

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

030208

還原醣的彩虹—探討醣與鹼之應用

學校名稱：新北市立江翠國民中學

作者： 國二 陳柏廷 國二 曾羽澤 國二 邱祥庭	指導老師： 胡美月
---	------------------

關鍵詞：還原醣、鹼性溶液、氫氧化鈉

摘要

藍瓶實驗是國中探討氧化還原章節時常用來演示的實驗，將氫氧化鈉和葡萄糖溶進水中，滴入一滴亞甲藍液，放置一段時間，溶液便會從藍色變成澄清，如果搖晃數次，溶液又會變回澄清。一次偶然的機會，我們忘了加亞甲藍液，意外發現還原糖在鹼性溶液中會從透明依序變成黃色、橙色、紅色，甚至棕色。於是我們將以上兩實驗結合，試圖找出變色原因。結果顯示反應速率跟反應物中糖、鹼的濃度與溫度有正向的趨勢關係；不同陽離子的鹼亦對反應速率產生影響。另各種糖的 β 態存在比例愈大者反應速率越大，且反應的溶劑系統極性大小亦會影響糖的 β 態存在比例而使速率產生差異。再者不再反應的藍瓶可以利用加酸再加鹼重生。我們更進而設計了一個利用氫氧化鈉檢測還原糖的方法來取代本氏液，不但不會對環境造成污染、時間快速、檢測濃度又比本氏液低且價錢也非常便宜。

壹、研究動機

在理化老師上到八年級自然與生活科技氧化還原單元時利用藍瓶實驗演示氧化還原反應，藍瓶實驗是將葡萄糖和氫氧化鈉溶在水裡，再滴入一滴亞甲藍液，並搖晃使溶液均勻。一開始溶液為藍色，但靜置一段時間後會變澄清，搖晃數次後又變回藍色。下課時想跟老師借來玩玩，卻發現溶液無法再變色了！之後有一次在實驗室想自己配看看，但忘了要加亞甲藍液，又堅信它會變色，所以拚了命地攪拌，結果沒變藍色，溶液反而漸漸由透明無色變黃色、橘色，甚至在超高濃度下變成深褐色。同學、老師甚至台大及師大教授均在第一時間都不了解這溶液發生了何種反應!!!這個不為人知的變化便成了我們的科展研究內容。

貳、研究目的

一、醣類與鹼反應的變因探討

(一) 醣

1. 檢驗能使氫氧化鈉變色的糖
2. 不同濃度的糖與與鹼反應的速率差異
3. 不同的糖和反應速率的差異

(二) 鹼

1. 檢驗能使葡萄糖變色的鹼
2. 不同濃度的氫氧化鈉與糖反應的速率關係
3. 不同的陽離子的鹼和糖反應速率的關係

(三) 其它

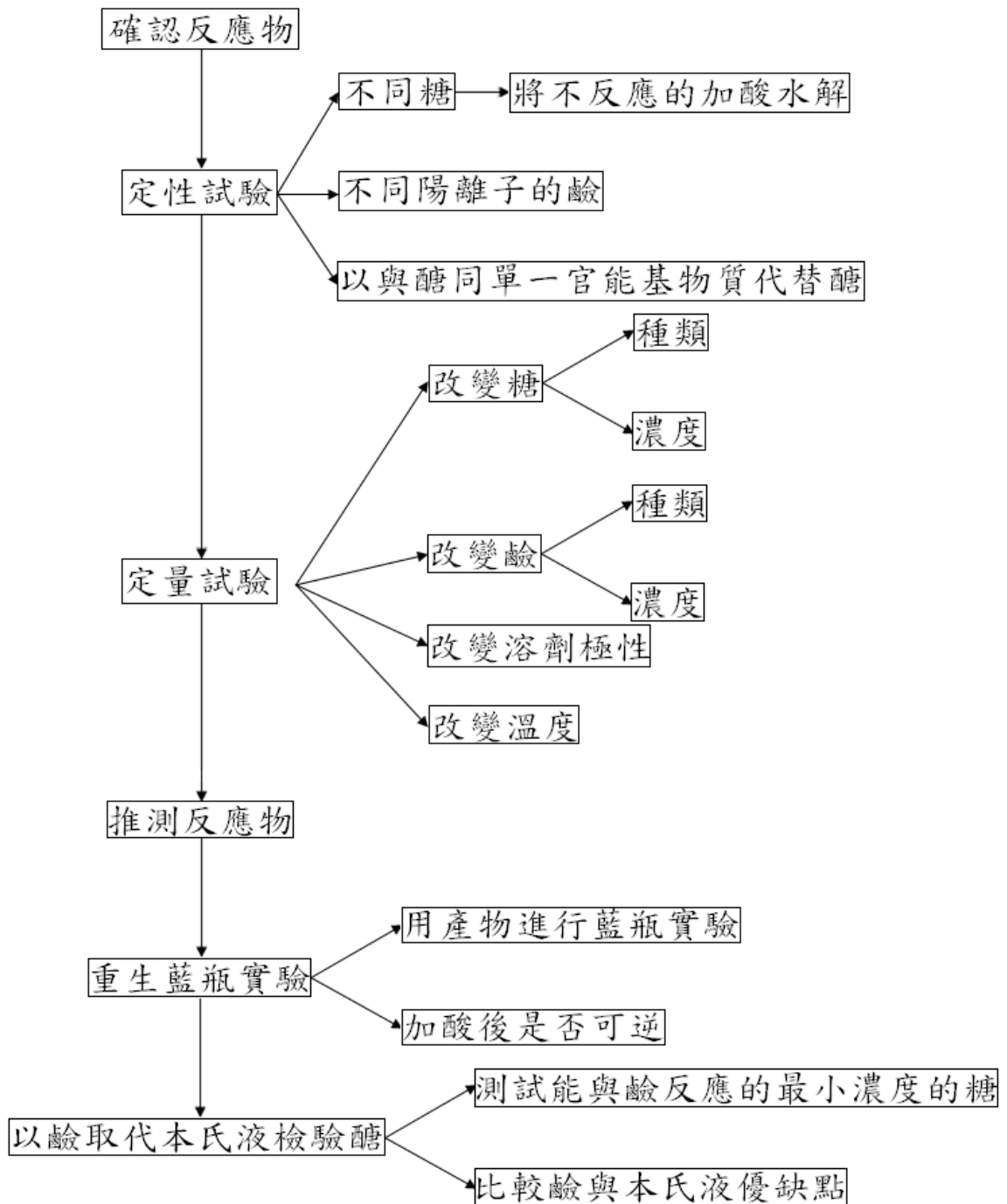
1. 不同溫度對反應速率的影響
2. 溶劑極性的不同對反應速率的影響

- 二、推測反應物為何
- 三、重生不變色的藍瓶反應
 - (一)醣與鹼反應後的產物可進行藍瓶反應嗎?
 - (二)醣與鹼的變色反應在加酸後可逆嗎?
- 四、醣與氫氧化鈉反應的應用

參、研究設備及器材

- 一、燒杯
- 二、試管
- 三、酒精燈
- 四、塑膠刮勺
- 五、氫氧化鈉
- 六、氫氧化鉀
- 七、氫氧化鈣
- 八、葡萄糖
- 九、果糖
- 十、阿拉伯膠
- 十一、 麥芽糖
- 十二、 蔗糖
- 十三、 海藻糖
- 十四、 甲醛
- 十五、 丙酮
- 十六、 乙醇
- 十七、 甘油
- 十八、 亞甲藍液
- 十九、 本氏液
- 二十、 可見光、紫外光分光計

肆、研究過程或方法



首先將反應需要的藥品配置妥當：

10%、15%、20%、25%、1M、0.1M、0.01M、0.001M的葡萄糖水溶液。

20%的果糖水溶液、阿拉伯膠水溶液、麥芽糖水溶液、蔗糖水溶液、海藻糖水溶液、甲醛水溶液、丙酮水溶液、乙醇水溶液、甘油水溶液

1M、2M、4M 的氫氧化鈉水溶液。

4M 的氫氧化鉀水溶液。

氫氧化鈣飽和水溶液(因為 4M 的氫氧化鈣溶質無法溶解完全)。

體積 1：0 的水比乙醇作為溶劑的 3M 氫氧化鈉

體積 1：1 的水比乙醇作為溶劑的 3M 氫氧化鈉

體積 1：2 的水比乙醇作為溶劑的 3M 氫氧化鈉

體積 1：3 的水比乙醇作為溶劑的 3M 氫氧化鈉

因發現葡萄糖會與氫氧化鈉有變色反應時二溶液的水均是取自自來水配製的，故首先要先檢驗變色原因並非氫氧化鈉和葡萄糖以外的物質

一、檢驗變色原因並非氫氧化鈉和葡萄糖以外的物質

(一)準備試管、橡皮塞，以清水洗乾淨並以蒸餾水再沖過後乾燥

(二)為避免被金屬刮勺上的金屬影響實驗結果，我們改用塑膠湯匙取 1g 的 NaOH 和 1g 的葡萄糖放入試管裡

(三)將煮沸過隔離空氣冷卻的蒸餾水加到試管裡至幾乎全滿(不全滿的原因是因為還要塞軟木塞)

