

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 化學科

探究精神獎

030212

膠碘方程式

學校名稱：臺南市私立興國高級中學(附設國中)

作者：  國三 蔡旻翰  國三 吳宗恩  國二 林昀臻	指導老師：  黃淑芬
---	------------------

關鍵詞：聚乙烯醇、硼酸與碘液、吸光度

## 摘要

自製的簡易光度計「方」「程式」，是以大小「方」形積木，組合成合適的反應系統，運用智慧型手機內的感光元件，搭配科學日誌 App 軟體裡的照度計，或與硬體 Arduino 「程式」來控制光源或感測元件，測量硫代硫酸鈉與鹽酸反應終了的光度變化，替代以肉眼目視的缺點，也可測定不同濃度的硫酸銅溶液與有色的果汁溶液，均可以有一定的參考依據。「膠碘」溶液：聚乙烯醇-硼酸-碘液系統，會使溶液呈現藍色，PVA 濃度太濃時會有結塊情形；5%硼酸體積若低於整體體積約 20%，將導致溶液沒辦法顯色；但 0.0125 M 碘液體積可以減量到整體體積的 3%都還能顯現藍色。我們可以用 PVA-硼酸代替澱粉，在丙酮的碘化反應中，當作判斷反應終了之指示劑。

## 壹、研究動機

前陣子網路上很瘋迷製作史萊姆，只要膠水與硼砂，就可以做出非常有趣的科玩，這引起了我們的興趣。進一步想找找史萊姆可否有其他更有生活化的應用，在偶然測試時，添加了  $KI/I_2$  到史萊姆，意外發現了原本透明無色的史萊姆出現了像 iPhone 玫瑰金的顏色，令我們非常驚訝，就想以膠水(聚乙烯醇)與碘來繼續探究這相關的實驗，並結合手機裡的 App 或 Arduino 來做為測量的相關工具。

## 貳、研究目的

本作品主要是利用智慧型手機搭配測量用 App 或 Arduino 搭配光敏電阻來做簡易光度計，進一步以此為工具，測量聚乙烯醇(polyvinyl alcohol, PVA)與硼酸形成的交聯物與碘產生藍色的反應，可以替代澱粉做為指示劑。探討的變因有 PVA 種類與濃度、碘液種類與濃度、硼酸水溶液濃度等，找尋最佳條件後，再運用到以澱粉為指示劑之相關實驗中。

- 一、 利用手機 Sci Journal App 或 Arduino 做簡易照度測量，應用在國中理化的實驗中。
- 二、 結合手機 Sci Journal App 或 Arduino，自製簡易光度計，測量不同溶液的吸光值。
- 三、 找尋最佳使用 PVA 種類、硼酸溶液所需之最低濃度，最小用量。
- 四、 探討聚乙烯醇-硼酸-碘液三種溶液加入順序的影響。
- 五、 探討聚乙烯醇-硼酸-碘液三種溶液之間比例的影響。
- 六、 利用此配方進行丙酮碘化反應的速率。
- 七、 利用此方法測量日常生活用品中是否含有 PVA。

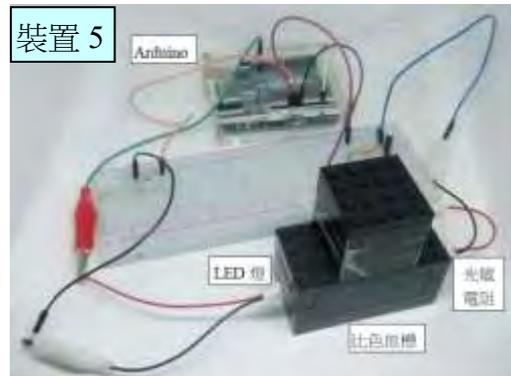
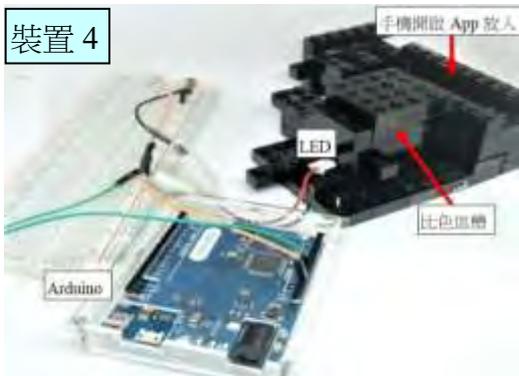
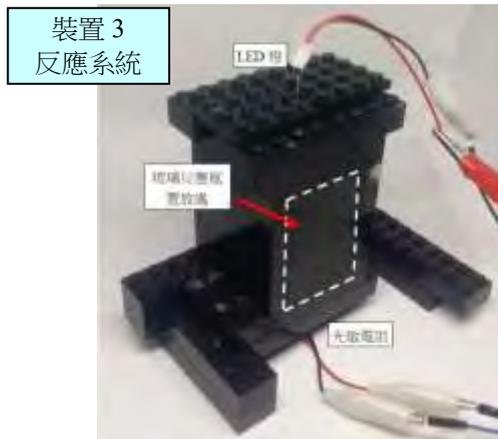
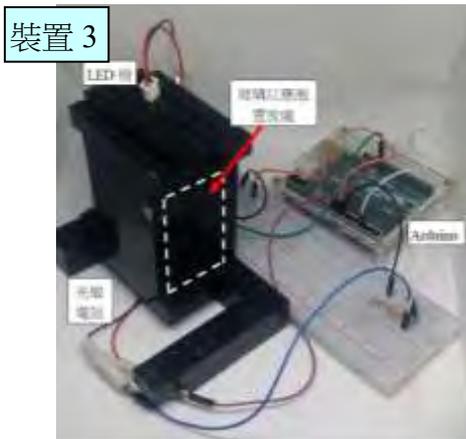
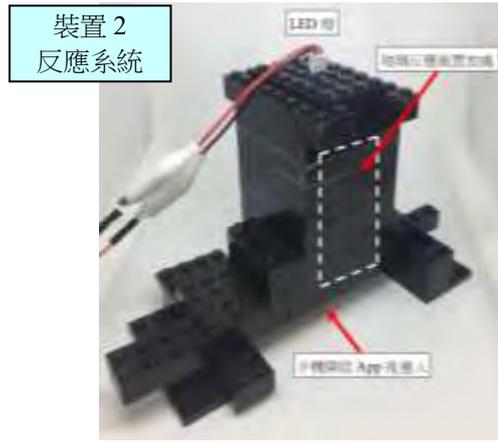
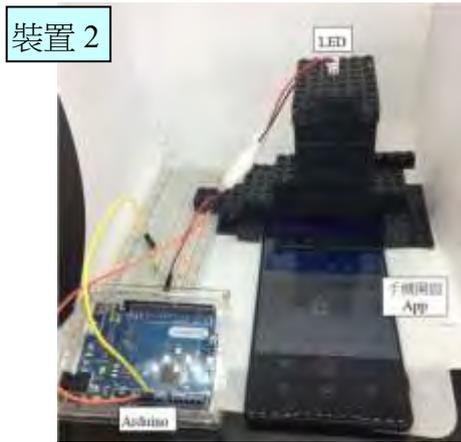
## 參、研究設備及器材

### 一、研究器材

配製藥品	燒杯、刮勺、精密天平、加熱攪拌器、攪拌子、吸量管、安全吸球、量瓶			
實驗進行	塑膠試管、玻璃比色管、試管架、滴管、玻璃瓶			
測量裝置 (見圖(一))	(一) 自製簡易光度計裝置測量硫代硫酸鈉與鹽酸反應：			
		光源	反應系統	偵測
	裝置 1	室內自然燈光	20 mL 玻璃瓶	手機搭配 Sci Journal App
	裝置 2	Arduino 提供 LED 燈源	黑色樂高(Lego)積木盛裝玻璃反應瓶與手機置放架	手機搭配 Sci Journal App
	裝置 3	Arduino 提供 LED 燈源	黑色 Lego 積木盛裝玻璃反應槽	Arduino 光敏電阻測定電壓值
	(二) 自製簡易光度計裝置測量有色溶液：			
	光源	反應系統	偵測	
裝置 4	Arduino 提供 LED 燈源	黑色 Lego 積木比色管槽與手機置放架	手機搭配 Sci Journal App	
裝置 5	Arduino 提供 LED 燈源	黑色 Lego 積木比色管槽	Arduino 光敏電阻測定電壓值	
其他	光源(LED 黃、紅、藍、綠與白光)、電阻、光敏電阻、Arduino 開發板、麵包板、筆記型電腦、比色管架、試管架、簡易攝影棚、手機(SONY Xperia C5、Sony Xperia Z5、Samsung Galaxy Note 3、iPhone8Plus)			

### 二、藥品

配製溶液 (基本實驗)	PVA	種類	說明	來源
		甲	分子量 27000-32000	第一化工
		乙	分子量 84000-89000	第一化工
		丙	平均聚合度 1700	臣扈化工
		丁	平均聚合度 2400	臣扈化工
	戊	市售膠水，12%	徠福	
	碘液	碘液(KI/I <sub>2</sub> )、市售優碘(10%)		
	交聯劑	硼酸(H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> )、硼砂(Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O)		
檢驗實驗	還原劑	過氧化氫(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )、硫代硫酸鈉(Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		
	反應速率	鹽酸(HCl)、丙酮(C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O)、碘液、澱粉液、蒸餾水		
簡易光度計測試用溶液	硫代硫酸鈉(Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )、鹽酸(HCl) 硫酸銅(CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O)、市售葡萄汁			



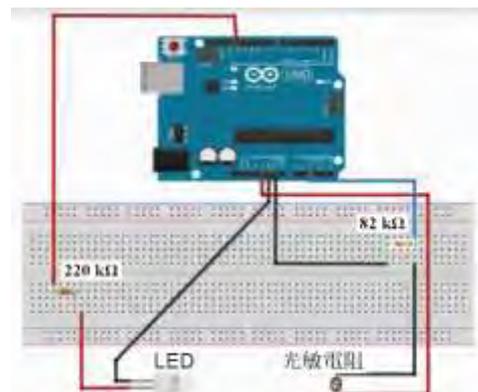
圖(一) 硫代硫酸鈉與鹽酸反應、有色溶液與膠碘溶液測量裝置

三、Arduino 部分：

Arduino UNO 開發板作為數據讀出裝置，以麵包板設計電路，軟體使用 Arduino IDE。

(一) 電路圖：

圖(二) 電路圖



(二) 程式碼：

```
int photocellPin = 2; // 光敏電阻 (photocell) 接在 analog pin 2
int photocellVal = 0; // photocell variable
void setup() {
  pinMode(13,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  digitalWrite(13,HIGH); //製造一個高電位的 pin 腳提供 LED 使用
  // 讀取光敏電阻並輸出到 Serial Port
  photocellVal = analogRead(photocellPin);
  Serial.println(photocellVal);
  delay(1000);
}
```

(三) 數值處理：經由上述程式執行後可於序列埠監控視窗得到數值，所得數值為 Arduino 0 伏特至 5 伏特解析成 0~1023 的格式，所以需藉由「所得數值/1023\*5」的公式得到電壓，再由「(空白值的電壓-所得數值電壓) \*100」或 $-\log(\text{所得數值電壓}/\text{空白值的電壓})$ 得到吸光值。

## 肆、研究過程或方法

一、文獻探討：

在國高中的化學或者生物實驗中，常會針對一些有色溶液進行濃度的判別或者是反應終了依據。例如酸鹼反應中，滴定實驗會利用指示劑變色與否判斷滴定終點；反應速率測定實驗會利用所生成的硫遮住錐形瓶底下畫有十字的符號之時間來計算反應速率。這些相關的偵測，課本上總要我們使用肉眼來觀測，常會因每一個人辨色力不同，判斷的時間點不同，造成人為的誤差，若能藉助更客觀的電子儀器來觀測，便可以減少誤差，提高測量結果的準確度與精密度。

以下為幾屆科展參賽作品研究與其基本結論，即是想利用自製比色計或光度計來解決因肉眼判斷造成誤差所提出的設計：

(一) 第四十三屆全國科展作品「大家一起來比色—比色法實驗器材的創新及改良」

以簡易自製器材，使用光敏電阻偵測，改進比色法測定準確度，並以之測定化學反應平

衡常數。但所使用的光源開啟過久，因為燈管發熱溫度上升，連帶使得試管與溶液溫度上升，甚至管壁出現有液滴凝結，數據產生誤差。

(二) 第四十六屆全國科展作品：「自製濃度觀測工具及其在高中化學實驗的應用」

此研究利用光敏電阻，連結數位電表與電源，自行製作了一個觀察溶液濃度的裝置，應用在許多高中化學實驗上，有化學反應速率、酸鹼滴定、氧化還原以及平衡常數的測定實驗。但須使用較大型的電源供應器與暗箱。

(三) 第五十二屆全國科展作品：「微小旋光計」

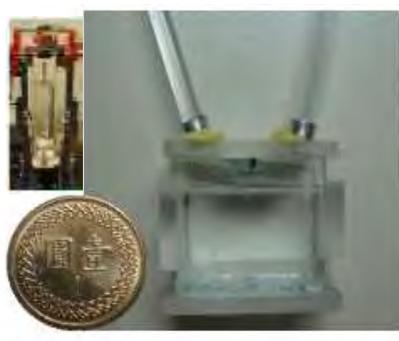
此研究使用 LEGO 桿件做了放試管和光源的底座，再以 5 種不同波長的高亮度 LED 為光源，並以創新的光纖導光法來對準光束，LabVIEW 程式來撰寫自動測試程式製作旋光儀。利用光纖導光法，也製作了一個可以放入溶液中的微小可攜式比色計探頭，這探頭由壓克力製成，最後再連接到感測器上。但似乎又太微小化。



參考資料[三]



參考資料[四]



參考資料[五]

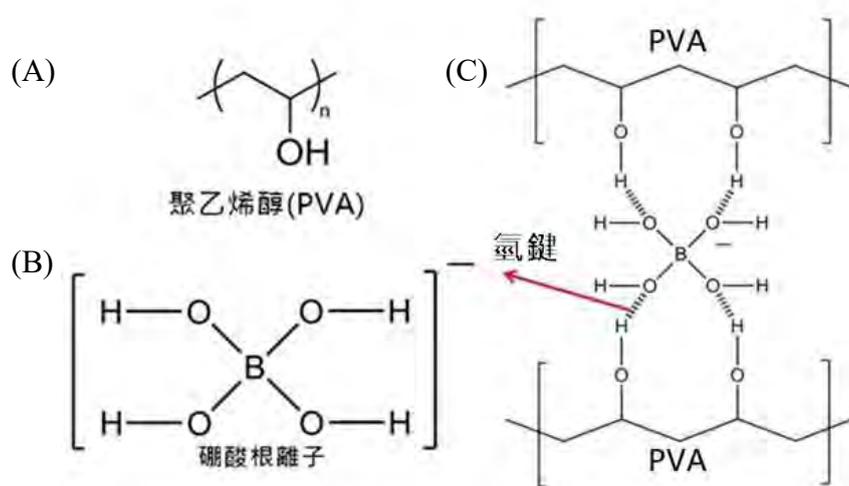
圖(三) 歷屆科展作品之比色或光度計裝置

近年來由於資訊免費開發軟、硬體的發展迅速，Arduino 開發硬體結合了相對應的感應器，可以讓自然領域融入更多面向的學習；加上現在人手一支智慧型手機，若只要下載適當的 App，實驗過程中，手機不僅可以照相錄影，還可以作為測量的工具，如參考資料[六][七]，相信可以讓實驗的偵測便捷很多，或許精密程度無法與高價的儀器相提並論，但卻可以有基本的定性定量探討，反而是比較適合的。

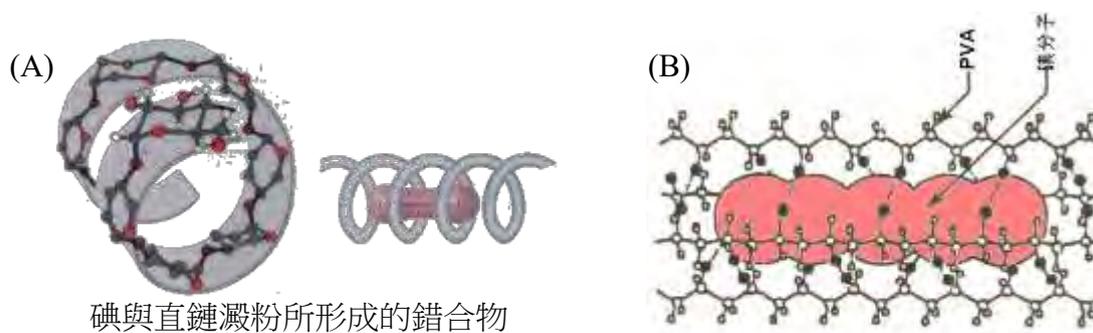
另一方面，我們想運用連小學生們都可以上手，在家中製作的史萊姆，稍作調整後，可以做為替代澱粉當作指示劑。膠水的主要成分是聚乙烯醇 (polyvinyl alcohol, PVA)，其結構如圖(四)(A)。當硼砂溶於水時，會生成硼酸( $H_3BO_3$ )，硼砂於水溶液中會接受帶負電荷氫氧根離子，進而生成硼酸根離子( $B(OH)_4^-$ )，結構如圖(四)(B)所示。PVA 在交聯劑硼砂存在下，會進行交聯反應，如圖(四)(C)，而使得原本為黏著劑的膠水失去黏性，反而變成具有彈性或流變性的聚合物，一般稱其為史萊姆。

