

2025年【科學探究競賽-這樣教我就懂】
普高組 成果報告表單

題目名稱：葡萄糖與斐林試劑攜手的繽紛共舞

一、摘要

斐林試劑與葡萄糖反應中的顏色變化，是由於銅離子(Cu^{2+})在葡萄糖的還原作用下被還原為亞銅氧化物(Cu_2O)，從而產生紅色沉澱。顏色的多樣變化與反應速率、葡萄糖濃度、反應條件(如pH值、溫度等)密切相關。實驗使用不同濃度的葡萄糖溶液，測量吸光度，來量化顏色改變程度，通過觀察顏色的變化，進一步分析不同濃度範圍內，顏色變化的規律，預期隨著葡萄糖濃度增加，顏色變化將更加明顯，幫助理解該反應與濃度關係。

二、探究題目與動機

(一)探究題目

了解不同濃度的葡萄糖溶液對反應結果的影響，以及如何在不同葡萄糖濃度下精確測量顏色變化，觀察是否會形成趨勢。設計實驗來更精確地測量各反應物的吸光值和RGB，並觀察其顏色變化的規律性，希望能為以後進行糖類測定的研究提供參考，甚至依據做出的結果表推算濃度及各項數值的相關化學方程式。

(二)動機

在我們的日常生活與課本中，糖分的濃度變化其實隨處可見，像是食物中的甜味或是血糖的波動等。在國中實驗檢測葡萄糖時，就發覺在斐林試劑與葡萄糖反應中，會形成美麗的顏色變化。這讓我們開始好奇，葡萄糖與斐林試劑間是否隱藏了什麼秘密？為何反應後竟能產生如此繽紛而鮮豔的色彩呢？因此，我們希望可以在這次的探究與實作中，一窺葡萄糖與斐林間的玄機。

三、探究目的與假設

(一)目的：

我們希望可以歸納出，葡萄糖溶液濃度與波長、吸收值等數據之間的關係。其中又細分為以下三面向：

1. 化學原理：深入理解斐林試劑與葡萄糖的變色反應與化學機制，及了解其涉及的反應原理。
2. 顏色變化與濃度：研究不同濃度葡萄糖與不同體積的斐林試劑反應時，顏色過渡時的可視效果及其明顯性，並找出最容易觀察的濃度區間。
3. 量化顏色變化：以吸光度分析顏色是否與葡萄糖濃度呈線性關係？並找出識別不同顏

色的方法。

(二) 假設：

1. 葡萄糖濃度與顏色變化呈正相關：隨著葡萄糖濃度的增加，加入斐林溶液後的顏色變化可能更加明顯，顏色從藍色逐漸轉變為紅色或橙色。或許是因為葡萄糖的濃度越高，還原作用越強，斐林試劑中的銅離子被還原，顏色變化的程度增強。
2. 葡萄糖濃度與分光光度計測得的吸光度呈正相關：葡萄糖濃度越高，分光光度計測得的吸光度數值或許越大。可能因為還原反應會釋放更多的紅色或橙色物質，這些物質在可見光區域的吸光度較強，從而使測得的吸光度增大。
3. 葡萄糖濃度與RGB數值呈現特定變化模式：隨著葡萄糖濃度的增加，RGB數值的變化會顯示出顏色的改變趨勢，特別是在紅色(R)和綠色(G)的數值上，紅色會增強，綠色則會減少。或許是由於顏色變化時，藍色向紅色或橙色過渡，這將在RGB模式中，反映為紅色數值增加，綠色數值減少。
4. Cu_2O 沉澱粒子會影響顏色變化：實驗反應過程中， Cu_2O 的沉澱會影響葡萄糖溶液顏色，兩者間會存有特定的加乘效果。