(四)用軟木塞完全密封(隔絕空氣)，搖晃試管使反應物均勻溶解

(五)觀察試管內物質的顏色變化

我們又想，是鹼中的陽離子造成顏色的變化嗎？所以又進行了下面實驗

二、不同陽離子的鹼與葡萄糖發生的反應

(一)將 2ml 的 20%葡萄糖水溶液分別加到 1~3 號試管裡。

(二)在 1 號試管內加入 2ml 的 4M 氫氧化鈉水溶液。

(三)在 2 號試管內加入 2ml 的 4M 氫氧化鉀水溶液。

(四)在 3 號試管內加入 2ml 的飽和氫氧化鈣水溶液。

(五)觀察三個試管的顏色變化。

眾多醣類中只有葡萄糖會與鹼反應嗎？

三、檢驗能使氫氧化鈉變色的糖

(一)將 2ml 的 4M 氫氧化鈉水溶液分別加到 1~6 號試管裡。

(二)在 1 號試管內加入 2ml 的 20%阿拉伯膠水溶液。

(三)在 2 號試管內加入 2ml 的 20%葡萄糖水溶液。

(四)在 3 號試管內加入 2ml 的 20%果糖水溶液。

(五)在 4 號試管內加入 2ml 的 20%麥芽糖水溶液。

- (六)在 5 號試管內加入 2ml 的 20%蔗糖水溶液。
- (七)在 6 號試管內加入 2ml 的 20%海藻糖水溶液。
- (八)長時間觀察它們的顏色變化
- (九)1 個小時後，將無法用肉眼察覺變色的試管拿到酒精燈上隔水加熱至 60°C，再觀察其顏色變化

在步驟三中我們發現蔗糖及海藻糖均(非還原糖)與氫氧化鈉就連加熱都沒有反應，但同為雙糖的麥芽糖(還原糖)卻有反應，這是否與還原糖的還原能力相關？所以我們假設如果加酸水解了雙糖，或許能夠得到還原性的單糖而使反應發生。故現以此二還原糖來測試以下內容：

四、將不反應的雙糖利用酸水解後是否能與氫氧化鈉發生變色反應

- (一)分別將 3 公克的蔗糖及海藻糖加入 10ml 的 3M 鹽酸，並加熱至 70°C，以進行水解。
- (二)冷卻後加入 15ml 的 4M 的氫氧化鈉水溶液，使溶液由酸性轉成鹼性。
- (三)攪拌並觀察其結果

確定糖與鹼的定性測試後，我們準備開始著手定量的測試。因產物及反應機構是未知的，要如何測得物質定量的數據？經與老師討論，反應物雖為無色但產物中含有有色物質，可以利用可見分光計來測出有色產物濃度變化。我們遂將步驟二中葡萄糖與氫氧化鈉反應後的物質以純水做為空白組測試其可見光吸收光譜，發現在 318nm 及 404nm 處皆有反應愈久，溶液顏色愈深其吸收值愈大的情形。但只有 404nm 是屬可見光範圍，對於我們想探討的有色物質較具代表性，故以後我們都以此波長來偵測反應的有色產物。

因只有葡萄糖及果糖在常溫度下短時間內會與氫氧化鈉有明顯變色，所以我們先以這二種糖來進行下面實驗：

五、不同濃度的糖與同濃度的氫氧化鈉反應的速率關係

- (一)在分光計 cell 裡加入 2ml 的 4M 氫氧化鈉水溶液和 2ml 的 10%葡萄糖水溶液，混合均勻。反應開始後，以分光計每隔 1 分鐘測試其在 404nm 的吸收值持續 15 分鐘並紀錄下來。
- (二)將步驟(一)中的 10%葡萄糖水溶液依序改為 15%、20%、及 25%葡萄糖水溶液，重覆步驟(一)
- (三)將步驟(一)(二)中的葡萄糖改為果糖水溶液，重覆步驟(一)、(二)

因葡萄糖的反應太慢，以致儀器在 15 分鐘的前半時間內測不出有色物質，所以我們以反應較快的果糖再來進行其他變因的探討。

六、不同濃度的氫氧化鈉與同濃度的糖反應的速率關係

- (一)在分光計 cell 裡加入 2ml 的 1M 氫氧化鈉水溶液和 2ml 的 20%果糖水溶液，混合均勻。反應開始後，以分光計每隔 1 分鐘測試其在 404nm

的吸收值並紀錄下來。

(二)將步驟(一)1M的氫氧化鈉改成 2M 及 4M 氫氧化鈉水溶液重覆步驟(一)。

步驟二中，不同種類的鹼均與葡萄糖反應，故就鹼的種類，我們做了

七、不同陽離子的鹼和反應速率的關係

(一)在分光計 cell 裡加入 2ml 的 4M 氫氧化鈉水溶液和 2ml 的 20%葡萄糖水溶液，混合均勻。反應開始後，以分光計每隔 1 分鐘測試其在 404nm 的吸收值並紀錄下來。

(二)將步驟(一)氫氧化鈉水溶液改成氫氧化鉀水溶液重覆步驟(一)。學校另有 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，但因溶解度不高，無法配成 4M 溶液，暫不討論。

步驟三中，我們得知有多種糖可與鹼反應且溫度差異會使變色時間不同，故就糖種類及溫度，我們又做了以下內容：

八、不同種類的糖和同濃度的氫氧化鈉反應速率的關係

(一)在分光計 cell 裡加入 2ml 的 4M 氫氧化鈉水溶液和 2ml 的 20%葡萄糖水溶液，混合均勻。反應開始後，以分光計每隔 1 分鐘測試其在 404nm 的吸收值並紀錄下來。

(二)將步驟(一)中的葡萄糖改成果糖及麥芽糖重覆步驟(一)

九、不同溫度對反應速率的影響

(一)在 1~3 號試管裡各加入 2ml 的 1M 的氫氧化鈉和 2ml 的 20%果糖水溶液。

(二)準備 1000ml 的 50°C 的水並置入一支溫度計，將 1 號試管放在裡面。

(三)準備 1000ml 的 60°C 的水並置入一支溫度計，將 2 號試管放在裡面。

(四)3 號試管則不隔水加熱在室溫下(17°C)進行。

(五)二支試管內容物以分光計每隔 2 分鐘測試其在 404nm 的吸收值並紀錄下來。其間並以熱水不停置換冷掉的水使燒杯內的水維持在原設定溫度 ± 3 °C 的範圍內。

之後我們又想反應物中，除了溶質外尚有溶劑系統，改變溶劑的屬性，如極性會不會影響反應速率呢？為此，我們必須找兩種會互溶，極性程度又不一的溶劑，而符合這項條件的其中一組物質是水和乙醇，這是實驗室是很常備的溶劑，所以我們便拿它們來做實驗。

十、溶劑極性的不同對反應速率的影響

(一)分別以水與乙醇不同體積比例(水比乙醇 1:0、1:1、1:2、1:3)做為不同極性的溶劑，配製成 3M 氫氧化鈉。(因 1:4 的溶劑無法達到 3M 氫氧化鈉的溶解量，故不再實驗。)

(二)分別在四個分光計 cell 裡加入 2ml 的各種不同極性的 3M 氫氧化鈉溶液和 2ml 10%的果糖水溶液，混合均勻。反應開始後，以分光計每隔 1 分

鐘測試其在 404nm 的吸收值並紀錄下來。

- (三)將步驟(二)10%果糖水溶液改成 10%葡萄糖水溶液及 20%葡萄糖水溶液重覆步驟(二)。

醣類結構有醛基或酮基，另含了大量的 OH 基，我們猜測會不會是醣類中的醛基、酮基或是醇基造成顏色的變化？於是我們拿實驗室可得的甲醛、丙酮、乙醇及甘油(丙三醇)分別來代替醛基、酮基、醇基及多醇基來與氫氧化鈉反應。

十一、 使用醣類中所含的官能基藥品是否會同樣發生反應

- (一)取 2ml 的 20% 甲醛水溶液放入 1 號試管裡，並加入 2ml 的 4M 的氫氧化鈉水溶液。
- (二)取 2ml 的 20% 丙酮水溶液放入 2 號試管裡，並加入 2ml 的 4M 的氫氧化鈉水溶液。
- (三)取 2ml 的 20% 乙醇水溶液放入 3 號試管裡，並加入 2ml 的 4M 的氫氧化鈉水溶液。
- (四)取 2ml 的 20% 甘油水溶液放入 4 號試管裡，並加入 2ml 的 4M 的氫氧化鈉水溶液。
- (五)觀察 1~4 號試管有無顏色變化。沒有變化者將試管以橡皮塞封口，以隔水加熱法（甲醛及丙酮需在 40°C 以下,以防大量汽化）加熱觀察反應變色與否

十二、 醣與鹼的變色反應後再加酸反應會如何進行？

- (一)將 5ml 的 4M 氫氧化鈉水溶液和 5ml 的 25% 葡萄糖水溶液加到試管中。
- (二)等待反應發生，一段時間後(三十分鐘)，取 3ml 的產物以本氏液檢測葡萄糖殘留量
- (三)將 10ml 的 3M 鹽酸加到試管裡,使溶液呈酸性。
- (四)觀察顏色變化。再以本氏液檢測葡萄糖量

