

# 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 化學科

第二名

030208

色粒分明～探討本氏液與還原糖變色反應

學校名稱：雲林縣立樟湖生態國民中小學

作者：  國二 許芷薰  國二 江岳展  國二 林致宇	指導老師：  林傑民
-----------------------------------------------	------------------

關鍵詞：本氏液、銅離子、還原糖

## 摘要

本實驗以市售本氏液與自製本氏液與葡萄糖、果糖、麥芽糖等還原糖反應，證明課本上以藍、綠、黃、橙、紅的顏色變化來顯示葡萄糖的含量多寡有誤。透過過濾觀察產物顆粒、濾液混色實驗、利用廷得耳效應以雷射光照射觀察產物顆粒大小、及溶液靜置、離心等實驗，發現藍、綠、黃、橙、紅顏色變化可能是奈米級(顆粒大小介於  $10^{-9}\sim 10^{-7}$  m)的紅色氧化亞銅，與藍色硫酸銅溶液混色結果，故不能以顏色變化來代表還原糖的多寡。若要定量葡萄糖，可由葡萄糖與本氏液反應的「顏色與反應時間關係對應圖」中，反應終點顏色(紅色)到達時間來定量葡萄糖。

## 壹、研究動機

生物課本提到用本氏液檢驗葡萄糖會產生藍、綠、黃、橙及紅色的顏色變化，而且**含糖量的多寡會使其呈現不同顏色**(圖 1-1)。但實際做實驗時，將葡萄糖液與本氏液混合，卻**無法產生與課本一致的結果**；實際實驗反應中的黃色、綠色更是一閃而過，甚至會直接跳過。所以我們便開始思考，葡萄糖與本氏液反應為何會有藍、綠、黃、橙、紅的顏色變化，另外我們實際做出的顏色與課本中的不一樣，是不是由其他因素導致？

查詢相關資料後得知本氏液(Benedict's reagent)，又稱本尼迪克試劑、班氏試劑、本尼迪特試液、本納德試劑或本尼迪克試劑等，是一種淺藍色的化學試劑，用來檢驗還原性糖(即除了蔗糖外所有的單糖和雙糖)。而本氏液的命名源自於一位美國化學家，史丹利·羅斯特·本尼迪(Stanley Rossiter Benedict)。

本氏液的配製是由碳酸鈉、檸檬酸鈉和硫酸銅混合而成。溶液呈藍色的原因是含有銅離子( $\text{Cu}^{2+}$ )，當銅離子與還原糖反應時二價銅離子( $\text{Cu}^{2+}$ )會還原成一價銅離子( $\text{Cu}^{+}$ )，並產生紅色的氧化亞銅( $\text{Cu}_2\text{O}$ )沉澱。資料中也顯示還原糖量低時，產生氧化亞銅相對較少，而且會呈現綠、黃、橙等顏色。因此，本組想進一步探討是否真的可以用本氏液與還原糖反應的顏色變化來定量還原糖濃度。

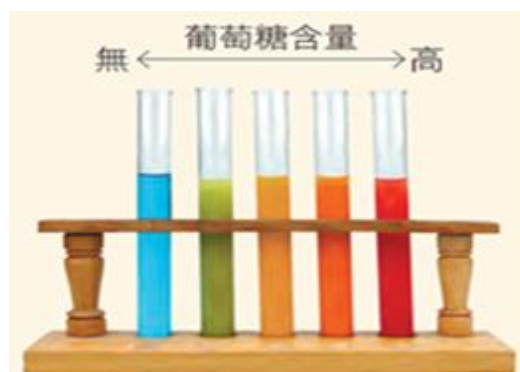


圖 1-1、課本以本氏液不同顏色表示葡萄糖的濃度

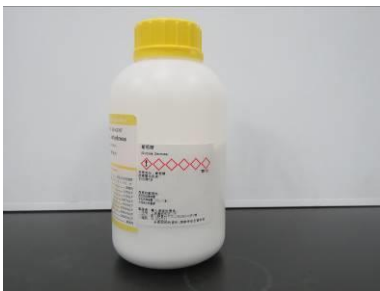


## 貳、研究目的

- 一、以不同濃度「純葡萄糖液」取代「澱粉+唾液」反應結果，確認與科學文本差異之處。
- 二、比較自製本氏液與市售本氏液與三種不同濃度的純醣溶液(葡萄糖、果糖、麥芽糖)反應，觀察其顏色變化。
- 三、探討三種醣類與自製本氏液的反應時間作為定量依據。
  - (一)、於 70 °C 觀察不同濃度之還原醣液與本氏液反應的顏色變化。
  - (二)、紀錄還原醣液與本氏液的顏色變化時間，作為定量還原醣依據。
- 四、中斷反應，進行過濾、離心，觀察產物，確認不同階段反應產物。
- 五、模擬原科學文本所顯示濃度與顏色變化出現可能原因。

## 參、研究設備及器材

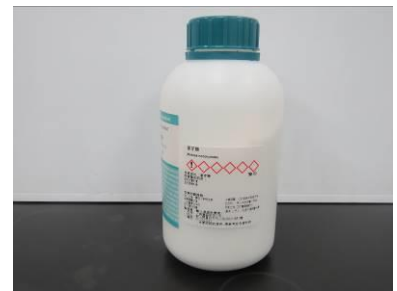
- 一、材料：蒸餾水、硫酸銅、檸檬酸鈉、碳酸鈉、葡萄糖、果糖、麥芽糖（圖 3-1a、b、c）



a、葡萄糖



b、果糖



c、麥芽糖

圖 3-1、試藥級純醣

- 二、實驗器材：酒精燈、試管、滴管、溫度計、火柴、陶瓷纖維網、三角架、量筒、電子秤、試管架、漏斗、濾紙、廣口瓶、秤藥匙，碼表、燒杯、玻璃攪拌棒、秤藥紙、離心機、離心管、雷射筆（圖 3-2-a、b、c）



a、離心機



b、離心管

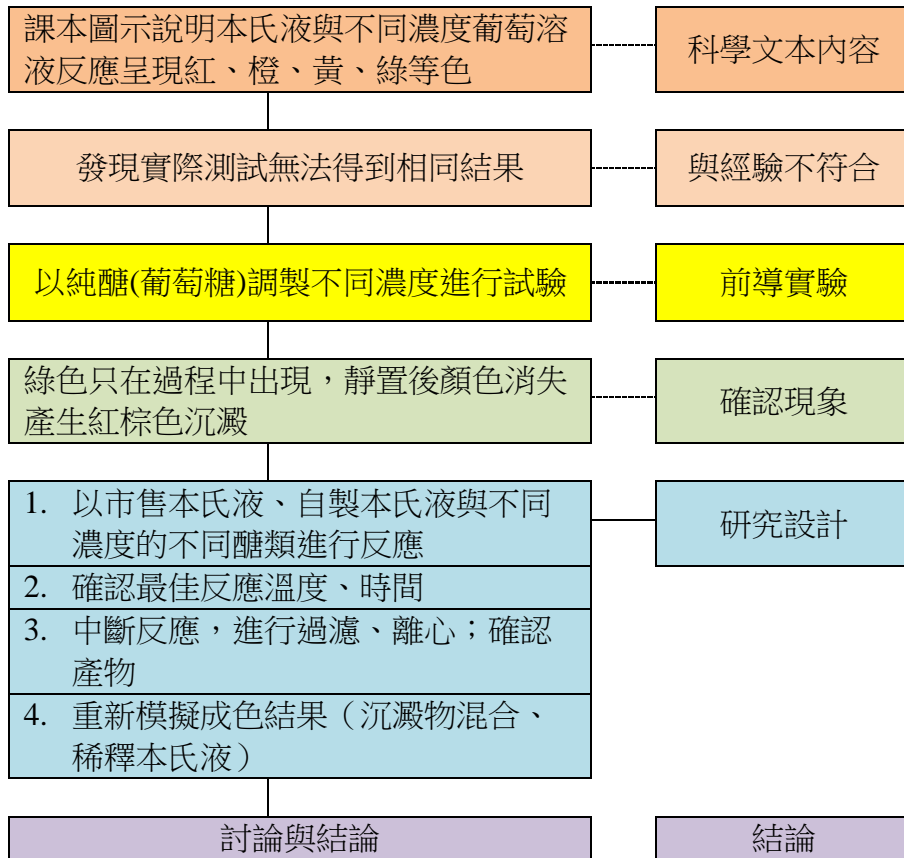


c、綠光雷射筆

圖 3-1、特殊器材

## 肆、研究過程或方法

### 一、研究架構



### 二、研究方法

#### (一)、前導實驗

根據生物課堂上實驗經驗，無法得到與課本相同的實驗結果，本組捨棄澱粉與唾液反應過程，直接以純糖（葡萄糖）配製不同濃度（2M、1M、0.5M、0.25M、0.125M、0.0625M、0.03125M）溶液，與本氏液進行前置實驗，確認反應結果。記錄其反應過程顏色差異，並靜置一天後再觀察顏色變化。

#### (二)、試劑配製

##### 1. 本氏液配製：

- (1). 取檸檬酸鈉 86.5 g 以及碳酸鈉 50 g，加入 400 mL 的水後加熱以助溶解；製成 A 液；取硫酸銅 8.65 g 加水 50 mL 溶解；製成 B 液。
- (2). 混合 A 液與 B 液，配置成本氏液。

## 2. 純糖溶液配製

- (1). 18 g 的葡萄糖與 50 mL 的水混合成濃度 2 M 的葡萄糖液。
- (2). 使用系列稀釋法依序配製 1M、0.5M、0.25M、0.125M、0.0625M、0.03125M 的葡萄糖液；放置冰箱備用。
- (3). 以同樣方法配製果糖、麥芽糖等純糖溶液。

### (三)、研究方法

#### 1. 不同濃度純糖溶液與市售本氏液、自製本氏液反應

以不同濃度（2M、1M、0.5M、0.25M、0.125M、0.0625M、0.03125M）的葡萄糖液、果糖溶液、麥芽糖三種溶液，分別與兩種本氏液(自製與市售)反應，進行顏色比較。

#### 2. 不同溫度下自製本氏液與葡萄糖完全反應的時間

燒杯內裝約 200 mL 熱水，水溫控制在 90 °C、80 °C、70 °C、60 °C、50 °C，把裝有葡萄糖與本氏液的試管放入燒杯內反應(隔水加熱)，記錄其反應至橙色的時間。

#### 3. 不同濃度純糖溶液與自製本氏液反應至各顏色所需時間

以不同濃度（1M、0.1M、0.05M、0.01M）的葡萄糖液、果糖溶液、麥芽糖三種溶液，分別加入 5ml 的自製本氏液並定溫 70 °C 加熱。用碼表計時，紀錄當顏色到達綠色、黃色、橙色及紅色的反應時間。

#### 4. 中斷反應過濾產物觀察

根據前述實驗得知定溫下三種糖液在不同濃度反應所需時間，以此作為依據在變色發生時中斷反應進行過濾，觀察過濾所得產物。用綠色雷射筆照射(1)未反應之本氏液、(2)葡萄糖反應後未過濾之黃色溶液及(3)過濾後之懸浮液，觀察是否有廷得耳效應。