幾屆研究 PVA 與硼砂在應用上相關的全國科展參賽作品，大多針對兩者之間的比例或添加相關物質，如澱粉、糖水、痂子粉、麵粉或感溫粉、四氧化三鐵粉末等，可以改變其黏性或延展性，近一步應用在可以做成耐震的杯套、去漬靈、皮膜與保鮮膜、感溫變色或磁性黏土，以科學玩具為主，但似乎沒有因添加碘造成顏色變化上的相關研究。

碘在遇到直鏈澱粉的螺旋結構時，中央的空穴為碘留下足夠的空間，因而直鏈澱粉可與碘形成藍色錯合物，其結構示意圖見圖(五)(A)，是可以用來檢驗澱粉存在的重要指示劑。但也因澱粉常含有直鏈與支鏈結構，造成顏色上的判斷有時會偏紫紅或紫藍色。而 PVA 在與硼酸的交聯結構似乎可以與澱粉有類似的構造，因此若碘分子可以在這交聯的結構中，會顯現出藍色。



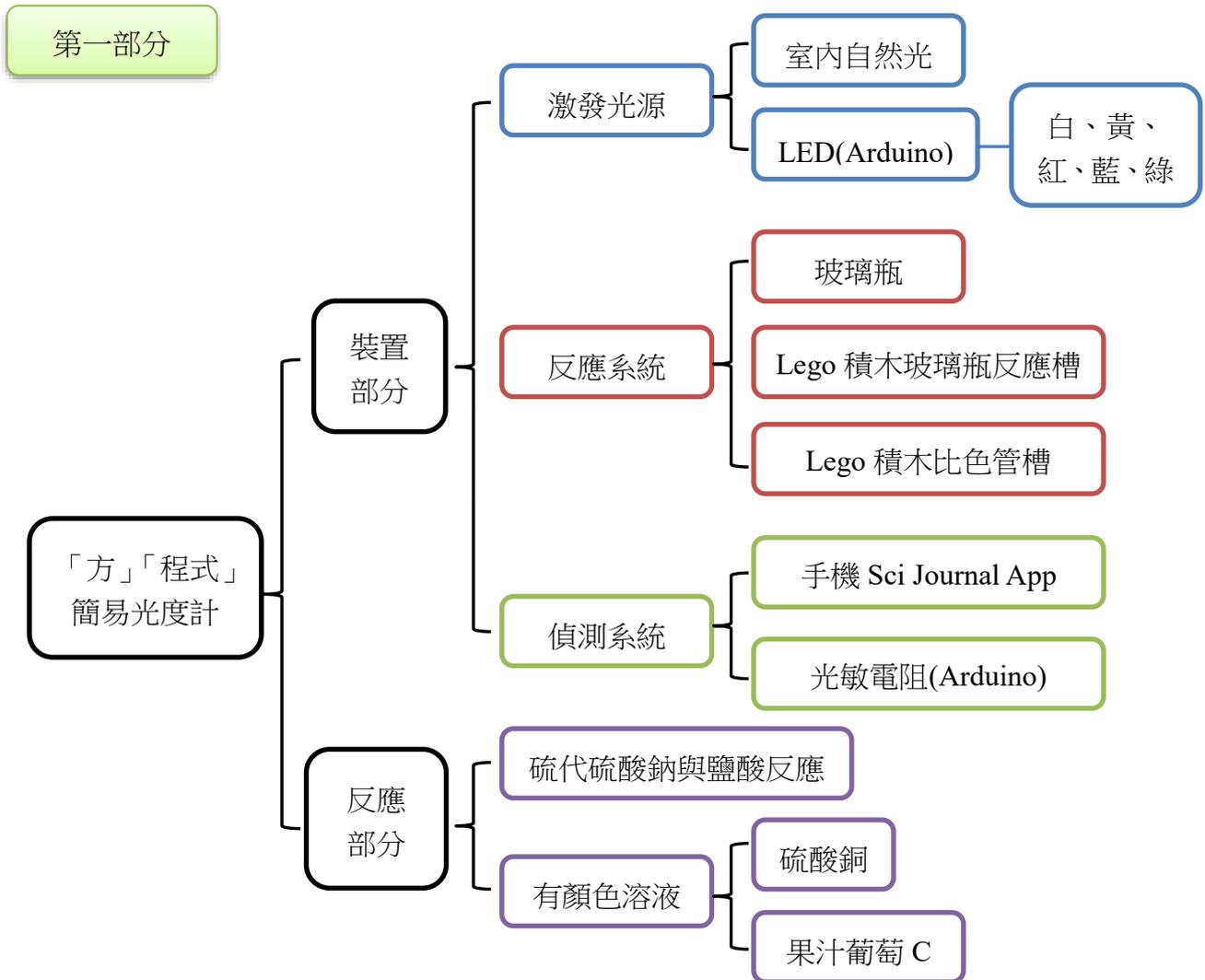
圖(四) (A) PVA 與 (B) 硼酸根離子結構 (C) PVA 與硼砂交聯反應



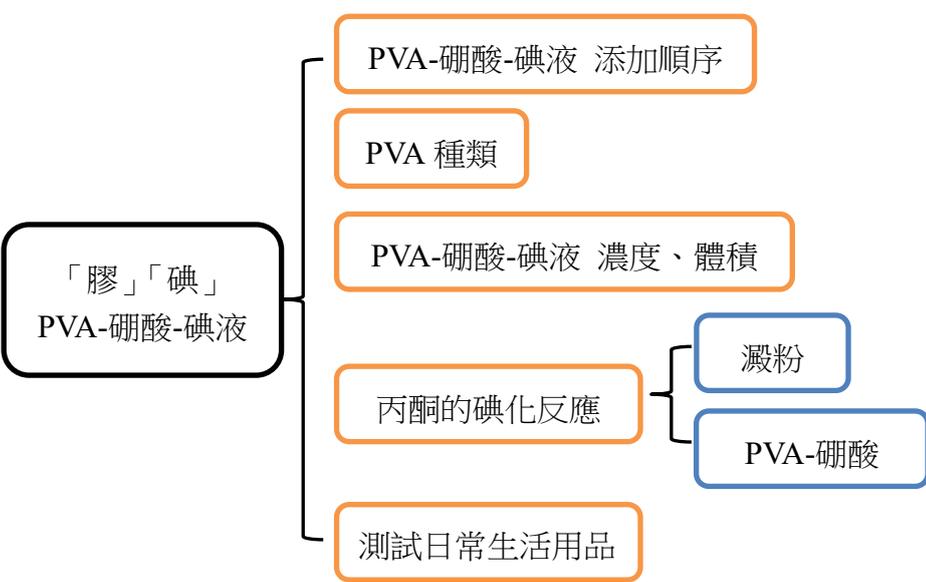
圖(五) (A) 澱粉與碘之錯合物 (B) PVA 與碘之錯合物結構示意圖

本研究即想利用智慧型手機搭配測量光度用 App 或色碼鑑定 App 或 Arduino 搭配光敏電阻，做簡易溶液透光或顏色方面的測量，可以應用在國中相關理化實驗上。進一步以此為工具，測量 PVA 與硼酸形成的交聯物與碘產生藍色的反應，可以替代澱粉做為指示劑，並做簡單生活品是否含有 PVA 的檢驗。

二、實驗思考架構圖：



第二部分



### 三、基本操作：

所有實驗藥品皆由精密天平秤量質量，蒸餾水溶解後，再使用量瓶配製體積莫耳濃度或燒杯與天平配製重量百分濃度。或經由稀釋法配製所需的濃度。

每次配製完 PVA -硼酸-碘液溶液後，取 3.5 mL 置於比色管中，經由自製手機簡易光度計測量照度值或 Arduino 搭配光敏電阻測量電壓值，再利用簡易攝影棚拍攝照片。全部實驗均做三次取平均值。

#### (一) 0.1%、1%、3%、5%PVA 戊(市售膠水)配製：

1. 以市售 10% PVA 膠水進行稀釋。
2. 分別取 10% PVA 膠水 5 g、50 g、150 g、250 g 置於 500 mL 燒杯中，再分別加入 495 g、450 g、350 g、250 g 蒸餾水，室溫下攪拌混合均勻即可得到市售 0.1%、1%、3%與 5% PVA 戊。

#### (二) 10% 不同種類 PVA 配製：

1. 分別秤取 10 g PVA 甲(BP-05)、PVA 乙(BP-17)粉末、PVA 丙(17-88)粉末與 PVA 丁(24-88)粉末置於 200 mL 燒杯中，加入 90 g 蒸餾水，室溫下攪拌混合均勻即可得到 10% PVA 溶液。
2. 分別取不同種類的 10% PVA 溶液 5 g、50 g、150 g 置於 500 mL 燒杯中，再分別加入 495 g、450 g、350 g 蒸餾水，即可稀釋成 0.1%、1%、3% PVA 溶液。

#### (三) 硼酸水溶液配製：

1. 分別秤取硼酸粉末 1 g、3 g、5 g 置於 200 mL 燒杯中，再分別加入 99 g、97 g、95 g 蒸餾水，室溫下攪拌混合均勻即可得到 1%、3%、5%硼酸水溶液。

#### (四) 碘溶液配製：

1. 碘-碘化鉀溶液：取碘 1.3 g 和碘化鉀 1.8 g 加水溶解於 100 mL 量瓶中，此時為 0.05 M。再取 25 mL 0.05 M 稀釋成 100 mL，即為 0.0125 M 之碘液。
2. 優碘：取市售 10%優碘溶液 0.5 g 置於 100mL 燒杯中，再分別加入 4.5 g、9.5 g、14.5 g、24.5 g、49.5 g 蒸餾水，室溫下攪拌混合均勻即可得到 1、0.5、0.3、0.2、0.1%優碘。

#### (五) 製備「膠」「碘」溶液基本操作步驟：

1. 硼酸-碘溶液：以安全吸球與吸量管吸取 0.75 mL 0.0125 M 碘液與 7.5 mL 5%硼酸水溶液置於 25 mL 的量瓶中。
2. 再吸取 5 mL 0.1%PVA 乙至硼酸-碘溶液中，再加蒸餾水至體積 25 mL。
3. 分別使用吸量管與安全吸球吸取預定體積碘液、硼酸水溶液、PVA 於量瓶中。
4. 輕晃溶液使顏色均勻分布，並確認有無結塊情形。

(六) 測量溶液光度的基本操作步驟(手機 Sci Journal App)：

1. 以 Lego 積木將手機光度計裝置組裝好，手機就偵測位置，開啟 Sci Journal App，由 Arduino 所控制的 LED 燈提供光源。
2. 比色管加入約 3 mL 水，放入比色槽中，記錄手機數值。
3. 改放入待測溶液，開始測量記錄。匯出圖譜，以 Excel 軟體處理。

(七) 測量溶液光度的基本操作步驟(電腦 Arduino IDE 及光敏電阻)：

1. 以 Lego 積木將 Arduino IDE 簡易光度計組裝好，置入光敏電阻及 LED 燈並連接至 UNO 板，開啟並上傳程式碼至 Arduino UNO 板，由 Arduino 所控制的 LED 燈提供光源，並由 Arduino 接收測量數值。
2. 放入裝水的比色管(約 3mL)，記錄數值。
3. 改放入待測溶液，開始測量記錄。匯出圖譜，以 Excel 軟體處理。

(八) 處理圖片之 RGB 值

1. 先開啟手機 ColorMeter App，開啟已處理之圖片。
2. 將圖片中之反應盤孔或比色管選取一以圓或水面向下拉之長方形。
3. 輸入 App 視窗中之 RGB 值至表格中。

第一部分：自製簡易光度計進行硫代硫酸鈉與鹽酸反應測量或有顏色溶液測量

實驗一：比較不同條件(樣品瓶擺放、光源與裝置)對測定硫代硫酸鈉與鹽酸反應之影響

(一) 實驗步驟：

1. 室溫下，「室內自然燈光」下，打開 SONY Xperia C5 手機 Sci Journal App，記錄環境光度值。
2. 將「空的樣品瓶」直接置放在手機感光元件上方，記錄光度值。  
加入約 3 mL 的水於樣品瓶中，記錄光度值，此為空白對照組。
3. 步驟 2 改加入 0.1 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液 2 mL 與 0.1 M HCl 溶液 1 mL，記錄光度值。
4. 步驟 1，先將手機置入裝置 2 的偵測位置，打開蓋子，記錄「室內自然燈光」下光度值，蓋上蓋子，以「白色 LED 燈」照，重複步驟 2~3，記錄光度值。
5. 改用「裝置 3」、0.5 M HCl 溶液，重複步驟 3。

實驗二：比較不同裝置測量有色溶液光度值之影響

(一) 實驗步驟：

1. 使用自製光度計裝置 4，光源「黃光 LED」，接上 Arduino 電路板。
2. 取 0.1 M 藍色硫酸銅溶液 3 mL 置入比色管中，裝入 Lego 比色槽中。

3. 打開「SONY Xperia C5 手機」裡的 Sci Journal App，開始記錄光度值。
4. 步驟 2 中硫酸銅濃度改為 0.2、0.4、0.6 與 0.8M，重複步驟 1~3，記錄光度值。
5. 步驟 3 中改用 SONY Xperia Z5、Samsung Galaxy Note 3 與 iPhone8 Plus 手機
6. 步驟 1 中，改用裝置 5，記錄不同濃度硫酸銅溶液之光敏電阻電壓值。
7. 以裝置 5，溶液改用市售的葡萄 C，依其原始濃度進行 1/5 倍、2/5 倍，3/5 倍，4/5 倍稀釋。依序取溶液置入比色管中，參考基本操作(七)，測量光度值。

## 第二部分：「膠」「碘」溶液：PVA-硼酸-碘液系統

### 實驗三：比較 PVA、硼酸與碘液三種溶液加入順序對溶液顏色的影響

1. 參照基本操作(五)，將三種溶液混合。首先先 PVA，再來硼酸水，最後加入碘液。
2. 三種溶液添加順序加以更動，總共有六種組合。照相記錄，參照基本操作(九)，記錄 RGB 色碼。

### 實驗四：比較不同 PVA 種類與濃度對碘變色的影響

- (一) 控制變因：0.0125 M 碘液 0.75 mL、5%硼酸水 7.5 mL 與 PVA 濃度均為 0.1%，5 mL。
- (二) 操縱變因：PVA 種類，甲、乙、丙、丁。
- (三) 實驗步驟：
  1. 參照基本操作(五)(七)，製備「膠」「碘」溶液與進行溶液電壓值的測量。
  2. 參照基本操作(九)，進行顏色的色碼鑑定。

### 實驗五：比較不同濃度、體積 PVA、硼酸水溶液與碘液對溶液顏色與吸光值的影響

- (一) 各項操縱與控制變因：

#### PVA

1. 濃度：
  - (1) 操縱變因：0.1、0.25、0.5、1、2、3% PVA 甲 5 mL。
  - (2) 控制變因：5% 硼酸水溶液 7.5 mL、0.0125 M 碘液 0.75 mL。
2. 體積：
  - (1) 操縱變因：2.5、5、7.5 mL 0.1% 的 PVA 甲。
  - (2) 控制變因：5%硼酸水溶液 7.5 mL、0.0125 M 碘液 0.75 mL。

#### 硼酸水溶液

1. 濃度：
  - (1) 操縱變因：1.25、2.5、5%的硼酸水溶液 7.5 mL。
  - (2) 控制變因：0.0125 M 碘液 0.75 mL、0.1% PVA 甲 5 mL。
2. 體積：

- (1) 操縱變因：3、4.5、6、7.5、9 mL 5%硼酸水溶液。
- (2) 控制變因：0.1% PVA 甲 5 mL、0.0125 M 碘液 0.75 mL。

### 碘液

#### 1. 體積：

- (1) 操縱變因：0.25、0.5、0.75、1、1.25 mL 0.0125 M 碘液
- (2) 控制變因：5%硼酸水溶液 7.5 mL、0.1% PVA 甲 5 mL。

#### (二) 實驗步驟：

1. 分別參照實驗基本操作(五) 製備「膠」「碘」溶液。
2. 參照實驗基本操作(六)或(七)測量其光度值或電壓值，並比較各溶液顏色。

### 實驗六：以 PVA-硼酸作為丙酮的碘化反應

(一) 實驗藥品：10%丙酮、2 M HCl、0.0125 M 碘液、5%硼酸水溶液、0.1% PVA 甲

#### (二) 實驗步驟：

1. 依照 HCl→丙酮→PVA→硼酸水溶液→水，依序加入瓶中，滴入碘液開始計時反應速率並錄影。
2. 同時吸取上述溶液 3 mL 置入比色管中，進行基本操作(六)或(七)測量其光度值或電壓值。
3. 步驟 1 中，以澱粉液取代 PVA，重複實驗。

