

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

最佳團隊合作獎

040214

搖哩！搖勒！變色水

學校名稱：國立羅東高級中學

作者： 高二 簡榮均 高二 王致驊 高二 莊博惟 高二 蘇子森	指導老師： 李建勳 林兆駿
---	-----------------------------

關鍵詞： 氧化還原

壹、摘要

這是一個趣味實驗裡常常做的一個實驗“藍瓶反應”，雖然是一個很舊的題材，卻有著驚人的新發現。不僅葡萄糖會呈現“藍瓶反應”，半乳糖及果糖均會，且與葡萄糖結構相近的戊五醇、己六醇也呈現藍瓶反應。於是我們就發現了，只要可以繼續氧化的官能基（例如羥基或醛），在其官能基附近有拉電子基的存在，亦產生效果絕佳的藍瓶反應。

亦以葡萄糖本身為探討的主題，到底是哪一個官能基最有可能先開始反應？也探討亞甲藍、氧氣、葡萄糖及氫氧化鈉四者之間可能發生的機制及反應級數。於是就慢慢揭開藍瓶反應神秘的面紗。

貳、研究動機

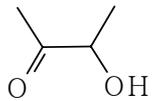
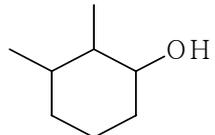
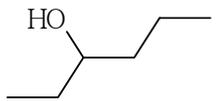
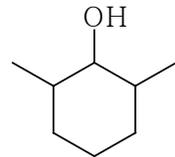
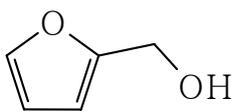
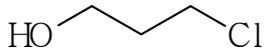
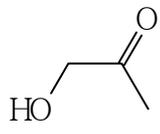
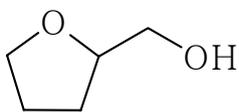
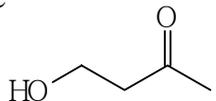
因為老師的鼓勵，於是我們決定參加科展。從搜尋的資料中，我們發現了變色水，且很多人探討過這個內容。我們也實際動手做實驗，發現實驗中所得到的結論與搜尋資料的結果並不符合，覺得有很多的資料有誤。於是再進一步仔細探討、規劃實驗，果然有很多新的發現。並希望藉由本次的科展，能發表我們的實驗過程及結論，並可讓更多的人重新認識“藍瓶實驗”。

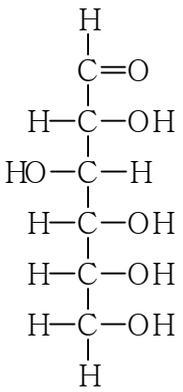
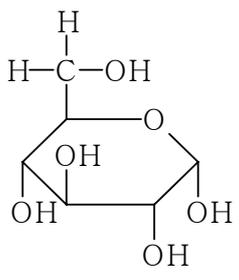
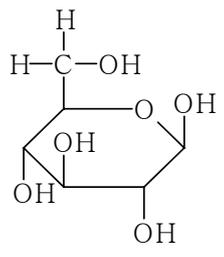
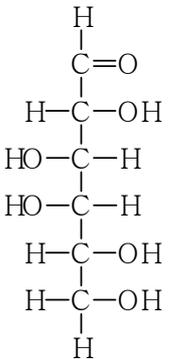
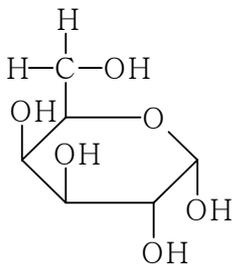
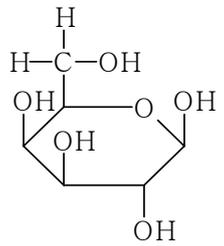
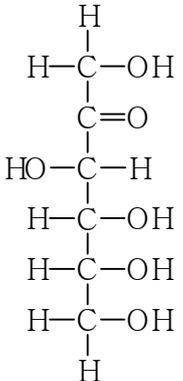
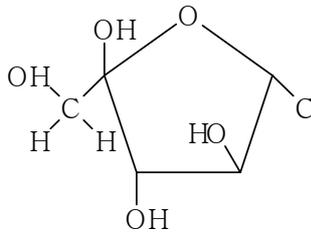
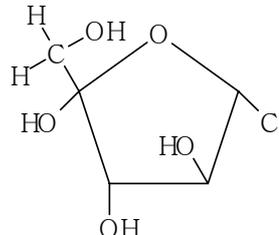
參、研究目的

- 一、探討 NaOH 與葡萄糖之間的比例關係，對亞甲藍顏色變化速率的探討。
- 二、分別以“半乳糖”及“果糖”取代葡萄糖，並討論之間共同的現象及顏色變化速率不同的探討。
- 三、以不同化合物含有 R-OH 官能基取代，並討論其可能的反應。
- 四、以不同化合物含有 R-CHO 官能基取代，並討論其可能的反應。
- 五、探討氧氣對整個反應的影響，及其反應的速率探討。
- 六、探討藍瓶反應中，可能的反應機制
- 七、探討葡萄糖藍瓶反應的速率定律式

肆、研究設備及器材

實驗藥品（結構式）	
NaOH	亞甲藍
甲醛 $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \end{array}$	丙醛 $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{O} \\ \quad \quad \parallel \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$
乙二醇 $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$	甲醇 $\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array}$

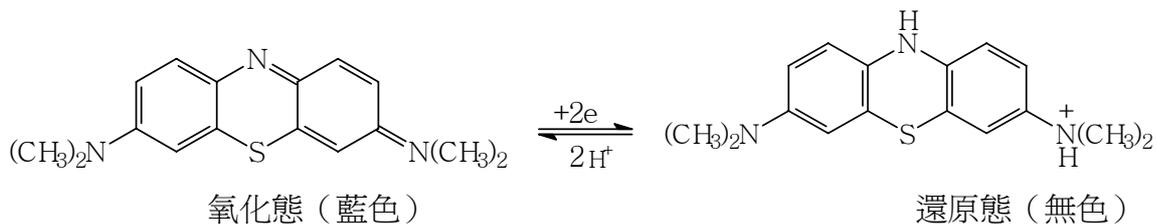
乙醇 $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	1-丙醇 $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{OH} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$
2-丙醇 $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{OH} \quad \text{H} \end{array}$	異-丁醇 $\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$
1,3 丙二醇(1,3propanediol) $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{OH} \quad \text{H} \quad \text{OH} \end{array}$	丙三醇 (甘油) $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$
戊五醇 $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \quad \quad \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$	己六醇 $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \quad \quad \quad \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$
acetoin 	2,3-dimethyl cyclohexanol 
3-Hexanol 	2,6-dimethyl cyclohexanol 
Furfuryl alcohol 	3-chloro-1 propanol 
acetol 	Tetrahydrofurfuryl alcohol 
4-hydroxy-2-butanone 	

