

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

第二名

040203

斐疑所思-斐林世紀之謎

學校名稱：國立宜蘭高級中學

作者：	指導老師：
高二 吳靖則	游春祥
高二 王伯丞	賴明良
高二 楊馥誠	
高二 林哲廷	

關鍵詞：斐林試劑、配位化學、氧化還原

摘要

斐林是被使用超過百年的試劑，惟我們在實驗室中所得的結果(產物顏色)，明顯與教科書不同；且酒石酸鉀鈉大量添加令我們疑惑，搜尋後得知其扮演配位基的角色，故欲了解銅離子與羥基間的配位，故針對下列兩點進行研究。

(1) 產物分析方面：

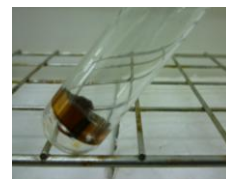
- 斐林試劑分別與甲醛或葡萄糖，在不同溫度下反應，觀察反應狀況並分離產物。
- 以酒石酸鉀鈉添加與否作為變因，探討反應狀況。
- 以定性及定量的方法，比較各反應的產物成分。
- 依檢測出不同時間段的產物，來延伸討論其反應機制。

(2) 配位化學方面：

- Cu^{2+} 配位基之配位位置(官能基)，及其配位條件。
- NaOH 在配位產生中扮演的角色。
- 延伸探討 NaOH 與糖類關係，並加以實用化。

壹、研究動機

專題研究課時，本欲研究「肥皂酸化」，為測量肥皂酸化產生的醛類，考慮以斐林試劑測試。在配置斐林B劑時，發現需添加超過半罐的酒石酸鉀鈉(346g/1L)，但化學反應式中卻不見它的身影，且高中課本對此化合物效用，並未提及，引起我們的研究興趣；再者，大部分研究醛與酮的檢驗試劑，多半以多倫試劑的銀鏡反應做為研究主軸，並只針對不同還原劑對產物量及銀鏡的鏡面效果進行探討，很少討論斐林試劑，更少針對斐林試劑配位化合物進行研究。實驗時發現淺藍的斐A與無色的斐B混合後，會產生深藍色的液體，這引起我們的興趣。實際試作後之後，更發現甲醛組熱水浴反應產生類似銅鏡之附著，與課本所述產物為 Cu_2O 不同。



上網查相關資料，大部分皆強調斐林試劑分辨醛與酮的試劑，只會產生橘紅色的 Cu_2O ，對於酒石酸鉀鈉的作用則只有說它會與 Cu^{2+} 形成配位，沒有說明其機制，還有為什麼加這麼多？於是開始嘗試設計實驗，對反應產物、反應顏色變化與配位部份，且在後來的嘗試實驗也發現各試藥的作用比想像的複雜，醣類也有奇怪的發現…。

貳、研究目的

- 觀察反應過程，在不同溫度下，斐林試劑與不同反應物(甲醛及醣類)的反應狀況。
- 觀察含 Cu^{2+} 的試劑在有無配位基(去酒石酸鉀鈉)下，分別與醛類或醣類之反應狀況
- 針對所有反應所生成斐林產物進行定性及定量分析，藉此探究斐林試劑產物的真實狀況。
- 針對可能 Cu^{2+} 的配位基(醣類)對銅離子的配位能力進行探討
- 斐林試劑中的酒石酸鉀鈉、本氏液中的檸檬酸鈉，配位條件控制變因分析
- 探討與 Cu^{2+} 的配位基位置，進而延伸討論其配位機制
- 探究 NaOH 扮演角色，且以其濃度為變因，探討與配位的關係
- 希冀由 NaOH 與醣類之關係探討，進一步延伸為實用、無毒的酸鹼指示劑
- 探索、了解 Cu^{2+} 配位化學，希望能開啟後續的相關研究，更進一步探索醣、醇、鹼之間關係，而使 Cu^{2+} 配位化學可以作為分辨酮、醛、醣、醇、酸、鹼的方法

參、研究設備及器材

一、實驗設備與器材

濾紙、抽濾裝置、塑膠吸管
 滴定管、漏斗、鑷子
 抽風櫃、計時器、圓底燒瓶
 錐形瓶、燒杯、容量瓶、蒸餾水、分度吸量

試管、標籤紙、2號試管塞、16號橡皮塞
 電子天平(0.001g)、刮勺、烘箱
 活性碳口罩、橡膠手套

GLX 操作平台

+ pH sensor(PASCO)



pH Pen p-80



二、實驗試藥

定性分析與定量分析：

甲酸、乙酸、丙酸、丁酸、鹽酸12M、硝酸15M
 硫酸9M、硝酸銀、碘化鉀0.5M、氨水28%
 硫化鈉1M、優質酒精95%、正丙醇、銅粉、氧化亞銅

斐林試劑與本氏液：

硫酸銅(含5個結晶水)、酒石酸鉀鈉
 氫氧化鈉、檸檬酸鈉、碳酸鈉

可能配位基分析：

葡萄糖、半乳糖、果糖、葡萄糖酸 50%
 乳糖、麥芽糖、蔗糖

配位位置探討：

乙醇、乙二醇、丁二酸、丙三醇

丙酮

甲醛 24%

甲酸鈉

丙醛



迴旋濃縮儀+恆溫槽(BUCHI)

Rotavapor R-210 + Heating Bath B-491

由於一方面要固定反應溫度，也要均勻反應，先後嘗試以超音波震盪器、以水浴式恆溫槽來控制反應變因，但是一直無法兩者兼顧。

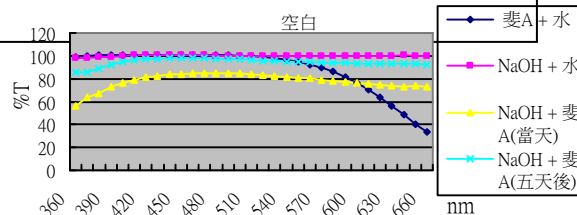
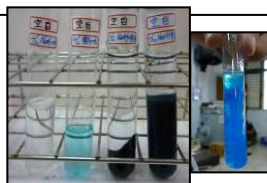
恰巧學校有新進的儀器：迴旋濃縮儀及其恆溫槽，原本是用來處理剩餘有機溶劑，但是它擁有攪拌、恆溫功能，是此實驗最佳之控制變因反應場所。



微電腦分光光度計(上泰儀器)(石英試管)

(準度： $\pm 1.0\text{nm}$) (光譜隙寬：5nm)

分光光度為離子吸收光譜的程度，故有一定疊加性，若多種物質相加造成波峰位置明顯變動，而此波峰位置又非加入物質吸收光譜程度最高位置，表有產生新物質(可能是配位)，也就是反應，可用此法測量有關配位的實驗。



Fehling Test (斐林試劑)：主要用於區分可溶於水的醛和酮。它由兩個等體積的部分混合得到：

斐林試劑A：由69.28g五水合硫酸銅溶於1L蒸餾水中得到；

斐林試劑B：由346g四水合酒石酸鉀鈉和120g氫氧化鈉溶於1L蒸餾水中得到。

Benedict's solution (本氏液)：為辨別水中還原糖之試劑。

17.3g 五水合硫酸銅(Copper solution)、173g 檸檬酸鈉(Sodium citrate)和 100g Na_2CO_3 配得 1L 水溶液；若溶液中含有還原糖，則溶液呈現紅色、黃色或綠色。其顏色取決於溶液中還原糖的含量，若溶液中不含還原糖，則溶液仍為清澈的藍色。

肆、研究過程或方法

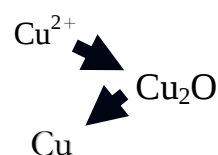
一、文獻探討

在高中課程教到氧化還原時，做了檢測醇、醛、酮的實驗，採用多倫試劑與斐林試劑檢測醛類，多倫試劑是以醛類為還原劑將二氨銀錯離子還原成銀，斐林試劑則是以醛類為還原劑將銅離子還原成亞銅離子(Cu_2O)。

查詢歷屆科展及網路相關資源發現，多倫試劑已有廣泛研究，惟斐林試劑甚少人探討，故決定針對(1)斐林試劑的產物及(2)斐林試劑的配位現象進行探討。

(1)產物分析方面：

實驗前，以當時學到的氧化還原電位來進行判斷時，發現醛類可以將銀離子還原成銀($\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$ $E^\circ(\text{v})=0.80\text{v}$)，但依據課文所述，醛類僅能將銅離子還原成氧化亞銅，無法生成銅($\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ $E^\circ(\text{v})=0.34\text{v}$ & $\text{Cu}^{2+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^+$ $E^\circ(\text{v})=0.16\text{v}$ & $\text{Cu}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ $E^\circ(\text{v})=0.52\text{v}$)，明顯與學理有衝突，令人疑惑。

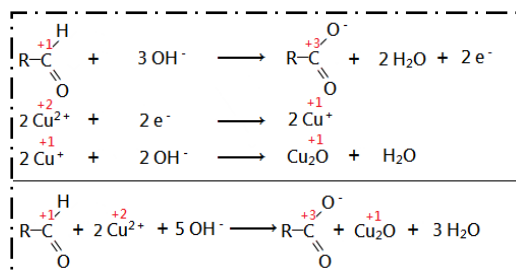


試做實驗時，以甲醛當還原劑，水浴加熱產生了銅鏡，增加原先的推論正確性，斐林試劑確實會與醛類反應生成銅，引起研究的興趣，故針對不同溫度、酒石酸鉀鈉的有無、與不同反應物反應的產物，進行定性及定量分析。

最後，為明瞭斐林試劑的反應機構，在不同反應時間下，分析產物中銅與氧化亞銅的比例，以確認銅離子是先形成氧化亞銅再生成銅，還是生成銅後與銅離子反應生成氧化亞銅。

(2)配位化學方面：

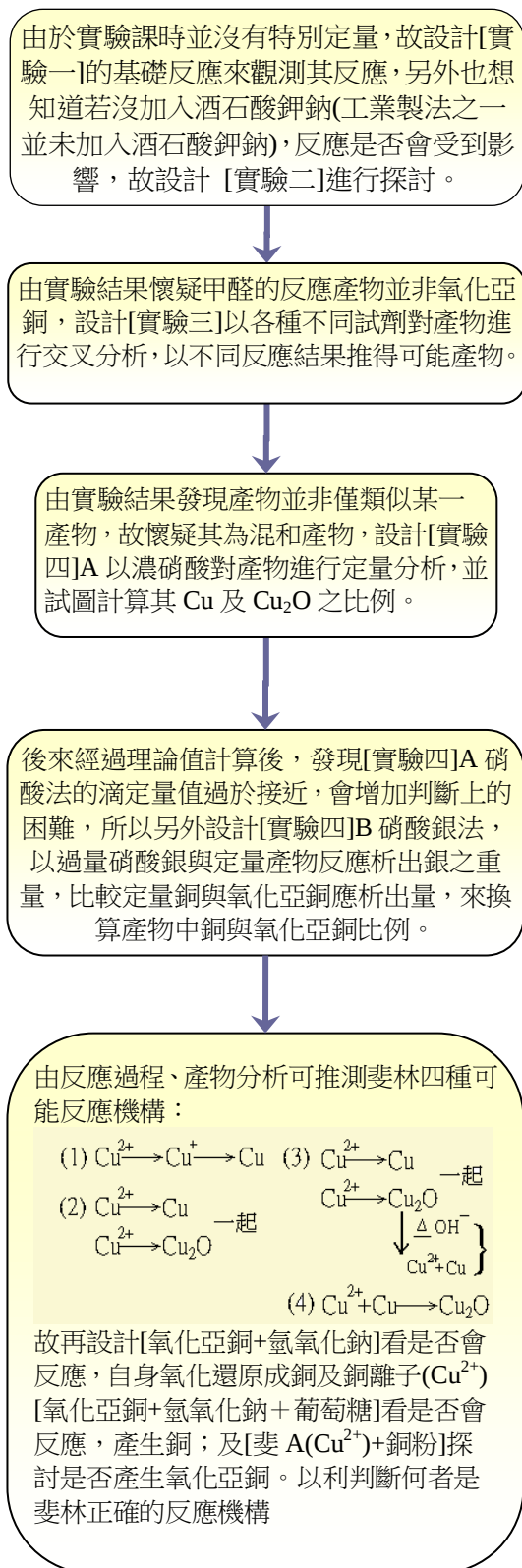
在配置斐林 B 劑時，發現需超過半罐的酒石酸鉀鈉(346g/1L)，但反應式中卻不見它的身影；且將淺藍的斐 A 與無色的斐 B 混合後，會產生深藍色的液體，而非氫氧化銅，這引起我們的興趣，故設計實驗探討其產生的機制、條件，希冀能釐清一些關於含 Cu^{2+} 之試劑的謎團：



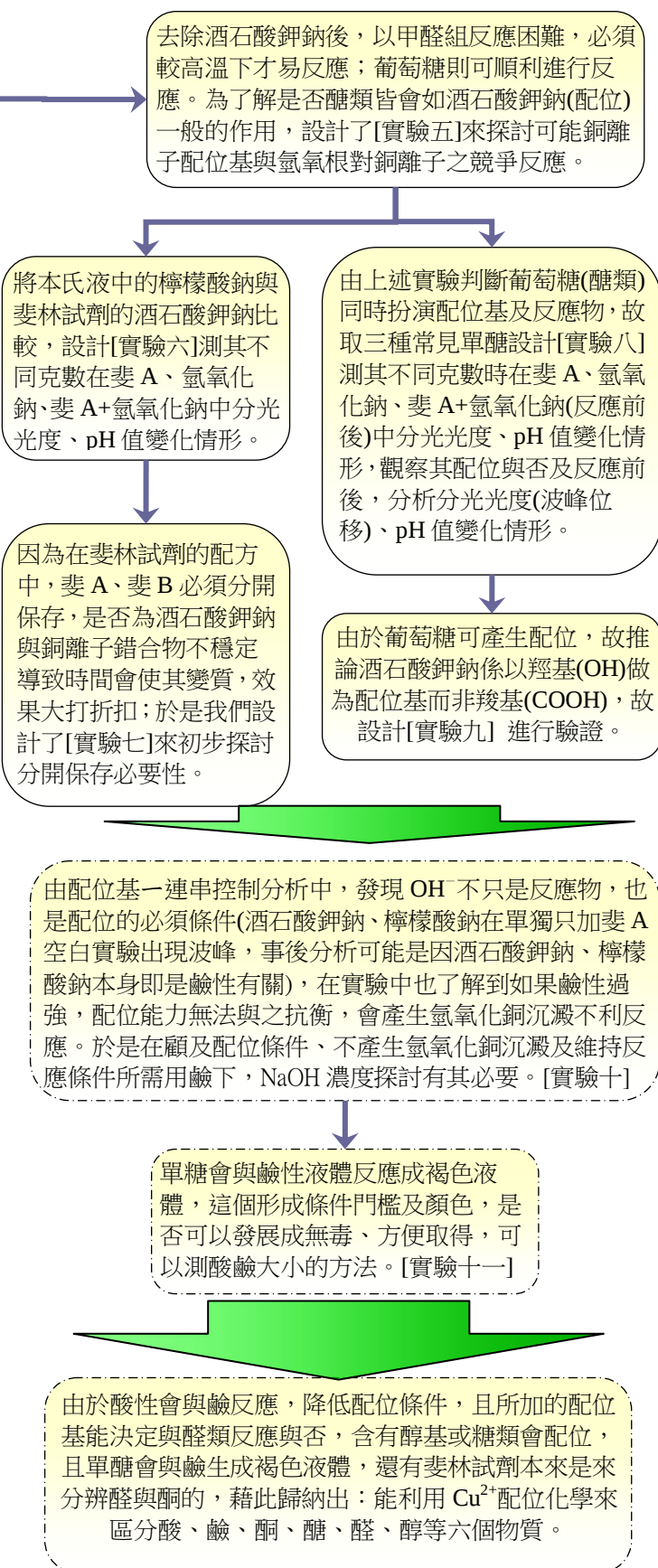
銅氨錯合物是個被普遍研究的化合物，銅離子的配位主要研究亦在此，酒石酸鉀鈉會使 NaOH 與 Cu^{2+} 生成的 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 消失，顯示其亦具有配位效果，上網查詢資料後發現酒石酸鉀鈉可能的配位基為羥基或羧基，為確定是何者，設計以丁二酸及乙二醇分別與 Cu^{2+} 反應。因此本實驗針對銅的羥基配位作為研究主軸。

