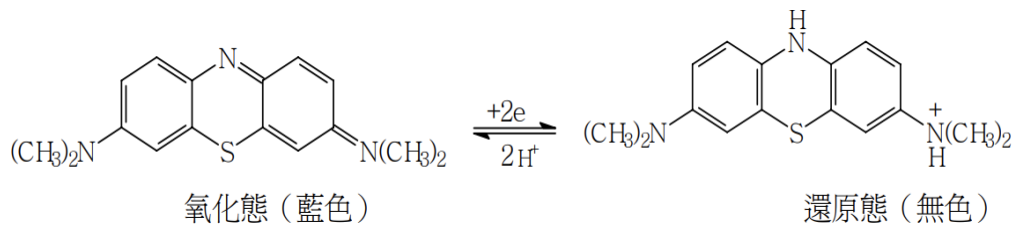
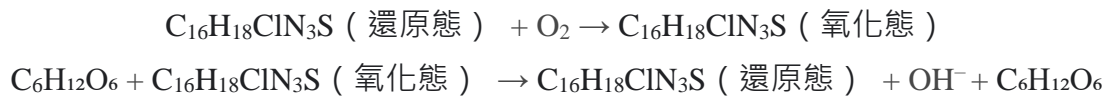


2023 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

普高組 成果報告表單

題目名稱：Blue Monday
一、摘要
本研究以藍瓶實驗為主題，在實驗過程中，改變醣的種類（葡萄糖 glucose、果糖 Fructose、乳糖 Lactose、蔗糖 Sucrose、麥芽糖、半乳糖、海藻糖）以及改變葡萄糖濃度（1%、2%、4%、8%、12%）來觀察醣類濃度對亞甲藍變色速率的影響，利用計時器計算從藍色變成無色的時間，分析及探討氫氧化鈉濃度（1%、2%、4%、8%、12%）對亞甲藍氧化還原反應的影響。在探討不同的醣類對藍瓶實驗反應速率的影響實驗中，發現果糖的反應速率最快，但礙於果糖的反應時間太短，人為的誤差會大大影響實驗的精準性，故我們選取反應速度第二快的葡萄糖來進行實驗，實驗結果顯示，亞甲藍變色時間會隨葡萄糖溶液濃度升高而減少，還原能力大小大致為果糖 > 葡萄糖~半乳糖 > 麥芽糖~乳糖。在反應級數的方面，我們將實驗結果以濃度和時間作圖，找出相關係數最大的圖形來判別反應級數，了解濃度對反應速率的影響。
二、探究題目與動機
化學常見的反應有沉澱反應、酸鹼反應以及氧化還原反應等，其中藍瓶實驗是有別於氧化還原滴定的一個特別的實驗，對於藍瓶顏色變化的原理吸引了我們的目光，另外，在選修化學課程中，我們接觸了反應速率、化學平衡等相關章節，為了延伸更多相關資訊，及加深加廣對反應速率的熟悉度，決定以藍瓶實驗為主題，來探討及了解此氧化還原反應與反應速率之間的關係，我們討論了相關的實驗，改變醣類的種類、鹼性溶液濃度、葡萄糖的濃度，設計了一系列的藍瓶實驗。
三、探究目的與假設
（一）探討不同種類的醣類對藍瓶實驗反應速率的影響 （二）分析藍瓶實驗中氫氧化鈉的濃度對氧化還原反應的影響 （三）探討不同濃度的葡萄糖（不同濃度的還原劑）對氧化還原反應的影響 （四）利用不同濃度的葡萄糖的反應速率探討此氧化還原反應的反應級數
四、探究方法與驗證步驟
（一）實驗原理： 1.搖晃時： 瓶內氧氣溶於溶液中，氧氣作為氧化劑得到電子發生還原反應，氧化亞甲藍，使亞甲藍呈氧化態（藍色）。 2.靜置時： 葡萄糖作為還原劑失去電子發生氧化反應，還原亞甲藍，使亞甲藍呈還原態（無色），氧化態亞甲藍與還原態亞甲藍轉換示意圖如圖一所示。



