

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

佳作

030210

本氏液大改造

學校名稱：宜蘭縣立國華國民中學

作者： 國二 李建錚 國二 林沛亨 國二 賴語岑	指導老師： 闕文彬 李尚諭
---	-----------------------------

關鍵詞：本氏液、乳酸鈉、柳酸鈉

摘要

參考本氏液、斐林試劑的組成，利用氨水、乙二胺、乙醇胺、乳酸鈉、柳酸鈉取代本氏液中的檸檬酸鈉，來檢驗還原醣。我們發現當以氨或胺類為配位基和硫酸銅所形成的溶液，在和還原醣反應後較不易形成氧化亞銅沉澱。若改以乳酸鈉和柳酸鈉為配位基則可以更快的形成氧化亞銅沉澱。另外我們也自製還原醣檢測試液可比市售本氏液和斐林試液更快的和還原醣反應，提高檢測的效率。

壹、研究動機

在做生物課實驗(唾液對分解澱粉的影響)中，我們使用本氏液來檢驗葡萄糖，因此對於本氏液的組成感到了好奇。在查閱相關文獻後，知道碳酸鈉的角色是提供鹼性條件，而檸檬酸鈉是與銅離子形成錯離子來預防銅離子在鹼性條件下產生氫氧化銅沉澱。我們的疑問是：

(1)一定要用檸檬酸鈉(本氏液)或酒石酸鉀鈉(斐林)來保護銅離子嗎？

能不能尋找其它的配位基？結果會相同嗎？

(2)一定要是碳酸鈉(本氏液)或氫氧化鈉(斐林)來提供鹼性條件嗎？

於是在尋找相關文獻並和老師討論後決定朝改變本氏液組成的方向著手研究。

貳、研究目的

- 一、討論本氏液中檸檬酸鈉與斐林試液中酒石酸鉀鈉存在的必要性。
- 二、探討在 75°C 時，以 NH_3 、乙醇胺、乙二胺等三種配位基替換檸檬酸鈉與碳酸鈉(酒石酸鉀鈉與氫氧化鈉)對於硫酸銅與各種醣類反應的影響。
- 三、以自製比色計與分光光度計測量硫酸銅在不同比例氨水的情況下和果糖在 75°C 及 85°C 時反應的差異。
- 四、以自製比色計與分光光度計測量硫酸銅在不同比例乙醇胺的情況下和果糖在 75°C 時反應的變化。
- 五、探討以檸檬酸鈉為配位基，將碳酸鈉改成氫氧化鈉對於反應的影響。
- 六、探討在 75°C 時，分別以乳酸鈉、柳酸鈉替換檸檬酸鈉(酒石酸鉀鈉)對於硫酸銅與各種醣類反應的影響。
- 七、尋找出比市售本氏液、市售斐林試液和葡萄糖更快反應變色的成份配製。

參、研究設備及器材

一、實驗藥品

硫酸銅、檸檬酸鈉、碳酸鈉、氫氧化鈉、濃氨水、葡萄糖、果糖、半乳糖、蔗糖、
麥芽糖、乙二胺、乙醇胺、乳酸鈉、柳酸鈉、雙氧水

二、實驗器材

容量瓶、試管、燒杯、微量注射器、恆溫水浴槽、分光光度計、自製比色計

恆溫水浴槽



分光光度計



自製比色計

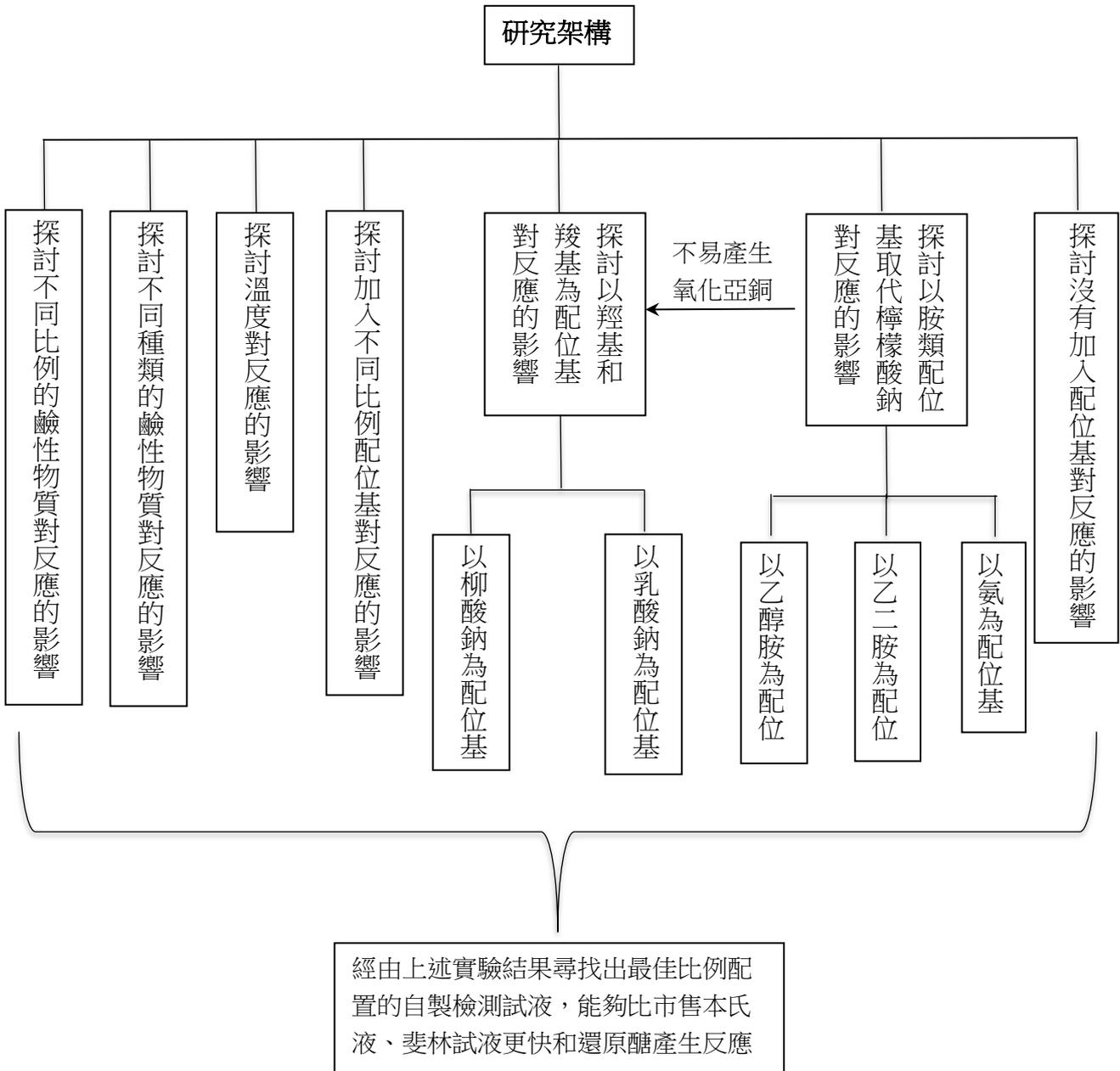


微量注射器



肆、研究過程與方法

一、研究架構



二、研究方法

(一)討論本氏液中檸檬酸鈉與斐林試液中酒石酸鉀鈉存在的必要性

1、對照組：75°C時，本氏液和各種糖的反應

(1)配製本氏液：100.0 毫升的本氏液中含有 2.50 克的 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

、16.00 克的檸檬酸鈉($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、9.25 克的 Na_2CO_3 。

(2)分別配製 0.050M 的葡萄糖、果糖、半乳糖、蔗糖、麥芽糖溶液。

(3)在 5 隻試管內分別加入 1.00 ml 的本氏液、2.00 ml 的糖、7.00 ml 的去離子水。

(4)將上述 5 隻試管放入試管架，置入 75°C 的恆溫水浴槽，開始計時，並觀察變化。

2、沒有檸檬酸鈉的情況下， $\text{CuSO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3$ 與各種糖的反應

以試管盛裝依下列表格所配製的 5 種溶液，並在 75°C 的恆溫槽中加熱，觀察記錄。

(1) 0.10M、1.00 ml CuSO_4 + 0.10M、1.00 ml Na_2CO_3 + 0.050M、2.00 ml 各種糖

+ 6.00 ml 去離子水的反應

組成 編號	0.10 M CuSO_4	0.10 M Na_2CO_3	0.050 M 的醣類	去離子水
對照組	1.00 ml	1.00 ml	0	8.00 ml
1	1.00 ml	1.00 ml	2.00 ml 葡萄糖	6.00 ml
2	1.00 ml	1.00 ml	2.00 ml 果糖	6.00 ml
3	1.00 ml	1.00 ml	2.00 ml 半乳糖	6.00 ml
4	1.00 ml	1.00 ml	2.00 ml 蔗糖	6.00 ml
5	1.00 ml	1.00 ml	2.00 ml 麥芽糖	6.00 ml

(2) 0.1M、1.00 ml CuSO_4 + 0.1M、2.00 ml Na_2CO_3 + 0.05M、2.00 ml 各種糖

+ 5.00 ml 去離子水的反應

組成 編號	0.10M CuSO_4	0.10 M Na_2CO_3	0.050 M 的醣類	去離子水
對照組	1.00 ml	2.00 ml	0	7.00 ml
1	1.00 ml	2.00 ml	2.00 ml 葡萄糖	5.00 ml
2	1.00 ml	2.00 ml	2.00 ml 果糖	5.00 ml
3	1.00 ml	2.00 ml	2.00 ml 半乳糖	5.00 ml
4	1.00 ml	2.00 ml	2.00 ml 蔗糖	5.00 ml
5	1.00 ml	2.00 ml	2.00 ml 麥芽糖	5.00 ml

3、沒有酒石酸鉀鈉的情況下

以試管盛裝依下列表格中配製的各種溶液，並在 75°C 的恆溫槽中加熱，觀察記錄。

(1) 0.10M、1.00 ml CuSO_4 + 0.10M、2.00 ml NaOH 與各種糖的反應

組成 編號	0.10M CuSO_4	0.10 M NaOH	0.050M 的醣類	去離子水
1	1.00 ml	2.00 ml	2.00ml 葡萄糖	5.00 ml
2	1.00 ml	2.00 ml	2.00ml 果糖	5.00 ml
3	1.00 ml	2.00 ml	2.00ml 半乳糖	5.00 ml
4	1.00 ml	2.00 ml	2.00ml 蔗糖	5.00 ml
5	1.00 ml	2.00 ml	2.00ml 麥芽糖	5.00 ml

(2) 0.10M、1.00 ml CuSO_4 + 0.10M、1.00 ml 果糖與不同比例 NaOH 的反應

組成 編號	0.10M CuSO_4	0.10 M NaOH	0.050M 的果糖	去離子水
1	1.00 ml	0 ml	1.00ml	8.00 ml
2	1.00 ml	1.00 ml	0ml	8.00 ml
3	1.00 ml	1.00 ml	1.00ml	7.00 ml
4	1.00 ml	2.00 ml	1.00ml	6.00 ml
5	1.00 ml	3.00 ml	1.00ml	5.00 ml
6	1.00 ml	4.00 ml	1.00ml	4.00 ml

(3) 0.10M、1.00 ml CuSO_4 + 0.10M、2.00 ml 果糖與不同比例 NaOH 的反應

組成 編號	0.10M CuSO_4	0.10 M NaOH	0.050M 的果糖	去離子水
1	1.00 ml	0 ml	2.00 ml	7.00 ml
2	1.00 ml	1.00 ml	2.00 ml	6.00 ml
3	1.00 ml	2.00 ml	2.00 ml	5.00 ml
4	1.00 ml	3.00 ml	2.00 ml	4.00 ml
5	1.00 ml	4.00 ml	2.00 ml	3.00 ml
6	1.00 ml	5.00 ml	2.00 ml	2.00 ml
7	1.00 ml	6.00 ml	2.00 ml	1.00 ml
8	1.00 ml	7.00 ml	2.00 ml	0 ml

(二)探討在 75°C 時，以 NH_3 、乙醇胺、乙二胺等三種配位基替換檸檬酸鈉與碳酸鈉(酒石酸鉀鈉與氫氧化鈉)對於硫酸銅與各種醣類反應的影響。

1、以 NH_3 取代檸檬酸鈉和 Na_2CO_3 (NH_3 是配位基，同時也是鹼性物質)

以 0.10 M 的硫酸銅 1.00 ml + 0.40M 的氨水 4.00ml + 0.050M 的醣類 2.00ml + 去離子水 3.00 ml 的比例配製 5 種溶液(葡萄糖、果糖、半乳糖、蔗糖、麥芽糖)放在 75°C 的恆溫水浴槽中加熱，每一分鐘拍照記錄一次。依序將氨水改成 5.00 ml、6.00 ml、7.00 ml，以一樣的實驗步驟操作。

組成 編號	0.10 M CuSO_4	0.40 M NH_3	0.050 M 的醣類	去離子水
對照組	1.00 ml	4.00 ml	0	5.00 ml
1	1.00 ml	4.00 ml	2.00ml 葡萄糖	3.00 ml
2	1.00 ml	4.00 ml	2.00ml 果糖	3.00 ml
3	1.00 ml	4.00 ml	2.00ml 半乳糖	3.00 ml
4	1.00 ml	4.00 ml	2.00ml 蔗糖	3.00 ml
5	1.00 ml	4.00 ml	2.00ml 麥芽糖	3.00 ml

組成 編號	0.10M CuSO_4	0.40 M NH_3	0.050M 的醣類	去離子水
對照組	1.00 ml	5.00 ml	0	4.00 ml
1	1.00 ml	5.00 ml	2.00 ml 葡萄糖	2.00 ml
2	1.00 ml	5.00 ml	2.00 ml 果糖	2.00 ml
3	1.00 ml	5.00 ml	2.00 ml 半乳糖	2.00 ml
4	1.00 ml	5.00 ml	2.00 ml 蔗糖	2.00 ml
5	1.00 ml	5.00 ml	2.00 ml 麥芽糖	2.00 ml

組成 編號	0.10 M CuSO_4	0.40 M NH_3	0.050 M 的醣類	去離子水
對照組	1.00 ml	6.00 ml	0	3.00 ml
1	1.00 ml	6.00 ml	2.00 ml 葡萄糖	1.00 ml
2	1.00 ml	6.00 ml	2.00 ml 果糖	1.00 ml
3	1.00 ml	6.00 ml	2.00 ml 半乳糖	1.00 ml
4	1.00 ml	6.00 ml	2.00 ml 蔗糖	1.00 ml
5	1.00 ml	6.00 ml	2.00 ml 麥芽糖	1.00 ml

組成 編號	0.10 M CuSO ₄	0.40 M NH ₃	0.050M 的醣類	去離子水
對照組	1.00 ml	7.00 ml	0	2.00 ml
1	1.00 ml	7.00 ml	2.00 ml 葡萄糖	0 ml
2	1.00 ml	7.00 ml	2.00 ml 果糖	0 ml
3	1.00 ml	7.00 ml	2.00 ml 半乳糖	0 ml
4	1.00 ml	7.00 ml	2.00 ml 蔗糖	0 ml
5	1.00 ml	7.00 ml	2.00 ml 麥芽糖	0 ml

2、以乙醇胺(H₂NCH₂CH₂OH)取代檸檬酸鈉和 Na₂CO₃

以 0.10 M 的硫酸銅 1.00 ml + 0.40 M 的乙醇胺 4.00 ml + 0.050 M 的糖類 2.00 ml + 去離子水 3.00 ml 的比例配置 5 種溶液(葡萄糖、果糖、半乳糖、蔗糖、麥芽糖)放在 75°C 的恆溫水浴槽中加熱，每一分鐘拍照記錄一次。另一個比例則將乙醇胺改成 7.00 ml。

組成 編號	0.10 M CuSO ₄	0.40 M 乙醇胺	0.050 M 的醣類	去離子水
對照組	1.00 ml	4.00 ml	0	5.00 ml
1	1.00 ml	4.00 ml	2.00 ml 葡萄糖	3.00 ml
2	1.00 ml	4.00 ml	2.00 ml 果糖	3.00 ml
3	1.00 ml	4.00 ml	2.00 ml 半乳糖	3.00 ml
4	1.00 ml	4.00 ml	2.00 ml 蔗糖	3.00 ml
5	1.00 ml	4.00 ml	2.00 ml 麥芽糖	3.00 ml

組成 編號	0.10 M CuSO ₄	0.40 M 乙醇胺	0.050 M 的醣類	去離子水
對照組	1.00 ml	7.00 ml	0	2.00 ml
1	1.00 ml	7.00 ml	2.00 ml 葡萄糖	0 ml
2	1.00 ml	7.00 ml	2.00 ml 果糖	0 ml
3	1.00 ml	7.00 ml	2.00 ml 半乳糖	0 ml
4	1.00 ml	7.00 ml	2.00 ml 蔗糖	0 ml
5	1.00 ml	7.00 ml	2.00 ml 麥芽糖	0 ml

組成 編號	0.10M CuSO ₄	0.40 M 乙醇胺	0.050M 的醣類	0.10M 氫氧化鈉	去離子水
對照組	1.00 ml	4.00 ml	0	2.00 ml	3.00 ml
1	1.00 ml	4.00 ml	2.00 ml 葡萄糖	2.00 ml	1.00 ml
2	1.00 ml	4.00 ml	2.00 ml 果糖	2.00 ml	1.00 ml
3	1.00 ml	4.00 ml	2.00 ml 半乳糖	2.00 ml	1.00 ml
4	1.00 ml	4.00 ml	2.00 ml 蔗糖	2.00 ml	1.00 ml
5	1.00 ml	4.00 ml	2.00 ml 麥芽糖	2.00 ml	1.00 ml

