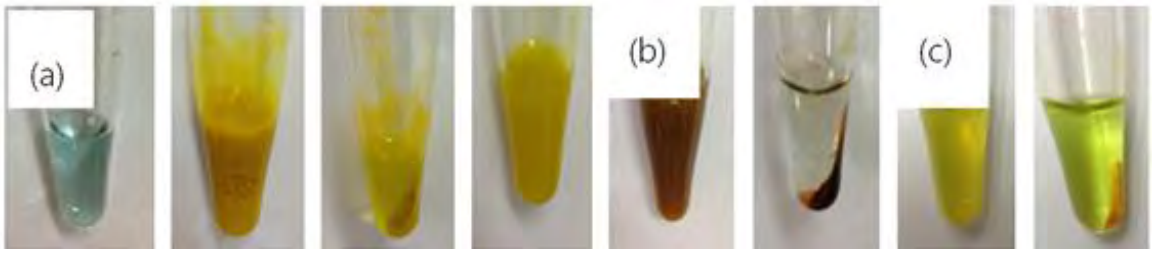


▲圖 4 不同濃度 $Fe(NO_3)_{3\,(aq)}$ 的吸收光譜((a)為一般環境、(b)為酸性環境)。

五、 在不同 pH 值下，改變 Cu^{2+}的用量，Cu^{2+} 與薑黃素的螯合作用

（一） 薑黃素酒精溶液與 Cu^{2+}的螯合作用與檢測。

由圖 5 可知，薑黃素與 Cu^{2+}的螯合物為土黃色，上層液為黃綠色，我們懷疑可能是 Cu^{2+}或薑黃素並未反應完，因此分別取出上層液至兩離心管中，其一管加入 $K_3Fe(CN)_{6\,(aq)}$後，產生紅棕色沉澱，即可推斷此上層溶液還殘有 Cu^{2+}；而另一管加入 $CuSO_{4(aq)}$ 後，則產生土黃色沉澱，表示薑黃素亦有殘留。綜合上述，螯合後的濾液中，仍含有銅離子與薑黃素。



▲圖 5 (a)取 2 mL $CuSO_{4(aq)}$ 加入 1 mL 薑黃素酒精溶液，離心並取其上層液。

(b)加入 $K_3Fe(CN)_{6\,(aq)}$ 反應後，再次離心

(c)加入 $CuSO_{4(aq)}$ 反應後，再次離心。

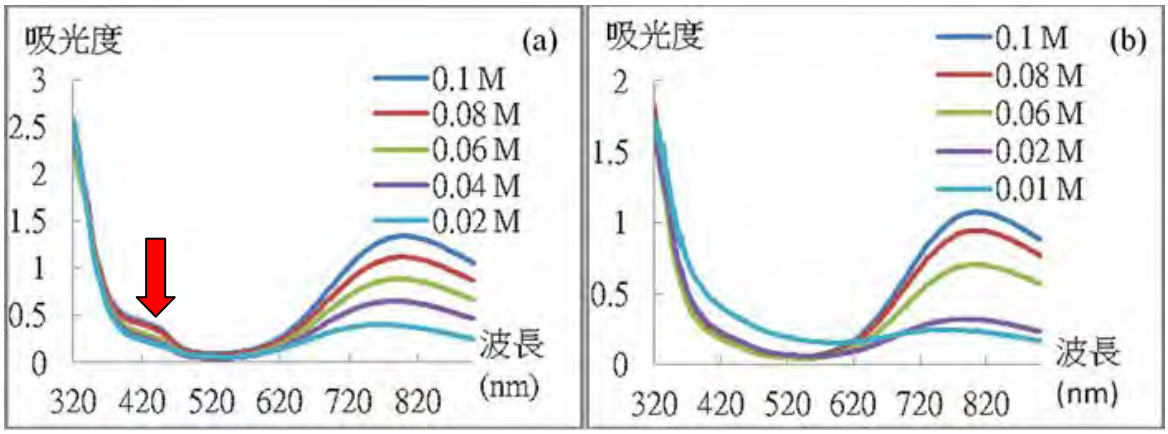
（二） 一般環境下（不改變 pH 值），Cu^{2+}與薑黃素的螯合作用。

一般環境下，各個濃度 $CuSO_{4\,(aq)}$與薑黃素螯合後，溶液呈黃綠色，表示 Cu^{2+}與

薑黃素皆有剩餘。由圖 6（a），螯合後溶液的吸收光譜在波長 400 nm～460 nm 處，有新的吸收峰產生，其為螯合物所造成的吸收峰。不同濃度 $CuSO_{4\,(aq)}$與薑黃素反應後，薑黃素皆有剩餘，但 $CuSO_{4\,(aq)}$濃度較高時，薑黃素與 Cu^{2+}的螯合速率越快，在反應時間固定下，$CuSO_{4\,(aq)}$濃度越高，所產生的螯合物越多，因此螯合物在波長 400 nm～460 nm 處的峰值也越高。

（三） 酸性環境下（pH=2），Cu^{2+}與薑黃素的螯合作用。

酸性環境下，各濃度 $CuSO_{4\,(aq)}$與薑黃素螯合後濾液呈黃綠色，表示 Cu^{2+}與薑黃素皆有剩餘。由圖 6（b）得知，0.01 M $CuSO_{4\,(aq)}$與薑黃素螯合後溶液的吸收光譜，$CuSO_{4\,(aq)}$在吸收峰波長 810 nm 處的峰值應為 0.02 M 螯合後溶液吸峰值的一半，也就是其吸光度應為 0.158，但實際上測得的吸光度為 0.231，推測螯合物的生成會使在波長 810 nm 處的吸收峰值提高，吸光度差 0.073 為螯合物所墊高的吸收值。



▲圖 6 不同濃度 $CuSO_{4(aq)}$ 與 0.500 g 薑黃粉反應後，螯合後濾液之吸收光譜。

((a)為一般環境、(b)為酸性環境)。

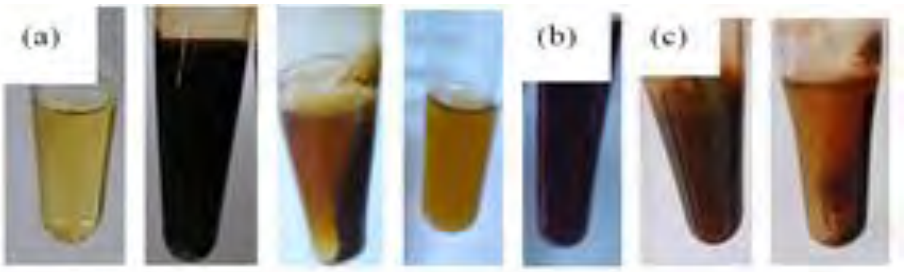
六、 在不同 pH 值下，改變 Fe^{3+}的用量，Fe^{3+} 與薑黃素的螯合作用

（一） 薑黃素酒精溶液與 Fe^{3+}的螯合作用與檢測

由圖 7 可發現，薑黃素與 $Fe(NO_3)_3$的螯合物為深褐色，殘餘之溶液為黃褐色，我們懷疑可能是 Fe^{3+}或薑黃素並未反應完，因此分別將上層液加入鐵氰化鉀和 $Fe(NO_3)_3$檢測是否殘有 Fe^{3+}。將硫氰化鉀加入殘餘的溶液後發現溶液立即變色成深血紅色，即可推斷此上層溶液還殘有 Fe^{3+}；而加入了 $Fe(NO_3)_3$的上層溶液也產生了土黃

色沉澱，則可得知薑黃素亦有殘留。

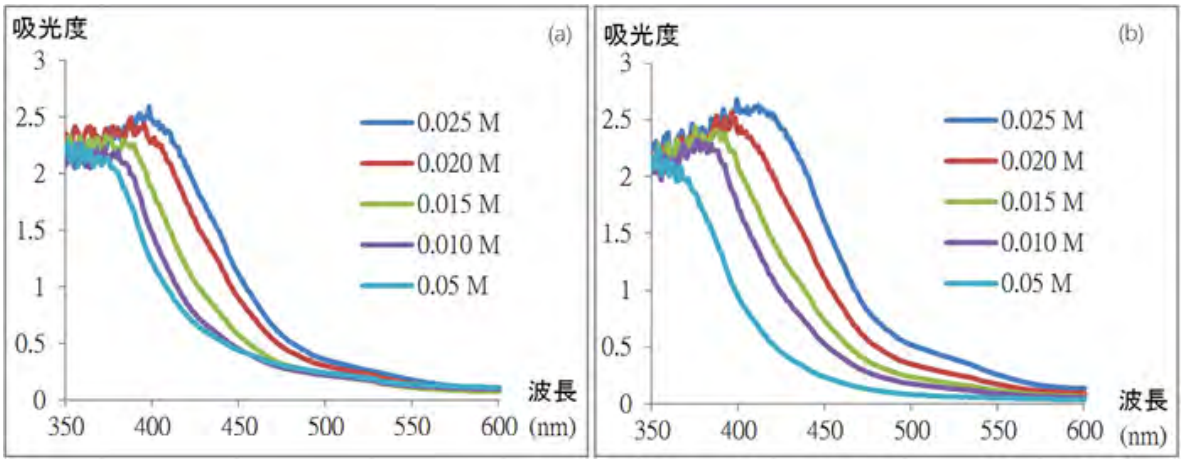
根據實驗我們判斷薑黃素無法完全與 Fe^{3+}反應，會同時殘有薑黃素和 Fe^{3+}



▲圖 7　(a)取 2 mL $Fe(NO_3)_3$ 加入 1 mL 薑黃素酒精溶液，離心並取其上層液，(b)加入硫氰化鉀反應後再度離心觀察；(c)加入 $Fe(NO_3)_3$ 反應後再度離心