圖一 氧化態亞甲藍與還原態亞甲藍轉換示意圖

(二) 實驗流程如圖二所示：

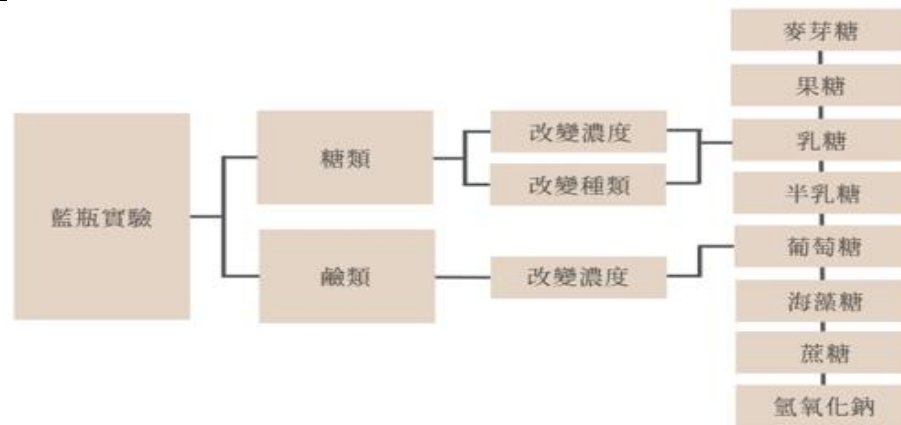
1. 在錐形瓶加入 4 公克 NaOH 並加入 96 公克的水。
2. 在燒杯中配置 6 公克葡萄糖，並加入 44 公克的水。
3. 將配置好的 NaOH 水溶液以及 12% 葡萄糖水溶液倒入 100ml 的試管中。
4. 在試管內加入 10 滴亞甲基藍液。



圖二 實驗流程圖

(三) 實驗架構如圖三所示：

1. 實驗一：
 - 操縱變因：不同種糖類 (葡萄糖、果糖、乳糖、麥芽糖、半乳糖、海藻糖、蔗糖)
 - 控制變因：氫氧化鈉濃度 (4%)
2. 實驗二：
 - 操縱變因：氫氧化鈉濃度 (1%、2%、4%、8%、12%)
 - 控制變因：葡萄糖濃度 (12%)
3. 實驗三：
 - 操縱變因：葡萄糖濃度 (1%、2%、4%、8%、12%)
 - 控制變因：氫氧化鈉濃度 (4%)



圖三 研究架構示意圖

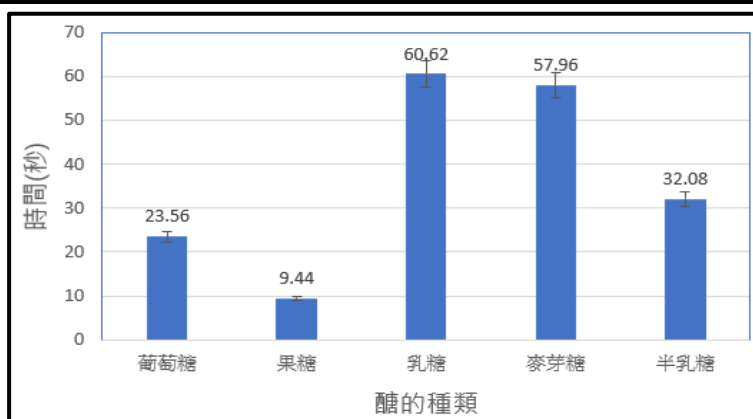
(三) 實驗結果：

1. 實驗一：

改變醣類的種類進行實驗，以葡萄糖、果糖、半乳糖、乳糖、麥芽糖、海藻糖、蔗糖七種醣類去做分析，所得的實驗結果整理於表一及圖三。

表一 不同種類的醣類造成藍瓶反應變色的時間

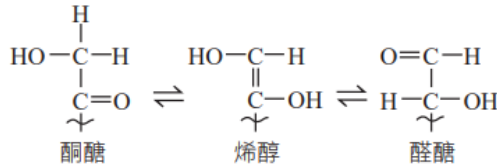
醣類	時間(秒)					
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
葡萄糖	18.69	22.38	22.65	24.65	29.45	23.56
果糖	10.00	11.04	10.01	8.35	7.82	9.44
乳糖	61.02	59.24	59.88	62.68	60.26	60.62
麥芽糖	60.53	63.30	63.70	51.20	51.09	57.96
半乳糖	31.85	34.64	32.32	31.05	30.55	32.08



