

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高中組 化學科

040209

滲透來去

學校名稱：花蓮縣私立海星高級中學

作者： 高二 徐韶遠 高二 黃子庭 高二 林品右	指導老師： 保淑卿 江一珉
-----------------------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：超簡易滲透壓儀、表面張力、依數性質

摘要

為進行綠色實驗，達到實驗器材微型化的目的，使用毛細管及離心管取代高中課程中的 U 型管，我們選用毛細管來觀察兩端液面差(ΔD)，並將毛細現象可能造成的誤差(ΔH)納入校正後，解決了一般滲透壓實驗耗時、效率差的問題，一套不到 60 元的有效率的簡易滲透壓儀便成形了。

滲透壓為一種依數性質，溶液中粒子的數量會影響滲透壓的大小。在滲透壓公式： $P = i * C_M R T$ 中 i 為范托夫常數，故我們選擇 i 不同的 3 種溶液($C_6H_{12}O_6$ 、 $NaCl$ 、 Na_2CO_3)來進行實驗，並建立簡易滲透壓儀測量 3 種溶液($C_6H_{12}O_6$ 、 $NaCl$ 、 Na_2CO_3)的毛細管液面差($\Delta D - \Delta H$ ，經毛細現象校正)與濃度關係式如下：

$$C_6H_{12}O_6: P_{\text{實驗值}} = [(\Delta D - \Delta H) + 3.2/17.6] \times R \times T \times i$$

$$NaCl: P_{\text{實驗值}} = [(\Delta D - \Delta H) + 0.7/14] \times R \times T \times i$$

$$Na_2CO_3: P_{\text{實驗值}} = [(\Delta D - \Delta H) - 3.67/6.93] \times R \times T \times i$$

$P_{\text{實驗值}}$ ：滲透壓(atm)

$\Delta D - \Delta H$ ：用毛細現象校正過的簡易滲透壓兩端液面差(cm)

R ：常數 0.082(atm*L/mol*K)

T ：凱式溫標(K)

壹、研究動機

滲透壓是一種藉由溶液之中的濃度差而形成的壓力，現在大眾普遍追求養生的社會中，血液、尿液、飲料的滲透壓皆能作為保健的重要依據，但我們發現市面上測量滲透壓的儀器普遍都非常昂貴，而課程中實驗裝備平衡時間緩慢，所以我們想利用實驗室裡簡單的器材製造一個便宜、精準又不浪費時間的設備。

貳、研究目的

- 一、 H_2O 、 $C_6H_{12}O_6$ 、 $NaCl$ 、 Na_2CO_3 水溶液的毛細現象實驗(同種溶液不同濃度的比較)
- 二、相同濃度時不同水溶液($C_6H_{12}O_6$ 、 $NaCl$ 、 Na_2CO_3)的毛細現象實驗
- 三、簡易滲透壓儀 $C_6H_{12}O_6$ 、 $NaCl$ 、 Na_2CO_3 水溶液的滲透壓實驗(同種溶液不同濃度的比較)
- 四、簡易滲透壓儀相同濃度時不同水溶液($C_6H_{12}O_6$ 、 $NaCl$ 、 Na_2CO_3)的滲透壓實驗
- 五、簡易滲透壓儀實驗值($\Delta D - \Delta H$)與滲透壓理論值($P = i * C_M R T$)間的關係
- 六、透析膜對溶質的通過率探討

參、研究設備及器材

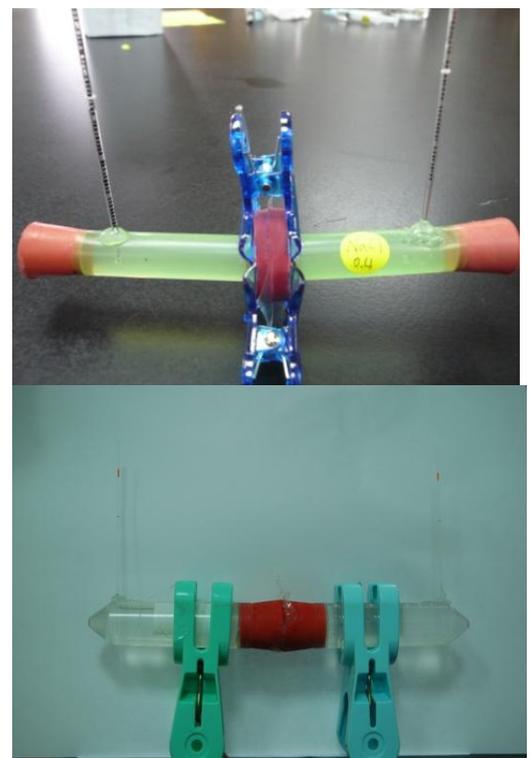
器材及儀器	藥品
曬衣夾	0.25M、0.5M 及 1M $C_6H_{12}O_6$ 水溶液
離心管	0.25M、0.5M 及 1M $NaCl$ 水溶液
橡皮塞	0.25M、0.5M 及 1M Na_2CO_3 水溶液
毛細管	蒸餾水
標準透析模(visking seamless cellulose tubing)	
熱溶膠	
酒精燈	
計時器	

肆、研究過程或方法

一、探討及自行製作簡易滲透壓儀

滲透壓為一種依數性質，溶液中粒子的數量會影響滲透壓的大小。在滲透壓公式： $P = i * C_M R T$ 中 i 為范托夫常數，故我們選擇 i 不同的 3 種溶液($C_6H_{12}O_6$ 、 $NaCl$ 、 Na_2CO_3)來進行實驗。

為進行綠色實驗，達到實驗器材微型化的目的，使用毛細管及吸管取代高中課程中的 U 型管，但遇到漏液的問題(圖見右上)，而改用離心管取代吸管並設計橡皮塞套緊半透膜的方式；為了縮短一般滲透壓實驗耗時、效率差的問題，我們選用毛細管來觀察兩端液面差(ΔD)，並將毛細現象可能造成的誤差(ΔH)納入校正後，一套不到 60 元的有效率的簡易滲透壓儀(圖見右下)便成形了。

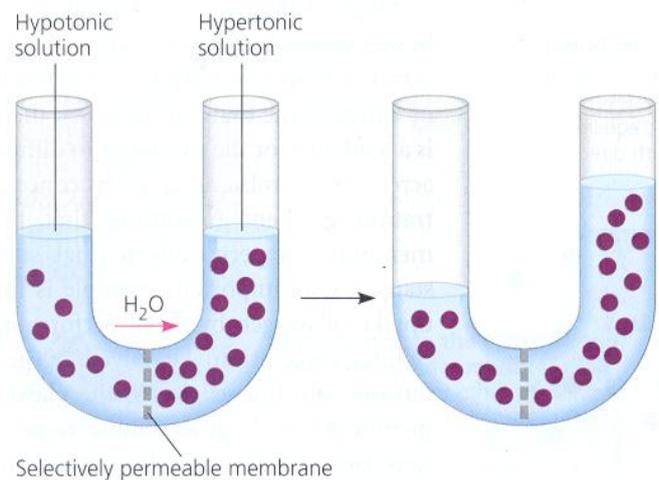


二、 滲透壓原理：

動植物體中有許多薄膜，對於不同物質的通過具有選擇性，大部分能讓顆粒較小的溶劑，卻不讓體積較大的溶質液體穿透，具有這種性質的薄膜稱為半透膜(semipermeable-membranes)，常見的有細胞膜、膀胱壁、腎小管及人工合成的薄膜等。如果以純水與高張溶液間以半透膜隔開，水分子能夠從半透膜的兩邊穿透移動，但速率不同，而由純水穿透到高張溶液的速率，大於高張溶液穿透到純水的速率，造成較多水分子由低張濃度溶液往高張濃度溶液的現象，稱為滲透作用(osmosis)。由於兩個方向滲透的速率不等，所以膜兩邊液體的高度不同，此過程一直進行到兩邊的擴散速度相等為止。