（二）　一般環境下（不改變 pH 值），Fe^{3+}與薑黃素的螯合作用。

由圖 8 中的(a)、(b)中皆可發現，溶液的吸收峰會隨著原始 $Fe(NO_3)_{3(aq)}$濃度的下降而向左下移動，推測為溶液因螯合莫耳數減少而導致溶液顏色變淺。

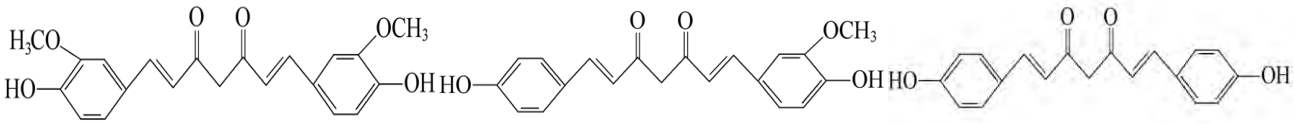


▲圖 8　不同濃度 $Fe(NO_3)_{3\,(aq)}$ 和 0.500 g 薑黃粉反應後，螯合後濾液之吸收光譜。（(a)為一般環境、(b)為酸性環境）

陸、 討論

一、 室溫下，不同溶劑對於薑黃粉溶解度的測量

由圖 9，薑黃粉中，薑黃素這類物質是一種混合物，其最主要的成分是薑黃素 $C_{21}H_{20}O_6$（約占 80 ％），另外還有脫甲氧基薑黃素 $C_{20}H_{18}O_5$（約占 10 ％）以及脫二甲基薑黃素 $C_{19}H_{16}O_4$（約占 10 ％）。薑黃素之莫耳質量為 368.4 $g{\cdot}mol^{-1}$，脫甲氧基薑黃素之莫耳質量為 338.0 $g{\cdot}mol^{-1}$，脫二甲基薑黃素之莫耳質量為 308.1 $g{\cdot}mol^{-1}$，因此薑黃素這類物質的莫耳質量約為（368.4 × 80 ％ + 338.0 × 10 ％ + 308.1 × 10 ％）= 359.3 $g{\cdot}mol^{-1}$。



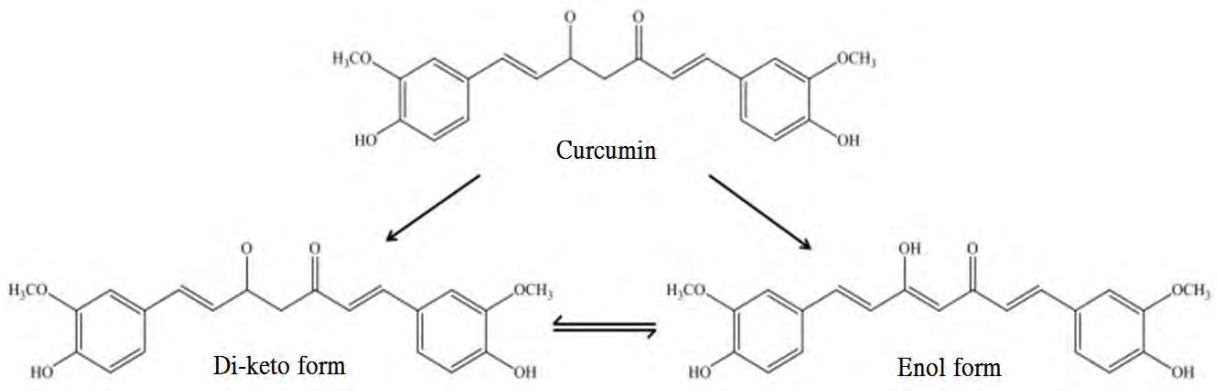
▲圖 9　由左而右依序為薑黃素、脫甲氧基薑黃素、脫二甲氧基薑黃素之結構式。

依實驗測得薑黃粉對於不同溶劑之溶解度，如表 1。

▼表 1　薑黃素溶於水和酒精的實際克重

	蒸發皿與殘留薑黃素總重	蒸發皿原重	薑黃素溶解度
薑黃素水溶液	20.992 g	20.789 g	0.203 g /30 mL
薑黃素酒精溶液	48.710 g	48.300 g	0.410 g /30 mL

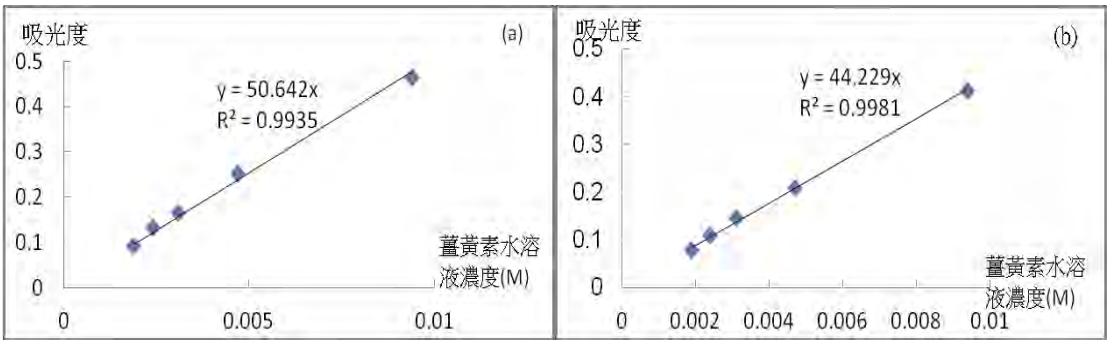
薑黃素的 β-二酮結構有烯醇-酮互變異構，如圖 10。因此，薑黃素易溶於酒精等有機溶劑，而較難溶於水。



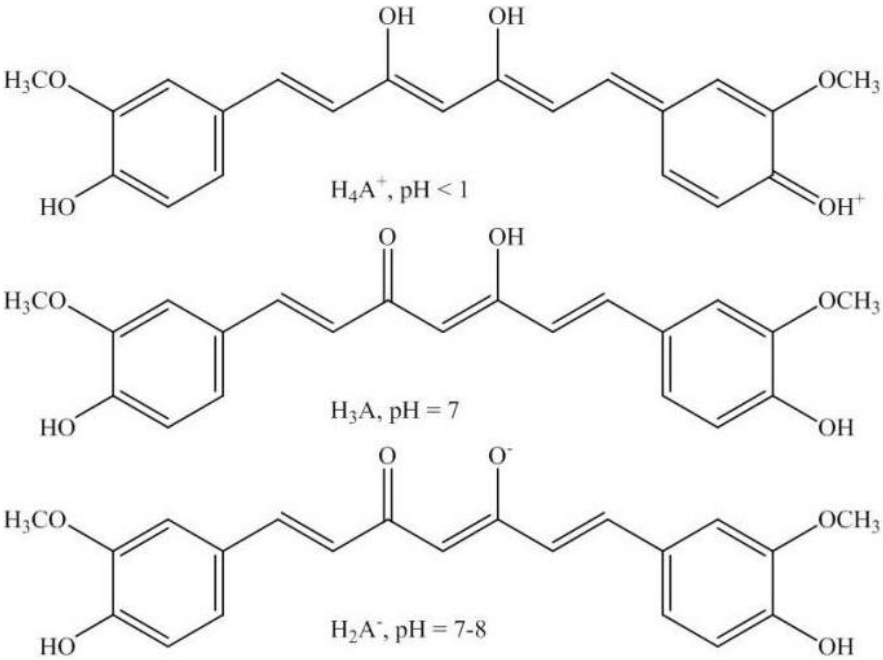
▲圖 10　薑黃素 β-二酮結構之烯醇-酮互變異構。

二、 在不同 pH 值下，不同濃度薑黃素水溶液吸光度的測量

由前述圖 2 可得知，在一般環境及酸性環境下，不同濃度薑黃素水溶液於波長 320 nm～520 nm 處皆有明顯的吸收，且在波長 320 nm 處，不同濃度薑黃素水溶液皆有最高吸收峰值，但為避免終點（波長 320 nm 處）的干擾，因此選擇薑黃素水溶液在波長 370 nm 處的吸收值，繪製成檢量線，如圖 11，此吸收值與薑黃素水水溶液的濃度有一線性關係。