圖三 不同醣類造成藍瓶反應變色的時間關係圖

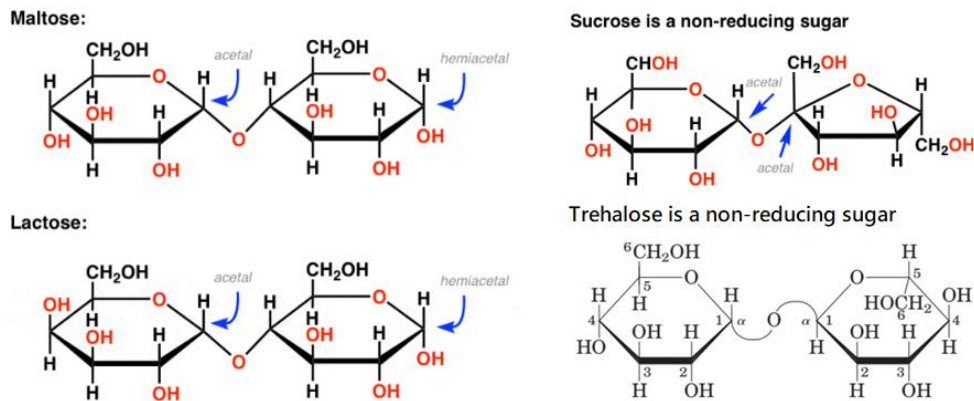
透過實驗，我們發現海藻糖與蔗糖無法使亞甲藍溶液變色，推測造成亞甲藍變色的主要原因與醣類在鹼性環境的還原力有關，單醣的還原能力主要來自於 1 號碳的醛基，如葡萄糖，而果糖的酮基會斷裂進行醛酮互換，如圖四所示，因此亦可發生藍瓶反應，而還原能

力大小大致為果糖 > 葡萄糖 ≈ 半乳糖 > 麥芽糖 ≈ 乳糖。



圖四 果糖醛酮互換示意圖

雙醅則大多具有半縮醛羥基，可發生氧化反應形成醅酸，但由 2 個葡萄糖形成的海藻糖與蔗糖在形成的過程中，由於結構缺少半縮醛官能基團，因此屬於非還原醅，其結構中的縮醅或縮酮只能用酸性水溶液轉化成醅或酮，因此在本實驗無法使亞甲藍變色，雙醅的結構如圖五所示 (James Ashenhurst , 2022) 。