我們做的黃色反應會不會與藍瓶的先趨反應是相同的？我們得確定這件事，回想起老師演示的藍瓶實驗下課後就不再變色的那次經驗，既然醣與氫氧化鈉的變色反應是可逆的，那是否也能用在重生藍瓶反應？

十三、 醣與鹼反應後的產物可進行藍瓶反應嗎？

- (一)取步驟三的 2 號試管(20%的葡萄糖與 4M 的氫氧化鈉各 2ml)黃色產物加水至 200ml 稀釋，因為藍瓶的反應物濃度沒這麼高。
- (二)加入亞甲藍液 1 滴,觀察顏色變化,若顏色由藍變無,則再搖晃瓶身,觀察是否會回復藍色

十四、 重生不反應的藍瓶實驗

- (一)將 2.5 公克的葡萄糖、2.5 公克的氫氧化鈉和 1ml 的亞甲藍液溶進 500ml 的水裡配置成藍瓶溶液。
- (二)重覆搖晃、靜止，使其最終不再變色。
- (三)在不再變色的藍瓶中緩慢加入 3ml 的 3M 鹽酸。(先預設反應會逆向)
- (四)再加入 2 公克的氫氧化鈉於瓶中，以磁石攪拌加速氫氧化鈉溶解，待氫氧化鈉溶完即停止磁石，並觀察過程中顏色的轉變。

鹼與本氏液均可與還原糖產生變色反應，我們不禁想，氫氧化鈉是否可代替本氏液進行還原糖的檢驗？如果可以，根據實驗，此黃色物產率與氫氧化鈉濃度與溫度有最大的關係。所以我們設計了下述的檢驗法。

十五、 比較用氫氧化鈉和本氏液檢測的優缺

- (一)在 1~4 號玻片上分別加入 1 顆(約 0.3 公克重)氫氧化鈉。
- (二)在 1~4 號玻片上分別依序加入 1M、0.1M、0.01M、0.001M 的葡萄糖水溶液 1ml
- (三)將這 4 個玻片放到酒精燈上隔著陶瓷纖維網加熱
- (四)觀察其顏色變化並記錄變色共需花多少時間
- (五)以步驟(二)中可變色的最低濃度葡萄糖水溶液 2ml 用 2ml 本氏液檢驗，觀察其顏色變化並記錄變色共需花多少時間

伍、研究結果

一、檢驗變色原因並非氫氧化鈉和葡萄糖以外的物質

排除了金屬離子、空氣及水中雜質可能參與後，試管內的反應依舊產生變色。

二、不同陽離子的鹼與糖發生的反應

- (一)裝氫氧化鈉水溶液和葡萄糖水溶液的 1 號試管有變色。
 - (二)裝氫氧化鉀水溶液和葡萄糖水溶液的 2 號試管有變色。
 - (三)裝氫氧化鈣水溶液和葡萄糖水溶液的 3 號試管有變色。
- 可見鹼中的陽離子差異並非是變色的原因。

三、檢驗能使氫氧化鈉變色的糖

- (一)能未加熱就使氫氧化鈉在短時間內變色的糖有：葡萄糖、果糖
- (二)不須加熱但要長時間才能使氫氧化鈉變色的糖有：麥芽糖
- (三)1 小時內無肉眼可察覺的變色反應需加熱後才使氫氧化鈉變色的糖有：阿拉伯膠
- (四)長時間及加熱後還是不能使氫氧化鈉變色的糖有：蔗糖、海藻糖

四、將不反應的雙醣利用酸水解後是否能與氫氧化鈉發生變色反應

將蔗糖及海藻糖加酸再加熱水解成還原醣後均可和氫氧化鈉產生變色反應。

因分光計在 0.3~1 的吸收值是比較準確的，若樣品反應後吸收值 > 1，我們會將樣品以水比樣品 1:1、2:1 或 3:1 的體積比稀釋成 1/2、1/3 或 1/4 的濃度再測試吸收值。以下實驗紀錄凡超過 1 者均是以上述方法稀釋並已乘回稀釋倍數呈現於表格內。

五、不同濃度的糖與氫氧化鈉反應的關係

(一) 葡萄糖

(表一) 不同濃度的葡萄糖與同濃度的氫氧化鈉的反應速率

ABS\反應時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8
10%葡萄糖+4M NaOH	無	無	無	無	無	無	無	無
15%葡萄糖+4M NaOH	無	無	無	無	無	0.102	0.108	0.111
20%葡萄糖+4M NaOH	無	無	0.129	0.146	0.151	0.158	0.162	0.169
25%葡萄糖+4M NaOH	0.118	0.150	0.177	0.186	0.195	0.202	0.209	0.214
ABS\反應時間(分)	9	10	11	12	13	14	15	
10%葡萄糖+4M NaOH	無	0.102	0.105	0.108	0.111	0.113	0.116	
15%葡萄糖+4M NaOH	0.115	0.116	0.122	0.134	0.141	0.142	0.142	
20%葡萄糖+4M NaOH	0.172	0.175	0.178	0.180	0.182	0.188	0.194	
25%葡萄糖+4M NaOH	0.223	0.226	0.231	0.236	0.246	0.249	0.254	

(二) 果糖

(表二) 不同濃度的果糖與同濃度的氫氧化鈉的反應速率

ABS\反應時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8
10%果糖+4M NaOH	無	0.286	0.369	0.444	0.505	0.57	0.626	0.687
15%果糖+4M NaOH	0.226	0.35	0.443	0.52	0.586	0.65	0.713	0.775
20%果糖+4M NaOH	0.278	0.422	0.53	0.629	0.709	0.792	0.875	0.958
25%果糖+4M NaOH	超標	超標	超標	超標	超標	超標	超標	超標
ABS\反應時間(分)	9	10	11	12	13	14	15	
10%果糖+4M NaOH	0.747	0.807	0.871	0.929	0.99	1.05	1.079	
15%果糖+4M NaOH	0.838	0.902	0.969	1.038	1.096	1.107	1.113	
20%果糖+4M NaOH	1.043	1.131	1.218	超標	超標	超標	超標	
25%果糖+4M NaOH	超標	超標	超標	超標	超標	超標	超標	

25%果糖+4M NaOH 一開始即大量超標，我們在一分鐘內不及找到適合稀釋的比例測試!!

六、不同濃度的氫氧化鈉與同濃度糖反應的關係

(表三) 不同濃度的氫氧化鈉與同濃度果糖的反應速率

ABS\反應時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8
20%果糖+1M NaOH	無	無	無	0.108	0.111	0.119	0.128	0.133
20%果糖+2M NaOH	0.117	0.185	0.218	0.267	0.308	0.335	0.374	0.408
20%果糖+4M NaOH	0.463	0.684	0.847	1.028	1.108	1.225	1.304	1.408
ABS\反應時間(分)	9	10	11	12	13	14	15	
20%果糖+1M NaOH	0.143	0.145	0.151	0.155	0.159	0.163	0.165	
20%果糖+2M NaOH	0.439	0.47	0.504	0.522	0.558	0.583	0.602	
20%果糖+4M NaOH	1.487	1.589	1.674	1.764	1.861	1.929	1.971	

七、同濃度的不同糖和同濃度的氫氧化鈉反應的關係

(表四) 同濃度的不同糖和同濃度的氫氧化鈉的反應速率

ABS\反應時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8
20%葡萄糖+4M NaOH	無	無	0.129	0.146	0.151	0.158	0.162	0.169
20%果糖+4M NaOH	0.463	0.684	0.847	1.028	1.108	1.225	1.304	1.408
20%麥芽糖+4M NaOH	無	無	無	無	無	無	無	無
ABS\反應時間(分)	9	10	11	12	13	14	15	
20%葡萄糖+4M NaOH	0.172	0.175	0.178	0.18	0.182	0.188	0.194	
20%果糖+4M NaOH	1.487	1.589	1.674	1.764	1.861	1.929	1.971	
20%麥芽糖+4M NaOH	無	無	無	無	無	無	無	

八、不同的陽離子的鹼和反應速率的關係

(表五) 同濃度的葡萄糖和同濃度的不同鹼的反應速率

ABS\反應時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8
4M NaOH	0.12832	0.16316	0.17785	0.20448	0.23061	0.27016	0.29864	0.32136
4M KOH	0.11627	0.16614	0.19497	0.22784	0.26166	0.30164	0.32819	0.36708
ABS\反應時間(分)	9	10	11	12	13	14	15	
4M NaOH	0.3525	0.38087	0.39837	0.4241	0.44472	0.48065	0.50049	
4M KOH	0.40017	0.43443	0.47152	0.51183	0.54519	0.58317	0.6245	

九、不同溫度對反應速率的影響

(表六) 不同溫度的反應速率

ABS\反應時間(分)	2	4	6	8
60°C	1.592	1.885	2.322	2.645
70°C	0.343	0.531	0.721	0.853
室溫 17°C	無	0.108	0.119	0.133

