

2023 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 成果報告表單

題目名稱： 是多是少「照」我說的算~探討手機色度計在變色實驗中的應用
一、摘要
<p>本研究經由實驗設計自製比色計拍照檢驗，可準確的計算葡萄糖濃度。還可以測出直鏈澱粉相對於糯米粉的混合液準確的比例，進而可運用在生活上觀察各種顏色變化。依照各種不同濃度的葡萄糖溶液在與本氏液反應完畢後，都呈現紅棕色，其色相 H 值約固定在 22~37 度左右，亮度則大致維持定值。飽和度 S 隨溶液的葡萄糖濃度的增加而增加，因而 S 值可用來推算葡萄糖濃度。澱粉比例的變化，在飽和度 S 值和亮度 L 值沒有穩定的規律，而色相 H 值則會從直鏈澱粉所呈現的藍黑色 210 度漸漸的連續變化到糯米粉（支鏈澱粉）所呈現的紅紫色 370 度。因而 H 值可用來推算直鏈與支鏈澱粉的占比。不管是支鏈澱粉或是直鏈澱粉，應注意當溫度在 40°C 以上時顏色會很快褪掉，因此檢測澱粉的顯色反應應該冷卻後的情況進行，支鏈澱粉退色的速度又比直鏈澱粉更快，滴入碘液後應迅速搖晃混合均勻後應立刻拍照檢定讀值。比色計在可以快速精準的分辨顏色，減少人為誤差。例如未來還可以研究酸鹼度的檢驗透過試劑呈色後再由 App 拍照讀值。</p>
二、探究題目與動機
<p>一年級上生物課時我們學到了用本氏液檢測葡萄糖水溶液的濃度，課本所教用顏色由藍色到紅色漸變的判別方法，很難判斷出濃度確切的值。最近上社團課時發現別組的同學使用比色計可以精準的判斷出顏色的深淺及顏色的 HSL 值，實在是好方法。但比色計是一個昂貴又不常使用的儀器，所以我們就想說可不可以自己寫一個自製的比色計，這樣不但方便實驗中使用，又不需要購買昂貴的儀器。一旦有了比色計我們就再想還可以應用在何處呢，同學說：過年期間到外婆家跟外婆一起做年糕的時候，外婆提及半成品糯米糰的比例無法快速判別十分困擾，或許就可以試試看運用我們的自製比色器來判別。所以我們就啟動了一連串的實驗，用來探究手機色度計在可由變色觀察的實驗中，如何精確判別混合物質所占份量是多還是少，如果可以「拍一下照片」就得知結果，那就實在太美妙了！</p>
三、探究目的與假設
<p>由於我們想探討是否可以用手機實作一個類似比色計功能的 App，利用拍照分析顏色的方式來觀察和比較顏色細微的變化，進而達到定量的檢定。以下是探究假設與研究目的：</p> <ol style="list-style-type: none">1. 探討是否可以運用市售比色計檢測出未知葡萄糖溶液的濃度<ol style="list-style-type: none">1-a. 不同濃度葡萄糖溶液與本氏液呈色反應觀察與記錄1-b. 運用手機付費下載比色計 App 檢測並記錄分析2. 探討是否可以用 App Inventor 2 設計自製比色計<ol style="list-style-type: none">2-a. 研發拍照取色模組，讀取試管顏色 RGB 值並轉換成 HSL 值2-b. 分析建立葡萄糖溶液與本氏液呈色反應轉換檢量線之可行性

3. 探討是否可用自製比色計檢測直鏈澱粉相對於糯米粉(支鏈澱粉)不同比例混合液之佔比
- 3-a. 不同比例直鏈澱粉相對於糯米粉混合液與碘液呈色反應觀察與記錄
- 3-b. 分析建立不同比例混合液與碘液呈色反應轉換檢量線之可行性

四、探究方法與驗證步驟

(一)相關原理：

1. 還原糖測定：本氏液 (Benedict's reagent)，是用來檢驗還原糖，如葡萄糖、果糖、麥芽糖、乳糖等為還原糖，而蔗糖不是還原糖。本氏液的配製是由碳酸鈉、檸檬酸鈉和硫酸銅混合而成的化學試劑，其顏色為淡藍色。溶液呈淡藍色的原因是含有銅離子(Cu^{2+})，當銅離子與還原糖反應時二價銅離子(Cu^{2+})會還原成一價銅離子(Cu^{+})，並產生紅棕色的氧化亞銅(Cu_2O)沉澱。相關的文獻資料指出實驗中葡萄糖還原糖量低時，產生氧化亞銅相對較少，會和本氏液的淡藍色混色而且會呈現綠、黃、橙等色。