<p>葡萄糖</p> 	<p>α-葡萄糖</p> 	<p>β-葡萄糖</p> 
<p>半乳糖 直鏈式結構</p> 	<p>α-半乳糖 (半縮醛)</p> 	<p>β-半乳糖</p> 
<p>果糖 直鏈式結構</p> 	<p>α-果糖</p> 	<p>β-果糖</p> 

伍、研究過程及方法

一、原理和概念：

亞甲藍結構式如下：



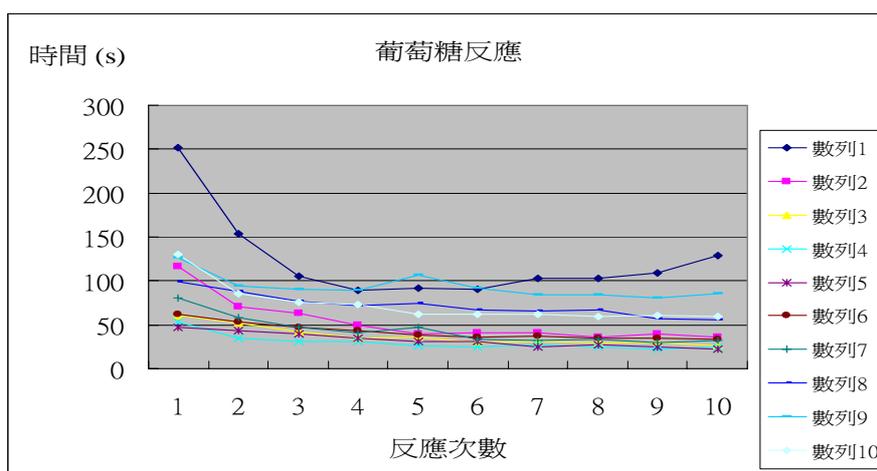
亞甲藍在酸性條件下為氧化態其顏色是藍色，得到電子呈現還原態其顏色是無色。在強鹼之下亞甲藍呈現紫色，加入葡萄糖轉為無色。在藍瓶反應中未搖動之前為無色，經一搖動瞬間為藍色，隨後顏色又消失，表示亞甲藍在整個過程中先失去電子（氧化態）呈現藍色，馬上又得到電子（還原態）呈現無色。

陸、實驗方法：

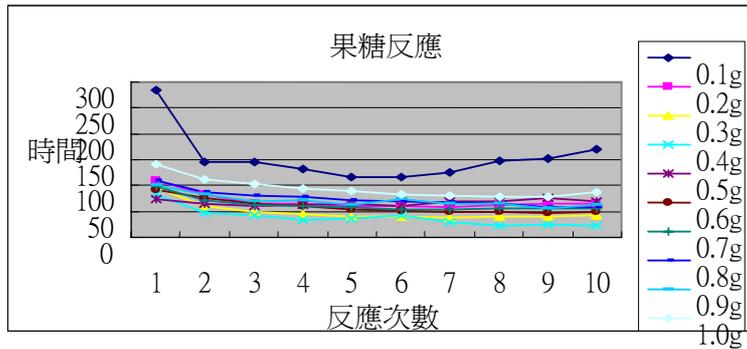
- 1.配製不同濃度的葡萄糖溶液及 NaOH 溶液，搖動 15 下使之變回藍色，並記錄其最佳的關係。
- 2.分別在試管內置入 NaOH 溶液、亞甲藍溶液以及半乳糖、果糖重複實驗一的步驟。
- 3.以不同含有 R-OH 官能基的不同化合物，重複實驗一的步驟（藥品如表列）
- 4.以不同含有 R-CHO 官能基的不同化合物，重複實驗一的步驟（藥品如表列）
- 5.以溶氧電極分別實驗不同糖類、丙三醇、戊五醇、己六醇.....等的耗氧速率。
- 6.在不同 pH 值下以溶氧電極偵測葡萄糖的耗氧速率。
- 7.加入不同量的亞甲藍並紀錄及顏色變化的時間。

柒、研究結果

1. 不同濃度的葡萄糖溶液及 NaOH 溶液，搖動 15 下後藍色變回無色，其時間與速率關係如下：



不同濃度的果糖溶液及 NaOH 溶液，搖動 15 下後藍色變回無色，其時間與速率關係如下：



說明：由葡萄糖及果糖的上列表中，可得到兩個結論：

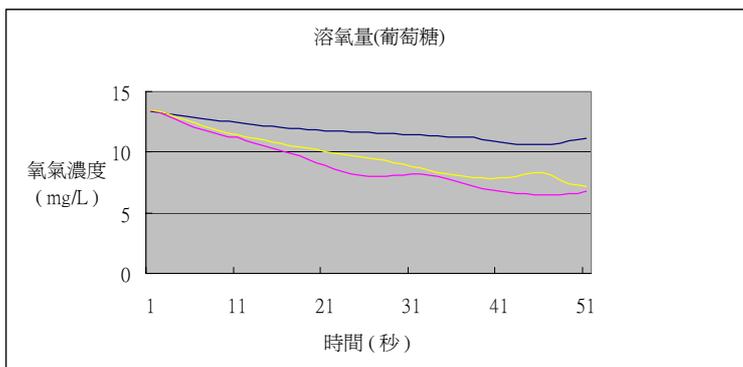
- ①第一次所變色的時間都比較長
- ②葡萄糖克數愈多，變色的時間其差距相當的接近

我們探討的結果是：

- ①剛開始反應時，葡萄糖進行氧化還原，大量的電子需要靠相互的碰撞才發生轉移，所以亞甲藍變色時間比較長
- ②葡萄糖克數愈多，變色的時間其差距變小，是因為大量的分子、離子及氧氣之間需要相互碰撞，才有機會進行氧化還原。並且電子在液態的環境下進行轉移，這樣的有效碰撞需要同時進行才有機會產生藍瓶現象。所以當克數變多的時候，也是分子數目變多。因有大量的“粒子”要碰撞，所以呈現變色的時間差異性就變小了。
- ③顏色變化的時間長不是代表反應慢，而是表示著有大量的電子正準備轉移，進行氧化還原反應。

