

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

第三名

030211

食物中明礬的簡易測定研究

學校名稱：臺中市立惠文高級中學(附設國中)

作者： 國三 吳安傑 國三 陳瑋 國三 雲聿加	指導老師： 林明宏 楊盈盈
--	-----------------------------

關鍵詞：明礬、鋁離子、茜素紅

摘要

我們測試出明礬在鹼性環境下產生白色絮狀沉澱。只要利用調配好的 $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{NH}_4\text{OH}$ 溶液加上茜素紅色素，便能經由顏色變化(紫→紅)快速的檢測出來。連肉眼都無法辨識出白色沉澱的狀態，只要一滴加茜素紅色素，就能馬上判斷這食物中是否含有明礬存在。後續建立一個標準圖表，只要拿到一個未知濃度的樣品滴加茜素紅色素，然後對照標準圖表便能推定出明礬的濃度。這樣以簡易的測量方法，讓我們可以在國中的實驗室中，以幾百元打造出來的設備，輕易測出食品中明礬添加物是否過量，也能對我們面臨的食安問題多了一層把關。而且實驗測試能檢測明礬達到 0.0005M 的濃度。由這樣的試劑組合，能將明礬檢測靈敏度提高到法令規定的 22 倍以上。

壹、研究動機

近年來，國內食安風暴不斷。從塑化劑事件、毒澱粉事件至最近的地溝油事件，使大家人心惶惶。豆漿、油條一直以來都是國人最喜歡的早餐選擇之一，這可從街頭巷尾許多燒餅油條豆漿店可以看出。我和幾位同學都愛吃豆漿油條，也常觀看豆漿店製作油條，發現油條會從麵團不斷地膨脹成後來蓬鬆的形狀。對於此種現象我們感到非常好奇便去請教老師，得知這些食物可能添加「明礬」而有此膨脹現象。由於明礬中主要的危險元素是鋁，鋁會影響人體對鐵、鈣的吸收，導致貧血和骨質疏鬆，食用過多明礬則會使兒童發育遲緩，老年人出現痴呆症狀。另外，添加明礬的食物還包括粉絲、豬血、鴨血…等等。這些國人喜愛的食品中竟然出現對於身體健康如此重大的危害。為了避免造成對身體的傷害，我們決定設計簡易、方便又實用的檢測程序，來幫助一般民眾檢測在食物中是否添加明礬這個健康殺手。

貳、研究目的

本研究希望利用沉澱及顏色變化的方式檢測出明礬，也希望能夠找出影響明礬沉澱的原因。設計以下實驗。

- 一、了解明礬的沉澱環境與原理
- 二、自製檢驗明礬沉澱的設備
- 三、探討鹼性環境中不同濃度明礬的沉澱關係
- 四、利用茜素紅染色法提升檢驗的精準度
- 五、發展快速檢驗食品中是否有添加明礬的方法

參、研究設備及器材

器材及藥品			
自製分光光度計	測光表 LX-103	量筒	燒杯
玻棒	滴管	陶瓷纖維網	塑膠管
試管	試管架	相機	腳架
pH 儀	離心機	NH ₄ Cl	NH ₄ OH
茜紅素	BaCl ₂	NaOH	KOH
鉀明礬 KAl(SO ₄) ₂ · 12H ₂ O			
數據分析			
個人電腦		Excel 軟體	

肆、研究過程或方法

一、自製分光光度計

- (一) 準備水管、LED 燈泡、測光計、強力膠帶。
- (二) 將水管組裝成上方能固定試管、兩邊分別能固定燈泡和測光計。
- (三) 調整紙板開口大小與內部遮光製成【分光光度計】。

二、以 BaCl_2 檢測明礬 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ 沉澱

- (一) 了解 BaCl_2 與 SO_4^{2-} 混合能產生沉澱。
- (二) 泡製 0.5M 的 BaCl_2 與不同濃度 $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-3} \text{M}$ 的 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ 。
- (三) 將兩者放入試管並搖勻後利用分光光度計測量吸光值。
- (四) 用 Excel 程式分析，畫出 BaCl_2 與 SO_4^{2-} 產生沉澱的吸光值—明礬濃度關係圖。

三、利用鹼性溶液分析明礬

- (一) 配製 1M NaOH 、8M NH_4OH 、1M NH_4Cl 與十個不同濃度 $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-3} \text{M}$ 的 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ 。
- (二) 將 NaOH 、 NH_4OH 各 8 滴和 3ml NH_4Cl 、5ml $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ 放入試管並搖勻後用分光光度計測量吸光度。
- (三) 用 Excel 程式分析，畫出 NaOH 、 NH_4OH 與 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ 產生沉澱的吸光值—濃度關係圖。

四、發現明礬沉澱消失現象

- (一) 取 5ml $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ + 3ml 1M NH_4Cl + 過量 1M NaOH 至於試管中，混合均勻，並用分光光度計測量吸光度的情形。
- (二) 畫出過量 NaOH 與 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ 產生沉澱的吸光值—濃度關係圖。

五、分析不同濃度的明礬沉澱消失的現象

- (一) 配製不同濃度 ($1 \times 10^{-4} \text{M}$ 、 $5 \times 10^{-4} \text{M}$ 、 $1 \times 10^{-3} \text{M} \sim 1 \times 10^{-1} \text{M}$) 的 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ 、1M 的 NH_4Cl 及 1M 的 NaOH 。
- (二) 觀察並記錄把 5ml 的 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ 、3ml 的 NH_4Cl ，放入試管混合並滴入 1M NaOH ，以 2 滴遞增，並用分光光度計測量吸光度的情形。
- (三) 用 Excel 程式分析，畫出沉澱的吸光值— NaOH 滴數關係圖。

六、分析過量 NaOH 使明礬沉澱消失的情形與 pH 值間的關係

- (一) 泡製 1M 的 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ 、1M 的 NH_4Cl 及 1M 的 NaOH。
- (二) 觀察並記錄 5ml 1M $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ 、3 ml, 1M NH_4Cl ，持續滴加 1M NaOH，並用 pH 儀測量 pH 值的變化。
- (三) 以 Excel 程式分析，畫出吸光值—pH 值關係圖。

七、分析低濃度明礬的沉澱曲線

- (一) 泡製不同濃度(1×10^{-3} 、 5×10^{-3} 、 $1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-1}$)的明礬、1M 的 NH_4Cl 及 1M 的 NaOH。
- (二) 取 5ml 不同濃度的 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ +3ml 1M NH_4Cl +8 滴 1M 的 NaOH 放入試管混合並用分光光度計測量吸光值。
- (三) 用 Excel 程式分析，畫出沉澱的吸光值—濃度關係圖。

八、利用茜素紅色素染色分析

- (一) 泡製不同濃度(1×10^{-4} 、 5×10^{-4} 、 1×10^{-3} 、 5×10^{-3})的明礬、1M 的 NH_4Cl 及 1M 的 NH_4OH 。
- (二) 泡製茜素紅色素試劑：取 0.1 克茜素紅粉末溶於 100ml 水中。
- (三) 取 5ml 不同濃度的 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ +3ml 1M NH_4Cl +5ml 1M NH_4OH +2 滴茜素紅，放入試管混合並用分光光度計測量吸光值。
- (四) 用 Excel 程式分析，畫出茜素紅沉澱的吸光值— NH_4OH 滴數關係圖。

九、分析過量 NH_4OH 使明礬沉澱消失的情形與 pH 值間的關係

- (一) 泡製 1M 的 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ 、1M 的 NH_4Cl 及 1M 的 NH_4OH 。
- (二) 觀察並記錄 5ml 1M $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ 、3 ml 1M NH_4Cl 、持續滴加 1M NH_4OH 放入試管混合並用 pH 儀測量 pH 值的變化。
- (三) 以 Excel 程式分析，畫出吸光值—pH 值關係圖。

十、分析 NH_4Cl — NH_4OH 溶液與低濃度明礬的沉澱曲線

- (一) 泡製不同濃度($1 \times 10^{-4}\text{M}$ 、 $5 \times 10^{-4}\text{M}$ 、 $1 \times 10^{-3}\text{M}$ 、 $5 \times 10^{-3}\text{M}$)的明礬、1M NH_4Cl 及 1M NH_4OH 。
- (二) 取 5ml 不同濃度的 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ +3ml 1M NH_4Cl ，持續滴加 1M 的 NH_4OH ，並用分光光度計測量吸光度的情形。
- (三) 用 Excel 程式分析，畫出沉澱的吸光值—濃度關係圖。

十一、分析 $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{NH}_4\text{OH}$ 溶液與各濃度明礬的沉澱情形

- (一) 泡製 1×10^{-1} 、 5×10^{-2} 、 1×10^{-2} 、 5×10^{-3} 、 1×10^{-3} 、 5×10^{-4} 、 1×10^{-4} M 七種濃度明礬、 $1 \text{ M NH}_4\text{Cl}$ 及 $1 \text{ M NH}_4\text{OH}$ 。
- (二) 取 5ml 不同濃度的 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 + 3 \text{ ml } 1 \text{ M NH}_4\text{Cl} + 1 \text{ M NH}_4\text{OH}$ 於試管中，並混合均勻。
- (三) 比較觀察、拍攝加入不同體積 1M 的 NH_4OH 後顏色變化情形。

十二、比較自製油條及市售油條的明礬檢測

- (一) 配製 $1 \text{ M NH}_4\text{Cl}-\text{NH}_4\text{OH}$ 溶液並測出 pH 值。
- (二) 上網搜尋油條的配方，備妥麵粉、明礬水溶液、 NaHCO_3 (麵鹼)、鹽、溫水等等材料。按照資料上的製作方法混合成麵糰，並到烹飪教室將油條炸至表面金黃。
- (三) 取 10 克自製油條與市售油條以研鉢搗碎，加入 10ml 水攪拌溶解後，以 4000rpm 高速離心，取 5ml 上層澄清水溶液置於試管。
- (四) 加入 3ml $1 \text{ M NH}_4\text{Cl}$ ，3ml NH_4OH 溶液，滴加 2 滴茜素紅試劑進行快速篩檢。

伍、研究結果

一、自製分光光度計



圖 1、以水電材料製作分析儀器。



圖 2、自製簡易版的分光光度計。

1. 利用測光表當成感應器，LED 燈當光源，110V 電源避免電池不穩定現象，再從五金材料行買來的塑膠水管及各式 T 型接頭(圖 1)，把水管磨合、連接，黏合起來，做成簡易版的分光光度計(圖 2)。
2. 測試過程中發現測光表的數值變化不如預期，經過分析發現光線有暈散情形，進而影響測光表的數值(圖 3)。