圖 3 本氏液酸鈉呈淡藍色的原因是含有銅離子(Cu^{2+})

2. HSL 色彩模型：HSL 即色相、飽和度、亮度 (英語：Hue, Saturation, Lightness)。HSL 是一種將 RGB 色彩模型中的替代表示法，比 RGB 更加直觀。色相 (H) 就是平常所說的顏色名稱，如彩虹的紅色到紫色等；飽和度 (S) 是指色彩的純度，越高色彩越純，低則逐漸變灰；亮度 (L) 就是明暗程度。HSL 把顏色描述成圓柱模型內的點，點繞著中心軸的角度對應於「色相」，取 0-360 度的數值；點到軸的距離對應於「飽和度」，取 0-100% 的數值；點沿著中心軸的高度對應於「亮度」，取 0-100%。RGB 對 HSL 的換算公式如圖 4，其中

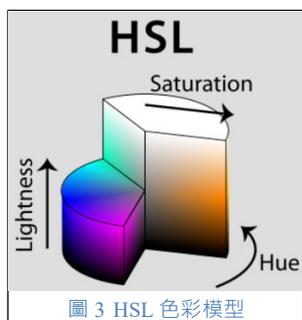


圖 3 HSL 色彩模型

$$R' = R/255 \cdot G' = G/255 \cdot B' = B/255 \cdot C_{max} = \max(R', G', B') \cdot C_{min} = \min(R', G', B') \cdot \Delta = C_{max} - C_{min} \cdot \cdot$$

$$H = \begin{cases} 0^\circ & \Delta = 0 \\ 60^\circ \times \left(\frac{G' - B'}{\Delta} \text{ mod } 6 \right) & , C_{max} = R' \\ 60^\circ \times \left(\frac{B' - R'}{\Delta} + 2 \right) & , C_{max} = G' \\ 60^\circ \times \left(\frac{R' - G'}{\Delta} + 4 \right) & , C_{max} = B' \end{cases}$$

圖 4-1 色相 H 換算

$$S = \begin{cases} 0 & , \Delta = 0 \\ \frac{\Delta}{1 - |2L - 1|} & , \Delta < > 0 \end{cases}$$

圖 4-2 飽和度 S 換算

$$L = \frac{(C_{max} + C_{min})}{2}$$

3.澱粉測定：支鏈澱粉是具有樹枝形分支結構的多糖，水溶性比直鏈澱粉差需要加熱才開始溶解。加熱糊化後的溶液分子中的鏈較為鬆散，因此具有較高的粘度。當支鏈澱粉糊化後與碘作用產生紅紫色，最常見的糯米粉是約 95% 的支鏈澱粉。純直鏈澱粉的結構呈現較規則的螺旋狀，同樣加熱糊化後黏度低，與碘作用產生藍黑色。

(二)探究方法：

步驟一、探討是否可以運用市售比色計檢測出未知葡萄糖溶液的濃度

1-a. 不同濃度葡萄糖溶液與本氏液呈色反應觀察與記錄

葡萄糖水溶液製備

- (1). 取 18 g 的葡萄糖與 50 mL 的純水混合成濃度 2 M 的葡萄糖水溶液。
- (2). 使用系列稀釋法依序配製 1M、1/2M、1/4M、1/8M、1/16M、1/32M、1/64M、1/128M 的葡萄糖水溶液靜置備用。

重現課本實驗：不同濃度葡萄糖水溶液與本氏液呈色反應觀察

以試管裝取 2mL 不同濃度的葡萄糖水溶液(2 M、1M、1/2M、1/4M、1/8M)及 2mL 純水做對照組。加入 0.5mL 本氏液，置於燒杯以恆溫隔水加熱並觀察顏色變化。

結果發現葡萄糖水溶液與本氏液混合隔水加熱的顏色變化，由淺藍色到紅棕色中間有短暫出現綠、黃、橘色、但很快速就過渡到橘紅色，如圖 1a-1。以 2 M 所花時間最短，依照濃度 1M、1/2M、1/4M、1/8M 遞減，反應所需時間遞增。對照組顏色無變化維持淺藍色。