取一中空玻璃管，以半透膜包緊管口，內置入高張溶液，放於裝有純水的溶液之中，則見管內高張溶液之液面逐漸升高，到某個高度才停止，此即到達平衡。此時，高張溶液液面與純水液面因高度不同所產生的壓力差稱為滲透壓(P)。此時，若管中高張溶液的濃度越高，則液面會升高越多，及滲透壓越大。

荷蘭化學家范托夫，於西元 1886 年，根據實驗數據提出范托夫方程式(Van't Hoff equation)——滲透壓與溶液的濃度和溫度成正比，它的比例常數就是氣體狀態方程式中的常數 R。



產生的壓力差稱為滲透壓(P)。此時，若管中高張溶液的濃度越高，則液面會升高越多，及滲透壓越大。

$$P = i * C_M R T$$

P：滲透壓(atm)

i：范托夫因子

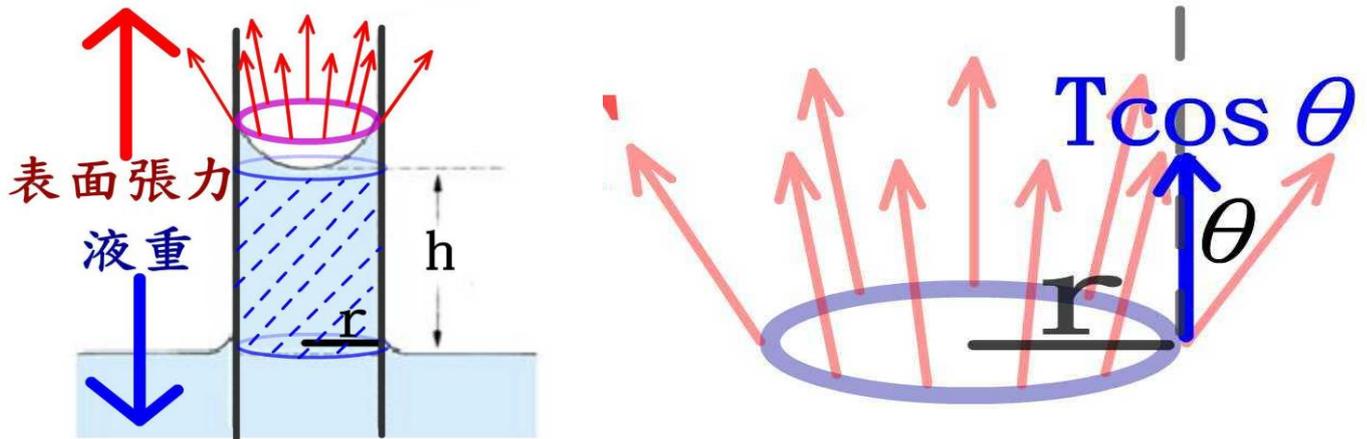
C_M：體積莫耳濃度

R：常數 0.082(atm*L/mol*K)

T：凱式溫標(K)

三、 毛細現象原理

以水的毛細現象為例，表面張力造成的向上合力。



液面中與管子接觸的地方是一圓形，左圖中的紫色圓週長，將表面張力取垂直分量： T_x ， $T_x = T \cos \theta$ ，再將垂直分量乘上接觸的圓週長 $2\pi r$ 即為向上合力： $F_{上}$ ，

$$F_{上} = 2\pi r \times T \cos \theta$$

表面張力將管內液體向上拉，被拉高的液體向下的重力是液體重量 mg ，液體質量 $m = \text{體積 } V \times \text{密度 } \rho$ ，液體體積 V ：可將水柱視為圓柱體體積是（底面積乘以高） $\pi r^2 \times h$ ，重量可寫成

$$F_{下} = mg = V \rho g = \pi r^2 \times h \rho g$$

二者相等， $2\pi r \times T \cos \theta = \pi r^2 \times h \rho g$

$$h = \frac{2 T \cos \theta}{r \rho g}$$

毛細現象上升高度 h 與 r 成反比，管子越細液體越高。

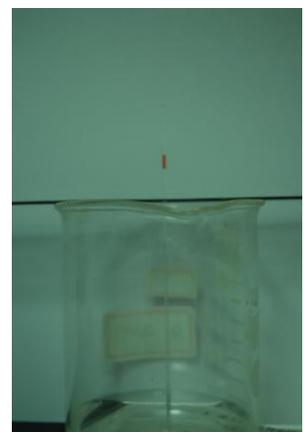
本實驗中，測量水及待測溶液在（四月月均溫 23°C ）時毛細管中水柱高度代表表面張力大小（ ΔH ）。將簡易滲透壓儀兩端水面差（ ΔD ）扣掉表面張力大小（ ΔH ）來校正毛細現象在簡易滲透壓所造成之誤差。

四、實驗步驟

實驗(一)、 H_2O 、 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 、 NaCl 、 Na_2CO_3 水溶液的毛細現象

實驗(同種溶液不同濃度的比較)

1. 將葡萄糖、氯化鈉、碳酸鈉分別配置 1M、0.5M、0.25M 三種濃度。
2. 各種濃度分別放入燒杯，利用硬紙板將毛細管垂直插入。
3. 前 10 分鐘密集測量，每兩分鐘測量毛細管液面上升高度，之後每五分鐘測量一次。



實驗(二)、相同濃度時不同水溶液（ $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 、 NaCl 、 Na_2CO_3 ）的毛細現象實驗

1. 將葡萄糖、氯化鈉、碳酸鈉分別配置 1M、0.5M、0.25M 三種濃度。

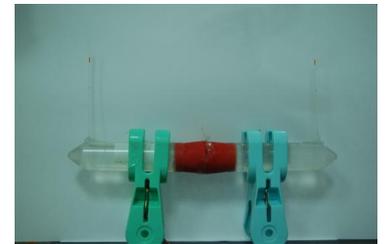
2. 各種濃度分別放入燒杯，利用硬紙板將毛細管垂直插入。
3. 前 10 分鐘密集測量，每兩分鐘測量毛細管液面上升高度，之後每五分鐘測量一次。

實驗(三)、 $C_6H_{12}O_6$ 、 $NaCl$ 、 Na_2CO_3 水溶液的滲透壓實驗(同種溶液不同濃度的比較)

1. 將葡萄糖、氯化鈉、碳酸鈉分別配置 1M、0.5M、0.25M 三種濃度。
2. 將蒸餾水和待測液分別放入相異離心管中，中間以透析膜間隔，並在兩邊離心管上插上毛細管並以熱熔膠封住空隙。
3. 前 10 分鐘密集測量，每兩分鐘測量簡易滲透壓儀兩端毛細管液面上升高度，之後每五分鐘測量一次。每種濃度各測量三次，求各待測溶液平均值並紀錄。

實驗(四)、相同濃度時不同水溶液($C_6H_{12}O_6$ 、 $NaCl$ 、 Na_2CO_3)的滲透壓實驗

1. 將葡萄糖、氯化鈉、碳酸鈉分別配置 1M、0.5M、0.25M 三種濃度。
2. 將蒸餾水和待測液分別放入兩端離心管中，中間以透析膜間隔，並在兩邊離心管上插上毛細管並以熱熔膠封住空隙。
3. 前 10 分鐘密集測量，每兩分鐘測量簡易滲透壓儀兩端毛細管液面上升高度，之後每五分鐘測量一次。每種濃度各測量三次，求各待測溶液平均值並紀錄。



實驗(五)、簡易滲透壓儀實驗值($\Delta D-\Delta H$)與滲透壓理論值($P=i \cdot C_M RT$)間的關係

1. 利用實驗三及實驗四的數據分析結果，找出 $C_6H_{12}O_6$ 、 $NaCl$ 、 Na_2CO_3 三種溶液最有效率的滲透壓測量時間
2. 代入范托夫方程式(Van't Hoff equation)
3. 找出三種溶液的 $\Delta D-\Delta H$ 與濃度關係圖