#### 5. 模擬混色

中斷反應，取混合液與本氏液混合，觀察顏色變化。稀釋自製本氏液（1/2、1/4、1/8、1/16、1/32、1/64、1/128 倍）與葡萄糖的反應，記錄其顏色差異並拍照，靜置一天後再觀察顏色變化，使用離心機加速沉澱確認產物。

## 伍、研究結果

### 一、不同濃度「純葡萄糖液」取代「澱粉+唾液」反應結果

為了確認科學文本（生物課本）中描述：「本氏液與葡萄糖反應後呈現不同的顏色、表示其中葡萄糖的含量多寡不同（圖 1-1）」；以不同濃度的純葡萄糖溶液（2M、1M、0.5M、0.25M、0.125M、0.0625M、0.03125M）進行反應，結果發現醴液與本氏液混合隔水加熱後，綠色成色結果只出現在反應過程中，而非反應終了（圖 5-1）。其中 2 M 葡萄糖反應時間最短，且市售本氏液顏色變化快，自製本氏液顏色變化較慢（表 5-1）。

表 5-1、2 M 的葡萄糖液與本氏液反應變色時間

	綠	黃	橙	紅
市售本氏液	30 秒	50 秒	1 分 28 秒	
自製本氏液	36 秒		1 分 35 秒	2 分 03 秒



圖 5-1、2 M 的葡萄糖液與自製(左管)及市售(右管)本氏液反應顏色變化(連續變化影片中擷取圖片)

### 二、自製本氏液與市售本氏液與三種不同濃度的純醴溶液(葡萄糖、果糖、麥芽糖)反應


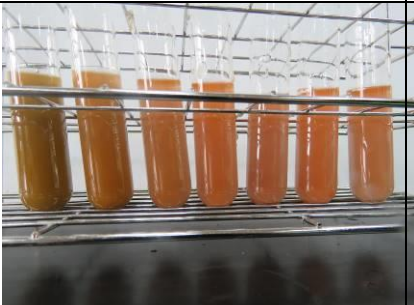

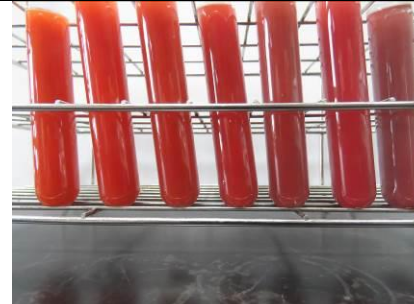

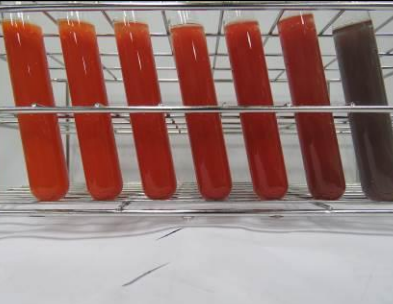
以不同濃度（2M、1M、0.5M、0.25M、0.125M、0.0625M、0.03125M）的純葡萄糖溶液、果糖溶液與麥芽糖溶液，分別與市售本氏液、自製本氏液進行反應。

以純葡萄糖反應結果來看，反應開始 10 分鐘後，無論自製或是市售本氏液，試管內液體的顏色均呈現橘紅色（表 5-2）；果糖液反應結果顯示市售本氏液濃度 1M~0.03125M(共 7 個濃度)均呈橙色，2M 呈深土黃色，自製本氏液濃度 1M~0.03125M(共 6 個濃度)均呈磚紅色而 2M 呈深咖啡色；麥芽糖溶液與自製本氏液反應 10 分鐘後，在低濃度（0.03125M）時呈現黑褐色混濁狀。

將上述反應結果靜置 24HR.後（表 5-3），除有橘紅色沉澱物，高濃度果糖溶液（2M）有觀察到黑色沉澱物，而低濃度（0.03125M）麥芽糖液有橘色沉澱與淺藍色澄清液。對照文獻，得知橘紅色沉澱物為氧化亞銅（ $\text{Cu}_2\text{O}$ ），黑色沉澱物為氧化銅（ $\text{CuO}$ ）。


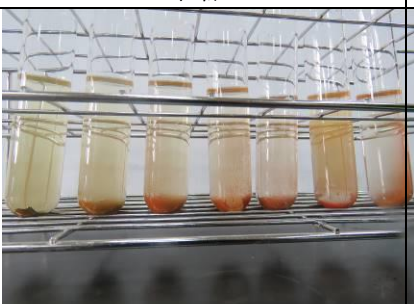



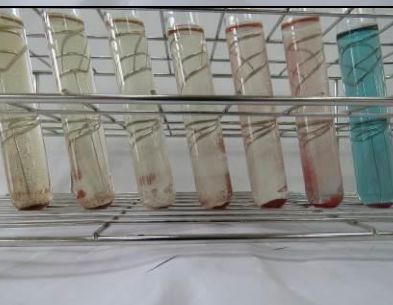


表 5-2、自製、市售本氏液與不同濃度純醣液反應 10 分鐘後顏色變化

	葡萄糖	果糖	麥芽糖
市售本氏液			
自製本氏液			

註：由左到右分別為：濃度 2 M、1 M、0.5 M、0.25 M、0.125 M、0.0625 M 和 0.03125 M

表 5-3、自製、市售本氏液與不同濃度純醣液反應後靜置 24HR.

	葡萄糖	果糖	麥芽糖
市售本氏液			
自製本氏液			

註：由左到右分別為：濃度 2 M、1 M、0.5 M、0.25 M、0.125 M、0.0625 M 和 0.03125 M

根據本階段實驗結果顯示，自製本氏液與市售本氏液結果大致上是一致的，自製本氏液成色反應更加清楚靈敏，後續實驗以自製本氏液為主。

### 三、不同純醣溶液與自製本氏液的反應過程

#### (一)、最佳反應溫度：

化學反應速率隨著溫度改變而改變，綠色的成色反應只出現在反應過程中，而非反應終了（結果一），縮短反應時間有其必要；以 2M 葡萄糖溶液進行溫度控制反應，其結果顯示，不同溫度隔水加熱下，混合溶液反應至橙色所需時間在 70°C 最適合，>70°C 反應形成橙色所需時間無明顯差異，從兩者關係圖中可見趨勢趨於水平（圖 5-2）。

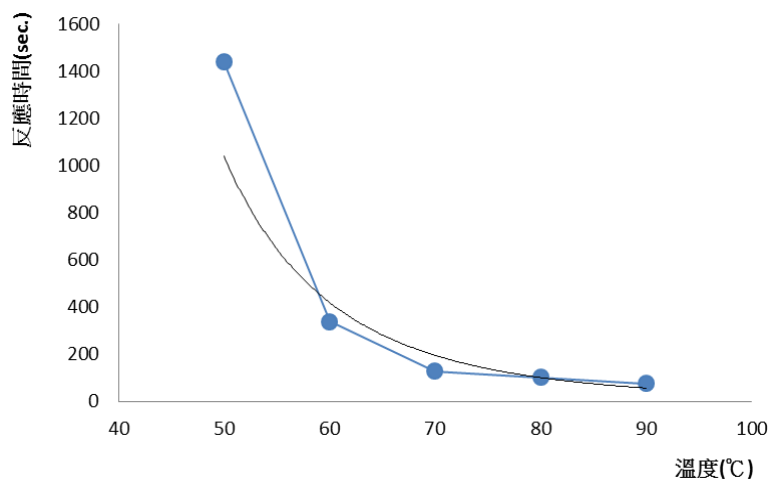


圖 5-2、2 M 的葡萄糖液與自製本氏液不同溫度反應時間

#### (二)、不同濃度純醣溶液與自製本氏液在 70°C 定溫下的反應過程

以不同濃度（1M、0.1M、0.05M、0.01M）的純葡萄糖溶液、果糖溶液與麥芽糖溶液，分別與自製本氏液在 70°C 定溫下隔水加熱進行反應，其結果清楚顯示綠色成色反應只出現在過程，以碼表紀錄各溶液不同濃度變色所需的時間，結果如表 5-3、5-4、5-5 所示，高濃度的糖液與本氏液反應速度較快，且麥芽糖液混合反應後的成色偏黃。

結果證實綠色的成色反應，只出現在反應過程中，反應終止後混合液呈現黃色與橙色；而果糖與麥芽糖溶液與本氏液混合後反應呈現橙色的時間較快，葡萄糖液反應最慢，而且中間出現綠色成色的時間也較長。