討論後發現因為各種顏色短暫出現，就像之前無法依照國中生物課本所述觀察中間色調對濃度做出準確判斷。但是觀察試管，最終的橘紅色有些微的濃淡區別如圖 1a-2，我們便想利用拍照比色來看可否做出分別。待試管靜置 3hr 後可以較明顯看出有紅棕色的沉澱物，而紅棕色沉澱物的分量僅有些微之差不易量化。還可觀察到溶液有淡淡的藍、綠、黃、橘之差別，卻無法明確描述，試想是否也可以經由拍照比色來量化分別。



1-b. 運用手機付費下載比色計 App 檢測並記錄分析

實驗一：不同濃度葡萄糖水溶液與本氏液呈色反應以比色計 App 拍照取值

以試管裝取 2mL 不同濃度的葡萄糖水溶液(2 M、1M、1/2M、1/4M、1/8M，共 5 組)及 2mL 純水做對照組。加入 0.5mL 市售本氏液，置於燒杯以恆溫 90 度 C 隔水加熱至完全變色。取出依照濃度大小順序排列至試管架，再放入自製恆定光照度攝影棚，以 Colorimeter 手機比色計 App 每支試管逐一拍照紀錄，並讀取 HSL 值分析討論。



結果：葡萄糖溶液的顏色變化，依照各種不同濃度的溶液在與本氏液反應完畢後，都呈現紅棕色，色相 H 值約固定在 22~37 度左右(橘紅色)，飽和度 S 值則隨溶液的葡萄糖濃度的增加而增加，亮度 L 值則大致維持定值。

步驟二、探討是否可以用 App Inventor 2 設計自製比色計

2-a. 研發拍照取色模組，讀取試管顏色 RGB 值並轉換成 HSL 值

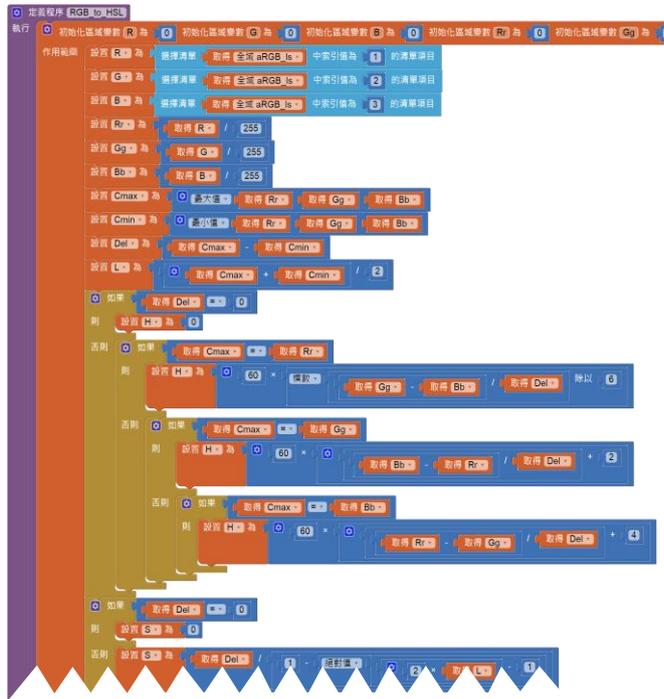


圖 2a-1 拍照取得 RGB 值 依公式換算 HSL 值的副程式 (部分)

程式規劃：

打開 App 後先拍照取得試管色彩，同組內應包含兩支標準溶液，一為高標濃度，一為低標濃度，用以建立參考標準。最後再以瞄準器取得待測溶液的試管色彩，便可算出待測濃度。

