

這邊高來那邊低…滲透壓之探討

高中組化學科第三名

高雄市立高雄高級中學

作者：廖昭敏、張文騰、王朝正、高明蔚
指導教師：龔自敬

一、研究動機

在暑假時參加科學研習營，當中有一個有趣的雞蛋滲透壓實驗，當時引起我們濃厚的興趣，甚至互相比賽看誰的上升高度大。到高二上學期學了滲透壓這一單元，在老師的指導下，更清楚了滲透壓的理論基礎，可惜教科書上都找不到有關這方面的實驗，於是我們便興起了自己來研究的念頭。

二、研究目的

1. 探討影響滲透壓的各項變因，並嘗試設計良好之實驗裝置。
2. 測量各種有機物，無機物之滲透壓，並將之與理論相印證。
3. 電解質水溶液在通電流之情況下，對其滲透壓是否有所影響？
4. 以滲透壓測高分子之分子量及其在日常生活中的應用。

三、研究設備與器材

1. 試藥：

CuSO_4 、 NiSO_4 、 MgSO_4 、 Na_2SO_4 、 K_2SO_4 、 KSCN 、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 、 CaCl_2 、 NaNO_3 、 KNO_3 、 KCl 、 NaCl 、 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 、 CoCl_2 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 K_2CrO_4 、酒精、冰醋酸、丙酮、澱粉、蔗糖、果糖、葡萄糖、奶粉、鮮乳、豆漿、咖啡、木瓜牛奶、順-丁烯二酸、反-丁烯二酸、黃血鹽、赤血鹽。

2. 器材：

雞蛋、豬腸膜、賽路玢膜、RO逆滲透膜、長柄薊頭漏斗、滴定管、凡士林、橡皮筋、藥瓶(100c.c.)、燒杯、漏斗、熱熔膠、電子天平刮勺、電源供應器、毫安培計、導線、滴定管、分光光度計、注射筒、輪型滲透壓測量器(訂購)、杯型滲透壓測量器(訂購)、烘箱(可自動定溫)。

四、實驗原理

1. 在半透膜兩側之溶液，其濃度大的，單位面積內水之分子數較少；濃度小的，單位面積內水之分子數較多（純水則單位面積內水之分子數更多），這些水分子碰撞半透膜之頻率：純水>濃度小溶液>濃度大溶液，故穿透半透膜至另一側之速率亦然。
2. 濃的溶液水面漸升（濃度亦漸稀），當升至某一高度便會停止，此時液柱（高度差 Δh ）造成之液壓，恰等於半透膜所受由純水衝過來之壓力，故恰好阻止了水分子再經過半透膜衝入溶液中。該高度差（ Δh ）即可視為該溶液之滲透壓。
3. 從熱力學的討論可導出滲透壓與蒸汽壓下降之關係，在定溫下， $dG=VdP$ ，設 π 為使滲透停止所施加之壓力，即溶液之滲透壓，則積分上式得 $\Delta G=V_1 \int_0^\pi dP = \pi V_1$ ，故 $\pi V_1 = -RT \ln X_1$ 又 $\ln X_1 = \ln(1 - X_2) \doteq -X_2$ 。所以 $\pi V_1 = RT \ln X_2$ ，在稀溶液的場合， $X_2 \doteq \frac{n_2}{n_1}$ ， $V_1 \doteq \frac{V}{n_1}$ 故 $\pi V = n_2 RT$ ，即 $\pi = CRT$ ，若溶質為電解質，則 $\pi = iCRT$ ，嚴格言之，此式只在濃度稀時才有效。
4. 滲透過程中，滲透流通率 J 與滲透壓 π 及半透膜兩端液體靜壓 ΔP 成下列關係： $J = L(\pi - \Delta P)$ （ L 為滲透係數）。
流通率 J 和液柱上升速率 $\frac{\Delta h}{\Delta t}$ 成正比， ΔP 以 h 水柱高表示， $\frac{\Delta h}{\Delta t} \propto (\pi - h)$ 即 $\pi - h = k \left(\frac{\Delta h}{\Delta t} \right)$ ，當 $\frac{\Delta h}{\Delta t} \rightarrow 0$ 時之 h ，也就是滲透壓的實驗值。但因滲透速度甚慢，溶劑與溶液之平衡費時，在此定義 $H_{<time>}$ 為經某時段後之高度差記錄（單位：毫米 mm ）。
如： $H_{<30m>}$ 為開始滲透至30分鐘後之高度差記錄而 $H_{<1d>}$ 為開始滲透至一天（24小時）後之高度差記錄。
以相同的滲透係數 L 而言， $\pi \propto H_{<max>}$ ，並與 $H_{<time>}$ 成正相關，平衡時間愈久相關性愈高。