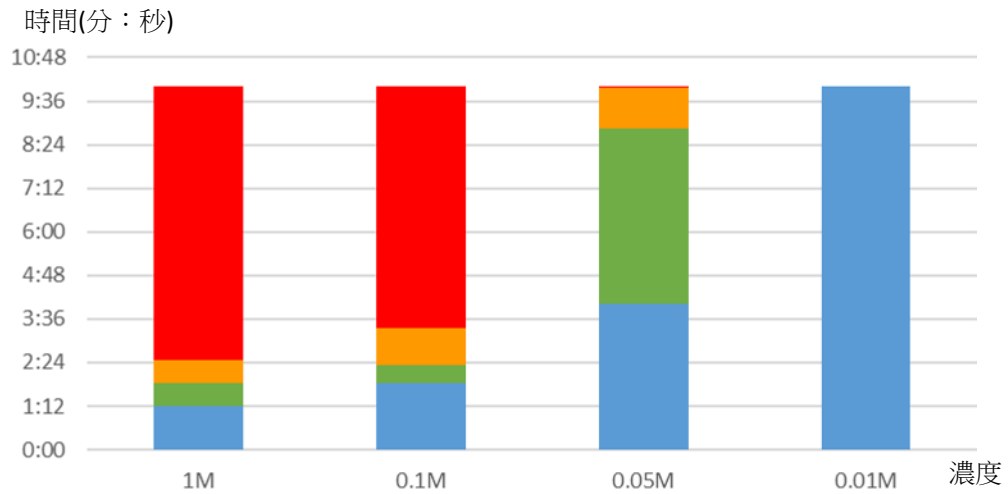


圖 5-3、葡萄糖與本氏液反應時間圖

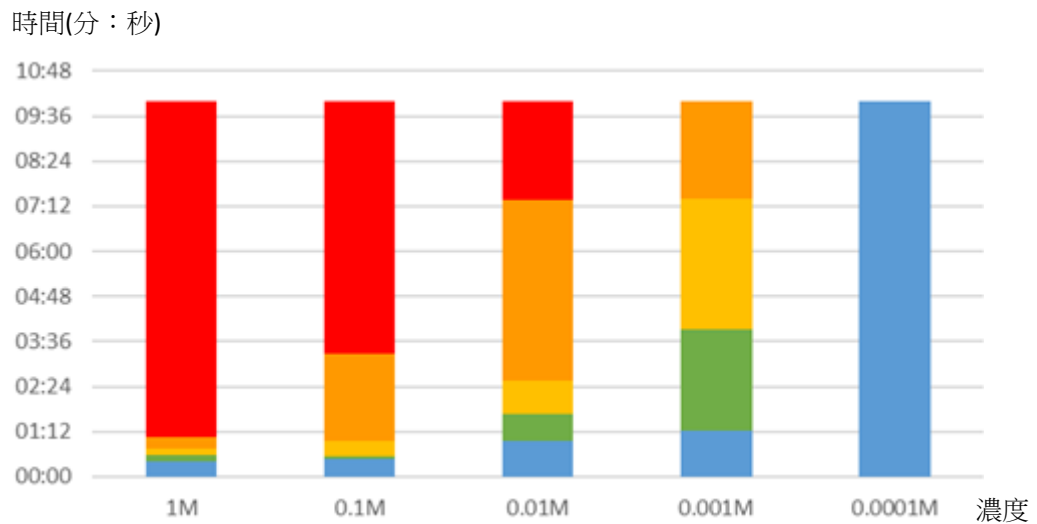


圖 5-4、果糖與本氏液反應時間圖

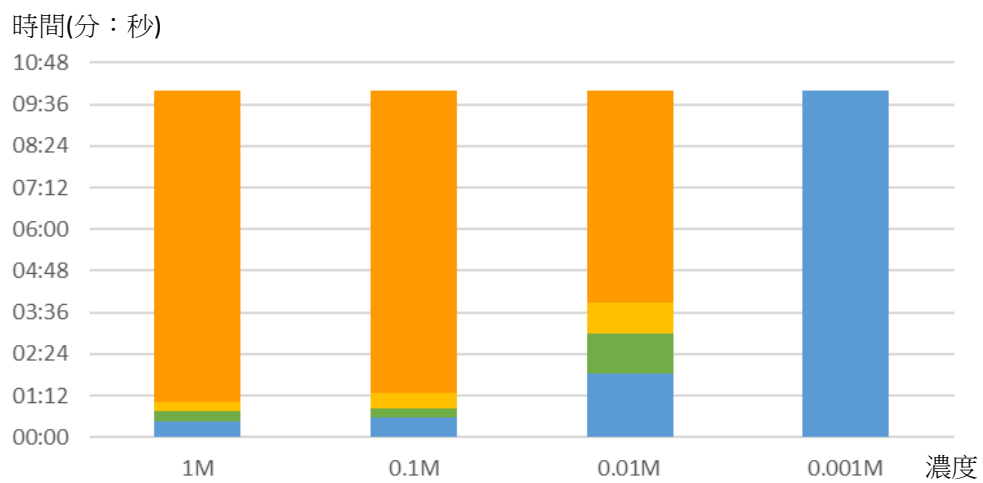


圖 5-5、麥芽糖與本氏液反應時間圖

#### 四、中斷反應，確認反應產物

葡萄糖液與本氏液反應，當顏色變成黃色時（圖 5-6），將黃色溶液以濾紙進行過濾，發現濾紙上是紅色顆粒（圖 5-7），過濾後的葡萄糖溶液則呈黃綠色（圖 5-8）；經雷射筆照射未過濾的反應溶液，出現明顯光束（圖 5-9-a），照射黃綠色濾液，也會出現光束（圖 5-9-b），而照射未反應的本氏液，無光束出現（圖 5-9-c）。根據廷得耳效應（Tyndall effect）可以得知濾液中仍有微小顆粒懸浮，未能以濾紙完全過濾。

用雷射筆由下向上照射反應中的本氏液與葡萄糖液，光束則是由清晰到越來越不明顯，直至光束消失（圖 5-10）。



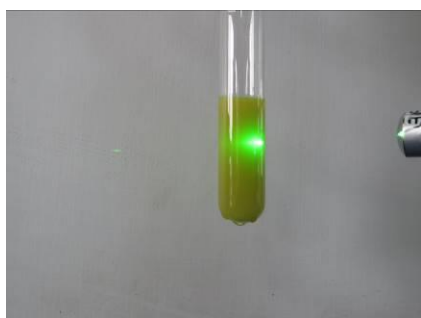
圖 5-6、中斷反應的混合液



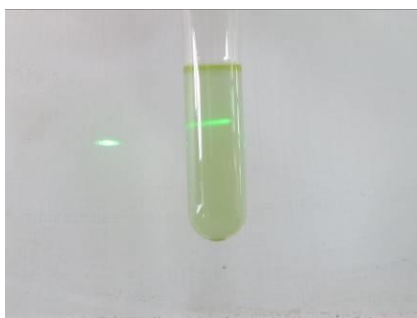
圖 5-7、過濾反應物



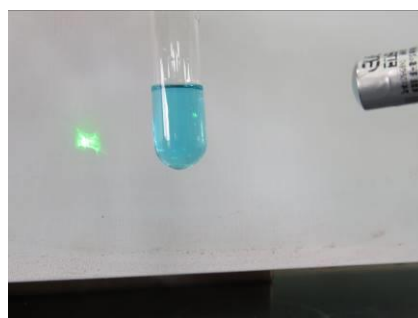
圖 5-8、濾液



(a)未過濾的葡萄糖液



(b)黃綠色濾液



(c)本氏液

圖 5-9、以雷射筆照射混合液，確認是否具有懸浮粒子



圖 5-10、未混合均勻的中斷反應，用雷射光檢測結果



圖 5-11、黃色混合液與本氏液混合



## 五、模擬混色

### (一)、混合液的混色

利用過濾後的黃綠色的葡萄糖液與藍色本氏液混出綠色，但顏色較在課本圖中的綠色淺，放置一天後，亦沉澱出紅色顆粒（圖 5-11）。

### (二)、稀釋本氏液與葡萄糖溶液的反應

稀釋的自製本氏液（1、1/2、1/4、1/8、1/16、1/32、1/64、1/128 倍）（圖 5-12）與 2 M 葡萄糖液反應，可以觀察到紅、橙、淡黃(1/64)、淡綠(1/128)，且顏色能維持一段時間（圖 5-13）。靜置 24HR.後可看見 1、1/2、1/4、1/8、1/16、1/32 濃度本氏液與葡萄糖反應後都可觀察到明顯的紅色沉澱物。但稀釋 1/64、1/128 兩管仍維持黃色、黃綠色，未見沉澱物（圖 5-14）。靜置四天後，稀釋 1/64、1/128 兩管可觀察到稀少紅色沉澱物，且上層黃色、黃綠色顏色消失（圖 5-15）；若將 1/64、1/128 稀釋本氏液和 2 M 葡萄糖反應後之黃色溶液使用離心機加速沉澱，離心後混合溶液變至透明，且觀察到少量紅色顆粒沉澱（圖 5-17、圖 5-18）。由此可知產物仍然是紅棕色氧化亞銅（ $\text{Cu}_2\text{O}$ ），只是顆粒過小，形成懸浮液的時間較長。

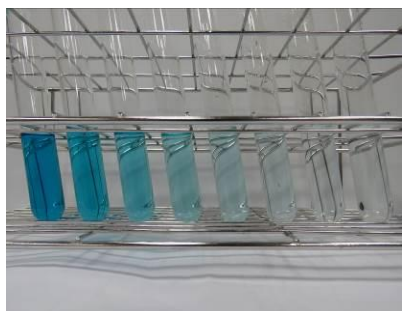


圖 5-12、稀釋本氏液



圖 5-13、與 2M 葡萄糖液反應

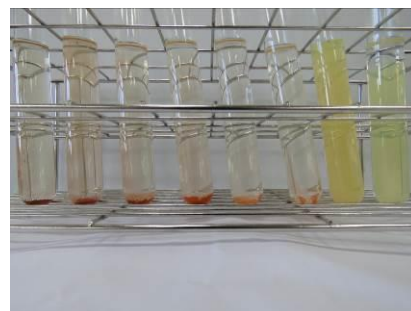


圖 5-14、靜置沉澱



圖 5-15、1/64 稀釋本氏液和 2 M 葡萄糖反應靜置四天後的沉澱



圖 5-17、離心 1/64 稀釋本氏液和 2 M 葡萄糖反應

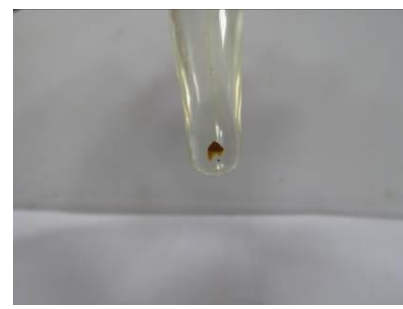
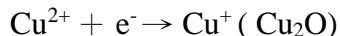


圖 5-18、離心 1/128 稀釋本氏液和 2 M 葡萄糖反應

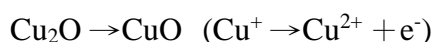
## 陸、討論

- 一、自製本氏液推測含硫酸銅量較市售本氏液多故呈深藍色，與葡萄糖反應呈磚紅色。在變色反應過程中，自製本氏液變色較慢，且顏色變化由綠轉橙(黃色幾乎觀察不到)，而反應終了顏色呈現磚紅色，推測有未反應完的藍色銅離子與紅色氧化亞銅混色結果，故與市售本氏液呈橙色結果略有不同。
- 二、科學文本(生物課本)中提及本氏液與葡萄糖反應的顏色變化與葡萄糖濃度有關，從本研究發現以純醴溶液與本氏液混合反應，不同濃度之葡萄糖液最終顏色不是呈現橙色就是磚紅色，且靜置一天後都只觀察到紅色沉澱；如以果糖與麥芽糖重複實驗，高濃度果糖、低濃度的麥芽糖液與本氏液反應後呈現棕色，靜置一天後都可觀察到紅色沉澱與黑色沉澱物，從文獻得知氧化亞銅( $\text{Cu}_2\text{O}$ )為紅棕色顆粒，氧化銅( $\text{CuO}$ )是黑色的顆粒。

推測原來本氏液中的  $\text{Cu}^{2+}$  被還原成  $\text{Cu}^+$  與氧離子 ( $\text{O}^{2-}$ ) 形成氧化亞銅 ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) 沉澱：



此反應中氧化亞銅再次氧化為氧化銅：



- 三、無論純醴溶液濃度是多少，與本氏液反應後最終產物都是紅棕色氧化亞銅，但是在濃度低的純糖液與本氏液反應，形成紅棕色成色反應的時間較長，且經中斷反應過濾發現產物顆粒也較小；若將低濃度糖液與本氏液反應後的產物與本氏液混合，是有可能出現綠色的懸浮液，但是該綠色懸浮液經過靜置或離心，結果產物仍然是紅棕色的氧化亞銅 ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )，只是顆粒較小，懸浮在液體中沉澱時間較長。懸浮粒子的大小可以由廷得耳效應 (Tyndall effect) 來驗證，若溶液是真溶液用雷射光照射試管，雷射光會穿透而在溶液中看不到雷射光束，若是膠體溶液(顆粒大小介於  $10^{-9} \sim 10^{-7} \text{ m}$ ) 會產生廷得耳效應則在溶液中可觀察到雷射光束，若溶液中形成較大顆粒產物，則雷射光很難穿透。因此根據雷射光照射實驗結果推測：葡萄糖與本氏液反應呈現綠色或黃色，是由顆粒大小介於  $10^{-9} \sim 10^{-7}$  公尺 (nm) 奈米級紅色氧化亞銅與藍色硫酸銅溶液混色結果。因奈米級氧化亞銅