十、溶劑極性的不同對反應速率的影響

(一)10%果糖

(表七) 不同的溶劑極性和 10%果糖的反應速率

ABS\反應時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8
1 : 0(水 : 乙醇)	0.257	0.395	0.508	0.615	0.726	0.829	0.935	1.037
1 : 1(水 : 乙醇)	0.667	0.677	0.895	1.127	1.363	1.604	超標	超標
1 : 2(水 : 乙醇)	0.503	0.723	0.927	1.172	超標	超標	超標	超標
1 : 3(水 : 乙醇)	0.521	0.710	0.952	1.223	超標	超標	超標	超標
ABS\反應時間(分)	9	10	11	12	13	14	15	
1 : 0(水 : 乙醇)	超標	超標	超標	超標	超標	超標	超標	
1 : 1(水 : 乙醇)	超標	超標	超標	超標	超標	超標	超標	
1 : 2(水 : 乙醇)	超標	超標	超標	超標	超標	超標	超標	
1 : 3(水 : 乙醇)	超標	超標	超標	超標	超標	超標	超標	

(二)10%葡萄糖

(表八) 不同的溶劑極性和 10%葡萄糖的反應速率

ABS\反應時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8
1 : 0(水 : 乙醇)	無	無	0.108	0.120	0.136	0.153	0.171	0.188
1 : 1(水 : 乙醇)	0.123	0.158	0.180	0.209	0.231	0.253	0.292	0.320
1 : 2(水 : 乙醇)	0.131	0.153	0.177	0.194	0.198	0.204	0.209	0.216
1 : 3(水 : 乙醇)	0.125	0.130	0.141	0.146	0.154	0.167	0.164	0.170
ABS\反應時間(分)	9	10	11	12	13	14	15	
1 : 0(水 : 乙醇)	0.206	0.224	0.242	0.261	0.278	0.297	0.315	
1 : 1(水 : 乙醇)	0.343	0.368	0.410	0.436	0.452	0.486	0.508	
1 : 2(水 : 乙醇)	0.205	0.223	0.237	0.247	0.261	0.270	0.282	
1 : 3(水 : 乙醇)	0.176	0.185	0.197	0.207	0.217	0.230	0.247	

(三)20%葡萄糖

(表九) 不同的溶劑極性和 20%葡萄糖的反應速率

ABS\反應時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8
1:0(水:乙醇)	0.11906	0.15734	0.17104	0.2045	0.22549	0.25737	0.27714	0.30723
1:1(水:乙醇)	0.15446	0.18953	0.22506	0.25759	0.29035	0.31911	0.36227	0.38784
1:2(水:乙醇)	0.28059	0.28023	0.29051	0.30379	0.32079	0.32963	0.34553	0.35661
1:3(水:乙醇)	0.17512	0.17525	0.19222	0.19992	0.21491	0.22221	0.23356	0.24346
ABS\反應時間(分)	9	10	11	12	13	14	15	
1:0(水:乙醇)	0.33513	0.3595	0.39039	0.41597	0.43873	0.42159	0.52974	
1:1(水:乙醇)	0.41734	0.46742	0.52074	0.5616	0.46622	0.50236	0.71201	
1:2(水:乙醇)	0.37681	0.39284	0.40731	0.60583	0.66184	0.4359	0.45867	
1:3(水:乙醇)	0.25415	0.27356	0.29127	0.32093	0.3455	0.36753	0.38811	

十一、 使用醣類中所含的官能基藥品是否會同樣發生反應

(表十) 使用醣類中所含的官能基藥品的反應速率

ABS\反應時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8
甲醛加氫氧化鈉	無	無	無	無	無	無	無	無
丙酮加氫氧化鈉	無	無	無	無	無	無	無	無
乙醇加氫氧化鈉	無	無	無	無	無	無	無	無
甘油加氫氧化鈉	無	無	無	無	無	無	無	無
ABS\反應時間(分)	9	10	11	12	13	14	15	
甲醛加氫氧化鈉	無	無	無	無	無	無	無	
丙酮加氫氧化鈉	無	無	無	無	無	無	無	
乙醇加氫氧化鈉	無	無	無	無	無	無	無	
甘油加氫氧化鈉	無	無	無	無	無	無	無	

- 1 號試管裡的甲醛水溶液，並不會和氫氧化鈉反應，加熱也不發生變色反應。
- 2 號試管裡的丙酮水溶液，並不會和氫氧化鈉反應，加熱也不發生變色反應。
- 3 號試管裡的乙醇水溶液，並不會和氫氧化鈉反應，加熱也不發生變色反應。
- 4 號試管裡的甘油水溶液，並不會和氫氧化鈉反應，加熱也不發生變色反應。

十二、 醣與鹼的變色反應在加酸後會如何進行?

- (一)將葡萄糖與氫氧化鈉反應後的產物取 3ml 並用本氏液檢驗，本氏液呈黃橘色。
- (二)產物加酸後立即變為澄清。
- (三)加酸的澄清液，再取 3ml 並用本氏液檢驗，本氏液呈紅色。證明了還原醣與鹼性溶液為可逆反應。

十三、 以我們的黃色產物稀釋後加入亞甲藍液，溶液顏色變成藍色，靜置片刻，溶液顏色漸漸變淡，最終成無色。經搖晃後，溶液又變成藍色！！由此可知，我們的黃色產物與藍瓶反應的先驅物是相同的。

十四、 重生不反應的藍瓶實驗

不再反應的藍瓶經加入酸再加入鹼後，溶液生成了一種膠狀物。搖晃之後，居然變回藍色了！重生藍瓶成功！重生的藍瓶又可以再進行 8 次變色反應！

十五、 本氏液和氫氧化鈉的檢測

以 0.3 克左右的(約一顆紅豆大小)氫氧化鈉來檢測葡萄糖，在加熱情況下，約在氫氧化鈉溶解的同時即有變色反應(30 秒左右，依火力大小而定)且可以檢測到 2ml 0.001M 的葡萄糖，濃度愈高的糖其反應黃色愈深。但同 2ml 0.001M 的葡萄糖却無法以本氏液檢出。

陸、討論

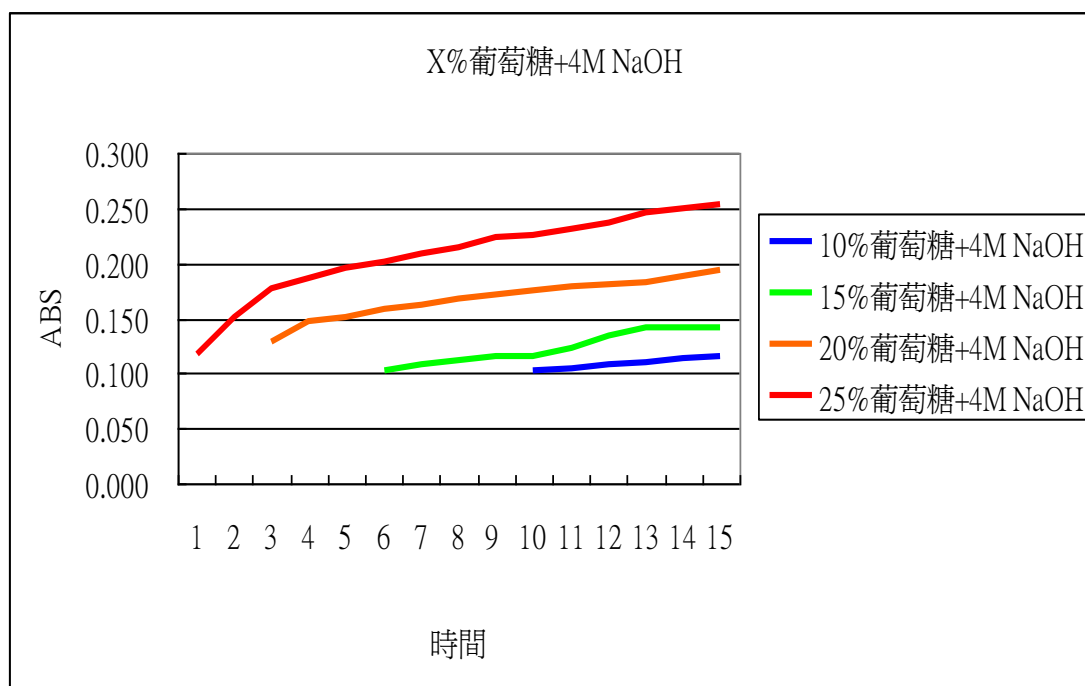
因為某些金屬離子的價位會改變，而使反應產生顏色的變化，但鈉離子的價位不會改變，因此顏色的改變必定是有新的產物。但也有可能是金屬刮勻所造成的，所以我們就改用塑膠刮勺取藥品，並且以裝滿試管的煮沸蒸餾水排除了空氣的影響，只是實驗結果還是會變色，因此推知變色原因並非氫氧化鈉和葡萄糖以外的物質。

然後我們試著用不同的醣類和鹼性溶液做實驗，發現有些實驗結果依然是會變色的，因此得知反應不是一定要氫氧化鈉和葡萄糖當反應物，而是具有 OH⁻ 的鹼性溶液和所有符合某種條件的醣類(這種醣類的條件是葡萄糖、果糖、麥芽糖、阿拉伯膠都符合的)都會發生反應。我們發現能使反應在常溫下發生的糖只有葡萄糖、果糖(快)、麥芽糖(慢)，而它們都是還原醣。但像阿拉伯膠這種五碳的還原醣，必須在高溫下才會發生反應。我們想到雙醣是由兩個單糖組成的，如果加酸水解，說不定可以得到單醣而使反應發生(所有單醣都是還原醣)，而實驗結果是支持我們的假設的，由此可知：必須是還原醣才會和鹼性溶液發生黃色反應。