2.測溶氧數據如下圖所示：

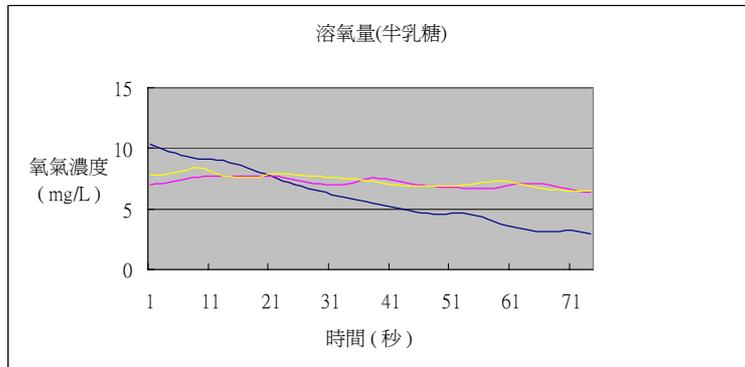
(1) 將葡萄糖連續 3 次溶氧結果如下圖所示：



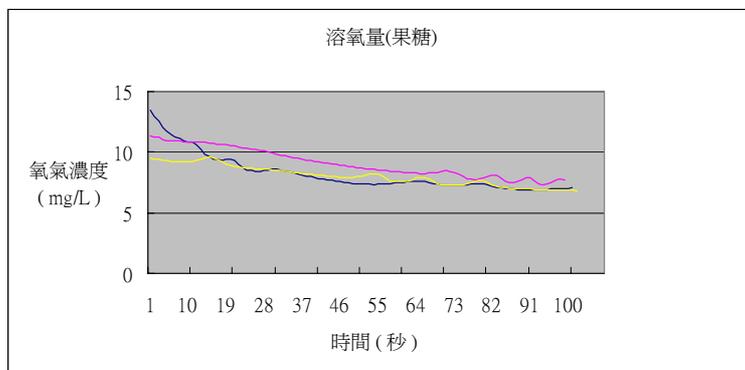
說明：葡萄糖的溶氧電極偵測可以看出在 40 秒前，其氧氣濃度的下降量呈現一線性關係，其