3、以乙二胺(H₂NCH₂CH₂NH₂) 取代檸檬酸鈉和 Na₂CO₃

以 0.10M 的硫酸銅 1.00 ml + 0.40M 的乙二胺 4.00ml + 0.050M 的醣類 2.00ml + 去離子水 3.00 ml 的比例配置 5 種溶液(葡萄糖、果糖、半乳糖、蔗糖、麥芽糖)放在 75°C 的恆溫水浴槽中加熱，每一分鐘拍照記錄一次。另一個比例是將乙二胺改成 7.00ml，依一樣的實驗步驟操作。

組成 編號	0.10 M CuSO ₄	0.40 M 乙二胺	0.050 M 的醣類	去離子水
對照組	1.00 ml	4.00 ml	0	5.00 ml
1	1.00 ml	4.00 ml	2.00 ml 葡萄糖	3.00 ml
2	1.00 ml	4.00 ml	2.00 ml 果糖	3.00 ml
3	1.00 ml	4.00 ml	2.00 ml 半乳糖	3.00 ml
4	1.00 ml	4.00 ml	2.00 ml 蔗糖	3.00 ml
5	1.00 ml	4.00 ml	2.00 ml 麥芽糖	3.00 ml

組成 編號	0.10M CuSO ₄	0.40 M 乙二胺	0.050 M 的醣類	去離子水
對照組	1.00 ml	7.00 ml	0	3.00 ml
1	1.00 ml	7.00 ml	2.00 ml 葡萄糖	0 ml
2	1.00 ml	7.00 ml	2.00 ml 果糖	0 ml
3	1.00 ml	7.00 ml	2.00 ml 半乳糖	0 ml
4	1.00 ml	7.00 ml	2.00 ml 蔗糖	0 ml
5	1.00 ml	7.00 ml	2.00 ml 麥芽糖	0 ml

(三)以分光光度計與自製比色計測量硫酸銅在不同比例氨水的情況下和果糖在 75°C 及 85°C 時的反應變化。

1、75°C 時的反應

- (1) 以 0.10 M 的硫酸銅 1.00 ml + 0.40 M 的氨水 4.00 ml + 0.050 M 的果糖 2.00 ml + 去離子水 3.00 ml 的比例配置 7 隻相同的溶液放在 75°C 的恆溫水浴槽中加熱，第 1 隻試管沒有加熱直接以自製的比色計測量透光率，第 2 隻試管則在加熱 1 分鐘時拿起來以相同方法測量透光率，第 3 隻試管在加熱 2 分鐘後測量透光率，第 4 隻試管在加熱 3 分鐘測量透光率，第 5 隻試管在加熱 4 分鐘後測量透光率，第 6 隻試管在加熱 5 分鐘後測量透光率，第 7 隻試管在加熱 6 分鐘後測量透光率。
- (2) 將比例改成 0.10 M 的硫酸銅 1.00 ml + 0.40 M 的氨水 5.00 ml + 0.050 M 的果糖 2.00 ml + 去離子水 2.00 ml，仍以(1)的實驗步驟操作測量透光率
- (3) 將比例改成 0.10 M 的硫酸銅 1.00 ml + 0.40 M 的氨水 6.00 ml + 0.050 M 的果糖 2.00 ml + 去離子水 1.00 ml，仍以(1)的實驗步驟操作測量透光率
- (4) 將比例改成 0.10 M 的硫酸銅 1.00 ml + 0.40 M 的氨水 7.00 ml + 0.050 M 的果糖 2.00 ml，仍以(1)的實驗步驟操作測量透光率

2、85°C 時的反應

- (1) 以 0.10M 的硫酸銅 1.00 ml + 0.40 M 的氨水 4.00 ml + 0.050 M 的果糖 2.00 ml + 去離子水 3.00 ml 的比例配置 7 隻相同的溶液放在 85°C 的恆溫水浴槽中加熱，第 1 隻試管沒有加熱直接以自製的比色計測量透光率，第 2 隻試管則在加熱 1 分鐘時拿起來以相同方法測量透光率，第 3 隻試管在加熱 2 分鐘後測量透光率，第 4 隻試管在加熱 3 分鐘測量透光率，第 5 隻試管在加熱 4 分鐘後測量透光率，第 6 隻試管在加熱 5 分鐘後測量透光率，第 7 隻試管在加熱 6 分鐘後測量透光率。
- (2) 將比例改成 0.10 M 的硫酸銅 1.00 ml + 0.40 M 的氨水 5.00 ml + 0.050 M 的果糖 2.00 ml + 去離子水 2.00 ml，仍以(1)的實驗步驟操作測量透光率
- (3) 將比例改成 0.10 M 的硫酸銅 1.00 ml + 0.40 M 的氨水 6.00 ml + 0.050 M 的果糖 2.00 ml + 去離子水 1.00 ml，仍以(1)的實驗步驟操作測量透光率
- (4) 將比例改成 0.10 M 的硫酸銅 1.00 ml + 0.40 M 的氨水 7.00 ml + 0.050 M 的果糖 2.00 ml，仍以(1)的實驗步驟操作測量透光率

(四)以分光光度計與自製比色計測量硫酸銅在不同比例乙醇胺的情況下和果糖在 75°C 時反應的變化。

1、配製 12 隻試管溶液，溶液的組成為 0.10M 的硫酸銅 1.00 ml + 0.40 M 的乙醇胺 4.00 ml + 0.050 M 的果糖 2.00 ml + 去離子水 3.00 ml

(1)第 1 隻試管不加熱，直接以自製比色計測量透光率並記錄。

(2)將其餘 11 隻試管同時置於 75°C 恆溫水浴槽內加熱並計時，加熱 1 分鐘時將第 2 隻試管取出，並利用自製比色計測量透光率。

(3)在第 2 分鐘結束取出第 3 隻試管測量透光率。

(4)以上述方法，分別得到加熱 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11 分鐘的透光率。

2、將上述比例中的乙醇胺分別改成 5.00 ml、6.00 ml、7.00 ml，加入相對應的水量，然後以相同實驗步驟操作。

(五)探討以檸檬酸鈉為配位基，將碳酸鈉改成氫氧化鈉對於反應的影響

保留本氏液中的檸檬酸鈉，將碳酸鈉改成氫氧化鈉，探討氫氧化鈉的比例對於反應的影響。以下表格中的比例配置 4 種溶液。

組成 編號	0.10M CuSO ₄	0.10M 檸檬酸鈉	0.050M 的葡萄糖	0.10M 氫氧化鈉	去離子水
1	1.00 ml	3.00 ml	2.00 ml	1.00 ml	3.00 ml
2	1.00 ml	3.00 ml	2.00 ml	2.00 ml	2.00 ml
3	1.00 ml	3.00 ml	2.00 ml	3.00 ml	1.00 ml
4	1.00 ml	3.00 ml	2.00 ml	4.00 ml	0 ml

(六) 探討在 75°C 時，分別以乳酸鈉、柳酸鈉替換檸檬酸鈉 (酒石酸鉀鈉)，並以氫氧化鈉提供鹼性條件對於硫酸銅與各種醣類反應的影響。

組成 編號	0.10M CuSO ₄	1.00M 乳酸鈉	0.10M 氫氧化鈉	0.050 M 醣類
1	1.00 ml	3.00 ml	5.00 ml	1.00 ml 葡萄糖
2	1.00 ml	3.00 ml	5.00 ml	1.00 ml 果糖
3	1.00 ml	3.00 ml	5.00 ml	1.00 ml 半乳糖
4	1.00 ml	3.00 ml	5.00 ml	1.00 ml 蔗糖
5	1.00 ml	3.00 ml	5.00 ml	1.00 ml 麥芽糖

組成 編號	0.10M CuSO ₄	1.00M 柳酸鈉	0.10M 氫氧化鈉	0.050 M 醣類
1	1.00 ml	3.00 ml	5.00 ml	1.00 ml 葡萄糖
2	1.00 ml	3.00 ml	5.00 ml	1.00 ml 果糖
3	1.00 ml	3.00 ml	5.00 ml	1.00 ml 半乳糖
4	1.00 ml	3.00 ml	5.00 ml	1.00 ml 蔗糖
5	1.00 ml	3.00 ml	5.00 ml	1.00 ml 麥芽糖

(七)尋找出比市售本氏液和葡萄糖反應時更快變色的成份配製。

(1)第一種比較

名稱	成份比例
市售本氏液	成分為：硫酸銅+檸檬酸鈉+碳酸鈉，比例未知。
依網路資料配製的本氏液	每 100.0ml 溶液含 2.50g CuSO ₄ ·5H ₂ O +16.00g 檸檬酸鈉 + 9.25g Na ₂ CO ₃
自製檢測試液	0.10M CuSO ₄ 1.00 ml + 0.10M 檸檬酸鈉 3.00 ml + 0.10M NaOH 4.00 ml

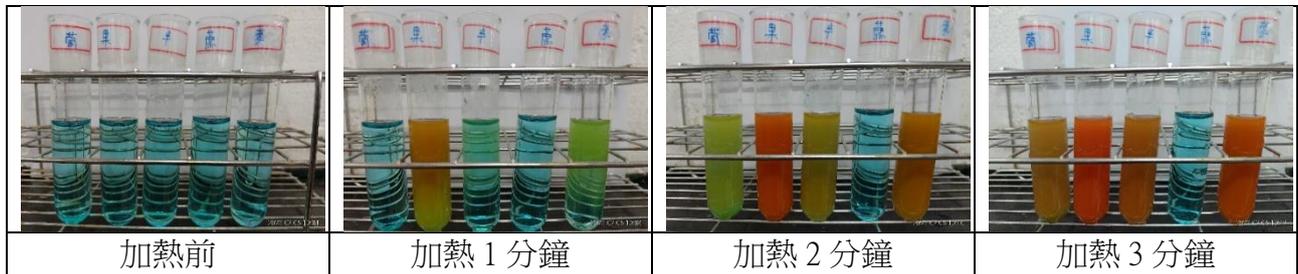
(2)第二種比較

組成 編號	0.10M CuSO ₄	配位基	0.10M 氫氧化鈉	0.050 M 葡萄糖	去離子水
市售斐林試液	1.00 ml A 液	1.00 ml B 液	0	1.00 ml	7.00 ml
市售本氏液 1 號	4.00 ml 本氏液		0	1.00 ml	5.00 ml
市售本氏液 2 號	8.00 ml 本氏液		0	1.00 ml	1.00 ml
自製 1 號	1.00 ml	0.1 M 檸檬酸鈉 3.00 ml	5.00 ml	1.00 ml	0
自製 2 號	1.00 ml	1.00 M 乳酸鈉 3.00 ml	5.00 ml	1.00 ml	0
自製 3 號	1.00 ml	1.00 M 柳酸鈉 3.00 ml	5.00 ml	1.00 ml	0

伍、研究結果與討論

一、討論本氏液中檸檬酸鈉與斐林試液中酒石酸鉀鈉存在的必要性

(一)對照組：75°C時，本氏液和各種糖的反應照片(左到右依序為葡、果、半、蔗、麥)



實驗結果：相同條件下，各種糖和本氏液的反應速率快慢：果糖 > 麥芽糖 > 半乳糖 > 葡萄糖

(二) 沒有檸檬酸鈉時， $\text{CuSO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3$ 與各種糖的反應(左到右為：對照、葡果半蔗麥)

1、0.10 M、1.00 ml $\text{CuSO}_4 + 0.10 \text{ M}$ 、1.00ml $\text{Na}_2\text{CO}_3 + 0.050 \text{ M}$ 、2.00 ml 各種糖
+ 6.00 ml 純水的反應



加熱前



加熱 10 分鐘後

2、0.10M、1.00 ml $\text{CuSO}_4 + 0.10\text{M}$ 、2.00 ml $\text{Na}_2\text{CO}_3 + 0.050\text{M}$ 、2.00 ml 各種糖
+ 5.00 ml 純水的反應



加熱前



加熱 10 分鐘後

實驗結果：由上面四個圖可以發現在沒有檸檬酸鈉的情況下，硫酸銅和碳酸鈉以莫耳數
1：1 或 1：2 的比例混合都會產生沉澱，無法和糖類產生反應。

(三)沒有酒石酸鉀鈉時， $\text{CuSO}_4 + \text{NaOH}$ 與各種糖的反應(由左到右為葡果半蔗麥)

以試管盛裝依下列表格中配製的各種溶液，並在 75°C 的恆溫槽中加熱，觀察記錄。

1、 0.1M 、 1.0 ml $\text{CuSO}_4 + 0.1\text{M}$ 、 2.0 ml $\text{NaOH} + 5.0\text{ ml}$ 純水+ 2.0 ml 各種糖的反應



1.0 ml 硫酸銅

→



加入 2.0 ml NaOH

→



加 2.0 ml 各種糖



→ 加入 5.0 ml 純水

→



加熱 1 分鐘

→



加熱 2 分鐘

實驗結果：

- (1)硫酸銅加入氫氧化鈉會產生藍色沉澱，若繼續加入糖可以發現沉澱變少，甚至完全消失。由照片中顯示加入果糖(左邊第二隻試管)後，完全沒有沉澱。我們推測此時有可能果糖以羥基和氫氧化銅中的銅產生鍵結，產生可溶於水的化合物。
- (2)由加熱的圖片顯示，葡萄糖、果糖、半乳糖、麥芽糖都可產生氧化亞銅沉澱，其中果糖溶液是最快變色的。

2、 0.10 M 、 1.00 ml $\text{CuSO}_4 + 0.050\text{ M}$ 、 1.00 ml 果糖與不同比例 NaOH 的反應

組成 編號	0.10M CuSO_4	0.10 M NaOH	0.050M 的果糖	去離子水
1(最左邊)	1.00 ml	0 ml	1.00 ml	8.00 ml
2	1.00 ml	1.00 ml	0 ml	8.00 ml
3	1.00 ml	1.00 ml	1.00 ml	7.00 ml
4	1.00 ml	2.00 ml	1.00 ml	6.00 ml
5	1.00 ml	3.00 ml	1.00 ml	5.00 ml
6(最右邊)	1.00 ml	4.00 ml	1.00 ml	4.00 ml