圖 3、(左)塑膠管中放入正方形開口的光柵；(右)通過試管後，光線會暈散開來。

3. 因此經過多次嘗試後，發現在塑膠管中間放入兩片有隙縫的紙板當光柵，改善光線暈散的缺點，可以得到比較集中的透光(圖 4)。

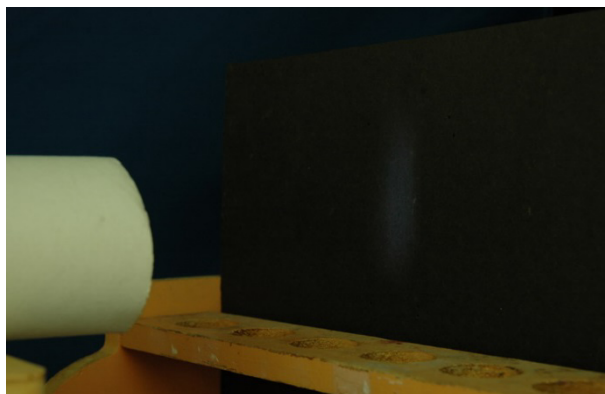


圖 4、(左)塑膠管中放入雙層隙縫當光柵；(右)通過試管後，不再有暈散的現象。

二、以 BaCl_2 檢測明礬沉澱

1. 利用自製的分光光度計裝置拿來檢測明礬的沉澱， BaCl_2 對明礬的沉澱很靈敏，不同濃度明礬與 BaCl_2 產生沈澱結果成正相關(圖 5)。

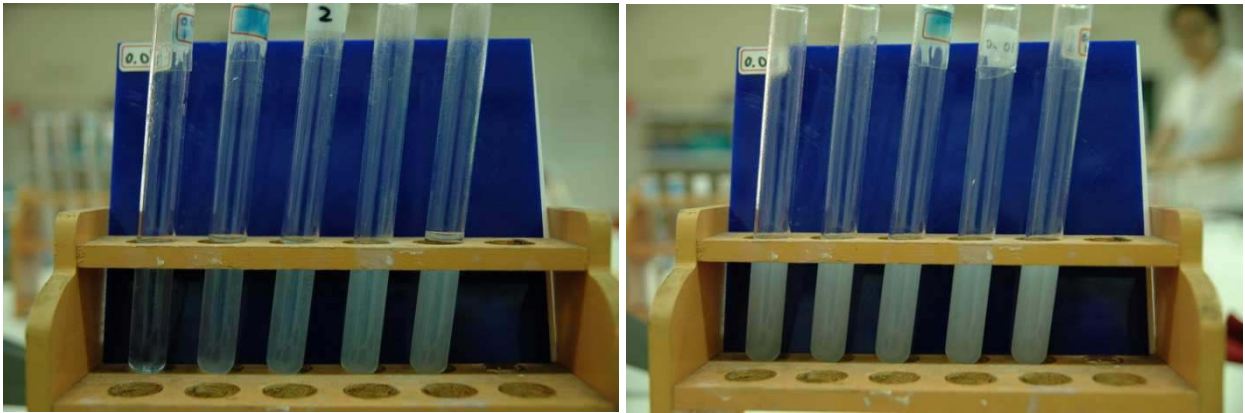


圖 5、由左到右 $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-3} \text{M}$ 十個濃度的明礬和 0.5M BaCl_2 的沉澱情形。

2. BaCl_2 對明礬的沉澱很靈敏，使用自製分光光度計進行吸光值結果呈現正相關，(圖 6)，但是 0.0008M 以上的濃度數值就開始趨於平緩、變化不大、不易區分。這可能是由於明礬濃度太高導致沉澱量太多，LED 燈光無法穿透，使數值的變化趨於緩和。

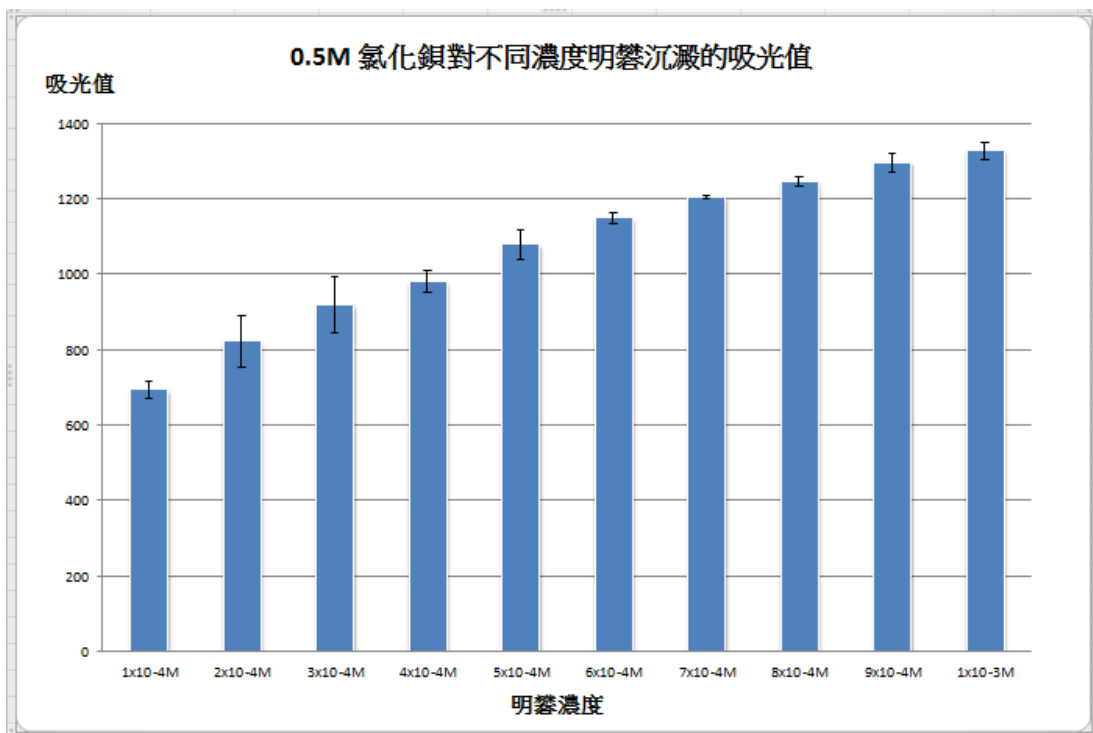
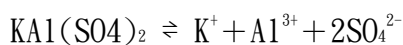


圖 6、 0.5M BaCl_2 及不同濃度明礬的沉澱吸光值分析圖 (吸光值: Lux)

3. 但是，我們也想到：一般食物中也含有 SO_4^{2-} ，所以物質中含的 SO_4^{2-} 有可能會造成誤判。但是正常狀況下，食物中的 Al^{3+} 含量微乎其微，而且 Al^{3+} 的危害也是我們的重點，因此接下來要找出分析 Al^{3+} 的方法。

三、利用鹼性溶液分析明礬

1. 經資料查詢發現，明礬溶於水中會形成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 膠狀物質，但是這個反應會產生 H^+ ，所以我們採用鹼性溶液將 H^+ 去除掉來抑制可能的可逆反應發生。



2. 明礬可和鹼性溶液中的 OH^- 產生白色絮狀沉澱。將 1M NaOH、8M NH_4OH 各 8 滴作為鹼性溶液，與 10 個濃度鉀明礬 $1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-1} \text{ M}$ 反應並測吸光值(圖 7)。

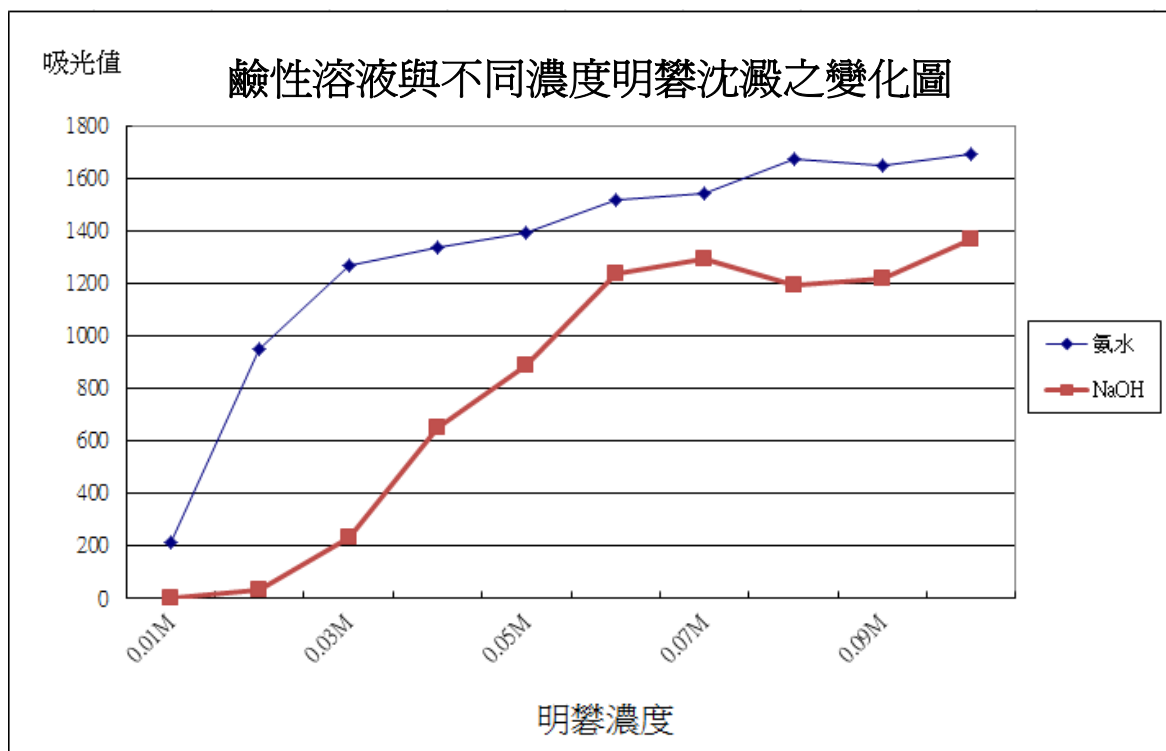


圖 7、不同鹼性溶液和明礬的沉澱曲線 (吸光值: Lux)

2. 實驗分析發現：比較 NaOH 及氨水當成鹼性溶液，以 NaOH 反應：明礬產生的沉澱很靈敏、而且因為是強鹼所以用量較少、從吸光度分析也發現正相關斜線的線性關係較明顯。因此我們決定利用 NaOH 來當鹼性溶液基質。
3. 經多次實驗發現：1M NaOH 跟不同濃度的明礬產生的沉澱現象不穩定，有時經過一段時間沉澱會消失或是發生無法產生沉澱的現象。因為不清楚是強鹼、弱鹼的差異，還是 NaOH 性質的問題。所以接下來針對 NaOH 的添加量及明礬沉澱量來做進一步分析。

四、發現明礬沉澱消失現象

1. 實驗驗證發現，明礬溶液中滴加 NaOH 溶液，便可以產生白色沉澱。但是一但加入太多的 NaOH 溶液會使得沉澱分解消失(圖 8)。



圖 8、明礬沉澱出現後，過量 NaOH 沉澱消失的情形。

(左)加入兩滴 1M NaOH (中)加入 2 ml、1M NaOH (右)加入 4ml、1M NaOH。

2. 測量吸光值發現：吸光值從未加 NaOH 溶液時最低，到沉澱量最多的吸光值(10~40 滴 1M NaOH)，之後又因為加入過多 NaOH 而造成吸光值降低。當 1M NaOH 滴加超過 60 滴(約 3.5 ml)，則沉澱完全消失，又變回澄清透明的狀態(圖 9)。

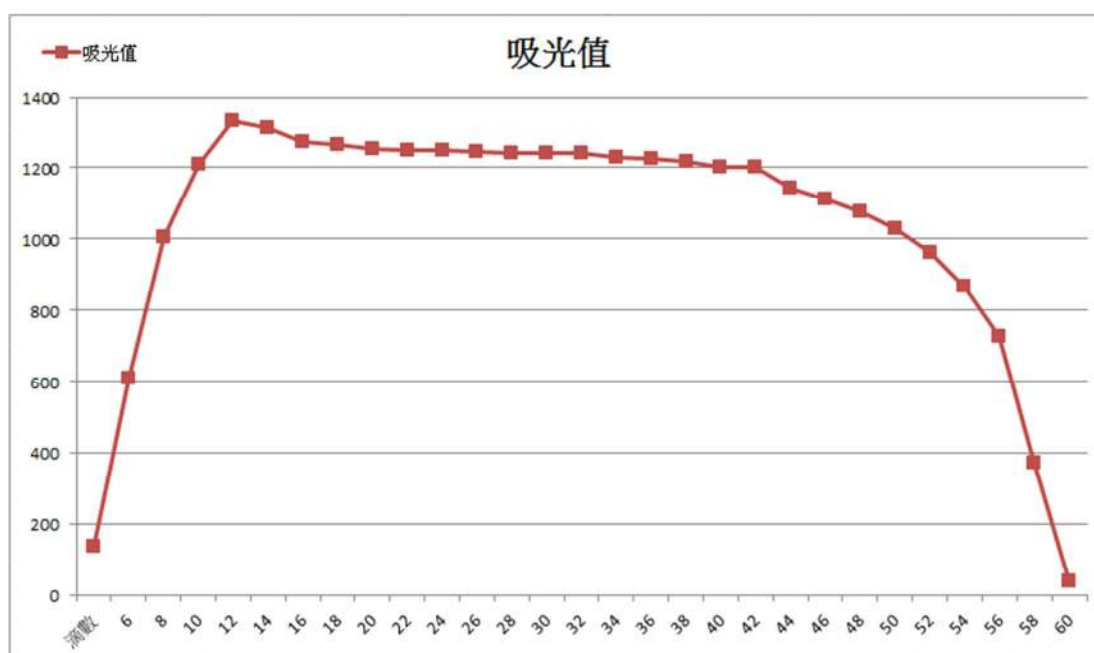


圖 9、明礬沉澱在不同 1M NaOH 滴數時吸光值的變化曲線 (吸光值：Lux)