四、探究方法與驗證步驟

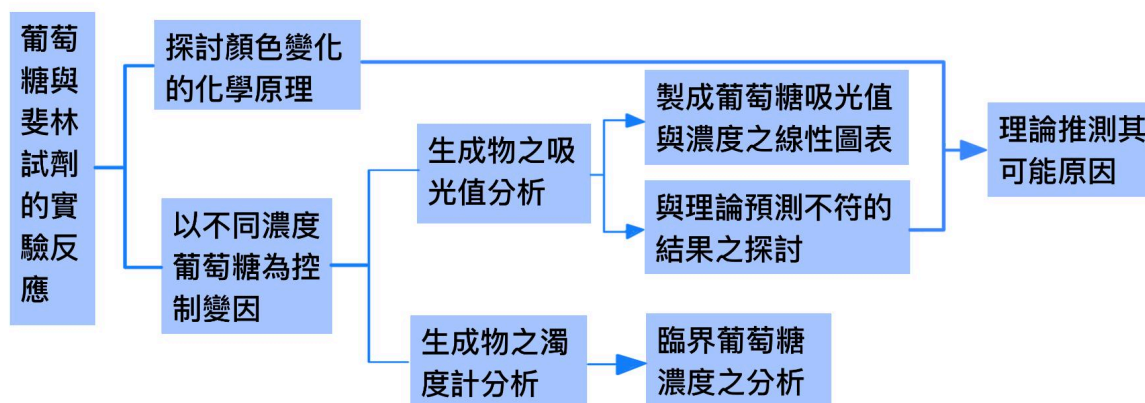
(一) 實驗器材

試管、試管架、恆溫槽、離心機、分度吸量管、玻棒、燒杯、刮勺、標籤貼紙、濁度計、塑膠樣品瓶、電子秤、Camera RGB Color Picker、Desmos

(二) 藥品

葡萄糖(Glucose) $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 、氫氧化鈉(Sodium hydroxide) NaOH 、五水合硫酸銅 (Cupric sulfate) $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、四水合酒石酸鉀鈉 (Potassium sodium tartrate tetrahydrate) $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、蒸餾水

(三) 實驗架構



子題一:探究奈米及大型沉澱顆粒的氧化亞銅顆粒的臨界葡萄糖濃度

子題二:以定量但不同濃度的葡萄糖溶液加入定量斐林後的顏色變化,製作出一個
葡萄糖溶液濃度對應顏色波長表格

(四) 實驗時程配置

實驗第一週,考量初步著手實驗,以熟悉未來需要使用到的儀器為主軸。練習正確使用不常接觸的分度吸量管等特殊實驗工具,配葡萄糖溶液濃度。亦學習恆溫槽機上按鈕,調整溫度。同時尋找到適合的程式軟體檢測不同濃度葡萄糖溶液的RGB數值。第二週為藥品製備。加入用五水合硫酸銅以及四水合酒石酸鉀鈉,配置成的斐林 A試劑與斐林B試劑。準備大量斐A斐B,以利往後實驗可直接取用,將兩者混和配置成一般化學藥品販賣之成品「斐林試劑」。


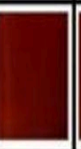
第三週到第十五週,主要在第一週所學的實驗相關知識,配置出不同濃度的葡萄糖溶液。調配出濃度0.001~0.01和0.01~0.1和0.1~1.0三段濃度範圍,各切十等分之葡萄糖溶液,進行數據抓取對象。由於希望有別於其他科展相關主題,因此特別要注意「定量」。定量實驗分為兩組,第一組為:斐A一毫升+斐B一毫升+葡萄糖溶液二毫升(依照使用的溶液之毫升數,為方便書寫,略稱為「112」),第二組為:斐A三毫升+斐B三毫升+葡萄糖溶液六毫升,(依照使用的溶液之毫升數,為方便書寫,略稱為「336」)。混合好的混和物溶液,試管放進試管架,再放入恆溫槽進行加熱,固定實驗組加熱恆溫槽之環境水溫度為六十度。在加熱過程中,不定時以玻棒攪拌試管。十分鐘後取出試管,進行測量。測量面相包含以濁度計測量水中懸浮固體含量,以分光光度計測量吸收值以及波長,以Camera RGB Color Picker 收機軟體得出RGB三色數值,以色卡比對加熱後溶液顏色,得出第二組顏色參考數值。第十六週,依據前十五週的溶液吸收值(圖一、不同濃度葡萄糖溶液之波長對應吸收值趨勢圖)、波長、濁度數值、RGB三色比例、Hex色碼對應卡號等資料結果進行討論,透過繪製表格以及利用 Desmos 軟體代入座標以及數據,計算出最適回歸直線(圖二、葡萄糖溶液對應波長圖)。