二、研究思考流程

產物分析部分



配位化學部分

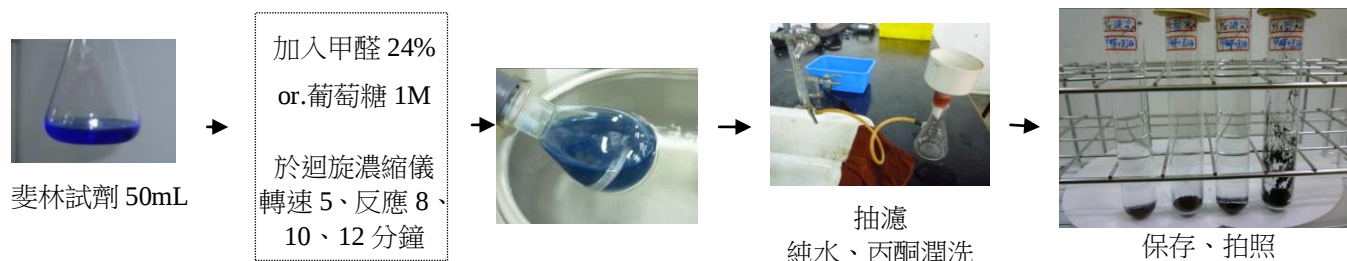


三、設計實驗

實驗皆重複2次以上，確認其再現性

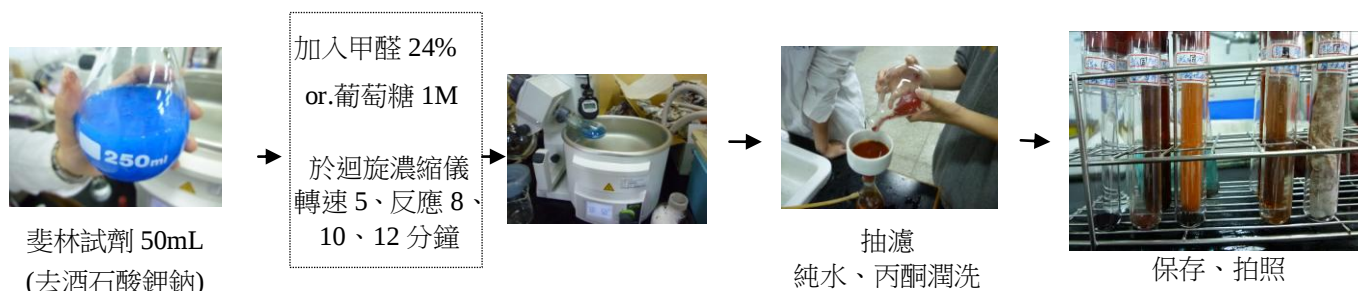
[實驗一] 觀察斐林試劑反應

實驗目的：觀察斐林反應在不同溫度下之反應情形(反應溫度 50℃、70℃)



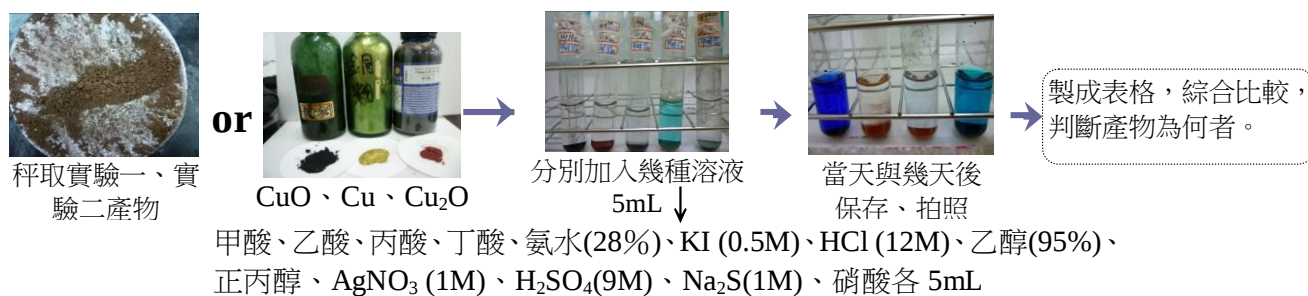
[實驗二] 觀察去除酒石酸鉀鈉的影響

實驗目的：觀察若斐林試劑去除酒石酸鉀鈉後的造成的影響(反應溫度 50℃、70℃)



[實驗三] 對斐林產物進行交叉分析(定性分析)

實驗目的：由於甲醛產物為黑褐色、葡萄糖產物為紅色
懷疑甲醛產物可能非氧化亞銅，設計此實驗來驗證。



[實驗四] 產物之定量分析

A. HNO₃法

- 實驗設計：將甲醛組和葡萄糖組兩組產物和 Cu₂O、Cu 各取 0.1g 分別加入定量(15M)濃硝酸氧化(過量)，再以鹼反滴定。(使用硝酸，是因為由定性分析實驗中，僅濃硝酸可完全將固態產物反應溶解)
- 實驗目的：能夠間接求出反應當量，最後推出產物 Cu₂O、Cu 比例。



以 HNO_3 溶解產物與 Cu 、 Cu_2O

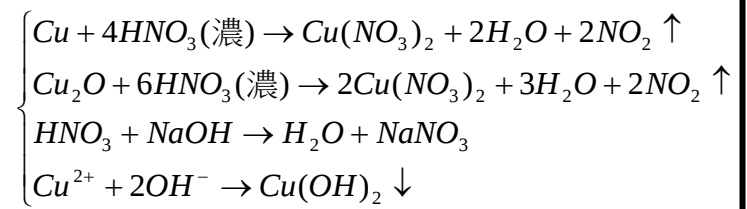


抽去產生之 NO_2 稀釋倒入錐形瓶



以 NaOH 反滴定紀錄滴定量

公式：(參照高中化學課本)



分子量 Cu : 63.55 Ag : 107.9 Cu_2O : 143.1

Cu : α Cu_2O : β $\alpha + \beta = 0.1\text{g}$ γ 剩餘 HNO_3 mol

$$4(\text{還原係數}) \times \frac{\alpha}{63.55} (\text{Cu mol}) + 6(\text{還原係數}) \times \frac{\beta}{143.1} (\text{Cu}_2\text{O mol}) + \gamma = 3 \times \frac{15}{1000} (\text{H}^+ \text{mol})$$

$$2(\text{結合係數}) \times \frac{\alpha}{63.55} (\text{Cu mol}) + 4(\text{結合係數}) \times \frac{\beta}{143.1} (\text{Cu}_2\text{O mol}) + \gamma = (\text{滴定毫升數}) \times \frac{1}{1000} (\text{OH}^- \text{mol})$$

以上述公式算出：0.1g Cu_2O 需滴定 1M 氫氧化鈉約為 43.6 mL

0.1g Cu 需滴定 1M 氫氧化鈉約為 41.85 mL

B. AgNO_3 法



以 AgNO_3 與產物與實驗室試藥反應



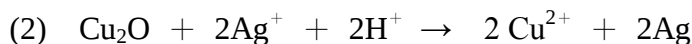
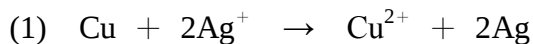
一天後離心後抽去上層溶液，再稀釋混和均勻、離心，重複三次以上。(去除不相干離子)



以酒精燈將試管烤乾再秤重

以下列公式計算產物種類↓

Cu 原子量：63.55 Cu_2O 分子量：143.1 Ag 原子量：107.9



以上述公式算出

0.1g 應析出銀量： $\text{Cu}=0.33957\text{g}$ $\text{Cu}_2\text{O}=0.150803\text{g}$ (1M 5mL AgNO_3 Ag 約有 0.54g)

設 Cu 有 x 克， Cu_2O 有 y 克，已知 $x+y=\text{加入產物克數}(0.1\text{g})$

$$\text{則 } 3.3957x + 1.50803y = \text{銀析出量} = 1.88767x + 0.150803 = 0.33957 - 1.88767y$$

$$\text{可得 } x = (\text{銀析出量} - 0.150803) / 1.88767, \quad y = (0.33957 - \text{銀析出量}) / 1.88767$$

$$(x/63.55) / (x/63.55 + y/143.1) = \text{銅莫耳分率}; \quad 1 - \text{銅莫耳分率} = \text{氧化亞銅莫耳分率}$$

【實驗五】可能配位基與氫氧根對銅離子之競爭反應

實驗目的：葡萄糖會將氫氧化銅溶解，於是取兩種已知配位基三種單醣、三種雙醣，量化加以證實。



配製與斐 B 濃度相同之 NaOH

秤量下列幾種試藥 1g 若干分↓

斐 A 5mL 與配好之 NaOH 5mL 混合

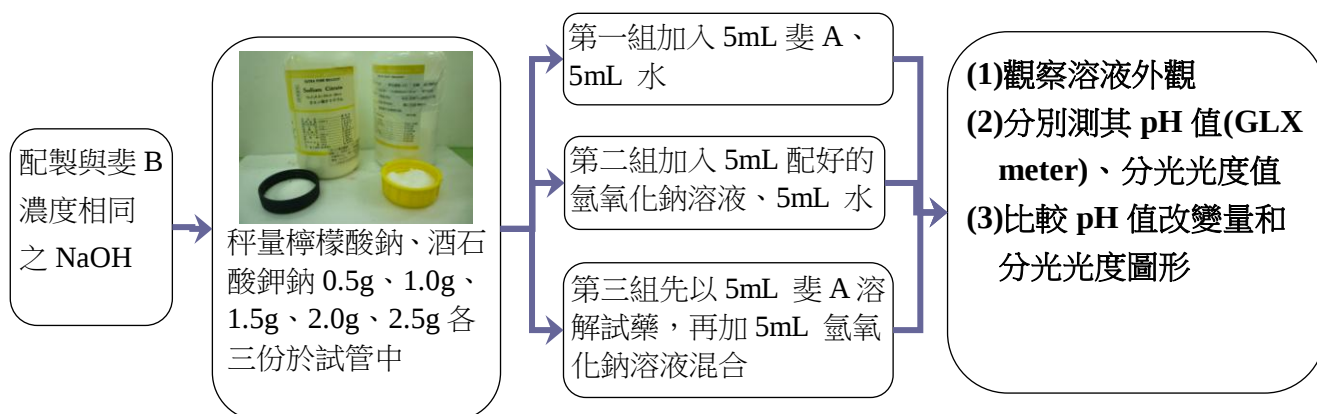
1 克 1 克加入試藥

觀察氫氧化銅完全溶解所需克數

酒石酸鉀鈉、檸檬酸鈉、葡萄糖、半乳糖、果糖、麥芽糖、蔗糖、乳糖

【實驗六】試劑組(銅離子已知配位基)

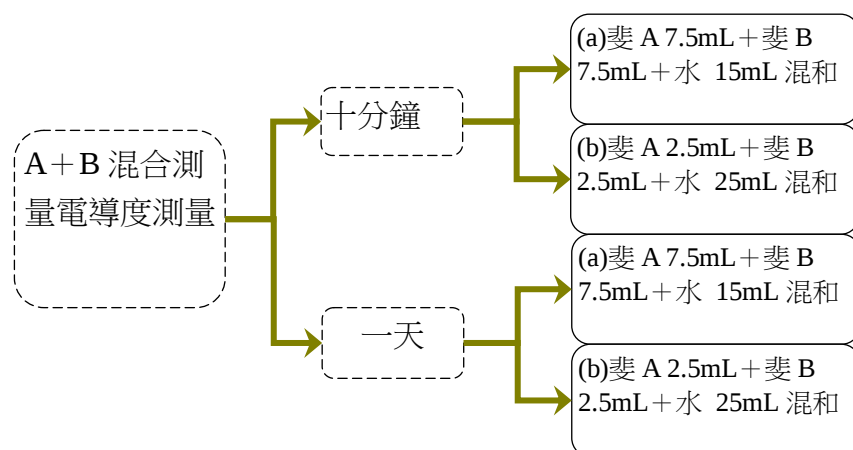
實驗設計：以不同比例比較檸檬酸鈉、酒石酸鉀鈉差異，測量其分光光度、pH 值。



【實驗七】探討斐林試劑分開保存意義

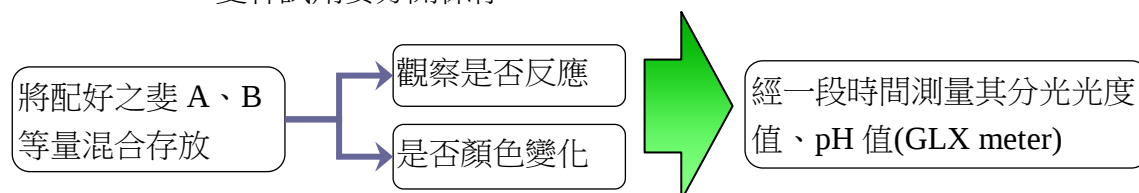
A.電導度 EC 法：

- 實驗設計：不同的種類、濃度分子會對電導度產生影響；記錄 A + B 混和的電導度變化。
- 實驗目的：觀測溶液中離子變化情形，進而分析斐林試劑配位化合物之穩定性。



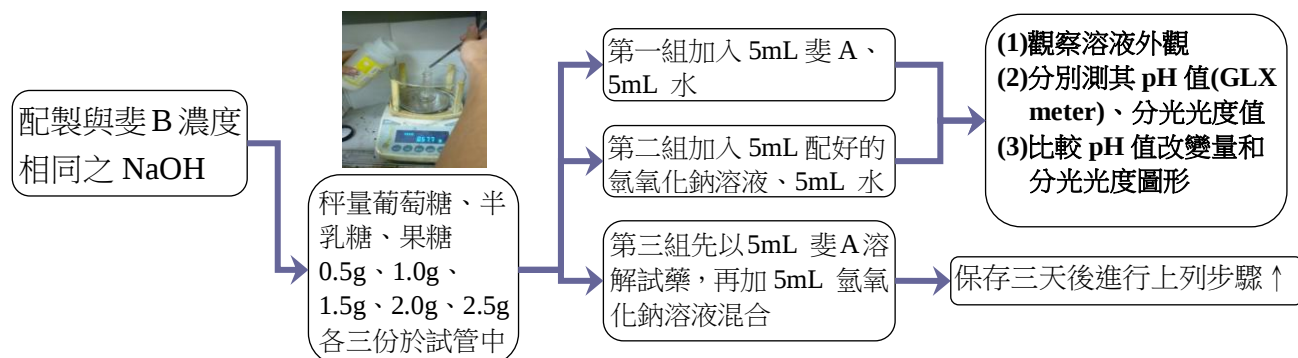
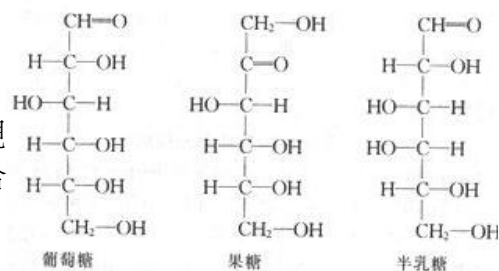
B.分光光度(波峰)、pH 值法

- 實驗目的：分光光度(波峰：配位錯合物)、pH 值、外觀觀測混和保存效果，了解為何斐林試劑要分開保存。



【實驗八】還原糖組

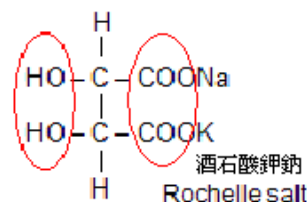
實驗目的：由於葡萄糖(單糖)可能既是配位基也是反應物，故以葡萄糖、半乳糖、果糖代替酒石酸鉀鈉觀察反應(配位)情形。分光光度(波峰：配位錯合物)、pH 值、外觀觀測混和保存效果，了解為何斐林試劑要分開保存。