加熱前



加熱後

實驗結果：

由加熱後的實驗結果可知道當硫酸銅和果糖莫耳數 1 : 1/2 時，氫氧化鈉莫耳數是硫酸銅的 2 倍以上時，可產生氧化亞銅沉澱。

3、0.10 M、1.00 ml CuSO_4 + 0.050 M、2.00 ml 果糖 + 不同比例 NaOH(左到右為 0~7.00ml) + 去離子水



加熱前



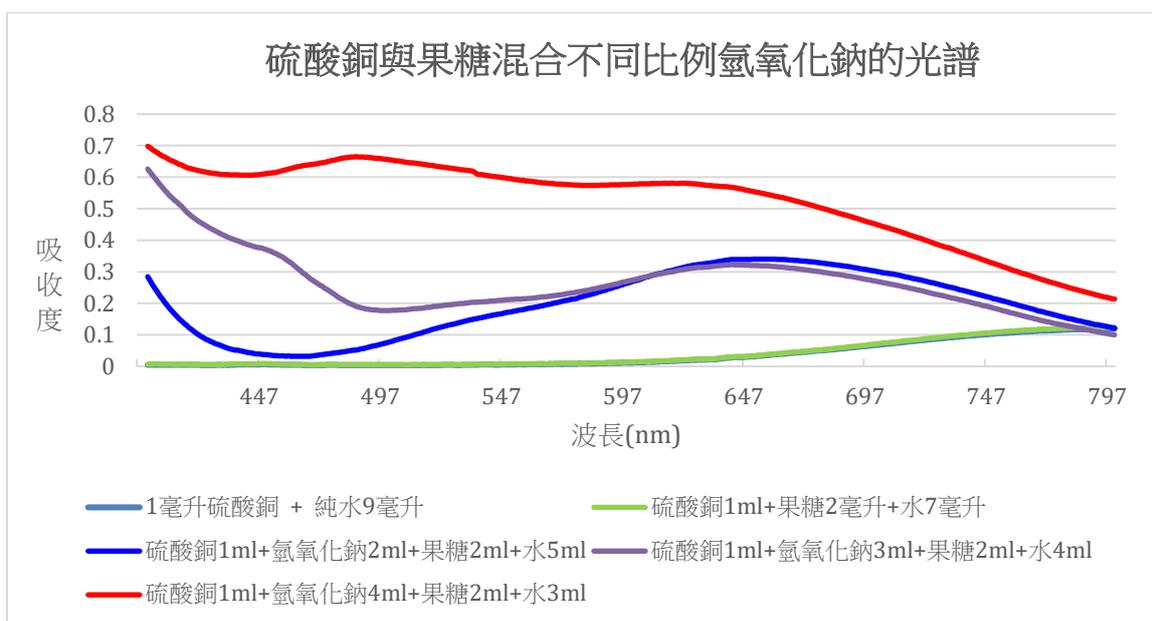
加熱後

實驗結果：

(1)由加熱後的實驗結果可知道當硫酸銅和果糖莫耳數 1 : 1 時，氫氧化鈉莫耳數是硫酸銅的 2 倍以上時，可產生氧化亞銅沉澱。

(2)沒有加鹼的話，硫酸銅+醣類沒有反應。

我們為了驗證實驗結果與推論，我們利用分光光度計測量下列溶液的光譜。



由實驗照片與分光光度計光譜可以發現

(1)硫酸銅水溶液 和 (硫酸銅+果糖水溶液) 的光譜幾乎重疊，代表在只有硫酸銅和果糖莫耳數 1 : 1 的情況下並沒有產生鍵結。

(2)在硫酸銅和果糖莫耳數 1 : 1 的情況下，加入同莫耳數的氫氧化鈉會產生沉澱且不會產生氧化亞銅。

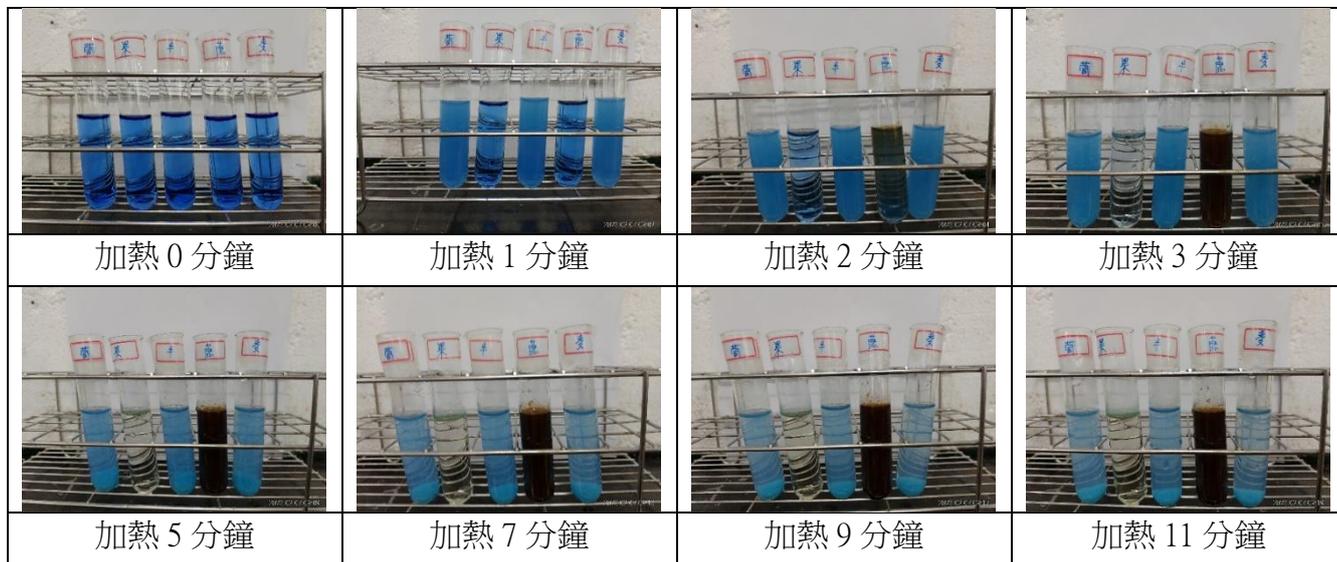
(3)在硫酸銅和果糖莫耳數 1 : 1 的情況下，若加入氫氧化鈉莫耳數為硫酸銅 2 倍以上則在 647nm 附近有吸收峰，代表此時銅離子和果糖產生了鍵結。

二、探討在 75°C 時，以 NH_3 、乙醇胺、乙二胺等三種配位基替換檸檬酸鈉與碳酸鈉對於硫酸銅與各種醣類反應的影響。

(圖中試管由左到右分別為：葡萄糖、果糖、半乳糖、蔗糖、麥芽糖)

(一) 以 NH_3 取代檸檬酸鈉和 Na_2CO_3 (NH_3 是配位基，也可產生鹼性環境)

1、0.10 M、1.00 ml CuSO_4 + 0.40 M、4.00 ml NH_3 + 2.00 ml 各種糖 + 3.00 ml 去離子水



實驗結果：

(1) 在上述條件下，加入果糖的第二隻試管由藍色變成無色，最後有點淡黃色。

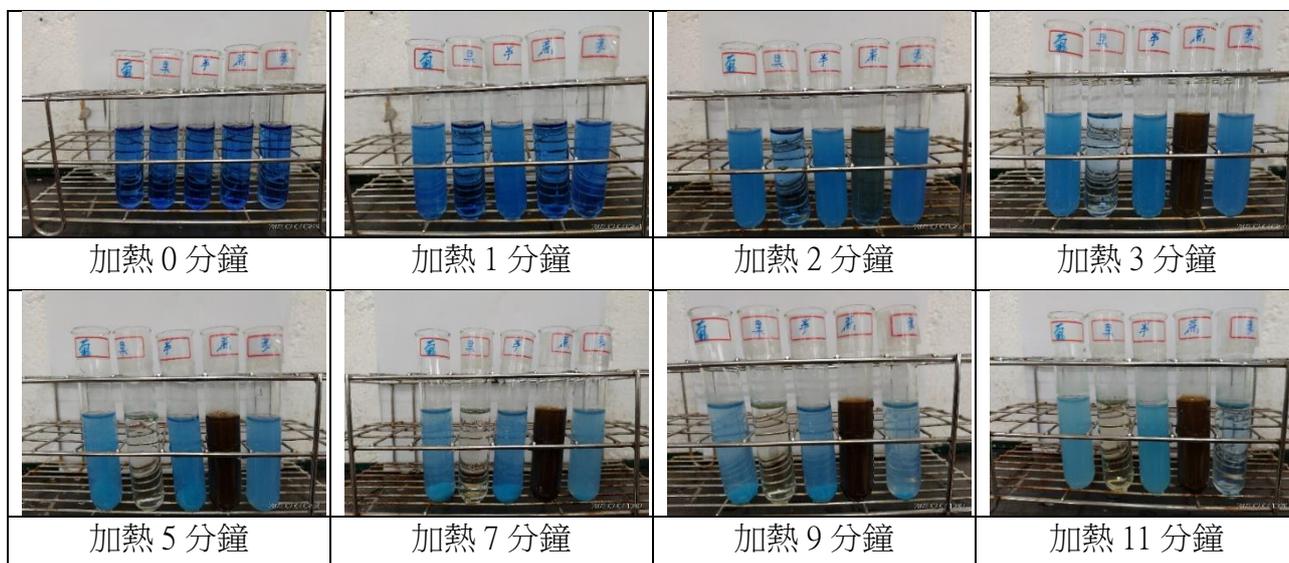
推測無色是因為產生了 $\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^+$ 。

(2) 葡萄糖(第一隻試管)、半乳糖(第三隻試管)、麥芽糖(第 5 隻試管)皆會產生藍色沉澱，無法產生氧化亞銅。

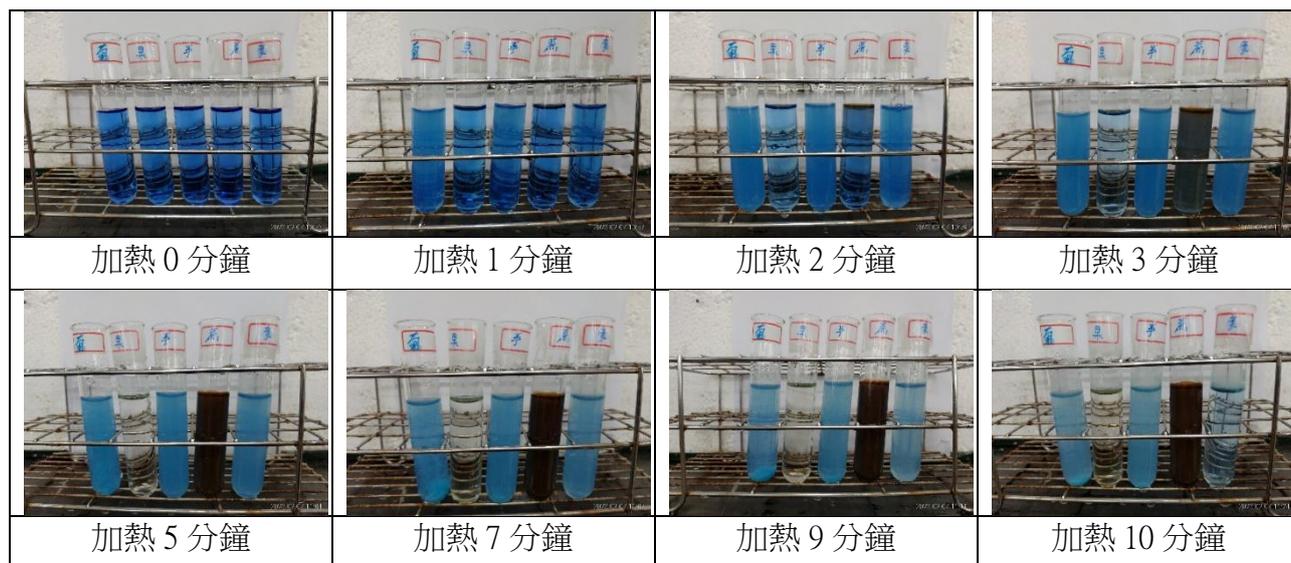
(3) 蔗糖(第四隻試管)則產生棕褐色沉澱。

我們後來有直接以 0.10M、1.00 ml CuSO_4 + 0.40M、4.00 ml NH_3 + 5.00 ml 純水加熱，也產生棕褐色沉澱，代表蔗糖並沒有參與反應。經尋找相關資料後，可能是形成亞硝酸銅氨配合物 $\text{Cu}(\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3)_n$ 。

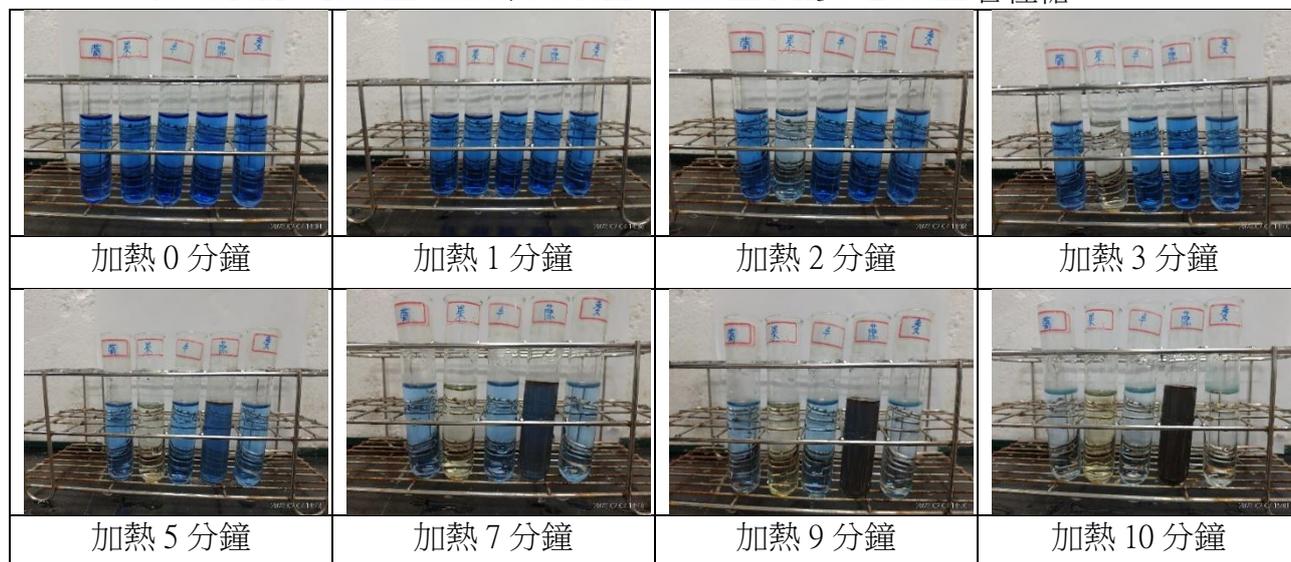
2、0.10M、1.00 ml CuSO_4 + 0.40M、5.00 ml NH_3 + 2.00 ml 各種糖 + 2.00 ml 去離子水



3、0.10 M、1.00 ml CuSO_4 + 0.40 M、6.00 ml NH_3 + 2.00 ml 各種糖 + 1.00ml 去離子水



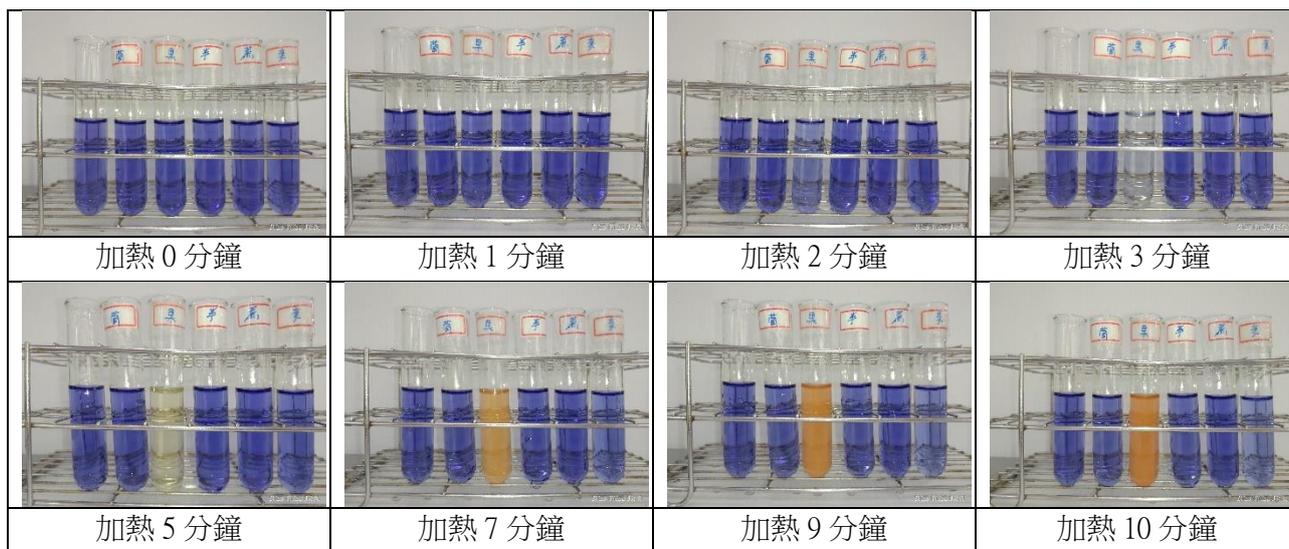
4、0.10M、1.00 ml CuSO_4 + 0.40M、7.00 ml NH_3 + 2.00 ml 各種糖



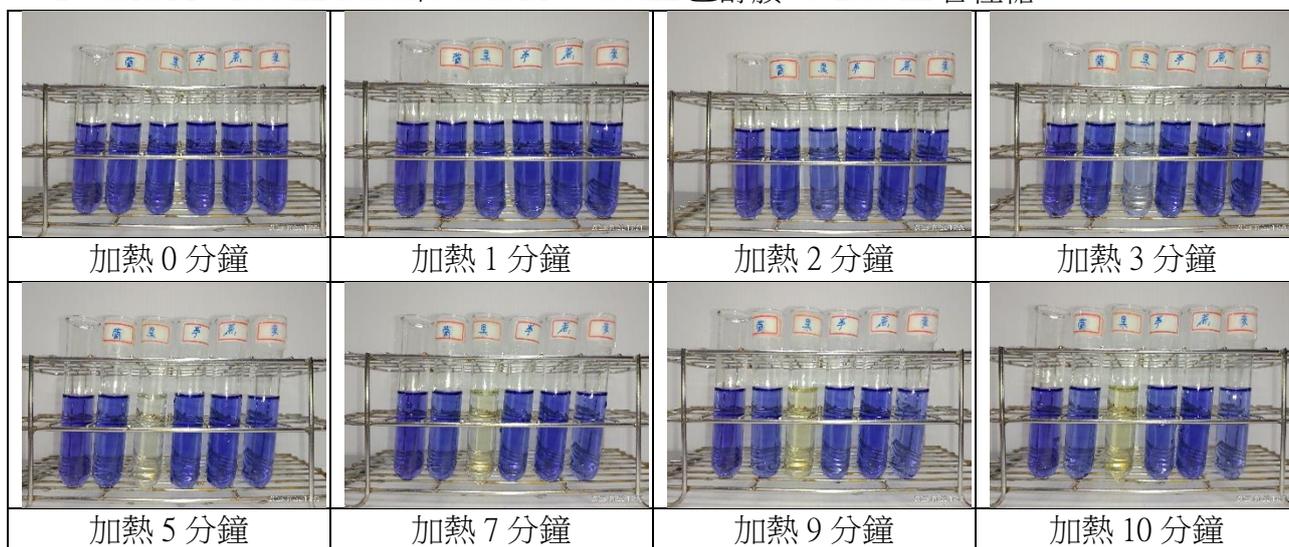
實驗結果：(1)體積比為 1522、1621 的實驗結果和 1423 差不多，果糖變無色，葡萄糖、半乳糖以及麥芽糖都產生藍色沉澱，蔗糖也會產生棕褐色沉澱。
 (2)體積比為 1720 時，葡萄糖、半乳糖、麥芽糖三隻試管都不產生沉澱了，也會慢慢變無色。

(二) 以乙醇胺($\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$)取代檸檬酸鈉和 Na_2CO_3