3. 以 EXCEL 分析圖表呈現一個『冂』字型的曲線，這現象真是出乎意料之外。為了證實這現象是否為一種常態現象還是實驗的誤差所造成的，因此改變實驗變因來驗證。

五、分析不同濃度的明礬沉澱消失的現象

1. 由於上個實驗中發現過量的 NaOH 會造成明礬的沉澱消失現象，為了瞭解這個現象是否真的是一種穩定的化學變化，我們以不同濃度的明礬來驗證。
2. 我們用五種不同濃度的明礬，監測沉澱過程的吸光值，並以 EXCEL 程式劃出曲線。發現都是呈現一致性門字型的曲線(圖 10)，表示這是明礬在鹼性環境下所具有的性质，並不是實驗意外造成的。

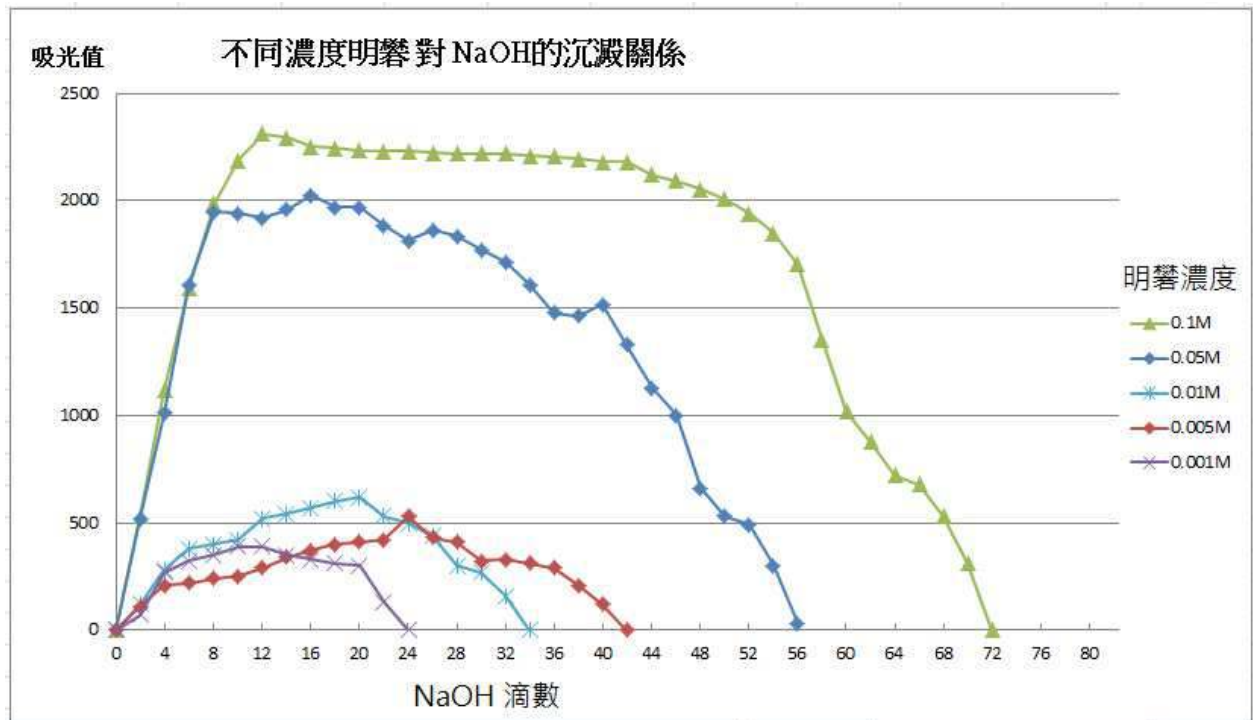


圖 10、五種不同濃度的明礬對 NaOH 的沉澱曲線 (吸光值: Lux)

3. 觀察發現：當明礬濃度越高，沉澱量越多、曲線越清晰。這實驗結論對我們的分析很重要，因為可歸納出明礬沉澱最多時的 NaOH 滴數(曲線水平的區域)來做為檢測實驗的用量。以避免加入過量的 NaOH 而導致沉澱消失，造成誤差。
4. 而且也發現當明礬濃度低於 0.01M 以下，雖然也有相同關係。但是因為吸光數值變化不大，可能和誤差值差不多而不易區分了。這也衍生一個問題，就是利用鹼性溶液檢測明礬 Al^{3+} 沉澱的方法是有限制的：NaOH 溶液加的量不可以太多，以免沉澱消失。

六、分析過量 NaOH 使明礬沉澱消失的情形與 pH 值間的關係

1. 之前實驗發現只要在明礬溶液中加入過量的 NaOH 便會變澄清，於是利用 pH 儀找出 NaOH 對明礬沉澱最多的 pH 值是多少。
2. 經過實驗後，發現 pH 值超過 4 時沉澱趨緩，pH 值超過 10，沉澱開始減少，pH 值超過 12 之後沉澱消失了(圖 11)，改用相同濃度的 KOH 進行實驗結果亦相同(圖 12)。這個現象很有趣，我們不禁思考：為何 OH^- 離子多，沉澱會消失？這情形我們去翻查書本及網站資料後，將在【陸、討論】部分第二點來詳細探討。

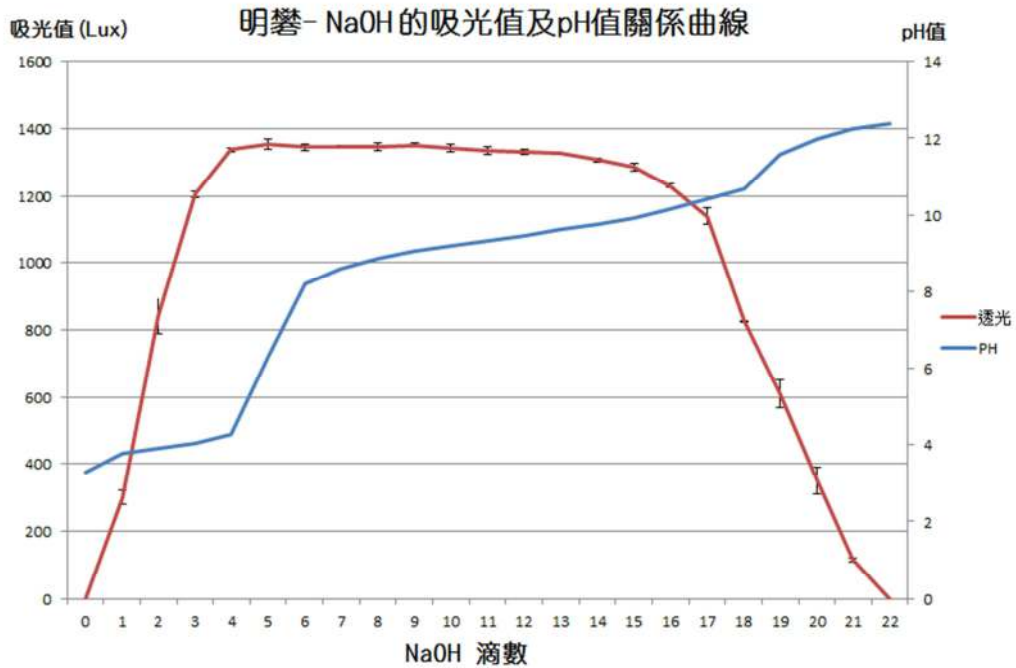


圖 11、以 NaOH 測出明礬沉澱 pH 值的關係

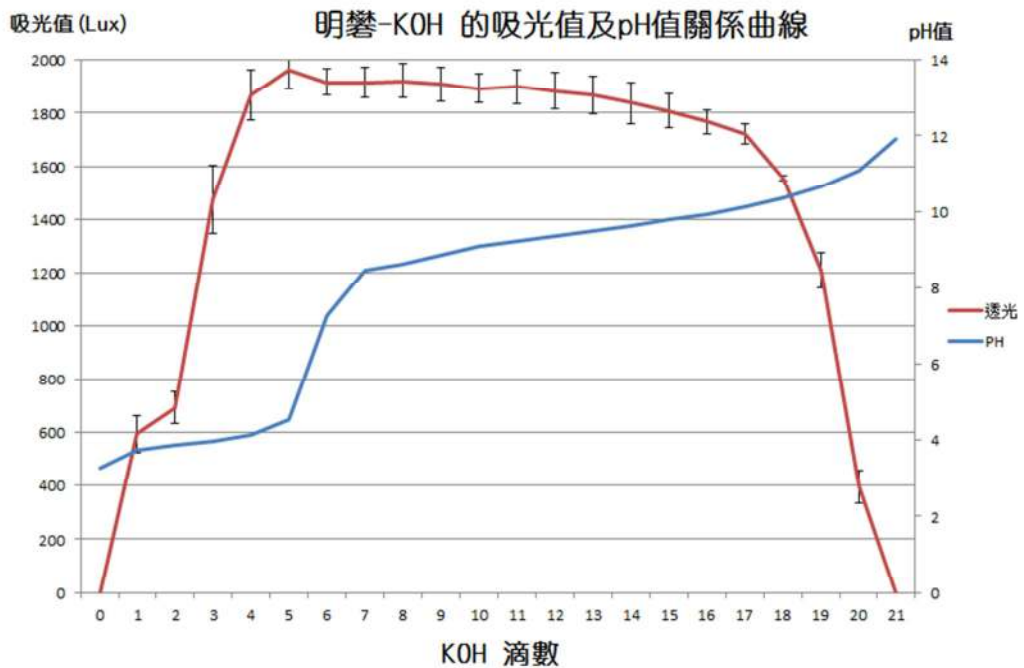


圖 12、以 KOH 測出明礬沉澱 pH 值的關係

七、分析低濃度明礬的沉澱曲線

1. 從實驗五得知當明礬濃度太低時(達到 0.01M 以下)，沉澱量變少，檢測難度增加。於是到衛生署的網站尋找食品中明礬添加量標準。但是很意外的衛福部對於食品中明礬的添加量並無明確規範。(直到 2014 年 6 月公告鉀明礬當作油炸膨脹劑，**鋁殘留量為 300mg/kg 以下**，這點我們會在【陸、討論】部分的第四點來詳細探討)
2. 因此利用市面的油條店家及網路上對於油條製作時明礬的添加量來計算明礬濃度：910 克的麵糰中含有 12.5 克的鉀明礬($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ；分子量：474.2)。如果取 10 克油條樣品，加入 10ml 水溶出明礬來分析。經計算明礬的莫耳濃度
$$M = \frac{\frac{12.5}{910} \times 10 \times \frac{1}{474.2}}{\frac{10}{1000}} = 0.0289\text{M} \approx 0.03\text{M}$$
以先前的實驗設計理論上可測得出來。
3. 針對推算的理論濃度前後、共 12 個濃度來實驗。發現當明礬濃度低於 0.03M 以下時沉澱量會較少。其餘的吸光值皆算穩定，可明確的觀察到沉澱的現象(圖 13)。