P.S. 葡萄糖氧化後會產生的葡萄糖酸，而為了了解葡萄糖酸是否會配位所以我們重複作了實驗八步驟加以探討。

【實驗九】分析酒石酸鉀鈉配位位置

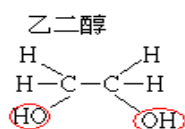
實驗設計：查找了酒石酸鉀鈉的結構式，發現酒石酸鉀鈉上有兩個可能配位的官能基：OH 羥基、COO 羧基，所以用不同比例乙二醇、丁二酸代替於斐 A、NaOH 溶液、斐 A+NaOH 溶液比較，測量其分光光度、pH 值。



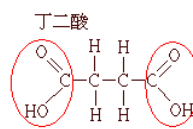
找出誰才是酒石酸鉀鈉配位的官能基(雙牙基)

1. 以乙二醇代替酒石酸鉀鈉

2. 以丁二酸代替酒石酸鉀鈉



(驗證是否為 -OH 將 Cu_2^+ 抓住)



(驗證是否為 -COO 將 Cu_2^+ 抓住)

配製與斐 B 濃度
相同之 NaOH



秤量丁二酸、乙
二醇 0.5g、1.0g、
1.5g、2.0g、2.5g
各三份於試管中

第一組加入 5mL 斐 A、5mL 水

第二組加入 5mL 配好的氫氧化鈉
溶液、5mL 水

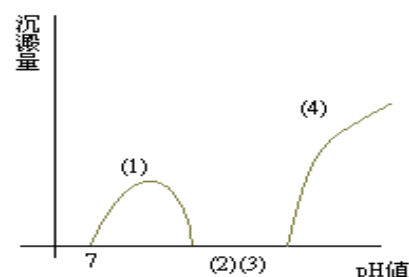
第三組先以 5mL 斐 A 溶解試
藥，再加 5mL 氫氧化鈉溶液混合

(1) 觀察溶液外觀、
沉澱物顏色
(2) 四組混合液分別
測其 pH 值 (GLX
meter)、分光光度值
(3) 比較 pH 值改變
量和分光光度圖形

[實驗十] NaOH 濃度與配位之間關係

實驗設計：由分光光度法中的空白實驗對照，得知鹼性是配位一個不可或缺的條件，但是也由實驗看到鹼性太強還是會導致沉澱，所以尋求會配位但不沉澱的鹼性濃度。

- 預估(1)鹼性太弱無法啟動配位機制
(2)鹼性夠時，啟動配位機制但未完全配位
(3)鹼性適中，完全配位
(4)鹼性過多，還是會沉澱



所以選擇了可能會配位，但不會反應的配位基：乙醇、乙二醇、丙三醇、蔗糖、酒石酸鉀鈉、檸檬酸鈉



把 1g 之配位基(乙醇、乙二醇、丙三醇、蔗糖、酒石酸鉀鈉、檸檬酸鈉)分別加入試管中，並加入 5mL 斐 A 攪拌溶解



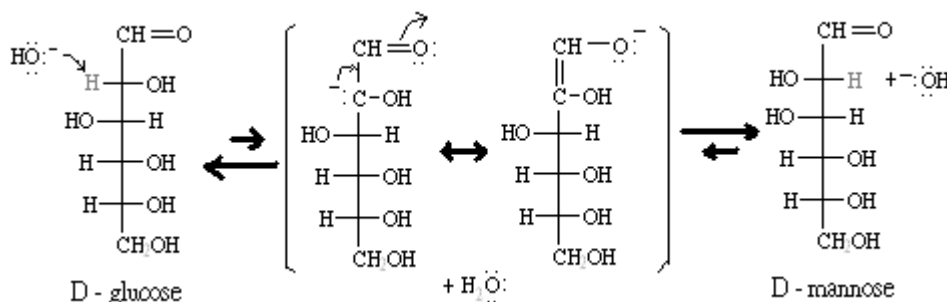
分別加入 7 種不同濃度[.01M、0.1M、0.5M、1M、2M、3M(斐 B 同濃度)、4M]氫氧化鈉溶液或純水 5mL



測其 pH 值及分光光度，且紀錄外觀上差異，比較是否配位

[實驗十一] 探討葡萄糖與鹼之關係及應用之可能

- 實驗設計：由於在[實驗八]單醣加 3M NaOH 空白實驗中，我們發現不管是葡萄糖、半乳糖、果糖皆會產生深褐色的液體，且深淺與加入量呈正相關；上網查找資料後，得知這是醣類加鹼後，會產生醛醣與酮醣的轉換，顏色的呈現則可能是中間的過度產物。



- 實驗目的：因為鹼性能使葡萄糖溶液產生深褐色液體，可用來判斷含糖多寡；相對的，是否定量的糖溶液，依其顏色變化，可得知鹼性大小。再者，一般酸鹼指示劑皆不易取得，不可食用，如此方法可以用來檢測，則應用面很大。
 - 以較高溫為加快反應的條件(置於常溫，要需長時間才完全變色)
 - 使用醣類水溶液來判定溶液之酸鹼，甚至應用於市售之豐年果糖
 - 運用分光光度計、pH 計來輔助實驗判斷
- 實驗步驟：(1)配置3M、1M、0.5M、0.1M、0.01M的NaOH、Na₂CO₃
(2)取25mL待反應溶液(鹼性)，第一組加入25mL 1M葡萄糖，第二組加入10g/100mL豐年果糖於圓底燒瓶，迴旋濃縮儀70℃ 轉速5，反應600秒。

伍、研究結果

【實驗一結果】觀察斐林試劑反應

A. 甲醛組

※斐 A：斐 B：甲醛(24%)比例控制 25:25:10 mL
70°C 斐林 500mL+甲醛 100mL



50°C 斐林 500mL+甲醛 100mL



1. 甲醛組比較，溫度越高，反應速度越快，50°C之產物是片狀的，70°C則為粉狀。
2. 葡萄糖組比較，除了反應速度外，溫度高的濾液顏色特別深。
3. 甲醛組、葡萄糖組比較，甲醛組與葡萄糖組之產物顏色不同，甲醛組趨向於黑褐色，葡萄糖組則趨向於深紅色；濾液部份，甲醛組(左)呈現透明，葡萄糖組(右)呈現褐色；產物性質部份，葡萄糖組容易附著於瓶壁，甲醛組產物則否。

B. 葡萄糖組

※斐 A：斐 B：葡萄糖(1M)比例控制 25:25:10 mL
70°C 斐林 50mL+葡萄糖 10mL



50°C 斐林 500mL+葡萄糖 100mL



【實驗二結果】觀察去除酒石酸鉀鈉的影響

A. 甲醛組

※斐 A：NaOH(60g/500mL)：甲醛(24%)比例控制 25:25:10 mL
70°C 斐A 25mL+ (OH⁻)25mL+甲醛 10mL



70°C 斐 A 25mL+ (OH⁻)25mL+甲醛 10mL



B. 葡萄糖組

※斐 A：NaOH(60g/500mL)：葡萄糖(1M)比例控制 25:25:10 mL
70°C 斐 A 100mL+ (OH⁻)100mL+葡萄糖 40mL



50°C 斐 A 100mL+ (OH⁻)100mL+葡萄糖 40mL



1. 甲醛組比較，70°C時反應時間與(有加酒石酸鉀鈉)相差很大。
2. 酒石酸鉀鈉加入與否對甲醛組有影響，推測因氫氧化銅難溶於水導致反應較難進行。
3. 葡萄糖組部份似乎因葡萄糖加入而導致氫氧化銅溶解，產生深藍色液體。
4. 葡萄糖可能有跟酒石酸鉀鈉一樣的配位能力。



【實驗三結果】對斐林產物進行定性交叉分析

【實驗三結果與分析】對斐林產物進行定性交叉分析									
試液	試管	Na ₂ CO ₃ Test		Na ₂ SO ₄ Test		Na ₂ CO ₃ Test		Na ₂ SO ₄ Test	
		Na ₂ CO ₃ 34%	Na ₂ CO ₃ 1M	Na ₂ SO ₄ 34%	Na ₂ SO ₄ 1M	Na ₂ CO ₃ 34%	Na ₂ CO ₃ 1M	Na ₂ SO ₄ 34%	Na ₂ SO ₄ 1M
Cu ₂ O	試管	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應
	試管	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應
	試管	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應
	試管	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應
Cu	試管	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應
	試管	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應
	試管	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應
	試管	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應
Cu ₂ O + Cu	試管	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應
	試管	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應
	試管	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應
	試管	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應	無反應

分析：

- 1.因產物可能不只一種，故並未與任何一種純物質有相同反應，無法明確得知產物為何，但皆可與硝酸及硝酸銀反應，故採用此兩者進行定量分析。

【實驗四結果與分析】產物之定量分析

A、硝酸法：

0.1g Cu₂O 需滴定 1M 氫氧化鈉約為 43.6 mL

0.1g Cu 需滴定 1M 氫氧化鈉約為 41.85 mL

(A)前置(方法可行性)

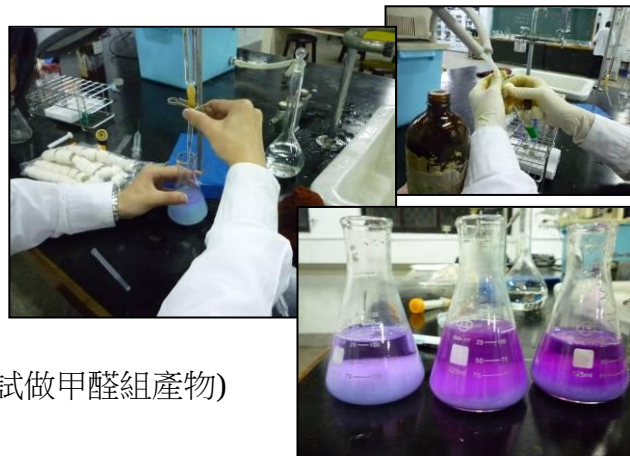
0.1g	1M 氫氧化鈉滴定量
Cu ₂ O	0→41.5
Cu	0→40.7

(B)實驗(因為在前置實驗顯示此方法不準，故只試做甲醛組產物)

0.1g	1M 氫氧化鈉滴定量
甲醛組產物	0→41.7
甲醯組產物	0→45.7

- 1.因為我們以溶液由綠色變成藍色，為完全排出 NO₂。但是實際上肉眼判斷溶液為藍色，並不代表毫無 NO₂，所以實驗 Cu₂O、Cu、甲醯組產物產生的 NO₂ 可能均未完全排出。
- 2.實驗中若是使用加熱致使氣體溶解度降低之方法排除 NO₂，將會導致突沸及 HNO₃ 的分解，增加誤差。
- 3.後來又查詢有關濃硝酸滴定銅與氧化亞銅部份，查到 48 屆「以銅為鏡，可以正硝酸」，依其實驗結果顯示，濃硝酸與銅反應不只全部產生 NO₂，也會產生些許 NO。

$$\begin{cases} 3\text{Cu} + 8\text{HNO}_3 \rightarrow 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO} \uparrow + 4\text{H}_2\text{O} \\ 3\text{Cu}_2\text{O} + 14\text{HNO}_3 \rightarrow 6\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO} + 7\text{H}_2\text{O} \end{cases} \quad \begin{cases} \text{Cu} + 4\text{HNO}_3(\text{濃}) \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NO}_2 \uparrow \\ \text{Cu}_2\text{O} + 6\text{HNO}_3(\text{濃}) \rightarrow 2\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 3\text{H}_2\text{O} + 2\text{NO}_2 \uparrow \end{cases}$$
- 4.但是如果 NO₂ 未完全排出抑或產生 NO 的狀況，氫氧化鈉滴定量應該會增加，但是大部分的實驗數據均偏低，可能影響原因不只如此。



B、硝酸銀法：

Cu 原子量：63.55 Cu₂O 分子量：143.1 Ag 原子量：107.9

0.1g 應析出銀量：Cu=0.33957g Cu₂O=0.150803g

(A)前置(方法可行性)

實作(g)	Cu	Cu	Cu	Cu ₂ O	Cu ₂ O	Cu ₂ O
空管	7.657	7.577	7.627	7.635	7.593	7.582
完全反應(一天)						
加熱蒸乾	8.007	7.899	7.958	7.864	7.829	7.816
加的固塊重	0.1	0.101	0.1	0.1	0.099	0.1
析出銀量	0.35	0.322	0.331	0.229	0.236	0.234
	誤差	誤差	誤差	誤差	誤差	誤差
	3.07%	6.11%	2.53%	51.85%	58.08%	55.17%
銅莫耳分率	1.02	0.95	0.98	0.61	0.66	0.64



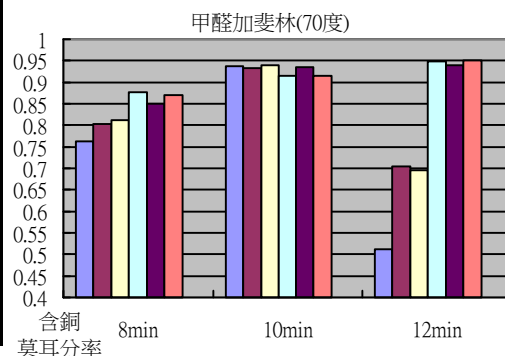
分析：由反應知 Cu 的誤差較小，而 Cu₂O 就有些大，但是 Cu 兩次數據皆準確(再現性)，方法屬於可行，加上實驗室的 Cu₂O 試藥本身沒有標示純度，懷疑並不是百分之百純氧化亞銅。

(B)實驗

甲醛+斐林組(硝酸銀法)

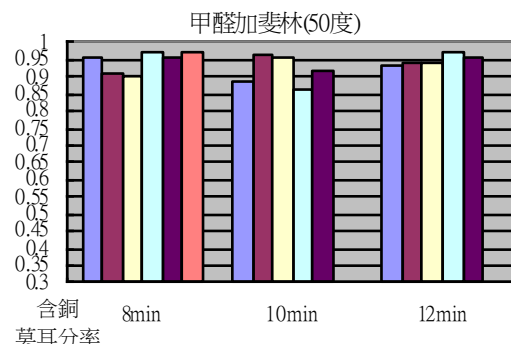
(1)70°C組

8 分鐘組	0518A1-a	0518A1-b	0518A1-c	0518A2-a	0518A2-b	0518A2-c
加固塊量	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
析出銀量	0.262	0.272	0.275	0.294	0.286	0.292
含銅莫耳分率	0.763	0.802	0.812	0.876	0.850	0.870
10 分鐘組	0415B a	0415B b	0415B c	0529B a	0529B b	0529B c
加固塊量	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
析出銀量	0.315	0.313	0.316	0.307	0.314	0.307
含銅莫耳分率	0.938	0.932	0.940	0.915	0.935	0.915
12 分鐘組	0415C a	0415C b	0415C c	0529C a	0529C b	0529C c
加固塊量	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
析出銀量	0.211	0.248	0.246	0.319	0.316	0.32
含銅莫耳分率	0.513	0.705	0.696	0.949	0.940	0.951



(2)50°C組

8 分鐘組	0518A1-c	0518A1-d	0518A1-e	0529A a	0529A b	0529A c
加固塊量	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
析出銀量	0.322	0.306	0.301	0.327	0.322	0.327
含銅莫耳分率	0.956	0.912	0.898	0.969	0.956	0.969
10 分鐘組	0422Ba	0422Bb	0422Bc	0422B d	0422B e	
加固塊量	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
析出銀量	0.297	0.324	0.321	0.291	0.307	
含銅莫耳分率	0.885	0.962	0.954	0.867	0.915	
12 分鐘組	0422C a	0422C b	0422CB c	0601C a	0601C b	
加固塊量	0.1	0.1	0.1	0.1	0.046	
析出銀量	0.313	0.315	0.317	0.328	0.148	
含銅莫耳分率	0.932	0.938	0.943	0.972	0.956	



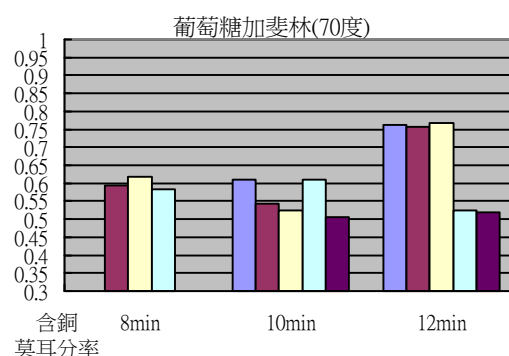
甲醛組斐林標準反應產物大致有 0.9 含銅莫耳分率，但是在 70°C 時隨著時間增加(8min→12min)，含銅莫耳分率漸漸上升(0.8→0.95)，但 50°C 組似乎此現象不明顯。所以我們歸納：