實驗(六)、透析膜對溶質的通透能力

1. 分別配置 1M 葡萄糖、氯化鈉、碳酸鈉三種待測溶液。
2. 將蒸餾水和待測液分別放入兩端離心管中，中間以透析膜間隔，並在兩邊離心管上插上毛細管並以熱熔膠封住空隙。
3. 以碼錶每 24 小時測量兩端毛細管液面高度，並紀錄之。

伍、研究結果

實驗一、 H_2O 、 $C_6H_{12}O_6$ 、 $NaCl$ 、 Na_2CO_3 水溶液的毛細現象實驗(同種溶液不同濃度的比較)

表 1-1 蒸餾水的水柱高度($H_{水}$)與時間關係

時間 (分鐘)	0	2	4	6	8	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
$H_{水}$	3.3	3.7	4.4	4.5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9

表 1-2 不同濃度葡萄糖溶液的水柱高度($H_{C_6H_{12}O_6}$)與時間關係

時間 (分鐘)	0	2	4	6	8	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1M 葡萄糖 $H_{C_6H_{12}O_6}$	2.9	3.6	3.6	3.8	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6
0.5M 葡萄糖 $H_{C_6H_{12}O_6}$	4.1	4.2	4.3	4.3	4.3	4.4	4.5	4.5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
0.25M 葡萄糖 $H_{C_6H_{12}O_6}$	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	5.0	5.0	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1

表 1-3 不同濃度氯化鈉溶液的水柱高度(H_{NaCl})與時間關係

時間 (分鐘)	0	2	4	6	8	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1M 氯化鈉 H_{NaCl}	3.4	3.6	3.6	3.7	3.8	3.8	3.9	4.0	4.0	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.3	4.2
0.5M 氯化鈉 H_{NaCl}	4.0	4.1	4.2	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.5	4.5	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
0.25M 氯化鈉 H_{NaCl}	3.5	3.7	3.8	3.8	3.9	4.0	4.1	4.1	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.5	4.5	4.5

表 1-4 不同濃度碳酸鈉溶液的水柱高度($H_{Na_2CO_3}$)與時間關係

時間 (分鐘)	0	2	4	6	8	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1M 碳酸鈉 $H_{Na_2CO_3}$	3	3.3	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.9	3.8
0.5M 碳酸鈉		3.4	3.5	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	4.0	4.0	4.0	4.0

H Na ₂ CO ₃																
0.25M 碳酸鈉 H Na ₂ CO ₃	3.5	3.6	3.7	3.8	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4

實驗二、相同濃度時不同水溶液(C₆H₁₂O₆、NaCl、Na₂CO₃)毛細現象實驗

表 2-1 純水及 0.25M 的 C₆H₁₂O₆、NaCl、Na₂CO₃ 水柱高度(H)與時間關係

時間	0	2	4	6	8	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
蒸餾水	3.3	3.7	4.4	4.5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
0.25M 葡萄糖	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	5.0	5.0	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
0.25M 氯化鈉	3.5	3.7	3.8	3.8	3.9	4.0	4.1	4.1	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.5	4.5	4.5
0.25M 碳酸鈉	3.5	3.6	3.7	3.8	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4

表 2-2 純水及 0.5M 的 C₆H₁₂O₆、NaCl、Na₂CO₃ 水柱高度(H)與時間關係

時間	0	2	4	6	8	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
蒸餾水	3.3	3.7	4.4	4.5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
0.5M 葡萄糖	4.1	4.2	4.3	4.3	4.3	4.4	4.5	4.5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
0.5M 氯化鈉	4.0	4.1	4.2	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.5	4.5	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
0.5M 碳酸鈉	3.2	3.4	3.5	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	4.0	4.0	4.0	4.0

表 2-3 純水及 1M 的 C₆H₁₂O₆、NaCl、Na₂CO₃ 水柱高度(H)與時間關係

時間	0	2	4	6	8	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
蒸餾水	3.3	3.7	4.4	4.5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
1M 葡萄糖	2.9	3.6	3.6	3.8	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6
1M 氯化鈉	3.4	3.6	3.6	3.7	3.8	3.8	3.9	4.0	4.0	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.3	4.2
1M 碳酸鈉	3	3.3	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.9	3.8

實驗三、 $C_6H_{12}O_6$ 、 $NaCl$ 、 Na_2CO_3 水溶液的滲透壓實驗(同種溶液不同濃度比較)

表 3-1、1M 的 $C_6H_{12}O_{6(aq)}$ ($i=1$) 簡易滲透壓儀的液面差($\Delta D-\Delta H$ ，經毛細現象校正過)

實驗 時間	液面差 單位: cm	液面差 單位: cm	液面差 單位: cm	平均值 單位: cm
0 分鐘	0.4	-2.8	-0.8	-1.1
2 分鐘	0.5	-1.7	-0.6	-0.6
4 分鐘	1.2	0.2	0.1	0.5
6 分鐘	1.2	0.3	0.1	0.5
8 分鐘	1.5	1.3	0.5	1.1
10 分鐘	1.8	2.9	1.3	2.0
15 分鐘	2	4.6	1.4	2.7
20 分鐘	3.8	4.6	4.1	4.2
25 分鐘	5.9	4.6	4.2	4.9
30 分鐘	5.8	4.6	4.2	4.9
35 分鐘	5.7	4.6	4.3	4.9
40 分鐘	5.8	4.7	4.3	4.9
45 分鐘	5.8	4.8	4.4	5.0
50 分鐘	5.7	4.9	4.3	5.0
55 分鐘	5.7	4.9	4.4	5.0
60 分鐘	5.6	5	4.3	5.0

表 3-2、0.5M 的 $C_6H_{12}O_{6(aq)}$ ($i=1$) 簡易滲透壓儀的液面差($\Delta D-\Delta H$ ，經毛細現象校正過)

實驗 時間	液面差 單位: cm	液面差 單位: cm	液面差 單位: cm	平均值 單位: cm
0 分鐘	1.3	0.6	-2.9	-0.3
2 分鐘	0.5	0.6	0	0.4
4 分鐘	0.9	2.1	1.5	1.5
6 分鐘	1.1	3.1	2.2	2.1
8 分鐘	1.5	4.6	3	3.0
10 分鐘	1.5	4.8	3.4	3.2
15 分鐘	2.3	4.9	4.5	3.9
20 分鐘	3	6.3	5.7	5.0
25 分鐘	3.5	5.7	7.6	5.6
30 分鐘	4.5	6.5	7	6.0
35 分鐘	3.8	6	7.7	5.8
40 分鐘	4.6	6.7	7.6	6.3
45 分鐘	4.5	6.2	8.1	6.3
50 分鐘	4.5	6.3	8.1	6.3
55 分鐘	4.8	6.3	8.7	6.6
60 分鐘	4.6	6.3	7.8	6.2

表 3-3 、0.25M 的 $C_6H_{12}O_{6(aq)}$ ($i=1$) 簡易滲透壓儀的液面差($\Delta D-\Delta H$ ，經毛細現象校正過)

實驗 時間	液面差 單位: cm	液面差 單位: cm	液面差 單位: cm	平均值 單位: cm
0 分鐘	-2.5	-2.4	-0.8	-1.9
2 分鐘	-1.8	-0.7	-0.3	-0.9
4 分鐘	-1.1	0.3	0	-0.3
6 分鐘	-0.4	0.5	0.5	0.2
8 分鐘	0	0.7	0.4	0.4
10 分鐘	-0.6	0.7	0.5	0.2
15 分鐘	-0.3	1.3	0.9	0.6
20 分鐘	0.4	1.4	1.2	1.0
25 分鐘	0.4	2	1.2	1.2
30 分鐘	0.8	2.1	2.1	1.7
35 分鐘	2.1	2.8	3.2	2.7
40 分鐘	2.7	3.5	4.1	3.4
45 分鐘	2.8	3.5	5.4	3.9
50 分鐘	3.5	3.6	6.4	4.5
55 分鐘	3.8	3.5	8.2	5.2
60 分鐘	5.7	3.5	8.3	5.8