後均變的較平緩，是因為水溶液中的溶氧已經減少，故耗氧量亦相對較不明顯

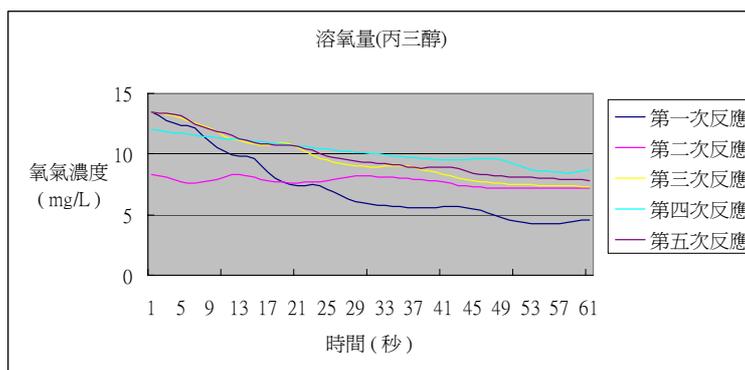
(2) 半乳糖耗氧速率如下：



(3) 果糖耗氧速率如下：

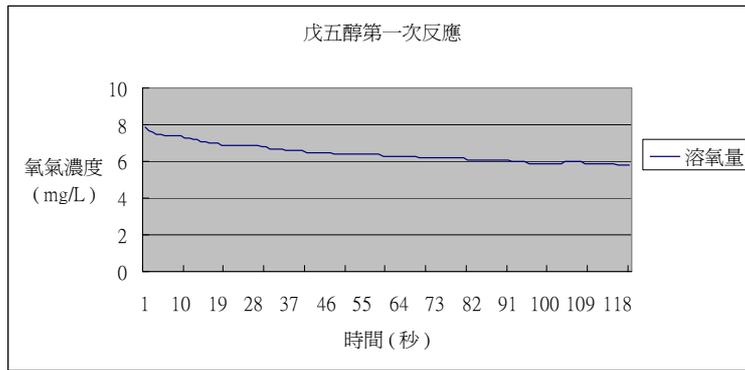


(4) 將丙三醇連續 5 次溶氧結果如下圖所示：

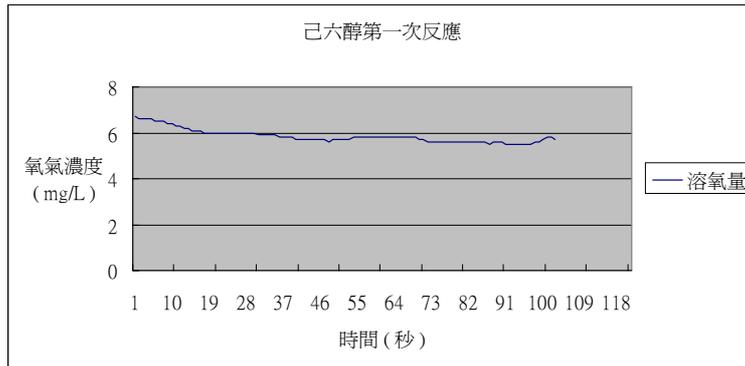


說明：丙三醇會產生藍瓶反應，其連續 5 次的溶氧偵測值，其後曲線仍趨於平緩

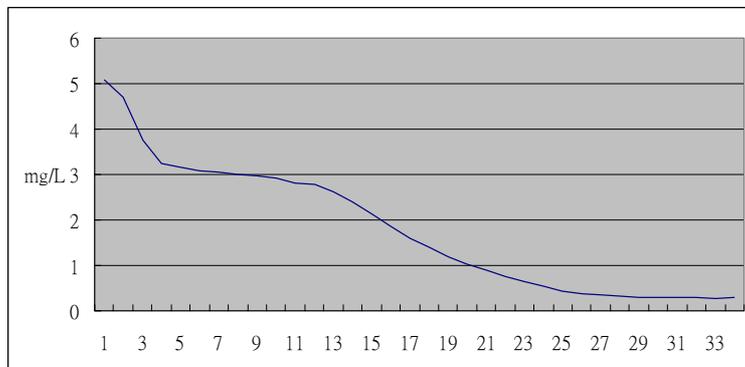
(5) 戊五醇糖耗氧速率如下：



(6) 己六醇耗氧速率如下：

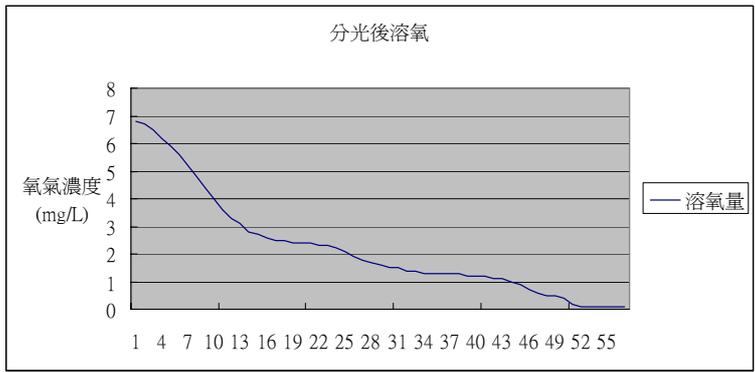


3.以 0.1 克葡萄糖、1 M NaOH、亞甲藍進行反應每 3 分鐘取 1ml 溶液加入固定體積本氏液進行分光度計實驗，其吸收度如下表所示：

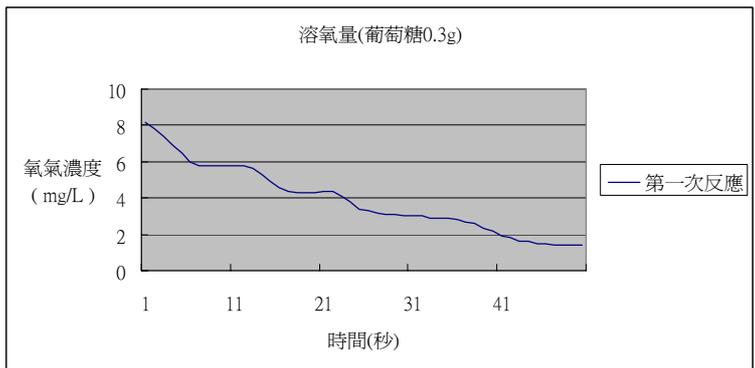
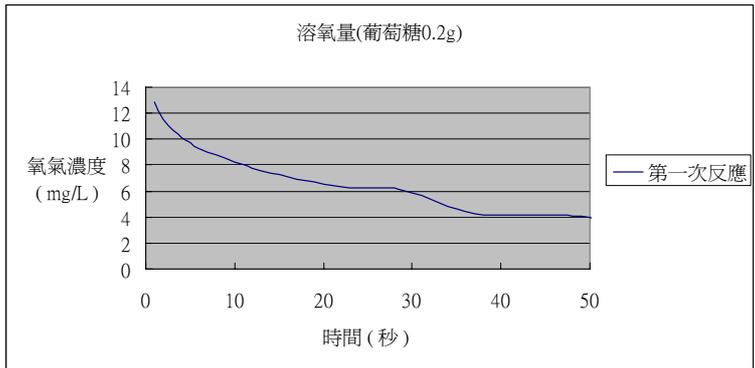
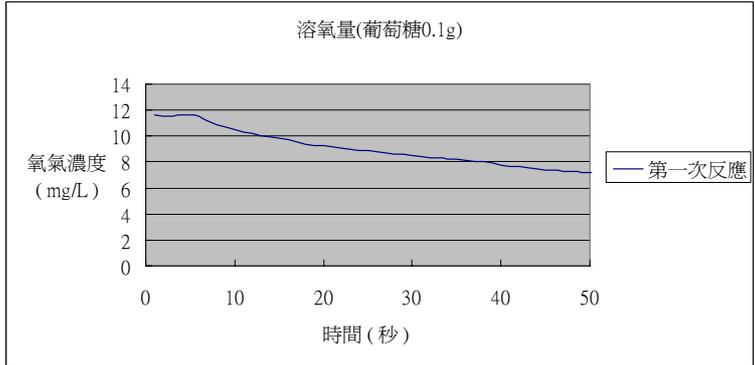


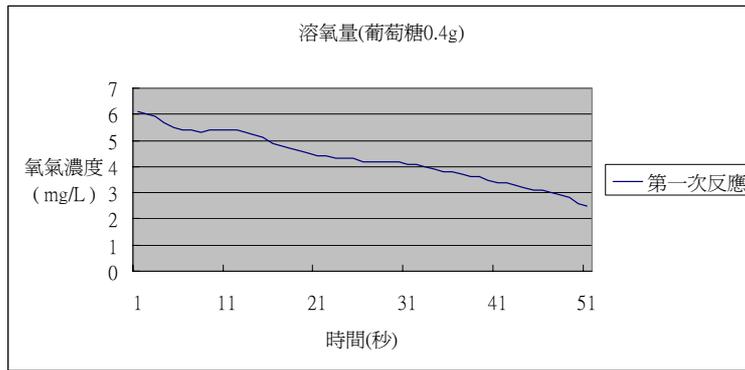
說明：前 12 分鐘時下降較快，其後趨於緩和；約 40 分鐘時又開始往下掉；約 81 分鐘左右所加入的本氏液其顏色已經沒有變化，表示所加入的葡萄糖已經沒有“半縮醛基”可以與本氏液產生反應。

之後再以溶氧電及測試，其溶氧速率如下所示：表示葡萄糖上的羥基開始反應



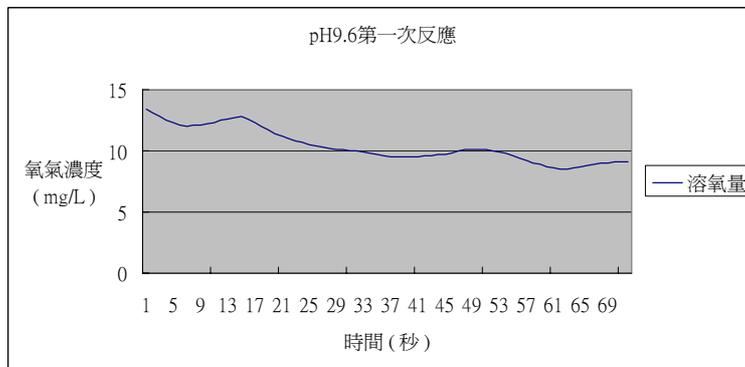
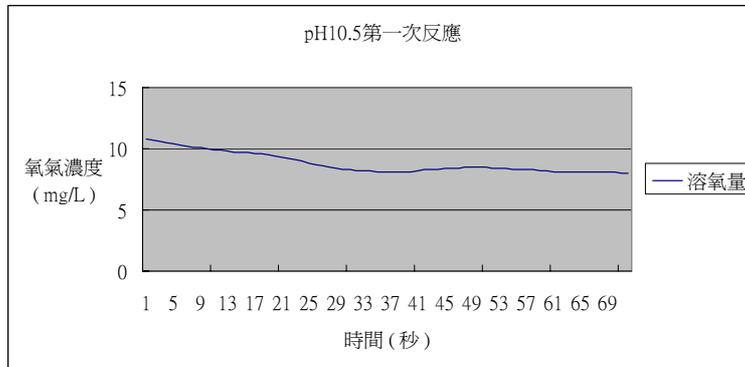
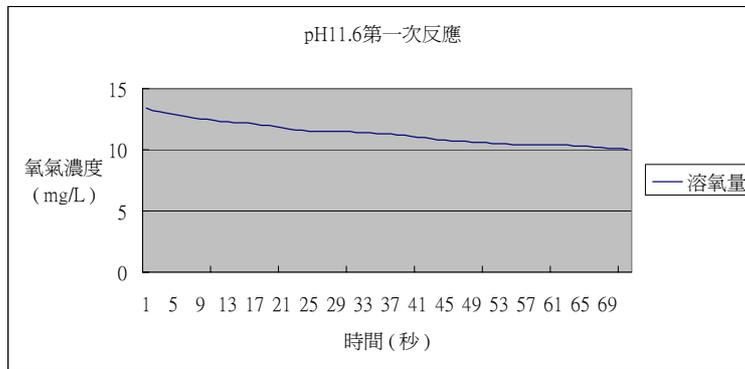
4.不同克數的葡萄糖，其溶氧速率如下所示：