- (1) 甲醛組斐林的反應，會將產生的氧化亞銅變成銅，使含銅莫耳分率增加。
- (2) 但是由 50°C 的反應過程及產物分析(≈0.9)來看，濾液為藍色(Cu^{2+} 未耗盡)，Cu 及 Cu_2O 可能是同時產生。
- (3) 有一組 70°C 12min 的含銅莫耳分率 0.5~0.7，這現象代表 $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}_2\text{O}$ ；但是如果 $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}_2\text{O}$ 則是需要氧化劑，目前反應條件不足已支持此點，所以此組應有些誤差。
- (4) 另以 50°C 時析出量沒有明顯改變來看，此種反應為非自發反應。

葡萄糖+斐林組(硝酸銀法)

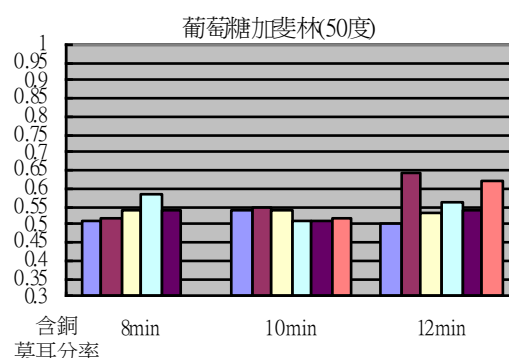
(1)70°C組

8 分鐘組	0518A1-a	0518A1-b	0518A1-c		
加固塊量	0.1	0.1	0.1		
析出銀量	0.225	0.23	0.223		
含銅莫耳分率	0.593	0.619	0.582		
10 分鐘組	0414B a	0414B b	0601B a	0601B b	0601B c
加固塊量	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
析出銀量	0.228	0.216	0.213	0.228	0.21
含銅莫耳分率	0.609	0.543	0.525	0.609	0.507
12 分鐘組	0415C a	0415C b	0415C c	0601C a	0601C c
加固塊量	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
析出銀量	0.262	0.26	0.263	0.213	0.212
含銅莫耳分率	0.763	0.756	0.767	0.525	0.519



(1)50°C組

8 分鐘組	0522A1-a	5/22A1-b	0518A2-a	0518A2-b	0518A2-c	
加固塊量	0.1	0.09	0.1	0.1	0.1	
析出銀量	0.21	0.191	0.216	0.224	0.216	
含銅莫耳分率	0.507	0.521	0.543	0.588	0.543	
10 分鐘組	0418B1-a	0418B1-c	0418B2-b	0418B2-c	061B b	0601B c
加固塊量	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
析出銀量	0.216	0.217	0.215	0.21	0.211	0.212
含銅莫耳分率	0.543	0.549	0.537	0.507	0.513	0.519
12 分鐘組	0418C1-a	0418C1-b	0418C1-c	0601C a	0601C b	0601C c
加固塊量	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
析出銀量	0.209	0.234	0.214	0.219	0.215	0.231
含銅莫耳分率	0.501	0.640	0.531	0.560	0.537	0.625



葡萄糖組產物 8、10 分鐘下有 0.5 左右含銅莫耳分率，但是在 70°C 時隨著時間增加(12min)，含銅莫耳分率有明顯的上升(0.75~0.77)，但 50°C 組似乎此現象不明顯。所以我們歸納：

- (1) 與甲醛組相似，70°C 組含銅莫耳分率上升。
- (2) 此現象是否與葡萄糖未完全氧化(設定為過量)，而致使產出的氧化亞銅進一步還原成銅；濾液由深變淺(由空白實驗知，濾液之深褐色實為 NaOH + 葡萄糖呈現)
- (3) 50°C 時，時間拉長則變化不大，此種反應為非自發反應。



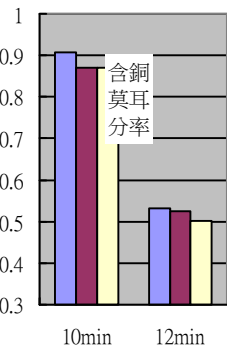
甲醛+去酒石組(硝酸銀法)

(1)70℃組

10 分鐘組	0415B a	0415B b	0415B b
加固塊量	0.1	0.1	0.1
析出銀量	0.304	0.292	0.292
含銅莫耳分率	0.907	0.870	0.870

12 分鐘組	0415C a	0415C b	0415C b
加固塊量	0.1	0.1	0.1
析出銀量	0.214	0.213	0.209
含銅莫耳分率	0.531	0.525	0.501

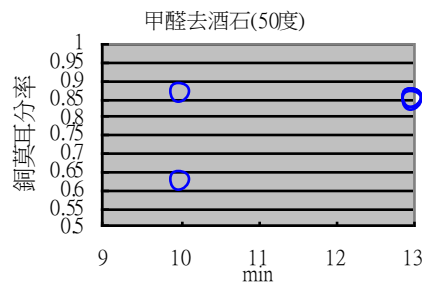
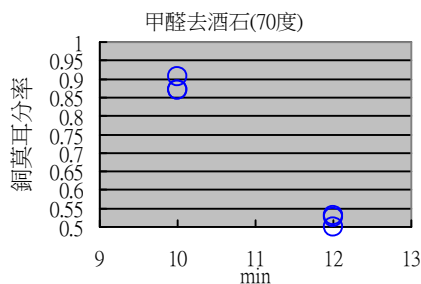
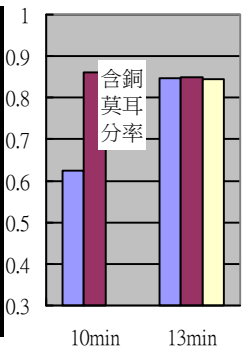
甲醛去酒石(70度) (1)50℃組



10 分鐘組	0415B a	0415B b	
加固塊量	0.1	0.019	
析出銀量	0.231	0.055	
含銅莫耳分率	0.625	0.862	

13 分鐘組	0420C a	0420C b	0420C c
加固塊量	0.1	0.1	0.1
析出銀量	0.285	0.286	0.284
含銅莫耳分率	0.847	0.850	0.844

甲醛去酒石(50度)

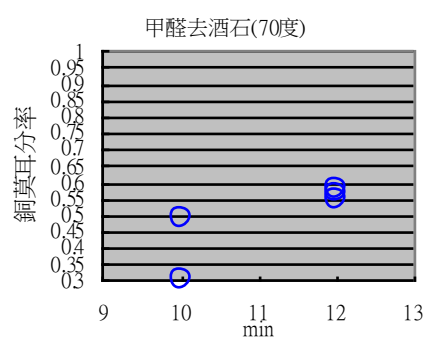
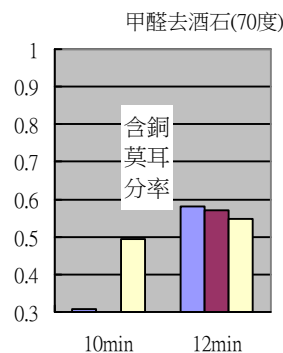


葡萄糖+去酒石組(硝酸銀法)

(1)70℃組

10 分鐘組	4/15B a	4/15B b	4/15B c
加固塊量	0.1	0.1	0.1
析出銀量	0.182	0.164	0.208
含銅莫耳分率	0.308	0.145	0.495

12 分鐘組	4/15C a	4/15C b	4/15C b
加固塊量	0.1	0.1	0.1
析出銀量	0.223	0.221	0.217
含銅莫耳分率	0.582	0.571	0.549



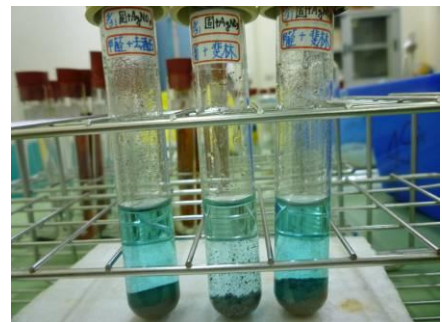
去掉酒石酸鉀鈉後的反應，不管是甲醛組、葡萄糖組數據都不穩定，且目前實驗量較少，無法做較精確的判斷，未來將會增加實驗以深入、正確分析。

硝酸銀法總論分析

1.以斐林標準反應產物甲醛組、葡萄糖組來看，時間拉長會造成銅含量上升。

2.與課本所說的，斐林反應產物為氧化亞銅有所出入。

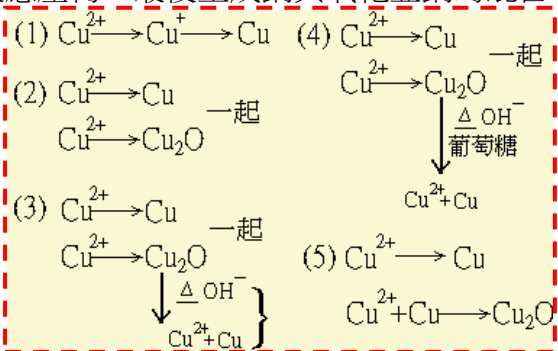
3.其實由圖片可知，溶液顏色越藍就代表 Cu^{2+} 濃度越高，同時表示銀的析出量越多；未來可嘗試滴定 Cu^{2+} 含量或使用比色法測 Cu^{2+} 濃度，進一步推得含銅莫耳比，使實驗檢測方法更有完備性。



斐林反應機構推論：

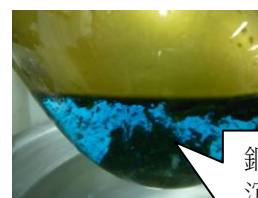
1. 由甲醛與葡萄糖組的產物分析來看，斐林的反應產物，最後生成銅與氧化亞銅的混合物，對於這一點，我們提出了五項假說：

- (1) 銅離子先變為氧化亞銅，再進一步還原為銅，因為還原劑過量，故主產物為銅。
- (2) 銅離子同時變為氧化亞銅及銅，因為 50°C 下濾液為藍色，這點證明還存在銅離子，可進行反應；只是最後產生銅會較多。
- (3) 與第(2)相同，只是氧化亞銅會因加熱及鹼性的關係，而自身氧化還原，產生銅離子及銅，導致銅的比例提高。
- (4) 與第(2)相同，只是氧化亞銅會與還原劑反應生成銅。
- (5) 銅離子直接反應成銅，銅再與銅離子反應生成氧化亞銅。因為在製備 Cu_2O 的方法之一是鍛燒法， Cu 與 CuO 在高溫下反應成為 Cu_2O ，所以推測可能少許氧化亞銅是如此產生的(所以斐林反應皆是產生銅)。



2. 為了探究何者為正確假說，我們設計了一些實驗：

- (1) 氧化亞銅 + 鹼加熱，觀察其是否會產生銅或銅離子(藍色)。
- (2) 氧化亞銅 + 鹼 + 葡萄糖加熱，觀察是否反應
- (3) 硫酸銅溶液 + 銅粉(金色)加熱，觀察是否產生氧化亞銅(紅色)。



銅粉有一些沉澱，一些浮起來，但是全都是金色的(無反應)。

3. 結果

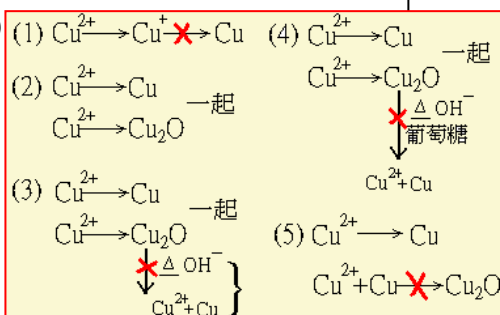
(A) 由[氧化亞銅 + 氫氧化鈉] 在 70°C 下不發生反應，推測不為機構(3)。

(B) 由[氧化亞銅 + 氫氧化鈉 + 葡萄糖] 在 70°C 下不反應，推測不為機構(4)。

(C) [斐 A(Cu^{2+}) + 銅粉] 加熱在 70°C 下不反應，推測不為機構(5)

(D) 由氧化亞銅添入鹼性亦或葡萄糖中加熱，無法產生變化，推測不為機構(1)。

(D) 最後由數據表中，改變反應時間，發現時間與產物的莫耳分率關係不大，故可知應為機構(2)，兩反應同時進行，且由產物比例可推測，生成銅的趨勢及速率應較快，故產物莫耳分率較高。



[實驗五結果與分析] 可能配位基與氫氧根對銅離子之競爭反應

已知配位基		單糖		雙糖	
酒石酸鉀鈉	3g 溶解	葡萄糖	2g 溶解	蔗糖	2g 溶解
檸檬酸鈉	4g 以上 (2g 後黏稠狀)	半乳糖	2g 溶解	麥芽糖	1g 溶解
		果糖	1g 溶解	乳糖	1g 溶解

【溶解後，皆由天空藍(氫氧化銅)變為深藍或藍紫(配位化合物)】

1. 糖類相對起來，溶解需要用的較少，使氫氧化銅溶解之能力較強。

2. 葡萄糖、蔗糖、半乳糖、果糖、蔗糖、麥芽糖、乳糖都可以使氫氧化銅溶解，推測因形成配位化合物，導致沉澱消失。

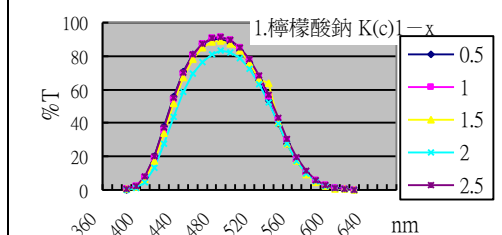
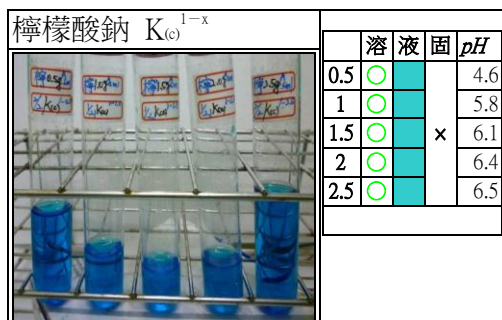
※照片中，液體體積不一樣，是因為吸取些許去做分光光度測量，原先皆為等體積、均勻攪拌後沉澱無消失的！

【實驗六結果與分析】試劑組(銅離子已知配位基)

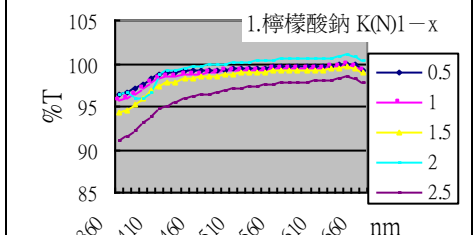
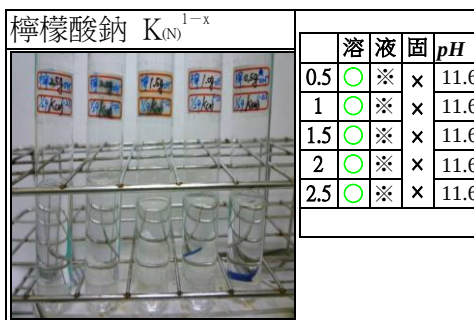
A 加配位基：

OH^- 加配位基：

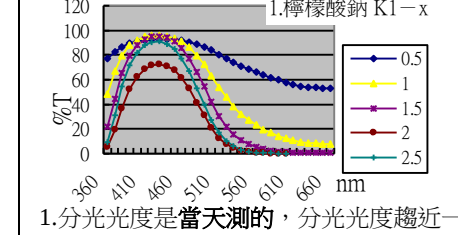
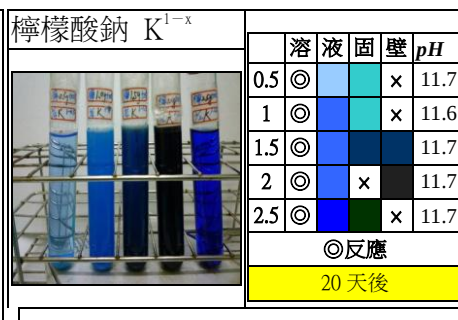
A + OH^- + 配位基：