之後又藉分光儀測試反應速率。我們知道反應中有一種新的產物，而這種產物有色。我們先用純水裝在分光儀 cell 裡，以純水做為空白組測試可見光吸收光譜，再分別將各種不同濃度的鹼性溶液和還原醣做測量。根據比耳氏定理： $A(\text{吸收度})=a(\text{吸光係數}) \times b(\text{距離}) \times c(\text{濃度})$ ，而吸光係數(a)是跟分光計 cell 裡面的物質有關，距離(b)則是分光計 cell 的厚度，而這兩項對我們的實驗而言都是常數，所以吸收度(A)是跟濃度(c)，也就是產物的多寡，成正比，同時，也跟反應速率成正比。

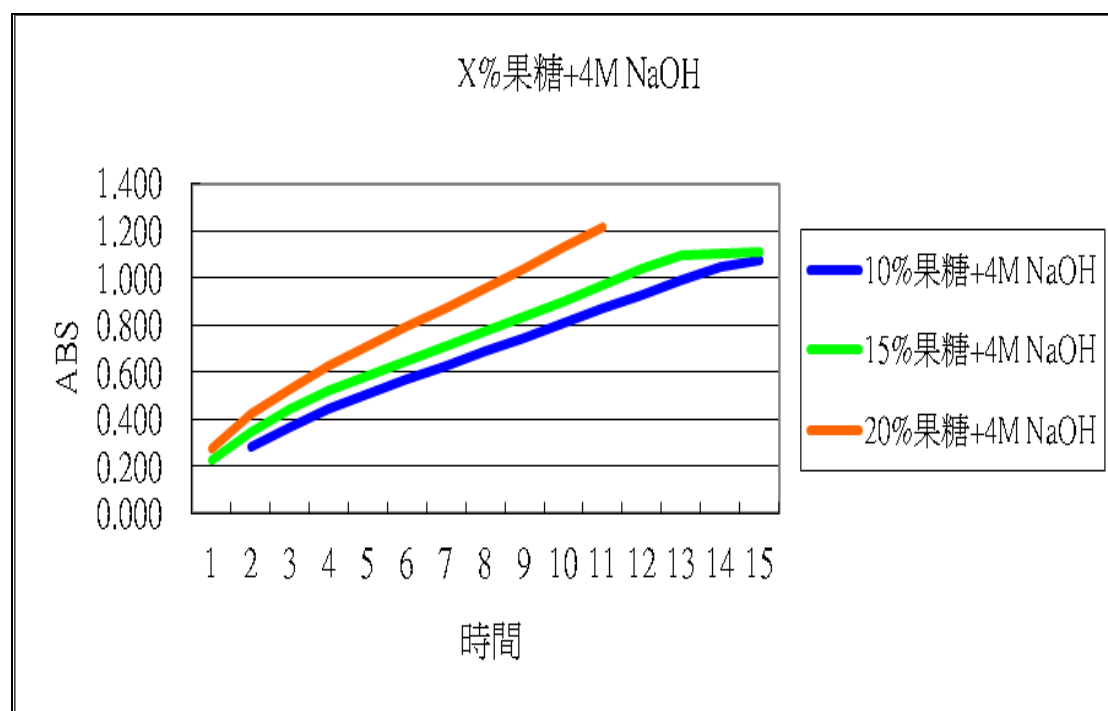
我們首先對不同濃度的葡萄糖及果糖和同濃度氫氧化鈉作反應，並將結果繪

製成以下圖表：



(圖一) 不同濃度的葡萄糖與同濃度的氫氧化鈉的反應速率

從上圖我們發現，在反應初期，葡萄糖濃度愈大產量愈多，速率愈快（斜率愈大）。但在反應中期，每秒的產量就幾乎相同了（因為四條曲線斜率幾乎一樣），即反應速率在中期跟糖的濃度似乎沒有明顯的相關。