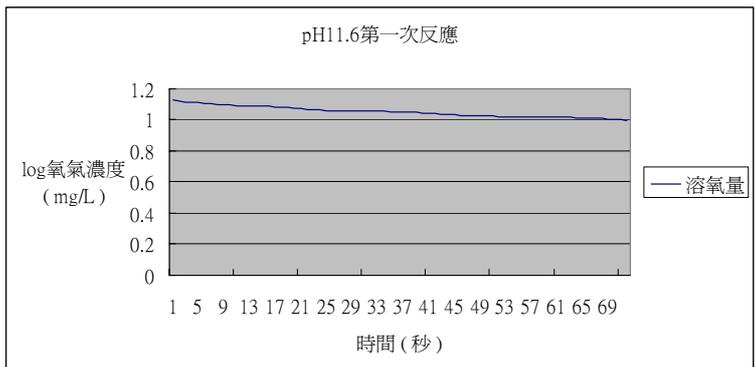
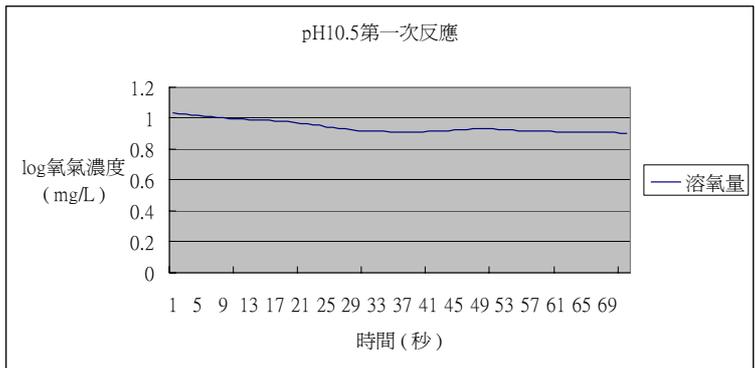
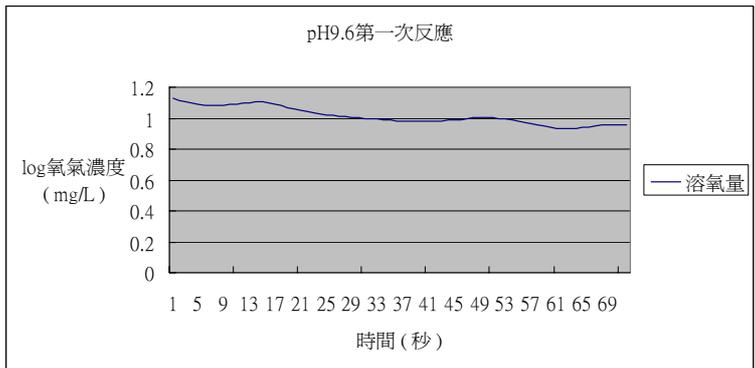
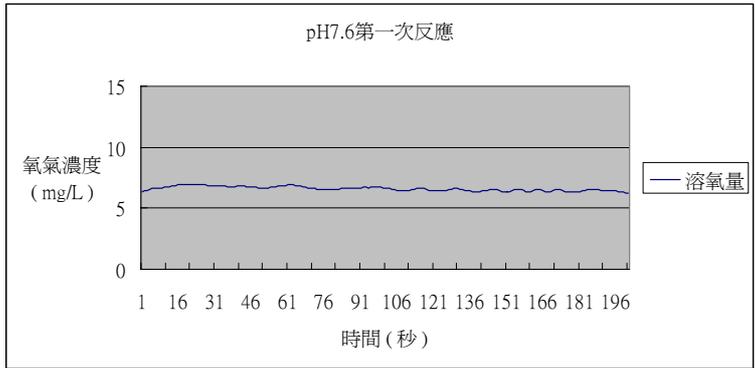
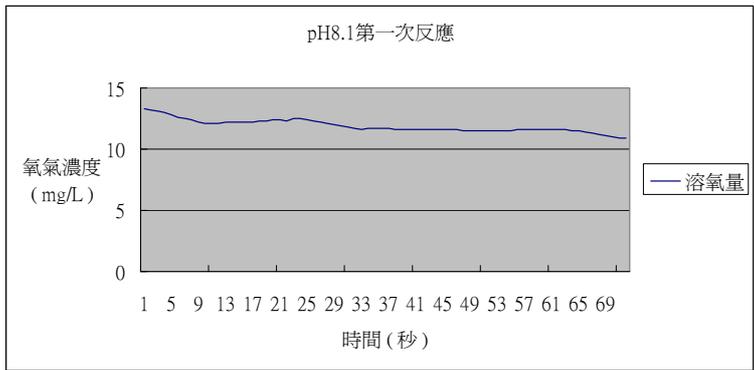