1. 檸檬酸鈉克數改變在斐 A 組中對分光光度較沒影響，波峰位置 480nm 左右。
2. 而圖形不同，推測其與硫酸銅有反應或配位(未來會測試是否與甲醛(不配位還原劑)反應)
3. 顏色未大幅改變(加深些)



1. 五組上下起伏分光光度位置大致相同，溶質增加，值越低。
2. pH 值並沒有改變，分光光度也沒有特殊改變，判斷只是單純的溶解。

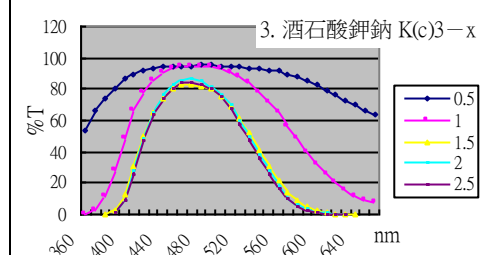
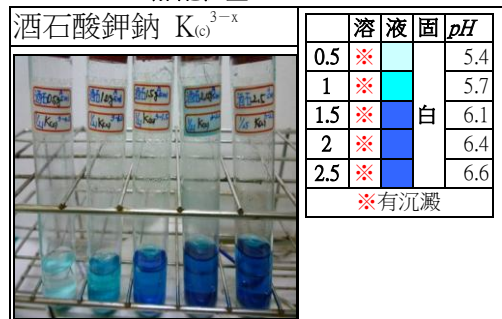


1. 分光光度是當天測的，分光光度趨近一個曲線，波峰位置 430nm 左右，應有配位(與檸檬酸鈉+斐 A 產生分光光度比較)[照片 20 天後才拍的]。
2. 一加進去，皆是深藍色液體，幾天後，產生一些沉澱及附著，可能是檸檬酸鈉加 NaOH 後會不穩定，還須深入探討

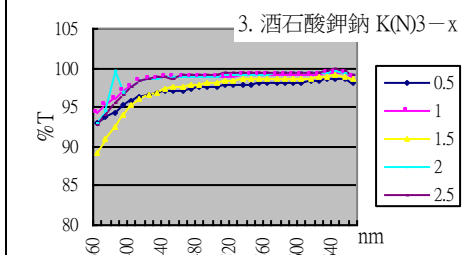
A 加配位基：

OH^- 加配位基：

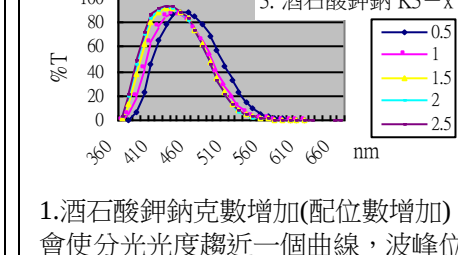
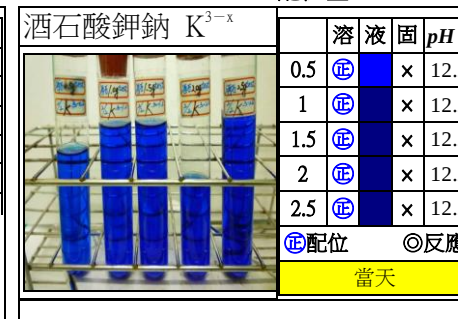
A + OH^- + 配位基：



1. 酒石酸鉀鈉在斐 A 中溶解度很低(似乎有反應，因酒石酸鉀鈉於 10mL 純水可溶解 2g 以上)。
2. 克數改變對液體顏色、分光光度有差異；克數增加會使分光光度趨近一個曲線，波峰 470nm。
3. 由分光光度曲線，推測與硫酸銅有反應或配位(未來會測試是否與甲醛(不配位還原劑)反應)
4. 與檸檬酸鈉+斐 A 產生分光光度比較，波峰一致(490nm)，可能是 Cu^{2+} (配位化合物)的波峰。



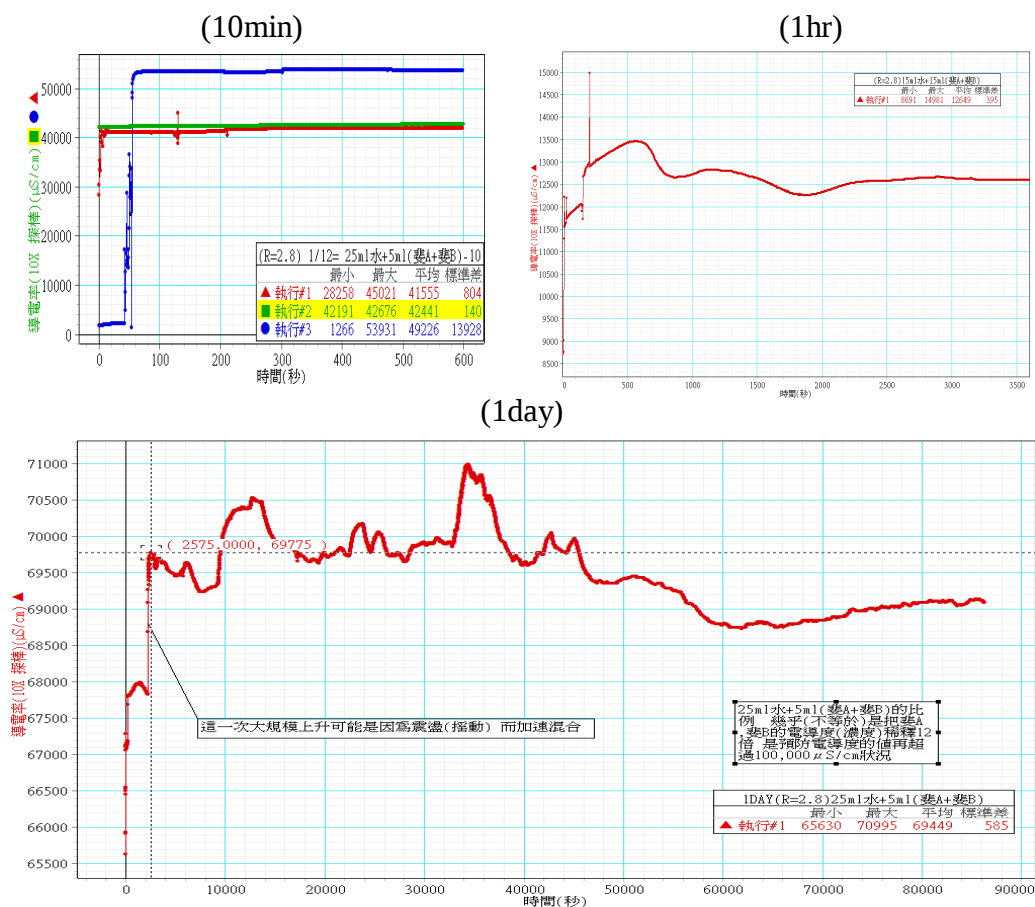
1. 與加入硫酸銅時不同，溶質皆全部溶解
2. 溶質克數與分光光度較無關係。
3. pH 值無大幅改變，判斷應是單純溶解



1. 酒石酸鉀鈉克數增加(配位數增加)會使分光光度趨近一個曲線，波峰位置 420nm 左右，推測應有配位。
2. 加進去後，皆是深藍色液體
3. pH 值未有明顯改變，此反應須鹼(由酒石酸鉀鈉+斐 A 比較)，但用量不多。

[實驗七]結果與分析]探討斐林試劑分開保存意義

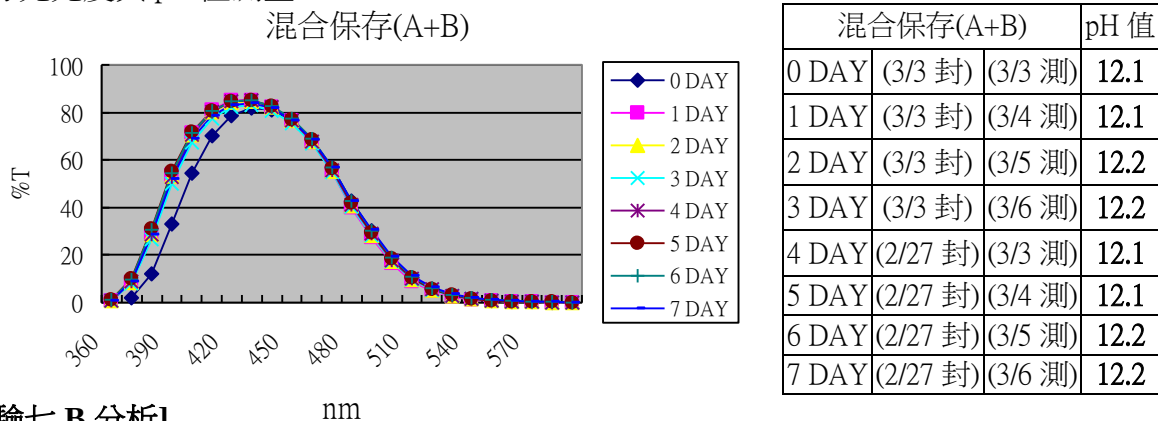
A、A+B 混合電導度測量：(單純探討離子穩定性)



[實驗七 A 分析]

- 1.在 10min、1hr 的組，似乎會因倒入溶液時情形並不完全混和均勻而初始值有點差異，之後電導度變化均不大。
- 2.A+B 部分，在 10min、1hr 之下，似乎經過一段時間後皆會達成一個穩定的值，但是仔細去觀察達成平衡後的數據，每一次皆不完全相同；甚至條件相同下，平衡後會差至 10000 $\mu S/cm$ 以上，並不是一個合理的穩定。
- 3.因觀察 1day 結果後，長期而言斐林試劑內部離子是不穩定的(錯合物)。

B、分光光度與 pH 值測量



[實驗七 B 分析]

1. 第一天測得分光光度與其它有些微差距。
2. 從 pH 值與分光光度看不太出變化，可能短時間(一周)變化不那麼大。

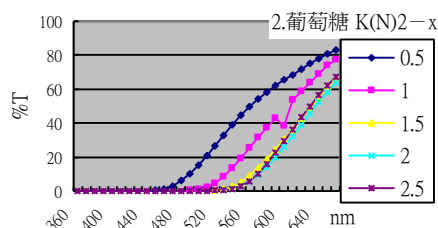
[實驗八結果與分析]還原糖組

A 加配位基：

葡萄糖 $K(c)^{2-x}$



	溶	液	固	pH
0.5	○	○	無	4
1	○	○	無	4
1.5	○	○	無	4
2	○	○	無	4
2.5	○	○	無	4



(空白對照)

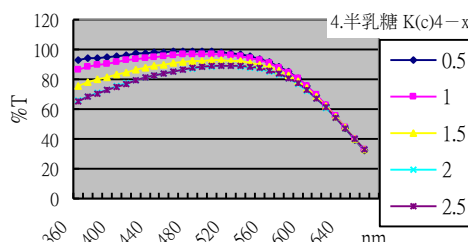
斐 A 5mL+水 5mL+葡萄糖克數：

1. 分光光度位置幾乎重和，pH 值未有明顯改變。
2. 判斷應為單純溶解

半乳糖 $K(c)^{4-x}$



	溶	液	固	pH
0.5	○	○	無	3.9
1	○	○	無	3.9
1.5	○	○	無	3.8
2	※	○	白	3.8
2.5	※	○	白	3.8



(空白對照)

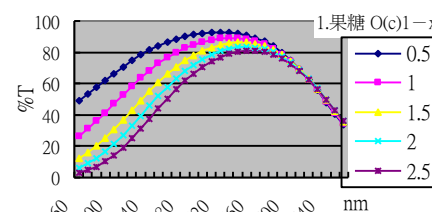
斐 A 5mL+水 5mL+半乳糖克數：

1. 除了後兩組未全溶，其他皆溶解，應為本身溶解度所致
2. 分光光度曲線幾乎一致，pH 值未有明顯改變。
3. 判斷應為單純溶解

果糖 $O(c)^{1-x}$



	溶	液	固	pH
0.5	○	○	×	3.6
1	○	○	×	3.5
1.5	○	○	×	3.4
2	○	○	×	3.3
2.5	○	○	×	3.2



(空白對照)

斐 A 5mL+水 5mL+果糖克數：

1. 分光光度 360nm~600nm 之間，克數增加，分光光度曲線則有下移現象。
2. 分光光度曲線趨勢相同，pH 值未有明顯改變。
3. 判斷應為單純溶解。

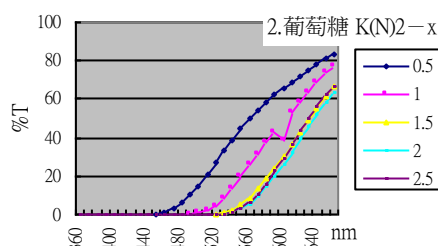
OH⁻ 加配位基：

葡萄糖 $K(N)^{2-x}$



	溶	液	固	pH
0.5	○	○	無	12
1	○	○	無	12.1
1.5	○	○	無	12.1
2	○	○	無	12.1
2.5	○	○	無	12.1

二天後



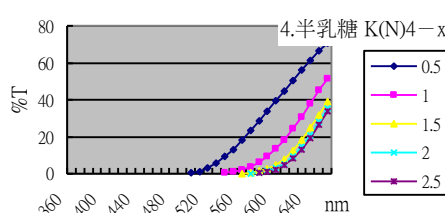
1. 五組皆變為紅褐色，其中 0.5g, 1.0g 組顏色較淺，後三組顏色相近，分光光度近乎重和
2. pH 值未有明顯改變，但隨克數增加，顏色卻有變深

半乳糖 $K(N)^{4-x}$



	溶	液	固	pH
0.5	○	○	無	11.6
1	○	○	無	11.8
1.5	○	○	無	11.8
2	○	○	無	12
2.5	○	○	無	12

二天後



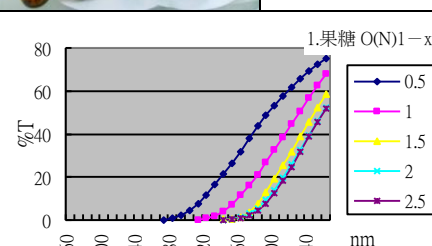
1. 與葡萄糖組相似，值較葡萄糖組低
2. 溶液第一天顏色淺黃，幾天後深褐，葡萄糖組也是如此。

果糖 $O(N)^{1-x}$



	溶	液	固	pH
0.5	○	○	×	11.9
1	○	○	×	11.8
1.5	○	○	×	11.7
2	○	○	×	11.7
2.5	○	○	×	11.7

二天後



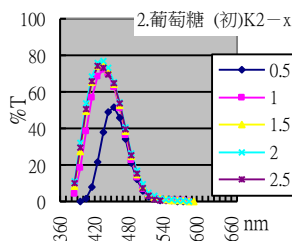
1. 與葡萄糖組相似。
2. 溶液第一天顏色淺黃，幾天後深褐，類似葡萄糖組、半乳糖組。

A+OH⁻ 配位基：

葡萄糖 (初)K^{2-x}

※圖片從缺※
因還原糖配位後，會在一分鐘內反應。
混和後會產生深藍液體

	溶	液	固	pH
0.5	⊗	⊗	×	11.9
1	⊗	⊗	×	12.1
1.5	⊗	⊗	×	12.2
2	⊗	⊗	×	12.1
2.5	⊗	⊗	×	12.1
當天				

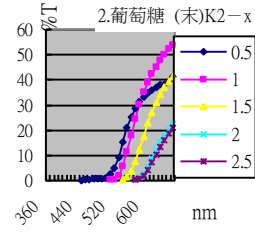


- 1.圖形形狀相似，除了 0.5g 部分最高點明顯偏移，1.0g 也稍微偏移，推測克數增加會趨向於飽和時圖形
- 2.比較斐 A + 葡萄糖、氫氧化鈉+葡萄糖分光光度曲線，似乎有配位(430nm)
- 3.顏色(深藍)很類似酒石酸鉀鈉組