五、研究過程

（一）實驗一：探討影響滲透壓的各項變因

1. 各種半透膜性質比較

想法：半透膜是否只讓水分子（溶劑）通過？而對於溶液中的大分子（溶質）則不許通行？另外，半透膜與實驗裝置的配合度又是如何？

方法：(1)把比較不新鮮的雞蛋，鈍端的蛋殼去掉，開一孔在尖端，以

便抽出內容物，以清水洗淨後，用膠帶黏著蛋殼和細繩，以便下一步驟之懸掛。

- (2)豬腸膜之處理，要先把腸上的脂肪除去，平放在桌上，以筷子順著腸輕刮，刮去腸壁肌肉，再加以洗淨待用。
- (3)RO逆滲透膜係從整卷膜切割展開後（呈層狀重疊），取其膠膜部份。賽珞玢膜與RO逆滲透膜之處理，皆以10%NaOH浸泡，再以蒸餾水洗淨，浸泡保存其中。
- (4)將常見的幾種半透膜，以橡皮筋繫於長柄漏斗之頂端（塗上適當之凡士林），以鐵架固定，下端浸於100c.c.水中。
- (5)分別注入20c.c.混合液（1%葡萄糖10c.c.和1%澱粉10c.c.），每隔五分鐘，取燒杯中溶液，以本氏液和碘試液檢驗之。
- (6)改注入1MCuSO₄ 20c.c.，觀察燒杯中溶液之顏色變化。
- (7)改注入1MK₂Cr₂O₇ 20c.c.，觀察燒杯中溶液之顏色變化。

結果：略

- 討論：(1)除澱粉不能通過各半透膜外，其餘溶質皆可透過半透膜，但都可看到滲透現象，亦即，半透膜不見得要完全擋住溶質分子或離子，只要阻礙其通行，便可產生滲透現象。
- (2)有機膜（蛋膜、腸膜）久置會發臭，保存不易，且滲透現象不太明顯，但相對上來說，有機膜對有機物（如澱粉、鮮奶）的滲透效果比對無機物(CuSO₄)要來的好。
 - (3)四種膜中以賽珞玢膜及RO逆滲透膜之滲透現象較為明顯易觀察，但RO逆滲透膜因較硬，處理上較為不便，久置有泛黑之現象，且架設好後，易有漏液之困擾，成功率較低，不似賽珞玢膜柔軟易處理，亦較好保存，故以下實驗，皆選用賽珞玢膜來進行。

2.滲透壓測量裝置之設計及選擇

想法：除最常見的長柄薊頭（漏斗式）之測量方式外，能否在有限經費下自行設計或訂購較佳之實驗裝置。

方法：本組同學自行研發一種以100c.c.藥瓶·熱熔膠·吸管所組合而成的簡易裝置，以下簡稱〈雙座式〉滲透壓測量組合。另外注射筒穿洞後，墊上推進橡皮改裝而成之裝置，簡稱〈注射式〉。除此之外，在市售的滲透壓測量裝置中，也選購了兩套，按其特徵分別命名為〈輪型〉滲透壓測量器及〈杯型〉滲