說明：葡萄糖克數的改變對溶氧量的測定，約可看出下降量，對反應速率而言是屬於“零級”反應。

5.不同 pH 值下，葡萄糖的溶氧速率如下所示：

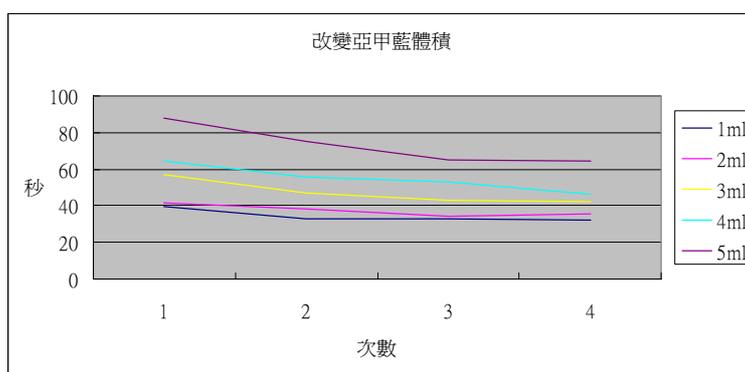




說明：氫氧化鈉的濃度大小對藍瓶反應影響最明顯：

- ①沒有加入氫氧化鈉，不會產生藍瓶現象
- ②實驗中 pH 值太低反應效果差，pH 值 7~8 左右時由上圖可看出溶氧量沒有變化，實際實驗中也沒有藍瓶現象
- ③加入氫氧化鈉的克數越多藍瓶現象愈明顯，由 log 作圖可看出其反應速率是屬於“一級”反應。

7.改變亞甲藍體積結果如下：



說明：亞甲藍加入多藍瓶反應變色的時間相對變長。對亞甲藍而言約可看出其反應速率是屬於“零級”反應。

捌、討論：

(一) 實驗部份

- 1.在找最佳濃度的實驗中，我們發現不同葡萄糖及不同 NaOH 溶液的濃度之間，其顏色的變化速率明顯的不同。後決定以 NaOH 溶液 1.0M 3ml 為定量實驗，進而改變不同的糖類或可能的化合物濃度，以作為操作變因。
- 2.因每次搖動的次數可能造成變因，於是同一個人負責，以減少實驗誤差。
- 3.因每次實驗中所加入的亞甲藍是固定量，所以先配製好固定的濃度及加入固定的體積，作為控制變因。
- 4.為要證明氧氣的確有參與反應，所以在氮氣系統下進行藍瓶反應，並確定在氮氣系統下無法變色，我們並攝影記錄之，所以才會繼續以溶氧電極以進行反應速率的實驗，進而求其反應的速率及反應級數。
- 5.為要證明葡萄糖是哪個官能基參與反應，所以本實驗分成兩大部分不同的官能基為主要的

討論內容。

- (1) 以 R-OH 不同化合物為主要的實驗設計及討論的內容
- (2) 另一是以 R-CHO 不同化合物為主。
- (3) 以不同化合物的結構式與葡萄糖的結構式作為主要相互對照及比較，包含葡萄糖的直鏈形式及環狀形式。

而我們也有新的發現，只要有適當條件且可以繼續氧化的官能基，只要旁邊有拉電子基存在，均有機會使亞甲藍得到電子呈還原狀態而呈現無色。

(二) 第二部分 由化合物分子結構作為實驗設計及討論

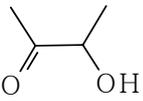
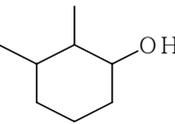
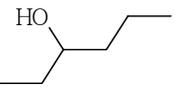
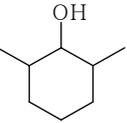
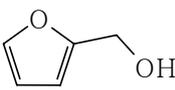
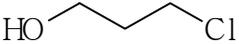
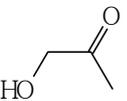
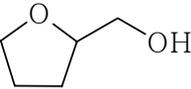
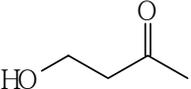
1. 化合物含有-CHO 官能基

甲醛	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \end{array}$	不反應
丙醛	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{O} \\ \quad \quad \parallel \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	不反應

含有-CHO 官能基與葡萄糖的末端相似，但是甲醛及丙醛均不反應，表示在相同的條件下進行實驗，末端的醛基無法進行氧化。在所進行末端的醛基化合物中，化合物僅有甲醛及丙醛，因 4 個碳以上的化合物對水的溶解度很差，故不易進行實驗及探討。

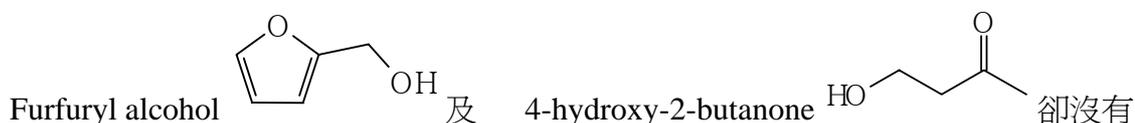
2. 化合物含有-OH 官能基

甲醇	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array}$	不反應
乙醇	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	不反應
乙二醇	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$	反應
1-丙醇	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{OH} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	不反應
2-丙醇	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{OH} \quad \text{H} \end{array}$	不反應

異丁醇	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	不反應
1,3 丙二醇	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{OH} \quad \text{H} \quad \text{OH} \end{array}$	反應
丙三醇	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$	反應
戊五醇	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \quad \quad \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$	反應
己六醇	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \quad \quad \quad \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$	反應
acetoin		反應
2,3-dimethyl cyclohexanol		不反應
3-Hexanol		不反應
2,6-dimethyl cyclohexanol		不反應
Furfuryl alcohol		不反應
3-chloro-1 propanol		反應
acetol		反應
Tetrahydrofurfuryl alcohol		反應
4-hydroxy-2-butanone		不反應

結果：

- (1) 含有-OH 官能基上表所列的化合物中，其中若沒有拉電子基，則一元醇均不反應，包含本實驗中使用的甲醇、乙醇、1-丙醇、2-丙醇、異丁醇、2,3-dimethyl 3-Hexanol、2,6-dimethyl cyclohexanol (除了 acetoin 之外)，表示在相同的條件下進行實驗時，一元醇的不同化合物包含一級醇、二級醇及三級醇均無法進行氧化，故無法呈現藍瓶反應。但 acetoin、3-chloro-1 propanol、acetol、Tetrahydrofurfuryl alcohol 卻可以呈現效果佳的藍瓶反應，從結構上來看提供了我們一個很重要的訊息----R-OH 官能基旁邊多了一個拉電子基，可以使-OH 官能基進行氧化反應，而且是效果佳的藍瓶反應。但是



這樣的現象，我們推論的結果是 Furfuryl alcohol 上有 π 鍵降低了其拉電子的能力。而 4-hydroxy-2-butanone 是上的“酮”拉電子較弱且與“羥基”的距離較遠，所造成的結果。