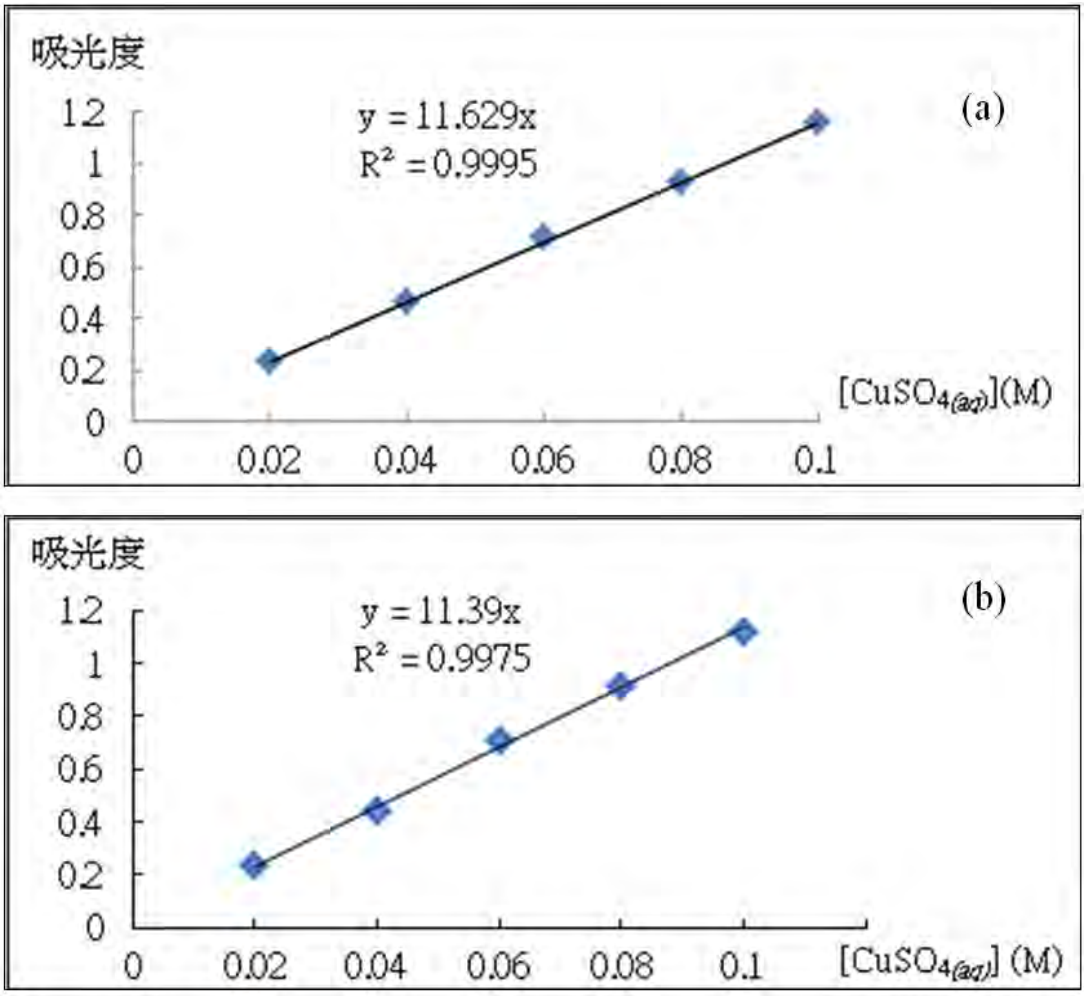


▲圖 11　薑黃素水溶液於波長 370 nm 的檢量線。（(a)為一般環境、(b)為酸性環境）



▲圖 12 在不同 pH 值下，薑黃素結構的變化。觀察薑黃素結構式的 β-二酮（螯合基）在不同 pH 值下的變化，推論薑黃素在一般環境下的螯合作用能力高於在酸性環境下的螯合作用能力。

三、 在不同 pH 值下，不同濃度 $CuSO_{4(aq)}$ 吸光度的測量



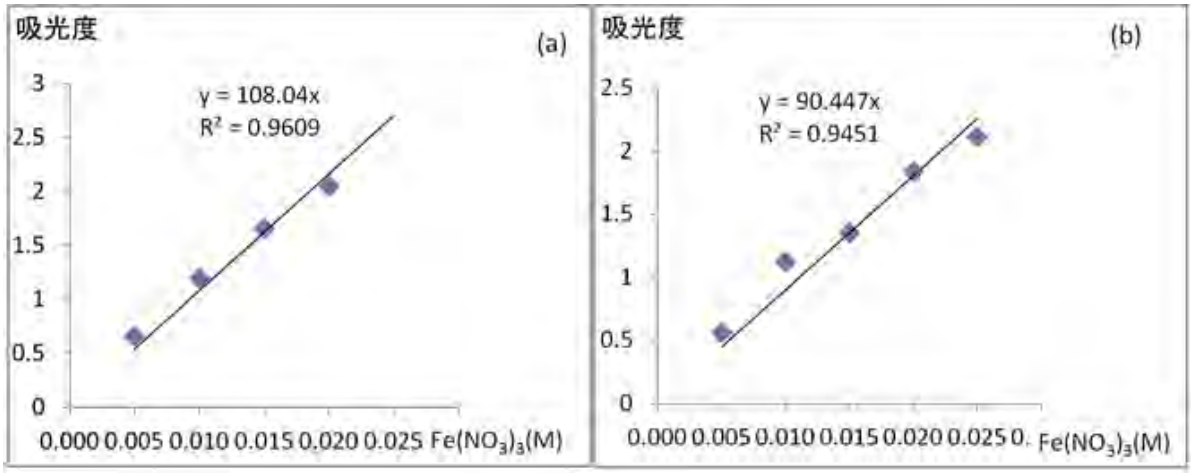
▲圖 13 $CuSO_{4(aq)}$於波長 810 nm 的檢量線。（(a)為一般環境、(b)為酸性環境）

由前述圖 3(a)、(b)觀察可得知，$CuSO_{4(aq)}$在一般環境及酸性環境下時，於波長 810 nm 處有一吸收峰，此吸收峰與 $CuSO_{4(aq)}$ 濃度有一線性關係。取不同濃度 $CuSO_{4(aq)}$在此處的吸光度，可繪製成檢量線如圖 13(a)、(b)。

四、 在不同 pH 值下，不同濃度 $Fe(NO_3)_{3\,(aq)}$ 吸光度的測量

由前述圖 4 中的(a)可發現，$Fe(NO_3)_3$ 的吸收度會隨著濃度下降而降低，且其吸收取現有些許位移，我們想知道此現象是否同樣會在酸性環境下產生，因此我們使用鹽酸將溶液 pH 值調至 2 並測其光譜，即為圖 4 中的(b)。我們發現此時這種現象更加的明顯，從而假設這樣的位移會影響螯合作用。

接著，我們取吸收值較穩定的 380 nm 處繪製成檢量線，即圖 14 中的(a)和(b)，兩者之線性關係皆達 0.94 以上，呈穩定比例變化。

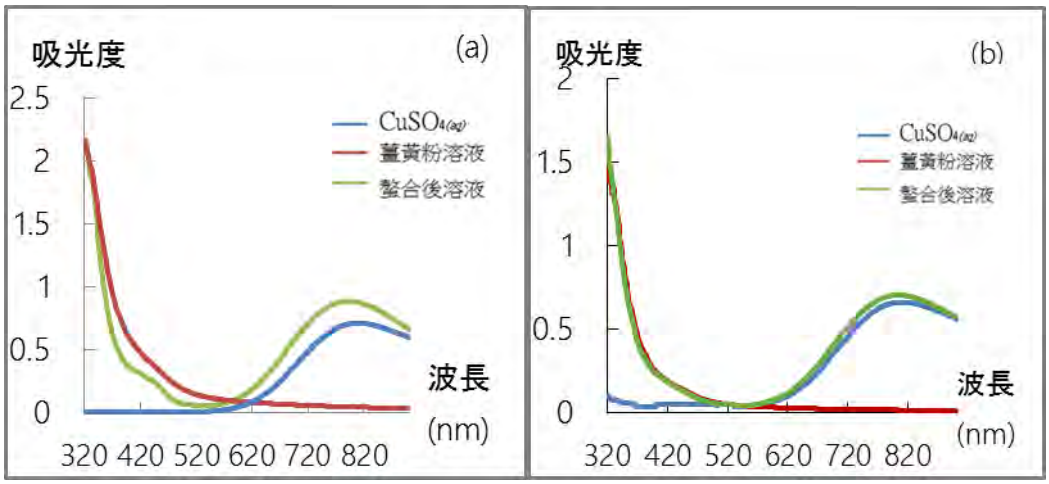


▲圖 14　$Fe(NO_3)_3$ 於波長 380 nm 的檢量線。（(a)為一般環境、(b)為酸性環境）

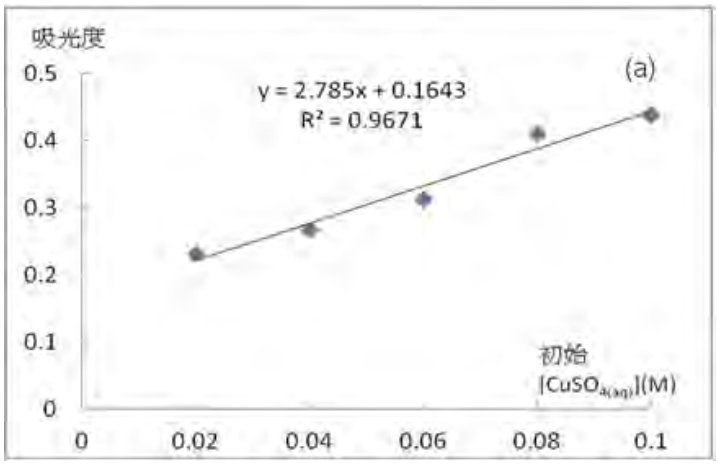
五、 在不同 pH 值下，改變 Cu^{2+}的用量，Cu^{2+} 與薑黃素的螯合作用

如圖 15，在一般環境和酸性環境下，於 $CuSO_{4(aq)}$ 吸收峰波長 810 nm 處，螯合後溶液的吸收度皆比 $CuSO_{4(aq)}$吸光度高，表示螯合物在此波長會產生吸收峰。在波長 400 nm～510 nm 處，螯合後溶液的吸收度皆比薑黃素溶液的吸光度低，表示為薑黃素的消耗。在一般環境下，螯合後濾液的吸收光譜在波長 400 nm～460 nm 處，有新的吸收峰產生，其為螯合物所造成的吸收峰，而在酸性環境下則無此特徵吸收峰，表示幾乎無螯合物生成，可得知薑黃素與銅離子的螯合作用在一般環境下較佳。依前述圖 6 (a)一般環境下螯合後濾液吸收峰波長 420nm 處的吸收峰值，繪製成檢量線，如圖 16，作為銅離子溶液濃度之測定系統，而銅離子溶液濃度之測定範圍介於 0.02 M 到 0.1 M 之間。當加入定量之薑黃粉與銅離子溶液反應後，可藉由此檢量線，依螯合後濾液於吸收峰波長 420nm 處的