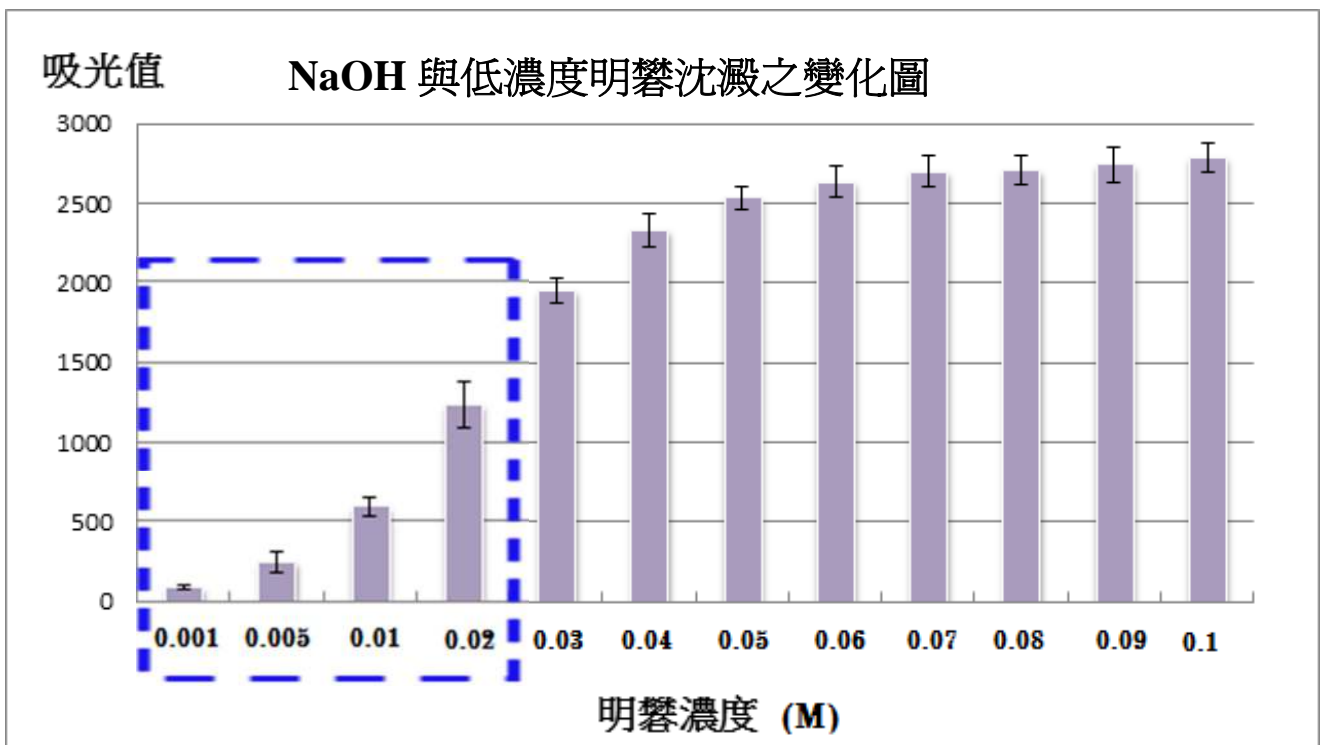


圖 13、NaOH 對低濃度明礬的沉澱檢測 (吸光值：Lux)

4. 實驗發現低濃度(0.03M 以下)明礬的沉澱不多，一旦取樣有誤差或是想測出更低濃度的明礬(期望能達到 0.001M 以下明礬濃度)，這個方法就有限制了。因此嘗試加入色素分析，希望能測出低濃度的明礬沉澱。

八、利用茜素紅色素染色分析

1. 因為低濃度的明礬沉澱不多，而且我們的目標是想要檢測市售油條明礬含量的十分之一以下，甚至更低的含量。於是想結合國中實驗室裡常見的指示劑進行檢測，發現茜素紅的變色效果最為明顯(圖 14、圖 15)。

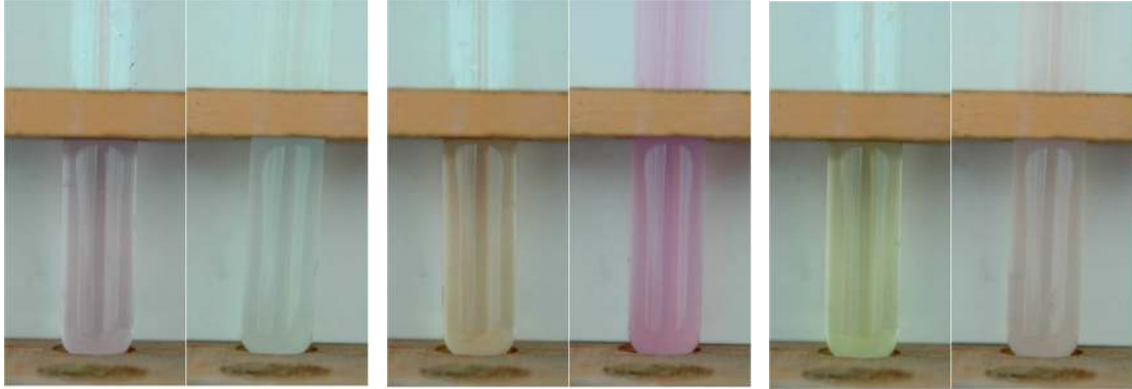


圖 14、(左)甲基紅變色情形 (中)茜素紅變色情形 (右)酚紅變色情形。

成色分析 左邊是酸性顏色，右邊加入 NaOH 呈鹼性顏色。

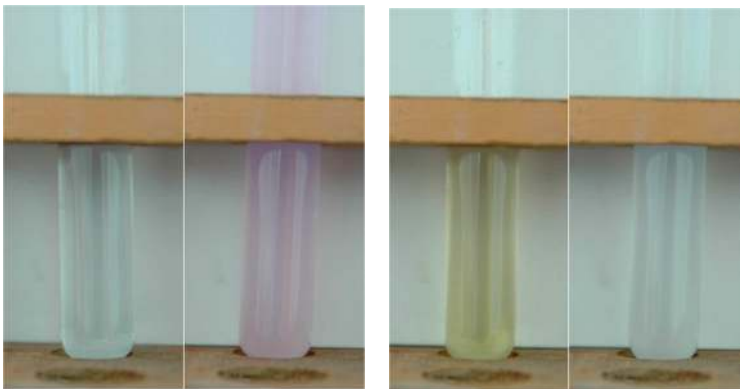


圖 15、(左)酚酞變色情形 (右)碘液變色情形。

2. 經查資料發現明礬可以和茜素紅產生紅色沉澱，所以再來加入茜素紅一起測吸光值，經過實驗後，發現 0.005M~0.0001M 的明礬對 NaOH 的滴數都能產生相同的圖形(圖 16)，表示兩者間有共通性。也發現只要滴兩滴 1M NaOH 後就有明顯沉澱，而且持續增加 NaOH 的量，吸光值也持續增加。
3. 發現實驗結果和之前的實驗有一致性，加入 6 滴 NaOH 可以測出最大吸光值，而且靈敏度極高，0.005M 這麼低濃度的明礬含量還有很高的吸光值，對照實驗五的 0.005M 吸光值，在峰值的部分提高約 2.5 倍。

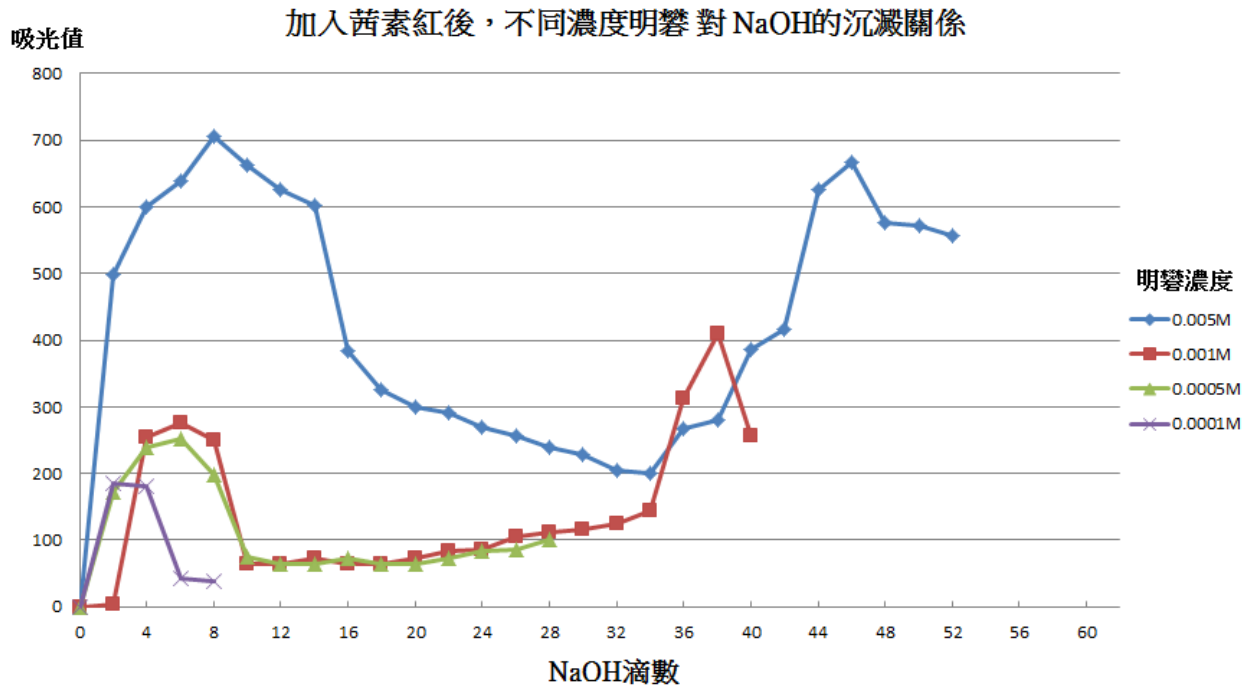


圖 16、分析茜素紅—明礬沉澱的吸光值曲線（吸光值：Lux）

4. 但是實驗又發現：一但 NaOH 加入過量，沉澱就會變少、溶液變澄清，且在低濃度的部分吸光值還是差異不大。這應該是和溶液的 pH 值從酸性變鹼性有關，OH⁻ 離子過多所導致的，所以我們嘗試以弱鹼性的 NH₄OH 取代 NaOH 來改良實驗。

九、分析過量 NH_4OH 使明礬沉澱消失的情形與 pH 值間的關係

1. 因為發現只要加入過量的鹼性溶液便會使明礬溶液變澄清，於是利用 pH 儀找出 NH_4Cl - NH_4OH 溶液中，明礬沉澱量與 pH 值的關係。
2. 過量的 NH_4OH 同樣會使得沈澱消失，但因為 NH_4OH 的鹼性弱，所以滴加了 100 多滴 NH_4OH 都不會使 pH 值產生明顯變化，但此時就可以產生最大的吸光值(圖 17)，與實驗六相較，滴加超過 4 滴 NaOH 就會導致 pH 值大幅改變相比，使用 NH_4OH 可幫助在低濃度明礬檢驗時有效控制加入的鹼性溶液的量，避免沈澱消失干擾實驗結果。