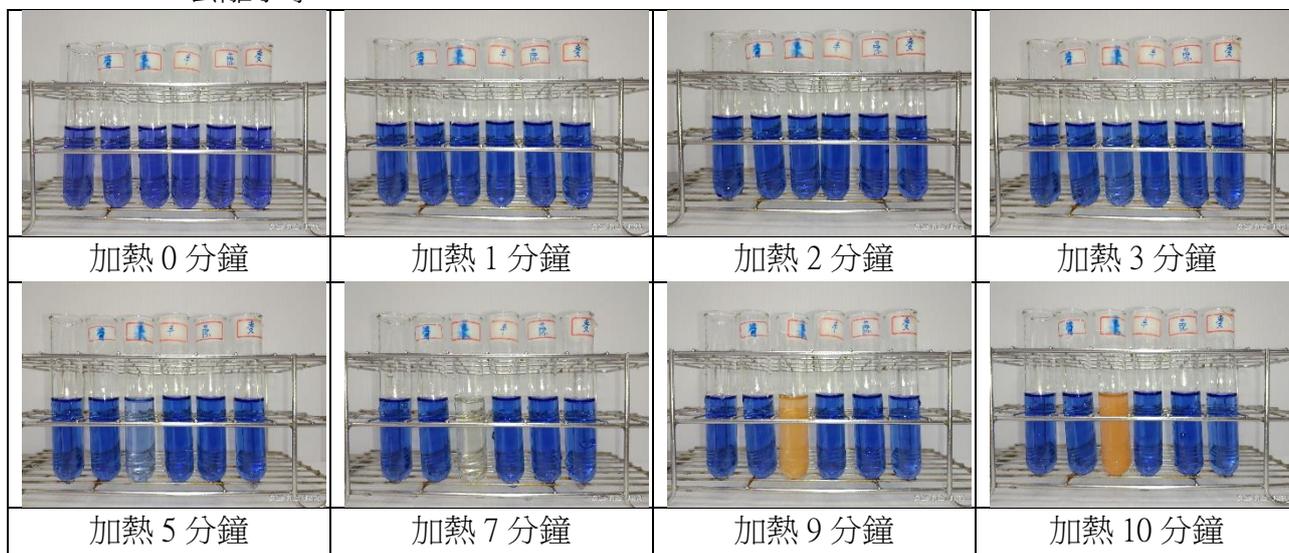
1、0.10M、1.00 ml CuSO_4 + 0.40 M、4.00 ml 乙醇胺 + 2.00 ml 各種糖 + 3.00ml 去離子水



2、0.10 M、1.00 ml CuSO_4 + 0.40 M、7.00 ml 乙醇胺 + 2.00 ml 各種糖



3、0.10 M、1.00 ml CuSO_4 + 0.40 M、4.00 ml 乙醇胺 + 2.00 ml 氫氧化鈉 + 2.00 ml 各種糖 + 1.00 ml 去離子水



在這個實驗中，我們要知道兩件事情，

第一：以乙醇胺為配位基，對於反應的影響為何？

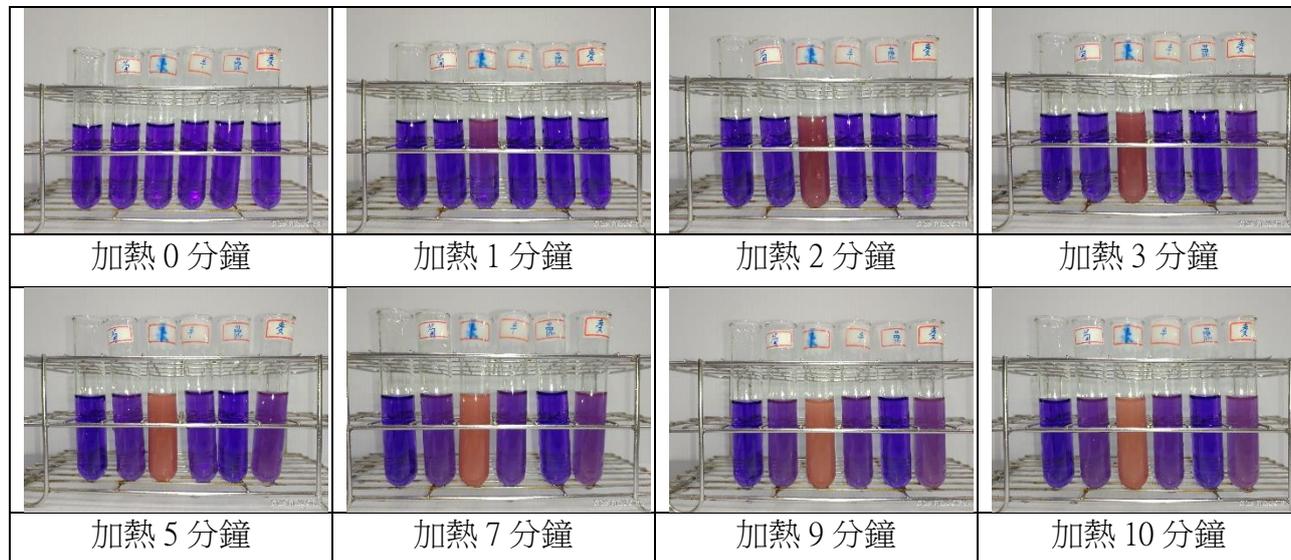
第二：以乙醇胺為配位基且加入氫氧化鈉對於反應的影響是什麼？

實驗結果如下：

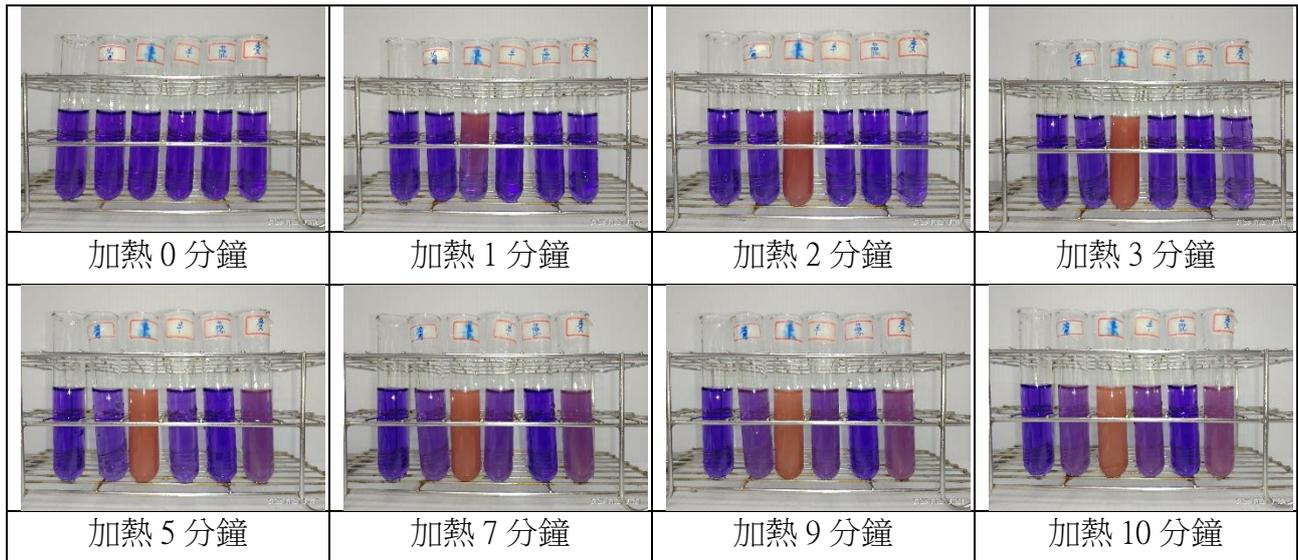
- (1)乙醇胺的莫耳數為硫酸銅的 16 倍時，加入果糖的溶液在 4 分鐘內由藍色慢慢變無色，進一步慢慢變黃色→橙色，最後仍產生氧化亞銅沉澱。
- (2)乙醇胺的莫耳數為硫酸銅的 28 倍時，加入果糖的溶液在 4 分鐘內由藍色慢慢變無色進一步變淡黃色，但加熱到 10 分鐘仍然沒有產生任何沉澱。
- (3)當以乙醇胺為配位基且乙醇胺的莫耳數為硫酸銅的 16~28 倍時，在 75°C 加熱 10 分鐘時，只有果糖會發生反應，其它糖並沒有產生明顯變化。我們後來繼續加熱到分鐘後，發現其它糖仍會反應，一樣是先變無色才變橙色沉澱，蔗糖仍然沒有反應。
- (4)由實驗 1 和實驗 3 發現，加了氫氧化鈉，對於反應並沒有什麼特別大的影響。

(三) 以乙二胺($\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$)取代檸檬酸鈉和 Na_2CO_3

1、0.10M、1.00 ml CuSO_4 + 0.40 M、4.00 ml 乙二胺 + 2.00 ml 各種糖
+ 3.00 ml 去離子水



2、0.10 M、1.00 ml CuSO₄ + 0.40 M、7.00 ml 乙二胺 + 2.00 ml 各種糖



實驗結果：

(1)若以乙二胺為配位基，當加入的莫耳數為硫酸銅的 16 倍~28 倍時，果糖的部分都在 1 分鐘內開始變色。

(2)第一隻試管為對照組，只有硫酸銅與乙二胺，加熱並不會發生反應。

(3)在 75°C 時加熱 5 分鐘後，葡萄糖、半乳糖與麥芽糖都開始有變化。

三、以自製比色計與分光光度計測硫酸銅在不同比例氨水的情況下和果糖在 75°C 時反應的變化。

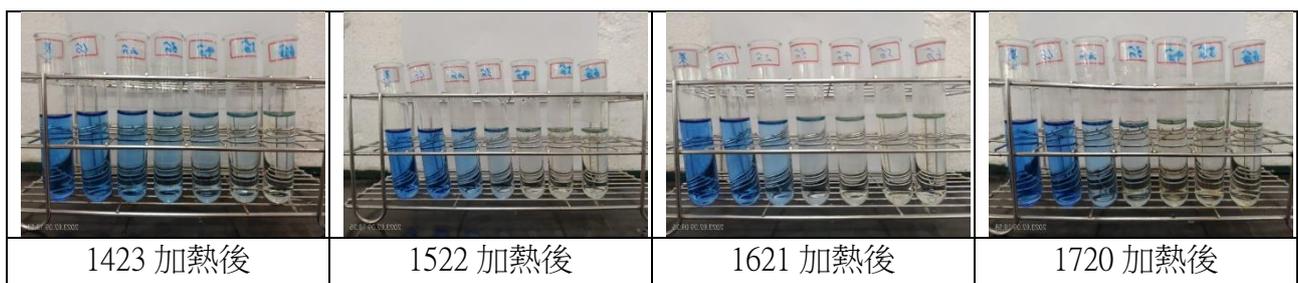
(一)75°C

1、以 0.10M 的硫酸銅 1.00 ml + 0.40M 的氨水 4.00ml + 0.050M 的果糖 2.00ml + 去離子水 3.00 ml 在 75°C 的恆溫水浴槽中隨加熱時間不同的變化。如下附圖，右到左，加熱時間分別為 0 分鐘、1 分鐘、2 分鐘、3 分鐘、4 分鐘、5 分鐘、6 分鐘。

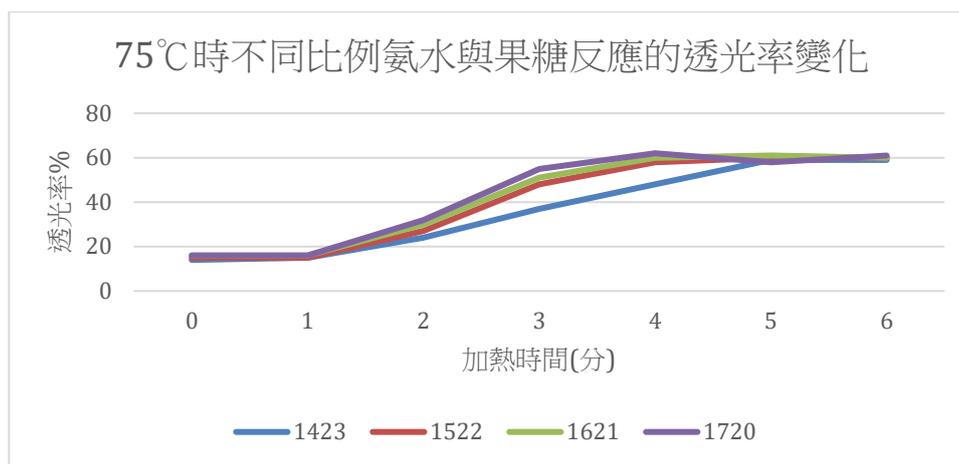
2、將上述比例中的氨水改成 5.00 ml、去離子水改成 2.00 ml，以相同實驗步驟進行。

3、將上述比例中的氨水改成 6.00 ml、去離子水改成 1.00 ml，以相同實驗步驟進行。

4、將上述比例中的氨水改成 7.00 ml、去離子水改成 0 ml，以相同實驗步驟進行。



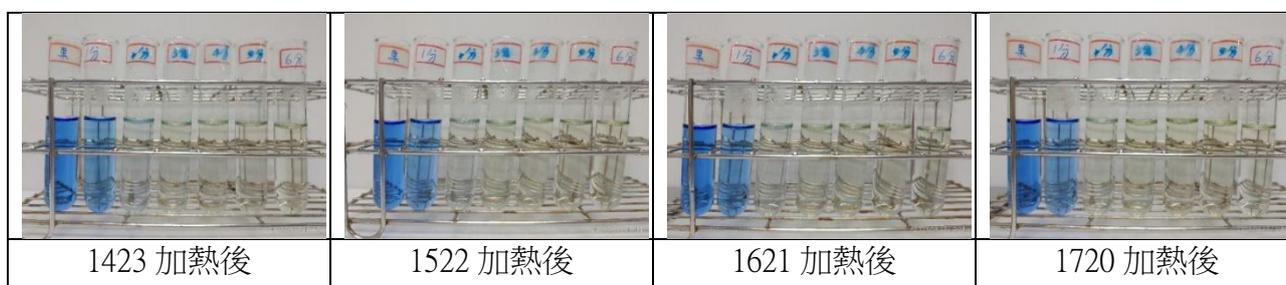
溶液體積組成(毫升)				75°C時加熱時間(分)與透光率%							
硫酸銅	氨水	果糖	水	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	
1.0	4.0	2.0	3.0	14	15	24	37	48	59	59	
1.0	5.0	2.0	2.0	15	15	27	48	58	60	60	
1.0	6.0	2.0	1.0	16	16	30	51	60	61	60	
1.0	7.0	2.0	0	16	16	32	55	62	58	61	



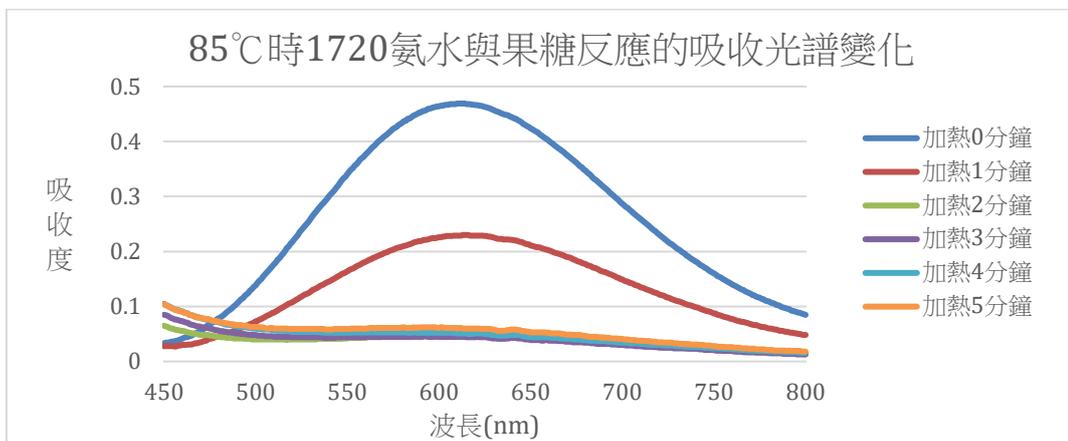
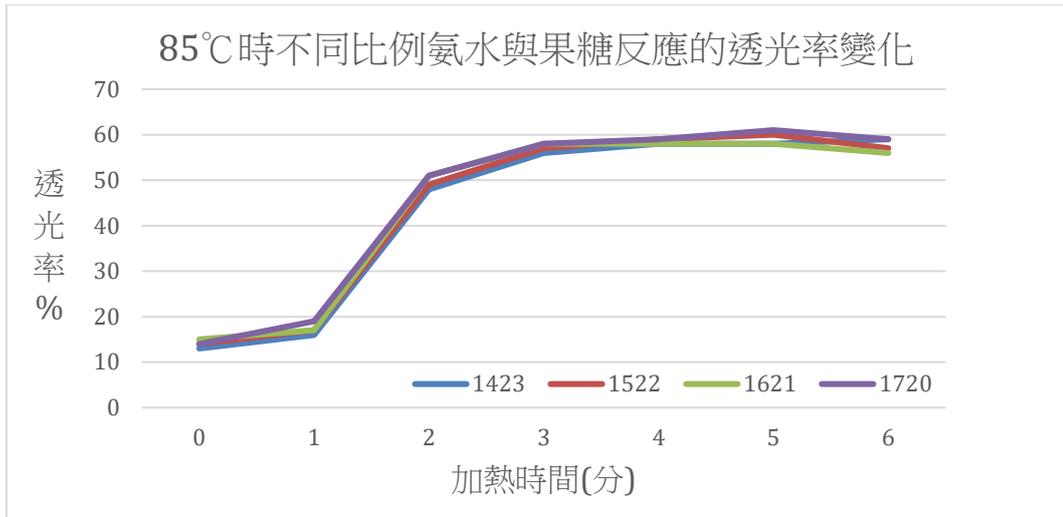
實驗結果：加入較高比例的氨水使溶液變無色的速率更快。