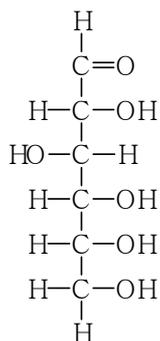
- (2) 含有多元醇的化合物中乙二醇、1,3 丙二醇、丙三醇、戊五醇、己六醇均呈現藍瓶反應，而反應的速率不同。其中丙三醇反應速率較快，其次是戊五醇、己六醇，最慢是乙二醇。而乙二醇最慢的可能原因是：其上相鄰的兩個羥基相互之間均是拉電子基，造成兩力之間相互抵銷，而減弱了其被氧化的速率，所以其產生的藍瓶現象很慢而不明顯。

另外我們亦以分子的結構仔細推究其原因，可以發現多元醇中-OH 均是相鄰的位置，且-OH 本身也是拉電子基，而多個羥基之間相互的拉力並不相同，其中的一個羥基先被氧化，是故以多元醇的化合物中丙三醇、戊五醇、己六醇亦能進行藍瓶反應。且以戊五醇、己六醇而言，其分子式與葡萄糖的分子結構（直鏈式結構）更相似。其

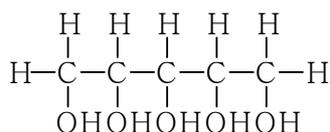
結構相較如下：

以此推論，葡萄糖上的羥基亦有可能氧化而產生藍瓶現象。

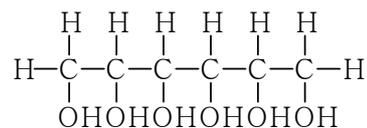
葡萄糖



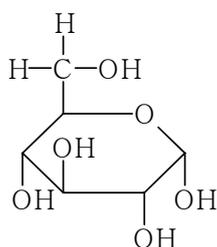
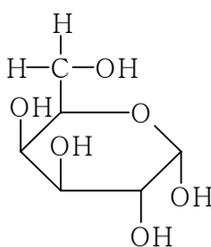
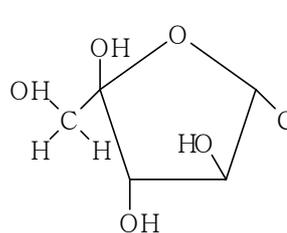
戊五醇



己六醇



(3) 而在水溶液中大部分的單糖是以環狀結構存在 (以 α 結構而言), 其結構如下:

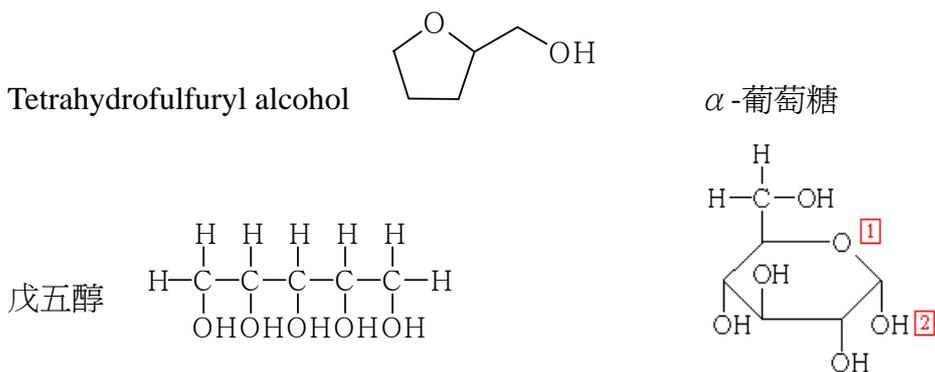
 α -葡萄糖 α -半乳糖 α -果糖

在進行本實驗時, 就已發現除葡萄糖外, 半乳糖及果糖亦均能產生藍瓶反應。就以其分子的環狀結構作為討論, 發現更能符合其中一個重要的推論—R-OH 基旁邊必須有一個拉電子基 (-O-), 其能進行效果佳的藍瓶反應。而葡萄糖、半乳糖及果糖均符合這樣的條件。但是我們必須更仔細實驗證明: 是半縮醛基進行反應, 還是半縮醛基當作是拉電子基, 使其旁邊的-OH 進行反應, 所以又進行了分光度計的吸收度實驗。

(三) 第三部分 分光度計吸收度實驗

1. 每 3 分鐘進行分光度計的吸收度實驗: 以 Micropipette 吸取 1ml 的混合液, 調其 pH 值約 7, 並加入 1ml 本氏液, 最後加入蒸餾水使總體積為 10ml, 測其吸收度 (波長 560nm)。發現吸收度一直下降, 表示其半縮醛基一直減少, 約 81 分鐘後吸收度不再改變, 曲線趨於水平, 表示半縮醛基已經反應完畢。而我們又繼續進行藍瓶反應, 當一搖動試管時, 顏色亦有變化, 但反應速率已經變慢, 測其溶氧量仍繼續下降, 也表示其上的羥基發生氧化, 反應的速率也較緩和。這也是進行藍瓶反應時我們發現葡萄糖、半乳糖及果糖可以反應的時間較久的主要原因。若以 acetoin 做相對比較, acetoin 可以產生藍瓶反應的連續次數, 則明顯減少。

2.以 Tetrahydrofurfuryl alcohol 及戊五醇與 α -葡萄糖作比較及推論：



- ① Tetrahydrofurfuryl alcohol 有藍瓶反應，表示其環上的“醚”（-O-）是拉電子基使“羥基”發生氧化；亦表示 α -葡萄糖半縮醛基旁邊的“羥基”亦有機會發生氧化。另由本氏液證明 α -葡萄糖半縮醛基是會參與反應的。由上述的本氏液實驗及 Tetrahydrofurfuryl alcohol 有藍瓶反應，可間接推論得知： α -葡萄糖有兩處的官能基，最有機會最先氧化而產生藍瓶現象：一是環上的半縮醛基，另一是環上半縮醛基旁邊的“羥基”。
- ② 戊五醇有藍瓶反應，表示其上的“某一羥基”有發生氧化，但速率較慢。這也是葡萄糖在本氏液實驗中證明-----“半縮醛基”已經反應結束後，葡萄糖仍呈現了藍瓶反應，亦證明了其上的“某一羥基”會繼續發生氧化而反應。這也是進行藍瓶反應時，葡萄糖可以連續反應多次的主要原因。

（四）第四部分 反應速率、反應級數及速率定律式的探討

- 將實驗的數值與時間作圖，約可得一條線性直線，依照所學到的反應速率定律式，濃度改變量與時間呈現線性關係時，屬於零級反應，其半生期應為 $\Delta [] / 2$ ；而濃度的對數值與時間呈現線性關係時，屬於一級反應。
- 線性關係圖之直線方程式，其斜率即為反應速率常數 $\langle k_f \rangle$ 。由此數值可以探討不同化合物反應速率之快慢。就以葡萄糖為主要的討論對象，在整個反應過程中，有幾個參與反應的變因：