吸光度，推算原銅離子溶液的濃度。



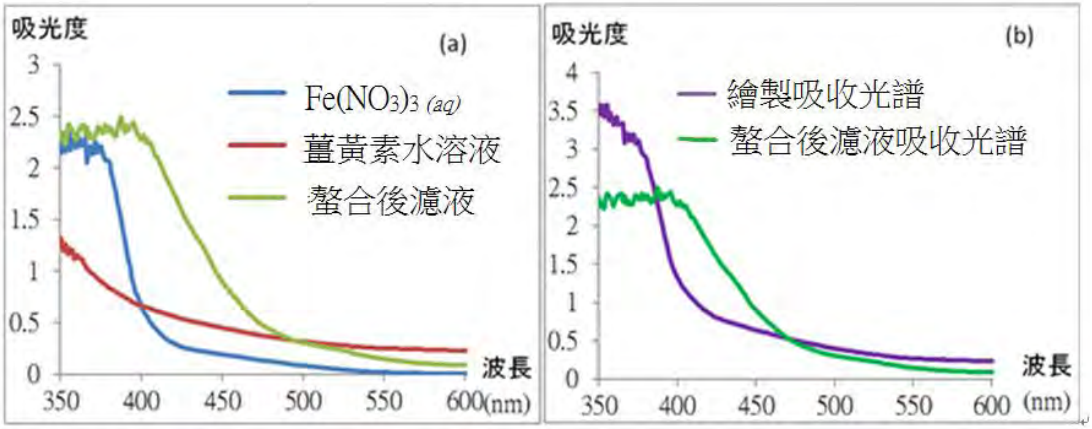
▲圖 15　薑黃素水溶液、0.1 M $CuSO_{4(aq)}$、螯合後溶液的吸收光譜比較。
（(a)為一般環境、(b)為酸性環境）



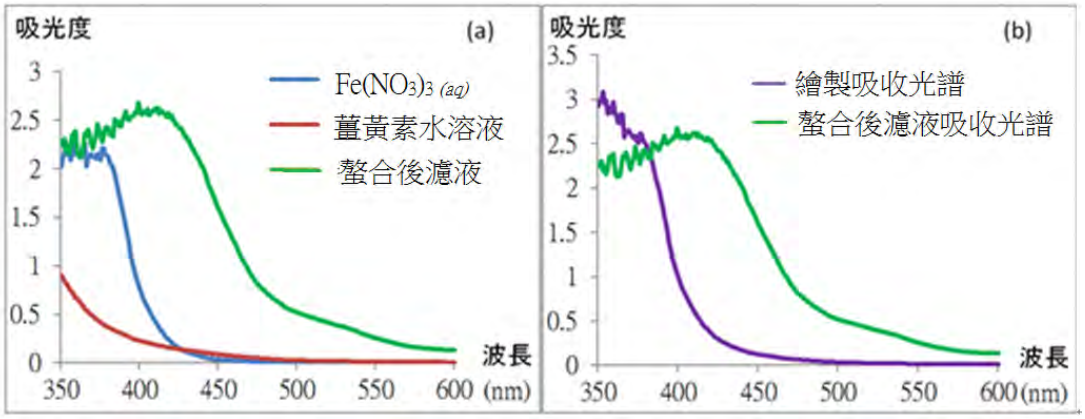
▲圖 16　依螯合物後濾液吸收峰波長 420nm 處的吸收峰值，繪製成的檢量線。

六、 在不同 pH 值下，改變 Fe^{3+} 的用量，Fe^{3+} 與薑黃素的螯合作用

如圖 17 和 18，在一般環境和酸性環境下，於波長 400 nm 處，螯合後溶液的吸收度皆比 $Fe(NO_3)_{3\,(aq)}$和薑黃素水溶液高出許多，表示螯合物在此波長會產生吸收峰。我們進一步將 $Fe(NO_3)_{3\,(aq)}$、薑黃素水溶液的吸收值相加成(b)的紫色曲線，觀察其與螯合後濾液的差異。可發現在 400 nm 後，繪製的吸收光譜幾乎沒有吸收值，我們便推斷螯合後濾液在此處的吸收峰為螯合物所造成的。依前述一般環境下螯合後濾液吸收峰波長 400nm 處的吸收峰值，繪製成檢量線，如圖 19，作為鐵離子溶液濃度之測定系統，而鐵離子溶液濃度之測定範圍介於 0.005 M 到 0.025 M 之間。當加入定量之薑黃粉與鐵離子溶液反應後，可藉由此檢量線，依螯合後濾液於吸收峰波長 400nm 處的吸光度，推算原鐵離子溶液的濃度。

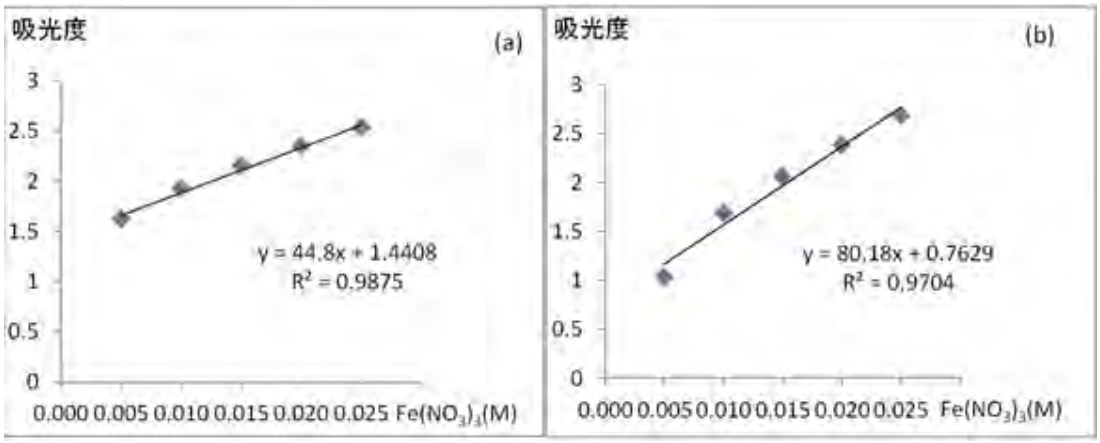


▲圖 17 (a)為 0.025 M $Fe(NO_3)_{3\,(aq)}$、薑黃素水溶液、螯合後濾液的吸收光譜。
(b)為繪製吸收光譜及螯合後濾液的吸收光譜。



▲圖 18　(a)為 0.025 M $Fe(NO_3)_{3\,(aq)}$（pH=2）、薑黃素水溶液、螯合後濾液的吸收光譜。

(b)為繪製吸收光譜及螯合後濾液的吸收光譜。



▲圖 19　依螯合物後濾液吸收峰波長 400 nm 處的吸收峰值，繪製成的檢量線。

(a) 、(b)分別為一般及酸性環境

柒、 結論

一、 薑黃素的 β-二酮結構有烯醇-酮互變異構，因此薑黃素易溶於酒精等有機溶劑，而較難溶於水。

二、 不同濃度薑黃素水溶液在一般環境（不改變 pH 值）與酸性環境（pH=2）下，於波長 370 nm 處，其吸光度和濃度呈線性關係。

三、 在一般環境（不改變 pH 值）下，薑黃素與 Cu^{2+}螯合後，其螯合物於波長 810 nm 處，有吸收值，且於波長 400 nm～460 nm 有明顯的特徵吸收峰，依螯合物吸收峰波長 420 nm 處的吸光度檢量線，可以建立一套廢水中 Cu^{2+}濃度檢測的系統，Cu^{2+}濃度測定範圍為 0.02 M～0.1 M。

四、 在酸性環境（pH=2）下，薑黃素與 Cu^{2+}螯合後，其螯合物於於波長 810 nm 處，有吸收值，但於波長 400 nm～460 nm 處並無特徵吸收峰。

五、 在一般環境（不改變 pH 值）下，薑黃素與 Fe^{3+}螯合後，其螯合物於波長 390 nm～400 nm 有明顯的特徵吸收峰，依螯合物吸收峰波長 400 nm 處的吸光度檢量線，可以建立一套廢水中 Fe^{3+}濃度檢測的系統，Fe^{3+}濃度測定範圍為 0.005 M～0.025 M。

六、 在一般環境(不改變 pH 值)下，薑黃素與 Cu^{2+}和 Fe^{3+}螯合作用的能力較在酸性環境(pH=2)下佳。

捌、 參考資料

一、 薑黃素（2016.08.17）。維基百科。取自：

https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A7%9C%E9%BB%84%E7%B4%A0

二、 Sahdeo Prasad.（2014）.The Chemistry of Curcumin：From Extration to Therapeutic Agent.Molecules.9-11.doi:10.3390/molecules191220091

三、 Wing-Hin Lee, Ching-Yee Loo, Mary Bebawy, Frederick Luk, Rebecca S Mason, Ramin Rohanizadeh.（2013）.Curcumin and its Derivatives: Their Application in Neuropharmacology and Neuroscien ceinthe 21st Century Curr Neuropharmacol doi：10.2174/1570159X11311040002

四、 葉名倉、劉如熹、邱智宏、周芳妃、陳建華、陳偉民（民 106）。高三選修化學下冊（50-53）。臺南市：南一

【評語】050207

本研究以薑黃粉的水溶液及酒精溶液，測量薑黃素溶解度的差異。再以薑黃素酒精溶液分別與不同的金屬化合物的變色反應，以確認金屬離子和薑黃素的螯含。並測量相關的吸收光譜。實驗結果發現，薑黃素在一般環境對 Cu^{2+}和 Fe^{3+}的螯合能力優於在酸性環境下。若下列能改正將會更好：

1. 使用市售薑黃粉(料理用)，在結論中提及有三種主要成分，然並無實驗數據證明。建議可使用單一純物質作為驗證螯合效果的主成分確認。
2. 部份金屬離子應是未溶解的薑黃素表面吸附而非完全是螯合加以說明當更好。