五、結論與生活應用

(一) 實驗結論

探討葡萄糖與斐林試劑的實驗反應。首先,從已知化學反應式以及實驗三重複下看出,葡萄糖在鹼性溶液中會將銅二離子還原為氧化亞銅。再依據表1、圖三顯示

表1、葡萄糖濃度之顏色、Hex色碼、吸收值、波長(研究者自行繪製)

葡萄糖溶液濃度	1M	0.9 M	0.8 M	0.7 M	0.6 M	0.5 M	0.4 M	0.3 M	0.2M	0.1 M	0.09 M	0.08 M
顏色												
Hex色碼	#4D0000	#750000				#AE0000			#F75000	#FFD306		
吸收值	2.17	2.05	2.9	3	2.08	2.1	1.91	1.92	1.9	1.81	1.7	1.71
波長	未紀錄					440	440	440	440	440	435	435
葡萄糖溶液濃度	0.07 M	0.06 M	0.05 M	0.04 M	0.03 M	0.02 M	0.01 M	0.009 M	0.008 M	0.007 M	0.006 M	0.005 M
顏色												
Hex色碼	#C6A300	#D9B300			#DAB1D5	#D2A2CC	#0000C6					
吸收值	1.9	1.71	1.74	1.16	0.74	0.65	1.13	1.1	1.36	1.8	1.42	1.46
波長	435	435	435	410	400	400	650	650	650	650	650	640

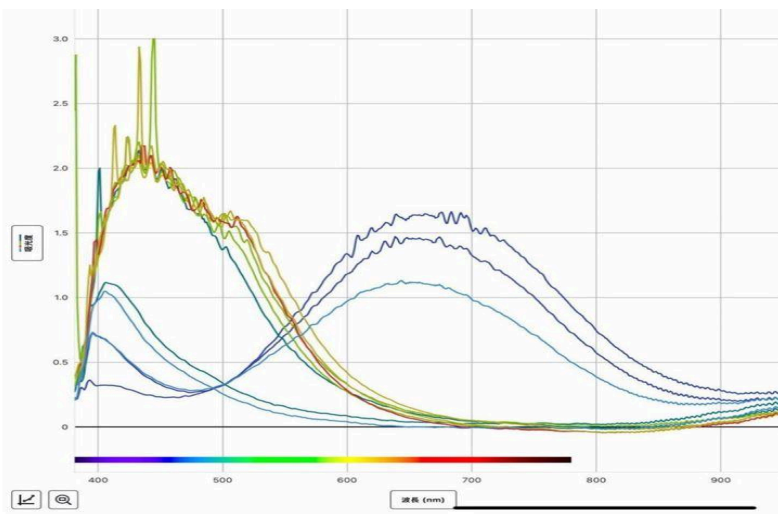
葡萄糖濃度	0.004 M	0.003 M	0.002 M	0.001 M
顏色				
Hex色碼	#0000C6			
吸收值	1.40	1.80	1.50	1.66
波長	650	650	670	670



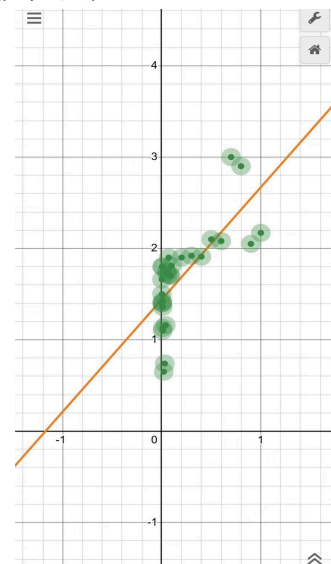
圖三、加熱後溶液顏色示意圖

當葡萄糖濃度越高，生成的紅色氧化亞銅沉澱也會增加，導致溶液顏色改變。在低濃度的葡萄糖溶液中，反應較緩慢，生成 Cu_2O 較少，顏色變化不明顯，可能呈淡黃色或橙色，而高濃度的葡萄糖會生成大量 Cu_2O ，顏色迅速過渡到紅色或深紅色。