葡萄糖 (末)K^{2-x}

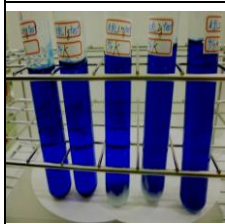


	溶	液	固	pH
0.5	⊗	⊗	×	11.7
1	⊗	⊗	×	12
1.5	⊗	⊗	×	11.8
2	⊗	⊗	×	12
2.5	⊗	⊗	×	11.9
一天後				

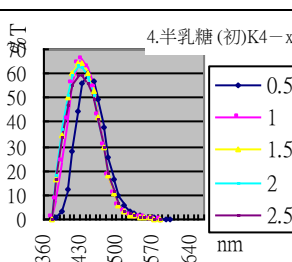


- 1.圖形與反應前相差頗大
- 2.pH 值些幅下降
- 3.溶液顏色類似氫氧化鈉+葡萄糖的組別(深褐色)，推測其顏色為氫氧化鈉+葡萄糖的反應。
- 4.產生紅褐色沉澱

半乳糖 (初)K^{4-x}



	溶	液	固	pH
0.5	⊗	⊗	無	11.9
1	⊗	⊗	無	11.9
1.5	⊗	⊗	無	11.6
2	⊗	⊗	無	12.1
2.5	⊗	⊗	無	12.2
當天				

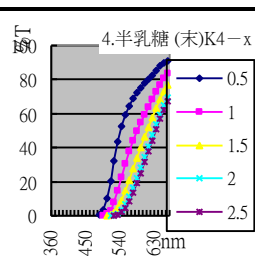


- 1.與葡萄糖組狀況相似，波峰 430nm，似乎也有配位情形
- 2.圖形形狀相似，除了 0.5g 部分波峰明顯偏移，推測克數增加會趨向於飽和時圖形(1g-2.5g)(配位數)
- 3.產生顏色很像葡萄糖組(深藍)

半乳糖 (末)K^{4-x}



	溶	液	固	pH
0.5	⊗	⊗	×	11.8
1	⊗	⊗	×	11.8
1.5	⊗	⊗	×	11.7
2	⊗	⊗	×	11.9
2.5	⊗	⊗	×	11.9
一天後				



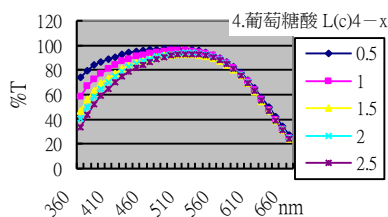
- 1.狀況也與葡萄糖組相似
- 2.溶液顏色類似氫氧化鈉+半乳糖的組別(深褐色)，推測其顏色為氫氧化鈉+半乳糖的反應。
- 3.也產生紅褐色沉澱

PS：因為果糖組在 A + OH⁻ + 配位基，三者混和後，20s 內溶液顏色即轉綠(反應)，無法測量其配位時的分光光度；但是由溶液顏色(深藍)、沒有沉澱可推測果糖也是會配位的。

葡萄糖酸 L_(C)^{4-x}



	溶	液	固	pH
0.5	⊗	⊗	×	2.2
1	⊗	⊗	×	2.1
1.5	⊗	⊗	無	2
2	⊗	⊗	×	2.1
2.5	⊗	⊗	×	2.1



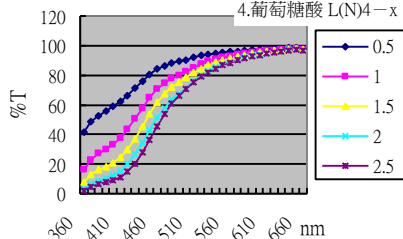
斐 A 5mL+水 5mL+葡萄糖酸克數：

- 1.起始%T 值依克數增加而下降
- 2.分光光度 360nm~500nm 之間，克數增加，分光光度曲線則有下移現象
- 3.pH 值比正常斐 A 低，應為葡萄糖酸解離出氫離子所致
- 4.判斷應為單純溶解，溶液為綠色，為其特殊的表現型(與斐 A+葡萄糖組比較)

葡萄糖酸 L_(N)^{4-x}



	溶	液	固	pH
0.5	⊗	⊗	×	11.8
1	⊗	⊗	×	11.6
1.5	⊗	⊗	×	11.7
2	⊗	⊗	×	11.8
2.5	⊗	⊗	×	11.8
當天				
(一開始沒有沉澱)				



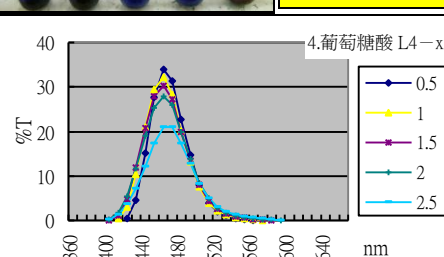
NaOH(3M)5mL + 5mL+葡萄糖酸克數：

- 1.分光光度 360nm~580nm 之間，克數增加，分光光度曲線則有下移現象。
- 2.顏色偏微黃，與氫氧化鈉+葡萄糖組比較，證明氫氧化鈉+葡萄糖組所產生的紅褐色液體，為其特殊的表現型。

葡萄糖酸 L^{4-x}



	溶	液	固	pH
0.5	⊗	⊗	×	12
1	⊗	⊗	×	12.1
1.5	⊗	⊗	×	11.9
2	⊗	⊗	×	12.1
2.5	⊗	⊗	×	12.1
當天				



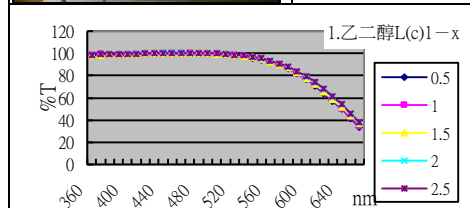
斐 A5mL+NaOH(3M)5mL+葡萄糖酸克數

- 1.波峰的位置差不多(460nm)，似乎也會配位，圖形大致上是越多克越低。
- 2.與之前比較(葡萄糖、半乳糖、果糖)顏色偏深。
- 3.幾天後皆出現紅色沉澱，須加以探討。也是需要鹼性環境下才有此種現象(與斐 A + 葡萄糖酸組比較)。

[實驗九結果與分析]分析酒石酸鉀鈉配位位置

A 加配位基：

乙二醇 $L(c)^{1-x}$				
	溶	液	固	pH
0.5	○			4.2
1	○			4.2
1.5	○		x	4.1
2	○			4.1
2.5	○			4.2



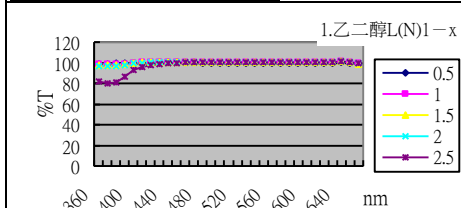
(空白對照)

斐 A 5mL+水 5mL+乙二醇克數：

1. 分光光度圖形幾乎重疊，pH 值未有明顯改變
- 判斷為單純混和

OH^- 加配位基：

乙二醇 $L(n)^{1-x}$				
	溶	液	固	pH
0.5	○		x	11.7
1	○		x	11.8
1.5	○	透明	x	11.7
2	○		x	11.7
2.5	○		x	11.7



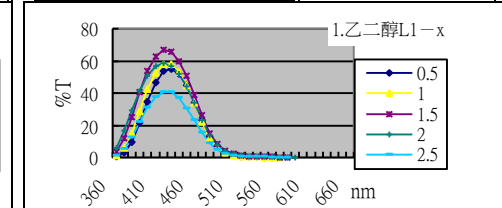
(空白對照)

3M 氫氧化鈉 5mL+5mL+乙二醇克數：

1. 分光光度圖形幾乎重疊，pH 值未有明顯改變
- 判斷應為單純混和

A + OH^- + 配位基：

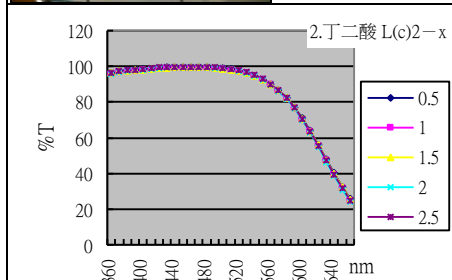
乙二醇 L^{1-x}				
	溶	液	固	pH
0.5	⊕			11.6
1	⊕			11.5
1.5	⊕			11.8
2	⊕			11.8
2.5	⊕			11.8



斐 A 5mL+NaOH(3M) 5mL+乙二醇克數：

1. 吸收區域大概介於 360~520nm
2. 有配位，波峰 430nm 左右(與斐 A + 乙二醇、氫氧化鈉+乙二醇比較)
3. 加進去後，皆是深藍色液體(與酒石酸鉀鈉類似)
4. pH 值未有明顯改變，此反應須驗，但用量不多。
5. 沉澱物的產生還需探討。

丁二酸 $L(c)^{2-x}$				
	溶	液	固	pH
0.5	○		x	2.4
1	※			2.3
1.5	※		白	2.3
2	※			2.4
2.5	※			2.4

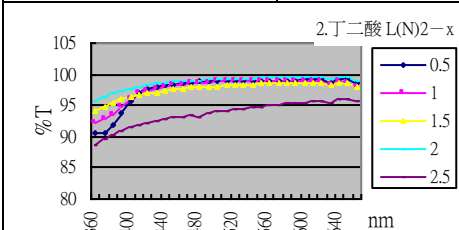


(空白對照)

斐 A 5mL+水 5mL+丁二酸克數：

1. 分光光度圖形幾乎重疊和乙二醇相似，pH 值未有明顯改變。
- 判斷應為單純溶解

丁二酸 $L(n)^{2-x}$				
	溶	液	固	pH
0.5	○		x	12.1
1	○	透明	x	6.2
1.5	○		x	5.3
2	※		白	4.9
2.5	※		白	4.7

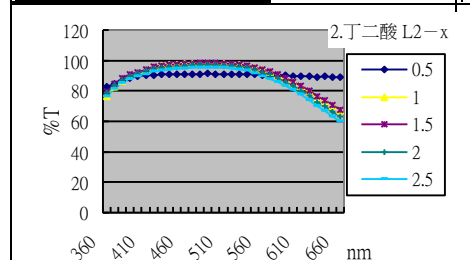


(空白對照)

3M 氫氧化鈉 5mL+水 5mL+丁二酸克數：

1. 0.5g~2.0g，420nm 後開始圖形相似，2.5g 則有偏低現象。
2. 以 pH 來看 0.5g 到 2.5g 間，pH 值有下降趨勢，而只有 0.5g 呈現鹼性。
3. 2g、2.5g 皆有固體產生，應是氫氧化鈉已不足與丁二酸反應，導致難溶的丁二酸無法解離、溶解
4. 應為有機酸與鹼的反應

丁二酸 L^{2-x}				
	溶	液	固	pH
0.5	⊕	透		11.9
1	⊕			5.8
1.5	⊕			5.1
2	⊕			4.7
2.5	⊕			4.5



斐 A 5mL+氫氧化鈉溶液(3M) 5mL+丁二酸克數：

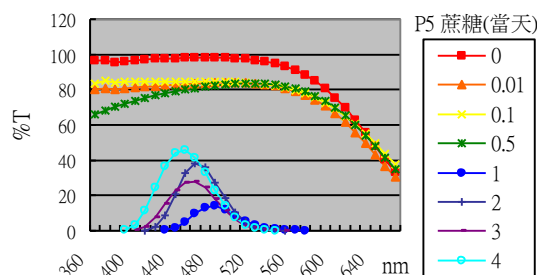
1. 0.5 組(上方平行線)與其他組圖形不一樣，可能是反應不足關係(pH 值)
2. 沒有配位情形(分光光度、pH 值、液體顏色)
3. 沉澱應為有機酸不溶所致，0.5g 的部分則是銅離子大都與氫氧根反應產生沉澱(pH 值、照片)

[實驗十結果與分析] NaOH 濃度與配位之間關係

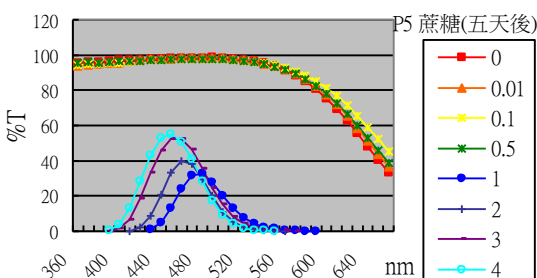
蔗糖組：



1. 由分光光度表可得知，鹼性濃度超過 1M 以上有配位情形(波峰)，外觀而言，有配位的呈現深藍色(440~520nm)。
2. pH 值部份，雖加的是鹼性溶液，但由測得的 pH，可得知 0.5M 以下為酸性，應為斐 A(CuSO_4)之酸性中和所致，此外未達配位之組別，皆有沉澱情形。
3. 5 天後，產生之橘色沉澱，原因還需探討。



NaOH	溶	液	固	pH(new)
0	○	○	×	4
0.01	※	○	×	3.9
0.1	※	○	×	4
0.5	※	○	×	4.5
1	◎	◎	×	12.2
2	◎	◎	×	12.9
3	◎	◎	×	12.6
4	◎	◎	×	13.2

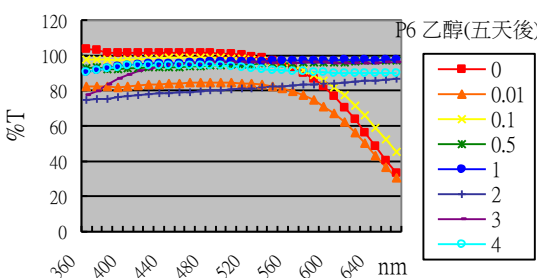


NaOH	溶	液	固	pH(new)
0	※	○	×	4.1
0.01	※	○	×	3.9
0.1	※	○	×	4
0.5	※	○	×	4.1
1	◎	◎	×	12.2
2	◎	◎	×	12.9
3	◎	◎	×	12.6
4	◎	◎	×	13.2

乙醇組：



1. 乙醇雖具醇基，但可能因只有一羟基，較無配位能力，皆為沉澱。
2. 此組應為單純 Cu^{2+} 加鹼，產生沉澱情形；0.5M 以上部份的黑色可能為 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 變成 CuO 。
3. 0.1M 以下分光光度圖形與 CuSO_4 相似，0.5M 以上則與 NaOH 較相似，應為 Cu^{2+} 大部分皆反應成 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 。
4. 乙醇會產生溶劑對效應， $[\text{OH}^-]$ 低時產生沉澱，依其他組也有沉澱來看，應為 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 而非 CuSO_4 ，效應不明顯。

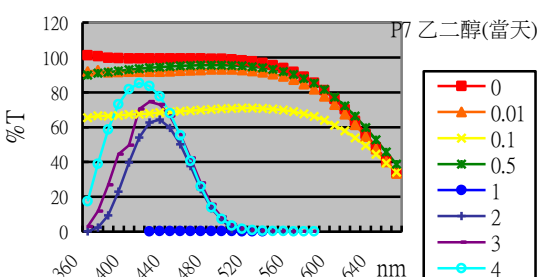


NaOH	溶	液	固	pH(new)
0	※	○	×	3.8
0.01	※	○	×	3.8
0.1	※	○	×	3.9
0.5	◎	◎	×	12.4
1	◎	◎	×	12.6
2	◎	◎	×	13
3	◎	◎	×	12.6
4	◎	◎	×	13

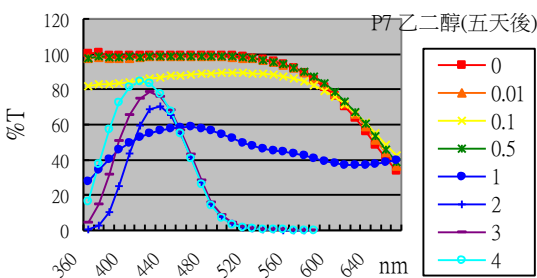
乙二醇組：



1. 乙二醇當天時 1M 以上皆可配位，5 天後 1M 組產生沉澱，比較兩者分光光度，當天幾乎無法測得其數值，五天後有波峰，但與其他組不同。
2. 5 天後 1M 產生黑色沉澱，但溶液顏色為藍色，與乙醇不同，因為配位能力不夠強，一部份的 Cu^{2+} 被反應成 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 。
3. 5 天後 2M 組產生沉澱，配位能力較酒石酸鉀鈉弱。