透壓測量器。以賽珞玢膜架設好後，實際操作多次，並比較其優缺點。

結果：略

討論：各裝置皆有其優缺點，但以〈雙座式〉最符合我們的實驗要求，故以下之實驗，大都以自製的〈雙座式〉裝置來進行。

3. 濃度對滲透壓之影響

想法：根據公式 $\pi = iCRT$ ， $\pi \propto C$

方法：為凸顯濃度對滲透壓之影響，特別設計〈三座式〉裝置，左、中、右分別以不同濃度的 CuSO_4 溶液裝入，測量其 H_{time} 。

結果：略

討論：(1) 水由中間向左、右兩端較高濃度之溶液滲透，其高度比與濃差成正比，這樣的結果與預期相符，而實驗結果的準確度，亦讓我們覺得驚喜和興奮。

(2) 滲透開始時，濃差大者上升快，（高差比比較大）。久置後，濃度小者後勁足。（高差比比較小）

4. 溫度對滲透壓的影響：

想法：根據公式 $\pi = iCRT$ ， $\pi \propto T$ （絕對溫度）

方法：(1) 以〈雙座式〉組合實驗，一邊放純水，一邊放 Ni_2SO_4 溶液，分別放入冰箱及烘箱（可自動調溫），測其 H_{time} 。

(2) 以〈雙座式〉組合，兩邊皆放純水，做好適當刻度後，分別放入冰箱及烘箱達熱平衡後，記錄刻度，以校正熱脹冷縮效應。

結果：略

討論：(1) 實驗結果和理論上所預期者不太相符，尤其高溫狀況，誤差更是明顯。推論其原因，除了平衡時間（一天）不夠外，可能還有一些其它變因，未列入考慮。

(2) 50°C 以上之溫度，左、右二座內水份大量蒸發，根本觀察不到滲透現象，故本套組合不適用於高溫下使用。

（二）實驗二：測量各種有機物、無機物之滲透壓

1. 測量常見試劑之滲透壓

方法：在室溫下，以〈雙座式〉組合，一邊裝入各濃度之試劑，一邊裝入水，進行一系列滲透壓之測試。

結果：略

討論：(1)試劑中具有顏色者，久置後皆見顏色在另一邊漸呈，可見具顏色之離子，都可以穿越賽珞玢半透膜。

(2)根據上面一系列之實驗，我們做成大膽的假設：以陰離子分類，滲透壓大小有如下順序： $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ 。

(3)順，反-丁烯二酸是一有趣的例子，開始時順式上升快（可能與其活性大及 K_{a1} 值較大有關），但久置後，兩者之滲透壓漸趨一致。

(4)以市售果糖為試劑，其一天內之滲透壓 H_{cld} ，高達60cm以上，由四根吸管重疊，看起來頗為壯觀。

2. 膠體溶液之滲透壓

想法：膠體溶液受電解質或通電流之影響後，其滲透壓會有何改變？

方法：(1)以〈雙座式〉測咖啡（自泡）、豆漿、木瓜牛奶（市售）之滲透壓。

(2)再取原溶液100c.c.分別做以下處理：A加入0.1M NaCl 20c.c.；B加入1.0M 醋酸20c.c.，測其滲透壓。

(3)取銅棒二根，插入欲裝膠體溶液之一端，用熱熔膠封好，測滲透壓。

結果：略

討論：(1)當膠體溶液有凝聚，電泳發生，造成結塊或沈澱時，其滲透壓皆有增加之現象。

(2)NaCl對三種膠體溶液沒有影響；醋酸對咖啡和豆漿會造成凝聚現象，但對木瓜牛乳則沒有此現象。當凝聚現象發生時，上升之液柱顏色，與原溶液比較，明顯變淡。

(3)三種膠體溶液通電後，皆有滲透壓增加之現象，但注意電壓控制在1~2V較為恰當，若電壓大於5V，則發現有氣泡產生，且兩邊的液柱皆上升。

3. 揮發性液體的滲透壓

想法：(1)具揮發性液體之滲透壓如何？

(2)若使整個裝置密閉，蒸氣無法揮發而出，則滲透壓如何？

方法：以〈雙座式〉裝置，測醋酸、乙醇、丙酮等液體的滲透壓。

討論：(1)上升高度應不只16cm及14cm，因水和醋酸或乙醇都有互溶性，這可從純水一方的體積大量消失而看出。

(2)三套裝置被大氣壓壓扁而導致扭曲變形，再一次讓我們體會

到了；滲透壓力量之驚人。

4. H_{time} 之加成性及靈敏度之探討

討論：(1) H_{time} 沒有加成性，不能以兩種電解質的 H_{time} 求其混合後的 H_{time} 。

(2) 濃稀溶液之相對滲透壓靈敏度頗高，以 CuSO_4 而言，其濃度差在 0.02M 以上者，只要一天的滲透，就可明顯區分。

(三) 實驗三：電流對電解質溶液滲透壓的影響

1. 以半透膜做鋅—銅電池

結果：所做的鋅—銅電池，穩定度夠，可維持約五天的 1.0V，直到插入溶液中的鋅片全部溶解，電壓才逐漸下降，與鹽橋相較（三天的 1.0V），其穩定性及持續性都較佳。

2. 電流對 CuSO_4 溶液滲透壓之影響

想法：既然 Cu^{2+} 可以透過半透膜，則在通電流的狀況下，對 CuSO_4 溶液的滲透壓會造成什麼樣的影響？

方法：(1) 採用〈三座式〉組合， CuSO_4 為電解質溶液，以通電—不通電；滲透—不滲透；加膜—不加膜等，排列出各項組合。

(2) 通電或滲透 24 小時後，用剪刀減穿小吸管，以乳頭滴管吸取左、中、右三區之溶液，留待分析。

(3) Cu^{2+} 檢驗法：

A. 分光光度計法：在波長 579nm 下，測透光率及相對濃度。

B. 碘量法： $4\text{I}^- + 2\text{Cu}^{2+} \rightarrow 2\text{CuI} + \text{I}_2$ ； $\text{I}_2 + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightarrow \text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 2\text{I}^-$