- | | |
|------------|-------------|
| ① 葡萄糖的濃度變化 | ② 亞甲藍 |
| ③ 氧氣 | ④ 氫氧化鈉的濃度變化 |

其速率定律式為 $r = k [\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6]^w [\text{亞甲藍}]^x [\text{O}_2]^y [\text{OH}]^z$

玖、結論：

一、從實驗中得知：藍瓶反應是一不可逆反應。每一搖動錐形瓶時，瓶內空氣中的 O_2 便參與反應，亞甲藍產生藍色又退色，表示所加進去的糖或其他的反應物已經開始氧化，使亞甲藍從氧化態藍色，又瞬間得電子成還原態而變為無色。而反覆而連續的產生藍瓶現象，是因為所加進去的糖或其他的反應物只有部分的去參與反應，當藍瓶最後反應停止不再有顏色變化時，表示所加進去的糖或其他的反應物已經反應而氧化完畢，也就是反應物已經完全反應完了。這也是為什麼藍瓶反應最後會終止的原因。

二、本實驗中發現葡萄糖、半乳糖及果糖，可以反覆產生藍瓶反應的連續次數及時間均比其他的化合物久。經本實驗中的實驗推論：是因為其上的幾個官能基均有機會繼續反應而持續氧化，所以可以多次的連續進行而反應。但時間一久仍會失去藍瓶現象。

三、本實驗非可逆反應的幾個重要原因：

- ①溶氧電極去偵測水溶液中的氧氣含量，得到氧氣的濃度一直下降，氧氣是有參與反應的。另外在氮氣的系統下，則不會有藍瓶現象發生。
- ②由本氏液去偵測葡萄糖的剩餘含量，確知葡萄糖的半縮醛基會參與反應。
- ③本實驗中所列化合物，只要會呈現藍瓶現象的，最後這個現象都會終止。

四、本實驗所有的化合物中，會產生藍瓶反應的，主要是官能基-----“醛基”及“羥基”因可氧化，所以均有機會產生藍瓶反應。但有另一個重要的條件是：其相鄰或附近的位置上必須要有一個拉電子基存在，才會使相鄰的“醛基”及“羥基”有條件的氧化。在相鄰位置

時，其反應速率會較快，例如：；而在第 2 個碳的位置，其反應速

率會較慢一點，例如：。是因為位置遠近的不同，造成拉電子基的能力不同所致。

五、在葡萄糖的後續實驗中，我們想要證明到底是哪一個官能基參與了反應，於是控制葡萄糖的含量，於固定時間（每 3 分鐘）吸取 1ml 溶液，並控制 pH 值，加入“本氏液”，並由光電比色計（波長 560nm），去紀錄葡萄糖的剩餘含量。發現本氏液產生顏色變化，隨時間的增長而下降，表示半縮醛基有進行氧化含量減少，相對的本氏液反應亦減少。所以約 81 分鐘後，顏色吸收度沒有變化。另又繼續進行藍瓶變色反應及溶氧量的偵測，發現溶氧量下降且有藍瓶反應，但反應的速率變慢。這是因為其上的羥基再繼續氧化所產生的現象。至於是哪一個羥基先反應則需要進更精密的實驗設計才能得知。

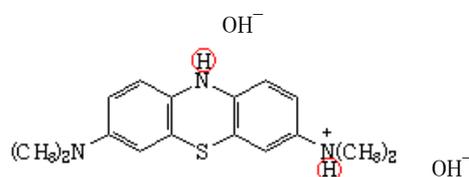
六、本實驗反應機制的推測：

1. 強鹼下：(1) OH^- 去抓亞甲藍上的“H”，在 O_2 下亞甲藍氧化失電子成氧化態(藍色)

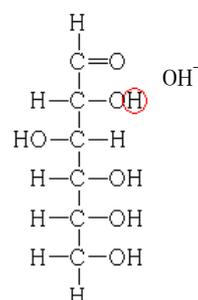
(2) OH^- 同時去抓葡萄糖羥基上的“H”，在 O_2 下同時進行氧化。

2. 葡萄糖氧化失去大量的電子，並在水溶液中藉由碰撞，而將電子轉移給氧化態的亞甲藍，當亞甲藍一得電子馬上又呈現還原態(無色)，簡單示意如下所示：

亞甲藍還原態（無色）



葡萄糖



七、反應速率、反應級數及速率定律式的結果探討

1. 本實驗藉由亞甲藍的顏色變化，葡萄糖的濃度改變量與時間呈現線性關係，可得知葡萄糖為“零級反應”。

2. 在進行藍瓶反應時，為確定 O_2 參與反應，所以在 N_2 下進行，所得到的是…沒有變色的現象，其過程也錄影。所以在搖動時，瓶中的 O_2 的確會參與反應， O_2 本身就是反應物。利用溶氧電極測量 O_2 的消耗速率。從實驗數據中，其 O_2 濃度改變量與時間呈現線性關係，可得知 O_2 為“零級反應”。

3. NaOH 的確會影響反應速率，若沒有加入 NaOH 則不會產生藍瓶反應，在不同的 pH 值下，其溶氧速率的測定則有明顯的不同

4.本實驗經數據的分析結果，其速率定速式為

$$r = k [\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6]^0 [\text{亞甲藍}]^0 [\text{O}_2]^0 [\text{OH}]^1$$

最後可得到速率定律式 $r = k [\text{OH}]$

註：另有實驗影片

拾、參考資料及其他

1.<http://pckchem.ncue.edu.tw/laboratory/chemdemo/84/8424032/藍瓶反應.htm>

2.http://en.wikipedia.org/wiki/Methylene_blue 甲基藍本身結構

3.<http://www.deliabw.edu.hk/klip/uit/Redox.htm>

4.<http://home.kimo.com.tw/pj8559/a/a008403.htm>

5.中國大百科全書/化學 I / P.478/還原.還原劑.還原顏料

6.中國大百科全書/化學 II / P.1092/氧化還原反應

7.大美百科全書/21/ P.123/氧化還原反應

8.大美百科全書/23/ P.166/氧化還原

9.<http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E4%B8%99%E4%B8%89%E9%86%87&variant=zh-tw> 維基百科全書

【評語】 040214

本件作品從一件有趣的現象，變色的藍色瓶，著手探討其影響因素。在作品的進行過程中，團隊成員分工合作各負其責使得研究順利進行。