粒子很小可以透過濾紙，且屬膠體溶液不易沉澱，其可散射紅光可與藍光混色呈綠、黃、橙等顏色，產生越多氧化亞銅，顏色越偏紅色。當氧化亞銅顆粒變大時，則無法與本氏液的藍色產生混色效果，溶液只留紅色。

四、改由稀釋後的本氏液與葡萄糖液混合反應，雖可出現淡綠色的呈色反應，但是最終經過離心與靜置，產物仍然是紅棕色的氧化亞銅（ $\text{Cu}_2\text{O}$ ）。

## 柒、結論

- 一、自製本氏液硫酸銅含量較高，顏色深，與葡萄糖反應會成磚紅色，而市售本氏液因含硫酸銅量較少，與葡萄糖反應只能呈橙色。自製本氏液因硫酸銅量高，有時銅離子未反應完，會干擾到本氏液的成色反應，故實驗中以市售本氏液來檢驗還原糖較佳。
- 二、用本氏液檢驗葡萄糖、果糖、麥芽糖發現反應過程中產生的綠色、黃色、橙色僅是短暫出現，在反應終了時僅可見紅色顆粒懸浮，靜置後可見紅色氧化亞銅沉澱。因此無法直接以顏色來辨別溶液中含糖量多寡，證明課本以本氏液檢驗葡萄糖實驗中，用藍、綠、黃、橙、紅的顏色變化代表葡萄糖的多寡之說法有誤。
- 三、用本氏液檢驗葡萄糖，發現溫度越高反應越快。實驗中發現溫度維持在  $70^\circ\text{C}$  到  $80^\circ\text{C}$  間，可在五分鐘內看見反應結果，是適合檢驗本氏液與還原糖反應的溫度。
- 四、本實驗透過過濾、雷射光照射利用廷得耳效應觀察產物顆粒及靜置、離心實驗等，都未發現黃色、綠色顆粒。我們認為紅色的氧化亞銅顆粒大小與數量，與藍色硫酸銅溶液混合，是造成藍、綠、黃、橙、紅等顏色變化的主因。即本氏液與還原糖反應過程中產生奈米級的氧化亞銅膠狀溶液，會散射的紅光，與藍色銅離子依不同比例混成綠、黃、橙、紅等顏色。
- 五、稀釋自製本氏液至  $1/64$ 、 $1/128$  與葡萄糖反應可得到黃色、黃綠色並維持一段時間，與課本圖相近，但將試管靜置或離心，黃色、黃綠色變淡，只留紅色顆粒沉澱，再次證明黃色、黃綠色的產生，是由微小紅色氧化亞銅顆粒與藍色銅離子混色而成。

## 捌、參考資料及文獻

- 一、宋紹瑜、吳妍萱。色變-醣的真「本氏」。中華民國第 50 屆中小學科學展覽會。高中組化學科。
- 二、陳柏廷、曾羽澤、邱祥庭。還原醣的彩虹-探討醣與鹼之應用。中華民國第 52 屆中小學科學展覽會。國中組化學科。
- 三、南一出版社（2018年）自然與生活科技課本1上。
- 四、還原糖。維基百科。  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%82%84%E5%8E%9F%E7%B3%96>
- 五、本內迪克特試劑。維基百科。  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%9C%AC%E5%86%85%E8%BF%AA%E5%85%8B%E7%89%B9%E8%AF%95%E5%89%82>
- 六、廷得耳效應。維基百科。  
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%BB%B7%E5%BE%97%E8%80%B3%E6%95%88%E6%87%89>
- 七、氧化亞銅酸化。維基百科。  
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B0%A7%E5%8C%96%E4%BA%9A%E9%93%9C>
- 八、本氏液配方(chunfang | 本氏液相關知識 - 宜蘭縣教育支援平台)。  
[blog.ilc.edu.tw/blog/blog/2239/post/6305/47318](http://blog.ilc.edu.tw/blog/blog/2239/post/6305/47318)

## 【評語】 030208

該作品發想於以本氏液檢驗葡萄糖所產生的顏色變化無法產生與課本一致的結果，故企圖以實驗證明課文描述不足或謬誤之處。能夠清楚證明顏色的形成與變化是由於紅色的奈米氧化亞銅顆粒大小、數量與藍色硫酸銅溶液混合狀態所造成。難能可貴之處在於同學具有高度求知與發覺真相的精神，對於一般同學可能容易完全盡信課本而鮮少質疑之普遍現象提供了值得學習的典範。該作品原創性佳，求知精神可貴，實驗結果能具體說明訴求。





## 摘要

本實驗以市售本氏液與自製本氏液與葡萄糖、果糖、麥芽糖等還原糖反應，證明課本上以藍、綠、黃、橙、紅的顏色變化來顯示葡萄糖的含量多寡有誤。透過過濾觀察產物顆粒、濾液混色實驗、利用廷得耳效應以雷射光照射觀察產物顆粒大小及溶液靜置、離心等實驗，發現藍、綠、黃、橙、紅顏色變化可能是奈米級(顆粒大小介於 $10^{-9}\sim 10^{-7}$  m)的紅色氧化亞銅與藍色硫酸銅溶液混色結果，故不能以顏色變化來代表還原糖的多寡。若要定量葡萄糖，可由葡萄糖與本氏液反應的「顏色與反應時間關係對應圖」中，反應終點顏色(紅色)到達時間來定量葡萄糖。



## 壹、研究動機

生物課本提到用本氏液檢驗葡萄糖會產生藍、綠、黃、橙及紅色的顏色變化，而且含糖量的多寡會使其呈現不同顏色(圖1-1)。但實際做實驗時，將葡萄糖液與本氏液混合，卻無法產生與課本一致的結果；實際實驗反應中的黃色、綠色更是一閃而過，甚至會直接跳過。所以我們便開始思考，葡萄糖與本氏液反應為何會有藍、綠、黃、橙、紅的顏色變化，另外我們實際做出的顏色與課本中的不一樣，是不是由其他因素導致？

查詢相關資料後得知本氏液(Benedict's reagent)，又稱本尼迪克試劑、班氏試劑、本尼迪特試液、本納德試劑或本尼迪克試劑等，是一種淺藍色的化學試劑，用來檢驗還原性糖(即除了蔗糖外所有的單糖和雙糖)。而本氏液的命名源自於一位美國化學家，史丹利·羅斯特·本尼迪(Stanley Rossiter Benedict)。

本氏液的配製是由碳酸鈉、檸檬酸鈉和硫酸銅混合而成。溶液呈藍色的原因是含有銅離子( $\text{Cu}^{2+}$ )，當銅離子與還原糖反應時二價銅離子( $\text{Cu}^{2+}$ )會還原成一價銅離子( $\text{Cu}^+$ )，並產生紅色的氧化亞銅( $\text{Cu}_2\text{O}$ )沉澱。資料中也顯示還原糖量低時，產生氧化亞銅相對較少，而且會呈現綠、黃、橙等顏色。因此，本組想進一步探討是否真的可以用本氏液與還原糖反應的顏色變化來定量還原糖濃度。



圖1-1、課本以本氏液不同顏色表示葡萄糖的濃度



## 貳、研究目的

- 一、以不同濃度「純葡萄糖液」取代「澱粉+唾液」反應結果，確認與科學文本差異之處。
- 二、比較自製本氏液與市售本氏液與三種不同濃度的純糖溶液(葡萄糖、果糖、麥芽糖)反應，觀察其顏色變化。
- 三、探討三種糖類與自製本氏液的反應時間作為定量依據。
  - (一)、於 $70^\circ\text{C}$ 觀察不同濃度之還原糖液與本氏液反應的顏色變化。
  - (二)、紀錄還原糖液與本氏液的顏色變化時間，作為定量還原糖依據。
- 四、中斷反應，進行過濾、離心，觀察產物，確認不同階段反應產物。
- 五、模擬原科學文本所顯示濃度與顏色變化出現可能原因。



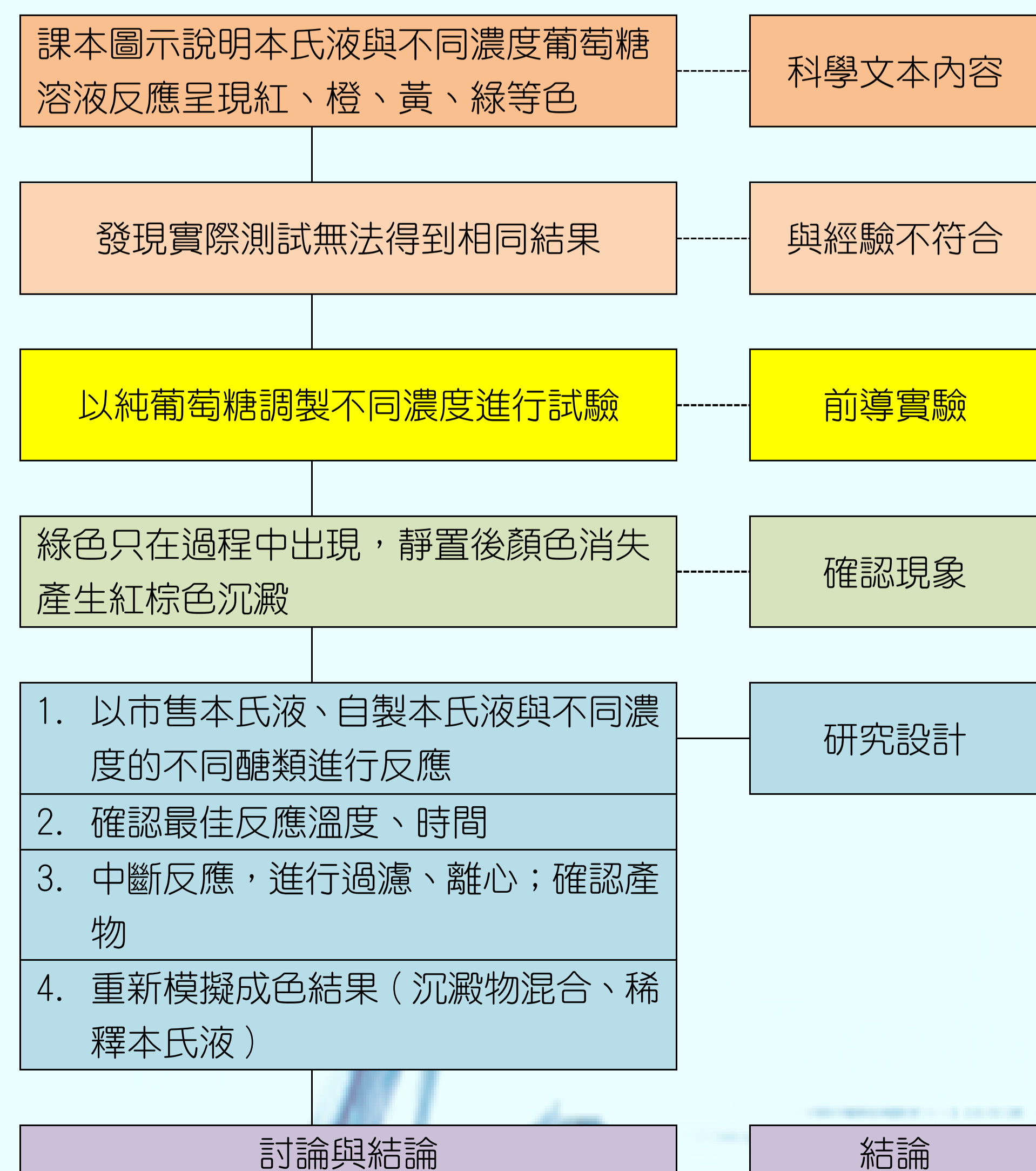
## 參、研究材料及器材

- 一、材料：蒸餾水、硫酸銅、檸檬酸鈉、碳酸鈉、葡萄糖、果糖、麥芽糖
- 二、實驗器材：酒精燈、試管、滴管、溫度計、火柴、陶瓷纖維網、三角架、量筒、電子秤、試管架、漏斗、濾紙、廣口瓶、秤藥匙，碼表、燒杯、玻璃攪拌棒、秤藥紙、離心機、離心管、雷射筆。