(4) 記錄滲透後之 H_{time}

結果：略

討論：(1) 電流大小與所裝電解質溶液之濃度成正相關，且通電後隨即達平衡；而若當中被水隔開時，則電流會緩慢增加，而漸達平衡。

(2) 加膜後陽極區的 Cu^{2+} 較濃，可能是銅棒溶解後， Cu^{2+} 受膜的阻擋，不能順利穿透膜去至中區，而陰極區的 Cu^{2+} 濃度偏低，可能是 Cu^{2+} 在銅棒上沈積後，中區之 Cu^{2+} ，不能順利穿透膜而快速補充之故。

(3) 若電流之方向（亦為 Cu^{2+} 之流動方向）與滲透水流動的方向一致，則滲透壓會加強；反之，則減弱。

(四) 實驗四：滲透壓之應用

1.滲透壓測高分子之分子量

方法：(1)以10克可溶性澱粉加水少許成糊狀，再倒入100c.c.沸水中，煮沸2分鐘，冷卻後稀釋為200ml。

(2)以〈雙座式〉測 H_{time} 並以 $\frac{\Delta H}{\Delta t} \rightarrow 0$ 之想法，利用外插法，推求 $H_{\text{max}} = \pi$ ，再利用溶液氣體論公式即可求得分子量的實驗值。

結果：略

討論：採用此法，對 H 之測量需相當精準，否則，其計算值的誤差將相當大，因此建議，此法只做分子量級數上的一個參考。

2.利用滲透壓測鮮乳之“相對濃度”

方法：(1)找尋比較“相對濃度”之“標準液”

(2)我們選擇由某牌奶粉所沖泡之牛奶，按其沖泡指示（130克／900c.c.水）做增減，配好各種控制濃度，找出和鮮乳濃度最接近的標準液。

(3)標準液建立後，與不同品牌之鮮乳做比較，各品牌亦做相對濃度之比較。

(4)嘗試稀釋鮮乳0.9倍、0.8倍、0.7倍，再與標準液做相對濃度的比較。

討論：(1)若實驗在室溫下進行，平衡較快，但產生結塊，影響觀察。在冰箱低溫下，平衡緩慢，但禁得起久置，看其結果須有耐心。

(2)各家鮮乳之比較，雖有邏輯性的結果呈現，但僅能代表此次測試之情況，而且，其濃度差鉅甚小。

(3)稀釋過的鮮乳，0.7倍及0.8倍，與標準液做兩天的滲透後，可明顯辨別；至於0.9倍以上者，其辨識並不顯著。（ $H_{\text{max}} \approx 2\text{cm}$ ）

六、結論

1.滲透壓在日常生活中的應用極為廣泛，而教科書上這方面的實驗卻付之闕如，本實驗僅利用藥瓶，熱溶膠，吸管等簡單器材，以學過的基本原理，自行設計實驗，觀察滲透作用，並嘗試解決問題，以實驗來印證學理，達到了學以致用的目的。

2.本實驗利用自製的〈雙座式〉組合證實了：

- ①半透膜只要對溶質有阻擋作用，即會產生滲透現象。
 - ②滲透壓造成的上升高度，和兩邊溶液的濃度差成正相關。
 - ③〈雙座式〉組合對濃、稀溶液之相對滲透壓靈敏度頗高。
 - ④電流確實影響電解質溶液之滲透壓，但其影響力並不是很大。
 - ⑤滲透壓可應用在高分子的分子量計算，及鮮乳之相對濃度比較大。
- 3.在〈雙座式〉設計過程中，嘗試了無數次實驗之失敗，也體會到了水力量之可怕，有任何的小空隙，小漏洞發現時，強力膠或接著劑都擋不住水慢慢的侵蝕，俗話說：滴水穿石，水滴石穿，真是不無道理。

七、參考資料

- 1.高級中學化學實驗手冊。國立編譯館。
- 2.高級中學化學（一）及教師手冊。
- 3.化學實驗下冊，雷敏宏等。高立圖書。
- 4.歷屆科展得獎作品專輯。

評語

本件作品自創儀器測量滲透壓，具有創意。利用不同的半透膜探討其效果，實驗操作技巧純熟。若能在思考嚴密性再加強，使得本研究更廣延，本件作品更臻完美。