表 3-4 、1M 的 $NaCl_{(aq)}$ ($i=2$) 簡易滲透壓儀的液面差($\Delta D-\Delta H$ ，經毛細現象校正過)

實驗 時間	液面差 單位: cm	液面差 單位: cm	液面差 單位: cm	平均值 單位: cm
0 分鐘	-1.2	-1.6	-0.5	-1.1
2 分鐘	-0.7	-1.5	-0.2	-0.8
4 分鐘	-0.3	-0.7	0.1	-0.3
6 分鐘	-0.1	-0.3	1.8	0.5
8 分鐘	1.9	-0.1	1.8	1.2
10 分鐘	2.2	0.2	1.6	1.3
15 分鐘	4.9	1.2	3.1	3.1
20 分鐘	5.3	1.8	2.7	3.3
25 分鐘	5.8	3.3	2.8	4.0
30 分鐘	5.7	5	3.7	4.8
35 分鐘	5.6	6.6	4.3	5.5
40 分鐘	5.6	9.1	5.6	6.8
45 分鐘	5.6		6.8	6.2
50 分鐘	5.6		8.3	7.0
55 分鐘	5.6		9.5	7.6
60 分鐘	5.7		11.2	8.5

註:合併表格代表液體溢出毛細管

表 3-5 、0.5M 的 $\text{NaCl}_{(aq)}$ ($i=2$) 簡易滲透壓儀的液面差($\Delta D-\Delta H$ ，經毛細現象校正過)

實驗 時間	液面差 單位: cm	液面差 單位: cm	液面差 單位: cm	平均值 單位: cm
0 分鐘	-0.1	-3.5	1.3	-0.8
2 分鐘	0	-2.1	1.5	-0.2
4 分鐘	0.7	-0.9	3	0.9
6 分鐘	0.6	0.1	4.3	1.7
8 分鐘	0.8	1	4.4	2.1
10 分鐘	0.8	1.6	5	2.5
15 分鐘	1	-1.7	7.6	2.3
20 分鐘	1.4	2.1	8.4	4.0
25 分鐘	1.9	6.4	10.7	6.3
30 分鐘	2.1	6.6	11.3	6.7
35 分鐘	2.3	7.6		
40 分鐘	2.6	7.9		
45 分鐘	3			
50 分鐘	3.4			
55 分鐘	3.9			
60 分鐘	4.3			

註:合併表格代表液體溢出毛細管

表 3-6 、0.25M 的 $\text{NaCl}_{(aq)}$ ($i=2$) 簡易滲透壓儀的液面差($\Delta D-\Delta H$ ，經毛細現象校正過)

實驗 時間	液面差 單位: cm	液面差 單位: cm	液面差 單位: cm	平均值 單位: cm
0 分鐘	-0.8	-1	1.2	-0.2
2 分鐘	-0.6	-2.3	2.2	-0.2
4 分鐘	0.4	-1.2	1.7	0.3
6 分鐘	0.7	-0.8	3.1	1.0
8 分鐘	1.4	0.4	3	1.6
10 分鐘	1.7	-0.1	3.1	1.6
15 分鐘	1.6	0.6	3.3	1.8
20 分鐘	2.2	0.6	4.1	2.3
25 分鐘	2.7	1.5	4.3	2.8
30 分鐘	3.7	1.2	5	3.3
35 分鐘	4.2	1.3	6.1	3.9
40 分鐘	4.7	1.6	6.4	4.2
45 分鐘	4.5	2.2	7.1	4.6
50 分鐘	4.5	2.7	7.9	5.0
55 分鐘	6.4	2.5	9.7	6.2
60 分鐘	5.5	2.8	9.7	6.0

表 3-7、1M 的 $\text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}$ ($i=3$) 簡易滲透壓儀的液面差($\Delta D-\Delta H$ ，經毛細現象校正過)

實驗 時間	液面差 單位: cm	液面差 單位: cm	液面差 單位: cm	平均值 單位: cm
0 分鐘	2.9	5.5	1.8	3.4
2 分鐘	3.5	6	2.9	4.1
4 分鐘	4.8	8.3	4.9	6.0
6 分鐘	5.2	8.8	5.7	6.6
8 分鐘	5.5	9.7	6.2	7.1
10 分鐘	6.3	10.5	8.1	8.3
15 分鐘	9.8	10.8	11.1	10.6
20 分鐘	9.3	10.9		
25 分鐘	11	11.1		
30 分鐘		11.1		
35 分鐘		12		
40 分鐘				
45 分鐘				

註:合併表格代表液體溢出毛細管

表 3-8、0.5M 的 $\text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}$ ($i=3$) 簡易滲透壓儀的液面差($\Delta D-\Delta H$ ，經毛細現象校正過)

實驗 時間	液面差 單位: cm	液面差 單位: cm	液面差 單位: cm	平均值 單位: cm
0 分鐘	4.4	-2.2	1.4	1.2
2 分鐘	5.6	-3	1.7	1.4
4 分鐘	7.1	-1.7	2.9	2.8
6 分鐘	6.9	-0.8	3.3	3.1
8 分鐘	6.9	0.3	4.4	3.9
10 分鐘	6.9	1.6	5	4.5
15 分鐘	7		6	4.3
20 分鐘	7.5		7.8	5.1
25 分鐘	7.2		8.4	5.2
30 分鐘	7.3		8.6	5.3
35 分鐘	6.3		9.3	5.2
40 分鐘	7.8		10.8	6.2
45 分鐘	7.7		11.1	6.3
50 分鐘	7			
55 分鐘	7.2			
60 分鐘	7.3			

註:合併表格代表液體溢出毛細管

表 3-9 、0.25M 的 $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ ($i=3$) 簡易滲透壓儀的液面差($\Delta D-\Delta H$ ，經毛細現象校正過)

實驗時間	液面差 單位: cm	液面差 單位: cm	液面差 單位: cm	平均值 單位: cm
0 分鐘	2.1	0.7	-0.5	0.8
2 分鐘	1.7	2.1	1.6	1.8
4 分鐘	2.6	3.1	2.6	2.8
6 分鐘	2.8	4.1	2.9	3.3
8 分鐘	4.3	5.2	3	4.2
10 分鐘	4.7	5.1	3.2	4.3
15 分鐘	4.8	7	4.4	5.4
20 分鐘	5.1	7.5	5.1	5.9
25 分鐘	4.8	10.1	6.4	7.1
30 分鐘	6.2		7.1	
35 分鐘	6.4		7.2	
40 分鐘	6.4		8.9	
45 分鐘	6.4		10.2	
50 分鐘	6.5		10.6	
55 分鐘	6.3		11.1	
60 分鐘	6.4		11.4	

註:合併表格代表液體溢出毛細管

實驗五、滲透壓儀實驗值($\Delta D-\Delta H$)與滲透壓理論值($P=i \cdot C_M RT$)間的關係

表 5-1 、 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 、 NaCl 、 Na_2CO_3 最有效率的滲透壓測量時間時的液面差($\Delta D-\Delta H$ ，經毛細現象校正過)

$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 濃度 (M)	$\Delta D-\Delta H$ ， (25 分鐘)	NaCl 濃度 (M)	$\Delta D-\Delta H$ ， (25 分鐘)	Na_2CO_3 濃度 (M)	$\Delta D-\Delta H$ ， (15 分鐘)
0.25	1.2	0.25	2.8	0.25	5.4
0.5	5.6	0.5	6.3	0.5	4.3
1	4.9	1	4.0	1	10.6

實驗六、透析膜對溶質的通透能力

表 6-1 、1M $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 、 NaCl 、 Na_2CO_3 兩端毛細管液面高度