### 實驗七：以硼酸-碘溶液測定日常生活用品有無含 PVA 實驗

(一) 實驗藥品：0.0125 M 碘液、5%硼酸水溶液、日常生活品(標籤紙、貼布)

#### (二) 實驗步驟：

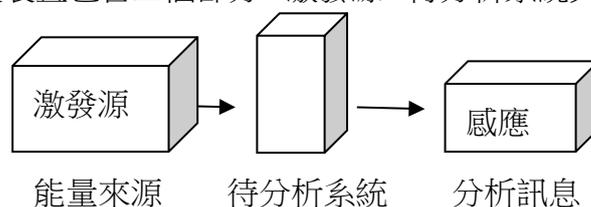
1. 將標籤紙泡在 10 mL 水中 60 分鐘後，加熱濃縮至體積 1 mL。將上述溶液加入事先裝有 0.75 mL 碘液、7.5 mL 硼酸水溶液的試管中，觀察顏色的變化。
2. 標籤紙改用貼布，直接取用燒杯裡的水，滴加入碘液-硼酸溶液中。

## 伍、研究結果

### 第一部分：自製簡易光度計進行硫代硫酸鈉與鹽酸反應測量或有色溶液測量

一、進行【實驗一】所得結果，整理於(表一)。

一般比色或測光度裝置包含三個部分：激發源、待分析系統與感應元部分，示意圖如下：



所以我們就所擁有的材料來進行比較、替代。激發源部分有室內自然光與 LED 光(由 Arduino 控制)，分析系統部分則由黑色 Lego 積木所組裝而成的，感應部分則採用手機 App 與光敏電阻(由 Arduino 讀取)。

其中 Google 於 2016 年推出了「Sci Journal」科學日誌 App，透過手機內建的感測器，可以讓大家隨時輕鬆經由智慧型手機來記錄實驗數據，實現人人都可以當行動科學家的願景。我們使用了其中的照度計功能，想以此來代替因人肉眼所造成的誤差之實驗。

國中理化在探討反應速率時，常利用硫代硫酸鈉與鹽酸反應，產生黃色的硫，遮住置於反應瓶下方的十字，來定義反應終了的時間。但實際操作後，何時遮住十字常常會因人而異。

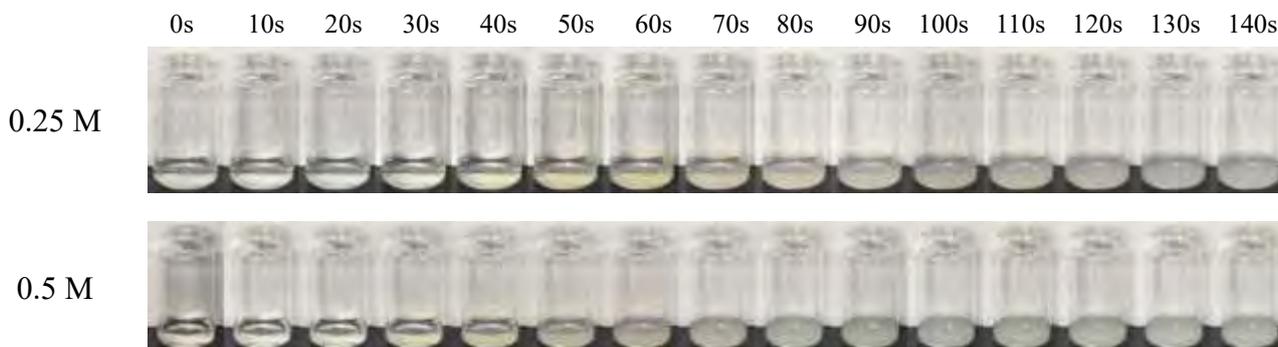


因此我們直接以這個反應，搭配手機 App 來進行測量。幾個基本測試結果整理於表(一)。

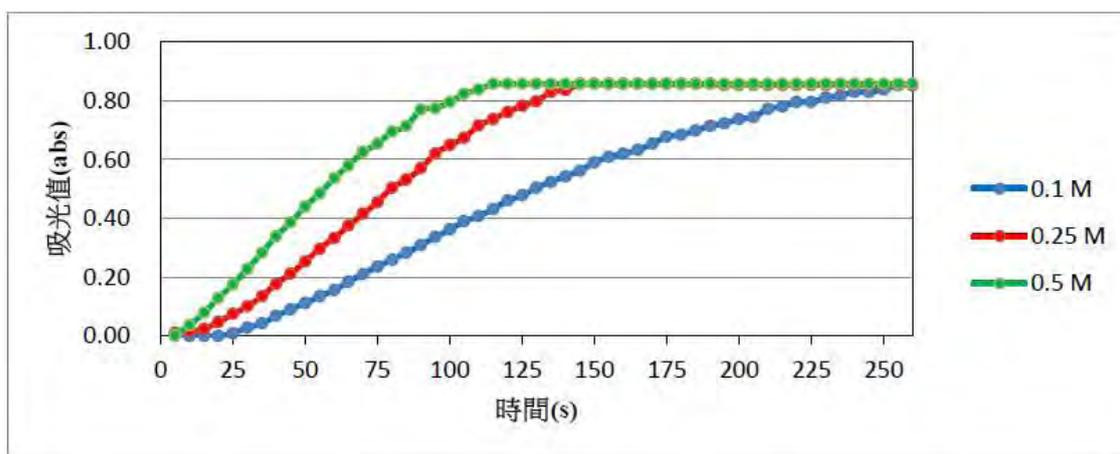
(表一) 以手機 App 在不同條件不同裝置下測量光度值

光度值 (Lux)	自然室內 燈光照	放置 樣品瓶	樣品瓶 裝水	硫代硫酸鈉 與鹽酸反應結束
裝置 1	882	847	862	上升至 1070
裝置 2	自然室內 燈光照	放置空樣品瓶，蓋上 蓋子，開啟 LED	樣品瓶裝水，蓋上 蓋子，開啟 LED	硫代硫酸鈉 與鹽酸反應結束
	341	1006	1143	下降到 330

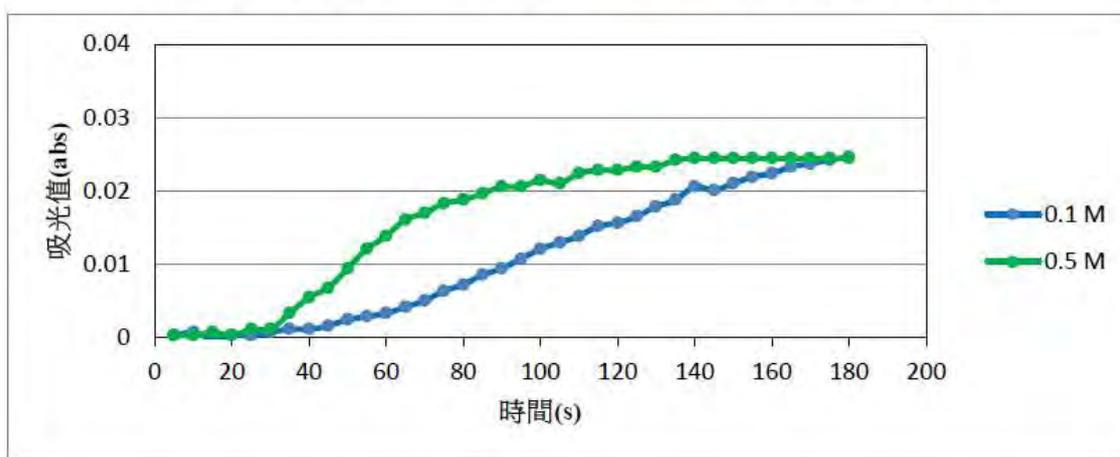
我們若只直接將反應樣品瓶置於手機感光元件上，開始產生黃色硫時，手機所測得的光度值最終居然上升到 1070 Lux，猜測是硫的顆粒與周遭環境光線之間有光線散射行為，反而干擾了下方手機感光元件對於光度的測量；所以我們改用裝置 2、裝置 3 來測量硫代硫酸鈉與鹽酸的反應。同時間裝置外面也有反應進行著，錄影截圖(每 10s 一張)整理於圖(六)，0.5 M 的鹽酸較早開始出現有淡淡黃色的沉澱物，約 30s 時光度值也開始下降。光度值經由轉換，其吸光值隨時間的變化圖，如圖(七)與圖(八)所示。



圖(六) 不同鹽酸濃度，產生黃色硫沉澱



圖(七) 裝置 2 測定不同濃度鹽酸與硫代硫酸鈉的反應知吸光值



圖(七) 裝置 3 測定不同濃度鹽酸與硫代硫酸鈉的反應知吸光值

0.5 M 鹽酸時，肉眼判斷約 60 秒就有人說反應終了，但經由吸光值來看，還有 0.54，若由手機 App 的數據，我們判定的反應終了時間 120 秒；0.25 M 鹽酸，肉眼判斷約 140 秒，由手機 App 的數據約 150 秒。0.1 M 鹽酸，手機 App 的數據判定 225 秒反應終了；改以裝置 3 進行同樣的實驗，記錄下光敏電阻所得之電壓值，轉換成吸光值。若判定反應終了吸光度為 0.024，則 0.5 M 鹽酸的反應終了時間是 135 秒；0.1 M 鹽酸反應終了時間是 175 秒。若以在實驗室執行此反應，以手機 App 或光敏電阻來當偵測感應元的部分，測得的數據會比用肉眼判斷此實驗的反應速率是較具客觀性的。

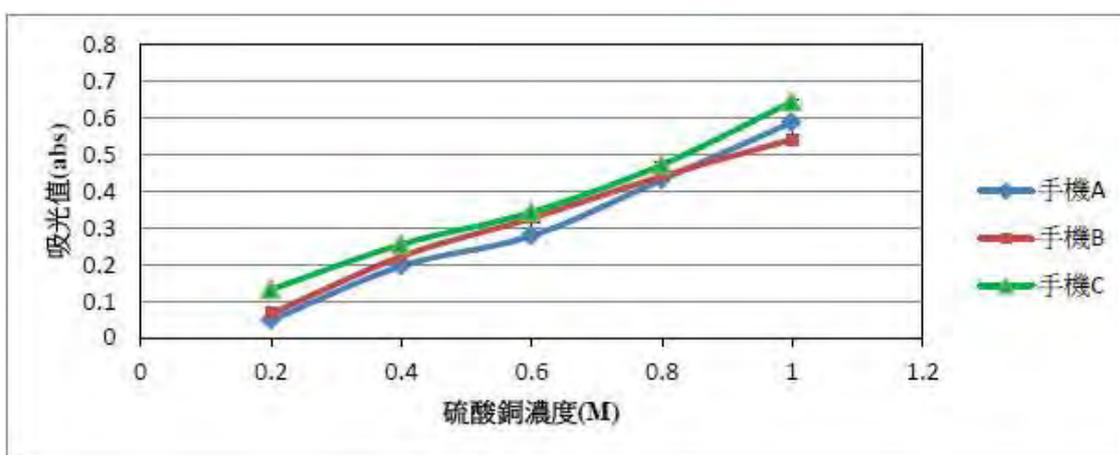
二、進行【實驗二】所得結果，整理於(表二)。

我們進一步以自製簡易光度計裝置 4 與裝置 5 來測量硫酸銅水溶液與日常生活中的飲料，其光度值(Lux)或電壓值(V)結果列於表(二)，其吸光值隨濃度的變化圖，如圖(九)、圖(十)與圖(十一)所示，果汁葡萄 C 部分是以原始濃度當作 100%，稀釋 1/5 的為 20%。

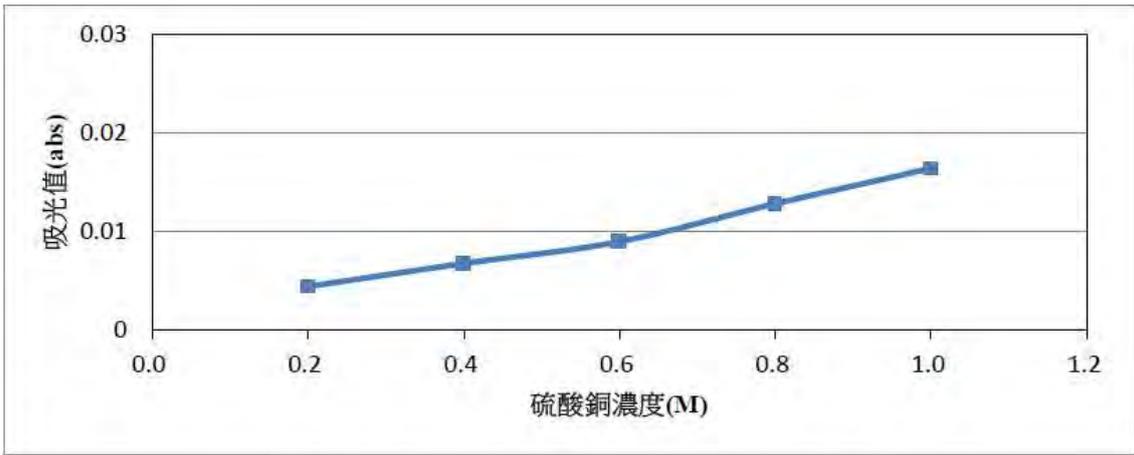
表(二) 裝置 4 不同裝置測硫酸銅溶液或葡萄 C 的光度值或電壓值

裝置 4 [CuSO <sub>4</sub> ]，黃光(Lux) 手機 A：Sony Xperia C5					裝置 4 [CuSO <sub>4</sub> ]，黃光(Lux) 手機 B：Sony Xperia Z5					裝置 4 [CuSO <sub>4</sub> ]，黃光(Lux) 手機 C：Samsung Galaxy Note 3				
(M)	1	2	3	平均	(M)	1	2	3	平均	(M)	1	2	3	平均
0.2	185	182	183	183	0.2	165	178	185	176	0.2	116	120	118	118
0.4	138	126	128	130	0.4	119	125	125	123	0.4	89	87	91	89
0.6	112	108	104	108	0.6	99	99	92	96	0.6	72	74	72	72
0.8	77	78	73	76	0.8	79	72	72	74	0.8	54	54	54	54
1.0	54	53	52	53	1.0	59	59	59	59	1.0	36	37	36	36
吸光值趨勢線方程式 $y = 0.656x - 0.085, R^2 = 0.991$					吸光值趨勢線方程式 $y = 0.584x - 0.031, R^2 = 0.993$					吸光值趨勢線方程式 $y = 0.6201x - 0.003, R^2 = 0.987$				

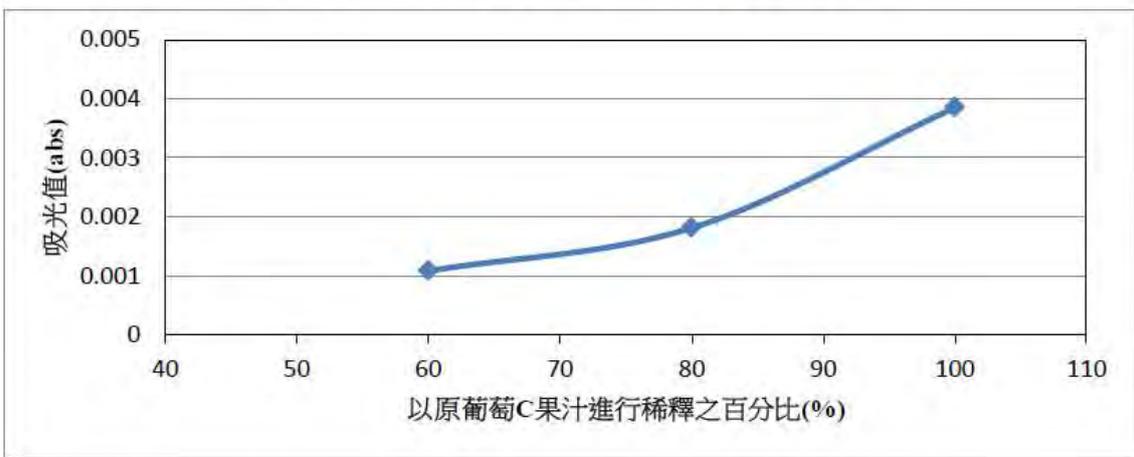
裝置 5 [CuSO <sub>4</sub> ]，黃光(V)					裝置 5 [葡萄 C] 稀釋百分比，黃光(V)				
(M)	1	2	3	平均	(%)	1	2	3	平均
0.2	4.838	4.843	4.838	4.840	60	4.878	4.878	4.878	4.878
0.4	4.814	4.814	4.814	4.814	80	4.873	4.868	4.868	4.870
0.6	4.789	4.789	4.789	4.790	100	4.858	4.844	4.839	4.847
0.8	4.745	4.745	4.750	4.757					
1.0	4.711	4.706	4.706	4.718					
吸光值趨勢線方程式 $y = 0.015x + 0.0009, R^2 = 0.9845$					吸光值趨勢線方程式 $y = 7E-05x - 0.0033, R^2 = 0.9305$				