作品海報

摘要

本研究以市售料理用薑黃粉分別製備水溶液及酒精溶液，測量薑黃素溶解度的差異。再以薑黃素酒精溶液分別與硫酸銅、硝酸鐵溶液充分反應後離心，利用Cu^{2+}和鐵氰化鉀、Fe^{3+}和硫氰化鉀的變色反應，以確認螯合後濾液是否仍有金屬離子或薑黃素殘留。接著，測量不同濃度薑黃素水溶液、硫酸銅溶液與硝酸鐵溶液的吸收光譜，並以不同濃度、不同pH值下的Cu^{2+} 、 Fe^{3+}水溶液與足量薑黃粉反應後測量其濾液的吸收光譜，分別建立其特徵吸收峰檢量線，並比較螯合前後的差異。結果發現，薑黃素在 pH=4下，對Cu^{2+}和Fe^{3+}的螯合能力優於在 pH=2 下。未來可將本研究所建立的操作步驟應用於廢水中Cu^{2+}、Fe^{3+}之濃度檢測。

研究目的

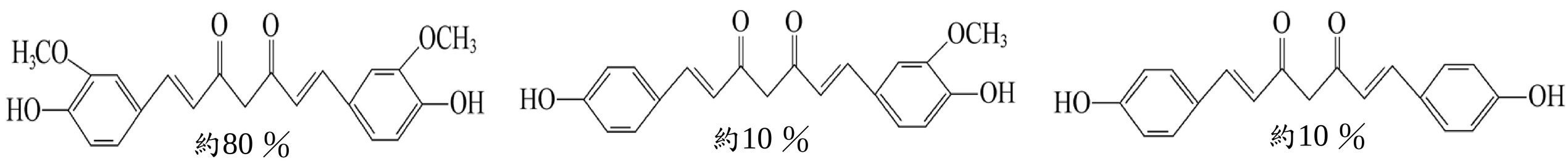
一、探討薑黃素對於不同溶劑的溶解度，以及在不同pH值下，薑黃素水溶液的吸收光譜。
二、探討在不同pH值下，薑黃素-金屬螯合物的吸收光譜。
三、研究在不同pH值下，薑黃素與Cu^{2+} 的螯合作用。
四、研究在不同pH值下，薑黃素與Fe^{3+} 的螯合作用。

研究結果與討論

一、室溫下，不同溶劑對於薑黃粉溶解度的測量

薑黃粉中，薑黃素這類物質是一種混合物，其最主要的成分是**薑黃素**$C_{21}H_{20}O_6$ (約占80 %)，另外還有**脫甲氧基薑黃素**$C_{20}H_{18}O_5$ (約占10 %)以及**脫二甲氧基薑黃素**$C_{19}H_{16}O_4$ (約占10 %)。薑黃素這類物質的莫耳質量約為359.3 $g \cdot mol^{-1}$。

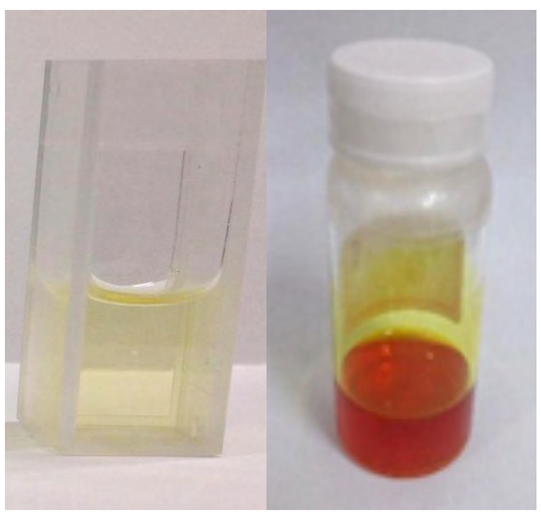
我們取**0.500 g的薑黃粉**，分別加入 **10 mL 蒸餾水**與 **10 mL酒精**中，配製薑黃素水溶液及薑黃素酒精溶液，測量其溶解度，如表1 。薑黃素易溶於酒精等有機溶劑，較難溶於水。



▲ 由左而右依序為薑黃素、脫甲氧基薑黃素、脫二甲氧基薑黃素之結構式。

▼ 分別取0.500 g的薑黃粉加入10 mL蒸餾水和10 mL 酒精中，測量薑黃素對於不同溶劑的溶解度。

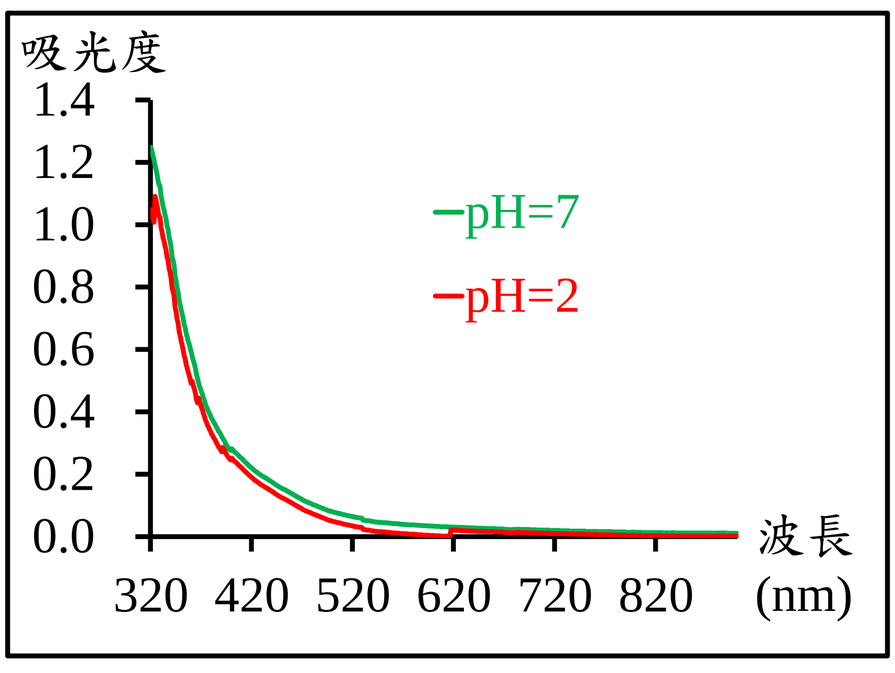
	薑黃素溶解度
薑黃素水溶液	0.068 g /10 mL
薑黃素酒精溶液	0.137 g /10 mL



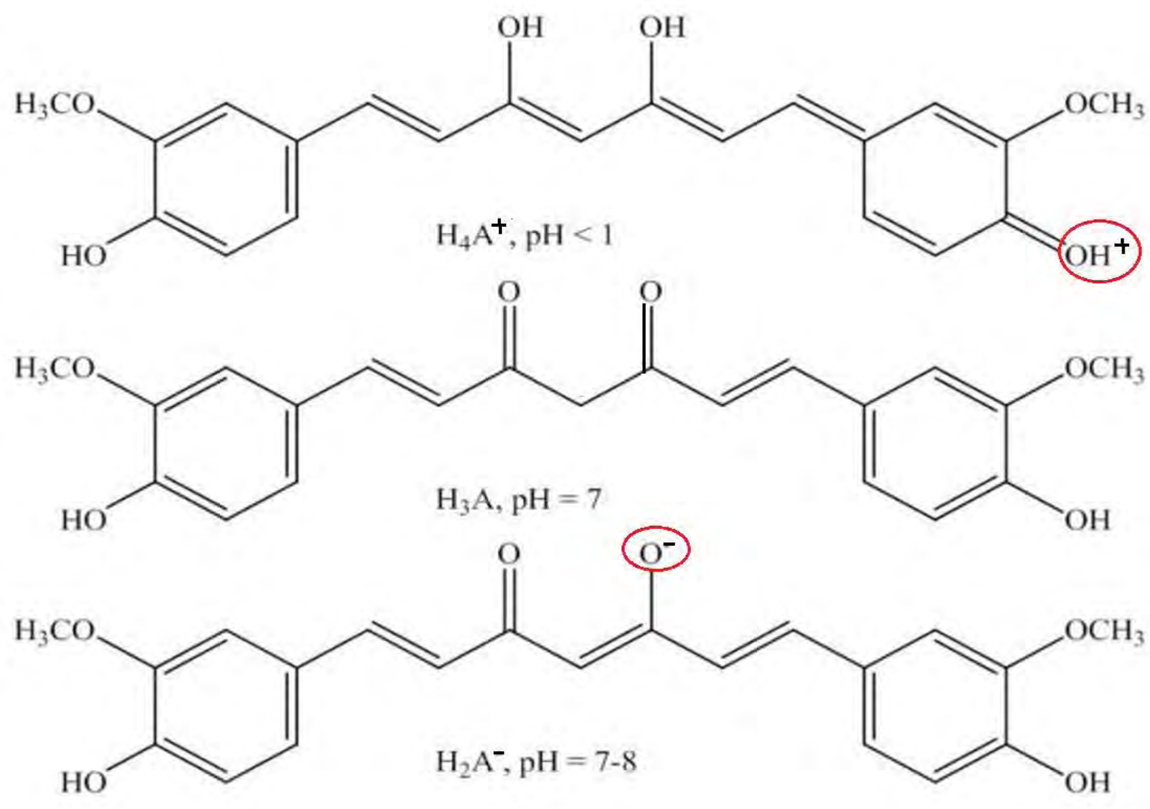
▲ 左：薑黃素水溶液
右：薑黃素酒精溶液

二、在不同pH值下，薑黃素水溶液吸光度的測量

不同濃度薑黃素水溶液在 pH =7 和 pH＝2 下，**於波長320 nm～400 nm 處，皆有明顯的吸收**，且在pH =7下的吸光度**略高於**在 pH =2 下的吸光度。