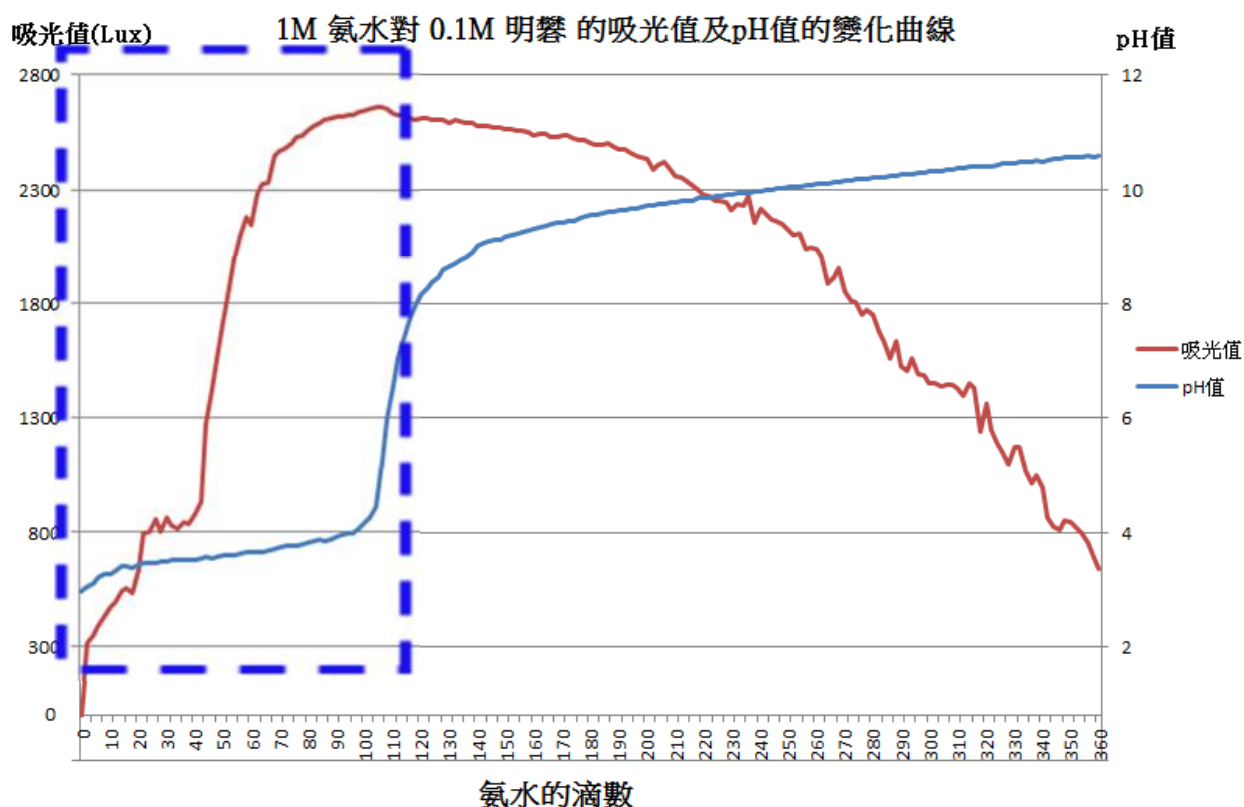


圖 17、以 NH_4OH 測出明礬沉澱 pH 值的關係

十、分析 $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{NH}_4\text{OH}$ 溶液與低濃度明礬的沉澱曲線

1. 我們希望可在家中或者是沒有分光光度計的情況下進行快速檢測，因此接下來嘗試使用 $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{NH}_4\text{OH}$ 溶液結合茜素紅色素來分析。
2. 發現原本 NaOH 在 0.005M 的吸光值就遠低於 500，加入茜素紅後提高吸光值到 700，改使用 $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{NH}_4\text{OH}$ 溶液，除了維持茜素紅增加吸光值測量的優點外，更大幅提高可加入分析的滴數，使得在進行低濃度檢測工作，較不易因瞬間增加過多的 OH^- 導致沉澱消失的狀況。
3. 我們嘗試將明礬濃度再向下降低，看是否可以達到足以檢測的吸光值，濃度降到 $1 \times 10^{-4}\text{M}$ ，仍可測量到 500~600 的吸光值，比原本使用 NaOH 搭配茜素紅進行檢測，吸光值要高出 2.5 倍(圖 18)。代表我們使用 $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{NH}_4\text{OH}$ 溶液在低濃度明礬檢測部分，可以比 NaOH 控制到產生更明顯的沈澱，在低濃度明礬的檢測上是有利的。

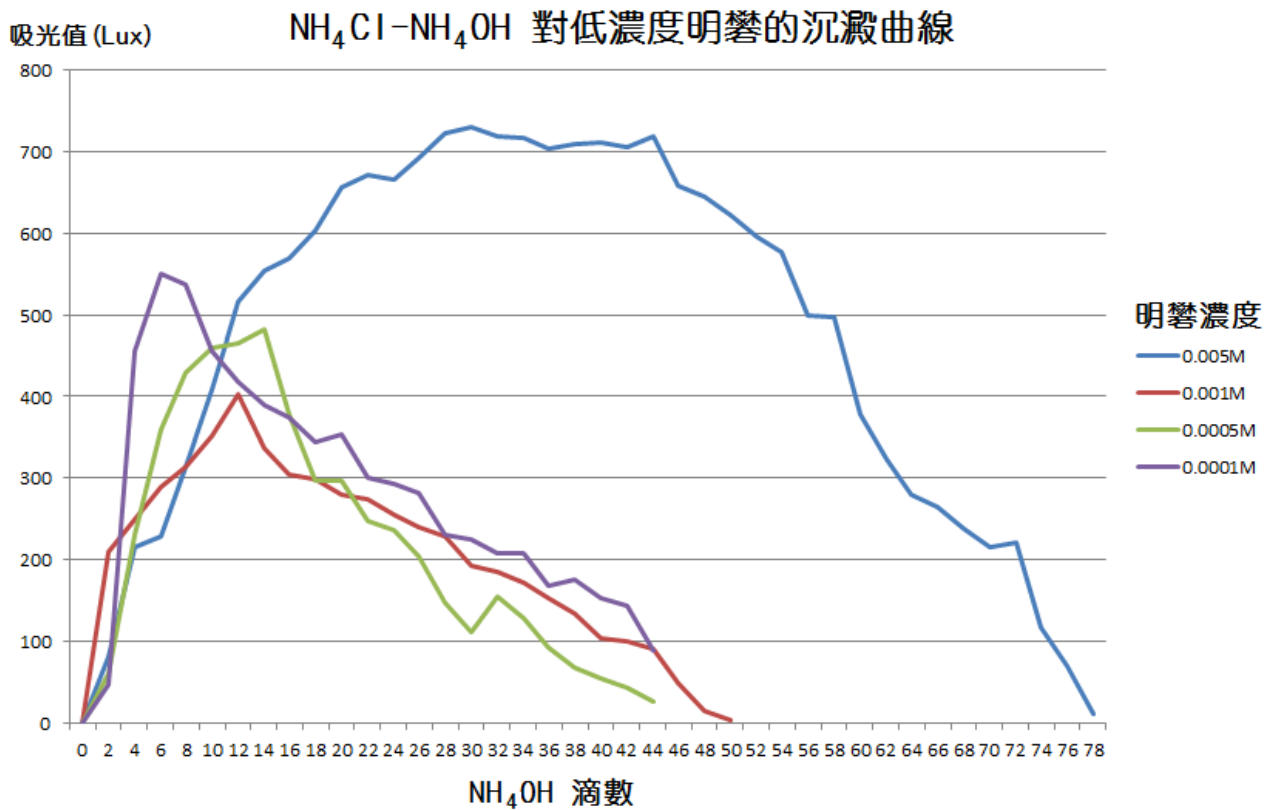


圖 18、 $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{NH}_4\text{OH}$ 溶液對低濃度明礬的沉澱檢測 (吸光值: Lux)

十一、分析 $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{NH}_4\text{OH}$ 溶液與各濃度明礬的沉澱情形

1. 實驗得知利用茜素紅色素可讓明礬在低濃度時便能有明顯的顏色改變，接下來檢測各種不同濃度下茜素紅的變色情形。
2. 將 1×10^{-1} 、 5×10^{-2} 、 1×10^{-2} 、 5×10^{-3} 、 1×10^{-3} 、 5×10^{-4} 、 1×10^{-4} M 七種濃度的明礬加入 3ml NH_4Cl 、1ml NH_4OH 後發現除了 1×10^{-1} 、 5×10^{-2} M 這兩個濃度稍微有白色混濁之外其餘都是澄清透明(圖 19)。

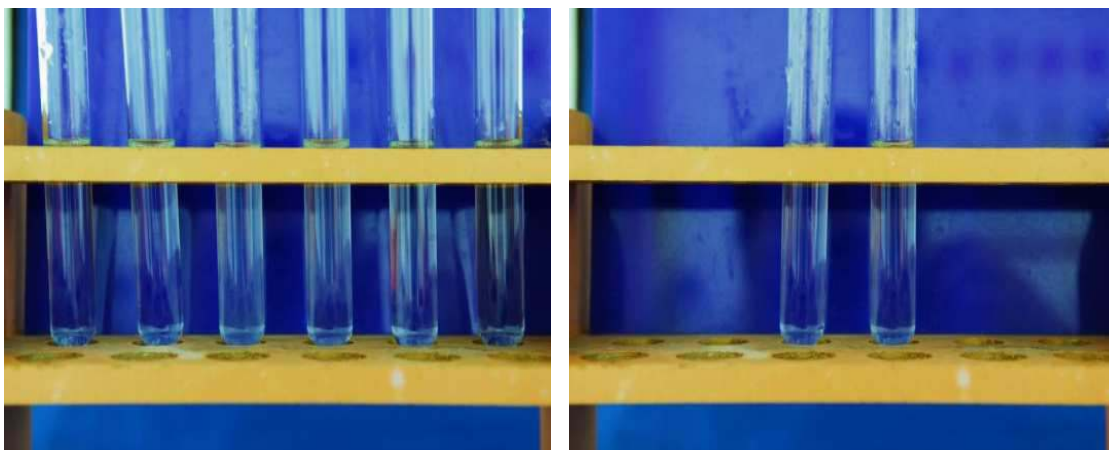


圖 19、從左至右濃度為 1×10^{-1} 、 5×10^{-2} ~ 5×10^{-4} 、 1×10^{-4} M，最右邊為對照組。

3. 接著每根試管再加入兩滴的茜素紅可以發現：高濃度明礬顏色呈黃色、低濃度明礬顏色呈紫色(圖 20)。推測第五根試管濃度 1×10^{-3} M 的明礬加入 1ml NH_4OH 變已經呈現鹼性了。

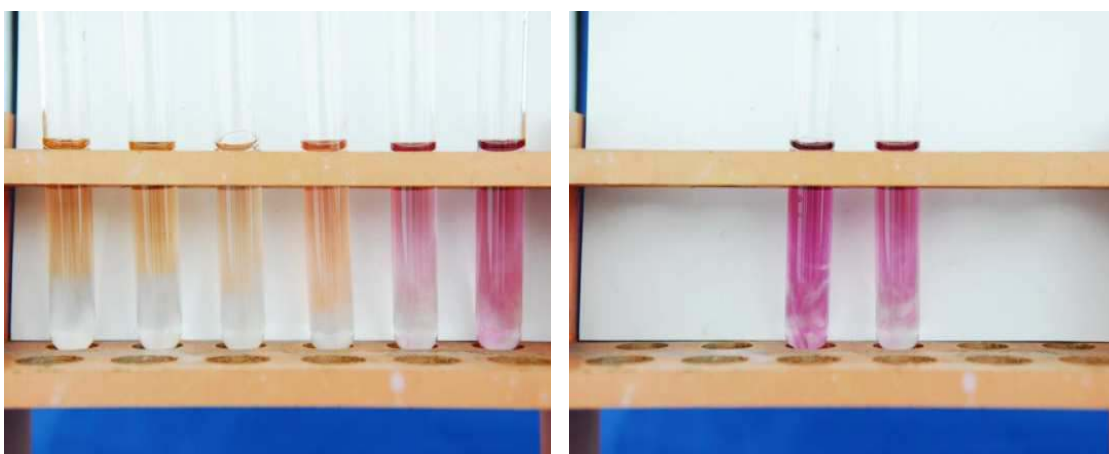


圖 20、從左至右濃度為 1×10^{-1} 、 5×10^{-2} ~ 5×10^{-4} 、 1×10^{-4} M，最右邊為對照組。

4. 接著每根試管再加入 2ml NH_4OH (共 3ml NH_4OH)後發現:(圖 21)