圖(九) 使用裝置 4 以不同手機測量硫酸銅溶液之吸光值



圖(十) 使用裝置 5 測量硫酸銅溶液之吸光值



圖(十一) 使用裝置 5 測量葡萄 C 果汁稀釋後溶液之吸光值

透過以上裝置 4 或裝置 5 測試，可確認自製光度計裝置不管是搭配手機 App 或光敏電阻，用來測溶液的濃度是有一定的準確度。以手機 App 測定時，同廠牌下差異性較少，但不同廠牌時，在以黃光 LED 測定較藍較濃的溶液時，其光度變化較少，靈敏度就差，因此我們以使用光敏電阻之裝置 5 來測量第二部分的「膠」「碘」溶液，而吸光值的數據處理部分，則採用「(空白值的電壓-所得數值電壓)\*100」來當作比較時之單位，其圖形結果是與 $-\log(\text{所得數值電壓}/\text{空白值的電壓})$ 是相當的。

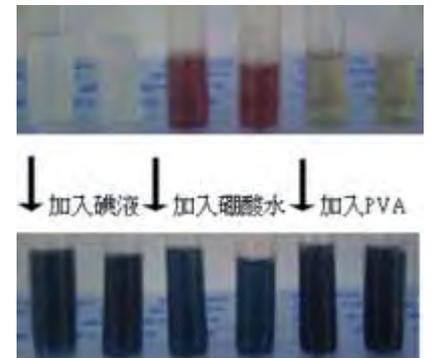
## 第二部分：「膠」「碘」溶液：PVA-硼酸-碘液反應系統

一、進行【實驗三】所得結果整理如(表三)、圖(十二)：

由於要確認三個物質之間的相互關係，所以我們試著不同添加的順序，紀錄顏色變化。

(表三) 三種物質添加順序對溶液顏色的影響

加入順序 1	加入順序 2	R	G	B	色塊	加入順序 3	R	G	B	色塊
PVA	硼酸水	130	138	141		碘液	26	32	44	
硼酸水	PVA	140	144	145		碘液	24	28	39	
PVA	碘液	88	51	58		硼酸水	26	43	59	
碘液	PVA	74	43	49		硼酸水	19	35	58	
碘液	硼酸水	123	121	106		PVA	19	25	37	
硼酸水	碘液	104	104	92		PVA	20	24	35	



圖(十二) 不同添加順序

(一) 由第一、二支試管可以發現：先將硼酸水溶液與 PVA 混合之溶液，再加入碘液前先產生交聯物，若 PVA 或硼酸濃度較濃時，溶液會有白色混濁物。

(二) 由第三、四支試管可以發現，先 PVA 及碘液混合後，兩者之間尚未有反應，最後再加入硼酸，變色情形明顯較淡，推測應為碘已進入 PVA 的結構中，導致影響了交聯效果。

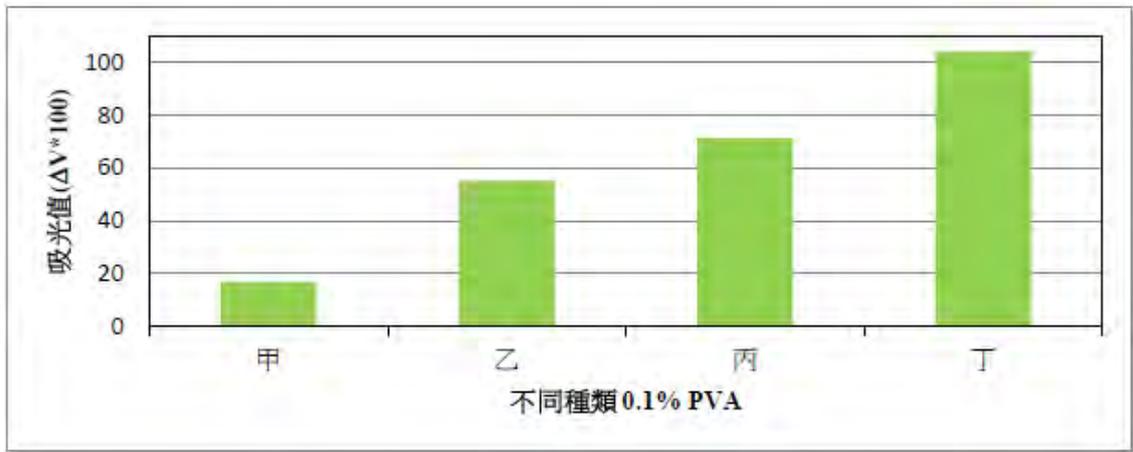
(三) 由第一、二管；第三、四管；第五、六管可以發現，前兩者加入順序對調，對於顏色之影響不大。

(四) 由於上述原因，我們從第五、六管中擇一，最後選擇的加入順序為：先碘液與硼酸水混合後，最後再滴加 PVA。

二、進行【實驗四】所得結果整理如表(四)、圖(十三)與圖(十四)：

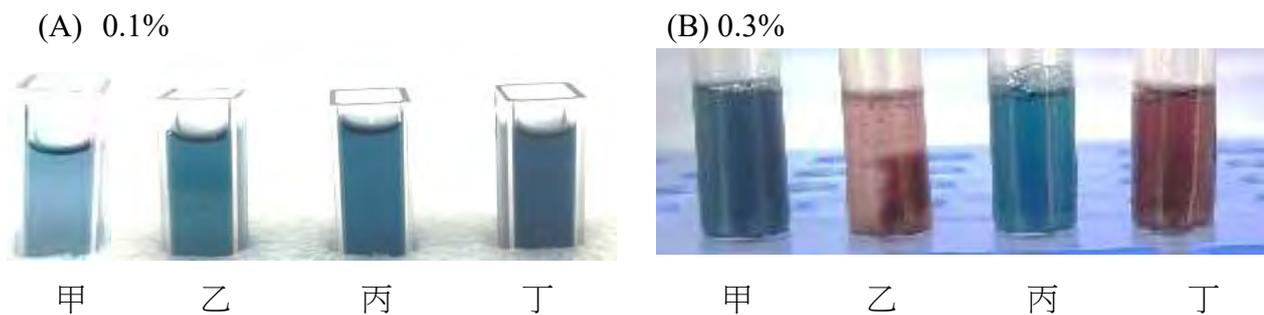
(表四) 不同種類 PVA 之電壓與顏色以及不同濃度 PVA 結塊情形

PVA	電壓(V)		讀取色碼			PVA	結塊情形		
	V	$\Delta V$	R	G	B		0.1%	1%	3%
甲	4.72	0.17	70	113	131	甲	否	否	否
乙	4.34	0.55	32	66	82	乙	否	否	是
丙	4.18	0.71	26	54	77	丙	否	否	否
丁	3.85	1.04	28	41	56	丁	否	否	是



圖(十三) 不同種類 PVA 之吸光值

經由上述實驗所得之數據可得知：不同種類 PVA 時，當濃度均為 0.1%時不易產生棉絮，顏色均為藍色，以 PVA 甲顏色最淡；但當濃度為 3%時，除了 PVA 甲、丙外，其它均會產生棉絮或者顏色偏紫紅，PVA 丙會有較多起泡現象。由此實驗結果可得知 PVA 選用以 PVA 甲，濃度 0.1%最適合。



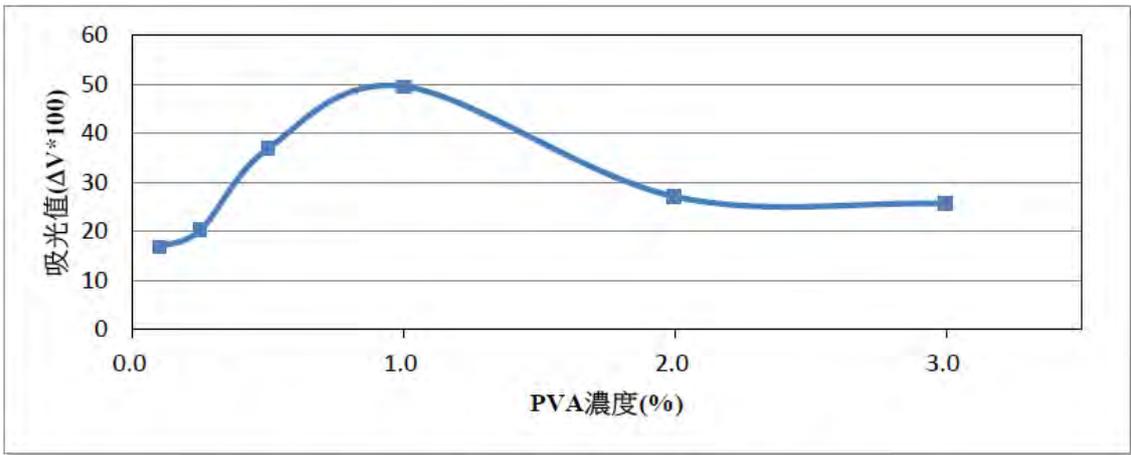
圖(十四) 不同種類、濃度 PVA 所形成之膠碘溶液

三、進行【實驗五】所得的結果如下：

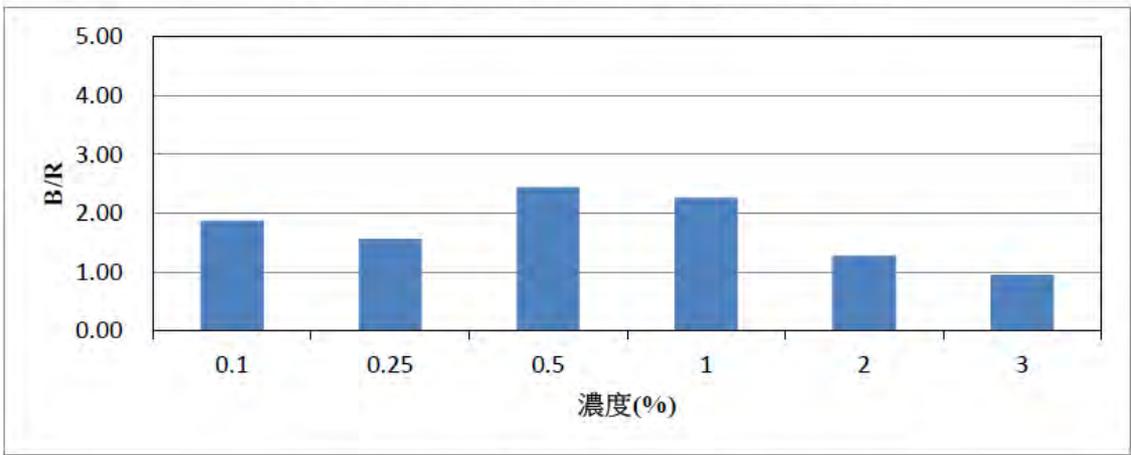
(一) 不同 PVA 濃度：測得電壓值與讀取色碼結果整理如(表五)，吸光值對濃度的關係與色碼 B/R 對濃度的關係，如圖(十五)、圖(十六)；照相結果呈現在圖(十七)。

(表五) 不同 PVA 濃度測得電壓值與讀取色碼 RGB 結果

PVA 濃度(%)	電壓(V)	電壓差值 $\Delta V$	R	G	B	R/B 比值
0.1	4.72	0.17	70	113	131	1.871
0.25	4.69	0.20	68	95	106	1.559
0.5	4.52	0.37	34	60	83	2.441
1	4.39	0.50	31	46	70	2.258
2	4.62	0.27	45	44	57	1.267
3	4.63	0.26	55	44	52	0.945



圖(十五) 不同濃度 PVA 的膠碘溶液之吸光值



圖(十六) 不同濃度 PVA 的膠碘溶液之 B/R 比值



0.1%      0.25%      0.5%      1%      2%      3%

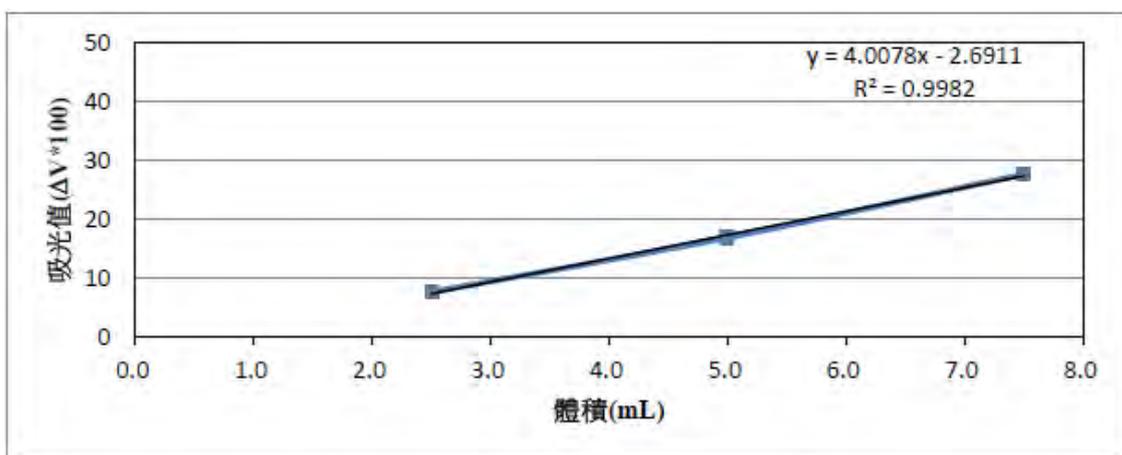
圖(十七) 不同濃度 PVA 的膠碘溶液之呈色情形

由此實驗結果可得，知 PVA 濃度介於 0.1~1%時，溶液呈現藍色，且其吸光值與濃度有符合比爾定律，呈現線性關係；但當濃度為 2%以上時顏色會偏紅，由色碼判讀後，以 B/R 的比值對濃度作圖，見圖(十六)，可發現其比值明顯下降了。整體而言，可以使用 0.1%的當作 PVA 的最小濃度。

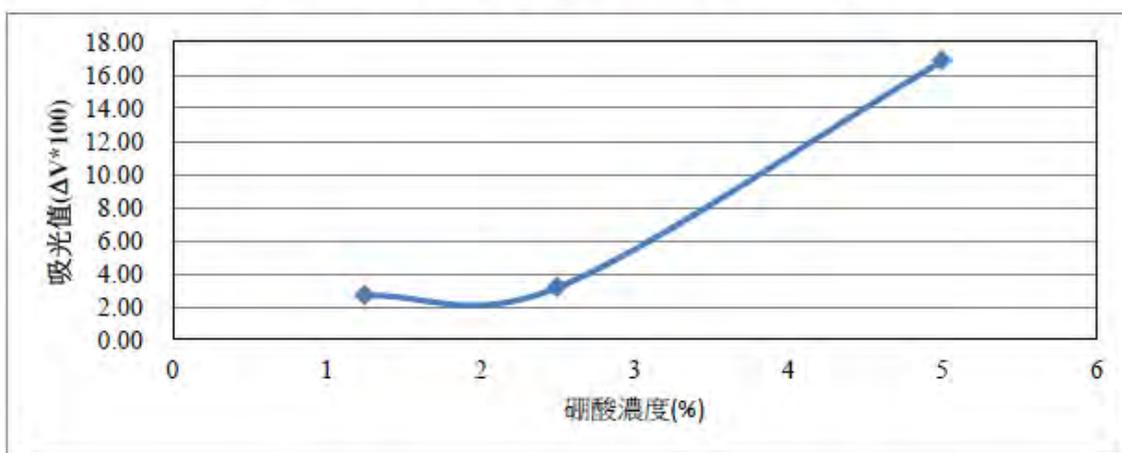
(二) 不同 PVA 體積與硼酸濃度：取不同體積 0.1% PVA 甲與不同濃度硼酸，所得結果合併整理(表六)、圖(十八)(與圖(十九)：

(表六) 不同 PVA 體積與硼酸濃度所測得之電壓與溶液顏色色碼

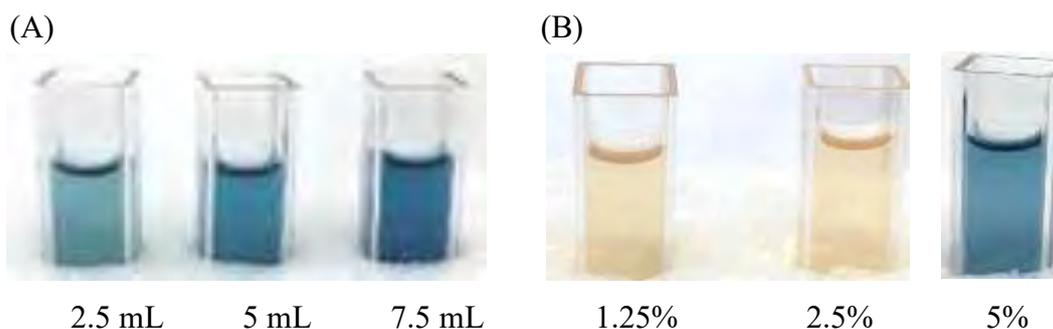
PVA (mL)	電壓		讀取色碼			硼酸 (%)	電壓		讀取色碼		
	V	$\Delta V$	R	G	B		V	$\Delta V$	R	G	B
2.5	4.81	0.08	77	129	130	1.25	4.86	0.03	197	186	161
5	4.72	0.17	70	113	131	2.5	4.86	0.03	190	183	159
7.5	4.61	0.28	29	71	102	5	4.72	0.17	70	113	131