## 肆、研究方法

### 一、研究架構



### 二、研究方法

#### (一)、前導實驗

根據生物課堂上實驗經驗，無法得到與課本相同的實驗結果，本組捨棄澱粉與唾液反應過程，直接以純糖(葡萄糖)配製不同濃度(2M、1M、0.5M、0.25M、0.125M、0.0625M、0.03125M)溶液，與本氏液進行前置實驗，確認反應結果。記錄其反應過程顏色差異，並靜置一天後再觀察顏色變化。

#### (二)、試劑配製

##### 1. 本氏液配製：

- (1). 取檸檬酸鈉86.5 g以及碳酸鈉50 g，加入400 mL的水後加熱以助溶解；製成A液；取硫酸銅8.65 g加水50 mL溶解；製成B液
- (2). 混合A液與B液，配置成本氏液。

##### 2. 純糖溶液配製

- (1). 18 g的葡萄糖與50 mL的水混合成濃度2 M的葡萄糖液。
- (2). 使用系列稀釋法依序配製1M、0.5M、0.25M、0.125M、0.0625M、0.03125M的葡萄糖液；放置冰箱備用。
- (3). 以同樣方法配製果糖、麥芽糖等純糖溶液。



### (三)、研究方法

#### 1. 不同濃度純糖溶液與市售本氏液、自製本氏液反應

以不同濃度 (2M、1M、0.5M、0.25M、0.125M、0.0625M、0.03125M) 的葡萄糖、果糖、麥芽糖三種溶液，分別與兩種本氏液(自製與市售)反應，進行顏色比較。

#### 2. 不同溫度下自製本氏液與葡萄糖液完全反應的時間

燒杯內裝約200 mL熱水，水溫控制在90 °C、80 °C、70 °C、60 °C、50 °C，把裝有葡萄糖與本氏液的試管放入燒杯內反應(隔水加熱)，記錄其反應至橙色的時間。

#### 3. 不同濃度純糖溶液與自製本氏液反應至各顏色所需時間

以不同濃度 (1M、0.1M、0.05M、0.01M) 的葡萄糖、果糖、麥芽糖三種溶液，分別加入5ml的自製本氏液並定溫70 °C加熱。用碼表計時，記錄當顏色到達綠色、黃色、橙色及紅色的反應時間。

#### 4. 中斷反應過濾產物觀察

根據前述實驗得知定溫下三種糖液在不同濃度反應所需時間，以此作為依據在變色發生時中斷反應並進行過濾，觀察過濾所得產物。用綠雷射筆照射(1)未反應之本氏液、(2)葡萄糖反應後未過濾之黃色溶液及(3)過濾後之懸浮液，觀察是否有廷得耳效應。

#### 5. 模擬混色

中斷反應，取混合液與本氏液混合，觀察顏色變化。稀釋自製本氏液 (1/2、1/4、1/8、1/16、1/32、1/64、1/128倍) 與葡萄糖的反應，記錄其顏色差異並拍照，靜置一天後再觀察顏色變化，使用離心機加速沉澱確認產物。



## 伍、結果

### 一、不同濃度「純葡萄糖液」取代「澱粉+唾液」反應結果

為了確認科學文本(生物課本)中描述：「本氏液與葡萄糖反應後呈現不同的顏色、表示其中葡萄糖的含量多寡不同(圖1-1)」；以不同濃度的葡萄糖液(2M、1M、0.5M、0.25M、0.125M、0.0625M、0.03125M)進行反應，結果發現糖液與本氏液混合隔水加熱後，綠色成色結果只出現在反應過程中，而非反應終了(圖5-1)。其中2 M葡萄糖反應時間最短，且市售本氏液顏色變化快，自製本氏液顏色變化較慢(表5-1)。

表5-1、2 M的葡萄糖液與本氏液反應變色時間

	綠	黃	橙	紅
市售本氏液	30 秒	50 秒	1 分 28 秒	
自製本氏液	36 秒		1 分 35 秒	2 分 03 秒



圖5-1、2 M的葡萄糖液與自製(左管)及市售(右管)本氏液反應顏色變化(連續變化影片中擷取圖片)

表5-2、自製、市售本氏液與不同濃度純糖液反應10分鐘後顏色變化

	葡萄糖	果糖	麥芽糖
市售本氏液			
自製本氏液			

### 二、自製本氏液與市售本氏液與三種不同濃度的純糖溶液反應

以不同濃度(2M、1M、0.5M、0.25M、0.125M、0.0625M、0.03125M)的葡萄糖液、果糖溶液與麥芽糖溶液，分別與市售本氏液、自製本氏液進行反應。

以葡萄糖液反應結果來看，反應開始10分鐘後，無論自製或是市售本氏液，試管內液體的顏色均呈現橘紅色(表5-2)；果糖溶液反應結果顯示市售本氏液濃度1M~0.03125M(共6個濃度)均呈橙色，2M呈深土黃色，自製本氏液濃度1M~0.03125M(共6個濃度)均呈磚紅色而2M呈深咖啡色；麥芽糖溶液與自製本氏液反應10分鐘後，在低濃度(0.03125M)時呈現黑褐色混濁狀。

將上述反應結果靜置24HR後(表5-3)，除了有橘紅色沉澱物，高濃度果糖溶液(2M)有觀察到黑色沉澱物，而低濃度(0.03125M)麥芽糖液有橘色沉澱與淺藍色澄清液。對照文獻，得知橘紅色沉澱物為氧化亞銅(Cu<sub>2</sub>O)，黑色沉澱物為氧化銅(CuO)。

根據本階段實驗結果顯示，自製本氏液與市售本氏液結果大致上是一致的，自製本氏液成色反應更加清楚靈敏，後續實驗以自製本氏液為主。

### 三、不同純糖溶液與自製本氏液的反應過程

#### (一)、最佳反應溫度：

化學反應速率隨著溫度改變而改變，綠色的成色反應只出現在反應過程中，而非反應終了(結果一)，縮短反應時間有其必要；以2M葡萄糖溶液進行溫度控制反應，其結果顯示，不同溫度隔水加熱下，混合溶液反應至橙色所需時間在70°C最適合，>70°C反應形成橙色所需時間無明顯差異，從兩者關係圖中可見趨勢趨於水平(圖5-2)。

#### (二)、不同濃度純糖溶液與自製本氏液在70°C定溫下的反應過程

以不同濃度(1M、0.1M、0.05M、0.01M)的純葡萄糖液、果糖溶液與麥芽糖溶液，分別與自製本氏液在70°C定溫下隔水加熱進行反應，其結果清楚顯示綠色成色反應只出現在過程，以碼表記錄各溶液不同濃度變色所需的時間，結果如圖5-3、5-4、5-5所示，高濃度的糖液與本氏液反應速度較快，且麥芽糖液混合反應後的成色偏黃。

結果證實綠色的成色反應，只出現在反應過程中，反應終止後混合液呈現黃色與橙色；而果糖與麥芽糖溶液與本氏液混合後反應呈現橙色的時間較快，葡萄糖液反應最慢，而且中間出現綠色成色的時間也較長。