- (1)前三根試管 1×10^{-1} 、 5×10^{-2} 及 $1 \times 10^{-2} \text{M}$ 的明礬呈現黃色、並有白色混濁沉澱。黃色及膠狀沉澱量隨濃度降低而遞減。
- (2)中間兩根試管 5×10^{-3} 及 $1 \times 10^{-3} \text{M}$ 的明礬開始從橘色變粉紅色、並有紅色沉澱。橘色及紅色沉澱量隨濃度降低而遞減。
- (3)後兩根試管 5×10^{-4} 及 $1 \times 10^{-4} \text{M}$ 的明礬呈現紅色、並且慢慢澄清。和最右邊的對照組顏色接近。

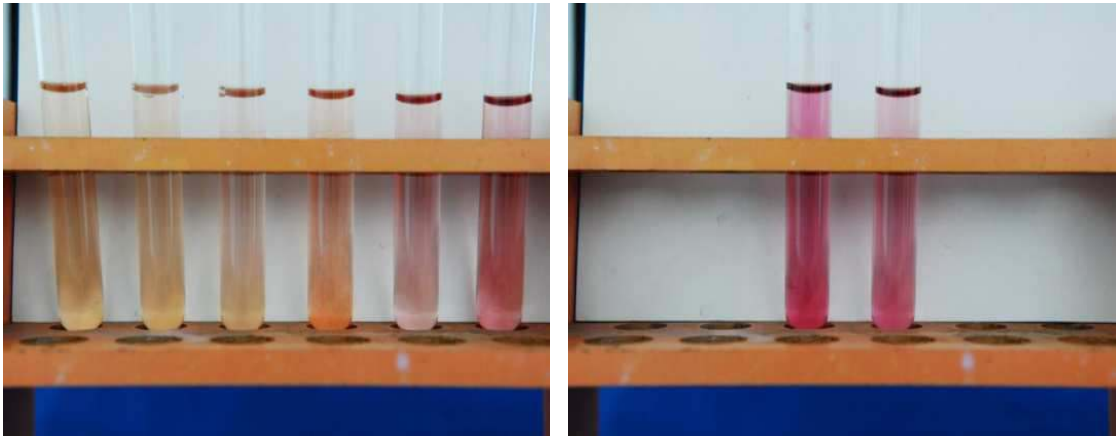
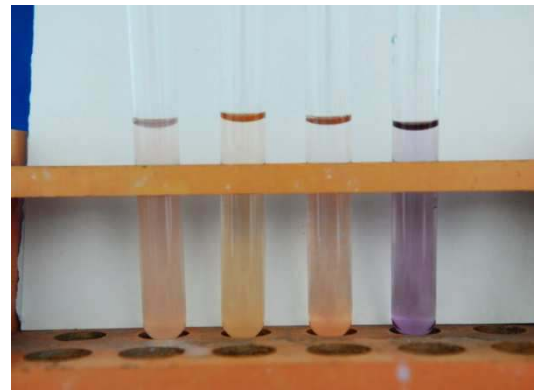


圖 21、從左至右濃度為 1×10^{-1} 、 5×10^{-2} ~ 5×10^{-4} 、 $1 \times 10^{-4} \text{M}$ ，最右邊為對照組。

4. 接著將試管搖晃混合均勻後發現:

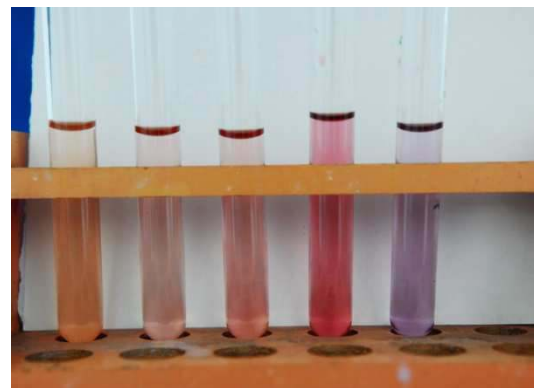
- (1)前三根試管 1×10^{-1} 、 5×10^{-2} 及 $1 \times 10^{-2} \text{M}$ 的明礬因為膠狀沉澱變多導致黃色變淡、變混濁，但是和最右邊的紫色對照組比較有明顯區別(圖 22)。

圖 22、從左至右濃為 1×10^{-1} 、 5×10^{-2} 及 $1 \times 10^{-2} \text{M}$ ，最右邊為對照組。



- (2)後四根 5×10^{-3} 、 1×10^{-3} 、 5×10^{-4} 、 $1 \times 10^{-4} \text{M}$ 四種濃度的明礬開始從橘色變粉紅色、橘紅色沉澱量隨濃度降低而變少、變澄清、顏色和最右邊的紫色對照組比較有明顯區別(圖 23)。

圖 22、從左至右為 5×10^{-3} 、 1×10^{-3} 、 5×10^{-4} 及 $1 \times 10^{-4} \text{M}$ ，最右邊為對照組。



十二、比較自製油條及市售油條的明礬檢測

1. 依據之前實驗的結果，我們採用 $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{NH}_4\text{OH}$ 溶液搭配茜素紅試劑進行市售油條的檢驗。
2. 按照網路上的資料於實驗室中做了加明礬的油條，並買來市售的油條，各取 10 克樣品搗碎，加入 10 ml 的水攪拌、溶解，再以 4000 rpm 進行離心，抽出上層水溶液(圖 23)。



圖 23、將油條搗碎、加水溶出、高速離心後，抽出上層澄清液的過程。

3. 將試液加入 $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{NH}_4\text{OH}$ 溶液，再用茜素紅做檢測、比較(圖 24、圖 25)。

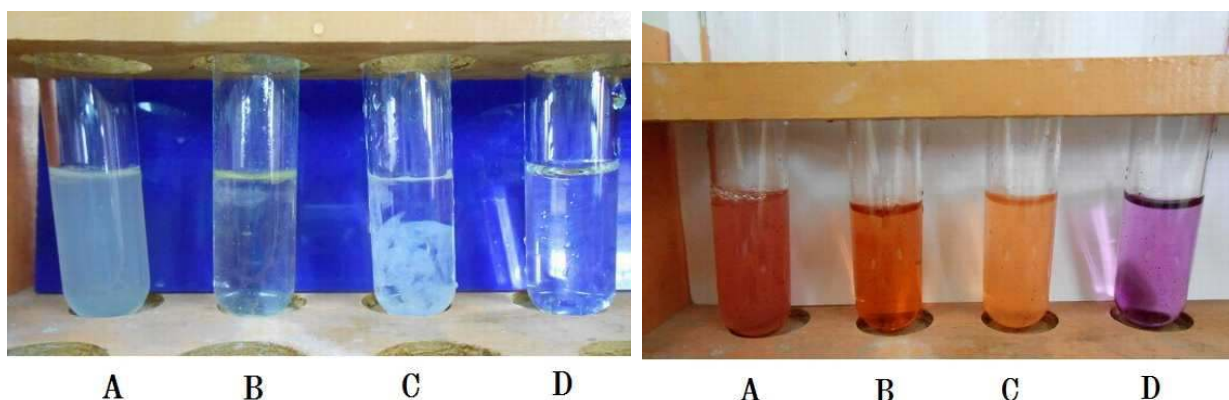


圖 24、先加入 $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{NH}_4\text{OH}$ 溶液。

圖 25、接著再加入茜素紅反應。

A：自製油條； B：市售油條； C：0.005M 明礬溶液； D：無明礬(對照組)

4. 從以上實驗可得知，當明礬產生白色沉澱後，再滴入茜素紅色素便會產生黃色反應。沒有含明礬的對照組則呈現紫色反應。效果非常顯著，很容易判斷。這就是我們測試出來一種可以快速篩檢食物中明礬含量的檢測法。

陸、討論

一、剛開始和老師討論到這個主題時，老師要我們先想一想要如何設計實驗來檢驗食物中的明礬。我們馬上想到理化課學過鹼土金屬會跟硫酸根或碳酸根形成白色沉澱。所以馬上想到用 CaCl_2 、 MgCl_2 、 BaCl_2 等來試試看。果然明礬一遇到這些化合物便產生白色沉澱，尤其是 BaCl_2 和明礬的沉澱反應非常靈敏。但是老師卻點出這方法會有疑慮：因為 Ba^{2+} 會和 SO_4^{2-} 產生硫酸鋇白色沉澱。



而食物中也含有 SO_4^{2-} 離子，所以如果根據白色沉澱量來回推明礬的含量是會產生高估的現象，所以這方法有待修正。

二、從實驗六的結果發現當 pH 值在 4 以下沉澱非常快速， $\text{pH}=4\sim 10$ 沉澱穩定，pH 超過 10 沉澱消失(圖 26)。經查資料發現，明礬所產生的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 是兩性化合物，具有可與酸及鹼反應的特性。剛開始設計實驗時便知道明礬溶液加入過多的硫酸會導致沉澱消失，所以才利用鹼性溶液來做實驗，沒想到在鹼性溶液也會產生這種現象。

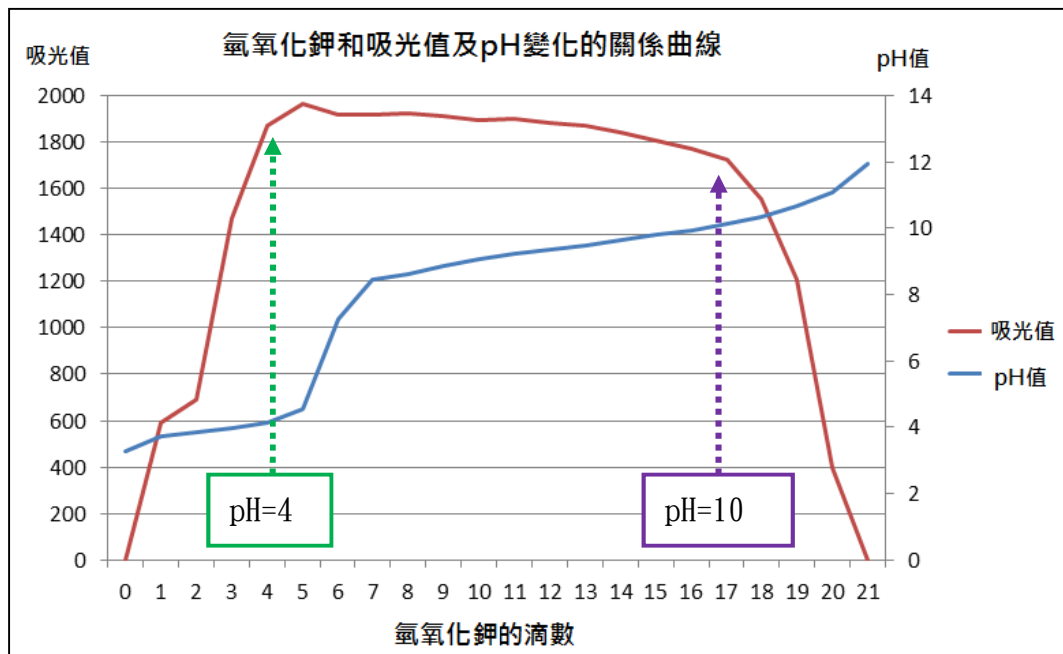
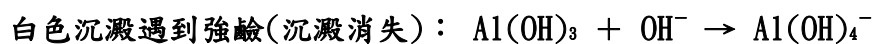
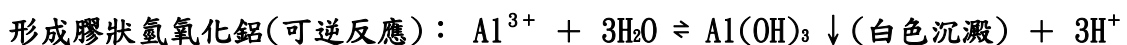


圖 26、KOH-明礬沉澱吸光值及 pH 值的關係

經資料查閱後找到這些反應的關係：



當我們加入過量強鹼後，會使白色沉澱的氫氧化鋁 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 形成四羥基合鋁酸鹽 $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ 溶於水而消失。