▲ 在pH=7 和pH=2 下薑黃素水溶液的吸收光譜。

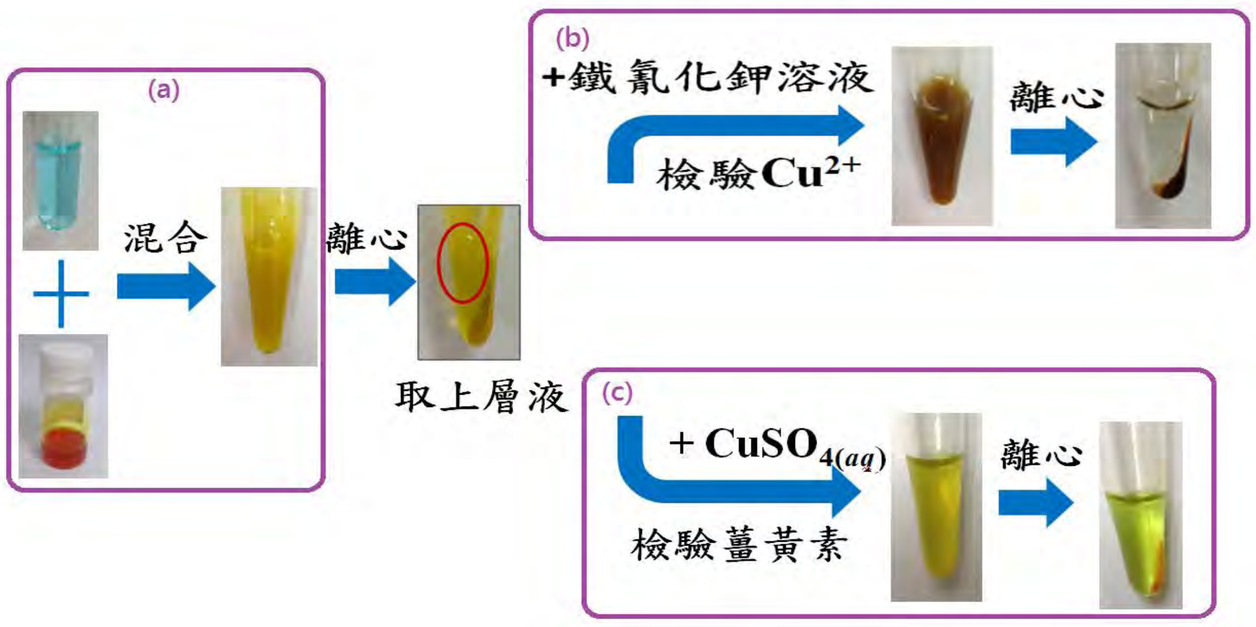


在不同pH值下，薑黃素結構的變化。

◆觀察薑黃素結構式的β-二酮（螯合基）在不同pH值下的變化，推論薑黃素在pH =7下的螯合作用能力高於在pH＝2下的螯合作用能力。

三、在不同pH值下， Cu^{2+}與薑黃素的螯合作用

（一）螯合後濾液成分檢測

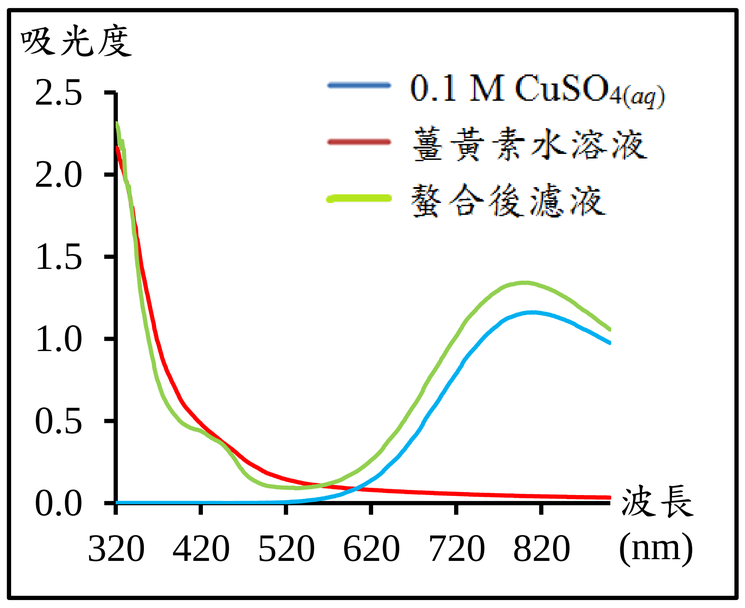


◆ (a) 取$CuSO_{4(aq)}$加入薑黃素酒精溶液，待其反應後離心，薑黃素－Cu^{2+}螯合物為土黃色 。

(b) 取螯合後濾液至離心管中，加入**鐵氰化鉀**反應後，離心，產生紅棕色沉澱，表示**殘有Cu^{2+}**。

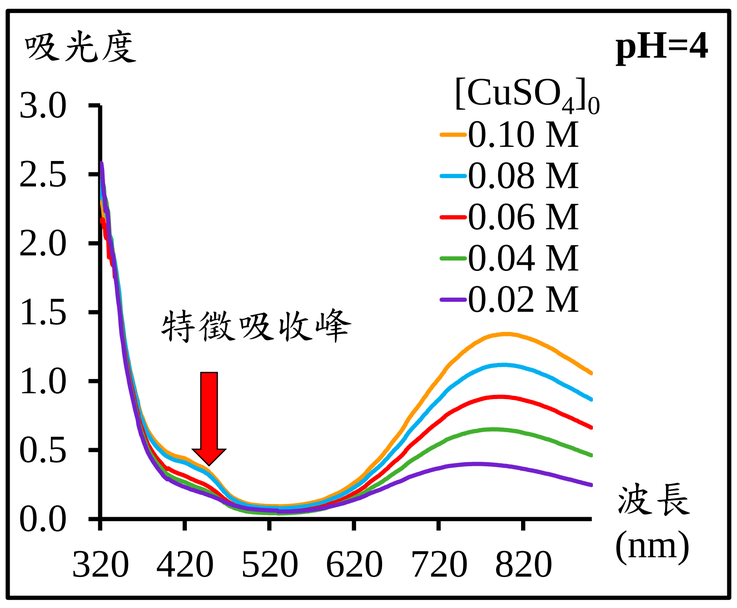
(c) 取螯合後濾液至離心管中，加入**$CuSO_{4(aq)}$**反應後，離心，產生土黃色沉澱，表示**殘有薑黃素**。

（二）pH=4



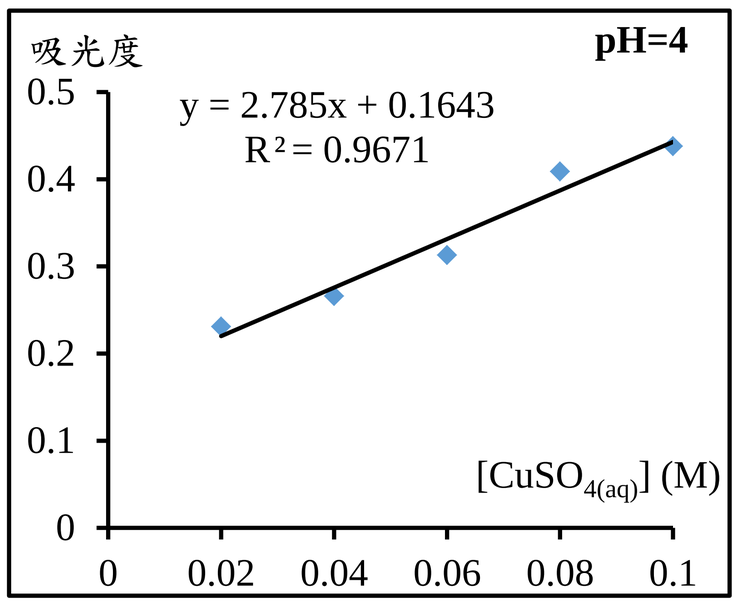
10 mL $CuSO_{4(aq)}$與0.500 g薑黃粉反應後，將溶液進行過濾，所得之溶液稱螯合後濾液。

◆螯合後濾液在**波長400 nm～ 460 nm**處，有**新的吸收峰**產生，此為**螯合物**所造成的吸收峰。



不同濃度10 mL $CuSO_{4(aq)}$ 與0.500 g薑黃粉反應後，螯合後濾液之吸收光譜。

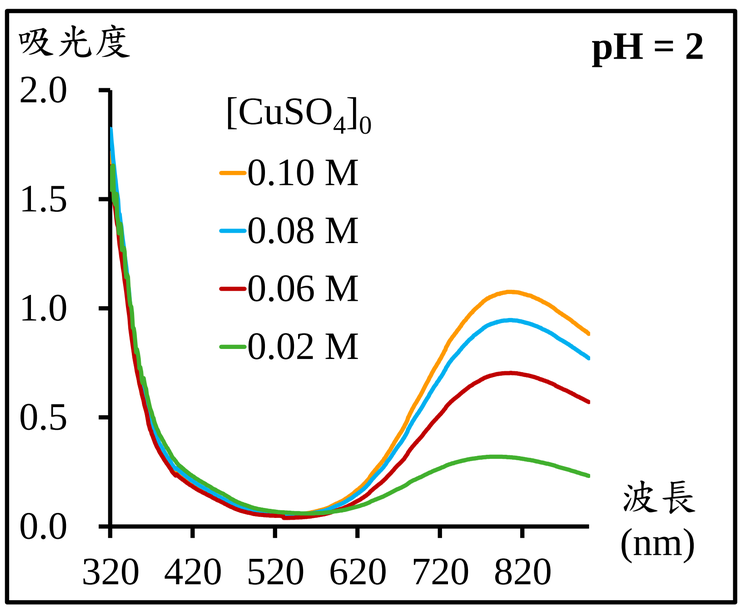
◆不同濃度$CuSO_{4(aq)}$與薑黃素反應，在**反應時間固定**下，**$CuSO_{4(aq)}$濃度越高**，所產生的**螯合物越多**，因此螯合物在波長400 nm～460 nm處的**吸收峰值也越高**。