時間	1M 碳酸鈉		1M 氯化鈉		1M 葡萄糖	
	水面高度	碳酸鈉 液面高度	水面高度	氯化鈉 液面高度	水面高度	葡萄糖 液面高度
24 (hr)	4.4(cm)	溢出	0	溢出	0	溢出
48 (hr)	6.2(cm)	溢出	0	溢出	0	溢出
72 (hr)	5.7(cm)	溢出	0	溢出	0	溢出
96 (hr)	4.7(cm)	溢出	0	溢出	0	溢出

120 (hr)	4.6(cm)	溢出	0	溢出	1.1(cm)	溢出
144 (hr)	4.8(cm)	溢出	0	溢出	0	溢出
168 (hr)	6.2(cm)	溢出	0	溢出	2.8(cm)	溢出
192 (hr)	4.3(cm)	溢出	0	溢出	0	溢出

陸、討論

實驗(一)、 H_2O 、 $C_6H_{12}O_6$ 、 $NaCl$ 、 Na_2CO_3 水溶液的毛細現象實驗(同種溶液不同濃度的比較)

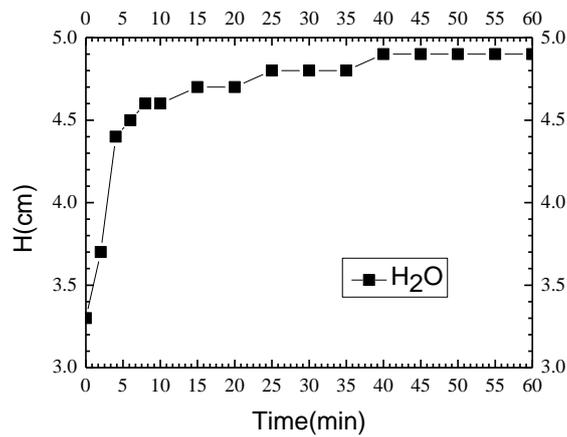


圖 1-1、純水的水柱高度與時間關係圖，H:水柱高度

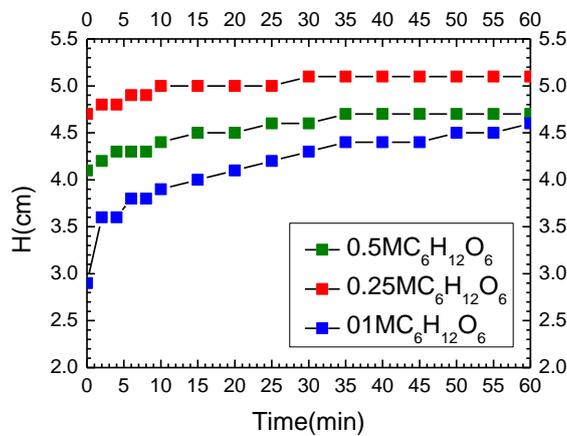


圖 1-2、不同濃度葡萄糖溶液的水柱高度與時間的關係圖，H:水柱高度

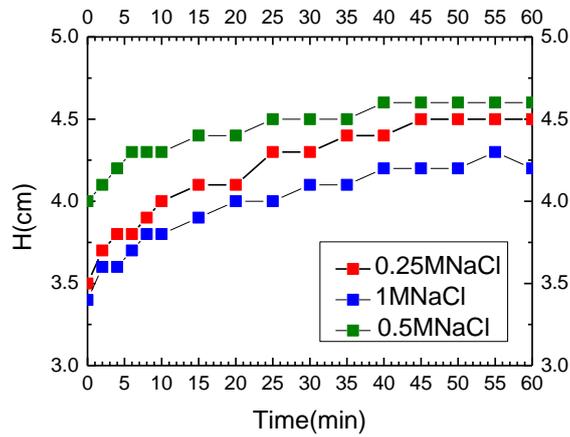


圖 1-3、不同濃度氯化鈉溶液的水柱高度與時間關係圖，H:水柱高度

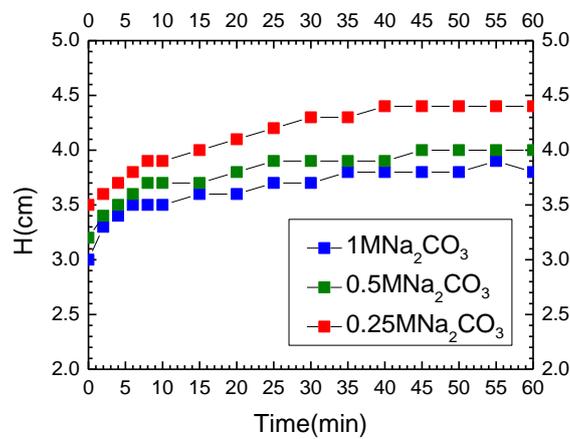


圖 1-4、不同濃度碳酸鈉的水柱高度與時間關係圖，H:水柱高度

1. H_2O 和 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 、 NaCl 、 Na_2CO_3 水溶液的毛細現象相較，純水是毛細現象所造成的液面高度最高的。
2. H_2O 和 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 、 NaCl 、 Na_2CO_3 水溶液在毛細管中水面上升速率前 10 分鐘非常快，在前 10 分鐘上升幅度為全部實驗的 80~90%。 H_2O 和 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 、 NaCl 、 Na_2CO_3 水溶液的毛細現象所造成的液面高度，在實驗進行到 25 分鐘時開始出現平衡。
3. 由圖 1-1~圖 1-4 的趨勢可知，在 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 、 Na_2CO_3 水溶液中。濃度越高者，毛細現象所造成的液面高度越低；而在 NaCl 水溶液中，毛細現象所造成的液面高度呈現 $0.5\text{M} > 0.25\text{M} > 1\text{M}$ 。