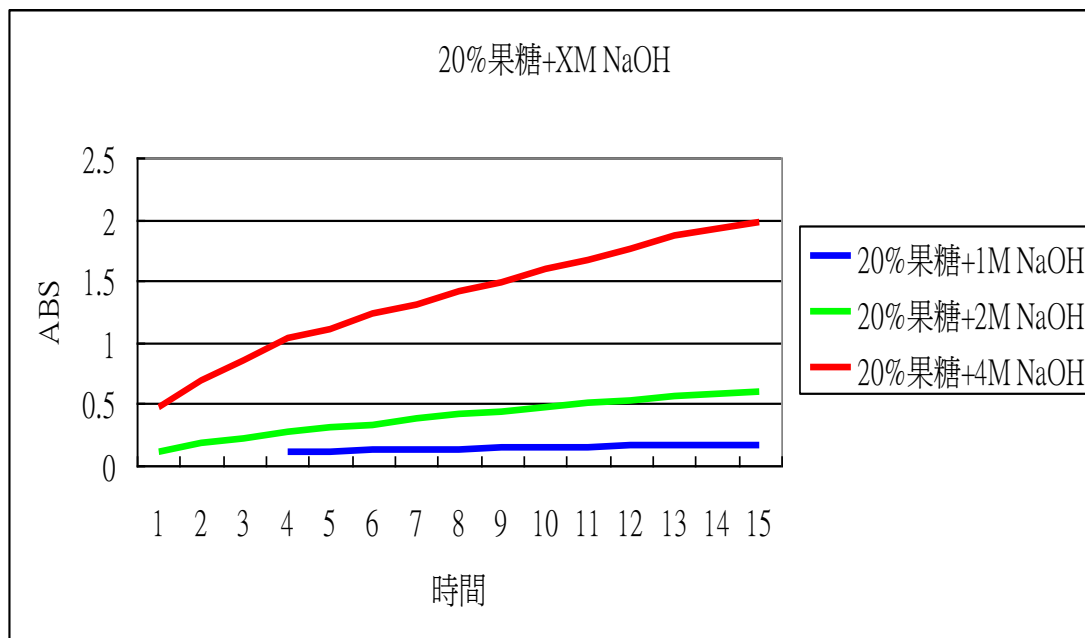


(圖二) 不同濃度的果糖與同濃度的氫氧化鈉的反應速率

果糖在最濃時反應最快（因為斜率稍陡了一些）。

由上二圖，可知，糖的濃度不同會影響反應初期的速率！在反應初期，糖愈濃，反應愈快。

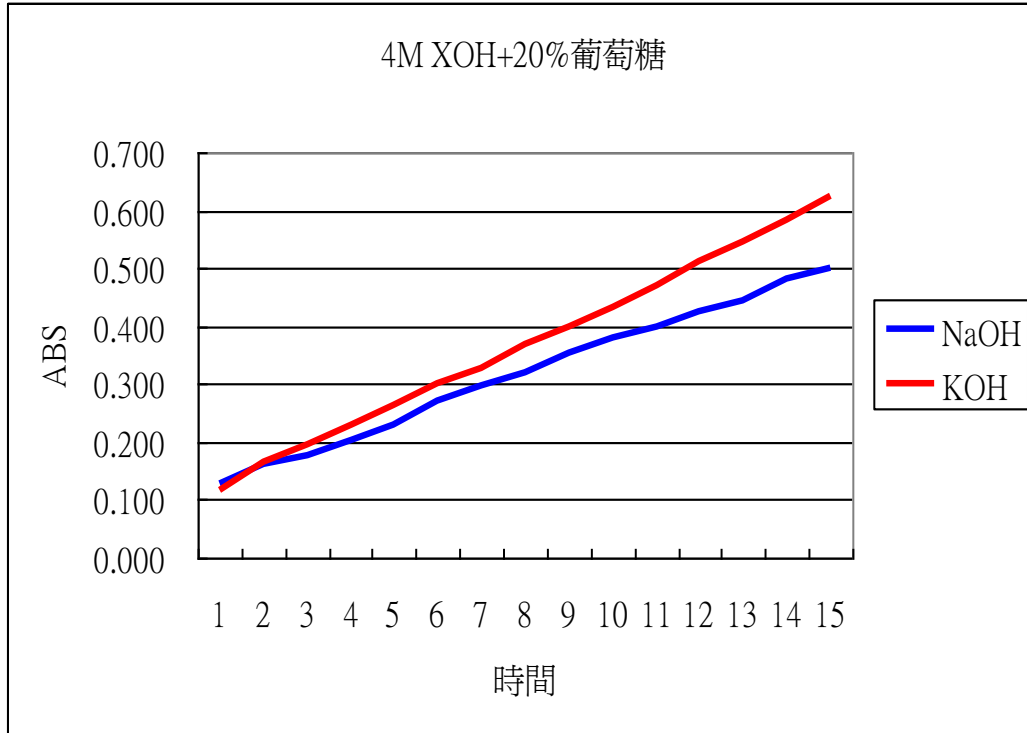
接下來我們對同濃度的果糖和不同濃度氫氧化鈉作反應，並將結果繪製成以下圖表：



(圖三) 不同濃度的氫氧化鈉與同濃度果糖的反應速率

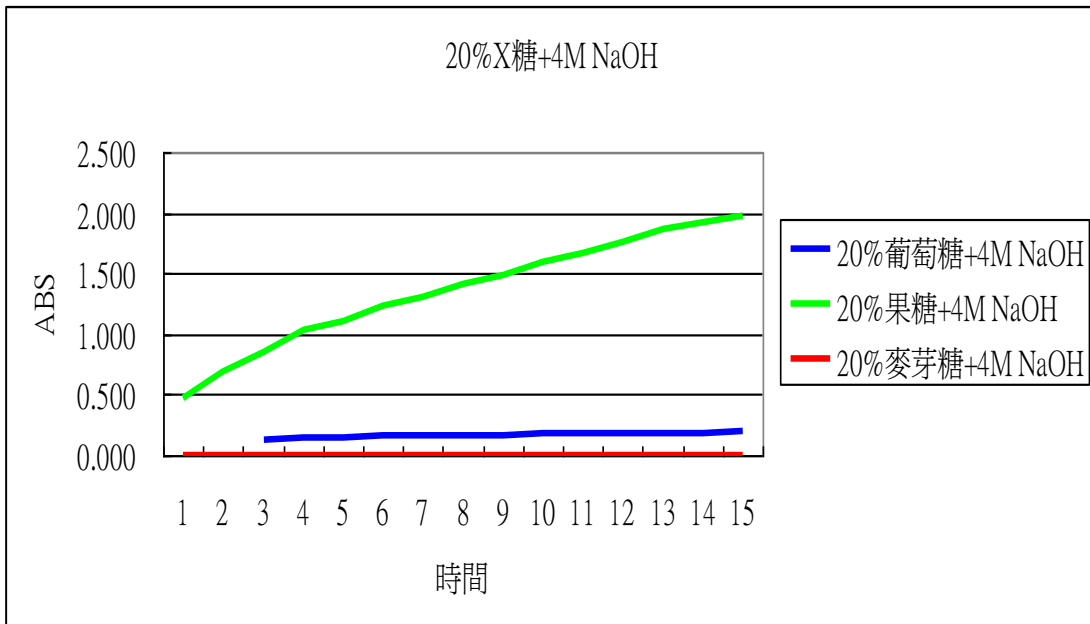
從上圖我們發現，不只產物的產量(縱座標值)跟氫氧化鈉的濃度有關，反應速率也跟反應的濃度有正向相關(因這三條曲線斜率明顯不同)。但請注意20%果糖與4M氫氧化鈉反應圖斜率的變化率是負值的奇怪現象，這在圖一、圖二也可見到！我們推測是因為此反應為可逆反應，初始時產物濃度很低，有利正向反應，待反應時間愈來愈長，產物濃度漸增，以致逆向反應開始增強，而致黃色產物產生速率趨於平緩。而這種現象首先在反應較快的高濃度反應出現！

在定性測試時，我們知道氫氧化鈉、氫氧化鈣與氫氧化鉀均可與醣發生黃色反應，現就取不同陽離子的鹼來測試反應速率，得到下圖：



(圖四) 同濃度的葡萄糖和同濃度的不同鹼的反應速率
KOH 反應較 NaOH 快，顯示不同的陽離子的確會影響反應速率。

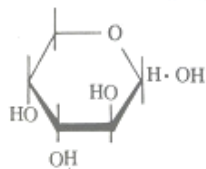
能使反應在常溫下發生的糖有葡萄糖、果糖和麥芽糖，於是我們對同濃度的此三糖和同濃度的氫氧化鈉作反應，並將結果繪製成以下圖表：



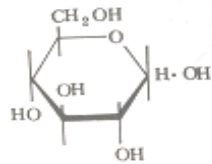
(圖五) 同濃度的不同糖和同濃度的氫氧化鈉的反應速率
從圖可看出果糖的反應速率明顯高於葡萄糖，而更甚於麥芽糖。現在我們就可以排出各種糖的反應速率：果糖>葡萄糖>麥芽糖>阿拉伯膠。

是什麼原因造成如此的速率關係？我們找了一些有關醣的資料，推測出以下二種原因：

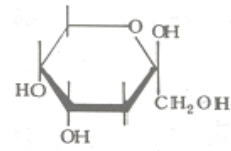
阿拉伯糖（還原醣）



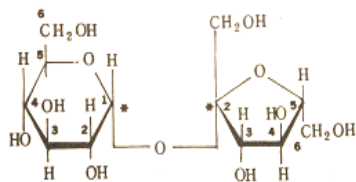
葡萄糖（還原醣）



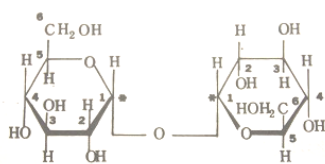
果糖（還原醣）



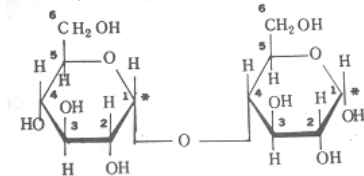
蔗糖（非還原醣）



海藻糖（非還原醣）



麥芽糖（還原醣）



（圖六）不同糖的結構

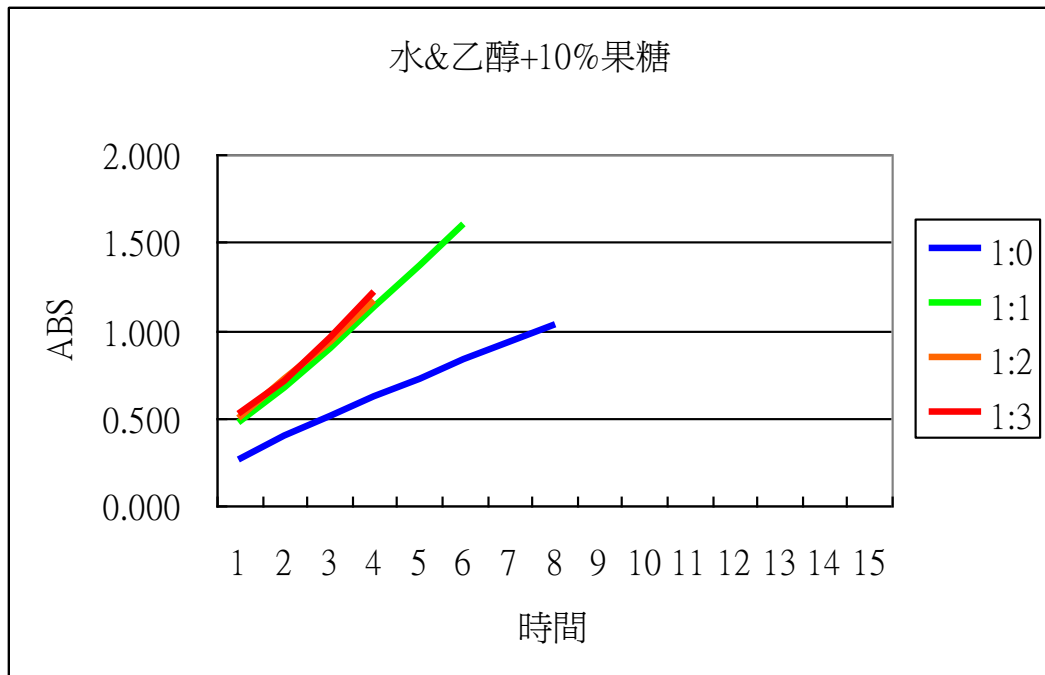
一、立體障礙：葡萄糖和果糖都是六碳的還原醣；麥芽糖是十二碳的還原醣，我們猜想麥芽糖是因為主體障礙太大而干擾反應的發生；而六碳糖的差異應與各糖存在的β端基異構物含量有正向關係。因為β端基異構物的OH位於平行軸較縱向軸位的α端基異構物立體障礙小（較不擁擠），而使β型反應較α型容易發生。我們查到了各糖在水溶液中α及β型的平衡比例表，推測也與此表吻合。

(表十一) 糖在水溶液中 α 及 β 型的平衡比例表

	% at equilibrium in water at 40°C				
	pyranose		furanose		Open chain
	α	β	α	β	
glucose	36	64	trace	trace	0.003
galactose	~30	~70	trace	trace	trace
mannose	68	32	trace	0	trace
allose	18	70	5	7	
altrose	27	40	20	13	
idose	39	36	11	14	
talose	40	29	20	11	
arabinose	63	34	3% α + β		
xylose	37	63	trace	trace	
ribose	20	56	6	18	0.02
fructose	~2	~65	~7	~26	0.25