三、仔細觀察明礬的吸光值—pH 關係圖，發現 pH 曲線有兩段跳躍情形。第一段在 pH=4~8 時產生大跳躍，第二段在 pH=10~11 時有小跳躍(圖 27)。

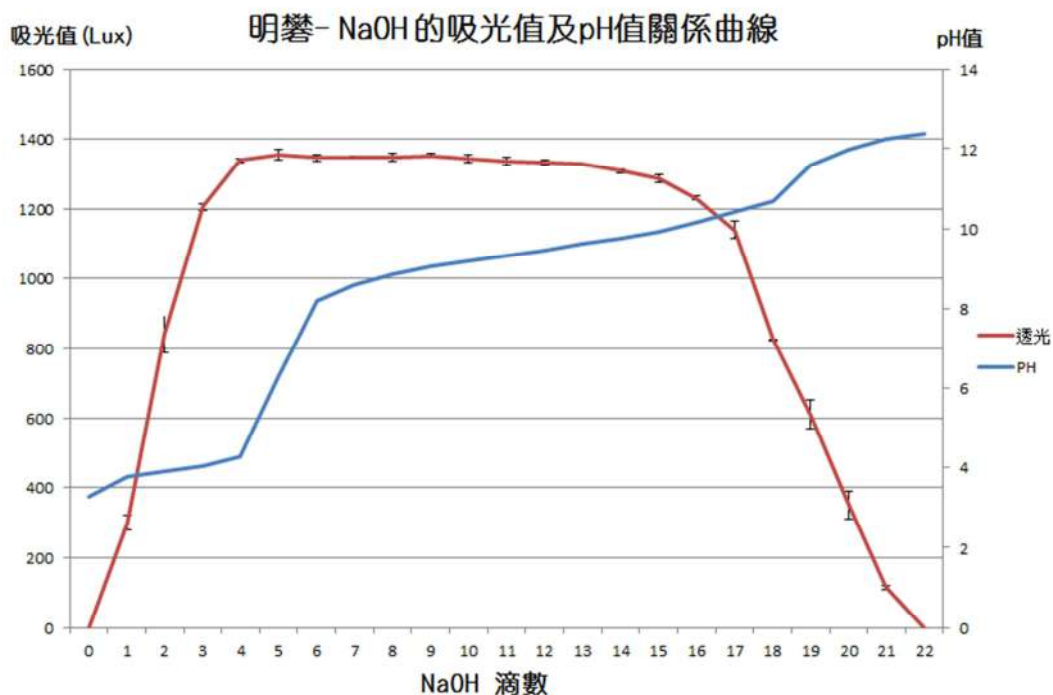
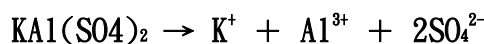
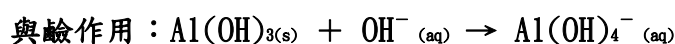


圖 27、NaOH-明礬沉澱吸光值及 pH 值的關係

我們推測這可能是因為明礬加水分解就會產生 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 。



$\text{Al}(\text{OH})_3$ 兩性物質，既可與酸反應也可與鹼反應：



在一開始在未加入 NaOH 之前，明礬溶液測出來是 pH=3 酸性，是因為明礬解離產生 Al^{3+} ，再與水反應產生 H^+ 。接著持續滴加 NaOH 中和溶液中的 H^+ ，一旦 H^+ 完全被中和後，再滴加入的 NaOH 解離，使得溶液中 $[\text{OH}^-] > [\text{H}^+]$ 而迅速呈現鹼性，導致實驗圖形上第一段 pH 值急遽改變。再來因為 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 與 OH^- 作用，將 OH^- 消耗掉，當 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 消耗到一定程度時，無法再消耗掉過多的 OH^- ，因此造成第二段在 pH=10~11 時的小跳躍。

四、起初使用 NaOH 進行檢測，但在發現低濃度(0.03M 以下)明礬的沉澱不多，研判應是第二點討論結果， $Al(OH)_3$ 溶在過量的鹼中，造成吸光值過低，不易檢測，後來改使用鹼性較弱的 NH_4OH ，但在低濃度仍是容易滴加過量鹼造成沈澱消失的問題。但發現在明礬溶液中加入 NH_4Cl 卻可解決此困難。經過查詢發現 NH_4Cl 與 NH_4OH 在水中同時各自進行解離：



兩者均產生 NH_4^+ 離子，加上 NH_4Cl 為可溶鹽類，因此 NH_4Cl 提供大量的 NH_4^+ 離子，造成 NH_4OH 解離產生的 OH^- 離子減少，藉由共同離子效應達到抑制 OH^- 離子的目的，讓造成變化的滴數量增加(圖 28、圖 29)，使我們在低濃度明礬的檢測可更精確。

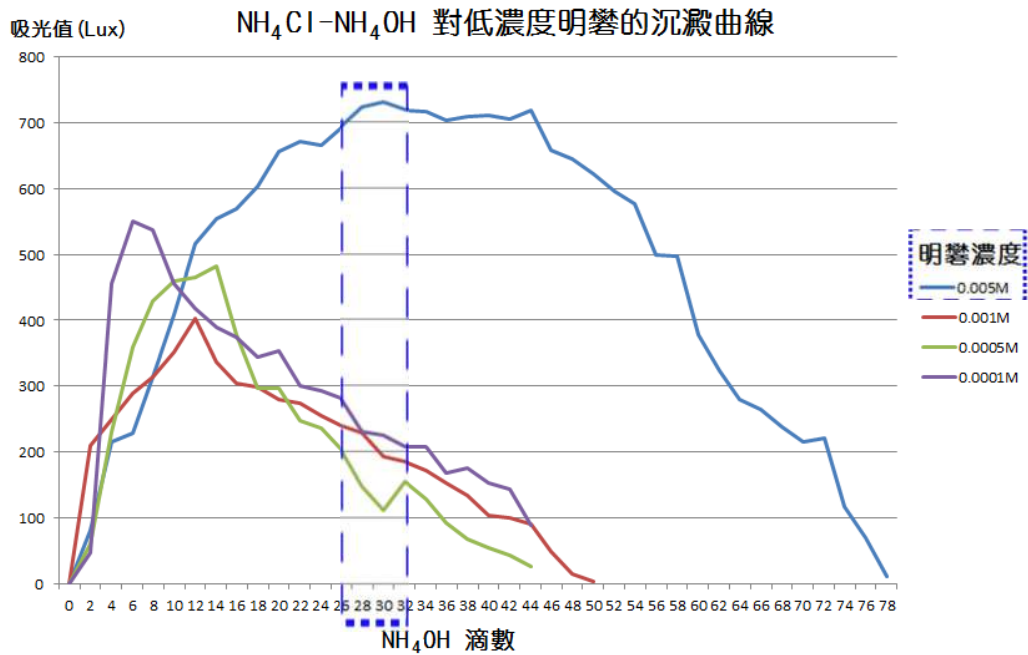


圖 28、 NH_4OH 在 0.005M 明礬溶液中，達最大吸光度所加入滴數

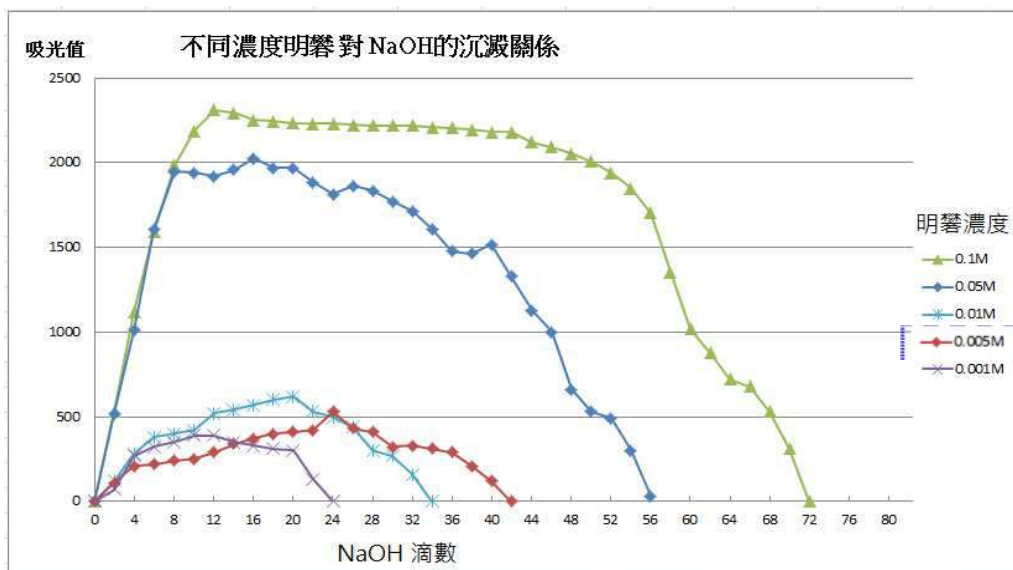


圖 29、NaOH 在 0.005M 明礬溶液中，難以與誤差判別

五、實驗八中發現茜素紅在酸性時呈現黃色，當加入 NH_4OH 時會變成紅色，如果持續滴加過量的 NH_4OH ，最後會呈現紫色。而我們以自製分光光度計測量時，會發現一開始明礬沉澱有最大吸光值，但是當加入的 NH_4OH 增加，沉澱慢慢消失，所以吸光值也慢慢降低，但是當加入過量的 NH_4OH 時，因為顏色變成深紫色，所以吸光值又增加了(圖中的第二個波峰)，這不是明礬沉澱造成的，是顏色造成吸光值增加的(圖 30)。

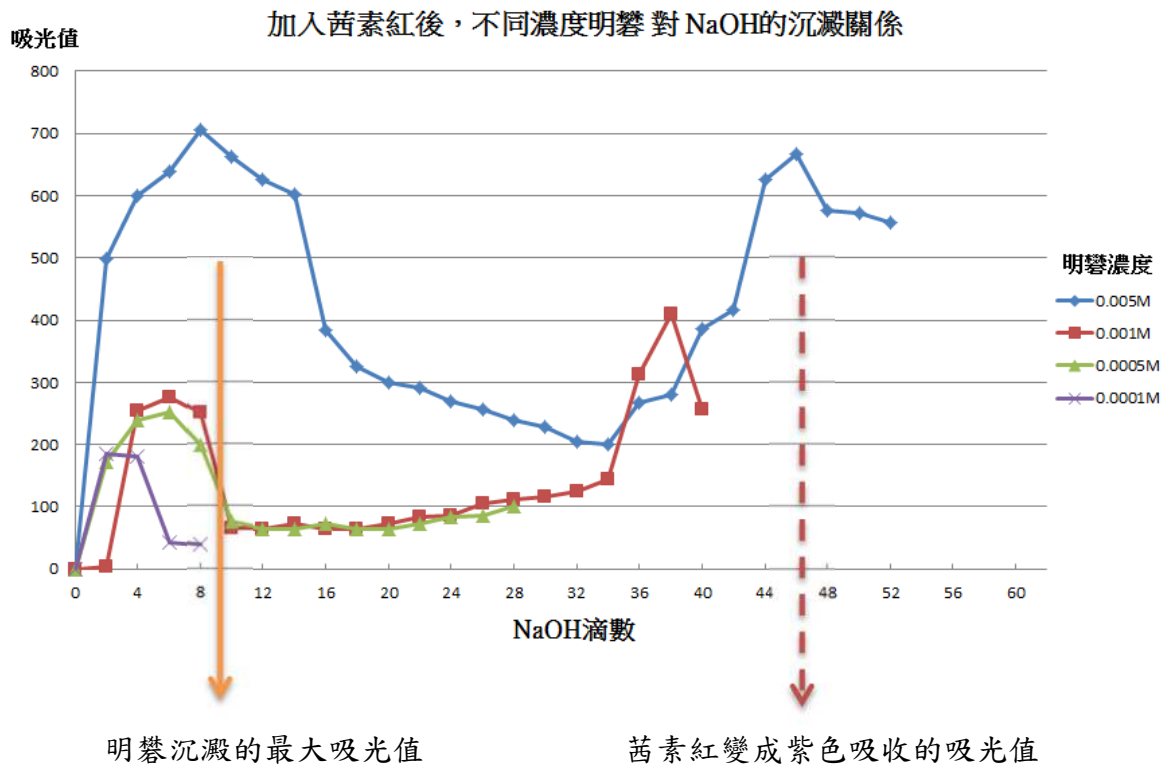


圖 30、低濃度明礬沉澱吸光值曲線

六、我們是從 2013 年 8 月暑假開始這主題實驗，一開始我們上衛福部網站搜尋政府對於食物中明礬含量的規定，但是都遍尋不到。於是我們只好轉而搜尋網路上各部落格記載及詢問市面上豆漿店的油條配方製法，然後計算明礬的莫耳濃度。