圖五 麥芽糖、乳糖、蔗糖、海藻糖之半縮醛與縮醛結構式

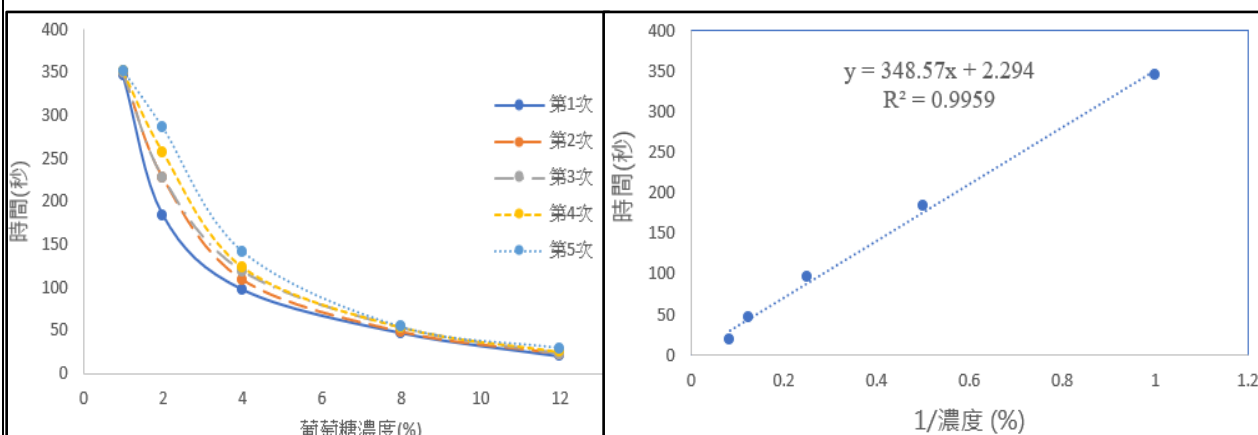
2. 實驗二：

改變葡萄糖溶液的濃度進行實驗，以 1%、2%、4%、8%、12% 葡萄糖溶液去做分析，所得的實驗結果整理於表二。實驗結果顯示，亞甲藍的變色時間隨著葡萄糖溶液濃度升高而減少，濃度與反應速率存在某種正相關而使反應速率變快，由此可知亞甲藍和葡萄糖為藍瓶反應的反應物，且亞甲藍的變色時間大致會隨著同濃度的葡萄糖溶液操作次數增加而延長，我們推論主要原因是藍瓶反應為不可逆反應，所以操作次數增加，使得瓶中葡萄糖與氧氣的濃度下降，造成反應速率變慢而增加亞甲藍變色時間。

表二 不同濃度的葡萄糖溶液造成藍瓶反應變色的時間

葡萄糖 濃度(%)	時間(秒)					平均值
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	
1.00	354.92	349.47	349.68	351.30	352.35	351.54
2.00	184.12	227.40	228.11	257.58	285.66	236.57
4.00	97.51	108.71	119.14	123.71	141.89	118.19
8.00	46.84	47.88	53.04	53.42	54.07	51.05
12.00	19.69	22.38	22.65	24.65	29.45	23.76

為了解葡萄糖溶液的濃度與反應速率的關係，我們將葡萄糖溶液平均濃度與時間作圖，如圖六所示，並將平均濃度的倒數與時間作圖，如圖七所示。實驗結果顯示，葡萄糖濃度的倒數與時間成正比關係，相關係數 R^2 為 0.9959，因此推論本研究葡萄糖溶液濃度對反應速率的影響為二級反應， $r \propto [C_6H_{12}O_6]^2$ 。



圖六 葡萄糖濃度造成藍瓶反應變色時間關係圖

圖七 葡萄糖濃度的倒數造成藍瓶反應變色時間關係圖

3. 實驗三：

改變氫氧化鈉的濃度進行實驗，以 1%、2%、4%、8%、12% 氫氧化鈉溶液探討鹼性溶液的濃度對藍瓶反應的影響，所得的實驗結果如表三所示。由於還原醣與亞甲藍的反應需在鹼性環境中進行，因此我們想深入探討氫氧根離子除了幫助還原醣的反應，是否也如同葡萄糖和氧氣會影響化學反應速率。

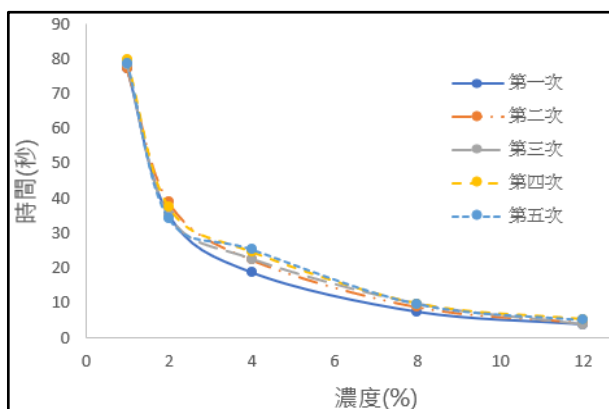
實驗結果顯示，亞甲藍的變色時間會隨著氫氧化鈉溶液濃度升高而減少，氫氧化鈉濃度與反應速率的關係如同葡萄糖溶液存在某種正相關，而使反應速率變快。此外，由表二可知，亞甲藍變色時間不會隨操作次數增加而明顯的增長，我們將氫氧化鈉濃度與亞甲藍變色的時間繪製成關係圖，如圖八所示。