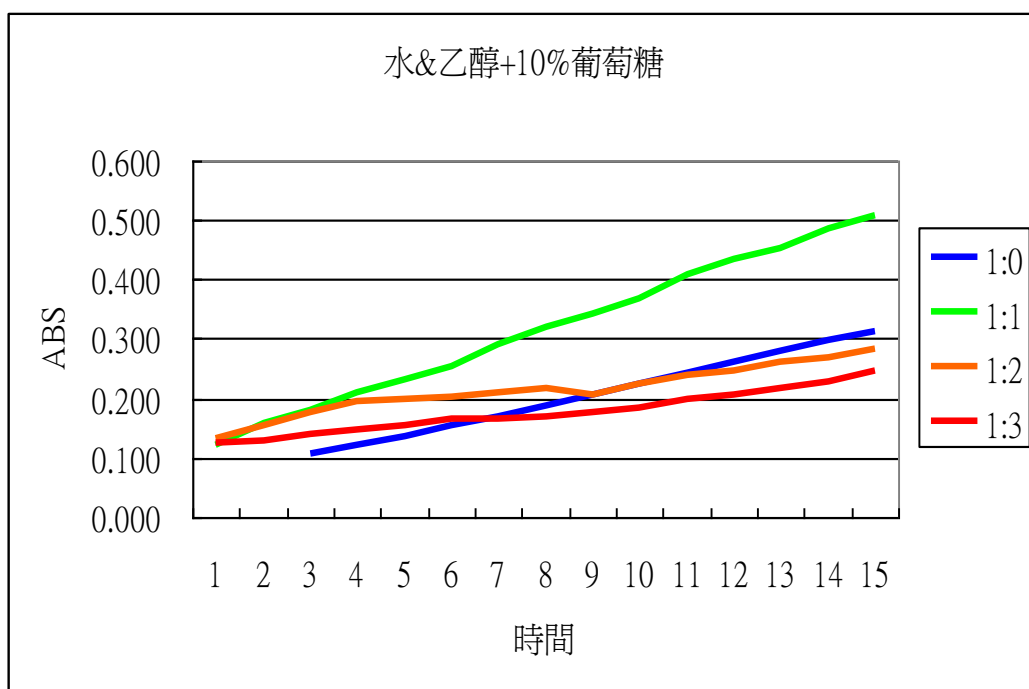
二、溶液黏度：阿拉伯膠其黏膠狀的特性趨緩了反應粒子的移動，而使反應較難發生。

系統中，除了溶質會造成反應速率的差異，溶劑是否也有相似的影響呢？我們改變了溶劑的極性，得到下圖：



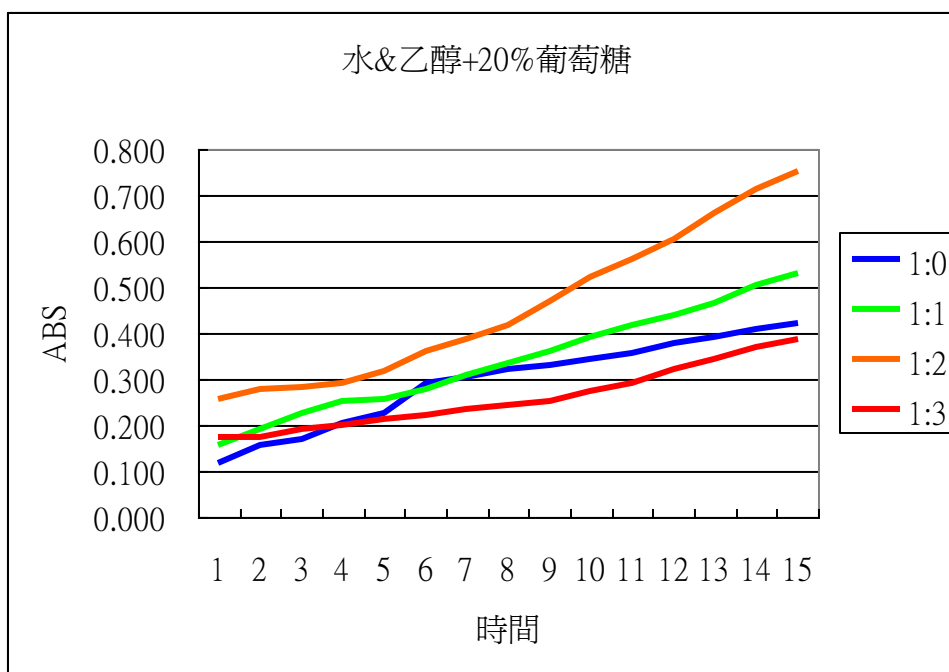
(圖七) 不同的溶劑極性和 10%果糖的反應速率

由圖可知，(水比乙醇)的溶劑系統， $1:3 > 1:2 > 1:1 > 1:0$ ；極性明顯會影響果糖與鹼的反應速率，結果呈現出溶劑極性愈低，反應愈快。



(圖八) 不同的溶劑極性和 10%葡萄糖的反應速率

由圖可知，(水比乙醇)的溶劑系統反應速率以 1:1 最大，其他不同溶劑極性對此反應速率影響較混亂不明顯

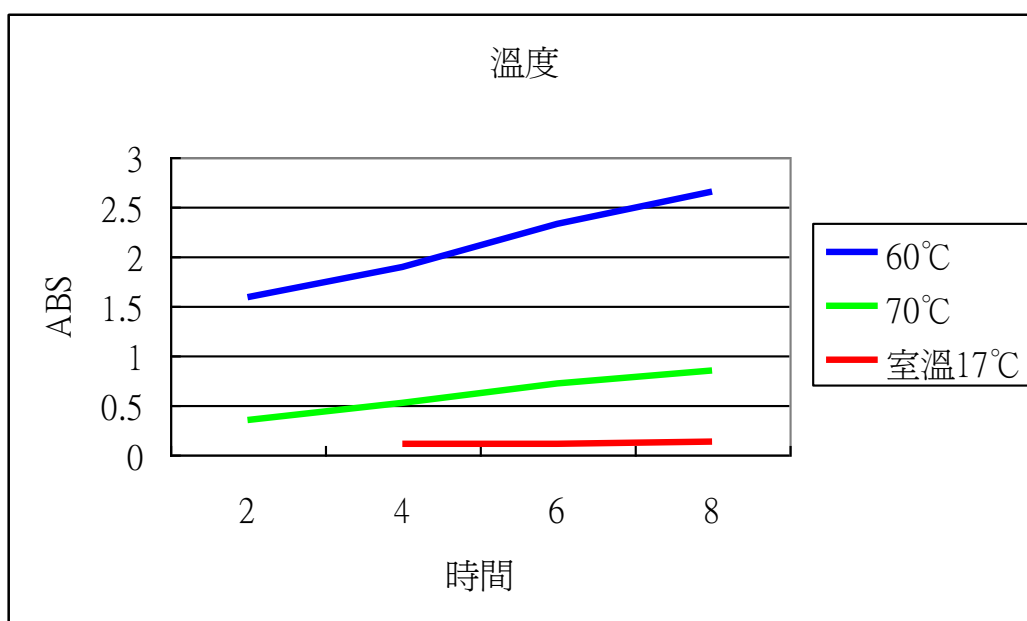


(圖九) 不同的溶劑極性和 20%葡萄糖的反應速率

由圖可知，(水比乙醇)的溶劑系統反應速率以 1：2 最大，其他溶劑極性對此反應速率影響較混亂不明顯

我們在前面推測反應速率與各糖存在的 β 態比例有關，但溶劑的極性的差異亦同種糖的反應速率造成影響。綜合這兩個結果，我們合理的推測糖的 β 態存在比例是會受到溶劑極性影響的！這個結論特別在果糖上呈現出明顯秩序→即極性溶劑使得果糖的 β 態存在比例比非極性要少；亦即極性愈小， β 態存在愈多，果糖與鹼反應愈快。

再來我們用不同的溫度，看看溫度對反應速率的影響，並將結果繪製成以下圖表：



(圖十) 不同溫度的反應速率

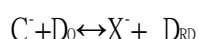
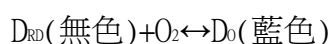
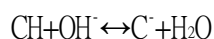
從上表我們發現，產物的產量(縱座標值)跟反應的溫度有關，反應速率也隨溫度上升而變快。

還原糖的結構中均含有醛基或酮基並包括了許多的OH基，所以我們就假設反應是其中的一種官能基造成的。但我們拿甲醛代替醛基，拿丙酮代替酮基，乙醇代替OH基及甘油代替多醇基，均不會使黃色反應發生。因此推斷：此反應必為這些替代官能基分子沒有，但糖類才有的結構因素造成的。也就是說，除官能基外，反應物可能還要具有碳數多的碳鏈結構！

所以我們得到了一個重要的線索：反應是跟一整個分子有關，而不是只跟某個官能基有關。反應物非有還原糖的主體不可，也就是長碳鏈，因為主體是各官能基替代分子和糖類最大的差別。