表5-3、自製、市售本氏液與不同濃度純糖液反應後靜置24HR

	葡萄糖	果糖	麥芽糖
市售本氏液			
自製本氏液			

註：由左到右分別為：濃度2 M、1 M、0.5 M、0.25 M、0.125 M、0.0625 M和0.03125 M

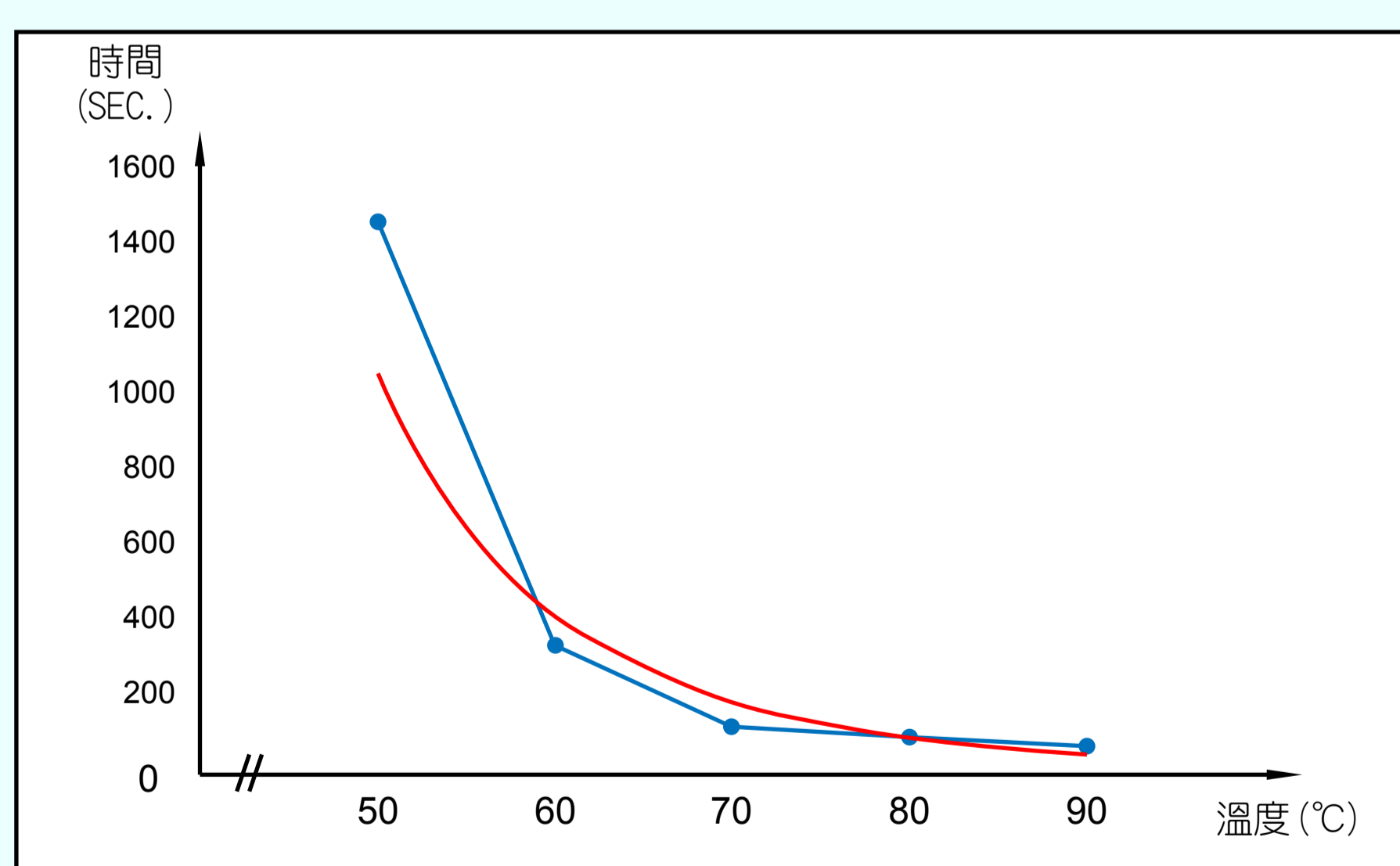


圖5-2、2 M的葡萄糖液與自製本氏液不同溫度反應時間

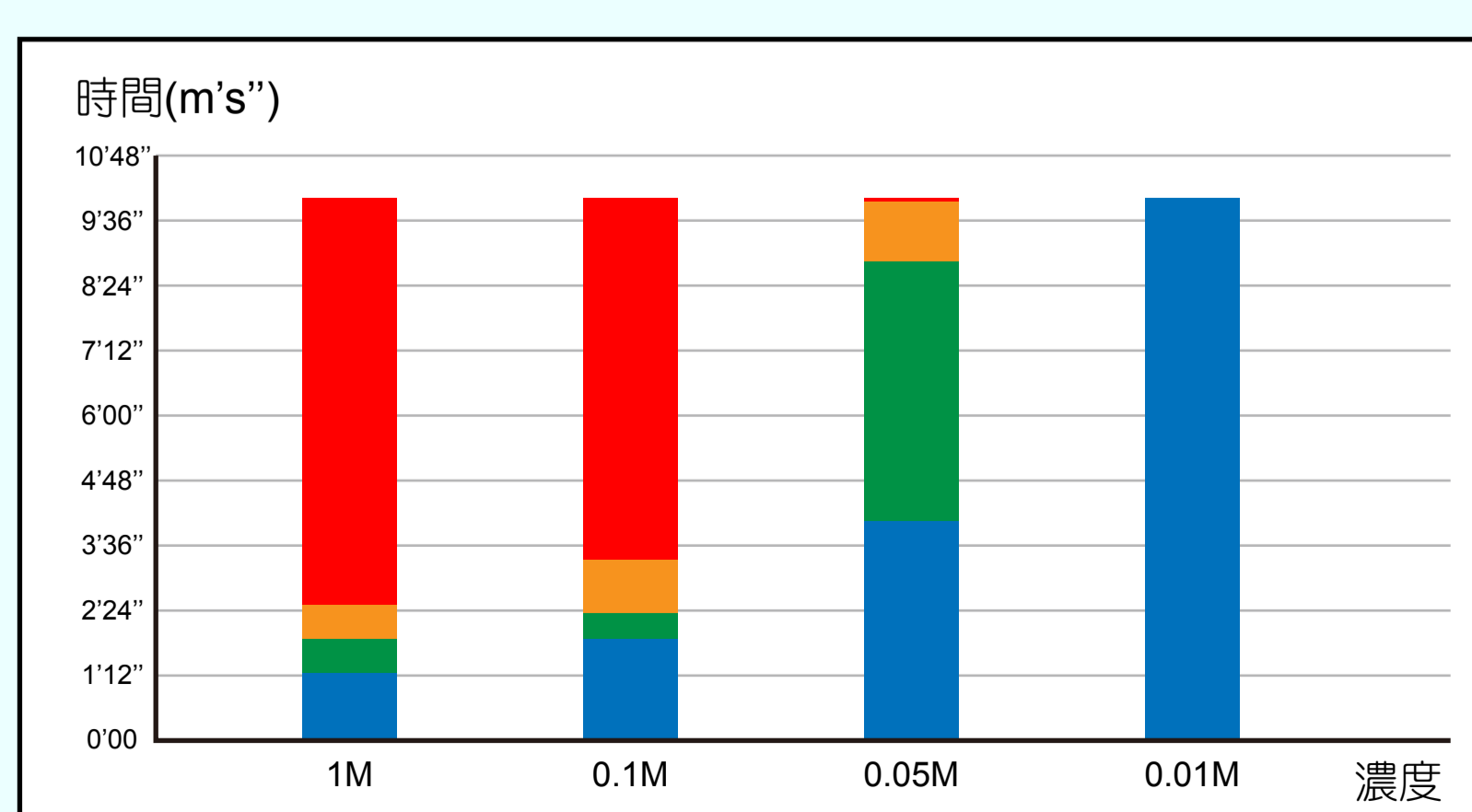


圖5-3、葡萄糖溶液與本氏液反應時間圖

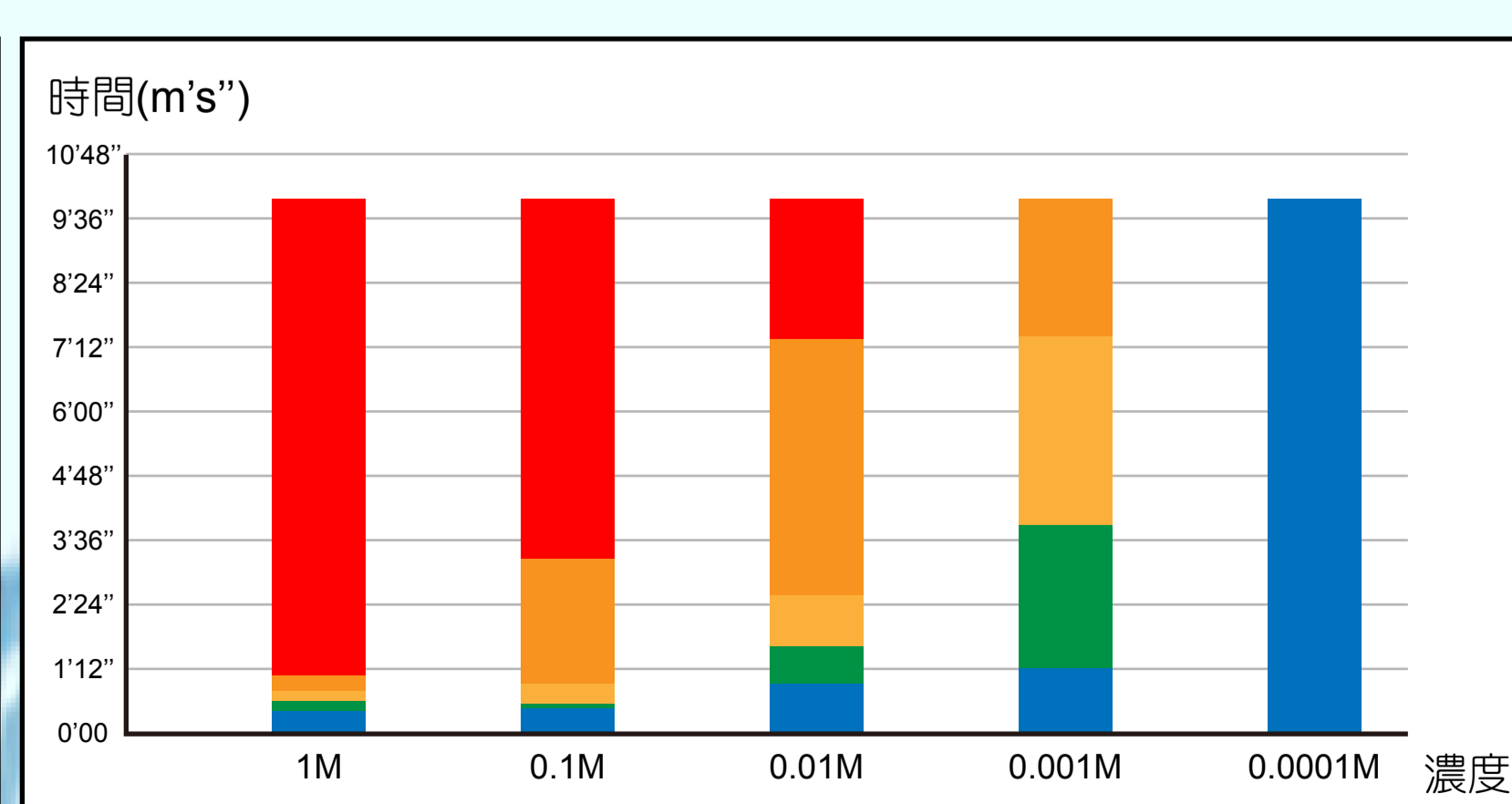


圖5-4、果糖溶液與本氏液反應時間圖

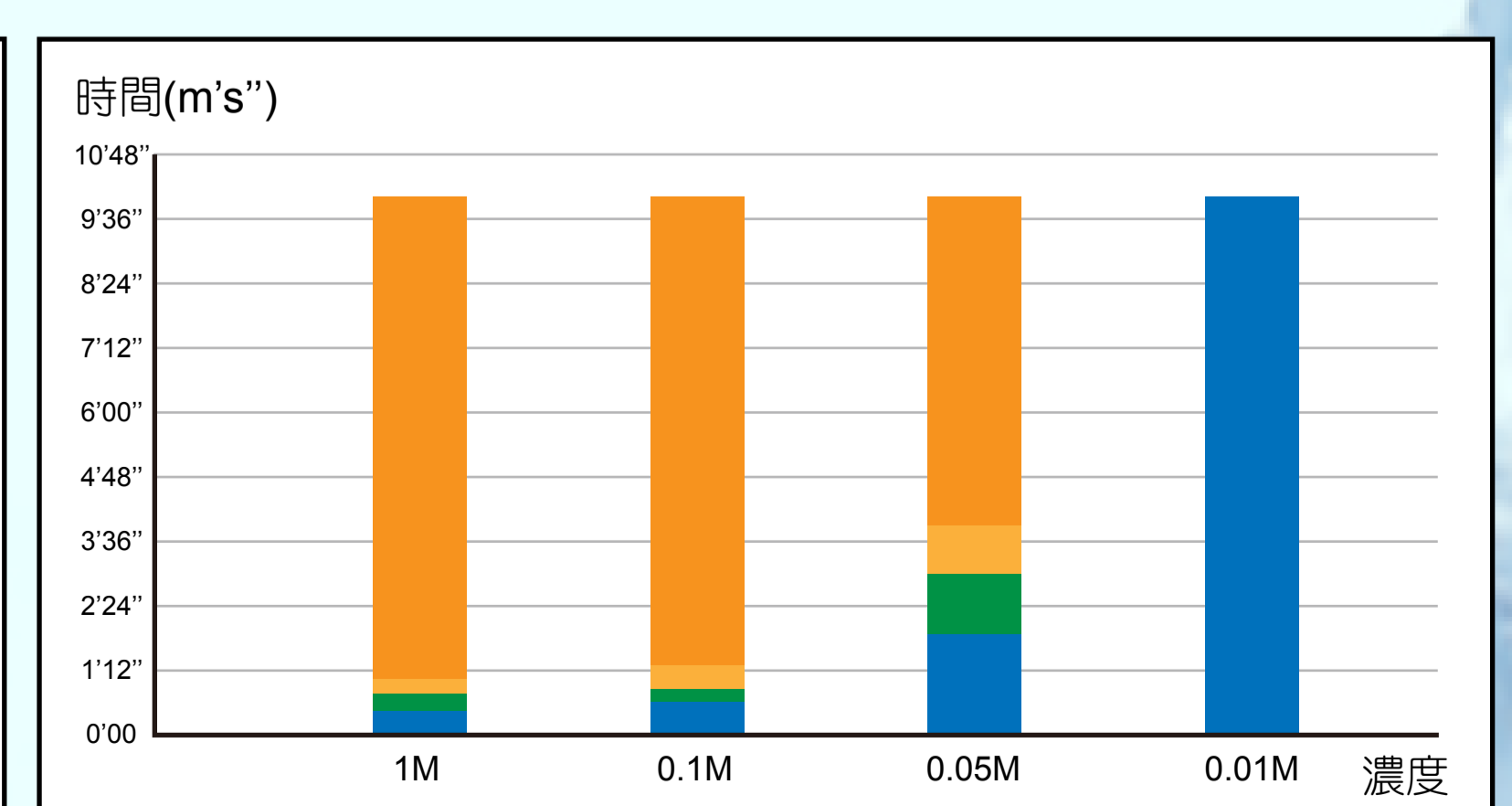


圖5-5、麥芽糖溶液與本氏液反應時間圖



#### 四、中斷反應，確認反應產物

葡萄糖液與本氏液反應，當顏色變成黃色時（圖5-6），將黃色溶液以濾紙進行過濾，發現濾紙上是紅色顆粒（圖5-7），過濾後的葡萄糖溶液則呈黃綠色（圖5-8）；經雷射筆照射未過濾的反應溶液，出現明顯光束（圖5-9-a），照射黃綠色濾液，也會出現光束（圖5-9-b），而照射未反應的本氏液，無光束出現（圖5-9-c）。根據廷得耳效應（Tyndall effect）可以得知濾液中仍有微小顆粒懸浮，未能以濾紙完全過濾。用雷射筆由下向上照射反應中的本氏液與葡萄糖液，光束則是由清晰到越來越不明顯，直至光束消失（圖5-10）。



圖5-6、中斷反應的混合液



圖5-7、過濾反應物

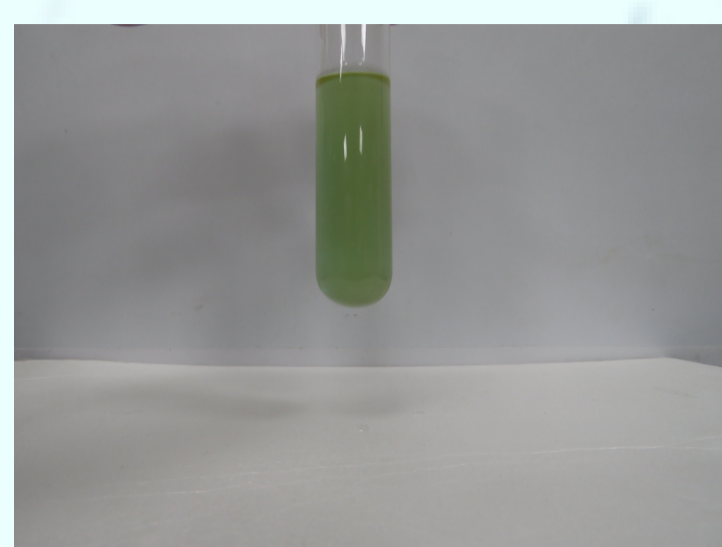