圖(十八) 不同體積 PVA 的膠碘溶液之吸光值



圖(十九) 不同濃度硼酸的膠碘溶液之吸光值



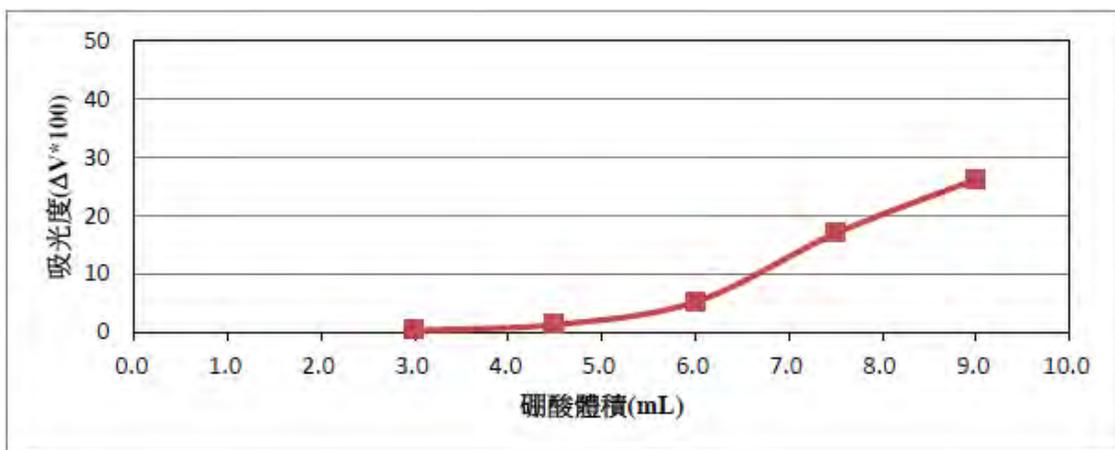
圖(二十) (A)不同體積 PVA (B)不同濃度硼酸的膠碘溶液之呈色情形

想進一步減少 PVA 的用量或者降低硼酸的濃度，所以進行了此實驗。實驗中發現增加 PVA 的體積量，就相當於濃度增加，所以吸光值會因為量的多寡而成正比，符合比爾定律。但從顏色得知，體積為 7.5 mL 時顏色會過於深；硼酸濃度 1.25% 和 2.5% 的情形下，不足夠與 PVA 形成交聯物，導至碘分子無法形成藍色錯合物，而是呈現碘液的淡褐色。因此適合進行實驗的硼酸濃度為 5%。

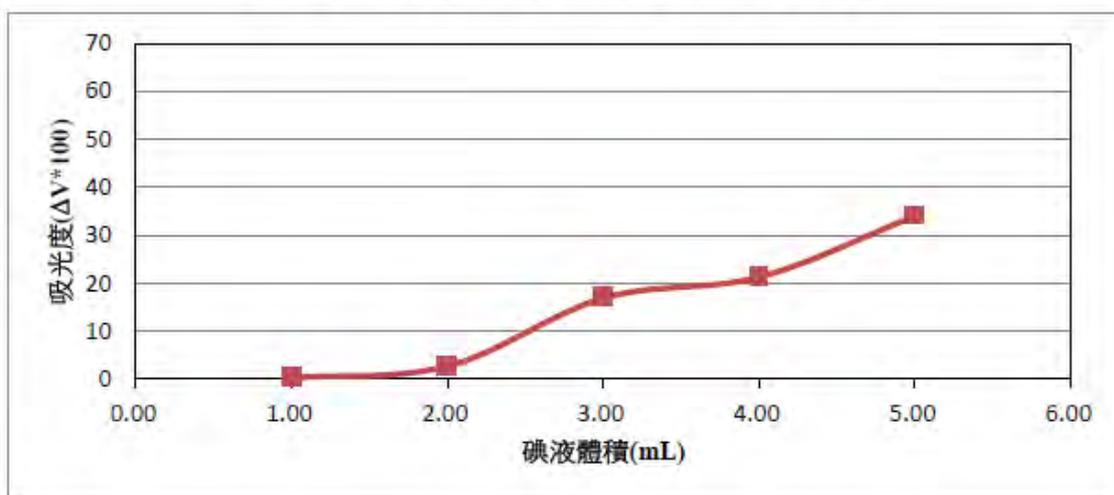
(三) 不同硼酸、碘液體積所得結果合併整理於(表七)、圖(二十一)、圖(二十二)與圖(二十三)：

(表七) 不同硼酸體積與不同碘液體積所測得之電壓與溶液顏色色碼

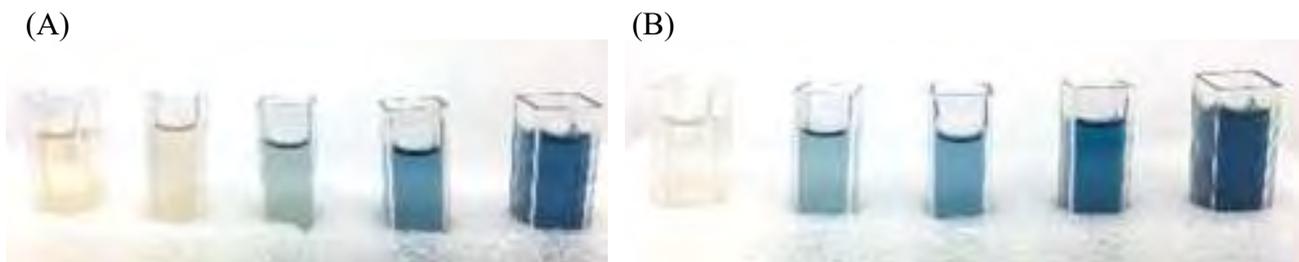
硼酸 (mL)	電壓		讀取色碼			碘液 (mL)	電壓		讀取色碼		
	V	$\Delta V$	R	G	B		V	$\Delta V$	R	G	B
3.0	4.89	0.00	200	194	175	0.25	4.89	0.00	194	186	176
4.5	4.88	0.01	184	182	170	0.50	4.86	0.03	113	141	147
6.0	4.84	0.05	142	158	155	0.75	4.72	0.17	70	113	131
7.5	4.72	0.17	70	113	131	1.00	4.68	0.21	28	72	95
9.0	4.63	0.26	31	62	94	1.25	4.55	0.34	28	49	72



圖(二十一) 不同體積硼酸的膠碘溶液之吸光值



圖(二十二) 不同體積碘液的膠碘溶液之吸光值



3.0 mL 4.5 mL 6.0 mL 7.5 mL 9.0 mL 0.25 mL 0.5 mL 0.75 mL 1.0 mL 1.25 mL

圖(二十三) (A)不同體積硼酸 (B)不同體積碘液的膠碘溶液之呈色情形

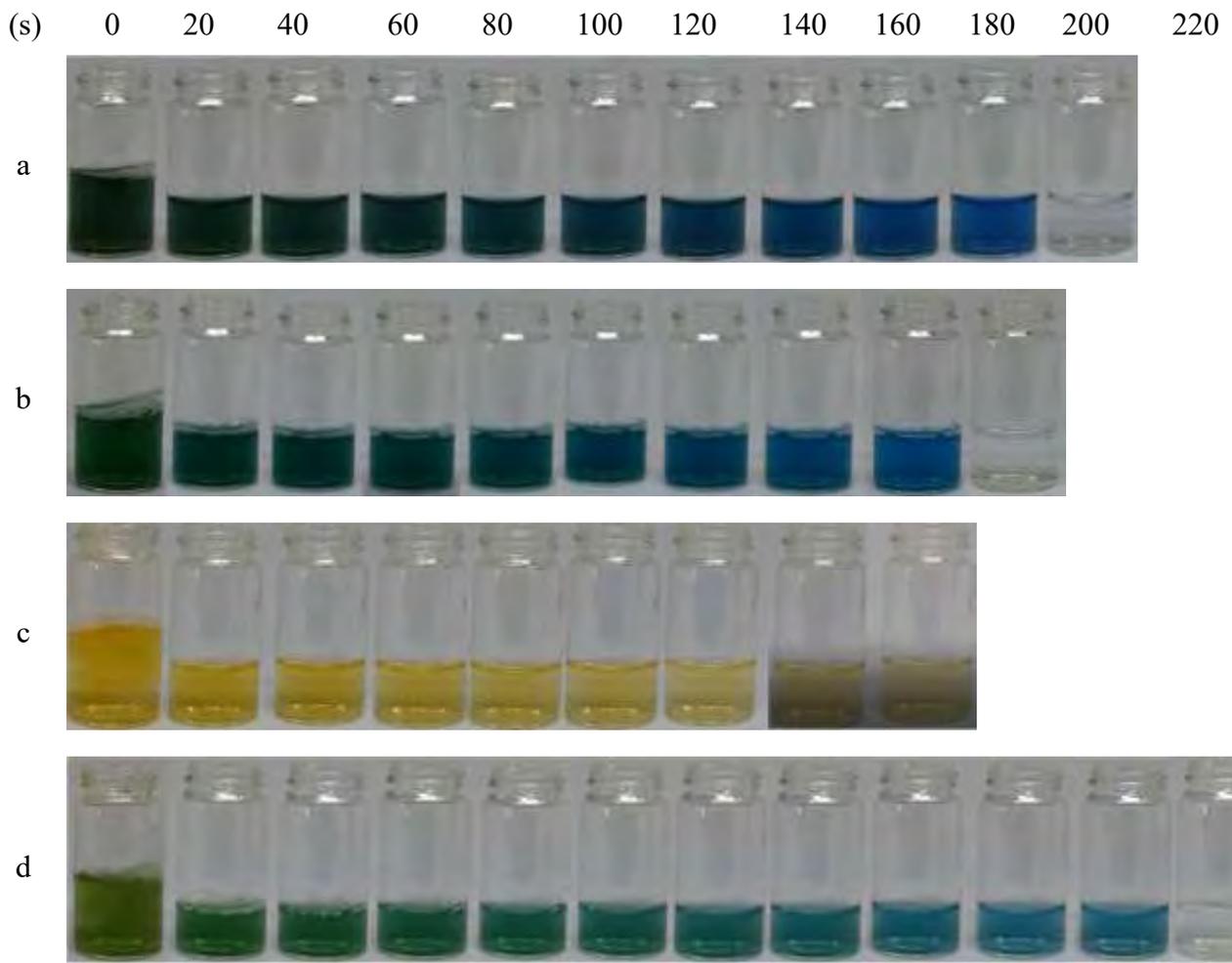
由本實驗發現：當硼酸的體積為 3 mL 和 4.5 mL 時，會因為硼酸太少而無法和 PVA 形成類似澱粉的結構，因此只會有碘液被稀釋後的顏色，而 6 mL 時會因為顏色的過淺對測量的結果產生影響，所以選擇 7.5 mL 的當作硼酸體積的最佳化；而碘液的量，0.25 mL 幾乎呈淡淡的黃，0.5 mL 的顏色為淺藍，而 1 mL 以上的顏色和數據都會因為太深而測量不易，所以碘液的最佳用量為 0.75 mL。

四、進行【實驗六】丙酮的碘化反應件整理於(表八)、錄影分析截圖，見圖(二十四)，溶液的吸光值隨時間的變化圖，見圖(二十五)、圖(二十六)：

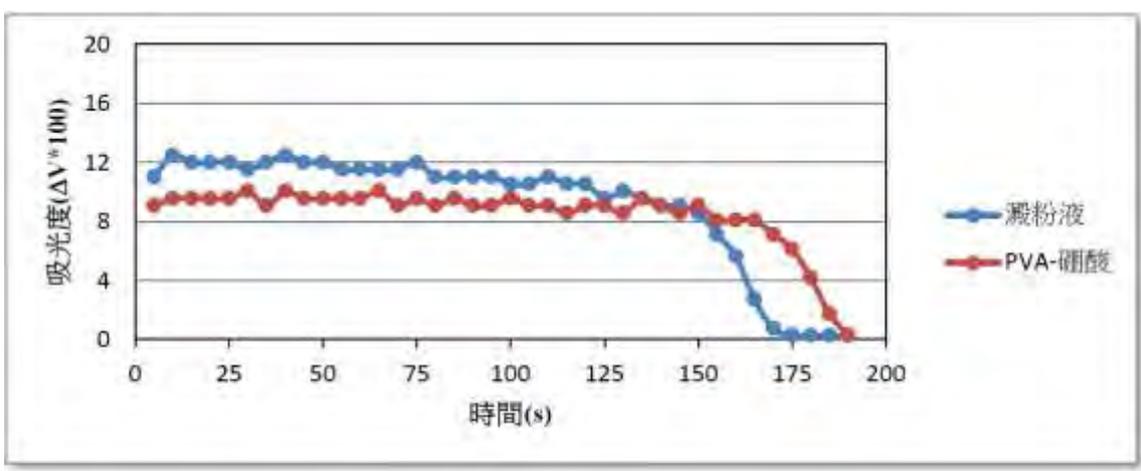
(表八) PVA 及澱粉的反應條件與不同硼酸體積的反應條件

控制變因：2M HCl、10%丙酮、0.0125 M 碘液，整體體積 10 mL				控制變因：2M HCl，10%丙酮，3% PVA 甲，0.0125 M 碘液，整體體積 10 mL			
0.1% PVA		澱粉		硼酸體積			
V(mL)	a	V(mL)	b	V(mL)	c	d	a
鹽酸	1	鹽酸	1	鹽酸	1	1	1
丙酮	3	丙酮	3	丙酮	3	3	3
PVA	0.5	澱粉	3 滴	PVA	0.5	0.5	0.5
硼酸	5	水	5.5	水	4	2	0
碘液	0.5	碘液	0.5	硼酸	1	3	5
				碘液	0.5	0.5	0.5

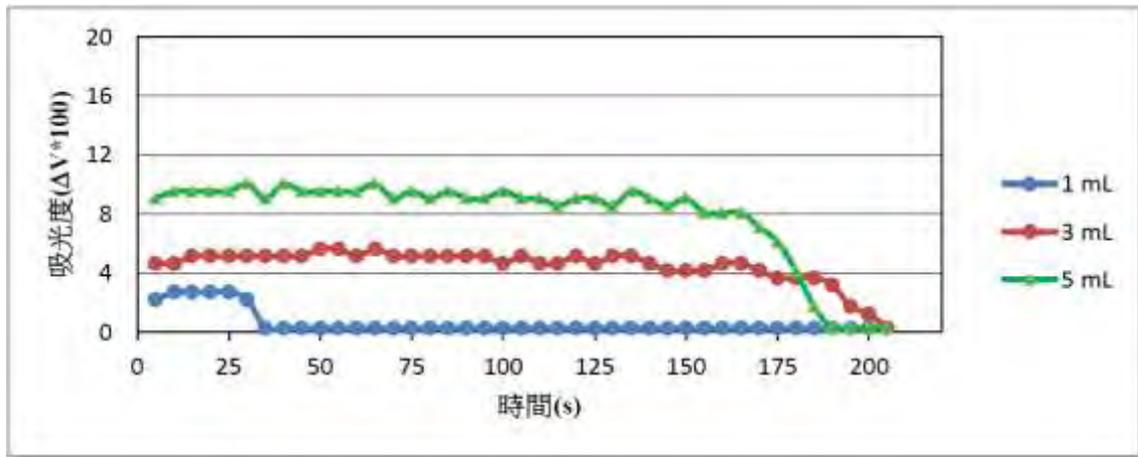
由此實驗可以發現，以澱粉作為指示劑的 b 反應，其速率較以 PVA 及硼酸水溶液為指示劑的 a 反應來的快一些；猜測硼酸的加入會對溶液的酸鹼性有影響，導致兩者在同濃度的丙酮與鹽酸下，反應速率有些許差異；我們也試過 a 反應中不加入鹽酸，而改成加入 6 mL 的硼酸，整個反應一直維持在藍色，表示碘並沒有與丙酮進行反應，所以丙酮的碘化反應之酸性是必要的。但 a 反應之條件還是能讓溶液由藍變無色，所以以 PVA 取代澱粉的想法是可行的。我們進一步改變硼酸水溶液的體積，可以與前面的實驗作相呼應，若硼酸太少或太稀，將無法使 PVA 交聯，導致溶液無法由藍變成無色。