(二)85°C

- 1、以 0.1M 的硫酸銅 1.0 ml + 0.4M 的氨水 4ml + 0.05M 的果糖 2.0ml + 純水 3ml 在 85°C 的恆溫水浴槽中隨加熱時間不同的變化。由左到右，加熱時間分別為 0 分鐘、1 分鐘、2 分鐘、3 分鐘、4 分鐘、5 分鐘、6 分鐘。
- 2、將上述比例中的氨水改成 5.00 ml 、去離子水改成 2.00 ml ，以相同實驗步驟進行。
- 3、將上述比例中的氨水改成 6.00 ml 、去離子水改成 1.00 ml ，以相同實驗步驟進行。
- 4、將上述比例中的氨水改成 7.00 ml 、去離子水改成 0 ml ，以相同實驗步驟進行。



溶液體積組成(毫升)				85°C時加熱時間(分)與透光率%						
硫酸銅	氨水	果糖	水	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分
1.0 ml	4.0 ml	2.0 ml	3.0 ml	13	16	48	56	58	58	59
1.0 ml	5.0 ml	2.0 ml	2.0 ml	14	17	49	57	59	60	57
1.0 ml	6.0 ml	2.0 ml	1.0 ml	15	17	51	58	58	58	56
1.0 ml	7.0 ml	2.0 ml	0 ml	14	18	51	58	59	61	59



實驗結果：

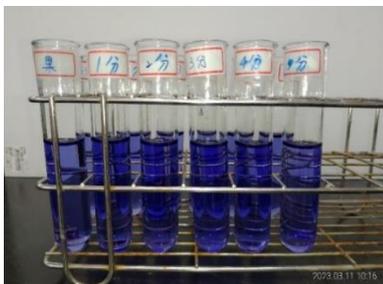
(1)由透光率的變化可以發現：①溫度到 85°C時，變無色的速率比 75°C 愈快。

②氨水的比例幾乎沒有影響。

(2)由分光光度計的圖形，也可發現在加熱的過程中，在 620 nm 左右的吸收峰隨加熱時間愈長逐漸變弱，和實驗所觀察到的現象相符合。

(四) 以自製比色計與分光光度計測量硫酸銅在不同比例乙醇胺的情況下和果糖在 75°C 時反應的變化。

1、以 0.10M 的硫酸銅 1.00 ml + 0.40M 的乙醇胺 4.00 ml + 0.050M 的果糖 2.00ml + 去離子水 3.00 ml 在 75°C 的恆溫水浴槽中隨加熱時間不同的變化。由左到右，加熱時間分別為 0~11 分。



加熱前



加熱後

2、將上述比例中的乙醇胺改成 5.00 ml、去離子水改成 2.00 ml，以相同實驗步驟進行。

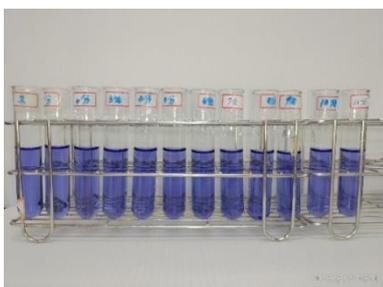


加熱前



加熱後

3、將上述比例中的乙醇胺改成 6.00 ml、去離子水改成 1.00 ml，以相同實驗步驟進行。



加熱前



加熱後

4、將上述比例中的乙醇胺改成 7.00 ml、去離子水改成 0 ml，以相同實驗步驟進行。



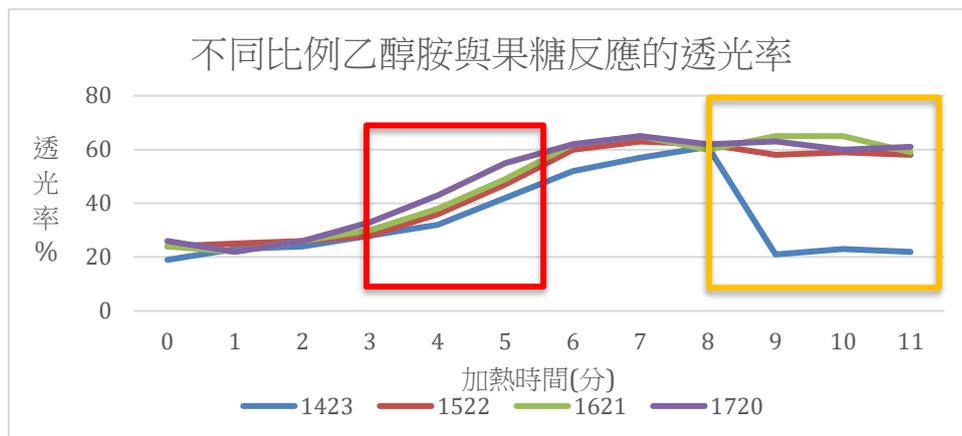
加熱前



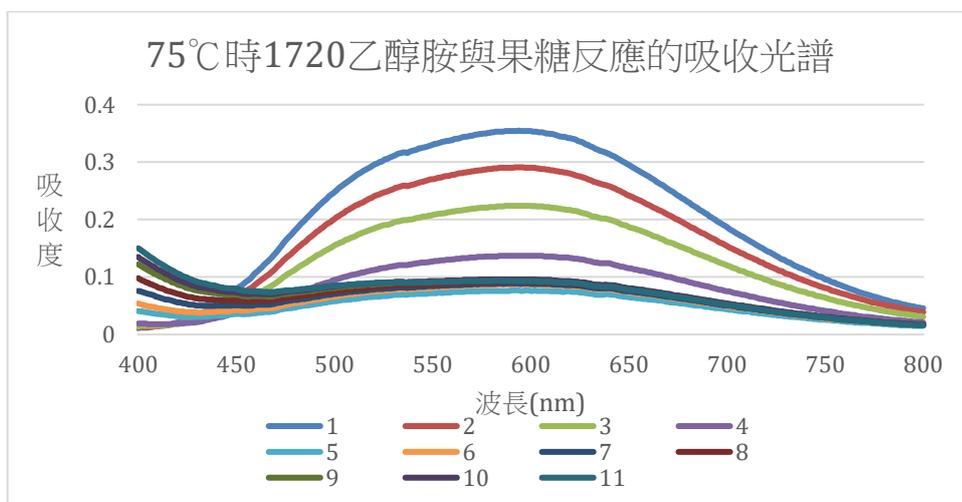
加熱後

以自製比色計測量透光率的實驗結果：

溶液體積組成(毫升)				加熱時間(分)與透光率%												
硫酸銅	乙醇胺	果糖	水	0分	1分	2分	3分	4分	5分	6分	7分	8分	9分	10分	11分	
1.0	4.0	2.0	3.0	19	23	24	28	32	42	52	57	61	21	23	22	
1.0	5.0	2.0	2.0	24	25	26	28	36	47	60	63	62	58	59	58	
1.0	6.0	2.0	1.0	24	22	26	30	38	49	62	65	60	65	65	59	
1.0	7.0	2.0	0	26	22	26	33	43	55	62	65	62	63	60	61	



- (1)由紅色框的地方可以發現，隨乙醇胺的比例變大，藍色溶液變無色的速率更快
- (2)由黃色框的地方可以發現，若乙醇胺的莫耳數是硫酸銅的 4 倍，在溶液由藍色變成無色後若持續加熱，在 8 分鐘~9 分鐘左右開始產生氧化亞銅的沉澱。
- (3)若乙醇胺莫耳數是硫酸銅的 20~28 倍，則以 75°C 加熱至 11 分鐘都不產生氧化亞銅沉澱。



由圖中可以發現，加熱時間愈久，波長 600nm 波峰的地方吸收度下降，代表藍色的 Cu^{2+} 錯合物轉變成無色的 Cu^{+} 錯合物。

5、我們為了驗證變成無色時應該是形成 Cu^+ 的化合物，因此我們加入 H_2O_2

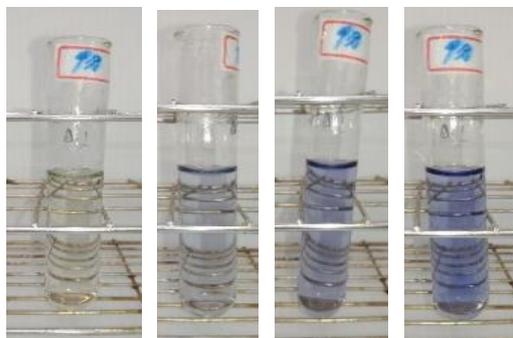
(1)對照組：硫酸銅+ H_2O_2 (如下圖：左邊為硫酸銅、右邊為硫酸銅+ H_2O_2)

現象：只有看到產生氣泡，推測 Cu^{2+} 為催化劑，並沒有顏色的變化。



(2)檢驗：我們以 0.10M 的硫酸 1.00 ml + 0.40M 的乙醇胺 4.00 ml + 0.050M 的果糖 2.00ml + 去離子水 3.00ml

加熱到變無色的溶液，慢慢加入過氧化氫，發現又可以變回藍色，而且一開始產生藍色時並沒有氣泡的產生，但加到一定數量的 H_2O_2 後可發現產生氣泡。



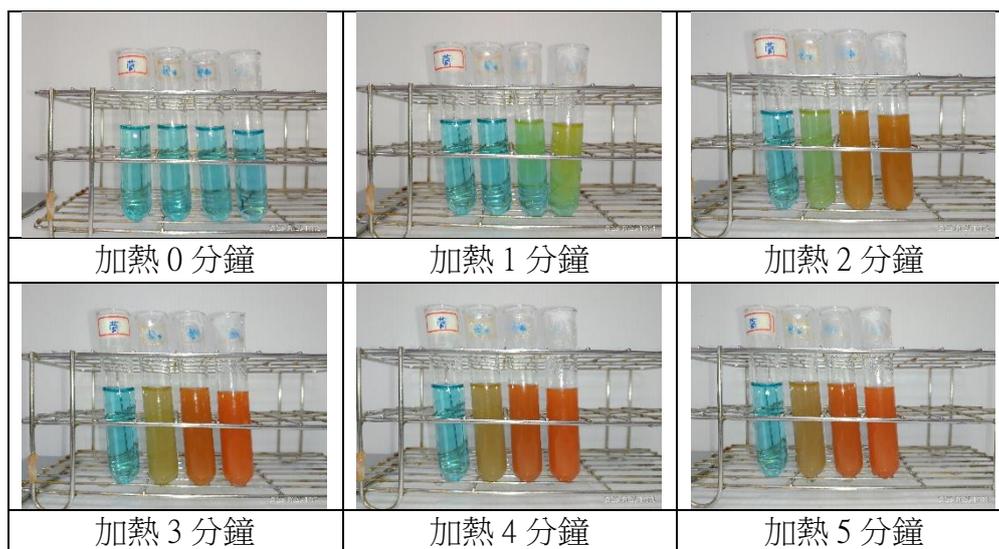
氣泡



(五) 探討以檸檬酸鈉為配位基，將碳酸鈉改成氫氧化鈉對於反應的影響

0.10M 的硫酸銅 1.00 ml + 0.10M 的檸檬酸鈉 3.00ml + 0.050M 的葡萄糖 2.00ml

+不同比例的氫氧化鈉(由左到右分別為 1.00 ml、2.00 ml、3.00 ml、4.00 ml) +去離子水

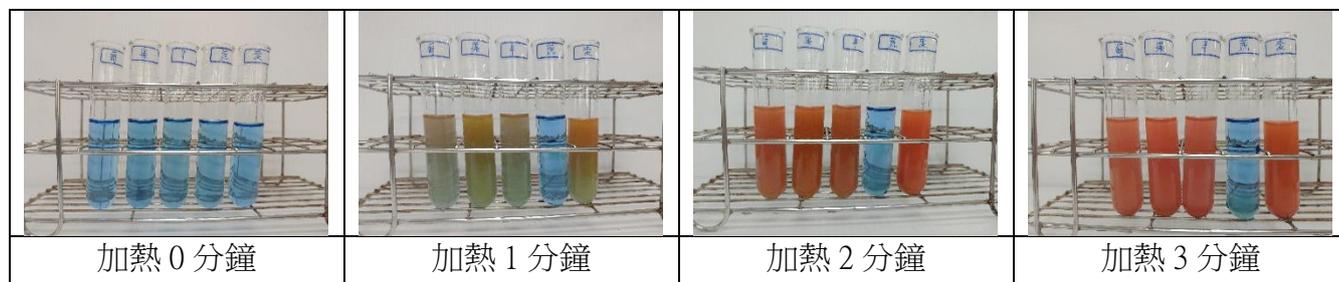


實驗結果：(1)若只加入和硫酸銅相同莫耳數的氫氧化鈉，則無法反應。

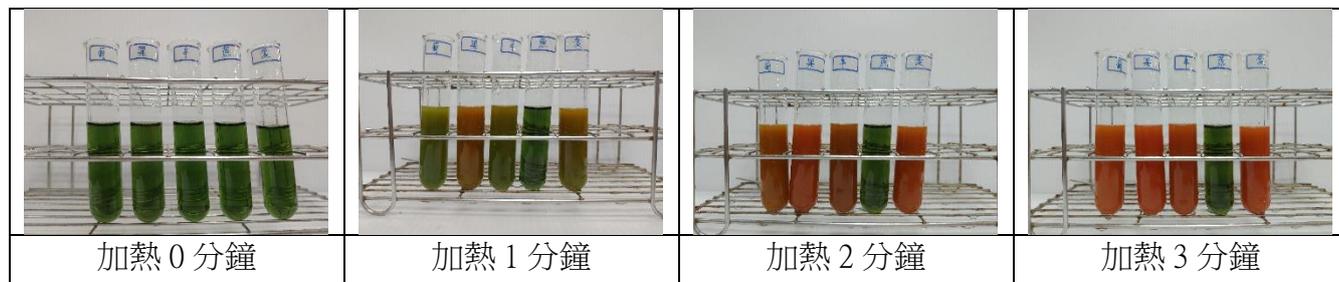
(2)在氫氧化鈉莫耳數是硫酸銅的 2~4 倍之間，加入愈多氫氧化鈉的反應速率愈快，最快的反應約在 50 秒左右就可出現黃色。

六、探討在 75°C 時，分別以乳酸鈉、柳酸鈉替換檸檬酸鈉 (酒石酸鉀鈉) 對於硫酸銅與各種醣類反應的影響。

1、0.10 M CuSO_4 1.00 ml + 1.00 M 乳酸鈉 3.00 ml + 0.10 M NaOH 5.00 ml
+ 0.05M 各種糖 1.00 ml (由左到右分別為葡萄糖、果糖、半乳糖、蔗糖、麥芽糖)



2、0.10 M CuSO_4 1.00 ml + 1.00 M 柳酸鈉 3.00 ml + 0.10 M NaOH 5.00 ml
+ 0.05M 各種糖 1.00 ml (由左到右分別為葡萄糖、果糖、半乳糖、蔗糖、麥芽糖)



實驗結果：我們利用乳酸鈉或柳酸鈉所配製的檢測試液都可以在 1 分鐘內和各種還原糖產生反應。

七、尋找出比市售本氏液和葡萄糖反應時更快變色的成份配製。

(一)第一種比較

我們準備三種檢測試液：

(1)市售本氏液

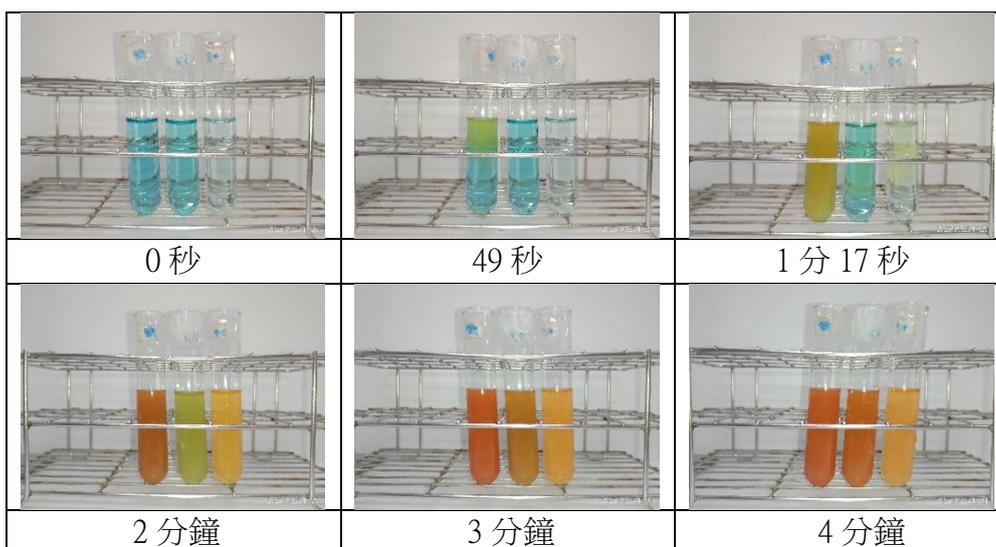
(2)依網路資料配製的本氏液：每 100.0 ml 溶液含 2.50 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ + 16.0g 檸檬酸鈉
+ 9.25g Na_2CO_3

(3)我們實驗結果中最快的成分比例：0.10 M CuSO_4 1.00 ml + 0.10 M 檸檬酸鈉 3.00 ml
+ 0.10 M NaOH 4.00 ml