依特徵吸收峰波長420nm處的吸收峰值，繪製成的檢量線。

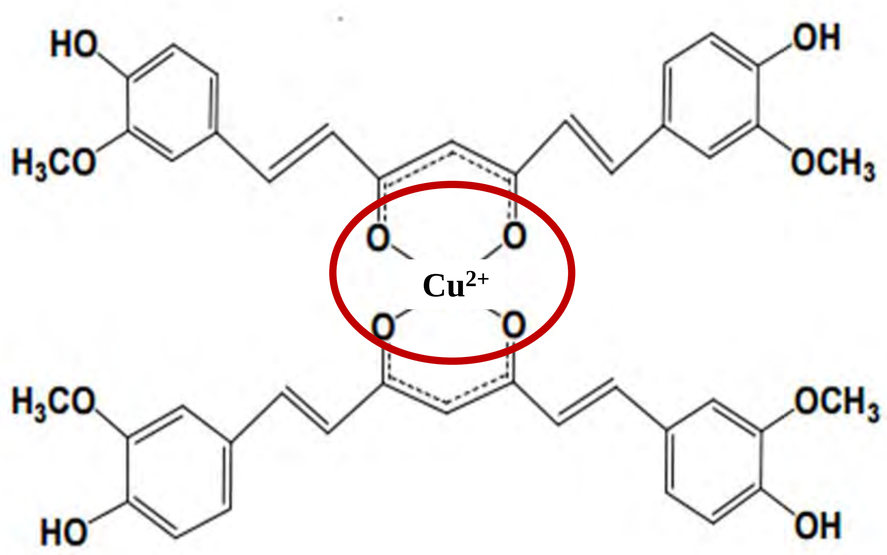
◆作為一套**銅離子溶液濃度之測定系統**，而銅離子溶液濃度之測定範圍為**0.02 M～0.10 M**。

（三）pH = 2



不同濃度10 mL $CuSO_{4(aq)}$ 與0.500 g薑黃粉反應後，螯合後濾液之吸收光譜。

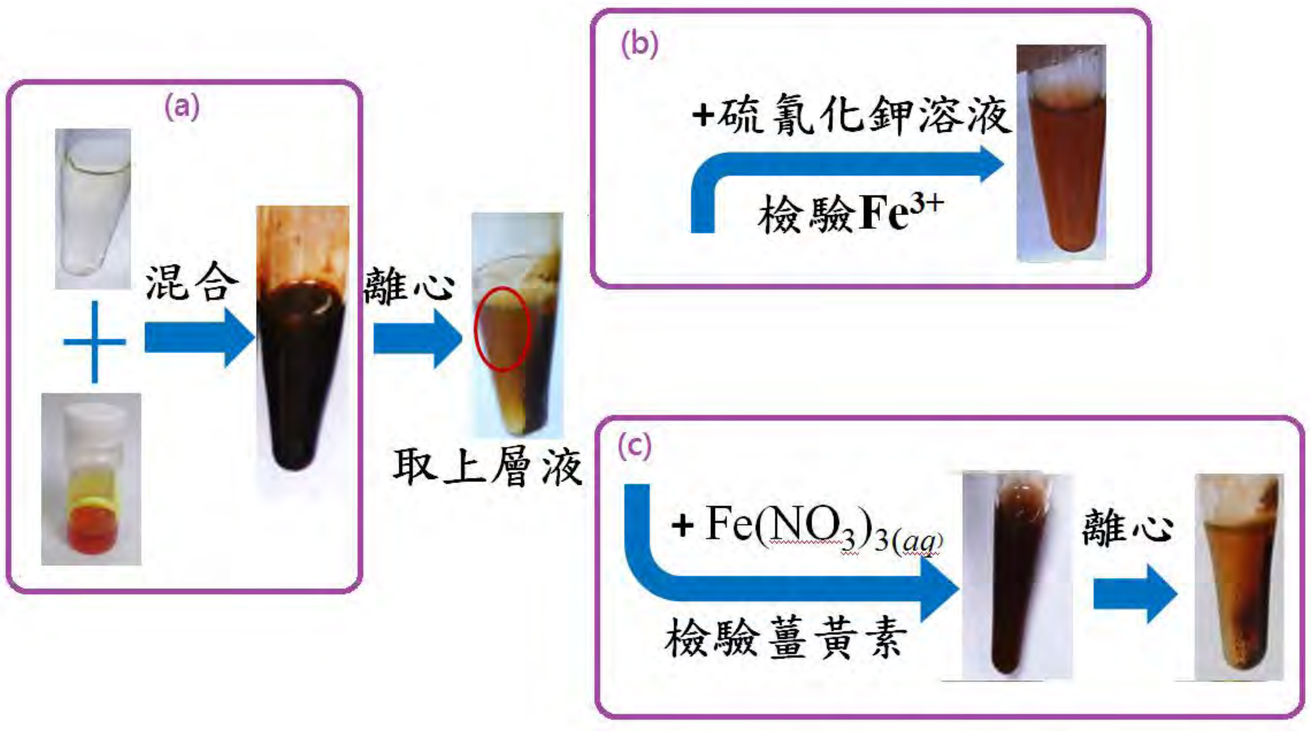
◆螯合後濾液在**波長400 nm～ 460 nm**處，**無特徵吸收峰**。



▲ 薑黃素-銅離子螯合物的結構圖。薑黃素與銅離子為 2：1 螯合物。

四、在不同pH值下， Fe^{3+}與薑黃素的螯合作用

（一）螯合後濾液成分檢測

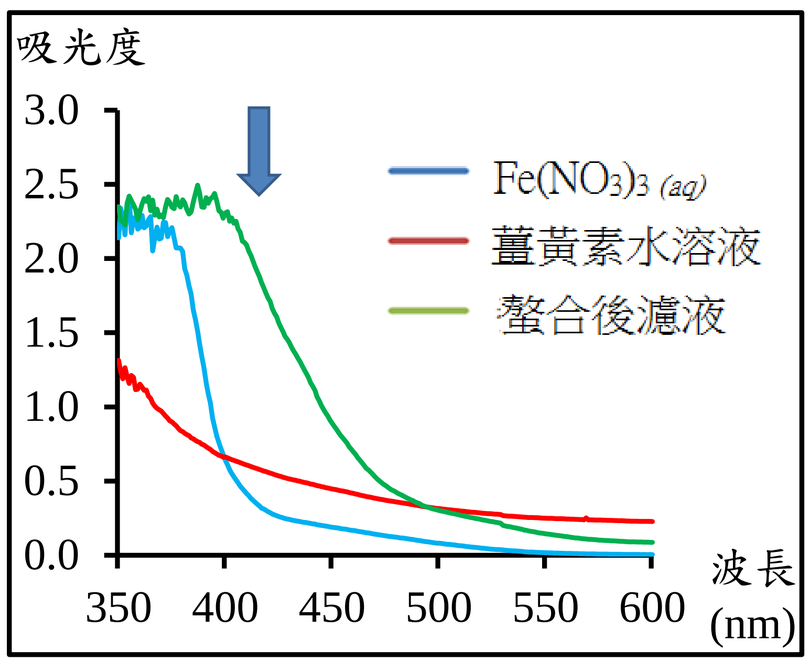


◆ (a) 取$Fe(NO_3)_{3(aq)}$加入薑黃素酒精溶液，待其反應後離心，薑黃素－Fe^{3+}螯合物為深褐色 。

(b) 取螯合後濾液至離心管中，加入**硫氰化鉀**反應後，溶液變為暗紅色，表示**殘有Fe^{3+}**。

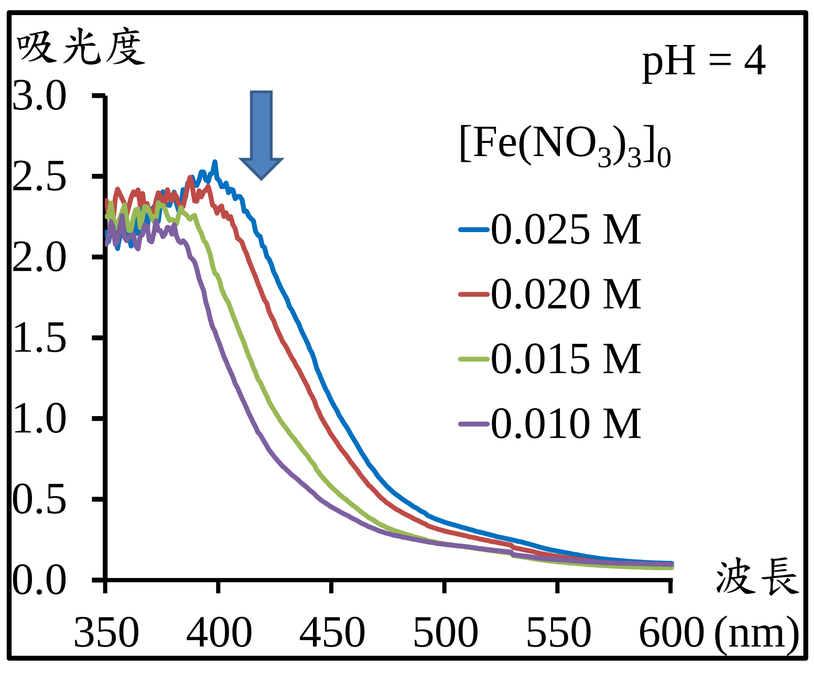
(c) 取螯合後濾液至離心管中，加入$Fe(NO_3)_{3(aq)}$反應後離心，產生深褐色沉澱，表示**殘有薑黃素**。