原料：麵粉 500 克、明礬 12.5 克、麵鹼 14.5~15 克、精鹽 10~12 克、溫水 370 克，麵團共 910 克，明礬佔了 12.5 克，因此：

$$M = \frac{\frac{12.5}{910} \times 10 \times \frac{1}{474.2}}{\frac{10}{1000}} = 0.0289M \doteq 0.03M$$

，推算明礬濃度為 **0.03M**。

當明礬濃度是 0.03M 時，鋁離子的殘留量計算：

(明礬 $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ，分子量=474.2，Al 原子量：27)

12.5g 明礬中，Al 的含量為：

$$12.5 \times \frac{27}{474.2} = 0.71g$$

910g 麵團中所含 Al 的濃度為：

$$\frac{\frac{0.71}{910}}{\frac{1000}{1000}} = 0.65 \frac{g}{kg} = 650 \frac{mg}{kg}$$

計算得到市面油條中所含的明礬濃度為 0.03M，所以後來設計的實驗一直以 0.03M~0.05M 的濃度為基礎，並持續挑戰要能測出更低濃度的明礬。

到了 2014 年 7 月上網搜尋資料的時候，發現衛服部 2014 年 6 月公告明礬當作油炸膨脹劑時，鋁殘留量要在 300mg/kg 以下。再重新計算油條中明礬的添加量標準：

添加多少明礬的 Al 含量為 0.3g：

$$0.3g = \frac{27}{474.2} \times X, X=5.27g$$

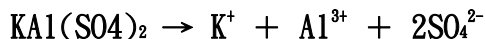
推導出明礬濃度：

$$\frac{\frac{5.27}{1000} \times 10}{\frac{474.2}{10}} = 0.011M$$

重新計算得到市面油條中所含的明礬規定容許濃度為 0.011M 以下，幸好我們的實驗設計一直不以測出 0.03M 濃度為滿足，而是要挑戰測出 0.005M。甚至當以茜素紅染色之後能達到 0.001M 以下的濃度檢測，這已經是法規的十分之一濃度了。(而且在實驗十一的檢測是能達到 0.0005M 的濃度，是法令規定的 22 倍靈敏度！)

柒、結論

- 一、最初我們嘗試以 BaCl_2 讓明礬產生白色沉澱，此反應很快速、靈敏，只要加入少量便能呈現明顯沉澱反應：



再利用自製分光光度計(圖 31)進行分析，希望經由建立標準吸光值後，反推出未知濃度的明礬。但是這方法有個缺點，就是如果食物中含有大量的硫酸根或碳酸根就會跟 Ba^{2+} 產生沉澱影響明礬濃度的判斷。若能排除這因素，這是一個非常簡易又快速的方法。



圖 31、自製分光光度計

- 二、我們測試出明礬在鹼性環境下會產生白色絮狀沉澱(圖 32)。但是實驗時發現 NaOH 加過量會導致沉澱消失。反覆做了多次實驗確認這情形是常態，而後續以 pH 儀監測整個鹼性溶液滴加過程發現：pH 達到 4 以上時沉澱趨緩、pH 值超過 10 以上沉澱開始變少，當 pH 值超過 12 後又恢復澄清狀態。這是因為當溶液中的 NaOH 增加時，原本沉澱的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 會和 NaOH 產生鋁酸鈉 $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ ，而讓沉澱減少，反應如下所示。這也是明礬常用來當作制酸或制鹼溶液用途的地方。

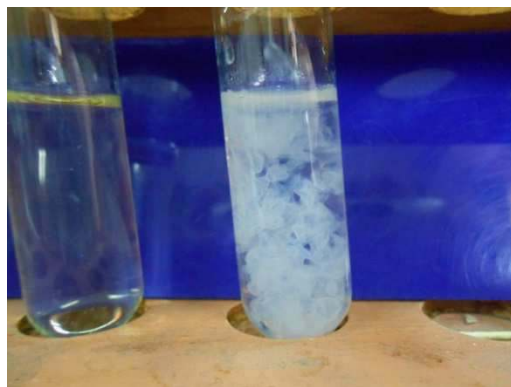
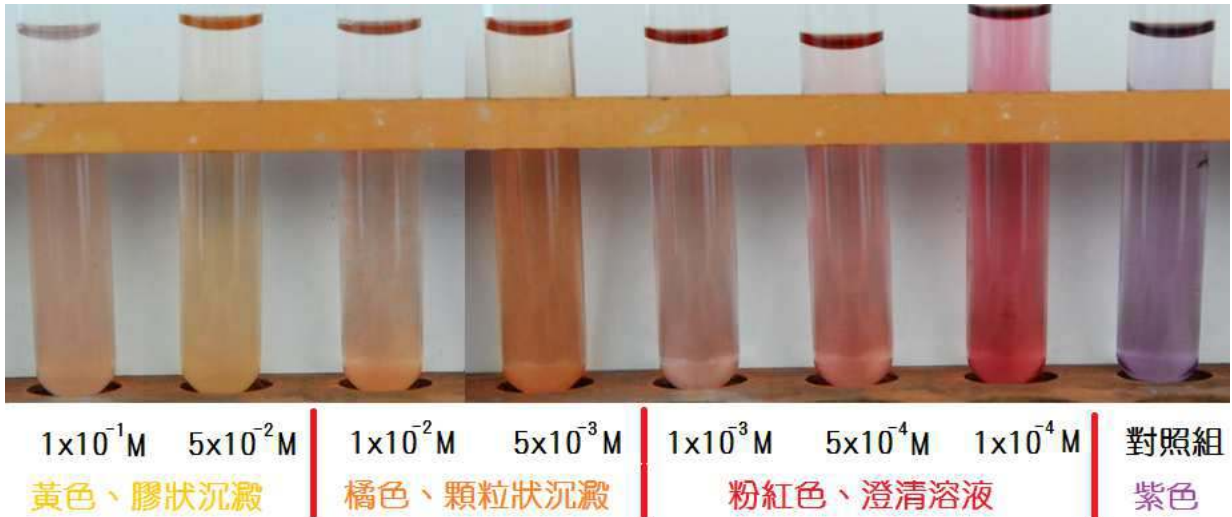


圖 32、明礬白色絮狀沉澱

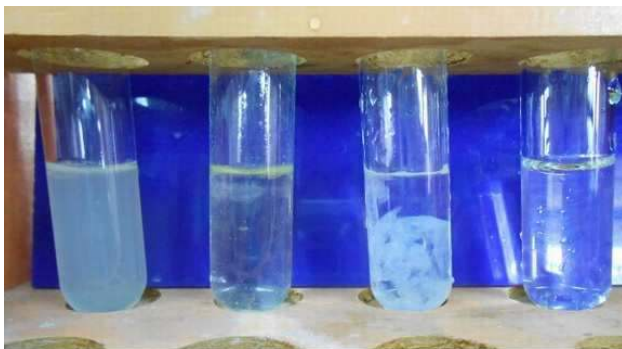


- 三、我們結合實驗十及十一的結果，發現只要加入足量 NH_4OH ，達到一定的 pH 值及茜素紅色素便可以得到明顯的顏色變化。而我們將建立了一個明礬濃度梯度及顏色關係圖(如下頁圖 33)後，只要拿到一個未知濃度的樣品加入檢測試劑，然後對照標準顏色圖表便能推出明礬的濃度範圍。這是一個非常簡易的測量方法。讓我們可只【以幾元的試劑便能輕易測出食品中明礬添加物是否過量】。

圖 33、茜素紅-明礬濃度梯度顏色及沉澱 參照圖



四、如果了解我們買到的食物中是否加了明礬這種添加物，經由實驗十二得到驗證，只要利用調配好的 $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{NH}_4\text{OH}$ 溶液加上茜素紅色素，便能經由顏色變化快速的檢測出來。原本肉眼都很難辨識出低濃度明礬溶液的沉澱，只要滴加茜素紅色素，發現顏色變成紅色，就能馬上判斷這食物中是含有明礬存在的。而且可以推測出明礬的濃度範圍(圖 34、圖 35)。



A B C D

圖 34、先加入 $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{NH}_4\text{OH}$ 溶液。



A B C D

圖 35、接著再加入茜素紅反應。

A：自製油條；B：市售油條；C：0.005M 明礬溶液；D：無明礬(對照組)

實驗十二的市售油條檢測，對照上圖 30 的顏色參照圖推測：A 試管明礬濃度在 $5 \times 10^{-4} \text{M}$ ；B 試管明礬濃度在 $1 \times 10^{-4} \text{M}$ ；而 C 試管濃度檢測符合 $5 \times 10^{-3} \text{M}$ 的顏色，D 試管為對照組，所以這方法確實可行(圖 34、圖 35)。

五、我們以上述的試劑組合【 $1\text{M NH}_4\text{Cl}$ 、 $1\text{M NH}_4\text{OH}$ 溶液+茜素紅色素】能檢測市售食品添加物～明礬，濃度低到 $5 \times 10^{-4} \text{M}$ 。保守估計能將明礬檢測靈敏度提高到法令規定的 22 倍($0.011\text{M}/0.0005\text{M}=22$)。其實經由多次實驗測試，我們甚至能檢測明礬濃度低達 $1 \times 10^{-4} \text{M}$ 的濃度，是法令規定的 100 倍以下呢！

捌、參考資料及其他

一、普通化學，Mortimer 著，第五版。

二、食品化學，林清騫、黃文哲、廖添旺 編著，文昌出版社，第七版。

三、維基百科－氫氧化鋁 [http:](http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B0%A2%E6%B0%A7%E5%8C%96%E9%93%9D)

[//zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B0%A2%E6%B0%A7%E5%8C%96%E9%93%9D](http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B0%A2%E6%B0%A7%E5%8C%96%E9%93%9D)

四、維基百科－明礬

<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%98%8E%E7%9F%BE>

五、維基百科－鋁酸鈉

<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%93%9D%E9%85%B8%E9%92%A0>

六、衛生福利部食品藥物管理署 [http:](http://www.fda.gov.tw/TC/siteList.aspx?pn=42&sid=1798)

[//www.fda.gov.tw/TC/siteList.aspx?pn=42&sid=1798](http://www.fda.gov.tw/TC/siteList.aspx?pn=42&sid=1798)

七、外國：化學門戶網站 Chemical Portal WebQC.org

[http://www.webqc.org/balance.php?reaction=KAl\(SO4\)2*12H2O+%2B+NH4Cl+%2B+NH3+%3D+Al\(OH\)3+%2B+KCl+%2B+\(NH4\)2SO4+%2B+H2O+](http://www.webqc.org/balance.php?reaction=KAl(SO4)2*12H2O+%2B+NH4Cl+%2B+NH3+%3D+Al(OH)3+%2B+KCl+%2B+(NH4)2SO4+%2B+H2O+)

【評語】 030211

以簡單控制鋁化物的沉澱吸光值來檢測食物中之明礬含量。探討氫氧化鈉含量對檢測之最佳條件，避免錯合物之形成以及以顏色變化來反應量的不同，都是很好的構思，並能以實驗結果完整呈現，具實用價值。