左邊試管：0.10 M CuSO_4 1.00 ml + 0.10 M 檸檬酸鈉 3.00 ml + 0.10M NaOH 4.00 ml
+ 2.00 ml 葡萄糖

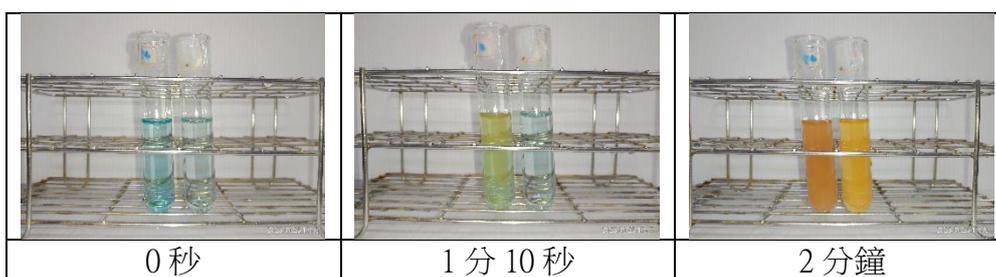
中間試管：1.00 ml 依網路資料配製的本氏液 + 7.00 ml 純水 + 2.00 ml 葡萄糖

右邊試管：1.00 ml 市售本氏液 + 7.00 ml 純水 + 2.00 ml 葡萄糖



實驗結果：自製檢測試液反應最快。

但我們觀察市售的溶液藍色較淡，可能是考量成本而使用較低濃度的硫酸銅，因此我們決定將自製的比例濃度調降，改成：0.10M CuSO_4 0.50 ml + 0.10M 檸檬酸鈉 1.50 ml + 0.10M NaOH 2.00 ml + 4.00 ml 去離子水 + 2.00 ml 葡萄糖。實驗結果如下：(左為自製、右為市售)



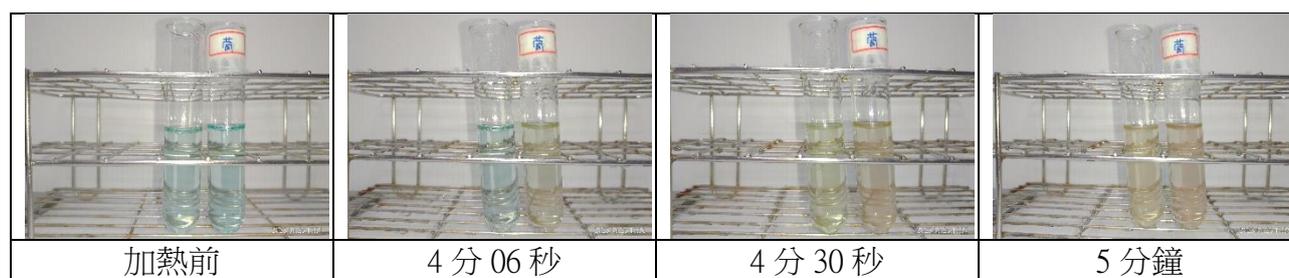
實驗結果：自製檢測試液比較快

因為按照上述比例配製溶液，我們溶液一開始的藍色還是比市售本氏液更深，所以我們繼續調降比例，連葡萄糖也下降，改成：

(1) 右邊試管為自製檢測試液：0.10 M CuSO_4 0.250 ml + 0.10 M 檸檬酸鈉 0.750 ml

+ 0.10 M NaOH 1.250 ml + 7.50 ml 水 + 0.250 ml 葡萄糖。

(2) 左邊為：市售本氏液 1.000 ml + 0.250 ml + 8.250 ml 水。



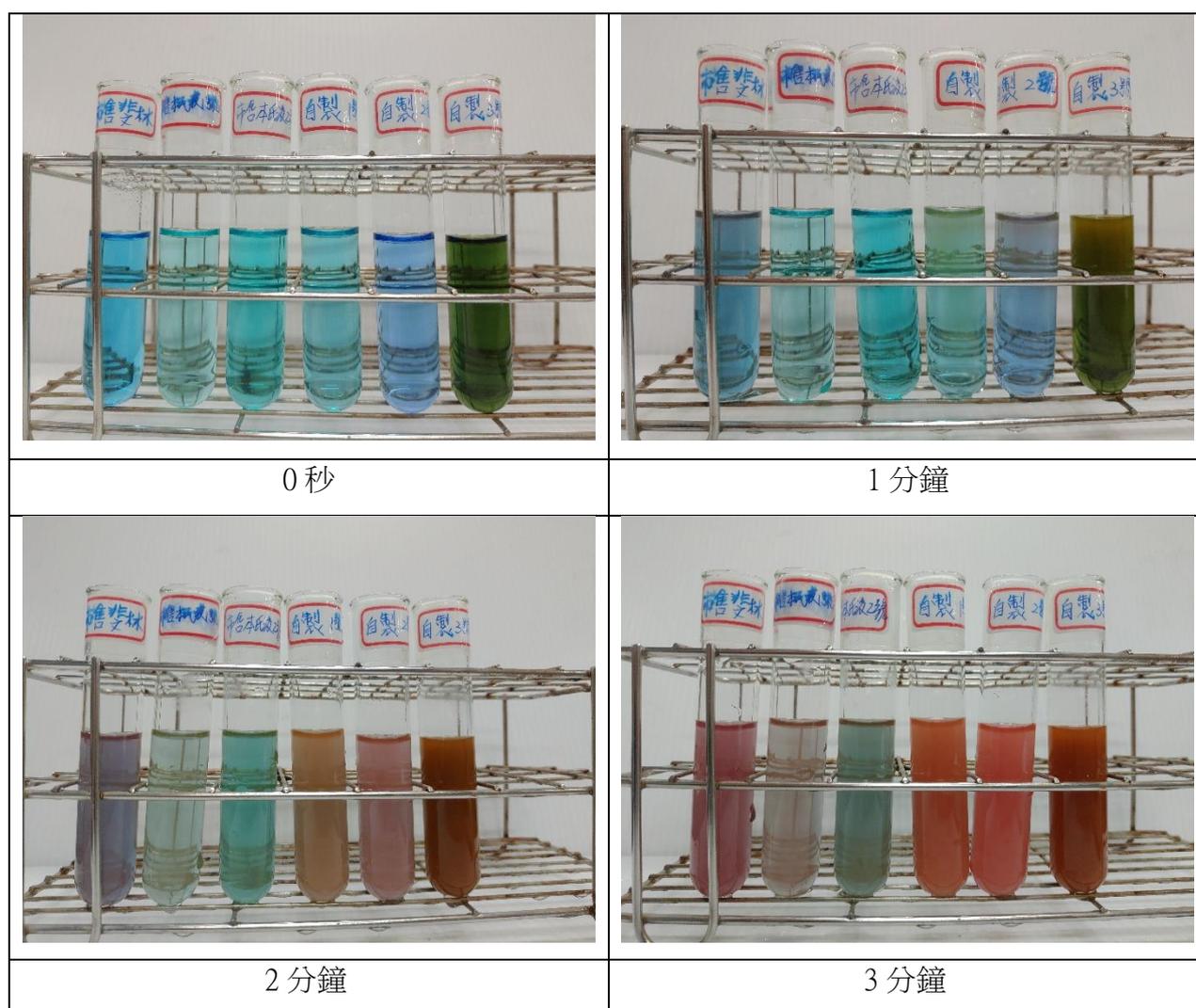
實驗結果：(1) 由加熱前圖片可以發現兩者的藍色深淺很接近。

(2)因為葡萄糖的濃度下降，所以反應速率都比之前的比例慢，但自製的檢測試液仍然比較快變色。

(二)第二種比較

組成 編號	0.10M CuSO ₄	配位基	0.10M 氫氧化鈉	0.050 M 葡萄糖	去離子水
市售斐林試液	1.00 ml A 液	1.00 ml B 液	0	1.00 ml	7.00 ml
市售本氏液 1 號	4.00 ml 本氏液		0	1.00 ml	5.00 ml
市售本氏液 2 號	8.00 ml 本氏液		0	1.00 ml	1.00 ml
自製 1 號	1.00 ml	0.10M 檸檬酸鈉 3.00 ml	5.00 ml	1.00 ml	0
自製 2 號	1.00 ml	1.00 M 乳酸鈉 3.00 ml	5.00 ml	1.00 ml	0
自製 3 號	1.00 ml	1.00 M 柳酸鈉 3.00 ml	5.00 ml	1.00 ml	0

實驗圖片中由左到右分別為：市售斐林試液、市售本氏液 1 號、市售本氏液 2 號、
自製 1 號、自製 2 號、自製 3 號。



我們依前面的實驗結果，決定上頁表格中的比例配置，原因如下：

①糖的選擇：因為在以氨、乙醇胺、乙二胺為配位基時，葡萄糖都是反應最慢的。

因此我們的目標就是比較誰能較快和葡萄糖產生反應。

②配位基選擇：由實驗結果發現以羥基和羧基為配位基時較易形成氧化亞銅。

③鹼性條件：加入較多的氫氧化鈉，反應更快，所以氫氧化鈉加到 5.00 ml

④硫酸銅的濃度：在這邊我們會遇到一個問題，如何確定市售斐林、本氏液中的硫酸銅濃度。因為市售斐林分成 A 液(硫酸銅)和 B 液(酒石酸鉀鈉+氫氧化鈉)因此我們直接拿我們的硫酸銅和 A 液做比色，確定兩者濃度相近。市售本氏液則較麻煩，因為已加入檸檬酸鈉，顏色較硫酸銅還要深，因此我們配了兩個比例，1 個是 4 毫升本氏液(左邊第 2 根試管)，另一個是 8 毫升本氏液(左邊第 3 根試管)，而我們的自製 1 號也是以檸檬酸鈉為配位基，故可以互相比較。由第一張加熱前照片可以發現自製 1 號的顏色深淺介於第 2 根和第 3 根試管之間，因此即可加以比較。

實驗結果：(1) 在加熱 1 分鐘時，自製 1 號、自製 2 號、自製 3 號和市售斐林已發生反應

(2) 在加熱 1 分鐘時，自製 1 號溶液上方 1/3 處已有黃色產生。

(3) 在加熱 1 分鐘時，自製 2 號溶液液面處有紅色產生

(4) 在加熱 1 分鐘時，自製 3 號溶液有 2/3 比例已由綠色溶液產生混濁。

(5) 在加熱 1 分鐘時，市售斐林試液液面處開始變紅

(6) 在加熱 1 分鐘時，市售本氏液 1 號、本氏液 2 號都尚未有變化

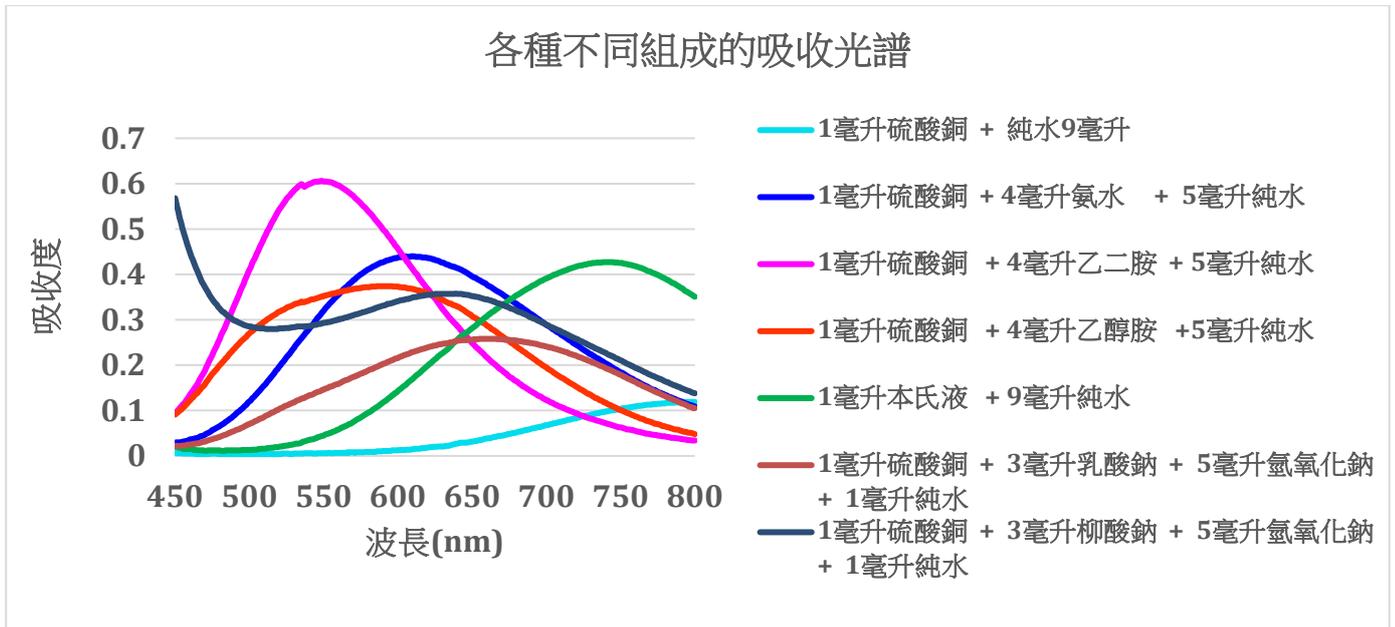
(7) 在加熱 2 分鐘時，自製 1 號、自製 2 號、自製 3 號整隻試管皆已變色。

(8) 在加熱 2 分鐘時，市售斐林整隻試管都有紅色沉澱，但仍可看到藍色溶液

(9) 在加熱 2 分鐘時，市售本氏液 1 號、本氏液 2 號開始產生有黃色物質產生

陸、實驗結論

1、下圖為實驗中用到的 7 種溶液吸收光譜



由圖中可以發現下列現象：

(1)當銅離子接上配位基後，顏色變深，吸收峰會往波長短的方向移動，

配位基的強弱為：乙二胺>乙醇胺>氨水>柳酸鈉>乳酸鈉>檸檬酸鈉。

(2)上述結果從實驗也可發現

葡萄糖與本氏液約 2 分鐘內就可反應，若以氨水為配位基，要加到莫耳數為硫酸銅的 28 倍且在 75°C 加熱約 10 分鐘才可使溶液由藍色變淡。若以乙醇胺或乙二胺為配位基時與葡萄糖則幾乎不反應需要加熱非常久的時間才會有變化。我們認為是因為配位基太強而不易脫落，更難產生氧化亞銅的沉澱。

2、在不加配位基的情況：

(1)若直接加入碳酸鈉做為提供鹼性條件，會直接產生沉澱，無法和還原糖發生反應。

(2)若直接加入氫氧化鈉做為提供鹼性條件，當氫氧化鈉的莫耳數是硫酸銅的 2 倍以上，就能和反應的醣類產生新的化合物並產生反應(蔗糖不反應)

3、以氨水為配位基時：

(1)當氨的莫耳數是硫酸銅的 16~28 倍時，果糖的反應都是最快，且可使溶液變無色，推測是形成 $\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^+$

(2)當氨的莫耳數是硫酸銅的 16、20、24 倍時，葡萄糖、半乳糖、麥芽糖只會產生藍色沉澱。當氨的莫耳數是硫酸銅的 28 倍，葡萄糖、半乳糖、麥芽糖也可形成無色溶液。

(3)蔗糖則都是不反應，呈現的結果就和硫酸銅+氨水的結果相同為黑褐色溶液。

4、以乙醇胺為配位基時：

(1)當乙醇胺的莫耳數為硫酸銅的 16 倍時，只有果糖會發生反應，溶液由藍色→無色→淡黃色→橙色沉澱。

(2)若當乙醇胺的莫耳數為硫酸銅的 20~28 倍時，只有果糖會發生反應，加熱 10 分鐘時，溶液由藍色→無色→淡黃色，並不會產生橙色沉澱。葡萄糖、半乳糖、麥芽糖都要加熱到約 20 分鐘才慢慢有變化。

5、以乙二胺為配位基時：

當乙二胺的莫耳數為硫酸銅的 16~28 倍時，果糖溶液都在 1 分內變色，葡萄糖、半乳糖、麥芽糖的變化都很小，蔗糖則是沒有變化。

6、將本氏液中的碳酸鈉換成氫氧化鈉並依適當的比例混合和葡萄糖的反應比市售本氏液和葡萄糖的反應更快。我們尋找出一個更好的成份比例配置。

7、我們找出以乳酸鈉或柳酸鈉為配位基在適當的條件下，可以比本氏液與斐林試液更快與還原醣產生反應。

柒、未來展望與心得

1、我們其實是在縣科展後才想到模仿檸檬酸鈉與酒石酸鉀鈉，尋找同時有羥基與羧基的配位基，最後找到乳酸鈉與柳酸鈉，經實驗後果然有非常好的反應性。因此我們希望能繼續嘗試不同的配位基，希望找到不用加熱就能反應的配位基與反應條件。

2、設計實驗來探討為何果糖與本氏液的反應比葡萄糖、半乳糖、麥芽糖都還快

捌、參考文獻

- 1.吳瑩潔,宋垠槿,陳盈帆,洪啟銘：全國中小學四十二屆科展,高中化學組 銅氨錯離子
- 2.洪凱倫,洪惟哲,洪浩翔,洪道涵：登『糖』入『氏』-本氏液數位化了, 49 屆科展
- 3.宋紹瑜,吳妍萱：色變-醣的真「本氏」,50 屆科展,高中組 化學科
- 4.吳靖則,王伯丞,楊馥誠,林哲廷：斐疑所思-斐林世紀之謎,50 屆科展,高中組 化學科
- 5.張凱鈞：我把實驗縮小了-葡萄糖檢測實驗,59 屆科展,國中組 化學科
- 6.許芷薰,江岳展,林致宇：色粒分明~探討本氏液與還原醣變色反應, 60 屆科展
- 7.本氏液的配方與反應原理:高中化學 翰林版
- 8.國民中學 自然科學(一上) 第三單元：生物體的營養