圖(二十四) 不同條件下的丙酮碘化反應

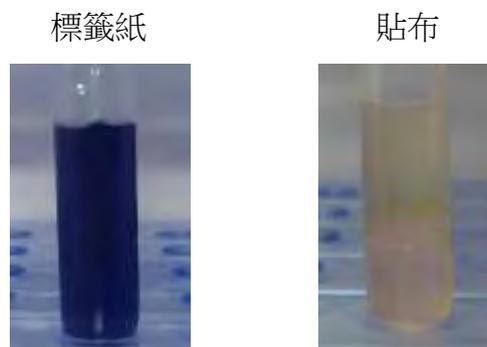


圖(二十五) 不同指示劑的丙酮碘化反應



圖(二十六) 不同體積硼酸的丙酮碘化反應

五、進行【實驗七】所得的結果整理如圖(二十七)。



圖(二十七) 檢測日常生活中用品有無 PVA

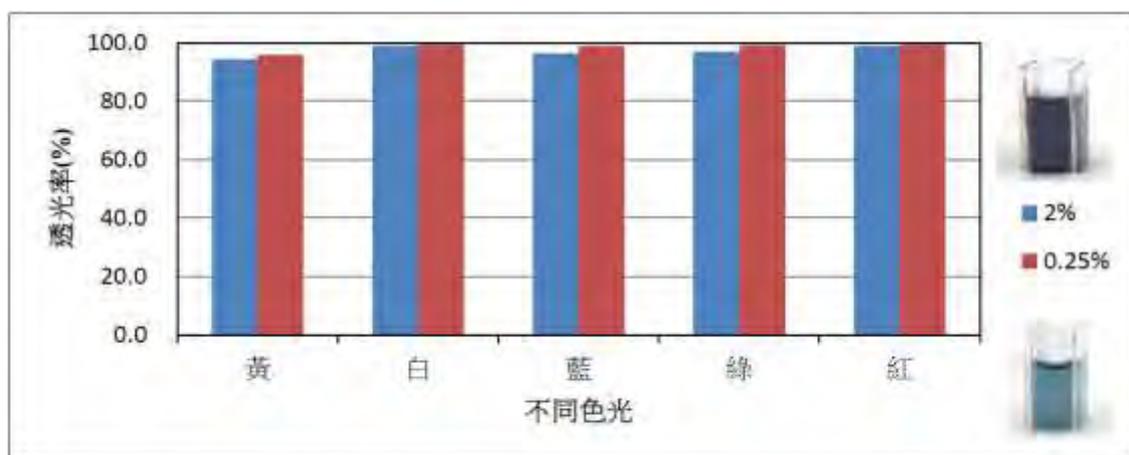
由圖(二十七)可以推測，標籤紙中應含有 PVA 的成分，但貼布中應該沒有。此外，我們還發現貼布泡水後會發生膨脹，且吸水量極大，導致反應無法進行。

## 陸、討論

### (一) 有關手機 App 結合運用

手機內建有頗多的感測器，可以測聲音(分貝計)、加速度、磁場大小、照度等等，若可以善加運用加以結合，會是非常好的科學測量工具。我們選用的 Sci Journal App 照度計功能，再加上以積木組裝的裝置，至少可以運用在一些中小學的實驗教學上，數據可以匯出後直接在電腦上進一步處理是非常好的功能。但不同廠牌的手機因感光元件的差異性，仍有測量上的誤差，但若使用同一支手機來偵測，是可以互相做比較的。這些功能雖然沒有高貴儀器的精準，但也可以有定性定量上的功用。我們嘗試使用不同顏色的 LED 光源對膠碘溶液測量其

電壓，其透光率結果比較，見圖(二十八)。比較偏紅的溶液在黃色與藍色 LED 燈照射下，其穿透率明顯跟藍色溶液不同。所以若要使用自製的光度計，對於光源部分仍以選擇單色光較佳。

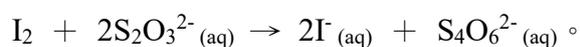


圖(二十八) 使用不同 LED 色光對膠碘溶液使用不同濃度 PVA 之透光率

## (二) 有關「膠」「碘」溶液：PVA-硼酸-碘液錯合物

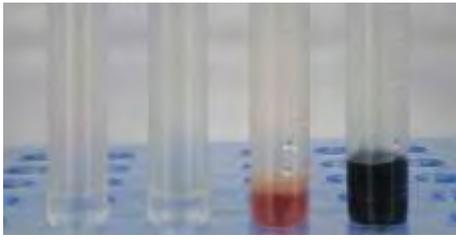
一開始在嘗試將史萊姆添加一些可以幫助導電的電解質，當加入 KI/I<sub>2</sub> 時，發現史萊姆從原本的透明變成了玫瑰金的顏色，還以為是試劑出了甚麼問題。再次確認，顏色真的起了變化。為了檢驗原本 KI 的性質是否改變了，我們嘗試將硝酸鉛滴在含有碘化鉀的史萊姆上，史萊姆中的碘離子，會與鉛離子先在表面反應產生一些黃色的碘化鉛沉澱，隨著時間增長，整個史萊姆會呈現明顯的黃色。此沉澱反應之反應式： $\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{I}^{-}(\text{aq}) \rightarrow \text{PbI}_2(\text{s})$ 。

而若原本的 PVA 是加了 I<sub>2</sub> 之後再加了硼酸，明顯變成了藍色。藍色溶液是否還具備 I<sub>2</sub> 的化學性質？我們滴加了硫代硫酸鈉到膠碘溶液中，結果藍色馬上變成透明無色的。代表膠碘溶液中的碘還是可以進行其原本氧化劑的功用。這測試所進行的反應式為：

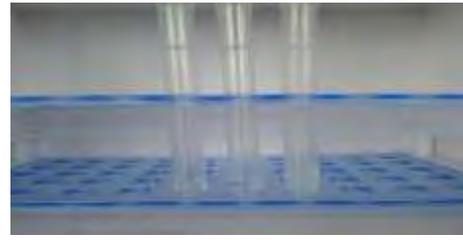


→右管加入硫代硫酸鈉





左至右分別為：加入 PVA、再加入 KI、再  
加入 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、再加入硼酸水

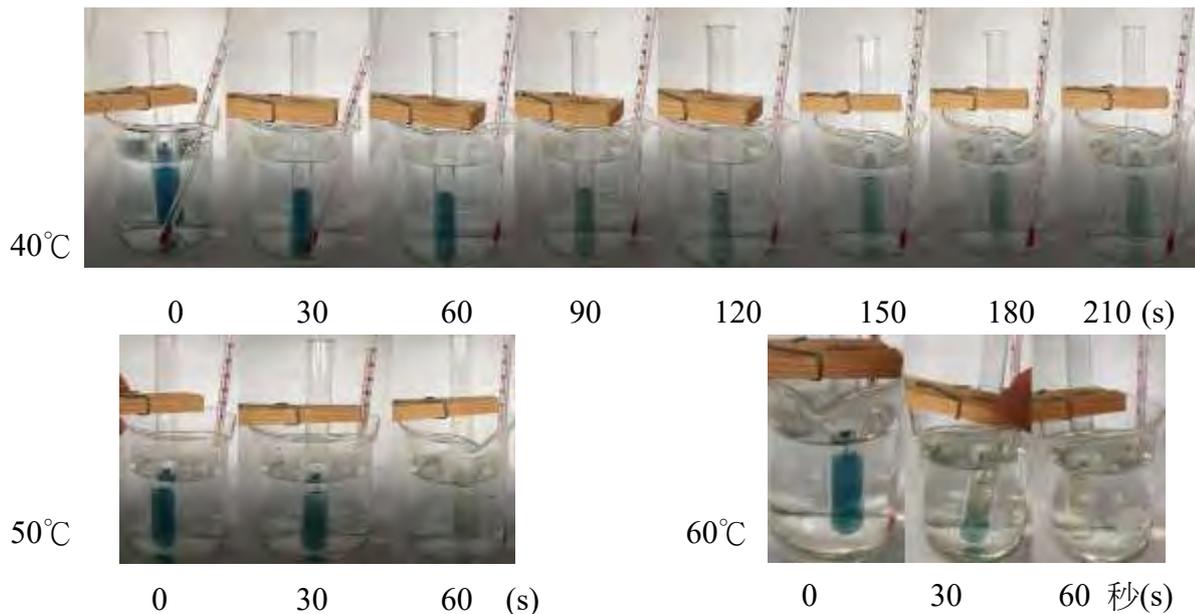


左至右分別為：  
加入 PVA、再加入 KI、再加入硼酸水

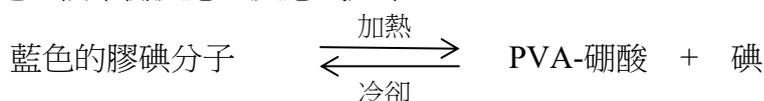
由上圖(左)的測試可以發現：加入 KI 並不會使 PVA 變色；但一加入雙氧水後，由於 KI 被還原出 I<sub>2</sub>，導致溶液整體顏色變成紅褐色；再加入飽和硼酸水後，可與 PVA 形似澱粉的構造，I<sub>2</sub> 便可以與這個膠結物，使整體溶液呈現藍黑色。由上圖(右)可以發現：加入 PVA 和 KI 的溶液，再加入飽和硼酸水後，只有使溶液變白色混濁，並無法使溶液變為藍黑或粉紅色。

藉由此較簡易的氧化還原實驗，不只能夠達到減毒減量的目的，也可達到與一般氧化還原實驗一樣的效果。膠水-硼酸作為指示劑增加趣味性，變色也相當明顯，較易觀察其變色程度。最後做完實驗後的溶液因為並沒有毒性，因此不會有回收廢棄溶液的問題。只要能夠小心的使用碘液或優碘，並正確操作實驗，便能從中獲益良多，學習真正計算實驗數據，以及發現生活中觸手能及的事物都能成為化學實驗的創意。

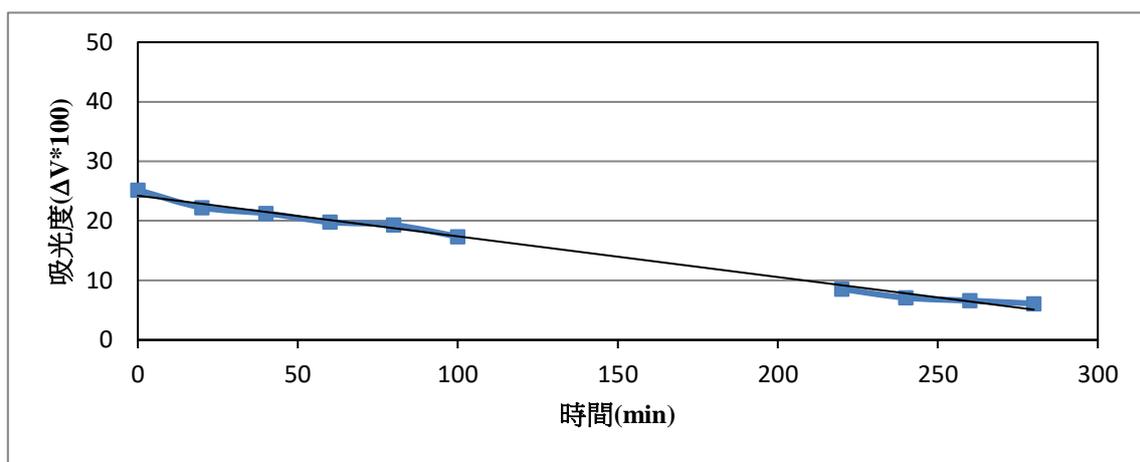
我們知道澱粉-I<sub>2</sub> 所形成的藍色錯合物在溫度高於 50°C 時，會因為碘分子受熱後昇華，離開澱粉分子結構而無法呈現藍色，膠碘溶液是否也會如此？我們進一步對膠碘溶液進行不同溫度下的觀察。將裝有膠碘溶液之試管分別放入維持恆溫 40°C、50°C 與 60°C 的水浴中，錄影截圖如下：



在 40°C 的水浴中，藍色的膠碘溶液大約 210 s 還可以呈現藍色，但明顯顏色已經有變淡了；而 50°C 的水浴中，60 s 溶液即呈現透明無色；60°C 的水浴中，30 s 溶液即快變成透明無色了！假設這是一個平衡反應，反應式如下：



所以這膠碘溶液行為與澱粉-碘錯合物是相似的，不過，膠碘溶液的遇熱藍色變淡，比澱粉-碘錯合物更容易發生。我們觀察到膠碘溶液開放式地放置在空氣中的情形下，藍色也會慢慢變淡，其吸光值隨時間的變化圖如下：



所以若想要以硼酸-碘來偵測 PVA 的存在與否或定量濃度；或者以 PVA-硼酸來代替澱粉作為碘相關實驗的指示劑時，必須要盡快測定其吸光值，準確性較高。

### (三) PVA 的種類對實驗的影響：

我們選擇手邊有的 PVA 五種來源，圖由左至右分別為：

戊、甲、乙、丙、丁。由右圖可以發現：分子量較小的 PVA 甲與丙加入碘液、硼酸水後，明顯較藍，但丙且容易起泡；而分子量較大的乙、丁，加入碘液、硼酸水後，明顯偏紅不易起泡。



澱粉與碘呈現紫紅色的成因是因為澱粉有直鏈與支鏈之分，而 PVA-硼酸所形的交聯物，在 PVA 分子量較大或 PVA 濃度較濃時顯現的紫紅色，也可以說是類似澱粉的支鏈結構，。而市售的膠水戊，由顏色可以推論應為分子量較小之 PVA。

#### (四) 有關丙酮的碘化反應：

一般以澱粉當指示劑的實驗，首推碘鐘反應，但會使用到實驗室裡的藥品碘酸鉀與亞硫酸氫鈉。我們選用的丙酮碘化反應，丙酮可以用去光水代替，碘可以用醫藥用的碘酒代替，是比較環保安全的實驗。

碘(I<sub>2</sub>)在適當濃度及酸性環境下，可對丙酮結構的甲基進行氫取代反應，此反應稱為丙酮的碘化反應(iodination of acetone)，其反應方程式如下：



I<sub>2</sub> 難溶於水，將反應物改用可溶於水的三碘離子(I<sub>3</sub><sup>-</sup>)來代替碘分子，依然可進行丙酮的碘化反應。I<sub>3</sub><sup>-</sup>水溶液為黃褐色，進行丙酮的碘化反應時，若 I<sub>3</sub><sup>-</sup> 為限量試劑，在反應中先完全消耗完畢，則可觀察到水溶液的黃褐色漸漸變淺，終至無色。若是要進行反應速率的觀察，只以肉眼觀察水溶液由淡黃色變成無色，往往誤差較大。若是在這反應系統中，先加入一些澱粉水溶液，再進行添加反應物，丙酮仍可發生碘化反應，但是反應起始時的 I<sub>3</sub><sup>-</sup> 與澱粉結合產生深藍色的碘-澱粉錯合物(I<sub>3</sub><sup>-</sup>-starch)水溶液，就可以明顯觀察到丙酮的碘化反應終至無色的變化，記錄的反應結束時間也較為準確。我們嘗試在製作 1%澱粉溶液時，發現雖然藥品罐上是寫著可溶性澱粉，但其實溶解度真的不好，曾試著常溫下攪拌一小時後，只取上層澄清液，滴加碘液後並無法顯現藍色錯合物；加熱到 80°C 左右，通常得攪拌超過半天後再靜置或離心，所得到的澄清液才可與碘液反應，但澱粉的濃度是無法定量的。我們還觀察到，有時不同來源的澱粉，其處理或結果都會有差異性，且配製好的澱粉液也會有發霉情形。所以使用我們找到的配方，PVA 與硼酸是可以取代澱粉來做為指示劑。

## 柒、結論

### 第一部分：自製簡易光度計進行硫代硫酸鈉與鹽酸反應測量或有顏色溶液測量

1. 藉由大大小小「方」形的積木，我們可以自由拼裝出適合反應的裝置；運用在國中理化實驗：硫代硫酸鈉與鹽酸反應速率測定上，使用裝置 3 以 Arduino 的「程式」來控制光源、光敏電阻，進一步測量出電壓值或者使用裝置 2 以手機裡的軟體 Sci Journal App 來測量光度值，兩者是一致性的，且有一定的準確度。
2. 再以「方」形的積木拼裝出裝置 4 與裝置 5，搭配手機 App 或 Arduino，我們測得硫酸銅水溶液以及日常生活中有顏色飲料的吸光值，其趨勢線方程式，有符合比爾定律，呈現線性的關係。

### 第二部分：「膠」「碘」溶液：PVA-硼酸-碘液反應系統

3. 這膠碘溶液可以呈現藍色，與硼酸量的多寡有重要的關係。硼酸濃度過稀或體積太少會無法呈現藍色。選用濃度 5% 硼酸水，以整體溶液 25mL 的情形下，要有足夠( $\geq 4.5$  mL)的硼酸，才能與 PVA 形成足夠的交聯物，加入碘液後可使溶液呈現藍色；若硼酸量不夠( $\leq 4.5$  mL)，會導致與 PVA 交聯結構不足，加入碘液後溶液呈現黃褐色，是單純碘液的顏色。若硼酸與較大分子量的 PVA 形成非水溶液，而是有結塊或者史萊姆的情形，此時加入碘液，就如同支鏈澱粉加入碘液後發生的情形，兩者皆不會顯現出藍黑色，反倒是顯現出紫紅色。
4. PVA、硼酸與碘液加入的順序，首先加入的兩者順序對調，對於顏色之影響不大；先加入 PVA 及碘液，再加入硼酸水溶液後，變色情形明顯較淡；先加入硼酸水溶液與 PVA 時，混合液易再加入碘液前先產生交聯物，有時溶液會呈現淡白色混濁；最後我們選擇的加入順序為：先碘液→再硼酸水→最後 PVA。
5. 所形成的膠碘溶液，對於光、熱應該是敏感性的，加熱或放置在開放式的空氣中，藍色會變淡，表示碘分子在 PVA-硼酸所形成的結構中，其作用力不是很強。
6. 丙酮的碘化反應中，以 PVA 與硼酸代替澱粉做為指示劑，硼酸水體積若低於整體體積的 20%，溶液沒辦法顯色；但碘液體積可以減量到整體體積的 3% 都還能顯藍色。加了澱粉的丙酮與鹽酸溶液，再加了碘液後，和丙酮的反應速率跟 PVA 和硼酸水溶液加入碘液的反應速率差不多，所以以 PVA 和硼酸水溶液取代澱粉做為指示劑的想法是可行的。