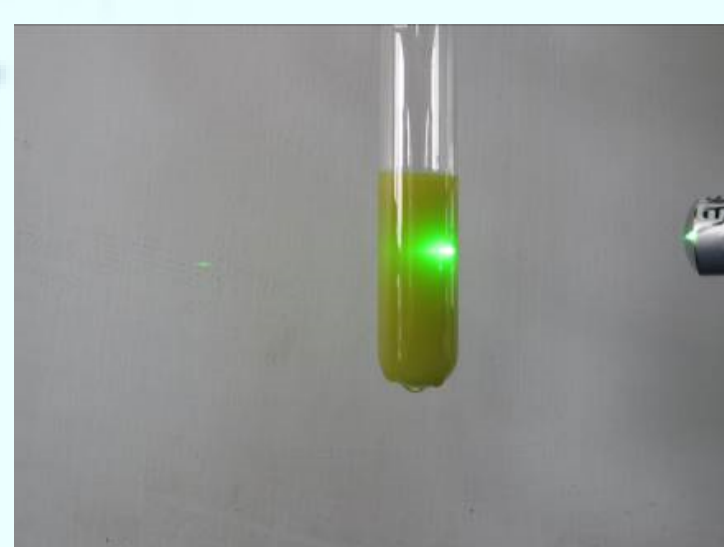
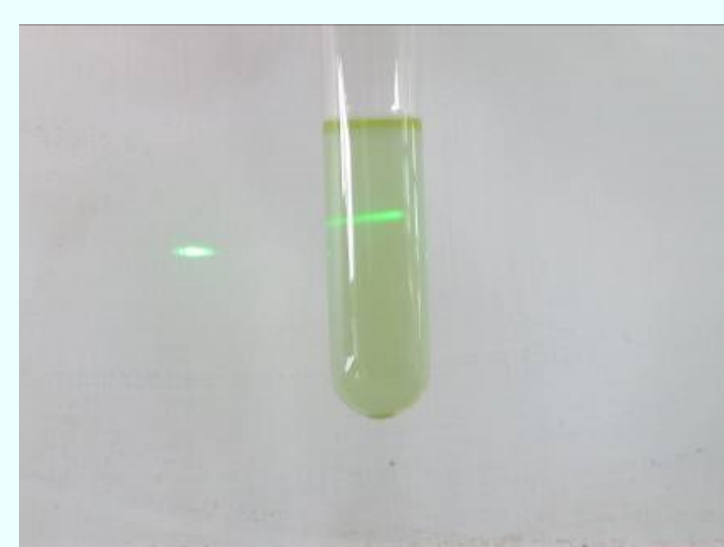


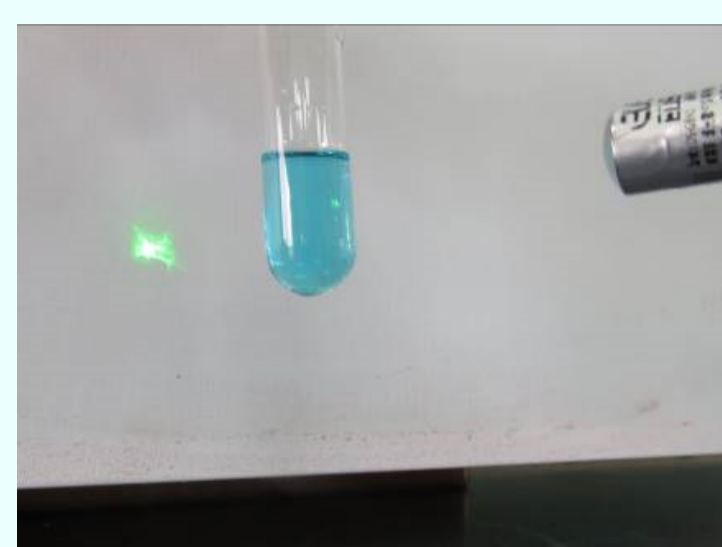
圖5-8、濾液



(a) 未過濾的葡萄糖液



(b) 黃綠色濾液



(c) 本氏液

圖5-9、以雷射筆照射混合液，確認是否具有懸浮粒子

#### 五、模擬混色

##### (一)、混合液的混色

利用過濾後的黃綠色葡萄糖液與藍色本氏液混出綠色，但顏色較比課本圖中的綠色淺，放置一天後，亦沉澱出紅色顆粒（圖5-11）。

##### (二)、稀釋自製本氏液與葡萄糖溶液的反應

稀釋的自製本氏液（1、1/2、1/4、1/8、1/16、1/32、1/64、1/128倍）（圖5-12）與2M葡萄糖液反應，可以觀察到紅、橙、淡黃(1/64)、淡綠(1/128)，且顏色能維持一段時間（圖5-13）。靜置24HR後可看見1、1/2、1/4、1/8、1/16、1/32濃度本氏液與葡萄糖反應後都可觀察到明顯的紅色沉澱物。但稀釋1/64、1/128兩管仍維持黃色、黃綠色，未見沉澱物（圖5-14）。靜置四天後，稀釋1/64、1/128兩管可觀察到稀少紅色沉澱物，且上層黃色、黃綠色顏色消失（圖5-15）；若將1/64、1/128稀釋本氏液和2M葡萄糖反應後之黃色溶液使用離心機加速沉澱，離心後混合溶液變至透明，且觀察到少量紅色顆粒沉澱（圖5-17、圖5-18）。由此可知產物仍然是紅棕色氧化亞銅（ $\text{Cu}_2\text{O}$ ），只是顆粒過小，形成懸浮液的時間較長。