（二）pH =4



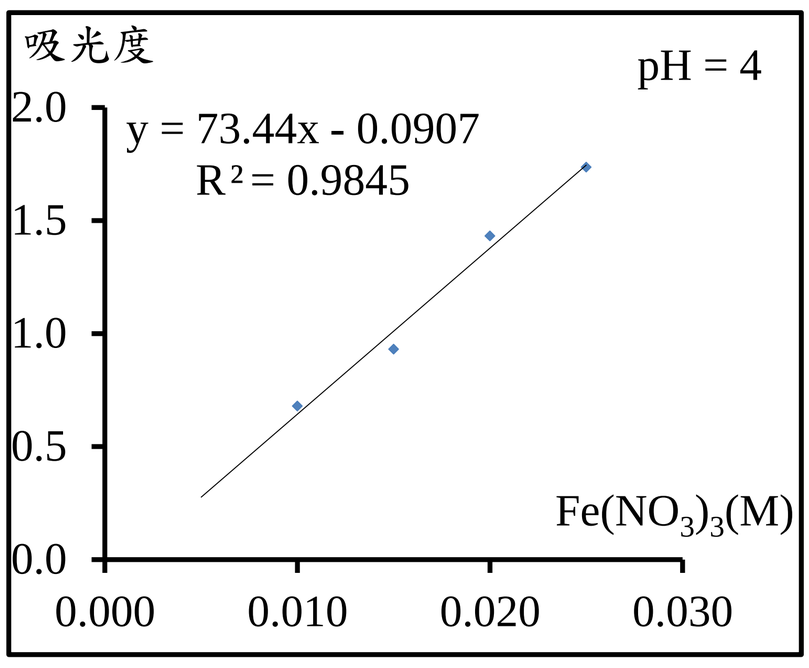
0.025 M $Fe(NO_3)_{3\,(aq)}$ 10 mL 與0.500 g薑黃粉反應後，將溶液進行過濾，所得之溶液稱螯合後濾液。

◆螯合後濾液在**波長 430 nm**處，有**新的吸收峰**產生，此為**螯合物**所造成的吸收峰。



10 mL不同濃度$Fe(NO_3)_{3(aq)}$與0.500 g薑黃粉反應後，螯合後濾液之吸收光譜。

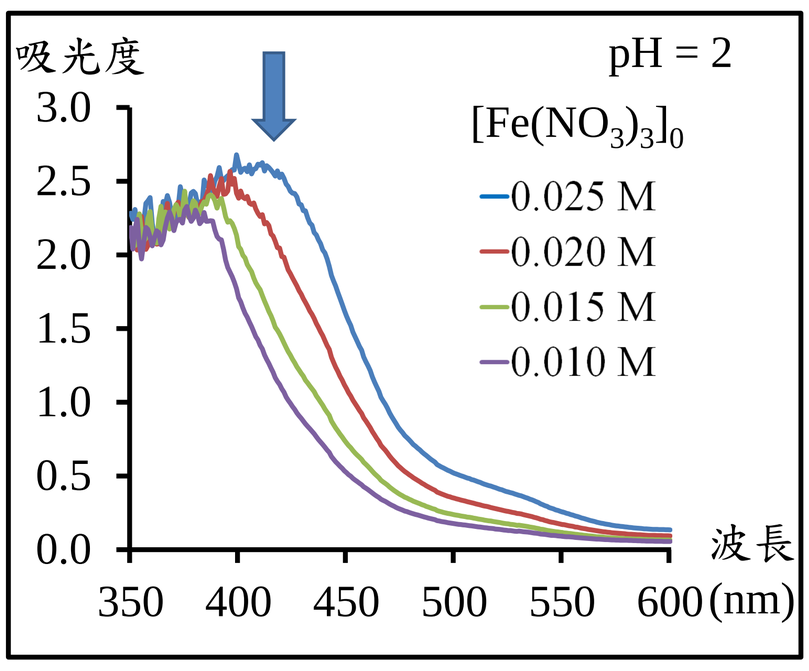
◆不同濃度 $Fe(NO_3)_{3(aq)}$與薑黃素反應，在**反應時間固定下，$Fe(NO_3)_{3(aq)}$濃度越高**，所產生的**螯合物越多**，因此螯合物在波長430 nm處的**吸收峰值也越高**。



依特徵吸收峰波長430 nm處的吸收峰值，繪製成的檢量線。

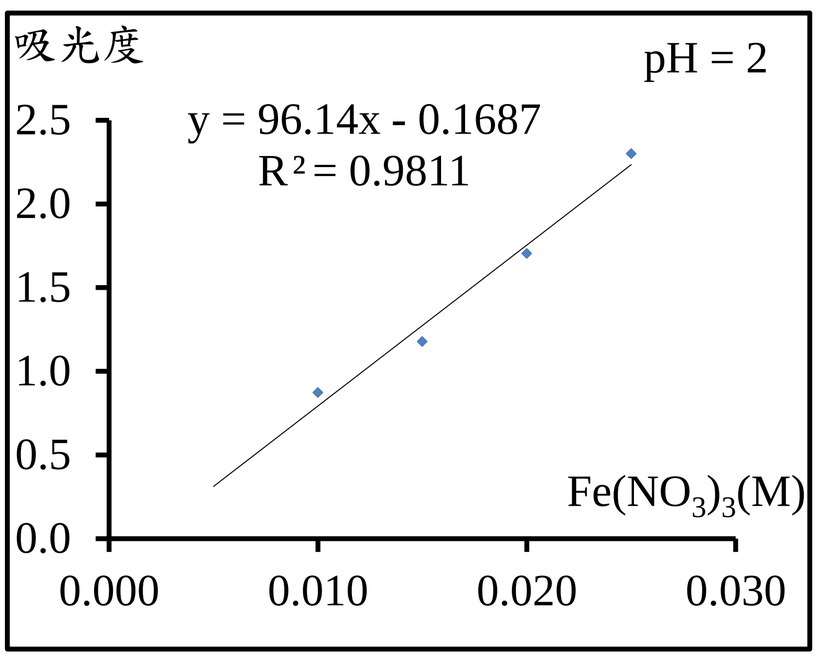
◆作為一套**鐵離子溶液濃度之測定系統**，而鐵離子溶液濃度之測定範圍為**0.010 M～0.025 M**。

（三）pH=2



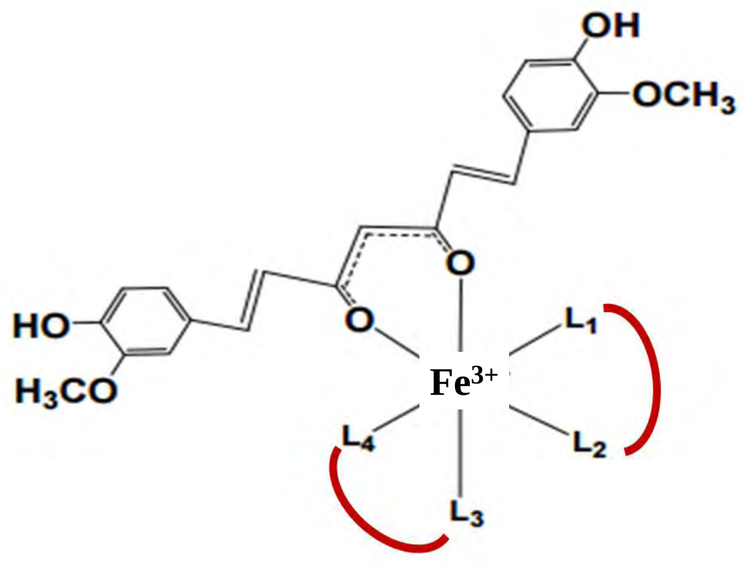
10 mL不同濃度$Fe(NO_3)_{3(aq)}$與0.500 g薑黃粉反應後，螯合後濾液之吸收光譜。

◆不同濃度 $Fe(NO_3)_{3(aq)}$與薑黃素反應，在**反應時間固定下，$Fe(NO_3)_{3(aq)}$濃度越高**，所產生的**螯合物越多**，因此螯合物在波長430 nm處的**吸收峰值也越高**。



依特徵吸收峰波長430 nm處的吸收峰值，繪製成的檢量線。

◆作為一套**鐵離子溶液濃度之測定系統**，而鐵離子溶液濃度之測定範圍為**0.010 M～0.025 M**。



▲ 薑黃素-鐵離子螯合物的結構圖。薑黃素與鐵離子為 3：1 螯合物。

結論

一、薑黃素較易溶於酒精等有機溶劑，而較難溶於水。

二、在 pH=4 下，薑黃素與Cu^{2+}和Fe^{3+}螯合作用的能力較在 pH=2下佳。

三、在 pH=4 下，薑黃素與Cu^{2+}螯合後，其螯合物於波長400 nm～460 nm有特徵吸收峰生成，依螯合物吸收峰波長420 nm處的吸光度繪製成檢量線，建立一套廢水中Cu^{2+}濃度檢測的系統，Cu^{2+}濃度測定範圍為0.02 M～0.10 M。

四、在 pH=4 和pH=2下，薑黃素與Fe^{3+}螯合後，其螯合物於波長430 nm有特徵吸收峰生成，依螯合物吸收峰波長430 nm處的吸光度繪製成檢量線，建立一套廢水中Fe^{3+}濃度檢測的系統，Fe^{3+}濃度測定範圍為 0.010 M～0.025 M。

參考資料

薑黃素(2016.08.17)。維基百科。取自：https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A7%9C%E9%BB%84%E7%B4%A0

Sahdeo Prasad. (2014).The Chemistry of Curcumin:From Extration to Therapeutic Agent.Molecules.9-11.doi:10.3390/molecules191220091

Wing-Hin Lee, Ching-Yee Loo, Mary Bebawy, Frederick Luk, Rebecca S Mason, Ramin Rohanizadeh.(2013). Curcumin and its Derivatives: Their Application in Neuropharmacology and Neuroscien ceinthe 21st Century Curr Neuropharmacol doi:10.2174/1570159X11311040002

葉名倉、劉如熹、邱智宏、周芳妃、陳建華、陳偉民(民106)。高三選修化學下冊(50-53)。 臺南市：南一書局。