實驗(二)、相同濃度時不同水溶液($C_6H_{12}O_6$ 、 $NaCl$ 、 Na_2CO_3)的毛細現象實驗

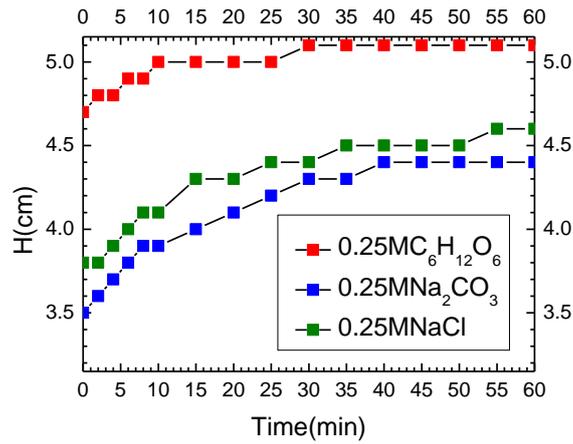


圖 2-1、0.25M 的 $C_6H_{12}O_6$ 、 $NaCl$ 、 Na_2CO_3 水柱高度與時間關係圖，H:水柱高度

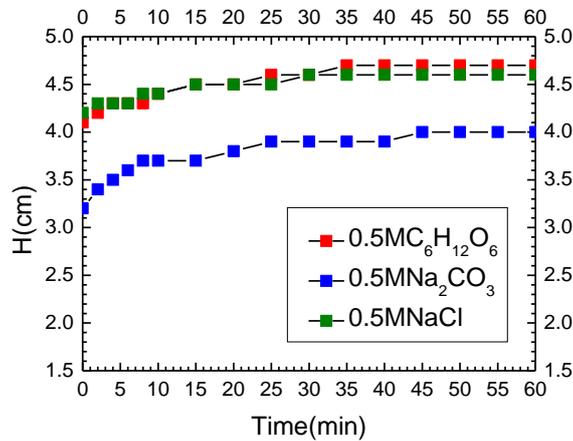


圖 2-2、0.5M 的 $C_6H_{12}O_6$ 、 $NaCl$ 、 Na_2CO_3 水柱高度與時間關係圖，H:水柱高度

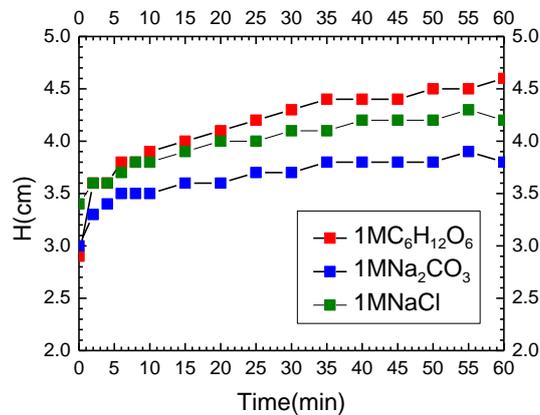


圖 2-3、1M 的 $C_6H_{12}O_6$ 、 $NaCl$ 、 Na_2CO_3 水柱高度與時間關係圖，H:水柱高度

- 同濃度時，溶質 i 越大的溶液液面高度越低，水柱高度： $C_6H_{12}O_6 > NaCl > Na_2CO_3$ 水溶液。

2.依照實驗的趨勢和討論，液體中粒子數越多者，毛細現象所造成的液面高越低，則蒸餾水應該是液面最高的液體。唯一的例外----液面高度最高者是 0.25M 的 $C_6H_{12}O_6$ 溶液。

實驗(三)、 $C_6H_{12}O_6$ 、 $NaCl$ 、 Na_2CO_3 水溶液的滲透壓實驗(同種溶液不同濃度的比較)

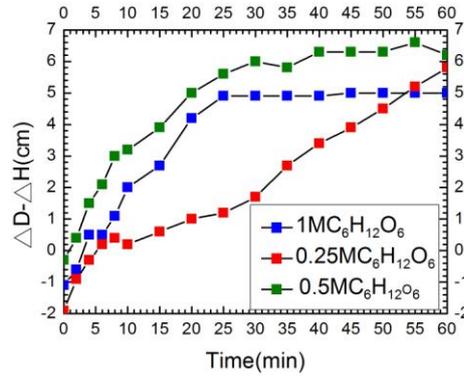


圖 3-1、不同濃度 $C_6H_{12}O_6$ 溶液的($\Delta D - \Delta H$ ，經毛細現象校正過)與時間的關係圖
 ΔD :簡易滲透壓儀兩端液面高度差， $\Delta H = H_{C_6H_{12}O_6} - H_{H_2O}$

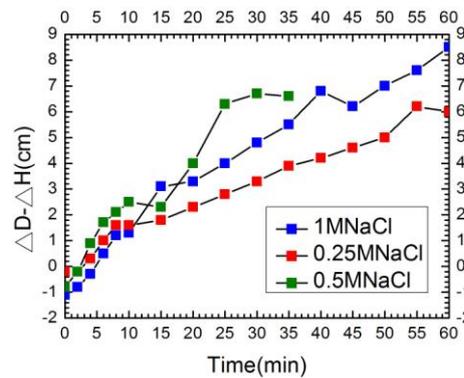


圖 3-2、不同濃度 $NaCl$ 溶液的($\Delta D - \Delta H$ ，經毛細現象校正過)與時間的關係圖
 ΔD :簡易滲透壓儀兩端液面高度差， $\Delta H = H_{NaCl} - H_{H_2O}$

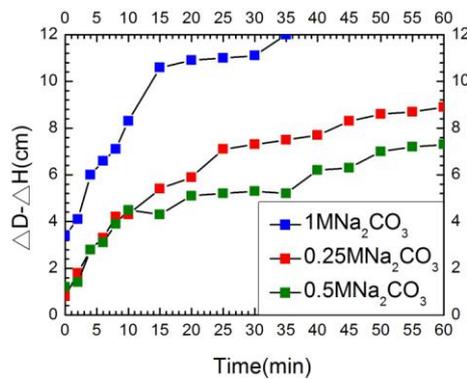


圖 3-3、不同濃度 Na_2CO_3 溶液的($\Delta D - \Delta H$ ，經毛細現象校正過)與時間的關係圖
 ΔD :簡易滲透壓儀兩端液面高度差， $\Delta H = H_{Na_2CO_3} - H_{H_2O}$

1. 由圖 3-1 中可知 $C_6H_{12}O_6$ 滲透壓濃度大小為 $0.5M > 1M > 0.25$; 而圖 3-2 中的趨勢 $NaCl$ 的滲透壓大小為 $0.5M > 1M > 0.25M$; 而圖 3-3 的 Na_2CO_3 的實驗結果滲透壓大小為 $1M > 0.25M > 0.5M$ 。
2. $[C_6H_{12}O_6] < 1M$ 時, 使用簡易滲透壓儀可判斷最有效率的滲透壓測量時間為 25 分鐘; $[NaCl] < 1M$ 時, 使用簡易滲透壓儀可判斷最有效率的滲透壓測量時間為 25 分鐘; $[Na_2CO_3] < 1M$ 時, 使用簡易滲透壓儀可判斷最有效率的滲透壓測量時間為 15 分鐘。

實驗(四)、相同濃度時不同水溶液($C_6H_{12}O_6$ 、 $NaCl$ 、 Na_2CO_3)的滲透壓實驗

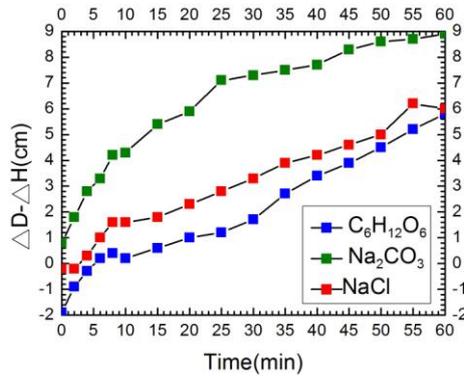


圖 4-1、純水及 0.25M 的 $C_6H_{12}O_6$ 、 $NaCl$ 、 Na_2CO_3 溶液的($\Delta D - \Delta H$)與時間關係圖，
 ΔD :簡易滲透壓儀兩端液面高度差， $\Delta H = H_{待測} - H_{水}$

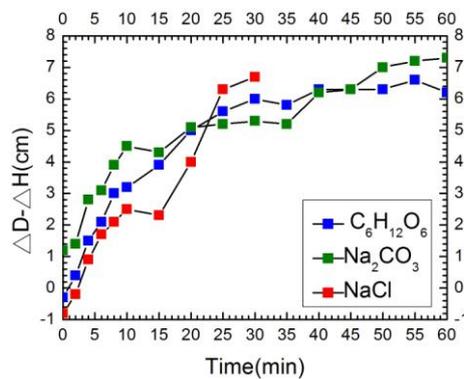


圖 4-2、純水及 0.5M 的 $C_6H_{12}O_6$ 、 $NaCl$ 、 Na_2CO_3 溶液的($\Delta D - \Delta H$)與時間關係圖，
 ΔD :簡易滲透壓儀兩端液面高度差， $\Delta H = H_{待測} - H_{水}$

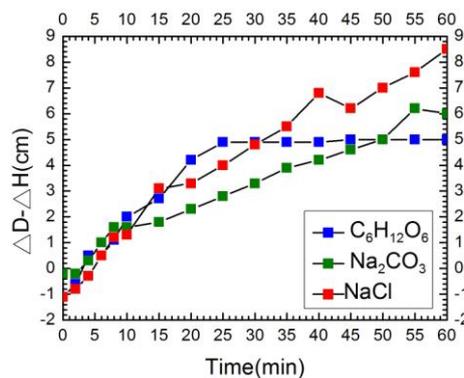


圖 4-3、純水及 1M 的 C₆H₁₂O₆、NaCl、Na₂CO₃ 溶液的(△D-△H)與時間關係圖，

△D:簡易滲透壓儀兩端液面高度差，△H=H_{待測}-H_水

1. 由圖 4-1 可見 0.25M 矯正後的實驗結果，三種溶液都近乎線性，符合滲透壓是依數性質的理論。
2. 由圖 4-2 及圖 4-3 中 0.5M 及 1M 的實驗結果發現同濃度葡萄糖水溶液滲透壓大於氯化鈉，按照范托夫方程式理論上應該是同濃度的氯化鈉水溶液上升較高，而且是葡萄糖水溶液的兩倍。於是我們考慮到理想溶液與真實溶液之間的差異性。將活性係數定義為體積莫耳濃度的標準值，真實溶液的體積莫耳濃度等於理想溶液的體積莫耳濃度再乘上一個活性係數，式如下：

$$\mu_r = \alpha \cdot C_{mi}$$

(μ_r 為真實溶液體積莫耳濃度、 α 為活性係數、 C_{mi} 為理想溶液體積莫耳濃度)