## 捌、參考資料或其他

- 一、國中自然與生活科技第三冊，光與顏色，康軒出版社。
- 二、國中自然與生活科技第四冊，有機化合物，化學反應速率，康軒出版社。
- 三、李銘哲、陳意曉、陳佑銘、李景煊，第四十三屆全國中小學科展作品高中組化學科-大家一起來比色—比色法實驗器材的創新及改良。
- 四、沈冠宇、彭裕文、楊富雄、高維鴻，第四十六屆全國中小學科展高中組化學科-自製濃度觀測工具及其在高中化學實驗的應用。
- 五、蕭季萱，第五十二屆中小學科展覽會作品國中組生活與應用科學科-微小旋光計。
- 六、劉燕孝、廖家榮，利用手機及 App 開發化學探究與實作課程-高中奈米硫粒實驗反應速率的測定。台灣化學教育，第 28 期。
- 七、張崑智，第五十七屆中小學科展覽會作品國小組生活與應用科學科-窮則「便」「便」則通 小小創客 自製樂高手機光譜儀及 Arduino RGB LED 光度計。
- 八、王暉崙、邱耀慶、郭主欽，第四十七屆全國中小學科展作品國中組理化科-解開「澱粉~碘」的藍色密碼。
- 九、周芳瑜、江庭瑩、卜嘉榕、何毓倫，第四十八屆全國中小學科展作品高中職組化工衛工及環工科-碘液調色盤--直鏈澱粉定量方法之改良。
- 十、丙酮的碘化反應，第三十一屆國際化學奧林匹亞競賽實作測驗。

## 【評語】 030212

此科展作品主要透過模組化 Arduino 元件自製簡單光度計量測硫代硫酸鈉與鹽酸的反應與其他有色溶液，並且藉由原來的系統進一步的研究聚乙烯醇-硼酸-碘液變色系統，並且發現 PVA 與硼酸是可以取代澱粉來做為指示劑。建議在圖十九找出最佳臨界硼酸濃度配製交聯 PVA 時能比三個濃度更多做幾個中間濃度方可精確求出臨界濃度。整體而言，研究認真且注意細節，頗為有趣，自製光度計值得鼓勵。以聚乙烯醇取代澱粉做碘液顯色之媒介確實新穎。

# 摘要

自製的簡易光度計「方」「程式」，是以大大小小「方」形積木，組合成反應系統，運用智慧型手機內建的感光元件，搭配科學日誌App裡的照度計，或與硬體Arduino「程式」來控制光源或感測元件，測量硫代硫酸鈉與鹽酸反應的光度變化，替代以肉眼目視的缺點，也可以測定不同濃度的硫酸銅溶液與有色的果汁溶液，均有一定的參考依據。「膠」「碘」溶液：聚乙烯醇-硼酸-碘液系統，會使溶液呈現藍色，PVA濃度太濃時會有結塊情形；5%硼酸若體積低於整體體積約20%，將使溶液沒辦法顯色；但0.0125 M碘液體積減量到整體體積的3%都還能顯現藍色。我們利用PVA-硼酸代替澱粉，應用在丙酮的碘化反應中，當作判斷反應終了之指示劑。

## 壹、研究動機

前陣子網路上很瘋迷製作史萊姆，只要膠水與硼砂，就可以做出非常有趣的科玩，這引起了我們的興趣。進一步想找找史萊姆可否有其他更有生活化的應用，在偶然測試時，添加了KI/I<sub>2</sub>到史萊姆，意外發現了原本透明無色的史萊姆出現了像iPhone玫瑰金的顏色，令我們非常驚訝，就想以膠水(聚乙烯醇)與碘來繼續探究這相關的實驗，並結合手機裡的App或Arduino來做為測量的相關工具。

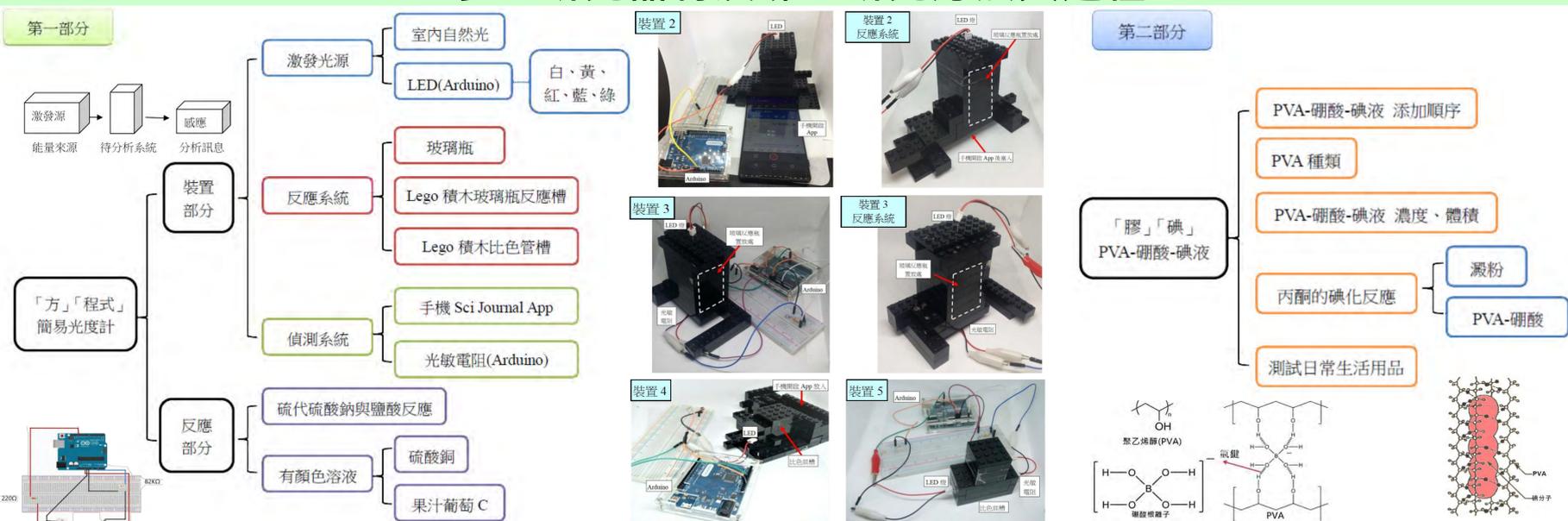
## 貳、研究目的

本作品主要是利用智慧型手機搭配測量用App或Arduino搭配光敏電阻來做簡易光度計，以此為工具，來測量聚乙烯醇(polyvinyl alcohol, PVA)、硼酸與碘產生藍色的反應，並替代澱粉做為指示劑。探討的變因有PVA種類與濃度、碘液濃度、硼酸水溶液濃度等，找尋最佳條件後，再運用到以澱粉為指示劑之相關實驗中。

- 一、利用手機Sci Journal App或Arduino做簡易照度測量，應用在國中理化的實驗中。
- 二、結合手機Sci Journal App或Arduino，自製簡易光度計，測量不同溶液的吸光值。
- 三、找尋最佳使用PVA種類、硼酸溶液所需之最低濃度，最小用量。
- 四、探討聚乙烯醇-硼酸-碘液三種溶液加入順序的影響。
- 五、探討聚乙烯醇-硼酸-碘液三種溶液之間比例的影響。
- 六、利用此配方進行丙酮碘化反應的速率。
- 七、利用此方法測量日常生活用品中是否含有PVA。



## 參、研究器材及肆、研究方法與過程

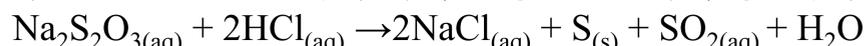


## 伍、研究結果與討論

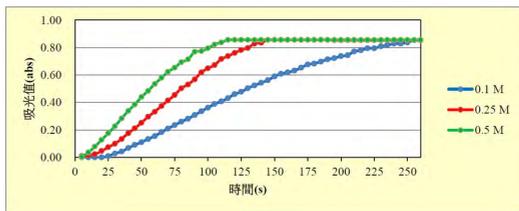
### 第一部分：自製簡易光度計進行硫代硫酸鈉與鹽酸反應測量或有色溶液測量

#### 一、進行【實驗一】

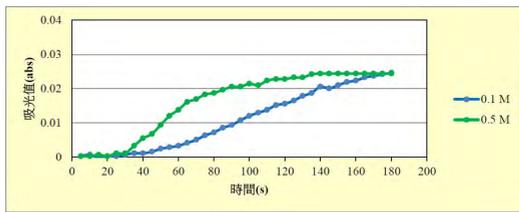
國中理化常利用硫代硫酸鈉與鹽酸反應，用來探討反應速率時的主要例子，其中定義反應終了的時間是用肉眼判定錐形瓶下面的十字何時被遮住，但何時遮住十字常常會因人而異。此反應的反應式如下：



若直接將反應樣品瓶置於手機感光元件上，誤差大，容易受周遭環境光線影響，所以改用裝置2、裝置3測量硫代硫酸鈉與鹽酸的反應。當使用0.5 M鹽酸時，肉眼判斷約60秒就能說是反應結束，但經由自製簡易光度計判定的反應終了時間為120秒；測得的數據會比用肉眼判斷此實驗的反應速率是較具客觀性的。



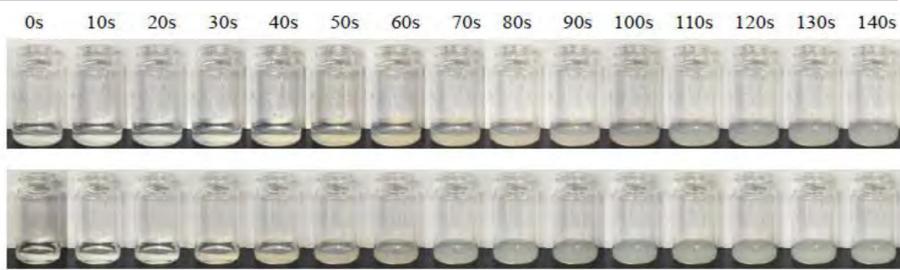
圖(七) 裝置2測定不同濃度鹽酸與硫代硫酸鈉的反應



圖(八) 裝置3測定不同濃度鹽酸與硫代硫酸鈉的反應

(表一) 以手機 App 在不同條件不同裝置下測量光度值

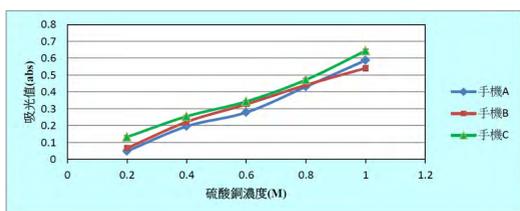
光度值 (Lux)	自然室內 燈光照	放置 樣品瓶	樣品瓶 裝水	硫代硫酸鈉 與鹽酸反應結束
裝置 1	882	847	862	上升至 1070
裝置 2	自然室內 燈光照	放置空樣品瓶，蓋上 蓋子，開啟 LED	樣品瓶裝水，蓋上 蓋子，開啟 LED	硫代硫酸鈉 與鹽酸反應結束
	341	1006	1143	下降到 330



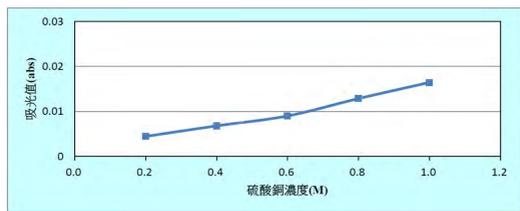
圖(六) 不同鹽酸濃度，產生黃色硫沉澱

#### 二、進行【實驗二】

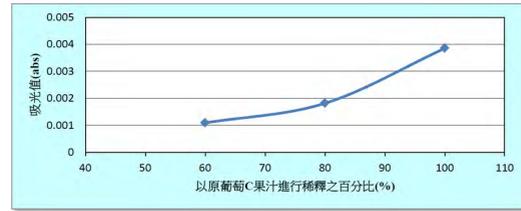
以自製簡易光度計裝置4與裝置5來測量硫酸銅水溶液與日常生活中的飲料，其吸光值隨濃度的變化圖，果汁葡萄C部分是以原始濃度當作100%，稀釋1/5的為20%。



圖(九) 使用裝置4以不同手機測量硫酸銅溶液之吸光值



圖(十) 使用裝置5測量硫酸銅溶液之吸光值



圖(十一) 使用裝置5測量葡萄C果汁稀釋後溶液之吸光值

## 第二部分：PVA-碘液-硼酸系統反應

### 一、進行【實驗三】添加順序對膠碘溶液顯色效果的影響：

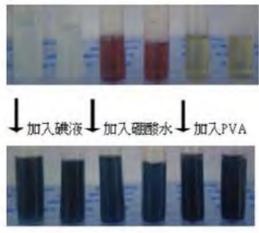
- (一) 先將硼酸水溶液與PVA混合先產生交聯物，再加入碘液。若PVA或硼酸濃度較濃時，溶液會有白色混濁物。
- (二) 先PVA及碘液混合後，最後再加入硼酸，變色情形較淡，推測碘已進入PVA的結構中，導致影響了交聯效果。
- (三) 前兩者順序對調，對顏色影響不大。
- (四) 由於上述原因，我們選擇的加入順序為：碘液與硼酸水混合後，最後再滴加PVA。

### 二、進行【實驗四】：

不同種類PVA時，當濃度為0.1%時不易產生棉絮，顏色為藍色，以PVA甲顏色最淡；但當濃度為3%時，除了PVA甲、丙外，其它均會產生棉絮或者顏色偏紫紅，PVA丙會有較多起泡沫現象。由此實驗結果可得知PVA選用以PVA甲，濃度0.1%最適合。

(表三) 三種物質添加順序對溶液顏色的影響

加入順序 1	加入順序 2	R	G	B	色塊	加入順序 3	R	G	B	色塊
PVA	硼酸水	130	138	141	■	碘液	26	32	44	■
硼酸水	PVA	140	144	145	■	碘液	24	28	39	■
PVA	碘液	88	51	58	■	硼酸水	26	43	59	■
碘液	PVA	74	43	49	■	硼酸水	19	35	58	■
碘液	硼酸水	123	121	106	■	PVA	19	25	37	■
硼酸水	碘液	104	104	92	■	PVA	20	24	35	■



圖(十二) 不同添加順序

### 三、進行【實驗五】：

#### (一) 不同PVA濃度：

PVA濃度介於0.1~1%時，溶液呈現藍色，且其吸光值與濃度有符合比爾定律，呈現線性關係；但當濃度為2%以上時顏色會偏紅，由色碼判讀後，以B/R的比值對濃度作圖，可發現其比值明顯下降了。整體而言，可以使用0.1%的當作PVA的最小濃度。

#### (二) 不同PVA體積與硼酸濃度：

實驗中發現增加PVA的體積量，吸光值會因為量的多寡而成正比，符合比爾定律。但從顏色得知，體積為7.5mL時顏色會過於深；硼酸濃度1.25%和2.5%的情形下，不足夠與PVA形成交聯物，導至碘分子無法形成藍色錯合物，而是呈現碘液的淡褐色。因此適合進行實驗的硼酸濃度為5%。

#### (三) 不同硼酸、碘液體積所得結果合併整理於：

當硼酸的體積為3、4.5及6 mL時，無法與PVA形成類似澱粉的結構，因此只有碘液被稀釋後的顏色，所以選擇7.5 mL的當作硼酸體積的最佳化；而碘液的量，0.5 mL以下顏色過淺，而1 mL以上的顏色和數據都會因為太深而測量不易，所以最佳碘液用量為0.75 mL。

(表五) 不同PVA濃度測得電壓值與讀取色碼RGB結果

PVA 濃度(%)	電壓(V)	電壓差值 $\Delta V$	R	G	B	R/B 比值
0.1	4.72	0.17	70	113	131	1.871
0.25	4.69	0.20	68	95	106	1.559
0.5	4.52	0.37	34	60	83	2.441
1	4.39	0.50	31	46	70	2.258
2	4.62	0.27	45	44	57	1.267
3	4.63	0.26	55	44	52	0.945