接著以一樣的實驗化學反應，改使用分光光度計測量，發現 Cu^{2+} 與 Cu_2O 在不同波長下對光的吸收特性不同，這解釋了顏色隨反應進程的變化。也反映了反應中，不同氧化態銅化合物的生成與吸光性質。透過分光光度計(圖一、不同濃度葡萄糖溶液之波長對應吸收值趨勢圖)及回歸直線(圖二、葡萄糖溶液對應波長圖)



圖一、不同濃度葡萄糖溶液之波長對應吸收值趨勢圖



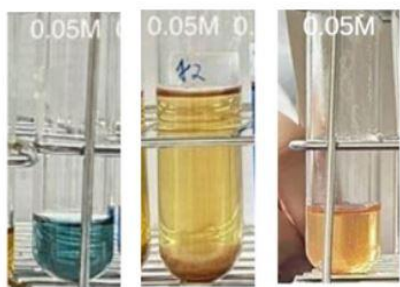
圖二、葡萄糖濃度對應波長圖

推測由於葡萄糖濃度愈小，肉眼看起來更藍，進而推論因為愈藍吸收紅光等長波段光線而反射短波段之藍光進入眼睛，因此由分光光度計測出來才會得到吸收值較大且同時波長較短的結果。同理，由於葡萄糖濃度愈大，肉眼看起來更偏向暖色系，反射

長波段光線，吸收短波段之藍光，測出才會得到吸收值較小波長較長的結果。

(二)問題反思

1. 儀器測得結論，原先針對第一子題實驗後發覺，濃度大小0.01M至0.0001M的葡萄糖溶液，在校正後的濁度計檢測下，顯示之數值都不是零，也就是即便濃度以配置到極小，仍檢測到有懸浮物於試管。由於時間有限，因此，在討論下決定放棄尋找大沉澱物與奈米切換的臨界濃度為何？改朝第二子題方向研究。
2. 根據肉眼觀察、分光光度計測量吸光值及三重複下，我們發現在加入斐林的葡萄糖溶液中，濃度高至低的溶液顏色變化大致為紅至藍。但在實驗進行過程中，曾出現一次112呈現淺綠色(圖三、一號0.05M葡萄糖溶液)，而同濃度下336卻為淺黃色(圖四、二號0.05M葡萄糖溶液)，後面再做相同濃度時亦為淺黃色(圖五、三號0.05M葡萄糖溶液)。我們認為原因，可以從兩個面向切入：



圖三 圖四 圖五

- 1) 肉眼中:依據眼睛目視，得出綠色及黃色兩種色彩會認為三種結果彼此毫無關係，甚至濃度差距極遠。但結果並非如此。查表即可得知，綠光及黃光的波長其實相近
- 2) 濃度上:葡萄糖溶液濃度剛好落在0.05M時，為銅離子是否還原完全的臨界濃度。還原不完全，產生綠色中間產物(圖三、一號0.05M葡萄糖溶液)，如銅與酒石酸配位形成的錯合物。還原較完全，則為橘色產物(圖四、二號0.05M葡萄糖溶液)(圖五、三號0.05M葡萄糖溶液)

(三)生活應用

我們利用探究過程，為葡萄糖測量濃度提供了別於過往的新方法。希望能透過定量實驗下得出的結論、表格以及數據折線圖，讓未來從事相關葡萄糖與斐林試劑研究的人，有所參考依歸。同時也能經各項數據檢測下，推出未知葡萄糖溶液之濃度。

參考資料

張德先與陳陽(2007)、PubMed(2013)、Khan Academy(2006)、Chemguide(2017)、Buddhi Prakash Jain, Shweta Pandey ,Shyamal K. Goswami(2016)、吳靖則、王伯丞、楊馥誠、林哲廷(2010)