由資料得知，葡萄糖真實溶液之體積莫耳濃度會大於理想溶液的體積莫耳濃度，而真實溶液之體積莫耳濃度就小於理想溶液體積莫耳濃度，又溶液的滲透壓與溶液的體積莫耳濃度有關，此活性係數的差異造成雖是相同濃度的溶液，卻有不同的溶液活性，致使溶液的滲透壓有差異。

3. 再考慮到分子(離子間)的作用力。以葡萄糖水溶液與氯化鈉水溶液討論，葡萄糖溶於水與水形成氫鍵，且氫鍵之數目與分子裡氧原子的數目有正比的關係，而氯化鈉溶於水形成氯離子與鈉離子時，其與水之間的作用力為庫倫靜電力，我們推測庫倫力與氫鍵相比為較弱的作用力，故蔗糖水溶液上升高度大於氯化鈉水溶液。

實驗(五)、比較簡易滲透壓儀實驗值(△D-△H)與滲透壓理論值(P=i*C_MRT)間的關係

1. 葡萄糖溶液簡易滲透壓儀實驗值(△D-△H)與滲透壓理論值(P=i*C_MRT)間的關係。
 - (1) 一般而言，滲透壓測量，多用於稀薄溶液，故取 1M 之外的 C₆H₁₂O₆ 溶液做實驗數據的擬合，希冀將此項簡易滲透壓儀可應用於未知濃度 C₆H₁₂O₆ 溶液滲透壓的測量。
 - (2) 這次實驗數據應多測量幾種 0.1~0.5M 間的濃度(C₆H₁₂O₆)，對於未知濃度溶液的濃度測定，應更準確。
 - (3) 簡易滲透壓儀對葡萄糖溶液之換算方程式：

$$P_{\text{實驗值}} = [(\Delta D - \Delta H) + 3.2/17.6] \times R \times T \times i$$

P_{實驗值}：滲透壓(atm)

△D-△H：用毛細現象校正過的簡易滲透壓兩端液面差(cm)

R：常數 0.082(atm*L/mol*K)

T：凱式溫標(K)

表 5-2、 $C_6H_{12}O_6$ 最有效率的滲透壓測量時間時的液面差($\Delta D-\Delta H$ ，經毛細現象校正過)

葡萄糖濃度(M)	$\Delta D-\Delta H$ (25 分鐘)	滲透壓(實驗值)	滲透壓(理論值)
0.25	1.2	6.11	6.11
0.5	5.6	12.22	12.22
1	4.9	11.25	24.44

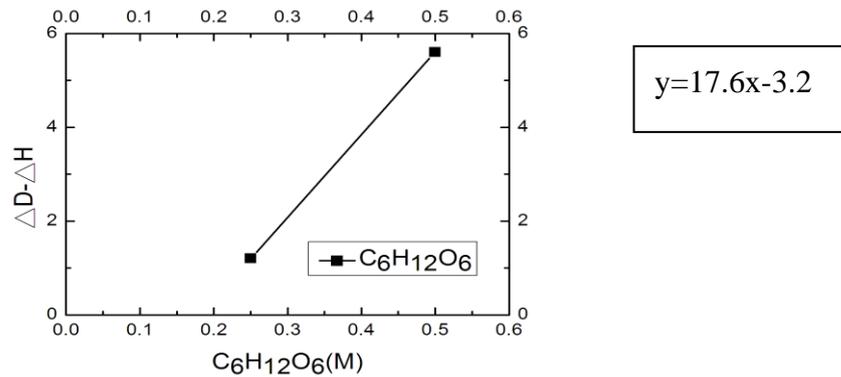


圖 5-1、 $C_6H_{12}O_6$ 溶液的($\Delta D-\Delta H$)與濃度關係圖， ΔD :簡易滲透壓儀兩端液面高度差， $\Delta H=H_{待測}-H_{水}$

2. NaCl 溶液簡易滲透壓儀實驗值($\Delta D-\Delta H$)與滲透壓理論值($P=i \cdot C_M RT$)間的關係
- (1) 1M NaCl 溶液滲透壓實驗值誤差較大，故不納入線性規劃考量，可能是高濃度溶液黏度大造成誤差，需要針對低濃度 NaCl 溶液滲透壓實驗再探究。
 - (2) 此項簡易滲透壓儀可應用於未知濃度 NaCl 溶液滲透壓的測量。
 - (3) 簡易滲透壓儀對氯化鈉溶液之換算方程式：

$$P_{實驗值}=[(\Delta D-\Delta H)+0.7/14] \times R \times T \times i$$

$P_{實驗值}$ ：滲透壓(atm)
$\Delta D-\Delta H$ ：用毛細現象校正過的簡易滲透壓兩端液面差(cm)
R：常數 0.082(atm*L/mol*K)
T：凱式溫標(K)

表 5-3、NaCl 最有效率的滲透壓測量時間時的液面差($\Delta D-\Delta H$ ，經毛細現象校正過)

NaCl 濃度(M)	$\Delta D-\Delta H$ (25 分鐘)	滲透壓(實驗值)	滲透壓(理論值)
0.25	2.8	12.22	12.22
0.5	6.3	24.44	24.44
1	4.0	16.41	48.87

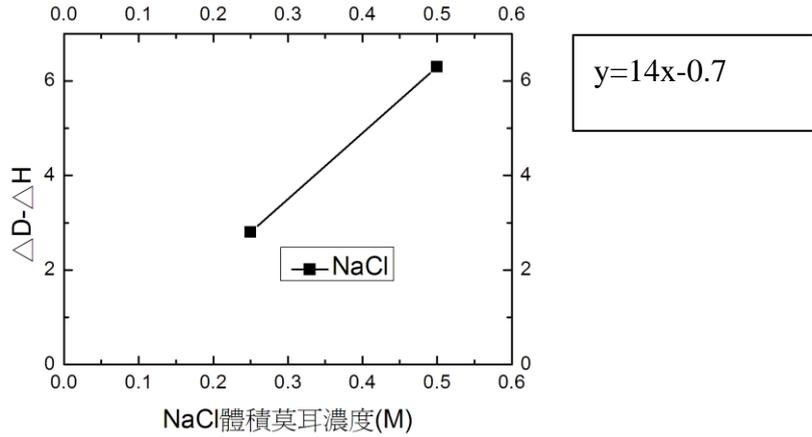


圖 5-2、NaCl 溶液的($\Delta D-\Delta H$)與濃度關係圖， ΔD :簡易滲透壓儀兩端液面高度差， $\Delta H=H_{\text{待測}}-H_{\text{水}}$