表三 不同濃度的氫氧化鈉溶液造成藍瓶反應變色的時間

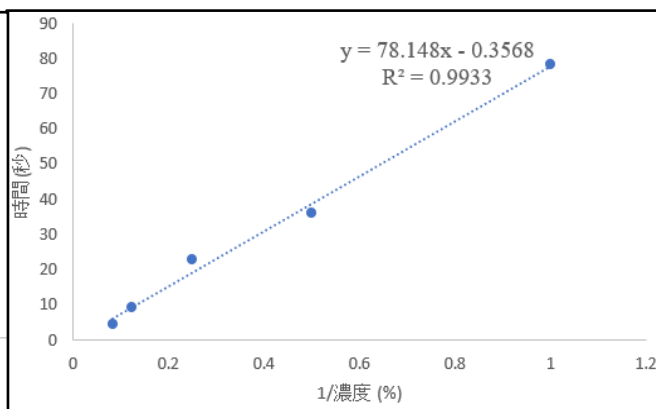
NaOH 濃度(%)	時間(秒)					
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
1.00	77.27	77.11	78.29	79.63	78.83	78.23
2.00	35.26	38.91	35.20	37.51	34.37	36.25
4.00	18.69	22.38	22.65	24.65	26.45	22.96
8.00	7.39	8.79	9.72	9.82	10.77	9.30
12.00	3.83	4.32	3.79	5.32	5.18	4.49

為了探討本實驗氫氧化鈉溶液的濃度與反應速率的關係，我們將氫氧化鈉溶液平均濃度的

倒數與反應速率(單位:1/秒)作圖,如圖九所示。實驗結果顯示,若氫氧化鈉溶液濃度與反應速率的關係為一級反應,所得的趨勢線相關係數 R^2 為 0.9581;若為二級反應,所得的趨勢線相關係數 R^2 為 0.9933,因此推論在本研究條件下,氫氧化鈉溶液濃度對反應速率的影響為二級反應, $r \propto [\text{OH}^-]^2$ 。



圖八 不同濃度的氫氧化鈉造成藍瓶反應變色的時間關係圖



圖九 氫氧化鈉溶液平均濃度的倒數與反應速率關係圖

五、結論與生活應用

- 1.具有醛基的還原糖可使亞甲藍變色產生藍瓶反應。雙糖大多具有半縮醛羥基,可發生氧化反應形成醣酸,但由2個葡萄糖形成的海藻糖與蔗糖在形成的過程中,由於結構缺少半縮醛官能基團,因此屬於非還原糖,其結構中的縮醛或縮酮只能用酸性水溶液轉化成醛或酮,因此在本實驗無法使亞甲藍變色。
- 2.亞甲藍變色時間會隨著葡萄糖溶液濃度升高而減少,使反應速率變快,由此可知亞甲藍和葡萄糖為藍瓶反應的反應物,且亞甲藍的變色時間大致會隨著同濃度的葡萄糖溶液操作次數增加而加長。
- 3.葡萄糖濃度的倒數與亞甲藍變色時間成正比關係,相關係數 R^2 為 0.9959,因此推論本研究葡萄糖溶液濃度對反應速率的影響為二級反應, $r \propto [\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6]^2$ 。
- 4.亞甲藍的變色時間會隨著氫氧化鈉溶液濃度升高而減少,使反應速率變快。將氫氧化鈉溶液平均濃度的倒數與反應速率(單位:1/秒)作圖,所得的趨勢線相關係數 R^2 為 0.9933,因此推論在本研究條件下,氫氧化鈉溶液濃度對反應速率的影響為二級反應, $r \propto [\text{OH}^-]^2$ 。

參考資料

- 1.吳鑫俞、蕭次融(2008)。藍瓶實驗。科學研習月刊 45-7。
2. James Ashenhurst(2022) Reducing Sugars。
<https://www.masterorganicchemistry.com/2017/09/12/reducing-sugars/>
- 3.葉嘉雯(2015)。3D 有趣實驗:變色搖搖瓶。科學 Online 高瞻自然科學教學資源平台。
<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=66831>
- 4.簡榮均、王致驊、莊博惟、蘇子森(2008)。搖哩!搖勒!變色。第48屆中小學科學展覽會。