【評語】 030210

本計劃是 (1) 以不同的配位基來去取代原先本氏液、斐林試劑中所用的檸檬酸鈉，因此進行銅錯合物的生成，避免硫酸銅被還原糖反應後，比較不會形成氧化亞銅沉澱。(2) 也找出用相似的乳酸鈉和柳酸鈉來當成一個配位基，因此可以更快的生成氧化亞銅的沉澱。(3) 在本次實驗中，所開發出的新式檢驗試劑可以比市售的本氏液或斐林試劑更快地與還原糖反應，因此檢驗的效率可大幅提高。(4) 方法具實用與應用價值，具教材之相關性。實驗設計周全，控因及變因適當，運用科學方法收集數據及分析，實驗數據清晰。

有幾項建議：

(1) 當用光譜作為鑒定工具時，對吸收光譜的訊號的位移，不應只是臆測可能的產物。應可以找出相關的文獻，來去佐證所推斷形成的錯合物。對於結果的說明應能再深入，多考慮其內部的科學原理。

(2) 當與市售試劑作比較時，應將兩者、自製與市售，在相同的條件之下進行效能的比較。應將與結果量化。

(3) 特別是已有自製光譜儀，自製與市售試劑對還原糖的偵測極限為何，可以探討。

(4) 圖表沒有標示號碼，結論宜精簡。

作品海報

壹、研究動機

在一次生物課實驗：唾液對分解澱粉的影響中，我們使用本氏液來檢驗葡萄糖，於是對於本氏液的組成產生疑問。查閱相關文獻後，知道本氏液是由硫酸銅、碳酸鈉、檸檬酸鈉組成，其中碳酸鈉的角色是提供鹼性條件，而檸檬酸鈉是與銅離子形成錯離子來預防銅離子在鹼性條件下產生氫氧化銅沉澱。我們提出以下問題：

- 一、是否必須要由檸檬酸鈉(本氏液)或酒石酸鉀鈉(斐林試液)來保護銅離子？是否能尋找其它的配位基？
- 二、是否必須要由碳酸鈉(本氏液)或氫氧化鈉(斐林試液)來提供鹼性條件？

貳、研究目的

- 一、探討本氏液中檸檬酸鈉與斐林試液中酒石酸鉀鈉存在的必要性。
- 二、探討在75°C時，以NH₃、乙醇胺、乙二胺、乳酸鈉、柳酸鈉等五種配位基替換檸檬酸鈉(或酒石酸鉀鈉)對於硫酸銅與各種醣類反應的影響。
- 三、以分光光度計與自製比色計測量硫酸銅在不同比例氨水的情況下和果糖在75°C及85°C時反應的差異。
- 四、以分光光度計與自製比色計測量硫酸銅在不同比例乙醇胺情況下和果糖在75°C時反應的變化。
- 五、探討以檸檬酸鈉為配位基，將碳酸鈉改成氫氧化鈉對於反應的影響。
- 六、尋找出比市售本氏液、市售斐林試液和葡萄糖更快反應變色的成份配製。

參、研究設備及器材

- 一、實驗藥品：硫酸銅、檸檬酸鈉、碳酸鈉、氫氧化鈉、濃氨水、葡萄糖、果糖、半乳糖、蔗糖、麥芽糖、乙二胺、乙醇胺、雙氧水、乳酸鈉、柳酸鈉
- 二、實驗器材：容量瓶、試管、燒杯、微量注射器、恆溫水浴槽、分光光度計、自製比色計

肆、研究過程與方法

一、研究方法

(一)討論本氏液中檸檬酸鈉與斐林試液中酒石酸鉀鈉存在的必要性

- 1、對照組：75°C時，本氏液和各種糖的反應
- 2、沒有檸檬酸鈉的情況下，CuSO₄ + Na₂CO₃ 與各種糖的反應
- 3、沒有酒石酸鉀鈉的情況下，CuSO₄ + NaOH 與各種糖的反應

(二)探討在75°C時，以氨水、乙醇胺、乙二胺、乳酸鈉、柳酸鈉等五種配位基替換檸檬酸鈉與碳酸鈉(酒石酸鉀鈉與氫氧化鈉)對於硫酸銅與各種醣類反應的影響

- 1、以氨水(NH₃)取代檸檬酸鈉和碳酸鈉
- 2、以乙醇胺(H₂NCH₂CH₂OH)取代檸檬酸鈉和碳酸鈉
- 3、以乙二胺(H₂NCH₂CH₂NH₂)取代檸檬酸鈉和碳酸鈉
- 4、以乳酸鈉(CH₃CH(OH)COONa)和氫氧化鈉取代檸檬酸鈉和碳酸鈉
- 5、以柳酸鈉(o-C₆H₄(OH)COONa)和氫氧化鈉取代檸檬酸鈉和碳酸鈉

(三)以分光光度計與自製比色計測量硫酸銅在不同比例氨水的情況下和果糖在75°C及85°C時反應的變化

- 1、75°C 2、85°C

(四)以分光光度計與自製比色計測量硫酸銅在不同比例乙醇胺的情況下和果糖在75°C時反應的變化

- 1、配製12隻試管溶液，溶液的組成為 0.10M的硫酸銅1.00 ml + 0.40M的乙醇胺4.00 ml + 0.050M的果糖2.00 ml + 去離子水3.00 ml
- 2、將上述比例中的乙醇胺分別改成 5.00ml(去離子水2.00ml)、6.00ml(去離子水1.00ml)、7.00ml(去離子水0ml)，然後以相同實驗步驟操作。

(五)探討以檸檬酸鈉為配位基，將碳酸鈉改成氫氧化鈉對於反應的影響

以下方表格的比例配置4種溶液:

組成 編號	0.10M CuSO ₄	0.10 M 檸檬酸鈉	0.050M 葡萄糖	0.10M 氫氧化鈉	去離子水
1	1.00 ml	3.00 ml	2.00ml	1.00 ml	3.00 ml
2	1.00 ml	3.00 ml	2.00ml	2.00 ml	2.00 ml
3	1.00 ml	3.00 ml	2.00ml	3.00 ml	1.00 ml
4	1.00 ml	3.00 ml	2.00ml	4.00 ml	0 ml

(六)尋找出比市售本氏液和葡萄糖反應時更快變色的成分並配製

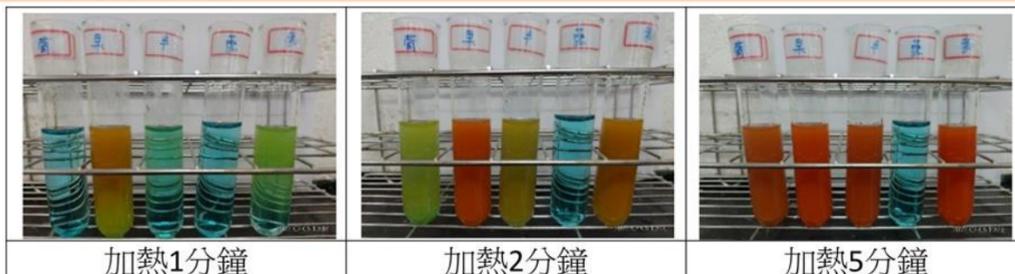
名稱	成份比例
自製1號	0.10M 硫酸銅 1.00 ml + 0.10M 檸檬酸鈉 3.00 ml + 0.10M 氫氧化鈉 5.00 ml
自製2號	0.10M 硫酸銅 1.00 ml + 1.00M 乳酸鈉 3.00 ml + 0.10M 氫氧化鈉 5.00 ml
自製3號	0.10M 硫酸銅 1.00 ml + 1.00M 柳酸鈉 3.00 ml + 0.10M 氫氧化鈉 5.00 ml

伍、研究結果

一、討論本氏液中檸檬酸鈉與斐林試液中酒石酸鉀鈉存在的必要性

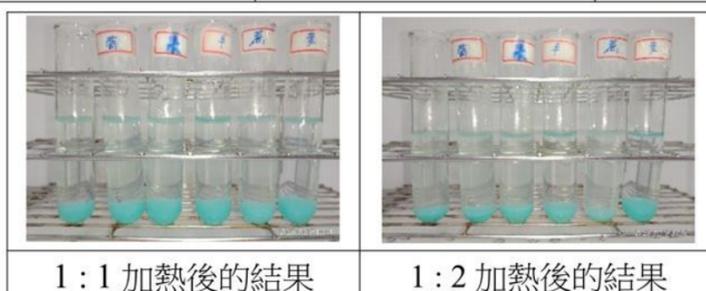
(一)對照組：75°C時，本氏液和各種糖的反應

實驗結果：相同條件下，各種糖和本氏液反應的速率快慢：
果糖 > 麥芽糖 > 半乳糖 > 葡萄糖，蔗糖不反應。



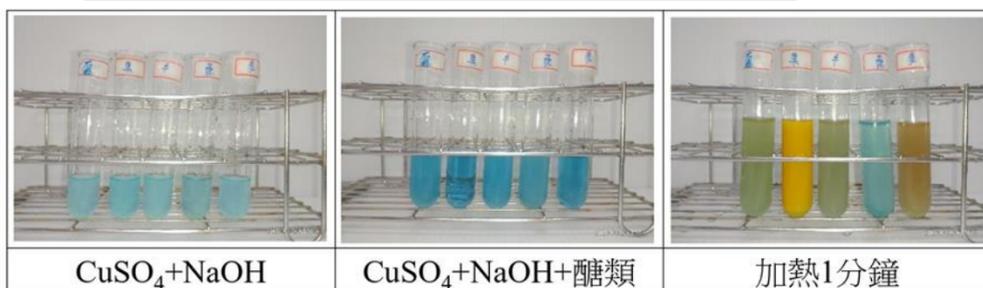
(二)沒有檸檬酸鈉時，CuSO₄ + Na₂CO₃ 與各種糖的反應

實驗結果：在沒有檸檬酸鈉的情況下，硫酸銅和碳酸鈉以莫耳數 1 : 1 或 1 : 2 的比例混合都會產生沉澱，和還原醣沒有反應。



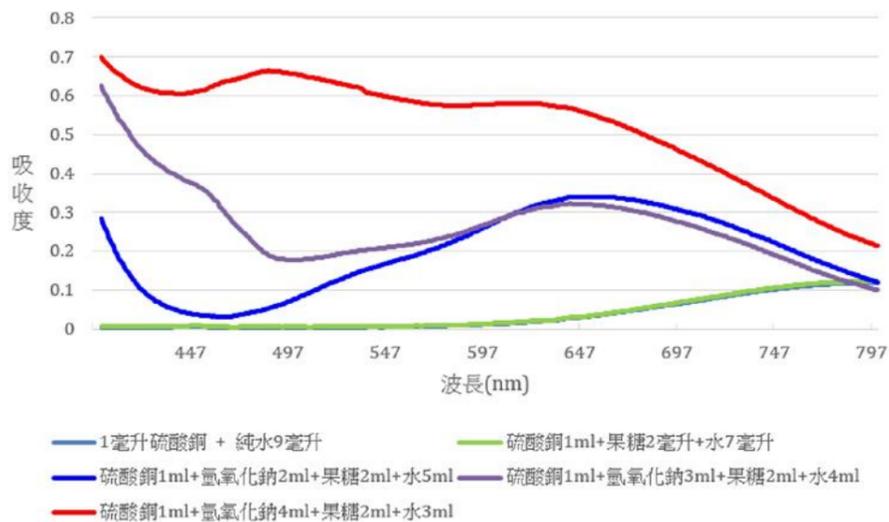
(三)沒有酒石酸鉀鈉時，CuSO₄ + NaOH 與各種糖的反應

- 1、由右圖顯示，硫酸銅加入氫氧化鈉會產生藍白色沉澱，若繼續加入糖發現沉澱變少，甚至被溶掉。
- 2、葡萄糖、果糖、半乳糖、麥芽糖都可產生氧化亞銅沉澱，其中果糖溶液最快變色。



我們為了驗證實驗結果與推論，我們利用分光光度計測量溶液的光譜

硫酸銅與果糖混合不同比例氫氧化鈉的光譜



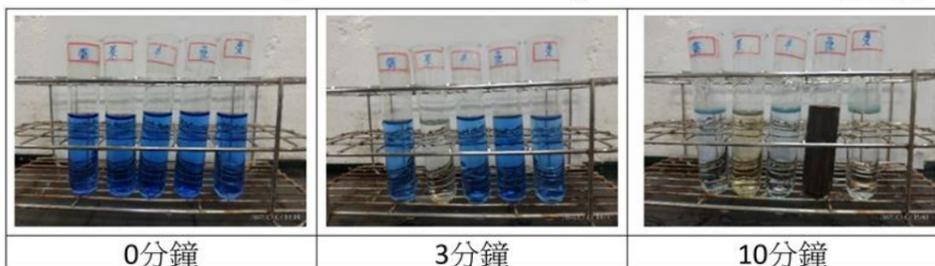
由實驗照片與分光光度計光譜可以發現

- 1、硫酸銅水溶液和硫酸銅+果糖水溶液的光譜幾乎重疊，代表在硫酸銅和果糖莫耳數1：1的情況下並沒有產生鍵結。
- 2、在硫酸銅和果糖莫耳數1：1的情況下，加入同莫耳數的氫氧化鈉會產生沉澱且不會產生氧化亞銅。
- 3、在硫酸銅和果糖莫耳數1：1的情況下，若加入氫氧化鈉莫耳數為硫酸銅2倍以上則在647nm附近有吸收峰，代表此時銅離子有鍵結上某些配位基。

二、探討在75°C時，以氨水、乙醇胺、乙二胺、乳酸鈉、柳酸鈉等五種配位基替換檸檬酸鈉對於硫酸銅與各種醣類反應的影響

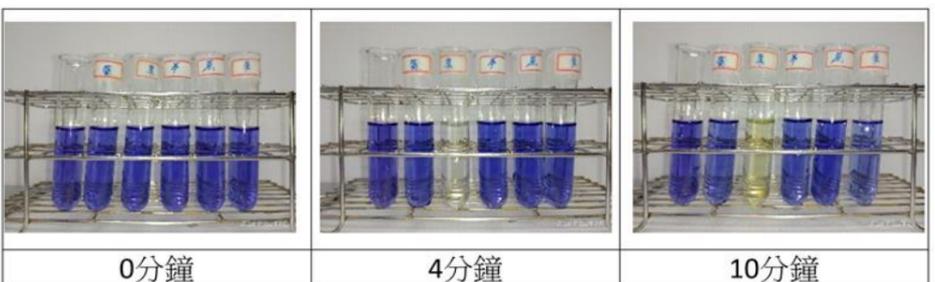
(一) 以氨水取代檸檬酸鈉和碳酸鈉

0.10M、1.00 ml CuSO₄ + 0.40M、7.00 ml NH₃ + 0.050M、2.00 ml 各種糖



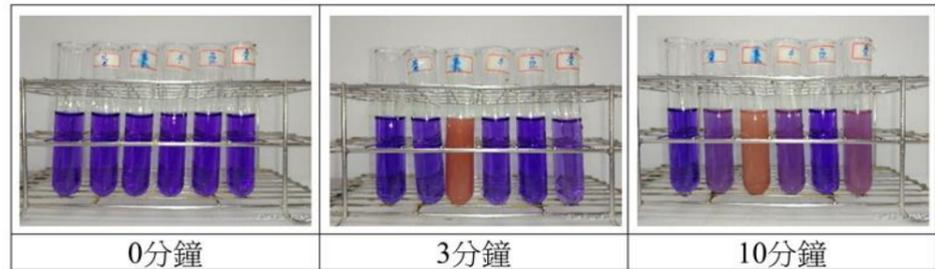
(二) 以乙醇胺取代檸檬酸鈉和碳酸鈉

0.10M、1.00 ml CuSO₄ + 0.40M、7.00 ml 乙醇胺 + 0.050M、2.00 ml 各種糖



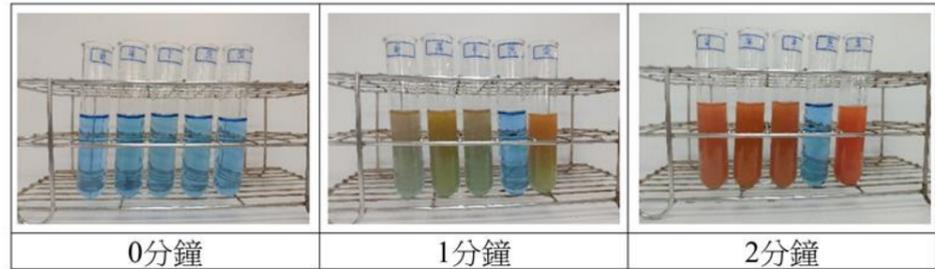
(三) 以乙二胺取代檸檬酸鈉和碳酸鈉

0.10M、1.00 ml CuSO₄ + 0.40M、7.00 ml 乙二胺 + 0.050M、2.00ml 各種糖



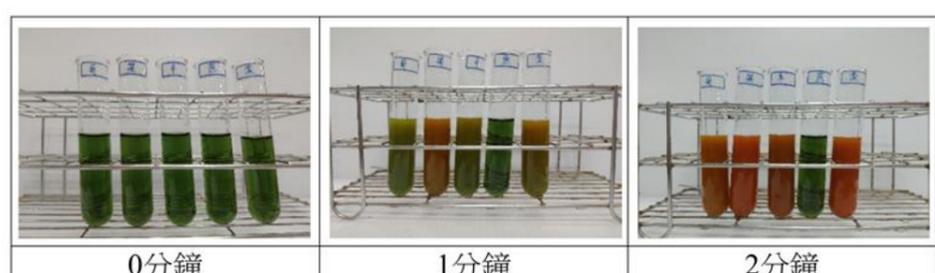
(四) 以乳酸鈉和氫氧化鈉取代檸檬酸鈉和碳酸鈉

0.10M、1.00 ml CuSO₄ + 1.00M、3.00 ml 乳酸鈉 + 0.050M、1.00 ml 各種糖 + 0.10 M、5.00 ml 氫氧化鈉