3. Na_2CO_3 溶液簡易滲透壓儀實驗值($\Delta D-\Delta H$)與滲透壓理論值($P=i \cdot C_m RT$)間的關係

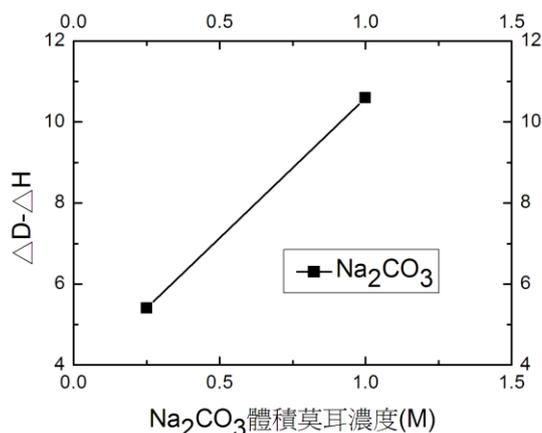
- (1) 若考量 0.25M~0.5M Na_2CO_3 溶液滲透壓實驗值誤差較大(濃度變大，但液面差 $\Delta D-\Delta H$ 變小)，故採用 0.25M 與 1M 的數據做數據擬合。
- (2) 簡易滲透壓儀可能適宜測量稀薄濃度的 Na_2CO_3 溶液滲透壓。
- (3) 此項簡易滲透壓儀可應用於稀薄未知濃度 Na_2CO_3 溶液滲透壓的測量。
- (4) 簡易滲透壓儀對碳酸鈉溶液之換算方程式：

$$P_{\text{實驗值}} = [(\Delta D - \Delta H) - 3.67/6.93] \times R \times T \times i$$

$P_{\text{實驗值}}$ ：滲透壓(atm)
 $\Delta D-\Delta H$ ：用毛細現象校正過的簡易滲透壓兩端液面差(cm)
 R ：常數 0.082(atm*L/mol*K)
 T ：凱式溫標(K)

表 5-4、 Na_2CO_3 最有效率的滲透壓測量時間時的液面差($\Delta D-\Delta H$ ，經毛細現象校正過)

Na_2CO_3 濃度(M)	$\Delta D-\Delta H$ (15 分鐘)	滲透壓(實驗值)	滲透壓(理論值)
0.25	5.4	18.30	18.33
0.5	4.3	6.66	36.65
1	10.6	73.31	73.31



$$y=6.93x+3.67$$

圖 5-3、Na₂CO₃ 溶液的(ΔD-ΔH)與濃度關係圖，ΔD:簡易滲透壓儀兩端液面高度差，ΔH=H_{待測}-H_水

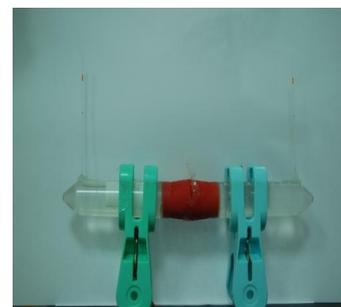
實驗(六)、透析膜對溶質的通透能力

簡易滲透壓儀的測量，建立在假設半透膜並不會讓溶質通過，相反的，若溶質可以通過我們所使用的透析膜，則假以時日，簡易滲透壓儀兩端毛細管，水面終將等高，實驗結果顯示:待測溶液端毛細管水面持續上升溢出毛細管，而且另一端純水毛細管液面下降吸入空氣造成離心管中氣泡面積持續擴大，證明溶質未通過透析膜。

柒、結論

一、關於微型化器材製備

1. 自始至終，我們都秉持著一個環保的概念，用最少的資源，化腐朽為神奇，節省能源節省時間，從用一支 1 元不到的吸管開始，來做出各式各樣的實驗，而我們在這一系列滲透壓的實驗裡也有很多的收穫，重要的發現如下：為進行綠色實驗，達到實驗器材微型化的目的，使用毛細管及吸管取代高中課程中的 U 型玻璃管，但遇到漏液的問題，改用離心管取代吸管並設計橡皮塞套緊半透膜的方式;為了縮短一般滲透壓實驗耗時效率差的問題，我們選用毛細管來觀察兩端液面差(ΔD)，並將毛細現象可能造成的誤差加以校正後，一套不到 60 元的有效率的簡易滲透壓儀便成形了，重點是它可以重複使用。
2. 本項實驗最重要的精神--簡易滲透壓儀在測量時為求精確曾經試著避免在兩側分別注入水及待測溶液時產生氣泡，為求迅速，我們決定忽略氣泡在實驗過程中因體積變化而產生的壓力差(因來自毛細管中液體升降時體積變化微小)。



二、表面張力的實驗

1. 同種溶液中濃度越高者，毛細現象所造成的液面高度越高。
2. 同種濃度溶液中粒子數越多者，毛細現象所造成的液面高度越低。
3. H_2O 和 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 、 NaCl 、 Na_2CO_3 水溶液的毛細現象所造成的液面高度，在實驗進行到 25 分鐘時開始出現平衡。
4. 毛細現象是由內聚力和附著力所影響的合力，受許多因素影響，如:pH 值、濃度、溫度、溶液種類、活性係數、等，由於本實驗目的再於校正簡易滲透壓儀中的毛細現象，故將焦點集中在 H_2O 和 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 、 NaCl 、 Na_2CO_3 水溶液的毛細現象與時間的關係。

三、簡易滲透壓的測量

1. 此儀器最有效率的滲透壓測量時間約為 25 分鐘。

四、簡易滲透壓儀實驗值($\Delta D-\Delta H$)與滲透壓理論值($P=i \cdot C_M RT$)間的關係

1. 實驗結果中，1M 的結果都不理想，經過資料的收集後，發現滲透壓的實驗適用於稀薄溶液，然我們實驗所用的溶液濃度遠遠超過 0.1M，濃度過高造成溶液中粒子間作用力(靜電作用力、分子間作用力)及黏滯度上升進而影響液面的上升，和平衡的時間。

五、相同濃度時不同水溶液(H_2O 、 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 、 NaCl 、 Na_2CO_3)的滲透壓實驗

1. 在此實驗中 0.5M、1M 實驗的數據相當雜亂無章但，0.25M 卻非常穩定，可能是因為濃度過大造成活性係數較大，因此實驗數據浮動，而造成結果不符合范托夫方程式(Van't Hoff equation)理論數據。
2. 溶液提前溢出管外，代表需要更高的液面高度來達成滲透壓的平衡，平衡尚未結束。

六、透析膜對溶質的通透能力

1. 碳酸鈉溶液透壓的浮動結果，應是因其還在進行滲透壓平衡所造成。
2. 我們所使用的半透膜，溶質無法通過。

七、未來展望

1. 我們實驗的目的，無非是希望利用簡易滲透壓儀，找出常見溶液的($\Delta D-\Delta H$)對濃度的一般式，來測量未知溶液的滲透壓，或者找出簡易滲透壓儀的限制。所以接下來的工作是將報告中的實驗圖表(包括毛細現象、滲透壓)利用擬合的軟體整理，希望可以應用在混合溶液中。
2. 將簡易滲透壓儀數據和滲透壓儀數據比對。
3. 將簡易滲透壓儀應用在課程實驗中。

捌、參考資料及其他

1. 林春煌。表面張力 - 毛細現象。新北市大理高中。
2. 李景安。界面力學—表面張力之小兵立大功。彰化女中。
3. 蘇淑貞、翁義芳、吳尹傑、吳振華、洪鶴祐、林達。被忽略的神秘力量—表面張力。彰化縣立陽明國民中學。

4. 陳羿如、林詩華、凌昱昀、吳明珠、林茂成。蛋求滲解-磁場對滲透壓的影響。國立新竹女子高級中學。
5. 王淑卿、許智傑。壓力模組滲透壓。雙十國中。
6. (90) 臺北市立中山女子高級中學科學暨藝文展覽會
http://www.csghs.tp.edu.tw/Zhongshan/student/90science/p/p_7.htm
7. 曾國輝 (民 74)。溶液的依數性質。載於觀念叢書第 4 冊 (107-116 頁)。臺北市：建弘出版社。

【評語】 040209

本作品應用毛細管探討滲透壓的現象，具有環保綠能的效果。本件作品也比較實驗值與理論值的差異發現改良設備的較佳適用條件。如果能增加濃度關係圖的取極點建立更正確的關係，對濃度的推測會更正確的而增加本設備的價值。