NaOH	溶	液	固	pH(new)
0	○	○	×	4
0.01	※	○	×	4
0.1	※	○	×	4.2
0.5	※	○	×	4.3
1	◎	◎	×	11.3
2	◎	◎	×	12.8
3	◎	◎	×	11.4
4	◎	◎	×	13

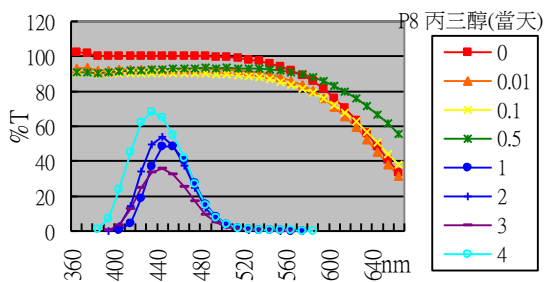


NaOH	溶	液	固	pH(new)
0	※	○	×	4
0.01	※	○	×	3.9
0.1	※	○	×	4
0.5	※	○	×	4.1
1	◎	◎	×	12.5
2	◎	◎	×	12.9
3	◎	◎	×	12.7
4	◎	◎	×	13

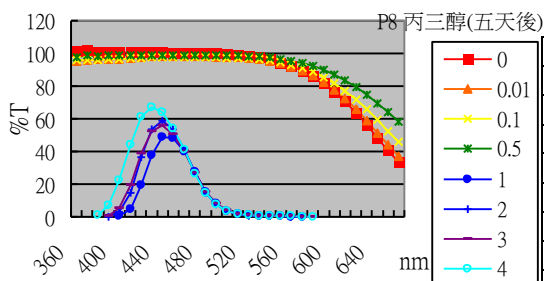
丙三醇組：



1. 丙三醇的配位能力比乙二醇好，但若鹼性太強，會產生黃色沉澱，推測乙二醇在更強的鹼性下也會有相同的情形。
2. 丙三醇產生的分光光度圖形與蔗糖組較相似，波峰數值皆較其他組低只有 40~60%T。
3. 丙三醇效果同樣沒有酒石酸鉀鈉好。



NaOH	溶	液	固	pH(new)
0	○	×	×	3.9
0.01	※	×	×	4.4
0.1	※	×	×	4.2
0.5	※	×	×	4.4
1	⊕	×	×	11.2
2	⊕	藍	×	12.8
3	⊕	紫	×	11.4
4	⊕	×	×	13.1

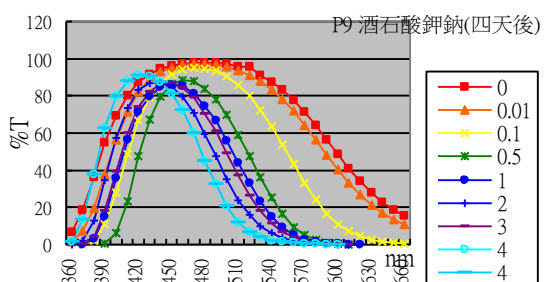


NaOH	溶	液	固	pH(new)
0	○	×	×	4.3
0.01	※	×	×	4
0.1	※	×	×	4
0.5	※	×	×	4.2
1	⊕	×	×	12.3
2	⊕	藍	×	12.9
3	⊕	紫	×	12.8
4	⊕	×	×	13

酒石酸鉀鈉組：

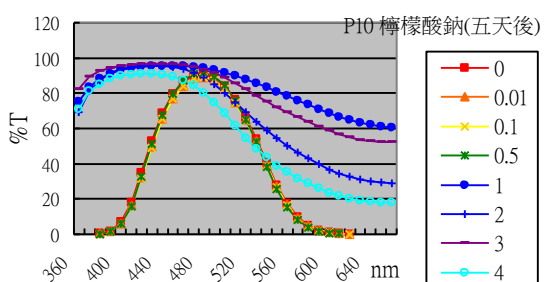


1. 0.1M 以下，產生沉澱，應該是酒石酸銅沉澱，其有與類似配位之圖形(有波峰)，溶液顏色明顯非 Cu^{2+} 所能表現，其他帶有一OH 基之試藥皆無此情形，應非配位，但酒石酸鉀鈉還有一COO 基，故無法明確判斷是否如此。
2. 初步看來，只要在鹼性環境下，酒石酸鉀鈉就可配位，但不可避免的，鹼性太弱還是會導致沉澱，但整體效果比其他組好很多。



NaOH	溶	液	固	pH(new)
0	※	×	×	5.1
0.01	※	×	×	5
0.1	※	×	×	5.3
0.5	⊕	×	×	9.5
1	⊕	×	×	12.7
2	⊕	×	×	13
3	⊕	×	×	12.8
4	⊕	×	×	13.1

檸檬酸鈉組：



NaOH	溶	液	固	pH(new)
0	⊕	×	×	5.4
0.01	⊕	×	×	5.5
0.1	⊕	×	×	5.8
0.5	⊕	×	×	6.2
1	⊕	※	×	12.7
2	⊕	※	×	13
3	⊕	※	×	12.6
4	⊕	※	×	13

1. 檸檬酸鈉有一個—OH 基，但我們依實驗結果來看，其在 0.5M 以下才可產生配位，且與本氏液顏色相似，也就是說在酸性環境下才可配位，其配位產生溶液顏色與其他組皆不同。
2. 若每種配位基皆有不同配位的 pH 值範圍，所以並不是一定需在鹼性環境下，依實驗中的幾種配位基，若 pH 值過高，產生沉澱，但溶液顏色變化不明顯來看，此推論可能成立，但其分光光度曲線的變化又推翻了此說法。
3. 一般討論酒石酸鉀鈉配位的說法為其可與 Cu^{2+} 產生配位，但檸檬酸鈉無法將 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 沉澱溶解。
4. 本氏液與斐林試劑有不少相似之處，檸檬酸鈉的作用應該也不簡單，我們沒辦法一次全部做完，我們會繼續探討下去。

[實驗十一結果與分析]探討葡萄糖與鹼之關係及應用之可能

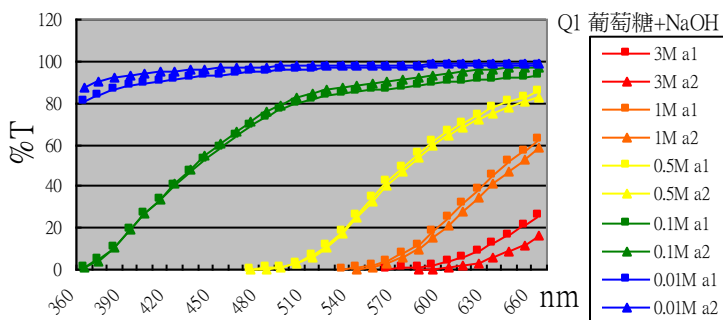
Q1 葡萄糖+NaOH：



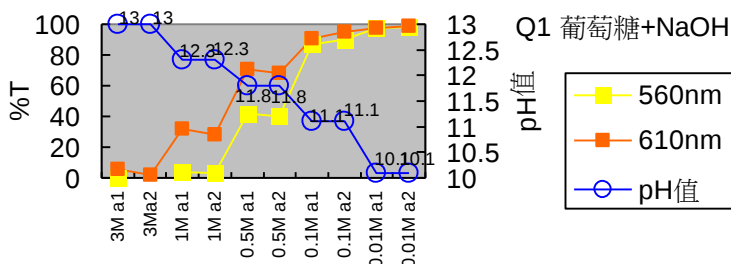
- 1.明顯的，隨著鹼性濃度的下降，外觀顏色愈來愈淺，分光光度值也是一樣的結果
- 2.下表為反應前，不同濃度 NaOH 測之的 pH 值(右側 pH 值為反應過後的液體測之)

空白	pH 值
3M NaOH	13.4
1M NaOH	13.2
0.5M NaOH	13.1
0.1M NaOH	12.4
0.01M NaOH	12.1

- 3.由上表與右側的數據比較，反應後的 pH 值比單純稀釋兩倍還低，所以此反應鹼有被耗去。[(1M NaOH(pH:13.2→pH:12.3) (0.5M: 13.1)]
- 4.分光光度的數值(顏色)與 pH 值密切相關，0.01M NaOH 組液體就近乎無色，推測加入氫氧化鈉液體之變色下限為 pH12.1~12.6 之間(等量)。



NaOH	3M		1M		0.5M		0.1M		0.01M	
序組	a1	a2	a1	a2	a1	a2	a1	a2	a1	a2
pH 值	13	13	12.3	12.3	11.8	11.8	11.1	11.1	10.1	10.1
560nm 黃光%T	0.2	*	3.7	2.9	42	40.2	86.7	90	97.2	98.2
610nm 橘光%T	5.8	1.8	31.7	27.9	70.4	68	90.6	95.3	97.7	98.5



Q1 葡萄糖+Na₂CO₃：

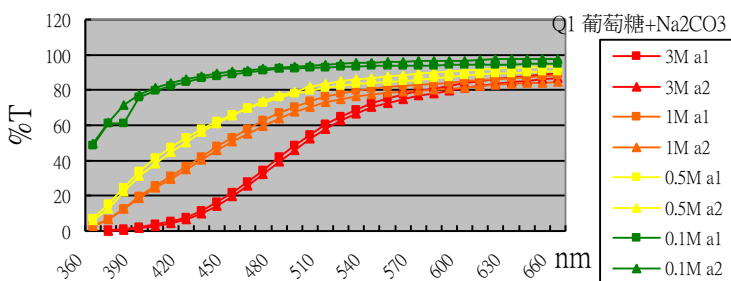


- 1.隨著鹼性濃度的下降，外觀顏色也是愈來愈淺(分光光度值↗)，與葡萄糖加 NaOH 組類似。

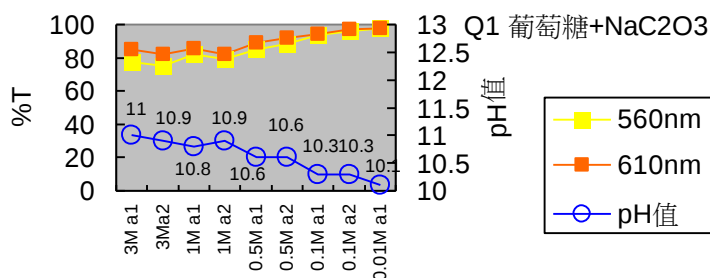
空白	pH 值
3M Na ₂ CO ₃	11.8
1M Na ₂ CO ₃	11.6
0.5M Na ₂ CO ₃	11.2
0.1M Na ₂ CO ₃	11.1

2.←表為反應前，不同濃度 Na₂CO₃ 測之的 pH 值(右側 pH 值為反應過後的液體測之)

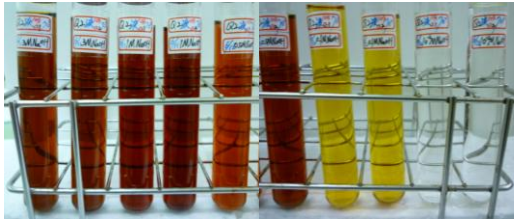
- 3.由上表與右側的數據比較，反應後的 pH 值比單純稀釋兩倍還低，所以此反應鹼有被耗去。[(1M Na₂CO₃(pH:11.6→pH:10.8) (0.5M: 11.2)]
- 4.分光光度的數值(顏色)與 pH 值密切相關，0.1M Na₂CO₃ 組液體呈現很淡的黃，推測加入碳酸鈉液體之變色下限接近 pH：11.1 (等量)
- 5.其變色下限 pH 較低，可能是因 Na₂CO₃ 解離度較 NaOH 低，真正所能反應的鹼性較多所致。



Na ₂ CO ₃	3M		1M		0.5M		0.1M	
序組	a1	a2	a1	a2	a1	a2	a1	a2
pH 值	11	10.9	10.8	10.9	10.6	10.6	10.3	10.3
560nm 黃光%T	77.4	74.9	82.3	79.1	85.1	88.4	93.7	96.1
610nm 橘光%T	85	82.3	85.5	82.1	88.8	91.8	94.3	97.1



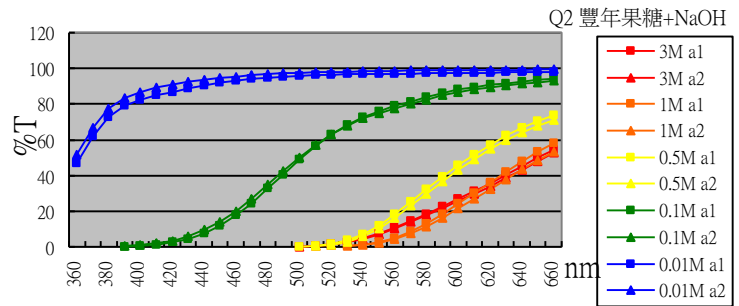
Q2 豐年果糖+NaOH：



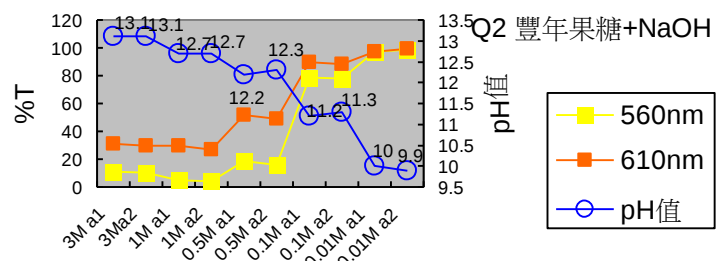
- 1.與 Q1 組呈現狀況一樣，鹼性濃度愈稀，顏色愈淡，與 pH 值有密切相關。
- 2.下表為反應前，不同濃度 NaOH 測之的 pH 值(右側 pH 值為反應過後的液體測之)

空白	pH 值
3M NaOH	13.4
1M NaOH	13.2
0.5M NaOH	13.1
0.1M NaOH	12.4
0.01M NaOH	12.1

- 3.由上表與右側的數據比較，反應後的 pH 值比單純稀釋兩倍還低，所以此反應鹼有被耗去。[(1M NaOH(pH:13.2→pH:12.7) (0.5M: 13.1)]
4. 0.01M NaOH 就近乎無色，推測加入氫氧化鈉液體之變色下限為 pH12.1~12.6 之間(等量)。
- 5.反應過後 pH 值降低的幅度，沒有葡萄糖組明顯，且 1M、3M NaOH 顏色差不多；推測變色範圍約為 pH12.1~13.2 之間。



NaOH	3M		1M		0.5M		0.1M		0.01M	
序組	a1	a2	a1	a2	a1	a2	a1	a2	a1	a2
pH 值	13.1	13.1	12.7	12.7	12.2	12.3	11.2	11.3	10	9.9
560nm 黃光%T	11	10.3	5	4.3	18.4	16.2	78.9	77.6	97	98.7
610nm 橘光%T	31.3	29.8	29.9	26.8	51.8	49.2	89.5	88.2	97.5	99.1



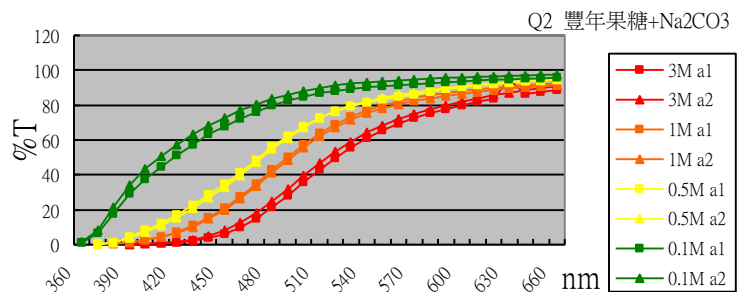
Q2 豐年果糖+Na₂CO₃：



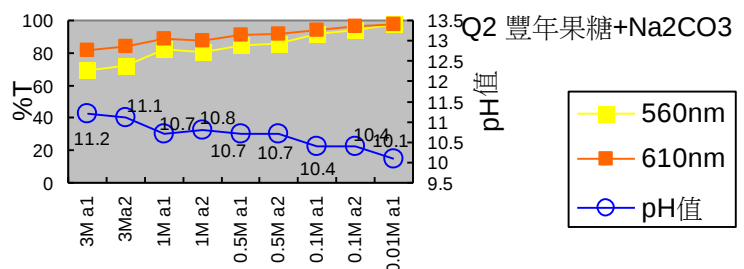
- 1.隨著鹼性濃度的下降，外觀顏色也是愈來愈淺(分光光度值↗)，與葡萄糖+碳酸鈉組類似。