(表六) 不同PVA體積與硼酸濃度所測得之電壓與溶液顏色色碼

PVA (mL)	電壓		讀取色碼			硼酸 (%)	電壓		讀取色碼		
	V	$\Delta V$	R	G	B		V	$\Delta V$	R	G	B
2.5	4.81	0.08	77	129	130	1.25	4.86	0.03	197	186	161
5	4.72	0.17	70	113	131	2.5	4.86	0.03	190	183	159
7.5	4.61	0.28	29	71	102	5	4.72	0.17	70	113	131

(表七) 不同硼酸體積與不同碘液體積所測得之電壓與溶液顏色色碼

硼酸 (mL)	電壓		讀取色碼			碘液 (mL)	電壓		讀取色碼		
	V	$\Delta V$	R	G	B		V	$\Delta V$	R	G	B
3.0	4.89	0.00	200	194	175	0.25	4.89	0.00	194	186	176
4.5	4.88	0.01	184	182	170	0.50	4.86	0.03	113	141	147
6.0	4.84	0.05	142	158	155	0.75	4.72	0.17	70	113	131
7.5	4.72	0.17	70	113	131	1.00	4.68	0.21	28	72	95
9.0	4.63	0.26	31	62	94	1.25	4.55	0.34	28	49	72

### 四、進行【實驗六】丙酮的碘化反應：

條件a、b反應時間及結果差異不大，所以以PVA取代澱粉的想法是可行的，但在此反應中酸性是必要的。我們改變硼酸水溶液的體積，若硼酸太少或太稀，將無法使溶液由藍變成無色。

### 五、進行【實驗七】所得的結果整理如圖(二十七)。

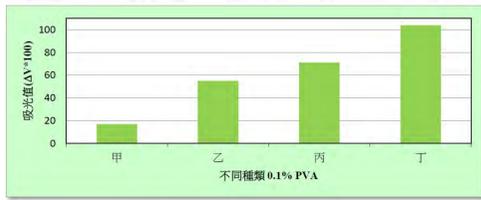
由圖(二十七)可以推測，標籤紙中應含有PVA的成分，但貼布中應該沒有。此外，我們還發現貼布泡水後會發生膨脹，且吸水量極大，導致反應無法進行。

(表八) PVA及澱粉的反應條件與不同硼酸體積的反應條件

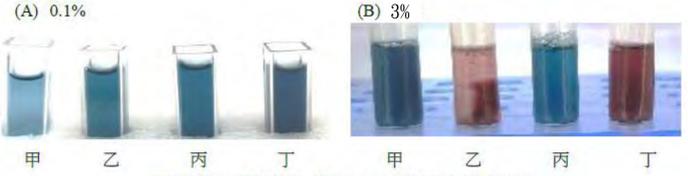
控制變因：2M HCl、10%丙酮、0.0125 M 碘液，整體體積 10 mL				控制變因：2M HCl、10%丙酮、3% PVA 甲、0.0125 M 碘液，整體體積 10 mL			
0.1% PVA		澱粉		硼酸體積			
V(mL)	a	V(mL)	b	V(mL)	c	d	a
鹽酸	1	鹽酸	1	鹽酸	1	1	1
丙酮	3	丙酮	3	丙酮	3	3	3
PVA	0.5	澱粉	3 滴	PVA	0.5	0.5	0.5
硼酸	5	水	5.5	水	4	2	0
碘液	0.5	碘液	0.5	硼酸	1	3	5
				碘液	0.5	0.5	0.5

(表四) 不同種類PVA之電壓與顏色以及不同濃度PVA結塊情形

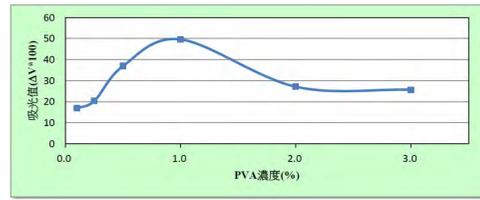
PVA	電壓(V)		讀取色碼			濃度	結塊情形		
	V	$\Delta V$	R	G	B		0.1%	1%	3%
甲	4.72	0.17	70	113	131	甲	否	否	否
乙	4.34	0.55	32	66	82	乙	否	否	是
丙	4.18	0.71	26	54	77	丙	否	否	否
丁	3.85	1.04	28	41	56	丁	否	否	是



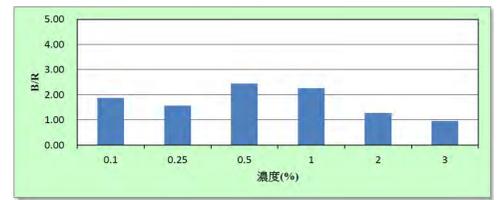
圖(十三) 不同種類 PVA 之吸光值



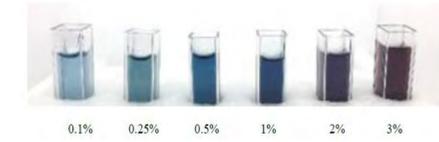
圖(十四) 不同種類、濃度 PVA 所形成之膠碘溶液



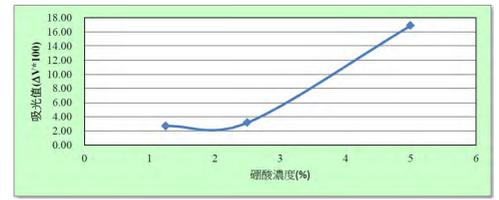
圖(十五) 不同濃度PVA的膠碘溶液之吸光值



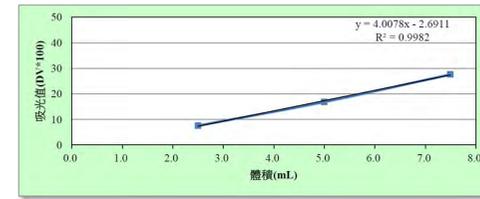
圖(十六) 不同濃度PVA的膠碘溶液之B/R比值



圖(十七) 不同濃度PVA的膠碘溶液之呈色情形



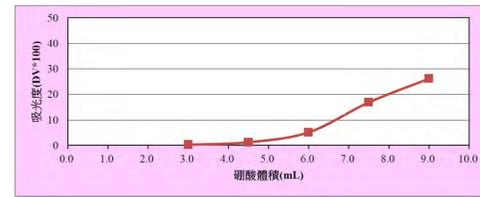
圖(十九) 不同濃度硼酸的膠碘溶液之吸光值



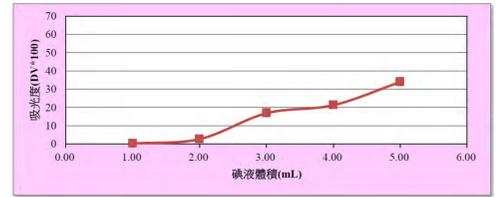
圖(十八) 不同體積PVA的膠碘溶液之吸光值



圖(二十) (A)不同體積PVA (B)不同濃度硼酸的膠碘溶液之呈色情形



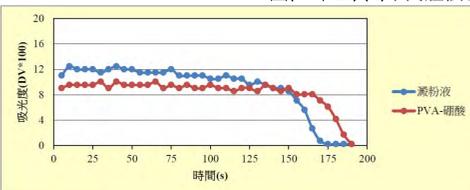
圖(二十一) 不同體積硼酸的膠碘溶液之吸光值



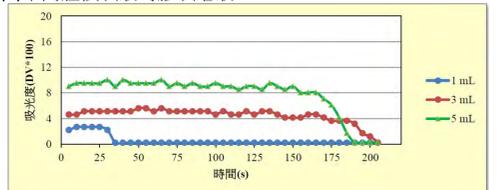
圖(二十二) 不同體積碘液的膠碘溶液之吸光值



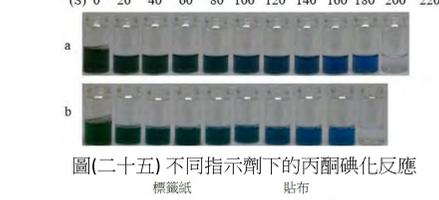
圖(二十三) (A)不同體積硼酸 (B)不同體積碘液的膠碘溶液



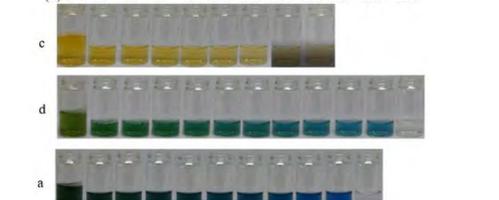
圖(二十五) 不同指示劑下的丙酮碘化反應



圖(二十六) 不同體積硼酸的丙酮碘化反應



圖(二十七) 檢測日常生活中用品有無PVA

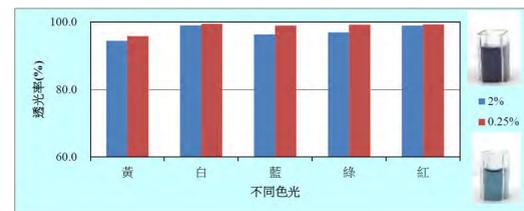


圖(二十六) 不同體積硼酸的丙酮碘化反應

## 陸、討論

### (一)有關手機App以及Arduino的結合運用

手機內建頗多的感測元件，我們選擇Sci Journal App裡的照度計，將其與Arduino、積木組裝的裝置結合，可以運用在一些國中的理化實驗上作為定性定量的工具。我們用不同LED色光對膠碘溶進行測量，結果偏紅色的溶液在黃色或藍色LED燈為光源時，明顯與藍色溶液的穿透率不同，所以以自製光度計測量有色溶液的吸光值時，光源選擇仍以單色光較佳。



圖(二十八)用不同LED色光對膠碘溶液用不同濃度PVA之透光率

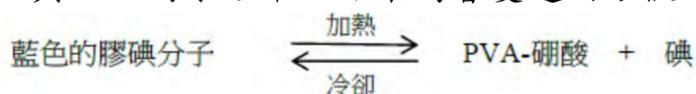
### (二)有關「膠」「碘」溶液：PVA-硼酸-碘液錯合物

我們加入KI/I<sub>2</sub>進入史萊姆裡，意外觀察到史萊姆由透明呈現玫瑰金顏色，為了檢驗這顏色變化的原因，我們先檢驗加入的KI性質是否改變？將硝酸鉛滴在呈現玫瑰金色的史萊姆上，表現會開始變黃，隨著時間變長，整體顏色會變成黃色，這是因為發生了此反應式： $Pb^{2+}(aq) + 2I^{-}(aq) \rightarrow PbI_2(s)$ ，產生了黃色的碘化鉛沉澱，表示KI仍保有其性質。

進一步我們滴加硫代硫酸鈉到藍色的膠碘溶液中，變成無色，所以碘也仍保有其氧化劑性質。此反應式為： $I_2 + 2S_2O_3^{2-}(aq) \rightarrow 2I^{-}(aq) + S_4O_6^{2-}(aq)$

純粹加入KI並無法使PVA變色；但再加入雙氧水後，KI被還原出I<sub>2</sub>，溶液呈紅褐色，再加入硼酸水，呈藍色。而加入PVA和KI的溶液，再加飽和硼酸水後，溶液只呈白且混濁的狀態。由此可知，藍色或玫瑰金色成因是因PVA+硼酸+I<sub>2</sub>。此檢驗過程可用來作為氧化還原的實驗，簡易減毒也減量。

澱粉-I<sub>2</sub>藍色錯合物溫度高於50°C時，碘分子會離開澱粉分子結構而使溶液呈現無色。我們也對膠碘溶液進行不同溫度的觀察。將裝有該溶液試管放入定溫40°C、50°C與60°C的水浴中，結果均會變透明！假設這是一個平衡反應，其反應式為：



我們發現將膠碘溶液放在空氣中，藍色也會漸漸變淡，吸光值變化如圖。

### (三)PVA種類對實驗的影響：

分子量較小的PVA甲與丙和分子量較大的乙、丁，加入碘液、硼酸水後，分別顯現藍色與紅色。

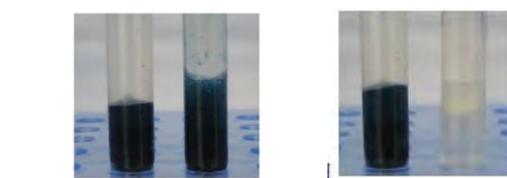


不同PVA種類

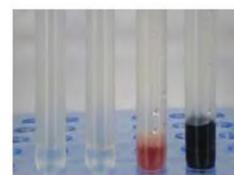
### (四)有關丙酮的碘化反應：



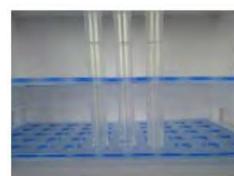
以澱粉當指示劑時，可以藉由藍色變成無色來測定反應速率。但製作1%澱粉溶液時，因溶解度差，需加熱到80°C或攪拌超過半天後再離心，才能使用，但濃度是無法定量，且有時不同來源的澱粉結果會不同。若使用我們膠碘溶液的配方，是可以PVA與硼酸取代澱粉作為指示劑。



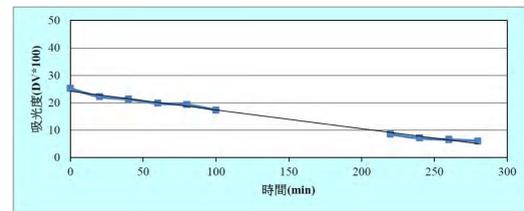
加入硫代硫酸鈉



左至右為：  
加PVA、加KI、加H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、加硼酸水



左至右為：  
加PVA、加KI、加硼酸水



膠碘溶液隨著時間變淡的情形

## 柒、結論

### 第一部分：自製簡易光度計進行硫代硫酸鈉與鹽酸反應測量或有顏色溶液測量

- 藉由「方」形積木，可以自由拼裝出適合反應的裝置。使用裝置3以Arduino的「程式」來控制光源、光敏電阻，測量電壓值或用裝置2以手機裡的軟體Sci Journal App來測量光度值，兩者一致，且有準確度。
- 再以「方」形積木拼裝出裝置4與裝置5，搭配手機App或Arduino，我們測得硫酸銅水溶液以及日常生活中有顏色飲料的吸光值，且其趨勢線方程式，有符合比爾定律，呈現線性的關係。

### 第二部分：「膠」「碘」溶液：PVA-硼酸-碘液反應系統

- 膠碘溶液可呈藍色，與硼酸量有關係。硼酸濃度過稀或體積太少無法呈藍色。25 mL膠碘溶液，5%硼酸水，體積要≥4.5 mL，才能與PVA形成交聯物，加碘液後使溶液呈藍色；若硼酸量≤4.5 mL，會導致與PVA交聯結構不足，加入碘液後溶液呈黃褐色。若硼酸與較大分子量的PVA形成非水溶液，而是有結塊，此時加入碘液，就如同支鏈澱粉加入碘液後發生的情形，不會顯出藍色，而是顯呈紫紅色。
- PVA、硼酸與碘液加入的順序，先加的兩者順序對調，對顏色影響不大；先加入PVA及碘液，再加入硼酸水溶液後，變色情形較淡；先加入硼酸水溶液與PVA時，混合液易在加入碘液前生成交聯物，有時溶液會呈淡白色混濁；最後我們選擇的加入順序為：先碘液→再硼酸水→最後PVA。
- 膠碘溶液受到光與熱時，藍色會變淡，表示碘分子在PVA-硼酸所形成的結構中，其作用力不是很強。
- 丙酮的碘化反應中，以PVA與硼酸代替澱粉做為指示劑，硼酸水體積若低於整體體積的20%，溶液無法顯色；但碘液體積可減量到整體體積的3%都能顯藍色。加了澱粉的丙酮與鹽酸溶液的碘化反應時間，和丙酮跟PVA和硼酸水溶液的碘化反應時間差不多，所以以PVA和硼酸水溶液取代澱粉做為指示劑的想法是可行的。

## 捌、參考資料

- 國中自然與生活科技第三冊，光與顏色，第四冊，有機化合物，化學反應速率，康軒出版社。
- 李銘哲、陳意曉、陳佑銘、李景煊，第四十三屆全國中小學科展作品高中組化學科-大家一起來比色—比色法實驗器材的創新及改良。
- 沈冠宇、彭裕文、楊富雄、高維鴻，第四十六屆全國中小學科展高中組化學科-自製濃度觀測工具及其在高中化學實驗的應用。
- 劉燕孝、廖家榮，利用手機及App開發化學探究與實作課程-高中奈米硫粒實驗反應速率的測定。台灣化學教育，第28期。
- 張崑智，第五十七屆中小學科展覽會作品國小組生活與應用科學科-窮則「便」「便」則通小小創客自製樂高手機光譜儀及Arduino RGB LED光度計。
- 王暉偉、邱耀慶、郭主歆，第四十七屆全國中小學科展作品國中組理化科-解開「澱粉~碘」的藍色密碼。
- 周芳瑜、江庭瑩、卜嘉榕、何毓倫，第四十八屆全國中小學科展作品高中職組化工衛工及環工科-碘液調色盤--直鏈澱粉定量方法之改良。
- 丙酮的碘化反應，第三十一屆國際化學奧林匹亞競賽實作測驗。
- 2018居禮夫人化學營營手冊。呂家榮教授實驗室團隊 臺灣師範大學化學系。