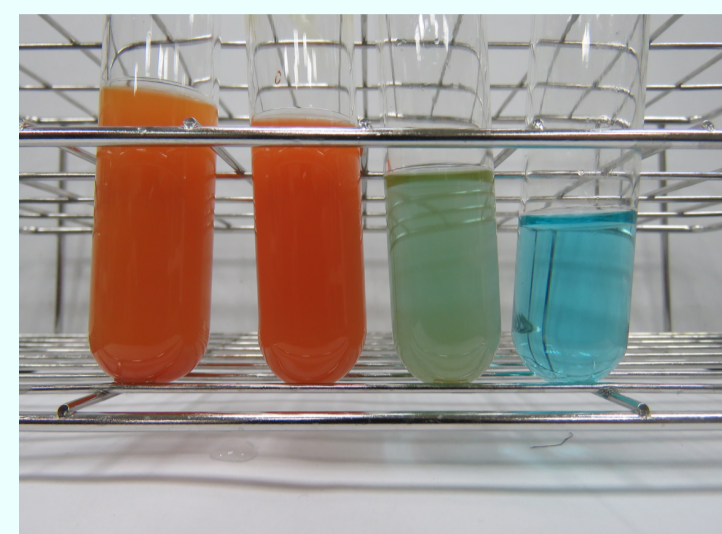


圖5-10、未混合均勻的中斷反應，用雷射光檢測結果



圖5-11、黃色混合液與本氏液混合

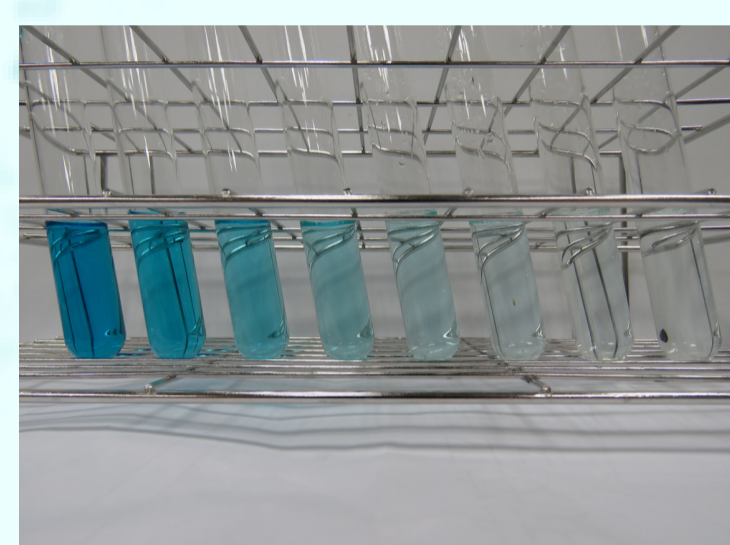


圖5-12、稀釋本氏液



圖5-13、與2M葡萄糖液反應

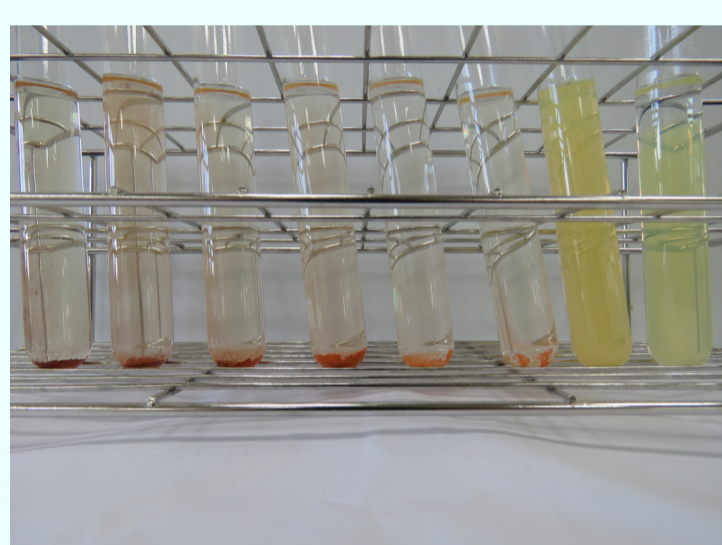


圖5-14、靜置沉澱

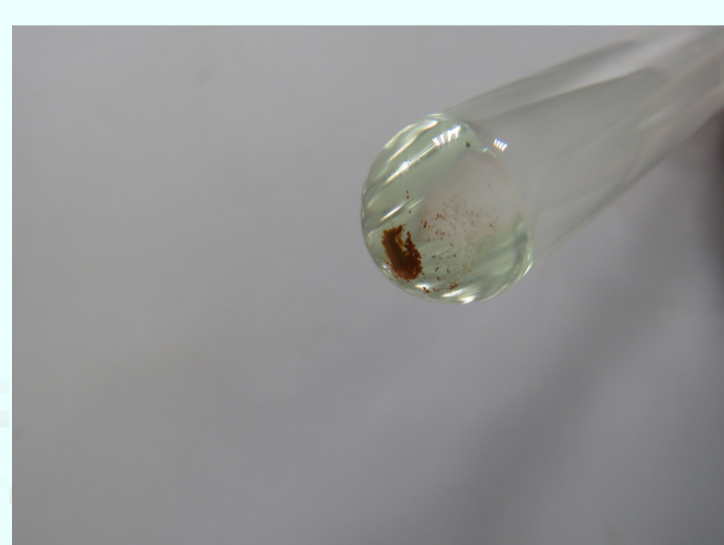


圖5-15、1/64稀釋本氏液和2 M葡萄糖反應靜置四天後的沉澱



圖5-17、離心1/64稀釋本氏液和2 M葡萄糖反應

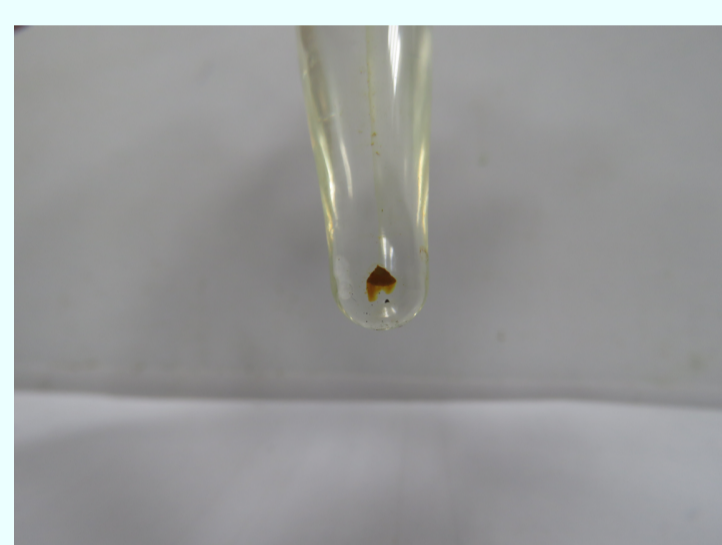


圖5-18、離心1/128稀釋本氏液和2 M葡萄糖反應

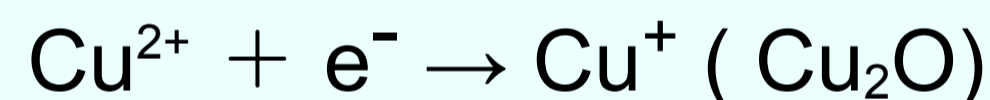


## 陸、討論

一、自製本氏液推測含硫酸銅量較市售本氏液多故呈深藍色，與葡萄糖反應呈磚紅色。在變色反應過程中，自製本氏液變色較慢，且顏色變化由綠轉橙(黃色幾乎觀察不到)，而反應終了顏色呈現磚紅色，推測有未反應完的藍色銅離子與紅色氧化亞銅混色結果，故與市售本氏液呈橙色結果略有不同。

二、科學文本（生物課本）中提及本氏液與葡萄糖反應的顏色變化與葡萄糖濃度有關，從本研究發現以純糖溶液與本氏液混合反應，不同濃度之葡萄糖液最終顏色不是呈現橙色就是磚紅色，且靜置一天後都只觀察到紅色沉澱；如以果糖與麥芽糖重複實驗，高濃度果糖、低濃度的麥芽糖液與本氏液反應後呈現棕色，靜置一天後都可觀察到紅色沉澱與黑色沉澱物，從文獻得知氧化亞銅（ $\text{Cu}_2\text{O}$ ）為紅棕色顆粒，氧化銅（ $\text{CuO}$ ）是黑色的顆粒。

推測原來本氏液中的 $\text{Cu}^{2+}$ 被還原成 $\text{Cu}^+$ 與氧離子（ $\text{O}^{2-}$ ）形成氧化亞銅（ $\text{Cu}_2\text{O}$ ）沉澱：



此反應中氧化亞銅再次氧化為氧化銅：



三、無論純糖溶液濃度是多少，與本氏液反應後最終產物都是紅棕色氧化亞銅，但是在濃度低的純糖液與本氏液反應，形成紅棕色成色反應的時間較長，且經中斷反應過濾發現產物顆粒也較小；若將低濃度糖液與本氏液反應後的產物與本氏液混合，是有可能出現綠色的懸浮液，但是該綠色懸浮液經過靜置或離心，結果產物仍然是紅棕色的氧化亞銅（ $\text{Cu}_2\text{O}$ ），只是顆粒較小，懸浮在液體中沉澱時間較長。懸浮粒子的大小可以由廷得耳效應（Tyndall effect）來驗證，若溶液是真溶液用雷射光照射試管，雷射光會穿透而在溶液中看不到雷射光束，若是膠體溶液(顆粒大小介於 $10^{-9} \sim 10^{-7} \text{ m}$ )會產生廷得耳效應則在溶液中可觀察到雷射光束，若溶液中形成較大顆粒產物，則雷射光很難穿透。因此根據雷射光照射實驗結果推測：葡萄糖與本氏液反應呈現綠色或黃色，是由顆粒大小介於奈米級紅色氧化亞銅與藍色硫酸銅溶液混色結果。因奈米級氧化亞銅粒子很小可以透過濾紙，且屬膠體溶液不易沉澱，其可散射紅光可與藍色混色呈綠、黃、橙等顏色，產生越多氧化亞銅，顏色越偏紅色。當氧化亞銅顆粒變大時，則無法與本氏液的藍色產生混色效果，溶液只留紅色。

四、改由稀釋後的本氏液與葡萄糖液混合反應，雖可出現淡綠色的呈色反應，但是最終經過離心與靜置，產物仍然是紅棕色的氧化亞銅（ $\text{Cu}_2\text{O}$ ）。



## 柒、結論

一、自製本氏液硫酸銅含量較高，顏色深，與葡萄糖反應會成磚紅色，而市售本氏液因含硫酸銅量較少，與葡萄糖反應只能呈橙色。自製本氏液因硫酸銅量高，有時銅離子未反應完，會干擾到本氏液的成色反應，故實驗中以市售本氏液來檢驗還原糖較佳。

二、用本氏液檢驗葡萄糖、果糖、麥芽糖發現反應過程中產生的綠色、黃色、橙色僅是短暫出現，在反應終了時僅可見紅色顆粒懸浮，靜置後可見紅色氧化亞銅沉澱。因此無法直接以顏色來辨別溶液中含糖量多寡，證明課本以本氏液檢驗葡萄糖實驗中，用藍、綠、黃、橙、紅的顏色變化代表葡萄糖的多寡之說法有誤。

三、用本氏液檢驗葡萄糖，發現溫度越高反應時間越短。實驗中發現溫度維持在70°C到80°C間，可在五分鐘內看見反應結果，是適合檢驗還原糖與本氏液反應的溫度。

四、本實驗透過過濾、雷射光照射利用廷得耳效應觀察產物顆粒及靜置、離心實驗等，都未發現黃色、綠色顆粒。我們認為紅色的氧化亞銅顆粒大小與數量，與藍色硫酸銅溶液混合，是造成藍、綠、黃、橙、紅等顏色變化的主因。即本氏液與還原糖反應過程中產生奈米級的氧化亞銅膠狀溶液，會散射的紅光，與藍色銅離子依不同比例混成綠、黃、橙、紅等顏色。

五、稀釋自製本氏液至1/64、1/128倍與葡萄糖反應可得到黃色、黃綠色並維持一段時間，與課本圖示相近，但將試管靜置或離心，黃色、黃綠色變淡，只留紅色顆粒沉澱，再次證明黃色、黃綠色的產生，是由微小紅色氧化亞銅顆粒與藍色銅離子混色而成。