空白	pH 值
3M Na ₂ CO ₃	11.8
1M Na ₂ CO ₃	11.6
0.5M Na ₂ CO ₃	11.2
0.1M Na ₂ CO ₃	11.1

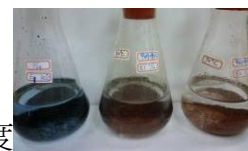
- 2.←表為反應前，不同濃度 Na₂CO₃ 測之的 pH 值(右側 pH 值為反應過後的液體測之)
- 3.由上表與右側的數據比較，反應後的 pH 值比單純稀釋兩倍還低，所以此反應鹼有被耗去。[(1M Na₂CO₃(pH:11.6→pH:10.7) (0.5M: 11.2)]
- 4.分光光度的數值(顏色)與 pH 值密切相關，0.1M Na₂CO₃ 組液體呈現很淡的黃，推測加入碳酸鈉液體之變色下限接近 pH：11.1 (等量)
- 5.這一組的變色幅度、pH 值變化量，與 Q1 葡萄糖組極類似。



Na ₂ CO ₃	3M		1M		0.5M		0.1M	
序組	a1	a2	a1	a2	a1	a2	a1	a2
pH 值	11.2	11.1	10.7	10.8	10.7	10.7	10.4	10.4
560nm 黃光%T	69.3	72	82.2	80.5	84.6	85.7	91.6	94.3
610nm 橘光%T	81.8	83.9	89	87.6	91.3	91.8	94.2	96.2



陸、討論



1. 在斐林標準反應中，溫度不同，十分鐘內反應產物、速率皆不同，溫度越高，反應速率越快。

2. 未添加酒石酸鉀鈉，會導致甲醛組反應困難(70℃可反應，50℃反應不明顯)，對葡萄糖組則較無影響。推測葡萄糖可與 Cu^{2+} 形成配位化合物，而甲醛因無法配位而生成 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 沉澱。

3. 反應濾液與產物如右，由實驗八得知，此褐色濾液應為葡萄糖與強鹼反應之產物。定時反應之下，甲醛組 50℃ 時可能因反應未完全，濾液微呈現藍。固塊部份的顏色受反應物及溫度影響極大，懷疑生成不同的產物。

4. 產物部分：葡萄糖組為橘紅色，溫度不同，顏色有些許差異(較大)，此外它易附著於濾紙上，黏稠且難刮下；甲醛組是黑褐色蓬鬆固塊，同樣的，溫度不同，顏色有些許差異，與葡萄糖組對比之下，不附著濾紙、好刮下。

5. 硝酸法中，因 NO_2 未完全排出抑或產生 NO 的狀況，還有實驗上未知的誤差原因，其實驗準確率較低，故後來皆以硝酸銀法進行定量分析。

6. 以硝酸銀法算出「斐林標準反應」產物之莫耳分率，甲醛組 70℃ 時，時間拉長 Cu 莫耳分率漸漸上升，其他時候 Cu 莫耳分率接近 1，葡萄糖組之 Cu 莫耳分率為 0.5 以上，甚至到達 0.7，皆與斐林產物為 Cu_2O 不合，且葡萄糖組與不添加酒石酸鉀鈉的斐林試劑反應生成的產物，與實驗室試藥級的氧化亞銅產物定性分析極為類似，上網查詢後發現目前氧化亞銅的部份製法似乎仍採用斐林試劑與糖類反應製備。

7. 甲醛組斐林標準反應產物大致有 0.9 含銅莫耳分率，但是在 70℃ 時隨著時間增加(8min→12min)，含銅莫耳分率漸漸上升(0.8→0.95)，但 50℃ 組似乎此現象不明顯。甲醛組斐林的反應，可能會將產生的氧化亞銅變成銅，使含銅莫耳分率增加。

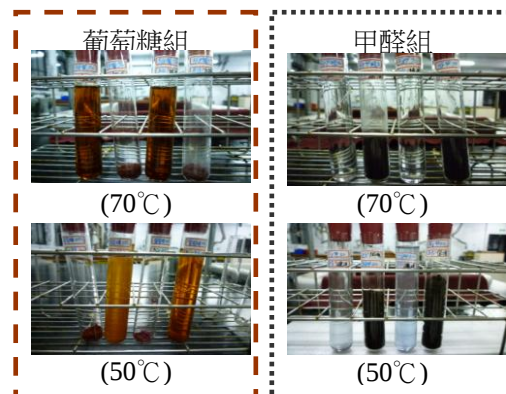
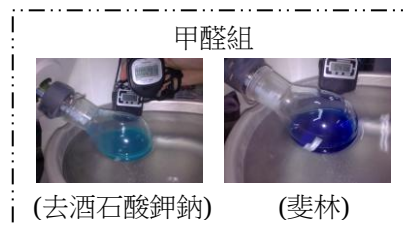
8. 葡萄糖組產物 8、10 分鐘下有 0.5 左右含銅莫耳分率，但是在 70℃ 時隨著時間增加(12min)，含銅莫耳分率有明顯的上升(0.75~0.77)，但 50℃ 組似乎此現象不明顯。所以我們歸納：

(1)與甲醛組相似，70℃ 組含銅莫耳分率上升。

(2)此現象是否與葡萄糖未完全氧化(設定為過量)，而致使產出的氧化亞銅進一步還原成銅；濾液由深變淺(由空白實驗知，濾液之深褐色實為 NaOH + 葡萄糖呈現)

9. 硝酸銀法算出之數值，葡萄糖組含銅莫耳分率有小幅變動，可能是葡萄糖有類似酒石酸鉀鈉作用(配位)；在斐林標準反應時，極可能部份配位即是葡萄糖所形成的，所以產物種類變化明顯。

10. 發現醣類可使氫氧化銅溶解，懷疑與酒石酸鉀鈉作用相同(配位)。



單醣		雙糖	
葡萄糖	2g 溶解	蔗糖	2g 溶解
半乳糖	2g 溶解	麥芽糖	1g 溶解
果糖	1g 溶解	乳糖	1g 溶解

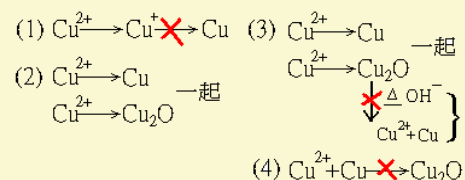
11. 實驗五中檸檬酸鈉(本氏液的配位基)效果不如預期，4g 還未溶解，推測檸檬酸鈉與 Cu^{2+} 的結合力小於 Cu^{2+} 與 OH^- ，故可能需使用較弱的鹼，如 Na_2CO_3 時，才能形成配位。
12. 在銅離子已知配位基(檸檬酸鈉、酒石酸鉀鈉)組，分為[斐 A+配位基]、[NaOH+配位基]、[斐 A+ NaOH+配位基]來探討配位基配位的條件；結果發現兩組單純鹼性沒反應，單純斐 A 組分光光度兩組皆有波峰(配位)；[斐 A+ NaOH+配位基]中，一開始，兩組皆產生藍紫色的液體，但是放置久後，檸檬酸鈉組會沉澱(配位能力較弱)。
13. A+B 的電導度測量顯示，斐林試劑離子數並不穩定，應是形成配位化合物所致。
14. 保存效果(pH 值、分光光度)在短時間看不出太大變化(一週)。可能將保存時間拉長，並用來進行反應，比較產物產量、種類不同，才能確認是否需要斐 A、斐 B 分開存放。
15. 配位位置探討，乙二醇有配位現象[斐 A+ NaOH+配位基]，丁二酸沒有這個現象，所以證明酒石酸鉀鈉為羥基配位。
16. 鹼+配位基中，葡萄糖、半乳糖、果糖都呈現深褐色，與斐林葡萄糖組反應產得的液體顏色類似，且葡萄糖酸組在作鹼+配位基中，顏色不會這麼深。所以推測斐林+葡萄糖反應產得的液體顏色為葡萄糖+鹼的表現。
17. 在 $\text{A} + \text{OH}^- + \text{配位基}$ 中，葡萄糖、半乳糖、果糖皆有阻止氫氧化銅的產生，變為與酒石酸鉀鈉組相似的深藍色液體。且分光光度曲線也呈現明顯的波峰(葡萄糖、半乳糖皆為 430nm)
18. 在 $\text{A} + \text{OH}^- + \text{配位基}$ 中，一天後，葡萄糖組、半乳糖組反應為紅色固塊，分光光度曲線則與一開始差很多，顯示醣類與銅離子反應生成酸與氧化亞銅或銅。
19. 葡萄糖酸組在 $\text{A} + \text{OH}^- + \text{配位基}$ 中，似乎有配位(藍黑色，460nm)。
20. 所有斐 A+配位基的實驗中，除了酒石酸鉀鈉和檸檬酸鈉(弱鹼鹽)，分光光度皆未有明顯波峰，推測配位需要鹼性環境。
21. 因為皆是羥基配位，故克數增加(配位 $\uparrow$)，分光光度圖形曲線相似，波峰相近。
22. [實驗十]部分，除了乙醇組、檸檬酸鈉組之外，由分光光度表可得知，鹼性濃度超過一定濃度以上有配位情形(波峰)，外觀而言，有配位的呈現深藍色。
23. 乙醇組皆無配位現象，推測乙醇雖具羥基，但為單牙基，較無配位能力，皆為沉澱。
24. 檸檬酸鈉有一個羥基，依實驗結果來看，其在 0.5M 以下才可產生配位，且與本氏液顏色相似，也就是說在酸性環境下才可配位，其配位產生溶液顏色與其他組皆不同。
25. 實驗上得知，大部分銅的可能配位基須在鹼性下，分光光度曲線才能產生明顯波峰(配位)，且鹼性強度與配位有絕對關係，鹼性不夠不生成配位，鹼性太強則易生成 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 沉澱。
26. 葡萄糖組與豐年果糖組與酸不反應(透明)。
27. 葡萄糖組與豐年果糖組，明顯的，隨著鹼性濃度的下降，外觀顏色愈來愈淺，分光光度值也是一樣的結果；故單醣可作為酸鹼指示劑。



2M H_2SO_4 組

28. 推測的斐林四種可能反應機構如右表：

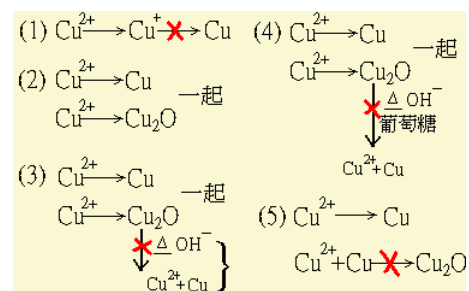
(1)逐步反應；(2)同時反應；(3)同時反應，且 Cu_2O 會進一步自身氧化還原生成銅與銅離子；(4)同時反應，且 Cu_2O 會進一步與還原劑反應生成銅。



故設計實驗如下：(A)由[氧化亞銅+氫氧化鈉]在 70°C 下不發生反應，推測不為機構(3)，(B) 由[氧化亞銅+氫氧化鈉+葡萄糖] 在 70°C 下不反應，推測不為機構(4)，(C)改變反應時間，發現時間與產物的莫耳分率關係不大，故可知應為機構(2)，兩反應同時進行，且由產物比例可推測，生成銅的趨勢及速率應較快，故產物莫耳分率較高。

柒、結論

1. 不同反應物、溫度會影響到反應的速率，甚至影響到產物顏色及濾液顏色。
 2. 去除酒石酸鉀鈉將會導致甲醛組產生氫氧化銅沉澱，反應較難進行，需在高溫下才可反應。但與葡萄糖反應則較不受影響，同樣產生藍紫色液體，推測葡萄糖應能扮演酒石酸鉀鈉，抑制氫氧化銅沉澱的功能。
 3. 定性分析中，由於產物是銅與氧化亞銅不同比例的混合物，因此無法直接由定性分析確定產物是何者，但以硝酸銀法定量分析，則能清楚求出產物的比例。
 4. 無論是定性分析還是定量分析，皆可得知斐林試劑與甲醛或葡萄糖反應之產物皆為氧化亞銅與銅的混合物，且由定量分析知道主產物是銅而非氧化亞銅，混合的比例會隨著反應的條件而改變。其中甲醛生成銅的比例較葡萄糖高。
 5. 斐林是使用了一個世紀的試劑，一直以來，大家都對此反應深信不疑，甚至列在教科書中教導我們，但我們經由親身實驗發現疑惑(銅鏡的生成)，並以定性及定量證實產物似與課本所述不同，且大膽懷疑目前試藥級氧化亞銅仍採用斐林試劑與醣類反應的方式製備，似乎有更進一步的探討空間，我們更因此了解每一個科學實驗是必須大膽假設，小心求證的。
 6. 推測的斐林四種可能反應機構：經設計實驗後，判斷應為反應機構(2)，Cu 與 Cu₂O 為一起生成的，且由產物比例可推測，生成銅的趨勢及速率應較快，故產物莫耳分率較高。
 7. 斐林的反應與否，可由濾液顏色判斷；與甲醛反應時，藍色消失變為澄清即表示反應完成，惟醣類時因為氫氧化鈉+單醣會產生深褐色液體，故當溶液藍色消失變成深褐色液時，未必能判斷反應是否進行。
 8. 三種單醣、三種雙醣皆可令氫氧化銅沉澱消失，故醣類應可與 Cu²⁺ 形成配位。
 9. 由配位基一連串控制分析中，發現 OH⁻ 不只是反應物，也是配位的必須條件，且鹼性強度與配位有絕對關係，鹼性不夠不生成配位，鹼性太強則易生成沉澱，且羥基數量不同時所需鹼的強度亦不同，如檸檬酸鈉僅能用弱鹼。
 10. 酒石酸鉀鈉配位位置，由丁二酸、乙二醇的實驗中，得知羥基為 Cu²⁺ 的配位基。
 11. 羥基與銅離子形成的配合物顏色大都是很相近的深藍色，且因為皆是羥基配位，故分光光度圖形皆相似(波峰位置 420~440nm)。
 12. 由實驗可知，葡萄糖與豐年果糖可用於 pH 值 12 以上鹼性之判定，為無毒、方便取得、可食用的酸鹼指示劑。
 13. 由 (1)斐林試劑可分辨醛與酮
 - (2)不同配位基的試劑與甲醛及醣類反應狀況(濾液顏色)
 - (3)含有羥基(如醇類或醣類)可與銅離子配位，醇類僅配位，醣類則可配位後反應
 - (4)單醣會與鹼生成褐色液體(鹼液的檢驗)
 - (5)酸性會與鹼反應，降低配位條件(酸液的檢驗)
- 綜合以上所述，利用 Cu²⁺ 配位化學可區分出酮、醛、醣、醇、鹼、酸等六項物質。



捌、參考資料及其他

一、參考資料

- 一、三十六屆科展高中化學組 新銀鏡反應
- 二、四十八屆科展高中化學組 以銅為鏡可以正硝酸
- 三、四十二屆科展高中化學組 銅氨錯離子
- 四、本氏液：<http://residence.educities.edu.tw/yanwen/science/questions/chem/1.htm>
- 五、單一散度高分子螯合樹脂之製備及其性質之研究(蔡榮哲碩士論文)
- 六、斐林試劑(維基百科)：
<http://zh.wikipedia.org/zh-hant/%E6%96%90%E6%9E%97%E8%AF%95%E5%89%82>
- 七、龍騰版高中化學課本第三、四冊

【評語】 040203

本作品深入探討斐林試劑與葡萄糖等反應形成氧化亞銅之現象。實驗分析斐林試劑各成份之影響，並定量分析反應生成的銅及氧化亞銅之比率，研究工作十分豐富，結論對斐林試劑之反應瞭解具重要意義。雖然是熟知化學，但研究工作深入且廣泛。唯一問題需注意收斂聚焦研究結果。