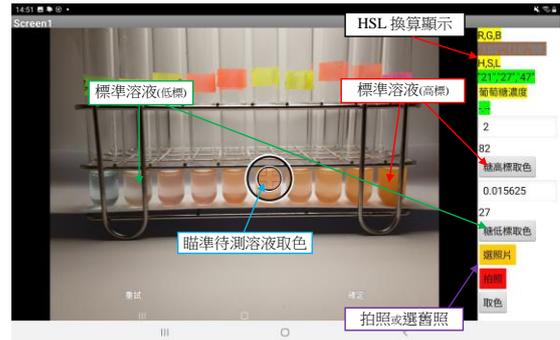


圖2a-2 用自製比色計，透過檢量線計算待測葡萄糖水濃度

2-b. 分析建立葡萄糖溶液與本氏液呈色反應轉換檢量線之可行性

實驗二：不同濃度葡萄糖水溶液與本氏液呈色反應以自製比色計 App 拍照取值

以試管裝取 2mL 不同濃度的葡萄糖水溶液(2 M、1M、1/2M、...、1/128M，共 9 組)及 2mL 純水做對照組。加入 0.125mL 市售本氏液，置於燒杯以恆溫 90 度 C 隔水加熱至完全變色。取出依照濃度大小順序排列至試管架，再放入自製恆定光照度攝影棚，以自製比色計 App 整組拍照一張，控制光照度條件，並換算個試管之 HSL 值分析建立檢量線公式。

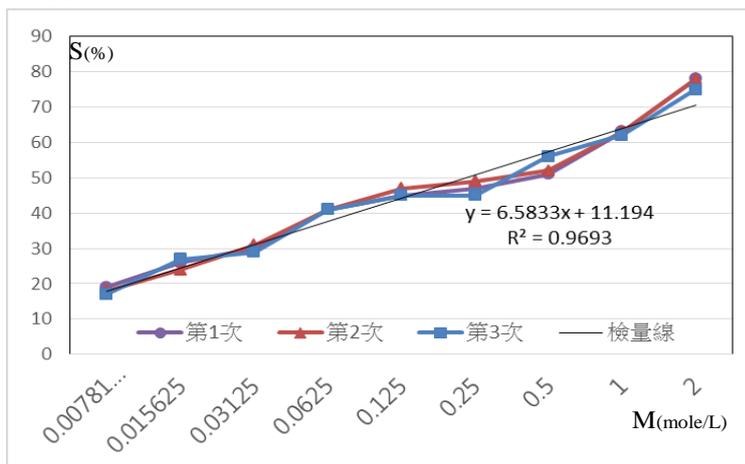


圖2b-1

結果：運用我們實驗二所設計的比色計拍照檢驗，精準的計算葡萄糖濃度。

步驟三、探討用自製比色計檢測直鏈澱粉相對於糯米粉(支鏈澱粉)不同比例混合液之佔比

3-a. 直鏈澱粉相對於糯米粉不同比例混合液與碘液呈色反應觀察與記錄

不同比例澱粉糊化水溶液製備

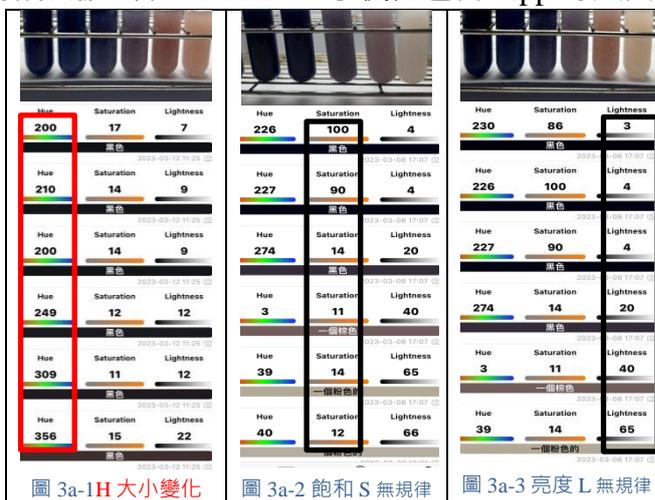
- (1)取 250mL 燒杯加入 2.5 g 的直鏈澱粉，100 mL 的純水混合。
- (2)取 250mL 燒杯加入 2 g 的直鏈澱粉，0.5 g 糯米粉，100 mL 的純水，混合成水溶液。直鏈澱粉依序遞減，糯米粉依序遞增。調出 4:1，3:2，2:3，1:4，及 0:5 的比例。
- (3)將 6 種不同比例的澱粉水溶液，以 90 度 C 恆溫加熱使之糊化且均勻混合。
- (4)待糊化且均勻混合後，放置冷卻至室溫備用。