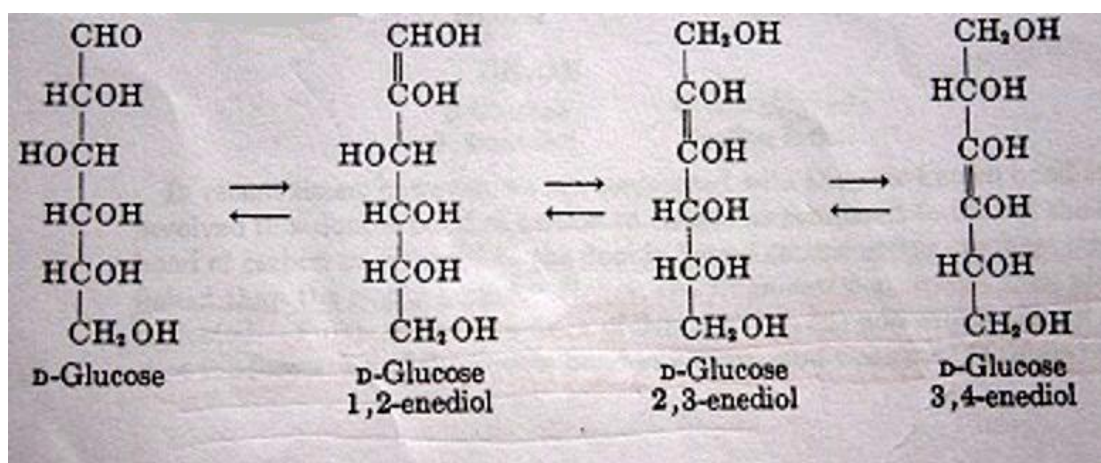
接著便要檢測此反應是否為可逆反應，於是我們拿酸倒入反應後的溶液裡，發現顏色立即失去，變成透明無色的。且加酸前後均以本氏液檢驗都存在還原醣。因此我們推知此反應是可逆的。這與前面(圖三)的討論結果相同。

我們必須將我們的實驗結果和藍瓶實驗作結合。醣與鹼的黃色產物的確也在加了亞甲藍液後進行了相同的反應。根據我們查到的藍瓶實驗反應：(CH 為葡萄糖、D_{RD} 為還原態亞甲藍液、D_O 為氧化態亞甲藍液，X⁻ 為阿拉伯酸、甲酸、草酸及赤糖酸的混合物)



我們發現黃色產物應該是反應式中的 C⁻ (烯醇的混合物)。理由為

- (一)、我們在煮沸過排除空氣的水中溶葡萄糖及鹼反應照常會發生黃生反應。反應不需空氣中的氧也可進行，沒有氧化劑也沒有氧又排除其他雜質介入，反應跟本沒有機會進行氧化！！所以應該停留在 C⁻ 根據參考資料一中所說：葡萄糖在鹼中會存在下列的烯醇結構。



(圖十一) 葡萄糖在鹼中的烯醇結構

文中亦提及，還原醣與鹼若在氧化劑存在下會在雙鍵的下一個碳鏈 (α 及 β 碳) 上斷裂產生裂解，形成甲酸及比原糖少一個碳的酸 (X⁻)。但因我們沒有加氧化劑，所以我們推測黃色產物應是反應式中的 C⁻；即(上圖十一) 烯醇的混合物，而尚未反應到 X⁻！

- (二)、我們在黃色產物中加入亞甲藍液，其氧化態等同氧化劑效果且反應後形成了膠狀物(似阿拉伯膠，為 X⁻ 的產物之一)更間接證明了我們的推測，黃色產物非 X⁻，應是 C⁻。
- (三)、在加酸可以回復的實驗結果中，證明我們的黃色產物應該就是反應式中的 C⁻，因只有第一個反應機構會因加酸而逆向回復。
- (四)、根據實驗的可見光譜的最大吸收峰值，發現在318nm及404nm處有反

應愈久，溶液顏色愈深其吸收值愈大的情形。404nm屬可見光範圍，符合黃色物質的吸收波長，而318nm又代表何意？有機化合物只有高度共軛或多環芳香族才有顏色，我們的產物不可能是芳香族，但烯醇能在很多結構中互相轉換，有共軛的影子。查了UV光譜的吸收帶資料，我們發現羰基化合物共軛烯烴中的 α 、 β 不飽和醛酮其R帶($n \rightarrow \pi^*$)藍移會發生在290~320nm，這與我們的另一吸收峰318nm吻合！！

雖然理由有這麼多，但實驗終究講求證據。國中階段的我們沒有足夠的知識背景及實驗器材可以純化這個產物來求得其真正結構！也許日後可以再配合其他的儀器鑑定可以更加明確判斷我們的推測。

加了亞甲藍液除了可以做為氧化劑外，亦會催化葡萄糖的氧化作用。我們發現醣與鹼的黃色產物放置三天後再加入亞甲藍液居然還會進行氧化反應！這證實了在空氣中的氧化是何等的緩慢，而利用亞甲藍液約莫1小時反應即不再發生藍瓶的顏色變化，可見亞甲藍液可以催化氧化的反應！

利用還原醣與鹼的作用，我們又找到一個可以替代本氏液檢驗還原醣的應用：用一顆紅豆般大小的氫氧化鈉，加入1~2ml的待測液，如果是還原醣，則在加熱後會呈現黃至褐色，顏色愈深表示還原醣的濃度愈高。此法可以檢測到0.001M的最小濃度。現將本法與本氏液的使用差異列表如下：

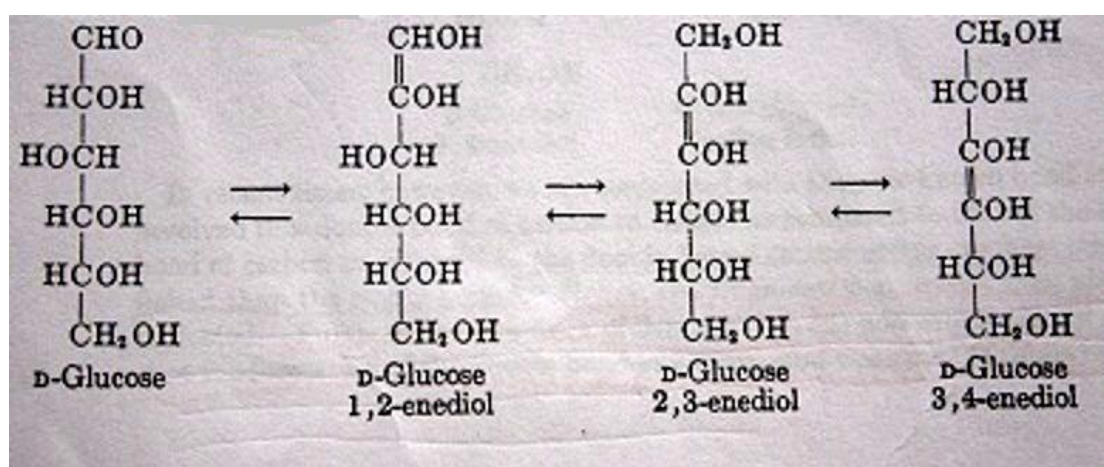
(表十二) 本氏液和鹼的優缺

	本氏液	氫氧化鈉
價格	較高	較低
普遍性	較低(只有在生物實驗室裡較常見)	較高(幾乎所有實驗室都有)
汙染	較高(本氏液含有重金屬銅離子)	較低
樣品取量	較多(通常要取3ml以上)	較少(只需取1~2ml即可)
檢驗最低濃度	0.01M	0.001M
燃料花費	較高(因為隔水加熱會將大部份的熱量拿去加熱水)	較低(直接加熱)
時間	較長(因為加熱水需花許多時間)	較短(約氫氧化鈉溶解的同時即有變色反應發生)

用氫氧化鈉取代過去的本氏液來檢驗還原醣，不但更便宜，也更普遍、更環保、取的樣品量可更少、燃料花費更少、檢驗時間更短，最重要的，則是減少了許多重金屬汙染。

柒、結論

- 一、變色原因並非氫氧化鈉和葡萄糖以外的物質
- 二、還原醣能與氫氧化鈉產生黃色的烯醇物



- 三、不同陽離子的鹼也可以與還原醣發生同樣的變色反應
- 四、糖的濃度、氫氧化鈉濃度愈高者與還原醣的變色反應速率愈快
- 五、不同陽離子的鹼反應速率不同，氫氧化鉀 > 氫氧化鈉
- 六、β 型比 α 型比例高的醣種與鹼反應較快
- 七、溶劑的極性亦會影響反應速率，在果糖上：極性愈小的溶劑，反應愈快。
- 八、還原醣與鹼的變色反應在溫度愈高下，反應速率愈快
- 九、還原醣與鹼的變色反應在加酸後可逆
- 十、還原醣與鹼的變色反應可以再加入亞甲藍液進行藍瓶反應。不再變色的藍瓶反應可藉加酸再加鹼重生變色功能
- 十一、以氫氧化鈉做為還原醣指示劑比本氏液更便宜、更普遍、更環保、取的樣品量可更少、燃料花費更少、檢驗時間更短

捌、參考資料及其他

- 一、Department of Chemistry, The Ohio State University, Columbus, Ohio
Received September 22, 1941
- 二、“Organic Chemistry”, G Marc Loudon, 4th Ed. Oxford Univ. Press, New York, 2002
- 三、謝魁鵬、魏耀揮 (民 74)。最新生物化學實驗。臺北市：藝軒圖書出版社。
- 四、David R. Klein (2007)。有機化學天堂祕笈。臺北市：天下遠見。
- 五、WADE, L.G. 「Organic Chemistry」 (著)

【評語】 030208

該科展團隊由實驗觀察發現，還原醣在鹼性溶液中會從透明依序變成黃色、橙色、紅色，甚至棕色。其現象甚為有趣。學生們能透過仔細觀察，整理出頭緒，並嘗試用定量的方法，去理解及推測反應的機構，值得鼓勵。但團隊所推敲的還原醣所引起的色變機制，尚有疑慮之處。不過以國中生的年紀，嘗試透過大學課本自我研讀，尋找答案，其精神令人敬佩。