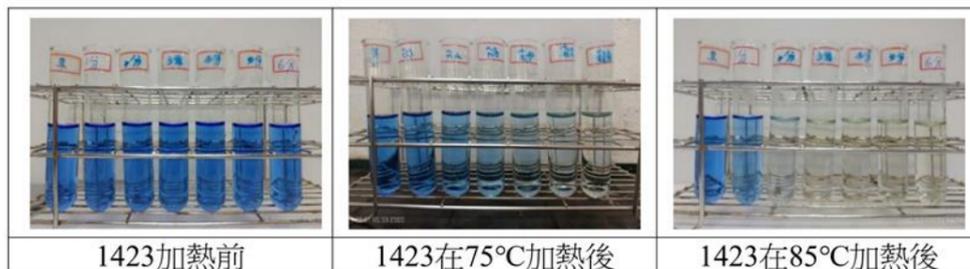
(五) 以柳酸鈉及氫氧化鈉取代檸檬酸鈉和碳酸鈉

0.10M、1.00 ml CuSO₄ + 1.00M、3.00 ml 柳酸鈉 + 0.050M、1.00 ml 各種糖 + 0.10 M、5.00 ml 氫氧化鈉

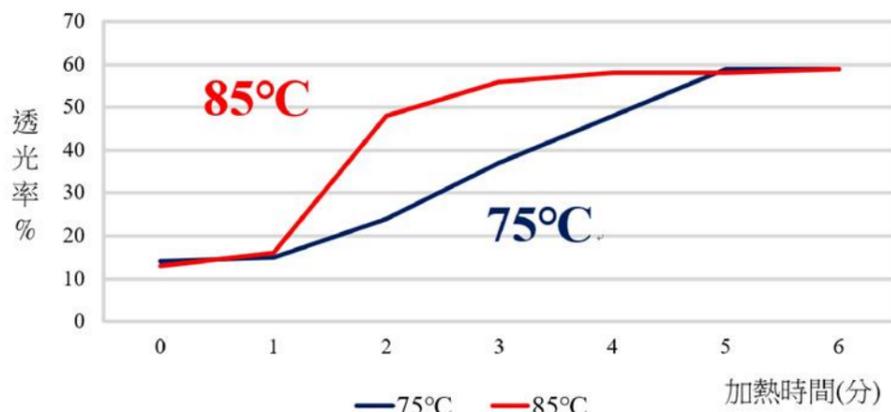


三、以自製比色計與分光光度計測量硫酸銅在不同比例氨水的情況下和果糖在75°C、85°C時反應的變化

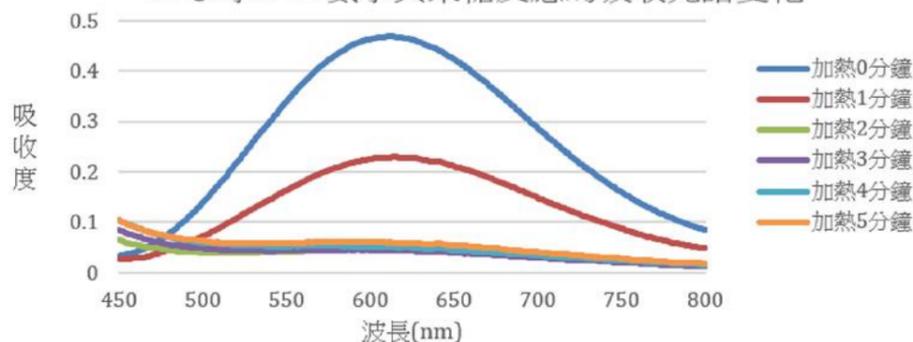
以 0.10M 的硫酸銅1.00 ml + 0.40M 的氨水 4.00 ml + 0.050M 的果糖 2.00 ml + 去離子水3.00 ml在75°C、85°C的恆溫水浴槽中隨加熱時間不同的變化如下圖，左到右，加熱時間分別為0分鐘、1分鐘、2分鐘、3分鐘、4分鐘、5分鐘、6分鐘。將上述的氨水改成 5.00ml、6.00ml、7.00ml，並以相同實驗步驟進行。下圖分別為氨水4.00ml 在75°C、85°C隨加熱時間不同的透光率變化。



75°C、85°C時4ml氨水與果糖反應的透光率變化

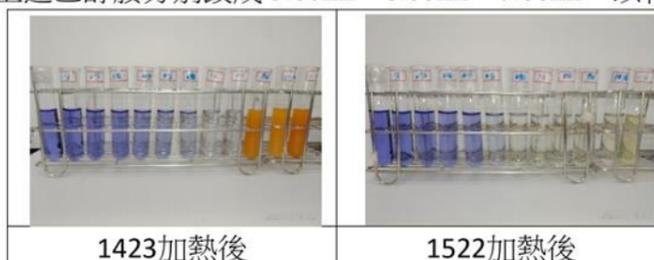


85°C時1720氨水與果糖反應的吸收光譜變化



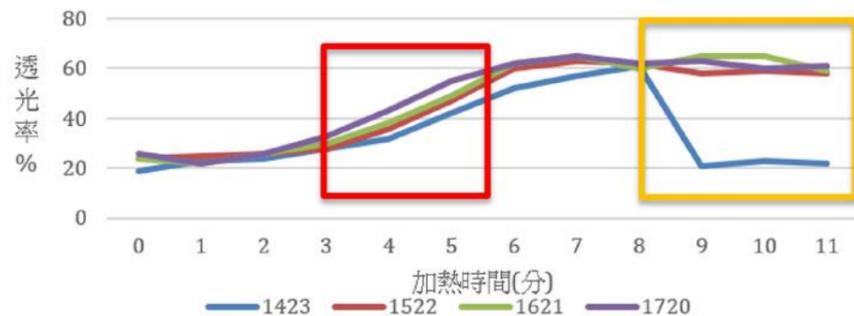
四、以自製比色計與分光光度計測量硫酸銅在不同比例乙醇胺的情況下和果糖在75°C時反應的變化

- 1、以 0.10M的硫酸銅1.00 ml + 0.40M的乙醇胺 4.00ml + 0.050M 的果糖 2.00ml + 純水3.00ml在75°C的恆溫水浴槽中隨加熱時間不同的變化。由左到右，加熱時間分別為0~11分。
- 2、將上述乙醇胺分別改成 5.00ml、6.00ml、7.00ml，以相同實驗步驟進行。



- (1)由紅色框的地方可以發現，隨乙醇胺的比例變大，藍色溶液變無色的速率更快
- (2)由黃色框的地方可以發現，若乙醇胺的莫耳數是硫酸銅的4倍，在溶液由藍色變成無色後若持續加熱仍會產生氧化亞銅的沉澱。

不同比例乙醇胺與果糖反應的透光率



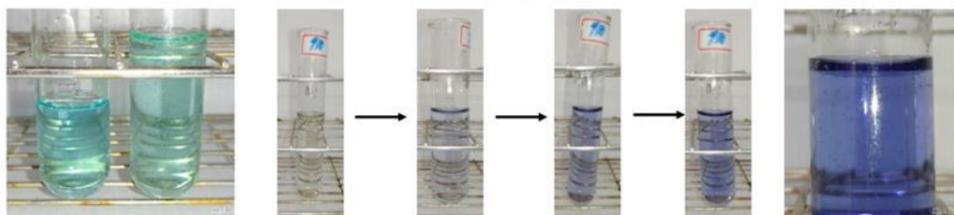
3、為了驗證溶液變成無色時有Cu⁺的存在，因此我們加入H₂O₂

(1)對照組：硫酸銅 + H₂O₂

現象：只有看到產生氣泡，推測Cu²⁺為催化劑，並沒有顏色的變化。

(2)檢驗：我們以0.10M的硫酸銅1.00ml+0.40M的乙醇胺4.00ml+

0.050M的果糖2.00ml+去離子水3.00ml加熱到變無色的溶液，慢慢加入過氧化氫，發現又可以變回藍色，而且一開始產生藍色時，並沒有氣泡的產生，但加到一定數量的H₂O₂後可發現產生氣泡。



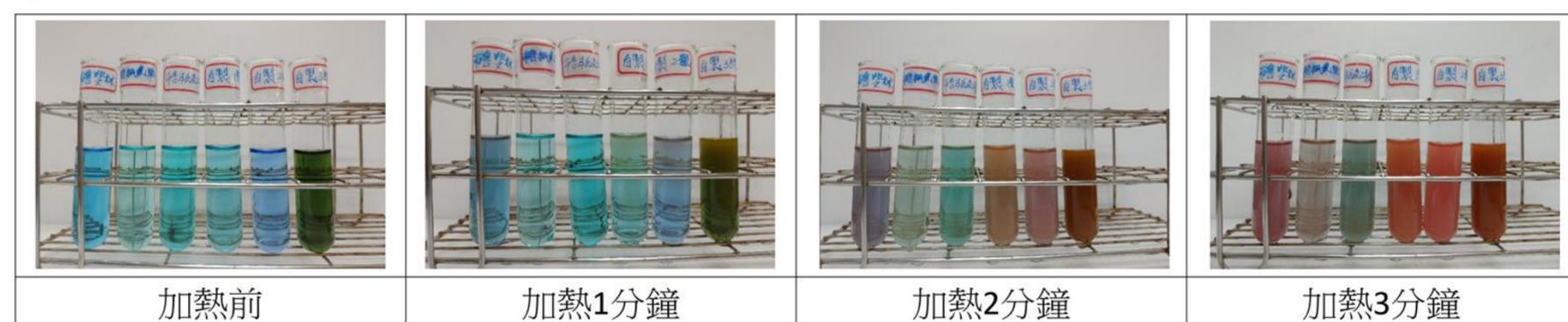
五、探討以檸檬酸鈉為配位基，將碳酸鈉改成氫氧化鈉對於反應的影響

0.10M 的硫酸銅 1.00 ml + 0.10M 的檸檬酸鈉 3.00ml + 0.050M 的葡萄糖 2.00ml + 0.10M 不同比例的氫氧化鈉+去離子水 (由左到右分別為1.00 ml、2.00 ml、3.00 ml、4.00 ml的氫氧化鈉)



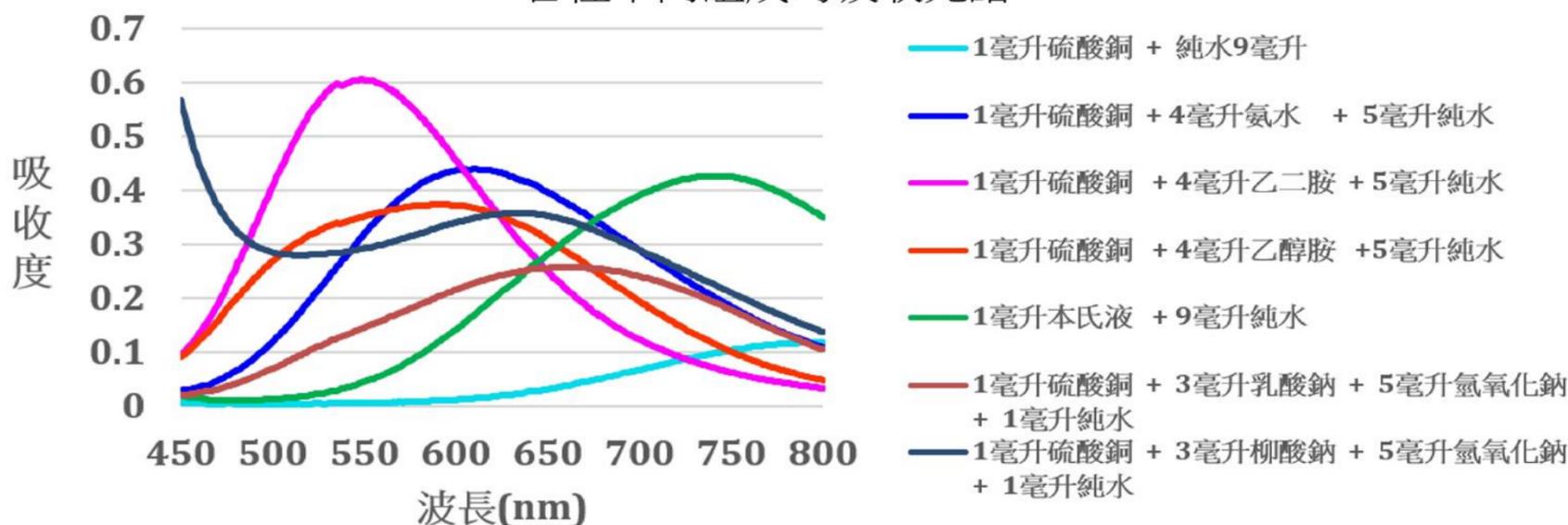
六、尋找出比市售本氏液和葡萄糖反應時更快變色的成份配製

組成	0.10M CuSO ₄	配位基	0.10M 氫氧化鈉	0.050M 葡萄糖	去離子水
市售斐林試液	1.00 ml A液	1.00 ml B液	0	1.00 ml	7.00 ml
市售本氏液1號	4.00 ml本氏液		0	1.00 ml	5.00 ml
市售本氏液2號	8.00 ml本氏液		0	1.00 ml	1.00 ml
自製1號	1.00 ml	0.10M檸檬酸鈉3.00 ml	5.00 ml	1.00 ml	0
自製2號	1.00 ml	1.00 M乳酸鈉3.00 ml	5.00 ml	1.00 ml	0
自製3號	1.00 ml	1.00 M柳酸鈉3.00 ml	5.00 ml	1.00 ml	0



陸、討論與結論

各種不同組成的吸收光譜



一、上圖為實驗中5種溶液的吸收光譜，由圖中可以發現下列現象：

1、當銅離子接上配位基後，顏色由原本的藍色變深，吸收峰會往波長短的方向移動，我們由顏色的變化判斷出配位基的強弱為：乙二胺>乙醇胺>氨水>柳酸鈉>乳酸鈉>檸檬酸鈉

2、上述結果從實驗也可發現：

葡萄糖與本氏液約2分鐘內就可反應，若以氨水為配位基，要加到莫耳數為硫酸銅的28倍且在75°C加熱約10分鐘才可使溶液由藍色變淡。若以乙醇胺或乙二胺為配位基時與葡萄糖則幾乎不反應，需要加熱非常久的時間才會有變化。我們認為是因為配位基和銅離子的結合力較強而不易脫落，難以產生亞銅離子而進一步形成氧化亞銅的沉澱。

二、在不加配位基的情況：

1、若直接加入碳酸鈉做為提供鹼性條件，會直接產生沉澱，無法和還原糖發生反應。

2、若直接加入氫氧化鈉做為提供鹼性條件，當氫氧化鈉的莫耳數是硫酸銅的2倍以上，就能和反應的醣類產生新的化合物並產生反應(蔗糖不反應)

三、以氨水為配位基時：

1、當氨的莫耳數是硫酸銅的16~28倍時，果糖的反應都是最快，且可使溶液變無色，推測是形成Cu(NH₃)₂⁺

2、當氨的莫耳數是硫酸銅的16、20、24倍時，葡萄糖、半乳糖、麥芽糖只會產生藍色沉澱。當氨的莫耳數是硫酸銅的28倍，葡萄糖、半乳糖、麥芽糖也可形成無色溶液。

3、蔗糖則都是不反應，呈現的結果就和硫酸銅+氨水的結果相同為黑褐色溶液。

四、以乙醇胺為配位基時：

1、當乙醇胺的莫耳數為硫酸銅的16倍時，只有果糖會發生反應，溶液由藍色→無色→淡黃色→橙色沉澱。

2、若當乙醇胺的莫耳數為硫酸銅的20~28倍時，只有果糖會發生反應，加熱10分鐘時，溶液由藍色→無色→淡黃色，並不會產生橙色沉澱。

3、葡萄糖、半乳糖、麥芽糖都要加熱到約20分鐘才慢慢有變化。

五、以乙二胺為配位基時：

當乙二胺的莫耳數為硫酸銅的16~28倍時，果糖溶液都在1分內變色，葡萄糖、半乳糖、麥芽糖的變化都很小，蔗糖則是沒有變化。

六、我們自製的三種檢測試液都可以比市售本氏液及市售斐林試液對於還原糖的檢驗有更快的反應速率。

以下是三種檢測試液的成分：

自製1號：0.10M 硫酸銅 1.00 ml + 0.10M 檸檬酸鈉 3.00 ml + 0.10M 氫氧化鈉 5.00 ml

自製2號：0.10M 硫酸銅 1.00 ml + 1.00M 乳酸鈉 3.00 ml + 0.10M 氫氧化鈉 5.00 ml

自製3號：0.10M 硫酸銅 1.00 ml + 1.00M 柳酸鈉 3.00 ml + 0.10M 氫氧化鈉 5.00 ml