圖 3a-1 不同比例糊化澱粉水溶液

實驗三：不同比例直鏈澱粉相對於糯米粉混合液與碘液呈色反應觀察與記錄

以試管裝取 5mL 不同比例的澱粉糊化水溶液。依序在各試管中加入兩滴碘液(約 0.08mL)，將搖晃試管使之均勻混合。依照比例大小順序排列至試管架，放入自製恆定光照度攝影棚，以 Colorimeter 手機比色計 App 每支試管逐一拍照紀錄，讀取 HSL 值分析討論。



結果：澱粉比例的變化，飽和度 S 值和亮度 L 值沒有穩定的規律，色相 H 值則會從直鏈澱粉所呈現的藍黑色 210 度漸漸的連續變化到糯米粉(支鏈澱粉)所呈現的紅紫色 370 度。

3-b. 分析建立不同比例混合液與碘液呈色反應轉換檢量線之可行性

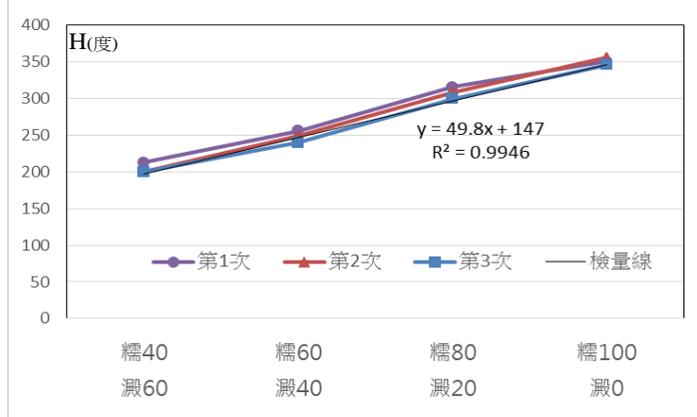


圖3b-1



圖3b-2 用自製比色計，透過檢量線計算待測糊化澱粉水溶液

討論：直鏈澱粉 100%、澱粉比例 4:1 兩項和比例 3:2 的顏色 H 值相等，無法辨識，故能僅取線性範圍內計算。若在範圍外應加一定量糯米粉作為偏移量調至可觀察計算的範圍內，算出一值後再扣掉偏移量回推待測值。

五、結論與生活應用

1. 經由以上三個實驗，我們發現可以運用我們實驗二所設計的比色計拍照檢驗，精準的計算葡萄糖濃度。還可以測出直鏈澱粉相對於糯米粉的混合液正確的比例，進而運用在生活上觀察各種顏色變化的場合。
2. 實驗一中葡萄糖溶液的顏色變化，依照各種不同濃度的溶液在與本氏液反應完畢後，都呈現紅棕色，色相 H 值約固定在 22~37 度左右(橘紅色)，飽和度 S 值則隨溶液的葡萄糖濃度的增加而增加，亮度 L 值則大致維持定值。
3. 實驗三中澱粉比例的變化，在飽和度 S 值和亮度 L 值沒有穩定的規律，但色相 H 值則會從直鏈澱粉所呈現的藍黑色 210 度漸漸的連續變化到糯米粉 (支鏈澱粉)所呈現的紅紫色 370 度。
4. 不管是支鏈澱粉或是直鏈澱粉，應注意當溫度在 40°C 以上時顏色會很快褪掉，因此檢測澱粉的顯色反應應該冷卻後的情況進行，支鏈澱粉退色的速度又比直鏈澱粉更快，滴入碘液後應迅速搖晃混合均勻後應立刻拍照檢定讀值。
5. 比色計在有顏色變化的實驗當中應當都是一個好用的工具，如酸鹼度的檢驗透過試劑呈色後再由 App 拍照讀值可以快速精準的辨識，減少人為誤差。

參考資料

1. 科技大觀園：為什麼吃年糕容易脹氣？
2. 銅金屬-本氏液。 <https://case.ntu.edu.tw/magichem/blog/?p=1239>
3. 維基百科：HSL 和 HSV 色彩空間。 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/HSL和HSV色彩空間>
4. 澱粉遇碘顯色原理。 <https://www.jendow.com.tw/wiki/澱粉遇碘顯色原理>
5. 蔡宜坦(2018)。 *App Inventor 2 互動範例教本 第三版*。旗標科技。